

체감 진동량 평가를 위한 조향 휠 진동의 주파수 가중치 결정

홍 석 인¹⁾ · 장 한 기^{*1)} · 김 승 한²⁾

고등기술연구원¹⁾ · 아주대학교 대학원²⁾

Determination of Frequency Weighting Curves for the Evaluation of Steering Wheel Vibration

Seok-In Hong¹⁾ · Han-Kee Jang^{*1)} · Seung-Han Kim²⁾

¹⁾Institute for Advanced Engineering, 633-2 Goan-ri, Baegam-myon, Yongin, Gyeonggi-do 449-863, Korea

²⁾Department of Systems Engineering, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

(Received 5 March 2003 / Accepted 17 April 2003)

Abstract : This study aims to find frequency weighting curves for the evaluation of drivers' discomfort by vertical and rotational steering wheel vibration. Equal sensation curves, inverse of frequency weighting curves, were determined for the two kinds of vibrations respectively by using the sinusoidal signals with reference amplitudes from 0.2 to 0.4 m/s² in the frequency range from 5 to 100 Hz. Twelve subjects joined at the tests, and median values of the twelve judgments were used to determine the equal sensation curves. An experiment was followed to compare the relative sensation magnitude between the two kinds of equal sensation curves, which showed discomfort by the rotational vibration was 1.5 times of that by the vertical vibration at 50 Hz.

Key words : Steering wheel vibration(조향 휠 진동), Equal sensation curve(등 감각 곡선), Frequency weighting curve(주파수 가중치 곡선), Subjective test(주관평가)

1. 서론

최근에 들어서 소비자가 차량의 만족도를 평가함에 있어서 '안락성'이 차지하는 비중이 점차로 증대되고 있다. 안락성은 크게 정적인 것과 동적인 것으로 나눌 수 있는데, 주행 주의 안락성을 좌우하는 동적 안락성은 탑승자에게 전달되는 진동 특성에 의해 크게 영향을 받는다. 운전자에게 전달되는 진동의 3가지 유형은, 시트 쿠션과 시트 백을 통한 전신 진동, 조향 휠을 통한 수완계(hand-arm) 진동, 페달과 바닥을 통한 발 진동을 들 수 있다. 이 중에서 신체의 안락성에 가장 큰 영향을 미치는 시트 진동에

대해서는 많은 연구들이 수행되어 왔으나, 조향 휠 진동에 의한 안락성에 관한 연구는 최근에 들어 관심대상으로 부각되고 있다.

조향 휠의 진동은 흔히 셰이크(shake)와 슈미(shimmy)로 분류하는데, 전자는 차량의 아이들링 상태에서 주로 문제가 되고, 후자는 주행 중 노면과 타이어의 상호작용에 의해 발생하는 것이 보통이다. 진동이 사람에게 미치는 영향을 정량적으로 평가하려면 물리적 진동량을 체감 진동량으로 환산해 주어야 하는데, 이를 가능케 하는 것이 바로 주파수 가중치 함수이다.¹⁾ 시트 진동과 바닥 진동의 경우 인체의 주파수 가중치가 이미 도출되어 널리 활용되고 있으나,^{2,3)} 조향 휠 진동에 대한 주파수 가중치는 아직 확립된 것이 없다. ISO 5349-1에서는 손으

*To whom correspondence should be addressed.
hkjang@iae.re.kr

로 전달되는 진동에 대한 주파수 가중치를 제시하고 있으나, 이는 동력공구(power tool)의 핸들을 강하게 쥐고 작업하는 자세에 대한 것으로서 조향장치를 쥐고 있는 자세와는 매우 큰 차이가 있다.⁴⁾ 미쉐린사와 르노 자동차는 최근에 조향 축의 회전 진동에 대한 체감특성을 공동으로 연구하여 발표한 바 있다.⁵⁾ 이 연구에서는 5~315 Hz의 범위에서 조향 휠의 회전 진동에 대한 안락성 평가시험을 수행하여 등 감각 곡선(equal sensation curve)을 도출하고 이로부터 주파수 가중치를 결정함으로써, 조향 휠의 회전 진동(shimmy)의 주파수별 체감 특성 평가를 가능하도록 하였다.

