



일상생활에서의 저주파음의 노출과 건강영향 1

산업안전보건연구원 직업병연구센터 / 김 규 상

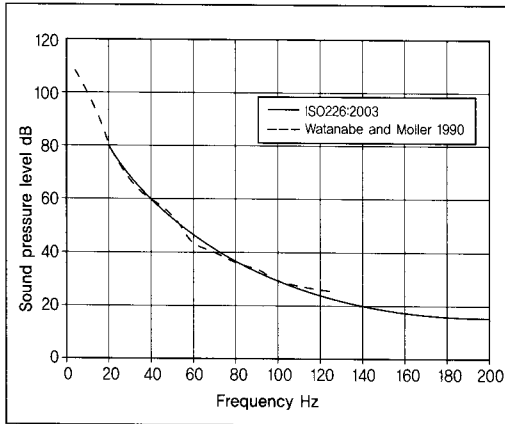
주요내용

- ① 인간의 청력 ② 일반인의 소음 노출 ③ 환경소음과 도시소음의 문제
- ④ 일상생활에서의 저주파음의 노출과 건강영향 ⑤ 소음환경 하에서의 어음인지와 청력손실
- ⑥ 소음 노출과 일시적 난청 ⑦ 소아 아동의 소음 노출과 청력영향
- ⑧ 취미 및 스포츠 활동에 따른 소음 노출과 청력영향 ⑨ 청력의 연령효과와 노인성 난청
- ⑩ 건강행태(음주, 흡연 등)와 청력영향 ⑪ 일반 질병(당뇨, 심장질환 등)에 의한 청력영향
- ⑫ 화학물질의 이독성 ⑬ 소음 이외 물리적 요인(진동, 라디오파, 방사선 등)에 의한 청력영향
- ⑭ 특수 종사자의 청력영향(공공 근무 종사자, 군인, 음악가, 기타 등) ⑮ 청력보존프로그램의 평가
- ⑯ 소음성 난청의 청능재활

환경소음이 사회적 이슈로 등장하기 시작하면서 소음 노출에 따른 위험성 평가에 대한 연구는 지속적으로 증가하고 있다. 특히 저주파 소음(low frequency noise)은 일반적으로 그 위험 정도가 높은 것으로 알려져 있어 이미 많은 나라에서 활발한 연구가 진행 중이다. 저주파 소음은 일반적으로 200 Hz 이하의 중심주파수를 가지는 소음을 말하며, 20 Hz의 가청주파수 초입을 기준으로 초저주파음(infrasound)과 구분되기도 한다.

1. 저주파음이란?

초저주파는 들을 수 있는 최저 주파수(약 16 Hz) 한계 영역 이하의 음으로 정의하고 있다(IEC, 1994). 그러나 이 정의는 오해를 불러 올 수 있는데, 16 Hz 이하 대역에서도 잘 들을 수 있다. 실험상 음향실(acoustic chamber)에서 4 Hz(Watanabe 와 Moller, 1990), 이어폰으로는 1.5 Hz(Yeo wart 등, 1967)까지 청력역치를 측정하였다. 16 Hz 한계, 일반적으로 생각하는 20 Hz는 청력의 하한 주파수보다는 등청감곡선(equal



〈그림 1〉 초저주파 및 저주파의 청력역치

loudness hearing countour)의 하한 주파수로부터 기원하였다. 청각각(聽感覺)은 주파수가 낮아짐에 따라 20 Hz에서 갑자기 듣지 못하는 것이 아니라 20 Hz 아래의 매우 낮은 주파수에서도 청각각은 있으므로 초저주파수 음대역을 매우 낮은 저주파로 제한하지 않는 한 들을 수 없는 초저주파역과 청각역을 별개의 영역으로 구분하기 어렵다. 10-100 Hz, 또는 20-200 Hz 대역의 음을 저주파음(low frequency sound)으로 보고 있다.

