

# 인간의 감성에 기초한 승합차량 액슬의 음질 인덱스 개발에 대한 연구

## Development of Sound Quality Index of a SUV' Axle for Evaluation of Enhancement of Sound Quality Based on Human Sensibility

임종태\* · 이상권†

Jong-Tae Lim and Sang-Kwon Lee

(2006년 11월 20일 접수 ; 2007년 3월 26일 심사완료)

Key Words : Axle Sound Quality(액슬소음 음질), Jury Test(청음 평가), Sound Quality Metrics(음질 요소), Psycho Acoustics(심리음향), Sound Quality Index(음질 인덱스)

### ABSTRACT

There are various sounds in the car as much as cars have many mechanical parts. These sounds make various psychological development. The international competition in car markets has continuously required the research about the sound quality of a car. The domestic car makers have also invested a lot of money for the research and development of sound quality. Car axle plays an important role in a vehicle and its NVH development is also important. By this time, NVH development of car axle is mainly based on the reduction of sound pressure level (dBA), which cannot give the satisfaction to the customers in view of the sound quality of a vehicle. Therefore, in this paper, a sound quality index evaluating the sound quality of axle noise based on human sensibility is developed.

### 1. 서 론

자동차산업의 발달과 함께 자동차 실내소음에 관한 연구는 많은 부분에서 이루어졌다. 특히 실내소음의 음압 저감뿐만 아니라 음질(sound quality) 개선에 관한 연구도 계속 되어왔다. 오랜 연구를 통하여 실내소음의 음압은 소비자가 만족하는 수준에 도달하여, 실내소음을 지배하는 엔진음, 도로소음, 배기소음, 풍절음 등의 소음은 많이 저감되었다<sup>(1-5)</sup>. 그러나, 이들 주요 소음원에 의해 마스킹되었던 다

른 부품의 소음이 문제가 되고 있다. 특히 SUV (sport utility car) 차량의 경우, 액슬기어에 의한 확인 소음(whine noise)이 문제시 되고 있다. 확인 소음은 주파수 변조가 일어나는 순음의 특성을 갖고 있으므로 음압 저감 뿐만 아니라 음질 측면의 연구도 필요하다<sup>(1-5)</sup>. 자동차 소음의 음질에 대한 연구는 기존의 상용 소프트웨어에 의한 것 보다 이들을 이용한 음질 측정에 대한 모델의 개발에 주안점을 두고 있다. 따라서 심리음향학(psychoacoustics)에 기반을 둔 음질요소(sound-metric)<sup>(6,7)</sup>를 이용한 자동차 음질 연구가 진행되고 있다. 이 연구에서도 국내 SUV차량의 액슬에서 발생하는 확인소음에 대한 음질연구를 진행하여, 객관적인 음질평가 기준에 대한 모델을 개발하였다. 모델개발에 사용된 기술은 합성 신호제작 기술<sup>(8)</sup> 및 신경망회로 기술<sup>(9)</sup>이다.

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

## 2. 합성신호제작

### 2.1 차량 실내소음의 녹음

사람의 청감을 표현하기 위하여, SUV차량의 정상 주행 시 binaural형태로 실내소음을 녹음하였다. 녹음에 사용된 장비는 Head Acoustics사의 Artificial Head HMS III이며, 이 장비를 운전 조수석에 위치시켜 실내소음을 녹음하였다. 또한 rpm데이터를 얻기 위하여 프로펠러 축으로부터 tacho-meter signal을 실내소음과 동시에 녹음하였다. 실험은 총 5대의 SUV 차량소음을 녹음하였으며 주행은 서산시내의 일반도로에서 실시되었다. 주행시험은 30 km/h에서 130 km/h까지 coast up을 실시하였다. 소음데이터는 LMS사의 CADA-X(version 3.5D)의 Test-monitor 모듈을 이용하여 청음평가 및 합성신호 제작에 사용하였다. 합성신호의 제작은 신경망회로의 학습에 필요한 액슬 소음의 재작을 위한 것이다.

### 2.2 액슬 소음 신호제작

액슬 화인(whine) 소음은 순음(pure tone)과 비슷하나 주파수 변조가 일어남으로 순음으로 볼 수는 없다. 그러므로 order summation의 방법으로 평가된다. 그러나 이 방법은 차량 자체의 압소음(background noise)을 고려하지 않기 때문에 정확한 기어 화인 소음의 표현이 되지 못한다. 차량의 엔진소음, 배기소음, 로드 노이즈 등 다른 주요 소음의 크기가 크면 비교적 작은 기어소음은 이들에 의한 마스킹(masking) 효과로 덜 들리게 된다. 기어소음에 대한 Becker, S.의 연구에<sup>(10)</sup> 의하면 다음의 세 가지 마스킹 효과가 존재한다.

- (1) Broadband-band noise masking
- (2) Narrow-band noise masking
- (3) Low-pass noise masking

광대역 마스킹(broadband masking)에 대한 Zwicker의 실험결과에 의하면 20 Hz ~ 4 kHz 범위안의 순음은 17 dB이상 큰 백색잡음(white noise)에 의해 마스킹 된다는 것을 알 수 있다. 액슬 소음의 경우 주파수 변조가 일어남으로 10~20 dB 이상일 경우 마스킹 된다. Fig. 1은 일반적인 SUV 차량 실내소음과 액슬기어의 오더 성분에 대한 측정결과이다. 차량의 overall 소음레벨과 액슬기어 오더 성분의 차이가

20 dB 이상이면 기어소음은 들리지 않게 된다. Fig. 1에서 굵은 실선은 overall 레벨이고, 중간에 가는 실선은 액슬기어의 오더 성분이다. 그리고 점선은 overall레벨과 기어 오더 성분의 차이를 나타낸다. 협대역 마스킹(narrow-band noise masking)에 대해서는 Fig. 2를 통하여 설명하면, Fig. 2에서, f1과 f2의 경우 배경소음과 overall level의 차이는 같으므로 광대역 마스킹을 통한 분석으로는 f1과 f2는 같은 결과를 얻는다. 하지만 부분적인 주파수 대역으로 보면 f1의 경우 보다는 f2의 경우 배경소음과의 차이가 작기 때문에 사람은 f2를 더 잘 인지할 수 있다. 또한 마지막으로 f2 와 f3의 경우 앞의 두 방법으로 판단하면 같은 결과로 판단되지만, 자동차 소음의 경우 많은 부분을 차지하는 엔진소음과 배기소음의 경우 저주파 대역에 위치한다. 그렇기 때문에 같은 크기의 소음일지라도 저주파보다는 고주파 대역의 소음이 더 잘 들리게 된다. 따라서 f3은 f2보다 고주파에 위치하므로 f3가 더 잘 들리게 된다.

