

〈논 문〉

인체 진동 모델을 이용한 시트 동적 설계

Design of Dynamic Characteristics of Seat using Estimated Biomechanical Model

조 영 건* · 윤 용 산** · 박 세 진***

Younggun Cho, Yong-San Yoon and Sejin Park

(2000년 4월 26일 접수 : 2000년 8월 30일 심사완료)

Key Words : Seat Design(시트 설계), Ride Quality(승차감), Biomechanical Model(인체 진동 모델), Whole-Body Vibration(전신 진동), Polyurethane Foam(폴리우레탄 폼)

ABSTRACT

This paper deals with the design of a car seat for enhancing dynamic ride quality using a biomechanical model that was developed from the measured whole-body vibration characteristic. For evaluation of seat ride quality, the z-axis acceleration of floor as an input of biomechanical model was measured on a driving passenger car at highway and national road. From the floor signal and the estimated biomechanical model, overall ride value is evaluated by parameter study of seat stiffness and damping. The result shows that overall ride value decreases as the seat damping increases and the seat stiffness decreases. A lot of polyurethane foams were manufactured and tried to evaluate dynamic ride quality of a seat. It is found that stiffness and damping of a seat show a linear relationship, which means the stiffness and damping are not independent each other. So the optimal seat parameters within practically achievable space are determined.

1. 서 론

인간이 진동하는 장치에 탑승하여 진동에 노출될 때, 진동이 인체로 전달되어 불편함을 느끼게 되며, 지나친 진동이 인체에 누적되면 피로감으로 인해 운전 능력이 떨어지고, 특히 장시간 운전하는 경우에는 허리 디스크와 같은 질병이 초래되기도 한다. 따라서 이러한 진동을 줄여 편안하게 작업 혹은 이동을 하기 위해서는 진동 혹은 충격이 인체에 미치는 영향과 인체를 통과하는 특성을 파악하여 설계에 반영하는 것이 필요하다. 지금까지 인체 진동에 관

한 연구는 가진력, 가진 주파수, 방향, 노출 시간에 따라 연구가 진행되어 왔으며⁽¹⁾ 진동 승차감에 대한 표준화 작업이 진행되고 있다^(2,3). 그런데 진동 영향을 평가하기 위해 사용되는 인체 진동 모델(biomechanical model)은 주로 서양인에 대해 개발되어져 왔으며, 한국인에 맞는 모델과 모델의 계수에 대한 체계적인 연구는 현재까지 충분하지 못한 실정이다.

차량 시트는 인체와 직접적으로 접촉하는 부분으로 도로, 엔진 등의 가진원에서 발생하는 진동을 최종적으로 절감하여 인체에 전달시켜 주는 중요한 절연 요소로써, 차량 시트의 특성에 따라서 인체에 전달되는 진동⁽⁴⁻⁶⁾이 달라지게 되며, 또한 시트의 압력 분포가 달라지게 된다. 진동이 없는 의자에 착석하였을 경우에는 인체 운동 주파수 정도로 낮은 주파수 영역에 대해서 영향을 미치므로 정적인 승차감과 관련되어 있으며, 운전 중의 차량 등에 탑승하였을

* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과
** 한국과학기술원 기계공학과
*** 한국표준과학연구원 인간공학그룹

경우와 같이 높은 주파수의 가진이 들어올 경우에는 동적 승차감에 영향을 미치게 된다. 지금까지 주로 동적 승차감 측면에서는 많은 연구가 수행되었는데, 인간이 느끼는 진동 승차감은 인체에 전달되는 가속도의 양으로 승차감 지수가 정의된다⁽²³⁾.

지금까지 이러한 동적인 승차감 지수를 이용하여 승차감을 향상시키기 위해 시트의 최적 스프링 및 댐핑 계수 설계를 위한 많은 연구가 수행되어 왔다. Gouw⁽⁷⁾는 2자유도의 인체 진동 모델을 이용해서 시트 밑 현가 장치의 특성을 최적화하였으며, 0.5 Hz에서 5 Hz의 범위에서 시트의 계수들이 인체 진동 특성에 큰 영향을 미친다는 것을 보였다. 이때 쿠션의 강성은 정적 힘 처짐 특성을 이용하여 결정하였으며, 댐핑 계수는 시뮬레이션을 통하여 구하였다. Demic⁽⁸⁾은 차량과 1자유도의 인체 진동 모델을 이용해서 도로의 랜덤 입력에 대해 인체에 전달되는 가속도와 힘을 줄일 수 있는 시트의 최적 설계를 수행하였으며, Beger와 Gilmore⁽⁹⁾는 1/2차량에 1개의 질량의 인체 진동 모델을 통해 시트에 대한 흡수 파워의 승차감 지수를 이용해서 최적 설계를 수행하여 시트의 물성치에 대한 최적해를 얻었으며, 강성이 작을수록 인체에 전달되는 가속도 수준이 줄어들게 된다는 연구 결과를 제시하였다. Rakheja⁽¹⁰⁾는 시트 쿠션과 시트 현가 장치의 물성치 및 마찰력에 대한 설계 방향을 제시하였다. Amrouche⁽¹¹⁾는 12개의 질량과 13개의 스프링과 댐퍼를 이용해서 선 자세와 앉은 자세에 대해서 진동을 줄일 수 있도록 의자와 신발에 대한 최적 설계를 수행하였다. Wan과 Schimmels⁽¹²⁾는 ISO에서 제시하는 4자유도 모델을 이용하여 시트 설계를 수행하였는데, 진동을 줄이는 최적의 시트의 스프링 계수는 항상 설계 영역의 가장 낮은 값으로 결정이 되므로, 스프링 계수는 정적인 힘의 균형을 통해서 구해야 하며, 그때의 최적의 댐핑 계수는 스프링 계수의 값에 따라 크게 좌우된다는 것을 보였다.

