

# 자동차 임팩트 소음에 대한 음질 요소 개발

## Sound Metric for the Impact Sound of a Car

박 상 원\* · 김 호 옥\* · 나 은 우\* · 이 상 권†

Sang-Won Park, Ho-Wuk Kim, Eun-Woo Na and Sang-Kwon Lee

(2009년 9월 23일 접수 ; 2009년 12월 14일 심사완료)

**Key Words** : Impact Noise(임팩트 소음), Sound Metrics(음질 요소), Car(자동차), Subjective Evaluation(주관적 평가), Wavelet Transform(웨이블릿 변환)

### ABSTRACT

Vehicles experience the impact due to harsh road conditions. Contact with a barrier on a road induces vehicles to vibrate, which brings about an impact sound. The attenuation of the impact sound is an important issue since passengers may complain about the impact noise. However, the perfect removal of impact noise is not possible as most of impact noise is caused by external conditions. It is thus necessary to make vehicles to possess more desirable sound quality characteristic of impact sound. More research is needed on objective attributes of impact sound; it is not a simple matter since impact noise is transient in nature and has a high level of sound at an instantaneous moment. A new objective attribute of impact noise is designed by using wavelet transform. Wavelet transform is appropriate for the analysis of transient signals such as impact noise. The usefulness of new objective attribute, which is a sound metric, is examined by comparison with the mean subjective rating for real impact noise of passenger cars. The new sound metric has better correlation with the mean subjective rating than already existing sound metrics.

### 1. 서 론

최근 승용차에 대한 소음제어기술은 차량 내부의 A-weighting 소음 레벨을 감소시킬 수 있다. 하지만 소음 레벨 외에도 고객이 고려하는 요인이 많기 때문에 내부 음질 문제는 지속적으로 발생하고<sup>(1)</sup> 차량 디자인에서 중요해지고 있다. 음의 객관적 특성인 음질 요소는 음질 해석에서 필수 불가결한 요소이다<sup>(2,3)</sup>. 음질 요소는 인간의 주관적 평가 값을 대표할 수 있어야 하므로 차량 내부의 다양한 종류의 소음(booming sound<sup>(4,5)</sup>, door lock<sup>(6)</sup>, tire noise<sup>(7)</sup>

등)에 대한 인간의 인식을 표현할 수 있는 각각의 음질 요소가 연구되어야 한다.

이 논문에서는 차량의 충격에 대한 음질 요소를 연구하였다. 차량 주행 시 거친 노면이나 impact bar 또는 과속 방지용 범프 등을 지나갈 수 있다. 이러한 조건의 길 위를 지나갈 때, 차체를 통해 진동은 전달되고 그로 인한 높은 레벨의 소음이 Fig. 1에서 보는 것과 같이 차 내부에서 발생한다. 기존의 연구에서 door lock<sup>(6)</sup>, diesel knocking<sup>(8)</sup>과 같은 충격음은 이미 연구가 되어 왔지만 노면의 조건에 따른 차량 임팩트 소음에 대한 연구는 많지 않았고 기존의 음질 요소는 차량의 임팩트 소음에 대한 주관적 평가 값과 낮은 상관도를 가지고 있기 때문에 임팩트 소음 연구 분야에서 새로운 접근 방법이 요구 된다. 이 논문에서는 웨이블릿 변환을 이용하여

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

\* 인하대학교 대학원 기계공학과

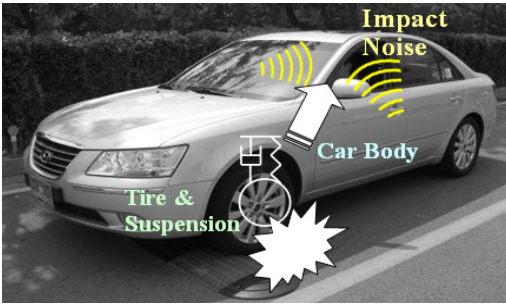


Fig. 1 Impact noise occurred by the speed bump on the road

새로운 객관적 특성을 개발하였다. 웨이블렛 변환은 임펄스 소음과 같은 과도신호 해석에 적합하다<sup>(9)</sup>. 즉, 웨이블렛 변환을 이용하여 전체 신호에서 임팩트 부분만을 추출할 수 있고 또한, 소음의 고주파수 부분은 저주파수 부분보다 충격이 있고 민감하게 들리기 때문에 임팩트 소음의 이러한 특성이 웨이블렛 변환으로 사용되면 가장 적합한 음질 요소를 개발할 수 있다. 기존의 음질 요소보다 제안된 음질 요소는 주관적 평가와 더 높은 상관도를 보여준다. 임팩트 소음에 대한 기존의 음질 요소 중 이 논문에서는 sharpness, impulsiveness 그리고 kurtosis를 조사하였다. 그리고 이 논문에서 제안된 방법이 차량 임팩트 소음에 대한 가장 적절한 대안 요소임을 확인하였다.

