

유럽 수입 차량의 소음개선을 위한 NVH소재 적용연구

권요섭¹⁾ · 김찬목²⁾ · 사종성³⁾

국민대학교 자동차전통대학원¹⁾ · 국민대학교 기계자동차공학부²⁾ · 서일대학 자동차과³⁾

A study on the noise improvement of the European vehicles, with using NVH material.

Joseph Kwon^{*1)} · Chanmook Kim²⁾ · Jongsung Sa³⁾

^{*1), 2)} Dept. of Mechanical & Automotive Eng, Kookmin university, 861-1, Jeongneung-dong
Seongbuk-gu,

Seoul 136-702, KOREA,

³⁾ Dept. of Automobile Eng, Seoil College, 49-3, Myunmok-dong, Jungnang-gu,
Seoul 131-702, KOREA

Abstract : The latest trend in the automotive industry demands the development of high stiffness car bodies and the securement of inter-system performance for low vibration and noise vehicles. This demand, however, conflicts with need for light weight design and greater fuel efficiency, thus raising the importance of optimization design to satisfy both developmental goals. We chose two European medium sedans, which has gasoline engine and diesel one, to elucidate the noise characteristics of diesel passenger cars, whose sales have been increasing in both Korea and Europe. In the present study a systematic experiment was conducted to analyze the noise characteristics in diesel cars. we made it possible for differentiating car management according to customer demand while allowing for improved commercial feasibility. it was possible to improve interior noise by 2 dB(A) on average sound pressure level. As a result, by 4% higher on articulation index(AI).

Key words : Diesel Passenger Car(승용디젤), Noise(소음), Vibration(진동), Articulation Index(AI:명료지수)

1. 서론

국내에서도 일반 대중의 생활수준이 향상되고, 자동차의 사용이력이 깊어질수록 자동차의 운행과정에서 발생하는 각종 진동이나 소음현상들에 대한 관심이나 불만사항이 더욱 늘어나는

추세이다. 이러한 경향은 과거 자동차가 승객이 나 화물을 이동시키는 단순한 이동수단을 벗어나서, 우리들의 생활 속에 있어서 이미 필수품처럼 취급되고 있다는 반증이기도 하다.

국내 시장과는 달리 유럽에서는 디젤엔진을 장착한 승용차량의 판매가 상당량에 이르고 있

으며, 국내에 수입되는 차량에 있어서도 디젤엔진을 장착한 승용차량이 판매되고 있는 실정이다. 특히, 최근의 유가급등 및 이산화탄소의 배출량 억제정책 등과 같은 사회적인 현상으로 인하여, 국내에서도 디젤 엔진을 장착한 승용차량이 시판되기 시작하였다. 여기에는 커먼레일(common-rail)과 같은 디젤엔진의 정밀한 연소 제어와 배기가스 후처리장치의 발전이 뒷받침되었음을 짐작할 수 있다. 하지만, 가솔린엔진과 비교할 때, 디젤엔진은 높은 압축비와 폭발압력, 빠른 연소속도 등으로 인하여 진동과 소음측면에서는 불리한 것만은 사실이다.

본 연구에서는 국내에 수입되는 유럽 디젤 승용차량중 대표적인 차량의 진동소음특성을 실험적으로 파악하고, 출고된 차량을 소유한 사용자들이 별도로 고려하는 개선사례를 다루고자 한다. 이는 자동차회사 자체의 개발과정이나 제작 단계를 거쳐서 출고된 자동차의 NVH 특성에 충분히 만족하지 못하는 고객들이 늘어나고 있으며, 기존 양산차량에 자신의 돈을 투자하면서까지 추가적인 진동소음현상의 개선작업을 요구하는 사용자들이 급증하는 추세이기 때문이다. 동일한 차체에 적용되는 가솔린엔진과 디젤엔진의 승용차량에 대해서 진동소음특성을 파악하고, 이를 개선시킬 수 있는 출고이후(after market)의 개선사례를 다루고자 한다.

2. 승용 디젤 및 가솔린 차량의 NVH특성비교

2.1 차량의 제원 및 NVH특성

시험 대상차량에서 소음의 문제점은 주행시 주 사용영역인 2000rpm에서 2500rpm 사이구간에서 상당히 거슬리며 아이들(Idle)상태에서는 가솔린차량과 비교하여 현저히 불리한 부밍 소음이 운전자로 하여금 매우 신경을 거슬리게 하는 원인으로 작용한다.

