

자동차 의자류의 진동 전달특성에 대한 실험적 연구

°정 완섭°, 우 춘규°, 박 세진°, 김 수현°

Experimental study on vibration transfer characteristics of automotive seats

°Wan-Sup Cheung°, Chun-Kyu Woo°, Se-Jin Park°, Soo-Hyun Kim°

ABSTRACT

This paper introduces experimental results of whole-body vibration exposed through the contact area between automotive seat and human body. Such vibration experiment was carried out for five automotive seats in use and four Korean individuals. Interestingly, the quantitative assessment of the ride values of the tested seats do not only enable us to judge the footnotes the Korean technology in automotive seat has left so far, but also lead to the systematic way of improving their ride quality, in addition to issues in Korean automotive seats raised in this paper.

1. 서론

진동의 관점에서 볼때, 인체와 직접 접촉하고 있는 자동차 의자는 진동 전달량에 따라 탑승객의 안락감(comfort)에 일차적으로 영향을 미치는 기계요소이다. 일반 승용차의 경우 타이어의 수와 의자의 수는 동일하며, 그 비용 또한 타이어 보다 3~4배 높다. 국내 타이어 관련 연구는 두 대기업의 체계적이고 전문화된 단계에 들어선 반면에, 자동차 의자류의 국내 기술의 현 위치는 어느정도 인가에 대한 의문은 아직 보고 된바가 없는 실정이다. 1996년 4월에 이러한 의문점을 파악하기 위하여 본 연구는 3축 동시 가진에 따른 5종의 자동차 의자가 한국인 4사람의 인체로 전달되는 진동 실험을 수행하였다. 본 논문은 이러한 실험의 결과를 소개하고자 한다.

2. 실험 장치 개요

본 실험에서 전신 피폭 진동 측정장치^[1]을 이용하여 인체와 의자가 접촉하고 있는 발(feet) 부위의 병진(translation) 진동 3축, 엉덩이 부위의 병진 진동 3축과 회전 진동 진동과 3축, 그리고 등(back) 부위의 병진 진동 3축으로 구성된 총 12축에 대한 전신 피폭 진동을 동시에 측정하였다. 본 장치의 개략적 구성도는 Fig. 1과 같으며, 본 장치를 이용하여 5종의 자동차 의자에서 4 사람의 인체로 전달되는 피폭 진동 측정을 수행하였다. 실험에 사용된 의자와 참여한 한국인 체형에 대한 대략적 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of test seats and individuals.

Test Seat	Test Person (Weight, Height)
Seat 1 *	Person 1 (78 kg, 178 cm)
Seat 2 **	Person 2 (63 kg, 169 cm)
Seat 3 *	Person 3 (55 kg, 169 cm)
Seat 4 *	Person 4 (68 kg, 180 cm)
Seat 5 *	-----

Note 1: The symbol "*" denotes each sample seat and "*" does an imported one.

2: Hardness(Seat 1 < Seat 4 < Seat 3)

*: 한국표준과학연구원/음향,진동그룹

** : 한국과학기술원 기계공학과

3. 승차감 평가 인자

인체와 의자의 접촉부를 통해 인체로 전달되는 진동 성분의 주파수와 그 진동 성분의 전달 축방향에 대해서 인체가 느끼는 인지(Perception) 정도는 다르다. 피폭되는 주파수 성분 및 부위 별 인지 정도를 등가화(equivalent)한 것^[2]이 주파수 가중함수(frequency weighting function)와 축방향 보정치

$$r.m.s.component = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_w^2(i) \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$VDV_{component} = \left[\frac{T_s}{N} \sum_{i=1}^N a_w^4(i) \right]^{1/4} \quad (2)$$

를 이용하여 인체와 의자 접촉 부위별 요소 승차감 값(component ride value)을 추정한다. 여기에서, N는 샘플 데이터 수(number of sampled data), T_s는 진동 측정 시간(vibration measurement duration), a_w

(axis multiplying factor)이다. 본 연구에서는 12축 인체 피폭 진동 측정 장치로 측정한 가속도에 BS 6841^[3]에서 제시된 주파수 가중함수와 축방향 보정치를 이용하여 가중화된 가속도(weighted acceleration) a_w를 우선 구한다^[4]. 이렇게 각 측정 축별 가중화된 진동 신호로부터, 두가지 진폭 분석법(amplitude analysis method)^[2]인 r.m.s.(root-mean-square)와 VDV(Vibration dose value), 즉,

