

주행 시뮬레이터를 이용한 주행음의 최적 조건에 대한 연구

Study on the Optimal Conditions of Driving Sounds using Driving Simulators

정 현 우* · 오 준 영* · 이 경 훈** · 강 연 준†

Hyun Woo Jung*, Jun Young Oh*, Kyoung Hoon Lee** and Yeon June Kang†

(Received February 2, 2024 ; Revised March 14, 2024 ; Accepted March 14, 2024)

Key Words : Psychoacoustics(심리음향), Driving Simulator(주행 시뮬레이션), Flanker Task(플랭커 태스크), Sound Quality(음질), Driving Emotions(주행감성)

ABSTRACT

As driving sound significantly influences the user experience and satisfaction of a driver, the importance of selecting appropriate driving sounds while considering the desired driving emotions continues to grow. Particularly for electric vehicles, the opportunity to artificially craft driving sounds enables a considerably broader spectrum of driving sound designs. However, current research have considered only driving emotions, neglecting direct impacts on the state of a driver. This study introduced a method to evaluate the impact of driving sounds on the concentration of a driver through driving simulations. Concentration during driving was measured using the Eriksen flanker task, and the relationship between concentration, satisfaction, driving emotions, and psychoacoustic parameters was analyzed. Through this, the optimal conditions for driving sounds to induce high levels of satisfaction and concentration were defined.

1. 서 론

소리는 차량 이용자가 끊임없이 노출되는 자극인 만큼, 차량 내 음질에 대한 연구는 꾸준히 이어져왔다. 음향 경험이 승차감을 결정짓는 요인 중 하나로 인식되면서 차량 디자인 단계부터 스포티, 고급스러운 등 차량에 부여하고자 하는 주행감성에 맞는 음향 경험을 유도하려는 시도가 있었다.

차량과 관련된 음향 환경을 평가하기 위한 대다수의 연구는 대개 음원에 대한 만족도 혹은 음원이 가

지고 있는 주행감성을 평가하는 방향으로 이루어져왔다. 따라서 특정 주행감성이나 만족도를 유도하기 위한 심리음향 파라미터에 대한 연구 결과는 다양하게 존재한다.

내연기관 차량에 대해서도 차량 내의 여러 음향 환경에 대한 심리음향적 접근은 활발히 이루어지고 있었다. 차량의 윈도우 리프트 음질⁽¹⁾ 및 흡배기계의 음질의⁽²⁾ 고급감 향상을 위한 연구와 같은 차량 내 세부적인 소음원의 음질 향상부터 승용차의 브랜드 사운드 음질 향상을 위한 연구까지⁽³⁾ 심리음향 파라미터를 이용한 다양한 연구 사례가 존재한다.

† Corresponding Author ; Member, School of Mechanical Engineering/Institute of Advanced Machines and Design, Seoul National University, Professor
E-mail : yeonjune@snu.ac.kr

* Member, School of Mechanical Engineering/Institute of Advanced Machines and Design, Seoul National University, Student

** Hyundai Motor Company, Researcher

‡ Recommended by Editor Namkeun Kim
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

전기자동차의 경우, 동력원이 엔진에서 모터로 바뀌면서 실내 소음 환경이 완전히 바뀌었다. 실내 소음에서 가장 큰 비율을 차지하던 엔진 소음에 비해 모터 소음은 로드노이즈나 윈드노이즈보다 더 작은 비중을 차지하게 된 것이다⁴⁾. 그러나 주행음은 운전자에게 주행감을 주는 수단이자, 특정 주행감성을 유도하는 데 있어 유용한 수단이기때문에, 내연기관의 엔진음을 모사하거나 차량의 컨셉에 맞는 음원을 새로 만드는 등의 방법으로 주행음을 제작하여 사용하고 있다^{5,6)}. 또한, 각 브랜드의 전기자동차의 주행음의 주행감성과 만족도를 조사하여 각 주행감성과 만족도에 영향을 미치는 심리음향 파라미터에 대한 연구도 진행되었다⁷⁾.

그러나 해당 연구들이 다른 주행 감성과 만족도는 어디까지나 기호의 영역에 더 가깝기 때문에, 더 직접적으로 운전자에게 영향을 미치는 요소에 대해 연구할 필요가 있다. 이 연구에서는 서울대학교 뇌인지과학과 이상아 교수 연구실에서 제작한 주행 시뮬레이션을 이용하여 주행 중 집중력을 평가하고자 하였다⁸⁾. 해당 시뮬레이션은 에릭센 플랭커 태스크(Eriksen Flanker task)를 통해 실험 참가자의 실시간 집중력을 수치화 한다. 주행 시뮬레이션 실험 중 주행음을 변경하며 각 주행음이 운전자에게 미치는 영향을 비교하고, 높은 집중력을 유도할 수 있는 주행음의 심리음향적 조건에 대해 정의해 보았다.