본 연구에서는 이를 시험을 통해 어느 정도의 개선 효과를 가져 올 수 있는지 검증

해 보고 고찰해 보고자 한다.

Table 1 시험 대상차량 제원비교

분류	단위	Gasoline	Diesel
최고출력	마력, hp m	180/5,500	185/4,000
최대토크	kg·m/r min	24.5/1,850~5,000	40.8/2,000~2,750
엔진명식	기동	직접분사기동	직접분사기동

2.2 Baseline Test

Baseline test는 도로의 변화에 따른 환경인자의 영향을 최소화하고 정밀한 계측을 위해 실험반무향실에서 진행하였다. 시험 항목은 차량이 새시 다이노미터(Chassis dynamometer)상에서 아이들시 각각 N단과 D단 조건일 때, 에어컨 ON/OFF상태에서 진동 소음 관계를 측정하였고, 가속 시 엔진 가진에 의해 차체가 가진되어 발생하는 진동 소음의 전달과 타이어의 노면마찰에 의한 타이어 진동 소음의 영향을 가솔린차량과 비교 시험하였다.

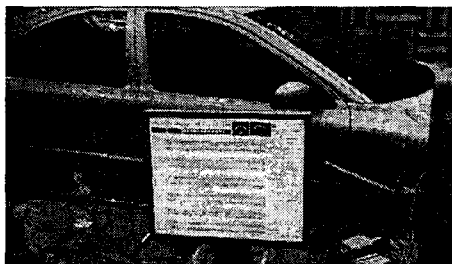
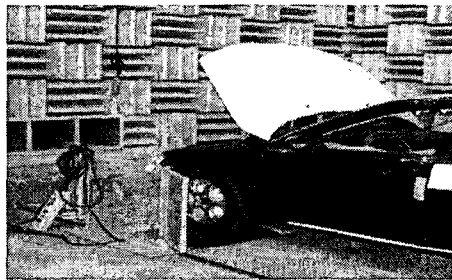


Fig.1 Baseline Test

2.3 Baseline Test결과 분석 및 검토

Baseline Test 결과를 분석해 보면 Fig.2와

같이 승용 디젤 차량은 가솔린 차량과는 뚜렷한 경향의 차이를 볼 수 있다. 특히 Fig.3 에서 보면 500Hz ~1kHz에서 Peak가 있음을 알 수 있으며, 승용디젤 차량은 가솔린차량보다 전석에서 최대 12dB(A)의 차이를 보여 주고 있다. 반면 후석 Fig.5 에서는 620Hz/1700Hz대에서 눈에 띄는 Peak가 나타났으며 최대 13.6dB(A)의 차이를 보이고 있다.

차체에서 발생하는 소음 문제에 있어서는 차량의 실내 소음의 주된 원인인 구조기인 소음을 정확히 파악 하는 게 중요한데 이를 위해서는 Operational Deflection Shape, Transfer Path Analysis, Panel Contribution Analysis, Structural Modal Analysis, Running Mode Analysis, Acoustic Modal Analysis 등의 시험 및 해석 방법이 있으나, 이러한 방법을 모두 적용하여 원인파악과 개선대책을 찾는 데는 많은 시간과 노력이 필요한 단점이 있다.

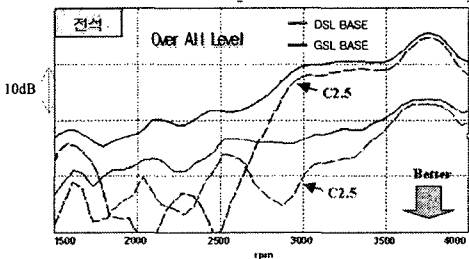


Fig.2 운전석에서 가속시 소음비교 (W.O.T (3rd Gear))

