

층간소음 어떻게 해결할까요?

건축구조부 연구원 / 공학박사 || 정정호

1. 악법도 법이다.

1990년대 후반 층간소음에 대한 민원 및 환경분쟁조정신청이 급증하여 2000년 아파트 소음차단 시설 설치가 의무화 되었다. 이후 바닥충격음 측정 관련 KS 기준이 개정되었고 바닥충격음 평가 방법에 대한 KS가 2002년 제정되었다. 2002년 11월 공동주택 층간소음 규제 기준이 주택거설기준 등에 관한 규정 개정안에 경량충격음 58dB, 중량충격음 50dB로 제안되었고, 이후 층간소음 등급 표시 의무화 되었다.

공동주택에서 최소한의 층간소음 차단성능 기준을 관련법에 규정하여 거주자의 생활환경 보호 및 주택 품질확보 촉진을 통한 소음관련 분쟁 해결을 위해 바닥충격음 차단성능 등급화와 함께 성능기준(인정구조)과 시방규정(표준바닥구조)을 구분하여 규정하였다. 공동주택 사업 승인을 위해서는 성능기준 또는 시방규정을 만족해야만 하며, 인정구조는 성능기준에 적합한 바닥구조를 개발하여 정해진 평가방법에 의해 평가를 거친 후 현장에 적용해야 하지만, 표준바닥구조는 건설교통부 장관이 정하여 고시하는 바닥구조를 적용할 경우 사업승인을 받을 수 있다.

2004년 3월 경량충격음만을 대상으로 규제기준이 시행과 함께 180mm 슬래브를 기본으로 하는 표준바닥구조가 제안되었고, 층간소음 차단구조 인정제도도 시행되었다. 2005년 7월에는 중량충격음 규제가 시행되었고 210mm를 기본으로 하는 표준바닥구조 및 중량충격음 차단구조 인정제도

가 시행되었다. 규제제도 시행과 함께 표준바닥구조 발표로 인해 공동주택의 콘크리트 슬래브 두께는 사실상 150mm에서 210mm로 증가되었다.

우리나라의 바닥충격음 규정은 강제규정으로 모든 공동주택이 최저기준을 만족해야한다. 그러나 유럽, 북미 국가 및 일본의 경우 강제규정으로 규정하지 않고 권장 기준 또는 등급기준으로 운용하고 있다. 최근 우리나라의 바닥충격음 규정 및 표준바닥구조 제안에 대해 일본의 바닥충격음 분야의 권위자로 알려져 있는 니혼대학의 이노우에 교수는 층간소음 규정이 강제규정으로 된 것과 바닥 슬래브의 넓이, 구속조건 등을 고려하지 않고 일괄적으로 슬래브두께를 증가시킨 것에 대한 우려와 유감을 강하게 표현하였다.

90년대 후반부터 2005년 중량충격음 규제가 시행되기 이전까지 다양한 바닥충격음 완충재료 및 저감구조가 활발하게 개발되었으나, 정부의 표준바닥구조 제안으로 기술개발이 둔화되고 있다. 또한 일부 건식 바닥구조에 대한 인정신청이 있으나 인정기관 및 인정 실험이 가능한 표준실험실이 건설기술연구원과 대한주택공사로 제한되어 원활하게 시행되지 못하고 있다. 이런 현실에서 대부분의 건설사는 공동주택 층간소음 차단구조로 표준바닥구조를 설계에 반영하고 있으며, 우수한 등급의 공동주택 건설을 위한 인정바닥구조를 채택하려고 해도 다양한 인정바닥구조를 선택할 수 없는 실정이다.

