



공기 전달음 및 충격음의 측로 전달 측정

정 정 호*
(방재시험연구원)

1. 머리말

벽체 및 바닥 구조의 공기 전달음 차단성능 예측에 대한 수요가 증가하고 있다. 바닥 및 벽체 구조의 공기 전달음 및 경량 충격음 차단성능을 예측할 수 있는 프로그램도 소개되고 있으나, 실제 시공되는 다양한 레이어의 벽체 및 바닥구조의 성능을 예측하는 데에는 한계가 있는 실정이다.

최근 벽체 및 바닥구조 자체의 소음 차단성능뿐만 아니라 건축물 내부에서 소음이 전달되는 특성을 예측하기 위한 프로그램도 소개되고 있다. 이와 같은 건축물 내부에서 소음이 전달되는 특성 및 차음성능 예측을 위한 프로그램은 EN-12354 표준을 기반으로 제작되고 있다. 유럽 및 서구의 연구자들은 EN-12354 표준을 기반으로 차음성능 예측의 정확도 향상을 위한 다양한 연구를 진행하고 있다. 건축물 내부에서의 소음 예측을 위한 프로그램에는 벽체, 바닥 등 각 구조부위의 공기 전달음 및 바닥 충격음 차단성능 측정 및 예측 결과를 기반으로 각 구조부위가 접합되는 부위의 소음 및 진동 전달 특성을 입력하여야 하는데, 프로그램에서는 데이터 베이스의 형태로 제공하고 판매하고 있다.

우리나라의 경우 공동주택 및 일반 건축물의 구조 형식이 유럽 및 서구와 다른 부분이 있어 각 구조부위들이 접합되는 부분의 특성을 실험하여 입력하거나 데이터 베이스를 구축하여야 한다. 이와 같이 각 구조부위의 접합부위의 특성을 실험하기 위한 표준이 ISO에 규정되어 있다. ISO 10848 표준

은 실간 공기 전달음 및 충격음의 측로 전달을 실험실에서 측정하는 방법을 규정한 표준으로는 ISO 10848: 2006 Acoustics-Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms 시리즈가 있으며, 위 표준의 방법을 기반으로 측정한 결과를 EN-12354 등을 기반으로 한 예측 프로그램에 적용할 수 있다.

이를 위해 이 글에서는 ISO 10848 표준의 내용을 소개하고자 한다.

2. 적용범위

ISO 10848은 건축물 부재 한 개 혹은 여러 개의 측로(flanking) 전달 특성을 파악하기 위해 시험 시설의 실험실에서 수행하는 측정 방법들을 명시한다. 건축물 부재의 성능은 부재와 접합부의 조합에 대한 전체적인 양으로 나타내거나($D_{n,f}$ 나 $L_{n,f}$ 등) 접합부의 진동 감쇠 지수 K_{ij} 로 나타낸다.

ISO 10848 중 이 부분에는 용어의 정의, 시험체 및 시험실에 대한 일반 요건, 그리고 측정 방법이 포함되어 있다. 접합부 및 건축 부재의 유형에 따른 측정량 선택 지침이 제시된다. ISO 10848의 다른 부분에서는 다양한 접합부 및 건물 부재에 대한 적용을 명시한다.

측로 전달 특성을 나타내는 양들은 다양한 제품의 비교나 요건(requirement) 표현에 이용될 수도 있고 EN 12354-1과 EN 12354-2 같은 예측 방법에서 사용되는 입력 데이터로도 이용될 수 있다.

* E-mail : jhjeong@ktpa.or.kr / Tel : (031) 887-6734

3. 용어정의

ISO 10848 표준에서 정의하는 주된 용어의 정의는 다음과 같다.

3.1 실내 평균 음압 레벨(L)

시간 및 공간 평균한 음압의 제곱을 기준 음압의 제곱으로 나눈 값의 상용 대수를 10배 한 값. 공간 평균은 음원의 직접 방사나 경계(벽 등)의 근접 음장이 상당한 영향을 미치는 부분들을 제외한 실(room) 전체에 대한 평균이다.

비고 1 연속적으로 이동하는 마이크로폰을 사용할 경우, L 은 아래 식으로 계산한다.

$$L = 10 \lg \frac{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} P^2(t) dt}{P_0^2} \text{ dB} \quad (1)$$

여기서, P : 음압(Pa)

P_0 : 기준 음압(Pa), $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$

T_m : 적분 시간(s)

비고 2 마이크로폰 위치를 고정시킬 경우, L 은 아래 식으로 계산한다.

$$L = 10 \lg \frac{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}{n \cdot P_0^2} \text{ dB} \quad (2)$$

여기서, p_1, p_2, \dots, p_n : 해당 실내 n 개 지점에서 측정된 r.m.s.(제곱평균제곱근) 음압(Pa).

비고 3 실제로는 주로 음압 레벨 L_i 를 측정한다. 이 경우 L 은 아래 식으로 계산한다.

$$L = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \text{ dB} \quad (3)$$

여기서, L_i : 실내 n 개 지점에서 측정된 음압 레벨 $L_i \sim L_n$ (dB)

3.2 규준화 측로 전달 레벨 차($D_{n,f}$)

특정 측로 전달 경로를 통해서만 전달될 경우 두 개의 실 중에서 한쪽 실에 한 개 또는 한 개 이상의 음원을 발생시켜 시간 및 공간 평균한 음압 레벨 차이.

비고 $D_{n,f}$ 는 수음실 내 등가 흡음 면적(A_0)으로 규준화하며, 단위는 데시벨(dB)이다.

$$D_{n,f} = L_1 - L_2 - 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (4)$$

여기서, L_1 : 음원실 평균 음압 레벨(dB)

L_2 : 수음실 평균 음압 레벨(dB)

A : 수음실의 등가 흡음 면적(m^2)

A_0 : 기준 등가 흡음 면적 m^2 , $A_0 = 10 \text{ m}^2$

3.3 규준화 측로 전달 충격 음압 레벨($L_{n,f}$)

특정 측로 전달 경로를 통해서만 전달될 경우, 음원실 내 시험 대상 바닥 위의 여러 위치에서 표준 경량 충격원으로 가진하여 발생시킨 충격음을 수음실에서 시간 및 공간 평균한 음압 레벨

$$D_{n,f} = L_2 + 10 \lg \frac{A}{A_0} \text{ dB} \quad (5)$$

여기서, L_2 : 수음실 평균 음압 레벨(dB)

A : 수음실의 등가 흡음 면적(m^2)

A_0 : 기준 등가 흡음 면적 m^2 , $A_0 = 10 \text{ m}^2$

3.4 평균 속도 레벨(L_v)

대상으로 하는 부재에 대한 시간 및 공간 평균한 평균 제곱 정상 속도를 기준 속도 v_0 의 제곱으로 나눈 값의 상용 대수를 10배 한 값이다. ($v_0 = 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$)

$$L_v = 10 \lg \frac{\frac{1}{T_m} \int_0^{T_m} v^2(t) dt}{v_0^2} \text{ dB} \quad (6)$$

참고 3 공기 전달 가진이나 정상(stationary) 고체 전달 가진을 이용할 경우, 공간 평균은 아래 식으로 계산한다.

$$L_v = 10 \lg \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n \cdot v_0^2} \text{ dB} \quad (7)$$

여기서, v_1, v_2, v_n 는 해당 부재 상 n 개 위치에서의 속도 실효값(r.m.s)이며 단위는 초당 미터(m/s)이다.

