

유한요소법 및 실험을 이용한 트럭 탑재 특수 장비의 주행진동 해석

Analysis of Transportation Vibration for Truck-Mounted Special Equipments via FEM and Experiments

송 오 섭*·이 학 렬*

Ohseop Song and Hak-Yeol Lee

(2009년 8월 18일 접수 ; 2009년 9월 25일 심사완료)

Key Words : Transportation Vibration(주행진동), Road Roughness(도로 거칠기), Road Displacement PSD(도로 변위 PSD), Random Vibration(랜덤진동)

ABSTRACT

Modern military equipments are tend to be mounted on a movable truck for their survivability and operation performance. Special units and electronic equipments installed on the truck experience the vibration caused by road roughness during their transport. The level of the transportation vibration is affected by both road conditions and vehicle speeds. In this paper, various experiments on the vibration characteristics of the equipment are carried out via road tests. Transportation vibration is also investigated by numerical analysis using FEM, and natural frequencies and random responses of the launcher are obtained. The PSD and RMS values of acceleration of the equipment are predicted and compared with test results.

1. 서 론

현대의 군사용 특수 장비는 생존성 및 작전 운용성 증대를 위하여 차량에 탑재되는 이동식으로 개발되는 추세이다. 따라서 군사용 특수 장비는 설계시 기동성 향상을 위한 설계가 요구되고 있다. 특수 장비의 기동성이 향상되면, 주행 중에 전자장비와 같은 주요 탑재장비는 차량의 진동에 의해 영향을 받게 된다. 주행 중에 발생하는 차량의 진동은 노면으로부터 전달되는 진동과 차량의 엔진 및 추진체로부터 발생하는 진동이 있다. 차량의 자체 진동은 차량의 특성에 의해 발생하나 노면에서 전달되는 진동은 특수 장비의 운용 조건과 밀접한 관계가 있다. 주행 중의 특수 장비 진동은 탑재 장비의 수명

단축 및 고장의 주요 원인이 될 수 있으므로, 특수 장비는 주행 중에 과도한 진동을 받지 않도록 설계되어야 한다. 이러한 설계 목표를 달성하기 위하여, 설계단계에서 시뮬레이션을 통한 주행진동 특성을 예측할 필요가 있다. 이와 유사한 연구로서, 차량의 승차감 해석을 위하여 주행진동 해석을 위한 도로의 입력조건을 제시하였고⁽¹⁾, 단순화된 모델에 대하여 NASTRAN 소프트웨어를 이용하여 차량의 주행진동 특성을 해석하였다⁽²⁾. 최근에는 승차감 개선을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있으나⁽³⁾, 군사용 특수 장비와 같은 복잡한 구조물의 동특성을 고려한 주행진동 해석은 드물고 이에 대한 주행진동 특성을 실험적으로 이루어지고 있는 실정이다^(4,5).

이 연구는 군사용 특수 장비에 대한 주행진동 예측시험을 통하여 특수 장비의 진동특성을 분석하였고, 이와 같은 조건에 대하여 특수 장비의 구조 동특성을 고려한 주행진동 특성을 ABAQUS 소프트웨어를 이용하여 해석을 수행하였다. 해석 내용으로

† 교신저자 ; 정회원, 충남대학교 기계공학과
E-mail : songos@cnu.ac.kr

Tel : (042)821-5650, Fax : (042)821-5642

* 국방과학연구소

는 고유진동해석을 통하여 특수 장비의 진동특성을 규명하였고, 포장도로 및 비포장도로를 일정속도로 주행 시 노면으로부터 특수 장비에 전달되는 진동 특성을 구하였고 주행진동 계측결과와 비교하여 해석의 타당성을 확인하였다. 노면으로부터 전달되는 진동은 차량의 차축을 통하여 차량의 몸체에 전달 되고, 이는 다시 특수 장비의 주요 탑재장비에 전달 된다. 주요 전달 부위에 대한 가속도 PSD 및 RMS 를 예측하였고, 그 결과를 분석하였다.

2. 해석이론

비감쇠 자유진동에 대한 운동방정식은 다음과 같다.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (1)$$

식 (1)을 고유치문제(EVP)로 전환하여 풀면 고유 진동수 ω 를 구할 수 있다.

