

군용 차량 주행 내충격 분석 Analysis for Driving Shock Resistance of Military Vehicle

전종익 † · 이종학* · 정의봉* · 강광희* · 최지호*

Jong-Ik Jeon, Jong-Hak Lee, Eui-Bong Jeong, Kwang-Hee Kang, Ji-Ho Choi

Key Words : Driving anti-shock analysis(주행 내충격 분석), Shock response spectrum (충격응답스펙트럼), Vibration response spectrum(진동응답스펙트럼).

ABSTRACT

In this paper, we analyze the characteristics for the driving shock resistance of the military vehicle through the bump test. Prior to the experiment, theoretical analysis was performed by using the SRS(shock response spectrum) and VRS(vibration response spectrum) analysis method. And we estimated the characteristics for the driving shock resistance of the military vehicle. Bump test was performed using the acceleration sensor and the driving test at a different speed. We evaluated the characteristics for the driving shock resistance of the military vehicle based on the result. And predicted values were compared with the theoretical analysis. In addition, we evaluated the results of the theoretical prediction of the SRS and the VRS analysis. And we evaluate the suitability of the prediction method at military vehicle shock analysis.

1. 서 론

군사장비의 전술 기동성을 확보하기 위하여 차량 탑재형태의 개발이 이루어지고 있으며, 탑재되는 전자장비의 주행 중 충격에 의한 손상 및 기능저하를 방지하기 위한 설계가 필수적이다. 군사용으로 개발되는 차량의 경우, 노면으로부터 전해지는 진동과 충격하중에 대하여 충분한 절연이 되도록 하여야 하며 이의 절연설계를 위한 예측 및 실험이 진행 및 검토되어야 한다. 본 논문에서는 전자장비 탑재용 군용 차량의 노면 충격하중에 의한 내충격 특성을 분석하기 위해서 이론적 해석으로 예측하고 차량에 가속도센서를 부착한 후, 규격화된 과속방지턱을 통과하는 실험을 진행하였다. 그리고 예측 및 측정된 결과를 바탕으로 예측기법의 비교분석과 적용된 군사규격의 검토 및 충격흡수용 아이솔레이터

의 적합성을 검토하였다. 고유진동수 분석은 탑재장비의 유무에 따른 군용차량의 높이변화와 무게를 측정하여 예측값을 산출하였고 이를 실제 실험에 의해 측정된 값과 비교하였다. 군용 차량의 응답특성 분석은 과속방지턱을 Half-Sine 가진으로 가정하여 계산한 예측응답과 실제 측정값을 비교하였다. 이를 통하여 적용된 군사규격의 검토 및 선정된 아이솔레이터의 적합성을 검토하였다. 탑재되는 전자장비의 응답특성 분석은 아이솔레이터의 특성을 고려하여 주 입력차속인 후륜의 실제 측정값을 입력으로 한 이론적인 응답을 예측하였고, 이론적 해석은 SRS(Shock response spectrum)와 VRS(Vibration response spectrum) 두 가지 기법으로 예측하였다. 이를 통하여 파손예측 기준을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 해석

(1) 고유진동수 분석

군용 차량은 트랙터에 전륜 1축, 트레일러에 후륜 2축으로 구성되어 있으며 차량의 무게는 약 12 톤,

† 전종익; LIG 넥스원

E-mail : jongik.jeon@lignex1.com

Tel : 031-8026-4862, Fax : 031-8026-7084

* LIG 넥스원

탑재장비의 무게는 약 10톤이다. 장비탑재 전과 후의 높이변화를 차분별로 측정하여 강성값을 계산하였고 측정된 무게를 이용하여 식(1)과 식(2)를 통해 고유진동수를 산출하였다. 전륜과 후륜의 산출한 고유진동수를 표 1에 나타내었다.

$$k = \frac{F}{x} \quad \text{식(1)}$$

$$2\pi f = \frac{k}{m} \quad \text{식(2)}$$

Table 1 Natural Frequency

Wheel	Natural Frequency [Hz]
Front Wheel	2.52
Rear Wheel	1.06

(2) 이론적 모델링

과속방지턱을 차량이 통과할 때의 이론적 모델링은 그림 1과 같이 SDOF(Single Degree of freedom) 시스템으로 가정하였다. 과속방지턱은 도로교통법에 의해서 규격화된 폭 3.6m, 높이 10cm를 적용하였다.

