

유한요소 해석을 통한 공동주택 평면조건 변화에 따른 바닥충격음 영향분석

Analyzing Floor Impact Sound in Apartment Houses under Varied Floor Plan Conditions via FEA

김 경 우[†] · 신 혜 경^{*} · 박 상 희^{*} · 이 원 열^{**} · 성 영 경^{**}
Kyoung-Woo Kim[†], Hye-Kyung Shin^{*}, Sang Hee Park^{*},
Won-Yeul Lee^{**} and Young-Kyung Sung^{**}

(Received July 8, 2024 ; Revised September 5, 2024 ; Accepted September 12, 2024)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Hybrid-type Structure(혼합식구조), Finite Element Analysis(FEA, 유한요소해석)

ABSTRACT

This paper investigates the variation in floor impact sound within a hybrid-type structure. Floor plans were modified under different conditions, and the study analyzed how floor impact sound varied in plate-type and tower-type layouts with a floor area of 59 m². The results indicated that the lowest impact sound level occurred when an additional column was placed in the multipurpose room located between the living room and kitchen in the tower-type layout. However, finite element analysis (FEA) alone has limitations in predicting the noise reduction effects of impact noise in actual residential environments. Further analysis is required to assess the insulation performance of impact noise through floor resilient systems or ceiling configurations. Thus, analyzing empirical data from apartment buildings or experimental facilities is essential for a comprehensive evaluation.

1. 서 론

바닥충격음은 공동주택에서 발생할 수 있는 여러 가지 소음 중에서 해결해야 할 가장 중요한 문제 중 하나로 여겨지고 있다. 공동주택 바닥충격음 차단성능 사후확인제도 도입에 대응하기 위하여 건설사에서는 성능기준을 만족하는 바닥구조 개발을 위해 완충재, 중량 모르타르, 천장구조 등 다방면의 기술 개발

을 추진하고 있다⁽¹⁻³⁾. 아울러 일각에서는 높은 등급의 바닥충격음 인정구조 획득 등의 성과도 나타나고 있다.

일반적으로 벽식구조는 바닥충격음 차단성능에 유리한 구조로, 벽식구조보다 라멘구조의 성능이 좋은 구조로 알려져 있다. 그러나 바닥충격음은 구조형식 뿐만 아니라 슬래브 두께, 기둥 및 보 크기와 설치 간격 등 다양한 조건의 영향을 받는다⁽⁴⁾. 이에 대한 면밀한 검토를 위해 해석 시뮬레이션을 활용해 구조 형식에 따른 성능 검토가 수행되었다⁽⁵⁻⁶⁾. 공동주택에

† Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Research Fellow
E-mail : kwmj@kict.re.kr

* Member, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Senior Researcher

** Member, SAMSUNG C&T, Pro

A part of this paper was presented at the KSNVE 2024 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Yong Hee Kim

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

적용되는 구조형식은 벽식구조, 혼합식구조, 기둥식구조, 라멘구조이며, 각 구조에 대한 정의는 국토교통부 고시에서 확인할 수 있다⁽⁷⁾. 이 논문은 혼합식구조의 성능 향상을 위하여 바닥평면의 형태, 내력벽의 위치, 기둥 적용 등 다양한 조건에 대한 성능 해석을 통하여 바닥충격음 차단성능 확보에 유리한 최적평면을 도출하고자 한 내용을 기술한다.

2. 시뮬레이션 방법

이 연구는 S사 아파트의 59 m² 혼합식구조의 판상형과 타워형 도면 각 1개를 사용하여 다양한 조건들에 따라 바닥충격음이 어떻게 변화하는지 시뮬레이션을 통해 검토하였다.

Table 1에 나타난 바와 같이 유한요소 해석은 지멘스사의 Simcenter3D를 사용하였다. 충격원은 고무공을 대상으로 하였으며, 평가방법은 KS F ISO 717-2를 사용하였다. 바닥충격음은 단일수치평가량 $L_{iA, Fmax}$ 를 산출하였으며, 성능 개선의 효과를 분석하기 위해 소수점 첫째자리까지 나타내었다. 시뮬레이션 수행 시 입력한 콘크리트와 석고보드의 물성치는 Table 2와 같다.

