

환경관리기술사문제해설

〈소음·진동 1990년도 시행〉



李得雄

〈(주)DB엔지니어링 대표이사,
환경(소음·진동)기술사〉

〈1990년시행〉 (제1교시)

〈문제 1〉 옥타브 밴드의 필요성과 중심 주파수의 계산법에 대하여 설명하라.

→ 인간이 들을 수 있는 소음은 16Hz-20KHz 까지의 수많은 순음의 결합으로 이루어져 있으며 인간의 귀는 다른 주파수의 소리를 달리 들을 수 있다. 그러나 광대한 주파수의 수많은 순음을 개별적으로 해석하기가 불가능하기 때문에 이 주파수 범위를 통합하여 옥타브 밴드로 나누게 된다.

주파수 대역의 하한 주파수를 f_l , 상한 주파수를 f_h , 주파수를 f_c 라 할 때

$$\frac{f_h}{f_c} = 2$$

$$\therefore f_c = \sqrt{f_l} \times \sqrt{f_h} = \sqrt{2} f_l$$

위 관계식으로 중심 주파수를 계산한다.

〈문제 2〉 충격음과 계속 소음을 평가할때 보정치로 보완한다. 폭발음을 평가할 때 물리적인 측면과 생리적인 측면으로서 계속 소음과 비교하여 본인이 생각하는 보정치와 그 이유를 설명하라.

→ 충격음은 음압이 급격히 올라가 짧은 시간내에 감쇠되는 현상으로 전형적인 순음성 충격음과 산업장에 주로 발생하는 잔향을 고려한 충격음으로 구분된다. 충격음에 의한 청력 손상을 평가하기 위해서는 피이크 압력의 크기, 지속 시간당 충격 회수를 고려하고 지속 시간도 고려하여야 하며 충격 회수가 초당 10회를 넘으면 충격음 대신에 소음으로 단순 처리하면 된다. 반복되는 폭로를 통해 피이크 압력 레벨을 권장 레벨로 하기 위해서는 다음 절차에 따라 수정한다.

- 하루중 경험한 충격회수에 따른 보정치로서 100회의 충격음이 발생할때는 보정을 행하지 않으며 10회에서는 +10 dB 1000회에서는 -10 dB 로 로그함수로 피이크 압력레벨에 해당 보정치를 보정한다.
- 충격 사이의 평균 간격이 1~10초이면 피이크 압력 레벨에서 -5 dB 로 보정한다.
- 소음이 귀에 스치듯 입사하면 피이크 압력 레벨에 +5 dB 를 보정한다.

〈문제 3〉 구조물의 가진 방법에 따라 응답 함수를 구하는 경우 가진 방법을 열거하고 장·단점을 설명하라

→ 질량의 낙하 운동에 의한 충격력
 질량의 운동 방향으로 1방향의 힘으로 해석은 단순화되지만 충돌후에는 구조물 전체가 운동하나 타격시간이 짧기 때문에 효율이 떨어진다.

- 왕복 질량에 의한 관성력 및 모멘트
 위상 관계에 의해서 부분적으로 상쇠시킬 수가 있으나 모든 힘을 완전히 제거하기는 어렵고 불평행의 관성력과 관성 모멘트를 제거하기는 어렵다.
- 회전 질량에 의한 관성력 및 모멘트
 회전기계에 있어서는 균형은 잡히나 복잡한 구조물에서는 완전히 불균형 성분을 제거하기는 어렵다.

〈문제 4〉 음원의 종류중 거리 감쇠에 대하여 임의로 실제적인 예를 들어 근거리 영역과 공식을 적용할 수 있는 원거리 영역을 설명하라.

→ 실내에 설치되어 있는 스피커로부터 일정한 음향 파워로 소리가 발생하고 있을때, 음원에서 근접한 거리(관심 대상음의 수파장)에서는 입자 속도는 음의 전파 방향과 관계가 없고 위치에 따라 음압 변동이 심하며 음의 세기는 음압의 2승과 비례 관계가 거의 없으며, 음원의 크기, 주파수, 방사면의 위상에 따라 크게 영향을 받는 음장을 근거리 영역에서 근음장의 특성이다. 한편 음압 레벨은 음원에서 거리가 2배로 되면 6 dB 씩 감소하는 역 2승 법칙이 성립되고 입자 속도는 음의 전파 방향과 개연성이 있으며 음의 세기는 음압의 2승에 비례하는 원거리 영역에서는 자유음장이 형성된다. 그러나 원거리 영역을 벗어나 벽에 의한 반사음과 중첩음이 중복되는 영역에서는 역 2승 법칙이 성립되지 않는다.

