

# 신 개발 차종에 대한 소비자 음질평가 예측에 관한 연구

## The Research for Predicting Customer's Evaluation of Sound Quality for a New Vehicle

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

**Key Words** :Factor Analysis(주인자 분석), Sound Quality(음질), Sound Quality Metrics(음질요소), Rating Method(레이팅 방법), Brand Sound(브랜드 사운드), Artificial Neural Network(신경 회로망)

### ABSTRACT

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 interior sound quality of passenger cars. Therefore, the aim of this research is to predict the customer's evaluation of a new vehicle. There are two major research works to achieve this goal in this research. The first one is to search questionnaires about the sound quality, which customers prefer, to identify the relationship between these questionnaires and sound metrics that is a psychoacoustics parameters, and to development sound indexes for the questionnaires. All tests for this work is proceed on the road test during acceleration. The second one is to balance the sound component (engine noise, booming noise, road noise and wind noise) of a passenger. This wok will be tested on the constant speed. All of research results will be contributed to the development of brand sound quality of a new passenger car.

## 1. 서론

자동차 실내 소음에 대한 연구는 소음의 음압을 저감하는 측면과 음질의 향상이라는 측면에서 연구 되어 왔다. 소음의 저감 이란 주로 법규의 만족을 주로 고려하며, 덧붙여 탑승자의 최소 요구 수준까지를 고려하는 것이다. 하지만 이러한 연구는 세계의 수많은 자동차 업체들이 이러한 기술을 확보한 상태이며, 또한 소비자의 욕구가 단순히 자동차 실내 소음의 저감에만 만족하지 않고 좀더 좋은 자동차 실내소음을 요구하고 있다. 따라서 많은 자동차 회사들은 음질에 관심을 가지게 되었고, 자동차 실내소음에서 음질이 중요한 요소로 자리 잡게 되었다. 국내에서도 이러한 시대적 요청에 따라 자동차 실내 소음에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며 그 중에서도 자동차의 음질 향상과 그 자동차 회사만의 Brand Sound 연구를 많이 하고 있다. 이러한 세계적인 흐름 속에서 자동차 음질의 개선을 위하여 문제가 되는 여러 가지 음색에 대한 표현을 새롭게 정립 하고, 차종에 대한 브랜드 사운드를 최종적으로 모색하기 위해

서는 다양한 차종 음색에 대한 임상 실험과 분석이 필수적이다. 따라서 다양한 자동차 실내소음을 통하여 자동차 가속 실내소음을 일반적으로 표현할 수 있는 질의어를 찾아 내고, 임상실험을 통하여 질의어에 적절한 음질 표현을 구체화 하는 연구가 수행하였다. 또한 자동차의 정속 소음에 대해서는 자동차의 주요 소음원을 실내소음에서 분리하여 분리된 소음원의 실내소음의 기여도를 파악하고 주파수 영역에서 다양한 인공신호를 조합하여 음질이 우수한 실내 소음의 조합을 찾아내는 연구를 하였다. 우선 본 논문에서는 가속소음의 음질 연구에 관한 내용만 서술하기로 한다.

## 2. 질의어 선정을 위한 청음평가

### 2.1 차량 실내 소음의 녹음

사람의 실제 청감을 묘사하기 위해서 Binaural Sound 형태의 소음을 녹음하였다. 데이터 녹음을 위한 장비로는 Head Acoustics 사의 Artificial Head Measurement System 을 조수석에 위치시켜 소음을 녹음하고 Engine Tacho Signal 을 동시에 기록하였다. 주행시험은 남양 승용 연구소 직선 주행로에서 실시되었다. 본 실험을 위해서 총 9 개의 차량 소음이 녹음되었으며, 추후 인덱스 제작을 위해서 추가적으로 21 개의 차량 소음을 녹음하였다. 주행시험은 자동변속기 차량으로

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

\* 인하대학교 대학원 (현 LMS Korea)

\*\* 현대자동차 남양연구소

2 단으로 고정시킨후 엔진 회전속도를 1500rpm 에서 5500rpm 까지 와이드 오픈으로 실시하였다. 수집된 소음데이터는 LMS 사 CADA-X (Version 3.5D) 의 Test Monitor 모듈을 이용하였다. HMS system 에서 수집된 데이터는 주간적 평가를 위하여 3000rpm 을 기준으로 5 초동안의 신호를 선택하였다. Fig.1 은 질의어 선정을 위해 준비된 9 개 차종의 rpm 구간을 나타낸다.