Table 3은 판상형과 타워형 평면의 조건 변화를 검토한 요소들을 보여준다. 판상형은 벽체 특성 변경, 거실-주방 중첩도에 따라 바닥충격음의 변화를 검토하였다. 타워형은 벽체 특성 변경, 다용도실 위치, 기둥 추가 여부에 따른 바닥충격음의 변화를 검토하였다.

Fig. 1과 같이 동일한 평면이 4개 층으로 적층된 건물을 모델링하였다. 2층에 음향공간(수음점)을, 3층에 가진점이 위치하도록 하였다. 슬래브 두께는 210 mm를 기본값으로 설정하였다. 외벽과 내력벽의 두께는 200 mm로, 건식벽은 150 mm로 설정하였다. 층고는 전 층 2800 mm로 통일하였고, 수음점 높이는 바닥으로부터 1200 mm로 설정하였다. 검정색은 콘크리트 벽체, 노란색은 슬래브, 보라색은 건식벽체, 파란색은 기둥을 나타낸다.

3. 결 과

3.1 판상형

(1) 벽체 구성 변경

Fig. 2에 나타난 바와 같이 벽체의 특성을 변경하여 4가지 조건에 대한 중량충격음을 검토하였다. Fig. 1에서 나타낸 혼합식구조 판상형 기본평면(reference)

Table 1 Simulation overview

Software	Simcenter3D(Siemens)
Impact source	Rubber ball
Evaluation methods	KS F ISO 717-2
Single number quantity	$L_{iA, Fmax}$
Structure type	Hybrid
Floor plan	Plate-type, Tower-type
Floor area	59 m ²

Table 2 Material properties

	Concrete	Gypsum board
Density	2400 kg/m ³	754 kg/m ³
Young's modulus	20 300 Mpa	4350 Mpa
Poisson's ratio	0.3	0.3
Damping coefficient	0.015	0.015

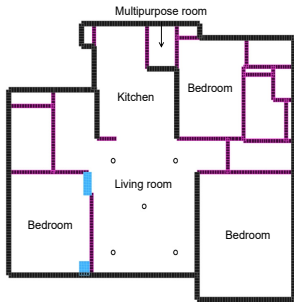
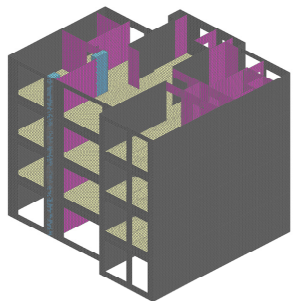
Table 3 Simulated conditions

Floor plan	Factors
Plate-type	<ul style="list-style-type: none"> • Wall compositions • Changes in the kitchen space
Tower-type	<ul style="list-style-type: none"> • Wall compositions • Positioning of multipurpose-room • Addition / positioning of columns

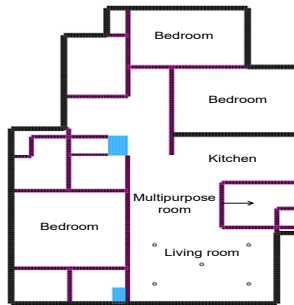
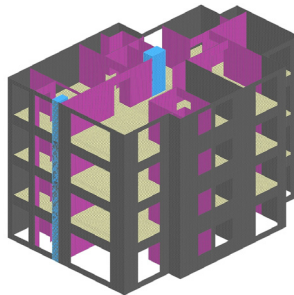
으로 설정하고, 평면조건 변화 시 성능변화를 비교하였다. 검토 결과, 기본평면에서의 중량충격음 $L_{iA, Fmax}$ 는 50.2 dB으로 나타났다. 벽체 특성 변경에 따른 성능 검토 수행 결과, Table 4, Fig. 3과 같이 기본평면과 주방쪽 날개벽을 내력벽으로 변경한 조건에서 중량충격음이 가장 저감되는 것으로 나타났다. 날개벽을 내력벽으로 변경하였을 경우, 음향공간의 형상에는 변화가 없으나 바닥판의 구속조건 강화를 통해 63 Hz 대역이 저감되어 성능이 향상되는 것으로 확인되었다.

