공동주택과 바닥충격음

양관섭
한국건설기술연구원 건축연구부
수석연구원, 공학박사

1. 서론

공동주택은 가용 국토면적의 협소로 인한 토지의 효율적 이용과 부족한 주택을 단기간에 보급할 수 있다는 주택공급의 용이성, 그리고 생활의 편이성을 추구하는 국민 의식, 주택을 하나의 재산증식수단으로 인식한 투기열풍 등 여러 가지 이유로 인하여 1980년 이후 급속하게 증가하여 현재는 우리나라에 보급된 총 주택수 중 50% 이상을 차지하고 있다. 이와 같이 공동주택은 도시나 농촌에 관계없이 하나의 주택유형으로서 자리를 차지하고 있으나 공동주택이 지니고 있는 특성, 즉, 다수의 세대가 한 장의 벽과 바닥을 사이에 두고 생활하는 거주형태로 인해 이웃간에 불화가 발생하는 일이 종종 있으며, 그 중에서 대표적인 것이 소음[1]으로 인한 것이다.

공동주택에서의 소음문제는 단순히 물리적인 음의 크기[2]뿐만 아니라 그 음의 발생형태, 그 음이 갖는 의미 및 성격 등 각 종 요인이 복잡하게 혼재되어 발생하고 또한 개인차가 크기 때문에 차음성능에 관한 객관적인 평가는 매우 어렵다고 할 수 있다. 이와 같이 공동주택에서의 소음문제는 여러 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 그 발생원인을 단정적으로 말할 수는 없다. 자기중심적인 생활로 상호 이해부족, 생활수준의 향상에 따른 소음발생원의 다양화, 아파트에 대한 거주경험의 축적으로 거주자의 요구성능 수준의 고도화 및 다양화 등이 그 중 하나의 원인이 될 수는 있으나 보다 근본적인 문제는 사용되는 재료의 특성과 관행적인 공법상의 문제를 들 수 있다.

공동주택에서의 바닥충격음문제가 사회적인 문제로 급격히 부상함에 따라 건설교통부에서는 바닥충격음에 대한 차단성능 기준을 2003년 4월 22일에 공포한 바 있으며, 1년 동안의 유예기간을 거쳐 2004년 4월 22일 이후에 사업계획의 승인을 신청하는 주택건설사업부터 적용하는 것으로 하였다. 그러나 중량충격음의 경우 동일한 바닥구조라 할지라도 구조형식, 공간의 규모나 슬래브의 고정상태, 구조체의 시공상태 등에 따라 측정결과들이 다르게 나타나고 있어, 어떤 조건에서든 기준을 만족해야 한다는 법 논리에서는 법 운영이 어렵다는 판단에 따라 법 규정과 관련 고시를 일부 개정하여 2005년 7월 1일부터 시행하고 있다.

본고에서는 현재 시행되고 있는 바닥충격음 차단성능 기준과 관련 고시의 내용을 소개하고, 우리나라 공동주택의 과거 바닥구조의 바닥충격음 차단성능이 어느 정도 수준이었는지와 문제점은 무엇이 있었는지를 정리해 보고자 한다. 또한 현재 시행 표준바닥구조의 바닥충격음 차단성능은 어느 정도의 수준인지, 어떤 이유에서 현재와 같은 표준바닥구조가 제시되었는지 그 배경 등에 대해 설명하고자 한다.

2. 바닥충격음의 개요

2.1 바닥충격음의 정의

발생원으로부터 직접 공기중에 음파가 방사, 전파되어 귀에 들리는 음을 공기전파음(Air-Borne Sound) 또는 공기음이라고 하는 것에 반해, 하나의 진동원에서 발생한 진동이 지반이나 건축구조체 등의 고체물에 전파하면 그 전파된 진동이 건물의 천장, 바닥, 벽 등을 진동시킴에 따라 공기 중에 음으로서 방사되어 귀로 들을 수 있거나 혹은 직접 인체에 진동으로서 전달되어 청각으로 감지될 수 있는 것을 고체전파음(Solid-Borne Sound) 또는 고체음이라 한다. 따라서 공기음과의 차이는 발생원으로부터 방사되는 형태가 음인가, 아니면 진동인가에 있으나 이들 모두 청각에 의해 지각된다는 공통점을 갖고 있다.

그리고 고체음과 구별되어야 하는 것으로서 진동이 있는데, 진동이라고 하는 것은 발생원으로부터 진동으로서 발생하여 마지막까지 진동으로 전달되어 인체 등에 떨림이나 진동의 형태로 감지되는 것을 말하기 때문에 명확한 구분이 필요하다. 이들 고체음과 진동의 관계를 주파수[3] 영역으로 구분하면, 全身的인 움직임이나 떨림으로서 느끼는 1Hz이하의 영역으로부터 촉각으로서 느끼는 1~100Hz의 영역, 청각으로서 느끼는 20~20,000Hz의 영역으로 나눌 수 있다. 이와 같이 진동과 고체음은 20~100Hz 사이가 중복되나 40Hz보다 주파수영역이 위로 올라가면 청각 쪽이 예민해지게 되어 허용치가 작아지기 때문에 일반적으로는 40Hz 이상을 고체음의 대상으로 하고 있다.[4] 이러한 고체음을 발생원 별로 분류하면, 건물내에서는 바닥충격음, 문이나 창의 개폐음, 설비기계음, 급·배수음, 악기 등의 고체음이 있고, 건물외부에서는 공장, 철도, 도로, 공사 등의 발생원이 있다. 이들 고체음 중에서 공동주택에서 특히 문제로 되고 있는 발생원으로서는 바닥충격음과 급·배수음을 들 수 있다.

고체음의 일종인 바닥충격음은 인간의 보행, 물건의 낙하, 어린이들의 뜀이나 달림, 가구의 이동에 의해 발생한 충격이 바닥에 가해지면 바닥슬래브는 굴곡 진동하고, 그 진동이 공기 중에 음으로서 방사되는 것을 말한다. 이러한 바닥충격음은 충격특성에 따라 경량충격음과 중량충격음으로 구분하여 평가하고 있다. 전자는 작은 물건의 낙하나 가구의 이동시 바닥에 가해진 충격에 의해 바로 아래층에서 어느 정도의 발음성을 나타내는지를 평가하는 지표이며, 후자는 어린이가 뛰거나 달릴 때에 발생한 무거운 충격이 바로 아래층에서 어느 정도의 발음성을 나타내는지를 평가하는 지표이다. 이러한 발생특성을 고려하여 우리나라의 바닥충격음 성능기준도 경량충격음과 중량충격음 각각에 대해 설정되어 있으며, 한 개의 바닥구조가 이 두 가지 기준을 동시에 만족하도록 하고 있다.

2.2 충격원의 특성

2.2.1 중량충격원

중량 충격음은 낮은 주파수성분의 음이 많고, 바닥 표면 마감재의 유연성에는 거의 관계가 없다. 그 크기는 기본적으로는 〈표1〉에 나타낸 바와 같이 바닥의 조건에 따라 차단성능이 달라진다. 즉, 같은 두께의 슬래브에서도 슬래브의 면적이나 주변고정조건에 따라 바닥충격음은 다르다는 것에 주의해야 한다.

〈표 1〉 바닥의 제반 조건과 중량충격음 차단성능과의 관계

바닥의 조건	중량충격음 차단성능	
	좋아진다 ⇦	⇨나빠진다
밀도	크다	작다
두께	두껍다	얇다
바닥의 강성	강하다	약하다
영(Young)율	크다	작다
압축강도	크다	작다
스팬(Span)	작다	크다
작은 보의 유무	있다	없다
천장 유무주)	없다	있다
표면재의 유연성	거의 관계없다	

주) 천장 속의 공기층 두께가 300㎜ 이하의 경우

2.2.2 경량충격음의 특징

경량충격음은 보행이나 의자 또는 책상을 끌 때, 숟가락 등을 떨어뜨릴 때 발생하는 음으로서 중·고 주파수성분이 많다. 그 크기는 표면재의 유연성에 크게 영향을 받는다. 그리고 중량충격음과 달리 슬래브가 지지되어 있는 조건(스팬의 면적, 주변지지조건 등)에 대한 영향은 매우 작다.

3. 바닥충격음 차단성능 관련 제도현황

3.1 시행령: 주택건설기준등에관한규정

건설교통부에서는 2003년 4월 22일 그동안 선언적인 의미로 규정되어 있던 주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조 제 3항을 개정하여 구체적인 바닥충격음 차단성능에 대한 최저 성능기준(중량충격음: 50dB이하, 경량충격음: 58dB 이하)을 마련하였으며, 이와 더불어 중·소 주택건설업체를 위한 표준바닥구조(성능기준을 만족시킬 수 있는 대표적인 바닥구조)를 고시로 제시할 수 있도록 하였다. 그리고 거주자의 다양하고 고도화된 요구에 대응하고, 다양한 성능의 바닥구조 개발을 유도하기 위해 최저 성능기준을 최하 등급으로 하는 바닥충격음 차단성능 등급기준을 고시하는 것으로 관련 규정을 개정하였으며, 1년 동안의 유예기간을 거쳐 2004년 4월 22일 이후에 사업계획의 승인을 신청하는 주택건설사업부터 적용하는 것으로 하였다. 그러나 현재 국내 대부분의 아파트가 적용하고 있는 벽식구조 습식 온돌구조의 경우, 거실과는 달리 안방과 같이 직방체 형태의 공간에서는 슬래브 두께를 210㎜ 이상으로 해도 룸 모드 등으로 인해 중량충격음의 차단성능이 크게 개선되지 않기 때문에 중량충격음 기준을 만족하는 표준바닥구조를 제시하기 어렵다는 것과 동일한

바닥구조에 대해 공동주택 시공현장에서 측정한 바닥충격음 차단성능의 측정결과, 바닥면적, 평형 등에 따라 측정결과의 편차가 상당히 크게 발생하고 있어 일관성 있는 표준바닥구조를 제시하기 어렵다는 연구결과[5]가 도출됨에 따라 경량충격음 차단성능기준만 우선 시행하고 중량충격음 차단성능은 연구를 완료한 후에 방안을 마련하여 2005년 7월 1일부터 시행하는 것으로 2004년 4월에 법 개정이 이루어졌다.

