

# 토우 궤적 변화에 의한 미니 버스 차량의 방향 안정성 연구

## A Study on the Effect of the Toe Geometry on the Directional Stability of Mini-bus Vehicle

이 회 범\*, 안 찬 우\*\*  
H. B. Lee, C. W. Ahn

### ABSTRACT

In this paper, We discuss the directional stability of a Mini-bus with varying suspension design parameters. We analyzed the vehicle behavior during the cornering in a transient steering condition. We made a vehicle model by use of DADS, which is dynamic analysis software, in order to carry out many cases of simulation with varying design parameters. The effect of toe-geometry change to vehicle stability is evaluated by computer simulation and the actual test. In order to reduce the under steer characteristics of a mini-bus, the amount of toe geometry change should be less than current value.

주요기술용어 : Directional Stability(방향 안정성), Transient Steering Condition(과도 조향 조건)  
Toe Geometry(토우 궤적), Cornering Force(코너링 포오스), Wheel Steer Angle  
(차륜 조향각)

### 1. 서 론

승객 및 운전자에게 직접적으로 영향을 미치는 여러 가지 요소들 가운데 승차감 및 조종안정성은 자동차를 선택하는 기준 중에서 매우 중요한 것으로서 차량의 개발 초기 단계부터 상품성 입장에서 충분히 검토되어지고 있다. 이들 승차감 및 조종안정성은 전후 현가장치의 스프링, 속업

쇼버, 타이어, 스테빌라이저 바 및 궤적 등 복합적인 설계요소로 이루어져 있으며, 이를 최적화하기 위한 설계 특성 치를 결정하기가 매우 어려워 지금까지는 주로 실차 시험의 튜닝(Tuning)에 의존해 왔다.

차량이 곡선 주행시에 조향에 대한 운동 특성은 차량의 기본 제원에 의해 어느 정도 결정이 되지만, 차체의 로울링에 의한 조향 특성, 캠버 및 토우 각 변화와 같은 현가계의 궤적 변화에 따라 차량 거동이 달리 나타나게 된다.

본 연구에서는 선회시 과도한 언더스티어 특

\* 정희원, 현대자동차 상용제품개발연구소

\*\* 정희원, 동아대학교 기계공학과

성을 갖는 미니버스 차량을 대상으로 요우 안정성 향상을 위해 휠 얼라인먼트의 토우 궤적을 변경시켜 시뮬레이션을 수행 하였다. 실차 시험을 통해 해석 모델의 타당성을 확인하고, 현가 장치와 조향 장치의 상관관계를 고려한 차량의 방향 안정성 향상 측면에서의 토우 궤적 변화를 설정하는 방안을 제시하였다.

## 2. 모델 구성

### 2.1 실차 모델

차량의 조향 특성을 검토하기 위하여 Fig.1 과 같이 차량의 조종성 모델이 구성되는데, 선회 시 먼저 전륜의 조향에 따른 조향 특성 변화 및 이로 인한 차륜 하중 이동에 의한 조향 특성 변화가 발생하고, 차량의 전·후 균형을 위해 추가적인 조향특성 변화가 뒤따르게 된다. 선회시 전 후륜이 옆방향으로 미끄러지는 미끄럼각( $\beta$ )에 의한 횡방향의 저항력 차이로 언더스티어, 오우버스티어 등의 선회 현상이 나타난다. 차량의 진행 방향을 결정하는 전륜의 조향각은 좌,우 각각  $\delta_{fl}$ 과  $\delta_{fr}$ 으로 나타내며, 이것은 현가계의 링크 구조 및 차륜 궤적에 의해 결정된다.<sup>1)</sup>

