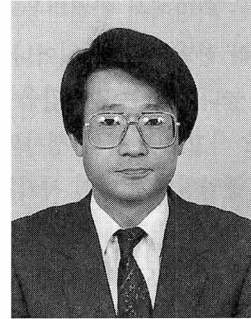


소음작업환경 개선을 위한

## 실학적 접근방법



이 출 재

아시아소음진동연구소 소장

### 제 1 장 서 론

#### 1-1. 소음의 정의와 동향

“소음(Noise)”의 어원은 배멀미, 두통, 현기증 등을 의미하는 “nausea”이며, “원하지 않는 소리 (unwanted sound)”로 총칭된다.

그리고, 소음진동규제법상의 정의는 “기계, 기구 등으로부터 발생하는 강한 음”으로 되어 있다. 이렇게 발생된 소음은 소리에너지로서 최종적으로는 열에너지로 변형되어 없어지게 된다.

미국에서는 1973~1975년 사이에 각 업종별 소음관련연구가 종합적으로 정리되었고, 일본의 경우도 1977~1978년 사이에 각 소음원별, 업종별로 소음의 원단위(原單位)가 정리되었으며, 특히, 중요한 점은 소음을 국민의 감성형성에 관계되는 중요한 문제로 인식하였다는 사실이다. 그러나, 우리의 경우, 기준소음도를 초과하는 시끄러운 작업공간내에서 장시간의 누적후 소음성난청에 시달리는 많은 작업자들을 위하여 충분한 대책이 이루어지지 못하고 있음은 안타까운 일이라 하겠다.

#### 1-2. 음향학의 분류

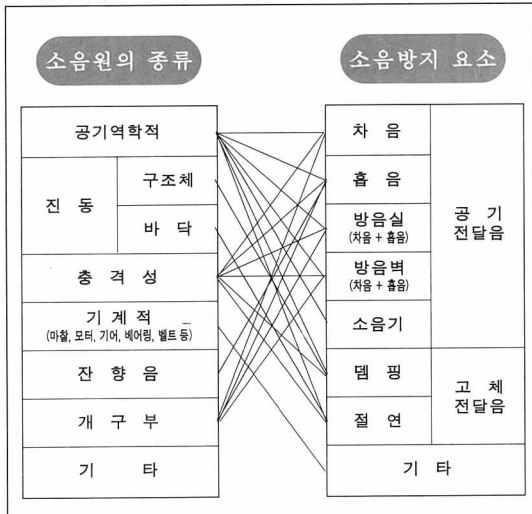
- (1) 생리음향학(Physiological Acoustics)
- (2) 심리음향학(Psychological Acoustics)
- (3) 물리음향학(Physical Acoustics)
- (4) 전기음향학(Electro Acoustics)
- (5) 녹음-재생  
(Recording & Reproducing)
- (6) 수중음향학(Underwater Acoustics)
- (7) 건축음향학(Architectural Acoustics)
- (8) 전기-기계회로  
(Electro-Mechanical Circuit)
- (9) 동력학(Dynamics)
- (10) 음향측정  
(Acoustical Measurements)
- (11) 음향재료(Acoustical Materials)
- (12) 음악음향학(Musical Acoustics)
- (13) 정보(Information)

### 1-3. 소음관련 분야들

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| (1) 도시설계 분야             | (10) 물리학 분야              |
| (2) 환경분야                | (11) 공장 정비 및 보수<br>관련 분야 |
| (3) 산업보건관리 분야           | (12) 항공우주 해양 분야          |
| (4) 심리음향 분야             | (13) 일반사업 분야             |
| (5) 공공서비스 분야            | (14) 조경관련 분야             |
| (6) 법률관련 분야             | (15) 교육분야                |
| (7) 토목, 건설, 건축 분야       | (16) 방송분야                |
| (8) 기계, 전기, 전자 관련<br>분야 | (17) 농축산 분야              |
| (9) 설비설계 분야             | (18) 기타                  |

## 제 2 장 소음작업환경 개선을 위한 접근방법의 제안 (PEM)

현장내에서 시끄러운 소음원을 처음 대할 때 일반적으로는 기계로부터 1m 떨어진 지점에서의 소음도와 기계상하방향에서의 소음도만을 비교측정 평가한다. 그러나, 소음이 발생하는 개소를 각 요소별로 나누어 접근 확인해 보면, 그러한 개소들이



© ANVI

(그림 2-1) 방음대책 접근방법(기본개념의 일대일 대응)

전체적으로 합성되어 나는 소음임을 구체적으로 알 수 있게 된다.

