

## 기술정보

## 국립공업시험원 잔향실, 무향실의 음향 특성 Studies on the Acoustic Properties of the NIRI's Acoustic Rooms

김 관 중\* · 흥 인 표\*\*

\* KIM KWAN CHOONG · \*\* HONG IN PYO

\*국립공업시험원 전자과장  
\*\*국립공업시험원 음향연구실

## I. 서 론

국내산업 발달과 국민소득 향상으로 인한 쾌적한 환경하에서 삶을 영위하고자 하는 욕구가 점점 더 요구되고 있는 현실에 비추어 볼 때, 차음·흡음 성능이 우수한 건축재료를 개발하고, 또한 진동의 발생원인, 분석을 통하여 기계설비등에서 일어날지도 모르는 장애를 사전에 예방하는 것이 당면 과제로서 이에 관한 연구가 시급적으로 절실히 요구되어, 우리 원에서는 잔향실 및 무향실을 최신 공법으로 시공하고, 측정설비는 건축음향, 전기 전기음향 및 진동 측정기기(B & K)를 갖추고 음향연구 시험실에 설치 완료하였다.

이에 따라 제품의 개발, 품질시험을 정밀하게 시험·분석이 가능하며, 또한 관련기술에 대한 애로 처리 및 지도를 실시하고 있다.

우리원은 국립기관으로서 누구나 언제든지 본 설비를 저렴한 수수료로 이용할 수 있으며, 이러한 과정을 통하여 산·학·연의 간밀한 협력의 계기가 마련 되기를 바라면서 우리원의 잔향실, 무향실의 음향특성을 소개하고자 한다.

## II. 잔향실

## 1. 재원 및 구조

## 1.1 잔향실의 재원

잔향실은 실용적 323㎡의 제1 잔향실, 실용적 155㎡의 제2잔향실, 실용적 121㎡의 제3잔향실등 3개로 구성되어 있다. 제1잔향실은 재료의 흡음률 측정 및 음향 파워 레벨의 측정등에 사용되고 차음 성능 측정시에는 제1잔향실과 제2잔향실을 이용하도록 상호 인접되어 있다. 또한 제2잔향실과 제3잔향실은 바닥충격레벨 측정시 이용할 수 있도록 상·하로 인접되어 있다(표 1).

표 1. 잔향실의 재원

구 분	실 용 적 (㎡)	실용면적 (㎡)	크 기
제1잔향실	323	289.8	그림 1 참조
제2잔향실	155	177.6	.
제3잔향실	121	135.7	.
제1~2잔향실 사이의 시료개구부	-	-	3,600×2,800
제1~2잔향실 사이의 시료개구부	-	-	4,000×2,500

## 1.2 형태 및 구조

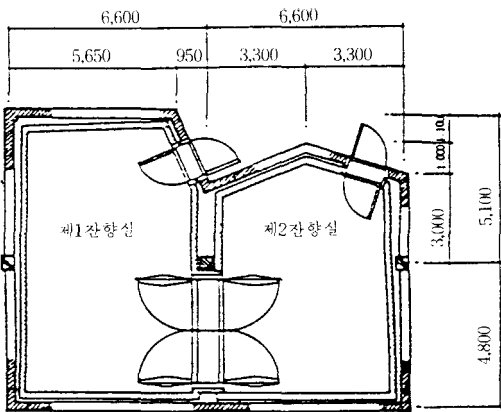
## 1) 잔향실의 형태

제1잔향실은 4개의 벽면이 서로 90.9°, 83.4°, 84°, 107.7°의 각도를 유지하며 천장은 바닥면과 9°의 경사를 이루고 있다. 제2잔향실과 제3잔향실의

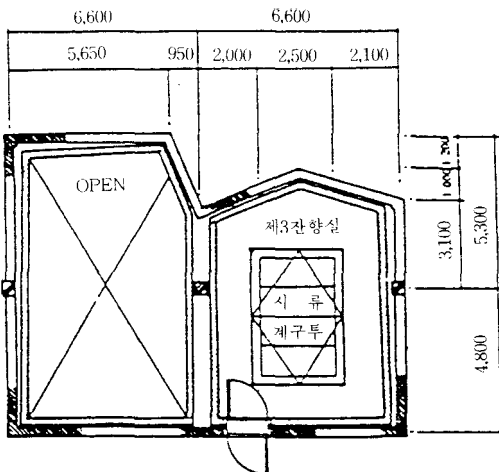
경우에도 잔향실의 경면 및 단면의 형태를 부정형으로 하여 음의 확산효과가 증대되도록 고려되어 있다.

