

< 응용 논문 >

차량 핸들링 성능 향상을 위한 파워트레인 마운팅 특성 연구

이진희\*

현대자동차 주행성능기반기술팀

Research of the Powertrain Mounting Characteristics for Improving Vehicle Handling Performance

Jinhee Lee\*

Driving Performance Base Technology Team, Hyundai Motor Company, 150 Hyundaiyeonguso-ro, Namyang-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi 18280, Korea

(Received 21 March 2022 / Revised 26 April 2022 / Accepted 27 April 2022)

**Abstract** : In this paper, the lateral characteristic of the powertrain mounting system is proposed to improve the vehicle handling performance of a high-performance vehicle through CAE. In order to understand the relationship between the component characteristics and the vehicle handling performance, the analytical target cascading method is employed. The entire system is classified into three levels, namely, the vehicle level(R&H quantity index: gain, response time, etc.), the system level(lateral displacement and total stiffness of the powertrain) and the component level(stiffness of each mounting). In the upper level, the relationship between powertrain displacement, which occurs in the turning situation, and vehicle handling performance is investigated. Also, in the lower level, the effect of total stiffness in each direction on the motion of the powertrain is analyzed. Based on the results of this paper, the relationship between the powertrain system and the vehicle handling performance can be defined more clearly.

**Key words** : Vehicle dynamics(차량동역학), Handling performance(핸들링 성능), Powertrain mounting(파워트레인 마운팅), Analytical target cascading(분석적 목표 전개 방법), CAE(컴퓨터 이용 공학)

1. 서론

엔진, 트랜스미션 등이 포함된 파워트레인 시스템은 차량 내부에 존재하는 주요 가진원이자 큰 질량을 가진 요소로 차량의 NVH, R&H 특성에 중요한 영향을 미친다. 파워트레인 시스템은 고무 혹은 유체로 이루어진 마운트에 의해 지지되며 이러한 마운트는 단순히 파워트레인 시스템의 정적 하중을 지지하는 것부터 거동을 제어하고 소음/진동을 절연하는 주요 역할도 담당한다. 따라서 파워트레인 마운팅 시스템의 최적 특성 설정은 차량 개발 단계에서 매우 중요하다.<sup>1,2)</sup>

파워 트레인 마운팅 방식은 차량의 구동 방식 및 목표로 하는 성능에 따라 3점/4점 지지, 관성/복합 지지 등 다양한 형태로 분류할 수 있으며 각 마운트의 정적/동적 특성(비선형, 주파수 가변 등), 스톱퍼 갭 특성, 설치 위

치, 장착 각도 등에 따라 모드 특성, 절연 특성 등의 시스템 특성이 결정되게 된다. 소음/진동 측면에서 파워트레인은 차량 내부에 위치하는 주요 가진원인 만큼 시동 및 공회전 진동, 엔진 Shake, Tip-in/out shock 등의 승차감, NVH 성능과 밀접하게 연관되어 있으며, 이들 성능에 대한 중요도는 개발 단계에서 우선시 된다. 실제로 이러한 소음/진동 관련 성능에 대하여 운전자가 느끼는 승차감 수준 변화는 매우 직접적이다. 과거부터 수행된 관련 연구들 또한 엔진 마운트 시스템의 진동 특성 연구나 이에 대한 최적 설계 방법에 관한 연구가 주를 이룬다.<sup>3-6)</sup> 그에 비하여 파워트레인 시스템의 횡 방향 모드 및 대변위 거동 제어는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 타 특성에 비하여 중요도가 낮은 편이다.<sup>7)</sup> 하지만 한계 영역에서의 핸들링 성능 및 조타 입력에 대한 민첩한 선회 반응성 확보

\*Corresponding author, E-mail: jinhee.lee@hyundai.com

<sup>†</sup>This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

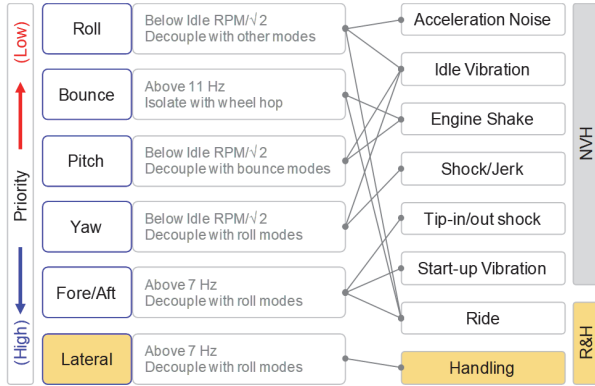


Fig. 1 Relationship between powertrain mode and vehicle performance and development guide for FF type vehicle

