《技術解說》

Journal of the Human Engineering Society of Korea
Vol. 1 No. 2 Dec. 1982

超低周波音에 對한 人間의 反應

(Human Response to Infrasound)

李 正 權†, 李 炳 昊†

1. 서 론

인간의 가청 영역은 어린이의 경우에 20Hz~20KHz로 알려져 있다. 그러나, 20Hz 이하의 초저주파 영역에서도 그 音壓 레벨이 높은 경우에는 인간이 감지할 수 있다는 사실이 알려졌는데, 그것은 듣는다기 보다는 느낀다는 것으로 표현되고 있다. 초저주파음이 인간에게 미친다고 생각되는 좋지않은 영향 때문에, 60년대말 이후에 새로운 종류의 연구 과제로서, 음향학자, 심리학자, 의학자 등에 의해 활발히 연구되고 있다. 게다가 경제의 고도성장 및 환경 개선의 노력에 따라, 대기 오염, 가청 소음, 진동 등의 전형적인 환경 공해 외의 초저주파음 공해에 대한 사람들의 인식과 불평이 문제시 되고 있다. 즉, 고주파수의 음이 잘 消音된 곳에서, 소리가 잘 들리지는 않으나 항상 사람들을 불안하게 하는 그 무엇이 있다는 것이다.

이에 따라 지난 몇년간 인간의 산업 활동과 관계 있는 높은 레벨의 초저주파 소음의 발생원이 확인되었고[1], 그에 따른 대책 및 설계 단계에서의 고려가 요구되고 있다.

그러나, 인체에 미치는 나쁜 생리적 영향과 직무 수행의 방해에 대하여는, 그 발생 레벨에 대한 견해 차이가 있고, 또 이러한 영향이 낮은 레벨에서는 모든 인간들에게 동일하게 끼쳐지는 것이 아니라, 소수의 비정상적으로 민감한 사람들에게만 적용된다는 점을 생각할 때[2], 아직까지 좀 더 연구해야 할 점이 남아 있어, 법적인 규제로서 어떠한 수치를 결정하기는 아직 어려운 일이다.[3]

†韓國科学技術院 機械工學科

2. 초저주파 소음의 발생원

초저주파 소음은 대개 고속 및 대량의 공기 유동에 의해 발생하나 그 발생 작용에 따른 분류를 하면 다음과 같다.

(1) 자연 현상

우뢰, 공기의 乱流, 화산 활동, 지진, 바람, 큰 폭포, 바다의 파도, 파도가 해변에 부딪침.

(2) 인간의 자연적 활동

걸음, 뛰박질, 수영

(3) 인간의 산업 활동

A. 평판의 진동

주조 공장의 대형 진동체, 고속도로의 교각

B. 급격한 공기 압축

발파, 발포, 비행기의 음속 돌파에 의한 N-파, 굴속으로 고속 열차 돌입.

C. 유체의 맥동 또는 압축 팽창

압축기, 대형 디젤 엔진(선박, 발전용), 진공 펌프.

D. 유체의 비정상 가진

대형 송풍기 날개의 선회 실속과 서어징, 진동 연소, 헬리콥터 날개.

E. 연소

보일러, 버너(로타리 킬른, 아스팔트 플랜트)

F. 유체의 흐름과 구조물

주행중의 차창이 열린 승용차 내부, 복도로 나와 있는 공조 장치의 덕트.

이러한 초저주파음의 발생원 중에서 인위적인 발생원인 경우에 대하여, 공해로서의 불평이 생기게 된다.

