

다양한 크기와 주파수 그리고 감쇠를 갖는 상하방향 전신 충격진동에 대한 불편함 연구

안 세 진¹⁾ · Michael J. Griffin²⁾ · 유 완 석³⁾ · 정 의 봉^{*3)}

부산대학교 기계기술연구소¹⁾ · Southampton University²⁾ · 부산대학교³⁾

Study on Discomfort of Vertical Whole-body Shock Vibration Having Various Magnitudes, Frequencies and Damping

Sejin Ahn¹⁾ · Michael J. Griffin²⁾ · Wansuk Yoo³⁾ · Weuibong Jeong^{*3)}

¹⁾Research Institute of Mechanical Technology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²⁾Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, SO17 1BJ, UK

³⁾School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received 18 May 2006 / Accepted 21 September 2006)

Abstract : Shocks are excited by impulsive forces and cause discomfort in vehicles. Current standards define means of evaluating shocks and predicting their discomfort, but the methods are based on research with a restricted range of shocks. This experimental study was designed to investigate the discomfort of seated subjects exposed to a wide range of vertical shocks. Shocks were produced from the responses of one degree-of-freedom models, with 16 natural frequencies (from 0.5 to 16 Hz) and four damping ratios (0.05 0.1, 0.2 and 0.4), to a hanning-windowed half-sine force inputs. Each type of shock was presented at five vibration dose values in the range $0.35 \text{ ms}^{-1.75}$ to $2.89 \text{ ms}^{-1.75}$. Fifteen subjects used magnitude estimation method to judge the discomfort of all shocks. The exponent in Stevens' power law, indicating the rate of growth in discomfort with shock magnitude, decreased with increasing fundamental frequency of the shocks. At all magnitudes, the equivalent comfort contours showed greatest sensitivity to shocks having fundamental frequencies in the range 4 to 12.5 Hz. At low magnitudes the variations in discomfort with the shock fundamental frequency were similar to the frequency weighting W_b in BS 6841, but low frequency high magnitudes shocks produced greater discomfort than predicted by this weighting. At some frequencies, for the same unweighted vibration dose value, there were small but significant differences in discomfort caused by shocks having different damping ratios. The rate of increase in discomfort with increasing shock magnitude depends on the fundamental frequency of the shock. In consequence, the frequency-dependence of discomfort produced by vertical shocks depends on shock magnitude. For shocks of low and moderate discomfort, the current methods seem reasonable, but the response to higher magnitude shocks needs further investigation.

Key words : Discomfort(불편함), Frequency weighting function(주파수가중함수), Equivalent comfort contour(등인락성곡선), Transient vibration(과도진동), Whole-body vibration(전신진동), Vibration dose value(진동누적값)

1. 서 론

기계적 진동에 노출된 인체는 진동의 주파수와

크기 그리고 지속시간에 의존하여 반응한다. 특히 인체에 대한 진동 주파수 영향은 단일 주파수 정현파진동 또는 협대역 랜덤진동(narrow-band random vibration)을 이용하여 오래 전부터 연구되었다. 이

*Corresponding author, E-mail: wjjeong@pusan.ac.kr

러한 결과들을 이용하여 국제표준 ISO 2631 또는 BS 6841의 주파수가중함수(frequency weighting function)가 개발되었고, 이러한 가중함수들은 전신 진동(whole-body vibration)이 인체의 불편함(discomfort) 또는 건강(health)에 미치는 정도를 예측하기 위하여 이용되고 있다.¹⁻³⁾

그런데 이러한 국제표준의 주파수가중함수를 다중 주파수 진동이나 과도진동(transient vibration) 등과 같은 복합진동(complex vibration)에 적용하기 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 예를 들어 “진동에 대한 감각의 주파수 응답 특성은 진동의 크기와 지속시간에 무관하다.”라는 가정 하에서 표준의 주파수가중함수를 다양한 복합진동에 적용할 수 있게 된다. 하지만 진동에 반응하는 인체 또는 감각(sensation)은 진동의 크기와 지속시간에 의존하여 나타난다는 결과들이 다수의 연구에서 보고되고 있다. 즉 진동의 크기와 지속시간에 따른 비선형성(nonlinearity)이 고려된 주파수가중함수 개발이 요구되고 있다.

