

공동주택 무달대 천장의 바닥충격음 차단 특성 Characteristics of Floor Impact Noise Insulation for No Hanger Ceiling Structure in Apartment Building

박홍근† · 문대호‡
Hong-Gun Park and Dae-Ho Mun

Key Words : Ceiling(천장), Floor impact noise(바닥충격음), Bang machine(뽕머신), Rubber ball(고무공), Tappingmachine(태핑머신), Sound insulation (소음 차단), Apartment building(공동주택).

ABSTRACT

공동주택의 천장구조는 바닥충격음을 변화시키는 영향요소중의 하나이다. 천장구조의 진동응답 특성이 바닥충격음에 영향을 주는 요소를 확인하기 위해 천장구조의 달대를 제거하여 콘크리트 슬래브의 진동이 천장구조에 전달되지 않는 무달대 천장구조를 개발하였다. 달대가 시공된 일반 천장구조와 대비하여 무달대 천장구조의 천장판 가속도와 바닥충격음 레벨을 비교하였다. 무달대 천장구조를 사용함으로써 콘크리트 슬래브의 진동이 천장구조에 전달되는 것을 절연되어 천장구조의 진동응답 증폭을 저감시킬 수 있었으며, 저주파 대역의 바닥 충격음 증폭 또한 저감시킬 수 있었다. 일반 천장구조는 100 Hz 이하에서 천장구조의 진동응답이 증폭되어 저주파 대역 바닥충격음이 증폭되었다.

1. 서 론

공동주택의 바닥충격음에 영향을 주는 요소는 공동주택 구조시스템, 완충구조, 실의 크기, 충격원 종류 등 많은 요소가 있으며, 공동주택 실내 마감에 필수적으로 시공되는 천장구조 또한 바닥충격음에 영향을 주고 있다.

천장구조는 일반적으로 바닥충격음을 증폭시키지 만 천장층 공기층의 깊이를 증가시킬수록 그 증폭 정도를 저감시킬 수 있는 것으로 알려져 왔다. 하지만 그 원인파악에 대한 연구가 명확히 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 콘크리트 슬래브의 진동이 천장구조로 전달되는 경로를 파악하고 천장구조의 진동응답이 바닥충격음에 영향을 주는 영향요소를 파악하기 위해 콘크리트 슬래브의 진동이 천장구조로 전달되지 않는 무달대 천장구조를 개발하였다. 비교 실험을 위해 공동주택의 실제 마감구조로 사용된 일반천장구조(목구조 천장틀)를 최종 시공하여 무달대 천장구조와 천장판의 가속도와 바닥충격음을 비교하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험대상 공동주택

실험대상 공동주택은 84m² 크기의 공동주택 작은 방이며, 실의 크기는 3.3×4.0×H2.6m 이다. 공동주택은 내력벽 구조시스템으로 콘크리트 슬래브 210mm, 콘크리트 벽 두께 약 200mm로 되어있다. 표준바닥구조는 마감모르타르 40mm+ 경량기포모르타르 40mm+ EPS 완충재 30mm(동탄성계수

† 교신저자; 정희원, 정희원, 서울대학교 건축학과
E-mail : parkhg@snu.ac.kr
Tel : +82-2-880-7055, Fax : +82-2-882-7053
‡ 발표자; 서울대학교 건축학과

20MN/m³+ 콘크리트슬래브 210mm 로 되어있다. 수음실 바닥, 벽, 천장 등은 벽지 등이 시공되지 않은 콘크리트 표면 또는 석고보드 표면 조건에서 실험하였다.

천장구조구조는 동일한 실에서 순차적으로 Table1 의 천장구조 종류에 따라 시공과 해체를 반복하면서 실험하였다.