(i)는 가중된 가속도(weighted acceleration)의 진폭을 나타낸다. 접촉 부위별 진동 성분의 복합적인 영향 인자인 전체 승차감 값(overall ride value)은 r.m.s.와 VDV의 분석법에 따라 다음과 같이 구한다.

$$r.m.s.overall = \left[\sum r.m.s.^2_{component} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$VDV_{overall} = \left[\sum VDV^4_{component} \right]^{1/4} \quad (4)$$

위와 같이 추정된 요소 및 전체 승차감 값은 다음 절에서 소개할 의자류의 종합적 승차감 평가 및 의자류의 진동 특성 분석에 핵심적 역할을 한다.

4. 실험 결과 분석 및 토의

4.1 인체 접촉부의 진동 승차감 분석

인간이 처음 발견한 운송 수단들의 의자는 나무 혹은 강재로 만들어진 강체 의자(rigid seat)였다. 현재 국내외적으로 사용중인 자동차 의자(automotive seat)는 진동학적으로 초기 강체 의자와 어떠한 점에서 차이를 보일까? 본 연구 초기에 자동차의 고급화를 좌우하는 중요 인자인 진동 승차감 평가치에 대하여 자동차 의자가 강체 의자 보다 뚜렷한 개선

점을 보일 것이라 생각하였다. 그러나, 위의 의문점에 대한 실험 결과가 아직 국내에서 보고된 바가 없는 실정이다. 본 절에서는 5종의 자동차 의자에 대한 4가지의 한국인 체위별 실험 결과 소개와 더불어 위의 의문점에 대한 구체적 결과를 제시한다.

강체 의자에 앉은 경우, 인체 접촉부 진동 성분은 가진대(Vibration table)의 진동과 동일하게 된다. 즉, 인체 접촉부인 발, 엉덩이 그리고 등 부위의 (x,y,z)-3축의 피폭 진동 성분은 가진대의 (x,y,z)-3축 진동과 같게 된다. 이러한 가정에 따라 식 (1) ~ (4)를 이용하여 강체 의자의 승차감 값을 환산하였다. 이러한 결과를 실제 5종의 자동차 의자 체위별 승차감 값과 비교를 한다. 강체 의자와 실제 의자의 승차감 값의 개선 정도를 비교하기 위하여 다음과 같은 백분율 환산치를 이용한다

$$\text{Percentage variation}(\%) = \frac{RV_{\text{automotive seat}} - RV_{\text{rigid seat}}}{RV_{\text{rigid seat}}} \times 100 \quad (5)$$

여기서, RV는 승차감 값 (Ride value)를 의미하며 아래 첨자는 의자류의 특성을 나타낸다. 우선 의자 1번 (Seat 1)의 인체 접촉 부위별 요소 승차감 값의 변화를 Fig. 2는 보이고 있다.

우선, 엉덩이 부위의 x축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 강체 의자인 경우에 비해 실효치(r.m.s.)에 대하여는 25~28%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 25~28% 정도 줄어들며, 그리고, 엉덩이 부위의 y축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값 또한 강체 의자인 경우에 비해 실효치(r.m.s.)에 대하여는 10~16%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 10~16% 정도로 줄어드는, 즉 승차감이 개선되고 있음을 보였다. 또한, 등 부위의 x축 방향 진동 성분의 요소 승차감 값이 강체 의자인 경우에 비해 실효치(r.m.s.)에 대하여는 25~47%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 24~47% 정도 줄어들며, 등 부위의 y축 방향의 진동

성분의 요소 승차감 값이 강체 의자인 경우에 비해 실효치(r.m.s.)에 대하여는 0~13%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 0~13% 정도로 각각 줄어드는, 즉, 승차감 개선이 확인된다. 이와는 달리, 자동차 의자의 엉덩이와 등 부위의 z축 방향의 요소 승차감 값이 강체 의자의 결과에 비해 증가되는, 즉, 강체 의자보다 자동차용 의자에서 인체 피폭 진동량이 증가하고 있다. 엉덩이 부위의 z축 방향의 요소 승차감 값이 강체 의자에 비해 실효치(r.m.s.)에 대하여는 23~29%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 24~30% 정도 증가한다. 또한, 등 부위의 z축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 강체 의자인 경우에 비해 실효치(r.m.s.)에 대하여는 38~43%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 38~42% 정도 증가한다. 이러한 피폭 진동량의 증가는 승차감의 직접적인 저하를 초래하게 된다.

