

대형트럭 프레임의 결합방법에 따른 비틀림 특성이 동적 성능에 미치는 영향

The Effects of Torsional Characteristics according to Mounting Method of the Frame of a Large-sized Truck on Dynamic Performance

문 일 동* · 김 병 삼†

Il-Dong Moon and Byoung-Sam Kim

(2005년 3월 18일 접수 ; 2005년 5월 26일 심사완료)

Key Words : Double Lane Change(이중 차선 변경), Dynamic Performance(동적 성능), Flange Mounting Frame(플랜지 결합 프레임), Large-sized Truck(대형트럭), Static Torsional Stiffness(정적 비틀림 강성), Web Mounting Frame(웹 결합 프레임)

ABSTRACT

This paper evaluates dynamic performance of a cab over type large-sized truck for estimating the effects of frame's torsional characteristics using a computer model. The computer model considers two mounting methods of frame; flange mounting and web mounting. Frame is modeled by finite elements using MSC/NASTRAN in order to consider the flexibility of frame. The torsional test of the frame is conducted in order to validate the modeled finite element model. A load cell is used to measure the load applied to the frame. An angle sensor is used to measure the torsional angle. An actuator is used to apply a load to the frame. To estimate the effects of frame's torsional characteristics on dynamic performance, simulations are performed with the flange mounting and web mounting frame. Simulation results show that the web mounting frame's variations of roll angle, lateral acceleration, and yaw rate are larger than the flange mounting frame's variations, especially in the high velocity and the second part of the double lane course.

기 호 설 명

- A : 후방 차축의 하중 지지점 간의 거리(m)
 L_i : 전방차축에서 변형각 측정위치까지의 거리(m)
 P_i : 작용하중(kgf)
 θ_i : 프레임의 각 측정위치에서 발생하는 변형각 (distortion angle)

1. 서 론

국내·외적으로 고속도로 및 도시와 도시 사이를 연결하는 고속화 도로의 급속한 팽창에 따라 산업현장에서 많은 화물을 빨리 그리고 많이 전달하여 물류 비용과 물류시간을 단축하고자 대형트럭의 경량화에 대한 요구가 많아지고 있는 추세이다.

특히 대형트럭 프레임(frame)은 차량의 동적 성능(dynamic performance)에 영향을 미치는 비틀림 강성(torsional stiffness) 측면에서 어느 부품보다도 큰 비중을 차지하고 있으며 또한 중량 측면에서도 차지하는 비율이 크기 때문에 이 부품의 경량화는 적재량(payload)의 증가에 그대로 기여하게 되며 이에 따라

† 책임저자 : 정희원, 순천제일대학 자동차기계과
E-mail : anvkbs@sunchon.ac.kr
Tel : (061) 740-1309, Fax : (061) 740-1312
* 타타대우상용차(주)

대형트럭 프레임의 동적 성능에 관한 연구들이 진행되고 있다.

유연체 프레임을 갖는 대형트럭의 동적 거동을 다물체 동역학(multi-body dynamics) 해석 프로그램인 DADS와 유한요소 프로그램인 ANSYS를 이용하여 차량시스템에 대한 조인트 반력 및 가속도 등을 분석하고 강체동역학 모델의 해석결과와 비교하였다.⁽¹⁾ 대형트럭 프레임은 특히 선회주행 특성에 많은 영향을 미치는 중요한 부재이다. 그래서 프레임을 유한요소로 모델링하여 신뢰성이 있는 선회주행 해석을 위한 대형트럭 모델 개발에 대한 연구도 수행되었다.⁽²⁾ SUV(sports utility vehicle) 차량에 대해 프레임의 굽힘 및 비틀림 현상을 진동 모드로부터 확인하고 변형에 영향을 미치는 부분의 강성을 증가시켰을 때 차량의 조종안정성(handling and stability)에 미치는 영향을 정량적으로 검토하였다.⁽³⁾ 승용차의 컴퓨터 모델을 개발하여 부싱(bushing) 및 스테빌라이저 바(stabilizer bar)의 고려 여부에 따른 차량의 거동을 조종안정성 측면에서 분석하고 차체 프레임의 탄성효과가 조종안정성에 미치는 영향을 분석하였다.⁽⁴⁾