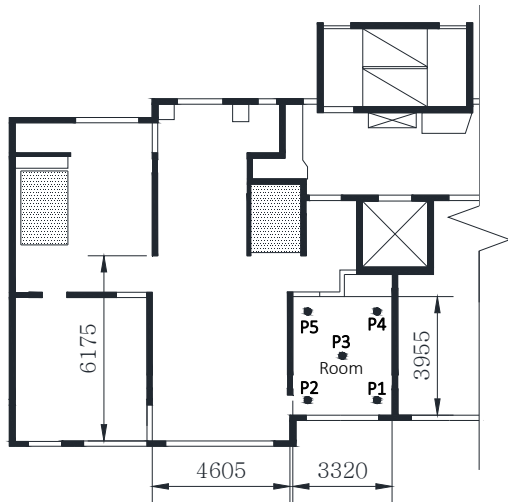


Fig. 1 Structural plan of test room

2.2 무달대 천장구조

무달대 천장구조는 콘크리트 슬래브의 진동이 천장 마감 구조물에 전달되는 것을 방지하기 위한 천장구조로, 달대가 없는 천장구조이다.

무달대 천장구조의 시공 순서는 다음과 같으며, Fig.2에 무달대 천장구조 시공장면을 나타내었다.

- 1) 방 테두리에 천장틀 지지대 시공 (30 mm 각재, 공기층 200 mm)
- 2) 지지대 위에 무달대 천장보 시공(30 mm 각재와 12 mm 합판 조합, 120×3,300 mm)
- 3) 장선시공(30 mm 각재, 450 mm 간격)
- 4) 일반 석고보드 마감 1겹 또는 2겹(9.5 mm 일반석고보드)

Table1 에서 무달대 천장구조는 Ceiling 1(석고보드 1 겹)과 Ceiling2(석고보드 2 겹) 이며, 실제 공동주택의 최종 마감에 사용된 달대가 있는 일반 천장

구조(Normal Ceiling)를 가장 마지막으로 시공하여 실험하였다.

Table 1 Ceiling types

Ceiling type	Description
Ceiling 1	No hanger and 9.5mm gypsum board 1 layer
Ceiling 2	No hanger and 9.5mm gypsum board 2 layer
Normal Ceiling	With wood hanger spacing 0.9m and 9.5mm gypsum board 1 layer



(a) Ceiling 1



(b) Ceiling 2

Fig. 2 Construction of no hanger ceiling1 (a) and 2 (b)

2.3 바닥충격음 및 가속도 주파수 분석

바닥충격음은 뱅머신, 고무공, 태핑머신의 3 가지 표준충격원을 대상으로 공인시험인증기관에 의뢰하

여 측정하였다. 바닥충격음 가진점과 수음점은 Fig.1 에서 P1~5 이다.

바닥충격음 측정과 동시에 실 중앙 P3 에서의 바닥가속도와 천장가속도 그리고 수음실 코너 부분 P1 에서의 음압을 51200Hz 의 샘플링 주파수로 레코딩(ONOSOKKI CF-3600)하고 Matlab (Math works)과 DS-2000 (ONOSOKKI)프로그램을 이용하여 FFT 및 옥타브밴드 패스필터 주파수 분석하였다.

3. 실험결과

(1) 고무공 가진에 대한 가속도레벨 및 바닥충격음 레벨 FFT 분석

Fig.3은 천장이 시공되지 않은 표준바닥구조의 콘크리트 슬래브의 천장 석고보드의 가속도 주파수 스펙트럼 (FFT 분석)을 비교한 그래프이다. Fig.1에서 가진점은 P1, 가속도계 측정지점은 실의 중앙 P3이며, 충격원은 고무공이다.

Fig.3에서 천장이 없는 표준바닥구조의 최대 가속도응답은 41 Hz에서 가속도레벨 80dB로 발생되었다. 이 주파수에서 무달대 천장구조 Ceiling1은 Fig.3-(a)에서 89dB, Ceiling2는 (b)에서 90dB를 나타내었고 일반 천장구조는 (c)에서 107dB로 크게 가속도 레벨이 증가되었다.

가속도레벨은 무달대 천장구조에 대비하여 일반 천장구조는 110 Hz 이하에서 크게 증폭되었으며, 110 Hz 이상 주파수에서는 낮게 나타났다.

