

FEM 과 SEA 방법을 이용한 차량의 중주파수 소음 해석

Mid frequency noise analysis for full vehicle model using both FEM and SEA

임효석† · 신용우* · 박광서**

Hyosuk Lim , Yongwoo Shin and Kwangseo Park

1. 서 론

자동차는 수많은 부품들로 복잡하게 연결되어 있다. 이러한 구조물의 소음 문제를 해석하는 경우, 관심 주파수 대역에 따라 그에 적절한 기법을 적용해야 한다. 200Hz 이하의 저주파 소음 문제는 주로 구조 기인 소음(Structure borne noise)에 의한 것으로 이때에는 유한 요소 방법(Finite Element Method, FEM)과 경계 요소 방법(Boundary Element Method, BEM)을 주로 사용한다. 한편 400Hz 이상의 고주파 소음 문제 중 공기 기인 소음(Air borne noise)에 의한 부분은 통계적 에너지 방법(Statistical Energy Analysis, SEA)을 주로 사용한다. 하지만 두 대역의 중간에 위치한 중주파수 대역은 기존의 해석 방법을 이용하여 예측하는 데에 여러 가지 제약 조건이 있기 때문에 이를 해결하기 위한 해석 방법에 대한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있다. 본 논문의 목적은 중주파수 해석 기법 중 하나인 Hybrid FE - SEA 방법을 적용하여 해석 모델을 구성하고 해석 결과의 신뢰 가능성을 검토하는 데에 있다.

2. 본 론

2.1 Hybrid FE SEA 모델링

Hybrid FE SEA 해석 모델을 구성하기에 앞서 먼저 고려해야 할 것은 각각의 Subsystem들이 강한 연성(Strong coupling)으로 연결되어 있는지 혹은 약한 연성(Weak coupling)으로 연결되어 있는지를 판단하는 것이다.

† 정회원, 한국 GM NVH CAE 팀

E-mail : Hyosuk.lim@gm.com

Tel : 010-9664-6435 , Fax : 032-590-6002

* 한국 GM NVH CAE 팀

** 한국 GM NVH CAE 팀

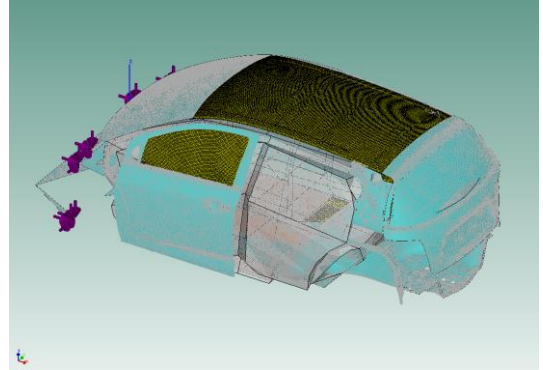


Figure 1 Hybrid FE SEA model

단순한 형상의 subsystem이 결합된 경우에는 이들 간의 연결을 약한 연성으로 생각할 수 있고 이를 SEA subsystem으로 모델링 할 수 있다. 하지만 형상이 복잡한 구조물의 경우 subsystem 간의 연결은 강한 연성인지 약한 연성인지를 구분하기가 쉽지 않다. 본 연구는 구조물의 subsystem 간의 관계를 모두 강한 연성으로 간주하여 이들을 유한 요소 모델로 구성하였고, 구조물과 실내 공간은 약한 연성으로 간주하여 실내 공간을 SEA Cavity 모델로 구성하였다. 모델링을 위한 상용 프로그램으로는 VaOne을 사용하였고 그 결과 실차 조건의 Hybrid FE SEA 모델을 Figure 1과 같이 완성하였다. 여기에는 흡,차음재 (Dash Insulation, Carpet, Headliner, Seat 등등) 및 제진재가 고려되었다.

2.2 가진력 계산

완성된 해석 모델을 이용하여 주행 조건 상태의 실내 소음을 해석하기 위해서는 주행 조건 상태의 가진력이 필요하다. 엔진 가진력의 주요 전달 경로는 엔진 마운트이므로 가진력을 계산할 때 각 마운트의 주파수에 따른 동강성($K_{Dynamic}$)과 엔진과 바디에서 측정된 변위의 차 ($D_{engine} - D_{body}$)를 이용하였다.

$$\text{Force} = K_{\text{Dynamic}} * (D_{\text{engine}} - D_{\text{body}})$$

이때 동강성은 주파수 증가에 따라 선형적으로 증가하는 것으로 가정하였고 각각의 마운트를 통해 전달되는 가진력은 상호 관계가 없는 것으로 가정하였다. 한편 측정 지점 및 동강성 값으로 인해 가진력 값에 오차가 생길 수 있다. 이러한 오차를 고려하여 해석을 수행하기 위해 Monte carlo simulation을 사용하였다. 측정 지점의 변화에 따른 변위 값의 오차를 알기 위해서는 다양한 위치에서 변위를 측정해야 하지만 측정 시 센서 부착 위치에 대한 제약 조건으로 인해 어려움이 있다. 한편 동강성의 값은 상대적으로 오차를 고려하기 쉬운 편이다. 따라서 본 논문에서는 계산된 각각의 가진력에 오차를 $\pm 15\%$ 범위로 설정하여 정규분포를 갖는 다양한 가진력을 확보하였다.

