

중공슬래브 바닥판의 진동 및 충격음 특성에 관한 실험연구

A Study on the Characteristics of Vibration and Impact Sound at the Hollow Slab

김 기 철* 김 광 만**
Kim, Gee-Cheol Kim, Kwang-Man

Abstract

The efforts to solve the problem of floor impact noise and vibration of residential building have been realized. As a result, numerous products have been distributed. But, contrary to diversity of products, it also has been known that the sound insulation performance for heavy-weight impact did not show a remarkable improvement. Therefore new slab systems and products are required. The result of this study can be used to supply constructor and consumer basic data to estimate vibration and sound insulation performance of hollow slab. There is little difference between the hollow slab and general slab in vibration and sound insulation performance for impact. Moreover the hollow of slab filled with expanded polystyrene is expected to obtain the remarkable performance in vibration and sound insulation. And it was known that the amount of materials of concrete and reinforced bar could be cut down because the weights of slab was reduced by the hollow system. The study of sound insulation performance as the materials, depth and distance of hollow in slab system is required to verify vibration and sound insulation performance of hollow slab system.

키워드 : 충격음, 진동, 중량충격원, 차음성능, 중공슬래브

Keywords : Impact Sound, Vibration, Heavy-weight Impact, Sound Insulation Performance, Hollow Slab

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

개정된 주택건설기준 등에 관한 규정에 의하면 바닥충격음 최소성능 기준을 경량충격음과 중량충격음에 대하여 각각 58데시벨(dB)과 50데시벨(dB)로 제시하였으며 이와 더불어 성능을 만족시킬 수 있는 표준바닥구조를 제안하였다. 표준바닥구조는 슬래브, 완충재(충격음 저감재), 경량기포콘크리트, 마감모타르로 구성되어 있다. 완충재로 발포고무, 타이어 분쇄칩, 방진고무 등이 사용되고 있으며 이러한 완충재는 경량충격음에 대하여 효과적이나 중량충격음에 대해서는 그 효과가 매우 미비한 것으로 연구되었다.^{2), 3)} 또한, 표준바닥구조에서 슬래브 두께를 210mm이상으로 하여도 중량충격음의 차단성능이 크게 개선되지 못하며 비경제적인 것으로 연구되었다.^{4), 5), 6)} 따라서 공동주택 바닥판에서의 충격음과 진동 저감을 위한 개선된 바닥판 시스템 연구와 기술개발이 필요한 실정이다.

중공슬래브란 슬래브에 중공(관)을 설치하여 슬래브의 무게를 줄이는 시스템으로 토목구조물에 있어서는 교량의 자중을 줄이기 위하여 교량 상판에 적용되고 있으며 건축구조물에 있어서는 넓은 바닥판에 대하여 중공슬래브의 필요성이 요구되고 있으나 아파트와 같은 공동주택에서는 그 적용이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 중공

슬래브의 진동 및 충격음 특성을 분석하여 공동주택의 층간소음 및 진동 저감하기 위한 새로운 바닥판 시스템으로 중공슬래브의 적용 가능성을 살펴보고자 한다.

1.2 연구내용 및 연구방법

본 실험연구에서는 세 가지 형태의 중공슬래브 실험체를 제작하여 실험체의 바닥 충격음과 진동을 계측하였으며 계측한 데이터의 분석을 통하여 중공슬래브와 일반슬래브에 대한 진동 및 충격음 특성을 비교 분석하였다. 한국산업규격(KS F 2865:2002, KS F 2810-2:2101)⁸⁾을 준용하여 바닥충격음 레벨을 계측하였으며 가속도계를 실험체에 부착하여 가진 바닥판에서의 진동가속도를 계측하였다. 공동주택에서 발생하는 가진원은 주화/수저의 낙하소리와 같은 경량충격과 어린이의 뛰는 행동과 같은 중량충격으로 구분할 수 있으므로 본 실험에서는 경량충격원(Tapping Machine)과 중량충격원(Bang Machine)에 의한 동적하중을 실험체에 가하여 충격음과 진동을 계측하였다. 본 실험연구는 완충재, 경량기포콘크리트, 마감마감을 하지 않은 슬래브 자체에 대한 충격음과 진동을 측정 실험한 것이다.

2. 중공슬래브 구조 및 제작방법

2.1 중공슬래브 구조

중공슬래브 시스템은 슬래브에 분포되어 있는 중공 내에 공기층(채움재)이 형성되어 있어 충격음과 진동 전달에 대한 차단효과를 가져올 수 있기 때문에 공동주택의

* 서일대학 건축과 교수, 공학박사

** (주)바로건설기술 대표이사

주거환경을 개선할 수 있을 것이다. 또한 중공으로 인한 슬래브의 자체 중량이 감소함에 따라서 구조부재의 치수를 줄일 수 있어 재료비 절감을 유도할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 중공관에 일체로 제작된 철근을 활용할 수 있기 때문에 별도의 철근 작업이 생략되어 시공성이 우수해지며 주근 사이에 설치되는 중공을 이용하여 상하부 철근을 고정시키는 스페이서 역할을 수행할 수 있기 때문에 슬래브의 품질을 향상시킬 수 있을 것이다.

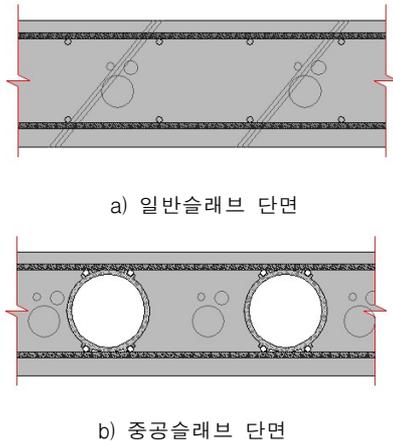


그림 1. 실험체 슬래브 단면형상

슬래브 실험체는 그림 1과 같은 단면을 가지고 있으며 중공관은 지관(종이관), THP주름관(합성수지) 그리고 THP주름관에 믹팩(Mic Pac)을 충전한 세 가지 형태이다. 본 실험연구에 사용한 중공슬래브는 그림 2와 같이 4200mm×3000mm×210mm이며 중공관은 300mm 간격으로 설치하였다. 슬래브의 두께는 표준바닥구조의 슬래브 두께인 210mm로 하였으며 상부철근과 하부철근의 배근 간격은 D13@200으로 하였다.

2.2 중공슬래브 제작방법

중공슬래브 실험체 제작방법과 순서는 다음과 같다.

- ① 거푸집 및 중공관 제작: 거푸집은 실험체 전용 철재 거푸집을 사용하였으며 중공관은 시중에서 손쉽게 구매할 수 있는 지관과 THP주름관을 사용하였다. 지관의 경우에 외경 110mm, 길이 1500mm의 지관을 두 개 이어서 3000mm로 제작하였으며 THP 주름관은 시중에서 판매하는 외경 115mm, 길이 3000mm 배수용관을 사용하였다.
- ② 하단철근 배근: 강도 400Mpa의 D13 철근을 200mm간격으로 배근하였다.
- ③ 중공관 설치: 중공관은 실험체에 따라서 각각 지관, THP 주름관 그리고 THP 주름관에 믹팩을 충전하여 300mm 간격으로 설치하였다. 충전에 사용한 믹팩(Mic Pac)은 포장완충재로 폴리에틸렌 계열의 초경량 제품을 사용하였다.

