

## 천장재 차음성능의 실험 평가

°강 현주\*, 김 상렬\*, 김 재승\*, 김 현실\*, 김 봉기\*,

### Experimental evaluation of sound Insulation performance of ceiling panels

Hyun-Ju Kang, Sang-Ryul Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Sil Kim, Bong-kee Kim,

#### ABSTRACT

This paper deals with the factors affecting measurement of sound insulation performance of the ceiling panels. The factors to be experimentally examined are as follows: sound diffuseness of the test room by investigating sound pressure distribution, Reverberation time, and influence of speaker location on measured results. Based on the investigation of sound pressure distribution over measuring points, it can draw a conclusion that rectangular shaped rooms as test rooms have a serious problem associated with the diffuse sound field.

#### 1. 서 언

벽체와 더불어 천장재는 방과 방 사이의 차음 성능과 관련하여 음이 전달되는 중요한 통로가 되고 있지만 무시하는 오류가 흔히 발생하고 있다. 무시하게 되는 현실적인 이유로 천장재의 차음성능에 관한 이론적 평가는 물론 실험평가마저도 충분치 않기 때문이다.

이러한 배경 때문에 격실에 대한 차음설계가 두 방 사이의 벽만을 고려한 경우 요구 차음성능을 만족할 수 없는 경우가 종종 발생하고 있다. 예를 들면 room to room에 대한 요구성능이 소음차폐지수 (STC or Rw: Sound Transmission Class, or Weighted Sound Reduction index)로 40 dB 일 때 이 조건을 만족하기 위하여 벽체는 소음차폐지수가 45 dB 정도의 패널을 사용하면, 천장재의 차음성능 역시 40 dB 이상을 보장하는 제품을 선택하는 것이 당연하다. 하지만 천장재에 대한 고려가

생략되기 때문에 전체적인 room to room의 차음성능은 요구성능 이하가 될 수 있다.

천장재를 통한 음의 투과는 벽체와 달리 이중 경로를 갖는다. 즉 음원실에서 발생한 소음이 음원실 천장재를 통하여 천장재 상부공간으로 투과되고, 투과된 음은 다시 수음실 천장재를 통하여 수음실로 전달되게 된다. 천장재의 차음성능의 중요성과 더불어 동시에 성능을 평가하기 어려운 이유는 첫째로 이중경로로 인하여 음원실 및 소음실의 음장 뿐만 아니라 천장재 상부공간의 음장 역시 중요한 인자가 되기 때문이다. 둘째로 천장재에는 방의 기능 유지를 위한 여러 가지 설비들(예: 형광등, 공조용 diffuser, 화재경보기 등)이 부착된다. 이러한 설비와 천장재 사이에는 보통 틈새가 발생하며 이러한 틈새로 인한 측로손실(flanking transmission)은 최종 차음성능에 무시 못할 기여도<sup>(1)</sup>를 갖고 있기 때문이다.

본 연구에서는 천장재의 차음성능 평가를 위한 첫 단계로서 실험실에서의 천장재의 차음성능 평가와 관련된 여러 인자들에 조사가 수행되었다.

\* 한국기계연구원 음향연구그룹

+ 삼성중공업 거제조선소, 조선플랜트 연구소

#### 2. 천장재 차음실험

## 2.1 국제 규정

천장재의 차음실험에 관한 대표적인 규정은 ISO 140-9<sup>(2)</sup>와 ASTM E1414-97<sup>(3)</sup>을 들 수 있다. Table 1은 두 규정에서 사용되는 용어 및 산정방법을 나타내고 있다. 여기서 주목할 것은 기준 흡음률로 사용되는  $A_0$  값이 규정마다 다르다.

Table 1. International test codes for sound insulation performance of ceiling panels.

