

자동차의 소음진동 성능개발 및 CAE 적용 사례

Automotive N.V.H Development & Examples of C.A.E Application

박 광 서*

Kwang-Seo. Park

ABSTRACT

This paper describes the examples of Noise, Vibration and Harshness(N.V.H) development applying Computer Aided Engineering(CAE). Some Commercial Software was used to reduce the cost, development time and to predict the Noise and vibration phenomenon of new vehicle design . This paper is including measured and analysis data, and tried to prove the good correlation between measured and calculated data, so test and analysis data were compared seriously and carefully. Analysis models, which were used to predict and develop the NVH phenomenon, analysis method, and a field of --Application are explained briefly. Also, model pictures are presenting in this paper. This paper describes the analyzing method of the calculated results, design modification and development procedure, and NVH performance target setting up and procedure.

1. 서론

컴퓨터와 소프트웨어가 발달 하면서 자동차의 설계 및 개발방법도 많이 변화하고 있다 . 설계용 소프트웨어를 이용한 작업은 자료를 공유할 수 있으며 쉽게 변경이 가능하고 컴퓨터 상에서 설계확인이 가능하다. 무엇보다도 설계시간 단축과 비용단축에 크게 기여하고 있다. 또한 해석 프로그램의 발달로 설계 초기 단계부터 해석용 프로그램을 이용하여 문제점을 미리 예측하고 설계에 반영할 수 있게 되었다. 본 고는 차량의 개발과정에서 상용해석프로그램을 이용하여 진동.소음 현상을 미리 예측하고 개선함으로써 설계 개발의 시간 및 비용을 단축한 실 예를 요약 정리한 것이다. 해석(계산)으로 얻은 결과와 실험으로 얻은 결과를 상호 비교하여 해석(계산)결과의 신뢰성을 증명하고자 노력 하였다. 또한 차량에서 발생하는 진동.소음 문제와 관련된 해석 모델, 각 모델의 이용 범위 및 해석 방법, 성능의 목표치 설정 등을 간략히 기술 하였다.

2. 해석 모델 설명

일반 승용차의 경우 차량을 구조적으로 세분화 한 다음과 같이 여러 부분으로 분리 할 수 있다.

- 차체 (body In White (BIW))
- 조향 장치(Steering System)
- 현가 장치 (Suspension System)
- 엔진 구동장치 (Powertrain & Drive Wheel)
- 배기 및 흡기 장치 (Intake & Exhaust System)
- 의장품, 전장품, 외장품 (Interior Trime, Electric Equipment, Exterior)

위에서 열거한 각각의 시스템 및 어셈블리 (assembly)로 이루어진 부품들을 조합하여 해석에 필요한 모델을 완성한다. 그림 2 와 같은 샤시시스템 모델은 조향장치(그림. 1), 현가장치, 구동장치, 배기 장치를 모델링하고 나머지 부품은 질량을 더하여 만들어진 모델이다.



Fig. 1 Steering System Model



Fig. 2 Chassis Powertrain & Exhaust / Steering System Model

* 대우자동차 기술 연구소
E-mail : kspark@dwmc.co.kr
Tel : 032-520-2634

이와 같은 샤시 모델은 요소(element)와 절점(node)의 수가 작아서 각 시스템의 모달해석이나 강제진동해석에 아주 유용하게 사용 된다.

그림 3 과 같은 차체모델은 단순히 판넬과 용접으로만 이루어진 BIW 모델, 차체에 유리(Glass)를 붙인 모델, 의장,전장,외장품을 질량으로 모델링한 트림바디모델(Trim Body)이 있다. 이와 같은 차체 모델은 차체의 강성을 판단하는 모달해석, 정적처짐 해석등에 이용되고 또한 진동소음의 전달 특성을 판단할 수 있는 소음.진동 전달경로 해석 (Shake & noise path analysis or Noise transfer function)에 이용된다.



