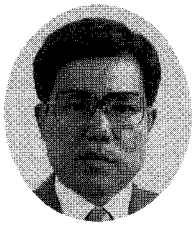
방음벽의 설계계산에 있어 PC의 이용에 대하여



李在宗
〈럭키엔지니어링(주) 기술부장〉

목 차

1. 서론
2. 방음벽의 설계
2.1 방음벽 설계시의 고려사항
2.2 방음벽 설계를 위한 계산식
(1) 소음의 거리 감쇠
(2) 직접음의 회절음 감쇠
(3) 수음측 지면에 의한 반사음의 감쇠
(4) 회절음과 반사음의 합성
(5) 계산결과 종합 및 검토
(6) 방음벽 설계시 유의할 점
3. 방음벽 설계계산 program
4. 설계계산 예
5. 결언
6. 참고문헌

1. 서론

우리의 주거환경은 공장 등 산업시설의 증가와 자동차 등 교통기관의 통행량 증가로 인해 소음이 크게 증가되어 쾌적한 생활환경이 파괴되고 있어 소음에 의한 공해가 심각한 문제로 대두되고 있다.

공해소음을 억제하기 위한 대책은 보통 소음발생원에 대한 대책, 소음전반 과정에 대한 대책 및 수음점에 대한 차음대책 등으로 분류, 검토되며 또 이 대책들을 적절히 종합하여야만 양호한 방음효과를 얻을 수 있다.

공해소음중 공장으로 부터 발생되는 소음과 같은 것은 공장자체의 내부적대책 즉, 자체대책으로도 어느정도 해결 가능한 경우가 많다. 그러나 차량통행시 발생되는 것과 같은 교통소음은 소음발생원인 차량 자체에 대한 소음 경감책 만으로는 소음경감에 한계가 있다. 따라서 이러한 내부적 대책으로 해결키 어려운 상태의 소음문제 해결을 위하여는 외부적 대책이 요구된다.

일례를 들면 도로교통소음과 같은 경우 외부적 대책으로 주로 소음전반 과정에 대한 대책인 회절감쇠를 이용하는 방음벽을 소음원과 수음점 사이에 설치하는 방법이 많이 사용되고 있다. 또 이에 추가하여 회절감쇠치 증가 및 음의 반사를 억

제키 위해 방음벽에 흡음재의 사용 등 대책도 병행한다.

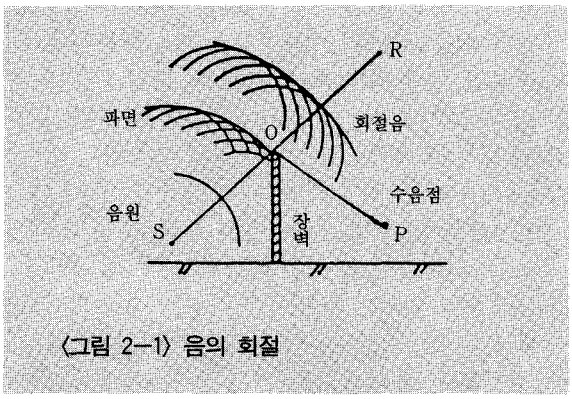
공해소음에 대한 대책을 수립함에 있어 방음벽의 경우를 예로 들면 설계계산은 벽의 높이를 변화시켜 그회절감쇠치가 필요한 감쇠치에 도달할 때까지 조건을 여러가지로 변화시켜 수차 반복적으로 하고 또 이들을 종합 검토하여 최적치를 설정해야 하므로 복잡성과 어려움이 따른다. 이러한 복잡한 계산에는 computer를 이용하면 신속하고, 정확한 계산치를 얻을 수 있고 편리하므로 PC를 많이 사용하고 있다. 그러므로 본고에서는 소음문제에 관여하는 분들에게 다소나마 참고가 될 수 있게 하기 위하여 공해소음에 대한 대책으로 방음벽을 채용할 시 이의 설계계산에 PC의 활용에 관하여 간단한 program을 첨부, 예를 들어 기술하였다.

