

공장의 소음관리기술

일본환경기술역

소음방지기술(3)

이번에는 차음층 개구형의 차음과 음 전달에 영향을 미치는 인자를 열거하여 소음방지에 관한 감각적 수단, 심리적수단에 대해 설명하고자 한다.

1. 개구형의 차음

이것은 예를들면 송풍기의 흡입구에 공기는 통과하면서도 음은 통과하지 않는 소음기 등을 붙여 흡입기로 부터의 송풍기 소음을 차음하는 것이다.

소음기는 음의 흡수, 반사, 간섭등을 이용한 감음을 목적으로서 쓰여지는 장치이다.

소음기는 하나의 장치로서 설계, 제작되어 사용되는 경우가 많고, 닥트의 일부를 이용하여 제작하는 경우도 있다.

(1) 소음기의 효과

소음기의 소음효과를 나타내는 것으로 보통 투과손실이 쓰인다. 이것은〈그림 1〉에서 소음기 입구에 입사음의 에너지와 출구에 투과음 에너지를 dB 단위로 나타낼 때 2차로서 나타내는데

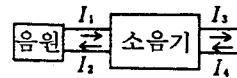
$$TL = 10 \log \frac{I_1}{I_3} = L_1 - L_3 \text{ (dB) 이다.}$$

소음기는 여러가지 조건에서 사용되는것으로 실제 문제에서는 우선 소음기의 투과손실특성을

검토하고 다음으로 음원, 개구단, 설치위치 영향등을 고려하여 실제의 소음효과가 결정된다.

(2) 소음기 종류와 투과손실

소음기는 소음 메카니즘에 따라 그 종류를 나눌 수 있다. 폭넓게 사용되고 있는 소음기의 구조, 투과손실에 관해서〈표 1〉에 나타낸다.



① 흡음닥트형 소음기

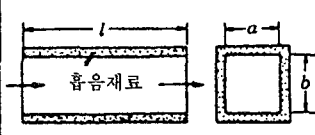
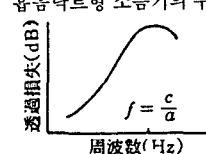
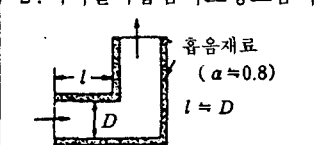
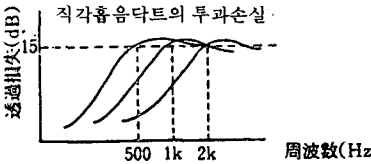
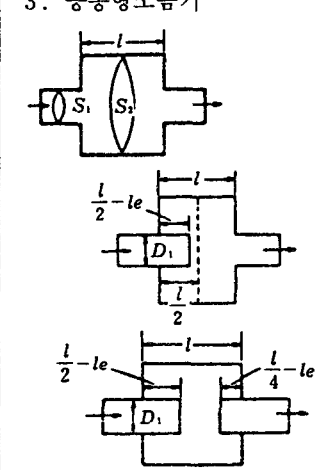
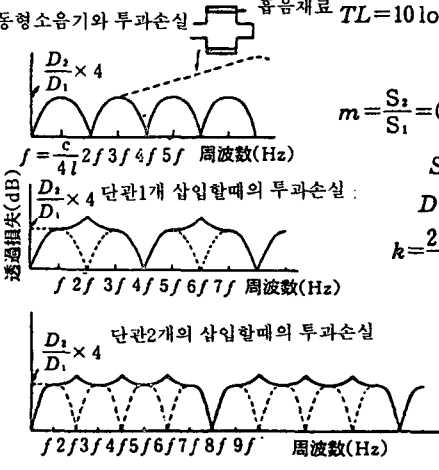
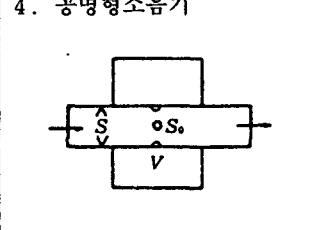
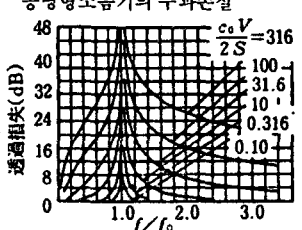
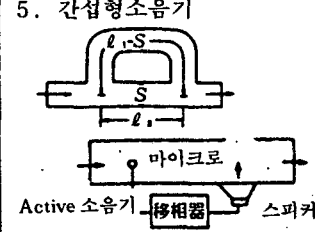
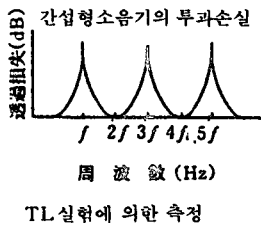
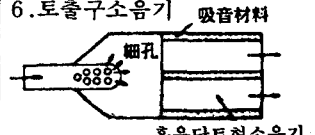
이것은〈표 1〉의〈1〉과 같은 것은 닥트내면에 glass wool 이나 rock wool 등의 다공질 흡음재료를 부착한 소음기이다. 음이 중간을 통과하여 전파될 때 흡음재료에 부딪쳐서 흡음된다.

