

공기 현가장치를 장착한 화물차량의 진동측정 및 한국형 공기 현가장치 모듈 개발 Vibration Test of Truck with Air Suspension & Development of Korean Type Air Suspension

우준성† · 전용호* · 정성필* · 박태원* · 권순기**

Jun Seong Woo, Yong Ho Jeon, Sung Pil Jung, Tae Won Park, Soon Ki Kwon

Key Words : Air suspension(공기 현가장치), Vibration test(진동), Development of vehicle chassis(샤시개발), Dynamic model of vehicle(차량 동역학 모델), Truck(화물차량)

ABSTRACT

A leaf spring suspension has been widely used since it can carry big load and simplicity. But one major drawback is the poor ride performance because of the friction in the system and the high stiffness coefficient. To overcome these, air spring suspension can be used. The air spring suspension system can improve the ride of the heavy vehicle significantly and also it can adjust the height to the loading and unloading. A truck with the leaf suspension system is modified with the air suspension system and the performance of the vehicle is compared using the suggested method. The existing leaf suspension can be replaced with the air suspension system to improve the performance.

게 교체할 수 있는 “한국형 화물차량 공기현가장치” 모듈을 고안하였다.

1. 서론

구조의 단순함과 큰 하중을 지지할 수 있는 장점으로 상용차량의 경우 겹판 스프링(Multi Leaf Spring)을 사용한 현가장치가 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 겹판 스프링은 판과 판 사이의 마찰력 및 높은 스프링 상수로 인한 승차감 저하의 단점을 가지고 있다.

이런 단점을 보완하기 위한 공기 스프링 현가장치(Air Spring Suspension)는 낮은 스프링 상수를 가지고 있어 승차감 향상에 유리하며, 차량 내부의 진동 절연으로 부품간의 기계적 마모를 감소시켜 부품 수명향상의 장점을 가지고 있다. 또한 스프링 내부의 공기압을 조절함으로써 차고를 일정하게 유지시키거나, 원하는 높이로 조절 가능하다.

현재 공기 스프링의 대부분은 미국, 일본, 유럽 등에서 출시되고 있으며, 국내는 이를 수입하여 겹판 스프링이 장착된 차량에 교체·장착하는 업체가 대부분이다.

본 연구는 각각 겹판 스프링과 공기 스프링을 장착한 상용차량의 진동측정 결과를 비교분석 하였으며, 겹판 스프링을 장착하여 출고된 국내 상용차량의 현가장치를 공기 스프링 현가장치로 쉽

2. 진동측정

2.1 진동측정 차량 제원

진동 시험 대상 차량은 5톤 트럭으로 주요 제원은 아래의 Table 2.1 과 같다. 공기 스프링 현가장치를 장착한 차량과 겹판 스프링 현가장치를 장착한 차량은 같은 제조사에서 생산된 동일 모델이며, 공기 현가장치 차량은 출고 시 장착된 겹판 스프링을 제거한 후 수입된 공기 현가장치로 교체 장착한 차량이다.

Table 2.1 진동 시험차량 제원

차량 중량(kg)		6665
채대 적재량(kg)		5000
차체 제원 (mm)	길이	8620
	너비	2400
	높이	2525
공차시 하중분포	전륜(kg)	2740
	후륜(kg)	2325
적차시 하중분포	전륜(kg)	3705
	후륜(kg)	6555

† Graduate school of Mechanical Engineering, Ajou Univ.

E-mail : jaywoo7@ajou.ac.kr

Tel : (031) 219-2952, Fax : (031) 219-1965

* Graduate school of Mechanical Engineering, Ajou Univ.