대형트럭 프레임은 Fig.1에서 보는 바와 같이 크로스 멤버(cross member)를 사이드 멤버(side member)의 상, 하 플랜지(flange)면에 결합하는 방법(flange mounting frame)과 크로스 멤버를 사이드 멤버의 웹(web)면에 결합하는 방법(web mounting frame)이 있다. 플랜지 결합 프레임은 플랜지면을 구속하기 때문에 비틀림 강성이 높은 프레임임을 얻을 수 있지만 고응력이 발생할 가능성이 있는 부분에 대해서는 보강 방안이 필요하므로 상대적으로

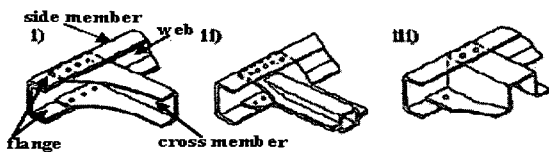
중량이 많이 나간다. 웹 결합 프레임은 플랜지 결합 프레임에 비하여 프레임의 비틀림 강성은 낮지만 고응력이 발생하는 플랜지면에 크로스 멤버 취부용 리벳의 돌기가 없어서 데크의 장착성이 용이하고 상대적으로 경량이다.⁽⁵⁾ 또한 프레임 사이드 멤버와 크로스 멤버의 결합방법은 대형트럭이 선회 주행할 때 차량의 안정성을 좌우하는 동적 성능에 민감하게 영향을 미치는 프레임의 비틀림 강성에 많은 영향을 미친다. 따라서 프레임의 결합방법 차이에 의하여 발생하는 프레임의 비틀림 강성이 대형트럭의 동적 성능에 미치는 영향을 정확하게 해석하는 것은 매우 중요하다 할 수 있다.

이 논문에서는 실차 시험을 통하여 신뢰성이 검증된⁽²⁾ 프레임을 유연체로 모델링한 대형트럭 컴퓨터 모델을 이용하여 프레임의 결합 방법 차이에 의하여 발생하는 프레임의 비틀림 강성이 대형트럭 전체 비틀림 강성에 영향을 미쳐서 발생하는 동적 성능 변화에 미치는 영향을 모의시험을 통하여 정량적으로 평가하였다.

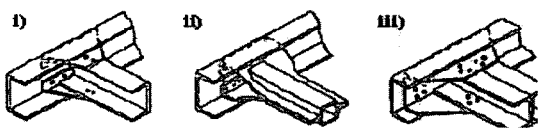
2. 프레임의 비틀림 강성 측정

이 장에서는 대형트럭의 전체 비틀림 강성에 주도적인 영향을 미치는 프레임의 정적 비틀림 강성(static torsional stiffness)을 구하기 위하여 프레임의 비틀림 시험을 수행하였다. 비틀림 시험에 이용한 대형트럭 프레임의 형상은 사다리 형상이며 전, 후 방향의 종부재인 사이드 멤버와 좌, 우 방향의 횡부재인 크로스 멤버로 구성된다. 크로스 멤버는 사이드 멤버의 플랜지 면에 체결하는 방법과 웹 면에 체결하는 방법으로 나누어진다.

