

무향실 . 반무향실의 음향설계

* 김 종 철 , 최 순 근 **

(Acoustic Designing of Anechoic & Semi-Anechoic Chamber)

(Jong - Cheol Kim , Soon - Keun Choi)

1. 서 본

음향측정에 사용되는 무향실은 각종정밀측정을 하는데 기본적인 중요설비로 소리의 환경을 인위적으로 만든 설비이다 .

무향실은 자유음장을 형성하는 실로 실내 모든면에서 음을 완전히 흡수하여 "음의 반사가 없는 실" 을 말하며 , 실제 주변환경에서는 찾아보기 힘든일이다.

이전에는 주로 Speaker 나 Microphone 등의 지향복성 및 고정에만 국한되어 사용했지만 현재 각종 기계류의 방사 Power 측정 , 측정실내의 객관적인 고정검사 , 기자재의 객관적인 음향측정 데이터 비교평가등 무향실을 이용한 음향분석연구가 각분야에서 광범위하게 이용되어지고 있다.

2. 무향실의 설계 기준

2.1 무향실 . 반무향실의 설계순서

무향실을 설계할 경우 우선 주변환경 조건 및 실의 용도 , 사용목적 , 성능조건 , 규격 등을 그림1. 과 같이 결정하여야 한다.

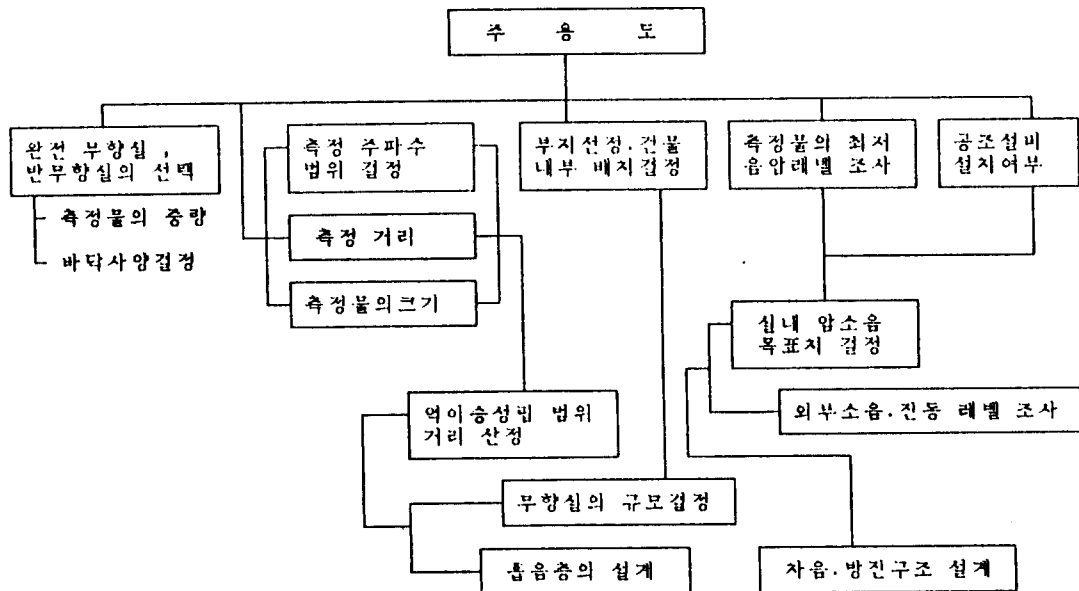


그림 1 . 무향실의 설계순서

* 선일기술개발 주식회사

** 선일기술개발 주식회사

2. 2 무향실 . 반무향실의 선택

무향실의 선택은 측정하고자 하는 피측정체에 의하여 결정하는 경우가 많다. 측정음장으로서 무향실이 유리하며 반무향실의 경우에는 바닥면으로 부터의 반사음 처리가 어렵고 무향실에 비하여 측정정도가 떨어진다. 단, 대형기계와 차량 소음측정설비의 경우에는 견고한 바닥면으로 구성된 반무향실이 필요하고, 최근 이번 반무향실의 수가 증가하고 있다.

2. 3 측정 주파수 범위의 결정

실의 용도, 주요 측정항목에 의하여 정하며, 일반적으로 설계에 있어서는 하한 주파수 (Cut - off Frequency) 에 따라 실의 규모, 자음설계, 흡음구조의 설계가 이루어진다. 설계주파수의 범위는 100 Hz 이상의 대역을 취하는 경우가 많지만 소음계의 교정, 복수기계, 차량의 소음측정, Speaker 나 Microphone 의 특성 측정의 경우에는 더 낮은 하한주파수로 설계하는 경우도 있다.