이렇게, 「하나의 소음원을 전체로 보되, 그 요소별 원인까지 파악하여 대안을 수립하고 평가하는 방법」을 필자는 “요소별 소음방지방안(PEM : Point Element Method)”이라고 제안한다.

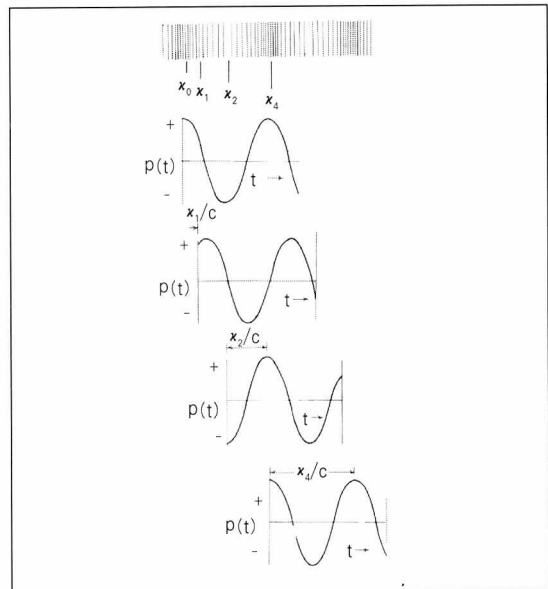
(그림 2-1)에서 보는 바와 같이 소음원의 종류와 소음방지요소를 일대일로 연결해 보면 쉽게 그 해결방안을 찾을 수 있게 된다.

## 제 3 장 소음방지 기본이론

### 3-1. 음파의 기본 성질

#### 가. 기초이론

음파는 음압의 변화에 따라 공기와 같은 매질을 통하여 전달되는 소밀파 또는 압력파이다. (그림 3-1)은 음파가 시간별로 변화되는 상태를 보여주고 있다.



(그림 3-1) 음파의 시간별 변화상태

(같은 위상으로 운동하는 정현파(싸인파))

$$T(\text{주기}) = 1/f(\text{초})$$

: 한파장이 전파되는데 소요되는 시간

$$f(\text{주파수}) = 1/T = C/\lambda(\text{Hz})$$

: 단위시간당 회전수

$$\lambda(\text{파장}) = C/f(\text{m}) : \text{한 주기의 위상차가 있는 두 파면의 수직거리}$$

$$C(\text{음속}) = 331.5 + 0.61 \times (\text{°C})(\text{m/s})$$

〈표3-1〉 각 재질별 음속 (at 20°C)

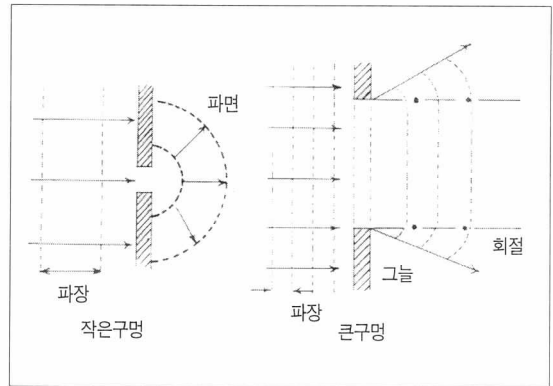
| 재 료 명  | 음속(m/s) |
|--------|---------|
| 공 기    | 334     |
| 물 (담수) | 1,372   |
| 콘크리트   | 3,048   |
| 나 무    | 3,353   |
| 강 철    | 5,182   |
| 납      | 1,219   |
| 유 리    | 3,658   |