## 2. 임팩트신호에 대한 음질 요소

### 2.1 샤프니스(Sharpness)

샤프니스는 비 라우드니스의 주파수 분포에 의해 결정된다. Bismarck<sup>(10)</sup>와 Aures<sup>(11)</sup>가 샤프니스의 계산 모델을 제안하였고 이 논문에서는 Bismarck의 계산 모델을 채용하였다. 샤프니스의 계산 모델은 다음과 같다.

$$S = 0.11 \times \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N'zg(z)dz}{\int_0^{24 \text{ Bark}} N'dz} [\text{acum}] \quad (1)$$

여기서 N : specific loudness(하나의 임계 대역에 해당하는 라우드니스 값), g(z) : weight factor 0.006 e0.17z, z : critical band rate이다.

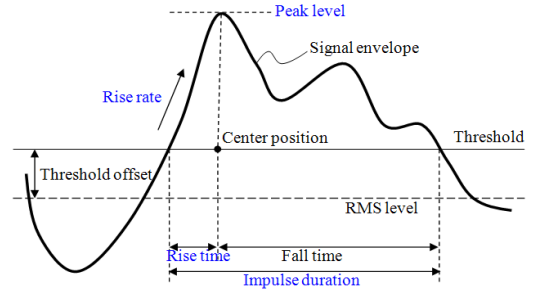


Fig. 2 The meanings of the impulse peak level, impulse rise rate, impulse rise time, and impulse duration

샤프니스의 단위는 acum이며, 1 acum은 60 dB, 1 kHz의 순음의 지각량을 의미한다.

### 2.2 충격도(Impulsiveness)

Impulsiveness는 신호의 임펄스 특성을 정량화 하는데 사용한다. Impulsiveness를 계산하는 알고리즘은 신호의 포락을 기초하여 평균 임펄스 피크 레벨, 평균 임펄스 증가율, 평균 임펄스 시간 그리고 평균 임펄스율 등의 값들을 구한다. 신호의 충격 정도를 결정하기 위해 임계값이 설정된다. Rise rate는 임펄스 시작부터 임펄스 피크 사이의 최대 증가율을 나타내고, rise time은 임펄스의 시작부터 임펄스 피크 레벨에 닿을 때까지의 시간을 뜻한다. Impulse duration은 임펄스 시작부터 끝까지의 시간을 말한다. Peak level, rise rate, rise time 그리고 impulse duration은 임펄스 소음에 대한 음질 요소가 될 수 있다. 게다가 신호에서 임펄스가 발생하는 비율인 impulse occurrence rate도 또 다른 음질 요소가 될 수 있다. Fig. 2는 각각의 값들의 의미를 나타낸다.

### 2.3 커토시스(Kurtosis)

커토시스는 표준밀도함수와 변수간의 4차 모멘트를 노멀라이징하여 계산되며 음질 인자인 충격도와 밀접한 관련이 있다<sup>(12)</sup>. 보통 커토시스는 충격신호가 많이 입력되면 그 값이 증가하는 경향이 있다. 관계식은 다음과 같다<sup>(13)</sup>.

$$\text{Kurtosis} : E[(x - \mu_x)^4] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu_x)^4 p(x)dx \quad (2a)$$

$$\text{Normalized Kurtosis} : \frac{E[(x - \mu_x)^4]}{(\sigma_x)^4} \quad (2b)$$

### 3. 음질 요소 개발

앞장에서는 임팩트 신호의 충격을 대표할 수 있는 기존 음질 요소에 대해 알아보았다. 음질 요소와 주관적 평가 사이의 상관도를 조사하여 기존의 음질 요소는 충격감을 의미 있는 값으로 나타내기에 부족하다는 것을 확인할 것이다. 이 장에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 임팩트 소음에 대한 새로운 음질 요소를 개발한다.

