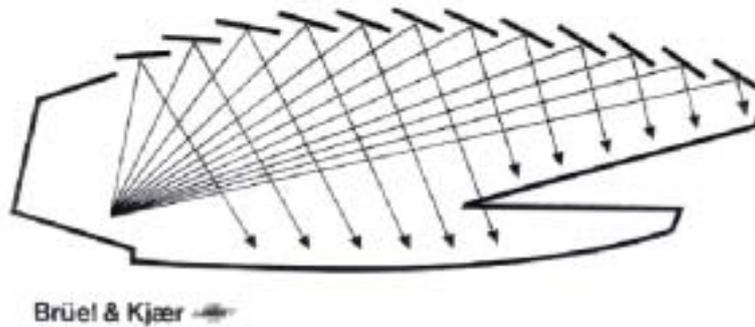


Measurements in Building Acoustics



이 책자는 건물음향측정을 처음 다루는 사람들을 위해 몇 가지 궁금증에 대한 해답을 제시해 주고 있다. 다음과 같은 간단한 설명으로 제시해 주고 있다.

	See page
Introduction	----- 2
Behaviour of Sound in a Room	----- 2
Build-up and Decay of Sound in a Room	----- 3
Sabine's Formula for Reverberation Time	----- 4
Measuring the Reverberation Time	----- 5
Measuring the Sound Absorption	----- 7
Measuring the Sound Distribution	----- 8
Speech Intelligibility	----- 10
How is Speech Intelligibility Quantified?	----- 11
Rapid Speech Transmission Index (RASTI)	----- 12
Real-Time Analysis in Room Acoustics	----- 13
Acoustics of Buildings:	
What Should be Measured?	----- 14
Sound Reduction Index of a Wall	----- 15
What is the Coincidence Effect?	----- 16
Laboratory and Field Measurements	----- 17
Airborne Sound Insulation	----- 18
Measuring Airborne Sound Insulation	----- 18
Impact Sound Insulation	----- 19
Measuring Impact Sound Insulation	----- 20
Outdoor - Indoor Noise Insulation	----- 21
Insulation between Offices	
- Influence of Background Noise	----- 22
Comparing Results with Requirements (R'_{w} , $L'_{n,w}$)	----- 23
Vibration Measurements	----- 23
Survey of Building Acoustic:	
Measurements (ISO)	----- 25
Further Reading	----- 26

Introduction

건물을 설계하는데 있어서의 음향의 중요성은 로마시대의 원형극장에서부터 현대식의 집 또는 사무실과 여가생활을 하는데 필요한 건물들까지 건물의 발달과정을 통해 알아볼 수 있다. 그러나 고대 로마시대의 생활과 현대의 밀집된 도시생활 사이에서 크게 다른 점은 이웃들, 교통, 산업화에서 증가된 원인으로부터 소음이 발생한다는 것이다. 따라서 건물의 음향적인 기술은 더 이상 극장의 음향설계를 하는데 한정되지 않는다. 건물의 모든 형태에서 소음을 조절하고 규제하는 범위가 확대되었다.

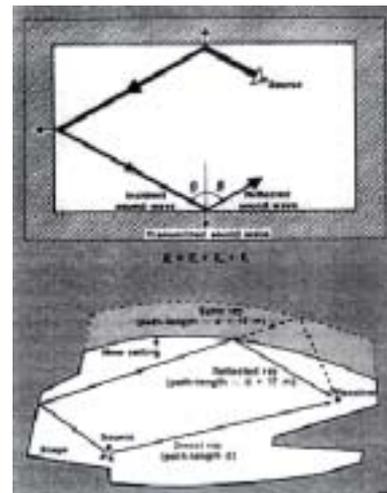
Behaviour of Sound in a Room

우리가 실내에서 연설이나 음악을 듣는 것을 효과적으로 적용하고 외부로부터의 소음을 줄이기를 원할 때 실내에서 소리가 어떻게 반응하는지에 대해서 궁금증을 가진다. 실내에서 음의 근원을 배치하는 효과에 대해서 생각해 보자. 소리에너지(E_i)는 실내의 경계에 충돌하면서 발생하고 반사된 소리에너지(E_r)는 실내에서 음장을 발생하며 흡수된 소리에너지(E_a)는 열처럼 방산하고 투과된 소리에너지(E_t)는 경계층을 통해 멀리 전파된다.

Reflection of Sound

입사된 소리파의 파장이 반사된 표면의 크기보다 훨씬 더 작다면 소리파의 반사각과 입사각은 같아진다. 우리는 실내에서의 소리광선들의 형태를 예측하기위해 이러한 기하학적인 반응을 사용할 수 있다.

콘서트홀처럼 큰 실내에서 'ray tracing(광선투사)'으로 확인할 수 없는 에코를 확인할 수 있게 해준다. 에코는 직접음보다 50ms후에 도착하는 반사처럼 정의되어진다. 에코는 또한 직접광보다 적어도 17m가 더 긴 통로를 통과하는 반사된 광선으로 통과한다. 큰 울타리로 둘러싸여진 안에서의 에코의 장애물들은 반사된 광선의 통과길이가 줄어 드므로써 해결되어진다. 이러한 것은 천장이 낮거나 천장으로부터 매달려진 반사체를 사용함으로써 해결할 수 있다.

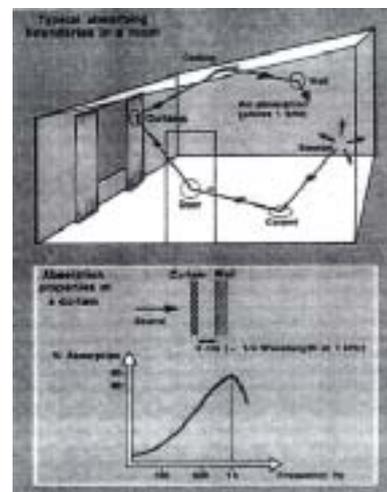


Absorption of Sound

우리는 실내에서 주어진 조건, 음압레벨의 측정에 의해서 흡음의 효과들을 이해할 수 있다.

측정위치에 도달하는 반사음의 수가 증가함으로써 막연히 증가하는 대신에 음압레벨은 곧 안정화될 것이다. 이러한 것은 실내에서 다른 표면에 의해 흡수된 에너지의 비율을 정확히 보정한 에너지의 입력을 의미한다. 만약에 더 많은 흡음물질이 실내에 존재한다면 음압레벨은 반사음이 줄어들기 때문에 보다 적어질 것이다.

실내에서 일반적인 흡음제는 카펫이나 커튼이 있다. 이러한 것들은 공기입자의 움직임이 적고 열처럼 에너지의 손실이 발생하는 마찰력으로 인한 흡음에너지의 다공성 흡음제의 샘플이다. 속도의 입자가 최대인 음파가 발생하는



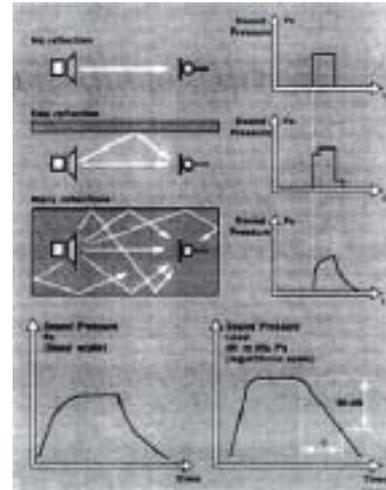
장소에서 다공성 흡음제는 매우 효과적이다. 이러한 위치는 반사 표면으로부터 떨어진 파장의 4분의 1지점이며 주파수에 의해 결정된다. 카펫은 반사면을 덮고 있는 다공성 흡음제의 한 가지 예이다. 이것은 가장 높은 주파수를 흡수한다. 왜냐하면 파장의 4분의 1의 범위가 카펫의 두께와 비슷하기 때문이다.

실내에서의 또 다른 표면들은 다른 크기의 다른 주파수를 흡수하며, 실내 음향의 warmth와 연설의 clarity를 조절하는 것이 가능하다면 이러한 흡음제의 비율을 컨트롤할 수 있다.

Build-up and Decay of Sound in a Room

만약에 우리가 실내에서 안정된 소리의 근원과 연결되어 있는 마이크로폰을 뒀을 때 음압레벨은 즉시 일정한 레벨을 가지고 있지 않다는 것을 알 수 있다. 첫 번째 반사음과 그 후의 반사음이 한정된 시간에 마이크로폰으로 도달하는 하기 때문이다.

안정된 상태의 결과에서, 음파사이의 간섭은 실주위의 마이크로폰의 이동으로 인해 감지할 수 있는 최대와 최소의 특별히 구분된 압력에서 발생한다. 이러한 자연스런 공명 또는 일반적인 실의 모드들은 실의 형상과 음의 근원에 의한 방사된 파장들과 관련이 있다. 이러한 모드들의 흥미로운 결과들은 반사된 경계면에서는 두배의 압력이 발생하고 실의 코너부분에서는 파복¹⁾(antinode)이 생긴다. 그들은 모두 음의 근원이 발생하는 곳에서 "driven"될 수 있다.

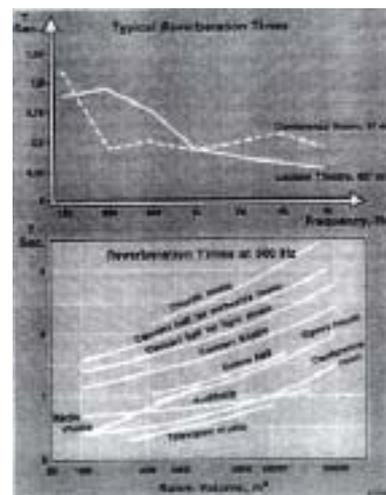


만약에 음의 근원이 방금 꺼졌다면 실의 모드가 감소한 양을 잔향음장이라고 부른다. 이런 쇠퇴한 비율은 실에서의 흡음의 상태나 양에 의해서 결정되어진다. 잔향시간은 실에서 음압레벨이 60dB이 감소하는 동안의 시간으로써 정의한다.

Importance of Reverberation Time in the Design of Rooms and Auditoria

화장실처럼 실내에서 높게 반사된 표면에서 잔향시간은 상대적으로 길지만 벽, 천정, 바닥과 같은 울림이 없는 장소에서는 높은 흡음 물질에 의해 감춰져서 잔향시간이 거의 0에 가깝게 된다. 흡음의 다른 물질들은 폭넓은 입사음의 주파수와 입사각이 존재한다. 따라서 잔향시간은 주파수와 관련이 되어있다. 일반적으로 잔향시간은 낮은 주파수에서 점점 길어진다. 왜냐하면 높은 주파수보다 효과적으로 흡음이 덜 되기 때문이다.

잔향시간은 실을 사용하는데 있어서 중요하다. 너무 긴 잔향시간은 연설할 때에 덜 명료하게 들리게 하며 음악은 귀에 거슬리게 되며 높은 암소음 레벨이 발생한다. 짧은 잔향시간은 암소음을 약하게 하지만 말 소리가 작게되며 뮤직 사운드는 얇고 단음이 발생한다.



1) antinode (파복) : 정상파에서 음압 또는 입자 속도의 진폭이 최대로 되는 곳. 이것은 점, 선, 면인 곳이 있다.

Sabine's Formula for Reverberation Time

잔향시간은 부피와 실에서의 전체적인 흡음과 관계가 있다. 이러한 관계는 Sabine에 의해 실험적으로 설명되어졌다. 우리가 매일 생활하는 대부분의 실내에서의 행위에 대해서 적절한 암시를 제공하고 있다. 이것은 울림이 없는 챔버처럼 충분히 흡음되는 실에서는 적당하지 않다.

