

# 소음 수음 한계를 고려한 저주파 소음평가에 대한 실험적 연구<sup>#</sup>

## A Laboratory Study on Low Frequency Noise Assessment based on Noise Acceptability Limit

홍 승 기\* · 김 재 환\* · 김 규 태\* · 이 수 갑†

Seungki Hong, Jaehwan Kim, Kyutae Kim and Soogab Lee

(2007년 5월 31일 접수 ; 2007년 7월 18일 심사완료)

**Key Words** : Low Frequency Noise(저주파소음), Noise Acceptability Limit(소음 수음 한계), Weighting Curve (보정곡선)

### ABSTRACT

A laboratory study on low frequency noise assessment has been carried out to evaluate the relevance of the weighting curve. Especially, the A-weighting curve which is used in most noise assessments has been evaluated using the acceptability limit in this study. The acceptability limit is one of the indicators in which the subjective responses were well-reflected. For the measurement of the acceptability limit, pure tone stimuli were used in the frequency range between 20 and 200 Hz. The measurement was proceeded in the anechoic chamber to minimize the background noise level. A total of 29 test subjects, who were aged between 19 to 33 years, participated in this study. They had been exposed to various stimuli for about 1 hour by supra-aural earphone. The measurement consisted of two listening sessions: hearing threshold and the acceptability limit session. The results showed that the tendency of the acceptability limit curve was approximately equal to C-weighting curve which had been found to be superior to A-weighting curve in assessment of low frequencies.

### 1. 서 론

환경소음이 사회적 이슈로 등장하기 시작하면서 소음노출에 따른 위해성 평가에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있다<sup>(1)</sup>. 특히 저주파 소음(low frequency noise)은 일반적으로 그 위해성 정도가 높은 것으로 알려져 있어, 이미 많은 나라에서 활발한 연구가 진행 중이다<sup>(2,3)</sup>. 저주파 소음은 통상적으

로 200 Hz 이하의 중심주파수를 가지는 소음을 말하며, 20 Hz의 가청주파수 초입을 기준으로 초 저주파 소음(infrasound)과 구분되기도 한다<sup>(4)</sup>. 환경소음의 대표적인 소음원이라 할 수 있는 항공기 소음, 철도 소음 및 도로 소음 그리고 공사장 소음 등 대부분의 소음원에는 저주파 소음이 상당 부분 포함되어 있으며, 저주파 소음의 위해성 정도가 높은 것을 고려할 때, 이에대한 연구는 환경소음 연구에 있어서 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 그러나 이와같은 현실에도 불구하고 저주파소음에 대한 국내연구는 매우 미미하며, 아직까지 평가 고려 대상이 되지 못하고 있음은 물론, 이와 관련된 규정 또한 전무한 상태이다.

한편, 환경소음영향평가의 대부분에 사용되고 있는, A특성 보정곡선(A-weighting curve)에 대한 해

† 교신저자: 정희원, 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : solee@snu.ac.kr

Tel : (02) 880-7384, Fax : (02) 875-4360

\* 서울대학교 기계항공공학부

# 이 논문은 2007 춘계 소음진동 학술대회 우수논문으로 추천되었음.

외 선행연구 결과에 의하면, A특성 보정곡선이 저주파 영역에서 과도한 보정치를 부여한 것으로 나타났으며, 저주파 영역에 대한 평가수행 시 다른 보정곡선을 사용해야 한다는 결론이 제시되고 있다<sup>(4,5)</sup>. A특성 보정곡선은 등청감곡선(equal-loudness-level contour)의 40 phon에 해당하는 곡선으로서 소리의 크기를 바탕으로 제작된 곡선이라 할 수 있다<sup>(6)</sup>. A특성 보정곡선의 저주파 영역에서의 과도한 보정치 문제를 해결하기 위해, 기존에 고려되었던 소리의 물리적인 크기뿐만 아니라 사람이 인지하는 수용성(acceptability)도 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

이를 위하여, 이 연구에서는 저주파대역(20 ~ 200 Hz)에서의 가청역치(hearing threshold) 및 소음 수용 한계(noise acceptability limit)를 실험하여 측정하였다. 실험 결과를 바탕으로 A특성 보정곡선을 평가하였으며, 저주파 영역에서의 적절한 보정곡선으로 C특성 보정곡선의 사용을 제안하였다.