〈제2교시〉

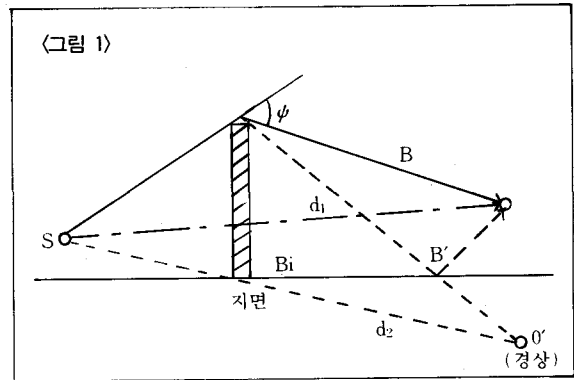
〈문제 1〉 울타리의 차음 효과에 대하여 이론적으로 설명하라.

→ 소음원과 수음점 사이에 울타리를 설치하면 이 구조물에 의해 수음점에서 소음도가 저감되는

총 차음 효과는 회절 감쇠치, 투과 손실치 및 직접음 감쇠치의 대수합과 흡음 감쇠치의 산술합으로 구한 삽입 손실치와 소음원과 수음점 사이의 거리에 따른 거리 감쇠치를 산술 합산하여 계산한다.

1) 회절 감쇠치(ΔLa) 계산방법

그림 1과 같이 도로 교통 소음원 S와 수음점 O 사이에 무한 방음벽



Bh 가 시설된 경우 Kurze 와 Anderson 이 Fresnel 수 N에 따라 실험 작성한 감쇠 곡선으로부터 구할 수 있다. 이 곡선을 $\pm 0.5\text{dB}$ 이내의 편차를 갖도록 하여 5개의 구간으로 분할하여 수식화 된다.

도로면을 기준으로 할때,

- 직접음에 대한 Fresnel 수 N_1 은

$$N_1 = (A+B-d_1) \times 2F/340$$

$$= F \times [\sqrt{(Hb-Hs)^2 + Lad^2} + \sqrt{(Hb-Ho)^2 + Lbo^2} - \sqrt{(Ho-Hs)^2 + (Lsb+Lbo)^2}] / 170 \dots\dots(1)$$

- 반사음에 대한 Fresnel 수 N_2 는

$$N_2 = (A+B'-d_2) \times 2F/340$$

$$= F \times [\sqrt{(Hb-Hs)^2 + Lsb^2} + \sqrt{(Hb+Ho)^2 + Lbo^2} - \sqrt{(Ho-Hs)^2 + (Lsb+Lbo)^2}] / 170 \dots\dots(2)$$

여기서 F : 대상회절 주파수(Hz)

Hb: 방음벽의 높이(m)

Ho : 수음점의 높이(m)

Hs : 음원의 높이(m)

Lsb 및 Lbo는 각각 음원과 방음벽, 방음벽과 수음점 사이의 수평거리(m)이다. 도로교통 소음의 경우 음원의 높이는 0.3m 정도로 본다.

이 N_1 및 N_2 를 다음 수식중 N값에 대입하여 풀면 직접음 회절감쇠치 Ld_1 및 반사음 회절감쇠치

Ld₂가 얻어진다.

$$L_d = 7.5 + 0.6 \log N \text{ (dB)} \quad 0 < N \leq 0.1$$

$$L_d = 10 + 31 \log N \text{ (dB)} \quad 0.1 < N \leq 0.8$$

$$L_d = 12 + 61 \log N \text{ (dB)} \quad 30 < N \leq 60$$

$$L_d = 22 \text{ (dB)} \quad 60 < N \dots\dots(3)$$

따라서 방음벽에 의한 회절 감쇠치 ΔL_d

$$L_d = -10 \log (10^{-L_d/10} + 10^{-L_d/10}) \dots\dots(4)$$

로 산정할 수 있다.