(2) 주방 면적

기본 평면에서 주방부 벽체를 이동하여 주방 면적을 변경하였을 때 성능의 변화를 알아보았다. Fig. 4와 같이 주방 벽체를 이동시켜 주방 면적을 확장한 경우와 주방 면적을 축소할 경우에 대해서 성능변화를 살펴보았다. Table 5와 같이 주방 면적 변화로 기



(a) Plate-type



(b) Tower-type

Fig. 1 Modeling images(reference)

본 평면 대비 성능이 저하되는 것으로 나타났다. 주방 면적을 확장하는 경우 63 Hz에서 기본 평면의 중량충격을 대비 충격음레벨이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 주방 면적 축소는 63 Hz 대역에서 감소하

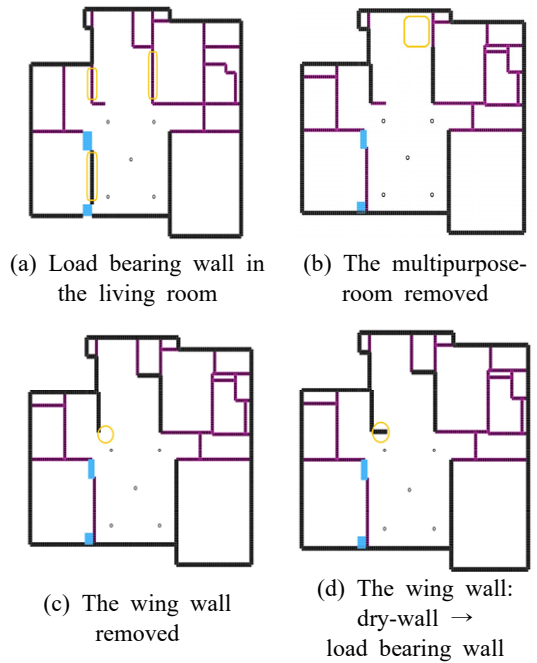


Fig. 2 Changes in wall compositions(plate-type)

Table 4 $L_{IA, Fmax}$ of the different wall compositions (plate-type)

Floor plan condition	$L_{IA, Fmax}$ [dB]
Reference	50.2
(a) Load bearing wall in the living room	51.3
(b) The multipurpose room removed	50.5
(c) The wing wall removed	51.1
(d) The wing wall: drywall → load bearing wall	49.6

는 경향을 보였다. 하지만 두 경우 모두 125 Hz 대역에서는 기본 평면 대비 레벨이 증가하는 경향을 보이는 것으로 확인되었다. Fig. 5에서 기본 평면과 더불어 주방을 축소된 평면과 주방을 확장한 평면의 중량충격을 전달 특성을 알아보기 위하여 각 평면의 음압분포를 살펴보았다.

중량 가진 시 수음점 높이(1200 mm)에서 성능평가 결과에 영향을 미치는 저주파수 대역 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 125 Hz 음압분포 특징을 검토하였다. 기본 평면(ref)과 주방 확장 평면(a), 주방 축소 평면(b) 3가지 평면 중 중량충격음레벨이 가장 낮은 평면은 기본

평면이다. 해당 주파수 대역에서 눈에 띄게 높은 레벨의 음압 분포를 찾아볼 수 없다. 하지만 주방 확장 평면의 경우 50 Hz에 높은 레벨을 보이는 것으로 나타났다. 50 Hz에서 거실과 주방 우각부에서 높은 충격음레벨이 확인되었으며, 레벨분포 특징이 다른 조건과 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다. 주방 축소 평면의 경우에도 주파수대역별로 레벨 분포가 다소 변화 된 것을 알 수 있으며, 63 Hz에서 좁은 주방공