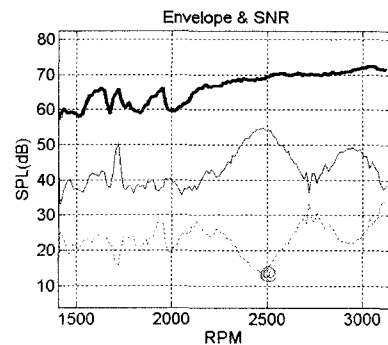


Fig. 1 Comparison of overall noise and gear noise (— : overall level, — : axle whine noise, -- : difference between overall and whine noise)

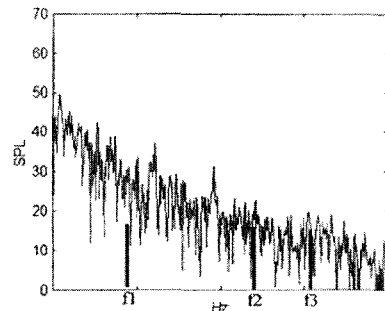


Fig. 2 Gear whine noise vs. frequency

이 연구에서는 액슬 인공신호를 제작할 시 광대역 마스킹을 고려하여 액슬 소음의 크기(peak level)를 조정하였으며 협대역 마스킹과 주파수 효과를 고려하여 기어소음의 발생위치를 변화하며 합성신호를 제작하였다.

### 2.3 액슬 합성신호 제작

신경망 회로를 이용하기 위해서는, 주관적 요소인 청음평가 결과와 객관적 요소인 음질인자의 관계를 규명해야 한다. 이를 위해서는 많은 종류의 액슬 소음신호가 필요하다. 하지만 실제연구 개발과정의 기간, 비용의 측면에서는 직접 액슬 소음을 녹음하는

것은 바람직하지 못하다. 이를 보완하기 위해서 디지털 신호처리 기술을 이용하여 합성신호를 제작하였다. 액슬 신호제작 과정을 Fig. 3을 통하여 설명하자면, (a)는 액슬 합성신호를 만드는데 사용한 기준 SUV차량신호이며 (b)는 칼만 적응 필터(kalman adaptive filter)를 이용하여 액슬 소음차수(order)를 제거한 배경소음이다. 주파수 변조 신호를 이용하여 만든 액슬기어 소음성분을 (b)의 배경소음에 합성하여 (c)와 같은 인공신호를 제작할 수 있다. Fig. 4는 액슬기어 성분을 만드는 과정을 나타내며 이 작업은 Matlab 소프트웨어를 이용하였다.

Fig. 4(a)는 주파수 변조되어 SVU 차량의 프로펠러축의 속도 변화와 동일하게 변화하는 신호이며 Fig. 4(b)는 Fig. 4(a)를 구간 확대한 것으로 식 (1)로 표현된다.

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

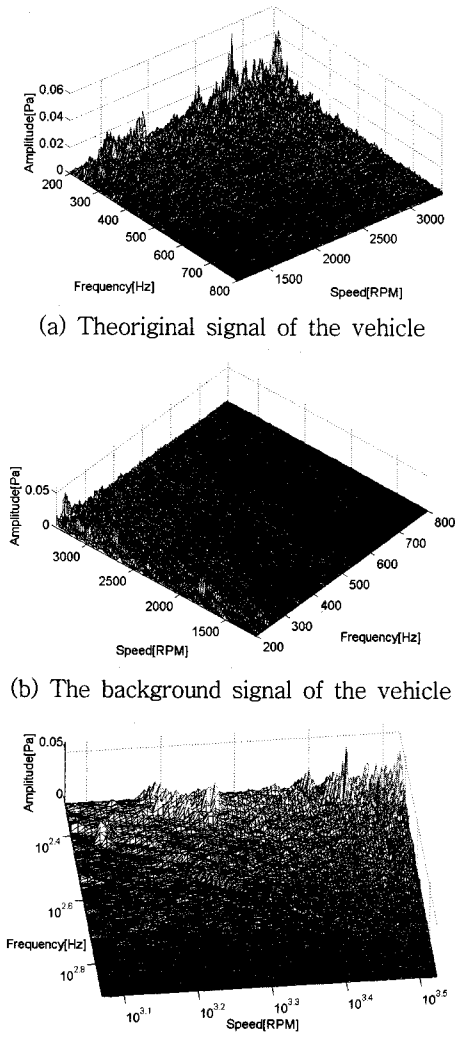


Fig. 3 The artificial axle signal making process

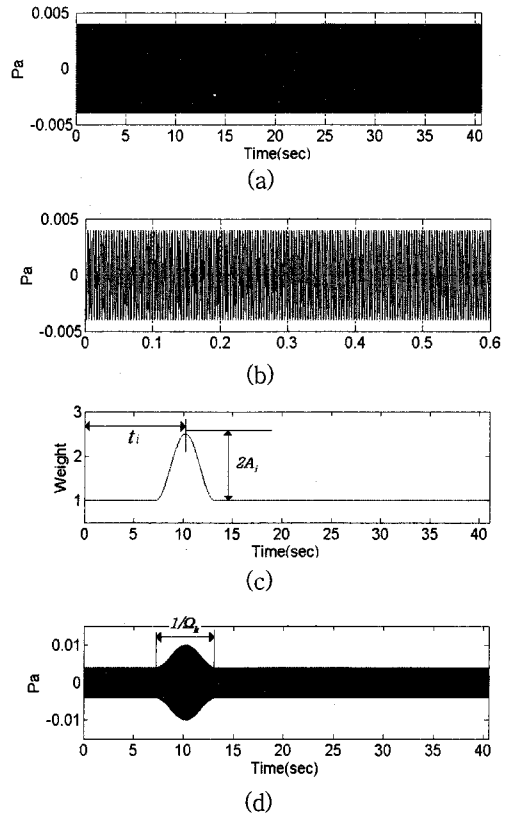


Fig. 4 The process of making the axle order sweep signal

Fig. 4(c)는 정현파(sinusoid)신호를 이용하여 만들었으며 액슬 화인(winch)소음의 크기, 위치, 폭을 결정한다. Fig. 4(c)는 식 (2)로 표현된다.

