

승용차 브랜드 사운드를 위한 이차원 음질 인덱스 개발

New Development of Two-dimensional Sound Quality Index for Brand Sound in Passenger Cars

조 병 옥* · 이 상 권† · 박 동 철** · 이 민 섭*** · 정 승 균**
Byoung-Ok Jo, Sang-Kwon Lee, Dong-Chul Park, Min-Sub Lee
and Seung-Gyoon Jung

(2005년 11월 16일 접수 ; 2006년 4월 3일 심사완료)

Key Words : Booming Index(부밍 인덱스), Rumbling Index(럼블링 인덱스), Brand Sound(브랜드 사운드), Sound Quality(음질), Artificial Neural Network(신경회로망), Sound Quality Metrics(음질요소)

ABSTRACT

In automotive engineering, the brand sound is one of the important advantage strategies in a car company. For the design of brand sound, the selection of descriptive word for a car sound is one of major works in automotive sound quality research. In this paper, booming and rumbling sound, which are professional words used by sound and vibration engineers are used for the design of brand sound. We employed sound quality metrics, which are used in the psychoacoustics. By most research results, the relationship between subjective evaluations and sound quality metrics has nonlinear characteristics. In order to correlate these subjective evaluations with sound quality metrics, the artificial neural network technology has been applied to two-dimensional sound quality index for a passenger car. These indexes are used for 46 passenger cars, which are samples of the famous cars around the world. Also a preference evaluation for car sound was carried out by sound and vibration engineers. We coupled this preference with booming and rumbling sounds by using artificial neural network. In future, the two dimensional sound and preference index will be very useful to develop brand sound in passenger cars.

1. 서 론

자동차 실내소음의 연구는 실내소음의 음압을 저감하는 측면과 음질(sound quality)의 향상이라는 측면에서 연구되어 왔다. 단순히 실내소음의 수준만을 줄이는 방법은 이전에 소비자들이 인식하지 못한

새로운 문제점을 야기하였고, 소비자 또한 실내소음의 저감에만 만족하지 않고 좀더 향상된 자동차 실내소음을 요구하고 있다. 그러므로 자동차 디자인과정에서 실내소음의 음질은 중요한 요소가 되었으며, 자동차 실내소음 음질에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.^(1,2) 자동차 실내소음은 크게 부밍 소음(booming noise), 럼블링 소음(rumbling noise), 기어소음(gear noise), 엔진 소음(engine noise), 타이어 소음(tire noise), 풍절음(wind noise) 등이 있다. 이 중에서 부밍 소음과 럼블링 소음은 승용차 실내소음중 가장 중요한 소음이며, 두소음의 음질에 관한 연구는 따로 연구되었다.⁽³⁻⁷⁾ 하지만 일반적으

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

로 자동차소음에서 두 소음은 개별적으로 또는 동시에 발생하여 자동차 브랜드사운드에 영향을 주게 된다. 이러한 음질을 평가하기 위해서는 두 소음을 동시에 고려하여 평가하는 시스템이 필요하며 이를 위해 2차원 음질인덱스를 연구하였다. 2차원 음질인덱스는 하나의 소음에 대해 두개의 출력값이 나오는 것으로, 이런 인덱스를 구현하기 위해서 하나의 자동차소음에 대해 부밍과 럼블링 평가가 이루어져야 한다. 소음의 객관적 특성에 주관적 평가를 결부시키기 위해서 심리음향학(psychoacoustics)이 사용되었다.⁽²⁾ 심리음향학에서 음질요소(sound quality metrics)는 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness) 그리고 변동강도(fluctuation strength)등이 있다.⁽⁸⁾ 음질요소와 주관적 평가와의 관계는 비선형적이고 매우 복잡하므로 이런 특성을 해석하기 위해서 신경회로망(ANN)이론⁽⁹⁾이 필수적이다. 신경회로망의 입력값으로 여러개의 음질요소를 사용하였고 목표값으로는 부밍과 럼블링 청음평가 평균값을 동시에 이용하여 인덱스를 구현하였다. 추가적으로 동일한 자동차 소음을 대상으로 선호도⁽¹⁰⁾에 대한 평가를 수행하였다. 평가된 선호도는 이전에 평가된 부밍 평가값과 럼블링 평가값과의 관계를 통해 부밍과 럼블링 평가값을 입력값으로 사용하고 선호도 점수를 목표값으로 하는 신경회로망 인덱스를 구현하였다.

2. 인공신호 제작

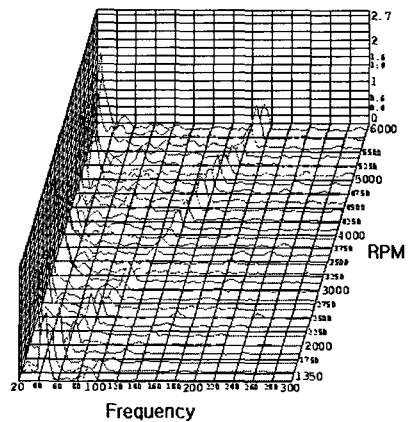
2.1 차량 실내 소음의 녹음

사람의 실제 청감을 묘사하기 위해서 binaural sound형태의 소음을 녹음하였다. 데이터 녹음을 위한 장비로는 Head Acoustics사의 artificial head measurement system을 조수석에 위치시켜 소음을 녹음하고 engine tacho signal을 동시에 기록하였다. 주행시험은 남양 승용 연구소 직선 주행로에서 실시되었다. 이 실험에서 총 36개의 차량 소음이 녹음되었으며, 주행시험은 자동변속기 차량으로 2단으로 고정시킨 후 엔진 회전속도를 1500 rpm에서 5500 rpm까지 와이드 오픈으로 실시하였다. 다음으로 인덱스 검증을 위해 추가적으로 20개의 차량소음이 녹음되었다. 수집된 소음데이터는 LMS사 CADA-X(Version 3.5D)의 test monitor 모듈을

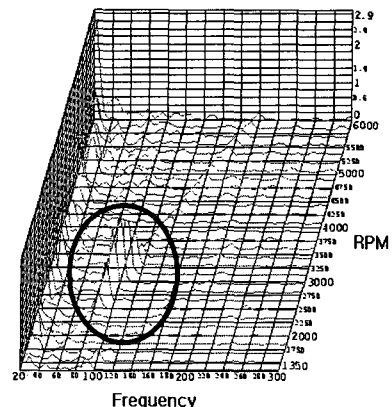
이용하였다. HMS system에서 수집된 데이터는 주간적 평가 및 인공신호 제작을 위하여 2000 rpm을 기준으로 5초 동안의 신호를 선택하였다. 차량별로 차이는 있지만 약 2200 rpm에서 4000 rpm에 구간에 해당한다.