이 소음기는 송풍기등 공기류를 동반하는 기계류의 소음방지에 많이 이용된다. 또한 고음부의 소음저감에 효과적이다. 이 소음기의 TL 를 나타내는 것으로 표에 나타낸 Sabine 식이 있으며 실제로 간단히 잘 사용된다.

$$\text{이 식은 대략 } f = \frac{c}{D} \text{ (HZ) (C : 음속, D}$$

: 닥트단면의 직경 또는 원주길이) 이하의 주파수범위에 성립되고, 이식에서는 TL 은 흡음율에 비례하여 커지지만 실제의 흡음닥트형 소음기의 투과손실특성은 대략 표에 나타낸것 같이 된다.

< 표 1 > 소음기의 종류와 투과손실특성

종 류	투 과 손 실
<p>1. 흡음다트형소음기</p> 	<p>흡음다트형 소음기의 투과손실</p> $TL = 1.05 \alpha^{1/4} \frac{P}{S} l \approx (a - 0.1) \frac{P}{S} l \text{ (dB)}$ <p>α: 흡음재료의 흡음율 P: 다트길이 (m) 그림의 경우 $2(a+b)$ S: 다트단면적 (m²) 그림의 경우 ab l: 다트둘레 (m)</p> 
<p>2. 직각굴곡흡음다트형소음기</p> 	<p>직각흡음다트의 투과손실</p> 
<p>3. 공동형소음기</p> 	<p>공동형소음기와 투과손실</p> $TL = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{1}{4} \left(m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kl \right] \text{ (dB)}$ <p>$m = \frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$: 膨脹比 S_1, S_2: 断面積 (m²) D_1, D_2: 直徑 (m) $k = \frac{2\pi f}{c}$, f: 周波數 (Hz) c: 音速 (m/s) l: 공동길이 (m)</p> 
<p>4. 공명형소음기</p> 	<p>공명형소음기의 투과손실</p> $TL = 10 \log_{10} \left[1 + \left(\frac{\sqrt{c_0 V} / 2S}{f/f_0 - f_0/f} \right)^2 \right] \text{ (dB)}$ $f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{c_0}{V}}, \quad c_0 = \frac{nS_0}{t + 0.8\sqrt{S_0}} \text{ (m)}$ <p>f_0: 공명주파수 (Hz), V: 공동의 용적 (m³) S: 다트단면적 (m²), n: 구멍개수 S_0: 구멍면적 (m²), c: 音速 (m/s) t: 구멍길이 (다트판두께) (m)</p> 
<p>5. 간섭형소음기</p> 	<p>간섭형소음기의 투과손실</p> $TL = 10 \log_{10} \frac{A^2 + 64B^2}{256 \cdot C^2 \cdot D^2} \text{ (dB)}$ <p>$A = 8 - 10 \cos k(l_1 + l_2) + 2 \cos k(l_1 - l_2)$ $B = \sin k(l_1 + l_2)$ $C = \sin \frac{k}{2} (l_1 + l_2)$ $D = \cos \frac{k}{2} (l_1 - l_2)$</p> <p>TL 실험에 의한 측정</p> 
<p>6. 토출구소음기 吸音材料</p>  <p>흡음다트형소음기</p>	<p>TL 실험에 의한 측정</p>

