

유한요소해석법을 이용한 공동주택 뜬바닥 구조 중량충격음 예측 Prediction of Heavy Weight Impact Sound in Apartment with Floating Floor Structure using Finite Element Analysis Method

이성복* · 김명준** · 최경석*** · 김정진†
Seong-Bok Lee*, Myung-Jun Kim**, Kyung-Suk Choi*** and Jeong-Jin Kim†

(Received March 26, 2023 ; Revised May 8, 2023 ; Accepted May 10, 2023)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Finite Element Analysis Method(유한요소해석법), Dynamic Stiffness(동탄성계수), Floating Floor System(뜬바닥 구조)

ABSTRACT

In this study, a method for determining a floating floor that can optimally represent heavy-weight-impact sound insulation performance in an apartment was proposed using the finite element analysis method. The differences between the analytical and measured results for the floating floor structure were compared, and the results are as follows. After evaluating the A-weighted floor impact sound level using a rubber ball, PU foam showed a sound insulation of 45.4 dB by analysis and 46.5 dB by measurement, representing a deviation of 1.1 dB. On the other hand, EVA+EPS showed a sound insulation of 40.6 dB by analysis and 40.1 dB by measurement, representing a difference of 0.5 dB. The floor impact sound was predicted using the EVA+EPS model, and the optimal cross-sectional structure of the floating floor was determined through the prediction of the floor impact sound according to the dynamic stiffness. This research method can provide an optimal cross-section design process for floating floors in apartments with a completed plan design.

1. 서론

공동주택 신축 사업에 대해 바닥충격음 표준시험 동에서 인정받은 바닥구조 단면을 사용하는 사전인정 제도가 2004년부터 적용되고 있었으나, 현장 성능이 표준시험동에서 인정받은 성능과 차이가 있음이 2019년 4월 감사원 감사⁽¹⁾에서 지적되었다. 이에 따른 후속 조치로 국토교통부는 사전인정제도를 보완하

는 사후성능 확인제도를 도입하였다.

기존에 시행되던 주택법 및 「공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 관리기준(국토교통부고시 제 2013-889호)」에서는 준공 후 바닥충격음 차단성능 평가가 법적인 의무사항은 아니었으며 지자체에서 요구하는 바닥충격음 차단성능 평가를 위해 공인측정기관(KOLAS)에서 성능평가를 수행하고 그 결과를 지자체에 제출, 승인받는 절차로 이루어져 왔다. 감사원에 서는 이와 같은 제도에서 공동주택 바닥충격음 차단구

† Corresponding Author ; Member, Lotte E&C Institute, Senior Researcher
E-mail : jeongjin.kim@lotte.net

* Member, Department of Architectural Engineering, Graduate School of University of Seoul / Lotte E&C Institute, Researcher

** Member, Department of Architecture, University of Seoul, Professor

*** Lotte E&C Institute, Researcher

‡ Recommended by Editor Jin Yun Chung
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

조의 안정적 성능 확보에 어려움이 있다고 판단하였다.

이러한 이유로 2022년 8월 4일 개정된 주택법 및 「공동주택 바닥충격음 차단구조 인정 및 검사기준 (국토교통부고시 제2022-868호)」에서는 성능검사기관을 지정하여 사용검사 전에 현장의 바닥충격음 차단성능을 평가하고 그 결과를 사용검사기관자에게 제출하여 성능 미달 시 사업주체에게 보완 시공, 손해배상 등의 조치를 권고할 수 있도록 하였다.

이와 같은 제도의 변화와 함께 과거에 비해 공동주택의 외부소음 차단성능도 전반적으로 향상되어 공동주택 거주자들의 기대치 역시 높은 수준으로 변화하였다. 이에 바닥충격음 차단성능의 향상과 안정적 확보를 위해 설계 단계부터 시공, 검사 단계까지 보다 면밀히 검토해야 할 필요성이 대두되었다.

일반적으로 공동주택에서는 바닥충격음 차단성능 확보를 위해 완충재 상부에 마감모르타르를 시공하는 뜬바닥 공법을 적용하고 있다. 이 뜬바닥 구조는 마감모르타르 상부에서 발생하는 충격력 및 진동 응답을 최소화하는 역할을 하고 있으나 다수의 연구에서 예상치 못한 중량충격음 증폭 현상이 발생되고 있음을 확인하였다.

김경우 등⁽²⁾에 따르면 뜬바닥 구조에서 완충재의 동탄성계수가 낮을수록 중량충격음 저감량이 더 큰 것이 확인되었고, 송국곤 등⁽³⁾의 연구에서도 고무공 충격원을 이용한 바닥충격음 차단성능 평가 시 완충재의 동탄성계수가 낮을수록 바닥충격음 레벨이 낮아지는 것을 확인하였으나, 63 Hz 주파수 대역에서는 오히려 레벨이 증가하여 125 Hz 이상의 주파수 대역과는 상반되는 경향성이 나타났고 이는 완충재에 의한 뜬바닥의 고유진동수가 63 Hz 대역의 중량충격음 증폭 현상을 유발한 것으로 판단된다고 분석하였다.

공동주택 뜬바닥 구조의 중량충격음 증폭 현상과 관련하여 이원학 등⁽⁴⁾은 완충재가 63 Hz 대역의 바닥충격음 레벨을 증가시킬 수 있으므로 이를 방지하기 위해 맨슬래브의 공진주파수를 확인하여 증폭 현상을 피할 수 있는 맞춤형 완충재 설계가 필요하다고 하였다.

