

# 방향성을 가진 회전체 소음의 청각계 인지 특성에 관한 연구 A Study on Auditory Perception Characteristics of Directional Tonal Noise

서강원\* · 김의열\* · 김성기†

Kang-Won Seo, Eui-Youl Kim and Sung-Ki Kim

**Key Words** : Head-related Transfer Function (머리전달함수), Auditory Perception (청각계 인지), Sound Quality (음질)

## ABSTRACT

This paper presents the HRTF based experimental approach to figure out why the human auditory perception on the interior noise source including the directional tonal components does not well match with the dominant features extracted from recorded acoustic signals in terms of psycho-acoustics. Since the general objective evaluation models for tonalness among various sound attributes are a function of width, frequency, excessive level of tonal components respectively, the directional tonal components cannot be properly evaluated without considering the effects of head-related transfer function on the binaural auditory perception. Thus, the directivity of source is additionally considered to prevent the erroneous conclusions from the same sound source in the process of source identification. The signal synthesis technique is used to solve a little difficulty in measuring all of desired acoustic signals for jury evaluation. The sound attributes of synthetic acoustics signals are analyzed to roughly predict the results of jury evaluation in advance by using sound quality factors such as loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength and tonality. The jury evaluation is carefully conducted based on the recommended guideline suggested by N. Otto et al. Each sound is respectively evaluated by selecting a value between -2 and 2 in intervals of 0.2 point. Through above procedure, based on the results of jury evaluation, it is confirmed that serious problems can be caused in the process of analyzing the dominant sound attributes in terms of psycho-acoustics according to the type of a microphone and a playback system.

## 1. 서 론

본 연구의 목적은 정속 주행 중 차량 실내에서 운전자가 음질 측면에서 성가심 유발 인자로 고려하는 회전체 소음 성분이 Fig. 1 에서 볼 수 있듯이 방향성  $\theta$  을 가지고 음향 공간과 머리전달 함수 특성에 의해 청각계 좌측과 우측이 서로 다른 음질 특성을 가지는 것으로 인지되는 경우, 소음 계측 조건에 따라 Tonalness 의 고평가 또는 저평가 가능성의 존재와 정속감에 대한 주관적 감성 평가 결과를 토대로 NVH 개선 연구 과정 중에 정량적 평가 오류의 가능성으로 이어질 수

있음을 실험적으로 확인하고 향후 개선안 연구의 필요성을 제기하는 것이다. 여기에서 앞서 언급한 소음 계측 조건이란 부적절한 상황에서 Binaural 타입이 아닌 Monaural 타입의 계측 시스템 활용에 의해 발생 가능한 오류와 연관된다. 예를 들어 한 개의 무방향성 마이크로폰을 운전자 머리 우측에 설치하고 Fig. 1 와 같이 좌측 방향으로 방향성  $\theta$  을 가지고 있는 소음원이 존재하는 경우, 시험 평가 과정 중에 현장에서 직접 인지한 음질 특성과 측정된 소음 신호를 별도의 청취 시스템을 통해 인지한 음질 특성이 과연 동일하다고 할 수 있을까? 라는 의문을 가질 수 있으며 좌우 두 개의 임펄스 응답 특성의 크기와 위상이 서로 다른 예시<sup>(1)</sup>를 통해 인지된 음질 특성이 다를 수도 있다는 막연한 예상도 해 볼 수 있다. 이와 같은 차이는 음향 공간과 머리전달함수 특성<sup>(1-5)</sup>에 기인하며 본 연구를 시작하게 된 계기가 되었다.

† 교신저자: 비회원, 쌍용자동차 NVH 개발팀  
E-mail : ksk1613@smotor.com  
Tel : 031) 610-3659, Fax : 031) 610-3785