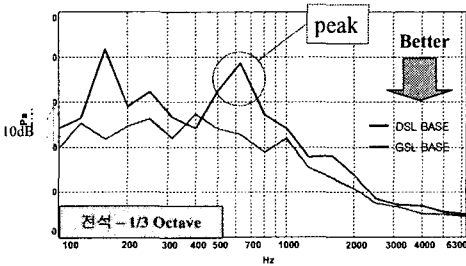


Fig.3 아이들상태에서 운전석 소음비교

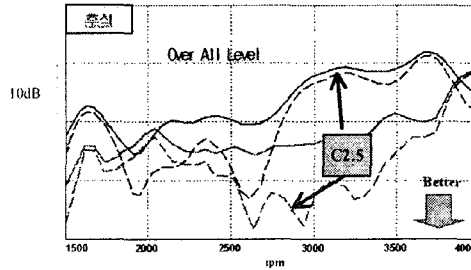


Fig.4 후석에서 가속시 소음비교

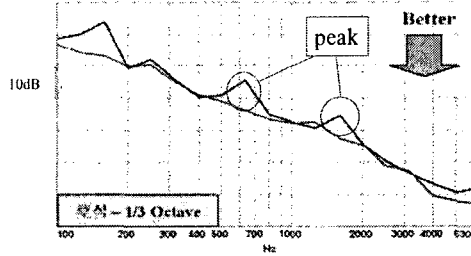


Fig.5 아이들상태에서 후석 소음비교

이러한 이유에서 이미 제작된 차량의 소음을 계측하고 이러한 소음 중 탑승자가 거슬러 하는 영역을 비교적 용이하게 저감 할 수 있는 방법 및 절차에 관해 연구해 보려 한다.

2.4 차체 모드 해석

Baseline Test결과를 통해 흡차음재를 통해 튜닝할 수 있는 부위를 찾고 프로세스를 검증하기 위하여 차체의 구조모드를 분석하고 실차테스트를 하였다. 여기서는 Local mode에 중점을 두었다.

이 결과 1st mode가 아주 낮은 주파수 대역에서 Bending과 Torsion의 복합적인 mode로 나타나고 있어 강도에 문제가 있는 것으로 판단된다. 이러한 사항은 직접적인 실내소음의 원인은 아니지만 디젤차량의 특성을 고려할 때 부밍 소음이 발생할 소지가 있다고 판단된다.

Local Mode 결과를 통해 Hood, FRT Floor

에 개선이 필요함을 알 수 있다.

Table 2 Mode frequency of modal test

N0.	Mode	주파수 (Hz)
1	1st Torsion + 1st Bending	21.29
6	Torsion + Lateral + Roof local	45.27
8	Local mode of Roof & Hood & Floor	62.58
9	Local mode of Hood & Roof	68.89

2.5 차체 입력점 강성 시험 (Test of IPI: Input Point Inertance)

흡차음재의 적용 위치선정은 승용 디젤 차량 특성상 주요 수요고객인 20~40대의 중장년층을 감안하여 자가 운전자들에게 가장 민감하게 작용하는 영역인 엔진음 투과경로에 관하여 주요 위치를 선정하였다.

선정한 위치에 흡차음재를 적용하기 위하여 3축 방향의 가속도계를 부착하여 차체의 입력점 강성을 측정하였다. 측정결과를 바탕으로 각각의 Case에 흡차음재를 적용하여 각각의 위치별 실내소음에 미치는 영향을 파악하였다.

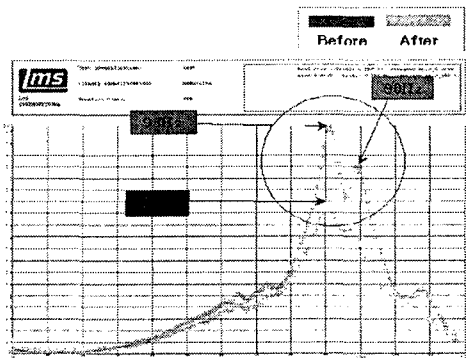


Fig.4 흡차음재 적용 전·후의 FRF그래프

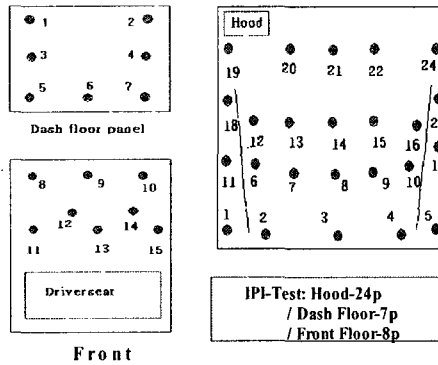


Fig.5 차체 입력점 강성 시험에서 Impact Point

3. 실차 흡차음재 적용 후 테스트

3.1 Case별 흡차음재 적용 후의 소음특성 비교

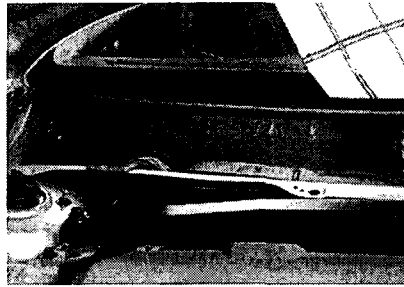


Fig.6 카울탑(Cowl Top)위치에서 흡차음재 적용 시험

본 연구에서는 가솔린 차량과 디젤 차량이 서로 다른 Max Power로 인해 구간을 1500~4000rpm으로 측정하였다. 마이크로폰은 운전석 오른쪽 귀 위치와 후석 가운데 좌석 귀 높이에 고정하였다.

