

# 레이더 차량의 주행시험을 통한 동특성 분석

## Dynamic characteristic analysis of a military vehicle using radar via road tests

박종범\*, 이상정\*, 박노철<sup>†</sup>, 이종학\*\*

Jong-beom Park, Sang jeong Lee, No-Cheol Park and Jong-Hak Lee

### Abstract

Recently, military vehicles are driven with a lot of electronic devices such as radar, antenna, and information storage devices. However, the military vehicles can be exposed to impact easily. Therefore, they have to be designed robustly in order to ensure the stability of the vehicle and the electronic devices. To achieve that, the dynamic behaviors of the military vehicle should be exactly identified. Therefore, in this research, dynamic behaviors of the vehicles were identified by carrying out road tests and we constructed finite element model to analyze the dynamic characteristics of the vehicle.

**Key Words :** Road Test (주행 시험), Dynamic Behavior (동적 거동), Military Vehicle (군용 차량), Frame (프레임)

### 1. 서 론

전 세계적으로 군용 차량을 개발하는 데에 있어서의 최근 화두는 경량화와 안정성 확보이다. 최근의 군용 차량은 전투 발생 시 수송의 역할 뿐만 아니라 감시 및 정찰의 역할을 하므로 적군의 최우선 타겟이 될 수 있다. 따라서, 차량의 경량화를 통해 신속한 이동을 할 수 있게 설계될 필요가 있다. 또한, 군기술의 발전에 따라 군용 차량은 차량 내에 무기체계, 레이더, 또는 군사 정보 저장을 위한 전자장비 등을 포함하게 되고 이를 통해 전자전을 수행하게 된다. 이처럼 다수의 전투 장비를 탑재한 군용 차량은 그 목적과 운영 환경에 따라 포장도로뿐만 아니라, 비포장도로, 야지와 같이 험한 길을 주행해야 될 경우가 많기 때문에 다수의 충격에 노출되게 되고 이로 인해 전자 장비 또한 충격에 노출될 수 밖에 없다. 이러한 충격에 노출됨으로 인해, 무기체계, 전자 기기, 저장 기기 의 노후화가 가속화되게 되면 전투 시에 문제가 발생할 수 있을 뿐 아니라

장비의 유지 및 보수에 따르는 비용적인 손해도 발생하게 된다. 따라서 차량 설계 시 전자장비로 전달되는 진동을 최소화 하는 것 또한 경량화에 못지 않게 매우 중요한 설계 요건이라고 할 수 있다. 이처럼 군용 차량은 경량화와 진동 저감을 통한 안정성 확보를 요구 받고 있다. 이러한 설계 요건을 만족하기 위해서는 차량의 동특성을 정확히 파악하는 것이 최우선이라고 할 수 있다.

최근에 차량의 진동이나 동특성에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 연구가 진행되어왔다. FEM 을 활용한 차량의 동적 분석[1], 차량의 차축에 대한 진동 분석[2], 차량 동적 시뮬레이션에서 로드 프로파일 입력의 평가[3]와 같은 연구들이 진행되었다. 이처럼 다양한 방식으로 차량의 동특성 및 진동에 관한 연구가 진행되고 있다.

본 연구의 목표는 군용 차량 내부의 전자 장비의 안정성을 확보하기 위해 군용 차량의 주행 특성을 정확히 파악하는 것이다. 이를 위해, 군용 차량의 다양한 조건에서의 주행 테스트를 통해 차량의 주행 동특성을 실험적으로 분석하였다. 또한, 차량의 메인 프레임에 대한 유한요소해석을 진행하였고, 실험을 통해 얻어진 전체 차량의 주행 중 동적 거동과 유한요소해석을 통해 얻어진 메인 프레임의 동특성 분석을 통해 메인 프레임이 차량의 전체적인 동특성을 반영한다는 것을 입증하였다.

