

## 장선슬래브를 갖는 소형평형 벽식구조 아파트 바닥구조의 중량충격음 특성

천영수<sup>1\*</sup>

# Heavy-weight Impact Sound Characteristics of Floor Structure of a Small-Sized Wall-Slab Apartment Building having Joist Slab

Young-Soo Chun<sup>1\*</sup>

**Abstract:** In the present paper, as a way of reducing heavyweight impact sounds, in particular, among floor impact sounds which have come to the forefront as a social issue recently, a floor joist slab is proposed that is expected to bring an effect of reducing heavyweight impact sounds through a shift in the natural frequency by installing a floor joist on a flat-type slab to increase the rigidity of the floor slab, differently from the existing method that increases the thickness of floor slab, and the heavyweight impact sound characteristics depending on the floor joist height and interval are interpretively analyzed. As a result of the analysis, though a trend is shown where the sound pressure level decreases as the slab thickness of floor joist increases, and as no difference is shown when thickness is above a certain value, it is thought that there is a threshold for the effect of an increase in floor thickness on blockage of heavyweight impact sounds. Also, as an increase in floor rigidity resulting from an increase in the floor joist height and a decrease in the interval does not lead to a consistent increase in the performance of blocking heavyweight impact sounds, it is thought that a different floor joist height and interval should be applied to each type of house to expect optimum performance of blocking heavyweight impact sounds, and an increase of 100mm in the floor joist height or a decrease of about 100mm in the interval is expected to bring an effect of reducing heavyweight impact sounds by about 1dB to 2dB.

**Keywords:** Floor impact sound, Heavy-weight impact sound, Joist slab, Joist depth and interval

## 1. 서 론

벽식구조(Wall-slab)는 우리나라에서 건설되는 공동주택의 대표적인 구조형태이다. 하지만 벽식구조로 건설되는 아파트들은 벽과 바닥을 인접세대 및 상하세대와 공유하게 되어 벽과 바닥을 통한 소음에 쉽게 노출될 수 있다. 더욱이 최근에 와서는 이러한 문제가 아파트 거주자들의 생활수준과 삶의 질에 대한 요구수준이 높아지면서 빈번한 민원과 분쟁의 원인이 되고 있으며, 층간소음은 사회적인 문제로까지 대두되기에 이르렀다. 층간소음 문제 중 특히 어린이가 뛰고 달리면서 발생하는 중량충격음 문제는 층간소음의 주요 불만 요인으로 공동주택 구조의 개선이 시급할 실정이다. 물론 이 문제에 대해서는 그간 다양한 형태의 개선방안이 제시되어 왔으나, 아직까지 어떠한 방법도 만족할만한 성과를 제시하고 있지는 못한 실정이다.

정부에서는 이러한 문제의 심각성을 인지하고 법령의 강화 및 수정을 통하여 새로운 기준을 도입하였으며(Ministry of Land, 2015), 이에 따라 새롭게 도입된 인정바닥구조가 기존의 표준바닥구조를 대체하였다. 또한 이러한 법적기준에 맞추어 다양한 방법들이 층간소음문제를 줄이기 위하여 제안되었다(Jeon et al, 2010; Cha, 2014; Lee et al, 2017; Park and Lee, 2017).

중량 바닥충격음은 구체전달음으로 최근까지의 연구들에서는 슬래브 두께를 증가시키거나 뜬바닥구조를 형성하는 방식(Schiavi, 2018; Martins et al, 2015; Faustino et al, 2012; D'alessandro et al, 2014)으로 바닥충격음 저감방안을 제시하여 왔으며, 실제 콘크리트의 강도, 슬래브의 두께와 밀도 등 다양한 변수들이 바닥충격음에 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다(Beak, 2015; Lee and Jeong, 2016). 하지만 뜬바닥구조와 같이 완충구조를 이용한 방법은 중량충격음을 줄이는데 큰 실효를 거두고 있지 못하고 있으며(Bang et al., 2013; Chun et al., 2015), 현재로서는 슬래브의 두께를 증가시키는 것이 가장 효과적인 방법으로 인지되고 있다. 하지만 슬래브 두께의 증가는 건물의 중량을 증가시켜 지진하중이나 기초의 물량을 증가시키는 건설상 또 다른 불리한 조건을 형성하게

<sup>1</sup>정회원, 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원

\*Corresponding author: cysoo@lh.or.kr

Land and Housing Institute(LHI), Deajeon city, 34047, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2020년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2020년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

된다(Chun et al., 2015). 또한 완충재의 적용은 경량충격음 저감에는 어느 정도 효과가 있으나 중량충격음 저감에는 한계가 있음이 최근 연구로부터 지적되고 있다(Beak, 2015; Chun et al., 2015; Lee and Jeong, 2016). 바닥충격음 성능을 결정하는 요인으로는 바닥 강성 및 두께 이외에도 현장 조건, 구조 형식, 평면의 크기 및 형태, 경계 조건 등 다양한 영향인자가 존재한다. 따라서 단순히 바닥 두께를 늘리는 일률적인 대응 방안은 층간소음 문제를 해결하기 위한 최선의 방법은 아니라고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 중량바닥충격음 저감방안의 일환으로 기존의 평판형 슬래브에 장선을 설치하여 바닥슬래브의 강성을 증가시킴으로써 고유진동수 이동을 통한 중량충격음의 저감 효과를 기대할 수 있는 장선바닥슬래브를 검토해 보고자 하며, 장선의 춤과 간격에 따른 중량충격음 특성을 해석적으로 분석하였다. 장선슬래브는 바닥슬래브의 두께를 일률적으로 증가시키는 기존의 방식과 비교하여 원가절감 측면에서 유리할 것으로 기대된다.