위의 표준실험실은 서로 다른 두께의 슬래브가 구조적으로 연결되어 서로 다른 경계조건을 갖게



벽식구조 표준시험동

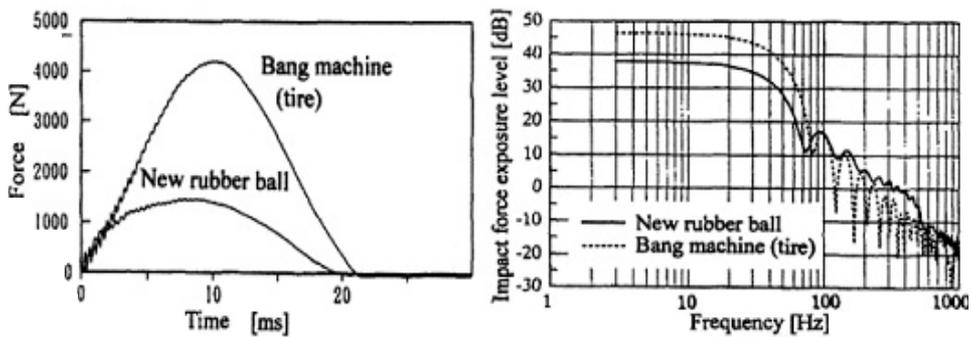


리멘구조 시험동

[그림 1] 바닥충격을 시험동



[그림 2] 표준 중량충격원



[그림 3] 표준중량충격원의 충격력 특성

된다. 최근에 건설된 벽식구조 표준시험동은 동일한 평면에 서로 다른 슬래브 두께(150mm, 180mm, 210mm, 240mm)별로 3개 실로 구성되어 실제 공동주택의 조건과 보다 유한 특성을 갖고 있다. 라멘

구조 표준시험동은 RC 라멘 및 SRC 라멘 구조를 건설되어 라멘구조에서의 기술개발에 활용될 수 있다.

충간소음 문제를 해결하고 거주자의 생활환경

을 보호하기 위하여 층간소음 관련 기준, 성능 등급화 및 표준바닥구조가 규정되었다. 그러나 해당 분야의 기술수준이 충분히 고려되지 않은 상태에서 최소한의 기준만을 만족할 수 있는 시방규정이 제안되어 오히려 기술 개발의 걸림돌이 되고 있다. 건설사의 입장에서도 성능이 우수한 인정구조를 적용하려하여도 다양하지 않기 때문에 어쩔 수 없이 표준바닥구조를 사용하고 있다. 층간소음 규제 추진 내용을 되돌아보면, 거주자의 급한 성능 개선 요구와 정책 추진일정으로 인해 시행이전에 충분한 기술 개발 또는 인정구조가 개발되지 못한 점과, 관련 기술 개발을 유도할 수 있는 방향으로 정책이 추진되었으면 하는 아쉬움이 남는다.

2. 그러나 측정법은 문제 있다.

현재 표준중량충격원으로 사용되고 있는 Bang machine은 실제 공동주택에서 발생하는 어린이의 뛰고 달리는 특성 및 성인의 보행 특성과 다른 특성을 갖는다(그림 2 참고). [그림 1] 에서와 같이 Bang machine의 충격력은 4,500N으로 저주파 대역의 충격력이 매우 높지만, 실제 어린이의 뛰고, 달리는 경우 및 성인의 보행에 의한 충격력은 대부분 1,200N을 넘지 않아 Bang machine으로 과도한 충격력을 발생시켜 바닥구조의 층간소음 차단성능을 평가하는 것은 합리적이지 못하다.

또한 Bang machine은 저주파 대역(63Hz)의 충격력이 실제충격원보다 2~4배 이상 높아 실제충격음을 효과적으로 저감하기 위한 기술 개발의 걸림돌이 되고 있다. 다양한 청감적인 특성 평가 결과에서도 실제충격원의 주관적 반응과 상당한 차이를 보이고 있어 Bang machine을 사용한 중량충격음 측정, 평가방법에 문제가 있다.

