

승용차 착석 자세에서의 인체 곁보기 질량 측정 및 고찰

Measurement and Investigation of Apparent Masses of a Human Body at the Sitting Posture in a Passenger Car

장한기* · 홍석인** · 김기선*** · 이정훈*** · 김광준***

Han-Kee Jang, Seok-In Hong, Ki-Sun Kim, Jeong-Hoon Lee and Kwang-Joon Kim

Key Words : Apparent mass(곁보기 질량), Seated human body(착석한 인체), Human model(인체 모델), Impedance(임피던스)

ABSTRACT

This study aims to measure an apparent mass of a seated human body at the sitting posture in a passenger car in the frequency range from 1 to 20 Hz and to investigate the dynamic characteristics. Thirty subjects joined the test where eight levels of acceleration from 0.1 m/s^2 to 2.0 m/s^2 were used to excite seated human body. Most of apparent mass curves showed two peaks in the frequency range of 4~9 Hz, first peak was clearer at the contact point of the seat and the hip, and the second one at the contact point of the backrest and the back. Both peak frequencies were found to move down to lower frequencies with increase of acceleration magnitude. Shapes of apparent mass curves were clearly different from those at erect posture especially in the frequency range around and above the second peak.

1. 서 론

차량의 승차감 평가에 있어서 탑승자에게 전달되는 진동을 사람이 느끼는 양으로 전환하는 것이 매우 중요한 과정이다. 이를 위해 ISO 2631-1⁽¹⁾에서 제공하는 앉은 자세에서의 주파수 가중치가 폭넓게 적용되고 있는 것이 현실이다. 그러나 이 주파수 가중치는 직립 착석 자세의 평가자를 대상으로 한 수많은 시험에서 도출된 것으로서 지게차나 상용차와 같이 직립착석에 가까운 자세에서 적용하는 것은 무리가 없겠지만 승용차에서의 착석자세는 확연한 차이가 있기 때문에 주파수 가중치 또한 차이가 있을 것으로 예상된다. 그럼에도 불구하고, 과거의 데이터의 부족으로 인해 승용차에서의 인체 진동 평가에 동일한 주파수 가중치가 사용되고 있는 것이 현실이다.

본 연구에서는 착석 자세에 따른 인체의 반응을 비교하는 것을 최종 목적으로 삼고 있으며 이를 위한 첫 단계로 승용차 시트 착석 자세에서의 인체의 동특성이 직립 자세에서의 값과 어떻게 다른지를 고찰해보고자 한다. ISO 5982⁽²⁾에서는 직립 착석 자세의 인체 동적 모델을 제시하고

있으며, 이 모델은 착석 자세에서의 인체 모델로 널리 사용되어지고 있다. 전술한 직립 자세는, 등받이를 하지 않고 허리를 곧게 세우고 앉아 있는 자세로서 허리와 대퇴부의 각도와 무릎의 각도를 90° 로 유지하는 자세이다. 곁보기 질량과 관련된 이전의 연구들은 대부분 직립 자세에서의 시험 결과들이다⁽³⁻⁵⁾.



Fig. 1 Sitting posture of a subject on the inclined seat-frame

본 연구에서는 Fig.1과 같이 시험 장치를 제작하고 바닥 가진을 통해 실제 차량 탑승 자세에서의 인체의 동특성인 곁보기 질량(Apparent mass)을 측정하고 그 결과를 직립자

* 고등기술연구원 제품기술연구센터

E-mail : hkjang@iae.re.kr

Tel : (031)330-7435, Fax : (031)330-7116

** 고등기술연구원 제품기술연구센터

*** 한국과학기술원 기계공학과

세에서의 결과와 비교 분석하였다.

2. 실험장치 구성

본 연구에서는 유압 가진기 위에 차량의 시트의 설계각도와 유사하게 기울인 시트 프레임을 설치하고, 피시험자가 그 위에 차량 탑승 자세를 취하면서 앉을 수 있도록 하였다 (Fig. 1 참조).

