한국소음진동공학회논문집 제 15 권 제 4 호, pp. 465~473, 2005.

천장 및 벽구성 방법이 바닥충격음 차단성능에 미치는 영향에 관한 연구#

Floor Impact Sound Isolation Performance by Composition of Ceiling and Wall

김 경 우† · 강 재 식* · 이 승 언* · 양 관 섭**

Kyoung-Woo Kim, Jae-Sik Kang, Seung-Eon Lee and Kwan-Seop Yang

(2005년 1월 20일 접수 : 2005년 3월 11일 심사완료)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Floor Impact Sound Test Building(바닥충격음실험동), Composition of Ceiling and Wall(천장 및 벽 구성)

ABSTRACT

The impact sounds, generated by the walking of people, the dropping of an object or the moving of furniture, can be a source of great annoyance in residential buildings. The characteristics and level of this impact noise depends on the object striking the floor, on the basic structure of the floor, and on the finish materials of floor. The focus of this paper is to investigate the amount of improvement impact sound pressure level according to the change of the composition method of ceiling and wall. For this purpose, we tested impact sound pressure level of several cases which is the inserting of mineral wool, the increase of the thickness of air layer, the using of anti-vibration rubber in ceiling and attach the mineral wool on wall in the Floor Impact Sound Test Building of KICT. The results show that the composition method of ceiling and wall is more effective in the reduction of light weight impact sound specially in 125 Hz and 250 Hz.

1. 서 론

공동주택은 협소한 국토면적의 효율적인 활용을 위하여 1980년대부터 급속히 증가하여 현재 주택보급수의 50 % 이상을 차지하고 있다. 공동주택의 증가는 생활소음의 증가로 나타나 이와 관련된 민원 비율도 해마다 증가하고 있는 추세이다. 공동주택에서 발생하는 소음 중에 바닥충격음은 바닥슬래브를 상부세대와 하부세대가 공용하기 때문에 필연적으로 발생하는 소음이다. 공동주택의 주요 재료로 사용되는 콘크리트는 재료의 특성상 콘크리트 면에 직접 충격이 가해짐에 따라 발행하는 충격음(고체전달음)을 인접세대에 쉽게 전달하는 특성을 지니고 있다. 바닥충격음 문제를 완화하기 위하여 건설교통부에는 주택건설기준등에관한규정을 개정하여(2003.4.22.) 바닥충격음의 성능기준을 공포하였으며, 2004년 4월에 경량충격음에 대한 차단성능 기준이 시행되었으며, 중량충격음에 대한 기준은 현행벽식구조의 한계로 인하여 2005년 7월1일부터 시행하는 것으로 유보되었다.

바닥충격음 저감을 위하여 바닥슬래브 상부에 완충재를 설치하여 온돌층(기포콘크리트, 마감모르터)을 슬래브로부터 절연시키는 뜬바닥공법이 일반적으로 사용되는 방법으로 보다 성능이 우수한 완충재 및 공법개발이 진행되고 있다. 일반적으로 알려진 충격음 저감방법은 ① 충격원의 특성을 변화시키는 방법, ② 바닥슬래브를 충격으로부터 진동하기 어렵게 만드는 방법, ③ 충격에 의한 진동이나 충격에너지를 바닥슬래브에 전달되지 않도록 하는 방법, ④ 충격에 의해

† 책임저자 : 정회원, 한국건설기술연구원
E-mail : kwmj@kict.re.kr
Tel : (031) 910-0356, Fax : (031) 910-0361
* 한국건설기술연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원

이 논문은 2004 추계학술대회 우수발표논문으로 추천되었음.

바닥슬래브로부터 방사되는 소리를 차단하는 방법으로 구분할 수 있다. 위의 저감방법은 상부의 바닥슬래브를 통하여 충격음이 전달되는 것을 방지하는 것으로 김명준[1] 연구결과에 의하면 바닥충격음의 전달경로는 수음실의 천장 뿐 아니라 벽면 등을 통하여 충격음이 전달되며, 경량·중량충격원에 대한 부위별 기여율을 평가한 결과 경량충격음은 벽면에서의 기여율이 높게 평가되었으며 중량충격음은 천장에서의 기여율이 높게 평가되었다.

이 연구에서는 바닥충격음 저감방안의 일안으로 일반적으로 알려진 천장에 대한 구성방법과 이와 함께 벽면에 흡음재를 부착하는 등의 구성방법을 통하여 바닥충격음의 특성을 파악하여 충격음 저감방법의 기초적인 자료를 확보하고자 한다.

