

## 스프레이 제진재에 의한 승용차 소음진동 저감

이 중 규\* · 허 덕 재\*\* · 조 영 호\*\*\*

### Spray Deadener Application for Reduction of Vehicle NVH

J. K. Lee \*, D. J. Hur\*\*, Y. H. Cho \*\*\*

#### ABSTRACT

Vehicle Manufacturers use asphalt deadener sheets for their passenger cars to reduce noise and vibration from engine and road surface. Since their shapes are limited to a few variations, it is very difficult to reduce unnecessary weight by changing the shape of the deadeners. There is also damping performance limit in the asphalt sheets. Therefore, a high damping material should be implemented into the vehicle noise and vibration reduction activities to overcome the disadvantage of asphalt sheets.

In this study, measurement of the damping loss factor and sound transmission loss were made to compare the properties and vehicle test and analysis was followed to evaluate the NVH performance of each deadener type in the vehicle

#### 1. 서론

차량의 경량화에 따른 연비 향상은 소비자들의 지속적인 요구사항이며, 자동차 업계의 당면과제이기도 하다. 그럼에도 불구하고, 상반되는 개념인 차량의 정숙감은 더욱 더 심하게 요구되고 있는 실정이다. 여기에 생산 원가의 절감도 또한 필요한 상황이다.

차량의 소음진동을 향상시키기 위해 첫번째로 시도하는 작업이 제진재를 접착시키는 것이며 현재까지는 아스팔트 기반의 제진재가 주종을 이루고 조금 더 고가의 차량에서는 아스팔트와 고무로 되어 있는 이중구조의 제진재도 사용되고 있다. 그

리나, 이러한 재료들은 중량이 크고, 가격 또한 고가여서 경량화 추세에 반하고 있는 실정이다.

이에 대한 대체재료로서 스프레이 형태의 제진재가 검토되고 있으며, 가까운 일본에서는 일부 양산 차량에 적용하고 있다. [1,2,3] 스프레이 제진재는 무게가 가벼우면서도 제진효과가 우수하여 적용부위를 최적화할 경우 가장 큰 단점인 고가격에 대한 부담을 덜 수 있다. 또한, 수작업에 의해 이루어지던 제진재 적용이 로봇에 의한 자동도포작업으로 교체될 수 있어 재료비에 따른 가격상승을 소화해 낼 수 있다. 국내에서는 이러한 재료의 적용시도가 몇 차례 있었으나, 생산공정의 변경 등에 따른 신규투자 발생 요인으로 양산 차량에는 한번도 적용되지 않은 것이 현실이다.

최근에는 소음진동 특성이 우수한 경량화 재질에 대한 연구가 선진 자동차 업계에 의해 활발히 연구되고 있으며, 구조개선용 재료로까지 그 적용

\* 대우자동차

\*\* 고등기술연구원

\*\*\* 국민대학교 자동차공학전문대학원

범위가 확대되고 있어, 스프레이 제진재와 같은 고분자 재료에 대한 소음진동 측면에서의 연구가 더욱 더 절실한 실정이다.

본 논문에서는 스프레이 제진재의 진동감쇠 특성과 적용했을 때의 효과 등을 검토하여 양산시에 고려해야 할 사항에 대해 기술하였다.

## 2. 손실계수

차량에서 사용중인 제진재는 강성과 감쇠 능력을 제어하는 요소로 사용되어 진다. 감쇠 요소는 점성 감쇠(Viscous Damping), 건 마찰 감쇠(Dry Friction Damping), 구조 혹은 이력 감쇠(Hysteretic Damping) 등으로 분류된다. 차량의 제진재는 모재의 굽힘변형이 발생하면 내부의 셀룰라 구조 사이에 마찰로 인하여 발생하는 이력 감쇠에 해당한다. 일반적으로 손실계수(Loss factor,  $\eta$ )는 어떠한 계(System)가 진동을 할 때 Radian당 소실되는 에너지와 전체 변형률 에너지와의 비로써 정의된다. 또한 구조 감쇠의 경우 복소탄성계수(Complex Modulus of Elasticity, D)의 실수부와 허수부의 비율 손실계수( $\eta$ )로 표현하여 구조감쇠를 나타낼 수 있다. 이 경우 손실계수( $\eta$ )는 감쇠비(Damping Factor,  $\zeta$ )의 2배가 된다. 그러므로 손실계수는 계의 감쇠비에 비례하며 이는 각각의 재질의 진동 흡수 능력을 대변한다고 할 수 있다.

