

# 지게차의 출발감각 평가지수 개발

°장한기\* · 국두윤\* · 이종규\*\* · 최준호\*\*\*

## Development of Start Feel Index of a Forklift Truck

Han-Kee Jang, Du-Yoon Kook, Jong-Kyu Lee, Jun-Ho Choi

### 1. 서론

차량이 정지상태에서 출발하는 과정에서 클러치는 엔진의 동력을 구동축에 전달하는데, 이 순간 차량이 울컥거리리는(clunking) 현상이 자주 나타난다. 이와 같이 발생한 충격과 진동은 작업자에게 불편함을 줄뿐만 아니라 차량의 상품가치를 떨어뜨리는 요인이 된다. 특히, 지게차는 사용 목적상 일반차량과는 달리 출발과 정지의 반복이 매우 빈번하기 때문에 소비자의 주요 불만사항으로 대두된다. 본 연구에서는 이와 같은 차량의 출발 거동이 운전자에게 주는 느낌을 포괄적으로 '출발감각(Start feel)'이란 용어로 정의하였다.

현재까지 관련업계에서는 차량 출하시 전문평가자들이 차량의 제반 성능을 체크하면서 주관적인 평가방법에 의해 출발감각도 함께 평가하고 있다. 주관평가법의 장점은 다른 어떤 방법보다 풍부한 정보를 제공한다는 것이다. 그러나, 평가자에 따라 결과에 차이가 날 수 있고(Inter-subject variability) 또, 같은 평가자라도 상황에 따라 다른 평가치를 낼 수 있다(Intra-subject variability)[1]. 이와 같은 문제점은, 차량의 품질을 평가할 때라든가 성능개선을 수행할 때에 차량 특성을 일관된 기준으로 평가하기 어렵다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 차량의 출발 거동을 인체의 관

점에서 정량화하고, 주관평가 결과와의 상관도 분석을 통해 차량의 출발감각 평가에 활용할 수 있는 지수(Index)를 개발하였다. 먼저 전문 평가자와의 상담을 통해 출발감각을 구체적으로 정의하고, 주관평가서를 작성하였다. 다양한 기종의 차량에 대해 주관평가를 실시하면서 동시에 차량의 거동을 계측하고 정량화하였다. 이어서, 이들 두가지 시험 데이터들의 상관도 분석을 통해 주관평가치와 상관도가 높은 정량화 항목을 선정하였으며, 주관평가를 대체할 수 있는 출발감각 평가지수 계산식을 도출하였다. 마지막으로, 개발된 출발감각 평가지수의 타당성 검증을 위해서 동일 기종 차량 4대를 임의로 선정하여 주관평가와 거동 측정 시험을 각각 수행하였으며, 이를 통해 평가지수가 주관평가결과를 어느 정도 정확히 예측할 수 있는지를 확인하였다. Fig.1에는 출발감각 평가지수 개발과정을 도식화하였다.

### 2. 출발감각 평가시험

출발감각 평가지수 개발을 위해서는 주관평가와 차량거동 측정이 각각 수행되어야 하는데, 2장에서는 주관평가 시험에 대해 정리하였다. 기존에는 전문 평가자 2~3명이 차를 운전해 보고 나서 차량의 수준을 체크하여 출하시킬 것인지 반쯤시킬 것인지를 판단하였다. 본 연구에서는 보다 구체적인 평가를 위해서 평가서를 새로이 작성하였다.

#### 2.1 평가항목 선정

전문 평가자들을 대상으로 지게차에서 출발감

\* 고등기술연구원  
\*\* 고등기술연구원, 아주대학교 대학원  
시스템공학과  
\*\*\* 대우종합기계

각이 좋다는 것은 어떤 상태를 의미하는지, 또, 출발감각의 좋고 나쁨에 영향을 미치는 항목이 구체적으로 무엇인지에 대해 설문하였으며, 다음의 Table 1과 같이 결과를 정리하였다.

평가자들에 대한 설문조사 결과, '출발감각이 좋다'의 의미는 '출발거동이 부드럽구면서, 발진이 신속하게 이루어지는 상태'라는 공통적인 의견을 도출해냈다. '부드럽다'는 것은 충격이나 가속도가 작다는 것을 의미한다. 즉, 원하는 속도에 도달하기까지 운전자에게 불편함을 덜 주는 형태의 거동을 한다는 것이다.

