

공동주택 바닥충격음에 대한 고찰

유병익 우리회 회장
김상식 한진중공업 기술연구소 연구원

1980년대부터 본격적으로 공동주택이 보급된 이래, 국민 2사람 중 1사람 이상이 공동주택에서 생활하고 있을 정도로 이제 공동주택은 우리의 생활과 문화에 많은 영향을 미치고 있다.

공동주택 보급의 역사가 20년 이상이 되었고, 이에 공동주택 생활을 경험한 인구가 늘어남에 따라 자신이 불편을 경험한 사항에 대한 개선의 요구치가 증대되고 있다고 볼 수 있다.

대표적인 것이 주택의 품질 및 쾌적성과 관련된 사항으로 바닥충격소음에 대한 쾌적성 확보의 요구가 그 중심에 있는 사항 중 하나라 여겨진다.

공동주택은 이웃과 밀집되어 생활하여야 하는 특수성을 가지고 있으며, 특히 바닥은 항상 인간이 접하며 생활하는 부위이기 때문에 상하층간 충격소음에 대한 문제는 거주자에게 매우 큰 불만의 대상이 되고 있다.

바닥충격음이란?

바닥충격음이란 바닥을 충격함으로써 발생하는 소음을 의미하며 이는 고체음 또는 고체전달음의 일종으로 고체(구조물)를 따라 전달되고 고체를 진동시켜 소리를 발생시킨다. 고체를 매질로 전달되기 때문에 전달속도가 빠르고 감쇠도 적어 소리가 멀리까지 크게 전달되는 것이 특징이다.

공기전달음의 경우는, 전혀 없는 것은 아니지만 현재 우리나라 공동주택의 세대간 경계벽으로서 사용되고 있는 150mm이상의 보통 콘크리트와 140mm이상의 프리캐스트 콘크리트판은 시공상 발생할 수 있는 틈새등의 하자가 없다면 일반적인 공기전달음에 대해서는 양호한 차단능력을 가지고 있으며, 경계바닥의 경우도 구첵슬래브+온돌층의 두께가 220~230mm에 이르고 있는 현재의 구조적인 조건(그림1, 2 참조)에서는 공기전달음에 대해서는 충분한 차단능력을 지니고 있다고 할 수 있다.

바닥충격음은 단순히 물리적인 음의 크기뿐만 아니라 그 음의 발

생형태, 그 음이 갖는 의미 및 성격 등 각종 요인이 복잡하게 혼재되어 발생하고, 또한 개인차가 크기 때문에 차음성능에 관한 객관적인 평가는 매우 어렵다고 할 수 있다.

이와같이 공동주택에서의 소음문제는 여러 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 그 발생원인을 단정적으로 말할 수는 없으나 자기 중심적인 생활로 상호 이해부족, 생활수준의 향상에 따른 소음 발생원의 다양화, 아파트에 대한 거주경험의 축적으로 거주자의 요구 성능수준의 향상 등이 하나의 원인이 될 수 있다.

바닥충격음의 발생 및 전달특성

충격원

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, 비교적 고음역의 음을 발생시킨다.

후자는 어린이가 뛰거나 달릴 때에 발생한 무거운 충격이 바로 아래층에서 어느 정도의 발음성을 나타내는지를 평가하는 지표로서 저음역의 음을 발생시킨다.

주거생활이 입식문화인 서구에서는 경량충격음 한가지로 바닥충격음에 대한 성능을 평가하지만, 입식문화인 한국과 일본은 중량충격음과 경량충격음에 대한 성능 모두를 반영하도록 하고 있다.

경량충격원 - Tapping Machine, 직경 3cm, 무게 500g의 5개 스틸해머를 4cm높이에서 초당 10회의 주기로 자유낙하

중량충격원 - Bang Machine, KS M 6750에 사양이 규정된 타이어를 약3초 간격으로 자유낙하시킨다.

소음발생특성

표준바닥충격원에 의한 소음의 일반적인 주파수별 특성은 경량 충격음의 경우는 중·고주파수대역이 다소 높은 경향이 있지만 전체적인 주파수대역에서 소음도가 비슷한 특성을 갖는데 반하여, 중량충격음은 저주파수대역에서 매우 높고, 고주파수대역으로 갈수록 소음도가 낮아지는 특성을 갖는다.

