

# 매단 천장의 실간 공기전달음 실험실 측정방법 고찰

○ 양 관 섭\* 이 근 희\*\* 김 선 우\*\*\*

## Investigation on the Laboratory Method of Measuring the Airborne Sound Insulation of a Suspended Ceiling

Kwan Seop Yang, Keun Hee Lee, Seon Woo Kim

### ABSTRACT

Offices and other multipurpose buildings commonly have suspended ceilings installed over room dividing wall. But Korean Standards don't include any code on test methods and test facility of the suspended ceiling system. Therefore, test methods and test facility from ISO or ASTM have been used for evaluating sound performance in domestic so far. In this study, every regulation from ISO, ASTM, especially for airborne sound insulation against suspended ceiling system, is analyzed in order to apply to establishment of Korean Standards on test methods and test facility of suspended ceiling system and materials.

### 1. 서 론

사무실이나 다목적 건물들은 사용 목적이나 재실자 수에 따른 공간의 요구 규모에 쉽게 대응할 수 있도록 코아 부분을 제외한 공간은 개방되어 있으며, 필요에 따라 공간을 칸막이 벽으로 분할하여 사용하고 있다. 그러나 대부분의 칸막이벽은 특별하게 차음성능이 요구되지 않는 한 이미 설치된 천장 밑면에 설치하게 된다. 따라서 실간의 차음성능은 벽체의 차음성능이 높게 설계되었다 하더라도 천장 속을 통한 우회전달음의 크기에 따라 요구되는 차음성능을 만족하지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 일부 천장재 생산업체에서는 천장시스템에 대한 실간 차음성능을 실시하고 있다.

그러나 아직까지 우리나라에는 천장에 대한 차음성능을 정량적으로 측정할 수 측정방법과 측정실의 조건에 대한 관련 KS규격이 없어 미국의 ASTM이나 ISO의 규격들을 사용하고 있는 실정이다. 또한 이들 조건에 적합한 실험실을 갖추고 있는 시험기관도 그리 많지 않아 성능 확인에 어려움을 겪고 있다.

또한 최근 여러 산업분야에서 국제화가 급속히 이루어짐에 따라 한국산업규격을 국제규격에 적합하게 개정하거나 국내 규격이 없어 측정 및 평가에 어려움을 겪고 있는 경우는 국제규격에 적합하고, 우리나라 실정을 고려한 새로운 규격을 제정하는 작업들이 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 이러한 작업과 연계하여 사무실 공간 등에 사용하는 각종 천장재료나 천장시스템의 차음성능 측정방법과 시험설비에 대한 내용을 규정하고 있는 ISO(국제규격), ASTM(미국) 등의 내용을 파악하여 한국산업규격(KS)의 제정작업에 활용할 목적으로 각 규격에 대한 내용을 분석

\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\* 정회원, (주) SONA-M 대표

\*\*\* 정회원, 전남대학교 건축학과 교수

하였다.

## 2. 각 규격의 규정내용 분석

사무실 등의 천장재나 천장 시스템의 공기음 차단성능을 측정하기 위한 방법과 관련 시험시설의 조건 등을 규정하고 있는 대표적인 규격으로서는 ISO 140-9(Measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part1: Laboratory measurement of room-to-room airborne sound insulation of a suspended ceiling with a plenum above it)와 ASTM E 1414 (Standard Test Method for Airborne sound attenuation between rooms sharing a common ceiling plenum)를 들 수 있다. 이 두 규격은 모두 본체와 1개의 부속서로 구성되어 있으나 ISO에서는 부속서를 참고로, ASTM에서는 의무규정으로 정하고 있다.

### 2.1 적용범위와 분야

이 두 규격 모두 칸막이 벽과 천장공간을 공유하고, 수평적으로 인접한 전형적인 한 쌍의 작은 사무실이나 방을 모형화하여 만들어진 시험시설을 사용하도록 규정하고 있다. 그리고 상기와 같이 정해진 시험시설의 두 실을 분리하는 칸막이 벽체(acoustical barrier) 위에 규정된 높이로 설치된 시험대상 천장의 공기전달음 차단성능을 측정하는 방법을 규정하고 있으며, 이 때의 공기음 차단성능은 천장과 천장공간 이외의 경로로 소리가 전달되는 것을 무시할 수 있어야 한다고 규정하고 있다.