그런데 이들 연구는 시트 설계 시에 주로 시트 현가 장치 설계를 대상으로 하였으나, 실제 승용차의 경우 현가 장치를 추가로 설치할 공간을 확보하기는 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 인체의 착좌 자세를 바탕으로 개발된 인체 진동 모델⁽¹³⁾을 통해, 시트의 구성 요소의 하나인 폴리우레탄 폼을 이용해서 인체에 피폭되는 진동을 최대한 줄여줄 수 있는 시트의 동특성을 설계하고자 한다.

2. 인체 진동 측정 및 모델링

2.1 인체 진동 모델

앉은 자세는 좌판에 의해 지지되는 아래 몸체와 등판에

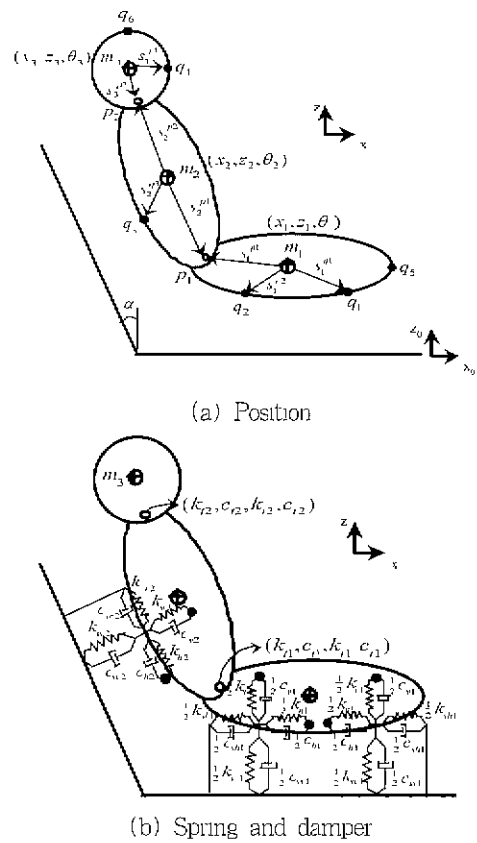


Fig. 1 Nine DOF biomechanical

의해서 지지되는 윗 몸체로 나타낼 수 있다. 인체의 앉은 자세를 해부학적으로 보면, 둔부를 차지하고 있는 골반(pelvis)에 윗 몸체를 나타내는 척추와 아래 몸체를 나타내는 대퇴부(femur)가 연결되어 각각 시트의 좌판과 등판에 접촉한다. 특히 척추는 많은 뼈들과 이들 뼈들을 연결하는 근육들로 이루어져 있는데, 척추는 크게 경부 척추(cervical vertebra), 흉부 척추(thoracic vertebra), 요추 척추(lumbar vertebra), 그리고 천골(sacrum)로 구성된다. 이러한 앉아 있는 자세를 바탕으로 한 해부학적 뼈의 구조를 통해서 본 연구에서 Fig. 1과 같이 인체를 3개의 강체로 구성하였다. 여기에서 질량 m_1 은 다리(leg), 아래몸체(lower torso)를 포함하며, 질량 m_2 는 윗몸체(upper torso)와 팔(arm)을 포함하고, 질량 m_3 는 머리(head)를 나타낸다. 그리고 각각의 강체는 x-z평면에서의 병진 자유도와 회전 자유도를 가져 각각 3자유도씩을 갖게 되어, 전체 모델은 9자유도의 시스템으로 구성하였다.

이러한 인체 진동 모델로부터 아래와 같은 전달 함수를 정의하였으며, 자세한 내용은 참고 문헌⁽¹³⁾에 기술되어져 있다.

$$\begin{aligned}
 H_{1m}(s) &= \frac{\ddot{z}_s(s)}{\ddot{z}_0(s)} \\
 H_{2m}(s) &= \frac{\ddot{x}_b(s)}{\ddot{z}_0(s)} \\
 H_{3m}(s) &= \frac{\ddot{z}_h(s)}{\ddot{z}_0(s)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

