

FOA 기법을 이용한 차량용 서브프레임 등가모델 개발

Development of Subframe Equivalent Model using FOA Technique

김범석* · 김봉수** · 유홍희†

Bum Suk Kim, Bong Soo Kim and Hong Hee Yoo

1. 서론

차량 설계 과정에서는 각 부품의 성능을 미리 예측하기 위하여 보통 유한요소 모델을 기초로 하는 수치적 방법을 사용하고 있다. 이는 구조물의 개선에 있어서 시험만을 의존하였을 때 발생하는 시간 소요와 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 개선안에 대한 검토와 최적화 기법 등에 활용할 수 있기 때문이다. 하지만 CAE 방법으로 정확한 결과를 도출하기 위해서는 능숙한 기술을 가진 설계자에 의한 설계 및 해석이 필요하며, 또한 많은 시간과 노력, 그리고 비용이 발생하게 된다. 이러한 CAE 기술의 단점을 보완하기 위하여 새로운 개념의 설계 방법인 FOA 기법이 최근에 제안되었다. FOA 기법은 제품 개발 초기단계에서 주요 부품의 형상을 간단한 등가모델로 치환하여 실제 시스템의 동적 특성을 예측하는 방법이다.

본 논문에서는 FOA 기법을 차량 서브프레임 설계에 적용하였다. 서브프레임의 초기 설계 단계에서 미리 완성된 제품의 동적 특성이나 NVH 특성을 개선할 수 있는 방안을 마련하기 위하여 서브프레임 설계에 FOA 기법을 적용하였다. 서브프레임의 각 프레임을 간단한 보 요소로 등가화 시킨 후 조인트부의 재료 물성값 튜닝을 통해 유한요소 모델과의 진동특성을 비교하여 유효성을 검증하였다.

2. 서브프레임 등가모델 구성

2.1 등가모델 구성

대부분의 준중형 차량 이상에서는 Fig. 1 과 같은 우물 정(#)자형 프런트 서브프레임(Front subframe)을 적용하고 있다. 프런트 서브프레임은 기본적으로 서스펜션, 로어암 등과 같은 샤시 구조물의 견고한

지지, 엔진의 톨 억제, 충돌성능의 개선 등의 기능적인 역할을 하고 있다. 또한, 서브프레임은 자동차에서 가장 중요한 소음, 진동의 원인이 되는 엔진 변속기 시스템을 지지하고 있는 중요한 부품이다. 프런트 서브프레임은 크게 차체와의 조립시 물리적 접촉을 하는 네 개의 원통형 지지부로 구성된다.

실제 서브프레임의 동특성을 구현하기 위한 등가모델 구성을 위해 보 요소(beam element)를 사용하였다. 등가모델을 구성하기 위하여 사용된 보 요소는 요소당 12 개의 자유도를 갖는 3 차원 요소이다. 등가모델 구성을 위해 우선 각 프레임의 중간위치를 기준으로 각 기준위치를 직선으로 연결하는 보 구조로 서브프레임을 모델링 하였다. 우물 정(#)자형 프런트 서브프레임은 프런트, 리어 엔진 마운트를 제외하면 좌우 대칭형 구조물이므로 Fig. 1 과 같이 실제 서브프레임의 유한요소 모델을 좌우 대칭의 7 개의 단면 영역으로 나눈 후 각 단면의 면적 및 면적 관성모멘트, 전단계수 등을 추출하여 보 요소에 적용하였다. 또한, 유한요소 모델의 물성치를 전체 등가모델에 동일하게 사용하였고, 엔진 마운트와 로어암 마운트 부분에는 연결 구조물이 추가되어 있으므로 이러한 영향을 반영하기 위하여 기본 밀도값과는 다른 밀도와 위치를 정의하였다

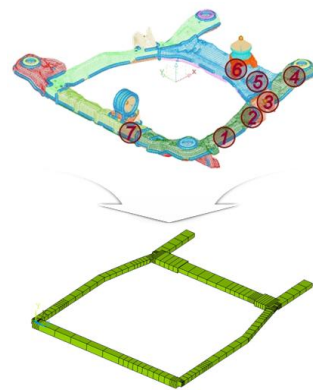


Fig. 1 Finite element model and FOA equivalent model of vehicle front subframe

2.2 조인트 모델링

차체 설계 초기단계에서 차체 프레임을 보 요소로

† 교신저자; 한양대학교 기계공학부

E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2220-0446, Fax : (02) 2293-5070

* 한양대학교 대학원 기계공학과

** 현대기아자동차(주) 연구개발총괄본부

모델링하는 경우가 많은데 할 때 보와 보가 만나는 조인트부를 강결합으로 모델링하는 것이 일반적이다. 그러나 이 방법은 차량 구조물의 정적·동적 특성을 잘 표현하지 못한다. 그래서 보 요소로 모델링된 부재들이 연결 부위에서 비틀림 강성을 갖는 가상의 스프링으로 연결되어 있다고 모델링 하는 것이 통상적인 방법이다. 하지만 3 개의 회전스프링 상수들을 갖는 부싱 집합으로 모델링 하였을 경우 많은 수의 파라미터들을 설계 튜닝 파라미터로 사용해야 하는 문제점이 발생한다. 그러므로 본 연구에서는 보가 결합되는 부분을 조인트로 설정하고 조인트를 구성하는 보 요소의 탄성계수를 설계 튜닝 파라미터로 사용하였다.