#### 3.1 연속 웨이블릿 변환(Continuous wavelet transform)

입력 신호  $x(t)$ 에 대한 연속 웨이블릿 변환  $CWT(a,b)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3)$$

여기서  $\Psi(t)$ 는 모(母) 웨이블릿 함수(mother wavelet function)이며,  $a$ 는 스케일 변수(scale parameter)  $b$ 는 이동 변수(translation parameter)이다. 스케일 변수  $a$ 는 모(母) 웨이블릿 함수의 기본 구조를 유지시키면서 그 폭을 확장 또는 압축시켜주는 역할을 한다. 즉 시간-주파수 분해능을 결정하는 변수이며, 이동 변수  $b$ 는 시간축 상에서의 모(母) 웨이블릿 함수를 이동 시켜주는 역할을 한다. 각각의 변수  $a, b$ 에 대한 연속 웨이블릿 변환의 계수는 입력 신호  $x(t)$ 와 모(母) 웨이블릿 함수가 각각 스케일 되고 이동된 상태인 웨이블릿 셀들  $\Psi((t-b)/a)$ 과의 교차 상관관계(cross correlation)를 나타낸다. 또한  $1/\sqrt{a}$ 는 에너지 평균화(energy normalization)를 위한 항이다.

이 연구에서는 모(母) 웨이블릿 함수로서 변조된 가우시안(gaussian) 함수 형태로 명확한 표현이 가능하고 복소수 형태를 가지는 Morlet 웨이블릿 함수를 사용하였으며 그 기본 웨이블릿 함수는 다음과 같다.

$$\Psi(t) = \exp\left(-\frac{c_0^2}{2} t^2\right) \exp(j2\pi f_0 t) \quad (4)$$

여기서  $f_0$ 는 최고 관심 주파수이고  $c_0$ 는 Morlet 웨이블릿 함수의  $f_0$ 에서의 초기 시간 폭(time duration)과

주파수 대역폭(bandwidth)을 결정해 주는 변수이다. 식 (3)의 연속 웨이블릿 변환은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$CWT(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \exp\left(-\frac{c_0^2}{2} \left(\frac{t-b}{a}\right)^2\right) \times \exp\left(j2\pi f_0 \left(\frac{t-b}{a}\right)\right) dt \quad (5)$$

#### 3.2 임팩트 소음에 대한 음질 요소 개발

웨이블릿 변환을 통한 시간-주파수 분석법은 임의의 시간에 발생하는 임팩트 신호의 검출 및 분석에 유용하게 사용될 수 있다. 단순한 주파수 분석만으로는 임팩트 신호로 인해 광범위한 주파수 대역이 순간적으로 가진되는 형태의 신호 해석이 불가능하지만, 연속 웨이블릿 변환은 가진되는 시간 정보까지도 분석 가능하다. 즉, 시간-주파수-에너지의 정보에 대한 분석이 가능하다. 이러한 연속 웨이블릿 변환의 특성을 임팩트 신호를 위한 음질 요소 개발에 유용하게 이용될 수 있다.

자동차 및 전자 기기에서의 충격음은 제품에 대한 소비자의 감성 평가에 큰 영향을 끼친다. 하지만, 그에 대한 객관적 음질 요소의 개발은 부족한 실정이며 현재 그에 따른 충격감에 대한 객관적 음질 인자의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 사람이 느끼는 충격감은 대체로 고주파의 기여도에 크게 영향을 받게 된다. 따라서, 이 연구에서는 웨이블릿 변환을 이용하여 전체 소음 에너지에 대한 일정 수준 이상의 파워를 보이는 고주파 소음 에너지의 영향도를 분석하여 객관적 음질 요소로서 개발하였다. 충격에 대한 음질 요소 계산 과정은 다음과 같다.

##### (1) A-Weighting

dB(A)값이 적용된 소음 신호에 대해 연속 웨이블릿 변환을 적용하여 M by N인 웨이블릿 계수에 대한 행렬을 구한다.

##### (2) 임팩트 에너지 부분에 대한 웨이블릿 추출

Threshold를 설정하여 일정 수준 이상의 파워를 갖는 웨이블릿 행렬 요소만 남기고 threshold 이하의 웨이블릿 요소들은 0으로 처리하여 새로운 M by N 행렬을 구한다.

##### (3) 임팩트 에너지에 대한 frequency-weighting

고주파의 기여도를 구하기 위해 threshold 이상의 값을 갖는 웨이블릿 행렬에 대하여 각각의 요소에 해당하는 주파수 값을 곱해줌으로써 고주파 영역에 갈수록 그 기여도가 커지도록 하였다.

