

# 차량승차감 평가지수 개발에 대한 연구

°장한기\*, 김승한\*, 조영호\*

## Development of Vehicle Ride Index Using Measured Accelerations

Han-Kee Jang, Seung-Han Kim, Young-Ho Cho

### ABSTRACT

차량 개발에 있어서 승차감(Ride)과 조향성능(Handling)의 평가는 차량의 동적 성능을 판단하는 주 인자인데, 차량업계에서는 이들 평가의 대부분을 주관적인 방법에 의존하고 있다. 최근에는 주관평가 의 문제점을 해소하기 위해 차량의 동적 거동을 직접 측정함으로써 평가를 객관화하려는 시도가 많이 행해지고 있다. 본 연구에서는 승차감 평가를 위한 정량화 지수를 개발하는데 있어서 저해 요인들을 분석하고 이에 대한 해결방안을 제안함으로써 측정된 물리량을 이용하여 주관평가 결과를 대체할 수 있는 방안을 정립하고자 한다. 우선 정적, 동적 승차감에 대한 모형을 통해서 승차감 정량화의 한계와 기존의 승차감 평가지수에 대해 고찰하고, 실제 차량 시험에서 얻어진 주관 평가치와 측정 가속도간의 상관관계 정립을 통해 관계식을 수립하는 방안에 대해 서술하고자 한다. 이 과정에서 수행시 간헐 적으로 들어오는 충격성 입력을 처리하는 방법도 함께 논하였다.

### 1. 서론

차량개발에 있어서 탑승자의 승차감 향상은 이 미 오래 전부터 중요한 이슈가 되어 왔으며, 최근에는 차량의 품질을 높이기 위한 수단으로 그 중 요성이 더욱 부각되고 있다. 특히, Ride & Handling으로 대변되는 차량의 동적 성능은 개발 된 차량의 수준을 평가하는 척도가 되고 있다. 이 들의 최종 평가는 현재 주관적인 방법에 대부분 의존하고 있는 것이 차량업계의 현실이다. 주관평 가는 현실적으로 가장 풍부한 정보를 제공할 수 있는 반면에 세련된 평가기법을 필요로 하며 환 경적인 요소에 많이 좌우되는 단점을 동시에 갖고 있다. 이와 같은 이유로, 선진 외국의 차량업계에

서는 10여년전부터 차량의 거동을 직접 측정하여 차량의 안락성을 대변하는 정량화 지수를 개발하 여 주관평가결과의 신뢰도를 높이는 시도를 하고 있다.

현재 차량 업계에서 사용하고 있는 승차감 평가 는 운전자가 차량의 승차감 수준을 1에서 10사이 의 값으로 매기는 방식으로 행해지고 있다. 이 방 법은 연속적인 수치 정보로서 제공하는 정보의 양 이 풍부한 반면, 여타 방법과 마찬가지로 주관평 가 과정에서 개입될 수 있는 편차(bias)를 어떻게 줄이느냐가 데이터의 질을 좌우하게 된다[1]. 평가 자에 따라, 또 평가자의 상태나 환경조건에 따라 변할 수 있는 주관평가 결과의 신뢰도를 높일 수 있는 승차감 정량화 지수 개발의 핵심은, 세련된 기법을 적용하여 구해진 주관 평가치(subjective

\* : 고등기술연구원 제품시스템연구실

rating)와 측정된 물리량 사이의 상관관계를 구하는 것이다. 현재까지는 진동의 r.m.s.(root mean square)값이나 r.m.q.(root mean quad)값을 이용한 ride value와 VDV(vibration dose value) 등이 사용되고 있으나[2], 이들 값의 스케일은 심리적인 평가량(차량평가지 사용되는 subjective rating과 같은)을 직접 대변하지는 못한다. 이와 같은 한계를 극복하기 위하여 80년대 후반부터 90년대 초반에 몇가지 주목할 만한 연구들이 수행되었다[3-5].

본 논문에서는 먼저 승차감을 동적 승차감과 정적 승차감으로 분류하는 모형에 대해 고찰함으로써 주관평가결과의 한계와 이들 결과의 신뢰성을 높이는 방법을 명확히 하였으며, 이어서 현재 진행 중에 있는 차량 승차감 평가를 위한 정량화 지수개발 과정을 단계별로 기술한다.