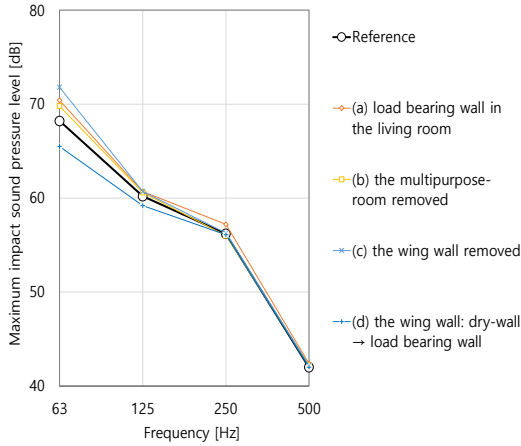


Fig. 3 Frequency characteristics of the conditions with different characteristics of walls(plate-type)



Fig. 4 Changes in the kitchen space(plate-type)

Table 5 $L_{A,Fmax}$ of the changes of the kitchen space (plate-type)

Condition	$L_{A,Fmax}$ [dB]
Reference	50.2
(a) Kitchen expanded	53.0
(b) Kitchen reduced	51.1

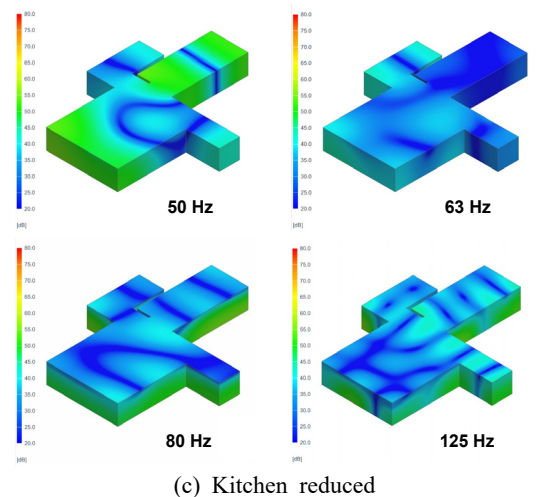
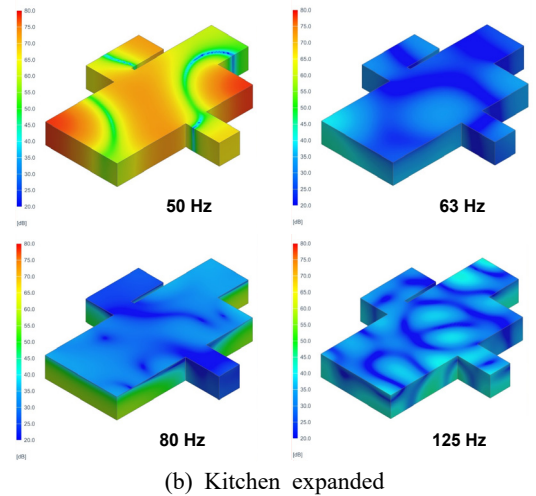
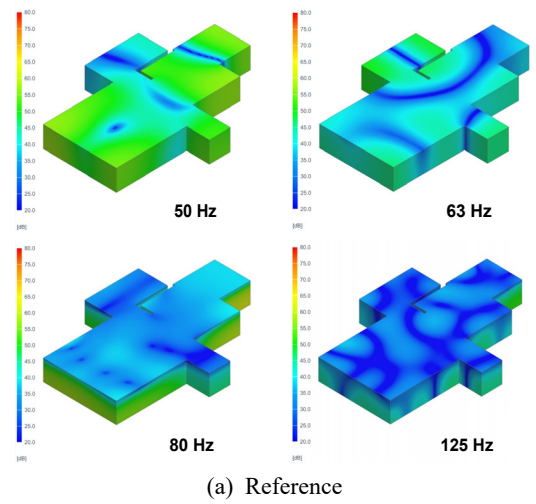


Fig. 5 Sound pressure distribution(plate-type)

간의 음압이 다른 조건에 비하여 레벨이 더 낮은 것을 알 수 있다. 실내 음향공간 변화는 바닥충격음 레벨 분포를 변경시키고 최종적으로 성능평가 결과에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있다.