그러나 추가적인 연구에서도 벽식 구조의 공동주택에서는 이와 같은 문제가 여전히 해결되지 못하는 것으로 나타나 2005년 4월 12일에 주택건설기준등에관한규정 제14조 제3항에 성능기준만 규정되어 있던 것을 성능기준(표준바닥구조 이외 구조의 성능인정기준)과 표준바닥구조(건설교통부장관이 정하는 바닥구조) 중 1개 방법을 선택하도록 하는 방향으로 2005년 6월 30일 개정되었으며, 현재는 이 규정에 따라 바닥충격음 차단성능기준이 시행되고 있다. 다음은 주택건설기준등에관한규정 제14조의 내용을 발췌한 것이다.

제 14조 ③ 공동주택의 바닥은 다음 각 호의 어느 하나의 구조로 하여야 한다.
1. 각 층간 바닥충격음이 경량충격음(비교적 가볍고 딱딱한 추격에 의한 바닥충격음을 말한다)은 58데시벨 이하, 중량충격음(비교적 무겁고 부드러운 충격에 의한 바닥충격음을 말한다)은 50데시벨 이하의 구조가 되도록 할 것. 이 경우 바닥충격음의 측정은 건설교통부장관이 정하여 고시하는 방법에 의하며, 그 구조에 관하여 건설교통부장관이 지정하는 기관으로부터 성능확인을 받아야 한다.
2. 건설교통부장관이 정하여 고시하는 표준바닥구조가 되도록 할 것.
④ 건설교통부장관은 공동주택 바닥충격음의 차단성능등급을 정하여 고시할 수 있다.
부칙 ①(시행일) 이 영은 2005년 7월 1일부터 시행한다.
②(바닥충격음의 기준에 관한 적용례) 제 14조 제 3항 및 제 4항의 개정규정은 이 영 시행 후 법 제 16조의 규정에 의한 사업계획의 승인을 신청하는 주택건설사업부터 이를 적용한다.

3.2 건설교통부 고시 2005-189호: 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준

주택건설업체에서는 성능기준에 적합한 새로운 바닥충격음 차단구조를 개발하여 건설교통부장관이 정하여 고시하는 방법에 따라 평가를 받은 후 주택현장에 적용을 하거나 또는 건설교통부장관이 정하여 고시하는 표준바닥구조를 현장에 적용하는 등 2가지 방법 중 1개 방법을 선택하여 적용할 수 있도록 하고 있다.

그러나 바닥충격음 차단성능에 대한 법적 규정은 새롭게 건설되는 모든 공동주택이 지켜야 하는 최소 기준으로 운용되기 때문에 건설교통부고시로서 제시되는 표준바닥구조 이외의 바닥충격음 차단구조의 경우에는 사업승인단계에서 해당 바닥구조가 건설교통부장관이 정한 절차나 방법에 따라 성능 인정을 받았는지를 확인해야 하는데, 이러한 절차와 방법을 정하고 있는 것이 "공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준"이다. 그리고 이 고시에서는 건물 완공 후 현장에서 측정을 통한 성능평가를 할 경우를 위해 측정대상세대나 측정위치, 측정방법, 측정결과의 판단방법을 규정하고 있으며, 등급기준과 표준바닥구조를 규정하고 있다. 다음은 고시 내용 중 주요사항을 발췌하여 도입배경이나 시행방법을 설명한 것이다.

3.2.1 고시의 구성

본 기준은 총칙과 바닥구조의 충격음 차단성능 인정기준 및 절차, 바닥충격음 차단성능 측정 및 평가방법, 바닥충격음 차단성능의 확인방법, 표준바닥구조 및 완충재의 성능기준 등 총 5장과 부칙으로 구성되어 있으며, 총칙에서는 본 기준의 규정 목적과 본 기준에서 사용하고 있는 용어에 대한 정의가 규정되어 있다. 그리고 제2장 바닥구조의 충격음 차단성능 인정기준 및 절차에서는 표준바닥구조 이외의 구조에 대한 성능인정 방법과 절차, 인정기관의 업무 등이 규정되어 있으며, 제3장에서는 바닥충격음 차단성능의 측정방법과 평가방법이 규정되어 있다. 제4장에서는 시공현장에서 바닥충격음 차단성능의 확인이 필요할 경우 측정세대의 선정방법, 측정부위, 측정결과의 평가방법 등이 규정되어 있으며, 제5장에서는 표준바닥구조, 완충재의 성능기준 등이 구체적으로 규정되어 있다. 부칙에서는 시행일과 세부운영지침의 개정에 대한 내용이 규정되어 있다.

3.2.2 규정 내용에 대한 설명

(1) 적용범위 (제3조1항)

바닥충격음 차단성능은 사업승인단계에서 설계된 바닥구조가 표준바닥구조인지 인정구조인지를 반드시 확인하여야 하기 때문에 적용범위도 주택법 제 16조의 규정에 의하여 주택건설 사업계획 승인신청 대상으로 하였다. 따라서 성능인정의 대상은 주택법에 의해 사업계획 승인대상인 20세대 이상의 공동주택과 주거복합건축물에 적용하는 표준바닥구조 이외의 바닥충격음 차단구조가 되어야 하며, 사업승인 대상이 아닌 20세대 이하의 다가구, 다세대 주택, 그리고 기숙사나 호텔 등에 사용하는 바닥구조는 성능인정 대상에서 제외된다.

(2) 성능인정 대상구조 (제3조 2항 및 제4조 2항)

바닥충격음 차단성능은 부위별로 사용하는 재료의 특성에 따라 성

능에 영향을 미치기는 하지만 최종적인 성능을 결정하는 것은 구조형식(벽식구조, 라멘구조, 혼합구조, 무량판 구조 등)별 바닥구조의 구성 상태(슬래브 두께 및 온돌층 구성상태, 바닥마감재의 종류, 천장구조상태 등)이므로 구조형식별 전 바닥시스템(벽을 포함)을 인정의 기본단위로 하고 있다. 그리고 표준바닥구조 이외의 구조라고 하는 것은 기준 제 26조에서 정하고 있는 바닥구조 이외의 구조를 말한다. 또한 기준 제 28조의 규정에 적합한 완충재의 경우에는 완충재를 적용하는 표준바닥구조에 해당하므로 별도의 성능인정이나 등급인정을 받을 필요가 없다. 단지 성능등급에 대한 확인하고자 하는 경우에는 인정시험이 아닌 단순 의뢰시험으로 성능을 확인할 수는 있을 것이다. 일반적인 단열재가 아니고 완충재의 성능범위에도 해당하지 않는 재료를 이용하여 바닥충격음 차단구조를 구성하는 경우에는 인정대상으로 볼 수 있다.

(3) 바닥충격음 차단성능 등급별 기준(제 4조 1항)

바닥충격음에 대한 등급별 기준은 다음 〈표2〉와 같으며, 법적인 최저기준을 최하등급의 최소값으로 설정하고 있으며, 경량충격음의 등급간 간격은 5dB로 하고 있으나 중량충격음의 경우에는 경량충격음과 같이 4개 등급으로 하기 위해 등급간 간격을 3dB 또는 4dB로 하고 있다.

〈표 2〉 바닥충격음 차단성능 등급별 기준

(단위: dB)

등급	경량충격음 차단성능(역A특성 가중 규준화 바닥충격음레벨)	중량충격음 차단성능(역A특성 가중 바닥충격음레벨)
1급	$L'_{n,Aw} \leq 43$	$L'_{i,Fmax,Aw} \leq 40$
2급	$43 < L'_{n,Aw} \leq 48$	$40 < L'_{i,Fmax,Aw} \leq 43$
3급	$48 < L'_{n,Aw} \leq 53$	$43 < L'_{i,Fmax,Aw} \leq 47$
4급	$53 < L'_{n,Aw} \leq 58$	$47 < L'_{i,Fmax,Aw} \leq 50$

(4) 바닥마감재의 성능확인(제4조 제3항)

바닥마감재(경량충격음 차단성능과 밀접한 관계가 있음)의 경우, 새로운 제품이 계속적으로 개발되고, 생산되며, 또한 인정구조를 시공현장에 적용할 때 인정 당시와 동일한 제품이 생산되지 않아 적용할 수 없는 경우가 발생하고 있다. 따라서 이러한 문제를 해소하기 위해 바닥마감재에 한해 가중바닥충격음레벨 저감량(KS F 2865의 측정방법에 따라 측정을 실시)을 확인한 후 인정당시의 바닥마감재보다 성능의 저하가 없음을 확인한 후 새로운 바닥마감재를 적용할 수 있도록 하기 위해 규정한 내용이다. 따라서 인정시 적용하는 바닥마감재에 대해 가중바닥충격음레벨 저감량을 측정해 놓는 것이 필요하다.

(5) 인정기관 및 인정기관의 업무(제5조 및 제6조)

표준바닥구조에 대해 성능인정을 할 수 있는 기관으로서 한국건설기술연구원과 대한주택공사가 지정되어 있으며, 성능인정을 받고자 하는 경우 이 두 개 기관 중 1개 기관에 인정신청을 하면 정해진 절차에 따라 인정을 받을 수 있다.