2.2 부밍 인공신호 제작

음질분석에 사용되어지는 신경회로망은 가중치(optimal weight) W_i 를 구해야 하고 이를 위해서는 많은 학습데이터가 필요하다. 따라서 다양한 크기와 속도에서 발생하는 부밍 소음이 필요하며 이러한 데이터를 실차량만을 통하여 수집하는 데는 한계가 있다. 그러므로 다양한 부밍 소음을 얻기 위해서 인공적인 신호를 제작하였다. Fig. 1은 부밍 신호제작 과



(a)Original sample car



(b)Synthesized booming signal in 2nd order

Fig. 1 Waterfall analysis of booming sound

정을 보여준다. Fig. 1의 (a)는 이 논문에서 부밍 신호를 만드는데 사용한 샘플 차량신호이며 직렬 4기통 엔진을 장착하고 있다. Fig. 1의 (b)는 칼만 적응 필터(kalman adaptive filter) 및 sweep신호를 이용하여 샘플신호의 엔진 폭발차수(firing order)에 인공신호를 합성한 형태이다. 칼만 적응필터는 test monitor 모듈에 포함되어 있으며, 이 필터를 이용하여 관심 엔진폭발차수를 전체소음에서 분리할 수 있다. 부밍 소음의 많은 연구에 의하면 인공신호의 중요한 인자는 부밍 발생크기, 발생주파수, 주파수폭 등 3가지이다. Fig. 2는 2차 성분을 만드는 과정을 나타낸다. Fig. 2의 (a)는 주파수가 2차성분과 같이 증가하는 신호이고 (b)는 (a)를 확대한 것으로 식 (1)로 표현된다.

$$a(t) = |a(t)| e^{j\phi(t)} \quad (1)$$

Fig. 2의 (c)는 부밍 크기, 위치, 폭을 결정하기 위한 것으로 정현파(sinusoid)신호를 이용하여 식 (2)와 같이 만든다. 이 작업은 test monitor모듈에

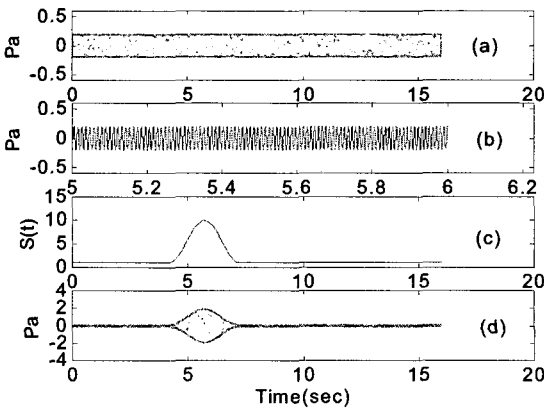


Fig. 2 The process of making the second order

Table 1 Variables used in making booming sound

Time shift t_i	Amplitude A_j	$2\pi/\omega_k$
2.6(70 Hz)	1.08(90 dB)	1.54(15 Hz)
4.1(85 Hz)	2.31(95 dB)	2.06(20 Hz)
7.2(115 Hz)	4.5(100 dB)	3.09(30 Hz)
8.8(130 Hz)	8.39(105 dB)	4.12(40 Hz)
10.3(145 Hz)	15.31(110 dB)	
11.9(160 Hz)		
13.4(175 Hz)		

포함된 sweep신호와 sin신호를 이용했다.

$$\begin{cases} S(t) = A_j \cos \omega_k (t - t_i) + A_j + 1, \\ S(t) = 1, \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

식 (2)에서 A_j 는 부밍 소음의 크기를 결정하고, t_i 는 부밍 소음이 발생하는 위치, ω_k 는 발생폭을 결정하는 변수이며 자세한 변수값은 Table 1에 나타냈다. 마지막으로 식 (1)의 신호와 (2)의 신호를 곱하여 직렬 4기통 엔진의 2차 성분을 만든다.

$$x(t) = a(t)S(t) \quad (3)$$

이러한 방법으로 제작된 인공신호는 50개이며, 이중 부밍 소음이 발생하지 않거나 유사한 소음을 제외한 35개의 소음을 청음평가 실험에 사용하였다.

2.3 럼블링 인공신호 제작

럼블링 소음은 가속시 주로 발생하며 발생구간은 2000 rpm ~ 5000 rpm이다. 또한 발생주파수(전송주파수)는 140 Hz ~ 500 Hz이며 이 주파수영역에서 진폭변조가 발생할 때 나타난다. 진폭변조 주파수는 주로 15 Hz ~ 35 Hz 구간에 해당한다. 이를 수식적으로 표현하면 식 (4)와 같다.

$$x(t) = (A_0 + A_i \sin 2\pi f_a t) \sin 2\pi f_0 t \quad (4)$$

여기서 A_0 는 크기이며 A_i 진폭변조의 크기이다. 또한 f_a 는 진폭변조 주파수이며 f_0 는 전송주파수이다. 이 신호에 대하여 주파수분석을 하면 진폭변조 주파수는 전송주파수에 대한 사이드밴드가 되며 이것을 그림으로 표시하면 Fig. 3과 같다. 이처럼 럼블링 소음은 연속된 3개의 1/2오더에서 발생한다. 직렬 4기통 엔진을 탑재한 차량의 경우 200 Hz에서 공진이 발생하면 3000 rpm에서는 4차 오더가 전송주파수가 되고 3.5차 오더와 4.5차 오더가 변조주파수에 해당한다. 이 내용은 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 실제 차량에서 공진은구조물의 공진을 고려하면 200 Hz 주변에서 일정한 밴드를 가지고 발생하므로 럼블링도 일정 rpm구간에서 발생한다. 따라서 럼블링 합성신호에서는 럼블링 발생시점, 럼블링 발생구간, 진폭변조율, 그리고 전송주파수(공진주파수) 진

