

무향실 설계 및 평가방법

이 장 명

(울산대학교 자동차공학과)

1. 서 론

무향실의 설치는 먼저 유럽 및 미국에서 시작되었다. 그 당시 선구자적 역할을 한 대표적인 곳으로는 덴마크의 공과대학, 독일 BMW, 미국의 GM, FORD, IBM 등이 있다. 이들은 이미 오래 전부터 음의 연구를 시작하여 각 분야에서 제품의 개발 연구 및 규격으로 무향실을 이용하였다.

일본에서는 1930년대에 이 기술을 도입하여 동경대학 항공우주연구소를 처음으로 무사시노(武蔵野) 전기통신 연구소, 동경대학, 전기통신 종합 연구소, 일본 방송협회(N.H.K.) 및 산업체의 많은 영역에서 무향실이 설치되어 활용되고 있다.

우리 나라도 1970년대에 스피커 부품 생산업체를 시작으로 대학교나 연구소 등의 전문적인 연구 기관에서 음의 연구를 위하여 소형 무향실을 설치하기 시작하였다. 하지만 1980년대 중반에 접어들면서 가전 및 전자제품회사, 자동차회사 등에서 크고 작은 완전 및 반 무향실을 설치하기 시작하여 최근 들어서는 자동차 부품회사, 농기계회사, 건설회사 등에도 확산되고 있다. 또한 최근의 무향실은 더욱 더 고성능화, 다양화, 대형화하는 경향을 띄고 있다.

무향실에 대한 수요가 근래에 와서 급격하게 늘고 있는 것은 사실이지만 아직까지도 우리 나라 대부분의 엔지니어들에게는 무향실은 생소한 영역이다. 따라서 무향실 설치의 필요성은 느끼지만 어떠한 무향실을 어떻게 설치하여야 하는 문제에 봉착하였을 때에는 당황하는 경우가 많다. 이런 경우 대부분의 엔지니어들은 국내 및 국외에 설치되어 있는 무향실들을 견학하면서 그곳의 담당 엔지니어들과 의견을 주고 받음으로써 무향실에 대한 지식의 폭을 넓혀 간다. 저자 또한 저자가 속해 있는 울산대학교 자동차

공학과에 실차 실험이 가능한 다목적 완전 무향실을 설치하면서 경제적인 가격으로 목표하는 성능을 만족시키는 무향실을 설치하고자 국내외의 무향실들을 견학하면서 자료를 수집하였다.

저자는 울산대학교 자동차공학과에 가로 8.4m, 세로 7.2m, 높이 5m의 다목적 완전 무향실(실차 실내소음, 엔진 방사소음, 흡기계 및 배기계 소음, 스피커 성능, 음질 평가 등의 시험이 가능함)을 설치하면서 축적한 경험과 이 과정에서 획득한 자료를 토대로 무향실의 설계 및 평가 방법에 대하여 간략히 소개하여 향후 무향실을 짓고자 하는 분들에게 조금의 도움이 되고자 본 고를 기술한다.

이번 원고에 포함된 자료가 무향실 설계 및 평가에 관계되는 모든 자료가 포함된 것이 아니며 더군다나 절대적인 것은 더욱 아니다. 다만, 자료 획득의 용이성 때문에 일본 자료를 많이 참작하였음을 미리 밝혀 둔다.

2. 무향실의 정의

1) ISO(국제표준화기구) 3745의 규격에 따라 만들어진 방

- 실 용적은 측정대상물 용적의 200배 이상일 것
- 흡음력은 측정 주파수범위내에서 99%이상일 것 (상세한 것은 ISO 3745를 참조)

2) KS(한국공업규격) A 0705의 규격에 따라 만들어진 방

측정 대상이 되는 주파수 범위내의 음파를 충분히 흡수하는 경계면으로 구성되고 그 내부에서는 자유음장¹⁾의 조건이 성립되는 시험실

ISO의 정의와 같이 측정대상물에 비해 충분히 큰

자유음장¹⁾: 등방성이며 균질한 매질로 채워지고 경계의 방향이 없는 음장

방이면 쉽게 자유음장을 얻을 수 있으나 (단, 저음역에 관해서는 검토가 필요) 크기보다는 흡음재에 투자하는 것이 보다 경제적이라고 할 수 있다. 따라서 이러한 관점에서부터 설계의 착안점이 성립된다고 할 수 있다.

3. 무향실의 종류

무향실은 각종 음향 특성을 측정하기 위한 기본적인 설비로, 이전에는 주로 마이크로폰이나 스피커 등의 고정과 이들의 특성을 측정하기 위하여 사용되어 왔다. 최근에는 그 밖의 청감 실험 및 각종 기계류의 방사소음의 측정 등 여러 분야에 걸쳐 광범위하게 사용되어지고 있다.

이와 같이 각 분야에 대응하는 무향실의 종류를 소개하면 다음과 같다.

3.1 무향실의 종류

(1) 사용목적에 따른 분류

- 완전무향실
- 반 무향실

실내표면의 6면(전부)을 흡음층으로 구성하는 방을 완전무향실이라 하고, 6면중 1면을 반사면, 5면을 흡음면으로 구성하는 방을 반무향실이라 한다.

완전무향실은 연구기관, 소형 정밀 기기, 자동차 부품, 전기 기기 메이커 등 정밀측정을 요구하는 부문에서 사용되고, 반 무향실은 산업 기기, 자동차, 범용 기기, 전기메이커 등 대중량이나 부대설비가 많은 것을 측정하는 분야에서 사용된다. 이들의 차이점은 표 1에 나타나 있다.

표 1 완전무향실과 반무향실의 비교

항 목	완전 무향실	반 무향실
측정정도	높 다	완전무향실에 비해 다소 저하
성능비교	① 음원, 수음점의 설정이 용이 ② 지향성 측정이 용이	① 음원, 수음점의 위치를 정확히 설정할 필요가 있다. (측정 위치에서 측정결과가 다를 가능성이 있음) ② 지향성 측정이 곤란
작업성	보행면이 메시(mesh)이기 때문에 작업성이 불편	마루면이 견고하므로 중량물 반입 및 치구 취부가 용이

(2) 흡음 성능에 의한 분류

무향실의 흡음구조에 따라 흡음 웨지(wedge)식과 다층 식의 2종류로 나누어 진다(그림 1 및 표 2 참조).

가) 흡음 웨지식

- ㉠ 공공 기관에 데이터를 발표하는 경우
- ㉡ 수출품에 소음레벨을 부착할 경우
- ㉢ 높은 측정정도를 요구하는 경우
- ㉣ 기술 개발을 목적으로 하는 경우 등

나) 다층식

- ㉤ 자사내의 제품검사 및 연구 개발을 목적으로 하는 경우
- ㉥ 질보다 많은 수량의 무향실 설치가 필요되거나 어느 정도의 비교 측정이 가능한 경우에 사용되고 중고주파대역의 측정이 중심이 되는 경우

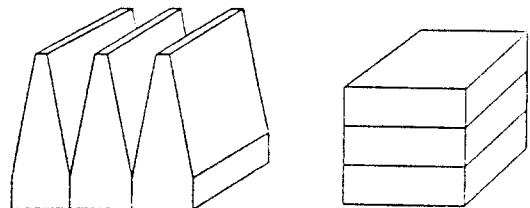
3.2 무향실의 다양화

무향실의 다양화에 따른 여러 형태들 중 몇 개를 표 3에 표시하였다.

표 3에서와 같이 완전 무향실 또는 반 무향실이라고 해도 단순한 형태만 있는 것이 아니고 사용 용도에 따라 여러 형태의 무향실이 가능하다는 것을 알 수 있다. 이 중 대표적인 예를 몇 가지 들면 다음과 같다.

(1) 보행면이 2면으로 구성된 무향실

피측정물의 하부에서도 측정할 수 있는 특징을 가



흡음 웨지식

다층식

그림 1 흡음 웨지식과 다층식

표 2 흡음 웨지식과 다층식의 비교

항 목	흡음 웨지식	다 층 식
차단 주파수	있 음	없 음
데이터의 신뢰성	크다(차단주파수가 상에서)	작 다
범 용 성	크 다	작 다
소음 레벨	정밀급으로 가능	실용급으로 가능
규 격	ISO 3745	ISO 3744

지고 있으며, 측정시 보행면의 반사를 극소화하기 위하여 스텐레스 와이어를 채용하고 음향 파위레벨 측정과 청감실험이 가능하다. 또한 각종 기기의 소

음특성을 다방면에서 측정할 수 있으므로 소음특성의 저감화에 큰 역할을 하고 있다(그림 2 참조).