3.2 타워형

(1) 벽체 구성 변경

기본 평면에서 벽체 특성을 변경한 조건에서 충격음성능 변화를 알아보았다. 거실과 인접한 침실(안방)

벽체, 주방벽, 다용도실벽, 날개벽의 재료를 변경한 조건으로 성능을 살펴보았다. 벽체 특성 조건 변화내용은 Fig. 6과 같다.

혼합식구조 타워형에서 벽체 특성 변경에 따른 성능을 검토하여 계산된 단일수치평가량을 살펴본 결과, 다용도실벽이나 날개벽을 내력벽으로 변경하였을 때 중량충격음이 저감되는 것을 알 수 있었다. Table 6, Fig. 7과 같이 다용도실 벽을 내력벽으로 변경한 경우, $L_{IA, Fmax}$ 가 0.6 dB이 저감되었으며, 주파수 특성 또한 63 Hz에서 저감되는 양상을 보여주었다. 날개벽

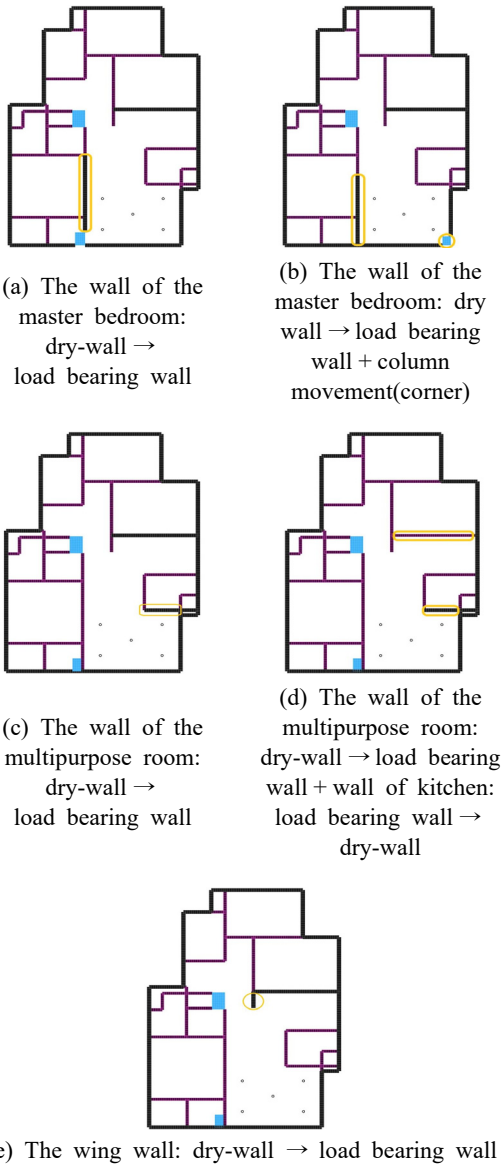


Table 6 $L_{IA, Fmax}$ of the different wall compositions (tower-type)

Condition	$L_{IA, Fmax}$ [dB]
Reference	49.2
(a) The wall of the master bedroom: load bearing wall	50.0
(b) The wall of the master bedroom: load bearing wall + column movement(corner)	49.4
(c) The wall of the multipurpose room: load bearing wall	48.6
(d) The wall of the multipurpose room: load bearing wall + wall of kitchen: dry-wall	49.0
(e) The wing wall: dry-wall to load bearing wall	49.0

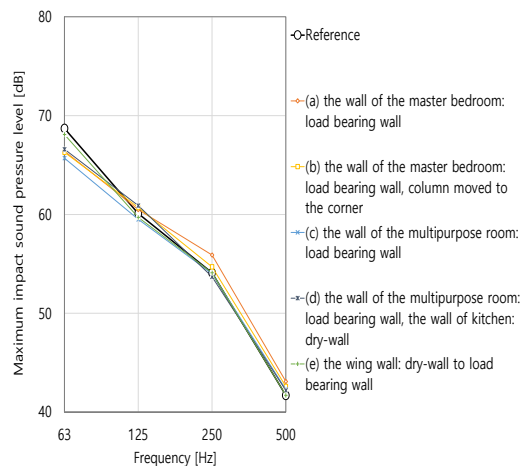


Fig. 7 Frequency characteristics of the conditions with different wall compositions (tower-type)

