

# 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

임 종 태\* · 이 상 권† · 조 윤 경\*\* · 김 종 연\*\*\*  
Jong-Tae Lim, Sang-Kwon Lee, Yun-Kyoung Jo and Jong-Youn Kim

**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 sound qualities. The international competition in car markets has continuously required the research about the sound quality of a car. The domestic carmakers 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 project, a sound quality index evaluating the sound quality of axle noise based on human sensibility is developed and applied to the development of the sound quality of axle noise

## 1. 서 론

자동차산업의 발달과 함께 실내소음의 연구는 많은 부분에서 이루어졌다. 실내소음의 음압저감과 음질(Sound quality)의 향상이 이루어졌으며 음압저감의 측면은 상당부분 소비자가 만족하는 정도에 다다랐다. 음질의 향상은 꾸준히 진행되고 있으며 앞으로 중점적으로 다루어야 할 부분이다. 실내소음의 음압저감은 엔진음과 배기음 등 크기가 큰 소음을 위주로 이루어졌으며 소비자의 최소 요구 수준에 다다랐다. 하지만 그로 인하여 예전에는 소비자가 인식하지 못했던 상대적으로 작은 액슬의 소음이 새로운 문제가 되고 있으며 음압저감과 음질의 향상이 필요하다. 자동차의 음질향상을 위하여, 심리음향(psycho acoustics)을 이용한 연구를 바탕으로 문제를 접근하고 자동차의

음질에 대한 향상을 위하여, 심리음향에 대한 연구를 이용하여 문제를 접근하고 현재까지 이러한 것을 이용한 상품화된 소프트웨어의 직접적인 사용만으로는 자동차 회사에서 요구하는 음질의 향상에 대한 접근으로서 경제적, 시간적으로 부족한 점이 많으며 측정되는 소음의 디지털 신호처리기술 만으로도 같은 한계를 갖게 된다. 따라서 자동차 회사에 문제가 되는 여러 가지 소음의 음색에 대한 표현을 새롭게 정립을 하고 임상 실험과 분석을 통한 해석이 필요하다. SUV 차량의 액슬에서 발생하는 소음의 음색은 고유한 주파수성분의 구성이 존재하며 이에 따른 객관적인 등급화가 필요하다. 따라서 본 연구를 통하여 본 연구를 통하여 SUV 차량의 액슬에서 발생하는 실내소음에 대한 음질 요소 분석과 임상 실험을 통하여 이에 대한 객관적인 평가 기준을 얻어내는 것이다.

## 2. 합성신호제작

### 2.1 차량 실내 소음의 녹음

SUV 차량의 정상주행 시의 사람의 청감을 표현하기 위하여 binaural sound 형태의 소음을 녹음

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

\* 정회원, 인하대학교 대학원

\*\* 다이모스 (주)

\*\*\* 다이모스 (주)

하였으며 소음 데이터 녹음을 위하여 장비는 head Acoustics 사의 토루소 형태의 artificial head measurement system 을 운전조수석에 위치시켜 소음을 녹음하였다. 또한 rpm 데이터를 얻기 위하여 프로펠러 shaft tacho signal 을 소음 녹음과 동시에 기록하였다. 실험은 총 5 대의 SUV 차량소음을 녹음하였으며 주행은 서산시내의 일반도로에서 실시되었다. 주행시험은 30km/h 에서 130km/h 까지 coast up 을 실시하였다, 수집된 소음데이터는 LMS 사의 CADA-X(version 3.5D)의 test monitor 모듈을 이용하여 가공되며 head measurement system 에서 수집된 데이터는 청음평가 및 합성신호 제작을 위하여 40~110km/h 부분을 사용하였다.

**2.2 액슬 소음 신호제작**

액슬 화인(whine) 소음은 순음(pure tone)과 비슷하며 일반적으로 order summation 의 방법으로 평가된다. 그러나 이 방법은 차량 자체의 암소음(Background noise)를 고려하지 않았기 때문에 정확한 기어화인소음의 표현이 되지 못한다. 차량의 엔진소음, 배기소음 로드 노이즈 등 다른 주요 소음이 크기가 크면 비교적 작은 기어소음은 이들에 의한 마스킹(Masking) 효과로 덜 들리게 된다.