63Hz 대역의 저주파 충격음 저감을 위해서는 슬래브 두께를 240mm 이상으로 증가시키거나 구조적 보강, 개선 없이는 불가능하다. 그러나 이러한

방안도 평형 및 평면구성에 따라 차이가 발생하고 있어 실제적인 성능기준 만족이 어려운 실정이다. 63Hz의 저감을 위해서는 추가적으로 많은 비용과 노력의 소요가 필요하므로 과도한 설계 및 시공에 의한 국가적인 자원 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 현 시점에서 실제충격음과 유사한 특성을 갖는 충격원으로 측정하는 합리적인 바닥충격음(중량충격음)측정방법을 도입하는 방안이 신중하게 고려되어야 한다.

일본의 경우 앞서 언급한 Bang machine의 문제점을 파악하여 8세 25kg 어린이의 충격음을 재현한 충격원(Impact ball, 그림 2 참고)을 개발하여 JIS에 새로운 중량충격원으로 규정하였다. 또한 ISO에도 중량충격원에 대한 필요성이 제기되고 있으며, 최근 ISO 140-11에 Impact ball이 Heavy & soft impact source로 규정되었다. 일본 내에서도 기존 Bang machine의 문제점이 제기되어 새로운 중량충격원(이하 Impact ball) 사용에 대한 공감대가 형성되었으며, Impact ball의 사용이 급속히 증가되고 있다.

우리나라의 바닥충격음 측정방법도 공동주택에서 발생하는 대표적인 충격음을 선정하고 이를 충실하게 재현할 수 있는 충격원을 도입하여 바닥구조의 층간소음 차단성능을 측정, 평가하는 방법으로 개정되어야 한다. 최근 층간소음 실태 조사, 측정 방법 개선 및 Impact ball 도입에 대한 연구가 시작되어 향후 실제적인 기술개발 및 성능 개선이 가능할 것으로 기대된다.

바닥충격음 평가방법 및 기준도 개선이 필요하다. 일본의 경우 거주자의 반응, 청감특성을 설문 조사 및 청감실험 등의 방법으로 조사하여 이와 상관성이 높은 평가방법을 개발하여 평가하고 있다. 또한 물리적 평가등급과 함께 각 등급에 대한 성능 및 예에 대한 설명이 있다. 따라서 층간소음 성능 등급 표시제도의 정착 및 관련 분쟁을 최소화하기 위해서는 거주자의 반응을 잘 예측할 수

있는 평가방법의 도입과 함께 각 등급에 대한 충실한 설명이 보완되어야 한다.

미국 바닥충격음 기준은 주택의 주변 소음에 따라 다른 기준을 적용하고 있어 이에 대한 고려도 필요하다. 고속도로나 간선도로변 공동주택과 매우 조용한 신도시 등지의 공동주택의 주변 소음 수준은 차이가 있어 실제 거주자가 느끼는 층간소음의 차이가 발생된다. 따라서 층간소음의 합리적인 평가를 위해서는 주변 환경 등에 대한 보정이 필요하다.

이미 바닥충격음 규제 기준은 시행되었다. 그러나 합리적인 성능 평가를 위해서는 바닥충격음 차단성능 측정, 평가 방법 및 거주자의 반응을 고려한 보정치 등에 대한 개선이 필요하다.

3. 층간소음 저감 기술 및 방향

유럽 연합 국가 중 독일은 40년 전부터 뜬바닥 구조에 관한 규정을 마련하여 공동주택에 적용하고 있으며, 프랑스의 경우도 69년에 층간소음 기준을 마련하여 적용하고 있으며 140mm 두께의 슬래브에 100kg/m² 밀도의 완충재를 사용하도록 하고 있다. 미국의 경우 바닥충격음과 상하층간 공기전달음을 모두 규정하고 있으며 슬래브는 최소 75mm 이상, 천장면은 중량 25kg/m² 이상의 재료로 소음이 직접 전달되는 경로를 차단하고 압면 등으로 충전하도록 되어 있다. 일본의 경우 150mm 두께의 슬래브가 일반화 되어있으나, 바닥면적 및 구속 조건에 따른 성능 DB를 기준으로 활용하고 있다.

