

구조 동특성 분석을 통한 군용 차량 프레임 진동 저감

Vibration reduction of military vehicle frame with using structural dynamic characteristics analysis

이상정 ‡ · 박종범* · 박노철 † · 이종학** · 김한생** · 정의봉**

Sang-Jeong Lee, Jong-Beom Park, No-Cheol Park, Jong-Hak Lee, Eui-Bong Jeong, Han-Shang Kim

Key Words : Random vibration, Structural dynamic modification, Parametric optimization

ABSTRACT

Unlike ordinary vehicle chassis frame, chassis frame of military vehicle is long and that is operated in harsh driving environment in middle of war. Thus, because large dynamic loads is acting on the frame, it is important to secure the durability of the frame based on the structural dynamic characteristic analysis. The purpose of the study is that the chassis frame is optimized to secure durability of the chassis frame of the military vehicle according to the structural dynamic characteristic analysis. Also, structure optimization are performed using parametric optimization and topology optimization methods.

1. 서 론

차량의 프레임은 주행 중에 불규칙한 동하중을 겪게 되며, 그 동하중을 부담하도록 프레임이 설계된다. 그 중 특히 군용 차량은 전지에서 다양한 도로 상태에서 운전되며, 일반적인 차량의 주행환경보다 더 큰 동적 하중이 작용하는 환경에서 운전된다. 그렇기에 동적 하중에 의한 동특성 해석과 그에 따른 프레임의 내구성 확보가 중요시된다. 군용 차량과 같은 대형 차량의 프레임은 일반적으로 기본 골조가 되는 2개의 side member와 다수의 cross member를 서로 체결한 구조로 되어있다. Side member의 경우 C형 채널의 단면을 가진 보를 일반적으로 사용한다. 군용 차량의 side member는 일반 차량에 비해 길이가 길기 때문에 뒤틀림이나 굽힘에 대한 기하학적인 강성이 작을 수가 있다. 이

는 주행 시 차량으로 입력되는 동적 하중에 대하여, 차량 프레임의 큰 동적 응답을 유발할 우려가 있으며, 프레임의 내구성 및 수명과 직결되며, 또한 샤시 프레임 위에 탑재될 여러 장비의 성능에도 상당한 영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구는 특수 목적용 군용 특장차량의 주행 시험 데이터와 샤시 프레임의 구조 동특성을 분석하고, 샤시 프레임의 구조 최적화를 통하여 내구성 및 주행 동특성을 개선하고, 추후에 장착될 여러 가지 장비의 성능 저감을 유발할 수 있는 장비로 전달되는 진동양을 저감하여, 군용 특장 차량의 설계에 활용될 수 있도록 하였다.

2. 시험 및 해석

2.1 차량의 주행 및 구조 동특성

시험대상 군용차량의 60km/h 포장도로 주행 시 나타나는 프레임의 y축 진동 방향의 주된 모드가 158Hz이며, 이때 모드 형상은 후방 프레임의 뒤틀림과 굽힘이 중첩된 형상이다 [1]. 차량의 가속도 측정 부분과 좌표축이 Figure 1과 같을 때, 후방 프레임의 실측 데이터의 y축 PSD에서 대부분의 진동 양 차지하는 주파수인 154Hz와 잘 일치 함을 알

† 박노철; 정회원, 연세대학교

E-mail : pnch@yonsei.ac.kr

Tel : (02) 2123-4677, Fax : (02) 365-8460

‡ 이상정; 연세대학교

* 연세대학교

**LIG Nex1

수 있다. 158Hz의 프레임의 모드가 y축 뿐만 아니라 z축에서도 진동양의 대부분을 차지하는 것을 볼 수 있으며, 이는 모드 형상이 z축 방향을 굽힘과 비틀림 모드가 섞여 있는 형상이기 때문이다[1].

