

공동주택의 천장틀구조 변화에 따른 바닥충격음 차음특성 연구

A Study on the Reduction Characteristics of Floor Impact Sound
Insulation Due to the Ceiling Frame Structures in Apartment Houses

정 환 옥[†] · 기 노 갑* · 송 민 정** · 김 선 우***

Hwan-Wook Chung, No-Gab Gi, Min-Jeong Song and Sun-Woo Kim

(2001년 11월 6일 접수 : 2002년 6월 20일 심사완료)

Key Words : Apartment Houses(공동주택), Ceiling Frame(천장틀구조), Floor Impact Sound (바닥충격음)

ABSTRACT

Generally the ceiling frame of apartment house is made of wood. But the wood frame has several problems due to the natural properties such as distortion by shrink, low fire resistance and material loss in the construction field. And it has some deflections in sound insulation performance. Therefore it is necessary to develop a new method that can be used as a ceiling frame. This study aims to analyze and to compare the sound insulation characteristics against the floor impact sound between wood ceiling frame and M-bar frame which is made of steel. The results of this study are like these. M-bar frame is more effective than wood ceiling frame in sound insulation. And sound absorbing or sound insulation materials which can be put on gypsum board are helpful to improve floor impact sound insulation performance.

1. 서 론

바닥과 천장을 공유하는 공동주택의 상하층간에 발생하는 바닥충격음을 저감시키기 위하여 바닥마감재 및 바닥슬래브내의 완충층에 따른 바닥충격음 차음특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 천장틀 구조의 개선에 따른 차음성능 변화에 관한 연구는 아직 미진한 상태이다.

현재 국내공동주택의 천장틀 시공구조는 “목재반자틀 + 석고보드 + 천장지”로 구성된 목재반자틀구조가 가장 일반적이나 수입원목의 자재비 및 내장목공의

인건비 상승과 목재 함수율 특성에 따른 장기처짐 및 이에 따른 천장틀 변형 등의 문제점으로 인하여 최근 들어 목재반자틀 공법에 의한 천장구조 시공이 감소하고 있는 실정이다.

한편, 국내에서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 대체공법으로서 M-bar공법을 비롯한 compact공법, leed공법 등의 각종 경량천장틀 공법이 제시되고 있으나 이들을 정량적으로 비교 평가한 사항은 아직 보고되지 못하고 있으며 특히 이러한 공법의 변화에 따른 소음, 진동 저감과 관련한 연구는 거의 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 공동주택 천장틀 구조의 가장 일반적인 시공법인 목재반자틀구조와 이의 단점을 보완한 경량철골 천장틀 구조(M-bar)를 공동주택 현장에 직접 시공하여 이에 따른 바닥충격음 차음특성의 변화를 측정함과 동시에 바닥슬래브 직하면에 흡·차음재를 충전함에 따른 차음성능 개선효과를 파악함으

† 책임저자, 정회원, 금호산업 건설기술연구소 기술개발실장
E-mail : hwjung@kumgun.co.kr

Tel : (02) 786-2402, Fax : (02) 786-0584

* 정회원, 전남대 대학원 박사과정

** 정회원, 전남대 공업기술연구소 특별연구원, 공학박사

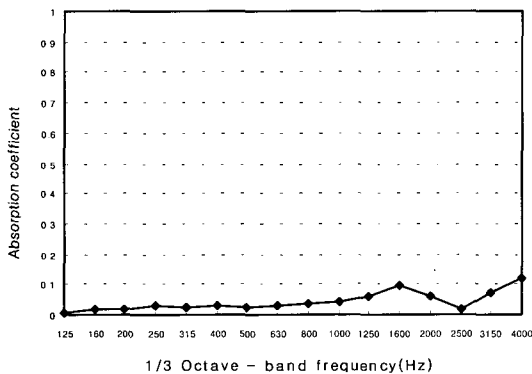
*** 정회원, 전남대 건축학과 교수, 공학박사

로서 공동주택의 바닥충격음 저감에 효과적으로 대처할 수 있는 천장구조를 제안하고자 한다.

