

바닥충격음의 동향과 재료적 특성

김 정 욱 || 건축구조부 연구원

글 순 서

1. 서론
2. 바닥충격음의 개요
 - 2.1 경량충격음
 - 2.2 중량충격음
3. 바닥충격음의 동향과 관련규정
 - 3.1 현재의 동향
 - 3.2 관련규정
4. 국내 저감재 적용의 실태
 - 4.1 시험방법 및 평가방법
 - 4.2 시험체구조
 - 4.3 시험방법
 - 4.4 평가방법
5. 뜬바닥구조의 바닥충격음 저감재 시험성능 비교
 - 5.1 재료별 경량충격음의 비교
 - 5.2 재료별 중량충격음의 비교
 - 5.3 상부마감 구조에 따른 비교
6. 결론
7. 향후 연구과제

1. 서론

우리가 거주하는 건축물은 외부환경으로부터 인간을 보호하는 단순한 역할뿐 아니라 사용목적에 적합한 인간의 생활을 담는 그릇의 역할을 해야 한다. 이러한 건축의 역할에 대해 거주자의 질적 요구가 점차 고도화되고 사회적 욕구도 다양화, 복잡화되면서 건축물을 성능으로 측정하기까지에 이르렀다.

공동주택에 사용되는 재료 및 층간의 경량화에 따른 아이들의 뛰노는 소리, 걷는 소리, 발자국 소리 등 바닥충격음 계통의 소음이 입주자의 불만을 유발하여 이웃간 불화와 분쟁을 초래함에 따라 공동주택 위층과 아래층간의 소음 문제가 사회문제로 대두되고 있으며, 차음이 주거성능을 결정하는 가장 중요한 인자로 등장하게 되었다.

2000년도 환경부 연차보고서에 의하면 소음진동민원이 연간 약 2천여 건으로 전체 대비 80.5%이며 그 중 생활소음민원이 88.3%를 차지하여 1999년 대비 46.6%로 증가하고 있는 실정이다. 또한 2002년 4월부터 6월까지 중앙환경 분쟁조정위원회에 접수된 층간소음 피해사례는 180여건으로 전체 상담건수의 55%를 차지하고 있으며, 발생 책임별로 건축주·시공회사의 부실시공이 52%, 위층 거주자의 공동체의식 부족이 35% 등으로 나타나고 있다. 이에 따라 아파트 층간소음을

줄이기 위해서 평당 분양가격의 상승에도 불구하고 부담하겠다는 국민이 61%나 되는 것으로 환경부 설문조사 결과 나타났다. 이는 생활소음문제의 심각성을 나타내는 한 척도로서 소음환경에 대하여 사회적 인식의 변화와 독립적 공간 및 개인 프라이버시가 중요시 되는 공간에 대한 소음환경개선의 수요 증대를 나타내고 있다.

2. 바닥충격음의 개요

바닥충격음이란 물체의 낙하나 진동 시 또는 사람의 보행 시 바닥에 가해지는 충격에 의하여 바닥구조가 진동함으로서 발생하는 음으로 이때 발생한 고체음은 여러 위치에 전달되어 구조체의 표면을 진동시키고 이에 의해 발생하는 공기음이 거주자에게 전달됨으로서 거주자에게는 직접 방사되는 공기 전달음처럼 인식된다.

2.1 경량충격음

하이힐 소리, 수저 등과 같은 작고 딱딱한 물건이 떨어지는 소리, 의자소리 등과 같은 소리로 대별되는 경량충격음은 바닥마감재의 종류에 따라 그 충격특성이 변화한다. 현재, 국내 대부분 아파트의 경우 거실-온돌마루, 침실-장판 등과 같이 2가지 마감재를 사용하고 있기 때문에 바닥마감재의 종류에 따라 충격음 차단성능을 다르게 평가하여야 하며, 그 결과 또한 마감재별로 구분 하여야 할 것이다. 일반적으로 바닥마감재로 장판지를 사용한 경우 충격음저감재를 적용한 뜬바닥구조의 바닥충격음 차단성능은 소음레벨 값으로 비교하면 일반 바닥구조에 비해 5 ~ 15 dB(A) 정도까지 소음도가 개선되는 것으로 나타나

