

범프 통과시 발생하는 충격신호에 대한 주관평가와 객관평가의 상관성 연구

유 완 석^{*1)} · 김 민 석²⁾ · 장 한 기³⁾ · 안 세 진⁴⁾

부산대학교 기계공학부¹⁾ · 부산대학교 대학원 기계설계공학과²⁾ · 고등기술연구원 제품기술연구센터³⁾
· ISVR, Southampton, U.K.⁴⁾

Correlation between Subjective and Objective Assessments of Shock Signals Excited on a Vehicle Passing Bumps

Wan-Suk Yoo^{*1)} · Min-Seok Kim²⁾ · Han-Kee Jang³⁾ · Se-Jin Ahn⁴⁾

¹⁾School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²⁾Department of Mechanical Design Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

³⁾Center for Product Design Technology, Institute for Advanced Engineering, Yongin-si, Gyeonggi 449-863, Korea

⁴⁾Human Factors Research Unit, Institute of Sound and Vibration Research, University of Southampton, SO17 1BJ, UK

(Received 22 June 2004 / Accepted 21 December 2004)

Abstract : In order to generate various shock signals in a field study, a passenger car was driven at several speeds over road profiles that included a number of half sine shaped bumps of various heights. A triaxial SAE pad sensor was mounted on the front passenger seat to measure the acceleration signals which might produce subjective discomfort. The measured accelerations were correlated with the subjective assessments of 14 subjects. The magnitude of subjective discomfort was found to be proportional to the VDV and also the peak to peak of the frequency weighted acceleration signal.

Key words : Shock signal(충격신호), Human vibration(인체진동), Subjective assessment(주관평가), Bump(범프), Objective assessment(객관평가), Frequency weighting function(주파수가중함수)

1. 서론

차량의 안락성을 향상하기 위하여 차량에서 발생하는 진동량 자체를 줄이려는 정량적인 방법과 더불어 인체에 더욱 민감한 진동을 먼저 줄이는 정성적인 방법이 연구되어 왔다.¹⁻⁴⁾ 진동의 주파수와 크기 그리고 작용 위치와 방향에 따른 인체반응의 특성이 정리되어 있는 BS 6841⁵⁾ 또는 ISO 2631⁶⁾의 규격은 높은 승차감의 차량을 정성적으로 개발하는데

효과적으로 활용 되어왔다.⁷⁾ 그러나 이러한 규격은 정상적인 정현파신호(stationary sine signal)의 자극(stimuli)에 대한 인체의 주파수특성을 나타내는 것이고, 일시적 충격신호(transient impulsive signal)의 자극에 대한 인체반응은 별도로 연구되어왔다.⁸⁻¹²⁾

본 연구에서는 주행 중인 차량이 노면의 이음새 또는 작은 범프를 통과할 때 ‘시트(seat)’에서 발생하는 일시적인 충격신호에 대하여 탑승자가 느끼는 불편감의 주관평가와 객관평가에 대한 상관성을 조사하기 위해 실제 차량 주행시험을 실시하였다. 실제 차량이 범프를 통과할 때 생기는 충격이 조수석

^{*}To whom correspondence should be addressed.
wsyoo@pusan.ac.kr

에 탑승한 주관평가자에게 전달되는 주요한 위치와 인체부위는 바닥(floor)과 발(feet), 시트(seat)와 엉덩이(buttocks), 등받이(backrest)와 등(back) 그리고 소리(sound)와 귀(ears)이다. 시트 충격에 대한 인체반응에 주안점을 두고 있는 본 연구에서는 바닥과 등받이에서 가속도 및 충격소음의 영향을 최대한 배제하고, 시트에서의 가속도만 정확히 측정토록 시험을 실시하였다.

본 연구에서는 14명의 탑승자들에 의한 주관평가 지수와 상관성이 있는 가속도신호의 정량적인 값을 구하기 위해 다양한 방법의 신호분석을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 다양한 신호분석 중에서 ISO 2631에서 규정하고 있는 인체반응의 주파수 가중함수(frequency weighting function)로 필터 된 충격 가속도 신호의 VDV(vibration dose value)와 Peak to peak가 주관평가의 결과와 상관성이 높음을 알 수 있었다.

