

Sound Propagation (소리 전달)

이 주제의 초점은 외부 소음 전달을 계산으로 차단하는데 있다. 전달률은 몇 가지 요소와 음원의 형태, 유효한 대기 상태, 표면 너머로 전도되는 장애물과 그 장애물의 존재에 따라 변화한다.

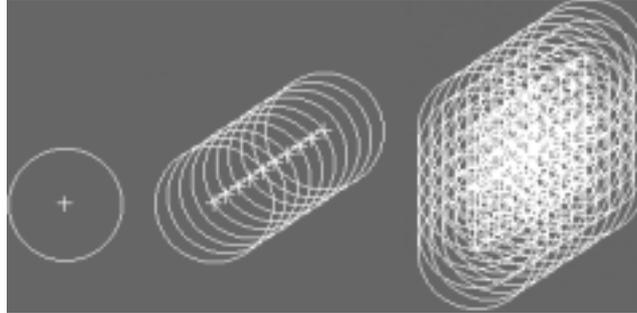


Figure 1 -소리 전달의 특징
점음원(왼쪽), 선음원(중간), 면음원(오른쪽)

Point Source (점음원)

기하학적 전개 결과 3가지의 이상적인 음원-점, 선, 면-이 있음이 잘 알려져 있다. 각각의 행동은 오로지 다음의 전제에 근거를 둔다. 균등한 중간의 하나의 점원으로부터의 소리 전달은 완전한 구형이다. 사실 어느 특정한 방향의 소리 에너지는 구형의 표면 면적 증가 시 반비례한다. 만약 계속적으로 측정되는 파워레벨의 점음원으로부터 1m에서 측정되는 음압레벨을 SWL(음압레벨, dB, SPL)이라 하면, r m(r는 항상-보통 1m 단위로- 측정 거리로 나누어진다.) 되는 거리에서의 음압레벨은 다음과 같다.

$$SPL = SWL_{pt} - 10 \log(4\pi r^2)$$

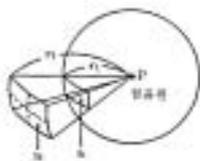
and

$$I = W / (4\pi r^2)$$

이는 다음과 같이 간단하게 쓸 수 있다.

$$SPL = SWL_{pt} - 20 \log(r) - 11$$

점음원¹⁾에서 기준에 반비례 제공하는 것을 알 수 있다. 이는 음파가 점음원일 때는 거리의 비가 2배 일 때마다 6dB씩 감소하는 것과 관련 있다. 만약 바닥이 매우 단단하고 반사적이라면, 대상은 이 바닥 반사율을 바탕으로 보정해야 한다. 이 경우 11은 8dB로 대체한다²⁾.



점음원

- 1) 점음원 : 실외와 같은 자유음장에서 점음원의 음파는 구(球)의 형태로서 모든 방향으로 일정하게 확산된다.

- 2) $SPL = SWL_{pt} - 20 \log(r) - 8$...반구면과 전파

Linear Source (선음원)

기본적인 이론에 따르면, 선음원³⁾과 면음원은 개별적인 점음원으로 평면적으로 무한하게 배치 구성된 것이라 여긴다.⁴⁾ 총체적인 반응은 최대의 길이나 면적 이상의 각각의 점음원으로부터 개별적 효과를 통합하는데서 찾을 수 있다. 무한대 길이의 이상적인 선의 경우, 그 결과는 완전한 원통모양의 비율에 가깝다. 사실 어떤 수직 방향에서 음 에너지는 원형의 경계로 반비례하며 증가한다. 위에서와 같이 같은 목적을 이용하면, 음압레벨은 다음과 같다.

$$SPL = SWL_{line} - 10 \log(4\pi r)$$

이 결과 거리의 비가 2배가 될 때마다 3dB씩 감소한다.

Plane Source (면음원)

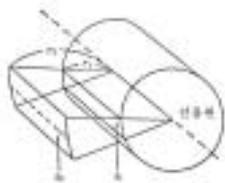
면음원은 2차원의 평평한 평면에서 무한대의 점음원을 구성한다. 따라서 면음원으로부터 음 파의 떨어지는 비율에 가깝다. 각각의 점음원의 음 에너지는 면에서 수직인 직선 비례로 가정하며, 이는 기하학적이지만 분포된 경우 파장이 전달하는 것처럼 표면면적을 분배하여 변화하는 것이 아님을 고려해야 함을 의미한다.

