자동차 가속음질에 대한 심리음향적 분석과 뇌파응용 음질 평가

Psychoacoustical Analysis and Application of Electroencephalography(EEG) to the Sound Quality Analysis for Acceleration Sound of a Passenger Car

이 승 민*. 이 상 권†
Seung-Min Lee and Sang-Kwon Lee

(Received December 24 10, 2012 ; Revised March 4, 2013 ; Accepted March 4, 2013)

Key Words : Psychoacoustical(심리음향), Electroencephalography(뇌파), Acceleration Sound Quality(가속음질), Passenger Car(승용차), Physiological Acoustics(생리 음향학)

ABSTRACT

This paper presents the correlation between psychological and physiological acoustics for the automotive acceleration sound. The research purpose of this paper is to evaluate the sound quality of acceleration sound of a passenger car based EEG signal. The previous method for the objective evaluation of sound quality is to use sound metrics based on psychological acoustics. This method uses not only psychological acoustics but also physiological acoustics. For this work, the sounds of 7 premium passenger cars are recorded and evaluated subjectively by 33 people. The correlation between the subjective rating and sound metrics is calculated based on physiological acoustics. Finally the correlation between the subjective rating and the EEG signal measured on the brain is also calculated. Throughout these results the new evaluation system for the sound quality on the automotive acceleration sound of a passenger car has been developed based on bio-signal.

1. 서 론

차량이 출발하기 시작하고 속도를 얻기 위해 가속을 할 때, 차량에서는 가속소음이 발생하게 되고, 발생한 가속소음은 인간의 인식에 영향을 끼치게 된다. 이러한 가속음에 대한 음질 평가는 중요한 일이며 지난 십년간 이 주제에 대해 연구가 이루어지고 있다^(1~4). 이러한 연구는 오직 심리음향을 바탕으로 연구되어 왔다. 이런 연구들은 승용차의 내부소음 음질 개선에 기여를 했지만 평가방법이 인체의 생리

적 반응과 직접 관련된 것은 아니다. 따라서 기존의 심리음향을 기반으로 한 음질요소뿐만 아니라 생리적 반응이 인간의 인식에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다.

따라서 이 논문에서는 먼저 심리음향 음질요소가 인간의 인식에 어떠한 영향을 미치는지 간단하게 소개하고 가속 소음에 대한 뇌의 반응을 분석하기 위하여 뇌파(EEG) 신호를 측정하였다. 측정된 뇌파는 생리음향 음질요소로서 인간의 인식에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다.

마지막으로 심리음향 음질요소와 생리음향 음질

* Corresponding Author ; Member, Department of Mechanical Engineering, Inha University
E-mail : sangkwon@inha.ac.kr
Tel : +82-32-860-7305, Fax : +82-32-860-1716

* Member, Department of Mechanical Engineering, Inha University

† Recommended by Editor Jin Oh Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

요소를 비교하여 생리음향 음질요소가 음질을 평가할 수 있는 새로운 요소가 될 수 있는지 확인해보았다. 이러한 점은 앞으로 생리음향을 기반으로 한 음질요소와 생리적 조건의 상관관계에 대한 설명으로 사용될 수 있다.

2. 소리 녹음 및 주관적 평가

2.1 가속소음의 녹음

연구용 차량은 한국, 일본, 유럽회사의 고급승용차이다. 고급차 7대의 가속소음을 측정하였다. 이 소리들은 Head Acoustic사의 binaural head로 녹음되었다. 마이크로폰은 1/2 inch로 binaural head내부에 장착되어 있다. 측정된 아날로그 데이터는 44.1 kHz의 sampling frequency로 디지털 데이터로 변환되었다. 이 디지털 데이터는 Head Acoustic사의 playback system으로 재생되었다.