\* 쌍용자동차 NVH 개발팀

로그 스케일에 부합하는 청각계 인지 특성에 머리전달함수 특성이 반영되어 도출된 dB(A) 는 소음 범규를 포함하여 일상 생활에서 널리 활용되고 있는 소음 평가 지표 중에 하나이다. 하지만, ISO 226 : Equal-Loudness Contour 의 40phon 에 근사화된 가중치 함수인 A-Weighting 은 입사각 0° 의 조건에 부합하는 특성 값이며, 만약 방향성이 존재한다면 W. Garder et al. (1994) 와 Ahn et al. (2010)의 연구 결과를 기초로 모든 경우에 적용하는 것은 다소 부적절하다<sup>(1-2)</sup>. 그리고 방향성의 영향 이외에도 Noumura, K et al. (2007) 과 Sakai, H et al. (1982) 는 Binaural 타입의 계측 시스템을 통해 측정된 좌우 소음 신호를 조합하여 약 6dB 정도 증가된 경우 청각계 인지 특성에 부합함을 음질 연구 과정 중에 확인하였고 부적절한 상황 조건에서 Monaural 타입의 계측 시스템의 활용으로 인해 정량적 평가 오류의 가능성이 존재함을 지적하였다<sup>(6-7)</sup>. 위 두 가지 사례는 dB(A) 또는 Loudness 특성 측면에서 소음원의 방향성과 크기가 청각계 인지 특성에 대해 가지는 부정적인 영향성과 이를 보정하기 위한 개선 연구의 결과를 보여준다.

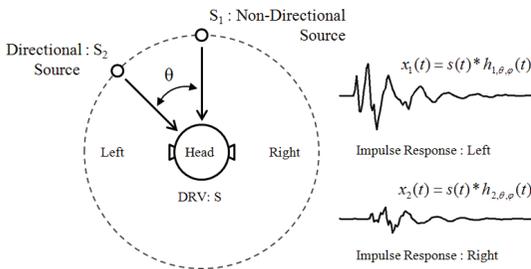


Fig. 1 Definition of directional noise source on human binaural auditory system

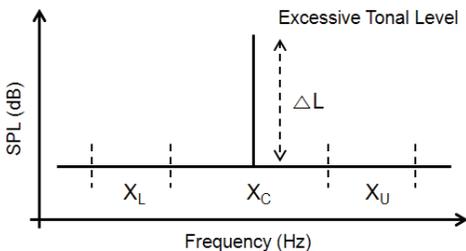


Fig. 2 Definition of excessive level on perceived tonalness

최근에는 단순히 소음 범규에 대응하여 제품 인증 통과를 위한 NVH 연구 개발 보다는 고객들의 다양한 감성적 만족도를 충족시키는 것을 목표로 사람의 오감에 대한 연구들이 제품 구매 및 브랜드 충성도 개선에 이어 질 수 있도록 많이 노력들이 기울여지고 있다. 특히, 청각계를 통해 사람이 인지하는 소리는 전반적인 크기 특성을 의미하는 Loudness 에 Global 음질 요소로서 밀접하게 영향을 받지만 이외에 Sharpness, Roughness, Impulsiveness, Tonalness 등의 다양한 음질 인자들이 복잡하게 조합되어 사람의 감성에 영향을 준다. 따라서, 앞서 언급한 방향성과 크기 특성 변화에 따른 영향을 Loudness 에만 초점을 두고 그 영향성을 살펴보는 것은 적절치 않다<sup>(8)</sup>.

이러한 연구 동향에 대응하기 위해 기존 연구들과 달리 본 연구는 Loudness 보다는 회전체 소음에 대한 Tonalness 에 초점을 맞추었다. 그리고 특히, 전기 동력 기반의 자동차로 넘어가는 과도기적 단계에서 주요 소음원인 파워트레인의 내부 구성 변화 및 소형화 인해 전반적인 실내 소음의 크기가 내려 가고 배경 소음에 대한 상대적인 인지 특성에 기반하여 회전체 소음의 음질 측면에서의 성가심 유발에 대한 가능성이 보다 증대 되면서 이에 대응하기 위한 다양한 연구가 필요한 실정이다<sup>(9-14)</sup>.

이와 같은 문제 의식을 토대로 본 연구는 다음과 같은 내용으로 구성되어 수행되었다. 우선, Fig. 2 에서 볼 수 있는 Tonal 요소의 과도 레벨  $\Delta L$  에 대한 머리전달함수의 영향성에 대해 공개된 머리전달함수 자료를 기초로 정량적으로 분석을 하고 발생 가능한 과도 레벨  $\Delta L$  의 모호성을 방향성에 따라 정리하였다. 그리고 주관적 감성 평가를 수행하는 과정에서 필요한 모든 소음 신호를 실험적으로 재현하여 측정하는데 어려움이 존재하기 때문에 정속 주행 중 측정된 실내 소음에 머리전달함수의 영향성을 반영하여 순음 성분을 합성하였다. 즉, 방향성을 가진 회전체 소음 성분이 존재는 과도 레벨 특성에 영향을 줄 것이고 이러한 특성은 NVH 연구 개발 과정 중에 반복적으로 겪게 되는 Tonalness 의 고평가 또는 저평가 문제와 깊은 연관을 가진다고 판단이 되며 주관적 감성 평가를 수행하기에 앞서 음질 요소 모델들의 정량적 계산 결과를 기초로 인지 반응 특성을 대략적으로 예측하고 이를 근거로 평가 방향성을 설정하였다.