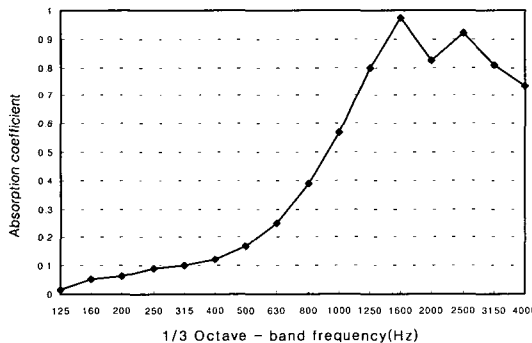
2. 현장실험 대상구조 선정을 위한 예비 실험

목재반자틀구조와 경량철골 천장틀구조에 대한 다양한 실험구조를 현장에 직접 시공하여 실험을 실시하는 것은 시간과 비용 문제 등으로 짧은 시간에 다양한 재료의 차음성능을 파악하기가 어렵기 때문에 간략화된 실험을 실시할 수 있는 축소실험실 및 전남대학교 잔향실험실에서 예비실험을 실시하였다.

이러한 실험의 배경은 기존 연구에서 밝혀진 바와 같이 축소 실험실에서 실험구조의 음압 레벨 측정을 통한 예측이 잔향실험실에서의 측정 결과와 높은 상관성을 갖는다⁽⁵⁾는 것에 착안하였다. (다만 중량충격원에 대한 상관성은 축소실험실 공진과 상판 자체의 크기 문제 등으로 파악되지 않았다.)



(a) Absorption coefficient of foaming expandable polystyrene foam



(b) Porous absorbing material(20 T)

Fig. 1 Absorption coefficient of used materials

예비실험결과, 바닥충격음 차음성능이 가장 우수하다고 판단되는 S사의 다공질성 흡음재(20 T, 40 T)와 발포폴리스티렌폼(15 kg/m³ 20 T)을 현장적용 실험 구조로 최종 선정하였다.

선정된 재료(20 T기준)의 흡음율을 관내법 실험을 통하여 측정한 결과는 Fig. 1과 같다.

그림에서 볼 수 있는 것처럼 발포폴리스티렌폼(a)은 일반적으로 단열 및 차음재로 사용되는 재료로서 흡음성능은 거의 없었으며 다공질성 흡음재(b)의 흡음성능은 중고주파수대역에서 우수한 흡음률을 나타내고 있었다.

3. 현장실험내용 및 방법

3.1 실험대상구조

천장구조개선에 의한 바닥충격음 특성변화 연구를 위하여 변수제어가 용이한 전남대학교 축소실험실 및 잔향실험실에서 다양한 구조를 대상으로 예비실험을 실시하였으며, 그 결과 차음성능 개선량이 뚜렷하고 현장적용성이 우수하다고 판단되는 천장구조를 대상으로 경기도 K시의 공동주택 신축현장에 직접 적용 시공하였다.

각 실험구조의 차음성능 개선량을 파악하기 위하여 맨바닥슬래브를 기준구조로 하였고 각각의 실험구조는 목재반자틀구조 및 경량철골천장틀 구조를 이용하여 바닥슬래브 직하면 40 mm 하단에 석고보드 판을 설치하였다.

그리고 흡차음재는 석고보드 위에 거치하는 형식으로 실험대상구조를 시공하였다. 현장실험대상 구조의 내역은 Table 1과 같으며 개략적인 바닥구조는 Fig. 2와 같다.

Table 1 Details of test structure

Test-structure	
Slab	Slab 120 mm + Lightweight aerated concrete 55 mm + Mortar 45 mm
1	Slab + G/S 9 mm
2	Slab + G/S 12 mm
3	Slab + Expandable polystyrene foam 20 mm + G/S 9 mm
4	Sv + Porous absorbing material 25 mm + G/S 9 mm
5	Slab + Porous absorbing material 40 mm + G/S 9 mm

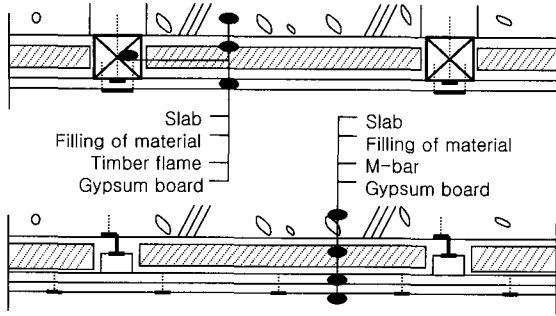


Fig. 2 Illustration of test structure

3.2 실험 및 측정방법

실험은 『KS F 2810(건축물의 현장에 있어서 바닥 충격음 측정방법)』에 준하여 실시하였으며, 측정은 안방에서만 실시하였고 실험대상 수음실의 문 및 창호는 입주상태와 동일한 상태를 유지할 수 있도록 시공하였다.