시험분류는 소음 진동분포에 관한 시험과 Noise Transfer Path에 이론에 따라 흡차음재의 부착위치를 Case1/2/3/4/5로 분류하였는데 다음과 같다.

시험 Test는 각 시험 항목별로 3회씩 실시하였다.

Table 3 Case별 적용부위

구분	내용
시험 조건	가속 시 주행 성능 비교 [W.O.T(3rd Gear)]
시험 Item	Case1 => Engine Cover
	Case2 => Hood Insulation
	Case3 => Dash Insulator
	Case4 => Front Floor (Driver RH)
	Case5 => Cowl Top
	Case6 => Case1 + Case2 + Case3 + Case4 + Case5

3.2 시험 결과 및 검토

Case별 시험결과 전석에서의 경우 Table 4에서 보면 카울탑(Cowl Top)에서 AI(% 기준) 데이터가 +2.7% 향상되어 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다. 카울탑(Cowl Top)부위는 엔진으로부터 운전자의 오른쪽 귀 위치와는 측정 부위 중 가장 가까운 지점에 위치해 있고 BOX형태의 구조로 되어 있어 다른 부위에 비해 차음효과가 우수하게 나타난 것으로 판단된다. 그 다음으로 엔진커버(Engine Cover) 부위로 경험적인 예측으로는 오히려 카울탑보다 우세하게 나타나리라 기대 했었지만 +2.7%로 예측과는 다르게 나타났다.

Table 4 Case별 흡차음재 적용 후 시험결과

시험 차량	전석		후석	
	p.OA (dBA) (315 ~ 6300) Hz	AI (%) (200 ~ 6300) Hz	p.OA (dBA) (315 ~ 6300) Hz	AI (%) (200 ~ 6300) Hz
CASE# 1	56.4 (-1.6)	104.9 (+2.4)	54.8 (-0.4)	110.0 (+2.4)
CASE# 2	56.7 (-1.3)	103.9 (+1.4)	54.3 (-0.9)	109.9 (+2.3)
CASE# 3	56.1 (-1.9)	104.7 (+2.2)	54.5 (-0.7)	110.8 (+3.2)
CASE# 4	56.5 (-1.5)	104.4 (+1.9)	53.9 (-1.3)	110.7 (+3.1)
CASE# 5	56.4 (-1.6)	105.2 (+2.7)	54.0 (-1.2)	110.9 (+3.3)
FINAL	56.0 (-2.0)	106.3 (+3.8)	53.9 (-1.3)	111.8 (+4.2)

이는 물론 적용 소재와 정도의 차이에 따라 차이가 생길 수 있겠지만 참고가 될 만한 사례라고 생각된다. 그 다음은 데쉬인슐레이터(Dash Insulator)로 +2.2%의 향상을 보였는데 이 부위 역시 엔진과 운전석사이에 형성된 데쉬판넬(Dash Panel) 부위이다.

프론트플로어(Front Floor)가 그 다음으로 +1.9% 향상되었고 후드인슐레이션 (Hood Insulation)부위가 +1.4%로 가장 낮게 나타났다

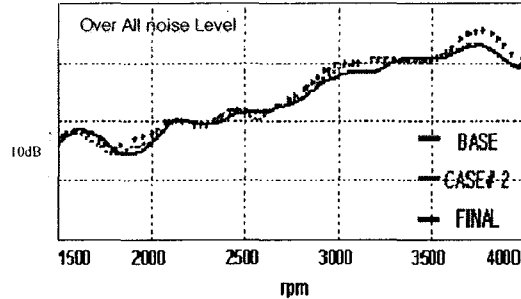


Fig.7 실차 가속시 운전석에서 주행성능비교(a)

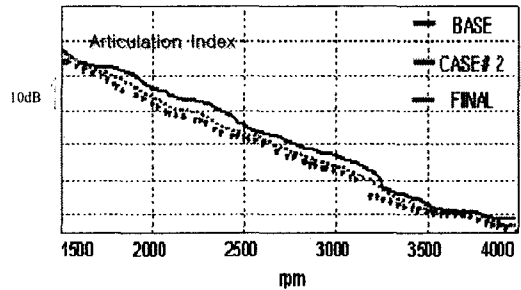


Fig.8 실차 가속시 운전석에서 주행성능비교(b)

후석의 경우는 조금 다르게 기여도가 나왔는데 그 순서를 보면 카울탑(Cowl Top)(+3.3%)→데쉬인슐레이터(Dash Insulator)(+3.2%)→프론트플로어(Front Floor)(+3.1%)→엔진커버(Engine Cover)(+2.4%)→후드인슐레이션(Hood Insulation)(+2.3%) 순으로 나타났다.

