

# 한국인 앉은 자세에 대한 수직방향의 전신진동 피폭에 대한 걸보기 질량의 실험적 연구

## Experimental investigation on the apparent mass during exposure to whole-body vertical vibration for Korean-seated postures

김 영태\*·정 완섭\*\*·윤 용산\*

Young-Tae Kim, Wan-Sup Cheung, Yong-San Yoon

**Key Words :** Apparent mass(걸보기 질량), Dynamic mass(동적 질량), Whole-body vibration(전신 진동)

### ABSTRACT

When considering the effects of whole-body vertical vibration, it is valuable to have an understanding of the mechanical characteristics (mechanical impedance and apparent mass) of the body. This paper addresses experimental results carried out to investigate the characteristics of apparent masses for 41 Korean. The apparent masses of the seated human body in vertical direction were measured during different experimental conditions, such as vibration excitation level ( $0.5 \sim 2 \text{ ms}^{-2}$  r.m.s), frequency range (1-50 Hz), and upper body posture (relaxed, normal and backrest-upright). We showed the average of all subjects and all conditions and compared the results with ISO5982/DIS (2000).

### 1. 서론

운송 수단으로부터 인체로 전달되는 가장 주된 진동은 엉덩이를 통하여 전달되는 전신진동(Whole-body vibration)이며, 주로 앉은 자세로 경험하는 수직방향의 진동이 주성분을 이룬다. 앉은 자세에 대한 인체의 진동 특성은 일반적으로 실험과 통계적인 방법에 의해 그 특성을 파악하는 연구와 측정된 결과로부터 인체 진동 모델을 제안하려는 연구가 주를 이루어 왔다[1-11].

인체의 앉은 자세의 걸보기 질량(Apparent Mass or Dynamic Mass)은 비교적 측정이 용이하고 의자의 진동이 인체의 동적 응답에 미치는 영향에 대한 전반적인 분석 및 평가가 가능하기 때문에 많은 연구와 보고가 있어 왔다[1-7]. 수직 방향의 전신 진동에 대한 앉은 자세의 걸보기 질량은 1981년 국제 표준규격(ISO 5982)으로 채택되었으며, 현재 국제표준규격 기술위원회(ISO TC 108)의 기계 진동 및 충격의 인체피폭 소위원회(SC4)에서 개정작업 진행 중이다[3].

이러한 국외의 활발한 인체진동 특성연구와는 달리 국내의 관련연구는 미흡한 실정이며, 현재 개정이 진행 중인 ISO/DIS 5982:2000에는 아시아인의 전신 진동 특성은 전혀 고려되지 않고 있

다. 한국인의 전신 진동 특성연구에 대한 국내의 적 필요성 때문에 본 연구팀은 2001년부터 한국인에 대한 전신 진동 전달특성 실험에 착수하였다[10]. 본 논문에서는 41명의 한국인에 대한 걸보기 질량의 측정 결과를 소개한 후, 개정이 진행 중인 표준안 ISO/DIS 5982에 제시된 결과와 비교 분석한다. 끝으로 본 논문의 주요 내용에 대한 요약과 향후 연구에 대해 언급하고자 한다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 피실험자(Subject)

피실험자 선별단계에서 진동실험에 부적합한 사람을 제외시킨 후 인체 실험 참여 동의서[10]에 서명한 41명의 피실험자들을 대상으로, 실험 목적과 실험과정을 충분히 숙지시킨 후 실험을 진행하였다. Table. 1에 실험에 참여한 피실험자들의 특성(키, 몸무게, 나이)을 나타내었다.

Num. of subjects =41	mean	median	min	max	standard deviation (SD)
Age	23.7	23.0	19.0	29.0	2.6
Height (cm)	169.4	168.0	155.0	182.0	8.2
Weight (kgf)	64.7	63.9	45.0	98.7	14.2

Table.1 Subject characteristics

\* 한국과학기술원, 기계공학과  
E-mail : imsad@mail.kaist.ac.kr  
Tel : (042) 869-3062, Fax : (042) 869-3095  
\*\* 한국표준과학연구원, 음향진동 그룹

## 2.2 실험 장치(Apparatus)



Fig. 1 Experimental set-up for the measurements of apparent mass of Korean-seated posture

Fig. 1 은 실험장치를 보여준다. 피실험자가 앉을 의자는 엉덩이를 받치는 평평한 강체 바닥면(rigid flat seat)과 등을 수직으로 받치는 수직 등받이(backrest)로 구성되어 있다. 피실험자의 발은 강체 바닥면(rigid flat seat)으로부터 400 mm 아래의 가진기(Shaker) 테이블 면과 접촉한 상태가 유지되도록 하였다. 의자는 최대진폭이 0.25 m (10 inches), 최대 동적 힘이 100 kN, 최대 시편 하중이 1,000 kg, 그리고 0.1 Hz 부터 500 Hz의 진동 가진 주파수를 갖는 TEAM사의 유압 가진기(Team model 80, Hydraulic shaker)에 의해 구동된다.

