

중형승용차의 진동, 소음 및 충격 시험평가

고 병 식

(대우자동차 기술연구소)

1. 머리말

차량을 개발함에 있어 인간의 감성적인 분야에서 가장 중요한 분야의 하나가 진동·소음 및 충격 분야라 할 수 있겠다. 소비자들이 차량에 탑승하였을 때 가장 민감하게 느끼기 때문이다. 이러한 소비자들의 감성지수를 만족하기 위한 노력이 각 자동차의 기술연구소, 학계 및 국가연구소에서 심도있게 연구되고 있다. 최근에 많이 연구되는 active noise control 및 active suspension control 등도 이 분야에 속하는 것들이다. 그러나 아직 이러한 신기술들이 실용화되기 위해서는 많은 상용화 연구가 진행되어야 하는 관계로 산업계에서는 현재의 진동소음저감기술을 좀더 단시간에 차량개발 프로그램에 적용하는 데 더욱 큰 노력을 할 필요가 있을 것이다. 따라서 여기에서는 현재 자동차업체에서 수행하는 진동, 소음 및 충격시험평가에 대해서만 국한하여 기술하고자 한다.

자동차의 진동소음평가는 차량개발단계에서 수차에 걸쳐 수행하게 된다. 첫 번째로는 목표치의 설정을 위한 개발차종의 경쟁차량을 평가하며 두 번째로는 차량개발단계에서 수행하며 마지막으로 생산차량에 대한 평가를 수행하게 된다. 차량회사에 따라 전세계에 판매할 차량을 지역에 따라 지역주민의 취향에 맞추어 개발하거나 또는 동일한 차량으로 전세계에 판매하기 위한 차량개발전략에 따라 진동소음시험평가가 서로 다른 방식으로 수행될 수 있다.

이에 따라 시험항목의 종류를 나열하면 다음과 같이 정리할 수 있겠다.

2. 개발 1단계에서의 진동, 소음 및 충격 시험평가

개발하고자하는 차량의 경쟁차종과 개발중인 차량을 상대평가하는 것으로서 주관평가와 객관평가로 구분할 수 있다.

2.1 Idle

소음진동을 평가하며 cold start와 hot start조건을 구분하여 평가하고 또한 에어컨 등 전기적인 부하의 유무에 따라 구분하여 평가한다.

2.2 Shudder/Shunt

Gas pedal을 밟지 않은 상태와 주행시작시에 나타나는 진동과 엔진의 진동을 평가하는 항목이다.

2.3 Powertrain 진동소음

2차 Order등 order 성분에 의해 나타나는 booming소음, 진동의 전달성, 음질, 소음 및 진동측정치등을 평가하고 이를 종합한 평가를 수행한다.

2.4 흡배기진동소음

흡배기계의 orifice소음, 공기의 흡입정도, 방사소음 및 진동의 전달성을 평가한다.

2.5 노면소음

소음측정치, 저주파에서의 booming소음, 음질, 충격절연(impact isolation) 및 진동을 평가한다.

2.6 풍절음(Wind Noise)

풍향에 의한 평가 및 Sealing의 영향을 평가한다.

2.7 기타소음

파워스티어링(PAS, Power Assisting Steering), 에어컨소음, 문닫음소음(Door slam) 및 냉난방계통에서 발생하는 소음을 평가한다.

2.8 승차감

1차 및 2차 shake를 평가한다.

2.9 운전성

기어변속시 나타나는 클러치 페달 등의 진동 및 급가감속시의 진동을 평가한다. 이러한 주관평가는 10점을 만점으로 하는 점수(10 scale rating)로 평가한다. (표 1) 이러한 주관평가 외에 객관적이고 정밀한 분석을 위해 가속도계와 마이크로폰을 이용하여 진동소음측정이 필요하다. 이러한 측정분야로는

(1) 2개 이상의 마이크로폰을 이용한 실내 소음

(2) 엔진마운트 위치에서의 진동

(3) 흡배기계의 orifice 소음

(4) 모의흉상(torso) 을 이용한 소음측정이 있으며 위의 실험을 위해 아이들, 정속, 급가속 등과 같은 여러 가지 주행조건에서 측정한다. 측정된 진동소음데이터를 분석하기 위해 엔진rpm 대비 dBA, 주파수분석, 1/3 옥타브분석, 진동주파수분석 및 order 분석을 수행한다. 음질분석을 위해서는 kurtosis, articulation index 등을 이용하여 정량적 분석을 하며 청음실에서 주관적인 음질평가를 수행한다.

또한 주행소음의 법규만족을 위하여 흡배기계에 대응량의 머플러를 장착하는 등 다양한 방법으로 소음원을 규명한다.

이와 같은 차량상태와 각 부품에 대한 data측정과 주관평가방법으로 개발차량의 목표치를 선정하게 된다.

