

우가 발생한다. (예를 들면, 불량하거나 부적합한 공시체의 관리로 낮은 공시체 강도값이 나왔을 경우, 균열이나 외관상 이상징후의 발견으로 콘크리트의 강도조사가 필요한 경우, 원 설계보다 높은 응력(구조물에 작용하는 허용하중의 증가 등)을 받는 상황에 처할 경우 등) 이러한 경우엔 콘크리트 강도와 철근의 위치, 크기에 대한 조사, 평가가 필요하다.

이러한 문제를 해결하기 위한 구조물의 콘크리트 강도를 측정하는 가장 일반적인 방법이 회전 다이아몬드 드릴로 코어를 채취하여 측정하는 것이다. (ASTM C42, BS1881 Part 4) 이렇게 채취된 코어(철근이 묻혀 있기도 함)는 물에 담근 후 캐핑을 하고 실험을 하며 채취된 코어에서 측정된 높이(h)/직경(d)의 값이 2.0이하인 경우엔 보정을 하게 된다. 그러나, 코어 테스트는 압축강도수준, 높이/직경비, 매립철근, 채취시의 천공작업에 의한 영향, 콘크리트 타설방향 등 결과에 영향을 줄 수 있는 변수가 많으므로 작업전에 충분한 사전준비를 해야 한다.

#### 4-2. 재하시험 (정적 재하시험)

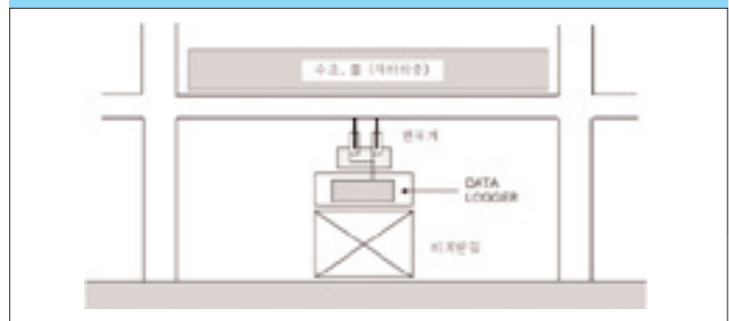
공사중에 큰 피해(예를 들면, 동해)를 받았거나, 상기한 모든 압축강도 시험으로부터 강도에 문제가 있다고 판단되는 경우, 구조물의 안전에 문제가 있다는 근거가 있는 의심이 생긴 경우에 재하시험을 하도록 규정하고 있다.

구조물이나 구조부재의 강성과 내력은 설계기준 및 시공상태에 의해 계산되는 것이 일반적이나 다음 경우와 같이 안전성에 대한 확인이 필요한 경우 책임기술자와의 사전협의를 거쳐 실제하중을 재하하는 재하시험 방법으로 구조적 안전성을 확인한다.

- ① 건물의 재료가 질적인 면에 결함이 있는 것으로 간주될 때
- ② 시공적 결함을 나타내는 근거가 있는 경우
- ③ 건물이 손상된 경우건물이 용도 변경될 경우
- ④ 건물이나 그 일부가 규준의 요구 조건을 만족하지 않을 경우
- ⑤ 구조형태에 대한 설계개념이 복잡하고, 경험부족으로 부재의 구조능능에 대한 구조해석의 결과가 불확실하다고 판단되는 경우

재하시험의 원리는 일정시간 동안 하중을 가한 후에 발생한 처짐량과 하중을 제거한 후에 회복되는 정도를 확인하는 방법을 통해 구조물의 안전성을 평가하는 것이다. 따라서, 충분한 시험시간이 요구된다.

■ 그림 16. 콘크리트 구조물의 정적 재하시험



그림은 당시의 목산빌딩(광화문플래티넘 현장) 철거시 수행했던 재하시험방법이다. 이때는 수조를 가설재로 제작하여 사용했는데 물을 하중으로 사용하는 것은 쉽지 않은 방법이었다. 이 외에도 철근, 시멘트 등을 사용하였으며 현장 여건에 맞는 방법이 필요하다.