TL이 최대가 되는 주파수는 duct 단면 D에 의해 정해진다.

먼저 소음하고자 하는 주파수가 f (Hz) 인 경우, D 를 $\frac{c}{2f} < D < \frac{c}{f}$ 로 한다.

예를들면 $f = 1000$ Hz 인 경우 $17\text{ cm} < D < 34\text{ cm}$ 가 되기 때문에 $D = 20\text{ cm}$ 정도가 된다. 이렇게 하면 1000 Hz 부근에 TL이 가장 크게 된다. duct 단면 크기가 결정되어 있는 경우 이 크기가 D 보다 작은 경우에는 확대하고, 큰 경우에는 분할한다.

분할할 경우에는 (1111)형이나 (+)형으로 분할한다. 이렇게 분할된 흡음duct형 소음기를 cell형 또는 split형 소음기라 한다.

그리고 $f = \frac{c}{D}$ (Hz) 이하의 주파수에 대해서는 Sabine식에 의해 TL율이 산출된다.

duct의 굽어진 부분에 흡음재료를 내장시킨 흡음duct에는 일반적으로 굽어짐이 크면 클수록 TL이 커진다. 또한 흡음재료에 의한 감음도 있기 때문에 직관 흡음 duct보다 TL이 크게 된다. 직관 duct에 다공질 흡음재료를 내장한 흡음duct (표 1의 2)의 경우, TL은 대략 표에 나타난 것과 같이 된다. $D = 1.2\text{ m}$ 인 경우 500 Hz 15 dB D 가 $1/2$ 될 때마다 2배의 주파수로 같은 값의 TL이 얻어진다.

② 공동형 소음기

이것은 duct의 단면적을 변화시킨 구조의 소음기이다. (표 1-3) 소음기에 입사된 음은 단면의 변화부분에서 반사되어 저장된다.

이러한 소음기는 주로 저·중음부의 소음저감에 유효하지만 다공질흡음재료를 병용하면 고음부의 감음도에 유효하다.

그러므로 송풍기, 압축기 및 엔진등 각종 기계의 흡·배기구에서 발생하는 소음의 저감에 널리 쓰이고 있다. 이 소음기의 TL은 표에 나타난 바와 같이 이것은 $f = 1.22 \frac{c}{DZ}$ (Hz)

이라 주파수 범위에서 성립된다. 주파수 $f = \frac{c}{4l}$ 3f, 5f …… (Hz)에서 TL은 최대가 되고,

폭넓게 사용되고 있는 $\frac{D_2}{D_1} = 2 \sim 3$ 의 범위에서

대략 $\frac{D_2}{D_1} \times 4$ (dB)가 된다. 그러나 주파수 2f, 4f, 6f …… (Hz)에서는 0이 된다.

이 소음기의 공동부에 다공질 흡입재료를 내장하면 TL은 점선으로 나타낸 바와 같이 고음부로 개선된다. 또한 공동부에 단관을 삽입하므로 TL이 개선된다.

또한 그림중에 1e는 관단 보정길이로 단면이 원인 경우, 직경을 D_1 으로 하면 $1e \approx 0.8D_1$ 이 된다. 이 소음기를 2개 접속할 경우의 TL은 일반적으로는 각각의 TL 합이 되지 않고 l_0 (접속관의 길이) $\geq l$ 이라면 각각의 TL 합으로 하여도 좋다.