** GOLD VAN CO., LTD.

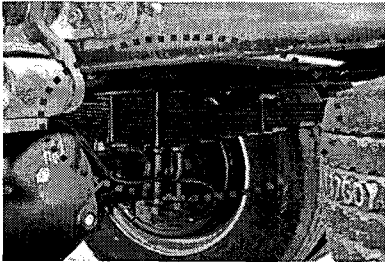


Fig.2.1 접판 현가장치 장착 차량

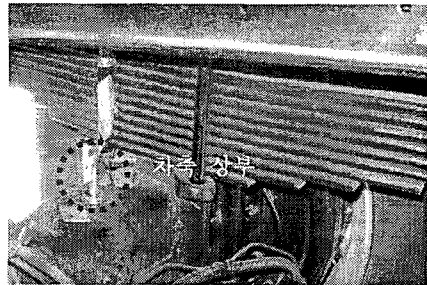


Fig.2.4 접판 스프링 현가장치 상부 가속도계 장착

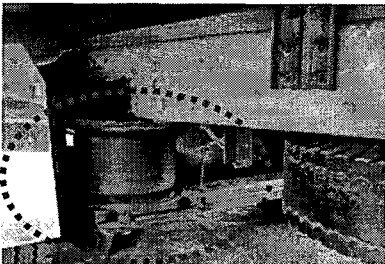


Fig.2.2 공기 현가장치 장착 차량

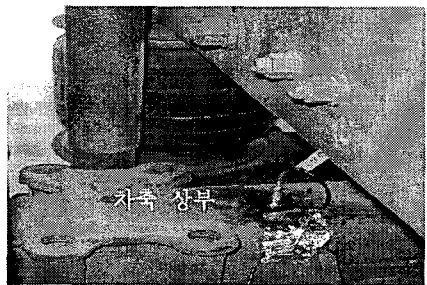


Fig.2.5 공기 스프링 현가장치 상부 가속도계 장착

2.2 시험장치의 구성

(1) 시험장비

- 가. 가속도계 : 0.5 Hz~ 1000Hz 의 측정 주파수 범위를 갖는 3 축 가속도계 2 개와 단축 가속도계 1 개를 사용하였다.
- 나. SCXI System : Data 수집 장치로서 가속도계로부터 들어오는 신호를 Note Book 으로 보내는 인터페이스 역할
- 다. Software : 디지털 신호를 그래픽으로 가시화시키는 역할과 데이터 저장 (LabView)
- 라. BNC Cable : 가속도계와 SCXI 장비를 연결
- 마. 인버터 : 차량 주행 중 SCXI System 과 Note Book 에 전원 공급

(2) 가속도계 장착

가속도계는 차량의 적재함 전(1), 후(2)와 후륜 차축위에 장착되었으며, 접판 스프링 차량과 공기스프링 차량의 동일한 위치에 장착하였다.

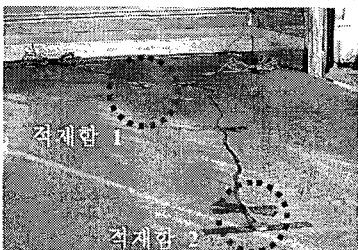


Fig.2.3 적재함 내부의 가속도계 장착

(3) 실험장치의 흐름도

Fig.2.6 에서 볼 수 있듯이 차량에 장착된 가속도계 마다 측정장치인 SCXI System 과 연결되어 있으며, 실험에서 조건에 따라 측정된 데이터들은 Note Book 에 각각 저장되고 계속되는 실험마다 같은 형태로 측정값을 얻을 수 있다.

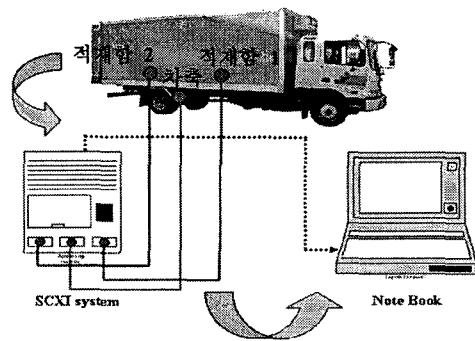


Fig.2.6 실험장치의 흐름도

2.3 시험방법

(1) 시험조건

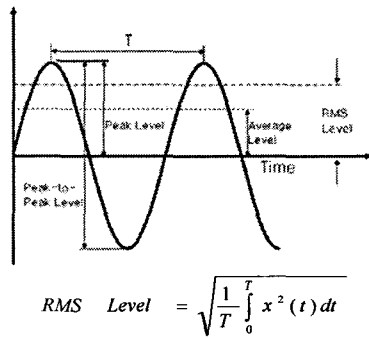
시험은 국내 지방도로와 고속도로에서 이루어졌으며 주요 시험구간과 주행속도, 측정시간은 Table 2.2 와 같다. 각 조건마다 2 회의 시험을 실시 하였다.

Table 2.2 구간별 차량 시험조건

주행조건	주행속도(km/h)	측정시간(sec)
과속방지턱 통과	20	60
비포장 도로 주행시	20	60
고속도로 주행시	100	420

(2) 측정 데이터 처리

구성한 측정장비를 통하여 얻은 데이터는 시간에 대한 가속도 성분이다. 각 주행조건에서 얻어진 데이터를 RMS 값으로 계산하였다. 아래의 식과 같이 RMS 값은 시간에 대한 변화량을 고려하고, 진동이 파과적 능력을 나타내는 에너지량과 직접 관련된 진폭을 표시하므로 진동 크기의 표현에 가장 적절한 것으로 알려져 있다.



또한, 시간에 대한 가속도 데이터를 주파수 분석하여 저주파 밴드필터(Low Pass Band Filter)에 통과 시킴으로써 샘플링 동안 발생할 수 있는 신호 왜곡에 따른 오차를 제거하였다. 디지털 신호로 변환된 신호에 대하여 급속 푸리에 변환(FFT)을 사용하여 주파수 영역으로 변환시킨 후 각 주파수에 대한 진동가속도 파워밀도(PSD)를 구하였다. 본 연구의 관심 주파수 영역은 1~20Hz 이며 신뢰성 있는 측정을 위하여 500Hz로 샘플링 하였다.