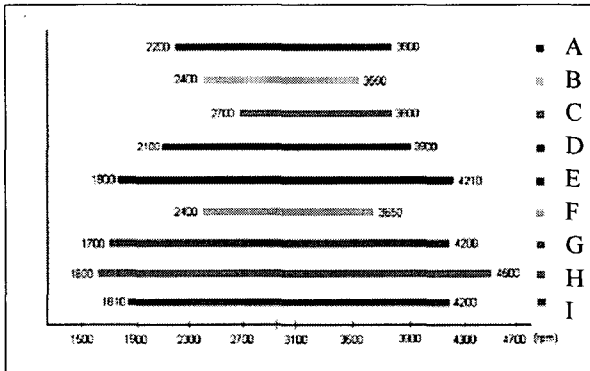


Fig. 1 Information of the processing car sound

2.2 차량의 실내소음을 표현하는 질의어

자동차 실내소음에 대한 음질 인덱스를 제작하기 위해서는 주관적 질의어 선정이 선행되어야 하고 매우 중요한 부분이다. 따라서 현재까지 연구된 문헌 바탕으로 자동차 소음에 대한 표현어를 선정하였으며, 표현어를 통한 청음평가 결과값을 바탕으로 주인자 분석을 했으며, 그 분석 방법은 SAS 프로그램의 PROC FACTORS 의 틀을 이용했다. 주인자 분석시 질의어 도출 방법은 10 개의 질의어에 대해 서로 상관관계가 높은 변수를 함축하여 상관관계가 없는 새로운 factor 를 형성함으로써 변수의 수를 함축적으로 줄이고 직접 관찰할 수 없는 요인을 확인한다. 분석에서 singular value 가 1.0 이상인 factor 를 선택하고, factor 와 상관관계가 0.7 이상인 표현어를 그룹화 하여 새로운 질의어를 도출했다. Table. 1 은 질의어 선정을 위해 사용된 표현어들을 나타내고 있다.

Table. 1 Adjective phrases of this research

시끄러운-조용한	탁한-맑은	박력있는-박력없는
매끄러운-거친	값싼-고급의	무거운-가벼운
부우밍있는-없는	불쾌한-유크한	부드러운-날카로운
약한-힘있		

질의어 선정을 위해 Table.1 에서 선택된 표현어에 대하여 청음평가를 실시하여 결과값을 바탕으

로 인자 분석을 통해 factor 를 찾아내고 그 후 factor 와 상관 관계가 높은 음질 표현어의 군을 찾아내어 그 음질 표현어의 군에 적당한 질의어를 명명해 주었다. Table.2 는 9 차종에 대하여 연구자들의 논의와 검토 결과 명명된 질의어이다. 각 질의어와 상관관계가 높은 음질 표현어의 집합을 보여주고 있으며, explained variance 값을 나타내고 있는데 explained variance 는 실내소음 전체를 100 으로 보았을 때 각각의 질의어가 실내소음을 대표하는 정도를 나타낸다. Fig.2 는 차량의 실내소음 표현어에 대해 주인자 분석을 하여 고유값을 보여주는 그림으로 차량의 실내소음은 주요하게 3 개의 질의어로 표현될 수 있음을 시사하고 있다. 차종마다 실내소음을 표현하는 질의어가 달랐지만 그 중에서도 공통적으로 나타나는 질의어를 발견할 수 있었고, 전체 차종에 적용 가능한 질의어를 refined (잘다듬어진 소리), powerful (힘찬 소리), bright (경쾌한 소리)로 압축 하였다. 질의어의 선정은 상관관계가 높은 표현어 중에서 대표할 수 있는 표현어를 선택하거나, 인자를 잘 표현 가능한 새로운 질의어를 결정하게 된다.

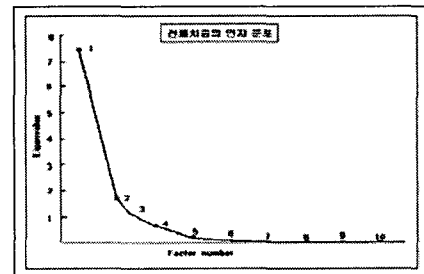


Fig. 2 The factor number of passenger cars

Table. 2 Factor analyses for passenger cars used for test

음질 표현어	Factor1	Factor2	Factor3
값싼:고급의	92	36	11
불쾌한:유크한	88	46	-2
날카로운:부드러운	86	22	-42
거친:매끄러운	78	42	-37
시끄러운:조용한	70	51	-48
탁한:맑은	68	70	-3
부우밍있는:없는	64	75	-11
무거운:가벼운	39	91	-2
박력없는:박력있는	-1	11	98
약한:힘있는	-26	-60	74
주관적 질의어	Refined	Bright	Powerful
Variance Explained (%)	46.8	31.7	21.5