- ④ 상단철근 배근: 강도 400Mpa의 D13 철근을 200mm간격으로 배근하였다.
- ⑤ 콘크리트 타설: 강도 24MPa의 콘크리트를 레미콘 타설 하였다.

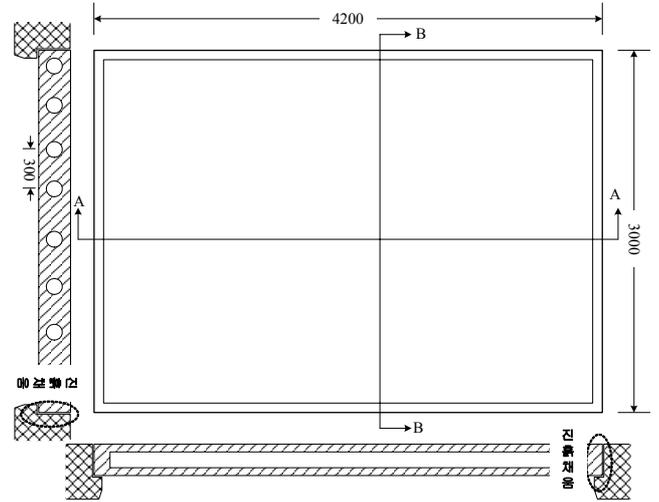


그림 2. 실험체 중공슬래브

본 실험연구의 실험체 제작과정을 사진 1 ~ 사진 4에 보여주고 있으며 실험체명과 실험체특성을 표 1에 간략하게 기술하였다.

표 1. 실험체 구분

실험체명	실험체 특성	비고
G0 슬래브	일반 철근콘크리트 슬래브	
H1 슬래브	THP주름관 중공슬래브	합성수지
H2 슬래브	지관 중공슬래브	종이관
H3 슬래브	THP주름관+채움재 중공슬래브	믹팩 채움

3. 실험체 슬래브의 고유치해석

슬래브의 동적특성인 고유진동수와 고유진동모드는 바닥 충격음과 진동 응답에 많은 영향을 끼치므로 실험에 앞서 실험체 슬래브에 대한 고유치해석을 실시하였다. 고유치해석은 상용프로그램인 MIDAS/Gen을 사용하였으며 실험체 슬래브를 입체요소로 모형화하였다.



사진 1. 거푸집 설치 및 청소



사진 4. 콘크리트 타설



사진 2. 하부철근 및 중공관(지관) 설치



사진 3. 상부철근 배근

3.1 실험체 슬래브의 고유진동수

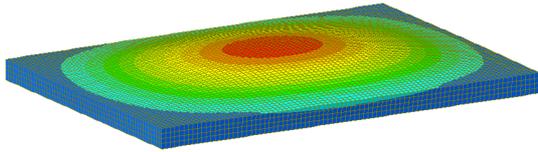
중공슬래브는 중공으로 인하여 슬래브의 질량이 줄어들기도 하지만 또한 강성도 줄어든다. 중공으로 인한 질량의 감소비율보다 강성의 감소비율이 더 작기 때문에 중공슬래브의 고유진동수가 일반슬래브의 고유진동수보다 약간 크게 나타나는 것을 표 2에서 볼 수 있다. 그러나 질량과 강성의 변화가 유사하므로 5차 모드까지는 고유진동수와 진동모드가 매우 유사하게 나타나고 있다. 진동응답에 많은 영향을 미치는 저차모드에서는 중공슬래브의 고유진동수가 일반 슬래브의 고유진동수와 매우 유사하므로 진동응답이 비슷한 레벨로 나타날 것이다.

표 2. 실험체 슬래브의 고유진동수 (단위: Hz)

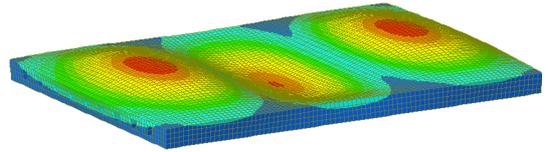
진동모드	일반슬래브	중공슬래브
1차모드	66.67	66.95
2차모드	110.73	113.07
3차모드	146.45	148.63
4차모드	189.83	195.76
5차모드	203.78	204.64
6차모드	276.49	281.13
7차모드	279.66	283.82
8차모드	296.39	306.65

3.2 실험체 슬래브의 고유진동모드

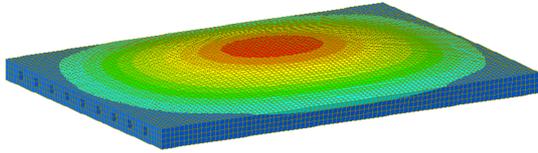
실험체 슬래브의 고유진동모드는 그림 3과 같이 중공슬래브의 고유진동모드와 일반슬래브의 고유진동모드가 비슷하게 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 중공으로 인한 강성과 질량의 변화로 일반슬래브의 6차와 7차모드가 중공슬래브의 7차와 6차 모드로 순서가 바뀌어서 나타나고 있다.