인정기관에서는 다음과 같은 업무를 수행하는 것으로 규정되어 있으며, 별도의 측정기관을 두지 않고 인정기관에서 성능평가와 인정을 동시에 수행하는 것으로 규정되어 있다.

1. 신청서의 접수·등록·인정서 발급 등 성능인정을 위한 절차이행
2. 인정을 받고자 하는 바닥구조의 확인
3. 인정 또는 인정 취소를 위한 자문위원회의 구성 및 운영
4. 인정결과(인정취소 포함)의 관계기관 통보 및 공고
5. 인정을 한 구조의 취소 및 시공실적 등 관리
6. 인정업무에 대한 세부운영지침의 작성

(6) 인정을 위한 시험조건 및 규모(제11조)

현재 바닥충격음 차단성능에 대한 측정 평가를 하지 않고 인정할 수 있는 신뢰성 있는 방법(예측방법이 있기는 하나 오차가 큼)이 없기 때문에 어떤 방법으로든 측정을 통한 성능확인이 이루어져야 하는 등의 이유에서 규격화된 실험실이 필요하기 때문에 인정대상구조에 대한 성능평가를 위해 다음과 같이 시험조건을 규정하고 있다.

- 측정대상 음원실과 수음실의 바닥면적은 14㎡ 이상으로 한다.
- 측정대상공간의 장단변비는 1:1.5의 범위로 한다.
- 측정대상 공간의 천장 높이는 2.1m 이상으로 한다.
- 인정기관 이외의 기관이 보유하고 있는 실험실도 성능인정에 활용할 수 있도록 하고 있으며, 이때의 측정조건(바닥면적, 장단변비, 천장높이 등)은 본 조건을 충족시켜야 하는 것으로 규정하고 있다.

그리고 표준시험실을 이용하는 경우에는 1개 신청 구조 당 2회 시공하여 성능평가를 실시하도록 하고 있으며, 2회 시험결과 중 낮은 쪽의 결과를 그 신청구조의 최종등급으로 판단하고 있다.

구조형식별로 시험실을 모두 구축하는 것이 거의 불가능하고, 인정기관의 시험실로서 인정신청을 수용할 수 없기 때문에 인정시험은 인정신청자가 제공하는 시공현장에서도 실시할 수 있도록 규정하였으며, 이러한 경우에도 시험체의 설치 등에 인정기관의 관리를 받아야 하는 것으로 규정하고 있다. 그리고 시험은 상하이던 좌우이던 연속된 3개 세대에 신청구조를 전 공간에 모두 설치한 후 그 중에서

규모가 다른 2개소(보통 거실과 안방이 될 것으로 판단됨) 이상에서 3개 이상의 시료를 선정하여 평가하는 것으로 규정하고 있다. 이는 현장에서는 시공편차에 따른 측정차가 발생할 수 있기 때문에 총 3개 이상을 시험하도록 한 것이며, 연속된 3개 세대를 선정하여 시공하게 하는 이유는 신청자 임의대로 시험현장을 선택하지 못하도록 하기 위한 대안이다.

인정기관의 업무의 과중과 인정기간의 장기화를 막기 위해 시험을 실시하는 기관으로서는 인정기관 뿐만 아니라 KS F 2810-1과 2의 측정방법에 대해 KOLAS 국제공인시험기관으로서 인정을 받은 기관들 중 인정기관이 지정하는 시험기관에서도 실시할 수 있도록 규정하고 있다.

(7) 인정의 유효기간(제14조)

본 기준에서는 인정의 유효기간을 5년으로 설정하고 있으며, 재인정을 받기 위해서는 기 인정 받은 구조에 대해 시공된지 2년이 경과된 공동주택에서 KOLAS 공인시험기관(KS F 2810-1과 2의 시험항목에 대해 시험기관으로 지정을 받은 기관)이 실시한 성적서를 제출하거나 인정기관으로부터 재시험을 실시하는 것으로 규정하고 있다. 세부적인 지침은 세부운영지침에서 규정하고 있다.

(8) 측정 및 평가방법(제20조)

① 측정방법

인정구조 및 시공 현장에서의 바닥충격음 차단성능에 대한 현장측정방법은 2001년도에 개정된 KS F 2810-1(표준경량충격원에 의한 방법)과 KS F 2810-2(표준 중량충격원에 의한 방법)에 따라 실시하도록 하고 있으며, 동일 장소에서의 시험기관간 측정편차를 줄이기 위해 마이크로폰의 높이(1.2m)와 벽면 등으로부터의 거리(0.75m)를 규정하고 있다.

② 평가방법

바닥충격음 차단성능에 대한 평가방법은 2002년도에 KS 규격으로 제정된 바 있으며, KS F 2863-1(경량충격원에 대한 바닥충격음 차단성능 평가방법)과 KS F 2863-2(중량충격원에 대한 바닥충격음 차단성능 평가방법)로 나누어 제정되어 있다. 이들 평가방법 중 본 바닥충격음 차단성능 기준은 경량 및 중량충격원 모두 역 A 특성 기준곡선을 이용하여 평가하는 것으로 하고 있기 때문에 경량충격음 측정결과는 KS F 2863-1에서 규정하고 있는 평가방법 중 역 A 곡선에 의한 평가방법을 이용하여 평가하며, 평가에 사용하는 측정량은 KS F 2810-1에서 정하고 있는 규준화 바닥충격음레벨을 적용하여 평가를 실시하도록 하고 있으며, 중량충격음 측정결과는 KS F 2863-2에서 규정하고 있는 평가방법 중 역 A 곡선에 의한 평가방법을 이용하여 평가하며, 평가에 사용하는 측정량은 KS F 2810-2에서 정하고 있는 바닥충격음레벨을 적용하도록 하고 있다.

(9) 시공현장에서의 성능확인 방법(제 4장)

사업주체나 입주자의 성능확인 요청에 의해 사용검사후에 현장에서 그 주택의 전반적인 성능을 확인하기 위해 측정을 실시하는 경우, 측정세대와 세대내에서의 측정공간, 거실에서의 측정위치 선정방법, 측정결과의 평가방법을 구체적으로 규정하고 있다.

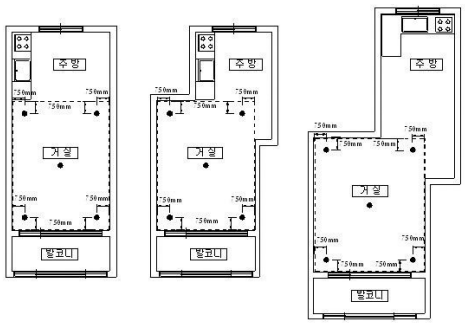
측정대상 세대는 건물이 1개 동으로서 전 세대가 동일한 평형으로 되어 있는 경우에는 중간층과 최상층의 측벽에 면한 각 1 세대, 중간층 중간에 위치한 1세대 등 최소 3개 세대를 측정하도록 규정하고 있으며, 평형이 다른 세대가 있을 경우에는 평형별로 3개 세대를 측정하도록 규정하고 있다. 그리고 2개 동 이상인 경우에는 평형이 다른 동별로 최소 3개 이상씩을 측정하는 것으로 규정하고 있다. 만일 평형이 4개 타입일 경우에는 최소 12개 세대를 측정하여야 한다.

세대내에서의 측정대상공간은 가족이 공동으로 사용하고 있고, 또한 거실(Living Room)과 주방 공간이 연결되어 있어 아이들이 뛰고, 달릴 수 있는 공간적 여건이 형성되어 있기 때문에 충격음 발생빈도가 높으므로 단위 세대에서 면적이 가장 넓은 거실(Living Room)공간만을 측정대상으로 설정하고 있다.

대부분의 공동주택의 경우에는 <그림1>에 나타낸 바와 같이 거실(Living Room)과 주방이 한 개의 공간으로 연결되어 있어 측정자마다 측정위치(충격원의 가진 위치 및 마이크로폰의 설치 위치)와 용적 산출을 임의적으로 정하여 실시하고 있는데, 이는 동일공간에 대해 측정기관들마다 다른 결과를 도출하게 되는 원인이 되고 있다. 따라서 측정위치와 용적 산출에 통일성을 기하기 위해 측정위치(충격위치와 마이크로폰의 위치)는 그림과 같이 5개의 측정위치(●) 중 KS규격에서 정하고 있는 방법과 같이 중앙점을 포함하여 4개 이상을 선택하여 측정을 실시하도록 하고 있으며, 측정공간의 용적은 실제 측정이 이루어지고 있는 부위(그림에서 점선으로 표시한 공간)만을 대상으로 하되 개구부가 있는 경우에는 닫은 상태에서 하도록 규정하고 있다.

그리고 KS F 2860-1과 KS F 2860-2에서 정한 측정방법에 따라 동일한 공간에서 측정을 실시한다하더라도 측정기관들 간에는 결과값들이 차이가 3~4dB 발생하고 있기 때문에 현장에서 성능확인

을 2개 기관 이상이 동일한 장소에서 실시한 측정결과에 대해서는 시험기관들간에 허용할 수 있는 측정오차를 도입할 필요가 있다. 이러한 측정오차가 발생하는 원인으로서는 측정기관들 간에 마이크로폰의 위치, 충격원의 가진 위치, 중량충격원의 공기압 규정범위(2.4±0.2Pa), 계측장비의 특성 등의 차이에 기인하는 것으로 KS에서 정하는 측정방법을 준수해도 발생하는 현상이라고 판단된다. 그리고 측정결과의 조작 등 시험기관의 고의적인 잘못으로 발생하는 문제와 달리 본 측정차이 부분은 KS 측정방법을 준수해도 나타날 수 있는 현상이므로 이러한 현실을 감안하여 시험기관들 사이의 측정결과 차이가 3dB이하일 경우에는 정해진 방법에 따라 측정이 이루어진 것으로 인정하고 있다. 그리고 그 바닥구조의 참값을 알 수 없기 때문에 최종적인 판단은 2개 기관의 측정결과를 산술평균하는 것으로 되어 있다.