In relationship (I)

T는 잔향시간	s
V는 실의 체적	m ³
A는 흡음된 실	m ²
0.16은 실험상수	s/m

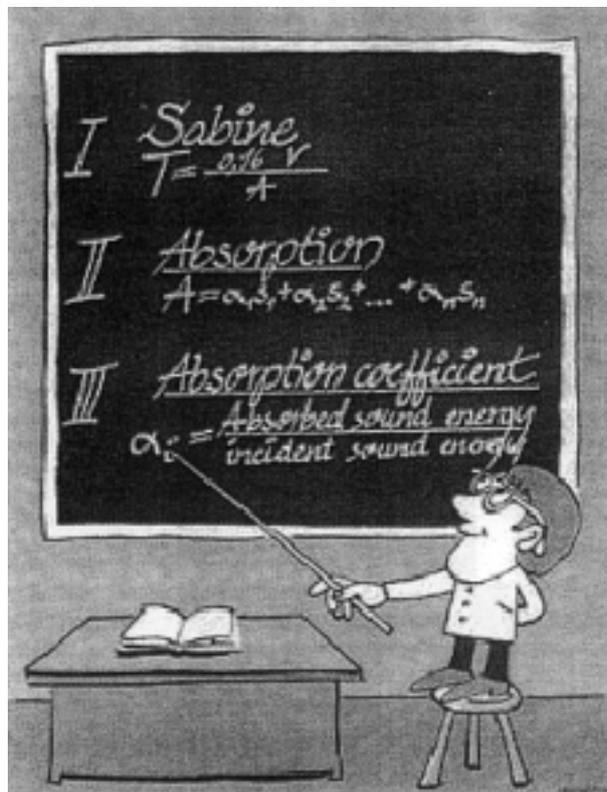
흡음실은 방, i.e, 벽, 천정, 바닥 그리고 방의 모든 가구들에서 모든 표면에 흡음되는 것들을 합한 것으로 얻어진다. 흡음된 각각의 표면은 생성된 지역의 표면에서의 흡음율 α_i , 흡음율은 표면에 입사한 음의 에너지에 의해서 음의 에너지가 흡수되는 비율을 말한다. 흡수율은 건축재료 뿐만 아니라 주파수와 음에너지의 입사각도에 따라 달라진다.

In relationship (II)

A는 흡음된 실의 총합

$\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \dots \alpha_n$ 은 실의 다른 표면에서의 흡음율이다.

$S_1 S_2 S_3 \dots S_n$ 은 각각의 면적들 m²



Measuring the Reverberation Time (잔향시간의 측정)

잔향시간을 측정하기 위해서는 실내에 소리를 생성하는 음원이 필요하고 음원이 멈춘 후 음압레벨의 감쇠를 측정할 수 있는 수음 점이 있어야 한다.

The Sound-Source (음원)

실질적으로 출발신호용 총을 쏘는 것을 음원으로 하지만 총소리는 낮은 주파수 범위에서의 에너지가 부족하고 재현하기가 어렵다. 자극적인 음원으로서 더 좋은 방법은 주파수 대역에서 소리를 내는 스피커를 사용하는 것이다. 전력 증폭기²⁾를 사용하면 총을 사용하는 것보다 실내에 더 많은 소리에너지가 전달될 수 있다.

“White”노이즈³⁾는 총 주파수 스펙트럼에서 Hertz당 지속적인 레벨을 갖는 넓은 대역의 임의의 소음(임의의 진폭 분배에서 스펙트럼의 모든 주파수를 포함한 신호)을 말한다. “Pink”노이즈⁴⁾는 3dB/oct로 세기가 감소하는 넓은 대역의 임의의 소음을 말한다. 이 소리의 감소는 점진적으로 넓어지는 주파수 대역폭⁵⁾(예를 들어 1옥타브나 1/3 옥타브 필터 등)에서 필터를 통해 소리 에너지를 계속해서 전달하기 위해 반드시 필요하다.

배경소음의 존재로 인해 60dB의 잔향 감쇠를 측정하기는 쉽지가 않고 40dB, 30dB, 20dB 감쇠 등을 통해 60dB감쇠의 시간을 추정해야 한다. 일반적으로 잔향시간을 측정한 감쇠 범위를 $T_r(30)$, $T_r(20)$ 등으로 표기한다.

소음은 순간적으로 중단하는 지속음이나 짧은 충격음 등으로 대신할 수 있으며 이 두 가지 방식에 따라 수음 섹션이 다르게 요구되어진다.

The Receiver (수음점)

전형적인 수음 섹션은 1옥타브 혹은 1/3옥타브 필터로 지정된 소음계와 이동 가능한 레벨 레코더로 이루어져 있다. 전달 부위에서의 필터와 같이 동일한 주파수에 중심을 둔 필터는 배경소음의 영향을 감소시킨다. 잔향은 급격하게 감소하고 대수 계산법에 의해 기록되기 때문에 소리의 감쇠는 기록용지에 직선으로 나타난다. 낮은 주파수에서 나타나는 감쇠의 지그재그형태는 이 주파수에서 일반실의 고르지 않은 분포상태 때문이다.

2) power amplifier : 전력 증폭기

전력관을 사용한 종단의 증폭기. 송신기로는 안테나계에 전력을 공급하는 고주파 증폭기를 특히 종단 전력 증폭기라 한다. 취급하는 주파수에 따라서 저주파전력 증폭기와 고주파 전력 증폭기로 분류된다. 전력 증폭기는 일그러짐이 적고 높은 효율로 전력을 부하에 공급하는 것이 중요하다.

3) White noise : 백색 잡음

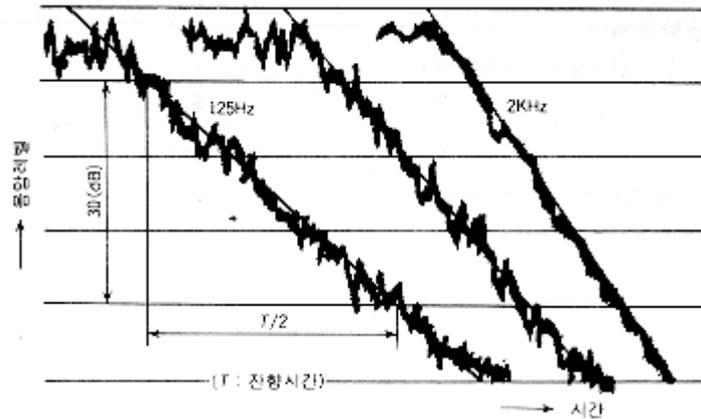
음이나 진동의 에너지가 주파수나 진동수에 관계없이 일정한 스펙트럼을 나타내는 파형 특성을 말한다.

4) pink noise : 핑크 노이즈

어떤 주파수 범위 내에서 옥타브 밴드 또는 1/3 옥타브 밴드 정도의 세기가 일정해지는 잡음. 화이트 노이즈에 3dB/oct의 감쇠 필터를 걸면 핑크 노이즈가 된다.

5) bandwidth : 대역폭

- ①일반적으로 주파수 특성 곡선상의 최고 이득점으로부터 3dB만큼 이득이 내려간 두 점 사이의 폭.
- ②송신기에서 점유 주파수의 폭. NTSC의 경우 6MHz, PAL의 경우 8MHz, HDTV의 경우 20MHz, AM 라디오의 경우 9kHz이다.
- ③대역 필터의 통과 주파수 범위를 말한다.



소리 전달에 있어서 충격음 방법을 사용할 때 도표로 나타난 결과는 실의 임펄스 응답 (Impulse Response)⁶⁾을 나타내며 잔향시간은 그 감쇠로부터 직접적으로 얻지는 못한다. 적절한 소프트웨어를 사용함으로써 임펄스 응답으로부터 잔향시간의 결과를 계산해낼 수 있게 된다. 펄스(혹은 Schroeder)방식의 이점은 정확하고 재현 가능한 결과가 cut off 방식보다 빠르게 나타난다는 것이다.

Using a Building Acoustics Analyzer (Building Acoustics Analyzer의 사용)

Building Acoustics Analyzer는 전달과 수음 과정을 모두 포함하는 장비이다. 1/3옥타브에서 전력 증폭기와 스피커에 임의의 소음을 제공하고 1/3옥타브 밴드 필터를 통해 마이크로폰의 신호를 분석한 후 각각의 주파수에서 잔향시간을 계산한다.

Position of the Source and the Receiving Microphone (음원과 수신 마이크로폰의 위치)

실의 상태와 반향 때문에 잔향시간은 음원과 수신 마이크로폰의 위치에 따라 다르다. 어떤 경우에는 음원이 위치가 더 영향이 크다(예를 들어 강연장에서의 연단과 같이). 일반적으로 실의 일부에만 소리가 집중되는 것을 막기 위해 음원은 대개 최대 압력모드로 코너에 위치한다.

잔향 시간은 장소에 따라 다양하게 나타날 수 있기 때문에 수신 마이크로폰은 큰 규모의 실에서는 여러 자리에 놓아두어야 한다. 필요에 따라 측정 시간은 다음 방법 중의 하나에 의해 각각의 주파수 밴드에서 평균되어야 한다.

- (a) 여러 장소로 이동하는 한 개의 마이크로폰
- (b) 다중채널⁷⁾에 의해 입력된 여러 개의 마이크로폰

6) impulse response[임펄스 응답]

어떤 하나의 회로와 장치에 대하여 임펄스 형태로 입력이 전달된 경우, 이러한 회로와 장치에서 발생하게 되는 응답 신호. 즉, 잡음과 같은 단위 충격파에 의하여 반응하게 되는 장치의 응답 신호를 의미한다.

7) multiplexer : 다중채널, 다중화기

다중화(multiplexing) 기술을 이용하여 하나의 회선 또는 전송로를 분할하여 다수의 개별적으로 독립된 신호를 동시에 송수신할 수 있는 장치. 다중화 방식에 따라 주파수 분할 다중 방식(FDM), 시분할 다중 방식(TDM), 부호 분할 다중 방식(CDM) 등이 있다. 다중화기는 통신망 이용 효율을 향상시키기 위하여 사용되는데, 특히 통화량이 많은 전화국 간 중계선이나 장거리 국제 회선의 건설·유지·보수 비용을 감소시키고 전용 회선 이용 요금을 절감시키는 요인이 된다. 디지털 방식의 TDM 다중화기 등의 대용량화 및 디지털 정보의 압축, 부호화 기술의 진보와 더불어 멀티미디어 네트워크의 구축에 꼭 필요한 장치이다.

(c) rotating boom의 단일 마이크로폰

Measuring the Sound Absorption (흡음율의 측정)

재료의 흡음율은 총 발생음과 관련된 재료의 흡음 비율을 나타낸다. 마감 표면의 총 흡음은 면적에 비례하는 흡음율에 의해 결정된다. 가장 일반적인 측정 방법은 다음과 같다.

Reverberation Chamber Method (잔향실에서의 측정방식)

잔향시간의 변화는 잔향실(Reverberation Chamber)안에서 10m³의 흡음재 샘플로 측정한다. Sabin의 공식과 흡음의 정의로부터 α 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{0.16V}{S} \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_e} \right)$$

α : 샘플의 흡음율

S : 재료 샘플의 면적

V : 잔향실의 체적

T_s : 샘플이 있을 때의 잔향시간

T_e : 비어있는 잔향실의 잔향시간

측정값은 주파수 기능으로서의 α 를 포함하도록 조절된 1옥타브 혹은 1/3옥타브 밴드를 사용하여 구한다.

