한국소음진동공학회 2010년 추계학술대회논문집, pp.256~257

축소모형을 이용한 바닥구조 차음성능 평가

Evaluation of Floor Impact Sound Reduction using a Scale Model

유승엽†· 김재호*· 전진용**

Seung Yup Yoo, Jae Ho Kim and Jin Yong Jeon

1. 서 론

바닥충격음 저감구조에 대한 연구는 대부분 현장시험 시공을 통한 실험적인 방법과 전산 해석을 통한 예측방법을 통해 이뤄지고 있다. 실험적 방법은 시험체 제작을 위해 소요되는 비용 및 기간 측면에서 비효율적이며 전산 해석적 방법은 예측모델 구축에 소요되는 비용, 해석결과에 대한 신뢰성에 있어 범용성에 한계가 있다. 이러한 기존 연구방법의 문제점들을 보완하기 위해 축소모형이나 축소시편을 활용한 실험적 연구방법이 많이 이뤄지고 있다.

축소모형을 활용한 실험방법은 일반적으로 건축 및 토목 분야에서 full scale로 시험체를 시공하기 어려울 때 사용된다. 특히, 실내음향 분야에서 축소모형을 활용한 실내 impulse response를 측정, 음장특성을 분석하는 연구들이 활발하다.

구조물의 진동 및 고체음 전달 특성, 특히 바닥충격음과 관련해 축소 모형 및 시편을 이용한 차음성능 평가에 대한 연구사례들이 최근 발표되고 있다. 국내에서는 박철용 등[(1)] 및 정진연 등[(2)]이 슬래브 상부 일부에 시험체를 설치하여 평가하고 이를 실제 스케일의 시험체 측정결과와 바닥충격음 차음성능을 비교하여 시험방법을 검증한 연구사례가 있었다. 한편, 독일 PTB[(3)]에서는 1.2×0.8 m^2의 면적을 갖는 간이 시험체를 제작하여 바닥마감재의 경량충격음 차단 성능에 대해 측정할 수 있는 시험 장치를 개발하였다.

본 연구에서는 바닥판의 진동 및 소음 전달특성을 살펴보기 위하여 표준시험동을 대상으로 상사법칙에 근거한 축소 모형을 제작하여 저감구조의 중량충격음 차단성능을 평가하였다.

2. 바닥충격음 시험동

본 연구에 활용된 바닥충격음 표준 시험동은 현재 저감구조의 성능평가 및 인정시험 업무에 활용되고 있는 시설로서 4.6m×5.1m (23.5 m^2)의 면적의 장방형 바닥판을 갖고 있다. 본 구조물은 벽식 구조의 철근콘크리트로 되어 있으며 구조재로 사용된 철근 콘크리트는 압축강도 210 kg/cm^2, 밀도 2400 kg/m^3 의 물성을 갖는다. 각 실의 층고는 2.65 m로 되어 있으며 마감면은 콘크리트 노출 상태로 되어 있다.

3. 축척모형 제작 및 평가

3.1 축소모형 제작

(1) 상사의 법칙

고유의 불변량이 일치하는 경우, 2개의 물리적 현상은 근사하다고 할 수 있다. 음향에 있어서 이와 같은 불변량을 Helmholtz number라고 하며 길이와 파장의 비를 의마하는 무차원 상수이다.

고체음의 경우 Helmholtz number는 고체음와 공기음의 파장비로 표현될 수 있다. 공기의 음속은 일정하므로 매질이 되는 고체의 wave speed가 축소모형과 full-scale 시험체가 동일해야 한다. 이를 전제로 판의 quasi-longitudinal wave에 대해 재료의 탄성계수는 식(1), 재료의 손실계수(η)는 식(2)과 같은 상사의 법칙을 가져야 한다.

$$\left[\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}\right]_{scaled} = \left[\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}\right]_{original} \quad \text{Eq .1}$$

$$\eta_{\text{scaled}} = \frac{\{D_{im}(f)/D_{re}(f)\}_{scaled}}{\{D_{im}(f)/D_{re}(f)\}_{original}}\eta_{\text{original}} \quad \text{Eq. 2}$$

(2) 재료 선택 및 모델제작

본 연구에서 축소모형의 축척은 대상 건물의 크기와 실험실에서 측정 가능한 적정 크기 및 이전 연구들에서 활용된 축척 등을 고려하여 1:10을 적용하였다. 이와 같은 조건에서 콘크리트와 유사한 재료를 조사한 결과[(4)], 종파속도 및 손실계수 측면에서 아크릴 보드(plexiglas)가 유사한 것으로 나타났다. 콘크리트와 아크릴 보드 간 물성을 비교한 결과는 표 1과 같다.

