

방음커버의 설계



李在宗

(소음진동·산업기계·유체기계 기술사)

목 차

1. 서론
2. 방음커버의 특성
3. 설계시 고려할 사항
4. 설계계산
5. 방음커버의 예
6. 결론
7. 참고문헌

1. 서론

소음방지를 위한 대책은 소음발생원 대책, 방사소음 저감책, 전반경로 대책 및 수음측 대책으로 분류할 수 있다. 이들 중 고체음의 방사소음 저감과 전반경로 대책을 조합시킨 소음방지책으로서, 음의 차음, 흡음, 밀폐 및 지향성 등을 이용하는 수동적소음제어방법의 하나로, 우리가 공장에 설치된 소음원들 중 기계장치류와 같은 것에 간단하게 적용할 수 있고 또 유용한 효과를 얻을 수 있는 방음커버(방음실 포함)를 들 수 있다. 방음커버는 기본적으로 필요한 투과손실성능을 가진 차음벽체로 소음원을 밀폐시켜 음원에서 발생, 방사되는 고체음이 차단되도록 함이 필요하다. 그러나 이렇게 하는데는 어려운 점이 많으며, 또 설계할 때 주의를 하지 않으면 공진, 방음커버 내부에 온도 및 음압의 상승등 문제가 발생하게 되어 오히려 음원중

기계장치류와 같은 경우 계속적인 가동이 곤란해질 수도 있다. 따라서 소음방지책으로 방음커버를 채용할 때는 사전에 제반 조건을 충분히 고려, 설계에 반영하여 방음커버가 내부 기계의 안전운전에 지장을 주지않는 상태하에서 소음의 저감효과를 발휘할 수 있도록 해야 한다.

본 고에서는 음원중 기계장치류(MOVING EQUIPMENT)를 위한 방음커버의 설계에 관련하여 고려해야할 사항과 아울러서 설계계산시에 참고로 할 수 있는 기초적인 컴퓨터 프로그램에 관하여 방음처리문제에 관심을 갖는 분들에게 참조가 될 수 있도록 간단히 기술해 보고자 한다.

2. 방음커버의 특성

방음커버가 갖고 있는 특성을 들면 다음과 같다.

- ① 방음커버는 가능한 한 소음원을 차음벽체로 밀폐시켜 내부와 외부간에 공기의 유통을 억제하여 음의 누설이 억제되도록 함이 필요하다.
- ② 소음원에 방음커버를 설치하면 이로인하여 내부에서 음압이 상승 된다.
- ③ 방음커버를 설치할 때 크기를 같게 하더라도 내부의 흡음재 처리유무에 따라서 음의 저감성능에 차이가 있다.
- ④ 전동기나 변압기 등 발열체가 부착된 소음원에

방음커버를 설치하면 발생하는 열이 내부에 축적되어 온도가 상승된다.

3. 설계시 고려할 사항

방음커버를 설계하는데 있어 소음의 주파수분석 및 방음커버의 특성과 함께 고려해야 할 사항을 들면,

- ① 음파의 누설 방지책
- ② 방음커버 내부의 음압상승 대책
- ③ 방음커버 내부에 발생열의 축적방지
- ④ 방음커버 내부에 폭발성가스의 생성, 축적방지
- ⑤ 방음커버의 재질 및 차음성강화
- ⑥ 방음커버의 차진 및 공진억제책
- ⑦ 고체음의 발생억제
- ⑧ 방음커버 내부의 흡음처리 필요성 유무
- ⑨ 소음발생원의 위치 및 음의 지향성
- ⑩ 개구부의 처리 및 음의 지향성
- ⑪ 방음커버 설치후 내부 기계장치의 조작 및 보수

문제

- ⑫ 방음커버의 내구성
 - ⑬ 방음커버의 설치방법
 - ⑭ 기타 방음성능 증대를 위한 구조 및 방법
- 상기 사항을 설계에 반영할 때 일부 몇 가지만을 선택적으로 적용해서는 양호한 방음효과를 얻기 어렵다.

따라서 설계에는 각 사항을 종합 검토하여 반영하여야 한다.