모든 잔향실의 벽면은 외부로부터 공기음의 전달을 피하기 위해 두께 200mm의 철근 콘크리트와 1.5B~2.0B 시멘트 벽돌쌓기의 2중 구조로 되어 있다. 또한 고체음의 전달을 방지하기 위하여 두 구조체는 완전 분리되어 있으며 중간 공기층에는 50mm 유리섬유가 설치되어 있다.

잔향실 내측 벽면은 모르타르에 에폭시 마감칠을 하여 잔향실 내부에서 높은 반사효과를 줄 수 있도록 되어 있다.



(a) 제1잔향실과 제2잔향실



(b) 제3잔향실

그림 1. 잔향실의 구성

## 2) 천장 및 바닥 구조

제1잔향실과 제3잔향실의 천장면은 기존 상층면과 완전 분리되고 200mm 철근 콘크리트로 구성되어 있어 고체음과 공기음의 전달을 방지하도록 되어 있다.

제1잔향실과 제2잔향실의 바닥면은 방진코일스프링을 이용하여 뜬바닥구조 (floating structure)로 함으로써 소음·진동에 의한 고체음의 전달을 방지하도록 되어 있다. 이 때 방진 및 고체음의 차단효과에 영향을 미치는 공진주파수를 가능한 낮게 하도록 하기 위해 제1잔향실의 경우 방진코일스프링 [코일스프링 상수(K) :  $2.2 \times 10^6$  N/m, 1개의 지지 하중 : 5t] 60개를 사용하여 공진주파수는 3.3Hz가 되도록 설계되어 있다.

## 3) 출입문 및 시료개구부 차음문 구조

모든 잔향실의 출입문은 2중의 갑종 방음문으로써 외부로부터의 소음·진동에 의한 공기전달음과 고체전달음이 최소한으로 되도록 설계되어 있다.

제1잔향실과 제2잔향실의 사이 3,600mm×2,800mm 크기의 시료개구부에는 완전개폐가 가능한 2중의 차음문을 설치하여 제1잔향실만을 이용할 경우 이 차음문을 닫음으로써 개구부가 차폐될 수 있도록 되어 있다. 또한 제2잔향실과 제3잔향실의 바닥면 개구부 사이에도 1중 구조의 차음문을 설치함으로써 제1잔향실과 제2잔향실을 이용한 차음성능 측정시 제2잔향실 천장 개구부를 차폐할 수 있는 구조로 되어 있다.

## 2. 음향특성

### 2.1 잔향특성

잔향시간은 실내에 있어서 음이 감쇠하는 정도를 나타내는 물리적 척도의 하나이며, 음원으로부터 음의 방사를 정지시킨 후 실내의 평균 음향에너지 밀도가 처음의  $1/10^6$ 까지 감쇠하는데 소요되는 시간, 즉 60dB 감쇠하는데 소요되는 시간으로 정의된다. 잔향실의 음향성능을 평가하기 위한 잔향특성의 측정방법 및 측정결과의 검토는 다음과 같다.

표 2는 각 잔향실별 설계목표 잔향시간과 ISO 최소기준 잔향시간 및 실측 잔향시간을 비교한 것이

표 2. 각 잔향실의 잔향시간

구분	음파주파수(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
ISO 최소기준 잔향시간		5.0	5.0	5.0	4.5	3.5	2.0
제1잔향실	실제목표 잔향시간	18.28	18.28	18.28	12.57	9.58	4.90
	실측 잔향시간	29.20	26.50	18.60	13.40	8.60	4.30
제2잔향실	실제목표 잔향시간	14.10	11.10	11.10	10.44	8.29	4.54
	실측 잔향시간	15.70	12.40	8.30	7.20	6.00	3.40
제3잔향실	실제목표 잔향시간	12.90	12.90	12.90	9.77	7.86	4.41
	실측 잔향시간	16.10	15.00	12.60	9.50	6.20	3.60

다. 3개 잔향실의 잔향시간은 모두 ISO 최소기준 잔향시간보다는 훨씬 긴 것으로 나타나 양호한 잔향 특성을 보이고 있다.