표준바닥충격원에 의한 소음의 시간패턴은 경량충격음의 경우 0.1초의 주기로 충격을 가하기 때문에 인간이 느끼는 소음에 대한 느낌은 피크치에 의한 영향이 크고, 중량충격음의 경우에 있어서는 주기가 2.5~3초로 길기 때문에 피크치 뿐만 아니라 이후의 울림도 느낌에 많은 영향을 준다.

소음방사특성

경량충격음에 대해서 벽체면을 통한 음의 방사는 전주파수대역에 걸쳐 벽체면의 기여율이 50~60%로 가장 크며, 천장면을 통한 전달은 30~40%정도이다.

중량충격음에 있어서 천장 면을 통한 음의 방사는 100Hz이하의 주파수대역에서는 45~65%에 이르고, 중고주파수대역에서는 25~35%로 낮아지는 반면에 벽체면에 의한 영향은 저주파수대역에서는 30~45%, 중고주파수대역에서는 45~60%로 기여율이 커진다. 따라서 벽체면에 대해서도 함께 고려해야 할 것이다.

동일한 충격력을 가할 경우에도 슬래브의 크기가 클수록 음의 방사가 커지며, 슬래브의 두께가 증가하거나 재질의 강성이 커질 경우 슬래브의 임피던스가 커지므로 음의 방사가 작아진다. 또한 충격원의 타격위치가 중앙부일 경우가 주변부를 타격할 경우보다 음의 방사가 크다.

바닥충격음의 측정방법

건축물의 바닥충격음 차단성능의 측정방법에 대한 규정은 외국의 ISO 140-7과 JIS A 1418규정에 대응하여 KS F 2810에 규정되어 있다. 단, ISO규정에 있어서는 중량충격음에 대한 측정방법의 규정은 포함하고 있지 않다.

측정방법

표준충격원에 의하여 측정대상 바닥을 충격하였을 때, 수음실에서 최대음압레벨의 에너지 평균값을 데시벨단위로 측정한다. 이때, 주파수 보정회로는 'C특성'으로 하고, 동특성은 'Fast'를 원칙으로 한다.

충격원을 이용하여 측정대상의 바닥을 가진하여 충격음을 발생시킬 때, 충격위치는 실의 주변 벽으로부터 50cm이상 떨어진 바닥 평면 내로, 중앙점 부근 1점을 포함하여 평균적으로 분포하는 3~5점으로 한다.

수음실 내에서 천장, 주위 벽, 바닥 면 등으로부터 50cm이상 떨어진 공간 내에, 서로 70cm이상 떨어진 4점 이상의 측정점을 공간적으로 균등하게 분포하여 1.2~1.5m 높이에서 측정한다.

이때 각 측정주파수 대역(63~4000Hz, 1/1옥타브밴드)에 있어서 가진점마다 모든 측정점에서 측정된 최대음압레벨의 에너지 평균치를 계산하여 측정값으로 한다.

바닥충격음의 평가방법

우리나라 주택관련법에서 정하고 있는 공동주택의 바닥충격음 차단성능과 관련된 규정 및 기준은 주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조에 "공동주택의 바닥은 각층간의 바닥 충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다"고 선언적으로만 규정되어 있어 법의 실효성에 문제가 있어 수치로 제시되는 성능기준의 설정이 필요하다.

국내에서는 아직 바닥충격음에 대한 평가방법이 제정되어 있지 않은 실정이다. 최근에는 시민연대가 발족되고, 대책을 위한 입법이 추진중에 있으며, 정부도 1978년에 제정한 바닥충격음 현장측정방법을 발전시키고 이에따른 평가방법과 평가기준을 각각 대한주택공사 연구소와 기술표준원에 연구용역을 주는 등 층간소음 차단시설의 의무화를 검토하고 있다.