③ 공명형 소음기

이것은 duct의 주변에 공동을 설치하여, 작은 구멍을 뚫은 구조의 소음기이다. (표 1-4) 구멍과 배후의 공동이 공명기를 형성하여 그 공명 주파수와 일치하는 주파수의 입사음은 공명 흡수에 의해 흡수되어 저장된다. 이 소음기는 저·중부의 특정주파수 성분 레벨에 대해 특히 소음저감효과가 크다. 왕복식 압축기나 디젤엔진 등의 흡·배기구에서 발생하는 소음저감에 쓰여지고 있다.

이 소음기의 TL은 표에 나타난 것과 같이 된다. 또한 동형의 소음기를 접속하여 사용할 경우에는 공명주파수 부근의 TL이 특히 크게 된다.

④ 간섭형 소음기

비교적 저음부의 특정 주파수 성분 레벨에 대한 특히 소음저감 효과를 위해 간섭형 소음기 (표 1-5)가 쓰여진다. 이것은 입사음의 통로를 2개로 나누어서 한쪽 (l_1)를 다른쪽 (l_2)보다 길게 하여 다시 통로를 하나로 한 것으로 이 2개의 음간섭에 의해 음이 저장된다.

통로의 단면크기는 몸의 파장에 비해 적게 하는 것이 필요하다. 이 소음기의 투과 손실은 표에 나타난 것과 같다.

$l_1 - l_2 = \frac{\lambda}{2}$, $l_1 + l_2 = \lambda$ 를 만족하는 주파수 f 및 3f, 5f …… (Hz)로서 TL은 가

장 크게 된다. 그러므로 f (Hz)에서 최대의 TL를 얻기위해서는 $l_1 = \frac{3c}{4f}$, $l = \frac{c}{4f}$ (m)로 하면 좋다. 이상과 같이 나타낸 투과손실 예를 들면 옥타브밴드마다 투과손실은 각 옥타브밴드 내의 주파수 1HZ에 따른 투과손실(각식의 계산값)의 dB함으로 구해진다.

⑤ 능동형 소음기

간섭형 소음기의 일종으로 Active (능동형) 소음기라는 소음기의 연구가 최근 진행되고 있다. 이것은 <표 1-5>에 나타낸바 같이 음원에서 음을 마이크로폰으로 받아서 $\frac{\pi}{2}$ 씩 위상을 겹치지 않도록 하여 부가음원의 스피커에서 역위상의 음을 꺼내어서, 이음과 음원에서의 음을 간섭하여 소음하는 소음기이다. 실용상 미해결 문제가 많지만, 닥트속으로 전달되는 소음의 저감 등에 사용된다.

이 소음기에서 정확한 간섭을 일으키기 위해서는 다음 4가지 기본적 조건을 만족할 필요가 있다.

하나, 소음하고자 할 음이 순음 또는 적어짐과 동시에 특정주파수성분이 현저히 높아지는 음이 되지 않으면 안된다. 소음으로서 여러가지 주파수 성분이 모여진 복합음의 경우에 표 소음 스펙트클에 의해 간섭된 결과, 소음기의 투과손실이 어떻게 되든지는 실험적 방법외에는 확인할 방법이 없다.

둘, 소음하고자 할 음과 스피커에서 나온 음이 완전하게 중복되어야 한다. 넓은 공간으로 나온음에 별도의 음을 내어 중복하는것은 불가능에 가깝고, 이것에 비해 닥트내를 통과하는 음과 같이 공간에 확산하기 전에 음을 중복하는 것은 비교적 간단하지만 이 경우에는 스피커의 수, 취부위치등에 따라 중복되는것이 다르다. 이 결과도 실험적으로 확인하는것이 필요하다.