## 2. 연구대상 및 연구방법

### 2.1 연구대상 건물

연구대상 건물은 벽식구조로 건설된 아파트로써 건설물량이 많은 소형평형의 임대주택을 대상으로 하였다. 연구대상 주택의 규모는 LH공사에서 건설하는 전용면적 33m<sup>2</sup>, 46m<sup>2</sup> Type 표준평면을 대상으로 하였으며, Fig. 1에 연구대상 주택의 단위세대 평면을 나타내었다.

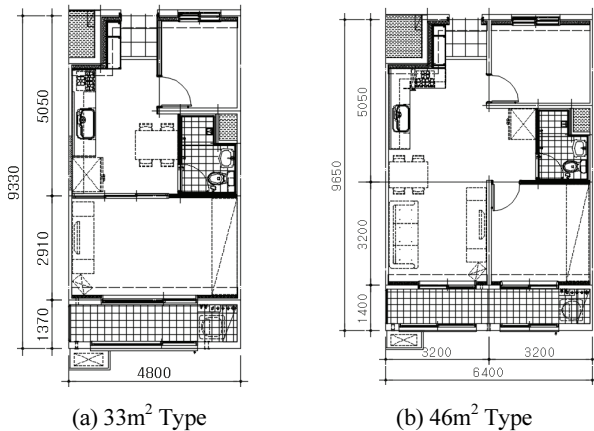


Fig. 1 Plane of the apartment to be analyzed

### 2.2 해석대상 바닥구조 및 해석변수

Table 1은 장선슬래브의 설계 요소별 모델 일람표를 나타

낸 것으로, Fig 2에 나타낸 바와 같이 설계 요소를 슬래브 두께(Slab thickness), 장선 춤(Depth of joist), 장선 간격(Interval of joist)의 3개 요소로 정하고 이를 변화시켜 중량충격음을 해석을 실시하였다. 장선의 너비(Width of joist)는 설계상의 이유로 변수로서 채택하지 않고 120mm로 고정시켰다. 또한 장선 춤도 장선 춤의 변화로 인한 층고 증가 요인을 배제하기 위하여 기존 천장 깊이 이상은 설치하지 않는 것을 전제조건으로 검토하였다. 해석은 완충층을 고려하지 않은 맨슬래브를 대상으로 실시하였다.

Table 1 List of analytical models

Name	Type	Slab thickness (mm)	Depth of joist (D, mm)	Interval of joist (S, mm)		
NS120	33, 46	120	350	600		
RS120						
RS120-D300			300	600		
RS120-D250						
RS120-S500			350	500		
RS120-S400						
NS150			33, 46	150	350	600
RS150						
NS180					350	600
RS180						
RS180-D300	180	600				
RS180-D250						
RS180-S500	350	500				
RS180-S400						
NS210	33, 46	210			350	600
RS210						

\* NS : Flat-type slab(rectangular section), RS : Joist slab

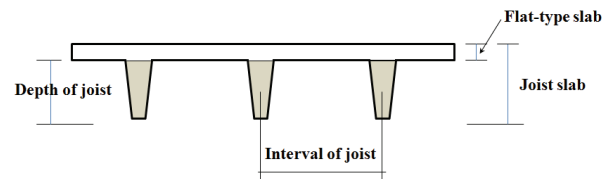


Fig. 2 Variables of analytical model

### 2.3 연구방법

본 연구에서는 바닥구조에 따른 중량충격음을 해석하기 위하여 유한요소해석법(Finite Element Method, 이하 FEM)을 사용하였다. 해석 시 사용된 프로그램은 FEM을 기반으로 한 진동 및 소음 해석 상용프로그램인 S사의 Virtual.lab(2014)이다.

Fig. 3은 바닥충격음 해석의 순서를 나타낸 것으로, 먼저 구조물을 쉘 요소로 모델링하여 고유 모드해석(Modal Analysis)을 실시한 후, 모드해석 결과를 이용하여 중량충격원의 충격 하중을 입력하여 진동해석(Vibration Analysis)을 실시하였으며, 마지막으로 진동해석 결과를 바탕으로 실내 임의의 위치에서의 음압을 계산하였다. 해석 시 사용된 입력 물성치(Input property)

