

대형트럭 프레임의 결합방법이 조종성능에 미치는 영향

문일동*, 오재윤#, 오석형**

The Effects of the Mounted Method of Frame of a Large Truck on Handling Performance

Il Dong Moon*, Chae Youn Oh[#], Seok Hyung Oh^{**}

ABSTRACT

This paper develops a computer model of a cabover type large truck for estimating the effects of the mounted method of frame on handling performance. The computer model considers two mounted methods of frame; flange mounted and web mounted. Frame is modeled by finite elements using MSC/NASTRAN in order to consider the flexibility of frame. The reliability of the developed computer model is verified by comparing the actual vehicle test results with the simulation results. The actual vehicle test is performed in a double lane change course, and lateral acceleration, yaw rate, and roll angle are measured. To estimate the effects of the mounted method of frame on handling performance, simulations are performed with the flange mounted and web mounted frame. Simulation results show that the web mounted frame's variations of roll angle, lateral acceleration, and yaw rate are larger than the flange mounted frame's variations, especially in the high test velocity and the second part of the double lane course. Also, simulation results show that the web mounted frame's tendencies of roll angle, lateral acceleration, and yaw rate advance the flange mounted frame's tendencies, especially in the high test velocity and the second part of the double lane course.

Key Words : Computer model(컴퓨터 모델), double lane change(이중차선변경), finite element model (유한요소 모델), flexible body(유연체), flange mounted frame(플랜지 결합방법 프레임), web mounted frame(웹 결합방법 프레임)

1. 서론

고속화 도로의 급속한 팽창에 따라 산업현장에서 많은 물품을 빨리 그리고 많이 전달하여 물류비용과 물류시간을 단축하고자 대형트럭의 경량화에 대한 요구가 많아지고 있는 추세이다. 특히 대형트럭 프레임은 중량과 동특성 측면에서 어느

부품보다도 큰 비중을 차지하고 있으며 이 부품의 경량화는 적재량의 증가에 그대로 기여할 수 있다. 그래서 프레임 사이드 멤버와 크로스 멤버를 결합하는 방법을 다양하게 고려하여 프레임을 경량화하는 것에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 프레임 사이드 멤버와 크로스 멤버의 결합방법은 대형트럭이 선회 주행할 때 차량의 안정성을 좌우하는

접수일: 2003년 12월 30일; 게재승인일: 2004년 5월 7일

* 대우상용차(주)

전북대학교 기계항공시스템공학부 MRC

E-mail ohcy@moak.chonbuk.ac.kr Tel. (063) 270-2377

** 군산대학교 기계공학부

조종성과 주행 중의 안락함을 가리키는 승차감과 같은 동특성에 민감하게 영향을 미치는 프레임의 비틀림 강성에 많은 영향을 미친다. 따라서 프레임의 결합방법이 대형트럭의 동특성에 미치는 영향을 정확하게 해석하는 것은 매우 중요하다고 할 수 있다.

크로스 멤버를 사이드 멤버에 결합하는 방법에는 상,하 플랜지(flange)면에 결합하는 방법(FMF ; Flange Mounted Frame)과 크로스 멤버를 사이드 멤버의 웨브(web)면에 결합하는 방법(WMF ; Web Mounted Frame)이 있다. 플랜지 결합방법 프레임은 플랜지면을 구속하기 때문에 비틀림 강성이 높은 프레임을 얻을 수 있지만 고응력이 발생할 가능성이 있는 부분에 대해서는 보강 방안이 필요하므로 상대적으로 중량이 많이 나간다. 웨브 결합방법 프레임은 플랜지 결합방법 프레임에 비하여 프레임의 비틀림 강성은 낮지만 고응력이 발생하는 플랜지면에 크로스 멤버 취부용 리벳의 돌기가 없어서 데크의 장착성이 용이하고 상대적으로 경량이다. 현재 대형트럭의 경량화를 목적으로 웨브 결합방법을 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 프레임을 유연체(flexible body)로 고려한 대형트럭 컴퓨터 모델을 개발한다. 개발된 대형트럭 컴퓨터 모델의 신뢰성을 실차시험 결과와 비교하여 검증한다. 신뢰성이 검증된 대형트럭 컴퓨터 모델을 이용하여 프레임의 결합방법이 대형트럭 전체 비틀림 강성에 영향을 미쳐서 발생하는 조종성 변화에 미치는 영향을 평가한다.