의자의 바닥면(Rigid flat seat)의 중심부 바로 아래에 부착된 가속도계(B&K 4321)와 바닥면과 인체의 엉덩이 사이에 설치된 힘판(force platform, Kistler 9281C)으로 의자와 엉덩이의 접촉 부에서의 가속도와 인체로 전달되는 동하중(Dynamic force)을 측정하였다. 힘판은 의자와 접촉되는 아래 판과 피실험자의 엉덩이 부분에 접촉되는 위 판, 그리고 위, 아래 판 사이의 힘센서(Force Transducer)로 구성 되어 있다.

가진기는 LMS CADA-X Vibration Control Monitor에 의해 제어되는데, 귀환신호(feedback signal)는 테이블에 설치된 6 자유도 센서(x-bow IMU600CA-201)의 z축 신호가 이용된다.

데이터의 수집에는 Sony DAT PCCX-32AX 를 사

용하였다.

## 2.3 실험 과정

본 연구에서는 1 Hz 에서 50 Hz까지의 주파수범위에서 균일한 가속도 전력밀도(PSD, Power Spectral Density)를 갖는 가우스 랜덤(Gaussian Random) 가진을 이용하였다.

각각의 피실험자에 대해서 0.5, 1.0, 2.0 m/s<sup>2</sup>의 세 가지 실효치(r.m.s.)를 가진 수준으로 택하였고, 앉은 자세는 다음과 같은 세 가지의 자세를 고려하였다.

- 1) 'Relaxed' : sitting in a relaxed way without the backrest
- 2) 'Normal' : sitting normally, upright without the backrest
- 3) 'Backrest upright' : leaning against the backrest with the hip in a back position

이때 피실험자는 정면을 바라보도록 하였으며 동일한 실험조건에 대해서 90 초간 진동에 피폭되었다.

## 2.4 신호 처리(Signal Processing)

측정한 가속도와 힘 60 Hz의 차단주파수(cut-off frequency)를 갖는 앨리어싱 방지 여파기(anti-aliasing filter)로 측정된 가속도와 힘을 여파(filtering)시킨 후 200Hz로 샘플링 하였다.

인체의 걸보기 질량은 부착된 가속도계(B&K 4321)와 힘판(Kistler 9281C)의 신호로부터 다음과 같은 상호스펙트럼 밀도방법(Cross Spectral Density(CSD) Method)을 이용하여 구할 수 있다.

$$M(f) = \frac{G_{fa}(f)}{G_{aa}(f)} \quad (1)$$

여기서  $M(f)$ 는 걸보기 질량,  $G_{fa}(f)$ 는 측정된 힘과 가속도 간의 상호스펙트럼밀도(CSD),  $G_{aa}(f)$ 는 가속도 신호의 전력밀도(PSD)이다. 이 값들은 0.196 Hz의 분해능(resolution)을 갖는 FFT를 수행하여 구하였다.

동하중의 측정시 힘판의 위 판과 힘센서의 자중이 측정되는 힘에 포함 되므로 피실험자가 없이 측정된 걸보기질량(No-load apparent mass) 13.5 kg을 식(1)에서 제하여 최종적인 피실험자의 걸보기 질량을 구하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2 에 모든 피실험자에 대한 걸보기 질량을 주파수에 대하여 나타내었다. 측정된 모든 걸보기 질량의 각 주파수에 대하여 평균 (Mean), 중간 (Median), 표준편차 (Standard Deviation (SD))와 상·하한 (Upper & Lower limit)을 구하였다. 상·하한은 실험한 모든 걸보기 질량을 포함하도록 각 주파수에서 최대·최소값을 택하였으며 [3] 결과를 Fig.3 과 Table. 2 에 보였다. 걸보기 질량의 크기 (Modulus)의 경우 5Hz (피크 주파수)까지는 표준편차가 점점 증가하고 그 이후는 감소하는 경향을 보이며, 위상 (Phase)의 경우는 대략 10 Hz 이후에 이러한 경향을 보인다. Table.2 의 각 주파수에서의 걸보기 질량의 평균, 중간, 최소, 최대값을 이에 대응되는 Table.1 의 값에 대해서 그래프를 그려보면 Fig. 4 와 같이 나타난다. 각 주파수에서 걸보기 질량은 정성적으로 피실험자의 질량에 비례한다고 할 수 있다.

