

# 마스킹 효과를 이용한 선셰이드 모터음의 최소가청치 특성에 관한 연구

## A Study on Threshold of Hearing of Sun shade Motor Sound Using Masking Effect

조현호\*, 성원찬\*, 김성현\*\*, 박동철\*\*, 강연준†

Hyeonho Jo, Wonchan Seong, Seonghyeon Kim, Dongchul Park, Yeonjune Kang

**Key Words** : Psychoacoustics(음향심리학), Sound Quality(음질), Masking Effect(마스킹 효과), White Noise(백색 잡음), Panorama Sun Roof(파노라마 선루프), Sun Shade(선셰이드), Motor Tonal Sound(모터 순음)

### ABSTRACT

Panorama Sun roof's sun shade motor elicits two major sounds when operating: the tonal sound and the white noises. Generally, the sound related to the sharpness contributes the most to the quality of motors' tonal sound.

The primary purpose of this study was to set the loudness of the motor's objective tonal sound utilizing the masking effect by its white noises. To conduct this study, the sound made by the operating sun shade motor was categorized into two different subsets of masker and test tone to examine the masking threshold. Also, the shifts of masking threshold were observed with the varying masker loudness.

### 기 호 설 명

*THQ* : 암소음이 없을 때 청력 역치

*I<sub>WN</sub>* : 백색 잡음의 인텐시티 주파수 밀도 (spectral density)

파노라마 선루프 시스템 중 선셰이드(Sun shade)는 운전자의 머리 바로 위에 설치되어 있어 그 작동음이 매우 잘 들리는 부품 중 하나이다. 이러한 선셰이드의 작동음은 마찰에 의한 백색 잡음(White Noise)과 모터에 의한 고주파 순음(Tonal Sound)으로 구성되어 있다.

### 1. 서 론

기술의 발전으로 인해 자동차 소비 성향이 점차 고급화되고 있다. 자동차 소비의 가치가 단순한 이동 수단에서 자동차가 가지는 이미지를 소비하는 것으로 변모하고 있는 것이다. 그에 따라 소음, 진동을 줄이기 급급했던 자동차 NVH 연구도 점차 고급감, 신뢰도 등의 감성적인 요소를 전달하는데 관심을 갖기 시작하였다.

본 연구에 앞서 선행 연구를 수행한 결과 선셰이드 작동음 음질에 가장 영향을 끼치는 것은 샤프니스(Sharpness) 관련 인자였는데, 이는 모터 순음에 의해 크게 영향을 받는 인자이다. 모터 구동 부품에서 모터 순음을 줄이기 위해서 많은 연구가 수행되어 왔으며, 실제로 모터 하우징 강성 추가 및 형상 변경과 같은 단품 개선안을 통해 소음 저감 효과를 얻기도 하였다.<sup>(1),(2)</sup> 하지만 그 효과에는 한계가 있으며, 차량 양산 시스템에의 적용 가능성 역시 현실적인 문제에 부딪혀 제한될 수 밖에 없는 실정이다. 따라서 최적화된 선셰이드 모터 순음 저감 목표치를 개발한다면, 기술이나 자금의 낭비 없이 높은 음질의 선셰이드 작동음을 얻는데 크게 기여할 수 있는 것으로 보인다.

† 교신저자: 정희원, 서울대학교 기계항공공학부  
E-mail: yeonjune@snu.ac.kr  
Tel: (02)880-1691, Fax: (02)888-5950

\* 정희원, 서울대학교 대학원 기계항공공학부

\*\* 현대자동차(주)

어떤 제품의 최적 소음 수준을 정하는 데에는 사용자가 소음을 어떻게 수용하는가에 대한 연구가 필요하며, 그를 위해서는 반드시 음향 심리학(Psychoacoustics)적 고려가 수반되어야 한다. 본 연구에서는 그러한 음향 심리학적 특성 중 여러 종류의 소리가 동시에 발생할 때 나타나는 마스킹 효과(Masking effect)를 적용하여 선세이드의 모터 순음 크기의 최적화에 활용할 수 있는 모터 순음 최소가청치에 대하여 고찰하였다.