김주형 등⁽⁵⁾은 80 Hz 이상의 주파수 대역에서 동탄성계수가 증가할수록 바닥충격음 레벨도 증가하는 경향이 나타난다고 하였으며, 80 Hz 이하 주파수 대역에서는 완충재에 의한 공진 현상으로 완충재의 종류에 따라 증폭되는 주파수 위치가 다르게 나타나는 것을 확인하였다.

이와 같이 충격력과 진동 응답 최소화를 위해 사용

되고 있는 뜬바닥 구조에서 중량충격원 가진 시 저주파 대역에서 예상치 못한 증폭 현상이 발생하였다. 이를 사전에 확인하고 방지하기 위해서는 공동주택 평면 및 구조별 완충재 선정을 위한 바닥충격음 사전 예측 프로세스가 필요하다.

문대호 등⁽⁶⁾의 연구에 따르면 중량충격음은 충격원의 충격력 주파수 특성으로 인해 100 Hz 이하 저주파 영역에 에너지가 집중되어 유한요소해석법(finite element analysis method, FEA)이 예측에 적절하다고 하였다. 해당 연구에서 외부 가진에 대한 콘크리트 구조물의 진동 응답을 계산하고 구조모델과 음향모델의 경계면에서의 표면 속도, 임피던스를 이용하여 파동방정식을 만족하는 음압 응답을 계산하는 방법으로 중량충격음 예측을 수행하였다^(7,8). 또한 김태민 등⁽⁹⁾의 연구에서는 유한요소해석법을 활용하여 맨슬래브의 바닥충격음 예측 정확도를 고무공 가진 시 0.5 dB 이내의 편차로 도출되는 것을 확인하였다.

이 연구에서는 신축 공동주택 현장을 대상으로 뜬바닥 시공 시 저주파 대역 중량충격음 증폭 현상을 방지하기 위한 해석적 프로세스 수립을 위해 상용 유한요소 해석프로그램을 활용하여 뜬바닥 구조에 대한 해석 정합성 검토를 실시하였다. 이를 위해 완충재 동탄성계수 측정 시 사용되는 방법을 해석 프로그램 상에 구현하였으며, 여기서 도출된 진동 응답 결과와 완충재의 고유진동수를 활용하여 뜬바닥 구조 해석 정합성을 확인하였다. 도출된 정합성 검토 결과를 바탕으로 특정 평면의 뜬바닥 구조에 대한 최적 완충구조 설정 연구를 수행하였다.

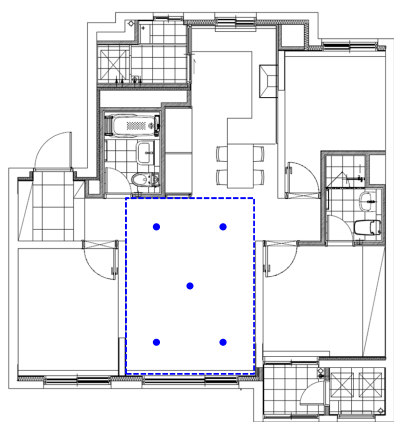
2. 맨슬래브 해석 정합성 검토

2.1 해석 개요

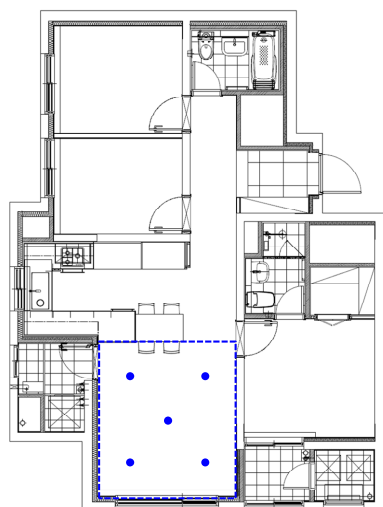
(1) 해석 대상

공동주택 맨슬래브 정합성 검토를 위해 전용면적 59 m²의 2가지 평면 형식에 대해 바닥충격음 측정결과와 해석결과를 비교하였다.

Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)는 각각 검토를 위해 사용된 59 A, 59 B 평면도이다. Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)는 바닥충격음 측정 모습이며 측정 장비의 제원은 Table 1에 나타났다. 바닥충격음 측정은 수도권 소재 공동주택 신축현장에서 이루어졌으며 맨슬래브 두께 210 mm의 천장이 없는 4~6층 평면 형식별 각 3개 세대를



(a) 59 A type



(b) 59 B type



(a) 59 A type



(b) 59 B type

Fig. 2 Measurement and analysis equipments set up in the experimental unit

Fig. 1 Unit floor plan and floor impact sound receiving points

대상으로 하였다. 충격원은 고무공 충격원을 사용하였으며, 거실 중앙점 가진 시 수음세대 5개 지점의 최대 음압 레벨을 에너지 평균한 1/3 옥타브밴드 실내 에너지 평균 최대 바닥 충격음 레벨($L_{i,Fmax}$)과 A-가중 최대 바닥 바닥충격음 레벨($L_{iA,Fmax}$)을 산출하여 측정 결과와 해석결과를 검증하는 지표로 활용하였다.