Fig.2는 비틀림 시험에서 이용한 플랜지 결합 프레임과 웹 결합 프레임의 개략도를 보여주고 있다. Fig.2에서 보는 바와같이 두 결합 방법 프레임은 동일한 재료와 두께로 이루어져 있으며 사이드 멤버의 높이와 두께 및 폭과 같은 기하학적 형상도 또한 동일하게 설계되어 있고 각 크로스 멤버의 체결위치도 동일하게 설계되어 있는 반면에 크로스 멤버의 결합 방법과 형상은 서로 다르게 설계되어 있다. 대형트럭 프레임의 정적 비틀림 강성을 구하기 위하여 Fig.2에서 보는 바와 같은 플랜지 결합 프레임과 웹 결합 프레임의 두 가지에 대해서 동일한 조건으로 비틀림



(a) Flange mounting frame



(b) Web mounting frame

Fig.1 Cross member mounting methods⁽⁵⁾

시험을 수행하였다. 프레임의 비틀림 강성은 양단 또는 1단을 고정하고 타단에서 축선에 대해 수직인 면에 토크(torque)를 작용시킬 때 재료내부에서 발생하는 전단력에 의해서 발생하는 변형률(distortion rate)의 정량적 크기로 정의된다.

Fig. 3은 대형트럭 프레임의 비틀림 시험을 위한

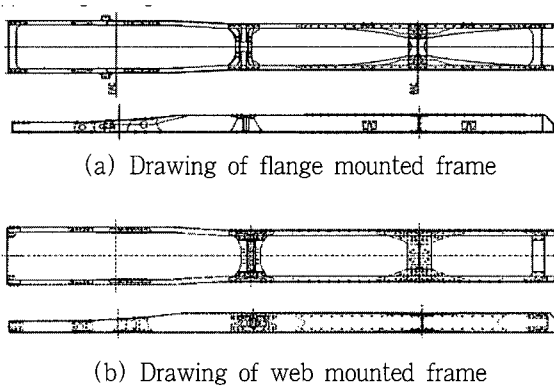


Fig. 2 The drawing of the flange and web mounting frame of the large-sized truck

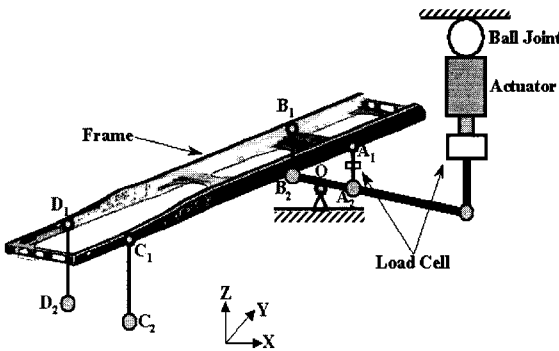


Fig. 3 A schematic diagram of test equipment of a frame of the large-sized truck

Table 1 Torsional stiffness of frame of the large-sized truck in test

		Frame a	Frame b
Wheelbase(mm)		3930	
Wheel tread (mm)	Front	2050	
	Rear	1860	
Frame mounted method		Flange mounted frame	Web mounted frame
Torsional stiffness (N·m ² /rad)		805,106.4	714,355.6

개략도를 보여주고 있다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 유압 액추에이터(hydraulic actuator)와 하중변환기(load cell) 및 각 센서(angle sensor) 등을 설치하였다. 프레임의 후방 차축 중심선에 연결되는 점 A1과 점 B1은 X축을 중심으로 회전이 가능하도록 설치하였고, 유압 액추에이터에 부착되는 점 A2는 X-Y 평면상에서 X축과 45°를 이루는 축을 중심으로 그리고 점 B2는 X축을 중심으로 회전이 가능하도록 하였다. 점 C1, D1은 Y축을 중심으로, C2, D2는 X축을 중심으로 회전이 가능하도록 하였다. 프레임의 비틀림 시험을 통하여 측정된 데이터로부터 식 (1)을 이용하여 비틀림 강성(T_s)을 계산하였다.

$$T_s = \frac{180 \cdot T_i \cdot A \cdot L_i}{\pi \cdot \theta_i} \text{ (kgf} \cdot \text{m}^2/\text{rad)} \quad (1)$$

Table 1은 프레임의 비틀림 시험을 수행하여 구한 결과를 정리하여 보여주고 있다. Table 2에서 보는 바와 같이 프레임 A는 프레임 B에 비하여 비틀림 강성이 12.7% 더 큰 값을 가지고 있는 것을 프레임의 비틀림 시험을 통하여 확인하였다. 이러한 프레임의 비틀림 강성 결과를 컴퓨터 모델의 프레임을 유한체로 모델링하여 반영하였다.