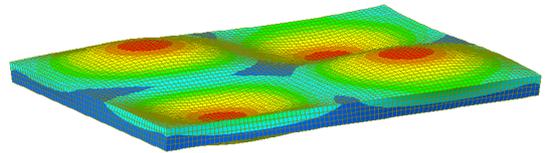
a) 일반슬래브 1차 모드



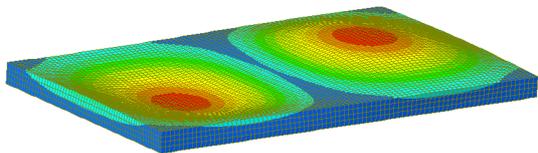
h) 중공슬래브 4차 모드



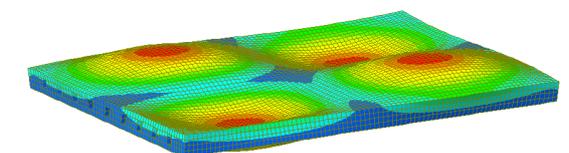
b) 중공슬래브 1차 모드



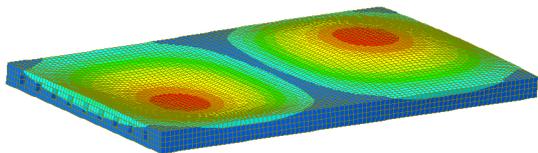
i) 일반슬래브 5차 모드



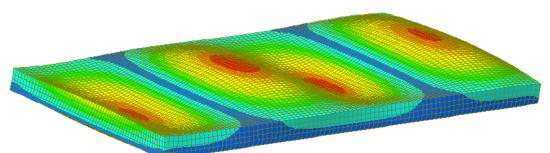
c) 일반슬래브 2차 모드



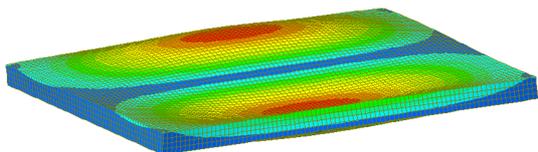
j) 중공슬래브 5차 모드



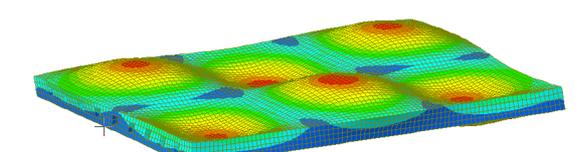
d) 중공슬래브 2차 모드



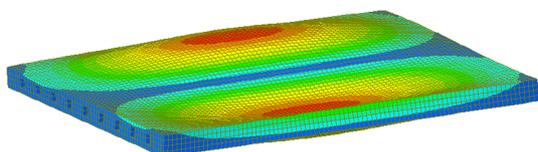
k) 일반슬래브 6차 모드



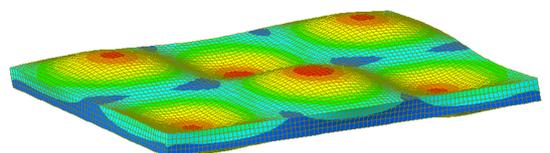
e) 일반슬래브 3차 모드



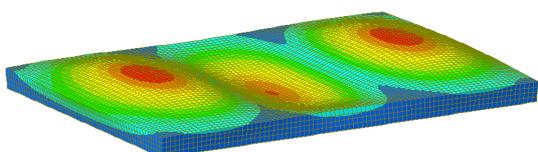
l) 중공슬래브 6차 모드



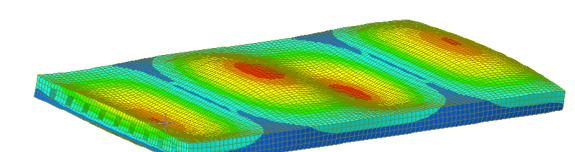
f) 중공슬래브 3차 모드



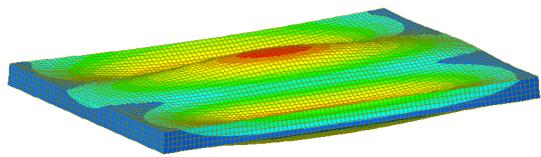
m) 일반슬래브 7차 모드



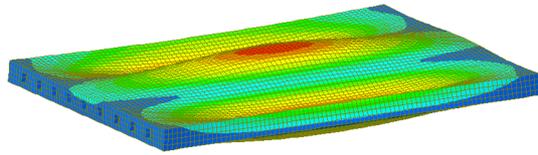
g) 일반슬래브 4차 모드



n) 중공슬래브 7차 모드

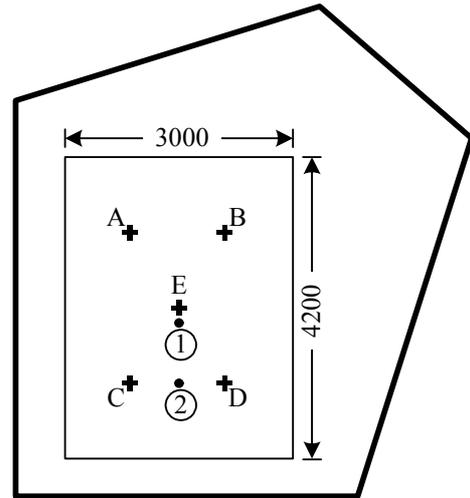


o) 일반슬래브 8차 모드



p) 중공슬래브 8차 모드

그림 3. 실험체 슬래브의 진동모드



a) 충격원 및 진동 계측위치

4. 진동 및 충격음 측정실험

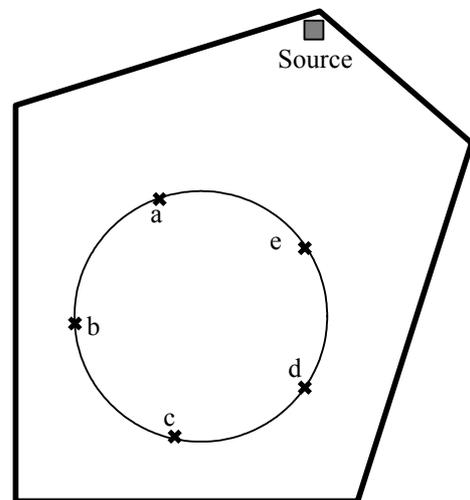
본 연구의 측정실험에서는 각각의 실험체별로 경량충격원과 중량충격원에 의한 진동과 충격음을 여러 차례 측정하였다.

4.1 충격음과 진동 계측위치

실험체의 충격음과 진동에 대한 외부 영향을 최소화하기 위하여 본 실험연구에서는 7면체 부정형의 잔향실에서 실험체 슬래브에 대한 충격음과 진동을 측정하였다. 잔향실의 상층부에서 경량충격원과 중량충격원을 이용하여 충격을 가하였으며 바닥판 충격음은 잔향실 하층부에서 계측하였고 바닥판 진동은 실험체 슬래브에서 계측하였다. 충격원 위치와 진동 및 충격음 계측 위치를 표 3에 나타내었다.

표 3. 충격원 위치와 진동 및 충격음 계측 위치

충격원 가진위치 (잔향실 상층부)	바닥충격음 계측위치 (잔향실 하층부)	바닥진동 계측위치 (슬래브 자체)
A	a	① (중앙점)
B	b	
C	c	
D	d	② (1/4점)
E	e	



b) 충격음 계측위치

그림 4. 충격원 위치 및 진동과 충격음 계측위치

한국산업규격(KS F 2865:2002, KS F 2810-2:2101)에 따라서 그림 4 (a)와 같이 바닥판의 중앙점(점E) 그리고 중앙점과 네 모서리와의 중간인 네 지점(점A, B, C, D)에서 경량 및 중량 충격을 가하였다. 그리고 하층부 수음실에서의 평균음압레벨은 그림 4 (b)와 같이 실험체 및 벽면에서 0.5m이상 떨어진 다섯 지점에서 계측하였다. 그리고 바닥판 진동은 그림 4 (a)과 같이 바닥판의 중앙점(점①)과 1/4지점(점②)에서 계측하였다.

4.2 바닥 충격음 및 진동 계측 장비

진동계측 전용장비인 가속계(MMF)와 DEWE RACK System을 이용하여 가속도응답을 계측하였으며 사용된 계측장비의 제원은 표 4와 같다. 가속도계는 ICP 타입으로 민감도는 50mV/g이며 계측범위는 0.3Hz~17,000Hz에서 ±120g까지 계측이 가능하다. A/D변환기의 분해능력은 12비트이며 초당 최대 200,000개의 데이터를 샘플링 할 수 있는 장치이다.