선형 시스템에 가해지는 입력 가진이 stationary 하고 ergodic하면, 2개의 랜덤 가진 $x_i(t)$, $x_j(t)$ 에 대한 cross-correlation function은 다음과 같다.

$$R_{ij}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x_i(t) \cdot x_j(t-\tau) dt \quad (2)$$

식 (2)를 Fourier transform하면 식 (3)과 같이 cross-spectral density를 얻는다.

$$S_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{ij}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad (3)$$

여기서, $i=j$ 인 경우를 power spectral density(PSD)라 한다. Mean square value는 cross-correlation function의 정의 및 Fourier transform 관계식에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$u_i = \sqrt{u_i^2} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} S_{ii}(f) df} \quad (4)$$

특수 장비의 주행진동 해석은 노면의 거칠기에 의해 타이어에 입력이 가해지는 multi-input 시스템이 되고, 이때의 입력 가진에 대한 출력은 다음과 같이 주어진다⁽⁶⁾.

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n H_i(f) \cdot H_j^*(f) \cdot S_{ij}(f) \quad (5)$$

여기서 $H_i(f)$ 와 $H_j^*(f)$ 는 주파수응답 함수이고 서로 공액복소수 관계를 가진다.

도로의 거칠기에 의한 가진은 노면의 형태에 의해 결정되고, 노면의 형태는 다음 식으로 표시된다⁽⁴⁾.

$$S_D(\Omega) = C \cdot \Omega^{-N} \quad (6)$$

N : 노면의 상태를 나타내는 상수

C : N 수치에 따라 차원을 갖는 상수

Ω : Spatial frequency(cycle/m)

S_D : 도로의 변위 PSD(m^2/Ω)

여기서 C , N 은 노면의 거칠기를 나타내는 상수이고, 거칠기가 클수록 값이 커진다. 주파수응답 해석을 위해서는 단위 변환이 필요하고 그 관계식은 다음과 같다.

$$f(\text{cycle/sec}) = \Omega(\text{cycle/m}) \cdot V(\text{m/sec}) \quad (7)$$

$$S_D(f) = (S_D(\Omega)/V)$$

그리고 출력 변위 PSD, DS_{xx} 와 출력 가속도 PSD, AS_{xx} 의 관계식은 다음과 같다.

$$AS_{xx} = (2\pi f)^4 DS_{xx} \quad (8)$$

식 (6)~(8)에서 도로에 의해 차량에 가해지는 가속도 PSD, $AS(f)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$AS(f) = 16\pi^4 \cdot C \cdot V^{N-1} \cdot f^{4-N} \quad (9)$$

식 (8)은 도로의 형상이 온전히 타이어를 통하여 차량에 전달되는 경우이다. 실제로는 노면의 형상에 의해 전달되는 진동은 여러 조건에 의해 전달률이 떨어진다. 이를 고려한 노면에 의해 차량에 가해지는 수정된 가속도 PSD, $MAS(f)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$MAS(f) = TR \cdot AS(f) \quad (10)$$

여기서 TR 은 노면의 형상이 차량에 가진되는 정도를 나타낸 것으로 차량 주행속도(V), 도로조건 등에 따라 결정될 것으로 추정되고 이는 실험적으로 결정될 수 있다. 차량이 주행할 때 후축의 타이어에 가해지는 가진이 전축의 가진과 동일하다고 가정하면, 후축의 가진은 전축의 가진과 휠 간 거리(b)와

주행속도(V)에 따른 위상차를 가진다. 따라서 식 (5)에서 PSD 및 전후축 간의 cross-spectral density는 다음과 같이 주어진다⁽¹⁾.

$$S_{ii}(f) = MAS(f)$$

$$S_{ij}(f) = MAS(f) \cdot \cos(2\pi f \frac{b}{V}) \quad (11)$$

실제 도로 주행조건에서는 노면에 의해 타이어 전달되는 가진 전달률이 떨어지고, 전축 및 후축의 타이어 형상 등이 다르므로 cross-correlation관계는 직접적으로 나타나지 않을 수 있다.

이 논문에서는, 노면의 형태에 따른 변위 PSD에서 주행속도에 따른 가속도 PSD를 산출하고 이를 입력 가진으로 설정하여 ABAQUS 소프트웨어를 이용하여 주행진동 해석을 수행하였다.

3. 주행진동 계측 및 결과분석

특수 장비의 주행진동 특성을 파악하기 위하여 주행진동 계측을 수행하였다. 주행시험에 적용된 특수 장비의 형상은 Fig. 1과 같다. 주행도로는 콘크리트 포장도로와 자갈이 분포된 비포장도로이며 도로의 형상은 Fig. 2와 같다. 진동계측 위치는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 노면에서 특수 장비에 진동이 전달되는 경로를 기준으로 하였으며, 노면으로부터 직접 진동이 전달되는 1~4번 차축(최전방 차축 : 1번 차축)과 차량의 진동 완충장치인 현수장치를 통과한 위치로 차량에 장착된 특수 장비 주 구조인 프레임의 전방 및 후방 위치의 진동을 계측하였다. 계측방향은 노면에 의해 가진되는 주된 방향이 상하 방향이므로 상하방향의 진동을 계측하였다. 계측위치에 피에조 타입의 가속도계를 부착하고 시그널 컨디셔너 및 데이터 획득장비를 차량에 장착하여 차량을 주행하면서 데이터를 획득하였고 계측에 필요한 전원은 차량의 배터리 전원을 이용하였다. 주행속도는 포장도로와 비포장도로에 대해 각각 80 km/h, 20 km/h의 속도에 대해 계측을 2회 수행하였다.

