

에어서스펜션 장착 전후의 화물트럭 적재함의 진동 특성 비교

Comparison of Vibration Characteristics at the Freight Compartment of a Truck with and without Air Spring on the Rear Axle

송치문† · 장한기* · 조동철**

Chi Mun Song† , Han-kee Jang* , Dong-Cheol Cho**

Key Words : Air Suspension(공기 현가장치), Leaf Spring(겹판스프링), Vibration Characteristics(진동 특성), Ride Comfort(승차감)

ABSTRACT

This paper presented comparison of vibration characteristics of a 5-ton truck at the two kinds of rear axle suspension, a conventional leaf spring suspension and an air spring suspension. Vibration at the selected location in the freight compartment and the rear axle were measured while the vehicle was running on various kinds of road at the specified speed. At all kinds of the driving conditions used in the test the air spring suspension showed good performance of vibration attenuation, especially at the frequency range of under 5 Hz.

1. 서 론

화물트럭의 가장 기본적인 기능은 최소한의 시간 동안 최소한의 비용으로 화물을 목적지로 안전하게 운반하는 것이다. 하지만 운반 대상물의 성격에 따라 시간과 비용 보다는 안전하게 운반하는 것이 우선시되는 경우가 있다. 반도체 및 LCD 관련 장비와 전자 부품을 운반하는 경우와 예술품 및 악기 등을 운반하는 경우에, 지면으로부터 전달되는 충격과 진동은 제품을 파손시킬 수 있으며 이 경우 막대한 비용의 손실이 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 화물차량의 현가장치를 기존의 겹판 스프링에서 에어 스프링으로 변경하는 경우가 많아지고 있는 것이 현실이다.

에어 스프링을 이용한 현가장치, 즉 에어 서스펜션은 차량의 하중 변동 대응하여 공기량을 조절함으로써 적재량 변화에 따른 고유진동수 변화를 줄일 수 있고, 또한 높이 조정밸브(Leveling valve)에 의해 화물 적재함의 높이도 일정하게 유지시켜 준다. 하지만 후륜에 에어 서스펜션을 장착할 경우 스프링의 지지 위치가 겹판 스프링보다 내부에 위치할 수밖에 없어서 롤링(Rolling)이 발생하기 쉬운 단점이 있다.

미국이나 유럽에서는 오래전부터 공기 현가장치의 특성을 파악하기 위한 해석 연구가 활발히 진행되었다. Herdick⁽¹⁾은 공기스프링을 이용한 능동 현가장치 시스템에서 공기스프링의 상세한 모델링을 수행하였으며, 탁태오 등⁽²⁾은 공기스프링 현가장치를 장착한 후에 주행 중 노면 상에 움푹 패인 곳(Pot hole)에 양쪽 타이어가 빠지는 상황이나 차량이 급선회할 때 둔턱을 만나서 타이어의 측면이 둔턱에 올라타는 상황, 그리고 둔턱(Bump)을 만난 후 양쪽 타이어가 동시에 지면에 떨어지는 상황을 해석적으로 분석하였다. 이와 같이 해석적인 방법으로 에어 스프링의 성능을 분석한 연구 결과는 접할 수 있지만^(3,4) 실험적으로 그 성능을 확인한 자료는 드문 것이 현실이다.

† 책임저자, 고등기술연구원 및 아주대학교
E-mail : cmsong@iac.re.kr
Tel: (030)330-7477, Fax: (031)330-7116

* 고등기술연구원 제품기술센터

** (주)KASUS

본 연구에서는 주행 시험을 통하여 에어 서스펜션의 성능을 평가하고자 하였으며, 특정 화물트럭에 에어 서스펜션을 장착하기 전과 장착한 후에 주요 관심 지점의 진동 특성을 비교하였다. 시험은 다리이음매, 과속 방지턱, 미끄럼 방지노면, 일반도로 그리고 고속도로 등을 정해진 속도로 주행하며 수행되었다. 에어 서스펜션은 무진동 에어서스펜션 전문제조 업체인 (주)KASUS에서 개발한 4-spring type 의 에어 서스펜션을 제공받아서 시험에 사용하였다.

2. 진동 측정을 위한 조건

2.1 대상 차량

본 연구에서 사용된 트럭은 국내에서 화물 운반용으로 가장 많이 사용되는 5톤 급 차량으로 선정하였다. 선정된 모델은 현대 메가트럭 GOLD (5톤, 초장축)이며, 제조년도는 2004년, 마일리지는 120,000 km였다.