3. 컴퓨터 모델을 이용한 모의시험

프레임의 비틀림 강성이 대형트럭의 동적 성능에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 실차 시험을 통하여 신뢰성이 검증된 플랜지 결합 프레임(이하 프레임 A)의 유한체 컴퓨터 모델⁽²⁾과 웹 결합 프레임(이하 프레임 B)의 유한체 컴퓨터 모델을 이용하여 모의시험을 수행하였다. 앞 장에서 설명한 바와 같이 프레임 A는 프레임 B에 비하여 비틀림 강성이 12.7% 더 크게 설계되어져 있다.

특히, 모의시험을 위한 컴퓨터 모델은 운전자 모델(driver model)을 포함하지 않으므로 타이어와 노면 사이의 마찰에 의한 속도저하가 발생할 수 있다. 직진주행 구간에서의 속도저하는 무시할 만큼 작으되 반하여 선회 영역에서의 속도저하는 모의시험 결과에 영향을 미칠 수 있을 정도로 속도가 저하 될 수 있다. 따라서 유한 다물체 컴퓨터 모델은 일정한 주행 속도를 유지하기 위하여 속도 보상을 수행할 수 있는

메커니즘을 포함하여 모의시험이 일정한 주행속도를 유지하도록 모델링하였다.

3.1 롤 각(Roll Angle)

Fig. 4는 이중 차선 변경 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 조향휠 각(steering wheel angle) 변화에 대한 롤 각(roll angle)을 속도 40, 50, 60 km/h에 대하여 보여준다. Fig. 4(a)는 40 km/h의 결과를 보여주고 있으며 보는 바와 같이 프레임 A는 조향휠 각이 112.6° ~ -100.4° 변화시 롤 각은 -0.62° ~ 0.65°이며 기울기는 0.0060이다. 프레임 B는 조향휠 각이 86.2° ~ -99.5° 변화시 롤 각은 -0.75° ~ 0.67°이며 기울기는 0.0077이다. Fig. 4(b) 50 m/h의 결과를 보여주고 있으며 보는 바와 같이 프레임 A는 조향휠 각이 139.2 ~ -115.5 변화시 롤 각은 -0.940.98이며 기울기는 0.0076이다. 프레임 B는 조향

휠 각이 109.43° ~ -115.9° 변화시 롤 각은 -1.2° ~ 1.1°이며 기울기는 0.0101이다. Fig. 4(c) 60 m/h의 결과를 보여주고 있으며 보는 바와 같이 프레임 A는 조향휠 각이 164.7 ~ -115.5 변화시 롤 각은 -1.28° ~ 1.25°이며 기울기는 0.0082이다. 프레임 B는 조향휠 각이 137.6° ~ -131.7° 변화시 롤 각은 -1.6° ~ 1.5°이며 기울기는 0.0115이다.

3.2 횡 가속도(Lateral Acceleration)

Fig. 5는 이중 차선 변경 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 횡 가속도를 속도 40, 50, 60 km/h의 결과를 보여준다. Fig. 5(a)는 40 km/h의 결과를 보여주고 있으며 보는 바와 같이 전반 차선 변경 구간에서 peak-to-peak 횡 가속도는 프레임 A가 0.34 g, 프레임 B는 0.33 g, 후반 차선 변경 구간에서 프레임 A는 0.41 g, 프레임 B는 0.43 g로서 35 %