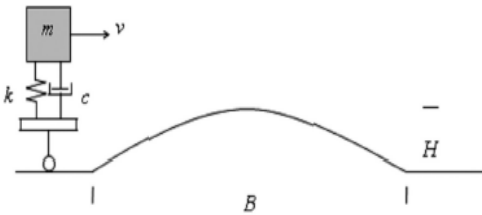


Figure. 1 SDOF System Modeling

과속방지턱에 의한 충격응답값의 예측은 SDOF 모델링에 의한 Half-Sine 가진으로 가정하여 후륜에서의 응답값을 분석하였다. 이는 후륜이 전자장비에 충격하중을 전달하는 주된 차축이기 때문이다. 과속방지턱의 폭과 높이 및 통과속도를 바탕으로 Pulse Duration과 가속도 값을 식(3)을 통해서 표 2와 같이 산출하였고, 후륜의 고유진동수 1.06Hz와 Q-factor 1.77를 적용하여 과속방지턱에 의한 입력함수를 그림 2에 나타내었다. Q-factor는 대수감소에 의한 감쇠율을 이용하였고 식(4)에서 ζ 가 작을 경우 $\sqrt{1-\zeta^2} \cong 1$ 이 되어 근사적인 식(5)가 된다.

$$y(t) = \begin{cases} D\sin\left(\frac{\pi}{T}\right), & \text{for } 0 \leq t \leq T \\ 0, & \text{for } t > T \end{cases} \quad \text{식(3)}$$

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{식(4)}$$

$$\delta \cong 2\pi\zeta \quad \text{식(5)}$$

Table 2 Base Input Parameters

통과속도 [km/h]	Pulse Duration [sec]	Acceleration [m/s ²]	Acceleration [G]
10	1.296	0.587	0.060
20	0.648	2.348	0.240
30	0.432	5.283	0.539

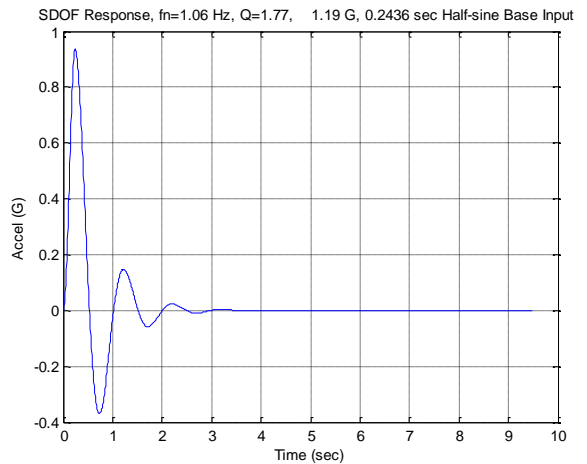


Figure. 2 VRS Prediction Result

(3) 이론적 해석

이론적 해석은 Shock response spectrum 과 Vibration response spectrum 분석법을 이용하였다.

SRS 분석법은 시간영역에서의 충격값을 주파수 영역의 충격값으로 변환 및 정리하는 기법으로 그림 3과 같이 고유진동수가 다른 SDOF 시스템에 Half-Sine 충격하중이 입력되었을 때의 각각의 고유진동수에 따른 응답이 다르게 된다.

SRS 기법에 의한 계산 수식을 식(6)에 나타내었다.

