



# 승용차의 공기기인소음 대책 기술

성명호\*

(현대자동차 연구개발본부)

## 1. 머리말

승용차의 소음은 다양한 소음원과 전달되는 전달경로상의 다양성에 의해 차량에 탑승한 승객은 여러 가지의 소음이 다양하게 있다고 느낄 수 있다. 또한 차실내 소음의 주파수 영역은 가청주파수내의 전주파수 영역의 소음을 모두 포함하므로 소음주파수 영역에 따라 대책을 다르게 해야 한다.

승용차의 소음 수준을 저감하기 위한 대책기술은 차량의 소음원 만큼이나 다양하게 개발되어 왔다. 다양한 기술이 개발된 것은 소음원의 특성에 따라 대책을 달리 하기도 하지만 차량에서 전달경로상의 여러 가지 특성에 따라 다른 대책을 수립할 수도 있기 때문이다.

여기서는 차실내 소음의 음질에 영향을 많이 주는 공기기인 소음의 여러 가지 대책을 소개한다. 엔진 및 타이어와 같은 소음원에서의 대책과 차체 및 흡차음재를 이용하는 전달 경로상의 대책기술을 포함한다.

## 2. 승용차의 소음

### 2.1 주요 소음원

차량을 구동하기 위해서 운행중에 항상 작동하는 엔진이 차실내 소음의 가장 주요한 소음원이고 엔진 구동과 함께 기능을 하는 흡기계와 배기계의 토출구 소음이 엔진소음 수준의 주요한 소음원으로 구분할 수 있다. 엔진의 구동력을 전달하는 변속기도 작동시 치합음과 오일펌프 소음등을 발생시킨다. 차량이 가속하면서 속

도를 가지고 운행할 때 타이어가 노면과 접촉하면서 발생하는 타이어 소음과 로드 노이즈(road noise), 차량이 공기와 부딪치면서 발생하는 바람소리(wind noise)가 주요 소음으로 커지게 된다. 이외에도 에어컨 작동시 컴프레셔의 작동소음, 핸들 조작시 나타나는 유압펌프 소음, 연료펌프 소음등 차량 운행시 보조역활을 하는 많은 장치들의 작동소음도 쉽게 처리할 수 없는 소음원들이다.

운전자가 차량에 탑승해서 시동을 거는 순간부터 가장 지배적인 소음은 엔진소음이다. 이러한 엔진소음은 차가 저속으로 가속할 때까지 차실내 소음의 대부분을 차지하다가 고속으로 운행하기 시작하면 로드 노이즈가 지배적인 소음으로 바뀌고 엔진소음은 크게 들리지 않는다. 좀 더 속도를 높이면 로드 노이즈보다 바람소리가 더욱 지배적인 소음으로 자리잡게 된다. 따라서 차실내의 소음은 운행조건이나 운행상태에 따라서 주요 소음원이 다양하게 바뀌게 되므로 관련된 모든 소음에 대해 관심을 가지고 대처해야 한다.

### 2.2 전달 경로별 소음

차량의 소음원에서 발생하는 소음은 특정하게 한가지의 특성을 가진 음이 아니라 비교적 넓은 주파수 영역을 포함하고 있다. 이러한 소음은 전달계를 거치면서 주파수 특성에 따라 구조 전달음과 공기 전달음으로 구분된다. 즉 구조전달음은 저주파수부터 약 500 Hz까지의 주파수 영역에서 지배적인 소음이고 공기 전달음은 200 Hz이상의 고주파수 영역 대부분에서 지배적으로

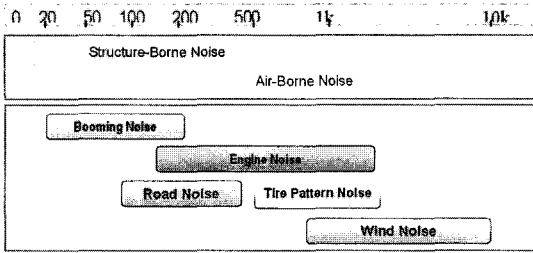


그림 1 소음별 주파수 영역

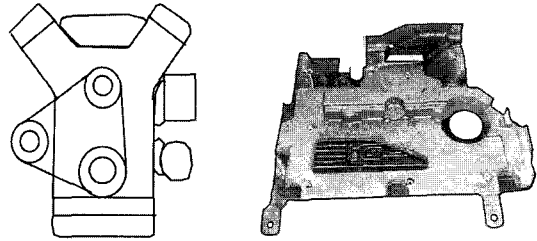


그림 2 엔진블록의 차음재 부착부위와 엔진커버

영향을 미친다. 따라서 각 전달 경로에 따라 다른 대책을 수립해야 한다.