Fig. 1은 어느 헬리콥터의 소음 스펙트럼을

보여 준다.[4]

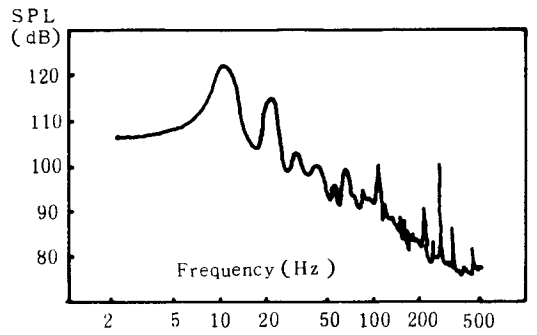

Fig.1. Noise spectrum in a helicopter during cruise at 180 Km/h, 125dB, 99dB (A) (2Hz Bandwidth Analysis) [4]

헬리콥터 날개의 날개 통과 주파수(BPF)에 의한 10Hz 근방의 초저주파가 약125 dB로 매우 지배적인 것을 볼 수 있다.

Fig. 2는 일본 신간선 터널 출구 부근에 있어서의 초저주파음의 음압 분포를 보여 준다.[5]

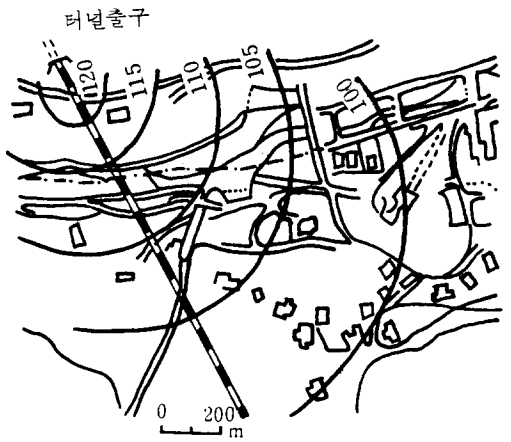

Fig.2. Example of infrasound propagation. [5]

초저주파음은 매우 긴 파장(~10³m)을 갖고 있어서, 회절에 의해 장애물의 영향을 적게 받고 공기에 의한 감쇠(excessive attenuation)가 적어서 거리가 두 배로 될 때마다 6dB씩 감소하므로, 매우 넓은 범위에 걸쳐서 높은 레벨의 초저주파음이 분포하는 것을 보여 주고 있다.

3. 초저주파음의 최소 감각치 및 Annoyance

(1) 최소 가청치(Hearing Threshold)

특정한 주파수에서 그 주파수의 순음(pure tone)을 구별 할 수 있는 가장 작은 SPL을 최소 가청역(MAF) 또는 최소 감각치라고 한다.

A. 측정법

특수한 방(pressure chamber)에서 피험자의 귀에 헤드폰을 장치 하거나 혹은 맨 귀에 대해, 조화음의 왜곡(harmonic distortion)이 최소화된 초저주파의 순음의 음압을 낮은 레벨부터 높은 레벨까지 끌어 올리는 중의 MAF와 그 역으로, 높은 레벨 부터 낮은 레벨로 끌어 내리는 중의 MAF를 반복 측정하여 평균을 내는 한계법(Method of limit)을 사용한다.[6]

한쪽 귀에 대한 값, 양쪽 귀 모두에 대한 값, 양쪽 귀의 민감도를 고려한 값 등의 세가지 MAF를 측정한다.

B. 근래의 측정 결과

Fig. 3은 최근에 측정된 MAF를 보여 준다.[7]

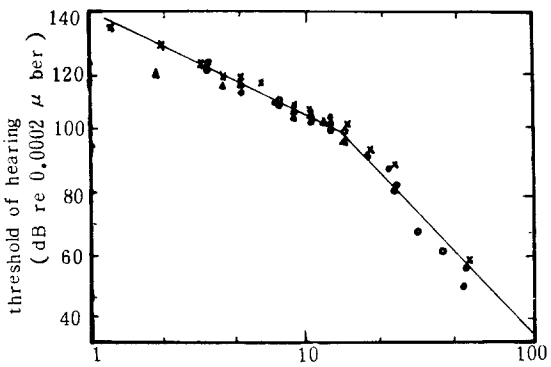

Fig.3. Comparison of recent threshold data.
× monaural headphone data-3dB (Yeowart et al., 1967);
○ binaural headphone data (Yeowart, 1972);
△ binaural chamber data (Yeowart and Evans, 1974);
◯ binaural chamber data (Whittle et el., 1972). [7]

여기서 두개의 직선의 전환점이 92.0dB SPL의 15.5Hz에 존재하는 것을 볼 수 있고, 그 기울기는 낮은 주파수에서는 12.3dB/octave, 그 이상의 주파수에서는 22.2dB/octave이다.