우리나라 공동주택의 층간소음이 다른 나라에 비해 상대적으로 높은 이유는 독특한 공동주택 구조 특성에 의한 것이다. 일반적인 공동주택의 구조형식인 벽식구조는 세대를 구성하는 바닥과 벽체가 구조적으로 연결되어 있어 상부층 슬래브의 충격에너지가 슬래브 하부뿐만 아니라 벽체를 통

해서도 전달되기 때문에 라멘구조 등과 비교할 경우 상대적으로 충격음에 약한 특성을 갖는다.

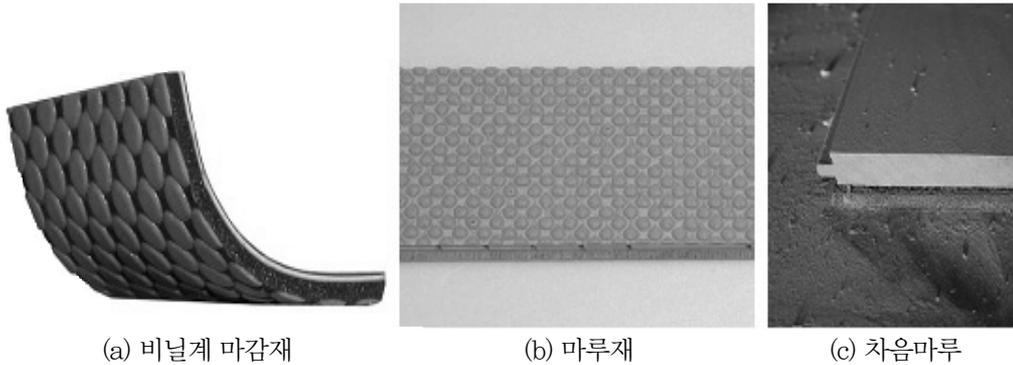
층간소음 저감 방법으로는 크게 4가지 방법이 있으며, 바닥구성 순서로 정리하면 다음과 같다. 바닥마감재로 유연하고 탄성있는 재료를 사용할 경우 물건 떨어지는 소리와 같은 경량충격음 차단에 효과적이며, 충격진동을 효과적으로 차단할 수 있는 재료를 사용할 경우 마감재를 통해 중량충격음 저감도 가능하다.

층간소음 저감 방안으로 널리 알려져 있는 방법은 뜬바닥 구조이다. 완충재를 사용한 뜬바닥구조가 널리 사용되었으나, 이는 경량충격음에는 효과가 있으나 중량충격음은 오히려 증가될 수 있다. 완충재를 대신하여 충격진동에너지 효과를 효과적으로 차단하는 제진재를 사용할 경우 중량충격음이 효과적으로 저감된다.

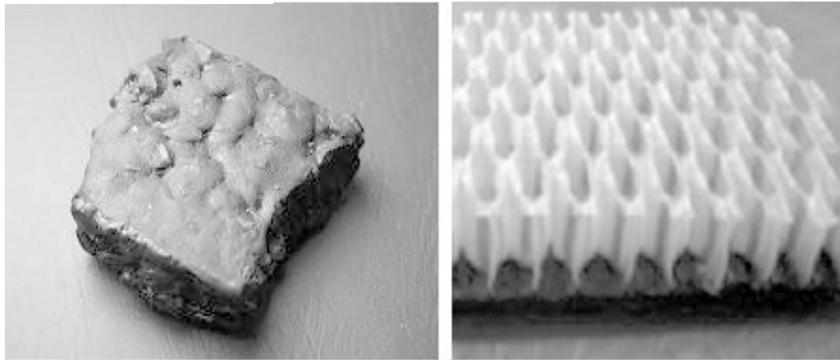
바닥슬래브의 두께를 증가시킬 경우 슬래브의 중량과 강성이 증가하여 바닥슬래브가 진동하기 어렵게 되어 층간소음 저감을 기대할 수 있다. 표준바닥구조의 두께가 210mm로 증가된 이유도 이런 효과를 고려한 것이다. 그러나 시공오차를 고려하고 바닥 슬래브 두께 증가만을 통해 최저기준을 충분히 만족시키기 위해서는 250mm 이상으로 증가되어야 한다. 마지막으로 층간소음을 저감은 천장구조 개선을 통해 가능하다. 또한 라멘구조로 건설된 주상복합 공동주택의 바닥충격음 레벨은 벽식구조 공동주택 보다 낮게 나타나고 있어 공동주택 구조 형식 개선에 대한 검토가 시작되고 있다.