시트 프레임은 피시험자가 차량 탑승시의 자세를 유지할 수 있도록 시트는 바닥과 10°, 등받이는 바닥과 110°의 각도를 두었으며⁽⁶⁾, 시트 바닥 면과 등받이 면 사이의 동특성이 개입되지 않도록 하기 위해서 두 구조물을 독립적으로 제작하여 유압가진기에 설치되도록 하였다. 시트 프레임은 사람의 엉덩이와 등이 뒹는 부분을 제외한 전체를 알루미늄으로 제작하여 중량을 최소화하면서 구조물의 공진 주파수도 20Hz 이상이 되도록 제작하였다.

인체에 전달되는 두 지점인 등받이와 시트에 각각 로드셀(Lebow 3173-500)과 가속도계(B&K 4383)를 각각 설치하여 접촉점에 작용하는 동적 힘과 가속도를 측정하였다. 또한 유압가진기 바닥에도 가속도계(B&K 4383)를 부착하여 바닥 가진 신호를 제어하는데 사용하였다.

3. 실험 방법

본 실험에서는 차량 탑승 자세에서의 인체의 동적 특성을 관찰하기 위해 접촉점인 엉덩이와 등에서 동적인 힘과 가속도를 측정하여 각각의 접촉점에서의 인체의 결보기질량 (Apparent mass)을 계산하였다.

3.1 가진 신호

본 실험에 사용된 가진 신호는 관심 주파수 영역(1-20 Hz)에서 불규칙성(Randomness)를 나타내도록 준비되었다. 먼저 신호발생기로 100 Hz 샘플링의 Gaussian 웨이브 함수를 이용하여 64초의 신호를 만든 후, 같은 신호를 4번 반복해서 256초의 신호를 준비하고 다시 이를 cut-off 주파수가 1Hz와 20Hz인 대역 통과 필터를 적용하였다.

가진 신호는 0.4~2.0 m/s², rms 사이에서 6개의 가속도 레벨(0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.4, 2.0 m/s², rms)을 선정하여 각각의 가속도 레벨마다 3개의 신호를 준비하여 피시험자 1인당 18개의 신호를 사용한 시험이 진행되었다. 총 18개의 신호는 각기 따로 생성하여 똑같은 신호가 중복되지 않도록 하였다.

3.2 피시험자

피시험자로는 신체 건강한 30명의 남성을 선정하여 이들

의 시험참여 동의를 얻은 후에 본 시험에 활용하였다. 본 시험에 참여한 피시험자들은 22~34세 사이이며, 몸무게는 55~88 kg의 분포를 갖고, 키는 162~186 cm의 분포를 갖는다. Table 1에 실험에 참여한 피시험자들의 나이, 몸무게, 키의 평균과 표준편차를 정리하였다.

Table 1 Basic informations of subjects

	Age(year)	Weight(kg)	Height(cm)
Average	28.00	72.63	173.93
Standard Deviation	3.91	8.56	8.56

3.3 측정조건 및 과정

피시험자가 시트에 착석한 후, 엉덩이는 시트 뒤쪽 끝까지 붙이고 등은 반듯하게 펴서 등받이에 기대도록 하였다. 시트 앞쪽 끝과 대퇴부 사이가 약 1cm(손가락 하나)정도 떨어지도록 조절하고 다리를 앞으로 반듯하게 뻗게 하였고, 손은 가볍게 쥐어서 허벅지 위에 올려놓도록 하였다(Fig. 1). 전체적으로 편안한 자세를 유지하면서도 몸이 너무 경직되지 않도록 요구하였다. 시선은 정면 눈높이를 유지하도록 하였으며, 측정이 이루어지는 동안 자세를 유지할 것을 요구하였다.

