

# 유연 다물체 차량동역학 기반 조향계 및 현가계 Shimmy 진동 특성 해석

## Shimmy Vibration Characteristic Analysis of Steering and Suspension Systems Based on Flexible Multi-body Vehicle Dynamics

권성진† · 배철용\* · 이봉현\* · 구태윤\*\*\* · 성기득\*\*

Seong-Jin Kwon, Chul-Yong Bae, Bong-Hyun Bae, Tae-Yun Koo, and Ki-Deug Sung

### 1. 서 론

최근 차량의 고속화, 경량화, 고성능화에 따라 고속에서의 차량 승차감, 조종안정성, 안락성 등이 화두가 되고 있다. 특히 고속 주행 중 발생하는 조향계(steering system)에서의 떨림 및 진동현상으로 쉬미(shimmy)와 셰이크(shake) 현상은 운전자에게 운전 중 불편감을 조성하고 피로를 누적시키며 운전의 안정성을 떨어뜨리는 효과를 초래한다. 이와 같은 쉬미와 셰이크 진동현상은 Fig. 1과 같이 특정한 차량 속도 구간(100~ 130km/hr)에서 발생하며, 타이어(tire)를 포함한 현가계(suspension system) 및 조향계의 복잡한 전달경로를 통해 운전자에 전달된다.

쉬미와 셰이크와 관련한 연구는 다양한 분야에서 활발하게 진행되고 있으며, 1차적인 가진원이 되는 타이어의 불평형 질량을 줄이거나 RFV(Radial Force Variation), RRO(Radial Run Out) 등의 정밀도를 향상시키는 방법, 쉬미와 셰이크의 진동 전달경로 상의 감쇠 특성과 강성 특성을 변화시켜 진동 전달율을 저감시키는 방법, 조향계 및 현가계의 고유진동수를 변화시켜 공진대역을 이동시키는 방법 등의 연구가 수행되었다. 하지만 차량과 타이어를 연계한 해석적인 방법으로 고정밀 차량동역학 모델을 구성하여 차량/타이어 설계단계에서 쉬미와 셰이크 현상의 부품별 영향도 분석을 수행하여 궁극적으로 쉬미와 셰이크 저감을 위한 설계방안을 제시하는 연구는 미진한 실정이다.

본 연구에서는 차량/타이어 연계 쉬미 및 셰이크 진동특성 해석을 수행하기 위하여 강체 다물체 차량동역학 모델의 단점을 보완하고 조향계 및 현가계 부품의 정확한 모달 특성을 반영한 유연 다물체 차량동역학 해석 모델을 구성하였다. 또한 타이어의 진동특성을 모사할 수 있는 반실험

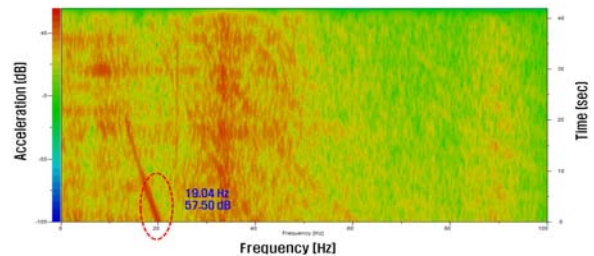


Fig. 1 Shimmy phenomenon of the steering wheel

적 타이어 모델인 MF-swift 타이어 모델을 구성하였다. 이를 바탕으로 구성된 차량 모델의 해석 결과와 실차시험 결과를 비교 검토하여 해석 신뢰성을 확보하였으며, 조향계 및 현가계 특성과 타이어 특성에 따른 쉬미와 셰이크 현상의 진동특성 해석을 수행하였다.

### 2. 유연 다물체 차량동역학 모델

본 연구에서 구성한 대상차량 모델은 Fig. 2와 같이 맥 퍼슨 스트럿(macpherson strut) 형식의 전륜 현가계, 토션 빔 액슬(torsion beam axle) 형식의 후륜 현가계, 랙 & 피니언(rack & pinion) 형식의 조향계, 디스크 브레이크 형식의 제동계 및 가솔린 1,600cc 형식의 구동계 등으로 구성되며, 총 115 자유도를 가진다. 또한 쉬미와 셰이크 현상의 진동 전달경로에 해당하는 조향계 및 현가계 부품은 별도의 모드해석(mode analysis)을 수행하여 차량 모델 구성에 반영하였으며, 이를 통하여 모드 중첩법(modal super-position method)을 통한 유연 다물체 차량동역학 해석 모델을 구성하였다.

쉬미와 셰이크 현상의 진동 가진원에 해당하는 대상 타이어(195/55 R15)는 모달, 관성, 힘&모멘트, 인벌로핑, 돌기 승월 시험 등을 각각 수행하였다. 시험 기준 하중은 4,186N, 기준 공기압은 2.28bar, 적용 립은 15×6.0J를 사용하였다. 이를 바탕으로 Fig. 3과 같이 타이어 모델의 슬립각, 캠버각, 슬립율에 따른 파라미터 및 프로퍼티 특성을 정의하여 MF-swift 타이어 모델을 구성하였다.