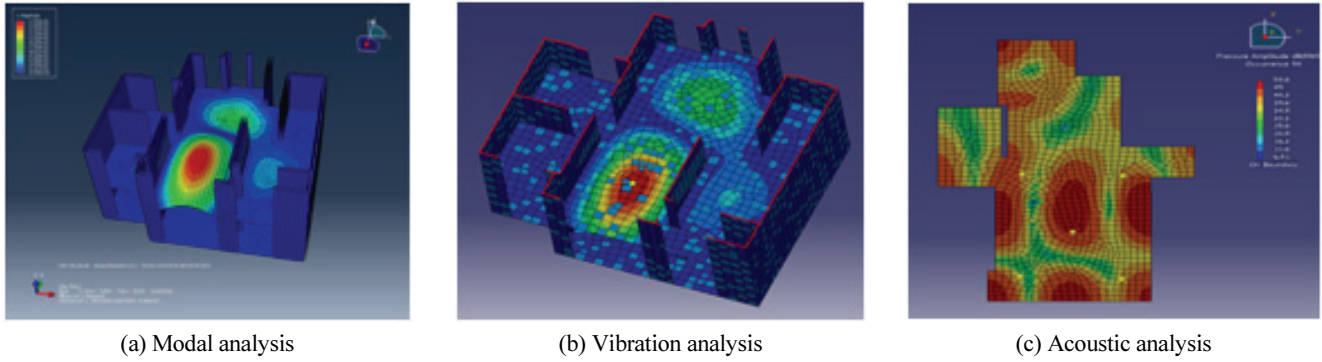


Fig. 3 Analysis process

는 Table 2에 나타내었다.

충격원은 표준충격원으로 뱅머신(Bang machine)의 충격력 데이터(KS F 2810-2)를 사용하였으며, 해석 및 결과에 대한 평가 방법은 한국산업표준(KS F 2810-2, KS F 2863-2)을 따랐다.

가진점 및 수음점의 위치는 연구대상의 평면(33m<sup>2</sup>, 46m<sup>2</sup>)의 거실부분에 Fig. 4와 같이 중앙점과 모서리 4점을 포함하여 5개소로 하였으며, 모서리 지점은 벽에서 0.75m 이격하였고, 수음점의 높이는 1.2 m로 설정하였다.

Table 2 Input material properties

Classification	Input property
Concrete Density	240 kg/m <sup>3</sup>
Concrete Elasticity	2.3 x 1010 N/m <sup>2</sup>
Concrete Poisson's Ratio	0.167
Air Density	1.225 kg/m <sup>3</sup>
Air Elasticity	1.43 x 105 N/m <sup>2</sup>
Air Velocity	340 m/s
Mesh Size	0.2 m
Damping Ratio	1%
Acoustic Impedance	80,000 kg/m <sup>2</sup> s

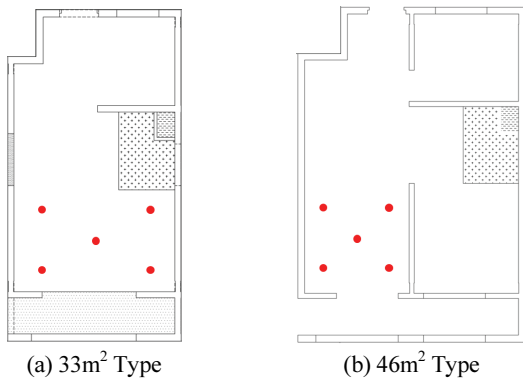


Fig. 4 Excitation and receiving point of the plane to be analyzed

### 3. 해석결과 및 분석

#### 3.1 장선설치에 따른 효과

Table 3과 Table 4는 각 연구대상 평면을 대상으로 평판슬래브와 장선슬래브의 슬래브 두께별 1/1 옥타브밴드 중심주파수의 음압레벨과 중량충격음 차단성능 단일수치 평가결과를 정리

Table 3 Result of analyzing heavy-weight impact sound resulting from installation of joist slab(33m<sup>2</sup>TYPE)

Plane	1/1 Octave band center frequency				Single number
	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	
33-NS120	86.77	66.80	64.74	54.15	58
33-RS120	87.51	63.57	59.64	50.12	57
33-NS150	83.76	62.14	60.82	49.88	54
33-RS150	84.17	60.47	56.82	47.53	54
33-NS180	78.11	63.10	56.76	46.36	50
33-RS180	74.49	61.63	55.02	45.29	48
33-NS210	72.01	62.45	55.31	45.41	47
33-RS210	71.95	59.13	53.45	42.52	45

\*RS specimen : Joist depth 350mm, Joist interval 600mm, Joist width 120mm fixed

Table 4 Result of analyzing heavy-weight impact sound resulting from installation of joist slab(46m<sup>2</sup>TYPE)

Plane	1/1 Octave band center frequency				Single number
	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	
46-NS120	82.51	68.11	60.90	52.95	54
46-RS120	75.71	64.41	58.02	50.16	50
46-NS150	75.13	64.23	57.80	49.41	50
46-RS150	67.74	62.92	54.79	46.25	46
46-NS180	71.32	62.96	55.99	45.34	47
46-RS180	69.71	61.46	52.64	43.09	45
46-NS210	71.24	60.60	54.15	42.32	46
46-RS210	75.70	59.25	52.79	41.55	46

\*RS specimen : Joist depth 350mm, Joist interval 600mm, Joist width 120mm fixed

하여 나타난 것이다. 해석조건은 장선 춤 350 mm, 장선 간격 600mm, 장선 너비 120 mm로 동일하고, 슬래브 두께는 각각 210 mm, 180 mm, 150 mm, 120mm인 모델을 대상으로 중량충격음 해석을 실시하였다. 해석결과, 전 주파수 대역에서 슬래브 두께가 증가할수록 음압레벨이 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만 중량충격음 차단성능 증가 정도는 바닥두께 180mm와 210mm에서 상대적으로 큰 차이를 보이지 않아 바닥두께 증가로 인한 중량충격음 차단 기대효과에는 임계치가 있을 것으로 사료된다.