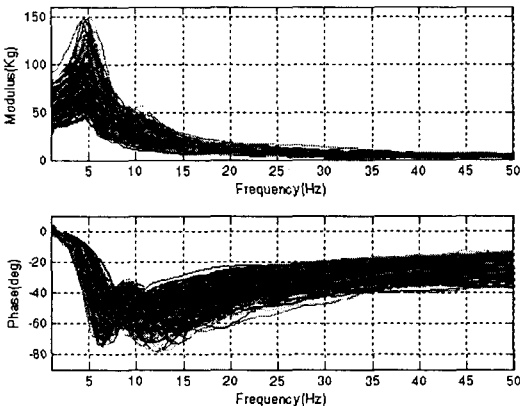


Fig. 2 Apparent masses of all subjects

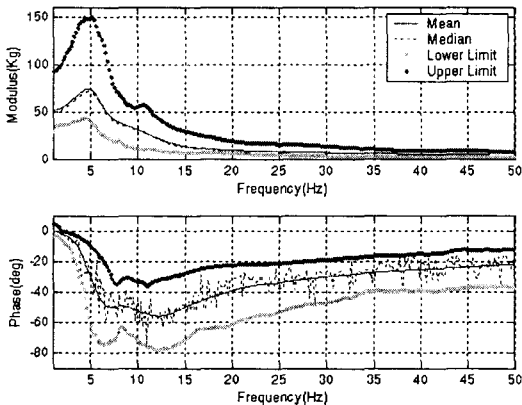


Fig. 3 Means, medians, lower limits, upper limits and standard deviations of all subjects

Apparent Mass: all subjects									
1/3 Octave band (Hz)	Modulus(kg)					Phase(deg)			
	Mean	Median	Lower	Upper	SD	Mean	Median	Lower Limit	Upper Limit
1.25	51.2	49.6	30.4	91.8	11.3	0.1	-0.6	-4.0	3.9
1.6	52.4	50.5	34.3	94.4	11.4	-0.8	-0.6	-3.9	2.8
2	54.3	52.0	34.9	100.5	12.0	-2.0	-3.1	-6.7	0.1
2.5	57.4	54.9	35.9	110.5	13.0	-3.5	-2.9	-9.4	-0.8
3.15	62.6	60.1	38.0	123.8	14.8	-6.4	-8.0	-15.2	-2.3
4	70.2	66.8	40.9	142.8	19.6	-14.0	-22.4	-32.6	-4.8
5	73.4	70.5	39.2	147.9	25.5	-29.6	-18.3	-60.6	-9.6
6.3	55.9	55.1	24.9	123.5	21.2	-46.7	-37.9	-74.3	-18.6
8	38.2	36.6	18.3	68.3	10.6	-49.3	-41.9	-67.0	-34.4
10	30.6	31.1	10.1	54.1	9.5	-52.4	-46.3	-72.2	-33.4
12.5	20.0	19.6	8.0	40.0	7.6	-55.6	-56.0	-78.2	-32.2
16	12.3	11.7	6.2	26.5	4.1	-47.2	-50.4	-67.3	-26.5
20	9.3	9.1	5.4	18.0	2.7	-38.9	-32.0	-62.0	-22.7

Table. 2 Means, medians, lower limits, upper limits, and standard deviations (SD) for the apparent masses at 1/3 octave band frequencies of all subject

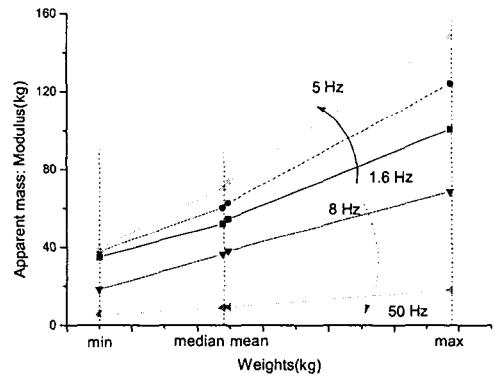


Fig. 4 Relation of Apparent mass and (static) weight

Fig. 5 에는 첫 번째 피크가 나타나는 주파수, 그 주파수에서의 걸보기 질량을 보여주고 있다. 첫 번째 피크는 3.5 Hz 와 7.5 Hz 사이에서 나타났으며, 그 때의 걸보기 질량의 크기는 각 피실험자의 질량과 강한 상관관계를 보여주며 (Fig. 6). 위상은 대략 피실험자에 따라 -20 과 -40 의 사이의 값이다. Table. 3 에 피크 주파수에서의 특성 값의 통계치를 나타내었다. 모든 측정 중 46%는 두 번째 피크가 명백하였으나 나머지는 명백하게 찾을 수 없었다. 두 번째 피크에 대한 값은 명백히 찾을 수 있는 실험에 대해서만 계산된 것이며, 6.6 Hz 에서 13.5 Hz 사이에서 나타난다.