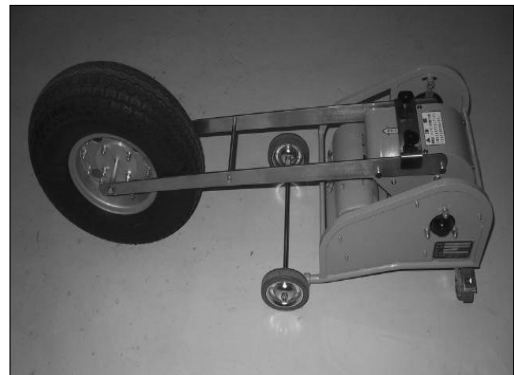
고 있다.



〈 그림 1 〉 경량충격음 음원발생기
(Tapping Machine)

2.2 중량충격음

중량충격음은 뛰거나 달릴 때의 무거운 충격에 의해 발생하는 저음역의 음으로서 큰 충격력과 긴 지속시간을 지닌다. 좌식생활 위주의 동양인들의 관습상 유래하여 그 보행효과를 고려한 자동차 타이어(뱅머신)를 중량충격 표준음원으로 사용한다. 다만, 중량충격음원은 우리나라와 일본만이 채택하고 있는 특성적인 방법이다.



〈 그림 2 〉 중량충격음 음원발생기
(Bang Machine)

국내 공동주택의 바닥구조는 온돌이라는 바닥난방으로 인해 슬래브 위에 별도의 온돌층이 구성된다. 때문에 슬래브만으로 구성되는 바닥구조보다 바닥중량이 무거워지는 효과가 있는데, 이로 인해 경량충격음에 대한 차단성능은 양호한 편이지만 많은 입주자들은 여전히 윗집의 아이들이 뛰는 소리를 가장 큰 소음문제로 제기하고 있는 실정이다. 중량충격음의 차단성능은 슬래브의 두께, 지지조건 등에 의해 결정되므로 충격음저감재의 효과는 거의 없는 것으로 알려져 있으며, 실제 측정결과도 0 ~ 5 dB(A) 정도밖에는 향상되지 않는 것으로 나타나고 있다. 국내 일반적인 뜬바닥구조의 충격음차단성능 특성을 요약하면 표 1과 같다.

〈 표 1 〉 뜬바닥구조에 의한 바닥충격음 차단성능

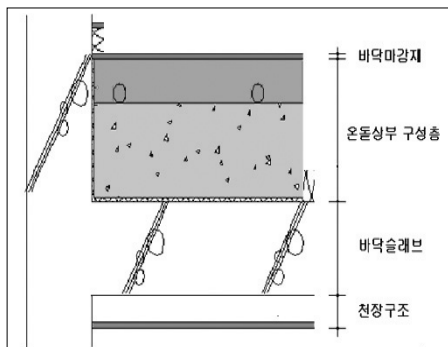
충격음 종류	충격음레벨 개선량	비 고
경량 충격음	5~15dB(A)	마감재의 유연성에 크게 의존
중량 충격음	0~5dB(A)	슬래브의 두께, 지지조건에 크게 의존

3. 바닥충격음의 동향과 관련규정

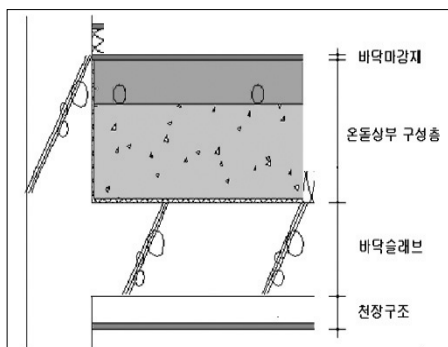
3.1 현재의 동향

현재 공동주택의 위층과 아래층간의 소음 문제가 사회적으로 대두되고 있는 시점에서 건설교통부에서는 2003년 4월에 관련 법규인 주택건설기준 등에 관한 규정을 개정하였다. 개정된 내용을 보면 기존의 주택건설기준 등에 관한 규정 제14조 제3항에 추가하여 “공동주택의 바닥은 각 층간 바닥충격음이 경량충격음(비교적 가볍고 딱딱한 충격에 의한 바닥충격음을 말한다)은 58데시벨 이하, 중량충격음(비교적 무겁고 부드러운 충격에 의한 바닥충격음을 말한다)은 50데시벨 이하가 되도록 하여야 한다. 이 경우 바닥충격음의 측정은 건설교통부 장관이 정하여 고시하는 방법에 의한다”라고 구체적으로 정하였다.