2. 실차 주행시험

2.1 시험 방법

Fig. 1과 같이 교통량이 거의 없는 직선 아스팔트 도로 상에 여러 가지 높이와 너비로 제작된 반사인파 모양(half-sine shape)의 범프를 설치하고 차량의 주행속도를 다르게 하면서 다양한 충격신호가 시트에서 발생하도록 하였다. 시험에 사용된 차량은 배기량이 1500 cc 이고 앞차축(front axle)과 뒷차축(rear axle)사이의 거리(wheelbase)가 2.5 m 인 국내에서 생산되는 소형차이며, 시험 시 앞바퀴와 뒷바퀴의 타이어 압력은 각각 36 psi 와 32 psi로 하였다. 평가자의 엉덩이로 전달되는 가속도를 측정하기 위해 Fig. 2와 같이 3축 가속도계가 내장된 SAE pad 센서를 엉덩이와 시트 사이에 설치하였다.

주관 평가자는 Fig. 3과 같이 시험차량의 등받이(backrest)가 완전히 뒤로 넘어진 조수석에 곧바른 자세로 착석하여 차량이 여러 종류의 범프를 통과할 때 기준범프(reference bump)에 대한 상대적인 불편감을 평가하였다. 이 때 차량의 바닥에서 발(feet)로 전달되는 충격신호의 영향을 최대한 줄이기 위해 바닥과 발 사이에 충격 완화용 스펀지(sponge)를 설치하였고, 충격소음의 영향을 최대한 줄이기 위

해 평가자는 백색잡음이 재생되는 헤드폰(head-
phone)을 착용하였으며 시각적인 효과도 방지하기 위해 안대(eye bandage)를 착용하도록 하였다.



Fig. 1 Asphalt road for bump shock test



Fig. 2 Triaxial SAE pad sensor secured on the seat



Fig. 3 Subject's posture for assessing subjective evaluation

본 연구에서 사용된 범프는 Fig. 4와 같이 너비가 다른 여러 개의 얇은 플라스틱 판(plastic plate)을 겹쳐서 다양한 반사인파(half sine) 모양으로 제작된 것이다. 기준범프와 시험범프로 구분하여 제작하였으며, 기준범프는 주관 평가자가 충격신호에 대한 불쾌함의 정도를 수치적으로 미리 가늠하기 위한 것이다. 기준범프는 높이와 너비가 각각 1 cm × 4cm, 2 cm × 8 cm 그리고 4 cm × 16 cm의 3종류로 제작되었고, 시험범프의 너비는 8 cm로 동일하고 높이는 0.5 cm에서 4.0 cm 까지 0.5 cm 간격으로 8종류를 제작하였다.

실차 주행시험은 Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 운전자(driver)와 주관 평가자(subject) 그리고 측정 장비 조작자(operator)가 탑승한 차량이 20 m 간격으로 놓여 있는 3종류의 기준범프를 30 km/hr의 속도로 먼저 통과한 후 반대 차선에 50 m 간격으로 놓여 있는 두 종류의 시험범프를 다양한 속도로 통과하는 순서로 진행하였다. 동일한 시험모드로 동일한 범프를 여러 번 통과할 때 동일한 충격신호가 발생되도록 하는 것이 무엇보다도 중요한 본 연구에서는 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 시험차량의 오른쪽 바퀴만 범프를 통과하도록 하였다. 여러 번의 예비시험으로부터 얻은 가속도 신호를 분석한 결과, 오른쪽과 왼쪽바퀴를 동시에 통과시키는 경우보다 오른쪽바퀴만을 통과시킬 때 더욱 일관성 있는 충격신호를 얻을 수 있었고 비대칭 충격으로 기인하는 오른쪽과 왼쪽 시트의 변위(displacement)성분의 차이가 극히 미소(상·하 방향으로 최대 1.0 mm 이하)하여 회전성분 충격으로 인해 발생하는 시험오차는 무시할 수 있음을 확인하였다.

2.2 주관평가

14명의 남자 주관 평가자들에 의해 범프 통과 시 발생하는 시트의 충격 신호에 대한 불쾌감을 주관 평가 하였다. 주관 평가자 1인에 대한 시험시간은 약 50분 정도이고, 참여한 주관 평가자들의 평균 신장은 173.5 cm (최대 180 cm, 최소 166 cm), 평균 체중은 69.8 kg (최대 90 kg, 최소 57 kg)이다. 각각의 시험에서 주관평가자는 기준범프를 통과할 때 느낀 불쾌감의 정도와 기준범프의 평가지수를 기억하고,

