

Air-Vent System을 이용한 바닥충격음 저감시스템

공동주택의 바닥충격음 문제가 사회문제로 대두되면서 건설교통부에서는 바닥충격음 문제를 줄여주기 위한 방편으로 '주택건설기준 등에 관한 규정 제 14조 제 3항'의 규정(공동주택의 바닥은 각 층간의 바닥충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다)을 구체적인 성능기준(중량충격음 : 50 dB 이하, 경량충격음 : 58 dB 이하)과 표준시방 기준을 제정하였다. 공동주택의 주거환경 개선을 위하여 슬래브 바닥 완충층의 공기배출 효과를 적용한 바닥충격음 저감 시스템을 소개한다.

이 봉 직 / 주식회사 익성 (iksung1@cho1.com)
 김 순 호 / 대동이엔씨 기술연구소 (shkims@paran.com)
 이 흥 재 / 삼우설계사무소 기술연구소 (0522@samwoo.co.kr)

1. 서론

바닥충격음은 충격력의 특성, 바닥구조의 진동특성, 하부 실의 음향특성에 따라 전파특성과 영향을 미치는 정도가 달라지며, 그 중에서 바닥구조에 의한 영향정도는 슬래브의 두께, 면적, 단부의 고정조건, 공법, 시공관리 등 슬래브 전체의 강성에 따라 달라진다.

이러한 바닥충격음은 현행 우리 나라에서 적용되고 있는 일반적인 바닥구조로서는 근본적으로 해결하기가 쉽지 않다. 이러한 바닥충격음 문제를 해결하기 위해 독일이나 프랑스 등에서는 오래 전부터 뜬바닥 (floating floor)구조를 채용하고 있으며, 이 뜬바닥 구조는 슬래브 위에 유리면과 같은 방진용 완충재를 깔 후 적절한 방법으로 내장바닥(온돌층)을 구성하여 그곳에 가해지는 충격에너지가 직접 구조체(슬래브)에 전달되지 않도록 하기 위한 것으로서 효과가 매우 좋은 것으로 알려져 있다.

따라서 본 논문에서는 공동주택 층간소음 방지대책과 관련하여 실제적인 소음저감 효과를 갖는 바닥충격음 완충재료 및 공법을 제시하고자 한다.

2. Air-Vent를 이용한 바닥충격음 저감 시스템 개발

완충재의 상부층은 충분한 유효질량을 가져야 하며, 이때 완충층은 저음역에서 완충층의 공기를 포함한 스프링 정수로, 중음역에서는 저항성분으로, 고음역에서는 종파의 임피던스로 작용하게 된다. 그러나 현재 시공되어지고 있는 뜬 바닥 구조의 경우 아주 낮은 동탄성계수를 갖는 완충재를 사용할 경우 상부구조의 구조상의 하자가 발생할 우려가 있고 또한 완충층의 상부구조가 충분한 질량을 갖고 있지 않기 때문에 오히려 완충재를 시공하지 않은 구조보다 충격음 레벨이 더 커지는 경향이 있다. 따라서 위에서 언급한 바와 같이 현재 시공되고 있는 습식공법의 문제점을 해결할 수 있는 방안은 완충층에 존재하는 공기를 적당한 방법으로 배출하여 완충층에 존재하는 공기스프링의 영향을 저감시킴으로서 바닥충격음 성능에 가장 큰 영향을 미치는 저음역에서의 공기 스프링정수에 의한 증폭을 막을 수 있다.