2. 플랜지 결합방법 프레임과 웨브 결합방법 프레임의 컴퓨터 모델 개발

본 논문에서는 플랜지 결합과 웨브 결합의 두 가지 프레임 결합방법을 고려하였다. 두 결합 방법의 프레임의 탄성을 고려하기 위하여 유한요소 방법을 이용하여 모델링하였다. 프레임의 유한요소 모델링에는 MSC/PATRAN²을 이용하였다. Fig. 1 과 Fig. 2 는 본 논문에서 개발한 유한요소 플랜지 결합 프레임과 웨브 결합 프레임 모델을 보여준다. 유한요소 프레임은 셸 요소, 집중질량 요소, 강체 요소 등을 이용하여 모델링하였으며 기타 프레임에 장착되는 연료탱크, 배터리 등은 프레임 설계시 주요 관심 부위가 아니므로 형상은 고려하지

않고 집중질량 요소로 간단하게 모델링하였다. 사이드 멤버와 크로스 멤버는 실제 차량에서는 볼트와 리벳으로 연결되어 있으나 유한요소 모델에서는 강체 요소를 이용하여 연결하였다. Fig. 1 과 Fig. 2 에서 보여주는 바와 같이 플랜지 결합 프레임과 웨브 결합 프레임의 크로스 멤버의 장착 위치는 동일하고, 크로스 멤버 형상도 거의 동일함을 알 수 있다. 그러므로 두 프레임은 다른 조건은 거의 동일하고 단지 결합 방법만이 다르다.

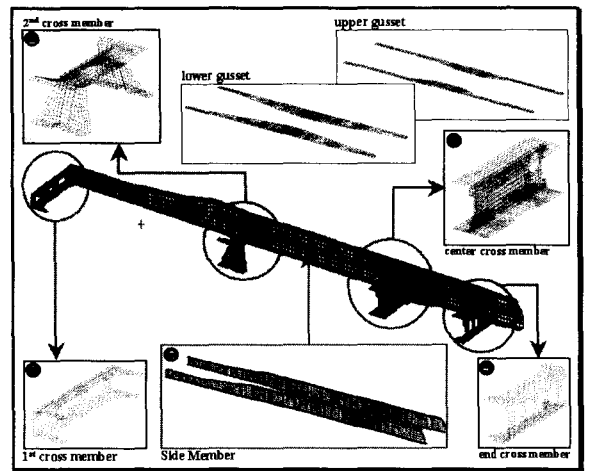


Fig. 1 The finite element model of the flange mounted frame of the heavy truck.

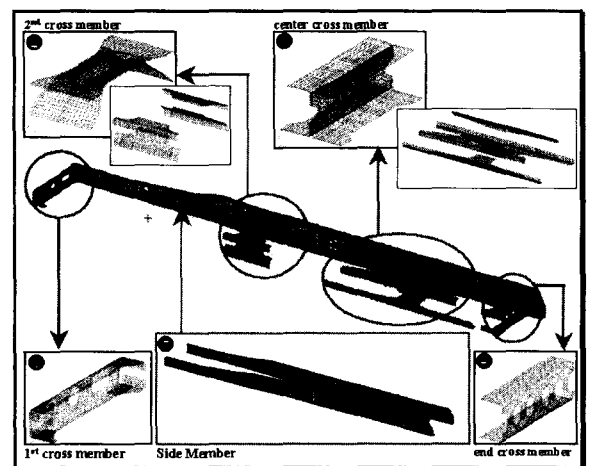


Fig. 2 The finite element model of web mounted frame of the heavy truck.

전방 현가장치는 앞 차축, 다관 스프링, 새클, 속 업소버, 드롭 암, 드래그 링크, 너클, 타이 로드, 타이 로드 암 등으로 구성된다. 전방 현가장치 모델은 14 개의 강체와 7 개의 회전 조인트, 4 개의 구 조인트, 3 개의 유니버설 조인트, 4 개의 회전 스프링, 2 개의 부상 요소 등을 이용하여 모델링을 수행하였다. 후방 현가장치는 후륜 전,후차축, 다관 스프링, 트러니언 브래킷(trunnion braket), 로워 어퍼 토크 로드로 구성된다. 후방 현가장치 모델은 14 개의 강체와 4 개의 회전 조인트, 4 개의 인플레인 조인트(in-plane joint), 2 개의 회전 스프링, 14 개의 부상 요소 등을 이용하여 모델링을 수행하였다. 캡 시스템은 캡, 좌,우 로어 암, 래터럴 바, 코일 스프링, 속 업소버, 스테빌라이저 바 등으로 구성된다. 코일 스프링은 선형 스프링으로 모델링하였으며, 범프 스톱퍼는 코일 스프링과 연동하여 작동되는 요소로서 초기 구간에서는 선형 스프링 형태로 작동하고 범프 스톱퍼에 접촉되는 위치에서 부터는 강성이 급격히 증가하도록 모델링하였다. 속 업소버는 단품 시험을 통해 구한 속도와 감쇠력 사이의 비선형 관계를 스플라인 함수를 이용하여 모델링하였다. 스테빌라이저 바는 비틀림과 굽힘 효과를 고려하기 위하여 빔 요소를 이용하여 모델링하였다.^{3,4,5}

