

# 앉은 자세 수직축 전신 진동에 대한 한국인의 등감각 곡선 분석

김 건 우<sup>1)</sup> · 김 민 석<sup>2)</sup> · 유 완 석<sup>\*3)</sup>

부산대학교 기계공학부<sup>1)</sup> · 부산대학교 기계설계공학과<sup>2)</sup> · 부산대학교 기계공학부<sup>3)</sup>

## Analysis of Equal Sensation Curves for the Korean People about Vertical Whole-Body Vibration

Kunwoo Kim<sup>1)</sup> · Minseok Kim<sup>2)</sup> · Wansuk Yoo<sup>\*3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Design Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

<sup>3)</sup>School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received 7 May 2009 / Accepted 21 July 2009)

**Abstract** : In the field of 'Human Vibration', it has been interested subjects to make equal sensation curves related to translational and rotational direction of whole-body, hand-transmitted and head-transmitted vibration, etc. When we consider the vibration of a vehicle, the main factor is vertical whole-body vibration. Until now, most of equal sensation curves used to derive frequency weighting function had been made using Western people. However, because of the inherent differences (for example, characteristic and shape of body parts, muscular and cellular tissue) between the Western people and the Oriental people, equal sensation curves based on Oriental people might be required. Also, the weight differences between the samples which consist of average-weighted and over-weighted group might cause the difference of equal sensation curves. So, in this study, 20 male Korean people were used to find equal sensation curves subject to vertical whole-body vibration on seated posture. Among 20 males, an over weighted group consisted of 10 male persons and an average weighted group was the others. Integrating and analyzing the data of two groups, some of non-parametric tests such as 'The Wilcoxon Signed Rank Test' and 'The Mann Whitney U test' were used.

**Key words** : Vertical whole-body vibration(수직 전신 진동), Equal sensation curves(등감각 곡선), Korean people(한국인), Non-parametric statistics(비모수 통계), Psychophysical law(정신 물리학 법칙)

### 1. 서 론

차량에 탑승한 승객은 노면으로부터 전달되는 다양한 진동에 노출되어 있다. 이러한 진동은 노면의 형태 및 표면의 거칠기, 타이어의 공기압, 차량의 형상 등 다양한 요인으로 인해 전달되는 특성이 달라진다. 이렇게 전달되는 진동은 차량에 탑승한 승객의 운전 성능을 저감시키고 피로도를 증가시키며 불편함 및 불쾌감을 증가시켜 운전 수행에 있어 악

영향을 미친다. 그러므로 전달되는 진동에 대해 승객이 느끼는 불편함의 정도를 분석하고 정량화하는 것이 중요하다.<sup>1)</sup>

진동을 정량화하는데 있어서는 진동의 방향, 주파수, 진폭, 지속시간 등이 주요 요소로 작용한다. 진동의 방향에 대한 효과는 주로 등(back), 엉덩이(ischial tuberosities), 발(feet) 부근의 3축 병진 방향과 엉덩이 부근의 3축 회전 방향에 대한 영향을 고려한다. 특히 차량에 탑승한 승객은 엉덩이 부근의 수직 진동에 대해 가장 큰 영향을 받게 된다.<sup>2,3)</sup> 또한 차량

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

에 탑승 시 진동은 단축(single-axis) 방향만이 아닌 다축(multi-axis)에 대해서 동시에 받게 되므로 다축에 대한 영향을 고려하는 것 역시 중요하다.<sup>4,5)</sup> 그리고 진동의 지속시간 혹은 피폭 시간의 고려를 통해, 진동에 대한 노출 시간을 규정하기도 하는데 아직 국내에서는 도입되고 있지 않는 실정이다.<sup>6)</sup>

진동의 주파수 및 진폭을 통한 영향 분석은 여러 자세 및 다양한 조건하에서 진행되어 오고 있다.<sup>7-11)</sup> 이러한 특성은 겉보기 질량(apparent mass) 혹은 기계적 임피던스(mechanical impedance)와 같은 전달 함수를 통해 나타냄으로써 인체의 특성을 분석하기도 한다.<sup>12,13)</sup> 이러한 연구들을 바탕으로 인체는 앉은 자세 수직축에 대해 1차 공진이 5 Hz 부근, 전후 및 좌우 방향은 2 Hz 이하에서 나타나는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

