

## 범프로드에서의 대형트럭 승차감 평가

강희용, 양성모(전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소), 김봉철, 윤희중(전북대학교 대학원)

### Ride Quality of a Heavy Duty Truck on a Single Bump Road

H.Y.Kang, S.M.Yang, B.C.Kim, H.J.Yun

#### ABSTRACT

When it is considered that many vehicle rides on the road and ride quality is an important method to evaluate vehicle performance with handling, running-over-bump manoeuvre may be suitable for testing ride quality.

In this paper, A computed model has roughly steering system and lumped mass, connected by joint each rigid body, and suspension that has beam elements and has shock absorber as force element to represent nonlinear characteristics. A computer simulations for passing over a bump were made with two velocities. One side of vehicle passed over bump in due consideration of driver's habit that driver is subject to avoid a bad ride quality. On simulation, vertical acceleration, pitch angle and roll angle were measured at the mass center of chassis each case.

#### KEYWORDS

Ride Quality(승차감), Dynamic characteristics(동적 특성), Handling(조종성능), Passing over a Bump(단일범프통과), Roll angle(롤 각)

#### 1. 서론

일과의 대부분을 차량에서 지내는 대형트럭 운전자 요구와 차량의 고급화에 따라 차량의 승차감<sup>1)</sup>은 주행안정성과 함께 매우 중요한 차량 평가방법의 하나로써 자리를 잡아가고 있다. 또한

차량의 초기 설계 단계시 수요자의 욕구에 맞는 차량 모델을 만들기 위해선 차량 동특성을 예측할 수 있고 초기설계단계시 경제적 효율성을 높이는 신뢰적인 전산모델은 매우 필요하다.

본 논문은 대형트럭의 동특성의 경향 및 설계시 예측하기 힘든 부분을 미리 파악하여 차량 설계 수정 정보로 사용하고자 하며 차량 모델의 구성 중 차량 거동에 주된 영향을 미치는 단품에 대해선 기존 유사 제품의 실험치를 참조하여 차량 모델에 적용하였다. 승차감 평가에 주로 사용되는 단일 범프 통과시험을 시뮬레이션하였고 단일 범프 통과시 전산화 모델 조건은 차량의 속도가 10kph와 20kph이었으며 도로조건은 차량 주행시 차량의 한쪽 바퀴만을 단일범프에 걸치고 넘어려는 운전자의 습관을 고려하여 단일 범프의 반쪽만을 제작하였다. 그때 각각의 속도에 대한 차체의 수직가속도 및 피치각 그리고 이로 인해 발생하는 롤각의 변화를 통해 대형 트럭의 승차감에 대해 논하고자 한다.

#### 2. 차량 모델링

본 연구에서 사용된 전산모델은 전방 2축과 텐덤액셀<sup>2)7)</sup>을 가지는 덤프트럭으로 다물체동역학 프로그램 ADAMS을 이용하여 모델링하였다. Fig. 1은 23톤 덤프트럭의 전방 2축 조향계를 나타내고 있다.

전방 2축 차량 조향계는 스티어링 휠(steering wheel)과 스티어링 샤프트(steering shaft)와 유니버설 조인트(universal joint)로 연결하고 스티어링 샤프트와 스티어링 기어(steering gear)는 웜 기어(worm gear)로 연결하였으며, 피트만 암(pitman arm)과 커넥팅 로드(connecting rod)와

드래그 링크(drag link)는 구면 조인트(sphere joint)로 연결하고, 드래그 링크와 너클(knuckle)

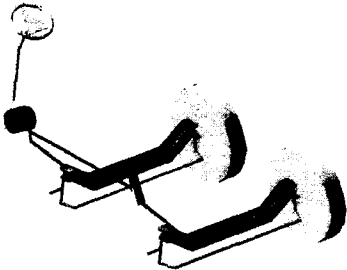


Fig. 1 Steering System

은 구면 조인트(spherical joint)로 연결하고, 너클과 타이 로드(tie rod)는 구면조인트로 연결하였다. 현가계에서 전방 현가계(front suspension)는 Fig. 2로 표현되며 리지드 액슬(rigid axle)로 구성되어있다.