2. 실험 방법 및 내용

2.1 실험대상구조

실험대상으로 선정된 구조는 천장과 벽체의 구성을 변화시키는 방법으로 벽체구성 3개 구조, 천장구성 9개 구조를 선정하였다. 또한 천장과 벽체를 동시에 구성했을 때의 충격음 특성을 살펴보았다.

벽식구조의 공동주택의 경우 벽체는 콘크리트로 시공되어 외기에 접한 벽체는 단열재를 설치하여 마감을 하며, 나머지 벽체는 벽지로만 마감되는 것이 일반적이다. 벽구성 방법은 바닥충격음의 기여율이 벽체부분도 상당부분 담당하고 있기 때문에 벽체로부터 방사되는 충격음을 저감하기 위하여 흡음재를 설치하여 충격음 차단성능을 살펴보았다. 흡음재 설치방법으로 목재를 사용하는 것과 경량철재 스터드를 사용하는 방법, 스터드에 추가적으로 리질리언트 채널(Resilient channel)을 사용하는 방법에 대하여 실험을 실시하였다. 목재(36 mm × 36 mm @450 mm)를 사용하여 50 mm의 흡음재가 설치될 수 있도록 틀을 구성하였다. 스터드(50 mm × 0.8 mm)도 목재와 동일한 방법으로 설치하였다. 리질리언트 채널은 국내제품으로 스터드의 수직방향으로 벽체를 3등분하여 3개를 설치한 후 스크류를 사용하여 석고보드로 마감

Table 1 The structure of test subjects

Type	Structure	Note
Wall 1	Wall + Mineral wool 50 mm (using wood frame) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Using wood frame
Wall 2	Wall + Mineral wool 50 mm(using steel stud) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Using light-gauge steel stud
Wall 3	Wall + Mineral wool 50 mm(using steel stud, resilient channel) +Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Resilient channel
Ceiling 1	Ceiling slab + Air layer 70 mm + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	-
Ceiling 2	Ceiling slab + Air layer 190 mm + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Increase air layer
Ceiling 3	Ceiling slab + Air layer 190 mm(Mineral wool 50 mm) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Install absorbing material
Ceiling 4	Ceiling slab + Air layer 190 mm(Mineral wool 50 mm) + Gypsum board 9.5 mm 2 layer	Gypsum board 2 layer
Ceiling 5	Ceiling slab + Air layer 190 mm(install shock absorbing rubber) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Install shock absorbing rubber
Ceiling 6	Ceiling slab + Air layer 190 mm(install shock absorbing rubber, Mineral wool 50 mm) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Install shock absorbing rubber, absorbing material
Ceiling 7	Ceiling slab + Air layer 300 mm + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Increase air layer
Ceiling 8	Ceiling slab + Air layer 300 mm(install shock absorbing rubber) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Install shock absorbing rubber
Ceiling 9	Ceiling slab + Air layer 300 mm(install shock absorbing rubber, Mineral wool 50 mm) + Gypsum board 9.5 mm 1 layer	Install shock absorbing rubber, absorbing material
Ceiling 9 + Wall 1 (1 side)	Ceiling 9 structure + Wall 1 structure(install 1 side)	-
Ceiling 9 + Wall 1 (2 side)	Ceiling 9 structure + Wall 1 structure(install 2 side)	-
Ceiling 9 + Wall 1 (3 side)	Ceiling 9 structure + Wall 1 structure(install 3 side)	-

하였다.

일반적인 공동주택의 천장구성은 천장슬래브 면에서 30~80 mm 이격하여(실내측 층고 2.3 m 이상 유지) 석고보드 9.5 mm를 1겹 시공하는 것이 일반적이다. 천장슬래브로부터 이격하는 방법은 목재를 사용하는 방법과 경량철골을 사용하는 방법으로 나눌 수 있으며, 일부 공동주택에서는 천장이 없는 구조도 있다. 또한 주상복합과 같이 실내 공조를 실시하는 고층아파트의 경우는 공조를 위한 덕트 등의 설치 공간 확보를 위하여 천장슬래브 면에서 천장 마감면까지 깊이가 300 mm 이상 되기도 하며, 마감 석고보드를 2겹씩 시공하기도 한다. 천장구성은 흡음재를 천장내부에 삽입하는 경우와 천장 공기층의 증대, 방진고무의 사용 등에 대하여 실험을 실시하였다. 방진고무는 천장의 석고보드 설치를 위하여 경량철골을 설치할 때, 슬래브와 경량철골 달대 사이에 설치하여 천장 면으로부터의 진동을 절연하고자 사용하였으며, 설치간격은 가로 세로 각각 900 mm였다. 실험대상구조는 Table 1과 같으며, 실험은 한국건설기술연구원의 바닥충격음 실험동[2]에서 실시하였다. 측정대상공간의 크기는 4.5 m×5.1 m의 사각형으로 출입문이 설치된 1면은 거실과 같이 전면 유리창으로 되어있다. 실험대상 공간의 바닥구조는 210 mm 슬래브로 구성은 Fig. 1과 같다. 천장 구성시 최종 마감은 석고보드이며, 석고보드 설치를 위하여 경량철골(@300 mm)을 사용하였다. 벽 구성 방법에 대한 실험시 각 구조별로 출입구를 제외한 3면에 설치하였다.

