

소음측정 및 평가

최 석 주
삼 성 물 산 (주) 건 설 부 문
기 술 연 구 소 / 수 석 연 구 원

1. 서 론

산업경제의 발전, 각종 교통기관의 발달 및 도시의 고밀도화 등으로 인하여 소음이 환경 문제 혹은 사회문제가 된지 오래다. 이 현상은 국내는 물론 선진 각국이 공통으로 안고 있는 문제이며 개발도상국도 점차 문제화되고 있다. 이와같은 문제를 완화하기 위해서는 많은 대책이 요구되며, 이를 위해서 우선 소음상태의 정확한 파악 즉 소음측정·평가방법이 중요하다. 환경소음의 측정·평가에 관해서는 지금까지 많은 방법이 제안되어 왔으며 대상으로 하는 소음원의 종류와 소음문제의 유형에 따라 다양한 평가량과 측정방법이 적용되고 있다.¹⁾ 또한 동일한 소음문제라 하더라도 나라에 따라 그 측정·평가방법이 제각기 다르다. 이것을 가능한 한 국제적으로 통일하려는 목적으로 ISO(국제표준화기구)에서는 일반환경소음을 대상으로 한 경우의 측정·평가방법으로서 국제규격 ISO 1996을 작성하고 있으며, 그 일부로서 이미 일반환경소음의 평가량과 그 산출법을 규정한 ISO 1996/1(Acoustics-Description and Mea-

surement of Environmental Noise -Part-1: Basic Quantities and Procedures)이 1982년 발행되었다. 한편, 국내에는 일본의 JIS Z 8731 「소음레벨 측정방법」과 비슷한 KS A 0701 「소음도 측정방법」이 1987년 제정되어 사용되고 있다.

본고에서는 상기 소음측정과 관계되는 기초사항을 비롯하여 일반 환경소음의 측정·평가방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 소음측정

2.1 음압레벨과 소음레벨

음의 물리적인 크기를 측정하는 경우 일반적으로는 음압 즉 음파에 의한 대기압력의 변동분을 측정한다. 음압에 대한 인간 귀의 가청범위는 대략적으로 $10^{-5} \sim 10$ Pa로 10^6 범위에 걸친다. 따라서 이와같은 광범위한 양을 다루기 쉽게하기 위하여 레벨(어떤 기준치를 정하여 이에 대한 비의 상용대수의 10 배로 표시, 단위는 데시벨[dB])을 사용한다. 음압 p에 대해서는 그 2승이 음의 파워에 비

레하기 때문에 식(1)과 같이 표시하며 이것을 음압이라 부른다.

$$L_p = 10 \log_{10}(p^2/p_0^2) \text{ [dB]} \quad (1)$$

단, p_0 (기준음압) = 2×10^{-5} [Pa]

하지만, 인간의 귀는 그림 1에 나타낸 바와같이 주파수특성을 가지고 있기 때문에 저음역 및 고음역에서 감도가 떨어진다. 이와같은 청각특성을 고려하여 여러 주파수성분으로 되어있는 일반 소음 크기를 평가하기 위하여 그림 2와 같은 주파수특성이(A특성)이 정해져 있다. 이와같이 주파수적으로 가중치를 가하여 측정된 음압레벨을 특히 소음레벨(A-weighted Sound Pressure Level)이라 부른다. 소음레벨 단위는 음압레벨과 마찬가지로 데시벨 단위를 사용하지만 특히 음압레벨과 구별하고자 하는 경우에는 기호로서 [dB(A)]를 사용한다.

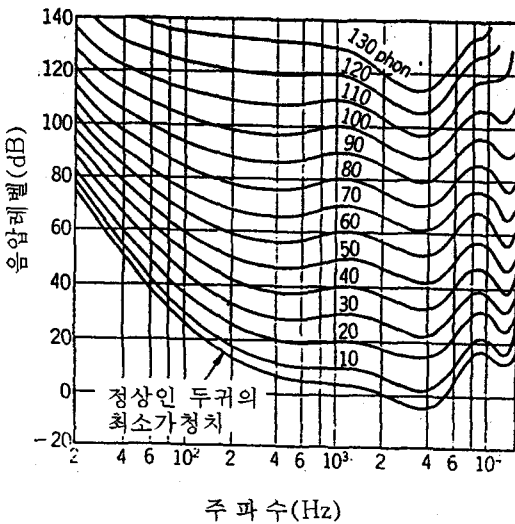


그림 1 순음에 대한 등라우드니스 곡선 (ISO R 226)