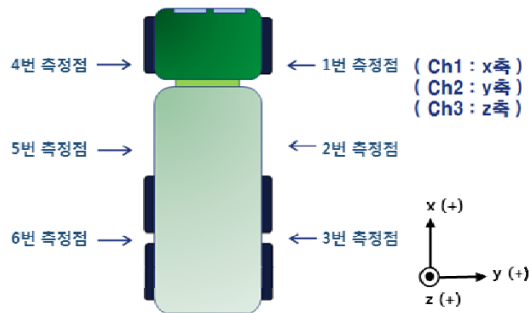


Figure 1. Positions of the accelerometers and coordinates

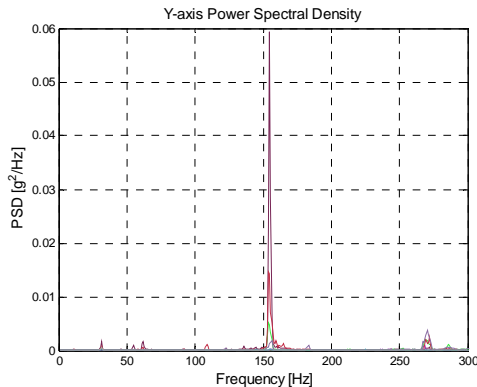


Figure 2. Measured PSD curve (y-axis)

이 모델의 유효성과 측정 값간의 관계를 알아보기 위해 모드 해석 이외에 경계 조건에 z축 방향으로 크기 1G를 가지는 화이트 노이즈를 가속도 입력 PSD로 인가 하였다. 실제 서스펜션을 거쳐 전달되는 가속도 값은 서스펜션 시스템의 동특성 및 실제 로드 입력 가속도 측정이 어려움에 따라 관심 주파수 대역에 화이트 노이즈를 Figure 3과 같이 입력으로 인가하였다. FEM 모델에서 실제 측정 부위와 같은 부분의 y축, z축 응답 PSD가 Figure 4와 같이 도출 되었다. 응답 값을 보면 158Hz에서 앞서 언급한 모드로 인해 최대 응답 값을 가진다. 응답 PSD의 RMS 값은 17.1 Grms으로 계산되었으며, 대부분의 RMS 값은 158Hz에 집중되어 있음을 알 수 있다. 따라서 158Hz 모드의 진동양을 줄이는 것을

목적으로 프레임의 설계 변경을 진행하였다.

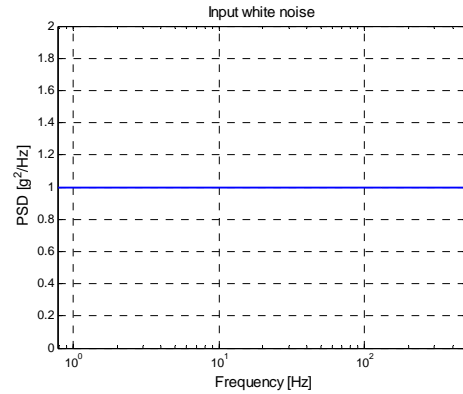


Figure 3. Input white noise

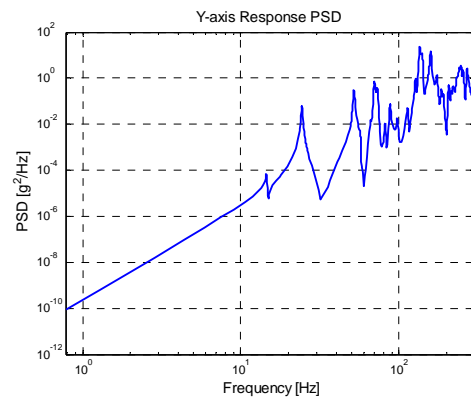


Figure 4. FEM response PSD curve (y-axis)

2.2 구조 변경

프레임의 구조 변경에 있어서 y축 진동을 감소시키기 위해 158Hz에서 발생하는 모드 형상에서 변형이 가장 큰 부분에 추가적인 리브를 가로로 부착하였다. 설계 변경을 한 모습이 그림 Figure 3과 같다. 리브의 규격은 프레임 후방에 사용된 리브와 같다. 리브의 질량은 8.7kg이며, 이로 인해 프레임의 구조 동특성이 바뀌게 되며, 158Hz의 모드가 Figure 4와 같이 149Hz로 감소하며, 모드형상을 보면 문제가 되었던 부분의 진동 형상이 작아진 것을 알 수 있다. 이를 정량적으로 계산하기 위해서 리브에 의한 프레임의 고유진동수가 크게 바뀌지 않도록 프레임의 질량이 리브를 추가 전과 같도록 프레임의 전체 구조의 최적화를 진행하였다.

