한국소음진동공학회지 제 10 권 제 6 호, pp. 1017~1021, 2000.

〈논 문〉

한국인의 앉은 자세에 대한 동적 질량의 실험적 연구

Experimental Investigation on the Characteristics of Dynamic Masses of Korean-Seated Postures

박 용 화* · 정 완 섭*

Yong-Hwa Park and Wan-Sup Cheung

(2000년 8월 7일 접수 : 2000년 11월 3일 심사완료)

Key Words : Human Vibration(인체진동), Apparent Mass(동적 질량), Intra-subject Variability(피실험자 내의 변화)

ABSTRACT

This paper addresses experimental results carried out to investigate the characteristics of dynamic mass for Korean. Vertical seat vibration in the frequency range of 0.5-30 Hz was applied to a seated Korean male subject. To examine the intra-variable effects on dynamic mass, five different postures and three different vibration excitation levels were considered. The applied acceleration and transmitted force to the hip of the seated subject were measured simultaneously. Detailed experimental results of measured dynamic mass are illustrated for each posture and/or vibration excitation level. Maximum peaks of around 5 Hz were observed for most experimental cases. They are found to allow the identification of dynamic characteristics of Korean seated body for various real vibration environments. Furthermore, they are expected to be very useful in designing new seats for automotive and railway vehicles and in improving their vibration ride quality.

1. 서 론

승용차, 버스, 트럭 등의 차량 운행 시, 운전자나 탑승자의 인체에 전달되는 진동은 승차감을 저하시키거나 건강에 유해한 영향을 미칠 수 있다. 또한 차량 진동은 피로나 시야 범위 제한에 따른 안전 운행에도 지대한 영향을 미칠 수 있다. 특히, 진동량이 클 경우는 기본 활동성(activity, 독서, 필기, 음식물 섭취 등)과 작업효율(working proficiency)에 심각한 장애가 발생한다.

금번 연구는 아직 충분한 실험적 연구가 수행되지 못하고 있는 국내의 인체 진동 특성 측정 및 해석 기술을 확립하고 더불어 국내 차량용 의자 제작사에 절대 필요한 한국인 진동 모델 데이터 베이스 구축 사업의 일환으로 수행되었다. 인체의 앉은 자세의 동적 질량 (dynamic mass or apparent mass)은 비교적 측정이 용이하고 의자의 진동이 인체의 동적 응답에 미치는 영향에 대한 전반적인 분석 및 평가가 가능하므로 많은 국외 연구와 보고가 있어 왔다[1-6]. Fairley와 Griffin은 60명을 대상으로 다양한 조건에서의 인체의 동적 질량을 측정했으며, 통계적인 분석을 통해서 그 경향 파악과 간단한 수학적 모델을 유도하기도 하였다[5, 6]. ISO 5982 (1981)는 기존의 연구 결과를 토대로 인체의 동적 질량의 표준안을 제시하고 있고[7] ISO 5982 (1999)는 최근까지의 실험결과를 종합하여 동적 질량의 표준안 및 수학적 모델을 제시하고 있다[8]. 한편 인체의 반응을 결정하는 중요하고 실용적인 요소의 하나로서 앉은 자세에 따른 인체 동적질량의 변화를 고려하는 실험적 연구가 많이 수행되어 왔다[2,4,6,9].

본 연구에서는 차량용 의자에 직접 응용될 수 있는 상하 진동에 대한 앉은 자세의 동적질량을 측정하고 그 특성을

* 정회원, 한국표준과학연구원 음향진동연구실

파악하고자 한다. 특히 앉은 자세의 변화와 의자 진동의 크기 등의 실험조건을 변화시키면서 인체의 동적 질량을 측정했으며 그 경향을 파악했다. 이때 수행했던 일련의 실험 조건, 실험 방법 및 실험 결과를 정리하고 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

의자의 상하 진동에 피폭된 인체의 동적 질량을 다음과 같은 방법으로 측정하였다. Fig. 1은 실험장치를 보여준다. 피실험자는 키 183 cm, 몸무게 73 kg을 갖는 한국인 남성이다. 앉은 자세에서 엉덩이에 가해지는 가진력을 측정하고 동일한 엉덩이 위치에서 측정된 가속도로 나누어 인체의 동적 질량을 계산한다.