Measuring the Change of Reverberation Time "in situ" (실제 상황에 따른 잔향시간 변화의 측정)

실의 적절한 잔향시간을 얻기 위해 필요한 흡음재의 양을 계산할 때 실제 상황에서는 이와 유사한 방법이 사용된다. 잔향실에서 측정된 값에 의한 흡음율 α 로부터 특정 실에서 필요한 잔향시간을 만들기 위한 필요 흡음 면적을 계산해 낸다. 흡음재를 설치하여 실제 실에서 잔향시간을 측정하며 필요하다면 흡음재를 가감하여 잔향시간을 조절할 수 있다.

Standing Wave⁸⁾ Method (정재파 방식)

이 방법에서는 측정할 샘플로 마감한 튜브 안에서 정재파(standing wave)를 만들기 위해 증폭 스피커를 사용한다. 튜브의 축을 따라 probe microphone을 이동해가면서 최대음압과 최소음압의 비를 측정함으로써 흡음율을 측정할 수 있다. 이 방법의 장점은 적은 양의 흡음재 샘플만으로 측정이 가능하고 재생 가능한 결과를 가지며 α 값의 직접적인 결과를 산출한다는 것이다. 이 방법의 단점은 표준 범위에서만 α 값을 얻을 수 있으며 샘플이 마감재를 대표하는 장소에서만 사용 가능하다.

8) Standing Wave : 정재파

음파는 공기 중에 전해질 때 차단하지 않으면 점점 진행해서 되돌릴 수 없다. 이것을 진행파라 한다. 그런데 진행파는 벽 등 장애물에 맞부딪쳐서 그 일부는 반사되어 돌아오는데 이를 반사파라고 한다. 이외에 양자의 혼합인 합성파도 존재한다. 합성파는 파형의 골짜기에서 생기는 위치가 항상 일정하기 때문에 이러한 음파를 정재파라 한다. 정재파는 본래의 음파의 움직임과는 다른 파형으로 음질을 손상시키는 원인이 된다. 정재파의 방지를 위해 리스닝 룸의 경우에는 벽에 요철을 부착시키거나 커튼 등으로 불필요한 반사를 흡수시킨다. 캐비닛에 흡음재를 붙인다든지 채워 넣는 것은 이 정재파의 발생을 막기 위함이다.

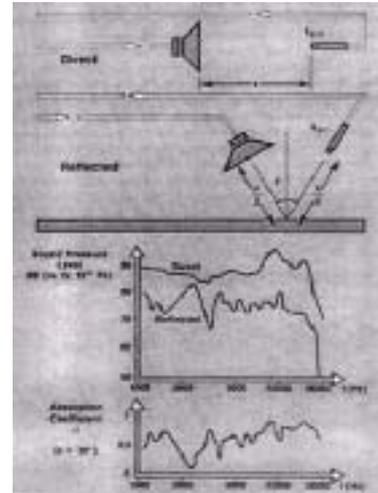
Tone Burst Method (Tone Burst-자극음 방식)

이 방식은 소리 에너지 범위의 다양한 각도에서 재료의 흡음을 측정을 가능하게 한다. 특별한 잔향실 없이 실험이 가능하다. 수신 마이크로폰으로부터 거리 x만큼 떨어진 곳에 있는 증폭 스피커에서 실내로 짧은 톤의 충격음을 발생시킨다. 증폭 스피커는 입사각 θ 에서 공시체를 향한다. 반사음의 총 경로 길이는 처음의 경우와 같다. 반사음의 음압 레벨 $L_{p,r}$ 와 직접음의 음압 레벨 $L_{p,d}$ 를 비교함으로써 반사율을 계산할 수 있고 흡음율은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\alpha_{\theta,f} = 1 - r_{\theta,f}$$

$\alpha_{\theta,f}$: 흡음율

$$r_{\theta,f} : \text{반사율} = 10^{\frac{-(L_{p,d} - L_{p,r})}{10}}$$



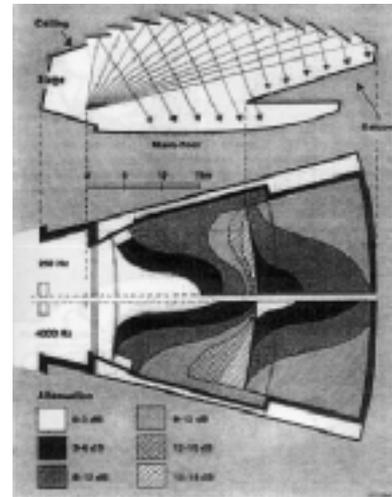
Measuring the Sound Distribution (음 분포의 측정)

음 분포의 측정은 극장과 콘서트홀 등 음악이나 연설이 실내에서 명확하게 들려야 하는 공공장소에서 특히나 중요하다.

Measurement in Existing Room (실질적인 실에서의 측정)

실내 음 분포는 음원을 실제 음원의 위치로서의 가능성이 가장 큰 지점(극장의 무대, 교회의 강단 등)에 위치하고 실내의 다양한 지점에서 음압 레벨을 측정하기 위해 소음계를 사용함으로써 측정할 수 있다. 음원은 넓은 주파수 밴드(white 혹은 pink noise)로 음을 방사하는 지속적인 음원이어야 한다.

이 방법은 같은 위치에서 다른 주파수의 음도 함께 측정하면 더 유용한 자료를 얻을 수 있다. 음원의 필요전력을 제한하기 위해 소리를 내는 구역에서 혹은 배경소음의 영향을 감소시키기 위해 수음 지점에서 필터(1옥타브나 1/3 옥타브)를 사용할 수 있다.



Measurements on Models (모델을 이용한 측정)

고가의 극장이나 대강당을 새로 짓기 전에 축소모형으로 음향 설계를 확인하는 것이 경제적으로 이익이 될 수 있다. 확실한 사전대책을 마련할 수 있으므로 모델을 사용하는 기술은 잔향시간, 음성 명료도, 음 분포 등의 서로간의 관계를 조사하는데 쓰일 수 있다.

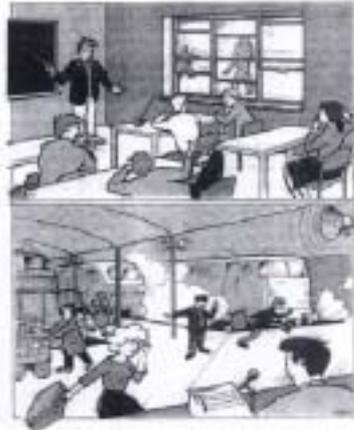
음원에 의한 자극의 주파수는 모델의 규모 축소에 의한 것과 같은 동일한 요소에 의해 증가되어야 한다. 이는 세 가지 방식으로 이루어진다.

(a) 신호 생성기를 사용하여 모델에서 필요한 높은 주파수에서의 소음 발생을 가능

- (b) 테이프 레코더에 자극소음의 소리 범위를 기록하고 그게 상응하는 빠른 속도로 모델실에 그 신호를 재생
- (c) 상대적으로 높은 주파수(예를 들어 전기불꽃이나 초음파 소리)를 포함하는 주파수 스펙트럼을 갖는 음원을 사용

이러한 높은 주파수에서 전달과 수신 변환기는 음장을 방해하지 않도록 작은 치수여야 한다. 작은 콘덴서 마이크로폰은 변환기처럼 사용할 수 있으며 140kHz까지 확장할 수 있는 주파수 응답의 안정성이 그 장점이다. 모델실안의 수신 지점에서의 신호는 테이프 레코더에서 빠른 속도로 기록된다. 분석을 위해 테이프를 느린 속도로 재생하여 가청 주파수 범위 안에서 기록된 신호를 들을 수 있도록 한다.

■ Speech Intelligibility (연설 명료도)



방을 가로질러 사람에게 또는 대중 연설 시스템을 이용하여 전하는 연설은 듣는 위치에 따라 절대 음원의 정확한 반사음을 들을 수 없다. 주변 소음이 더해지는 것 뿐 아니라 실에서 반사와 잔향 특성에 따라 음을 부정확하게 재생하기 때문이다. 이러한 소리의 왜곡의 직접적인 결과는 연설의 명료도를 감소시킨다.

명료도를 증가시키기 위하여 화자는 보통 방에 적합한 음으로 그들의 스피치를 적응시킨다. -잔향이 심한 실의 경우 말을 느리게 하거나 흡수성이 높은 실의 경우나 난청지역 (dead-spot)이 발생하는 장소의 경우 크게 이야기한다. 그러나 대중 연설 시스템으로 연설을 할 경우에 화자는 그들의 연설을 조절할 수 없다. 그 결과 불명확한 연설을 하게 된다.

연설 명료도의 양을 정하고 실에서 그것을 측정할 경우, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 어떠한 음향적 처리방법이 요구되는지 알아야 한다. 일반적으로 말하기의 명료도를 증가하기 위한 방법은 다음을 포함한다. : 오디토리엄에서의 음의 보강, 회의실에서 잔향시간의 감소, 둘러싼 큰 공간에서 에코의 방지, 공공 연설 시스템의 낙관과 주변 소음의 감소.

연설 명료도의 양을 정하고 실에서 그것을 측정할 경우, 이러한 문제점을 해결하기 위하여 어떠한 음향적 처리방법이 요구되는지 알아야 한다. 일반적으로 말하기의 명료도를 증가하기 위한 방법은 다음을 포함한다. : 오디토리엄에서의 음의 보강, 회의실에서 잔향시간의 감소, 둘러싼 큰 공간에서 에코의 방지, 공공 연설 시스템의 낙관과 주변 소음의 감소.

※ 명료도 (Articulation P.A)

스피치에 의한 발음을 청취자가 얼마나 정확하게 인지할 수 있는가를 정의하는 척도. 음절명료도와 음장인지도가 있다.

1. 음절명료도의 정의

음절(단음)을 무작위로 발생하여 18세에서 20세 사이의 청취자가 알아듣는 정도를 %로 표시.

$$\text{Knudsen의 공식 } PA = 96k_i \cdot k_r \cdot k_n \cdot k_s (\%)$$

k_i : 음성 평균 레벨 지수 (60-80dB에서 최고치, 70dB=1)

k_r : 잔향 시간 지수 (잔향 =0sec에서 1)

k_n : 잡음 레벨 지수/ 마스크 지수 (노이즈 레벨/스피치 레벨 =0에서 1)

k_s : 공간 형태 지수

모든 지수가 1이라도 PA=96%를 넘지 못한다. 4%의 명료도 저하는 음절의 불명확성이 원인이다. 명료도를 정의하는 다른 방법으로 RASTI, ALCons, C5 등이 있다.

2. 문장인지도 (Intelligibility)

청취자가 문장을 듣고 그 뜻을 파악하는 정도이다.

문장인지는 음절의 선행 후행 등을 청취자가 인식하여, 전체 문맥을 파악하게 되는 특성이 있다.

보통 영어와 한국어의 문장인지는 다르며, 한국어가 문장인지가 더욱 어려운 것으로 알려져 있다.

보통 음절 명료도가 20%이상이면, 문장인지는 80%이상으로 측정되어 진다.

9) intelligibility (양해도, 諒解度) : 청취 명료도 시험에서 단어, 문장 등을 양해하는 정도의 백분율(%)

3. ALCons (Articulation Loss of Consonants)

주로 미국과 프랑스 등에서 사용하는 명료도 지수로서, 보통 직접음과 간접음의 에너지 비율로 계산한다. 가장 많이 사용한다.

Alcons Score	mean
< 3%	Excellent
3% ~ 7%	Good
7% ~ 15%	Fair
> 15%	poor

미국에서 수용되는 값.

ALCons Score	mean
< 10%	스피치에 적당
10% ~15%	스피커에 적당
15% ~30%	단순한 메시지 전달
> 30%	poor

프랑스에서 수용되는 값.