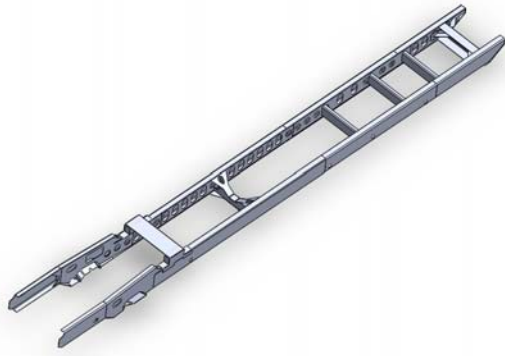


Figure 5. Modified chassis frame

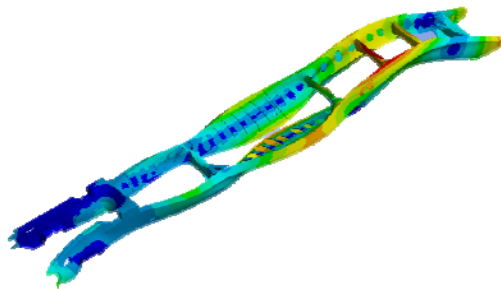


Figure 6. 149 Hz mode shape

2.3 구조 최적화

구축된 모델을 대상으로 각 부재의 기하학적 설계 변수들을 인자로 설정하여 위에서 언급했듯이 중량의 변화 없이 주행 중 RMS값을 증가시키는 샤시 프레임 조립체 모드의 고유진동수가 최소 변화를 구속조건으로 하였다.

- 목표: 158Hz 고유진동수
- 구속조건: 중량 불변 (777kg)
- 최적화 변수: 각 부재의 두께

최적화 해석에는 ANSYS Workbench ver. 15의 최적화 도구를 사용하였다. 최적화 변수는 총 2개이며, 변수의 허용범위는 가로 리브의 두께가 3.0mm~7.0mm, side member의 두께를 4.0mm~8.0mm로 제한하였다.

각 최적화 변수에 따른 구속 주파수와 질량 변화의 민감도를 보기 위하여, 각각의 변수에 대한 20가지 경우의 Parametric optimization을 수행하였고, table 1과 같이 3가지 경우의 후보가 결과로 나타났다.

Table 1 Results of parameter optimization

	Candidate1	Candidate2	Candidate3
Rib thickness	3.7 mm	4.1 mm	4.9 mm
Side member thickness	7.1 mm	6.6 mm	6.35 mm
Constrain Natural frequency	151.8 Hz	151.41 Hz	150.79 Hz
Total mass	779.76 kg	777.63 kg	779.64 kg

또한 각 변수에 대하여 민감도는 Figure 5와 같이 도출 되었으며, Side member의 두께가 질량에는 더 지배적이었으며, 구속 조건 주파수에 대해서는 리브의 두께가 지배적으로 나왔다. 이는 Side member가 대부분의 질량을 차지 하기 때문에 두께의 변화에 전체 구조물의 전체 영향을 많이 미치는 것으로 판단되며, 리브는 개수가 많기 때문에 전체 질량에 적지 않은 영향을 미치고, 구속 주파의 강성에 리브의 두께가 리브 자체의 강성을 좌우 하기 때문에 큰 영향을 가지는 것으로 판단된다.

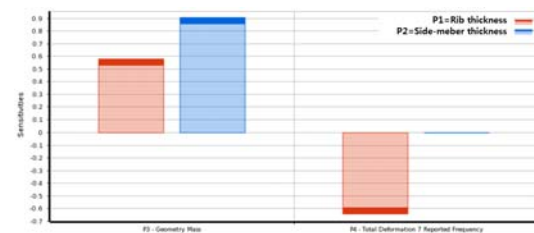


Figure 7. Sensitivities of output values

위에 내용을 종합하여 보면, 리브의 두께가 두껍고, 질량 감소를 side member에서 이루어 내는 Candidate 2의 경우 선택하여, 진동양 저감을 정량적으로 계산하는 해석을 수행하였다.