2.1 공기배출 효과

공기배출 효과에 대해 확인하기 위해 우선 이중바



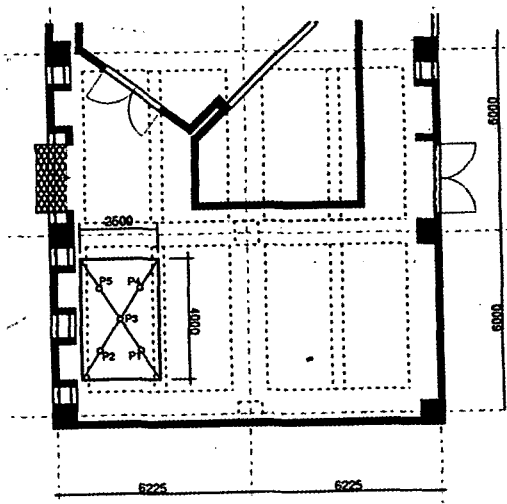
다구조에서의 바닥충격음 저감에 대한 주변의 공기 배출 효과에 대해 설명하고자 한다. 이를 위해 이중바닥내의 음장형태 및 이중바닥을 지지하는 슬라브의 진동형태에 대한 측정결과를 소개하면 다음과 같다.

2.1.1 실험방법

그림 1에 표시한 실험실(슬라브 두께 200 mm)에 목질계 이중바닥을 시공하였다. 마감재까지의 이중바닥구조의 높이는 160 mm이다. 공기배출에 대한 측정조건으로서는 그림 2에 표시한 바와 같이 이중바닥의 주변에 하단을 10 mm 정도 남겨둔 상태로 석고보드 테두리를 취부하고 다음 3가지 조건에 대해서 비교하였다.

- (1) 조건 a : 테두리 있음, 간격을 Calm Tape 로 밀폐한 경우
- (2) 조건 b : 테두리만 있음, 하단 10 mm가 그대로 개방된 경우
- (3) 조건 c : 테두리 없음, 전체 개방

측정항목으로서는 상기 3가지 조건 각각에 대해서 ①이중바닥을 뱀머신으로 가진할 때 바닥충격음레벨 ②뱀머신 가진시 슬라브의 진동가속도레벨을 측정하였다. 또한 각 가진점 5점을 가진했을 때의 음압 또는 진동가속도레벨의 피크치를 측정점 5점에 대



[그림 1] 이중바닥 설치 평면도

해 측정하고 그 에너지의 평균을 구하고, 가진점 5점의 산술평균치를 산출하였다.

2.1.2 측정결과

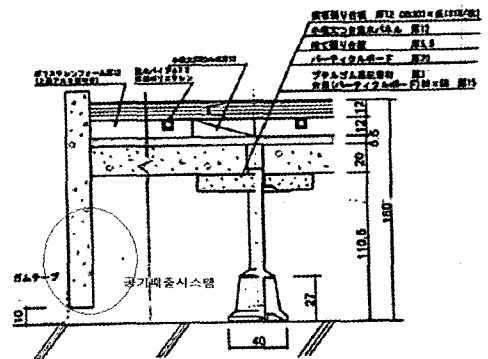
(1) 이중바닥 가진 시 수음실에서의 음압레벨

이중바닥 가진 시 수음실에서의 바닥충격음레벨을 그림 3에 나타내었다. 공기배출의 효과에 의해 32 Hz와 63 Hz대역에서 중량바닥충격음 차단 성능이 개선되고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 4변을 전체 개방한 경우와 4변에 슬릿을 설치한 경우의 차는 63 Hz대역에서 1 dB 정도로 차이가 작았고 4변 10 mm의 슬릿을 설치한 경우와 밀폐한 경우의 차는 4 dB 정도로 슬릿의 효과를 확인할 수 있다.

