

소음 수용 한계(Noise Acceptability Limits)를 고려한

저주파 소음평가에 대한 실험적 연구

A Laboratory Study on Low Frequency Noise Assessment based on Noise Acceptability Limits

홍승기[†] · 김재환 · 김규태 · 이수갑*(서울대)

Seungki Hong, Jaehwan Kim, Kyutae Kim and Soogab Lee

Key Words : Low Frequency Noise(저주파소음), Noise Acceptability Limit(소음수용한계), Weighting Curve(청감보정곡선)

ABSTRACT

A laboratory study on low frequency noise assessment was carried out to determine the acceptability limits in the frequency range between 20 and 200 Hz. The acceptability limits were tested in the anechoic chamber to minimize the background noise. A total of 30 test subjects, who were aged between 19 to 33 years, participated in this study. They were exposed to various stimuli for about 1 hour by supra-aural earphone. The experiment consisted of two listening sessions; hearing threshold and the acceptability limits session. The results showed that the trend of the acceptability limits curve was approximately equal to C-weighting curve which had been found to be superior to A-weighting curve in low frequency noise assessment.

1. 서 론

환경소음이 사회적 이슈로 등장하기 시작하면서 ‘소음노출에 따른 위해성 평가’에 대한 연구가 지속적으로 증가하고 있다. 특히 저주파 소음(low frequency noise)은 일반적으로 그 위해성 정도가 높은 것으로 알려져 있어, 이미 많은 나라에서 활발한 연구가 진행 중이다.[1-3] 저주파 소음은 통상적으로 200Hz 이하의 중심주파수를 가지는 소음을 말하며, 20Hz의 가청주파수 초입을 기준으로 초 저주파 소음(infrasound)과 구분되기도 한다.[4] 환경소음의 대표적인 소음원이라 할 수 있는 항공기소음, 철도소음 및 도로소음 그리고 공사장소음 등 대부분의 소음원에는 저주파 소음이 상당부분 포함되어 있으며, 저주파 소음의 위해성 정도가 높은 것을 고려할 때, 이에 대한 연구는 환경소음 연구에 있어서 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 현실에도 불구하고

하고 저주파소음에 대한 국내연구는 매우 미미하며, 아직까지 평가 고려 대상이 되지 못하고 있음은 물론, 이와 관련된 규정 또한 전무한 상태이다.

한편, 환경소음영향평가의 대부분에 사용되고 있는, A 특성 청감보정곡선(A-Weighting Curve)에 대한 선행연구 결과에 의하면, A 특성곡선이 저주파 영역에서 과도한 보정치를 부여한 것으로 나타났으며, 저주파 영역에 대한 평가수행 시 다른 청감보정곡선을 사용해야 한다는 결론이 제시되고 있다.[4,5] A 특성 청감보정곡선은 등청감곡선(equal-loudness-level contour)의 40phon에 해당하는 곡선으로써 소리의 크기를 바탕으로 제작된 곡선이라 할 수 있다. [6] A 특성 청감보정곡선의 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, 본 연구에서는 저주파 대역(20 ~ 200 Hz)에서의 가청역치(hearing threshold) 및 소음수용한계(noise acceptability limits)를 실험하여 측정하였다. 실험 결과를 바탕으로 A 청감보정곡선을 평가하였으며, 저주파 영역에서의 적절한 청감보정곡선으로 C 특성 청감보정곡선의 사용을 제안하였다.

[†] 서울대학교 기계항공공학부 대학원
E-mail : skhong@snu.ac.kr
Tel : (02) 880-7382, Fax : (02) 875-4360

* 서울대학교 기계항공공학부 교수

2. Laboratory Study

본 연구에서는 저주파대역(20 ~ 200Hz)에서의 가청역치(hearing threshold) 및 소음수용한계 (noise acceptability limits)를 실험하여 측정하였다.

2.1 실험 환경

실험은 무향실에서 실시하였으며, 무향실의 규격은 3 x 3 x 2m 로, 가청역치(hearing threshold) 측정을 위한 배경소음 한계 기준을 만족한다.[7] 실험에 사용된 자극음(stimuli)은 1/3 octave band 중심 주파수에 해당하는 순음(pure tone)을 사용하였다. 20 ~ 200Hz 까지 총 11 개의 주파수 그룹을 제작하였으며 각 그룹별 자극음의 음압레벨은 10 dB ~ 90dB 까지 1dB 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 1 시간 정도의 실험시간이 소요되었으며, 실험간 10 분 이상의 충분한 휴식시간을 제공하였다.