참고4 과도(transient) 고체 전달 가진의 경우, 식 (9)와 (10)을 사용한다.

3.5 구조적 잔향 시간 (T_s)

고체 전달 음원이 멈춘 후 구조물 내 속도나 가속도 레벨이 60 dB 줄어드는 데에 걸리는 시간

참고1 단위는 초(s)다.

참고2 한 구조물 내 속도나 가속도 레벨이 60 dB 줄어드는데 걸리는 시간으로 정의되는 T_s 는 평가 범위의 더 짧은 경우선형 외삽법으로 계산할 수 있다.

3.6 속도 레벨 차 ($D_{v,ij}$)

부재 i 가 가진(공기 또는 고체 전달)될 경우 부재 i 의 평균 속도 레벨과 부재 j 의 평균 속도 레벨 차

$$D_{v,ij} = L_{v,i} - L_{v,j} \quad (8)$$

참고1 과도 고체 전달 가진을 이용할 경우, 정상 속도를 양쪽 부재에서 동시에 측정하여야 하며, 속도 레벨 차는 아래 식으로 계산된다.

$$D_{v,ij} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (D_{v,ij})_{mn} \text{ dB} \quad (9)$$

여기서, M : 부재 i 의 가진 지점 수

N : 각 가진 지점에 대한 각 부재 상 변환기 위치 수

$(D_{v,ij})_{mn}$: 가진 지점 한 곳과 변환기 위치 한 쌍에 대해 식 (10)으로 계산한 속도 레벨 차로 단위는 데시벨(dB)이다.

$$(D_{v,ij})_{mn} = 10 \lg \frac{\int_0^{T_m} v_i^2(t) dt}{\int_0^{T_m} v_j^2(t) dt} \text{ dB} \quad (10)$$

그리고, v_i, v_j : 부재 i 와 j 지점에서 각각의 정상 속도 (m/s)

T_m : 적분 시간 (s)

참고2 실용적으로는 식 (8)이 식 (9)를 사용하는 것이 좋다.

3.7 방향 평균 속도 레벨 차 ($D_{v,ij}$)

아래 식으로 정의된 $D_{v,ij}$ 와 $D_{v,ji}$ 의 산술평균:

$$D_{v,ij} = \frac{1}{2} (D_{v,ij} + D_{v,ji}) \text{ dB} \quad (11)$$

여기서, $D_{v,ij}$: 부재 i 만 가진 될 경우 부재 i 의 평균 속도 레벨과 부재 j 의 평균 속도 레벨의 차이이며, 단위는 데시벨(dB)이다.

$D_{v,ji}$: 부재 j 만 가진 될 경우 부재 j 의 평균 속도 레벨과 부재 i 의 평균 속도 레벨의 차이이며, 단위는 데시벨(dB)이다.

3.8 부재 j 의 등가 흡수 길이

임계 주파수를 1000 Hz로 가정한 경우 일정 상황에서 부재 j 의 총 손실과 같은 손실을 줄 때, 부재 j 의 전체 마찰 흡수 접합부의 길이

참고1 a_j 의 단위는 m이다.

참고2 아래 식으로 계산한다.

$$a_j = \frac{2.2\pi^2 S_j}{T_{sj} c_0 \sqrt{\frac{f}{f_{ref}}}} \quad (12)$$

여기서, T_{sj} : 부재 j 의 구조적 잔향 시간(s)

S_j : 부재 j 의 표면적(m²)

C_0 : 공기 중 음속(m/s)

f : 현재 주파수(Hz)

f_{ref} : 기준 주파수(Hz, $f_{ref} = 1,000$ Hz).

참고3 실제 상황에서 음향 감쇠 계수 및 감쇠에 실제 영향을 미치지 않는, 감쇠가 잘되는 경량 부재의 경우, a_j 는 부재 표면적 S_j 와 수적으로 동일한 것으로 본다: $a_j = S_j / l_0$, 여기서 기준 길이 $l_0 = 1$ m.

3.9 진동 감쇠 계수 (K_{ij})

아래 식으로 계산하며 단위는 데시벨(dB)이다.

$$K_{ij} = \bar{D}_{v,ij} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \quad (13)$$

여기서, $D_{v,ij}$: 부재 i 와 j 의 방향 평균 속도 레벨 차 (dB)

l_{ij} : 부재 i 와 j 의 접합부 길이(m)

a_i, a_j : 부재 i 와 j 의 등가 흡수 길이(m)

참고 식 (11) ~ (13)을 통해, 접합부 전반에 걸친

양방향 속도 레벨 차와 두 부재의 구조적 잔향 시간을 측정하여 K_{ij} 를 산출할 수 있다.

3.10 경량 부재

시험실에 설치할 경우 경계조건이 시험 결과에 아무 영향을 미치지 않는 부재로 주위 시험실보다 훨씬 가볍거나 큰 감쇠값을 갖는 경우

참고1 부재 전반에 걸쳐 진동 감소가 큰 경우, 시험 부재는 크게 감쇠된 것으로 간주될 수 있다.

참고2 목재 또는 금속 스테드를 이용한 경량 벽체 또는 보 위에 설치한 목재 바닥은 경량 부재에 대한 이 정의에 맞는 경우가 많다.

4. 측로 전달 특성을 파악하기 위한 양

ISO 10848 표준에서는 연결된 부재 및 접합부에 의한 측로(flanking) 전달 특성을 아래 두 가지로 구분한다.

- 특정 측로 전달 경로의 전체 전달량($D_{n,f}$ 또는 $L_{n,f}$)
 - 접합부를 통한 진동 전달(K_{ij})
- 이 양은 각각의 제약 및 적용 분야가 있다.

4.1 규준화 측로 전달 레벨 차 $D_{n,f}$ 및 규준화

측로 전달 충격 음압 레벨 $L_{n,f}$

$D_{n,f}$ 와 $L_{n,f}$ 는 수음실 내 소리 방사 포함을 포함한 음원실 안의 부재와 수음실 안의 부재를 통한 측로 전달의 특성을 나타낸다. $D_{n,f}$ 와 $L_{n,f}$ 는 관련 부재의 치수에 좌우된다.

$D_{n,f}$ 는 공기 전달음으로 측정한다. $L_{n,f}$ 측정에는 표준 경량 충격원이 사용된다.