2) 투과 손실치(ΔL_t)계산방법

방음벽에 사용된 자재를 완성품으로 하여 잔향실에서 측정된 투과손실 (TL)을 사용하는 것이 원칙이나 동일자재로만 구성된 차음벽 (반사형)에서 질량법칙이 만족되는 영역에서는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta L_t = 20 \log M \cdot F - 47 \text{ (dB)} \dots\dots(5)$$

여기서 M : 방음벽의 면밀도 (kg/m²)이다.

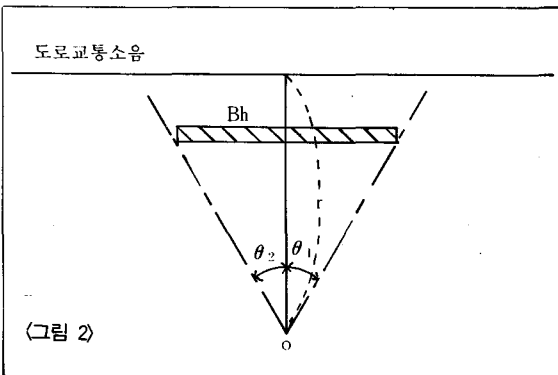
3) 직접음 감쇠치 (Lin) 계산방법

그림 2에서 도로 교통 소음의 단위 길이당 음의 세기를 K라 하고, 소리의 전파가 random 하지 않고 수평으로 확산된다고 하면 방음벽이 없을 때 수음점 O에 입사되는 총음의 세기 I_{in}은,

$$I_{in} = k/r \int_{-\theta/2}^{\theta/2} \cos \theta \, d\theta = 2 k/r \dots\dots(6)$$

한편 유한 방음벽 Bh의 시설에 따라 O점에 입사되는 직접음 세기의 감쇠치 I_{in}는

$$I_{in} = k/r \int_{-\theta_2}^{\theta_1} \cos \theta \, d\theta = 2 k/r \sin \theta \dots\dots(7)$$



따라서 유한 방음벽 시공에 따른 직접음 감쇠치 ΔL_{in} 은

$$\Delta L_{in} = 10 \log [I_{tn}/(I_{tn} - I_{tn})] = 10 \log [2/\{2 - (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)\}] \text{ dB} \dots\dots(8)$$

4) 흡음 감쇠치(ΔL_a)계산방법

흡음형 방음벽은 흡음에 의해 초과 감쇠가 얻어지는데 이를 흡음감쇠치라하며 그림 1의 회절각 ϕ 와 흡음을 a에 따라 다음식으로 산정된다.

$$\Delta L_a = a^3 (\phi/30) \text{ dB}, \quad \phi \leq 120^\circ$$

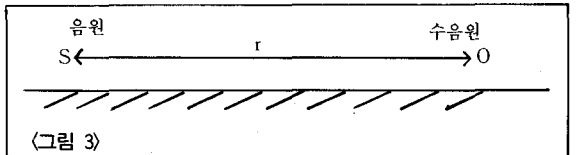
$$\Delta L_a = 1.1a^3 (\phi/15) \text{ dB}, \quad \phi > 120^\circ \dots\dots(9)$$

따라서 유한 방음벽 설치에 따른 삽입손실치 ΔL_t 는 대상 주파수에서

$$\Delta L_t = -10 \log (10^{-\Delta L_d/10} + 10^{-\Delta L_t/10} + 10^{-\Delta L_{in}/10}) + \Delta L_a \text{ dB} \dots\dots(10)$$

이 되면 식 (10) 중 첫번째 항은 반사형 방음벽 시공시의 값이다.

5) 소음원과 수음점 사이의 거리에 따른 거리 감쇠치 (ΔL_r) 계산 방법 그림 3과 같이 소음원이 지면에 가까이 있으므로 반 자유공간에 음원이 전파되는 경우로 생각할 수 있다.



따라서, 음원에서 거리 r인 수음점에서 거리 감쇠치 (ΔL_r)는,

$$\Delta L_r = PWL - SPL = 10 \log S = 10 \log (2\pi r^2) = 20 \log r + 8 [\text{dB}] \dots\dots(11)$$

위 식 1)-(11)로부터 총 차음효과 T_{all}는

$$\Delta T_{all} = \{-10 \log (10^{-\frac{\Delta L_d}{10}} + 10^{-\frac{\Delta L_t}{10}} + 10^{-\frac{L_{in}}{10}}) + L_a\} + \Delta L_r [\text{dB}] \dots\dots(12)$$

와 같이 구한다.