표 4. 진동 계측장비 제원

장비 및 S/W	제조사	모델명	비고
가속도계	Metra	KS77	구조물의 진동 계측
Amplification	Dewetron	DEWE-RA CK	데이터 처리기
A/D board	National Instrument	DAQ Card-6024	데이터 변환기
데이터 분석	Dewetron	DEWEsoft	데이터 분석프로그램

바닥판 충격음 측정에 사용한 장비는 한국산업규격(KS F 2865:2002, KS F 2810-2:2101)에 따른 바닥판 충격음 실험에 사용되는 장비로 제원은 표 5와 같다.

표 5. 충격음 계측장비 제원

장비 및 S/W	제조사	모델명	비고
마이크로폰	B&K	4192 & 4193	무지향 특성
음압레벨 측정기	B&K	2144	진동수 분석기

마이크로폰은 최대 20kHz까지 넓은 진동수 대역의 음압을 계측할 수 있으며 음압레벨 측정기는 2채널의 FFT 신호분석기로 측정음압의 진동수 분석을 실시간으로 할 수 있다.

4.3 경량충격원과 중량충격원

공동주택에서의 소음과 진동을 유발시키는 원인으로는 거주자의 움직임과 배수관 유체의 흐름에 의한 것이 대부분이다. 거주자의 움직임에 의한 진동원은 구두를 실은 여성의 보행, 주화/수저의 낙하소리와 같은 경량충격과 어린이의 뛰는 행동과 같은 중량충격으로 구분되어 진다. 본 실험연구에서 사용한 바닥 충격원 발생기는 표 6과 같다.

경량충격원에 의한 진동과 충격음은 대부분 고진동수 대역에서 전달되며 카펫트 또는 완충재를 설치하면 진동과 충격음을 줄일 수 있어 차단하기가 용이한 편이나 중량충격원에 의한 진동과 충격음은 주로 저진동수대역에서 전달되며 차음재나 완충재 설치만으로 바닥판의 충격음과 진동 개선 효과가 그다지 크지 않다.¹⁾

표 6. 바닥 충격원 발생기

항목	경량 충격원		중량 충격원	
장비명	Tapping Machine		Bang Machine	
제원	질량	500±12g	질량	7.3±0.4kg
	재질	Steel	재질	Rubber
	크기	지름 3cm	크기	자동차 타이어
	낙하높이	4±0.1cm	낙하높이	90±10cm
진동수 특성	고진동수 대역		저진동수 대역	
특징	입식생활 소음 (하이힐 보행)		좌식생활 소음 (어린이 뛰)	
국내기준	KS F 2810-1		KS F 2810-2	

4.4 측정방법

간향실의 상층부는 음원실로 하층부는 수음실로 되어 있으며 원음실과 수음실 사이에 슬래브 실험체를 설치하여 틈새를 진흙으로 충진하였다. 하층부 수음실의 다섯 지점(점 a, b, c, d, e)에서 바닥 충격음레벨을 계측하였으며 사진 5와 사진 6과 같이 슬래브 실험체의 두 지점에 가속도계를 부착하여 진동을 계측하였다.



사진 6. 진동측정 및 중량충격가진(점B)



사진 6. 진동측정 및 중량충격가진(점E)

(1) 바닥판 충격음 측정

경량충격음에 대하여 KS F 2865: 2002를 적용하고 중량충격음에 대하여 KS F 2810-2을 준용하여 바닥충격음 레벨을 측정하였으며 측정된 바닥충격음 레벨은 수음실의 기준 등가 흡음력(10m²)에 대한 보정값을 더한 표준화 바닥충격음 레벨(L_n)로 환산하였다.

바닥충격음 차단성능을 나타내는 수음실의 실내 평균 음압 레벨(L)은 다음 식 (1)과 같다.

$$L = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) \quad (1)$$

여기서, L_j는 수음실내 측정점 j에서의 음압레벨(dB)
n은 측정점 수

실내 평균음압 레벨(L)은 수음실의 흡음력에 따라 변동될 수 있으므로 기준 등가 흡음력(10m²)에 대한 값을 보정하여 다음 식 (2)에 따라 표준화 바닥충격음 레벨(L_n)으로 산출한다.

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (2)$$

여기서, L_i는 바닥충격음 레벨(dB)
A는 수음실 흡음면적
A₀는 기준 등가 흡음력(10m²)

평균음압레벨을 하층부의 수음실 벽면에서 0.5m이상 떨어진 다섯 지점에서 바닥판 종류별로 각각 25회씩 측정하였다. 경량충격음은 100Hz~3150Hz 영역에서 1/3옥타브 대역으로 측정하였으며 중량충격음은 50Hz~630Hz 영역에서 1/3옥타브 대역으로 측정하였다.

(2) 바닥판 진동 측정

진동가속도를 바닥판의 중앙점과 1/4지점에서 각각 20초간 5회씩 초당 2,000개로 샘플링하여 계측하였다. 전기압전 가속도계에 의하여 계측한 아날로그 형태의 데이터가 증폭기를 통과하여 증폭된 후에 A/D변환기를 통하여 디지털 형태의 데이터로 변환되어 저장된다. 진동응답을 속도응답으로 평가하기 위하여 계측한 진동가속도를 진동속도로 신호처리하여 분석하였다.

5. 실험결과 분석

본 실험연구는 공동주택 바닥판 슬래브에 대한 중공슬래브의 적용 가능성을 알아보고자 한 것으로 본 실험에서는 중공슬래브의 진동 및 충격음 차단성능에 대한 절대적인 수치보다는 일반슬래브와 중공슬래브의 진동과 충격음 레벨에 대한 상대적 비교에 중점을 두었다.

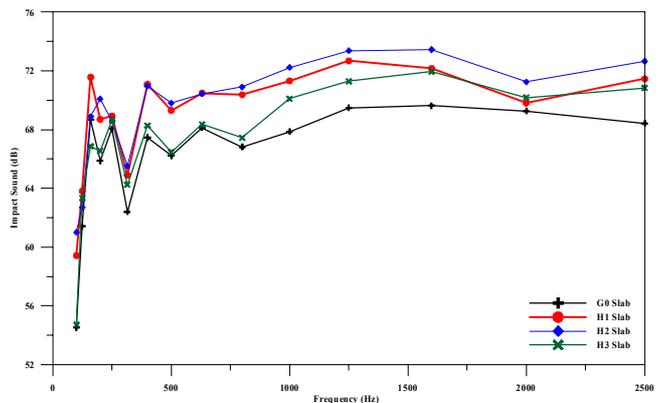
5.1 바닥 충격음 비교분석 방법

본 실험에서는 일반슬래브와 중공슬래브와의 바닥 충격음을 비교하기 위하여 단일수치평가량과 진동수대역별로 비교분석한다. 평가방법은 옥타브 밴드 측정결과에 따르며 측정 데이터가 1/3옥타브 밴드이므로 이를 옥타브 밴드로 환산하여 적용한다.