초저주파와 저주파 음역에 대한 청력역치는 〈그림 1〉, 〈표 1〉과 같다. 실선(ISO:226, 2003)은 20 Hz 이상의 저주파 음에 대한 역

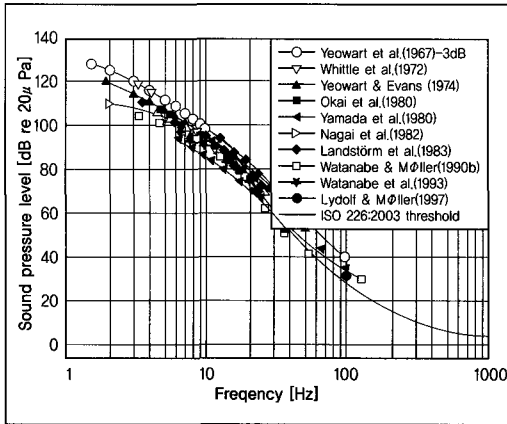
치이며, 점선(Watanabe와 Moller, 1990)은 4-125 Hz에서의 역치를 보인 것이다. 청력역치는 젊은 건청인의 역치 중앙값으로 표준편차가 6 dB 내외로 청각각은 나이가 많을수록 고음일수록 감소한다.

200 Hz 이하 대역의 저주파음에 대한 인간의 청각각 인지는 중요한데 이 대역(20-200 Hz)의 저주파음은 매일의 일상생활에서 노출되는 소음의 주요한 에너지원으로 영향을 미치기 때문이다. 귀가 저주파 음을 인지하는 1차 기관이나 역치 이상의 강도에서는 여러 신체 부위에서 진동각으로 느낀다. 저주파음에 대한 청력역치 연구는 오래 전부터 수행되어 왔다. 저주파 음에 대한 역치 차이도 일반적인 가청음에 대한 역치처럼 남성이 여성보다 역치가 높고, 연령이 증가할수록 역치가 높으며, 한 귀(monaural)와 양이(binaural)의 역치에 있어서 차이가 난다.

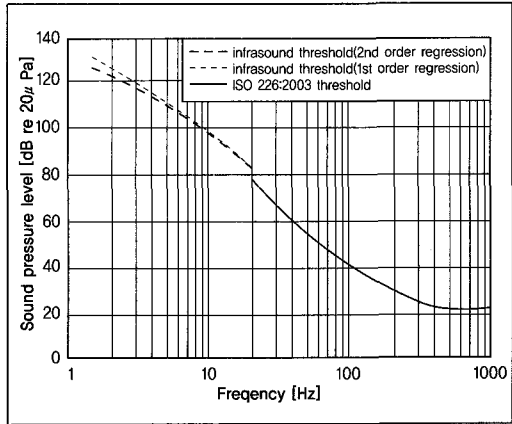
〈그림 2〉는 ISO 226(2003)에 의한 20 Hz 이상의 표준역치와 최근의 20 Hz 내외의 저주파음에 대한 역치 연구결과를 나타낸 것이다. 〈그림 3〉은 그림 2의 결과를 기초로 하여 20 Hz 이하 대역의 역치를 1차 및 2차 회귀선으로 제한한 결과이다. 〈그림 4〉는 20 Hz 이하의 초저주파 대역의 등청감곡선

〈표 1〉 초저주파 및 저주파역의 청력역치

Freq(Hz)	4	8	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	200
Level(DB)	107	100	97	92	88	79	69	60	51	44	38	32	27	22	18	14



〈그림 2〉 20 Hz 이상의 표준청력(ISO 226)과 저주파역의 최근 청력역치 연구 비교

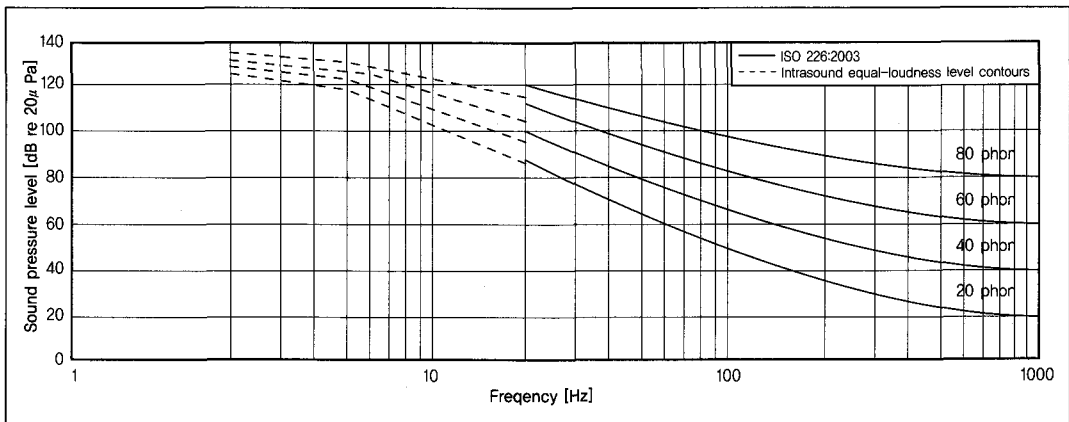


〈그림 3〉 20 Hz 이상의 표준청력(ISO 226)과 20Hz 이하 대역의 청력역치

을 20 Hz 이상의 ISO 226과 같이 제시한 것이다(Møller와 Pederson, 2004).