<문제 2> 음향 파워 측정방법을 설명하시오.

→ 자유음장이 형성되는 이상적인 무향실 (Anechoic Chamber) 내에 음원이 위치한다면 가상 구면상 임의의 여러 지점에서 소음도를 측정하고 음원의 지향성을 고려하여 평균한 음압레벨 SPL을 구한후 음향 파워(PWL)는,

$$\begin{aligned} \text{PWL} &= \text{SPL} + 20 \log S \\ &= \text{SPL} + 20 \log r + 11 (\text{dB}) \end{aligned}$$

위 관계식으로부터 음향 파워를 계산한다.

〈문제 3〉 면 밀도 15kg/m²의 얇은 판으로 된 중공 이중벽이 있다. $\sqrt{2}$ fom (저음역 공진투과 주파수)이 약 100Hz가 되는 공기층의 간격(cm)은 얼마인가?

→ 중공 이중벽의 저음벽의 통과 주파수 fom은,

$$\text{fom} = c/2n \times \sqrt{2p}/\sqrt{md} \quad [\text{Hz}]$$

위 관계식으로부터

$$\sqrt{2} \text{ fom} = c/n \times \sqrt{p} \times \sqrt{md}$$

$$\begin{aligned} d &= \frac{c^2 p}{n^2 m (\sqrt{2} \text{ fom})^2} \\ &= \frac{(340)^2 \times (1.29)}{n^2 (15) \times (100)^2} \end{aligned}$$

$$= 0.1 \text{ m}$$

〈문제 4〉 천정과 벽체의 흡음율은 각각 0.5, 바닥의 흡음율은 0.05이다. 방의 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 20m, 10m, 2.5m이다. (단, 창과 문은 없다) 이때 방의 흡음력과 평균 흡음율은 얼마인가?

→ 흡음력 A는

$$\begin{aligned} A &= \sum_{i=1}^n s_i a_i \\ &= (10 \times 20 + 10 \times 2.5 \times 2 + 20 \times 2.5 \times 2) \times 0.5 \\ &\quad + (10 \times 20) \times 0.05 \\ &= 185 [\text{m}^2] \end{aligned}$$

평균 흡음율 a 는

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum s_i a_i}{\sum s_i} \\ &= \frac{185}{2(10 \times 20 + 10 \times 2.5 + 20 \times 2.5)} \end{aligned}$$

$$= 0.34$$

(제3교시)

〈문제 1〉 질량의 법칙(Mass Law)에 대하여 설명하라.

→ 음파가 벽면에 수직 입사할 때 투과손실 TL은,

$$\text{TL} = 10 \log [1 + (wm/2pc)^2] \quad [\text{dB}]$$

$wm \gg 2pc$ 이면

$$\text{TL} = 20 \log (mf) - 43 \quad [\text{dB}]$$

위 식에서 투과손실은 면밀도(m)과 주파수(f)의 곱의 대수값에 비례하는데 이것을 차음의 질량 법칙이라 하며 음파가 벽면에 난 입사를 고려하여 실용적으로는,

$$\text{TL} = 18 \log (m \cdot f) - 44 \quad [\text{dB}]$$

의 식을 주로 사용한다.

〈문제 2〉 회전속도 1,000rpm의 송풍기가 있다. 진동 전달율이 30%일때 이계의 정적 변위는?

→ 강제 진동수 $f = \text{rpm}/60 = 1000/60 = 16.7 \text{ Hz}$

진동 전달율 T는,

$$T = \left| \frac{1}{1 - n^2} \right|$$

$$0.3 = \left| \frac{1}{1 - (f/f_n)^2} \right| = \left| \frac{1}{1 - (16.7/f_n)^2} \right|$$

여기서, 고유 진동수 $f_n = 5.25 \text{ Hz}$

$$F_n = 1/2n \sqrt{g}/\sqrt{\delta_{st}}$$

정적 변위 δ_{st} 는,

$$\therefore \delta_{st} = \frac{g}{4n^2 f_n^2}$$

$$= \frac{9.8}{4n^2 (5.25)^2}$$

$$= 9 \text{ mm}$$

(다유호에 계속)