구조 전달음을 효과적으로 차단하기 위해서는 전달 경로인 구조물의 공진회피나 진동의 민감도를 줄이는 방향으로 구조물을 변경하여야 하며, 공기 전달음의 경우는 경로상의 구조물에 차음재를 적용하거나 차실내에 흡음재를 적용해서 차실내 소음을 제어한다. 여기서는 공기 전달음인 공기기인 소음에 대해서만 다루기로 한다.

### 3. 공기기인 소음 음원대책 기술

#### 3.1 엔진소음

엔진이 연소작용을 하면서 연소시 폭발에 의한 소음과 진동이 발생하고 이 소음이 차실내 소음에서 가장 기여가 큰 소음으로 구분된다. 연소시 발생하는 소음은 연소특성의 제어를 통해서 연소시 피크 압력을 낮추거나 연소시간의 제어등으로 소음특성 제어를 할 수 있다. 특히 디젤엔진의 경우 디젤엔진 특유의 연소소음을 줄이기 위해 연료 분사시간을 2단 제어하는 2-pilot injection 기술등이 널리 사용되고 있다.

엔진의 연소특성 제어외에도 이차적인 대책으로 엔진단체에서 엔진 방사음이 큰 부분에 차음재를 부착하는 기술도 비교적 널리 사용되는 대책이다.

#### 3.2 펌프소음

차량에서 사용되는 펌프류도 회전체로서 작동시 소음을 유발하는 경우가 많이 발생하고 있으며 기본적인 작동 소음외에 기류음과 같은 공기기인 소음이 발생하는 경우에는 작동소음과 다른 대책을 수립해야 한다. 그림 3은 연료펌프에서 발생한 고주파 소음에 대한 사

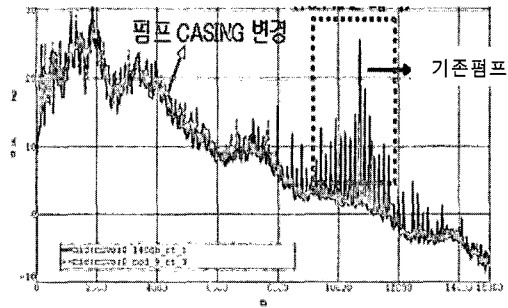


그림 3 펌프소음 개선 사례

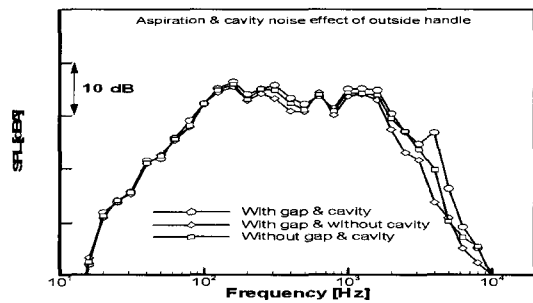


그림 4 바람소리의 변화

례를 보여주고 있다. 고속으로 회전하는 연료펌프에 펌프 작동회전수의 고차성분의 소음이 발생한 경우로서 펌프내 유로의 형상에 의해 난류가 발생하면서 소음이 유발된 경우이다. 여기서는 난류를 유발시키는 유로형상을 변경하여 난류를 억제시켜서 문제 소음을 개선하였다.

#### 3.3 바람소리

고속 주행시 차실내 소음에 지배적인 소음으로 나타나는 바람소리의 경우는 차량의 외부형상에 따라 발생하는 난류로부터 소음이 나타난다. 따라서 난류의 발생

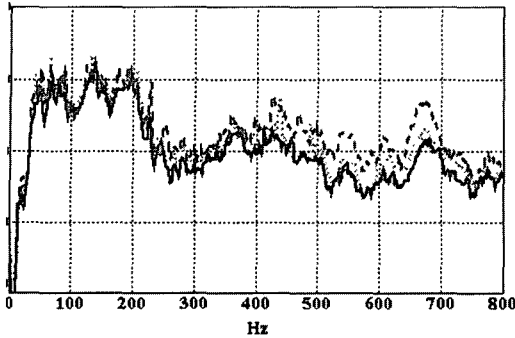


그림 5 타이어 패턴에 따른 소음변화

을 억제하기 위한 차체 외관의 최적화 활동이 많이 수행되며 차체 전방의 형상, 사이드 미러의 형상, 차체 하부 형상등의 최적화에 대한 검토가 주로 이루어진다. 그림 4는 도어 핸들 형상 변경에 의한 바람소리의 변화를 나타낸 것이다.