본 논문에서는 조향 휠의 회전 진동뿐만 아니라 수직 방향의 진동(vertical shake)에 대한 주파수 가중 특성을 추출하기 위한 주관평가 시험을 각각 수행하였다. 이어서, 두 가지 진동이 동시에 존재할 때 상대적인 불편함을 정량적으로 평가할 수 있도록 두 가지 진동에 의한 불편함을 상대 평가하는 시험도 아울러 수행하였다. 일련된 시험의 목적은 조향 휠의 회전 진동과 수직방향 진동에 대한 인체의 주파수 가중 특성을 정성적, 정량적으로 결정하는 것이다.

2. 실험장치 구성

조향계 진동의 안락성 평가를 위한 시험장치는 Fig.1과 같다. 실제 운전조건과 유사하도록 시트가 고정된 승용차의 차체 골격(BIW)을 바닥에 고정시키고, 실제 차량에서와 동일한 위치에 조향 휠을 설치하였다. 조향 휠 지지대와 차체는 각각 별도로 정반에 고정함으로써 조향 휠의 진동이 차체에 직접 전달되지 못하도록 하였다.

조향 휠이 조향 축에 대한 수직 방향과 회전 방향으로 각각 진동할 수 있도록 두 개의 가진기를 설치하였는데, 수직 방향 가진에는 IMV(VS -120-06) 가진기를, 회전 방향 가진에는 MB Dynamics(Modal 50) 가진기를 각각 사용하였다. 각 방향으로의 가진 원리는 Fig.2의 (a)와 (b)에 도시한 바와 같다. 본 시험에서는 조향 휠의 경사각을 23°로 유지하였다.

차체와 시트는 동일 차량의 부품을 사용하였으며, 피 평가자가 편안한 운전 자세를 취할 수 있도록

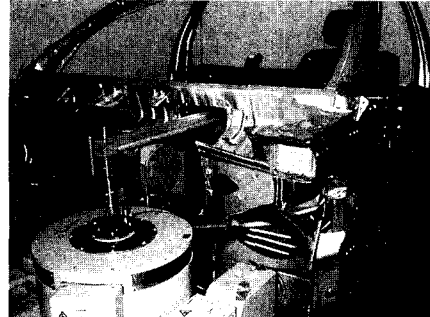


Fig. 1 Experimental setup for the generation of steering wheel vibration in the vertical and rotational direction

시트의 전후, 상하 위치 조절과 등받이의 각도 조절이 가능하도록 하였다. 조향 휠의 그립 부분의 사이즈 역시 해당 차량의 것과 동일하도록 하였으며, Fig. 3과 같이 제작된 조향 휠의 직경은 330 mm이고 핸들의 직경은 30 mm였다. 조향 휠은 자체 공진 주파수가 100 Hz 이상이 되도록 알루미늄 재질을 이용하여 일체(solid)로 제작하였으며, 손잡이 부분을 절