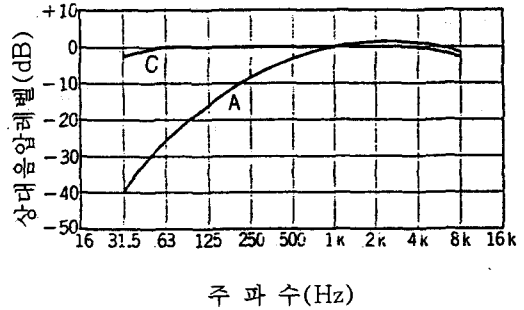


그림 2 소음계의 주파수 보정특성

2.2 소음계

소음측정에 기본이 되는 측정기는 소음계로서 국내에는 KS C 1502(보통소음계)와 KS C 1505(정밀소음계), KS C 1504(간이소음계) 등의 규격이 있다. 소음계의 내부구조는 그림 3과 같이 무지향성 마이크로폰에서 음압을 전기신호로 바꾸고, 주파수보정회로를 통한 후, 실효치를 아나로그식 메타 혹은 디지털 수치로 표시하도록 구성되어 있다. 주파수보정회로는 A특성과 50Hz~50000Hz 범위에서 거의 평탄한 C특성, 더 나아가 주파수특성이 좀더 광범위하게 평탄한 특성(정밀소음계)이 있고, 측정목적에 따라서 바꿀 수 있다. A특성을 이용하면 소음레벨이 구해지고 C 혹은 평탄특성을 이용하면 음압레벨이 구해진다. 또한 메타의 동특성에는 빠른 특성(FAST)과 느린 특성(SLOW)이 있으므로 측정대상 소음의 변동 특성에 따라 구분하여 사용하면 된다.

소음계의 감도교정방법은 내장된 전기신호를 기준으로 메타감도를 조절하는 간편법과 일정 음압을 발생하도록 만든 피스톤혼을 이용하여 마이크로폰을 포함한 소음계 전체의

감도를 교정하는 방법이 있다.

최근에는 후술하는 등가소음레벨과 단발소음폭로레벨등을 직접 측정하기 위한 소음계로써 전술한 기능 이외에 음압신호 2승 적분

치 혹은 그 시간평균치를 구할 수 있는 기능을 갖춘 적분(평균)형 소음계도 제작되고 있다.

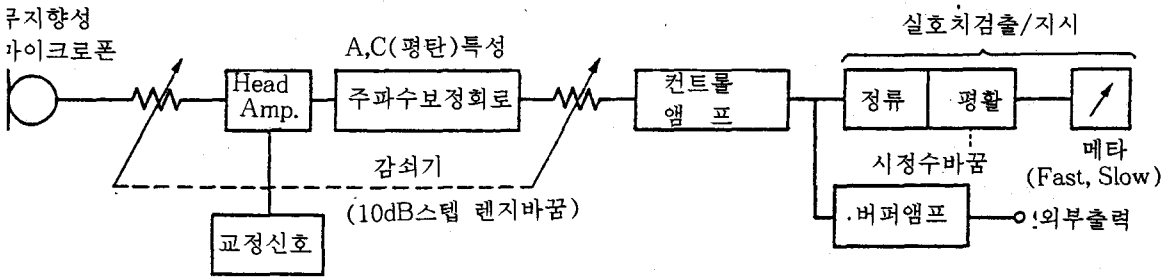


그림 3 소음계 내부구성의 일예

2.3 레벨레코더 (Level Recorder)

레벨레코더는 음압레벨 기록계로서 소음계와 필터의 교류출력이 입력되던 데시벨[dB]로 변환시켜 펜으로 기록한다. 소음계의 A특성을 통한 교류출력을 입력하면 소음레벨 [dB(A)]의 기록이 된다.