본 논문에서는 MSC/ADAMS⁶ 를 이용하여 개발한 대형트럭 컴퓨터 모델과 MSC/NASTRAN⁷ 을 이용하여 개발한 유한요소 프레임 모델을 링크하여 유연 다물체 컴퓨터 모델을 개발하였다. 유한요소 프레임 모델을 이용하여 MSC/NASTRAN 실행 파일을 구성하였다. 이 실행 파일을 DMAP 모듈을 이용하여 진동 모드 해석을 수행하였다. 해석을 수행하면 절점 번호, 고유진동수와 모드형상 등에 관한 정보가 OUTPUT 파일에 저장된다. 이 해석 결과 파일을 MSC/ADAMS 컴퓨터 모델에서 링크할 수 있는 데이터 형태로 변환시켜 주어야 한다. 이 작업은 FLEX 모듈을 이용하여 MNF (Modal Neutral File) 파일을 생성하였다. 이 과정을 거쳐 MNF 파일에 절점 번호, 고유진동수와 모드형상에 대한 정보를 저장하였다.

Fig. 3 은 MSC/ADAMS 와 MSC/NASTRAN 을 이용하여 모델링한 플랜지 결합방법 프레임과 웨브 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델을 보여주고 있다.

3. 실차시험을 통한 컴퓨터 모델 검증

본 논문에서는 플랜지 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델의 신뢰성을 실차시험 결과와 비교하여 검증하였다. 즉, 공차 상태에서 40, 50, 60km/h 의 주행속도로 실차시험을 수행하여 캡 질량 중심점에서 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도를 측정하여 컴퓨터 모델의 모의시험 결과와 비교하였다. 실차시험은 ISO/TR 3888⁸ 규정에 따른 이중차선변경 시험로에서 수행하였다.

Fig. 4 는 40, 50, 60km/h 로 실차시험과 모의시험을 수행하여 구한 롤 각의 변화를 보여준다. 캡 질량 중심점에서 40, 50, 60km/h 에 대한 롤 각 변화는 $\pm 0.75^\circ$, $\pm 1.0^\circ$, $\pm 1.5^\circ$ 내외이며 그래프 경향이 잘 일치하는 것을 확인하였다. 반면에 Fig. 4(c) 에서 전반 차선 변경부(B 지점)의 피크 값은 실차시험과 차이를 보이고 있으며, 이는 실차시험에서 시험 운전자가 차량의 속도가 크기 때문에 운전자의 안전을 고려하여 미리 조향 휠의 입력을 반대 방향으로 가했기 때문에 발생하였다고 판단된다.

Fig. 5 는 40, 50, 60km/h 로 실차시험과 모의시험을 수행하여 구한 횡 가속도를 보여주고 있으며, 캡 질량 중심점에서 40, 50, 60km/h 에 대한 횡 가속도는 $\pm 0.25g$, $\pm 0.3g$, $\pm 0.4g$ 이내의 값을 나타내

