

승용차에서의 인체 진동 측정 및 시트 특성 최적설계

조 영 건* · 윤 용 산**
(1998년 11월 12일 접수)

Human Vibration Measurement for Passenger Car and Seat Characteristics Optimization

Young-Gun Cho and Yong-San Yoon

Key Words : Ride Quality (승차감), Human Vibration (인체 진동), Seat Vibration (시트 진동), Optimization (최적설계)

Abstract

This study deals with the vibration ride quality for passenger car when running on straight highway at the speed of 70km/h. Ten accelerations were measured at four positions, three axes each at the feet, hip, and head, and one axis at the back. Five seats that have different static sponge stiffness were used, and two subjects were participated. These accelerations were analyzed to produce the ride values such as component ride value and overall ride value. It was hard to see the difference of ride value by the change of sponge stiffness. However we could rank the ride quality by the total vibration exposed to passengers. From the transfer function between the hip and the foot, the fundamental mode was observed to be around 5.8Hz. Also the transfer function between the head and hip was studied. The optimal damping ratio of the seat was calculated according to the seat natural frequency with human weighting filter which makes the optimal damping ratio different from that without weighting filter.

1. 서 론

인간이 차량과 같은 움직이는 물체에 탑승하였을 경우에는 진동이 인체에 전달되어 불쾌감이 초래된다. 특히 지나친 진동이 인체에 누적되면, 피로감으로 인해 운전 능력이 떨어지며, 장시간 운전을 하는 경우에는 허리에 디스크 같은 병⁽¹⁾이 초래될 수 있다. 이러한 불쾌감을 줄이기 앞서 불쾌감을 정량적으로 나타낼 수 있도록 하기위해서 인체에 전달되는 진동(WBV : Whole-Body Vibration)을 측정하려는 여러 시도가 수행되어져 왔다. 이러한 인체 진동을 측정하는 방법들은 BS 6841⁽²⁾과 ISO 2631⁽³⁾에 규정이 되어 있는데, 인체가 느끼는 가속도 영역은 인체와 시트와의 접촉부위 및 주파수에 따라서 상대적인 크기가 다르다는 사실에 기인한다. 영국 ISVR의 Griffin은 1983년에 8명의

피실험자를 대상으로 도로에서 차량을 주행할 때 인체에 전달되는 가속도를 측정하여 승차감 평가를 수행하였으며,⁽⁴⁾ 또한 승용차, 트럭, 배, 헬리콥터와 같은 여러 가지 탈 것에 대해서 각각의 진동 승차감을 평가하여, 인체가 견딜 수 있는 진동의 한계를 바탕으로 적절 운전 시간을 산출하였다.⁽⁵⁾ 또한 Lewis⁽⁶⁾는 인체 진동을 측정하여 진동이 인체에 미치는 상해의 표준을 정하려는 시도를 수행하였다. 특히 근래에 들어서는 인체에 전달되는 진동 뿐만 아니라 인체 각 분절 및 머리의 진동 해석을 통해서 인체의 진동 특성을 이해하려는 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 강성이 다른 스펀지를 장착한 승용차로 고속 도로에서 주행하였을 때, BS 6841의 규정을 근거로 인체에 전달되는 가속도 양을 파악하여, 접촉부위의 진동 특성과 시트의 감쇄 성능을 정량적으로 파악하며, 시트의 개선 방향을

* 한국과학기술원 기계공학과

** 회원, 한국과학기술원 기계공학과

모색하였다.

2. 실험 조건 및 장치

본 연구에서는 한 대의 차종을 대상으로 5개의 시트를 조수석에 장착하여 2명의 피실험자를 대상으로 시험을 수행하였다.

사용된 시트의 스펀지의 정강성을 측정하기 위해서 직경이 200mm이고 높이가 63mm인 원통형 모양의 스펀지를 압축하여 초기 두께의 80%가 될 때까지 힘을 가하여 그때의 압축력을 측정하였다. 결과는 Table 1에 나타내었다. 즉 첫번째 시트를 압축하는데 13.4kg의 힘이 필요하고, 다섯번째 시트를 압축하기 위해서는 21.06kg의 힘이 필요함을 나타낸다. 3번 시트가 현재 사용이 되고 있는 시트이며, 현재를 기준으로 부드러운 시트 2종류, 딱딱한 시트 2종류를 제작하여 5가지 종류의 시트를 대상으로 실험하였다.

피실험자는 2명으로 첫번째 피실험자(person 1)의 키와 몸무게는 174cm, 74kg이며, 두번째 피실험자(person 2)는 168cm, 64kg의 남성이었다. 차량의 주행 속도는 70km/h로 일정하게 유지시켜서 도로에 의한 차량의 입력 가속도 수준을 일정하도록 유지하였으며, 이때의 차량 엔진의 회전수는 2000 rpm이었다. 측정 구간은 경인 고속도로의 가좌 IC부터 서인천 IC까지의 3.2Km 구간이었으며, 속도가 70km/h에 도달한 후에 150초 동안 200Hz로 가속도를 기록하였다.

