

# 차량 아이들 감성진동 평가를 위한 진동평가지수의 연구

## Development of Vibration Index for the Objective Evaluations of Idle Vibration Quality in a Passenger Car

박 흥 석\*·이 상 권†·윤 기 수\*\*·이 민 섭\*\*

Hong-Seok Park, Sang-Kwon Lee, Gi-Soo Yoon and Min Sup Lee

(2011년 11월 15일 접수 ; 2012년 2월 17일 심사완료)

**Key Words** : Ride Quality(승차감), Correlation(상관도), Jury Evaluation(주관적 평가), MLR(다중선형회귀 분석), Whole Body Vibration(전신진동)

### ABSTRACT

Driver's feeling is variously affected by lots of components such as engine, frame, wheels, and seats during the operation of automobiles. The main objective of this research is to identify the correlation between subjective evaluation and vibration metrics that was set by ISO to investigate development of the car vibration quality index using multiple linear regressions(MLR). A previous research related with automotive vibration quality used the method of calculating acceleration values of the point of a seat, a seat back, foot as RMS for objective evaluation. The automotive comfort is determined by RMS values. In comparison with the previous research, this study includes not only the vibration metrics, but also subjective values by jury evaluation. By indentifying the correlation between subjective evaluation and vibration metrics, the automotive vibration quality index is developed through MLR. Based on the results of this study, the proposed the automotive vibration quality index which developed through MLR will be helpful to obtain objective and reliable automotive comfort values.

### 1. 서 론

소비자에 대한 자동차의 구매력을 증대하기 위해서 차량진동에 기인하는 안락감 개선에 많은 연구가 지속되고 있다<sup>(1~3)</sup>. 특별히 최근 자동차의 국제 경쟁력이 치열해 짐에 따라서 안락감에 대한 중요성은 더욱 증가하고 있다. 이러한 진동 승차감에 대한 연구는 주로 시트진동, 바닥진동, 핸들 진동 등과 같이 한 점 방향의 진동에 가중치를 주어 승차

감을 객관적으로 평가하고 승차감을 개선하는 방향으로 연구하고 있다<sup>(4)</sup>. 그러나 실제 차량에서는 이러한 진동이 운전자에게 동시에 입력됨으로 다중 입력에 대한 진동값을 이용하여 승차감에 대한 객관적인 표현이 필요하다.

이 연구를 통하여 이러한 다중 입력 진동에 대한 통합적 차량 진동에 대한 주관적 평가와의 상관관계를 Fig. 1과 같은 방법으로 정립하여 기존 전신 진동 이론에서 다루는 진동에 대한 표현을 자동차의 안락감 평가에 대한 표현으로 보다 구체적으로 정립하고자 한다. Fig. 1은 실제 차량의 아이들 상태에서 운전자들이 주관적인 감성 진동을 평가하고, 다른 한편으로 시트, 바닥, 등받이에 센서를 부착하여 진동을 측정하고 측정된 진동을 통하여 인체 진동 이론을

† 교신저자; 정희원, 인하대학교 음향진동신호처리연구실  
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr  
Tel : (032)860-7305, Fax : (032)868-1716

\* 정희원, 인하대학교 대학원 기계공학과

\*\* 현대기아자동차 남양연구소

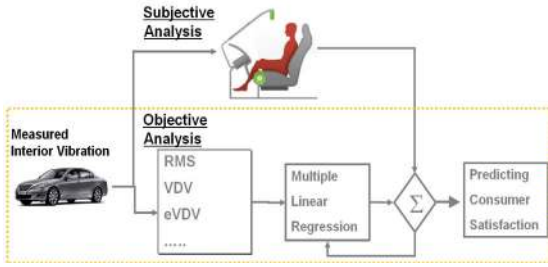


Fig. 1 Design progress for vibration ride quality index

적용한 진동요소(vibration metrics)를 얻는다. 차량 진동을 통하여 구한 진동 요소에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서 가진기를 이용한 승차감 실험 장치를 이용하여 진동 요소의 신뢰성을 확인 하였다. 개발된 진동요소와 감성평가 실험과의 관계를 다중 선형 회기 분석(multiple linear regress analysis)을 통해 정립하고 통합적인 진동 안락감 인덱스(vibration comfort quality index)를 개발한다. 개발된 안락감 인덱스는 실제 차량 평가를 통하여 검증한다.