표 1 . 하한주파수에 따른 분야별 응용예

하 한 주 파 수 (Hz)	응 용 범 위
50	기초 음향 연구
60 - 65	고급음향기기, 통신장비
75	자동차 및 비행기 엔진과 그 부품
100	전기 기기 (Motor, 발전기, 변압기 등) 사무용기기, 악기, 심리음악연구
125	음향 기기
150	자동차부품, 가정용 기구

2. 4 실내치수의 결정

설계단계에서 무향실로 예정된 공간이 주어져 있는 경우가 많지만, 기본적으로는 무향실 내에 설치되는 음원의 최대치수와 Microphone 의 측정거리에 의하여 결정하는것이 바람직하다. 따라서, 무향실의 최소 유효치수는 다음과 같다.

$$L = (\lambda/4 + a/2) + 2a + \frac{\lambda}{4} + \alpha$$

$$= 2.5a + \lambda/2 + \alpha$$

L : 실내 유효 치수

a : 시료 (음원) 의 최대치수

λ : 측정 하한주파수의 파장

α : 여유 측정 범위 (약, 400 mm)

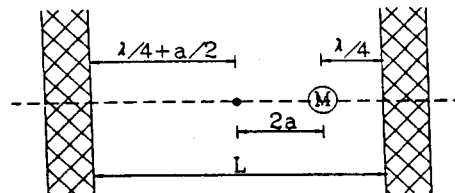


그림2 . 무향실의 치수 결정

또한, 이상적인 유효치수는 $L = 4a + \lambda/2 + \alpha$ 로 하고, 직방형 보다는 정방형으로 설계하는것이 좋다.

ISO 규격안에서는 간단한 실의 치수 결정 방법으로 실내용적음 시료 (음원) 체적의 200배 이상으로 하도복 규정되어 있다.

2.5 실내압소음의 허용한도

무향실의 차음설계와 방진설계를 할때 조건으로는 외부의 소음, 진동 상태 및 실내압소음의 허용한도를 조사하여 차음자재와 방진자재를 선택한다.

실내에 항온항습설비를 설치할 경우에도 외부소음원의 하나로 간주하여 방음덮거나 소음기를 부착하여 실내압소음에 영향이 없도록 설계하여야 한다.

또, 무향실이 건물내부에 설치될 경우에 건물내에 설치된 기계류의 고체음 전달을 차단하기 위하여 방진재를 이용하여 뜬바닥구조로 설계하는것이 원칙이다.

실내의 압소음도는 낮을수록 좋지만 경제성을 고려하여 허용한도를 설정하여 설계목표치를 정한다. 이경우 무향실의 압소음도는 용도에 따라 다르지만, 피 측정체의 최저소음도를 조사하여 이소음보다 압소음도가 10 dB 이상 적도록 설계하면된다. 이조건은 측정주파수 범위의 전체주파수대역에 만족하여야 하나 간단하게 전체 소음도에 대하여 적용하여도 무방하다.

2.6 무향실의 음장특성

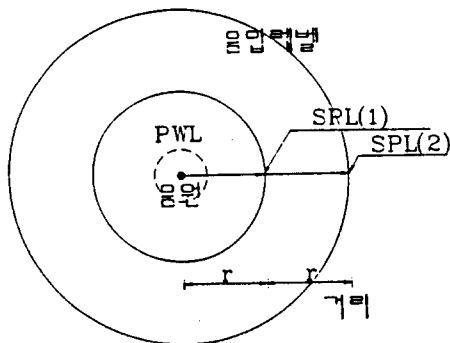
무향실의 설계에 있어서 가장 중요한 부분이므로 무향실과 반무향실로 구분하여 살펴볼 필요가 있다.

2.6.1 무향실

무향실로서 이상적인 조건은 자유음장 (Free Sound Field) 의 성립이다.

실내 점음원으로 부터 발생한 음이 거리가 2배 증가할때마다 6 dB 씩 감쇠한다. 이러한 상태가 완전자유음장 상태이며 이것을 역이승법칙이라 한다.

완전한 자유음장을 실현하기 위해서는 무향실 내부면은 흡음율이 1.0 에 가까운 흡음재를 설치하여야 한다. 보통 흡음율이 0.99 이상 (음압반사율 0.1 이하, $r = \sqrt{1 - \alpha}$) 의 흡음 구조로 설계하는 경우가 많지만, 경제성을 감안하여 흡음율이 0.99 에 달하지 않더라도 실내의 측정 가능한 부분에 자유음장이 성립하면된다. 어떠한 흡음구조라 하더라도 벽면으로부터 다소의 반사음이 존재하기 때문에 실제음장의 역이승법칙 으로부터 편차를 측정해 성능검사를 하여야 한다.