4. RASTI (Rapid Articulation Speech Transmission Index)

ALCons 값과 로그리즘 관계에 있는 명료도 지수

Alcons Score	mean
0.75 ~ 1.0	Excellent
0.6 ~ 0.75	Good
0.45 ~ 0.6	Fair
0.3 ~ 0.45	poor
0 ~ 0.3	bad

5. Ci Ratio

Split time(7, 50, 80msec)에 의한 음압 에너지 비율의 로그 적분치. Split time의 크기에 따라서 C7, C50, C80으로 부름. 잘 사용하지 않음.

■ How is Speech Intelligibility Quantified?



명료도는 주관적인 반응이다. 그래서 무작위로 뽑은 단어로 조화시킨 음성학적인 몇 번의 실험으로 측정할 수 있고, 훈련된 청자 그룹은 이를 정확하게 받아 적을 수 있다. 결과적으로 단어 스코어를 %나 0에서 1의 스케일 척도로 표현할 수 있다. 일반적으로 0.3 이하의 Articulation Index(AI, 명료도 척도¹⁰⁾)는 불명확한 연설임을 시사하며, 0.7 이상의 명료도 척도(AI)는 훌륭한 명료도를 갖는다고 나타낸다. 다른 청취자들 사이의 변동은 부득이하게 결과에 커다란 영향을 미친다.

다른 접근법으로 음압 레벨 측정 세트에서 the Preferred Speech Interference Level(PSIL, 우선적 연설 간섭 레벨)을 측정하는 것이 있다. 이는 우선적인 연설의 스펙트럼(다음의 3가지 옥타브 밴드에 중점을 둔다. -500Hz, 1kHz, 2kHz)을 통한 신호와 소음 레벨을 측정하고 잔향 효과를 측정하기 위한 실험에서 유래한 보정 요소를 더하는 것을 포함한다.

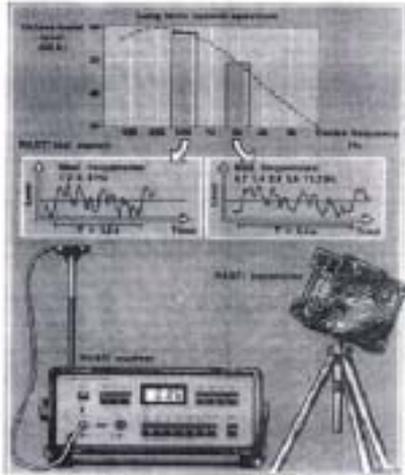
10) articulation (명료도, 明瞭度) : 음성을 정확하게 들을 수 있는 비율을 말하며, 단음절 명료도를 쓴다.

▶articulation test (명료도 시험) : 강당 등에서 실제 사용 상황에서의 명료도를 구하기 위한 시험.

▶sound articulation (단음절 명료도) : 청취점에서 단음절의 이해 테스트를 하여 그 결과를 올바르게 알아들은 비율(%)로 나타낸 것으로, 그 결과를 분포도로 나타낸다. 방의 잔향 시간, 소음의 크기 등에 따라 영향되는데, 85% 이상이면 양호, 70% 이하이면 불량이다.

Speech Transmission Index(STI, 음성전달지수)는 말하기 명료도를 양으로 측정하는 0과 1 사이의 수이다. 이는 Modulation Transfer Function(MTF) 곡선의 구성에서 유래하였다. 음의 본래 변화를 음 통과 시스템에 의하여 7개의 옥타브 밴드(125Hz ~ 8kHz)에서 변화하는 범위를 표현한다. STI(음성전달지수)는 청자나 화자 없이 평가 할 수 있고, 또한 실에서 음이 왜곡되는 방향에 대한 정보를 제공한다.

■ Rapid Speech Transmission Index (RASTI¹¹), 음전달지수



Rapid Articulation Speech Transmission Index

오직 2개의 옥타브 밴드에서 Modulation Transfer Function(MTF)의 측정을 제한하기 위하여, RASTI(Rapid Speech Transmission Index)를 계산할 수 있다. 이 방법은 STI 과정보다 더 빠르며 전달과 응답에 따른 RASTI 기기를 이용하여 더 쉽게 측정할 수 있다.

▷ RASTI Transmitter (RASTI 송신기)

RASTI 전달 장치는 긴 연설 스펙트럼을 흉내 낸 500Hz와 2kHz에서 각각 59dB과 50dB(1m의 거리에서)의 pink noise¹²⁾를 발생시킨다. 이 소음은 동시에 여러 개의 주파수에서 사인

11) RASTI (Rapid Speech Transmission Index) : 언어의 이해하는 정도를 나타내며 Modulation Transfer Function(MTF)을 이용한 지표이다. 같은 종류로는 STI가 대표적이다. RASTI 값이 높으면 언어의 이해 정도가 좋은 공간이 된다.

주관적 평가		RASTI 값
Bad	전혀 알아듣지 못한다.	0.00 ~ 0.30
Poor	잘 알아듣지 못한다.	0.30 ~ 0.45
Fair	노력하면 들을 수 있다.	0.45 ~ 0.60
Good	잘 들린다.	0.60 ~ 0.75
Excellent	아주 편안하게 들을 수 있다.	0.75 ~ 1.00

* STI는 계산이 복잡하고 상당한 까다로움이 따르기 때문에 B & K사로부터 간단한 방법인 RASTI(Radio STI)가 제안되었다. 밴드 노이즈 주파수와 변조 주파수를 한정하여 중심 주파수 500Hz를 1, 2, 4, 8Hz 그리고 2 kHz 로서 변조한 간소화된 시그널을 사용한 측정방법이라고 할 수 있겠는데 B & K로부터 간단하게 수치로 표시해줄 수 있는 편리한 측정기가 시판되고 있다. (송신기, 수신기) 물론 가격에 있어서는 그리 만만치 않을 것이다. 그 외 이러한 명료도를 손쉽게 측정할 수 있는 것으로서는 TEF-20 또는 일본 에타니전기의 ASA-2등이 사용되고 있다.

12) Pink Noise : 주파수가 증가함에 따라 파워가 white noise에 비해 옥타브 당 3dB이 감소하는 형태로 각 옥타브에서 동일한 파워를 가지게 됩니다. white noise에 pink filter를 거치게 해서 나오는 소음입니다. 일명 Flicker Noise, 1/f noise 라고도 합니다.

음향 장비 세팅 시 사용하는 노이즈 형태이고 white noise와 red noise(6dB 감쇄)의 중간 형태로 pink noise라 불리게 되었다고 합니다. (실제 음악에선 저주파 대역이고 고주파 대역에 비해 더욱 많은 에너지를 지니게 되나 white noise는 반대로 고주파 옥타브에서 저주파 대역에 비해 많은 에너지를 지니므로 음향장비 setting에 별로 사용이 안 됩니다.)

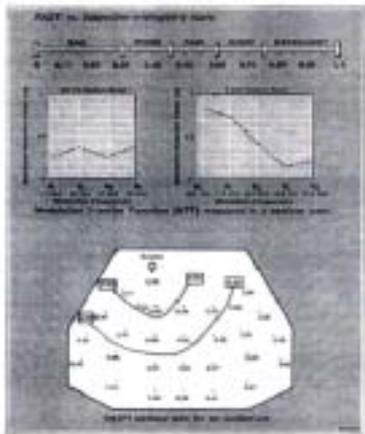
▶White Noise : white noise는 확률과 관계된 개념입니다. 정확한 정의는 시간에 따라 변하는 어떤 신호에

곡선으로 조절하며, 일반적 연설에서 찾을 수 있는 변화를 나타낸다. 이 전달 장치는 화자의 입으로부터 1m 정도에서 측정된 직접적인 음의 특징들을 전달한다.

▷ RASTI Receiver (RASTI 수신기)

전방향성의 마이크는 송신되는 신호를 잡아서, 전달 과정에서 발생하는 변화를 탐지하기 위하여 RASTI 수신기로 분석한다. 수신기와 송신기는 동시에 일어나지 않는다.(그 결과 독립된 유닛을 가지고 있다.) 그 이유는 신호는 반복성이 있기 때문이다. 송신된 신호로부터 수신된 신호의 편향(deviation¹³⁾)은 modulation reduction factor(변화 감소 요소)(m)에 의하여 각각의 변화하는 주파수를 기록한다. RASTI는 변화 감소 요소로 계산되고, 0과 1 사이의 수로 표현된다.

▷ Interpretation of RASTI Measurements (RASTI 측정 설명)



RASTI는 다음에 보여주는 주된 명료도 스케일과 관련이 있다. 이 방법은 음성적으로 안정된 단어 스코어와 STI 방법을 비교하여 얻어냈다.

내부에서 음향적 특성과 관련한 정보는 Modulation Transfer Function(MTF, 변화 전달 능력)을 이용하여 RASTI를 측정하는데 얻을 수 있다. MTF는 modulation 주파수(M)에 대한 modulation-감소 요소(m)의 곡선으로 간단하다. 만약 (-) 기울기일 경우 간섭은 잔향을 갖는다. 이 두 형태의 예는 그림에서 볼 수 있다. 복잡한 MTF는 불연속적 에코에 의한 간섭을 제안한다.

▷ Applications of RASTI (RASTI의 적용)

RASTI 실에서 낮은 명료도를 갖는 위치를 식별하는 방법이며, 가장 빠른 방법이다. 그 결과는 iso-RASTI 음조 곡선의 형태로 표현할 수 있다. 대중 연설과 음 보강 시스템을 테스트할 수 있으며, 음에 따라 마이크를 위치시키며 시스템을 전기로 연결할 수도 있다.

이 방법은 또한 음을 녹음하여 실의 어울림을 평가하거나, 인접한 실로부터 실의 음향적 프리아버시를 결정할 수 있다. 최근의 경우, 0.3 이하의 RASTI에서 송신기는 내부에 설치하고, 수신기는 외부에 설치하여야 한다.

■ Real-Time Analysis in Room Acoustics (실내 음향의 Real-time 분석)

▷ What are "good acoustics"? -좋은 음향 상태(효과)

일반적으로 "good acoustics" 구성 요소를 일일이 열거하는 것은 쉽지 않다. 첫째로, 실에서 발생하는 음에 따라 모든 것들이 고려된다. 음향적 요구조건은 콘서트 홀, 극장이나 강

대해 Autocorrelation 함수를 적용했을 때 delay가 0일 때만 값이 존재하는 신호입니다. 쉽게 말하자면 바로 다음에 어떤 값이 나올지 전혀 알 수 없는 신호입니다. 진짜 Random한 신호. 일명 Johnson Moise라고 합니다.

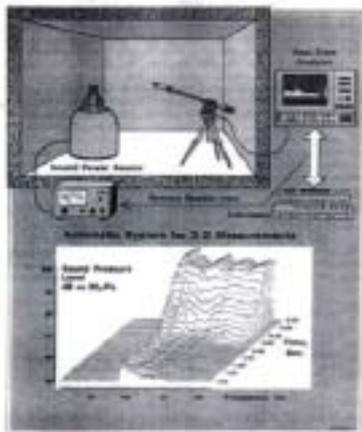
13) deviation (편향) : 진공 속을 주행하는 전자 따위가 전장이나 자장에 의해서 방향을 바꾸는 일.