2.2 음압레벨 분포

잔향실내에서의 음향방사 파워레벨, 재료의 사용 또는 흡음특성을 측정하기 위해서는 잔향실내의 균일한 음압분포가 이루어져야 한다.

따라서 위치별 음압레벨 분포의 편차는 작아야만 한다. 이상적으로는 잔향실을 구성하고 있는 실내 각 표면으로부터 다중반사가 이루어져야 하므로, 실내 마감 표면의 흡음력은 매우 작아야만 하고 동시에 음원으로 부터의 모우드는 불규칙하지 않으면 안된다. 그러므로 잔향실의 어떠한 두 벽해도 대향 평행면이어서는 아니되며, 그 형태도 완전히 부정형이어야 한다.

1) 측정방법

음압레벨 분포의 측정은 3개의 잔향실에 대하여 ISO 140 / 1, ISO 3741, KS 2808의 실험실에서의 음향측정기준을 측정지 평균음압레벨 측정방법에 준하여 실시하였다.

잔향실내의 평균음압레벨을 측정하기 위하여 수음용 마이크로폰은 제1, 2 잔향실의 경우 바닥면으로부터 1.5m, 2.5m, 제3잔향실은 1.5m 높이로 하고, 각 측정점마다 1/3 옥타브 대역 중심 주파수별로 3회씩 측정하였다(표 3. 4).

2) ISO 기준치와의 비교

제1잔향실과 제2잔향실의 경우 수음용 마이크로폰

표 3. 제1잔향실 음압레벨(1.5m 높이) [단위: sec]

Hz	측정값 (평균)	표준편차 (S·D)	S·D (ISO기준)
A·P	100.7	0.24	1.5
63	51.9	3.06	
80	62.5	3.78	
100	71.3	1.06	
125	73.4	1.34	
160	74.9	0.56	
200	76.2	0.82	1.0
250	80.3	0.53	
315	81.7	0.36	
400	84.6	0.48	
500	86.5	0.30	
630	89.0	0.37	
800	92.2	0.28	0.5
1000	93.5	0.25	
1250	88.5	0.24	
1600	90.9	0.28	
2000	92.8	0.27	
2500	91.5	0.21	
3150	89.7	0.25	1.0
4000	85.4	0.21	

의 높이외는 관계없이, 100 Hz 이하의 저주파수 영역에서 음압레벨 분포에 따른 표준편차는 ISO 기준 표준편차에 초과하고 있는 것으로 나타나고 있는 반면, 125 Hz 이상의 주파수 영역에서는 ISO 기준 표준편차보다 작게 나타나 비교적 균일한 음압 분포를 보이고 있다.

즉, 잔향실의 최저 한계주파수인 125 Hz 이상의 음향측정시 제1잔향실과 제2잔향실의 경우에는 특별히 확산판이 설치 등에 의한 조정없이 현재의 마감 상태에서도 양호한 음압분포를 나타내고 있다고 판단된다. 제3잔향실의 경우에는 250 Hz와 1000

한데 같은 음압레벨 분포에 따른 표준편차가 ISO 기준의 표준편차보다 다소 높고 있는 것으로 나타났고 있음을 알 수 있다. 그러나 금후 제3잔향실이 바닥충격음레벨 측정시 음원실의 용도방으로 이용될 경우에는 특별한 확산판의 설치나 경사각의 변경이 필요하지는 않으리라 판단된다(표 5).