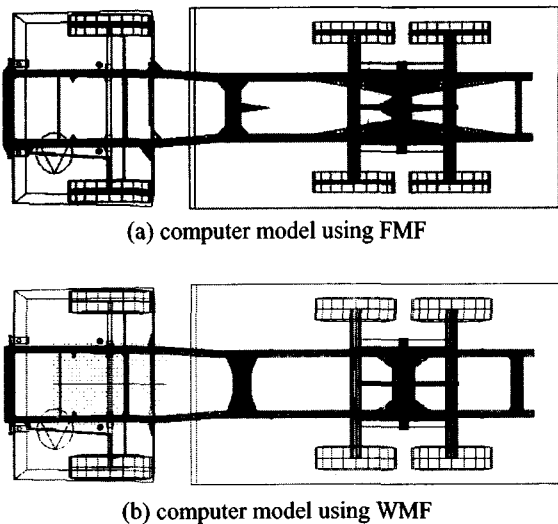


Fig. 3 The ADAMS computer model of the heavy truck

고 있는 것을 확인하였다. 전 속도 대역에서 컴퓨터 모델이 실차시험의 그래프 경향과 피크 값을 잘 모사하는 것을 확인하였으나, Fig. 5(c)에서 후반 차선 변경부(D)의 피크 값이 실차시험과 차이를 보이고 있다. 이 결과는 실차시험이 고속주행으로 빠르게 진행되면서 이중차선변경 시험로를 통과해야 되기 때문에 시험 운전자가 급격하게 핸들 조작이 이루어져 발생하였다고 판단된다.

Fig. 6 은 40, 50, 60km/h 로 실차시험과 모의시험을 수행하여 구한 요 각속도를 보여주고 있으며, 실차시험과 모의시험의 요 각속도는 40, 50, 60km/h 에 대하여 모의시험이 실차시험과 15% 범위 이내에서 아주 잘 일치하는 것을 볼 수 있었다. Fig. 6(b)~(c)를 보면 모의시험이 실차시험과 유사한 경향을 보여주고 있으나, 후반 차선 변경부(D)의 피크 값은 실차시험에 비하여 40% 정도 큰 결과를

보이고 있는데, 이는 실차시험에서 차량 속도가 커짐에 따라 시험 운전자가 이중차선변경 시험로를 벗어나지 않기 위하여 미리 조향 휠을 변경하여 발생한 결과로 판단된다.

Fig. 4~Fig. 6 에서 프레임을 유연체로 모델링한 컴퓨터 모델은 이중차선변경 과정에서 프레임의 비틀림 현상을 적절하게 모사할 수 있으므로 해서 모든 주행시험 조건에서 롤 각, 횡 가속도와 요 각속도의 실차시험 결과를 피크 값 뿐 만 아니라 경향까지도 매우 근사하게 예측하였다. 따라서 프레임을 유연체로 고려한 대형트럭 모델은 상당한 신뢰성을 가지고 실차시험 결과를 예측할 수 있을 것이다.

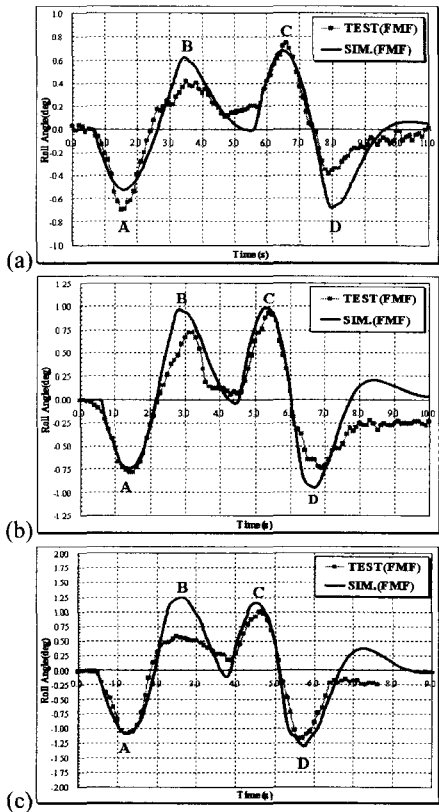


Fig. 4 Roll angle comparison of double lane change test and simulation(a)40km/h (b)50km/h (c)60km/h

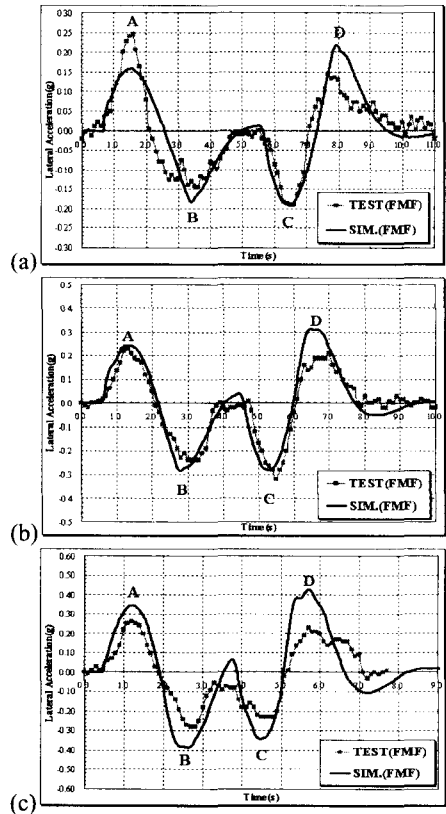


Fig. 5 Lateral acceleration comparison of double lane change test and simulation(a)40km/h (b)50km/h (c)60km/h