가진점의 위치는 현행 측정방법대로 공간적인 평균을 더 많이 하기 위하여 음원실에 대해 대각선 중앙점과 벽체에서 1m 이상 떨어진 대각선상의 4곳의 합계 5곳을 선정하였으며 가진점이 벽으로부터 너무 가까이 있으면 임피던스가 상승하여 수음실의 바닥충격음 레벨이 작아지므로, 둘레의 벽으로부터 50cm 이상 거리를 이격시킴을 원칙으로 하였다.

또한 측정시 측정값의 변동폭이 큰 저주파수 대역(63 Hz, 125 Hz)을 감안하여 각 측정지점에 대해 3차례 측정을 실시하였고 주변의 배경소음에 대한 영향을 파악하기 위하여 반드시 측정전에 주위의 배경소음레벨을 측정하였으며 신호음과 배경소음의 차가 10 dB를 초과하지 않을 경우에는 측정을 중지하였다.

측정시간은 배경소음의 영향이 가장 적은 22:00부터 익일 04:00까지 측정하였다.

실험에 사용된 측정기기의 내역은 다음과 같으며 측정기기의 구성도는 Fig. 3과 같다.

- (1) Tapping machine(B&K Type 3204)
- (2) Bang machine(Satsuki-kizae, RM)
- (3) 2ch 1/3 Octave band real time analyzer (Rion SA30)
- (4) Microphone & Preamplifier
- (5) Personal computer(IBM compatible)
- (6) Tripod

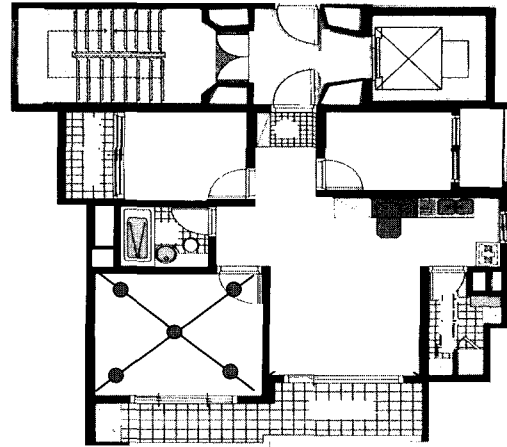


Fig. 3 Impact & receiving point

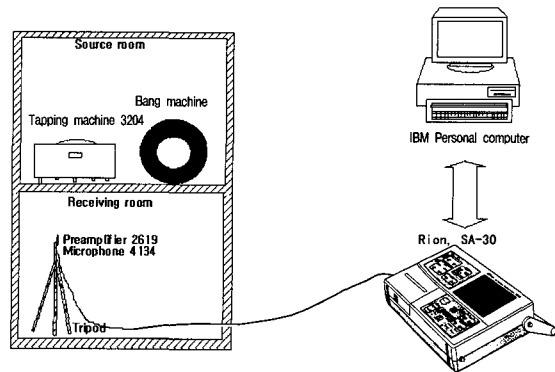


Fig. 4 Arrangement of test equipments

4. 결과 및 분석

4.1 실험대상구조의 바닥충격음 차음성능 특성

Fig. 5는 현장시공구조에 대한 경량 및 중량표준충격원의 각 구조별 바닥충격음 차음특성을 측정된 결과이다.

가로축의 A 항목은 dB(A)를 의미하며, L 항목은 overall 값을 의미한다. 이 항목은 단일평가지수로 유효한 지표이기 때문에 그림에 포함시켰다.

Fig. 6에서 보면 목재반자틀에서는 실험구조간 큰 차이를 보이고 있지 않으나 경량철골 천장틀에서는 흡음재 25 mm가 충전된 4번 구조가 다른 구조에 비해 우수한 차음성능을 나타냄을 알 수 있다.