또한, 손실계수는 온도와 주파수에도 민감하게 변화하여 대상구조물의 사용온도범위 및 주파수 범위를 함께 고려하여 특성을 결정하여야 하며, 평가는 Oberst Bar 방법이 가장 일반적으로 많이 쓰이고 있다. [4,5]

이에 따른 시험편의 사양 및 시험조건은 표 1과 같다.

표 1. 시험편의 사양 및 시험 조건

시험편	자유단 길이	300 mm
	두께	0.8 mm
	폭	30 mm
	전체 길이	320 mm
시험조건	1단 지지	
시험 온도	0°C, 20°C, 40°C	
주파수 범위	20 Hz ~ 1600 Hz	

손실계수는 200 Hz부근의 두개 공진점에서의 손실계수를 구한 다음, 보간법으로 200 Hz에서의 손실계수를 계산해 내는 방법을 사용하며, 그 손실계수 식은 다음과 같다.

$$\eta = (f_1 - f_2) / f_0 \quad (1)$$

여기서,  $\eta$ 는 손실계수이고,  $f_0$ 는 공진주파수,  $f_1$ 과  $f_2$ 는 각각 공진점에서 3dB 낮은 점의 낮은 방향 주파수와 높은 방향 주파수를 뜻한다.

이렇게 손실계수를 구하는 경우에는 재료의 두께에 의한 오차로 인해 결과가 잘못 구해질 수 있으므로, 보다 정확한 제진성능의 계산을 위해서는 ISO 10112에 의한 연산노모그램법을 사용하면 된다. [6] 여기서는 제진재가 차체 패널에 장착되어 있는 상태를 보고자 하였으므로, 이 방법은 사용하지 않았다. 따라서, 일반적으로 통용되고 있는 자동차 제작사의 표준에 의거하여 비교하였다. 이 경우 기존의 사양과의 비교가 용이해 지는 장점이 있다.

각 제진재별 손실계수는 그림 1과 같으며, 스프레이 제진재 A, B와 RSS(Rubber Special Sheet)가 기존의 아스팔트 제진재에 비해 성능이 우수함을 알 수 있다. 특히 40°C 이상의 고온에서의 특성이 더욱 좋은 것을 알 수 있다. 차량의 대쉬같이 비교적 고온인 부위에서는 이의 사용이 유효 적절할 것임을 알 수 있다. 그림 1에서 스프레이 제진재

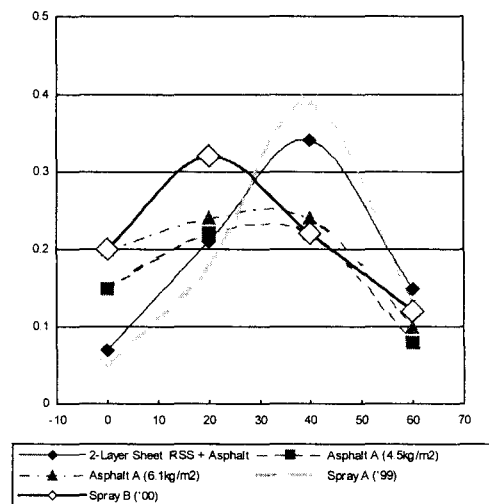


그림 1. 온도변화에 따른 각종 제진재의 손실계수 비교

간에 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 스프레이 제진재의 경우 온도 민감도가 크기 때문이므로 사용온도를 잘 선택할 필요가 있다. 스프레이 제진재 B는 A의 저온 특성의 보완을 위해 고온 특성을 희생시킨 재질이다. 일반적인 차체의 표면 온도가 10°C ~ 20°C인 점을 감안하여 물성을 다소 바꾼 것이며, 어느 제진재를 선택할 것인가는 전반적인 차량 개발 전략을 고려하여 선정해야 할 것이다.