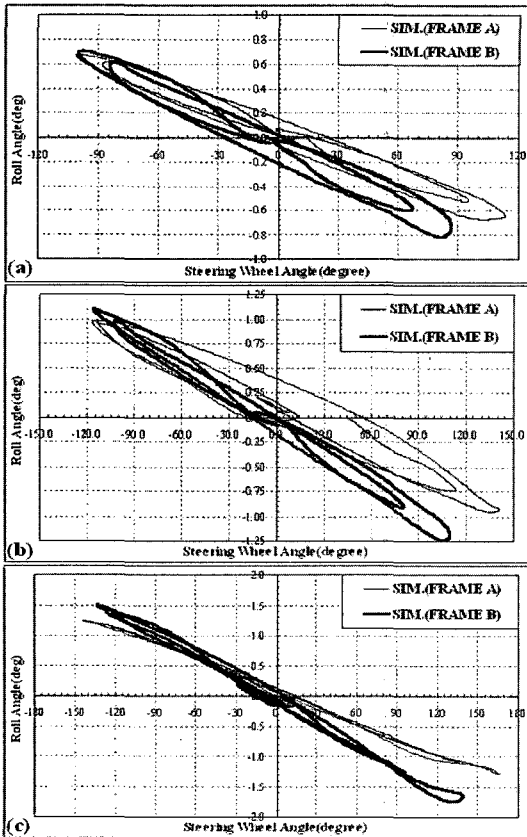


Fig. 4 Results comparison of simulation in roll angle (a) 40 km/h (b) 50 km/h (c) 60 km/h

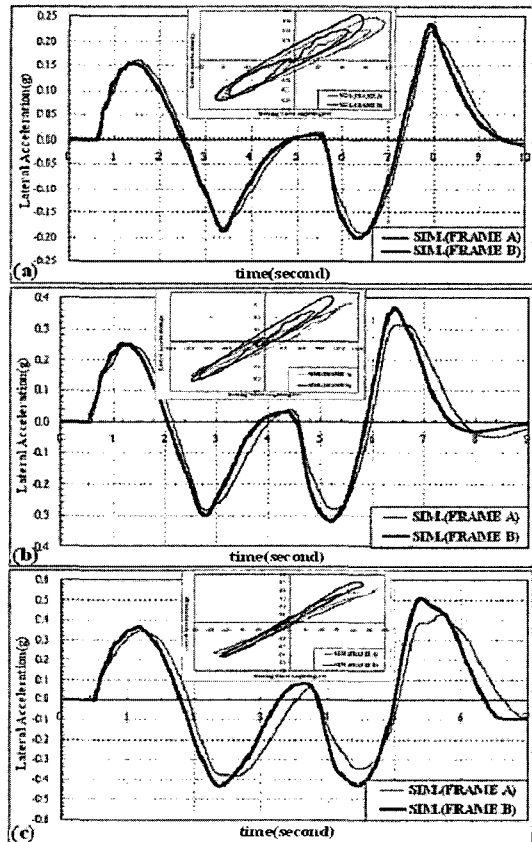


Fig. 5 Results comparison of simulation in lateral acceleration (a) 40 km/h (b) 50 km/h (c) 60 km/h

의 작은 차이를 보였다. Fig. 5(b)는 50 km/h의 결과이며 전반 차선 변경 구간에서 peak-to-peak 횡 가속도는 프레임 A는 0.52 g, 프레임 B는 0.54 g, 후반 차선 변경 구간에서 프레임 A는 0.59 g, 프레임 B는 0.67 g로서 314 % 내외의 차이를 보였으며, 주행속도가 증가함에 따라 후반 차선 변경 구간에서 프레임 B가 프레임 A에 비하여 횡 가속도 변화가 더 크게 발생하였다. Fig. 5(c)는 60 km/h의 결과이며 전반 차선 변경 구간에서 peak-to-peak 횡 가속도는 프레임 A는 0.72 g, 프레임 B는 0.79 g, 후반 차선 변경 구간에서 프레임 A는 0.77 g, 프레임 B는 0.93 g로서 920 %의 차이를 보였다.