상기 사항중 중요부분에 대해 좀더 구체적으로 기술하면,

(1) 음파의 누설방지

방음커버는 내부에서 발생하는 소음이 외부로 누설되지 않도록함이 필요하다. 그러나 방음커버는 기계장치 등의 구조상 또는 설치후의 기계장치에 대한 조작과 보수 및 환기문제 등으로 밀폐형으로 하기가 곤란한 경우가 많다. 방음커버의 벽이 신뢰성있게 잘되어 있다고 하더라도 환기구나 틈새같은 부분이 있을 경우 이런 부분에서 음이 누설되고, TL이 영이되어 종합적인 TL의 저하를 갖고 오게 된다. 따라서 TL의 저하방지를 위해서 음의 누설부분에 대한 누설억제책을 강구해야 한다.

(2) 음압 상승에 대한 대책

소음원을 방음커버로 밀폐시키면 내부의 음압이 상승된다. 음압의 상승은 방음커버의 밀폐정도, 즉 음의 누설정도에 따라서 큰 영향을 받는다.

기계장치에 사용되는 방음커버는 보통 COMPACT 하며 크기가 음의 파장에 비하여 작은 경우가 많다.

이런 경우 방음커버 내부에서 음압의 상승치 ΔP 는,

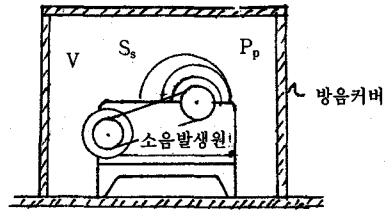


그림 3-1 방음커버에 의한 소음원의 밀폐

$$\Delta P = P_p - P_s$$

$$= \bar{U}_s P C \left(\frac{C}{WV} - \frac{K_a}{S_s} \right) (N/M^2) \quad (3.1)$$

여기서 P_p : 방음커버내의 음압의 최대치(N/M^2)
 P_s : 방음커버가 없을 때 음원표면의 평균음압
 실효치(N/M^2)

\bar{U}_s : 음원의 체적속도(M^3/sec)

P : 공기의 밀도(kg/m^3)

C : 음속(M/sec)

W : $2\pi f$ (Rad/sec)

\bar{V} : 음원과 커버 사이의 공간 체적(M^3)

$K = W/C$

a : 음원의 반지름(M)

S_s : 음원의 표면적(M^2)

위의 식은 $P_p > P_s$ 가 되고 V 가 작고 $Ka \ll 1$ 일 때의 음압상승의 한계치를 나타낸다.

음압상승에 대한 대책으로서 방음커버를 설계하는데 있어 음원의 크기, 소음의 주파수 분석치 등을 기초로 해서 커버의 크기와 벽 두께를 충분히 한다.

또 필요에 따라서는 커버의 내부에 흡음재를 첨부, 흡음력을 증가시켜서 이들에 의한 흡음효과를 방음성능의 향상에 이용함이 필요하다.

(3) 방음커버 내부의 열 축적 및 폭발성개스의 축적방지

방음커버의 내부에서 열이 발생, 축적되면 온도가 상승해서 전동기 등에 절연코일의 파괴를 촉진하거나 또는 계기류 등 열에 민감한 기기들의 작동을 어렵게 하며, 또 가연성개스가 형성, 축적되면 폭발의 위험성이 있다. 따라서 발열부분을 갖거나 가연성개스의 배출가능성이 있는 기계장치 등에 방음커버를 할 때는 발생하는 열과 가연성개스가 축적되지 않고 외부로 원활히 방출될 수 있도록 해서 기계장치와 계기류 등이 안전한 상태하에 가동되고 작동될 수 있도록 해야 한다. 방음커버로부터 방출될 가연성개스가 폭발의 위험성이 큰 경우는 별도의 국부적인 개스배출방법이 강구되어야 한다.

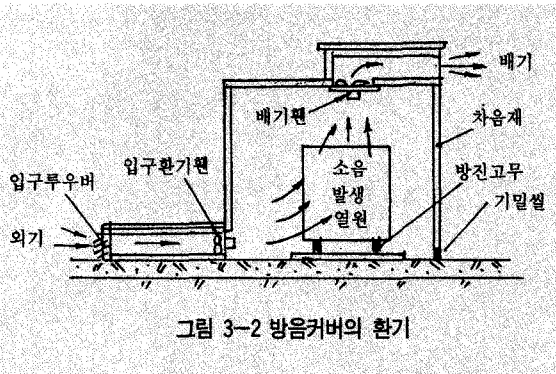


그림 3-2 방음커버의 환기

방음커버의 외부로 열의 방출은 내부의 더운공기와 외부의 찬공기와와의 환기를 이용한다. 환기의 방법은 보통 열의 발생량에 따라서 결정한다. 즉 발생열량이 적을 때는 자연 또는 자력통풍법으로 하고, 클때는 배출기를 이용한 강제통풍법을 채용하여 내부의 온도를 낮추는 동시에 가연성개스의 발화조건이 형성되지 않도록 한다.