Table 2. Comparison of overall ride values of automotive seats to rigid seat ($T_s=81.92\text{sec}$)

Test seat / Test person		r.m.s.-overall(m/s^2)			VDV _{overall} ($\text{m/s}^{1.75}$)		
		Rigid seat	Automotive seat	percentage variation(%)	Rigid seat	Automotive seat	percentage variation(%)
Seat 1	Person 1	0.69	0.75	+ 8.7	2.22	2.69	+21.2
	Person 2	0.72	0.80	+11.1	2.33	2.94	+26.2
	Person 3	0.69	0.77	+11.6	2.29	2.82	+23.1
	Person 4	0.69	0.77	+11.6	2.21	2.76	+24.9
Seat 2	Person 1	0.72	0.81	+12.5	2.32	2.95	+27.2
	Person 2	0.71	0.77	+ 8.5	2.31	2.77	+19.9
	Person 3	0.72	0.89	+23.6	2.36	3.24	+37.3
	Person 4	0.72	0.80	+11.1	2.35	2.85	+21.3
Seat 3	Person 1	0.72	0.96	+33.3	2.34	3.56	+52.1
	Person 2	0.71	0.94	+32.4	2.29	3.42	+49.3
	Person 3	0.73	0.96	+31.5	2.36	3.56	+50.8
	Person 4	0.70	0.90	+28.6	2.26	3.28	+45.1
Seat 4	Person 1	0.70	0.95	+35.7	2.27	3.48	+53.3
	Person 2	0.72	0.85	+18.1	2.31	3.06	+32.5
	Person 3	0.70	0.88	+25.7	2.27	3.22	+41.9
	Person 4	0.73	0.88	+20.5	2.35	3.21	+36.6
Seat 5	Person 1	0.69	0.73	+ 5.8	2.18	2.61	+19.7
	Person 2	0.70	0.82	+17.1	2.24	2.98	+33.0
	Person 3	0.70	0.80	+14.3	2.23	2.90	+30.0
	Person 4	0.69	0.81	+17.4	2.20	2.97	+35.0

요약하면, 자동차 의자는 강체 의자에 비해 인체와

의자의 접촉 부 중 엉덩이 부위의 x축, y축과 등 부

위의 x축, y축에 대해서는 인체로 전달되는 진동을 줄여주는 반면에, 엉덩이 부위의 z축과 등 부위의 z축에 대해서는 인체로 전달되는 진동을 오히려 증가시키고 있다는 점을 알 수 있다. 이러한 사실은 실험한 의자들에 대한 승차감 향상은 일차적으로 엉덩이 및 등 부위의 z축 방향의 진동 전달 특성 개선만으로도 가능하리라 사료된다.

인체와 의자의 접촉부를 통해 인체로 전달되는 요소 진동 성분들의 복합적인 평가치인 전체 승차감 값(overall ride value)에 대한 분석 결과는 Table 2와 같다. 본 연구에서 실험한 모든 의자는 강체 의자에 비해 전체 진동 승차감 값이 증가되고 있다는 매우 놀라운 사실을 확인하였다. 그 증가 정도는 실효치(r.m.s.)에 대하여는 5~36%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 20~54% 정도로 각각 증가되고 있음을 보이고 있다. 이러한 전체 승차감 값의 증가 즉, 실제 승차감의 저하는 인체와 의자의 접촉부 중 엉덩이 및 등 부위의 z축 방향의 요소 승차감 값의 증가에 기인하고 있다는 점을 확인하였다. 그리고, 본 연구에서

는 고려하지 않았지만, 엉덩이 부위의 회전 가속도 성분에 의해 자동차 의자의 전체 승차감 값은 Table 2에 보인 전체 승차감 값보다 10~15% 정도 더 증가하게 된다.

4.2 Seat의 Z 축 진동 전달 특성

본 연구에서 실험한 자동차 의자의 엉덩이 z축 방향 요소 승차감 값이 전체 승차감 값에 가장 주된 영향을 미치는 인자라는 사실을 앞서 소개하였다. 이러한 엉덩이 부위의 z축 방향 진동 증가 원인을 규명하기 위하여 의자의 엉덩이 부위의 z축 방향의 주파수 전달 특성(Frequency response), 즉, 가진대의 z축 입력에 대한 의자 엉덩이 부 z축의 출력 주파수 응답 특성 분석을 하였다. 시험 의자 및 체형별 진동 전달 주파수 특성은 Table 3와 같다.