진동계측결과에서 각 계측 위치에 대한 가속도 PSD를 산출하였고 대표적으로 차축인 1축과 진동이 현수장치를 통과한 위치인 후방프레임에 대하여 Fig. 3에 나타내었다. 주행 중에 노면에서 타이어에 전달되는 진동은 타이어와 노면의 밀착 정도에 따

라 노면의 거칠기가 타이어에 진동으로 가해지므로 노면 거칠기가 미세할수록, 차량의 속도가 증가할수록 노면에 의해 타이어에 전달되는 진동은 줄어들게 된다. 따라서 노면에 의해 차량에 가해지는 진동은 주파수가 증가할수록 줄어들 것으로 판단되므로 관심 주파수범위를 50 Hz 이내로 선정하였다. PSD의 형상은 차축과 프레임부로 크게 나누어지고 그 형상은 Fig. 3과 유사한 형태를 나타낸다. 식 (4)와 같이 가속도 PSD를 적분한 값에서 제공급을 산출하여 RMS 가속도를 구하였고, 포장도로 80 km/h 주행조건에 대해 계산결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3 및 Fig. 4에서 보는 바와 같이 차축은 약 9 Hz 근방에서, 프레임 부는 3 Hz 근방에서 도약하여 큰 값을 나타내고 있으며, 노면의 거칠기에 의해 차량에 전달되는 가진은 유연하게 변화할 것으로 판단되므로 진동이 갑자기 증가하여 큰 수치를 보이는 주파수는 고유진동수 영역으로 볼 수 있다. 비포장도로 20 km/h 주행조건에서도 유사한 양상을 보였다. 각 위치에 대하여 산출한 RMS g 가속도를

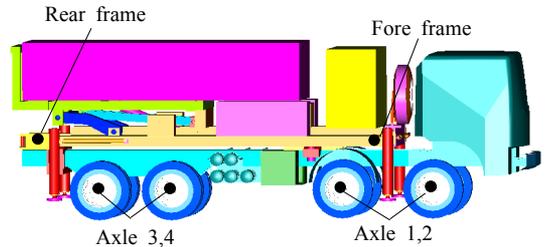


Fig. 1 Configuration of truck-mounted special equipment and positions of measurement



Fig. 2 Configuration of test roads

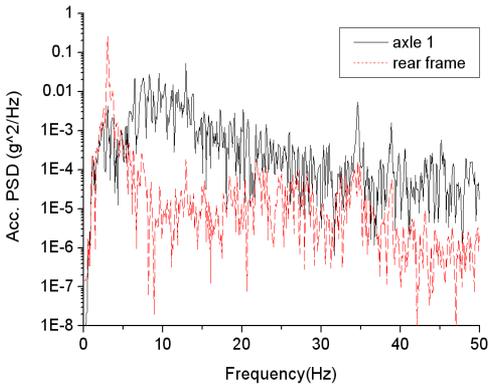


Fig. 3 Experimental results of acceleration PSD for the case of V=80 km/h on the paved road

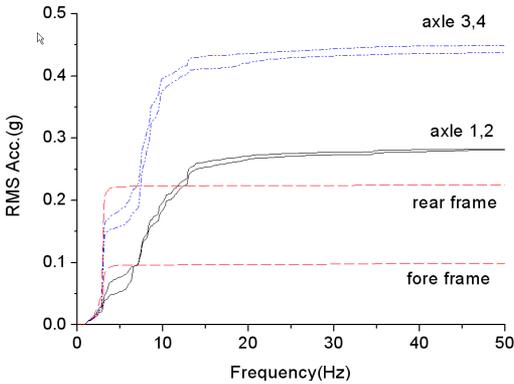


Fig. 4 Experimental results of RMS acceleration for the case of V=80 km/h on the paved road

Table 1 Measurement results of RMS g acceleration for two different road conditions