### 3. 전달 손실

제진재를 적용하는 본래의 목적은 진동의 억제에 있지만, 본 연구에서는 차량에의 적용을 목표로 하였기 때문에 소음차단에 소음차단 혹은 흡음에 대한 특성도 또한 파악하였다.

이외에도, 이미 언급한 바와 같이 스프레이 제진재는 제진성능은 월등하면서 무게를 줄이는 효과를 보려고 하는 것이므로, 중량감소에 따른 투과소음 증가가 우려되므로 TL비교는 반드시 필요한 것으로 보인다.

이에 따라 ISO 3743에 근거하여 철판 500mm X 500mm의 시편에 대해 음향 전달손실 (Transmission Loss, TL)을 측정하여 비교하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 제진재별 음향 투과손실은 큰 차이를 보이지 않았다. 다만 대역별로 약간의 차이가 있었으며, 315Hz 이내의 저주파수 대역에서는 이중 구조인 RSS가 약간 우수하고, 500 Hz ~ 1000 Hz 대역에서는 스프레이 제진재가 약간 우수하였다. 일반적으로는 전달손실은 차음재의 질량과 밀도에 비례하게 되는데, 여기서는 질량의

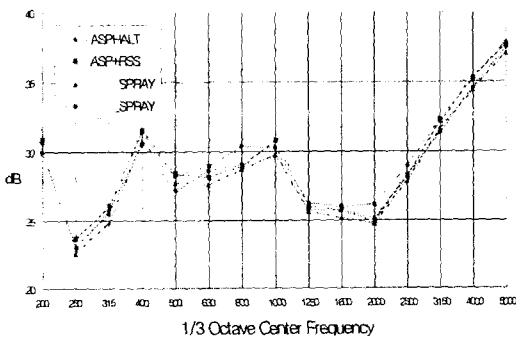


그림 2. 제진재별 음향 투과손실 비교

법칙이 2kHz 이상에서 나타나므로 스프레이 제진재는 질량이 작음에도 불구하고, 1kHz 이하에서의 차음성능은 열세를 보이지 않아 스프레이 제진재의 유용성을 알 수가 있다.

### 4. 실내 소음 측정

제진재의 유효성을 파악하기 위해서는 무엇보다도 차량의 실내소음을 확인하여야 한다. 이를 위해 차량 가속주행 시험을 실시하였으며, 제진재 적용 조건은 동일차량에서 아스팔트 제진재와 동일한 면적을 스프레이로 도포하여 비교하였다. 차량 간의 편차를 없애기 위해 동일차량으로 도포 조건을 바꾸어 가면서 시험 하였다. 먼저 양산 차량을 가속주행 시험하고, 기존의 아스팔트 제진재를 탈거한 후 스프레이로 도포하였다. 차량의 분해 조립 시에는 종종 상태가 틀려져 비교가 곤란할 경우가 발생한다. 따라서, 차량 작업 시에 있을지 모르는 차량상태의 변화를 최소화 하기 위해 인스트루먼트 클러스터는 그대로 유지하고, 카펫과 차음재만을 들춰낸 후 도포작업을 하였다. 작업 전과 후의 차량의 사양을 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 차량 사양 변경 비교