2.2 인체 진동 측정 및 모델 계수 결정

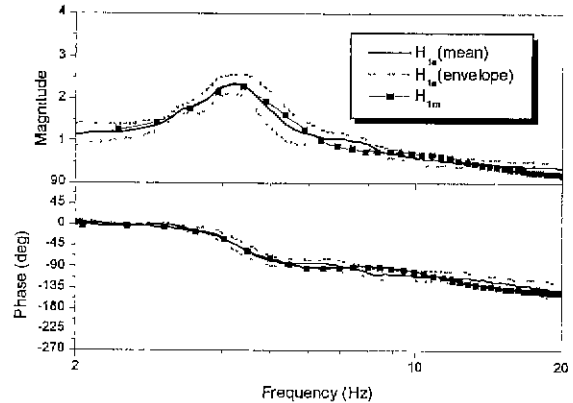
수직 방향의 전신 진동(whole-body vibration)을 측정하기 위해서 Fig. 2와 같이 실험 장비를 구성하였다. 가진판(floor)은 가속도 수준이 1.0 m/s² r.m.s 이고 주파수 영역이 1~25 Hz인 랜덤 파형으로 가진되도록 하였으며, 이때 가진판 위에 장착된 의자에 앉은 자세의 피실험자에 대해서 족부(Z_f), 둔부(Z_s), 요부(X_b), 그리고 두부(Z_h)의 4개 부위에서 가속도 측정을 하였다. 사용한 센서들은 다음과 같다. 족부는 piezo-electric B&K 4504가속도계를 이용하여 측정하였으며, 둔부는 SAE J1013⁽¹⁴⁾에서 추천하는 위치인 엉덩이뼈 절절(ischial tuberosities)에서 벨트로 piezo-electric B&K 4322시트 가속도계(seat accelerometer)를 고정시켜 측정하였으며, 요부에서도 요추 지지(lumbar support) 위치에서 시트에 벨트로 B&K 4322시트 가속도계를 고정하여 측정하였다. 두부는 piezo-electric B&K 4504를 물게(bite-bar)에 고정시켜 피실험자가 단단하게 입으로 물도록 하여 측정하였다.

피실험자는 총 10명이 참여하였으며, 5명은 남성이고 5명은 여성이었다. 그리고 인체 진동 특성은 동일한 사람이라 할지라도 앉은 자세, 근육의 긴장도에 따라서 달라지게 되므로, 실험은 피실험자당 각각 3회의 반복을 통하여 의자에 앉도록 하여 측정을 하여 총 30회의 실험을 수행하였다. 실험 과정에서 피실험자에게 운전하는 자세와 동일하게 앉도록 요청하였으며, 실험하는 동안 정면을 응시하고 등은 등판에 기대어 편안한 상태를 유지하도록 하였다. 또한 어

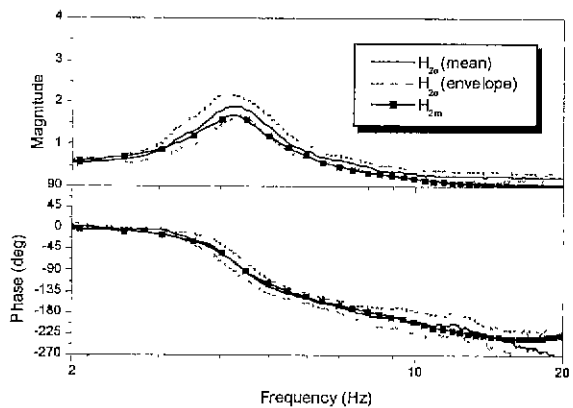


Fig. 2 Experimental setup by exciter

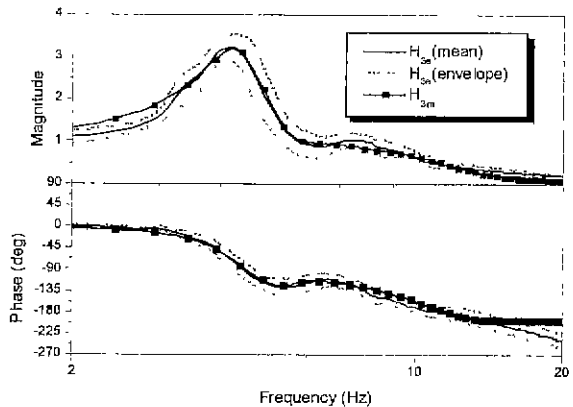
떠한 자발적인 움직임도 하지 말도록 요청하였다. 발의 위치는 센서가 부착된 발판에 올려놓았으며, 손은 무릎 위에 놓도록 하였으며 안전 벨트는 착용하지 않았다. 등판의 각도(α)는 21°로 모든 실험에서 일정하게 유지하였다. 본 실험을 수행하기 전에 피실험자에게 실험 목적을 충분히 설명을 하여 실험 과정을 이해하도록 하였다.



(a) Floor to hip transmissibility



(b) Floor to back transmissibility



(c) Floor to head transmissibility

Fig. 3 Measured and simulated transmissibility

본 실험을 통해서 3개의 전달 함수를 얻을 수가 있었다.

$$\begin{aligned}
 H_{1e}(s) &= \frac{\ddot{z}_e(s)}{\ddot{z}_f(s)} \\
 H_{2e}(s) &= \frac{\ddot{x}_b(s)}{\ddot{z}_f(s)} \\
 H_{3e}(s) &= \frac{\ddot{z}_h(s)}{\ddot{z}_f(s)}
 \end{aligned} \tag{2}$$

즉 발에서의 수직방향 가속도 입력 신호를 통해서 둔부 표면에서의 수직방향 전달 함수(H_{1e}), 등 표면에서의 수직방향(H_{2e}) 그리고 머리에서의 수직방향(H_{3e})에 대한 3개의 전달 함수를 정의하였다.

이렇게 측정된 전달 함수(H_{1e} , H_{2e} , H_{3e})와 모델의 전달 함수(H_{1m} , H_{2m} , H_{3m})를 일치하도록 하여 인체 진동 모델 계수를 결정하였으며⁽¹³⁾, 측정된 전달 함수의 평균과 표준 편차, 그리고 모델의 전달 함수를 Fig. 3에 도시하였다.