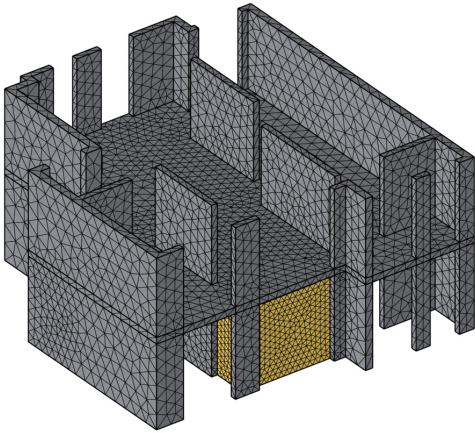
(2) 해석 방법

공동주택 바닥충격음 해석은 구조-소음 연성 해석 상용프로그램인 COMSOL Multiphysics 6.0을 사용하였다. Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)는 골조 상태의 해석 모

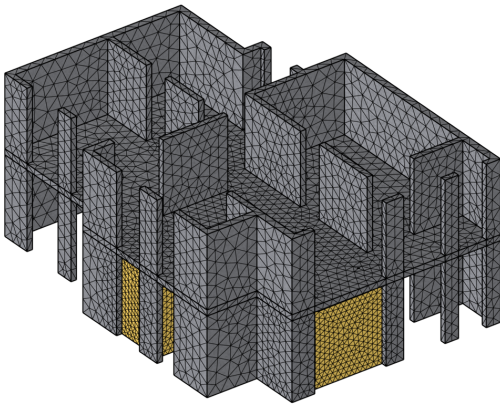
Table 1 Specification of measurement equipment

Equipment	Model & Specification
FFT Analyzer	H/W : B&K Type 3053-B-120 (12ch. Input module, LAN-XI) S/W : B&K BK Connect
Microphone	B&K Microphone Unit, Type 4189-A-021 (1/2" free-field microphone & preamp.)

델을 나타내며 Table 2에 입력 물성을 정리하였다. Fig. 4는 고무공 표준충격원을 1 m 높이에서 force sensor에 낙하시켜 측정한 충격력 데이터를 나타내며 해당 충격력을 해석 모델의 상부세대 가진점에 입력하였다.



(a) 59 A type



(b) 59 B type

Fig. 3 3 Dimensional bare slab model for structure-acoustic coupled FEA

Table 2 Input value of FEA model

Material	Property	Input value
Concrete	Density	2400 kg/m ³
	Young's Modulus	25 Gpa
	Poisson's ratio	0.167
Air	Density	1.225 kg/m ³
	Sound speed	345 m/s

해석 범위는 단위세대의 경계까지 모델링하였으며 경계조건은 벽체의 상하부 절단면을 고정으로 입력하였다. 해석 모델은 3D Solid로 free tetrahedral mesh를 형성하였고 59 A 타입은 총 231 766개, 59 B 타입은 총 242 082개의 element로 구성하였다.

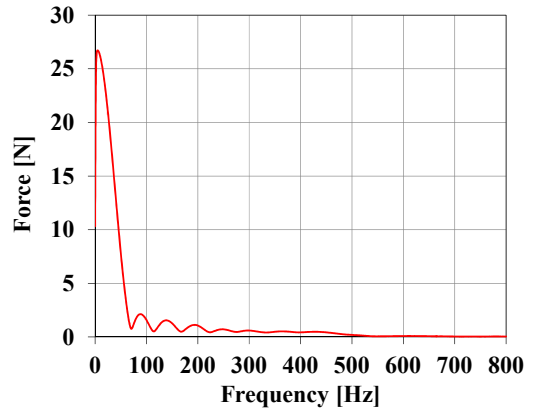
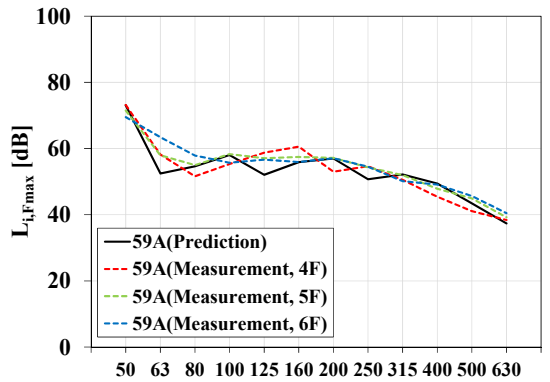
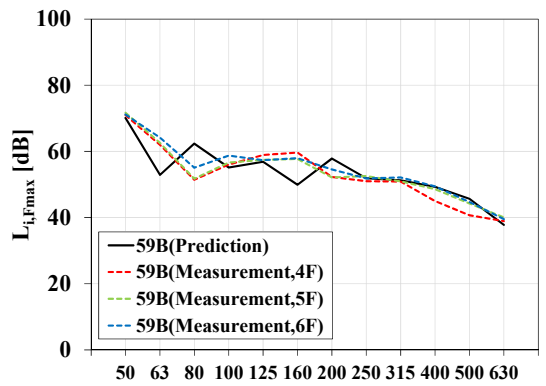


Fig. 4 Impact force of rubber ball dropped 1 m high



(a) 1/3 octave and center frequency [Hz]



(b) 1/3 octave and center frequency [Hz]