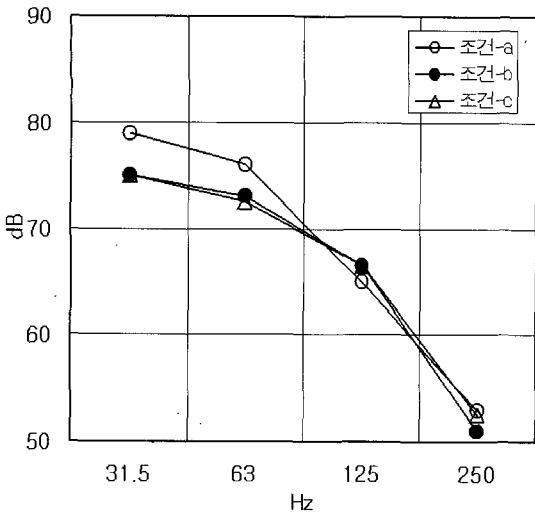
(2) 이중바닥 가진 시 슬라브의 진동가속도레벨

이중바닥 상부를 뱀머신으로 가진한 경우 진동가속도레벨의 Fast Peak 값에 대해서 슬라브 상부 5점의 평균치를 각 조건별로 산출하면 그림 4와 같이 된다.

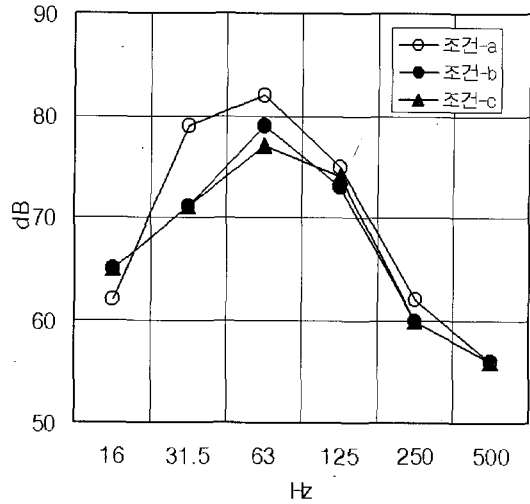
슬라브의 진동가속도레벨은 하부공간에서의 바닥충격음레벨과 같이 32 Hz, 63 Hz대역에 있어서 공기배출을 설계한 것에 의해서 저하하고 있다. 또한 그 변화량은 음압레벨의 변화량과 거의 동일한 정도로 되고 있다는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 5는 조건 a와 조건 c에 대해서 각 가진점(P-1~P-5)을 가진한 경우의 각 슬라브상의 각 수진점(M-1~M-5)에



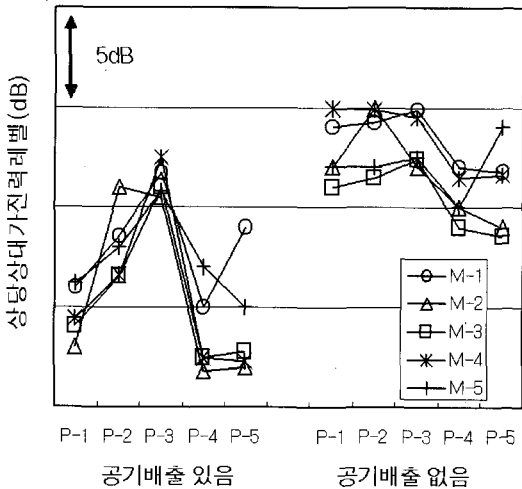
[그림 2] 이중바닥 설치 단면도



[그림 3] 이중바닥 가진 시의 하부실에서의 바닥충격음레벨



[그림 4] 이중바닥 가진 시의 슬라브 진동 가속도레벨



[그림 5] 공기배출시스템의 유무와 가진점에 따른 수진점에서의 상당가진력레벨의 비교 (63 Hz 대역)

이 결과에 대해서 각 측정점, 각 수진점별의 레벨 차 어느 경우도 공기배출을 개방한 경우(조건 c)에는 가진점 직하점이 최대 크게 된다. 또한 이중바닥 중앙의 측정점 M-3에 있어서의 변화량이 다른 측정점에 비해서 작기 때문에 주변의 측정점이 공기배출의 효과는 크다고 말할 수 있다. 또한 공기배출이 없는 상태(조건 a)의 측정결과에 있어서 각 측정점에서의 차이는 크다. 25경로(5지점 가진에 대해서 5지점 측정점)의 측정결과에 대한 편차는 공기배출을 하는 경우의 1.9 dB 정도에 비해서 조건 a에서 3.5 dB로 커지고 있다.

