

ACOUSTIC- geometrical acoustics(기하음향학)

Wave Theory and Normal Modes (음향 이론과 기본성질)

음향이론은 밀폐된 입체 공간 안에서의 파동(波動)¹⁾연구에 기초한다. 방안의 벽과 천장 그리고 다른 면들의 음향적 특성들을 수학적으로 기술하기 위해서는 경계조건들을 수립할 필요가 있다. 불규칙한 형상의 방이나 가구들을 포함하고 있는 방들의 경계조건을 결정하는 것은 어려우며, 이것은 정확한 분석은 극소수의 이상적인 조건일 때만 가능함을 의미한다. 비록 파동이론의 실제적인 적용은 매우 제한되어 있지만, 음향설계를 할 때 발생하는 문제점들을 해결하기 위해 기초이론을 반드시 숙지할 필요가 있다.

음향이론을 적용할 때, 실내는 음원이 방안으로 도입될 때 자극되는 여러 개의 고유진동을 지닌 복합 공명기²⁾로서 인식된다. 음원에 의해 발생된 음향 에너지는 실안에서 생성된 정재파³⁾에 남아있는 소리 에너지의 형태로 실내 상태를 자극하기 위해 작용한다. 이러한 진동의 주파수 특성은 실의 규모와 형태에 따르는 반면, 생성된 파동의 감쇠⁴⁾ 혹은 흡수는 경계조건을 따른다. 따라서, 각각의 실의 고유한 특성은 현재 실내에 있는 음원에 따른다.

Geometry Acoustics (기하음향학)

실의 면적이 파장에 비해 크다고 가정하면, 음파는 광학에서 다루는 광선과 같은 방식으로 고려되어질 수 있다. 이러한 상황은 건축음향에서 자주 발생하며, 특히 커다란 강당에서 그러하다. 빛과의 유사함을 좀더 알아보면, 음선⁵⁾은 반사법칙에 일치하여 단단한 평면 벽에서 반사되며, 또한 입사음과 반사음은 동일평면상에 있고, 입사각과 반사각은 같다. 같은 원리로, 곡면에 입사된 음선은 불록하게 나온 면에서 음을 확산시키고, 오목하게 들어간 면에서 음을 집중시켜 초점을 형성한다.

음선의 개념과 음선 경로의 기하학적 연구는 강당이나 커다란 방의 설계시 디자인 단계에서 발견되는 반향(echoes)⁶⁾과 플러터 효과⁷⁾의 문제점을 해결할 수 있게 해준다. 그러나 기하학적 접근의 한계점은 일반적으로 잔향음장에서 뒤따르는 음선이 사라지기 전인 1차반사 혹은 2차반사만 연구의 대상이 되며, 대부분의 밀폐된 공간에서 500Hz이상의 주파수로 제한된다.

- 1) 파동(wave motion) : 어떤 물리량이 주기적으로 변하면서 그 변화가 공간을 따라 전파되어 나가는 것
- 2) 공명기(resonator) : 임의의 기하학적 형상의 체적을 갖는 상자에서 어떠한 특정 주파수의 음압이 증폭되어 울리는 현상이 나타나며, 이를 총칭하여 공명기라 부른다. 그 예로써 좁은 목과 큰 체적을 갖는 헬름홀츠 공명기, 기타의 울림통 등을 들 수 있다.
- 3) 정재파(定在波), Standing Wave : 정재파는 한 지점에서의 파형이 다음 순간에 좌우로 진행하지 않고 정지되어 있는 파를 말하며, 한 지점에 있는 매질의 입자는 시간에 따라 일정한 진폭으로 진동하는데 진폭은 위치만의 함수가 된다. 일례로 진폭이 같고 진행방향이 반대인 두 정현파를 중첩하면 정재파가 형성된다.
- 4) 감쇠(damping) : 진동에 있어서 그 진폭이 시간의 경과에 따라 감소하는 것.
- 5) 음선(sound ray) : 음의 파면에 수직인 직선으로 나타내어진 음파의 진행 방향을 나타내는 선.
- 6) 반향(echo) : 소리의 지연된 반사(delayed reflection). 직접음에 연속하여 시간적으로 분리된 반사음이 존재하면 음이 이중으로 들리는 현상으로서, 반사음과 지연시간이 50ms 이상이 되면 에코로 느낀다.
- 7) 플러터효과(flutter effect) : 평행한 두 반사면 사이에서 단음을 냈을 때 반사음이 여러 번 반복하여 들리는 현상.