2.2 실험 대상자

본 실험에는 총 32 명(남 18, 여 14)의 자원자가 참여하였으며, 19 세부터 33 세까지의 연령대 분포를 가졌다. 실험에 참여하기 위해 모든 자원자들에게 청각반응실험 및 설문조사를 실시하였으며, 청력에 이상이 있는 것으로 판단된 남자 1 명, 여자 1 명을 제외한 30 명의 대상자가 최종실험에 참여하였다.[8,9]

2.3 실험 과정

2.3.1 가청역치(Hearing Threshold) 측정

총 11 개의 1/3 octave band 중심 주파수에 해당하는 가청역치가 30 명의 대상자를 통해 측정되었으며, 측정방법은 Ascending Method 를 바탕으로 실시하였다.[7] 피 실험자는 200Hz 의 자극음부터 노출되기 시작하며, 자극음이 들릴 경우 준비된 버튼을 눌러 표시하게 된다. 10dB 간격으로 자극음의 크기를 줄여나가다가 피 실험자의 반응이 없을 경우, 즉 소리를 인지하지 못하는 경우, 자극음을 1dB 씩 올려가면서 반응을 보일 때까지 실험을 계속한다. 이와 같은 방법으로 실험을 진행하여 같은 크기의 자극음에 2 번 이상 반응을 보일 경우 그 자극음에 해당하는 음압레벨을 가청역치로 판단하였다. 자극음 사이의 시간은 피실험

자가 일정한 소리간격에 적응하여 잘못된 판단을 내릴 수 있는 것을 방지하기 위해 실험자가 임의의 간격으로 바꾸어 가며 실험을 진행하였다.

2.3.2 소음수용한계(Noise Acceptability Limits) 측정

가청역치 실험과 마찬가지로, 11 개 1/3 octave band 중심주파수에 해당하는 각각의 소음수용한계(noise acceptability limits)를 측정하였다. 소음 수용한계는 노출되는 소음에 대한 수용성 여부를 판단하는 수치라 할 수 있겠다. 이를 측정하기 위해 피 실험자는 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 5dB 간격으로 올리면서 실험을 진행하였고, 2 번 이상 같은 반응을 보이는 음압레벨을 소음수용한계로 판단하였다. 소음수용한계 실험은 가청역치 실험과 달리 피 실험자가 소음의 크기뿐만 아니라 수용성 여부도 판단해야 한다. 따라서 자극음의 노출시간이 가청역치실험에서 사용하는 1.5 ~ 2 초보다 길어야 할 것으로 판단하여 본 실험에서는 5 초로 하였다.

3. 결과 및 분석

총 30 명의 피 실험자를 대상으로 평균 가청역치 및 소음수용한계의 음압레벨을 Fig. 1 과 Fig. 2 에 나타내었다.

