

바닥충격에 의한 공동주택의 바닥, 벽, 천장의 진동 및 소음방사특성 연구 Evaluating the Vibrational Characteristics of Floor Impact Noise in Different Structural Elements of an Apartment House

이병권* · 전진용**

Lee Byung Kwon and Jeon Jin Yong

Key Words : Vibration(진동), Noise(소음), Floor Impact Sound(바닥충격음), Sound Emission(소음방사)

ABSTRACT

The overall noise reduction was compared in regard to the vibrational characteristics of floor impact noise in a multi story residential building which has several noise reduction treatments. The vibration through its structural elements such as wall, floor and ceiling and sound emitting were investigated for each insulation treatment. It was found that, in case of heavy-weight impact noise, the vibration energy is emitted mostly from ceiling, but for the light-weight impact noise, most of the energy comes through ceiling and walls. That is, the vibration of a ceiling is the main factor that determines the frequency characteristics of the transmitting noise to lower floors.

기호설명

$y_{H, L}$: 중량 및 경량 소음 레벨
 x_1 : 바닥 진동 레벨
 x_2 : 천장 진동 레벨
 x_3 : 내력벽 진동 레벨
 x_4 : 비내력벽 진동 레벨
 f : 정재파 주파수
 C : 음의 속도(340m/sec)
 L : 실의 길이(m)
 W : 실의 폭(m)
 H : 실의 천장높이(m)
 b, a, r : 임의의 정수

1. 서론

공동주택의 거주형태는 집합적이며 수직적이므로 상하간이

나 인접세대간의 소음 문제는 불가피하다. 특히 아이들의 뛰는 소리, 물건의 낙하 소리 등에 의한 상하세대간의 바닥 충격소음은 매우 중대한 생활방해 요인으로 지적되고 있다. 이러한 문제에 대하여 일본은 30여년 전부터 측정 및 평가 기준을 수립해 왔고 바닥충격음 저감을 위하여 음원의 발생, 전달경로, 수음공간을 체계적으로 조사하여 저감 대책을 수립하고 새로운 충격원과 평가방법을 개발하고 저감공법을 찾아가고 있다. 국내에서도 최근 들어 흔들구조의 층간소음 저감 재료와 설계 및 시공의 개선 등이 연구되었으나 아직까지 경제적이고, 효율적인 바닥충격음 저감대책은 부족한 실정이다. 공법개발에 있어서도 슬래브의 고강성공법, 뜬바닥공법, 차음 2중 천장공법, 표면완충공법과 같이 주로 바닥구조 및 천장에 대한 연구가 진행되었을 뿐 또 다른 층간 소음 방지 요소에 대한 연구는 미지한 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 하부세대 벽체·바닥·천장을 통해 전달되는 진동의 영향을 조사하기 위하여 상부 세대에서의 중량 및 경량 충격에 대한 하부세대의 벽, 바닥, 천장별 진동 특성 및 소음 특성을 비교하였다. 바닥충격음의 전달 경로를 부분적으로 혹은 전면적으로 차단할 때 각 구체 부위별 충격음 방사 비율 및 저감량을 조사하기 위하여 바닥, 벽, 천장에 대하여 각각 소음차단 시공을 달리하여 각 부위별로 진동과 소음 발생량을 측정하였다.

* 한양대학교 대학원 건축공학과
E-mail : nicelbk@shinbiro.com
Tel : (02) 220-1735, Fax : (02) 220-1733

** 한양대학교 건축공학부

먼저 측정을 통해 진동과 소음의 특성 및 주요 영향 부위를 찾아내고 각 부위별 개선시공 결과를 도출하며 가진과 수음이 이루어지는 실내의 mode특성을 파악한다. 이를 통하여 본 연구에서는 효율적인 진동, 소음 저감 효과를 위한 최적의 설계 시공 방법을 도출하기 위한 기본 자료를 제공하며 소음과 진동의 상호 영향성을 파악하고자 한다.

2. 측정개요 및 방법

2.1 적용대상의 측정개요

바닥충격음에 대한 구조 부위별 차음성능을 파악하기 위해 서울의 H아파트 40평형 8개층의 세대와 경기도의 H 아파트 3개층 3세대를 측정대상으로 선정하여 구조체 부위별 차음시공을 실시한 후에, 인접 직하 세대의 모든 실(큰방, 거실, 주방, 작은방3)에서 경량 및 중량 충격음을 측정하였다. 측정당시는 주민이 입주하기 전 상태였고, 측정시간은 주변의 배경소음의 영향을 최대한 줄이기 위하여 밤10시 이후에 실시하였다. 진동 및 소음방사 특성을 파악하기 위해서는 경기도의 H아파트 30평형 5개층 5세대를 바닥충격음 차음시공 및 측정대상으로 선정하여 구조체 부위별(벽, 천장, 바닥) 진동 및 소음 발생량을 측정하였다.