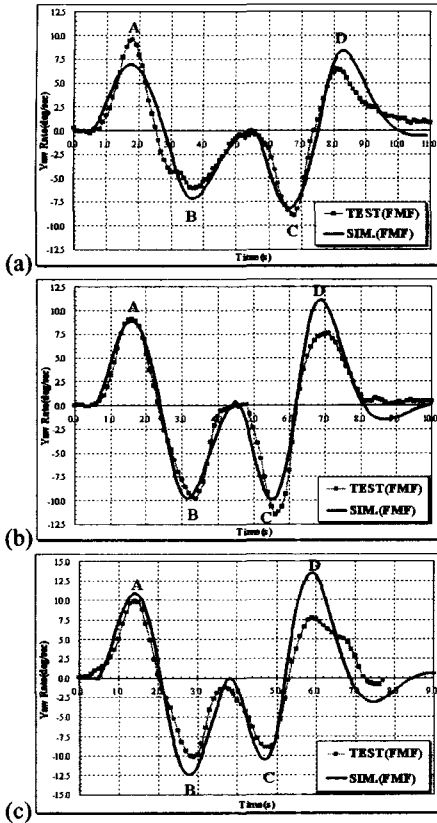


Fig. 6 Yaw rate comparison of double lane change test and simulation(a)40km/h (b)50km/h (c)60km/h

4. 프레임의 결합방법이 조종성에 미치는 영향 평가

본 논문에서는 프레임의 결합방법이 대형트럭의 조종성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 앞 절에서 신뢰성이 검증된 컴퓨터 모델의 플랜지 결합방법 프레임을 웨브 결합방법 프레임으로 교체한 컴퓨터 모델도 개발하였다. 플랜지 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델과 웨브 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델을 이용하여 공차상태에서 40, 50, 60km/h의 등속으로 이중차선 변경로를 주행하는 모의시험을 수행하였다.

Fig. 7은 40, 50, 60km/h의 속도에서 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 롤 각을 보여준다. Fig. 7(a)는 40km/h에 대한 결과이며 캡 질량 중심점에서 롤 각은 $\pm 0.7^\circ$ 내외임을 보여 준다.

전반 차선 변경(A~B 구간)에 의한 peak-to-peak 롤 각은 플랜지 결합방법이 1.136° 이고, 웨브 결합방법은 1.2° 로, 대략 웨브 결합방법의 롤 각이 5% 더 크게 발생하였다. 후반 차선 변경(C~D 구간)은 플랜지 결합방법이 1.328° 이고, 웨브 결합방법은 1.49° 이며, 웨브 결합방법이 12% 더 큰 결과를 보여주었다. 이와 같이 40km/h의 저속 주행에서는 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법에 비해 대략 5~12% 정도 롤 각 변화가 더 크게 발생하였다. Fig. 7(b)는 50km/h에 대한 결과이며, 전반 차선 변경(A~B 구간)에 의한 peak-to-peak 롤 각은 플랜지 결합방법이 1.682° 이고 웨브 결합방법은 1.87° 이며, 웨브 결합방법의 롤 각 변화가 11% 더 크게 발생하였다. 후반 차선 변경(C~D 구간)은 플랜지 결합방법이 1.921° 이고 웨브 결합방법은 2.32° 로 웨브 결합방법이 21% 더 큰 롤 각을 보여주고 있다. 50km/h의 주행속도에서는 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법 보다 11~21% 내외의 롤 각 변화가 크게 이루어졌다. Fig. 7(c)는 60km/h에 대한 결과이며, 전반 차선 변경(A~B 구간)에 의한 peak-to-peak 롤 각은 플랜지 결합방법이 2.31° 이고 웨브 결합방법은 2.71° 로 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법과 비교하여 17% 더 큰 롤 각 변화를 보여주었다. 후반 차선 변경(C~D 구간)은 플랜지 결합방법이 2.391° 이고 웨브 결합방법은 3.22° 로 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법에 비하여 35% 더 큰 롤 각 변화를 보여주었다. 이와 같이 60km/h의 주행 속도에는 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법 보다 17~35% 내외의 큰 롤 각 변화가 발생하였다. Fig. 7을 통하여 웨브 결합방법의 유연 다물체 컴퓨터 모델이 플랜지 결합방법의 유연 다물체 컴퓨터 모델에 비하여 롤 각의 피크 값 변화가 크게 이루어졌다. 주행속도가 커짐에 따라서 웨브 결합방법은 플랜지 결합방법과 비교하여 더 큰 롤 각 변화가 이루어졌다. 특히 후반 차선 변경부(C~D 구간)에서 전체적으로 롤 각의 피크 값 차이가 더 크게 나타나고 있으며 60km/h의 주행속도에서 최대 35% 차이를 보였다. 플랜지 결합방법은 사이드 멤버의 플랜지 상면과 플랜지 하면에 크로스 멤버가 체결되며 이 높이 차이가 프레임이 비틀림을 받는 경우 모멘트 암으로 작용한다. 그러나 웨브 결합방법은 사이드 멤버의 웨브면에 크로스 멤버를 체결하며 위,아래 체결 볼트의 수직방향 높이 차이가 모멘트 암이다. 이와 같이 크로스 멤버