분명하게 유한한 면음원은 가장자리에 몇몇이 있다. 그러나 면의 중앙 근처의 가까운 범위에서 거리의 감소는 없다. 그러므로 음압레벨(the sound pressure level)은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SPL = SWL_{plane}$$

불행하게도, 대부분의 실질적인 선음원과 면음원은 유한적인 크기이다. 이는 그들의 초과적인 행동들은 명확한 정수가 됨을 의미한다. 이를 고려하면, 쉽게 다음을 가정할 수 있다. 매우 먼 거리가거나, 매우 작은 크기의 경우, 두 가지 음원은 마침내 이상적인 점음원에 근접할 것이다. 이는 음원들이 크기와 거리에 따라서 행동이 점차적으로 변화한다는 것을 암시한다. 음원의 크기를 나타낼 때, $r < a$ 일 때, 행동은 이상적으로(근거리에서처럼) 향하는 경향이 있다. 반면에 $r > a$ 일 경우 행동은 점음원(원거리에서처럼)의 하나로 움직이는 경향이 있다.

실 면적의 수치를 알 때, 음원의 형태는 대부분 실의 음향상태에서 찾을 수 있다. 이는 원



선음원

3) 원통의 표면적은 반지름에 비례하여 증가하고, 음의 세기는 음원으로부터 거리에 반비례하여 감소한다.

4) 선음원은 점음원의 집합이라고 할 수 있다.

거리 효과에 따라 달라짐을 고려한다. 사실 대부분은 비이상적인 음원은 복잡하게 다루어지는 것처럼 대부분의 이상적인 점음원으로 편리하게 표현된다. 그러나 암소음(주위소음, background noise)의 일반적인 음원은 평면 바닥을 가로질러 분포된 청중들 때문이며, 간단히 말해 이 문제는 완전한 중요도에 대해 고려해야 한다.

Non-ideal Sound Source (비이상적인 음원)

기본으로 Bloemhof 법칙을 이용하면, 유한의 선음원의 정수는 단순하며 다음에 표시된 방정식에 적용하여 이용할 수 있다.

$$SPL = SWL_{line} - 10 \log(b4\pi ar)$$

b는 수신기와 두 라인 끝으로 범위를 정한 각도이며 radian이다. $r < a$ 일 때, b는 $4a$ 에 r을 곱하여 log 한 결과로 π 를 향하는 경향이 있다. $r > a$ 일 때, b는 $\sin(b)$ 에 접근한다. 이는 또한 같은 비유로 (a/r) 로 접근하는 경향이 있다. 그러므로 만약 b를 (a/r) 로 대체시킨다면, 방정식은 원근 해결법으로 접근한다.

면음원에서 원형 형태의 기여는 직접적인 적분을 따른다. 이 경우, 유한 적분은 다음과 같이 간단하게 나타낼 수 있다.

$$SPL = SWL_{plane} - 10 \log(4\pi a^2 / \ln(1 + (a^2/r^2)))$$

Bloemhof는 다음을 보여주었다. $r > a$ 일 때, $\ln(1 + (a^2/r^2))$ 는 (a^2/r^2) 에 접근하며, 이는 원근 면에 가깝다. 반면에, 면음원의 근거리 면은 더욱 복잡하게 된다. 이 경우, $\ln(1 + (a^2/r^2))$ 는 $2\ln(a/r)$ 에 가까워진다. 사실 근거리 방정식의 결과는 다음과 같다.

$$SPL = SWL^* - 10 \log(1/\ln(a/r))$$

where :

$$SWL^* = SWL - 10 \log(2\pi a^2)$$

선음원과 면음원의 경향의 대부분은 외부 음향의 면적과 대화 소음에 있다. 이 상황에서, 일관되지 않는 음원은 종종 더 큰 중요성을 갖는다. 일관되지 않는 음원으로부터의 기하학적인 퍼짐은 위에 서술한 것과 비슷하다. 그러나 근거리 면의 사이즈는 더욱 크게 제한되어 있으며 직선적으로 더 낮은 비율을 갖는다. 일관되지 않는 음향 선음원의 경우를 예로 들면 이 경우 바쁜 철도 라인이나 주요한 도로를 포함한다. 비슷하게 면음원은 도시 진입 블록으로부터의 교통 소음을 통한 대중들의 잠담소리만큼 다양하게 고려해야 한다.