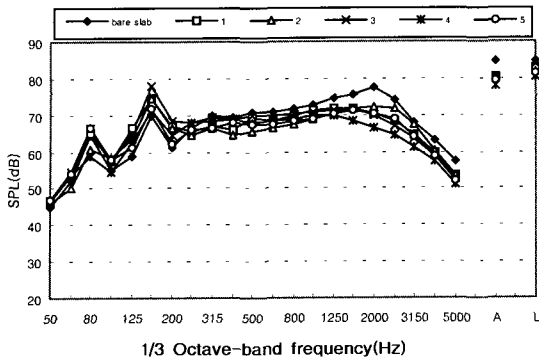


Fig. 5 Sound insulation characteristics of test structure in wood ceiling frame (light impact source)

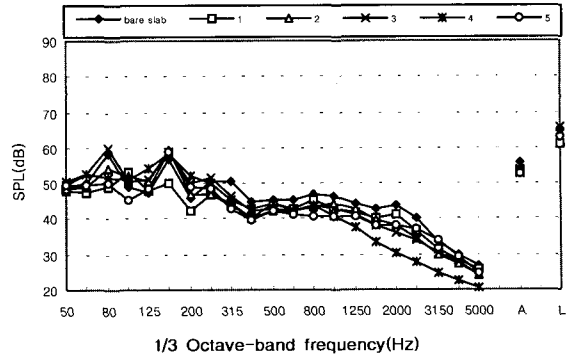


Fig. 8 Sound insulation characteristics of test structure in steel ceiling frame (heavy impact source)

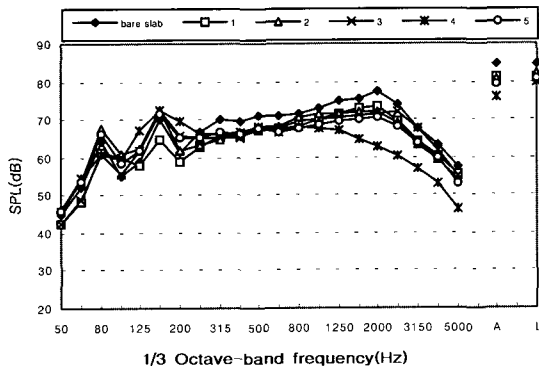


Fig. 6 Sound insulation characteristics of test structure in steel ceiling frame (light impact source)

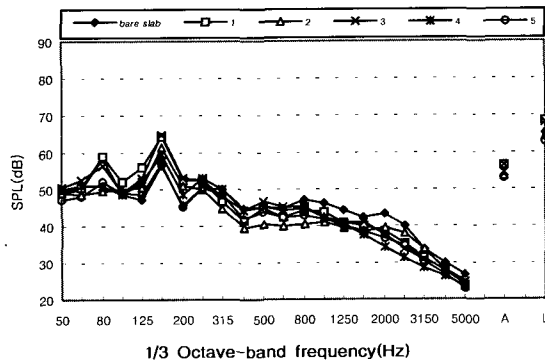


Fig. 7 Sound insulation characteristics of test structure in wood ceiling frame (heavy impact source)

Fig. 7은 중량표준충격원에 의한 실험구조의 바닥 충격음 차음성능특성을 나타낸 그림으로 목재반자틀 및 경량철골 천장틀에서 유사한 차음특성을 나타내고 있다.

Table 2 Sound insulation characteristics of test structure in wood ceiling frame

S/N	L-Grade		L-Index		dB(A)	
	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy
Slab	L-85	L-55	84	55	84.6	55.9
1	L-80	L-50	79	52	80.3	56.2
2	L-80	L-50	80	49	80.6	53.4
3	L-80	L-50	79	52	80.3	56.6
3	L-80	L-50	78	52	78.2	54.4
5	L-80	L-50	79	51	79.5	53.3

Table 3 Sound insulation characteristics of test structure in steel ceiling frame

S/N	L-Grade		L-Index		dB(A)	
	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy
Slab	L-85	L-55	84	55	84.6	55.9
1	L-80	L-50	82	52	81.2	53.1
2	L-80	L-50	80	52	80.6	53.5
3	L-80	L-50	80	50	79.8	53.6
4	L-75	L-50	75	49	75.8	52.8
5	L-80	L-50	79	48	79.1	52.9

그러나 고주파수 대역에서는 다공질성 흡음재의 특성이 잘 나타나서 경량표준충격원의 경우와 마찬가지로 4번 구조가 다른 구조에 비해 다소 양호한 차음성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.