### 3.1.1 33m<sup>2</sup> Type의 슬래브 두께별 중량충격음 해석결과

Fig. 5에 33m<sup>2</sup> 주택에서 슬래브 두께 변화에 따른 평판슬래브와 장선슬래브의 중량충격음 차단성능의 차이를 1/1 옥타브밴드 중심주파수별로 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 슬래브 두께마다 차이는 있지만 주로 125 Hz 이상의 영역에서 약 2 dB ~ 5 dB 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 180 mm 슬래브의 경우에는 63 Hz에서도 약 3 dB 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이는 동 슬래브에서 장선 설치로 인해 63 Hz 근방에서 나타났던 고유진동수가 가장 크게 이동하였기 때문인 것으로 판단된다. 전체적으로 단일수치는 장선 설치 시 최대 2 dB까지 저감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

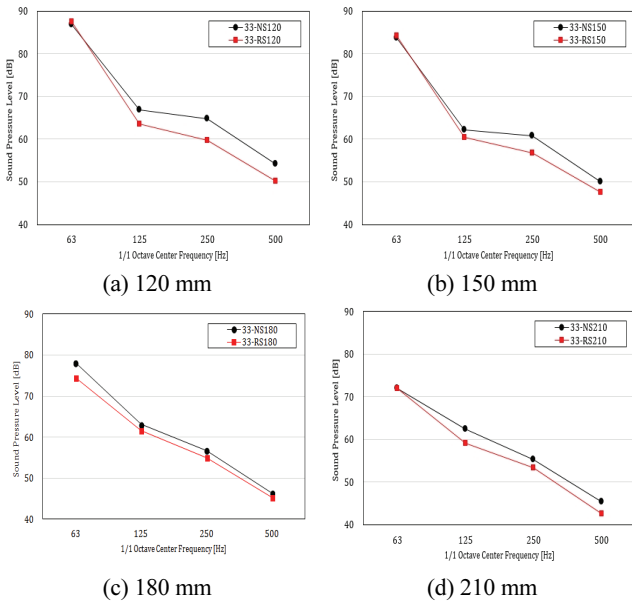


Fig. 5 Comparison of heavy-weight impact sounds by slab thickness(33m<sup>2</sup> Type)

### 3.1.2 46m<sup>2</sup> Type의 슬래브 두께별 중량충격음 해석결과

Fig. 6은 46m<sup>2</sup> 주택에서 슬래브 두께 변화에 따른 평판슬래브와 장선슬래브의 중량충격음 차단성능의 차이를 1/1 옥타브밴드 중심주파수별로 비교하여 나타낸 것이다. 비교결과, 슬래브 두께마다 차이는 있지만 평가대상 주파수 영역에서 약 1 dB ~ 7 dB 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 150 mm의 경우 63 Hz에서 약 7.8 dB 저감효과를 나타내어 장선 설치로 인한 중량충격음의 저감효과를 가장 크게 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 단일수치는 장선 설치 시 최대 4 dB까지 저감효과가 있을 것으로 판단된다. 다만 210mm 슬래브(1st:34.5Hz, 2nd:45.0Hz, 3rd:55.6Hz, 4th:61.1Hz)의 경우 63 Hz에서 증폭현상이 발생하였는데 이는 역시 바닥슬래브 고유진동수와와의 모델 공진과 관련 있는 것으로 판단됨으로 장선 설치에 따른 바닥 슬래브의 강성 및 진동 특성 변화를 잘 고려한 설계가 적용되어야 할 것으로 판단된다.

드 중심주파수별로 비교하여 나타낸 것이다. 비교결과, 슬래브 두께마다 차이는 있지만 평가대상 주파수 영역에서 약 1 dB ~ 7 dB 저감효과가 있는 것으로 나타났다. 특히, 150 mm의 경우 63 Hz에서 약 7.8 dB 저감효과를 나타내어 장선 설치로 인한 중량충격음의 저감효과를 가장 크게 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 전체적으로 단일수치는 장선 설치 시 최대 4 dB까지 저감효과가 있을 것으로 판단된다. 다만 210mm 슬래브(1st:34.5Hz, 2nd:45.0Hz, 3rd:55.6Hz, 4th:61.1Hz)의 경우 63 Hz에서 증폭현상이 발생하였는데 이는 역시 바닥슬래브 고유진동수와와의 모델 공진과 관련 있는 것으로 판단됨으로 장선 설치에 따른 바닥 슬래브의 강성 및 진동 특성 변화를 잘 고려한 설계가 적용되어야 할 것으로 판단된다.