의실의 경우 모두 다르다. 같은 홀이 콘서트홀과 극장으로 이용될 때에도 다른 조건을 갖는다. 몇몇 절충안을 가져야 한다. 둘째로, 실의 음향 상태를 어떻게 규정하느냐에 따라 다르다. 음향학자들은 측정이 가능한 객관적 요소들인 잔향 시간, 음의 확산과 흡수 등에 관하여 이야기 할 것이다. 실에서 음악을 듣는 음악가나 연설을 듣는 청취자들은 음의 명확성과 명료도, 격렬함 등에 대하여 묘사할 수 있다. 측정하기 어렵거나 주관적인 구성요소도 있다. 사실, "good acoustics"의 개념은 객관적 뿐만 아니라 주관적이며 "광범위한" 패션을 구성하는 모든 구성요소들의 조화를 의미한다. 그러므로 더욱 뛰어난 광범위한 평가로 접근하기 위하여

몇몇 구성요소들-진폭, 주파수, 시간과 같은-을 동시에 고려하는 것이 필요하다. "Real-Time analysis"는 원음의 변조나 손실되는 부분 없이 신호음의 전체 스펙트럼을 분석하는 것을 말한다. 그러므로 스펙트럼의 시간 변화를 연구할 수 있다.

▷ Real-Time Analysis



real-time 분석기는 신호음의 주파수를 분석하고 주파수 밴드에 따른 값을 바 그래프 형태로 스크린에 표현한다. 스크린에 연속적으로 업데이트 되는 변동이 있는 그림은 실에서 레벨의 변화에 따라 가깝게 얻을 수 있다. 이는 실에서 목소리나 음악 기기들이 만드는 음을 테스트하여 "real-time"을 구할 수 있으며 그 결과를 스크린에 직접 표현한다. 예를 들어, 조금 낮고, 조금 높은 주파수 밴드 사이의 잔향 시간의 차이는 스펙트럼의 다른 주파수 밴드에서 순간 레벨을 표현하여 칼럼의 다른 축소 비율을 분명하게 스크린에 표현한다. Real-time 분석은 특히 에코 방지, 반사재의 위치 선정, 잔향 시간 측정 등에 이용할 수 있다.

▷ Reverberation Decays in Three Dimensions (3차원 잔향 감쇄)

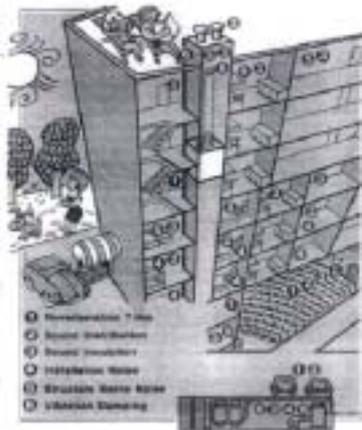
실에서 나오는 음의 잔향 시간 감쇄 곡선은 컴퓨터와 그래픽 플러터를 연결하고 real-time 분석기를 이용하여 3차원 진폭-주파수-시간 조망으로 표현할 수 있다. 만약 음원을 컴퓨터에서 자동적으로 시작하고 멈출 수 있다면, 잔향 감쇄의 큰 수치를 측정할 수 있고, 마지막으로 관심 있는 각각의 주파수 밴드의 "decay curve(감쇄 곡선)"을 최종적으로 얻을 수 있다.

■ Acoustics of Buildings : What should be Measured?

▷ Reverberation Time

잔향 시간은 소음이 줄어드는 곳(계단), 차음을 측정해야하는 건물의 부분이나 실에서 측정해야 한다.

▷ Airborne and Impact Sound Insulation



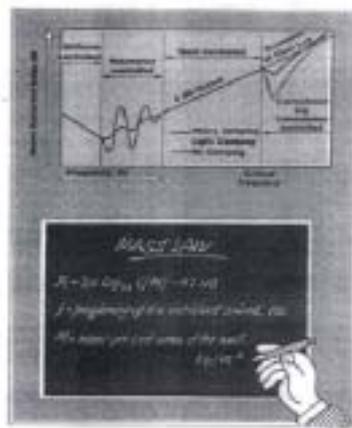
음 에너지는 그 음이 발생하는 방에 남아있지 않는다. 음은 가능한 통로로 건물을 통하여 전파되고, 소음으로 다른 방으로 침입한다. 음 에너지는 공기나 건물 구조의 구조체를 통하여 전달된다. 낮은 손실 요소의 균일한 구조체(콘크리트 벽)에서 음 에너지는 어느 정도 감소한다. 벽이나 바닥을 통한 차음으로 묘사되어 측정된 음향적 요소들은 공기로 전달되며, 차음에 효과가 있다.

▷ installation Noise and Vibration Damping (소음 설치와 진동 감폭)

기계적인, 난방과 엘리베이터의 설치는 종종 소음을 발생시킨다. 그러므로 건물 규칙의 기준을 사람들이 거주하는 실의 각각의 설치된 기기의 소음을 최대한으로 제한하여 상세히 열거해야 한다. 여기서 요구하는 측정치는 다음과 같다. :

- (a) 음원의 소음과 진동
- (b) 구조체나 환기, 난방 시스템과 상,하수 시스템에 따른 음과 진동의 전달
- (c) 기기 소음에 따른 방의 소음 레벨

■ Sound Reduction Index of a Wall



벽에 의해 산출한 공기를 통한 차음은 Sound Reduction Index, R로 표현한다. 이는 dB로 벽을 통해 전달된 음의 크기 분에 벽에 입사한 음의 크기 비율이다. R은 주파수와 완화된 음의 입사각에 따라 다르다.

$$R = 10 \log_{10} \frac{W_i}{W_t}$$

W_i 는 벽에 입사한 음의 크기

W_t 는 벽을 통과하는 음의 크기

R 은 dB, Sound Reduction Index이다.

균등한 고체 벽에서 기능과 주파수에 따른 음 감쇠 지표 곡선은 음 감쇠에 가장 큰 영향을 주는 벽의 각각의 특성에 따라 몇 개의 구역으로 나눌 수 있다. 이 특성은 단단함, 공명, 매스와 동시에 통제된 지역이다. 구조체에 표현하는 진동의 감폭은 오직 공명과 연속적 지역에서 곡선의 값에 영향을 미친다.

▷ The Mass Law

통제된 지역의 질량에서, Sound Reduction Index는 유닛 면적에 따른 질량에서 주어진 주파수 또는 주파수에서 주어진 유닛 면적에 따른 질량 각각 6dB 증가한다. (예, 두께의 2배)

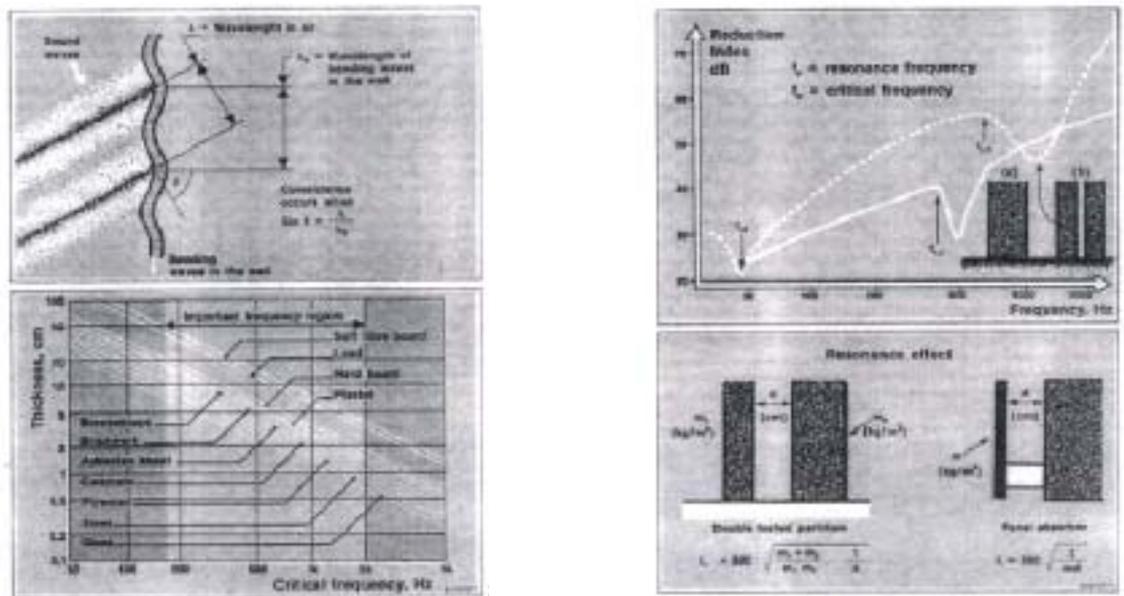
What is the Coincidence Effect?

The Coincidence Effect¹⁴⁾(일치효과)

질량법칙은 간벽의 공기전달음에 대한 차음성을 잘 설명해주지만, 실제로 질량법칙의 적용은 고주파영역에서는 일치효과에 의해 제한된다. 일치효과는 공기중에 방사된 소리의 파장이 간벽의 굴곡파(bending wave) 파장과 일치할 때 발생한다. 특정한 주파수와 입사각에서, 간벽의 굴곡진동(bending oscillation)은 증폭되며, 음향 에너지는 감소하지 않고 간벽을 통과한다. 실제로, 모든 입사방향으로부터 간벽을 향하는 입사 음파는 좁은 주파수대에서 음향적으로 투과되며, 이것을 “코인시던스 딥(coincidence dip)이라 부른다.

The Critical Frequency (임계 주파수)

특정 간벽에 일치효과를 유발하는 저주파는 입사된 음파가 간벽을 투과할 때 생긴다. 즉, 간벽과 평행할 때 생긴다. 이러한 주파수를 임계주파수(f_c)라 한다. 아래의 표를 이용하면 실제로 외벽을 설계하고, 벽을 분할할 때 사용되는 임계주파수를 결정할 수 있다. 예를 들면, 3cm두께의 플라이우드 파티션은 약 500Hz의 임계주파수를 지니며, 불행하게도 500Hz는 연설시 주파수범위와 일치한다.



Double-Leafed Partition (이중파티션)

차음성을 떨어트리지 않으면서 일치효과를 고주파영역으로 이동시키는 하나의 방법은 이중파티션을 이용하는 것이다. 이중파티션의 경우 일치주파수는 각각의 부재의 두께에 의해 결정된다. 반면에 음감소지수(sound reduction index)는 같은 질량의 단일 파티션에 적용되는 질량법칙에 의해 예측되는 것보다 더 높게 나타난다. 같은 주파수에서 발생하는 각각의 일치효과를 방지하기 위해서 서로 다른 두께를 지니는 두개의 부재를 이용할 수 있다.

14) Coincidence Effect : 각 재료는 자체의 고유진동수가 있어서 어떤 음이 입사하면 입사한 음의 주파수와 재료의 고유진동수가 일치하게 되면 공명현상이 발생하여 음의 투과가 좋아지게 된다. 이 때에는 질량법칙이 성립하지 않으며 이 현상을 일치효과라 한다.

The Resonance Frequency (공명 주파수)

일반적으로 이중 파티션의 차음성능은 같은 질량의 단일한 벽체의 차음성능보다 우수하다. 그러나 간벽의 mass-spring-mass 공명 주파수에서 차음성능은 저하됐으며, 민감한 주파수 범위밖에 위치하도록 주의를 기울여야한다(100Hz이하).

소음실 혹은 잔향실에서 저주파 소리 에너지를 흡수하고자한다면 공명효과는 유익하게 이용될 수 있다. 고정된 벽체로부터 거리 d 만큼 떨어져 설치된 얇은 패널과 그 패널의 공명주파수는 소음을 감소시키기 위해 선택되어진다.