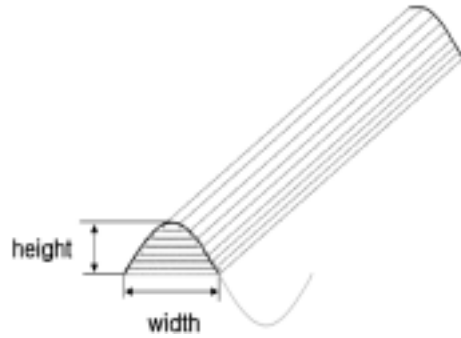


Fig. 4 Half sine shaped bump

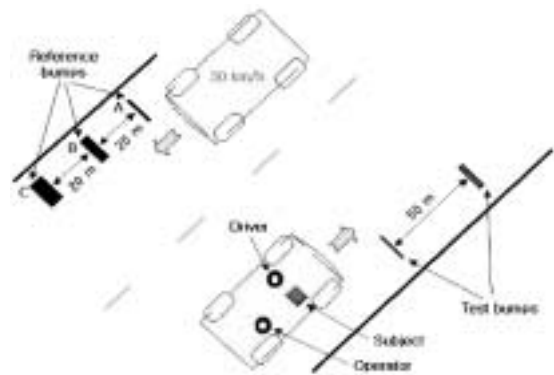


Fig. 5 Layout of test and reference bumps fixed on the road

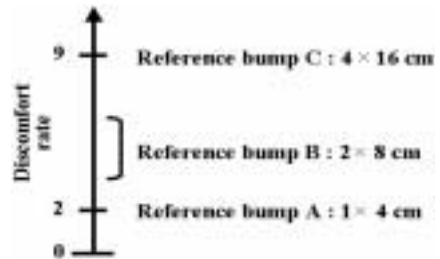


Fig. 6 Subjective scale of discomfort to reference bumps

시험범프를 통과할 때의 불쾌감을 기준범프의 불쾌감과 비교하여 상대적인 값으로 표현하도록 하였다.

시험범프 충격신호의 불쾌감과 비교되는 기준범프의 불쾌감 지수는 Fig. 6과 같이 '0'에서 '9' 이상의 값으로 설정하였다. 기준범프 A (1 cm × 4 cm)의 충격신호는 대부분의 탑승자가 노면의 거칠기에 의한 진동과 범프 통과에 의한 충격을 분명히 구분할 수 있는 최소의 신호이며, 이보다 낮은 신호를 감지할

수 있는 평가자들을 고려하여 기준범프 A의 불쾌감 지수는 '2'로 하였다. 기준범프 C (4 cm × 16 cm)는 불쾌감의 정도를 넘어 고통(pain)으로 느껴질 만큼의 충격신호를 발생하는 것이며 이것에 대한 불쾌감 지수는 '9'로 설정하였다. 그리고 기준범프 B (2 cm × 8 cm)는 기준범프 A와 C의 중간 정도의 충격신호를 발생하는 것으로서 불쾌감 지수는 주관 평가자들 각자가 임의로 판단하도록 하였다.

2.3 객관평가

차량이 범프를 통과할 때 시트에서 발생하는 충격 신호는 Fig. 7과 같이 앞 차륜(front wheel)과 뒤 차륜(rear wheel)이 각각 범프를 통과하면서 두 번의 충격신호가 발생하는 이중충격(double shock) 신호의 형태를 가진다. 차량의 주행 속도에 따라 첫 번째 충격에 이어 두 번째 충격이 일어나는 시간간격(interval)이 달라지는데, 이 시간간격(T_w)과 차량의 축거를 이용하면 시험차량이 범프를 통과하는 순간의 정확한 속도를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 7에서 보이는 바와 같이 첫 번째 충격신호가 발생한 시간부터 두 번째 충격신호가 충분히 감쇠하는 시간까지를 분석유효시간(T_E)로 정의하고, 이 시간 내의 가속도 신호에 대한 정량적인 값을 객관평가에 사용하였다.

시트와 평가자의 엉덩이 사이에 설치된 3축 SAE 패드센서에서 측정된 전·후, 좌·우, 상·하 방향의 가속도 신호는 Fig. 8과 같이 ISO 2631에서 규정하고 있는 앉은 자세(seated posture)의 전신진동에 대한 엉덩이 위치의 주파수 가중함수를 적용하였다. Fig. 8에서 실선의 W_d 는 엉덩이의 전·후 (fore-aft)와 좌·우(lateral) 방향 가속도 신호에 적용되고, W_k 는 상·하(vertical) 방향 가속도 신호에 적용된다. 주파수 가중함수를 충격 가속도 신호에 적용하는 방법으로는 주파수 가중함수에 해당하는 디지털 필터(digital filter)를 시간신호에 적용하는 방법과 가속도 신호를 주파수 영역으로 변환하여 주파수 가중함수를 적용한 후 다시 시간영역으로 변환하는 방법이 있는데, 본 연구에서는 분석시간이 비교적 짧은 전자의 방법을 이용하였다. ISO 2631에서는 진동에 반응하는 인체의 주파수 특성을 나타