Fig. 6 Changes in wall compositions (tower-type)

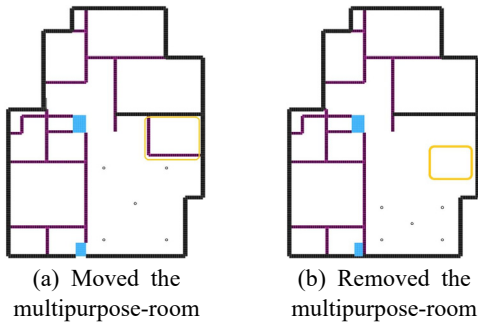


Fig. 8 Changes in positioning of multipurpose-room (tower-type)

Table 7 $L_{iA, Fmax}$ of the conditions with different positioning of multipurpose-room(tower-type)

Condition	$L_{iA, Fmax}$ [dB]
Reference	49.2
(a) Moved the multipurpose-room	52.3
(b) Removed the multipurpose-room	52.1

또는 다용도실벽을 내력벽으로 변경함으로써 해당 바닥판의 구속조건을 강화하여 성능 향상 효과를 보인 것으로 판단된다.

(2) 다용도실 위치

Fig. 8과 같이 기본 평면에서 다용도실 위치를 변경하거나 삭제한 경우의 성능 변화를 알아보았다. 본래 거실과 주방 사이에 위치하였던 다용도실을 주방 쪽으로 이동시키는 경우(a), 다용도실을 제거하는 경우(b)를 기본 평면(reference)과 비교하였다.

Table 7처럼 다용도실을 기존 위치에서 평면도 위쪽으로 이동시킨 경우에는 성능이 저하되는 것으로 나타났다. Fig. 9와 같이 모든 주파수 대역에서 충격음레벨이 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 다용도실을 제거한 경우에도 성능 향상 효과가 없는 것으로 확인되었다. 다용도실을 제거하게 되면 거실과 주방 공간이 확장되는 것으로 충격음레벨의 분포변화가 예상되지만 성능향상 효과로 이어지지 못했다.

(3) 기둥 추가

혼합식구조형식의 실내 공간에는 기둥을 배치하고 근식벽체 적용을 증가시켜 내부 공간 가변성을 높이

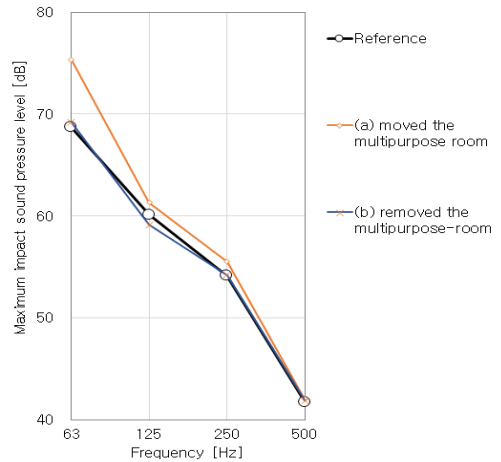


Fig. 9 Frequency characteristics of the positioning of multipurpose-room(tower-type)

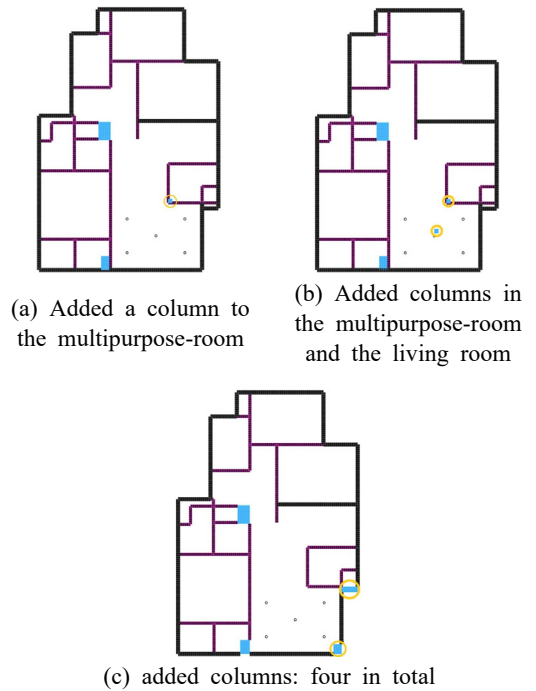


Fig. 10 Addition of columns(tower-type)