### 3. 자동차 실내소음 질의어 음질 인덱스

#### 3.1 청음 평가

2 장에서 도출한 자동차 실내소음 질의어에 대해 각각 인덱스를 제작하기 위해서는 각 질의어에 대한 청음평가가 필수적이다. 따라서 청음평가를 위해 질의어 도출에 사용된 소음 9 개와 추가적으로 녹음한 21 개의 소음, 총 30 개의 소음에 대해 청음평가를 실시 하였다. 총 30 개의 소음에 대해 레이팅방법(Rating method)을 이용하여 30 명의 청음자가 평가하였으며 30 명에 대한 인원구성은 table. 3 과 같다. 레이팅방법의 평가 점수는 SAE 학회에 규정된 4~9 점 방식을 사용하였고, 소음의 재생은 Head acoustics 사의 playback system 을 통하여 헤드폰으로 전달되며, 재생순서는 랜덤으로 구성하였다. Table.3 의 전문가는 소음진동 전문가를 나타낸다.

Table. 3 The organization about sound evaluators

평가자		인원
성별	남(20~29)	여(20~29)
비전문가	8	15
전문가	7	0

평가자는 30 개의 소음에 대해 레이팅 방법으로 다음의 3 가지 질의어에 대한 평가를 하였다.

1. 잘다들어짐의 정도 (Refined Level)
2. 힘찬 소리의 정도 (Powerful Level)
3. 경쾌한 소리의 정도 (Bright Level)

청음 평가에 사용된 30 개 소음의 객관적특성을 알아보기 음질요소를 계산하였으며 LMS 사 CADA-X( Version 3.5D)의 Test Monitor 모듈을 이용하였다. 주요하게 사용된 음질요소는 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 러프니스(roughness), 변동강도(fluctuation strength)이며 임펄시브니스, PSIL, SIL, Kurtosis, Peak 등을 사용하였으며 각 계산된 음질 요소의 값은 소음의 평균값이다.

#### 3.2 Refined 청음평가 결과 및 음질 인덱스

Refined 라는 실내소음의 표현어에 대해 30 명의 평가자에게 청음평가를 실시하고 인덱스를 제작하기 위해 우선 음질 요소와의 관계를 고찰해 볼 필

요가 있다. 음질 인덱스를 구현하기 위해 사용된 신경회로망에 각 음질 요소가 입력값으로 사용되어지므로 비선형, 선형적인 상관성이 있음이 확인되어져야 하기 때문이다. Fig.3 은 4 개의 주요 음질요소와 Refined 와의 상관관계를 보여주는 그림이다.

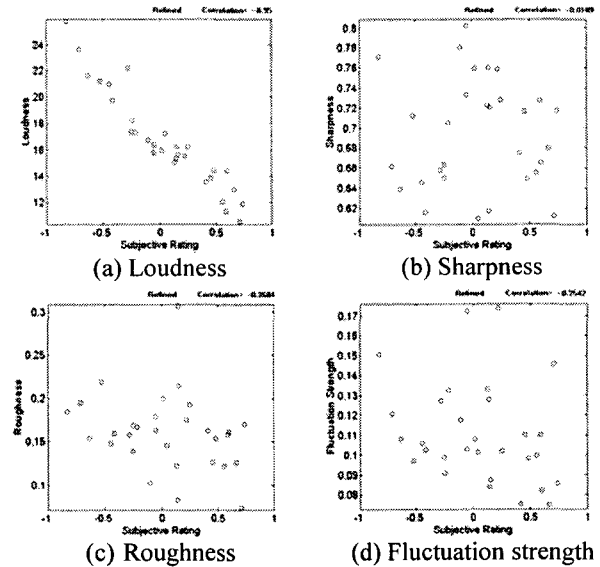


Fig. 3 Sound metrics for refined sound

일반적으로 두 데이터의 상관관계를 통해 인덱스를 제작하는 과정은 선형회귀법이나 다항회귀분석법, 신경회로망 기법을 사용한다. 그런데 자동차 실내소음의 질의어는 여러개의 음질요소의 조합에 의해 비선형적 관계가 있으므로 본 연구에서는 다층 신경회로망을 이용하였다. 본 연구에 사용된 신경회로망은 역전파 알고리즘을 사용하여 6 개의 뉴런(neuron)을 갖는 은닉층과 2 개의 뉴런을 갖는 출력층으로 구성된다. 2 차원 음질인덱스를 위해 사용된 신경회로망을 수식적으로 표현하면 식(1)과 같다. 식(1)에 사용된 함수는 tansig 함수와 purelin 함수이며 입력값으로 여러가지 음질 요소를 사용하였다.