2.4 개선된 동특성 결과

구조 최적화를 거쳐 도출된 각 부재의 두께로 모델을 수정하여, 모달 해석 및 2.1절에서 같은 방법으로 1G의 화이트 노이즈 가속도를 PSD 형태로 입력하여 해석을 수행하였다. 주파수 및 모드 형상이 Figure 6과 같이 도출 되었으며, 실제 센서 부착 위치에서 응답 PSD이 Figure 7와 같이 나타났으며, RMS 값이 14.6 Grms와 같이 계산 되었다. 이 결

과를 바탕으로 2.1절의 결과와 비교해보면, 모드 형상의 변화는 2.2절에 언급했던 바와 같이 후방 프레임 진동이 저감되는 형상을 가졌고, 응답 PSD와 RMS값을 비교하자면 2.1절에서 도출된 응답 PSD에 비해 모든 주파수에서 작은 응답 값을 가지며, 17.1 Grms 값에 비해 대략 14% 감소된 14.6 Grms 값을 가지게 된다. 이는 프레임의 후방 진동이 감소 했음을 정량적으로 나타낸다.

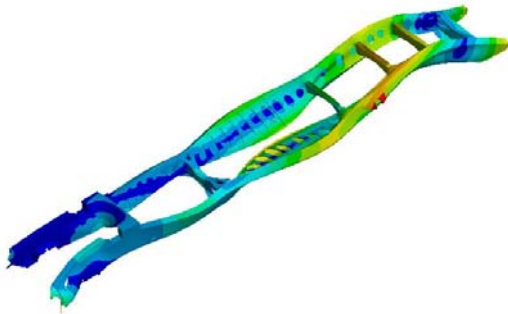


Figure 8. 151.4 Hz mode shape

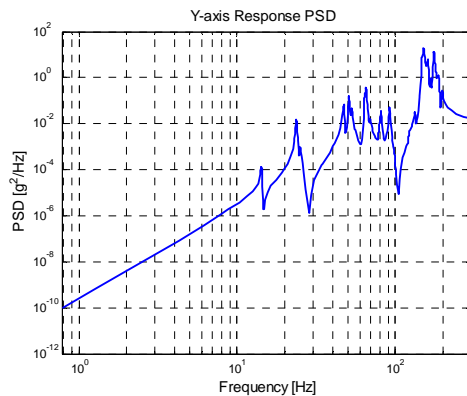


Figure 9. FEM response PSD curve (y-axis)

3. 결 론

본 연구는 군용 차량의 대부분이 차량의 주된 구조물인 샤시 프레임의 동특성을 파악하고 이를 주행 동특성과 비교 분석을 결과를 토대로 프레임의 구조 변경 및 최적화를 통해 문제가 되는 후방 프레임의 진동 저감을 이루었으며, 그 결과의 요약은 다음과 같다.

첫째, 주행 동특성을 통해 후방 프레임의 진동 모드가 전체 진동량을 나타내는 RMS 값의 큰 영향을 미치는 것을 파악하고, 리브를 추가하여 구조 변경

을 도모하였다.

둘째, 리브 추가에 의한 전체 프레임의 질량 변화를 막고자, 각 부재의 두께의 최적화를 이용하여 동질량에 대비하여 후방 프레임의 높은 강성을 유도하였다.

셋째, 최적화와 리브의 추가로 인하여, 나타난 도출된 정량적으로 대략 14% 진동량이 감소하였다.

본 연구에서는 활용되지 않은 z축 진동량 및 모드 분석은 추후 화이트 노이즈가 아닌 서스펜션 시스템의 분석과 객관적인 로드 입력을 상세히 고려하는 추후 연구에서 진행할 계획이며, 본 연구와 같은 방법을 이용하여, 종합적인 군용 차량의 진동 저감 및 효과에 대하여 추후 연구를 진행할 계획이다.

후 기

연구를 진행하기 위해 협조해주신 LIG Nex1 연구원분들, 방위사업청, 국방과학기술연구원, RETECH 연구원 분들에게 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) No-Cheol Park, Jong-Beom Park and Jong-Hak Lee, 2014, Dynamic Characteristics Analysis of a Military Vehicle via Road Tests, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference.
- (2) Boklok Choi, Sungjong Kang, 2011, Stiffness and Fatigue Strength Analysis of Fuel Cell Vehicle Body Frame, Transactions of KSAE, Vol. 19, No. 4, pp.47~53