현재는 공동주택바닥충격음차단구조인정 및관리기준 고시(2004.3.30)를 통하여 2004년 4월부터 경량충격음에 대한 규제를 실시하였으며, 경량충격음 차단성능에 대하여 인정하는 표준바닥구조를 제시하였다. 또한 이에 대하여 구체적인 등급화까지 진행되어있는 실정이다. 다만, 중량충격음에 대한 적용은 2005년 7월로 유보되어있는 실정이다.



a) 일반바닥구조



b) 뜬바닥구조

〈 그림 3 〉 뜬바닥구조의 개념도

〈 표 2 〉 (경량)충격음 차단성능의 등급기준 (제4조 관련)

등 급	역A특성 가중 표준화 바닥충격음레벨
1급	$L_{n,AW} \leq 43$
2급	$43 < L_{n,AW} \leq 48$
3급	$48 < L_{n,AW} \leq 53$
4급	$53 < L_{n,AW} \leq 58$

〈 표 3 〉 바닥(경량)충격음 차단 표준바닥구조바닥

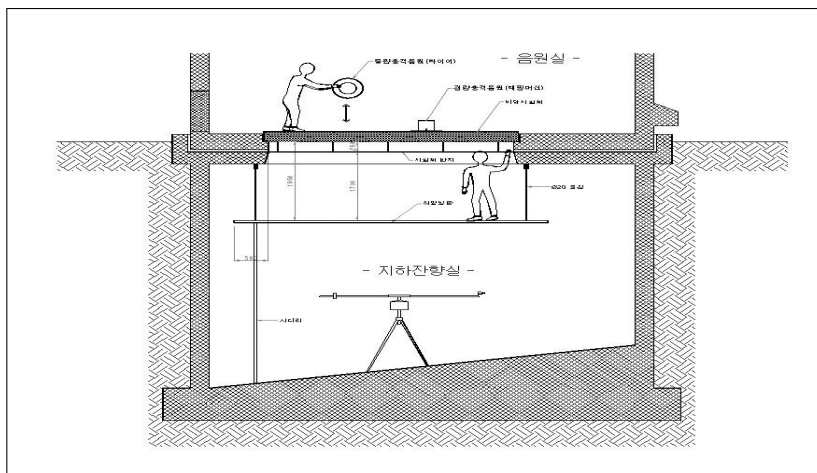
구 분	표준바닥구조 단면상세	바닥마감재의 종류
벽식-1	콘크리트 슬래브 180 mm 이상 + 단열재 20 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상	가중바닥충격음 레벨저감량이 9dB 이상인 바닥마감재
벽식-2	콘크리트 슬래브 180 mm 이상 + 완충재 20 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상	바닥마감재 사용제한 없음
벽식-3	콘크리트 슬래브 180 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 단열재 20 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상	가중바닥충격음 레벨 저감량이 9dB 이상인 바닥마감재
벽식-4	콘크리트 슬래브 180 mm 이상 + 경량기포콘크리트 40 mm 이상 + 완충재 20 mm 이상 + 마감모르터 40 mm 이상	바닥마감재 사용제한 없음
벽식-5	콘크리트 슬래브 180 mm 이상 + 완충재 40 mm 이상 + 마감모르터 50 mm 이상	바닥마감재 사용제한 없음

3.2 관련규정

3.2.1 측정방법

바닥충격음 측정방법은 그림 4에 나타난 바와 같이 상하층으로 구분된 실 사이에 시험

체인 바닥슬래브를 대상으로 상층 바닥 위에 표준충격음원을 사용하여 충격을 연속적으로 가할 때 아래층에 전달되는 소음레벨(dB)을 측정하는 것이다.