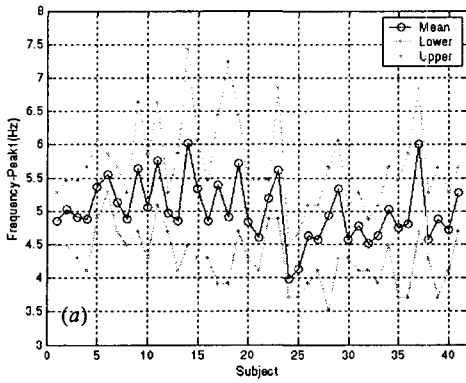


Fig. 5 Peak characteristics : (a) Frequencies of all subjects  
(b) Modulus and Phase of all subjects

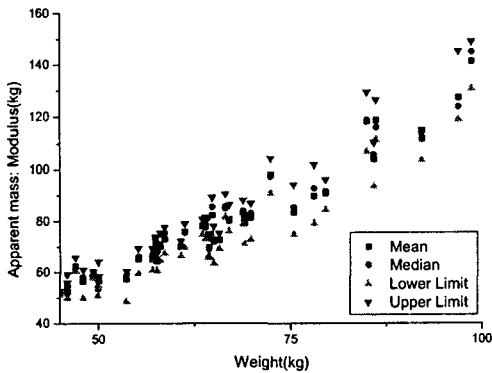
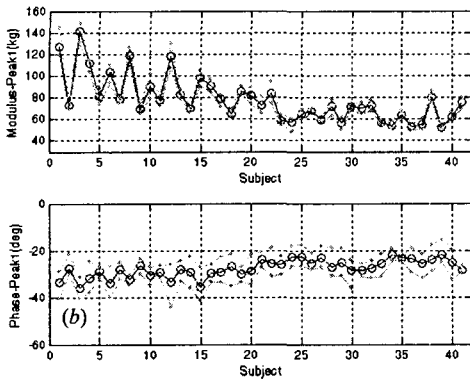


Fig. 6 Apparent Masses : Modulus at 1<sup>st</sup> peak with respect to Subject's weight

Apparent mass – peak characteristics

	1st peak			2nd peak*		
	freq. (Hz)	mag. (kg)	phase (deg)	frequency (Hz)	mag. (kg)	phase (deg)
Mean	5.01	78.1	-27.6	9.56	37.1	-46.7
Median	4.88	74.3	-27.3	9.57	36.1	-45.4
Lower	3.52	48.5	-44.0	6.64	17.5	-64.2
Upper	7.42	149.0	-15.4	13.48	56.0	-36.6
SD	0.66	21.5	4.9	1.31	7.6	5.5

\*Prob. Of the appearance of the 2<sup>nd</sup> peak =0.46

Table. 3 Apparent mass: Peak characteristics of all subjects

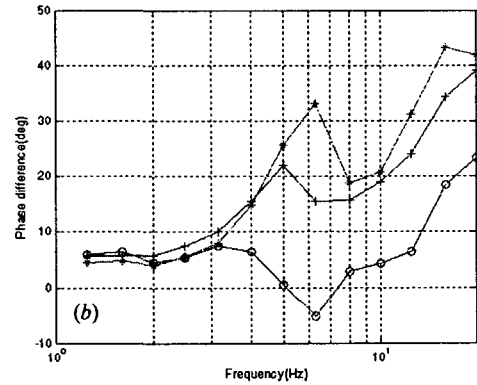
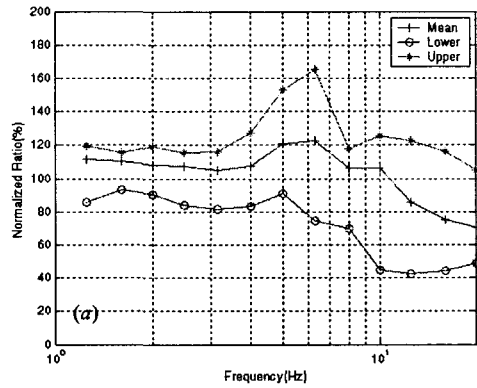


Fig. 7 Apparent mass : Comparison of the result with ISO 5982/DIS (a) Modulus (b) Phase

개정 진행 중인 ISO5982/DIS 에는 대표적 질량 55, 75, 95 kg 인 피실험자에 대하여 1/3 옥타브 대역 주파수(octave band frequency)에서 결보기 질량

의 결과가 첨부되어 있으며, 이것과 본 연구의 비교를 수행하였다(Fig. 7).