<sup>†</sup> Mechanical engineering, Yonsei university  
E-mail : pnch@yonsei.ac.kr  
TEL : (02) 2123-4677

\* Mechanical engineering, Yonsei university  
\*\* LIG Nex1

## 2. 주행 동특성 분석

### 2.1 주행 시험

본 연구에서는 차량의 주행 특성을 파악하기 위해 로드 테스트가 진행되었다. Figure 1 은 본 연구에 사용된 레이더 차량의 실제 모습을 나타낸다. 차량의 주행 시험은 매우 가혹한 조건에서 진행되기 때문에, 실제 레이더를 장착하지 않고, 레이더의 무게를 고려하여 더미 매스를 차량에 부착하여 시험을 진행하였다. 더미의 무게는 9,938kg 이며, 더미를 포함하지 않은 차량의 무게는 12,860kg 으로 시험 차량의 총 중량은 22,798kg 인 상태에서 주행 시험이 진행되었다.

한국에서 대부분의 군용 차량의 주행시험은 대한민국 국방과학연구소의 기동시험장에서 진행된다. 본 연구 또한 국방과학 연구소의 기동시험장에서 진행되었으며, 기동 시험장 내에서 포장도로, 비포장도로, 야지의 세가지 도로 타입에 따라 진행되었다. 이처럼 다양한 도로 타입에서의 시험을 진행한 이유는 도로 타입에 따라 차량에 입력되는 가진 신호가 다르기 때문에 차량 또한 다른 응답 특성을 보일 것을 예상할 수 있기 때문이다. 군사 규격을 바탕으로 차량의 운행 상황 및 탑승자 안전을 고려하여 주행 시험 시 차량의 운행 속도를 포장도로 60km/h, 비포장도로 25km/h, 야지 15km/h 로 정하여 시험을 진행하였다.

Figure 2 는 차량의 주행 시험을 위한 실험 구성의 모습이다. Figure 2 에서 파란색 영역이 프레임을 나타내며, 빨간 원으로 표시된 곳에 차량의 우측과 좌측에 순서대로 부착되었다. 가속도계는 주행 시 차량의 메인 프레임의 응답을 측정할 수 있도록 메인 프레임에 부착되었으며, 3 축 가속도계를 통해 차량의 진행 방향 (X 축), 차량의 좌우 흔들림 (Y 축), 차량의 상하 진동 (Z 축) 응답을 받을 수 있도록 셋업되었다. 응답점의 위치는 차량의 주행 시 중량의 영향으로 인해 외부 충격에 민감할 것으로 판단되는 캐빈의 하단부(측정점 1,4), 발전기 하단부(측정점 2,5), 쉘터 하단부(측정점 3,6)으로 선정하였다.



Fig. 1 Military vehicle

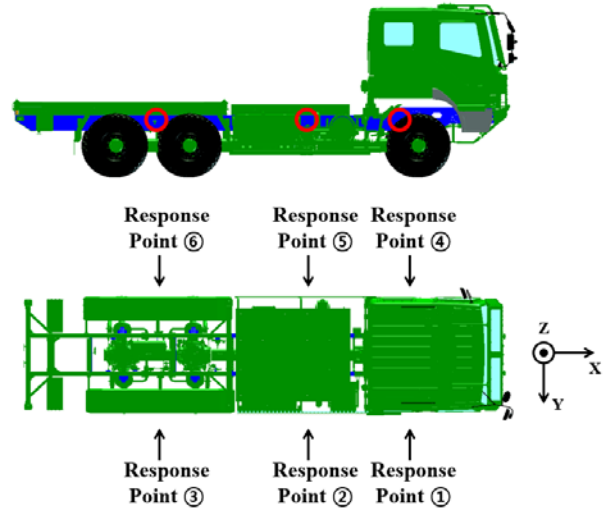


Fig. 2 Response points for road tests



→ 케이블 고정

→ 신호 수집장치

→ 신호 처리 장치

Fig. 3 Experimental set-ups

가속도계를 통해 얻어진 주행 정보는 Figure 3 과 같이 신호 수집장치를 거쳐 신호 처리 장치에 저장된다. 저장된 Raw data 는 Time Domain 데이터로 시간에 따른 각 응답점의 가속도 값을 나타낸다. 주행 시험은 차량 및 운전자 안전을 고려하여 포장도로는 60 초, 비포장과 야지는 30 초간 정속을 유지하여 측정하였다. 각각 2 회씩 측정을 진행하였다.