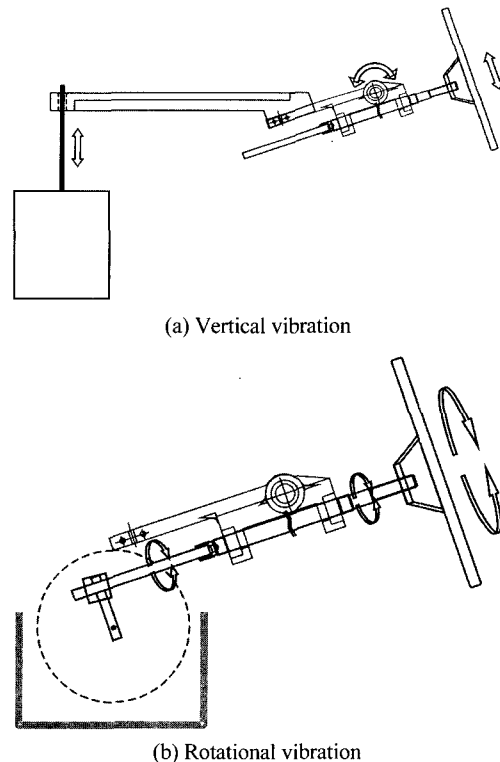


Fig. 2 Schematic diagram of the generation of steering wheel vibration

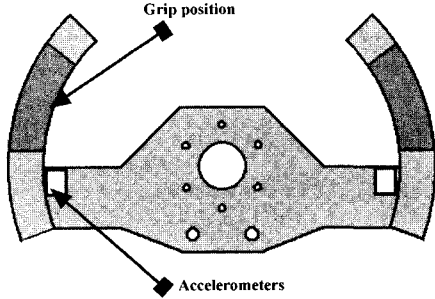


Fig. 3 Position of grips and accelerometers

연재로 감싸서 평가 도중에 손의 체온 저하를 방지하도록 하였다. 운전자의 손에 전달되는 가속도를 측정하기 위한 가속도계(B&K 4383)는 그립 부분 바로 아래 부분에 부착하여, 수직 방향 진동과 회전 진동시의 가속도 측정이 가능하도록 하였다.

가진 신호는 B&K 1049 신호발생기를 이용하여 가진기 앰프에 부과되었으며, 측정된 가속도 신호의 수집에는 데이터 수집 보드(National Instrument 사, PCI-6052E)를 장착한 PC가 사용되었다. 수집된 신호의 후처리와 주관평가 결과의 정리는 LabVIEW를 이용하여 자체 개발한 프로그램을 사용하였다.

3. 등 감각 곡선 추출 시험

본 연구에서의 등 감각 곡선(equal sensation curve)의 정의는, 동일한 크기의 안락성 또는 불편함을 주는 자극(진동)의 크기를 주파수 축에 대해 연결한 곡선을 의미한다. 예를 들어, 50 Hz에서 1 m/s^2 의 가속도가 주는 불편함이 60 Hz에서 1.5 m/s^2 의 가속도가 주는 불편함과 동일하다면 이 두 점을 잇고, 마찬가지로 다른 주파수에까지 확장하면 하나의 연결된 곡선이 얻어지는데, 이 곡선이 등 감각 곡선 또는 등 안락성 곡선(equi-comfort contour)이다. 그리고 물리적 진동의 크기를 체감량으로 환산하기 위해 필요한 주파수 가중치 함수는 바로 등 감각 곡선의 역수값이다. 3장에서는 5~100 Hz범위에서의 조향 휠의 수직 방향 진동과 회전 방향 진동에 대한 등 감각 곡선을 구하는 시험을 수행하였다.

3.1 시험방법

등 감각 곡선을 만들려면 우선 기준이 되는 진동

신호의 주파수와 크기를 설정하고 이 신호와 동일한 감각을 주는 진동신호들을 결정하는 과정을 반복하게 되며, 이를 위해 감각 크기(sensation magnitude) 비교법을 사용하였다.⁶⁾ 피 평가자에게 처음 10초간 기준(reference) 신호를 주고 이어서 주파수를 바꾼 테스트 신호를 부여하는데, 이 때, 테스트 신호의 가속도 크기를 변화시키면서 피 평가자로 하여금 기준 신호와 비슷한 불편함을 갖는 테스트 신호의 크기를 결정하도록 한다. 만일 피 평가자가 30초 이내에 결정하지 못할 경우나 피 평가자가 기준 신호의 감각을 잃어 버렸을 경우에는 피 평가자에게 재차 기준 신호를 부가하여 판단을 돕도록 한다.

3.2 기준신호와 테스트 신호

본 연구에서는 진동의 주파수 범위를 5~100 Hz로 설정하였다. 실제 차량에서 조향 휠의 진동은 수백 Hz까지 문제가 될 수 있으나, 구조물 진동은 첫 번째 또는 두 번째 공진 주파수가 가장 중요하게 다루어지는 것이 일반적이고 진동에 대한 인체의 반응 역시 저주파수일수록 더 민감하다.¹⁾ 조향 휠 진동의 측정결과를 다룬 연구들을 보면,⁷⁻¹⁰⁾ 조향 휠의 진동과 관련된 피크가 뚜렷하게 나타나기 시작하는 주파수는 30~60 Hz정도이다.

