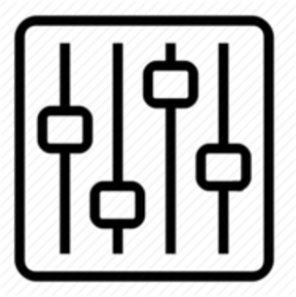
# 모두의 홈레코딩



http://wiki.homerecz.com

홈레코딩 위키

리버사이드 재즈 스튜디오

정승환

# 목차

# 룸 모드

**Room modes**, **부밍**과 **딥**

Room의 형태에 의해 이루어지는 특정 주파수들의 반사에 의한 공진, 공명

스피커 유닛의 주파수 반응은 이러한 룸의 반응에 의해 변형되어 부밍과 딥을 발생시킨다.

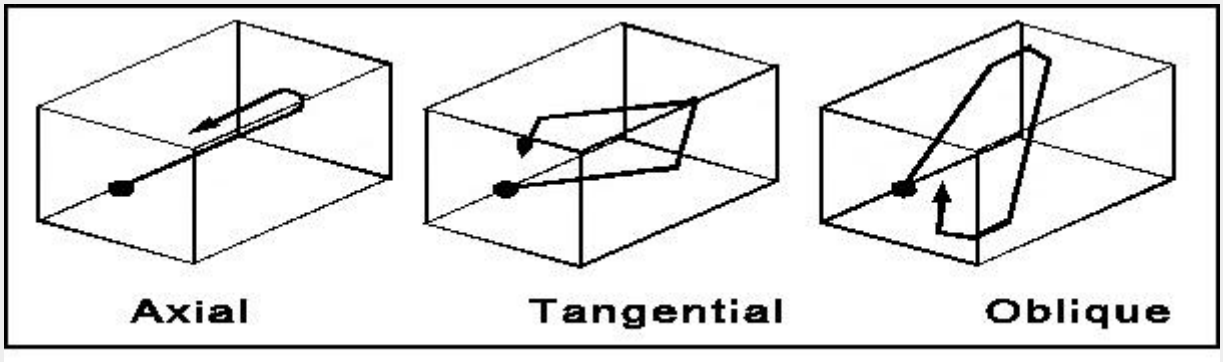
**스피커의 주파수 반응 X 공간의 룸 모드 = 공간의 재생 주파수 특성**

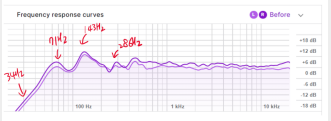
룸 모드는 방 안에서 발생하는 음향 현상으로, 공간의 크기와 형태에 따라 일어나는 음파의 간섭 현상을 의미합니다. 방 안의 벽면과 반사면 사이의 음파가 상호 간섭하여 특정 주파수에서 증폭되거나 감쇄되는 현상이 발생합니다.

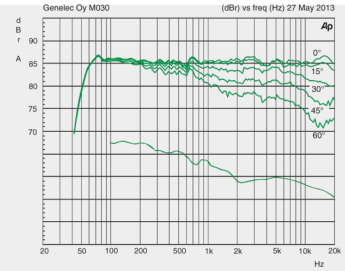
룸 모드는 주로 저음 주파수 범위에서 나타나는데, 이는 저음의 파장이 방의 크기에 비해 상대적으로 길기 때문입니다. 방의 벽면과 반사면에 반사되는 음파는 서로 상호간섭하여 일정한 위치에서 강화되거나 상쇄되는데, 이로 인해 주파수 응답에서 강조된 주파수와 감쇄된 주파수 구간이 발생합니다.

룸 모드는 음향 시스템 설계와 방 음향 조절에 영향을 미치는 중요한 요소입니다. 룸 모드가 발생하면 특정 주파수 대역에서 음향이 과도하게 증폭되거나 억제되어 주파수 응답이 부드럽지 못하고 불균일해질 수 있습니다. 이는 청취 경험을 저해하거나 음향 재생의 정확성을 저하시킬 수 있습니다.

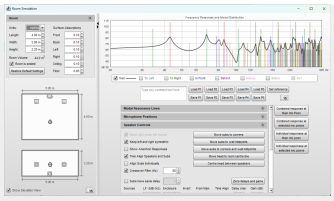
룸 모드를 관리하고 방 안의 음향을 최적화하기 위해 다양한 방법이 사용됩니다. 예를 들어, 음향 처리 장치를 사용하여 룸 모드를 교정하거나 음향 패널, 흡음재, 디퓨저 등을 사용하여 음파의 반사와 간섭을 조절합니다. 또한, 방의 크기와 형태, 가구 배치 등을 고려하여 룸 모드의 영향을 최소화하는 방향으로 방 설계를 수행할 수 있습니다.






