

콘크리트 슬래브 두께 편차에 따른 진동가속도 영향 분석

Analysis of Vibration Acceleration Effects on the Variations of Concrete Slab Thickness

홍성신* · 한찬훈†

Seong-Shin Hong* and Chan-Hoon Haan†

(Received November 29, 2024 ; Revised January 28, 2025 ; Accepted February 10, 2025)

Key Words : Apartment(아파트), Slab Smoothness(슬래브 평활도), Floor Impact Sound(바닥충격음), Vibration(진동), Concrete Construction(콘크리트 시공)

ABSTRACT

In this study, we analyzed the changes in vibration characteristics as a function of thickness variations of concrete slabs in apartments, which face numerous issues related to inter-floor noise. To this end, we examined the concrete slab thickness, compressive strength, and air volume at the construction site of a new apartment building in Korea, prior to reviewing and analyzing quality control data. This was done to assess the on-site conditions of the concrete wall structure, which forms the foundation of domestic apartment buildings. Furthermore, the structure and thickness of the field slab were inspected, and vibration characteristics were analyzed using an impact ball, a weight impact sound measurement method that is among the floor impact sound blocking performance measurement techniques. The conditions of the concrete floor slab and factors influencing weight impact sound blocking performance were investigated, with a detailed evaluation in the low-frequency range of 25 Hz ~ 100 Hz.

1. 서 론

국내 공동주택은 다양한 평면과 구조형태를 가지고 있으며, 대부분 내력벽과 슬래브로 구성된 벽식구조가 주를 이루고 있다. 또한 각 세대가 벽과 바닥을 공유하고 있어 인접한 세대간 층간소음을 비롯한 내부소음에 취약하다. 특히 상하층 간 발생하는 층간소음은 이웃 간 분쟁을 넘어서 심각한 사회적 문제로 대두되고 있다. 이에 정부에서는 2003년부터 ‘공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준’을 수립하

고 이를 관리하고 있다. 2019년 아파트 층간소음 저감제도 운용 실태 감사 결과, 중량충격음의 경우 60% 이상이 최소기준에도 만족하지 못하는 것으로 나타났으며⁽¹⁾, 층간소음에 대한 대책을 마련하고 이를 강화하기 위해 2022년 8월 4일 이후 최초 사업계획승인 접수 사업지부터 바닥충격음 차단성능을 검사하는 사후검사제도가 도입되었다.

국내 공동주택의 거주비용이 꾸준히 상승하면서 바닥충격음을 저감시키기 위한 연구는 다양하게 진행되었다. 표준충격원을 이용한 바닥구조체의 특성 분석⁽²⁾, 고중량, 고강성 공법을 이용한 진동과 충격의 감쇠⁽³⁾,

† Corresponding Author ; Member, Chungbuk National University, Professor

E-mail : chhaan@chungbuk.ac.kr

* Member, Department of Architectural Engineering, Graduate School of Chungbuk National University/DL E&C Institute, Assistant Manager

‡ Recommended by Editor Jin Yun Chung

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

진동 및 충격에너지가 전달되지 않도록 하는 뜬바닥 공법, 충격으로 인한 소음을 저감하는 이중천장 공법 등이 연구되어 왔으며, 슬래브 위 뜬바닥구조 구성시 바닥구조(온돌구조)층 아래 완충재의 동탄성계수와 슬래브 두께 증가가 바닥충격음에 미치는 영향을 분석하는 연구도 활발하게 진행되었다^(4,5).

선행연구결과들을 살펴보면, 바닥충격음 차단성능은 콘크리트 슬래브의 밀도, 강도, 두께, 평활도 등과 관계가 있으며, 특히 슬래브 두께가 증가하면 바닥충격음 차단성능이 저감되는 경향을 보인다. 슬래브 두께가 증가하면 바닥충격음이 저감되는 것이 일반적인 사실이다. 슬래브 두께 증가에 따라 100 Hz 이하 저주파수 대역에서 레벨이 저감이 되었지만 바닥의 고유진동수 증폭으로 210 mm 슬래브보다 240 mm 슬래브가 중량충격음 단일수치 평가량이 2 dB 증가한 사례도 있다⁽⁵⁾.

기존 연구에서는 슬래브의 두께 및 평활도 등이 균질하다는 전제조건과 슬래브 상부 완충재 및 경량기포콘크리트 또는 마감모르타르의 물성과 두께가 일정하다는 전제조건으로 연구가 진행되어왔다. 그러나 실제 건설현장에서는 대량으로 콘크리트 시공을 진행하고 있고, 동일구조와 평면이라도 세대별 시공 편차에 따라 바닥충격음 차단성능의 변화가 있을 수 있다. 바닥충격음 차단성능의 편차를 발생하는 영향요인으로 바닥충격음을 저감시키는 구조인 슬래브, 완충재, 완충재 상부에 타설하는 기포콘크리트와 마감모르타르, 바닥마감재와 함께 슬래브와 뜬바닥구조와 벽체를 절연하는 측면완충재가 있다.