폭크기의 4요소가 고려되었다. 인공신호를 만드는 과정은 부밍 신호의 제작과 동일하며 직렬 4기통 엔진의 경우 3.5차 오더, 4차 오더, 4.5차 오더를 차량의 실내소음에서 칼만 적응필터를 이용하여 제거하고 이 3가지 오더에 대하여 부밍의 식 (1)과 같이 해석신호를 제작한다. 각 오더에 대한 순간주파수는 식(5)로 표현된다. 이 세가지 순간주파수중에 전송주파수는 4차 오더의 순간주파수인 $f_1(t)$ 에 해당하며 나머지 두 오더 주파수는 사이드밴드 주파수이다. 즉, $f_1(t) = f_2(t) - \Delta f$, $f_3(t) = f_1(t) + \Delta f$ 이고 f 는 진폭변조 주파수에 해당한다.

$$f_1(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi_1(t)}{dt} \quad (5.1)$$

$$f_2(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi_2(t)}{dt} \quad (5.2)$$

$$f_3(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi_3(t)}{dt} \quad (5.3)$$

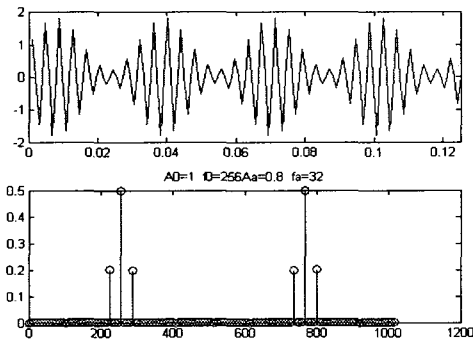


Fig. 3 Frequency analysis of the rumbling

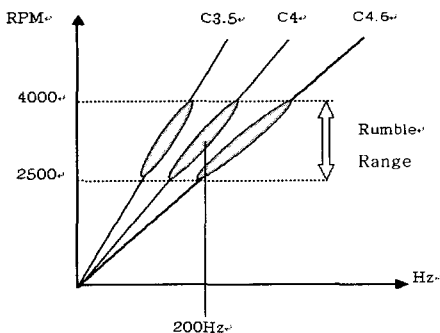


Fig. 4 Illustration of the rumbling signal

Fig. 5와 같이 럼블링 발생시점, 럼블링 발생구간, 진폭변조율, 그리고 전송주파수(공진주파수) 진폭크기를 결정하기 위한 것으로 정현파 신호를 이용하여

$$\begin{cases} S_1(t) = A_j \cos[\omega_k(t-t_i) - \pi] + A_j + 1, \\ S_2(t) = B_{j,m} \cos[\omega_k(t-t_i) - \pi] + B_{j,m} + 1 \\ S_1(t) = S_2(t) = 1, & \text{otherwise} \\ B_{j,m} = \frac{r(2A_j + 1) - k_m}{2k_m} \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)과 같이 럼블링 인공신호를 제작한다. 여기서 A_j 는 4차오더의 크기, t_i 는 럼블링 발생 rpm, ω_k 는 럼블링 발생구간 (Δ RPM), k_m 은 변조도, $B_{j,m}$ 은 사이드밴드의 진폭을 나타내며 자세한 변수값은 Table 2에 나타냈다. 이러한 가중치를 식 (3)의 방법으로 곱하여 럼블링 인공신호를 제작하였다. 이러한 방법으로 제작된 인공신호는 50개이며 럼블링 인공신호는 Fig. 5에서 보여준다. 이중 럼블링 소음이 발생하지 않거나 유사한 소음을 제외한 35개의 소음을 청음평가실험에 사용하였다.

3. 청음 평가

2장에서 인공적으로 만든 부밍 신호 35개와 럼블링 신호 35개, 실차신호 36개로 구성된 총 106개의 소음데이터를 이용하여 청음평가를 하였다. 효과적인 청음평가와 부밍, 럼블링이 발생하는 구간을 고려하여 2200 rpm ~ 4000 rpm 구간을 선택하여 평가하였다. 총 106개의 소음에 대해 레이팅 방법

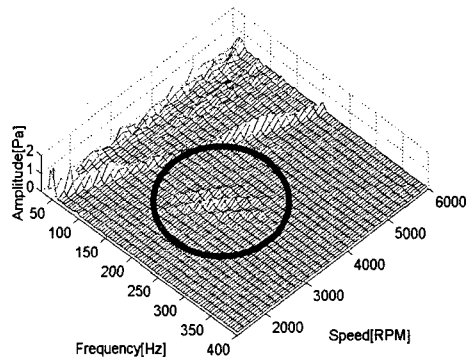


Fig. 5 Waterfall analysis of rumbling sound

(rating method)을 이용하여 12명의 소음진동 전문가가 평가하였으며 12명에 대한 인원구성은 Table 3과 같다. 레이팅 방법의 평가 점수는 SAE학회에 규정된 4~9점 방식을 사용하였고, 부밍과 럼블링이 심한 차일수록 낮은 점수를 받게 된다. 이에 대한 설명은 Table 4에 나타났다. 소음의 재생은 Head Acoustics사의 playback system을 통하여 헤드폰으로 전달되며, 재생순서는 랜덤으로 구성하였다.

평가자는 106개의 소음에 대해 레이팅 방법으로 다음의 세가지 청감에 대한 평가를 하였다.