지금까지 개발된 대부분의 등감각 곡선 및 등감각 곡선으로부터 추출되는 주파수 가중함수는 서양인을 대상으로 하여 만들어진 것이기 때문에 신체적 특성이 다른 동양인에 그대로 적용하는 것은 바람직하지 않다.<sup>14,15)</sup> Fig. 1에서 보는 바와 같이 현재 주로 사용되고 있는 주파수 가중함수인 ISO 2631-1<sup>16)</sup> 및 BS 6841<sup>17)</sup>은 서양인을 대상으로 만들어진 것이기 때문에 국내에서 적용하기에는 적합성 문제가 발생하게 된다. 그러므로 한국인을 비롯한 동양인에 적합한 등감각 곡선을 개발하는 것이 중요하다.

그래서 이 논문에서는 10명의 과체중 집단(over weighted group)과 10명의 평균 체중 집단(average

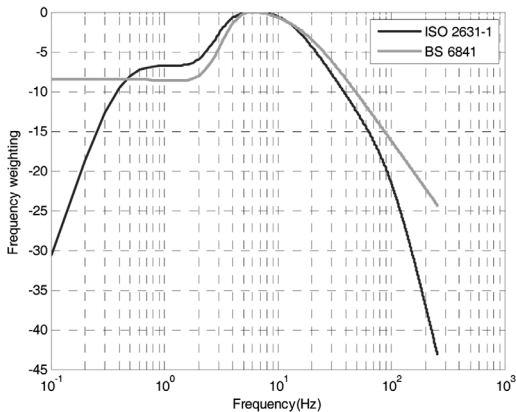


Fig. 1 ISO 2631-1 and BS 6841

weighted group)에 대한 등감각 곡선 및 전체 표본(samples)의 수직축 방향에 대한 등감각 곡선을 제안하였다.

## 2. 수직축 가진 실험

### 2.1 실험 대상

주파수 및 진폭에 대해 한국 성인 남성의 등감각 곡선이 어떠한 형태를 나타내는지 또한 어떠한 민감도(sensitivity)를 나타내는 지를 주파수역에서 찾아보는 것이 이 실험의 목적이다. 우선 25~33세에 해당하는 성인 남성 20명을 무작위로 선정하였고, 그들의 특성 값을 Table 1에 나타내었다. 여기서 선정한 20명을 다시 Table 2와 Table 3에서 보는바와 같이 각각 10명의 평균 체중 집단과 10명의 과체중 집단으로 나누어 체중에 따른 비교 역시 이루어졌다. 여기서 선정한 두 집단의 평균키가 거의 일치하고 표준편차도 작으므로 체중에 따른 비교가 가능할 것으로 판단된다. 또한 두 집단의 체중에 대한 표준 편차 역시 작으므로 피실험자들을 적절히 선택했다고 할 수 있다. 가우스 분포(Gauss distribution)에서 N=20일 때 검증력(power)이 95% 이상이므로 주관 평가에 대해, 모수 통계(parametric statistics)보다 적은 표본에도 적합한 비모수 통계(non-parametric statistics)를 적용하는데 있어 충분한 표집이라 할 수 있다.<sup>18)</sup>

Table 1 Characteristics of 20 Korean subjects

	Seated height (cm)	Seated weight (kg)	Age (yr)
Mean	95.14	68.51	29.70
S.D.	1.08	3.11	0.85

Table 2 Characteristics of 10 average weighted group

	Seated height (cm)	Seated weight (kg)	Age (yr)
Mean	95.42	60.54	27.40
S.D.	1.14	2.96	0.80

Table 3 Characteristics of 10 over weighted group

	Seated height (cm)	Seated weight (kg)	Age (yr)
Mean	94.86	76.48	32.00
S.D.	1.02	3.26	0.89

### 2.2 실험 장비

Fig. 2에서 보는바와 같이 주관 평가(subjective evaluation)를 위한 사인파 신호(sinusoidal)의 가진은 전원 증폭기가 장착된 IMV-i220 단축 가진기를 사용하였다. 그리고 입력신호를 확인하기 위해 가진기 상판에 Kistler 8398B10 단축 가속도계를 장착하였다. 이 가속도계를 통해 받아들이는 신호는 입력 신호의 확인뿐만 아니라 피드백 제어(feedback control)를 하는데 있어서도 사용된다. 가진기의 제어를 통해 보다 신뢰성이 높은 신호를 피실험자에게 가할 수 있었다.