## 2. 백색 잡음의 마스킹 효과

두 개 이상의 소리가 동시에 발생할 때, 하나의 소리가 다른 소리들에 의해 가려져 사람에게 들리지 않는 것을 마스킹 효과라 한다. 마치 주변 사물 때문에 생기는 눈의 착각에 의해 사물이 실제와 다르게 보이는 것과 유사하게 마스킹 효과는 사람의 청각기관과 뇌의 특성 때문에 생기는 심리적 효과이다. 그 예로 폭포수 옆에서 소리가 잘 들리지 않는다거나 자동차 엔진음에 묻혀 다른 부품의 작동음이 잘 들리지 않는 현상들이 모두 마스킹 효과에 해당한다. 마스킹 효과는 일상 생활에서 매우 많이 활용되는 음향 심리학적 특성이다. 다른 소리에 의해 대화가 잘 안들리는 것과 같은 부정적인 영향뿐만 아니라, 도로 소음 문제를 방음벽을 설치하는 것 대신 도로 주변에 분수를 설치하여 백색 잡음을 만들어 내 해결하는 것과 같은 긍정적인 기능도 가지고 있다.<sup>(3)</sup>

마스킹 과정에서 지워지는 소리를 테스트 사운드(Test sound), 테스트 사운드를 지우는 역할을 하는 나머지 소리를 마스커(Masker)라고 부른다. 마스커의 종류에 따라 나타나는 마스킹 특성 역시 차이가 나며, 마스커의 종류로는 백색잡음, 협대역 잡음(Narrow band noise), 순음 등 여러 가지가 있을 수 있다.

Fig. 1은 백색 잡음이 마스커로서의 역할을 할 때, 사람이 들을 수 있는 순음의 최소가청치를 나타낸 그림이다. 500 Hz 이하의 주파수에서는 테스트 사운드의 최소가청치의 크기가 주파수에 관계없이 마스커보다 약 17 dB 큰 것을 볼 수 있다. 이는 주파수 밀도(Spectral density) 30 dB/Hz 의 백색 잡음이 발생하는 도중에는 최대 47 dB 크기의 500 Hz 이하의 순음이 사람의 귀에 들리지 않는다는 것을 의미한다.

하지만 500 Hz 이상의 주파수부터는 주파수가 증가함에 따라 테스트 사운드의 최소가청치 역시 증

가하는 것을 확인할 수 있는데, 그 기울기는 주파수가 10배 증가할 때마다 10 dB 증가하는 정도의 수준이다.

또한 마스커의 크기가 10 dB 증가하면 테스트 사운드의 최소가청치 역시 10 dB 증가하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 최소가청치는 마스커의 크기와 선형적인 관계에 있음을 알 수 있다.

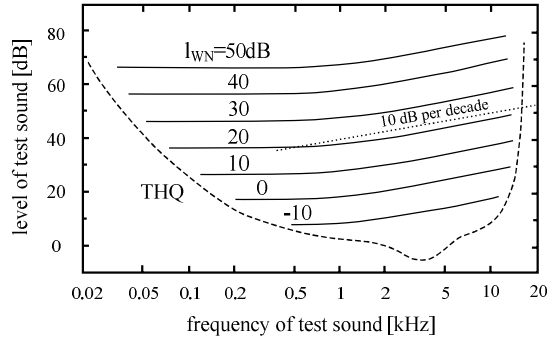


Fig. 1 Level of test tone just masked by white noise of given density level  $l_{WN}$

## 3. 선세이드의 작동음 분석

### 3.1 선세이드 작동음 녹음

본 연구는 파노라마 선루프 시스템의 선세이드를 대상으로 진행되었다. 해당 부품의 음원 샘플은 실차 선세이드의 작동음을 직접 녹음하여 얻은 것이다. 녹음 위치는 작동음이 사람의 귀 위치에서 녹음될 수 있도록 실제 사람이 운전석에 앉아 녹음하였다. 또한 사람의 귀를 잘 모사할 수 있도록 헤드폰 마이크를 이용하였으며, 녹음에 사용된 장비의 재원은 Table 1에 정리된 바와 같다.