## 2. 전신 진동 이론

### 2.1 국제 표준

인체에 전신 진동이 전달되면 인체는 다양한 반응을 한다. 크게 5가지로 분류할 수 있다. 안락감 감소(degraded comfort), 행동 방해(interference with activities), 건강 손상(impaired health), 저 진폭 진동 인식(perception of low-magnitude vibration), 멀미 증상 발생(occurrence of the motion sickness)과 같은 영향을 받는다. 각각의 영향에 대하여 지속적인 연구가 수행되고 있으며, 특히 건강과 안락감에 대한 연구가 비교적 집중적으로 연구되고 있다. 또한 전신 진동을 측정하고 평가하기 위한 다양한 국제 표준안들이 발표되었으며, 대표적인 것으로는 ISO 2631-1와 BS 6841 표준안 등이 있다<sup>6)</sup>.

#### ① International Standard ISO 2631-1(1997)

1966년 초안이 준비되어 1974년에 처음 발표되었다. 이후에 개선하여 ISO 2631-1(1997) 표준안에서는 BS 6841(1987)과 ISO 2631(1985a)의 내용을 혼합적으로 사용하고 있다.

즉, BS 6841(1987)에서 제안된 위치를 측정 위

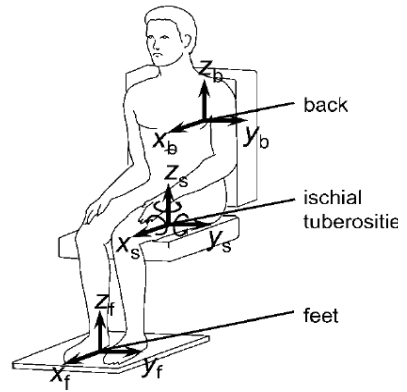


Fig. 2 Measurement direction and point for the whole body vibration measurement

치로 사용하고 있다. Fig. 2는 진동측정 위치를 도시하고 있다.

#### ② British Standard BS 6841(1987)

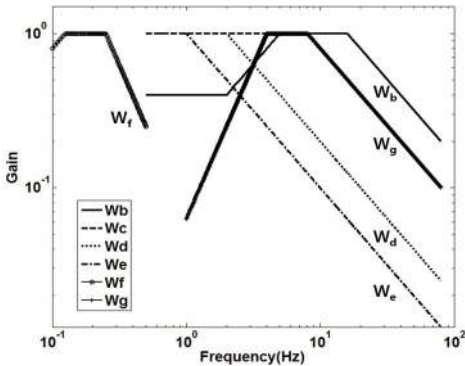
ISO 2631(1985)에 반대하여 진동과 반복적인 충격을 고려할 수 있는 일반화된 측정 및 평가방안을 제시하고 있다. 일반화 된 전신 피폭 진동 및 충격에 대한 측정/평가 필요성에 따라 6종류의 주파수 가중함수, 가속도 실효값(rms) 및 전신 피폭 지수(VDV), 저주파수 대역(0.1~0.5 Hz)의 멀미 증상에 대한 평가 방안 또한 제시하고 있다. 이와 같이 일반화된 전신 피폭 진동 측정 및 평가 방안은 일반 산업계에서 ISO 표준 보다 높은 선호도와 신뢰도를 가지고 있다. 특히 crest factor가 6이상인 경우에는 피폭 시간과 진동량에 대한 안정성 평가는 실효치보다 진동 피폭량(VDV)을 사용한 평가법을 제안하고 있다. 그리고 human vibration에서는 간편하게 사용할 수 있는 점근적 근사 방법(asymptotic approximations)을 제안하고 있다. 필터를 설계하는 방법과 점근적 근사 방법 사이의 차이는 일반적으로 적고 필터를 직접 설계하는 것보다 이해하기 쉽고 적용이 간편하기 때문에 많이 사용되고 있다.

#### ③ 주파수 가중함수 및 곱셈인자

BS 표준안은 12축에 대하여 각각의 주파수 가중함수를 모두 정의하고 있다. 각 진동 축에 대하여 적용 가능한 디지털 및 아날로그 필터를 제안한다. 그리고 Fig. 3은 주파수 가중함수를 나타낸다. Table 1에서는 각 축 방향에 대한 주파수 가중치에 대한

**Table 1** Frequency weighting function and axis multiplying factor

Input position	Axis	Frequency weighting		Axis multiplying factor
		BS 6841	ISO 2631-1	
Seat	X	$W_d$	$W_d$	1.00
	Y	$W_d$	$W_d$	1.00
	Z	$W_b$	$W_k$	1.00
	$R_x$	$W_e$	$W_e$	0.63
	$R_y$	$W_e$	$W_e$	0.40
	$R_z$	$W_e$	$W_e$	0.20
Seat back	X	$W_c$	$W_c$	0.80
	Y	$W_d$	$W_d$	0.50
	Z	$W_d$	$W_d$	0.10
Feet	X	$W_b$	$W_k$	0.25
	Y	$W_b$	$W_k$	0.25
	Z	$W_b$	$W_k$	0.40