레벨레코더는 여러가지면에서 측정에 빼놓을 수 없는 기기이며 장시간에 걸친 연속측정, 측정의 무인화, 현상기록과 표시 등에 위력을 발휘한다. 또한 레벨레코더는 펜속도(기록속도)와 기록지 속도를 변화시킬 수 있으며 펜속도를 조절하는 방식에는 등속도형과 지수형이 있다. 후자는 소음계의 동특성에 상당하는 FAST, SLOW 표시가 있다. 반면, 전자의 펜속도에는 dB/s로 표시되어 있으며 FAST는 100dB/s, SLOW는 16dB/s가 대응한다.

2.4 주파수 분석기

소음의 주파수 성분을 조사할 필요가 있는 경우에는 주파수 분석을 한다. 주파수 분석법은 원리적으로 여러가지 방법이 있으나 주파수를 분할하는 방법에 따라 일정 주파수폭으로 세밀하게 스펙트럼 분석을 하는 방법(정밴드폭 분석)과 주파수를 대수축으로 하여 그 폭이 일정하게 되도록 주파수를 분할하여 분석하는 방법(정비밴드폭 분석)으로 대별할 수 있다. 최근 널리 이용되고 있는 FFT형 분석기등은 원리적으로 전자에 속한다. 한편, 소음측정의 경우, 통상 이루어지는 옥타브 혹은 1/3옥타브 밴드 분석은 후자의 방법에 속하며 이와 같은 주파수분석기에 대해서는 KS F 2235의 부속서, 일본 JIS C 1513 규격 등에 언급되어 있다.

2.5 기타

상기 기본적인 측정기 이외에 최근에는 후술하는 각종 소음평가량을 자동적으로 연산 처리하는 디지털 측정기(말하자면 디지털 소음계와 레벨통계기등)와 각종 컴퓨터를 중심으로 하는 소음측정시스템도 개발되어 이용되고 있다.

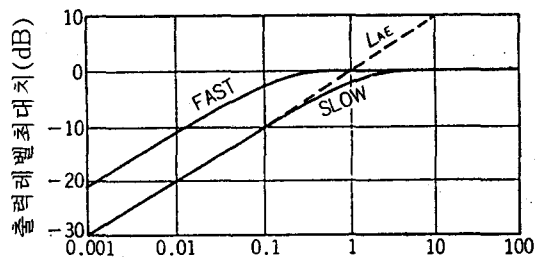
3. 일반 환경소음의 평가량

앞에서 설명한 바와같이 소음레벨은 인간의 감각에 대한 주파수특성을 어느정도 고려하여 넣은 기본적인 평가량이나, 각종 환경소음을 평가하기 위해서는 소음의 시간적인 변동도 고려할 필요가 있다. 따라서 KS 0703의 부속서 4와 일본의 JIS Z 8731 등에서는 작업환경을 포함한 일반환경의 소음 평가량으로서 소음레벨을 기본으로 한 다음과 같은 양을 규정하고 있다.

3.1 소음레벨의 피크치

충격소음등의 크기를 나타내는 방법의 하나는 소음계 메타의 피크치를 이용하는 것이다. 이 경우, 소음계 동특성의 선택 즉 FAST(時定數 0.125ms)특성과 SLOW(시정수 1s)특성 중 어느것을 선택해야 되는지 문제가 된다. 그림 4는 FAST 및 SLOW 동특성에 따른 피크 지시치의 차이를 나타낸 것으로 시정수가 짧은 FAST 피크치인 경우가 큰 값을 나타낸다. 본래 이들 2종류의 동특성은 소음의 변동특성에 맞추어 편리하게 이용할 수 있도록 시정수가 정해졌으나, 충격음

등을 측정하는 경우에는 전술한 차이가 발생하므로 실제 측정할 때는 사전에 어떤 동특성을 사용할 것인가 결정해 둘 필요가 있다. 한편, 일본의 JIS Z 8731 규격은 특별히 언급하지 않은 경우 FAST특성을 사용하는 것이 일반적이나, ISO나 구미의 규격은 충격소음 측정시에는 IMPULSE 특성, 기타의 경우는 SLOW 특성을 이용토록 하는 경향이 있다.