2.4 시험결과

(1) 과속방지턱 통과

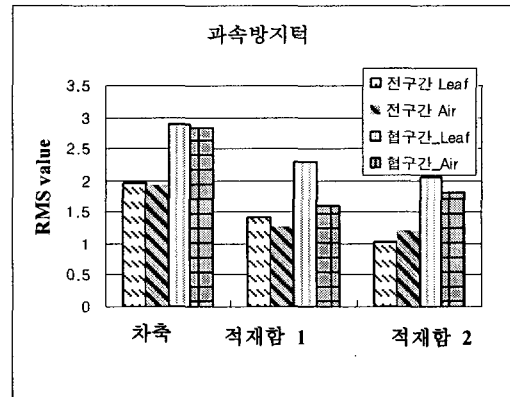


Fig.2.7 과속방지턱 통과 시 RMS

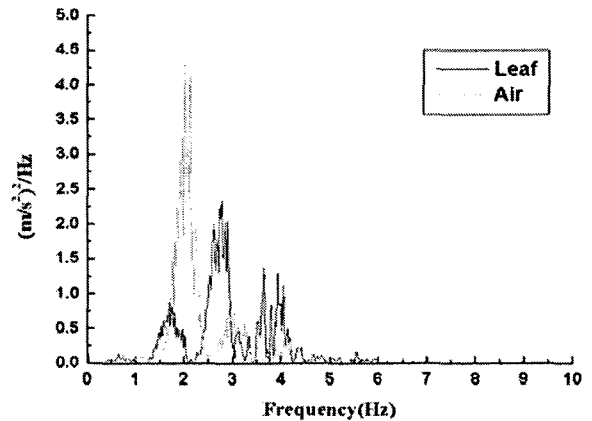


Fig.2.8 적재함 1에서의 과속방지턱 통과 시 PSD

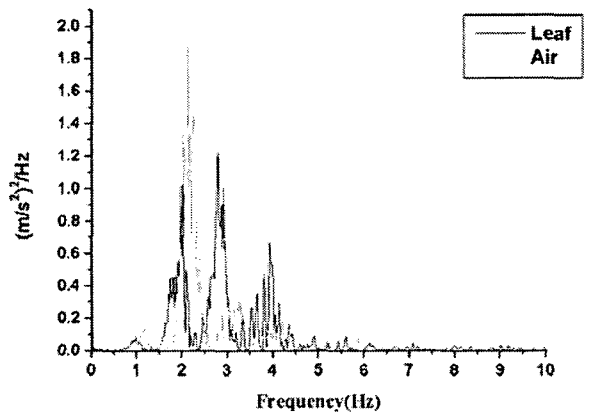


Fig.2.9 적재함 2에서의 과속방지턱 통과 시 PSD

(2) 비포장도로 주행

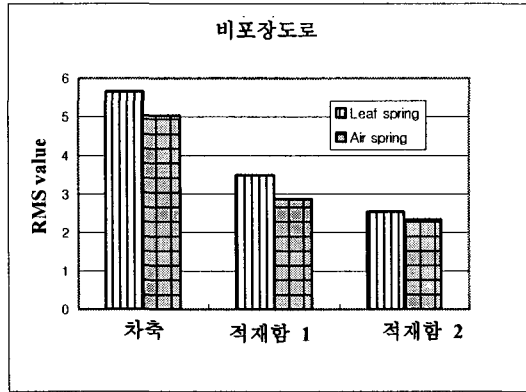


Fig.2.10 비포장도로 주행 시 RMS

(3) 고속도로로 주행 시

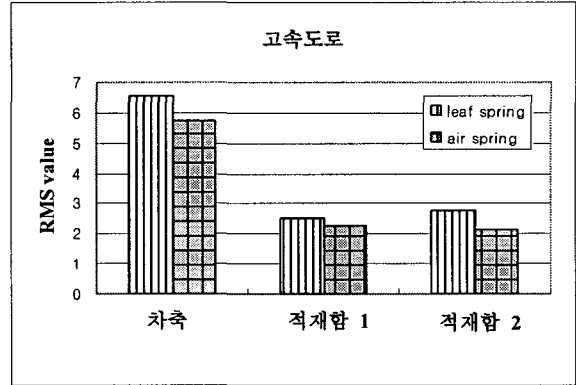


Fig.2.13 고속도로로 주행 시 RMS

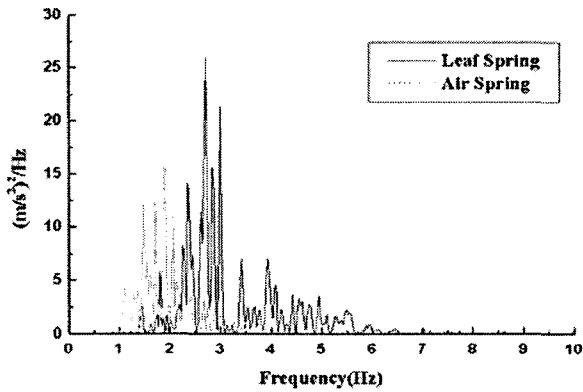


Fig.2.11 적재함 1에서의 비포장도로 주행 시 PSD

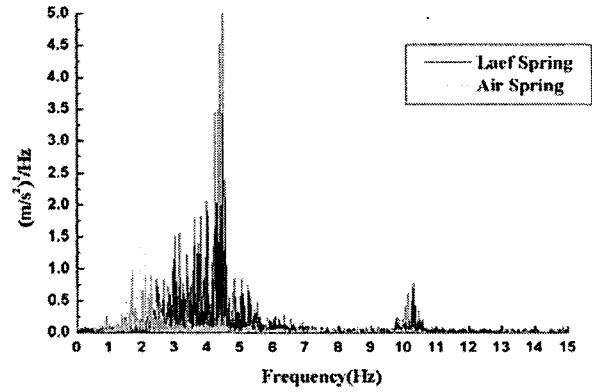


Fig.2.14 적재함 1에서의 고속도로로 주행 시 PSD

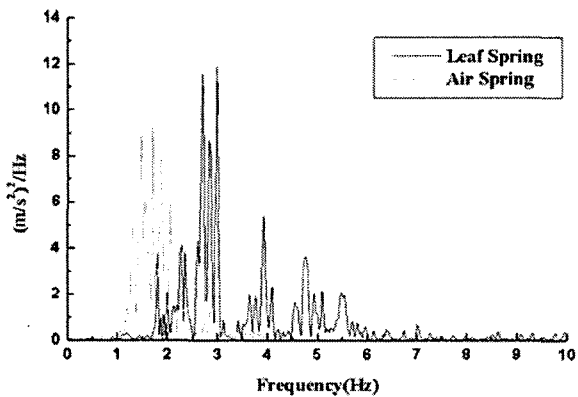


Fig.2.12 적재함 2에서의 비포장도로 주행 시 PSD

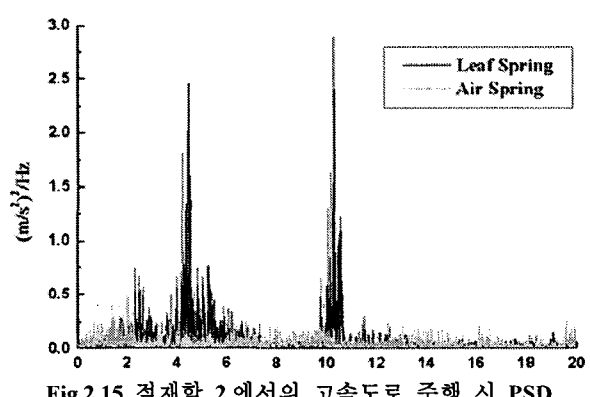


Fig.2.15 적재함 2에서의 고속도로로 주행 시 PSD