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

식 (2)에서  $A_j$ ,  $t_i$ ,  $\omega_k$ 는 각각 액슬 화인소음의 크기, 발생위치, 발생폭을 결정하는 변수이며 그 자세한 값은 Table 1에 나타났다. 식 (1)의 신호와 식 (2)의 신호를 곱하여 액슬 소음 오더 신호인 Fig.4 의(d)를 만들며 식 (3)으로 표현된다.

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

위와 같은 방법으로 제작된 인공신호는 80개이며 Fig. 3(b)의 배경 잡음 신호와 합성되어 청음평가에 사용하였다.

### 3. 청음평가

임상실험은 앞장의 방법으로 만든 80개의 액슬 소음 신호와 5개의 실차 신호로 총 85개의 액슬 소

Table 1 Variables used in making axle gear whine signal

Time shift $t_i$ (center frequency)	Amplitude $A_j$	Duration $T_i = 1/\Omega_k$ time interval
3.50s(200.35 Hz)	0.75Pa(54 dB)	6.05s(70 Hz)
10.26s(373.75 Hz)	1.2657Pa(57 dB)	6.48s(75 Hz)
17.12s(453.12 Hz)	1.9941Pa(60 dB)	6.91s(80 Hz)
23.96s(532.38 Hz)	3.0230Pa(63 dB)	7.35s(85 Hz)
10.26s and 23.96s (373.75 Hz and 532.38 Hz)		

Table 2 The organization of the evaluation grades

Grade	Evaluation mark	Grade	Evaluation mark
4	Unacceptable	7	Medium
5	Borderline	8	Good
6	Fair	9	Excellent

음데이터를 이용하였다. 평가방법은 레이팅 방법(rating method)을 이용하였으며 SAE학회에서 규정된 4~9점 방식을 사용하였다. Table 2와 같이 액슬 소음이 듣기 좋지 않을수록 낮은 점수로 평가된다. 평가자는 총 21명이다.

### 3.1 음질요소 분석

Fig. 5는 청음평가한 신호의 음질인자와 주관적 평가 점수와의 상관관계를 나타낸 것이다. 심리음향학에서 정의한 주요 음질요소들 중 dB(A), Loudness, AI가 평가값과 85% 이상으로 높은 상관성을 갖는다. 신경망 회로 학습을 위해 평가값과 상관도가 높은 인자를 선정해야 한다. Loudness와 dB(A)는 음의 크기를 나타내는 인자이므로 서로 높은 상관성을 갖는다.

그러므로 첫 번째 인자로 AI를 선정하고 AI와 역비례관계가 더 큰 Loudness를 두 번째 인자로 선정하였다. Table 3에서 선정을 위한 인자간의 상관도를 표시하였다.

### 4. 액슬 소음의 특성 분석

이 장에서는 음질 인덱스의 제작에 앞서 액슬 소음에 대한 특성을 합성신호를 이용한 청음평가 결과를 이용하여 분석하였다.

#### 4.1 Same Peak일 때의 액슬 소음

(1) 속도변화(speed step)에 따른 액슬 소음 음질특성

Fig. 6은 액슬 소음의 크기를 고정시켰을 때 peak의 위치가 1,2,3,4인 신호를 나타낸다. Figs. 7, 8은 기어소음의 peak값이 54 dB, 57 dB, 60 dB, 63 dB로 고정되어있을 때 속도변화에 따른 청음평가 결과와의 상관도이다. Fig. 7에서 종축의 1,2,3,4,5는 액슬 소음의 peak위치를 나타내며 Table 4와 같다. Fig. 7의 결과에 의하면 동일 배경소음 하에 5개의 speed