를 필요로 하는 고성능차량의 경우 기본적인 소음/진동 관련 특성뿐만 아니라 핸들링 성능 관련 특성에 대한 최적 개발도 동시에 요구된다. 차량의 핸들링 성능은 기본적으로 파워트레인 시스템의 횡 방향 거동과 밀접하게 연관되어 있다. 이에 대하여 과거부터 파워트레인 시스템 발생 횡 방향 변위 수준 평가와 계측 평가, 주관 평가 등을 통해 횡 강성을 증가시키는 방향에 대한 검토가 진행되었지만, ‘횡 강성을 강하게 혹은 횡 변위가 적게’ 등의 단순한 요구사항 외에 그 이유와 기본 원리에 대한 이해 및 분석 사례는 부족한 편이다. 또한 일부 계측 평가 사례들에서는 설계 변화 방향에 대한 차량 거동 변화 경향이 상반된 경우도 존재하여 보다 근본적인 원리에 대한 파악이 필요하다. 본 연구에서는 CAE를 활용하여 핸들링 성능을 중요시 하는 고성능차 파워트레인 마운팅 시스템의 횡 방향 특성에 대한 개발 방향을 제안하고 원리 분석을 통해 이를 뒷받침 하고자 한다. 파워트레인 마운트 단품 특성과 차량 특성의 상관성을 제시하기 위해 분석적 목표 전개 방법(Alytical target cascading method)을 적용하였다.<sup>8)</sup> 이를 위하여 전체 시스템을 차량 레벨, 파워트레인 시스템 레벨, 각 마운트 단품 레벨로 분류하고 각 단계에 대한 상관관계를 별도 도출하여 전체 시스템에 대한 관계를 도출하였다. 차량-파워트레인 시스템과 연관된 상위 레벨에서는 선회 거동 중 발생하는 파워트레인의 최대 횡 변위 범위와 추종성, 반응성, 계인, 지연시간 등과 같은 전차량 핸들링 거동을 대표하는 정량 지수와의 관계를 도출하였고, 시스템-단품간의 하위 레벨에서는 마운트의 각 방향(x, y, z) 강성과 파워트레인 시스템 각 방향 변위 발생 관계 및 엔진, TM 마운트, 롤 로드 부싱의 횡 변위 발생 정도에 대한 민감도를 분석하였다. 본 연구에서 활용한 해석 모델은

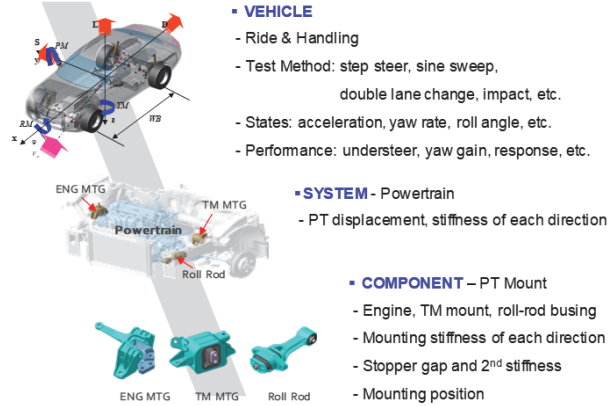


Fig. 2 Analytical target cascading for powertrain system (vehicle - powertrain - mounting)

ADAMS/Car 환경에서 개발된 C-Segment FF(Front engine-front wheel drive)타입 고성능차 다물체 동역학 모델이며, 해석 시 활용한 평가 샘플로는 Base 마운팅 특성 대비 강성과 스톱퍼 갭을 다양하게 변경한 특성을 생성하고 적용하였다.

## 2. 성능 상관성 분석 방법 및 차량 모델링

### 2.1 PT 마운트-차량 성능 상관성 검토 방법

차량 개발 단계에서 파워트레인 마운팅 성능 개선을 위한 일반적인 방법으로 강성, 댐핑 등의 마운팅 특성과 차량 성능을 직접적으로 연관 짓게 된다. 예를 들어 승차감 성능 중 하나인 임팩트 바 통과 특성을 개선하기 위하여 PT 변위 제어가 요구되고 마운트의 강성을 증가시켜야 하는 것으로 알려져 있다. 하지만 FF타입의 차량인 경우 파워트레인을 지지하는 엔진, TM, 롤 로드 마운트는 비대칭 구조로 공간상에 장착되기 때문에 차량 좌표계 기준으로 각 방향 거동이 연성되어 있으며, 한 지점, 한 방향의 특성 변화가 차량 성능에 미치는 영향을 직관적으로 판단하는 것은 어렵다. 즉, 엔진 마운트의 횡 강성 증가가 선회 시 PT의 움직임에 어떠한 영향을 미치고, PT의 움직임 차이가 차량 성능에 어떠한 영향을 미치는지 정확하게 판단하기는 어렵다. 본 논문에서는 이러한 관계를 파악하기 위하여 Fig. 2와 같이 분석적 목표 전개 방법을 적용하여 단품 특성, 시스템 특성, 차량 성능 간의 상관성을 분석하고자 한다.

먼저 차량 레벨에서는 계인, 반응시간, 추종성 등 일반적으로 정의할 수 있는 핸들링 특성을 고려했으며, 시스템 레벨에서는 특정 선회 조건에서 발생하는 PT의 최대 횡 변위를 고려하였다. 즉, 차량-시스템간의 상관성을 파악하기 위하여 PT의 각 방향 총 강성을 변화시키고 특정

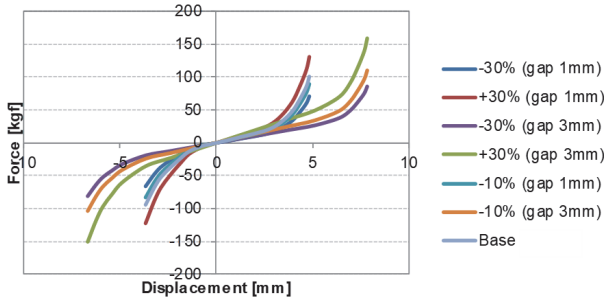


Fig. 3 Characteristics of engine mounting (lateral direction)

주행 조건에서 발생하는 총 변위량과 차량 성능 지표 변화를 통해 상호간에 관계를 도출하였다. 다음으로 시스템-단품 레벨에서는 PT의 각 방향 강성과 변위의 관계를 도출하였으며, 더불어 엔진, TM, 풀 로드 각 마운트의 각 방향 강성 변화가 특정 선회 조건에서 PT의 최대 횡 변위량에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통하여 PT의 지지 강성 및 발생 변위량이 차량의 성능에 미치는 영향을 종합적으로 검토하고자 한다. 이와 같은 방법은 주파수 특성이 지배적인 NVH성능보다는 차량 및 PT가 저주파 대 변위 거동을 보이는 핸들링, 임팩트 바 통과 조건 등에서 적용하기에 적합하다.