## 2. 차량 승차감 모형

Ebe는 차량에서의 승차감 모형을 Fig.1과 같이 제안하였다[6]. 차량의 승차감은 크게 정적 인자와 동적 인자에 의해 결정되며, 여기서 동적 인자라 함은 차량의 동적 거동과 주로 관련되는 것이다. 따라서 동적인 불편함(discomfort)은 주행 중에 운전자에게 전달되는 진동량이 증가하면 커지는 양이다. 차량의 정적 승차감을 결정하는 요인으로는 인간공학적 요인(인테리어와 공간배치 등)과 시트의 형상 및 체압분포, 온도 및 습도 등 환경 인자를 들 수 있다. 이들 인자들을 다시 두 부류로 나누면, 평가자가 차량에 탑승하는 순간 느껴지는 부

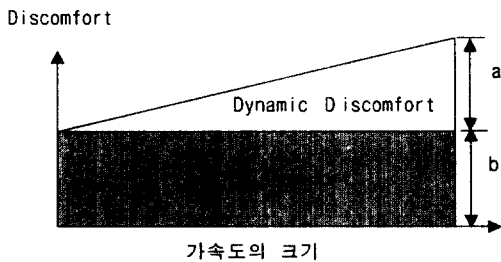


Fig.1 차량 승차감 모형

분(first feeling)과 지속적으로 탑승하고 있으면서 느껴지는 부분이 있는데, 전자의 경우 평가를 주관

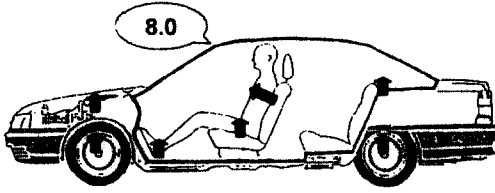
하는 사람이 승차감 평가자에게 이들에 의한 영향을 무시하도록 요구함으로써 상당부분 해결할 수 있다. Fig.1에서는 정적인 불편함을 일정한 것으로 가정하였으나 탑승시간이 장시간이 될 경우 접촉면의 온도나 습도의 증가, 국부적인 체압에 의해 상승할 것으로 예상할 수 있다. 그러나 장시간 안락성 평가를 제외한 일반적인 승차감 평가 과정에서는 일정한 것으로 보아도 무방할 것이다. 위 모형에서 중요한 사안으로는 a와 b의 크기인데, 차량의 등급별로 상대적인 크기가 달라질 것이다. 고급차량의 경우 진동 수준이 전반적으로 낮기 때문에 동적 승차감의 비중(a)이 작고 정적 승차감의 비중(b)이 상대적으로 크다. 반대로, 소형차나 경차의 경우에는 고급차에 비해 상대적으로 동적 승차감이 차지하는 비중이 클 것이다. 따라서 진동 측정을 통한 승차감의 평가에 있어서 차량 등급별로 기준을 달리 하는 것도 고려해볼 직하다.

## 3. 승차감 지수 개발

선진 외국의 차량업계에서는 차량 승차감 평가 지수를 개발하여 사용하고 있으나 이들 대부분은 영업비밀로서 구체적인 내용을 차악하기 힘들다. 현재 공개되어 있는 자료로는, 독일 규격의 하나인 VDI2057에서 제공하는 K-Value[3]와 Kozawa등이 개발한 VN(Vibration Number)[4], Smith 등이 개발한 평가지수인 MPR(Mean Personal Rating) 등이 있으나[5], 이들 모두 개발 초기 단계의 내용들이 공개되어 있거나 세부항목에 대한 설명이 없다. 결국, 차량의 승차감 평가지수는 차량 제조업체에서 독자적으로 실험하여 개발하고 검증한 후 활용할 수밖에 없다.

본 논문의 내용은 이와 같은 취지에서 증장기적으로 추진하고 있는 주관평가의 정량화 작업의 개략적인 내용을 정리한 것이다. 차량 승차감 평가를 위한 정량화 지수 개발 과정은 Fig.2에 도시한 바와 같다. 차량 주행 중에 주요 부위의 거동을 직접 측정하고 동시에, 주관평가도 수행함으로써 두가지 데이터의 상관관계를 규명하는 과정에서 승차감 지수를 구하는 수식을 완성한다.