Table 3 The correlation of soundmetrics

	dB(A)	Loudness	AI
dB(A)	1.00		
Loudness	0.98	1.00	
AI	-0.93	-0.97	1.00

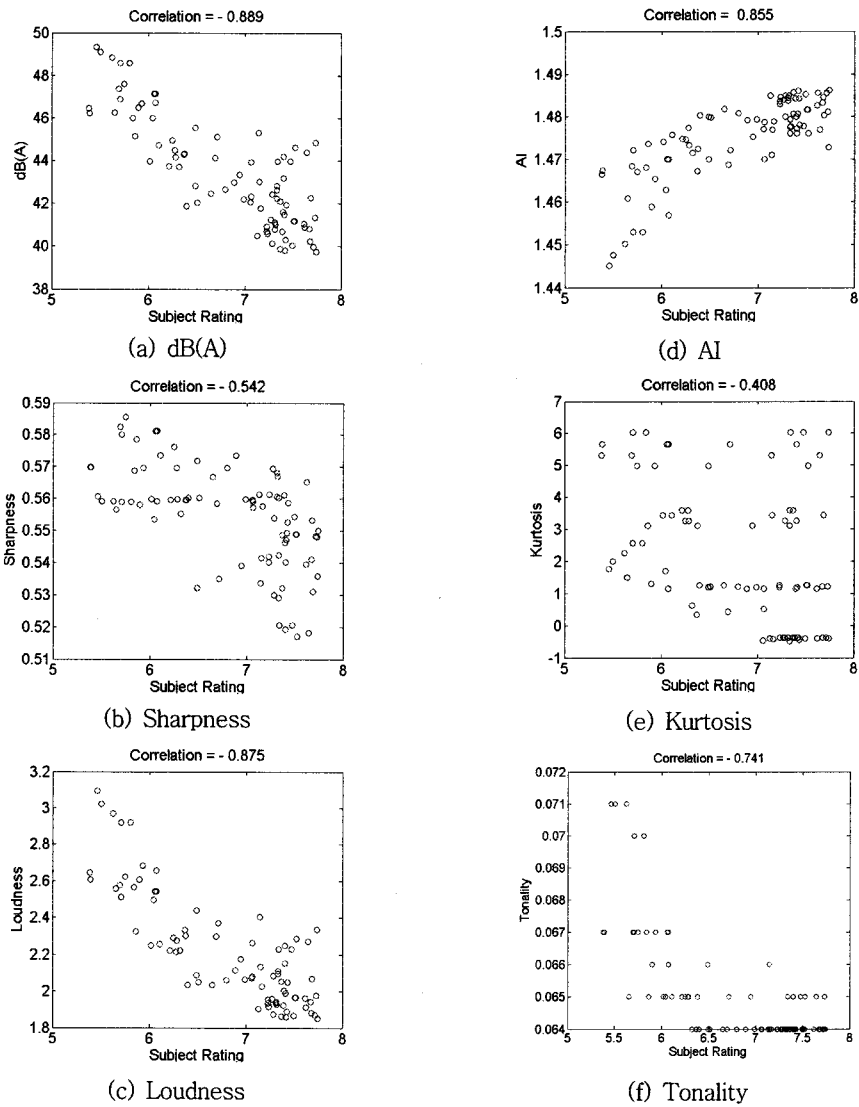


Fig. 5 Sound metric for axle noise sound

Table 4 Speed step of peak position in the axle noise

Speed step (time shift)				
1	2	3	4	5
3.50s 48 km/h	10.26s 65 km/h	17.12s 81 km/h	23.96s 98 km/h	10.26&23.96s 65&98 km/h

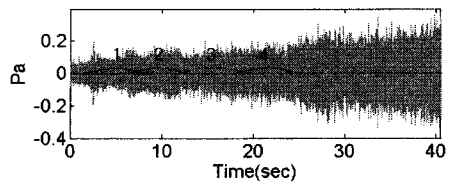


Fig. 6 The making process of same peak level signal

에서 peak값이 같을 경우의 합성신호에 대한 청음 평가 결과를 나타내며 speed step이 증가함에 따라 좋지 않은 점수 분포를 보인다. 그리고 peak 값이 54 dB, 57 dB에서 같은 speed step의 좌우 점수

분포가 넓게 퍼지는 것을 볼 수 있지만 60 dB부터는 그 폭이 좁아지는 것을 알 수 있다. 이것은 청음 평가자 들이 peak level이 60 dB 이상이 되어야 평가의 정확성이 증가하는 것을 나타낸다.

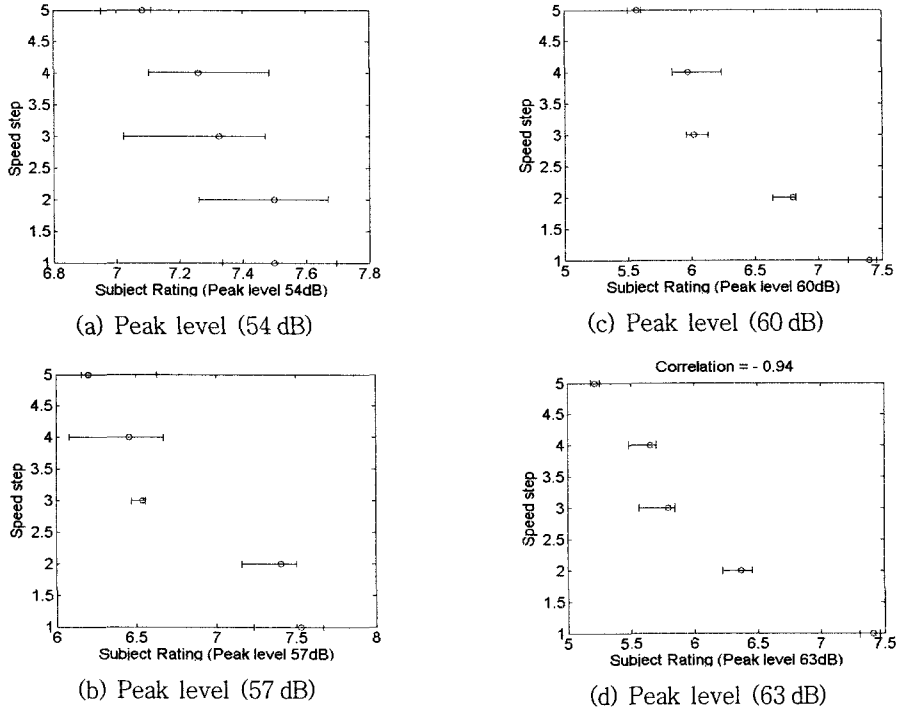


Fig. 7 The correlation between speed step(time shift) at peak level and subjective rating when fixed peak amplitude