이 논문의 2장에서는 실험과 관련된 심리음향 파라미터들에 대해 정의하고, 실험에서 사용된 음원들에 대해 제시하였다. 또한, 주행음들의 주행감성과 만족도를 조사하기 위한 평가 방법에 대해서도 기술하였다. 3장에서는 집중력 평가를 위해 사용한 주행 시뮬레이션과 에릭센 플랭커 태스크에 대하여 설명하였다. 4장에서는 실험을 통해 수집된 여러 데이터들 사이의 관계를 분석하며, 이를 통해 얻어낸 몇 가지 새로운 연관성에 대하여 논의하였다.

2. 심리음향 파라미터를 이용한 주행음 평가

2.1 심리음향 파라미터

일반적으로 소리가 인간에게 어떻게 인지될 지를 판단하기 위한 지표로 A-weighted SPL이 사용된다. 그러나 인간의 청각 시스템이 비선형이고 매우 복잡하기 때문에, 청각 지각을 완전히 설명하는 데 충분하지 않다. 이 한계를 극복하기 위해 Zwicker는 loudness를

개발했으며, 음질, 주행감성 연구 등 음향과 심리 사이의 관계를 규명하기 위한 다양한 연구에서 사용되고 있다⁹⁾. 그러나 차량의 주행음에 대한 특징을 규정하는 데 있어 loudness만으로는 정의하기 어렵다. 따라서 이 연구에서는 sharpness, tonality와 같은 다른 심리음향 파라미터도 사용하였다. 언급된 심리음향 파라미터 이외에도 roughness, fluctuation strength와 같은 파라미터들도 존재하나, 주행음의 음질을 결정짓는 데 있어 부정적인 영향을 미칠 것이 자명해 보이기 때문에 해당 연구에서는 배제하였다.

(1) Loudness

Loudness는 소리가 얼마나 크게 느껴지는지를 나타내는 척도이다. Loudness는 음향적인 에너지와 인간 청각 시스템의 특성에 의해 결정된다. Loudness의 단위는 sone이며, 40 dB 및 1 kHz 톤의 소리에서 1 sone의 값을 가진다. ISO 532B 표준에 따르면, loudness는 식 (1)과 식 (2)와 같이 정의될 수 있다^{9,10)}.

$$N = \int_0^{24\text{Bark}} N' dz \tag{1}$$

$$N' = 0.08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_0} \right)^{0.23} \left[\left(0.5 + 0.5 \frac{E}{E_{TQ}} \right)^{0.23} - 1 \right] \tag{2}$$

여기서 N 은 loudness, N' 은 특정 Bark scale 대역에서의 loudness를 의미하며, z 는 Bark 대역, E_{TQ} 는 측정하고자 하는 음원의 가진 에너지, E_0 는 0 dB의 레퍼런스 음원의 가진 에너지를 의미한다.

심리음향 파라미터를 이용한 대개의 연구에서 loudness는 실험 결과에 매우 큰 영향을 미치며, 경우에 따라 다른 심리음향 파라미터의 영향을 해석하는 데 있어 장애물이 되기도 한다. Kwon et al.은 실험에 사용되는 모든 음원의 loudness를 동일하게 맞춘 후 실험을 진행하는 방법을 통해 loudness에 의한 문제를 해결하였다¹¹⁾.

(2) Sharpness

Sharpness는 소리가 얼마나 날카롭게 느껴지는지를 나타내는 척도이다. Sharpness는 주파수 대역 구성에 큰 영향을 받는다. 16 Bark, 약 3 kHz 이상 성분의 비율이 높아질수록 sharpness가 증가한다. Sharpness

의 단위는 acum이며, 60 dB 및 1 kHz 중심 주파수, 150 Hz 주파수 범위의 소리에서 1 acum의 값을 가진다. Zwicker and Fastl의 모델에 따르면⁽⁹⁾, sharpness는 식 (3)과 같이 정의될 수 있다.

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24 \text{Bark}} N'g(z)zdz}{\int_0^{24 \text{Bark}} N'dz} \quad (3)$$

여기서 S는 sharpness, g(z)는 특정 z Bark 대역에서의 가중치를 뜻한다. g(z)는 16 Bark 미만에서는 1이며, 주파수가 증가할수록 증가한다.

(3) Tonality

Tonality는 음원에서 톤과 노이즈의 비율을 나타낸다. Tonality의 단위는 tu이며, terhardt와 aures의 연구를 기반으로 tonality를 계산할 수 있다. 자동차 주행음의 경우 지향하는 음질의 방향에 따라 톤이 아예 배제된 음원이 될 수도 있고, 여러 톤들의 중첩으로 이루어진 음원이 될 수도 있다. 이 연구에서 사용된 tonality는 DIN 45861에 기반하였으며⁽¹²⁾, LabVIEW의 sound and vibration toolkit을 이용해 계산하였다.