(4) 최종 관계식

최종적으로 wavelet 변환이 적용되는 최대 주파수 값을 나누어 줌으로써 인자 값을 무차원화 시켜 주었다. 이 객관적 음질인자는 고주파 에너지 기여도(high frequency energy contribution - HFEC)라고 명명될 수 있다.

$$HFEC = \frac{1}{Freq_{max}} \sum_m^M \sum_n^N \frac{\overline{CWT}_{m,n}^2 \cdot Freq_{m,n}}{CWT_{m,n}^2} \quad (6)$$

( $\overline{CWT}_{m,n}$  : extracted CWT of high level)

Fig.3은 A-weighting 후에 계산된 본래의 웨이블릿 계수이다. Fig.4는 Frequency-weighting하여 추출

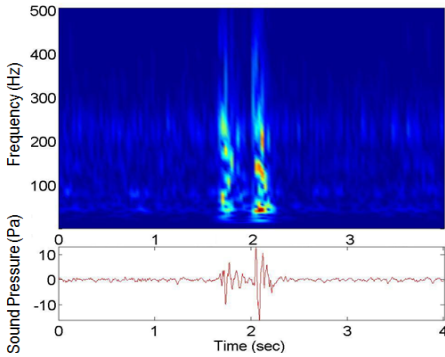


Fig. 3 A-weighted CWT for the impact noise

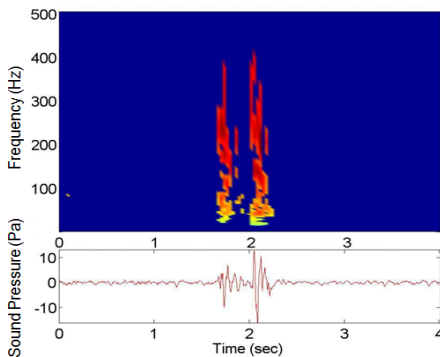


Fig. 4 Coefficients after weighting to the extracted coefficients by each frequency

된 계수이다. HFEC는 주관적 평가의 상관도를 통해 기타 음질 요소와 비교함으로써 확인할 것이다.

4. 차량 임팩트 시험 및 감성청음평가

4.1 임팩트 신호 녹음

차체를 통한 임팩트 소음은 4개의 노면 조건과 14명의 승객에 대해 기록된다. 실험의 주행조건은

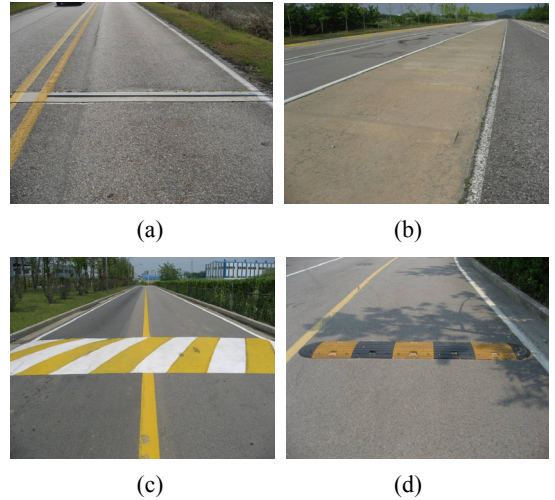


Fig. 5 Pictures of test courses (a) course 1: impact bar, (b) course 2: continuous bandy road, (c) course 3: broad bump, (d) course 4: narrow bump

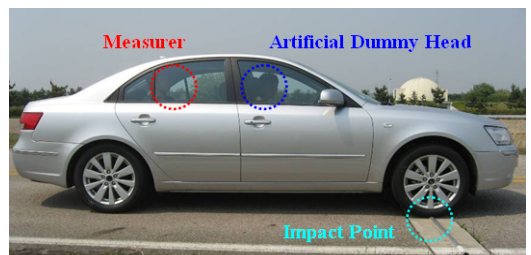


Fig. 6 Experimental set-up for the recording of the impact noise

Table 1 Test conditions for each course

Course No.	Course type	Car speed
Course 1	Impact bar	30 km/hour
Course 2	Continuous bandy road	20 km/hour
Course 3	Broad bump	35 km/hour
Course 4	Narrow bump	25 km/hour

Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 각각의 코스는 다른 조건의 장애물을 지니고 있다. 코스 1은 임팩트 바, 코스 2는 단차로, 코스 3은 과속방지용 범프, 코스 4는 간이 범프이다. Fig. 5는 알파벳순서로 노면 조건을 나열하였다. 임팩트 소음을 녹음하기 위해 HEAD Acoustics사의 HMS III Artificial Head를

사용하였다. Table 1은 노면 조건과 실험코스에서 차량의 속도이다. 모든 차량의 주행속도는 각각의 코스에 대해 일정하게 유지된다. Artificial dummy head는 좌석에 고정하고 기록된 데이터는 노트북에 저장된다. Fig. 6은 임팩트 신호 기록에 대한 세팅값을 보여준다.

