

상용 차량의 주행 중 발생하는 캡의 진동에 관한 연구

A study of commercial vehicle cab vibration on the driving conditions

최병재†‡ · 한인규* 조정욱*

Byungjae Choi, In-kyu Han and Jeong-wook Cho

Key Words : Cab vibration(캡 진동), Commercial vehicle(상용차량), Sine sweep test(싸인가진시험), Bush stiffness(부시강성)

ABSTRACT

Abnormal cab vibrations in the Y direction in commercial vehicles during driving(70~90kph) are not common vibrations that happen to vehicles during driving and can be an obstacle to normal driving. This study conducted Operation Deflection Shape(ODS) testing to identify the causes of those abnormal cab vibrations and find solutions for them and also a sine sweep test to find resonance and frequency in the cab suspension system and set directions for improvement. The study also altered the shape of the bush inner part for changes to the rigidity features of the cab bush in the Y direction and revised the design with optimal rigidity in the Y direction, thus improving abnormal cab vibrations in the Y direction during driving.

1. 서 론

물류산업이 발전하면서 화물 운송의 중요한 축 중 하나인 상용차량(Commercial vehicle)의 친환경화 및 높은 연비를 바탕으로 고속, 고 마력화 개발이 활발하게 이루어 지고 있으며, 운전자의 차량에서 요구 되어지는 진동소음에 관한 수준도 날로 높아지고 있다.^[1] 이러한 운전자들의 요구에 부합하기 위해 유럽 및 북미, 일본 등의 상용차량의 진동소음에 관한 연구^{[2][3]}는 수년간 많은 투자와 연구개발을 통해 많은 진전이 있었으나, 국내에서는 시장의 한계로 연구와 개발에 많은 투자가 이루어지지 못하는 실정이다. 상용차량은 승용 차량과 달리 운전자가 탑승하는 Cab 에 별도의 Suspension system 을 가지고 차량의 Frame 에 올려진다. 또한 Frame 에 Power train(Engine, Transmission, P/Shaft, Rear Axle)과 타이어와

차량 Suspension 이 조립되어 사용차량을 구성한다. 본 연구에서는 상용차량의 운전자가 탑승하는 Cab 의 주행 중 발생하는 Y 방향 진동 저감에 관한 연구이다. 주행 중 Cab 에 발생하는 진동은 운전자에게 직접적인 영향을 주며, 안전운전에 방해가 될 수 있다. 대부분의 선진메이커에서 Cab 의 진동&소음을 낮추어 안전하고 편안한 차량을 목표로 개발 되고 있다.

2. 본 론

상용차량의 Cab에서 발생하는 Y(좌우)방향 진동문제에는 Cargo차량에서 적차 후 주행 중 차량 속도 70~80kph 구간에서 노면 충격 시 Cab이 Y(좌우) 방향으로 진동하는 현상으로 운전자가 운전 시 차량에 이상이 생겼다고 느낄 정도의 진동이다. Fig1. 은 적차 주행 중 Cab Y axial 진동의 APS(Auto Power Spectrum)이다. 75,85kph 부근에서 11.6Hz 0.02g수준의 Cab의 Y방향 진동문제를 보여주고 있다. 이러한 진동문제의 원인 규명 및 저감을 위해 연구 하였다.