< Construction in Standard Use >

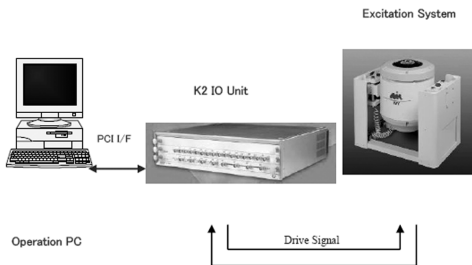


Fig. 2 Excitation system of IMV-i220

### 2.3 주관 평가

피실험자들의 사인파 신호에 대한 민감도를 분석하기 위해 주관 평가를 실시하였다. 다양한 주관 평가법이 존재하지만 가장 보편적으로 사용되고 ISO 2631-1을 만드는데 사용되어진 방법인 크기 추정법(magnitude estimation method)을 사용하였다.<sup>1)</sup> 크기 추정법은 기준 신호(reference signal)에 일정한 점수를 부여하고 기준 신호를 포함한 테스트 신호(test signal)에 대해 2배의 불편함을 느낀다면 기준 신호의 점수보다 2배의 점수를 부여하고 2배의 편안함을 느낀다면 기준 신호의 점수에 1/2배의 점수를 부여하는 것이다. 이 때 불편함에 대한 비율은 실험자가 선정하지 않고 피실험자가 정하도록 하였다.

실험에 사용된 가진 신호는 차량에서 주로 들어오는 주파수와 진폭(가속도의 크기)을 고려하여 구성하였다.<sup>1)</sup> 먼저 주파수는 2~125 Hz까지 1/3 옥타브 밴드(octave band)로 나누어 총 19개의 대표 주파수를 선정하였다. 그리고 진폭은 0.35~4.00 m/s<sup>2</sup>을 1/2 옥타브 밴드로 나누어 총 8개의 대표 가속도를 선정

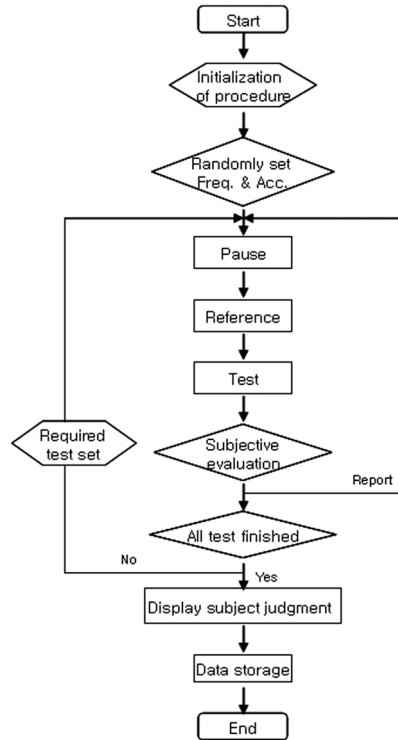


Fig. 3 Flow diagram for equal sensation curves



Fig. 4 Seat posture of subjects

하였다. 그러므로 피실험자는 총 152개의 신호에 대해 주관평가를 하였다. 이 때 일정한 주파수에 대해 진폭의 크기가 일정하게 증가하거나 혹은 감소하는 신호는 피실험자들에게 학습 효과(learning

effect) 및 순서 효과(order effect)를 발생시키므로 신호는 무작위로 선정되도록 하였다. 그리고 실험 시작 전 피실험자에게 기준 신호를 충분히 인지시켜 실험에서 발생할 수 있는 오차를 최소화 하였다. 또한 152개의 신호를 2주에 걸쳐 실험을 함으로써 피실험자의 피로도를 줄여 최상의 조건을 유지하도록 하였다.

실험은 Fig. 3에 나타난 순서도와 같이 먼저 피실험자에게 진폭이 매우 낮은 신호를 통해 5초간의 준비 시간을 준 후, 5초간 기준 신호를 주고 다음 5초간 테스트 신호를 주어 기준 신호에 대한 점수를 평가하도록 하였다. 만약 피실험자가 테스트 신호에 대한 평가가 모호한 경우에는 실험이 끝난 후 다시 점수를 책정하도록 함으로써 모든 신호에 대한 평가가 이루어지도록 하였다.