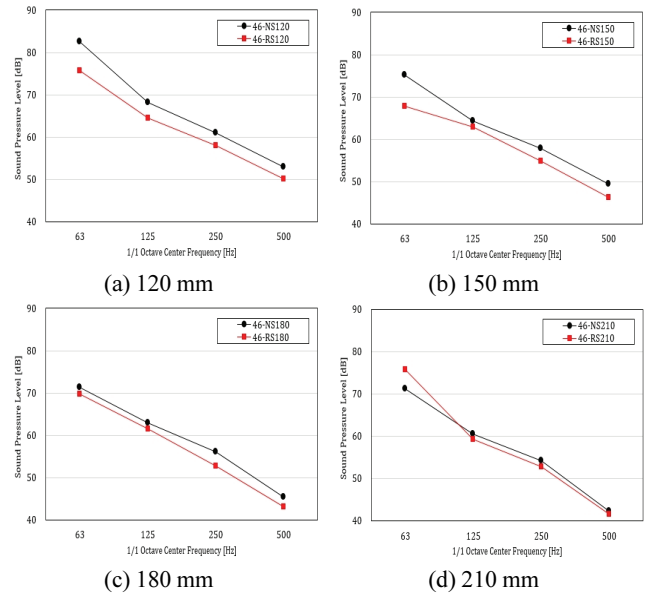


Fig. 6 Comparison of heavy-weight impact sounds by slab thickness(46m<sup>2</sup> Type)

## 3.2 장선 춤의 변화에 따른 효과

Table 5와 Table 6은 각 연구대상 평면을 대상으로 장선슬래브의 장선 춤과 간격의 변화에 따른 슬래브 두께별 1/1 옥타브밴드 중심주파수의 음압레벨과 중량충격음 차단성능 단일수치 평가결과를 정리하여 나타낸 것이다. 본 절에서는 먼저 장선 춤의 변화에 따른 효과를 검토하기 위하여 180mm 슬래브와 120mm 슬래브를 대상으로 장선 간격 600 mm, 장선 너비 120 mm의 동일 조건에서 장선 춤을 각각 350 mm, 300 mm, 250 mm로 변화시켜 중량충격음의 변화를 분석하였다.

### 3.2.1 33m<sup>2</sup> Type의 중량충격음 해석결과

Fig. 7은 33m<sup>2</sup> 주택에서 장선 춤의 변화에 따른 장선슬래브의 중량충격음 차단성능의 차이를 1/1 옥타브밴드 중심주



**Table 5** Result of analyzing heavyweight impact sound depending on floor joist depth and interval(33m<sup>2</sup> Type)

Plane	1/1 Octave band center frequency				Single number
	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	
33-RS120*	87.51	63.57	59.64	50.12	57
33-RS120-D300	82.58	64.63	60.57	51.36	54
33-RS120-D250	85.15	65.47	61.16	51.63	55
33-RS120-S500	86.65	63.91	58.57	49.14	56
33-RS120-S400	90.93	61.06	57.60	48.18	60
33-RS180*	74.49	61.63	55.02	45.29	48
33-RS180-D300	75.98	63.65	55.34	46.23	49
33-RS180-D250	77.06	62.14	55.85	46.63	49
33-RS180-S500	74.75	62.46	54.72	44.48	48
33-RS180-S400	74.04	61.21	53.92	43.38	47

\* Joist depth(D) 350mm, Joist interval(S) 600mm, Joist width(W) 120mm

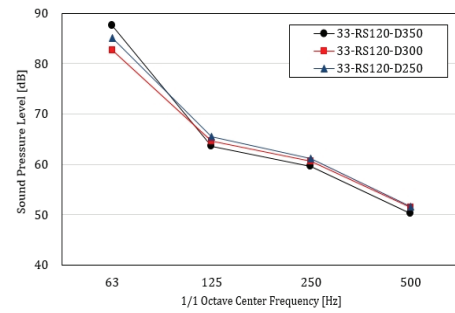
**Table 6** Result of analyzing heavyweight impact sound depending on floor joist depth and interval(46m<sup>2</sup> Type)

Plane	1/1 Octave band center frequency				Single number
	63Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	
46-RS120*	75.71	64.41	58.02	50.16	50
46-RS120-D300	78.86	65.34	59.95	50.10	52
46-RS120-D250	78.11	67.13	60.67	49.94	52
46-RS120-S500	72.66	62.50	57.20	49.68	50
46-RS120-S400	73.92	62.34	56.86	48.89	49
46-RS180*	69.71	61.46	52.64	43.09	45
46-RS180-D300	69.56	62.23	53.21	43.33	45
46-RS180-D250	69.27	63.36	54.12	43.85	46
46-RS180-S500	68.29	60.89	52.30	42.86	44
46-RS180-S400	68.06	61.25	52.29	42.68	44

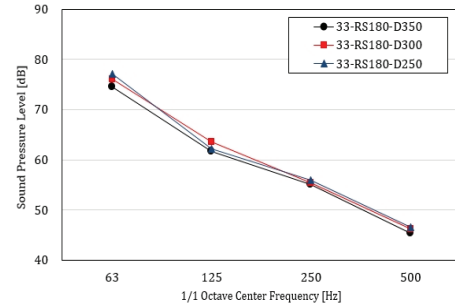
\* Joist depth(D) 350mm, Joist interval(S) 600mm, Joist width(W) 120mm

과수별로 비교하여 나타낸 것이다.