(2) 대형 반 무향실(차량 실외 소음[PASS BY NOISE] 측정용)

이 무향실은 사시 다이내모미터의 롤러 위에 차를 설치, 고정하고 정상주행소음, 가속소음 등의 측정을 주목적으로 한다. 또한 넓은 공간을 소유하고 있으므로 소음의 방사특성도 측정이 가능하다(그림 3 참조).

(3) 이동 마루 부착 완전/반 무향실

이 무향실은 콘크리트재의 자동 슬라이드식 반사 바닥면을 설치하여 정밀측정(완전 무향실)과 바닥에 시험체의 설치가 용이한 반 무향실로 사용하도록 구

표 3 무향실의 형태

명 칭	개 략 단 면	특 징	주 요 사 용 대 상
완전무향실		정밀 측정이 가능	연구 기관 자동차 부품 회사
완전무향실 리프터설치		시험체 하부의 측정이 가능	자동차 부품 회사
완전무향실 이중바닥 설치		완전 무향실과 반 무향실과의 2가지 기능을 가지고 있음 진동이 있는	산업기계 자동차 부품 회사
완전무향실 정반설치		측정대상물의 정도를 높이는 측정이 가능	자동차 부품 회사 자동차 엔진 실험 산업기계
완전무향실 잔향실설치		차음재료의 측정 및 흡음 재료의 측정	차음재료 제조회사 자동차 부품 회사
반 무향실		중량이 큰 시험체의 측정	산업기계 제작회사 자동차 부품회사 자동차 회사 범용기 제작회사
반 무향실 일부 완전무향실 이중바닥 설치		소부품을 완전무향의 상태에서 측정하고 바닥을 원래 위치로 되돌리면 반무향실을 넓은 공간으로 사용할 수 있다	자동차 부품회사 범용기 제작회사
반 무향실 일부 완전무향실 설치		소부품을 완전무향의 상태에서 측정함	자동차 부품회사 범용기 제작회사

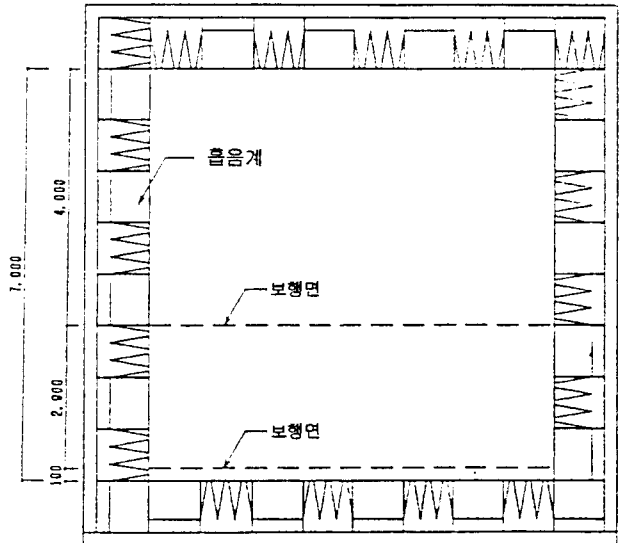


그림 2 보행 면이 2면으로 구성된 무향실의 단면도

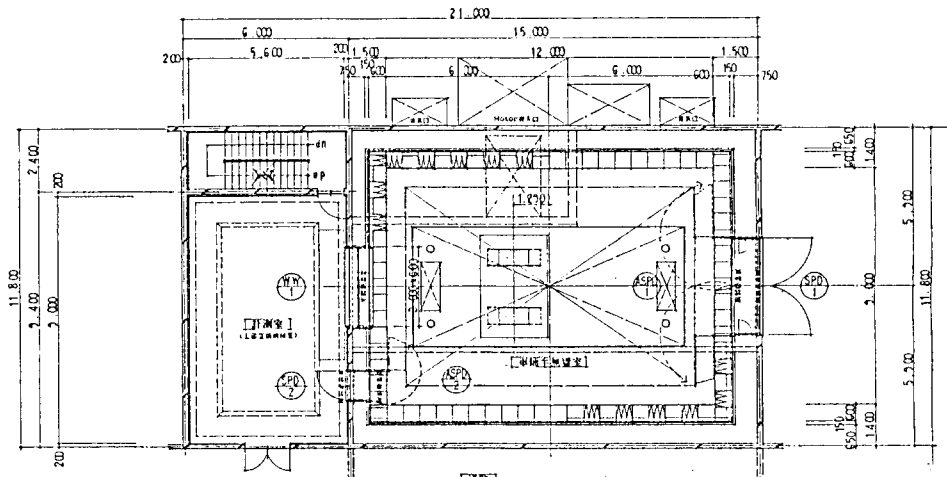


그림 3 대형 반 무향실의 도면 예

성되어 있다.

이 무향실은 승용차의 배기 소음을 주로 측정하는 목적으로 계획되어 어떤상태(완전/반 무향실)에도 실차를 반입할 수 있다.

완전 무향실 기능으로써 배기 소음이 규격에 따라 측정 가능하고, 보행면이 2중이므로 배기관의 하부 측정도 가능하다. 따라서 실차를 반입해서 보다 정밀한 측정도 실시될 수 있다.

반 무향실로는 배기관의 지지가 용이하며, 배기관이나 머플러의 고정위치를 결정하는 작업도 간단히 되고, 반사음을 포함한 배기관이나 실차의 실제 소음을 파악하는데 예도 적합하다(그림 4 참조).

(4) 잔향실과의 사이에 개구부를 설치한 무향실

이 무향실의 큰 특징은 무향실 단독의 사용 외에, 잔향실측의 벽의 일부분에 자동 이동식 흡음 도어(door)를 설치해서, 잔향실·무향실간에 시료 개구부를 간단히 사용하도록 하고, 시료 이동장치의 설치로 시료 교환작업을 작업장에서 한 후 잔·무향실 사이에 투입하여 부과손실 등의 측정을 할 수 있다.

따라서 시료 이동장치의 수에 따라 연속적으로 측정이 가능하며, 동상잔향실·잔향실법에서 불가능한 음향 방사특성(건축 자재 등의 어떤 부분으로부터 음의 유입이 큰것인가 등)을 측정하므로 보다 많은 정보를 얻을 수 있도록 하였다(그림 5 참조).

4. 무향실의 설계

4.1 무향실의 계획

(1) 일반적으로 무향실의 사용목적에 따라 상품 규격의 소음레벨 측정용, 연구용, 다목적용 등 크게 세 가지로 분류할 수 있으므로, 무향실의 설치 목적을 명확히 하여야 한다.

가) 소음레벨 측정용

기계나 장치 등으로부터 발생되는 음의 크기나, 특징을 공개하는 경우에 사용되는 무향실을 말한다.

(카탈로그 등에 기재하는 데이터나 기계 등에 표시하는 데이터) 각 규격(ISO, KS)에 맞는 설계

나) 연구용

기업체나 연구소에서 연구 개발용으로 이용되는 무향실

다) 다목적용

하나의 무향실을 청감실험용, 모형실험용, 음의 레벨 측정용 등 각종의 측정이 가능한 무향실 (예; 대학 등의 교육 연구기관, 각지의 공업기술센터 등)

(2) 필요한 주파수 대역을 명확히 설정하여야 한다.

(3) 성능뿐만 아니라 사용상의 편의성 또한 고려하여야 한다.