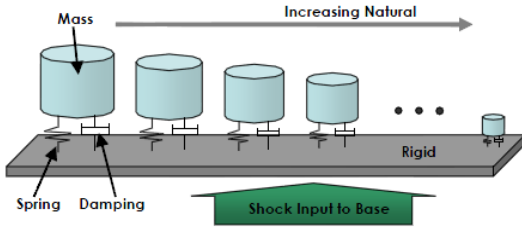


Figure. 3 SRS Model

$$\begin{aligned} \ddot{x}_i &= 2 \exp[-\zeta\omega_n \Delta t] \cos[\omega_d \Delta t] \ddot{x}_{i-1} \\ &- \exp[-2\zeta\omega_n \Delta t] \ddot{x}_{i-2} \\ &+ 2\zeta\omega_n \Delta t \dot{y}_i \\ &+ \omega_n \Delta t \exp[-\zeta\omega_n \Delta t] \\ &\times \left\{ \left[\frac{\omega_n}{\omega_d} (1 - 2\zeta^2) \right] \sin[\omega_d \Delta t] - 2\zeta \cos[\omega_d \Delta t] \right\} \dot{y}_{i-1} \end{aligned} \quad \text{식(7)}$$

VRS 분석법은 각각의 SDOF 시스템들이 동일한 가진을 받는다는 가정을 적용하고 PSD(Power Spectral Density)를 입력값으로 하여 Grms의 응답을 얻는다. VRS 기법에 의한 계산 수식을 식(7)에 나타내었다. 또한 입력값으로 사용될 PSD데이터를 그림 4에 나타내었으며 포장도로를 60km/h로 주행한 데이터이다.

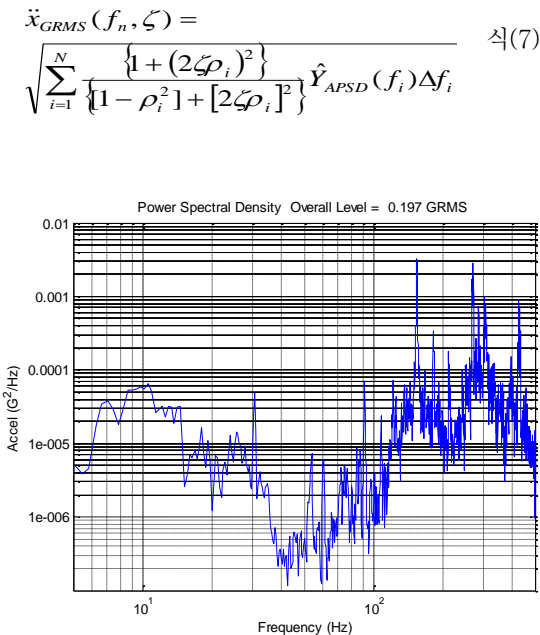


Figure. 4 PSD Data of Paved Road(60km/h)

2.2 주행 내충격 시험 준비

(1) 시험개요

주행 내충격 시험은 군용 차량의 주행 시 노면에 의한 주요 충격하중인 과속방지턱 통과를 적용하였다. 규격화된 과속방지턱을 차량이 통과하는 실험으로 통과속도별로 가속도센서를 이용하여 데이터를 측정하는 방식이다.

(2) 시험셋업

과속방지턱의 규격은 도로교통법의 도로안전시설 설치 및 관리지침에 나타나있으며 설치길이 3.6m, 설치높이 10cm 로 규정하고 있다. 본 실험에서 적용한 과속방지턱은 신도산업(주)에서 제작한 규격품으로 길이 3.6m, 높이 10cm 를 만족한다.

측정은 가속도센서를 이용하였고 2kHz이상 측정 가능한 총 6개의 가속도센서를 차량 프레임에 부착하고, 계측된 신호를 변환시켜주는 DSA(Digital Signal Analyzer)를 이용하였다.