고자 하였다. 내부에 설치되는 기둥을 추가한 조건에서 성능변화를 살펴보았다. Fig. 10은 기본 평면(ref)에서 다용도실 모서리 부분에 기둥 1개를 추가하는 경우(a), 다용도실 모서리와 거실 중앙에 1개씩 추가 설치(b)하는 조건, 외벽부분에 추가 2개 기둥을 설치

Table 8 $L_{1A, Fmax}$ of the addition of columns(tower-type)

Condition	$L_{1A, Fmax}$ [dB]
Reference	49.2
(a) Added a column to the multipurpose-room	48.4
(b) Added columns in the multipurpose-room and the living room	48.6
(c) Added columns: four in total	49.3

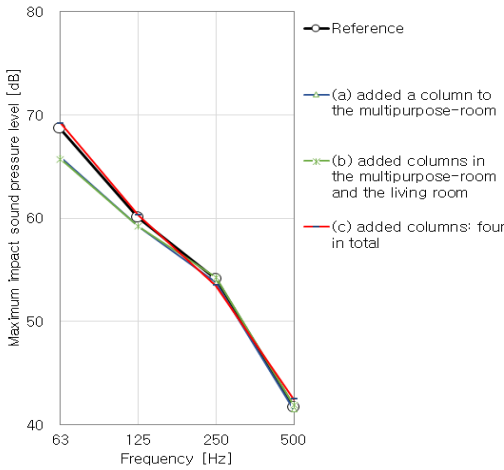


Fig. 11 Frequency characteristics of the addition of columns(tower-type)

(c)한 조건에 대해 중량충격음을 예측하였다. 기둥 추가는 거실과 주방의 넓은 공간의 바닥판 진동 특성을 변경하기 위한 의도로 적용된 것으로 현재 평면도에서 무리 없이 작은 기둥을 설치할 수 있는 위치로 다용도실 모서리를 선정하였다. 거실 중앙부 기둥설치는 현실적으로 불가능한 조건이지만 가진 부위 중앙에 지지조건 추가가 어떤 영향을 미칠지 확인하고자 하였다. 중량충격음을 예측한 결과는 Table 8, Fig. 11과 같다.

Fig. 11(a)와 같이 다용도실 모서리에 기둥을 추가하는 경우 63 Hz 대역 레벨이 감소되면서 단일수치평가량도 저감되는 것으로 나타났다. 기둥을 총 4개 사용한 경우 Fig. 11(c)에는 성능 향상 효과가 없는 것으로 확인되었다. 다용도실 모서리에 기둥을 추가한 경

우는 벽체 구성 변경에 따른 성능 검토 조건 중에서 다용도실 벽을 내력벽으로 변경하였을 조건과 유사한 성능 향상이 나타났다.

4. 결 론

이 연구는 혼합구조형식의 판상형과 타워형 각 1개 평면도를 사용하여 시뮬레이션으로 다양한 조건에서 중량충격음 성능변화를 살펴본 것으로 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 중량충격음레벨이 가장 낮은 조건은 타워형 평면에서 거실과 주방 사이에 위치한 다용도실에 기둥을 추가한 평면에서 확인되었다. 판상형은 강화된 바닥판 구축을 위해 기둥 폭을 넓히고, 기둥 사이의 벽체는 건식재료를 사용할 경우 성능 향상에 유리할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 주방 면적 조정만으로는 바닥충격음 성능 향상이 어려우며, 내력벽을 중점으로 설계하는 것이 유리할 수 있다.