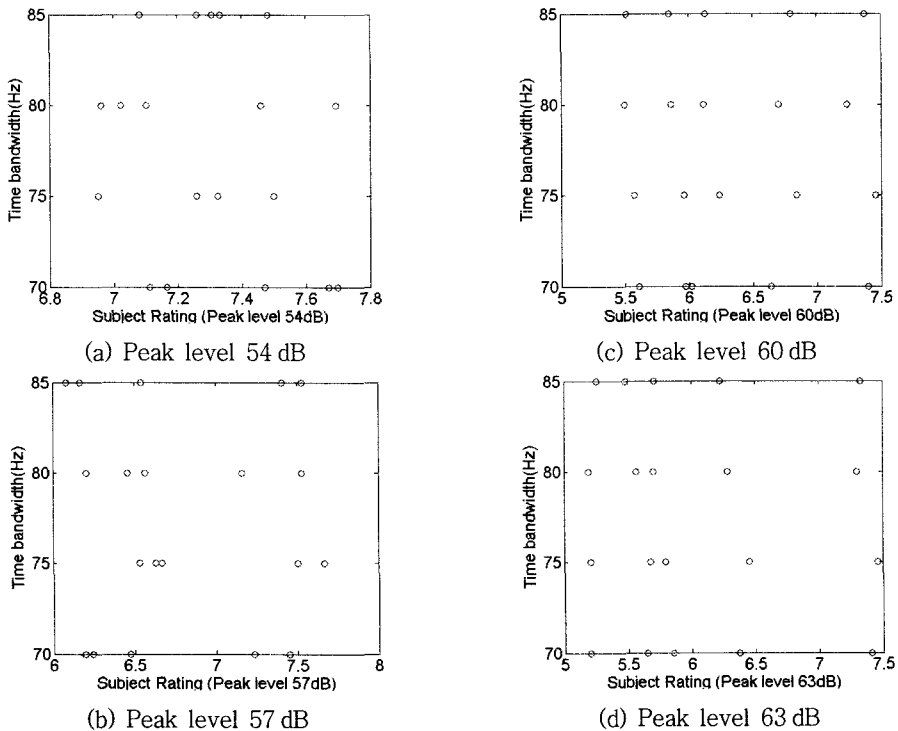


Fig. 8 The correlation between time bandwidth (duration) at peak level and subjective rating when fixed peak amplitude

(2) 소음구간 길이에 따른(duration) 액슬 소음 음질특성

Fig. 8은 위의 경우와 같이 Fig. 6에서 동일 배경 소음 하에 5개의 speed에서 peak값이 같을 경우의 합성신호에 대한 청음평가 결과를 나타내며 time bandwidth(duration)에 따른 평가 값과의 상관관계이다. Fig. 8의 결과에 의하면 peak값이 같을 때 time bandwidth와 청음평가의 결과는 상관성을 갖는 경향이 없다. 그러나 동일 time bandwidth에서 청음평가의 차이가 나타나는 것은 speed step 차이 때문이다.

4.2 Same Speed Step일 때의 액슬 소음

(1) 음압증가에 따른 액슬 소음 음질특성

Fig. 9는 액슬 소음의 속도변화를 고정시켰을 때

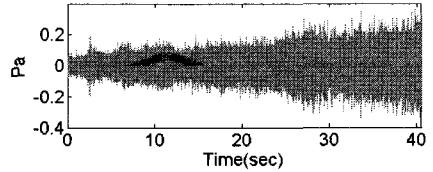
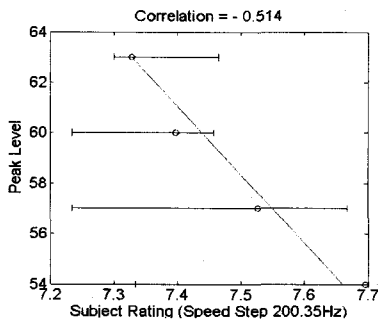
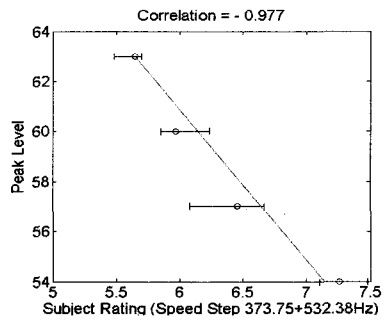


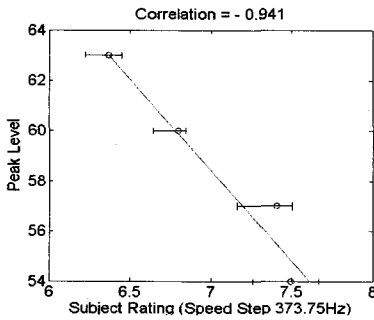
Fig. 9 The making process of same speed step signal



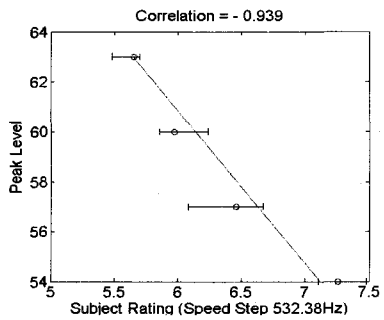
(a) Speed step 48 km/h



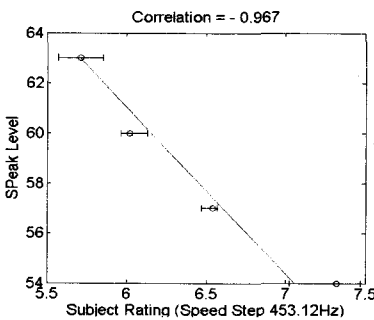
(d) Speed step 98 km/h



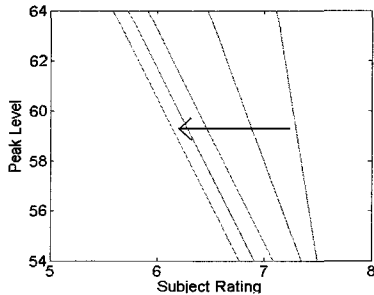
(b) Speed step 65 km/h



(e) Speed step 65 & 98 km/h

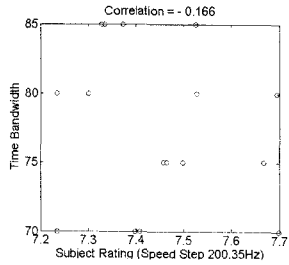


(c) Speed step 81 km/h

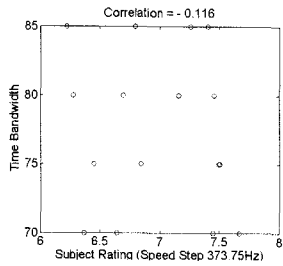


(f) The change of line position

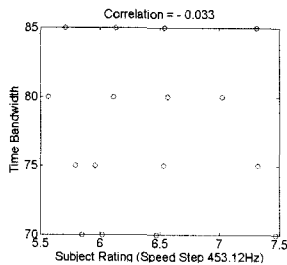
Fig. 10 The correlation between peak level at speed step and subjective rating when fixed speed step