Fig. 5 Floor impact sound measurement and prediction results of bare slab

2.2 해석 결과

Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 59 A, 59 B 타입 맨슬래브 상태의 바닥충격음 해석결과와 측정결과를 1/3 옥타

Table 3 Measured and predicted A-weighted energy-everage maximum impact sound pressure level of bare slab

Specimen		$L_{i,Fmax}$ [dB]												$L_{iA,Fmax}$ [dB]
		50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
59A	Prediction	73.1	52.4	54.6	58.0	52.1	55.9	57.0	50.7	52.2	49.4	43.4	37.4	52.7
	Measurement (4F)	73.2	58.2	51.6	55.3	58.7	60.5	53.0	54.6	50.5	45.4	41.1	38.4	53.0
	Measurement (5F)	71.5	58.0	55.0	58.3	57.1	57.4	57.2	54.3	51.9	47.9	44.9	39.2	53.4
	Measurement (6F)	69.5	63.4	57.9	55.7	56.6	55.9	57.1	54.5	50.1	49.1	45.6	40.5	53.1
59B	Prediction	70.1	52.9	62.4	55.2	56.9	49.9	57.9	51.9	51.3	49.3	45.7	37.8	52.8
	Measurement (4F)	70.9	62.0	51.4	56.0	58.9	59.7	52.3	51.0	50.9	45.0	40.7	38.9	52.1
	Measurement (5F)	71.7	62.6	51.8	56.6	57.5	57.7	52.1	52.5	50.9	48.6	44.3	40.0	52.4
	Measurement (6F)	71.2	64.2	55.1	58.8	57.3	58.0	54.6	51.8	52.1	49.4	44.7	39.5	53.0

브랜드로 나타낸 그래프이며, Table 3는 실내 에너지 평균 최대 바닥 충격음 레벨과 단위수치 평가결과를 비교하여 나타낸 것이다.

A-가중 최대 바닥 충격음 레벨($L_{iA,Fmax}$)로 평가한 결과, 59 A 타입의 경우 해석결과는 52.7 dB, 측정결과는 53.0 dB ~ 53.4 dB로 최대 편차 0.6 dB, 59 B 타입의 경우 해석결과는 52.8 dB, 측정결과는 52.1 dB ~ 53.0 dB로 최대 편차 0.7 dB로 나타났다. 주파수별 바닥충격음 레벨에서 차이가 발생하는 이유는 여러 가지가 있겠으나 대표적인 원인을 고찰해보면 다음과 같다.

이 해석 과정에서는 입력되는 콘크리트의 밀도와 탄성계수는 실제 현장에서의 측정값이 아닌 설계값을 입력하였기 때문에 평가 대역 내의 피크값에서 일부 차이가 발생하는 것으로 추정된다. 또한 슬래브의 두께를 설계값인 210 mm로 모델링하였으나 실제 현장에서 발생할 수 있는 슬래브 두께에 대한 편차와 매립물 등에 의한 단면 손실 등의 영향이 반영되지 않았기 때문에 차이가 발생한 것으로 판단된다. 이러한 차이를 줄여 예측 정확도를 향상시키기 위해서는 타실 콘크리트에 대한 물성 실험 및 슬래브 평활도 측정 등을 수행하여 입력값에 대한 현장 조건을 충분히 반영해야 할 것으로 판단된다.

다만, 재료 물성의 설계값을 입력한 이 연구의 해석 방법은 현장 조건을 반영한 정확한 바닥충격음 차단성능을 예측하는데 사용되기보다는 시공에 의한 편차가 발생하지 않는다는 전제 하에 뜬바닥구조 설계 시 동일한 평면과 구조 조건에서 뜬바닥 단면에 대한 상대적인 바닥충격음 저감성능 상대 비교 틀로서 활용되는 것이 보다 적절하다고 판단된다.

Table 4 Layers of floating floor

Type	Composition of layers
59 A	Finishing mortar 40 mm
	Lightweight mortar 40 mm
	Poly-Urethane (PU) foam 30 mm
59 B	Heavyweight mortar 50 mm
	Expanded Poly-Styrene (EPS) 30 mm
	Ethylene Vinyl Acetate (EVA) 30 mm

3. 뜬바닥 해석 정합성 검토

3.1 해석 개요

(1) 해석 대상

해석 정합성을 검토 완료한 59 A, 59 B 타입 맨슬래브 세대에 완충재를 포함한 뜬바닥 구조를 설치하여 측정결과와 해석결과를 비교하고자 하였다.

Table 4는 각 대상 세대에 적용된 뜬바닥 구조의 상세 구성을 나타낸다.

(2) 해석 방법

뜬바닥 구조 해석 정합성을 검토하기 위해 맨슬래브 해석 모델에 완충재와 모르타르를 슬래브 상부에 모델링하여 해석결과와 측정결과를 비교하였다.

해석 범위는 단위세대의 경계까지 모델링하였으며 경계조건은 벽체의 상하부 절단면을 고정으로 입력하였다. 해석 모델은 3D Solid로 free tetrahedral mesh를 형성하였고 59 A 타입은 총 325 910개, 59 B 타입은 총 258 353개의 element로 구성하였다.