4.2 진동 감쇠 계수 (K_{ij})

(1) 일반사항

진동 감쇠 계수 K_{ij} 는 부재 간 접합부의 특성을 나타내는 상황과 무관한 양이라고 EN 12354-1에 정의되어 있다. K_{ij} 는 식 (13)으로 산출된다. 이는 통계적 에너지 해석(SEA) 이론을 간소화한 것으로서 파워 전달에 대한 고려사항들을 기초로 한다. 이는 원칙적으로 통계적 에너지 해석의 기본 전제들이 엄격히 부합됨을 나타낸다.

주요 전제는 다음과 같다.

- i 와 j 의 결합이 약하다.

- 부재들 내 진동장은 확산장이다.

다음과 같은 경우에는 K_{ij} 가 적절치 않을 수 있다.

(a) 개별 부재들을 SEA 하위계로 간주할 수 없는, 강하게 결합된 부재

(b) 높은 내부 손실이나 주기적 구조 등으로 인해 부재의 전체를 따라 진동이 상당히 줄어 진동장을 잔향으로 간주할 수 없는 부재

(c) 낮은 모드 중첩 계수 또는 낮은 모드 수

제한 사항은 측정 결과를 신뢰할 수 있는 측정 주파수 범위나 측정 결과의 정확성을 위해 중요하다.

K_{ij} 는 고체 전달 가진이나 공기 전달 가진으로 측정한다.

참고1 공기 전달 가진시, 가진원의 진동은 강제 진동과 공진 모두 해당한다. 강제 진동이 항상 접합부를 통한 진동 전달에 기여하는 것은 아니므로, 공기 전달 가진으로 측정된 K_{ij} 는 고체 전달 가진으로 측정될 때보다 큰 경향을 갖는다. 이와 같은 현상은 임계 주파수 이하 대역에 대한 것으로 앞에서 언급한 차이는 경량 부재에서 매우 중요하다.

참고2 ISO 140-3이나 ISO 15186-1에 따라 부재 i 와 j 를 측정하여 얻은 R_i 및 R_j 값이 있다면, K_{ij} 는 아래 식에 따라 $D_{n,f}$ 로 간접적으로 계산할 수 있다.

$$K_{ij} = D_{n,f} - \frac{R_i + R_j}{2} - 10 \lg \left(\frac{\sqrt{a_i a_j}}{l_{ij}} \right) + 10 \lg \left(\frac{\sqrt{S_i S_j}}{A_0} \right)$$

이론적으로 위 식은 R_i 와 R_j 가 공진 전달과 결부될 때만 맞다. 하지만 ISO 140-3이나 ISO 15186-1의 방법으로 측정된 값에는 강제 전달도 포함된다. ISO 10848 규격에서는 K_{ij} 는 항상 식 (13) 또는 (14)에 따라 직접 측정한다.

(2) 감쇠가 잘되는 경량 부재의 K_{ij}

실제 상황에서 부재의 음향 감쇠 계수 및 감쇠에 전혀 아무런 영향을 미치지 않는 목재 또는 금속 스테드를 이용한 경량 벽체 또는 보 위에 설치한 목재 바닥과 같이 감쇠가 잘 되는 경량 부재의 경우, 식 (13)을 다음과 같이 간소화할 수 있다.

$$K_{ij} = \bar{D}_{v,ij} + 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{S_i S_j}} \text{ dB} \quad (14)$$

하지만 진동장이 잔향장이 아니라서 K_{ij} 가 감쇠가 잘되는 경량 부재에 적절하지 않는 경우가 많으며, EN 12354-1과 EN 12353-2 같은 예측 모델에서 경량 부재에 대한 K_{ij} 를 적용한 몇몇 경우 부정확한 것으로 나타났다. 따라서 K_{ij} 의 타당성 및 실용성은 각 특정 경우마다 평가되어야 한다. 식 (14)로 얻은 K_{ij} 를 유용하게 적용한 한 예는 동일 부재 간의 다양한 접합부를 비교하는 것이다.

(3) 부재 간의 강한 결합

아래 조건이 충족되지 않을 경우, K_{ij} 의 측정값은 강한 결합 때문에 적절치 않을 수 있다.

$$D_{v,ij} \geq 3 - 10 \lg \left(\frac{m_j f_{cj}}{m_j f_{ci}} \right) \text{ dB} \quad (15)$$

여기서, m_i, m_j : 부재의 단위면적당 질량(kg/m²)
 f_{ci}, f_{cj} : 부재의 임계 주파수(Hz, 식 (20)에 따라 계산)

식 (15)는 주로 중량 부재에 중요하다. 식 (15)를 만족하지 않을 경우, 부재 가장자리에 제진재를 쓰거나 다른 구조물에 연결하는 등의 방법으로 에너지 손실을 증가시키도록 한다.

(4) 부재 전체에서의 강한 진동 감쇠

가속도계를 최소 거리를 유지하면서 정상 진동원에서 이격 시켰을 경우 시험 대상 접합부 부재에 대한 허용 측정구역 전체에서 측정된 진동 속도 레벨이 6 dB 이상 감소할 경우, K_{ij} 의 측정값은 적절하지 않을 수 있다.

참고 6 dB 이상의 진동 속도 레벨 감소는 목재 또는 금속 스티드를 이용한 경량 벽체 또는 보 위에 설치한 목재 바닥 같은 경량 부재 등에서 일어날 수 있다. 일부 조적벽의 경우 고주파수 대역에서도 일어날 수 있다.

4.3 측정 원칙의 선택

아래 언급된 다양한 측정 방법은 접합부 및 부재 유형에 따라 표 1에 요약하였다.

특정한 경우 시험대상 시험체는 한가지 경로만이 추가 되도록 시험 설비에 설치한다. 시험 설비에 가로로 설치하는 경우는 일반적으로 경량 외벽이나 이중 바닥 또는 달반자의 경우에 그러하다. 구획 부재는 두 용적을 분리하기 위한 것일 뿐이며 측로 전달에 아무런 영향을 미치지 않는다. 일반적으로 구획 부재는 측로 전달 부재에 강접합되지 않으며, 구

표 1 시험 대상 접합부 및 부재 유형에 따른 다양한 측정 방법

접합부 유형	$D_{n,f}$ 나 $L_{n,f}$ #	K_{ij}	
		고체 전달 가진	공기 전달 가진
접합부의 영향이 적은 경량 측정 전달 부재 (ISO 10848-2 참조)	검증 후 적용 (8.3 참조)	비적용	비적용
구조적으로 연결된 경량 부재 (ISO 10848-3 참조)	주로 감쇠가 잘되는 경량 부재에, i, j 이외의 부재들을 차폐한 후, 적용	잔향 진동장이 있는 부재에 주로 적용	주로 잔향 진동장이 있는 부재에, ij 이외의 부재들을 차폐한 후, 적용 (느리고 비효율적)
구조적으로 연결된 중량 부재 또는 중량 및 경량 부재의 결합 (ISO 10848-4b 참조)	ij 이외의 경로를 통한 전달이 유효하지 않거나 차폐 등 적절한 조치로 억제될 경우, 감쇠가 잘되는 경량 부재 간에 적용	ij 이외의 경로를 통한 전달이 유효하지 않거나 구조적 격리 등 적절한 조치로 격리 등 적절한 조치로 억제될 경우, 적용	ij 이외의 경로를 통한 전달이 유효하지 않거나 구조적 격리와 차폐 등 적절한 조치로 억제될 경우, 적용 (느리고 비효율적)

$L_{n,r}$ 만 측정시 음원실에서의 차폐는 필요 없다.