2.1 실험 장치

의자의 사양은 다음과 같다. 실험대상의 엉덩이 부분은 평평한 강체 바닥면(rigid flat seat)이고 등받이(backrest)는 바닥면에서 수직으로 조립되어 있다. 두 가지 높이의 발 받침대(footrest)에 대해서 실험을 수행하였으며, 각각 엉덩이와 접촉하는 의자의 바닥면에서 440 mm와 360 mm 아래의 위치에 각각 고정되어 있다.

의자는 1 m의 최대 변위를 갖는 전기유압식 가진기에 의해 상하 방향으로 구동 된다. 이때 0.5 Hz에서 30 Hz까지의 주파수 대역에서 균일한 가속도 PSD(Power Spectral Density)를 갖는 Gaussian random 신호를 입력으로 주었다. 의자와 엉덩이의 접촉 부위에서의 가속도는 바닥면의 중심부 바로 아래에 탑재된 가속도계(Entran EGCSY-240D-10)를 사용하여 측정하였다. 바닥면에서 엉덩이에 전달되는 가진력은 바닥면과 인체의 엉덩이 사이에 탑재된 힘 측정판(force platform, Kistler 9281B)으로 측정하였다. 힘 측정판은 의자와 접촉되는 아래 판과 피실험자의 엉덩이 부분에 접촉되는 위판, 그리고 위, 아래 판 사이에 탑재된 힘 변환기로 구성되어있다. 측정 시 위 평판의 자중과 힘 변환기의 자중이 측정되는 힘에 포함되므로 측정된 힘에서 그에 해당하는 중량인 17 kg을 빼주었다.

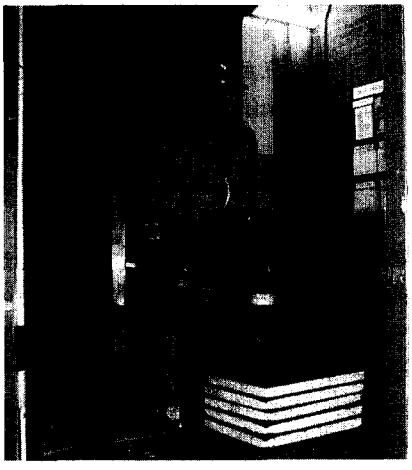

Fig. 1 Experimental set-up for the measurement of the vertical seat-to-head transmissibility of Korean-seated posture.

2.2 신호 처리

유압 가진기 제어단을 사용하여 가진기를 제어하였고 다채널 신호 수신 장치(ISVR HV-Lab)을 사용하여 측정된 가속도 및 힘의 신호를 동시에 측정하였다. 신호 수집 속도는 150 Hz로 선정하였으며, 40 Hz 이상의 신호를 차단하기위한 저대역 통과 필터를 사용하였다. 인체의 동적 질량은 탑재된 가속도계와 힘 측정계로부터 측정된 신호로부터 다음과 같이 Cross Spectral Density Method를 이용하여 구한다.

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

여기서, $M(f)$는 동적 질량, $G_{fa}(f)$는 측정된 힘과 가속도 간의 Cross Spectral Density Function, $G_{aa}(f)$는 가속도 신호의 Auto Spectral Density Function이다. 각각의 주파수 분석은 0.5 Hz에서 30 Hz까지의 주파수 대역에서 수행하였다. 이때 512개의 데이터 개수를 갖는 FFT를 사용했으며 주파수 분해능은 0.29 Hz이고 72회의 평균을 취하여 동적 질량을 구하였다.

2.3 실험 조건

본 논문에서는 진동의 크기와 앉은 자세의 두 가지 요인을 변화하면서 동적 질량을 구하였다. 첫째로 0.5, 1.0, 2.0 m/s^2의 세가지 실효치(r.m.s.)를 갖는 의자의 가속도 입력에 대해서 각각의 동적 질량을 측정하였다. 둘째로 피실험자의 앉은 자세는 다음과 같은 다섯 가지 자세를 고려하여 각각의 동적 질량을 측정하였다.

