

<논 문>

동시 3축 가진에 의한 자동차 의자류의 승차감 평가

Ride Quality Assessment of Automotive Seats by Simultaneous 3-Axis Excitation

정완섭* · 우춘규** · 박세진* · 김수현*

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

(1996년 10월 25일 접수 ; 1996년 12월 19일 심사완료)

Key Words : Exposed Whole-body Vibration(전신피폭진동), Ride Quality(승차감), Component Ride Value(요소 승차감값), Overall Ride Value(전체 승차감값), Frequency Weighting Function(주파수 가중함수)

ABSTRACT

This paper introduces experimental results of the ride quality characteristics of automotive seats fixed on the vibration table that is moving simultaneously to the three-axis in a similar way to the real running condition. Vibration experiment was carried out for five different automotive seats and four Korean individuals. The assessment of the ride quality characteristics for each seat and individual was made not only from the analysis of vibration measurements but also from the evaluation of weighted vibration signals, which were obtained using the frequency weighting function and the multiplication factor dependent on the position and axis of vibration exposure to whole-body. The usefulness of those assessment results in analysis of the ride quality of seats is discussed and their limitation is also pointed out in this paper.

1. 서 론

주행시 자동차 승차감 관련 진동 인자는 도로 면에 접촉한 타이어, 차체와 타이어를 연결하는 현가 장치, 그리고 차체에 사람을 지지하는 의자로 구분할 수 있다. 이들 세개 요소들의 복합적 진동에 의한 승차감 기여도의 정량적 연구는 아직 국내외적으로 보고되지 않고 있다. 미국 자동차 관련 승차감 평가 현황에 대한 Amiroche교수⁽¹⁾의 지적과 같이, 타이어 업계는 타이어만을, 현가 장치 업계는 현가 장치만을, 그리고 차량용 의자 업계는 의자만에 국한된 분야별 연구만을 수행해오고 있을 뿐 종합적 평가에 대한 시도는 아직 실행되지 못하고 있는 실

정이다. 국내의 자동차 관련업계의 관련 연구는 두 대기업이 주도하고 있는 타이어만 국한될 뿐, 현가 장치 및 의자류에 대한 승차감 평가 관련 연구는 매우 미흡한 실정이다. 국내의 자동차 관련 업계의 관련 연구는 두 대기업이 주도하고 있는 타이어에만 국한될 뿐, 현가 장치 및 의자류에 대한 승차감 평가 관련 연구는 매우 미흡한 실정이다. 이같이 미개척 분야의 하나인 자동차 의자류의 승차감에 대한 최근 연구 결과를 본 논문에서 소개하고자 한다.

승용차용 의자류의 승차감에 대한 실험적 평가는 기본적으로 인체 접촉부의 피폭 진동량의 측정장치 개발^(2, 3)과 더불어, 접촉 부분별 진동량의 상대적 기여도 산출 및 각 접촉 부분별 피폭 진동 신호의 주파수 성분별 가중효과를 복합적으로 고려할 수 있는 평가 기법의 개발^(2, 4)이 필수적으로 수반된다. 금번 연구에서 개발한 인체 접촉부의 피폭 진동량 측정 장치 및 평가 기법을 2절과 3절에서 각각 소개한다.

*정회원, 한국표준과학연구원 음향진동 그룹

**한국과학기술원 기계공학과

그리고, 본 장치와 평가 기법을 이용하여 5종류의 의자와 4가지의 한국인 체형별 인체 피폭 진동의 특성 및 이들에 대한 승차감의 평가 결과를 4장에서 비교 분석한다. 끝으로, 5절에서 본 연구에서 얻은 결과 요약과 더불어 한계점 및 향후 연구 내용을 제시한다.

2. 실험 장치

본 연구에서 이용한 실험 장치는 Fig. 1과 같이 의자에 인위적 진동을 인가하는 가진기(vibration exciter)와 사람의 전신에 피폭되는 진동량을 측정하기 위한 장치(전신 피폭진동 측정장치)로 구성하였다. 가진기는 6축을 동시에 인가할 수 있는 MTS사의 6축 가진기(6-Axis seismic exciter)를 이용하여, 가진기가 전후, 좌우 및 상하 방향의 3축 동시 가진 조건을 설정하였다. 가진기 입력신호는 주파수 범위가 0.1~31.5 Hz인 대역폭 백색 잡음(band-limited white noise) 신호를 사용하여 가진기를 구동하였다. 시험용 의자는 가진대와 의자가 동일한 운동을 하는 강체조건(rigid-body condition)이 되도록 설치했다.

사람이 자동차용 의자에 앉은 경우, 가진대의 진동은 Fig. 2와 같이 발, 엉덩이, 그리고 등 부위의 접촉부를 통하여 인체로 피폭된다. 이러한 피폭부로 전달되는 진동 성분들 즉, 발 부위의 3축 진동, 엉덩이 부위의 6축(병진 3축과 회전 3축) 진동, 그리고 등 부위 3축 진동을 각각 정밀하게 동시 측정하기 위하여 12축 인체 피폭진동 측정장치⁽³⁾를 사용하였다. 본 장치의 진동 측정부는 발 부위의 피폭진동 측정을 위한 3축 Servo 가속도 센서(Columbia

Research Model : SA-307TX)가 설치된 Feet pad, 엉덩이 부위의 피폭진동을 측정하기 위한 3축 Servo 가속도 센서(Columbia Research Model : SA-307TX)와 Roll, pitch, yaw 성분의 각 가속도를 측정하기 위한 3개의 각 속도 센서(Columbia Research Model : SR-207HP)가 각각 설치된 Hip pad, 그리고 등 접촉부의 피폭 진동 측정용 초소형 반도체 Bridge형 3축 가속도계(Entran EGCS-A-10)가 설치된 Back pad로 구성되어 있다. 이러한 측정 장치의 구성은 영국의 표준안 BS 6841(1987)에서 현재 채택하고 있으며, 이는 ISVR의 Griffin 교수가 개발한 것으로 "Griffin 12 자유도계" 혹은 "ISVR 12 자유도계"라 한다. 이는 특히 유럽, 미국, 일본의 자동차 관련 업계에 가장 일반화된 인체 피폭진동 측정기법으로 활용되고 있으며, 향후 국제 표준안(ISO)로도 채택될 예정으로 있다.