**Fig. 3** Asymptotic approximations to frequency weightings for whole body vibration as defined in BS 6841

**Table 2** Asymptotic approximations to frequency weightings used in BS 6841

Weighting	Definition	
$W_b$	$0.5 < f < 2.0$	$W(f) = 0.4$
	$2.0 < f < 5.0$	$W(f) = f/5.0$
	$5.0 < f < 16.0$	$W(f) = 1.00$
	$16.0 < f < 80.0$	$W(f) = 16.0/f$
$W_c$	$0.5 < f < 8.0$	$W(f) = 1.0$
	$8.0 < f < 80.0$	$W(f) = 8.0/f$
$W_d$	$0.5 < f < 2.0$	$W(f) = 1.0$
	$2.0 < f < 80.0$	$W(f) = 2.0/f$
$W_e$	$0.5 < f < 1.0$	$W(f) = 1.0$
	$1.0 < f < 80.0$	$W(f) = 1.0/f$
	$0.100 < f < 0.125$	$W(f) = f/0.125$
$W_f$	$0.125 < f < 0.250$	$W(f) = 1.0$
	$0.250 < f < 0.500$	$W(f) = (0.25/f)^2$
	$1.0 < f < 4.0$	$W(f) = (f/4)^2$
$W_g$	$4.0 < f < 8.0$	$W(f) = 1.0$
	$8.0 < f < 80.0$	$W(f) = 8.0/f$

ISO 2631-1과 BS 6841 표준안의 차이점을 보여준다. 이러한 주파수 가중 함수에 대한 연구 결과는 실제 필터로서 구현하여 사용하기에는 불편함이 있으므로 디지털 필터의 구현이 가능한 점근사적 가중치가 개발되어 연구되었다. 점근적 근사 방법(asymptotic approximations)을 이용한 필터 설계를 위한 가중치는 Table 2와 같다.

**2.2 진동요소(vibration metrics)**

BS 6841에서 규정 하고 있는 여러 가지 인체 진동의 감성적인 평가들은 다양하게 개발 되었다. 각각의 진동 요소는 특별한 경우에 대한 객관지수들이다. 그러나 차량에서는 다양한 감성요소가 동시에 입력됨으로 이 연구에서는 차량의 안락감 평가를 위하여 이러한 특별 경우에 사용되는 다양한 진동요소들을 선형적으로 통합한 인덱스를 개발하는데 아래의 진동요소들을 사용하고자 한다.

① 피크(peak-to-peak, PTP)

진동 가속도 값의 최대치와 최소값의 차이로 진동의 특성을 표현한다. 진동 신호의 최대 진폭 크기 차이로 진동의 과도적 특성에 적용할 수 있다.

$$Peak - to - peak = a_{max} - a_{min} \tag{1}$$

② 실효값(root mean square, RMS)

인체가 느끼는 진동은 식 (2)과 같이 인체에 전달되는 가속도의 평균의 실효값(rms)으로 나타낼 수 있다.

$$r.m.s = \left[ \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} a_w^2(t) dt \right]^{1/2} \tag{2}$$

$a_w(t)$ : 주파수 가중화된 가속도 값

$T$ : 측정 시간(second)

③ 진동 피폭 값(vibration dose value, VDV)

진동 피폭 값은 가속도의 사승근 평균(RMQ)을 사용하는 방법으로, 사승근 평균에 측정 시간을 곱하여 구한다. 충격 진동이나 과격한 간헐적 진동과 같이 짧은 피폭 시간을 갖는 진동에 대해서는 기존의 실효값 평가 방법을 사용할 경우에는 최대 피크

치 보다 상대적으로 낮은 실효값을 부여한다는 한계점을 지적하고 있다. 따라서 그러한 경우에는 실효값이 아닌 진동 피폭 값을 이용한 평가 방안을 제안하고 있다.

$$RMQ = \left[ \frac{1}{T} \int_{t=0}^{t=T} a_w^4(t) dt \right]^{1/4} \quad (3)$$

$$VDV = \left[ \int_{t=0}^{t=T} a_w^4(t) dt \right]^{1/4} \quad (4)$$

$a_w(t)$ : 주파수 가중화된 가속도 값

$T$ : 측정 시간(second)