2 방음벽의 설계

2.1 방음벽 설계시의 고려사항

방음벽의 기능은 음파의 회절현상에 기본을 두고 있다. 음은 파장이 1.7cm에서 17m 정도나 되고 회절작용을 하며 벽을 타고 넘어 벽뒤로 전파된다.

소음원과 수음점의 사이에 벽을 설치하면 소음의 파동은 벽의 상단에서 회절하며 전파되어 수음점에 도달하게 되고 이때 음은 감쇠를 일으켜서 수음점에서 소음level이 저하된다. 음이 회절하는 파동의 세기는 음의 파장이 클수록 증가하고 파장이 짧을수록 감소한다. 그러므로 고주파음일 경우에는 음의 회절이 적어져서 높이가 낮은 벽으로도 방음효과가 있지만 저주파음인 경우에는 반대로 벽의 높이가 높지 않으면 방음효과가 적게 된다. 따라서 경제적인 방음벽의 설계를 위해서는 소음의 주파수 분석 결과를 다른 조건들과 함께 종합검토하여 방음대상 주파수 범위를 필히 설정함이 중요하다.



〈그림 2-1〉 음의 회절

방음벽의 설계시 고려되어야 할 사항을 들면 다음과 같다..

1) 소음의 주파수 분석
2) 소음의 지향성
3) 음원과 수음점간의 거리감쇠
4) 벽에 의한 음원과 수음점간의 위치에 따른 직접음의 회절감쇠
5) 음원과 벽의 정점 및 수음점의 경상을 지나는 반사음의 회절감쇠
6) 벽에서의 투과손실(회절음 감쇠치보다 10dB 정도 큼이 바람직 함)
7) 벽에 의한 소음의 종합감쇠
8) 벽에 의한 감쇠치의 최대한계(25dB 정도)
9) 벽 내측의 흡음성
10) 수음측에서의 반사음
11) 수음점의 소음허용치(또는 규제기준치)
12) 음원 및 수음점 소음기준치의 단위

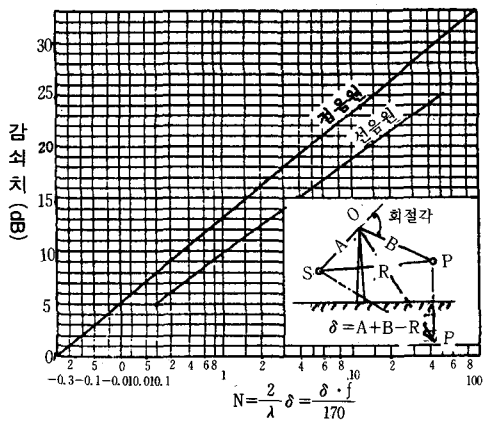
방음벽의 설계계산을 할 때에는 상기 사항들을 종합 고려함이 요구된다.

그러나 본고에서는 계산예의 복잡성을 덜기 위하여 음장을 자유음장으로 보고 소음을 무지향성으로 보고 또 벽의 투과손실이 충분하고 수음측 건물과 벽체에서 음의 반사가 없는 것으로 간주하여 기술하였다.

2.2 방음벽 설계를 위한 계산식

(1) 소음의 거리감쇠

방음벽의 설계시 거리감쇠는 보통 음원을 무지향성 점음원으로 가정하고 또 음장을 소음의 전파를 방해하는 장애물이 없는 역2승법칙(Inverse Square Law)이 만족되는 자유음장으로 보고 직접음에 대해서만 생각하여 계산한다.



λ : 파장(m), f : 주파수(Hz), N의 정부 : S와 P가 내다볼 수 없을 때 정, 병풍 이 낮고 S와 P가 내다볼 수 있을 경우는 부의 값을 취한다. N<−0.3의 경우는 감쇠치 0으로 한다.