한편, 각 실험구조의 차음특성에 의한 결과를 일본의 평가방법인 L-grade 및 대한주택공사의 평가방법인 L-index, 그리고 단일평가방법인 dB(A)로 평가한 내용은 Table 2, Table 3과 같다.

참고로 아래의 표는 1/3옥타브 밴드 측정값을 옥타브 밴드 값으로 환산하여 평가한 것이다.

위의 그림과 표에서 목구조천장틀의 경우 L-grade 상의 큰 차이는 없으나 L-index 및 dB(A)에서 구조간 약간의 차이를 보이고 있고, 경량철구조 천장틀에서는 실험구조간 1등급의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 흡음재 25 mm를 시공한 4번 구조가 모든 평가방안에서 양호한 차음성능을 보이고 있어 향후 공동주택 천장에 충전재로서 흡음재를 시공함은 바닥충격음 저감에 유효한 수단이 될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, Fig. 9와 Fig. 10은 천장 마감석고보드의 두께에 따른 바닥충격음 차음성능을 나타낸 것으로서 경량 및 중량충격원 모두 고주파수 대역에서는 차이를 보이고 있지 않은 반면 저주파수 대역은 경량철골 천장틀에서 9 mm 두께로 마감한 경우가 미세하게 양호한 차이를 보이고 있으나 대부분이 유사하다고 판단할 수 있다.

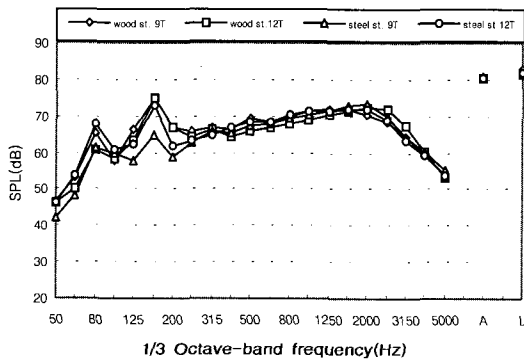


Fig. 9 Sound insulation characteristics of test structure by Tapping-machine

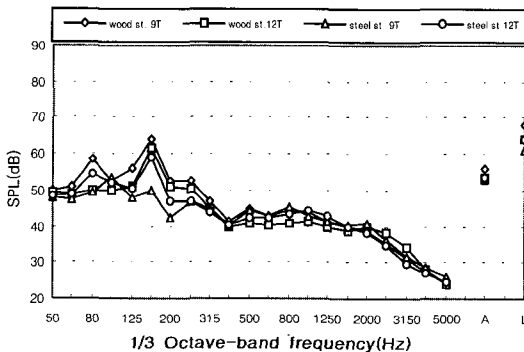


Fig. 10 Sound insulation characteristics of test structure by Bang-machine

이는 석고보드 9 mm나 12 mm의 두께 차이가 미미하여 그 투과손실 차이도 미미할 것이다. 따라서 저주파수 대역의 차음성능은 석고판의 거치상태나 공진모드에 의해 크게 좌우되어 이와같은 결과가 나온 것으로 판단된다.

이는 Table 2와 Table 3에서 보는바와 같이 경량 및 중량충격원에 대한 각각의 평가방안에서도 그 차음특성이 유사하게 나타나고 있는바 경제성 및 시공성 등을 감안하면 천장을 9 mm 두께의 석고보드로 마감하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

4.2 내부 충전재에 따른 바닥충격음 차음 특성 변화

일반적인 시공 천장구조인 석고보드 9 mm마감 위에 추가적으로 내부충진재를 거치함으로써 각 충전재에 따른 차음특성변화를 살펴보았다.

천장의 깊이는 40 mm로 하였는데, 이것은 현행 공동주택 천장의 깊이가 대부분 40 mm이기 때문이다.

천장내부에 발포폴리스틸렌폼과 다공질 흡음특성을 갖는 흡음재를 각각 충전하여 각 재료에 의한 바닥충격전달음 저감정도를 분석한 결과, 흡음재 25 mm를 충전한 구조가 양호한 차음성능을 갖는 것으로 나타났다.

특히 내부충진재로서 흡음재 25 mm를 사용한 4번 구조가 흡음재 40 mm를 사용한 5번 구조보다 차음성능이 우수하게 나타나는 것은 흡음재의 두께차이에 의한 차음성능의 효과보다 바닥슬래브 직하면에 형성되는 증공층이 갖는 흡·차음효과가 더욱 우수하여 나타나는 현상이라 판단된다.