2.2 주관적 평가

녹음된 소리의 주관적 평가를 위해서 고급차 클럽 회원 33명이 참가하였다(남자 29, 여자4). 실험에 참여한 사람의 나이는 20~30세 사이였다. 청력검사 후, 그들은 현대자동차 연구소에서 7대의 시험용 차를 모두 운전하고, 실험실에서 녹음된 소리를 평가하였다. 주관적 평가를 위해 rating method가 사용되었다. 평가한 데이터를 사용하기에 앞서, 평가한 점수의 정확성을 높이기 위해 상자수염도(box-whisker plot)를 사용하여 데이터를 필터링했다. 상자수염도는 집단분포를 비교하기 위하여 사용되는 그래프로 중앙값, 사분위 위치(상자 끝단), 특이점 존재 여부를 그려놓은 상자 형태의 그래프이다. 특이점이란 자료의 무리로부터 비정상적으로 떨어져 있는 관측치를 말한다. 어떤 것이 특이점인지 구분하는 것은 사용하는 방법에 따라 달라지겠지만 한 가지 보편적인 방법은 사분위 범위의 배수를 사용하는 것이다. 예를 들면, 어떤 점의 위치가 어느 방향이든지 상자로부터 사분위 범위의 1.5배를 넘는 곳에 있으면 그 관측치는 특이점으로 판정할 수 있다. 이 논문에서 사분위 범위의 1.5배를 넘는 데이터를 특이점으로 판정하고 특이점들을 지워 나가는 방식으로 데이터를 필터링 하였다. Fig. 1은 평가한 데이터를 필터링 하기 전과 필터링 한 후의 데이터의 상자수염도이다.

Fig. 1 Box-whisker plot (a) before filtering (b) after filtering

Fig. 2 Average and deviation value of subject rating after filtering

주관적 청음평가에 대해서 필터링 전 후 데이터의 평균을 Table 1에 정리하였고, 필터링 후 데이터의 평균과 편차를 Fig. 2에 표시하였다.

Table 1 Average value of subject rating before and after filtering

Vehicle	Before filtering	After filtering
A	7.637	7.856
B	7.958	8.053
C	7.389	7.593
D	7.472	7.459
E	7.256	7.290
F	6.107	5.997
G	6.875	6.767

3. 심리음향 음질요소

음질요소는 사람이 듣는 청감을 평가하는 객관적인 요소이다. 라우드니스는 소리의 크기에 대한 음질요소이고 샤프니스는 날카로운 느낌에 대한 음질요소이며 러프니스는 거친 느낌에 대한 음질요소이다^(5,6).

3.1 라우드니스

라우드니스(loudness)는 주관적으로 느끼는 소리의 크기를 의미하는 청감으로 정의된다. 라우드니스를 계산하기 위한 여러 모델(Zwicker, 1999; Stevens, 1971; Moore and Glasberg, 1996)이 존재한다⁽⁷⁾. 이 논문에서는 임팩트 소음의 라우드니스를 계산하기 위해 Zwicker(1999) 모델을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{If } L \geq 40 \text{ dB, } N &= 2^{(L-40)/10} \text{ (sone)} \\ \text{If } L < 40 \text{ dB, } N &= \left(\frac{L}{40}\right)^{2.86} - 0.0005 \text{ (sone)} \end{aligned} \quad (1)$$

라우드니스는 폰(phon)과 손(sone)의 단위를 가지고 있다. 1 손은 1 kHz에서 40 dB를 가지는 순음의 라우드니스 값이다.

3.2 샤프니스

샤프니스(sharpness)는 비 라우드니스의 주파수 분포에 의해 결정된다. Bismarck⁽⁸⁾와 Aures⁽⁹⁾가 샤프니스의 계산 모델을 제안하였고 이 논문에서는 Bismarck의 계산 모델을 채용하였다. 샤프니스의 계산 모델은 다음과 같다.

$$S = 0.11 \times \frac{\int_0^{24\text{Bark}} N' z g(z) dz}{\int_0^{24\text{Bark}} N' dz} \text{ (acum)} \quad (2)$$

여기서 N : specific loudness(하나의 임계 대역에 해당하는 라우드니스 값), $g(z)$: weight factor $0.006 e^{0.17z}$, z : critical band rate이다. 샤프니스의 단위는 acum이며, 1 acum은 60 dB, 1 kHz의 순음의 지각량을 의미한다.

3.3 러프니스

20 Hz 이상으로 진폭 또는 주파수 변조되는 소음의 경우에는 음의 크기 변화를 느끼지 못하며, 전체적인 거친 느낌을 제공한다. 이와 같은 청감을 러프니스(roughness)라고 정의하며, 단위는 asper를 사용한다.

$$R = 0.3 \times \frac{f_{\text{mod}}}{\text{kHz}} \times \int_0^{24\text{Bark}} \frac{\Delta L_E(z) dz}{\text{dB/Bark}} \text{ (asper)} \quad (3)$$

1 asper는 1 kHz순음이 70 Hz의 변조 주파수로 100%의 크기 변조될 때의 거친 정도를 나타낸다.