이상의 시험 결과로서 RMS 값은 곽판 스프링을 장착한 차량보다 공기 스프링을 장착한 차량이 주행조건에 따라 10~ 30 % 효과적임을 나타내고 있다.

또한, PSD 분석을 통하여 공기 스프링을 장착한 차량이 주행 중 2Hz 에서 진동이 나타남을 알 수 있었고, 2Hz 이상의 진동은 곽판 스프링에 비하여 크게 절연됨 알 수 있다.

3. 한국형 공기 현가장치 모듈개발

3.1 모듈 개발 배경

공기현가장치는 앞의 시험 결과로 볼 수 있듯이 높은 주파수의 진동을 효율적으로 절연할 수 있으며, 화물 및 차량의 손상을 크게 줄일 수 있다. 이러한 장점으로 근래는 고가품이나 희귀물의 수송뿐만 아니라 일반적인 화물 운송차량에도 많이 쓰이고 있어 그 수요가 점차 증가되고 있다.

그러나 아직 국내 많은 공기현가장치 장착차량은 출고 시 장착된 곁판 스프링을 수작업으로 제거한 후 수입된 공기 현가장치 모듈을 장착하고 있는 실정이다. 이 공정에서 수입 모듈이 국내 차량 제원에 맞지 않아 프레임의 탈·부착 시 기존 프레임을 깎아내거나, 브레이크 드럼 및 에어 챔버의 위치를 바꾸는 등 불필요한 시간과 노동력을 소모하고 있다.

본 연구에서는 공기 스프링 현가장치의 진동측정뿐만 아니라 샤시(Chassis)개발 기법을 통하여 국내 화물차량의 제원에 맞으며, 빠르고 쉽게 곁판 스프링 현가장치를 공기 스프링 현가장치로 교체·장착할 수 있는 모듈을 고안, 개발하고자 하였다.