3. 승차감 평가의 일반적 사항

인체 피폭 진동량의 크기에 따라 인간에 미치는 영향을 국제표준규격(ISO 2631)에 명시된 바와 같이 세가지 범주로 구분된다. 즉, 인간의 인지 레벨(perception level) 이상의 진동 성분은 일차적으로 안락도(comfort)의 손실을 야기하며, 안락도 한계 이상의 진동 성분은 정상 활동성(normal activity) 및 작업효율(proficiency) 저해를 초래하며, 이보다 더 가혹한 진동 성분은 건강과 안전(health and

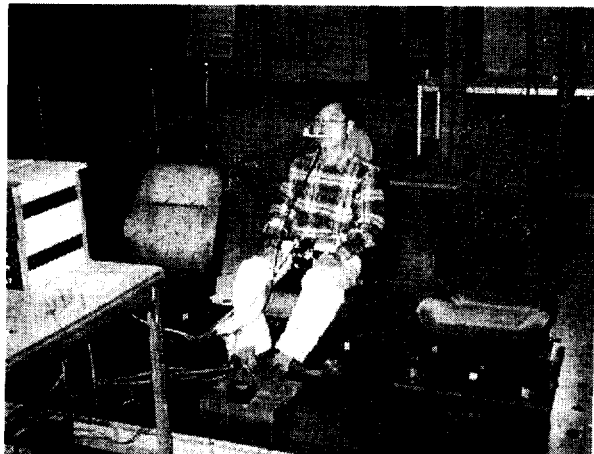


Fig. 1 Experimental setup.

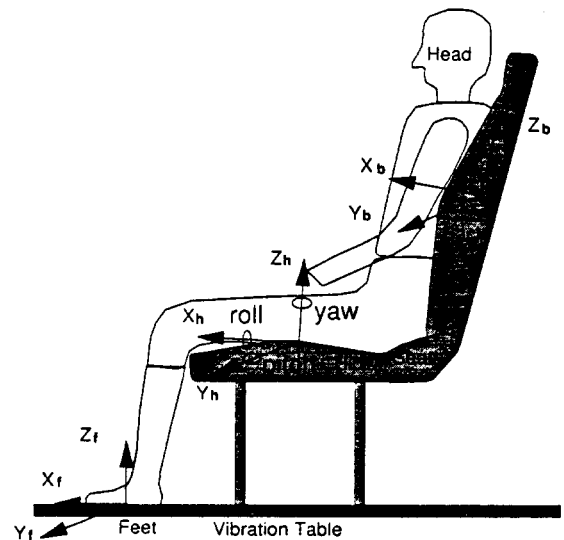


Fig. 2 Schematic configuration for measurement of whole-body vibration exposed from the body contact area.

safety)을 침해하게 된다. 특히, 본 연구에서 다루고 있는 자동차 의자류는 소비자의 안락도를 극대화하기 위한 기계 요소이다. 의자류의 진동에 대한 안락도를 승차감(ride quality)이라 하며, 이를 두 가지의 정량적 값으로 표시할 수 있다. 첫번째가 의자의 한 부위에서 측정된 진동 신호의 실효치(root mean squares, r.m.s.)이며, 이는 다음과 같이 정의된다.

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

여기서 $a(i)$ 는 i 번째 진동 측정치(가속도)의 진폭이며, N 는 채취된 진동 신호의 총 개수이다. 그리고 아래 첨자 'component'는 12가지 측정 진동 성분의 색인을 의미한다. 진동량의 단순 크기를 나타내는 실효치와는 달리, 인체 피폭 진동의 누적량을 고려한 진동 피폭량(vibration dose value, VDV)으로 승차감에 관련된 안락도를 평가하고 있다.

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

여기서, T_s 는 진동 측정 시간이다. 진동 피폭량은 진폭의 4승 평방근으로 정의되며, 이는 진동 진폭 a 와 노출 시간 T 의 관계를 나타내는 4승의 법칙⁽²⁾, 즉, " $a^4 \cdot T = \text{일정하다}$ "는 실험적 결과에 근거를 두고 있다.