1) 정상적 자세(normal posture : 등을 펴고 앉은 자세)
2) 구부린 자세(slouched posture : 어깨를 약간 앞으로 하고 등을 편하게 약간 구부린 자세)
3) 곧게 등받이에 기댄 자세(backrest upright posture : 엉덩이를 등받이에 최대한 가까이 하고 등 부위를 등판에 밀착한 자세)
4) 편하게 등받이에 기댄 자세(backrest relaxed posture: 엉덩이를 등받이에서 약간 거리를 두고 등 부위를 등

판에 편하게 기댄 자세)

5) 발 받침대를 한 자세(higher footrest posture: 발 지지대를 이용하여 정상으로 앉은 자세)

등받이는 1), 2), 5)의 자세에서는 사용되지 않았다. 1), 2), 3), 4)의 자세에서는 의자 바닥면으로부터 440 mm 아래에 위치한 발 받침대를 사용했으며 5)의 자세에서는 의자 바닥면으로부터 360 mm 아래에 위치한 발 받침대를 사용했다. 자세 4)에서 엉덩이는 등받이로부터 100 mm의 거리를 두고 위치해 있으며 나머지의 자세에서는 엉덩이가 등받이에 붙어있다. 모든 실험조건에서 피실험자는 정면을 바라보도록 하였으며 동일한 실험 조건을 60초간 유지하면서 가속도와 힘을 동시에 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 앉은 자세와 인체동적질량

Fig. 2와 3은 1 m/s^2 실효치(r.m.s.)의 가속도에 대한 각각의 자세에 대한 동적 질량을 보여준다. 대부분 5 Hz 근방에서 최대치를 가짐을 알 수 있다. 최대치 이전의 위상은 전반적으로 동 위상으로서 피실험자의 질량 효과를 관찰할 수 있었다. 최대치 이후는 대략 -90도의 위상차를 가지며 인체의 진동 감쇠 효과가 큼을 관찰 할 수 있다. 이는 ISO 5982 (1981), ISO/CD 5982 (1999) 등의 그간에 보고된 인체 진동의 결과와 유사한 경향을 보여주고 있다[7,8,10].

1 Hz 이하의 동적 질량은 각각의 정지상태의 앉은 자세에서 힘 변환기에서 측정되는 피실험자의 체중을 나타내며 자세에 따라 약간의 변동을 보인다. 또한 발이 발 받침대에 접촉하고 있으므로 피실험자의 체중인 73 kg보다 약간씩 작게 측정됨을 알 수 있다.

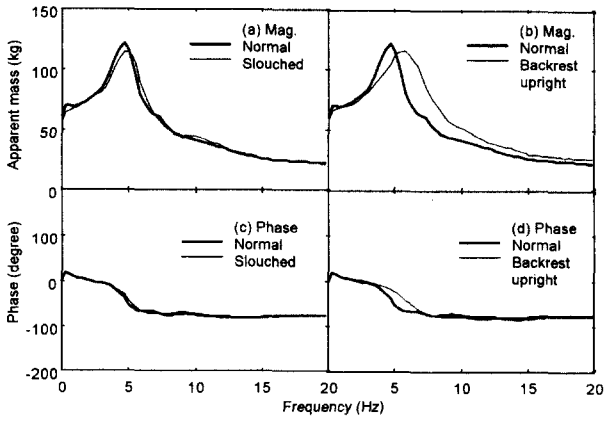

Fig. 2 Apparent masses of the subject in postures 1), 2) and 3) measured at 1 m/s^2 r.m.s.

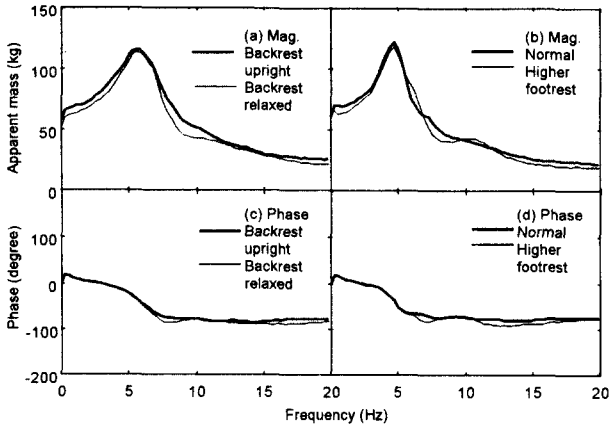

Fig. 3 Apparent masses of the subject in postures 1), 3), 4) and 5) measured at 1 m/s^2 r.m.s.