인체 진동을 측정하기 위해 사용된 센서는 Fig.1과 같이 B&K에서 시트 가속도계로 제작된 2개의 4322로 좌판과 등판에 각각 부착하여 좌판의 3축(x, y, z)과 등판의 1축(x)의 가속도를 측정하였으며, 또한 B&K에서 제작된 4326의 3축 가속도 센서를 부착한 프레임 위에 발을 올려 놓도록 하여 발 부위에서의 가속도를 측정하였다. 좌판의 센서는 좌골 결절(ischium)의 위치에 두었으며, 등판의 센서는 요추 지지점(lumber support)에 두고 측정하였다. 그리고 인체 진동(Whole-body vibration)을 측정하기 위해서 Fig.2와 같이 가속도 센서 4326를 부착한 48g의 바이트 바(bite-bar)를 피실험자가 입에 단단히 물도록 하여 머리의 3축 가속도를 측정하였다.

사용된 앰프는 B&K에서 제작된 5974의 전하(charge)형을 사용하였으며, A/D 보드는 National Instrument에서 개발된 Daq-AI-16E-4를 노트북에 장착하여, 측정된 신호를 노트북에 저장하였다.

본 실험을 수행하기 전에 피실험자에게 실험 목적을 충분히 설명하였으며, 데이터를 측정하기 전에 먼저 피실험자가 편안한 자세를 취하게 하고, 측정하는 구간에서는 가능한 한 움직이지 말도록 주지시켰다. 또한 시트를 바꾸었을 때 등판 및 좌판의 각도는 모두 일정하게 유지시켜, 실험의 일관성을 유지하였다.

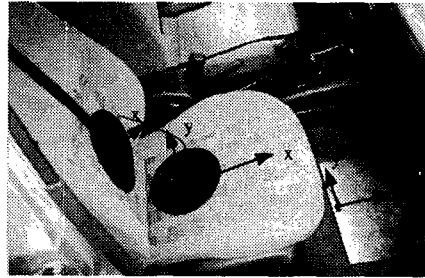


Fig. 1 Experimental setup for measuring acceleration of foot, hip, and back.



Fig. 2 Experimental setup for measuring acceleration of head.

Table 1 Seat static hardness.

Seat number	Static hardness (kg)
1	13.40
2	14.94
3	16.68
4	18.74
5	21.06

3. 승차감 지수

3.1 승차감 지수

승차감 지수는 참고 문헌[5]에 자세히 기술되어 있으며, 인체가 느끼는 진동은 식 (1)과 같이 인체에 전달되는 가속도의 제곱 평균의 이승근(root mean square)이며, 이들 가속도는 가진되는 축과 주파수에 따라서 가중치가 다르다는 연구를 바탕으로 제시되어 있다.

본 연구에서는 인체 진동 측정축을 참고 문헌 [9]에서와 같이 인체 진동에 크게 영향을 미치는 발과 좌판에서의 z 축과 등판에서의 x 축을 포함하여 7 개의 축을 측정하였다.

$$a_{rms} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (1)$$

3.1.1 요소 승차감 지수 (Component Ride Value)
 각각의 접촉부별 측정축에 대해 서로 독립적으로 승차감에 기여하는 양을 정량화 한 것을 요소 승차감 지수⁽⁵⁾라 한다. Table 2 에 측정된 각각의 축에 대해 사용되는 Fig. 3 과 같은 가속도 가중 함수(weighting function)와 가중 계수(axis multiplying factor)를 정리하였다. 여기서 X_f, Y_f, Z_f 는 발 부위에서의 3 축 가속도이며, X_s, Y_s, Z_s 는 엉덩이 부위에서의 3 축 가속도이며, X_b 는 등에서의 x 방향 가속도이다. 이들의 방향은 Fig. 1 에 표시되어 있다.

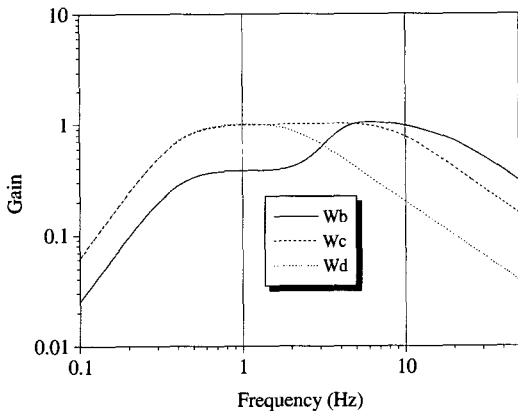


Fig. 3 Human weighting function in BS 6841⁽²⁾.

Table 2 Weighting functions and axis multiplying factors in BS 6841⁽²⁾.