Table 1 Specification of equipment used for sound recording

Model	BHS II(Binaural headset)
Frequency response	20 Hz - 20 kHz
Maximum SPL	130 dB

### 3.2 선세이드 작동음 음질 인덱스

본 연구에 앞서 선세이드 작동음의 음질 평가 지수 개발을 위해 주관적 및 객관적 평가를 진행하였다. 선행 연구의 결과 샤프니스 관련 인자가 선세이드 작동음 음질에 영향을 끼치는 주요 인자로 나

다났는데, 이는 고주파 음이나 순음에 의해 주로 변화하는 인자이다. 이를 통해 선셰이드 작동음의 음질 개선을 위해서는 작동음에 포함된 고주파 음이나 순음 성분을 개선하여야 할 필요가 있음을 알 수 있었다.

### 3.3 선셰이드 작동음 특성

선셰이드 작동 시 발생하는 작동음은 시작과 끝에 발생하는 충격음과 4-5 초 동안 지속되는 이송음으로 구성되어 있다. 본 연구는 크기 및 작동 시간에 있어 작동음의 음질에 더욱 크게 기여하는 이송음에 초점을 맞추어 진행하도록 한다.

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 이송음은 모터에 의해 발생하는 649 Hz의 순음(56 dBA)과 이송 중 마찰에 의해 발생하는 백색잡음(35 dBA 가량)으로 구성되어 있다. 샤프니스 관련 인자 개선을 위해서는 이송음을 구성하고 있는 두 가지 소리 중에서도 모터 순음을 개선하는 것이 필요하다.

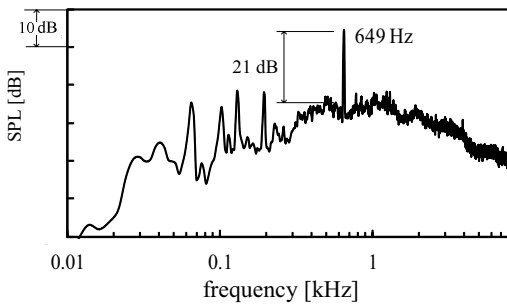


Fig. 2 Frequency spectrum of sunshade transfer region sound

## 4. 실험의 구성

### 4.1 음원 샘플 제작

모터 순음을 개선하기 위한 방법은 모터 단품 자체의 품질 개선, 차음 처리, 진동 절연 등으로 매우 다양하다. 하지만 차실 디자인이나 비용 등과 같은 현실적인 문제로 가능한 모든 방법을 사용할 수는 없는 실정이다. 본 연구는 단품 개선 수준을 최적화할 수 있도록 마찰음에 의해 지워지는 모터 순음의 최소가청치에 대하여 고찰하도록 한다.

마찰음이 존재할 때 사람이 느끼는 모터 순음의 최소가청치는 실제 사람을 대상으로 한 청음평가를 통해 구명한다. 청음평가에 사용할 음원 샘플들은 Table 2에 정리된 바와 같다.

마스커 역할을 하는 마찰음의 크기를 고정된 채, 토널음의 크기를 변화시킨 음원 샘플을 12개, 마찰음의 주파수 밀도를 3 dB 낮추고 토널음의 크기를 그에 맞게 변화시킨 음원 샘플을 12개 제작했다.

Table 2 Samples made for this study

Friction sound (White noise)	Motor sound level [dBA]											
	(Tonal sound)											
Original level	56	53	50	49	48	47	46	45	44	41	38	35
-3 dB level down	53	50	47	46	45	44	43	42	41	38	35	33

### 4.2 청음 평가 기법

청음 평가를 위한 음원 재생(play-back)은 사람의 특성을 보다 잘 반영할 수 있도록 쌍이효과(binaural)를 잘 재현할 수 있는 Head社의 PEQV를 이용하였다.

평가자를 대상으로 한 청음 평가는 Yes-No Procedure를 이용하여 진행하였다. Yes-No Procedure란 평가자가 신호가 존재하는지 아닌지에 대한 판단을 하여 Yes/No로 대답하는 방식으로, 최소가청치와 같은 인간의 지각의 한계를 구명하는데 주로 사용되는 방법이다. 본 연구에서 청음 평가는 Fig. 3에 나타난 것처럼 실험자가 평가자에게 “미리 들려준 토널음이 해당 샘플에서 들리는가?” 라는 질문을 하였고, 평가자가 그에 Yes/No로 대답하였다. 또한 청음 평가는 평가자의 일관성 확인을 위하여 샘플 별로 총 5회 반복 시행되었다. 5회 반복 시행의 조건은 Table 3에 나타난 바와 같다.