Classification		RMS g acc.		
		1st	2nd	Average
Paved road 80 km/h	Axle 1	0.28	0.28	0.28
	Axle 2	0.28	0.29	0.29
	Axle 3	0.44	0.46	0.45
	Axle 4	0.45	0.47	0.46
	Fore frame	0.10	0.10	0.10
	Rear frame	0.22	0.21	0.22
Unpaved road 20 km/h	Axle 1	0.24	0.29	0.27
	Axle 2	0.22	0.31	0.27
	Axle 3	0.23	0.26	0.25
	Axle 4	0.21	0.24	0.23
	Fore frame	0.05	0.07	0.06
	Rear frame	0.10	0.13	0.12

Table 1에 나타내었다. 두 경우 모두 차축의 가속도가 프레임부의 가속도보다 큰 값을 보이는데 이는 현수장치에 의한 완충 효과로 판단된다.

4. 주행진동해석 및 결과분석

4.1 유한요소모델

특수 장비는 군사용 장비를 장착하는 특장부 부분과 이동기능을 수행하는 차량으로 구분된다. 특수 장비는 기본 베이스 구조 역할을 하는 하부프레임, 군사용 장비를 탑재하고 운용 시에 운용 상태로 구동되는 상부프레임과 상부/하부 프레임을 연결하는 링크구조, 상부프레임을 운용 상태로 구동하는 구동장치, 운용 시 특수 장비를 지지하는 잭 등으로 구성된다. 특수 장비 구동을 위한 유압동력장치와 발전기, 전원분배장치, 특수 장비 제어장치 등의 전기장치가 특수 장비 하부프레임에 장착된다. 특수목적 장비는 원통형의 구조 내부에 위치하고 후미와 전방부에서 고정된다. 차량은 싱글 캐빈 형태의 10톤 군용 세시 차량으로, 차축이 4개이고 1,2 축은 일반 차축이고 3,4축은 보기 차축이다. 차량과 특수 장비의 구조는 좌우 각각 5개소에서 고정되고 고정 형태는 볼트 체결 형식이다.

특수 장비 구조는 형강과 강판 등으로 구성되고 유한요소모델은 보 요소와 셸 요소를 이용하여 모델링하였다. 특수 장비에 탑재되는 전자장비 및 링크구조, 구동장치, 잭 등은 장착위치에 집중질량으로 모델링하여 무게효과를 반영하였고, 발전기는 무게중심 위치에 집중질량으로 모델링하고 이를 보요소로 연결하였다. 특수목적 장비와 고정 구조는 원통형 보요소로 모델링하였다. 특수목적 장비는 집중질량을 이용하여 무게 및 무게중심을 실제와 동일하게 하였다. 특수목적 장비의 고정부는 강성이 큰 보요소로 연결하였다. 차량의 기본 세시는 형강이고 유한요소 모델은 보요소로 모델링하였고, 캐빈의 무게중심 위치에 집중질량으로 연결하고 차량의 세시와 보요소로 연결하였다. 특수 장비 구조와 차량 세시의 연결부는 강성이 큰 보요소로 연결하였다. 현수장치는 실제 현수장치의 작동상태를 모사할 수 있도록 실제구조와 동일하게 모델링하였고 현수장치의 물성치는 Table 2와 같다. 트럭과 특수 장비 유한요소모델은 Fig. 5와 같으며 총 무게는 약 30톤

이고, 유한요소모델에서 특수 장비 길이방향이 x좌표, 횡 방향이 y좌표, 높이 방향이 z좌표이다.

4.2 고유진동 해석 및 분석

고유진동 해석은 동적계의 진동특성을 이해할 수 있는 주요 요소이다. 특히 차량의 현수장치 고유모드와 구조의 저주파 모드는 차량의 진동특성을 결정한다. 현수장치 고유모드인 sprung mass 모드는 특수 장비 프레임의 진동에 큰 영향을 미치고, 차축 고유모드인 unsprung mass 모드는 차축의 진동에 지배적인 영향을 미친다. 고유진동 해석은 Lanzos 법을 이용하여 구하였다. 해석결과 고유진동수는 Table 3과 같고 대표적인 현수장치모드인 피칭모드와 구조모드인 차량 1차 굽힘 모드를 Fig. 6에 나타내었다. Table 3의 결과에서 살펴보면, sprung mass 고유모드는 1~3차 모드에서 나타나고 롤링, 바운스, 피칭 고유진동수는 각각 1.23, 1.92, 2.78 Hz이다. Unsprung mass 고유모드는 보기 차축인 3,4축의 피칭모드가 8.5 Hz, 1축, 2축 및 3,4축의 바운스 모드가 각각 8.83 Hz, 8.77 Hz, 11.34 Hz에 나타나고, 차축의 롤링모드는 11.91~13.29 Hz 사이에 존재한다. 구조의 변형 모드는 비틀림이 8.56, 굽힘이 10.86 Hz에 나타나고, 이 이상의 고주파는 국부모드 형태를 나타내고 있다.