Whittle의 data중에서 25.50Hz의 data가 ISO R226(1961)의 MAF와 맞지 않는 것은 피험자의 연습량, 최소치 측정법, 측정 환경(pressure chamber와 anechoic chamber)에 있어서의 청력의 민감도 차이에 기인한 것으로 보인다.

(2) 동일 음량 곡선[2]

Fig. 4는 제안 및 측정된 동일 음량곡선(equal loudness curve)을 보여 준다.

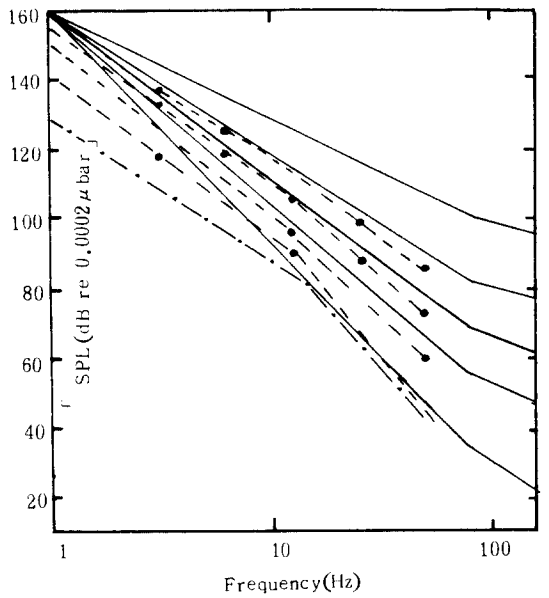

Fig.4. Equal loudness contours at low frequencies.
—— stevens(1972); •---• Whittle et al.(1972);
-·-·- adjusted threshold from Yeowart(1972).[2]

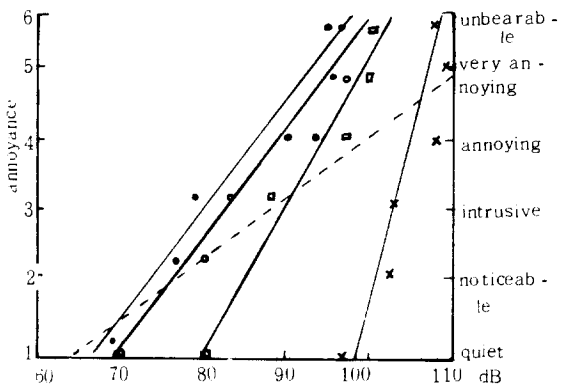

Fig.5. Average growth of actual annoyance inside four passenger vehicles compared with growth of noise criteria and sound pressure level.
o—o NR criterion; •—• dB(A) criterion;
□—□ PLdB criterion; —×— linear SPL;
---- compared with traffic and aircraft noise.[8]

그림 중에서 실선은 Stevens 1972에 의하여 1Hz, 160dB의 점에서 모든 곡선이 수렴하는 것으로 제안된 것이며, 점선은 단계적인 순서에 의한 일정 자극법 Method of constant stimuli 에 의해 Whittle 1972 이 수정한 것이다. 20~50Hz에서 ISO R 389 (1964), ISO R 226 (1961)과 차이가 나는 것은 앞서의 MAF 때의 경우와 마찬가지이다.

(3) Annoyance

Fig. 5에는 車內에서의 여러 criterion에 대한 annoyance 정도가 보여 진다. (Bryan).[8]

Fig. 6은 Johnson에 의해 제안된 criteria 를 보여 주는데, 이것은 45 phon의 곡선을 5Hz까지 연장하여 기준 곡선으로 한 것이다.