3.2 차량의 샤시 개발기법

개발하고자 하는 현가장치 모듈이 장착된 화물차량을 컴퓨터를 이용하여 다물체 동역학 모델링 하였으며, 이 모델을 통하여 현가장치의 컴플라이언스와 부시 및 조인트에 가해지는 하중, 그리고 승차감을 예측할 수 있다.

또한, 현가장치를 유한요소로 모델링(FEM)하여 타이어 밀면에서 하중을 가한 후 프레임에 나타나는 응력을 분석하고 안전성을 평가한다.

개발될 한국형 공기 현가장치 모듈의 비교대상으로서 수입 모듈을 동역학 모델링 및 유한요소모델링 하였다.

Fig.3.1은 샤시 개발의 흐름도를 나타낸다.

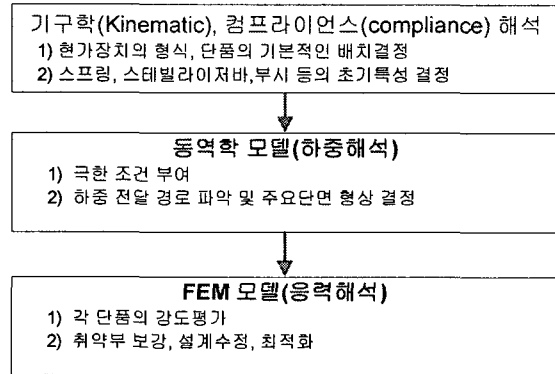


Fig.3.1 샤시 개발 흐름도

3.3 동역학 모델링

(1) 차량 제원

개발중인 모든 공기 현가장치의 스프링은 수입 모듈과 동일한 제품을 사용하였으며 동특성 곡선은 제조사로부터 입수할 수 있었다. 공기 현가장치는 레벨링밸브(Leveling Valve)로 스프링 내부 압력을 일정하게 유지함으로써 정차 시 적재중량에 관계없이 항상 일정한 높이를 유지한다. 스프링의 초기 하중과 장착 높이가 결정되면 다음의 동특성 곡선에서 스프링특성을 유추할 수 있다.

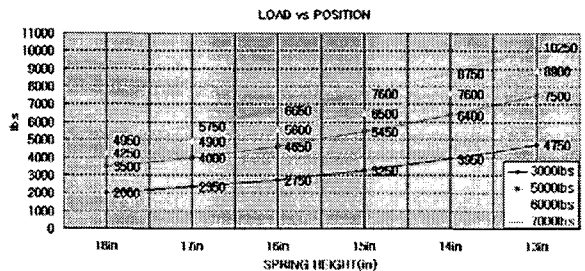


Fig.3.2 공기 스프링의 동특성 곡선

Fig.3.2에서 공기스프링은 적재하중에 대한 스프링 강성(곡선의 기울기)이 거의 유사함을 보인다.

프레임간의 연결위치는 부시를 사용하였으며, 강성은 공기 스프링을 장착한 공차 시 중량 11 ton 버스의 부시 데이터를 이용하였다.

Table 3.1 부시 강성

	X	Y	Z	단위
축방향 강성	19235.29	20872.34	19235.29	N/mm
회전 강성	5E+6	2E+6	5E+6	N mm/deg
축방향 감쇠	100	100	100	N s/mm
회전 감쇠	4000	200	4000	N mm s/deg

타이어는 UA tire 로 모델링 하였으며 제조사로부터 강성을 입수 할 수 있었다.

Table 3.2 타이어 강성

VSR	108 (kgf/mm)
LSR	39 (kgf/mm)
RSR	60 (kgf/mm)
TSR	30 (kgf/deg)

(2) 과속방지턱 통과

차량의 동역학 모델은 상용프로그램인 ADAMS 를 사용하였으며 Fig.3.3 에서 Fig.3.5 는 수입모델과 개발중인 한국형 모델을 장착한 차량 동역학 모델을 나타낸다. 대상 차량은 11 톤(4X6) 화물차량(최대 총 중량 22.5 ton)으로 후륜의 두축 현가장치를 제외하고 모두 동일하게 모델링 하였다.