2.2 실험방법

실험은 천장구성 9개 구조와 벽구성 3개 구조 및 천장+벽 구성 3개 구조를 대상으로 하였다. 동일한 실험실에 각각의 구조를 설치, 측정한 다음 먼저 설

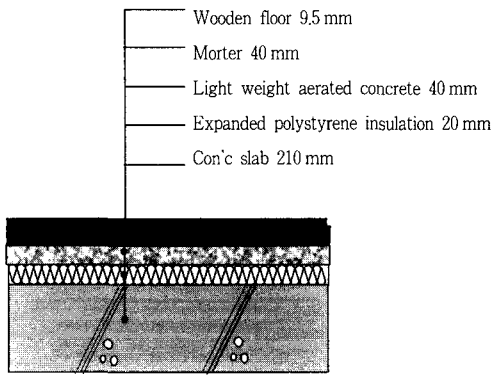


Fig. 1 The floor section of test subject

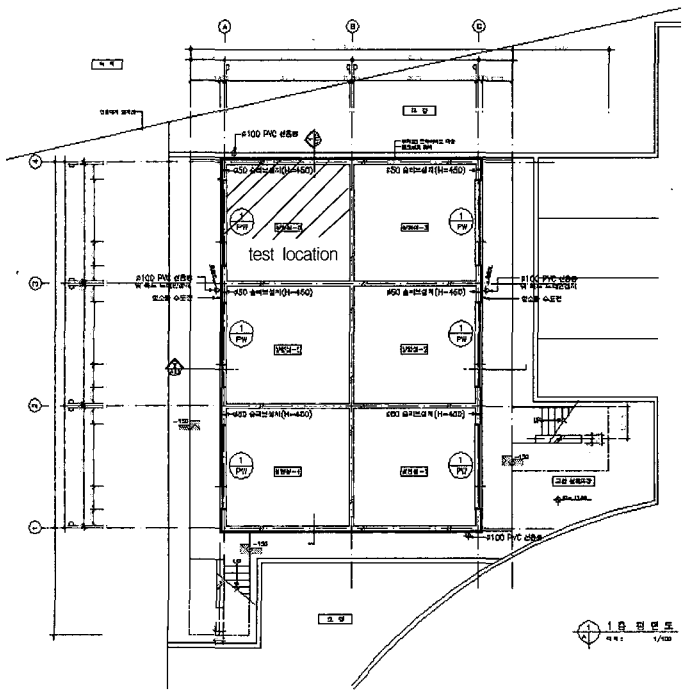
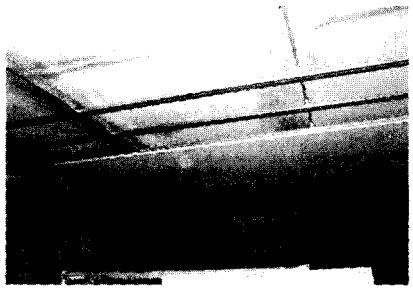


Fig. 2 Test location

치된 구조를 해체한 후에 다음 구조를 설치하였다. 천장 구성방법에 따른 실험시 수음실의 마감은 콘크리트 노출면으로 동일하였으며, 벽구성의 변화시 천장 구성은 Ceiling 2 구조(천장 슬래브 210 mm+공기층 190 mm+석고보드 9.5 mm 1겹)가 설치된 상태에서 벽 구성을 변화하면서 실험을 실시하였다. 소방관련 법령[3]의 제정으로 2005년 1월1일부터 시공되는 11층 이상의 아파트는 전 층에 스프링클러를 설치해야 된다. 기존의 공동주택의 경우 30~80 mm의 천장 공간을 가지고 있으나 소방법령의 제정으로 천장속 공간 증대가 불가피함으로 본 실험에서는 스프링클러설치를 위한 최소 공간을 190 mm로 설정하여 벽구성 방법 변화시 기본 천장구조로 Ceiling 2를 선정하였다.

