

# A study on relation between sound impression and satisfaction of vehicle exhaust sound

Ye lim Rhie<sup>1</sup>, Byungki Jin<sup>1</sup>, Joobong Song<sup>1</sup>, Myung Hwan Yun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-744, Korea

## ABSTRACT

**Objective:** This study aims to identify how psychoacoustic characteristics of vehicle exhaust sound affect subjective impression and satisfaction. Furthermore, we studied relative importance of each physical element. **Background:** Nowadays, companies endeavor to construct appropriate product sound to gain competitive advantage, but few studies have focused on the relationship of psychoacoustic characteristics, impression and users' satisfaction. For Korean car companies, since engine exhaust sound is crucial to users' satisfaction, they need to understand physical characteristics of engine sound and how they affect users' affective factors. **Method:** We analyzed impression of nine engine exhaust sounds and how they affect users' satisfaction. Subjective impressions are composed of sixteen pairwise adjectives using semantic differential scale. They are categorized by factor analysis, and each three dimension significantly affected user's satisfaction. **Results:** Impression evaluation is affected by loudness and sharpness, but not by fluctuation strength and roughness. Sixteen adjectives are categorized by three dimensions and psychoacoustic attributes showed different relative importance to each dimension. They eventually affected satisfaction significantly. **Conclusion:** Loudness and sharpness of engine exhaust sound affected subjective impression significantly, but they did not directly affect user's satisfaction. However, since impression evaluation shows strong relationship with affective reaction, it shows sound metrics affect user's emotion indirectly. **Application:** This study shows loudness and sharpness of engine exhaust sound affect users evaluating impressions. It implies car companies can design physical dimensions considering user's affective evaluations.

Keywords: Psychoacoustics, Sound Impression, Affective Evaluation, Product Sound Quality

## 1. Introduction

소리는 귀에서 신경 회로로 변환되어 뇌로 전달된 후, 뇌에서 인지과정을 거쳐 심리적인 감성을 불러일으킨다. 이 과정을 설명하기 위해 주파수와 파형 등 음의 물리적 속성으로부터 라우드니스(loudness), 샤프니스(sharpness), 변동강도(fluctuation strength), 러프니스(roughness) 등 심리 음향적 요소를 도출한 후, 이를 이용하여 쾌적성(pleasantness) 및 성가심(annoyance)과 같은 심리적 요소에 미치는 영향을 수식으로 표현하기도 한다(Zwicker & Fastl, 1999).

Jekosch(2004)는 제품의 음질(product sound quality)을 용도와의 타당성과 관련 지어 정의하였다. 즉, 제품에서 발생하는 소리는 그 물건을 사용하는 맥락에 부합되는 소리를 가져야 한다. Bisping(1997)은 고급스러운 승용차와 일반 중형자동차 등 차의 성격에 따라 실내 소리로부터 받

는 감정이 달라진다고 밝혔는데, 이는 제품의 성격에 따라 소리의 인상을 다르게 설계할 수 있다는 것을 보여준다. Todd(2001)는 주파수가 200~1000Hz 사이일 때 가장 기분이 좋아지고, 50dB이 가장 기분 좋은(hedonic) 감성을 자극한다고 밝혀 소리의 설계특성이 사람들의 감성에 주는 영향을 설명하였다.

제품의 소리는 사용자의 기분에 영향을 끼칠 뿐만 아니라, 제품의 질을 높이는 데 있어서도 중요한 요소이다(Zampini & Spence, 2004; Spence & Zampini, 2007; Spence & Shanker, 2010). 최근 자동차 기업들의 경쟁이 과열되어 성능적인 측면에서 상향 평준화가 이루어져 단순한 감성 충족에서 나아가 어떤 소리의 설계 특성이 차량의 만족도에 영향을 끼치는가 파악하여 최적화된 소리를 설계해야 할 것이다.

본 연구에서는 9가지 자동차 엔진가속음으로부터 받는 심리적 영향을 '부드럽다, 포근하다, 느리다, 크다' 등의 인상평가와 종합적인 만족도 평가로 구분하여, 심리음향

적 설계변수가 이에 미치는 영향을 살펴보았다. 소리의 인상에 대한 평가는 Kuwano & Namba(1985)가 개발한 형용사 16쌍을 이용하였다.