또한 흡음재 40 mm를 충전한 경우는 천장구조가 증공층을 형성하지 못하고 바닥슬래브와 충전재가 일

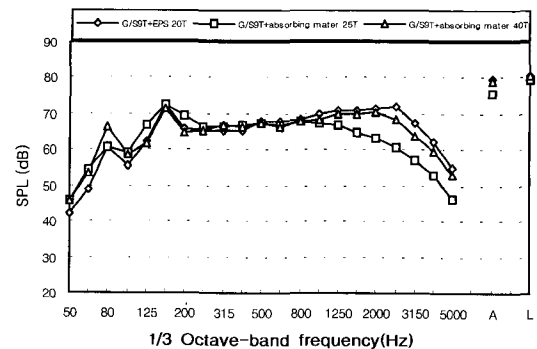


Fig. 11 Sound insulation characteristics of test structure by Tapping-machine

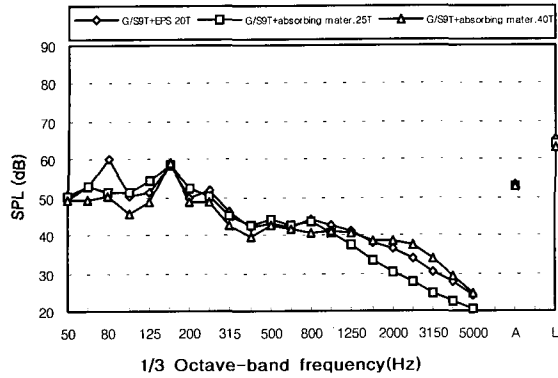


Fig. 12 Sound insulation characteristics of test structure by Bang-machine

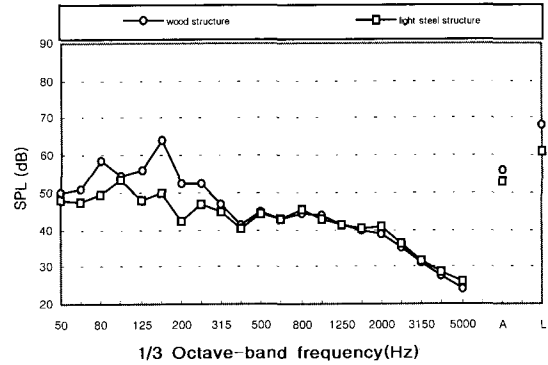


Fig. 14 Characteristics of No.1 structure (heavy impact source)

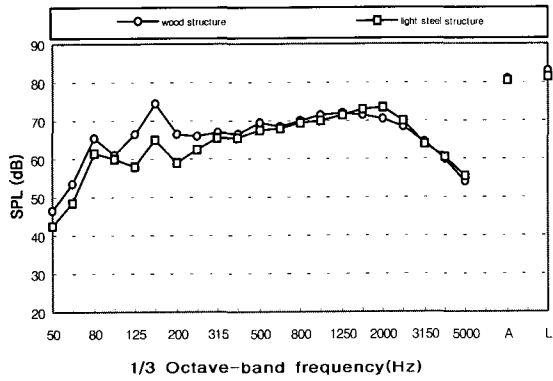


Fig. 13 Characteristics of No.1 structure (light impact source)

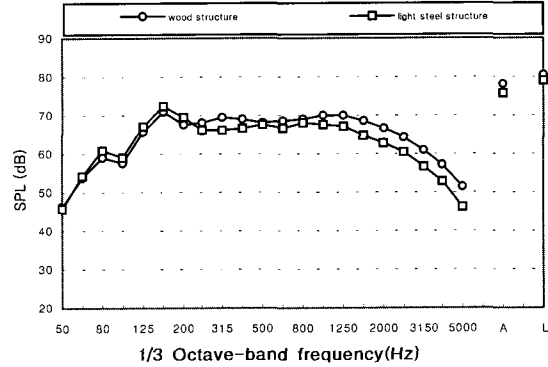


Fig. 15 Characteristics of No.4 structure (light impact source)

체로 진동하게 되어 다공질 흡음재의 특성이 나타나지 못해 차음능력이 저하되는 것으로 사료된다.

