

## Quantification

### Quantifying Noise (소음량)

일반적으로 말할 때, 소음<sup>1)</sup>은 전체 가청 스펙트럼을 가로지르는 많은 다른 주파수의 소리로 구성된다. 인간의 귀가 다른 동물보다 주파수에 확실히 더 민감하기 때문에, 방해가 되는 레벨은 소음의 부분적 스펙트럼 요소에 따라 의존한다. 우리는 단지 소음을 인식하는 방법에 대해 객관적으로 결정된 여러 가지의 다른 방법을 볼 것이다. 작업의 중요한 양은 이 범위에서 다루어졌으며, 70년대 초반에 부분적으로 많은 이용 가능한 기술들이 있었다.

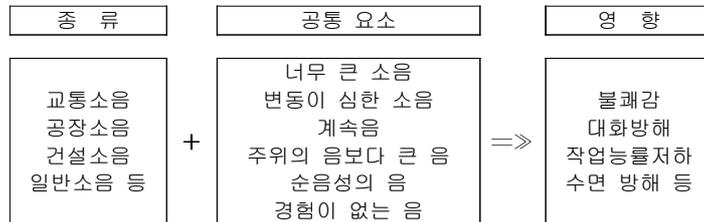
인간의 귀는 500Hz에서 4000Hz<sup>2)</sup> 주파수 범위의 소리에 가장 민감하며 그 이상이나 그 이하의 주파수는 덜하다. 이 범위는 사람이 이야기하는 대역과 같다. 귀의 반응의 비균일성은 다른 음 주파수의 가청의 역(자극에 대해 반응하기 시작하는 분계점)이 변화함을 의미한다. 사실, 각각의 음의 레벨인 SPL(음압레벨)과 SIL(음의 세기레벨) 값은 귀의 주파수 반응에 대해 전혀 고려하지 않는다. 이를 고려하기 위하여, SPL 또는 SIL값의 수정이 요구된다.

### Equal Loudness Contours (음 크기의 등가 특성)

1000Hz 음의 가청역(the threshold of audibility)에서 시작한다고 가정할 때, 우리의 기준을 볼 수 있다. 다른 주파수의 역은 결정되어지고, 그래프로 그려진다. 만약 1000Hz 음에서 증가할 경우, 말할 때 40dB, 다른 주파수는 같은 소리가 난다고 판단될 때까지 조절할 수 있다. 같은 크기 등고선이 그려지고, 새로운 스케일과 phon이란 단위를 이용하는 음의 크기레벨(loudness level<sup>3)</sup>)이 계산도표로 정의된다.

phon(폰<sup>4)</sup>)은 1000Hz에서 사람의 귀가 반응하는 사실적인 측정치이다. dB과 phon의 값은 같다. 다른 주파수의 음의 레벨을 안다면, 음의 크기레벨(loudness level)은 이 그래프에 기

- 1) Noise (소음, 騒音) : 듣는 사람에게 바람직하지 않은 음, 따라서 같은 음이라도 듣는 사람에 따라서 또 때와 장소에 따라서 소음이 되기도 하고 그렇지 않기도 하다.  
noise (비악음, 非樂音) : 주기성이 없는 불규칙한 파형의 음. 따라서 주파수는 일정하지 않다.  
noise (잡음, 雜音) : 주기성이 없고 부분음으로 분해할 수 없는 음.



- 2) 정상적인 사람의 청각으로 감지할 수 있는 가청주파수 범위는 20Hz ~ 20,000Hz 이다.
- 3) loudness level of sound (음의 크기 레벨) : 모든 음은 그 물리적인 세기의 레벨과는 관계가 없고 정상적인 청각을 가진 사람에게 1,000Hz 의 정현파로 그 세기의 레벨이 A dB의 음과 같은 크기로 들리는 경우에는 그것을 A 폰의 크기의 레벨음이라고 한다.
- 4) phon (폰) : 정상적인 청력을 갖는 자가 어떤 소리를 들었을 경우, 그 소리와 같은 크기라고 판단하는 1,000Hz의 순음(정현파)의 음압 레벨값, 지시 소음계는 측정 지시값으로 이 단위를 사용한다.

입할 수 있다. 이렇게 우리는 직접적으로 다른 주파수에서의 음을 비교할 수 있다.