기존	Asphalt Deadener 4t (Dash 부위 RSS 4t)
변경	Spray Deadener 4t

시험은 부드러운 평탄로에서 실시하였으며, 소음 측정은 운전석 우측 귀위치, 뒷좌석 중앙, 조수석 좌측 발목 부근으로 3개소에서 측정하였는데, 이

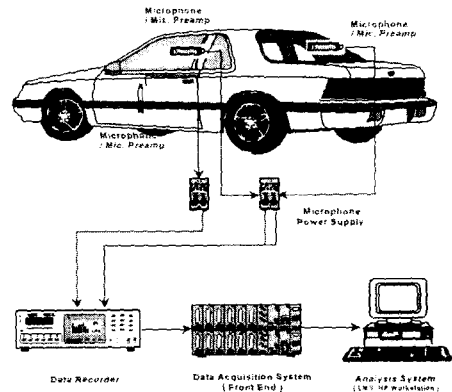
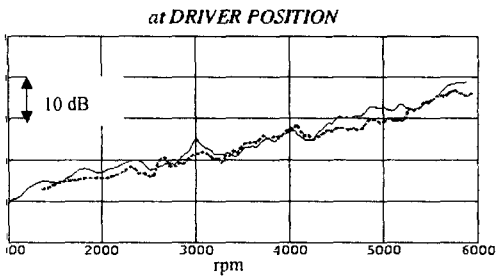
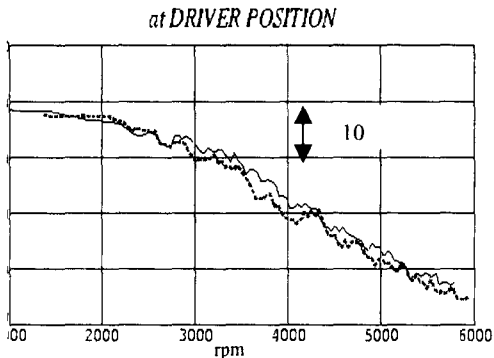


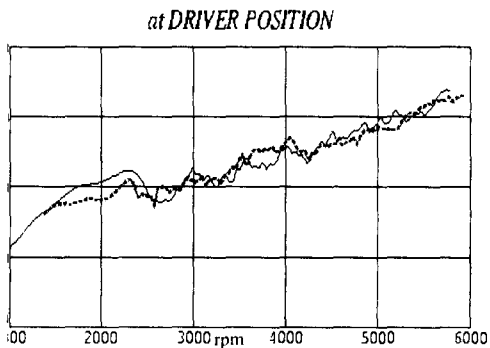
그림 4. 차량실내소음 측정 개략도



(a) Sound Pressure Level (dBA)



(b) Articulation Index



(c) Composite Rating of Preference

그림 5. 급가속시의 주행 소음 시험 결과

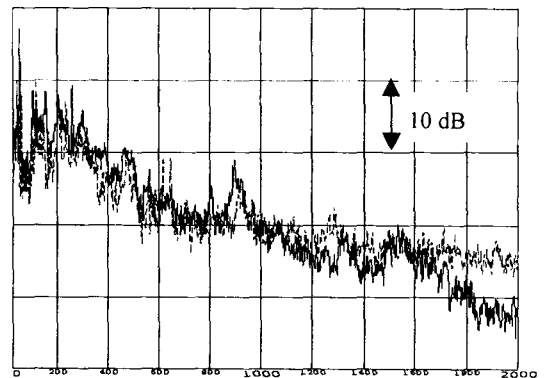
--- RSS + Asphalt, - - - - Spray

를 개략적으로 나타낸 것이 그림 4이다.

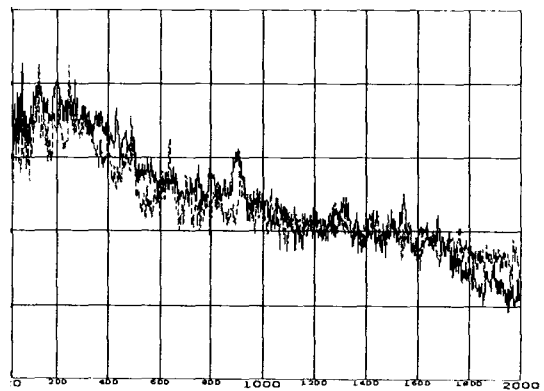
시험은 WOT(급가속), SLOW(완가속), COAST(감속), 정속(60 kph, 80kph)에서 실시하였으며, 본 논문에서는 그림 5,6에서 보는 바와 같이 급가속과 정속의 경우를 분석하였다. 비교 방법으로는 SPL, AI, CRP 등의 인덱스를 이용하였다. 절대적인 소

음 수준의 차이를 보기 위해 가속시와 정속시 SPL을 비교하였으며, 이미 전달손실 비교에서도 언급한 바와 같이 각 주파수 대역에서의 상이한 전달특성을 가지고 있으므로, 음질비교를 위해 자동차 업계에서 가장 보편화 되어 있는 음질 평가 기준인 AI(Articulation Index)와 CRP(Composite Ratings of Preference)도 함께 계산하여 비교하였다.