Tone Burst 신호의 계속시간(s)

그림 4 FAST, SLOW 동특성 (Tone Burst 신호에 대한 피크응답의 이론 특성)

3.2 단발소음폭로레벨 (L_{AE})

이 양은 KS 0701 부속서, ISO 1996/1 및 JIS Z 8731 규격등에 정의된 양으로서 단발적으로 발생하여 현상시간이 유한한 소음 즉 매회 발생하는 소음을 에너지로 표시하기 위하여 이용된다. 그 수식적인 정의는 다음과 같다.

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left[(1/T_0) \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt / p_0^2 \right] \text{ [dB]} \quad (2)$$

단, $p_A(t)$: 소음의 A특성 음압
 p_0 : 기준음압 (2×10^{-5} [Pa])
 T_0 : 규준화시간 (1 초)
 $t_1 \sim t_2$: 단발 소음의 계속시간

이 의미는 그림 5에 나타낸 바와같이 단발적인 소음의 크기를 그 전체 에너지와 같은 에너지를 갖는 계속시간 1초의 정상소음크기(소음레벨)로 환산한 것이라 생각해도 좋다. 또한 $t_1 \sim t_2$ 는 그림 5와 같이 실제로는 피크레벨에서 10dB 정도 아래 레벨을 초과하는 시간을 취하면 충분하다. 충격소음과 간헐소음등에 대하여 이 L_{AE} 를 측정하는 경우, 적분형소음계등을 이용하여 윗 정의대로 연산하는 것이 원칙이라 할 수 있다. 그러나 현대계에 있어서 실용적인 측정법으로는 계속시간이 짧은 일반의 충격음에 대하여 그림 4에 나타낸 소음계의 SLOW 피크치가 L_{AE} 와 거의 일치하므로 정확한 동특성을 갖춘 소음계와 지수응답형 레벨레코더를 이용하므로써 간편하게 측정할 수 있다. 또한 철도소음등과 같이 계속시간이 어느 정도 긴 소음인 경우에는 레벨레코더에 의한 기록등을 1초정도 이하의 시간간격 Δt 로 샘플링하여 그 에너지를 다음 식으로 계산하면 충분하다 (이 경우도 소음계의 동특성은 SLOW를 이용하는 편이 좋음).

$$L_{AE} = 10 \log_{10} [(\Delta t / T_0) (10^{LA_1/10} + 10^{LA_2/10} + \dots + 10^{LA_n/10})] \text{ [dB]} \quad (3)$$

단, T_0 : 규준화 시간 (1 초)
 $L_{A1}, L_{A2}, \dots, L_{An}$: 소음레벨의 샘플 값

단발소음폭로레벨을 이용하므로써 단발적으

로 발생하는 소음의 매회마다의 전체에너지 측정·표시가 가능해지는 것 만이 아니고, 이들 특정의 소음에 착안한 일정 관측시간내의 등가소음레벨도 구할 수 있다.

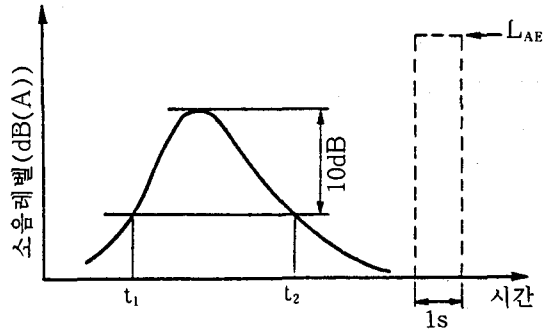


그림 5 단발소음폭로레벨 L_{AE} 의 의미

3.3 등가소음레벨 ($L_{Aeq,T}$) 2)

KS 0701 부속서에 규정되어 있으며 연속적으로 변동하는 소음의 시간평균적인 크기를 나타내기 위해서는 몇가지 방법이 있다. 그중 물리적인 의미면에서 가장 명확한 것은 그림 6에 나타낸 대상 시간내 소음의 평균파워로 나타내는 방법이다. 이 평균파워를 레벨 표시하면 다음 식과 같이 나타낼 수 있고, 이것을 등가소음레벨이라 부른다.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} [(1/T) \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt / p_0^2] \text{ [dB]} \quad (4)$$

단, $p_A(t)$: 소음의 A특성 음압
 p_0 : 기준음압 (2×10^{-5} [Pa])
 T : ($t_1 \sim t_2$ 실측시간)

즉 이양의 의미는 대상으로 하는 변동소음

의 어떤 시간 $T(t_1 \sim t_2)$ 사이의 크기를 그 시간내 전에너지(음압의 2승 적분)와 같은 (등가) 에너지를 갖는 정상음의 소음레벨로 환산한다고 하는 것이다. 그리고 기호 첨자 T 는 실측시간 혹은 관측시간을 표시하기 위한 것으로 이것을 생략하여 L_{Aeq} 혹은 L_{eq} 라 해도 좋다.