해석결과와 주행시험 결과를 비교하면, Fig. 3에서 후방프레임은 sprung mass 모드인 피칭모드에 지배적인 영향을 받고, 1번 차축은 unsprung mass 고유모드에 큰 영향을 받는다고 볼 수 있다. 이상의

결과로부터 고유진동 해석 결과가 타당함을 알 수 있다.

4.3 주행진동 해석 및 분석

랜덤진동 해석을 수행하여 포장도로와 비포장도로를 일정속도로 주행할 경우의 주행진동 특성을 해석하였다. 해석의 관심 주파수는 주행진동 계측분석에서 적용한 것과 동일하게 50 Hz로 설정하였다. 도로에 의한 입력조건을 결정하기 위해서는 도로형

Table 3 The result of normal mode analysis

No.	Freq. (Hz)	Mode shape	Remarks
1	1.23	Rolling mode	Sprung Mass Mode
2	1.92	Bounce mode	
3	2.78	Pitching mode	
4	8.50	Pitching mode of 3,4 axles	Unsprung
5	8.56	Structural 1st twisting mode	Structural
6	8.77	Bounce mode of 2 axle	Unsprung mass mode
7	8.83	Bounce mode of 1 axle	
8	10.86	Structural 1st bending mode	Structural
9	11.34	Bounce mode of 3,4 axles	Unsprung mass mode
10	11.91	Rolling mode of 2 axle	
11	11.92	Rolling mode of 1 axle	
12	12.46	Rolling mode of 3,4 axles	
13	13.29		
14	15.92	Structural 2nd twisting mode	Structural
15	-	Regional modes	

Table 2 Spring constants of vehicle suspension

Classification		Properties
Axle 1,2	Suspension	3.92×10^5 N/m
	Tire(single)	9.81×10^5 N/m
Axle 3,4 (bogie axle)	Suspension	2.89×10^5 N/m
	Tire(double)	1.96×10^5 N/m

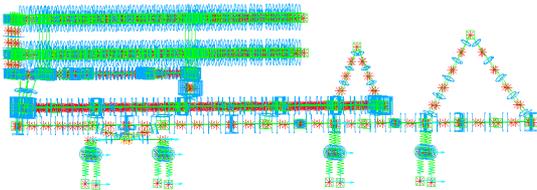
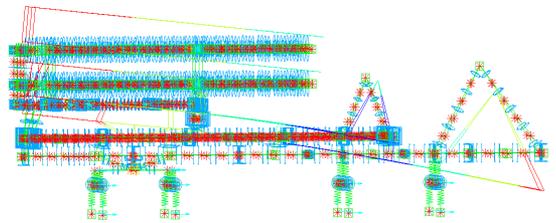
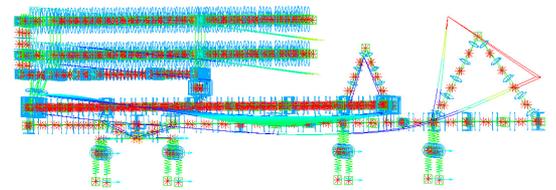


Fig. 5 Configuration of FEM model



(a) Pitching mode



(b) Structural bending mode

Fig. 6 Normal modes obtained from FEM analysis

태를 식 (6)과 같이 정의하여야 한다. 식 (6)에서 일반 주행도로의 상수 C는 4.8e-7, 상수 N은 2.1 정도의 값을 가지고 도로의 거칠기가 증가하면 상수 C 또는 N의 값이 증가하는 것으로 알려져 있다.(1) 본 시험에 적용된 Fig. 2의 포장도로 및 비포장도로의 상수는 도로형태, 거칠기 등을 고려하여 Table 4와 같이 선정하였다. 식 (10)의 도로에 의한 가속도 PSD 전달률 TR을 다음 식과 같이 arctan 함수 형태를 가지는 것으로 가정하였다.

$$TR_{sug} = \left[\frac{\pi/2 - A \cdot \tan^{-1}(f - B)}{\pi} \right]^P \quad (12)$$

Table 4 The PSD constants of the roads

Classification	Constant N	Constant C	Remarks
Paved road	2.1	4.0e-7	Ω : cycle/m
Unpaved road	2.4	5.0e-7	