적용분야는 두 규격 모두 칸막이 벽과 천장공간을 공유하는 천장 이외에 조명이나 공조시스템이 천장에 구성된 복합 천장시스템이나 천장 전체 또는 일부분을 위해 사용되는 천장 속 격벽(plenum barrier)이나 천장 속의 일부 또는 전체를 흡음재 등으로 채우는 것과 같은 천장 보조 시스템에 의해 달성되는 부가적인 차음성능 연구에도 사용할 수 있는 것으로 규정하고 있다.

적용범위에서 규정하고 있는 내용 중 ASTM에서만 규정하고 있는 사항으로서는 현장 적용 후 결과가 규격에서 정한 방법으로 실험한 결과와 크

게 달라질 수 있음을 언급하고 있는 것과 천장 시스템의 안전문제, 위생문제, 사용을 위한 법규적 제한 적용의 결정문제에 대한 책임을 규격 이용자의 책임이라고 명백히 규정하고 있는 것이다.

### 2.2 용어의 정의

ISO 140-9에서는 실내평균음압레벨, 실간음압레벨차, 매단 천장의 규준화레벨차(suspended ceiling normalized level difference), 그리고 천장속 공간(plenum space)에 대한 용어를 정의하고 있으며, ASTM E 1414에서는 천장 차음도(ceiling attenuation), 규준화 천장 차음도(normalized ceiling attenuation), 규준화 항, 천장 차음도 등급(CAC, ceiling attenuation class), 천장속 공간, 직접음장, 잔향음장에 대한 용어를 정의하고 있다.

여기에서 ISO의 실간음압레벨차(D)와 ASTM(Dc)의 천장 차음도는 용어와 기호만 다를 뿐 음원실과 수음실의 평균음압레벨의 차( $D = L_1 - L_2$ )를 정의하고 있다. 그리고 ISO의 매단 천장 규준화레벨차( $D_{n,c}$ )와 ASTM의 규준화 천장차음도( $D_{n,c}$ ) 모두 수음실의 흡음력을 보정한 값으로 정의하고 있으나 다음의 ①과 ②에 나타낸 바와 같이 산출방법에서 일부 차이가 있다.

#### ① ISO의 매단 천장 규준화레벨차( $D_{n,c}$ )

$$D_{n,c} = D - 10 \log_{10} \frac{A}{A_0}$$

여기서  $D$  : 음압레벨차

$A$  : 수음실의 등가흡음력( $m^2$ )

$A_0$  : 기준흡음력(실험실에서는  $A_0 = 10m^2$ )

$$A = \frac{0.163V}{T}$$

$V$  : 시험천장 설치상태의 수음실 체적( $m^3$ )

$T$  : 수음실의 잔향시간(s)

#### ② ASTM의 규준화 천장차음도( $D_{n,c}$ )

$$D_{n,c} = D_c + N_f$$

여기서  $D_c$  : 천장 차음도

$N_f$  : 규준화 항

- 표준화 항( $N_f$ ) 산출방법1: 음감쇠법(sound decay method)

$$N_f = 10 \log(A_0/A)$$

$A_0$ : 기준흡음력(=12m<sup>2</sup>), A: 수음실의 흡음력(m<sup>2</sup>)

- 표준화 항( $N_f$ ) 산출방법2: 정상법(Steady state method)

$$N_f = \Delta L_r - \Delta L + 10 \log(A_0/A_r)$$

$A_0$ : 기준흡음력(=12m<sup>2</sup>)

$\Delta L$ : 측정대상 천장이 위치한 수음실 내의 보조음원(소형스피커)의 직접음레벨과 확산음레벨과의 차(dB)

$\Delta L_r$ : 교정용 천장이 위치한 수음실 내의 보조음원(소형스피커)의 직접음레벨과 확산음레벨의 차(calibration difference) (dB)

$A_r$ : 교정용 천장이 설치된 상태에서의 수음실의 흡음력(m<sup>2</sup>)

상기 식들에서 보는 바와 같이 잔향시간을 이용하여 구한 흡음력은 두 규격 모두에서 공통적으로 사용하고 있으나 ASTM에서는 16gauge 철판, 16mm석고보드, 19mm합판 등 반사도가 높은 교정용 천장을 설치했을 때의 흡음력, 직접음레벨과 확산음레벨의 차 등을 이용하여 흡음력을 보정하는 방법을 규정하여 함께 사용하고 있으며, 부속서 A1에서 산출방법을 자세하게 규정하고 있다.

### 2.3 실험시설

ISO 및 ASTM 두 규격 모두 매단 천장에 대한 실험실의 형태, 실험실의 구조 및 규모, 분리벽의 구조 및 설치방법, 천장 속(plenum)의 크기 및 처리방법, 음향적인 조건 등에 대해 자세히 규정하고 있으며, 내용은 거의 유사한 것으로 분석되고 있다.