3장에서는 평가항목의 선정, 차량시험방법과 데이터 수집 및 처리방안, 정량화지수 도출방법과 문제점 등에 대해 간략히 기술한다.



↑: Acceleration Measurement Points

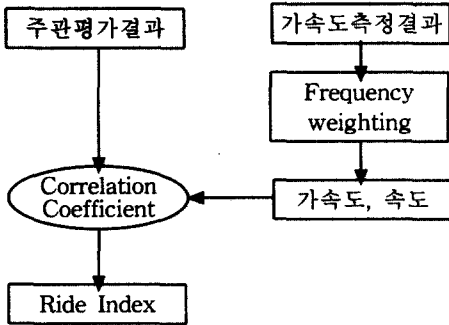


Fig.2 차량의 주관평가와 가속도 측정을 통한 승차감 지수 추출과정

### 3.1. 평가항목의 선정

승차감 지수를 개발하려면 어떤 평가항목에 대한 지수를 개발하여야 할지 정해야 한다. 일반적으로 차량의 승차감 평가는 크게 두 가지로 나누는데 1차(Primary) 및 2차(Secondary) 승차감이 그것이며, 각각은 다시 몇 가지의 세부 평가 항목으로 나뉘어진다. 세부 평가항목은 국가와 기관에 따라 약간의 차이가 있으며, 이에 대한 예를 Table 1에 정리하였다. 네 번째와 다섯 번째 열에는 해당 항목의 측정 용이성과 지수화의 용이성을 나타냈다. Table 1에서 측정성과 지수화 용이성이 높은 경우에 가속도(속도)의 측정량으로 주관평가 결과를 잘 대변할 수 있다고 하겠다. 본 연구에서는 지수화 가능한 모든 항목에 대해 평가지수를 개발하고자 하는데, 첫 번째 단계로 험로(rough road)를 정속 주행할 때 발생하는 1차 승차감 항목과 'Small/Large Discrete Feature'에 대한 지수화 작업을 진행하고 있다.

### 3.2. 차량 시험 및 데이터 처리 방법

#### i) 주행조건 및 주관평가

차량의 주행조건은 평가하고자 하는 주관평가 항목(Table 1)이 무엇이나에 따라 정해진다. 예를 들어, 'Dive/Squat'는 가속, 감속 모드에서 측정해야 하므로 이에 해당하는 주행 모드의 결정이 선행되어야 한다. 여기서는 기존의 차량제조업체나 평가기관에서 수행하는 주행 모드를 그대로 활용한다.

Table 1 차량 승차감 평가항목

	기관-A	기관-B	측정성	Index화 가능성
Primary Ride Comfort	Ride Motion	Bouncing Comfort	000	000
		Pitching Balance	000	000
	Dive/Squat	Dive/Squat	000	00
	Roll Rock	Roll Rock	000	00
Scndary Ride Comfort	Impact Feel	Impact force(joint/bump)	000	000
	Impact Harshness		00	0
	Small discrete features	Harshness (coarse road)	00	00
	Large discrete features	Ride Shake	000	000
		Powerplant shake	00	0

주관평가는 특정 모드에서 이루어지기도 하지만 장시간에 걸쳐 여러 형태의 주행 후에 결정된다. 본 연구에서는 가능한 한 특정 주행로에서 주행 직후 주관평가를 하도록 유도하였다.

1차 승차감은 시뮬레이터를 이용하여 측정하는 것이 반복성이나 신뢰성 측면에서 유리하며 2차 승차감의 경우에는 타이어의 구름에 따라 발생하는 진동의 효과도 크기 때문에 실제 주행조건에서 측정하는 것이 바람직하다.

#### ii) 데이터 측정 및 처리방법

##### 측정 물리량

주관평가와 1:1로 matching시키기 위해 적절한 물리량이 무엇인지 우선 결정되어야 하는데, 관련 문헌들에 의하면, 진동에 대한 인체의 안락성은 주파수 가중치가 적용된 가속도량에 의해 좌우됨을 알 수 있다[2-5]. 그러나 임펄스와 같은 충격량과 같이 주파수가 높고 레벨이 큰 경우에는 가속도보다 속도가 인체에 대한 영향을 더 잘 대변하는 것으로 알려져 있다[3].