이상의 결과로부터 공기배출이 없는 통상의 목질계 이중바닥에 있어서는 공기의 스프링 효과에 의해 가진점에 의하지 않고 거의 전면에 대해서 가진되어지고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 공기배출시스템에 의해서 공기 스프링의 효과는 감소하고 그에 따른 가진점 근방의 다리각에 의해서 진동전달의 영향이 커지는 것을 알 수 있다.

2.2 Air-Vent System의 특징

2.2.2 Air-Vent System에 적용되는 단열완충재의 물성

그림 6과 같이 공기층을 형성하는 돌기가 있는 저

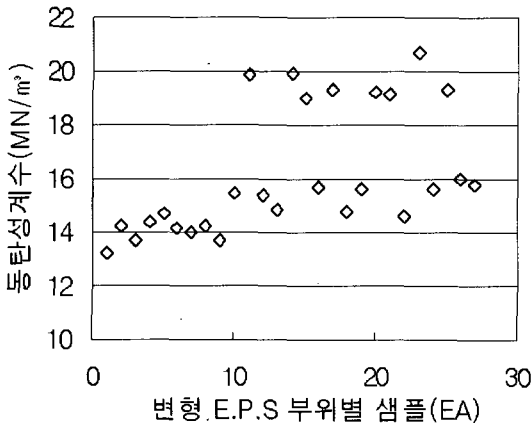
있어서 진동가속도레벨의 측정결과를 각 수진점의 구동점가속도레벨 실효치와 더한 형태로 표시한 것이다. 즉 이 결과는 엄밀한 의미에서의 가진력과는 다른 것으로 Dimension은 가진력레벨에 상당하는 것으로 된다.



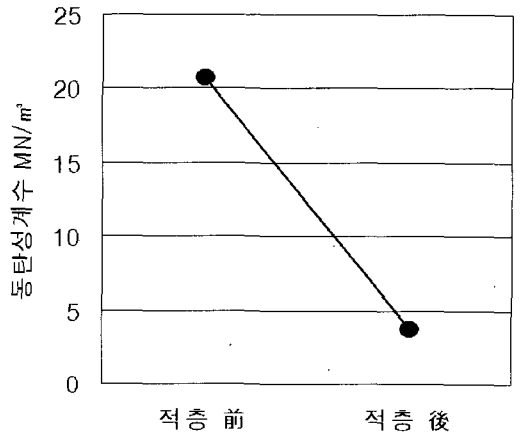
감재에 적용되는 단열 완충재의 부위별 동탄성계수로서 일반적으로 사용되어지는 13~21 MN/m³ 범위 내의 것을 사용하였다. 그림 7은 단열완충용 E.P.S가 이격돌기로 인해 공기층을 형성된 Pin 형태의 저감재 위에 적층되면 동탄성계수가 현저하게 낮아지게 되는 것을 알 수 있었다. 이러한 동탄성계수는 당사 제안 시스템에서 경량 충격음 저감에 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 공기층의 유무에 따른 동탄성계수의 변화는 그림 8과 같이 Air Vent

를 했을 경우 3.77 MN/m³이지만, 공기의 흐름을 Grease로 막고 테스트 했을 경우 13.67 MN/m³로 증폭되어 경량충격음 저감에 불리할 것으로 판단되었다.(동탄성계수 측정은 SA-01, Rion社, 일본을 사용하였다.)