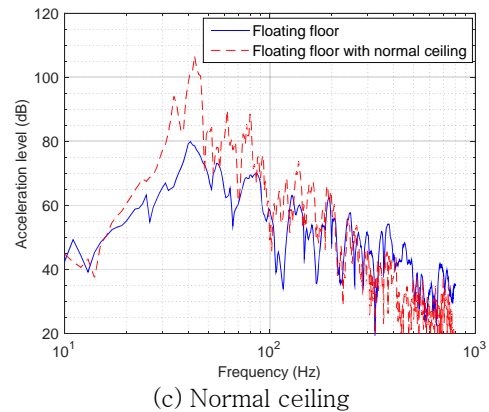
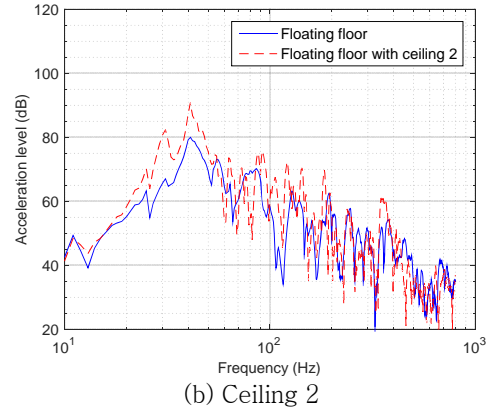
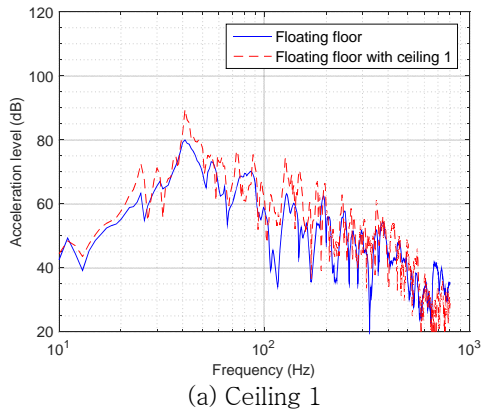


Fig. 3 Acceleration level of concrete slab (blue solid line) and ceilings (red dashed line) (impact and receiving point P1)

Fig.4는 수음점 P1(Fig.1)에서의 음압 주파수 스펙트럼을 나타낸 그래프이며, 가진점은 가속도 계측과 동일한 P1이다.

바닥충격음은 천장이 없는 조건에서 40, 50Hz에서 최대 값이 나타났으며, 이 최대 음압 주파수는 각각 수음실의 음향모드 (0,1[4.0m],0), (1[3.3m],0,1) 고유주파수와 일치한다.

Fig.4-(a), (b)에서 무달대 천장구조 설치 전과 후의 100 Hz 이하 주파수에서 음압레벨이 크게 차이나는 부분은 확인하기 어려우며, 100 Hz 이상 주파수에서는 다소 감소되었다.

Fig.4-(c)에서 일반천장구조 시공 후 50~70 Hz 대역에서의 음압레벨이 약 10dB 증폭되었으며, 100 Hz 이상에서 음압 감소는 무달대 천장구조 보다 높게 나타났다.