■ 그림 17. 수조 설치 전경



■ 그림 18. 변위계 설치 전경



■ 그림 19. DATA LOGGER



재하하중으로 질량을 미리 알고 있는 소재를 사용하거나 특수한 방법(일본규준(JASS 5))으로 하중재하의 정확도를 기하기 위해 부재의 중앙에 오일잭을 이용하여 하중을 가하기도 한다. 일반적으로 사용하는 하중재하용 소재로 중량확인이 간편하고 작업량이 비교적 쉬운 시멘트 포(40kgf)를 이용하거나 수조에 물을 담아 사용한다. 토목 교량의 경우 중량을 알고 있는 덤프트럭을 사용하기도 한다. S

## ◎ 기술강좌

글 | 박철용 기술개발부 대리 02-3433-7731 이메일 | cypark@ssyenc.com

# 방음벽의 종류 및 음향설계

교통소음 저감을 위하여 방음벽을 설치하는 방법은 좁은 공간에 설치할 수 있고 시공이 용이하며, 대책효과도 크기 때문에 많이 이용되고 있으나 주변지역과의 조화 및 시각적인 측면이 함께 고려되어야 한다.

## 1 서론

최근 외국에서 행해진 지역소음조사에 따르면 소음레벨은 매년 1dB 정도의 비율로 증가하고 있으며, 이러한 증가의 주요 원인은 교통량 증가에 기인한 것으로 보고 있다. 따라서 물동량이 급속하게 증가하고 있는 우리의 경우도 신도시 건설이나 신설도로의 주요 환경책으로서 교통소음을 고려하여야 하며, 기존 도로변 지역에 대한 교통소음 저감대책도 적극적으로 강구하여야 할 것이다.

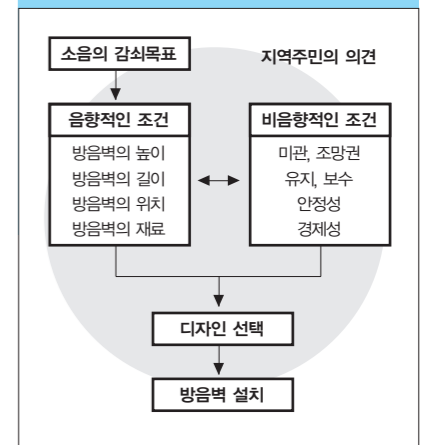
일반적으로 교통소음을 저감할 수 있는 방법으로는 소음원과 수음점 사이의 거리를 늘리는 방법과 도로변 지역에 방음벽, 방음독 등과 같은 차폐물을 설치하는 방법으로 나눌 수 있는데, 전자의 방법은 신설도로의 경우에 적합한 방법이지만 협소한 국토 실정과 토지이용의 극대화 등을 고려할 때 실현되기 어려우며, 특히 도시지역에는 적용하기가 거의 불가능하다. 후자의 방법은 좁은 공간에 설치할 수 있고 시공이 용이하며, 대책효과도 크기 때문에 많이 이용되고 있으나 주변지역과의 조화 및 시각적인 측면이 함께 고려되어야 한다.

## 2 방음벽의 계획 및 한계

방음벽의 소음감쇠목표는 <그림1>에 나타나 있는 것처럼 음향적인 조건에 의하여 결정되며, 이는 방음벽의 비음향적인 조건과 연계되어 최종적인 디자인이 선택된다. 소음에 의한 피해가 대부분 심리적이므로 감정적인 점을 감안할 때 방음벽 설계의 전과정에 지역주민의 의견이 반영되어야 방음벽의 효과가 극대화될 수 있다.

방음벽의 효과를 개략적으로 살펴보면 소음원과 수음점 사이에 시선을 차단할 정도의 높이로 설치된 방음벽의 감쇠효과는 약 5dB 정도이며, 지표면의 감쇠효과에 의해 1~2dB 정도 부가된다. 대부분의 방음벽은 10dB 정도의 감쇠효과를 얻을 수 있으며, 15dB 이상의 감쇠효과는 기대하기 어렵다. 따라서 저감 목표값이 20dB를 초과한다면 다른 방안을 강구해야 한다. 그리고 방음시설은 수음점에서 음원으로의 가시선을 직접 차단하지 않으면 감음효과가 거의 없기 때문에 도로, 철도 등에 인접한 고층건물의 경우 교통소음을 저감할 수 있는 범위는 아파트의 경우 5층 이하, 기타 건물의 경우 4층 이하로 함이 타당하다. 이 범위까지만 방음벽 등의 방음시설로 소음을 저감하고 그 이상의 고층에 대해서는 건축음향측면 및 교통정책측면에서 문제를 해결하는 것이 합리적이다.