Laboratory and Field Measurements

Laboratory Measurements (실험실 측정)

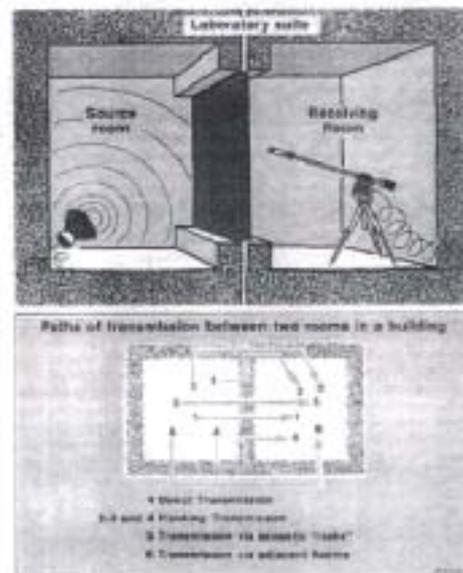
실험실 측정은 재료가 지니는 고유한 특성을 측정하거나 음향에 관한 데이터 혹은 품질에 관한 기준을 작성하기 위한 조사연구를 완성하기 위해 시행된다. 재료의 품질과 건물 부재 샘플은 반드시 국제 표준이나 지역 규정에 합당해야한다.

실험실로 적합한 테스트룸은 어떠한 측면투과(flanking transmission)¹⁵⁾도 발생하지 않도록 매우 주의해서 지어져야한다. 따라서 차음성능 실험을 할 때, 실제로는 수음실(receiving room)의 모든 에너지는 실험중인 간벽을 통해 전달된다.

Field Measurements (현장 측정)

건물안에는 다양한 소리의 전달 경로가 있고, 구조체의 음향적 특질에 영향을 주는 매우 많은 요인들이 있다. 따라서 그 건물이 음향적으로 규정을 만족하는지의 여부를 확인하는 유일한 방법은 실제 건물에서 실측을 하는 것이다.

대부분 건물의 경우에서, 방에서 발생한 소리의 일부는 측면부재를 통해 간접적으로 전달되거나 “틈새”를 통해서 인접한 공간으로 전달된다. 따라서 건물부재의 차음성능은 실험실에서보다는 현장에서 조금 저하되게 마련이다. 따라서 건물부재를 선정할 때, 건물 구조체의 예상되는 차음성능을 계산하는데 있어서 안전율을 고려할 필요가 있다.



15) 측면투과 : 어떤 실에서 인접실로 칸막이 벽을 투과하지 않고 벽의 틈새를 통한 공기 전달음(Air-borne Noise)이나 연결구조물 등을 통한 구조체 전달음(Structure-borne Noise)으로 투과되는 현상을 뜻한다

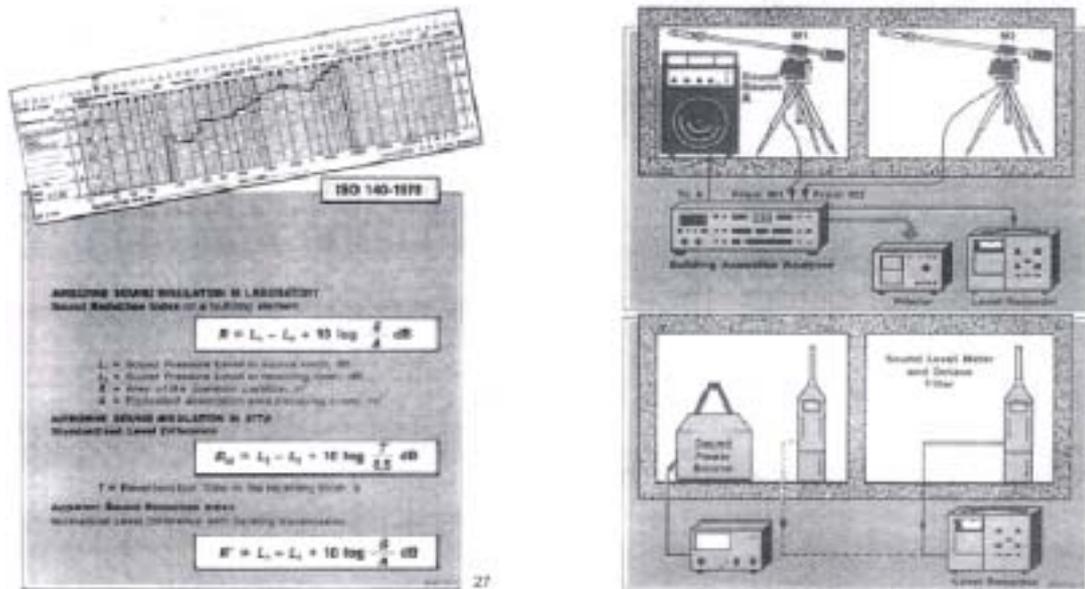
Airborne Sound Insulation (공기전달음의 차음)

두 공간 사이의 공기전달음 차단은 음원과 수음실의 서로 다른 음압레벨과 수음실의 흡음성을 고려한 팩터를 이용하여 계산된다. 실험실에서, 보정 팩터는 실험 대상 공간의 면적 (S)과 거기에 상응하는 수음실의 흡음면적(A)를 포함하며, 이것은 수음실의 잔향시간과 체적으로부터 측정할 수 있다. 실험실 실험에서의 보정 팩터는 실험 표본의 면적 S와 그에 상응하는 수음실의 면적 A를 포함하고 있으며, 그것은 수음실의 잔향시간과 체적으로부터 구할 수 있다. 또한 실제 건물에서의 보정 팩터는 차음방식에 의해 결정된다. 가장 일반적으로 사용되는 정의 두가지는 다음과 같다.

Standardized Level Difference(D_{nf})는 표준 잔향시간인 0.5초를 참고로 하여, 수음실의 잔향시간을 포함한다.

Apparent Sound Reduction Index(R')는 간벽의 면적, 잔향시간, 수음실의 체적을 포함한다.

가구등이 갖춰져 있는 방의 잔향시간은 약 0.5초이므로, D_{nf}는 거실이나 침실에서 사람이 느끼는 실제의 차음성과 일치한다. 반면에 R'는 방의 면적이 고려된다. 화장실과 같은 작은 공간에서 R'는 위의 두가지 중 덜 중요하게 적용된다.



Measuring Airborne Sound Insulation (공기전달음 차음성능 측정)

The Transmitting Section (소음의 발생부)

실험실에서 건축부재의 음감소지수(SRI)를 측정할 때, 소음 발생실에서의 자극은 소음 발생기에 의해 제공된 1/3옥타브 밴드에 의해서 필터링 된 광대역 신호로부터 얻을 수 있다. 현장에서 측정할 때, 광대역 및 협대역 소음을 발생시킬 수 있는 이동식 시스템이 사용가능하며, 현장에 설치되어 있는 장비 역시 소음의 발생원으로 사용가능하다. 이러한 소음원들은 소음을 일정하게 발생시켜야하며, 주파수를 억제하지 않는 광대역 신호이어야 한다. 소음

발생실의 소음레벨은 의미있는 측정값을 얻기 위해 충분히 커야한다.

The Receiving Section (수음부)

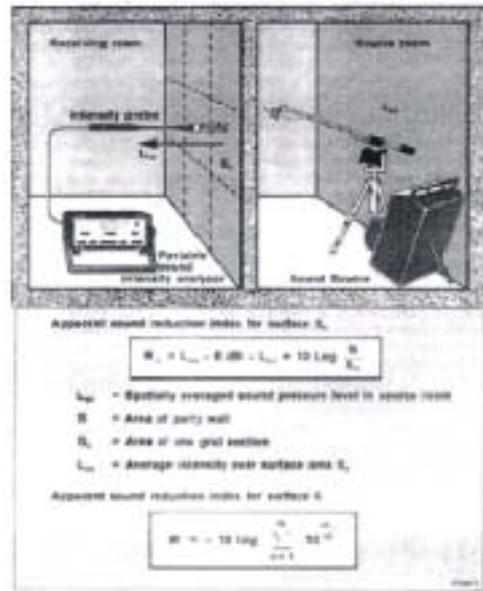
음압레벨은 소음 발생실과 수음실에서 연속적으로 측정되며, 기록계로 출력된다. 소음의 발생부에 광대역 소음원이 존재하거나 수음실에서 측정된 소음 수준이 암소음의 소음수준과 비교하여 최소 6dB보다 높지 않다면, 수음실에는 필터가 필요하다. 현장측정시에는 필터가 내장되어 있거나 필터 셋트에 연결된 정밀한 소음계가 휴대용 기록장치와 연결되어 사용될 수 있다. 잔향시간을 측정할 때에는, 시간적으로나 공간적으로 음압레벨을 평균하는 것이 필요하다.

건물 음향 분석장치는 마이크로폰, 증폭기, 확성기 그리고 외부 장치로써 프린터만 있으면 자동으로 측정의 절차를 수행한다.

Intensity Approach (음의 세기로 접근하는 방법)

음의 세기 측정은 공기전달음의 차음 성능을 측정하는데 있어서 다른 접근방법을 제시해준다. 음의 세기는 소리에너지가 어떠한 면적을 통과해서 흐르는 벡터량이다. 단위는 W/m²이다. 음의 세기는 두개의 마이크로폰 탐침을 이용하거나 세기 분석기를 이용하여 직접적으로 측정할 수 있다.

소음 발생실에서의 측정의 앞서 언급된 것과 같은 방식으로 이루어진다. 수음실에서, 측정 표면에 적용된 격자는 각각의 구역을 한정한다. 각각의 격자를 통해 전달되는 음의 세기의 평균은 분석 시스템을 통해서 직접적으로 측정될 수 있다. 격자의 각 구획에서 발산되는 출력은 단순히 음의 세기에 각 구획의 면적을 곱하면 얻어진다.



한 공간에서 모든 표면을 통과하는 음의 세기의 흐름은 측정이 가능하므로, 수음실을 향하는 총 출력에 대한 다양한 측면 투과와 틈새 투과의 영향을 측정할 수 있다. 이러한 방법으로 얻은 결과는 이전에 언급된 방법으로 얻은 결과와 비교할 수 있다.

음의 세기를 이용하는 방법의 가장 큰 잇점은 측정 격자의 어떠한 구획에서도 R'_n (apparent sound reduction index)값을 얻을 수 있다는 점이다. 따라서 복합간벽을 실험하는 경우-예를 들면 유리창을 포함하고 있는 벽-에 R'_n 값은 벽재료에 대해서 뿐만 아니라 유리에 대해서도 구할 수 있다.

Impact Sound Insulation (바닥 충격음의 차음)

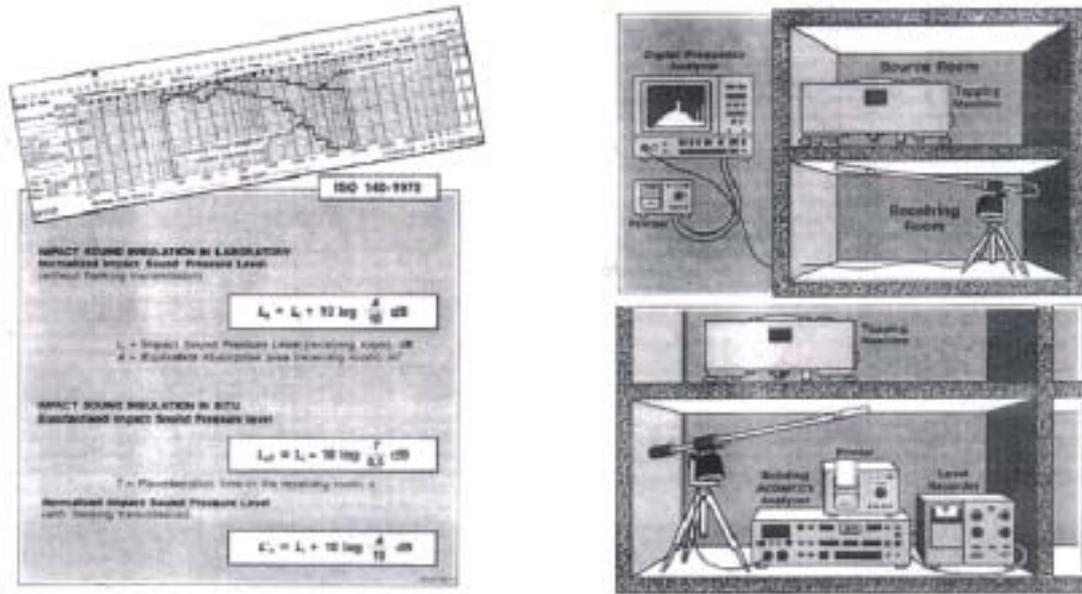
Impact Sound (바닥 충격음)

바닥면이나 계단에서의 발자국 소리는 소리가 발생하는 방보다 다른 방에서 더욱 크게 들릴 수가 있다. 그 이유는 건물의 구조는 진동을 일으키며, 이러한 진동은 건물의 다른 부분으로 거의 감소되지 않고 전달되기 때문이다. 충격음을 감소시키는 효과적인 방법은 발자국 충격이 건물 구조체에 전달되기 전에 그 충격을 감소시키는 것이다. 예를 들면, 뜯바닥구조 구조를 적용시키거나 카페트나 기타 탄력성이 있는 재료를 바닥표면에 덮는 방법이다.