스피커의 주파수



룸 모드

실제로 듣는 소리

# Room modes

Room modes are resonances caused by the reflection of specific frequencies due to the shape of a room. The frequency response of a speaker unit is altered by these room responses, resulting in the final sound reproduction characteristics in an actual space.

Speaker frequency response × Room modes = Acoustic frequency characteristics of the space

Room modes refer to acoustic phenomena that occur within a room, where sound waves interfere with each other based on the size and shape of the space. Sound waves that bounce between the walls and reflective surfaces of a room can interfere with each other, leading to amplification or attenuation of specific frequencies.

Room modes primarily manifest in the low-frequency range because the wavelength of low-frequency sound is relatively long compared to the room's size. Reflected sound waves that interact with each other can reinforce or cancel each other out at specific locations, resulting in emphasized and attenuated frequency ranges in the frequency response.

Room modes are a crucial factor that affects sound system design and room acoustics control. When room modes occur, certain frequency bands may be excessively amplified or suppressed, causing the frequency response to become uneven and non-smooth. This can compromise the listening experience and accuracy of sound reproduction.

Various methods are used to manage room modes and optimize room acoustics. For example, acoustic treatment devices can be used to correct room modes, and acoustic panels, absorbers, diffusers, etc., can be used to control sound wave reflection and interference. Additionally, room design can take into account factors like room size, shape, and furniture placement to minimize the impact of room modes.

## 룸 모드 공식

$$F=\frac{C}{2}\sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2+\left(\frac{q}{W}\right)^2+\left(\frac{r}{H}\right)^2}$$

- F : frequency

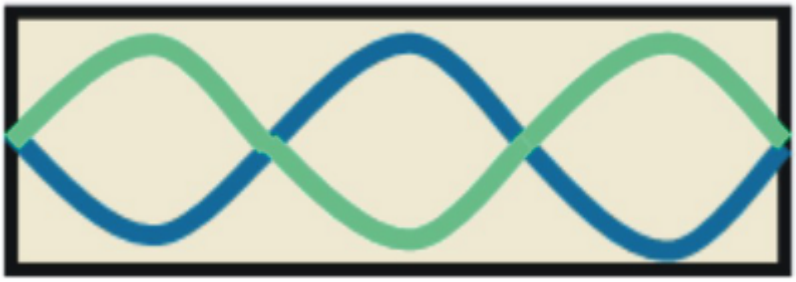
- C : 음속(340m/s)
- L, W, H : Length, Width, Height, Room 사이즈
- p, q, r : 구하고자 하는 스탠딩 웨이브의 차수 (1차 모드, 2차 모드, 3차 모드 ..)

위 공식을 잘 살펴보면 마주 보는 벽 사이의 간격을 파장으로 두는 주파수의 1/2 주파수(반파장)이 1차 스탠딩 웨이브임을 쉽게 알 수 있다.

# Modes

## 정재파

**Standing Wave**



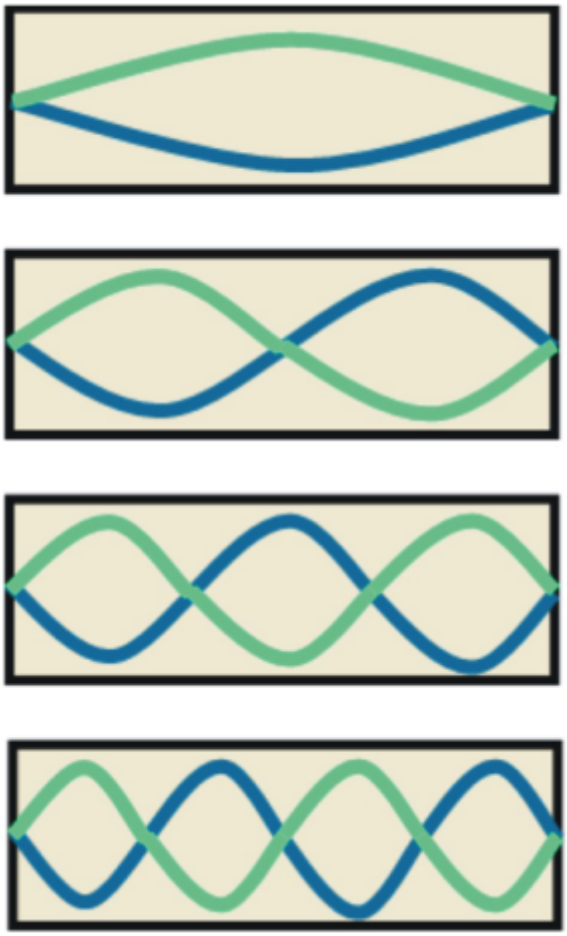
방의 벽면들이 마주보고 있기 때문에 소리가 반사되서 일정한 길이와 주파수가 맞아 떨어지면, 해당 주파수는 공진, 또는 상쇄를 일으킨다. 공진에 의한 주파수의 강조를 피크(부밍), 상쇄에 위한 주파수의 감쇄를 딥이라고 보통 이야기 한다.