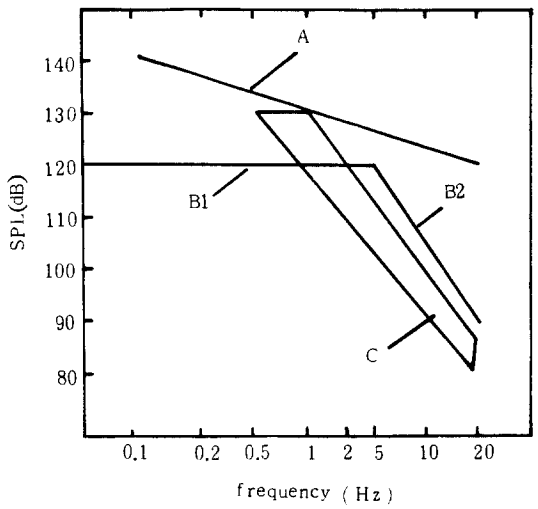

Fig.6. Infrasound criteria proposed by Johnson.
A … No adverse physiological effets below this curve;
B1 … Annoyance threshold due to building structure vibration or middle ear pressure;
B2 … Estimated loudness of 45 phon;
C … Range of hearing threshold.[9]

5Hz이하의 주파수에 의해 120dB로 제한된 것은 中耳내의 압력 형성(pressure buildup)이나 구조물의 진동을 피하기 위함이다.[9]

4. 초저주파음에 의한 부정적 효과

(1) 인체에 대한 영향

A. 생리적 영향(physiological effect)[10]

높은 레벨의 초저주파음의 인체에 대한 생리적 영향으로서 구역질, 현기증, 호흡 장애, 두통, 중이내의 압력감, 고막의 활발한 운동에 의한 고통, 언어 장애, 기침, 흔들리는 느낌, 무력감, 이명 현상(tinnitus), 피로감, 혈압 상승, 흉곽벽의 거센 진동, 계속적인 눈물, 피부가 타는 듯한 느낌, 넘어지는 느낌, 졸음, 일시적 청

력 손상(TTS) 등이 나타나며, 사람에 따라, 연습량에 따라 정도가 다르다.

B. 심리적 영향(psychological effect)[11]

예민한 사람들에게는 수면, 독서, 사고 등에 초저주파음이 방해가 되며, 안절부절 하게 되는 경우도 있다.

일반적으로 사무의 능률이 떨어지고, 인간 관계가 비협조적이 되며, 충돌이 잦게 된다.[12]

그러나, 이러한 영향들은 Mohr에 의한 바와 같이 초저주파음 자극의 경로가 귀에 의한 것인지, 몸 전체에 의한 것인지에 따라 크게 달라지며, 주어진 음의 레벨에 따라 달라지며, 피험자의 性, 나이, 예민도에 따라서도 달라진다.[13]

(2) 구조물에 대한 영향[2]

유리창이 흔들리고, 문짝이 덜컹거림, 기와가 내려 앉음, 벽이 갈라져 떨어짐.

지진이 많은 일본의 경우, 이와 같은 덜컹거림은 지진에 대한 공포와 연관되어서 심리적으로 상당한 불안감을 안겨 주고 있다.

이상과 같은 초저주파음의 부정적인 효과는 위에서 언급한 바와 같이 실험 대상에 따라 큰 차이가 있어서, 실제로 초저주파음이 나타냈다고 믿어 지는 여러 영향에 대해 어느 정도의 연관성을 가졌는지 가려내는 것이 필요하다.

5. 맺는말

다음과 같은 문제가 1980년도 저주파소음 및 청각에 대한 국제 회의에서 거론되었다.[15]

(1) 피해자가 느끼는 생리적 반응중의 일부는 심리적인 인자가 작용한 것이 아닌가? (Johnson)

또, 낮은 레벨의 음압에서도, 좋지않은 생리적 효과가 인체에 발생하는가?