충격진동 또는 과도진동은 크기와 지속시간에 있어서 매우 복잡하고 다양한 신호이기 때문에 기존의 주파수가중함수를 이용하여 불편함을 예측하기는 매우 어렵다. 그리고 충격진동의 일반화된 파형을 정의할 수 없기 때문에 인체반응 실험을 체계적으로 수행하기 어렵다. 그래서 기존의 연구에서는 간단하게 변형된 사인파형을 충격진동으로 가정하거나, 현장실험으로부터 장애물을 통과하는 차량의 시트에서 측정한 가속도 신호를 충격진동으로 가정하여 인체반응 실험을 수행하였다.

감쇠하는 사인파형의 신호를 수직방향 전신진동의 자극으로 사용한 연구에서는 표준 주파수가중함수를 적용하여 계산한 진동누적값(VDV:vibration dose value)이 주관적 불편함과 높은 상관관계를 나타내었다.⁴⁾ 그리고 80초 동안의 랜덤 진동에 한 주기의 정현파신호를 간헐적으로 중첩한 신호를 충격진동으로 이용한 연구에서도 진동누적값이 다른 방법으로 계산된 물리량보다 피시험자가 느끼는 불편함과 높은 상관도를 나타내었다.⁵⁾

반면에 오프로드(off-road)를 주행하는 차량에서 추출한 충격신호를 이용한 인체반응실험에서는 러닝 실효값(running r.m.s.)이 불편함의 정도와 가장

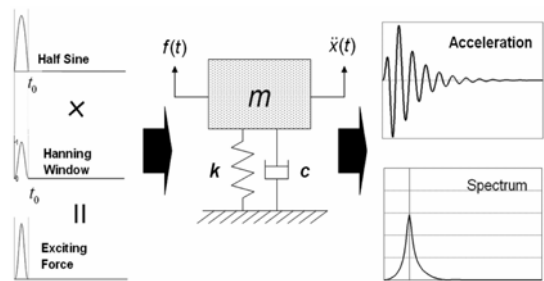


Fig. 1 Shock response of single degree of freedom model to hanning-windowed half-sine input

높은 상관도를 나타내었고,⁶⁾ 다양한 장애물을 넘는 트랙터(tractor)에서 발생하는 충격진동에 대한 현장 실험에서는 실효누적값(dose value based on an r.m.s.)이 상대적으로 높은 상관도를 나타내었다.⁷⁾ 그리고 포크 리프트(forklift)의 중량과 주행속도를 조절하면서 장애물을 넘을 때 발생하는 다양한 충격진동에 대해서는 최대과도진동값(maximum transient vibration value)이 평가자가 느끼는 불편함과 상관성이 높은 것으로 나타났다.⁸⁾

이와 같이 기존의 연구에서는 불편함과 상관성이 높은 예측방법은 인체진동 실험에 사용된 충격진동 신호의 종류와 특성에 따라 다르게 연구되었다. 본 연구에서는 반사인과 가진력을 받는 단일 자유도 진동모델의 가속도 응답 신호를 충격진동 신호로 규정하고, 모델의 변수를 조절하여 다양한 기본주파수와 감쇠비를 갖는 충격진동 신호를 만들었다. 본 연구의 목적은 충격진동의 기본주파수와 감쇠비가 주관적인 불편함에 미치는 영향도를 분석하는 것이다.

2. 실험방법

2.1 충격진동

차량이 노면 상에 있는 범프와 같은 장애물을 통과할 때 발생하는 시트의 수직방향 진동은 차량의 서스펜션과 타이어 그리고 시트의 특성에 의존하며, 시간이 지남에 따라 감쇠하는 과도 충격진동이다.^{7,8)} 본 연구에서는 과도 충격진동의 단순화된 신호를 모사(simulation)하기 위하여 Fig. 1과 같이 단일 자유도 진동모델과 반사인과 가진력을 이용하였다. 이때 반사인과 가진 입력에 해닝창함수(hanning

window function)를 적용하여 충격진동 신호의 시작점을 부드럽게 하였다.

$$H(t) = \begin{cases} A \sin\left(\pi \frac{t}{t_0}\right) \times \frac{1}{2} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0}\right) \right] & 0 \leq t \leq t_0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 A와 t₀는 반사인과 가진력의 크기와 지속시간을 나타낸다.

진동모델의 질량과 강성 그리고 반사인과 가진력의 지속시간을 조정하여 다양한 기본주파수와 크기 그리고 감쇠비를 갖는 충격진동을 만들었다. 충격진동의 물리적인 크기는 피크값(peak value)이나 실효값(root mean square value)으로 나타낼 수 없기 때문에 본 연구에서는 피크피크(peak-to-peak)값 또는 진동누적값(VDV)로 나타내었다. 그리고 충격진동 신호의 크기는 Fig. 2에서 나타내는 바와 같이 각각의 기본주파수에서 상호관계가 있으므로 한가지 방법으로 구한 충격진동의 크기는 다른 크기로 변환할 수 있다.