④ 전력 밀도 함수(power spectrum density)

차량진동에 있어서 기본 오더(1c : 엔진 회전 주파수 성분), 주 오더(main order)진동이 중요하기 때문에 BS6841 진동요소에 추가하여 분석 하였다.

$$power\ spectrum\ density = \frac{1}{T} |A_w(f)|^2 \quad (5)$$

$A_w(f)$ : 주파수 가중화된 가속도 값

$T$ : 측정 시간(second)

⑤ 요소 승차감 지수(component ride value, CRV)

각 접촉부별 측정축, 즉 12개의 측정 축에 대해서 독립적으로 승차감에 기여하는 양을 정량화한 것을 요소 승차감 지수라 한다.

Component Ride Value

$$= m_i \times \left[ \int P_{ii}(f) \cdot W_i^2(f) df \right]^{1/2} \quad (5)$$

$P_{ii}(f)$ :  $i$ 축의 전력밀도함수

$w_i(t)$ :  $i$ 축의 주파수 가중함수

$m_i(t)$ :  $i$ 축의 곱셈인자

3. 차량진동 측정 및 주관적 평가

3.1 차량진동 측정

자동차 진동에 대한 진동 인락감 인덱스를 제작하기 위해서는 우선 다양한 차종의 진동 측정이 필요하다. 이 연구에서는 총 9대의 차량을 이용하였으며 LMS사의 SCADAS Mobile SCM05와 Test\_lab을

사용하여 아이들 상태의 진동을 측정하였다. 측정 시 주의할 점은 차량에서의 인체진동 측정은 인체와 진동 표면 사이의 주된 접촉면은 항상 분명히 알 수 있는 것은 아니기 때문에 주된 접촉면을 사용하는데 그것은 다음과 같다. 시트 표면에서의 측정은 좌골의 용기 부분 아래(즉 엉덩이 뼈 밑)에서 해야 하고 시트의 등 부위에서 진동 측정은 상체를 주로 지지하는 부분에서 이루어져야 한다. 또한 발에서의 측정은 발을 가장 많이 지지하는 표면에서 이루어져야 한다.

이때 주의 할 점은 다음과 같다. 직접 측정할 수 없는 곳의 진동은 회전중심 또는 무게중심에서 측정을 하되, 차량의 단단한 부분에서 측정해야 한다.

또한 시트의 등 부위에서의 측정은 신체의 접촉되는 부분에서 하는 것이 더 좋지만 실제 측정 시 어려울 경우에는 등받이 뒷면의 시트 프레임에서 측정



Fig. 4 Photo illustration for the sensor location and driver position for the vibration measurement

Table 3 General Information for specification of 9 test cars

Name	Engine type	T/M type
Car A	I3	Manual
Car B	I3	Auto
Car C	I3	Auto
Car D	I4	Auto
Car E	I4	Auto
Car F	I4	Auto
Car G	I6	Auto
Car H	I6	Auto
Car I	I6	Auto

해야 한다. 이 위치에서 측정하였다면 의자 재료의 전달률을 보정해야 한다. 실제 차량의 진동을 재현하기 위하여 70 kg의 사람이 운전석에 착석한 상태로 진동을 측정하였다. Fig. 4는 실제 시험 차량의 센서 위치를 사진으로 보여주며, ISO 2631-1에 의거하여 운전석의 시트, 등받이, 발판에서의 진동을 각각 3축 가속도 센서를 사용하여 “차량 기어 중립 및 에어컨 작동상태(N ON)”에서의 아이들상태 진동을 측정하였다. Table 3은 이 연구에서 사용한 차량의 정보를 나타낸다. 차량 A만이 수동 기어이고 그 외의 차량은 자동 변속 기어를 탑재하고 있다.

### 3.2 질의어

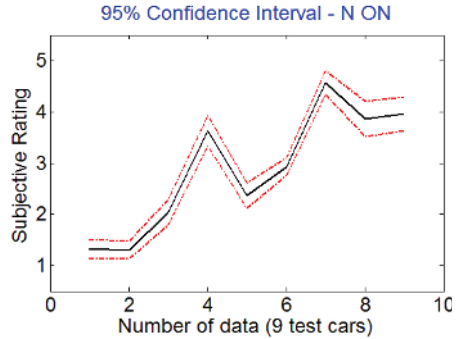
자동차 진동 인덱스를 제작하기 위해서는 각각의 차량 진동에 대한 평가를 할 수 있는 질의어가 필요하다. 본 실험의 목적은 차량 진동에 대한 객관적 평가와 주관적 평가의 상관성을 확인하는 것이기 때문에 질의어는 안락감 즉, “불편하다/안락하다”로 정하였고, Table 4와 같은 평가지를 이용하여 감성 진동평가를 진행하였다.