본 시험에서 분석 대상으로 정한 테스트 신호의 주파수는 10 Hz부터 100 Hz까지를 1/3 옥타브 밴드로 나누어 중심 주파수와 5 Hz를 추가하여 5, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100 Hz로 정하였다. 그리고, 초기 기준 신호는 진동의 크기별로 세 가지를 선정하였는데 Table 1에 정리한 바와 같다.

다음 표에서 기준 신호들의 크기는 실제 조향 휠에서 측정되는 진동량의 수준을 포함하도록 결정된 것이다. 기준 신호 1의 경우 10 Hz에서 0.1 m/s^2 의 가속도를 선정하려고 하였으나 가진기 성능의 문제로 20 Hz, 0.2 m/s^2 부터 시험을 시작하였다.

Table 1 Initial reference signals for the equal sensation tests

	Frequency (Hz)	Amplitude (m/s ² , r.m.s.)
Reference-1	20	0.2
Reference-2	10	0.2
Reference-3	10	0.4

3.3 주관평가 시험의 진행

Table 1에 제시된 기준 신호를 초기 신호로 선정하고, 이 신호와 임의의 주파수를 갖는 테스트 신호를 비교하는데 동일한 불편함을 주는 테스트 신호의 크기를 피 평가자가 결정한다. 이 때 테스트 신호는 기준 신호 주파수의 두 배를 넘지 않는 범위의 3가지 주파수 중에서 임의로 골라서 비교한다. 예를 들어, 초기 기준 신호를 기준 신호-2로 선정한 경우, 기준 신호는 10 Hz, 0.2 m/s²가 되고, 테스트 신호는 12.5, 16, 20 Hz 중의 하나가 된다. 세 가지 테스트 신호를 랜덤한 순서로 각각 기준 신호와 비교를 하여 각 주파수에서 기준 신호와 동일한 불편함을 주는 진동의 크기를 결정한다. 한 옥타브 내의 테스트 신호 중에서 주파수가 가장 큰 20 Hz의 신호와 이 때 결정된 진동의 크기가 다음 옥타브의 기준 신호가 된다. 이와 같은 과정을 최대 주파수까지 반복 수행하면 등 감각 곡선이 결정된다.

본 연구에서 서로 비교하는 신호의 주파수를 한 옥타브 이내로 제한한 이유는, 사람은 자극의 절대적인 크기보다 상대적인 크기에 익숙하며,¹¹⁾ 주파수가 지나치게 차이가 날 경우 진동에 의한 반응의 비교 판단이 어려워지기 때문이다.

평가의 신뢰도를 높이기 위해서 주파수를 상승시키면서(upward) 평가를 수행하고 반대로 최대 주파수에서 시작하여 주파수를 감소시키면서(downward) 평가를 수행한 후, 두 차례 얻어진 진동의 크기를 평균하여 등 감각 곡선을 결정하였다.

3.4 피 평가자

수완계(hand-arm system) 관련 질환이 없는 16명의 건강한 남성을 피 평가자로 선정하였고, 각 실험마다 12명의 피 평가자를 무작위로 뽑아서 실험을 진행하였다. 주관 평가 시험에서 평가자의 수는 결과의 신뢰도와 매우 밀접한 관계가 있으며 많을수록 바람직하다고 할 수 있다. 중간값(median)과 4분위(quartile) 값 분석을 수행하는 비 매개변수 통계학(Nonparametric statistics)을 활용할 경우 표준편차나 고차 모멘트 해석과 같은 정보를 얻을 수는 없으나 표본의 수가 크지 않아도 비교적 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다.¹²⁾

Table 2 Basic informations of the subjects and the postures with the standard deviation

	Vertical vibration	Rotational vibration
Age(yr)	31.5(3.75)	31.1(3.23)
Height(cm)	175.4(6.53)	175.8(5.13)
Weight(kg)	71.6(9.93)	74.2(11.22)
Arm angle(°)	130.8(8.51)	136.2(9.40)
Wrist angle(°)	170.7(8.71)	167.7(9.10)
Back angle(°)	23.0(3.99)	27.8(4.52)
Shoulder angle(°)	38.0(4.96)	38.0(4.70)

Table 2에는 등 감각 곡선 추출 시험에 참가한 피 평가자의 기본 정보와 운전자세에 관한 정보를 정리하였다.