Fig. 3 Body In White (BIW) Model



Fig. 4 Total (or Full) Vehicle Model

샤시모델과 차체모델을 합치면 그림 4 와 같은 완성차모델 (Detailed Full vehicle or Total vehicle model) 이 된다. 이 모델은 차량의 진동.소음 현상의 상세한 해석을 위해 이용되고 있다. 위에서 언급한 모델은 주로 구조해석 (Structure Analysis)에 사용되는 모델들이다. 모달해석 및 강제진동해석 등은 위와 같은 완성차 모델만을 이용해서 해석을 수행할 수 있다.



Fig. 5 Cavity Model (for BEM Analysis)

그러나 소음 해석은 해석을 수행하고자 하는 공간을 모델링 하여야 한다. 그림 5 는 차량내부모델(Interior Cavity Model)이며, 어떠한 방법으로 소음 해석을 수행할 것이냐에 따라 유한요소 모델(FEM)과 경계요소(BEM) 모델로 나눌 수 있다.

유한요소 모델은 해석시간이 짧게 걸리는 장점이 있으나, 솔리드로 모델을 만들어야 하므로 모델링 작업이 어려웠다. 그러나 음향모드 해석 등은 유한요소 모델만을 이용하여 계산할 수 있고, 요즘은 모델링을 위한 프로그램이 발달 하여 솔리드모델을 쉽게 만들 수 있으므로 이를 이용하면 모델링 작업을 쉽게 할 수 있다.

방사소음, 특히 무한 평면으로 방사되는 현상등의 해석은 유한요소 법으로는 불가능 하고 경계요소 모델을 이용하고 있다. 요즘은 컴퓨터 및 하드웨어의 발달로 계산시간 및 해석용량 등은 큰 문제가 되지 않고 있다.

3. 진동.소음 해석의 종류

차량에서 진동소음 해석을 수행하는 종류는 다양하다. 그러나 간략히 분류하며 다음과 같이 정리할 수 있다.

3-1. 모달해석 및 정강성 해석

모달해석은 물체가 갖고 있는 고유진동 주파수 계산 및 모드형상을 해석 하는 것이며, 진동해석의 가장 기본이 된다고 할 수 있다.

이와 같은 모달 해석을 수행하는 부분은 조향장치, 현가장치, 동력전달장치, 배기장치, 차체모델, 완성차모델등이 있다.

정강성 해석은 차체에 사람이 탑승한 조건에서 정적 처짐 등을 계산하는 것이다.

3-2. 강제진동해석

강제진동해석은 외부의 가진력이 존재할 경우에 각 부위의 공진주파수 및 진동량의 크기를 계산 하는 것이다. 강제진동해석은 엔진의 무부하 조건과 급가속조건으로 구분하여 해석을 하게 된다. 무부하 상태 해석은 엔진의 무부하 공회전시 (IDLE Operation)운전자와 탑승자가 느끼는 진동의 크기를 계산한다. 또한 도로 주행 시 노면 거칠기에 의한 도로주행진동과 타이어의 불균형에 의한 강제진동해석이 있다. 이와 같은 해석 부위는 조향장치, 의자, 발판등에서 계산을 한다.

소음해석을 수행하기 위해 엔진의 운전 회전주파수 구간에서 강제진동 해석을 수행하고 계산된 가속도를 소음해석의 가진력으로 사용한다.

3-3. 소음해석

소음 해석은 차량의 실내소음을 주로 계산하게 된다. 이경우 가진력은 엔진의 운전시 발생하는 가진력에 의한 것과, 도로에서 주행시 타이어의 패턴과 도로의 표면 거칠기 등에 의해서 발생하는 가진에 의해 발생하는 소음을 주로 계산하게 된다. 해석의 절차 및 방법 등은 많이 알려져 있으므로 자세한 언급은 생략한다(2,3,4).

4. 차량의 진동소음 성능 목표치 설정

차량의 개발과정에서 성능의 목표치가 없다면 어느 시점에서 개발을 완료하고 마무리를 하여야 할지 판단이 서질 않을 것이다.