등가소음레벨은 이와같이 물리적으로 명확한 의미를 갖는 양인 것 만이 아니고, 변동소음에 대한 인간의 생리·심리적반응과도 비교적 좋은 대응을 보인다는 것을 많은 연구에서 입증하고 있다. 그래서 최근에는 각종 변동소음으로 이루어지는 환경소음의 크기를 나타내는 통일적인 평가량으로서 ISO를 비롯하여 대부분의 나라에서 이 등가소음레벨을 활용하고 있다.

등가소음레벨의 기본적인 정의는 식(4)와 같으며, 이 식을 만족하는 측정을 위해서는 2승적분 연산기능을 갖춘 적분형소음계를 이용하면 되나, 실제로는 일정시간간격의 소음레벨을 샘플링하여 다음식으로 에너지 평균치를 구하면 된다.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} (10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + \dots + 10^{L_{An}/10}) \right] \text{ [dB]} \quad (5)$$

단, $L_{A1}, L_{A2}, \dots, L_{An}$: 소음레벨의 샘플값
 n : 샘플값의 총수

도로소음등 일반의 변동소음을 대상으로 하는 경우에는 종래 많이 사용돼오던 5초(혹은 그 이하)간격으로 읽은 소음레벨의 샘플치에 대해서 상기 식(5)의 계산을 하는 것만으로 충분하므로 반드시 적분형소음계를 사

용할 필요는 없다.

철도소음등 간헐적으로 발생하는 특정 소음만을 착안하여 일정시간내의 등가소음레벨을 구하는 경우에는 발생할 때마다 전술한 단발소음폭로레벨을 측정하고, 이들 에너지합을 구하여 대상으로 하는 시간(관측시간)으로 평균하면 된다. 구체적으로는 다음식과 같이 처리한다.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log_{10} \left[(T_0/T) (10^{L_{AE1}/10} + 10^{L_{AE2}/10} + \dots + 10^{L_{AEn}/10}) \right] \text{ [dB]} \quad (6)$$

단, $L_{AE1}, L_{AE2}, \dots, L_{AEn}$: 발생 단발소음폭로레벨

T_0 : 규준화시간 (1초)

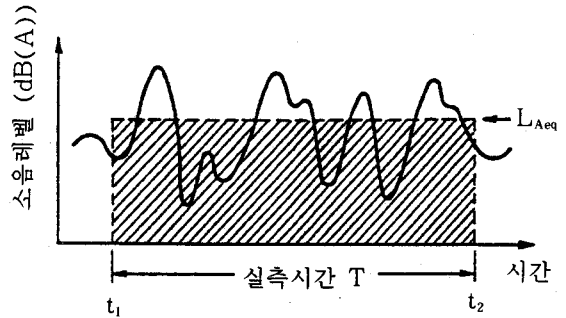


그림 6 등가소음레벨 L_{Aeq} 의 의미

3.4 시간을 소음레벨

그림 7(a)에 나타낸 바와같이 어느 시간(실측시간)내의 변동소음에 착안한 경우, 소음레벨이 어떤 레벨을 넘는 시간의 합계가 전체 시간의 $x\%$ 일 때, 그 레벨을 대상으로 하고 있는 소음의 x 퍼센트 시간을 소음레벨 L_x 라 한다. 이와같은 관계를 횡축에 시간을

소음레벨, 종축에 퍼센트시간을 취하여 나타내면 그림 7(b)와 같이 된다.