일반적으로 인간의 청력은 연령이 증가함에 따라 청감각은 저하되는데, 특히 들을 수 있는 청각역(audible range)에서 고음역으로 갈수록 더 특징적으로 나타난다. ISO

(ISO 7029, 2000)의 표준화에 따른 역치 손실 분류에 따르면 가장 낮은 청력 주파수는 들을 수 없는 초저주파역이 아닌 125 Hz인데 60세 연령층의 25%는 18세 연령의 중앙값보다 더 낮은(좋은) 청력역치를 보인다. 〈표 2〉는 연령 구성에 따른 저주파 대역의 청력역치이다. 50%는 역치의 중앙값(medi-



〈그림 4〉 20 Hz 이상의 저주파음(ISO 226)과 20 Hz 이하의 초저주파 대역의 등청감곡선

〈표 2〉 연령 구성에 따른 청력역치

Low frequency hearing threshold for levels for 50% and 10% of the population(NSG reference curve in bold)				
Freq(Hz)	Otiologically unselected population 50-60 years		Otiologically selected young adults(ISO 226)	
	50%(dB)	10%(dB)	50%(dB)	10%(dB)
10	103	92	96	89
12.5	99	88	92	85
16	95	84	88	81
20	85	74	78	71
25	75	64	66	59
31.5	66	55	59	52
40	58	46	51	43
50	51	39	44	36
63	45	33	38	30
80	39	27	32	24
100	34	22	27	19
125	29	18	22	15
160	25	14	18	11
200	22	10	15	7

an)이고 10%는 더 민감한 연령군 10% 집단의 역치값이다. 50-60대군이 20대의 건청군에 비해 7 dB 역치손실을 보이고 있다.

2. 저주파 소음 노출 실태

우리 인간은 들을 수 없는 0.01-2 Hz의 자연적으로 발생하는 초저주파음에 둘러싸여 있다. 대기현상, 화산분화, 해양의 파도, 바람 및 공기의 느린 진동을 야기하는 자연적인 초저주파 소음원이 많다. 폭발, 저속의 팬, 기계 등의 인위적인 소음원도 있다. 그런데 대부분 자연의 초저주파 음원은 1 Hz 미만이다.

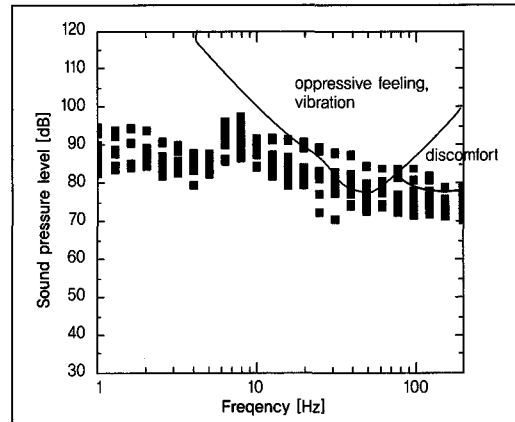
환경소음의 대표적인 소음원이라 할 수 있는 항공기 소음, 철도 소음 및 도로 소음 그리고 공사장 소음 등 대부분의 소음원에는 저주파 소음이 상당 부분 포함되어 있다. 저주파 소음의 주요 발생 원인은 공장과 건설현장의 기계장치 중 특히, 압축기, 송풍기, 펌프, 진동제, 공기정화시스템 등이 있으며, 기계가 아니더라도 고속도로의 다리를 자동차가 주행할 때, 열차가 터널을 돌입할 때, 항공기 엔진의 시험 시, 또는 댐의 방류 시에도 발생한다. 저주파 소음에 노출되는 주요 직업은 항공기술자, 비행기 조종사, 승무원, 그리고 발전소 근무자 등 여러 직업종사자이다.

이러한 저주파 소음의 위험성 정도가 높

은 것을 고려할 때 이에 대한 연구는 환경소음 연구에 있어서 매우 중요한 역할을 한다고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 현실에도 불구하고 저주파 소음에 대한 국내 연구는 매우 미미하며, 아직까지 평가 고려 대상이 되지 못하고 있음은 물론이고 이와 관련된 규정 또한 전무한 상태이다.