3.4 변동강도

20 Hz 미만으로 진폭 또는 주파수 변조되는 소음의 경우에는 정상 상태의 소음에 노출되어 있는 경우보다 짜증스러운 느낌을 갖게 된다. 이와 같은 청감을 변동강도(fluctuation strength)라고 정의하며 단위는 vacil을 사용한다.

$$F = \frac{0.008 \int_0^{24\text{Bark}} (\Delta L / \text{dB} \cdot \text{Bark}) dz}{(f_{\text{mod}} / 4\text{Hz}) + (4\text{Hz} / f_{\text{mod}})} \text{ (vacil)} \quad (4)$$

1 vacil은 1 kHz의 순음이 4 Hz의 변조 주파수로 100%의 크기 변조될 때의 변동 강도를 나타낸다.

3.5 심리음향과 주관적 평가의 상관도

Fig. 3은 심리음향 음질요소와 가속소음 주관적 평가간의 상관도를 나타낸다. 라우드니스와 샤프니스가 각각 64.7%($R^2=0.42$), 91.9%($R^2=0.83$)로 높은 상관도를 가진 반면 러프니스와 변동강도는 낮은 상관도를 보였다. 이 결과를 통해 가속소음과 라우드니스, 샤프니스에 대한 인간의 인식은 많은 관련이 있음을 알 수 있다. 하지만 라우드니스의 경우

Fig. 3 Correlations between the mean subjective ratings and (a) loudness (b) sharpness (c) roughness (d) fluctuation strength

데이터의 분포가 고르게 되어있는 반면 샤프니스의 경우는 7~8점에서 낮은 값에 편중되어 있어 데이터의 분포가 고르지 못하다. 따라서 라우드니스가 인간의 인식을 가장 잘 나타낸 요소라고 볼 수 있다.

4. 뇌파

4.1 뇌파의 개요

뇌파(EEG)는 뇌의 전기적인 활동을 머리 표면에 부착한 전극에 의해 비침습적으로 측정된 전기신호이다. 뇌파에 반영되는 뇌의 전기적 활동은 신경세포(neurons), 교세포(glia cells), 혈뇌장벽(blood-brain barrier)에 의해 결정되는데 주로 신경세포에 의해 발생한다. 이렇게 발생한 뇌파는 매우 복잡한 패턴으로 진동하는 파형형태로 보인다. 따라서 뇌파 파형 그대로를 시각적으로 관찰하는 것은 유용하지 않다. 흔히 뇌파를 관찰할 때 주파수에 따라 분류하는 파워 스펙트럼 분석을 이용한다. 파워 스펙트럼 분석은 뇌파가 특정 주파수로 진동하는 단순 진동들의 선형적 결합이라 가정하고, 이 신호에서 각각의 주파수 성분을 분해하여 그 크기(또는 파워)를 표시한 것이다. 일반적으로 뇌파는 진동하는 주파수의 범위에 따라 인위적으로 델타- δ 파(4 Hz 미만), 세타- θ 파(4~8 Hz), 알파- α 파(8~13 Hz), 베타- β 파(13~30 Hz),

Table 2 Characteristic and frequency band of each EEG wave

	Characteristic	Frequency band
δ	Delta waves appear in an unconscious state or some comatose states.	0~4 Hz
θ	Theta rhythms are observed during some states of sleep, and in states of quiet focus, such as meditation.	4~8 Hz
α	Alpha waves are periodically found to originate from the occipital lobe during periods of relaxation, with eyes closed but still awake.	8~13 Hz
β	Beta waves are usually associated with normal waking consciousness, often active, busy or anxious thinking and active concentration.	13~30 Hz
γ	Gamma waves mainly indicate which areas are most active. It is seen during the conscious waking state and in REM dreams(Rapid Eye Movement sleep) or during anaesthesia.	30~50 Hz

감마- γ 파(30~50Hz)로 구분할 수 있다. 각 파의 특징⁽¹⁰⁾을 Table 2에 정리하였다.