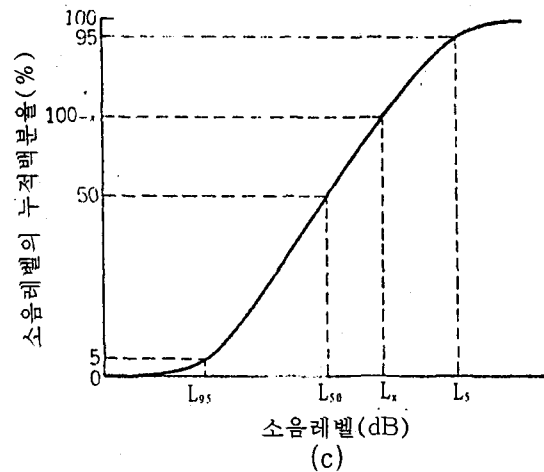
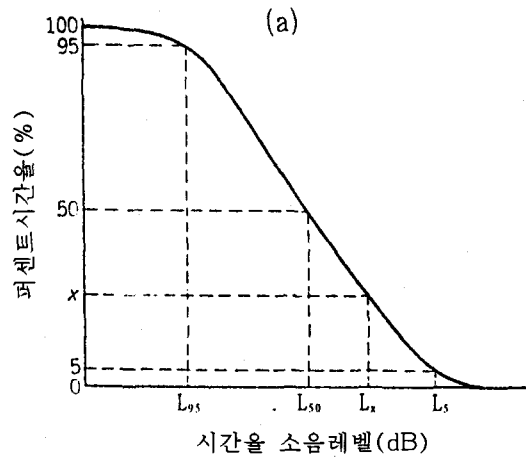
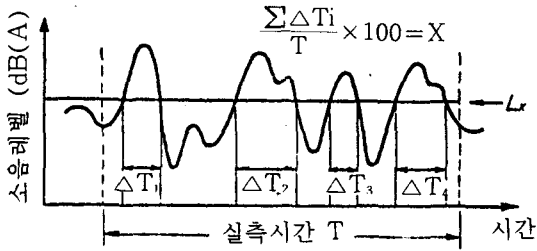


그림 7 시간을 소음레벨 Lx의 의미

시간을 소음레벨중 환경소음의 평가량으로써 종전부터 많이 이용되어온 것은 50퍼센트 시간을 소음레벨 L₅₀(중앙치) 혹은 5퍼센트 시간을 소음레벨 L₅, 95퍼센트 시간을 소음레벨 L₉₅ (각각 90퍼센트 레인지의 상단치, 하단치라 함) 등이다.

실제로 L_x를 구하는 경우에는 실측시간 전체에 걸쳐 Δt마다 소음레벨의 샘플링 측정을 하고, 그 결과를 통계처리하여 소정의 L_x를 구한다. 이 경우, 그림 7(c)에 나타난 소음레벨의 누적도수분포를 구하여 소정의 L_x를 읽는 방법이 일반적으로 이용되어 왔다(단, 소음레벨의 누적도수분포에 의한 경우 L_x는 누적백분율 (100-x%)에 해당하는 소음레벨이 되는 것에 주의). 최근에는 이 통계처리를 자동으로 처리하는 기기를 많이 개발하여 이용하고 있다.

3.5 감각소음레벨(PNL : Perceived Noise Level) PN-dB

최근 항공기소음의 연구 특히 비행장주변의 소음영향에 관한 연구가 진행되어 새롭게 시끄러움(Noisiness)의 단위 노이(Noy)의 개념이 도입되어 귀가 느끼는 시끄러움의 레벨로써 Perceived Noise Level이 제안되었으며 PN-dB라는 단위를 쓴다. 이것에 대한 평가는 복합음 크기 레벨의 계산법과 비슷하나 음의 크기가 아니고 “시끄러움”감을 나타내는 등 Noisiness 곡선 그림 8를 이용한다. 또한 그림 8은 주파수대역별 음압레벨에 대한 Noy수의 관계를 나타낸다. 이 그림에서 우선 각 밴드에 대한 Noy 수를 구하고, 그 최대 Noy 수는 그 대로 하며, 다른 밴드의 noy 수

에 대해서는 옥타브 밴드의 경우 0.3을 곱한 값을 합계한 후, 그 음 noy 수의 총합을 구한다.