실험은 KS F 2810-1, 2810-2에 준하여 실시하였으며, 평가는 KS F 2863-1, 2863-2에 준하여 역A곡선을 이용한 단일수치로 평가하였다. 충격원의 위치는 벽면으로부터 70 cm 이격하여 가운데 점을 포함한 4개소, 수음점은 6개소로 하였으며 수음실의 마이크로폰의 높이는 1.2 m로 상부로 향하게 설치하였다. 실험에 사용된 측정기기는 다음과 같다.

- 경량충격원(tapping machine) : FI-01, 일본 RION사
- 중량충격원(bang machine) : Bang machine- T형, 일본 사쯔끼사
- 주파수분석장치 : Symphonie, 01 dB
- Microphone : G.R.A.S. (Type 40AE)
- Microphone preamplifier : G.R.A.S. (Type 26CA)
- Omnidirectional sound source : DO12, AVM
- Amplifier : M700, INTER M



(a) Ceiling

(b) Wall

Fig. 3 The view of installation test subjects

3. 실험결과

3.1 벽구성 방법

Wall 1 구조는 벽면에 목재를 사용하여 흡음재 설치를 위한 틀을 제작한 후 흡음재(암면 60 kg/m^2, 50 mm)를 삽입한 후에 석고보드 9.5 mm로 마감한 구조이다. Wall 2와 Wall 3의 구조는 흡음재와 마감석고보드 설치를 위한 틀 제작을 경량 철재 스터드를 이용하는 것과 스터드와 석고보드사이에 리질리언트 채널을 추가로 설치한 것이다.

Fig. 4는 천장구성이 천장슬래브+공기층190 mm+석고보드 9.5 mm로 마감된 조건에서(Ceiling 2 구조) 수음실의 3개 벽면에 흡음재로 마감 구성하였을 때의 결과로 경량충격음의 경우 벽체에 흡음처리를 통하여

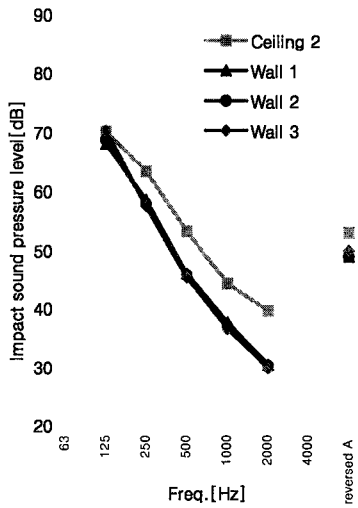
Table 2 Test results by test subjects

Type	Single-number quantity using a reversed A-weighted curve(dB)	
	Normalized light weight impact sound	Heavy weight impact sound
Wall 1	49	47
Wall 2	49	48
Wall 3	50	49
Ceiling 1	55	49
Ceiling 2	53	50
Ceiling 3	51	47
Ceiling 4	50	47
Ceiling 5	52	48
Ceiling 6	52	47
Ceiling 7	53	49
Ceiling 8	51	49
Ceiling 9	51	48
Ceiling 9+Wall 1 (1 side)	50	49
Ceiling 9+Wall 1 (2 side)	50	48
Ceiling 9+Wall 1 (3 side)	48	46

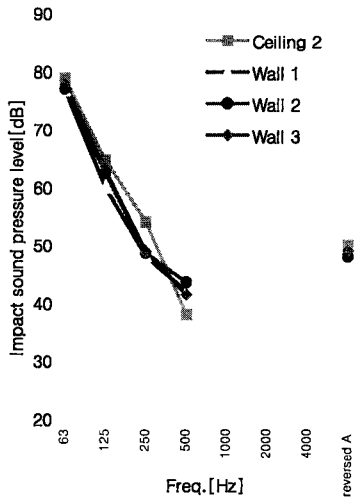
측정주파수별 바닥충격음 성능향상이 나타났으며, 단일수치량도 흡음처리를 하지 않았을 때 53 dB에서 흡음처리를 통하여 49~50 dB로 경량충격음이 저감된 것으로 나타났다. 그러나 벽구성 방법(Wall 1~Wall 3) 사이에는 큰 차이를 보이지 않았다. 중량충격음의 경우 벽 흡음처리를 통하여 125 Hz, 250 Hz에서 충격음이 다소 감소되는 측정결과를 보였으며, 단일수치량이 1 dB~3 dB 개선되는 것으로 나타났다. 벽면에 목재틀을 사용하여 흡음재를 설치한 구조가 가장 좋은 성능을 나타내었다. Table 3, 4는 각 조건별 벽면 흡음처리 전과 후의 충격음레벨의 저감량을 나타낸 것으로 경량충격음의 경우 125 Hz에서의 저감정도는 미비하였으나 250 Hz 이상 주파수에서는 약 5 dB 이상의 저감효과를 보여 주파수가 증대할수록 저감량도 증가하는 경향을 나타내었다. 중량충격음의 저감정도는 경량충격음에 비하여 미비하였으며 250 Hz의 저감량이 5 dB 정도를 보이고 있었다.