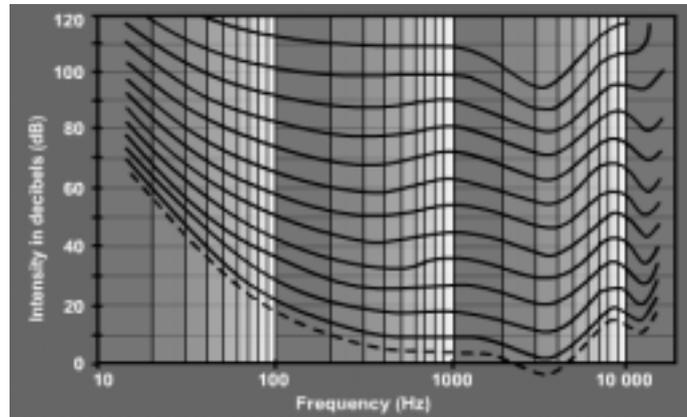
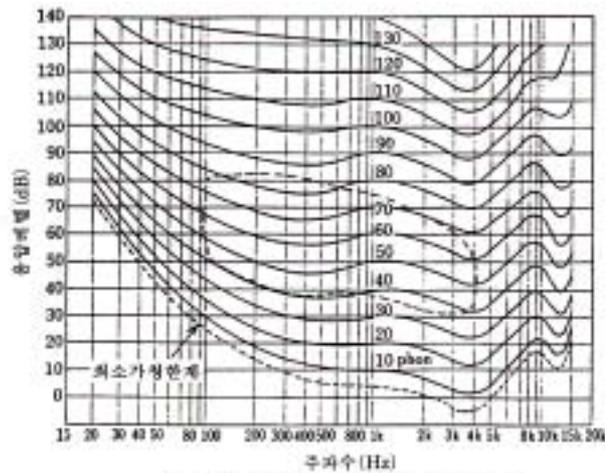


그림 3 음 크기의 등감 곡선  
주파수에 따른 귀의 반응의 차이점을 보여준다.



과선내는 통상피파, 음압이 포함되는 경우

그림 1-1 음 크기의 등감곡선 (ISO 권장)

NOTE : 당신은 그림 1의 곡선에서 3000Hz 보다 30Hz에서 음을 듣기 위하여 백만배 이상의 힘을 요구하는 것을 볼 수 있다.

음의 크기 레벨(loudness level)은 감각적인 음의 크기를 나타내며, 단위는 폰(phon)을 사용한다. 그림 1-1에서 각 곡선상의 숫자를 음의 크기 레벨이라고 한다. 데시벨(dB)은 물리적인 척도인데 비해 폰(phon)척도는 귀의 감각적 변화를 고려한 주관적인 척도이다.

1000Hz 순음의 음압레벨이 "A"dB인 음과 동일한 크기로 들리는 음을 "A"phon 음이라고 한다.

이와 같이 사람의 청각으로 지각되는 음의 크기는 주파수에 따라 차이가 있어 평탄하게 선형적으로 느껴지지는 않는다.

**The Loudness Scale and the Sone** (음의 크기 척도와 sone)

음을 식별할 수 있는 크기는 음의 크기 레벨(sounds loudness level)과 일직선으로 비례하지 않는다(평균 약 6 phon 증가 시 본래 크기의 두 배정도).스케일을 확립하기 위하여 본질

적인 실험은 다음과 같이 실행한다. 크기가 두 배로 될 때 본래 크기 또한 두배로 되고, 세 배로 될 때 3배로 된다.

이 스케일의 단위가 sone이다. 이는 1000Hz tone의 음의 크기가 40dB의 음의 세기를 가질 때 sone이라 정의한다. 사실 sone은 어떤 음이 40 phon의 크기를 가질 때의 음의 크기와 같다. 이 수학적 관계는 다음 두 식을 따른다.

$$S = 2^{(P - 40)/10}$$

or

$$\log(S) = 0.0301 (P - 40)$$

P : phon으로 음의 크기를 나타낸다.  
S : sone의 크기

음의 감각적 크기를 보다 직접적으로 표시하기 위하여 손(sone) 단위를 사용한다. 손 값을 2배로 하면 음 크기는 2배로 감지된다.