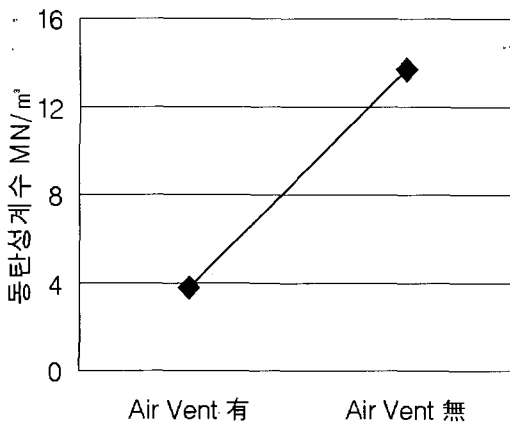
이런 결과를 바탕으로 경량 충격음 저감의 결정적인 영향을 미치는 인자 중에서 동탄성계수의 변화는 공기층의 Vent 유무에 의해 오히려 증폭되는 결과를 가져왔고 이를 통해 공기층의 Vent에 의한 경량 충



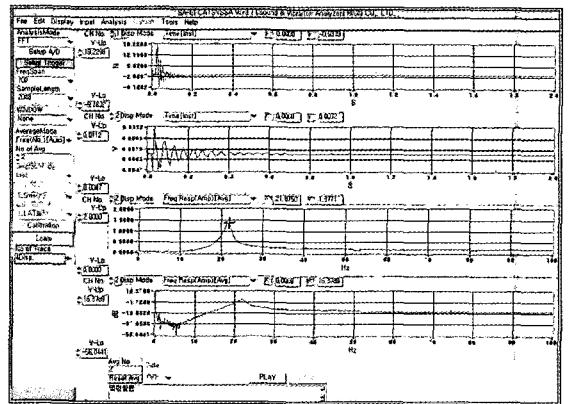
[그림 6] 단열완충재용 E.P.S의 동탄성계수



[그림 7] 이격돌기 상부에 단열완충재 적층 전 후의 동탄성계수 변화



(a) Air Vent 유무에 따른 동탄성계수 변화



(b) 공기층의 유무에 따른 동탄성계수 변화 측정결과

[그림 8]

격음의 저감을 예측할 수 있었다. 따라서 공기층의 Vent는 경량 충격음 저감을 위한 당사의 중요한 제안 시스템이 되었다. 손실계수는 경량 충격음 저감에 밀접한 연관이 없는 것으로 밝혀져 본 시스템에서는 제외하였다. 본 시스템에서는 제외하였다.

그림 9는 당사가 제안하고 있는 시스템의 단면 및 평면도이다. 그림에서 보는바와 같이 제안하고 있는 시스템의 특징은 바닥면과 벽면으로 이루어진 슬라브층과, 상기 슬라브층 바닥면에 위치하는 단열완충재층과, 상기 단열완충재층의 상에 위치하는 미장층과, 상기 슬라브층의 상기 바닥면으로부터 상기 벽면을 따라 형성된 평판형 벽면필러로서, 상기 단열완충재층과 인접하는 저면에 요철부가 형성되고, 상기 요철부와 상면을 연결하여 공기를 순환시키는 공기 순환부가 상기 슬라브 층의 벽면과 인접한 후면 또는 내부에 형성된다. 단열 완충재층은 공기층을 형성시키기 위해 바닥면에 다수의 완충 돌기가 형성되어 있고 이는 슬라브로의 충격진동을 최소화하기 위한 것이다. 일반적으로 슬라브의 진동은 그림10과 같이 진동하게 되며 이러한 진동을 효과적으로 저감시키는 것이 본 시스템의 기본적인 방향이며, 적극적인 방법으로서의 제안이다.

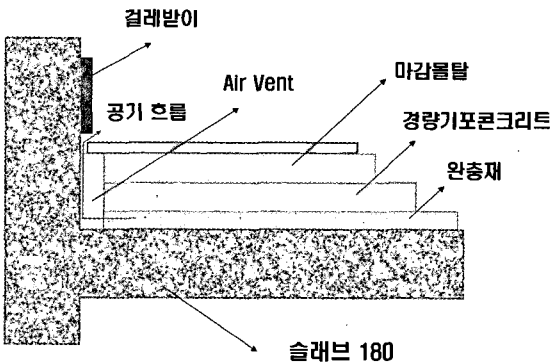
두 가지의 방향설정은 첫째, 중량충격음은 적극적인 방법으로서 63 Hz 대역의 음을 효율적으로 저감시켜 역A특성곡선을 이용한 단일 수치 평가량(Li, Fmax, AW, dB)을 안정적인 수치 이상으로 줄이는

것이였다. 경량 충격음의 경우는 효율적인 저감을 위하여 동탄성계수를 7 MN/m³이하의 제품으로 설계하는 것이고, 나머지 한 가지 방향은 중량 및 경량 충격음을 저감하기 위한 Air Vent System의 도입이였다.