### 측정지점 선정

주관평가량과 측정 물리량사이의 상관관계 규명에 앞서서 어느 지점의 측정량이 차량의 거동을 잘 대변할 수 있으며, 또 인체에 대한 영향을 좌우하는지 결정해야 한다. 본 연구에서는, 주관평가 결과와 상관도가 높은 순서로 측정지점을 선정하되 지점의 수를 최소화한다. BS6841에서는 인체의 안락성을 표현하기 위해 12축의 가속도를 측정하지만 일반적으로 5축 또는 3축의 측정 가속도로도 승차감을 평가하는 경우가 많다. 본 연구에서는 평가항목에 따라 측정 지점의 수를 달리 하고자 하며, 이에 대해서는 4장에 기술하였다.

### 주파수 가중치 적용

인체의 안락성은 주파수 가중치가 적용된 가속도량과 log-log축 상에서 비례관계를 갖는 것으로 여러 문헌에 보고되어 있는데[2, 7, 8], 주파수 가중치는 규격에 따라 다소 차이가 있으나 최근에는 BS6841과 ISO2631 규격을 기준값으로 활용하고 있다.

### 점량화 방법

인체의 안락성에 영향을 주는 측정량은 한 지점에서의 양이 아니라 진동이 전달되는 여러 지점에서의 측정량이므로 이들을 조합하는 방안이 필요하다. ISO2631과 BS6841에서는 측정지점의 가속도에 주파수 가중치를 적용한 뒤 각각의 r.m.s 값을 구한 뒤 이들을 제곱하여 평균을 취하여 'root sum of square'하여 대표값을 환산하였다[7,8]. 그러나 VD12057의 경우는 별도로 충격 입력에 대해서는 속도신호를 고려하여 승차감 평가치를 정의하였다[3]. 이외에도 BS6841에서는 랜덤 신호와 충격신호를 모두 고려하는 4차 모멘트(r.m.q.)로 정의된 VDV(Vibration Dose Value)가 활용되기도 한

다[8].

### 3.3. 주관평가 결과와 측정량 사이의 mapping

관심지점의 가속도, 또는 속도량과 인체의 안락성 사이의 상관관계를 정립하는 것이 승차감 지수 결정의 핵심이다. 승차감 지수(R.I.)와 측정 가속도사이의 관계는 다음과 같이 설정할 수 있다.

$$R.I. = f(\alpha, \beta, \dots, a_1, a_2, \dots, v_1, v_2, \dots) \quad (1)$$

위 식에서  $a_i$ 와  $v_i$ 는  $i$  지점에서의 가속도와 속도이고  $\alpha, \beta$  등은 상수이다. 여기서  $f(\cdot)$ 는 가속도 및 속도와 상수들로 이루어지는 수식의 형태를 의미한다. 일례로, VDI규격에서 사용하고 있는 K-value와 토요타자동차에서 사용하는 VN은 각각 다음과 같은 형태의 식을 사용하고 있다[3,4].

$$K^2 = \sum_i a_i \left[ \sqrt{\int_{0.5}^{20} W_i^2 G_{ii}(\omega) d\omega} + (c_i + d_i \cdot v_i) \right] \quad (2)$$

여기서,  $W_i, G_{ii}, v_i$ 는 각각  $i$  번째 측정지점에 대한 주파수 가중치 함수, 파워스펙트럼, 그리고 최대 속도이며,  $a_i, c_i, d_i$ 는 각각 상수이다. 측정지점은 시트와 바닥 그리고, 조향 휠이며, 각 상수들은 주관평가치와 각 측정점에서의 가속도 또는 속도와 상관관계에 의해 결정된다[3].

$$VN = 18 \log_{10} \left( \sum_i K_i \cdot 10^{A_i} \right) - 20 \quad (3)$$

여기서,  $A_i = \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T a_{w,i}^2 \cdot dt \right)$ 고,  $Q_0$ 는

인텐시티 계산을 위한 reference 값이다. 식 (3)에 나타낸 바와 같이 VN은 진동 인텐시티  $A_i$ 를 이용하여 지수화된 값인데, K-value와는 달리 조향장치에서의 측정량이 없고, stationary한 성분과 impulsive성분을 별도로 고려하지 않고 한번에 계산하는 형태의 지수이다[4].