4.3 천장틀구조에 따른 바닥충격음 차음 특성 변화

가장 일반적인 시공법이며 기본구조인 1번 구조와 본 실험에서 가장 양호한 차음성능을 나타내는 것으로 판단된 4번 구조에 대하여 천장틀 구조변화에 따른 차음성능의 차이를 비교한 결과는 아래의 그림과 같다.

단일 석고보드로 마감처리된 1번 구조의 경우 경량과 중량표준충격원 모두 중·고주파 대역에서는 그다지 큰 차이를 보이고 있지 않으나 저주파 대역에서 경량철골천장틀 구조가 목구조보다 우수한 차음효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.(Figs. 13, 14) 이는 경량철골천장틀 구조가 목구조에 비해 재료 특성상 물리적 유동성이 우수해 진동전달을 억제시킴으로 인하여 나타난 결과라고 판단된다.

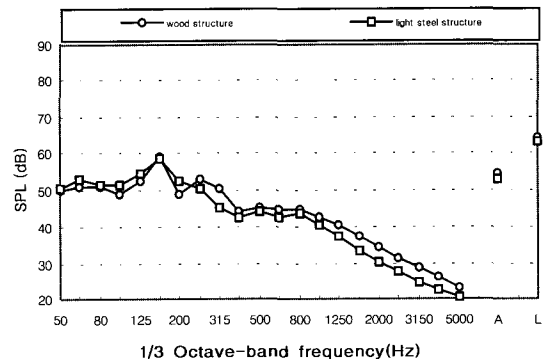


Fig. 16 Characteristics of No.4 structure (heavy impact source)

또한 목구조의 경우 진동에너지의 대부분을 마감재(석고보드)에 그대로 전달하는 한편 경량철골구조의 경우는 구성요소(캐리어, M-bar)의 결속부위에 형성되는 약간의 유격으로 인하여 완충효과를 발휘하기 때문이라 사료된다.

한편 석고보드 마감 상부에 충전재를 추가시공한 4번구조의 경우도 마찬가지로 충전재로 사용된 다공질 흡음재의 흡음특성이 잘 나타나는 고주파 대역에서 경량철골구조가 목구조보다 우수한 차음성능을 나타내고 있음을 알 수 있다.(Figs. 15, 16)

이와 같은 결과로 공동주택의 천장틀 구조에 있어서 천장내부구조의 동일시공조건을 전제할 경우 목구조 천장틀보다는 경량철골구조가 바닥충격음 저감을 유효할 것으로 판단된다.

아래 Table 4는 목구조천장틀 차음성능 개선량을 보여주고 있는데, 경량 및 중량표준충격원에 대한 개선량은 저주파수대역보다 고주파수대역에서 양호함을 알 수 있다.

특히 흡음재 25 mm가 충전된 4번 구조의 경우 경량충격원의 2 kHz 및 4 kHz 대역에서 양호한 차음성능 개선을 보이고 있으며 dB(A)의 개선량에서도 다른 구조보다 우수한 개선량을 나타내고 있다.

한편 모든 구조가 전반적으로 저주파수 대역에서 낮은 차음성능 개선량을 보이고 있는 것은 구조자체

Table 4 Improvement value of test structure in wood ceiling frame

S/N	1		2		3		4	
	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy
63 Hz	-0.8	-0.6	-1.8	1.4	5.0	5.5	-2.3	5.3
125 Hz	-4.9	-7.3	-7.8	-7.5	-1.2	-2.8	-1.7	-0.3
250 Hz	1.7	-0.7	-0.1	-1.2	-0.2	-1.2	2.6	1.0
500 Hz	2.2	1.9	1.0	-0.5	2.2	0.5	3.0	2.3
1 kHz	2.2	2.9	2.6	2.7	3.7	3.2	4.0	4.2
2 kHz	5.5	4.0	5.9	3.9	9.1	7.2	5.7	5.2
4 kHz	3.3	2.3	4.2	2.3	6.5	4.6	3.7	3.2
dBA	3.9	0.1	4.0	-0.4	6.0	1.5	4.8	3.0