서브프레임 등가모델에 사용되는 조인트는 두 가지 타입으로 선정하였다. 첫번째 타입은 ‘T’ 자형 조인트로서 서브프레임의 후방 크로스 프레임(cross-frame)과 사이드 프레임(side-frame)을 연결하는 조인트이다. 두번째 타입은 ‘L’ 자형 조인트로서 전방 크로스 프레임과 사이드 프레임을 연결한다. 각 조인트는 타입에 따라 서로 다른 재료 물성을 갖도록 하였다. 즉, 각 조인트 타입에 사용되는 물성 파라미터는 X, Y 방향 탄성계수(EX, EY)와 X 축 단면 전단 탄성계수(GXY)이다. 또한, 조인트의 크기(가로, 세로 길이)는 각 프레임(사이드 프레임, 크로스 프레임) 길이의 약 5%로 설정하였다. 유한요소 해석모델의 해석결과와 실험결과에 상응하는 등가모델을 구성하기 위해 조인트 부의 재료 물성치를 튜닝하여 조인트 모델의 물성값으로 사용하였다.

3. 등가모델의 유효성 검증

보 요소로 구성된 등가모델의 유효성을 알아보기 위하여 등가모델의 진동특성을 실제 서브프레임의 유한요소 모델의 해석결과(고유진동수와 고유모드, 그리고 주파수응답함수)와 비교·검증하였다. 해석의 경계조건은 서브프레임의 기본 동적 특성을 평가할 수 있도록 자유 경계조건으로 설정하였다.

우선 모드특성 중 하나인 고유진동수 해석 결과를 비교하였다. 6 개 강체 모드의 고유진동수를 제외하고 순서대로 도출되는 6 개의 고유진동수를 유한요소 모델의 해석 결과와 서로 비교하였다. Fig. 2의 결과와 같이 등가모델의 고유진동수는 모드형상을 유지하면서 유한요소 모델의 모드해석 결과와 약 10% 이내로 일치하는 결과를 보이고 있다.

Fig. 3은 등가모델과 유한요소 모델의 입/출력점 변화에 따른 주파수 응답함수의 해석 결과를 보여주고 있다. 300Hz의 주파수 영역까지 해석을 수행하였으며, 로어암 마운트 A, G 점과 RF/RR 엔진 마운트에서의 수

직방향 입력에 대한 수직방향 가속도 출력을 도출하여 비교하였다. 피크치가 발생하는 주파수는 모드해석의 결과와 같이 10% 이내에서 일치하고 있고 전체적인 응답의 크기도 근사적으로 동일한 경향을 보이고 있다.

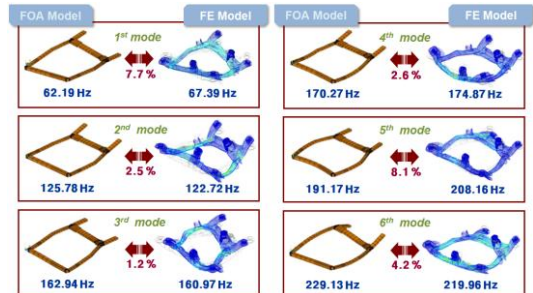


Fig. 2 Comparison of natural frequencies and mode shapes between FOA equivalent model and FE model

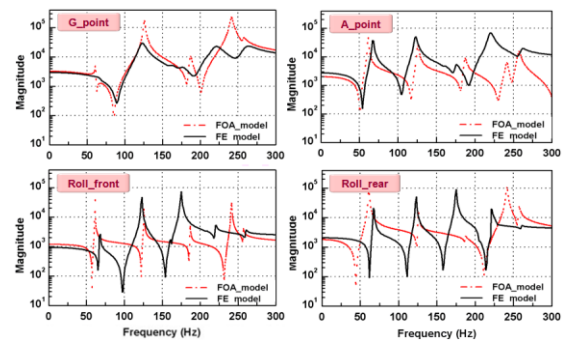


Fig. 3 Comparison of FRF results between FOA equivalent model and FE model

4. 결론

본 논문에서는 상세 유한요소 모델을 이용한 서브프레임 설계 방법의 한계를 극복하기 위하여 간단하고 보 요소로 구성된 서브프레임 등가모델을 제안하였다. 각 프레임이 연결되는 부분에 두 가지 타입의 조인트를 각각 사용하였고 이들의 탄성계수를 적절히 튜닝하여 실제 유한요소 모델의 모드해석 결과와 상응하도록 하였다. 보 요소로 구성된 서브프레임 등가모델은 서브프레임의 유한요소 모델과의 진동특성 해석 결과를 비교해봄으로써 설계 적용의 유효성이 검증되었고, 실제 개념설계 단계에서 서브프레임의 레이아웃이나 마운트 위치 등을 대략적으로 예측하고 선정하는데 제안된 등가모델이 효율적으로 활용될 수 있으리라 판단된다.

후 기

이 논문은 2010년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.