† 교신저자 : 최병재 Phd, TATA DAEWOO 상용차
E-mail : bjchoi@tata-daewoo.com

Tel : 063-469-3484, Fax :063-469-3880

‡ 발표자 : TATA DAEWOO 상용차

* TATA DAEWOO 상용차

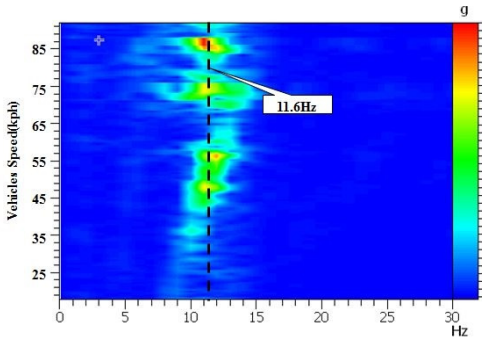


Fig. 1 Vibration APS result of cab Y axial

2. 1 O.D.S.(Operation Deflection Shape)분석을 통한 Cab 진동원인 분석

주행 중 발생하는 Cab의 Y축방향 진동의 원인 분석을 위해 Cab, Cab Suspension system, Frame, Power train, 1축 Axle, 차량 1축 Suspension system을 Fig. 2와 같이 모델링 하였다. 진동문제가 발생하는 Cab을 중심으로 Cab suspension system과 Power train, Frame, 1축 Axle & Suspension system 하나의 차량 모델로 모델링하여 적차 차량을 25 ~ 90kph까지 Sweep test를 통해 동시에 측정된 data를 각 위치에 넣고 Cab 중앙의 Y축방향 11.6Hz에서 O.D.S.분석을 통하여 적차 차량이 주행 중 Cab의 Y방향 진동이 발생하는 현상을 가시화 하여 원인을 분석 한 결과 1축 Axle의 Y방향 진동성분에 의해 Cab이 Y방향으로 진동 하였음을 알 수 있었다. 측정에 사용된 장비는 Muller-BBM VibroAkustik사의 PAK 32ch System과 Vibrant Technology사의 ME'scope를 이용해 ODS분석을 수행 하였다. Fig.3의 좌측은 ODS 분석 결과이며, 우측은 Cab Y방향 진동의 FFT결과이다. Cab을 앞에서 바라본 분석 결과로 아래의 1축 Axle의 Rolling Cab Y방향 진동이 11.6Hz에서 가장 크게 진동하여 Cab의 Y방향 진동에 가장 큰 영향을 주었음을 알 수 있으며, 1축 Axle의 Roll진동의 원인으로 1축 Tire의 회전 성분이 원인으로 분석되어 타이어 Order 분석을 하였다. Fig.4는 P/Shaft의 회전을 기준으로 Tire 2nd Order를 분석한 결과 0.512Order 성분이다. 1축 Tire의 2nd 성분 진동의 발생 원인으로서는 타이어 생산 시 1/2로 나누어진 금형에서 빼내기 기울기 때문에 타이어는 동심원 모양이 아닌 빼내기 기울기 만큼 타원형인 것이 원인으로 추정되어 Hard한 Tire에서 Soft한 Tire로 교환 후 Cab의 Y축 방향 진동이 개선됨을

확인 할 수 있었다

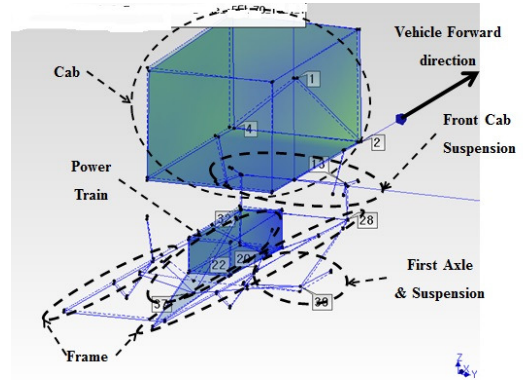


Fig. 2 Full vehicle modelling for ODS

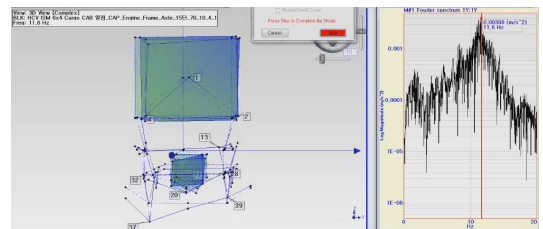


Fig. 3 11.6Hz ODS result of full vehicle

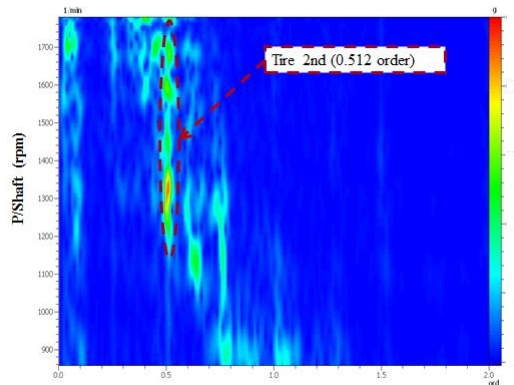


Fig. 4 Order APS analysis result of cab Y axial vibration

2. 2 차량의 Sine Sweep Test를 통한 진동 특성 분석

2.1에서 Cab의 Y축 방향 진동 발생 시 ODS분석을 통해 원인을 분석하였다. 1축 Axle의 Tire회전 2nd성분이 원인으로 분석되어 Tire의 특성을 변경 하였다. Tire의 특성 변경 이후 20,000km주행 후 동일한 문제가 다시 발생하였다. 본 장에서는 차량에서 주행 중 발생하는 Tire의 회전 2nd성분 가진