4.2 무향실 설계 포인트(point)

(1) 무향실의 구성

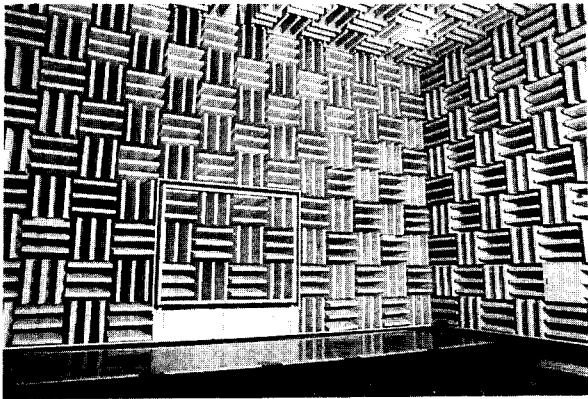
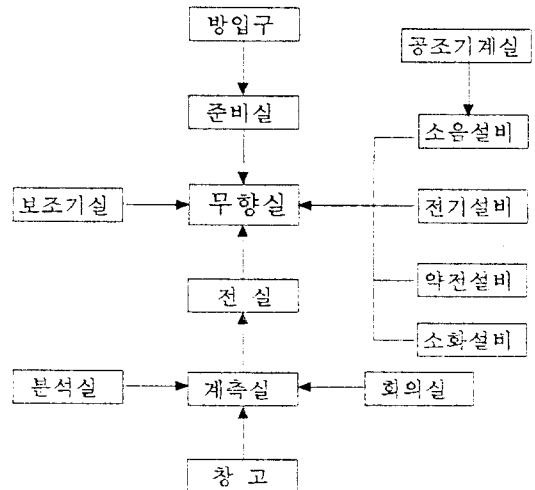


그림 4 이동 마루부착 완전/반 무향실의 사진 예

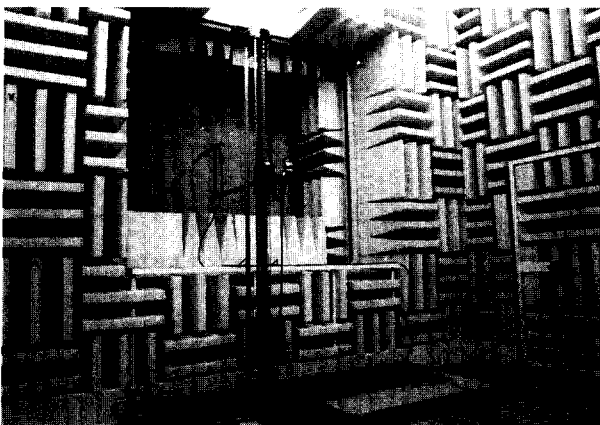
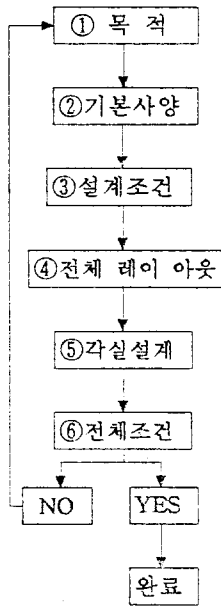


그림 5 잔향실 사이에 개구부를 설치한 무향실의 사진 예

(2) 무향실의 설계 순서



① 목적

사용 목적 및 규격을 명확히 함

② 기본 사양

· 음에 관한 사양 : 측정주파수 범위 및 측정하는 음의 레벨 설정

· 부대설비사양 : 측정물 및 주위 환경의 용량설정

③ 설계조건

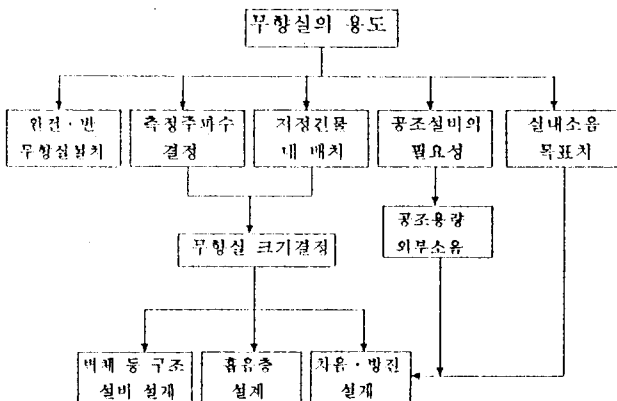
- 외부조건 : 주위환경 및 소음정도
- 공조설비조건 : 용량, 온/습도제어, 환기량 등
- 사용상 조건 : 시험체의 시험시 편의성 고려
- 그 밖의 소화설비, 급·배수설비, 에어공급 등

④ 전체 레이아웃 (lay out) : 동선 등 고려

⑤ 각실 설계 : 각실의 고유기능을 중시

⑥ 전체 조건 : 예산검토

4.3 무향실의 설계



(1) 무향실의 배치

무향실의 필요한 성능으로는 일반적으로 측정에 필요한 압소음 레벨의 확보와 자유음장(반자유음장)을 얻는 것으로, 설계의 요점도 이것을 만족시키지 않으면 안된다.

따라서, 정해진 택지에서는 조용하고 진동이 없는 곳을 선정·계획하고 다목적 용도의 건물 내에서는 위에서와 같이 소음원이나 진동원으로 부터 떨어진 곳에 계획 설치 하여야 한다.

(2) 공조설비

피측정물의 발열량과 환기 조건, 온 습도 조건 등의 관계로 공조설비가 필요하므로 압축기, 송풍기, 펌프 등이 운전된다. 따라서 그의 진동과 소음도 고려하여 목적에 맞는 등급의 차음성능, 방진성능의 설계와 덕트(duct)로 부터 침입하는 소음이나 진동을 줄일 수 있는 사이렌서 (silencer)와 방진행거의 구조 등을 고려한 설계가 요구된다.

(3) 측정 주파수 범위의 결정

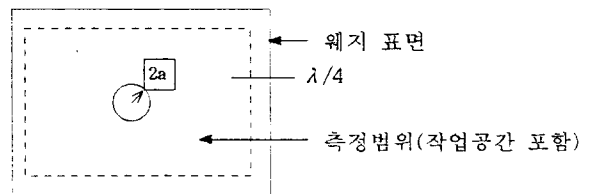
측정주파수 범위의 결정은 무향실의 용도나 측정 항목에 따라 결정된다. 설계 시에는 통상 측정하한 주파수에 따라 실의 크기결정, 차음설계 및 흡음설계가 행하여진다.

통상 주파수 범위로서는 100 Hz~8000 Hz의 경우가 많으나 목적에 따라 하한 주파수를 내려서 설정할 수 있다.

(4) 무향실 크기의 결정

무향실의 크기는 거기에 반입되는 음원의 최대 크기와, 측정목적, 작업 공간으로부터 필요한 마이크로폰의 위치 (음원으로의 거리) 등을 고려하여 결정한다.

ISO규격에는 무향실의 크기를 피측정물 용적의 200배이상으로 규정하지만, 측정주파수 및 측정거리의 범위와 자유음장(반자유음장)상의 작업공간을 고려해서 정하는 방법을 추천하고 있다.



a: 음원의 최대 크기

λ: 측정 주파수의 하한에 대응하는 파장

(5) 실내 소음 목표치

실내 소음은 낮을수록 좋은 것은 당연하지만, 실

제로는 경제성을 고려하여 허용한도를 설정한 후 설계목표를 정한다. 통상은 측정대상물의 음압 레벨을 예상한 후 실내 소음 레벨이 이것보다 10 dB이상 작게 되도록 한다. 이 조건은 측정주파수 범위의 전부가 옥타브 밴드 음압 레벨에 대해서 성립하도록 하는 것이 원칙이나, 간단히 over all 소음레벨 dB(A)로 설정하기도 한다.

4.4 무향실의 구조

(1) 차음층

음은 공기를 매체로 전달되기 때문에, 음을 차단

하기 위해서는 공기를 차단 해버리면 좋겠으나 현실은 곤란하다. 그러므로 일반적으로는 콘크리트, 석고보드, 마스르크 등의 재료(차음재)로 차음층을 구성하고 있다.

차음의 효과를 발휘하는 것은 차음자재의 질량과 강성이 초점이다. 높은 질량이 필요하다고 하지만 같은 구조에서 질량 2배로 배가한다고 차음량은 2배로 증가하지 않는다. 이와 같은 경우 기존의 벽(고정차음층)과 증설하는 벽(부차음층)과의 사이에 공기층을 두고, 그 내부에 흡음을 시킴으로써 차음성을 증대시킬 수 있다. 또한 차음재료의 강성을 높이는 것도 매우 중요하다. 음파를 받는 면의 강도가 높으면 높을수록 음파를 반사하는 힘이 크기 때문이다.