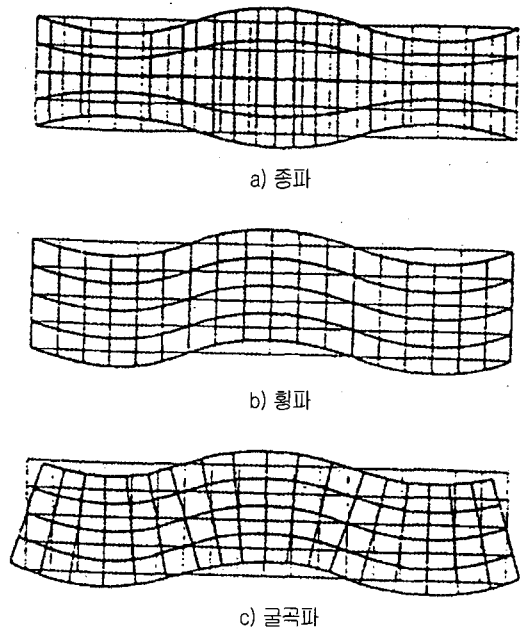
2.3 바닥충격음 성능 측정 결과

Air-Vent System을 이용한 뜬바닥구조의 바닥충격음성능 시험을 위해 주택공사의 표준실험동 180 mm에서 측정하였다. 측정방법은 KS F 2810-1,2 : 2001(바닥충격음 차단성능 현장측정방법)에 의하여 실시하였다. 수음실은 각실 창호 및 외부사시를 시공하여 외부로부터 유입되는 배경소음을 차단하였으며 벽체마감 및 천장은 시공되지 않았다.

그림 11은 측정대상 단면을 나타내며, 그림 12, 13은 측정 결과이다. Air-Vent System을 이용한 뜬바닥 구조를 시공한 표준시험실의 음압레벨 측정결과 중량충격음 50 dB, 경량충격음 44 dB의 바닥충격음 차단성능을 갖는 것으로 나타났다. 경량충격음의 경우 마감재를 시공하지 않은 상태에