## 2. 실험

이 연구에서는 저주파대역(20 ~ 200 Hz)에서의 가청역치(hearing threshold) 및 소음 수용 한계(noise acceptability limit)를 실험하여 측정하였다.

### 2.1 실험 환경

실험은 무향실에서 실시하였으며, 무향실의 규격은 3×3×2×m로, 가청역치(hearing threshold) 측정을 위한 배경소음 한계 기준을 만족한다<sup>(7)</sup>. 실험에 사용된 자극음(stimuli)은 1/3 octave band 중심 주파수에 해당하는 순음(pure tone)을 사용하였다. 20 ~ 200 Hz까지 총 11개의 주파수 그룹을 제작하였으며 각 그룹별 자극음의 음압레벨은 10 ~ 90 dB까지 1 dB 차이를 가지도록 구성하였다. 모든 자극음은 헤드폰(sennheiser, HD25)을 통해 피실험자에게 노출되었으며, 실험자극음 및 헤드폰의 보정(calibration)은 주파수분석기(B&K, PULSE10) 및 HATS(head and torso simulator, B&K, type 4128)를 사용하였다. 총 1시간 정도의 실험시간이 소요되었으며, 실험간 10분 이상의 충분한 휴식시간을 제공하였다.

### 2.2 실험 대상자

이 실험에는 총 32명(남18, 여14)의 자원자가 참

여하였으며, 19세부터 33세까지의 연령대 분포를 가졌다. 실험에 참여하기 위해 모든 자원자들에게 청각반응실험 및 설문조사를 실시하였으며, 청력에 이상이 있는 것으로 판단된 남자 1명, 여자 2명을 제외한 29명의 대상자가 최종실험에 참여하였다<sup>(9)</sup>.

### 2.3 실험 과정

#### (1) 가청역치(hearing threshold) 측정

총 11개의 1/3 octave band 중심 주파수에 해당하는 가청역치가 29명의 대상자를 통해 측정되었으며, 측정방법은 ascending method를 바탕으로 실시하였다<sup>(7)</sup>. 피실험자는 200 Hz의 자극음부터 노출되기 시작하며, 자극음이 들릴 경우 준비된 버튼을 눌러 표시하게 된다. 10 dB 간격으로 자극음의 크기를 줄여나가다가 피실험자의 반응이 없을 경우, 즉 소리를 인지하지 못하는 경우 자극음을 1 dB 씩 올려가면서 반응을 보일 때 까지 실험을 계속한다. 이와 같은 방법으로 실험을 진행하여 같은 크기의 자극음에 2번 이상 반응을 보일 경우 그 자극음에 해당하는 음압레벨을 가청역치로 판단하였다. 자극음 사이의 시간은 피실험자가 일정한 소리간격에 적응하여 잘못된 판단을 내릴 수 있는 것을 방지하기 위해 실험자가 임의의 간격으로 바꾸어 가며 실험을 진행하였다.

#### (2) 소음 수용 한계(noise acceptability limit) 측정

가청역치 실험과 마찬가지로, 11개 1/3 octave band 중심주파수에 해당하는 각각의 소음 수용 한계(noise acceptability limit)를 측정하였다. 소음 수용한계는 노출되는 소음에 대한 수용성 여부를 판단하는 수치라 할 수 있겠다. 이를 측정하기 위해 피실험자는 최대한 편안한 자세로 앉아, 책을 보면서 실험에 참여하였으며 다음과 같은 지시가 주어졌다.

“집에서 편안히 쉬면서 책을 보고 있다고 생각하십시오. 들리는 소음이 편안히 쉬는데 적절하지 않다고 생각된다면 버튼을 누르십시오”

각 주파수 대역에서의 가청역치 음압레벨에서부터 시작하여 5 dB 간격으로 올리면서 실험을 진행하였고, 2번 이상 같은 반응을 보이는 음압레벨을 소음 수용 한계로 판단하였다. 소음 수용 한계 실험은 가청역치 실험과 달리 피실험자가 소음의 크기뿐만 아니라 수용성 여부도 판단해야 한다. 따라서 자극음의 노출시간이 가청역치 실험에서 사용하는 1.5 ~ 2

초보다 길어야 할 것으로 판단하여 이 실험에서는 5 초로 하였다.