3. 승차감 평가용 시트 제작

3.1 폴리우레탄 폼의 제작

차량 탑승 시에 인체를 지지해 주는 역할을 수행하는 시트의 구성 요소에는 커버지(coverage), 폴리우레탄 폼(polyurethane foam), 시트 스프링(seat spring), 그리고 프레임(frame)등이 있는데, 이 중에서 진동 특성에 가장 큰 영향을 미치는⁽⁶⁾ 폴리우레탄 폼의 연구를 위해 다양한 특성의 폼을 발포하였다.

폴리우레탄 폼의 제작 방법은 폴리우레탄 혼합물을 일정한 형태의 몰드(mold)에 주입하여 원하는 폼의 형태를 발포하여 제작하게 된다 제조 공법에는 크게 온 몰드 폼(hot cure molded foam)과 냉 몰드 폼(cold cure molded foam)의 두 가지 방법이 있다. 그런데 냉 몰드 폼을 사용하면 폼이 고탄성으로 되어 이력(hysteresis) 손실이 적으며, 난연성이 우수하고 또한 밀도 변형을 통해 경도 변경이 용이한 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 냉 몰드 폼을 이용해서 폴리우레탄 폼을 제작하였다.

특히 본 연구에서 다양한 특성의 폼을 만들기 위해서 발포시에 폴리우레탄의 원료인 폴리올, 이소시아나이드, 실리콘 정포제, 발포제, 촉매 등의 성분 및 그의 양들을 변화시켰으며, 특히 폴리올과 이소시아나이드의 비율인 인덱스(index)를 조절하여, 다양한 특성의 폼을 제작할 수 있었다.

3.2 시트 물성치 규명

제작된 폴리우레탄 폼에 대해서 참고문헌 (15)에 설명된

것과 같이 B.R(ball rebound), I.L.D(indentation load deflection), S.F(sag factor)를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 반발 계수는 직경이 16 mm의 강철 볼을 500 mm 높이에서 낙하시킨 후에 볼이 초기 높이에 비해 반발되는 비율을 나타내며, I.L.D는 준정적 상태로 압축하였을 때 초기 두께의 25%가 되었을 때의 힘을 나타내며, S.F는 65%와 25%의 압축력의 비를 나타내며 일반적으로 3이상의 값을 가지고 주로 정적 안락감과 관련 있다고 알려져 있다. 제작된 9개의 폼은 반발 계수가 45, 60, 70%의 범위가 되고 이때 I.L.D가 16, 20, 24범위가 되도록 제작하여 총 9개의 시트 폼을 제작하였는데, 1, 2, 3번 폴리우레탄 폼은 반발 계수가 70%정도이고, 4, 5, 6번 폴리우레탄 폼은 반발 계수가 58%정도로, 7, 8, 9번 폴리우레탄 폼은 45%정도가 되도록 제작을 하였다.

본 연구에서는 제작된 9개의 폴리우레탄 폼을 이용하여 9개의 시트를 제작하여 승차감 평가에 이용하였다. 먼저 조립된 시트의 동특성을 측정하기 위해서, 진동 시험을 통해 동강성 및 뎀핑 계수를 측정하였는데, 측정 방법은 Fig. 4와 같이 가진기 위에 43kg의 좌판용 더미를 올려놓고, 가진기를 수직(vertical) 방향과 앞뒤(fore-aft) 방향으로 1.0 m/s² r.m.s의 백색 잡음으로 1~25 Hz의 범위에서 가진하였다. 이렇게 측정된 전달 함수는 Fig. 5에 나타내었다.

Table 1 Material properties of hip polyurethane foam

Foam	B.R(%)	I.L.D(kg)	S.F
1	71	14.5	3.22
2	68	19.1	3.14
3	72	21.5	3.29
4	60	12.9	3.72
5	57	20.0	3.30
6	58	23.4	3.21
7	47	15.7	3.67
8	42	17.8	3.49
9	47	24.2	3.40