또한 실험을 하는데 있어 강체 시트(rigid seat)에 앉은 피실험자들의 자세가 중요한 변인으로 작용하는데, 자세에 대한 변인을 최대한 줄이기 위해 모든 피실험자들에게 Fig. 4와 같은 자세를 유지하도록 하였다.

### 3. 수직축 가진 실험 결과

#### 3.1 가진 신호

등감각 곡선을 나타냄에 있어 가진 신호에 대한 신뢰성을 확보하는 것이 중요한데, 실험에서 가진 된 신호가 Fig. 5에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 20명의 피실험자에 대한 신호가 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 Table 4에서 획득한 신호의 평균 값이 입력값과 거의 일치하고 표준 편차가 상대적으로 작으므로 균일한 신호로 가진되었다는 것을 확인 할 수 있다.

#### 3.2 등감각 곡선

등감각 곡선을 나타내는 데에는 Stevens의 정신 물리학 법칙(Steven's psychophysical law)을 사용한다.<sup>19)</sup>

$$\psi(\phi) = \kappa\phi^\alpha \quad (1)$$

여기서  $\psi$ 는 감각의 크기(sensation magnitude),  $\phi$ 는 자극의 크기(stimulus magnitude)를 나타내며,  $\kappa$

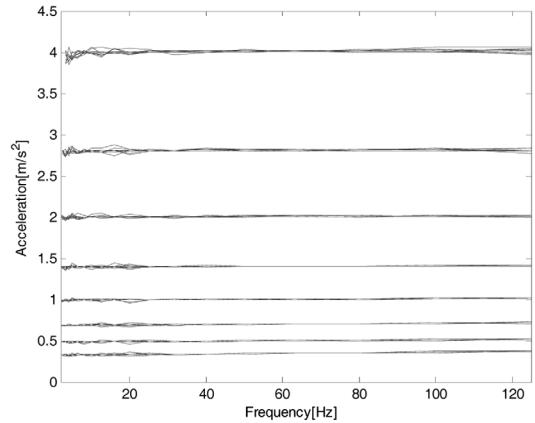


Fig. 5 Acceleration signals of 20 subjects

Table 4 Mean and standard deviation of acceleration signals

Required (m/s <sup>2</sup> )	Acquired (m/s <sup>2</sup> )	S.D. (m/s <sup>2</sup> )
0.35	0.335	0.015
0.50	0.490	0.012
0.71	0.694	0.010
1.00	0.996	0.011
1.41	1.397	0.013
2.00	2.002	0.015
2.80	2.802	0.022
4.00	3.992	0.040

는 자극의 형태에 의존하는 비례 상수,  $\alpha$ 는 자극의 형태에 의존하는 지수(growth of sensation)이다.

정신 물리학 법칙을 통해 Fig. 6에는 평균 체중 집단에 대한 등감각 곡선을 나타내었고, Fig. 7에는 과 체중 집단에 대한 등감각 곡선을 나타내었다. 이 때, 자극의 크기  $\phi$ 에 대한 값은 획득된 가속도 신호의 평균값으로 정하였고, 감각의 크기  $\psi$ 에 대한 값은 주관 평가치의 중간값(median value)으로 선정하였다. Fig. 6 및 Fig. 7에 나타낸 8개의 곡선은 주관 평가치 40~320점 사이의 값을 의미한다.

먼저 Fig. 6의 평균 체중 집단에 대한 특성을 살펴 보자. 가장 민감한 반응을 보이는 5Hz에 대해 각 주파수 별로 ‘The Wilcoxon Signed Rank Test’를 실시하였는데, 3.15~50Hz가 5Hz와 유의미한 차이가 없는 구간임을 확인할 수 있었다( $p > 0.05$ , Wilcoxon). 또한, 전체적으로 저주파 대역보다 고주파 대역에서 더 민감하게 반응한다는 것을 확인할 수 있다.