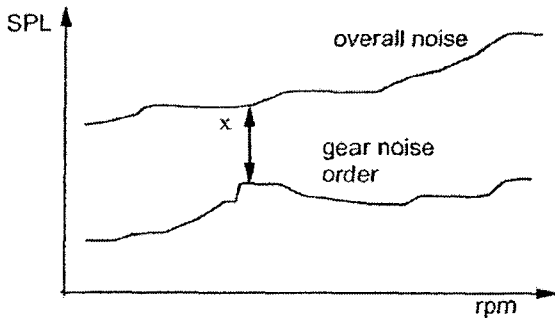


Fig. 1 Comparison of overall noise and gear noise

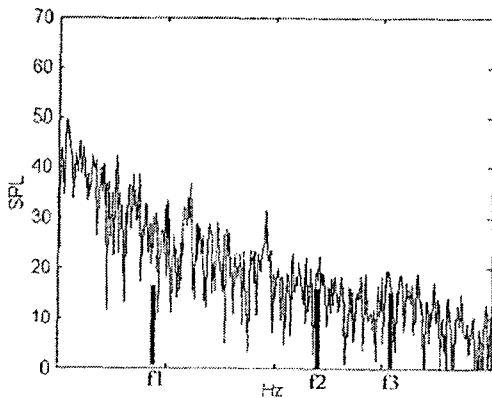


Fig. 2 Gear Whine noise vs. frequency

따라서 다음의 세가지 요건을 고려하여야 한다.

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

Zwicker 의 실험결과를 보면 20Hz ~ 4KHz 범위 안의 순음은 17dB 이상 큰 백색잡음(white noise)에 마스킹 된다는 것을 알 수 있다. 차량소음의 경우 10~20dB 이상일 경우 마스킹 된다. Fig.1 은 차량분석의 결과이다.

차량의 배경소음과 액슬기어 소음 각각의 overall Level 시켰을 때 크기차이인 X 가 20dB 이면 기어소음은 들리지 않게 되는 것이다

두번째로 고려할 사항은 Narrow-band noise masking 이며 Fig. 2 를 보면 f1 과 f2 의 경우 배경소음과 overall level 의 차이는 같으므로 Wide-band noise masking 을 통한 분석으로는 f1 과 f2 는 같은 결과를 얻는다. 하지만 부분적인 주파수 대역으로 보면 f1 의 경우 보다는 f2 의 경우 배경소음과의 차이가 작기 때문에 사람은 f2 를 더 잘 인지할 수 있다. 또한 마지막으로 f2 와 f3 의 경우 앞의 두 방법으로 판단하면 같은 결과로 판단된다. 자동차소음의 경우 많은 부분을 차지하는 엔진소음과 배기소음의 경우 저주파 대역에 위치한다. 그렇기 때문에 같은 크기의 소음일 지라도 저주파보다는 고주파대역의 소음이 더 잘 들리게 된다. 따라서 f3 는 f2 보다 고주파에 위치하므로 f3 가 더 잘 들리게 된다.

본 연구에서는 액슬 인공신호를 제작할 시 Wide-band noise masking 을 고려하여 액슬소음의 peak level 을 조정하였으며 Narrow-band noise masking 과 Low-pass noise masking 을 고려하여 소음의 peak 위치를 주파수 대역 위치를 변화하며 신호를 제작하였다.

**2.3 액슬 합성신호 제작**

주관적인 요소인 청음평가 결과를 객관적인 요소인 음질인자와의 관계 규명을 위하여는 음질인자 분석의 신뢰성을 확보하여야 한다. 그렇기 때문에 많은 수의 액슬 소음신호가 필요하다. 하지만 실제 실제연구 개발과정의 기간, 비용의 측면에서는 직접적인 액슬소음 녹음은 바람직하지 못하며 한계가 있다. 이를 보완하기 위해서 디지털 신호처리 기술을 이용하여 합성신호를 제작하였다. Fig.3 는 액슬 신호제작 과정을 보여준다. Fig.3 의 (a)는 이 연구에서 액슬신호를 만드는데 사용한 reference SUV 차량신호이며 Fig.3 의 (b)는

칼만 적응 필터(kalman adaptive filter)를 이용하여 액슬 소음차수(order)를 제거한 형태이다. Fig.3 의 (c)는 sweep 신호와 정현파(sinusoid)를 이용하여 만든 인공신호를 Fig.1 의(b)신호에 합성한 형태이다. Fig.4 는 액슬 order 성분을 만드는 과정을 나타내며 이 작업은 matlab 을 이용하였다.