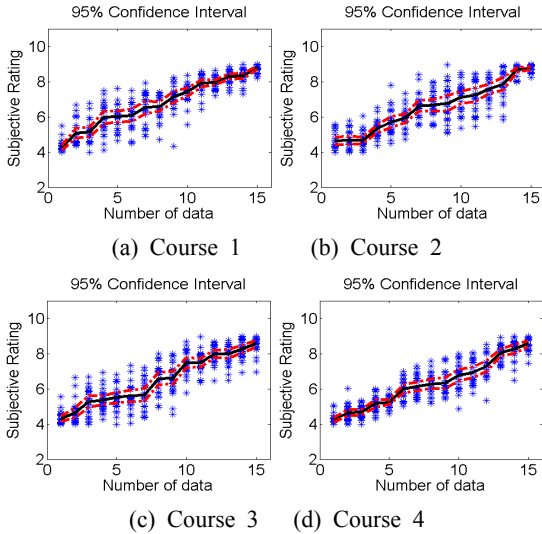


Fig. 7 Subjective ratings (\*) and the mean values (—) and its 95 % confidence interval (— · —)

Table 2 Mean subjective ratings for each car and course(lowly-impulsive : rating of 4, highly-impulsive : rating of 9)

Car No.	Course 1	Course 2	Course 3	Course 4
1	7.965611	7.591855	6.622624	8.048831
2	8.325339	8.669683	7.490045	8.56825
3	7.908597	4.658824	8.564706	4.241327
4	6.538462	4.640724	5.356561	6.767251
5	5.076018	6.660181	5.599095	6.143665
6	4.255656	4.667873	4.637104	4.674962
7	7.141176	5.324887	4.30633	5.247643
8	5.142081	5.908597	7.975566	4.641026
9	8.300452	6.776471	6.590498	7.297983
10	7.411312	7.244796	5.509502	6.315705
11	8.796833	8.766968	7.48371	8.260464
12	6.590498	7.103167	7.98371	5.998492
13	6.020362	7.865158	5.652036	6.924679
14	5.970136	6.617195	8.256109	6.267628
15	6.082805	5.71629	5.276471	5.166101

### 4.2 임팩트신호 녹음

선정된 질의어를 사용하여 의미분별법(SDM, semantic differential method)을 통한 청음평가를 수행하였다<sup>(14)</sup>. 평가자의 수는 25명이고 주어진 질의어 “충격감”에 대해 4점에서 9점의 범위로 값을 주었다. Fig. 7은 주관적 평가치와 95%의 신뢰 구간을 보여준다. 평가자 전원의 평균값과 75% 이하의 상관계수 값을 갖는 평가자의 데이터는 제거하였다. 그 후 주관적 평가값은 신뢰구간 결과의 평균을 구함으로써 얻을 수 있다. 같은 과정을 4개의 코스에 적용한다. 각각 코스의 주관적 평가값은 Table 2에 요약되어있다.

## 5. 음질 요소와 주관적 평가의 상관도

다중 회기 분석(MLR)<sup>(15,16)</sup> 또는 artificial neural network(ANN)<sup>(17,18)</sup>은 Fig. 8에서 보는 것과 같이 주관적 평가 측정에 사용된다. MLR 또는 ANN을 통한 주관적 평가값에 따라 객관적 특성은 선정되어야 한다. 이 논문에서는 임팩트 신호에 대하여 HFEC가 가장 적합한 특성임을 확인 하였다.

주관적 평가와 각 음질 요소의 상관도 값은 Table 3에 요약되어 있다. Table 3에서 보는 것과 같이

Table 3 Correlations between the mean subjective ratings and sound metrics for each course (lowly-impulsive : rating of 4, highly-impulsive: rating of 9)

Car No.	Course 1	Course 2	Course 3	Course 4
Sharpness	0.65688	-0.36031	0.26428	0.35356
Imp' duration	0.35616	0.021359	0.28033	-0.13342
Imp'Occ'rate	-0.083208	0.37405	-0.055509	-0.01986
Imp' peak	-0.57767	0.13417	0.17488	-0.24901
Imp'RiseRate	-0.56294	0.16519	0.0077177	-0.37803
Kurtosis	0.035062	0.17203	0.51557	0.14874
HFEC	0.73719	0.80868	0.77898	0.72806

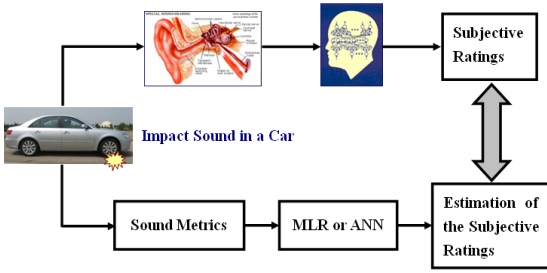


Fig. 8 Process for the estimation of the subjective ratings by using sound metrics

HFEC는 주관적 평가 값과 다른 음질 요소와 비교해 더 높은 상관도를 가지고 있다. 다른 음질 요소는 주관적 평가와의 상관도가 높지 않기 때문에 ANN 또는 MLR에 적합하지 않다.