2.2 차량 해석 모델 및 검증

본 논문에서 고려한 대상 차종은 당사에서 개발 중인 C-Segment 고성능 차량(High Performance Vehicle, HPV)이며, 추가적으로 핸들링 성능과 마운팅 강성, 스톱퍼 갭 크기 특성의 효과를 파악하기 위하여 동일 Segment 일반 차량(Normal vehicle)의 마운트 특성 및 고성능차기본 특성 대비 강성을 증감 시킨 특성(± 10, 20, 30, 40 %)과 횡 방향 스톱퍼 갭을 증가(기존 1 mm→ 3 mm)시킨 샘플을 추가하여 분석하였다. 기본 파워트레인 마운트 특성과 강성 및 스톱퍼 갭 크기를 추가적으로 변경 시킨 특성은 Fig. 3에서 확인할 수 있다. Fig. 3에 제시된 추가 특성은 고성능차에 적용된 비선형 정특성을 기반으로 강성의 비율과 및 스톱퍼 갭을 변경한 특성이며 일반차량의 특성은 고성능차 대비 강성은 10% 하향, 스톱퍼 갭은 3mm 증가한 특성이다. 해석 모델은 다물체 동역학 해석 SW인 ADAMS/Car 환경에서 개발하였다.<sup>9)</sup>

개발된 해석 모델의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 4와 같이 해석 결과와 계측 결과를 비교하였다. 시험 조건은 100 kph 이중차선변경 조건이며 대표적인 선회 거동은 횡 가속도와 요 레이트 그리고 엔진 마운트와 TM마운트의 횡 방향 변위를 비교하였다. Fig. 4에서 파란색 실선과 붉은색 실선은 각각 계측 결과와 해석 결과를 의미

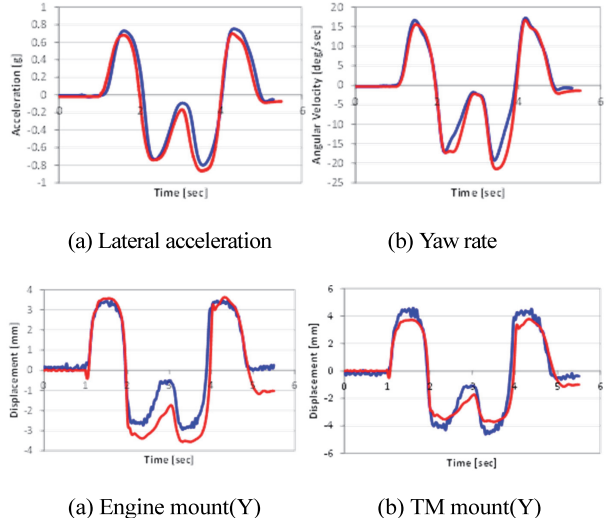


Fig. 4 Comparison of test(blue) and simulation(red) result

한다. 그림을 통해 알 수 있듯이 차량 레벨에서는 전체적으로 유사한 거동을 보이는 것을 확인할 수 있다. 엔진, TM 마운트 역시 시험, 해석 간에 거시적으로 유사한 거동을 보이나 최대 변위에서 일부 차이가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 오차에는 다양한 원인이 기인한 것으로 사료된다. 첫째로는 계측과 연관된 오차로 변위계가 PT의 병진 운동과 더불어 회전 거동으로 인하여 발생하는 변위량까지 포함하는 등 센서 장착 방법, 센서의 노이즈와 같은 측정 오차의 영향이다. 다음으로는 단품 특성과 연관된 오차로 측정된 각 마운트 단품 특성이 실제 차량에 장착된 단품 특성과는 다소 차이가 날 수 있기 때문이다. 특히 엔진 마운트, 부시와 같은 점탄성 물질로 이루어진 단품은 차량 모델에 적용된 비선형 정강성 특성 만으로는 동특성의 영향까지 대변할 수 없다. 본 연구에서는 거시적인 정합성이 확보된 모델을 이용하여 단품, 시스템 특성 변화에 대한 상대적인 차량 거동 변화를 분석하고 이들간에 상관관계를 제시하는 것이 목적이기 때문에 세부적인 오차는 감안하도록 한다.

3. PT 시스템-차량 성능 상관성 분석 결과

본 절에서는 분석적 목표 방법을 적용한 성능 분석 단계 중 PT시스템과 차량 성능간의 상관관계를 제시하고자 한다. 상관성 분석을 위하여 기본적인 선회 특성을 판단하기 위한 대표적 시험 모드인 이중차선 변경과 스텝 스티어를 수행하였으며, 각 마운트의 강성, 스톱퍼 갭이 어떻게 설정되었는지와는 관계없이 발생하는 PT의 총 횡 변위량과 차량 성능 정량 지수와의 관계를 분석하였다. 해석 샘플은 앞서 언급하였듯이 고성능 차량의 기본

특성에서 강성은 10 % 간격으로 40 %까지 증감하고 스토퍼 갭을 기존 1 mm에서 3 mm로 변경한 특성을 적용하였다. 추가적으로 각 마운트가 고정되어 횡 변위가 발생하지 않는 이상적인 ‘Solid’ 특성을 추가하여 경향성을 파악하였다.