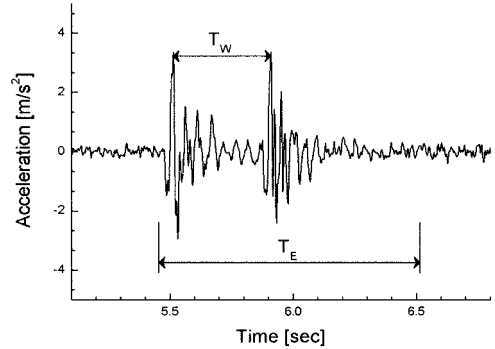


Fig. 7 Typical shock signal on the seat of a vehicle passing a bump

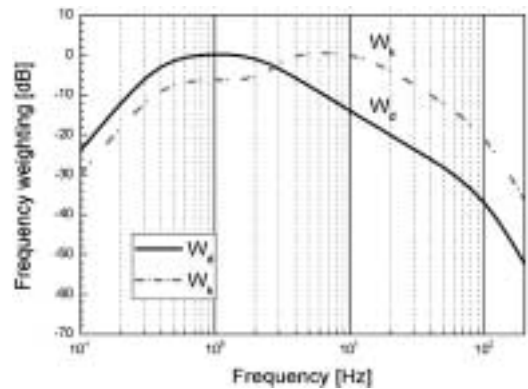


Fig. 8 Frequency weighting functions for seated whole-body in ISO2631 (W_d : fore-aft and lateral, W_k : vertical)

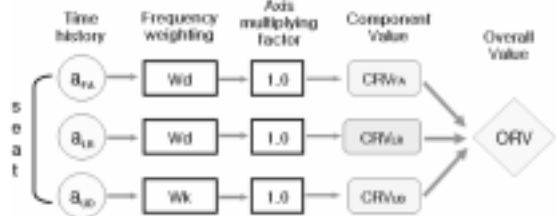


Fig. 9 Procedure and method of shock signal analysis for objective assessment

내는 주파수 가중함수뿐만 아니라 진동에 노출되는 인체의 부위와 방향에 대한 축 가중 값(multiplying factor)을 규정하고 있는데, 앉은 자세의 인체에 대한 엉덩이 위치에서 전·후, 좌·우, 상·하 방향 가속도 신호에 대한 축 가중 값은 모두 1.0으로 하고 있다.

주파수 가중함수가 적용된 가속도 신호로부터 정

량적인 객관평가 지수를 구하기 위해 본 연구에서 사용한 신호분석 절차와 계산방법이 Fig. 9에 나타나 있다. 이산화(discrete)되어 주파수 가중 필터가 적용된 가속도 신호의 각 방향에 대한 성분지수(CRV, component ride value)는 다음 식들과 같이 다양한 방법으로 구할 수 있다.

$$CRV_{r.m.s} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a^2(i) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$CRV_{p-p} = a(i)_{\max} - a(i)_{\min} \quad (2)$$

$$CRV_{RMQ} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a^4(i) \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3)$$

$$CRV_{VDV} = \left(\frac{T_E}{N} \sum_{i=1}^N a^4(i) \right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

여기서 $a(i)$ 는 주파수 가중 필터가 적용된 i 번째 가속도 값의 진폭, T_E 는 진동 측정 시간이며, N 은 획득된 진동 신호의 총 개수이다. 식(1)은 가속도 값의 실효치(r.m.s, root mean squares)로서 진동량의 단순 크기를 나타낸다. 이와는 달리, 식(2) ~ (4)와 같은 방법은 측정된 가속도 값이 충격이나 과도신호를 포함할 때, 그 신호의 효과를 좀더 잘 표현할 수 있는 방법이다. 식(2)은 가속도 값의 최대값과 최소값의 차이인 Peak to peak로, 식(3)은 가속도 값의 4승 평방근(RMQ, root mean quad)으로 성분 지수를 정의한다. 식(4)는 진동 피폭량(VDV, vibration dose value)으로서 인체 피폭 진동의 누적량을 고려하고 있다. 이는 진동 진폭 a 와 노출 시간 T 의 관계를 나타내는 4승의 법칙 즉, “ $a^4 \cdot T = \text{일정하다}$ ”는 실험적 결과에 근거를 두고 있다.