일반적으로 천장구조는 슬래브와 일체화 되어 슬래브의 충격진동 에너지가 쉽게 천장 마감면으로 전달되어 하부실로 소음으로 방사된다. 따라서 천장내부 공간을 흡음처리하고, 충격진동을 차단할 수 있는 천장구조로 개선하면 충격음 저감이 가능하다.

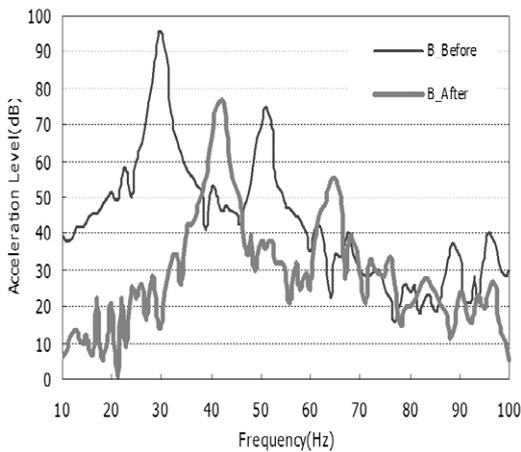
최근 경량충격음의 차단성능을 크게 향상시킨 바닥마감재가 개발되었으며, [그림 4]는 그 예를



[그림 4] 표준 중량충격원



[그림 5] 중량충격을 저감을 위한 제진재



[그림 6] 제진재의 중량충격진동 저감 특성

나타낸다. 이 바닥마감재의 경우 비닐계 마감재뿐만 아니라 마루재 하부에도 경량충격음을 효과적으로 저감할 수 있는 구조를 추가하였다. 경량충격음 차단성능은 최대 19dB까지 저감되어 대부분의 공동주택에서 마감재만으로 경량충격음 기준을 충분히 만족시킬 수 있다.

[그림 4]의 차음마루는 원목마루 하부에 저주파 바닥충격진동을 차단할 수 있는 특수 본드와 중고주파 충격에너지를 저감하기 위한 완충재를 함께 적용한 것으로, 경량 및 중량충격음 모두 4~5dB 고르게 저감된다. 차음마루는 중량충격음 차단성능도 우수한 것으로 나타나 공동주택의 리모델링 및 기존 공동주택의 중량충격음 차단성능 향상에

용이하게 적용될 수 있다. 마감 모르타르 및 경량 기포 콘크리트 강도를 증가시킬 경우 250Hz 이하 대역의 충격음이 다소 저감되는 것으로 나타났다.

뜬바닥 구조에 사용되는 완충재의 품질 확보를 위해 건설교통부에서는 표준바닥구조를 구성하는 완충재 선정기준(동탄성계수 : 40MN/m² 이하, 손실계수 : 0.1~0.3)을 발표하였다. 그러나 위의 선정기준을 만족하는 단일재료 완충재 및 복합재료 완충재의 층간소음 차단성능을 현장 시험시공을 통해 평가한 결과 경량충격음 차단성능은 양호한 것으로 나타났으나 중량충격음은 저감되지 않거나 오히려 증가되는 것으로 나타났다. 이는 완충재에 의해 바닥구조가 분리되고 저주파 공진이 발생되어 저주파 중량충격음레벨이 증가되어 나타나는 것이다.