실제 도로 주행시, 피폭되는 진동은 단축 혹은 한정된 축 방향의 진동이기는 하지만 접촉 부분의 모든 축 방향의 진동 성분이 복합적이고도 동시적으로 탑승자로 전달된다. 따라서, 앞서 2절의 실험 장치에서 소개한 바와 같이 발, 엉덩이, 등 부위로 구성된 인체 피폭진동을 각각 측정하며, 이들 측정 부위에서 3축의 병진 및 회전 진동 성분을 동시에 측정한다. 이러한 다축 진동 피폭량 측정 장치는, Griffin 교수가 지난 과반세기 동안의 실험적 연구⁽²⁾에서 밝힌 바와 같이 각 부위의 개별적 진동량 크기의 비교에 의한 요소 승차감(component ride quality) 분석뿐만 아니라, 각각의 요소 승차감 결과를 취합한 전체 승차감(overall ride quality) 분석 또한 가능하게 한다. 특히, 각 부위별 승차감의 정도를 나타내는 요소 승차감 값은 식 (1)과 (2)의 실효치 혹은 진동 피폭량으로 정의하며, 요소 승차감 값은 의자류의 진동 전달 특성의 부위별/측정 축별 전체 승차감의 상대적 기여도를 이해하는데 매우 유용한 지표로 본 연구에서는 활용한다. 그리고, 임의의 의자에 대한 종합적 승차감 평가치인, 전체 승차감 값은 요소 승

차감을 정의하는 방법에 따라 다르게 환산한다. 실효치로 정의할 경우는 다음과 같이 각 요소 승차감 값의 제곱 합의 2승근(root-sums-of-squares)으로 전체 승차감 값을 정의한다.

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

그리고, 진동 피폭량으로 정의할 경우는 요소 승차감 값의 4승합의 4승근으로 전체 승차감 값을 정의한다.

$$VDV_{overall} = (\sum VDV_{component}^4)^{1/4} \quad (4)$$

본 연구에서는 요소 승차감 값과 전체 승차감 값으로 실효치와 진동 피폭량을 함께 이용하여 자동차 의자류의 승차감에 대한 실험적 결과를 비교 분석한다.

4. 실험적 승차감 분석 결과 및 토의

4.1 단순 물리량적 평가 결과와 한계점

본 연구에서는 기존의 단축(z 축) 혹은 두축(z 축과 x 축 혹은 y 축) 가진에 의한 자동차 의자류의 승차감 평가 연구들⁽²⁾과는 달리, 실제 도로주행 상황과 유사한 3축 동시 가진(3-axis simultaneous excitation)에 의한 5개의 의자와 4사람의 한국인에 대한 실험을 수행하였다. Table 1에 나타난 바와 같이 평가 대상용 의자는 4개의 국산과 1개의 외국산 의자이다.

자동차 의자류의 승차감 평가에서 가장 기본적인 사실은 가능한한 적은 진동량이 인체 접촉부로 전달될 경우 진동에 의한 안락감은 보다 증대할 것이라는 점이다. 이는 인체와 의자의 접촉부에서 측정된 각각의 요소 승차감 값을 비교 분석함으로써 의자류의 상대적 승차감 평가가 가능하다. 따라서, 5종의 시험용 의자로부터 인체로 전달되는 진동 성분의 단순 물리량에 의한 진동특성의 평가 결과를 본 절에서 소개한다.

Table 2는 시험용 의자 1에 대해 앞서 소개한 r.m.s.법과 VDV법에 의한 가진대와 인체 접촉부의 요소 승차감 값과 승차감 값을 나타낸 것이다.

우선, 피폭되는 진동량의 감소 즉, 승차감 개선을 보인 축은 인체 접촉부의 x 와 y 축임을 알 수 있다. 가진대의 x 축 방향의 진동 성분에 대해 엉덩이 부위의 x 축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 8~12%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 8~14% 정도 진동이 줄어드는, 즉 승차감이 증대됨을 알 수 있다. 그리고, 가진대의 x 축 방향의 진동 성분에 대해 등 부위의 x 축 방향의 진

Table 1 Specification of test seats and individuals.

Test seat	Test persn(weight, height)
Seat 1*	Person 1(78kg, 178cm)
Seat 2**	Person 2(63kg, 169cm)
Seat 3*	Person 3(55kg, 169cm)
Seat 4*	Person 4(68kg, 180cm)
Seat 5*

Note 1: * Sample seat under development, ** Imported seat
 2: Hardness(Seat 1 < Seat 4 < Seat 3)

Table 2 Comparison of vibration ride values assessed only from vibration measurements
 (Sample seat 1, $T_s=81.92$ sec)

Component ride values / Test person		Vibration ride values										
		Vibration table					Contact area between seat and whole-body					
		Feet			Overall	Hip			Back			Overall
		x	y	z		x	y	z	x	y	z	
r.m.s. (m/s ²)	1	0.68	1.35	0.75	1.69	0.60	0.59	0.78	0.39	0.90	1.28	1.98
	2	0.73	1.32	0.67	1.65	0.67	0.78	0.87	0.33	1.03	1.29	2.16
	3	0.68	1.35	0.74	1.68	0.74	0.72	0.83	0.27	1.50	1.22	2.36
	4	0.68	1.34	0.75	1.68	0.60	0.69	0.83	0.34	1.18	1.26	2.15
r.m.s. (m/s ^{1.75})	1	2.66	5.31	2.30	5.44	2.30	2.35	3.11	1.54	3.59	5.08	5.61
	2	2.89	5.18	3.14	5.46	2.64	3.09	3.46	1.31	4.11	5.11	5.95
	3	2.72	5.30	3.09	5.53	2.90	2.90	3.30	1.08	5.90	4.88	6.72
	4	2.67	5.23	2.97	5.44	2.33	2.75	3.30	1.35	4.68	5.00	6.02

동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 42~61%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 42~61% 정도 진동이 줄어드는, 즉, 승차감이 증대됨을 알 수 있다. 또한, 가진대의 y축 방향의 진동 성분에 대해 엉덩이 부위의 y축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 40~57%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 40~56% 정도로 또한 줄어드는 것을 알 수 있다. 그리고, 가진대의 y축 방향의 진동 성분에 대해 등 부위의 y축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 11~34%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 10~33% 정도로 또한 줄어드는 것을 알 수 있다.