도로교통 소음원에 의한 저주파 소음은 제한적이기는 하지만 시속 60 km/h로 운행되는 트럭의 초저주파음 레벨은 평균 55 dB 정도로 파악되었다. 하지만 속력이 증가하면 소음레벨이 증가한다. 비교를 위해 철도 차량에 대해 측정한 결과, 열차인 경우는 최대 음압레벨이 90 dB 정도를 나타내기 때문에 인체에 영향을 줄 수 있는 수준이다(정성수 등, 2003).

서울지하철의 객차 내에서 측정한 평균 소음 레벨은 주파수 1-200 Hz 대역에서 60-105 dB 사이의 값을 가지며(정성수 등, 2005), 대전지하철에서도 객차 내 저주파 소음이 주파수 1-250 Hz 구간에서 60-102 dB의 음압레벨을 가진다. 차량과 측정 구간에서의 레일 상태 그리고 운행 속력이 다양하기 때문에 음압레벨 변화도 20 dB까지 차이가 나고 있다(정성수 등, 2007). 20-80 Hz 대역에서는 일부 측정값들이 압박감/진동감에 속하는 영역 내에 들어 있으며, 80-200 Hz 사이에서도 불쾌감의 영역에 있음



〈그림 5〉 서울 지하철 객차내에서의 저주파 소음

을 확인할 수 있다(그림 5).

그리고 산업장에서의 저주파 및 초저주파 소음은 특히 수력/화력/풍력 발전소의 터빈에서 문제가 된다. 회전기계에서 방사하는 소음은 일반적으로 날개 통과 주파수의 순음 소음과 난류와 블레이드 간의 상호작용으로 발생하는 광대역 소음으로 이루어진다. 상대적으로 빠르게 회전하는 회전기계류에서는 날개 통과 주파수 소음이 전체 소음에 중요한 비중을 차지한다.

최근 신생 에너지로 각광을 받는 풍력 터빈의 경우, 효율적으로 많은 양의 에너지를 생산하기 위해 중·대형화함에 따라 터빈의 회전속도는 점점 더 낮아지고 있다. 이런 낮은 회전속도로 인하여 1-20 Hz 주파수 대역에서 날개 통과 주파수의 소음을 발생시킨다. 이러한 중대형 풍력터빈의 저주파 소음 방사 특성에 대한 실험적인 고찰 결과,

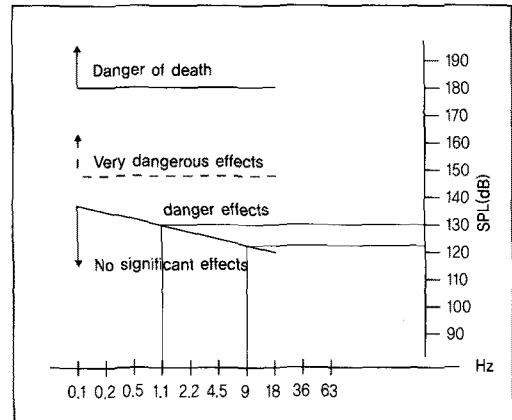
1.5 MW와 660 kW 풍력터빈에서 방사되는 30 Hz 이상 범위의 저주파 소음은 일반 성인에게 심리적 불안을 일으키고 5 Hz에서 8 Hz 사이의 초저주파음은 문과 창문 같은 집 구조의 떨림에 의하여 불쾌감을 유발할 가능성이 있는 것을 확인하고 있다(이승엽 등, 2007).

중국에서의 화력발전소의 초저주파 소음 측정 결과, 가장 높게는 62-115 dB를 보이고 있으며, 가정역에서의 소음 레벨이 70 dB 이하이지만, 16 Hz 단일 주파수에서는 110-120 dB에 이르고 있었다(Dang 등, 2008).

3. 저주파 소음의 건강영향

소음은 주파수가 낮을수록 귀에 잘 들리지 않는 특성이 있기 때문에 저주파 소음을 인지하기 어려운 점이 있으나 인체에 정신적/육체적으로 영향을 미친다. 초저주파 소음 또한 우리가 들을 수 없지만 아주 강력한 음압하에서는 사망까지 초래하는 등 직접적인 외상을 야기한다(그림 6). 2 Hz의 165 dB, 20 Hz에서는 145 dB에서 이통(aural pain)을 발생하고, 185-190 dB에서 고막 천공을 초래한다.