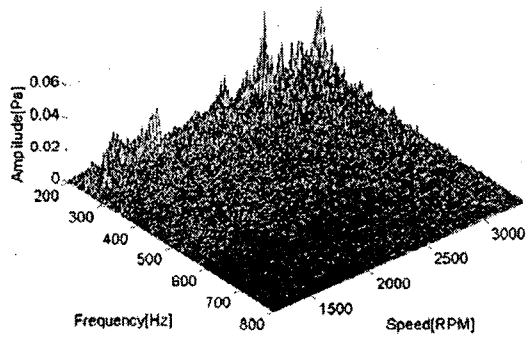


Fig. 3 (a) The artificial signal of the axle

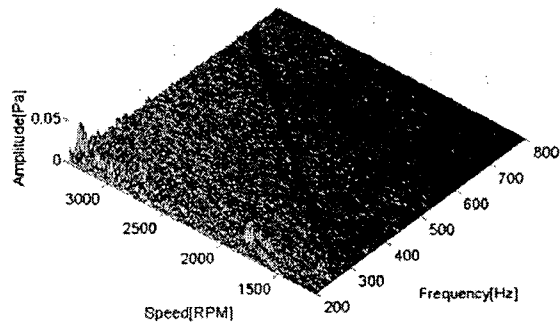


Fig. 3 (b) The artificial signal of the axle

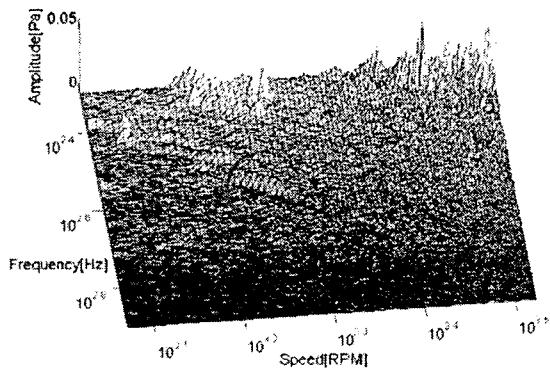


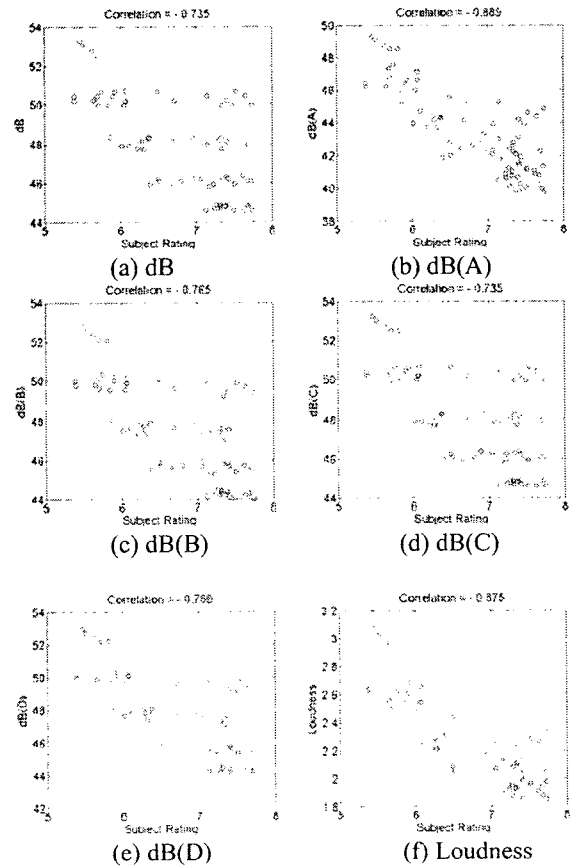
Fig. 3 (c) The artificial signal of the axle

### 3. 청음평가

임상실험은 앞장의 방법으로 만든 80 개의 액슬소음 신호와 5 개의 실차 신호로 총 85 개의 액슬소음데이터를 이용하였다. 평가방법은 레이팅 방법(rating method)을 이용하였으며 SAE 학회에서 규정된 4~9 점 방식을 사용하였다. 평가 자는 총 21 명이었으며 액슬 소음이 듣기 좋지 않을수록 낮은 점수로 평가된다. 청음평가 시 소음의 재생은 Head acoustics 사의 playback 시스템을 사용하여 랜덤으로 임상실험 평가자에게 신호를 들려주게 된다.