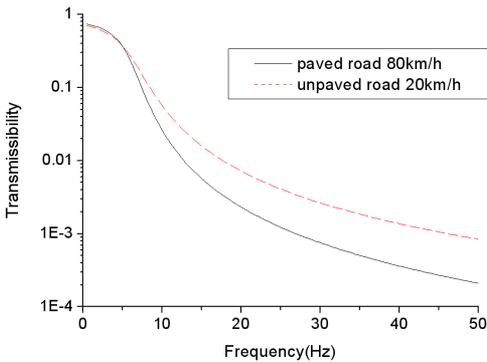


Fig. 7 Transmissibility of acc. PSD from the road to tire

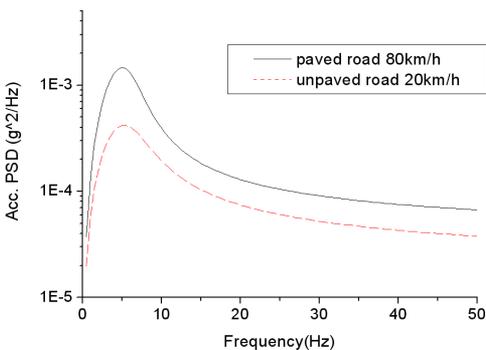


Fig. 8 Input PSD of the roads for analysis

여기서, A는 arctan 함수값이 변화는 정도를 나타내고 B는 주파수 영역에서 “0”점의 편이위치를 나타내며, P는 전달함수에 제곱형태를 취하여 최종 전달율을 결정하는 상수이다. 전달률은 실험적으로 결정될 수 있으므로 식 (12)의 A, B, P의 값은 많은 실험결과를 토대로 설정될 수 있다. 이 연구에서는 해석결과와 시험결과를 고려하여 포장도로 80 km/h, 비포장도로 20 km/h에 대하여 각각 A=0.4, 0.3, B=6, 6, P=2.1, 1.9를 선정하였다. 이때의 전달률은 Fig. 7과 같고, 이에 대한 입력 가속도 PSD는 Fig. 8과 같다.

주행진동 해석을 위한 랜덤진동 해석은 입력 가진의 correlation에 따라 해석결과가 달라진다. 식 (11)의 전축과 후축의 입력에 대한 correlation 관계를 살펴보아야 한다. 이를 위하여 전축 및 후축이 입력이 correlation 관계가 없는 것으로 가정하여 해석결과와 시험결과가 양호한 일치성을 보이도록 참고문헌 (1)을 참조하여 도로의 상수 미세조정과 식 (12)의 상수를 설정하여 해석을 수행하였다. 또한, 같은 입력조건에 대하여 전축과 후축의 입력 correlation이 식 (11)과 같이 존재하는 것으로 가정하여 해석을 수행하였다. 전방 및 후방 프레임에 대한 시험 및 해석결과와 RMS 가속도를 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9의 결과를 살펴보면, correlation이 없는 경우의 입력값에 대하여 correlation이 있는 경우는 전방 프레임은 시험결과와 유사하나 후방 프레임은 큰 차이를 나타내고 있다. 전방 및 후방 프레임의 RMS 가속도 비율이 시험결과와 correlation이 있는 경우가 동일 수준이면 식 (10)의 전달률을 조정하여 해석결과와 시험결과를 일치시킬 수 있으나, 그 비율의 차이가 크므로 전축 및 후축의 correlation 관계는 없는 것으로 보는 것이 타당하다. 차축에서도 1,2 축은 correlation 효과가 작은 반면에 보기 차축인 3,4 축은 correlation 효과가 크게 나타나는 해석결과를 보였고, 해석결과와 일치성을 도출하기가 어려웠다. 이상의 결과로부터 식 (6) 형태의 도로조건 및 식 (12)와 전달률을 가정하면 노면에서 타이어 가진되는 입력은 correlation 관계가 약한 것으로 판단된다. 이러한 현상은 노면에서 타이어 전달되는 가진 전달률이 작기 때문인 것으로 추정된다. 따라서 주행진동을 위한 랜덤진동 해석은 전축 및 후축 입력 사이에 correlation이 없는

것으로 해석하는 것이 타당하다.