가속주행 시험의 경우 3000 rpm 부근의 Booming 소음과 4000 rpm 이상에서의 소음 레벨의 감소가 확인되었으나, 기대에 미치지 못하는 개선 효과를 보였다. 그리고, AI와 CRP를 보면 3000 rpm 이상의 대역에서 기존의 RSS+Asphalt 보다 나빠 음질 측면에서는 다소 악화되는 현상을 볼 수가 있었다. 이는 스프레이 시에 운전석 대쉬 윗부분에 열풍이 충분히 전달되지 않아 도포 후처



(a) 60 kph



(b) 80 kph

그림 6. 정속 주행시의 운전석 소음 스펙트럼

--- RSS + Asphalt, - - - - Spray

리가 완벽하지 못했고, 열풍으로 인한 차음재(PU Foam)가 변질로 제진 및 차음 성능이 충분히 발휘되지 못한 것으로 보인다. 이로 인해 소음 수준 면에서도 충분한 효과를 거두지 못한 것으로 보인다. 그리고, 앞 절에서 거론한 바와 같이 고주파 대역에서의 소음 차단효과가 아스팔트, 특히 RSS+아스팔트에 비해 떨어져 음질이 떨어진 것으로 보여진다.

차량 주행에 있어 소비자들의 관심 사항 중의 하나는 로드 노이즈(Road Noise)이다. 로드 노이즈의 원인은 노면의 거칠기가 현가장치를 통해 공극적으로는 차체 패널의 진동을 유발시키는 것이므로, 패널의 제진에 의한 로드 노이즈 억제 효과가 매우 크다고 볼 수 있다. 본 연구의 목적이 경량 제진재를 사용하여 차체 진동을 억제하는 것이므로, 로드 노이즈에 대한 영향을 보기 위해 정속 주행 시험을 실시하였다. 주행시험은 60 km/h와 80 km/h의 두 조건으로 실시하여 기존 차량과 스프레이 차량과의 소음 스펙트럼을 비교 검토하였다.

이 결과 그림 6에서 보는 바와 같이 중저주파수 대역(800 Hz이하)에서는 스프레이 제진재가 아스팔트 제진재 보다 우수한 경향을 나타내고 있으며, 이에 의해 전체적인 소음 수준도 2dB(A)정도 개선 효과를 보았다. 그러나, 고주파수 대역(1200 Hz 이상)에서는 반대로 아스팔트 제진재가 우수한 경향을 나타내었다. 이는 바꾸어 말하면 스프레이 차량이 음질 측면에서 불리하였다.

이 역시 스프레이 도포 과정 중의 작업 영향으로 차음재의 역할이 제대로 이루어 지지 않았음을 짐작할 수 있다.

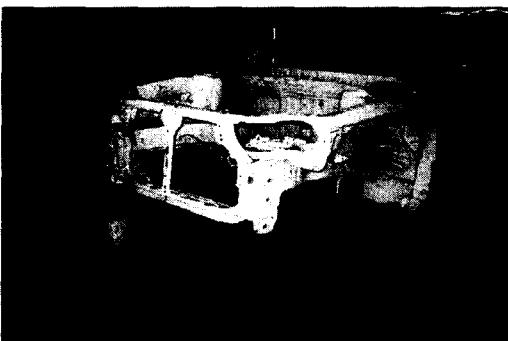


그림 7. BIW 시험 Set-up

## 5. BIW 모달 시험

차체에 도포되는 제진재의 특성에 따라 동특성이 달라지는 것을 검토하기 위해 BIW에 대한 모달 시험을 실시하였다. 비교 시험에는 제진재를 적용하지 않은 경우, 양산 사양의 제진재를 적용한 경우, 스프레이 제진재를 적용한 경우의 세가지를 비교 시험하였다. 이 중 본 연구의 관심사인 제진재 변경시의 영향에 대해서 비교하여 보았다.