#### 3.1 음질요소 분석

Fig.4 는 청음 평가한 신호와 액슬소음 점수와 의 상관관계이다. Fig.4(a)에서 dB 와 액슬소음 점수의 상관도는 -0.735 이고 (b)에서 dB(A) 와 의 상관관계는 -0.889 이다. 그 외에 dB(B), dB(C), dB(D), Loudness, Stevens 6, Stevens 7 모두 상관관계가 -0.735 ~ -0.875 로 높게 나타난다. 상기된 음질요소들은 dB 를 주요인 으로 산출되기 때문에 서로 많은 상관성을 가지고 있다.



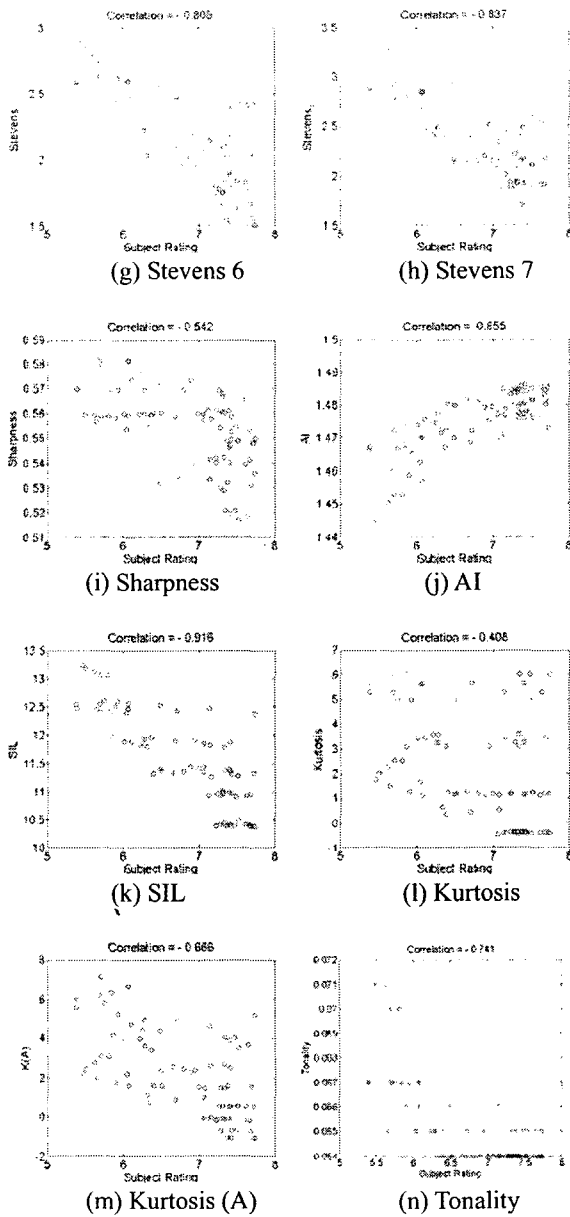


Fig. 4 Sound metric for axle noise sound

따라서 음질인덱스를 개발하기 위하여는 독립적인 음질요소의 선정이 필요하다. 그러므로 그 중에 우리가 가장 많이 사용하는 Loudness 를 선정하게 되었다. 그리고 청음평가와의 상관관계가 0.855 인 음질요소 AI 를 음질인덱스 개발에 중요한 영향을 미칠 인자로 선정하게 되었다.

#### 4. 액슬 소음의 특성 분석

앞장에서 액슬 소음의 청음평가 결과와 음질요소와의 관계를 알아보았다. 음질요소 분석만으로도 음질인덱스 개발이 가능하다. 하지만 더 정확한

인덱스를 위하여 액슬 소음자체의 특성과 청음평가 결과와의 관계를 분석하여 보았다. 분석을 위한 액슬 소음의 특성 변화의 자세한 내용은 Table 1 과 같다.

#### 4.1 Same peak 일 때의 액슬소음

##### (1) 속도변화(speed step)에 따른 액슬 소음 음질 특성

Fig.5 는 액슬 소음의 크기를 고정시켰을 때 peak 의 위치가 1, 2, 3, 4 인 신호를 나타낸다. Fig.6(a)~(d)은 기어소음의 peak 값이 54dB, 57dB, 60dB, 63dB 로 고정되어있을 때 속도변화에 따른 청음평가 결과와의 상관도이다. Fig. 6(a)~(d)에서 Y 축의 1,2,3,4,5 는 액슬 소음의 peak 위치를 나타내며 Table 2 과 같다. Fig. 6(a) ~ (d)를 보면 동일 배경 소음 하에 5 개의 speed 에서 peak 값이 같을 경우의 합성 신호에 대한 청음평가 결과를 나타내며 speed step 이 증가함에 따라 좋지 않은 점수 분포를 보인다. 그리고 peak 값이 54dB, 57dB 에서 같은 speed step 의 좌우 점수분포가 넓게 퍼지는 것을 볼 수 있지만 60dB 부터는 그 폭이 좁아지는 것을 알 수 있다. 이것은 청음 평가자 들이 peak level 이 60dB 이상이 되어야 평가의 정확성이 증가하는 것을 나타낸다.