2.3 해석 및 검토

완성한 실차 해석 모델과 주행 조건의 가진력을 이용하여 실내 소음을 해석하였다. 중주파수 대역에서는 물성치의 불확실성이 결과에 많은 영향을 미치게 되므로 통계적인 방법을 사용하여 이를 보완할 필요가 있다. 따라서 유한 요소 모델의 모든 노드(node)의 응답을 사용하기 보다는 subsystem내의 응답을 평균하여 계산하여 사용하였고, 가진력의 경우도 Monte carlo simulation을 적용하여 오차를 포함한 다양한 데이터를 사용하였다. 또한 실내 공간의 모델을 SEA Cavity로 사용함으로써 공간적인 평균값을 계산하였다. 마지막으로 해석 주파수를 1/12 옥타브 밴드로 설정함으로써 밴드 내의 에너지의 합으로 결과를 표현하였다.

실내 소음 예측을 위해 파워 평형 방정식을 사용하였다. 유한 요소 모델과 흡,차음재 및 제진재를 이용하여 16 X 16의 손실 함수(Loss Factor) 행렬을 구하였고, 이를 역행렬로 변환하여 가진되는 파워(P)와 곱하여 실내소음 에너지(E)를 구하였다.

$$E = 1/\omega \cdot [\text{Loss Factor}]^{-1} \cdot P$$

한편, Hybrid FE SEA 해석을 통해 얻은 결과의 타당성을 검토하기 위해 4000, 5000, 6000rpm의 주행 조건에서 실내소음을 측정하였다. 주행 조건의 시험 결과와 해석 결과를 비교한 결과가 Figure 2와 같다. 주파수 밴드 별로 보았을 때 시험 결과와

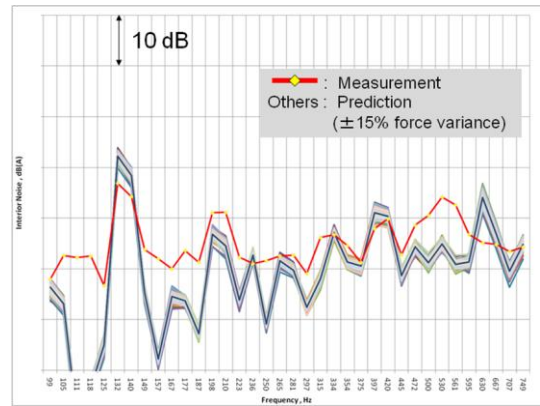


Figure 2 Measurement vs Prediction result @4000rpm

해석 결과가 차이를 보인다. 한편 5000, 6000 rpm의 해석 결과는 측정 값과 유사한 경향을 갖는 것을 확인 할 수 있었다.

3. 결 론

본 논문에서는 Hybrid FE SEA 방법을 이용하여 중주파수 대역의 실차 실내 소음을 해석하였고 이에 대한 타당성을 검토하였다. 본 논문을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Hybrid FE SEA 방법을 이용하여 구조물과 흡,차음재를 고려한 실차 모델을 완성할 수 있었다. 이때 구조물간의 관계는 강한 연성으로 고려하여 유한 요소 모델을 사용하였고 구조물과 실내 공간과의 관계는 약한 연성으로 고려하여 SEA Cavity 모델로 구성하였다.
- 2) 주행조건의 가진력은 측정된 동강성과 변위를 이용하는 Direct method를 이용하여 구하였고 이때 생길 수 있는 오차를 고려하기 위해 $\pm 15\%$ 오차를 고려한 Monte Carlo simulation을 통해 가진력을 확보하였다.
- 3) Hybrid FE SEA 방법을 이용한 모델을 해석하여 4000, 5000, 6000rpm 주행 조건에 대한 차량 실내 소음 결과를 예측할 수 있었고, 결과의 타당성을 확보하기 위해 측정값과 비교하였다. 세 조건의 결과를 통해 해석 결과가 측정 값과 유사한 경향을 갖는 것을 확인할 수 있었다.