### 2.2 주행 시험 결과

가속도계를 통해 측정된 가속도 값은 시간에 따른 가속도 데이터이므로 주파수 분석을 위해 Figure 4 의 과정을 따라 최종적으로 Power Spectral Density (PSD) 데이터로 변환하여 주파수 분석을 수행하였다.

측정점, 채널 별로 각각의 데이터들이 전부 측정되었으나, 지면 관계상 Ch1을 통해 측정된 1번 측정점에서의 시험 결과만을 본 논문에 기입하였다. Figure 5,6,7 은 각각 포장도로, 비포장도로, 그리고 야지에서 주행 시험 결과를 나타낸다. Figure 의 상단은 주행 시험 동안 정속 유지를 나타내며 중단은 주행 시험을 통해 얻어진 Raw data 를 나타내고, 하단의 그래프는 PSD 분석을 수행한 시험 결과를 나타내고 있다.

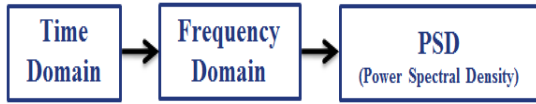


Fig. 4 Data processing

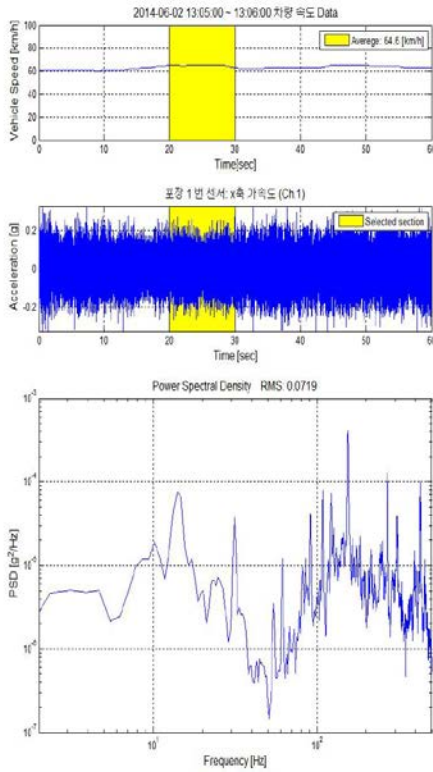


Fig. 5 Experimental results – Paved road

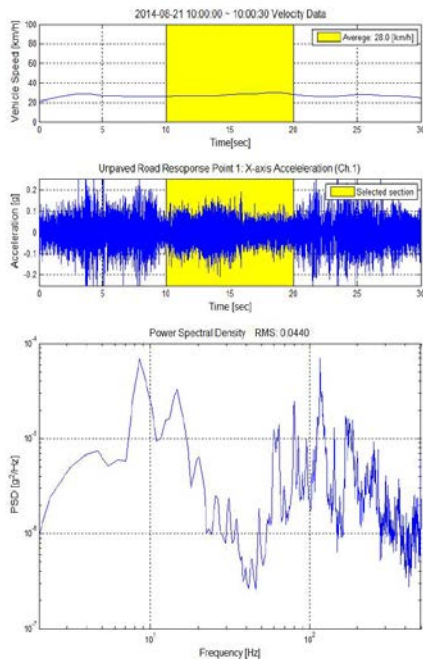


Fig. 6 Experimental results – Non-paved road

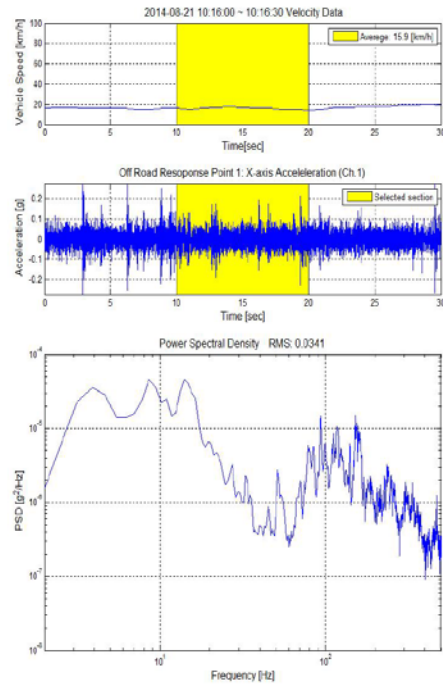


Fig. 7 Experimental results – Off road

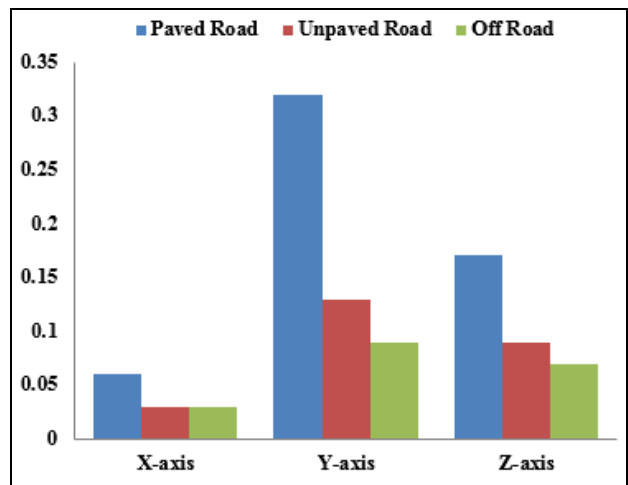


Fig. 8 RMS Value – Road Types

PSD 결과에서 피크가 발생하는 주파수는 모터 구동에 따라 발생하는 주파수, 차량과 차량 내 부품의 공진 주파수를 의미한다.