#### (1) 실험시설의 형태 및 용적

두 규격 모두 실험실의 형태는 직방형으로 하도록 규정하고 있으며, 이 직방형의 공간을 각 공간

의 용적이 10% 이상 차이가 나도록 분리벽을 이용하여 2개의 공간으로 분할하도록 되어 있다.

시험용 천장이 설치된 상태에서 각 공간의 용적의 경우, ISO에서는 50m<sup>3</sup>을 최소 용적으로 규정하고 있다. 그러나 ASTM에서는 별도의 최소용적을 규정하고 있지 않으나 주어진 실험실의 치수와 각 공간의 용적 차이 10% 규정을 고려하여 각 실험실의 용적을 산출해 보면 약 33~72m<sup>3</sup> 정도로 비교적 다양한 용적의 실험실을 이용하여 실험할 수 있도록 규정하고 있는 것으로 분석된다.

#### (2) 실험실의 크기

길이, 폭, 높이 등 실험실의 크기에 대해서는 두 규격 모두 명확하게 규정하고 있으며, 두 규격의 모든 치수는 안목치수를 기준으로 정하고 있다.

Table 1은 그 내용을 나타낸 것으로서 ASTM의 경우에는 실험실의 총 길이와 폭, 전체 높이, 천장 속의 높이와 폭이 구체적으로 정해져 있는 반면, ISO에서는 실험실의 총길이에 대한 규정은 주어져 있지 않고, 단지 각 실의 최소 용적 50m<sup>3</sup>만 규정되어 있어 총 길이는 실험실의 규모에 따라 정할 수 있도록 하고 있다.

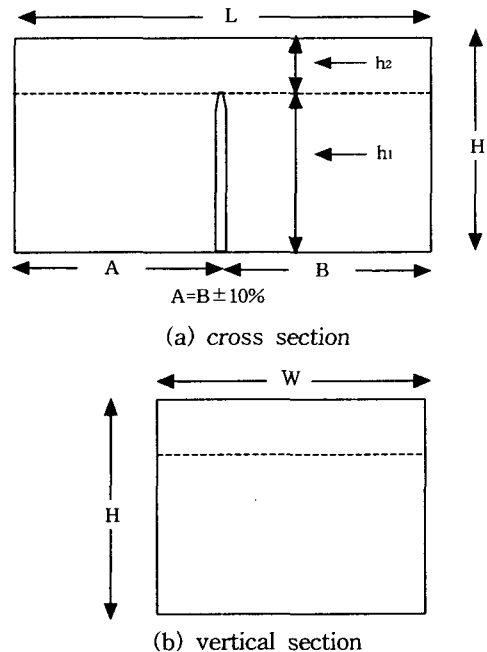


Fig. 1 Dimension of the Test Room

Table 1. Dimension of the Test Room of ISO and ASTM

구분	ISO 140-9	ASTM E 1414
L	미규정, 용적으로부터 산출가능	7.5±1.5m
H	3.25~3.76m	3.65±0.15m
h <sub>1</sub>	650~760mm	760±25mm
h <sub>2</sub>	2.8±0.2m	2.77~3.01m
W	4.5±0.5m	4.65±0.23m

천장 속(plenum)의 폭에 대해 ISO 규격에서는 특별히 규정하고 있지는 않으나 ASTM 규격에서는 4.3±0.02m로 규정하고 있다. 이 폭은 천장 속의 모든 벽(지붕면 제외)에 흡음재를 붙이고 난 후의 최종 폭을 나타낸 것이다.

(3) 분리벽(Dividing(Seperating) Wall)

분리벽은 시험대상 천장 아래의 공간을 2개의 공간으로 나누기 위한 음향적인 장애물이며, 그 벽의 차음성능은 두 규격 모두 시험대상 천장보다 10dB 이상 커야 한다고 규정하고 있다.

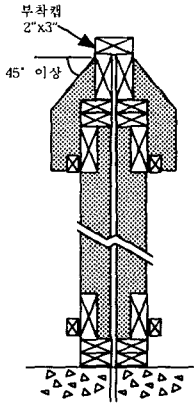


Fig. 2 Vertical section of seperating wall(ASTM)

그리고 두 규격 모두 분리벽 상단에는 시험대상 천장의 전형적인 상부조건을 구성하기 위해 캡을 씌우도록 하고 있으며, capping한 상태에서의 두께를 ISO규격에서는 100mm 이하, ASTM에서는 76±2.5mm가 되도록 분리벽의 상단에서 가늘어지도록 만들어야 한다고 규정하고 있으나 분리벽의 최소 두께에 대한 규정은 없다. 단지 ISO에서는 벽의

가장 넓은 부분과 캡핑사이의 경사도는 수직으로부터 30°를 넘지 않도록 하고 있으나 ASTM에서는 최소 45°로 하도록 하고 있다. Fig.2는 ASTM에서 정하고 있는 요구조건을 만족하는 분리벽의 예를 나타낸 것이다.