표 4. 제2잔향실 음압레벨(2.5m 높이) [단위: sec]

측정점 Hz	음압레벨 (평균)	표준편차 (S·D)	S·D (ISO기준)
A·P	101.2	0.14	1.5
63	52.3	2.21	
80	65.8	1.25	
100	69.0	2.18	
125	74.8	1.21	
160	75.7	1.26	
200	75.9	0.74	1.0
250	78.3	0.76	
315	79.1	0.59	
400	82.3	0.83	
500	85.5	0.35	
630	88.0	0.52	
800	91.6	0.70	0.5
1,000	93.2	0.47	
1,250	88.6	0.33	
1,600	92.0	0.26	
2,000	93.7	0.24	
2,500	93.0	0.24	
3,150	91.7	0.34	1.0
4,000	87.4	0.36	

표 5. 제3잔향실 음압레벨(1.5m 높이) [단위: sec]

측정점 Hz	음압레벨 (평균)	표준편차 (S·D)	S·D (ISO기준)
A·P	105.4	0.47	1.5
125	79.0	1.22	
250	85.0	1.36	1.0
500	91.0	0.56	
1,000	97.4	0.60	0.5
2,000	97.6	0.44	
4,000	91.6	0.40	1.0

3. 결 론

잔향시간은 제1잔향실의 경우 18.6초(500 Hz 기준), 제2잔향실의 경우 8.3초(500 Hz 기준), 제3잔향실의 경우 12.6초(500 Hz 기준)로서 ISO 기준의

최소요구 잔향시간 5.0초(500 Hz 기준) 보다는 훨씬 길게 나타나 양호한 잔향상태를 보이고 있다. 잔향상 최 곡선의 형태에 있어서도 각 잔향실에서 125 Hz와 250 Hz의 저주파 영역이 다소 확산성이 떨어지기는 하지만 500 Hz 이상에서는 좋은 확산상태를 나타낸다.

음압레벨분포는 제1, 2 잔향실의 경우에는 모두 125 Hz~4,000 Hz에서 각 측정점 및 높이 변화에 의한 표준편차가 ISO 기준의 최대허용 표준편차보다 대체로 낮게 나타나 어느 위치에서나 음압분포가 비교적 균일함을 알 수 있다. 제3잔향실의 경우에는 250 Hz와 1,000 Hz에서 ISO 기준의 표준편차를 다소 초과하고 있으나, 금후 제3잔향실의 용도를 고려하면 확산판의 설치나 경사각의 변경이 필요하지는 않으리라 판단된다.

4. 용 도

- 각종 건축자재의 흡음률, 차음성능 평가.
- 음원이나 기계류등 소음원의 음향출력 측정.
- 2개의 잔향실을 이용하여 벽간막이, 출입문등의 투과손실 평가.
- 바닥충격음 측정 및 성능개선을 위한 구조개발 연구.

5. 대상품목

5.1 건축자재

- 판유리
- 강화유리(복층, 접합유리)
- 유리면
- 암면
- 석고보드
- 합판
- 도로방음벽

5.2 전기기계 산업

- 베어링
- 기어
- 모터
- 압축기
- 각종 기계류 등 진동·소음 발생기기

6. 보유기기 현황

- Building Acoustic Analyzer(B & K 4418)
- Rotating Microphone Boom(B & K 3923)
- Level Recorder(B & K 2317)
- Tapping Machine(B & K 3204)
- Standing Wave Apparatus(B & K 4002)
- Sound Source(B & K 4224, 4205)
- Dual Channel Real Time Frequency Analyzer(B & K 2133)

무향실

1. 재원 및 구조

1.1 재원

- 하향 주파수 : 63 Hz
- 압소음 : 20dB(A) / 80 dB(A)

2.1 구조

- 외형 : 10.9(W)×9.2(L) ×9.4(H)m
- 내부 : 6.735(W)×5.252(L) ×5.942(H)m
- 실용적 : 194 m<sup>3</sup>
- 정단적 : 35.4m<sup>3</sup>
- Wedge : 밀도 : 120kg / m<sup>3</sup>  
길이 : 1.2m  
가로 : 14.25