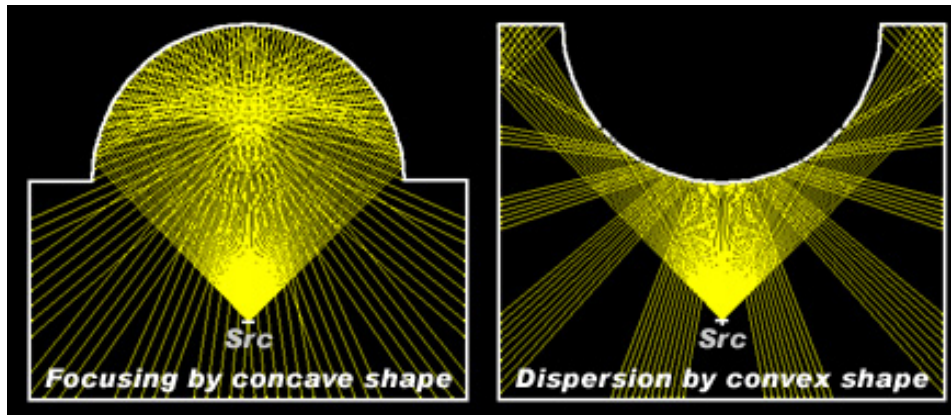


그림 1 - The effect of concave and convex shape on geometric sound rays

Using Geometric Acoustics (기하음향학의 적용)

통계적 방법(통계음향학)은 설계의 최초단계에서 유용하지만, 설계가 진행될수록 기하학적 정보가 보다 더 유용해진다. 건축가로서, 얼마나 많은 흡음재를 사용할 것인가도 중요하지만, 어떤 종류의 흡음재를 어느 위치에 사용해야 가장 좋은 효과를 볼 수 있는 지도 결정할 수 있어야 한다. 여기에는 반사된 음선에 대한 고려를 해야하는 곳에서 매우 유용하게 이용된다.

The Placement of Reflectors and Absorbers (반사재와 흡음재의 위치)

음파 경로를 분석하면, 반사판등을 이용하여 음을 보강해야할 부분과 흡음재등을 이용하여 음을 감쇠해야할 부분을 쉽게 결정할 수 있다. 강연에 관하여는 나중에 좀더 자세히 논의하겠지만, 일반적으로 초당 8음절 정도의 비율로 강연하는 것으로 고려한다. 즉, 각각의 음절은 125ms (0.125초)정도를 필요로 한다. 따라서 첫음절이 완전반사 하여 중간쯤에서 두 번째 음절이나 세 번째 음절과 만나면, 강연은 청중에게 쉽게 인식될 수 없다. Hass의 연구에 의하면 대부분의 반사음은 강연자의 음을 보강하기 위해서 50ms (0.05초)이내에 도착해야 한다(시간차가 50ms이상이면 두개의 소리는 마치 분리된 것처럼 들린다). 소리의 속도가 340m/s이므로 0.05초의 시간 차이는 직접음과 간접음 사이의 17m정도의 경로차이에 해당한다. 직접음과 간접음간의 이러한 차이는 음을 보강하는 효과가 있지만, 43m (340m/s×0.125)이상의 차이는 매우 불리하게 된다.

이와 같은 방법으로, 전체 강당공간으로의 반사경로를 최소화하는 반사판을 설계할 수 있으며, 반사가 지연되는 것을 최소화하는 위치에 흡음재를 위치시킬 수 있다.

Faults Attributable to Geometry(기하학적 형상으로 인한 음향 장애)

통계적 방법(통계 음향학)은 밀폐된 공간에서의 음향장애를 예측하는데 한계를 지니고 있다. 그 이유는 대부분의 장애가 밀폐된 공간의 형상으로부터 기인하기 때문이다. 도면에서 간단히 할 수 있는 형상분석을 통해서, 설계단계에서 이러한 문제점을 쉽게 수정할 수 있다. 실내의 형상에서 기인하는 일반적인 장애는 다음과 같다.

Spurious Echoes :

최초 신호의 강력한 반사가 수음자(receiver)에 의해 분명히 구별될 수 있을 때 발생한다. 이러한 현상은 밀폐된 공간의 내피를 면하고 있을 때 문제가 되며, 연속되는 면적이 크고 반사율이 높은 표면으로 반사되는 발생가능한 소리 경로를 방해한다.