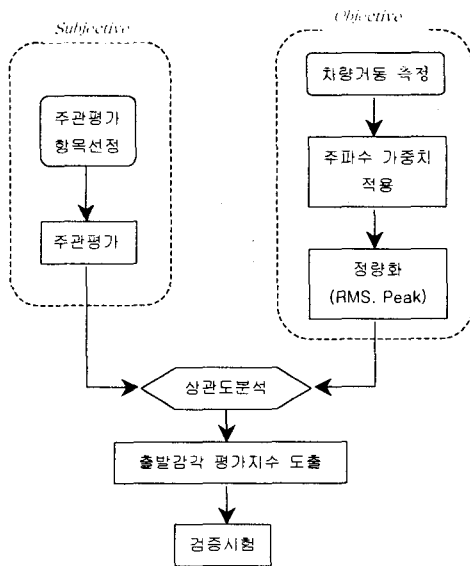


Fig.1 Development procedure of start feel index of a forklift

## 2.2 대상차량, 평가자 및 평가방법 선정

본 연구에서는 2톤 급부터 7톤 급에 이르기까지 차량 5대를 선정하여 11명의 전문 운전자들로 하여금 차량의 출발감각을 평가하도록 하였다. 주관평가에 있어서 평가자의 수는 평가의 신뢰도를 결정하는 중요한 인자로서, 평가 내용에 따라 필요한 수가 결정되어야 한다[2]. 필자의 경험으로는, 불편함의 상대적 크기를 평가하는 경우 (Relative magnitude estimation)는 12명 정도면 비매개변수 통계학(Nonparametric statistics)을 이용하여 신뢰성 있는 분석이 가능하다[3,4].

Table 1의 아래에는 출발감각의 평가에 영향을 미치는 세부 항목을 정리하였다. 첫 번째 두 항목은 차량의 출발 순간 발생하는 차량 거동의 이력과 관련된 항목이고, 세 번째 항목은 변속기 연결 후 차량이 출발하는 시점까지의 소요 시간을 의미한다. 그리고 마지막 항목은 짐을 싣고 이동하는 경우에 급 출발, 급 제동에 의해 짐이 이탈되는 것에 대한 불안감과 관련이 있다.

Table 1 Definition of start feel index and factors to be considered

<p><b>좋은 출발감각</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 출발거동이 부드럽구면서, 발진이 신속하게 이루어지는 상태</li> </ul>
<p><b>출발감각의 평가에 영향을 미치는 항목</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 변속기 연결과정에서 충격이 발생하는가?</li> <li>- 출발시 차체의 흔들림(틀림이나 췌혀짐)이 있는가?</li> <li>- 차량 출발이 지연되는 감이 있는가?</li> <li>- 출발시 마스트의 거동이 불안한가?</li> </ul>

## 2.3 평가결과

주관평가결과를 Table 2에 정리하였다. 5가지 차종에 대한 출발감각 평가결과와 세부항목 평가결과를 12명에 대한 평균값으로 정리하였다. 출발감각이 좋은 차량부터 A, C, B, D, E 순의 결과가 얻어졌는데, 세부항목의 평점이 높을수록 전체 출발감각도 높았다. Table 2의 우측 단에는 3가지 세부항목과 출발감각 전체 항목과의 상관계수를 계산하여 정리하였는데, 이 값들은 각 항목이 전체 출발감각에 얼마만큼 영향을 끼치는지를 보여주고 있다

Table 2 Subjective ratings of start feel of forklift trucks

차량 평가항목	A	B	C	D	E	출발감각과 의 상관계수
<b>출발감각 (Overall)</b>	<b>4.09</b>	<b>3.00</b>	<b>3.73</b>	<b>2.81</b>	<b>2.33</b>	
1. 출발충격	2.54	2.18	2.36	2.00	1.50	0.95
2. 차량진동	1.91	1.91	1.54	1.36	1.17	0.70
3. 출발지연	2.91	1.64	2.91	2.01	2.17	0.76

전체 출발감각(Overall)과 세부항목 사이의 상관계수들을 보면, 충격에 의한 차량 진동(2번항

목)이나 출발지연(3번 항목)은 출발시 충격(1번 항목)보다 상관도는 작지만 각각 무시할 수 없는 수준임을 알 수 있다.

본 연구에서는 출발감각 평가지수 개발에 있어서 출발지연 항목을 제외하고 두가지 항목만을 고려하였다. 출발과 정지가 매우 빈번한 지게차에 있어서 출발지연은, 차량의 성능 평가에 매우 중요한 인자이게 때문에 설계단계에서 특정 값이 유지되도록 하므로 차량별로 큰 차이가 나지 않기 때문이었다.