4.2 뇌파 측정 방법

뇌파를 측정하는 것은 상대적으로 간단하다. 주로 비침투성 방법이며 고통이 없다. 대개 몇 십 마이크로 볼트로 측정되는 전압 변동은 선택된 전극 쌍 사이에서 측정된다. 뇌의 앞, 뒤, 왼쪽, 오른쪽의 다른 부분은 적절한 전극 쌍을 선택하여 측정한다. 전형적인 뇌파 기록은 전극 쌍 사이의 전압 변화를 동시에 많이 기록하는 것의 집합이다. 대부분의 경우 뇌파는 뇌 질량의 80 %를 차지하며 두개골 바로 아래에 있는 대뇌 피질의 많은 피라미드형 신경의 수상돌기의 시냅스 자극 동안 생긴 전류에 의해 생성된 전압을 측정한다. 그러나 단일 피질 신경의 전기 생성은 매우 작으며 신호는 Fig. 4와 같이 유체 뼈, 피부를 통해 전극까지 여러 겹의 비신경 조직을 투과해야 한다. 그러므로 볼 수 있는 충분히 큰 뇌파신호를 발생시키기 위해서는 수천 개의 신경이 작용해야 한다. 이 연구에서 Fig. 5와 같이 10~20 전극 시스템 위치에 근거하여 8개의 위치에서 Ag/AgCl 전극을 이용하여 측정하였다. (Fp1 : pre-frontal lobe , Fp2 : pre-frontal lobe, F3 : frontal lobe , F4 : frontal lobe, T3 : temporal lobe, T4 : temporal lobe, P3 : parietal lobe, P4 : parietal lobe.) 뇌파 신호를 측정하기 위한 장비로는 Laxtha사의 PolyG-I를 사용하

Fig. 4 The generation of very small electrical fields by synaptic currents in pyramidal cells

Fig. 6 Measurement of EEG on the measurement with 8ch electrodes

Fig. 5 Standard positions for the placement of EEG electrodes

Table 3 Experimental procedures for the EEG measurement

Step	Time(sec)	Substance
1	6	To stand ready for acceleration noise with eyes closed
2	7	To listen to acceleration noise for 7 seconds
3	3	To stand ready for acceleration noise for 3 seconds
4	40	To repeat 2nd and 3rd step 4times
5	60	To take a rest for 60 seconds

였고 측정된 뇌파는 같은 사의 Telescan 프로그램을 이용하여 분석하였다. 가속소음 신호 하나에 대한 실험 과정은 Table 3의 절차로 진행되었고⁽¹¹⁾ 피실험자는 총 7개의 가속소음을 Table 3의 절차로 청취하였다.

4.3 뇌파 측정 실험

(1) 뇌파 측정 과정

Fig. 6은 자동차 소리를 듣고 있는 참가자이다. 뇌파

Fig. 7 Time history for one sample of the measured EEGs

신호는 참가자가 7대의 승용차 소리를 듣는 동안 8 채널의 전극에서 측정된다. 측정된 신호는 뇌파 분석기로 전송된다. 이 신호는 디지털 신호로 변환되어 컴퓨터에 기록된다. 이 데이터는 뇌파와 주관적 평가치의 관계를 얻기 위해 분석된다. 측정된 뇌파는 다양한 각도로 분석된다.

(2) 뇌파에 대한 파워 스펙트럼 분석

파워 스펙트럼 분석은 측정된 뇌파속에 각 진동 성분이 얼마만큼의 비중을 차지하고 있는지를 정량적으로 파악하는 분석 방법이다. 파워 스펙트럼은 측정된 데이터의 푸리에 변환을 이용하여 구해진다. Fig. 7은 실제로 측정된 EEG 데이터이다.

위 데이터의 이산적인 디지털신호를 위한 이산 푸리에 변환은 아래와 같이 정의된다.

$$H(f_n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k e^{-j2\pi kn/N} = H_n \quad (5)$$

이 식을 푸리에 역변환에 의해 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$h_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} H_n e^{-j2\pi kn/N} \quad (6)$$

위 식 (6)의 양변에 절대값을 취하고 제곱한 후 $\sum_{n=0}^{N-1}$ 을 취해 모두 합하면 식 (7)이 유도된다. 아래의 식 (7)을 보면 원 신호의 제곱의 합과 푸리에 변환을 거친 신호의 제곱의 합과 같다. 이때 원 신호제곱의 합 또는 푸리에 변환의 합은 총 파워값(total power)이라고 한다.

$$Total\ Power \equiv \sum_{n=0}^{N-1} |h_k|^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |H_n|^2 \quad (7)$$

위의 식을 이용하여 측정한 EEG 데이터(Fig. 7)의 파워값을 구하였고, 그 결과를 Fig. 8에 나타냈다.