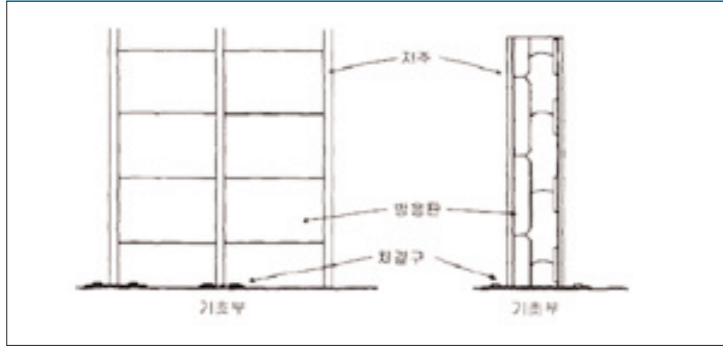
■ 그림 1. 방음벽의 설계과정



### 3 방음벽의 구조

방음벽은 일반적으로 <그림2>와 같이 기초부, 지주, 방음판의 3가지로 구성되며, 지면에 시공된 기초 위에 지주가 앵커볼트로 고정되어 이 지주에 방음판이 클립, 볼트 등으로 고정되는 형태로 시공된다.

■ 그림 2. 방음벽의 기본 구조



### 4 방음벽의 분류

방음벽은 기본적으로 소음의 전달경로상에 장애물을 설치하여 소음이 직접 전달 되지 못하고 우회경로를 통하여 전달되게 하여 전달경로를 길게 만드는 음의 회절 감쇠 특성을 이용하여 소음감쇠효과를 얻을 수 있다. 그러나 방음벽은 음원과 접한 면의 상태에 따라 벽 주변의 소음의 영향이 다소 달라지며, 이를 이용하여 방음벽의 효과를 극대화하기 위하여 여러 가지 형태의 벽면과 다양한 재료들이 사용되고 있으며, 각 특징에 따라 분류하면 다음과 같다.

#### 1) 벽면 또는 벽 상단의 음향특성에 따른 분류

종류	소음 저감의 원리 및 적용위치
반사형	- 방음벽면에서 음파가 대부분 반사하는 방음벽 - 반사음의 영향을 받지 않는 지역
흡음형	- 방음벽면에서 흡음의 원리를 이용하여 음파의 일부를 흡수하는 방음벽 - 설치지역에 제한을 받지 않는다.
간섭형	- 방음벽면 또는 상단에서 입사음과 반사음이 간섭을 일으켜 감쇠되는 방음벽 - 소음원이 수음원보다 높은 지역
공명형	- 방음벽면에 구멍이 뚫려 있고 내부에 공동이 있어 음파가 공명에 의한 흡음에 의하여 감쇠되는 방음벽 - 설치지역에 제한을 받지 않는다.

#### 2) 기능 및 사용재료에 따른 분류

기능별	재질별	형상
흡음형	금속제 방음벽	철판 또는 알루미늄 판내에 흡음재를 내장시킨 형태
	컬러형 방음벽	금속 방음판 표면에 특수 도장 처리하여 색채 조화성을 가미한 형태
	목재형 방음벽	원주 목재와 판 목재 사이에 흡음제가 내장된 형태
	콘크리트 방음벽	P/C 또는 시멘트 압출판 형태
반사형	투명형 방음벽	플라스틱제 투명판을 프레임에 고정시킨 형태
	목재형 방음벽	기압 방부 처리한 각목을 사용한 형태
간섭형	소음 감쇠기	소음이 회절 전파될 때 간섭 현상을 이용하여 소음을 저감하는 형태
	VeSS 공명형	패널 내부에 공명 흡음 구조를 만들어 감음을 유발하는 형태
공명형	방음블럭	시멘트 블록 형상을 이용하여 공명 흡음 구조를 만들어 감음을 유발하는 형태