Parameter Measured (측정된 변수)

바닥충격음의 차음은 충격이 가해지는 방이 표준 충격원에 의해 진동할 때 수음실에서 측정되는 바닥충격음 레벨로부터 측정할 수 있다. 공기전달음의 차음에 대하여, 그 차이점은 실험실 측정과 현장 측정사이에서 얻어지며, 보정 팩터는 수음실의 흡음성능을 포함하며, 또한 수음실은 바닥충격음 레벨의 계산을 포함해야한다.

Normalized Impact Sound Pressure Level, 즉 L_n (측면투과가 포함될 경우 L'_n)은 수음실의 흡음성능을 의미하는 A를 포함하며, A값은 수음실의 체적 V와 잔향시간 T를 이용하여 사빈 방정식으로 구한다. 반면에 Standardized Impact Sound Pressure Level(L_{nT})는 표준잔향시간인 0.5초를 참고로 한 수음실의 잔향시간을 포함한다.



Measuring Impact Sound Insulation (바닥충격음 차음성능의 측정)

The Sound-Source (소음원)

발자국 소음은 0.5kg의 햄머를 5개를 4cm높이에서 초당 10회의 횟수로 자유낙하 시키는 표준 tapping machine에 의해서 시뮬레이션 된다. 이렇게 해서 얻어지는 효과는 일반 발자국 소리에 의한 효과보다 크게 되는데, 이것은 수음실에서 실험에 적합한 높은 음압레벨을 얻기 위해서 필요한 것이다. 표준에서 측정은 소음발생실의 3~5지점에서 행하도록 명시하고 있다.

The Receiving Section (수음부)

건물에서 소음 측정시 음장은 확산음장으로 가정하지만, 일반적으로 그러하지는 않다. 실제로, 수음실의 음압레벨은 몇몇 지점에서 마이크로폰에 의해 측정된 값을 평균하거나 걸침대에 의해 천천히 회전하는 마이크로폰을 이용하여 측정된 값을 평균해야한다. 받아들여진 신호는 옥타브 밴드나 1/3옥타브 밴드에 의해 필터링 된다. 1/1 옥타브 필터에 의해 얻어진 결과는 1/3옥타브 필터에 의해 얻어진 결과보다 5dB정도 높다($10\log 3 = 5$). 따라서 필터의 유형은 측정 곡선에 반드시 명시되어야 한다.

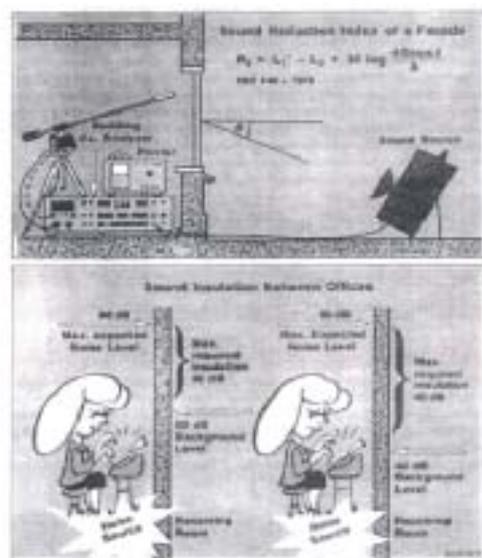
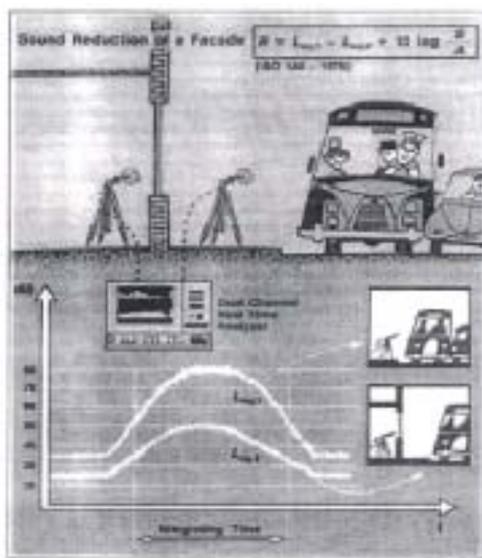
실시간 분석기를 이용하면 평균값을 자동적으로 구할 수 있다. 예를 들어, 바닥에 여러 종류의 탄성물질을 덮어 실험을 할 때 스펙트럼이 변하는 것을 즉석에서 확인할 수 있다. 건물 음향 분석기 역시 자동으로 평균값을 구해주며, 또한 Standardized Impact Sound Level 과 Normalized Impact Sound Level을 직접적으로 화면에 표시해준다.

Outdoor - Indoor Noise Insulation (내외부 소음의 차단)

Sound Insulation of a Facade by Using Traffic Noise

-교통소음을 이용한 외벽 차음측정-

외부 소음에 대하여 건물에 의해 제공되는 차음을 측정할 때에는 건물부재 사이의 차음재료의 중량의 차이를 반드시 조사해야한다. 음장은 확산음장으로 가정되며, 측정기간 동안 일정한 것으로 가정되지만, 외부 음장은 결코 확산음장이거나 일정하지 않다. 소음은 매우 다양한 입사각을 통해서 들어오며, 교통소음의 경우처럼 가끔 매우 큰 진폭으로 변하기도 한다. 외벽의 차음은 각기 다른 외벽 부재의 감소지수로부터 계산한 절대 값보다는 외부 소음 환경으로부터 건물 내부의 소음 수준을 측정하는 것이 보다 중요하다. 따라서 외벽의 차음은 외벽 바깥부분과 수음실의 등가소음레벨 차이로 표현될 수 있으며, 같은 시간동안 측정된 값을 사용해야한다. 등가소음레벨(L_{eq})은 음을 에너지의 측면에서 장기간 측정하여 평균한 음압레벨이다. L_{eq} 값은 측정된 다양한 소음 수준에 대해서 동일한 에너지 량을 갖는다.



Sound Insulation of a Facade by Using Loudspeaker Noise

-확성기를 이용한 외벽 차음 측정-

외부에 교통소음이 없거나 외벽의 차음재/외벽 부재의 음의 입사각에 대한 작용을 알아보아야 할 경우에는 확성기가 소음원으로 이용된다. 확성기는 1/3옥타브 밴드로 필터링 된 임의의 소음을 내뿜으며, 음감소지수(R_0)는 시험편을 제거하거나 제거하지 않고 측정한 음압레벨사이의 차이로부터 각각의 주파수 밴드를 계산하는 데 이용된다. 입사각의 여러 값을 얻기 위해 측정은 여러번 반복된다.

Insulation between Offices - Influence of Background Noise**-사무실간 차음(암소음의 영향)-**

암소음은 사무실간 간벽의 성능 요구조건에 매우 큰 영향을 준다. 외부의 차량으로 인한 소음이나 사무실의 자판소리 등으로부터 기인하는 암소음은 간벽을 통해서 들어오는 소음을 마스크하며, 암소음 수준이 낮을때 보다 차음에 대한 요구조건을 낮추는 효과를 가져온다.

Comparing Results with Requirements

차음은 주파수와 관계가 있기 때문에, 대부분의 주거역 사이에서의 차음 법규는 100~3150Hz범위의 주파수에 해당하는 참고커브에 의해서 측정 결과를 따른다.

Single Figure Indices(단일 특성 표본)

ISO 717-1982에서는 ISO140에 따라 측정된 공기에 의해 전달되고 영향을 받는 차음커브로부터 단일특성 표본을 포함한 한 가지 방법을 제시하고 있다.

가중겉보기 소음감소지수(Weighted Apparent Sound Reduction Index), $R'w$ 공기를 통해서 전달되는 차음은 단일상수 $R'w$ 에 의해서 정의된다. 이는 ISO규준에 제시된 조건^{*}을 만족할 때 까지 참고커브의 1dB을 측정커브쪽으로 이동하면 관찰할 수 있다. 가중 겉보기 소음감소지수(Weighted Apparent Sound Reduction Index), $R'w$ 는 500Hz에서 바뀌는 참고커브의 값으로 정의 되어있다.

가중 규준화 바닥 충격음 레벨(normalized impact sound pressure level), $L'n,w$ $L'n,w$ 은 참고커브를 관측커브방향으로 이동함으로써 같은 방식으로 관측된다. 그리고 이동된 참고커브의 500Hz에서의 값이다.

만약에 건물 음향분석가가 차음커브를 관측하려고 한다면, $R'w$ 와 $L'n,w$ 는 계산해서 직접 가시화할 수 있다.

* 평균 역편차 Δ 은 가능하면 2dB이상이 되어서는 안된다. 최대역편차 Δ_{max} 는 어느 주파수에서든지 8dB을 초과하면 기록되어야한다.

Vibration Measurement (진동측정)

현대건물의 많은 설치시설들은 예를 들어, 리프트, 세척기 등은 소음과 진동을 발생시킨다. 따라서 소음 측정은 진동측정과 함께 이루어져야한다.

Vibration Isolation¹⁶⁾ Measurements (진동절연의 측정)

이것은 진동 구조체에 부착되는 진동가속계¹⁷⁾라고 일컬어지는 작은 변환기¹⁸⁾를 사용해서

16) Vibration Isolation 진동절연

외부로부터 기계에 전달되는 진동에 의한 Motion 을 줄이거나 기계로부터 외부로 전달되는 힘을 줄이는 일을 말한다.

진동절연은 진동전달 경로의 특정 위치에 탄성과 감쇠성질을 가진 진동절연체를 배치시켜 진동원으로부터 진동을

차단시키는 방법.

17) Accelerometer 진동가속도계 : 운동체의 가속도를 측정하는 계기.

18) Transducer 변환기 물리적 신호를 그것에 대응하는 동종 또는 이종의 물리적 신호로 바꾸는 기구를 말한다. 변형, 힘, 운동 등의 기계적 신호를 전압, 전류 등의 전기적 신호로 바꾸거나, 그 반대의 역할을 수행하는

측정한다. 가속도계는 가속도는 물론 진동속도와 변위도 측정할 수 있는 네트워크를 포함한 전치증폭기¹⁹⁾와 연결되어있다. 출력신호는 소음측정에 사용된 것과 같은 형식으로 분석된다. 진동신호의 주파수 분석은 종종 까다로운 진동 제어의 가장 적절한 방법을 결정할 필요가 있다.

