

차량 승차감 평가지수 개발에 관한 연구

Development of Objective Vehicle Ride Index

°장 한 기*, 김 승 한*, 정 용 현**, 장 진 회***

Han-Kee Jang, Seung-Han Kim, Yong-Hyun Chung, Jin-Hee Jang

Key words: Vehicle dynamics(차량동역학), Ride and handling(승차감과 조종성), Human vibration(인체진동), Ride index(승차감 지수), Dynamic comfort(동식 안락성), Vibration harshness(하쉬니스)

ABSTRACT

The aim of the study is to develop an objective index for the evaluation of vehicle ride comfort using the measured vehicle accelerations. The equation of the index was derived from the correlation analysis of subjective ratings on selected vehicles and the reduced measure of the vehicle motions. First whole procedure of from the measurements to the calculation of the perceptual vibration was developed. Test condition of both the vehicle speed and the road condition was selected so as to maximize the reliability of the index. This paper suggested the equation of the objective ride index on vibration harshness, of which expected error is about 0.3 in 10 scale of subjective rating at 95% of the significance level.

1. 서론

차량의 동역학적 성능을 결정하는 두 가지 핵심 인자는 Ride와 Handling이다. 이 두 가지 성능의 평가는 현재 주관적인 방식에 주로 의존하고 있는데, 이들 중에서 Handling특성은 주관적인 방식에 의한 평가 결과에 대해 이견이 크지 않을 뿐 아니라 해석모델을 이용한 예측도 가능하다. 이와 달리 Ride 특성은 평가자에 따라, 또 평가 상황에 따라 그 결과의 오차가 큰 것이 현실이다. 이와 같은 상황은 차량의 동특성 개선을 어렵게

만들기 때문에, 차량 개발담당자들은 평가 결과의

신뢰성과 재현성이 보장되는 방법을 요구하게 된다. 독일이나 일본등의 선진국의 차량 업계에서는 10여년 전부터 승차감 평가를 위한 정량화 지수를 도입하여 주관 평가 결과의 보완 수단으로 활용해 오고 있다[1-4]. 이들은 차량의 특정 지점의 가속도를 측정하고, 진동에 대한 인체의 반응특성을 고려하려 정량화함으로써 객관적으로 수치화하는 시도를 지속적으로 수행하고 있다. 그러나 승차감 지수를 추출하기 위한 계산식이나 계수들은 해당업체의 영업비밀로써 입수하기가 불가능하다.

본 연구에서는 차량개발 단계에서 차량의 Ride 특성을 정량적으로 평가하기 위한 객관화된 지수를 개발하고자 한다. 차량의 Ride 평가항목은 지역마다 차이가 있고 차량 제조사마다 차이가 있을 수 있다. 따라서, 승차감 평가지수도 평가하고자 하는 항목에 맞춰서 개발되어야 한다. 이를

* 회원, 고등기술연구원 소음진동센터

** 회원, 고등기술연구원 대우자동차과전

*** 비회원, 대우자동차 기술연구소

위해, 차량의 거동측정 및 신호처리 과정을 정립하고, 측정된 신호의 주파수 가중 방법과 승차감 평가항목에 해당하는 평가지수 계산을 위한 전 과정을 개발하였다. 본 논문에서는 차량 승차감 평가항목 중의 하나인 Harshness에 대한 Index 도출과정을 정리하였다.

2. 승차감 평가지수

2.1 승차감 평가지수의 개념

특정 승차감 평가항목에 대한 정량화지수를 개발한다는 것은, 해당 항목(주관평가)의 특성을 대변할 수 있는 차량 거동의 정량화값을 찾는 것을 의미한다. 대상 차량들에 대한 주관평가 결과의 추세와 거동의 정량화 값의 추세가 일치한다면, 이때 얻어진 거동의 정량화 수치는 주관평가를 대변한다고 할 수 있는 것이다. 여기서 '추세가 일치한다'의 의미는 주관평가 결과와 거동의 정량화 수치의 관계에 있어서, 차량의 순서뿐만 아니라 결과의 정량적인 차이까지 일치한다는 것이다. 예를 들어, A, B, C, 3대의 차량에 대해 주관평가와 거동의 정량화를 각각 수행하였을 때, 특정 주관평가항목이 6.0, 6.5, 8.5로 얻어졌을 때, 거동의 정량화 수치도 이 차량들의 순서와 차량간의 차이를 나타낼 수 있어야 한다.