### 3.1 이중차선변경

이중차선변경은 운전자의 판단에 의한 조향 입력이 개입되는 페루프 시험(Closed-loop test) 항목으로 일정한 경로를 주행하면서 차량의 반응성, 그립, 안정성 등을 평가하는 대표적인 시험 항목이다.<sup>10)</sup> 실제 평가 시에는 동일 코스에 대한 최대 통과 속도를 평가하는 방법 등으로 성능을 판단하나 해석 상에서는 운전자 모델의 신뢰성 등을 이유로 속도를 80 kph로 고정된 후 정상적인 코스 통과 시 발생하는 차량 거동을 비교하였다. 판단 정량 지수는 코스를 추종하기 위한 타이어 그립 변화를 의미하는 Peak to peak과 운전자 조타에 대한 차량 반응 발생 정도를 의미하는 시간 지연을 비교하였다. Fig. 5는 각 PT마운트 사양 변화(횡 강성, 갭)에 대한 이중차선변경 조건에서의 차량의 횡가속도 변화를 보여준다. 단품 특성 변화로 인한 거시적인 차량 레벨의 상태량 변화는 매우 미소해보이지만 명확한 성능차이와 경향성이 존재하며 이는 차량 성능 향상을 위하여 유효하다. 이는 보다 명확하게 파악하기 위하여 Fig. 6과 같이 각 상태량에 대한 Peak to peak, 시간지연 두 정량 지수에 대한 경향성을 도시하였다. 각 그래프에서 가로축은 이중차선변경 시 발생하는 PT 무게중심의 최대 횡 방향 변위를 의미하며, 세로축은 해당 정량 지수의 슬리드 마운팅(PT가 자체에 완전히 고정) 특성 대비 변화 비율을 의미한다. Fig. 6(a)에서 횡 가속도, 요 레이트, 사이드 슬립, 롤 각, 롤 레이트의 Peak to peak는 결과적으로 PT의 발생 횡 변위가 증가할수록 커지며 이는 PT가 횡 방향으로 많이 이동할수록 차량의 코스 추종성이 불리해짐을 의미한다. 각 그래프에서 파란색 영역과 푸른색 영역은 각각 스토퍼 갭이 1 mm, 3 mm인 상황에서 강성이 변화된 특성을 의미한다. 예상할 수 있듯이 스토퍼 갭이 적을수록 발생하는 횡 변위가 제어되고 추종성이 향상됨을 알 수 있다. 이와 유사한 방법으로 Fig. 6(b)는 운전자의 조타 입력에 대한 차량 반응의 시간 지연을 나타낸 그래프이며 발생 횡 변위가 클수록 횡 가속도, 요 레이트 등의 주요 상태량의 과도상태 지연 시간이 커짐을 알 수 있다. 또한 결과를 통해 강성 변화 대비 스토퍼 갭 크기의 영향도가 더 큼을 알 수 있으며, 일반 차량에 장착된 특성 대비 동일 세그먼트 고성능차량에 장착된 특성이 핸들링 성능 측면으로 보다 개선된 특성임을 확인할 수 있다.

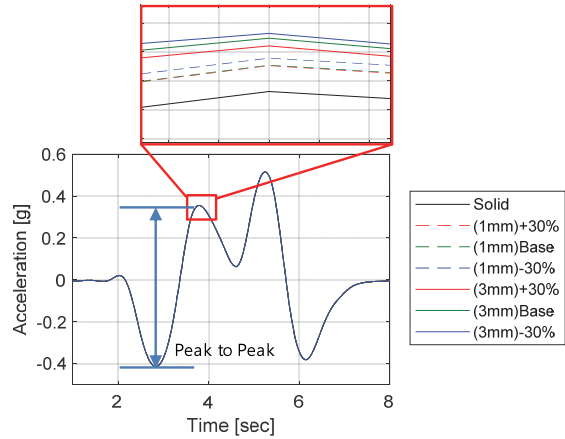
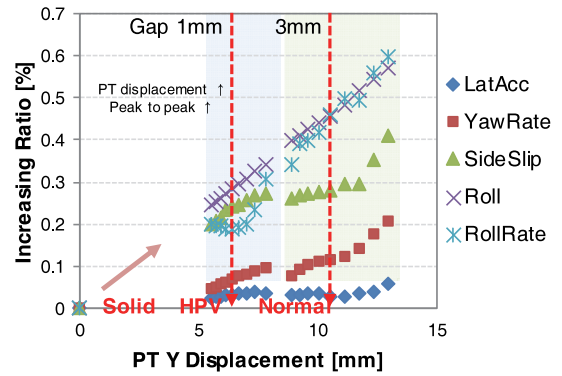
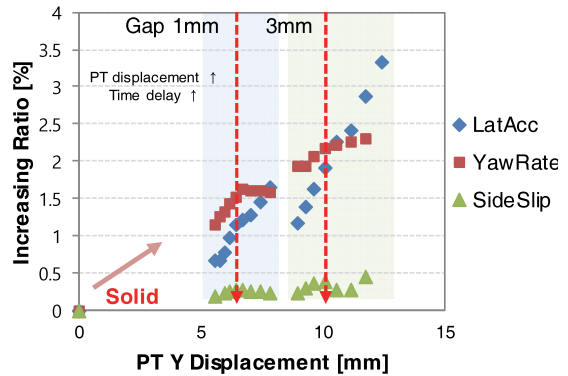