3.5 결과분석

5 Hz부터 100 Hz까지 1/3 옥타브 밴드의 중심주파수에서 조향 휠의 수직 방향 진동과 회전 방향 진동 각각에 대해서 12명의 피 평가자를 대상으로 등 감각 곡선 추출 시험을 수행한 결과를 Fig.4에 도시하였다. 3가지 초기 기준 신호로부터 얻어진 등 감각 곡선을 도시하였는데, 곡선상의 각 점은 12명의 피 평가자 평가치의 중간값(median)에 해당하는 값이다. 평균값(average)이 아니라 중간값을 사용한 이유는, 자극과 인체 반응의 크기의 상관관계를 나타내는 심리물리학 법칙이 중간값에 대해서 더 잘 표현되기 때문이다.⁵⁾

두 가진 진동에 대한 등 감각 곡선을 보면, 주파수 증가와 함께 진동의 크기 또한 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 운전자의 입장에서 볼 때 진동의 크기가 동일하다면 저주파수일수록 진동에 더 민감하다는 것을 의미한다. 또 초기 기준 신호가 바뀌어도, 즉 진동량의 크기가 바뀌더라도 등 감각 곡선의 전반적인 형태는 유사한 것으로 나타나고 있어서 해당 진동량 범위내에서 주파수 가중치를 도출해 내는데 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

주파수 가중치는 Fig.4와 세 가지 초기 기준 신호에 대한 등 감각 곡선에 역수를 취한 후 평균한 값으로 결정하였다. 주파수 가중치 곡선은 단순히 주파수별 상대적인 가중치를 의미하며 특정 주파수의 값을 기준으로 표준화(normalize)하여 데시벨

Determination of Frequency Weighting Curves for the Evaluation of Steering Wheel Vibration

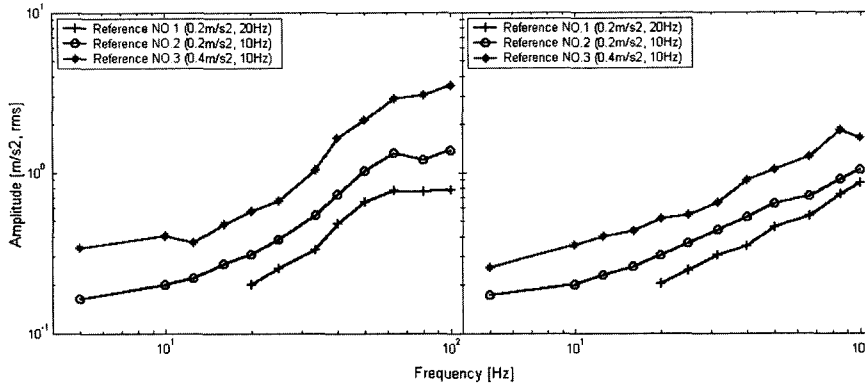


Fig. 4 Equal sensation contours of vertical(left) and rotational(right) steering wheel vibrations

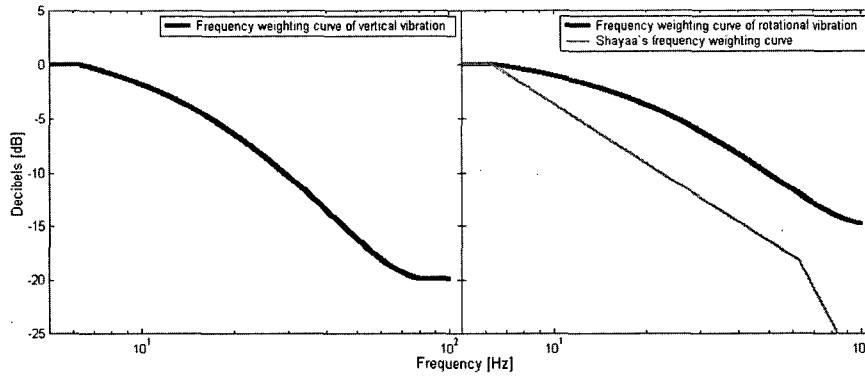


Fig. 5 Frequency weighting curves for the vertical(left) and rotational(right) steering wheel vibration