또한 설계의 기준을 정확히 하는 것은 개발되는 차량의 관리 및 가치를 유지하는데 상당히 도움이 되며 경쟁차량과의 비교평가 및 판매시 장점을 부각 시키는 중요한 자료를 제공한다. 그러므로 이러한 성능의 목표치는 성능이 우수한 경쟁차량을

철저히 분석하고 벤치마킹한 결과로부터 타당한 근거를 기준으로 설정 되어진다. 차량의 소음진동 성능을 유지하기 위해서는 기본적으로 차체의 강성을 확보하는 것이 상당히 중요하다. 이와 같은 차체의 강성은 진동.소음 뿐만 아니라 차량의 내구특성에 상당히 중요한 영향을 미치므로 신중히 고려 하여야 된다. 소음.진동 현상은 주파수와 밀접한 관계가 있으며 특히 공진 현상을 피하는 것이 중요하다. 그러므로 각각의 시스템 및 조합품의 고유진동 주파수간에 공진이 발생하지 않아야 하며, 엔진 및 타이어의 회전 주파수와 공진등이 발생하지 않게 고유진동 주파수를 조절하여 분포 시켜야 한다. 이와 같은 주파수 성능목표를 표 1 과 같이 정리하여 관리하게 된다.

Table 1. Frequency Target Table

Excitation	Response
Tire Unbalance Engine Idle Engine Vertical Force Road Input	Body Powertrain Right Body Mode Steering System Exhaust System Radiator System Suspension & Tire

진동량과 소음의 크기를 수치적으로 목표 값을 정하여 관리하는 것이 차후의 관리 및 개발과정에 유용하게 사용할 수 있다. 특히 CAE 를 이용한 개발 과정에서는 주관평가가 불가능 하므로 전적으로 객관적이 수치를 이용한 목표설정이 중요하다. 이와 같은 사항을 고려하여 성능 목표치를 정할 항목은 다음과 같다.

- 장착될 엔진의 무부하 공회전수, 가진 차수, 가진력 정리
- 차체, 파워트레인, 조향휠, 배기계, 현가장치 및 완성차의 고유진동 주파수.
- 각종 진동량 등의 주파수응답함수
- 급가속 및 거친 도로 주행 시 실내소음의 음압 목표치
- 운전자의 주관평가 목표치 (개인의 특성 및 판단기준에 따라서 시험으로만 평가 가능)

5. 해석 사례

본 해석 사례는 실제 차량 개발과정에서 수행된 내용을 정리하여 서술한 것이다.

5-1. 스티어링 휠 해석

본 해석은 운전자가 차량에 탑승 시 조향휠에

서 느끼는 떨림 현상을 모달과 가속도량으로 계산하고 측정 한 것이다. 운전자가 느끼는 진동량(떨림)이 클 경우 심리적인 불안과 사고의 위험이 수반되며 또한 운전 시간 신경을 많이 쓰게 된다.

이러한 진동은 조향휠 어셈블리의 고유진동수 및 엔진의 무부하 회전 수(IDLE RPM)와 공진을 피하는 것이 일차 목적이다. 이러한 공진을 피하기 위하여 공유진동수 목표치를 무부하 상태 회전수와 일치하지 않도록 설정 하여야 한다.

조향휠의 경우 진동소음 측면에서 기본으로 고려하는 것은 그림 6 과 같은 모달해석 및 그림 7 과 같은 강제진동 해석과 시험이다.

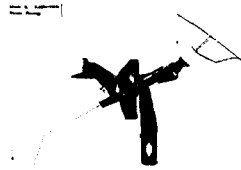


Fig. 6 Steering wheel mode shape at 34.8Hz

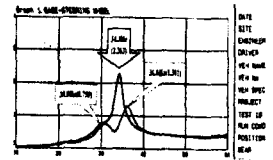


Fig. 7 Measured response data at steering wheel

모달해석은 고유진동 주파수 및 모드형상을 파악하기 위한 것이고, 강제진동 해석은 운전자가 느끼는 진동량을 직접 계산하는 것이다.