반복 실험에 대한 평가 결과의 타당성을 검증하기 위해 내적 일관성(Internal consistency)을 검토하여 신뢰도 분석을 실시하였다. 내적 일관성이란 평균 상관관계에 근거하여 평가자들이 동질적인 요소로 구성되어 있는지 알아보기 위한 척도이며 본 연구에서는 Cronbach's alpha를 통해 계산하였다. Cronbach's alpha는 0.6 이상일 경우 신뢰성이 있다고 보며 평가자들의 결과가 동질적이라고 할 수 있다. 본 연구에서 청음평가를 통해 얻은 Cronbach's alpha 결과를 Table 4에 정리하였다.

결과의 신뢰도 분석 결과 Cronbach's alpha 값이 각각 0.837/0.954이므로 청음 평가 결과로 얻은 값은 신뢰할 수 있다고 할 수 있다.



Fig. 3 Jury test

Table 3 Conditions of repeat test

Test	Order of questions of each test
1 <sup>st</sup> test	Loud to quiet
2 <sup>nd</sup> test	Quiet to loud
3 <sup>rd</sup> test	Alternative order
4 <sup>th</sup> test	The loudest tone followed by each sample
5 <sup>th</sup> test	The quietest tone followed by each sample

Table 4 Cronbach's alpha of jury test

Friction sound	Cronbach's alpha	Number of Items
Original level	0.837	15
-3dB level down	0.954	15

### 4.3 평가자 정보

실험에 참가한 평가자는 총 15명이다. 평균 나이 28.06 세(26~35세)의 남성으로 구성되어 있으며, 모든 참가자의 청각 기능은 정상이다.

평가자 수가 다소 부족한 점과 평가자의 나이가 모두 20대 후반 내지는 30대 초반으로 다양하지 못하다는 점이 연구의 한계를 만들 수 있다. 하지만 Cronbach's alpha 값을 통해 확인하였듯이 최소가 청치 연구가 사람에 따른 편차가 크지 않다는 점과 20대 후반에서 30대 초반의 청각 능력이 평균에 가깝다는 점에 착안하여 본 연구를 진행하기 위한 평가자로 적합하다 판단하였다.

## 5. 결과 및 고찰

### 5.1 마찰음에 의한 모터 순음 마스킹 효과

15명의 평가자를 대상으로 청음 평가를 시행한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 평가자들 마다 약간의 차이는 보이고 있지만, 표준 편차 값이 1.22 dB로 비교적 낮은 것으로 보아 Cronbach's alpha 값에서

도 확인하였듯이 평가자 간 차이는 적은 것을 확인할 수 있다.

Table 5에 정리된 대로 주파수 밀도 35 dB/Hz의 선셰이드 마찰음과 동시에 발생하는 649 Hz 모터 순음의 가청최소치는 약 47.44 dB인 것으로 나타났다. 이는 Fig. 4에 나타난 것처럼 기존 선셰이드 모터 순음이었던 51 dB 대비 8.56 dB이 낮아진 크기이다. 이러한 결과는 기존 선셰이드 단품에서 모터의 소음을 8.56 dB 만큼만 저감시키면 선셰이드 작동음 음질에 가장 악영향을 끼쳤던 모터 순음이 사람의 귀에 들리지 않는 수준으로 저하됨을 의미한다.

통상적인 소음 연구에서 35 dB/Hz의 주파수 밀도를 가지는 배경음 대비 12.44 dB 높은 순음은 문제 소음으로 삼기에 충분한 매우 큰 소리이다. 하지만 본 연구를 통해 확인한 결과를 바탕으로 선셰이드 모터 순음의 크기 최적 기준을 개발한다면 47.44 dB의 모터 순음은 사람의 귀에 들리지 않는 소리로서 문제 시 할 필요가 없는 소리가 된다. 이처럼 본 연구의 결과를 기존에 지속적으로 진행되어 온 모터 소음 저감에 대한 연구에 접목시킨다면 보다 효율적으로 선셰이드의 음질을 향상시킬 수 있는 방법을 개발할 수 있을 것으로 기대된다.