고요한 수면에 돌을 던지면 수면을 따라 원형의 파문이 사방으로 전달된다. 이때 파문을 전달시키는 물질을 파문의 “매질”이라 하고, 매질의 한 부분에서 생긴 진동상태가 인접부분에 전달되어 차례차례로 매질 전체에 퍼져 나가는 상태를 “파동”이라 한다. 파동은 매질 자신이 이동해 가는 것이 아니고, 진동상태만이 전달되는 것이며, 매질의 각 부는 다만 일정한 범위를 왕복할 뿐이다. 파동의 진행방향과 수직인 파동을 횡파(transversal wave)(예:수면파)라 하고, 파동의 진행방향과 동일한 파동을 종파(longitudinal wave)(예:음파)라 한다.

## 나. 회절

회절이란 음파의 전파속도가 장소에 따라 변하고, 진행방향이 변하는 현상으로서, 파장이 길수

록, 물체가 작을수록(구멍이 작을수록) 소리는 잘 회절(diffraction)하며, 물체뒤에는 소리의 그늘(音影:shadow zone)이 잘 생기지 않는다. 따라서, 소리의 주파수는 파장에 반비례하므로, 낮은 주파수는 고주파음에 비하여 회절하기가 쉽다.



(그림 3-2) 회절현상의 예

## 다. 굴절

음파가 한 매질에서 다른 매질로 통과할 때 음속의 차이에 따라 구부러지는 현상으로서 입사각을  $\theta_1$ , 굴절각을  $\theta_2$ 라 하면 음속비는 아래 식과 같다.

$$C_1/C_2 = \sin \theta_1 / \sin \theta_2$$

음파의 굴절현상을 일으키는 요인은 대기의 온도차와 풍속으로서, 대기의 온도차에 의한 경우, 주간에는 상공으로 굴절하고, 야간에는 지상으로 굴절한다. 그리고 풍속차에 의한 경우, 음원보다 상공의 풍속이 클 때, 바람위쪽에서는 상공으로, 바람아래쪽에서는 지면방향으로 굴절하므로 바람위쪽에서보다 감쇠가 크게 된다.

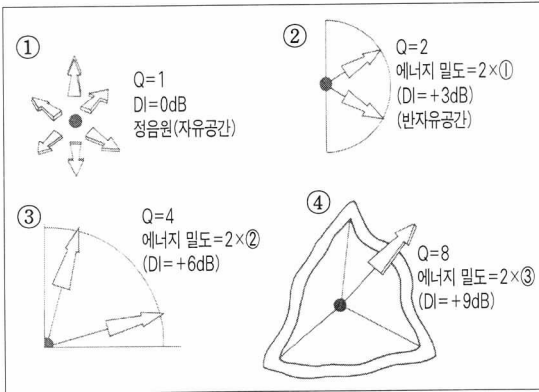
## 라. 지향성

$$Q = \log^{-1} \left( \frac{SPL_1 - \overline{SPL}}{10} \right)$$

단,  $\overline{SPL}$  : 음원으로부터 r(m) 떨어진 구형면상의 여러 지점에서 측정된 SPL의 평균값

SPL : 어떤 특정방향의 SPL

음원에서 방사되는 음의 강도 또는 마이크로폰의 감도가 방향에 의해서 변화되는 상태를 지향성(directivity)이라 하며, 특정방향의 에너지와 평균에너지의 비를 지향계수(directivity factor)(Q)라고 한다.



(그림 3-3) 음원의 위치별 지향성

또, 지향성이 큰 경우, 특정방향의 SPL와의 차를 지향계수(directivity index:DI)라 하며 다음 식과 같이 표시한다.

$$DI = SPL_i - SPL_o = 10 \log Q \text{ (dB)}$$

마. 데시벨(decibel)

어떤 음원의 음향파위가 W일 때, 기준음향파위 ( $W_0$ )와의 대수비를 레벨이라 하며, 이 비에 계수 10을 곱한 값이 데시벨이다.