$$* SPL(1) = PWL - 20 \log r - 11 \text{ ----- (1)}$$

$$* SPL(2) = PWL - 20 \log 2r - 11 \text{ ----- (2)}$$

$$* \text{감쇠량} : (1) - (2)$$

$$* SPL(1) - SPL(2) = 20 \log(r/2r) = 6.02 < \text{dB} >$$

그림 3 . 역이승법칙의 거리감쇠

ISO 규격에서는 음원을 점음원으로 보고 실증양에 높아 음원으로부터 실의 8 모퉁이 방향에 대해 음압변화를 측정하여 역이승법칙으로 부터의 편차가 표 2의 값 이하인 경우에 대하여 만족하면 성능이 완전한 무향실로 본다.

표 2. 무향실의 이상적인 역이승법칙 허용편차 (ISO 3745)

1/3 Octave Band 중심주파수 (Hz)	허 용 편 차 (dB)
≤ 630	± 1.5
800 ~ 5,000	± 1.0
≥ 6,300	± 1.5

2. 6. 2 반 무향실

무향실은 바닥면을 견고한 반사구조로하고 이외의 흡음구조는 무향실과 동일하다. 단, 역이승법칙에 의한 성능검사를 위한 음원을 무향실과 같은 모양으로 실의 중심점에 놓는것은 적당치 않다. 이것은 바닥면으로부터 반사되는 음의 간섭에 의하여 거리감쇠 특성이 그림 4와 같이 불규칙 하게된다. 이 때문에 ISO 규격에서는 시험용 스피커를 바닥면 중앙부에 설치하고, 이것으로부터 무향실 천정 4 방향 모서리에서 거리감쇠를 측정 하는것으로 규정하였다.

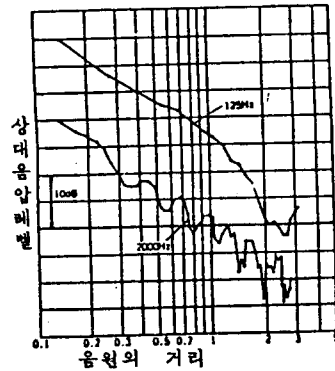


그림4. 반무향실에서 음원이 바닥면으로부터 떨어진것을때의 음상 특성에 .

표 3. 반무향실의 이상적인 역이승법칙 허용편차 (ISO 3745)

1/30 Octave Band 중심주파수 (Hz)	허 용 편 차 (dB)
≤ 630	± 2.5
800 ~ 5,000	± 2.0
≥ 6,300	± 2.5

2. 6. 3 무향실에 사용되는 흡음재 및 특성

무향실은 완전한 흡음제로 구성되며 모든 측정주파수에 대하여 흡음율이 100% 가 이상적이지만 99% 정도의 흡음제를 사용한다. 일반적으로 흡음재료를 분류하면 다공질형, 막진동형, 공명기형등이 있지만, 무향실에서 사용되는 재료는 4 ~ 8 ㎝ 정도의 입자로 구성된 유리섬유나 암면등이 사용되며 최근에는 석유화학제품인 Polyurethane Foam 도 사용하고 있다. 그 특성은 입자유평파가 작은음사이를 통과하면서 열에너지로 변하여 이에 의한 저항으로 분자속도가 커지므로 에너지의 손실이 생겨 흡음효과를 발휘하게 된다.

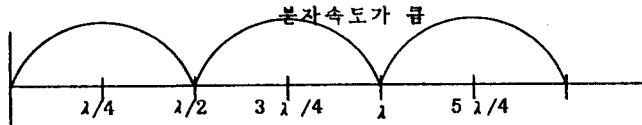


그림 5. 벽체에 파장 λ의 음파가 입사시의 본자속도

위 그림에서 벽면에 본자속도가 빠른 $\frac{\lambda}{4}$, $\frac{3\lambda}{4}$... 위치에 다공질 흡음재를 설치하면 흡음효과가 커지므로 다공질흡음재의 두께는 $\lambda/4$ 이상으로 하는것이 좋다.

3. 무향실의 설계

3.1 무향실의 소음차폐

무향실의 압소음 정도가 결정되면 외부차음벽을 설계한다. 이때, 각벽면을 통해 외부로부터 들어오는 소음에 대한 총합 부과손실은 수직 입사시에 식 (1) 과 같다.

$$TL_o = 10 \text{ Log } \frac{A}{\sum S_i \cdot \tau_i^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_i : \text{각 벽면의 면적} \\ \tau_i : \text{부과율} \left(\tau_i^2 = \left(\frac{2\rho C}{W \cdot m} \right)^2 \right) \\ A : \text{실의 흡음력} \end{array} \right.$$

Random 입사시에는 식 (2) 와 같이 된다.

$$TL_m = TL_o - 5 \text{ dB} \dots \dots \dots (2)$$

부과손실은 주파수에 따라 다르기 때문에 평균 부과손실은 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz 에서의 부과손실을 구하여 산술평균하여 구한다.