본 연구의 인체반응 실험에서는 실제 차량이 범프 등에 의하여 충격 가진을 받을 경우 시트(seat)에서 발생할 수 있는 충격 진동을 고려하였다. 본 연구에서 사용된 충격진동의 기본주파수는 0.5 - 16.0 Hz 사이에 1/3옥타브 간격으로 16가지이고, 각각의 기본주파수에 대하여 감쇠비는 4가지(0.05, 0.1, 0.2, 0.4)이고, 크기는 VDV 값으로 0.35 - 2.89 ms^{-1.75} 사이에 5가지 크기(1.7⁻², 1.7⁻¹, 1.0, 1.7, and 1.72ms^{-1.75})

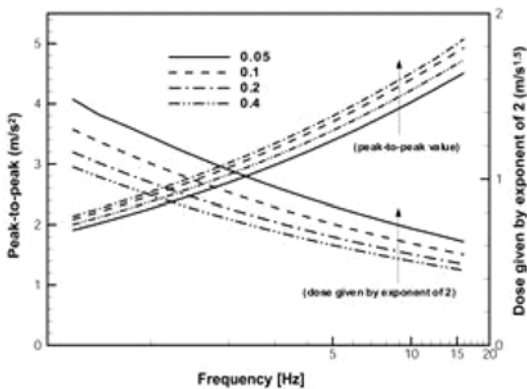


Fig. 2 Peak-to-peak values and 'dose' value given by an exponent of 2 (i.e. $(\int a^2(t)dt)^{1/2}$) for shocks having unity unweighted vibration dose values

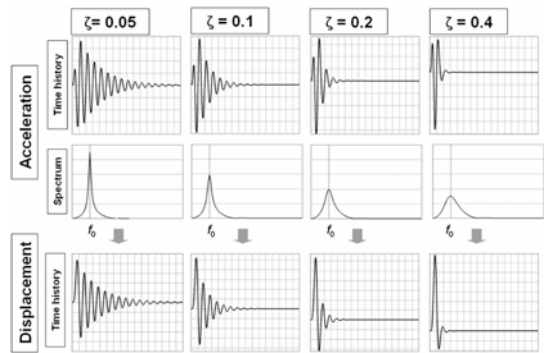


Fig. 3 Shocks having different damping ratios, but the same fundamental frequency and the same unweighted vibration dose value

이다. 충격진동의 기본주파수가 높고 감쇠비가 클수록 진동 지속시간은 짧아진다. Fig. 3은 본 연구에서 사용된 충격진동의 가속도와 변위의 파형과 가속도 스펙트럼을 감쇠비 별로 예시한 것이다.

2.2 실험장비 및 주관 평가자

상하방향 충격진동을 발생시키기 위하여 영국 Southampton 대학의 ISVR(Institute of Sound and Vibration Research)이 보유하고 있는 유압 시뮬레이터(hydraulic simulator)를 이용하였다. 시뮬레이터의 작동영역은 ±1.0 m 변위 스트로크(stroke)와 0.2 Hz - 50 Hz 주파수범위이며, ISVR에서 개발한 HVLab 시스템에 의해 제어되었다. 유압 시뮬레이터의 플랫폼에 장착된 강체 시트는 등받이에 의한 평가오차를 없애기 위하여 등받이를 장착하지 않았고, 안전을 위하여 느슨한 그물망을 설치하였다.

강체 시트에 장착된 가속도계 (Setra System, 141A type)를 사용하여 시트의 상하방향 진동을 측정하였고, 측정된 가속도 신호는 130 Hz의 엔티-에어리징(anti-aliasing) 필터를 적용한 후 400데이터/초로 샘플링하여 디지털신호로 변환하였다. 그리고 0.5 - 16.0Hz의 기본주파수를 가지는 충격진동의 물리적 크기, 즉 피크피크값과 진동누적값을 계산하기 전에 고주파 왜란(noise)을 제거하기 위하여 40 Hz 저주파통과필터(low-pass filter)를 적용하였다.