셋, 두개의 음이 항상 중복되지 않으면 안된다. 어떤점, 예를들면 소음기의 출구에서 두개 음이 항상 중복되도록 하기 위해서는 두개의 음차이에 항상 $\frac{\lambda}{2}$ ($= \frac{c}{2f}$) 만큼씩 공간적으로 겹쳐지지 않아야 하고 음속 C는 온도나 유속에 따라 변하므로, 이러한 것이 변동할 경우에는

음이 크게 되는것도 있다. 그러므로 이것이 항상 일정하게 유지하도록 예를들면 출구에 마이크로폰을 설치하고, 그 위치에 항상 음압레벨이 최소화되도록 스피커에서 나온음을 제어하는 것이 필요하다. 간섭에 의한 소음은 옛날부터 알려져있지만, 이것이 최근 부상하게 된 것은 최근 제어기술, 신호처리기술등의 진보에 따라 이 제어가 비교적 용이하게 (저렴하게) 될수 있었던 것이다.

넷, 부가음원의 실용성에 관한 것이다.

소음하고자 하는 음의 음압레벨과 부가음원에서 의 음의 음압레벨이 똑같은 경우에 투과손실이 가장 크게 되지만, 소음하고자 하는 음은 통상 레벨이 크므로, 이것에 필적할 음을 내는 부가음원이 필요하게 된다. 또한 닥트내를 고속기류가 통과할 경우 같은때는 내열성, 기계적강도, 그리고 음원이 장시간 연속 운전하는 기계와 같은 경우에는 이것이 필적할수 있는 내구성을 가진 부가음원이 필요하다. 이러한것 때문에 보통의 스피커 등으로는 실용성이 없다.

⑥ 토 출구 소음기

토 출구에서 고속으로 유체가 토출할때 발생하는 소음의 저감으로는 토출구소음기 <표 1-6>가 쓰이고 있다. 이것은 토출구에서의 음 발생 상태를 변화시켜 음을 저감하고 소음기이다. 토출구 소음은 토출구직경의 대략 20 배정도 하부에서 발생한다. 토출구 가까운곳에서는 고주파 먼곳에서는 저주파의 음 발생한다. 그러므로 이 소음기는 표에 나타낸 것과 같은 구조로 만들어진다.

다시말해 토출구에 다공판이나 철망등을 붙여 작은구멍으로 유체를 토출하여 소음을 될수 있는한 토출구 부근에 머물게 한다. 이렇게 되면 토출류에 의해 발생하는 소음의 저주파 성분은 감쇠하고, 고주파 성분은 약간 커지지만 이것은 그 후면의 흡음닥트형 소음기로 흡음한다. 그래서 소음기출구구경은 유속을 떨어뜨리기 위해 입구구경보다 크게한 구조로 한다.

이 소음기의 TL은 일반적으로 간단하게 구해질 수 없고, 통상 실험등에 의해 추정된다.

2. 거리감쇠

음원에서 음은 거리가 멀어짐에 따라 감쇠하므로 음원과 수음점의 거리를 멀리함으로써 소음을 저감할 수 있다. 거리에 따른 감쇠는 음원에서 멀어질수록 음의 에너지가 확산되는 경우와 음원과 수음원 간의 공기나 지표면등에서 음이 흡수가 일어나는 경우가 있지만 전자의 경우를 보통거리감쇠라 하고 있다.

거리감쇠량은 음원의 형상, 크기, 음의방사상태 등에서 구해지지만 $0 \sim 6\text{dB}/\text{배거리}$ ($\text{dB}/\text{D}\cdot\text{D}$, $\text{D}\cdot\text{D}$: Double distance 로 쓴 것이다)의 범위에 있다. 결국 거리가 2배 됨에 따라 최대 6 dB 감쇠한다. 실제 음원에서 음의 거리감쇠량은 음원의 형상, 음의 방사상태 등이 복잡하기 때문에 일반적으로 구해지기는 어렵기 때문에 다음에 나타나는 가상적인 몇개의 음원을 고려하여 그러한 음원에서의 거리감쇠량을 척도로 하여 추정된다.