이와 같은 해석을 수행하고 목표치에 미달할 경우 설계개선사항을 찾기 위한 방법으로 민감도 해석, 스트레인 에너지 분포도 등을 고려한 패널의 형상과 두께, 재질 변경 등을 검토하여 설계개선안을 찾는다.

조향휠의 고유진동수 자체를 변경하기 어려운 경우는 그림 7에서 보여주듯이 동흡진기(Dynamic or Mass Damper)를 사용하여 진동량을 감소시킬 수 있다. 그림 6은 해석으로 계산한 모드형상이며, 그림 7은 실험으로 측정된 스티어링휠에서 공진 주파수와 가속도의 주파수응답함수 이다. 계산한 모드 주파수와 측정된 최고가속도 영역의 주파수가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다.

5-2. 차체의 동강성 및 정강성 해석

차량의 강성을 유지하는 기본은 차체의 강성이다. 이와 같은 차체의 강성은 동강성 (Dynamic stiffness)과 정강성(Static stiffness)으로 분류한다.

동강성은 고유진동수가 얼마인가의 문제로 엔진의 무부하시 회전 수와 공진 및 진동량과 관련이 있다.

정강성은 차량에 사람이 탑승한 경우 자중에 의한 처짐량과 관련이 있으며 처짐량이 심할 경우 문의 틈새가 벌어지거나 내구성에 문제가 발생할 수 있다. 동가성과 정강성은 구분은 되지만

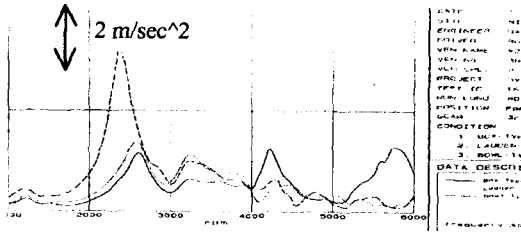


Fig. 12 Measured acceleration level

속레벨이 크게 나타나고 있다. 이러한 현상이 구조물의 강성을 보강하여 진동량이 많이 감소한 것을 보여주고 있다.

5-4. 엔진 가진에 의한 실내소음 해석

엔진은 특성에 따라 주된 가진 오다 성분이 있으며 엔진의 분당 가용 회전 (RPM)을 가진오다 (excitation order) 성분으로 나눈 주파수 범위에서 해석을 수행한다. 해석은 우선 차실 모델을 만들어야 하고 음향모드해석을 수행하여 대략적으로 어느 주파수 대역에서 부밍 소음이 발생할 것인지 미리 예측하는 것이 중요하다. 소음해석을 수행한 결과 부밍이 예측되는 주파수 영역이 존재할 경우 소음 저감 작업을 수행하는데 이때 경계요소법을 이용하면 그림 13 과 같이 구조모델의 모드형상과 차실 내에서의 음압 분포를 동시에 관찰할 수 있고 어느 부분이 기여도가 가장 큰지 분석이 가능하다.

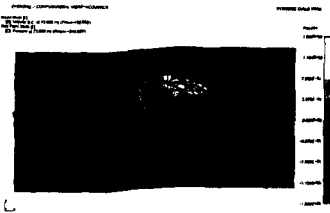


Fig.13 Structure deformation & Acoustic pressure contribution

부밍 소음 저감을 위해서 구조적으로 변경을 할 경우 구조강성을 변경하여 음압을 감소할 것인지 질량을 변경하여 음압을 감소할 것인지를 판단하여야 한다. 하나의 예로서 음향모드 주파수보다 낮은 영역에 구조 모드가 있을 경우는 질량을 증가하여 구조모드의 주파수를 더욱 낮추면 큰 효과를 볼 수 있다. 그림 14, 15 는 소음량을 줄이기 위해서 체결부위를 고무부시로 결합하고, 질량 댐핑 효과를 이용하여 음압을 감소시킨 사례이다. 그림 15 에서 볼 수 있듯이 1800 ~ 2400 RPM(2nd 오다 성분 60 ~ 80Hz, 그림 14) 구간에서 질량효과에 의한 상당량의 음압 감소를 볼 수 있다.