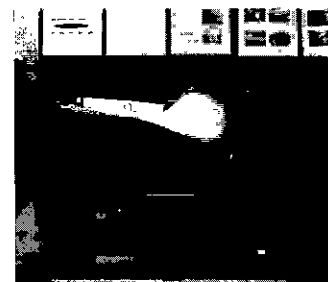


Fig. 4 Experimental setup for measuring dynamic parameters of hip cushion

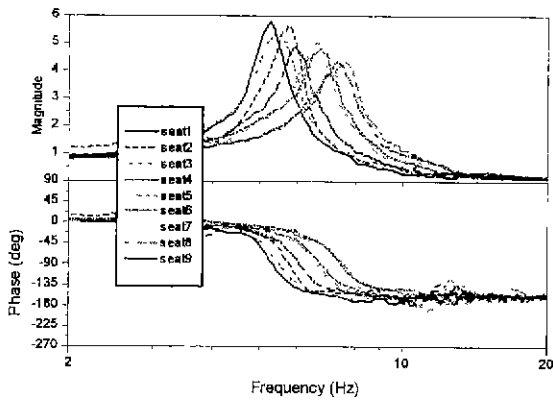


Fig. 5 Transmissibilities of cushion in the vertical direction

폴리우레탄 폼의 비선형성에 대해서는 낮은 가진 수준과 단시간에서의 진동량은 비선형성에 큰 영향을 미치지 못하므로, 2차의 선형 시스템으로 근사화하여 수직 방향과 앞뒤 방향에 대한 시트 동특성을 측정하였으며, 측정된 강성과 댐핑 계수를 Table 2에 나타내었다. 앞뒤 방향의 강성이 수직 방향보다 평균 3.1배 더 딱딱한 특성을 보인다는 것을 알 수 있으며, 댐핑의 경우에는 마찬가지로 평균 2.0배 정도 앞뒤 방향의 댐핑이 더 크게 평가 되었다. 또한 낮은 반발 계수를 보이는 7, 8, 9번 폴리우레탄 폼으로 조립된 시트의 경우 댐핑 계수가 크게 나타났으며, 높은 반발 계수를 보이는 1, 2, 3번 시트의 경우는 낮은 댐핑 계수를 보였다. 그리고 여러 가지 시트 폼을 제작하여 측정된 이들의 물성치 특성인 k_{sv1} 와 c_{sv1} 로부터, 스프링 및 댐핑 계수에 영향을 미치는 인자는 정적 강성을 나타내는 I.L.D보다는 동적 특성을 나타내는 반발 계수가 더 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

여기에서 측정된 강성과 댐핑 계수로부터, 강성과 댐핑 계수는 Fig. 6과 같은 선형의 관계를 보인다는 것을 확인하

Table 2 Material properties of hip cushion

Seat	Stiffness(kN/m)		Damping(Ns/m)	
	K_{sv1}	K_{sv2}	C_{sv1}	C_{sv2}
1	47.2	150	249	508
2	55.1	151	274	527
3	50.2	176	263	480
4	60.3	192	340	616
5	72.3	221	357	611
6	74.6	228	378	627
7	86.1	273	459	889
8	91.3	269	465	1120
9	89.1	272	464	1008

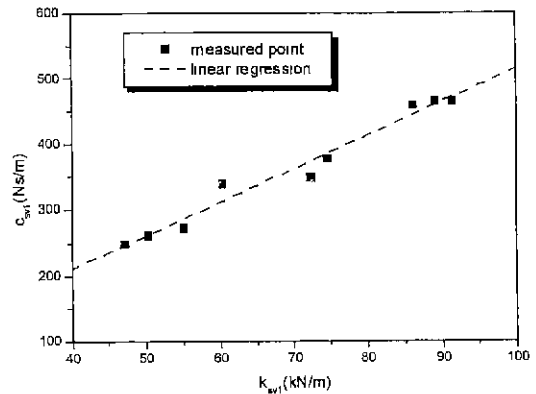


Fig. 6 Relation between stiffness and damping

였다. 이러한 관계는 폴리우레탄 폼을 제작하는 일반적인 공법인 MDI, TDI, TDI/MDI 혼합 시스템 모두에서 유사한 선형 관계를 보인다고 알려져 있다^(14,17). 이에 따라 선형 근사화 된 식은 다음과 같다.

$$c_{sv1} = \alpha k_{sv1} + \beta \quad (3)$$

이때 $\alpha=5.07$, $\beta=7.17$ 이며 상관 계수는 0.90이며, 여기에서 k_{sv1} 의 단위는 kN/m이고 c_{sv1} 의 단위는 Ns/m이다

4. 시트 동특성 평가

4.1 승차감 지수

본 연구에서는 승차감 평가를 위한 여러 측정 부위 중에서 차량 주행중의 승차감 평가에 중요한 측정 축⁽¹⁾인 즉부, 둔부, 요부에서 접촉면의 수직 방향 가속도 측정을 통해서 승차감 지수를 설정하였다. 즉 차량의 샤시에서 측정된 즉부에서의 파워 스펙트럴 텐시티 $P_{z_0z_0}(s)$ 와 2장에서 추정된 인체 진동 모델의 전달 함수(H_{1m} , H_{2m})를 이용해서 아래 식과 같이 둔부와 요부에서의 파워 스펙트럴 텐시티 ($P_{z_1z_1}(s)$, $P_{z_0z_0}(s)$)를 각각 얻을 수 있다.

$$P_{z_1z_1}(s) = |H_{1m}(s)|^2 P_{z_0z_0}(s) \quad (4)$$

$$P_{z_0z_0}(s) = |H_{2m}(s)|^2 P_{z_0z_0}(s)$$

위의 식으로부터 각 축에 피폭된 진동량을 Table 3과 같이 BS규정에 의한 각 축에 해당하는 주파수 가중 함수를 이용해서 얻을 수 있다. 즉 즉부와 둔부에서의 수직 방향에서의 가속도 가중 함수는 w_b 를, 요부에서의 수직 방향은

Table 3 Frequency weighting functions and axis multiplying factors(3)

Position	w_i	k_i
Z_f	w_b	0.40
Z_c	w_b	1.00
X_b	w_c	0.80

w_c 를 사용하도록 규정되어 있다.

$$J_f = \sqrt{E[\ddot{z}_{fw}^2]} = \sqrt{R_{fw}(0)} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} w_b(\omega)^2 P_{z_f, z_f}(\omega) d\omega}$$

$$J_s = \sqrt{E[\ddot{z}_{sw}^2]} = \sqrt{R_{sw}(0)} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} w_b(\omega)^2 P_{z_s, z_s}(\omega) d\omega} \quad (5)$$

$$J_b = \sqrt{E[\ddot{x}_{bw}^2]} = \sqrt{R_{bw}(0)} = \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} w_c(\omega)^2 P_{x_b, x_b}(\omega) d\omega}$$