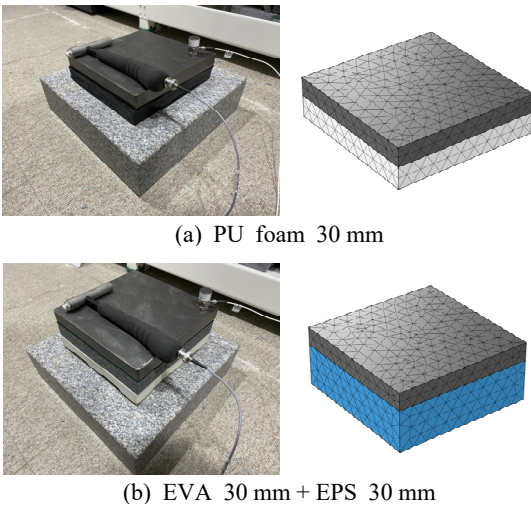


Fig. 6 3 Dimensional FEA model for predicting dynamic stiffness

바닥충격음 해석을 위해 입력하는 재료의 물성은 밀도(density)와 탄성계수(Young's modulus)가 있는데 여기서 탄성계수는 재료의 변형 영역에서 선형 재료의 단위면적당 가해지는 정적인 힘과 변형률 사이의 관계를 뜻하는 것으로 순간적인 충격 성분에 의해 발생하는 고유진동수를 상수로 표현한 동탄성계수(dynamic stiffness)와는 다른 개념이다. 따라서 세대에 적용된 완충재의 동탄성계수 측정결과와 해석모델을 비교하여 입력 탄성계수를 결정하였다.

Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)는 KS F 2868에 의거하여 수행한 동탄성계수 측정 모습과 해석프로그램에서 모델링한 완충재 시편과 하중판의 모습을 나타낸다. 동탄성계수 해석은 하중판의 중앙지점을 1 N으로 가진하여 가진점 부근의 1점에 대한 진동가속도 응답을 확인하고 여기서 도출된 고유진동수 f_0 를 이용하여 단위면적당 겹보기 동탄성계수를 산출하였다.

Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 각 시편에 대한 동탄성계수 측정결과와 해석결과를 나타낸다.

PU 완충재 동탄성계수 측정결과 13.9 MN/m^3 로 나타났으며 해석모델에서 완충재 시편에 탄성계수 입력시 $f_0 = 42 \text{ Hz}$ 가 도출되는 값을 바닥충격음 해석 모델에 입력하였다.

EVA + EPS 완충재 동탄성계수 측정결과 9.7 MN/m^3 로 나타났으며 마찬가지로 동탄성계수 해석결과와 동일한 고유진동수인 $f_0 = 35 \text{ Hz}$ 가 도출되는 탄성계수를 바닥충격음 해석 모델에 입력하였다.

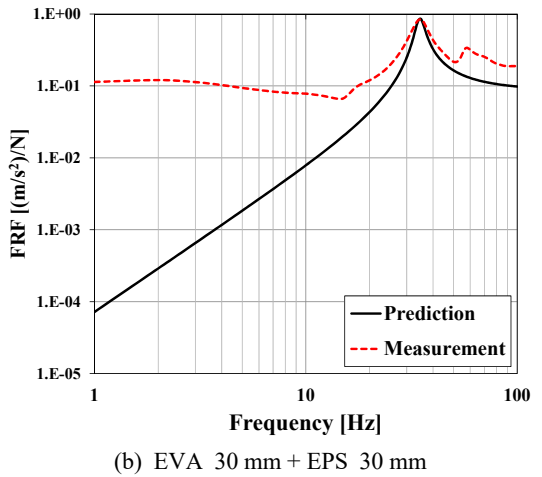
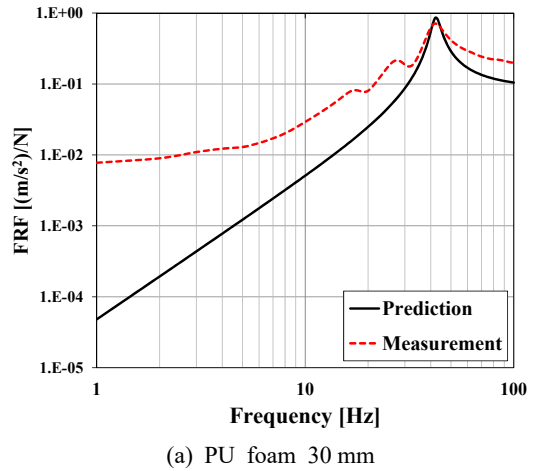
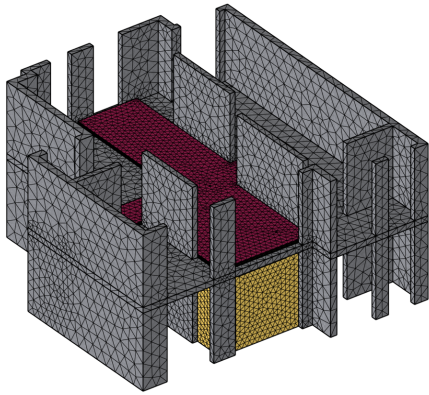