통과속도는 각각 10km/h, 20 km/h, 30 km/h로 하여 수직방향 가속도를 측정하였다. 데이터의 수집은 1.5kHz로 하였고, 분석은 50% 중첩하여 Hanning 윈도우를 적용하였다.

2.3 주행 내충격 시험 결과

(1) 충격량 분석

각각의 통과속도에 따른 전륜과 후륜의 실험결과를 그림 5~10에 나타내었고 Acceleration Peak 값을 표 3에 나타내었다. 분석 시, 필터는 ButterWorth Lowpass 6 Order를 적용하였다. 전륜과 후륜 모두 통과속도가 증가함에 따라 가속도 값이 증가하는 것을 확인할 수 있으며 전륜보다 후륜의 가속도 값이 크게 나타남을 알 수 있다.

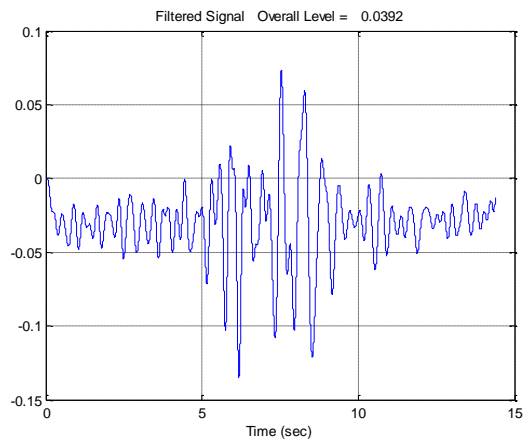


Figure. 5 10km/h Front Wheel Data

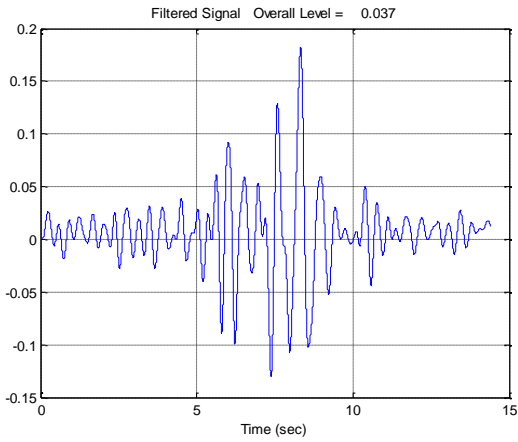


Figure. 6 10km/h Rear Wheel Data

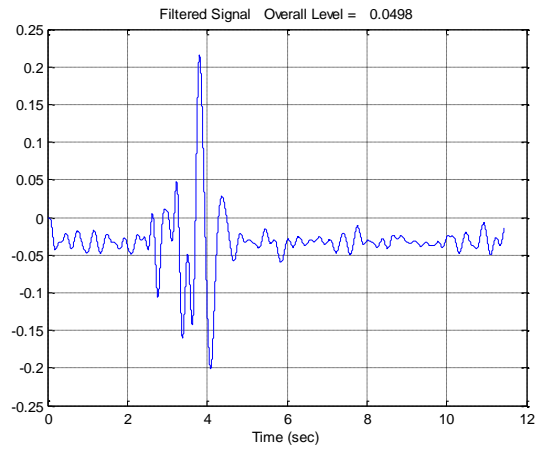


Figure. 9 30km/h Front Wheel Data