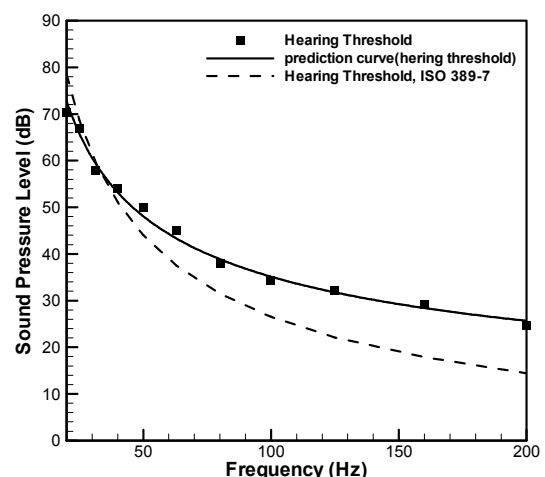


Fig. 1 Hearing Threshold Level

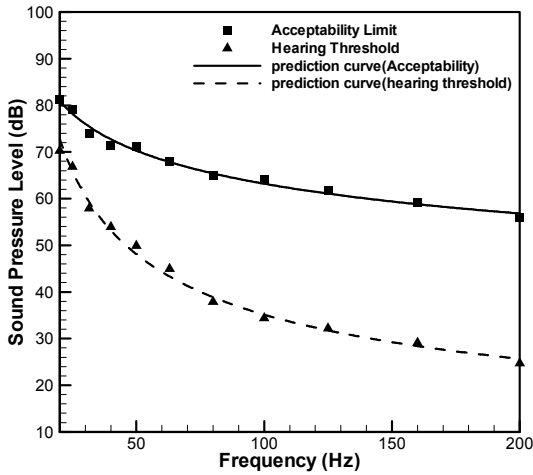


Fig. 2 Acceptability Limit Level

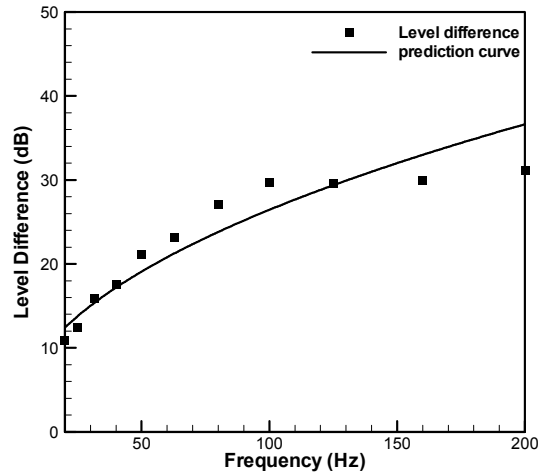


Fig. 3 Hearing Level (Acceptability limits - hearing threshold)

가청역치 실험결과 free-field 환경에서 측정한 ISO 389-7 의 실험결과와, supra-aural earphone 을 사용한 본 연구에서의 실험결과값이 어느 정도 차이를 보였다. 실험환경이 다르기 때문에 두 값의 절대적 수치 비교는 무의미 하지만, 그 경향이 유사한 것을 확인할 수 있었다.[10] ISO 의 실험결과 중 supra-aural earphone 에 대한 실험결과가 있지만 supra-aural earphone 의 다양성 및 성능을 고려할 때 그 적용범위가 한정적이고, 특히 저주파 영역에 대한 실험값은 명기되어 있지 않아 본 실험결과와의 비교데이터로는 사용하지 않았다. [11]

소음수용한계 실험결과를 가청역치 실험결과와 함께 Fig. 2 에 나타내었다. 소음수용한계 는 가청역치보다 작게는 10dB, 크게는 30dB 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 가청역치와 같이 중심주파수가 낮아질수록 음압레벨이 점차 높아지는 경향은 보이나, 그 기울기 정도가 완만해 지는 것을 알 수 있다. 가청역치와 소음수용한계의 차이를 Fig. 3 에 나타내었으며 중심주파수가 낮아질수록 30dB 에서 10dB 까지 그 정도가 작아지는 것을 알 수 있다. 이로써 주파수 대역에 따라 수용반응 정도 (acceptability response level)가 각각 다르며, 특히 저주파 영역으로 갈수록 그 반응 정도가 더 민감해지는 것을 알 수 있다.

주파수 대역에 따른 반응 정도 및 중요도를 바탕으로 신호의 크기에 보정치를 부여하여 제작된 곡선을 청감보정곡선(weighting curve) 이라 한다. 일반적으로 A 특성 청감보정곡선(A-weighting curve) 을 많이 사용하는데, 이는 인간의 귀와 유사한 반응을 보이는 것으로서 등청감곡선(equal-loudness-

level contour)의 40phon 에 해당하는 곡선과 거의 같은 형태를 가진다. A 특성 청감보정곡선의 적절성 여부를 놓고 많은 선행연구가 진행되고 있으며, 저주파영역에서의 과도한 보정치 적용에 대한 문제가 제기되고 있다.[6]

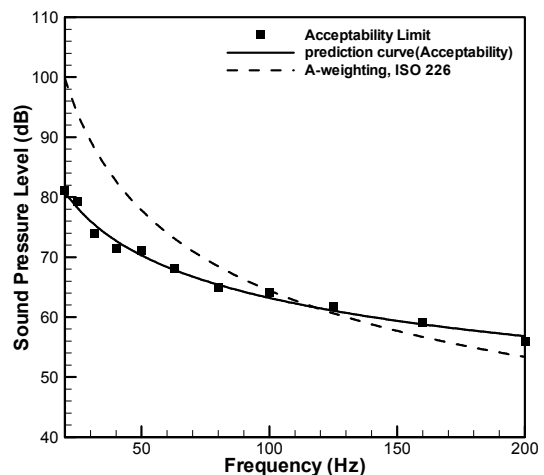


Fig. 4 Acceptability and A-weighting curve

Fig. 4 는 소음수용한계 실험결과와 A 특성 청감보정곡선 비교하여 나타낸 것이다. 본 연구에서 측정한 소음수용한계 실험결과와 A 특성 청감보정곡선을 비교해 볼 때, 선행연구에서의 결과와 마찬가지로 저주파 영역으로 갈수록 과도한 보정치가 부여된 것을 확인할 수 있었다. [5] 따라서 저주파 영역에 대한 A 특성 청감보정곡선은, 소음수용한계 관점에서 판단한다면 적절하지 않다고 할 수 있다.