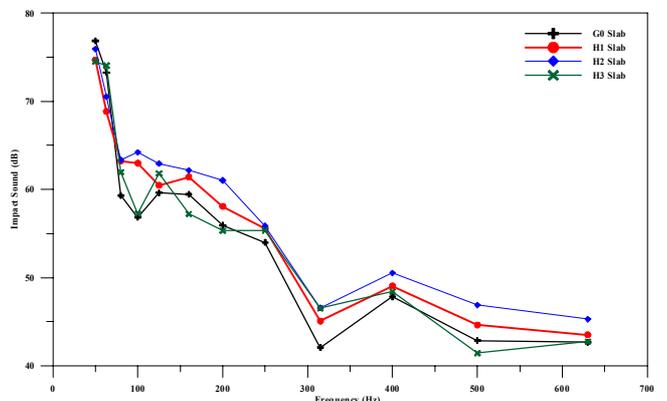
경량충격음에 대하여 중심진동수가 125Hz~2000Hz의 옥타브 대역 측정결과를 연결한 곡선에 대하여 기준곡선(역 A 특성곡선)을 1dB 씩 이동시켜, 5개의 옥타브 대역에서의 측정값이 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 10.0dB를 넘지 않는 범위에서 기준곡선 500Hz 대역에서의 데시벨(dB) 값으로 평가한다. 중량충격음에 대해서는 중심진동수가 63Hz~500Hz의 옥타브 대역 측정결과를 연결한 곡선에 대하여 기준곡선(역 A 특성곡선)을 1dB 씩 이동시켜, 4개의 옥타브 대역에서의 측정값이 기준곡선을 상회하는 값의 총합이 8.0dB를 넘지 않는 범위에서 기준곡선 500Hz 대역에서의 데시벨(dB) 값으로 평가한다.

5.2 바닥 충격음 측정결과

중량충격원 및 경량충격원에 의한 실험체 슬래브의 바닥 충격음레벨을 역A 특성곡선과 비교하여 그림 5 (a)와 그림 5 (b)에 나타내었다. 바닥충격음에 대한 정확한 분석을 위해서는 1/3옥타브 밴드 진동수 대역별로 나타낼 필요가 있다.



a) 경량 충격음레벨



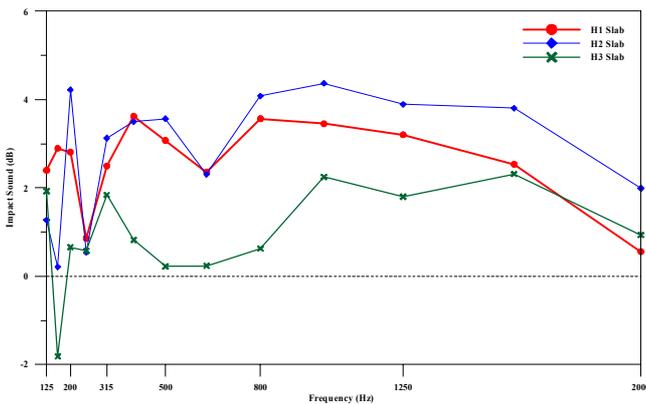
b) 중량 충격음레벨

그림 5. 바닥충격음 레벨

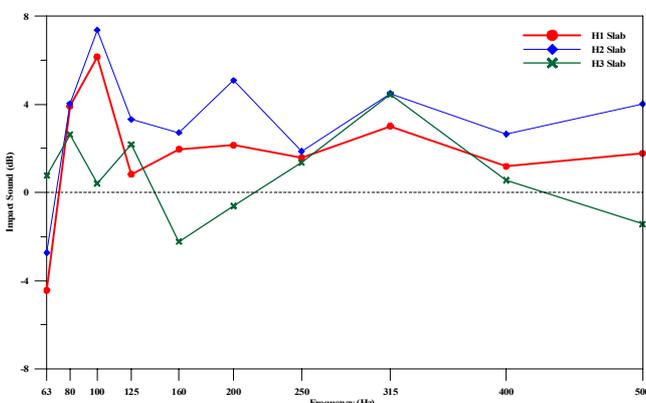
경량충격원에 의한 충격음레벨의 경우에 일반슬래브인 G0 슬래브가 중공슬래브 실험체와 비교하여 모든 진동수 대역에서 낮게 나타나고 있다. 그리고 중공슬래브의 경우에 대체적으로 H3 슬래브, H1 슬래브, H2 슬래브 순으로 충격음레벨이 낮게 나타나고 있다. 중량충격원에 의한 충격음레벨은 일반슬래브인 G0 슬래브와 H3 중공슬래브(THP주름관+채움재 중공슬래브)가 다른 실험체와 비교하여 낮게 나타나고 있다. 특히 H3 중공슬래브의 충격음레벨이 160Hz, 200Hz 그리고 500Hz 진동수대역에서 G0 일반슬래브의 충격음레벨보다 낮게 나타나고 있다. H3 중공슬래브(THP주름관+채움재)의 충격음레벨이 H1 중공슬래브(THP주름관)의 충격음레벨보다 대부분의 진동수 대역에서 낮게 나타나고 있다. H1 중공슬래브에 채움재를 넣은 H3 중공슬래브의 충격음레벨이 H1 중공슬래브의 충격음레벨보다 작게 나타나야 하지만 실험체제작과 실험방법의 실수로 인하여 그러나 125Hz와 315Hz 진동수대역에서 H3 중공슬래브의 충격음레벨이 H1 중공슬래브의 충격음레벨보다 높게 나타나고 있다. 따라서 추후 연구에서 실험체제작과 실험방법을 보완하여 실험을 실시한다면 125Hz와 315Hz 진동수대역에서 H3 중공슬래브의 중량충격음 레벨이 H1 중공슬래브의 중량충격음 레벨 이하가 될 수 있을 것이다.

일반슬래브 실험체와 중공슬래브 실험체의 경량 및 중량 충격음 레벨 차이를 그림 6 (a)와 그림 6 (b)에 나타내었다. 음수인 것은 중공슬래브의 충격음 레벨이 일반슬래브의 충격음 레벨보다 낮은 것을 의미하며 양수인 것은 중공슬래브의 충격음 레벨이 일반슬래브의 충격음 레벨보다 높은 것을 의미한다. 경량충격음의 경우에 대부분의 진동수 대역에서 일반슬래브의 충격음레벨이 중공슬래브의 충격음레벨보다 낮게 나타나고 있다. 중량충격음의 경우에 H3 중공슬래브의 충격음레벨이 160Hz, 200Hz 그리고 500Hz 진동수대역에서 일반슬래브의 충격음레벨보다 낮게 나타나고 있어 H3 중공슬래브의 중량충격음 차단성능이 일반슬래브의 중량충격음 차단성능보다 우수한 것을 알 수 있다.