3. 개발 2단계에서의 진동, 소음 및 충격 시험평가

장착예정인 엔진, 흡배기계 등이 장착된 차량에 대해 주관평가 및 data 측정을 실시한다. 이러한 실험은 소음전달경로분석과 주행소음원 평가이전에 수행되어야 할 실험이다. 이러한 실험의 결과로서는

(1) 외부소음과 내부소음에 대한 소음원의 기여도 평가

(2) 목표치를 달성하기 위해 요구되는 진동소음원의 규명

(3) 엔진마운트, 흡배기계의 개발

(4) 진동소음해석과 modal 실험을 통한 차체구조의 이해 등이다.

4. 개발 3단계에서의 진동, 소음 및 충격 시험평가

개발 3단계에서 초기에는 외부소음과 내부소음저감노력 이전에 baseline 실험과 차체민감도 측정에 많은 노력이 기울여져야 한다. 내부소음저감을 위해서는 저주파영역 구간에서 파워트레인에 의해 기인되는 booming 소음, 진동 및 노면소음의 저감에 집중하여야 하며, 음질개선과 고주파특성저감 또한 중요한 사항이지만 문제점 해결이 용이하고 저주파특성에 비해 중요도가 상대적으로 낮다. 외부소음원에 대한 소음원 평가는 법규만족을 위해 많은 노력이 요구되는 부분이다. 이 단계에서의 주요한 평가사항으로는 다음과 같은 사항이 있다.

표 1 기어변속시 나타나는 클러치 페달 등의 진동 및 급가감속시의 진동을 평가

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poor			Possible complaints	Borderline	Just acceptable	Fair	Good	Very good	Excellent

4.1 Baseline 측정

진동소음에 관한 주관평가 및 data 측정이 모든 차량에 대해 수행된다. 이러한 실험들은 차량개발초기에 경쟁차량의 분석을 통해 확정된 진동소음목표치와 비교하기 위하여 수행된다. 이러한 비교평가를 통하여 진동소음저감을 위해 집중적으로 연구되어야 하는 핵심적인 진동소음특성을 규명할 수 있다. 이와 함께 음질평가 또는 청음실험을 위해 모의흉상(torso)을 이용한 소음측정이 이루어져야 한다.

4.2 차체에 대한 실험

소음전달경로분석의 일부분으로서 차체민감도실험(소음/가진력의 전달함수)이 수행되어야 한다. 이러한 실험들은 calibration된 impact hammer 또는 shaker를 이용하여 차체의 각 마운트 부위를 가진하여 차체민감도 실험을 수행한다. 이 경우에 point mobility 실험도 동시에 진행한다. 이러한 실험들은 차체설계를 완수하기 전에 수행하여 차체의 구조변경에 반영한다.

4.3 소음전달경로분석 (NPA, Noise Path Analysis)

소음전달경로분석은 내부소음특성에 대한 구조기인소음(structure-borne noise)의 전달경로의 영향을 분석하기 위한 실험이다. powertrain에 관련된 영향에 대해서 여러 가지 조건에서 수행되는 마운트를 통해 전달되는 가속도측정은 Rig에서 측정된 마운트의 동적강성(dynamic stiffness)측정치와 소음/가진력의 전달함수가 함께 고려되어야 한다. NPA해석에 관련된 노면소음(road noise)은 Inertance방법이나 principle component 해석 기법이 이용된다. 이러한 방법이 사용되는 이유는 현가계의 고강성(very stiff) 마운트부품에 대해 동강성 측정치를 사용함에 따라 나타나는 오차를 줄이기 위한 것이다. 각각의 경우에 대해 NPA를 통해 엔진rpm구간에서 내부소음을 저감하기 위한 방안을 모색할 수 있다.

4.4 노면소음(Road Noise)

노면소음은 차량동역학분야와 함께 고려되어야 할 사항이기 때문에 특히 주의가 필요하다. 타이어와 노면의 마찰에 의해 발생하는

저주파 booming소음은 앞서 기술한 principle component 해석기법이나 소음전달경로분석 기법을 이용하여 분석한다. 저주파 구조진동 특성과 차실(body cavity)내 특성은 CAE와 lab에서 수행하는 Lab Test를 통해서 correlation이 필요하다. ODS(operating deformed shape)은 차체모드와 현가계를 분석하는데 매우 유용하다.

중/고주파소음저감은 실험과 NPA를 이용하여 실현할 수 있다.

4.5 외부소음

전세계 외부소음규제 중에서 가장 엄격한 규제에 만족하기 위하여 baseline 실험을 수행한 후 흡배기계에 대용량의 머플러를 장착하는 등의 실험을 통해 소음원규명이 필요하다. 이에 따라 결과의 FFT 분석후 resonator 또는 muffler 구조변경 등을 통해 외부소음을 저감시키는 방법이 있다.