Fig. 5 Double lane change - lateral acceleration



(a) Peak to peak(1st)



(b) Time delay

Fig. 6 Relationship between powertrain lateral displacement and vehicle performance index (double lane change)

### 3.2 스텝 스티어(J-Turn)

J턴이라고도 불리는 스텝 스티어는 이중차선변경과 더불어 차량의 과도상태, 정상상태 선회 특성을 파악할

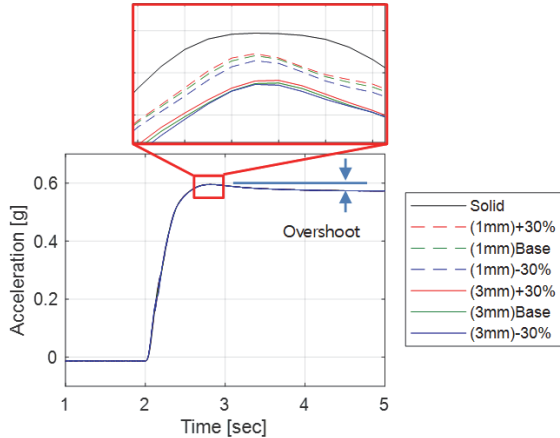
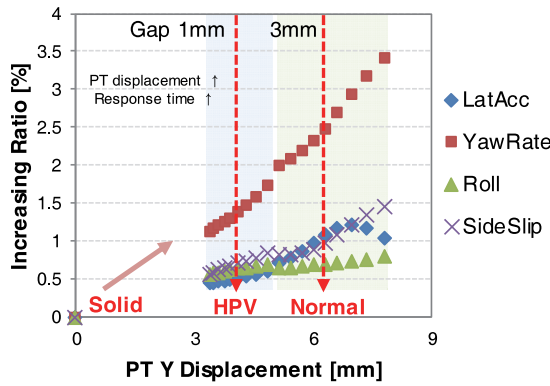
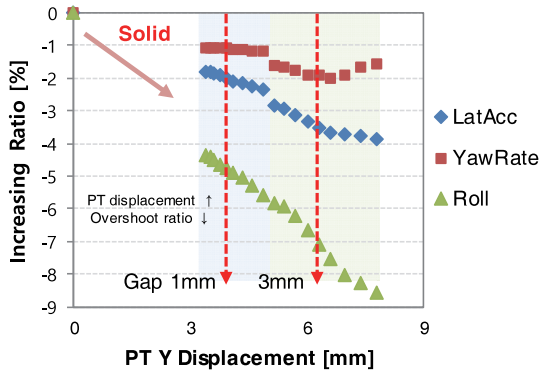


Fig. 7 Step steer - lateral acceleration



(a) Response time



(b) Overshot Ratio

Fig. 8 Relationship between powertrain lateral displacement and vehicle performance index (step steer)

수 있는 대표적인 시험모드이지만 이중차선변경과는 다르게 개루프 시험(Open-loop test) 항목이다.<sup>11)</sup> 시험 조건으로는 차속 100 kph, 정상상태 목표 횡 가속도 0.6 g를

적용하였으며 본 시험모드에서도 위와 동일하게 PT 마운팅 강성과 갭을 증감하며 시뮬레이션을 통한 가상 평가를 Fig. 7과 같이 수행하였다. 결과에 대하여 횡 가속도, 요레이트 등의 대표 선회 거동 지표에 대하여 반응 시간, 오버슈트 비율과 같은 정량 지수를 Fig. 8과 같이 비교하였다. 여기서 반응 시간은 조타 입력이 정상상태의 50%에 도달했을 때의 시간부터 각 상태량의 정상상태의 90%에 도달했을 때까지의 시간을 의미하며, 오버슈트 비율은 오버슈트와 정상상태 값의 차이를 정상상태 값으로 나눈 비율을 의미한다. 그 중 Fig. 8(a)는 조타 입력에 대한 차량의 과도상태 반응시간에 대한 결과로 PT 횡 변위가 증가할수록 반응시간 역시 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Fig. 8(b)는 각 상태량에 대한 오버슈트 비율로 순간적인 조타 입력에 대한 차량 거동 변화폭을 나타내며, 차량 안정성과 연관되어 있다. 그림을 통해 알 수 있듯이 PT의 발생 횡 변위가 감소할수록 오버슈트가 증가하여 차량의 순간적인 조타 입력에 대한 거동 일체감이 향상하는 대신 안정성 측면으로는 다소 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 핸들링 성능을 우선 시하는 차량 개발 시 일반적으로 고려되는 상충관계이다. 추가적으로 단위 정상상태 조향각에 대한 각 상태량의 발생 크기를 의미하는 계인은 PT 횡 변위 감소 시 증가하며, 이 역시 핸들링 성능에 유리한 방향이다. 스텝스티어 분석 결과에서도 스톱퍼 갭 축소 효과가 강성 대비 큰 것을 확인할 수 있으며 일반차량에 장착된 특성대비 고성능차량에 장착된 사양이 핸들링 성능 측면으로 보다 유리한 특성임을 확인할 수 있다.