### 3.3 주관적 감성진동 평가 방법

차량진동의 주관적인 평가를 위해서 일반적으로 자동차회사에 사용되는 질의어로 안락감을 선정하고, 레이팅 방법(rating method)을 사용하여 진동 측정된 9대의 차량에 대한 주관적 감성진동 평가를 수행하였다<sup>6)</sup>. 감성진동 평가에는 자동차 엔지니어 11명, 일반인 19명으로 총 30명의 인원이 참석하였다. 이 중 남성은 26명, 여성은 4명이고 20~52세의 연령 분포를 가진다. Rating 방식은 1점에서 5점 방식을 사용하였다. 특히 일반인 평가자에게는 평가 기준을 설정하기 위해 차량 F의 진동을 3점으로 설정한 후 나머지 차량에 대하여 상대적으로 평가하도록 하였다. 실험을 종료한 후 개인의 평가 결과 값과 평가자 전원의 평균값 사이의 상관계수를 구하여 특별히 낮은값을 가지는 사람이 없는지를 확인 하였다. 그 후에 참가자의 주관적 평가값을 사용하여 평균을 구한 후 이를 각 차량의 승차감 평가값으로 선정 하였다. Fig. 5는 주관적 평가의 평균치와 95% 신뢰 구간을 나타낸다. 실선이 평균치를 의미하며, 점선은 95% 신뢰 구간을 의미한다. 3기통 차량의 진동이 일반적으로 승차감이 불리함을

**Table 4** Questionnaire of the subjective rating about which car is comfortable

	Car A	Car B	...
Very uncomfortable	①	①	...
Somewhat uncomfortable	②	②	...
Neither	③	③	...
Somewhat comfortable	④	④	...
Very comfortable	⑤	⑤	...



**Fig. 5** Distribution of the subjective rating, mean value, and the confidence interval

**Table 5** Mean and variance value of the subjective rating about idle vibration of the test cars

No.	Name	Mean	Variance
1	Car A	1.333	0.222
2	Car B	1.300	0.207
3	Car C	2.033	0.429
4	Car D	3.633	0.663
5	Car E	2.367	0.448
6	Car F	2.933	0.177
7	Car G	4.567	0.399
8	Car H	3.867	0.882
9	Car I	3.967	0.786

나타내며 6기통 진동의 안락감이 우수하다. 4기통의 경우는 차량의 상태에 따라서 6기통과 유사한 안락감을 가진다.

## 4. 진동 요소와의 상관관계

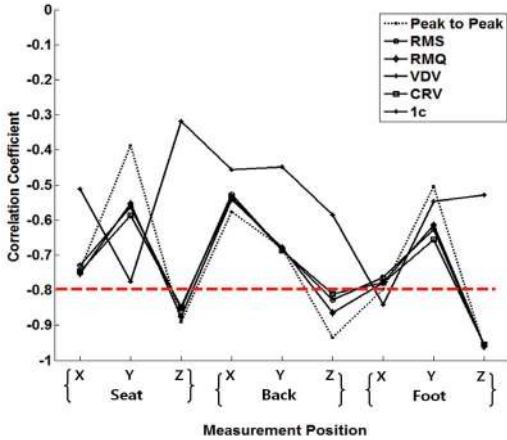
### 4.1 실제 차량 진동에서의 상관도

이 절에서는 Fig. 1에서 보여주는 절차를 이용하



**Table 6** Vibration metrics with high correlation coefficient

Vib_factor	Vib_factor		
Peak-to-peak	Seat_z	Back_z	Foot_z
VDV			Foot_z
1C(1st order)			Foot_x



**Fig. 6** Correlation between vibration metrics and subjective rating for vibration quality analysis

여 진동 승차감 인덱스 제작에 필요한 진동 요소들을 선정하고자 한다. 운전자의 진동 승차감에 영향을 미치는 객관적인 진동요소는 2.2절에서 보여주는 바와 같이 매우 다양하다. 그래서 어떤 진동 측정점에서의 진동요소가 주관적인 진동 승차감에 가장 영향을 많이 주는가를 판단하여 선정 하고자 한다. 이러한 진동 요소의 선정을 위해서 발바닥, 등받이, 시트 등에서 측정된 3축 방향의 진동요소들과 진동 승차감과의 상관도를 계산하였다.