충격진동의 불편함을 주관적으로 평가하기 위해 참가한 평가자(subjects)들은 모두 15명의 남자이고, 나이는 22-39세 (평균: 30.2세, 표준편차: 5.2세)이고,

몸무게는 54-105 kg (평균: 75kg, 표준편차: 12.5kg) 이고, 신장은 168-186 cm (평균: 175.8cm, 표준편차: 5.3cm)이었다. 평가자는 시뮬레이터에 설치된 장치 의자에 편안하게 직립한(upright) 자세로 앉고, 허벅지는 수평으로 하고 정강이는 수직이 되도록 발판의 높이를 조절하였다. 시뮬레이터의 상대면위와 작동음으로 인한 평가오차를 줄이기 위하여 평가자는 눈가리개(eye mask)와 헤드폰(headphone)을 착용하였으며, 본 연구의 실험은 ISVR에서 규정하고 있는 인체 실험의 안전과 윤리(Human Experimentation Safety and Ethics)에서 규정하는 각종 심의에서 인정을 받은 후 실시하였다.

2.3 실험절차

충격 진동의 주관적 불편함을 평가하기 위한 심리물리학적(psychophysical) 방법으로 기준 자극(reference stimulus)과 시험 자극(test stimulus)을 비교하여 감각(sensation)의 상대적인 크기를 평가하는 크기 예측법(magnitude estimation method)을 이용하였다. 모든 평가자들은 실험을 시작하기 전에 크기 예측법을 숙달하기 위하여 종이에 그려진 크기가 다른 두 원의 크기를 비교하여 지름(diameter)의 길이를 예측하는 연습을 실시하였다.

Fig. 4는 크기 예측법의 절차에 따라 평가자에게 전달되는 기준 및 시험 충격진동의 순서와 방법을 예시한 것이다. 본 연구의 크기 예측법에서 기준 자극은 기본주파수가 2.5 Hz이고 크기가 $1.0 \text{ ms}^{-1.75}$ 인 충격진동으로 하였다. 기준 충격진동은 약 4초 동안 발생하고, 2초간 시뮬레이터를 중지한 후 시험 충격진동을 발생하였다. 이때 시험 충격진동의 지속시간은 기본주파수와 감쇠비에 따라 달라지며 최단 0.2초에서 최장 15초이다. 크기 예측법에 의하여 기준 충격진동과 시험 충격진동을 연속하여 경험한 평가자는 기준 충격진동의 불편함을 100으로 가상하였을 때 시험 충격진동 불편함의 정도를 숫자로 표현하도록 하였다.

충격진동의 물리적인 크기는 피크피크값(peak-to-peak value)과 주파수가중하지 않은 진동누적값(unweighted VDV)으로 측정하고, 국제 표준의 주파수가중합수를 적용한 진동누적값(W_b weighted VDV)

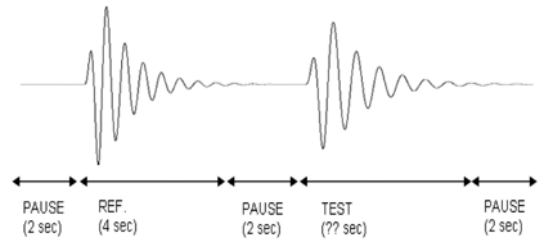


Fig. 4 Example of reference and test shock vibrations for magnitude estimation method

도 함께 측정하였다. 앉은 자세에 대한 상하방향 전신진동에 대한 주파수가중합수는 ISO 2631에서는 W_k , BS 6841에서는 W_b 로 규정하고 있는데, 이 둘은 5Hz 이하의 저주파수 영역에서 근소한 차이가 있으나 그 차이에 대한 분명한 근거는 부족하다.⁹⁾ 본 연구에서 HVLab 시스템에 내장되어 있는 W_b 주파수가중합수를 충격진동의 가속도 신호에 적용하여 진동누적값을 구하였다.

3. 실험결과

3.1 주관평가

16 가지 기본주파수와 4가지 감쇠비에 대한 5 가지의 크기, 즉 320 가지 파형의 충격진동에 대하여 15명의 평가자가 크기 예측법으로 평가한 불편함에 대한 3가지 물리량의 함수관계를 Fig. 5에 나타내었다. 주파수 가중하지 않은 피크피크 값과 진동누적값 그리고 W_b 가중한 진동누적값과 주관적인 불편함 사이의 서열 상관도를 나타내는 Spearman 상관계수는 각각 0.821, 0.838 그리고 0.798으로 나타났다. 이것으로부터 충격진동의 객관적인 3가지 물리량의 크기 증가는 주관적인 불편함 증가와 통계적으로 중요한(significant) 상관성이 있음을 알 수 있다. ($p < 0.001$: Spearman) 그리고 표준 주파수가중합수인 W_b 를 적용한 충격진동의 물리량은 불편함과 상관관계를 향상시키지 못함을 알 수 있다.