- (1) 부밍의 정도 (booming level)
- (2) 럼블링의 정도 (rumbling level)
- (3) 선호도의 정도 (preference level)

3.1 부밍 청음평가 결과

부밍 청음평가 결과값은 12명의 평가자들의 평균 값을 사용하였고, 비록 12명의 소음진동 전문가일지

라도 충분한 평가자수가 아니므로 추가적으로 평가값의 신뢰성을 판단하기 위하여 켄달검증(Kendall test)을 통하여 각 평가자들의 켄달의 일치도 계수(Kendall's Coefficient, K)를 구하였다. 켄달의 일치도계수를 구하는 식은 식 (7)에, 12명에 대한 K 값은 Table 5에 나타났다. 정규 확률분포에서 95%로 유의수준을 선정할 경우 $K \geq 0.85$ 로 확정되므로 K 값이 0.85이상인 평가자만을 고려하였다. 여기서 R 은 평가점수, \bar{R} 는 평가점수 평균값 그리고 k 는 평가 소음수이다.

$$K = \frac{12 \sum (R - \bar{R})^2 - 3k}{k(k^2 - 4)} \quad (7)$$

청음 평가에 사용된 106개 소음의 객관적 특성을 알아보기 음질요소를 계산하였으며 LMS사 CADA-X(Version 3.5D)의 test monitor 모듈을 이용하였다. 각 계산된 음질요소는 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness), 변동강도(fluctuation strength)이며, 추가적으로 로우패스와 밴드패스 필터를 이용하여 라우드니스 값을 계산했다. 각 계산된 음질 요소의 값은 소음의 평균값이며 이를 위해 사용된 필터의 추가적인 내용은 Table 6에 나타났다. 부밍과 럼블링의 발생주파수 구간이 다르므로 각각 해당 구간의 라우드니스와 러프니스의 영향을 알아보기 위해 로

Table 2 Variables used in making rumbling sound

A_j (SPL)	t_f (RPM)	$\omega/2\pi$ (Δ RPM)	k_m (Δ dB)
1.08(80 B)	3.94	0.29 Hz	1 (0 dB)
2.31(85 dB)	(2500 RPM)	(1000 RPM)	1.58(4 dB)
4.5(90 dB)	7.39	0.19 Hz	2.24(7 dB)
8.39(95 dB)	(3500 RPM)	(1500 RPM)	3.16(10 dB)
		0.14 Hz (2000 RPM)	

Table 3 The organization about sound evaluators

Evaluator details		Number
Sex	Male	12
Age	20~29	5
	30~39	7
NVH Engineer		12

Table 4 The organization of the evaluation grades

Grade	Evaluation mark	Grade	Evaluation mark
4	Unacceptable	7	Fair (medium)
5	Borderline	8	Good
6	Fair	9	Excellent

Table 5 The number of evaluators are above 0.85 in K

K	Booming	Rumbling	Preference
$K \geq 0.85$	10	8	11

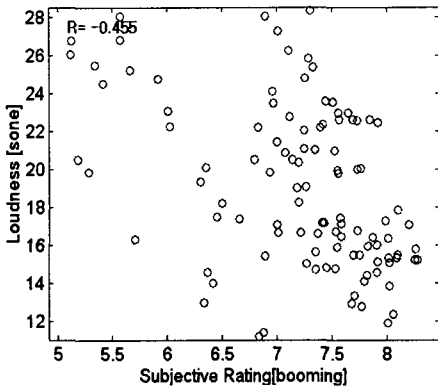
Table 6 The variables used in filtering

	Low pass filter	Band pass filter
Filter class	IIR	IIR
Filter type	Butterworth	Butterworth
Cutoff Freq.	200 Hz	200 Hz ~ 500 Hz
Order	9	13
Sampling Freq.	44100 Hz	44100 Hz
Characteristics of filter	Butterworth : No ripple but flat Chebyshev : Ripple but sharp cut	

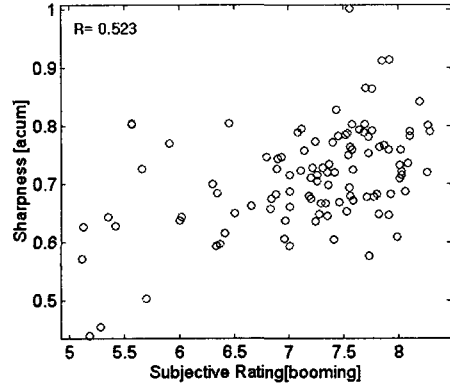
우패스 필터에서는 cutoff 주파수를 200 Hz, 밴드패스 필터에서는 200 Hz ~ 500 Hz로 설정하였다.

Fig. 6은 청음평가 한 신호와 부밍 점수와와의 관계이다. (a)에서 라우드니스와 부밍 점수의 상관도는

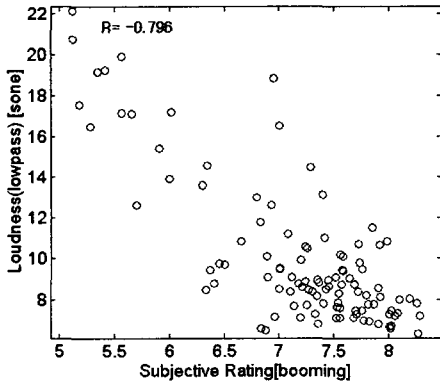
0.45이고 (b)의 로우패스 라우드니스와의 관계는 0.8정도로 상관관계가 향상되었다. 그리고 (d)의 샤프니스와의 상관도가 0.52이고 나머지는 상관관계가 없음을 알 수 있다. 따라서 부밍 점수는 로우패스한



