

# 승용차의 진동소음 평가 및 개선기법

정 승 균

(현대자동차 승용제품개발연구소)

## 1. 머리말

자동차에서 발생하는 여러가지 문제점들중에서 가장 고객들에게 민감하게 영향을 미치고 중요한 문제가 차량의 정숙성이다. 이러한 정숙성을 대변하는 지표중의 하나가 차량에서 발생하는 진동소음의 수준이다. 차량의 진동소음 수준은 이러한 정숙성의 문제뿐 아니라 승용차를 개발하는 기술력의 종합적인 평가지표로서도 매우 중요한 분야이다.

따라서 이러한 진동소음 문제를 해결하기 위해서 각 자동차의 기술연구소에서는 많은 노력과 시간을 투자하여 이 분야의 기술력 향상에 매진하고 있는 실정이다.

최근에는 보다 적극적인 진동소음 문제 해결 방법으로서 과거에 사용하던 소극적이고 방어적인 방법, 즉 진동소음 발생 현상을 발견하여 그현상을 치유하는 방법에서 벗어나 진동소음 문제를 일으키는 진동소음원(source)을 찾아 직접 그 원인을 차단 및 치유하는 적극적이고 공격적인 방법을 이용하고 있다.

본 글에서는 이러한 진동소음 문제를 차량의 개발 단계에서 해결하기위한 일련의 과정 및 여러가지 개선기법에 대해서 살펴보고 그를 통한 진동소음 문제 해결방법을 제시하고자 한다.

## 2. 승용차 진동소음의 중요성

### 2.1 인식배경

승용차에서 발생하는 진동소음 문제의 중요성을 인식하게된 배경에는 여러가지 요인이

있겠지만 크게 나누어 아래의 4가지 요소로 구분 할 수 있다.

첫째로 고객들의 차량에 대한 정숙성 및 안락감에 대한 요구의 증대이다.

이는 과거에 승용차를 단순히 운송수단으로서 이용하는 것에서 벗어나 삶의 질을 향상시키는 생활필수품으로서의 이용이 확산되면서 고객들의 needs 변화에 따른 결과이다.

둘째로 승용차의 진동소음은 직감적인 차량의 평가요소 이다.

승용차를 평가하는 방법에는 여러가지 요소가 있지만 일반 고객들의 입장에서 가장 빠르고 또 직접적이고 감각적인 방법이 고객이 직접 운전하면서 오감으로 느낄 수 있는 승용차의 소음과진동 문제이다.

셋째로 승용차의 진동소음 문제는 승객의 피로와 직결되어 있다.

생활필수품으로서 승용차를 이용하는 경우 승용차 내에서 보내는 시간이 길어지기 때문에 승용차에서 발생하는 진동소음 문제는 고객의 피로와 직결되어 고객의 안전운전에 아주 위험한 저해요소가 될 수 있다.

넷째로 종합적인 기술수준의 평가지표이다. 승용차에서 발생하는 진동소음 문제의 해결은 하나의 시스템에서 발생된 문제보다는 여러가지 복합적인 시스템에서 발생하는 경우가 많기 때문에 이의 해결을 위해서는 여러시스템의 문제를 고려한 종합적인 해결책이 필요하다.

### 2.2 악화요인

승용차의 진동소음은 고객들의 needs 변화와 전반적인 사회여건의 변화에 따라 점점 악화되어져 가고 있다. 특히 좋은 연비와 고출

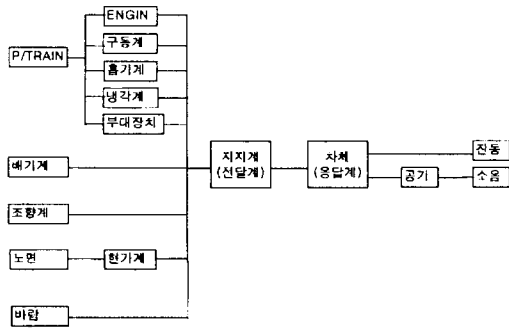


그림 1 승용차 진동소음 발생경로

력엔진에 대한 고객들의 요구는 차량의 경량화를 유발시켜 진동소음의 악화요인을 증대시켰으며 고속도로등의 건설로 인하여 고속주행 여건이 증가하여 고속에서의 진동소음도 문제로 제기되고 있다. 또 생활필수품으로서 승용차의사용은 승용차에 대한 여러 가지 편의장치의 부착이 요구되어 엔진부대장치의 장착이 증가하는 등 승용차의 진동소음을 악화시키는 여러가지 요인들이 점점 증가되고 있다.