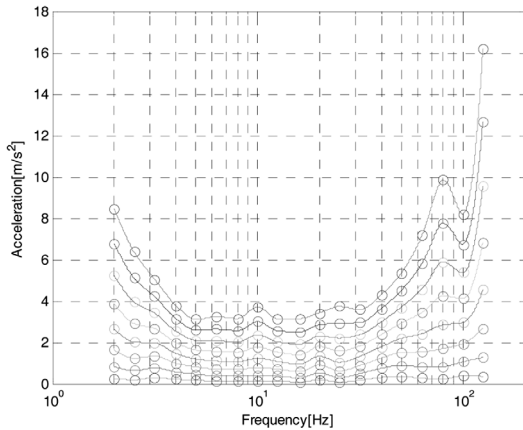


Fig. 6 Equal sensation curves of average weighted group

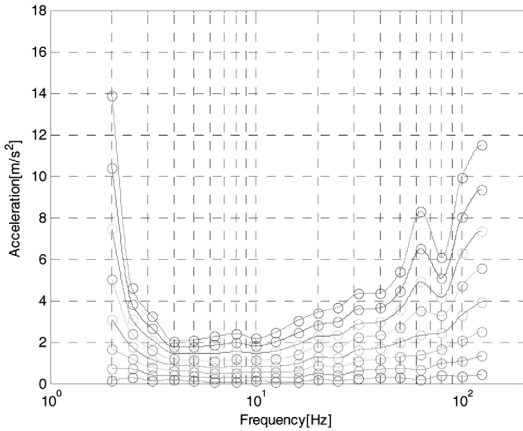


Fig. 7 Equal sensation curves of over weighted group

80 Hz에 대한 민감도가 100 Hz에 대한 민감도 보다 낮게 나왔는데 이것은 2차 고유진동수가 나타나는 것이 아니라 피실험자들이 전신 진동에 대한 감응을 80 Hz 이상에서는 평가하기 힘들다는 것을 의미한다.

다음으로 Fig. 7의 과체중 집단에 대한 특성을 살펴보자. 평균 체중 집단이 5 Hz에서 가장 높은 민감도를 보이는데 반하여, 과체중 집단은 그 보다 낮은 4 Hz에서 가장 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다. 이것은 체중이 증가함에 따라 질량의 영향도가 강성의 영향도보다 크게 작용함을 의미한다. 그리고 앞서와 같이 고주파 대역보다 저주파 대역에서 더 민감한 반응을 나타낸다. 특히 2 Hz에서는 민감도가 굉장히 낮게 나타남을 보이고 있다. 이는 2 Hz에서

낮은 결정 계수를 갖기 때문인데, 그것은 피실험자들이 전신 진동이 느껴질 때 그 진동을 모션(motion)으로 고려하여 편안함을 느끼게 되는 주파수임을 의미한다. 다시 말하면, 일반적으로 진폭이 커짐에 따라 불편함은 증가하게 되는데 2 Hz에서는 피실험자들이 그 차이를 구분하는 것이 어려웠음을 의미한다. 가장 민감한 반응을 보이는 4 Hz에 대해 각 주파수 별로 ‘The Wilcoxon Signed Rank Test’를 실시하였는데, 2.5~50 Hz가 4 Hz와 유의미한 차이가 없는 구간임을 확인할 수 있었다( $p > 0.05$ , Wilcoxon). 또한 평균 체중 집단과 비슷하게 63 Hz 이상의 주파수에서 그래프가 한 번 왜곡되어 나타나는데, 이는 과체중 집단이 63 Hz 이상의 주파수에서는 전신 진동에 대한 감응을 평가하기 힘들다는 것을 의미한다.

### 3.3 ‘The Mann-Whitney U Test’를 이용한 등감각 곡선의 결합

두 집단에 대한 등감각 곡선을 한국 성인 남성에게 대한 등감각 곡선으로 결합할 수 있는지에 대한 검증을 하기 위해 정신 물리학 법칙의 지수  $\alpha$ 에 대해 ‘The Mann-Whitney U Test’를 실시하였다. 여기서 영가설( $H_0 : \theta_X = \theta_Y$ )은 ‘독립된 두 집단 사이에 유의미한 차이가 없다.’라는 것이고 양방 검증(two-tailed test)일 경우에 해당하는 대립 가설( $H_1 : \theta_X \neq \theta_Y$ )을 채택하였다. 독립된 두 집단이란 평균 체중 집단과 과체중 집단을 의미하고, 유의미한 차이가 없다는 것은 두 데이터의 결과를 결합할 수 있음을 의미한다. 만약 유의미한 차이가 있다면 두 결과를 결합하는 것이 불가능하다. 검증 결과 모든 대표 주파수에서 검증된  $p$ 값이 유의도 수준 0.05 이상이므로 영가설이 기각되지 않음을 알 수 있다. 그러므로 평균 체중 집단과 과체중 집단에 대한 데이터는 하나의 대푯값으로 나타낼 수 있고, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 5 Hz에서 가장 높은 민감도를 보임을 확인할 수 있고, 저주파 대역이 고주파 대역보다 민감도가 높음을 알 수 있다.