3.2 Stevens 지수법칙

각각의 평가자가 16가지 기본주파수에서 5가지 자극의 크기에 대하여 크기 예측한 일례를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 본 연구의 충격진동의 물리량은 측정방법에 따라 정량적인 값

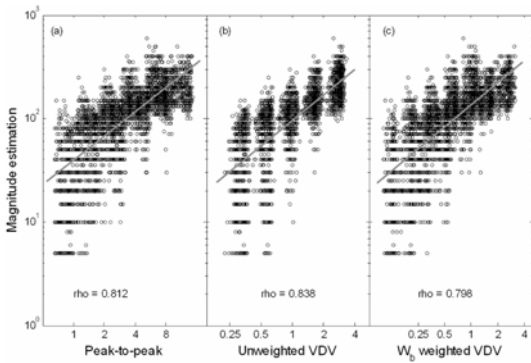


Fig. 5 Spearman's correlation coefficients between subjective ratings of shock vibration and: (a) peak-to-peak value, (b) unweighted VDV, (c) W_b weighted VDV

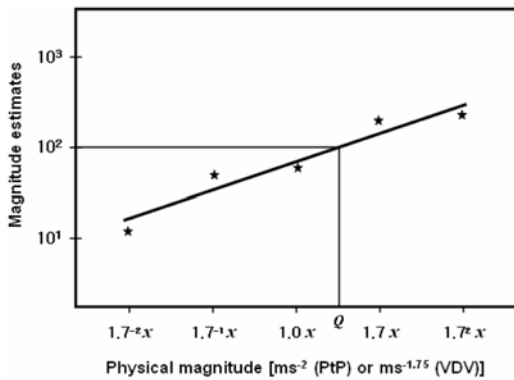


Fig. 6 Example plot of magnitude estimates against physical magnitudes of shock vibration ($x=3.1 \text{ ms}^{-2}$ in peak-to-peak, $x=1.0 \text{ ms}^{-1.75}$ in unweighted VDV, or $x=0.5 \text{ ms}^{-1.75}$ in W_b weighted VDV)

은 달라지지만 상대적인 크기의 비는 변하지 않고 일정하다. 그러므로 충격진동의 크기 예측한 값과 물리적 크기에 로그를 취한 후 최소자승법으로 구한 회귀직선(regression line)의 기울기는 물리량을 계산하는 방법에 상관없이 동일하다. 본 연구에서는 16가지 기본주파수에 대하여 회귀직선 기울기를 구하고, 평가자 각자에 대한 그 기울기 값을 심리물리학 법칙인 Stevens 지수법칙(Stevens'power law)의 지수 값, n 으로 이용하였다.

$$\psi = k\varphi^n \quad (3)$$

$$\log_{10}\psi = n\log_{10}\varphi + \log_{10}k \quad (4)$$

여기서 지수 n 은 자극(충격진동)의 크기가 증가

할 때 감각(불편함)이 증가하는 비율을 의미한다. 15명의 평가자에 대하여 구한 지수법칙의 지수값은 기본주파수가 증가함에 따라 감소하는 통계수치를 보였다($p < 0.0001$; Spearman). Fig. 6에 나타난 기본주파수별 지수값의 중간값(median value)은 최고 1.32 (0.5Hz)에서 최저 0.45 (6.3Hz) 정도가 되었다.

3.3 등안락성곡선

Fig. 6의 Q 점은 기준 충격진동과 동일한 불편함을 유발하는 시험 충격진동의 물리적인 크기, 즉 등안락성크기(equivalent comfort magnitude)를 나타낸다. 각각의 감쇠비에 대하여 기본주파수에 따른 등안락성크기를 나타낸 것이 등안락성곡선(equivalent comfort contour)인데, 충격진동의 경우에는 측정된 진동의 물리량의 종류에 따라 곡선의 모양은 달라지게 된다. 그런데 충격진동의 크기를 표현하는 물리적 값들은 Fig. 2에서 나타난 바와 같이 상호관계가 있기 때문에 한 가지 물리량에 대한 등안락성곡선을 구하게 되면 다른 물리량에 대한 등안락성곡선을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 연구결과와 직관적으로 비교하기 용이한 진동누적값(VDV)으로 등안락성곡선을 구하였다.