Fig. 2(a)에서 보는 바와 같이 정상 자세의 동적질량의 최대치는 4.6 Hz에서 119 kg을 나타내고 있다. 구부린 자세에서의 동적 질량은 정상 자세의 동적질량과 유사한 양상을 나타내며 최대치가 정상 자세 보다 약간 작음을 알 수 있다. 또한 10 Hz 근방에서 국부적인 최대치가 관찰 된다.

Fig. 2(b)에서 보인 바와 같이 곧게 등받이에 기댄 자세(backrest upright posture)에서는 정상 자세와 비교하여서 최대치가 감소하며 이때의 고유 진동수는 약간 증가함을 알 수 있다. 이는 등을 기댄 자세가 인체의 강성을 높이는 효과와 엉덩이 부위의 전달력을 감소시키는 효과가 있다는 것을 나타낸다.

Fig. 3(a)에서 보인 바와 같이 편하게 등받이에 기댄 자세는 곧게 등받이에 기댄 자세와 비교하여서 전반적으로 동적 질량이 감소됨을 알 수 있으며, 특히 7 Hz에서 11 Hz까지의 주파수 대역에서 감소 효과가 큼을 알 수 있다. 이는 엉덩이가 등받이로부터 멀어질수록 엉덩이 위치에서의 전달력이 감소됨을 나타낸다. 한편, 5 Hz 근방의 최대치는 이 두 자세에 대해서 큰 변화가 없으므로 등받이에 기댄 자세에서의 엉덩이 위치는 인체의 강성 변화에는 큰 효과가 없음을 알 수 있다.

Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 발 받침대의 위치가 높아지면 1 Hz 이하의 영역에서 동적질량 즉, 정지 상태의 인체의 앉은 중량이 낮아짐을 관찰할 수 있다. 이는 발 받침대가 높아지면 발 받침대로 전달되는 피실험자의 중량이 커짐을 나타낸다. 발 받침대를 높임으로써 10 Hz 부근의 국부 최대치가 나타남을 관찰 할 수 있다. 이는 높은 발 받침대를 사용하는 자세 변화가 인체의 국부적인 모드를 발생시키고 있음을 나타낸다.

3.2 의자의 진동레벨과 인체동적질량

Fig. 4는 2절에서 언급한 세 가지의 진동 가속도 조건들

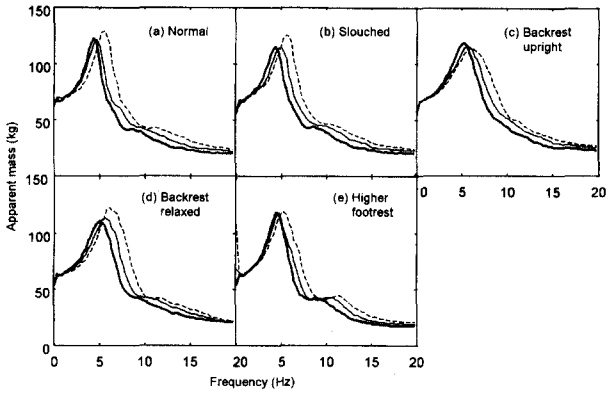

Fig. 4 Apparent masses of the subject measured at three different vibration magnitudes for each posture. ----- 0.5 m/s^2 r.m.s.; —— 1 m/s^2 r.m.s.; ——— 2 m/s^2 r.m.s.

에 대한 각각의 자세에 대한 동적질량을 보여준다. Fig. 4에서 보인 바와 같이 인체의 동적 질량은 가속도의 크기가 달라짐에 따라서 그 크기 뿐 아니라 최대치의 위치 또한 변하는 비선형적인 성향이 있음을 관찰할 수 있다. 전반적으로 가속도의 크기가 증가할수록 최대치가 발생하는 주파수가 감소한다. 곧게 등받이에 기댄 자세를 제외하고는 이 때의 최대치도 감소함을 알 수 있었으며, 그간의 연구 결과와 일치하는 경향을 보여준다[9~11]. 이러한 경향은 피 실험자, 앉은 자세 등에 무관하게 일반적으로 관찰되며, 근육의 긴장, 진동에 피폭된 근육의 활동 방식 등의 매우 복잡한 원인에 기인하는 것으로 알려져 있다[10].