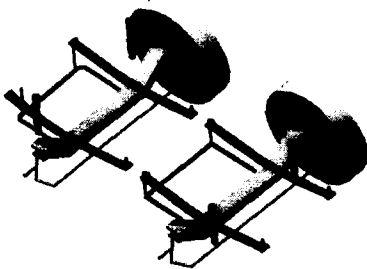


Fig. 2 Front Suspension

테이퍼판 스프링(Tapered leaf spring)은 차체(chassis)와 부싱(bushing)으로 연결되어있고 속업소버(shock absorber)는 상부는 차체와 하부는 차축에 부싱으로 연결되어있다. 속업소버는 실험을 통해 얻은 속도와 감쇠력 관계의 비선형 특성 데이터를 스플라인 함수<sup>10)</sup>(spline function)를 이용하여 힘요소(force element)로써 모델링하였고 안티롤바(Anti-Roll Bar)는 차축과 차체를 부싱으로 연결하고 비틀림변형과 굽힘변형을 고려한 보요소<sup>8)10)11)</sup>(beam element)로 모델링하였다.

Fig. 3에서 보여준 후방현가계는 무거운 짐을 실을 수 있고 각각의 차축에 현가계를 가지는 탠덤액슬(Tandem Axle)방식을 사용하고 있다. 접

판스프링<sup>4)8)</sup>(multi-leaf spring)의 끝단은 고무스프링(rubber spring)과 연결되어 차축에 고정되어 있다. 고무스프링은 부싱으로 모델링하였다. 접판스프링의 중앙부는 트러니언 베이스(trunnion base)에 연결되어 회전가능하다. 후륜 1축, 2축과 차체는 로어 래디우스 암(lower radius arm)과 어퍼 래디우스 A 암(upper radius A arm)으로 연결된 링크식 구조이다. 로어 래디우스 암과 차체는 회전조인트로 어퍼 래디우스 A 암과 차체는 구면 조인트를 사용하여 연결되어 있다.

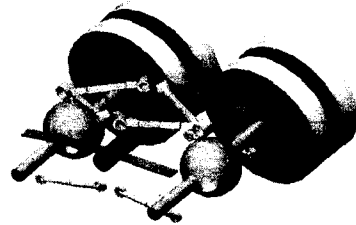


Fig. 3 Rear Suspension

프레임과 데크(deck), 캡(cab)과 엔진-트랜스미션(engine & transmission)은 강체로 구성되어 있다. 차량의 주행 시험시 사용된 타이어는 접지면(contact patch)이 직사각형이며 포물선 형태의 압력분포를 가지는 UA 타이어 모델이다.

### 3. 해석 결과

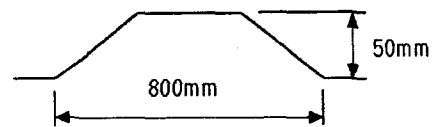


Fig. 4 Bump Profile

승차감 평가를 위한 모의 실험에서 사용된 단일 범프통과 시험에선 한쪽 바퀴만이 통과하고 다른 쪽은 평탄한 노면을 지나가게 하였다. 이에 대한 응답으로 피치각(pitch angle)과 수직 가속도(vertical acceleration)의 응답을 통해 대형트럭의

승차감치수를 수치적으로 파악하고자 한다. 단일 범프의 프로파일은 Fig. 4에서 보여 주고 있다. 차량 속도는 10kph와 20kph이며 시간에 대한 각각의 차체 수직가속도성분 PSD 특성은 Fig. 5, 6과 같다.

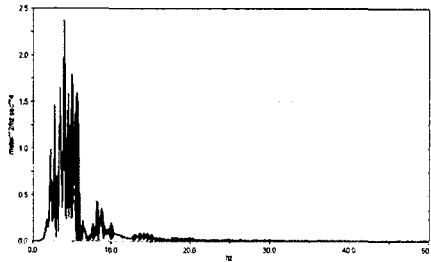


Fig. 5 PSD of Vertical Acceleration in Bump passing test

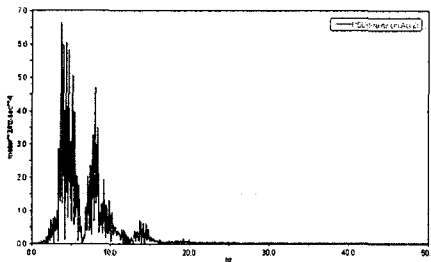


Fig. 6 PSD of Vertical Acceleration in 차량 Bump passing test (20 KPH)