Atmospheric Effects (대기 효과)

Molecular Absorption (분자 흡음)

분자 흡음⁵⁾은 공기중간을 통과하는 결과로써 음의 세기를 감소시키는 경향이 있다. 그러나 분자 흡음의 메커니즘은 매우 복잡하다. 포괄적인 효과로는 다음의 3가지 요소로 구성되어져 있음을 고려할 수 있다. 전형적인 흡음, 회전 완화와 진동 완화를 들 수 있다. 산소 분자의 전형적인 흡음과 회전 완화는 빈번한 그들의 선형 관계 때문에 함께 고려해야 한다.

Classical Absorption (전형적인 흡음)

전형적인 흡음은 전형적인 약의 수송하는 과정으로부터 결과에서 불려지게 되었다. 즉 다시 말해 점도의 절단, 열적 전도, 매스 확산과 열의 확산이다.

Rotational Absorption (회전 흡음)

그러나 회전 흡음은 음파를 유발하는 압력의 변화에서 야기하는 분자에서 회전하는 에너지의 완화로부터의 결과이다.

Vibrational Relaxation (진동 이완, 완화)

가스의 분자로부터 진동 이완은 분자의 물리적인 이동을 통한 저장고보다 분자의 입사 에너지의 진동 저장으로부터 결과한다. 이 에너지는 대부분 즉시 이행된 에너지로 전환하며, 유한 시간 기간은 압력과 비중의 변화 사이에서 음파의 시간적 지체를 소개함을 알 수 있다. 그러므로 이 지체(lag)는 음향 파동의 세기에서 약간의 감소를 야기한다.

자연에서 두 분자 간에 즉, 산소와 질소의 진동 이완의 주된 효과는 다른 주파수를 발생한다. 들을 수 있는 스펙트럼의 더 낮은 부분에 있는 질소의 효과는 오직 최근에 예언하여 공식적으로 추가되었으며. 사실 많은 이전의 방법들은 1-2 kHz 보다 더 낮게 예상하여 흡음하는 경향이 있었다.

질소와 산소 분자의 진동 이완 주파수는 작은 범위로 공기 중 수증기의 작게 부수는 농도에서 주된 결정으로 흡음 압력과 온도의 기능을 한다. 흡음된 양에 따라서 수증기 함유량은 실질적으로 영향을 받지 않는다. 두 분자간의 이완 시간은 상당한 영향을 미친다. 이와 같이 들을 수 있는 스펙트럼의 영역에서 진동 주파수는 변화하기 쉽다. 사실상 어떤 부분적 시간에서 집중은 온도와 어떤 포화 상태의 샘플 공기에서 주어진 증발 압력에서의 부분적인 압력의 비율에 좌우된다.

NOTE:결과적인 효율은 m당 음의 세기가 감소됨을 나타낸다. 주안점은 분자의 흡음이 거리상 선형이지 log형이 아님을 고려해야 한다. 이와 같이, 기하학적 분포와 달라서, 효율은 거리의 증가에 더욱 중요하게 변하는 경향이 있다.

5) 흡음 (sound absorption) : 재료 표면에 입사하는 음 에너지가 마찰저항, 진동 등에 의하여 열에너지로 변하는 현상.

Prevailing Winds (효과적인 바람)

바람은 음원으로부터 바람이 부는 방향(순풍)으로 음을 증가 시킬 수 있으며 역풍으로 감소할 수도 있다. 이는 오로지 속도 효과의 결과뿐만 아니라 구형의 파장 앞면이 효과적인 바람에 의해 변화하는데 그 이유가 있다.