### 3.4 타이어소음

주행시 타이어가 노면과 접지하면서 발생하는 소음은 타이어의 패턴에 따라 소음의 특성이 결정되므로 타이어 패턴소음이라고 한다. 타이어 패턴은 타이어의 미끄럼을 방지하기 위해서 사용되나, 패턴의 형상 및 크기 등에 따라 실내소음이 영향을 받게 된다. 따라서 타이어의 패턴 최적설계를 통해 타이어소음을 제어할 수 있다.

## 4. 공기기인 소음 전달계 대책기술

### 4.1 차량용 방음소재

공기기인 소음의 음원에서의 대책을 제외한 전달계인 차체구조에서의 소음 대책은 방음소재를 이용한 기술이 일반적인 적용기술이다. 방음소재는 소음의 주요 전달경로상에 음을 차단하기 위해 사용하는 차음재와 유입된 후 차실내에서 반사되는 음을 줄이는 흡음재로 구분된다. 이러한 방음소재들은 공기기인 소음이 크게 기여하는 고주파수 영역에서 효과적으로 작용하기 때문에 다른 소음저감 대책보다 우선해서 사용되고 있다.

#### (1) 차음재

차음재는 구조물을 투과하는 소음을 차단하는 특성

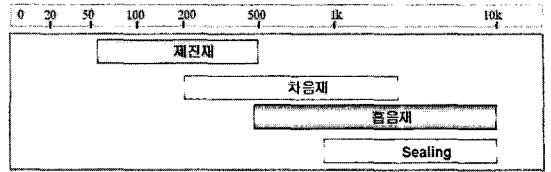


그림 6 방음소재의 주파수 영역

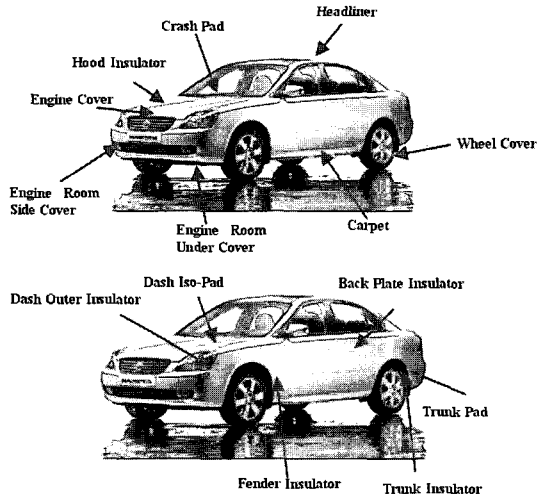


그림 7 차량에서의 방음소재 적용부위

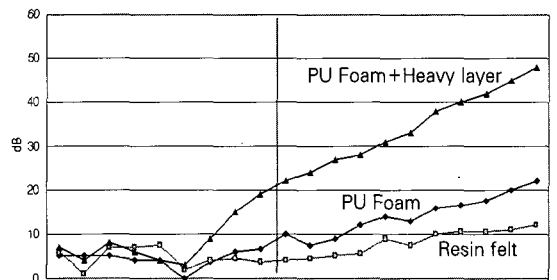


그림 8 샌드위치 소재 효과

을 갖는 소재를 말하며 성능은 투과손실로 나타낸다. 차량에서 많이 사용하는 차음재는 PU(polyurethane)나 PE(polyethylene) 같은 foam류와 rubber pad류의 EVA등이 대표적인 소재들이다. 적용부위 별로는 dash부에 dash iso-pad, dash insulator, 엔진룸에 hood insulator, 엔진 side cover 및 under cover, fender insulator, 차체하부의 carpet, wheel cover, trunk insulator 등이 있다. 실제 차량에서 사용하는 차음재의 경우 단일성분의 차음 소재를 사용하기 보다 2중의 다층 구조의 소재를 사용하는 경우

가 많다. 차음을 하는 구조물을 바탕으로 밀도 차이가 많이 나는 2중 구조의 차음재로 이루어진 샌드위치 구조는 차음 성능을 대폭 향상시킬 수 있다.(그림 8 참조)

차량에서 차음재를 사용할 때 주의할 점은 차음재의 성능을 나타내는 투과손실이 소재의 밀폐성에 따라 크게 나빠질 수 있다는 취약점을 고려해야 한다는 것이다. 차음재가 부착하는 부위에 사시 부품이나 기타 편의장치를 부착해야 하는 경우 부품 장착을 위해서 구멍을 뚫어야 하고 이러한 구멍에서의 밀폐를 확실하게 하지 않는 경우 소재가 기본적으로 가지고 있는 차음 성능을 크게 훼손하여 그 역할을 제대로 할 수 없게 한다. 따라서 차음재를 적용하는 경우 부착부위의 밀폐성을 좋게 하기 위해서 다양한 기술이 적용되고 있는 실정이다.