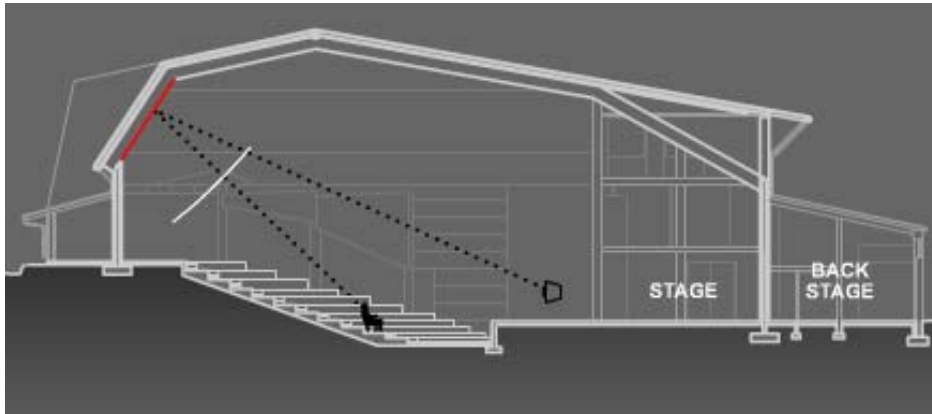


그림 2 - The effect of a strong reflection arriving very late compared to the direct sound can be perceived as a distinct echo

Picket Fence Echo :

이러한 현상은 원형 계단식 극장(원형경기장)의 조금씩 높아지는 좌석줄 혹은 곡면펜스에서 처럼 반사경로의 거리가 같을 때 발생한다. 단(段)의 수와 경로의 거리 차이에 따라서, 이러한 표면은 자극적인 음원에 부딪혔을 때 일정하게 마치 유리 부딪치는 소리(pinging sound)를 발생한다. 이러한 소리의 주파수는 다음과 같이 구한다.

$$F = c / (2d)$$

여기에서 :

c = 공기 중에서의 음속 (m/s)

d = 연속하는 단(段)사이의 거리 (m)



그림 3 - The reflected sound waves from repetitive elements can sometimes be detected as an audible 'pinging' sound

Flutter Echo :

음원과 수음자(receiver) 모두가 단단하고 평행한 두 표면사이에 위치할 때 발생한다. 음원에서 발생된 소리의 일부는 점점 약해지면서 사라질 때까지 계속해서 반사면 사이를 반복해서 진동한다. 청중은 이것을 불규칙한 소음으로 인식하게 된다. 벽 사이의 간격이 d 만큼 떨어져 있다면, 이러한 플러터 에코의 주파수는 위의 picket fence echo와 똑같은 방법으로 구할 수 있다.

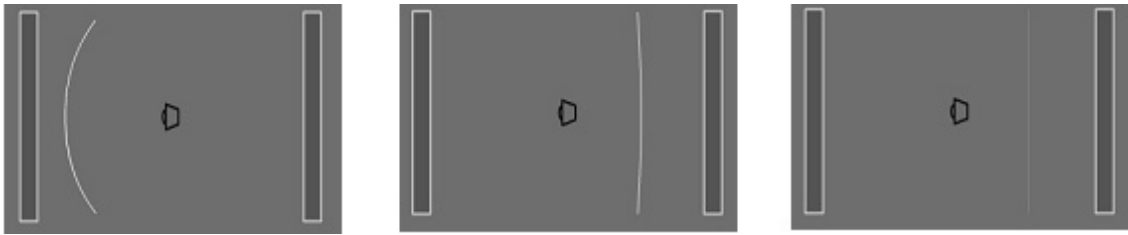


그림 4 - When sound energy gets trapped between two parallel reflective surfaces, a kind of 'flutter' can be detected by listeners.

Dead spots :

이러한 현상이 발생하는 지역은 반사표면과 매우 멀리 떨어져 있고, 흡음재를 통과한 소리를 받아들이는 부분이다. 예를 들면, 극장 관람석의 경사면 뒷좌석 부근으로, 소리가 청중을 거쳐서 오거나 천장에서 반사된 소리가 발코니를 통과한 후 들어오는 부분이다.



그림 5 - A acoustic dead spot can occur where the direct sound is not clearly audible and no secondary reflections are heard to reinforce it.