룸 모드에 대한 공식에 따라서 3.4m의 간격을 두고 마주 보고 있는 두 벽 사이의 스탠딩 웨이브(1차 모드)를 계산 해보면

$F=\frac{340}{2}\times\sqrt{\left(\frac{1}{3.4}\right)^2}=49.99999999\,Hz$ 이다.

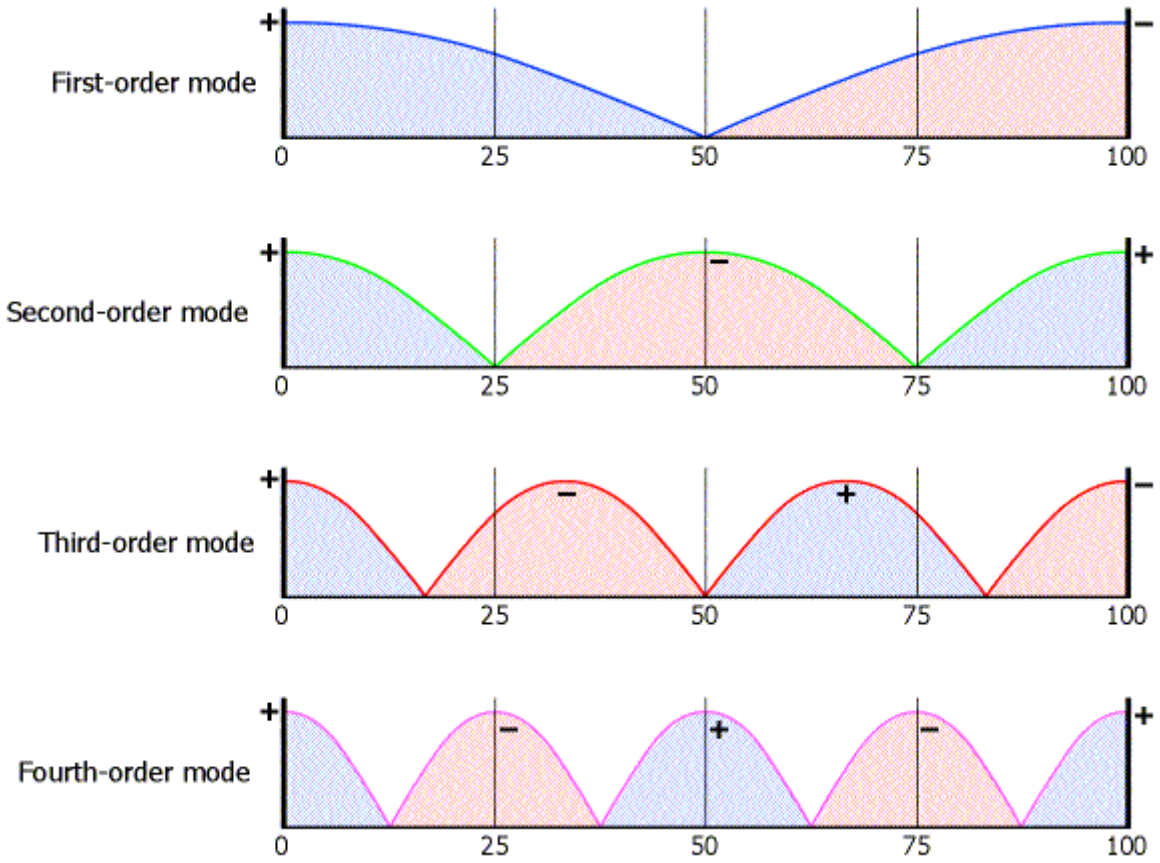
이 이야기는 즉 3.4m의 간격을 두고 마주보고 있는 벽사이의 스탠딩 웨이브의 주파수는 약 50Hz이기 때문에, 이 주파수에서 공진에 의한 부밍이 발생한다는 뜻이다.