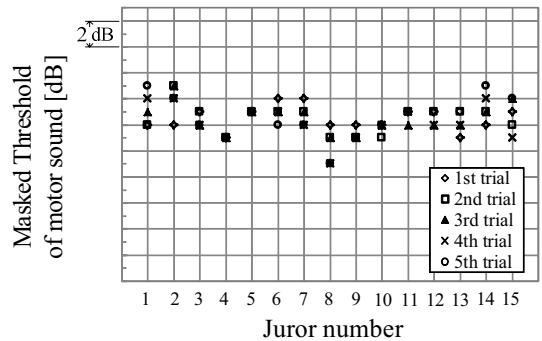
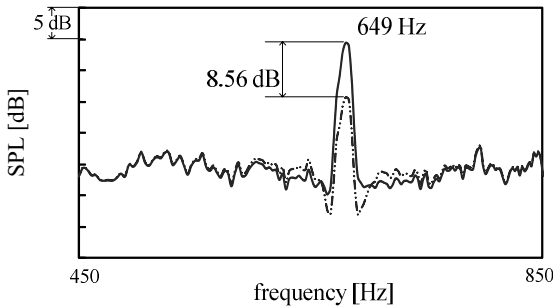


Fig. 4 Results of Jury Test using original friction sound masker

**Table 5** Results of Jury Test using original friction sound masker

Contents	Value
Avg. spectral density of friction sound [dB/Hz]	35
Masked threshold [dB]	47.44
Standard deviation	1.22
Difference between spectral density of friction sound and masked threshold [dB]	12.44



**Fig. 5** Initial tonal sound(—) and masked threshold of tonal sound(---)

### 5.2 마찰음의 크기 변화에 따른 모터 순음 최소가청치 변화

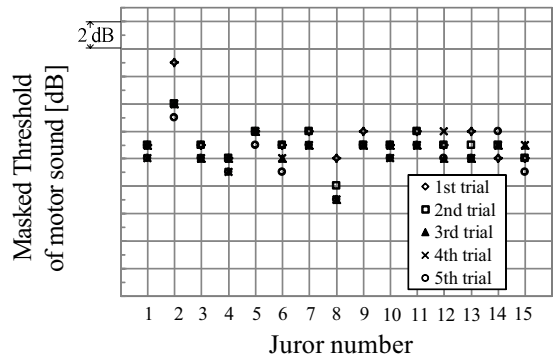
선세이드의 품질 개선에 따라 마찰음의 크기가 변하였을 때, 모터 순음의 최소가청치 변화에 대한 연구를 위하여 추가 실험을 실시하였다. 통상적으로 소리의 크기가 3 dB 변할 때부터 사람이 그 변화를 인지하기 시작한다고 여겨진다. 본 실험에서도 그를 바탕으로 마찰음이 전체적으로 3 dB 저감되었다고 가정하여 앞서 시행했던 것과 같은 방법으로 청음 평가를 재실시하였다. 실시한 청음 평가를 통해 얻은 결과는 Fig. 5와 같다.

Table 6에 정리된 바와 같이 주파수 밀도 32 dB/Hz 로 저감된 마찰음의 마스킹 효과에 의한 649 Hz 모터 순음의 가청최소치는 약 43.8 dB로 나타났다. 이는 마찰음의 주파수 밀도와 비교하면 11.8d dB 큰 소리로서, 앞서 기존 마찰음으로 실험을 시행하여 얻었던 12.44 dB 차와 비교했을 때 조금 줄어든 수치이지만 그 차이는 크지 않다.

Fig. 6은 본 실험을 통해 얻은 최소가청치와 마찰음과 마찬가지로 3 dB 저감된 모터 순음을 비교한

그래프이다.