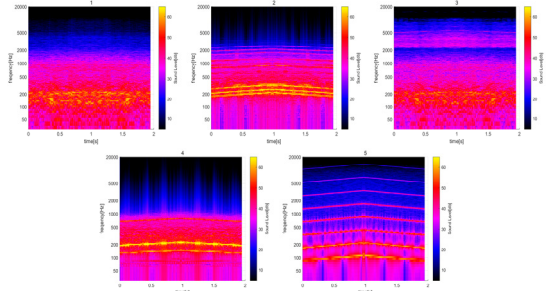
2.2 사용 주행음 음원

이 연구는 총 2회의 실험을 진행하였으며, 각 실험에 사용된 음원은 5개로, 총 10개의 음원에 대한 실험이 진행되었다. 실험에 사용된 음원은 swart가 측정한 여러 전기자동차와 하이브리드 자동차, 그리고 해당 측정음을 기반으로 생성된 주행음 음원의 데이터 셋⁽¹³⁾, 그리고 현대자동차의 e-ASD(active sound design) 기능에 사용되고 있는 음원 3가지를 사용하였다. 앞서 설명했듯이 loudness의 영향을 최소화하기 위해 모든 음원의 loudness를 차내 소음 레벨과 비슷한 수준인 30 sone으로 동일하게 조정한 후 실험을 진행하였다. 또한 5개의 음원 이외에 아무 것도 재생하지 않는 상태를 추가하여 총 6개의 조건에 대해 실험을 진행하였다. 각 실험에서 사용된 주행음들의 스펙트로그램은 Fig. 1과 같고, 심리음향 파라미터는 Table 1과 같다.

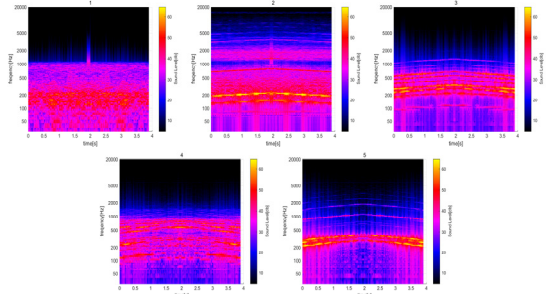
2.3 Jury test를 이용한 주행감성 주관 평가

이 연구에서는 음원의 심리음향 파라미터와 주행감

성, 만족도, 집중력 사이의 관계를 규명하고자 하였다. 따라서 각 음원의 주행감성과 만족도에 대한 주관 평가를 진행했다. 주관 평가는 각 주행음을 청취 후 평가 항목에 대한 응답을 진행하는 방식으로 진행되었으며, 주관 평가는 두 가지 상반된 키워드 중 더 가까운 쪽에



(a) Driving sounds used in experiment 1



(b) Driving sounds used in experiment 2

Fig. 1 Spectrograms of driving sounds used in experiment

Table 1 Psychoacoustic parameters of the audio sources used in the first and second experiments

Sound (trial num. - sound num.)	Shapness [acum]	Tonality [tu]	Loudness [sone]
1-1	0.74	0.016	30
1-2	0.68	0.15	30
1-3	1.1	0.034	30
1-4	0.49	0.087	30
1-5	1.1	0.33	30
2-1	0.53	0.0086	30
2-2	0.98	0.098	30
2-3	0.70	0.16	30
2-4	0.75	0.092	30
2-5	0.82	0.13	30

점수를 주는 jury test와 각 주행음의 만족도에 대한 점수를 주관적으로 작성하는 만족도 평가로 이루어졌다.

Fig. 2는 주관 평가지의 예시이다. Jury test에 사용된 항목의 경우 Swart and Bekker의 연구에서 사용한 항목을 참고하여 제작하였다⁽⁷⁾. 실험자가 대부분 한글에 더 익숙한 사람들이었기 때문에, 한국어로 번역하여 설문을 진행하였다. 조용한(quiet)-시끄러움(loud), 차분한(calm)-날카로운(shrill), 기분 좋은(pleasant)-짜증 나는(annoying), 따뜻한(deep)-차가운(metallic), 편안한(comfortable)-불편한(uncomfortable), 힘찬(powerful)-약한(weak), 경쾌한(sporty)-잔잔한(conservative), 다이내믹한(rumbling)-단조로운(flat), 흥미진진한(exciting)-지루한(boring), 미래적인(futuristic)-고전적인(old fashioned), 창의적인(creative)-평범한(uninspired), 고상한(refined)-거친(harsh)으로 번역하였다. 만족도 평가는 1점~10점 스케일의 평가를 진행할 경우 참가자들의 점수가 4점~6점 사이에 지나치게 몰리는 현상이 생기는데, 이를 방지하기 위해 4.5점~9점 사이의 점수를 0.5점 단위로 매기게 하였다.