크기(Modulus)의 상한(Upper limit)은 ISO5982/DIS 보다 크고, 하한은 더 작는데, 이는 한국인에 대한 걸보기 질량에서의 개인차(inter-variability)가 ISO 에서 제시한 것보다 더 클 수 있음을 시사한다. 위상의 경우는 대부분 주파수에서 ISO5982/DIS 값 보다 크다.

#### 4. 결론 및 추후 연구

본 연구에서는 일련의 실험을 통해서 의자의 수직 방향의 진동에 대한 41 명 한국인의 앉은 자세에 대한 걸보기 질량을 자세와 진동 크기를 변화하며 측정된 후 검토하였다.

베이스(Base) 즉 의자의 강체 바닥면에 인체가 앉아 있는 경우, 베이스를 가진 하여 얻은 걸보기 질량은 인체의 응답 특성을 나타낸다고 볼 수 있으며, 따라서, 걸보기 질량의 피크 주파수는 인체의 고유 진동수라고 할 수 있다[[5]. 따라서 실험에 참여한 41 명의 피시험자들에 대해서 첫 번째 모드는 3.5 Hz 와 7.5 Hz, 두 번째 모드는 6.6 Hz 와 13.5 Hz 사이에 있음을 알 수 있다.

구해진 Table. 2 는 앉은 자세에 대한 진동 특성의 기초자료뿐만 아니라 자동차 시트 개발 등에 기초 자료로 활용 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 가진 수준, 피실험자의 자세, 남녀의 차이가 걸보기 질량에 미치는 영향에 대한 분석은 포함하고 있지 않다. 현재 이러한 내용에 대한 연구가 진행 중에 있다.

#### 참고문헌

- (1) Fairley, T. E. and Griffin, M. J., 1989, "The apparent mass of the seated human body: vertical vibration," *Journal of Biomechanics*, 22(2), pp. 81-94
- (2) Griffin, M. J., 1990, *Handbook of Human Vibration*, Academic Press, London: UK.
- (3) International Organization for Standardization, 2000, *Mechanical vibration and shock - Range of idealized values to characterize seated-body biodynamic response under vertical vibration*, ISO/DIS 5982
- (4) Mansfield, N. J., Holmlund, P. and Luderström, R., 2001, "Apparent mass and absorbed power during exposure to whole-body vibration and repeated shocks," *Journal of Sound and Vibration*, 248(3), pp. 427-440
- (5) 송수연, 2001, "앉은 자세 인체의 수직 방향 가진에 대한 동적 응답 특성화 및 시트용 폼의 전달률 예측에의 응용," 한국과학기술원, 석사학위논문
- (6) 정완섭, 박용화, 1999, "한국인 앉은 자세에 대한 동적 질량의 실험적 연구", 한국소음진동공학회 추계학술대회 논문집, pp. 312-317
- (7) 박용화, 정완섭, 2000, "한국인의 앉은 자세에 대한 동적 질량의 실험적 연구", 한국소음진동공학회지, 10(6), pp. 1017-1021
- (8) Wei, L. and Griffin, M. J., 1998, "Mathematical models for the apparent mass of the seated human body exposed to vertical vibration," *Journal of Sound and Vibration*, 212(5), pp. 855-874
- (9) 조영진, 2000, "차량 승차감 평가를 위한 인체 진동 모델 개발," 한국과학기술원, 박사학위논문
- (10) Mansfield, N. J., and Griffin, M. J., 2000, "Non-linearities in apparent mass and transmissibility during exposure to whole-body vertical vibration," *Journal of Biomechanics*, pp. 933-941.
- (11) 정완섭 외 19 인, 2002, "소음진동에 대한 인체 영향 평가", 한국표준과학연구원 보고서 KRISS-2002-092, 한국표준과학연구원
- (12) 사단법인 한국소음진동공학회, 2002, *소음, 진동 용어해설집*