### 3. 결과 및 분석

총 29명의 피실험자를 대상으로 평균 가청역치 및 소음 수용 한계의 음압레벨을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다(power curve fit). 가청역치 실험결과 free-field 환경에서 측정된 ISO 389-7의 실험결과와, supra-aural earphone을 사용한 이 연구에서의 실험결과 값이 어느 정도 차이를 보였다. 실험환경이 다르기 때문에 두 값의 절대적 수치 비교는 무의미 하지만, 그 경향이 유사한 것을 확인할 수 있었다<sup>(9)</sup>. ISO의 실험결과 중 supra-aural earphone에 대한 실험결과가 있지만 supra-aural earphone의 다양성 및 성능을 고려할 때 그 적용범위가 한정적이고, 특히 저주파 영역에 대한 실험값은 명시되어 있지 않아 이 실험결과와 비교 하지는 않았다<sup>(10)</sup>.

소음 수용 한계 실험결과를 가청역치 실험결과와 함께 Fig. 2에 나타내었다. 소음 수용 한계는 가청역치보다 작게는 10 dB, 크게는 30 dB 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 가청역치와 같이 중심주파수가 낮아질수록 음압레벨이 점차 높아지는 경향은 보이나, 그 기울기 정도가 완만해 지는 것을 알 수 있다. 가청역치와 소음 수용 한계의 차이를 Fig. 3에 나타내었으며 중심주파수가 낮아질수록 30 dB에서 10 dB까지 그 정도가 작아지는 것을 알 수 있다(polynomial

curve fit: 3rd). 이로써 주파수 대역에 따라 수용반응 정도(acceptability response level)가 각각 다르며, 특히 저주파 영역으로 갈수록 그 반응 정도가 더 민감해 지는 것을 알 수 있다.

주파수 대역에 따른 반응 정도 및 중요도를 바탕으로 신호의 크기에 보정치를 부여하여 제작된 곡선을 보정곡선(weighting curve)이라 한다. 일반적으로 A특성 보정곡선(A-weighting curve)을 많이 사용하는데, 이는 인간의 귀와 유사한 반응을 보이는 것으로서 등청감곡선(equal-loudness-level contour)의 40 phon에 해당하는 곡선과 거의 같은 형태를 가진다. A특성 보정곡선의 적절성 여부를 놓고 많은