여기에서 J_f 은 족부에서의 z 방향, J_s 은 둔부에서의 z 방향, J_b 은 요부에서의 x 방향의 승차감 지수를 나타낸다. 또한 각 축의 가중치를 나타내는 축 가중 계수(k_i)를 이용하여 아래와 같이 전체 승차감 지수를 나타낼 수 있는데, 이 지수는 인체에 전달되는 인체 피폭 진동의 중요한 3축에 진동에 대한 총량을 나타내므로 본 연구에서 진동 승차감 평가 지수로 설정하였다.

$$J = \sqrt{0.4^2 J_f^2 + J_s^2 + 0.8^2 J_b^2} \quad (6)$$

4.2 실차에서의 가진 신호 측정

인체 진동 모델의 가진 입력으로 사용되는 가진관의 진동 특성을 실제 차량 주행시의 차시에서의 신호를 측정하여 시트의 진동 승차감 평가를 수행하였다. 주행 시험에 사용된 도로는 운전자의 조향 특성이 인체 진동에 미치는 영향이 적은 도로로 선정하였다. 즉 굴곡이 없고 직선으로 이루어져서 핸들링의 필요성이 없고, 또한 제동이 필요 없어 등속으로 3분 가량 주행 할 수 있는 직선 도로를 선정하였다. 도로는 두 종류로 선정을 하였는데, 첫번째 측정 도로 (road 1)는 경인 고속 도로의 가좌 IC부터 서인천 IC까지의 3.2 km구간으로, 70 km/h의 등속으로 2000 rpm의 엔진 회전수로 주행하여 측정하였다. 두 번째 도로(road 2)는 신탄진에 있는 도시 고속화 도로로 80 km의 정속으로, 기어는 4단, 회전수는 3000 rpm으로 유지하였다. 각 실험에 대해 동일한 운전자가 3분 동안 등속으로 주행하여 5

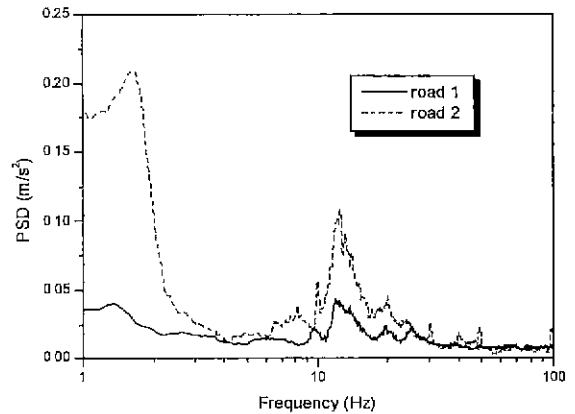


Fig. 7 Power spectral densities of floor

회 반복 운전을 통해서 측정하였으며, 측정된 파워 스펙트릭 덴시티는 Fig. 7에 나타내었다. 두 개의 도로에서 주행한 차량의 진동 특성에서 10~20 Hz대역의 스프링 밑 질량 (unsprung mass)과 1~2 Hz대역의 스프링 위 질량 (sprung mass)으로 추정되는 2가지 모드를 확인할 수 있었다. 측정된 가속도 r.m.s 값은 도로 1과 2가 각각 0.47과 1.03 m/s²로 측정이 되었으며, 가중 함수 w_b 를 사용한 J_f 는 각각 0.29, 0.64 m/s²으로 얻어졌다.

4.3 시트의 진동 승차감 평가

본 절에서는 인체 진동 모델을 이용해서 9가지의 시트에 대한 승차감 지수 평가를 수행하여, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 고속 도로 (road 1)와 국도 (road 2)를 주행해서 얻은 차시에서의 신호를 통해 추정된 전체 승차감 지수는 유사하게 평가되었는데, 반발 계수가 71 %정도 되는 1, 2, 그리고 3번 시트의 전체 승차감 지수가 가장 낮게 평가가 되었으며, 반발 계수가 46 %정도가 되는 7, 8, 그리고 9번 시트의 전체 승차감 지수는 큰 값으로 평가가 되었다. 즉 반발 계수가 71 %인 시트의 전체 승차감 지수가 반발 계수가 46 %인 시트의 전체 승차감 지수보다 각각 6.3 %, 5.8 %의 감소를 가져옴을 알 수가 있다. 따라서 낮은 강성의 시트에서의 진동 절연율이 더 크다는 것을 알 수 있다.