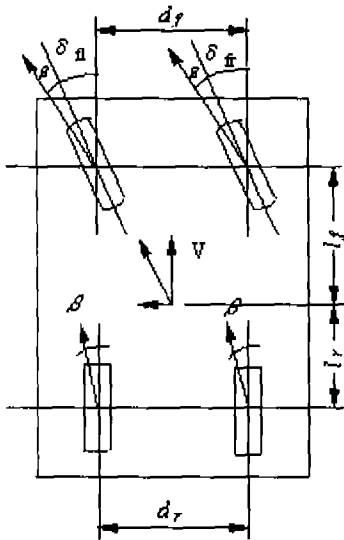


Fig.1 Handling model of vehicle

### 2.2 시뮬레이션 모델

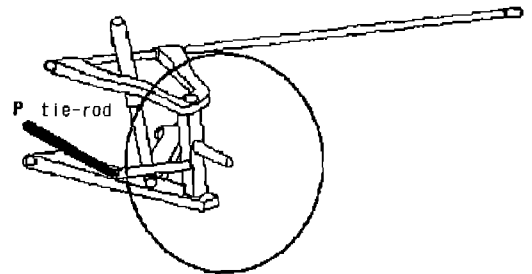
본 연구에서는 독립 현가의 미니 버스 차량을 선정 하였다. 시뮬레이션을 위하여 범용 동역학 소프트웨어인 DADS를 이용하여 해석적 차량 모델을 Fig.2와 같이 구성하였다.

차량 모델은 83개의 강체와 각각의 강체를 서로 연결해 주는 25개의 부싱과, 각종 연결부 및 병진 스프링(TSDA)으로 구성되어 있으며, 총 83 자유도를 가지는 전체 모델로 구성되어 있다. 현가계의 수직 강성 및 롤 강성은 설계도면의 스프링 강성치를 고려한 계산치를 참고하여 시뮬레이션에 적용하였으며, 전륜 궤적 및 차축 궤적(axle geometry)은 실측 치로 검증하였다.

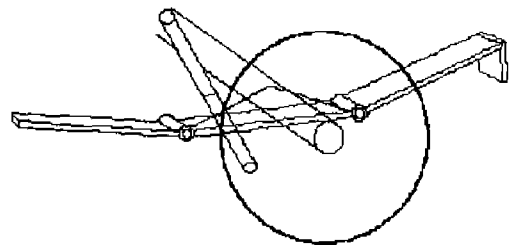
타이어는 DADS의 타이어 모델을 이용하고, 타이어의 특성치인 상방향 스프링상수 및 코너링 포호스는 타이어 제작사의 실측치를 이용했다.

### 2.3 토우 궤적의 설정

독립 현가 차량의 선회 안정성을 위해 과도한



(a) Front suspension and steering



(b) Rear suspension

Fig.2 Simulation model

언더스티어를 줄이는 방안으로 타이 로드(tie rod)와 릴레이 로드(relay rod)의 연결 점(P)을 상하로 이동함으로써, 상하 운동시 전륜의 토우 궤적을 변경시킬 수가 있다. 타이 로드의 기구학적 위치(hard point)의 변경은 Fig.3과 같이 초기치 대비 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>와 같이 상하 방향으로 ±10mm를 이동시켰다.

Fig.3과 같이 P좌표의 변경에 따른 토우 궤적 변화를 검토하기 위해, 전륜의 현가계 구성요소의 좌표값을 이용하여 기구학적인 궤적을 구하면 Fig.4와 같다.

P좌표 변경에 따른 캠버, 캐스터 등과 같은 전륜 조향각 변수의 동반 변화는 배제하였다.

초기치(current)에서 P점을 10mm 하향 이동할 경우, 선회 외측은 차륜의 압축(tire bumping)

P<sub>1</sub> : Up(+5mm, +10mm)  
 P : Current  
 P<sub>2</sub> : Down(-5mm, -10mm)

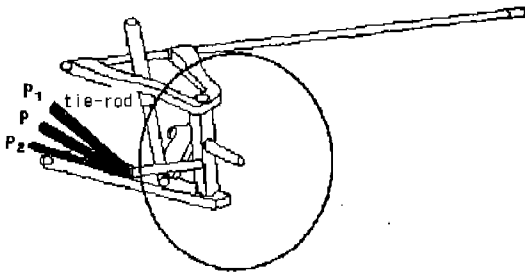


Fig.3 Change coordinate of tie-rod(inner)