## 2. HRTF 기반의 회전체 소음 평가

심리 음향 측면에서 성장심 유발의 가능성에 대한 회전체 소음의 영향성은 일반적으로 아래 식(1)과 같이 공통적으로 Tonal 요소의 너비  $\Delta z$ , 중심 주파수  $f_c$ , 과도 레벨  $\Delta L$  의 함수로 정의된다.<sup>(8-13)</sup>

$$\text{Tonalness} = f(\Delta z, f_c, \Delta L, \theta) \quad (1)$$

Aures Tonality 모델<sup>(11)</sup>의 경우 Fig. 2 에서 과도 레벨  $\Delta L$  의 청각계 인지 특성에 대한 기여도 함수  $w_3(\Delta L)$  는 임계 대역 내에서 다음과 같이 정의된다.

$$w_3(\Delta L) = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta L}{15\text{dB}}\right) \quad (2)$$

$$\Delta L = L - A_E - E_{Gr} - E_{HS} \text{ dB} \quad (3)$$

여기에서  $A_E$  는 인접한 Tonal 요소들의 영향,  $E_{Gr}$  은 임계대역 Intensity,  $E_{HS}$  는 청각 인지 하한선을 의미하며 Tonal 요소의 절대값 크기  $L$  보다 인접 대역에서 상대적인 관계성이 고려된 과도 레벨  $\Delta L$  이 음질 측면에서 회전체 소음의 인지 특성에 보다 밀접하게 연관되어 있다.

$$PR = 10 \cdot \log_{10}\left(\frac{X_C}{(X_L + X_U) \times 0.5}\right) \text{ dB} \quad (4)$$

그리고 Prominence Ratio 모델<sup>(12)</sup>의 경우에도 Fig. 2 에서 임계대역 좌우에 인접한  $X_L$  과  $X_U$  의 음향 에너지에 대한  $X_C$  의 상대적인 관계성에 기초하고 있다. 개별 모델의 물리적 의미상 차이는 존재하지만 Tonalness에 대한 과도레벨  $\Delta L$  의 상대적인 관계성을 기반으로 음향공간과 머리전달함수 특성의 영향성은 Fig. 3 과 같이 도시적으로 정의된다.

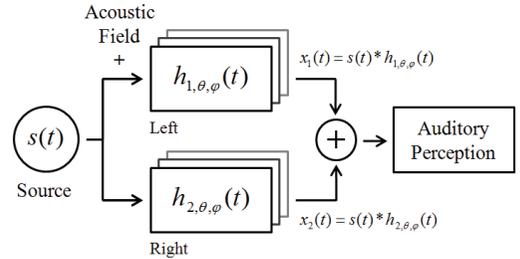
**Table 1** Directional gain values of HRTF at 1000Hz

Theta	Left (dB)	Right (dB)	$\Delta$ (dB)
0°	0.00	0.00	0.00
15°	2.04	-2.93	4.96
30°	3.46	-4.86	8.32
45°	4.43	-2.96	7.39
60°	5.09	-1.20	6.30
75°	5.50	-0.17	5.68
90°	5.74	-0.16	5.90

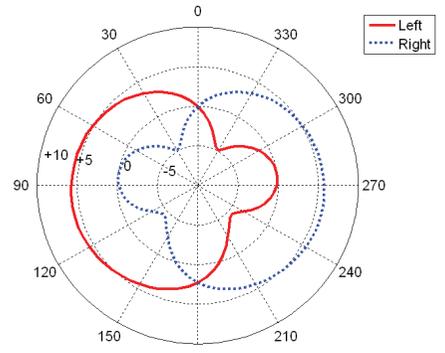
여기에서  $s(t)$  는 임의의 방향성  $\theta$  을 가진 소음원,  $h_i(t)$  는 좌우 경로에 대한 각각의 머리전달함수를 의미하며 청각계를 통해 인지되는  $x_i(t)$  는  $s(t)$  와  $h_i(t)$  의 컨볼루션 (Convolution) 형태로 정의된다.