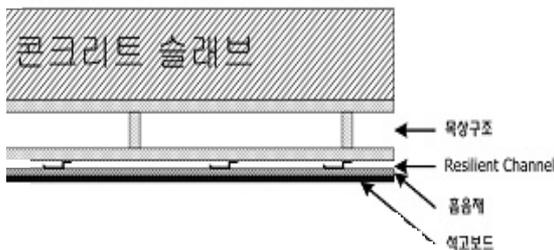
완충재를 대신해서 중량충격음을 효과적으로 저감할 수 있는 재료로 그림 5와 같은 제진재가 사용되고 있다. 제진재는 점탄성 재료를 사용하여 진동에너지를 내부 마찰에너지로 소산시키는 역할을 하여 슬래브로 전달되는 충격진동 에너지를 최소화 한다.

[그림 6]은 제진재 적용 전·후의 중량충격진동 특성을 나타낸 것이다. 그림 6에서와 같이 제진재는 저주파 대역의 중량 충격 진동에너지를 효과적

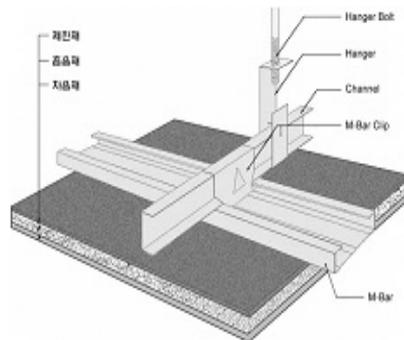
으로 저감하여 중량충격음 저감에 특히 효과적이다. 150mm 콘크리트 슬래브에 제진재를 적용한 경우 건교부의 중량충격음 기준을 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 현재 제진재 성능 향상 및 제진재가 적용된 바닥구조의 단열성능 기준을 만족시키기 위한 연구 개발이 진행 중이다.

2005년 7월 중량충격음 규제 시행과 함께 표준 바닥구조의 슬래브 두께가 210mm로 증가되었다. 콘크리트 슬래브 두께를 증가시킬 경우 바닥충격음 차단효과는 있다. 현장측정 결과 고려할 경우 건교부 최소기준(4등급, L_i,F_{max},A_W-50dB)을 만족시키기 위해서는 슬래브 두께가 최소 210mm가 되어야 하며, 현장 시공 및 측정 오차 등을 고려할 경우 240mm가 되어야 한다. 경량충격음도 콘크리트 슬래브 두께 증가로 최소기준(4등급, L_in,A_W-58dB)을 만족시키기 위해서는 240mm가 되어야 한다.

바닥충격음은 동일한 슬래브 두께의 공동주택이라도 평형, 평면 등 경계조건에 따라 특성이 변화하는데 이에 대한 충분한 고려가 되지 않았다. 또한 바닥슬래브 두께 증가만으로 1등급의 성능을 확보하는 데는 문제가 있다. 따라서 최소한의 슬래브 두께 증가와 함께 층간소음 저감 기술 개발이 반드시 이루어져야 한다.



(a) Resilient channel 적용 구조



(b) M-bar천장구조 개선

[그림 7] 바닥충격음 저감을 위한 전장구조 개선

하부실로 바닥충격음이 전달되는데 가장 기여도가 높은 부분은 천장이다. 천장 마감재의 두께, 밀도 증가 및 천장내부 공간의 흡음재 설치에 의해서는 중고주파수 대역의 충격음만 저감되어 경량충격음에는 효과적이지만 중량충격음은 저감되지 않을 수 있다. 천장을 통한 중량충격음 저감을 위해서는 천장틀이 반드시 개선되어야 한다. 최근 소방법 개정에 따라 공동주택 천층에 스프링클러가 설치되어야 하고, 이를 위한 천장내부 공간이 증가하게 되어 천장구조 개선을 통한 층간소음 저감이 가능하다.