최근에는 평면의 복잡성과 구조형태의 다양성에 따라 발생하는 슬래브 평활도 편차가 건물의 진동 및 소음 전달 특성에 미치는 영향을 분석하는 연구도 이루어지고 있다. 슬래브의 두께뿐만 아니라 다양한 구조적 형태에서 발생하는 평활도의 편차가 진동 특성에 미치는 영향을 파악하는 것이 중요해졌다. 이는 슬래브의 표면 상태와 미세한 구조적 편차가 진동의 전파 및 소음 특성에 결정적인 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

하지만 현장에서 콘크리트 시공의 다양한 조건과 바닥충격음 차단성능에 대한 상관관계 연구는 크게 진행된 바 없다. 따라서 이 연구에서는 바닥충격음 차단성능 편차의 영향요인 중 콘크리트 슬래브의 두께, 평활도에 따른 진동가속도의 영향을 확인하고자 하였으며, 공동주택 2개 현장, 3개 동을 대상으로 총 32세대의 진동가속도 특성을 확인하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 실험내용

공사 중인 공동주택 2개 현장을 대상으로 벽식구조의 대표적인 평면인 84 m²타입(4 bay, 2 bay)과 59 m² 타입(4 bay), 3개동 상, 중, 하층 세대를 선정하여 분석하였다. 건축설계도서 상 슬래브 두께는 모두 210 mm로 동일하며 32세대 콘크리트 타설 시 공기량, 압축강도를 확인하고 슬래브 두께를 측정하여 표준편차를 확인하였다. 세대별 특성은 Table 1과 같다. 슬래브 두께 편차와 표준편차, 평균 두께로 분류하고 84 m² 타입과 59 m²타입에서 세대의 1/3 옥타브 주파수 대역 진동가속도 레벨을 측정하였다. Fig. 1 ~ Fig. 5는 측정세대의 평면도와 슬래브 두께 측정지점이다.

A 타입, B 타입은 거실과 침실이 모두 외부에 면해있는 평면이며 세대 내에서 내부 3개의 내력벽이 구성되어 있다. C 타입은 거실과 침실 1이 외부에 면해있으며 외부와 연결된 1개의 내력벽과 4개의 내력벽으로 구성되어 있다.

2.2 실험방법

(1) 콘크리트 슬래브 두께 측정방법

콘크리트 슬래브의 두께를 측정하는 방법 중 하나로 슬래브를 천공하여 직접 측정하는 방법이 있지만, 이는 현장 여건에 따라 슬래브가 손상될 우려가 있다. 따라서 이 연구에서는 슬래브를 손상하지 않으면서 두께를 확인할 수 있는 KS F ISO 7976-1(건축물의

Table 1 Properties of concrete slabs in apartment

Unit type	Exclusive area [m ²]	Number of bays	Concrete slab thickness [mm]	Air content [%]	Compressive strength [MPa]
A	59	4	210	4.5(±1.5)	24 ~ 30
B	84	4			
C	84	2			

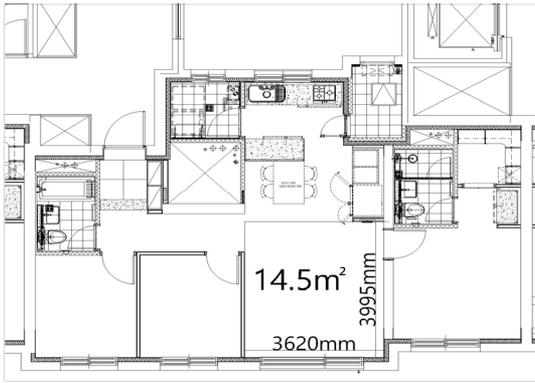


Fig. 1 Floor plan of the unit A(59 m², 4 bay)

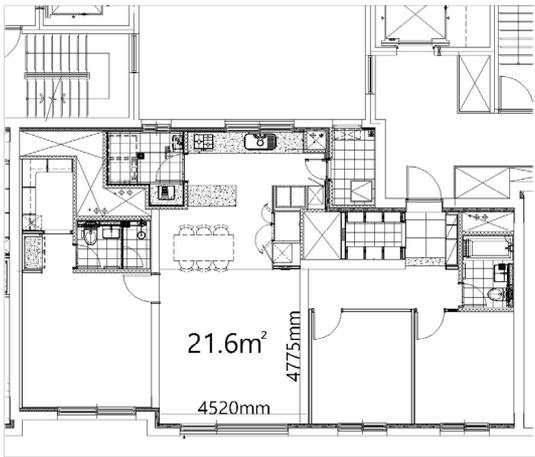


Fig. 2 Floor plan of the unit B(84 m², 4 bay)

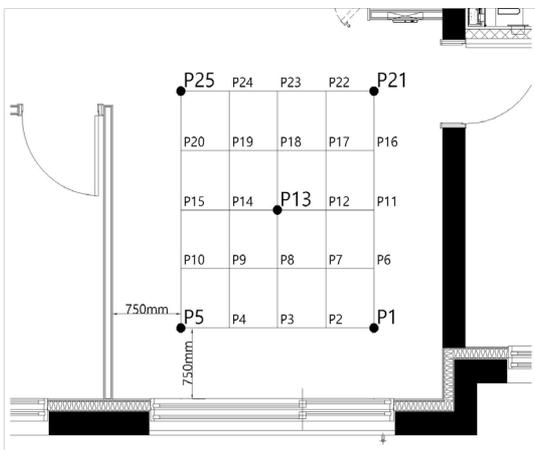


Fig. 3 Measurement position of slab thickness in the units A and B(59 m², 84 m² 4 bay)

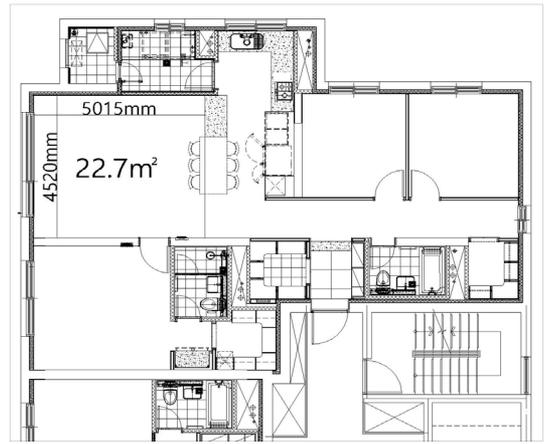


Fig. 4 Floor plan of the unit C(84 m², 2 bay)