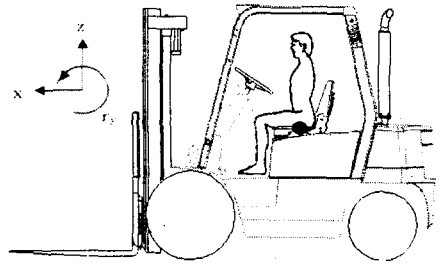


Fig.3 Measurement positions and directions

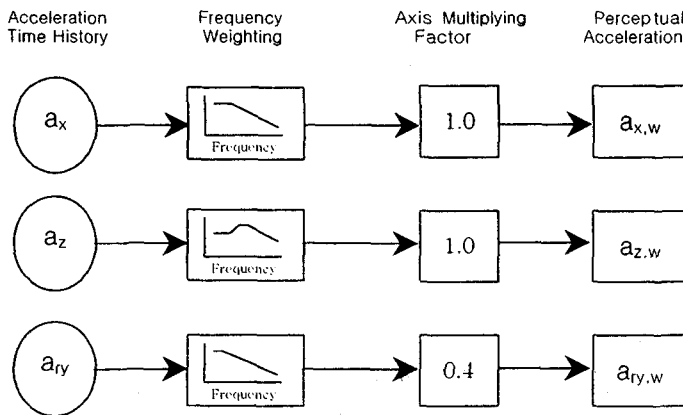


Fig.2 Frequency weighting and scaling according to BS6841

### 3. 차량거동 신호의 측정 및 정량화

#### 3.1 측정 지점 선정

ISO나 BS에서는 착석한 상태의 운전자에게 전달되는 충격 및 진동의 영향을 평가하기 위해 시트 쿠션과 백, 그리고 바닥에서 인체와 접촉하는 지점의 가속도를 각각 측정하도록 권고하고 있다[5,6]. 측정된 각 지점의 가속도에 인체의 주파수 가중치를 적용하고 rms값을 구한 뒤 합산하여 체감 진동량을 정량화할 수 있다. 이에 대한 개념도는 Fig.2에 도시한 바와 같다.

본 연구에서는 Fig.3과 같이 엉덩이와 시트가 접촉하는 지점에서 전후 방향으로의 가속도( $a_x$ ), 수직방향 가속도( $a_z$ ), 피치 가속도( $a_{ry}$ )를 각각 측정하였다. 수직방향과 피치 가속도를 측정하는 이유는 출발시 차량의 들림이나 꺾혀짐이 출발감각 평가에 영향을 준다는 평가자들에 대한 설문조사에 따른 것이다.

시트 백과 바닥에서의 진동은 측정하지 않았는데, 시트 백의 경우, 지게차에서는 작업 시에 등과 시트 백이 완전히 밀착되지 않기 때문이고, 바닥의 경우는 출발, 정지 시에 발이 패달이나 바닥 특정 지점에 고정되어 있지 않기 때문이다.

#### 3.2 신호의 정량화 방법 및 결과

진동을 사람이 느끼는 양으로 환산하기 위하여 측정된 전후 방향, 수직 방향, 피치 가속도에 ISO 2631-1에 제시된 인체의 주파수 가중치를 적용하였다[3]. Fig.4에는 선정된 3가지 방향으로의 가속도를 신호처리한 결과를 도시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 전후 방향( $a_x$ )으로는 펄스 형태의 신호를 나타내고, 수직( $a_z$ ) 및 피치 방향( $a_{ry}$ )으로는 잔류진동 형태의 결과를 보이고 있다. 수직방향 가속도와 피치 가속도는 일종의 잔류진동이므로 진동량을 rms값으로 환산할 수 있으나, 전후 방향 가속도의 경우 일회성의 펄스 형태로

나타나기 때문에 피크 값을 대표값으로 하였다. 차량의 전후 방향으로의 가속도 피크값과 수직방향 및 피치 가속도의 rms값을 Table 3에 정리하였다.