(decibel) 스케일로 나타낼 수 있다. 이와 같이 결정된 곡선을 실제 진동신호에 적용하기 용이하게 하려면 수식으로 표현하는 것이 바람직하며, 본 연구에서는 2차 다항식의 함수 형태로 주파수 가중치 함수를 표현하였다.

Fig.5에는 주파수 가중치 함수의 기울기가 변하는 구간별로 구간을 나누어 근사식으로 표현한 주파수 가중치를 나타내었다. 수직 방향의 진동에 대한 주파수 가중치 함수는 6.3 Hz와 80 Hz를 기준으로 3개의 구간으로 나누어 주파수 가중치 함수를 정의하였고, 회전 진동의 경우 6.3 Hz 이하와 이상 두 구간으로 나누어서 주파수 가중치 함수를 정의하였으며, 이를 수식 (1)과 (2)로 표현하였다. 수식에서, W_v 와 W_r 은 각각 수직방향 및 회전방향 진동의 주파수 가중치 함수를 의미하며, f 는 주파수이다. 6.3 Hz

를 기준으로 구간을 나누는 이유는 Miwa의 등 감각 곡선¹³⁾에 근거를 두고 있다. 손에서 느끼는 체감진동은 6.3 Hz 이하의 주파수에서 거의 동일하며, 이 결과는 손 전체가 흔들리는 운동에 관련된 것으로서 쥐는 조건이나 자세와 크게 상관없이 적용된다.

$$W_v = \begin{cases} 0 [dB], & (\sim 6.3 \text{ Hz}) \\ 0.0033f^2 - 0.5551f + 3.3662 [dB], & (6.3 \sim 80 \text{ Hz}) \\ -19.92 [dB], & (80 \sim 100 \text{ Hz}) \end{cases} \quad (1)$$

$$W_r = \begin{cases} 0 [dB], & (\sim 6.3 \text{ Hz}) \\ 0.00153f^2 - 0.3144f + 1.9223 [dB], & (6.3 \sim 100 \text{ Hz}) \end{cases} \quad (2)$$

수식에 의하면 수직방향 진동의 경우 6.3~80 Hz 구간에서 주파수 한 옥타브 당 6 dB 정도 감소하며, 회전 진동의 경우 6.3~100 Hz구간에서 옥타브 당

4.7 dB 감소하는 결과를 보이고 있다. 조향 휠의 회전 진동(shimmy)에 대한 주파수 가중치를 도출한 Shayaa 등⁵⁾은 주파수 가중치 함수를 로그-로그 관계에서 직선형태로 커브피팅하여 제시하였는데, 6.3~63 Hz구간에서 옥타브 당 5.5 dB 감소한다고 보고하고 있어서 본 연구결과보다 기울기가 다소 가파른 것으로 나타나고 있다. 정성적으로는 유사한 결과를 나타내고 있음에도 불구하고 이와 같은 정량적인 차이를 보이는 것은 피 평가자의 신체조건과 자세의 차이 또는 시험장치의 차이 등에 기인한 것으로 사료된다.

4. 상대적인 안락성 크기의 결정

4.1 목적

3절에서 도출한 주파수 가중치들은 조향 휠의 수직 진동과 회전 진동 각각에 대해 독립적으로 결정된 것으로서 해당 진동에 대해 주파수에 따른 상대적인 민감도를 제공하지만 두 가지 종류의 진동에 대한 상대적인 안락성의 크기를 알려주지는 못한다. 4장에서는 조향 휠의 수직 방향 진동의 주파수 가중치와 회전 방향 진동의 주파수 가중치의 상대적인 크기를 결정하기 위한 시험을 수행하였다.