시험 조건으로는 BIW를 공기 튜브로 Free-Free 조건으로 한 후 전후단에 2개의 가진기로 Burst Random 신호를 주어 시험을 실시 하였다. 그림 7은 전단부에 가진기를 장착한 것을 보여 준다. 128 Hz 까지 측정된 BIW 모달 시험 결과 표 3에서 보는 바와 같이 RSS 및 아스팔트가 도포된 양산 사양 차체보다 진동모드 주파수가 다소 상승하였으며, 감쇠계수는 좀더 큰 폭으로 증가하였다.

표 3. 제진재에 따른 모달 파라미터 비교

모드	주파수 (Hz)			감쇠 (%)		
	기존	변경	증감	기존	변경	증감
1T	31.85	32.00	+1.15	0.34	0.37	+8.8%
1B	45.84	46.26	+0.42	0.68	0.78	+15%
1L	48.32	49.65	+1.33	0.48	0.49	+2%

시험오차 등을 감안하면, 시험 대상 샘플의 숫자가 적기 때문에 양산 사양보다 주파수가 개선되었다고 볼 수는 없다. 그러나, 감쇠계수의 경우에는 증가분이 충분히 커, 적어도 감쇠계수에서의 효과는 입증할 수 있다. 이는 본 연구에서 목표로 하는 제진성 향상과 부합하는 사항이라 할 수 있다.

## 6. 결론

스프레이 제진재를 승용차에 적용해본 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

전달손실의 경우 약간 RSS+Asphalt 보다 떨어졌으나, 성능에 미칠 만큼의 큰 차이는 없었다. 이것은 제진재의 역할이 소음차단보다는 진동의 억제

에 있기 때문에 여겨진다.

실차 주행시험 결과 소음 수준면에서는 우수하였으나, 음질이 악화되는 결과가 나왔다. 그러나, 이는 주로 고주파수 대역에 의한 것으로 앞서 고려한 작업 중에 발생한 차음재의 손상에 기인한 것으로 보여진다.

BIW 모달 시험에 의하면 스프레이 제진재를 도포한 경우 고유진동모드의 주파수가 약간 상향되고 감쇠가 증가한 것으로 보아 양산시에 공정관리가 제대로 될 경우에는 본 논문의 결과보다 향상된 결과를 가져올 것으로 보인다.

손실계수를 근거로 하여 중량을 계산해 보면 스프레이 제진재를 사용하는 경우에 RSS+Asphalt 대비 대략 10kg 정도의 중량 절감 효과를 보일 것으로 예측된다. 또한 Vibration Intensity 등의 시험을 통하면 그 효과는 더욱 클 것으로 보인다.

본 논문에 쓰인 스프레이 제진재는 20 °C를 중심 주파수로 하였으나, 중심 주파수를 40 °C로 올릴 경우에는 통상적으로 온도가 높은 대쉬 부분의 진동역제에 보다 큰 역할을 할 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 대우자동차 생산기술연구소, (주)보광, (주)일성화학의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

1. Daniel Sophiea and Hong Xiao, "A New Light Weight, High Performance, Spray Applied Automotive Damping Material", Society of Automotive Engineering, Inc. 1999-01-1674, pp. 1-5
2. Shigeki Terashi, Makoto Asai, and Jiro Nalto, "Damping Analysis of Body Panels for Vehicle Interior Noise Reduction," SAE Paper, pp. 103-110
3. Kazuyuki Nakazato, Hideki Fukudome and Kenichi Sato, "Practical Application of the Spray Type Vibration Reduction Material for the Floor Panel", 自

動車技術, Vol. 50, No. 5, 1996

4. Damping Material Testing and Evaluation, 日本自動車研究所, pp. 1-61(June, 1999)
5. Standard Method for Measuring Vibration Damping Properties of Materials, American Society for Testing and Materials, ASTM E 756-83, 1983
6. ISO 10112 Damping Material - Graphical Presentation of the Complex Modulus, International Standard, pp. 541-553, 1991(E)