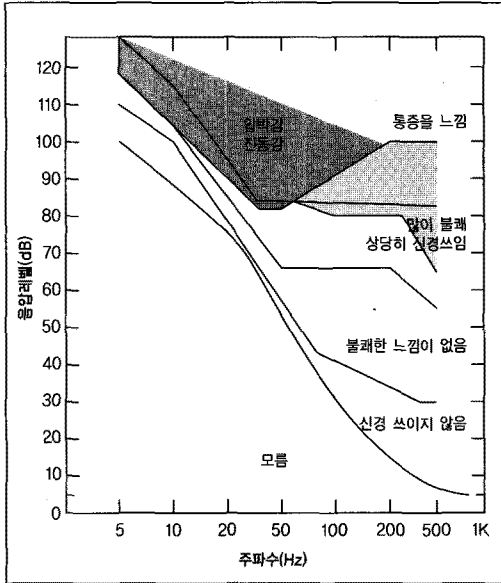
친칠라 동물실험에서 1, 10, 20 Hz의 150, 160, 170 dB SPL하에 고막 천공, 등골 아탈



〈그림 6〉 저주파음이 인체에 미치는 영향

구(stapes subluxation), 중이 점막과 고막 장근(tensor tympani)의 출혈, 선조strial 병리소견, Reissner막 파열, 내림프수종(endolymphatic hydrops), 구형낭 벽(saccular wall)의 파열, 유모세포의 손상 및 와우관(cochlear scalae)의 출혈이 관찰되었다. 지속적인 초저주파 소음이 간헐적인 노출보다 더 손상의 정도가 크게 나타났다. 물론 노출 소음의 크기가 클수록 병변의 영향이 크게 나타났으나 노출 주파수가 클수록 미치는 영향은 감소하였다(Lim 등, 1982).

Ochiai의 연구(1999) 결과에 따르면 20 Hz 이하의 초저주파음 보다도 200 Hz까지의 음이 더 불쾌감을 수반한다. 50 Hz에서 200 Hz 대역에서는 65 dB 이상에서 불쾌감을 느끼게 되며 80 dB 이상에서는 압박감을 느끼게 된다(그림 7).



〈그림 7〉 저주파음에 의한 영향

저주파음은 또한 심장질환 등의 순환기, 호흡기, 신경계, 내분비 등에 영향을 미치며, 우울증 또는 불안장애와 같은 만성적인 정신 건강에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다. 이전에는 0-20 Hz의 초저주파와 20-500 Hz의 저주파 소음의 인체 영향에 대한 논란이 있었으나 현재는 난청, 소음성 불쾌감(noise-induced annoyance), 수면장애, 고혈압은 소음노출에 따른 결과로 인식하고 있다.

최근의 연구 결과, 정상 건청인에서 저주파음에 의한 변조이음향 방사 변화를 보여 주어 내이에 영향을 미침을 뒷받침하고 있다(Hensel 등, 2007). 변조이음향은 와우

외유모세포의 정상 기능 표지자이다. 이는 또 초저주파 및 저주파음도 주요 청감역의 주파수와 비슷하게 감지하고 처리함을 fMRI를 통해 확인하고 있다(Dommes 등, 2009). 그리고 저주파음의 피로 반응에 대한 재미있는 실험 결과를 하나 소개하면, 쥐의 피로반응(수영시간의 감소 정도로 평가)을 보기 위해 지속적인 고음(500-10000 Hz)의 소음 노출 결과, 정상 건청의 쥐에서는 25-50%의 감소를 보였으나 농인 쥐(deaf mice)에서는 전혀 영향을 미치지 않았다. 그러나 저주파와 초저주파(6-50 Hz) 소음에서는 농인 쥐를 포함하여 모든 쥐에서 수영시간의 감소가 비슷하게 나타났다. 이는 기도전도의 청각학적 영향이 아닌 물리적 진동 양태로 영향을 미치기 때문이다(Busnel과 Lehmann, 1978).

저주파 소음에 의한 호흡기계 병리 현상은 1960년대까지 새로운 주제가 아니었으나 현재는 저주파 소음의 주 표적기관을 호흡기계로 보고 있다.

저주파 소음에 장기간 노출되는 경우 흡연과 관계없이 비정형의 흉막 삼출(effusion), 호흡부전(respiratory insufficiency), 폐섬유화 및 폐종양 등의 심각한 호흡기계 질환 결과를 보이고 있다. 저주파 소음 노출 동물실험 결과에서도 흉막의 형태학적 변화와 흉막 중피세포(pleural mesothelial cell)의 식작용(phagocytic ability)

소실을 보이며, 전체 호흡기의 섬유화 병변과 신생혈관 형성이 관찰되고, 조직변화(metaplasia), 이형성(displasia) 및 전암 병변 또한 관찰되었다(Branco 등, 2007).