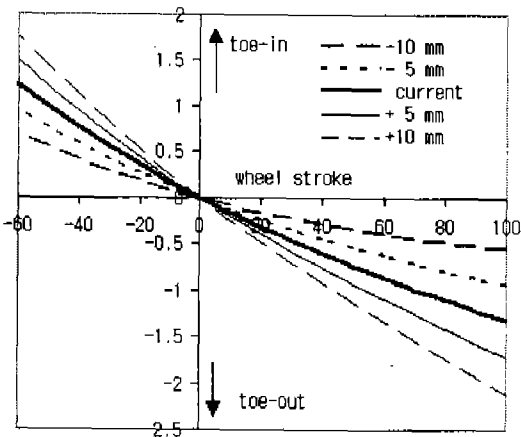


Fig.4 Variation of toe geometry

으로 인하여 토우-인(toe-in)이 발생하여, 실제의 조향각은 증대한다. 내측 차륜은 리바운드(rebound)하여 토우-아웃(toe-out)로 외측과 동일하게 조향각이 증대하게 된다. P점을 10mm 상향 이동할 경우는 하향과 반대의 현상을 볼 수 있다. 토우 궤적 변화에 의한 횡방향 저항력의 증감으로 차량의 언더스티어량을 변화시킬 수 있다.

### 3. 과도 응답 특성 해석 및 고찰

#### 3.1 차륜 조향각의 변화량 분석

차량의 조향 특성을 분석하기 위해서는 정상상태 및 과도 상태에서의 차량 응답 시험이 주로 이루어지게 된다. 시뮬레이션과 실측을 비교 검증 하는데는 롤, 요우, 횡방향가속도(LATAC) 등과 같은 차량의 특성을 해석할 수 있다. 특히 전륜 조향각의 삼각파형(pulse) 입력에 의한 차량의 응답성을 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 전달 함수의 주파수 특성치와 같은 형태로 표시할 수 있다. 운전자의 주관적인 조종 안정성의 평가와 비교도 가능하다. 차량의 선회성을 시뮬레이션하기 위해, 차량 모델을 80kph로 주행하면서 조향 핸들을 120도(degree) 돌린 후 복원하였을 때 발생하는 차량의 응답 특성을 보면, Fig.5와 같이 선회 과정에서 조향각 변화를 볼 수 있다.

전륜에서의 좌우의 실제의 조향각은 Fig.3에서 검토된 차륜의 상하 운동에 대한 토우 변화에 상응하는 각 변화량을 볼 수 있다. 차량이 좌

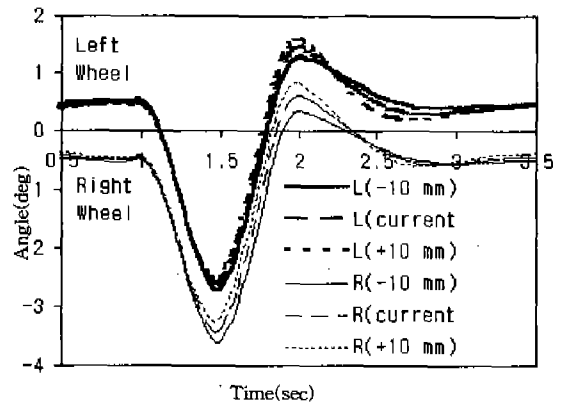


Fig.5 Variation of front wheel steer angle

측으로 선회시, 선회 외측 차륜의 조향각은 내측 대비 크게 나타났다. 또한 P점을 하향 이동하였을 때는, 초기치 대비하여 조향각이 작게 변화하는 것을 알 수 있다.

### 3.2 시간 영역 응답 특성 분석

차량의 응답성을 수치 형태로써 비교 평가할 수 있는 많은 제안이 있어왔다. 요우 가속도의 응답 시간과 응답의 감쇠성 등이 흔히 사용되고 있다.<sup>2)</sup> 또한 운전자의 평가와 계측치를 비교하는 데는 요우 가속도와 횡 가속도의 적용 방법이 많이 이용되고 있다. 상기의 시뮬레이션으로부터 시간 영역의 응답성을 분석하면 Fig.6과 같다. P점을 10mm 하향 이동할 경우 초기치 대비 응답 시간이 짧고 감쇠성이 향상 됨을 알 수 있다.