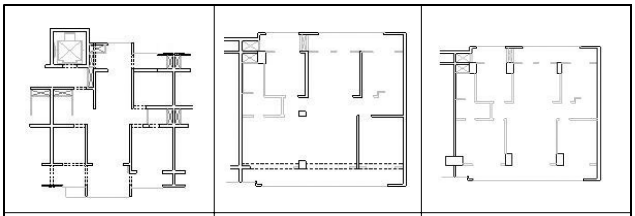
• 측정위치(충격원 충격위치 및 마이크로폰 위치)

〈그림 1〉 거실에서의 측정 위치 설정방법

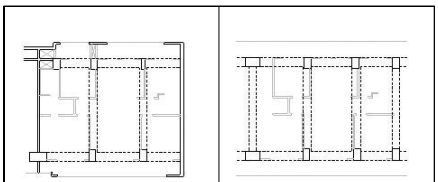
시공현장에서 측정한 바닥충격음 차단성능에 대한 최종적인 판단은 측정한 모든 세대별 값을 산술평균하여 결정하는 것으로 규정하고 있다.

(10) 표준바닥구조(제26조)

고시에서 제시하고 있는 표준바닥구조는 경제성, 시공성, 재료의 조달 용이성, 특정 업체만이 생산 및 공급할 수 있는 독과점 제품 여부 등 여러 가지를 검토하여 가능한 한 누구나 이용할 수 있도록 일반적이고, 보편 타당한 공법과 재료를 중심으로 제시되었다. 즉, 성능을 만족한다고 특정 제품을 표준바닥구조에 포함하여 고시할 경우, 불공정거래를 정부가 조장한다는 시비가 발생할 가능성이 높다고 판단되어 현재 우리나라에서 사용하고 있는 일반적인 재료(단열재, 완충재, 경량기포콘크리트, 모르터 등)와 공법(습식 온돌공법)을 중심으로 표준바닥구조가 제시되었다고 할 수 있다.



(a)벽식구조	(b)혼합구조	(c)무량판구조
수직하중과 횡력을 전단벽이 부담하는 구조	"벽식구조"에서 벽체의 일부분을 기둥으로 바꾸거나 부분적으로 보를 활용하는 구조	보가 없이 기둥과 슬래브만으로 중력하중을 저항하는 구조방식



(d)라멘구조(이중골조방식)	(d) 라멘구조(모멘트골조방식)
횡력의 25% 이상을 부담하는 모멘트 연성골조가 전단벽이나 가새골조와 조합되어 있는 골조방식	수직하중과 횡력을 보와 기둥으로 구성한 라멘골조가 부담하는 방식

〈그림 2〉 구조방식별 참고 도면

완충재를 적용하는 바닥구조의 경우에는 바닥마감재를 사용하지 않아도 경량충격음 성능기준을 만족하는 것으로 분석되어 마감재의 사용제한을 두지 않고 자유스럽게 사용하도록 규정하고 있다. 그리고 천장의 경우에는 경량충격음에 플러스 요인으로 작용하기 때문에 별도의 천장구조를 지정하지 않고 있다. 이러한 온돌층을 중심으로 우리나라에 적용되고 있는 구조형식 즉, 벽식 구조, 라멘 구조, 혼합구조, 무량판 구조 등에 대해 최소 슬래브 두께와 습식 온돌층의 형태로 표준바닥구조를 규정하고 있다. 다음 〈그림 2〉는 구조형식별 참고도면을 나타낸 것이며, 〈표 3〉은 고시 제 26조에 규정되어 있는 구조형식별 표준바닥구조를 정리하여 나타낸 것이다.

〈표 3〉 각 구조형식별 표준바닥구조

구분	표준바닥구조 단면상세[1]	바닥마감재의 종류
1	각 구조형식별 콘크리트[4] 슬래브 두께(벽식구조 및 혼합구조 210㎜ 이상, 무량판 구조 180㎜ 이상, 라멘구조 150㎜ 이상) +단열재 20㎜이상+경량기포콘크리트 40㎜이상+마감모르터40㎜이상	경량충격음레벨 저감량이 일정 수준 이상인 바닥마감재[2]
2	각 구조형식별 콘크리트[4] 슬래브 두께(벽식구조 및 혼합구조 210㎜ 이상, 무량판 구조 180㎜ 이상, 라멘구조 150㎜ 이상)+완충재 20㎜이상[3]+경량기포콘크리트 40㎜이상+마감모르터 40㎜이상	바닥마감재 사용제한 없음
3	각 구조형식별 콘크리트[4] 슬래브 두께(벽식구조 및 혼합구조 210㎜ 이상, 무량판 구조 180㎜ 이상, 라멘구조 150㎜ 이상)+경량기포콘크리트 40㎜이상+단열재 20㎜이상+마감모르터40㎜이상	경량충격음레벨 저감량이 일정 수준 이상인 바닥마감재[2]
4	각 구조형식별 콘크리트[4] 슬래브 두께(벽식구조 및 혼합구조 210㎜ 이상, 무량판 구조 180㎜ 이상, 라멘구조 150㎜ 이상)+경량기포콘크리트 40㎜이상+완충재20㎜이상[3]+마감모르터40㎜이상	바닥마감재 사용제한 없음
5	각 구조형식별 콘크리트[4] 슬래브 두께(벽식구조 및 혼합구조 210㎜ 이상, 무량판 구조 180㎜ 이상, 라멘구조 150㎜ 이상)+완충재40㎜이상[3]+마감모르터50㎜이상	바닥마감재 사용제한 없음

주1) 단열재, 완충재 및 기타 구성층은 위에서 정하고 있는 각 구성층의 두께 이상으로 시공하되, 건축물의설비기준등에관한규칙 제21조에서 정하고 있는 단열기준에 적합하도록 두께를 정하여야 한다.

주2) 콘크리트 슬래브 두께는 콘크리트로 구성된 두께만을 말하며 콘크리트의 표준설계기준 강도는 210kg/㎡의 보통콘크리트를 기준으로 한 것임

주3) KS F 2865에서 규정하고 있는 방법으로 측정한 바닥마감재의 바닥충격음 감쇠량을 KS F 2863-1의 '6. 바닥충격음 감쇠량 평가방법'에 따라 평가한 가중 바닥충격음 레벨 감쇠량을 말한다.

주4) 온돌층이 벽체와 접하는 부위에는 측면완충재를 적용한다.

(11) 표준바닥구조의 품질 및 시공방법(제27조)

바닥충격음 차단성능은 콘크리트 슬래브의 품질에 따라 성능이 달라지기 때문에 일정한 품질을 확보하도록 하기 위해 표준시방서의 규정내용을 준수하도록 규정하고 있다.

그리고 완충재나 단열재의 경우 법적인 단열기준을 만족시켜야 하는 것은 당연하지만 본 규정에서도 다시 한번 언급하여 규정하고 있다. 단열성능의 기준 설정방법은 방법론에 있어서 재료의 열전도율을 규정하는 방법과 전체 바닥구조의 총합 열관류율값으로 규정하는 방법이 있으나, 현행 법적 단열기준에서는 총합 열관류율로 규정하고 있다. 또한 전체 바닥구조를 구성하는 방법은 다양하고, 또한 사용하는 완충재나 단열재의 경우 그 종류에 따라 단열성능(열전도율)이 다르기 때문에 열전도율값으로만 규정하는 것은 문제가 있다. 따라서 전체 바닥구조를 대상으로 법적인 기준(열관류율을 기준으로 하여)을 만족하도록 표준바닥구조에서는 최소 두께만을 규정하고, 계산을 통해 적절한 단열재나 완충재의 종류나 두께를 선정할 수 있도록 유연성을 부여한 것이다. 단열기준에 대한 검토를 할 수 있도록 본 기준에서 단열기준과 관련된 조항을 제27조 제2항 및 〈별표5〉의 주 1)에서 언급하고 있다.

(12) 표준바닥구조용 완충재의 성능기준(제28조)

① 밀도와 제품형상

완충재의 물성값은 재질의 구성이나 밀도 및 외관형태의 변경에 따라 값이 변화된다. 따라서 시험된 물성치의 근거가 되는 제품의 형태와 구성에 관한 정확한 기록이 필요하기 때문에 시험대상 제품에 대한 겉보기 밀도를 측정한 후 제품의 전체 두께, 겉모양, 재질의 구성과 각각의 두께에 대해서 기록할 필요가 있기 때문에 시험항목으로 규정하고 있다. 시험은 KS M ISO 845에 따라 실시하도록 하고 있다.

② 단위면적당 동탄성 계수 및 손실계수

동탄성계수와 손실계수는 경량충격음 차단성능과 관계가 있다. 동탄성계수는 값이 작으면 바닥충격음의 완충효과가 크지만 뜬바닥 구조 위를 걸을 때 흔들림이 발생하여 보행감을 나쁘게하고, 값이 크면 바닥충격음의 완충성능이 낮아지게 된다. 동탄성계수는 40MN/㎥ 이하로 규정하고 있다. 손실계수는 0.1-0.3을 규정하였으며, 국내 대다수의 완충재는 이 기준값에 포함된다.