반면에, 피폭되는 진동량의 증가 즉, 승차감 저하를 보인 측은 인체 접촉부의 z축임을 알 수 있다. 가진대의 z축 방향의 진동 성분에 대해 엉덩이 부위

의 z축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 4~30%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 6~36% 정도 진동이 증가하는, 즉 승차감이 저하됨을 알 수 있다. 그리고, 가진대의 z축 방향의 진동 성분에 대해 등 부위의 z축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 65~93%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 58~121% 정도 진동이 증가함을 알 수 있다. 따라서, 가진대의 x축과 y축 방향의 진동 성분은 의자의 진동 감쇠 특성에 의해 승차감이 증대되는 반면에 가진대의 z축 방향의 진동 성분은 의자의 진동 증대 특성에 의해 승차감을 오히려 저하시키고 있다. 그리고, 가진대와 의자/인체 접촉부에 대한 각각의 진동 성분의 복합적인 영향 즉, 전체의 승차감 값은 실효치(r.m.s.)에 대해서는 17~40% 그리고 피폭 진동량(VDV)에 대해서는 3~22% 정도로 진동이 오

히려 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 전체 승차감 값의 증가 즉, 승차감의 저하는 의자와 인체 접촉부인 엉덩이 및 등 부위의 z축 방향의 진동 증가 때문으로 사료되며, 이러한 분석 결과로 부터 엉덩이 및 등 부위의 z축 진동 저감으로 개발 중인 자동차 의자류의 승차감이 보다 개선될 수 있다는 점을 이해할 수 있다.

자동차 의자의 종류에 따른 승차감의 차이점을 이해하기 위하여, 가진대의 전체 승차감 값에 대한 인체 접촉부의 전체 승차감 값의 차이의 백분율, 즉,

$$\text{Variation}(\%) = \frac{\text{ORV}_{\text{seat contact area}} - \text{ORV}_{\text{vibration table}}}{\text{ORV}_{\text{vibration table}}} \times 100 \quad (5)$$

를 본 연구에서 이용하였다. 위 식에서 ORV는 Overall Ride Value의 약어이며 아래 첨자는 피폭 진동의 측정 부위를 나타낸다. 아래 Table 3은 실험한 5가지의 자동차용 의자들에 대하여 전체 승차감 값의 상대적 증가 및 감소 특성을 나타내고 있다. 흥미롭게도 Table 3의 결과에서 의자에 의해 전체적으로 실효치(r.m.s.)에 대하여는 16~67%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 3~47% 정도 진동이 증가되어 인체로 피폭된다는 점을 확인할 수 있다. 진동만의 관점에서 볼 때, 본 실험에서 선택된 자동차용 의자는 승차감을 증대시키지 못하고 있다는 놀라운 사실이 확인되었다. 위의 5가지 의자중 하나는 현재 국내에서 시판되는 자동차용 의자라는 점에서 국내 의자 제조사와 자동차 업계의 승차감 관련 기술에 대한 현 주소를 의미할 수도 있다.

본 절에서 엉덩이 부위에서 측정된 회전 가속도 3축에 대한 실험치를 승차감의 비교 평가에 활용하지 않고 있다. 병진 가속도 성분과는 다른 물리적 단위를 갖는 회전 가속도 성분들의 단순 물리양적 비교에 의한 승차감의 기여도를 비교할 수 있는 논리적 방법을 본 논문의 저자는 아직 모르고 있기 때문이다. 그리고, 본 절에서 소개된 승차감 값들의 비교는 피폭되는 부위 및 진동 주파수 성분에 따른 사람의 인지 과정을 전혀 고려하지 않고, 단순히 진동 성분의 물리량적인 측면만을 고려하고 있다는 한계점이 있다.

4.2 인체 감응 특성에 의한 승차감 평가 결과

국제표준규격(ISO 2631과 8041), BS규격(BS 6841)에 제시된 바에 의하면 의자와 인체의 접촉부의 위치 및 방향과 피폭 진동의 주파수 성분에 따라 인체는 다른 인지 정도를 보인다고 기록하고있다. 즉, 동일한 진동량에 대하여 피폭 부위가 다르면 사람의 인지 정도는 다르며, 한 접촉부에 대하여 동일한 진동량을 다른 축 방향으로 가하면 그 양의 인지 정도 또한 다르며, 그리고, 동일한 진동 레벨일지라도 주파수 성분이 다르면 사람의 인지 정도는 다르다는 점이다. 이렇게 접촉부의 위치 및 축 방향에 대한 상대적 인지정도를 수치화한 인자를 축 방향 보정치(axis multiplying factor)라 하며 진동 성분의 주파수에 따른 인체가 느끼는 정도를 등가화한 것을 주파수 가중 함수(frequency weighting function)라 한다. 국제표준규격과 BS규격에 제시된 축 방향 보정치와 주파수 가중함수는 Table 4와 Fig. 3

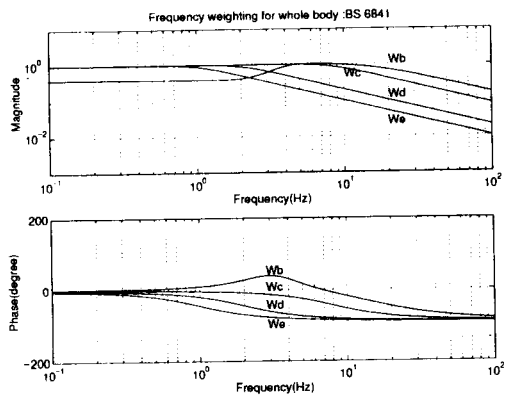
Table 3 Percentage variation of overall ride values on the vibration table and seats ($T_s=81.92\text{sec}$)