지금까지는 일본 JIS A 1419규정에 따른 L등급 평가에 의하여 실시하고 있으며, 일본건축학회에서 제시한 기준에 의하여 결과를 판단하고 있다. L등급 곡선위에 측정된 바닥충격음에 대한 최소소음도의 1/1옥타브대역별 소음치를 적용하여 기준곡선들 중에서 교차하는 최대값 곡선의 등급에 따라 등급이 결정되는 평가방법이다.

L등급 평가방법의 문제점

L등급에 의한 평가를 실시할 경우 실제 거주자가 느끼는 것에 비하여, 중량충격음의 차음성능이 과대평가되는 경향이 있으며, 특정부분의 주파수에 의하여 평가등급이 좌우될 수 있기 때문에, 개선 효과를 제대로 평가할 수 없는 경우가 종종 있다. 따라서 우리나라만의 독특한 난방구조인 온돌바닥의 구조특성에 따른 영향과 한국인이 느끼는 청감적 반응에 적합한 평가 방법이 되도록 제정하여야 할 것이다.

예상평가 기준안

평가방법: 충격음 차단성능 기준곡선(역A 특성곡선) 적용¹⁾

1) 대한주택공사 공동주택 상하층간 충격소음 기준에 대한 토론회 2001.11

	경량충격음	중량충격음	
		1안	2안
기준 L지수 (흡음력 보정)	58 (L=67)	50 (L=54)	48 (L=52)
적용대상실	공동주택 상하층간 거실 또는 침실	좌동	좌동
현행실태와의 비교	- 1안 : 조사대상 중 47%가 만족하는 수준 - 2안 : 조사대상 중 25%가 만족하는 수준		
외국기준과의 비교	HUD(미국) : Grade II 표준치 에 해당	주택품질확보촉진법(일본): Rank 4 수준 (차음성능 우수)	주택품질확보촉진법(일본): Rank 4~5 수준 (차음성능 매우우수)

※기준치 범위의 설계요소 분석 예시

경량충격음	중량충격음
- 바닥마감재의 적용 : 저감효과 5dB이상	- 슬래브 두께(t)의 확보 t=135mm이상 (실면적 ≤ 9㎡)
- 단열완충재의 적용 :	t=150mm이상 (실면적 ≤ 15㎡)
1) 슬래브와 온돌층을 뜬바닥으로 구성	t=180mm이상 (실면적 ≤ 25㎡)
2) 삽입에 의한 저감효과가 8dB 이상	t=200mm이상 (실면적 ≤ 35㎡)
	t=250mm이상 (실면적 > 35㎡)

바닥충격음 저감방법

바닥충격음 레벨에 영향을 주는 요소는 충격 바닥구조, 하부공간의 음향조건으로 대별된다. 이러한 요소 중 충격원의 경우 표준화된 경량충격원 (Tapping Machine)과 중량충격원(Tire)을 사용하고, 국내 공동주택의 경우 하부 공간의 음향조건은 대동소이하므로 차음성능 개선을 위한 가장 중요한 연구대상은 바닥구조라고 할 수 있다.

바닥구조에 영향을 주는 중요한 요소는 바닥 슬래브의 조건, 완충층의 종류, 천장구조의 유무, 바닥마감재의 종류로 분류되고 천장구조 및 바닥마감재는 모든 바닥구조에 동일하게 적용 될 수 있으므로, 결국 가장 중요한 변화요인은 바닥슬래브의 조건과 완충층의 종류에 따른 차음성능 변화라고 할 수 있다.

저감원리 및 방법의 기본

- ① 충격원의 특성을 변화시키는 방법
- ② 바닥슬래브를 충격으로부터 진동하기 어렵게 만드는 방법
- ③ 충격에 의한 진동이나 충격에너지를 바닥슬래브에 전달되지 않도록 하는 방법
- ④ 충격에 의한 바닥슬래브로부터 방사되는 소리를 차단하는 방법

바닥충격음 저감방안에 대한 기본적인 방안은 다음과 같다.