3. 주행 시뮬레이션을 이용한 주행 집중력 평가

3.1 주행 시뮬레이션

시뮬레이션을 통해 차량의 주행 환경을 모사하고

Driving sound #4	
	-3 -2 -1 0 1 2 3
Quiet	■ □ □ □ □ □ □
Calm	□ □ □ □ □ □ ■
Pleasant	□ ■ □ □ □ □ □
Deep	□ ■ □ □ □ □ □
Comfortable	□ □ □ □ □ ■ □
Powerful	□ □ □ □ ■ □ □
Sporty	□ □ □ ■ □ □ □
Rumbling	■ □ □ □ □ □ □
Exciting	□ □ □ □ ■ □ □
Futuristic	□ □ □ □ □ □ ■
Creative	□ □ □ □ ■ □ □
Refined	□ □ ■ □ □ □ □
Loud	
Shrill	
Annoying	
Metallic	
Uncomfortable	
Weak	
Conservative	
Flat	
Boring	
Old fashioned	
Uninspired	
Harsh	

Indicate your satisfaction with the sound on a scale of 4.5 to 9.

Score :

Fig. 2 Example of subjective evaluation paper

특정 자극을 준 뒤 운전자의 뇌파, 전기전도도 등의 반응을 연구하는 연구는 최근 자주 시도되고 있는 실험 방법이다. 실제 운전애 비해 안전이 보장된다는 장점 외에도 모든 실험자에게 동일한 운전 상황을 재현할 수 있다는 점, 영향을 평가하고자 하는 자극을 선택적으로 줄 수 있다는 점 등 많은 이점을 가지고 있다.

실험에 사용된 주행 시뮬레이션은 Unity사의 게임 개발 도구를 이용하여 제작되었다. 또한 Logitech사의 게이밍휠 세트인 G923으로 조작할 수 있도록 구현하였다. 전체적인 실험 환경은 Fig. 3과 같다. 최대한 실제 운전 환경과 유사한 실험 환경을 구현하면서, 사고로 인한 실험 데이터의 오염을 최소화 하고자 하였다. 이를 위해 제한속도를 100 km/h로 설정하였으며 오르막길과 내리막길, 페달을 밟는 정도에 따른 감/가속력 차이, 가속 페달에서 밟을 땀 시 자동 감속, 핸들에 댐퍼와 스프링을 추가하는 등 실제 운전환경을 모사하고자 하였다.

3.2 에릭센 플랭커 태스크

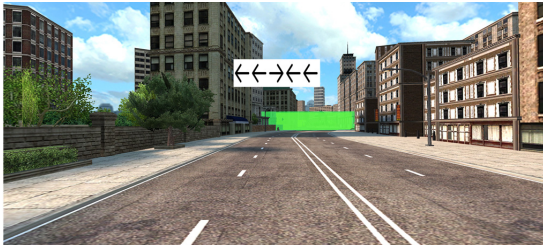
에릭센 플랭커 태스크는 인지심리학 실험에서 주로 사용되는 실험 방법으로, 참가자의 선택 집중력과 반응 억제 능력을 평가하는 데 활용된다. 실험에서 참가자는 화면에 표시된 여러 화살표 중에서 중앙에 위치한 주요 화살표의 방향과 일치하는 화살표를 빠르게 인지하고 선택해야한다. 이 때, 플랭커라 불리는 주변의 다른 화살표로 인해 주의력 분산이 일어나게 되며, Fig. 4(a)와 같이 가운데 화살표와 플랭커 화살표의 방향이 동일한 congruent 태스크, 가운데 화살



(a) Driving simulator setting

(b) Photo of the experiment in progress

Fig. 3 The overall setting for measuring concentration



(a) Example of flanker task of driving simulator



(b) Key settings of driving wheel

Fig. 4 The overall view of how the flanker task is done while driving simulation

표와 플랭커 화살표의 방향이 다른 incongruent 태스크로 나뉜다.

실험자의 반응 속도와 정확도를 측정하여 실험자의 선택 집중력과 반응 억제 능력을 평가하였다. 가운데 화살표와 플랭커 화살표들의 관계는 실험 조건에 따라 다르게 설정될 수 있어서, 참가자의 특정 인지 능력에 대한 특성을 파악하는 데에 사용된다.

이 실험에서는 주행 중에 플랭커 태스크가 제시되고, 실험자는 Fig. 4(b)에 표시된 것처럼 핸들의 버튼 중 가운데 화살표와 동일한 방향의 키를 누르는 방식으로 실험이 진행된다. 화면에 화살표가 표시된 시간과 실험자가 키를 누른 시간이 저장되며, 두 시간의 차를 구함으로써 반응시간을 계산할 수 있다.