이것은 1차 스탠딩 웨이브만 계산한 것이고, 2차, 3차…4차…5차..계속 이어지는 스탠딩 웨이브들은 정수배로 발생한다. 즉 100Hz, 150Hz, 200Hz… 등에서도 공진에 의한 부밍이 일어난다는 뜻이다.

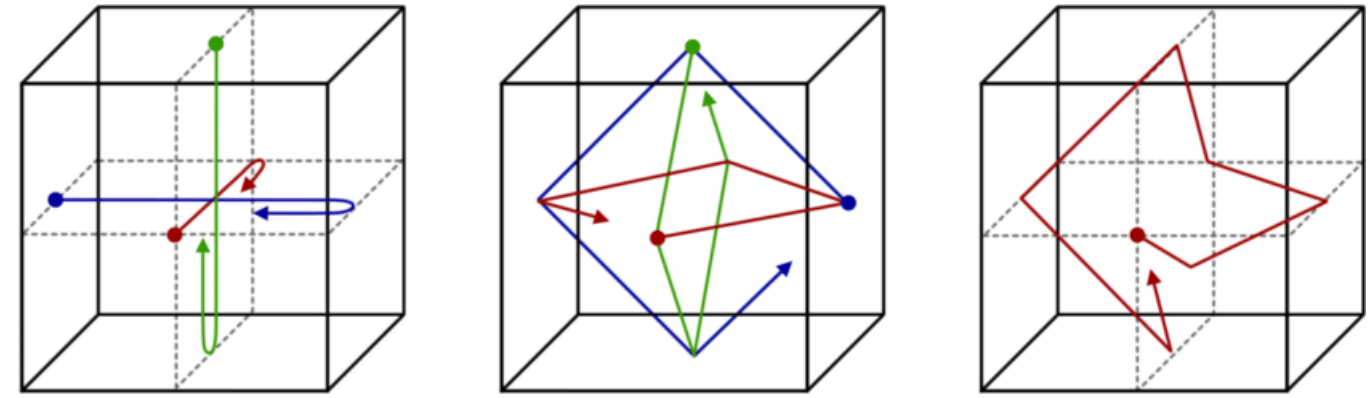


이렇게 스탠딩 웨이브의 주파수는 1차, 2차, 3차… 등등의 정수 배의 Mode의 형태를 띄기 때문에, 이러한 여러개의 정수배의 스탠딩 웨이브들을 Modes라고 한다.

즉, 아래 그림에서 개별적으로는 스탠딩 웨이브라고 하지만, 이것의 정수배의 그룹은 Modes라고 한다.




# 3가지 룸 모드




## Axial Modes

마주보는 2개의 벽에 의해 공진하는 스탠딩 웨이브들의 그룹. 경우의 수가 3가지[1] 밖에 없지만 가장 크게 공진한다.

## Tangential Modes

4개의 벽이 만들어 내는 복합 스탠딩 웨이브들의 그룹. Axial Modes에 비해 -3dB 덜 공진한다.

## Oblique Modes

6개의 모든 벽이 만들어 내는 복합 스탠딩 웨이브들의 그룹. 가장 영향이 작지만 가장 경우의 수가 많기 때문에 많은 주파수가 영향 받는다. Axial Modes에 비해 -6dB 덜 공진한다.