### 3. 승용차 진동소음 발생경로

승용차에서 발생하는 진동소음의 경로는 크게 3단계로 나누어 생각할 수 있다. 우선 진동소음을 발생시키는 진동소음원(SOURCE)과 이를 전달해 주는 전달계, 최종적으로는 이를 받아들여 진동소음의 현상으로 나타나는 응답계이다. 이러한 전달경로를 도식적으로 나타내면 그림 1과 같다.

## 4. 승용차 진동소음 종류 및 특성

### 4.1. 승용차의 진동

#### (1) 진동의 종류

승용차의 진동은 크게 engine idling 상태의 진동 및 주행상태의 진동의 2가지로 구분되어 진다

#### 1) Idling 상태의 진동

Idling시 승용차에서 발생하는 진동은 주로 steering wheel 및 floor의 상하방향 진동(shake)을 말하며 auto T/M 차량이 manual T/M 차량보다 심각하게 나타난다.

#### 2) 주행상태의 진동

차량이 주행시 발생하는 진동은 steering wheel에서 나타나는 상하방향 진동(shake)과 원주방향 진동(shimmy), 그리고 floor에서 나타나는 상하방향 진동(shake)등이 있다.

#### (2) 진동의 일반특성

승용차의 진동에 대한 일반특성 (현상, 진동원, 공진계등)을 살펴보면 아래 표에 나타난 바와 같다.

### 4.2. 승용차의 소음

#### (1) 소음의 종류

승용차의 소음은 크게 나누어 고체전달음과 공기전달음의 2종류로 구분 되어진다.

#### 가) 고체전달음 (structure-borne noise)

고체전달음은 차량을 구성하고 있는 각종 구조물의 공진에 의해 발생하는 소음으로서 그 종류는 아래와 같다.

- Booming noise (배기계, 구동계, 차체등)
- Road noise
- Harshness
- 기타 보기류 진동음 등

#### 나) 공기전달음 (air-borne noise)

공기전달음은 차량을 구성하고 있는 구조물의 공진에 의하지 않고 각종 소음원으로 부터 직접 차실내로 유입되는 소음으로서 그 종류는 아래와 같다.

- 엔진 투과음

표 1 승용차 진동의 일반특성

구분	현상	주 진동원	공진계
Idle	· Idle shake	· 엔진의 구동력	· 차체 골격진동 · S/wheel & column local 진동 · Muffler탄성진동
주행	· Shake	· 엔진 가진력 · Tire의 불균형/불균일	· 차체 골격진동 · 차체 PNL 탄성진동 · 엔진의 강제모드
	· Shimmy	· Tire의 불균형/불균일	· 차체 Later bendind mode

- BOOMING NOISE (흡기음, 배기음등)"
- Tire Pattern Noise
- Brake squeal Noise
- Gear noise
- 풍절음
- 기타 잡음

(2) 소음의 일반특성

승용차의 소음에 대한 일반특성 (현상, 진동/소음원, 공진계등)을 살펴보면 아래 표에 나타난 바와 같다.

(3) 승용차 소음의 주파수별 음압특성  
승용차 소음에 대한 주파수별 음압특성을 아래 그림 2에 나타내었다.

표 2 승용차 소음의 일반특성

현상		발생주파수 대역	주 진동원	공진계
Booming noise	저속	30~60 Hz (~50 kph)	· Engine torque변동	· 차 실내조명 · 차체 공진
	중속	60~100 Hz (50~80 kph)	· Engine torque 변동 · 흡입기음의 투과	· 구동계의 비틀림 · 구동계의 굽힘 공진 · 배기계 공진 · 차체 panel 막진동 · 차실내 공명
	고속	100~200 Hz (80 kph ~)	· Engine torque 변동 · 흡입기음의 투과 · Tire 불균형	· 구동계의 비틀림 · 구동계의 굽힘 공진 · 배기계 공진 · 차체 panel 막진동 · 차실내 공명 · Engine 보기류 공진
Beat noise		40~200 Hz	· Engine 폭발주기 고조파와 A/Con comp P/Str'g pump등의 회전 고조파가 근접 · Engine 폭발주기 고조파와 tire 회전주기 고조파가 근접	· 차체 sub member 공진 · 차체 공진
Road noise		30~60 Hz	· 노면 요철 · 표면이 거친 포장도로	· Tire 공진 · 차체 국부 공진 · 차실내 조명
Harshness			· 노면의 요철 및 단차 · 노면의 흠 및 hole	· Tire 공진 · Suspension 공진 · 차체 공진
Squeal noise		200~10 kHz	· Brake pad와 Disk의 마찰과 진동 · Shoe와 drum 마찰과 진동	· Disk 공진 · Drum · Suspension
Gear noise		300~1500 kHz	· Gear의 치합음	· T/M case의 공진 · T/M mounting bracket 공진
Engine 투과음		300~500 Hz	· Engine 진동 · Engine 기계음/연소음 · 흡입계/배기계음 · 냉각 fan 소음	· Engine structure 및 Moving part공진
Noise		100~1000 Hz	· Tire 의 Pattern	· Tire의 탄성진동
풍절음		800~5 kHz	· 차체표면 요철부 주위의 공기 난류 · Door등 각 틈새로부터 실내 유입음	
잡소리		300~1500 Hz	· 각종 trim 장착불량 · 회전부위의 grease 주입 불량	· Door, hood, trunk lid 등의 panel공진