4. 실험 결과 및 분석

실험은 총 2회에 걸쳐서 진행되었으며, 각각 40명의 실험자에 대해 주관 평가와 주행 시뮬레이션 실험을 진행하였다. 실험 1은 남성 3명, 여성 4명에 대해 진행되었고, 19세에서 31세까지의 연령의 실험자로 구성되어 있으며, 80%는 운전 경험이 있다. 실험 2

는 남성 29명, 여성 11명으로 구성되어 있으며, 마찬가지로 19세에서 31세까지의 연령의 실험자로 구성되어 있으며, 52.5%가 운전 경험이 있다. 이 연구에서는 두 번의 실험을 통해 얻어진 80명의 실험 데이터를 함께 분석하였다.

실험자는 주관 평가가 끝난 후 간단한 조작법에 대한 적응 과정을 거친 다음 본격적으로 실험을 시작하게 된다. 실험은 총 6개의 트랙으로 이루어져 있으며, 각 트랙에서 24개, 48개, 72개의 태스크를 진행하게 된다. 주행 중 4개의 태스크가 진행된 후 음원이 변경되는 구조로 이루어져 있으며, 각 음원들은 동일한 횟수, 랜덤한 순서로 재생된다. 예를 들어, 72개의 태스크를 진행하는 트랙의 경우 각 음원이 3번씩 랜덤한 순서로 재생되는 방식이다. 태스크는 왼쪽/오른쪽 congruent 태스크 10번씩, 왼쪽/오른쪽 incongruent 태스크 10번씩 총 40번의 태스크를 각각 음원에서 진행하며, 순서는 모두 랜덤이다. 이렇게 음원과 태스크의 순서를 모두 랜덤하게 설정함으로써 조작 난이도가 어려운 특정 구간이나 음원의 순서에서 오는 데이터의 오염을 최대한 배제하고자 하였다.

그럼에도 불구하고 급커브, 조작 미숙 등의 변수로 인해 실험자가 적절한 키를 누르지 못하거나 반응시간이 비정상적으로 늘어나는 경우가 존재한다. 이러한 실험 상의 오염 요인을 고려하기 위해 10개의 데이터 중 중위 5개의 데이터만을 사용하여 분석을 진행하였다. 이 때, 사람마다 절대적인 반응 속도의 차이가 생기기 때문에 반응시간을 이용해 해석을 진행하는 것은 정확하지 않다고 판단했다. 따라서 무음상태에서의 반응시간을 기준으로 각 음원에서의 반응시간 증감량을 백분위로 계산함으로써 이러한 문제를 식 (4)와 같이 해결하고자 하였다.

$$r_{\text{cong},i,j} = \frac{t_{\text{cong},i,N} - t_{\text{cong},i,j}}{t_{\text{cong},i,N}} \tag{4}$$

식 (4)는 congruent 태스크의 반응시간 증감량을 백분위화 하는 식이다. 여기서 $t_{\text{cong},i,N}$ 는 실험자 i 가 무음 상태에서 보인 평균 반응시간이고, $t_{\text{cong},i,j}$ 는 j 음원에서 보인 평균 반응시간이다. 이를 통해 실험자 i 가 j 음원에서 보인 반응시간 증감량 $r_{\text{cong},i,j}$ 를 계산할 수 있으며, $r_{\text{cong},i,j}$ 가 클수록 높은 집중력을 보인다고 볼

수 있다. 이렇게 구해진 $r_{\text{cong},j}$ 를 각 실험자 별로 모은 데이터 R_{cong} 은 식 (5)와 같이 계산된다.

$$R_{\text{cong}_i} = \{r_{\text{cong},1}, r_{\text{cong},2}, r_{\text{cong},3}, r_{\text{cong},4}, r_{\text{cong},5}\} \quad (5)$$

같은 방법으로 $r_{\text{incong},j}$ 와 R_{incong} 도 구할 수 있다. R_{cong} 과 R_{incong} 를 이용해 집중력 지표를 만들기 위해 두 값을 정규화 하여 식 (6)과 같이 더해주었다.

$$N_{\text{cong}_i} = \frac{R_{\text{cong}_i} - r_{\text{cong},\min}}{r_{\text{cong},\max} - r_{\text{cong},\min}} \quad (6)$$

$$N_{\text{incong}_i} = \frac{R_{\text{incong}_i} - r_{\text{incong},\min}}{r_{\text{incong},\max} - r_{\text{incong},\min}} \quad (7)$$

$$N_i = N_{\text{cong}_i} + N_{\text{incong}_i} \quad (8)$$

N_{cong_i} 와 N_{incong_i} 는 각각 식 (6), 식 (7)과 같이 R_{cong_i} 와 R_{incong_i} 를 정규화한 값이다. 여기서 $r_{\text{incong},\max}$ 와 $r_{\text{incong},\min}$ 는 각각 R_{cong_i} 의 최대값과 최소값이며, $r_{\text{incong},\max}$ 와 $r_{\text{incong},\min}$ 는 각각 R_{incong_i} 의 최대값과 최소값이다. 최종적으로 실험자 i 의 각 음원에 대한 집중력 점수는 식 (8)에서 구해진 N_i 를 사용하며, 각 음원은 최소 0, 최대 2의 점수를 가질 수 있다.