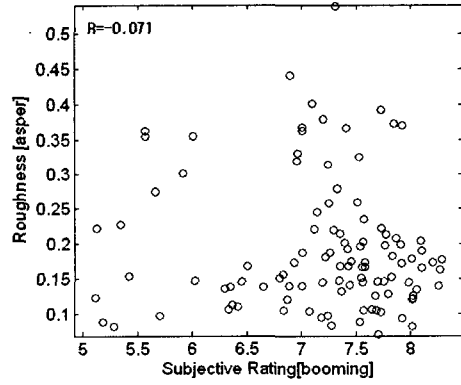
(a) Loudness



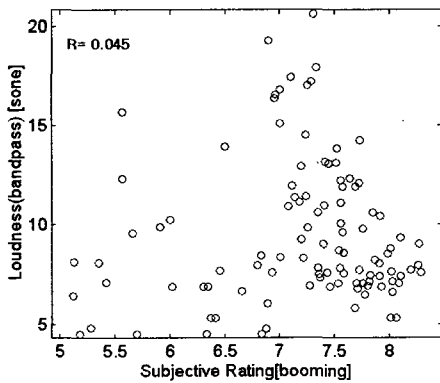
(d) Sharpness



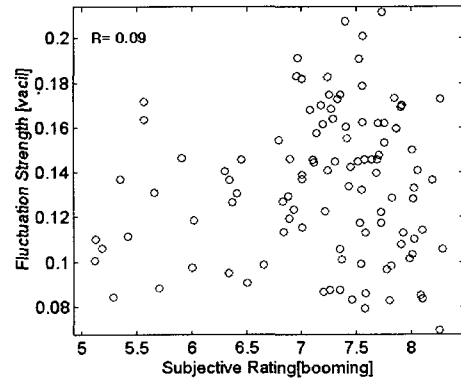
(b) Loudness in lowpass



(e) Roughness



(c) Loudness in bandpass



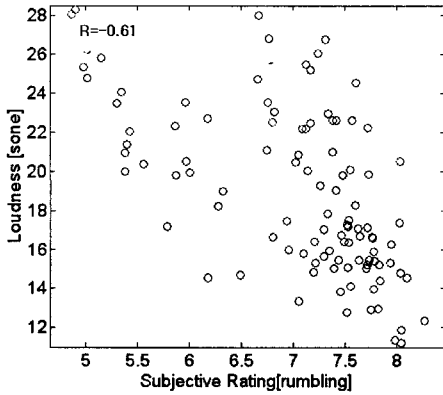
(f) Fluctuation strength

Fig. 6 Sound metrics for booming sound

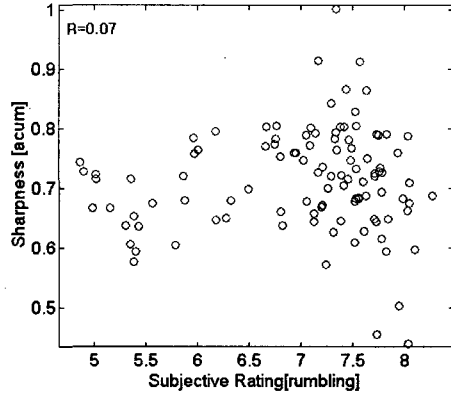
라우드니스와 샤프니스에 대해서는 관계가 있고 나머지 음질요소와는 관계가 없으므로 2차원 음질인덱스 제작과정에서 부밍 점수에로우패스한 라우드니스와 샤프니스가 주요한 영향을 미칠 것이다.

3.2 럼블링 청음평가 결과

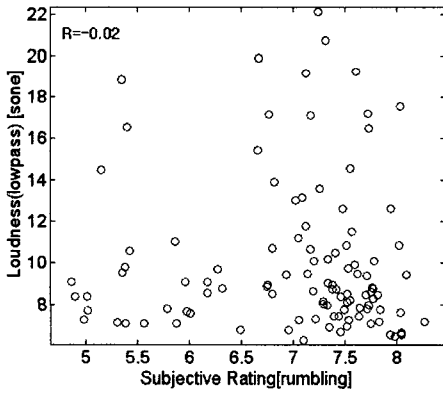
럼블링 점수와 음질요소와의 관계를 알아보기 위해 계산된 음질요소의 종류 및 방법은 부밍 음질요소계산과 동일하다. Fig. 7은 청음평가 한 신호와 럼



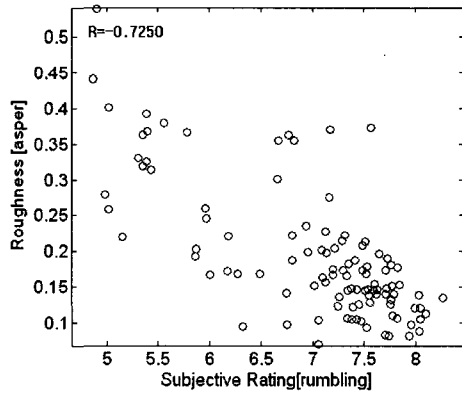
(a) Loudness



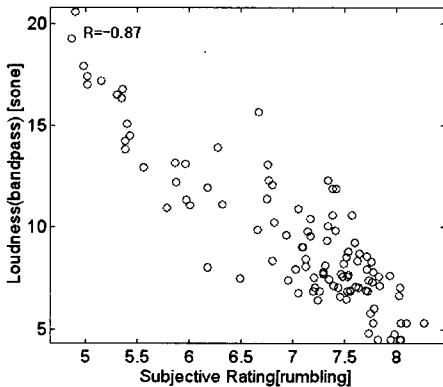
(d) Sharpness



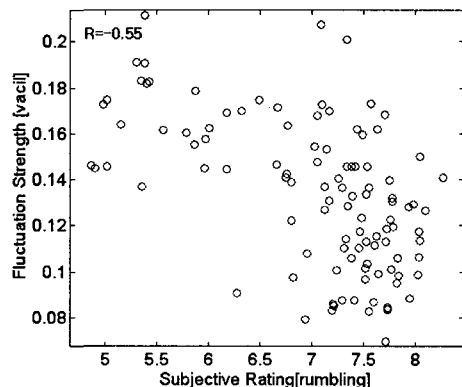
(b) Loudness in lowpass



(e) Roughness



(c) Loudness in bandpass



(f) Fluctuation strength

Fig. 7 Sound metrics for rumbling sound

블링 점수와의 관계를 보여준다.

(a)에서 라우드니스와 럼블링점수의 상관도는 0.61 이고 (c)의 밴드패스 라우드니스와의 관계는 0.87정 도로 상관관계가 향상되었다. 또한 (e)의 러프니스 와 상관도는 -0.072, (f)의 변동강도와 상관도는 -0.55이고 나머지는 음질요소와는 상관관계가 없음을 알 수 있다. 따라서 럼블링 점수는 밴드패스 한 라우드니스와 러프니스, 변동강도에 상관성을 가지 며 나머지 음질요소와는 상관성이 없으므로 2차원 음질 인덱스 제작과정에서 럼블링 점수에 라우드니스와 밴드패스 한 라우드니스, 그리고 러프니스가 주요한 영향을 미칠 것이다.