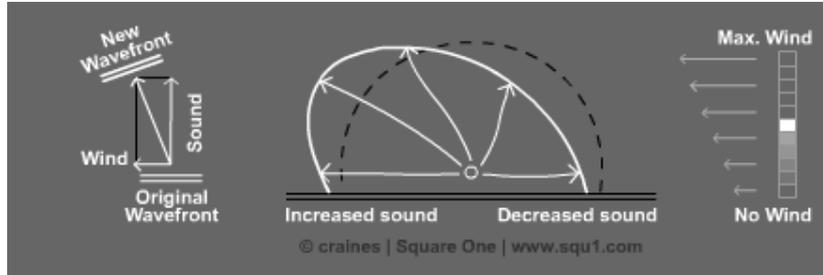


Fig 2. 음의 변형 비율에서 효과적인 바람의 효과
(오른쪽의 실린더를 이용하여 바람에 따라 변화하는 효과를 볼 수 있다.)

바람의 효과를 실질적으로 계산하도록 요청할 수 없을 때, 음의 굴곡의 결과적 radius의 값을 다음에서 구할 수 있다.

$$1/R = (((10/T^{1/2})(dT/dz)) + (du/dz))/(c(1 + u/c)^2)$$

- R = the radius of curvature (m),
- T = the temperature (K),
- z = the elevation (m),
- c = the speed of sound (m/s) and
- u = the wind speed vector in the direction of propagation (m/s)



지상의 바람은 공기 중으로 높이 올라갈수록 풍속이 커지는 경우가 많다. 바람 부는 쪽과 음의 방향이 반대가 되면, 음이 잘 전파되지 않는 그림자(shadow zone)가 생기지만 같은 방향인 경우는 멀리까지 음이 전달된다.

[바람에 의한 음의 굴절]

Temperature Gradients (온도 변화도)

앞선 토론에서 음의 속도는 온도에 따라 변화하는 것을 알 수 있었다. 높은 온도에서는 더 높은 속도로 이동한다. 이는 지표면 근처의 온도가 공중의 온도보다 더 높을 때, 음은 가볍게 위로 호를 그리는 경향을 갖는 것이다. 이로써 더 적은 에너지는 지표면으로부터 조금 떨어진 거리의 청취자에서 도달할 것이다. (음 에너지의 양으로 분배 면적은 증가한다.)

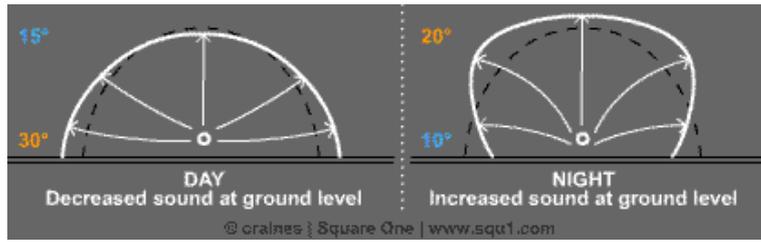
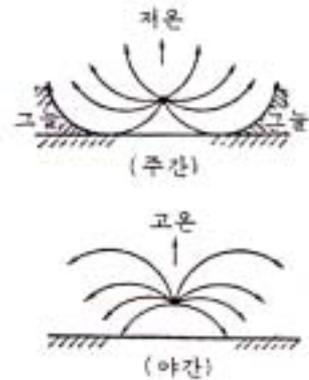


Fig 3. 음 전달에서 공기 중 온도에 따른 변화 효과

야간에 지표면이 공중의 공기보다 더 차가울 경우 반대의 경우가 발생한다. 소리 에너지는 원형을 그리며 아래로 향함을 알 수 있다. (음 에너지의 양은 분배 면적이 감소한다.)



대기 중의 공기는 정지한 상태로만 있지 않으며, 균일하게 분포되어 있지도 않다. 맑은 날씨의 주간인 경우의 대기는 지표면 가까이서 고온이 되며, 공중으로 올라 갈수록 저온이 된다. 또한 기온이 높을수록 음의 속도가 빨라지므로 옆 그림과 같은 음의 전파 특성을 보여준다.

[기온의 상하 분포에 의한 음의 굴절]