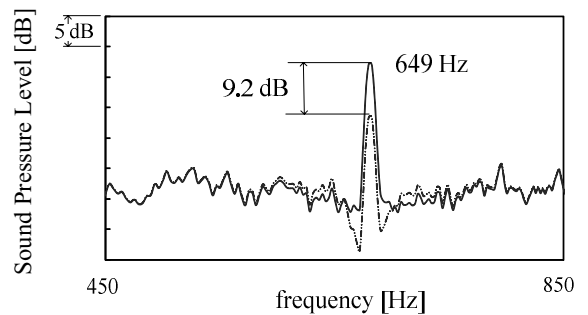
마스커의 레벨 차에 의한 마스킹 효과에 대해 자세히 고찰하기에는 무리가 있지만 본 실험을 통해 마스커의 크기가 줄어들에 따라 테스트 사운드의 마스킹 효과 역시 줄어들을 확인할 수 있었다. 또한 그 관계가 기존에 알려진 이론처럼 정확히 선형적인 관계는 아니었지만, 0.56dB 정도의 적은 차를 보이는 것도 확인하였다.



**Fig. 6** Results of Jury Test using -3dB level down friction sound masker

**Table 6** Results of Jury Test using -3dB level down friction sound masker

Contents	Value
Avg. spectral density of Friction sound [dB/Hz]	32
Masked threshold [dB]	43.8
Standard Deviation	1.51
Difference between spectral density of friction sound and masked threshold [dB]	11.8



**Fig. 7** Initial tonal sound(—) and masked threshold tonal sound(---)

## 6. 결 론

과노라마 선루프 시스템 중 선셰이드의 음질 개선을 위해서는 작동 중 발생하는 모터 순음을 저감시켜야 한다. 효과적인 모터 순음 저감 목표치 개발을 위하여 선셰이드 작동 시 모터 순음과 동시에 발생하는 마찰음의 마스킹 효과에 의한 모터 순음의 최소가청치를 청음평가를 통해 구명하였다.

기존 크기의 마찰음을 이용한 실험을 통하여 사람들이 느끼는 649 Hz 모터 순음의 최소 가청치를 확인할 수 있었다. 또한 기존 크기 대비 3 dB 저감된 마찰음을 이용한 실험을 통하여 마스크의 크기가 변하였을 때 테스트 사운드의 최소가청치 변화 역시 확인하였다.

본 연구를 통하여 사람의 음향심리학적 특성을 이용한 모터 순음 저감 목표치 개발 방법의 가이드를 제시하였다고 생각한다.

향후 동일 선셰이드 마찰음에 의한 다른 주파수의 모터 순음 마스킹 효과 혹은 동일 모터 순음에 대한 다른 주파수 대역의 마찰음의 마스킹 효과 등을 연구한다면 더욱 발전적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 현대자동차(주)와 한국연구재단(BK21 사업)의 지원으로 이루어 졌습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) C. J. You., 2008, An Experimental Study on Motor Noise Reduction of Electric Power Steering, Journal of the Korea Society For Power System, Vol. 12, No. 6, pp. 83~87.
- (2) Jinsoo Kim, Kyungnae Lim, Sejin Ku, Jangwoo Lee, Simoon Jeon, 2008, Study on the Noise Reduction in the Rotary Compressor Using BLDC Motor, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 18, No. 9, pp. 920~929.
- (3) J. C. R. LICKLIDER, 1948, The Influence of Interaural Phase Relations upon the Masking of Speech by White Noise, THE JOURNAL OF THE

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol. 20, No. 2, pp. 150~159.

(4) Deug Soo Ahn, 2002, Analyses on the Cognitive Effects of Masking Traffic Noise by Sounds of Water, Journal of the Korea Society For Forest Recreation, Vol. 6, No. 4, pp. 9~19.

(5) Hugo Fastl, Eberhard Zwicker, 2006, Psychoacoustics : Facts and Models, , Springer, Berlin.

(6) Brian C. J. Moore, 2011, An Introduction to The Psychology of Hearing, Emerald Group Publishing, West Yorkshire.

(7) Aaron Hastings, Kyoung Hoon Lee, Patricia Davies, Aimée M. Surprenant, 2003, An Measurement of the attributes of complex tonal components commonly found in product sound, Noise Control Engineering Journal, Vol. 51, No. 4, pp.195~209.