비교 결과, 180 mm 슬래브의 경우 장선 춤이 250 mm에서 350 mm로 약 100 mm 증가함에 따라 단일수치로 약 1 dB 정도 바닥충격음 저감성능이 향상되는 것으로 나타난 반면, 120 mm 슬래브의 경우에는 오히려 장선 춤이 증가하였음에도 불구하고 장선 춤이 가장 큰 350 mm 슬래브에서 바닥충격음 차단성능이 가장 좋지 않은 것으로 나타났다. 이는 장선 춤의 증가는 곧 바닥슬래브의 강성증가로 이어지게 되며, 상대적으로 180mm 슬래브보다 120mm 슬래브에서 슬래브두께 대비 장선 춤의 변화로 인한 강성변화가 크게 나타났고, 이러한 강성증가로 인하여 바닥슬래브 고유진동수 및 림모드와의 모드별 공진이 발생하였기 때문으로 판단된다. 하지만 주어진 조건 하에서 장선 춤의 변화로 인한 바닥충격음의 차이는 1dB 정도에 불과하였다는 점에 착안할 때 장선 춤의 변화로 인한 바닥충격음 차단성능의 차이는 그리 크지 않을 것으로 판단된다.

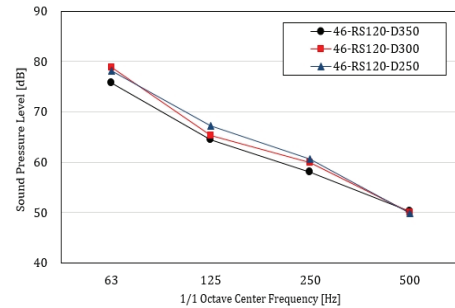


(a) 120 mm

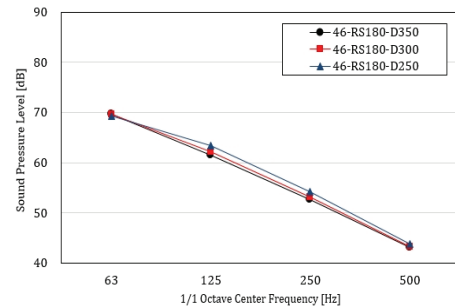


(b) 180 mm

**Fig. 7** Result of analyzing heavy-weight impact sound by floor joist depth(33m<sup>2</sup> Type)



(a) 120 mm

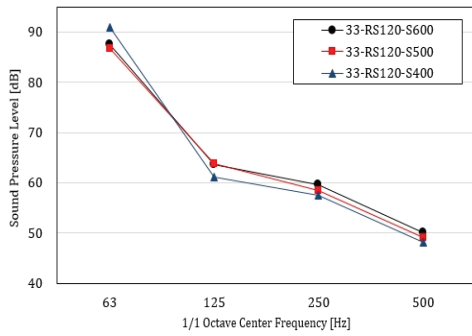


(b) 180 mm

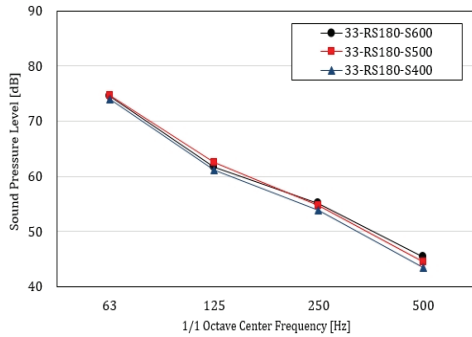
**Fig. 8** Result of analyzing heavy-weight impact sound by floor joist depth(46m<sup>2</sup> Type)

### 3.2.2 46m<sup>2</sup> Type의 중량충격음 해석결과

Fig. 8은 46m<sup>2</sup> 주택에서 장선의 변화에 따른 장선슬래브의 중량충격음 차단성능의 차이를 1/1 옥타브밴드 중심주파수 별로 비교하여 나타낸 것이다.



(a) 120 mm



(b) 180mm

**Fig. 9** Result of analyzing heavy-weight impact sound by floor joist interval(33m<sup>2</sup> Type)

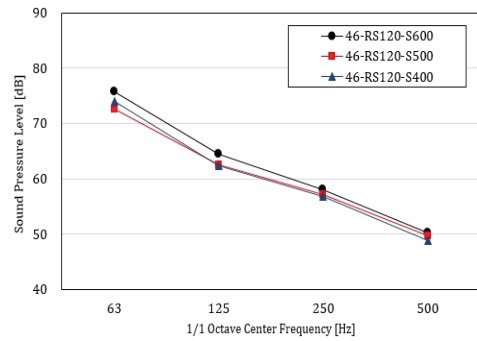
비교 결과, 120 mm 슬래브의 경우 장선 춤이 증가함에 따라 최대 2 dB까지 바닥충격음 차단성능 향상되었으며, 33m<sup>2</sup> 주택에서와는 달리 저주파수 대역에서의 증폭현상은 나타나지 않았다. 또한 180 mm 슬래브의 경우에도 장선 춤이 250 mm에서 350 mm로 약 100 mm 증가함에 따라 약 1 dB의 바닥충격음 저감성능이 향상되는 것으로 나타내었다. 결론적으로 46m<sup>2</sup> 주택에서도 33m<sup>2</sup> 주택에서와 같이 장선 춤의 증가에 따른 바닥충격음 저감성능의 차이는 크게 나타나지 않았으나 비례적으로 저감성능이 증가되는 결과를 얻을 수 있었으며, 본 연구에서 설정한 제한적인 조건 하에서는 약 1 dB ~ 2 dB 정도 감소효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3 장선 간격의 변화에 따른 효과