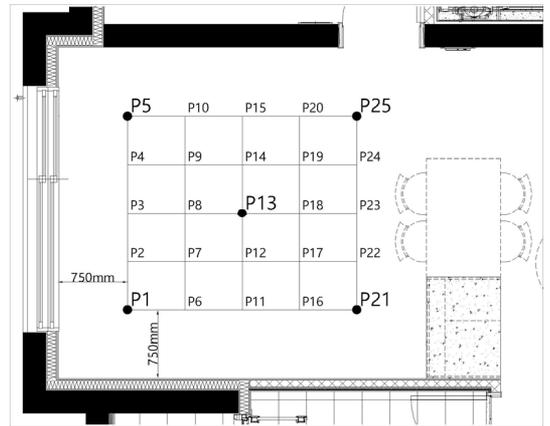


Fig. 5 Measurement position of slab thickness in the unit C(84 m², 2 bay)

공차 - 건축물과 건축자재의 측정방법 - 제 2장: 건설 현장에서 수행할 수 있는 측정방법의 ‘9. 레벨 오차’ 측정법을 응용하여, 현장에서 쉽게 슬래브 두께를 측정할 수 있는 방법을 행하였다.

Fig. 6과 같이, 직상층에서 중심선을 기준으로 바닥 방향의 길이(L_1)를 측정하고, 직하층에서 중심선을 기준으로 천장 방향의 길이(L_2)를 측정한 후, 상·하부층 중심선 사이의 총 길이(L_B)를 측정한다. 이후, 상·하부층 중심선 사이의 길이(L_B)에서 바닥 방향 길이(L_1)와 천장 방향 길이(L_2)를 뺀 값을 이용하여 슬래브 두께(T)를 계산한다. 이와 관련된 식은 식 (1), 식 (2)와 같다.

Fig. 7과 같이 측정 과정에서 발생할 수 있는 오차

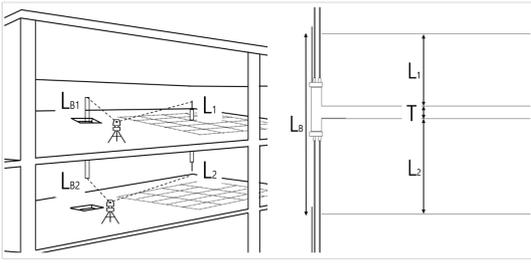


Fig. 6 Measurement of the slab thickness



Fig. 7 Slab thickness measurement



Fig. 8 Slab impact using the impact ball



Fig. 9 Measurement of impact vibration acceleration

를 고려하여 반복 측정을 수행하였으며, 장비의 정밀도 및 측정자의 위치 설정에 따른 편차를 분석한 결과, 측정 오차는 $\pm 10\text{ mm}$ 이내로 발생하는 것을 확인하였다. 이는 현장 측정 시 발생할 수 있는 미세한 위치 오차 및 레벨 기준점 설정에 따른 차이를 포함한 값이며 일정 수준의 신뢰도를 유지하였다.

$$L_B = L_{B1} + L_{B2} \tag{1}$$

$$T = L_B - (L_1 + L_2) \tag{2}$$

여기서

- L_B : 상부층중심선사이길이
- L_{B1} : 개구부주변상부층바닥레벨
- L_{B2} : 개구부주변하부층바닥레벨
- L_1 : 상부층바닥 - 중심선길이
- L_2 : 하부층천장 - 중심선길이
- T: 슬래브의두께

(2) 콘크리트 슬래브 진동가속도 측정방법
 슬래브 진동 측정은 KS F ISO 16283-2 바닥충격음 차단성능 현장측정방법과 공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 검사기준에서 명시하고 규정한대로 직상층에서 중앙점을 포함한 5개 지점을 충격원 위치로 하여 임팩트볼(고무공)을 가진하였으며 직하층인 수음세대에서는 중앙점에 진동 가속도계 센서를 부착하여 측정하였다⁽⁷⁾. 현장측정은 Fig. 8, Fig. 9와 같이 진행되었다.
 상부층 P1, P5, P13, P21, P25 5개 지점을 자유낙하하여 가진하였을 때 중앙점 P13의 진동가속도 레벨을 측정하였다. 측정된 진동가속도 값은 진동가속도 레벨로 변환하고 5개 지점의 산술평균값을 구하였다.

3. 실험 결과

슬래브 두께 확인 결과 Table 2와 같이 평균적으로 설계도서 기준인 210 mm 이상으로 시공한 것을 확인

Table 2 Thickness distribution of concrete slabs in apartment

Slab thickness [mm]	Number of units
205 ~ 210	8
Over 210	24

할 수 있었으며 10층 이상 20층 이하의 일부 중간층에서 210 mm 미만의 세대가 확인되었다.

3.1 슬래브 두께 측정결과

슬래브 두께는 거실 25개 지점의 평균, 최대편차, 최소 편차, 표준편차로 정리하였으며 슬래브 두께가 210 mm 이상인 세대가 대부분이었다. 205 mm ~ 210 mm 슬래브 두께를 가진 세대는 8세대(33%)로 확인되었다.

84 m² 타입의 경우 23세대 평균 217.7 mm, 최대 234.6 mm, 최소 207.5 mm로 평균 슬래브 두께의 차이가 27.1 mm 나는 것으로 확인되었으며, 59타입의 경우 9세대 평균 210.9 mm, 최대 220 mm, 최소 205.2 mm로 평균 슬래브 두께의 차이가 14.8 mm 나는 것으로 확인되었다. 각 타입별 슬래브 두께 측정 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다.

3.2 최대-최소 평균 슬래브 두께 세대의 진동가속도 측정 결과

모든 타입에서 슬래브 두께를 측정한 25개 지점의 평균 두께는 가장 두꺼운 세대에서 가장 얇은 세대에 비해 진동가속도 레벨이 낮게 나타났다.