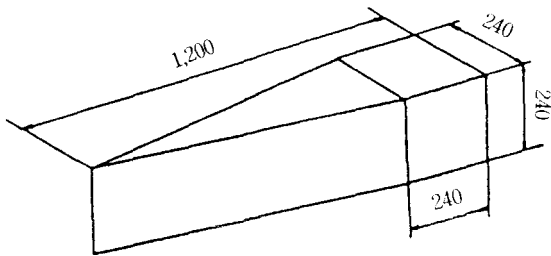


그림 2. 사용된 음리침유 웨지의 치수

2. 음향특성

2.1 역제곱 법칙(Inverse Square Law)의 확인측정 및 편차

1) 측정 A

측정A의 경우 64 Hz로부터 8 kHz까지 모두 최대 편차가 1.5dB이내에 드는 것을 볼 수 있다. ISO

기준을 충분히 만족하고 있으며 64 Hz를 제외하고는 최대편차가 1.0dB 이하에 보인 것인 것. 압소음 상태

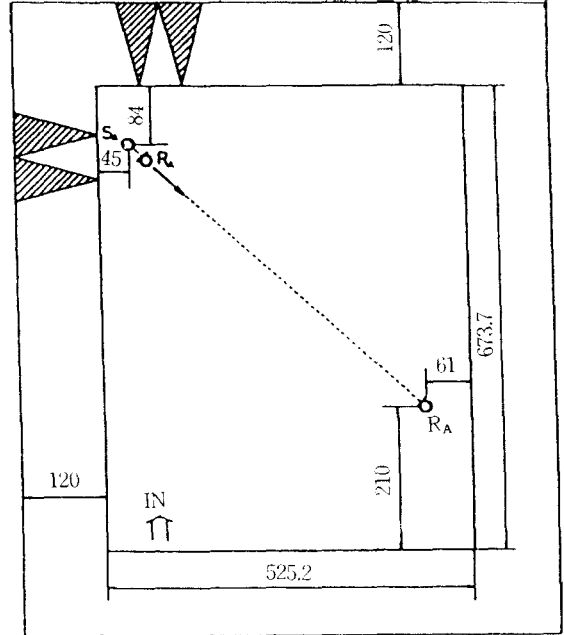


그림 3. 측정A에서의 음원과 마이크로폰 위치

표 6. 역제곱법칙으로 부터의 편차 (a)측정A의 경우 (단위 : dB)

주파수	편차		주파수 (Hz)	편차	
	최대 편차	표준 편차		최대 편차	표준 편차
64	1.395	0.643	1024	0.150	0.100
128	0.793	0.376	2048	0.366	0.172
256	0.437	0.248	4096	0.793	0.421
512	0.291	0.172	8192	0.362	0.142

2) 측정 B 및 측정 C

측정 B와 C의 경우도 모두 64 Hz를 제외하고는 최대편차가 1.0dB 이상임을 확인할 수 있다. 모든 측정에서 250~2 kHz대역의 경우는 최대편차가 0.5 dB 이내에 들고 있다. 또한 측정 C의 경우 800~3.15 kHz 대역에서는 최대편차가 0.2 Hz이하로, 자유음장조건을 대단히 잘 만족시키고 있는 것을 알 수 있다.

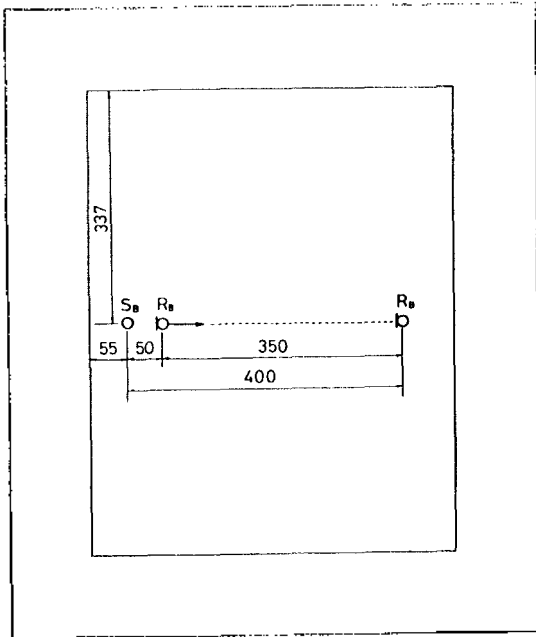


그림 4. 측정 B에서의 음원과 마이크로폰 위치.