## 2. Method

### 2.1 Recordings of engine exhaust sound

V6 엔진을 탑재한 9대의 차량이 정지상태부터 속력이 160km/h가 될 때까지 가속되는 소리를 운전석에서 녹음하였으며, HEAD acoustics사의 SQadriga를 사용하였다. 본 제품은 두 개의 마이크 채널을 가진 바이노럴(binaural) 시스템을 사용하여 사람이 듣는 것과 가장 비슷하게 녹음할 수 있다.

### 2.2 Auditory stimuli

녹음된 음원의 설계변수는 Psysound3 software (Cabrera et al., 2008)를 사용하여 분석하였으며, 실험음의 길이는 13초~20초이다. [Figure 1]은 음원의 라우드니스와 샤프니스를 시간의 축으로 표현한 것인데, 각기 다른 양상을 띠는 것을 볼 수 있다. 분석 변수는 라우드니스, 샤프니스, 변동강도이다. 라우드니스는 SPLA, SPLB, SPLC,

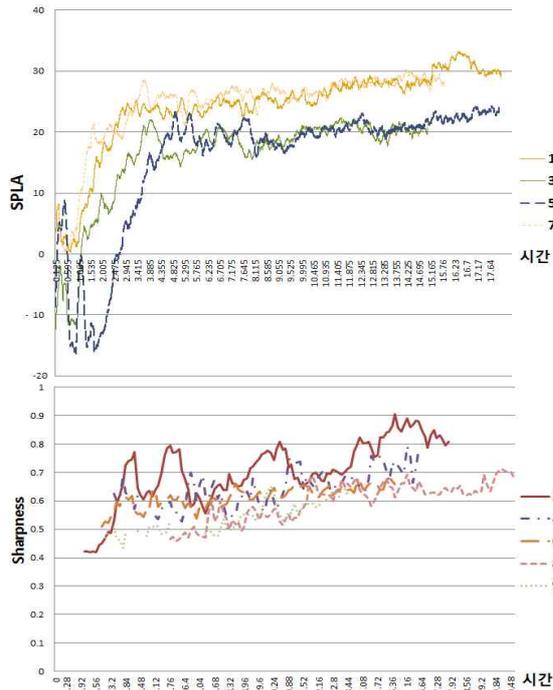


Figure 1. Time series of loudness and sharpness

SPLZ, 1/3 Oct loudness, Zwicker's loudness(Zwicker et al., 1985), DLM (Dynamic Loudness Model; J.Chalupper & H.Fastl, 2002) 등을 사용하였고, 샤프니스는 Zwicker&Fastl(1999)가 제안한 모델을 이용하였다. 시간에 따라 값이 변하기 때문에 각 변수의 사분위값을 변수로 이용하였다.

### 2.3 Measure

소리의 감성평가에 대한 척도는 Kuwano & Namba(1985)의 연구에 기반하였으며, 모두 16가지의 음의 인상을 표현하는 형용사와(Table 1), ‘만족스러운-만족스럽지 않은’의 만족도를 평가하는 항목으로 구성되었다. 모든 항목은 7점 척도로 구성되었다(Osgood, 1957).

Table 1. Semantic Differential adjective pairs

(Kuwano & Namba, 1985)		
Variable	Subjective evaluation adjectives	
E1	loud	soft
E2	deep	shrill
E3	frightening	not frightening
E4	unpleasant	pleasant
E5	dangerous	safe
E6	hard	soft
E7	exciting	calm
E8	dark	bright
E9	powerful	weak
E10	busy	tranquil
E11	conspicuous	inconspicuous
E12	fast	slow
E13	distinct	vague
E14	strong	weak
E15	tense	relaxed
E16	unpleasing	pleasing

### 2.4 Participants and experiment environment

피실험자는 정상적인 청각을 보유한 20대 20명으로, 남자 14명과 여자 6명으로 구성되었다. 본 연구는 스피커를 사용하였을 때 보다 헤드폰을 사용하였을 때 피실험자 간 loudness의 인지 정도에 차이가 적다는 Fastl(1997)의 연구에 착안하여 헤드폰을 사용하여 실험하였으며, 들려주는 엔진음이 어떠한 차량의 엔진음인지 알려주지 않았다.