획 부재와 축로 전달 부재 간의 틈은 신축성 있는 소재로 채운다.

이와 같은 경우 고려대상 경로가 우세하도록 하기 위한 검증을 실시하여야 하며, 그 뒤 경로 i, j 를 분리하는 추가 조치 없이 측정을 할 수 있다.

ISO 10848-2는 이런 유형의 부재를 다룬다. $D_{n,j}$ 와 $L_{n,j}$ 는 적절한 측정량이다.

다른 경우 시험대상 접합부는 시험설비의 벽에 비해 가벼운 경량 부재 3개나 4개로 형성되는데, 이들은 고체(solid) 접합이나 연결 부재, 모르타르로 연결된다. 위의 예로 스티드 위에 설치한 석고보드 또는 칩보드의 T자형 접합부나 X자형 접합부가 있다. 이와 같은 경우 3개 또는 6개의 서로 다른 경로 i, j 가 존재한다.

시험 설비를 통해 축로 전달 경로가 생기지 않도록 검증이 이루어져야 한다. 그런 다음 측정된 양에 따라 음원 측과 수음 측 양쪽에서 다른 경로들 i, j 를 차폐함으로써 경로 i, j 각각을 분리하는 것이 필요하다.

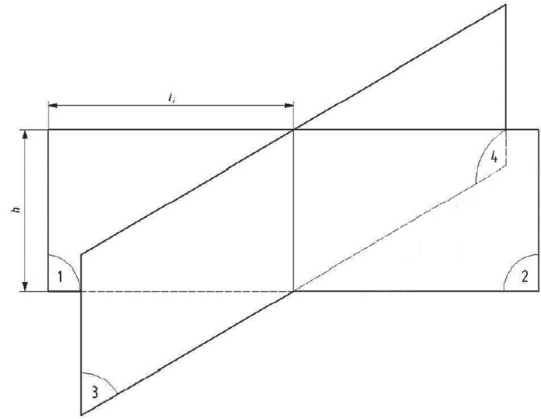
ISO 10848-3은 이런 유형의 접합부를 다룬다. 실제 상황(치수 및 경계 조건)이 부재의 음향 감쇠 계수 및 감쇠에 전혀 아무런 영향을 미치지 않는 감쇠가 잘 되는 경량 부재의 경우, $D_{n,j}$ 와 $L_{n,j}$ 는 적절한 측정량이다. 부재의 음향 특성이 실제 상황의 영향을 상당히 받을 경우, 식 (13)에 명시된 K_y 는 적절한 측정량이다. 동일 부재들 간의 다양한 접합부의 비교 같은 특수한 용도의 경우 K_y 는 감쇠가 잘 되는 부재들 간에도 측정될 수 있다.

일반적으로 중량 부재간 또는 중량 부재와 경량 조적 구조의 결합과 같은 다른 모든 경우, 시험 대상 부재와 시험설비 사이에 구조적 차단이 검증되어야 할 필요가 있으며, 공기 전달법을 선택할 경우에는 음원 측과 수음 측 양쪽에서 적절히 차단해 경로 i, j 각각을 분리해야 할 수도 있다.

ISO 10848-4는 이런 유형의 접합부를 다룬다. 중량 부재 간의 접합일 경우 K_y 측정이 권장된다. 고체전달 가진이 가장 적절하다.

5. 시험체 및 시험실에 대한 일반 요건

시험 접합부의 치수는 그림 1과 2에 제시된 바와 같아야 한다. 시험 설비는 접합부를 시험 설비에 설



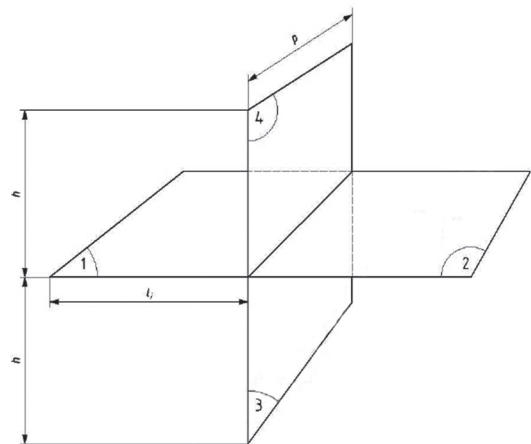
참고 모든 치수는 부재 표면 치수다.

$$h \geq 2.3 \text{ m}$$

$3.5 \text{ m} \leq l_i < 6 \text{ m}$ 모든 부재 i 에 대해

$$\left| \frac{l_i - l_j}{l_i} \right| \geq 0.1 \text{ 부재 } i \text{와 } j \text{의 모든 결합에 대해}$$

그림 1 수직 접합부



참고 모든 치수는 부재 표면 치수다.

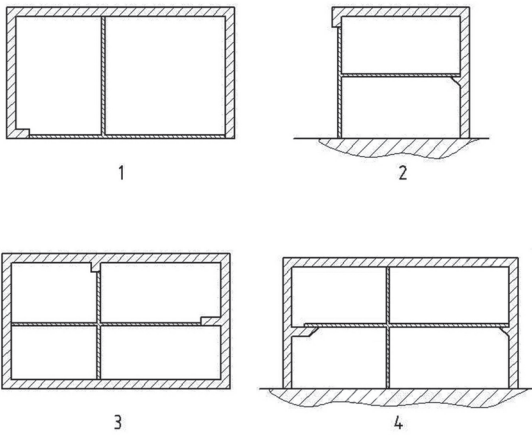
$$h \geq 2.3 \text{ m}$$

$4 \text{ m} \leq p < 5 \text{ m}$ 모든 부재 i 에 대해

$3.5 \text{ m} \leq l_i < 6 \text{ m}$ 부재 1과 2의 모든 결합에 대해

$$l_1 > l_2 \left| \frac{l_1 - l_2}{l_1} \right| \geq 0.1$$

그림 2 수평 접합부



기호설명

- 1 T자형 접합부의 횡단면 - 수평 전달
- 2 T자형 접합부의 종단면 - 수직 전달
- 3 십자형 접합부의 횡단면 - 수평 전달
- 4 십자형 접합부의 종단면 - 수직 전달

그림 3 다양한 접합부에 대한 시험설비의 예

치할 수 있도록 되어 있어야 하며, 또한 ISO 140-1에 명시된, 측로 전달이 억제된 시험실의 일반 요건에 상응하는 아래 요건에 부합해야 한다.