3.3 요 각속도(Yaw Rate)

Fig. 6은 이중 차선 변경 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 요 각속도를 조향 휠 각의 변화에 대하여 속도 40, 50, 60 km/h의 결과를 보여

준다. Fig. 6(a)는 40 km/h의 결과이며 전반 차선 변경 구간에서 peak-to-peak 요 각속도는 프레임 A가 14.01°/sec, 프레임 B는 13.84°/sec, 후반 차선 변경 구간에서 프레임 A는 16.38°/sec, 프레임 B는 16.81°/sec으로 대략 1.22.7 % 내외의 미미한 차이를 보였다. Fig. 6(b)는 50 km/h의 결과이며 전반 차선 변경구간에서 peak-to-peak 요 각속도는 프레임 A가 18.51°/sec, 프레임 B는 18.40°/sec, 후반 차선 변경 구간에서 프레임 A는 20.74°/sec, 프레임 B는 22.43°/sec이며, 대략 0.68.1 % 내외의 요 각속도 변화를 보여주었다. Fig. 6(c)는 60 km/h의 결과이며 전반 차선 변경 구간에서 peak-to-peak 요 각속도는 프레임 A가 23.01°/sec, 프레임 B는 23.62°/sec, 후반 차선 변경 구간에서 프레임 A는 23.93°/sec, 프레임 B는 28.33°/sec이며 60 km/h와 같은 고속 주행 조건에서는 전반 차선 변경 구간에서는 2.7 %의 차이를 보이는 반면에서 후반 차선 변경 구간에서는 18.4 % 차이를 보였다.

4. 고 찰

Fig. 4~6을 통하여 프레임 B의 유연 다물체 컴퓨터 모델이 프레임 A의 유연 다물체 컴퓨터 모델에 비하여 롤 각의 피크 값 변화가 크게 이루어졌다. 주행속도가 커짐에 따라서 프레임 B는 프레임 A와 비교하여 더 큰 롤 각 변화가 이루어졌다. 프레임 A는 사이드 멤버의 플랜지 상면과 플랜지 하면에 크로스 멤버가 체결되며 이 높이 차이가 프레임이 비틀림을 받는 경우 모멘트 암으로 작용한다. 그러나 프레임 B는 사이드 멤버의 웹 면에 크로스 멤버를 체결하며 위,아래 체결 볼트의 수직방향 높이 차이가 모멘트 암이다. 이와 같이 크로스 멤버의 프레임 A와 프레임 B의 차이는 프레임에 비틀림 하중이 작용하는 경우 크로스멤버의 체결 높이에 의하여 발생하는 모멘트 암이 프레임의 비틀림 강성에 영향을 미치는 인자로 작용하기 때문이다.

또한 40, 50 km/h의 저속 주행 조건에서는 프레임의 결합방법이 횡 가속도에 미치는 영향이 작은 반면에 60 km/h의 고속 주행에서는 영향이 커졌다. 특히 후반 차선 변경부에서 횡 가속도의 피크 값 차이가더 크게 나타나고 있으며 대략 20 % 차이를 보여주고 있는데 이는 프레임의 결합방법이 대형트럭의 전체

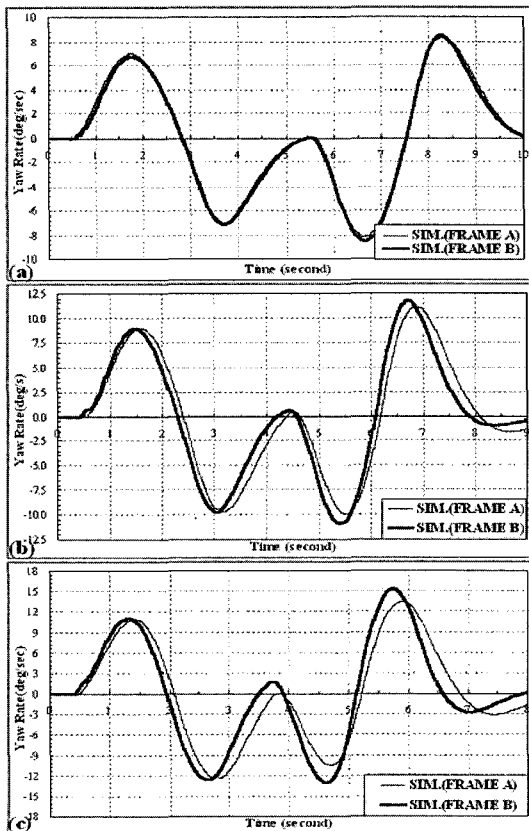


Fig. 6 Results comparison of simulation in yaw rate (a) 40 km/h (b) 50 km/h (c) 60 km/h