③ 흡수량

흡수량이 많은 완충재는 곰팡이와 같은 균류가 번식하여 악취발생의 원인이 되기도 하고, 완충재가 물에 젖게 되면 열전도율이 커지게 되어 단열성능을 저하시키는 원인이 되기도 한다. 또한, 완충재 상부에 있는 온수배관이 손상되어 물이 새는 경우 완충재에서 물을 흡수함으로써 빠른 탐지를 어렵게 만드는 등 흡수에 의한 완충재의 성능저하는 심각한 문제이다. 그리고 흡수량이 큰 재료의 경우 경량기포콘크리트 등의 시멘트 페이스트가 침투할 경우 본래 완충재가 가지고 있는 경량충격음 차단성능을 저하시키는 문제를 안고 있기 때문에 흡수량기준을 설정하고 있다. 기준은 4%v/v 또는 현장 적용시 물이 침투하지 않는다는 것을 보장(시공방법의 제시)하도록 이원화하여 제시하고 있다.

④ 가열치수변화

단열재나 완충재는 상부의 온수배관에서 전달되어 오는 열을 장시간 받게 된다. 일반적인 온수배관의 교체시기를 10년 이상으로 정하고 있으므로 열에 의한 영향으로 단열재의 성능에 변화가 없어야 함이 기본이다. 대다수 완충재는 열을 받는 경우에 장시간에 걸쳐 치수

의 변화가 발생된다. 따라서 국내 온돌구조의 단열재로 가장 널리 사용되는 발포 폴리스티렌 보온재의 치수 변화에 대한 허용 기준을 적용하면 문제가 없으리라 판단되어 KS M ISO 4898의 시험방법 즉, 70℃ 48시간 시험을 통해 5%의 치수 변화를 확인하도록 하고 있다.

⑤ 가열 후 단위면적당 동탄성계수 및 손실계수

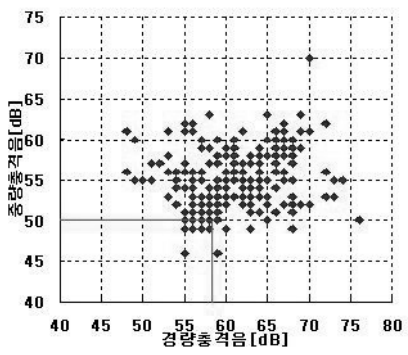
탄성계수가 변화하면 바닥충격음 성능도 함께 변화한다. 가열 전 동탄성계수보다 가열 후의 값이 커지면 가열 전보다 바닥충격음 차단성능이 저하될 가능성이 있다. 이러한 이유로 가열 후 단위면적당 동탄성계수 및 손실계수의 변화 정도를 평가하는 일이 필요하다. 기준은 가열전의 동탄성계수에 비하여 가열 후의 변화 한도를 20%를 초과하지 않도록 설정하고 있다.

4. 우리나라 공동주택의 바닥충격음 차단성능의 현황

4.1 벽식 구조

4.1.1 슬래브 두께 135㎜~150㎜의 측정결과

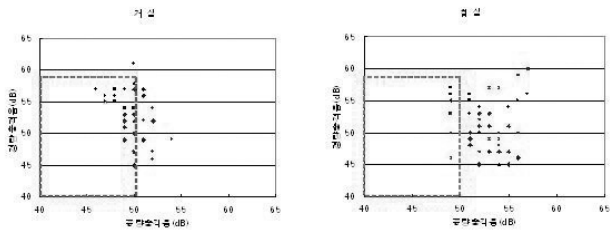
〈그림3〉은 거실 및 침실을 대상으로 바닥마감재가 설치되지 않은 시공현장을 포함하여 모두 268개소를 측정한 결과이다. 경량충격음은 268개소 중 96개소가 58dB을 만족하였으며(약 35%), 중량충격음은 26개소만이 50dB을 만족(약 10%)하는 것으로 조사되었다. 경량충격음의 경우 슬래브 150㎜에서도 적절한 완충재나 표면마감재를 선정하여 시공할 경우 법 기준을 만족할 것으로 판단되나, 중량충격음의 경우 현행 온돌시스템으로서는 거의 불가능할 것으로 판단된다.



〈그림 3〉 슬래브 두께 135㎜~150㎜의 측정결과

4.1.2 슬래브 두께 180㎜의 측정결과

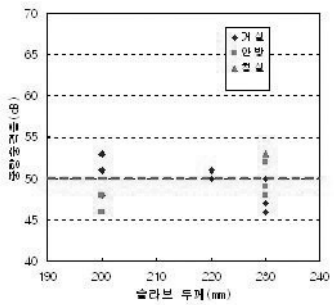
슬래브 두께가 180㎜의 시공현장의 거실 43개소, 침실 48개의 바닥충격음 측정결과 중량충격음의 경우 거실에서는 26개소 바닥이 현행 법기준을 만족하여 만족율이 약 60% 였으며, 침실은 측정대상 바닥 중 7개소만인 법 기준을 만족하여 만족율이 14%로 조사되었다. 슬래브 두께가 180㎜의 바닥구조일 경우도 현행 성능기준을 만족하기에 성능이 부족한 것을 알 수 있다. 경량충격음은 거실에서 42개소가 법 기준을 만족하여 97%의 만족율을 보이고 있어 경량충격음의 성능이 우수한 것으로 나타났다. 침실의 경우에는 거실과 비슷하게 96%의 만족율을 보이고 있어 슬래브 두께가 180㎜일 경우에 경량충격음은 거의 대부분의 시공현장에서 법기준을 만족하는 것으로 나타났다.



〈그림 4〉 슬래브 두께 180㎜의 측정결과

4.1.3 슬래브 두께 200㎜이상의 측정결과

시공현장에서 직방형 형태의 방에서는 중량충격음의 경우 슬래브 두께가 두껍게 구성이 된다하더라도 방의 규모에 따라 성능의 차이를 보이고 있는 것으로 나타나고 있으며, 슬래브 두께가 증대된다 하더라도 그 성능의 차이가 명확하게 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 방의 규모에 따라서는 200㎜ 이상의 슬래브 조건에서도 법기준인 50dB을 만족하지 않을 수도 있음을 단적으로 보여주는 예라고 판단된다.



〈그림 5〉 슬래브 두께 200㎜이상의 측정결과

4.1.4 표준 실험실에서의 측정결과

온돌층의 변화와 완충재사용, 천장설치방법 등의 변수를 가지고 바닥충격음 차단성능을 평가할 수 있도록 3층 규모로 150㎜ 슬래브 2개소, 180㎜ 슬래브 3개소, 210㎜ 슬래브 3개소, 240㎜ 슬래브 2개소로 구성된 실험실(본 실험실은 벽식 구조로서 콘크리트 강도나 철근의 배근방법 등을 현장에서 시공하는 방법 그대로 적용하여 구축되었으며, 바닥면적은 약 25㎡임)에서 측정한 중량충격음 측정결과를 살펴보면 온돌층이 구성되기 전에 맨 슬래브에서의 중량충격음 차단성능은 150㎜ 슬래브에서 52dB, 55dB로 평가되었으며, 슬래브 두께가 증대되면서 50dB 전후의 결과를 보이고 있다.

경량충격음 측정결과는 바닥슬래브 두께가 증대됨에 따라 경량충격음 차단성능도 향상되는 것을 알 수 있다. 또한 단열재와 온돌층이 시공된 바닥구조의 경우는 55dB~58dB의 성능을 보여 맨 슬래브에 비하여 10dB이상 향상됨을 알 수 있다.

〈표 4〉 표준실험동 시험구조별 시험결과(중량충격음, 역A단일수치평가량)

바닥구조		슬래브 두께(㎜)			
		150	180	210	240
슬래브 + EPS 단열재 20㎜ +경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜		53	50	48	49
슬래브 + 완충재 25㎜(동탄성계수:10MN/㎥이하) +경량기포콘크리트 45㎜ + 마감모르터 40㎜		52	51	50	47
슬래브 + 완충재 20㎜(동탄성계수:20MN/㎥) +경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜	A사	52	50	49	-
	B사	-	51	51	-
슬래브 + 완충재 20㎜(동탄성계수:40MN/㎥) +경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜	C사	52	50	50	50
	D사	-	-	50	-

〈표 5〉 표준실험동 시험구조별 시험결과(경량규준화충격음, 역A단일수치평가량)

바닥구조		슬래브 두께(㎜)			
		150	180	210	240
슬래브 + EPS 단열재 20㎜ +경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜		55	52	52	52
슬래브 + 완충재 25㎜(동탄성계수:10MN/㎥이하) +경량기포콘크리트 45㎜ + 마감모르터 40㎜		37	36	37	37
슬래브 + 완충재 20㎜(동탄성계수:20MN/㎥) +경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜	A사	52	52	51	-
	B사	-	38	44	-
슬래브 + 완충재 20㎜(동탄성계수:40MN/㎥) +경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜	C사	50	47	46	47
	D사	-	-	50	-

단열재나 완충재의 두께를 20㎜에서 40㎜로 증가시켰을 경우 바닥충격음 차단성능을 살펴보았다. 완충재의 두께가 2배로 증가된 경우, 경량충격음은 7dB의 성능향상이 있으나 중량충격음의 경우는 거의 동일한 성능을 보이고 있다.

〈표 6〉 완충재 두께증가에 따른 바닥충격음 역A단일수치평가량(dB)

바닥구조	경량충격음		중량충격음	
	슬래브 180㎜	슬래브 210㎜	슬래브 180㎜	슬래브 210㎜
슬래브+완충재20㎜ +기포40㎜+모르터40㎜	49	51	50	49
슬래브+완충재40㎜ +모르터50㎜	42	44	51	50

거실형태(슬래브 두께 180㎜, 210㎜, 240㎜) 및 32평형 안방규모(14.8㎡, 15.1㎡)의 공간(슬래브 두께 180㎜, 210㎜)규모로 구축한 벽식 구조의 표준실험동 2에서 측정한 결과, 거실의 경우 중량충격음은 바닥슬래브 두께가 증대됨에 따라 바닥충격음 차단성능이 향상되는 것으로 나타났으며, 측정대상 모두 법 기준을 만족하는 것으로 조사되었다. 또한 경량충격음의 경우도 법적 기준인 58dB을 모두 만족하고 있는 것으로 나타났으나 바닥슬래브 두께 증대에 따른 뚜렷한 성능차이를 보이지 않은 거의 유사한 결과를 보이고 있는 것으로 나타났다.