Measurement Position	Weighting function (w_i)	Axis multiplying factor (m_i)
X_f	W_b	0.25
Y_f	W_b	0.25
Z_f	W_b	0.40
X_s	W_d	1.00
Y_s	W_d	1.00
Z_s	W_b	1.00
X_b	W_c	0.80

요소 승차감 계수를 구하기 위해서는 식 (2)과 같이 각각의 측정축에 대해서 측정된 가속도의 전력밀도 함수(Power spectral density) $\{P_{ii}(f)\}$ 와 각 축

정축 i 에 해당되는 주파수 가중 함수의 제곱 $\{w_i(f)^2\}$ 를 이용하여, 제곱 평균에 대한 이승근(square-root)을 취한 값으로 가중화된 i 번째 측정축의 실효치를 계산한다. 그리고 나서 가중화된 실효치값에 측정축 i 에 대응되는 축 가중 계수(axis multiplying factor : m_i)를 곱해서 각 축에 대한 요소 승차감 지수를 구하게 된다. 이 값을 이용하면 인체 접촉부의 각각 가속도가 승차감에 미치는 상대적 기여도의 정량적 평가가 가능하다.

$$\text{Component Ride Value}_i = m_i \times \left[\int P_{ii}(f) w_i(f)^2 df \right]^{1/2} \quad (2)$$

3.1.2 전체 승차감 지수 (Overall Ride Value)

전체 승차감 지수⁽⁵⁾는 식 (2)에서와 같이 측정점의 요소 승차감 지수의 제곱 합의 이승근으로 정의된다. 이 지수는 가중화된 전신 피폭 진동의 총량을 나타내므로, 승차감의 대표치라고 할 수 있다. 따라서 이 값이 작을수록 인체에 민감한 진동량이 적어 승차감이 우수하다.

$$\text{Overall Ride Value} = \left[\sum_{i=1}^N (\text{Component Ride Value}_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

4. 실험 결과

4.1 가속도 수준

차량의 주행 중에 생기는 진동의 원인은 여러 가지가 있다. 도로의 랜덤 신호에 의한 가진, 엔진의 회전에 의한 가진, 핸들에 의해서 타이어에서 작용하는 회전력 등인데, 이러한 여러 진동원들이 차량에 전달이 되어 차체의 진동이 생기게 되며, 또한 이러한 진동은 시트를 통해서 인체에 전달이 되어, 최종 인간에게 불쾌감으로 작용을 한다.

이러한 경로를 통해 인체에 전달되는 가속도 중에서 먼저 발 부위에서의 3 축 가속도를 Fig. 4 의 (a)~(c)에 나타내었다. 등속에서 직선 주행을 하였기 때문에 상하 방향의 z 축 가속도가 주행하는 방향의 x 축, 그리고 차량의 옆 부분의 가속도인 y 축보다 더 크게 나타났다. 특히 z 축 전력밀도함수에서는 크게 2 개의 모드를 볼 수 있다. 1Hz 대역에서 스프링 위 질량(sprung mass)의 모드가 나타났으며, 13Hz 대역에서는 스프링 아래 질량(unsprung mass)의 공진 모드를 확인할 수가 있다. 또한 차량의 피치(pitch)운동에 의한 모드와 엔진 회전에 의한 모드 역시 관찰이 가능했다. z 축 가속도 전력밀도함수에서 나타나는 여러 가지 모드

중에서 스프링 아래 질량의 모드가 가장 컸으며, 이들은 x와 y축에도 역시 영향을 미쳐 차체 전체가 떨리고 있음을 알 수가 있다.

엉덩이 부분의 가속도는 Fig. 4의 (d-f)에서와 같이 나타나며, 발부분과 마찬가지로 z축 가속도가 가장 크게 나타났으며, 시트의 감쇄작용으로 인해 발 부위의 가속도를 상당 부분 줄여주고 있음을 알 수가 있었다. 특히 z방향의 전력밀도함수(f)에서는 스프링 아래질량의 모드는 크게 줄여준 반면에, 6Hz 대역에서의 가속도 수준이 크게 커져서 이 부분에서의 공진이 있음을 확인하였다.

등판의 PSD는 1Hz, 13Hz 근방의 차량에 의한 모드와 5Hz 대역의 시트에 의한 앞뒤운동의 모드를 볼 수 있어서, 엉덩이의 z방향과 등판의 x방향의 모드가 비교적 같은 주파수 대역에 분포하고

있음을 알 수가 있었다.

머리의 가속도의 전력밀도함수는 Fig. 4의 (h)~(j)에 도시하였으며, 시간영역 가속도는 Fig. 5에 도시하였다. 머리의 가속도는 인체와 시트와의 접촉점에서 전달되는 가속도가 인체를 통과해서 머리로 전달되어서 나타나게 되므로, 인체의 저주파 통과 필터(lowpass filter)역할에 의해서 대략 10Hz 이상의 주파수에서는 가속도가 거의 나타나지 않았으나, 낮은 주파수 영역에서는 가속도가 증폭됨을 알 수 있다. Fig. 5에서의 시간 영역에서의 머리 z방향 가속도를 보면 엉덩이의 가속도보다 낮은 주파수로 큰 가속도로 움직이고 있음을 알 수가 있다. 특히 z방향의 가속도는 머리가 목을 중심으로 핏치(pitch)운동을 하기 때문에 엉덩이의 가속도보다 더 크게 증폭이 되었다.