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

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

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

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

Refined 음질 인덱스 제작을 위해 입력값으로는 라우드니스(L)와 충격도(peak)를 사용하였다. 신경망 회로의 은닉층의 개수와 은닉층 노드의 개수 및 출력층 노드의 개수는 각각 은닉층은 1 개, 은

닉층 노드의 개수는 4 개, 출력층 및 출력층 노드의 개수는 각각 1 개를 사용하였다. Fig.4(a)는 신경망 회로 출력값과 청음평가 결과를 상관도가 97%임을 나타내며 Fig.4(b)는 검증을 실시한 결과 98%의 상관성이 있음을 나타낸다.

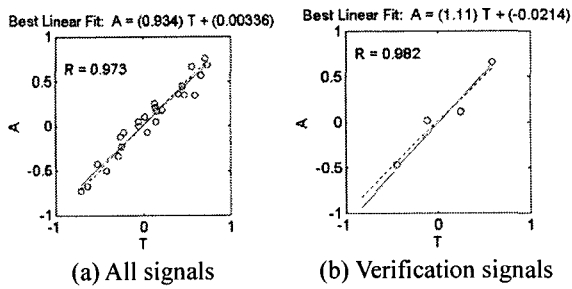


Fig. 4 Correlations between the output of ANN and the subjective rates in refined sound

Fig.5 는 Refined 와 상관성이 가장 많은 라우드니스와 Imp 를 이용하여 음질 등고선을 구현하고 각 차량의 위치를 등고선에 나타냄으로써 차량의 실내소음중 Refined 를 향상시키기 위한 방안을 모색할 수 있다.

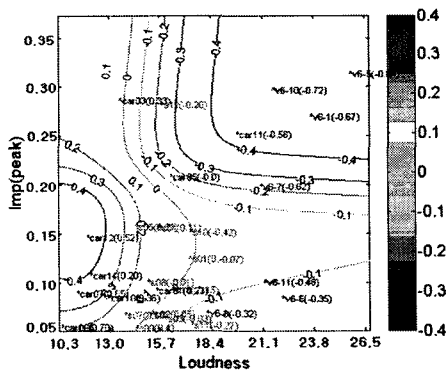


Fig. 5 Refined Contour between L and I

### 3.3 Powerful 청음평가 결과 및 음질 인덱스

Powerful 의 청음평가를 분석하는 방법은 3.2 의 Refined 와 동일하며 음질 인덱스 구현 방법 또한 유사하다. Fig.6 은 4 개의 주요 음질요소와 Powerful 과의 상관관계를 나타내고 있다. 음질 인덱스 제작시 입력값은 라우드니스(L)와 변동강도(F)를 사용하였고, 은닉층은 1 개, 은닉층 노드의 개수는 4 개, 출력층 및 출력층 노드의 개수는 각각 1 개를 사용하였다. Fig. 7(a)는 신경망 회로 출력값과 청음평가 결과의 상관관계가 98%임을 나타내고 있고, Fig. 7(b)는 추가적으로 사용된 5

개의 신호의 검증을 실시한 결과 96%의 상관성이 있음을 나타낸다. Fig.8 은 Powerful 과 상관성이 가장 높은 라우드니스와 변동강도를 이용하여 음질 등고선을 구현하고 각 차량의 위치를 등고선에 나타냈다.