여기서, 데시(dec)란 용어는 10분의 1을 의미하는 즉, 크기계수(scale factor)이다.

$$SPL = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2 = 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ (dB)}$$

바. 소음도

(SPL : Sound Pressure Level)

최저가청음압(threshold of hearing)

20세 전후의 건강한 남녀가 겨우 들을 수 있는 음압

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ (N/m}^2\text{)} = 20 \mu\text{pa}$$

$$SPL = 20 \log \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-5}} = 0 \text{ (dB)}$$

최대가청음압(threshold of pain)

사람이 고통을 느끼는 한계음압

$$P = 60 \text{ (N/m}^2\text{)} = 60 \text{ Pa}$$

$$SPL = 20 \log \frac{60}{2 \times 10^{-5}} \approx 130 \text{ (dB)}$$

사. 데시벨 계산의 기본공식

<표 3-2> 참조

아. 옥내에서의 전파

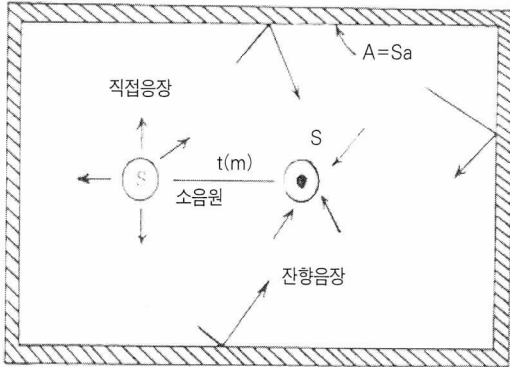
(그림 3-4)과 같이 실내에 소음원이 놓여져 있는 경우, 소음원 근처에서의 소음도는 거의 직접음

표(3-2) 데시벨 계산의 간편식

| 구분 | 공식   |
|----|--|
| 덧셈 | $L_n = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}}$ $= 10 \log (10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}})$   |
| 뺄셈 | $L_n = 10 \log (10^{\frac{L_1}{10}} - 10^{\frac{L_2}{10}})$  |
| 평균 | $\bar{L} = 10 \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$ $= 10 \log [(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}})]$ $= L_n - 10 \log n$ |

|    |         |     |     |     |      |
|----|---------|-----|-----|-----|------|
| 덧셈 | L-L(ΔL) | 0~1 | 2~3 | 4~9 | 10이상 |
|    | 보정치(dB) | +3  | +2  | +1  | 0    |
| 뺄셈 | L-L(ΔL) | 3   | 4~5 | 6~9 | 10이상 |
|    | 보정치(dB) | -3  | -2  | -1  | 0    |

에 의하여 결정되지만(직접음장), 어느 정도 떨어진 지점에서는 벽, 바닥 또는 천장 등의 반사영향에 의하여 일정한 상태의 소음도(잔향음장)가 유지된다.



[그림 3-4] 실내음장 분포

소음원 (S)으로부터 r(m) 떨어진 지점(S')에서의 소음도는 실내가 완전 확산음장이라 가정하여 근거를 둔 기하학적 음향이론으로부터 다음식이 얻어진다.

$$SPL = PWL + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) (dB)$$

- 여기서, SPL : S' 지점에서의 소음도(dB)
- PWL : 음원의 음향파위레벨(dB)
- Q : 지향계수
- r : 음원으로부터 측정점까지의 거리(m)
- R : 실정수 [= (S · α) / (1 - α)] (m²)
- S : 실의 표면적(m²)

### 자. 옥외에서의 전파(점음원의 경우)

자유음장에 있어서 음원으로부터 방사되는 음의 에너지는 모든 방향으로 전파되는데, 음원으로부터 멀어질수록 음의 세기는 약해진다. 이를 음의

거리감쇠 또는 기하학적 확산에 따른 감쇠라 한다. 이러한 감쇠는 음원의 형상이나 치수 등에 따라 각각 다르게 나타난다.