하나의 가진 신호마다 약 64초 이상 가진하였고, 시트프레임에 부착된 로드셀과 가속도계들로부터 측정된 동적인 힘과 가속도 신호들은 DAT Recorder에 실시간으로 저장되어 나중에 128 Hz로 64초간 샘플링하여 결보기 질량을 계산하였다.

3.4 결보기질량 계산

결보기 질량은 두 곳의 접촉점인 시트와 등받이에서 각기 계산하였다. 로드셀 데이터와 가속도 데이터는 0.25 Hz의 해상도를 갖도록 4초간 데이터를 취해 해닝 윈도우(Hanning window)를 씌우고, 75% 오버랩(Overlap)으로 61회 평균하여 주파수 분석에 사용하였다.

결보기 질량을 $M(f)$, 로드셀로 측정한 힘의 주파수 스펙트럼을 $F(f)$, 가속도의 주파수 스펙트럼을 $A(f)$ 라 놓으면 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$M(f) = \frac{F(f)}{A(f)} - M_p = \frac{S_{AF}(f)}{S_{AA}(f)} - M_p \quad (1)$$

여기서 $S_{AF}(f)$ 는 가속도와 힘 사이의 크로스파워 스펙트럼이며, $S_{AA}(f)$ 는 가속도의 오토파워 스펙트럼이다. 또한 M_p 는 로드셀 위에 부착되는 로드셀-시트 연결부와 시트 또는

로드셀-시트 연결부와 등받이의 무게로 시트에서는 11.00 kg, 등받이에서는 10.81 kg이다.

4. 측정 결과 및 분석

30명의 피시험자를 대상으로 6개의 가속도 레벨별로 3개 쪽의 총 18개 가진 신호에 대해 인체 겉보기 질량 측정 시험을 실시하여 식 (1)에 의해 계산된 등받이와 시트에서의 겉보기 질량을 Fig. 2~5에 걸쳐 크기와 위상으로 도시하였다. 또한 인체의 겉보기 질량 측정 결과(Fig. 2~5)를 바탕으로 사분위 분석을 수행하여 그 결과(Minimum, 25 percentile, Median, 75percentile, Maximum)를 시트와 등받이에 따라 Fig. 6~9에 각각 크기와 위상으로 분리하여 도시하였다.

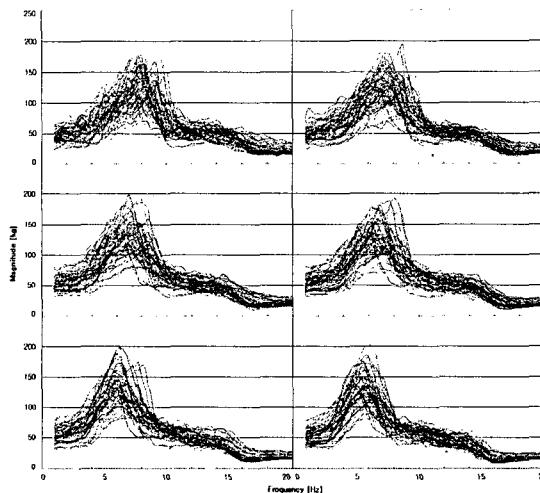


Fig. 2 Magnitude of Apparent masses on the backrest :
 0.4m/s^2 (top-left), 0.6m/s^2 (top-right),
 0.8m/s^2 (mid-left), 1.0m/s^2 (mid-right),
 1.4m/s^2 (bottom-left), 2.0m/s^2 (bottom-right)

Fig. 2~5의 겉보기질량 측정결과와 Fig.6~9의 사분위 분석 결과를 통해서 보면 가진첨인 시트와 등받이에서의 겉보기 질량은 사람마다 각기 피크 주파수에 차이가 있지만, 대체적으로 시트에서는 4~9 Hz 사이에서 59~65kg 정도의 크기를 갖는 두 개의 피크를 볼 수 있으며 등받이에서는 5~9 Hz에서 약 125kg의 피크값을 각각 확인할 수 있다 (Median 기준). 시트의 겉보기 질량에서의 두 번째 피크가 발생하는 주파수는 대체로 등받이의 피크 주파수와 일치하며 이는 시트가 10°가 기울어져 있어서 등받이의 겉보기질량이 시트에도 영향을 주는 것으로 파악된다.