이 음의 PN-dB 는 다음 식으로 구한다.

$$PN-dB = \frac{100}{3} \log_{10} N_t + 40 \quad (8)$$

$$N_t = N_m + 0.3(\sum N - N_m) \quad (7)$$

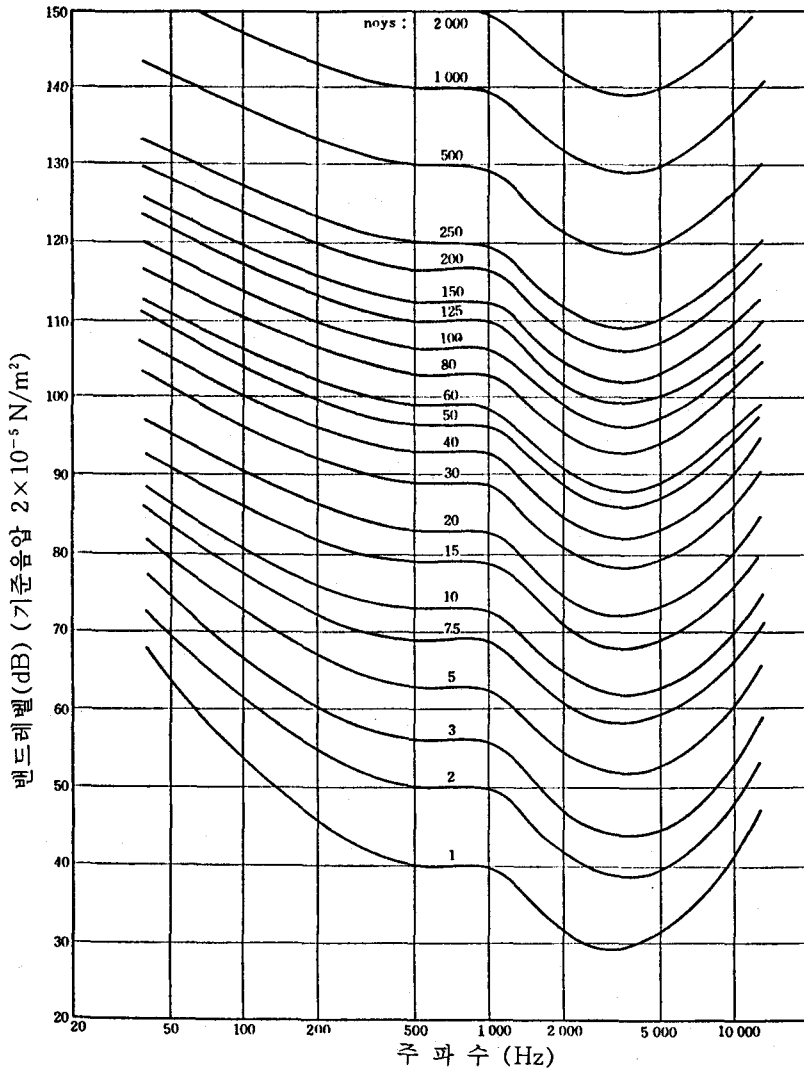


그림 8 등 NOISINESS 곡선 (ISO R 507-1966)

3.6 NC 곡선⁴⁾

SIL(Speech Interference Level) 값은 600Hz에서 4800Hz까지 음의 음압레벨이 크

로 관계하고 기타 주파수의 음은 고려하지 않고 있다. 이것은 이들 음이 회화를 방해하는 정도가 그리 크지 않다는 것을 의미하며 전혀 무관계하다는 것은 아니다. 따라서 이들 까지 고려하여 넣은 NC곡선이 제안되게 되었다. 이것은 Noise Criteria의 약자로서 그

림 9는 NC 곡선을 나타낸다. 그림에서 NC-50은 SIL이 50 dB인 것을 의미하며, 이것을 유지하기 위해서는 옥타브 분석한 결과의 전 밴드의 값이 NC-50 곡선 값보다 작아야만 한다. NC 곡선에 의한 소음의 허용치는 표 1 및 표 2와 같다.