등청감곡선(equal-loudness-level contour)에 바탕을 둔 청감보정곡선(weighting curve)은 각 주파수 별 보정값을 결정해 주는 곡선이므로 절대음압레벨보다 전체 곡선의 추세가 중요한 역할을 한다. 즉 기준음이 되는 1KHz의 음압레벨과 각 주파수 별 음압레벨의 차이 값이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 소음수용한계 실험결과를 통한 청감보정곡선의 평가는 절대음압레벨의 비교가 아닌 곡선의 추세 비교라고 할 수 있다.

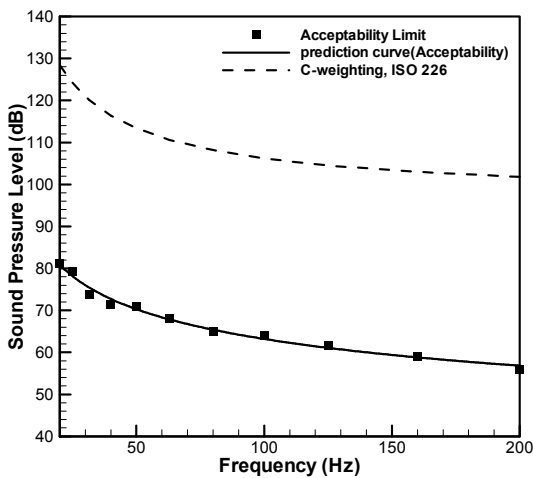


Fig. 5 Acceptability Limit and C- weighting curve

Fig. 5는 소음수용한계 실험결과와 C 특성 청감보정곡선을 비교하여 나타낸 것이다. C 특성 청감보정곡선은 등청감곡선(equal loudness contour)의 100phon에 해당하는 곡선과 거의 같은 형태를 가지는 곡선이며, A 특성 곡선에 비해 전체적으로 완만한 경사를 가지고 있다. Fig. 5는 C 특성 청감보정곡선과 소음수용한계 실험결과의 추세와 거의 일치함을 보여주고 있다.

따라서, 소음수용한계 실험결과를 바탕으로 판단할 때, 저주파 소음 평가에 사용되는 청감보정곡선으로 C 특성 청감보정곡선이 적절하다 할 수 있겠다.

4. 결론

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 또

한 전무한 실정이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위한 기초연구로써 본 연구에서는 저주파 영역(20 ~ 200Hz)에서의 가청역치 및 소음수용한계를 실험하여 측정하였다. 특히 환경소음영향평가의 대부분에 사용되고 있는 A 특성 청감보정곡선의 적절성 여부를 평가하였으며, 기준으로 소음수용한계 (noise acceptability limits)를 사용하였다.

소음수용한계(noise acceptability limits)를 사용함으로써 소리의 크기뿐만 아니라 사람이 인지하는 소음으로써의 수용성 여부도 고려하여 판단할 수 있었다. 소음수용한계를 바탕으로 평가한 결과, A 특성 청감보정곡선은 선행연구의 결과와 같이 저주파 대역으로 갈수록 과도한 보정치가 부여되는 것을 알 수 있었고, 소음수용한계의 실험결과와 가장 비슷한 추세를 가지는 곡선은 C 특성 청감보정곡선인 것으로 나타났다. 따라서 저주파 소음영향평가에 있어서 C 특성 청감보정곡선의 사용이 적절할 것으로 판단된다.

본 연구에 더하여 C 특성 청감보정곡선의 주파수별 적용범위 및 A 특성과의 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.

후기

본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대 환경기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) Kerstin Persson, Martin B, 1990, "Loudness, Annoyance and dBA in evaluating Low Frequency Noise", J. of low frequency noise and vibration 9, No1
- (2) J.Bengtsson, K, Persson Wayne, 2004, "Evaluations of effects due to low-frequency noise in a low demanding work situation", J. of sound and vibration 278, pp83-99
- (3) Yukio INUKAI, 2004, "Acceptable limits 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, pp117~127
- (4) G Laventhall, 2003, "A review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects", Defra Publication

- (5) Mats E Nilsson, 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) ISO/TC43/WG1, 1996, Threshold, "Preferred test conditions for determining hearing thresholds for standardization"
- (9) 이수갑, 임창우, "청력 screening 평가 절차서", 2004, 서울대학교 환경소음진동연구센터
- (10) 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"
- (11) 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"