

# 다물체 차량동역학 모델을 이용한 샤시(동력전달계) 진동특성 해석에 관한 연구

## A Study on Vibration Characteristic Analysis of a Chassis (Power Train) System Using Multi-body Vehicle Dynamic Models

김완수† · 권성진\* · 김찬중\* · 배철용\* · 이동원\* · 이봉현\*

Wan-Soo Kim, Seong-Jin Kwon, Chan-Jung Kim, Chul-Yong Bae, Dong-Won Lee and Bong-Hyun Lee

### 1. 서 론

최근 자동차 관련 고도의 기술진보에 따라 차량의 시뮬레이션(simulation) 대상 시험이 가능해짐에 따라 자동차 제조 회사 및 부품업체들은 각 사별로 자사에 알맞은 각종 시험 조건을 설정한 다음, 안전성, 정밀성, 효율성, 안정성 등의 관점에서 일반 도로 실차시험을 대체할 수 있는 실험실적 시험 방법을 모색해 왔다. 이에 오늘날의 VTL(Virtual Testing Lab.) 및 VPG(Virtual Proving Ground) 기술에서의 다물체 차량동역학(multi-body vehicle dynamics) 해석 기술은 자동차 전산역학 기술의 진보를 바탕으로 실차 주행시험 대신 가상도로에서 디지털 차량을 주행시켜 설계 및 해석에 필요한 데이터를 얻는 획기적인 기술이다.

본 연구에서는 대상차량의 타이어 모델(tire model) 및 도로노면 모델(road model)을 포함한 다물체 차량동역학 모델을 이용하여, Fig. 1과 같이 샤시 및 브레이크 시스템의 주요 부품에 대한 저더(judder), 슈미&셰이크(shimmy&shake) 진동특성을 분석하고자 하였다.

차량의 고속주행 중에 발생하는 조향 휠(steering wheel)이나 브레이크(brake) 등에서의 떨림 현상은 운전자에게 불쾌감을 조성하고 운전의 안정성을 떨어뜨리는 효과를 가져온다. 저더, 슈미&셰이크 진동현상은 일반적으로 100~130 km/hr의 속도 대역 중 일정속도에서만 발생하며, 운전자에게 고속주행에 따른 운전의 안정성 저해와 차량의 품질문제에 대한 불만으로 연결된다. 저더 진동현상은 차량의 제동시, 디스크 두께 변화(disc thickness variation, DTV)와 제동토크 변화(brake torque variation, BTV)에 기인한 떨림 현상으로 크게 냉간저더(cold judder)와 열간저더(hot judder)로 분류된다. 슈미 진동현상은 주행 중, 조향 휠이 원주방향으로 떨리는 현상을 말하며, 이외 수직과 종방향으

로의 떨림은 셰이크 진동현상으로 분류될 수 있다. 하지만 슈미와 셰이크 진동현상은 동시에 발생하는 것이 일반적이다.

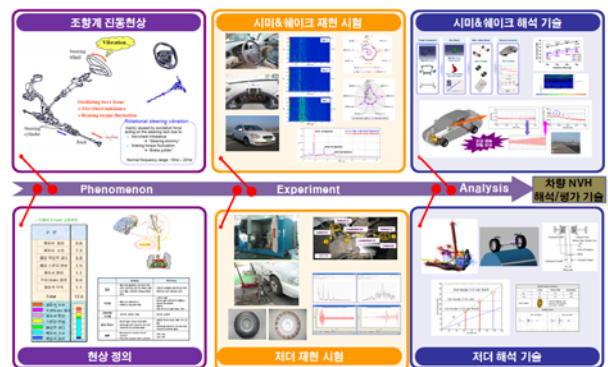


Fig. 1 Research process of judder, shimmy&shake vibration

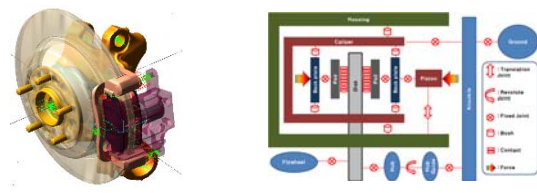
### 2. 다물체 차량동역학 모델 구성

본 연구에서는 대상차량의 양산형 스틸(steel) 브레이크 시스템(single-piston type)과 개발형 알루미늄(aluminum) 브레이크 시스템(double piston type)에 따른 차량 샤시 및 주요 부품에 대한 진동특성 분석을 수행하고자 하였다. 이를 위하여 Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)와 같이 대상 브레이크 시스템의 구속/하중/경계조건을 설정하였다. 피스톤에 부과되는 브레이크 압력에 따른 디스크와 패드사이의 제동력은 마찰접촉 요소(friction contact element)를 사용하였으며, 정/동 마찰계수는 별도의 시험을 통하여 측정하였다.

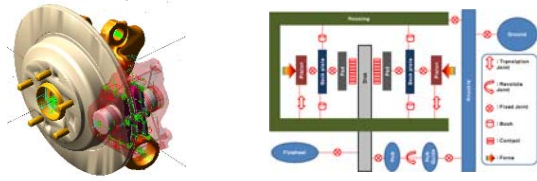
또한 다물체 차량동역학 모델은 대상차량 및 브레이크 시스템, 타이어, 도로노면, 운전자 모델을 포함하여 Fig. 2(c)와 같이 120 자유도(degrees of freedom)로 모델링하였다. 차량동역학 해석의 비선형성을 증가시키는 가장 중요한 타이어 모델은 별도의 타이어 특성 시험과 데이터 분석과정을 거쳐 구성된 MF-swift 타이어 모델을 사용하였다. 이를 통해 실제 타이어의 특성을 해석에 반영하여 차량의 운동 특성 및 진동 특성을 분석할 수 있도록 하였다.