59 m²(4 bay) 타입의 경우, 평균 슬래브 두께가 가장 두꺼운 세대 A2(220.0 mm)에서는 가장 얇은 세대 A9(205.2 mm)에 비해 31.5 Hz, 40 Hz, 63 Hz 대역에서 진동가속도 레벨이 낮은 것으로 확인되었다.

또한, 84 m²(4 bay) 타입의 경우 평균 슬래브 두께가 가장 두꺼운 세대 B10(224.0 mm)은 가장 얇은 세대 B7(207.5 mm)보다 25 Hz ~ 100 Hz 대역에서 모든 진동가속도 레벨이 낮게 측정되었다.

그러나 84 m²(2 bay) 타입의 경우, 슬래브 두께가 가장 두꺼운 세대 C6(234.6 mm)와 가장 얇은 세대 C7(212.6 mm)를 비교한 결과, 25 Hz, 40 Hz, 100 Hz 대역에서만 진동가속도 레벨이 감소하는 경향을 나타냈으며, 다른 주파수 대역에서는 큰 차이를 나타내지 않았다.

슬래브 두께의 편차가 가장 큰 세대와 가장 작은

세대를 비교한 결과, 유사한 경향이 나타났다. 59 m² (4 bay) 타입에서 슬래브 두께의 편차가 가장 큰 세대 A8(편차 21.2 mm)은 편차가 가장 작은 세대 A6(편차 6.5 mm)보다 전반적으로 진동가속도 레벨이 더 높게 측정되었으며, 특히 40 Hz 대역에서 그 차이가 두드러지게 나타났다.

84 m²(4 bay) 타입의 경우, 슬래브 두께의 편차가 가장 큰 세대인 B6(편차 8.9 mm)은 편차가 가장 작은 세대인 B1(편차 1.6 mm)보다 대부분의 주파수 대역에서 진동가속도 레벨이 더 높은 경향을 보였다.

이러한 결과는 슬래브 두께의 편차가 클수록 특정 주파수 대역에서 진동가속도 레벨이 증가할 가능성이 높으며, 특히 저주파 영역(25 Hz ~ 100 Hz)에서 그 영향이 더욱 두드러진다는 것을 측정 결과를 통해 확인하였다. 각 타입별 평균 슬래브 두께에 대한 진동가속도 측정 결과는 Fig. 10 ~ Fig. 12, Table 4 ~ Table 6에 나타난 바와 같다.

3.3 최대-최소 편차 슬래브 두께 진동가속도 측정결과

25개 지점의 슬래브 두께의 편차가 가장 큰 세대의 진동가속도 레벨이 가장 작은 세대보다 높게 측정되었다. 59 m²(4 bay)는 슬래브 두께가 편차가 가장 크고 가장 작은 세대의 주파수 대역 별 특성과 분포가 유사하게 측정되었으나 84 m²(4 bay)의 경우 전반적으로 슬래브 두께의 편차가 가장 큰 세대가 진동가속도 레벨이 높고 편차가 가장 작은 세대에서 진동가속도 레벨이 낮은 것을 확인할 수 있었다. 84 m²(2 bay)는 31.5 Hz ~ 40 Hz 대역에서만 두께 편차에 대한 진동가속도 레벨의 경향을 확인하였다.

슬래브 두께의 편차가 작은 경우, 1/3 옥타브밴드 분석을 통해 특정 저주파수 대역(25 Hz ~ 100 Hz)에서 진동가속도 레벨이 낮게 측정되는 경향을 확인하였다. 이는 슬래브의 평할도 편차에 따라 저주파수대역에서 발생하는 바닥충격을 효과적으로 저감할 수 있을 것으로 판단된다. 각 타입별 슬래브 두께 편차에 대한 진동가속도 측정결과는 Fig. 13 ~ Fig. 15, Table 7 ~ Table 9에 나타난 바와 같다.

3.4 최대-최소 표준편차 슬래브 두께 진동가속도 측정결과

슬래브 두께를 측정한 25개 지점에 대하여 표준편차

Table 3 Slab thickness measurement and concrete compressive strength

Unit type	Floor	No.	Slab thickness [mm]	Standard deviation	Maximum deviation [mm]
A 59 m ² (4 bay)	12	A1	208.0	4.4	15
	12	A2	220.0	5.3	20
	13	A3	207.0	7.0	26
	14	A4	213.0	6.9	26
	15	A5	207.0	6.0	24
	16	A6	208.0	6.5	27
	16	A7	213.0	9.4	37
	17	A8	216.7	21.2	116
	18	A9	205.2	7.3	24
B 84 m ² (4 bay)	2	B1	221.4	1.6	17
	3	B2	221.9	4.1	16
	4	B3	215.6	3.5	17
	7	B4	215.6	7.2	28
	8	B5	218.1	6.4	26
	9	B6	219.3	8.9	28
	10	B7	207.5	10.1	40
	14	B8	210.0	5.8	26
	15	B9	217.0	6.3	23
	17	B10	224.0	5.5	23
	18	B11	219.5	7.5	22
	20	B12	208.0	6.2	24
	22	B13	212.2	7.4	18
C 84 m ² (2 bay)	2	C1	230.6	4.2	16
	3	C2	219.0	4.6	16
	4	C3	226.2	6.3	23
	8	C4	215.8	4.4	15
	10	C5	214.2	5.7	25
	18	C6	234.6	6.1	28
	19	C7	212.6	7.3	20
	20	C8	213.9	7.3	25
	21	C9	212.7	6.2	28
	22	C10	216.6	3.9	35

에 따른 진동가속도 레벨을 분석하였다. 59 m²(4 bay)에서 표준편차가 가장 작은세대가 표준편차가 가장 큰 세대보다 31.5 Hz, 40 Hz, 63 Hz, 100 Hz 대역에서 진동가속도 레벨이 더 낮게 측정되었다. 84 m²(4 bay)에서는 25 Hz ~ 100 Hz 대역에서 표준편차가 가장 작은 세대 가장 높은 세대보다 진동가속도 레벨이 낮게 측정되었다. 84 m²(2 bay)의 경우

31.5 Hz 대역에서만 표준편차가 가장 낮은세대가 가장 높은세대보다 진동가속도레벨이 낮게 측정되었다. 31.5 Hz 대역을 제외하고 최대-최소 표준편차의 값이 크지 않아 경향성이 나타나지 않은 것으로 보인다. 각 타입별 슬래브 두께의 표준편차에 대한 진동가속도 측정결과는 Fig. 16 ~ Fig. 18, Table 10 ~ Table 12에 나타난 바와 같다.