〈그림 2-2〉 병풍에 의한 우회음의 감쇠치 (자유공간반무한 장벽)

소음의 음원으로 부터 거리에 따른 감쇠에 대한 기본 계산식은 다음과 같다.

$$SPL \fallingdotseq 10\log\left(\frac{WQ}{4\pi R^2}\right)$$

$$= 10\ell\,ogwo^{w} + 10\ell\,og\left(\frac{Q}{4\pi R^2}\right)$$

$$= PWL + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi R^2}\right) \quad \text{---------- (1)}$$

여기서, SPL : 수음점에서 음압 level, dB
PWL : 음원의 음향 power level, dB
W : 음원의 음향 power, W
W_o : 기준음원의 음향 power, 10^{-12}W
R : 음원과 수음점간의 거리, m
Q : 음원의 위치에 따른 지향계수 (directivity factor)

(2) 직접음의 회절음(우회음) 감쇠 계산

방음벽에서 음원과 수음점의 위치에 따른 직접음의 회절감쇠치, Ld는 다음과 같이 계산할 수 있다.

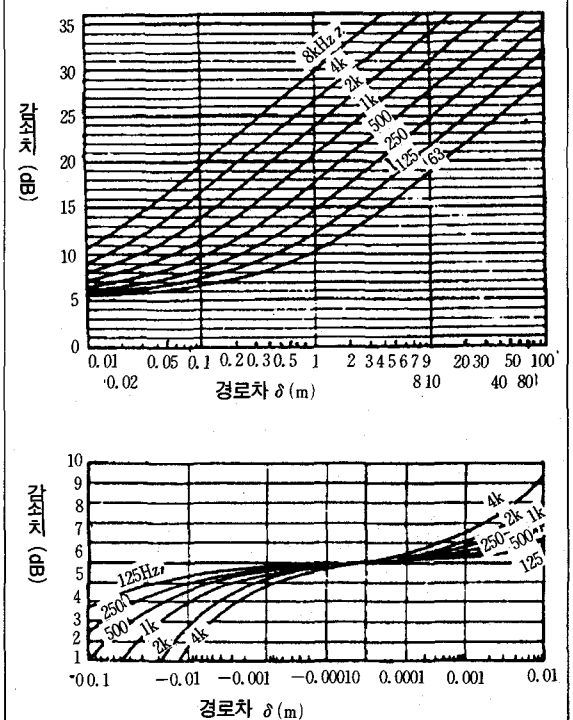
음이 전달할때는 방음벽의 유무 및 높이에 따라서 그 전파경로에 거리의 차가 있게 된다. 이때 음의 전파경로는 그림 2-2에서와 같이 음원, 방음벽(두께가 무한히 얇은 벽)의 정점 및 수음점을 서로 연결하는 삼각형의 변과 같이 생각할 수 있다.

방음벽의 설치 여부에 따른 음의 전파경로의 거리차 즉, 방음벽이 있는 경우 방음벽 상부 선단 부분을 우회하는 음과 방음벽이 없을 경우 직진하는 음과의 전파경로차를 δ라고 하면 이 δ와 음파의 파장과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \fallingdotseq \frac{2\delta f}{340} = \frac{\delta f}{170} \quad \text{---------- (2)}$$

여기서, N : Fresnel Number
f : 대상회절음 주파수, Hz
λ : 음의 파장, m
δ : 음의 전파경로차, m

위의 N 값의 크기는 방음벽에서의 회절감쇠치



〈그림 2-3〉 영문차에서 점음원에 대한 반무한 방음벽의 감쇠치

에 거의 대수학적으로 비례하는 관계를 갖고 있다.

음원이 무지향성 점음원이고, 음원이 자유공간에 있고 음의 전파에서 역2승법칙이 성립한다고 가정하면 방음벽에 의한 직접음의 회절감쇠치는 관련 그림 또는 식을 이용, 다음과 같이 근사치로 구할 수 있다.