위와 같이 구한 파워 스펙트럼으로 뇌파를 분석할 때, 해당 주파수 성분이 출현한 정도를 나타내는 파워값(단위 : μV^2)을 구하는 절대파워(absolute power)와 전체 영역에 대한 해당 영역의 진동성분이 출현한 상대적인 비율을 나타내는 상대파워(relative power)로 분석한다. 즉, 절대파워는 파워 스펙트럼 그래프에서 해당영역(알파, 베타 등의 주파수 영역)에 속하는 막대그래프 높이의 합으로 구할 수 있고, 상대파워는 파워 스펙트럼에서 델타파부터 감마파까지(즉, 0~50 Hz)의 주파수 영역의 파워값의 총 합에 대한 설정한 주파수 대역의 파워값 총 합의 비를 통해 구할 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 8에서 구한 파워값을 바탕으로 파워 스펙트럼에서 각 파워가 차지하는 비율을 나타낸 것이다. Fig. 9에서 보듯 알파파워의 비율이 다른 파워에 비해 높다는 것을 알 수 있다. 다른 참가자들의 파워 스펙트럼 분석도 Fig. 9와 크게 다르지 않다. 따라서 가속 소음은 알파파워와 많은 관련이 있다고 예상할 수 있다. 물론 물리적으로 알파파워의 비율이 크다고 해서 다른 파보다 가속소음에 영향이 큰지에 대해서는 단정지을 수 없기 때문에 알파파워뿐만 아니라 세타, 베타, 감마파워 모두 비교 분석하여 어떤 파가 가속소음에 영향을 미칠지 알아보도록 하고, 우선 알파파워를 기준으로 뇌파와 주관적

Fig. 8 Power spectrum analyses for one sample of EEGs

Fig. 9 Power ratio of each EEG wave obtained from power spectrum analysis

평가의 상관도를 분석하였다.

(3) 뇌파와 주관적 평가의 상관도

보통 파워스펙트럼 분석 시에 절대파워와 상대파워를 함께 분석하는 것이 일반적이다. 하지만 상대파워는 알파파워뿐만 아니라 다른 파워, 즉 베타파워, 감마파워 등이 상대파워 결과에 영향을 미치기 때문에 이 연구에서는 절대 알파파워로 분석을 하였다. 절대알파파워 분석을 위해 전체 피실험자 33명의 알파파워 평균을 구해보았다. 전체 알파파워 평균은 다음의 식으로 구하였다.

$$\alpha_{all} = \frac{1}{33} \sum_{i=1}^{33} P_i \quad (8)$$

Fig. 10 Brain mapping(scalp distribution) for 7 EEG signals measured from brain of subjects

식 (8)에서 P_i 는 피실험자 한 명으로부터 측정된 8개 채널의 알파파워 평균을 나타내고 식 (9)로 표현할 수 있다.

$$P_i = \frac{1}{8} \sum_{j=1}^8 Ch_j \quad (9)$$

여기서 Ch_j 는 각 채널에서 측정된 절대알파파워를 나타낸다. 위와 같이 구한 알파파워 평균과 주관적 평가와의 상관도를 Table 4에 나타내었다. 그리고

Table 4 Average values of alpha power and correlation between alpha powers and mean subjective rating

Vehicle	Average alpha power	Average seta power	Average beta power	Average gamma power	Subject rating
A	84.171	41.718	26.809	10.861	7.856
B	81.209	52.395	27.282	11.754	8.053
C	87.997	74.378	25.368	7.402	7.593
D	71.539	47.930	28.772	18.034	7.459
E	77.850	54.798	35.782	14.421	7.290
F	67.531	44.708	29.640	22.648	5.997
G	70.298	41.522	48.871	66.345	6.767
Correlation	0.7836	0.3199	-0.4273	-0.5040	

앞서 말한 것처럼 알파파워 뿐만 아니라 세타, 베타, 감마파워 역시 가속소음과 관련이 있을 가능성이 있기 때문에 Table 4에 같이 비교 분석하였다.