Table 3. Resonant frequencies about Hip z-axis of automotive seats

Test Seat / Test Person		First Resonance		Second Resonance	
		$f_n(\text{Hz})$	Gain($\text{ms}^{-2}/\text{ms}^{-2}$)	$f_n(\text{Hz})$	Gain($\text{ms}^{-2}/\text{ms}^{-2}$)
Seat 1	Person 1	4.2	2.1	9.4	2.0
	Person 2	4.4	1.9	9.4	2.1
	Person 3	4.7	2.0	9.5	1.9
	Person 4	4.8	2.1	9.4	1.9
Seat 2	Person 1	4.3	2.2	7.1	1.9
	Person 2	4.4	2.3	8.5	1.8
	Person 3	4.5	2.3	9.3	2.2
	Person 4	4.3	2.3	8.1	1.8
Seat 3	Person 1	4.0	1.7	7.9	2.2
	Person 2	4.1	1.6	9.4	2.8
	Person 3	4.7	1.7	9.8	2.4
	Person 4	4.2	1.7	9.1	2.3
Seat 4	Person 1	4.2	1.9	8.5	2.1
	Person 2	5.1	2.1	10.0	2.0
	Person 3	4.9	2.0	9.8	2.2
	Person 4	4.2	2.1	9.7	2.0
Seat 5	Person 1	4.5	2.0	8.9	1.7
	Person 2	3.9	2.0	8.8	2.6
	Person 3	4.6	1.9	11.2	2.0
	Person 4	4.0	2.2	8.6	2.5

영덩이 부위의 z축 방향의 진동 전달 특성은 4~5 Hz 부근과 8~11 Hz 부근에서 2 개의 공진 주파수가 존재함을 확인할 수 있었다. 그리고, 8~11 Hz 부근의 2차 공진에 의한 진동 전달 이득율이 Seat 3을 제외한 4 가지 의자에 대하여 4~5 Hz 부근의 1차 공진 이득율 보다 높거나 같다는 또 하나의 흥미로운 사실을 확인하였다. Seat 3의 경우 1차 공진에서 약간 높은 이득율을 보인다. 이러한 결과는, 1차 공진 성분만의 진동 특성 평가에 기반을 두고 있는 기존 의자 진동 전달 특성 시험^[2]은 한계점을 갖고 있다는 점을 이해할 수 있게 한다. 즉, 1차 공진과 함께 2 차 공진 또한 인체의 반응이 매우 민감한 영덩이 부위의 z축 방향의 주파수 대역인 0.5 ~ 16 Hz 내에 포함되고 있기 때문에, 2차 공진 주파수의 영향도 1차 공진 주파수의 영향 못지않게 승차감에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 2개의 공진 주파수 중 1차 공진 주파수는 자동차 의자류의 영덩이 부위의 z축 방향의 병진 진동의 영향이며, 2차 공진 주파수는 영덩이 부위의 y축 방향의 회전 진동 즉 pitch 성분의 영향인 것으로 사료된다. 두 공진 주파수 영역에서 1.0 보다 큰 진동 전달 이득율 때문에, 강체 의자에 비해 자동차 의자에 인체가 앉아 있는 경우 인체로 전달되는 진동량이 더 커져 인체의 승차감이 저하되는 것으로 판단된다.

4. 결 론

5 가지의 차량용 의자로 부터 4 사람의 인체 접촉부 로 피폭되는 12 축 진동의 측정 및 분석 결과를 본 논문에서 소개하고 있다. 이러한 실험 결과는 자동차 의자에 앉아 있는 경우가 강체 의자 보다 인체로 전달되는 피폭 진동량이 10 ~ 30 % 정도 증가하는

즉 승차감이 감소하고 있다는 놀라운 사실을 확인하였다. 이같은 승차감 저하는 전체 승차감 값의 35~40 % 정도를 차지하는 의자의 영덩이 및 등 부위 z축 방향의 진동 성분의 증대에 기인하고 있음을 확인하였다. 따라서, 실험한 자동차 의자의 영덩이 및 등 부위 z축 방향만의 진동 전달율의 저감만으로도 탑승자의 승차감을 보다 증대시킬 수 있다고 판단된다. 사실, 자동차 의자에 앉아 있는 경우가 강체 의자 보다 인체로 전달되는 피폭 진동량 증대하고 있다는 실험 결과는 국내 차량용 의자류의 제조사 및 관련 업계의 기술 수준의 현 주소를 의미할 수 있다. 이러한 결과는 본 연구팀과 더불어 진동 관련 분야 종사자들이 향후 수행 과제들을 또한 의미할 수 도 있다.