〈 그림 4 〉 바닥충격음 측정개요도

바닥충격음 차단성능 측정방법은 1978년 처음 규정된 이래 최근 개정되기 전까지 KS F 2810(건축물현장의 바닥충격음레벨 측정방법)이었으나 2001년 ISO 규격을 도입되어 KS F 2810-1(바닥충격음 차단 성능현장측정방법-제1부 경량충격원)로 개정되었으며, ISO규격에 없는 중량충격원에 의한 측정방법은 일본의 규격이 부분적으로 도입되어 KS F 2810-2(바닥충격음차단성능 현장측정방법-제2부 중량 충격원)로 분리되어 현장측정방법으로 개정되었다.

또한 바닥충격음 차단성능 측정방법(실험실법)이 ISO 규격을 그대로 도입되어 KS F 2865(표준 콘크리트 바닥위 마감구조의 경량충격음 레벨 저감량 실험실측정방법)로 제정되었다.

3.2.2 평가방법

최근까지 국내 바닥충격음 평가방법은 제정되지 않아, 개정 전에는 일본의 L등급 평가방법을 차용하여 성능평가가 주로 이루어져 왔다. 그러나 근래에 들어 ISO규격화 추세에 따라 JIS와 마찬가지로 KS F 2863-1, 2(바닥충격음 차단성능평가방법 - 제1부 경량충격음, 제2부 중량충격음 : 2002)를 규격화하였다. 다만 중량충격음원에 대하여는 일본과 우리나라만 채택하고 있으므로 양국의 조건에 따라 내용을 수정하여 제정하였다.

4. 국내 저감재 적용의 실태

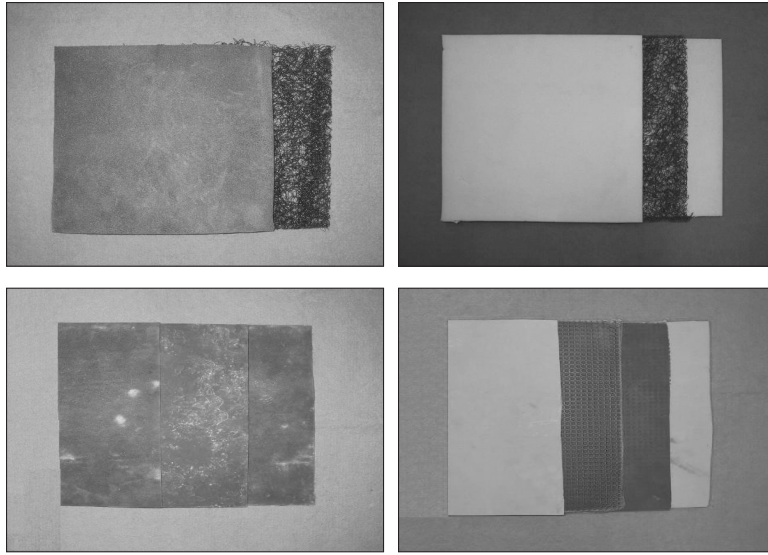
국내 아파트의 바닥구조는 온돌난방시스템으로서 하중을 부담하는 슬래브와 열손실방지기능의 단열재, 열을 저장·방사하는 축열재 및 바닥마감재 등 3부분으로 구성되어 있다. 슬래브는 대부분 철근콘크리트로 구성되어 있으며, 그 두께는 시공건설업체마다 다

르지만 135~ 150 mm 정도가 일반적이다. 그러나 최근 바닥충격음이 사회적인 문제가 됨에 따라 일부 건설업체에서는 슬래브 두께를 180 mm 이상, 심지어 200 mm 까지도 적용할 것을 검토하고 있으며, 바닥충격음을 줄이기 위한 노력이 학계는 물론 대형 건설사와 건축자재업체 등을 중심으로 활발히 이루어지고 있으나, 현장 적용에 있어 시공성, 경제성을 만족하는 충격음저감효과가 있는 저감재의 개발은 아직 미흡한 형편이다.

오래전부터 뜬바닥 공법을 적용해 오고 있는 독일 등 유럽 각국이나 일본 등에서는 뜬바닥용 충격음저감재의 종류, 크기, 품질, 시험방법, 시공방법 등을 규정하여 시행하고 있다. 그러나 아직까지 국내에는 이러한 판단규정이 없어 충격음저감재 선정에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

현재 국내 공동주택에 적용되고 있거나 개발중인 충격음저감재는 단열재기능을 겸하고 있으며, 그림 5와 같이 페타이어 등을 재활용한 고무계열을 비롯하여 스티로폼계열, PE계열, EVA계열, 섬유계열, 유리면 등 여러 재료가 들어 있고, 두께는 10 ~ 20 mm 정도가 대부분이다.