4.1 주관 평가에 영향을 미치는 심리음향 파라미터

Jury test를 이용한 주행감성 주관 평가 결과 각 음원의 주행감성 키워드와 점수를 얻어낼 수 있었다. 주행감성 키워드 점수와 심리음향 파라미터 사이의 관계를 확인하고자 상관계수 분석을 진행하였다.

Table 2는 각 키워드와 심리음향 파라미터 사이의 상관계수를 나타낸 표이다. Sharpness가 높을수록 시끄럽고, 날카롭고, 짜증나고, 불편하고, 힘차고, 경쾌한 주행감성을 유도할 수 있다. 또한, tonality가 높을수록 흥미진진하고, 미래적이고, 창의적인 주행감성을 유도할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4.2 주행음 만족도와 연관된 심리음향 파라미터 및 주관 평가 키워드

설문 평가를 진행하면서 각 주행음의 주관적인 만

Table 2 Correlation coefficients between bipolar test keywords and psychoacoustic parameters

Driving emotion (opposite key word)	Correlation coeff. (sharpness)	Correlation coeff. (tonality)
Loud(quiet)	0.92	0.26
Shrill(calm)	0.88	0.53
Annoying(pleasant)	0.78	0.35
Metallic(deep)	0.40	0.58
Uncomfortable (comfortable)	0.89	0.50
Weak(powerful)	-0.79	-0.19
Conservative(sporty)	-0.79	-0.67
Flat(rumbling)	-0.73	-0.64
Boring(exciting)	-0.43	-0.79
Old fashioned (futuristic)	0.025	-0.73
Uninspired(creative)	0.078	-0.79
Harsh(refined)	0.70	-0.22

족도에 대한 정보도 함께 수집하였다. 여기서 수집된 정보를 바탕으로 운전자의 높은 만족도를 유도할 수 있는 주행음의 조건에 대해서 상관계수 분석을 통해 확인해보았다.

Table 3의 2열은 각 주행감성 키워드들과 만족도 점수 사이의 상관계수를 나타낸 것이다. 기분 좋은, 편안한, 차분한, 조용한 키워드의 주행음에서 높은 만족도를 보이는 것을 확인할 수 있다. 여기서 만족도와 높은 상관계수를 보인 키워드 모두 sharpness와 높은 상관계수를 보인 키워드들임을 고려할 때, 주행음의 만족도는 sharpness와 높은 상관관계를 가지고 있을 것이라 예상할 수 있다.

Fig. 5는 주행음의 만족도와 sharpness를 표시한 그래프다. 상관계수 $r = -0.82$ 로, 앞서 주행감성 키워드 결과에서 유추했던 것과 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 고주파의 비율이 올라갈수록 더 커지는 파라미터인 것을 고려할 때, 주행음 내에서 3 kHz 이상의 고주파의 비율을 줄일수록 만족도 높은 주행음을 제작할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

4.3 집중력과 연관된 심리음향 파라미터 및 주관 평가 키워드

앞서 집중력 점수 N_i 를 계산하는 방법에 대해 제시하였다. 이번 장에서는 제시된 집중력 점수 계산

Table 3 Correlation coefficients between bipolar test keywords and satisfaction, concentration score

Driving emotion (opposite key word)	Correlation coeff. (satisfaction)	Correlation coeff. (concentration)
Loud(quiet)	-0.81	-0.28
Shrill(calm)	-0.84	-0.62
Annoying(pleasant)	-0.98	-0.47
Metallic(deep)	-0.59	-0.81
Uncomfortable (comfortable)	-0.93	-0.53
Weak(powerful)	0.45	0.032
Conservative(sporty)	0.70	0.67
Flat(rumbling)	0.60	0.67
Boring(exciting)	0.30	0.80
Old fashioned (futuristic)	0.15	0.75
Uninspired(creative)	0.15	0.78
Harsh(refined)	-0.51	0.16

방법을 이용해 얻어진 음원 별 집중력 점수를 이용해 높은 집중력을 유도할 수 있는 주행음의 조건에 대해서 상관계수 분석을 통해 확인해 보았다.