[그림 7]은 천장구조 개선 예를 나타낸 것으로 슬래브 하부에서 천장 마감재로 전달되는 저주파 충격진동을 저감하기 위해 Resilient channel, 제진재 등을 적용하였다. 위의 천장구조 개선을 통해 중량충격음은 3~5dB, 경량충격음은 2~3dB 저감되었다.

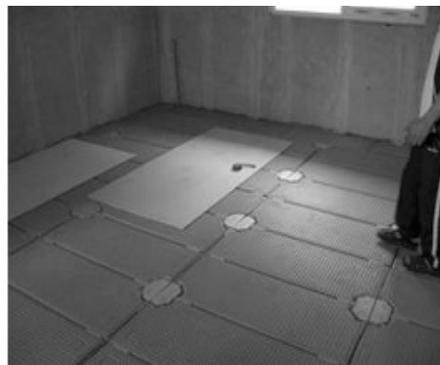
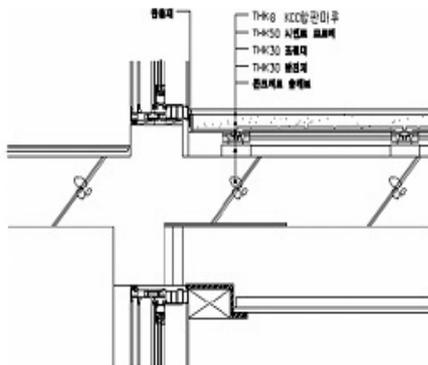
벽식구조 공동주택의 바닥충격음 전달은 벽체를 통해 하부층으로 전달되므로 벽체에서 실내로 방사되는 충격음을 차단하는 벽체 차음구조에 의해 2~3dB 저감된다.

최근에는 건식 및 반건식 구조가 층간소음 차단 성능 인정을 받았다. [그림 8]은 건식바닥구조의 예를 나타낸다. 건식바닥구조의 층간소음 차단 성능은 양호하지만 저주파 중량충격음 차단성능의

개선이 필요하다. 건식구조의 보행감 개선 및 상부 충격에 의한 난방시스템 파손 등의 우려가 있다.

이전까지의 층간소음 저감 기술은 대부분 신축 공동주택에 적용할 수 있는 것이 대부분이었다. 리모델링 활성화에 따라 기존 공동주택의 층간소음 차단성능의 향상 기술 개발도 필요하다. 기존 공동주택의 리모델링에 적용할 수 있는 방법은 마감재 및 천장구조의 개선을 통해 가능하다. 그러나 높은 등급 수준을 만족시키기 위해서는 기존 공동주택의 구조개선이 반드시 필요하다. [그림 9]는 층간소음 저감을 위한 슬래브 보강 방안으로 표준실험동에 설치된 FRP 구조물도 슬래브 단면 방향 중앙부에 설치하여 4dB의 중량충격음이 저감되었다.

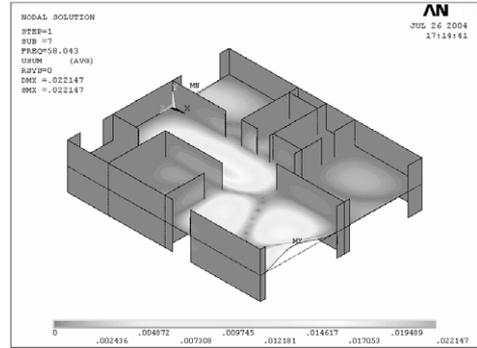
층간소음 저감은 바닥슬래브 구성층 별로 저감이 가능하며, 여러 가지 재료가 개발되고 있다. 이와 같은 여러 가지 재료들 중에서 최적화된 조합을 도출하기 위해서는 무엇보다 해당 공동주택 구조체의 특성 파악이 무엇보다 중요하다. 따라서 공동주택 구조체의 바닥충격진동 및 소음 특성 예측 기술 개발이 필요하다. [그림 10]은 유한요소법을 활용한 공동주택 충격진동 특성 예측 결과로 이외에도 여러 가지 이론적 배경을 갖는 예측 기술이 개발되고 있다. 신뢰할 수 있는 예측 기술이 확립된 후에는 기본 평면 설계 및 구조설계 단계