Component ride value / Test person		Percentage variation of overall ride values between vibration table and automotive seat				
		Seat 1 (%)	Seat 2 (%)	Seat 3 (%)	Seat 4 (%)	Seat 5 (%)
r.m.s.	Person 1	17.2	22.6	26.9	28.4	16.8
	Person 2	30.3	31.0	30.4	28.7	43.0
	Person 3	39.9	66.7	45.9	45.0	61.1
	Person 4	28.0	45.3	45.2	40.2	55.5
VDV	Person 1	3.1	7.5	9.0	6.4	-0.2
	Person 2	9.0	19.7	10.7	9.7	23.4
	Person 3	21.5	46.3	26.6	24.5	41.6
	Person 4	10.7	29.3	26.1	24.3	39.5

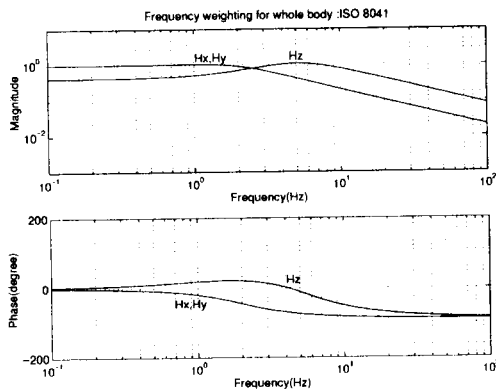
Table 4 Comparison of frequency weighting functions and axis multiplying factors in BS 6841 and ISO 8041.

Acceleration time history (m/s ²)	Frequency weighting function (BS 6841)		Frequency weighting function (ISO 8041)	
	Symbol	Axis multiplying factor	Symbol	Axis multiplying factor
Feet $x(a_{xf})$	W_b	0.25	none	none
Feet $y(a_{yf})$	W_b	0.25	none	none
Feet $z(a_{zf})$	W_b	0.40	none	none
Hip $x(a_{xs})$	W_d	1.00	H_x	1.40
Hip $y(a_{ys})$	W_d	1.00	H_y	1.40
Hip $z(a_{zs})$	W_d	1.00	H_z	1.00
Hip roll (a_{rx})	W_e	0.63	none	none
Hip pitch (a_{ry})	W_e	0.40	none	none
Hip yaw (a_{rz})	W_e	0.20	none	none
Back $x(a_{xb})$	W_c	0.80	none	none
Back $y(a_{yb})$	W_d	0.50	none	none
Back $z(a_{zb})$	W_d	0.40	none	none

Note: A word, "none", indicates that any specification is not available.



(a) Frequency weightings in BS 6841



(b) Frequency weightings in ISO 8041

Fig. 3 Frequency weighting functions in BS 6841 and ISO 8041.

과 같다.

인체 피폭부에 측정된 진동 신호에 대하여 축 방향 보정치는 등가적으로 전기적 감쇠기(attenuator)로, 그리고 주파수 가중 함수는 일종의 여과기(Filter)로 이해하면 매우 적절하리라 생각된다. 이는 접촉부의 12축 진동 측정 신호들에 대하여 각 축 방향 보정치와 주파수 가중 함수의 적용 방법의 이해를 용이하게 한다. 본 연구에서는 이러한 신호 처리 과정을 Fig. 4에 보인 바와 같이 FFT의 고속 연산기법^(4, 5)을 이용하여 수행하였다. 인체 피폭부의 단순 물리량인 진동 신호 $a(i)$ 는 이러한 절차를 거쳐 측정 부의 및 측정 축에 따른 축 방향 보정과 주파수 성분별 가중효과를 고려한 신호 $a_w(i)$ 로 변환된다.

앞서 4.1절에서의 단순 물리량을 직접 이용한 방법과는 달리, 본 절에서는 Fig. 4와 같이 가중화된 신호(weighted signal) $a_w(i)$ 를 이용하여 식 (1)과 (2)에 정의된 실효치(r.m.s.) 및 피폭 진동량(VDV)을 계산하여 자동차 의자류의 승차감을 분석한다. 이와 같이 가중화된 승차감 값들은 4.1절의 단순 물리량적 한계점을 극복할 수 있게 한다. 우선, 엉덩이 부위의 회전 가속도 성분에 대한 승차감의 기여도 해석이 단순 물리량적 비교에서는 불가능하였지만, Table 4의 회전 가속도 성분에 해당되는 축방향

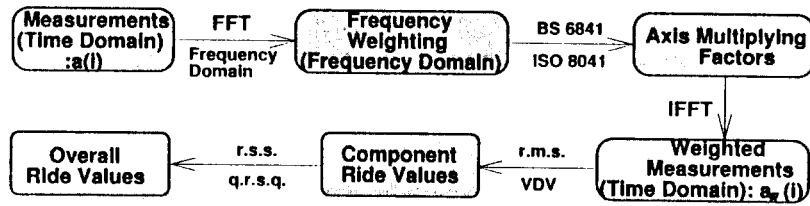


Fig. 4 Signal processing scheme of applying frequency weighting and axis multiplying factor to measured vibration signal (r.s.s.: root-sums-of-squares, q.r.s.q.: quad-root-sums-of-quad).