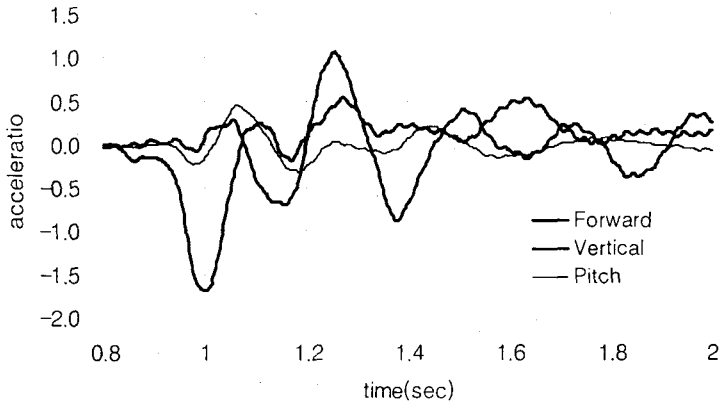


Fig.4 Weighted and scaled accelerations

Table 3 Measurement results of starting motion of a forklift

차량 측정량	A	B	C	D	E
$a_x(\text{peak})$	0.643	1.010	0.598	0.944	1.680
$a_{z-ry}(\text{rms})$	0.098	0.222	0.073	0.267	0.417
$a_z(\text{rms})$	0.084	0.190	0.067	0.246	0.389
$a_{ry}(\text{rms})$	0.050	0.114	0.029	0.105	0.149
time delay(sec)	0.53	1.21	0.38	0.9	0.75

여기서 수직방향 가속도와 피치 가속도는 RSS(root sum of square)방식으로 합산하여 하나의 인자( $a_{z-ry}$ )로 다루었으며, 그 특성이 다른 전후 방향의 가속도는 별도의 인자로 다루었다.

#### 4. 출발감각 평가지수 도출

출발감각 평가지수와 함은, 차량 출발시 측정된 거동의 정량화 값을 이용하여 평가자의 주관 평가 결과를 대치할 수 있도록 개발된 수치들의

미한다. 따라서 평가지수는 여러 차량의 주관평가 결과의 정성적, 정량적 추세를 대변할 수 있어야 한다.

Fig.2에 도시한 바와 같이, 주관적인 평가결과와 차량거동 측정결과를 어떻게 관련짓느냐(mapping)가 평가지수 도출 과정의 핵심이라 하겠다.

#### 4.1 주관평가치와 평가지수 인자의 관계

본 연구에서는 지게차의 출발감각 지수를 개발하기 위해서 평가에 영향을 주는 세부항목, 즉, 차량의 충격과 흔들림, 그리고 출발지연에 해당하는 물리량을 후보 인자로 선정하였다. 이미 3장에서 정리한 바와 같이, 차량의 전후 방향 가속도( $a_x$ )의 피크 값, 차량의 수직방향( $a_z$ ) 및 피치 가속도( $a_{ry}$ )의 rms 값의 합, 그리고 출발지연 시간을 이용하여 출발감각 평가지수(SFI:Start Feel Index)를 다음과 같은 함수로 나타낼 수 있다.

$$SFI = F \{ a_{x,peak}, a_{z,rms}, a_{ry,rms}, time\ delay \} \quad (1)$$

#### 4.2 스티븐의 법칙

인체의 심리물리학적 반응( $\Psi$ )과 자극의 크기( $\Phi$ )의 상관관계는 식(2)와 같은 거듭제곱 함수(Power function)로 표현되는데, 바로 유명한 스티븐의 심리물리학적 법칙이다[7].

$$\Psi = k \cdot \Phi^n \quad (2)$$

위 식은 자극이 하나인 경우에 대한 관계식이나, Ebe와 Griffin은 하나 이상의 자극에 대해 수정된 식 (3)을 제안하여 두 가지 자극에 대해서도 심리물리학적 반응 관계를 잘 묘사할 수 있음을 보였다[8,9].

$$\Psi = a + b \cdot \Phi_1^{n_1} + c \cdot \Phi_2^{n_2} + \dots \quad (3)$$

본 연구에서도 식(3)과 같은 형태로 선정된 인자에 대해 출발감각 평가지수를 도출하고자 하였다. 차량의 승차감(Ride comfort)을 평가할 때 흔히 사용하는 10 스케일이나 본 연구에서 사용한 5 스케일의 경우는 반응의 크기에 이미 로그가 취해진 값이다. 따라서 식 (2)의 양변에 로그를 취했을 때 좌변의 값이 주관적인 출발감각 평가지수와 대등한 수치가 된다[10-12].

$$\begin{aligned} \text{S.F.I.} &= \text{Log}(\Psi) \\ &= \text{Log}(k) + n \cdot \text{Log}(\Phi) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $\text{Log}(k)$ 와  $n$ 은 상수이고,  $\text{Log}(\Phi)$ 는 인자로 선정된 물리량 측정치이다. 따라서, 각 해당인자(물리량)의 측정치와 주관평가 결과를 커브 피팅하면 식(4)의 상수들을 결정할 수 있다.