### 3.4 ISO 2631-1 $W_k$ 와의 비교

Fig. 9에는 기준 점수 200점에 해당하는 등감각 곡선과 ISO 2631-1  $W_k$ 를 등감각 곡선의 최대점에

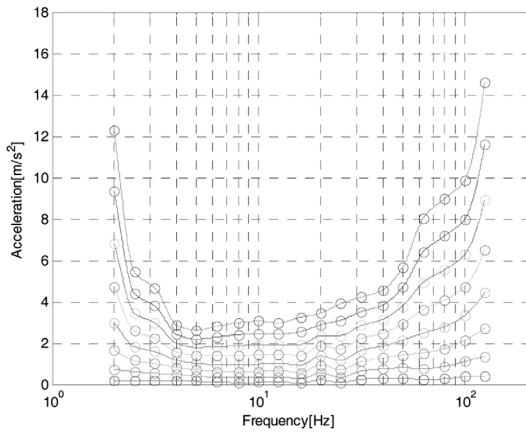


Fig. 8 Equal sensation curves of all the subjects

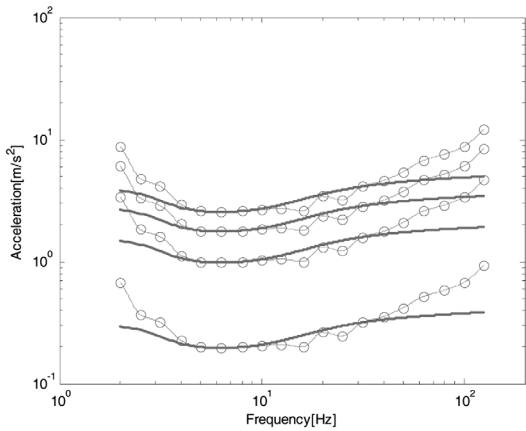


Fig. 9 Equal sensation curves of 200 point and ISO 2631-1  $W_k$

맞추어 동일한 로그(log) 스케일로 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 최대 민감 영역이 5~8 Hz임은 거의 일치하고 있다. 하지만 한국인은 16 Hz 부근에서도 굉장히 민감한 반응을 나타내고 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 한국인에 대한 등감각 곡선은 저주파 및 고주파 영역에서 ISO 2631-1  $W_k$ 와 차이가 나는데 이는 진폭에 대한 민감도가 차이나는다는 것을 의미한다.

#### 4. 결론

- 1) 실험에 참여한 20명은 검증력(power)이 95% 이상이므로 주관 평가에 대해, 모수 통계보다 적은 표본에도 적합한 비모수 통계를 적용하는데 있

어 충분한 표집이라 할 수 있다.

- 2) 10명의 평균 체중 집단은 5 Hz에서 가장 높은 민감도를 보였으며, 'The Wilcoxon Signed Rank Test'를 수행한 결과 3.15~50 Hz는 5 Hz와 유의미한 차이가 없는 구간으로 판명되었다. 그리고 80 Hz 이상의 구간에서는 2차 공진이 나타나는 것이 아니라 전신 진동에 대한 감응을 판별하기 힘들다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 10명의 과체중 집단은 4 Hz에서 가장 높은 민감도를 보였으며, 'The Wilcoxon Signed Rank Test'를 수행한 결과 2~50 Hz는 4 Hz와 유의미한 차이가 없는 구간으로 판명되었다. 그리고 63 Hz 이상의 구간에서는 2차 공진이 나타나는 것이 아니라 전신 진동에 대한 감응을 판별하기 힘들다는 것을 알 수 있었다. 또한 과체중 집단은 가장 높은 민감도를 나타내는 대표 주파수가 평균 체중 집단 보다 낮았는데 이는 질량에 대한 영향도가 강성에 의한 영향도보다 크다는 것을 의미한다.
- 4) 평균 체중 집단과 과체중 집단의 주관 평가치를 결합하기 위해 'The Mann-Whitney U test'를 실시한 결과 두 집단의 주관 평가 데이터는 하나의 데이터로 결합할 수 있다는 것을 증명하였다.
- 5) 200점에 해당하는 등감각 곡선을 ISO 2631-1  $W_k$ 와 비교한 결과, 한국인의 대표 주파수 가중함수는 최대 민감 영역을 5~16 Hz까지 포함하는 더 넓은 범위로 선정해야만 한다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 미래형자동차 사업(과제 번호 10016789)의 지원으로 이루어졌으므로 지원 기관에 감사를 드립니다.