2.2 주행 조건

선정된 화물트럭에 에어 서스펜션을 장착하기 전과 장착한 후의 진동 특성을 비교하기 위하여 4가지의 주행 조건을 설정하여 주행 시 노면으로부터 전달되어지는 진동을 측정하였다. 주행조건은 다리이음매, 과속 방지턱, 미끄럼 방지노면 그리고 일반 고속도로로 선정하였으며, 에어 서스펜션을 장착하기 전과 장착한 후에 동일한 노면을 동일한 속도로 주행하면서 진동을 측정하였다. 주행조건은 Table 1에서 정리하였다. 주행 속도 측정은 Coorsys-Datron사의 Correvit L-CE 광학 속도계를 사용하였으며, 운전자가 본 속도계의 수치를 기준으로 속도를 유지하도록 하였으며, 데이터 처리 과정에서 지정 속도에서 $\pm 5\%$ 이상 벗어나는 경우의 데이터는 제외하였다.

Table 1 주행조건 및 주행코스

주행조건	주행코스	도로명	속도
다리이음매	용인-평택	45번국도 (자동차전용도로)	80 km/h
과속방지턱	백암-이천	75번국도	10 km/h
미끄럼 방지노면	양지-덕평	영동고속도로 (강릉방향)	100 km/h
고속도로주행	마성-동수원	영동고속도로 (인천방향)	100 km/h

2.2 시험장치 구성

본 시험에서는 Fig. 1과 Fig. 2에서와 같이 화물트럭의 후륜 현가장치 4지점과 적재함 3지점을 선정하여 진동을 측정하였으며, 각 지점에서 필요에 따라 1 또는 3축으로 측정하였다. Fig. 1과 같이 현가장치가 장착되는 프레임(①과 ④)에 각각 가속도계를 수직방향으로 장착하고, Rear Axle 양단(②와 ③)에 가속도계를 수직방향으로 장착하였다.

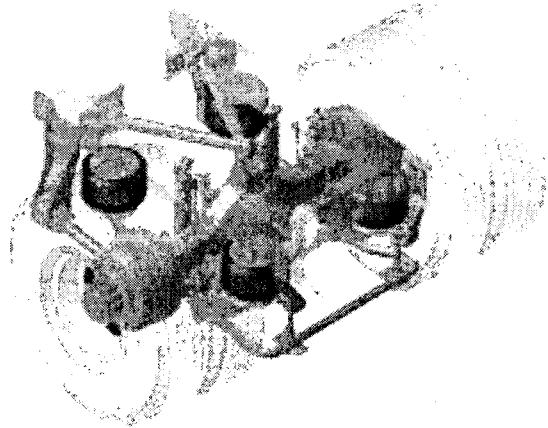


Fig. 1 Location of vibration measurement at the rear axle (1,4-Frame, 2,3-Rear axle)

또한, 화물트럭의 적재함에 후륜 차축의 바로 윗 지점에 가속도계를 부착하였으며(Fig. 2의 ⑥, ⑦), 차후에 적재함의 동적 현상을 확인 및 분석하기 위하여 Fig. 2의 ⑥ 지점의 X축 방향 연장선 상에 적재함 가장 앞 부분에(Fig. 2의 ⑤) 추가로 가속도계를 장착하였다.

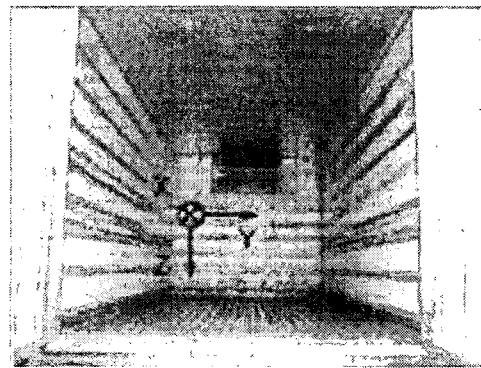


Fig. 2 Location of vibration measurement in the freight compartment(rear view)

각 지점에서의 측정방향과 사용한 센서는 Table 2에 정리하였다. 주행 중 각 지점에서 측정된 가속도 신호는

SONY PC 216A 테이프 레코더에 저장하였으며, 데이터 분석에는 B&K Pulse analyzer를 이용하였다.