보정치와 주파수 가중 함수를 이용하여 회전 가속도 성분의 승차감 기여에 대한 정량적 분석을 가능하게 한다. 그리고, 축방향 보정치와 주파수 가중 함수는 사람의 피폭 부위별 느끼는 인지 정도를 정량화할 수 있는 방법을 제공함을 알 수 있다. 따라서, 가중화된 승차감 값들은 단순 물리량적 비교에 따른 승차감의 평가 결과와 어떠한 차이점을 보이는지 본절에서 살펴보기로 한다.

시험용 의자 1에 대하여 가진대와 인체 접촉부의 요소 승차감 값과 전체 승차감 값은 Table 5에 나타나 있다.

우선, 인체 접촉부의 진동량이 감소 즉, 승차감이 개선되는 부위는 아래와 같다. Table 5의 결과에서 가진대의 x축 방향의 진동 성분에 대해 엉덩이 부위의 x축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 7~8%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 5~7% 정도 감소를 보이고 있다. 또한, 가진대의 y축 방향의 진동 성분에 대해 엉덩이 부위의 y축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이

실효치(r.m.s.)에 대하여는 9~15%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 6~14% 정도 감소를 보인다. 그리고, 가진대의 y축 방향의 진동 성분에 대해 등 부위의 y축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 47~58%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 44~55% 정도 감소하고 있다. 그리고, 가진대의 z축 방향의 진동 성분에 대해 등 부위의 z축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 54~57%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 53~56% 정도 감소를 보였다.

이러한 피폭된 진동량의 감소와는 달리, 인체 접촉부의 진동량이 증가 즉, 승차감이 저하되는 부위는 아래와 같다. 가진대의 x축 방향의 진동 성분에 대해 등 부위의 x축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 30~67%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 27~82% 정도 오히려 증가를 보이고 있다. 그리고, 가진대의 z축 방향의 진동 성분에 대해 의자의 엉덩이 부위의 z축 방향의 진동 성분의 요소 승차감 값이 실효치(r.m.s.)에 대

Table 5 Comparison of vibration ride values assessed using the axis multiplying factors and frequency weighting functions (Seat 1, $T_s=81.92\text{sec}$)

Component ride values / Test person		Vibration ride values													
		Vibration table					Contact area between seat and whole-body								
		Feet			Overall	Hip						Back			Overall
		x	y	z		x	y	z	roll	pitch	yaw	x	y	z	
r.m.s. (m/s^2) or (rad/s^2)	1	0.13	0.21	0.22	0.33	0.12	0.18	0.67	0.10	0.12	0.01	0.22	0.09	0.10	0.77
	2	0.14	0.21	0.23	0.34	0.13	0.19	0.73	0.13	0.13	0.01	0.19	0.10	0.10	0.81
	3	0.13	0.21	0.22	0.33	0.13	0.19	0.70	0.15	0.12	0.02	0.17	0.11	0.10	0.79
	4	0.13	0.21	0.22	0.33	0.12	0.18	0.70	0.13	0.13	0.01	0.22	0.10	0.10	0.79
VDV ($\text{m/s}^{1.75}$) or ($\text{rad/s}^{1.75}$)	1	0.49	0.82	0.86	1.01	0.46	0.71	2.67	0.40	0.48	0.04	0.89	0.37	0.38	2.68
	2	0.53	0.81	0.91	1.04	0.50	0.76	2.95	0.53	0.53	0.06	0.74	0.38	0.42	2.96
	3	0.51	0.81	0.91	1.03	0.51	0.76	2.83	0.62	0.47	0.07	0.65	0.45	0.40	2.84
	4	0.50	0.81	0.86	1.01	0.47	0.72	2.77	0.53	0.49	0.04	0.79	0.39	0.38	2.78

하여는 204~219%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 210~225% 정도 급격한 증가를 보였다. 이러한 가속도 성분은 승차감을 저하시키는 주된 요소로 생각된다.

5가지의 실험용 의자들에 따른 4사람의 인체 접촉부(엉덩이와 등 부위)의 실효치(r.m.s.)와 피폭 진동량(VDV)에 따른 요소 승차감 값에 대한 종합적 평가 결과를 Fig. 5는 보이고 있다.

각각의 실험용 의자에 대하여 체형별 구분은 왼쪽부터 사람 1, 사람 2, 사람 3, 사람 4의 순으로 나타내었다. 막대의 높이는 엉덩이 부위의 6축과 등

부위의 3축에 대응되는 9가지의 요소 승차감 값으로 구성된 전체 승차감 값의 크기를 나타내며, 막대의 높이가 클수록 승차감은 저하됨을 의미한다. Fig. 5에서 승차감에 주된 영향을 미치는 5개의 진동 성분은 엉덩이 부위의 z축, y축, 등 부위의 x축, 발 부위의 y축, z축이며, 이중 엉덩이 부위의 z축 방향의 진동 성분이 전체 승차감에서 차지하는 비율이 약 30% 정도로 승차감에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다. 단순 물리량적 승차감 평가 결과(4.1절)에서는 고려할 수 없었던 엉덩이 부위의 회전 가속도 성분에 의해 인체로 피폭되는 진동량 만큼 전체적으로 진동량 증대 즉, 승차감의 저하에 회전 가속도 성분이 기여함을 알 수 있다. 회전 가속도 성분의 진동량이 전체 승차감 값에서 차지하는 비율이 10~15% 정도이며 이러한 회전 가속도 성분 중 yaw에 비해 roll과 pitch의 영향이 더 크다는 점 또한 알 수 있다. 이러한 분석 결과에 따라 실험한 의자들의 인체승차감을 등급화 하면 의자 1의 승차감이 가장 좋고 의자 3의 승차감이 가장 좋지 않은 것으로 평가됨을 확인할 수 있다. 이러한 사실은 Table 1의 승용차용 의자류의 엉덩이 부위의 강성에 대한 비교에서 알 수 있듯이, 강성이 높을수록 승차감이 좋지 않음을 말해준다.