$$x_i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} s(\tau)h_i(t-\tau)d\tau = s(t)*h_i(t), i \in \{1,2\} \quad (5)$$

방향성  $\theta$  을 가진 소음원이 Fig. 1 과 같이 존재하는 경우 1000Hz 에서의 음향 공간과 머리전달함수 특성은 Fig. 2 에서 인접한 배경 소음과의 상대적인 관계를 기초로 정의된 과도 레벨  $\Delta L$  에  $\pm 5\text{dB}$  범위 내에 영향이 존재함을 W. Gardner et al. 와 Ahn et al. 의 연구 결과<sup>(1-2)</sup>를 토대로 확인하였다. Fig. 4 과 Table 1 은 0° 를 기준으로 보정된 머리전달함수의 민감도 특성을 보여주며 이를 근거로 회전체 소음의 평가 모델<sup>(11-12)</sup>에서 식(1) 과 같이 방향성  $\theta$  의 영향성을 추가적으로 고려 할 필요가 있다. 여기에서 흥미로운 점은 좌측 90° 보다 30° 영역에서 청각계 좌우의 민감도 차이가 최대 값을 가진다는 것이며 본 연구에서 우려하는 계측 오류의 가능성이 가장 높은 영역으로 고려할 수 있다.



**Fig. 3** Schematic diagram of sound localization



**Fig. 4** Directional radiation pattern of HRTF at 1000Hz

### 3. 실내 소음 계측 및 합성 신호 제작

주관적 감성 평가를 위해 필요한 평가용 소음 신호의 조건에 따라 재현성이 확보되지 않는 경우가 존재하기 때문에 Fig. 5 와 같이 정속 주행 중 차량 실내에서 측정된 실내 소음을 배경 소음 성분  $b_i(t)$  으로 정의하고 주요 관심 대상인 임의의 합성된 회전체 소음  $A_i \sin(f_0 t)$  에 머리전달함수 특성  $h_i(t)$  을 반영하여 합성 소음 신호  $x_i(t)$  를 제작하였다.

$$x_i(t) = b_i(t) + A_i \cdot \sin(f_0 \cdot t) * h_i(t), \quad i \in \{1, 2\} \quad (6)$$

우선, 배경 소음은 자사 SUV 차량을 사내 주행로에서 기어 4단, 2000rpm 으로 정속 주행 중 HEAD acoustics 사의 SQuadriga 와 BHS-I 를 사용하여 ID (independent of direction) 모드, 샘플링 48ks 로 약 20초간 운전석 위치에서 실내 소음을 여러 차례에 걸쳐 측정하였고 외부 환경 소음 및 노면 충격 소음의 영향이 작고 음질의 일관성이 확보된 5초 구간을 배경 소음  $b_i(t)$  로 선정하였다. 그리고 합성된 회전체 소음은 방향성  $\theta$  가  $0^\circ$  인 경우를 기준으로 Table 1 에서 청각계 좌우 민감도 차이가 최대가 되는 좌측  $30^\circ$  와 비교 분석하는 것에 초점을 맞추었고, 방향성  $0^\circ$  에 대해 1000Hz 순음 성분 소음이 배경 소음 중 인접한 임계대역에 대해 Prominence Ratio 가 15dB 의 값을 가질 수 있도록 순음 성분의 크기를 의미하는  $A_i$  가 적응형 알고리즘을 통해 0.1% 오차 범위 내에서 결정되었다.

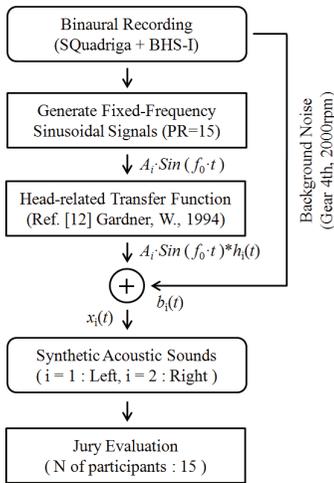


Fig. 5 Flowchart of generating synthetic acoustic signals for jury evaluation on source directivity