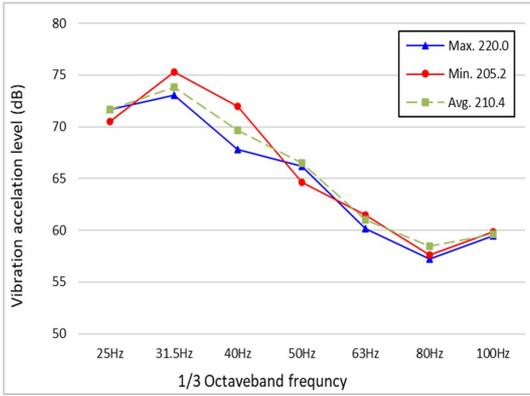


Fig. 10 Vibration acceleration based on average slab thickness of A type

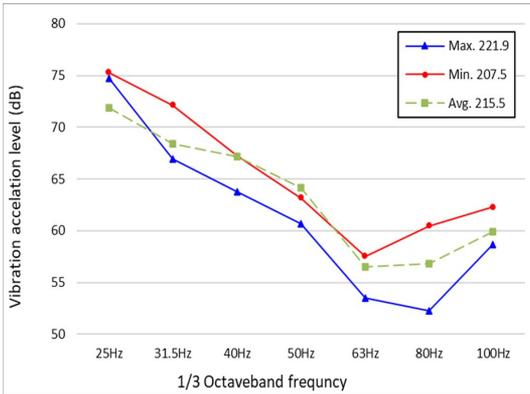


Fig. 11 Vibration acceleration based on average slab thickness of B type

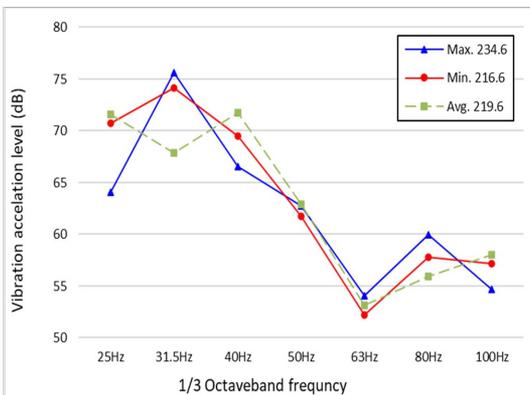


Fig. 12 Vibration acceleration based on average slab thickness of C type

Table 4 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (A type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(B2) [dB]	Min.(B7) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.6	71.7	70.5	1.1	4.4
31.5	73.8	73.0	75.3	-2.2	1.9
40	69.7	67.8	72.0	-4.2	3.8
50	66.5	66.2	64.7	1.5	2.2
63	61.0	60.2	61.5	-1.3	2.5
80	58.5	57.2	57.6	-0.4	1.9
100	59.6	59.5	59.8	-0.4	1.5

Table 5 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (B type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(B2) [dB]	Min.(B7) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.9	74.7	75.3	-0.6	2.7
31.5	68.4	66.9	72.1	-5.2	2.2
40	67.2	63.8	67.2	-3.4	3.7
50	64.2	60.7	63.2	-2.4	3.8
63	56.5	53.5	57.5	-4.1	2.4
80	56.8	52.3	60.5	-8.2	3.2
100	59.9	58.7	62.3	-3.6	3.0

Table 6 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (C type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(C6) [dB]	Min.(C7) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.6	64.1	70.8	-6.7	3.0
31.5	67.8	75.6	74.1	1.5	5.7
40	71.7	66.6	69.5	-2.9	2.6
50	62.9	62.8	61.8	1.0	2.7
63	53.1	54.0	52.2	1.8	2.1
80	56.0	60.0	57.8	2.2	3.0
100	58.0	54.7	57.2	-2.5	2.2

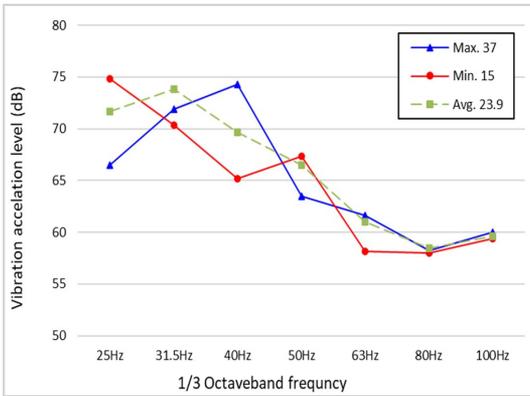


Fig. 13 Vibration acceleration according to average slab thickness deviation of A type

Table 7 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (A type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(A7) [dB]	Min.(A6) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.6	66.5	74.8	8.3	4.4
31.5	73.8	71.9	70.3	-1.6	1.9
40	69.7	74.3	65.2	-9.2	3.8
50	66.5	63.5	67.4	3.9	2.2
63	61.0	61.6	58.2	-3.4	2.5
80	58.5	58.3	58.0	-0.3	1.9
100	59.6	60.0	59.4	-0.6	1.5