소음에 의한 심혈관계 영향은 심박동과 혈압의 상승으로 나타나지만 노출 소음의 특성에 따라 다양하게 나타난다. 초저주파 소음도 산업장의 소음처럼 혈압상승을 동반한 말초혈관 수축을 야기한다. 6, 12, 16 Hz의 95, 110, 125 dB(lin) 노출에 따른 혈압, 맥박수 및 코티솔 농도 측정(인간 지원 실험) 결과, 맥박수의 증가없이 유의한 이완기 혈압 상승과 수축기 혈압 감소를 보였다.

이완기 혈압 상승은 30분 노출 후 최고 8 mmHg의 평균 혈압 상승을 보였다(Danielsson과 Landstrom, 1985). 최근에 초저주파 소음이 심장의 초미세구조(ultrastructure)의 변화와 기능에 미치는 영향에 대한 동물실험 결과를 보고하고 있는데, Ca(2+)와 SERCA2(sarcoplasmic reticulum Ca(2+)-ATPase 2)의 변화가 이차적인 심장손상의 중요한 역할을 하는 것으로 보고 있다(Pei 등, 2007).

소음에 의한 스트레스 효과를 보기 위한 실험에서는 저주파가 고주파보다 체내 호르몬인 카테콜라민의 분비량이 증가하는 것으로 보아 1 Hz로부터 1000 Hz 사이의 주파수에서 주파수가 낮은 소음이 인간에게 스

트레스를 더욱 가중시키는 것으로 나타났다(김동욱과 최홍순, 2003).

저주파 노출 소음의 크기에 따른 영향에서 100 dB 이하의 초저주파 소음 노출에서는 명확한 건강 영향이 관찰되지 않았으나, 주관적인 신경행동학적 이상반응, 신체화반응(somatization), 우울, 적대감, 불안, SCL-90을 이용한 정신병성 장애에서 110-120 dB 이상의 노출군에서는 중국의 정상 인구집단 및 대조군에 비해 통계적 유의하게 높은 점수를 보여 자율신경계의 신경행동학적 이상과 정신건강 상태에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(Dang 등, 2008).

이외에도 초저주파 소음은 전정기능, 시력, 생식기능 등에도 영향을 미친다.

초저주파 소음은 일시적으로 전정말단기관의 자극(흥분)을 약화시키고, 외유모세포의 기능을 저하시켜 내이에 손상을 끼친다(Feng 등, 2001).

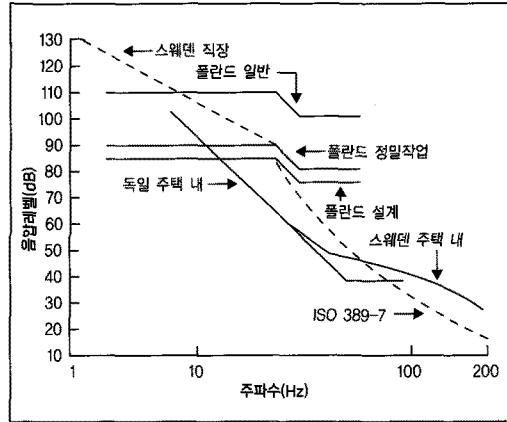
시력에 미치는 초저주파 소음의 영향은 주파수와 강도와 관련이 있는데, 망막의 공명에 영향을 미쳐 세포조직의 병변(cellular lesion)과 다른 전위(electrical potential)을 보였다(Shi 등, 2003). 그리고 망막과 혈관의 관문(blood-retinal barrier)을 손상시켜 시력에 영향을 미친다(Qui, 2002).

또한 동물실험에서 저명하게 정세포 형태와 분비 기능에 영향을 미쳐 생식능력의 변화를 초래하기도 한다(Wei 등, 2002).

8 Hz 90 dB과 130 dB에 1일 2시간의 1, 7, 14, 21일 동안 저주파 소음 노출에 따른 생식기능의 생화학적 효과를 보기 위하여 성 행동의 변화, 테스토스테론, SF-1(steroidogenic factor 1)의 mRNA 레벨, 정소의 StAR(steroidogenic acute regulatory protein)과 P450scc(cytochrome P450 cholesterol side chain cleavage enzyme)를 관찰한 결과, 초저주파음이 노출 요인과 어떤 주요 효소 또는 테스토스테론 생합성을 저해하는 기전에 의해 생식계에 미치는 부작용을 보여주고 있다(Zhuang 등, 2007).