### 3. Results

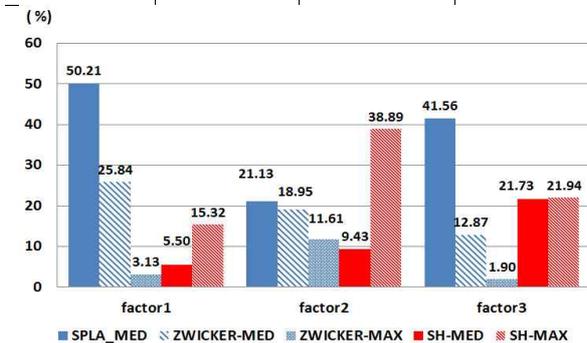
위의 16개 문항에 대한 감성평가 결과를 심리음향적 척도를 기준으로 분산분석을 한 결과, SPLA 중앙값, Zwicker's loudness 중앙값 및 최대값, 샤프니스의 중앙값 및 최대값 등이 영향을 가장 많이 미쳤다. 이를 설계변수로 두어 소리의 인상평가에 영향을 주는 심리음향적 척도의 상대적 중요도를 분석하였으며, 최종적으로, 소리의 인상과 종합적인 만족도와의 관계를 분석하였다.

#### 3.1 Factor analysis of subjective evaluation

소리의 인상 평가에 대해 요인분석을 하면 크게 세 개의 차원으로 구분되며, 총 67.952%의 설명력을 갖는다. 그 결과는 [Table 2]와 같은데, 형용사만을 갖고는 각 차원을 분류하는 기준이 명확하지 않다. 컨조인트 분석을 통해 심리음향적 척도가 미치는 영향을 본 결과는 [Figure 2]와 같다. Factor1은 SPLA의 중앙값, Zwicker's loudness 등 라우드니스에 영향을 가장 많이 받고, factor2는 샤프니스의 최대값에 영향을 많이 받으며 factor3은 factor1, 2에 비해 라우드니스와 샤프니스가 고르게 영향을 준다.

**Table 2.** Result of factor analysis (67.95%)

Dimension	Attribute	Dimension	Attribute
Factor1 λ=7.561	E1	Factor2 λ=2.043	E3
	E9		E4
	E11		E5
	E12		E6
	E13		E7
	E14		E10
	E15		Factor3
E16	λ=1.268	E8	



**Figure2.** Relative importance of psychoacoustic attributes impacting sound impressions

#### 3.2 Analysis of impression and satisfaction

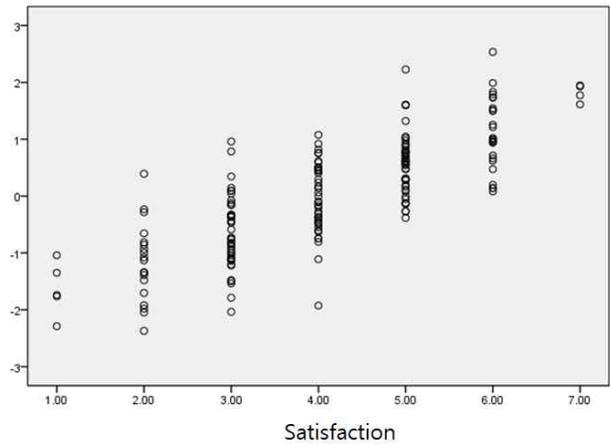
소리의 인상 평가에 대한 세 개의 차원과 만족도의 관계를 회귀분석 한 결과는 [Table 3]과 같으며, factor1, factor2, factor3 순서대로 영향을 미쳤다. Factor1은 만족도에 대해 음의 상관관계를 가졌고, factor2와 factor3는 양의 상관관계를 보였다. [Figure 3]는 만족도에 대한 회귀 표준화 잔차를 도식화 한 것이다.