의 플랜지 결합방법과 웨브 결합방법의 차이는 프레임에 비틀림 하중이 작용하는 경우 크로스 멤버의 체결 높이에 의하여 발생하는 모멘트 암이 프레임의 비틀림 강성에 영향을 미치는 인자로 작용하기 때문이다.

Fig. 8 은 40, 50, 60km/h 의 등속 주행 속도로 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 횡가속도를 보여주고 있다. Fig. 8(a)는 40km/h 에 대한 결과이며 peak-to-peak 횡 가속도는 전반 차선 변경(A~B 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 0.335g, 웨브 결합방법이 0.33g, 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 0.405g, 웨브 결합방법이 0.43g 로서 -1.5~6%의 작은 차이를 보였다. Fig. 8(b)는 50km/h 에 대한 결과이며 peak-to-peak 횡 가속도는 전반 차선 변경(A~B 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 0.523g, 웨브 결합방법이 0.54g, 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 0.588g, 웨브 결합방법이 0.67g 로서 3.3~14% 내외의 차이를 보였으며, 주행속도가 증가함에 따라 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법에 비하여 횡 가속도 변화가 더 크게 발생하였다. Fig. 8(c)는 60km/h 에 대한 결과이며 peak-to-peak 횡 가속도는 전반 차선 변경(A~B 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 0.723g, 웨브 결합방법이 0.790g, 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 0.773g, 웨브 결합방법이 0.93g 로서 9.3~20%의 차이를 보였다. 이와 같이 40, 50km/h 의 저속 주행 조건에서는 프레임의 결합방법이 횡 가속도에 미치는 영향이 작은 반면에 60km/h 의 고속 주행에서는 영향이 커졌다. 특히 후반 차선 변경부(C~D 구간)에서 횡 가속도의 피크 값 차이가 더 크게 나타나고 있으며 대략 20% 차이를 보여주고 있는데 이는 프레임의 결합방법이 대형트럭의 전체 비틀림 강성에 많은 영향을 미치기 때문이다.

Fig. 9 는 40, 50, 60km/h 의 등속 주행 속도로 이중차선변경 모의시험을 수행하여 구한 캡 질량 중심점에서의 요 각속도를 보여주고 있다. Fig. 9(a)는 40km/h 에 대한 결과이며, peak-to-peak 요 각속도는 전반 차선 변경(A~B 구간) 구간에서 14.01°/sec, 웨브 결합방법이 13.84°/sec, 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 16.38°/sec, 웨브 결합방법이 16.81°/sec 으로 대략 -1.2~2.7% 내외의