Table 1 The variation of characteristic of axle signal

Fixation	Variation
Same peak	Speed step Duration
Same speed step	Peak Duration
Same Duration	Speed step Peak

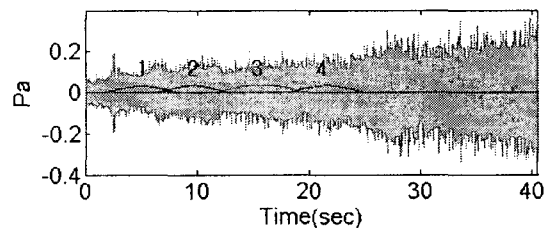


Fig.5 the making process of same peak level signal

Table 2 Speed step of peak position in the axle noise

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

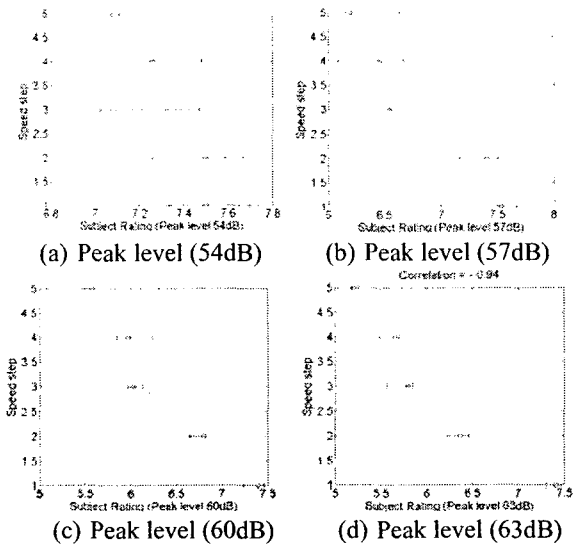


Fig.6 The correlation between speed step(time Shift) at peak level and subjective rating when fixed peak amplitude

(2) 소음구간 길이에 따른(duration) 액슬 소음 음질특성

Fig.7(a)~(d)는 위의 경우와 같이 Fig.5 에서 동일 배경 소음 하에 5개의 speed 에서 peak 값이 같을 경우의 합성 신호에 대한 청음평가 결과를 나타내며 time band width(Duration)에 따른 평가 값과의 상관관계 이다. Fig.7(a)~(d)의 결과에 의하면 peak 값이 같을 때 time bandwidth 와 청음평가의 결과는 어떤 상관된 경향이 없다. 그러나 동일 time band width 에서 청음 평가의 차이가 나타나는 것은 speed step 차이의 영향이다.

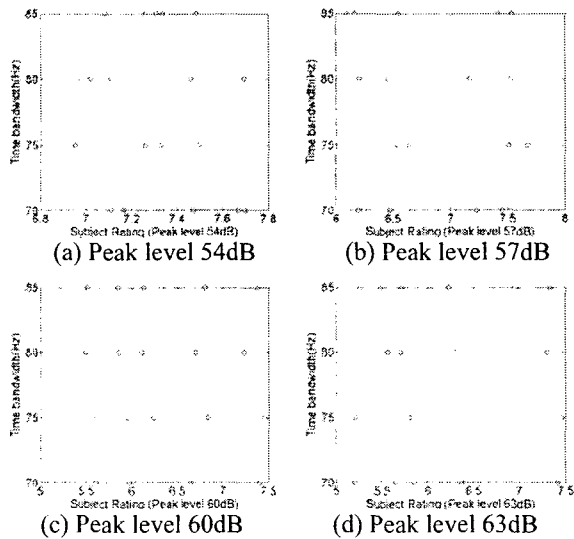


Fig.7 The correlation between Time band width (time interval) at peak level and subjective rating when fixed peak amplitude.