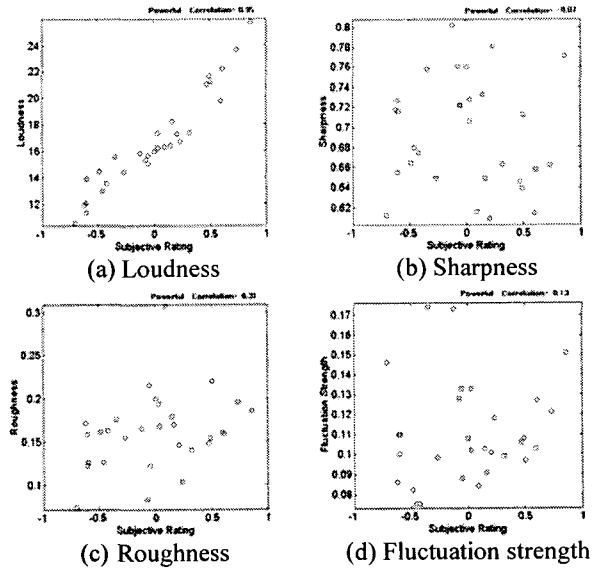


Fig. 6 Sound metrics for powerful sound

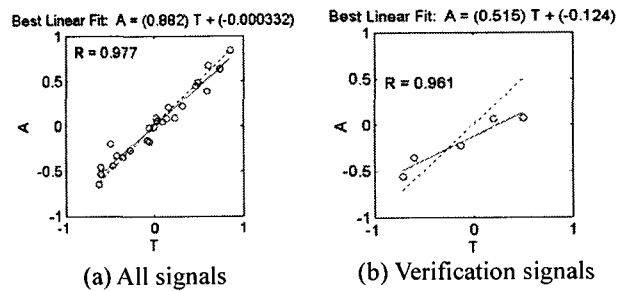


Fig. 7 Correlations between the output of ANN and the subjective rates in powerful sound

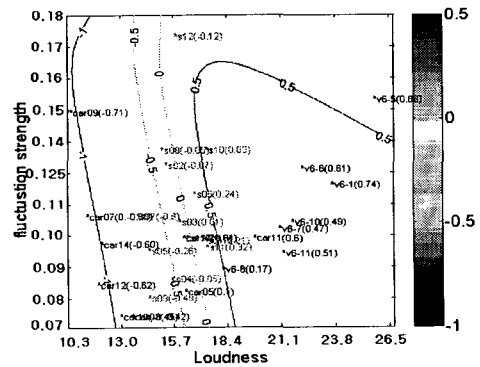


Fig. 8 Powerful Contour between L and F

### 3.4 Bright 청음평가 결과 및 음질 인덱스

3 개의 자동차 실내소음을 표현하는 질의어중 마지막으로 Bright 에 대한 청음 평가를 실시하여 각 음질요소와의 상관관계를 살펴보고 이를 이용하여 음질 인덱스를 구현하여 각각의 가중치 값을 구하였으며, 추가적으로 가장 상관성이 높은 음질 요소 2 개를 이용하여 이차원적인 음질 등고선을 만들었다. Fig.9 는 주요 음질요소와 Bright 와의 상관관계를 나타내며 음질 인덱스 제작시 입력값은 라우드니스(L)와 러프니스(R)를 사용하였고, 은닉층은 1 개, 은닉층 노드는 8 개, 출력층 및 출력층 노드는 각각 1 개를 사용하였다. Bright index 의 제작시 상관관계가 73%를, 임의의 5 개 실내소음에 대한 검증결과는 96%임을 확인하였다. Fig.11 은 Bright 와 상관성이 가장 높은 라우드니스와 러프니스를 이용하여 음질 등고선을 구현하고 각 차량의 위치를 등고선에 나타냈다.

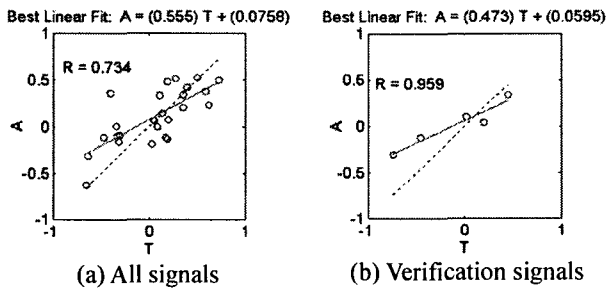


Fig. 9 Sound metrics for bright sound

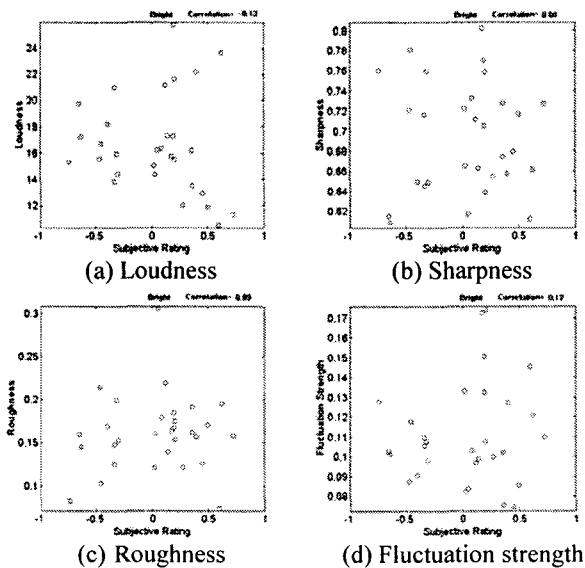


Fig. 10 Correlations between the output of ANN and the subjective rates in bright sound