포장도로를 80 km/h, 비포장도로를 20 km/h로 주행하는 조건에 대한 주행진동 해석을 수행하였다. 주행계측시험과 같은 조건에 대하여 가속도 PSD 및 RMS 가속도를 해석을 통하여 구하였다. 포장도로를 80 km/h 주행조건에 대해서 1축과 후방 프레임 및 비포장도로를 20 km/h 주행조건에 대하여 3축과 후방프레임에 대한 가속도 PSD를 Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13에 시험결과와 해석결과를 비교하여 나타내었다. Fig. 10의 1번 차축 및 Fig. 12의 3축은 차축 고유모드인 9 Hz 근방에서 최고치를 나타내고 전체적인 양상이 유사함을 나타낸다. Fig. 11 및 Fig. 13에서 후방 프레임은 현수장치 고유모드인 3 Hz 부근에서 최고치를 보이고 전체적으로 비슷한 모양을 보인다. 위에서 설명한 이외의 위치도 이와 유사한 양상을 보였다. 포장도로 80 km/h 주행조건인 전방 및 후방 프레임과 1,3축에 대한 가속도 PSD로부터 산출한 RMS 가속도를 Fig. 14에 나타내었다. RMS 가속도 크기는 프레임 위치와 3축은 시험결과와 해석결과가 잘 일치하고 1축은 약간의 차이를 보이나 전체적으로 시험결과와 해석결과의 일치성이 양호한 것으로 판단된다. 비포장도로의 20 km/h 주행조건도 Fig.11과 같이 시험결과와 해석결과가 비교적 잘 일치하였다. 포장도로 및 비포장도로의 2가지 주행조건에 대한 RMS 가속도 시험결과와 해석결과를 Table 5에 나타내었다. 전체적으로 진동이 현수장치를 통과한 프레임 위치는 시험결과와 해석결과가 잘 일치하고 차축은 약간의 차이는 있지만 비교적 유사한 결과를 나타

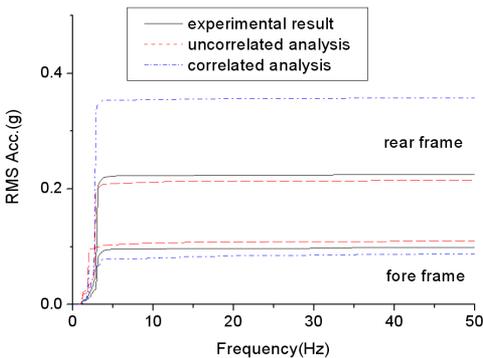


Fig. 9 RMS acceleration of experiment and analysis for fore and rear frame

낸다. 이상의 결과에서 해석결과의 타당성을 확인할 수 있다. 즉, 도로의 변위 PSD 형태와 적정한 전달

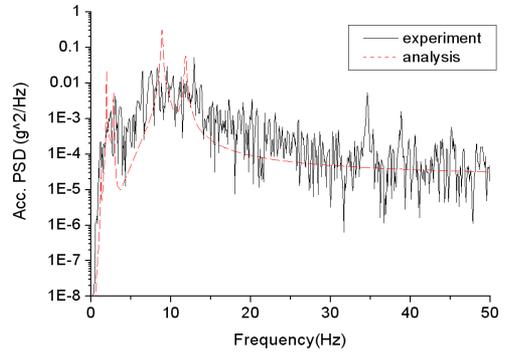


Fig. 10 Acc. PSD of experiment and analysis for axle 1 for the case of $V=80$ km/h on the paved road

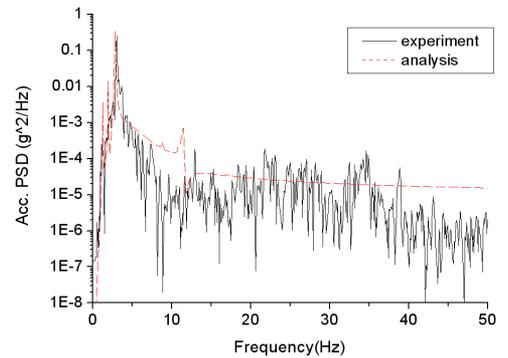


Fig. 11 Acc. PSD of experiment and analysis for rear frame for the case of $V=80$ km/h on the paved road

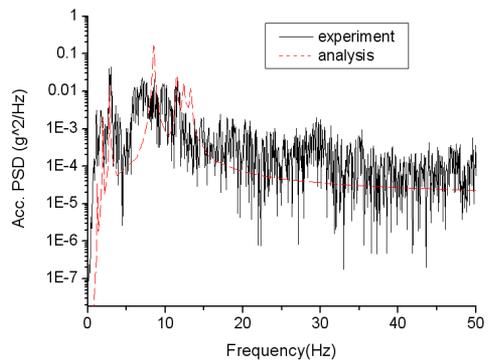


Fig. 12 Acc. PSD of experiment and analysis for axle 3 for the case of $V=20$ km/h on the unpaved road