4.2 Same speed step 일 때의 액슬소음

(1) 음압증가에 따른 액슬 소음 음질특성

Fig.8 은 액슬 소음의 속도변화를 고정시켰을 때 peak 의 레벨과 소음구간길이가 각각 (54dB, 57dB, 60dB, 63dB), (70Hz, 75Hz, 80Hz,85Hz) 인 신호를 나타낸다. Fig.9(a)~(e)의 결과에 의하면 peak level 과 청음 평가 결과는 반비례의 모습을 보인다. 그리고 Fig.9(f)는 Fig.9 (a)~(e)의 결과를 한곳에 나타낸 것이며 speed step 이 증가하면서 결과가 왼쪽으로 이동하는 것을 알 수 있다. 즉 speed step 이 증가하면서 청음평가 결과가 낮게 나온다는 것을 말한다. 따라서 peak level 과 speed step 은 axle gear whine 소음에 중요하게 영향을 미친다.

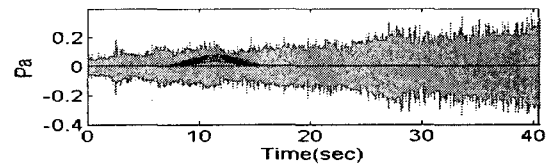


Fig. 8 the making process of same speed step signal

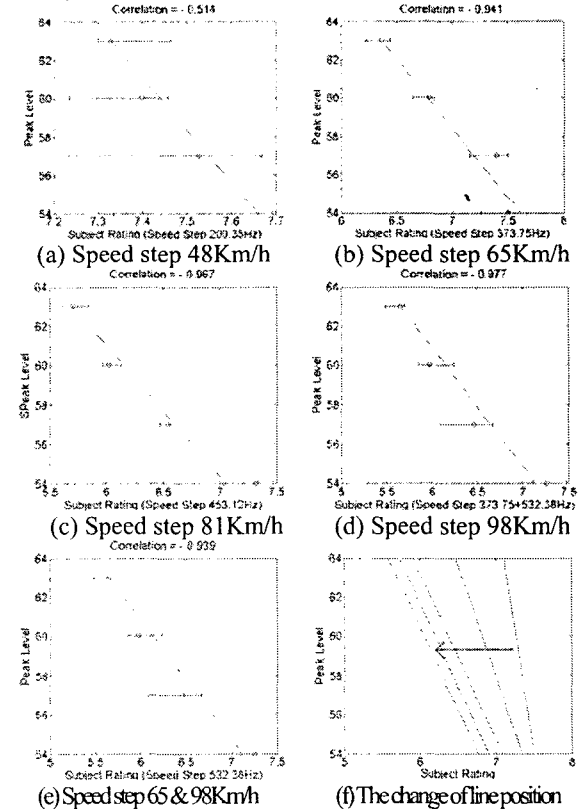


Fig. 9 The correlation between peak level at speed step and subjective rating when fixed speed step

(2) 소음구간길이 변화에 따른 액슬소음 음질특성

Fig.10(a)~(e)은 위의 경우와 같이 Fig.6 에서 동일 배경 소음 하에 Time shift 가 같을 경우의

합성 신호에 대한 청음평가 결과를 나타내며 time band width(Duration)에 따른 평가 값과의 상관관계이다. Fig.10(a)~(e)에 의하면 동일 speed step 에서 time band width 변화에 따른 청음 평가결과와의 상관성이 없음을 알 수 있다.

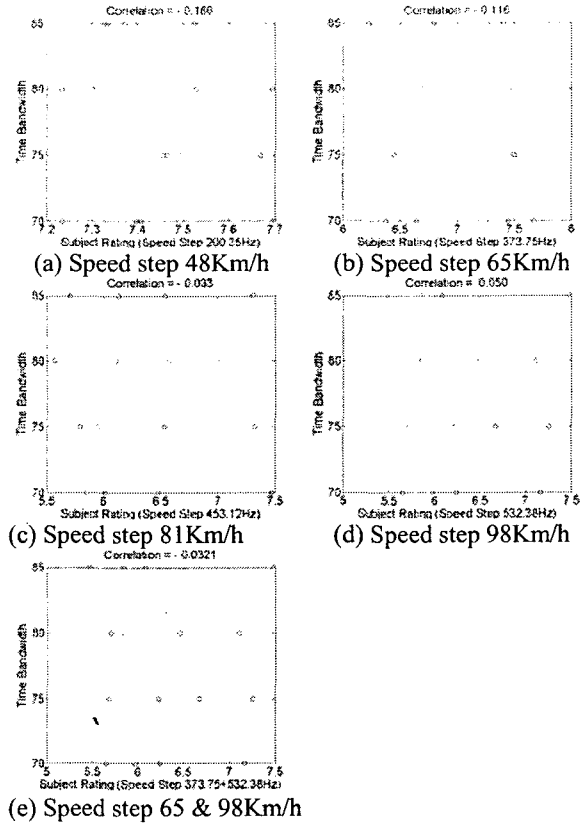


Fig. 10 The correlation between Time band width(Time interval) at speed step and subjective rating when fixed speed step.