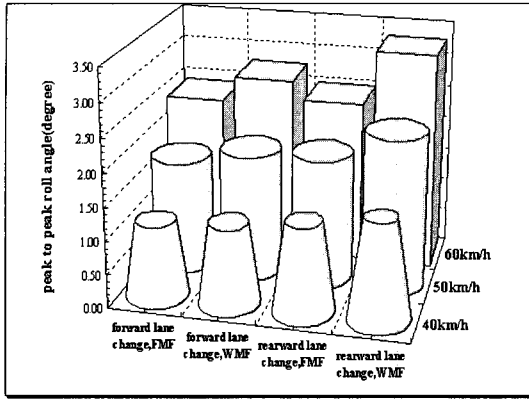
비틀림 강성에 많은 영향을 미치기 때문이다. 요 각 속도에 대해서는 40, 50 km/h의 저속 주행에서는 프레임의 결합방법이 거의 영향을 미치지 않는 반면에

60 km/h의 고속 주행에서는 프레임 B의 유연 다물체 컴퓨터 모델은 프레임 A의 유연 다물체 컴퓨터 모델과 비교하여 요 각속도가 더 크게 변화하였다. 특히 후반 차선 변경부에서 요 각속도의 피크 값 차이가 더 크게 나타났다.

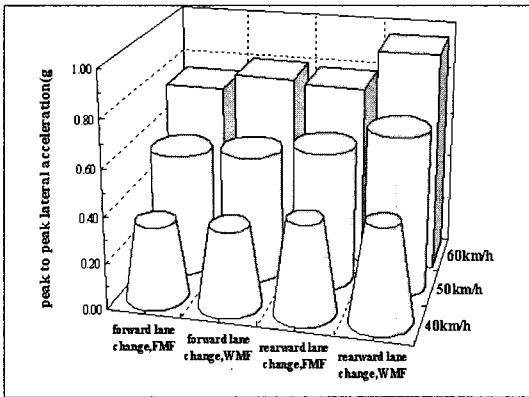
50, 60 km/h의 고속 주행에서 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도의 경향이 프레임 B의 유연 다물체 컴퓨터 모델은 프레임 A의 유연 다물체 컴퓨터 모델보다 앞서는 현상이 발생하였음을 알 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 원인은 프레임의 결합방법에 의한 비틀림 강성이 전체 차량의 비틀림 강성 변화에 커다란 영향을 미치기 때문이다. 이와 같이 프레임의 결합방법 차이가 대형트럭 전체 비틀림 강성에 영향을 미치며, 이는 이중차선 변경과 같은 선회 주행 상황에서 롤 각, 횡 가속도, 요 속도와 같은 주요 동특성 인자의 피크 값 변화와 경향에 영향을 미쳤다.

Fig. 7은 40, 50, 60 km/h의 속도에서 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 peak-to-peak 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도의 결과를 전반 차선 변경부와 후반 차선 변경부로 나누어 보여준다. Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 40 km/h의 저속에서는 프레임의 비틀림 강성에 의한 영향이 미미함을 보여주고 있으며 이는 저속 선회 주행시 프레임의 비틀림 강성 변화에 덜 민감한 특성을 보이는 것을 의미한다. 반면에 50 km/h이상의 고속 차선 변경 주행시 프레임의 비틀림 강성 변화에 민감하게 롤 각 변화에 영향을 미치는 것을 모의시험을 통하여 확인하였으며 특히 60 km/h의 후반 차선 변경시 프레임 B가 프레임 A에 비하여 peak-to-peak roll angle의 변화량이 35% 더 크게 발생하는 것을 모의시험을 통하여 확인하였다.