4. 2차원 음질 인덱스 구현

일반적으로 두 데이터의 상관관계를 통해 인덱스 를 제작하는 과정은 선형회귀법이나 다항회귀분석을 사용한다. 하지만 회귀분석을 통해 상관관계를 규명 하기 위해서는 평가된 점수와 음질요소가 선형적인 관계가 있어야 한다. 그런데 부밍과 럼블링 점수는 여러개의 음질요소의 조합에 의해 비선형적 관계가 있으므로 이 연구에서는 Fig. 8과 같은 다층 신경회 로망을 이용하였다. 신경망회로는 비선형적인 모델 을 해석하기 위해 많이 사용되지만 개별적인 학습이 필수적이어서 학습을 위한 데이터의 양이 충분히 확 보되어야 하는 단점이 있다. 이 연구에서는 이런 단 점들을 보완하기 위해 인공신호를 제작하여 학습시켰 다. Fig. 8의 신경회로망은 역전파 알고리즘을 사용 하여 6개의 뉴런(neuron)을 갖는 은닉층과 2개의 뉴런을 갖는 출력층으로 구성된다. 2차원 음질인덱 스를 위해 사용된 신경회로망을 수식적으로 표현하 면 식 (8)과 같다. 식 (8)에 사용된 함수는 tansig 함수와 purelin함수이며 입력값으로 라우드니스, 로 우패스 라우드니스, 밴드패스 라우드니스, 샤프니스, 러프니스 그리고 변동강도를 사용하여 학습을 시켰다.

$$\text{Output} = f^2(W^2 \cdot f^1(W^1 \cdot x + b^1) + b^2) \quad (8)$$

f^1 : tansig함수 f^2 : purelin함수

W^1 : 은닉층 가중행렬 W^2 : 출력층 가중행렬

b^1 : 은닉층 편향벡터 b^2 : 출력층 편향벡터

신경회로망 학습을 위해 Matlab(version6.5)를 사용하여 프로그램을 코딩하였고 출력값으로 동시에

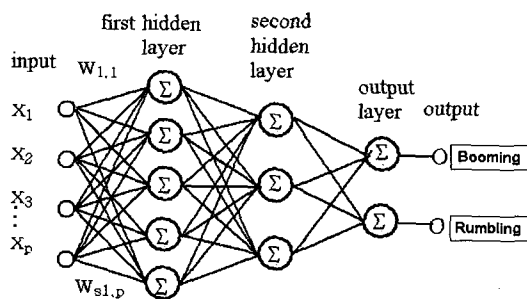
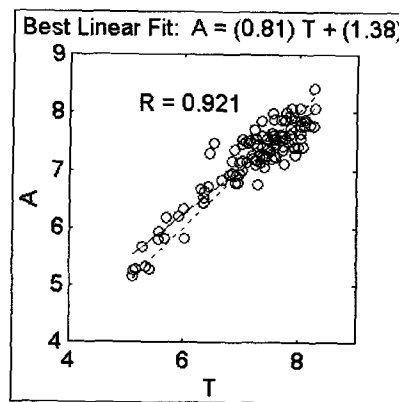
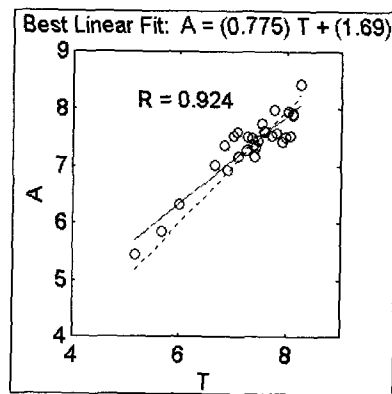


Fig. 8 Schematic of multilayer neural network



(a) All signals



(b) Verification signals

Fig. 9 Correlations between the output of ANN and the subjective rates in booming

상관도가 96%임을 보여주며 매우 좋은 출력값을 얻고있다. Fig. 11(b)는 추가적으로 새로운 신호에 대해 다시 청음평가를 실시한 값과 구현된 인덱스 출력값과의 상관도로써 95.7%임을 보여준다. 따라서 이 연구에서 구현된 인덱스를 통해 차량의 실내 소음중 럼블링 소음에 대해서는 매우 우수한 점수를 얻을 수 있음이 확인되며, 구현된 인덱스를 이용하여 럼블링 점수를 계산하는 것이 가능하고 그 유용성을 확인할 수 있다. 따라서 2차원 음질인덱스를 이용하여 유용한 부밍, 럼블링 점수를 동시에 얻을 수 있다. Fig. 12는 럼블링 점수의 등고선을 나타낸 그래프이다. 럼블링에 영향을 주는 요소가 크게 밴드패스 라우드니스와 러프니스, 변동강도임이 확인되었으므로 이 요소들에 의한 럼블링 점수의 변화추이를 알아보기 위한 그래프이다. Fig.12를 통해서 향후 개발되어진 자동차 소음에 대해 밴드패스한 라우드니스와 러프니스만을 계산하면 다른 차량에 비해 럼블링 점수는 무엇이며, 경쟁차종과의 비교도 가능하여 단점 및 향상방안을 개괄적으로 모색할 수 있다.

5. 선호도 음질의 구현

자동차를 구매하는 소비자는 승용차의 실내소음에 대해 엔지니어의 관점이 아닌 단지 차량소음이 좋다/나쁘다(preference)또는 힘이 좋다/힘이 없다(powerfulness)등으로 평가를 한다. 따라서 4장에서 구현한 2차원 음질인덱스는 자동차를 개발하는 엔지니어 관점에서 사용될 수 있지만 동일 인덱스를 통해 소비자의 생각을 유추하기에는 문제점이 있다.