3.2 천장구성 방법

공동주택의 일반적인 천장구성인 천장슬래브로부터 공기층 70 mm 이격하여 석고보드 9.5 mm로 마감한 Ceiling 1 구조를 바탕으로 공기층 증대, 흡음재 삽입,

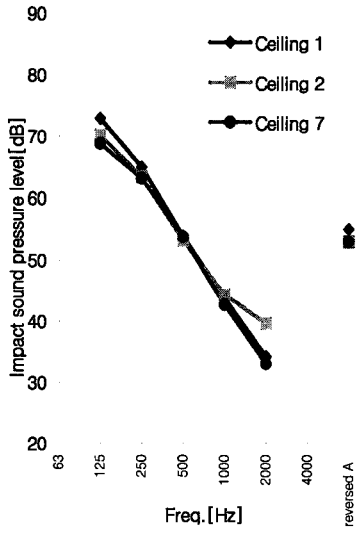


(a)Normalized light weight impact sound

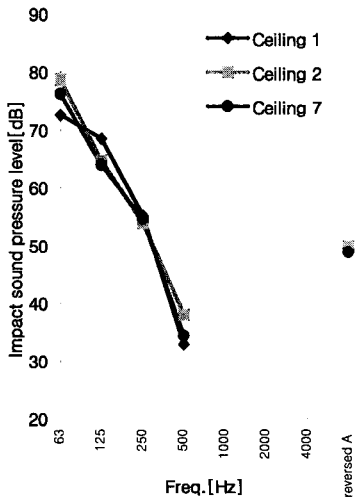


(b)Heavy weight impact sound

Fig. 4 Test results of composition method of wall



(a) Normalized light weight impact sound

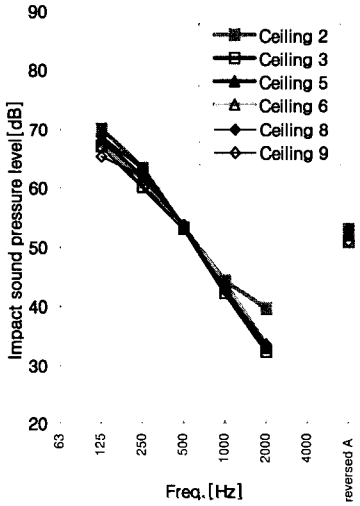


(b) Heavy weight impact sound

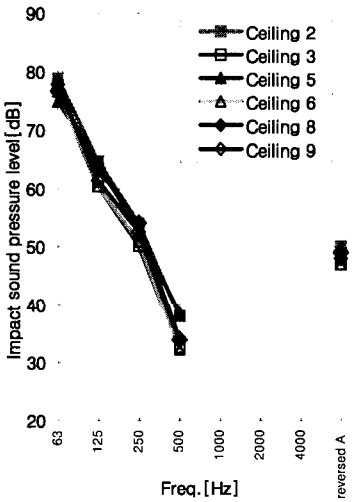
Fig. 5 Test results of composition method of ceiling(increase air layer)

마감석고보드 개수 증가, 방진고무를 사용하여 실험을 실시하였다.

Fig. 5는 천장의 공기층을 70 mm, 190 mm, 300 mm로 증가시켰을 때의 충격음 저감정도를 살펴본 것으로 공기층 증가로 경량충격음은 단일수치량으로 2 dB 향상되었으나, 중량충격음은 49 dB, 50 dB로 공기층 증가에 따른 성능변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 중량충격음의 경우 62 Hz에서 공기층이 190 mm로 증가될 경우 오히려 공진의 영향으로 충격음 레벨이 증가하는 것으로 나타났으며, 300 mm의 경우 증가폭이 낮게 측정되었다. 공기층 증가로 오히려 63 Hz에서 성능이 저하되는 현상을 보이고 있었다. Fig. 6은 천장내부 흡음재 유무에 따른 결과로 Ceiling 2 구조에 흡음재를 사용할 경우 경량충격음은 2 dB 개선되었으며 방진고무를 사용한 Ceiling 5, Ceiling 8 구조에 흡음재를 삽입한 경우는 흡음재 유무에 관계없이 동일한 결과를 나타내었다. 중량충격음의 경우 Ceiling 2 구조에 흡음재 사용으로 3dB 성능이 향상되는 것으로 나타났으나 다른 구조에서는 흡음재 사용으로 인한 성능향상은 미비한 것으로 나타났다. Fig. 7은 흡음재가 설치된 상태의 천장구조에 마감 석고보드를 추가로 한 겹 더 설치하여 천장의 면밀도를