(2) 흡음재

흡음재는 차실내로 유입된 소음이 반사될 때 음을 교란시켜 음의 수준을 떨어뜨리는 소재를 이르며 성능은 흡음율로 나타낸다. 차량에서 많이 사용하는 흡음재는 glass wool과 resin felt와 PET felt등의 felt류가 있다. 적용부위 별로는 실내에 headliner, carpet, interior trim등이 있다.

차량에서 흡음재를 사용할 때의 주의할 점은 흡음재의 흡음효과는 소재에 근접한 영역일수록 효과가 크게 나타나므로 제어하고자 하는 실내공간의 가장 가까이에 적용해야 하고 일부에 집중적으로 사용하기 보다 여러 부분에 분리해서 사용하는 것이 유리하다.

5. 기여도 분석법

5.1 Window Method(시험)

(1) 개요

차체에 사용하는 흡차음재를 효과적으로 사용하기 위해서는 부착효과가 큰 부위에 흡차음재를 부착하는 것이 중요하다. 또한 기여하는 주파수 특성별로 다른 소재를 사용하는 것도 효과적인 사용에 필수사항이므로 흡차음재의 사용부위 및 재료 특성등을 결정하기 위한 차량의 기여도 시험을 실시하게 된다.

Window method는 차실내를 구성하는 차체의 소음 방사특성이 판넬간에 독립적으로 나눌 수 있다는 가정에서 각 판넬의 기여도를 시험적으로 구하는 방법이다.

즉 각 판넬의 방사소음을 모두 더한 값이 실내소음의 수준이 된다는 가정에서 시험을 하며, 이러한 가정은 흡차음재가 기여하는 소음 주파수영역이 200 Hz 이상의 고주파 영역이기 때문에 가능하다. 따라서 실내소음 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = 10 \log(P_0^2 + \sum_{i=1}^n P_{ij}^2)$$

여기서,  $P_0$  는 기여도 시험 대상이 아닌 판넬이 기여하는 소음수준이고  $P_{ij}$  는 각 판넬의 소음을 나타낸다.

(2) 측정법

기여도를 측정하고자 하는 모든 판넬을 최대차음 수준의 재료로 차음을 하고 이 때 측정된 소음을 최대상태 소음으로 한다. 다음으로 기여도를 측정하고자 하는 모든 판넬을 흡차음재가 전혀 없는 상태로 만들어서 측정을 하고 이때의 소음을 기본소음으로 한다. 두 상태의 차이를 계산하면 흡차음재로 제어할 수 있는 소음의 양을 결정할 수 있다. 최대상태에서 각 판넬의 차음재를 한 판넬씩 떼어낸 상태에서 측정을 하고 최대상태와 비교하면 각 판넬의 소음에 대한 기여 정도를 판정할 수 있게 된다. 이렇게 전체 판넬의 기여도를 측정을 하면 각 판넬의 기여도를 주파수 성분과 함께 결정할 수 있다.

(3) 최적화

앞에서 측정된 각 판넬의 기여특성으로부터 실내소음에 기여가 큰 판넬을 선정하고 관련된 판넬에 흡차음재를 부착한다. 소재의 선택은 판넬의 기여도에서 주파