4. 결 론

본 연구에서는 일련의 실험을 통해서 의자의 상하 진동에 대한 한국인의 앉은 자세의 동적 질량을 측정하고 그 특성을 검토하였다. 5 Hz 근방의 주파수에서 최대 피크를 갖는 동적 질량을 측정했으며 앉은 자세 변화, 진동 크기의 변화 등에 따라 최대 피크치의 주파수 축상의 위치와 그 크기가 변화함을 관찰하였다. 등받이는 인체의 강성을 높이고 인체로의 전달력을 감소시키는 효과가 있었으며, 가진 가속도가 커질수록 최대치와 최대주파수가 감소하는 비선형적인 경향이 있음을 알 수 있었다.

수행된 실험 방법 및 결과는 작업 환경에서 발생할 수 있는 한국인의 진동에 대한 안전 및 영향 평가를 위한 한국인에 적합한 표준안 제정의 기초자료 및 작업 환경 개선 등의 기초자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 앉은 자세 등의 동일한 피실험자 내의 변화(intra-subject variability[10])에 주안점을 두고 인체 반응 특성을 측정했으며 저자들은 추후의 실험을 통해서 다수의 피실험자의 인체 반응의 변화(inter-subject variability[10])에 대한 실험을 계획하고 있다. 또한 머리 부분 등의 인체 부위의 진동 전달 특성(transmissibility of the whole-body[10])에 대한 실험 결과를 추후의 논문을 통해서 발표할 예정이다[12]. 실험 결과는 국내 승용차의 승차감 개선을 위한 의자 설계에 매우 유용한 자료로 사용될 수 있다고 사료된다.

본 연구는 선도기술과제인 감성공학 중 "소음, 진동에 대한 인체 영향 연구"의 수탁과제로 영국의 ISVR Human Factors Research Group과 공동으로 수행된 연구내용의 일부이다.

참 고 문 헌

(1) Coermann, R. R., 1962, "The Mechanical Impedance of the Human Body in Sitting and Standing Positions at Low Frequencies," Human Factors, Vol. 4, No. 10, pp. 227~253.

(2) Miwa, T., 1975, "Mechanical Impedance of Human Body in Various Postures," Industrial Health, Vol. 13, pp. 1~22.

(3) Donati, P. and Roure, L., September 1981, "Short-term Effects on Seated Subjects of Whole-Body Low and Medium Frequency Vibration (Biodynamic and Subjective Approaches)," Proceedings of the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration, Elliot-Watt University, Edinburgh, pp. 9~11.

(4) Sandover, J., 1982, Measurements of the Frequency Response Characteristics of Man Exposed to Vibration, Ph. D Thesis, Loughborough University of Technology.

(5) Fairley, T. E. and Griffin, M. J., 1984, "Modeling a Seat-Person System in the Vertical and Fore-aft Axes," Institute of Mechanical Engineers Conference C149/84, pp. 83~90.

(6) Fairley, T. E. and Griffin, M. J., 1989, "The Apparent Mass of the Seated Human Body: Vertical Vibration," Journal of Biomechanics, Vol. 22, No. 2, pp. 81~94.

(7) International Organization for Standardization, 1981, Vibration and Shock-Mechanical Driving Point Impedance of the Human Body, ISO 5982.

(8) International Organization for Standardization, 1999, "Mechanical Vibration and Shock Range of Idealized Values to Characterize Seated-body Biodynamic Response under Vertical Vibration," ISO/CD 5982.

(9) Potemkin, B. A. and Frolov, K. V., 1972, "Representation by Models of the Biochemical System 'Man-operator' Under the Action of Random Vibrations," Royal Aircraft Establishment Library Translation No. 1651.

(10) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London: UK.

(11) Mertens, H. 1978, "Non-linear Behavior of Sitting Humans under Increasing Gravity," Aviation, Space and Environmental Machine, Vol. 49, pp. 287~298.

(12) 박용화, 정완섭, 2001, "한국인 앉은 자세에 대한 의자 진동의 머리 전달에 관한 실험적 연구," 소음진동공학회지, 제 11권 제 1호 게재예정.