미미한 차이를 보였다. Fig. 9(b)는 50km/h 에 대한 결과이며 peak-to-peak 요 각속도는 전반 차선 변경(A~B 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 18.51°/sec, 웨브 결합방법이 18.40°/sec, 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 20.74°/sec, 웨브 결합방법은 22.43°/sec 이며, 대략 -0.6~8.1% 내외의 요 각속도 변화를 보여주었다. Fig. 9(c)는 60km/h 에 대한 결과이며 peak-to-peak 요 각속도는 전반 차선 변경(A~B 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 23.01°/sec, 웨브 결합방법이 23.62°/sec, 후반 차선 변경(C~D 구간) 구간에서 플랜지 결합방법이 23.93°/sec, 웨브 결합방법이 28.33°/sec 이며, 60km/h 와 같은 고속 주행 조건에서는 전반 차선 변경 구간에서는 2.7%의 차이를 보이는 반면에, 후반 차선 변경 구간에서는 18.4% 차이를 보였다. Fig. 9 와 같이 40, 50km/h 의 저속 주행에서는 프레임의 결합방법이 요 각속도의 변화에 거의 영향을 미치지 않는 반면에 60km/h 의

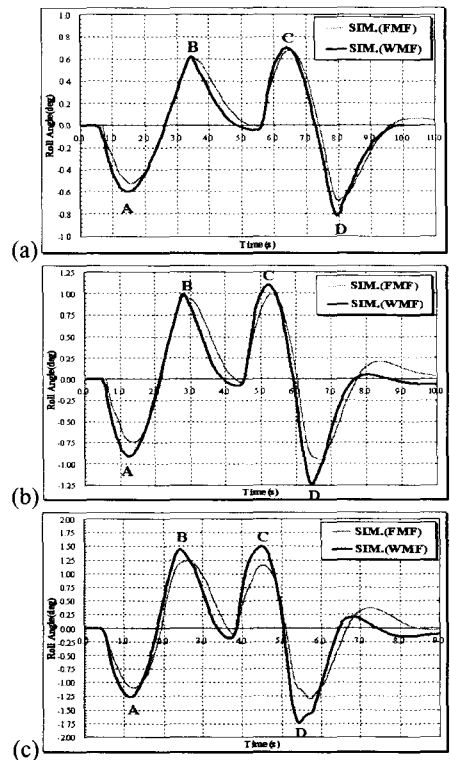


Fig. 7 Roll angle comparison of double lane change simulation(a)40km/h (b)50km/h (c)60km/h

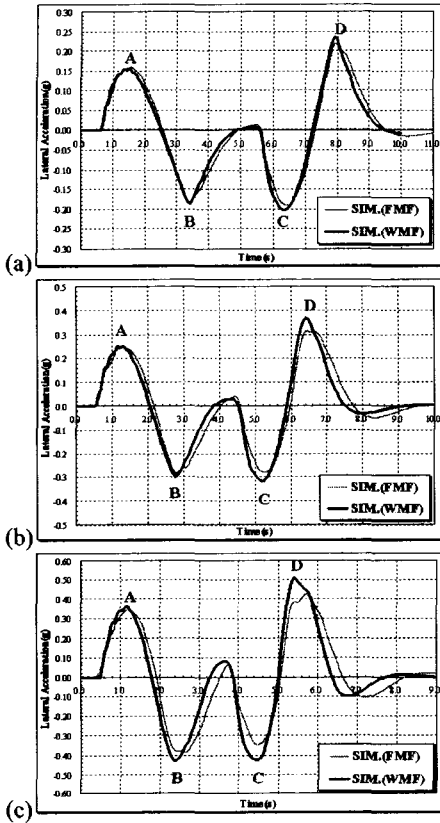


Fig. 8 Lateral acceleration comparison of double lane change simulation(a)40km/h (b)50km/h (c)60km/h

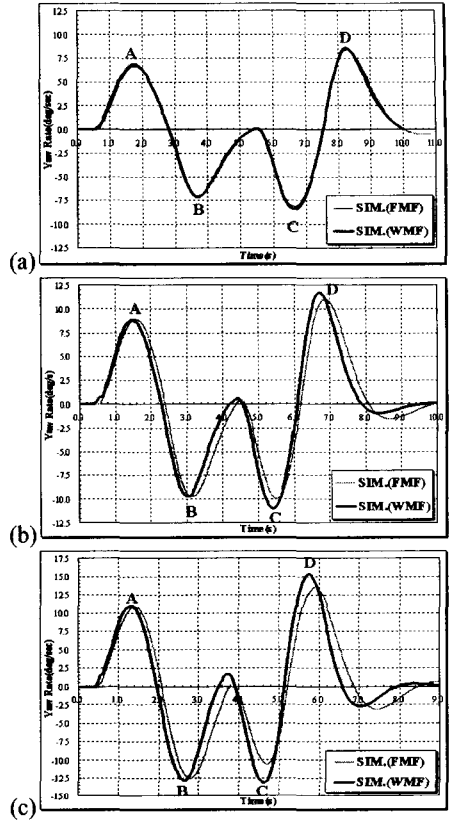


Fig. 9 Yaw rate comparison of double lane change simulation(a)40km/h (b)50km/h (c)60km/h