4.6 Rattle and Squeak

Rough road상에서 주행시나 충격에 의해 나타나는 이상음(異常音)을 말하며 주로 주관평가를 수행한다. 또한 극한적인 온도조건에서의 실험이 필수적이다. 뿐만 아니라 내구시험차량에 대하여 주관평가를 실시하는 것보다 rattle and squeak을 평가하는 데 필수적이다.

5. 결 론

차량개발시에 감성 공학적으로 가장 필요한 진동, 소음 및 충격분야에 필요한 시험평가 항목, 목적 및 결과를 기술하였다. 전술한 바와 같이 차량의 진동소음평가는 차량개발단계에서 수차에 걸쳐 수행하게 된다. 첫 번째로는 목표치의 설정을 위한 개발차종의 경쟁차량을 평가하며 두 번째로는 차량개발단계에서 수행하며 마지막으로는 생산차량에 대한 평가를 수행하게 된다. 이러한 3단계의 시험평가를 통해 상품으로서의 경쟁력을 가진 차량이 개발된다. 더욱이 소비자들의 관심도가 진동소음 및 충격분야에 높아지고 있고 장시간 차량에 탑승하고 있는 경우가 많아지는 추세로 보아 당 분야는 지속적인 연구개발이 요망되는 분야이다.

진동·소음 및 충격 시험평가 Sheet 예

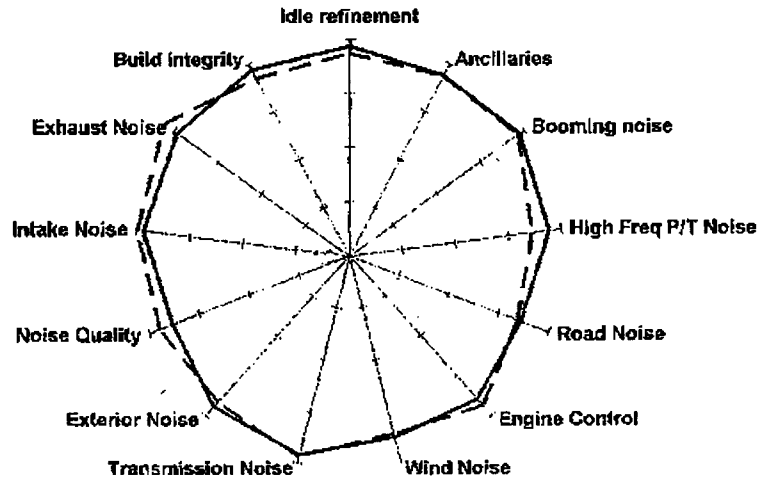
Subjective target	Objective target	Remarks
<p>Idle shake & idle noise (worst case)</p> <p>1) Automatic in 'N' & stickshift with consumers off</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seat - Floor - Steering wheel - Shift lever <p>2) Automatic in 'D' or 'R' with consumers on & stickshift with consumers on</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seat - Floor - Steering wheel - Shift lever <p>Overall idle quality (worst case)</p>	<p>Idle vibration (worst case)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Seat track vibration - Steering wheel vibration - Gear shift lever vibration <p>Idle noise</p> <ul style="list-style-type: none"> - A/C 'OFF', Gear 'N' - A/C 'OFF', Gear 'D' - A/C 'ON', Gear 'N' - A/C 'ON', Gear 'D' 	

진동, 소음 및 충격 시험평가의 예

Task	Overview	Activity	Output
Baseline subjective test	-Evaluate the differences vehicle to vehicle-NVH characteristics	Carry out subjective test	Comparative data against target subjective levels
Baseline objective test	-Identify any specific NVH characteristics	-Measure interior noise @ 4 mic. locations -Measure vibration in X,Y,Z axes @ seat rail, P/T mounts(both sides), gearshift & steering wheel	-Order tracking -Spectrum map -Drive by noise -Identify any specific NVH characteristics
Sound quality	Measurement of interior noise for sound quality listening test and comparison with target	Measure binaural noise using artificial torso in front & rear position for several test conditions	-High quality recordings for listening test -Comparison with target vehicles
BIW modal test	Correlate FEA model generated by CAE group	-Measure response to get detailed global modes & local modes	-Data for FEA correlation -Mode shapes
Total vehicle modal test	Measurement of the basic modal behavior of vehicle structure	-Measurement of X,Y,Z accelerations across vehicle structure -Identify Local Modes	-Global modes & local modes for FEA correlation
P/T modal test	Identify dynamic characteristics of P/T	-Measure force at the shaker inputs & responses in X,Y,Z -Extract rigid body mode & flexible mode	-Define rigid body mode -Correlation with FEA model

NVH ESO Appraisal

1996



NVH subjective evaluation (Leganza (dashed line)
vs Toyota Camry (solid line)