시험실의 용적 및 대응 치수는 똑같지 않아야 한다. 최소 10 % 이상의 용적이나 선형 치수 차이가 권장된다. 시험실의 용적은 최소 50 m³ 이상이어야 한다.

시험실 치수의 비율은 저주파수 대역에서의 모드 주파수가 가능한 한 균일한 간격을 두도록 선택해야 한다.

시험실 내 음압 레벨의 차이가 크게 발생하면 강한 정재파가 있음을 나타낸다. 음압 레벨 차이가 크게 발생하는 경우 시험실에 확산체를 설치해야 한다. 확산체의 위치 및 필요 개수는, 확산체를 추가 설치할 때 측정량(예: $D_{n,f}$)이 영향을 받지 않는 것을 목표로 실험으로 평가한다(ISO 140-1 참조).

정상 시험조건인 시험실(시험체의 흡음이 무시할 수 있는 수준)에서의 잔향 시간은 너무 길거나 짧지 않아야 한다. 저주파에서의 잔향시간이 2초를 넘거나 1초 미만일 경우, 측정량(예: $D_{n,f}$)이 잔향 시간에 영향을 받는지 판단하기 위한 점검을 해야 한다. 시험실 안에 확산체가 설치되었어도 잔향 시

간에 의한 영향이 나타날 경우, 잔향 시간이 저주파에서 1초와 2($V/50$)^{2/3}초 이하 사이의 값으로 조정 되도록 시험실을 조정한다(V 는 m³ 단위의 시험실 용적이다). 이 요건은 무거운 반사성 시험대상이 있는 시험실에 적용된다.

수음실 내 배경 소음 레벨은 음원실에서의 출력 및 시험실이 시험되는 시험체의 차음 성능을 고려해 음원실에서 전달된 소리를 측정할 수 있을 만큼 충분히 낮아야 한다.

다양한 접합부에 대한 시험 설비의 예는 그림 3에 나와 있다.

시험설비는 무거운 석조에서부터 경량 다층 벽체 이르기까지 다양한 구조로 만들어질 수 있다.

시험체는 시험 설비의 크기보다 작을 수 있다. 이 경우, 충분한 차음 성능을 지닌 부재(가볍거나 무거운)로 틈을 메운다.

시험설비 외피나 채움재를 통한 소리 전달이 시험 결과에 미칠 수 있는지 의심스러운 경우, 시험실 내 표면의 차폐를 9항에 명시된 점검 절차에 따라 적용한다.

6. 측정 방법

6.1 $D_{n,f}$ 나 $L_{n,f}$ 의 측정

(1) 음원실 내 음장 생성

가) 공기 전달음

음원실에서 발생된 음은 정상 상태이며 측정 대상 주파수 범위 전체에 걸쳐서 연속 스펙트럼을 갖는 것으로 한다. 필터를 사용하는 경우에는 1/3 옥타브 밴드 필터를 사용한다. 음원으로는 핑크 노이즈나 화이트 노이즈를 사용하는 것을 권장한다. 화이트 노이즈와 같은 광대역 소음을 사용하는 경우에는 수음실 내의 고음역에서 충분한 신호 대 잡음비(S/N 비)가 확보되도록 스펙트럼을 조정하여도 좋다. 음원실에서 음압 스펙트럼 특성은 서로 인접한 주파수 대역의 레벨차가 6 dB 이상 되어서는 안된다.

음원의 음향 파워는 모든 주파수 대역에서 수음실 내의 음압 레벨이 배경 소음 레벨보다 15 dB 이상 크게 되도록 설정한다. 이 조건이 실현될 수 없는 경우에는 ISO 140-3에 나타난 보정을 한다. 보정 값은 1.3 dB을 넘지 않아야 한다.

복수의 스피커로 이루어진 음원을 사용하는 경우 모든 스피커는 동위상으로 작동하여야 한다. 복수

의 음원을 사용하는 경우에는 동일한 형식의 스피커를 사용하고 각각의 스피커에 동일한 무연관 신호를 입력하고 동일한 레벨로 작동한다. 음원 스피커를 연속적으로 움직이는 방법을 이용해도 좋다. 한 개의 음원을 사용하는 경우에는 음원의 설치 위치는 적어도 2군데로 한다. 이들 음원 설치 위치를 같은 실에 정하거나, 음원실과 수음실을 서로 바꾸어서 1군데 또는 그 이상의 음원 위치에서 측정을 반복한다.

음원 스피커는 음장이 가능하면 확산 음장이 되도록 하며, 또한 시료에 직접음이 강하게 입사하지 않는 장소에 설치한다. 음원실과 수음실의 음장은 음원의 종류와 위치에 따라 크게 영향을 받는다.

나) 충격 음압 레벨

충격음은 표준 경량 충격원으로 발생시킨다. 표준 경량 충격원의 설치 위치는 실의 주변 벽으로부터 0.5 m 이상 떨어져야 하며, 격벽으로 부터의 거리는 최소 0.8 m 이상, 3 m 이하가 되도록 한다(그림 4 참조). 경량 충격원 설치 위치는 측정 대상 구역에 균등하게 분포하는 4점 이상으로 한다. 보와 리브를 갖는 이방성 바닥 구조의 경우에는 해머를 연결하는 선이 보와 리브의 방향에 대하여 45° 방향으로 설치한다.

표준 경량 충격원에 의해 발생하는 충격음이 작동 개시 후의 시간 경과에 따라 변화하는 특성이 나타날 수 있다. 이외 같은 경우에는 발생음의 레벨이 안정되기 전에 측정을 시작해서는 안 된다. 표준 경량 충격원을 가동한지 5분 후에 안정된 상태에 이르지 않을 경우 일정한 측정시간 동안 측정을 실시하고 측정 시간을 보고한다.

ISO 140-6에 명시된 배경 소음 보정을 적용한다. 보정값은 1.3 dB을 넘지 않아야 한다.

(2) 평균음압 레벨의 측정

가) 일반사항

하나의 마이크로폰을 이용하여 측정점에서 측정점으로 이동하거나, 고정된 여러 개의 마이크로폰 또는 연속적으로 움직이는 마이크로폰 하나로 평균 음압 레벨을 측정한다. 이와 같은 다양한 마이크로폰 위치에서의 측정된 음압 레벨의 에너지 평균값을 식 (1)~(3)에 따라 계산한다.

나) 마이크로폰 위치

마이크로폰 위치는 측정대상 실의 다섯 지점 이상을 선정하여 측정한다. 이 위치는 각 실의 최대 허용 공간 내에 균등하게 분포시켜야 한다. 연속적으로 움직이는 마이크로폰을 이용하는 경우 이동 반경은 1 m 이상 되도록 한다. 회전면은 허용 공간의 상당 부분을 포함시키도록 하며 실내 각 대해서도 10° 이상의 각도가 되도록 한다.