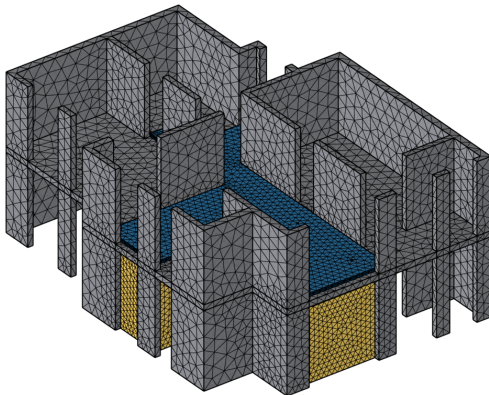
Fig. 7 Comparison of predicted and measured dynamic stiffness

Table 5 Input value of resilient materials and mortar

Type	Material	Property	Input value
59 A	PU	Density	100 kg/m^3
		Dynamic stiffness	13.9 MN/m^3
	Lightweight mortar	Density	600 kg/m^3
		Young's modulus	2.5 Gpa
Finishing mortar	Density	2100 kg/m^3	
	Young's modulus	20 Gpa	
59 B	EVA+ EPS	Density	20 kg/m^3
		Dynamic stiffness	9.7 MN/m^3
	Heavyweight mortar	Density	2400 kg/m^3
		Young's modulus	20 Gpa

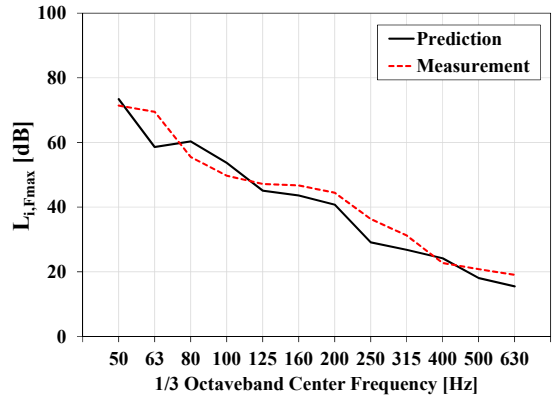


(a) 59A - PU foam 30 mm

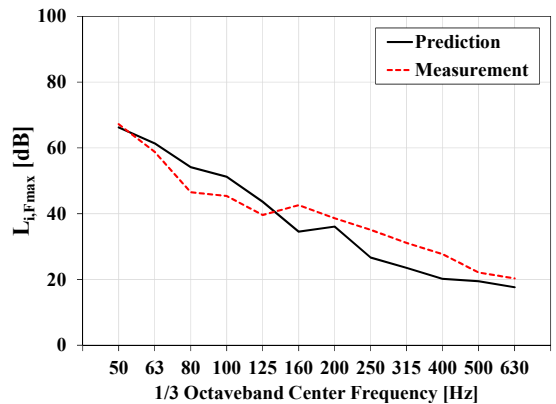


(b) 59B - EVA 30 mm + EPS 30 mm

Fig. 8 3 Dimensional floating floor model for structure-acoustic coupled FEA



(a) 59A - PU foam 30 mm



(b) 59B - EVA 30 mm + EPS 30 mm

Fig. 9 Floor impact sound measurement and prediction results of floating floor

Table 6 Measured and predicted A-weighted energy-average maximum impact sound pressure level of floating floor

Specimen		$L_{i,Fmax}$ [dB]												$L_{iA,Fmax}$ [dB]
		50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz	
59A (PU foam)	Prediction	73.4	58.6	60.4	53.7	45.1	43.6	40.8	29.1	26.8	24.2	18.1	15.5	45.4
	Measurement (6F)	71.4	69.5	55.5	49.7	47.2	46.7	44.4	36.3	31.2	22.7	20.8	19.1	46.5
59B (EVA+ EPS)	Prediction	66.2	61.4	54.2	51.2	43.7	34.5	36.1	26.7	23.5	20.2	19.5	17.6	40.6
	Measurement (6F)	67.2	58.8	46.5	45.4	39.6	42.6	38.6	35.1	31.1	27.7	22.1	20.3	40.1

Table 5에 실험 세대에 적용된 완충재 및 모르타르의 입력 물성을 나타내었으며, Fig. 8에 뜬바닥 구조에 대한 해석 모델을 나타냈다. 완충재와 모르타르 층은 세대 문을 모두 닫은 상태에서 평가되는 공간까지를 모델링하였으며 슬래브 상부에 union 기능을 사용하여 완전 접합 조건으로 모델링하였다.

뜬바닥 구조에 대한 바닥충격음 차단성능 종합성 검토는 거실 바닥 중앙점에 고무공을 가진하여 수음 세대 5개 지점의 최대 음압 레벨을 에너지 평균한 1/3 옥타브밴드 실내 에너지 평균 최대 바닥 충격음 레벨($L_{i,Fmax}$)과 A-가중 최대 바닥 충격음 레벨($L_{iA,Fmax}$)을 산출하여 측정결과와 해석결과를 비교하

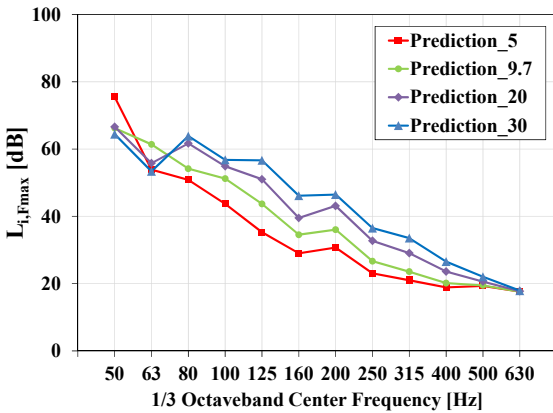


Fig. 10 Predicted impact sound pressure level of floating floor model 59 B according to dynamic stiffness of resilient material

Table 7 Predicted A-weighted energy-average maximum impact sound pressure level of floating floor model 59 B

Dynamic stiffness [MN/m ³]	5	9.7	20	30
L _{iA,Fmax} [dB]	45.4	40.6	43.6	46.1

는 방식으로 실시하였다.