Fig. 9는 각 코스에 대한 주관적 평가값과 샤프니스 사이의 상관도를 보여준다. Fig. 9에서 샤프니스는 코스 1의 값 이외에는 아무런 상관관계가 없음을 볼 수 있다. Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12 그리고 Fig. 13은 주관적 평가값과 충격도 변수 사이의

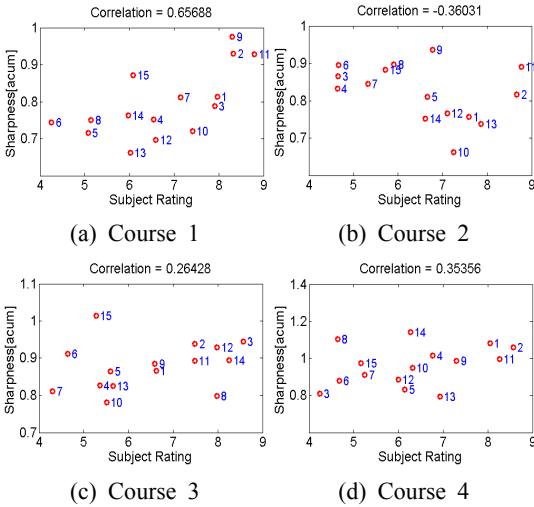


Fig. 9 Correlations between the mean subjective ratings and sharpness

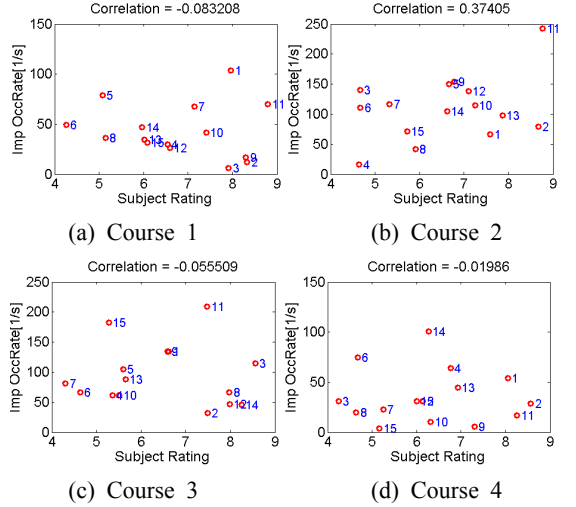


Fig. 11 Correlations between the mean subjective ratings and impulse occasional rate