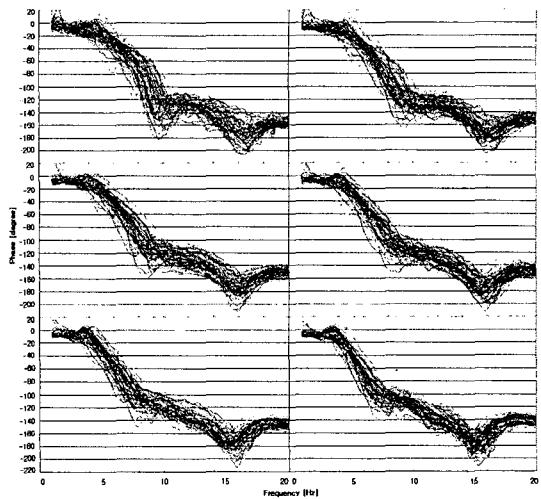


Fig. 3 Phase of Apparent masses on the backrest :
 0.4m/s^2 (top-left), 0.6m/s^2 (top-right),
 0.8m/s^2 (mid-left), 1.0m/s^2 (mid-right),
 1.4m/s^2 (bottom-left), 2.0m/s^2 (bottom-right)

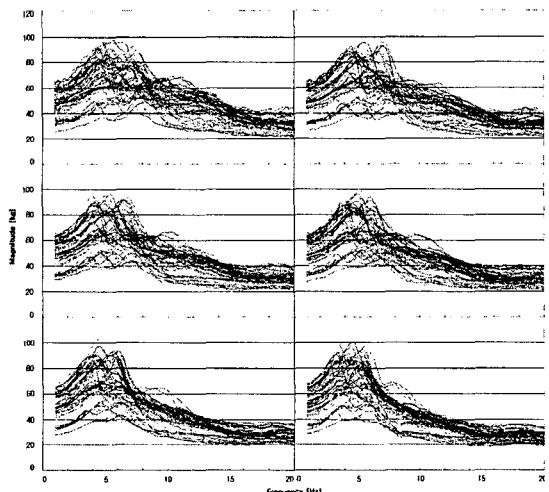


Fig. 4 Magnitude of Apparent masses on the seat :
 0.4m/s^2 (top-left), 0.6m/s^2 (top-right),
 0.8m/s^2 (mid-left), 1.0m/s^2 (mid-right),
 1.4m/s^2 (bottom-left), 2.0m/s^2 (bottom-right)

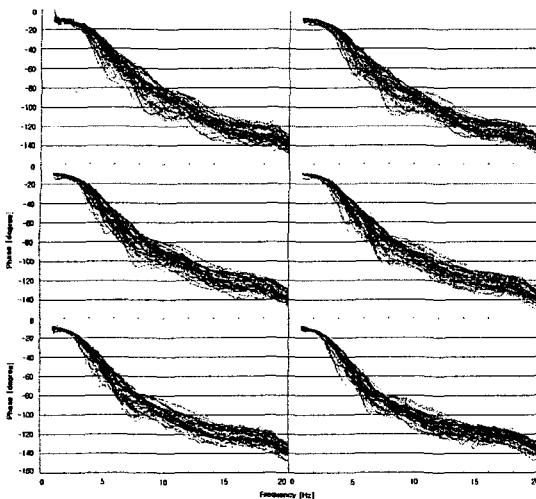


Fig. 5 Phase of Apparent masses on the seat :
 0.4m/s²(top-left), 0.6m/s²(top-right),
 0.8m/s²(mid-left), 1.0m/s²(mid-right),
 1.4m/s²(bottom-left), 2.0m/s²(bottom-right)