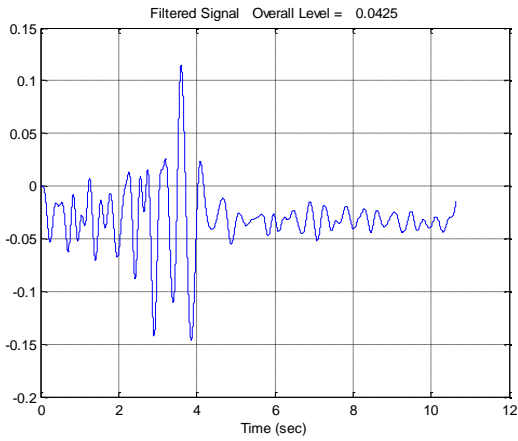


Figure. 7 20km/h Front Wheel Data

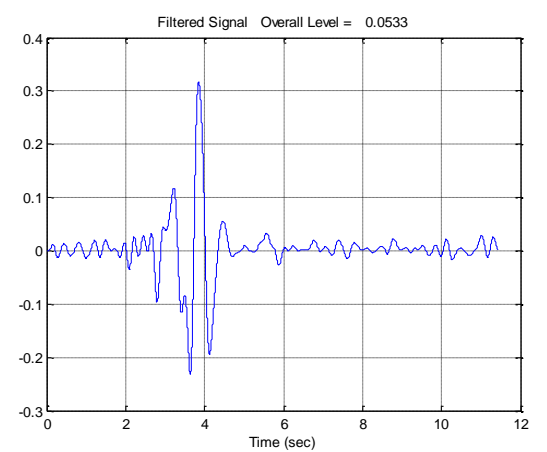


Figure. 10 30km/h Rear Wheel Data

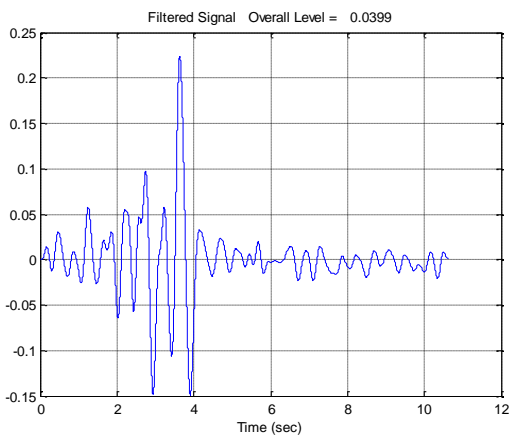


Figure. 8 20km/h Rear Wheel Data

Table 3 Results of Bump test

통과속도 [km/h]	Front Wheel [G]	Rear Wheel [G]
10	0.07	0.18
20	0.12	0.22
30	0.22	0.31

(2) 고유진동수 비교분석

실험을 통해 측정된 결과를 이용하여 전륜과 후륜의 고유진동수를 산출하였으며, 각각 전륜 2.3Hz, 후륜 1.1Hz의 결과를 얻었으며 그림 11과 12에 측정데이터를 나타내었다. 앞서 차량의 변위를 이용하여 고유진동수를 예측한 결과와 비교하기 위하여 표 4에 나타내었고 예측값과 실험값이 유사함을 확

인할 수 있다. 또한 선정된 아이솔레이터의 고유진동수는 15Hz이며 시스템의 공진을 회피했음을 알 수 있다.