#### References

- 1) M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.
- 2) M. J. Griffin, "Vertical Vibration of Seated Subject : Effects of Posture, Vibration Level and Frequency," Aviation, Space and Environmental Medicine, Vol.46, No.3, pp.269-276, 1975.

- 3) K. C. Parson and M. J. Griffin, "The Effect of Rotational Vibration in Roll and Pitch Axes on the Discomfort of Seated Subjects," *Ergonomics*, Vol.21, No.8, pp.615-625, 1978.
- 4) N. J. Mansfield and S. Maeda, "Comparison of the Apparent Masses and Cross-axis Apparent Masses of Seated Humans Exposed to Single- and Dual-axis Whole-body Vibration," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.298, No.3, pp. 841-853, 2006.
- 5) N. J. Mansfield and S. Maeda, "The Apparent Mass of the Seated Human Exposed to Single-axis and Multi-axis Whole-body Vibration," *Journal of Biomechanics*, Vol.40, No.11, pp.2543-2551, 2007.
- 6) M. L. L. McIlleath and G. S. Paddan, "Assessment of Whole-body Vibration Exposure In Carrier Full-Track Articulated Vehicles," 42nd UK Conf. Human Response to Vibration, 2007.
- 7) M. J. Griffin, E. M. Whitham and K. C. Parson, "Vibration and Comfort I. Translational Seat Vibration," *Ergonomics*, Vol.25, No.7, pp. 603-630, 1982.
- 8) M. J. Griffin, E. M. Whitham and K. C. Parson, "Vibration and Comfort II. Rotational Seat Vibration," *Ergonomics*, Vol.25, No.7, pp. 631-644, 1982.
- 9) M. J. Griffin, E. M. Whitham and K. C. Parson, "Vibration and comfort III. Translational vibration of seat and back," *Ergonomics*, Vol.25, No.8, pp.705-719, 1982.
- 10) M. J. Griffin, E. M. Whitham and K. C. Parson, "Vibration and Comfort IV. Application of Experimental Results," *Ergonomics*, Vol.25, No.8, pp.721-739, 1982.
- 11) M. Morioka and M. J. Griffin, "Magnitude-dependence of Equivalent Comfort Contours for Fore-and-aft, Lateral and Vertical Whole-body Vibration," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.298, No.3, pp.755-772, 2006.
- 12) N. A. Abdul Jalil and M. J. Griffin, "Fore-and-aft Transmissibility of Backrests: Effect of Backrest Inclination, Seat-pan Inclination, and Measurement Location," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.299, No.1-2, pp.99-108, 2007.
- 13) N. A. Abdul Jalil and M. J. Griffin, "Fore-and-aft Transmissibility of Backrests: Variation with Height above the Seat Surface and Non-linearity," *Journal of Sound and Vibration*, Vol.299, No.1-2, pp.109-122, 2007.
- 14) Y. S. Lee, H. K. Lim, C. J. Kim, N. S. Lee and S. J. Park, "Biodynamic Characteristics of Korean Male in Twenties-Mass, Center of Mass and Moment of Inertia Characteristics of Body Segments," *Transaction of the KSME*, Vol.18, No.7, pp.1952-1966, 1994.
- 15) H. K. Jang and S. I. Hong, "A Study on the Evaluation of Sensation Magnitude of Vertical Vibration of a Steering Wheel," *Transactions of KSAE*, Vol.15, No.6, pp.108-113, 2007.
- 16) International Organization for Standardization, ISO 2631-1, Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration - Part:1 General Requirements, 1997.
- 17) British Standards Institution, BS 6841, Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock, 1987.
- 18) S. Siegel and N. J. Castellan, *Non-parametric Statistics for the Behavioural Sciences*, McGraw Hill, New York, 1988.
- 19) S. S. Stevens, *Handbook of Experimental Psychophysics*, Willey, New York, 1951.