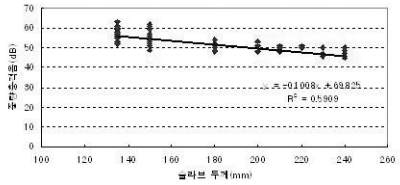
그러나 방의 경우 바닥판의 고유진동수와 그 공간의 고유진동수의 영향으로 중량충격음의 경우에는 거실 형태의 슬래브 조건에서의 측정결과와는 달리 슬래브 두께차이에 관계없이 54dB로 같은 수치를 보여 법 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 방의 규모나 실의 형태에 따라 동일한 바닥구조일지라도 바닥충격음 차단성능이 다르게 나타났을 수 있음을 보여주는 예라고 할 수 있으며, 추가적인 검토가 필요한 부분이라고 판단된다.

〈표 7〉 표준실험동 2에서의 측정결과

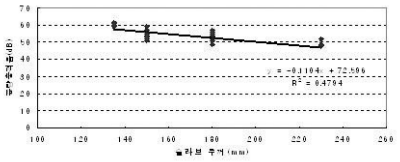
바닥구조	충격원의 종류	슬래브 두께(㎜)			
		150	180	210	240
슬래브 + EPS 단열재 20㎜ + 경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 40㎜ + 완충재 2㎜ + 온돌마루	중량충격음	55	52	52	52
	경량충격음				
슬래브 EPS단열재 20㎜ + 경량기포콘크리트 50㎜ + 마감모르터 50㎜ + 륨류	중량충격음	37	36	37	37
	경량충격음				

4.1.5 벽식 구조에서의 슬래브 두께별 중량충격음 차단성능 경향

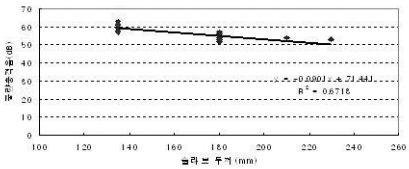
〈그림 6〉은 그동안 측정된 중량충격음 차단성능을 슬래브 두께별로 구분하여 그 경향성을 파악한 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 슬래브 두께가 두꺼워질수록 공간의 형태나 규모에 관계없이 중량충격음 차단성능은 좋아지고 있는 것으로 조사되고 있으나 공간의 형태나 규모에 따라 중량충격음 차단성능의 차이는 다르게 나타나고 있는 것으로 조사되고 있다.



(a) 거실에서의 평균 바닥충격음 평가량



(b) 안방에서의 평균 바닥충격음 평가량



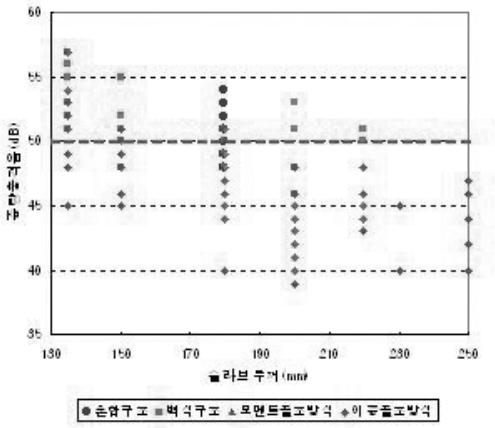
(c) 작은방에서의 평균 바닥충격음 평가량

〈그림 6〉 벽식구조 공동주택에서의 공간별, 슬래브 두께별 중량충격음 차단성능의 경향

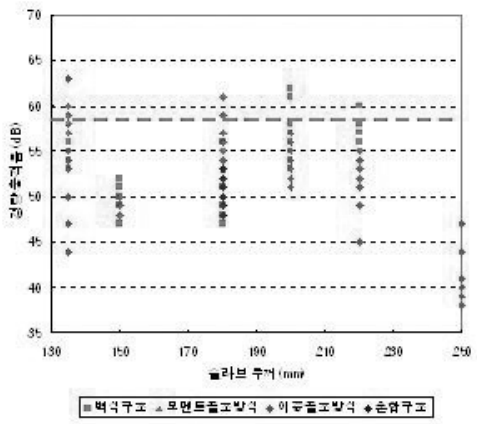
슬래브 두께가 200㎜ 이상으로 시공된 현장의 측정결과에서도 중량충격음의 경우 법적인 기준인 50dB을 안정적으로 만족시키지는 못하고 있는 것으로 조사되고 있다. 특히, 직방형 형태의 방에서는 중량충격음의 경우 슬래브 두께가 두껍게 구성이 된다하더라도 방의 규모에 따라 성능의 차이를 보이고 있는 것으로 나타나고 있으며, 슬래브 두께가 증대된다 하더라도 그 성능의 차이가 명확하게 나타나지 않는다는 것으로 조사되고 있다.

4.2 벽식구조 이외의 구조(라멘구조, 혼합구조)의 바닥충격음 차단성능

오피스텔 및 주상복합 21개 현장을 대상으로 중량, 경량충격음 차단성능을 측정한 결과 혼합구조, 라멘구조의 경우 슬래브 두께가 각각 210㎜ 180㎜ 이상의 경우 중량충격음의 최소기준인 50dB를 만족하는 것으로 나타나고 있다. 또한 경량충격음의 경우 바닥마감재 등의 영향으로 다소 편차가 있으나 대부분 최소기준인 58dB를 만족하고 있는 것으로 나타나고 있다.



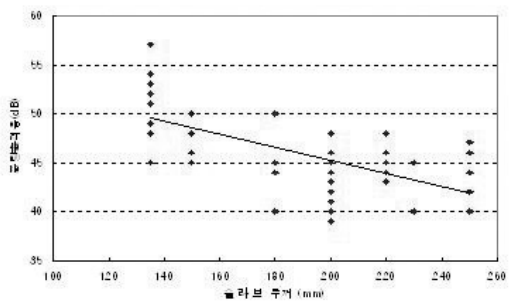
(a) 중량충격음



(b) 경량충격음

〈그림 7〉 벽식 구조 이외의 구조와 벽식 구조의 바닥충격음 성능비교

〈그림 8〉은 라멘구조(이중 골조방식)에서의 슬래브 두께에 따른 바닥충격음의 성능을 표시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 측정값의 다소 편차는 보이나 슬래브 두께가 커질수록 바닥충격음의 차단성능은 좋아진다. 이는 고유주파수가 높아지면서 휨파의 전달속도가 빠르게 되어 주위의 흡수효과나 내부손실 등에 의한 감쇠율이 크게 되기 때문인 것으로 판단된다.



〈그림 8〉 슬래브 두께와 바닥충격음의 관계

5. 우리나라 바닥구조의 바닥충격음 차단성능 특성과 문제점(표준바닥구조의 제안의 한계성)

중량충격음에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 건물 구조체 조건(슬래브 두께)이나 통상적으로 국내 공동주택의 구조형식인 벽식 구조의 습식 온돌시스템에서는 성능개선에 한계가 있는 것으로 조사되고 있다. 이러한 중량충격음의 성능개선에 대한 한계는 거실 및 침실 등 모든 주거공간에서 성능기준을 100% 만족시켜야 한다는 주택건설기준등에관한규정 제14조 제3항의 강제 규정으로 인해 표준바닥구조 제시를 어렵게 하는 주요한 요인 중 하나인 것으로 판단되며, 또한 슬래브두께를200㎜ 이상 확보하여 연구 당시에는 성능기준 이내임을 확인하여 표준바닥구조로 제시되었다 하더라도, 실제 적용시 적용되는 방의 규모나 시공상의 영향요인, 측정기관(인정기관)에서 발생될 수 있는 측정오차 발생의 가능성 등을 고려할 때 궁극적으로 기준을 만족하지 못하는 사례가 나타날 수 있을 것으로 판단된다.

이와 같은 이유로 현행 벽식 구조에서 표준바닥구조를 제시하기가 어려우며, 성능을 만족하는 것으로 조사되고 있는 라멘구조로 시공하도록 강제화하기에도 여러 가지 문제가 있기 때문에 현실적으로 적용 가능한 방향으로 기준이 개정된 바 있다. 이러한 여러 가지 문제점을 감안하여 현재의 성능수준에 상응하는 바닥구조를 각 구조형식별로 제시하였기 때문에 제시된 이들 구조가 어떤 조건에 관계없이 법적인 기준을 100%로 만족시킨다고 보장할 수는 없으나 현재 공동주택의 충격음 차단성능보다는 한층 업그레이드될 것으로 예상된다.

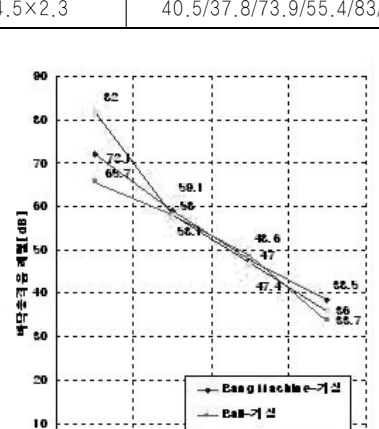
5.1 바닥충격음 차단성능에 대한 벽식 구조의 음향적인 특성(공진현상 발생)

동일 바닥 구조(슬래브두께, 온돌층의 구성상태 등)에 대해 거실형태의 시험실, 방 형태의 시험실 (면적 15.1㎡)에서 측정한 중량충격음의 측정편차나 공간의 음장특성으로 거실에서의 측정결과에 비하여 6dB이상 높은 수치를 보이고 있다. 이처럼 동일 구조이면서 거실과 방의 측정편차가 발생하는 이유는 바닥판의 고유진동수와 관련이 있는 것으로 분석되고 있다. 그 분석결과 거실의 고유진동수는 35~45Hz 범위이나, 방의 고유 진동수는 45~60Hz로 중량충격음의 측정 주파수 대역인 63Hz(44.5~89.1Hz)에 영향을 미치고 있다.