관련code	ISO 140-9	ASTM E1414-97
차음성능	Suspended ceiling normalized level difference: $D_{n,c}$	Normalized ceiling attenuation: $D_{n,c}$
소음차폐지수	Weighted suspended ceiling normalized level difference: $D_{n,c,w}$	Ceiling Attenuation Class: CAC
산정방법	$D_{n,c} = D - 10 \log(A/A_0)$ <p><math>D</math>: level difference between source and receiving rooms  <math>A</math>: equivalent absorption area in the receiving room  <math>A_0</math>: reference absorption area : <math>10\text{m}^2</math> in ISO, <math>12\text{m}^2</math> in ASTM</p>	

$A_0$  값의 차이는 최종적인 차음성능이나 소음차폐지수의 산정에 영향을 미칠 수 있다. 한 예로서 Fig. 1은 동일한  $D$ 에 대하여 각각 ISO 및 ASTM 방식으로 산정한 차음성능 및 소음차폐지수를 비교하고 있다. 차음성능은 ISO 방법이 약 2 dB 정도 낮게 산정되지만 반대로 소음차폐지수는 ISO가 1 dB 높게 나타나고 있다. 이것은 소음차폐지수 산정하는 방법의 차이에 기인하는 것으로서 ASTM E 413<sup>(4)</sup>에서는 Fig. 1의 200 Hz에서 발생하는 dip에 대하여 8 dB rule이 적용되기 때문이다. 그러므로 벽체의 차음성능인 경우 ISO 및 ASTM 방법은 거의 동일한 것으로 인식될 수 있지만, 천장재의 경우는 ISO 값과 ASTM 값 사이에는 차이가 있음을 상기할 필요가 있다.

또한 천장재의 차음성능  $D_{n,c}$ 는 벽체의 차음성능 STL(Sound Transmission Loss)과 동일한 값으로 인식될 수 있다. 즉, STL과 Table 1의

$D_{n,c}$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$STL = D + 10 \log S - 10 \log A$$

$$D_{n,c} = D + 10 \log A_0 - 10 \log A$$

여기서  $S$ 는 시편의 면적으로서 보통  $10\text{m}^2$ 이므로 ISO의  $A_0$  값과 같기 때문이다.

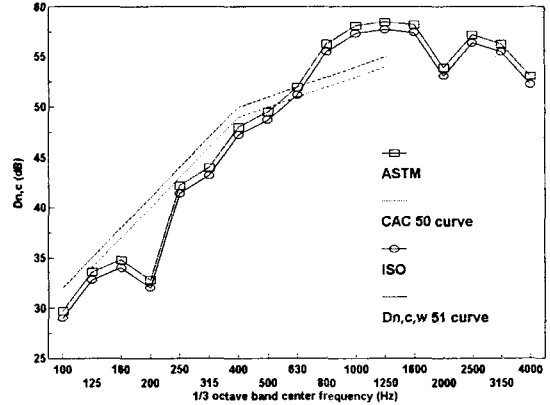
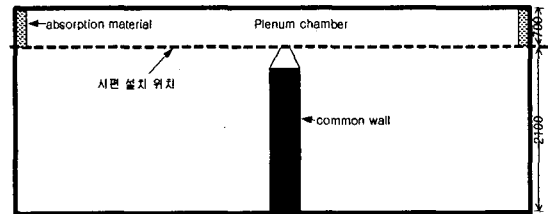


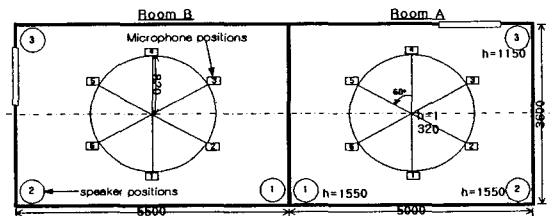
Fig. 1. Example of difference between ISO and ASTM in the evaluation of sound insulation performance of ceiling panels.

## 2.2 천장재의 차음실험

천장재의 차음실험을 위한 실험실 규격은 참고 문헌[2,3]에 나타나 있다. 본 연구가 수행된 실험실의 개략도가 Fig. 2에 보이고 있다.



(a) Elevation view.



(b) Plan view with mic. and speaker positions.

Fig. 2. Schematic view of test rooms.