생리적 반응중의 일부는(예를 들어, 이명 현상) 현재 주장 되고 있는 이론과는 다른 메카니즘에 의한 것인가? (Leventhall)

(2) 현재 ISO 규준이 없음에 대하여, 20Hz 이하에서는 하루 8시간당 100 dB~120 dB의 규제치가 제안되었으나, 예를 들어 고층 빌딩에서는 바람부는 날의 경우 110~120 dB 정도의 저주파음이 발생하므로 문제가 되고 있다.

(3) 저주파 소음계의 규칙에 대하여 덴마아크의 B&K 사 에서는 20Hz이하에만 새로운 Weighting법을 고려해야 한다고 하며, 일본의 고바야시 연구소 측은 수십 Hz의 저주파 영역까지도 새로운 Weighting을 주어야 한다고 제안하고 있다. 그 밖에 종래의 A, B, C Weighting외에 E-weighting의 사용이 제안되었다.

(4) 저주파 소음 영역의 문제로서 과거에는 20 Hz이하의 초저주파음에 대해서만 생각하였으나,[16] 현재는 0~수십Hz 또는 몇가지 해로운 효과가 초저주파 영역보다 더 극심한, 100Hz정도 까지도 확장하여 고려해야 한다는 의견이 지배적이다.

끝으로, 아주 강렬한 초저주파음이 아닌 경우, 일부 민감한 사람들 만이 일터나 가정에서 초저주파음의 존재를 인식하고 고통을 겪는다고 할 때, 초저주파음에 비교적 둔감한 평균적인 인간을 대상으로 하여 기준치를 산출하는 것은 의미가 없고, 민감한 사람을 기준 대상으로 삼아야 한다고 생각된다.

약 어 해 설

BPF : Blade Passage Frequency
SPL : Sound Pressure Level
TTS : Temporary Threshold Shift
PLdB : Perceived Loudness Level
NR : Noise Rating
dB(A): A-weighted SPL
ISO : International Organization for Standards
MAF : Minimum Audible Field

參 考 文 獻

[1] S. Yamada et al., "橋梁振動の低減に關する考察",, 騷音制御, V. 2, pp. 22~25, 1978.

[2] W. Tempest (ed.), *Infrasound and Low Frequency Vibration*, 1976, Academic Press

〔3〕 S. Yamada, "Lawsuit Relating to a Very Low Frequency Noise Problem Caused by a Highway Bridge in Japan," *Noise and Vib. Bull.*, June 1981. pp. 111～115

〔4〕 N. Broner, "Low Frequency and Infrasonic Noise in Transportation," *Appl. Acoust.*, V. 11, pp. 129～146, 1978.

〔5〕 Y. Tokida, "低周波音公害問題をめぐって," リオニ株式會社, pp. 1～7, 1979.

〔6〕 N. Yeowart et al., "Low Frequency Noise Thresholds," *J. Sound Vib.* V. 9, pp. 447～453, 1969.

〔7〕 N. Yeowart et al., "Thresholds of Audibility for Very Low- Frequency Pure Tones," *J. Acoust. Soc. Am.*, V. 55, pp. 814～818, 1974.

〔8〕 M. E. Bryan, "A Tentative Criterion for Acceptable Noise Levels in Passenger Vehicles," *J. Sound Vid.*, V. 48, pp. 525～535, 1976.

〔9〕 N. Broner, "The Effects of Low frequency Noise on People-A Review," *J. Sound Vib.*, V. 58, pp. 483～500, 1978.

〔10〕 K. Shimizu et al., "低周波音による影響," 日本騒音工學會講論集, 1-2-6, pp. 87～90, 1977.

〔11〕 K. Kyriakides et al., "Some Effects of Infrasound on Task Performance," *J. Sound Vid.*, V. 50, pp. 369～388, 1977.

〔12〕 K. Kryter, *The Effects of Noise on Man*, pp. 537～538, 1970. Academic Press

〔13〕 Y. Inukai et al., "低周波空氣振動の評定因子," 騒音研究會資料 N-8109, pp. 7～14, 1981.

〔14〕 Conference on Low Frequency Noise and Hearing, Aalborg, Denmark, 1980.

〔15〕 Collogue International sur les INFRA-SONS, Sept. 1973.