분리벽에 대한 재료는 정해져 있지는 않으나 ASTM에서는 표면 마감재로는 반사성 재료를 쓰도록 규정하고 있다.

(4) 천장 속(plenum) 공간의 처리방법

두 규격 모두 plenum 공간의 벽에 흡음재를 설치하도록 규정하고 있다. 단지 두 규격간에 차이가 있는 것은 ASTM에서는 모든 벽면에 76mm 이상의 흡음재를 붙이도록 하고 있으나, ISO 규격에서는 측벽(side wall) 중 한 곳과 양 끝벽(end wall)에 두께에 대한 제한 없이 적절한 흡음재를 설치하도록 규정하고 있다. 다음 Table 2는 두 규격에서 정하고 있는 plenum lining 흡음재의 흡음율을 나타낸 것이다.

Table 2. Sound absorption coefficients of plenum lining

center frequency(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
sound absorption coefficients( $\alpha_s$ )	0.65	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80

ASTM에서는 이 흡음율을 고려하여 plenum lining 흡음재로서 150mm 유리면을 언급하고 있으며, ISO에서는 흡음재의 최대 두께가 150mm를 넘지 않아야 한다고 규정하고 있다.

그러나 상기의 흡음재를 설치하지 않는 부위 즉, ASTM의 경우에는 지붕 밀면, ISO의 경우에는 한쪽 측벽과 지붕 밀면의 경우, 흡음율은 Table 2에 주어진 전 주파수대역에서 0.10 이하가 되어야 한다고 규정하고 있다.

(5) 실험실의 음향적인 요구조건

두 규격 모두 천장과 plenum 공간 이외의 경로로 전달되는 우회음이 최소가 되도록 진동 절연하도록 하고 있으며, 배경소음레벨의 경우, ISO규격

에서는 음원실에서 전달되는 소리를 측정할 수 있을 정도로 낮아야 하며, 음원실의 음향파워와 시험체의 차음특성이 고려되어야 한다고 규정하고 있으나 ASTM에서는 구체적으로 최소 측정음레벨보다 10dB 이상 낮아야 한다고 규정하고 있다.

그리고 최적의 확산음장을 얻을 수 있도록 확산판을 붙이는 것이 권장되고 있다. 이와 관련하여 ASTM에서는 각 측정점간의 1/3옥타브밴드별 음압레벨 편차가 125~250Hz에서는  $\pm 3\text{dB}$ , 315~4000Hz에서는  $\pm 2\text{dB}$ 를 넘지 않도록 한 변의 길이가 최소 0.7m이고 전체면적이 최소한 8m<sup>2</sup>인 3개의 고정 확산판을 설치하거나 또는 한 변의 길이가 최소 1.5m이고, 면적이 4m<sup>2</sup>인 1개의 회전날개형 확산판을 이용하여 확산음장을 형성하도록 하고 있으나 ISO에서는 이러한 내용을 구체적으로 규정하고 있지 않다.

시험실의 음향조건과 관련하여 두 규격 모두 각 시험실에서의 잔향시간이나 시험실 표면재의 흡음율을 규정하고 있는데, ISO규격에서는 plenum lining과 시험체가 없는 상태에서 1/3옥타브밴드의 전 주파수대역에서의 잔향시간은 1초 이상이 되어야 한다고 규정하고 있으나, ASTM에서는 바닥과 천장 아래의 모든 수직면의 흡음율이 0.1 이하인 재료를 사용하도록 하고 있다.

## 2.4 시험대상 천장의 설치방법

두 규격 모두 시험대상 천장은 제품의 권장 시방에 따라 설치하도록 규정하고 있으며, 면적조건도 정하고 있다.