### How is Noise Measured?

기본적으로 소음을 측정하기 위한 두 가지 다른 기기<sup>5)</sup>가 있다. sound level meter(소음계)와 dosimeter(작업환경 소음계)가 그것이다. sound level meter는 주어진 순간의 음의 집중도를 측정하는 기기이다. 소음계(sound level meter)가 정확한 시간에 오직 하나의 점에서 음의 집중을 측정하기 때문에 이 기기로 소음을 측정하기 위해서는 일반적으로 하루 종일 다른 시간에 여러 번의 측정이 필요하다. 만약 소음 레벨이 흔들릴 경우, 시간에 따른 소음

5)

Sound Level Meter (소음계)	Dosimeter (작업환경 소음계)	Spectrum Analyser (1/1&1/3 주파수 실시간 분석기)
<div style="text-align: center;">  <p>SC -20C</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 기존의 소음계처럼 측정범위를 조절할 필요가 없음</li> <li>- 초보자도 쉽게 조작가능</li> <li>- Leg(등가소음), Lmax(최대소음), LE(폭로소음), Lx(통계레벨)등 다양한 기능</li> <li>- 최대 199분까지 측정 Data를 자동으로 저장</li> <li>- 23~130dBA, 140dBC 이상 측정 가능</li> </ul>	<div style="text-align: center;">  <p>DC-11</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 각종 작업환경 소음으로부터 근로자 보호 및 작업환경 개선 계획수립에 적합.</li> <li>- 기본으로 Software가 공급되므로, 그래픽 및 수치출력이 가능.</li> <li>- 80~140dBA(필터를 통해), 보정없이 140dB 이상</li> </ul>	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 소음과 진동을 실시간으로 주파수 분석 가능</li> <li>- 각 주파수 별 Data를 그래프와 수치로 표시가 가능하며, 전 주파수 대역에서 잔향 시간 측정 및 기록이 가능.</li> <li>- 주파수별 흐름을 3차원 표시 가능</li> </ul>

량은 각각의 변화하는 측정치를 요구한다.

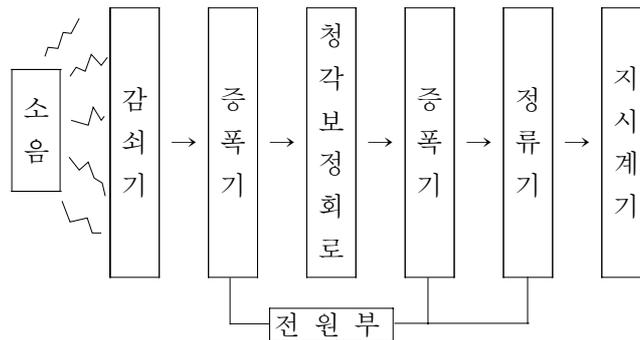


그림 2 sound level meter의 예

\* Sound level meter (소음계, 騒音計)

정상적인 청력을 갖는 인간이 소음의 정도를 판정하는 것과 같은 기능을 갖게 한 지시계기.

음압레벨은 물리적인 양이지만 인간의 청감에 대한 보정을 하여 음의 크기 레벨에 근사한 값을 측정할 수 있도록 한 측정기를 소음계라고 한다. 소음계는 공기의 압력변화를 전압의 변화로 변환 증폭하여 데시벨로 눈금을 맞춘 전기미터에 표시된다.



소음계는 마이크로폰, 증폭기 및 청감보정 회로 등을 이용하여 음의 크기를 전기적으로 측정하는 기기이다.

소음계로 직원의 소음도를 측정하기 위하여 일반적으로 작업장의 다른 위치에서 몇몇의 측정이 필요하다. 소음계로 적당한 값을 읽을 후, 사람들은 작업장의 다른 위치에 음의 레벨 "maps"을 그린다. 그 날의 작업자의 위치에 따른 이 음 레벨 "map"과 정보를 이용하여 개인적인 값을 추정하여 밝힐 수 있다. 이 측정 방법은 일반적으로 "area" 소음 측정에 이용한다.

dosimeter는 sound level meter(소음계)와 같으나, 음의 레벨 측정값을 기억하거나, 평균 소음도를 계산하기 위해 하루 8시간의 주어진 시간 외의 시간 측정을 통계 내는 것은 제외한다. dosimeter에서 microphone은 작업자의 옷에 붙일 수 있고, 측정치는 원하는 시간 마지막에 간단하게 읽을 수 있다. 읽는 사람은 dosimeter'의 값을 읽어내야 한다. 작업자가 dosimeter를 옷에 설치하기 때문에, 작업자의 움직임에 따른 각각의 위치에서 소음을 측정한다. 소음계(sound level meter)는 또한 개인적인 값을 얻기 위하여 노출된 작업자의 주변

부에 위치시켜야 한다. 절차상 일반적으로 “개인적인” 소음을 측정할 수 있다.