중량충격원 및 경량충격원에 의한 일반슬래브와 중공슬래브의 충격음레벨 측정하여 단일수치량으로 평가하여 표 7에 나타내었다. 경량충격음레벨의 경우에 있어서 일반슬래브가 72dB로 가장 작게 나타나고 있으며 중공슬래브의 경우에는 H3 슬래브가 74dB, H1 슬래브가 75dB, H2 슬래브가 76dB 순으로 나타났다. H2 중공슬래브의 경우에 중공관을 이어서 사용하였으며 진동 다짐으로 인하여 배근된 철근이 상부로 뜨게 되어 다짐을 제대로 하지 못하였기 때문에 다른 중공슬래브와 비교하여 차단성능이 낮게 나타나고 있다.



a) 일반슬래브와 중공슬래브의 경량충격음 레벨 차이



b) 일반슬래브와 중공슬래브의 중량충격음 레벨 차이

그림 6. 일반슬래브와 중공슬래브의 바닥충격음 레벨 비교

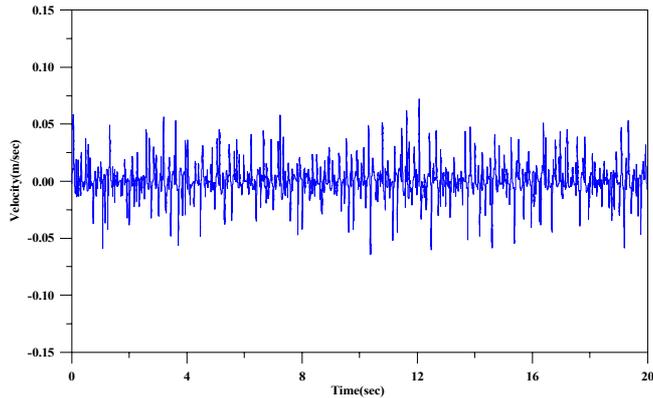
표 7. 바닥충격음 레벨 측정결과

실험체명	충격원 구분	단일수치량(dB)
일반슬래브-G0	경량	72
	중량	51
중공슬래브-H1	경량	75
	중량	51
중공슬래브-H2	경량	76
	중량	53
중공슬래브-H3	경량	74
	중량	51

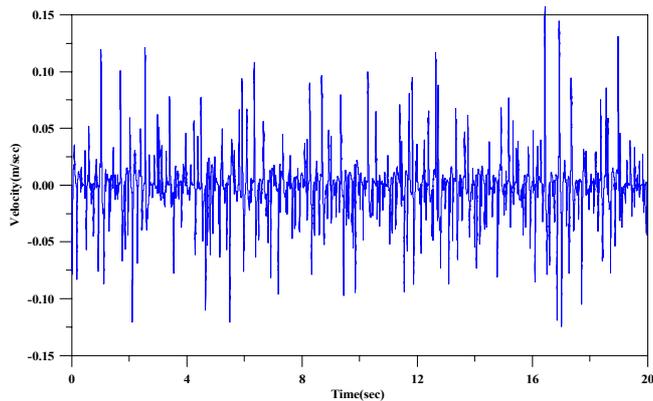
일반슬래브보다 중공슬래브의 경량충격음레벨이 약간 높게 나타나고 있으나 경량충격음은 차음재로 충격음 레벨을 크게 줄일 수 있으므로 차음재로 보완한 표준바닥구조(슬래브+단열재(차음재, 완충재)+경량콘크리트+마감모타르)에서 충분히 제어 될 수 있을 것이다.^{1), 2)} 중량충격음레벨의 경우에 있어서 H2 슬래브는 53dB로 나타났으며 다른 실험체들은 모두 51dB로 같은 차단성능을 보이고 있다. 따라서 공동주택의 바닥판 시스템에 중공슬래브를 적용하여도 문제가 없음을 보여주는 것이다. 그리고 실험체제작과 실험방법의 보완을 통하여 125Hz와 315Hz의 일부 진동수대역에서 H3 중공슬래브의 중량충격음 레벨을 H1 중공슬래브의 중량충격음 레벨 이하가 되게 하면 H3 중공슬래브의 중량충격음 레벨에 대한 단일수치량보다 낮게 될 수 있을 것이다.

5.3 바닥진동 비교분석 방법

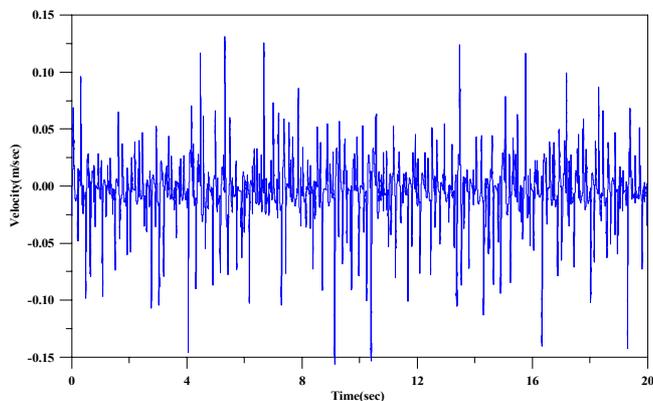
경량충격원과 중량충격원에 의한 슬래브 실험체의 진동응답을 바닥판의 중앙점(점①)과 1/4지점(점②)에서 계측하였다. 그림 7 (a), 그림 7 (b), 그림 7 (c) 그리고 그림 7 (d)는 경량충격원을 슬래브의 중앙점(점E)에 가하여 실험체 1/4지점(점②)에서의 속도응답을 나타낸 것이다. 그리고 그림 8 (a), 그림 8 (b), 그림 8 (c)과 그림 8 (d)는 중량충격원을 슬래브의 중앙점(점E)에 가하여 실험체 중앙점(점①)에서의 속도응답을 나타낸 것이다.



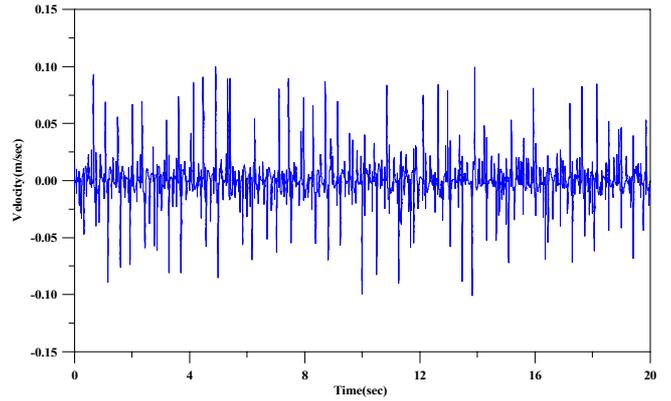
a) G0 슬래브의 ②점 진동속도(경량)



b) H1 슬래브의 ②점 진동속도(경량)