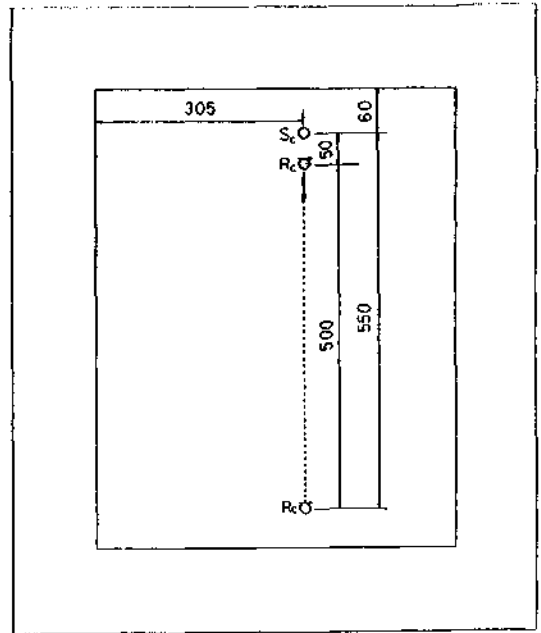


그림 5. 측정 C에서의 음원과 마이크로폰 위치.

표 7. 역제곱법칙으로 부터의 편차  
(b) 측정 B의 경우

편차 주파수	최대 편차	표준 편차	편차 주파수 (Hz)	최대 편차	표준 편차
64	2.352	1.223	1024	0.376	0.209
128	0.907	0.430	2048	0.366	0.183
256	0.279	0.201	4096	0.850	0.434
512	0.430	0.261	8192	0.462	0.275

본 무향실의 사용가능 하한 주파수는 63 Hz로 설계되어 있으며, 이 주파수 부근에서 측정 A에서는 거리 3.5m 까지 편차가 1.5dB이내에 들고 있으나, 측정 B와 측정 C에서는 편차가 다소 커짐을 알 수 있다. 하한 주파수에서의 편차는 이와 같이 나타나는 것이 보통이며, 실제로 미국의 NBS 무향실이나 덴마크의 Danish Technical University 무향실의 경우에도 편차가 2~4dB에 이르고 있음이 알려져 있다(그림 4, 5 표 7, 8).

3.2 압소음

설계시 제시한 압소음레벨은 20dB(A)였으며, 측정

표 8. 역제곱법칙으로 부터의 편차  
(c) 측정 C의 경우

편차 주파수	최대 편차	표준 편차	편차 주파수 (Hz)	최대 편차	표준 편차
63	2.224	1.103	1.25K	0.095	0.050
80	0.866	0.563	1.6K	0.064	0.037
100	0.550	0.268	2K	0.052	0.032
125	0.764	0.361	2.5K	0.106	0.060
160	0.264	0.178	3.15K	0.150	0.071
200	0.576	0.311	4K	0.521	0.231
250	0.407	0.182	5K	0.607	0.271
315	0.422	0.299	6.3K	0.091	0.462
400	0.236	0.118	8K	0.091	0.462
500	0.136	0.087	10K	0.622	0.323
630	0.322	0.148	12.5K	0.419	0.266
800	0.134	0.076	16K	0.505	0.324
1K	0.050	0.031	20K	0.619	0.358

된 압소음레벨은 10.6dB(A)로 이보다 훨씬 작게 나타나고 있다. 물론 측정 당일이 토요일이었으므로 주위가 비교적 조용한 상태이기는 하였으나, 국립공원시험원의 위치 자체가 조용한 환경에 있으므로 평일에도 20dB(A)를 넘지는 않을 것으로 판단된다. 공조기에 의한 소음은 외국의 경우에도 15dB

정도 추가되는 것으로 보고된 바 있는데, 본 무향실이 경우에는 어느 주파수 영역에서 9dB를 추가하고 10dB가 증가한 공조실에서의 값을 참조한 것으로 되어 있다(표 9).

표 9. 1/3옥타브 별로 측정된 압소음 레벨 (단위: dB)

중간 주파수	소음레벨	중간 주파수	소음레벨	중간 주파수	소음레벨
20Hz	26.8	200Hz	4.8	2.5kHz	5.2
25	25.6	250	3.8	3.15	5.8
31.5	26.3	315	2.6	4k	6.5
40	17.9	500	2.4	5k	7.0
50	19.2	630	2.6	6.3k	7.6
63	13.8	800	3.2	8k	7.8
80	10.5	1k	3.4	10k	8.0
100	9.6	1.25k	3.8	12.5k	7.6
125	8.6	1.6k	4.2	16k	6.9
160	6.1	2k	4.7	20k	5.9

4. 결 론

본 무향실 성능을 측정된 결과 다음과 같이 결론을 요약할 수 있다.