† 교신저자; 자동차부품연구원 에너지시스템연구센터  
E-mail : wskim@katech.re.kr  
Tel: (041) 559-3337, Fax: (041) 559-3070

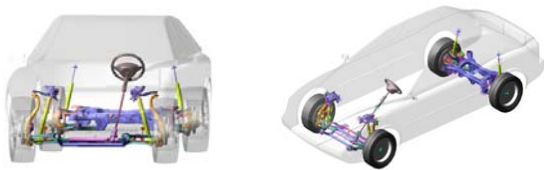
\* 자동차부품연구원 에너지시스템연구센터



(a) steel brake system (single-piston type)



(b) aluminum brake system (double-piston type)



(c) target vehicle model

Fig. 2 Multi-body vehicle dynamic model

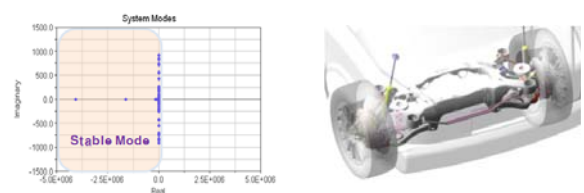
### 3. 진동특성 해석 결과

앞서 구성한 다물체 차량동역학 모델을 바탕으로 우선적으로 모드해석(mode analysis)을 수행한 결과는 Fig. 3(a)와 같다. 저더 진동특성 해석은 Fig. 3(b)와 같이 차량 초기 속도 140km/hr에서 브레이크 압력 20bar로 15sec 동안 제동 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 설계변수 영향도 분석은 스틸/알루미늄 브레이크 시스템, 브레이크 압력, 디스크 런아웃(run-out), DTV를 설정하였으며, 해석 결과는 BTV 및 주요 부품의 진동레벨을 비교하였다.

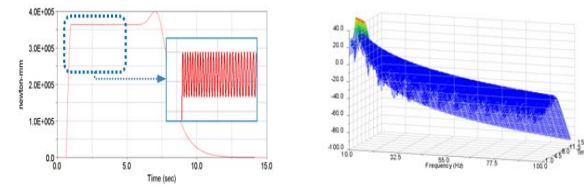
저더 진동현상 발생 주파수는 타이어/디스크의 1차 및 2차 회전주파수 성분과 동일하며, BTV로 평가하는 진동레벨은 DTV의 변화에 가장 민감하고, 2-피스톤 타입의 알루미늄 브레이크 시스템이 상대적으로 BTV가 낮게 분석되었다.

쉬미&쉐이크 진동특성 해석은 Fig. 3(c)와 같이 차량 초기속도 120km/hr, 도로노면 2D 평면모델을 사용하여 운전자의 조향입력을 배제하고 12sec 동안 정속주행 해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 설계변수 영향도 분석은 타이어/디스크 불평형 질량(unbalance mass), 디스크 런아웃, DTV를 설정하였으며, 해석 결과는 조향 휠 및 너클 등의 주요 부품에 대한 진동 주파수 및 레벨을 비교하였다.

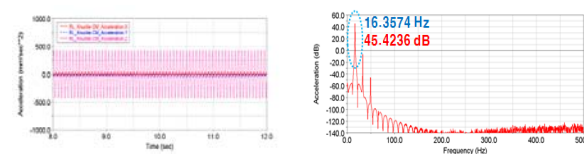
쉬미&쉐이크 진동현상 발생 주파수는 타이어의 1차 회전주파수 성분과 밀접한 관계가 있으며, 120km/hr 정속주행에서는 약 16.36Hz으로 분석할 수 있었다. 진동레벨은 타이어/디스크의 불평형 질량에 가장 민감하며, 알루미늄 브레이크 시스템이 스틸 브레이크 시스템에 비하여 진동레벨이 전반적으로 낮게 분석되었다.



(a) mode analysis



(b) judder analysis



(b) shimmy & shake analysis

Fig. 3 Analysis results of vibration characteristics

### 4. 결 론

본 연구에서는 다물체 차량동역학 모델을 이용하여 대상 차량의 저더, 쉬미&쉐이크 진동특성을 분석하였다. 또한 양산형 스틸 브레이크 시스템과 개발형 알루미늄 브레이크 시스템에 따른 차량 샤시 및 주요 부품에서의 저더, 쉬미&쉐이크 진동특성을 비교하였다.

저더 및 쉬미&쉐이크 진동특성 해석결과, 알루미늄 브레이크 시스템은 피스톤의 면적이 증가하였음에도 브레이크 설계변수에 따른 저더 BTV 및 쉬미&쉐이크 진동레벨은 감소함을 알 수 있었다. 이는 알루미늄 디스크의 재질/관성과 2-피스톤 타입의 일체형 캘리퍼의 영향으로 분석된다.

### 후 기

본 논문은 한국부품소재산업진흥원에서 주관하는 부품소재기술개발사업(탄소 복합소재 적용 다관 클러치식 차동제한장치 클러치팩 개발)의 성과물로서 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

(1) Fieldhouse, J. D., Ashraf N., and Talbot, C., 2008, "The Measurement and Analysis of the Disc/Pad Interface Dynamic Centre of Pressure and Its Influence on Brake Noise", *SAE International*, Paper No.2008-01-0826.