(3) 타워형의 경우 다용도실을 거실과 주방 사이에 배치하여 음향공간을 분리할 경우 성능 향상에 유리할 수 있다. 또한 해당 다용도실의 일부 벽을 내력벽으로 설계하거나 내부에 기둥을 추가하여 설치하는 것이 성능 향상 방안 중 하나로 고려될 수 있을 것이다.

이 연구는 시뮬레이션 기반 성능 향상 방안을 검토한 것으로 실제 공동주택 평면설계에 적용하기에는 한계가 있다. 분석 결과가 모든 평면에서 일률적으로 나타나지 않을 것이며, 슬래브 상부에 설치되는 바닥 완충시스템이나 천장구성 등에 따라 달라질 것으로 판단된다. 그러나 시뮬레이션으로 평면 형태변화나 내력벽 위치 조정 등의 조건을 분석하여 보다 유리한 조건을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

향후, 도출된 성능개선 방안이 실제 현장에서 구현되어 실측 데이터와의 관계성을 검토하는 것이 필요하다.

후 기

이 연구는 한국건설기술연구원 민간수탁과제(2021-0242-001, 바닥충격음 차단성능 향상을 위한 구조형식별 성능검증 및 저감기술개발, 발주처: 삼성물산㈜)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

(1) Lee, J., Lee, S.-M. and Haan, C.-H., 2024, Investigation of the Level Difference of Floor Impact Noises through the Shape Variation of EVA Resilient Materials with Composite Floor Structure, *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, Vol. 43, No. 1, pp. 60~71.

(2) Kim, S., Ryu, J. and Hwang, J., 2024, Verification of Floor Impact Sound Reduction Performance of a Slab with an Applied Tuned Mass Damper using Computational Analysis, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 34, No. 1, pp. 84~94.

(3) Park, C.-H., Cho, S.-H., Ko, H.-J., Kim, Y.-R. and Kim, T.-J., 2022, Development and Field Application of Dry Mortar for Floor Impact Sound Reduction, *Magazine of RCR*, Vol. 17, No. 3, pp. 25~32.

(4) Kim, T.-M., Park, S.-H., Kim, M.-J. and Kwag, B.-C., 2023, The Analysis of Characteristics of Floor Impact Noise depending on Structural Types of Multi-family Residential Buildings, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 39, No. 9, pp. 185~193.

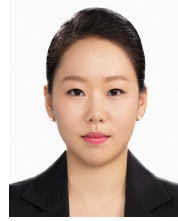
(5) Lee, S.-B., Kim, M.-J., Choi, K.-S. and Kim, J.-J., 2023, Prediction of Heavy Weight Impact Sound in Apartment with Floating Floor Structure using Finite Element Analysis Method, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 33, No. 4, pp. 402~411.

(6) Kim, T. M. and Yang, H.-S., 2020, Prediction of Heavy-weight Floor Impact Sound with Different Impact Sources and Indices using a Finite Element Method, *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol. 30, No. 2, pp. 169~178.

(7) Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023, Acknowledgement and Inspection Criteria of Floor Impact Sound Insulation Structure of Apartment Houses, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Notice No. 2023-494, Sejong-si, Korea.



Kyoung-Woo Kim received Ph.D. in architecture engineering from Hanyang University in 2009. He is working at KICT(Korea institute of civil engineering and building technology) as a senior research fellow. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



Hye-Kyung Shin received Ph.D. at the university of Seoul. She is currently working at the KICT(Korea institute of civil engineering and building technology). Her main research area is indoor sound monitoring, human response, and floor impact sound.



Sang Hee Park has completed her Ph.D. at the University of Liverpool. She is currently working at the KICT (Korea institute of civil engineering and building technology). Her research involves exploring measures to promote human well-being in built environments.



Won-Yeul Lee received M.S. degree in architecture engineering from Hanyang University in 2001. He is working at floor impact noise laboratory of Samsung C&T as a noise & vibration expert. His research interests are floor impact sound, vibration and environmental noise (plant noise study).



Young-Kyung Sung received M.S. degree in architecture engineering from Tokyo University in 2003. He is working at floor impact noise laboratory of Samsung C&T. His research interests are floor impact sound, vibration and environmental noise.