두 연속형 변수 사이의 상관도를 다음과 같은 관계를 이용하여 구할 수 있다

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

$n$  : 연속 변수의 집합(X,Y)의 길이

$r$  : 상관도

$X_i$  : 연속 변수 집합(X)의  $i$ 번째 변수

$\bar{X}$  : 연속 변수 집합(X)의 평균

$Y_i$  : 연속 변수 집합(Y)의  $i$ 번째 변수

$\bar{Y}$  : 연속 변수 집합(Y)의 평균

상관도가 높은 진동요소는 진동 승차감 인덱스 제작에 필요한 입력 데이터로 사용된다.

진동요소와 주관적 감성진동 평가치의 상관도를 Fig. 6으로 나타내었다. 수직축은 상관도를 수평축은 진동 측정점과 방향을 나타낸다. 점선은 상관도가 80 % 이상이 되는 진동 요소를 나타낸다. Fig. 6에서 상관도가 80 % 이상인 측정점과 측정방향에 대해서 정리하면 Table 6과 같다. 이 결과에서 진동요소로서는 바닥(foot)과 등받이(back), 시트(seat)에서의 피크 값이 중요하며, 측정점에서는 바닥의 진동이 중요함을 나타낸다. 특히 대부분 z방향의 가진이 중요한데, 기본 오더 성분(엔진 회전 주파수 성분)의 경우 바닥 x방향의 진동이 상관도가 높음으로 이 부분의 검증을 위해서 가진기 실험을 병행하였다. 시트 및 등받이 등에서 동일한 상관도가 갖는 경우 상관도가 가장 높은 진동 요소를 선택했다.

#### 4.2 가진기 실험

실제 차량 진동 데이터를 이용하여 구한 진동요소와 감성진동 지수의 상관도 분석 결과에서 기본 오더(1c: 엔진 회전 주파수 성분)에 대한 신뢰도를 증가시키기 위해 실제 차량에서 진동을 측정하여 기본 오더 성분을 변조하여 이를 가진기에서 재현하는 실험을 추가적으로 시행하였다. 이 실험을 위해서 실제 차량과 동일한 부분에 바닥 진동 측정용 센서를 부착하여 가진기에서 동일한 결과가 나오도록 제어하는 실험을 진행하였고 가진기 장치는 Fig. 7에서 보여주는 바와 같다. 실제 차량의 재현에 대한 검증은 실제 차량데이터와 제어된 신호를 비교하여 검정하였고, 기본 오더 성분의 크기를 변조하여 기본 오더 성분만 서로 다른 9개의 신호를 제작하였다. Fig. 8은 기본 오더 성분을 3 dB 증가 시킨 신호와 실제 차량의 진동 신호를 재현한 결과이다. 이 경우 다른 주파수 영역에서는 크기를 일정하게 유지할 수 있도록 가진기를 제어하면서 가진 하였다.

가진기 실험의 장점은 진폭의 크기를 실험하는 동안 일정하게 유지함으로써 감성 평가 실험에 대한 신뢰성을 증가시킬 수 있다. 이 실험에서도 앞서 실제 차량의 감성진동 평가에 참석한 참여자를 대상으로



Fig. 7 The position to check exciting modified vibration signal

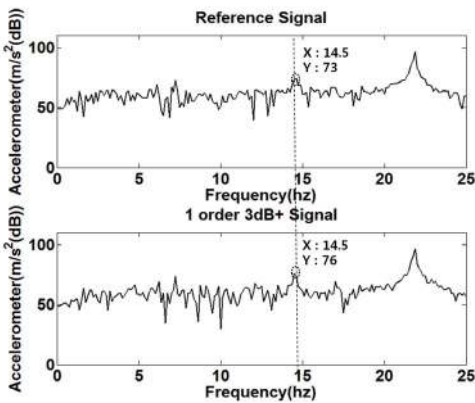


Fig. 8 Comparison between (a) the spectrum of the reference signal and (b) that of modified signal for the excitation

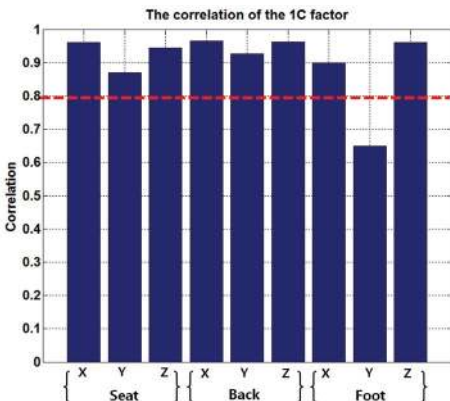


Fig. 9 Correlation between subjective rating and 1c factor in excitation test for vibration metric