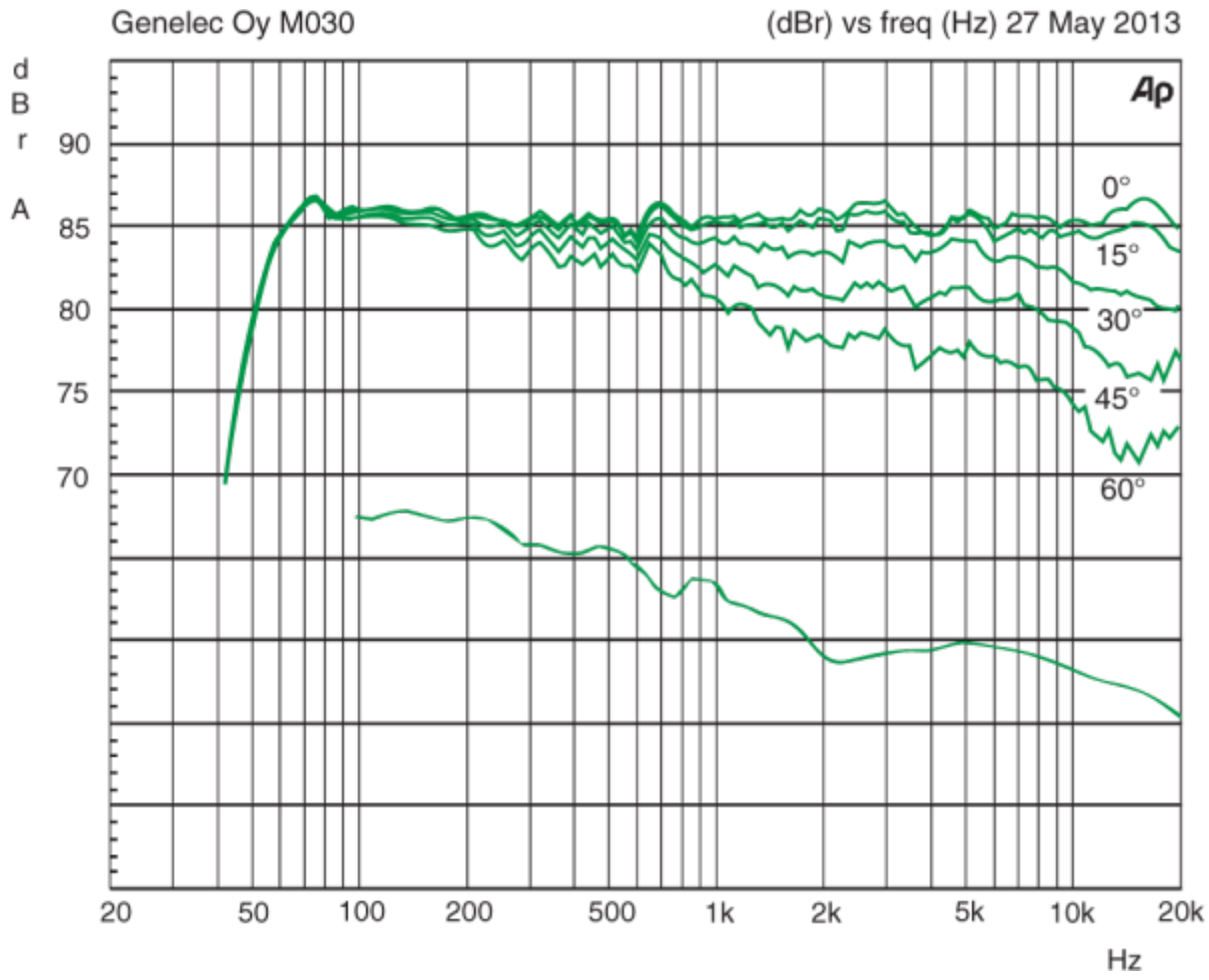
# 룸 모드 calculator

- https://amcoustics.com/tools/amroc
- http://www.sengpielaudio.com/calculator-roommodes.htm
- http://www.mcsquared.com/metricmodes.htm

## 룸 모드 계산 결과 해석

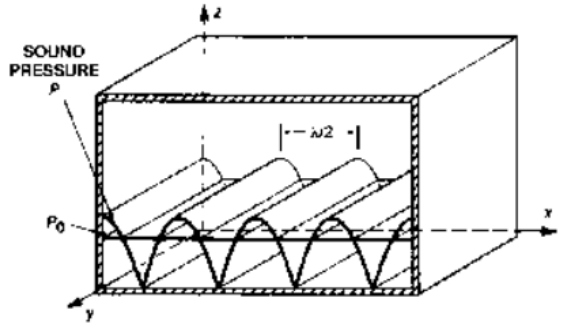
실제 있는 공간의 계산된 룸 모드 값들과 실제 측정 된 주파수 반응을 비교 해석했습니다.

일단 제조사에서 제공하는 이 스피커의 Free field 주파수 반응은 아래와 같습니다.