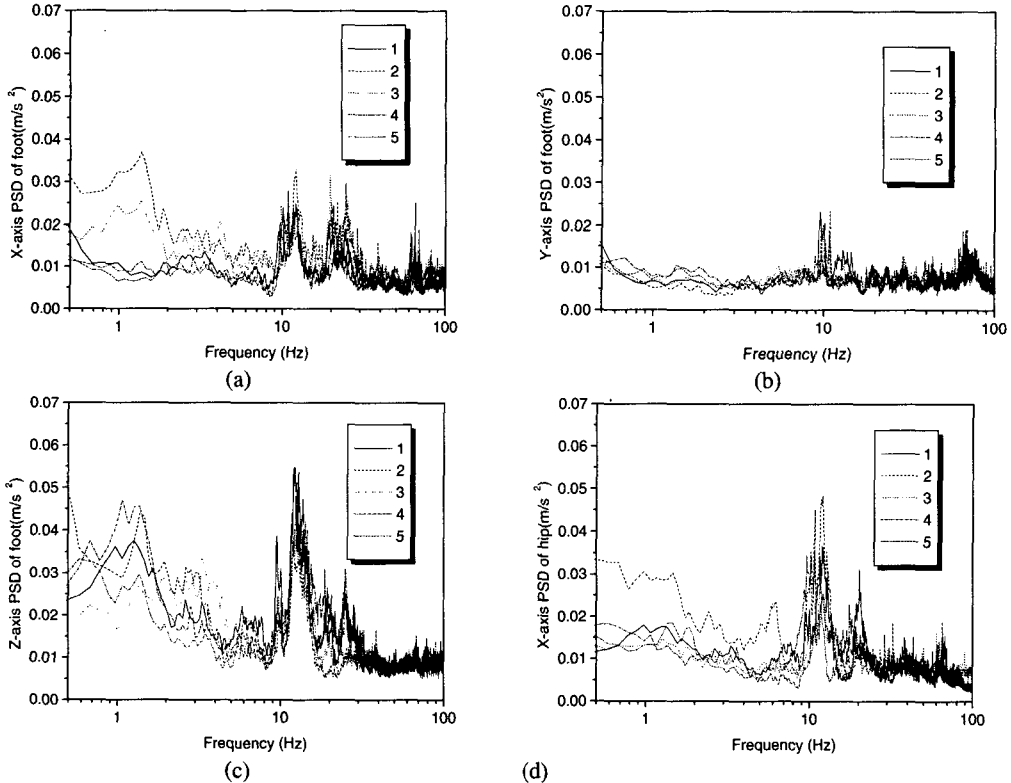


Fig. 4 Power Spectral Density of each measurement point (continued).