회전 주기는 15초 이상으로 한다. 아래 이격 거리는 최소값으로 되도록 측로 아래 이격 거리 이상이 되도록 한다.

- 마이크로폰 사이 : 0.7 m
- 마이크로폰과 실의 경계나 확산체 사이 : 0.7 m
- 마이크로폰과 음원 사이 : 1.0 m
- 마이크로폰과 시험체 사이 : 1.0 m

다) 평균화 시간

각 마이크로폰 위치에서 음압 레벨의 평균화 시간은 측정 주파수 대역에서 중심 주파수가 400 Hz 이하의 주파수 대역에서 6 초 이상으로 한다. 500 Hz 이상의 주파수 대역에 대해서는 평균화 시간을 4 초 이상으로 한다.

연속적으로 이동하는 마이크로폰을 사용하는 경우 평균화 시간은 회전 주기 이상으로서 30 초 이상으로 한다.

(3) 잔향 시간 측정 및 등가 흡음 면적 산출

등가 흡음 면적이 포함된 식 (4)와 (5)의 보정항은 ISO 140-3에 규정된 절차로 잔향 시간을 측정하여 Sabine 공식을 통해 구할 수 있다.

$$A = \frac{0.16V}{T} \text{ m}^2 \quad (16)$$

여기서,

A: 등가 흡음 면적(m²)

V: 수음실 체적(m³)

T: 수음실 잔향시간(s)

6.2 고체 전달 가진을 이용한 진동 감쇠 계수 측정

(1) 일반사항

진동 감쇠 계수 K_j 의 측정원칙은 식 (13)이나 (14)를 바탕으로 한다. 부재 i 와 j 간의 전달은 시험 설비

를 통한 다른 모든 전달 경로들에 비해 우세해야 한다. 시험 대상 부재와 시험 설비 사이에 강한 진동 전달이 발생할 경우 구조적 절연을 필요하다(6항 및 8항 참조).

측정량은 방향 평균 레벨 차 $D_{v,ij}$ 이며, 식 (13)을 이용할 경우, 등가 흡수 길이 a_i 와 a_j 이다. 모든 측정량은 고체 전달 가진을 이용한 진동 측정으로 측정할 수 있다. $D_{v,ij}$ 는 속도 레벨 차 $D_{v,i}$ 와 $D_{v,j}$ 의 평균값으로 하며, 각각의 속도 레벨 차이는 한 구조물의 여러 지점을 가진 경우 및 두개의 부재 i 와 j 의 표면 평균 속도 레벨을 측정하여 얻어진다.

a_i 와 a_j 의 값은 구조적 잔향 시간 $T_{s,i}$ 및 $T_{s,j}$ 의 측정 후 식 (11)에 따라 계산하거나 경량 부재 등에 대한 일정한 값으로 본다.

참고 아래 규격에 보완하여, NT ACOU 090 등 참조[10].

(2) “원(source)” 부재 상에서의 진동 발생
진동장을 발생시키기 위해 정상 가진 또는 과도(transient) 가진을 할 수 있다.

수평면 상의 정상 가진은 표준 경량 충격원을 이용할 수 있다. 수직 부재에는 변형(modified) 표준 경량 충격원을 사용할 수도 있다. 표준 경량 충격원 대신 전동식 가진기(진동기)를 사용할 수도 있다.

과도 가진은 해머나 떨어지는 추의 충격으로 발생시킬 수 있다. 과도 가진을 이용할 경우 $D_{v,ij}$ 는 변환기 각 쌍에 대해 따로 측정해야 한다. 일회 가진 및 여러 번의 가진 모두 둘 다 허용된다.

동일한 강도로 여러 번 해머로 가진 하는 것은 1~2 m² 면적에 걸쳐 20~30초간 할 수 있다. 타격 주파수는 1 Hz~2 Hz 정도가 권장되지만 배경 소음 문제가 있는 경우에는 더 높아야 한다. 변환기 위치 수 및 변환기 쌍을 이용한 속도 레벨 차이 판단 절차는 단일 위치에서의 과도 가진을 위한 것과 동일하다.

정상 가진과 과도 가진 모두 가진원 자체 소음이나 가진 된 부재로부터 방사되어 다른 부재들을 가진시키지 않도록 주의해야 한다.

가진의 유형(정상이나 과도)에 따라, 7.2.5나 7.2.6의 규격을 따른다.

(3) 측정 수행
각 부재(source 및 receiving plate) 상에 가진 위치는

최소 3곳으로 하고 변환기 위치 최소 9곳을 이용해야 한다. 각 가진 위치마다 3쌍의 변환기 위치를 이용한다. 모든 위치는 부재 표면에 불규칙적으로 대칭되지 않게 분포되어야 한다. 변환기는 가진 되지 않는 면(“바깥쪽”)과 수진면의 방사면(“안쪽”)에 장착되어야 한다. 대체로 균일한 구조의 경우, 그 구조의 측면은 무관하지만, 이중판(double leaf) 구조의 경우에는 그렇지 않다.

불균일한 부재(예: 공동벽돌이 있는 조적벽)의 경우, 속도 레벨이 단일 벽돌의 표면에 걸쳐 달라진다. 그러므로 변환기 위치는 하위 부재들에도 불규칙적으로 분포되어야 한다.

가진원은 시험 대상 부재에 불규칙적으로 분포된 위치 3곳에 있어야 한다. 이방성 구조(보(beam)나 바(bar)가 있는)의 경우 불연속 지점 및 그 사이에 더 많은 위치가 필요할 수 있다. 표준 경량 충격원을 사용할 경우 해머를 연결하는 선이 보와 바의 방향에 대하여 45° 방향이 되도록 설치한다.

정상 가진의 경우 속도 레벨 차 $D_{v,ij}$ 는 부재 i 가 가진 될 경우 부재 i 와 j 의 평균 속도 레벨 $L_{v,i}$ 와 $L_{v,j}$ 의 차로서 식 (8)를 이용하여 계산할 수 있다. 단, 모든 가진 위치에 동일한 힘이 가해져야 한다.

과도 가진의 경우 가진력이 일정치 않으며 $D_{v,ij}$ 는 양쪽 부재에서 동시 측정하여 최소한 3 × 3 = 9회 측정의 산술평균으로서 식 (9)에 따라 계산한다.

가진기를 사용하는 경우 가진력이 다를 수 있어, 최소한 가진기를 다른 위치로 옮기기 전에 확인해야 한다. 이것이 불가능할 경우 가진력을 일정하게 유지하기 위해 식 (9)를 적용할 수 있다.

변환기 위치 및 가진 지점은 다음 최소 거리를 이용해 배치해야 한다:

- 가진점과 시험부재 경계 사이 : 0.5 m
- 가진점과 시험 중인 접합부 사이 : 1.0 m
- 가진점과 관련 변환기 위치 사이 : 1.0 m
- 변환기 위치와 시험부재 경계 사이 : 0.25 m
- 개별 변환기 위치 사이 : 0.5 m

변환기 위치와 시험 중인 접합부 간의 최대 거리는 3.5 m다.