같은 현장에서 같은 구조와 공법으로 시공된 바닥일지라도 시공상의 차이와 우회전달음 등의 영향으로 각 바닥에 대한 바닥충격음 차단성능은 모두 똑같지는 않다. 더구나 바닥충격음 차단성능에 영향을 미치는 슬래브와 뜬바닥층의 두께가 서로 조금씩 다르기 때문에 그 성능도 다양하게 나타난다. 따라서 국내 바닥구조에 대한 바닥충격음 차단성능수준을 하나의 수치로서 나타낸다는 것은 불가능하며, 같은 구조와 공법이라 할지라도 성능이 다르게 나타나는 경우가 많기 때문에 일일이 설명한다는 것은 불가능하다.



〈 그림 5 〉 충격음저감재의 다양한 형태

4.1 시험방법 및 평가방법

본 연구에서는 저감재의 성능에 대한 실태를 분석함에 있어서, 그 평가대상은 현행 규격으로 개정된 후 연구원에서 실시한 실제 시험체를 대상으로 파악하였으며, 그 평가방법은 충격음저감재나 바닥구조의 상세적인 두께구분 없이 전체적인 재질과 충격음저감재의 유·무 및 마감재에 따라 평균적인 값으로 구분하여 실시하였다.

시험체는 뜬바닥에 사용되는 바닥충격음저감재를 실제공법으로 콘크리트 슬래브(3 m × 4.2 m, 두께 150 mm)위에 시공한 시험체를 시험실에 설치한 후, KS규격에 따른 충격음

차단성능 측정방법과 평가방법을 적용하여 시험을 실시, 분석하였다.

4.2 시험체구조

바닥시험체의 구조는 일반적인 뜬바닥 구조로서 콘크리트슬래브(3m×4.2 m, 두께 150 mm)위에 저감재(10~60 mm)를 깔고 경량기포콘크리트를 타설한 후 온돌층(마감모터, 50mm)을 마감하는 구조로서 충격음저감재와 경량기포콘크리트층의 합산 두께는 약 70 mm를 넘지 않는 구조이다.

4.3 시험방법

- 경량충격음 : KS F 2810-1(바닥충격음

〈 표 4 〉 저감재 종류

저감재명	두께 (mm)	재료별	두께 (mm)
EVA(연질합성고무)	20	연질우레탄	20
폴리에틸렌폼시트(PE)	20	경질우레탄	20
PE+EVA	20	유리섬유보드	15
폴리스틸렌폼시트(PS)	20	발포유리보드	60
폴리에스터시트	30	암면보드	25
경질합성고무	10	무저감재(경량기포)	-

차단성능 현장측정방법 - 제1부 : 표준
경량 충격원에 의한 방법)

- 중량충격음 : KS F 2810-2(바닥충격음
차단성능 현장측정방법 - 제2부 : 표준
중량 충격원에 의한 방법)

4.4 평가방법

- 경량충격음 : KS F 2863-1(건물 및 건물
부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법 -
제1부 : 표준 경량충격원에 대한 차단성능)
- 중량충격음 : KS F 2863-2(건물 및 건물
부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법 -
제2부 : 표준 중량충격원에 대한 차단성능)

5. 뜬바닥구조의 바닥충격음 저감재 시험성능 비교

분석값은 현장법이 아닌 시험실법에 의하
여 측정된 것으로 저감재를 시공한 바닥슬래
브판의 충격음저감 특성을 단순 비교한 것으
로, 현장 적용시 다르게 나타날 수 있으며, 다
만 동일조건에서 저감재 시공전 후의 개선량
비교우위 성능을 상호 비교 파악하는 것으로
하였다.

충격음 차단성능을 측정한 결과는 아래의
표 5와 같다.

5.1 재료별 경량충격음의 비교

경량충격음 차단성능 측정시험결과는 그
림 6과 같이 나타났다.