충격진동의 감쇠비에 따른 등안락성크기의 중간값을 이용하여 구한 등안락성곡선을 Fig. 8에 나타내었다. 충격진동의 등안락성곡선은 감쇠비에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있고, 감쇠비가 작을수록 등안락성크기는 작아짐을 알 수 있었다. 그리고 인체의 고유진동수 영역인 4-10Hz의 기본주파수 대역에서 등안락성크기는 작아지고 감쇠비의 영향은 다른 주파수영역에 비하여 더욱 커짐을 알 수 있었다.

즉 같은 기본주파수에서 동일한 크기(진동누적값)를 갖는 충격진동에 대해서 감쇠비가 작은 것이 작은 진동 크기로 동일한 불편함을 발생시킨다는 것을 의미한다. 그리고 인체의 고유진동수 영역의 기본주파수를 가지는 충격진동은 2.5Hz의 기준 충격진동보다 감쇠비에 따라서 다소 차이는 있으나 약 55-80% 정도의 진동 크기로 동일한 불편함을 유발시킴을 알 수 있다.

충격진동의 감쇠비 차이에 의해 15명의 평가자의 등안락성크기에 미치는 영향의 중요도를 “Wilcoxon

Table 1 Difference of equivalent discomfort between each other damping ratio at each frequency (Wilcoxon; **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, -: not significant)

Difference of damp ratio	Fundamental frequency																
	0.5	0.63	0.8	1	1.25	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3	8	10	12.5	16	
0.05	0.1	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0.2	-	-	**	-	-	-	-	-	-	**	-	*	*	-	-	-
	0.4	-	-	**	*	-	-	*	-	*	**	*	*	**	-	*	-
0.1	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	**	-	*	-	*
0.2	0.4	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	*	-	*	-	-

signed rank test” 통계시험(statistical test)하여 Table 1에 나타내었다. 여기서 p 값이 0.01보다 작은 경우(**)는 99% 신뢰구간에서 충격진동의 감쇠비의 차이가 등안락성크기에 미치는 영향이 중요하다는 것을 의미한다. 그리고 p 값이 0.05보다 작은 경우(*)는 95% 신뢰구간에 대한 감쇠비 차이의 중요성을 의미하며, 0.05보다 큰 p 값의 경우(-)는 감쇠비 차이가 등안락성곡선에 미치는 영향이 중요하지 않음을 의미한다.

감쇠비의 차이가 커질수록 더욱 넓은 주파수영역에서 충격진동 감쇠비 차이의 영향이 중요함을 알 수 있고, 특히 인체 고유진동수 영역인 4-10Hz 부근에서 충격진동의 감쇠비 영향이 상대적으로 높음을 알 수 있다.

3.4 주파수가중곡선

충격진동의 크기 증가에 따른 불편함이 증가하는 비율을 나타내는 Stevens 지수법칙의 지수값이 기본주파수와 감쇠비에 의존하는 것을 Fig. 7에서 보았다. 그리고 충격진동의 감쇠비에 따라 등안락성곡선의 모양이 달라지는 것을 Fig. 8에서 확인하였다. 본 연구에서는 각각의 감쇠비에 대한 Stevens 지수법칙의 지수값과 등안락성곡선을 이용하여 아래 식과 같이 충격진동을 위한 주파수가중곡선(frequency weighting shape)을 개발하였다.

$$W_s(f) = \frac{1}{E(f)} \times M^{n(f)} \quad (5)$$

여기서, f 는 충격진동의 기본주파수를 의미하고, $E(f)$ 와 $n(f)$ 는 충격진동의 기본주파수에 따른 등안락성곡선과 Stevens 지수법칙의 지수값을 의미한다.

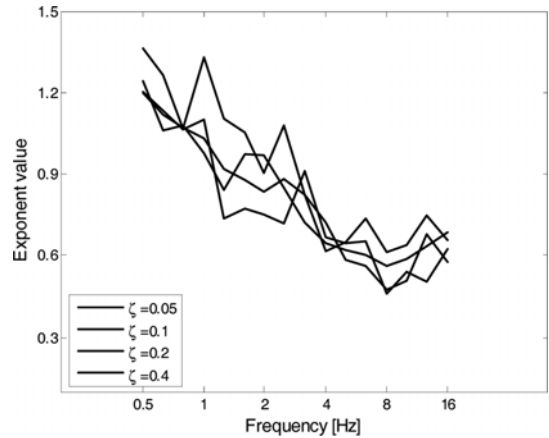


Fig. 7 Exponent values of the Stevens'power law for shock vibration (medians over 15 subjects for each damping ratio)