Figure 8 은 도로 타입 별 RMS 값을 비교하여 그래프로 나타낸 것이다. 그래프를 보면 알 수 있듯이 Y축 방향의 진동량이 X, Z축 방향의 진동량에 비해 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 차량이 포장도로를 달릴 때의 RMS값이 가장 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 9 은 측정 위치에 따른 RMS 값의 비교를 나타낸다. 포장도로에서의 주행 시험 결과를 대표로 기입하였으며, 다른 도로 조건에서의 주행

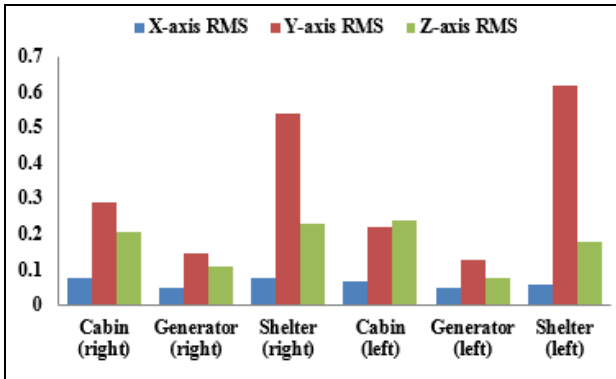


Fig. 9 RMS Value – Response Points at paved road



Fig. 10 Finite element model of main frame

시험 결과도 유사한 경향성을 갖기 때문에 본 논문에서는 생략하였다. 포장도로에서의 주행시험 결과를 측정 위치에 따라 분류하였으며, 이를 통해 Shelter 하단부에서 가장 큰 진동량이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, Generator 하단부에서 가장 작은 진동량이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3. 유한 요소 해석

#### 3.1 유한 요소 해석 모델의 구축

본 연구에서는 ANSYS Workbench 를 사용하여 해석을 진행하였다. Figure 10 은 구축된 Main frame 의 유한 요소 해석 모델을 나타낸다. 실제 Solide model 의 경우, 프레임의 전체 거동에는 영향을 미치지 않는 작은 부품이 많이 포함될 뿐 아니라 매우 작은 크기의 구멍이 많아 해석 시 요소 수가 증가하고 그에 따라 해석 시간이 크게 증가하게 된다. 효율적인 해석을 위해 부품 및 작은 구멍의 제거를 통한 단순화 과정을 진행하였으며 수 차례의 예비 해석을 통해 프레임의 전체적인 거동에 영향을 미치지 않는 내에서 해석 요소 수를 감소시켰다. 단순화 된 형상의 유한 요소 해석 모델은 약 37000 개의 요소 수를 갖는다.