시공에 있어서도 틈이 생기지 않도록 세심한 주의가 필요하다. 작은 틈에도 음이 전달되어 방음자재의 성능을 저하시키기 때문이다. 특히 덕트 관통부 또는 케이블 배관 등에는 실(seal) 등을 사용해서 적절한 처리를 하므로 무향실 전체의 차음성을 확보할 수 있다. 무향실에는 무조건 딱딱하고 강한 차음재료만 사용한다고 좋은 것만은 아니므로 고정 차음층, 부차음층(floating 구조)의 구성과 흡음성능도 고려하여야 한다. 또한 성능, 시공성, 코스트 등을 생각하여 선정할 필요가 있다(그림 6 참조).

(2) 흡음층

내부에서 발생한 음을 반사하지 않고, 측정주파수 대역에서 역제곱법칙이 성립하는 음향자유 공간을 실현시키는 것을 흡음층이라고 한다. 무향실의 성능과 코스트는 이 부문에서 정해진다고 해도 과언은 아니다. 공기는 이상적인 흡음재료로 생각할 수 있다. 따라서 공기만이 존재하는 공간, 이것이 흡음층이고, 공기를 대신하는 것이 흡음재료라고 할 수 있다(그림 7 참조).

(3) 보행면

보행면으로서는 환강제, 엑스펜드 메탈제, 와이어 매트제, 그레이팅제 등이 있으나 이것들은 비교적 재료 입수가 용이하고 공장 가공성이 좋으므로 현장공정이 단축 가능하기 때문에 상당한 비율로 사용되고 있다. 하지만 이것들의 프레임은 평철 앵글로 구성되고 그 안에 와이어 등을 설치하므로 그 자체가 반사재료로 되어 측정에 영향을 미치기도 한다.

이러한 단점을 보완하기 위하여 스테인리스 와이어 선을 사용하여 반사면을 줄이는 경우도 있으나 약간의 시공성의 문제와 단위 면적당 받는 하중이 적으므로 사용목적에 제한 되는 경우가 있다.

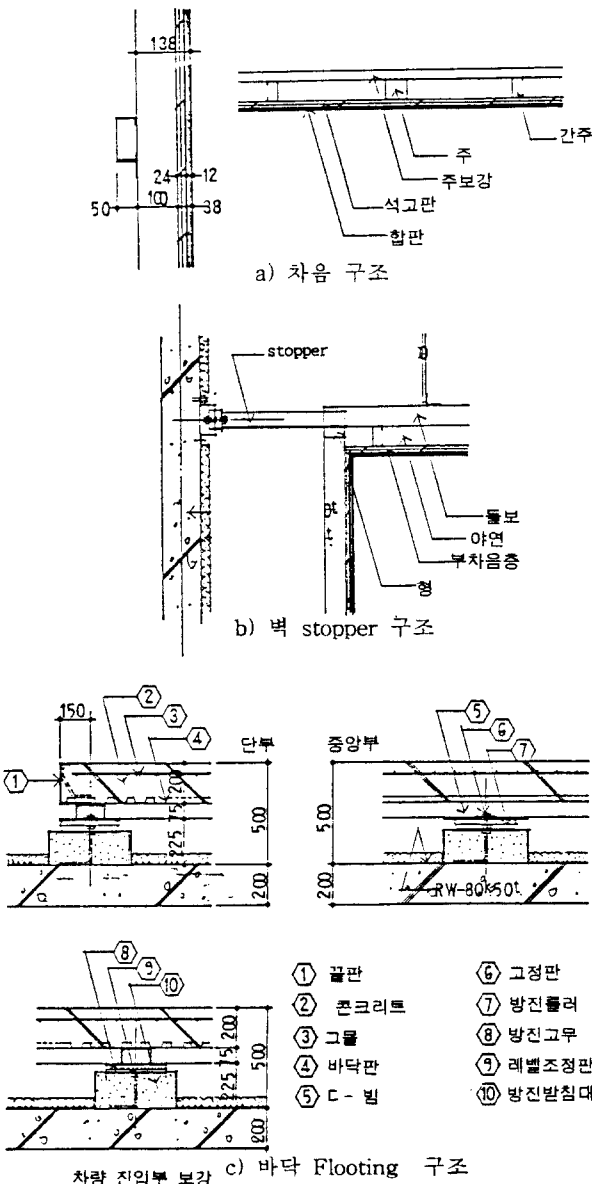


그림 6 차음 층의 구성요소에 대한 도면 예

완전 무향실에서 자동차의 실내/외 소음을 실험하여야 할 시에 자동차의 완전무향실로의 안전한 진입을 돕기 위하여 현재 울산대학교에 설치된 것과 같이 보행면에 자동차 진입용 보강장치를 할 수도 있다(그림 8 참조).

5. 무향실의 성능

무향실의 성능에 관계하는 규격은 KS A 0705의 시험실 편에 보면, 무향 실험실의 성능 조건으로 측정 구면 또는 반구면으로 둘러싸인 영역 내에서 역제곱법칙을 따라 거리감쇠특성을 보일 것으로 되어 있다. 또한 환경조건으로 측정대상 음원 또는 그 보조장치의 작동등에 의해 온도·습도 등의 매질 조건에 큰 변화가 생기지 않도록 할 필요가 있다고 규정하고 있다. JIS 8732, 3.1 「시험실」항에는 이외에 암소음 레벨이 충분히 낮은 것이 포함되어 있다.

5.1 무향실에 요구되는 기본적인 성능

KS 및 JIS규격에 명시된 것과 같이 무향실의 요구성능은 암소음레벨이 충분히 낮을 것과 음의 거리감쇠특성이 역제곱법을 만족할 것이므로 이 두 부분에 역점을 두고 있다.

그러나 무향실을 포함한 벽이나 도어 및 창문의 차음성능을 측정하여 두면 후일 설계보충자료로 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 만일 암소음레벨이 기대치로 되지 않았을 때에 그 소음이 어느 방향에서 오는 것인지 판단할 수 있는 자료로 이용이 가능하다.

일반적으로 무향실 성능(건축 측면)의 기본조건은 아래 세 가지로 요약할 수 있다.

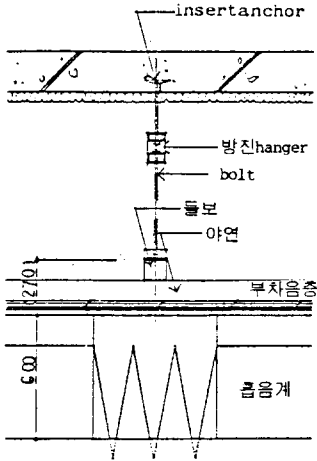
- 암소음 레벨(공조소음 등 주변기기의 각종 조건을 포함)
- 차음성능
- 역제곱법 특성(음압레벨의 거리감쇠특성)

(1) 암소음레벨

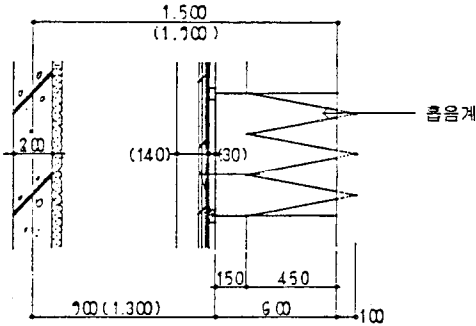
암소음 레벨은 낮으면 낮을수록 좋지만 여건에 따라 쉽사리 해결되지 않는 경우도 있다. 일반적으로 암소음 레벨은 최소한 피측정물의 발생음압보다(dB의 합성수식면) 10 dB낮으면 된다(JIS Z 8732에는 15 dB) 하지만 피측정물의 음압레벨이 매우 낮아지는 경우도 예상되기 때문에 어느 정도 여분을 두고 암소음 레벨을 충분히 작게 할 필요가 있다.

그리고 암소음 레벨 측정시 overall의 dB(A) 값만 측정할 수 있으나 이것도 역시 다른 목적으로의 사용을 고려해서 1/1 옥타브나 1/3 옥타브와 같이 주파수 단위의 음압레벨로(예 : NC치)로 규정 할 필요가 있다.