그리고 성분 지수를 하나의 객관평가 지수로 나타내는 총 지수(ORV, overall ride value)는 성분 지수를 정의하는 방법에 따라 다음과 같이 다르게 환산한다.

$$ORV_{MAX} = \text{Max}(CRV_i) \quad (5)$$

$$ORV_{r.s.s} = \left(\sum CRV_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$ORV_{VDV} = \left(\sum CRV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \quad (7)$$

식(5)는 성분 지수 중 최대값을 선정하여 총 지수를 정의하는 방법이며, 식(6)은 각 성분 지수의 제곱 합 의 2승근(r.s.s, root sums of squares)으로 정의하는 방법이다. 그리고 식(7)은 각 성분 지수의 4제곱 합 의 4승근으로 총 지수를 정의하는 방법이다.

총 지수(ORV, overall ride value)를 구하는 식에서 i 는 식(1) ~ (4)중 하나의 값을 택하면 된다. 본 연구에서는 위에서 소개한 바와 같이 4가지 방법으로 구한 성분지수에 대한 3가지 방법의 총 지수 값들과 주관 평가자들의 불쾌감 지수의 상관성을 분석하고 상관도를 비교하였다.

3. 주관평가와 객관평가의 상관도 분석

본 연구에서 사용된 기준범프에 설정한 주관평가 지수 값과 서로 다른 3가지 방법으로 구한 객관지수 값을 비교하여 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타난 객관지수들은 주파수 가중 필터를 적용한 충격 가속도 신호에 대하여 Peak to peak, 실효치 그리고 진동 피폭량으로 성분지수를 구하고, 각각의 성분지수를 제곱 합 의 2승근 하여 총 지수를 구한 것이다. Peak to peak, 실효치 그리고 진동 피폭량에서 최소값 대 최대값의 비율이 각각 4.86, 4.56, 5.37로 나타났으므로, 주관평가에서 2점과 9점을 하한과 상한으로 정한 것이 타당성이 있는 것으로 보인다.

Table 1 Objective and subjective assessment values on reference bumps

Reference bump \ Rating	Objective (r.s.s)			Subjective
	P-P (m/s ²)	r.m.s (m/s ²)	VDV (m/s ^{1.75})	
A (1 × 4 cm)	1.90	0.362	0.458	2
B (2 × 8 cm)	3.59	0.629	0.917	-
C (4 × 16 cm)	9.23	1.649	2.463	9

각 시험모드에 대하여 시험차량이 범프를 통과할 때의 실제 속도를 Table 2에 나타내었다. 각각의 시험모드에서 설정된 차량의 속도는 운전자가 속도계 기관(speedometer)을 보면서 조절하였다. 그러나 범프를 만난 이후에는 속도가 다소 줄어들 수 있기 때문에 본 연구에서는 차량의 축거에 이중충격신호의 시간간격(T_w)을 나눈 값으로 실제 범프통과 속도를 구하였다. Table 2에서 실제속도(actual speed) 아래에 나타낸 괄호 안의 숫자는 본 연구에서 실시한 모든 시험에서 동일한 주행속도 대한 범프통과 속도의 편차를 95 % 신뢰도의 오차수준으로 표현한 것이다.

7가지로 제작된 반사인과 모양의 범프를 8가지 주행속도로 통과할 때 충격신호의 불쾌감을 주관평가한 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3은 각각의 시험모드에서 14명의 주관 평가자들이 기준범프에 대한 시험범프의 상대적인 불쾌감을 수치로 나타낸 것들을 평균한 값을 나타내고, 괄호 안의 값은 14명의 주관 평가에 대한 편차를 95% 신뢰도의 오차수준으로 나타낸 것이다. Table 3의 수치들을 그림으로 표현한 Fig. 10으로부터 주관적인 불쾌감 지수가 범프의 높이에 따라 증가하고 있으며, 범프 통과 속도가 높을 때는 속도가 낮을 때에 비하여 불편함의 정도가 대체로 낮고, 범프 높이에 따른 주관평가의 차이가 작음을 알 수 있다. 이러한 결과는 범프를 통과하는 속도가 증가할수록 이중충격의 시간간격이 좁아져서 평가자는 이중충격으로 느끼지 못하고 단일충격(single shock)로 느끼기 때문으로 판단되며, 동일한 진동 피폭량을 가지는 신호에 대하여 이중충격이 단일충격에 비해 더욱 불편하게 느껴진다는 기존의 연구결과¹²⁾와 유사한 경향을 나타내는 것이다. 일부 속도에서 불쾌감 지수의 차이가 크지 않은 것으로 나타났는데, 이를 해결하기 위해서는 주관적 평가에서 편차가 심하게 나는 평가자의 자료에 대해 가중치를 줄이는 방안에 대한 연구가 필요할 것이라 사료된다.