그림에서 주목할 것은 우선 두 방 사이의 공동벽은 천장재를 통한 차음성능 보다 10 dB 이상 높은 차음성능이 되도록 만들어야하며, 천장재 상부 공간은 code에서 명시된 흡음율을 만족해야 한다. 한편 code에서 언급한 규정 중 가장 애매 모호한 것은 두 방의 확산음장 조건이다. 왜냐하면 확산음장의 정도에 대한 구체적인 언급이나 척도가 없으며, 더욱이 그림과 같은 직육면체의 방은 음향학적으로 실의 고유모드의 영향이 매우 크게 나타날 것은 당연하다. code의 추천으로서 고유모드 영향을 회피하고 확산음장 구현을 위한 확산판 혹은 rotating vane diffuser의 설치는 현실적으로 공간상의 문제가 있다.

실험은 Room A 혹은 B를 소음원실 및 수음실로 한 상태에서 측정한 결과와 방의 역할을 반대로 한 결과를 산술평균하여 최종적인 차음성능이 결정된다. 실내음압의 공간 평균을 위한 마이크로폰은 6개의 위치로서 Fig. 2에 표시되어 있다.

### 3. 천장재 차음실험에 관한 영향인자

#### 3.1 음압분포

전절에서 언급한 것으로서 본 실험실은 직육면체 형상으로서 저주파수 대역에서 고유모드의 영향이 크게 되어 확산음장 형성이 매우 어려울 것으로 예측할 수 있다. 본 연구에서는 음압분포의 향으로서 실의 확산음장 정도를 평가하였다.

Fig. 3에 마이크로폰의 위치별 음압분포가 나타나 있다. 일반적으로 잔향실에서의 음압차이를 3 dB 이내로 추천하는 것과 비교할 때, 저주파수 대역에서 음압 차이는 최고 10 dB 이상으로서 상당히 크게 나타나고 있다. 즉 실의 음장을 확산음장으로 가정할 수 없음을 알 수 있다.

#### 3.2 잔향시간

수음실의 잔향시간은 차음성능을 산정시 보정항으로서 최종결과에 영향을 미친다. 특히 Table 1에서 볼 수 있듯이 천장재의 차음 성능은 규정화(normalization)된 값으로 표현되기 때문에 수음실의 잔향시간은 중요한 역할을 할 수 있다.

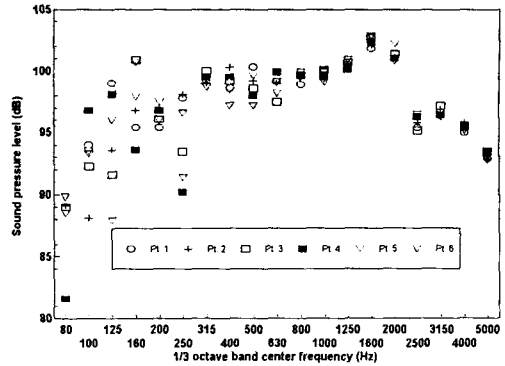


Fig. 3. Pressure distribution with mic. positions.

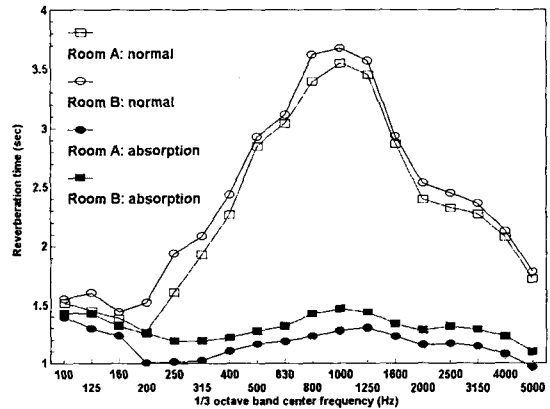


Fig. 4. Variation of  $T_{60}$ .

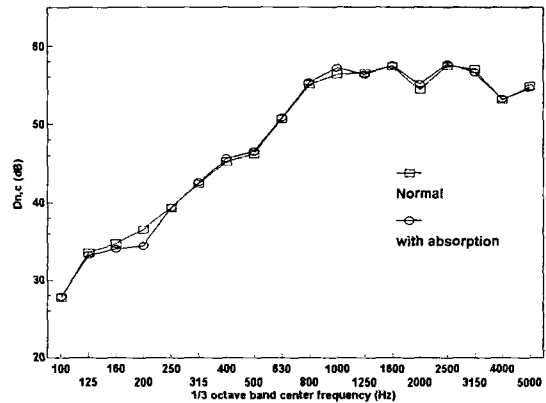


Fig. 5. Variation with and without absorption in test rooms.