소음원에서 발생하는 열의 양은 소음원의 특성에 따라서 상이하다. 예를 들면 전동기의 경우 전기의 소모량에 그리고 엔진의 경우 연료의 소모량 및 효율에 대략적으로 비례한다.

(4) 방음커버의 차음성 및 흡음처리

방음커버에 의한 감음은 차음성과 흡음성을 조합, 이용하므로써 큰 효과를 얻을 수 있다. 또 방음커버는

대부분 환기구 등을 필요로 하므로 설계할 때는 이들의 영향도 함께 고려해서 차음성능(종합TL)이 충분하도록 적절한 두께와 구조로 해야한다.

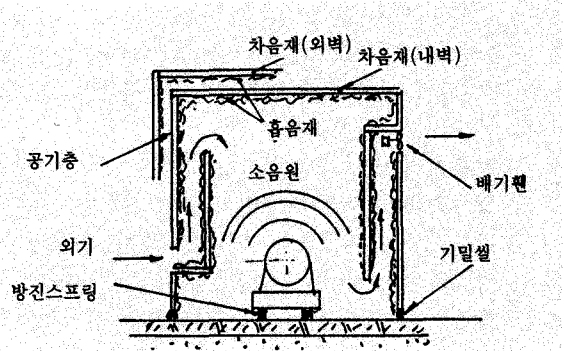


그림 3-3 흡음재 라이닝 및 기밀셀을 갖춘 환기구구조의 방음커버

방음커버벽의 구조는 보통 단일벽체의 내부에 흡음재를 첨부시킨 구조로 하나 경우에 따라서 감음효과를 보다 크게 하기 위해서 이중벽의 구조로도 한다. 이중벽은 중간에 공기층을 갖게 하던가, DAMPING재를 첨부하던가, 또는 흡음재를 채운 구조로 해서 방음효과를 더욱 증가케 한다.

방음커버의 벽재질은 철판이나 콘크리트 또는 SANDWICH PANEL 등으로 하고, 내부의 흡음재는 GLASS WOOL, ROCK WOOL 등 다공질 재료를 사용한다.

방음커버의 벽에서 차음성이 문제가 없더라도 두께가 너무 얇으면 판진동을 일으키기 쉽고, 이에 따른 공진의 유발로 소음이 커지게될 우려도 있다. 그러므로 방음커브는 차음, 공진 등을 고려, 두께를 충분하게 하고 필요에 따라 STIFFENER나 방진재 또는 제진재를 첨부, 고체가진에 따른 파동도 억제되게 해야한다.

방음실의 특수한 것으로서 항공기정비장에서 항공기 시험에 사용되는 HUSH HOUSE를 예로 들면, 벽체에서의 소음효과를 극대화시키기 위해 외벽을 음의 에너지를 내부로 반사시키는 차음벽으로 하고, 벽의 내측에 다공판을 사용, 이중벽구조체로 해서 이 이중벽구조체에서 저·중주파수 음역의 공기파동이 공명 흡음작용을 할 수 있도록 하고 여기에 흡음재를 함께

사용해서 고주파음도 흡수되도록 한 복합구조를 이용하여서 감음효과의 극대화를 기하고 있는 것을 볼 수 있다.