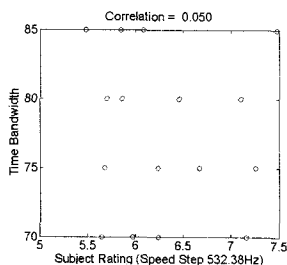
(a) Speed step 48 km/h



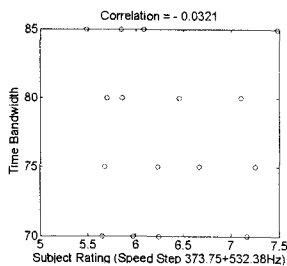
(b) Speed step 65 km/h



(c) Speed step 81 km/h



(d) Speed step 98 km/h



(e) Speed step 65 & 98 km/h

Fig. 11 The correlation between time bandwidth (duration) at speed step and subjective rating when fixed speed step

peak의 레벨과 소음구간길이가 각각 (54 dB, 57 dB, 60 dB, 63 dB), (70 Hz, 75 Hz, 80 Hz, 85 Hz) 인 신호를 나타낸다. Fig. 10(a)~(e)의 결과에 의하면 peak level과 청음평가 결과는 반비례의 경향을 갖는다. 그리고 Fig. 10(f)는 Fig. 10(a)~(e)의 결과를 한곳에 나타낸 것이며 speed step이 증가하면서 평가결과가 왼쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 즉 speed step이 증가하면서 청음평가 결과는 낮게 나온다. 따라서 peak level과 speed step은 axle gear whine 소음에 중요한 영향을 미친다.

(2) 소음구간길이 변화에 따른 액슬 소음 음질특성

Fig. 11은 위의 경우와 같이 Fig. 7에서 동일 배경 소음 하에 time shift가 같을 경우의 합성 신호에 대한 청음평가 결과를 나타내며 time bandwidth (duration)에 따른 평가 값과의 상관관계이다. Fig. 11에 의하면 동일 speed step에서 time bandwidth 변화에 따른 청음평가 결과와의 상관성이 없음을 알 수 있다. 그러나 동일 time bandwidth에서 청음평가 결과의 차이가 나는 것은 peak level의 변화에 의한 것이다.

4.3 Same Time Bandwidth(duration)일 때의 액슬 소음

(1) 속도변화(speed step)에 따른 액슬 소음 음질 특성

Fig. 12는 액슬 소음의 duration을 고정시켰을 때 peak의 위치가 1, 2, 3, 4인 신호를 나타낸다. Fig. 13은 기어소음의 time duration이 70 Hz, 75 Hz, 80 Hz, 85 Hz로 고정되어있을 때 속도변화에 따른 청음평가 결과와의 상관도이다. Fig. 13에서 Y축의 1,2,3,4,5는 액슬 소음의 peak 위치를 나타내며 Table 4와 같다. Fig. 3의 결과를 보면 speed step 5의 위치부터 1로 낮아질수록 청음평가 값의 분포를 보면 점점 좁아지는 향아리의 모습을 하고 있다. 위의 경우 time bandwidth(duration)가 각 그래프마다

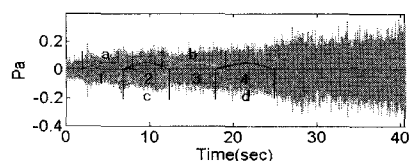


Fig. 12 The making process of same time bandwidth signal



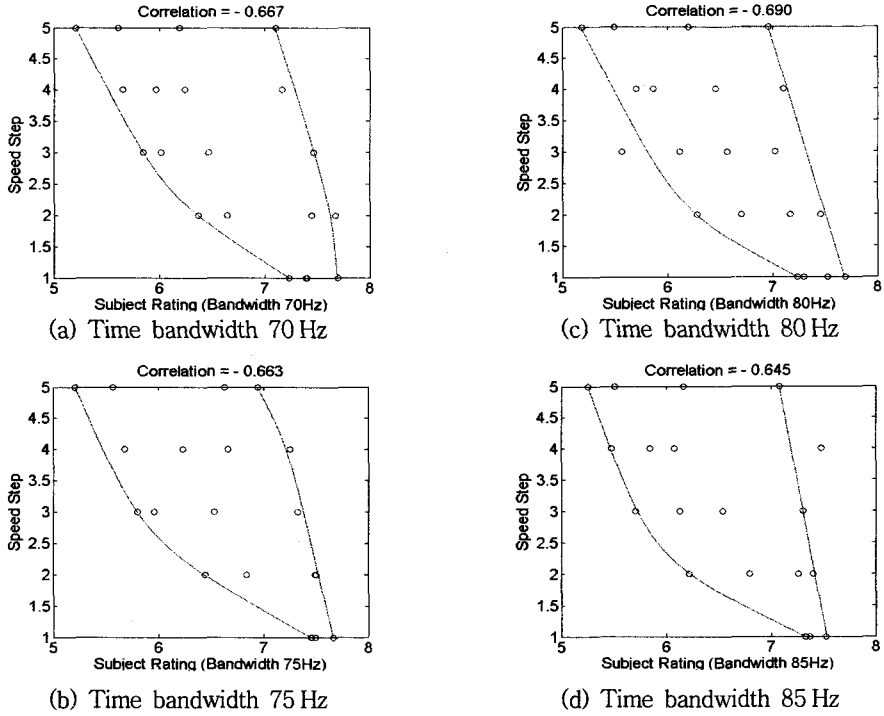


Fig. 13 The correlation between speed step(time shift) at time bandwidth and subjective rating when fixed time bandwidth