ISO규격에서 정하고 있는 구체적인 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- 분리벽의 상단과 천장과의 접합상세는 실제 현장조건대로 해야 하며, 연속되는 천장의 면적은 시험실의 길이와 폭에 의해 주어진 면적과 동일
- 비연속적인 천장의 경우, 연결부위를 마무리하기 위해 공간 분할벽의 상단에 부가적인 캡핑을 추가할 필요가 있으며, 비연속 천장의 면적은 공간 분할벽의 상단에 있는 캡핑의 면적을 제외한 시험실의 길이와 폭에 의해 주어진 면적과 동일

- 천장 구성재는 현장에 설치되는 것과 동일한 것이 사용되어야 하고, 천장은 제작자가 제시하는 시방에 따라 설치되거나 표준시방서에 따라 설치

## 2.5 측정방법

### (1) 음의 발생

두 규격 모두 음원실에서 발생하는 소리는 안정적이어야 하며, 측정대상 주파수 범위에서 연속적인 스펙트럼을 가져야 한다고 규정하고 있으며, 최소한 1/3옥타브밴드 폭의 필터를 사용해야 한다고 규정하고 있다. 그리고 음향파워는 수음실에서의 음압레벨이 전주파수대역에서 배경소음레벨보다 적어도 10dB 이상 높게 되도록 하고 있다.

### (2) 측정주파수 범위

두 규격 모두 음압레벨은 1/3옥타브밴드 필터를 이용하여 측정하는 것으로 규정하고 있는데, ISO에서는 100~3150Hz, ASTM에서는 125~4000Hz로 규정하고 있다.

### (3) 스피커 및 마이크로폰의 위치

ISO 규격에서는 스피커를 각 방의 모서리를 향해 설치하도록 하고 있으나 ASTM 규격에서는 특별히 규정하고 있지는 않다.

마이크로폰 위치에 대해서는, ASTM 규격에서는 본체에 마이크로폰의 위치를 규정하고 있으나 ISO규격에서는 부속서에서 측정방법의 예를 설명하면서 언급하고 있다.

다음 Table 3은 그 내용을 나타낸 것이다.

Table 3 Location of microphone positions

구 분	ISO 140-9	ASTM E 1414
측정점 수	각 실에서 6개	정밀도 요건을 만족하도록 측정횟수 결정
마이크로폰과 벽체와의 거리	0.7m 이상	0.75m 이상
마이크로폰 사이	0.5m 이상	0.75m 이상
마이크로폰과 음원	-	1.5m 이상
이동 마이크로폰의 회전반경	-	0.75m

(4) 음압레벨의 측정 평균화시간

ISO에서는 각 주파수별로 평균화 시간을 5초 이상 하도록 부속서에서 언급하고 있으나, ASTM에서는 평균음압레벨을 정밀하게 계산하는데 충분한 시간이면 되는 것으로 규정하고 있을 뿐 구체적인 시간은 정하고 있지 않다. 단, 회전확산판을 사용하고 있는 경우에는 1회 이상의 회전 주기와 같아야 한다고 규정하고 있다.

(5) 천장 기준화레벨차의 평가

음압레벨 측정시, ASTM에서는 음원실과 수음실을 고정하여 각 실에서 측정한 평균음압레벨로부터 실간음압레벨차를 구하고, 수음실의 흡음력을 보정하여 천장 기준화레벨차를 구하고 있는 반면, ISO 규격에서는 음원실과 수음실을 서로 바꾸어 또 한번의 측정을 실시한 후, 2개의 천장 기준화레벨차를 산술평균하여 최종적인 천장의 기준화레벨차를 구하고 있다.

(6) 기타

측정결과와 정밀도에 대해 ISO에서는 ISO 140-2의 규정에 따르도록 하고 있으나, ASTM의 규격에서는 정밀도와 오차에 대해 자세히 규정하고 있다.

참고문헌

1. ISO 140-9 Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements Part1: Laboratory measurement of room-to-room airborne sound insulation of a suspended ceiling with a plenum above it
2. ASTM E 1414 Standard Test Method for Airborne sound attenuation between rooms sharing a common ceiling plenum

3. 맺음말

현재 우리나라는 한국산업규격(KS)을 국제규격(ISO)에 적합하게 개정하는 작업들이 진행되고 있으며, 건축물 및 건축부재의 차음성능의 측정 및 평가방법에 대해서도 국제규격과의 부합화를 위한 개정 및 제정작업이 활발히 진행되고 있다. 이러한 추세에 맞추어 매단 천장의 실간 공기전달음 차단 성능 실험실 측정방법을 중심으로 ISO(국제규격), ASTM(미국) 등에서 규정하고 있는 내용을 분석, 설명하였다. 본 분석내용을 바탕으로 매단 천장에 대한 차음성능 측정방법이 확립되고, 천장의 차음성 평가에 도움이 되었으면 하는 바람을 가져 본다.