### Axial Modes

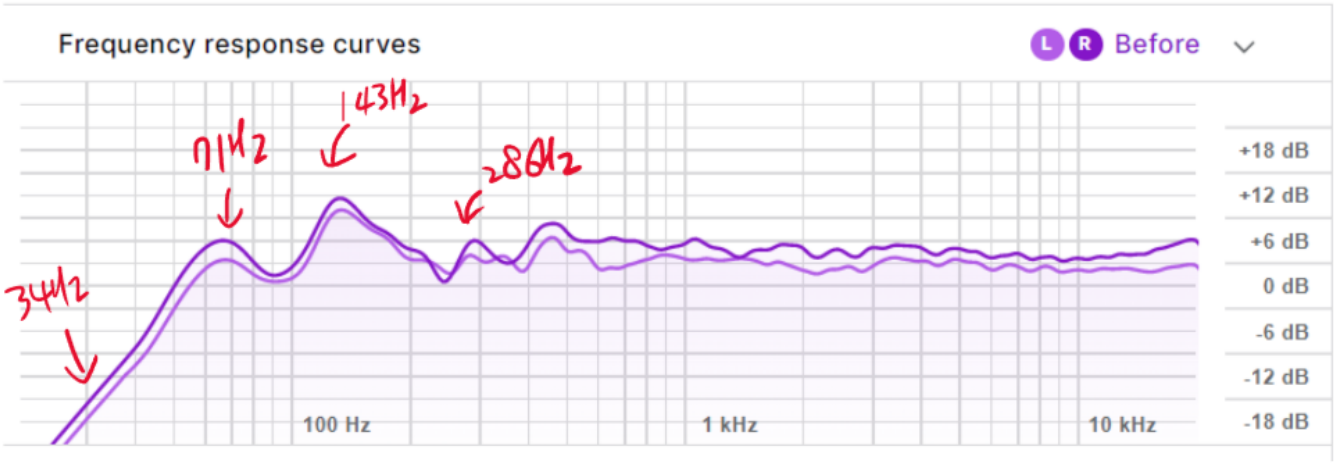
## Axial Room Modes




| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143.33333 | Hz | 34.4 | Hz | 71.666666 | Hz | 286.66666 | Hz | 68.8 | Hz | 143.33333 | Hz |
| 430 | Hz | 103.2 | Hz | 215 | Hz | 573.33333 | Hz | 137.6 | Hz | 286.66666 | Hz |
| 716.66666 | Hz | 172 | Hz | 358.33333 | Hz | 860 | Hz | 206.4 | Hz | 430 | Hz |
| 1003.3333 | Hz | 240.79999 | Hz | 501.66666 | Hz | 1146.6666 | Hz | 275.2 | Hz | 573.33333 | Hz |
| 1290 | Hz | 309.6 | Hz | 645 | Hz | | | | | | |

Axial Modes 는 가장 크게 영향을 미친다.

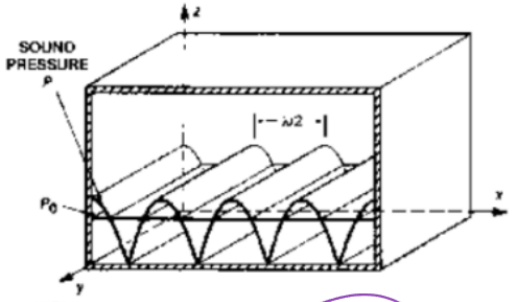
처음 나온 3가지 값은 각각 143Hz, 34Hz, 71Hz 로 각각 앞뒷벽, 좌우벽, 천장과 바닥에 대한 1차 스탠딩 웨이브들이며 가장 크게 공진하는 주파수의 위치라고 볼 수 있다.[2)]




실제 측정에서 잘 관측이 된다.

그 밖에 위의 Axial Modes예서 계산되어 나온 데이터 중에 유심히 봐야 할 것은 유난히 겹치는 주파수 대역을 살펴봐야 한다.

### Axial Room Modes



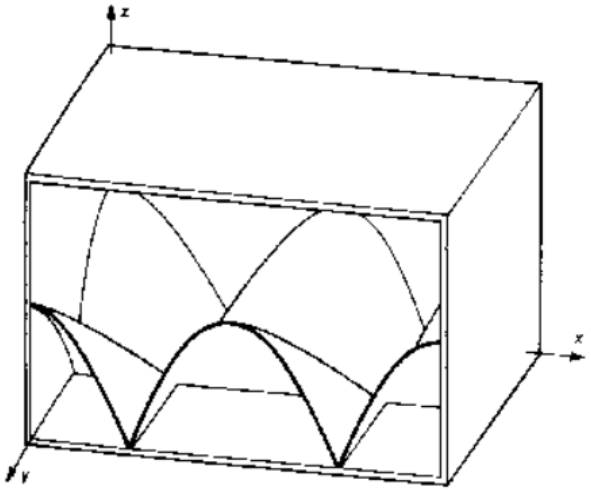

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 143.33333 | Hz | 34.4 | Hz | 71.666666 | Hz | 286.66666 | Hz | 68.8 | Hz | 143.33333 | Hz |
| 430 | Hz | 103.2 | Hz | 215 | Hz | 573.33333 | Hz | 137.6 | Hz | 286.66666 | Hz |
| 716.66666 | Hz | 172 | Hz | 358.33333 | Hz | 860 | Hz | 206.4 | Hz | 430 | Hz |
| 1003.3333 | Hz | 240.79999 | Hz | 501.66666 | Hz | 1146.6666 | Hz | 275.2 | Hz | 573.33333 | Hz |
| 1290 | Hz | 309.6 | Hz | 645 | Hz | | | | | | |

위에 결과에서 유난히 자주 등장하는 겹치는 대역의 주파수를 색깔 별로 표기 한 것이다. 측정 결과와 비교해보면 거의 일치함을 알 수 있다.