력에 Cab이 진동하는 특성의 원인을 찾기 위해 차량을 Z방향으로 6개의 Tire에 Sine Sweep test를 통해 차량의 Cab, Frame, Power Train, 1~3축 Axle의 진동 거동을 ODS 분석과 측정 위치에 따른 진동의 크기를 비교하였다. Table 1은 11.6Hz에서 각 측정 위치의 Sine sweep test시 3축 방향의 진동의 크기이다. 각 위치의 3축진동의 크기에서 Tire의 Z axial(상하방향) 가진 시 Frame에서 Z axial(상하방향)로 38% 커지며, Cab에서는 Z axial 방향성분 보다 Y axial(좌우방향)로 18%(Tire Z axial 진동대비) 크기가 증가함을 알 수 있다. 이러한 현상은 차량이 주행 중 노면의 상하방향으로 가진을 받을 때 Frame Z axial과 Cab Y axial이 11.6Hz에서 공진하는 특성을 알 수 있다.

Table 1 Sine sweep test result of full vehicle

	X axial	Y axial	Z axial
Cab	0.080g	0.213g	0.079g
Frame	0.011g	0.120g	0.250g
Tire	0.012g	0.021g	0.180g

2. 3 Cab의 Suspension Y axial 강성변경을 통한 진동 저감

2.2에서 Cab의 Y axial의 11.6Hz 진동에 민감한 특성을 확인했다. Cab suspension의 Front측 Y axial 강성을 담당하고 있는 부품은 Pivot bush이다. Fig. 5은 Pivot bush의 단면이며, 각부의 명칭과 형상을 보여주고 있다. Pivot bush의 Y axial 방향 강성은 Inner bush와 좌우에 있는 Side plate 사이에서 작용하는 강성 값이다. Cab suspension system의 Y axial 강성의 최적화를 위해 MSC.ADAMS를 이용해 Fig.6과 같이 6x4 Cargo Full vehicle Modal을 구성 하였다. 6개의 Tire위치에 동일 위상의 Sine 진동 입력 시 Cab무게 중심부의 진동이 Y axial 11.6Hz에서 공진하는 특성을 확인 하였다. 이러한 진동 특성을 개선하기 위해서 Pivot bush의 Y axial 강성을 Table 2의 범위에서 변화시켜 가면서 Cab의 Y axial 진동과 주파수 변화를 계산하였다. 그 결과 Pivot bush의 Y axial 강성값은 초기 120kg/mm에서 약 3배 증가된 350 ~ 400kg/mm 변경되었을 때 약 50% 감소 됨을 해석적으로 알 수 있었다. 이러한 Y axial의 강성특성 변경을 위해 Pivot bush의 Inner bush의 상하 방향 형상을 Fig. 7과 같이 상하 방향 형상을 높여 Side plate와의 강

성력을 증대 하는 방향으로 설계 변경한 결과 Table 2와 같이 변경되었다. Table 2는 Current와 New사양의 Y, Z axial의 강성 측정 결과이다. Current와 New pivot bush 적용 후 비교를 위해 Sine sweep test결과와 Cab 중앙의 3축 진동 APS 결과를 Fig. 8과 같이 비교하였다. Cab 중앙의 Y axial 진동량이 54% 감소 하는 결과를 보였다. 적차 후 차량 주행 평가에서도 Fig. 9와 같이 65% 감소하는 결과를 보였다.