5. 시트의 동특성 설계

시트의 동특성 설계를 위해서 시트 수직 방향의 스프링 (k_{sv1})과 댐퍼(c_{sv1})의 변화에 따른 전체 승차감 지수의 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 이로부터 k_{sv1} 을 작게 하여 주고, c_{sv1} 을 크게 하는 것이 전체 승차감 지수를 크게 줄

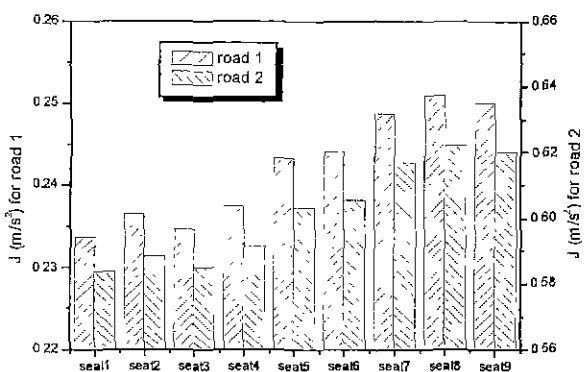


Fig. 8 Overall ride value of each seat for two roads

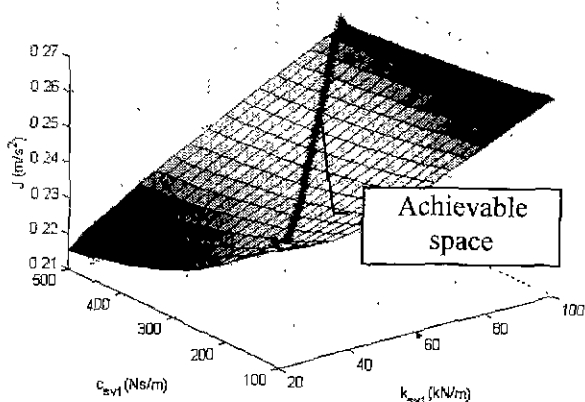


Fig. 9 Map of overall ride value with regard to seat parameters for road 1

여 줄 수 있다는 것을 알 수가 있다. 그리고 동일한 댐핑 계수에 대해서, c_{sv1} 이 140 Ns/m보다 작은 값인 경우에는 최적의 스프링 값이 존재하지만, 그 이상의 값에서는 최적의 스프링 값이 없이 낮은 강성의 시트가 더 적은 진동을 전달 하게 된다. 반면에 동일한 스프링 계수에 대한 최적의 댐핑 계수는 스프링 계수의 값에 따라 결정된다.

그런데 Fig. 9과 같이 폴리우레탄 폼의 전 영역에서 폼을 제작하는 것은 현실적으로 어려운 일이며, 시트는 식 (3)과 같은 물리적 구속 조건을 가지므로, 실제 제작 가능한 구간(achievable space)은 Fig. 9와 같이 도달 가능한 영역의 제한을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 시트 구속 조건을 이용해서 각 도로에 대해서 시트 인자 변화에 따른 전체 승차감 지수의 값을 Fig. 10에 각각 나타내었다. 이 결과로부터 최적의 스프링 및 댐핑 계수는 road 1과 2에 대해서 36 kN/m, 31 kN/m 그리고 188 Ns/m, 163 Ns/m를 얻을 수가 있다.

그런데 이러한 관계식은 폴리우레탄 폼의 화학적 제작 기술에 따라 제한을 받게 되어, 회사에 따라서 제작 가능

한 공간이 변화할 수 있다. 따라서 Fig. 11과 같이 구속 조건식을 아래의 식과 같이 일정한 범위(ϵ)내에서 변화를 시켜 승차감 평가를 수행하였다.