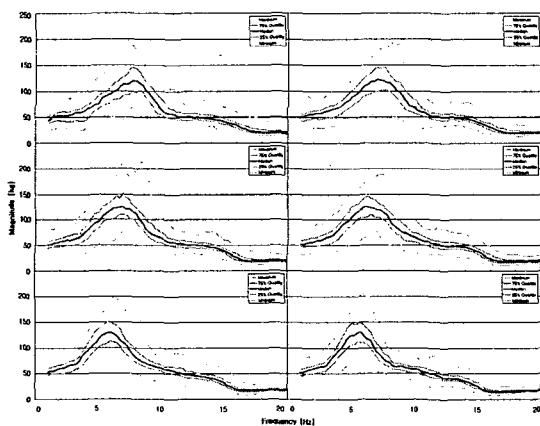


Fig. 6 Quartile plot of apparent masses(magnitude) on the backrest : 0.4m/s²(top-left),
 0.6m/s²(top-right), 0.8m/s²(mid-left),
 1.0m/s²(mid-right), 1.4m/s²(bottom-left),
 2.0m/s²(bottom-right)

시트와 등받이의 겉보기 질량 그래프를 관찰하면 공통적으로 가진 신호의 레벨이 증가될수록 피크 주파수가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이를 확인할 수 있도록 사분위 분석결과에서 Median값들만을 모아서 Fig.10에 도시하였다. 시트에서 측정한 겉보기 질량의 경우, 0.1 m/s²으로 가진했을 때는 5~6 Hz 부근에서 피크 주파수를 관찰할 수 있으나, 가진 신호의 크기가 커질수록 주파수가 계속 낮아져서 2.0 m/s²으로 가진했을 때는 피크 주파수가 약 4 Hz 부근에 위치하

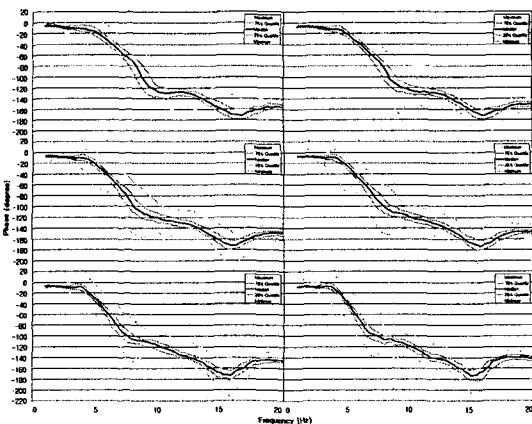


Fig. 7 Quartile plot of apparent masses(phase) on the backrest : 0.4m/s²(top-left), 0.6m/s²(top-right),
 0.8m/s²(mid-left), 1.0m/s²(mid-right),
 1.4m/s²(bottom-left), 2.0m/s²(bottom-right)

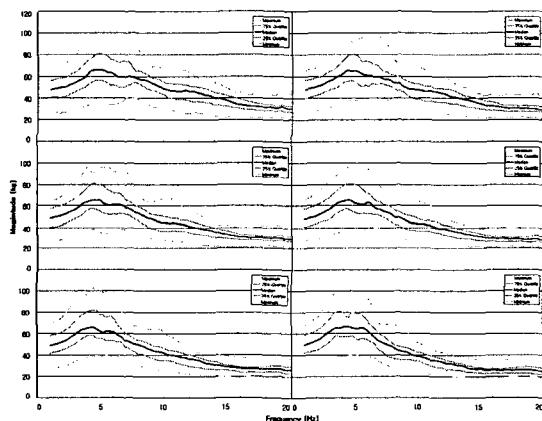


Fig. 8 Quartile plot of apparent masses(magnitude) on the seat : 0.4m/s²(top-left), 0.6m/s²(top-right),
 0.8m/s²(mid-left), 1.0m/s²(mid-right),
 1.4m/s²(bottom-left), 2.0m/s²(bottom-right)