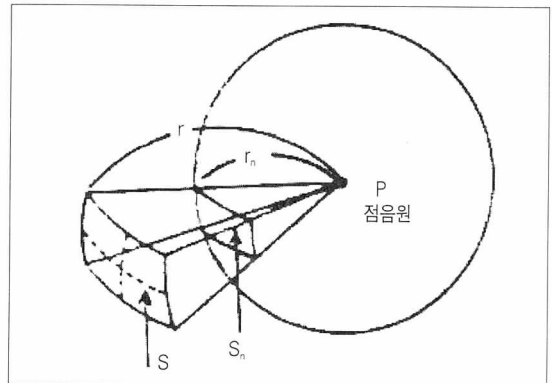
특히, 음원의 크기가 측정거리 r(m)에 비하여 충분히 작으면 이 음원을 점음원으로 볼 수 있다. 점음원은 구면상으로 퍼져나가는 구면파(spherical wave)이며, 거리r(m)만큼 떨어진 지점에서의 음의 세기는,

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W}{4\pi r^2} (w/m^2)$$

가 된다. 즉 음의 세기는 거리의 자승에 반비례하여 감쇠되므로, 이를 역자승법칙(inverse square law)이라 한다. [그림 3-5]에서 보는 것과 같이 r<sub>1</sub>에서의 소음도를 SPL<sub>1</sub>라 하면, r(단, r>r<sub>1</sub>) 지점에서의 SPL은

$$SPL = SPL_1 - 20 \log \frac{r}{r_1} (dB)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 구면파가 전파될 경우에는 SPL = PWL - 20log r - 11(dB), 반구면파가 전파될 때는 SPL = PWL - 20log r - 8(dB)와 같이 된다.

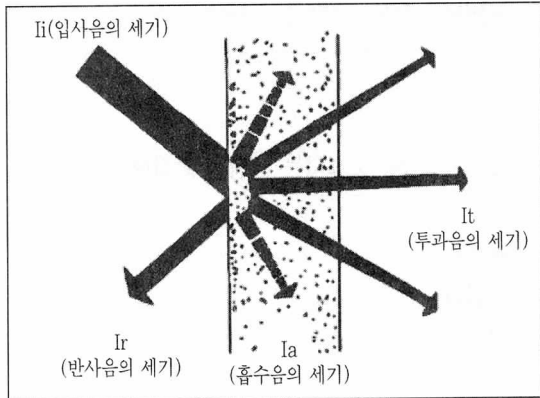


[그림 3-5] 점음원의 전파

### 3-2. 소음방지기술 4요소

가. 차음

(1) 기본개념



$$I_i = I_r + I_t + I_a$$

|     |   |
|-----|---|
| 반사율 | $a_r = \frac{I_r}{I_i}$                         |
| 흡수율 | $a_a = \frac{I_a}{I_i} = \frac{I_i - I_t}{I_i}$ |
| 투과율 | $a_t = \frac{I_t}{I_i} = 1 - a_a$               |

(그림 3-6) 음향에너지 보존법칙

차음이란 「소리를 차단시키는 정도」로서 방음대책시 (그림 3-6)와 같이 소리가 벽체에 입사하게 되면, 일부는 반사되고, 일부는 투과 및 흡수되게 되어 음향에너지 보존법칙이 성립하게 된다. 이때, 투과율로부터 투과손실값을 계산할 수 있다. 즉, 투과손실(TL)

$$10 \log \frac{1}{a_t} = -10 \log a_t = 10 \log \frac{I_i}{I_t}$$

(TL : Transmission Loss(dB))

일반적으로, 수직으로 입사하는 음의 경우, 투과손실값은 재료의 면밀도( $m:kg/m^2$ )에 따라 다음과 같은 질량법칙이 성립하게 된다.

$$TL_s = 20 \log(f \cdot m) - 43(dB)$$

그리고, 난입사하는 경우에는 약 5dB 정도 낮은 값을 보이고 있다.