2.1 점음원에서의 거리감쇠

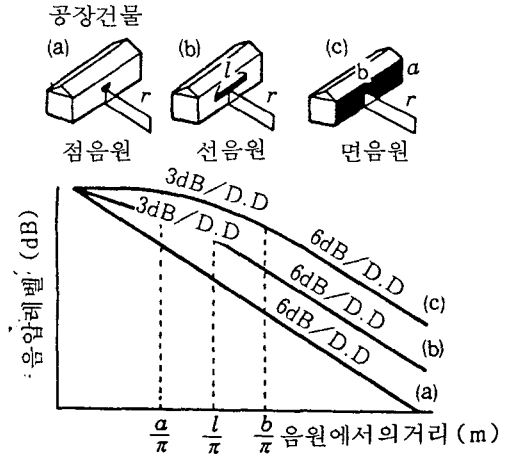
무지향성 음원에서 음이 나오는 경우를 고려하면 (그림 2. (a)), 이 경우의 거리감쇠량은 $20 \log \frac{r_2}{r_1}$ (dB)로 된다. r_1, r_2 (m) ($r_2 > r_1$)는 음원중심에서 임의의 2점까지의 거리이다. 거리가 2배됨에 따라 소음레벨은 6dB씩 감쇠한다. 다시말해 $6\text{dB}/\text{D}\cdot\text{D}$ 이 된다.

실제 음원의 최대크기 2배정도의 거리에서 이러한 감쇠가 일어난다고 생각하면 좋다. 음원 중심에서 r_0 (m) 되는 점의 소음레벨을 L_0 (dB) 이라 하면, r (m) 되는점의 소음레벨은 (1)식으로 구해진다.

$$L_r = L_0 - 20 \log \frac{r}{r_0} \text{ (dB)} \text{-----(1)}$$

2.2 선음원에서의 거리감쇠

무지향성 점음원이 다수 모여졌다고 볼수 있는 길이 ℓ (m)의 선음원의 경우는 <그림 2(b)> 음원 중심에서 직각방향으로 임의의 2점까지의 거리를 각각 r_1, r_2 (m) ($r_2 > r_1$)으로 하면 거리감쇠량은 (2)식과 같이 된다.



<그림 - 2> 점, 선, 면 음원의 거리감소

$$r_2 \leq \frac{\ell}{\pi} \text{ 일때 } 10 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)}$$

$$r_1 > \frac{\ell}{\pi} \text{ 일때 } 20 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)}$$

다시말해 $\frac{\ell}{\pi}$ 보다 음원에 가까운 곳에서는 거리가 2배 될때마다 3dB씩 감쇠하고, $\frac{\ell}{\pi}$ 보다 먼 곳에서는 $6\text{dB}/\text{D}\cdot\text{D}$ 감쇠를 한다. 이러한 음원에서는 음원중심에서 $\frac{\ell}{\pi}$ 떨어진 점음원으로 본다.

선음원 중심에 중심에 직각방향으로 r (m) 떨어진 점의 소음레벨 L_r 는 (3)식으로 구해진다.

$$r \leq \frac{\ell}{\pi} \text{ 일때 } L_r = L_0 - 10 \log \frac{r}{r_0}$$

$$r > \frac{\ell}{\pi} \text{ 일때 } L_r = L_0 - 10 \log \frac{\ell/\pi}{r_0} \text{-----(3)}$$

$$- 20 \log \frac{r}{\ell/\pi} \text{ (dB)}$$

2.3 면음원에서의 거리 감쇠

무지향성 점음원이 모여진 2번 길이가 a, b (m) ($b > a$)인 직사각형 면음원 <그림 2-cc>의 중심에서 면의 직각된 방향의 2점까지의 거리를 r_1, r_2 (m)라 하면 거리감쇠량은 (4)식과 같이 나타내진다.

$$r_2 \leq \frac{a}{\pi} \text{ 일때}$$

$$\frac{a}{\pi} \leq r_1, r_2 \leq \frac{b}{\pi} \text{ 일때 } 10 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ (dB)} \text{-----(4)}$$