암소음레벨은 차음성능과 일정한 관계가 있기 때문에 설계 시점에서 필요로하는 암소음레벨을 설정해서 외부소음이나 외부진동이 어느 정도인가를 확



a) 천정 방진구조와 연결된 흡음 웨지의 형태



b) 벽면 차음층과 연결된 흡음 웨지의 형태

그림 7 흡음층의 구성요소에 대한 도면 예

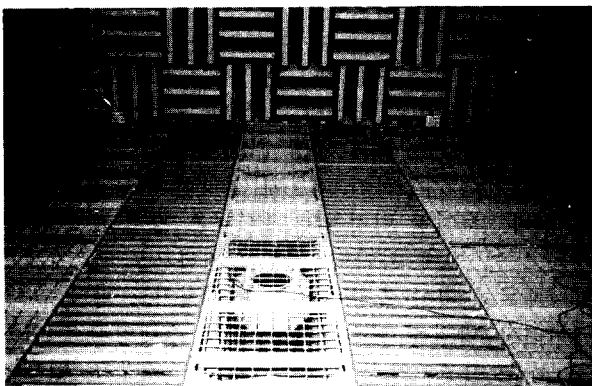


그림 8 자동차 진입을 위하여 보강된 보행 면의 실 예 (울산대)

인할 필요가 있다. 따라서 무향실 이외의 장소에서 어느 정도 진동이나 소음이 예상되는가 등을 검토해서 방진구조를 포함한 필요 차음성능을 설계하여야 한다. 물론 공조소음 및 다른 주변기기 작동시의 압소음레벨을 고려하여야 한다.

압소음레벨 측정결과의 예를 그림 9에 표시하였다.

(2) 차음성능

차음 성능은 음을 차단하는 성능을 표시하는 것으로 측정 대상과 도어, 벽 등의 내외 음압 레벨차에 의해 구해진다. 일반적으로 측정은 JIS-A-1417 「건축물의 현장에 있어서 음압 레벨차의 측정방법」 및 일본 건축학회에서 추천·권장하고 있는 기준에 준하여 행하고 있다. 일반적으로 차음 성능의 측정결과는 음압레벨차를 그래프로 표시한다. 이 그래프에 대한 예가 그림 10에 소개하고 있다.

(3) 역제곱법 특성

역제곱법 특성(음압레벨 거리감쇠 특성)은 자유음장(반자유음장)의 범위를 나타내는 것으로 피측정 대상물의 크기나 발생음의 주파수특성, 측정목적, 무향실의 크기, 흡음층의 흡음률이나 음압 반사율 등에 의하여 특징이 결정되는 것이다.

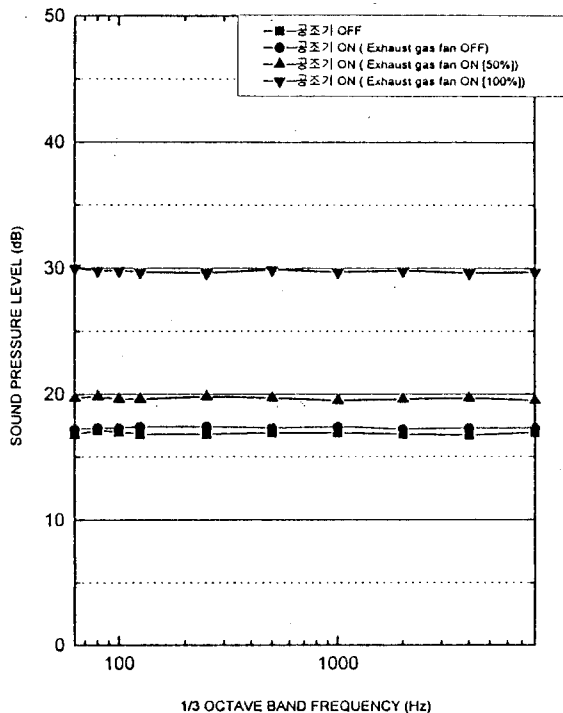


그림 9 압소음 레벨 측정결과의 예(울산대, 무향실 중심 1.2 m에서 측정)

이 특성은 역제곱법 특성 그래프에 표시하고, KS A 0705, ISO 3745에 제시된 무향실·반무향실의 음압레벨 거리감쇠특성의 허용최대편차는 표 4와 표 5에 나타나고 있다.

이 밖에 진동레벨을 측정하는 일이 있으며 이 또한 설계 시점에 있어서 진동이 어느 정도 압소음레

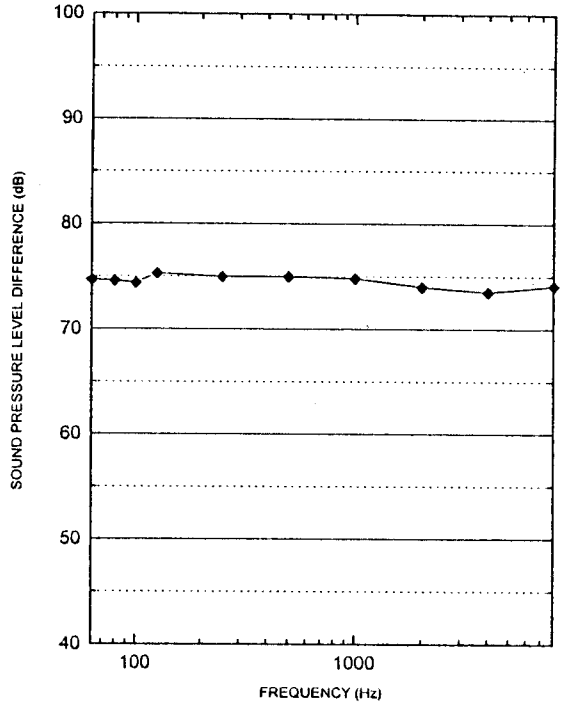


그림 10 차음 성능 측정 결과의 예(울산대, 도어 중심부 1 m에서 측정)

표 4 실험실의 음압레벨의 거리감쇠특성의 허용 최대편차

주 파 수 (Hz)	허용최대편차(dB)	
	무 향 실	반 무 향 실
630 이하	±1.5	±2.5
800~5000	±1.0	±2.0
6300 이상	±1.5	±3.0

표 5 파워레벨측정의 정도(ISO 3745)에 따른 허용 최대 편차 (dB)

옥 타 브 밴 드 (Hz)	125	250	500	1000~4000	8000
1/3 oct (Hz)	100~160	200~315	400~630	800~5000	6300~10,000
무 향 실	1	1	1	0.5	1
반 무 향 실	1.5	1.5	1.5	1	1.5

벨에 영향을 미칠 것인가를 검토할 필요가 있다. 또 상층에 사무실 등이 있는 경우에는 바닥 충격음을 측정할 필요도 있다.

5.2 성능 확인을 위한 검수측정

(1) 압소음레벨측정

측정 조건으로는 무향실 주변기기를 전부 정지시, 공조기기 작동시, 주위 소음 및 진동유입시 등으로 나누어 실시한다.

측정은 옥타브 또는 1/3 옥타브 밴드 부착의 정밀 소음계를 사용하고 측정은 주로 무향실 중앙이나 피 측정 대상물의 무향실 내의 실험 가능한 범위에서 수 회 실시한다. 벽에 가까운 부분이나 코너부분은 저음역의 레벨이 무향실 중심보다는 높게 되므로 통상 측정대상으로 하지 않는다. 압소음 레벨이 극히 낮은 무향실에서는 소음계의 측정한계 부근에서 측정하는 경우가 많으므로 가능한 한 저음압 레벨까지 측정할 수 있는 소음계가 요구된다. 극단적으로는 0 dB(A), 그 이하의 레벨측정이 필요한 경우도 있다.

(2) 차음성능측정

측정은 통상 JIS A 1417 「건축물의 현장에 있어서 음압레벨차의 측정방법」에 따른다. 무향실의 경우 차음량이 상당히 크기 때문에 (예 : 500 Hz에서 80~100 dB) 음원측에 음압레벨이 높은 소음을 발생할 수 있는 장치와 무향실쪽에서는 저음압 레벨까지 측정할 수 있는 기기가 필요하다.

측정 중에는 음원측의 음압레벨이 120 dB정도가 되는 경우가 많으므로 측정자의 귀보호와 주변에 사전통지가 필요하다.