4. 저주파 소음의 평가기준

저주파 소음에 대해 독일, 덴마크, 스웨덴 등 유럽 여러 나라들은 1990년대 후반부터 측정방법과 평가방법에 대한 지침서와 규제 기준을 마련하고 있다(그림 8). 이는 주로 생활공간과 작업장에 대해 규정하고 있다. 미국과 일본도 그 동안의 연구 결과를 토대로 현재 종합적인 대책 마련에 착수한 상태이나 우리의 경우는 아직까지 저주파 소음에 대한 연구가 거의 없는 실정이다.

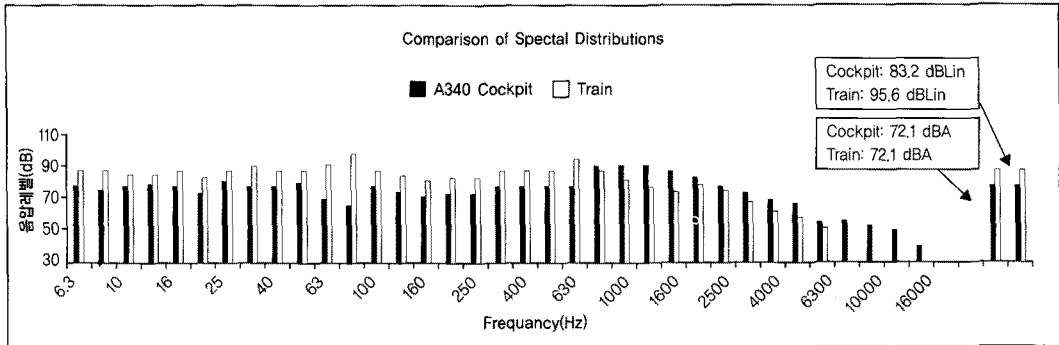


(그림 8) 저주파음 규제기준 및 가이드라인

일반적으로 환경소음 평가에 사용되는 A 특성 보정곡선(A-weighting curve)은 저주파 영역에서 과도한 보정치를 부여한 것으로 나타나, 저주파 영역에 대한 평가 수행 시 다른 보정곡선을 사용해야 한다는 결론을 제시하고 있다.

A특성 보정곡선은 등청감곡선(equal-loudness-level countour)의 40 phon에 해당하는 곡선으로 소리의 크기를 바탕으로 제작한 곡선이다. A특성 보정곡선의 저주파 영역에서의 과도한 보정치 문제를 해결하기 위하여 기존에 고려되었던 소리의 물리적 크기뿐 아니라 사람이 인지하는 수음성도 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

소음 수음 한계(noise acceptability limit)를 고려한 저주파 소음평가에 대한 실험적 연구 결과, A특성 보정곡선은 선행연구의 결과와 같이 저주파 대역으로 갈수록 과도한 보정치가 부여되는 것을 알 수 있었



〈그림 9〉 열차와 Airbus-340 조정실의 소음 평가

고, 소음 수용 한계의 실험결과와 가장 비슷한 추세를 가지는 곡선은 C특성 보정곡선인 것으로 나타났다(홍승기 등, 2007).

외국 연구에서는 대체적으로 무보정의 dBLin을 권고하고 있다. A보정의 경우 500 Hz 이하의 음 에너지에 대해 중요성을 깎아내리고, 20 Hz 이하 대역의 음은 아예 무시된다. 이는 〈그림 9〉의 열차와 Airbus-340 조정실 두 곳의 측정 결과인 72.1

dBA을 dBLin으로 평가할 시 열차의 경우 20 dB 이상 차이가 난다.

dBA는 귀로서 듣는 환경으로 또 미치는 건강영향(난청)에 한해 평가하는 문제가 있어 초저주파-저주파음(infrasound and low-frequency noise, ILFN)에 의한 영향을 고려한 방향에서의 고찰을 제안하고 있다(Alves-Pereira와 Branco, 2007). 📌

(다음 호에 계속)