다음으로 좌측  $30^\circ$  에 대한 머리전달함수의 영향성은 Gardner, W. et al. 의 연구 결과<sup>(1)</sup>를 토대로 작성된 Table 1 의 민감도 특성을 참고하여 좌측 +3.46dB, 우측 -4.86dB 를 반영하였다. 이밖에 추가적으로 합성된 순음 성분의 크기  $A_i$  선정에 사용된 Prominence Ratio 의 기준 값인 15dB 가 적절한지 여부를 평가하기 위해  $\pm 5$ dB 간격으로 5dB 와 25dB 사이에 총 5개 소음 신호를 생성하였고 배경 소음의 좌우 서로 다른 음질 특성의 영향성을 배제하기 위해 우측 방향의 배경 소음  $b_2(t)$  을 기준으로 순음 성분과 합성하였다. 이와 같은 합성 신호 제작 과정을 통해 Prominence Ratio 의 크기 및 방향성의 영향을 알아보고자 하였다.

### 4. 음질 요소 분석

사람의 청각계를 통해 인지하는 소리의 음질 특성에 대한 기존 연구 결과<sup>(8-13)</sup>들을 토대로 주관적 감성 평가 과정에서 예상되는 평가자들의 인지 반응 특성을 평가 방향성 설정 과정 중에 고려하였다. 첫 번째 비교 대상은 배경 소음  $b_i(t)$  이며 Table 2 는 좌우 구분하여 네 가지 기초 음질 인자의 정량적 특성 값을 보여준다. 인지된 소리의 전반적인 크기 특성을 의미하는 Loudness 는 좌측이 다소 높지만 인지된 음향 에너지의 상대적 분포 특성을 의미하는 Sharpness 는 우측이 고주파 영역에 보다 많은 음향 에너지가 존재함을 보여준다. 그리고 크기 변동 특성을 의미하는 Roughness 와 Fluctuation Strength (FS) 는 관심 주파수 영역은 서로 상이하지만 우측이 보다 큰 특성 값을 가지고 있다.

Table 2 SQ Factors of binaural background noise

SQ Factor	Left	Right
Loudness	13.672	13.065
Sharpness	1.473	1.492
Roughness	0.150	0.186
FS	0.244	0.310

Table 3 Effect of prominence ratio on tonalness

PR	5	10	15	20	25
Tonality	0.000	0.021	0.044	0.083	0.139

Table 4 Effect of source directivity on tonalness

Theta	Left (tu)	Right (tu)	$\Delta$ (tu)
$0^\circ$	0.047	0.044	0.003
$30^\circ$	0.075	0.022	0.053

정속 주행 중 시간에 대해 일정한 인지 특성 값이 유지되는 Loudness 보다는 고주파 영역의 음향 에너지와 크기 변동 특성이 음질 측면에서의 좋고 나쁨을 결정하는데 영향을 줄 것으로 H. Fastl et al. (2007)의 연구 결과<sup>(8)</sup>를 토대로 판단되며 우측 배경 소음이 낮은 평가를 받을 것으로 예상된다.

두 번째 비교 대상은 1000Hz 순음 성분의 크기 변화에 따른 정량적 평가 모델과의 관계성에 관한 것이다. 비록 가진 제품에 초점이 맞추어져 있지만 일반적으로 관련 문헌<sup>(5-6)</sup>들은 Prominence Ratio가 1000Hz를 기준으로 약 9dB 이상의 특성 값을 가지는 경우 해당 순음 성분을 Prominent한 것으로 고려한다. Table 3은 5dB 증가에 따라 Aures Tonality 모델과의 비선형적 관계성을 보여주며 식 (1)에서 볼 수 있듯이 이는 과도 레벨 산정 과정에서 비선형성에 기인한 것이다. Lower Threshold of Hearing (LTH)으로 고려되는 9dB 이상의 값, 즉 PR 15dB 이상부터 정속감 측면에서 문제 대상으로 고려될 것으로 판단하며 본 연구에서 합성 신호 제작 과정에서  $A_i$ 의 참조 기준 값으로 사용되기 적절한 수준의 값으로 판단한다.

세 번째 비교 대상은 좌우 음질 특성이 서로 다른 배경 소음에 PR 15dB의 1000Hz 순음 성분이 합성된 경우이며 Table 4와 같이 방향성  $\theta$ 가 0°에서는 Aures Tonality가 좌우 방향 차이가 거의 없지만 30°에서는 좌측은 PR 20dB에 근사하고 우측은 PR 10dB에 근사한 값을 가지게 된다.