4.2 시험 방법 및 기준 신호

두 가지 진동에 대한 상대적인 안락성을 결정하기 위해서 특정 주파수(50 Hz)에서 일정한 크기의 수직 진동량과 동일한 불편함을 제공하는 회전 진동량의 크기를 결정하는 시험을 수행하였다. 평가 방법은 3장에서 사용한 방법과 대동소이하다. 비교 시험을 위해 사용된 기준 신호들은 Fig.4의 곡선에서 50 Hz에 해당하는 값들을 사용하였으며 Table 3에 정리한 바와 같다. 기준 신호 1, 2, 3은 수직 방향 진동을 기준 신호로 한 경우이고, 기준 신호 4, 5, 6은 평가의 신뢰도를 높이기 위해 회전 진동 신호를 기준 신호로 삼아서 중복 평가한 경우이다.

4.3 피 평가자

안락성의 상대적인 크기를 결정하기 위한 시험에서도 등 감각 곡선 추출 시험과 마찬가지로 12명의 피 평가자를 선정하였으며 회전 진동에 대한 등 감

Table 3 Reference signals for the discomfort comparison test

	Frequency (Hz)	Type of vibration	Amplitude (m/s ² , r.m.s)
Reference-1	50	Vertical	0.66
Reference-2			1.02
Reference-3			2.11
Reference-4	50	Rotational	0.45
Reference-5			0.64
Reference-6			1.03

각 곡선 추출 시험에 참가하였던 피 평가자를 그대로 활용하였다.

4.4 결과분석

Fig.4의 특정 주파수(50 Hz)에서 조향 휠의 수직 방향 진동의 크기와 동일한 불편함을 주는 회전방향 진동의 크기가 결정되면, 두 가지 곡선의 정량적인 비교가 가능해진다. 본 시험에서는 수직방향에 대해 3가지 기준신호, 회전방향에 대해 3가지 기준신호를 이용하여 동일한 불편함을 주는 테스트 진동의 상대적인 크기를 결정할 수 있었으며 이 결과를 Fig.6에 도시하였다.

이 그림에는 모두 18개 포인트의 데이터가 있는데 6개의 기준 신호에 대한 비율을 중간값(50%)과 25%, 75%의 값으로 표현했기 때문이다. 한 세트의 데이터가 수직으로 분포된 것은 기준 신호가 수직 진동인 경우이고, 수평으로 분포된 세트의 데이터는 기준신호가 회전 진동에 대한 것을 나타낸다. 영점을 지나는 직선을 이용하여 중간값에 대한 추

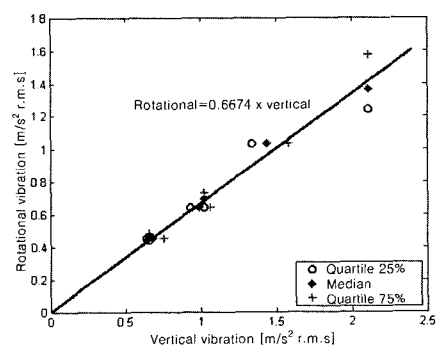


Fig. 6 Linear regression of the ratios between the vertical and rotational vibration magnitude that yield the same amount of discomfort

체감 진동량 평가를 위한 조향 휠 진동의 주파수 가중치 결정

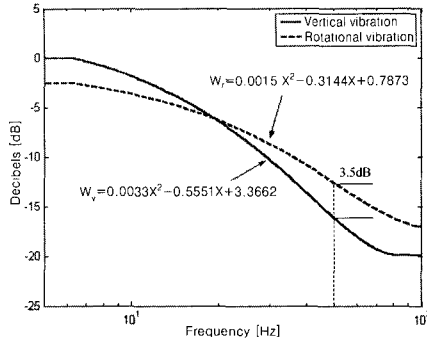


Fig. 7 Quantitative comparison of two kinds of frequency weighting curves

세선을 그리면 실선의 기울기가 0.667로 얻어지는데, 이 값이 바로 조향 휠의 수직방향 진동의 불편함을 회전방향 진동에서의 불편함으로 변환시켜 주는 비율이 된다.