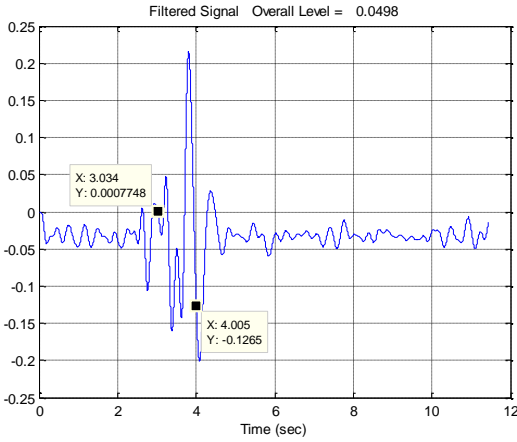


Figure. 11 Natural Frequency of Front Wheel

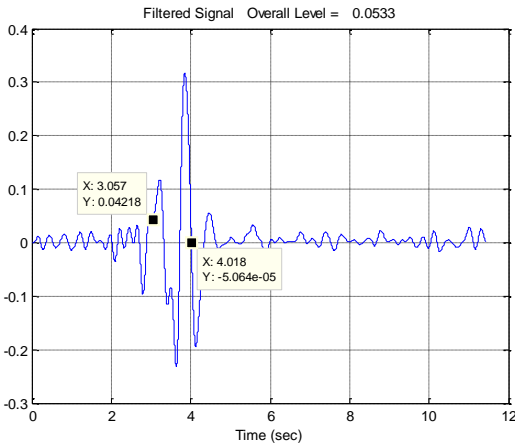


Figure. 12 Natural Frequency of Rear Wheel

Table 4 Comparison of Natural Frequency

산출 위치	예측값[Hz]	실험값[Hz]
전륜	2.52	2.34
후륜	1.06	1.56

(3) 충격응답 예측값 및 측정값 비교분석

단자유도 모델링을 바탕으로 Half-Sine 가진으로 가정하여 예측한 충격응답함수와 비교하기 위하여 후륜에서 측정된 충격응답값을 그림 13에 나타내었다.

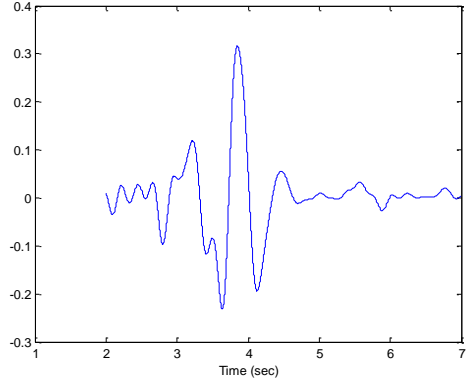


Figure. 13 Shock Response Data of Rear Wheel

가속도 최대값은 예측값 0.95, 측정값 0.31로 다소 차이를 보인다. 이 오차는 전륜이 먼저 통과하면서 후륜의 통과시에 영향을 주어 전륜의 성분이 후륜에 복합적으로 나타나는 것으로 사료된다. 전체적인 주파수 특성과 피크치 이후의 동적거동은 상당히 유사함을 확인할 수 있다.

(5) 탑재장비의 충격응답값 분석

노면 충격으로 차량을 거쳐 탑재장비의 아이솔레이터에 전해지는 충격응답을 이용하여 탑재장비에 전해지는 충격응답값을 예측하였다. 아이솔레이터의 고유진동수는 15Hz, Q-factor는 3.5를 적용하였다. 그림 14에 예측결과를 나타내었고 가속도 최대값 0.31g로 탑재장비의 안전성을 확보할 수 있음을 확인할 수 있다. 군사규격인 MIL-STD-810G에서는 20g, 11msec를 규격으로 설정하고 있으며 이는 낙하 또는 타격에 의한 충격으로 과속방지턱에 의한 충격은 탑재장비에 주는 영향이 미미함을 알 수 있다.

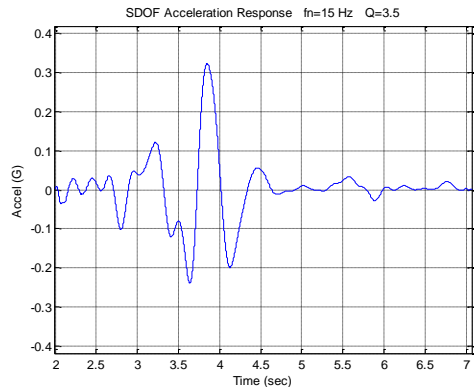


Figure. 14 Shock Response of Mount Equipment

(4) SRS/VRS 예측값 비교 분석

이론적 해석에서 언급한 SRS와 VRS에 의해 예측된 결과를 그림 15와 16에 나타내었다. SRS 예측 결과를 보면 1.5Hz~3.5Hz에서 0.6g의 최대값 영역이 나타나며 10Hz부터 0.3g의 결과를 보이고 있다. 또한 VRS 예측 결과를 보면 1-sigma, 3-sigma 및 peak 값으로 구분하였고 충격에 의한 peak 값을 기준으로 하면 50Hz까지 0.2g이하의 낮은 가속도를 보이다가 급속히 증가하여 155Hz에서 2g, 280Hz에서 3g의 가속도 값을 보이고 있다. 100Hz를 기준으로 이상일 경우에는 진동하중에 의한 파손이며, 이하인 경우에는 충격하중에 의한 파손으로 판단할 수 있다.