### 3) 형상에 따른 분류

종류	특징	
직립형	노면과 수직으로 설치하여 회절 감쇠를 얻기 위한 목적으로 사용된다.	
절곡형	경사형	절도부 등 지하 구조의 도로 등에서 사용할 수 있다.
	꺾임형	방음벽의 높이를 낮추기 위하여 방음판의 윗부분을 음원측으로 꺾어 기울이는 방법으로 주로 도로에 사용하고 있다.
	역형	꺾임형과 같은 형태이며, 벽의 높이를 낮추어도 적립형 이상의 효과를 얻을 수 있도록 한 것이며, 철도의 소음 대책으로 사용할 수 있다.
원호형	꺾임형과 같은 효과를 가져오며 주로 경관을 위한 목적이나 운전자에 대한 압박감을 줄이기 위한 목적으로 사용하며 특수한 장소구조물, 철도에 설치하여 사용할 수 있다.	
방음터널	주변 지형여건상 방음벽으로 적절한 방음 효과를 얻기 어려운 지역에 사용된다.	

방음벽의 벽면에 사용되는 재료의 특성과 방음벽의 형상에 따라서 방음효과와 시공성, 경제성 등이 차이가 있으며, 그 성능을 비교하면 다음과 같다.

#### (1) 방음벽의 재질별 장·단점 비교

구분	금속재	투명형	목재	콘크리트
수음원 측 방음효과	○	○	○	○
소음원 측 방음효과	○	×	○	×
재료비	△	×	×	○
외관	△	○	○	×
시공성	○	○	×	×
내구성 및 유지 관리	○	×	△	○

#### (2) 방음벽 형태별 장·단점 비교

형태	방음효과	시공면적	시공성	설치비용	유지관리	
직립형	△	○	○	○	○	
절곡형	말단	△	×	△	△	×
	중간	○	△	△	△	×
	복수	○	×	×	×	×
터널형	◎	×	×	×	×	

### 5 방음벽의 음향설계

음파의 파장은 1.7m~1.7cm 범위이므로 큰 회절을 일으켜 장애물 뒤에도 쉽게 전달된다. 장애물 뒤로 회절되는 음의 세기는 파장이 클수록 크고 파장이 짧을수록 작다. 이와 같이 음이 전파되는 도중에 장애물이 있을 때 그 장애물이 파장보다 작은 경우에는 배후로 많이 전달되지만 파장에 비해 장애물이 아주

클 경우에는 회절은 현저하게 저하된다. 즉 고주파음은 낮은 벽으로도 효과가 있지만 저주파음의 경우에는 높은 벽이 아니고는 효과를 거의 기대할 수 없다. 따라서 방음벽 설계시에는 반드시 소음의 주파수분석을 실시하여야 하며, 도로, 철도 등 소음 발생원 주변에 방음벽을 시공할 경우 그 효과는 방음벽으로 사용된 벽체의 투과손실, 방음벽 상단과 측단을 통한 회절감쇠, 지표면 영향에 의한 감쇠, 방음벽 이외의 구조물에 의한 감쇠 등에 의해 결정된다.

#### 1) 방음벽의 투과손실

사용될 벽체의 투과손실은 1/3 옥타브 대역별로 방음벽에 기대하는 효과보다 10dB 이상은 되어야 한다. 일반적으로 방음벽 설치에 의해 기대할 수 있는 효과는 최대 15~20dB 이므로 사용 벽체의 투과손실은 25~30dB 이상 되어야 한다.

#### 2) 방음벽 설계시 음원 및 수음점

- ① 음원 : 무한길이의 선음원
- ② 음원의 높이 : 노면에서 0.5m
- ③ 방음벽에서 음원까지의 거리 : 가장 가까운 차선의 중심선까지의 거리와 가장 먼 차선의 중심선까지의 거리의 곱의 제곱근, 단 콘크리트 중앙 분리대가 있을 경우에는 편도 차선에 대하여 적용
- ④ 수음점 높이 : 지면 또는 보호대상지점의 바닥에서 1.5m

#### 3) 방음벽의 높이

방음벽의 효과는 주로 음의 회절감쇠에 의하여 얻어진다. <그림3>과 같이 벽의 길이가 무한히 길고 벽의 투과손실이 아주 크다고 가정하면 음이 수음점에 도달하기 위한 경로는 방음벽 상단을 넘어 회절하는 회절경로 뿐이다.