가진기의 시트에 착석하여 감성진동의 평가를 실행하였다. 실험 결과 기본 오더 성분에 대한 각 진동 측정점에서의 기본 오더 성분과 주관적 감성진동과의 상관도를 Fig. 9에 나타내었다. 그 결과 실제 차량 실험에서 기본 오더 성분의 진동은 대부분의 위치에서 감성진동과 상관도가 높음을 나타낸다. 이 가진기 진동은 3기통 엔진을 탑재한 차량에 대한 진동을 기본 신호로 하여 진행한 것이므로 Fig. 6에서 나타난 상관도와는 차이가 존재한다. Fig. 6의 진동은 4, 6기통 모두를 고려한 것으로 바닥의 x방향 진동만 상관도가 80% 이상으로 나타났다. 따라서 이 가진기 실험을 통하여 기본 오더 성분의 진동은 주요한 진동 요소임을 확인할 수 있다.

### 5. 감성진동 인덱스

감성진동 인덱스를 이용하면 추가적인 감성진동 평가 없이 특정 자동차 진동에 대한 사람의 주관적인 평가값을 예측할 수 있다. 이러한 진동인덱스 제작을 위한 기법으로 다중 선형 회귀 분석법(multiple linear regression)을 이용하였다<sup>(7)</sup>. 회귀 분석법에 사용되는 일반적인 관계식은 식 (8)과 같다.

$$Y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i \quad (8)$$

여기서

- $Y_i$  :  $i$ 번째 관측값에 대한 종속변수의 값
- $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_k$  : 모집단 회귀 방정식의 회귀계수
- $x_{1i}$  :  $i$ 번째 관측값에 대한 첫 번째 독립변수의 값
- $x_{ki}$  :  $i$ 번째 관측값에 대한  $k$ 번째 독립변수의 값
- $\varepsilon_i$  :  $i$ 번째 관측값에 대한 오차항을 나타내는 변수

이다.

회귀계수를 구하기 위해서 사용한 진동요소의 종류 및 방향은 Table 6과 같은데 peak to peak의 경우 seat의 Z방향의 상관도가 낮기 때문에 제외 하였다. 따라서 최종 4개의 진동 요소를 사용 하여 최종인덱스 회귀계수를 구하였고, Table 7에 정리 하였다.

Fig. 10은 주관적인 감성진동 평가치와 감성진동 인덱스 출력과의 상관도를 나타낸다. 결정계수(R<sup>2</sup>)가 96%로 매우 높은 상관도를 나타낸다. 따라서 감성 진동 인덱스는 감성진동 평가의 객관적인 지

표로 사용할 수 있다.

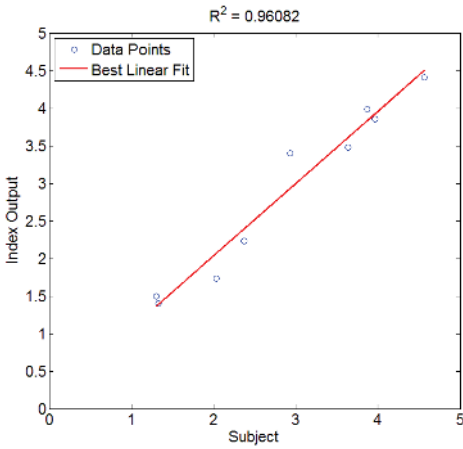
이 인덱스의 검증을 위해서 인덱스 제작에 사용되지 아니한 새로운 차종을 추가하여 진동 실험을 실시했다.

그 결과 Fig. 11에서 결정계수가 91%의 높은 상

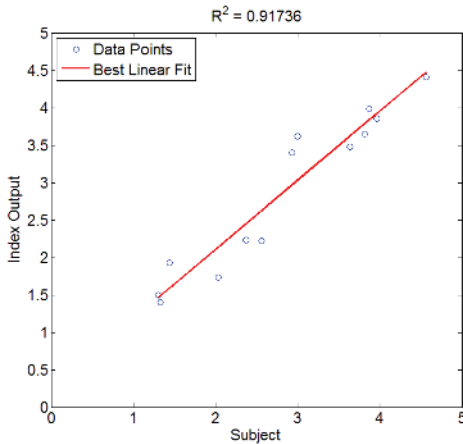
**Table 7** Index equation and each MR coefficient

$$\hat{y}_i = a + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + b_3x_{3i} + b_4x_{4i}$$