Fig. 4는 실별 잔향시간 및 Room A 및 B에 흡음재를 설치했을 때의 잔향시간의 변화를 보이고 있다. 흡음재가 없는 경우, 800 - 1250 Hz 사이에서 peak를 보이고 있는데 이것은 천장재의 탄성거

동과 실 고유모드의 연성 영향인 것으로 추정된다. 이러한 연성 효과는 흡음재의 설치로 인하여 사라지고 있다. 한편 흡음재 설치 유/무에 따른 천장재 차음성능의 변화는 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 그다지 큰 영향을 주고 있지 않다.

### 3.3 소음원 위치

잔향실 차음실험과 마찬가지로 소음원 즉 스피커의 위치는 중요한 인자가 될 수 있다. 본 실험에서는 가능한 실의 고유모드들을 끌고루 가진시키기 위하여 무지향성 스피커를 사용하였다.

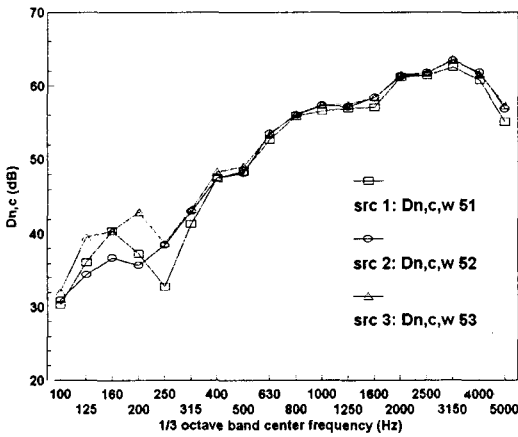


Fig. 6. Variation of  $D_{n,c}$  with source locations, where source room is Room B.

Fig. 6은 소음원 위치별 차이를 보이고 있다. 여기서 소음원의 위치는 Fig. 2(b)에 표시된 것과 같다. 그림에서 보면 저주파수 대역에서 소음원 위치별 차이가 두드러지게 나타나고 있으며, 소음차폐지수로서 차이는 최대 2 dB가 되고 있다.

### 3.4 측정방향

앞에서 언급했듯이 각 실은 소음원실과 수음실의 역할을 교대로 하여 2회 측정하게 된다. 이때 소음원실과 수음실의 음장 상태에 따라서 차음성능의 변화할 수 있다. 지면 사정상 실험결과를 도시하진 않았지만 측정 방향별로 큰 차이는 없으므로 판단되었다.

## 4. 결 언

천장재의 차음 실험과 관련하여 영향인자들을 실험적으로 평가하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 직육면체 형상을 갖는 실험실의 음압분포가 최대 10 dB 이상 차이가 있음을 볼 때 이러한 실험실의 음장을 확산음장을 가정하는 것은 상당한 무리가 있으며, 확산음장 구현을 위한 현실적 대책이 절실히 필요하다. 본 실험과 관련된 국제규정이 이 사항에 대한 보완이 필요할 것으로 사료된다.

2) 흡음재 추가로 인한 잔향시간의 변화 및 측정방향별 차음 성능의 차이는 오차한계이내에 있다.

3) 소음원 위치별 차음성능의 차이는 소음차폐지수( $D_{n,c,w}$ ) 2 dB 이상으로서 일관된 실험결과를 얻기 위해서는 소음원 위치에 대한 신중한 고려가 필요하다.

### 후 기

본 논문은 과학기술부가 지원하는 특정연구개발사업 중 중점국가연구개발사업(기계설비요소기술개발)으로 지원되어 수행하였습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] H. J. Kang, et. al, "Influence of sound leaks on *in situ* sound insulation performance," Noise Control Engineering Journal **49**(3), 2001 May-June
- [2] Anon., "Laboratory measurement of room to room airborne sound insulation of a suspended ceiling with a plenum above it," ISO 140-9 1985.
- [3] Anon., "Standard test method for airborne sound attenuation between rooms sharing a common ceiling plenum," ASTM E 1414-97 1997.