#### 4.3 상관도 분석을 통한 출발감각 평가지수 도출

심리물리학적 관계식인 식(2)의 양변에 로그를 취하면 선형관계를 갖는데, 이 관계식에서 가장 중요한 상수는 바로 기울기이다. 이 기울기는 출발감각 평가지수와 측정량 각각의 상관관계를 규명함으로써 구할 수 있다. Fig.5에는 출발감각 주관평가지수와 선정된 측정량간의 커브 피팅 결과를 보여 주고 있는데, 각 피팅결과에 대한 상관계수( $R^2$ )로부터 전후 방향의 가속도( $a_x$ )와 수직 및 피치 가속도의 rms 값의 합산량( $a_{z+ry}$ )이 출발감각 주관평가지수와 상관도가 매우 높음을 알 수 있고, 시간 지연은 상관계수가 0.3전후로 매우 낮음을 알 수 있다. 이 결과는 시간지연이 출발감각과 명확한 상관관계를 보이지 못함을 의미한다.

출발지연을 제외한 두 가지 측정량에 로그를 취한 값들-전후방향의 가속도 피크 값과 수직 및 피치 가속도의 rms값의 합산량-을 인자로 하여 결정된 출발감각 평가지수 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{S.F.I.} &= 2.106 - 1.403 \cdot \text{Log}(a_{z, \text{peak}}) \\ &\quad - 1.371 \cdot \text{Log}(a_{z+ry, \text{rms}}) \end{aligned} \quad (5)$$

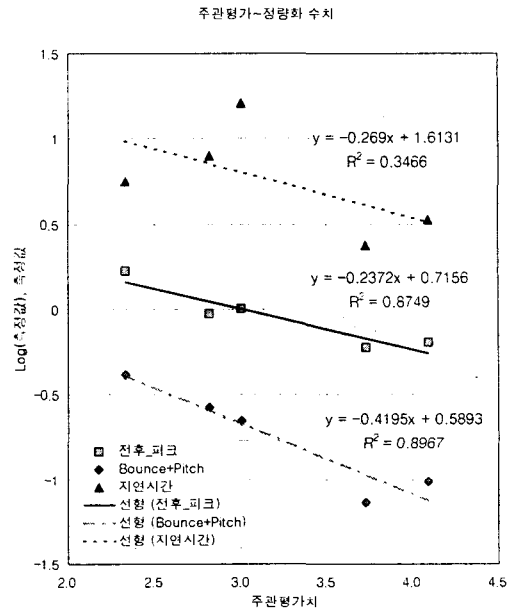


Fig.5 Linear regression of subjective ratings and measured values

## 5. 검증 시험

### 5.1 시험진행 방법

출발감각 평가지수의 적용 가능성을 보다 객관적으로 확인하기 위해 평가지수 개발과정에서 참여했던 평가자와 차량을 배제하고 7명의 평가자와 동일모델의 4대 차량을 각각 새로이 선정하였다. 평가자가 유사한 거동을 갖는 4대의 차량을 한번에 평가할 경우 정확도가 떨어질 우려가 있어서 차량 2대씩 상대비교하는 쌍 비교법(Paired comparison)으로 평가를 진행하였다. 4대의 차량에 대해 2대씩 상대비교를 하기 때문에 평가자 1인당 6회( $=4C_2$ )의 평가를 하였다.

주관평가가 완료된 후에 차량 거동을 측정하였으며, 3장에서 수행한 것과 마찬가지로 차량의 전후방향, 수직방향, 피치 가속도를 각각 측정하였다.

### 5.2 주관평가 및 차량거동 정량화 결과 비교

Table 4에는 4대 차량(T1, T2, T3, T4)에 대한 주관평가결과와 차량 거동 측정을 통한 출발감각

평가지수를 각각 정리하여 결과를 비교하였다. 표 하단부의 '선호도' 항목은 주관평가결과 점수로서 큰 수치가 출발감각이 좋은 것이다. 여기서 통계적인 신뢰도를 갖는 결과를 정리하면 'T2>T1 ≈ T4 >T3'이 된다.