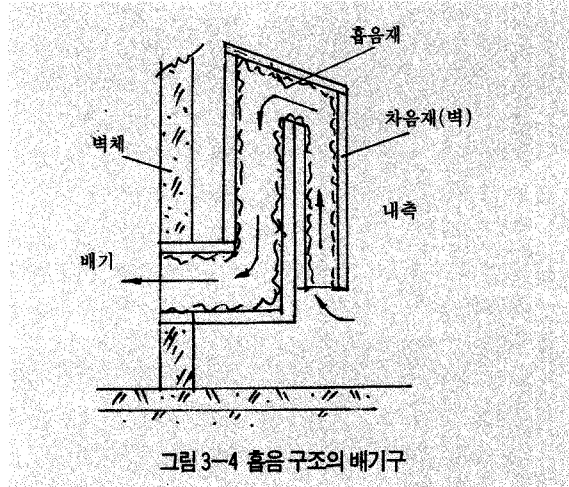
방음커버의 설계에서 흡음재를 사용할 때는 흡음재의 흡음특성을 고려해서 선택해야 한다. 소음의 주파수 특성에서 흡음처리의 대상이 고주파음이 주가 될 때 흡음재는 GLASS WOOL 또는 ROCK WOOL과 같은 다공질재료를 사용하고, 저주파음이 주가 될 때는 다공질재료에 의한 흡음효과가 적으므로 다공질재료보다는 진동흡음이나 또는 공명흡음작용을 이용하는 것이 감음에 효과가 크다. 다공질재료에 의한 흡음처리로 기대할 수 있는 감음효과는 5~10dB 정도 된다. 다공질흡음재를 벽에 설치할 때는 흡음재가 벽에서 이탈되거나 산란되지 않도록 해야 하며, 흡음재의 마감처리는 흡음성능이 저하되지 않도록 흡음재의 위를 얇은 GLASS WOOL 천 등으로 덮고 다음에 WIRE MESH나 개구율이 크고(30%이상) 얇은 다공판으로 덧 싸서 마감을 하도록 한다.

(5) 방음커버의 설치, 방진 및 제진

소음원의 기계적인 강제진동이 방음커버로 전달되어 고체소음이 방사될 때 방음커버에 대한 차진을 등한시 하면 차음처리를 아무리 잘하더라도 외부로 전파되는 소음은 저감되지 않는다. 또 고체소음에서 음압레벨은 진동가속도레벨과 어느정도 거의 비례하는 현상이 있다. 그러므로 방음커버를 설치할 때는 접촉부에 GASKETS나 SEALS을 삽입, 고정하여 기계장치의 BED 등 소음발생원과 기계적인 직접접촉을 피하도록 하고, 기밀성이 잘 유지되도록 해서 가동중에도 음이 누설되지 않게 해야 한다. 또 아울러 진동이 흡수, 차단되고 공진의 발생이 억제되도록 해야 한다. 방음처리에서 방진재와 제진재를 사용하면 각각 3~5dB와 2~3dB정도의 감음효과를 얻을 수 있다.

(6) 개구부(흡기구, 배기구)의 처리와 음의 지향성

환기에 의한 공기의 방사음과 기류음이 발생되고 또 유속의 증가로 방향성을 갖는 운동에너지가 증가되어 개구부에서 소음레벨이 높아질 수 있게 된다. 따라서 소음을 낮추기 위해서는 가능한 한 환기의 유속을 줄이고 음의 지향성을 고려, 개구부의 방향을 피해지점과 90도로 향하도록 함이 필요하다. 또 경우에 따라서 환경관리인. 1994. 3



는 개구부를 흡음형 구조로 하는 것도 고려해야 한다. 지향성의 이용에 의한 감음효과는 약5~10dB 기대할 수 있으며, 또 감음효과는 고주파음 일수록 커진다.

4. 설계계산

기계장치 등을 위한 방음커버의 설계계산을 할때에 고려해야 될 주요사항은,

- ① 소음의 음압레벨 또는 음향파워
- ② 허용음압레벨
- ③ 방음커버의 차음도
- ④ 방음커버의 흡음
- ⑤ 음의 지향성
- ⑥ 개구부에서의 감음
- ⑦ 방음커버내부의 발열량
- ⑧ 방음커버내부의 환기량
- ⑨ 음의 누설정도
- ⑩ 방음커버의 크기

등을 들 수 있다. 상기 사항에 대한 계산은 다음을 참조로 한다.

(1) 음압레벨 혹은 음향파워

소음원에서 발생하는 소음의 음압레벨이나 음향파워의 값은 소음원의 제작사가 제시해야 한다. 만약 음압레벨이나 소음레벨 또는 음향파워에 대한 자료가 없을 때는 현장 실측을 해야 한다. 방음커버를 설계할때 소음의 기준은 각 재료가 갖고 있는 흡음성이나 차음

성이 주파수에 따라서 다르므로 주파수분석치를 기준으로 함이 필요하다. 그러나 음의 특성상 주파수 BAND 모두를 만족시킬 수 있는 효과적인 방음대책을 강구한다는 것은 힘들다. 그러므로 보통의 경우 설계계산의 기준은 소음의 주파 분석에서 음압레벨이나 음향파워중 가장 문제가 되는 주파수 BAND의 값이나 또는 OVERALL값을 참조하여 기준으로 정한다. 또 동일한 방음커버내에 소음원이 여러대 설치될 경우는 음압레벨이나 음향파워레벨을 대수합산한 값을 기준으로 한다.