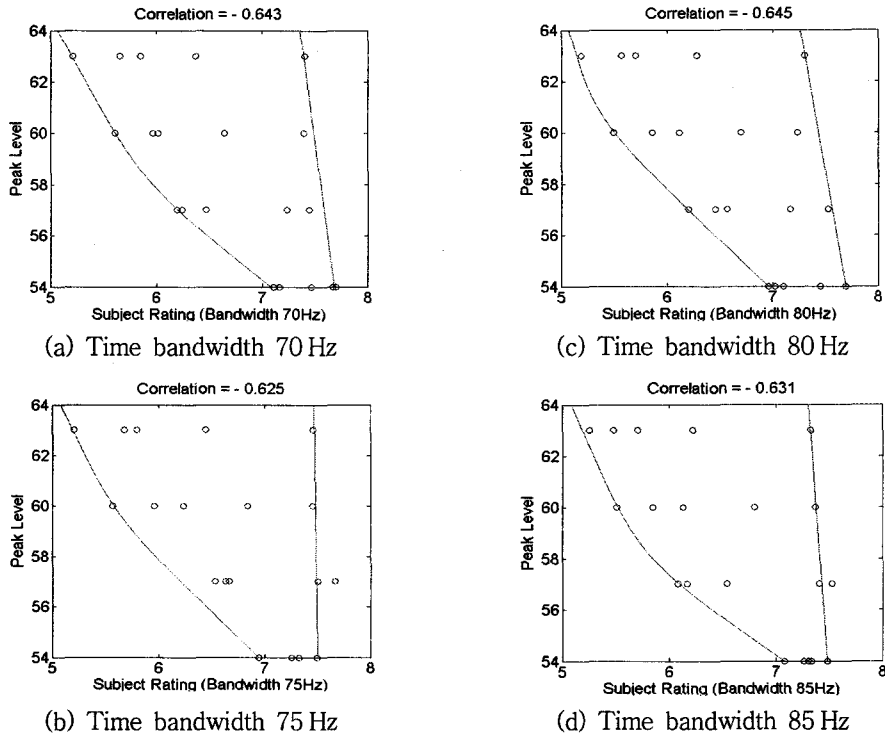


Fig. 14 The correlation between peak level at time bandwidth and subjective rating when fixed time bandwidth

고정되어있기 때문에 각 speed step에서의 평가 값의 분포는 peak level의 분포와 같은 것이다. Speed step 5에서 1 위치일수록 peak level값에 민감하게 반응한다는 결과를 얻어낼 수 있다.

(2) 음압증가에 따른 액슬 소음 음질특성

Fig. 14는 Fig. 13과 같은 상황에서 각 peak level 값과 평가 값과의 상관관계이다.

Fig. 14의 결과를 보면 앞의 결과와 같이 높은 peak level로부터 peak level이 낮아질수록 청음평가 값의 분포를 보면 점점 좁아지는 항아리의 모습을 하고 있다. 그러므로 청음 평가자들은 고주파일수록 peak level에 대한 민감한 반응을 보이는 것을 알 수 있다. 위의 경우 time band 청음평가 값의 분포를 보면 점점 좁아지는 항아리의 모습을 하고 있다. 그러므로 청음 평가자들은 bandwidth(duration)가 각 그래프마다 고정되어있기 때문에 각 peak level에서의 평가값의 분포는 speed step의 영향으로 인한 것이다.

5. 음질 인덱스 구현

일반적인 음질 인덱스 구현방법은 선형회귀법이나 다항회귀분석을 이용하여 두 데이터의 상관관계를 이용하는 것이다. 그러나 회귀분석을 통하여 두 데이터의 상관관계를 규명하기 위해서는 두 데이터가 선형적인 관계를 가져야 한다. 하지만 액슬 소음 청음평가 점수는 여러 개의 음질요소의 조합에 의해 비선형적인 관계를 이루므로 이 연구에서는 Fig. 15와 같은 다층 신경회로망을 이용하여 음질 인덱스 구현을 하였다. 이 연구에서 쓰인 신경회로망은 비선형적인 모델을 해석하기 위하여 많이 사용되지만 개별적인 학습이 필수적이다. 그래서 학습을 위한 데이터의 양이 충분히 확보되어야 한다. 이 연구에서는 이 단점을 보완하기 위해 인공 합성신호를 제작하였다. Fig. 15의 신경회로망은 역전파(back propagation) 알고리즘을 사용하여 6개의 뉴런(neuron)을 갖는 은닉 층과 1개의 뉴런을 갖는 출력 층으로 구성된다.

$$\text{Output} = f^2(W^2 f^1(W^1 x + b^1) + b^2) \quad (4)$$

$f^1$ : tansig 함수       $f^2$ : purelin 함수

$W^1$ : 은닉층 가중행렬       $W^2$ : 출력층 가중행렬  
 $b^1$ : 은닉층 편향벡터       $b^2$ : 출력층 편향벡터

식 (4)는 음질 인덱스를 위해 사용된 신경회로망을 수식적으로 표현한 것이다. 식 (4)에 사용된 함수는 tansig, purelin 함수이며 입력 값으로 Loudness, AI 를 사용하여 학습을 시켰다. 신경회로망 학습을 위하여 Matlab을 사용하여 프로그래밍 하였으며 출력 값으로 액슬 음질점수를 얻을 수 있도록 제작하였다. 청음평가에 사용된 85개(인공합성신호 80개 + 실차신호 5개)중 인공신호 60개 신호에 대하여 학습을 시키고 나머지 인공신호 20개를 가지고 자체 검증 실시하였다. 또한 학습된 가중치( $W_i$ )의 검증을 위해 실차신호 5개에 대하여 입력 검증을 실시하였다. 학습 횟수는 학습도중의 검증(자체검증)에서 타겟값(청음 평가값)과 출력값(신경회로망의 출력값)의 상관도가 92%이상, 5개의 입력 검증신호에 대해 타겟값과 출력값의 상관도가 92% 이상 나오도록 프로그램을 제작하고 그 이하의 결과값에 대해서는 계속적으로 학습하도록 제작하였다.