## Tangential Modes

### Tangential Room Modes

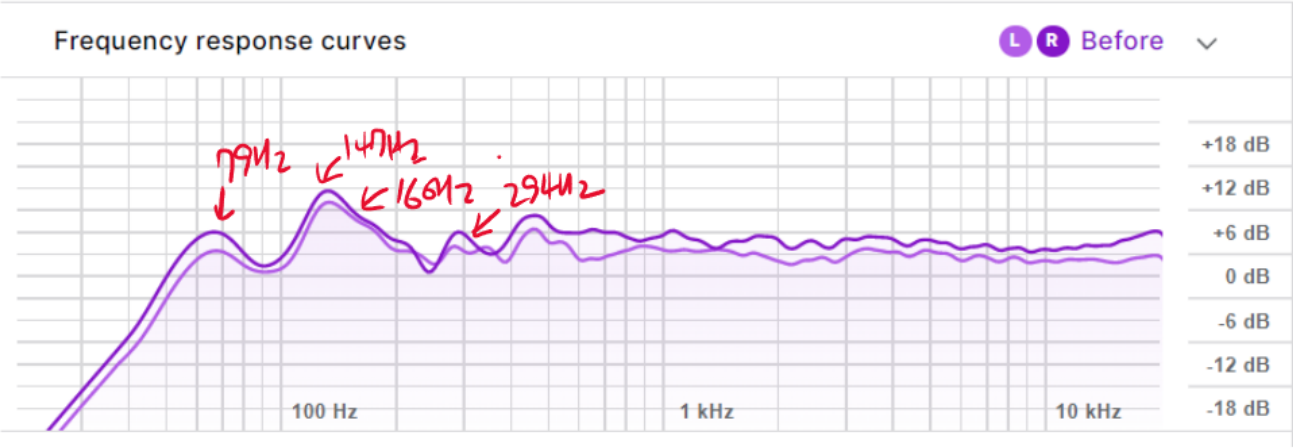
Tangential room modes have 1/2 of the energy of axial modes (-3dB). This calculator only plots tangential modes of the same order for each reflection in each plane (eg: 1,1,0: 1,0,1: 0,1,1: 2,2,0: 2,0,2: 0,2,2 etc.) which will not cover all possible modes. This is strictly a limitation in the file size of the javascript calculator and output plotting ability. If you want to find every possible mode, you'd need to take a more rigorous approach.




| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 147.40354 | Hz | 160.25153 | Hz | 79.495101 | Hz | 294.80708 | Hz | 320.50307 | Hz | 158.99020 | Hz |
| 442.21062 | Hz | 480.75461 | Hz | 238.48530 | Hz | 589.61417 | Hz | 641.00615 | Hz | 317.98040 | Hz |
| 737.01771 | Hz | 801.25769 | Hz | 397.47550 | Hz | 884.42125 | Hz | 961.50923 | Hz | 476.97060 | Hz |
| 1031.8247 | Hz | 1121.7607 | Hz | 556.46570 | Hz | 1179.2283 | Hz | 1282.0123 | Hz | 635.96080 | Hz |
| 1326.6318 | Hz | 1442.2638 | Hz | 715.45591 | Hz | | | | | | |

Tangential Modes 는 Axial Modes 에 비해 덜(-3dB) 영향을 미친다.

처음 나온 4가지 값은 각각 147Hz, 160Hz, 79Hz 294Hz, Axial Modes에 의한 증폭된 주파수에 조금 더 추가 된다.