방음커버에서 음압레벨은 방음커버의 크기가 보통 작으므로 음의 거리감쇠를 무시하고 다음의 식으로 계산할 수 있다.

가) 방음커버의 크기 < 음의 파장인 경우
소음에서 저주파음이 주로 문제가 될때 방음커버내부의 음압레벨 L_p 은,

$$L_p = 20 \log \left(\frac{U_s}{W} \cdot \frac{\rho C^2}{V} \right) + 94$$

$$= PWL_s - 40 \log f - 20 \log V + 81 \text{ (dB)} \quad (4,1)$$

여기서

PWL_s : 음원의 방사 음향파워레벨 (dB)

f : 주파수 ($Ka \ll 1$ 경우) (HZ)

나) 방음커버의 크기 > 음의 파장인 경우

소음에서 고주파음이 문제가 될 때 방음커버내부를 흡음재로 처리치 않으면 소음의 전후 파동의 상호반사 작용에 의해서 소음이 수 dB 증가될 수 있다. 따라서 방음커버의 내부를 흡음재로 처리, $R > 1$ 조건이 조성 되도록 함이 필요하며 또 방음커버가 소형인 경우에는 흡음재료로 $\alpha > 0.5$ 인것을 사용함이 효과적이다.

방음커버의 내부에서 고주파소음의 음압레벨은 다음의 식으로 주어진다.

$$L_p = PWL_s + 10 \log \left(\frac{4}{R} \right)$$

$$= PWL_s + 10 \log \left(\frac{1 - \bar{\alpha}}{S \bar{\alpha}} \right) + 6 \text{ (dB)} \quad (4.2)$$

여기서

R : 방음커버내의 실정수 (ROOM CONSTANT) (M^2)

$\bar{\alpha}$: 방음커버내부의 평균흡음율 (음원의 표면 포

방음커버의 설계에서 흡음재를 사용할 때는 흡음재의 흡음특성을 고려해서 선택해야 한다. 소음의 주파수 특성에서 흡음처리의 대상이 고주파음이 주가 될 때 흡음재는 GLASS WOOL 또는 ROCK WOOL과 같은 다공질재료를 사용하고, 저주파음이 주가 될 때는 다공질재료에 의한 흡음효과가 적으므로 다공질재료보다는 진동흡음이나 또는 공명흡음작용을 이용하는 것이 감음에 효과가 크다. 다공질재료에 의한 흡음처리로 기대할 수 있는 감음효과는 5~10dB 정도 된다.

함)

S : 방음커버내부의 전 표면적 (음원의 표면적 포함)

그러나 방음커버의 크기가 커서 건물의 실내와 같은 형태의 방음실을 이루게 되는 경우, 방음커버내부의 음압레벨은 자유음장에서 측정된 음향파워나 또는 평균음압레벨에 음의 거리감쇠와 R 에 의한 감쇠를 고려한 다음의 식이나 그림 4-1을 이용해 구할 수 있다.

$$SPL_i = PWL + 10 \log \left(\frac{1}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{R} \right)$$

$$= \overline{SPL} + 10 \log \left(\frac{1}{2\pi r_2^2} + \frac{4}{R} \right) + 8 \text{ (dB)} \quad (4,3)$$

여기서 SPL_i : 음원에서 $r_2 M$ 떨어진 방음커버내벽의 음압레벨 (dB)

PWL : 음원의 방사 음향파워레벨 (dB)

\overline{SPL} : 자유음장에서 측정된 음원의 방사 평균 음압레벨 (dB)

r_2 : 음원과 방음커버내벽간의 거리 (M)

(2) 허용음압레벨

소음의 허용음압레벨은 설계 때 목표로 하는 음압레벨로 특별한 규제치가 주어지지 않으면 보통 방음커버의 표면으로부터 1M 떨어진 지점에서의 규제목표 소