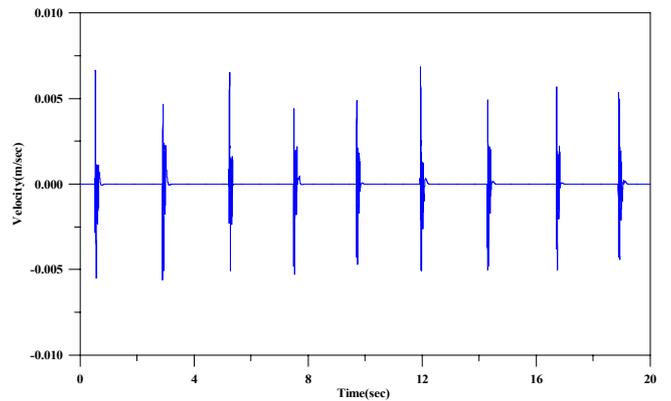
c) H2 슬래브의 ②점 진동속도(경량)



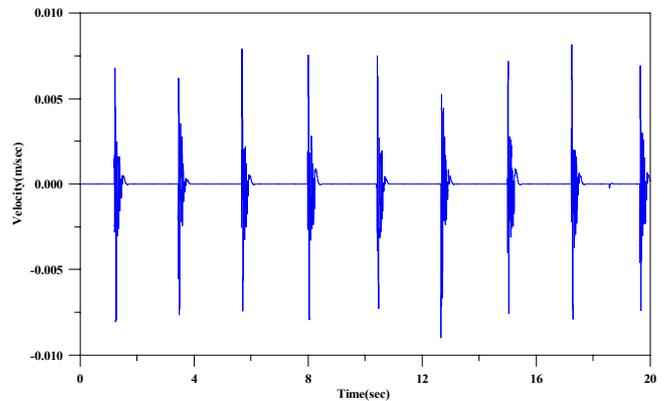
d) H3 슬래브의 ②점 진동속도(경량)

그림 7. 경량충격원에 의한 진동속도(시간영역)

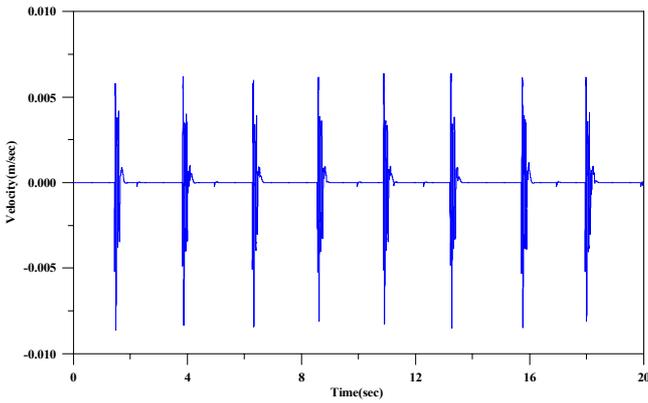
경량충격원에 의한 일반슬래브의 진동속도는 0.1m/sec로 중공슬래브의 진동속도보다 작게 나타나고 있다. 이는 중공슬래브의 중공으로 인하여 높은 진동수대역에서 진동응답이 크게 나타나기 때문이다. 중공슬래브에서는 H3 중공슬래브의 진동속도가 H1, H2 중공슬래브보다 낮게 나타나고 있으며 H1슬래브와 H2슬래브가 비슷한 속도 진동레벨을 보여주고 있다.



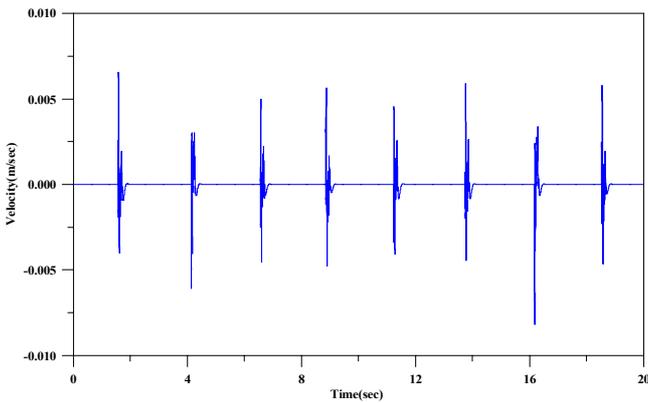
a) G0 슬래브의 중앙점 진동속도(중량)



b) H1 슬래브의 중앙점 진동속도(중량)



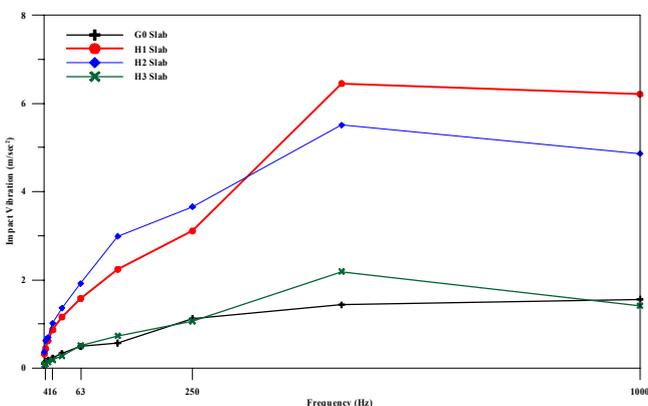
c) H2 슬래브의 중앙점 진동속도(중량)



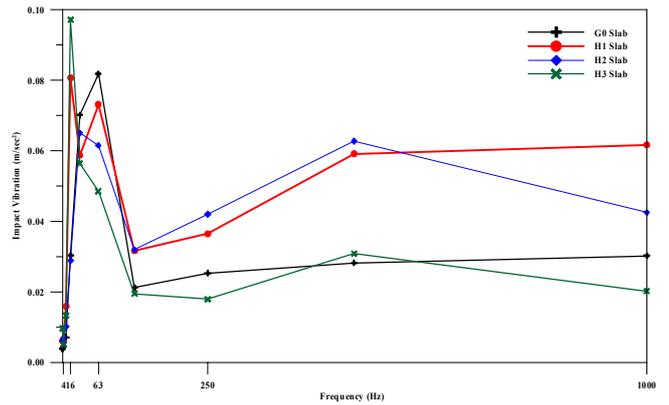
d) H3 슬래브의 중앙점 진동속도(중량)

그림 8. 중량충격원에 의한 진동속도(시간영역)

경량충격원에 의한 높은 진동수대역에서의 진동은 바닥판 슬래브에 완충재를 설치하여 줄일 수 있으므로 경량충격원에 의한 중공슬래브의 진동응답은 완충재를 설치한 표준바닥구조에서 충분히 제어될 수 있을 것이다. 고유치해석에 의한 실험체 슬래브의 동적특성에서 알 수 있듯이 중공슬래브와 일반슬래브의 강성은 차이가 거의 없으므로 중량충격원에 의한 진동속도는 일반슬래브 실험체와 중공슬래브 실험체가 약 0.01m/sec의 진동속도로 유사한 레벨로 나타나고 있다.



a) 경량 충격 진동응답



b) 중량 충격 진동응답

그림 9. 중량 및 경량 충격원에 의한 진동응답(진동수영역)

경량충격원과 중량충격원에 의한 진동응답의 특성을 분석하기 위하여 그림 9 (a)와 그림 9 (b)에 진동속도를 진동수대역별로 나타내었다. 대부분의 진동수대역에서 일반슬래브가 중공슬래브보다 작게 나타나고 있으며 H3 중공슬래브는 G0 슬래브와 비슷한 규모의 진동속도를 보여주고 있다. 경량충격원에 의한 진동속도는 진동수대역이 증가함에 따라서 진동속도가 증가하고 있으며 중량충격원에 의한 진동속도는 실험체의 고유진동수에 근접한 63Hz 대역에서 진동속도가 크게 나타나고 있다.