앞서 예상한 바와 같이 가속 소음은 알파파워와 많은 관련이 있다고 할 수 있고, 이 결과에 따르면 주관적 평가와 알파파워간의 상관도는 약 78.36%로 높은 상관도가 아니라는 것을 알 수 있다. 상관도가 낮게 나온 이유는 다음과 같다. 알파파워의 강도는 뇌의 위치에 따라 다르게 측정된다. Ch.1부터 Ch.8까지 가속 소음을 듣고 파워가 높게 측정되는 채널이 있는 반면 낮게 측정되는 채널이 존재한다. Fig. 10은 참가자 전체의 알파파워 평균의 brain mapping으로 각 채널에서 알파파워가 얼마만큼 나왔는지 보여준다. 검정색일수록 파워가 높고 흰색일수록 파워가 낮다. Fig. 10에서 보듯 Ch.7에서 파워가 가장 높고 Ch.5 혹은 Ch.6에서 파워가 가장 낮은 것을 알 수 있다. 이 결과를 바탕으로 Ch.7과 Ch.5의 알파파워를 비교하여 Table 5에 정리하였고 Table 5의 데이터를 바탕으로 한 그래프를 Fig. 11에 표시하였다.

Table 5의 결과를 보면, 파워가 높은 Ch.7의 상관도가 파워가 낮은 Ch.5의 상관도보다 월등히 높은 것을 알 수 있다. 여기서 주의해야 할 점은 파워가 높으면 상관도가 높지만 파워가 낮다고 해서 반드시

Fig. 11 Correlations between the mean subjective ratings and (a) ch.5 alpha wave power (b) ch.7 alpha wave power

Table 5 Average value of ch.5 and ch.7 alpha wave and correlation between alpha wave of each channel and mean subjective rating

Vehicle	Ch.5 alpha power	Ch.7 alpha power	Subject rating
A	41.996	112.420	7.856
B	55.754	105.916	8.053
C	103.158	104.870	7.593
D	36.784	96.398	7.459
E	40.202	79.867	7.290
F	33.761	60.781	5.997
G	33.459	79.471	6.767
Correlation	0.412	0.940	

상관도가 낮은 것은 아니다. Ch.8의 경우, Ch.7 다음으로 알파파워가 높은 채널이고 상관도는 91.83 %로 Ch.7의 상관도보단 낮지만 높은 상관도임을 알 수 있다. Ch.6의 경우 Ch.5와 비슷한 파워 값을 갖지만 상관도는 90 %로 상당히 높은 값을 가진다.

다시 말해, 알파파워가 높게 측정된 채널은 가속 소음이 영향을 주지만 알파파워가 낮게 측정된 채널은 가속소음이 많은 영향을 주진 않는다고 할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 절대알파파워가 높게 측정된 Ch.7을 중점적으로 분석하였다.

(4) 뇌파와 주관적 평가, 심리음향의 상관도

심리음향 음질요소 중 하나인 라우드니스와 Ch.7의 알파파워는 인간의 감성을 잘 표현하는 요소라고 볼 수 있다. 라우드니스와 알파파워 중 어떤 요소가 인간의 감성을 더 잘 나타내는 요소인지 비교하기 위해 Fig. 12에 그래프로 나타내었다. Fig.12에서 왼은 주관적 평가에 대한 라우드니스를 나타내고, 사각형은 주관적 평가에 대한 Ch.7 알파파워 값을 나

Fig. 12 Correlations between the mean subjective ratings and loudness(left) and alpha power(right)

타낸다. 각각의 상관도가 Fig.12 오른쪽 상단에 표시되어있다. 두 요소를 비교해보면 라우드니스보다 알파파워의 상관도가 더 높게 나왔으며 이는 EEG가 가속소음에 대한 인간의 감성을 더 잘 표현하는 요소라고 볼 수 있다.