면적 측정은 소음 레벨이 상대적으로 일정하고 피험자가 움직이지 않을 때 소음을 측정할 수 있다. 근로자가 작업장의 다른 면적에서 움직이거나, 소음 강도가 시간 이상으로 변동하는 경향이 있을 때, 소음은 일반적으로 정확한 개인적인 측정 방법으로 한다.

개별적인 측정으로 접근하는 상황에서, 마이크로폰은 정확한 측정을 얻도록 알맞은 위치에 설치해야 한다. dosimeter의 경우, 마이크로폰은 일반적으로 어깨 위에 설치하거나, 전체의 작업장에 알맞은 위치에 놓는다. sound level meter의 경우, 마이크로폰은 근로자의 머리 근처에 둔다. 그리고 측정은 보통 그/그녀를 따라 움직이면서 개별적으로 실시한다.

이 시점에서, 우리는 오직 하나의 단일 주파수, 단일 음과 비교하는 것을 고려해야 한다. 그러나 대부분의 소리는 많은 영향을 끼치는 주파수로 구성되어 있다. 이를 복합음(complex sound)라고 부른다. 단지 유지결은 음의 고저와 훌륭한 조화(harmonics -기본음의 완전한 배수로 구성)를 위하여 기준의 주파수로 구성되는 것을 적어둔다. 이러한 음색에서 하모니는 강도와 관계가 있다.

### Sound Weighting Curves (청감 보정 곡선)

다른 복합음을 비교하기 위하여, 우리는 그들의 완전한 스펙트럼을 측정해야 한다. 측정값의 대부분은 각각의 옥타브나 1/3 옥타브에 위치하고, 125Hz에서 시작하거나 때때로 63Hz 만큼 낮은 곳에서 시작된다.

phon을 이용하여 복합음의 크기를 단일 값으로 계산하는 것이 가능하다. 이는 각각의 음역대(phon scale을 이용)에서 측정된 값의 무게로부터 유도하고, 결과로부터 평균을 산출하여 구할 수 있다.

인간 청각기관의 작용음 주파수에 따라 음이 일정한 크기로 들리지 않으므로 소음공해 등의 문제를 취급할 때는 인간의 청각기관과 흡사한 증폭기를 사용하여 음을 측정하게 된다. 음의 크기 또는 음의 크기레벨은 직접 측정될 수는 없으나 가중치(상대음압레벨) 방법에 의해 음 크기의 등감음도곡선을 유사하게 그릴 수 있도록 전자회로를 구성할 수 있다. 이것은 “A” 특성이라고 하며, 그림 2-2의 “A”곡선과 같이 정의된다. “A” 이외에 “B”, “C” 등의 가중회로는 특수 목적에 사용된다. “C” 특성은 중요한 주파수역인 약 80~3,000Hz 이내에서 사실상 선형이므로 이 특성은 음향재생기계시스템에서 사용되며, 이중에서 “A”특성은 주어진 광대역음을 하나의 단일값으로 표시하는데 가장 유용하게 사용되는 청감보정회로 dB(A)라는 기호로 나타낸다.

이미 언급했듯이 두개의 주파수와 크기에 귀는 반응한다. 사실 청감 보정 곡선 시스템은 다음과 같다.

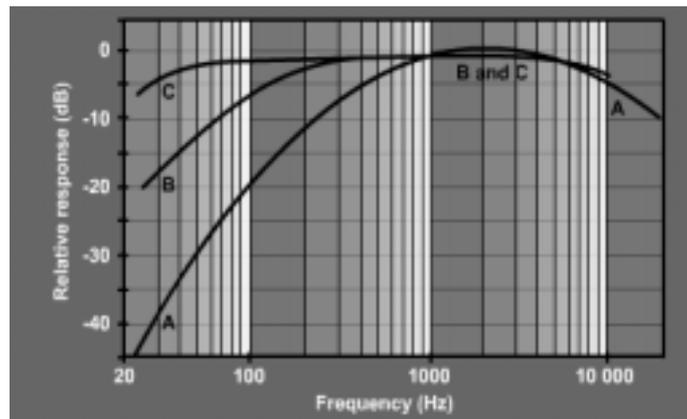


그림 2 Sound weighting curves  
 다른 주파수에서 귀의 반응에 따른 복합 스펙트럼의  
 값으로부터 단일음을 유도하는 데 이용하는 곡선