참 고 문 헌

- Alves-Pereira M, Branco NA. Bibroacoustic disease: Biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Prog Biophys Mol Biol* 2007;93(1-3):256-279.
- Branco NA, Ferreira JR, Alves-Pereira M. Respiratory pathology in vibroacoustic disease: 25 years of research. *Rev Port Pneumol* 2007;13(1):129-135.
- Busnel RG, Lehmann AG. Infrasound and sound: differentiation of their psychophysical effects through use of genetically deaf animals. *J Acoust Soc Am* 1978;63(3):974-977.
- Dang WM, Wang S, Tian SX, Zhao QH, Chen B, Sun F, He LH, Zou ZF, Guo ZB, Ma WJ. Characteristics of infrasound and its influence on workers in working environment of certain thermoelectricity works and department. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi* 2008;26(12):711-724.
- Danielsson A, Landstrom U. Blood pressure changes in man during infrasound exposure. An experimental study. *Acta Med Scand* 1985;217(5):531-535.
- Dommes E, Bauknecht HC, Scholz G, Rothmund Y, Hensel J, Klingebiel R. Auditory cortex stimulation by low-frequency tones-An fMRI study. *Brain Research* 2009;1304:129-137.
- Feng B, Jiang S, Yang W, Han D, Zhang S. Effects of acute infrasound exposure on vestibular and auditory functions and the ultrastructural changes of inner ear in the guinea pig. *Zhonghua Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi* 2001;36(1):18-21.
- Harding GW, Bohne BA, Lee SC, Salt AN. Effect of infrasound on cochlea damage from exposure to a 4 kHz octave band of noise. *Hear Res* 2007;225(1-2):128-138.
- Hensel J, Scholz G, Hurttig U, Mrowinski D, Janssen T. Impact of infrasound on the human cochlea. *Hear Res* 2007;233:67-76.
- ISO: 7029, 2000. Statistical distribution of hearing thresholds as a function of age. International Organization for Standardization, Geneva.
- ISO: 226, 2003. Acoustics - normal equal-loudness contours. International Organization for Standardization, Geneva.

- Leventhall G. What is infrasound Prog Biophys Mol Biol 2007;93(1-3)130-137.
- Pei Z, Sang H, Li R, Xiao P, He J, Zhuang Z, Zhu M, Chen J, Ma H. Infra-sound-induced hemodynamics, ultrastructure, and molecular changes in the rat myocardium. Environ Toxicol 2007;22(2):169-175.
- Ochiai H. Measurement of infra and low frequency noise. J INCE 1999;23:306-310.
- Qui P, Zhang Z, Jiang Y, Gou Q, Wang B, Gou L, Chen J. Effect of infrasound on ultrastructure and permeability of rat's blood-retinal barrier. Zhonghua Yan Ke Za Zhi 2002;38(8):499-501.
- Lim DJ, Dunn DE, Johnson DL, Moore TJ. Trauma of the ear from infrasound. Acta Otolaryngol 1982;94(3-4):213-231.
- Moller H, Pedersen CS. Hearing at low and infrasonic frequencies. Noise Health 2004;6(23):37-57.
- Shi L, Zhang ZM, Chen JZ, Liu J. Effects of infrasound on visual electrophysiology in mice. Space Med Med Eng 2003;16(2):115-119.
- Wei YN, Liu J, Shu Q, Huang XF, Chen JZ. Effects of infrasound on ultrastructure of testis cell in mice. Zhonghua Nan Ke Xue 2002;8(5):323-325
- Zhuang Z, Pei Z, Chen J. Infrasound-induced changes on sexual behavior in male rats and some underlying mechanism. Environ Toxicol Pharmacol 2007;23:111-114.
- 김동욱, 최홍순. 저주파 소음 노출에 의한 요중 Catecholamine 농도 변화. 환경관리학회지 2003;9(3):321-329.
- 이승엽, 정철웅, 신수현, 정성수, 정완섭. 중대형 풍력터빈의 저주파 및 초저주파 소음 방사 특성에 대한 실험적 고찰. 한국소음진동공학회 2007년 추계학술대회논문집, 2007.
- 정성수, 서상준, 서재갑, 전병수. 대전 지하철 저주파 소음. 한국소음진동공학회 2007년 춘계 학술대회논문집, 2007.
- 정성수, 신수현, 김호철, 이우섭. 서울지하철의 저주파소음 특성. 대한환경공학회지 2005;1193-1197.
- 정성수, 서상준, 조문재, 김용태. 도로교통 소음원에 의한 저주파 소음실태. 한국소음진동공학회 2003년 추계학술대회논문집, 2003.
- 홍성기, 김재환, 김규태, 이수갑. 소음 수용 한계를 고려한 저주파 소음평가에 대한 실험적 연구. 한국소음진동공학회논문집 2007;17(8):736-740.