[그림 8] 건식바닥구조



[그림 9] 슬래브 보강구조



[그림 10] 바닥충격진동 예측

에서 층간소음 레벨을 예측하여 저소음 층간소음 평면 및 구조설계가 가능하다.

4. 해결의 실마리가 잡혔다.

공동주택 층간소음 규제 시행이후 각 건설사들은 슬래브를 두께 증가 및 라멘 구조로의 변화를 검토하고 있다. 우수한 층간소음 차단성능 등급의 공동주택을 건설하기 위해서는 구조개선과 함께 층간소음 저감재료 개발 및 예측기술 개발이 필요하다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 거주자의 불편, 불만이 나타나지 않도록 실제 공동주택에서 발생하는 층간소음을 최소화하는 것이다. 실제적인 층간소음을 저감하기 위해서는 실제적인 바닥 충격음 측정 방법 개선과 함께 중량충격음을 효과적으로 저감할 수 있는 기술이 개선되어야 한다.

현재 개발되고 있는 기술로도 층간소음을 충분히 저감시킬 수 있다. 경량충격음은 마감재만으로 충분히 저감된다. 중량충격음을 효과적으로 저감하기 위해서는 저주파 중량충격음 차단성능이 우수한 제진재를 사용하는 방법이 있다. 바닥마감재 및 천장구조 개선 등을 통해 추가적인 중량충격음 저감이 가능하다. 따라서 구조 개선과 함께 제진재를 사용하고 바닥마감재 및 천장구조를 개선할 경우 우수한 층간소음 등급을 획득할 수 있을 것이다.

실제적인 층간소음 측정, 평가를 위해 산업자원부에서는 표준충격원 중 실제충격원과 가장 유사한 것으로 알려진 Impact ball을 활용한 바닥충격음 측정방법을 표준화하기 위한 연구를 시작하였다. 실제충격원(어린이 달리고, 뛰는 경우)의 특성과 Impact ball, Bang machine, Tapping machine 등의 특성 조사, 기존의 Bang machine 측정결과와 Impact ball 측정결과와의 환산가능 여부, Impact ball 충격음 저감 기술 개발 및 관련 DB 구축 등의 내용으로 수행되고 있다. 2~3년 이내에 Impact ball을 활용한 층간소음 측정 및 평가 방법에 대한 산업 규격이 제안될 것이다.

층간소음 관련 규제는 시작되었다. 그러나 5년 후인 2009년에 층간소음 규제 이후에 건설된 공동주택의 성능 평가결과 규제기준 준수도(만족비율과 입주자 만족도)조사가 예정되어 있다. 층간소음 저감에 소극적으로 대처할 경우 5년 이후에 과거와 같은 대규모 층간소음 관련 민원을 야기할 수 있다. 향후 5년 동안의 적극적인 기술 개발 및 품질 향상만이 유일한 대책이다.

층간소음 저감 기술 개발은 이제부터 시작이다. 우리나라에서만 사용되고 있는 가장 경제적인 벽식구조 공동주택도 충분히 조용하게 만들 수 있다. 이제는 건설사, 자재 업체, 대학, 연구소 그리고 정부가 함께 머리를 맞대고 층간소음 저감을 위한 실제적인 기술개발에 나설 때이다. **FILK**