표(3-3) 일반적 재질들의 주파수별 투과손실값

| 재 료 명                        | 주 파 수 (Hz) |       |      |       |       |      | 비고 |
|------------------------------|------------|-------|------|-------|-------|------|----|
|                              | 125        | 250   | 500  | 1K    | 2K    | 4K   |    |
| 1. 경량블록<br>(회질 또는 페인트 마감 안함) | 0.20       | 0.30  | 0.60 | 0.60  | 0.50  | 0.50 |    |
| 2. 경량블록<br>(회질 또는 페인트마감)     | 0.05       | 0.04  | 0.02 | 0.04  | 0.05  | 0.05 |    |
| 3. 콘크리트 인조석 마감               | 0.02       | 0.02  | 0.02 | 0.03  | 0.04  | 0.04 |    |
| 4. 코르크타일(1"고재벽 마감)           | 0.05       | 0.10  | 0.20 | 0.55  | 0.60  | 0.55 |    |
| 5. 코르크 바닥타일                  | 0.02       | 0.04  | 0.05 | 0.05  | 0.10  | 0.05 |    |
| 6. 고무 또는 플라스틱 바닥 마감          | 0.02       | 0.04  | 0.05 | 0.05  | 0.10  | 0.05 |    |
| 7. 유리(4mm 두께)                | 0.30       | 0.20  | 0.10 | 0.07  | 0.05  | 0.02 |    |
| 8. 유리(후판, 벽마감)               | 0.01       | 0.01  | 0.01 | 0.01  | 0.02  | 0.02 |    |
| 9. 물(예:수영장 수면)               | 0.01       | 0.01  | 0.01 | 0.01  | 0.02  | 0.02 |    |
| 10. 카펫트(플라스틱+2mm파일)          | 0.01       | 0.02  | 0.03 | 0.05  | 0.08  | 0.10 |    |
| 11. " (펠트+9mm파일)             | 0.08       | 0.30  | 0.60 | 0.75  | 0.80  | 0.43 |    |
| 12. 커튼(중두께직물)(주름없음)          | 0.05       | 0.10  | 0.15 | 0.20  | 0.25  | 0.30 |    |
| 13. " (주름있음)                 | 0.05       | 0.25  | 0.40 | 0.50  | 0.60  | 0.50 |    |
| 14. 유리섬유(G/W)매트              |            |       |      |       |       |      |    |
| 32Kg/m²(50mm 두께)             | 0.20       | 0.35  | 0.65 | 0.80  | 0.90  | 0.90 |    |
| 80Kg/m²(50mm 두께)             | 0.20       | 0.45  | 0.70 | 0.80  | 0.80  | 0.80 |    |
| 15. 공기(m²당)                  | -          | -     | -    | 0.003 | 0.007 | 0.02 |    |
| 16. 청중 1인당(통기성 천의자)          | 0.25       | 0.40  | 0.55 | 0.65  | 0.65  | 0.60 |    |
| (가죽, 비닐포장 의자)                | 0.15       | 0.35  | 0.45 | 0.45  | 0.45  | 0.40 |    |
| (나무의자)                       | 0.15       | 0.35  | 0.40 | 0.45  | 0.45  | 0.40 |    |
| 17. 합판 6mm두께+공기층 50mm        | 0.38       | 0.24  | 0.17 | 0.10  | 0.08  | 0.05 |    |
| 18. 석고보드                     | 0.013      | 0.015 | 0.02 | 0.03  | 0.04  | 0.05 |    |
| 19. 폴리우레탄폼(1"open-cell)      | -          | 0.25  | 0.44 | 0.72  | 0.86  | 0.94 |    |
| 20. 플라스틱폼(1"open-cell)       | 0.10       | 0.29  | 0.67 | 0.90  | 0.99  | 0.99 |    |
| 21. 환기그릴                     | 0.30       | 0.40  | 0.50 | 0.50  | 0.50  | 0.50 |    |
| 22. 폴(50mm 높이 내외)            | 0.11       | 0.26  | 0.60 | 0.69  | 0.92  | 0.99 |    |
| 23. 눈(100mm 깊이)              | 0.45       | 0.75  | 0.90 | 0.95  | 0.95  | 0.95 |    |
| 24. 흙(100mm 두께)              | 0.25       | 0.60  | 0.65 | 0.70  | 0.75  | 0.80 |    |
| 25. 천나무술(1.8m당, H=2.4m 기준)   | 0.03       | 0.06  | 0.11 | 0.17  | 0.27  | 0.31 |    |

<다음호에 계속>