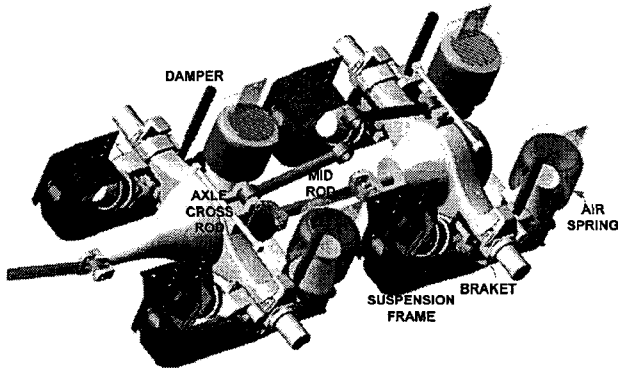


Fig.3.3 수입모델이 장착된 화물차량의 동역학 모델

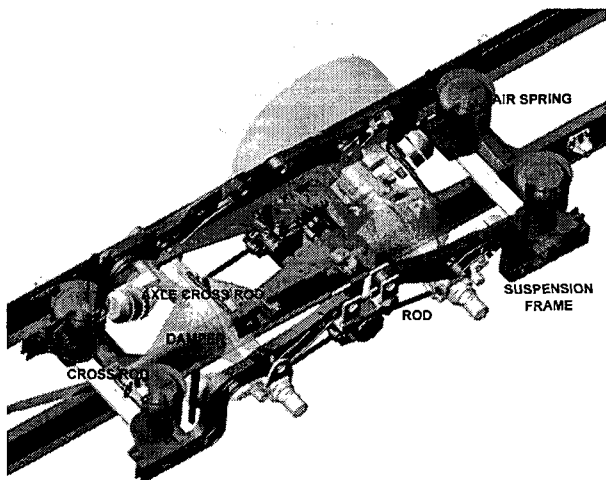


Fig.3.4 모델_A 를 장착한 화물차량의 동역학 모델

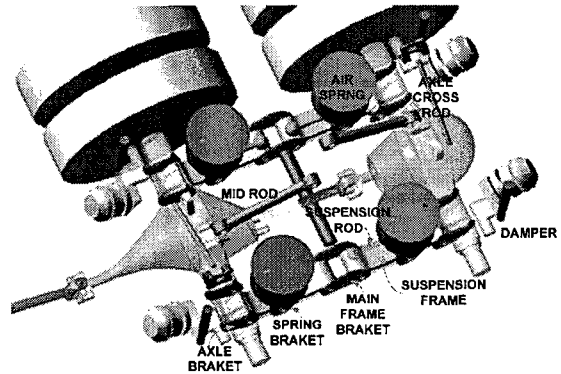


Fig.3.5 모델_B 를 장착한 화물차량의 동역학 모델

개발 모델은 겹판 스프링을 장착하여 출고된 화물차량을 쉽고 안전하게 에어스프링으로 장착할 수 있도록 고안되었으며, 차량의 주 프레임을 제거해야 하는 수입모델과 달리 출고 시 형태를 최대한 그대로 보존하여 구조적 안전성을 유지하도록 하였다.

개발된 동역학 모델의 승차감을 평가하기 위하여 과속방지턱 통과 시험을 하였다. 과속 방지턱은 한국의 도로교통법 규정에 따라 폭 1m, 높이 0.1m 로 결정하였으며, 차량이 최대적재상태 (22.5 ton)임을 감안하여 진입속도는 10 km/h 로 하였다.

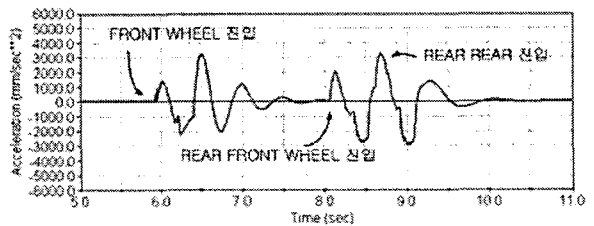


Fig.3.6 수입모델 장착 차량의 상·하 가속도

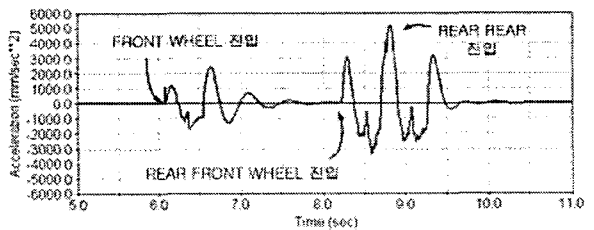


Fig.3.7 모델_A 를 장착 차량의 상·하 가속도

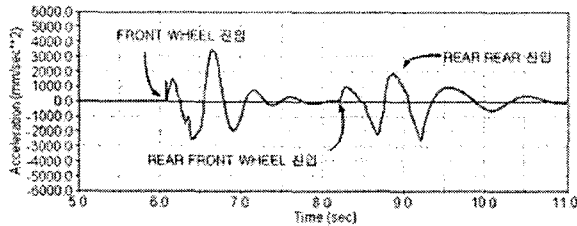


Fig.3.8 모듈_B 장착 차량의 상·하 가속도

Fig.3.6 에서 Fig.3.8 까지 수입모듈 장착차량과 개발 모듈 A 와 B 를 장착한 차량이 과속방지턱을 통과할 때 적재함의 수직 상·하 가속도를 나타낸다.