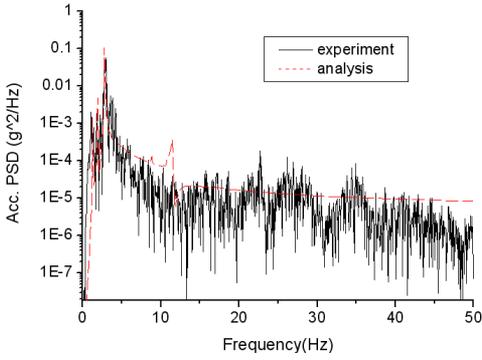


Fig. 13 Acc. PSD of experiment and analysis for rearframe for the case of $V=20$ km/h on the unpaved road

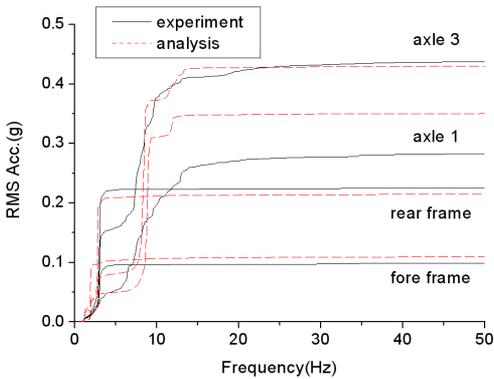


Fig. 14 RMS acceleration of experiment and analysis for the case of $V=80$ km/h on the paved road

Table 5 Measurement and analysis results of RMS g acc.

Classification		RMS g acc.	
		Experiment	Analysis
Paved road 80 km/h	Axle 1	0.28	0.35
	Axle 2	0.29	0.35
	Axle 3	0.45	0.43
	Axle 4	0.46	0.43
	Fore frame	0.10	0.11
	Rear frame	0.22	0.21
Unpaved road 20 km/h	Axle 1	0.27	0.24
	Axle 2	0.27	0.24
	Axle 3	0.25	0.28
	Axle 4	0.23	0.28
	Rear frame	0.06	0.07

를 적용한 주행진동 해석방법이 타당함을 알 수 있다. 보편적인 전달률 함수를 도출하기 위해서는 다양한 도로조건 및 주행조건에 대한 시험 및 해석에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

트럭에 탑재된 형태의 특수 장비의 주행 중에 노면으로부터 차량에 전달되는 진동특성을 파악하기 위하여 주행진동 계측시험을 수행하였고, 이 시험결과를 도로의 변위 PSD와 노면과 타이어의 진동 전달률 함수를 가정하여 유한요소법을 이용하여 해석적으로 예측하였다. 이와 같은 연구를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 주행계측시험 결과, 노면으로부터 진동이 전달되는 경로인 차축과 특수 장비 프레임의 진동은 각각 9 Hz와 3 Hz 부근에서 고유진동수가 존재하고, 이 주파수 영역의 진동 가속도 전체 가속도 크기를 결정한다.

(2) 특수 장비 고유진동해석을 통하여 차축 및 특수 장비 프레임 위치의 고유진동수 분포가 주행계측시험 결과와 일치함을 확인하였다.

(3) 일정속도의 주행조건에 대한 주행진동 해석을 도로의 PSD 형태와 노면과 도로의 진동 전달률을 이용하여 수행하였고, 주행 중 타이어에 가해지는 진동은 전/후축 간에 correlation 관계가 거의 없음을 확인하였다. 또한, 시험결과와 해석결과가 잘 일치하여 해석방법의 타당성을 확인하였다.

이 연구의 주행진동 해석은 노면과 타이어의 진동 전달률 설정이 매우 중요하다. 본 주행진동 해석의 보편화를 위해서는 다양한 도로조건과 주행조건에 대한 시험 및 해석을 수행하여 도로조건 및 주행속도에 대한 전달률 함수를 일반화시키는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) B. D. Van Deusen, 1967, "Analytical Technique for Designing Riding Quality into Automotive Vehicle," SAE, Paper No. 670021.
 (2) Howell, L. T., 1974, "Power Spectral Density Analysis of Vehicle Vibration Using the NASTRAN

Computer Program,” SAE, Paper No. 740328.

(3) Jeong, M. G., Kim, K. S., Kim, K. J., 2006, “A Study on Determination of Complex Stiffness of Frame Bush for Ride-comfort Improvement of Body-on-frame Vehicle,” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 619~626.

(4) Gu, S. H., Song, J. T., Bae, C. H., Choi, N.

G., 2002, “The Road Test Results of 10-ton Rescue Vehicle,” GSDC-319-020391, ADD.

(5) Song, J. T., Gu, S. H., Choi, N. G., Yu, Y. G., 2009, “The Road Test Results of Fire Control Unit,” ADDR-515-090520, ADD.

(6) Bendat, J. S. and Piersol, A. G., 1980, “Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis,” Wiley Publication.