5.1 액슬 소음 청음평가 결과

신경 회로망의 학습 후 결과에 대한 검증은 학습에 사용하지 않은 데이터를 사용해야 한다. Fig. 16은 60개의 학습신호에 대해 타겟값(청음 평가값)과 출력값(신경회로망의 출력값)의 상관도가 96.3%로 높은 상관성을 가진 출력값을 얻고 있다. Fig. 17은 학습신호를 제외한 새로운 신호 20개의 상관도로서 95.5%의 상관성을 보여주고 있다. Fig. 18은 실차신호 5개를 통한 상관성 검증을 보여주는 것으로 97.8%를

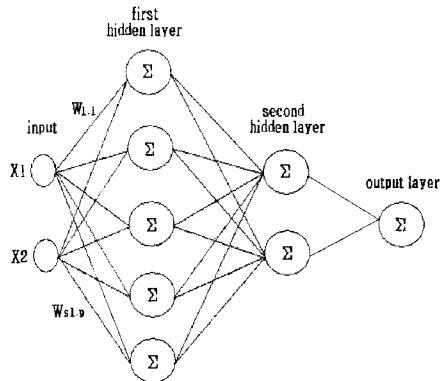


Fig. 15 Schematic of multilayer neural network

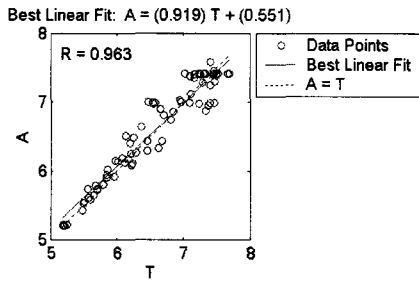


Fig. 16 Correlation between subjective evaluation and neural network output

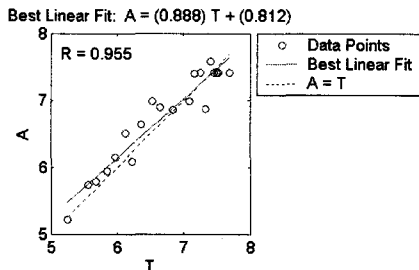


Fig. 17 Correlation between subjective evaluation and neural network output for testing data

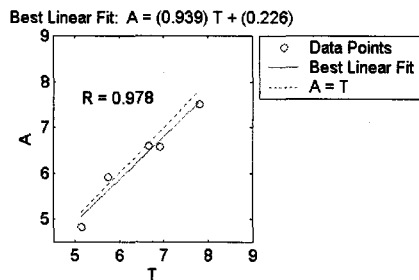


Fig. 18 Comparison subjective evaluation with neural network output for validation data

나타낸다. 이 연구에서 구현된 액슬 음질 인덱스를 통하여 차량의 실내소음 중 액슬 소음에 대해서는 우수한 결과를 얻을 수 있음이 확인된다. 따라서 이 연구에서 구현된 액슬 음질 인덱스를 통하여 차량의 실내소음 중 액슬 소음에 대해서는 우수한 결과를 얻을 수 있음이 확인되었다.

### 6. 결 론

음질 인덱스 개발을 위하여 주관적인 요소인 청음 평가와 객관적인 요소인 음질요소와의 연관성을 분석한 결과 dB(A), Loudness, AI의 상관도가 높게

나타난다는 것을 알았다. 독립적인 음질요소를 구분하기 위하여 음질요소간의 상관도를 계산해 본 결과 Loudness와 AI를 음질 인덱스 개발을 위한 인자로 선정할 수 있었다. 또한 액슬 소음자체의 특성과 청음평가의 결과와의 관계를 분석한 결과 peak레벨의 경우 60 dB 이상일 경우 평가의 정확성이 증가한다는 것을 알 수 있었고 speed step의 경우 저주파에서 고주파로 갈수록 청음 평가자가의 액슬 소음에 대한 인지력이 커진다는 것을 알 수 있었다. 하지만 duration의 경우에는 청음평가 결과와 아무런 상관성이 없음을 알 수 있었다. SUV차량의 액슬소음 음질인덱스를 개발을 위해서는 음질요소(Loudness, AI)와 액슬 소음의 특성(크기, 구간)를 고려하여야 할 것이다. 액슬 음질 인덱스 제작 후 뉴럴의 출력 값은 96.3%로 학습 값과 상관성이 있음이 확인되었으며 실제 차량 신호에 대해서는 97.8%의 상관성을 가짐으로써, SUV 차량 실내 소음의 액슬 음질 점수를 청음평가 없이 음질 인덱스를 적용하여 예상할 수 있음을 보여주었다.

### 후 기

이 연구는 다이모스(주)의 산학연구비와 미래형 자동차의 핵심기반기술(과제번호10023237) 연구비로 수행 되었습니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Blommer, M., et al., 1995, "Calculating the Loudness of Impulsive Sounds", SAE 951311.
- (2) Lee, S. K., et al., 1993, "Identification of the Relation between Crankshaft Bending and Interior Noise of A/T Vehicle in Idle State", SAE930618.
- (3) Lee, S. K., et al., 1993, "Improvement for Vibration of the Power Plant for Noise Reduction and Enhancement of Sound Quality", KSAE, Vol. 1, No. 2, pp. 77~88.
- (4) Lee, S. K., et al., 1994, "Weight Reduction and Noise Refinement of HYUNDAI 1.5Liter Powerplant", SAE940995.
- (5) Heo, D. J., et al., 2000, "Sound Quality Analysis and Modeling for Interior Noise of a

Vehicle”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 10, No. 2, pp. 254~260.

(6) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, “Psychoacoustics, Facts and Models”, Springer-Verlag, Berlin.

(7) Zwicker, E. Fastl, H. and Dallmayr, C., 1984, “Basic-program for Calculating the Loudness of Sounds from Their 1/3-oct Band Spectra According

to ISO 532B”, Acustica, Vol. 55, No. 63.

(8) Brigham, O., 1998, “The Fast Fourier Transform And Its Applications”, Prentice-Hall.

(9) Matrn, H., 1996, “Neural Network Design”, PWS Publishing Company.

(10) Becker, S. and Yu, S. X., 1999, “Gear Noise Rating Prediction Based on Objective Measurement”, SAE 1999-01-1721.