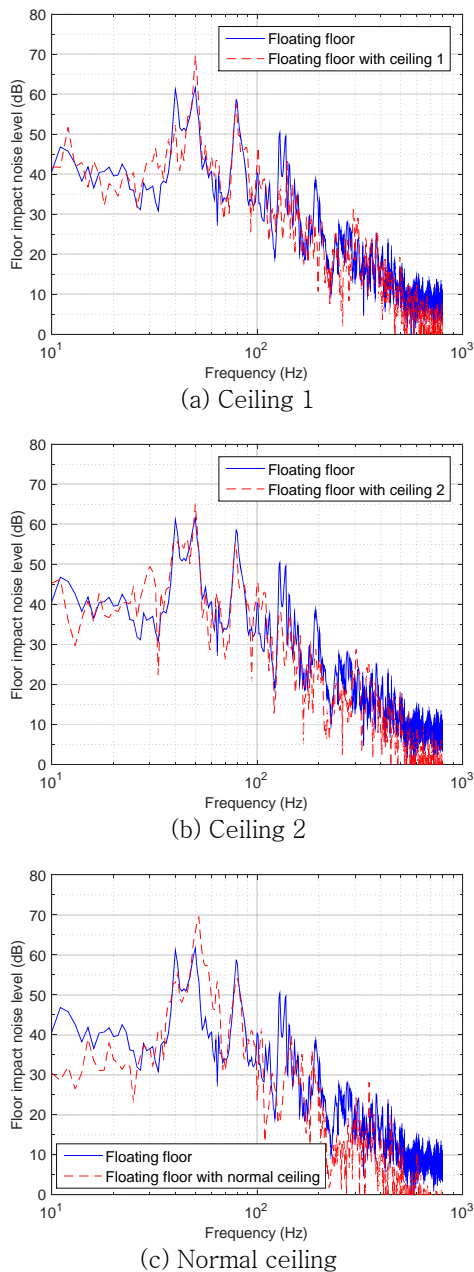


Fig. 4 Floor impact noise level with/without ceiling (impact and receiving point P1)

(2) 바닥충격음

뱅머신, 고무공, 그리고 태핑머신에 대한 5개의 가진점과 수음점의 1/3 옥타브 바닥충격음 레벨 ($L_{i,Fmax}$ or L_i)을 Fig.5에 나타내었다.

뱅머신과 고무공에 대한 중량충격음은 천장이 없는 조건 대비 무달대 천장구조 시공 후 100 Hz 이

하 주파수에서 바닥충격음 변화가 크게 나타나지 않았으며, 125 Hz 이상에서는 각 중심주파수에서 약 5dB 저감되었다.

반면 일반천장구조 시공 후 고무공은 50, 63 Hz 에서 바닥충격음 레벨이 각각 70→74dB, 62→72dB로 증가되었고 뱅머신은 50, 63, 80 Hz에서 각각 80→83dB, 76→83dB, 68→73dB로 증가되었다.

뱅머신에 대해 125 Hz 이상 주파수에서는 바닥충격음 저감이 없었으며, 고무공은 각 중심주파수에서 약 10dB의 저감효과가 있었다.

일반천장구조로 시공된 방은 완공 후 뱅머신과 고무공에 대한 중량충격음이 100 Hz 이하 주파수에서 일반천장구조 조건과 유사한 바닥충격음 레벨을 나타내었지만 125Hz 이상에서는 바닥충격음 레벨이 보다 감소되어 모든 실험 군에서 가장 낮은 바닥충격음 레벨을 나타내었다.

태핑머신에 대한 경량충격음은 100~2500Hz 주파수 대역에서 모든 천장구조는 바닥충격음이 천장구조 시공이전에 대비해 감소되었으며, 무달대 천장구조 보다 일반 천장구조가 경량충격음 차단성능이 높게 나타났다. 또한 경량충격음은 완공 후 조건에서 바닥충격음 레벨이 가장 낮게 나타났다.

Table 2~4는 각각 뱅머신, 고무공, 태핑머신에 대한 1/1옥타브 바닥 충격음 레벨과 단일수치 평가량을 나타낸 표이며, Table 5는 표준화 바닥충격음을 나타낸 표이다.

뱅머신은 천장구조 없는 조건 대비 무달대 천장구조 시공 후 단일 수치평가량의 변화가 없었으며, 일반천장구조는 4dB 증가되었다.

고무공은 무달대 천장구조 시공 후 단일수치 평가량이 Ceiling1은 2dB, Ceiling2는 3dB 저감되었으며, 일반천장구조는 2dB 저감되었다.

Table5의 태핑머신에 대한 표준화 바닥충격음 단일평가수치량은 모든 천장구조가 저감되어 나타나 천장구조 없는 조건대비 두 가지 무달대 천장구조는 4dB 저감, 일반천장구조는 5dB 저감되었다.