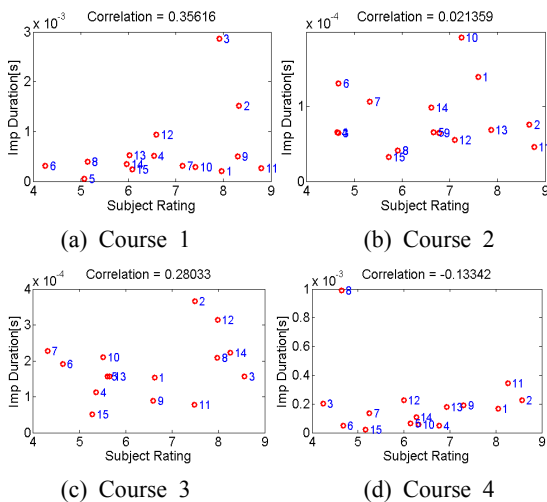


Fig. 10 Correlations between the mean subjective ratings and impulse duration

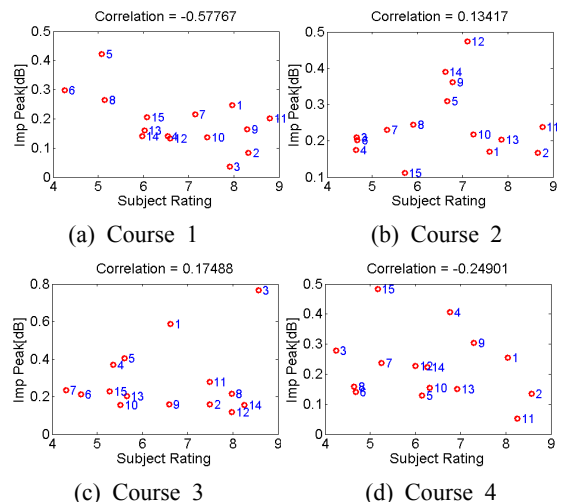


Fig. 12 Correlations between the mean subjective ratings and impulse peak

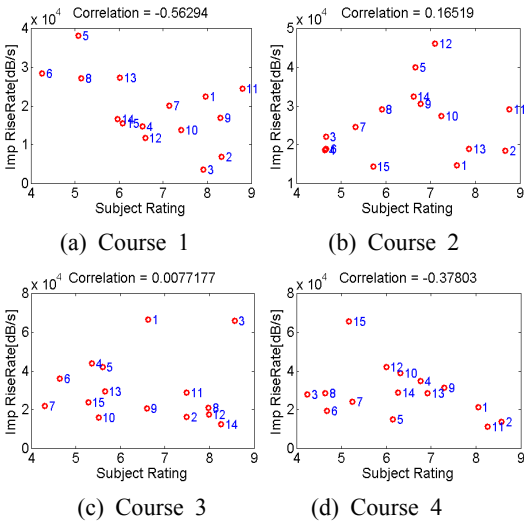


Fig. 13 Correlations between the mean subjective ratings and impulse rise rate

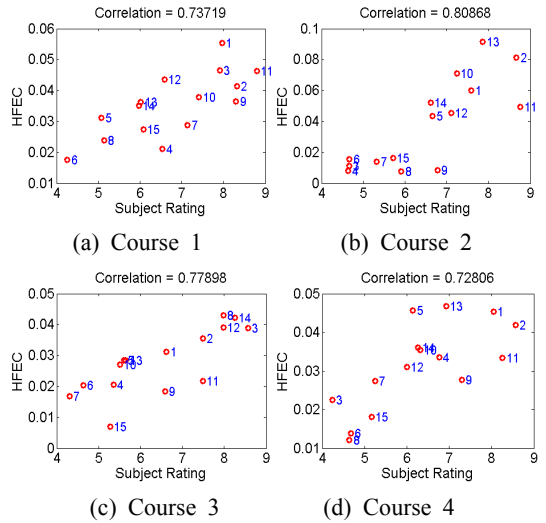


Fig. 15 Correlations between the mean subjective ratings and HFEC

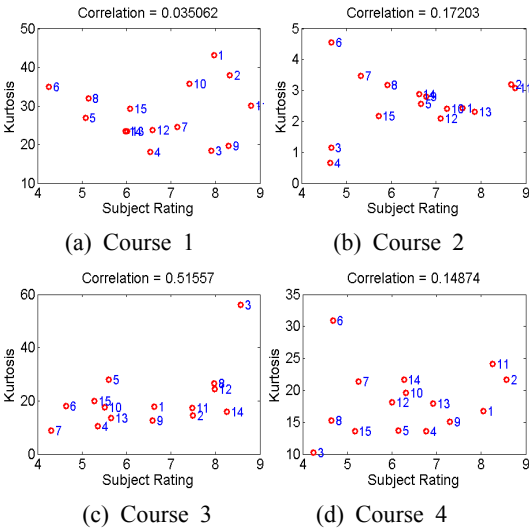


Fig. 14 Correlations between the mean subjective ratings and kurtosis

상관도이다. 대부분 경향성이 없으므로 충격도 변수는 차량 임팩트 영향에 대한 감성적 평가는 적합하지 않다는 것을 추론할 수 있다. 일반적인 경우 충격도는 임팩트 신호의 절대 피치와 상관성이 있다고 생각될 수 있으나 음의 피크레벨은 Fig. 12에서 보는 것과 같이 평가자가 느끼는 충격도에 거의 영향을 주지 않는다. 커토시스 또한 Fig. 14에서 보는 것과 같이 대부분의 경우에 적합한 특성이 아니다.

마지막으로 Fig. 15는 각 코스에 대한 주관적 평가와 HFEC 음질 요소와의 상관도를 보여준다. HFEC는 충격감에 대한 주관적 평가값에 따라 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉, 인간이 느끼는 충격감에 대한 경향을 가지고 있다. 90% 이상의 상관도는 아니지만 HFEC는 임펄스 신호의 특성을 반영하는 신뢰성이 있는 음질 요소이다.