이러한 차이는 동일한 조건의 소음원에 대해 방향성에 따라 청각계 인지 특성 측면에서 차이가 발생할 수 있음을 의미한다. 그리고 방향성 30°에 대해 측정된 소음 신호를 별도의 청취 시스템을 통해 분석하는 과정에서 좌측 또는 우측만을 청음 하는 상황이라면 각 경우에 따라 전혀 다른 음질을 가진 소음 신호로 인지 될 수 있는 가능성이 정량적 음질 특성 값의 분석을 통해 존재함을 알 수 있다.

**Table 5** Results of jury evaluation for prominence ratio

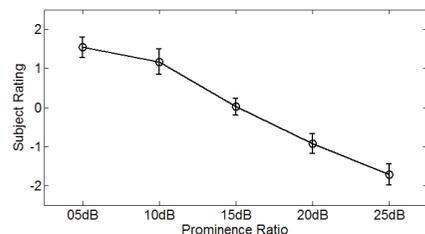
PR	5	10	15	20	25
Rating	+1.54	+1.17	0.00	-0.93	-1.72

**Table 6** Results of jury evaluation for source directivity

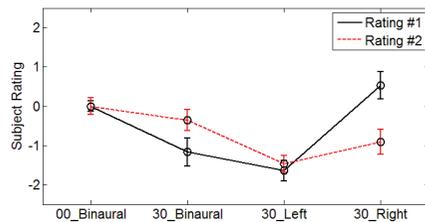
Group	Rating #1	Rating #2
00°_Binaural	0.00	0.00
30°_Binaural	-1.17	-0.36
30°_Left	-1.64	-1.47
30°_Right	+0.53	-0.91

## 5. 주관적 감성 평가

합성 소음 신호의 정량적 분석 결과에 대비하여 청각계 인지 특성이 부합하는지 여부를 확인하기 위해 Prominence Ratio의 크기  $A_i$ 와 방향성  $\theta$ 에 대한 주관적 감성 평가를 두 개의 평가 그룹으로 나누어 수행하였다. 첫 번째 평가 그룹은 크기  $A_i$ 에 관한 것이고 PR 5dB ~ 25dB 영역에 5dB 간격으로 Monaural 타입의 5개 평가 소음으로 구성되어 있다. 두 번째 평가 그룹은 방향성  $\theta$ 에 대해 0°와 30°에 대한 Binaural 타입의 2개 평가 소음과 함께 계속 조건과 청음 평가 과정에서 발생 가능한 오류 조건이 고려하여 추가적으로 30°에 대한 Binaural 타입의 평가 소음이 각 방향 별로 분리되어 2개의 Monaural 타입의 평가 소음이 생성되고 총 4개의 평가 소음으로 구성되어 있다. 두 개의 평가 그룹에 총 9개 평가 소음은 N. Otto et al. (2001)에 의해 제안된 평가 절차를 참고하여 음질 측면에서 정속감에 대해 SDM (semantic differential method) 평가 방법을 기초로 -2점과 +2점 사이에 0.2점 간격으로 평가되었다.<sup>(15)</sup> 평가 대상에 대한 사전 지식으로 인한 비음향 요인 (Non-acoustic Factor)의 부정적 영향성을 고려하여 NVH 개발팀 연구원이 아닌 외부 그룹에 속한 8명의 평가 결과를 포함하였고 총 15명 (남자: 12명, 여자: 3명)이 참여하였다.



(a)



(b)

**Fig. 6** Mean response and  $\pm$  standard deviation with 95% confidence for synthetic acoustic sounds ; (a) Rating Group #1, (b) Rating Group #2

Fig.6 (a) 와 Table 5 는 첫 번째 평가 그룹의 평가 결과를 보여준다. ECMA-74 에서 제시하는 LTH 9dB 전후의 PR 5dB 와 10dB는 편차가 크지 않으며 PR 15dB 이상부터 부정적 영향성이 명확하게 존재한다. Fig. 6 (b) 와 Table 6 는 두 번째 평가 그룹의 평가 결과를 보여준다. Table 2 의 결과를 기초로 좌우 배경 소음의 차이로 인해 30° 우측 소음에 대해 엇갈린 반응이 존재함이 확인이 되었고 이에 따라 두 개의 소그룹으로 분류되었다. 특히, Tonal 요소의 강도는 가장 작지만 배경 소음의 크기 변동 특성이 두드러지게 인지되어 일부 평가자들에게 매우 부정적으로 인식되었다. 결과적으로 0° 와 30° 사이에 민감도 차이가 존재하며 30° 에 대한 세 경우의 결과를 근거로 동일한 소음원에 대해 Monaural 타입의 계측 조건과 청음 평가를 통해 평가 대상이 지닌 정보를 왜곡하여 받아 드릴 가능성이 존재함을 주관적 감성 평가를 통해 확인하였다.