는 것을 볼 수 있다. 등받이에서 측정한 겉보기 질량도 0.1m/s²으로 가진했을 때는 7~9 Hz 사이에서 피크 주파수를 관찰할 수 있으나, 가진신호의 크기가 커지면서 피크 주파수가 점차 낮아져서 결국 2.0 m/s²으로 가진했을 때는 5~6 Hz 사이에 피크 주파수가 위치하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 11은 ISO 5982에서 제시하는 직립 착석 자세에서의 겉보기 질량과 본 실험에서 측정한 겉보기 질량 중 2.0 m/s²으로 가진했을 때 시트에서 측정한 겉보기 질량을 도시하고 있다. ISO 5982의 겉보기 질량은 0.5~3.0 m/s², rms

사이의 크기로 가진한 것으로 4 Hz에서 75.4 kg의 피크를 갖는다.

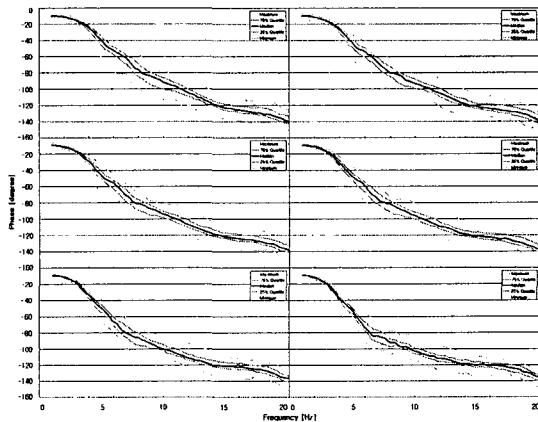


Fig. 9 Quartile plot of apparent masses(phase) on the seat:
 0.4m/s^2 (top-left), 0.6m/s^2 (top-right),
 0.8m/s^2 (mid-left), 1.0m/s^2 (mid-right),
 1.4m/s^2 (bottom-left), 2.0m/s^2 (bottom-right)

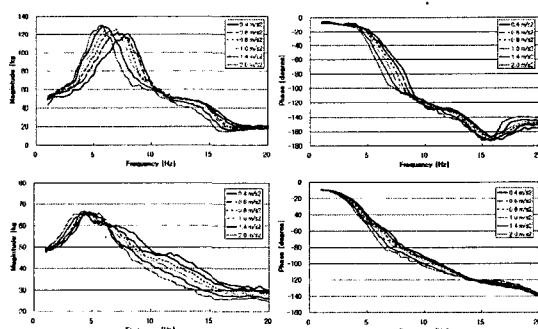


Fig. 10 Medians of apparent mass measured on the backrest(magnitude(top-left), phase(top-right)) and the seat(magnitude(bottom-left), phase(bottom-right))

본 시험에서 2.0 m/s^2 , rms로 가진 했을 때 시트에서 측정한 걸보기 질량과 비교해 보면, 6 Hz 이하에서는 ISO 5982의 걸보기 질량이 큰 반면에 6 Hz 이상에서는 시트에서 측정한 걸보기 질량이 큼을 볼 수 있다. 이는 시트의 걸보기 질량의 첫 번째 피크 주파수 이후 등받이의 걸보기 질량이 시트의 걸보기 질량보다 훨씬 증가하기 때문에 이에 대한 영향이 시트의 걸보기 질량에 영향을 주어 6 Hz 이상부터는 ISO 5982의 걸보기 질량보다 커지는 것으로 보인다. 또 ISO 5982의 피크 주파수와 시트에서의 첫 번째 피크주파수와 일치하지만, 시트에서의 두 번째 피크에 대한 영향은 ISO 5982에서는 볼 수가 없다.