첫째, 유연한 바닥마감재의 사용으로 충격원의 특성을 변화시키는 방법이다. 유연한 마감재를 사용하면 마감재의 탄성에 의해 충격 시간이 길게되어 전 충격력은 변하지 않아도 피크 충격력은 작아지기 때문에 충격음이 작아진다. 그러나, 이 방법은 경량충격음에 대해서는 효과가 크며 간단하나 중량충격음에서는 효과가 거의 없다.

둘째, 뜬바닥구조나 완충재를 사용하여 충격에너지를 가능한 하부구조체에 전달되지 않도록 하는 방법이며, 현재 가장 집중적으로 연구되는 대책방안이다. 여기서 뜬바닥구조란 구체구조로서의 콘크리트 바닥판위에 완충재를 두고 주벽등에 입상용 절연재를 설치하여, 구체구조와 음향적으로 절연한 몰탈 또는 콘크리트 등의 습식재료의 뜬바닥층을 현장에 시공하는 구조를 말하며, 슬래브와 마감 몰탈층 사이의 단열층 또는 단열 및 축열층은 온돌바닥에 가해진 충격진동을 슬래브와 마감 몰탈층 사이에서 고체음의 전달을 절연하는 역할을 한다.

완충재를 깔아 뜬바닥으로 시공할 경우 횡으로 공기가 빠져나가기 때문에 공기의 탄성계수가 부가되는 장점이 있다. 그러나 마감 몰탈층 균열(보통 2~5배 가량 크랙증가)우려때문에 완충재 두께가 얇아지면 탄성계수가 커지는 동시에 공기의 탄성계수도 커지기 때문에 저음역에서 효과가 떨어진다.(두께에 반비례하여 공기의 탄성계수가 증가함) 일본의 경우 뜬바닥에는 적어도 유리면이나 압면을 25mm이상 사용하도록 규정하고 있다.

그밖에 우리나라의 경우 벽체에 설치하는 완충재(입상절연재)가 바닥 마감면까지 도달하여야 함에도 불구하고 벽체 주변에서의 균열발생을 우려하여 바닥 마감면으로부터 10~20mm 낮게 완충재를 설치하여 벽체와 온돌층이 직접닿는 경우가 발생하거나, 완충재를 설치하기 전에 음교발생 억제를 위해 바닥면을 청소하거나 돌출물을 제거해야 함에도 불구하고 이런 작업들이 소홀히 취급되고 있으며, 온수배관 파열시 전면적인 보수가 불가피한 점 등 여러 문제점들이 노출되어 지고 있다.

※ 차음재료의 요구조건

- 단열기준강화로 습식구조 시공은 다소 어려움이 있다.
- 기본 재료의 열전도율이 0.03kcal/m²h℃내이어야 한다 (20~25mm 스티로폼)
- 시간경과, 온도습도의 변화에 따른 재질형상의 변화, 차단성능 저하, 처짐 등이 없어야 한다. 온수배관 교체시기 (10~15년) 까지 안정적이어야 한다
- 최소한 EPS와 동등이상의 내구성을 지니고 있어야 한다
- 열환경과 습기조건에서 인체에 유해한 증기속을 발생시키지 말아야 한다
- 기타 탄성특성, 보행감, 흡수율...

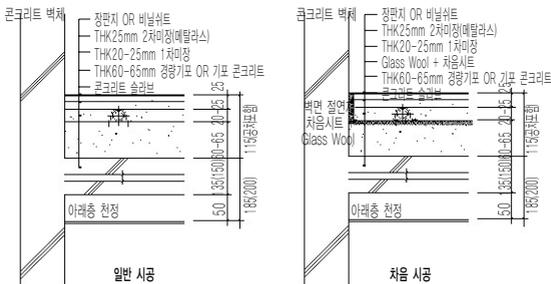


그림 1 바닥시공

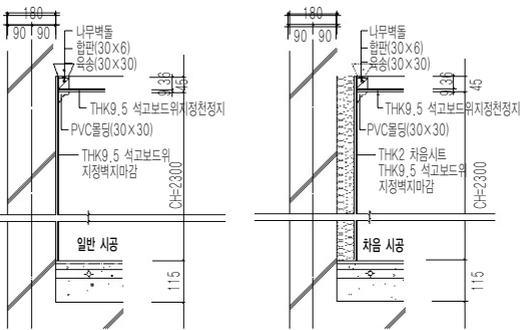


그림 2 벽체시공

셋째, 바닥의 두께를 늘이거나 밀도를 높여 중량화하거나, 강성이 높은 재료나 구조의 슬래브를 사용하여 충격에 대한 바닥의 진동을 최소화 하는 방법으로 중량충격음에 있어서 효과가 있으나, 구조체가 점차 경량화 되어가고 있는 현행 공동주택 건설 추세와는 상반되는 개념을 가지고 있어 적용하는데 있어서 많은 문제가 따르고 있다.