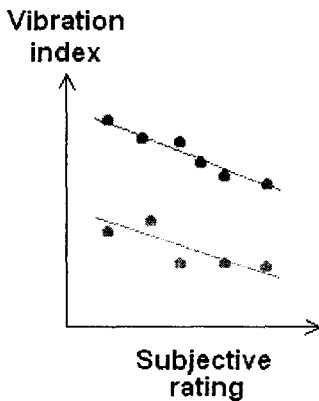


Fig.2 주관평가치와 측정량간의 상관관계

Fig.1에서 보는 바와 같이 위 부분에 있는 그림은

상관도가 높은 경우이고, 아래 부분에 있는 그림은 상관도가 낮은 경우이다. 승차감 평가지수 도출시에는 주행조건이나 측정여건을 적절히 선정하여 상관도가 높게 나오도록 해야한다.

2.2 승차감 평가지수의 도출 방법

본 연구에서 개발하고자 하는 승차감 평가지수는, 차량의 특정 지점에서 측정된 거동(가속도)을 정량화하여, 주관평가에 의해 결정되는 승차감 평가치를 대체할 수 있도록, 개발된 지수를 의미한다. 승차감 평가지수의 도출과정은 Fig.2와 같다. 우선 다양한 차종에 대한 승차감 평가가 이루어져야 하고, 동시에 각각의 차량에 대한 차량거동의 측정과 체감량으로의 수치화가 필요하다. 이와 같이 얻어진 두 가지 부류의 데이터에 대한 상관관계가 확립되면, 거동의 측정량만으로 승차감 항목의 주관평가치를 예측할 수 있게된다.

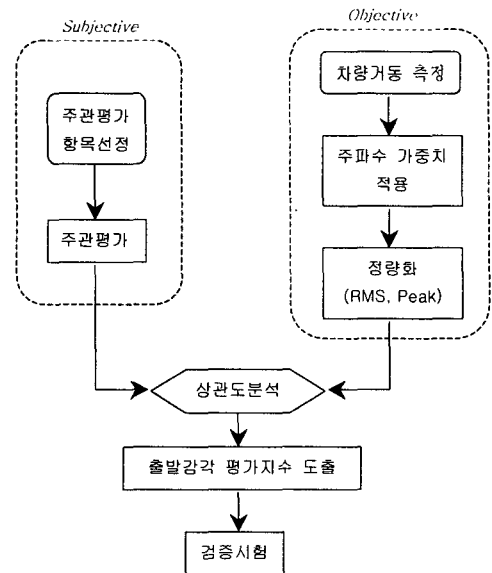


Fig.2 승차감 평가지수 도출과정

이와 같이 개발된 승차감 평가지수가 나름대로 신뢰성을 갖기 위해서는 우선 상관관계가 높

게 나오는 측정 방법과 과정이 정립되어야 하고, 통계적인 오차를 줄이기 위해 가능하면 많은 차량에 대한 시험데이터가 요구된다고 하겠다. 본 연구에서는 9개 차종에 대한 평가결과를 이용하여 승차감 평가지수를 도출하였다.

3. 차량거동 측정 및 데이터 분석 방법

3.1 측정지점

안락성 평가지수 개발을 위한 차량 거동의 측정지점 선정은 인체에 전달되는 진동량을 대변할 수 있도록 이루어져야 하는데, Fig.3에 도시한 것과 같이 총 14개이며 해당 채널은 Table 1과 같다. 이 중에서 1~4번 채널은 노면으로부터 Wheel knuckle에 전달되는 진동을 모니터링하기 위한 보조 데이터이고, 현가장치의 Shock absorber 연결지점의 4곳은 차량의 1차 거동 (bounce, roll, pitch)의 측정을 위한 것이다.

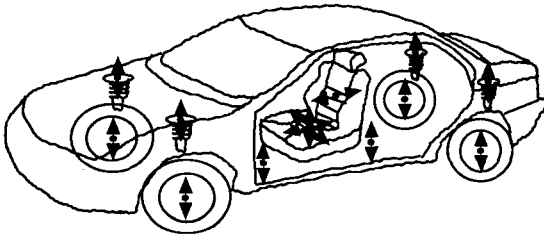


Fig.3 차량에서의 측정 지점 및 방향

Table 1 차량거동의 측정지점 및 방향

채널	측정 대상	측정량
1	Front Left Wheel (Z)	가속도
2	Front Right Wheel (Z)	
3	Rear Left Wheel (Z)	
4	Rear Right Wheel (Z)	
5	Front Left Shock Tower (Z)	
6	Front Right Shock Tower (Z)	
7	Rear Left Shock Tower (Z)	
8	Rear Right Shock Tower (Z)	
9	Front Left Floor (Z)	
10	Rear Left Floor (Z)	
11	Seat (X)	
12	Seat (Y)	
13	Seat (Z)	
14	Seat Back (X)	
15	Vehicle Speed	

인체에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 운전석 시트 쿠션에서 3축, 시트 백에서 전/후 방향 수평축의 가속도를 측정하였으며, 운전석 Floor에서는 수직 방향으로의 가속도를 측정하였다.