(3) 역제곱법 특성(음압레벨 거리 감쇠특성)

지금까지는 비교적 간단하게 측정이 가능하였지만 역제곱법 특성에 관한 측정은 숙련된 기술과 측정에 대한 지식을 요한다.

측정시 고려하여야 할 사항을 소개하면 다음과 같다.

- 음원 스피커의 선정
- 음원 스피커의 설치방법
- 측정하는 거리설정
- 마이크로폰이 스피커의 중심축 이탈방지
- 측정 포인트수의 설정
- 마이크로폰의 이동방법

등 거리감쇠특성의 음압레벨을 측정하는 것보다 그 밖의 기계적인 부분에 연구가 필요한 것을 알 수 있다. (스피커설치, 마이크 이동 등)

각 측정 포인트에서 음압 레벨을 각 주파수에서

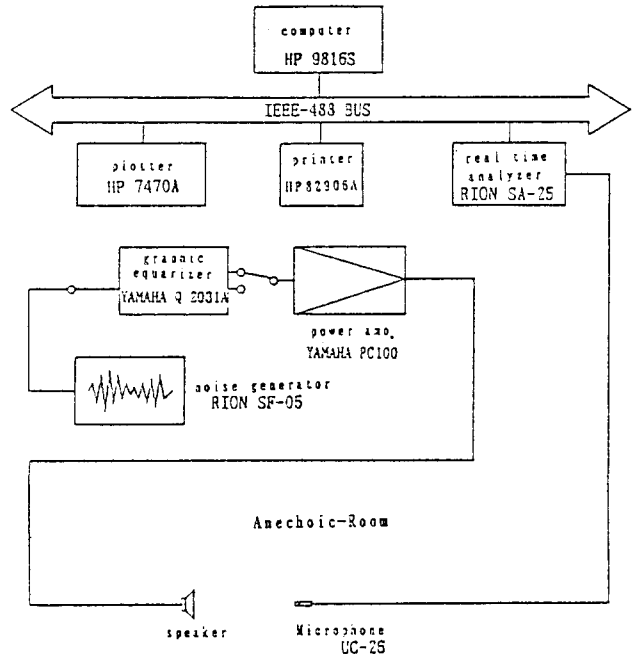


그림 11 역제곱법 측정을 위한 실험장치의 예

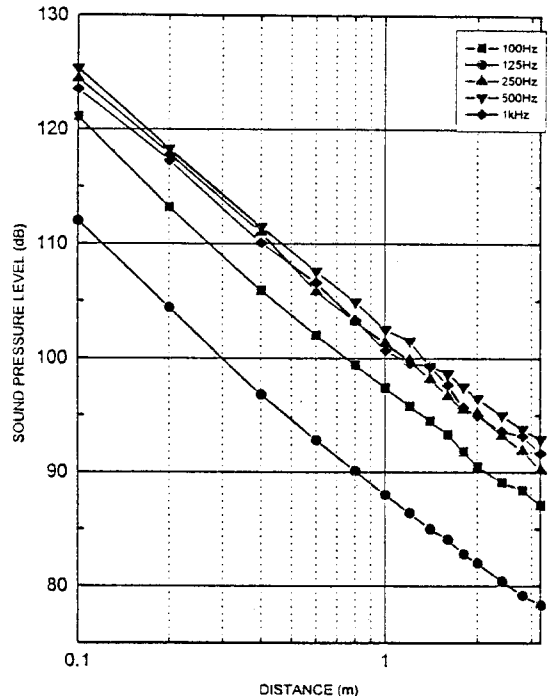


그림 12 역제곱법 측정결과에의 예(울산대, 무향실 중심부에서 대각선 코너 방향)

측정하고, 데이터를 그래프화 하고자 하는 것은 컴퓨터로 자동화할 수 있으나 측정 준비나 측정은 숙련된 기술을 요한다(그림 11, 12 참조). 그러면 실

제의 측정방법에 관해서 순서적으로 서술하면 다음과 같다.

완전무향실은 모든 방향에 역제곱법이 성립하고 있는 반면 반 무향실은 바닥면으로 부터 상방향만이 역제곱법이 성립하므로 측정자체도 보다 복잡하게 된다.

(가) 준비물

와이어(2~3φ 정도 수십 미터), 와이어크립, 턴버클, 도르레, 후크, 공구, 자, 사다리(간이의자), 마이크 고정장치(JIG) 등이 필요하다. 경우에 따라서 낚시줄을 이용하면 간편하게 측정 준비를 할 수 있는데 이 때에 위에서 언급된 여러 가지 품목들이 필요하지 않을 수 있다. 실제로 울산대에서는 낚시줄을 이용하여 간단하게 측정하는 방법이 자체 개발되어 사용되었다.

(나) 사용하는 스피커와 스피커설치

ISO 3745, JIS Z 8732에서는 필요한 스피커를 다음과 같이 명시하고 있다.

“400 Hz이하에서는 용적 0.02 m³으로 내부를 충분히 흡음처리한 엔크로저(enclosure)에 직경 25 cm의 다이내믹 스피커설치, 400 Hz~2 kHz에서는 같은 형태 및 크기의 다이내믹 스피커 두 개를 방사면을 마주보게 해서 등근 고리로 결합한 음원, 2 kHz~10 kHz에서는 직경 1.5 cm의 작은 파이프관을 통해서 음을 방사하는 형의 음원”

그러나 3종류의 스피커를 사용해서 주파수별로 바꾸어 가는 것만도 측정시간이 3배더 소요된다는 문제가 있을 뿐만 아니라 3종류의 스피커의 크기가 틀리므로 셋팅(setting)시에도 많은 시간이 소요된다. 또한 서로 마주보게 고정된 스피커는 결합부분의 여러 곳에서 음이 나오므로 점음원이 되지 않고 지향성도 나쁘다. 파이프 스피커도 반무향실의 바닥면에 설치할 경우 지향성이 나쁘므로 결국 음원으로서 적당치 않다. 따라서 6각형의 엔크로저에 한 종류의 다이내믹 스피커를 이용하여 전 영역의 주파수 대역을 측정하는 방법을 일반적으로 채택하고 있다.

셋팅에 관해서는 JIS는 다음과 같이 하고 있다.

“측정용 스피커의 설치» 측정의 기준점은 측정대상음원을 설치 할 때 그 중심위치를 기준점으로하고 이곳에 측정용 스피커의 음향중심을 놓는다. 스피커의 음향중심의 위치는 스피커를 설치한 엔크로저의 형태에 따라 틀리고, 또 주파수에 따라서도 변화하지만 측정용 스피커의 크기가 파장에 비해 충분히 작은 경우에는 스피커의 개구면의 중심으로 해도 좋다.” 그러나 중심위치가 결정되지 않는 경우가 많고

여러 가지 음원을 측정대상물로 하기 때문에, 대부분은 무향실의 중심부근을 음향중심으로 해서 측정하고 있다. 또 차량 무향실에서는 차의 중심위치나 다이내믹의 센터의 위치에서 측정하는 경우가 많다. 완전무향실의 측정용 스피커 고정은, 상하 또는 수평방향으로의 이동이 비교적 자유로우므로 3각대를 이용하는 경우도 있지만, 반무향실에서의 스피커설치에 관하여 JIS에는 다음과 같이 하고 있다.

“代記1. 반무향실에 있어서 역이승특성의 측정상 주의» 반무향실의 역이승특성을 측정하는 경우는 측정용 스피커의 음향중심을 가능한 한 반사면에 일치할 것, 음향중심이 반사면으로 부터 떨어지면 직접음과 반사음의 간섭에 의한 정재파가 발생하므로 정확한 역이승특성의 측정불가”

스피커면과 반사면을 동일한 레벨로 하기위해, 스피커를 바닥에 묻는 방법을 사용하며 콘크리트 바닥의 경우는 측정용으로 구멍을 만들어서 측정후 되피우기를 한다(이 구멍이 개구가 되므로 보강문제가 요구). 바닥이 체크 플레이트(check plate) 등과 같이, 이 방법이 불가능할 경우는 바닥하부에 스피커를 설치할 수 있도록 앵글 등으로 설치하고 체크 플레이트 뚜껑이 닫힐수 있도록 한다.

그 밖의 경우 스피커의 음향중심을 가능한 반사면에 가깝도록 설치하며 스피커방향에 관해서는 측정방향으로 설치하면 스피커의 직접음과 바닥에서의 반사음의 간섭이 일어나기 쉽기 때문에 측정방향과 관계없이 항상 상향 설치한다(그림 13 참조).