5.4 바닥진동 측정결과

중공슬래브 제작에 있어서 진동다짐으로 인한 상부철근의 들뜨는 현상 때문에 콘크리트를 적절히 다지지 못하여 슬래브의 강성이 제대로 발휘되지 못하였다. 이로 인하여 중공슬래브의 진동속도가 일반슬래브의 진동속도보다 약간 크게 나타나는 것으로 사료된다. 그러나 H3 중공슬래브(THP주름관+믹팩 충전)는 일반슬래브의 진동속도와 거의 차이가 없음을 확인할 수 있었다. 진동응답에 대한 전체적인 경향을 살펴보면 데 슬래브에 대한 추가적인 조치 없이 중공슬래브를 공동주택의 바닥판 시스템으로 적용하여도 무방할 것으로 판단된다.

5.5 중공슬래브 적용에 따른 아파트 골조 물량의 비교

중공슬래브를 적용에 따라서 줄어드는 자재 물량을 대략적으로 추산한다면 중공슬래브의 경제성을 검토할 수 있을 것이다. 자재의 물량변화를 비교분석하기 위하여 33평형 15층 아파트를 기준으로 일반슬래브와 중공슬래브 적용에 따른 각각의 콘크리트, 철근, 기초 물량을 표 8에 비교하였다. 중공슬래브의 콘크리트 물량은 슬래브 자체에서 평당 0.097m³ 정도 줄어들며 벽체에서 평당 0.088m³ 정도 줄어들어 일반슬래브와 비교하여 전체적으로 8% 정도 줄어든다. 중공슬래브의 철근 물량은 슬래브와 벽체의 무게가 줄어들어 일반슬래브와 비교하여 대략적으로 5% 정도 줄어든다. 기초의 경우에 철근 물량은 거의 변화가 없으며 콘크리트 물량이 2% 정도 줄어들고 있다. 위 비

교 대상 아파트는 필로티가 없는 경우의 것으로 필로티가 있을 경우에 자재물량은 더욱 감소할 것이다. 그리고 실제적인 경제성 분석을 위해서는 물량검토와 더불어 추가적으로 공사비에 대한 검토가 있어야 할 것이다.

표 8. 물량비교표

분 류	일반슬래브 (THK 210mm)	중공슬래브 (THK 210mm)	비 고
콘크리트	100%	92%	일반 슬래브를 기준으로 비교
철 근	100%	95%	
기 초	100%	98%	

6. 결론

본 실험연구에서는 공동주택 바닥판 슬래브의 진동과 충격음 차단성능을 향상하기 위한 새로운 바닥판 시스템으로 중공슬래브의 적용 가능성을 살펴보았으며 본 실험연구의 결과를 중공슬래브 연구에 대한 기초자료로 활용하고자 한다. 일반슬래브와 중공슬래브의 진동 및 충격음 특성을 비교하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

경량충격원에 대한 중공슬래브의 진동과 충격음을 일반슬래브의 진동과 충격음과 비교하여 볼 때, 충격음 레벨은 단일수치량으로 2dB ~ 4dB 정도 크게 나타나고 있으며 진동속도는 0.05m/sec 정도 크게 나타나고 있으나 완충재(차음재)의 설치로 충분히 제어할 수 있을 정도이다. 중량충격원에 대한 중공슬래브의 진동과 충격음을 일반슬래브의 진동과 충격음과 비교하여 볼 때, 충격음 레벨은 51dB, 진동은 0.01m/sec 이하로 두 시스템이 비슷한 차단 성능을 보여주고 있다. 더욱이 중공관에 채움재를 넣은 중공슬래브의 진동과 충격음은 일반슬래브의 진동과 충격음보다 작게 나타나고 있다. 따라서 중공슬래브를 공동주택의 바닥판 시스템에 적용할 경우에 중량충격원에 충격음과 진동을 줄일 수 있을 것이다.

중공슬래브를 공동주택 바닥판 시스템에 적용할 경우, 바닥판의 강성변화가 거의 없으며 바닥판 중량이 감소한다. 구조물의 중량이 감소하므로 자재 물량을 줄일 수 있어 경제적인 시공이 가능하다. 또한, 중공관을 활용한 철근배근으로 바닥판 공사에 대한 시공성을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 실험연구에서는 마감하지 않은 바닥판 슬래브를 대상으로 실험연구를 수행하였으며 공동주택의 바닥판 충격음 및 진동에 대한 정확한 분석과 평가를 위해서는 중공슬래브를 적용한 표준바닥구조(슬래브+단열재+경량콘크리트+마감모타르)에 대한 실험연구가 필요하다. 또한 중공슬래브에 대한 진동 및 충격음에 대한 차단성능을

검증하기 위해서는 중공관 간격, 중공관 재질 및 중공관 위치 등을 다양하게 하여 실험할 필요가 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 산학연공동기술개발사업(2006년도)과 건설교통부 첨단도시개발사업의 연구비 지원(과제번호 #06 R&D B03)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 양관섭, "바닥충격음 저감용 완충재의 성능평가항목 설정," 건설기술정보, Vol. 210, 2001. 5, pp. 20~27
2. 장재희, "공동주택 바닥충격음 저감재의 저감효과에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 18권 4호, 2002. 4, pp. 205~212
3. 전진용, 이병권, "바닥충격에 의한 공동주택의 바닥, 벽, 천정의 진동 및 소음방사 특성 연구," 대한건축학회 논문집, 18권 6호, 2002. 6, pp. 191~197
4. 전진용, 정정호, 유병철, 정상민, "구조주위별 차음시공에 따른 공동주택의 바닥충격음 차단성능평가," 대한건축학회 논문집, 18권 6호, 2002. 6, pp. 127~134
5. 서재란, 황재승, 송진규, 김선우, "바닥판의 동적특성에 따른 소음진동 저감성능에 관한 실험적 연구," 대한건축학회 학술발표회 논문집, 24권 1호, 2004. 4, pp. 161~164
6. 양관섭, "공동주택 바닥충격음의 기준 및 운영방안," 대한설비공학회, 기술기사, 33권 9호, 2004. 9, pp. 30~35
7. 이상우, "초고층 공동주택의 바닥충격음 성능에 미치는 영향 요인에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 22권 3호, 2006. 3, pp. 303~310
8. 한국표준협회, KS F 2865:2002 및 KS F 2810-2:2101, 2002 (接受: 2007. 2. 1)