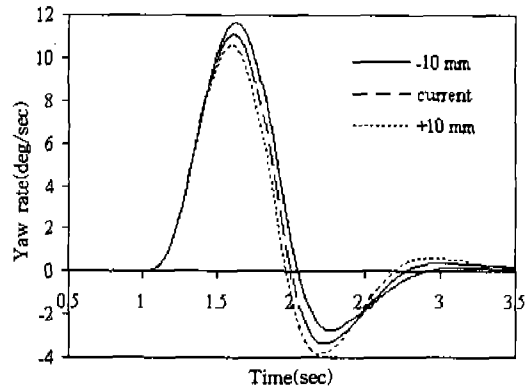
### 3.3 주파수 영역 응답 특성 분석

차량의 조종 성능의 객관적인 평가는 운전자 특성의 의존성을 탈피한 삼각파형 조향각 입력의 과도 응답 시험이 가장 보편적이며, 해석적인 방법도 많이 이용되고 있다. 조종성 평가는 룬버스(Rhombus)의 4가지 변수들로 이루어지는데, 이는 면적의 크기나 면적의 휨 정도에 따라 차량의 전반적인 성능을 파악하는데 적절하게 이용되고 있다.<sup>3,4)</sup> Fig.6의 시간 영역을 주파수 영역으로 변환하면 Fig.7과 같이 나타난다. 따라서 요우 응답성은 조종성의 전반적인 특성 파악을 가능하게 하며, 횡 가속도의 주파수 응답은 위상 지연으로 조향각 수정에 의한 궤도 수렴성을 판단 할 수 있게 한다.

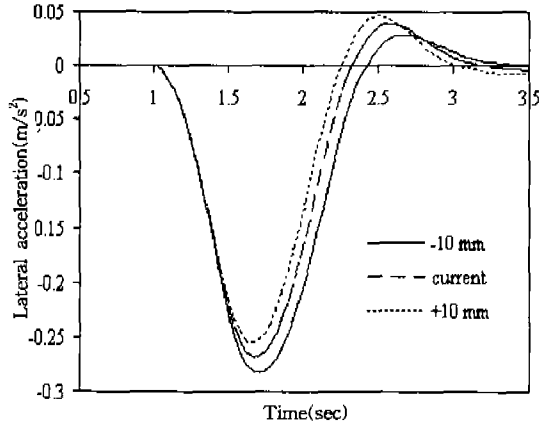
타이 로드의 P점을 하향 변경한 것은 초기치 및 10mm 상향 변경에 비해 요우 계인, 요우 감쇠성이 향상되어 선회 안정성이 유리한 방향으로 개선되어 과도한 언더스티어는 줄일 수 있을 것으로 예측되나, 횡 가속도의 위상 지연이 느려 조종성은 불리한 측면을 보인다.

## 4. 해석 및 시험결과 고찰

차량의 조향 응답 특성을 도식적으로 이해하기 위해 룬버스의 4변수로 표현하면, Fig.8과 같



(a) Yaw response



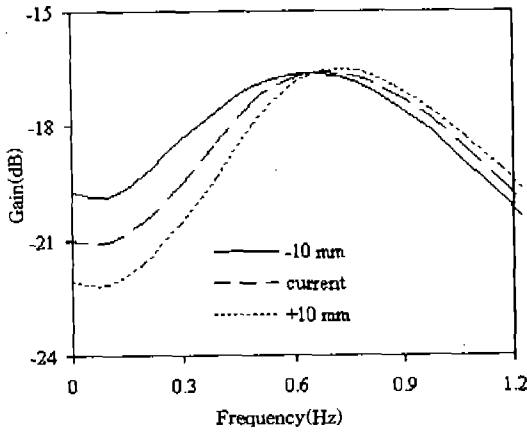
(b) Lateral acceleration response

Fig.6 Time response

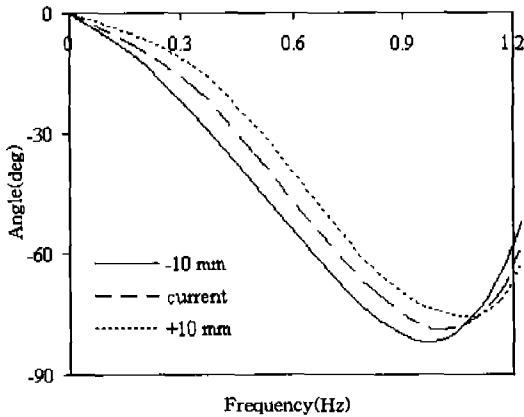
이 나타낼 수 있다. 시뮬레이션에서는 P점을 하향 변경 시 요우 계인과 감쇠성이 향상되어 룬버스의 사각형휨이 오버스티어 방향으로 변형되어 언더스티어가 줄어드는 경향을 보이는데 이것을 Fig.8(a)와 같이 나타내었다.