시트의 3방향 가속도 신호에 대하여 주파수 가중 필터를 적용한 후, Peak to peak를 성분지수(CRV_{P-P})로 하고 제곱 합의 2승근으로 총 지수(ORV_{r,s,s})를 구한 14회의 객관평가 지수의 평균값을 Table 4에 나타

Table 2 Actual bump-passing speeds of test vehicle

Test speed (speed meter) [km/hr]	20	25	30	35	40	45	50
Actual speed (wheelbase÷ T_w) [km/hr]	17.4 (± 0.9)	20.5 (± 0.8)	26.0 (± 0.8)	31.9 (± 1.2)	35.1 (± 1.3)	39.4 (± 1.3)	44.9 (± 1.2)

Table 3 Subjective assessment values on test bumps

Speed / Test bump	20 km/hr	25 km/hr	30 km/hr	35 km/hr	40 km/hr	45 km/hr	50 km/hr
0.5 cm	4.67 (±0.24)	4.93 (±0.19)	4.80 (±0.08)	4.80 (±0.28)	4.93 (±0.19)	4.80 (±0.28)	4.67 (±0.17)
1.0 cm	4.87 (±0.38)	5.23 (±0.29)	5.40 (±0.31)	5.35 (±0.34)	5.33 (±0.35)	5.26 (±0.27)	5.35 (±0.43)
1.5 cm	5.83 (±0.34)	6.13 (±0.37)	6.27 (±0.34)	6.40 (±0.36)	6.53 (±0.37)	6.53 (±0.41)	6.40 (±0.31)
2.0 cm	6.37 (±0.54)	6.57 (±0.47)	6.55 (±0.52)	6.33 (±0.44)	6.53 (±0.45)	6.30 (±0.42)	6.07 (±0.47)
2.5 cm	6.73 (±0.70)	6.88 (±0.52)	6.80 (±0.57)	6.67 (±0.64)	6.13 (±0.57)	6.33 (±0.48)	6.40 (±0.52)
3.0 cm	5.20 (±0.65)	5.87 (±0.49)	5.20 (±0.58)	5.33 (±0.54)	4.80 (±0.57)	4.67 (±0.79)	4.07 (±0.49)
3.5 cm	4.67 (±0.68)	6.00 (±0.54)	6.33 (±0.58)	6.67 (±0.54)	5.67 (±0.57)	5.07 (±0.79)	5.00 (±0.49)
4.0 cm	7.53 (±0.45)	7.53 (±0.47)	7.33 (±0.44)	7.53 (±0.31)	7.27 (±0.34)	7.13 (±0.39)	6.53 (±0.58)

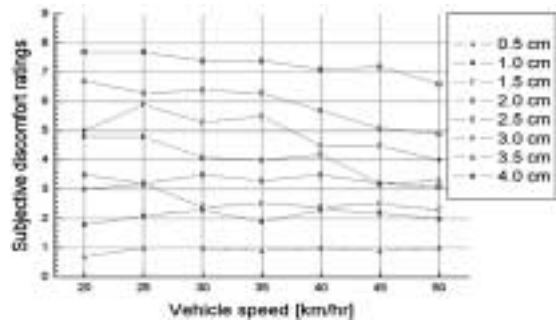


Fig. 10 Plots of subjective assessment values

Table 4 Objective assessment values (ORV_{r,s,s}[CRV_{P-P}])