속도 10 kph에서는 차체 수직 가속도성분이 최대  $12.74 \text{ m/sec}^2$  로 1.3g였으며 20 kph에선 최대  $17.183 \text{ m/sec}^2$  로 1.75g의 값을 나타내었다. 주파수 영역 응답에서 10 kph와 20 kph 경우 4.93 Hz와 3.71 Hz에서 피크값을 가졌으며<sup>5)</sup> 진동 PSD RMS 값은 각각 0.342g, 0.872g을 나타냈다. 차량 속도가 증가함에 따라 0.53g만큼 수직 가속도 성분이 증가하는 경향을 나타내었다.

차량 속도 10kph에서 후방 현가계가 단일범프를 통과하기 전에 전방현가계에 의한 피칭이 수렴되어 전방현가계와 후방현가계가 피칭에 대해 독립적으로 작용함을 알 수 있다. 20kph에선 전방현가계 응답이 수렴되지 않은 상태에서 후방현가계 응답이 시작되어 피칭응답이 나빠진다.

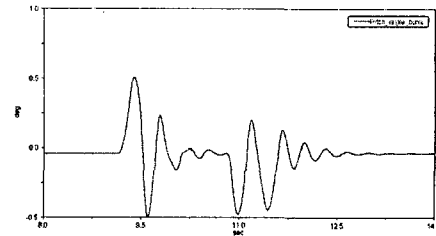


Fig. 7 Pitch Angle of Chassis in Bump passing test

각각의 속도에 대한 차체의 피치각변화는 Fig. 7와 8에 알 수 있으며 최대피치각이 0.5 deg에서 0.79 deg로 변화되었다.

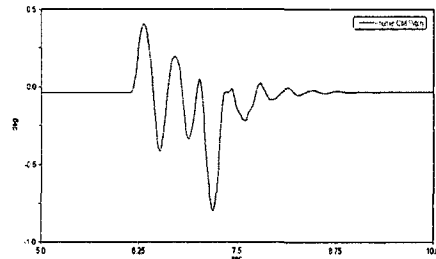


Fig. 8 Pitch Angle of Chassis in Bump passing test (20 KPH)

전방 현가계의 가진 영향도를 알아보기 위해 전 1축과 2축에서 나타나는 수직 가속도 PSD 값을 Fig. 9, 10에서 차속 10kph일 때 나타내었고 20kph일 때의 결과를 Fig. 13, 14에서 나타내었다. 차량 속도가 높아짐에 따라 진동 PSD RMS 값은 전 1축에서는 1.312g에서 1.5175g로 커지는 동적 거동이 일어났으나 전 2축에서 0.915g에서 1.99g로 급격히 상승하는 동적 거동을 나타내고 있다. 이런 한 현상은 단일 범프 충돌에 의한 급격한 반력에 의해 나타나는 현상으로 볼 수 있으며 속도가 증가함에 따라 단일 범프 충돌에 의한 거동보다 충돌 후 지면과 충돌이 더욱 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 후 1축과 2축이 전륜축보다 확연히 수직가속도 성분이 커지는 경향을 보이고 있는데 이는 Fig. 11, 12와 Fig. 15, 16을 통해 알 수 있다. 후 1축과 2축은 차량 속도가 20kph로 증감함에 따라 진동 PSD의 자승평균치<sup>3)6)9)</sup>(RMS) 값이 1.42g, 1.33g가 4.88g, 3.819g

로 증가하였으며 이는 약 4.5배로 급격한 증가를 나타내고 있다. 이런 현상은 차량 현가계 강성 구성이 전방보다 후방이 보통 4-5배정도 강한 이유와 함께 차량의 중량상태가 차량 후방에 무거운 짐을 실은 G.V.W. 상태가 아닌 전방쪽에 많은 하중을 받고 있는 KERB상태에 기인한 것으로 사료된다.