개발 모듈의 승차감을 평가할 수 있는 방법 중의 하나인 과속방지턱 통과 모델은 적재함의 상·하 가속도와 통과 후 차량이 안정화 되는 시간으로 검토된다.

모듈_A 와 B 는 화물차량이 출고될 때의 차축 위치와 브레이크 드럼의 위치를 변경 할 수 없기 때문에 공기 스프링을 후륜의 두 차축 안쪽과 바깥쪽에 장착하였다.

과속방지턱을 지나면서 지면에서 타이어를 통하여 차축에 전달된 하중은 현가 프레임에 장착된 공기스프링과 피봇을 통하여 차체로 전달된다. 동일한 공기스프링을 사용한 공기현가장치라도 스프링과 피봇 위치에 따라 Fig.3.6 에서 Fig.3.8 과 같이 전체적인 승차감 특성은 달라지게 된다.

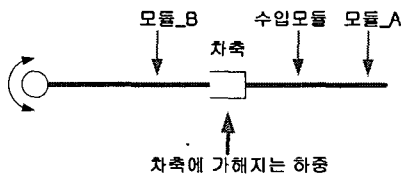


Fig.3.9 모듈 스프링의 상대적 위치

3.4 유한요소 모델링

현가장치는 차량의 지면으로부터 전달되는 진동과 충격을 절연하는 만큼 구조적인 안전성 역시 고려되어야 한다. 때문에 사시설계 시 유한요소모델을 통한 단품의 강도 평가와 치수 및 설계수정 과정이 필요하다. 프레임의 재질은 구조용강(SS400)을 선택하였다.

정적인 유한요소해석을 위하여 타이어의 밑면에서 모듈에 가하는 하중은 방향에 따라 축하중의 2~3 배이며, 주행 중 발생 가능한 상황을 구현하여 응력이 집중되는 부분을 검토 한다.

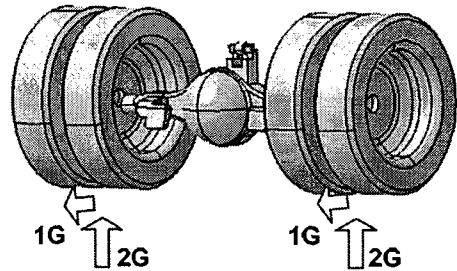


Fig.3.10 주행 중 웅덩이에 빠지는 상황

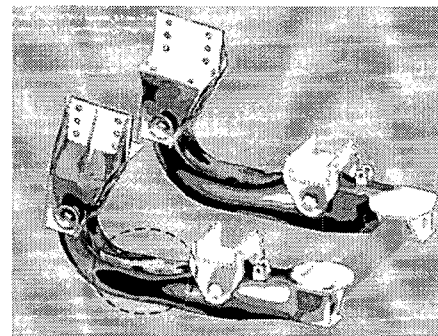


Fig.3.11 수입모듈의 응력 검토

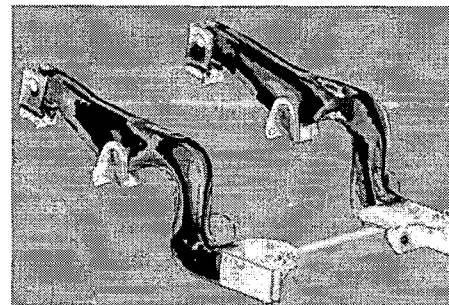


Fig.3.12 모듈_A 의 응력 검토

Fig.3.11 과 Fig.3.12 는 여러 상황 중 차량이 급정지하며 웅덩이에 빠지는 경우 현가장치에 발생하는 응력을 나타낸다. 이때 차량 진행의 반대방향으로 차축하중의 1 배(3.6ton), 수직 상 방향으로 2 배(7.2ton)의 하중을 가한다.

시험결과 수입 모듈은 최대응력 227MPa, 모듈_A 는 236MPa 로서 SS400 의 허용응력인 400MPa 보다 작게 분포하여 구조적으로 안전하다고 평가할 수 있다..

4. 결론

4.1 공기 스프링을 장착한 차량의 진동특성

본 진동측정 시험은 일반적인 겹판 스프링 장착 차량에 대한 공기 스프링 장착차량의 적재함에서

진동영향을 측정, 검토하는 것이 주된 목적이다. 진동측정은 각각의 주행조건을 나누어 수행되었으며 이상의 시험으로 공기 스프링 장착 차량의 특성을 다음과 같이 파악할 수 있었다.

첫째, 적재함 내부의 진동은 일반적인 도로조건에서 접판 스프링 장착차량보다 공기 스프링 장착 차량이 현격히 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 예를 들어 고속도로 주행의 경우 접판 스프링 차량은 4.5 Hz 부근에서 진동영향이 가장 크게 측정되었고, 공기 스프링 차량의 경우 2 Hz 부근에서 가장 크게 측정되었다. 이 결과로 접판 스프링 차량이 공기스프링 차량의 2 배 이상 자주 진동하였음을 알 수 있다.