$$c_{sv2} = \alpha k_{sv1} + \beta + \epsilon \tag{7}$$

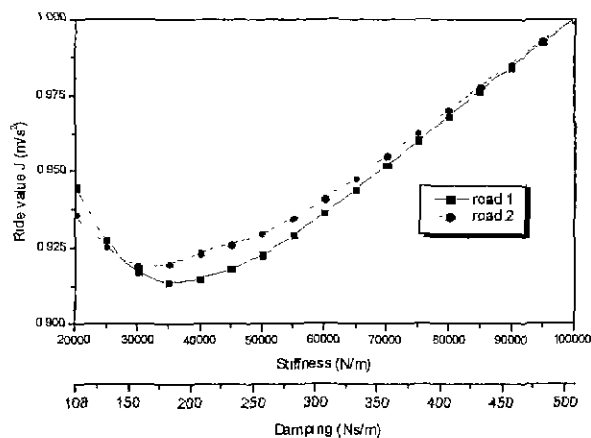


Fig. 10 Normalized ride value with optimal seat properties for various roads

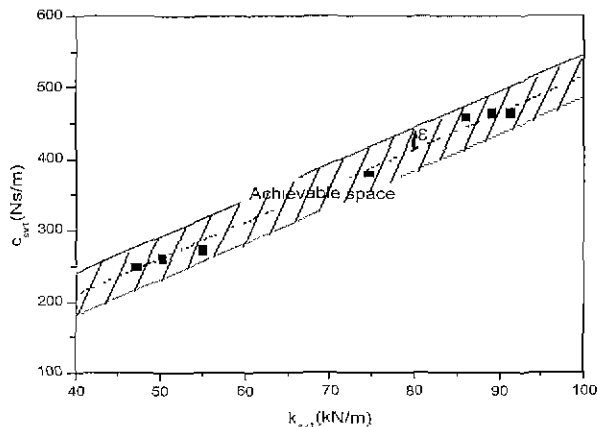


Fig. 11 Achievable space in stiffness and damping

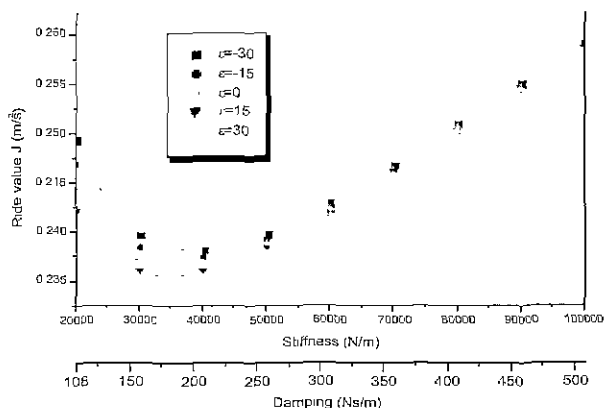


Fig. 12 Optimal seat properties according to ϵ

그 결과는 Fig. 12와 같이 ϵ 이 양수인 경우는 동일한 스프링 계수에 비해서 댐핑 계수가 증가되는 경우와 동일한 댐핑 계수에 대해서 스프링 계수를 낮추어 주는 효과를 가져오게 되므로, ϵ 을 크게 할수록 전체 승차감 지수가 줄어들게 되며, ϵ 이 클수록 최적의 스프링 계수는 더 작게 나타난다는 것을 알 수 있다. 그러므로 승차감을 증진시키기 위해서는 가능한 범위에서 ϵ 을 크게 할 수 있는 폴리우레탄 폼의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 인체 진동 모델과 실차의 사시에서 측정된 가진 신호를 이용해서 시트의 물성치 변화에 따른 시트 동적 승차감 평가를 수행하였다.

시트의 강성과 댐핑 특성의 변화에 대한 모든 영역에서의 전체 승차감 지수는 낮은 강성과 높은 댐핑의 시트가 우수한 진동 승차감을 보였다. 하지만 실제 제작 가능한 폴리우레탄 폼은 강성과 댐핑 계수가 선형의 관계를 이루는 물리적 제약 조건을 가지므로, 임의의 강성과 댐핑 계수를 얻는다는 것은 현재의 기술로는 한계가 있음을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 시트 설계에 폴리우레탄 폼의 물리적 구속조건을 이용하여 승용차 주행시 주르 운행하게 되는 2가지의 도로에 대해서 최적의 강성과 댐핑 계수를 결정하였으며, 폴리우레탄 폼의 특성을 좀 더 넓은 범위에서 제작을 하는 기술이 필요함을 알 수가 있었다.

후 기

본 연구를 지원하여 주신 주식회사 한일 관계자 분들, 주식회사 한국 폴리우레탄 관계자 분들에게 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Griffin, M. J. 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- (2) International Organization for Standardization, International Standard 2631-1:1997, 1997. "Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration".
- (3) British Standards BS 6841, 1987, "Measurement and evaluation of human exposed to whole-body mechanical vibration and repeated shock".
- (4) 조영건, 정완섭, 박세진, 윤용산. 1997, "내구력 도로와 요철 도로에서 승용차의 승차감 지수 평가", 한국소음진동공학회지, 제 7 권, 제 6 호, pp. 1025~1030.
- (5) 조영건, 윤용산. 1999. "승용차에서의 인체진동 측정 및 시트 특성 최적 설계", 대한기계학회논문집 A권, 제 23 권, 제 7 호, pp. 1155~1163.
- (6) 조영건, 박세진, 윤용산, 2000, "물성치가 다른 시트에서의 인체 진동 및 승차감 평가", 한국자동차공학회, 제 8 권, 제 3 호, pp. 171~180.
- (7) Gerardi J. Gouw, Subhash Rakheja, Seshadri Sankar, Yohannes Afework, 1990, "Increased Comfort and Safety of Drivers of Off-Highway Vehicles Using Optimal Seat Suspension", SAE 901646.
- (8) M. Demic. 1991, "A Contribution to Optimization of Vehicle Seats". Vol. 12, No. 5/6, pp. 618-629.
- (9) E. Beger, B. J. Gilmore, 1993, "Seat Dynamic Parameters for Ride Quality". SAE930115.
- (10) Rakheja, S., Afework, Y., Sankar, S., 1994, "An Analytical and Experimental Investigation of the Driver-Seat-Suspension System", vehicle system dynamics, vol. 23, pp. 1513-1531.
- (11) Amrouche F. M. L., M. Xie, A. Patwardhan, 1994. "Optimization of the Contact Damping and Stiffness Coefficients to Minimize Human Body Vibration," Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 116, pp. 413~420.
- (12) Wan, Y., Schimmels, J. M., 1997, "Optimal Seat Suspension Design Based on Minimum Simulated Subjective Response", Journal of Biomechanical Engineering, Vol. 119, pp. 409-416.
- (13) 조영건, 박세진, 윤용산. 2000, "승차감 평가를 위한 수직 방향의 인체 진동 모델 개발", 한국소음진동공학회, 제 10 권, 제 2 호, pp. 269~279.
- (14) SAE Standard, SAE J1013, 1992, "Measurement of Whole Body Vibration of the Seated Operator of off-highway Work Machines".
- (15) ASTM D 3574, 1995, "Standard Test Method for Flexible Cellular Materials Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams".
- (16) Huygens, E., Leenslag, J. W., Kotaj, S., Nakamura, H., 1995, "New MDI Foam for Automotive Seating Application", UTECH Asia, paper 13.
- (17) Memecke, E. A., Clark, R. C., 1973, Mechanical Properties of Polymeric Foams, Technomic Publishing Co.