### 3.3 시험 모드 별 거동 특성 원리 분석

앞서 수행한 이중차선변경, 스텝스티어 해석 결과에 대하여 거동 변화에 대한 원리를 분석하기 위하여 Fig. 9와 같이 타이어에서 발생하는 수직력 변화에 의한 하중이동(Weight transfer), 발생 총 횡력의 합(Total lateral force) 및 전/후륜 타이어의 슬립각(Front/rear tire slip angle) 변화를 확인하였다. 먼저, Fig. 9(a)의 이중차선변경 조건에서의 결과를 보면 PT의 횡변위가 증가할수록 좌우 하중이동, 타이어 슬립각, 발생 횡력이 모두 증가하는 것을 볼 수 있다. 반면에 Fig. 9(b)의 스텝스티어 조건에서는 PT 횡 변위가 증가할수록 좌우 하중이동이 증가하나 타이어 슬립각 및 발생 횡력은 감소하는 것을 볼 수 있다. 지면과 차량간의 관계를 설명할 수 있는 타이어에서 발생하는 거동을 통해서 Fig. 10과 같이 발생 메커니즘을 분석하였다. 분석결과 PT의 횡 변위 감소 즉, 차량과 PT의 일체감 향상은 기존 사양 대비 선회 시 발생하는 차량의 좌우 하중 이동량을 감소시키고 이는 타이어에서 발

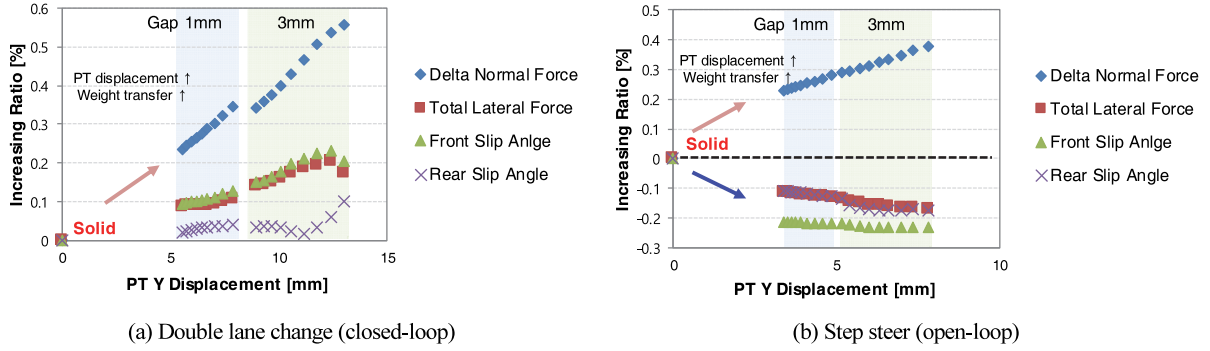


Fig. 9 Vehicle weight transfer, tire lateral force and slip angle change

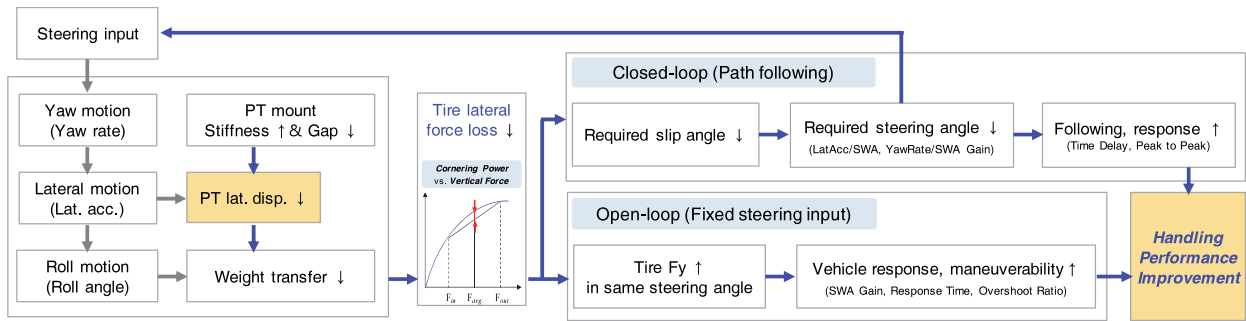


Fig. 10 Turning mechanism and relationship with PT lateral displacement in situation for both closed and open loop situation

생하는 횡력의 손실량을 감소시키게 된다.<sup>12)</sup> 이는 입력되는 조타량이 고정된 개루프 모드에서는 타이어에서 발생하는 총 횡력을 증가시켜 개인 및 반응성의 증가를 야기한다. 한편, 운전자의 조타 입력이 개입하는 페루프 모드에서는 횡력 손실량의 감소로 동일 코스를 추종하기 위하여 필요한 슬립각이 상대적으로 감소하게 되고 동일 코스 추종을 위하여 상대적으로 적은 조향각을 필요로 하게 된다. 이는 곧 차량의 추종성 및 반응성의 향상을 의미한다. 이를 통해 개루프와 페루프 운전 조건에서의 PT 횡 방향 변위 발생량에 따른 차량 선회 거동의 변화 원리를 정리하였다.

#### 4. 마운팅 특성-PT 시스템 상관성 분석 결과

앞 절에서는 횡 강성, 횡 변위에 국한되어 PT 시스템과 차량 핸들링 성능간의 상관관계를 분석하였다면 본 절에서는 보다 세부적으로 접근하여 각 마운트의 각 방향(X, Y, Z) 강성과 PT의 각 방향 거동이 핸들링 성능에 미치는 영향 및 상관관계를 제시하고자 한다. 이는 각각 시스템 계층구조 상에서 상위 레벨과 하위 레벨의 관계에 해당한다. 더불어 PT를 지지하는 엔진, TM 마운트, 롤로드의 각 방향 특성에 대한 민감도 분석을 통하여 차

량 핸들링 성능에 보다 민감한 마운트 및 방향에 대하여 고찰하고자 한다.