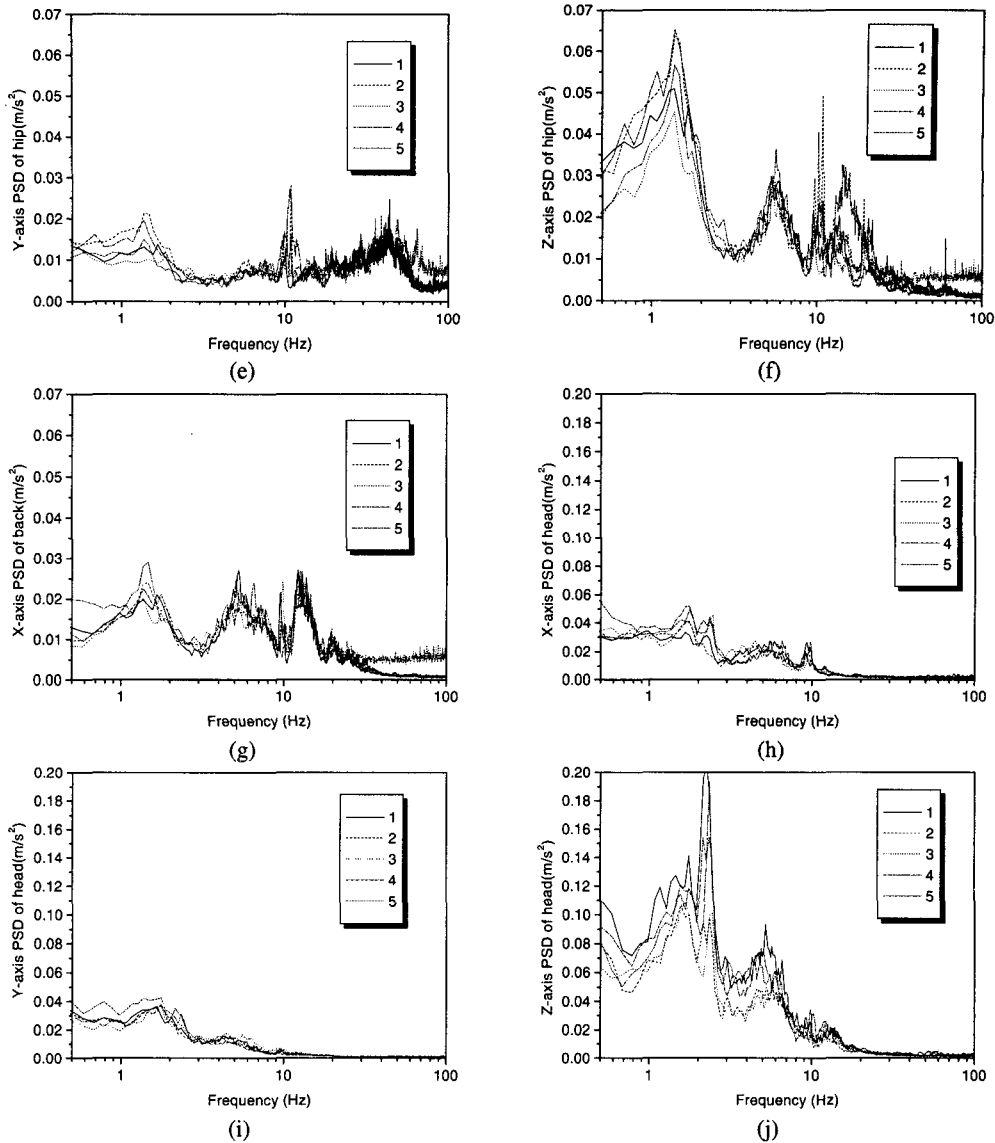


Fig. 4 Power Spectral Density of each measurement point.

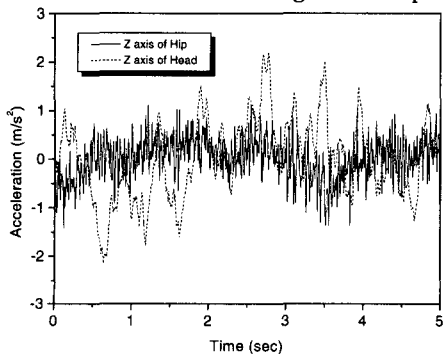


Fig. 5 Time signal of z axis acceleration of hip and head.

4.2 전달 함수

발에서 전달되는 가속도와 엉덩이에 전달되는 가속도와와의 관계는 차량 의자에 대해 많은 연구가 수행되어져 왔으며, 지금까지 생산된 시트의 공진은 대략 4~6Hz 대역에 위치하는 것⁽⁵⁾으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 관계를 파악하기 위해서 발과 엉덩이 부위에서의 z축 전달 함수를 살펴보았다. 엉덩이의 z축 입력으로는 차체의 6 자유도 모든 가진이 연관되어 있지만, 본 연구에서는 등속에서 직진 주행을 하였으므로 요우(yaw), 롤(roll), 피치(pitch) 각가속도를 매우 작다고 가정

하여, 발에서의 병진 3축에 의해서 엉덩이의 z축 가속도가 발생한다고 하였다. 이러한 가정하에서 전력밀도함수와와의 관계는 Fig. 6과 같이 나타낼 수가 있다. 이때 발에서의 3축은 서로 관련(correlation)이 있고 기여도(coherence)가 1이 아니므로, 식 (5)에서와 같이 입력간의 전력밀도함수와 전달함수로써 입력력의 관계를 표시할 수가 있다. 그러므로 식 (6)에서 입력간의 전력밀도함수의 역수를 이용해서 각각의 입력에 대한 전달 함수($H_{(1-3)}$)를 얻을 수가 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{1y}(f) &= H_1(f)P_{11}(f) + H_2(f)P_{12}(f) + H_3(f)P_{13}(f) \\
 P_{2y}(f) &= H_1(f)P_{21}(f) + H_2(f)P_{22}(f) + H_3(f)P_{23}(f) \\
 P_{3y}(f) &= H_1(f)P_{31}(f) + H_2(f)P_{32}(f) + H_3(f)P_{33}(f)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{bmatrix} H_1(f) \\ H_2(f) \\ H_3(f) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11}(f) & P_{12}(f) & P_{13}(f) \\ P_{21}(f) & P_{22}(f) & P_{23}(f) \\ P_{31}(f) & P_{31}(f) & P_{31}(f) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_{1y}(f) \\ P_{2y}(f) \\ P_{3y}(f) \end{bmatrix}
 \tag{6}$$

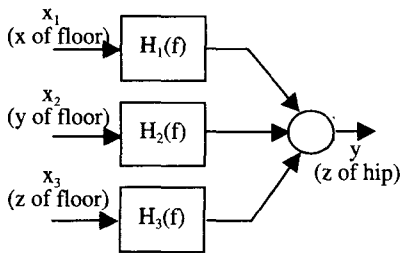


Fig. 6 Three inputs for z-axis of hip.