- 63 Hz 이상의 주파수에서는 자유음장의 조건을 잘 만족하고 있다.
- 압소음레벨은 공조기 가동시 10.6dB(A)로서 설계시 제시한 20dB(A)를 충분히 만족하고 있다.
- 공조기에 의한 추가소음은 가청 주파수 범위에서 9dB로 매우 조용한 편이며, 측정시 공조기를 가동시켜도 무방하다.
- 사용한 주파수는 설계시 제시한 63 Hz로 판단할 수 있다.

전반적으로 본 무향실의 음향학적 성능은 매우 우수하며, 외국의 같은 무향실과 비교하여 본 무향실에 전혀 손색이 없다고 결론 지을 수 있다.

5. 용 도

각종 산업기기의 소음측정, 주파수분석, 음향출력 측정 등 각종 방음장치의 효과측정에 이용되며, 일반적인 사용범위는

- 음원의 Sound Power Level 분석
- 음원의 구조적 분석

- 음원 Level 분포도
- 전방향수의 신뢰도 평가
- 음원의 방향성 지수 분석
- 각종 음향기기의 특성 평가

6. 대상품목

6.1 전기 음향 기기

- Stereo Amplifier
- 녹음기
- Turn Table, CDP
- Speaker, Headphone
- Microphon 등

6.2 전기제품

- 세탁기
- 냉장고
- 믹서
- 형광등 기구
- 모터
- Hairdryer 등

6.3 자동차 산업

- Muffler
- 엔진
- 성음기 등 소음 부품
- 기타 악기산업, 환경위생기기산업, 사무기기산업, 항공산업 등

7. 보유기기 현황

7.1 Sound Instrument Test System(6점)

- Heterodyne Analyzer(B & K 2010)
- Distortion Measurement Unit(B & K 1902)
- Power Amplifier(B & K 2706)
- Turntable(B & K 3922)
- Level Recorder(B & K 2307)
- Microphone Cartridge(1/4", 1/2", 1")

7.2 Audio Logical Test System(5점)

- Measuring Amplifier(B & K 2636)
- Band Pass Filter(B & K 1617)

Electronic Viltmeter(B & K 4152, 4153)  
Ecu Simulator(B & K 4157)

7.3 Noise Test System(4점)

Sine Noise Generator(B & K 1049)  
2ch FFT Analyzer(B & K 2313)  
Precision Sound Level Meter(B & K 2231)

7.4 Vibration Measuring System(20점)

- Standard Accelerometer(B & K 8305)
- Triaxial Accelerometer(B & K 4321)
- Accelerometer
- Vibration Exciter System(B & K 480IT)
- Power Amplifier(B & K 2707A)
- Vibration Exciter Control(B & K 1050A)
- Conditioning Amplifier(B & K 2650)

- Impact Hammer(B & K 8202)
- Force Transducer(B & K 8200, 8201)
- Line Drive Amplifier(B & K 2644)
- Lazer Velocity Transducer(B & K 3544)
- Tracking Filter(B & K 1623)
- Vibration Exciter(B & K 4809)
- 8 Channer Multiplexer(B & K 2811)
- Sound & Vibration Instrument Recorder(B & K 7005)
- Graphic Recorder(B & K 2319)
- Digital Stroboscope(B & K 4913)
- Digital Temperature & Humidity Meter(B & K 3532)
- X-Y Recorder(B & K 2308)
- Modal Analysis System

筆者紹介

▲ 김 찬 중(정리권) 1942년 12월 30일생  
1966년 : 한양대학교 전기공학  
과 졸업  
1990년 - 현재 : 국립공업 시험  
원 전자과장 재직



▲ 홍 인 표(심회원) 1955년 8월 30일생  
1990년 : 한양대학원 전자공학  
과 재학중  
1990년 - 현재 : 국립공업 시험  
원 전자과 음향 연구  
실 재직