Measuring the Loss Factor of a Partiton(파티션의 손실계수²⁰⁾ 측정)

손실계수, η 은 1/3 옥타브밴드의 백색잡음²¹⁾에 의해서 작동되는 가진기²²⁾에 반응하는 파티션의 기계적인 잔향시간으로부터 결정되어진다. 파티션이 안정적인 진동레벨에 도달하면, 가진기는 즉시 작동이 멈출 것이다. 각 1/3옥타브 밴드의 잔향시간은 진동가속도계와 손실계수 η 에 의해 기록되는 감쇠곡선에 의해 결정된다. 손실계수의 계산은 다음과 같다 :

$$\eta = \frac{2.2}{fT}$$

여기에서 f : 1/3옥타브 밴드의 중심주파수

T : 반응 잔향시간

기기들을 일컫는다. 즉, 가속도, 힘, 온도 등의 기계적 물리량을 전압, 전하 등 전기적 물리량으로 변환하는 센서(Sensor)는 변환기에 해당된다.

19) preamplifier 전치 증폭기

신호원의 레벨이 낮아서 그대로 주 증폭기의 입력으로 할 수가 없을 때 그 출력을 적당한 수준까지 올리기 위한 증폭기. 전치 증폭기는 안테나와 수신기부 또는 마이크로폰과 증폭기를 접속하는 경우 신호 대 잡음비(S/N)를 저하시키지 않고 적당한 입출력임피던스를 제공하면서 후단에서 신호 처리하기 쉬운 정도까지 신호 레벨을 높이는데, 신호의 등화나 혼합 등을 겸하는 경우도 있다.

20) Loss factor 손실계수 일반적으로 손실계수는 어떤 계(System)에 1주기 동안 저장할 수 있는 최대 변형 에너지에 대하여 동일한 주기 동안 소실되는 에너지의 비로서 정의한다.

$$\eta = \frac{\text{주기당 소실에너지}}{\text{주기당 최대변형에너지}}$$

또한 복소탄성계수(Complex Modulus of Elasticity : D)의 실수부와 허수부의 비를 손실계수(η)로 표현하여 구조감쇠를 나타낼 수 있으며, 이는 조화해석(Harmonic Analysis)에서 가능한 표현하다. 이 경우 η 는 감쇠율(Damping Ratio), ζ 의 2배가 된다. 즉, $\eta = 2\zeta$ 대표적인 재료의 손실계수를 보면 다음 표와 같다.

재료명	손실계수
철	$2 \sim 6 \times 10^{-4}$
알루미늄	1×10^{-4}
코르크	0.13~0.17
딱딱한 고무	1.0

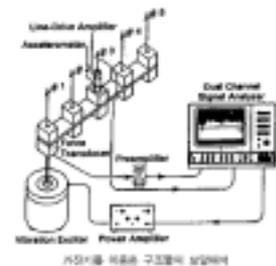
21) White Noise 백색 잡음 넓은 주파수 범위에 걸쳐 단위주파수당 파워가 일정한 잡음으로서 랜덤 노이즈(Random Noise)와 동일한 의미로 사용된다. 백색광은 모든 파장의 성분을 포함하고 있다는데서 유래한 용어이다.

22) Shaker (Exciter) 가진기

구조물을 가진해서 그 진동현상을 관찰하고자 할 때 원하는 주파수 대역과 크기의 진동을 유발시킬 수 있는 장치를 뜻한다.

cf) Exciter 가진기

인위적으로 진동을 발생시키기 위한 장치나 기계구조를 의미함. 전기적인 신호를 입력으로 하여 이 파형을 기계적인 변위나 힘으로 변환시켜주는 구조로 되어 있다. 보통 압전 현상이나 전자기력을 이용하고 큰 힘이 필요한 경우에는 유압을 이용하기도 하며 회전체의 경우에는 전자기력을 이용한 비접촉식 가진기를 사용한다.



측정	결정 매계변수	국제 기준 /권장사항	실험 환경	source room(음원실)			수음실		관측
				소음/진동원	소음의 특징	측정	측정	측정 조건	
강당의 잔향시간	잔향시간	ISO 3382-1975	팅빈 강당	비지향성 확성기 혹은 권총 만약 1kHz 이하에서는 T>1.5s이어야함.	광범위한 옥타브밴드 혹은 1/3밴드의 소음 혹은 권총. 모든 자유 밴드에서 암소음보다 최소 40dB이상일 것.	1/3옥타브 혹은 옥타브 (125Hz~4kHz)에서의 잔향 반감	-	-	
			스튜디오와 재실자가 있는 강당	비지향성 확성기 혹은 권총 혹은 오케스트라 (단, 목관악기와 금관악기만 허용)	상동 혹은 분홍색잡음 (주변레벨보다 40dB 높음)	각 위치에 2개의 기록계를 가진 위치에 최소 3개의 마이크로폰 설치. (권총을 사용할 경우 기록계 4개설치. music breaks의 경우 6개 설치.)			
흡음 계수	스펙트럼의 흡음계수 $\alpha = \frac{0.16 V_s}{S} \cdot \left(\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_e} \right)$	ISO 354-1985	잔향실	비지향성 확성기	연속 주파수 스펙트럼 밴드-밴드의 폭은 최소 1/3옥타브로 제한되어있다.	100Hz~5kHz사이의 1/3 옥타브밴드의 중심주파수에서의 잔향시간.	-	-	
건축물 요소의 공기전달음 차음	소음 감소지수, R $R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$	ISO 140/111-1978	복합 연구실 (ISO 140/1에 언급되어 있음)	확성기	안정적이고 광역밴드가 1/3옥타브밴드에서 여과 될 것이다.	1 / 3 옥 타 브 (100Hz~3.15kHz)에서의 몇 가지 소음압력레벨 위치	소음압력레벨 잔향시간	1 / 3 옥 타 브 (100Hz~3.15kHz)에서의 몇 개의 측정위치 혹은 가동형 마이크로폰	가중소음감소지수: R _w 의 계산 (ISO 717/1-1982)
실간 공기전달음의 차음	표준 레벨 차이 $D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0.5}$ 혹은 겉보기 감소지수 R' $R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$	ISO 140/IV-1978	건물내 장에서 측정	확성기	안정적이고 광역밴드가 1/3옥타브밴드에서 여과 될 것이다.	1 / 3 옥 타 브 (100Hz~3.15kHz)에서의 몇 가지 소음압력레벨 위치	소음압력레벨 암소음레벨 잔향시간	(125Hz~2kHz)옥타브 $\alpha(100Hz\sim 3.15kHz)1/3$ 옥타브 몇 개의 측정위치 혹은 마이크로폰	가중 겉보기 소음감소지수: R' _w 의 평가 (ISO 717/1-1982)
정면과 정면요소의 차음	표준 레벨 차이 $D_{nT} = L_{eq1} - L_{eq2} + 10 \log \frac{T}{0.5}$ 소음 감소 지수 $R_{tr} = L_{eq1} - L_{eq2} + 10 \log \frac{S}{A}$	ISO 140/V-1978	장내 측정	교통소음	변동	정면 2m에서의 Leq1 옥타브 혹은 1/3옥타브 밴드	Leq2 잔향시간	(125Hz~2kHz)옥타브 $\alpha(100Hz\sim 3.15kHz)1/3$ 옥타브 몇 개의 측정위치 혹은 마이크로폰	Leq1과 Leq2 동시 측정
	소음 감소 지수 $R_{\theta} = L_{1\theta} - L_2 + 10 \log \frac{4Scos\theta}{A}$			확성기 입사각 $\theta = 45^\circ$	안정적이고 광역밴드가 1/3옥타브밴드에서 여과 될 것이다.	음압레벨 옥타브 1/3옥타브	소음압력레벨 암소음레벨 잔향시간	(125Hz~2kHz)옥타브 $\alpha(100Hz\sim 3.15kHz)1/3$ 옥타브 몇 개의 측정위치 혹은 마이크로폰	

측정	결정 매개변수	국제 기준 /권장사항	실험 환경	source room(음원실)			수음실		관측
				소음/진동원	소음의 특징	측정	측정	측정 조건	
바닥의 충격소음 차음	규준화 바닥 충격음 레벨 $L_n = L_i + 10 \log \frac{A_2}{10}$	ISO 140/VI-1978	복합 연구실 (ISO 140/1 에 언급)	표준 Tapping Machine	최소 4곳에서의 반복 적인 충격	—	소음압력레벨 암소음레벨 잔향시간	(125Hz~2kHz)옥타브 $\alpha(100\text{Hz} \sim 3.15\text{kHz})/3$ 옥타브 몇 개의 측정위치 혹은 마이크로폰	옥타브 혹은 1/3옥타 브의 사용은 기록되어 야한다. 기중규준화바 닥충격음 레벨: $L_n.w$ 평가(ISO 717/2-1982)
	규준화 바닥 충격음 레벨 $L'_n = L_i + 10 \log \frac{A_2}{10}$ 표준 바닥 충격음 레벨 $L_{nt} = L_i - 10 \log \frac{T}{0.5}$	ISO 140/VII-1978	장내 측정	표준 Tapping Machine	최소 4곳에서의 반복 적인 충격	—	소음압력레벨 암소음레벨 잔향시간	(125Hz~2kHz)옥타브 $\alpha(100\text{Hz} \sim 3.15\text{kHz})/3$ 옥타브 몇 개의 측정위치 혹은 마이크로폰	상동. 기중규준화바닥충격음 레벨: $L'_n.w$ 평가 (ISO 717/2-1982)
일반 바닥위 마감재에 의한 충격음의 감소	충격음 레벨의 감소 $\Delta L = L_{n.o} - L_n$ $L_{n.o}$: 바닥 마감재가 없 을 때 규준화 바닥 충격 음 레벨	ISO 140/VIII	복합 연구실 (ISO 140/1 에 언급)	표준 Tapping Machine	민바닥과 마감재처리 후 바닥에서 최소 3곳 에서의 반복적인 충격	—	소음압력레벨 암소음레벨 잔향시간	(125Hz~2kHz)옥타브 $\alpha(100\text{Hz} \sim 3.15\text{kHz})/3$ 옥타브 몇 개의 측정위치 혹은 마이크로폰	측정에 사용된 밴드 의 범위는 모든 그래 프와 표에 제시되어 야한다.
측면 전달	측면요소 k, 면적 S_k 로 부터의 반사 세기 W_k $W_k = \rho c S_k \nabla_k^2 \sigma_k$ V_k =일반 표면 속도	공기 전달음 ISO 140/111 부록A ISO 140/V 부록B	복합 연구실 그리고	확성기 혹은 반응 소음원	안정적이고 광범위하 다.	입사음의 세기 W_i 옥타브 혹은 1/3옥타브	일반 표면속도	옥타브 혹은 1/3 옥타브	
	측면요소k에 따른 평균 소음압력레벨 L_k $L_k = L_{vk} + 10 \log \frac{4S_k}{A}$ L_{vk} =평균 표면 속도	충격음 ISO 140/VI 부록B ISO 140/VII 부록	장내 측정	표준 Tapping Machine	반복적인 충격	—	상동 잔향시간	각 측면요소에서 의 몇몇 위치	
파티션의 손실계수	총 손실계수 $\eta_{total} = \frac{2.2}{fT}$ $f=1/3$ 옥타브의 중심 주파수 T =파티션의 기계적 잔향시간	ISO 140/111 부록 ISO 140/IV 부록	복합 연구실 그리고 장내 측정	진동 반응기	안정적인 진동 레벨 1/3옥타브밴드에서의 백색잡음 발생기	1 / 3 옥 타 브 (100Hz~3.15kHz)에서 측정되는 진동 반감	—	—	