3.2 차량주행조건

차량의 주행조건은 평가하고자 하는 승차감 항목의 특성이 잘 표현되도록 선정되어야 한다. 본 연구개발에서는 차량제조사 시험운전자들로 하여금 평가하고자 하는 승차감 평가항목의 특성이 잘 드러나는 노면과 주행속도를 선정하도록 하였다. 선정된 주행조건은 Table 2와 같다.

Table 2 승차감 정량화를 위한 차량주행시험 도로 및 주행속도

주행로	주행속도
Long wave	40KPH, 60KPH
Long wave (역상)	40KPH, 60KPH
Belgian	40KPH, 60KPH
Coarse asphalt	60KPH, 80KPH
Smooth asphalt	70KPH, 100KPH
보수로	40KPH

3.3 데이터 수집 및 처리 방법

서로 다른 차량에 대한 거동의 데이터를 이용하여 승차감을 비교 평가하려면 우선 주행상태를 일정하게 유지하는 것이 중요하다. 주어진 주행조건에서 데이터의 통계처리에 필요한 측정시간은, 하한 주파수 1Hz인 경우 95% 신뢰구간을 갖기 위해서 약 2분이 필요하다[5]. 본 연구개발에서는 주어진 주행속도에서 기록시간이 짧은 경우에는 반복 주행하여 2분간의 데이터를 확보하였다. 차량의 거동은 가속도로 측정하였으며, 측정된 가속도를 Fig.4와 같은 과정으로 정량화하였다. 여기서 W_b , W_c 는 진동주파수에 대한 인체의 민감도를 나타내는 가중치 함수이다[5,6].

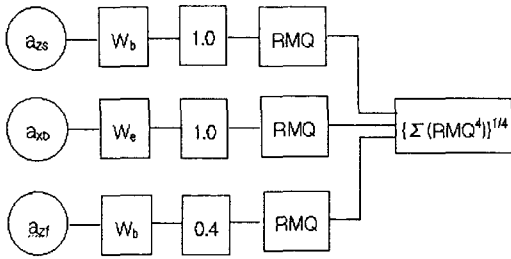


Fig.4 차량 측정신호의 후처리

4. 승차감 평가지수 도출

4.1 주관평가 결과와 체감 진동량의 상관관계 분석

본 논문에서는 승차감 평가항목 중에서 Harshness항목에 대한 승차감 지수를 개발하는 과정을 기술하였다. Table 3에는 Harshness평가와 관련있을 것으로 예상되는 여러 가지 주행조건으로 시험차량을 주행할 때, 운전석에서 측정된 체감진동량을 정리하였으며 하단에는 시험운전자들이 평가한 해당차량의 주관평가결과가 함께 정리되어 있다. Harshness에 대한 주관평가 결과와 상관도가 높은 체감진동량을 보이는 주행조건으로는, 거친 아스팔트(Coarse asphalt) 80KPH의 경우가 상관계수 0.958로써 매우 높고, 벨지안로 40KPH의 경우도 0.789로써 역시 높은 값을 보이고 있다. 이 경우에는, Coarse asphalt 80KPH 주행조건 상관계수가 매우 높기 때문에 하나의 항목만으로도 상관관계식의 설정이 가능한 것으로 판단된다.

Table 3 다양한 주행조건에 대해 대상차량의 운전석에서의 RMQ 합산 값과 주관평가지

ID	Test condition	Vehicle									주관평가지와의 상관계수(R)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
9	벨지안_40	2.205	2.269	2.021	2.234	2.771	2.651	2.553	2.378	2.375	-0.789
10	벨지안_60	2.944	2.715	2.372	2.942	3.779	2.484	2.766	3.021	2.854	-0.482
11	거친 아스팔트_60	0.554	0.504	0.440	0.469	0.638	0.543	0.618	0.507	0.500	-0.178
12	거친 아스팔트_80	0.467	0.541	0.513	0.484	0.690	0.605	0.631	0.625	0.588	-0.958
13	평탄한 아스팔트_70	0.219	0.240	0.207	0.345	0.293	0.285	0.362	0.202	0.201	-0.186
14	평탄한 아스팔트_100	0.456	0.433	0.530	0.429	0.544	0.499	0.505	0.543	-	-0.719
	주관평가지	8.0	7.5	7.5	7.5	6.5	7.0	7.0	7.0	6.8	