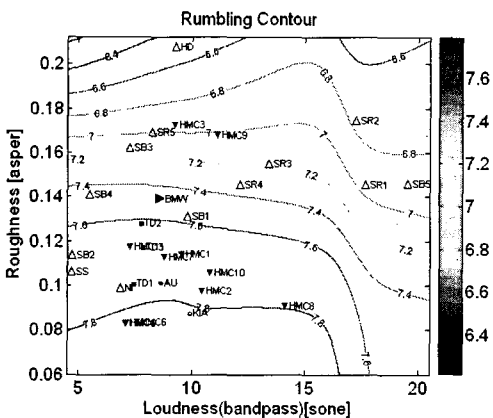
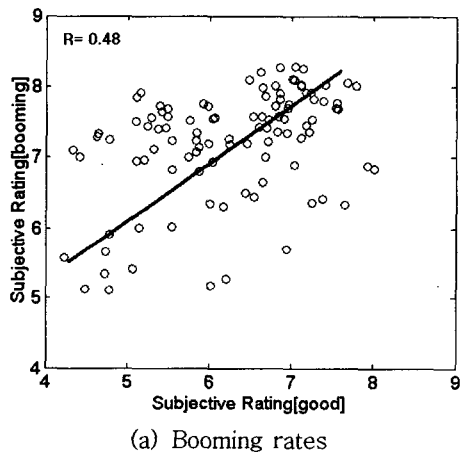


Fig. 12 Rumbling Contour between L and R

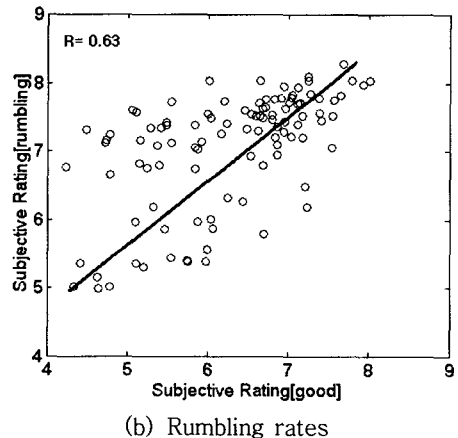
따라서 이 장에서는 차량의 선호도에 관한 인덱스를 제작하였다. 차량데이터의 개수는 106개이고 평가방법 및 평가장비는 3장의 내용과 동일하다. 선호도 음질인덱스는 입력값으로 4장에서 평가한 부밍과 럼블링 점수를 입력데이터로 사용하였으며, 4장과 동일하게 신경회로망을 이용하여 인덱스를 제작하였다. 신경회로망의 구현 식은 식(8)과 동일하며 사용된 함수 또한 동일하다. 다만 이차원 음질 인덱스는 출력값이 부밍과 럼블링 점수를 구할 수 있는 반면에 선호도 음질인덱스는 1차원적으로 단지 선호도 점수만을 출력값으로 갖는다.

5.1 선호도와 부밍, 럼블링과의 관계

신경회로망을 이용하여 선호도(preference) 인덱스를 구현하기 전에 입력값으로 사용된 부밍, 럼블링 점

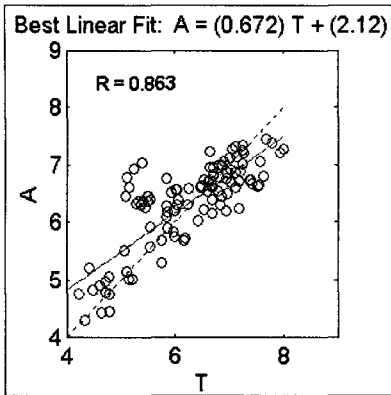


(a) Booming rates

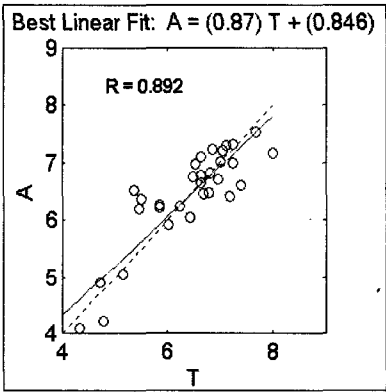


(b) Rumbling rates

Fig. 13 The relations between preference rates and booming, rumbling rates



(a) All signals



(b) Verification signals

Fig. 14 Correlations between the output of ANN and the preference rates

수와 선호도 점수와의 관계를 알아보는 것이 필수적이다. Fig. 13은 각 입력값과 선호도 점수와의 상관성을 보여준다. Fig. 13(a)는 실내소음의 선호도와 부밍 점수와의 관계를 보여주며 상관도는 약 0.48임을 알 수 있다. Fig. 13(b)는 실내소음의 선호도와 럼블링 점수와의 관계를 보여주며 상관도는 약 0.63임을 알 수 있다. 그림을 통해 알 수 있듯이 두 입력값은 선호도와 높은 상관관계를 보이고 있지 않으며, 두 입력값 모두 거의 동일하게 선호도에 영향을 미치고 있다. 두 입력값이 높은 상관관계를 보이고 있지 않은 이유는 선호도를 평가하는데 부밍과 럼블링의 두 요소 이외에 다른 요소가 있기 때문으로 예상된다. 예를 들어 차량의 선호도에 영향을 주는 요소로 차량의 윈드노이즈(wind noise)나 차량의 가속감등을 생각할 수 있다. 따라서 추가적으로 이에 대한 연구를 통해 선호도에 큰 영향을 미치는 요소를 찾아내는 연구가 진행되어야 한다.

물론 선호도 평가값을 단순히 부밍 점수와 럼블링 점수만을 통해 완벽하게 예측하는 것은 불가능하겠지만 그 개괄적인 추세는 예측 가능할 것으로 판단된다. 또한 100 km/h 이하의 주행에서는 윈드노이즈(wind noise)의 영향이 적고 그 외 기어 소음과 브레이크 소음, 배기 소음 등을 무시한다면 두 인자만으로도 선호도를 평가할 수 있을 것이다.