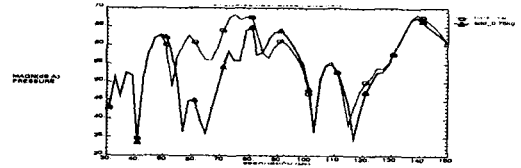


Fig. 14 Calculated acoustic pressure level

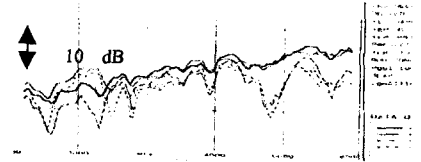


Fig. 15 Measured acoustic pressure level

구조 모드의 주파수가 음향모드의 주파수보다 큰 경우는 구조 강성을 증가 시켜 구조모드 주파수를 더욱 높게 할 경우 음압을 감소하는 효과 등을 볼 수 있을 것이다. 이와 반대로 처리할 경우 비용은 증가되며 오히려 실내소음이 증가되는 결과를 초래한다. 차실 내의 실내소음을 측정하는 부분은 운전자 및 탑승자의 귀 위치이다. 그 이유는 사람이 소음을 듣는 것은 귀를 통해서 듣기 때문이다. 그러므로 다른 장소에서 소음이 많이 발생하더라도 운전자나 탑승자가 느끼기에 시끄럽지 않으면 별 문제가 발생하지 않을 수 있다.

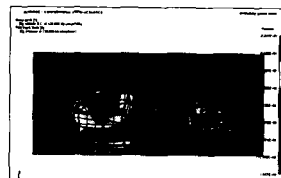


Fig. 16 Deformed structure shape and pressure contribution.

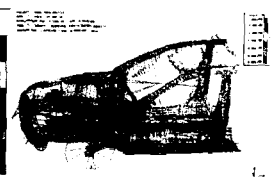


Fig. 17 Structure mode shape

그림 16 과 같이 운전자의 귀 위치에서 음압이 높게 형성되고 있으며 이때의 구조모드는 그림 17 과 같은 경우이다.

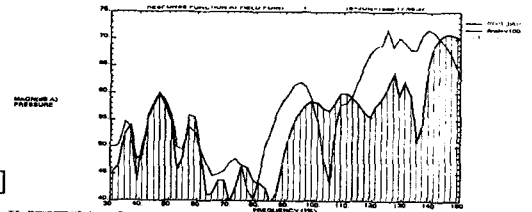


Fig. 18 Calculated acoustic pressure level

그림 18 과 19 는 구조를 변경하고 강성을 증가한

경우에 110Hz 부터 150Hz 구간의 실내소음이

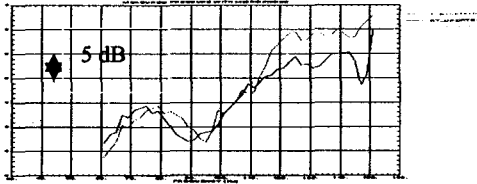


Fig. 19 Measured acoustic pressure level.

5dB 이상 감소한 것으로 시험과 해석 결과가 상당히 유사함을 보여준다.

5-5. 거친 도로 주행시의 실내소음 해석

거친 도로를 주행 시 도로표면의 입자와 타이어의 패턴사이에서 발생하는 충격으로 진동이 발생하며 이러한 진동이 차체로 전달되어 결국은 실내소음이 발생하게 된다. 이러한 소음을 해석 하기 위해서는 가진력을 먼저 알아야 하는데 힘을 직접적으로 측정하기는 어려우므로 그림 20 번과 같이 스프링에서 가속도를 측정하고 라지 메스 (Large Mass)방법을 이용하여 가진력을 역으로 계산할 수 있다.