그러나 동일 time bandwidth 에서 청음 평가결과의 차이가 나는 것은 peak level 의 변화에 의한 것이다.

### 4.3 Same time bandwidth(Duration)일 때의 액셀 소음

#### (1) 속도변화(speed step)에 따른 액셀 소음 음질 특성

Fig.11 은 액셀 소음의 duration 을 고정시켰을 때 peak 의 위치가 1, 2, 3, 4 인 신호를 나타낸다. Fig.12(a)~(d)은 기어소음의 time Duration 이 70Hz, 75Hz, 80Hz, 85Hz 로 고정되어있을 때 속도 변화에 따른 청음평가 결과와의 상관도이다. Fig.12(a)~(d)에서 Y 축의 1, 2, 3, 4, 5 는 액셀 소음의 peak 위치를 나타내며 Table 2 과 같다. Fig.12(a)~(d)의 결과를 보면 Speed step 5 의 위치부터 1 로 낮아질수록 청음평가 값의 분포를

보면 점점 좁아지는 향아리의 모습을 하고 있다. 위의 경우 time band width(time interval)가 각 그래프마다 고정되어있기 때문에 각 speed step 에서의 평가 값의 분포는 peak level 의 분포와 같은 것이다. 그런데 speed step 5 에서 1 로 주 과 위치일수록 peak level 값에 민감하게 반응한다는 결과를 얻어낼 수 있다.

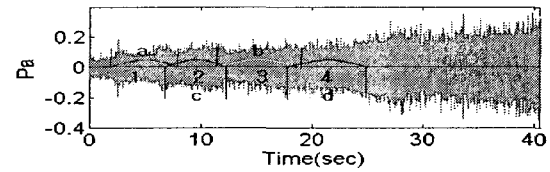


Fig. 11 the making process of Same duration signal.

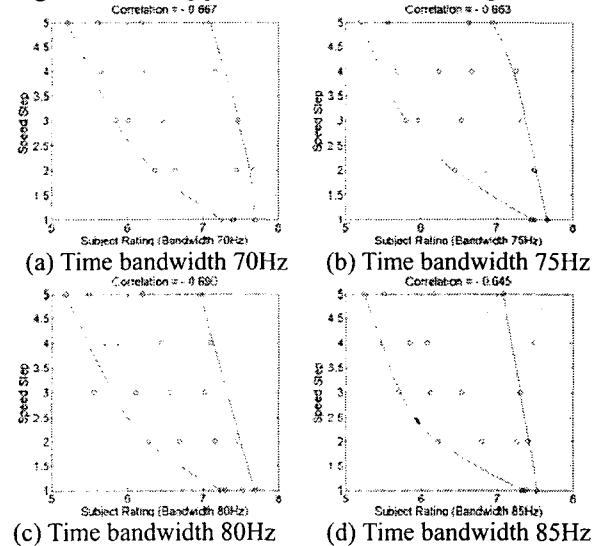


Fig. 12 The correlation between speed step(time shift) at Time band width and subjective rating when fixed Time band width

#### (2) 음압증가에 따른 액셀 소음 음질특성

Fig.13(a)~(d)는 Fig.12 와 같은 상황에서 각 peak level 값과 평가 값과의 상관관계 이다. Fig.13(a)~(d)의 결과를 보면 앞의 결과와 같이 높은 peak level 로부터 peak level 이 낮아질수록 청음평가 값의 분포를 보면 점점 좁아지는 향아리의 모습을 하고 있다. 그러므로 청음 평가자 들은 고주파일수록 peak level 에 대한 민감한 반응을 보이는 것을 알 수 있다. 위의 경우 time band 청음평가 값의 분포를 보면 점점 좁아지는 향아리의 모습을 하고 있다. 그러므로 청음 평가 자들은 width(time interval)가 각 그래프마다 고정되어 있기 때문에 각 peak level 에서의 평가 값의 분포는 speed step 의 영향으로 인한 것이다.