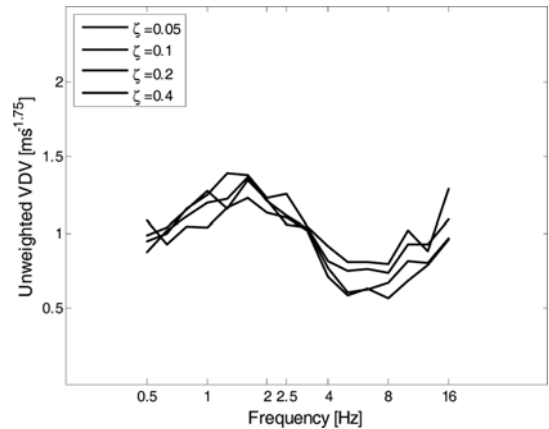


Fig. 8 Equivalent comfort contours of shock vibration (medians over 15 subjects for each damping ratio)

그리고 M 은 기본 충격진동의 물리량에 대한 관심 충격진동의 물리량의 비(ratio)를 의미한다. 이때 기본 충격진동의 물리량은 $1.0 \text{ ms}^{-1.75}(\text{VDV})$ 이다.

본 연구에서 사용된 시험 충격진동의 기준 크기(middle)와 가장 크고(highest) 가장 작은(lowest) 크기의 진동누적값에 대한 주파수가중곡선을 표준 주파수가중함수와 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 충격진동의 크기가 가장 작은 경우의 주파수가중곡선은 표준 주파수가중함수와 매우 유사함을 알 수 있다. 하지만 충격진동의 크기가 커질수록 저주파수의 주파수가중 값이 표준보다 높아짐을 알 수 있다.

충격진동을 위한 주파수가중곡선을 적용하여 구

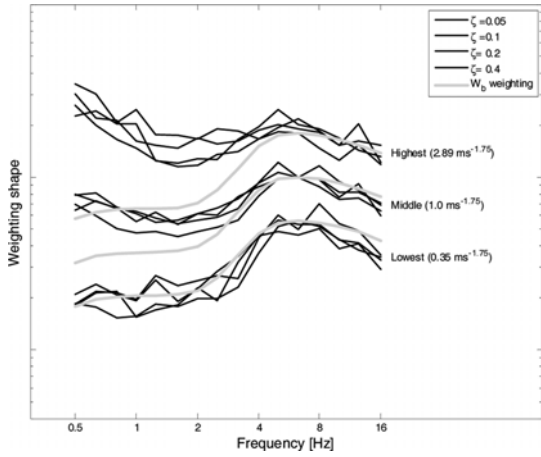


Fig. 9 Frequency weighting shapes for shock vibration compared with Wb of BS 6841

한 물리량의 크기와 불편함 정도와의 상관관계를 Fig. 10에 나타내고, 표준 주파수가중함수를 적용한 경우와 비교하여 보았다. 본 연구에서 구한 주파수가중곡선을 적용한 경우의 상관계수는 0.894이었고, 주파수가중하지 않은 경우는 0.779, 표준 주파수가중함수를 적용한 경우는 0.76이었다. 그리고 충격진동을 위한 주파수가중곡선을 적용한 진동의 물리량과 불편함과의 관계를 Stevens 지수법칙으로

나타내면 지수값은 0.715이고 상수값은 140이 되었다.

4. 결론

- 1) 동일한 물리량의 크기를 가지는 충격진동 대하여 인체가 느끼는 불편함은 충격진동의 기본주파수와 감쇠비에 따라 달라지는 것을 알 수 있었다.
- 2) 동일한 진동누적값을 가지는 충격진동은 기본주파수가 인체 공진주파수 영역인 4-10Hz 일 때 불편함이 더욱 크게 되었고, 1-2Hz 의 영역의 충격진동은 상대적으로 불편함의 정도가 작음을 알 수 있었다.
- 3) 감쇠비의 영향은 기본주파수가 인체의 공진영역에 있을 때 최대가 됨을 알 수 있었다. 그리고 감쇠비가 작은 충격진동의 불편함이 더욱 크게 나타났는데, 이것은 충격진동의 감쇠비가 낮을 때 진동의 지속시간이 상대적으로 길어져서 인체의 공진을 효과적으로 발생시키는 것으로 짐작된다.
- 4) 충격진동의 물리량 증가에 따른 불편함이 증가하는 비율은 기본주파수가 낮을수록 크고, 높은