$a$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
6.157	-73.070	-14.842	-15.738	-84.176



**Fig. 10** Correlation between vibration index output and subjective rating for the production of vibration index

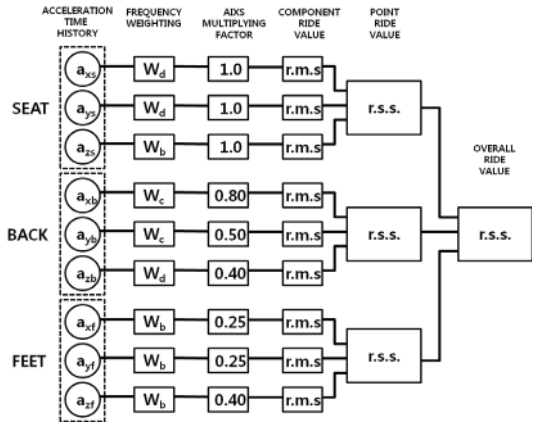


**Fig. 11** Correlation between index output and subjective rating for the validation of vibration index

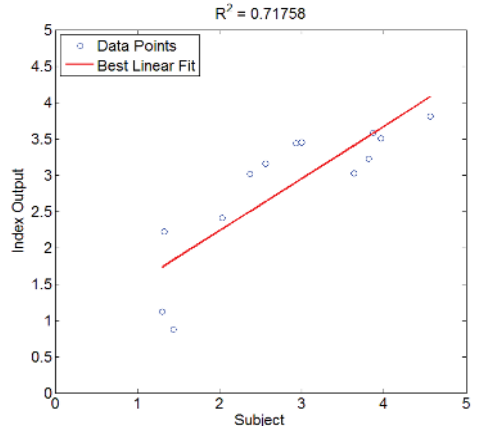
관도를 나타내며 감성진동 인덱스의 유용성을 검증하였다.

일반적으로 앞선 연구에서 감성진동의 객관적인 평가에서 주로 사용되어 MIRA(motor industry research association) 방법을 아이들 상태의 차량에 적용한 결과와 이 연구의 결과를 비교하기 위해서 Fig. 12에서 보여주는 바와 같은 RMS를 이용하여 실험 차종에 대한 객관적 평가를 실시하였다.

진동의 실효값을 이용한 MIRA 방법을 앞서 검증용 차량 진동 데이터에 입력하여 구한 객관적인 평가 결과와 주관적인 평가 결과와의 상관도를 구하면 Fig. 13과 같다.



**Fig. 12** Flow diagram for the objective evaluation of vibration quality. It has been developed by MIRA based on BS6841 Ride Model



**Fig. 13** Correlation between MIRA vibration index output and subjective rating



이 경우에 나타난 결정계수가 71 %로 상관도가 약 20 % 정도 낮다.

## 6. 결 론

이 구에서는 오랫동안 사용되어온 실효치를 이용한 감성진동 평가지수 대신에 전신 진동요소를 이용한 새로운 감성진동 인덱스를 개발하였다. 사용된 진동 요소는 주관적 평가 결과와 진동 요소의 상관도를 계산하여 상관도가 80 % 이상 되는 것을 적용하여 인덱스를 제작하였다. 그 결과 결정계수(R<sup>2</sup>)가 0.96임을 확인 하였다. 이 새로운 감성진동 지수는 기존의 방법대비 20 % 이상 높은 상관성을 나타내었다.

## 후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(MEST(No. 2010-0014260)).

## 참 고 문 헌

(1) Cheung, W.-S., Cho, Y.-G. and Park, S.-J.,

1997, Investigation of Ride Value for Overseas and Domestic Passenger Cars, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 324~335.

(2) Ajovalasit, M. and Giacomia, J., 2003, Analysis of Variations in Diesel Engine Idle Vibration, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D- Journal of Automobile Engineering, Vol. 217, No. D10, pp. 921~933.

(3) Shim, Y., Kauh, S. K. and Ha, K.-P., 2011, Evaluation of Idle Stability Through In-situ Torque Measurement in Automatic Transmission Vehicles, International Journal of Automotive Technology, Vol. 12, pp. 315~320.

(4) Griffin, M. J., 2007, Discomfort from Feeling Vehicle Vibration, Vehicle System Dynamics, Vol. 45, No. 7, pp. 679~698.

(5) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press.

(6) Otto, N., Amman, S., Eaton, C. and Lake, S., 2001, Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds, Journal of Sound and Vibration, Vol. 35, pp. 24~47.