Table 3의 3열은 각 주행감성 키워드들과 집중력 점수 사이의 상관관계를 나타낸 것이다. 따뜻한, 지루한, 고전적인, 평범한 키워드의 주행음에서 높은 집중력 점수를 보이는 것을 확인할 수 있다. 여기서 지루한, 고전적인, 평범한 키워드는 tonality와 높은 상관계수를 보인 키워드들임을 고려할 때, 주행음의 집중력 점수는 tonality와 높은 상관관계를 가지고 있을 것이라 예상할 수 있다.

Fig. 6은 주행음의 집중력 점수와 tonality를 나타낸 그래프다. 상관계수 $r = -0.79$ 로, 작지 않은 상관관계를 가지는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5를 통해 유추해볼 때, 톤 주파수가 존재하지 않는 음원이 톤 주파수가 존재하는 음원에 비해 높은 집중력 점수를 보인다는 것을 알 수 있다. 다만, 톤 주파수가 존재하는 음원들 사이에서는 tonality 이외에도 다른 변수가 존재할 것이라는 것을 유추할 수 있다.

이는 tonality와 sharpness 모두 높지 않은 상관계수

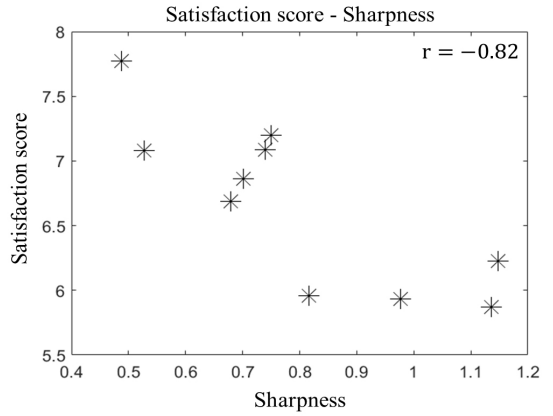


Fig. 5 Scatter plot between the satisfaction score and sharpness

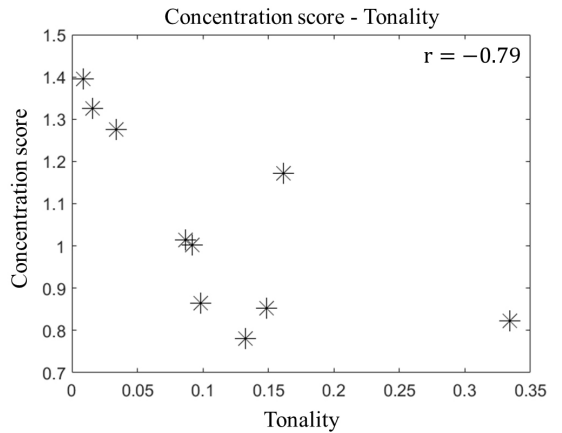


Fig. 6 Scatter plot between the concentration score and tonality

를 보이지만, 집중력 점수와 높은 상관계수를 보이는 주행감성 키워드 따뜻한과 연관된 파라미터를 찾음으로써 또 다른 변수를 찾을 수 있을 것이라 보여진다.

5. 결 론

이 연구에서는 주행 시뮬레이션과 에릭션 플랭커 태스크를 이용해 주행 중 주행음이 집중력에 미치는 영향을 평가하는 방법을 제시하였다. 또한 주행 시뮬레이션 결과와 주행감성, 만족도, 심리음향 파라미터 사이의 관계를 분석함으로써 최적의 주행음에 대한 다음과 같은 조건을 제시하였다.

(1) Sharpness가 높을수록 시끄럽고, 날카롭고, 짜증나고, 불편하고, 힘차고, 경쾌한 주행감성을 유도할 수 있다.

(2) Tonality가 높을수록 흥미진진하고, 미래적이고, 창의적인 주행감성을 유도할 수 있다.

(3) 만족도 높은 음원을 유도하기 위해서는 sharpness를 최소화해야한다.

(4) 높은 집중력을 유도하기 위해서는 주행음에 톤 주파수가 존재하지 않아야 하며, 따뜻한, 지루한, 고전적인, 평범한 주행감성을 가지고 있어야 한다.

(5) Tonality 이외에도 따뜻한 주행감성 키워드에 높은 영향을 주는 심리음향 파라미터를 찾음으로써 더 높은 집중력을 유도할 방법을 찾을 수 있을 것이라 생각된다.

다만, 이 실험에 참여한 인원은 19세~31세로써, 20대가 대부분이고, 운전경력이 없는 인원 34% 가량이 포함되어 있다. 또한 남성의 비율이 우세한 실험군에 대한 데이터이므로, 평균적인 운전자의 성향으로 규정하는 데 어려움이 존재한다.