Speed / Test bump	20 km/hr	25 km/hr	30 km/hr	35 km/hr	40 km/hr	45 km/hr	50 km/hr
0.5 cm	1.20 (±0.08)	1.36 (±0.05)	1.26 (±0.08)	1.21 (±0.09)	1.38 (±0.09)	1.54 (±0.25)	1.81 (±0.17)
1.0 cm	2.06 (±0.33)	2.27 (±0.21)	2.50 (±0.19)	2.28 (±0.19)	2.68 (±0.30)	2.18 (±0.17)	2.83 (±0.13)
1.5 cm	3.20 (±0.14)	3.00 (±0.49)	3.06 (±0.13)	2.72 (±0.19)	3.28 (±0.35)	2.75 (±0.30)	2.38 (±0.13)
2.0 cm	3.98 (±0.17)	3.86 (±0.18)	3.96 (±0.20)	3.68 (±0.25)	4.53 (±0.45)	3.44 (±0.25)	3.81 (±0.18)
2.5 cm	5.04 (±0.24)	5.89 (±0.38)	4.89 (±0.28)	4.15 (±0.43)	5.11 (±0.34)	4.15 (±0.30)	3.67 (±0.28)
3.0 cm	5.67 (±0.68)	6.33 (±0.35)	6.22 (±0.44)	5.46 (±0.42)	5.88 (±0.36)	4.95 (±0.39)	4.24 (±0.28)
3.5 cm	6.73 (±0.65)	7.81 (±0.68)	7.53 (±0.37)	6.98 (±0.59)	7.44 (±0.50)	5.78 (±0.44)	5.38 (±0.38)
4.0 cm	8.35 (±0.39)	8.78 (±0.44)	8.17 (±0.51)	8.12 (±0.50)	8.26 (±0.69)	7.22 (±0.43)	7.83 (±0.38)

내었다. Table 4의 수치들을 그림으로 나타낸 Fig. 11에서 보면 주행속도가 40 km/hr 일 때 다른 속도에 비하여 객관평가 지수가 상대적으로 높음을 알 수 있는데, 이것은 이중충격의 시간간격에 의한 충격 주기가 시험차량이 가지는 여러 개의 공진영역 중에 한 곳에 있음에 의해 기인한 것으로 사료된다.

14명의 평가자들에 의해 8가지의 범프와 7가지의 차량속도로 시도된 56가지의 시험모드에 대한 주관평가와 객관평가의 상관성을 조사하기위해 Table 3과 Table 4를 이용하여 Fig. 12를 그렸다. Fig. 12에 나타난 56개의 점들은 14번의 시험으로 평균된 객관평가 지수를 가로축 값으로 하고 주관평가 지수를 세로축 값으로 하여 나타낸 것이다. 그리고 이 점들에 선형적합(linear fitting)법을 적용하여 구한 직선을 Fig. 12에 나타내었으며, 이 직선의 기울기와 절편 값 및 상관성 계수(correlation coefficient)를 그림 속에 표시하였다.

일련의 시험으로부터 얻은 충격신호에 대하여 2.3절에서 소개된 다양한 방법으로 객관평가 지수를 구하였으며, 그 중에서 주요한 몇 가지의 객관평가 지수와 주관평가 지수를 선형 적합한 결과를 Table 5에 정리하였다. 다양한 방법으로 구한 객관평가 지수들 중에서 Peak to peak 또는 진동 피폭량으로 구한 성분지수를 이용한 것들이 주관평가 지수와 높은 상관도를 나타내었다. 이러한 결과는 실험실에서 유압 가진기(hydro exciter)로 생성한 상·하 방향 충격신호에 대한 주관적인 불쾌감의 정도는 시트의 상·하 방향 가속도 신호의 진동 피폭량과 상관성이 높다는 기존의 연구결과와도 근접하다고 볼 수 있다.¹¹⁾

4. 결론

실차 주행 시험으로 생성한 시트의 충격신호에 대한 주관평가와 객관평가의 상관도를 분석한 본 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 시험범프의 높이에 따라 주관적인 불쾌감 지수는 증가하지만, 동일한 범프에 대해 통과속도가 증가함에 따라 불쾌감 지수는 약간 감소하는 경향을 보였다.

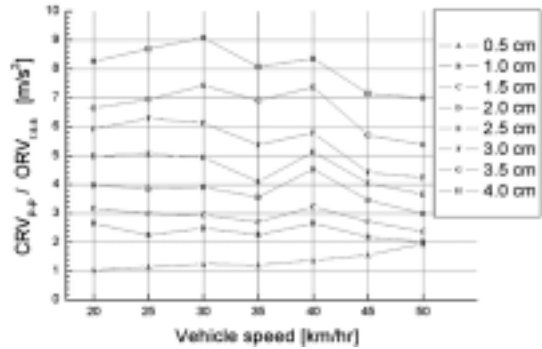


Fig. 11 Plots of objective assessment values ($ORV_{r,s,s}[CRV_{P,P}]$)