표 1. 사무실에 대한 소음기준

NC 곡선	소음의 상태	적용 예
NC 20~30	매우 조용, 전화에 지장없음, 대화의 가능	중역실, 대회의실
NC 30~35	조용, 15ft테이블에서 회의 가능, 10~30ft 떨어져서 보통의 소리로 회화 가능	개인실, 응접실, 소회의실
NC 35~40	6~8ft테이블에서 회의가능, 전화지장없음, 10~30ft 떨어져서 보통소리로 회화 가능	중사무실, 공장사무실
NC 40~50	4~5ft테이블에서 회의 가능, 전화약간 곤란, 보통소리로 3~6ft, 좀 큰소리로 6~12ft 떨어져서 회화 가능	큰 기사실, 제도실
NC 50~55	2~3인이하의 회의는 가능, 전화약간곤란, 보통소리로 1~2ft, 큰소리로 3~6ft 떨어져서 회의 가능	타이프실, 계산기실, 복사실 등
NC 55 이상	매우 시끄러움, 사무실로 부적, 전화사용 곤란	적용 없음

표 2. 각종 실에 대한 소음기준 실 종류

실 종류	적용 기준곡선	실 종류	적용 기준곡선
방송 스튜디오	NC 15~20	가정(침실)	NC 25~30
음악당	NC 15~20	영화관	NC 30
극장(500석, 확장장치무)	NC 20~25	병원	NC 30
음악실	NC 25	교회	NC 30
교실(확성장치무)	NC 25	재판소	NC 30
TV 스튜디오	NC 25	도서관	NC 30
아파트, 호텔	NC 25~30	요리점	NC 45
회의장(확성장치유)	NC 25~30	운동경기장(확성장치유)	NC 50

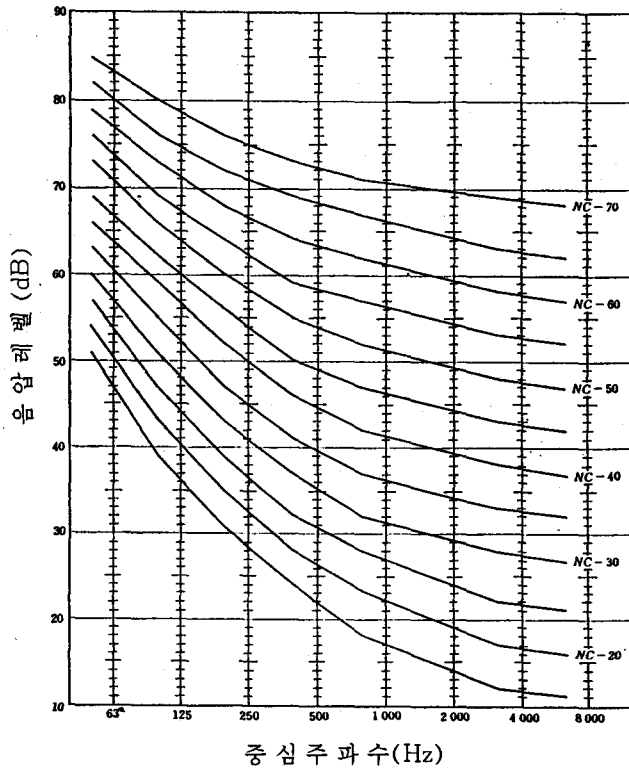


그림 9 NC 곡선

4. 맺음말

본문에서는 먼저 소음측정시 필요한 소음계, 기록계 및 주파수분석기 등에 대하여 개괄적인 설명을 하였으며, 다음 환경소음평가량의 대표라 할 수 있는 소음레벨의 피크치, 단발소음폭로레벨, 등가소음레벨, 시간을 소음레벨, 각각 소음레벨 및 NC곡선 등에 대하여 국내외 각종 규격 내용을 중심으로 간단히 설명하였다. 그러나 여기에 소개한 소음측정평가에 대한 내용은 근본 취지는 바뀌지 않을지 모르나 앞으로 시대의 조류나 각 국민의 특성 변화에 맞추어 수시로 개정하는

추세에 있으므로 추후 내용이 다소 바뀔 수 있다는 점을 밝혀 둔다.

- 참고 문헌 -

1. 일본건축학회 편, 1981, “소음의 평가법”, 彭國社.
2. 橘秀樹, 1980, “등가소음레벨(L_{Aeq})의 측정”, 소음제어 4(5).
3. 안전공학협회편, 1982, “소음·진동”, KAIBUNDO.
4. 일본건축학회 편, 1991, “실무적소음대책 지침”, 기보당출판.