5가지의 실험용 의자들에 대하여 4사람에 따른 가진대와 인체 접촉부 사이의 전체 승차감 값의 변화 즉, 식 (5)에 따른 인체 접촉부(엉덩이 및 등 부위)의 진동 증가 및 감소특성 분석의 결과를 Table 6으로 보이고 있다.

시험용 의자에 대해 의자/인체 접촉부 진동 성분의 전체 승차감 값이 가진대의 진동 성분의 전체 승차감 값에 비해 전체적으로 실효치(r.m.s.)에 대하여 128~197%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 163~245% 정도 급격하게 증가하고 있다는 즉, 의자에 의해 승차감이 오히려 저하되고 있다는 '놀라운' 사실을 확인할 수 있었다. 특히, 가진대의 진동량에 비해 의자 1의 진동량 증가가 가장 적게 의자 3의 진동량 증가가 가장 크게 나타나고 있는 Table 6의 결과는 Fig. 5에서도 확인할 수 있다.

4.3 두 평가 기법의 차이점에 대한 분석

본 절에서 두 평가 기법 즉, 단순 물리량적 승차감 평가 결과(4.1절)와 인체 감응 특성에 의한 승차감 평가 결과(4.2절)의 차이점을 종합적으로 요약된다.

우선, 단순 물리량만을 고려한 요소 승차감 평가 결과인 Table 2와 인체 감응 특성의 의한 승차감 평

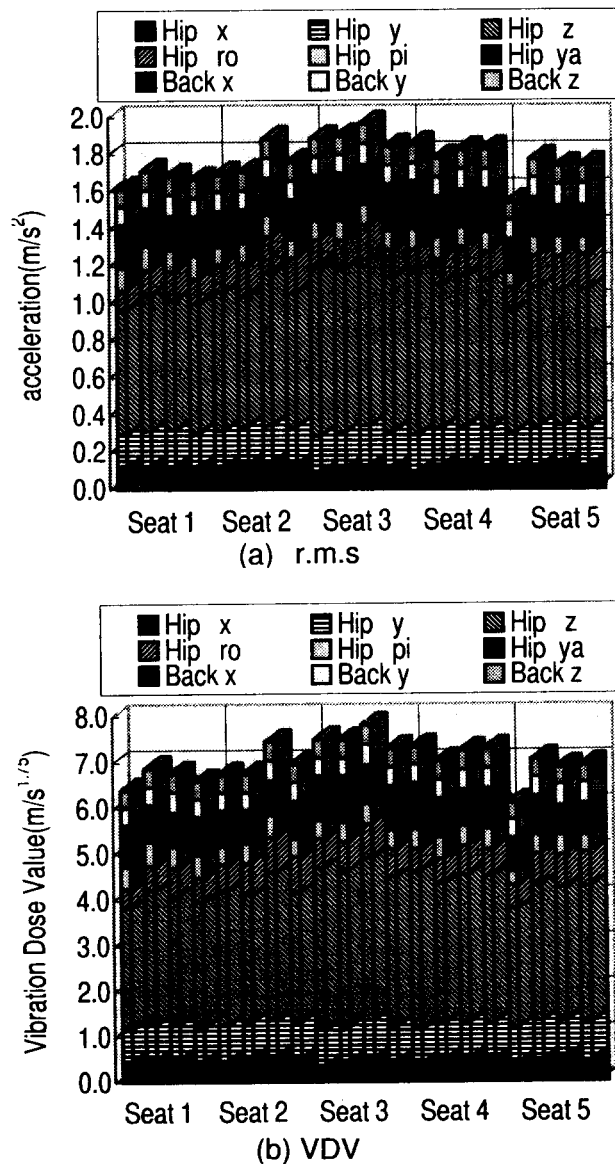


Fig. 5 Component ride values of whole-body vibration exposed from the body contact area.

Table 6 Percentage variation of overall ride values for five seats and four individuals ($T_s=81.92\text{sec}$)

Component ride value / Test person		Percentage variation of overall ride values between vibration table and automotive seat				
		Seat 1 (%)	Seat 2 (%)	Seat 3 (%)	Seat 4 (%)	Seat 5 (%)
r.m.s.	Person 1	127.9	146.4	182.9	196.3	127.2
	Person 2	136.2	134.8	177.6	149.7	157.5
	Person 3	132.7	169.4	182.6	174.1	148.8
	Person 4	133.3	141.8	172.4	166.1	162.6
VDV	Person 1	165.3	187.4	244.2	241.2	163.6
	Person 2	184.6	176.2	232.0	197.1	203.0
	Person 3	175.7	219.6	239.0	216.7	193.9
	Person 4	175.2	181.4	225.7	209.6	208.2