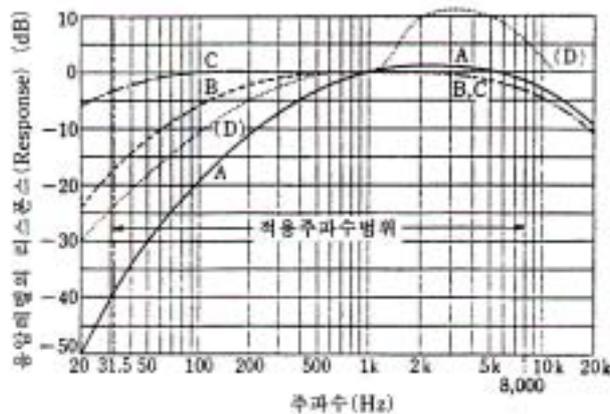


그림 2-2 지시소음계의 청감보정회로

- A weighting - 55 phons(dBA) 아래의 크기 레벨에 이용
  - B weighting - 55와 85 phons(dBB)에 이용
  - C weighting - 성가심의 증가시의 값에 이용
  - D weighting - 높은 주파수대의 성가심 증가에 이용
- (현대 비행기 주파수(dBD)에서 발생하는 소음 주파수 대 같은 경우)

- A 특성의 측정치 : 청각에 잘 대응하므로 소음레벨로서는 보통 A 특성을 사용하여 측정한다. 이를 dB(A)라고 표시한다.
  - B 특성의 측정치 : 별로 사용할 필요는 없지만 A 특성과 C 특성의 비교를 통해 그 소음의 대체적 성격을 아는데 유효하다.
  - C 특성의 측정치 : 물리적인 음압레벨에 근사하므로 분석이나 녹음을 할 때 사용한다.
- \* 양쪽의 측정치를 기록한 경우 dB(A) 값과 dB(C)의 값이 서로 별로 차이가 없으면, 그 소음의 주력은 고주파역에 있고, 오차가 큰 경우는 주력이 저주파에 있는 것이다.

가장 최근의 작업은 이 과거의 회합에 기록하지 않았다. 이 보정치는 지금 더욱 진부한 것이다. 게다가 A 보정(dBA)은 음의 비율과 주파수에 상관없이 더 이상 낮은 음으로 존재하지 않는다.

E 보정 또한 1972년에 Stevens가 귀의 더욱 감각적인 범위로 3150Hz 음의 이용을 제안하였다. 그러나 이는 일반적이지 않다. 흥미로운 사실은 독일의 기준인 DIN-phon 곡선을 보면 이 곡선은 1000Hz에서 60~130dB, 30~60dB, 30dB이하로 구분한다.

NOTE : 당신은 dB 감소에서 주어진 값임에도 불구하고 간단히 가감을 하여 dB을 구할 수 없음을 기억하는 것이 중요하다. 또한 당신은 처음의 완전한 측정치로 돌아와서 처음부터 다시금 변환해야만 한다. 이는 다음의 식에 따른다.

$$SIL_{Ave} = 10 * \log(\sum (10^{SIL/10}))$$

그러나 청감 보정에 따라 특별하게 dB 감소를 할 수 있다. 그러므로 측정값으로부터 간단하게 뺄 수 있고, 결과의 평균을 위에서 밝힌 방법을 이용하여 구할 수도 있다.

### Noise Rating Curves (소음 평가 곡선)

dBA와 비슷한 방법으로 넓은 음역의 소음원의 스펙트럼을 알고 있다면, 교란 효과의 정도는 하나의 수치, 즉 그림 4에 보이는 소음 평가 값(Noise Rating number)으로 표현할 수 있다. 이는 국제적인 기준이며 이 곡선은 소음의 스펙트럼에서 가장 높은 지점에 작용한다. NR 곡선의 기울기는 등가 크기 곡선(Equal Loudness Contours)에 기초한다. 그러나 단일 음에 이용하려면 NR 곡선은 넓은 음역의 소음으로 평가해야 한다.

#### \* 실내 소음 평가 지수

소음을 청력장해, 회화장해, 시끄러움의 3개 관점에서 평가하여 1961년 ISO가 제안한 것이 NRN(noise rating number)이다.

NR곡선(noise rating curve)은 1000Hz의 옥타브밴드 레벨이 평가곡선의 NR 수와 일치한다. NRN은 소음을 옥타브 분석하여 그림 3의 곡선에 겹쳐서 가장 큰 값의 곡선과 접하는 값을 읽어서 구한다. 또 표 1(NRN에 대한 보정치)에 의해서 7종류의 보정된 값을 사용한다. 보정된 NRN의 값에 대한 사회적인 반응은 대략 표 2(NRN에 의한 주관적 반응)와 같으며, 실내에서의 소음기준으로는 일반적으로 표 3(각 실의 NRN 기준)의 값을 사용한다.