전체적인 경향을 분석했을 때 E.V.A, P.E,
우레탄, 유리섬유 및 암면 등의 연질성 재료인
경우 대부분 경량충격음에서 18 ~ 20 dB이
상의 저감효과를 나타내어 경량충격음의 차
단성능의 우수한 것으로 나타났다. 다만 합성
고무, 경질우레탄, 발포유리 및 경량기포 등과
같이 경질의 경우 경량 충격음의 차단능력이
연질의 경우보다 저조한 것으로 나타났다.

저감재를 설치한 경우와 기준판(slab 150
mm)을 비교하였을 때, 저감재를 설치한 시험
체가 경량충격음 차단성능이 우수한 것으로
나타나 저감재를 설치한 경우 경량충격음의
차단에는 효과가 있는 것으로 나타났다.

5.2 재료별 중량충격음의 비교

중량충격음 차단성능 측정시험결과는 그
림 7과 같이 나타났다.

전체적인 경향을 분석했을 때 저발포 고밀
도의 E.V.A와 경질우레탄, 경량기포 등의 경
질성 재료의 경우 3~5 dB의 저감효과를 나
타냈다. 그 외의 고발포 E.V.A, P.E, 연질유

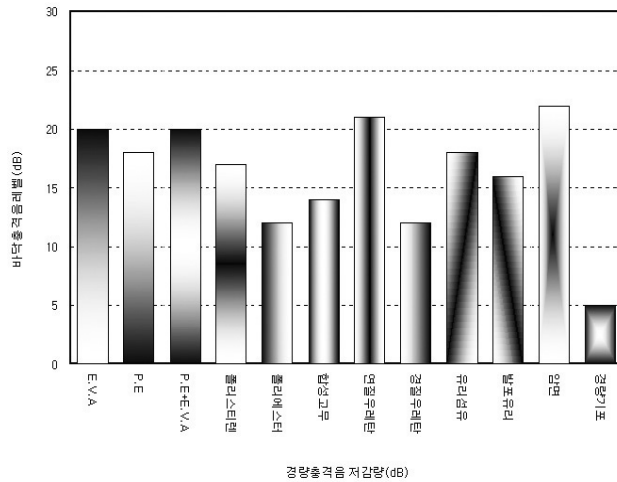
〈 표 5 〉 재료별 기준판 대비 단일수치 평가량

저감재명	EVA	P.E	PE+ EVA	폴리 스티렌	폴리 에스터	경질 고무	연질 우레탄	경질 우레탄	유리 섬유	발포 유리	암면	무저감재 (기포)
	20 mm	20 mm	20 mm	20 mm	30 mm	10 mm	20 mm	20 mm	15 mm	60 mm	25 mm	60 mm
경 량 충격음	20	18	20	17	12	14	21	12	18	16	22	5
	(54)	(58)	(54)	(58)	(61)	(60)	(53)	(63)	(55)	(58)	(52)	(58)
중 량 충격음	5	-1	1	-1	-3	1	1	4	1	-4	1	2
	(52)	(58)	(56)	(58)	(62)	(54)	(56)	(51)	(56)	(61)	(56)	(55)

주1) EVA : 연질합성고무, P.E : 폴리에틸렌, 무저감재 : 경량기포콘크리트 60mm

주2) ()안은 바닥충격음 차단성 단일지수평가량 측정값

주3) 상기 단일지수평가량은 작을수록 차단성이 우수하며, 개선량은 클수록 좋음.



〈 그림 6 〉 재료에 따른 경량충격음의 저감량

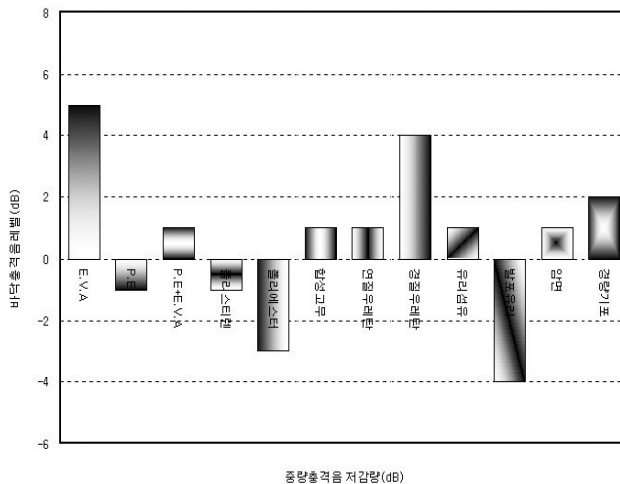
레탄, 유리섬유 및 암면 등의 연질성 재료인 경우 대부분 중량충격음에서는 1 ~ 2 dB의 저감효과를 나타내거나 공진현상에 의한 증가가 나타나 중량충격음의 저감에는 효과가 미미하거나 없는 것으로 나타났다.