5. 결 론

이 논문은 자동차의 가속 소음에 대한 뇌파와 주관적 평가의 상관도를 제시한다. 가속 소음에 한국, 일본, 유럽회사의 고급차량 7대가 사용되었다. 주관적 평가 결과의 신뢰성을 높이기 위해 box-whisker plot을 이용하여 데이터를 필터링하였다. 뇌파와 주관적 평가의 상관도를 분석하기에 앞서, 예전부터 연구되어 왔던 심리음향 음질요소와 주관적 평가와의 상관도를 분석하였다. 음질요소 분석 과정 중 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도 등의 다양한 모델들이 고려되었고, 이들 중 라우드니스가 주관적 평가와 가장 높은 상관도를 보였다. 뇌파의 경우, 측정된 뇌파의 파워 스펙트럼 분석 결과를 보면, 알파 파워가 가장 많은 영향을 미치는 것을 알 수 있었고, 이를 바탕으로 알파 파워와 주관적 평가의 상관도를 분석하였다. Brain mapping 결과를 통해 가속소음이 후두부(Ch.7, Ch.8) 쪽의 알파파워에 많은 영향을 끼치는 것을 확인하였고 Ch.7과 Ch.8을 중점적으로 분석한 결과 이 부분에서 높은 상관도를 갖는다는 것을 확인하였다. 심리음향 음질요소와 뇌파 모두 주관적 평가와 높은 상관도를 가지고 있다. 따라서 심리음향 음질요소와 뇌파 그리고 주관적 평

가의 상관도를 동시에 비교해보았다. 비교 결과 뇌파와 주관적 평가의 상관도가 더 좋게 나왔으며 이는 뇌파가 인간의 감성을 표현할 수 있는 지표가 될 수 있음을 의미한다. 이 연구를 바탕으로 가속소음 뿐만 아니라 모든 음질분야에서 뇌파에 대한 연구가 가능하다는 것을 알 수 있다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2010-0014260).

참 고 문 헌

- (1) Lee, S. K. and Chae, H. C., 2004, The Application of Artificial Neural Networks to the Characterization of Interior Noise Booming in Passenger Cars, Proceeding of the Institute of Mechanical Engineers Part D, Journal of Automobile Engineering, Vol. 218, No. 1, pp. 33~42.
- (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 Network, Proceeding of the Institute of Mechanical Engineers Part D, Journal of Automobile Engineering, Vol. 219, No. 4, pp. 457~469.
- (3) Lee, S. K., 2008, Objective Evaluation of Interior Sound Quality in Passenger Cars During Acceleration, Journal of Sound and Vibration, Vol. 310, No. 1, pp. 149~168.
- (4) Lee, S. K., Kim, H. W. and Na, E. W., 2010, Improvement of Impact Noise in a Passenger Car Utilizing Sound Metric based on Wavelet Transform, Journal of Sound and Vibration, Vol. 329, No. 12 pp. 3606~3619.
- (5) Park, S. W., Lee, S. K. and Bae, B. K., 2010, Estimation of Subjective Evaluations for Impact Sound and Analysis of the Effects for Parts of a Car, Transactions of Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 18, No. 5, pp. 37~44.
- (6) Park, S. W., Kim, H. W., Na, E. W., Lee, S. K., 2010, Sound Metric for the Impact Sound of a Car, Transactions of Korean Society of Noise and Vibration Engineering, Vol. 20 No. 1, pp. 66~73.
- (7) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psychoacoustics: Facts and Models, Springer Series in Information Sciences, Vol. 22, No. 2, pp. ALL.
- (8) Bismarck, V., 1974, Sharpness as an Attribute of the Timbre of Steady Sounds, Acoustica, Vol. 30, pp. 159~172.
- (9) Aures, W., 1985, The Sensory Euphony as a Function of Auditory Sensations, Acoustica. Vol. 58, pp. 282~290.
- (10) Niedermeyer, E. and Silva, F. L., 2005, Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- (11) Achaefer, R. S., Vlek, R. J. and Desain, P., 2011, Music Perception and Imagery in EEG: Alpha Band Effect of Task and Stimulus, International Journal of Psychophysiology, Vol. 82, No. 3, pp. 254~259.

Seung Min Lee is a graduate student in Department of Mechanical Engineering at Inha University. He has studied for the application of signal processing to acoustics and vibration in EEG signal analysis and automotive sound quality.

Sang-Kwon Lee was born in Pusan, Korea, in 1959. He studied mechanical engineering at the Pusan National University, Pusan, Korea for a bachelor's degree. In 1998 he received a PhD degree in signal processing at the ISVR (Institute of Sound and Vibration Research) of the University of Southampton in U.K. He has 11 years experience in automotive noise control by working in Hyundai Motor co. and the Renault-Samsung Motor Company in Korea. In 1999, he moved to Inha University, Incheon, Korea. He has continued the sound and vibration research in the department of mechanical engineering at the Inha University.