건축에 있어 실내소음기준으로 NR 곡선을 사용하기 이전에 Beranek는 회화의 양호한 전달을 위해서는 중·고음 성분의 압소음을 충분히 작게 해야 된다는 것을 조사하여, NC(noise criteria curve) 곡선을 제안하였다. NC 값은 실질적으로 NRN과 같으며, 구하는 방법도 동일하다.

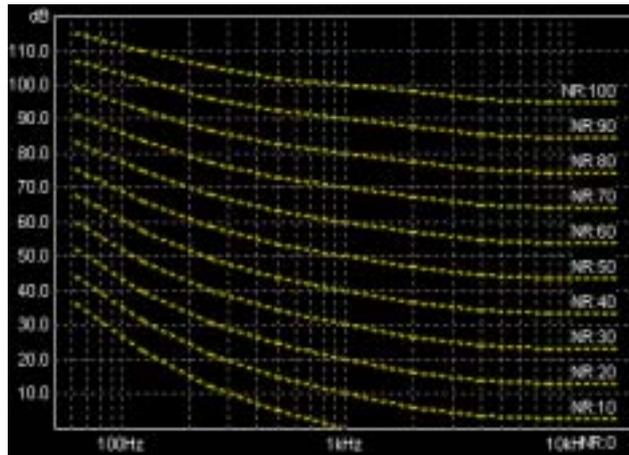


그림 3 Noise Rating(NR) 곡선

요 인	조 건	보정
스펙트럼 특성	순 음	5
	광 대 역	0
피크인자	충 격 성	5
	비충격성	0
반 복 성	연 속	0
	매시 10~60회	-5
	매시 11~30회	-10
	매일 4~20회	-15
	매일 1~4회	-20
	매일 1회	-25
습 관 성	익숙되지 않음	0
	다소 익숙함	-5
	상당히 익숙함	-10
시 간 대	야 간	+5
	주 간	-5
계 절	여 름	0
	겨 울	-5
암 소 음	조용한 교외	+5
	교 외	0
	주 택 지	-5
	공장가까이의 시가지 중공업 지대	-10 -15

표 1 NRN에 대한 보정치

보정한 NRN	반 응
40 이하	반응 없음
40~50	산발적 고통
45~55	광범위한 고통
50~65	집단활동의 징조
65 이상	강력한 집단활동

표 2 NRN에 의한 주관적 반응

보정한 NRN	용 도
20~30	침실, 병실, 텔레비전 스튜디오, 거실, 극장, 교회, 영화관, 콘서트홀, 작은 사무실, 도서관, 강의실, 회의실
30~40	큰 사무실, 상점, 백화점, 조용한 레스토랑, 40 : 지적인 작업에 요구되는 평균적 한계
40~50	상당히 큰 레스토랑, 타이프가 있는 비서실, 체육관
50~60	상당히 큰 타이프실, 60 : 통상 사무실의 평균적 한계
60~70	작업장

표 3 각실의 NRN 기준

## Related Links

### *Selecting a Sound Level Meter*

[http://www.noisenet.co.uk/Noise\\_instrumentation.htm](http://www.noisenet.co.uk/Noise_instrumentation.htm)

▶ 처음으로 sound level meter를 이용하려고 한다면, 가격대와 기능에 대하여 알아야 할 것이다. 노래와 춤 출 때에도 측정 가능한 것이 있고, 벨과 휘파람도 측정 가능하도록 다채널이 추가된 기기도 있다.

대부분의 사람들은 저렴한 가격대의 소음계를 이용하려고 할 것이다. 그러나 두 가지 문제점이 있다. 첫째는 기준에서 몇 가지 형태만 측정 가능하다. 둘째는 대부분의 기준은 LA 90이나 LAeq(등가 소음 레벨 A)의 측정치를 요구하는데, 음의 간단한 순간적인 특징만을 읽을 수 있다. 그러므로 이러한 저렴한 기기들은 LAeq를 측정할 수 있을지라도 매우 제한적으로 이용할 수밖에 없다.

[참고 문헌 및 사이트]

이상우 외, 건축환경계획론, 태림문화사, 1998

건축용어사전, 성안당, 2002

[http://www.labequip.co.kr/main\\_cesva\\_01.htm](http://www.labequip.co.kr/main_cesva_01.htm)