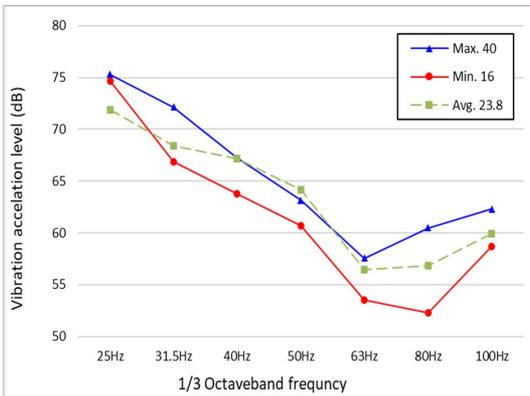


Fig. 14 Vibration acceleration according to average slab thickness deviation of B type

Table 8 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (B type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(B7) [dB]	Min.(B2) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.9	75.3	74.7	-0.6	2.7
31.5	68.4	72.1	66.9	-5.2	2.2
40	67.2	67.2	63.8	-3.4	3.7
50	64.2	63.2	60.7	-2.4	3.8
63	56.5	57.5	53.5	-4.1	2.4
80	56.8	60.5	52.3	-8.2	3.2
100	59.9	62.3	58.7	-3.6	3.0

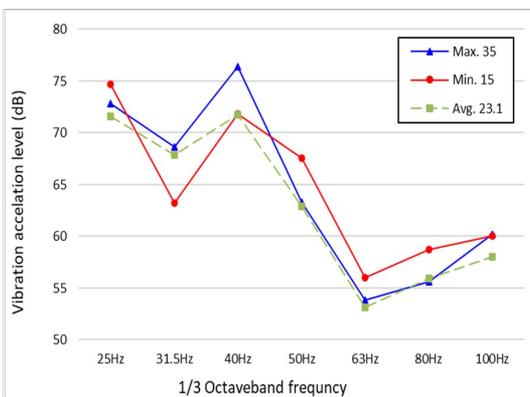


Fig. 15 Vibration acceleration according to average slab thickness deviation of C type

Table 9 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (C type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(C10) [dB]	Min.(C4) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.6	72.8	74.7	1.9	3.0
31.5	67.8	68.6	63.2	-5.4	5.7
40	71.7	76.4	71.8	-4.6	2.6
50	62.9	63.3	67.6	4.3	2.7
63	53.1	53.8	56.0	2.2	2.1
80	56.0	55.6	58.7	3.1	3.0
100	58.0	60.2	60.0	-0.2	2.2

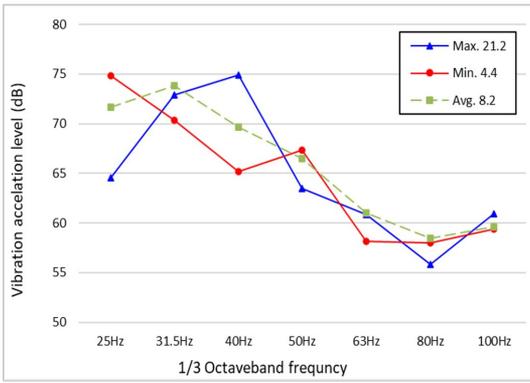


Fig. 16 Vibration acceleration according to the standard deviation of the average slab thickness of A type

Table 10 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (A type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(A8) [dB]	Min.(A6) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.6	64.6	74.8	-10.3	4.4
31.5	73.8	72.9	70.3	2.6	1.9
40	69.7	74.9	65.2	9.7	3.8
50	66.5	63.5	67.4	-3.9	2.2
63	61.0	60.8	58.2	2.6	2.5
80	58.5	55.8	58.0	-2.2	1.9
100	59.6	60.9	59.4	1.5	1.5

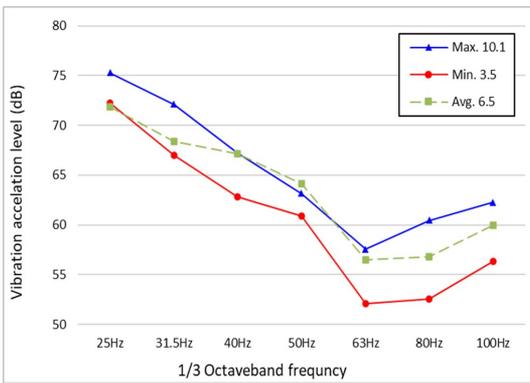


Fig. 17 Vibration acceleration according to the standard deviation of the average slab thickness of B type

Table 11 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (B type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(B7) [dB]	Min.(B3) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.9	75.3	72.3	-3.0	2.7
31.5	68.4	72.1	67.0	-5.2	2.2
40	67.2	67.2	62.8	-4.4	3.7
50	64.2	63.2	60.9	-2.2	3.8
63	56.5	57.5	52.1	-5.4	2.4
80	56.8	60.5	52.5	-7.9	3.2
100	59.9	62.3	56.4	-5.9	3.0

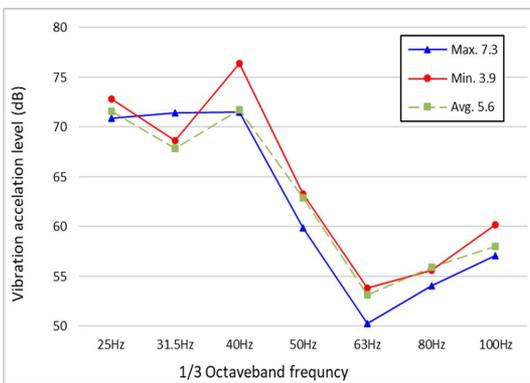


Fig. 18 Vibration acceleration according to the standard deviation of the average slab thickness of C type

Table 12 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (C type)