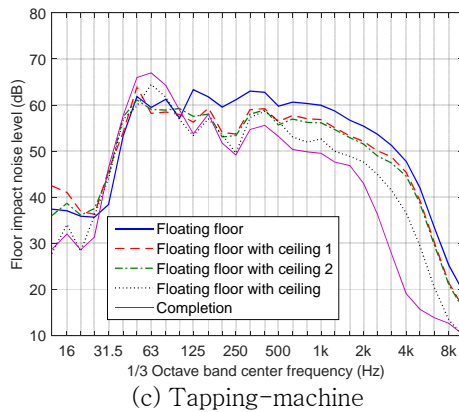
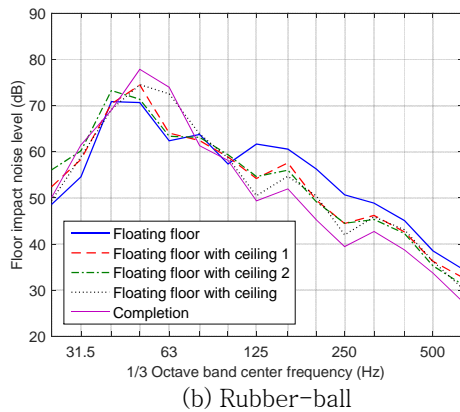
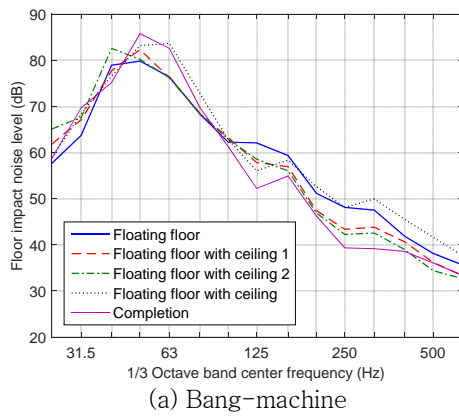


Fig. 5 Floor impact noise level ($L_{i,Fmax}$ or L_i)

Table 2 Bang-machine loor impact noise level

Freq. (Hz)	$(L_{i,Fmax})$				
	No ceiling	Ceiling 1	Ceiling 2	Normal ceiling	Completion
31.5	79.1	78.2	82.8	77.3	76.4
63	81.7	83.4	81.9	86.6	87.6
125	66.2	65.1	64.9	64.8	62.6
250	54.0	50.0	49.2	55.4	47.7
500	44.1	42.5	41.0	47.5	41.3
$L_{i,Fmax,AW}$	52	53	52	56	57

Table 3 Rubber ball floor impact noise level

Freq. (Hz)	$(L_{i,Fmax})$				
	No ceiling	Ceiling 1	Ceiling 2	Normal ceiling	Completion
31.5	71.0	70.7	73.6	69.6	69.8
63	72.0	75.1	72.6	76.9	79.4
125	65.0	62.1	61.9	60.6	59.5
250	57.9	52.0	51.6	52.2	47.9
500	46.3	43.9	43.4	44.1	40.2
$L_{i,Fmax,AW}$	49	47	46	47	49

Table 4 Tapping machine floor impact noise level

Freq. (Hz)	(L_i)				
	No ceiling	Ceiling 1	Ceiling 2	Normal ceiling	Completion
125	66.2	62.8	63.1	60.8	62.2
250	66.2	61.1	60.2	59.3	57.2
500	66.0	62.7	62.2	61.4	58.3
1000	64.5	61.2	60.5	56.4	53.9
2000	60.2	56.8	56.2	52.2	48.6
L_i	62	59	58	55	53

Table 5 Tapping machine normalized floor impact noise level (L'_n)

Freq. (Hz)	(L'_n)				
	No ceiling	Ceiling 1	Ceiling 2	Normal ceiling	Completion
125	68.8	65.0	65.4	63.1	65.7
250	67.8	61.2	60.3	61.9	61.2
500	67.2	63.4	62.9	64.1	62.4
1000	65.5	61.6	60.9	58.8	57.4
2000	60.7	57.3	56.7	54.2	50.8
L'_n	63	59	59	58	56

4. 고찰

Fig.3 천장구조 석고보드의 가속도 레벨이 Fig.4의 바닥충격음 레벨과 상관성이 높은 것으로 판단된다. 석고보드의 가속도 응답은 천장틀의 달대를 제거하여 콘크리트의 진동이 천장틀에 전달되지 못하듯 하였을 때 저주파 대역에서의 가속도 응답 증폭이 달대를 시공한 일반 천장구조보다 낮았다.

달대가 없는 천장구조라도 천장구조진동이 천장구조로 전혀 전달되지 않는 것은 아니며, 콘크리트 슬래브의 진동은 공기 매질을 통해 무달대 천장구조로 전달되었다. 이때의 천장구조의 가속도 응답은 콘크리트 슬래브 보다 다소 증가된 형태로 나타나며 주파수 특성은 유사하였다.