Table 5 Improvement value of test structure in steel ceiling frame

S/N	1		2		3		4	
	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy	Light	Heavy
63 Hz	3.1	7.8	3.8	-1.8	3.3	4.6	-1.8	6.5
125 Hz	4.5	4.3	-2.7	-2.3	-2.8	-2.3	-1.5	-2.3
250 Hz	4.1	4.7	2.8	0.6	1.3	0.8	2.2	3.2
500 Hz	3.4	2.3	3.1	2.7	3.5	2.0	3.8	3.7
1 kHz	2.9	2.6	3.5	3.3	6.0	5.0	4.6	5.3
2 kHz	3.5	2.7	4.3	5.9	12.9	11.1	6.2	4.3
4 kHz	3.3	1.8	0.5	2.9	10.7	8.3	3.8	0.1
dBA	3.3	3.0	3.7	2.2	8.4	3.1	5.3	3.3

의 공진에 따른 영향일 수도 있으나 실험이 진행된 공간의 직방체실 고유진동에 의한 전송특성의 영향도 있을 것으로 판단된다.

Table 5는 경량철구조 천장틀 개선량의 경우인데, 전반적으로 양호한 차음성능 개선을 보이고 있으며 역시 저주파수대역보다 고주파수 대역에서 많은 개선을 보이고 있는데 이것은 석고판 자체가 고주파수 대역에서의 개선량이 크기 때문인 것으로 판단된다.

역시 흡음재 25 mm가 시공된 4번 구조는 경량 및 중량의 경우 모두 타 구조에 비하여 양호한 차음성능 개선량을 보이고 있어서 결과적으로 이러한 충전재를 사용하는 구조가 바닥충격음 저감을 위해 적합한 구조라고 판단된다.

5. 결 론

축소실험실 및 잔향실험실에서 다수의 재료에 대하여 예비실험을 실시하고 그 결과를 바탕으로 실험에 적합한 구조를 대상으로 현장실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 공동주택 바닥충격음을 저감시키기 위해서 천장구조를 설치함이 바람직하며 천장틀 구조선정시 천장내부구조의 동일시공조건을 전제할 경우 목구조천장틀보다 경량철골구조 천장틀을 사용하는 것이 바닥충격음 차음성능을 향상시키기 위한 효과적인 방법이라고 판단된다.

(2) 천장구조 내부에 충전재를 시공할 경우 적절한 흡음성능을 갖는 재료를 선택함으로써 바닥충격음을 저감시킬 수 있음을 확인하였다.

(3) 천장구조 내부 충전재로 다공질 흡음재를 사용할 경우 중공층을 확보함으로써 바닥충격음 차음성능을 효과적으로 증대시킬 수 있다.

본 연구는 축소실험실과 잔향실험실에서 실시된 선행연구의 결과를 바탕으로 실험대상 천장구조를 현장에 직접 시공하여 실험을 실시하였으며 이 때 적용된 천장구조 내부충진재는 흡·차음재를 사용하였다.

향후 공동주택에서 발생하는 바닥충격음 저감과 관련한 지속적인 연구수행을 위하여 본 연구에 적용된 천장구조를 대상으로 천장구조체와 천장 마감재(석고보드 등)가 접촉하는 부위에 진동절연재를 부착함으로써 개선되는 효과에 관한 연구를 지속적으로 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 1999년도 건교부 건설기술연구개발사업 연구결과의 일부임.

참 고 문 헌

- (1) 1990, 공동주택 내부소음 기준설정 연구(I), 주택연구자료 건연 90-25, 대한주택공사.
- (2) 김선우, 장길수, 1998, "공동주택 소음실태 및 저감대책-바닥충격음을 중심으로(2)", 대한건축학회 지 제 42 권 제 8 호, pp. 37~47.
- (3) 2000, 기존건물의 바닥충격음 저감을 위한 보

수·보강기술, 한국건설기술연구원, 건설교통부.

(4) 김선우, 1989, 공동주택 바닥충격음 차음성능 평가에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문.

(5) 송민정, 2000, "축소실험실을 이용한 경량충격음 차음성능 예측에 관한 실험적 연구", 전남대학교 박사학위논문, pp. 82~98.

(6) 송민정, 장길수, 김선우, 2000, "축소실험실을 이용한 바닥완충구조의 경량충격음 차음성능 예측방법에 관한 실험적 연구", 한국소음진동공학회지 제 10 권 제 1 호, pp. 82~89.

(7) 김준엽, 기노갑, 정일호, 정환옥, 송민정, 김선우, 2001, "바닥 슬래브 하부 구조의 개선을 통한 차음 특성 변화에 관한 실험", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 506~511.