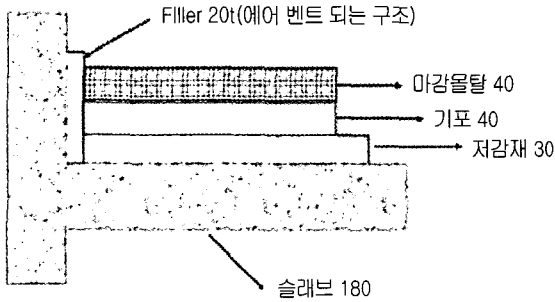


[그림 9] Air-Vent 시스템의 단면도

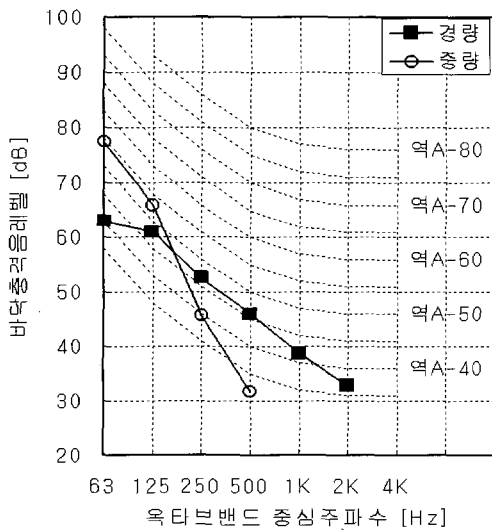


[그림 10] 슬래브의 진동

서의 측정값으로 룩류 등으로 마감처리 할 경우에는 약 4~5 dB 정도의 성능 향상을 기대할 수 있다. 또한 중량충격음 차단효과를 알기위해서 온돌 구조가 설치되지 않은 구조체(슬라브 단독)의 중량충격음 스펙트럼과 Air-Vent System을 이용한 뜬바닥 구조 시공 후의 충격음 스펙트럼을 비교한 결과 63 Hz대역을 제외하고는 중량충격음 저감량이 4~20 dB의 높은 저감효과를 갖는 것으로 나타났다. 이는 습식 뜬바닥 구조에서의 획기적인 중량충격음 차단성능으로 현재의 공법에서 63 Hz대역에 집중된 저감공법을 병행할 경우 45 dB 이하의 성능도 기대할 수 있다.



[그림 11] 측정대상 단면도



[그림 12] 바닥충격음 차단성능

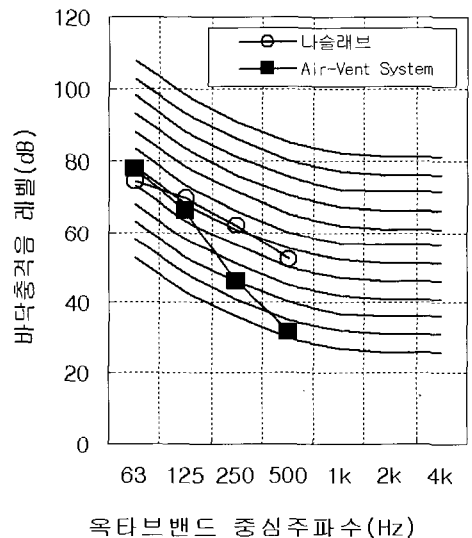
3. 결론

공동주택 층간소음 방지대책과 관련하여 실제적인 소음저감 효과를 갖는 바닥충격음 완충재료 및 공법인 Air-Vent System을 이용한 뜬 바닥구조를 제시하고 그 시스템이 갖는 특징 및 바닥충격음 차단성능은 다음과 같다.

(1) 이중바닥구조에서 공기배출의 효과에 의해 32 Hz와 63 Hz대역에서 중량바닥충격음 차단성능이 4번에 10mm의 슬릿을 설계한 경우가 밀폐한 경우 보다 4 dB 정도로 개선되고 있는 것을 확인할 수 있다.

(2) 공동주택의 층간소음 저감방안으로 Air-Vent system을 적용할 경우 슬라브 180 mm에서 중량충격음 50 dB 이하의 실제적인 소음저감효과를 얻을 수 있다. 또한 현재의 공법에서 63 Hz대역에 집중된 저감공법을 병행할 경우 45 dB 이하의 성능도 기대할 수 있다.

(3) 따라서, 공동주택 최대의 민원사항인 상하층간 소음문제의 실제적인 해결과 함께 과도한 슬라브 두께 증가에 따른 골재부족, 공사비 증가, 층고제한 문제, 건축물의 하중 증가 등 제반문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다.



[그림 13] 중량바닥충격음 저감량 비교

참고문헌

1. 橘 秀樹, “小特集-建築分野における固 音抑制への流れ”, 日本音響學會誌 50卷 4號, p.p.305~306, 1994.
2. 安岡正人, 床衝擊音に關する研究, 學位論文, 1981,5
3. 安岡正人, 1982, 騒音振動對策ハンドブック, 技報堂
4. Heckl, M.A., 1992, Short course on structure-borne sound, Center for Acoustics and Vibration PENNSTATE, pp.430~431
5. 양수영 외 4인, 2005, “바닥충격음 완충재의 동적특성과 소음저감 성능 비교”, 사단법인 한국소음진동공학회, 2005 춘계 논문집 ㉔