승용차의 시트에서 측정되는 진동의 크기는 주파수 범위에 따라 결정되겠지만 인체가 민감한 주파수 영역에서의 rms값은 0.1 m/s^2 수준 혹은 이보다 약간 상회하는 정도이다. 인체의 걸보기 질량은 Fig.10에서 확인된 것처럼 크기가 낮아질수록 피크 주파수가 높아지는 현상을 갖는다. 또한 시트가 기울어질수록 등받이의 영향을 받기 때문에 두 번째 피크 주파수의 영향이 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서 현재의 ISO 5982의 걸보기 질량을 차량 탑승시의 인체 모델로 대표하기에는 무리가 따를 것으로 판단된다.

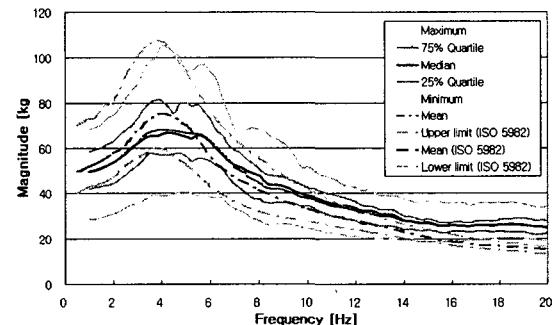


Fig. 11 Apparent masses by using the method in ISO 5982 and those measured on the seat at 2.0 m/s^2 in the study

5. 결 론

본 연구에서는 승용차 탑승 자세에 대한 인체의 걸보기 질량을 관찰하기 위해 시트와 인체가 접촉하는 엉덩이 부분과 등 부분에서의 걸보기 질량을 측정하는 시험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 시트에서 측정된 인체의 걸보기 질량을 통해서 볼 때, 인체의 접촉부인 엉덩이 부위에서는 4~9 Hz 사이에서 59~65 kg의 크기를 갖는 두 개의 피크가 발생하며, 등 받이에서는 5~9 Hz 사이에서 약 125 kg의 크기를 갖는 피크를 확인할 수 있다.
- 가진되는 가속도의 크기가 커질수록 시트와 등받이에서 측정한 차량 탑승 시 인체 걸보기질량의 피크 주파수는 점점 낮아지는 것을 확인할 수 있다.
- 가진 레벨이 0.1 m/s^2 (rms) 정도이고 시트가 기울어져 있는 차량 탑승시의 조건에 ISO 5982의 인체 모델을 적용하기는 부적합하다.

본 연구는 승용차 탑승 자세에서의 진동에 대한 인체의 반응을 정량화할 목적으로 걸보기 질량을 추출하는 시험을 수행하였다. 이 결과 직립 착석 자세에서의 인체의 동 특성과 기울어진 자세에서의 인체 동특성 사이에는 현격한 차이가 있음을 확인하였다. 인체로 전달되는 진동의 특성이 현격하게 다르기 때문에 승용차 착석 자세에서의 인체 동특성을 결정하기 위한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 국가지정연구실사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) International Organization for Standardization, 1997, ISO 2631-1, Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration-Part 1:General Requirements.
- (2) International Organization for Standardization, 2001, ISO 5982, Mechanical Vibration and Shock-Range of Idealized Values to Characterize Seated-body Biodynamic Response under Vertical Vibration.
- (3) M. J. Griffin, 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- (4) P. E. Boileau, X. Wu and S. Rakheja, 1998 "Definition of a Range of Idealized Values to Characterize Seated Body Biodynamic Response under Vertical Vibration," Journal of Sound and Vibration, 215, pp.841-862.
- (5) 정완섭, 김영태, 권휴상, 홍동표, 2003, "한국인 앉은 자세에 대한 수직 진동 응답특성의 실험적 연구: (I)걸보기 질량 (Apparent Mass)," 한국소음진동공학회논문집, 13(8).
- (6) F. W. Babbs, 1979, "A Design Layout Methods for Relating Seating to the Occupant and Vehicle", Ergonomics, 22(2), pp.227-234.