1) N과 음의 감쇠치와의 관계 그림으로 부터 읽어 구한다.(그림 2-2)

2) 음의 전파경로차, 음의 중심 주파수 및 음의 감쇠치 관계 그림으로 부터 읽어 구한다.(그림 2-3)

3) N과 음의 감쇠치와의 대수학적 관계식을 이용, 근사치를 계산한다. 이 경우 식은 다음과 같으며 감쇠치가 25dB 미만 일때 적용이 바람직하다.

$$\Delta L = 5 \pm 20\log - \frac{\sqrt{2\pi\,|N|}}{\tanh\sqrt{2\pi\,|N|}} \qquad (3)$$

$$\Delta L = 10\log(20N) \qquad (4)$$

여기서, $N \geqq 1$

(3) 수음측 지면에 의한 반사음의 감쇠

음이 전파될때 방음벽의 정점에서 회절된 음이 수음측 지면에서 완전반사된다고 할때 반사음의 회절감쇠. L_r는 음이 음원과 방음벽의 정점 및 수음점의 경상을 지닌다고 생각하며 계산한다. 이 경우 역시 음의 전파경로에 거리차이를 갖게 되며 이 경로는 음원, 방음벽의 정점 및 수음점의 경상을 연결하는 삼각형의 변처럼 생각할 수 있다. 반사음에 대한 회절감쇠치는 음의 전파경로 거리차와 Fresnel Number를 구하고 상기(2)항에서와 같은 방법으로 구할 수 있다.

(4) 회절음과 반사음의 합성

방음벽이 있는 경우 수음점에서 소음의 합성감쇠치, ΔLd는 방음벽의 상부 선단부분으로 부터 직접 전파되어 오는 음파의 우회음(회절음)과 지면에 의하여 반사되어 오는 음파의 감쇠치와의 합이 된다.

수음측의 지면에서 음이 반사되는 경우 반사음에 의해 수음측에서 음압의 상승이 발생하게 된다. 이때 반사음과 회절음을 각각 L_1, L_2 라고 하면 음압상승(ΔL)은 다음의 식을 이용, 두음의 합성치를 구해서 추정할 수 있다.

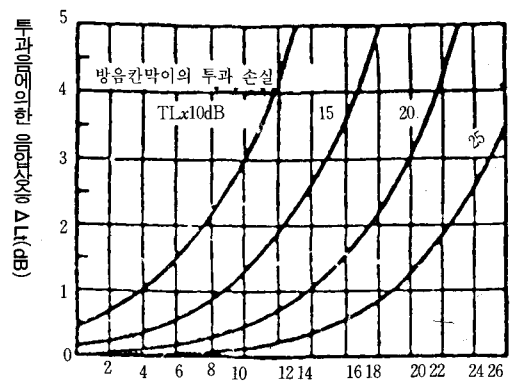
$$\Delta L = -10\log\left(10^{-\frac{L_1 - L_2}{10}} + 1\right) \qquad (5)$$

방음벽에서 반사음에 의한 음압상승을 고려할시 방음벽에 의한 음의 종합적인 감쇠처는 직접음의 회절에 의한 감쇠치 보다 적어진다.

위의 식(5)에서 두음의 합성시 음압의 상승치를 미리 계산한 값은 표2-1과 같다.

〈표 2-1〉 합성음의 보정치

$L_1 - L_2$	$10\log_{10}(1+10^{-(L_1-L_2)/10})$
0dB	3.0dB
1	2.5
2	2.1
3	1.8
4	1.5
5	1.2
6	1.0
7	0.8
8	0.6
9	0.5
10	0.4
11~13	0.3



〈그림 2-4〉 방음벽의 투과음에 의한 음압상승

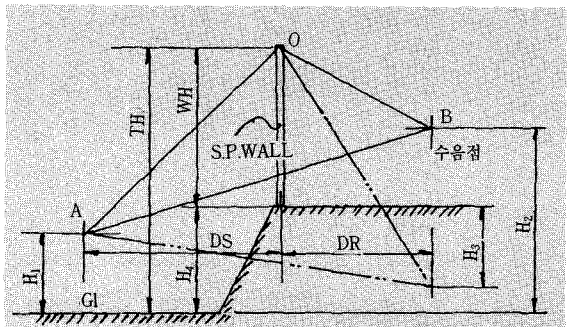
또 방음벽 자체의 투과손실이 합성감쇠치에 미치는 영향을 고려하면 투과손실이 충분치 못하면 투과음에 의해서도 음압상승을 일으키게 되어 방음을 위한 감쇠치를 저하시킨다. 즉 투과손실이 클수록 회절음에 주는 영향이 적게 된다.