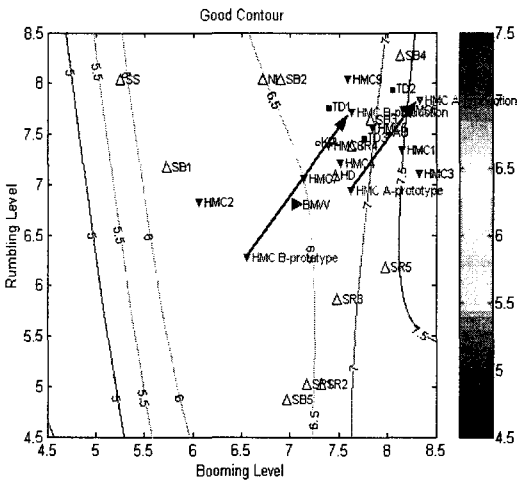


Fig. 15 Development of sound quality for passenger cars using sound index, which is booming and rumbling rates

5.2 선호도의 음질 등고선

이 장에서는 2차원 음질인덱스와 같이 신경회로망을 이용하여 선호도 음질인덱스를 구현했다. 선호도인덱스는 부밍과 럼블링의 점수를 입력값으로 하며, 6개의 뉴런을 갖는 은닉층과 1개의 뉴런을 갖는 출력층으로 구성된다. 학습 횟수는 학습도중의 검증에서 타겟값과 출력값의 상관도가 85% 이상, 30개의 입력검증 신호에 대해 타겟값과 출력값의 상관도가 85% 이상 나오게 프로그램을 제작하고 그 이하의 결과값에 대해서는 무한적으로 학습하도록 프로그램을 제작하였다. Fig. 14는 검증내용의 상관관계를 보여준다. Fig. 14(a)는 106개의 학습신호에 대해 타겟값과 출력값의 상관도가 86%임을 보여주며 Fig. 14(b) 추가적으로 새로운 신호에 대해 다시 청음평가를 실시한 값과 구해진 인덱스 출력값과의 상관도로써 89%임을 보여준다. 2

차원 인덱스에 비해 학습결과가 다소 떨어지며 이는 자동차 실내소음의 선호도 평가에서 부밍과 럼블링이 아닌 다른 요소가 영향을 주고 있음을 간접적으로 확인가능하다.

6. 결 론

부밍과 럼블링을 동시에 출력값으로 갖는 이차원 음질인덱스는 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness), 변동강도(fluctuation strength)와 추가적으로 로우패스와 밴드패스 필터를 이용하여 라우드니스값을 계산하여 입력값으로 사용했다. 부밍은 라우드니스와 0.45, 로우패스 라우드니스와는 0.8 그리고 샤프니스와는 0.52의 상관도를 가졌다. 럼블링은 라우드니스와 0.61, 밴드패스 라우드니스와는 0.87 그리고 러프니스와는 -0.72, 변동강도와는 -0.55의 상관도를 가졌다. 따라서 인덱스를 구현하는 과정에서 이러한 요소들이 부밍과 럼블링 점수에 많은 영향을 미쳤다. 그리고 2차원 인덱스 제작 후 뉴럴의 출력값은 부밍의 경우 92%, 럼블링은 96%로 학습값과 상관성이 있음이 확인되었으며, 새로운 신호에 대해서는 92%, 93%의 상관성을 가짐으로써 실제 개발차량 실내소음의 부밍과 럼블링 점수를 청음평가 없이 2차원 인덱스를 적용하여 예상할 수 있음을 보여준다.

자동차의 선호도인덱스 제작에서는 부밍과 럼블링 점수가 입력값으로 사용되었으며 Fig. 15는 부밍과 럼블링을 이용하여 실내소음의 선호도를 예측한 등고선이다. 등고선을 통해 HMC사의 개발 초기차량과 양산차량의 변화를 알 수 있다. 두 차량 모두 부밍과 럼블링점 수가 증가하였고 그 결과 선호도 점수도 0.5~1점 가량 증가했다. Fig. 11과 Fig. 12를 통해 현상태의 차량에서 부밍 점수와 럼블링 점수를 향상시키기 위해 어떤 음질요소를 변경해야 하는지 알 수 있으며 Fig. 15를 이용하여 차량의 선호도점수를 향상시킬 수 있는 적절한 방법을 모색할 수 있다. 결론적으로 차량의 실내소음을 개선하기 위해서는 부밍과 럼블링이 없는 소음을 만드는 것이 중요하지만 정량적으로 어느 정도 수준이어야 하는지에 관한 정확한 해답은 없다. 이는 소비자에 따라 그 평가 기준이 다르며 차량의

가격 및 용도에 따라서 그 목표 수준이 다르기 때문이다. 따라서 부밍과 럼블링, 선호도 점수의 목표를 정하는 것은 자동차 실내소음 연구에 종사하는 연구자의 몫이다.

후 기

이 연구는 현대 기아자동차의 산학 연구비와 미래형 자동차의 핵심 기반기술(과제번호10023237) 연구비로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Lee, S.-K. and Choi, H.-C., 2004, "The Application of Artificial Neural Networks to the Characterization of Inertial Noise Booming in Passenger Cars," Imech. E, Part D, Journal of Automobile Engineering, 218 (D1), pp. 33~41.
- (2) Lee, S.-K., Kim, B. S. and Park, D.-C., 2005, "Objective Evaluation of the Rumbling Sound in Passenger Cars Based on an Artificial Neural," Imech.E, Part D, Journal of Automobile Engineering, 219 (D1), pp. 1~13.
- (3) Lee, S.-K., Chae, H.-C., Park, D.-C. and Jung, S.-G., 2003, "Booming Index Development of Interior Sound Quality on a Passenger Car Using Artificial Neural Network," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 13, No. 6, pp. 445~451.
- (4) 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.
- (5) Park, D. C., Lee, S. K., Kim, B. S. and Jung S. G., 2004 "Developments of Sound Index for Refinement of Rumbling Noise of a Passenger Car Using Artificial Neural Network Based on Human," Barcelona, Spain.
- (6) Hatano, S. and Hashimoto, T., 2000, "Booming Index as a Measure for Evaluating Booming Sensation," Proc. Inter-Noise 2000, Nice, France.

(7) Wakita, T., Kozawa, Y., Samada, K. and Sugimoto, G., 1998, "Objective Rating of Rumbling in Vehicle Passenger Compartment During Acceleration," Proceedings of the 1998 SAE Noise and Vibration Conference, SAE891155.

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

(9) Davies, P. and Laux, P. D., 2000, "Artificial

Neural Network Modeling of Human Response to Synthesized Machinery-like Sound," Proc. The 7th International Congress on Sound and Vibration, Garmisch-partenkirchen, Germany, pp. 2461~2468.

(10) Murata, H., Tanaka, H., Takada, H. and Ohsasa, Y., 1993, "Sound Quality Evaluation of Passenger Vehicle Interior Noise." Society of Automotive Engineering, SAE931347.