이 결과를 고찰해 보면, 50 Hz에서 가속도의 크기가 1 m/s²인 수직방향 진동과 가속도의 크기가 0.667 m/s²인 회전방향 진동이 대등한 불편함을 준다는 것이다. 즉 50 Hz에서 동일한 크기의 진동이 가해진다면 회전 방향의 진동이 약 1.5배(3.5dB) 더 큰 불편함을 운전자에게 준다는 말할 수 있다.

이 시험에서 얻어진 50 Hz에서의 비율을 이용하면 Fig.7과 같이 두 가지 주파수 가중치 곡선을 한 좌표계에 표현하는 것이 가능해진다. 두 가지 진동에 대한 주파수 가중치 곡선을 비교해 보면 20 Hz를 전후해서 상대적인 중요도가 바뀌고 있는데, 20 Hz이하의 주파수에서는 수직방향 진동이 사람에게 더 큰 불편함을 주고 20 Hz이상에서는 회전 진동이 더 큰 불편함을 주고 있다. 그림에서 회전 진동에 대한 주파수 가중치 수식이 식 (2)와 다소 차이가 있는 것은, 두 가지 주파수 가중치의 상대적인 크기를 결정하기 위해, 회전 진동에 대한 가중치의 스케일을 조정하였기 때문이다.

5. 결론

본 연구에서는 조향 휠의 수직 방향 진동과 회전 방향 진동이 주파수의 변화에 따라 운전자에게 주는 불편함을 평가하기 위해 등 감각 곡선 추출 시험을 수행하였으며, 이어서 두 가지 진동에 대해 독립

적으로 결정된 주파수 가중치 함수들의 상대적인 크기를 결정하기 위한 안락성 상대비교 시험을 수행하였다. 이를 통해 두 가지 유형의 진동에 대한 주파수 가중치 함수를 도출할 수 있었다.

이와 같은 과정을 통해 도출된 주파수 가중치를 활용하면, 실제 차량에서 두 가지 진동이 공존할 때 어떤 진동이 운전자에게 더 큰 불편함을 주는지 정량적으로 판단할 수 있게 되며, 나아가서 저감 대상이 되는 진동들의 우선순위를 결정할 수 있게 된다.

후 기

본 연구는 국가지정연구실 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

References

- 1) M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.
- 2) International Organization for Standardization, ISO 2631-1, Mechanical Vibration and Shock: Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration, 1997.
- 3) British Standards Institution, BS 6841, Guide to the Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock, 1987.
- 4) International Organization for Standardization, ISO 5349-1, Mechanical Vibration: Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration, 2001.
- 5) M. S. Shayaa, J. A. Giacomini, E. Dormegnien and L. Richard, "Human Perception of Sinusoidal Rotational Steering Wheel Vibration," 36th UK Group Conference on Human Response to Vibration, Farnborough, U.K., 2001.
- 6) S. S. Stevens, Psychophysics-Introduction to its Perceptual, Neural, and Social Prospects, New Brunswick, 1986.
- 7) B.-K. Bae, P.-J. Heo, B.-K. Yoo, "Experimental Analysis for Steering Wheel Shimmy in Passenger Vehicle," Proceedings of the KSNVE Fall Conference, pp.439-443, 2001.
- 8) D.-H. Lee, M.-E. Kim, "Improvement of Steering

- Wheel Idle Vibration in a Passenger Car Using Design Sensitivity Analysis," Transactions of KSAE, Vol.8, No.2, pp.129-137, 2000.
- 9) M. A. Demers, "Steering wheel vibration Diagnosis," SAE 2001-01-1607, 2001.
 - 10) S. Amman, B. Pielemeier, D. Snyder and F. Toting, "Road Vibration Investigation using the Ford vehicle," SAE 2001-01- 1572, 2001.
 - 11) S. Coren, L. M. Ward, Sensation and Perception, 3rd ed., Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, Fort Worth, 1989.
 - 12) W. W. Daniel, Applied Nonparametric Statistics, PWS-Kent Publishing Company, 1990.
 - 13) T. Miwa, "Evaluation Methods for Vibration Effect, Part 3 : Measurements of threshold and equal sensation contours on hand for vertical and horizontal sinusoidal vibrations", Industrial Health, Vol.5, pp. 213-220, 1967.