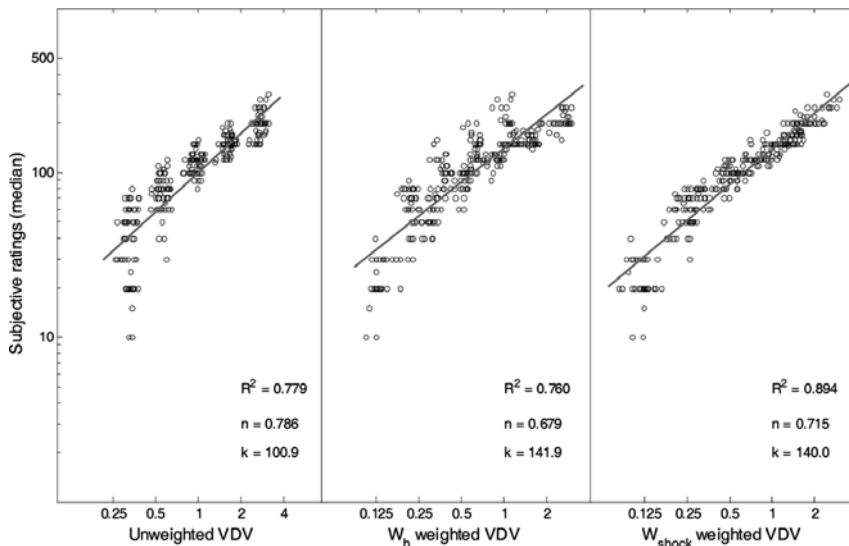


Fig. 10 Pearson's correlation coefficients and regression line calculated with median over 15 subjective ratings against physical magnitude obtained by; (a) not weighted VDV, (b) W_b weighted VDV, and (c) VDV applied calculated with weighted by the frequency weighting shapes for shock-type vibration

기본주파수에서는 그 비율이 작게 됨을 알 수 있었다. 이러한 현상으로부터 충격진동의 크기에 따른 등안락성곡선의 비선형성을 예상할 수 있었다.

- 5) 진동량 증가에 따른 불편함이 증가하는 비율을 고려하여 구한 충격진동의 주파수가중곡선은 표준 주파수가중함수와 유사하였으나, 충격진동의 크기가 클 경우에는 저주파의 주파수 가중값이 표준보다 높게 됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 국가지정연구실(NRL)의 지원(과제번호M1-0203-00-0017-02J0000-00910)으로 이루어졌으므로, 지원기관에 감사드립니다. 이 논문은 한국과학재단의 해외 Post-doc. 연수지원에 의하여 연구되었음.

References

- 1) International Organization for Standardization, "Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration," ISO 2631-1, 1997.
- 2) British Standards Institution, "Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-body Mechanical Vibration and Repeated Shock," BS 6841, 1987.
- 3) W. S. Yoo, M. S. Kim, H. K. Jang and S. J. Ahn, "Correlation between Subjective and Objective Assessments of Shock Signals Experienced on a Vehicle Passing Bumps," Transactions of KSAE, Vol.13, No.2, pp.29-36, 2005.
- 4) T. E. Fairley and M. J. Griffin, "The Apparent Mass of the Seated Human Body: Vertical Vibration," Journal of Biomechanics, Vol.22, No.2, pp.81-94, 1988.
- 5) H. V. C. Howarth and M. J. Griffin, "Subjective Reaction to Vertical Mechanical Shocks of Various Waveforms," Journal of Sound and Vibration, Vol.147, No.4, pp.395-408, 1991.
- 6) C. M. Ruffell and M. J. Griffin, "Effects of 1-Hz and 2-Hz Transient Vertical Vibration on Discomfort," Journal Acoustical Society of America, Vol.94, No.4, pp.2157-2164, 1995.
- 7) K. Spang, "Assessment of Whole-body Vibration Containing Single Event Shocks," Noise Control Engineering Journal, Vol.45, No.1, pp.19-25, 1997.
- 8) B. O. Wikstrom, A. Kjellberg and M. Dallner, "Whole-body Vibration: A Comparison of Different Methods for the Evaluation of Mechanical Shocks," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.7, pp.41-52, 1991.
- 9) P. Jonsson and O. Johansson, "Prediction of Vehicle Discomfort from Transient Vibration," Journal of Sound and Vibration, Vol.282, pp.1043-1064, 2005.
- 10) M. J. Griffin, "A Comparison of Standardized Methods for Predicting the Hazards of Whole-body Vibration and Repeated Shocks," Journal Acoustical Society of America, Vol.215, No.4, pp.883-914, 1998.