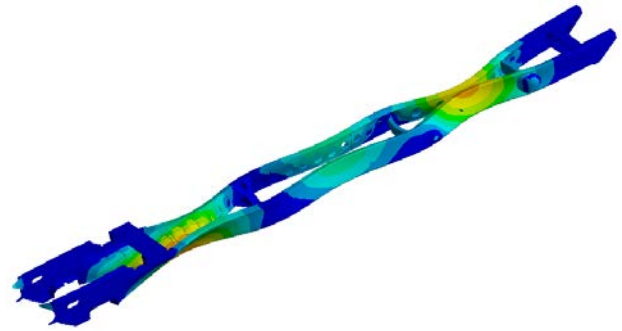


Fig. 11 Mode Shape of main frame (158Hz)

#### 3.2 유한 요소 해석 결과

해석에 사용된 프레임의 물성치는 200GPa의 영률, 0.3의 포아송 비를 갖는다. Figure 11 에 표기된 해석 결과는 158Hz에서의 모드 형상을 나타내고 있으며 이는 시험 결과 프레임의 공진 주파수라고 판단되었던 154Hz와 해석적 오차 범위 내에 있다고 판단할 수 있다.

Figure 9 을 보면 프레임의 모드 형상이 Y 축(차량 옆 방향)에 대한 진폭이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 본 연구에서 측정점으로 선정했던 위치에 프레임의 지지대가 없기 때문에 측정점 위치에서의 프레임이 지지대가 있는 곳에 비해 크게 진동하는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 모드 형상은 주행 시험을 통해 2.2 절에서 확인한 Y 축의 응답값이 크게 발생하는 주행 시험 결과에 부합한다고 볼 수 있다. 따라서, 본 연구를 통해 구축한 해석 모델이 시험 결과를 잘 반영하는 해석 모델이라고 판단된다

### 4. 결 론

본 연구는 다수의 전자 장비를 포함하는 군용 차량의 안정성 확보를 위해 정확한 주행 특성을 분석하기 위해 수행되었다.

차량의 주행 특성에 대해 분석하기 위해 실험적인 방법과 FE 해석적인 방법을 통해 연구가 진행되었다. 우선 실험적으로 동특성을 분석하기 위해 군용 차량의 주행 시험과 모드 시험이 진행되었고, 이를 통해 얻어진 주파수 분석 데이터와 모드 형상을 고려하여 FE 해석 모델을 구축하였다. FE 해석은 메인 프레임에 대해 진행되었으며, 모드 시험을 통해 측정된 144Hz의 메인 프레임 모드 형상과의 비교를 통해 해석 모델의 유효성을 검증하였다.

해석을 통해 얻어진 모드 형상을 통해 Z축의 진동량보다 Y축의 진동량이 클 것을 예상할 수 있었으며, 이는 주행 시험을 통해 얻어진 Y축의 진동량이 Z축에 비해 큰 결과를 증명할 수 있다. 이를 통해, 구축된 해석 모델이 유효하다고 판단

할 수 있다.

구축된 해석 모델을 바탕으로 추후에 유한 요소 해석 모델의 변경 및 개선을 통해 메인 프레임의 동특성을 변경시킴으로서 차량의 진동 특성을 줄이는 방법을 모색할 수 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- [1] Rahman, Roslan Abd, Mohd Nasir Tamin, and Ojo Kurdi. "Stress analysis of heavy duty truck chassis as a preliminary data for its fatigue life prediction using FEM." (2008).
- [2] Hussien, Hussien A., et al. "Dynamic and vibration analysis of a vehicle rear axle system." *Vehicle System Dynamics* 33.4 (2000): 205-231.
- [3] Loprencipe, Giuseppe, and Giuseppe Cantisani. "Unified analysis of road pavement profiles for evaluation of surface characteristics." *Modern Applied Science* 7.8 (2013): p1.