## 5. 승용차 진동소음의 평가 및 개선

### 5.1 진동소음 평가기법

승용차에서 발생하는 진동소음 문제의 해결을 위해서는 우선적으로 그 현상을 정확히 평가하는 것이 필요하며 이러한 평가기법에는 여러가지 방법이 있으며 더욱 정확한 평가를 위한 새로운 기법이 계속적으로 개발되고 있다. 현재까지 개발된 평가기법을 살펴보면 우선 진동소음 현상의 확인 및 재현을 위한 기본적인 수단으로서 정확한 측정과 측정된 신호를 분석하기 위한 기본적인 신호처리 기법이 있으며 개선방안을 수립하기 위한 응용수단으로서 소음전달경로 해석, 연성해석, 모드 해석등 여러가지 개선기법이 이용되고 있다. 이러한 여러가지 평가기법에 대한 실예를 아래에 나타내었다.

#### (1) 기본수단

##### - 측정 (measurement)

가속도계 및 microphone등의 Sensor를 이용하여 진동소음 현상을 기록함.

측정시에는 측정위치, 측정조건, 측정방법등에 대한 정확한 procedure가 요구된다.

이때 각 sensor에 대한 calibration이 매우 중요하며 측정장비와 연결된 Sensor로서 on-line calibration을 하는 것이 좋다.

##### - 분석 (analysis)

Sensor에 의해 기록된 진동소음 signal을 신호처리 기법에 의해 분석함.

신호처리기법의 대표적인 예를 아래에 나타내었다.

#### ① Frequency analysis

가장 보편적인 신호처리 기법으로 sensor에서 측정된 실시간 signal을 주파수 영역으로 변환하여 분석하는 기법.

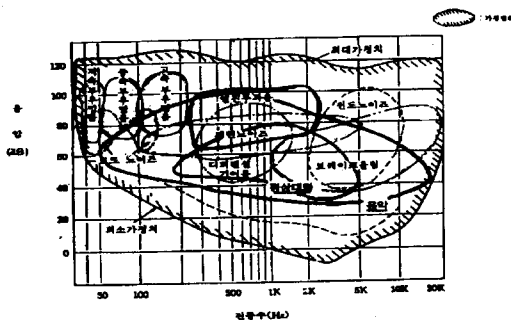
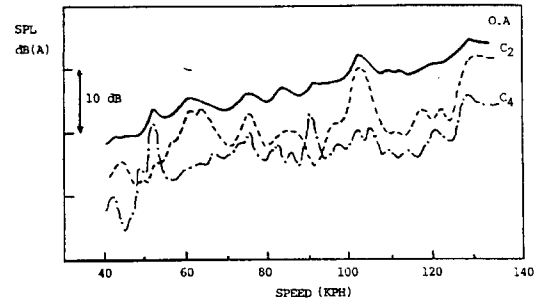


그림 2 주파수별 음압특성

#### ② Tracking analysis

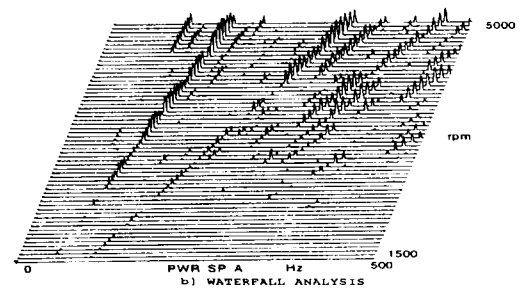
회전체의 차수(order)에 따른 신호처리 기법으로 보통 엔진의 폭발주파수 성분에 따라 소음현상을 분석하는 기법.



#### ③ Waterfall analysis

측정된 신호를 주파수, rpm, 차수(order)등을 변수로 3-D map으로 분석하는 기법.

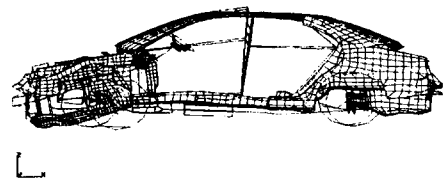
이 기법은 한번의 분석에 의해 문제가 되는 영역의 주파수, rpm, 차수를 동시에 파악할 수 있는 장점이 있다.