#### 4.1 마운팅 강성과 변위 발생 상관성 검토

PT는 차량 내부의 한정된 공간상에 위치하며 다양한 부품들이 포함되어 있는 매우 복잡한 시스템으로 다양한 종류의 방식으로 지지되고 있다. 특히 본 논문의 분석 대상인 FF타입 고성능차량의 경우 Fig. 11과 같이 3점 관성지지 방식이 적용되어 엔진과 TM이 횡 방향으로 연결되어 있어 비대칭을 이루고 있으며 PT의 거동이 차량 좌

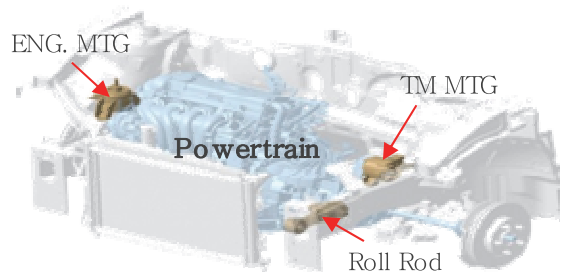


Fig. 11 Layout of FF type powertrain system (3 points support)

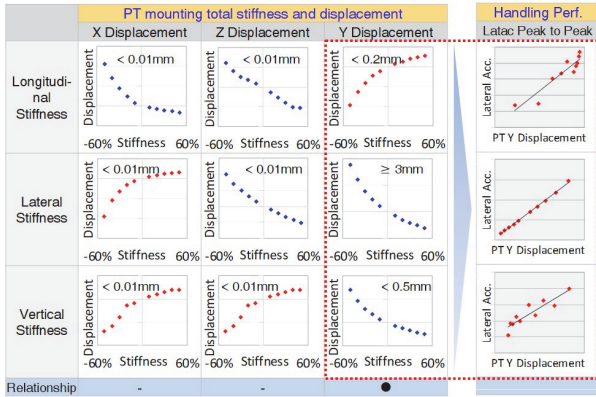


Fig. 12 Relationship between PT total stiffness and displacement

표계 기준으로 연성되어 있다. 따라서 PT를 지지하는 마운트의 특정 방향 강성 변화가 해당 방향의 거동을 절대적으로 제어한다고 할 수 없으며 관계에 대한 분석이 필요하다. 본 절에서는 비대칭적으로 3점에서 지지되는 각 마운트의 특성이 결정짓는 PT의 종, 횡, 수직 방향에 대한 총 강성 변화가 각 방향 변위에 어떠한 영향을 미치는지 즉, PT 시스템 총 강성과 변위의 상관관계를 제시하고자 한다. 엔진, TM, 롤 로드 마운트 각 단품의 강성 변화 대신 PT의 총 강성 변화를 주요 대상으로 분석하는 이유는 단품들의 각 방향 강성 변화에 대한 차량 성능 영향을 제시하는 것보다 직관적이며, 보다 명확하게 시스템 특성 목표를 이해할 수 있기 때문이다. Fig. 12는 이중차선변경 조건에서 PT의 각 방향 강성을 변화시켰을 때 발생하는 PT의 각 방향 변위 변화 경향을 보여준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 PT 각 방향 강성과 발생 변위의 상관관계가 존재하며, 횡 강성과 수직 강성은 증가할수록 PT의 횡 변위가 감소하지만 전후 강성의 경우 감소할수록 횡 변위가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 전후 강성에 대한 효과는 전후, 횡 방향 거동간 연성으로 인한 결과로 볼 수 있다. 각 방향 강성 변화에 대하여 종 변위와 수직 변위의 상관관계도 존재하지만 해석 결과 상으로 발생 변위량이 0.01 mm 이하이기 때문에 영향도가 매우 낮을 것으로 판단하였다. 또한 그림에서 강성 변화의 방향과 관계없이 결과적으로 횡 변위를 감소시킬 때 이중차선변경 시 발생하는 횡 가속도의 Peak to peak가 개선되는 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 핸들링 성능을 향상시키기 위해서는 PT의 횡 방향 대변위 거동을 축소시키는 방향으로 개발하는 것이 유리하다고 판단할 수 있다.