예를 들면 그림2-4에서, 방음벽에서 투과음에 의한 음압상승의 허용치를 1dB 이내로 하려면 방음벽의 투과손실은 방음벽에 의한 회절감쇠치 보다 6dB 크게 함이 좋으며, 만약 허용치를 0.5dB 정도로 하려면 투과 손실은 회절감쇠치 보다 10dB 크게 함이 필요하다. 방음벽의 투과손실이 회절음의 감쇠치 보다 10dB 이상 클 때에는 소음의 투과문제는 고려치 않아도 되며 이 경우 소음의 합성 회절감쇠치는 방음벽의 설치에 따른 삽입손실치(Insertion Loss)가 되며 다음의 식(6)으로 계산한다. 그러나 방음벽의 투과손실치가 회절음의 감쇠치 보다 10dB미만 크거나 적을 경우에는 소음의 합성회절감쇠치에 이 투과손실치의 영향도 추가 고려하여 삽입손실치를 계산함이 필요하며 이때는 식(7)로 계산 한다.

$$\Delta Ld = -10\log(10^{-\frac{Ld}{10}} + 10^{-\frac{Lr}{10}}) \quad \text{(6)}$$

$$\Delta LI = -10\log(10^{-\frac{\Delta Ld}{10}} + 10^{-\frac{TL}{10}}) \quad \text{(7)}$$

여기서, ΔLd : 소음의 합성회절감쇠치, dB
ΔLI : TL 고려시 삽입손실치, dB
Ld : 직접음의 회절감쇠치, dB



〈그림 2-6〉 방음벽부위 치수

방음벽 설치에 의한 감음대상량 설정치는 음원과 수음점에서의 음압 Level 차에서 음의 거리감쇠를 제한 값과 같다. 방음벽의 설계시에 대상 감음량계산은 Octave Band 분석치를 기준으로 하고 또 수음점에서의 음은 허용기준치(또는 규제기준치)를 기준으로 하여 계산한다. 계산 결과는 Octave Band 별로 다음의 관계가 만족되어야 한다. 만약 그렇지 못할 경우에는 방음벽의 높이를 조정, 반복 계산을 하며 적정 높이의 방음벽이 되도록 해야 한다.

Lr : 반사음의 감쇠치, dB
TL : 방음벽의 투과손실, dB

(5) 계산결과 종합 및 검토

방음벽 설치에 의한 감음대상량 설정치는 음원과 수음점에서의 음압 Level 차에서 음의 거리감쇠를 제한 값과 같다. 방음벽의 설계시에 대상 감음량계산은 Octave Band 분석치를 기준으로 하고 또 수음점에서의 음은 허용기준치(또는 규제기준치)를 기준으로 하여 계산한다.

계산 결과는 Octave Band 별로 다음의 관계가 만족되어야 한다. 만약 그렇지 못할 경우에는 방음벽의 높이를 조정, 반복 계산을 하며 적정 높이의 방음벽이 되도록 해야 한다.

"음원의 음압 Level"-"거리감쇠"-"합성감쇠"<"수음점의 허용기준치(또는 규제기준치)"

(6) 방음벽의 설계시 유의할 점

방음벽을 설계할 때에는 다음 사항에 유의, 계산에 반영토록 해야 한다.

1) 방음벽의 설계는 음원을 무지향성으로 가정한 것이므로 사전에 음원의 지향성과 크기에 대해서 상세히 조사, 설계에 참조할 필요가 있다.