이 그림으로부터 발과 엉덩이의 z 방향의 관계는 대략 질량, 스프링, 댐퍼로 구성된 2차 시스템과 유사한 형태를 보임을 알 수가 있다. 또한 이렇게 얻어진 전달 함수로부터 1차 고유 진동수를 구하기 위하여 고유 진동수가 있는 4Hz 부터 7Hz까지의 전달 함수 결과를 4차의 다항식으로 근사화하여 최대점이 되는 점을 고유 진동수로 선정하였다. 그 결과 공진 위치는 5 가지 시트가 대략 5.8Hz 근방에 존재함을 알 수 있었다. 본 실험에서는 스폰지의 정강성 계수의 변화에 따른 고유 진동수의 변화를 발견하기는 곤란했는데, 그 이유는 스폰지 밑에 있는 탄성 스프링은 동일한 것을 사용하였기 때문에 스폰지가 인체 공진 주파수에 미치는 영향이 매우 적었기 때문이다.

엉덩이와 머리의 전달 함수는 대략 2Hz와 6Hz 대역에서 2개의 공진을 확인할 수 있었으며, 특히 10Hz 이하의 낮은 주파수에서는 머리의 가속도의

증폭률이 1~3 배 정도로 매우 크게 가속도를 증폭시키고 있음을 알 수 있었다.

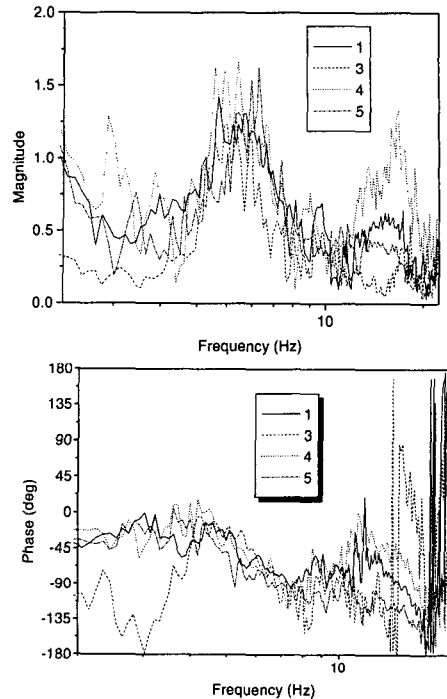


Fig. 7 Transfer function between hip and floor.

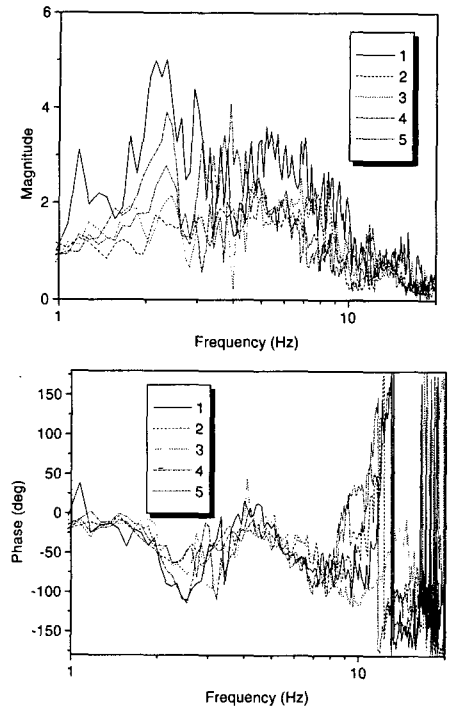


Fig. 8 Transfer function between head and hip.

Table 3 Weighted root mean square of each measurement points(m/s²) and overall ride value(m/s²).

Points	Person 1 (RMS)					Person 2 (RMS)				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Fx	0.170	0.227	0.212	0.157	0.143	0.151	0.138	0.164	0.177	0.187
Fy	0.130	0.117	0.128	0.118	0.119	0.116	0.121	0.129	0.119	0.122
Fz	0.324	0.242	0.269	0.311	0.287	0.328	0.300	0.233	0.270	0.260
Hx	0.080	0.136	0.067	0.071	0.077	0.070	0.133	0.078	0.097	0.074
Hy	0.056	0.072	0.053	0.067	0.053	0.076	0.065	0.050	0.074	0.060
Hz	0.201	0.221	0.175	0.259	0.176	0.264	0.207	0.189	0.271	0.228
Bx	0.166	0.158	0.160	0.161	0.177	0.187	0.184	0.179	0.182	0.202
ORV	0.088	0.102	0.070	0.111	0.075	0.122	0.103	0.076	0.124	0.101
	Transfer ratio (%)					Transfer ratio (%)				
Hx/Fx	46.8	60.0	31.4	45.0	54.1	46.6	96.4	47.4	54.9	39.2
Hy/Fy	43.2	61.6	41.2	56.7	44.5	65.5	54.1	38.3	61.9	49.3
Hz/Fz	62.1	91.4	65.0	83.5	61.4	80.5	69.2	81.4	100.2	87.4

4.3 승차감 지수 평가

본 연구에서 측정된 7개의 축에 대한 결과를 Table 3에 나타내었다. 측정된 축은 발에서의 x,y,z의 3축(Fx,Fy,Fz), 엉덩이에서의 3축(Hx,Hy,Hz) 그리고 등에서의 x축(Bx)의 7개였다. 이들 각각의 축에 대해서 요소 승차감 지수를 구하였으며, 이들 요소 승차감 지수의 2-놈(norm)인 전체 승차감 지수를 나타내었다.