Case별 분석 결과 주행 시 소음을 음압레벨 평균 2dB(A)저감 시킬 수 있었고 Articulation Index(AI) 기준치를 약4%를 향상 시키는 결과를 얻었는데 이는 통상 차량의 등급이 바뀌는 기준인 5% 수치와 근접할 정도의 개선 효과를 얻을 수 있었다.

아래의 Data는 카울탑(Cowl Top)에서 운전석의 소음변화이다. 표시한 영역은 2500rpm 구간에서 4000rpm구간으로 확연한 소음의 감소를



Fig.9 카울탑(Cowl Top)위치에서 시공 전 운전석에서 소음 Color map(a)

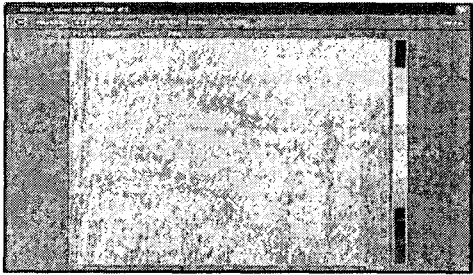


Fig.10 카울탑(Cowl Top)위치에서 시공 후 운전석에서 소음변화 Color map

확인할 수 있다. 위의 소음 감소구간에서의 변화를 Color Map에서 확인한 결과 150Hz구간의 엔진에 의한 25차 오더 성분의 감소뿐만 아니라 전체적인 구간에서의 소음 감소가 눈에 띄게 줄어들어 확인 되었다.

4. 결론

본 논문에서는 가솔린 대비 승용디젤 차량의 진동 소음 특성을 비교 평가하여, 현재 승용디젤 차량의 취약점을 분석하고 이를 개선하기 위한 방법 중 하나로 흡차음재의 특성을 이용하여 실험적인 검증을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Baseline Test에서 아이들 상태에서 실내소음은 1kHz범위에서 승용디젤차량은 가솔린 차량보다 항상 높고 전석은 최대 12dB(a)이며 후석은 최대 13.6dB(A)차이를 보이고 있다.

2) 본 연구를 통해 가솔린 대비 승용디젤 차량의

진동 소음의 특성을 다양한 방법으로 분석하였고, 각종 측정결과에 의하여 흡차음 성능을 향상시킬 수 있는 프로세스를 개발하였으며 이를 적용하여 주행 시 소음을 음압레벨 평균 2dB(A)와 Articulation Index(AI)를 약4%를 향상시키는 결과를 얻었는데 이는 통상 차량의 등급이 바뀌는 기준인 5% 수치와 대등할 정도의 개선 효과를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Wyckaert.K and H.V.D. Auweraer, "Operational Analysis, Transfer Path Analysis, Modal Analysis:Tools to Understand Road Noise Problems in Cars"SAE Noise and Vibration Conference, pp.139-143, 1995.
- (2) Shu Wang, Hinne Bliemhof, "Simulation of vehicle panels with multi-layer damping treatment" 1st MSC Worldwide Automotive User Conference, 1999.
- (3) 김석현,이장무 외2인, "승용차의 차실 음향 및 차체 진동에 관한 연구 (I)", 대한기계학회 논문집, 제10권, 제4호, pp.529-534. 1986.
- (4) Bagley, Ronald L. and Torvik, Peter J., "Fractional Calculus -A Different Approach to the Analysis of Viscoelastically Damped Structures," AIAA Journal, Vol. 21, No. 5, pp 741~748, 1983.
- (5) McTavish, D. J., Hughes, P. C., Soucy. Y. and Graham. W. B., "Prediction and Measurement of Modal Damping Factors for Viscoelastic Space Structures," AIAA Journal, Vol. 30, No. 5, pp 1392~1399, 1992.
- (6) LMS International, CADA-X User's Manual:Modal Analysis,1997.