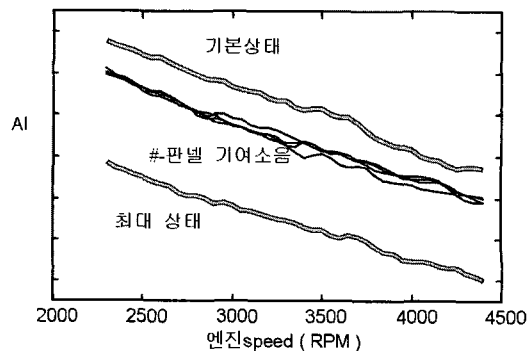


그림 9 판넬기여도 측정 소음

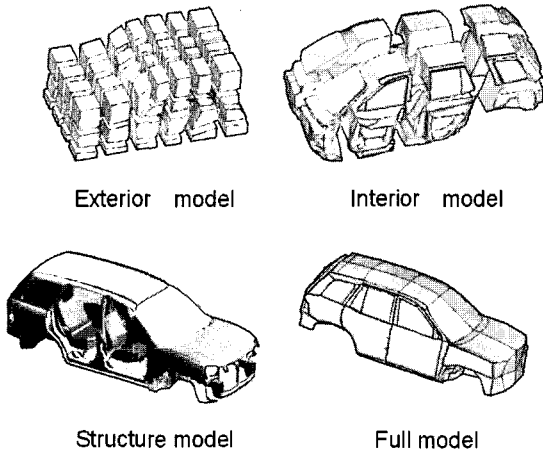


그림 10 실차 SEA 모델

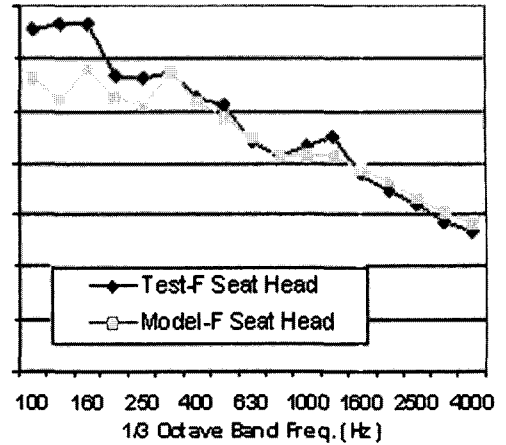


그림 11 해석 결과와 시험 결과의 비교

수 특성을 고려해서 적절한 소재를 선정하면 최적화 결정이 완료된다. 최적화한 상태에서 소음의 변화수준을 확인하기 위한 시험을 하여 최종적으로 결정된 소재에 대해 확인한다.

### 5.2 기여도 해석(통계적에너지 분석법)

고주파 영역의 소음 해석을 위해서 일반적으로 널리 사용되는 방법은 통계적 에너지 기법(SEA, statistical energy analysis)이다. 고주파수 영역에서는 모드밀도가 증가되어 기존의 모드 계산 방법으로는 소음특성 계산이 어려우므로 이러한 통계적 기법을 사용한다. 해석은 차량의 구조해석모델을 바탕으로 부착되는 소재의 음향특성을 시험이나 해석으로 얻어진 결과를 이용해서 모델링하고, 실내와 실외 공간모델을 추가해서 차량의 SEA 모델을 완성한다. 구성된 모델을 바탕으로 각 판넬에 적용되는 흡차음재를 최적화하기 위한 해석을 다양한 방법으로 수행해서 최적의 흡차음재를 결정할 수 있다. 그림 10은 실차 모델의 예를 보여주고 있다.

## 6. 방음소재 경량화 기술

차량의 중량은 연비에 많은 영향을 미치기 때문에 경량소재를 이용하면서 소음저감 효과가 큰 소재의 적용은 유가가 급등하는 현재 주변상황을 고려할 때 매우

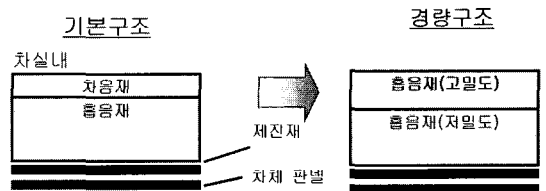


그림 12 경량구조의 차음재료

중요한 과제로 대두되고 있다. 흡차음 소재에서 흡음재보다 차음재가 소음저감효과가 크다. 또한 차음재는 중량에 따라 차음효과가 크게 나타나므로 성능과 중량의 관계는 차량 개발시 밀접한 관계에 있다.

차음재를 경량화 하기 위해서는 차체 판넬을 사이에 두고 고밀도의 차음재와 저밀도의 흡음재를 겹치는 샌드위치 구조의 소재를 사용하는 것이 일반적인 사용법이다. 여기서 고밀도 차음재는 고무 패드류가 널리 사용되고 있으나 밀도가 높은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 샌드위치 구조를 가지면서 차음재 부분에 고밀도의 흡음재를 사용하여 경량화를 구현하는 기술이 적용되고 있다. 이러한 구조에서는 차음 성능이 떨어지나 차음재의 취약점인 밀폐구조에 대해 영향을 작게 받을 수 있으므로 실차에 적용하는 경우에 소음제어 성능은 유사수준으로 유지할 수 있다. 이렇게 하는 경우에 적용부위에서 중량을 30% 이상 줄일 수 있는 장점이 있다.