평가대상 차량 4대에 대해 전후방향 가속도, 수직방향 및 피치 가속도를 측정하여 식(5)를 이용하여 출발감각 지수를 계산하였으며, Table 5의 맨 아래 행에 정리하였다.

Table 4 Result of preference test on start feel by the paired-comparison and the corresponding start feel index

	T1	T2	T3	T4
T1		6	1	3
T2	1		1	0
T3	5	6		3
T4	2	6	1	
선호도	8	18	3	6
S.F.I.	2.86	3.18	2.68	2.82

출발감각 평가결과를 보면 주관평가에 의한 차량의 선호도 순서와 동일함을 알 수 있다. 출발감각 평가지수의 오차범위는 95% 신뢰도에 대해 0.12이다. 따라서, T1과 T4는 오차범위 내에 들어오므로 차이가 난다고 할 수 없다. 나머지 차량의 순서는 T2가 가장 좋고, T3가 가장 나쁘다. 이 결과는 주관평가 결과에서 얻어진 결과와 차이가 없다. 본 검증 시험 결과로부터, 본 연구에서 개발된 출발감각 지수는 전문 운전자의 평가 결과를 대변한다고 할 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 출발과 정지가 매우 빈번한 저계차의 출발감각을 평가하기 위한 정량화 지수를 개발하였다. 먼저, 전문 운전자들이 평가시에 고려하는 항목들을 토대로 주관평가서를 작성하였으며, 이 평가서를 이용하여 5대 차량에 대해 주관평가를 수행하였다. 이 결과로부터 차량의 출발감각에 영향을 미치는 세부 항목을 선정하였으며, 다시 이 항목을 대변할 수 있는 물리량, 즉 차량의 거동과 관련된 인자를 출발감각 평가지수의 인자로 선정하였다. 주관평가 결과와 측정된 물리량 사이의 상관도 분석을 통해, 스티븐의 심

리물리학적 법칙을 근간으로 하는 출발감각 평가지수의 계산식을 완성하였다.

개발된 출발감각 평가지수의 적용 타당성을 평가하기 위하여 검증시험을 수행하였다. 이 시험을 통해, 출발감각 평가지수는 전문 운전자의 주관평가 결과를 상당히 정확하게 대변할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 개발된 평가지수는, 기존의 문제점-평가자간에 결과가 다른 경우와 동일한 평가자라도 환경에 따라 결과가 다른 경우-를 상당부분 해소할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후기

본 연구는 대우종합기계의 지원으로 이루어졌음.

## 참고문헌

- [1] M. J. Griffin, 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press.
- [2] W. W. Daniel, 1990, Applied Nonparametric Statistics, 2nd ed., PWS-Kent Publishing Company.
- [3] H.-K. Jang, M. J. Griffin, "Effect of Phase, Frequency, Magnitude and Posture on Discomfort Associated with Differential Vertical Vibration at the Seat and Feet," Journal of Sound and Vibration, 229(2), 273-286, 2000.
- [4] H.-K. Jang, M. J. Griffin, "The Effect of Phase of Differential Vertical Vibration at the Seat and Feet on Discomfort," Journal of Sound and Vibration, 223(5), 785-794, 1999.
- [5] ISO 2631-1, Mechanical Vibration and Shock -Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration., 1997
- [6] BS 6841, Guide to Measurement and Evaluation of Human Exposure to Whole Body Mechanical Vibration and Repeated Shock, 1987.
- [7] S. S. Stevens, 1986, Psychophysics: Introduction to Its Perceptual, Neural, and Social Prospects, Transaction Inc., New Brunswick.
- [8] K. Ebe and M. J. Griffin, 2000, "Qualitative Models of Seat Discomfort Including Static and Dynamic Factors," Ergonomics, Vol. 43, No. 6, pp.771-790.
- [9] K. Ebe and M. J. Griffin, 2000, "Quantitative Prediction of Overall Seat Comfort," Ergonomics, Vol. 43, No. 6, pp.791-806.
- [10] S. Cucuz, 1994, "Evaluation of Ride Comfort," Intl J. Vehicle System Design, Vol. 15, Nos. 3 4,5, pp318-325.
- [11] Y. Kozawa, G. Sugimoto, and Y. Suzuki, "A New Ride Comfort Meter," SAE Technical Paper No.86-430.
- [12] C. C. Smith, 1976, "The Prediction of Passenger Riding Comfort from Acceleration Data," Research Report 16, Department. of Transportation, The University of Texas at Austin, 1976.