둘째, 과속방지턱 통과를 제외하고 공기 스프링 장착차량의 RMS 와 PSD 값이 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이는 적재함에서 주파수 파워, 즉 에너지가 낮음을 의미하기 때문에 시스템이 충분히 유연하다는 결과를 보여준다.

셋째, 과속방지턱 통과 조건은 시스템의 저주파 가진에 대한 응답을 시험한 것으로 볼 수 있다. 측정결과 공기스프링 장착차량은 주파수 특성이 낮아진 반면 PSD 는 높게 나타났다. 즉 공기 스프링은 저주파 대역의 진동에 대하여 접판 스프링보다 크게 반응함을 알 수 있으며, 저주파 고유진동을 갖는 화물을 운반할 경우 위험할 수 있다.

4.2 한국형 공기 현가장치 모듈개발

샤시 개발 기법을 통한 한국형 공기 현가장치 모듈개발의 목적은 안전하고 빠른 모듈의 교체작업과 수입모듈에 견줄 수 있는 승차감, 그리고 신뢰성 있는 프레임의 제공함에 있다.

공기 스프링은 초기 하중에 관계없이 스프링 높이에 대한 강성이 유사하다. 그러나 동역학 모델링을 통한 승차감 해석의 결과 스프링의 위치에 따라 휠강성(wheel rate)은 달라질 수 있음이 Fig.3.6 에서 Fig.3.8 결과에 나타났다.

과속방지턱 통과 시 수직 상·하 방향의 가속도크기는 모듈_B 가 유리하나, 통과 후 차량의 진동이 안정화 되는 시간은 모듈_A 가 유리하다. 비록 진동의 크기가 작더라도 계속하여 잔여 진동이 있다면 운전자는 불편함을 느끼게 된다.

또한, 모듈_B 는 휠강성이 낮은 반면 차축이 스프링의 뒤에 위치하므로 (Fig.3.9) 공기 스프링의 초기 하중이 매우 높다. 차량의 컴프레서에서 이

하중을 견딜 수 있는 압력을 유지하지 못할 경우 현가 프레임에 충격이 가해질 수 있거나 스프링의 파손을 초래할 위험이 있다.

반면 모듈_A 의 경우 현가 프레임의 길이가 긴 단점이 있으나 그 구조가 간단하고, 쉽게 장착할 수 있는 장점이 있다.

마지막으로 유한요소해석을 통하여 구조적으로 안전한 현가장치를 위한 설계와 프레임의 치수 및 불필요한 요소를 줄일 수 있었다.

본 논문에서는 주행 중 차량의 수직방향 가속도만을 언급하였다. 그러나 구성된 시스템의 휠 강성은 조정안전성 및 선회 시 횡방향 가속도에도 영향을 미치게 된다. 이에 따라 앞으로도 선회 및 조향 모델링에 의한 예측과 실제 현가장치 제작 및 측정시험을 통한 안전성이 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) Hongwei Liu, Dejun Zhaung, 2002, **뎀 Study on Nonlinear Stiffness Characteristic of Air Spring for Bus?** SAE 22002-01-3092, pp.717~722
- (2) I. M. Ibrahim, D.A. Crolla, 1996, **뎀Effect of Frame Flexibility on the Ride Vibration of Trucks?** Computers & Structures, Vol.58, No.4, PP.709~713
- (3) 박태원 외 2 명, 1996, **? 소형버스의 동역학 해석을 위한 판스프링 모델링기법 개발?** 한국자동차공학회, Vol.6, No.1, PP.460~466
- (4) 조영진, 정완섭, 박세진, 윤용산, 1997, **내구력 도로와 요철 도로에서 승용차의 승차감 지수평가?** 한국소음진동공학회지, Vol.7, No.6, pp.1025~1030
- (5) 탁태오, 김금철, 1999, **상용차용 공기스프링 현가장치에 관한 연구?** 한국자동차공학회 추계학술대회, pp.485~490
- (6) 문일동, 오재윤, 권혁조, 이승호, 2002, **? 후륜 에어 서스펜션을 장착한 대형상용차의 동특성 해석?** 공학연구, 제 33 권 단일호, pp.223~230
- (7) 황원결, 김우영, 임형은, 1999, **차량현가장치의 최적설계시스템 개발?** 한국자동차공학회논문집, Vol.7, No.3, pp.339~347
- (8) 최천, 배경일, 1996, **차량개발 초기의 샤시 단품 강도해석?** 대한기계학회지, Vol.36, No.9, pp.876~885
- (9) 최종근, 김명규, 이승훈, 2001, **대형버스 동특성 해석모델 개발 및 현가장치 변화에 따른 승차감 향상에 관한 연구?** Journal of CAE, Vol.1, pp. 9~29