참 고 문 헌

- [1] 정 완섭 외 3 인, " 12 축 인체 피폭 진동 측정장치 개발. " 한국소음진동공학회 1996 년도 춘계학술 대회 논문집 pp. 25~28.
- [2] M. J. Griffin, 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- [3] British Standard Institute 1987, BS 6841. " Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock. ", 2 Park Street, London W1A 2BS, U.K.
- [4] W. S. Cheung, D. H. Lee, C. H. Hwang, H. D. Nam, 1996, " Issues in Weighting Functions for the Assessment of Exposed Whole-Body Vibration. ", Proceedings of Inter-Noise 96. Book 4, pp. 1749~1752.

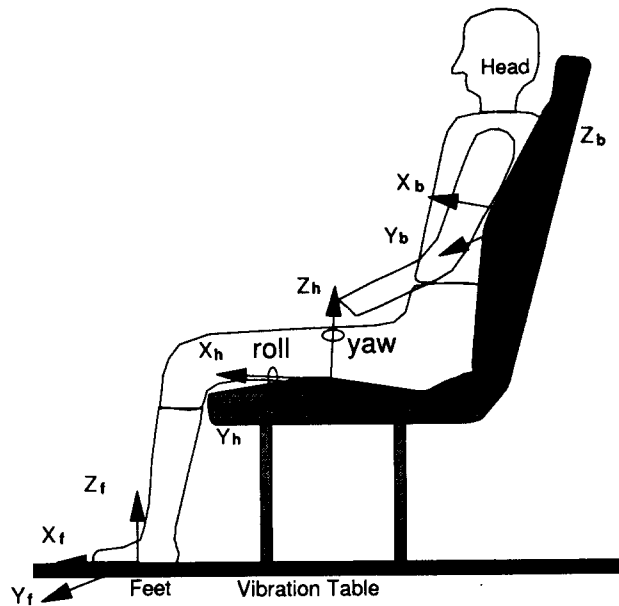


Fig 1. 12-axis whole-body vibration measurement system and seated whole-body

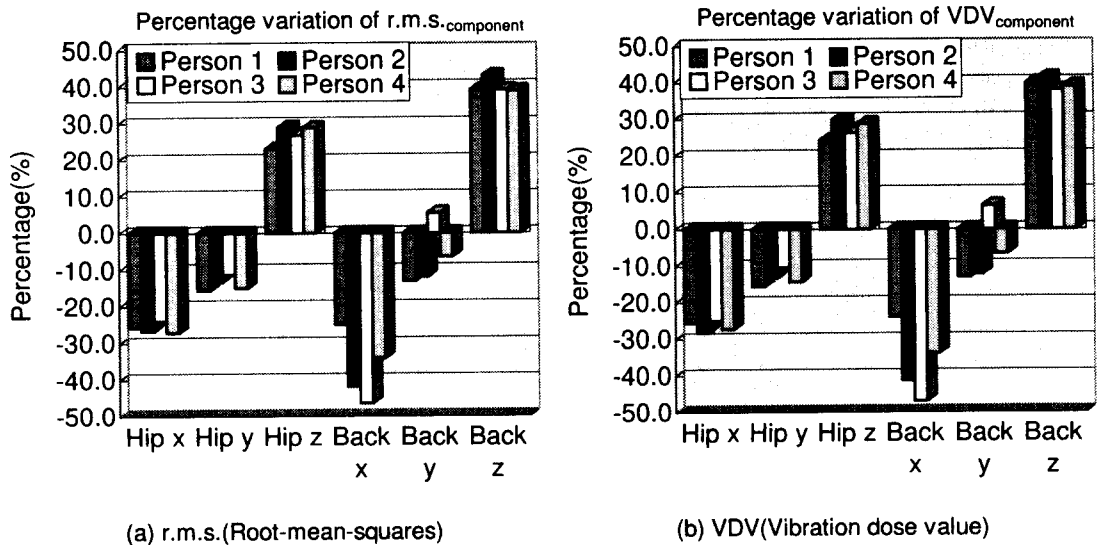


Fig. 2 Percentage variation of component ride values in case of sample seat 1 ($T_s=81.92\text{sec}$).