측정 지점은 시험 부재에 불규칙적으로 분포되어야 한다.

각 주파수 대역에서 측정 속도 레벨은 해당 주파수 대역의 배경 소음 레벨보다 10 dB 이상 높아야

한다. 위의 조건이 충족되지 않을 경우 ISO 140-3에 규정된 보정 절차를 적용해야 한다. 보정값은 1,3 dB를 넘지 않아야 한다.

(4) 정상(stationary) 가진 규격

정상 가진원은 표준 경량 충격원이나 전동식 가진기(진동기) 등이 있다.

가진기의 고정 및 사용에 대한 자세한 설명은 ISO 7626-2를 참고한다.

진동기 사용시 MLS 기법 등을 이용하여 신호 대 잡음비를 향상시킬 수 있다.

표준 경량 충격원을 사용하는 경우, 가진을 시작한 후 속도 레벨이 시간에 좌우되는 일이 있을 수 있다. 이와 같은 경우에는 속도 레벨이 일정하게 되기 전에 측정을 시작해서는 안 된다. 가진 시작 후 5분 후에도 안정된 상태에 이르지 않으면 변환기 쌍으로 측정하는 과도 가진 측정 절차를 수행한다.

각 변환기 위치마다 적분 시간 T_m (측정 시간)은 평균 레벨의 변화가 발생하지 않도록 설정한다. 적분시간 T_m (측정시간)은 10 초 이상으로 하여야 한다.

정상 가진으로 평균 속도 레벨을 측정하는 경우 서로 다른 위치에서의 가진이 일정하도록 하여야 한다. 가진원의 균일함을 입증할 수 없을 경우 변환기 쌍에 속도 레벨 차이를 이용한다.

(5) 과도(transient) 가진 규격

각 주파수대에서 최소 신호 대 잡음비 10 dB을 확보하기 위해 충격 해머에 다양한 질량 및 소재를 이용하는 것이 좋다. 소재가 다르면 주파수 대역별 가진량도 달라지기 때문이다.

각 변환기 위치마다 적분 시간 T_m 은 두 부재의 최장 구조적 잔향 시간보다 짧지 않아야 한다. 반면, 배경 소음 레벨이 신호 레벨보다 최소 10 dB 낮을 만큼 적분시간이 짧아야 한다.

6.3 구조적 잔향 시간 측정

(1) 일반사항

부재의 구조적 잔향 시간은 포인트 가진 및 다양한 변환기 위치에서의 속도 또는 가속도를 측정하여 결정한다. ISO 3382에 정의된 임펄스 응답 적분법이 임펄스 응답 제곱의 역적분(backward inte-

gration)과 함께 이용된다.

참고 부재의 총 손실계수와 구조적 잔향 시간 T_s 간의 관계는 아래 식으로 계산한다.

$$\eta_{total} = \frac{2.2}{f T_s}$$

총 손실 계수는 내부 손실, 가장자리 손실 및 방사 손실을 포함된다.

(2) 시험 중인 부재의 가진

가진기 가진 방법이나 해머 가진 방법 두가지를 이용할 수 있다. 가진기를 사용하여 임펄스 응답을 측정하는 경우 MLS(maximum length sequence) 기법을 사용하거나 올바른 임펄스 응답을 측정할 수 있는 다른 방법으로 측정한다.

실험실 측정의 경우 MLS 신호와 가진기를 사용하는 것이 선호된다. 해머 타격이 너무 강해 시험부재 상의 잔향 시간 측정이 영향을 받지 않음을 밝힐 수 있을 경우 해머 가진을 이용할 수 있다. 이 검증은 각 부재마다 한 위치에서 이루어진다. 충격 해머에 다양한 질량 및 소재를 이용해야 할 수도 있는데, 그 이유는 소재가 다르면 주파수대에서의 가진량도 달라지기 때문이다. 기록된 감쇠 곡선은 배경 레벨 보다 최소 35 dB 위에서 시작되어야 한다.

(3) 측정 및 가진 지점

가진 지점은 시험 부재에 최소 세 곳을 이용해야 한다. 각 가진 지점에 변환기 위치 최소 세 곳을 이용해야 한다.

변환기 위치 및 가진 지점은 아래 최소 거리를 이용해 선정해야 한다:

- 변환기 위치와 시험부재 간 경계 : 0.5 m
- 가진점과 관련 변환기 위치 사이 : 1 m
- 개별 변환기 위치 사이 : 0.5 m

측정 지점은 시험 부재에 불규칙적으로 분포되어야 한다.

(4) 필터와 검출기로 인한 신뢰할 수 있는 결과를 위한 하한

임펄스 응답의 기존 순방향 해석으로 1/3옥타브 대역으로 측정된 구조적 잔향 시간이 아래 요건을 충족하는지 확인해야 한다:

$$T_s > 35/f \quad (17)$$

그리고

$$T_s > T_{det} \quad (18)$$

여기서, T_{det} : 평균화 검출기의 잔향시간이다.

식 (17)을 만족하지 않을 경우, 시간반전 기법을 적용해 감쇠 곡선에 대한 필터의 영향을 줄여야 한다. 이 기법으로는 한도가 식 (17)로 얻은 것보다 4 배 정도 낮다.

6.4 공기 전달 가진을 통한 진동 감쇠 계수 측정

진동 감쇠 계수 K_{ij} 는 공기 전달 가진으로도 측정할 수 있지만, 양 방향을 시험해야 하고 차폐도 해야 하므로 고체 전달 가진에 비해 느리고 비효율적인 방법일 수 있다.

7. 시험설비 구조의 영향

7.1 시험 설비의 구조를 통한 측로 전달을 확인하기 위한 기준

(1) 일반사항

일반 요건은 시험 중인 접합부 이외의 접합부를 통한 전달이 K_{ij} 등의 측정량에 아무런 영향을 미치지 않아야 한다.

이는 전체 진동 에너지의 흐름이 시험 대상 부재 j 에서 실의 부재 k 쪽으로 전달될 경우 가능하다.

부재 i 가 가진 될 때 각 주파수 대역에서,

$$10 \lg \left(\frac{m_j \cdot f_{ck}}{m_k \cdot f_{cj}} \right) + D_{v,jk} \geq 0 \text{ dB} \quad (19)$$

여기서,

m_j, m_k : 부재 j, k 의 단위면적당 질량(kg/m²)

f_{cj}, f_{ck} : 임계 주파수(Hz)

$D_{v,jk}$: 시험 중 속도 레벨 차(dB)

균일한 등방성 부재의 경우, f_c 는 아래 식으로 계산할 수 있다.

$$f_c = \frac{c_0^2}{1,8c_L \cdot h} \quad (20)$$

여기서,

c_0 : 공기 중 음속(m/s)

c_L : 종파(longitudinal wave) 속도(m/s)

h : 두께(m)

다른 유형의 부재의 경우, f_c 는 음향 감쇠 계수 곡선의 패인 부분을 관찰해 추산할 수 있다.