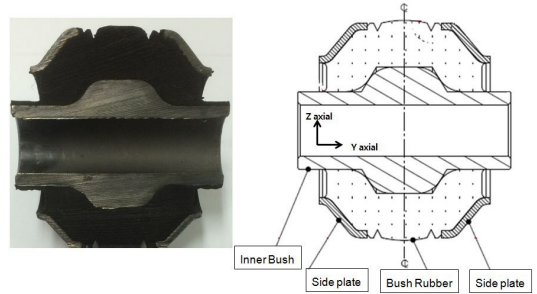


Fig. 5 Section view of pivot bush

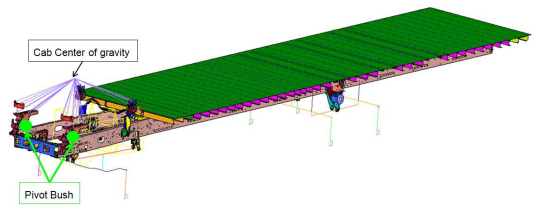


Fig. 6 ADAMS full vehicle modelling of 6x4 cargo

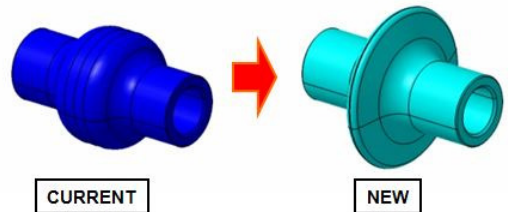


Fig. 7 3D view of current & new pivot inner bush

Table 2 Stiffness of current & new inner bush

	Y axial(kg/mm)	Z axial(kg/mm)
Current	120	407
New	353	430

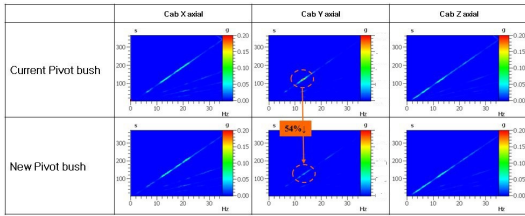


Fig. 8 Cab center vibration APS result of full vehicle sine sweep test with current & new pivot inner bush

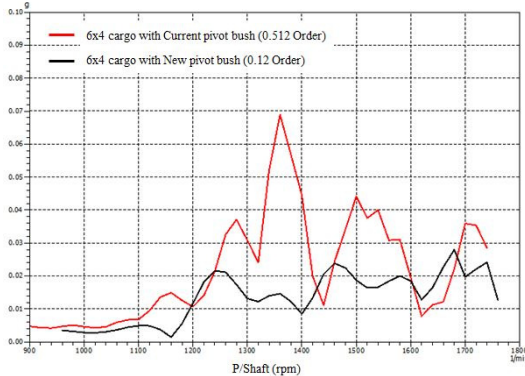


Fig. 9 Vehicle test result with current & new pivot inner bush

3. 결 론

승용 차량의 구조와 달리 상용차량의 Cab의 suspension system이 따로 있어 주행 중 운전자에게 편안한 승차감을 제공할 목적으로 있으나 각 방향의 적절한 강성이 부여되지 않을 때 주행 중 이상 진동이 발생할 수 있다. 이러한 진동문제 개선을 위해 먼저 진동의 원인 분석을 위해 차량 ODS분석 기법을 이용해 주행 중 가진원을 분석하였으며, Full vehicle의 sine sweep test를 통해 주행 중 발생하는 Cab의 진동문제를 재연했다. ADAMS Full vehicle modal에서도 동일한 결과를 얻었다. 문제 해결을 위한 핵심적인 부분의 강성인자를 변화시켜 최적의 강성값을 찾은 후 Pivot bush의 Inner bush의 형상을 변경하여 해석에서 찾은 최적의 강성값에 근접하도록 설계 변경하여, Sine sweep test와 실차 주행 시험을 통해 개선 정도를 검증하였다. 상용차량의 주행 중 발생하는 Cab의 Y axial진동을 실차량에서 65% 개선 하였다.

후 기

본 연구를 위해 1년 여간 같이 노력해 주신 동료들께 감사를 표한다. 또한 많은 Sample 요구에 잘 대응해 주신 협력업체 관계자들에게도 감사를 포함한다.

참 고 문 헌

- (1) 최병재, 박상길, 오재웅 “하이포이드 기어의 소음원인 규명을 위한 디플렉션 테스트와 전달오차 측정에 대한 연구”, 한국소음진동공학회논문집 제19권 제2호, pp. 127~137, 2009.
- (2) Yuanyuan Zhang, Shumming Li, Jianya Liu, Mujin An, Xiaowei Liu “The Testing and Improving of The Heavy Truck Vibration” Interational conference on computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering(CMCE), pp.333~337, 2010.
- (3) Willem-Jan Evers, Igo Besselink, Arjan Teerhuis, Albert van der Knaap and Henk Nijmeijer, “Controlling active cabin suspension in commercial vehicles”, American Control Conference, pp.683~688,2009.