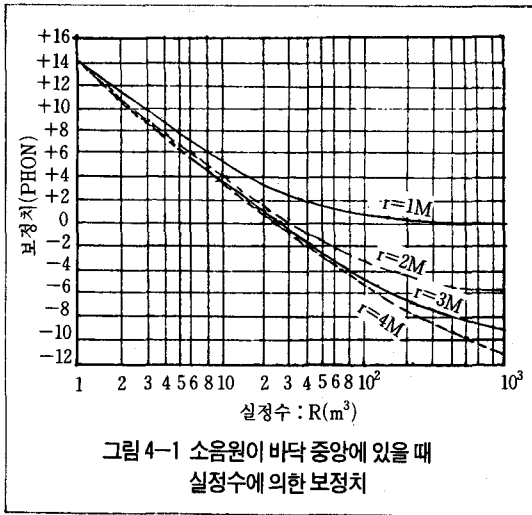


그림 4-1 소음원이 바닥 중앙에 있을 때
흡정수에 의한 보정치

음레벨값으로 정한다.

(3) 방음커버의 차음도(TL_c)

차음도는 음원이 발생하는 소음의 음압레벨과 음원의 외부방사허용음압레벨과의 차로 방음커버가 감당하여야 할 감음량이다. TL_c는 소음의 주파수와 함께 방음커버의 벽두께 등에 대한 설계계산의 기초로 삼는다.

방음커버벽의 구조는 필요한 TL_c의 크기를 고려, 일중벽, 이중벽 혹은 내면울 공명흡음구조로 할 것인지와 흡음재의 부착 필요성 유무에 대하여 검토를 한 후 결정한다.

방음커버가 환기구 등 개구부를 가지고 있고 또 여러가지 재료나 상이한 두께로 구성되는 경우에 종합적인 TL은 TL_c를 고려하여 산정한다.

$$\overline{TL} = 10 \log \frac{1}{Z}$$

$$= 10 \log \left(\frac{\sum S_i}{\sum S_i Z_i} \right) \text{ (dB)} \quad (4.4)$$

여기서

S_i : 벽의 각 부분의 면적(M²)
Z_i : 벽의 각 부분재료의 투과율
= 10^{-TL_i/10}

$$\overline{TL} > TL_c$$

그러나 방음실과 같이 크기가 크고 또 어느 특정한 부분에서만 문제가 될 경우는 그 특정부분에 대한 TL만을 고려해도 된다.

방음커버의 벽을 일중벽체로 할 때에 벽체의 두께는 차음의 질량법칙(MASS LAW)을 기초로 한 식,

$$TL_c : 18 \log(Mf) - 44 \text{ (dB)} \quad (4.5)$$

여기서 M : 방음커버벽체의 면적밀도(kg / M²)

$$= \rho \text{ (g / cm}^3\text{)} \times t \text{ (MM)}$$

f : 주파수(Hz)

에서 M를 구하여 벽의 두께t를 결정하거나, 또는 각 재료의 TL성능에 관한 데이터를 참조, t를 결정한다. 방음커버의 벽 구조를 이중벽으로 할 때는 저음역의 공진주파수 부근에서 TL이 현저히 저하되고 또 고음역에서는

$$TL_{\min} = 10 \log \left(1 + \left(\frac{WM}{\rho_c} \right)^2 \right) \text{ (dB)} \quad (4.6)$$

에서 TL의 골돌이 발생된다. 이의 보완책으로 공기층에 ROCK WOOL 등 흡음재를 충전하여 음에너지를 감쇠시키면 3~10dB 정도 TL이 증가되며, 또 설계계산에서 설계기준인 차음목표주파수 f와 공진주파수 f_r 및 일치주파수 f_c 간에 다음의 관계가 이루어 지도록 f_r과 f_c를 조정해야 한다.

$$\sqrt{2}f_r < f < f_c$$

$$f_r = 600 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2}} \frac{1}{d} \text{ (Hz)} \quad (4.7)$$

$$f_c = \frac{C^2}{2\pi h \sin^2 Q} \sqrt{12\rho c_i - \delta^2 / E}$$

$$\text{(Hz)} \quad (4.8)$$

여기서

m₁, m₂ : 각 벽의 면밀도(kg / M²)

d : 공기층의 두께(cm)

h : 벽의 두께(cm)

ρ : 벽의 밀도(kg / m³)

δ : 포아손비

E : 영율(kg / cm²)

Q : 입사각

질량법칙에서 볼때 일중벽에서 TL을 벽의 두께 t를

2t로 하면 5~6dB 정도 증가한다. 그러나 벽의 구조를 이중벽으로하고 두께를 t+t로 하면 TL은 두께가 t인 일중벽일때 보다 10~15dB정도 증가한다. 그러므로 동일한 TL을 얻는데 이중벽구조로 하면 일중벽에 비하여 경량화를 기할 수 있다. 이중벽에서 중간 공기층의 두께는 10cm이상으로 한다.