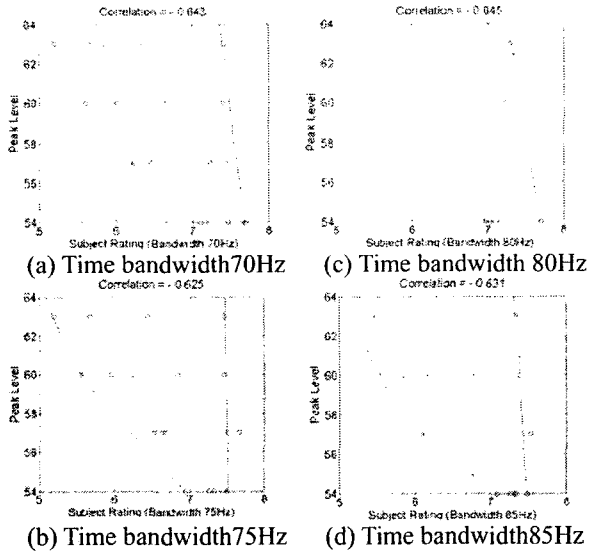


Fig. 13 The correlation between peak level at Time band width and subjective rating when fixed Time band width.

### 5. 결론

음질 인덱스 개발을 위하여 주관적인 요소인 청음 평가와 객관적인 요소인 음질요소와의 연관성을 알아본 본 연구에서 임상실험 결과와 음질요소의 상관성을 분석한 결과 dB, dB(A), dB(B), dB(C), dB(D), Stevens6, Stevens7, Loudness, AI 의 계수가 높게 나타난다는 것을 알았다. 독립적인 음질요소를 구분하기 위하여 음질요소간의 일치도 계수를 구해본 결과 Loudness 와 AI 를 음질인덱스 개발을 위한 인자로 선정할 수 있었다. 또한 액슬 소음자체의 특성과 청음평가의 결과와의 관계를 분석한 결과 peak 레벨의 경우 60dB 이상일 경우 평가의 정확성이 증가한다는 것을 알 수 있었고 speed step 의 경우 저주파에서 고주파로 갈수록 청음 평가자 들이 액슬 소음에 대한 인지가 커진다는 것을 알 수 있었다. 하지만 duration 의 경우에는 청음평가 결과와 아무런 상관성이 없음을 알 수 있었다. 그러므로 음질인덱스 개발 시 duration 은 중요한 요인으로 작용하지 않을 것이다. 결론적으로 SUV 차량의 액슬소음 음질인덱스를 개발을 위해서는 음질요소 (Loudness, AI) 와 액슬소음의 특성 (Peak level, speed step)를 고려하여야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 다이모스(주)의 산학연구비와 미래형 자동차의 핵심기반기술(과제번호 10023237) 연

구비로 수행 되었습니다.

### 참고문헌

- (1)Blommer M.,N. Otto, G. Wakefield, B. J. Feng and C. Jones, 1995.Calculating the Loudness of Impulsive Sounds, 951311, SAE Noise and Vibration Conference.
- (2)S. K. Lee, et.al, 1993,"Identification of the relation between crankshaft bending and interior noise of A/T vehicle in idle state", SAE930618(SP-972).
- (3)이상권, 최병욱, 여승동, 1993, "차량의 실내소음 저감 및 음질 향상을 위한 Power Plant 진동 개선에 관한 연구", 한국 자동차 공학회 논문집, 제 1 권 2 호, p77-88.
- (4)S. K. Lee, et.al,1994, "Weight reduction and noise refinement of HYUNDAI 1.5Liter Powerplant," SAE940995.
- (5)Zwicker E. and H. Fastl, 1990, "Psychoacoustics, Facts and Models," Springer-Verlag, Berlin.
- (6)Zwicker E., H. Fastl, and C. Dallmayr, 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.
- (7)강봉규 저, 1994, "통계학-연구자료처리의 통계적 방법- " 형설출판사.
- (8)Oran Brigham," The Fast Fourier Transform And Its Applications" ,PrenticeHall.
- (9)Hagan Demuth Beale," Neural Network Design, Thomson Learning.
- (10)Steve Becker and Scott X. Yu 1999 "Gear Noise Rating Prediction Based on Objective Measurement" , SAE 1999-01-1720
- (11)허덕재 등,2000, " 차량실내소음의 음질 분석 및 모델화 ",소음진동공학회지, 제 10 권 제 2 호, pp.254-260