## 6. 결 론

본 연구는 합성 소음 신호 제작, 정량적 음질 요소 분석, 주관적 감성 평가를 통해 방향성을 가진 회전체 소음의 청각계 인지 특성에 대한 영향성 평가를 수행하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 음향 공간과 머리전달함수의 영향으로 회전체 소음의 방향성에 따라 과도 레벨  $\Delta L$  은  $\pm 5$ dB 범위 내에서 Tonalness 가 고평가 또는 저평가 될 가능성이 존재하고 판단의 모호성을 야기한다.

(2) 입사각 30° 좌우의 소음을 Monaural 타입의 청음 평가 과정 중에 동일한 조건의 소음원에 대한 전혀 다른 정량적 평가와 정보 왜곡의 가능성이 존재함을 주관적 감성 평가를 통해 확인하였다.

(3) 방향성과 청음 조건에 따라 Tonalness 이외에 Roughness, Fluctuation Strength 등의 음질 요소들의 차이가 인지되며 입사각 30° 우측 소음에 대한 두 개의 다른 인지 반응 특성이 도출되었다.

(4) 결론적으로 방향성에 의해 인지된 소음 정보 왜곡의 가능성을 정량적, 주관적 평가 절차를 통해 확인하였고 향후 연구에서는 현업에서의 활용을 위한 응용 연구를 수행 할 예정이다.

## 참 고 문 헌

(1) Gardner, W. and Martin, K., 1994, HRTF Measurement of a KEMAR Dummy-head Microphone, Technical Report #280, MIT Media Lab.

(2) Ahn, T. S., and Lee, D. H., 2009, Comparison of Measurement Methods for Head-related Transfer Function (HRTF), Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 12, pp. 1260-1268.

(3) Diepold, K., Durkovic, M. and Sagstetter, F., 2010, HRTF Measurements with Recorded Reference Signal, Proceeding of ASE 129th Convention, San Francisco, CA, USA.

(4) Genuit, K., 2008, Product Sound Quality of Vehicle Noise - A Permanent Challenge for NVH Measurement Technologies, SAE Paper No. 2008-36-0517.

(5) Genuit, K. and Burkhard, M., 1995, Subjective measurement of noise and vibration using objective techniques, Sound & Vibration Magazine, pp. 28-34.

(6) Noumura, K. and Yoshida, J., 2003, Perception Modeling and Quantification of Sound Quality in Cabin, SAE Paper No. 2003-01-1514.

(7) Sakai, H. and Nakayama, 1982, Auditory sense and psychoacoustics, Tokyo, Corona, pp. 173-176.

(8) H. Fastl and E. Zwicker, 2007, Psychoacoustics-. Facts and Models, Springer, Berlin, Germany.

(9) Lee, K. H., 2006, Perception of tones in machinery noise and its influence on annoyance, Ph.D Thesis, Purdue University.

(10) Hellman, R. O., 1982, Loudness, annoyance, and noisiness produced by single-tone-noise complexes, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 72, No. 1, pp. 62-73.

(11) Aures, W., 1985, The sensory Euphony as a Function of Auditory Sensations, Acoustica, Vol. 58, pp. 282-290.

(12) Nobile, M. A., 1994, Prominence ratio method for discrete tones in noise: computation of adjacent bands, Proceeding of Noise-Con 94, pp.729-734.

(13) Standard ECMA-74, 2010, Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Tele-communications Equipment, 11th edition.

(14) Govindswamy, K. and Eisele, G., 2011, Sound Character of Electric Vehicles, SAE Technical Paper 2011-01-1728.

(15) Otto, N., Amman, S., Eaton C., and Lake, S., 2001, Guidelines for Jury Evaluations of Automotive Sounds, Sound and Vibration, Vol. 35, pp. 27-47.