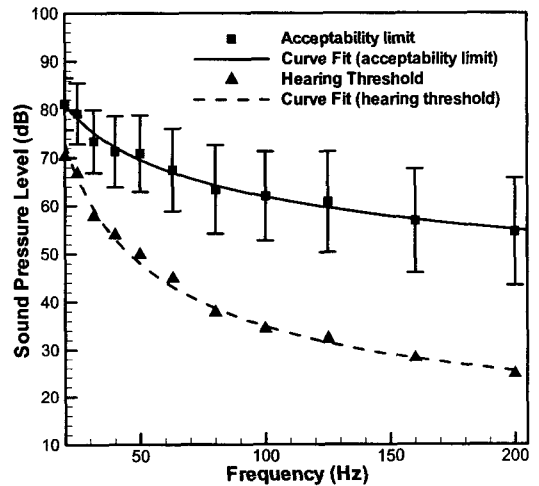


Fig. 2 Acceptability limit level

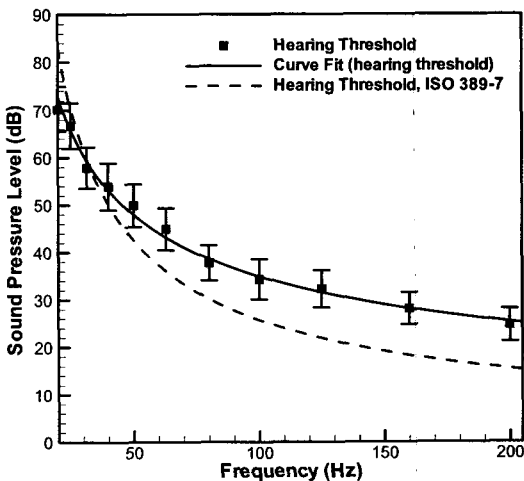


Fig. 1 Hearing threshold level

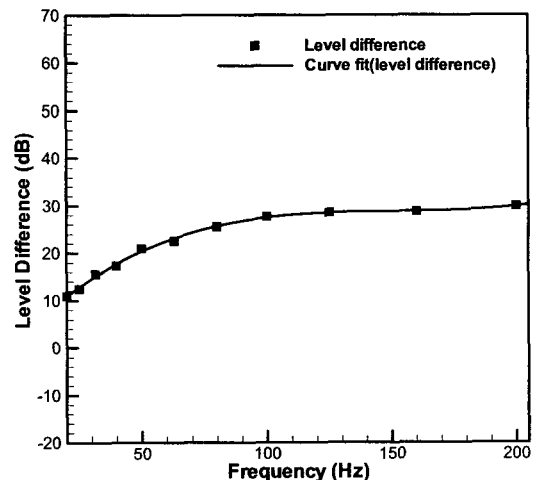


Fig. 3 Hearing level(acceptability limit - hearing threshold)

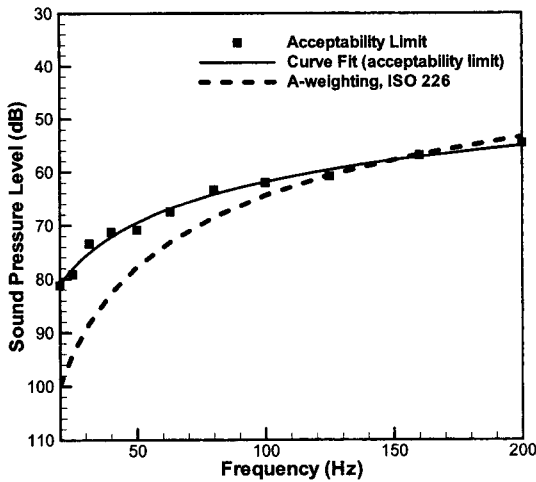


Fig. 4 Acceptability and A-weighting curve

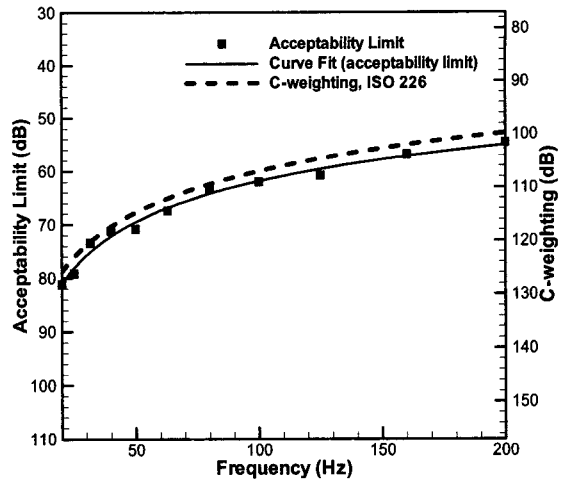


Fig. 5 Acceptability limit and C-weighting curve

선행연구가 진행되고 있으며, 저주파영역에서의 과도한 보정치 적용에 대한 문제가 제기되고 있다<sup>(6)</sup>.

Fig. 4는 소음 수용 한계 실험결과와 A특성 보정곡선을 비교하여 나타낸 것이다(power curve fit). 등청감곡선(equal-loudness-level contour)에 바탕을 둔 보정곡선(weighting curve)은 각 주파수 별 보정값을 결정해 주는 곡선이므로 절대음압레벨보다 전체 곡선의 추세가 중요한 역할을 한다. 즉 기준음이 되는 1 kHz의 음압레벨과 각 주파수 별 음압레벨의 차이 값이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 소음 수용 한계 실험결과를 통한 보정곡선의 평가는 절대음압레벨의 비교가 아닌 곡선의 추세비교라고 할 수 있다.

이 연구에서 측정한 소음 수용 한계 실험결과와 A특성 보정곡선을 비교해 볼 때, 선행연구에서의 결과와 마찬가지로 저주파 영역으로 갈수록 과도한 보정치가 부여된 것을 확인할 수 있었다<sup>(5)</sup>. 저주파영역에 대한 A특성 보정곡선은, 소음 수용 한계 관점에서 판단해 보아도 적절하지 않다고 할 수 있다.