## 6. 결 론

이 논문에서 차량 내부의 임팩트 소음의 음질 해석에 대한 객관적 특성을 제안하였다. 기존의 기본적인 음질 요소인 라우드니스, 변동강도, 샤프니스, 러프니스 등은 정상신호(stationary signal)에 필요한 음질 요소이며 임팩트 신호와 같은 비정상신호(non-stationary)에 대해서는 새로운 음질 요소가 필요하다. 임팩트 신호는 고주파음이 많으므로 이 연구에서는 샤프니스, 커토시스, 충격도 등에 대한 음질 요소를 조사하였다. 그리고 비정상신호 해석에 적합한 CWT를 이용한 객관적 특성인 음질 요소를 개발하였다. 새롭게 개발된 음질 요소는 high frequency energy contribution(HFEC)라 명명하였다. HFEC와 주관적 평가값 사이의 상관도는 HFEC가 차량 내부의 임팩트 소음의 음질 요소으로써 최고의 대안이 될 것을 보여준다. 주관적 평가 측정

MLR은 다른 음질 요소와 같이 다음 연구에서 수행될 것이다.

## 후 기

이 연구는 현대자동차의 연구비 지원으로 수행되었다.

## 참 고 문 헌

(1) Fahy, F. and Walker, J., 1998, "Fundamentals of Noise and Vibration," S & FN SPON.

(2) Murata, H., Tanaka, H. and Ohsasa, Y., 1993, "Sound Quality Evaluation of Passenger Vehicle Interior Noise," Proceedings of the 1993 SAE Noise and Vibration Conference, Traverse City, Michigan, USA. SAE931347.

(3) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psychoacoustics: Facts and Models. Springer-Verlag, Berlin, 2nd Edition.

(4) Matsuyama, S. and Maruyama, S., 1998, "Booming Noise Analysis Method Based on Acoustic Excitation Test," The SAE 1998 World Congress and Exhibition, Detroit, Michigan, USA; SAE980588.

(5) Lee, S. K., Chae, H. C., Park, D. C. and Jung, S. G., 2002, "Sound Quality Index Development for the Booming Noise of Automotive Sound Using Artificial Neural Network Information Theory," Sound Quality Symposium 2002 Dearborn, Michigan USA. CD N0.5.

(6) Hamilton, D., 1999, "Sound Quality of Impulsive Noises: an Applied Study of Automobile Door Closing Sounds," Publication of the Society of Automotive Engineers SAE 1999-01-1684.

(7) Frank, E. C., Pickering, D. J. and Raglin, C., 2007, "In-Vehicle Tire Sound Quality Prediction from Tire Noise Data," SAE 2007 Noise and Vibration Conference and Exhibition, May 2007, 2007-01-2253.

(8) Sellerbeck, P., Nettlebeck, C., Heinrichs, R. and Abels, T., 2007, "Improving Diesel Sound

Quality on Engine Level and Vehicle Level - a Holistic Approach," SAE 2007 Noise and Vibration Conference and Exhibition, May 2007, 2007-01-2372.

(9) Lee, S. K. and White, P. R., 1998, "The Enhancement of Impulsive Noise and Vibration Signals for Fault Detection in Rotating and Reciprocating Machinery," Journal of Sound and Vibration, Vol. 217, No. 3, pp. 485~505.

(10) Bismarck, V., 1974, "Sharpness as an Attribute of the Timbre of Steady Sounds," Acoustica, Vol. 30, pp. 159~172.

(11) Aures, W., 1985, "The Sensory Euphony as a Function of Auditory Sensations," Acoustica. 58, pp. 282~290.

(12) Balanda, K. P. and MacGillivray, H. L., 1998, "Kurtosis: a Critical Review," The American Statistician, Vol. 42, No. 2, pp. 111~119.

(13) Hamernik, R. P., Ahroon, W. A., Hsueh, K. D., Lei, S. F. and Davis, R. I., 1993, "Audiometric and Histological Differences Between the Effects of Continuous and Impulsive Noise Exposures," J. Acoust Soc Am, 93, pp. 2088~2095.

(14) 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.

(15) Dillon, W. R. and Goldstein, M., 1984, Multivariate Analysis: Methods and Applications, John Wiley & Sons, Inc., New York.

(16) Hatano, S., Shin, S. H. and Hashimoto, T., 2006, "Effect of Visual Scenery and Seat-floor Vibration to the Perception of Sound Quality of Car Interior Noise: Part 2; Multiple Regression Model for the Sound Quality evaluation," Proceedings of the Internoise2006.

(17) Matrn, H., 1996, Neural Network Design, PWS Publishing Company.

(18) Laux, P. C., 1998, "Using Artificial Neural Networks to Model the Human Annoyance to Sound," Ph.D. Thesis School of Mechanical Engineering, Purdue University.