2) 음원에서 음의 지향성이 수음측 방향으로 강할 때에는 방음벽에 의한 감쇠치는 계산치 보다 크다.

3) 방음벽에 의한 실용적인 삽입손실치의 한계는 음원이 점음원일때 25dB, 선음원일때 21dB 정도이며 실제로는 지향성의 영향 등을 고려, 5~15dB 정도 채용하는 것이 좋다.

4) 방음벽의 투과손실은 직접음의 회절감쇠치보다 10dB이상 큰 것이 바람직 하지만 실용적으로는 5dB 이상 크면 된다.

5) 방음벽의 길이와 높이와의 관계는 다음과 같이 함이 바람직하다.

벽의 길이 >5×벽의 높이(점음원 일때)

벽의 길이 >2×점원과 수음점간의 거리(선음원 일때)

6) 각 음의 단위환산은 다음에 준한다.

ⅰ) 음의 Octave Band 분석치가 음원의 음은 음압 Level, 수음점의 규제기준치(또는 허용기준치)는 소음 Level인 경우 주파수 보정특성을 고려하여 소음 Level로 환산, 단위 통일을 해야 한다.

주파수 보정특성이 A(dB)인 경우 환산은 표2-2에 따른다.

〈표 2-2〉 dB의 dB(A)로 환산 보정치

IEC 규 격	
중심주파수(Hz)	보정치(dB)
63	-26
125	-16
250	- 9
500	- 3
1000	0
2000	+ 1
4000	+ 1
8000	- 1

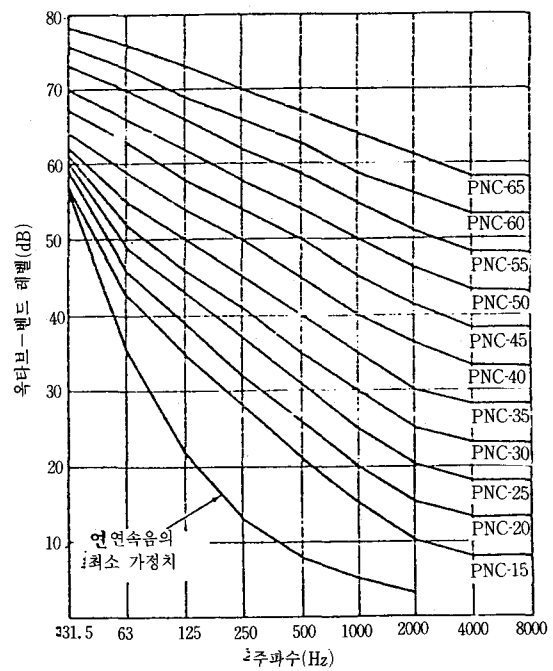
ⅱ) 수음점에서 소음의 규제기준치(목표 Level)가 Overall 값으로 주어진 경우 허용 Octave Band Level(대역별 목표소음 Level)은 어느 주파수 대역에서나 일정한 것으로 생각하여 다음과 같이 계산한다.

허용 Octave Band Level, dB(A)=규제기준 Overall 값, $dB(A)-10\log_{10}N$

ⅲ) 수음점에서 소음의 허용기준치가 PNC (Preferred Noise Criteria)로 규제될 경우 값은 〈그림 2-5〉에서 각 중심주파수별 Octave Band Level치를 기준으로 한다.

(7) 실제로 방음벽(차음벽)을 설계, 설치할 때에는 기준감음량은 벽의 감음량의 계산치에 위에 기술한 유의점들을 포함한 다음과 같은 각종의 보정치를 고려한 종합적인 감음량으로 결정토록 해야 한다.

방음벽의 감음량=①계산치+②음원의 종류+③음원의 지향성+④반사음의 영향+⑤방음벽의 길이와 방향의 영향+⑥방음벽면의 흡음처리+⑦방음벽의 투과손실+⑧풍향조건+⑨실적치(참고치) (다음호에 계속)



〈그림 2-5〉 PNC 곡선

상담 및 문의 전화 705-2325