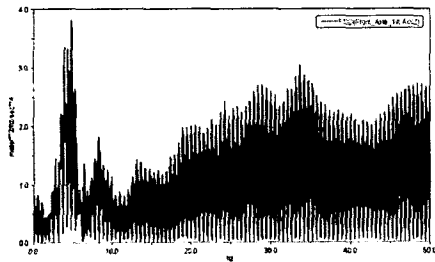


Fig. 9 PSD of Vertical Acceleration of Front Axle 1st

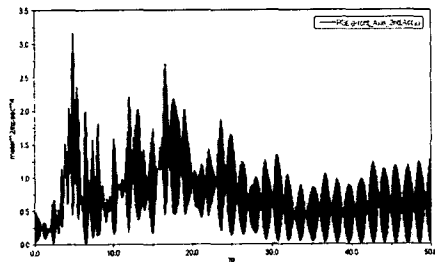


Fig. 10 PSD of Vertical Acceleration of Front Axle 2nd

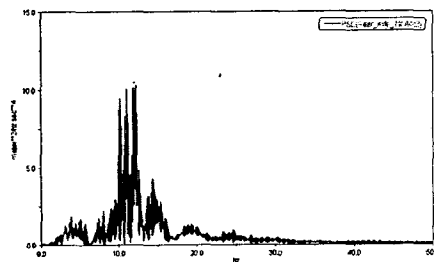


Fig. 11 PSD of Vertical Acceleration of Rear Axle 1st

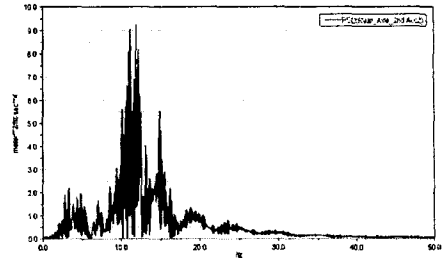


Fig. 12 PSD of Vertical Acceleration of Rear Axle 2nd

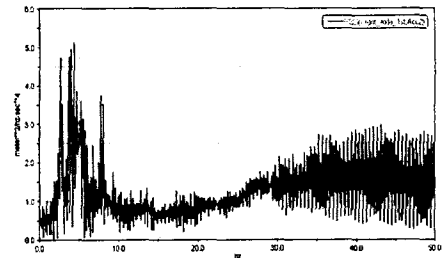


Fig. 13 PSD of Vertical Acceleration of Front Axle 1st in 20kph

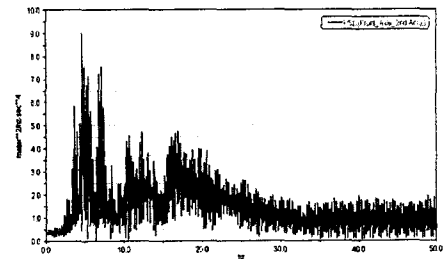


Fig. 14 PSD of Vertical Acceleration of Front Axle 2nd in 20kph

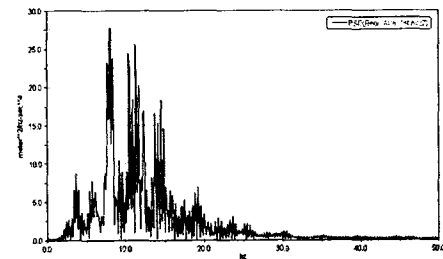


Fig. 15 PSD of Vertical Acceleration of Rear Axle 1st in 20kph

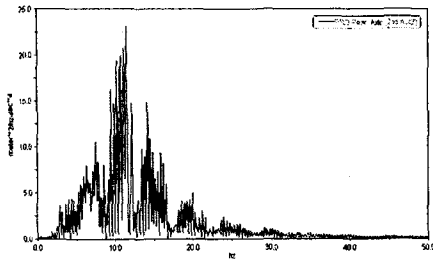


Fig. 16 PSD of Vertical Acceleration of Rear Axle 2nd in 20kph

단일 범프를 차량 한쪽만이 통과하면서 발생하는 차량의 동특성 롤 현상은 Fig. 17, 18에서 나타내고 있고 시속 10kph에서 최대 0.8deg, 20kph에선 1.54deg값을 가진다.