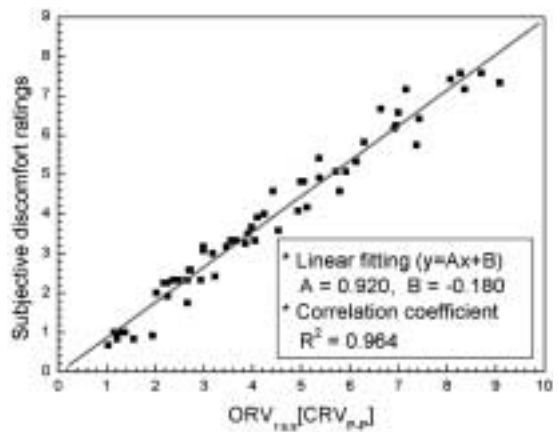


Fig. 12 Linear equation correlated between subjective and objective assessments ($ORV_{r,s,s}[CRV_{P,P}]$)

Table 5 Parameters of linear fitting with various objective assessment methods

Objective assessment methods	ORV	Max			r.s.s			VDV
	CRV	P-P	r.m.s	VDV	P-P	r.m.s	VDV	VDV
Linear fitting parameters	A	0.926	6.785	3.500	0.920	6.822	3.508	3.512
	B	-0.112	-0.684	0.109	-0.180	-0.895	-0.012	-0.088
	R ²	0.964	0.887	0.963	0.964	0.878	0.962	0.963

2) 시트의 충격신호에 대한 주관적인 불쾌감 지수는 인체반응 주파수 가중 필터를 적용한 신호의 Peak to peak 또는 진동 피폭량으로 구한 객관평가 지수와 높은 선형 상관도가 있음을 알 수 있었다.

3) 충격의 주요 주파수(major frequency)와 감쇠비(damping ratio)가 다른 차종에 대한 시험을 통해 주파수와 감쇠에 따른 주관평가의 변화에 대한 연구가 요구된다.

- 4) 본 연구에서 제외되었던 등받이와 바닥의 진동 그리고 충격소음의 효과를 동시에 고려한 종합적인 평가방법에 대한 연구도 필요하다.

후 기

본 연구는 국가지정연구실(NRL)의 지원(과제번호 M1-0203-00-0017)으로 이루어졌으므로, 지원기관에 감사드립니다.

References

- 1) Y. S. Lee, S. G. Lee and S. J. Park, "An Estimation of Comfort on the Automobile Driver Seat Korean Anthropometric Experiment," Transactions of KSAE, Vol.4, No.3, pp.61-72, 1996.
- 2) G. S. Paddan and M. J. Griffin, "Evaluation of Whole-Body Vibration in Vehicle," Journal of Sound and Vibration, Vol.253, No.1, pp.195-213, 2002.
- 3) Y. G. Cho, S. J. Park and Y. S. Yoon, "Human Response Measurement and Ride Quality Evaluation for Seats Having Various Material Properties," Transactions of KSAE, Vol.8, No.3, pp.171-180, 2000.
- 4) M. G. Kim, W. S. Yoo and J. H. Kim, "Evaluation of Ride Comfort Considering Seat and Ride Vibration Modes," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, pp.93-99, 2002.
- 5) British Standards, BS 6841, "Measurement and Evaluation of Human Exposed to Whole-Body Mechanical Vibration and Repeated Shock," 1987.
- 6) International Organization for Standardization, International Standard 2631-1:1997, "Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration," 1997.
- 7) M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.
- 8) M. J. Griffin and E. M. Whitham, "Discomfort Produced by Impulsive Whole-Body Vibration," JASA, Vol.68, No.5, pp.1277-1284, 1980.
- 9) C. M. Ruffel and M. J. Griffin, "Effects of 1-Hz and 2-Hz Transient Vertical Vibration on Discomfort," JASA, Vol.98, No.4, pp.2157-2164, 1995.
- 10) C. H. Lewis and M. J. Griffin, "A Comparison of Evaluations and Assessments Obtained using Alternative Standards for Predicting the Hazards of Whole-Body Vibration and Repeated Shocks," Journal of Sound and Vibration, Vol.215, No.4, pp.915-926, 1998.
- 11) H. V. C. Howarth and M. J. Griffin, "Subjective Reaction to Vertical Mechanical Shocks of Various Waveforms," Journal of Sound and Vibration, Vol.147, No.3, pp.395-408, 1991.
- 12) Y. Matsumoto and M. J. Griffin, "Effect of Phase on Discomfort Caused by Vertical Whole-Body Vibration and Shock: Experimental Investigation," JASA, Vol.111, No.3, pp.1280-1288, 2002.