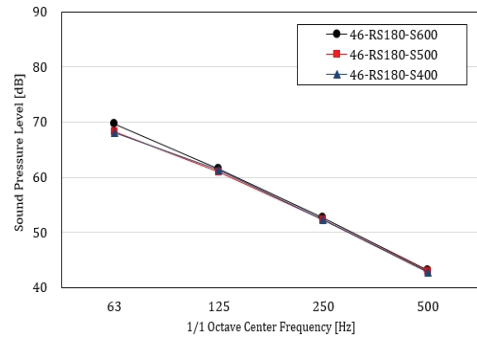
본 절에서는 장선 간격의 변화에 따른 효과를 검토하기 위하여 180 mm 슬래브와 120 mm 슬래브를 대상으로 장선 춤 350 mm, 장선 너비 120 mm로 고정한 조건에서 장선 간격을 각각 600 mm, 500 mm, 400 mm로 변화시켜 중량충격음 저감성능을 분석하였다.

#### 3.3.1 33m<sup>2</sup> Type의 중량충격음 해석결과

Fig. 9는 33m<sup>2</sup> 주택에서 장선 간격의 변화에 따른 장선 슬래브의 중량충격음 차단성능의 차이를 1/1 옥타브밴드 중심주파수별로 비교하여 나타낸 것이다.



(a) 120 mm



(b) 180 mm

**Fig. 10** Result of analyzing heavy-weight impact sound by floor joist interval(46m<sup>2</sup> Type)

파수별로 비교하여 나타낸 것이다.

해석 결과, 120 mm 슬래브의 경우 장선 간격이 촘촘해질수록 약 1 dB의 바닥충격음 저감효과가 나타났다. 단, 장선간격을 400 mm로 한 경우 63 Hz에서 증폭현상이 나타났는데 이는 350 mm 장선 춤을 갖는 슬래브에서도 관측된 바와 같이 바닥슬래브의 고유진동수 및 립 모드와의 모드별 공진이 발생하였기 때문으로 판단된다. 하지만 단일수치 상의 역전현상은 발생하지 않았으며, 역시 주어진 조건 하에서 장선간격 변화로 인한 저감효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 180 mm 슬래브의 경우에도 유사하게 장선 간격이 촘촘해질수록 약 1 dB의 바닥충격음 저감효과를 나타내었으며, 이 경우에는 63 Hz에서 증폭현상은 관측되지 않았다.

#### 3.3.2 46m<sup>2</sup> Type의 중량충격음 해석결과

Fig. 10은 46m<sup>2</sup> 주택에서 장선 간격의 변화에 따른 장선 슬래브의 중량충격음 차단성능의 차이를 1/1 옥타브밴드 중심주파수별로 비교하여 나타낸 것이다.

해석 결과, 120 mm 슬래브의 경우 장선 간격이 촘촘해질수록 약 1 dB의 바닥충격음 저감효과가 나타났으며, 33m<sup>2</sup> 주택에서와는 달리 63 Hz 대역에서 증폭현상은 관측되지 않았고 오히려 장선간격이 감소함에 따라 최대 3 dB까지 차단성능이 향상되는 것으로 나타났다. 180 mm 슬래브의 경우에도 장선 간격이 촘촘해질수록 약 1 dB의 바닥충격음 저감효과가 있는

것으로 조사되었다. 이 경우 주목되는 점은 바닥두께 180 mm와 120 mm 경우 모두 63 Hz 대역에서 장선간격 감소에 따라 약 1 dB에서 3 dB까지 차단능력이 향상된 것으로 나타났다는 점이다. 결론적으로 볼 때 장선간격의 변화 역시 본 연구에서 설정한 제한적인 조건 하에서는 약 1 dB 정도의 감소효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 바닥슬래브의 두께를 증가시키는 기존의 방식과 비교하여 원가절감 측면에서 유리할 것으로 기대되는 중량충격음 저감방안의 일환으로서 기존의 평판형 슬래브에 장선을 설치하여 바닥슬래브의 강성을 증가시킴으로써 고유진동수 이동을 통한 중량충격음의 저감 효과를 기대할 수 있는 장선바닥슬래브를 제안하고, 장선의 춤과 간격에 따른 중량충격음 특성을 해석적으로 분석하였다. 분석결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 장선슬래브의 경우 슬래브 두께가 증가할수록 음압레벨이 감소하는 경향을 나타내었으나 일정 두께 이상에서는 큰 차이를 보이지 않아 바닥두께 증가로 인한 중량충격음 차단 기대효과에는 임계치가 있을 것으로 사료되며, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.
- (2) 장선 춤의 증가와 간격 감소에 따른 바닥강성의 증가는 일관된 중량충격음 차단능력의 증가로 이어지지 않아 최적의 중량충격음 차단능력을 기대하기 위해서는 주택의 유형별로 각기 다른 장선 춤과 간격이 적용되어야 할 것으로 사료된다.
- (3) 장선의 춤과 간격의 변화에 따른 차이는 크지 않은 것으로 나타났으나 100 mm 정도의 장선 춤과 간격 변화로 약 1 dB ~ 2 dB 정도 중량충격음 저감 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.
- (4) 장선바닥구조는 장선의 춤과 간격 등을 최적화 한다면 맨슬래브 상태에서 기본적인 충격음 특성을 확보하는데 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단되며, 평판형 슬래브와 비교하여 경제적으로도 유리한 구조를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비지원(19RERP-B082204-06)에 의해 수행되었으며, 본 논문은 토지주택연구원에서 수행한 「신축 공동주택 공간 맞춤형 층간소음 저감기술 개발」 연구의 일부를 정리하여 작성한 것입니다.