(2) 실용적 고려사항

식 (19)는 속도 레벨 차이 $D_{v,jk}$ 가 가능한 한 커야 함을 나타낸다.

이는 아래 다양한 해결책을 이용해 얻을 수 있다.

(a) 시험 대상 구조보다 훨씬 무거운 시험 설비 구조를 이용.

(b) 시험 대상 부재와 시험 설비 구조 간의 진동 차단을 이용. 에너지가 전달될 수 있게 한 뒤 현실적 구조적 잔향 시간을 만들어내기 위해, 몇몇 경우에는 시험 대상 부재를 시험 설비 구조에 강접시키는 것이 권장된다. 이와 같은 경우 접합은 시험 대상 부재 단 하나(예: 뒷벽)와만 접촉하는 시험 설비의 일부와 해야 한다.

7.2 시험 설비의 주위 부재들에 비해 경량 부재에 대한 한도

표 1을 참조하여 어떤 부재의 표면 질량이 이 부재에 강접합된 시험 설비의 경량 부재 표면 질량의 0.16배 이하일 경우, 그 부재는 추가 검증 없이 경량 부재로 간주된다.

이 조건이 충족될 경우 경량 접합부는 ISO 10848-2 및 ISO 10848-3을 따라 시험실과 강접합되도록 한다.

7.3 구획 부재로부터 구조적으로 독립된 경량 측로 전달 부재에 대한 검증 절차

표 1을 참조하여 아래 시험 조건이 충족되면 경량 측로 전달 부재(천장, 바닥, 외벽 등)는 구획 부재로부터 구조상 독립된 것으로 간주된다:

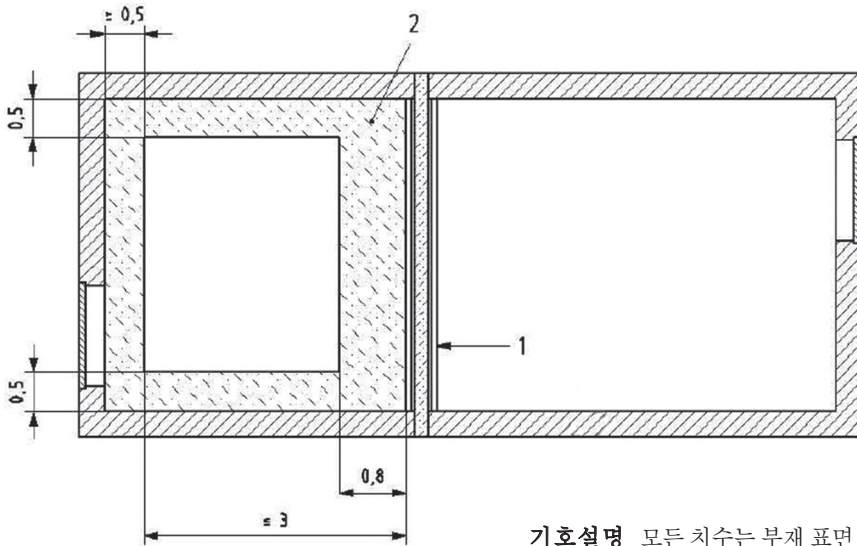
(a) 측로 부재를 구획 부재와 연결하지 않고 설치한다.

(b) 고체 전달법을 이용해 진동원과 측정점 사이의 $(D_{v,ij})_0$ 를 측정한다.

(c) 구획 부재를 연결한다.

(d) 고체 전달법을 이용해 진동원과 측정점 사이의 $(D_{v,ij})_1$ 를 측정한다.

(e) $(D_{v,ij})_1$ 과 $(D_{v,ij})_0$ 의 차이가 각 주파수대에서 3 dB 미만인지 확인한다.



단위 : 미터

기호설명 모든 치수는 부재 표면 치수다.

1 격벽

2 표준 경량 충격원을 설치하면 안 되는 구역

그림 4 표준화 측로 전달 충격 음압 레벨 $L_{n,f}$ 측정을 위해 표준 경량 충격원을 설치하면 안 되는 바닥면

8. 차폐

차폐장치나 피복의 효율은 그 배후 구조에 크게 좌우된다. 차폐 전후의 평균 속도 레벨을 비교하면 차폐 효율을 나타낼 수 있다. 아래 규격은 시험체 부재의 차폐 및 시험 설비 표면의 차폐에 적용된다.

시험 방법에 따라, 부재 3개나 4개의 접합부가 시험실을 향한 부재 각각을 성공적으로 차폐해야 한다. 접합부의 부재 2개가 각 시험실을 향하도록 한다.

부재 i 와 j 를 통한 전달에 대한 $D_{n,f}$ 를 측정할 경우 음원실과 수음실 내 다른 부재를 차폐하도록 한다.

부재 i 와 j 를 통한 전달에 대한 $L_{n,f}$ 를 측정할 경우 수음실 내 다른 부재를 차폐하도록 한다.

공기 전달 가진에 대한 차폐로 K_{ij} 를 측정할 경우 음원실 내 다른 부재를 차폐하도록 한다.

고체 전달 가진으로 K_{ij} 를 측정할 경우 차폐가 필요 없다.

부재 j 에서 방사된 소리를 음향 인텐시티법으로 측정할 경우 수음실 내 차폐 요건은 적용되지 않는다.

음향 감쇠 계수 증가량(ΔR)로 나타내는 시험 부재에 대한 최소 차폐 효율의 판단은 접합부 유형에 따라 좌우된다. 예컨대 접합부 부재 3개나 4개가 동일하면 모든 주파수 대역에서 ΔR 10 dB은 시험부재로 충분하다.

ΔR 에 필요한 최소값을 평가하는 일반적 방법은 음원실 내 부재 1의 가진으로 인한 수음실 내 부재 j 의 평균 속도레벨 $L_{v,1j}$ 그리고 음원실 내 부재 2의 동종 가진으로 인한 수음실 내 부재 j 의 평균 속도레벨 $L_{v,2j}$ 를 측정하는 것이다.

예를 들면, 음원실 내 부재 1 및 수음실 내 부재 j 를 통한 전달에 대해 시험할 양이 $D_{n,f}$ 나 $L_{n,f}$, K_{ij} 이고 부재 2의 차폐를 점검할 경우

$$\Delta R_{\min} = 10 - L_{v,1f} + L_{v,1j} - L_{v,2j} \leq 10 \text{ dB} \quad (21)$$

$$\Delta R_{\min} = 0 \text{ dB if } L_{v,1f} + L_{v,2j} > 10 \text{ dB} \quad (22)$$

식 (21), (22)와 같이 차폐의 최소레벨을 확인할 수 있다. **KSNVE**