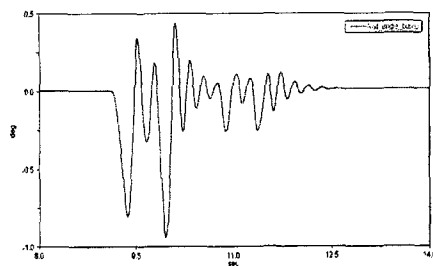


Fig. 17 Roll Angle in Bump passing test

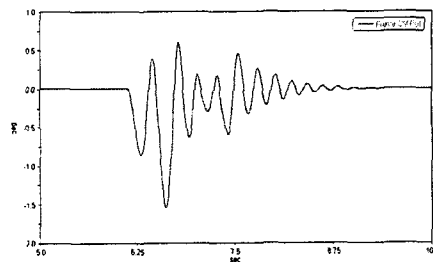


Fig. 18 Roll Angle in Bump passing test (20 KPH)

후방현가계 구조는 차축과 차체가 상하방향에 대한 응답을 하는 링크식 구조이며 강체로 된 차체의 영향으로 후방 현가계는 단일범프를 통과할 때 전방현가계에서 발생하는 롤 현상에 대한 응답만 있을뿐 롤 현상을 야기시키지 않는다. 롤 현상은 단지 전방 현가계의 영향을 받고 있다.

#### 4. 결론

본 논문은 단일범프통과시 차량속도 변화에 따른 차량 동 특성을 수치적으로 비교분석한 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

차량 속도가 증가로 인해 장애물 통과시 차체 수직 가속도성분은 현저히 높아져 승차감 저해를 야기시켰다. 대형트럭의 앞부분에 많은 하중이 가해진 KERB상태에서 단일범프통과시 수직가속도 성분은 전방현가계 보다는 후방현가계가 더욱 컸으며 증가된 가속도 성분이 차체에서의 수직가속도 성분을 높여 승차감이 저하되는 요인인 것으로 사료된다. 전후방 현가계의 단일범프 통과 시간의 차로 인해 발생된 피치현상은 고속시 후륜현가계가 범프를 통과시 시작되는 응답이 전방현가계의 응답과 맞물려 승차감을 저해시키게 하였다. 본 논문은 차량의 한쪽만을 장애물에 걸쳐 통과시키므로써 승차감을 높이려는 운전자의 습관을 고려하여 시뮬레이션을 하였고 이때 나타난 롤 현상은 속도 증가에 대해 매우 민감하게 반응하였다. 차량 설계시 이러한 운전자의 습관을 고려하여 설계에 반영하는 것 또한 중요한 요소라 생각한다. 다른 속도의 조건을 통해 나타난 결과를 토대로 차량 초기 설계시 안티롤바의 강성이나 현가계 강성을 설계목적에 맞게 고려할 필요가 있으며 모델수정에 필요한 수치적 정보를 제공하였다. 향후 전산모델은 차량의 동특성에 주된 역할을 하는 차체의 유연성을 고려하여 차체의 탄성변형이 고려된 보다 정확한 대형트럭의 승차감 정보를 수치적으로 얻을 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. Thomas D. Gillespie, "Fundamentals of Vehicle Dynamics", SAE, 1992
2. Wolfgang Maschinsky, "Road Vehicle Suspensions", Spring-Verlag Berlin Heidelberg, 1998
3. Dr Homer Rahnejat, Professor Robert Whalley, "Multi-Body Dynamics : Monitoring and Simulation Techniques", Mechanical

Engineering Publications Limited London and Bury St Edmunds, UK, 1997

4. "Truck Systems design handbook", SAE, 1992

5. Masanori Dohi and Yosihiko Maruyama, "Ride Comfort Optimization for Commercial Trucks", SAE, 1990

6. 김광석, 유완석, 이기호, 김기태, "샤시의 강성이 운전석 승차감에 미치는 영향 분석", KSAE 96370033, 1996

7. 가야바공업주식회사, "자동차 현가장치", 에드텍, 1997

8. "Spring Design Manual Second Edition AE-21", SAE, 1996

9. 임성수, 이장무, 최영휴, 민현기, "승차감 개선을 위한 승용차 현가계 특성치의 파라메타 해석", KSAE 933705, 1993

10. ADAMS(Automated Dynamic Analysis and Mechanical System), Mechanical Dynamic Inc. U.S.A.

11. NASTRAN user's manual, The Mac- Neal Schwendler Corporation, LA, U.S.A.