또한 직방체 침실의 규모별로 고유진동수를 계산한 결과, 다음 표 8과 같이 나타나고 있어, 이 또한 중량충격음의 측정 주파수 대역인 63Hz(44.5~89.1Hz)에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이는 슬래브 두께를 증가시키더라도 해결하기에는 한계가 있는 것으로 판단된다. 이러한 공간의 음향적인 특성과 표준충격원의 충격력 특성들이 측정결과에 반영되어 현행 벽식 구조하에서는 공간의 규모에 다라 성능차이를 보이는 원인인 것으로 판단된다.

〈표 8〉 실의 고유진동수(Hz)

방의 규모(m)	실의 고유진동수(Hz) 계산결과
2.7×3.0×2.3	63/56.7/73.9/84.7/93.1/97.1/112.4
3.3×3.9×2.3	51.5/43.6/73.9/67.5/85.8/90.1/100.1
3.9×4.2×2.3	43.6/40.5/73.9/59.5/84.3/85.8/94.7
4.2×4.5×2.3	40.5/37.8/73.9/55.4/83/84.3/92.4



중량충격음에 대한 단일수치 평가량(dB)	
거실	침실
44	51

〈그림 9〉 거실과 침실의 단일수치평가량의 차이

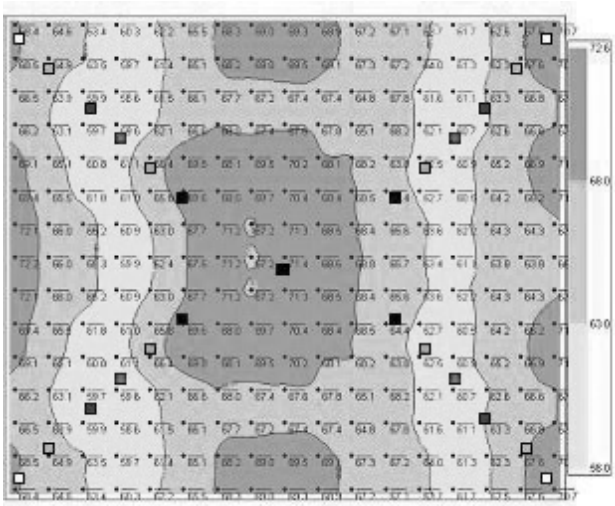
이러한 현상들은 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 벽식 구조의 슬래브 두께 180㎜일 때에도 동일한 바닥구조임에도 불구하고 거실과 침실 사이에 중량충격음 차단성능의 차이(중앙값의 차이)가 똑같이 나타나고 있는 것으로 조사되고 있다.

5.2 Room Mode에 의한 측정편차의 발생으로 동일 측정자가 동일한 방법으로 측정한다 하더라도 동일한 결과를 도출한다는 보장을 할 수 없음

중량충격원의 경우 바닥구조의 강성, 지지조건, 바닥슬래브의 두께, 바닥판의 공진주파수 등에 의해 차음성능이 좌우 되지만 실제 측정시에는 이러한 건축적인 요인 외에 저주파수 영역에서의 모드 중첩(Modal Overlap) 현상이 심각하게 발생하고 있는 것으로 확인되었다. 이 모드 중첩에 의해 저주파수 영역의 경우 측정 지점간 충격음 레벨의 편차가 심하게 발생하여 측정 결과에 큰 영향을 미치고 있다.

〈그림 10〉은 표준실험실에서 측정한 측정위치별 바닥충격음레벨을

나타낸 것으로서 측정 지점간 모드 중첩에 의한 측정편차들이 발생하고 있는 사례를 나타낸 것이며, 구조 형식별로 차이는 있으나 저주파영역에서의 모드중첩(Modal Overlap) 현상은 구조형식에 관계없이 발생하고 있는 것으로 분석되고 있다.



	□	□	■	■	■	■
측정값평균	69.9	67.3	63.6	62.4	65.8	67.9
표준편차	1.4	2.7	4.7	5.1	3.7	3.3

〈그림 10〉 표준실험실(A)의 측정점 위치별 바닥충격음레벨 측정결과(63Hz)

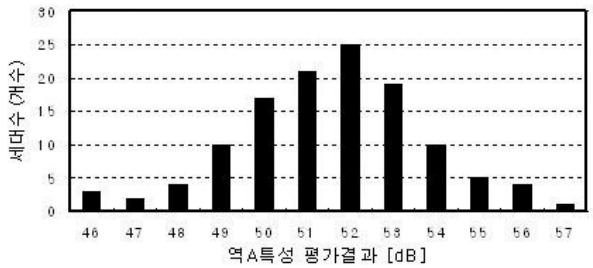
5.3 현장에서의 바닥충격음 차단성능 측정편차 발생의 심화

〈표9〉와 〈그림 11〉~〈그림 12〉는 현재까지 측정된 결과를 기초로 거실/침실에서의 경량충격음 및 중량충격음 결과를 슬래브 두께, 바닥면적 등으로 구분하여 편차 등에 대하여 분석한 것이다. 중량충격음의 경우 30평대 이상 거실에서의 측정결과 분포에서도 알 수 있듯이 평균값을 중심으로 정규분포의 형상으로 나타나고 있으며, 측정결과 편차는 약 10dB에 이르고 있다. 또한, 중량충격음에서의 표준편차는 2dB 이상으로 나타나고 있다.

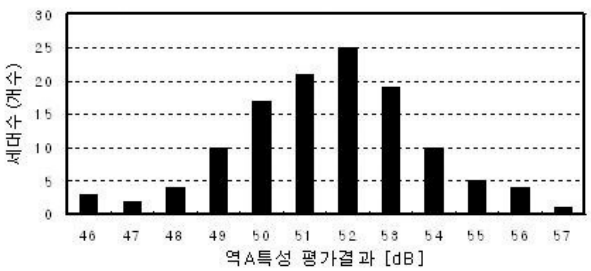
경량충격음의 경우, 중량충격음에 비해 약간 큰 편차를 보이고 있으며, 측정결과 편차는 중량에 비해 큰 15dB 정도의 편차를 보이고 있다. 그리고 정규분포 특성보다 평균값을 넘는 구조가 많은 특성을 보이고 있어 완충재의 선정 등에 주의가 필요하다고 할 수 있으며, 표준편차는 약 3dB 정도를 보이고 있다.

〈표 9〉 바닥충격음 측정결과에서의 편차 검토

구분		실 규모/슬래브두께	역A평가결과	표준편차	전세대 중 90%만족 수준
거실	경량	30평형 이상/135~150㎜	58.3	2.9	62
		18평형 이하/135~150㎜	57.1	1.8	59
		30평형 이상/180㎜	51.9	3.2	56
	중량	30평형 이상/135~150㎜	51.6	2.2	54
		18평형 이하/135~150㎜	51.0	2.2	43
		30평형 이상/180㎜	50.4	1.4	53
침실	경량	30평형 이상/135~150㎜	53.5	3.1	58
		18평형 이하/135~150㎜	55.8	3.4	59
		30평형 이상/180㎜	51.3	3.8	56
	중량	30평형 이상/135~150㎜	52.8	2.7	56
		18평형 이하/135~150㎜	52.6	2.3	54
		30평형 이상/180㎜	53	2.3	55



〈그림 11〉 30평형 이상 거실에서의 중량충격음 측정결과 분포



〈그림 12〉 30평형 이상 거실에서의 경량충격음 측정결과 분포

5.5 동일한 공간에서 실시한 바닥충격음 차단성능 시험결과, 시험기관 사이에도 측정편차가 존재함에 따라 측정결과에 대한 분쟁발생소지가 있음

KS F 2810-1과 KS F 2810-2에서 정하고 있는 측정방법에 따라 동일한 공간에서 실시한 경량 및 중량충격음 차단성능에 대한 국내 시험소간 비교시험결과, 측정기관들 사이에 3~4dB의 편차가 발생하고 있다.

5.6 현행 표준바닥구조의 제안 배경

앞에서 설명한 바와 같이 벽식 구조의 경우 구조형식 상의 특성(바닥판의 고정조건(4변 지지), 공간의 음장특성(공진현상의 발생 정도

의 차이) 등으로 인해 슬래브 두께를 210㎜로 한다 하더라도 동일 바닥구조 간의 측정편차가 크게 발생하고 있어 공간의 규모나 형태에 따라 법적 기준인 50dB을 만족하는 경우도 있고, 만족하지 못하는 경우도 발생하고 있다. 따라서 공간의 규모나 형태 등에 관계없이 모든 공간에서 법적인 기준 50dB을 100% 만족하는 바닥구조를 도출한다는 것은 시공성, 경제성 등에서 현실적으로 어려운 것으로 판단되었다.

그리고 그동안 현장에서 측정했던 슬래브 두께별 결과를 공간의 규모별(거실, 안방, 침실)로 구분하여 상관성을 도출한 결과(〈그림 6〉 참조)에서도 알 수 있듯이 슬래브의 두께와 관계없이 측정편차는 존재하는 것으로 조사되고 있다. 공간 규모별로 슬래브 두께와 중량충격음 차단성능과의 상관관계를 도출한 상관관계식에 따라 표준바닥구조의 최소 슬래브 두께로 제시한 210㎜ 거실에서의 중량충격음 차단성능을 산출하면 약 48.8dB의 성능을 보이는 것으로 나타났고, 안방의 경우에는 49.4dB, 작은방에서는 52.5db로 나타났다. 이와 같이 성능의 차이가 발생하는 것은 앞에서 설명한 바와 같이 바닥판 면적의 차이(바닥판의 고유진동수가 다름)와 실 용적의 차이(실 고유진동수가 다름)에 따라 나타나는 벽식 구조의 중량충격음 차단성능 특성 때문인 것으로 판단된다.