벽의 회절감쇠는 회절각에 관계되고 회절각이 클수록 감쇠량이 크다. 따라서 벽의 높이가 증가하거나 음원 또는 수음점이 벽에 가까울수록 회절각이 크게 되고 감쇠량이 커진다. 실제 회절감쇠량 계산에는 회절각 대신 경로차를 이용하여 계산한다. 경로차(δ)는 (식1)과 같이 음이 직접 전달될 때와 회절되어 전달될 때의 전파경로 차이로 정의된다.

$$\delta = (A + B) - d \quad \text{--- (1)}$$

회절감쇠에 의한 벽의 삽입손실의 크기는 경로차뿐만 아니라 해당 음의 주파수와 밀접한 관계가 있다. 실제 벽의 삽입손실은 (식2)와 같이 경로차와 음의 파장을 고려한 프레즈넬 상수(Fresnel Zone Number, N)로 구한다.

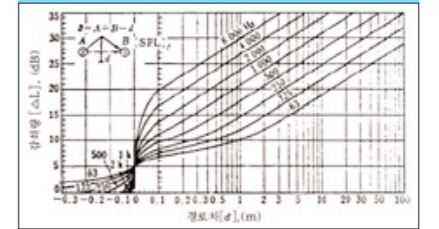
$$N = \frac{\delta}{\lambda/2} = \frac{\delta \cdot f}{170} \quad \text{--- (2)}$$

여기서, δ : 경로차, λ : 음의 파장 (= C / f), C : 음속(340m/sec), f : 주파수

이로부터 회절감쇠량, 즉 벽의 삽입손실은 다음 식으로 구할 수 있으며, 이것을 경로차에 따른 각 주파수별로 나타내면 <그림4>와 같다.

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{\sqrt{2\pi \cdot |N|}}{\tanh \sqrt{\pi \cdot |N|}} \right) + 5 \quad \text{--- (3)}$$

■ 그림 4. 방음벽의 삽입손실

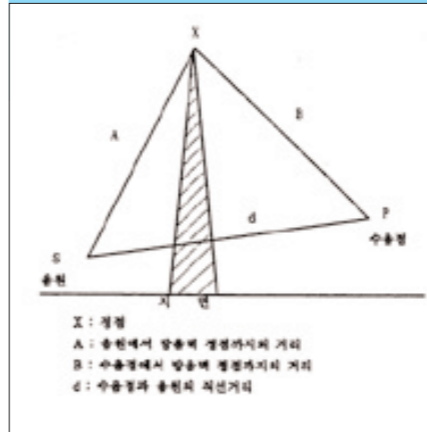


여기서, 주어진 식과 그림은 음원과 수음점이 자유공간에 있는 경우에 대한 것으로서 실제 건설현장은 음원과 수음점이 지상에 있는 경우이므로 f가 0 일 때 감쇠량이 0 이 되도록 상기의 값에서 5dB를 뺀 값을 이용해야 한다.

#### 4) 방음벽의 길이

일반적으로 방음벽의 삽입손실은 벽이 무한히 긴 것으로 가정하여 벽 상단부를 통한 회절손실만 고려하여 설계된다. 그러나 현실적으로는 방음벽의 길이가 유한하므로 벽의 양 측단으로부터 수음점으로 입사되는 음의 영향을 고려하여 이것이 벽의 상단을 통한 회절손실보다 충분히 크게 되도록 벽의 길이가 결정되어야 한다. S

■ 그림 3. 방음벽의 회절경로



◎ 참고자료  
 1. 정일록 외3인, 「최신 소음·진동 - 이론과 실무」, 신광문화사, 2002  
 2. 한국토지공사, 「단지내 도로교통소음 예측 및 개선에 관한 연구」, 2002  
 3. 한국도로공사, 「소음예측기법 및 방음시설 설계기준 연구」, 2001  
 4. 한국소음진동공학회, 「소음·진동편람」, 1995  
 5. 정일록, 「방음벽의 효과산정 및 설치현황」, 한국소음진동공학회지 제3권 제3호, pp.199~201, 1993.09