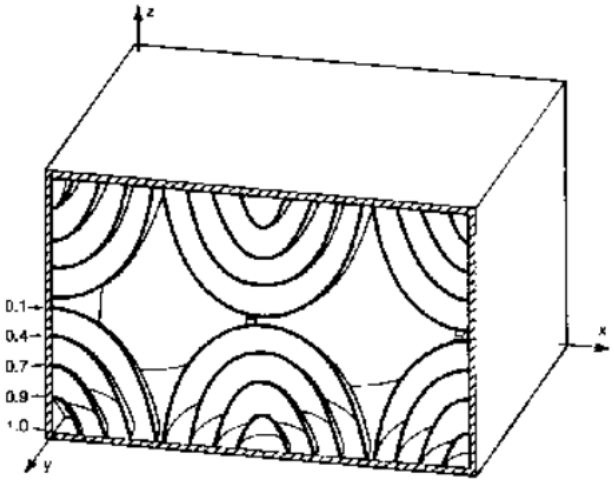



역시 실측정에서 잘 관측이 된다. Axial Modes 에 추가로 Tangential Modes 까지 추가 되어 이와 같이 된 것.

## Oblique Modes

### Oblique Room Modes

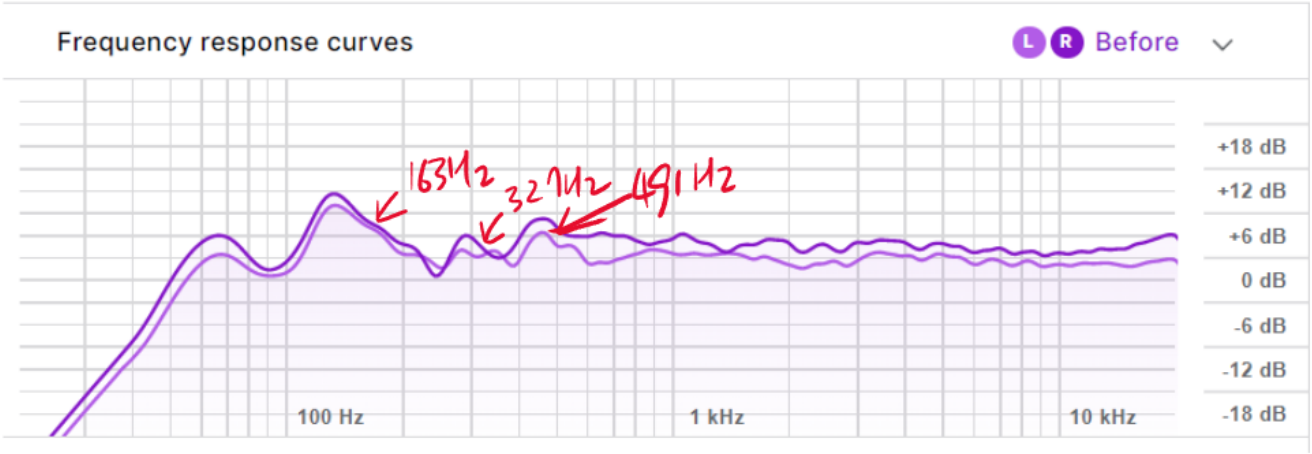
Oblique room modes have 1/4 of the energy of axial modes (-6dB). This calculator only plots oblique modes of the same order for each reflection in each configuration (eg: 1,1,1: 2,2,2: 3,3,3: 4,4,4 etc.) which will not cover all possible modes like 1,2,1 or 2,3,4 etc.. This is strictly a limitation in the file size of the javascript calculator and output plotting ability. If you want to find every possible mode, you'd need to take a more rigorous approach.




163.90215 **Hz** 327.80430 **Hz** 491.70645 **Hz** 655.60860 **Hz** 819.51076 **Hz** 983.41291 **Hz**
1147.3150 **Hz** 1311.2172 **Hz** 1475.1193 **Hz**

Oblique Modes는 큰 영향은 없다. (Axial Modes에 비하여 -6dB)

처음 나온 4가지 값은 각각 163Hz, 327Hz, 491Hz 이다.




실 측정에서 잘 관측이 되지만 크게 영향을 미치지 않은 것으로 보인다.

# Reference

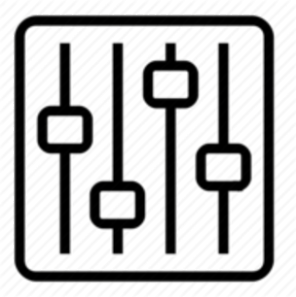
https://en.wikipedia.org/wiki/Standing_wave

룸 어커스틱
1)

앞뒤, 좌우, 천장과 바닥
2)

앞뒷벽, 좌우벽, 천장과 바닥의 3가지

# 모두의 홈레코딩



http://wiki.homerecz.com

홈레코딩 위키

리버사이드 재즈 스튜디오



저자 : 정승환(admin@homerecz.com)