† 교신저자; 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터  
E-mail : sjkwon@katech.re.kr  
Tel : (041) 559-3337, Fax : (041) 559-3340

\* 자동차부품연구원 ICE/EV구동융합연구센터

\*\* 넥센타이어(주) 기술연구소

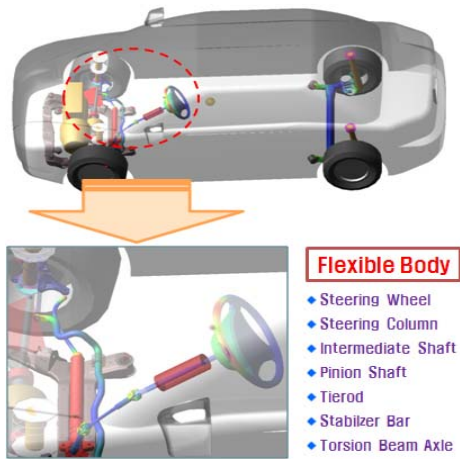


Fig. 2 Flexible multi-body vehicle dynamic model

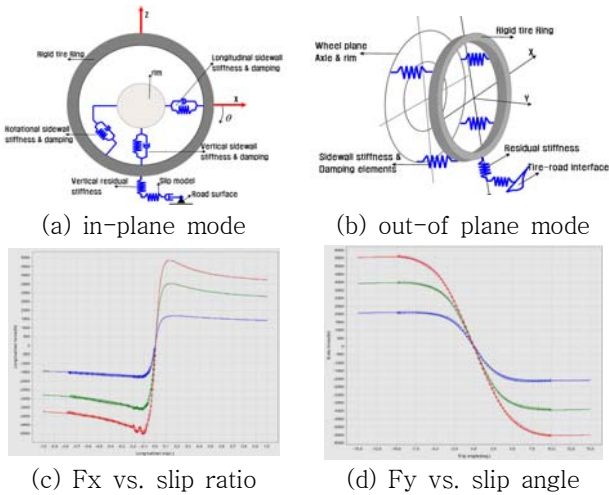


Fig. 3 MF-swift tire model

### 3. 슈미/쉐이크 진동특성 해석 결과

본 연구에서는 슈미 및 쉐이크 진동특성 해석을 위하여 정속 주행모드와 타행 주행모드를 운전자 모델로 설정하였다. 또한 왼쪽과 오른쪽 타이어의 불평형 질량이 없는 경우, 왼쪽 타이어의 불평형 질량이 30g 있는 경우, 왼쪽과 오른쪽 타이어의 불평형 질량 30g이 동일 위상으로 있는 경우, 왼쪽과 오른쪽 타이어의 불평형 질량 30g이 역위상으로 있는 경우, 즉 진동 가진력에 따른 너클, 랙 하우스, 조향휠에서의 진동 가속도를 주파수 분석하였다. 또한, 진동 전달경로인 조향계 및 현가계 주요 부품의 강성 변화에 따른 진동 가속도를 주파수 분석하였다.

Fig. 4는 차량 초기속도를 135 km/hr로 설정한 타행 주행모드에서의 슈미 및 쉐이크 진동특성 해석 결과를 나타낸다. 진동 가진력은 왼쪽과 오른쪽 타이어의 불평형 질량 30g을 역위상으로 설정하였으며, 진동 전달경로는 조향 샤프트의 탄성 변화에 따른 슈미 및 쉐이크 해석 결과를

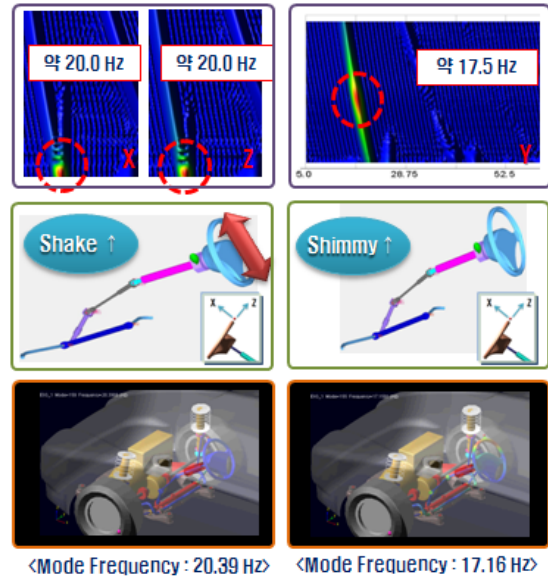


Fig. 4 Shimmy and shake analysis results



Fig. 5 Vibration transfer path of shimmy & shake

나타낸다. 조향휠의 쉐이크 진동(X, Z 방향)은 조향계 및 현가계의 모드 특성에 기인하여 약 20Hz에서 발생함을 알 수 있으며, 슈미 진동(Y 진동)은 진동 가진력과 조향계 및 현가계의 모드 특성에 기인하여 약 17.5Hz인 타이어 1차 회전주파수 성분과 동일하게 나타남을 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 차량/타이어 연계 슈미 및 쉐이크 진동특성 해석을 위하여 조향계 및 현가계 주요 부품의 모드해석을 통한 유연 다물체 차량동역학 해석 모델을 구성하였다. 또한 타이어의 진동특성을 모사하기 위한 MF-swift 타이어 모델을 구성하였다. 이를 바탕으로 Fig. 5와 같이 타이어의 진동 가진력과 조향계 및 현가계의 진동 전달경로 부품의 특성에 따른 슈미 및 쉐이크 진동특성을 해석하였다. 이를 통하여 슈미 및 쉐이크 진동 저감을 위한 타이어 및 차량의 설계 개선방향을 정립할 수 있었다.