저감재를 설치한 경우와 기준판(slab 150 mm)을 비교하였을 때, 저감재를 시공한 경우가 기준판에 비해 평가량이 비슷한 것으로 나타나 저감재의 시공에 따른 저감능력이 미미한 것으로 나타났다.

5.3 상부마감 구조에 따른 비교

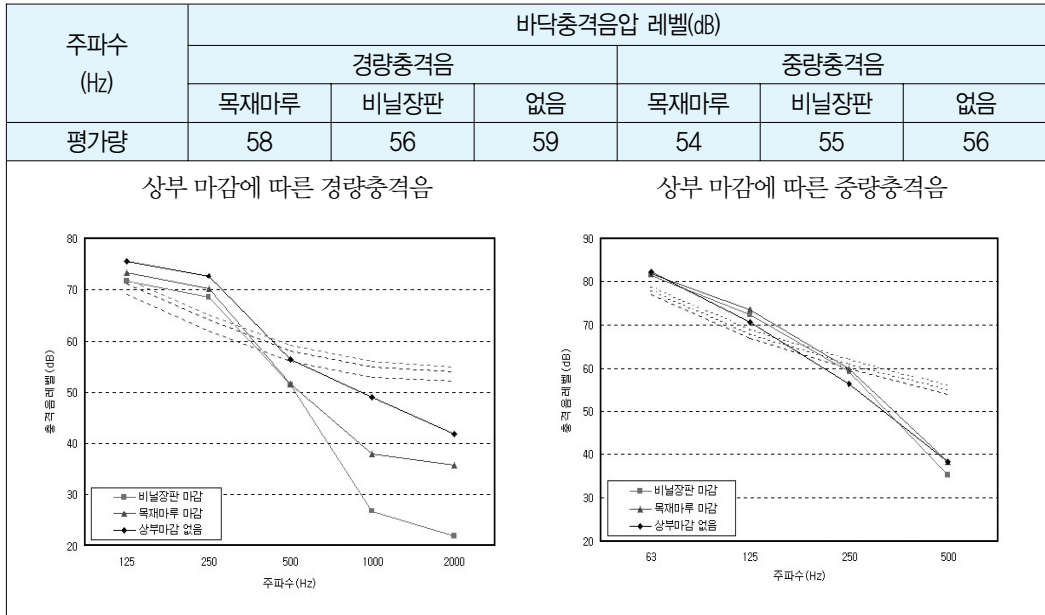
목재마루와 비닐장판의 상부마감 구조의 변화에 따라 경량충격음은 표 6과 같이 비닐장판으로 마감한 경우 목재마루에 비해 125 ~ 250 Hz에서 1 ~ 2 dB 정도 우수한 것으로 나타났으며, 1000 Hz 이후에서는 10 dB 이상 우수한 것으로 나타났다.

중량충격음은 비닐장판으로 마감한 경우 목재마루에 비해 63 Hz에서는 동일하게 나타났으나, 125 Hz 이후부터는 1 dB 이상 우수한



〈 그림 7 〉 재료에 따른 중량충격음의 저감량

〈 표 6 〉 상부마감 구조에 따른 충격음의 비교



것으로 나타났다.

전체적으로 바닥모르타르에 장판을 마감한 경우 장판을 마감하지 않은 경우보다 1~3 dB 정도, 목재마루의 경우 1~2 dB 정도 차단 성능이 우수한 것으로 나타나 바닥재를 마감하는 경우가 충격음의 차단에는 유리한 것으로 나타났다.

6. 결론

국내에서 적용되고 있는 충격음 저감재의 실제적인 모델을 통하여 충격음 차단성능을 시험하고 그 특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 재료에 따른 바닥충격음 차단성능은 경량충격음의 경우 연질의 경우 차단성능이 우수하며, 경질의 경우 차단성능이 저조한 것으로 나타났다.