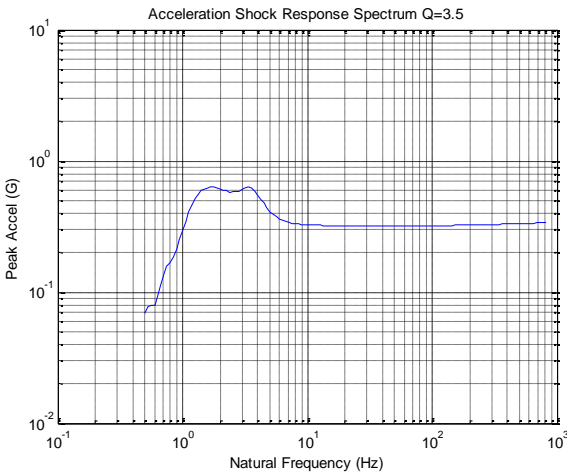


Figure. 15 SRS Prediction Result

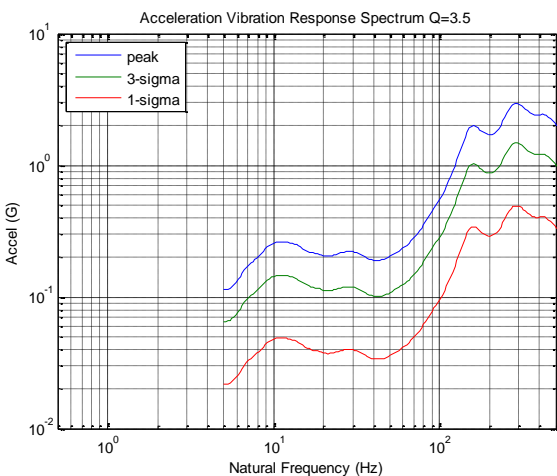


Figure. 16 VRS Prediction Result

3. 결 론

과속방지턱 통과 실험을 통해 군용차량의 내충격 분석을 진행하였고 탑재장비의 응답을 SRS와 VRS 기법에 의한 비교분석을 수행하였다.

고유진동수 예측 및 측정값 비교분석을 통해서 유사값을 얻었으며 Half-Sine 가진으로 가정한 후륜의 응답값 예측 및 측정값 비교를 진행하였고 선정된 아이솔레이터가 시스템공진을 회피하였음을 확인하였다.

실험을 통한 충격량 분석에서는 통과속도별로 가속도값이 증가하는 경향을 보였으며 최대 0.31g의 값이 나타났다. 또한 군사규격의 충격입력값으로 설정된 20g, 11msec는 낙하 또는 타격에 의한 충격으로 과속방지턱에 의한 충격은 탑재장비에 주는 영향이 미미한 것으로 판단된다.

후륜에서의 측정된 응답값과 포장도로를 60km/h로 주행한 PSD 데이터를 입력으로 하여 SRS와 VRS를 통한 탑재장비의 응답예측을 진행하였다. 100Hz를 기준으로 이상에서의 파손은 진동하중에 의한 것이며 이하에서는 충격하중에 의한 것임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, J. H., Yang, S. C., Park, Y. P., Park, N. C., Park, K. S., Kim, K. D., Robust Design of the CCA in a Helicopter against Shock Load, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering
- (2) "MIL-STD-810G: Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", Method 514.5 Vibration, Method 516.5 Shock, 2008.