3.2 흡음 Wedge 설계

낮은 주파수대역의 음파를 흡수하는 것으로 흡음 Wedge 를 벽, 천장, 바닥 및 출입구의 내부표면에 부착시킨다. 이 흡음 Wedge 의 크기와 형태는 여러가지가 있으나 유지, 보수면에서 선단 Cut 형 흡음 Wedge 가 편리하다. 흡음 Wedge 의 길이는 일반적으로 측정하한 주파수에 의해 결정되어지며 파장이 긴 주파수 대역의 음파에 대해서 충분한 흡음특성을 나타내기 위해서는 Wedge 의 길이불 길게 하는것이 유리하다.

Wedge 의 저역차단주파수는 Wedge 의 길이 L, 음파의 파장 λ 에서 $\lambda/4$ 와 $\lambda/2$ 의 주파수에서 나타난다. 예를들어, L = 1m 의 Wedge를 사용할경우 $\lambda = 4.0 \sim 6.28$ m 이며 저역차단 주파수 $f_c = 85 \sim 54.1$ Hz 의 범위내에 있고 약 63 Hz 정도의 범위는 무향실로서 사용 할수 있다.

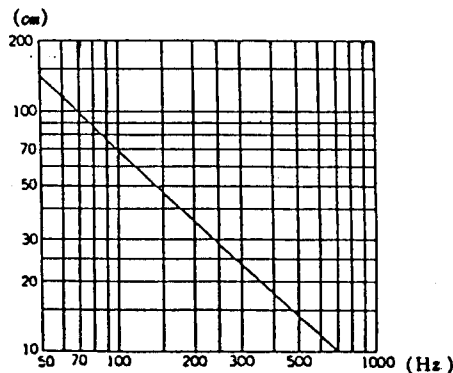


그림 6. 흡음 Wedge의 차단주파수 (Fc) 와 Taper 부 길이와의 관계

3. 3 측정가능 범위 계산

음원을 점음원이라 가정하고 구면파의 세기는 역이승법칙에 따라 감소한다.

직접음의 세기를 B_d 라 하면 ,

$$B_d = \frac{1}{4\pi r^2} \cdot P$$

[

r : 음원으로 부터의 거리
 P : 음원의 총 음향출력

벽면에서의 반사음을 B_r 이라 하면 ,

$$B_r = \frac{4\pi (1-\bar{\alpha})}{\bar{\alpha} \cdot S}$$

[

$\bar{\alpha}$: 실의 평균 흡음률
 S : 실의 표면적

직접음과 반사음의 비는

$$\frac{B_d}{B_r} = \frac{\bar{\alpha} \cdot S}{16\pi^2 r^2 (1-\bar{\alpha})}$$

여기서 일반적으로 $\frac{B_d}{B_r} > 5$ 이므로

$$r^2 < \frac{\bar{\alpha} \cdot S}{5 \times 16\pi^2 (1-\bar{\alpha})}$$

따라서 ,

$$r = \sqrt{\frac{\bar{\alpha} \cdot S}{5 \times 16\pi^2 (1-\bar{\alpha})}} \quad \text{이다 .}$$

4. 결 론

본 논고에서는 무향실의 합리적인 설계법 위하여 무향실의 용도 , 설계안에 대한 기초자료 조사 , 설계기준 , 설계방법에 대하여 서술하였다.

본논고는 설계단계에서 검토 할 수 있는 사항에 대한 내용에 국한하였으며 무향실의 효율적인 활용을 위하여서는 무향실의 특성 및 성능에 대한 자료가 반드시 필요하며 , 효율적인 설계를 위하여는 무엇보다도 무향실의 사용목적과 철저한 기초자료가 요구되어진다.

5. 참고 문헌

- (1) F . Ingerslev et al : ew rooms for acoustic measurements at the Danish Technical University .
Acoustica Vol.19 (4) 1967 / 68 pp . 185 - 199
- (2) L . L . Beranek et al : The design and construction of anechoic sound chamber , Jkourn . Acoust . SOC . Am . Vol . 18 (1) 1946 PP. 185 - 199
- (3) M . Pancholy et al : Design and construction of an anechoic Chamber at the national Physical laboratory of India , Applied Acousitics Vol . 14 . 1981 PP. 101-111
- (4) 일본 음향 재료 협회 : 소음 . 진동 Handbook , 기보당 .
- (5) ISO 3745 : 무향실 . 반무향실에서의 소음원의 음향 레벨 측정 방법 .