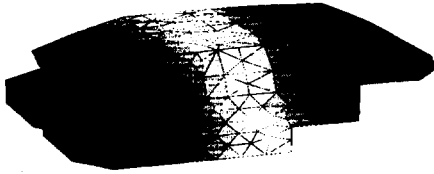
#### 2) 응용수단

##### - F.E.M. / B.E.M.

차량을 구성하고 있는 각 구조물의 공진주파수 및 mode shape을 해석적으로 구하는 방법.



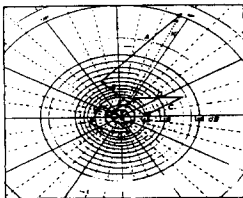
1 st bending mode



\* 77.8Hz

1st acoustic mode

- Experimental mode analysis  
구조물에 대한 공진주파수 및 mode shape을 시험적인 방법으로 측정함.  
해석적인 방법의 기본 data에 대한 자료를 제공.
- O.M.S. (Operational Mode Shape)  
주행상태의 차량에서 발생하는 각부위의 진동변위를 측정하여 하나의 기준점에 대한 상대변위로서 mode shape을 측정하는 방법.  
주행상태의 실질적인 진동변위를 각 속도별, RPM별로 구할수 있어 문제 RPM에서의 mode shape을 측정하여 취약부위를 명확히 파악할 수 있음.
- N.P.A. (Noise Path Analysis)  
소음전달경로해석으로서 각각의 다른 경로를 통하여 차실내로 전달되는 소음에 대한 각 경로별 소음전달함수를 측정하여 vector diagram으로 분석하는 방법.



Procedure of NPA (Noise Path Analysis)  
Measurement of the transfer functions (amplitude and phase response) a coherent sound source along different transmission paths  
calculation of the overall level through addition of the contribution of different transmission paths in a vector diagram  
NPA of a front wheel driven vehicle  
A to J: contributions to interior noise along different transmission paths  
K: overall noise level

## 5.2 진동소음 개선대책

### (1) 개선안 수립과정

승용차의 진동소음에 대한 개선대책의 수립에는 우선 그 현상을 정확히 이해하고 발생부위를 확인 그에 따른 적절한 개선대책을 수립하는 것이 필요하다.  
따라서 최적 설계변경 방안을 위해서는 정확한 수립과정에 의한 개선안 도출이 요구된다.  
아래에 이러한 개선방안 수립에 대한 일련의

과정을 나타내었다.

- ① 현상확인 및 재현 :
  - Feeling 평가 (진동소음의 정도 체험)
  - 발생부위 확인
- ② 문제여부 판정
  - 정확한 문제점 판단(기본특성, 품질문제, 조립불량등)
- ③ 진동소음특성 확인
  - 정확한 재현시험 (road와 시험실 결과 일치여부)
  - 발생조건 확인 (차속, 발진시, 제동시등)
  - 진동소음 특성 확인 ( 주파수별, 차수별등)
- ④ 원인분석 및 개선대책 수립
  - 진동/소음원 색출
  - 공진여부 확인 (전달계, 응답계등)"
  - 적절한 개선대책 수립 (시험적방법, 해석적방법등)
- ⑤ 개선확인 및 대책적용
  - 목표수준 만족여부 확인
  - 최적설계 변경방안 확정 (타 설계 Factor 고려)

### (2) 개선대책

일련의 과정을 통하여 수립되는 개선대책으로는 소음의 종류에 따라 방법이 다르다.  
전항에서 언급한 소음의 종류별 개선대책으로 대표적인 방법을 소개하면 아래와 같다.

#### 1) 고체전달음 (진동)

- 진동원 및 전달계 insulation : Damping material을 이용하여 진동원으로부터 진동전달 절연
- 공진영역의 이동 : 공진주파수 이동 (강성증대, 질량변경등)" : 상용운전조건 밖으로 이동(운전조건 변경 포함)
- 연성의 회피 : 각 시스템간의 정확한 mode해석 : 각 진동 모드간의 연성정도 확인
- 특정 모드의 제어 : 동 흡진기 사용 : 보강재 및 제진재 적용

#### 2) 공기전달음

- 음원에서의 저감 : 엔진소음, 흡기계소음, 배기계소음등"
- 차음대책 : Panel ( Dash, Floor등)의 차음재 적용 : 각종 hole 마감 철저 (Grommet, Bush, Sealer등)
- 흡음대책 : 각종 흡음재 적용 ( Hood & Dash Insulator, Carpet, Trim, Seat등)