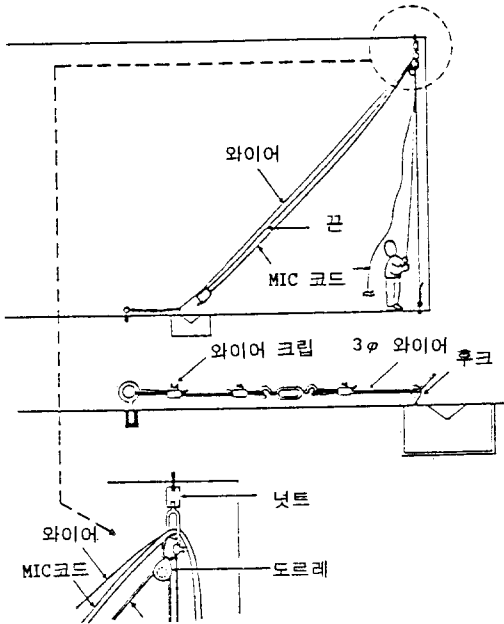
(다) 측정방향

측정 방향은 ISO와 JIS에서 약간의 차이를 발견할 수 있다.

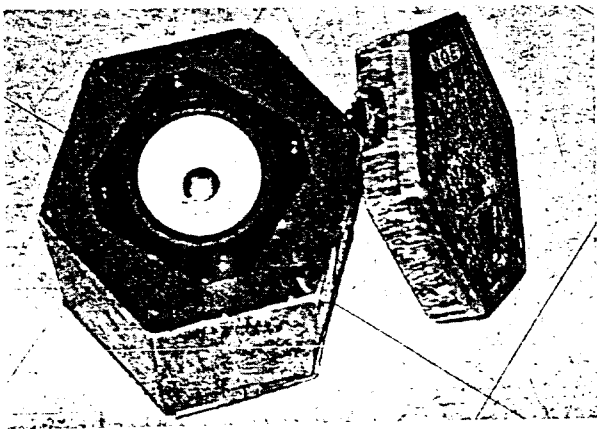
JIS는 다음과 같다.

“측정방향» 역이승특성의 측정은 무향실 또는 반무향실의 대표적인 방향에 관해서는 가능한 한 많은 방향에 대해서 실행할 것. 본 규격에는 일반적인 무향실 또는 반무향실이 직방체이므로, 실의 거의 중심에 측정대상음원을 설치한다고 가정하고, 실의 중첩으로부터 천정 또는 바닥면과 벽면에 수직인 3방향, 천정 또는 바닥면과 벽면에 접하는 능선(稜線)에 수직인 방향에 2방향, 코너방향에 1방향의 합계 6방향에 대해, 역이승특성의 측정을 하도록 정하고 있다.”

완전 무향실에서는 수평방향으로 장방향, 단방향, 대각선방향, 음원수직방향의 4방향, 반무향실도 4방향으로 장방향의 능선에 수직인 방향, 코너방향, 관측의 능선방향 또는 수직방향(음원의 수직)을 기본



a) 역제곱 법칙 측정을 위한 셋팅의 개략도 예 (와이어 이용경우)



b) 역제곱 법칙 측정을 위한 스피커

그림 13 역제곱법칙 측정을 위한 준비 내용

내용을 소개하면 다음과 같다.

「측정범위와 측정 간격」

측정용 스피커에 극히 가까운 지점에서는 그 크기의 경향에 따라 역이승법이 성립한다고 할 수만은 없다.

그러므로 역이승법 특성의 측정은 기준점인 측정용 스피커의 음향중심(일반적으로 음원스피커의 개구면 중심으로도 좋다)으로부터 50 cm 이상 떨어진 점으로부터 측정구면(球面)까지로 한다. 또한 가능하다면 측정구면의 외부까지 측정해놓는 것이 바람직하다.

측정점의 간격은 원칙으로 측정 주파수의 음파의 1/4파장이하로 한다. 예로 500 Hz의 경우 17 cm 이하의 간격으로 측정한다. 그러나 1kHz 이상에서의 간격은 10 cm 이하로 하면 된다. 또 역제곱법칙의 검증방법에는 통계적 방법을 사용하기 때문에 측정점의 수는 한 방향에서 10점이상이 필요하다.”

하지만 간단히 다음과 같은 방법을 따른다. 스피커로부터 20 cm 점을 기준으로 30, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300 cm 이상 50 cm씩을 표준으로 하고 이것을 전부의 측정 주파수에서 동일하게 하며, 측정 가능한 거리까지 측정한다.

(바) 측정신호와 측정주파수

JIS에서의 내용을 소개하면 다음과 같다.

「측정신호와 측정주파수」

측정에 사용한 신호는 원칙으로는 순음을 사용한다. 단, 피측정 음원이 확대역 소음인 경우에는 1/3 옥타브 밴드의 대역잡음이라도 좋다. 대역잡음의 경우에는 반사에 의한 간섭의 경향이 적게 되고 실질보다 역제곱법 특성이 좋게 된다.

측정주파수는 125 Hz~4 kHz의 범위에서는 1/1 옥타브 밴드당의 중심주파수 즉, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 4 kHz로 한다. 이것 외의 주파수 범위에서는 1/3 옥타브의 중심주파수 즉, 저역주파수 범위 100 Hz, 80 Hz, 63 Hz 등과 고역주파수 범위 5 kHz, 6.3 kHz, 8 kHz 등이다.”

일반적으로는 상기의 내용으로 실시하고 있으나, 신호는 핑크 노이즈를 사용하고 수음 측에서 1/3 옥타브로 분석하는 방법을 주로 하고 있다.

또한, 큰 실험실이면 스피커의 능률로 거리가 멀어질 때 신호와 암소음 레벨과의 관계로 S/N비가 나빠지므로 그 확인이 필요하게 되는 경우도 있다.

(사) 측정 데이터의 정리 방법

이론치 또는 최초의 5 지점의 측정 데이터로부터

으로 하고있다.

측정은 와이어를 그 방향에 설치한 후 이 와이어에 마이크를 슬라이드 하면서 측정을 한다.

(라) 계측기기

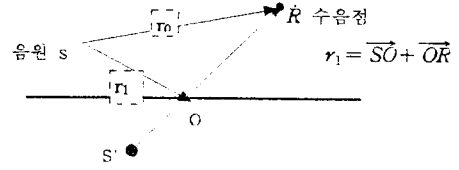
계측기기의 설치는 무향실(반무향실)이외의 계측실 등에서 하며 마이크, 스피커는 연장 케이블로 연장하고 실험실만의 특성을 측정하므로 실의 성능을 저하하는 물건 등의 반입을 삼간다.

(마) 측정범위와 측정간격

KS에도 측정점의 설정에 대하여 상세히 설명하고 있으나 JIS의 표현법이 이해를 돕기 쉬우므로 JIS의

구해진 것을 센터 라인으로 하고, 허용최대편차 라인을 그 중심 라인에 대해서 $\pm \alpha$ dB라는 형으로 나타낸다.

이 때에 음원 보정을 하고 이 5지점의 데이터로부터 얻어진 실제의 스피커의 음원과 스피커 면과의 거리보정을 한다.



< 바닥 반사면에 의한 반사 >

6. 대형 반무향실(차량무향실)의 시험결과

일반적으로 완전무향실은 전면을 흡음면으로 하고, 자유음장이 성립하는 방(-6 dB/배, 거리감쇠특성의 성립)이다. 하지만 국내에서 최근들어 자동차, 산업기기 등의 발달로부터 발생소음의 해석·대책을 위하여 반 무향실의 수요가 점점 증가하고 있다.

ISO 3745는 소음원의 파워레벨(PWL) 측정용 실의 하나로 무향실외에 반무향실을 들고 있으며, 그 음장 조건도 규정하고 있다. 반 무향실은 바닥면이 반사성이기 때문에 음압레벨의 거리감쇠특성은 반사파와의 간섭 때문에 복잡한 특성을 가지고 있다. 한편 ISO/DIS 3745의 기준도 음원을 바닥면에 설치하는 것으로 이 문제는 피하고 있다.