3.2 해석 결과

Fig. 9(a)와 Fig. 9(b)는 59 A, 59 B 타입의 뜬바닥 구조에 대한 바닥충격음 해석결과와 측정결과를 1/3 옥타브밴드로 나타낸 그래프이며, Table 6은 실내 에너지 평균 최대 바닥충격음 레벨과 단일수치 평가결과를 비교하여 나타낸 것이다.

A-가중 최대 바닥 바닥충격음 레벨(L_{iA,Fmax}) 평가 결과, PU foam 완충재가 설치된 59 A 타입은 해석 결과 45.4 dB, 측정결과 46.5 dB로 편차는 1.1 dB, EVA와 EPS가 적층으로 적용된 59 B 타입은 해석결과 40.6 dB, 측정결과 40.1 dB로 0.5 dB의 차이가 나타났다. 이를 활용하여 평면 형태에 따른 최적의 완충 바닥구조를 결정하는 방법을 제시하고자 하였다. 이를 위해 59 B 타입의 모델을 이용하여 동일한 단면 구조에서 완충재 동탄성계수에 따른 바닥충격음 예측값을 구하고 이를 통해 최적 바닥충격음 차단성능을 갖는 뜬바닥 구조를 결정하는 과정을 확인하고자 한다.

4. 완충재 최적 동탄성계수 결정

4.1 해석 개요

공동주택 평면 및 구조에 따른 바닥충격음 차단성능 최적 뜬바닥 구조 설계를 위해 59 B 타입의 해석 모델을 활용하여 바닥충격음 예측을 실시하였다.

바닥 구조 단면과 동탄성계수를 제외한 물성은 모두 동일하고 완충재의 동탄성계수를 5 MN/m³, 20 MN/m³, 30 MN/m³으로 단계적으로 변경하여 도출되는 1/3 옥타브밴드 실내 에너지 평균 최대 바닥 충격음 레벨(L_{i,Fmax})과 A-가중 최대 바닥 바닥충격음 레벨(L_{iA,Fmax})을 확인하였다.

4.2 해석 결과

Fig. 10은 완충재의 동탄성계수에 따른 실내 에너지 평균 최대 바닥 충격음 레벨을 나타내며, Table 7은 A-가중 최대 바닥 바닥충격음 레벨을 나타낸다.

완충재의 동탄성계수가 낮을수록 63 Hz 이상의 주파수 대역에서는 바닥충격음 레벨이 감소하는 특성이 나타나나 63 Hz 이하에서는 역전되는 현상이 발생한다. 이는 뜬바닥구조의 고유 진동모드가 동탄성계수가 증가함에 따라 증가하기 때문으로 판단되며 A-가중 최대 바닥 바닥충격음 레벨 단일수치로 평가하여 해석 대상 완충재 중 최적 동탄성계수를 확인하였다.

완충재 동탄성계수 5 MN/m³을 사용한 구조의 경우 63 Hz 이상에서 해석 대상 중 가장 낮은 바닥충격음 레벨이 나타났음에도 50 Hz에서 역전 현상으로 인해 가장 높은 바닥충격음 레벨이 나타나 단일수치는 45.4 dB로 평가되었다. 해석 신뢰성 검증에 사용된 9.7 MN/m³을 사용한 구조의 경우 50 Hz에서 증폭 현상이 크지 않고 주파수 대역 전반에 걸쳐 저감 효과가 나타나 40.6 dB로 평가되었다. 동탄성계수 20 MN/m³과 30 MN/m³ 완충재의 경우 80 Hz 이상에서 동탄성계수 증가에 따른 바닥충격음 레벨 증가가 나타나 각각 43.6 dB, 46.1 dB로 평가되었다. 해석결과를 바탕으로 해당 평면 및 구조 형식의 공동주택에서는 완충재 동탄성계수를 약 10 MN/m³에 맞추어 설계하는 것이 최적의 바닥충격음 차단성능을 이끌어 낼 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같이 구조 형식과 평면이 결정된 상태에서 뜬바닥 구조 해석을 통해 최적의 바닥충격음 차단성능을 갖는 단면을 상대 비교하여 설계에 반영할 수 있을 것이다.

5. 결 론

이 연구에서는 신축 공동주택 현장을 대상으로 뜬바닥 시공 시 저주파 대역 중량충격을 증폭 현상을 방지하기 위한 해석적 프로세스 수립을 위해 상용 유한요소 해석프로그램을 활용하여 뜬바닥 구조에 대한 해석 적합성 검토를 실시하였다. 이를 위해 완충재 동탄성계수 측정 시 사용되는 방법을 해석 프로그램 상에 구현하였으며, 여기서 도출된 진동 응답 결과와 완충재의 고유진동수를 활용하여 뜬바닥 구조 해석 적합성을 확인하였다. 적합성 검토 결과를 바탕으로 특정 평면의 뜬바닥 구조에 대한 최적 완충구조 설정 연구를 수행하였으며 주요 연구결과 는 아래와 같다.