고속 주행에서는 웨브 결합방법의 유연 다물체 컴퓨터 모델은 플랜지 결합방법의 유연 다물체 컴퓨터 모델과 비교하여 요 각속도가 더 크게 변화하였다. 특히 후반 차선 변경부(C-D 구간)에서 요 각속도의 피크 값 차이가 더 크게 나타났다.

Fig. 7~Fig. 9로부터 50, 60km/h의 고속 주행에서 롤 각, 횡 가속도, 요 각속도의 경향이 웨브 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델은 플랜지 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델보다 앞서는 현상이 발생하였음을 알 수 있다. 이러한 현상이 발생하는 원인은 프레임의 결합방법이 전체 비틀림 강성 변화에 커다란 영향을 미치기 때문이다. 이와 같이 프레임의 결합방법 차이가 대형트럭 전체 비틀림 강성에 영향을 미치며, 이는 이중차선변경과 같은 선회 주행 상황에서 롤 각, 횡가속도, 요속도와 같은 주요 동특성인자의 피크 값 변화와 경향에 영향을 미쳤다.

5. 결론

본 논문에서는 프레임의 결합방법이 조종성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 플랜지 결합방법과 웨브 결합방법의 두 가지 프레임 결합방법을 고려하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대형트럭 프레임은 MSC/PATRAN 을 이용하여 유한요소로 모델링하였으며, MSC/ADAMS 를 이용하여 개발한 컴퓨터 모델에 유한요소 프레임 모델을 링크하여 유연 다물체 컴퓨터 모델을 개발하였다.
2. 실차시험을 수행한 결과와 플랜지 결합방법 프레임의 유연 다물체 컴퓨터 모델의 결과를 비교하여 컴퓨터 모델의 신뢰성을 검증하였고, 프레임의 결합방법이 대형트럭 조종성에 미치는 영향을 평가하기 위하여 개발된 유연 다물체 컴퓨터 모델을 이용하여 모의시험을 수행하

여 웨브 결합방법이 플랜지 결합방법에 비하여 롤 각, 횡가속도, 요속도의 피크 값 변화가 크게 일어남을 확인하였다.

3. 차량의 주행속도가 증가함에 따라서 웨브 결합 방법은 플랜지 결합방법과 비교하여 더 큰 롤 각, 횡가속도, 요속도 변화가 이루어졌다. 특히 후반 차선 변경부에서 롤 각, 횡가속도, 요속도의 피크 값 차이가 더 크게 나타났으며 60km/h의 고속에서 최대 35% 차이를 보여주었다. 그리고 50, 60km/h의 고속에서 웨브 결합방법의 롤 각, 횡가속도, 요속도 경향이 플랜지 결합방법보다 앞서는 현상이 발생하였다.

참고문헌

1. Takahashi, K., "A Torsional Strength Analysis of Truck Frames Using Open Section Members," SAE Paper 710595, 1971.
2. MSC/PATRAN, "User's Manual," MacNeal-Schwendler Corporation, USA, 1994.
3. Moon, I.D., Kwon, H.J., Oh, C.Y., "Development of a Computer Model for the Turning Maneuver Analysis of a Heavy Truck," KSAE Vol. 3, pp.121-129, 2000.
4. Ichikawa, A., Shinjo, H., Shima, T. and Susuki, Y., "Practical Applications of CAE for Truck Controllability and Stability Analysis," Truck and Bus Engineering Center, Mitsubishi Motors Corp., JAPAN, 912530, 1991.
5. Antoun, R.J., Hackert, P.B., O'Leary, M.C., Sitchin, A., "Vehicle Dynamic Handling Computer Simulation Model Development, Correlation, and Application Using ADAMS," SAE Paper 860574. 1986.
6. MSC/ADAMS, "ADAMS User's Manual," MacNeal-Schwendler Corporation., USA, 2001.
7. MSC/NASTRAN, "User's Manual," MacNeal-Schwendler Corporation, USA, 1994.
8. SAE, "Test Procedure for a Severe Lane Change Manoeuvre," ISO Technical Report 3888, 1975.