Table 2 측정 장비

Ch. No.	Meas. point	Quantity	Dir.	Transducer
1	1	Acceleration	Z	B&K 4383
2	2		Z	
3	3		Z	
4	4		Z	
5	5		Z	
6	6	X	B&K 4321	
7	6	Y		
8	6	Z		
9	7	Z		
10	Front bumper	speed	X	Corrsys L-CE

3. 시험 결과

본 연구에서 선정한 화물트럭이 4가지의 조건으로 주행하는 동안 주행 구간별로 정속을 유지한 구간을 발췌하여 해당구간에서의 에어 서스펜션을 장착하기 전에 측정된 진동 신호와 장착한 후에 측정된 진동 신호를 분석하였다. 시험에서는 적재함과 액슬 장착 부위의 진동을 모두 측정하였으나, 본 논문에서는 적재함에서의 진동량만을 비교하였다.

3.1 다리이음매

적재함에서의 진동량을 측정한 결과를 보면(Fig. 3), 적재함의 앞부분(⑤)에서의 진동량은 에어 서스펜션 장착 전후를 비교해볼 때, 최대 피크 값은 장착 후에 50% 정도 증가하였으나, 60 Hz까지의 주파수 영역에서의 전체 진동 에너지는 다소 감소하였다. 적재함의 뒷부분(⑥, ⑦)에서는 에어 서스펜션을 장착하였을 경우 진동량 초기 대비 약 60% 정도로 감소함을 알 수 있었으며, 피크 값도 절반 가까이로 낮아짐을 확인하였다.

3.2 과속 방지턱

과속 방지턱을 통과할 때, 적재함에서의 진동량을 측정한 결과를 보면(Fig. 4), 다리 이음매 통과시의 결과와 마찬가지로 에어 서스펜션을 장착하였을 경우 적재함의 뒷부분(⑥, ⑦)에서의 진동량이 절반 이하로 작아지는 것을 확인할 수 있었다. Cab에 인접한 위치인 측정점 ⑤에서는 진동의 감소량이 매우 적음을 알 수 있는데, 이는, 에어 서스펜션을 후륜에서만 교체하였기 때문이다.

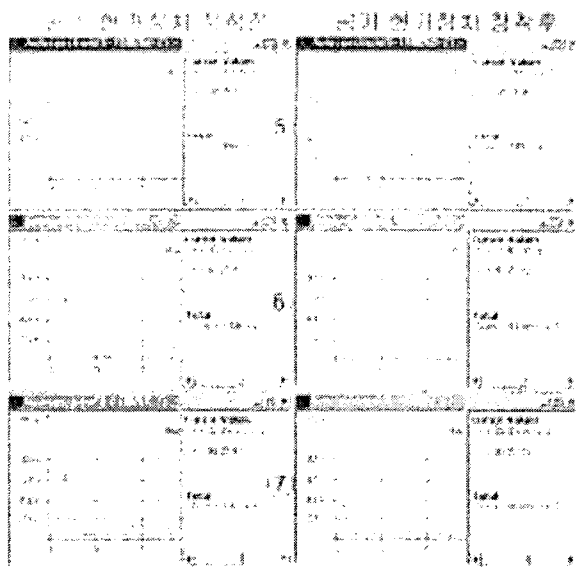


Fig. 3 다리이음매 통과시 적재함에서의 수직 진동 주파수 스펙트럼-에어 서스펜션 장착 전후

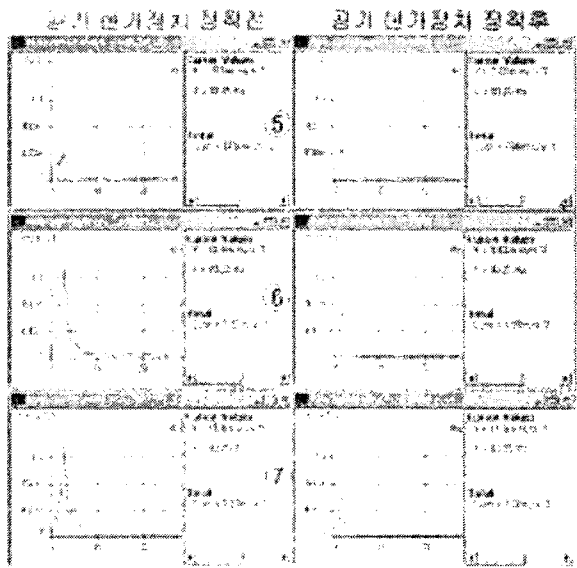


Fig. 4 에어 서스펜션 장착 전후에 과속방지턱을 통과할 때 화물트럭의 적재함에서 측정된 진동 신호

3.3 미끄럼 방지노면

영동고속도로의 양지에서 턱평 방향으로 주행시 내리막 길에 설치되어진 미끄럼 방지노면을 통과할 때의 측정된 결과를 보면 Fig. 5와 같이 에어 서스펜션을 장착하였을 경우 주요 피크가 3.25 Hz와 4.5Hz에서 나타나고 있는데, 에어 서스펜션 장착 후 두 피크 모드 상당 폭 줄어들음에 따라 5 Hz이하의 진동량이 특히 작아지는 것을 확인할 수 있었다.