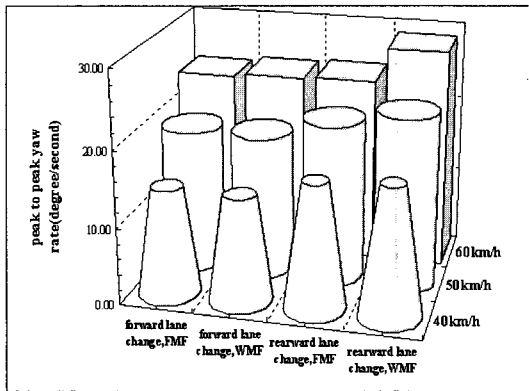
이상의 이중차선변경 모의시험으로부터 프레임의 결합방법에 의한 비틀림 강성이 대형트럭 전체의 비틀림 강성 변화에 미치는 영향이 현저하다는 것을 알 수 있었다. 따라서 차량 개발 단계에서 대형트럭의 경량화를 목적으로 프레임 B를 적용하는 경우에는 차량 전체의 비틀림 강성이 현저하게 감소하기 때문에 스테빌라이저 바와 같은 비틀림 강성을 보강할 수 있는 시스템을 추가하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Results comparison of simulation, peak-to-peak (a) roll angle (b) lateral acceleration (c) yaw rate

5. 결 론

대형트럭 프레임의 비틀림 강성이 전체 차량의 비

틀림 강성에 영향을 미쳐서 나타나는 차량의 조종성능에 미치는 영향을 정량적으로 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 신뢰성이 검증된 플랜지 결합 프레임과 웨브 결합 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델을 이용하여 이중 차선변경 모의시험을 수행하였으며 웨브 결합 프레임이 플랜지 결합 프레임에 비하여 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도의 피크 값 변화가 크게 일어남을 확인하였다.

(2) 차량의 주행속도가 증가함에 따라서 웨브 결합프레임은 플랜지 결합 프레임과 비교하여 더 큰 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도변화가 이루어졌다. 특히 후반 차선 변경부에서 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도의 피크 값 차이가 더 크게 나타났으며 60 km/h의 고속에서 최대 35 % 차이를 보여주었다.

참 고 문 헌

(1) 이상범, 2002, 차량 동특성에 대한 프레임의 유연성 효과, 한국공학기계학회, 제 11 권, 제 2 호, pp. 80~86.

(2) 문일동, 오재윤 2003, 프레임을 유연체로 고려한대형트럭 컴퓨터 모델 개발 한국자동차공학회,

제 11 권, 제 6 호, pp. 197~204.

(3) 이병립, 2002, 프레임 강성이 차량의 조종안정성에 미치는 영향, 한국자동차공학회, 제 10 권, 제 4 호, pp. 100~105.

(4) Kang, D. K., Yoo, W. S., 1997, Effects of Suspension Compliance and Chassis Flexibility in Handling Performance, KSPE Vol. 14, No. 7, pp. 137~143.

(5) McNitt, L. F., 1969, Truck Frame Side Rail Bulking Stresses, SAE Paper 690176.

(6) ADAMS User's Manual, 2001, MacNeal-Schwendler Corporation., USA.

(7) MSC.NASTRAN User's Manual, 1994, MacNeal-Schwendler Corporation, USA.

(8) Antoun, R. J., Hackert, P. B., O'Leary, M. C., Sitchin, A., 1986, Vehicle Dynamic Handling Computer Simulation Model Development, Correlation, and Application Using ADAMS, SAE Paper 860574.

(9) MSC.PATRAN User's Manual, 1994, MacNeal-Schwendler Corporation, USA.

(10) SAE, 1975, Test Procedure for a Severe Lane Change Manoeuvre, ISO Technical Report 3888.