해석 대상 평면에 완충재가 설치된 뜬바닥구조에 대해 적합성 검토를 실시하였으며 A-가중 최대 바닥충격음 레벨($L_{iA,Fmax}$) 평가 결과, 측정결과와 해석결과의 차이는 0.5 dB ~ 1.1 dB로 나타났다.

바닥충격음 차단성능 최적 뜬바닥 구조 설계를 위해 완충재의 동탄성계수에 따른 A-가중 최대 바닥충격음 레벨($L_{iA,Fmax}$)을 확인하였으며 해석 대상 평면에서는 완충재 동탄성계수 9.7 MN/m^3 를 사용한 구조가 바닥충격음 차단성능이 가장 높게 평가되는 것으로 나타났다. 이와 같이 구조 형식과 평면이 결정된 상태에서 완충 바닥구조 해석을 통해 최적의 바닥충격음 차단성능을 갖는 단면을 상대 비교하여 설계에 반영할 수 있을 것이다.

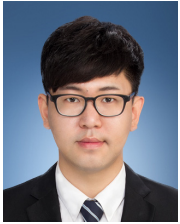
이 연구에서는 상용 유한요소 해석프로그램을 이용하여 특정 평면 및 구조 형식의 공동주택에서 바닥충격음 차단성능을 최적으로 발현할 수 있는 뜬바닥 단면 결정 과정에 대한 방법을 고찰하였다. 이 연구 결과를 통해 뜬바닥 구조 해석 프로세스가 정립된다면, 공동주택 설계 단계에서 평면 및 구조 형식에 따른 중량충격을 저주파 대역 증폭 현상을 방지할 수 있는 최적 뜬바닥 구조 선정 및 완충재 동탄성계수 범위 설정이 가능할 것으로 기대된다.

다만, 이 연구의 해석 프로그램에 입력되는 재료 물성에 대해 적합성 검증 대상 현장에 적용된 설계값을 반영하였으나, 예측 정확도를 높이기 위해서는 입력 물성에 대한 기초 실험 데이터가 다수 필요할 것으로 판단된다.

References

- (1) The Board of Audit and Inspection of Korea, 2019, Operating Status of Policy for Reduction of Floor Impact Noise in Apartments, pp. 1~139.
- (2) Kim, K.-W., Jeong, G.-C. and Sohn, J., 2008, Evaluation of the Dynamic Stiffness and Heavy-Weight Floor Impact Sound Reduction by Composition of Resilient Materials, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 247~254.
- (3) Song, G.-G., Kim, Y.-H., Ryu, J.-K. and Kim, M.-J., 2018, Analysis of Heavyweight Floor Impact Sound Level with Dynamic Stiffness and Thickness of EPS Type Resilient Materials, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 713~720.
- (4) Lee, W.-H., Song, G.-G. and Haan, C.-H., 2020, Analysis on the Characteristics of Floor Impact Sound by Floor Construction Process of Apartment Houses, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 30, No. 1, pp. 29~36.
- (5) Kim, J. H., Mun, D. H., Jeong, G. C. and Park, H. G., 2017, Influence of Floor Dimension and Resilient Material on Heavy Impact Noise of Floating Floor System, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 27, No. 4, pp. 434~443.
- (6) Mun, D.-H., Lee, S.-H., Hwang, J.-S., Beak, G.-O. and Park, H.-G., 2015, Prediction of Heavy-Weight Floor Impact Sound in Multi-unit House Using Finite Element Analysis, Journal of the Computational Structural Engineering Institute of Korea, Vol. 28, No. 6, pp. 645~657.
- (7) Mun, D.-H., 2015, Analysis of Influence Factors of Floor Impact Sound in Residential Buildings, Doctoral Dissertation, Seoul National University, Seoul.
- (8) Beak, G.-O., 2016, Experimental and Numerical Studies on Floor Impact Sound Design of Residential Buildings, Master's Thesis, Seoul National University, Seoul.
- (9) Kim, T. 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.



Seong-Bok Lee received M.S. in Dept. of architectural engineering, University of Seoul, Seoul, Korea in 2015. He is currently a Ph.D. candidate at University of Seoul and a researcher of Lotte E&C Institute in Korea. His research interests are in the area of architectural and environmental acoustics.



Myung-Jun Kim received B.S., M.S. and Ph.D. in Dept. of architectural engineering from Hanyang University, Seoul, Korea in 1987, 1989, and 1999, respectively. He is currently a professor in the Dept. of architecture at University of Seoul. His research interests are in the area of architectural acoustics and sound insulation in buildings.



analysis.

Kyung-Suk Choi received Ph.D. in Dept. of architectural engineering from University of Seoul, Seoul, Korea in 2018. He currently works in Lotte E&C Institute. His research interests are in the area of seismic design and structural vibration



area of building materials and structural vibration analysis.

Jeong-Jin Kim received Ph.D. in Dept. of architecture from University of Tokyo, Tokyo, Japan in 2007. He currently works in Lotte E&C Institute and he is a team leader of Noise and Vibration Solution TFT. His research interests are in the