실차 시험에서는 스티어링 펄스 입력에 의한 과도 응답 시험을 수행했다. 차속 80kph의 직진 주행 중 1초이내에 조향휠을 120도 회전 후, 원 위치로 복귀하여 차량에 외란을 작용시켜, 롤링, 요잉, 횡방향 가속도의 위상지연 등의 차량의 운동특성을 Fig.8(b)와 같이 나타내었다.

실차 시험 결과 특성치의 정량적인 값에 있어 약간의 차이를 보이지만, 해석과 유사한 경향을



(a) Yaw response



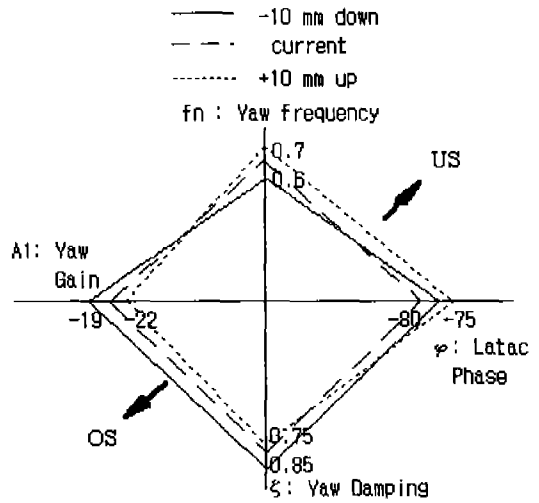
(b) Lateral acceleration response

Fig.7 Frequency response

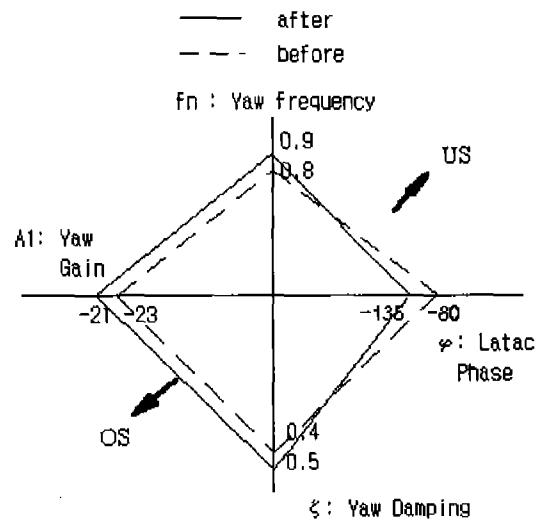
확인할 수 있었다. 약간의 차이를 보이는 것은 차체의 3방향 질량 관성 모멘트를 계산식을 적용하였고, 요우 감쇠는 차량 현가계의 마찰과 감쇠가 충분히 고려되지 않은 것에 원인이 있는 것으로 추정된다.

## 5. 결 론

언더스티어가 강한 미니 버스의 조종성을 개선하기 위한 방안으로 전륜의 조향각을 증감시키는 방법을 기구학 및 동력학적인 해석으로 현가계, 조향계의 기구학적 좌표를 몇 가지 변경하여 차량의 응답성을 시뮬레이션 하였다. 그 결



(a) Result of simulation



(b) Result of test

Fig.8 Compared simulation with test

과, 타이로드의 내측의 상하 좌표를 10mm 하향함으로서 언더스티어 특성이 줄어드는 것을 알 수 있었고, 실차 시험을 통하여 동일한 효과를 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 차량의 언더스티어/오버스티어 특성을 타이로드의 초기의 장착 위치

변경으로도 성능 변화를 확인할 수 있는 방법을 제시하였다.

### 참 고 문 헌

1. 安部正人, “車輛의 運動과 制御”, 共立出版.
2. T. Mimuro, “Four Parameter Evaluation

Method of Lateral Transient Response”, SAE paper, 901734.

3. 渡邊憲一, “自動車의 後輪 Steer 特性과 操舵 Feeling”, 日本自動車技術會, 831022.
4. G. J. Heydinger, “Pulse Testing Techniques Applied to Vehicle Handling Dynamics”, SAE paper, 930828.