Frequency [Hz]	Avg. [dB]	Max.(B8) [dB]	Min.(B10) [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	71.6	70.9	72.8	-1.9	3.0
31.5	67.8	71.4	68.6	2.8	5.7
40	71.7	71.5	76.4	-4.9	2.6
50	62.9	59.9	63.3	-3.4	2.7
63	53.1	50.3	53.8	-3.5	2.1
80	56.0	54.1	55.6	-1.6	3.0
100	58.0	57.1	60.2	-3.1	2.2

Table 13 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness

Type	Freq. [Hz]	Slab thickness							
		205 ~ 210 mm				Over 210 mm			
		Avg. [dB]	Max. [dB]	Min. [dB]	S.D.	Avg. [dB]	Max. [dB]	Min. [dB]	S.D.
A 59 m ² (4 bay)	25	74.0	79.3	70.5	3.3	68.7	72.0	64.6	3.2
	31.5	74.5	76.1	70.3	2.1	72.9	73.6	71.9	0.6
	40	69.1	71.9	65.2	2.6	70.4	74.9	64.5	4.4
	50	67.4	69.8	64.7	1.6	65.3	68.2	63.5	2.0
	63	61.9	64.7	58.2	2.2	59.8	61.6	56.4	2.0
	80	59.6	61.9	57.6	1.6	57.1	58.3	55.8	0.9
	100	60.0	61.0	59.4	0.6	59.1	60.9	56.0	1.9
B 84 m ² (4 bay)	25	73.4	75.3	71.5	1.9	71.7	74.7	66.1	2.6
	31.5	68.8	72.1	65.5	3.3	68.2	71.0	65.7	1.8
	40	69.0	70.8	67.2	1.8	66.4	74.0	61.8	3.6
	50	64.2	65.3	63.2	1.1	64.6	72.4	60.2	3.9
	63	57.9	58.2	57.5	0.3	56.1	59.4	52.1	2.4
	80	60.0	60.5	59.6	0.4	55.9	59.8	52.3	2.9
	100	63.1	64.0	62.3	0.9	58.9	62.8	54.4	2.6
C 84 m ² (2 bay)	25	-	-	-	-	71.6	74.7	64.1	2.9
	31.5	-	-	-	-	67.8	75.6	61.7	5.4
	40	-	-	-	-	71.7	76.4	66.6	2.5
	50	-	-	-	-	62.9	67.6	57.8	2.6
	63	-	-	-	-	53.1	56.0	49.7	2.0
	80	-	-	-	-	56.0	60.0	51.5	2.8
	100	-	-	-	-	58.0	60.5	54.7	2.1

3.5 타입별 슬래브 두께에 따른 진동가속도 측정결과

기존 연구에서 바닥충격음의 진동주파수 특성이 음향모드와 매우 밀접한 연관이 있는 것으로 분석된 바 있다. 특히 저주파수 대역에서 슬래브 두께 및 구조적 특성과 바닥면적에 중량충격음에 기여도가 가장 높은 100 Hz 미만의 진동가속도 측정결과를 분석하였다. Table 13은 슬래브 두께 210 mm 기준으로 이상인 세대와 이하인 세대의 1/3 옥타브밴드 주파수대역별 평균, 최대 최소, 진동가속도 레벨과 표준편차를 정리한 표이다.

Fig. 19, Fig. 20은 59 m²(4 bay), 84 m²(4 bay)의 슬래브 두께 210 mm 기준으로 이상인 세대와 이하인 세대의 주파수대역별 평균 진동가속도 레벨을 정리한 그래프이며, 슬래브 두께에 따른 주파수별 진동가속도 레벨은 Table 14, Table 15에 나타낸 바와 같다. 전체적으로 25개 지점 기준 평균 슬래브 두께가 두꺼울

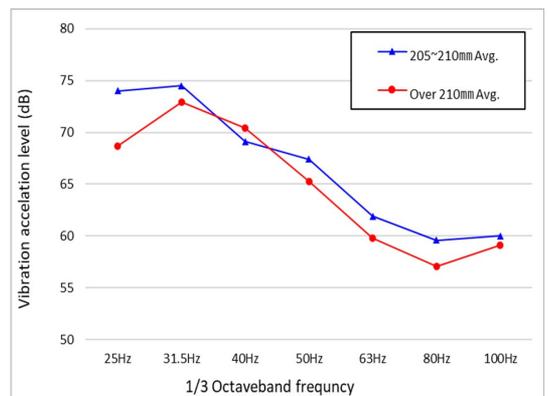


Fig. 19 Vibration acceleration according to average slab thickness deviation of A type

수록 진동가속도 값이 낮은 것을 확인할 수 있었으나 59 m²(4 bay)의 경우 40 Hz 대역에서, 84 m²(4 bay)의 경우 50 Hz 대역에서 평균 슬래브 두께가 210 mm

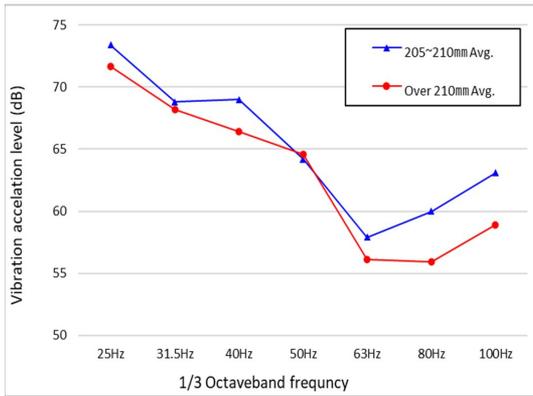


Fig. 20 Vibration acceleration according to average slab thickness deviation of B type

Table 14 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (A type)