플랭커 태스크를 이용한 집중력 평가는 운전 집중력을 평가하기에 한계가 있기에, 추후 실험 설계 시 플랭커 태스크보다 실제 운전 상황에 가까운 실험 상황을 제시함으로써 좀 더 집중력과 관련된 정확한 실험 결과를 얻어낼 수 있을 것이라 기대된다.

후 기

이 논문은 현대자동차의 연구 지원을 받아 수행되었다. 또한, 이 연구를 위해 프로그램을 제공해주신 서울대학교 뇌인지과학과 이상아 교수님께 감사의 말씀을 전한다.

References

(1) Kim, S., Park, D. C., Jo, H. H., Sung, W. and Kang, Y. J., 2014, The Development and Application of Sound Quality Index for the Improving Luxury Sound Quality of Road Vehicle Power Window System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 24, No. 2, pp. 108~116.

(2) Lee, J. K., Cho, T., Seo, D. W., Lim, Y. S. and Won, K. M., 2012, A Development of Sound Quality Index of an Intake and Exhaust System for High Quality

Improvement of Luxury Vehicles, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 22, No. 4, pp. 234~243.

(3) Oh, J.-E., Park, S. G., Lee, H. J., Sim, H. J. and Lee, Y. Y., 2006, Construction and Comparison of Sound Quality Index for the Vehicle HVAC System using Regression Model and Neural Network Model, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 9, pp. 897~903.

(4) Goetchius, G., 2011, Leading the Charge - The Future of Electric Vehicle Noise Control, Sound & Vibration, Vol. 45, No. 4, pp. 5~8.

(5) He, S., Miller, J., Peddi, V., Omell, B. and Gandham, M., 2022, Active Masking of Tonal Noise using Motor-based Acoustic Generator to Improve EV Sound Quality, SAE International Journal of Advances and Current Practices in Mobility, Vol. 4, No. 2, pp. 348~354.

(6) Cao, Y., Hou, H., Liu, Y., Tang, L. and Li, Y., 2020, Engine Order Sound Simulation by Active Sound Generation for Electric Vehicles, SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability and NVH, Vol. 4, No. 2, pp. 151~164.

(7) Swart, D. J. and Bekker, A., 2019, The Relationship between Consumer Satisfaction and Psychoacoustics of Electric Vehicle Signature Sound, Applied Acoustics, Vol. 145, pp. 167~175.

(8) Kim, M. W., Kim, M. S., Song, H. N. and Lee, S. A., 2023, Emotional Sounds Modulate Executive Control During Simulated Driving, Korean of Human Brain Mapping, p.260 Sungkyunkwan University, Suwon, South Korea.

(9) Zwicker, E. and Fastl, H., 2013, Psychoacoustics: Facts and Models, Springer Science & Business Media, Berlin, Germany.

(10) Zwicker, E., Fastl, H., Widmann, U., Kurakata, K., Kuwano, S. and Namba, S., 1991, Program for Calculating Loudness according to DIN 45631 (ISO 532B), Journal of the Acoustical Society of Japan (E), Vol. 12, No. 1, pp. 39~42.

(11) Kwon, G., Jo, H. and Kang, Y. J., 2018, Model of Psychoacoustic Sportiness for Vehicle Interior Sound: Excluding Loudness, Applied Acoustics, Vol. 136, pp. 16~25.

(12) Deutsche Norm, DIN 45681(draft), 1992, Acoustics -

Determination of Tonal Components of Noise and Determination of a Tone Adjustment for the Assessment of Noise Immissions.

(13) Swart, D. J., Bekker, A. and Bienert, J., 2018, Electric Vehicle Sound Stimuli Data and Enhancements, Data in Brief, Vol. 21, pp. 1337~1346.



Korea. His research areas are Active Noise Control and Sound Quality.



His research areas are Road Noise Control in NVH, Active Noise Control and Sound Quality.

Hyun Woo Jung received B.S. degree in department of Mechanical Engineering in Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea. He is now master course in department of Mechanical Engineering in Seoul National University,

Jun Young Oh received B.S. degree in department of Mechanical Engineering in Korea Advanced Institute of Science and Technology, Korea. He is now Ph.D course in department of Mechanical Engineering in Seoul National University, Korea.



Kyoung Hoon Lee received B.S. and M.S. degrees in department of Machine Design Engineering in Seoul National University, Korea. He then received his Ph.D. degree from Purdue University in 2006. He is currently employed as a senior engineer in the Hyundai Motor Company's Genesis NVH development team. His research area is vehicle NVH development.



Yeon June Kang received a B.S. and M.S degree from Seoul National University in 1988, 1990. He then received his Ph.D. degree from Purdue University in 1994. He is currently a professor at the department of mechanical engineering at Seoul National University, South Korea, since 1997. His research interests include acoustical materials and automotive NVH.