무달대 천장구조는 바닥 가진시 천장판이 상하로 진동하면서 소음을 흡음 하여 바닥충격음을 차단하는 효과를 기대할 수 있다. 하지만 100 Hz 이하에서는 바닥충격음 차단효과가 발생되지 않았으며, 천장의 석고보드를 두 겹 사용하여 질량을 증가시킨다 해도 큰 효과를 기대하기 어려웠다. 100 Hz 이상에서는 무달대 천장구조의 바닥충격음 차단효과를 얻을 수 있다.

달대가 시공되는 일반 천장구조는 콘크리트 슬래브의 진동응답이 천장틀에 전달되면서 110 Hz 이하 주파수에서 천장틀의 진동응답을 증폭시키고 있다. 이러한 천장틀의 진동응답 증폭현상은 달대가 없는 천장구조에서는 발생되었지 않았기 때문에 바닥충격음 저감 정도는 천장속 공기층의 깊이 영향보다는 천장 달대의 구조적 영향이 더욱 크게 작용되는 것으로 판단된다. 즉 달대의 길이가 증가되거나 달대와 천장틀 또는 콘크리트 슬래브가 연결되는 부위의 연결 정도에 따라 천장틀의 진동응답 특성이 변화하게 되고, 이러한 천장틀의 진동응답 특성이 최종 적으로 바닥충격음의 주파수 특성에 영향을 줄 수 있다. 천장 속 공기층의 깊이 증가는 수음실의 음향 특성을 변화시키며 높이 방향의 음향모드 고유진동수를 변화시킬 가능성이 높다.

5. 결론

무달대 천장구조를 사용하여 콘크리트 슬래브의 진동이 천장틀에 전달되는 것을 차단함으로써 저주파 대역의 바닥충격음 증폭현상을 저감시킬 수 있었으나 저주파 소음을 감소시키지는 못하였다.

일반 천장구조는 달대를 통해 콘크리트 슬래브의 진동이 천장틀로 전달되어 천장틀의 진동응답이

100Hz 이하에서 증폭되었으며, 이 주파수 대역의 바닥충격음도 증폭시켰다.

공공주택 완공 후 일반 천장구조를 사용하여 증가된 저주파 대역의 중량충격음은 변화가 없었지만 옥타브 밴드 250Hz 이상에서 바닥충격음은 4~5dB 저감되었다.

후기

본 연구는 국토교통부 주거환경연구사업의 연구비 지원(14RERP-B082204-01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Jun-oh Yeon, Kyoung-woo Kim, Hyun-juong Choi, Kwan-seop Yang and Kyung-ho Kim, 2013, Experiment Evaluation for the Heavy-weight Impact Sound of Dry Double-floor System - Effect of Rubber Hardness and Ceiling Structure -, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol.23, No.1, pp. 34~40.
- (2) Kyoung-Woo Kim, Jae-Sik Kang, Seung-Eon Lee and Kwan-Seop Yang, 2005, Evaluation of Floor Impact Sound Performance according to the installation of Ceiling and Wall, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol.15, No.4, pp. 465~473.
- (3) No-Gab Ki, Sun-Woo Kim, 2007, A Study on the Improvement Floor Impact Sound Insulation by Ceiling Structure in Apartment Houses, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp.1038~1042.
- (4) Kim kyungho, Choi Hyunjoong and Kim yanggyu, 2011, Evaluation of ceiling structure influencing to the floor impact sound, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp.423~424.
- (5) Sun-Woo Kim, Hong-Cheul Shin, Hwan-Wook Chung, No-Gab Gi, Min-Jeong Song, 2002, An Experimental Study on Sound Insulation Characteristics and Reduction Level due to Combination of Floor coverings and Ceiling Structures, Architectural Institute of Korea. Vol.18, No.8, pp. 177~184.
- (6) Young-Dong Yu, Hae-Su Seo, Jong-In Lee, A Study on Impact Sound Performance of the Ceiling System in the High-rise Apartment Building, 2006, Proceedings of the Architectural Institute of Korea Annual Fall Conference, pp.717~720.