Frequency [Hz]	205 ~ 210 mm Avg. [dB]	Over 210 mm Avg. [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	74.0	68.7	-5.3	4.4
31.5	74.5	72.9	-1.6	1.9
40	69.1	70.4	1.2	3.8
50	67.4	65.3	-2.0	2.2
63	61.9	59.8	-2.2	2.5
80	59.6	57.1	-2.5	1.9
100	60.0	59.1	-0.9	1.5

Table 15 Vibration acceleration level by frequency band according to slab thickness (B type)

Frequency [Hz]	205 ~ 210 mm Avg. [dB]	Over 210 mm Avg. [dB]	Difference [dB]	Standard deviation
25	73.4	71.7	-1.7	2.7
31.5	68.8	68.2	-0.6	2.2
40	69.0	66.4	-2.6	3.7
50	64.2	64.6	0.4	3.8
63	57.9	56.1	-1.7	2.4
80	60.0	55.9	-4.1	3.2
100	63.1	58.9	-4.3	3.0

이하인 세대들이 진동가속도 레벨이 더 낮게 측정된 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

이 연구에서는 신축 공동주택 현장을 대상으로 공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 검사기준과 KS F ISO 16283-2에서 규정하고 있는 방법에 따라 바닥충격음 차단성능을 측정하는 거실에서 가진점을 가진하고 이를 기준으로 한 25개 지점의 슬래브 두께를 측정하고 거실 중앙부의 진동가속도 레벨을 측정하여 분석하였다.

슬래브 두께 측정 결과 슬래브 두께가 평균 210 mm 를 상회하나 각 세대마다 슬래브 두께의 편차가 큰 것을 확인하였다. 이는 콘크리트 타설과정에서 작업자의 시공 숙련도에 따라 슬래브의 평활정도가 다른 것으로 판단된다.

슬래브의 평균 두께가 두꺼울수록 진동가속도 레벨이 감소하는 경향을 확인하였다. 이는 기존 연구에서 확인된 바와 같이 슬래브 두께가 두꺼울수록 중량 충격음의 단일수치평가량을 감소시키는 것과 일치하는 결과로 해석될 수 있다⁽⁵⁾.

25개 지점의 슬래브 두께의 편차와 표준편차가 큰 세대에서는 가장 작은 세대보다 진동가속도가 높게 측정된 것을 100 Hz 이하 저주파수대역에서 경향성을 일부 확인하였다.

슬래브 두께의 편차가 작은 세대에서는 진동가속도 레벨이 낮게 측정되었으며, 이는 슬래브 평활도의 편차가 작을수록 저주파수 대역에서 바닥충격음을 저감할 수 있는 가능성을 확인하였다. 따라서 중량충격음 차단성능을 개선하기 위해서는 콘크리트 타설 시 콘크리트 레벨봉의 효율적인 설치, 셀프레벨링 성능을 가진 콘크리트 사용, 콘크리트 타설 후 3D 스캐너 등을 이용한 슬래브 평활도 관리 등이 필요할 것으로 보인다.

1/3 옥타브 밴드 분석 결과 저주파수 대역(25 Hz ~ 100 Hz)에서 평활도가 상대적으로 고된 세대에서 진동가속도 레벨이 낮게 측정되었다. 이러한 결과는 슬래브의 평활도 개선으로 진동가속도 레벨의 저감과 저주파수대역의 바닥충격음 저감의 추가적인 상관관계 연구가 필요하다.

이러한 결과는 향후 바닥충격음 차단성능 관리를

위한 기준 설정에 기여할 수 있다. 슬래브 두께의 편차를 최소화하고, 콘크리트 레벨링 기술 및 3D 스캐너를 활용한 평활도 검사를 도입하여 시공 품질을 향상시키는 것이 필요하다. 또한, 슬래브 두께의 증가가 저주파 대역 바닥충격음 저감에 긍정적인 영향을 미치는 만큼, 주택법 기준 구조별 슬래브 두께 기준 이상으로 설계하는 것이 바닥충격음 저감에 이로울 것으로 보인다.

이 연구는 슬래브 평활도와 진동가속도 레벨의 상관관계를 분석하기 위한 기초연구이며 보다 구체적인 상관관계 분석을 위해 다양하고 많은 세대의 슬래브 두께 현황과 진동가속도 레벨, 바닥충격음레벨 데이터를 추가로 확보하는 후속 연구가 필요하다.

References

- (1) The Board of Audit and Inspection of Korea, 2019, Audit Report-operation Status of Apartment Floor Impact Noise Reduction System, BAI, Seoul, Korea, pp. 1~139.
- (2) Kim, H.-S. and Kim, M.-J., 2002, Vibrational Response on the Impacted Floor and the Interior Structures of Receiving Room by Standard Impact Sources, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol. 18, No. 10, pp. 227~234.
- (3) Ha, Y.-S., Lee, H.-J., Lee, S.-J., Shin, J.-A. and Song, D.-B., 2023, A Study on Floor Impact Sound Insulation Performance of Cross-laminated Timber(CLT): Focused on Joint Types, Species and Thicknesses, Journal of the Korean Wood Science and Technology, Vol. 51, No. 5, pp. 419~430.
- (4) Mun, D.-H. and Park, H.-G., 2015, Variation of Floor Impact Sound by Construction Stages of Apartment Building, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 692~697.
- (5) Mun, D.-H., 2015, Analysis of Influence Factors of Floor Impact Sound in Residential Buildings, Doctoral Dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- (6) Korean Industrial Standards Council, 2017, Tolerance for Buildings — Methods of Measurement of Buildings and Building Products — Part 1: Methods and Instruments, Korean Standards Association, KS F ISO 7976-1:2017, Seoul, Korea.
- (7) Korean Industrial Standards Council, 2017, Acoustics — Field Measurement of Sound Insulation in Buildings and of Building Elements — Part 2: Impact Sound Insulation, Korean Standards Association, KS F ISO 16283-2:2017, Seoul, Korea.