**Table 3** Regression analysis of impression dimension and satisfaction

(R<sup>2</sup>=0.647, F=110.561, p<0.001)

Parameter	Estimate	S.E	t-Value	Pr >  t
Intercept	6.028	0.270	22.357	0.000
Factor1	-0.992	0.063	-15.861	0.000
Factor2	0.308	0.066	4.668	0.000
Factor3	0.147	0.049	2.980	0.003

Predicted Satisfaction



**Figure3.** Standardized residual

### 4. Conclusion

본 연구에서 라우드니스와 샤프니스 각각이 소리의 인상에 유의미한 영향을 끼치는 반면, 전체적인 만족도에는 유의미한 영향을 끼치지 않았다. 그러나 소리의 인상은 만족도와 밀접한 상관관계를 보여 심리음향적 척도가 간접적으로 만족도에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

소리의 인상을 결정짓는 라우드니스는 중앙값이, 샤프니스는 최대값이 소리의 인상에 영향을 많이 주는 결과로부터, 라우드니스의 전반적인 수준과 샤프니스의 극값에 사람들이 영향을 많이 받는 경향을 관찰할 수 있었다. 소리의 설계변수는 소비자의 만족도에 직접적으로 미치는 영향은 주지 않으나 간접적으로 영향을 미쳤다.

본 실험의 피실험자는 20대 20명에 한정되어있기 때문에 이를 일반화하기는 어렵다. 피실험자의 연령분포를 좀 더 다양하게 하고 피실험자의 수의 늘린다면 더 일반화된 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한, 지속시간과 주파수 등이 통제되어있지 않아 실제 운전을 하는 듯한 자연스러운 소리를 들을 수 있는 장점이 있는 반면, 설계특성이 소비자의 감성에 미치는 영향을 관찰할 수 없었다. 통제된 실험을 통해 소리의 설계특성이 소비자 만족도에 직접적인 영향을 미치지 않는가에 대한 검증이 필요하다.

## References

- Bisping, R., Car interior sound quality: experimental analysis by synthesis, *Acta Acustica*, 83, 813-818, 1997
- Cabrera, D., Ferguson, S., Rizwi, F., Schubert, E., PsySound3: Sound analysis software, <http://www.psysound.org>, 2008
- Chalupper, J., Fastl, H., Dynamic loudness model for normal and hearing-impaired listeners, *Acta Acustica*, Verlag, 88(3), 2002
- Fastl, H., The psychoacoustics of sound-quality evaluation, *Acta Acustica*, Verlag, 83, 754-764, 1997
- Jekosch, U., Meaning in the context of sound quality assessment, *Acustica united with Acta Acustica*, 83, 747-753, 1997
- Kuwano, S. & Namba, S., Continuous judgement of level-fluctuating sound and the relationship between overall loudness and instantaneous loudness, *Psychological Research* 47, 27-37, 1985
- Osgood, C.E., Suci, G.J. and Tannenbaum, P.H., The measurement of meaning, new ed., University of Illinois Press, Champaign, 1957
- Spence, C. and Shankar, M.U., The influence of auditory cues on the perception of, and responses to, food and drink. *Journal of Sensory Studies*, 25 (3), 406-430, 2010
- Spence, C. and Zampini, M., Affective design: modulating the pleasantness and forcefulness of aerosolsprays by manipulating aerosol spraying sounds. *CoDesign*, 3 (1), 107-121, 2007
- Todd, N., Evidence for a behavioral significance of saccular acoustic sensitivity in humans, *Journal of Acoustic. Society*, 110(1), 380-390, 2001
- Zampini, M. and Spence, C., The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato crisps. *Journal of Sensory Studies*, 19, 347-363, 2004
- Zwicker, E. & Fastl H., Psychoacoustics: Facts and Models, *Springer Verlag, Berlin, 2nd edition*, 1999
- Zwicker, E., Deuter, K., Peisl, W., Loudness meters based on ISO 532 B with large dynamic range, In: *Inter'Noise 85, Proceedings of International Conference on Noise Control Engineering*, 2, 1985

## Author listings

**Ye lim Rhie:** bsinitaz@gmail.com

**Highest degree :** BS, Department of Industrial Engineering, Hongik University

**Position title:** MS Candidate, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest :** Human Centered Design, Cognitive Engineering, Affective Engineering

**Byungki Jin:** bkjin01@snu.ac.kr

**Highest degree:** BS, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Position title:** PhD Student, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** User Interface Design, AR, Product Design

**Joobong Song:** shedtwin@naver.com

**Highest degree:** BS, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Position title:** PhD Candidate, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** Human-Computer Interaction, User-Centered Design, Kansei Engineering

**Myung Hwan Yun:** mhy@snu.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Industrial and Manufacturing Engineering, Penn State University

**Position title:** Professor, Department of Industrial Engineering, Seoul National University

**Areas of interest:** Biomechanics, Product Design and Development, Human Factors, HCI, Kansei Engineering