바닥슬래브의 중량을 증가시키면 충격에 대해 바닥은 진동하기 어렵게 되어 충격에 의한 발생음도 저하한다. 또한 바닥 슬래브의 강성을 높이는 것도 충격점의 유효질량을 높이는 것이 되어 똑같은 효과가 기대된다.

슬래브의 강성을 높이는 방법으로는 중공형식이나 리브형식의 슬래브를 채용하는 것으로서 경량이면서 고강성화가 가능하나 보이드 형식의 경우, 경량충격음 차단성능은 표면의 콘크리트 두께가 결정하기 때문에 같은 중량의 균일 슬래브에 비해 오히려 차단성능이 저하될 수도 있다.

넷째, 하부층의 천장을 차음구조로 설치하여 상부층 슬래브로부터 방사되는 음을 추가적으로 차단하는 방법이다. 경량 및 중량 충격음에 대해서는 효과가 있으나, 천장틀의 지지방법 및 구조에 따라 차이가 있다.

현실적으로 적용하는데 있어서는 시공비가 늘어나고, 기준층의 층고가 높아진다는 단점이 있으며, 설계시 공진주파수를 피하도록 주의가 필요하다 (그러나, 10dB이상의 저감은 기대하기 어렵다).

천장에 의한 충격음 차단효과를 높이기 위해서는 천장재의 중량을 석고보드 15mm 2겹이상으로 중량화하고, 천장속의 공기층 두께를 300mm 이상으로 하여 공진주파수를 30Hz이하로 할 필요가 있다. 현재 시공되어지고 있는 공동주택 천장부의 공기층은 저층부의 경우 60mm, 고층부의 경우 250mm가 일반적이다.

기존의 연구결과

바닥충격음은 충격력의 특성, 바닥구조의 진동특성, 소음실의 음향특성 등 3가지 요소에 의해 좌우된다. 또한, 경량충격음에 대해서는 중고주파수대역에서, 중량충격음에 대해서는 저주파수대역에서 L등급에 의한 차음등급이 결정된다.

철근콘크리트 슬래브는 두꺼울수록 차음성능이 개선되고, 슬래브 바닥면적이 넓을수록 차음성능은 저하되며, 특히 경량충격음에 대한 차음성능은 완충층의 구성재료에 의해 크게 좌우된다.

하부층 천장에 구조물이 있으면 경량 및 중량 충격음에 대하여 차음성능 개선효과가 있고, 바닥마감재는 중량충격음에 대하여 개선효과가 없으나 경량충격음에 대해서는 중고주파수대역에서 개선효과가 있다.

중량충격음에 대한 차음성능은 철근콘크리트 슬래브 조건에 의해 크게 좌우되고, 경량충격음에 대한 차음성능은 완충층의 종류에 의해 결정된다.

차음층에 경량기포콘크리트가 적용된 경우에 있어서는 비중이 0.4~0.8로 작기 때문에 바닥 충격음 차음성능에 도움이 되지 않는 것으로 연구되어졌다. 이러한 상황에서 일정 이상의 바닥충격음 차음성능을 유지하기 위해서는 단열과 교체음 차단 기능을 갖는 완충재의 사용이 필수적이다.

저감사례

1995년에 슬래브와 경량기포 콘크리트층 사이에 EPS류, 고무류, 발포고무류, 섬유류 등의 완충재를 시공하여 차음성능 변화에 대한 연구가 있었다. 그 결과 경량충격음에 있어서는 완충재의 물성변화에 따른 차음성능 향상이 다소 있었으나 중량충격음에 대한 성능 개선은 없었다.