가 결과인 Table 5의 요소 승차감 값 비교는 우선, 가진대의 x 축 방향의 진동 성분에 대해 단순 물리량만을 고려할 경우 등 부위의 x 축 방향의 진동은 실효치(r.m.s.)에 대하여는 42~61%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 42~61% 정도 진동이 줄어드나 즉, 승차감이 향상되나, 인체의 감응 특성에 의하면 진동이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 30~67%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 27~82% 정도 오히려 증가하여 승차감을 저하시키고 있다는 상반된 결과를 보이고 있다. 또한, 가진대의 z 축 방향의 진동 성분에 대해서도 단순 물리량만을 고려할 경우 인체 접촉부 등 부위의 z 축 방향의 진동 성분은 실효치(r.m.s.)에 대하여는 65~93%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 58~121% 정도의 증가 즉, 승차감 저하를 보이고 있으나, 인체 감응 특성을 고려한 진동 실효치(r.m.s.)에 대하여는 54~57%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 53~56% 정도 오히려 감소 즉, 승차감이 향상되고 있다는 상반된 결과를 보인다. 이는 단순히 물리량적 진동량이 감소하더라도 인체의 감응 특성을 고려한다면 오히려 승차감이 저하될 수도 있다는 가능성을 의미하며, 이러한 결과는 바로 인체의 피폭 부위별 그리고 주파수별 느끼는 감응 특성을 정량화할 수 있는 축방향 보정치와 주파수 가중 함수의 영향에 기인하는 것으로 사료된다.

단순 물리량적 전체 승차감 평가 결과인 Table 3과 인체의 감응 특성에 의한 전체 승차감 평가 결과인 Table 6의 비교에서, 단순 물리량적 승차감 평가 결과에서는 가진대의 진동량에 비해 인체 접촉부의

진동량이 실효치(r.m.s.)에 대하여는 전체적으로 16~67%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 3~47% 정도 증가함을 보였으나, 인체의 감응 특성을 고려하면 진동량이 전체적으로 실효치(r.m.s.)에 대하여는 128~197%, 피폭 진동량(VDV)에 대하여는 163~245% 정도로 '현격한' 증가를 보였다. 따라서, 인체 감응 특성을 고려한 피폭 진동량 값의 뚜렷한 차이점은 단순 물리량적 진동량 값보다 실제 승차감에 보다 근접할 수 있다는 점이다.

또한, 단순 물리량적 승차감 평가 결과에서는 인체 접촉부인 등 부위의 진동 성분이 승차감에 주된 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 인체의 감응 특성에 의하면 인체 접촉부인 엉덩이 부위의 진동 성분이 승차감에 주된 영향을 미치는 상이한 결과를 확인할 수 있었다. 이러한 상이한 결과는 특히 피폭 부위별 느끼는 인체의 감응 특성인 축방향 보정치의 영향에 기인하는 것으로 생각된다.

그리고, 단순 물리량적 승차감 평가에서는 고려할 수 없었지만, 인체의 감응 특성 즉, 축방향 보정치와 주파수 가중 함수를 고려하면 엉덩이 부위의 회전 가속도 성분의 진동량 만큼 전체적으로 진동량이 증가하여 인체로 피폭됨을 확인할 수 있었다.

위의 단순 물리량적 승차감 평가와 인체의 감응 특성에 의한 승차감 평가 사이의 4가지 부분에 대한 비교 즉, 요소 승차감 값의 비교, 전체 승차감 값의 비교, 승차감에 주된 영향을 미치는 인체 접촉 부위별 비교, 그리고 엉덩이 부위의 회전 가속도 성분의 비교에서 두 평가 기법의 차이점과 또한, 단순 물리

량적 승차감 평가의 한계점을 알 수 있었다.

후 기

5. 결 론

본 논문은 12축 인체 피폭 진동 측정 장치를 이용하여 5가지의 자동차 의자류와 4사람의 한국인 체형에 따른 인체 접촉부의 진동량에 대한 단순 물리량적 승차감 평가 결과와 인체의 감응 특성을 고려한 승차감 평가 결과를 각각 소개하고 있다. 그리고, 두 평가 결과를 서로 비교함으로써, 인체와 의자의 접촉 부위별 측정 축 방향에 대한 요소 승차감 값의 상반된 결과 뿐 아니라, 승차감에 주된 영향을 미치는 부위가 서로 다르게 판단될 수 있다는 점을 확인할 수 있었다. 그리고, 자동차 의자류의 승차감 평가시 두 평가 기법의 한계점과 유용성에 대한 실험적 검증을 할 수 있었다. 특히, 가진대의 진동량에 비해 의자류의 엉덩이 및 등 부위의 z축 방향의 진동 전달 특성에 기인된 피폭 진동량이 증대한다는 매우 흥미로운 사실을 관찰할 수 있었다. 이러한 결과는, 국내 자동차 의자 관련 진동 연구의 현 주소 뿐 아니라, 향후 진동 승차감 개선의 구체적인 방안을 제시하고 있다. 이러한 실험적 결과들은 국내 의자류 제조사 및 관련 자동차 업계에 기여하게 될 성과라고 사료된다.

본 연구의 실험 장치 및 승차감 평가 기법의 개발에 많은 도움을 준 영국 ISVR(Institute of Sound and Vibration Research)의 Michael Griffin 교수에게 감사드리며, 본 과제는 과학기술처가 지원하고 있는 음향 진동 환경제시 과제(Contract No.: 17-02-07)에서 수행된 결과의 일부이다.

참고문헌

- (1) F.M.L. Amirouche, 1996, "Seat Suspension Design and Human Body Vibration Control.", 한국표준과학연구원 1996.8.20~22 세미나.
- (2) M.J. Griffin, 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- (3) 정완섭 외 3인, 1996, "12축 인체 피폭 진동 측정장치 개발" 한국소음진동회공학회 1996년도 춘계학술대회 논문집 pp. 25~28.
- (4) 정완섭 외 1인, 1995, "인체 피폭 진동의 감수 특성 평가" 1995, KRISS-95-082-IR, 한국표준과학연구원, 1차년도 보고서 pp. 291~318.
- (5) 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.