† 한양대학교 건축환경공학과, 박사과정
E-mail : syrus81@gmail.com
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

* 한양대학교 건축환경공학과, 박사과정

** 한양대학교 건축공학과, 교수

Table 1. Material properties of concrete and plexiglas

	Density (g/cm^3)	Elastic modulus (GPa)	C_L (m/sec)	Loss factor
Concrete (Original)	2.3	26	3400	$4\sim8\times e^{-3}$
Plexiglas (Scaled)	1.2	5.7	2200	$2\sim4\times e^{-2}$

그림 1과 같이 축소모형이 제작되었다. 부재는 바닥판과 벽체 등으로 구분되어 제작되었으며 시험동 바닥판의 경계조건을 재현하기 위해 5cm 간격으로 볼트를 체결하여 슬래브와 벽체가 일체화될 수 있도록 하였다. 슬래브는 20mm 두께의 아크릴 판재로 제작되었으며 상부 온돌마감층은 동일한 재질의 10mm 판재를 사용하였다.

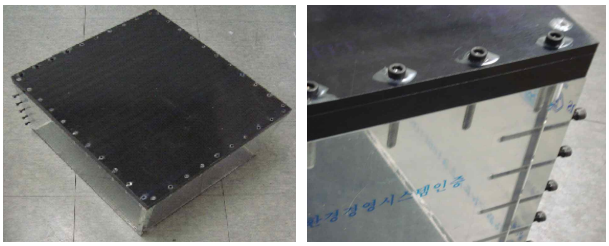

Figure 1. 1:10 scale model of the testing building

3.2 슬래브의 동특성 측정

(1) 동특성 측정셋업

바닥판의 모드 형상과 감쇠비를 도출하기 위하여 바닥판의 주파수 응답함수(FRF)를 측정하여 모드해석을 수행하였다. 소형 가진기(B&K, Type 4810)로 바닥판 임의의 1지점을 가진했을 때 바닥판에 고르게 분포한 36개 지점에 미니어처 가속도계(Endevco, Type 2250-12)를 설치하여 바닥판의 mobility를 측정하였다. 그리고 이를 커브피팅하여 모드해석을 수행하였다. 사용된 프로그램인 STAR modal(Spectral dynamics)이다.

(2) 완충재 유무에 따른 동특성 차이

완충재 삽입에 따른 바닥판 동특성 변화를 살펴보기 위하여 완충재 삽입유무에 따른 모달특성 차이를 분석하였다. 그림 2는 완충재 설치 이전 바닥판의 모드형상을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 4변이 고정되어 있는 평판의 굽힘 진동모드가 잘 재현되고 있다.

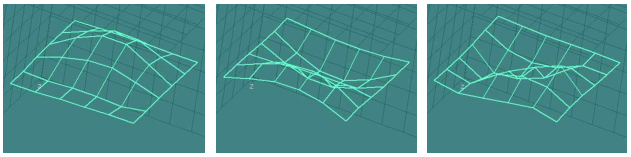

Figure 2. Mode shapes of 20mm bare slab (1^{st}-3^{rd} mode)

표 2는 완충재 삽입여부에 따른 바닥판의 고유진동수 변화를 나타내고 있다. 실제 맨슬래브(210mm)에서의 1차 모드가 32Hz로 나타나기 때문에 축소모형 결과와는 10Hz 정도 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 축소모형의 탄성이 콘크리트에 비해 다소 낮기 때문으로 사료된다. 0.2MPa의 탄성계수를 가지는 3mm 두께의 완충재를 슬래브와 온돌마감층 사이에 삽입했을 때, 맨슬래브과 비교하여 46Hz 낮은 주파수에서 1차 고유진동수가 나타났다. 동일한 구조를 실제 시험동에 시공하였을 때에도 고유진동수가 4Hz 저감하였기 때문에 1차 모드의 공진주파수 이동양상이 유사하게 재현되는 것을 알 수 있다.

Table 2. Natural frequencies in 1st-3rd modes [Hz]

	1st mode	2nd mode	3rd mode
Bare slab	221.6	365.8	500.6
Floating floor	175.6	299.3	515.9

4. 결론 및 향후 계획

1:10 축소모형을 제작하여 바닥판의 동특성의 실제 모델에 대한 재현성을 모달 테스트를 통해 확인하였다. 분석결과, 바닥판의 거동특성 및 저감구조에 따른 동특성 변화가 시험동에서와 유사하게 나타남을 확인하였다. 향후 보다 다양한 저감구조에 대한 바닥판의 동특성 및 충격음 평가주파수 대역에 대한 충격음 저감특성에 대한 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 “기초연구사업” (과제번호: 2010-0027675) 의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

(1) 박철용, 홍구표, 이상준, 김진규, 김규래, 2007, “축소모형 시험판을 이용한 바닥충격음 측정방법에 관한 연구”, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집

(2) 정진연, 이상우, 임정빈, 김경우, 정갑철, 2008, “슬래브 상부구조 시편 크기에 따른 중량충격음 성능검토”, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집

(3) M. Sommerfeld, 2009, “A simplified measurement method for the determination of impact sound reduction”, proceedings of NAG/DAGA 2009, Rotterdam

(4) L. Cremer, M. Heckl, E. E. Ungar, “Structure-borne sound”, Springer-Verlag, 1973