방음커버벽의 내측을 공명흡음형 구조로할 때는 공명효과에 의한 TL도 벽체의 종합 TL의 계산에 함께 고려 한다.

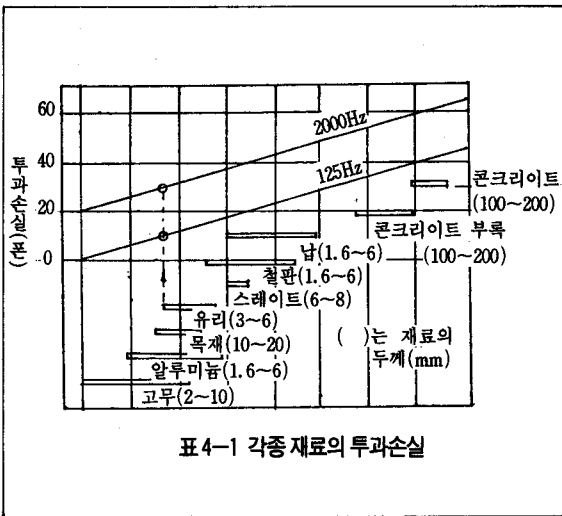


표 4-1 각종 재료의 투과손실

(4) 방음커버내면의 흡음

방음커버내면의 흡음은 소음의 주파수 특성과 흡음처리부하를 분석, 검토하여 흡음의 처리방법과 흡음재 등을 결정한다.

방음커버에서 흡음처리방법은 보통 GLASS WOOL 등 다공질재료에 의한 흡음을 많이 이용한다. 그러나 다공질흡음재에 의한 흡음처리는 소음의 주파수특성이 고주파음이 문제 가 될 때 효과적이다. 만약 저주파의 소음이 문제가 될 때는 판진동 등 다른 적당한 흡음처리방법을 채용하도록 한다.

방음커버의 내부 벽면을 흡음율이 다른 여러가지 재료로 구성할 때 흡음은

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_n \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (4.9)$$

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (M^2) \quad (4.10)$$

여기서

S_i : 방음커버내 각부의 면적(M^2)

α_i : 각 재료의 흡음율

S : 방음커버내부의 전면적(= $\sum S_i$)

에서 α 와 R을 구하며, 또 식(4,3)이나 그림 4-1을 이용하여 흡치리에 의한 흡음도를 구할 수 있다.

표 4-2 각종 재료의 흡음율

재 료	주파수(Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Brick						
Un glazed	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
Painted	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Concrete block, painted	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08
Concrete	0.01	0.01	0.015	0.02	0.02	0.02
Wood	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
Glass	0.35	0.25	0.18	0.12	0.08	0.04
Gypsum board	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
Plywood	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
Soundblox concrete block						
Type A(slotted), 6in(15cm)	0.62	0.84	0.36	0.43	0.27	0.50
Type B, 6in(15cm)	0.31	0.97	0.56	0.47	0.51	0.53
Carpet	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
Fiberglass typically 41b / ft ³ , (64kg / m ³), hard backing						
1in(2.5cm)thick	0.07	0.23	0.48	0.83	0.88	0.80
2in(5cm)thick	0.20	0.55	0.89	0.97	0.83	0.79
4in(10cm)thick	0.39	0.91	0.99	0.97	0.94	0.89
Polyurethane foam, open-cell						
1/2in(0.6cm)thick	0.05	0.07	0.10	0.20	0.45	0.81
1/2in(1.3cm)thick	0.05	0.12	0.25	0.57	0.89	0.98
1in(2.5cm)thick	0.14	0.30	0.63	0.91	0.98	0.91
2in(5cm)thick	0.35	0.51	0.82	0.98	0.97	0.95
Hairfelt						
1/2in(1.3cm)thick	0.05	0.07	0.29	0.63	0.83	0.87
1in(2.5cm)thick	0.06	0.31	0.80	0.88	0.87	0.87

(다음호에 계속)

낭비하면 공해물질 회수하면 유용자원