## References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2015), Standard floor finishing and structures for interlayer noise prevention (p. 319), *Governing City: Ministry of Land, Infrastructure and Transport*.
2. Jeon et al. (2010), A quantification model of overall dissatisfaction with indoor noise environment in residential buildings, *Applied Acoustics*, 71, 914-921
3. Cha, S. (2014), The management system and effect of floor noise at apartment houses, *In Joint Conference by Korean Society for Noise and Vibration Engineering*.
4. Lee, J. W., Park, H., Yun, H., Jung, D., Lee, K. M., and Kwon, M. (2017), Procedure of noise measurement method for noise standard and improvement plan, *In Joint Conference by Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 168-170.
5. Park, S. H., and Lee, P. J. (2017), Effects of floor impact noise on psychophysiological responses, *Building and Environment*, 116, 174-181.
6. Schiavi, A. (2018), Improvement of impact sound insulation: A constitutive model for floating floors, *Applied Acoustics*, 129, 64-71.
7. Martins, C., Santos, P., Almeida, P., Godinho, L., and Dias, A. (2015), Acoustic performance of timber and timber-concrete floors, *Construction and Building Materials*, 101, 684-691.
8. Faustino, J., Pereira, L., Soares, S., Cruz, D., Paiva, A., and Varum, H., et al. (2012), Impact sound insulation technique using corn cob particleboard, *Construction and Building Materials*, 37, 153-159.
9. D'alessandro, F., Asdrubali, F., and Baldinelli, G. (2014), Multi-parametric characterization of a sustainable lightweight concrete containing polymers derived from electric wires, *Construction and Building Materials*, 68, 277-284.
10. Beak, G.O. et al. (2015), Analysis of Heavy-weight Floor Impact Noise and Vibration of Concrete Slabs in a Residential Building, *Proceedings of The 2015 World Congress on Advances in Civil, Environmental, and Materials Research(ACEM15)*, Incheon, August.
11. Lee, Y. J., and Jeong, Y. (2016), The objective and subjective evaluation of heavy-weight floor impact noise in box frame-type structures, *Proceedings of the INTER-NOISE 2016*, Hamburg, 6313-6317
12. Bang, J. D. et al. (2013), An Investigation Study on the R&D Trends for Mitigation Technologies of Floor Impact Noise of Apartment House, *Land and Housing Institute Report No.2013-15*.

13. Chun, Y.S. et al. (2015), Development of technologies for reducing floor impact noise in new residential apartments considering spatial characteristics, *Land and Housing Institute*, National Project Report(2nd year).
14. Korea Standards Association (2012), F2810-2: 2012 (Field measurement of impact sound insulation of floors-Part 2: Method using standard heavy impact source). Seoul: Korea Standards Association.
15. Korea Standards Association (2007), F2863-2: 2007 (Rating of floor impact sound insulation for impact source in buildings and of building elements-Part 2: Floor impact sound insulation against standard heavy impact source). Seoul: Korea Standards Association.
16. LMS Virtual.Lab Acoustic software (2014), *SIEMENS*.

Received : 08/08/2019

Revised : 09/02/2019

Accepted : 09/05/2019

---

**요 지 :** 이 논문에서는 최근 사회적인 이슈로 대두된 바닥충격음 중 특히 중량충격음을 저감시키기 위한 방법의 일환으로, 바닥슬래브의 두께를 증가시키는 기존의 방식과는 달리 평판형 슬래브에 장선을 설치하여 바닥슬래브의 강성을 증가시킴으로써 고유진동수의 이동을 통한 중량충격음의 저감 효과를 기대할 수 있는 장선바닥슬래브를 제안하고, 장선의 출과 간격에 따른 중량충격음 특성을 해석적으로 분석하였다. 해석결과, 장선슬래브의 슬래브 두께가 증가할수록 음압레벨이 감소하는 경향을 나타내었으나 일정 두께 이상에서는 큰 차이를 보이지 않아 바닥두께 증가로 인한 중량충격음 차단 기대효과에는 임계치가 있을 것으로 판단된다. 또한 장선 춤의 증가와 간격 감소에 따른 바닥강성의 증가는 일관된 중량충격음 차단성능의 증가로 이어지지 않아 최적의 중량충격음 차단성능을 기대하기 위해서는 주택의 유형별로 각기 다른 장선 출과 간격이 적용되어야 할 것으로 판단되며, 100mm 정도 장선 춤의 증가나 간격 감소로 약 1dB~2dB 정도의 중량충격음 감소효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 :** 바닥충격음, 중량충격음, 장선슬래브, 장선 출과 간격

---