바닥의 구조에 있어서도 완충재의 삽입위치를 모두 동일하게 하여 구조에 따른 변화를 볼 수 없는 한계가 있었다. 앞으로 바닥판의 구조(완충재 삽입위치에 따른 구조 변화)에 따른 차음성능의 변화에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

1997년 바닥충격음 저감을 위한 재료개발로서 페타이어칩을 이용한 그래놀형과 파이버형의 완충재를 두께별로 실험, 연구하였다. 연구결과 완충재의 두께에 의한 영향은 적었고, 경량충격음에 대해서는 차음성능의 향상을 보였으나, 역시 중량충격음에 있어서는 개선에 한계가 있었다.

1998년 바닥판을 구조체와 분리절연시키는 팔레트를 개발하여 중량충격음에서도 4dB의 차음성능 향상을 보였다. 그러나 구조적인 안정성, 시공성과 경제성에서 취약점을 드러내어 실용화하는데는 실패하였다.

1999년 바닥의 강성을 높이기 위하여 바닥판의 보강보 설치가 대두되어 졌다. 성능은 다소 향상되었으나 이 역시 시공상의 현실적인 문제점이 드러났다.

그 외에도 연질 폴리우레탄 폼(Foam), 파이버 글라스, 쿨크 등의 다양한 재료와 방법을 상용하여 연구 및 실험이 10여년 넘게 각 계각층에서 진행중에 있다.

결 론

연간 공동주택형태의 주택보급량이 30만호를 육박하고, 공동주택의 리모델링에 있어서도 바닥온돌층의 보수와 더불어 적용이 가능하기 때문에 바닥충격음 저감제품의 관심도는 대단히 클 것이며, 층간소음방지 방안이 분양 및 수주에 중요사항으로 부각될 가능성이 높다고 예상된다.

더구나 주택분양가 자율화로 각 업체별로 차별화 전략이 수립되어 지고 있고, 그에 따라 공동주택의 품질 및 성능도 향상되어지고 있는데 이러한 차별화 전략이 눈에 보이는 부분 즉, 자극적이고 감각적인 내장마감 및 가구의 고급화 등 시각적인 면에만 치우친다면 주택에 기본이 되는 거주성능의 개선 및 향상은 요원할 것이다.

최근 많은 바닥충격음 저감재료들이 등장하고 있다. 그러나 차음

성능 뿐만 아니라 단열성능, 콘크리트 등 타 재료와의 물리·화학적 관계, 뜬바닥층 상부에서 작용하는 하중에 대한 구조적 성능, 완충재의 탄성특성(손실계수, 탄성계수, 잔류변형량 등), 난방배관 및 주위의 열환경에 대한 저항성능, 시공적인 문제점, 타 System과의 접목에 의한 성능 변화 등 여러 가지를 복합적으로 고려하지 않으면 안될 것이다. KSEA

◎ 한국기술사회 본회소식

「기술사의 날」 제정

매년 2월 26일, 장관표창 수여 등 기술사의 자긍심과 위상 제고를 위한 기술사의 날이 선포된다.

한국기술사회(회장 황상모)는 매년 2월 26일을 ‘기술사의 날’로 정하고 한해동안 활발한 활동을 보인 기술사를 뽑아 과학기술부장관 표창을 수여하는 등 행사를 실시키로 했다.

기술사회는 오는 28일 과학기술회관에서 열리는 정기총회에서 ‘기술사의 날’ 선포식을 갖고 본격적으로 기술사들의 권익신장과 기술발전을 위해 노력하기로 했다.

기술사회는 지난 65년 2월 16일 창립하고 26일에 초대 회장이 취임해 본격적인 활동을 해 왔으며 지난해 12월 7일에는 기술사법중 개정법률안이 가결되어 2인 이상의 기술사가 합동기술사사무소를 개설할 수 있게 됐다.

기술사회 측은 “우리나라 산업기술을 선도하고 지식산업을 주도하는 기술사들의 자긍심과 위상제고를 위해 기술사의 날을 제정했다”고 밝혔다.