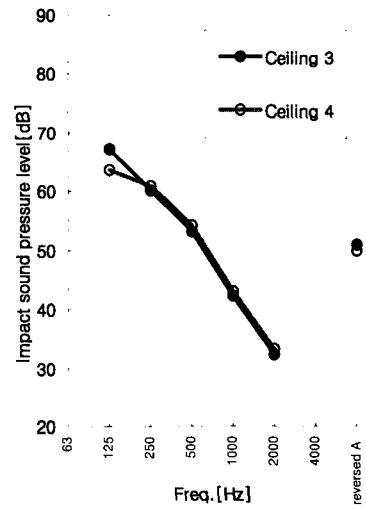


(a) Normalized light weight impact sound

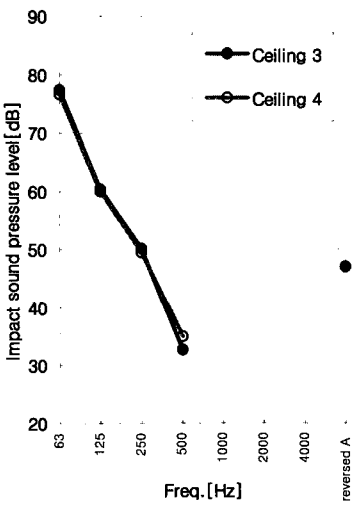


(b) Heavy weight impact sound

Fig. 6 Test results of composition method of ceiling(absorbing material)



(a) Normalized light weight impact sound

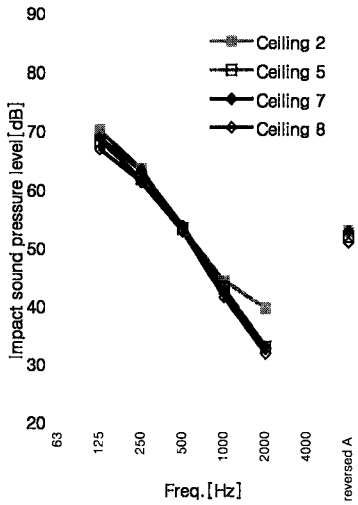


(b) Heavy weight impact sound

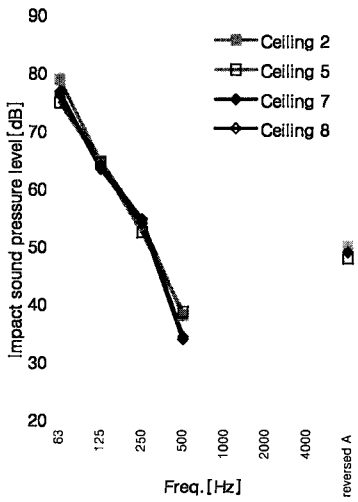
Fig. 7 Test results of composition method of ceiling(increase gypsum board)

증대시킨 것으로 충격음 개선정도가 거의 없는 것으로 측정되었다. Fig. 8은 천장의 공기층이 190 mm, 300 mm에 방진고무를 사용하여 천장을 마감한 것으로 방진고무사용으로 충격음에 대한 성능향상은 미비하였다.

Table 5, 6은 Ceiling 1 구조에 대한 천장구성별 충격음레벨 저감량을 주파수별로 나타낸 것으로 경량충격음의 경우 흡음재, 방진고무, 공기층의 증대 등을 통하여 125 Hz, 250 Hz에서 주로 충격음레벨 저감되는 결과를 보이고 있었다. 중량충격음 경우 125 Hz에서 충격음레벨이 저감되었으나 63 Hz에서는 오히려



(a) Normalized light weight impact sound



(b) Heavy weight impact sound

Fig. 8 Test results of composition method of ceiling(anti-vibration rubber)

Table 3 Reduction of normalized light weight impact sound pressure level(wall) (unit:dB)