### 4. 승차감 지수 개발

위의 두가지 정량화 지수에서 볼 수 있듯이 승차감 지수 개발에 있어서 가장 중요한 것은 측정지점의 선정과, 측정량과 승차감을 관련짓는 수식

의 형태이다.

i) 측정지점의 선정

차량에 있어서의 진동은 여러 지점에서 측정된 값들이 서로 독립적이지 않고 패턴도 비슷하다. 따라서 측정지점의 수가 많아지면 redundancy의 문제가 발생하고 불필요한 정보를 다루는 결과가 되어 상관계수의 도출에도 어려움이 있다. 보통 1~2Hz 부근에서 결정되는 1차 승차감의 경우에는 차량의 차체에서 측정된 신호와 시트에서 측정된 신호간에 큰 차이가 없다. 그러나, 10Hz이상에서는 차체의 진동에 의해 측정 위치에 따른 차이를 무시할 수 없으며, 이와 같은 경우 인체와 차량이 접촉하는 지점에서의 진동을 측정하는 것이 바람직하다.

이들 관계를 정량적으로 다루려면 주관평가 결과와 후보 지점간에서의 측정량의 상관도를 분석하고 상관도의 크기 순으로 배열한 후 임계치를 선정하여 측정지점을 선정한다. 이 때, 측정 신호들 사이의 상관도 역시 평가함으로써 불필요한 정보를 제공하는 신호는 제거해 나간다. Fig.3에는 특정 주파수에서 측정지점의 증가에 따른 상관계수 합이 증가하는 형태를 보여주고 있다. 여기서 임계치를 설정하여 이 값에 도달하는 측정점의 수를 결정한다.

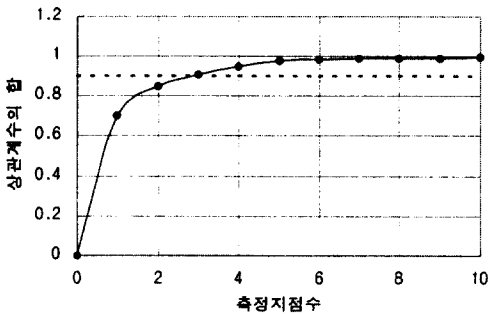


Fig.3 측정지점의 선정 기준

ii) 승차감 지수의 형태 결정

차량의 승차감 평가를 어렵게 만드는 요인은 평가자와 관련된 결과의 변동(inter-, intra-subject variability)뿐만 아니라 실제 주행 상태에서 측정을 해야 한다는 것이다. 정해진 주행로

(proving ground)라고 하더라도 차량의 조건을 동일하게 유지해야 하고, 노면의 상태도 수시로 변화하기 때문에 측정의 정밀도와 상관없이 내재된 오차가 크기 때문이다. 실제 노면 주행시 가장 큰 문제는 주행시에 고려되지 않은 노면의 불균일성이다. 불균일성이 인위적으로 도입된 노면의 경우는 상관성이 없으나 평탄로에서의 주행시 불규칙적으로 존재하는 불균일성은 그 빈도 수가 극히 작은 경우라도 승차감에 큰 영향을 미치게 되며, 가속도 등의 측정시간이 짧을수록 그 효과는 증가한다. 따라서 이와 같은 상황을 고려하여 승차감 지수를 계산하는 것이 바람직하다고 하겠다. 본 연구에서는 정상상태의 랜덤 진동 신호에 충격신호가 실려 들어오는 경우 이들을 처리하는 방안을 제안하였다.

랜덤한 진동에 대해 인체의 안락성을 정량화하는 방법은 이미 개발되어 있으며 많은 연구를 통해 그 신뢰성이 입증되었다. 그러나 충격성의 진동에 대해서는, 에너지를 나타내는 기존의 r.m.s. (root mean square) 값으로 그 영향을 충분히 나타낼 수 없다. 이에 대한 대안으로, 신호의 peakiness를 나타내는 crest factor가 높은 경우에, 신호에 대한 민감도가 상대적으로 큰 4차 모멘트(r.m.q.:root mean quad) 값이 인체의 영향을 보다 정확하게 표현하는 것으로 보고되어 있다[3]. 따라서 본 연구에서는 4차 모멘트를 이용하여 충격성 입력의 영향을 승차감 지수에 고려하는 방법을 적용하고자 하며 이에 대해서는 아래에 정리하였다.