중량충격음의 경우 연질의 제품인 경우 공진현상이 일어나 차단성능이 저조하거나 오히려 불

리하게 나타났으며, 경질이거나 고탄성을 지닌 경우 차단성능이 우수한 것으로 나타났다.

(2) 충격음저감재를 깔아 뜬바닥구조로 할 경우 횡으로 공기가 빠져나가기 때문에 공기의 탄성계수가 부가되기는 하지만, 충격음저감재의 두께가 얇으면 탄성계수가 크고 동시에 공기의 탄성계수도 커지기 때문에 저음역에서 뜬바닥효과가 전혀 나타나지 않는다. 이러한 이유 때문에 중·고주파수 대역에서 차음등급이 결정되는 경량충격음의 경우 상대적으로 개선효과가 큰 것으로 나타났으나, 저주파수 대역에서 평가량이 결정되는 중량충격음의 경우 저주파수 대역에서 바닥충격음 레벨이 낮아지지 않기 때문에 성능개선효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

(3) 동일 구조에 대하여 상부 마감을 목재마루와 10 mm와 비닐장판으로 달리하여 비교 시험한 결과 비닐장판으로 마감한 경우가 목재마루로 마감한 경우에 비해 경량충격음의

경우 1~2 dB 정도 우수한 것으로 나타났다. 목재마루와 비닐장판으로 마감한 경우 마감을 하지 않은 경우보다 1~3 dB 정도 우수한 것으로 나타났다.

(4) 각각의 재료에 대하여는 구체적인 발포율에 따른 밀도, 두께별 특성, 장기강도, 동탄성 계수 등을 배제한 값이므로 구체적인 물성이 반영되어야 할 것이다.

7. 향후 연구과제

본 연구는 실제 구조로 평가하였으나 현장 측정방법을 준용하여 시험실에서 측정한 참고값이므로 보다 현실적인 Data의 수집 및 Back-Up을 위해서는 실제 현장에 대하여 충격음 저감재의 종류, 반자의 깊이, 반자의 마감구조, 표면마감, 현장배치 등의 고려와 함께 실태조사 연구가 이루어져야 할 것이다. 이와 더불어 기존 뜬바닥구조의 차세대 구조로 제기되고 있는 중공형슬래브(Void slab)등 슬래브형태 및 Deck Plate, Access floor 등 기타 바닥구조에 대한 연구도 병행되어야 할 것이다.

<참고문헌>

1. 木村 翔, 건축음향と騒音防止計劃, 彰國社
2. 前川純一, 建築音響, 技文堂
3. 日本音響材料協會, 騒音振動對策 ハトブック, 技報堂
4. KS F 2810-1(바닥충격음 차단성능 현장측정방법-제1부:표준경량충격원에 의한 방법 : 2002)
5. KS F 2810-2(바닥충격음 차단성능 현장측정방법-제2부:표준중량충격원에 의한 방법 : 2002)

6. KS F 2865(표준 콘크리트 바닥위 마감구조의 경량 충격음 레벨 저감량 실험실 측정방법 : 2002)
7. KS F 2863-1(건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법-제1부 : 표준 경량충격원에 대한 차단성능 : 2002)
8. KS F 2863-2(건물 및 건물부재의 바닥충격음 차단성능 평가방법-제2부 : 표준 중량충격원에 대한 차단성능 : 2002)
9. JIS A 1418-1(建築物の床衝撃音遮斷性能の測定方法 - 第 1 部 : 標準輕量衝擊源による方法 : 2000)
10. JIS A 1418-2(建築物の床衝撃音遮斷性能の測定方法 - 第 2 部 : 標準重量衝擊源による方法 : 2000)
11. ISO 140-7(Acoustics-Measurement of sound insulation in buildings and of building elements-Part VII : Field measurements of impact sound insulation of floors : 1998)
12. ISO 140-8(Acoustics-Measurement of sound insulation in buildings and of building elements-Part VIII : Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a standard floors : 1997)
13. ISO 717-2(Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements-Part II : Impact sound insulation : 1996)
14. ASTM E 989(Standard Classification for Determination of Impact Insulation Class(IIC) : 1994)
15. 대한주택공사, 공동주택바닥충격음 차단성능(안), 2001. 11
16. 쌍용건설, 건설기술 제23호 **FILK**