그리고 32평형의 거실(Living Room)과 안방 정도의 면적에서는 상관식에 따른 중량충격음 차단성능이 50dB 이하로 나타나고 있으나 작은방의 경우 중량충격음 차단성능을 상관식에 따라 중량충격음 차단성능이 50dB 이하가 되도록 하기 위해서는 슬래브 두께가 240㎜ 이상이 되어야 할 것으로 분석되고 있다. 이러한 분석(상관관계식)결과에 따라 벽식 구조의 표준바닥구조는 안방 정도의 규모에서 50dB에 상응하는 수준을 갖도록 최소슬래브 두께를 210㎜로 제안하게 된 배경이다.

표준바닥구조 구조 중 단열재를 적용할 경우 바닥마감재의 사용제한을 두고 있는데, 이는 경량충격음 차단성능이 완충재를 적용하는 경우보다 저하하기 때문에 완충재를 적용한 표준바닥구조에 상응하는 경량충격음 차단성능을 확보할 수 있도록 하기 위해 EPS 단열재를 사용하는 구조인 경우에는 표면마감재의 사용제한을 두어 경량충격음 차단성능이 안정적으로 재현될 수 있도록 한 것이다. 여기에서 표면 마감재라고 함은 모르터 위에 최종 바닥마감재로 사용되는 PVC 바닥마감재(일명 륨이라고 불리는 마감재임)나 온돌마루를 말하는 것이며, 이러한 재료의 경량충격음 감쇠량을 KS F 2865의 측정방법에 따라 측정하고, KS F 2863-1에 따라 평가한 단일수치평가량(가중바닥충격음레벨 감쇠량)이 13데시벨 이상이어야 한다고 한 것이다.

복합 구조의 경우 표준바닥구조를 벽식 구조와 동일하게 규정하고 있는데, 이는 슬래브 두께 180㎜의 복합구조의 중량충격음에 대한 현장측정결과(48~54dB)가 벽식 구조와 그다지 성능의 차이가 없다는 판단에 따른 것이다. 즉, 중량충격음의 경우 슬래브의 두께, 바닥면적 등에 영향을 받으나 라멘구조와 달리 슬래브의 경계조건이 기둥과 보 이외에 전단벽으로 이루어지므로 슬래브의 면적이 작아지게 되어 중량충격음 50dB에 상응하는 성능을 발휘하기 위해서는 벽식 구조와 같이 210㎜ 이상은 되어야 한다고 판단한 것이다.

라멘 구조는 〈그림 25〉에 나타낸 바와 같이 슬래브 두께 150㎜ 이상의 경우 중량충격음 50dB에 상응하는 성능을 보이는 것으로 나타나고 있어 이를 표준바닥구조의 최소 슬래브 두께로 하였으며, 상부 온돌층은 벽식 구조 등과 동일하게 제시한 것이다.

무량판 구조는 기둥만 있고 보가 없는 구조를 말하며, 일명 'Flat Plate Slab'로서 라멘 구조의 일종으로 전문가들은 보고 있다. 이 구조형식은 1개 현장에 적용된 사례가 있으며, 일부 건설업체들이 건축물의 장수명화와 관련하여 하나의 구조형식으로 검토하고 있는 구조이다.

검토된 시기가 최근이므로 시공실적이 많지 않으며, 적용된 슬래브 두께도 250㎜인 것으로 조사되고 있다. 이 조건에서의 중량충격음의 차단성능은 40~47dB 정도로 조사되고 있다. 이 구조형식의 경우 슬래브 두께가 250㎜ 이외의 다른 슬래브 조건에서의 측정 데이터는 없으나, 라멘 구조의 일종이므로 중량충격음 50dB에 상응하는 성능을 달성하기 위해서는 최소 150㎜ 이상만 되면 될 것으로 판단되나 구조적인 최소 두께가 180㎜ 이상이 되어야 한다는 구조 전문가의 의견에 따라 표준바닥구조의 콘크리트 최소 슬래브 두께를 180㎜ 이상으로 하도록 제시하게 되었다.

6. 맺음말

인간과 관계되는 환경요소 중에서 육체적인 건강에 직접 관계되는 것이 공기환경, 온열환경, 수환경이라고 한다면 심리적인 건강이나 문화적 생활에 직접 영향을 미치는 것은 빛환경과 더불어 음환경 등의 정보환경이라 할 수 있다. 이와 같이 음환경은 심리적 건강과 프라이버시 확보에 밀접한 관계가 있는 성능항목이며, 공기나 단열성능 등과는 달리 귀라는 감각기관을 통해 성능 수준을 즉시 체감할 수 있기 때문에 성능에 대한 만족여부가 곧바로 드러나는 특성을 가지고 있다.

바닥충격음 차단성능의 경우 비록 여러 가지 기술적인 한계로 당초의 법 규정이 몇 차례에 걸쳐 개정되었으나 궁극적인 목적은 입주자의 음환경성능을 현재보다 향상시켜주기 위함이기 때문에 분명히 과거보다 성능개선이 이루어질 것이라고 판단된다. 하지만 법적인 기준을 준수하는 것에 머물지 말고 입주자가 원하는 성능을 실현하기 위해서 산·학·연·관 등의 노력이 어느 때보다 필요한 시기라고 생각된다.

그리고 건설교통부에서는 2005년 1월 9일부터 2000세대 이상(2008년부터는 1000세대 이상의 단지를 대상으로 성능등급표시를 의무화할 예정임)의 공동주택을 건설하고자 하는 사업자는 입주자 모집 공고안에 해당 주택의 성능등급을 표시하도록 주택법 제21조의 2에 규정하고 있다. 이 제도에서도 경량충격음, 중량충격음 등 바닥충격음뿐만 아니라 화장실소음, 세대간 경계벽의 차음, 외부소음 등 음환경성능이 5개 항목을 차지하고 있어 그 중요성이 인정되고 있다. 따라서 실내환경의 질과 연관시켜 설계단계부터 충분한 검토가 필요한 성능항목이라고 할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계 · 시공기술 및 활용방안 연구, 2002 건설핵심기술연구개발사업, 2004
2. 주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조
3. 건설교통부 고시 2005-189호: 공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준
4. 日本音響材料協會 編, 騷音 · 振動對策ハンドブック, 技報堂出版, 1982, pp331
5. 木村 翔, 井上勝夫, 前田浩文, 集合住宅床スラブの重量衝擊源に對する床衝擊音の豫測計算フロー, 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1986. 6
6. 田野正典 外, 學藝出版社, 建築と音のトラブル, 1998

1) 소음이란 듣고 싶지 않은 소리의 총칭으로서 Noise는 Nausea(뱃멀미)라는 라틴어에서 온 말임.

2) 음의 물리적인 크기 즉, 강약(세기)을 나타내는 것으로 음압레벨이 사용된다. 음의 크기가 3dB 변화하면 느낄 수 있고, 5dB변화는 확실히 느낄 수 있으며, 10dB가 증가하면 크기가 2배로 들리고, 15dB는 매우 두드러진 변화를 의미하고, 20dB 변화하면 처음보다 매우 큰 음(약 4배)으로 느낀다.

3)) 주파수(Hz)란 1초간에 공기의 압력변화 회수를 말하며, 단위는 Hz(헤르쯔, 독일의 물리학자 헤인리히 르드릿히 헤르쯔(1857~1894)를 기리기 위해 사용)를 사용하고 있음. 이전에는 c/s(cycle/초)를 사용하였음. 즉, 1초간에 1회의 압력변화를 1Hz라 함. 귀로 듣는 경우, 주파수는 음의 高低를 나타내며, 주파수가 많은 음을 고음, 주파수가 적은 음을 저음이라 함. 그리고 귀로 들을 수 있는 음은 약 20Hz에서 20,000Hz 사이이며, 이를 통상 가청음 또는 단순히 음이라고 함. 20Hz이하의 음은 초저주파음(infra - sound), 20,000Hz 이상의 음은 초음파(ultra-sound)라고 하며, 소음문제에 있어서는 귀로 들을 수 있는 20~20,000Hz의 음 중 50Hz에서 8,000Hz 정도의 범위를 대상으로 하고 있음.

4)) 日本音響材料協會 編, 騷音?振動對策ハンドブック, 技報堂出版, 1982, pp331

5) 건설교통부, 한국건설교통기술평가원, 공동주택 바닥충격음 완화를 위한 표준바닥구조의 설계 · 시공기술 및 활용방안 연구, 2002 건설핵심기술연구개발사업 중간보고서, 2003

원 고 모 집

「건축구조」는 회원여러분의 참여를 기다리고 있습니다. 보내주신 원고는 소중히 생각하겠습니다. 회원여러분의 많은 협조 부탁드립니다.

■원고구분

① 신기술 · 신공법, 구조시스템 소개
② 구조기술관련 법규신설 및 제도변경, 기술소식
③ 일반소식, 학회소식, 칼럼, 참관기
④ 용어해설, 문예마당, 회원동정

■제출내용 및 형식

① 원고원본 및 원고저장 디스켓, 저자 사진
② 원고제출시 성명, 소속기관, 직위, 연락처 표시
③ 한글, MS워드로 작성(분량 제한 없음)

■제출처

서울시 강남구 역삼동 635-4 한국과학기술회관 신관 1010호 TEL : (02)566-4711 / FAX : (02)566-4729
E-mail: ksea@ksea.or.kr