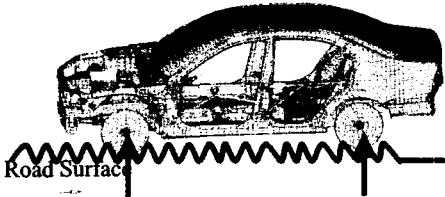


Fig. 20 Measurement point of Acceleration at Spindle by Road Excitation Location

가진력이 세대로 적용되었는지 알기 위해서는 그림 21 과 같이 가진력을 부여한 위치에서 가속도를 계산하고 그 값이 측정된 값과 같은가를 비교해보면 알 수 있다. 이와 같은 도로주행소음은 정속에서 측정을 하고 계산을 하게 된다.

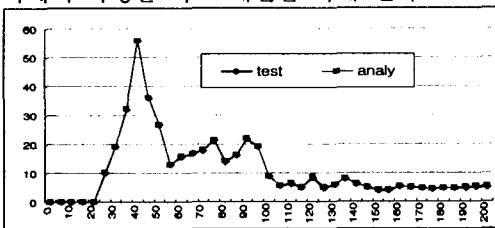


Fig. 21 Measured & Calculated Acceleration

소음해석결과를 판독하는 방법으로 그림 22 와 같이 음압을 주파수와 크기의 2 차원 그래프에서 크기는 선형디비(dB(Ln))로 하고 주파수 축은 로그(Log)로 하여 옥타부당 음압 감소를 기술기로

나타내는 음압의 목표 값을 설정하는 경우가 있다.

그러나 이러한 분석은 복잡하고 판단하기 어려운 부분이 있으므로 각 해석자 및 회사의 표준에 따라 판단하기 쉬운 표준을 사용하면 될 것이다.

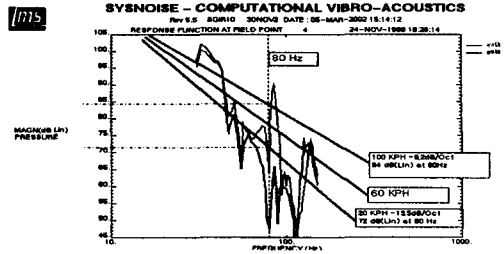


Fig. 22 Road Noise analysis result

도로주행소음은 타이어, 현가장치의 링크나 고무부시 등이 주된 설계 변수이며, 차체의 바닥 판 (Floor Panel)에 장착되는 제진재와 바닥코팅, 현가장치의 링크 부시등이 음압감소에 큰 영향을 미치고 있다.

6. 결론

본 고에는 앞에서 예시한 것과 같이 상용 프로그램을 이용하여 차량의 개발 과정에서 진동 소음의 성능 개발에 기여하는 사례들을 기술 하였다. 본고는 해석 사례를 중심으로 기술한 것이므로 학문적인 결론을 내기 보다는 적용결과에 가치가 있다고 생각된다. 현재 사용 되고 있는 상용 프로그램은 차량의 개발 과정에서 진동 소음 뿐 아니라 거의 모든 분야에서 광범위하게 사용이 되고 있으며, 프로그램 사용에 관한 인식도 많이 좋아 지고 있는 것이 사실이다. 실제로 이와 같은 해석 과정을 통하여 차량의 개발비용 및 시간 단축이 이루어 지고 있다. 특히 요즘은 가능한 한 시작 (Prototype)차량을 적게 만들고 있으며 이러한 것이 가능한 것은 해석기술의 발달이 일조를 하고 있으며 비용절감에도 큰 기여를 하고 있기 때문이다.

참고문헌

- (1) BOSCH, "Automotive Handbook", 2nd Edition.
- (2) MSC/NASTRAN User's Manual
- (3) SYSNOISE User's Manual
- (4) 박광서, 1996, "구조기인 소음 및 음향 민감도 해석" sysnoise Korea user's conference,