Fig.5에는 Belgian로와 Coarse asphalt 데이터와 Harshness 평가결과의 관계를 도사하였다. 두 가지 경우의 데이터 피팅 결과를 보면 오차의 수준을 나타내는 상관계수(R^2) 값이 거친 아스팔트 노면에서 얻은 데이터의 경우 0.91로 높은 값을 보이고 있다

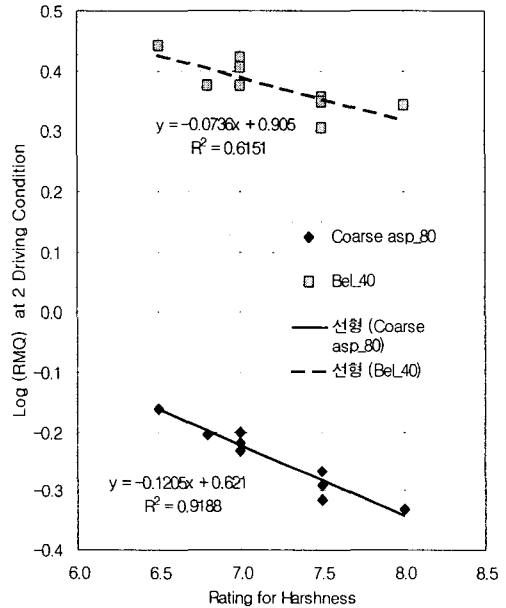


Fig.5 Harshness와 두 가지 주행조건에서의 체감 진동량의 상관관계

4.2 Harshness에 대한 정량화지수 도출

Fig.5의 세로축은 RMQ(root mean quad) 값에 Log를 취한 값이다. Log를 취한 이유는, 심리물리적인 주관평가지는 물리적인 자극(진동량)의 Log 값에 비례하기 때문이다[7]. 이 그림을 보면, 거친 아스팔트 노면 주행시의 데이터에 대한 커브피팅 예러가 매우 작다는 것을 알 수 있으며 상관계수 또한 매우 크다. 따라서, 이 데이터만으로 관계식을 도출하였다. 관계식은 그림에 나타난 바와 같이, 'y = -0.1205x + 0.6212'인데, 여기서, y는 운전석에서 쿠션, 백, 바닥 진동의 RMQ 값의 합이고, x는 Table 3의 하단에 나와있는 주관평가지이다. 따라서 주관평가지(S)에 대해 수식을 다시 정리하면 다음과 같다.

$$S(\text{Harshness}) = 5.155 - 8.298 \cdot \text{Log}_{10} (\text{RMQ at driver's seat}) \quad (1)$$

위 식을 이용하면, 특정 차량이 주어진 주행조건에서 주행할 때의 거동을 측정함으로써 차량의 Harshness에 대한 주관평가 수치를 정량적으로 계산할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 주관평가결과와 다양한 주행조건에서 측정된 각 차량의 가속도신호의 상관관계를 분석함으로써 Harshness 항목에 대한 정량화 평가지수를 도출하였다. Harshness와 상관도가 높은 주행조건은 거친 아스팔트에서 주행속도 80KPH인 경우와 벨지안로를 40KPH로 주행할 때 얻은 결과였다. 이 중에서 거친 아스팔트 주행시의 상관계수가 매우 높았기 때문에 이 항목만으로 관계식을 설정하였으며, 설정된 식을 이용하면, 특정 차량의 Harshness에 대한 주관평가 수치를 정량적으로 계산할 수 있다.

- [1] Cucuz, S., "Evaluation of Ride Comfort," Intl. J. of Vehicle Design, Vol.15, Nos.3-5, pp. 318-325, 1994.
- [2] VDI-Gesellschaft Knstruktion und Entwicklung, "Assessment of the Effect of Mechanical Vibrations on Human Beings," VDI 2057(Blatt 2, 3, 4.1-4.3), 1987.
- [3] Kozawa, Y. and et al, "A New Ride Comfort Meter," SAE Technical Paper No.860430, 1986.
- [4] 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.
- [5] ISO 2631-1, Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration, 1997.
- [6] Griffin, M. J., Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.
- [7] S. S. Stevens, 1986, Psychophysics: Introduction to Its Perceptual, Neural, and Social Prospects, Transaction Inc., New Brunswick.

참 고 문 헌