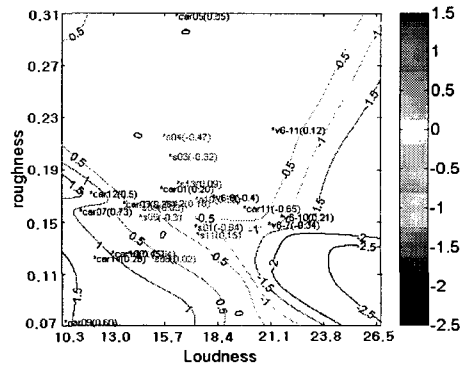


Fig. 11 Bright Contour between L and R

## 4. 결과

앞의 3 개의 음질 인덱스를 구현하는데 학습에 사용된 자동차 소음은 30 개이고 검증에 사용된 자동차 소음은 5 개로 총 35 개의 자동차 실내소음을 사용하였다. 또한 학습에 사용된 소음의 구간은 2 단 3000rpm 을 기준으로 5 초길이의 신호이다. 신경망 회로는 학습데이터가 많을 수록 더 정확한 값을 얻을 수 있기 때문에 만약 더 많은 자동차 소음을 학습과정에 사용하였다면 더 좋은 결과를 얻었을 것이다 본 연구에서 사용된 3 개의 질의어의 인덱스 구현시 사용된 30 개 자동차 소음 라우드니스 구간이 너무 넓어서 인덱스 및 차량 점수가 라우드니스에 지배적임을 알 수 있다.

3 개의 음질 인덱스 중에 Bright 의 학습결과가 약 73%로 다소 다른 인덱스에 비해 나쁘다. 이런 현상의 이유는 Bright 의 경우는 여러 개의 음질 요소중 지배적으로 영향을 주는 음질 요소가 없기 때문으로 판단된다. 신경망 회로를 통해 구현된 음질 인덱스를 임의의 차량에 적용하기 위해서는 학습에 사용된 소음과 동일한 조건으로 가공하여 그 값을 구해야만 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또한 음질 인덱스 구현에 지배적이었던 라우드니스의 경우, 학습에 사용된 30 개 소음의 라우드니스 구간이 10sone~25sone 이었으므로 임의의 차량 라우드니스의 값이 범위안에 있다면 더욱 좋은 결과를 기대할 수 있을것이다.

3 개의 음질 인덱스를 구현하면서 문제점으로 판단 되어지는 것은 라우드니스가 너무 지배적이라는 것이다. 이는 차량을 등급화 하지 않고 고급 차량과 중형차량을 혼합하여 사용하고 그에 따라 라우드니스 차가 너무 커서 평가자들이 라우드니스를 기준으로 평가했기 때문으로 분석된다. 그리

고 기존의 객관적 음질인자만을 통해서 자동차 소음을 평가하는 것에는 한계가 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이후의 연구는 타겟 차량을 선정하고 그와 동급인 차량을 분석함으로써 자동차 소음에 영향을 미치는 인자가 라우드니스 이외에 무엇인지 밝히는 것이 필요하며, 더불어 자동차 소음을 잘 표현 가능한 객관적 음질 인자를 찾아내는 연구가 필요하겠다.

## 후 기

본 연구는 현대 기아자동차의 산학 연구비와 미래형 자동차의 핵심 기반기술(과제번호 10023237) 연구비로 수행되었습니다. 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) 박동철, 정승균, 2002, “승용차의 음질 개발에 관한 연구”, 소음진동공학회지, 12(5), pp342~350
- (2) 이상권, 2002, “인간의 감성과 인공 신경회로망을 이용한 음질 인덱스 개발에 관한 연구”, 소음진동공학회지, 12(5), pp351~357
- (3) Sang-Kwon Lee, Hee-Chang Chae, Dong-Chul Park and Seung-Gyoon Jung, 2003, “Booming Index Development of Interior Sound Quality on a Passenger Car Using Artificial Neural Network”, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 13(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., Sugimoto, G., 1998, “Objective Rating of Rumbling in Vehicle Passenger Compartment During Acceleration” proceeding 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,