4.2 민감도 분석

본 절에서는 핸들링 성능과 상관성이 큰 횡 변위 발생

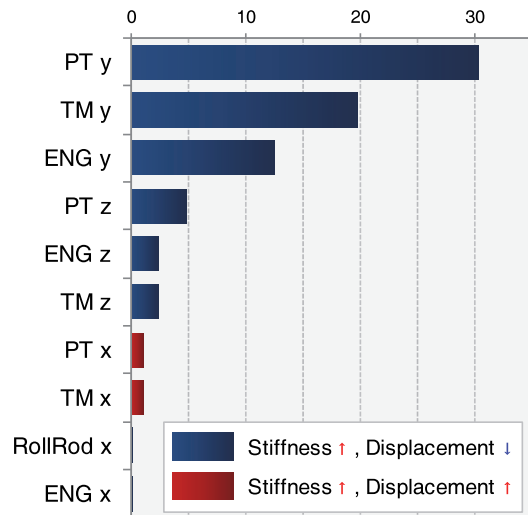


Fig. 13 Relationship between mounting stiffness and PT lateral displacement

조건에 대하여 엔진, TM, 롤 로드 마운트의 각 방향 강성이 미치는 영향에 대한 민감도를 분석하였다. 민감도는 각 방향 강성을 동일 비율로 증감하며 PT의 최대 횡 변위를 파악하여 Fig. 13과 같이 산출하였다. 그림에서 PT라고 표기한 것은 엔진, TM, 롤 로드 마운트 강성을 동시에 변화시켰을 때의 민감도를 의미한다. 그림을 통해 알 수 있듯이 전체적으로 횡 방향, 수직 방향, 전후 방향 강성 순으로 횡 변위 발생에 민감하며 엔진 마운트 보다는 TM 마운트가 더 민감한 것을 확인할 수 있다. TM 마운트의 민감도가 더 큰 이유는 단품의 강성이 크기 때문에 동일 비율을 증감했을 시의 변화량이 더 큰 이유도 있겠지만, PT의 무게중심과 TM마운트의 상하 방향 위치가 엔진 마운트 대비 근접하여 보다 직접적으로 횡력을 지지하는 것에 있을 수 있다. 이와 같은 상관관계 분석을 통해 핸들링 성능의 추가 향상을 위하여 엔진 및 TM 마운트의 강성 증가를 통해 횡 변위 발생량을 줄여야 하며, 마운트의 경도가 이미 제작 가능한 최고 수준인 경우 구조 개선을 통해 횡 변위를 최대한 축소하는 방향으로 개발되어야 할 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 핸들링 성능을 중요시 하는 고성능차량을 대상으로 다물체 동역학 해석 기술을 이용하여 PT의 마운팅 특성과 핸들링 성능의 상관관계를 분석하고 아래와 같은 결론을 통해 개발 방향을 제안하였다.

- 1) 실차 마운팅 특성이 반영된 차량 해석 모델을 개발하고 시험 결과와의 비교를 통해 모델을 검증하였다.

- 2) 상관관계 분석을 위하여 분석적 목표 전개 기법을 적용하였으며, 전체 성능을 차량 핸들링 성능 - PT 시스템 발생 횡 변위 - 시스템 총 강성(단품 특성)으로 분류하고 PT의 총 횡 강성 및 스톱퍼 잭을 증감하며 각 단계에서의 관계를 파악하였다.
- 3) 이중차선변경(폐루프), 스텝스티어(개루프) 조건에서 PT의 횡 변위량이 감소할수록 Peak to peak, 지연 시간, 반응 시간이 감소하고 반응 계인이 증가하는 등 핸들링 성능에 유리한 경향을 확인하였다. 이에 대하여 좌우 하중이동량 변화 및 타이어 발생 횡력, 슬립 각과 연관지어 기본 원리 분석을 수행하였다.
- 4) PT의 각 방향 총 강성과 변위와의 관계 분석을 통해 횡 강성 및 수직 강성은 증가할수록, 전후 강성은 감소할수록 PT 횡 변위가 감소하는 경향을 확인하였으며, 종 변위와 수직 변위 역시 상관관계는 존재하지만 그 영향도가 매우 미비한 것을 확인하였다.
- 5) 횡 변위 발생 조건에 대하여 각 마운트의 각 방향 특성에 대한 민감도를 파악한 결과 TM의 횡 방향 강성이 엔진 마운트의 횡 방향과 함께 가장 민감한 인자인 것을 확인하였다.

핸들링 성능의 추가 향상을 위한 PT 마운팅 시스템의 요구사항을 충족하기 위하여 실제로는 브라켓의 구조, 스톱퍼 형상, 장착 위치 등의 설계적인 고려가 필요하다. 차후에는 이와 같은 방법론을 적용하여 임팩트 특성, 톱인/아웃 성능과 같은 PT 대변위 거동과 연관된 타 방향 차량 거동에 대한 상관관계 분석을 통해 시스템 특성 목표를 제시 할 예정이다.

### References

- 1) F. F. Timpner, "Design Considerations in Engine Mounting," SAE 650093, 1965.
- 2) Y. Yu, N. G. Naganathan and R. V. Dukkipati, "A Literature Review of Automotive Vehicle Engine Mounting Systems," Mechanism and Machine Theory, Vol.36, No.1, pp.123-142, 2001.
- 3) W. G. Hwang, "A Study on an Optimal Design of Engine Mount System," Transactions of KSAE, Vol.6, No.1, pp.16-26, 1998.
- 4) N. G. Park, "An Investigation of the Mount Design of Engine Power System in Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.4, No.1, pp.36-54, 1996.
- 5) J. Y. Kuk and J. H. Lim, "A Study on Vibration Characteristics of Engine Mount System of a Medium Duty Truck at the Key On/Off," Transactions of KSAE, Vol.16, No.4, pp.97-102, 2008.
- 6) J. S. Kim, "Engine Mounting System Optimization for Improve NVH," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.14, No.10, pp.4665-4671, 2013.
- 7) H. W. Yoon, J. H. Bang and J. H. Park, "Development of Engine Mount System for Low Frequency Vibration Improvement," SAE 2008-01-0885, 2008.
- 8) H. S. Cho, B. R. Lee, S. H. Jang, Y. D. Park, M. J. Kim and S. W. Hwang, "Suspension Design to Achieve Vehicle Handling Performance Targets by Target Cascading Methodology," Transactions of KSAE, Vol.29, No.9, pp.879-888, 2021.
- 9) ADAMS/Car User's Reference Manual, MSC Software, 2015.
- 10) ISO 3881-1, Passenger Cars – Test Track for a Severe Lane-change Manoeuvre – Part 1: Double Lane-Change, The International Organization for Standardization, 1999.
- 11) ISO 7401, Road Vehicles – Lateral Transient Response Test Methods – Open-loop Test Methods, The International Organization for Standardization, 2011.
- 12) T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE International, 1992.