6.1 반무향실의 음장

(1) 음압레벨 거리감쇠특성의 이론치

(가) 음원이 바닥반사면에 있는 경우

음원으로서 무지향성 점음원이 바닥면에 접한 경우, 바닥면을 완전 반사면으로 하고 주위 흡음층의 반사율을 0이라고 하면, 음원으로부터 그 방사방향에 r m 떨어진 점의 음압레벨 SPL은 다음 식과 같다.

$$SPL = PWL - 20 \log r - 8 \quad (1)$$

PWL : 음원의 파워레벨 (10^{-12} watt기준)

r : 음원과의 거리(m)

ISO는 측정용 음원을 가능한 한 바닥면에 접하도록 하고 있다. 또한 식 (1)에 의한 음압레벨 거리감쇠특성에 착안하고 있지만 유한한 크기의 음원으로 어느 정도 식 (1)의 특성이 얻어질 수 있는가에 대해서는 언급이 없다.

(나) 음원이 바닥 반사면으로부터 떨어진 경우(실차엔진 등) 무지향성 점음원, 완전흡수성의 벽 및 천정면이라 하고, 임의점의 음압레벨은 음원으로부터 직접음과 바닥면으로부터 반사음과의 합산으로 구한다.

i) 음원이 순음인 경우

수음점에서 음압레벨 SPL은 위상을 고려해서 다음 식과 같다.

$$SPL = PWL - 20 \log r_0 - 11 + 10 \log \left[1 + \left(\frac{r_0}{r_1} |\dot{R}| \right)^2 + 2 \frac{r_0}{r_1} |\dot{R}| \cos(kr_1 - kr_0 + \phi) \right] \quad (2)$$

PWL : 음원의 파워레벨 (10^{-12} watt기준)

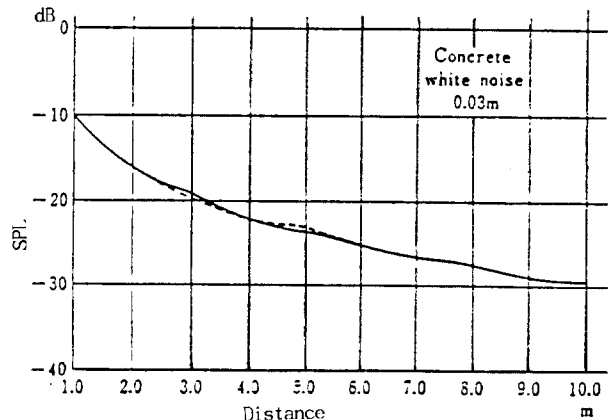
r_0 : 음원으로부터의 직접거리(m)

r_1 : 음원으로부터 바닥반사를 포함한 거리(m)

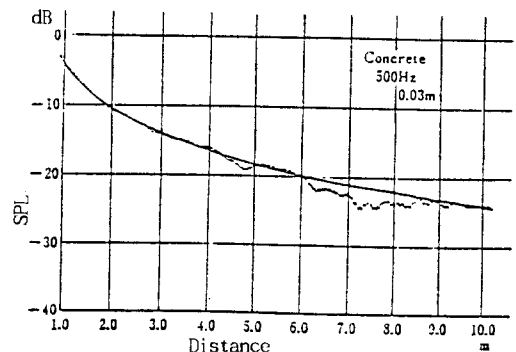
$|\dot{R}|$: 바닥면의 음압반사율

ϕ : 바닥면 반사에서 생기는 위상차

k : 파수 (wave number)



a) 진내역



b) 500 Hz

그림 14 음원이 바닥 반사면에 있을 경우의 거리감쇠특성

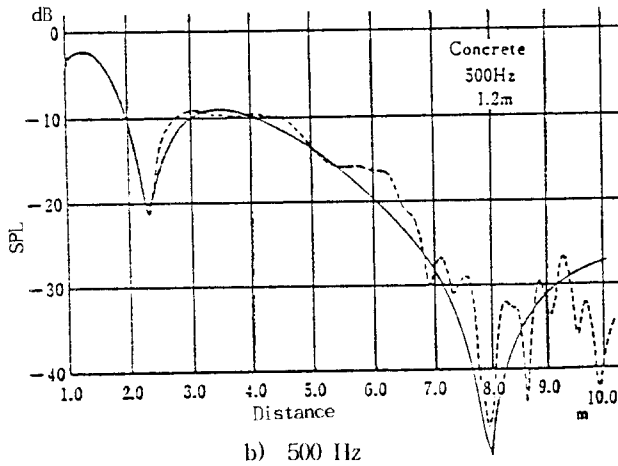
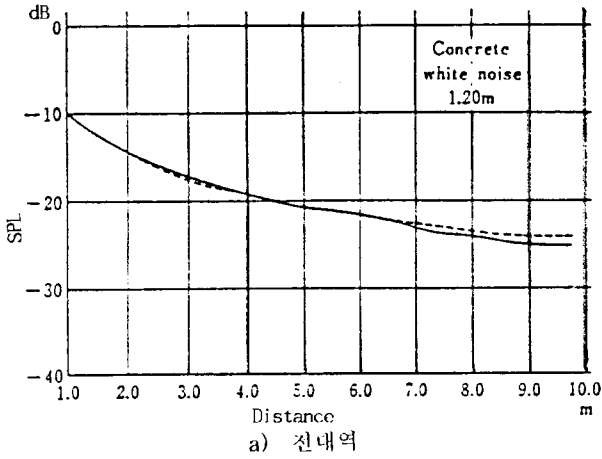


그림 15 음원이 바닥 반사면으로부터 떨어져 있는 경우의 거리감쇠특성

ii) 대역 잡음의 경우

수음점에서 음압레벨 SPL은 순음을 합성하는 방법으로 근사적으로 다음 식과 같다.

$$SPL = \sum_{j=1}^n [PWL_j - 20 \log r_0 - 11 + 10 \log \left\{ 1 + \left(\frac{r_0}{r_1} |\dot{R}_j| \right)^2 + 2 \frac{r_0}{r_1} |\dot{R}_j| \cos(k_j r_1 - k_j r_0 + \phi_j) \right\}] \quad (3)$$

n : 대역의 분할수

iii) 잡음의 경우

잡음은 각 주파수 성분을 포함하며 그 위상도 랜

덤으로 생각되므로 순음과 같이 간섭을 고려하지 않아도 된다. 수음점에서 음압레벨 SPL은 다음과 같다.

$$SPL = PWL - 20 \log r_0 - 11 + 10 \log \left[1 + \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^2 R \right] \quad (4)$$

R : 바닥면의 에너지 반사율

(2) 음압레벨 거리감쇠 특성의 실측치

실측한 음압레벨 거리감쇠특성 중 특징은 다음과 같다.

(가) 음원이 바닥 반사면에 있을 경우에 대한 거리감쇠특성을 그림 14에 나타내고 있다.

(나) 음원이 바닥 반사면으로부터 떨어져 있는 경우에 대한 거리감쇠 특성을 그림 15에 나타내고 있다.

7. 맺음 말

지금까지 무향실의 설계 및 평가시에 필요한 항목들이 소개 되었다.

앞에서 잠시 언급한 바와 같이 여기서 소개된 내용들이 무향실 설계 및 평가에 대하여 전부를 포함하는 것은 아니다. 다만 무향실을 설치하고자 하는 기업체나 연구기관에서 무향실을 검토하는 과정에서 조금이나 도움이 되었으면 하는 바람으로 기존의 자료를 정리하는 데 중점을 두었다.

지금까지 제시된 자료에서 알 수 있듯이 무향실을 만드는 데 정해진 법칙은 없다. 다만 본문에서 소개된 무향실 형태 외에도 사용 목적과 용도에 따라 얼마든지 새로운 형태의 무향실을 만들 수가 있다. 다만 설계 및 평가시에 앞에서 소개된 내용들이 참조가 될 수 있기를 바란다.

감사의 글

본 원고 작성시에 ISO, JIS, KS의 자료뿐만 아니라 일본 NITTOBO사의 NOE 기술자료가 참고되었다. NOE 기술자료와 다른 무향실 관련 자료를 제공하여 준 일본 NITTOBO사와 본 원고를 위하여 자료 수집 및 정리에 많은 도움을 주신 삼해 엔지니어링(주) 최 중호 이사님께 감사를 드린다.