먼저 발 부위에서의 3축 가속도(x, y, z)를 보면, 10회 실험 평균은 각각 0.173, 0.122, 0.282로 x축의 진동은 z축의 진동의 60%, y축은 z축의 43%로 전달 됨을 알 수가 있다.

Fx, Fy, Fz와 같은 차량 가진 조건이 10가지 실험에 대해서 모두 동일하지는 않았으나, 첫번째 피실험자가 5가지 시트를 바꾸어서 주행할 경우에 3번 시트가 가장 인체에 전달되는 가속도의 합이 적었으며, 그 다음으로 5,1,2,4 번의 순서로 나타났다. 또한 두번째 피실험자에 대해서 마찬가지로 3번 시트가 인체 전달 가속도가 가장 작았으며, 그 다음으로 5,2,1,4 번의 순서로 나타났다. 2명의 피실험자에 대한 전체 승차감 지수는 1번과 2번 시트의 순서만 다르고 나머지는 동일한 결과를 얻을 수가 있었다.

또한 Table 3에서와 같이 발과 엉덩이에서의 각각의 축에 대한 r.m.s의 감소량은 x,y,z축 각각 0.52, 0.52, 0.78로 나타났으므로 시트는 3축의 가속도 모두를 크게 줄여 주고 있음을 알 수가 있다.

4.4 시트 최적 설계

인체가 느끼는 승차감에 미치는 접촉점 중에서 가장 큰 영향을 미치는 축은 엉덩이의 z축⁽⁹⁾이므로 Fig. 9에서와 같이 간단한 1자유도 모델로 발 부분과 엉덩이 부분을 모델링하였다. 그러면 시트를 가진해주는 가진 변위(z₀)와 승객의 변위(z)는 식 (7)와 같은 전달 함수 H(s)를 통해서 표현이 되며, 또한 식 (8)과 같이 가속도 역시 H(s)로 표현이 된다. 이때 H(s)는 식 (9)과 같이 표현이 되며, 이때 ω_n, ζ는 식 (10)으로 정의가 된다. 그리고 승객의 가속도 전력밀도함수와 가진 가속도의 전력밀도함수와의 관계는 식 (11)과 같이 표현이 된다. 그런데 변위와 가속도의 PSD와의 관계는 식 (12)와 같이 표현할 수가 있다. 그러므로 승객이 느끼는 가속도의 총량을 식 (13)와 같이 정의할 수가 있다. 이때 인체 가중 함수 w_b(ω)⁽⁶⁾를 곱하면 식 (14)와 같이 승차감 지수를 정의할 수가 있다.

$$z(s) = H(s)z_0(s) \tag{7}$$

$$s^2z(s) = H(s)s^2z_0(s) \tag{8}$$

$$H(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{9}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}, \zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \tag{10}$$

$$P_{zz}(s) = |H(s)|^2 P_{z_0z_0}(s) \quad (11)$$

$$P_{zz}(s) = s^4 P_{zz}(s) \quad (12)$$

$$J_1 = E[\ddot{z}^2] = R(0) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{zz}(\omega) d\omega \quad (13)$$

$$J_2 = E[\ddot{z}_w^2] = R(0) = \int_{-\infty}^{\infty} w_b(\omega)^2 P_{zz}(\omega) d\omega \quad (14)$$

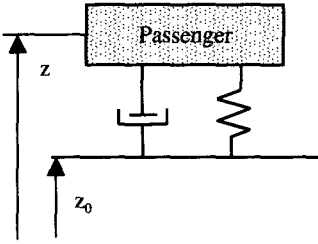


Fig. 9 One DOF human model.

본 연구에서는 발에서의 z_0 방향의 가속도를 입력으로 하여 식 (13)~(14)의 목적 함수를 가지고 ω_n 를 바꾸어 가면서 최적의 ζ 를 구하는 최적 설계를 수행하였다. Fig. 10에 고유 진동수의 위치에 따라 $w_b(\omega)$ 를 사용한 목적 함수 식 (14)와 사용하지 않은 목적 함수 식 (13)에 대해서 각각 최적의 ζ 를 도시하였다.