Type \ Freq.[Hz]	125	250	500	1000	2000
Wall 1-Ceiling 2	-2.1	-4.9	-7.2	-6.7	-9.2
Wall 2-Ceiling 2	-1.5	-5.5	-7.5	-7.4	-9.4
Wall 3-Ceiling 2	0.1	-5.9	-7.9	-7.7	-9.8

Table 4 Reduction of heavy weight impact sound pressure level(wall) (unit:dB)

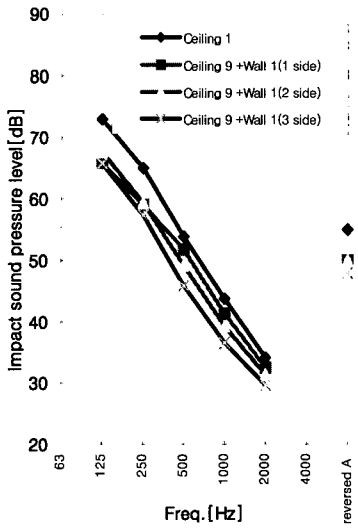
Type \ Freq.[Hz]	63	125	250	500
Wall 1-Ceiling 2	-2.0	-4.7	-5.9	3.9
Wall 2-Ceiling 2	-1.8	-2.4	-5.3	5.5
Wall 3-Ceiling 2	-1.1	-1.8	-5.0	3.4

Table 5 Reduction of normalized light weight impact sound pressure level(ceiling) (unit:dB)

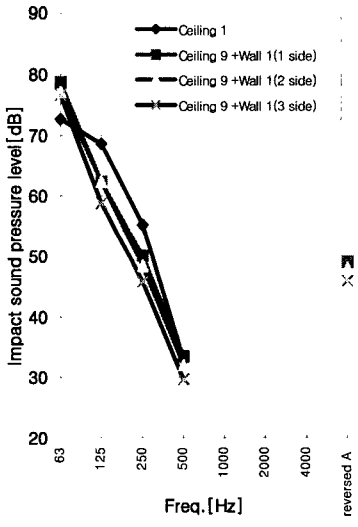
Type \ Freq.[Hz]	125	250	500	1000	2000
Ceiling2-Ceiling1	-2.8	-1.6	-0.6	0.5	5.4
Ceiling3-Ceiling1	-5.8	-4.9	-0.6	-1.5	-1.8
Ceiling4-Ceiling1	-9.2	-4.1	0.3	-0.7	-0.9
Ceiling5-Ceiling1	-4.6	-3.1	-0.5	-0.7	-1.2
Ceiling6-Ceiling1	-5.7	-3.6	-0.4	0.0	-0.6
Ceiling7-Ceiling1	-4.1	-1.9	-0.1	-1.1	-1.2
Ceiling8-Ceiling1	-6.0	-3.7	-1.0	-2.3	-2.4
Ceiling9-Ceiling1	-7.6	-3.0	-0.5	-0.9	-0.7

Table 6 Reduction of heavy weight impact sound pressure level(ceiling) (unit:dB)

Type \ Freq.[Hz]	63	125	250	500
Ceiling2-Ceiling1	6.2	-3.9	-1.3	5.1
Ceiling3-Ceiling1	4.8	-8.2	-5.1	-0.3
Ceiling4-Ceiling1	4.0	-8.5	-5.7	2.0
Ceiling5-Ceiling1	2.3	-4.2	-2.9	5.7
Ceiling6-Ceiling1	4.0	-8.2	-4.4	-0.7
Ceiling7-Ceiling1	3.6	-4.6	-0.6	1.4
Ceiling8-Ceiling1	4.1	-5.2	-1.2	1.0
Ceiling9-Ceiling1	5.2	-7.2	-2.8	0.8



(a) Normalized light weight impact sound



(b) Heavy weight impact sound

Fig. 9 Test results of composition method of wall and ceiling

충격음레벨이 상승되어 역A 단일수치량은 거의 성능향상 정도가 미비한 것으로 나타났다.

3.3 벽 및 천장구성 방법

벽과 천장을 동시에 구성하였을 때의 충격음 차단성능을 살펴보았다. 천장은 공기층 300 mm에 흡음재와 방진고무가 설치된 Ceiling 9 구조에 벽면은 목재틀을 사용하여 흡음재를 설치한 Wall 1 구조를 설치하여 실험을 실시하였다. 벽면 흡음재 설치시 3면을 각각 1면씩 설치하면서 충격음차단성능을 평가하였다. Ceiling 1 구조에 비하여 Ceiling 9와 벽면을 흡음처리 할 경우 경량충격음은 5 dB 이상 성능이 향상되었으며, 중량충격음은 3면을 모두 흡음처리 한 구조에서 3 dB 성능향상을 보였다. Table 7, 8에서처럼 Ceiling 1 구조에 비하여 경량충격음은 전 주파수 대역에서 충격음레벨이 저감되었으며, 중량충격음은 125 Hz, 250 Hz에서 주로 저감되는 경향을 보였다. 천장 및 벽을 동시에 구성할 경우 중량충격음보다는 경량충격음 저감에 보다 효과적인 것으로 판단된다.