iii) 충격성 입력의 처리방법

VDI규격에서 제시하는 K-value의 계산 방법을 보면, 충격성 입력을 처리함에 있어서 신호 전체에서 가장 큰 임펄스 입력의 속도 최대값을 대표값으로 하여 이 값을 고려하고 있다. 이 방법은 피크가 다른 피크에 비해 상당히 크고 일회성인 경우라면 문제가 없으나 유사한 피크가 복수로 존재할 경우 문제가 된다. 따라서 여러 개의 피크가 존재하는 경우에 대해 인체에 대한 영향을 처리해주는 것이 필요하다. Fig.4에는 여러 가지 주행 조건에 대해 시간에 따른 VDV값을 도시하였다.

본 연구에서는, 4차 모멘트에 해당하는 순간 VDV(instantaneous vibration dose value)를 계산하여 VDV값의 점프 현상이 나타나는 부분을 임펄

스 발생 시점으로 판단하고, 이를 정량적으로 처리하여 승차감 지수 계산에 활용하고자 한다.

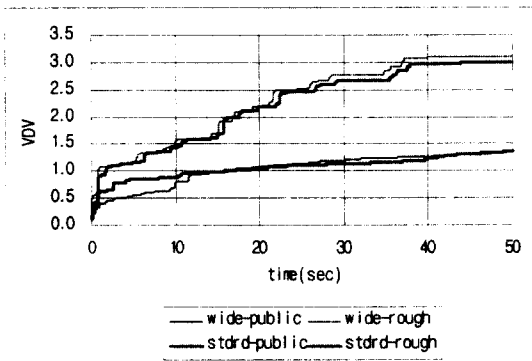


Fig.4 차량 주행시 VDV의 변화

#### iv) 주관평가지와 정량화 수치의 mapping

차량에서 승차감을 평가하는 스케일은 1에서 10사이의 값으로 전세계적으로 통용되고 있다. 그러나 가속도나 속도 등의 거동량을 측정하게 되면 광범위한 수치가 나오게 되므로 이들 값을 1에서 10 사이의 값으로 mapping 하는 과정이 필요하다 [9].

### 5. 향후 연구방향

본 연구개발의 주 목적은 차량의 승차감을 평가할 때 주로 사용되는 주관적 평가 방법의 단점을 보완하기 위하여, 차량의 진동량을 이용하여 승차감을 평가할 수 있는 방법을 개발하는 것이다. 기존에 사용되는 정량화 지수의 문제점은 실험실에서 시뮬레이터를 이용한 실험에서는 큰 효과를 기대할 수 있으나, 실제 주행 조건에서 발생하는 노면의 조건에 따라 결과의 오차가 상당히 증폭될 수 있다. 따라서 안락성을 시간에 따라 누적하여 평가할 수 있는 VDV를 활용함으로써 문제점을 대폭 해소할 수 있을 것으로 기대 된다.

현재에는 승차감 지수의 구체적인 형태와 상관 계수를 도출하기 위한 시험 및 분석이 진행 중이며, 이 작업을 통하여 승차감 지수 계산 식을 확정할 계획이다.

### 6. 후기

본 논문은 대우자동차와 '산업기반기술사업과제' 지원에 의한 기술개발 결과를 정리한 것입니다.

### 7. 참고문헌

- [1] Guilford, J. P., Psychometric Methods, McGraw Hill, 1954.
- [2] Griffin, M. J., Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.
- [3] Cucuz, S., "Evaluation of Ride Comfort," Intl. J. of Vehicle Design, Vol.15, Nos.3-5, pp. 318-325, 1994.
- [4] Kozawa, Y. and et al, "A New Ride Comfort Meter," SAE Technical Paper No.860430, 1986.
- [5] Smith, C. C., "The Prediction of Passenger Riding Comfort from Acceleration Data," Research Report 16, Dept. of Transportation, The Univ. of Texas at Austin, 1976.
- [6] Ebe, K., "Models of Overall Seat Discomfort," UK Group Meeting of Human Response to Vibration, 1998.
- [7] International Organization for Standardization, ISO2631-1: Guide to Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Shock, 1997.
- [8] British Standards Institution, BS6841:Guide to the Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock, 1987.
- [9] Verein Deutscher Ingenieure, VDI 2057, Blatt 2, Assessment of the Effect of Mechanical Vibrations on Human Beings, 1981.