목적 함수에 $w_b(\omega)$ 를 사용한 경우에는 공진의 위치에 비교적 무관하게 0.55 정도의 감쇄비를 가지며 인체에 전달되는 가속도를 가장 많이 줄여 줄 수 있는 반면에, $w_b(\omega)$ 를 사용하지 않은 목적 함수인 경우에는 공진 주파수가 낮을 때는 ζ 를 크게 해야하며, 공진 주파수가 높을 때는 ζ 를 작게 해주어야 한다. 그러므로 $w_b(\omega)$ 에 따라서 시트의 설계 기준이 크게 달라질 수 있음을 알 수 있으므로 시트 설계시 인체 가중 함수를 사용하는 것이 필요함을 알 수가 있다. Fig. 11에서는 고유 진동수와 r.m.s 양을 나타내는데, 고유진동수가 낮을수록 전달되는 가속도의 양은 줄어든다는 것을 알 수가 있다.

5. 결론

고속도로에서 동일 차종에 시트 스펙을 바꾸어서 승차감 평가를 수행한 결과 스펙지 정강성에 의한 영향은 매우 작았으나, 인체에 전달되는 전체 승차감 지수 측면에서는 3번 시트에 승차하였

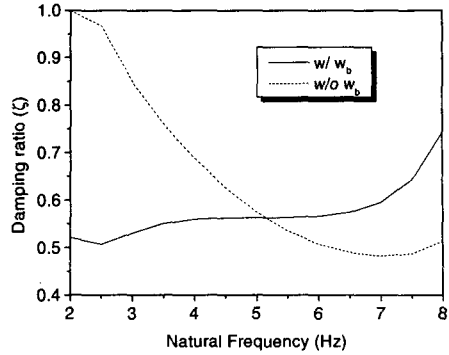


Fig. 10 The relation between optimal damping and natural frequency.

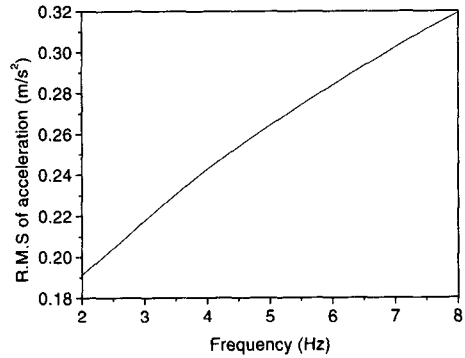


Fig. 11 The relation between natural frequency and R.M.S. of acceleration.

을 경우에 가장 적은 진동을 느낀다는 것을 알 수가 있었다. 그리고 시트는 x, y, z의 3축 모두에서 진동을 크게 줄여주고 있음을 알 수가 있었다.

발과 엉덩이의 전달 함수를 구할 때 발에서 들어오는 x,y 축의 가속도를 배제한 z 방향의 전달 함수를 구하였다.

머리 부위의 가속도는 인체의 감쇄 기능에 의해서 높은 주파수의 가속도는 크게 줄여준 반면, 낮은 주파수의 가속도는 크게 증폭이 되었음을 알 수가 있다.

발 부위에서 전달되는 가속도를 1자유도 인체 모델을 이용하여 가속도 진동을 줄이는 최적 설계를 수행한 결과 인체에 민감한 가중 함수를 이용한 최적 감쇄비는 비교적 공진위치에 무관하게 일정한 값(0.55)을 보였으나, 가중 함수를 이용하지 않은 감쇄비는 공진 주파수에 따라 큰 차이를 보였으며, 가중 함수를 이용하지 않은 결과와 큰 차이를 보였으므로, 시트 설계시 이러한 인체 가중 함수를 이용해서 설계하는 것이 필요하다.

후 기

본 연구를 지원해 주신 표준과학연구원 박 세진 박사와 대원강업 김 회성 과장에게 감사드립니다.

참고문헌

- (1) Magnusson, M. L. and Pope, M. H., 1998, "Development of a Protocol for Epidemiological Studies of Whole-Body Vibration and Musculoskeletal Disorders of the Lower Back," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 215, No. 4, pp. 643~651.
- (2) British Standards Institution 1987 British Standards BS 6841, "Measurement and Evaluation of Human Exposed to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock.
- (3) International Organization for Standardization 1997 International Standard 2631-1:1997, "Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration".
- (4) Parsons, K. C. and Griffin, M. J., "Methods for Predicting Passenger Vibration Discomfort," *SAE* 831029.
- (5) Griffin, M., 1990, *Handbook of Human Vibration*, Academic Press, London.
- (6) Griffin, M.J., "Evaluation of Vibration with Respect to Human Response," *SAE* 860047.
- (7) Griffin, M.J., 1976, "Duration of Whole-Body Vibration Exposure : Its Effects on Comfort," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 48, pp. 333~339.
- (8) Lewis, C. H. and Griffin, M. J., 1998, "A Comparison of Evaluations and Assessments Obtained Using Alternative Standards for Predicting the Hazards of Whole-Body Vibration and Repeated Shocks," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 215, No. 4, pp. 915~926.
- (9) 조영건, 정완섭, 박세진, 윤용산, 1997, "내구력 도로와 요철 도로에서 승용차의 승차감 지수 평가," 한국소음진동공학회지, 제 7 권 제 6 호, pp. 1025~1030.