Table 7 Reduction of normalized light weight impact sound pressure level(wall and ceiling) (unit:dB)

Type \ Freq.[Hz]	125	250	500	1000	2000
(Ceiling 9 + Wall 1 (1 side)) - Ceiling1	-7.1	-6.0	-2.1	-2.4	-1.6
(Ceiling 9 + Wall 1 (2 side)) - Ceiling1	-5.3	-5.6	-4.7	-4.5	-2.8
(Ceiling 9 + Wall 1 (3 side)) - Ceiling1	-7.2	-7.6	-7.9	-7.2	-4.5

Table 8 Reduction of heavy weight impact sound pressure level(wall and ceiling) (unit:dB)

Type \ Freq.[Hz]	63	125	250	500
(Ceiling 9 + Wall 1 (1 side)) - Ceiling1	6.1	-6.3	-5.3	0.5
(Ceiling 9 + Wall 1 (2 side)) - Ceiling1	4.5	-6.3	-6.8	-1.0
(Ceiling 9 + Wall 1 (3 side)) - Ceiling1	4.0	-9.8	-9.5	-3.3

4. 결 론

벽구성 및 천장구성을 통하여 바닥충격음 저감정도를 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 천장구성방법 중 공기층 190 mm와 내부에 흡음재를 설치하고 석고보드를 2겹으로 마감한 구조(Ceiling 4)가 Ceiling 1 구조에 비하여 경량충격음

개선정도가(역A 단일수치평가량 : 5 dB) 가장 좋은 것으로 나타났다. 그러나 중량충격음 개선정도는 크지 않았다.

(2) 천장 공기층의 증대를 통한 바닥충격음 저감효과는 미비하였으며 중량충격음의 경우 63 Hz에서 오히려 충격음레벨이 증폭되는 현상을 보였다.

(3) 벽면에 추가로 흡음재를 설치할 경우 설치 전에 비하여 경량충격음에는 3~4 dB 개선효과가 있었으며, 중량충격음은 개선효과(1~3 dB)가 다소 미비하였다.

(4) 벽 및 천장을 동시에 구성할 경우 경량충격음은 천장1 구조에 비하여 역A 단일수치평가량이 5~7 dB 성능이 향상되었으며, 중량충격음의 경우 성능 향상정도(0~3 dB)가 미비하였다.

(5) 천장과 벽면의 구성을 통하여 경량충격음은 대부분 125 Hz에서 충격음레벨 저감효과가 가장 높게 나타났으며, 중량충격음의 경우 125 Hz, 250 Hz에서 주로 충격음레벨이 저감되었다. 그러나 단일수치량으로 평가할 경우 중량충격음의 대한 개선효과는 다소 미비하였으며, 경량충격음에 보다 더 효과적인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

(1) 김명준, 1999, "공동주택 바닥충격음의 부위별 전달특성 평가", 한양대학교 박사학위 논문.

(2) 김경우 외3인, 2004, "바닥충격음 실험동 개요 및 성능평가", 대한건축학회 학술발표논문집.

(3) 소방시설설치유지및안전관리에관한법률시행령 [별표4](제정 2004.5.29 대통령령 18404호).

(4) 양관섭, 1998, "건축물의 바닥충격음 저감설계기법", 한국건설기술연구원 책임연구과제보고서.

(5) 김경우 외3인, 2003, "바닥충격음레벨 영향요인 분석", 한국소음진동공학회 춘계학술대회논문집, pp. 250~260.

(6) 김경우 외3인, 2004, "바닥충격음 저감방안에 따른 성능평가", 한국소음진동공학회논문집, 제 14 권, 제 9 호, pp. 811~818.

(7) 한국표준협회, 2001, KS F 2810-1 바닥충격음 차단성능 현장측정방법 제1부 : 표준 경량충격원에 의한 방법.

(8) 한국표준협회, 2001, KS F 2810-2 바닥충격음 차단성능 현장측정방법 제2부 : 표준 중량충격원에 의한 방법.