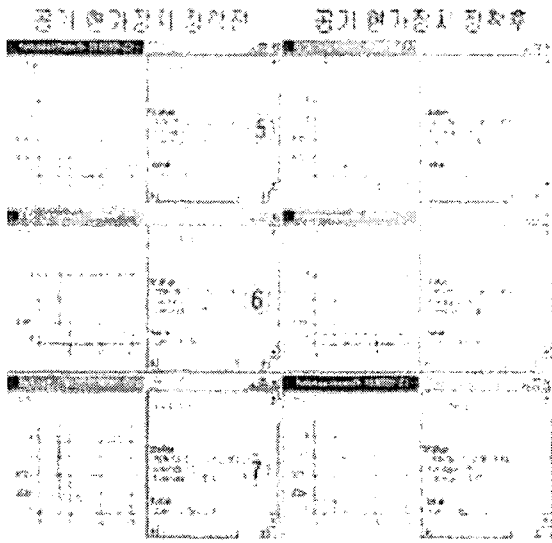


Fig. 5 에어 서스펜션 장착 전후에 과속방지턱을 통과할 때 화물트럭의 적재함에서 측정된 진동 신호

3.4 콘크리트 고속도로 주행

영동고속도로 마성에서 동수원 방면으로 100 km/h의 속도로 주행시 적재함에서 측정된 결과를 보아도 앞에서 언급한 경우들과 마찬가지로 양상을 보이고 있었다. 에어 서스펜션을 장착하였을 경우 적재함 뒷부분의 진동량이 특히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 주파수 영역으로 볼 때는 5 Hz이하의 영역에서 저감 효과가 매우 큼을 알 수 있었다.

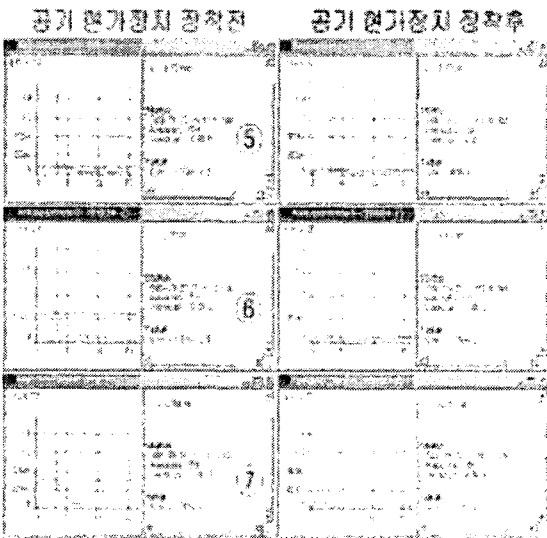


Fig. 6 에어 서스펜션 장착 전후에 고속도로 주행시 화물트럭의 적재함에서 측정된 진동 신호

본 시험 연구의 목적은 특정 차량에 에어 서스펜션을 장착하였을 때 진동의 저감 효과가 어느 정도인지 보기 위함이었다. 에어 서스펜션 장착 후 적재함에서의 진동 저감 효과는 노면과 주행 속도에 따라 차이가 있으나 진동 에너지(r.m.s.값)로 판단할 때 40% 이상 저감 효과가 있었다. 그리고 특히 거동의 변위가 커서 화물의 파손에 영향을 크게 미칠 것으로 예상되는 저주파수 영역(5 Hz)에서의 진동 저감 효과가 뛰어난 것을 알 수 있었다. 그리고 진동 저감 효과는 주행 속도나 노면의 유형에 상관없이 전반적으로 우수하게 나타나는 것으로 판단되었다.

후 기

본 논문에서 수행한 시험은 (주)KASUS의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) D. Cho and J. K. Herdick, 1985, "Pneumatic Actuators for Vehicle Active Suspension Applications," Transactions of the ASME, vol.107, pp.67-72.
- (2) 탁태오, 김금철, 1999, "공기스프링 현가장치 성능해석," 강원대학교 산업기술연구소 논문집, 제19집.
- (3) 정준채 외 2명, 1996, "상용 차량용 능동/반능동 현가시스템 제어," 한국자동차학회, 1권, pp.466-471.
- (4) 문일동외 3명, 2002, "후륜, 에어서스펜션을 장착한 대형 상용차의 동특성 해석," 전북대학교 부설 공학연구원 공학연구, 제33집, pp.223-230.

4. 결론