Fig. 5는 소음 수용 한계 실험결과와 C특성 보정곡선을 비교하여 나타낸 것이다(power curve fit). C특성 보정곡선은 등청감곡선(equal-loudness-level contour)의 100 phon에 해당하는 곡선과 거의 같은 형태를 가지는 곡선이며, A특성 보정곡선에 비해 전체적으로 완만한 경사를 가지고 있다. Fig. 5는 C특성 보정곡선과 소음 수용 한계 실험결과와의 추세와의 거의 일치함을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는, 소음 수용 한계 실험결과를 바탕으로 판단할 때, 저주

파 소음 평가에 사용되는 보정곡선으로써 C특성 보정곡선이 더 적절함을 뒷받침 한다고 할 수 있겠다.

#### 4. 결 론

저주파 소음은 일반적으로 위해성 정도가 높은 것으로 알려져 있어, 이에 대한 연구가 전세계적으로 증가하고 있는 추세이다. 하지만 국내연구 정도는 매우 미미하여 환경소음영향평가에서 저주파 소음이 고려되지 못하고 있으며, 관련 규정 또한 전무한 실정이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 기초연구로서 이 연구에서는 저주파 영역(20 ~ 200 Hz)에서의 가청역치 및 소음 수용 한계 등을 실험하여 측정하였다. 특히 환경소음영향평가의 대부분에 사용되고 있는 A특성 보정곡선의 적절성 여부를 평가하였으며, 기준으로 소음 수용 한계(noise acceptability limit)를 사용하였다.

소음 수용 한계(noise acceptability limit)를 사용함으로써 소리의 크기뿐만 아니라 사람이 인지하는 소음으로서의 수용성 여부도 고려하여 판단할 수 있었다. 소음 수용 한계를 바탕으로 평가한 결과, A특성 보정곡선은 선행연구의 결과와 같이 저주파 대역으로 갈수록 과도한 보정치가 부여되는 것을 알 수 있었고, 소음 수용 한계의 실험결과와 가장 비슷한 추세를 가지는 곡선은 C특성 보정곡선인 것으로 나타났다. 따라서 저주파 소음영향평가에 있어서 C특성 보정곡선의 사용이 더 적절할 것으로 판단된다.

이 연구에 더하여 C특성 보정곡선의 주파수 적용

범위 및 A특성 보정곡선과의 연계사용에 관련된 추가연구가 이어져야 할 것이다. 뿐만 아니라 저주파 소음 전반에 대한 연구가 지속되어, 향후 저주파 소음평가에 대한 기준 및 평가방법을 정립하고, 더 나아가 환경소음정책수립의 기반기술로 적극 활용될 수 있어야 하겠다.

## 후 기

이 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대 환경기술 개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Lim, C., Kim, J., Hong, J. and Lee, S., 2005, "Community Annoyance from Civil Aircraft Noise in Korea", Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 900~904.
- (2) Bengtsson, J., Wayne, K. P., 2004, "Evaluations of Effects due to Low Frequency Noise in a Low Demanding Work Situation", J. of Sound and Vibration, No. 278, pp. 83~99.
- (3) Inukai, Y., Yamada, S., Ochiai, H. and Tokita, Y., 2004, "Acceptable Limit and Their Percentile for Low Frequency Noise in Ordinary Adults and Complainants", J. of Low Frequency Noise and

Vibration and Its Control, 11th International Meeting, pp.117~127.

(4) Laventhall, G., 2003, "A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects", Defra Publication.

(5) Nilsson, M. E., 2007, "A-weighted Sound Pressure Level as an Indicator of Short-term Loudness or Annoyance of Road-traffic Sound", J. of Sound and Vibration.

(6) ISO 226, 2003, "Acoustics-Normal Equal Loudness Level Contours.

(7) ISO 8253-1, 1989, "Acoustics-Audiometric Test Methods-Part 1: Basic Pure Tone Air and Bone Conduction Threshold Audiometry".

(8) Lee, S. and Lim, C. 2004 "Screening Test Procedure", CENVE, Seoul National Univ.

(9) ISO 389-7, 1996, "Acoustics-Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment, Part 7: Reference Threshold of Hearing under Free-field and Diffuse-field Listening Conditions".

(10) ISO 389-1, 1998, "Acoustics - Reference Zero for the Calibration of Audiometric Equipment - Part 1: Reference Equivalent Threshold Sound Pressure Levels for Pure Tones and Supra-aural Earphones".