2.2 적용대상의 구조

다음 표 1과 2에 각 구조부위별 시공 조합표를 나타내었다. 바닥차음재의 위치에 따른 차이를 알아보기 위해 바닥차음시공(구조B, E, G, H)한 총 4세대의 방2개실씩(각 8개실씩) 차음재를 경량기포콘크리트 위,아래에 나누어 시공하였고, 차음재의 두께를 8mm, 10mm, 20mm로 시공하여 바닥차음재의 두께에 따른 영향을 알아보려고 하였다.(구조I, J, K)

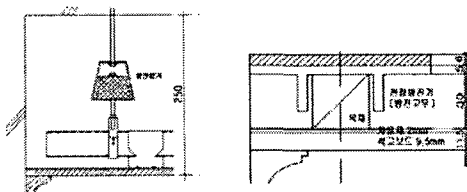


그림 1. 적용대상 아파트의 천장 구조 상세도(구조D-1,2)

2.3 측정 방법

(1) 소음 측정 조건

바닥충격음은 KS 2810에 따라 측정하였다. 측정위치는 하부세대의 수음실에 대해 벽체에서 50cm 떨어진 곳에 대각선상의 4점을 선정하고 1.2m 높이에서 동시에 수음하였다.

소음 측정에 사용된 측정 장비는 다음과 같다.

- Sony-208AX DAT 8Ch Recorder,
- G.R.A.S AK 26 마이크로폰
- NEXUS
- 경량충격원 (Tapping Machine ISO-140)
- 중량충격원(Tire, JIS A 1418)
- PCB Shear Accelerometer
- TEAC RD-145T DAT 16Ch Recorder
- 01dB (dBFA32, dBTRAIT32)

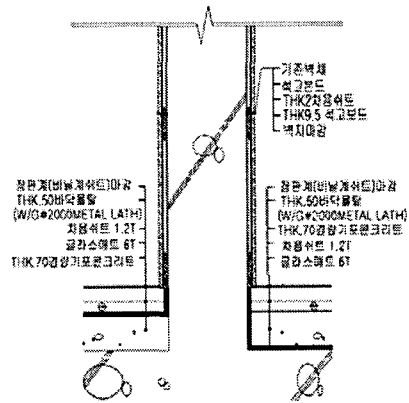


그림 2. 적용대상 아파트의 벽, 바닥의 구조 상세도(내벽)

(2) 진동 측정 조건

충격에 대하여 동일한 측정시간과 가진 환경 특성을 확보하기 위하여 침실에서 내력벽, 비내력벽, 천장, 바닥에 각각 4개소씩 16개의 진동 가속도계를 부착하여 하부 세대의 벽, 천장, 바닥의 진동을 동시에 측정하였다.

진동 가속도계는 구조체의 진동을 최대한도로 감지하기 위하여 밀납을 이용하여 각 구조체에 견고히 부착하였다. 진동 가속도계는 각 구체의 네 방향에서 끝단 좌우로 각각 50cm씩 떨어진 위치에 부착하였다.

표 1. 경기 H아파트의 구조부위별 시공조합표

| 구분 | 구조 | 바닥 | 벽 | 천장 |
|----|---|----|---|----|
| A | 슬래브150+경량기포Con'c70+마감물탕50 | | | |
| B | 슬래브150+글라스매트8+폴리에틸렌폼4+경량기포Con'c70+마감물탕50 | ● | | |
| C | 천장:천장틀+방진고무+차음쉬트2+공기층50 바닥:슬래브150+글라스매트8+폴리에틸렌폼4+경량기포Con'c70+마감물탕50 | ● | | ● |
| D | 천장:천장틀+방진고무+차음쉬트2+공기층50 바닥:슬래브150+글라스매트8+폴리에틸렌폼4+경량기포Con'c70+마감물탕50 벽:차음쉬트1.2+석고보드+벽지마감 | ● | ● | ● |
| E | 천장틀+방진고무+차음쉬트2+공기층50 | | | ● |

표 2. 서울 H아파트의 구조부위별 시공조합표

| 구분 | 구 조 (단 위 mm) | 바닥 | 벽 | 천장 |
|-----------------|----------------|--|---------|----|
| 기본 차음 시공 | A | 천장틀+공기층230+슬래브150+ 경량기포Concrete80+마감물달50 | | |
| | B-1 | 천장틀+공기층230+슬래브150+ 그라스메트6+차음쉬트1.2 +경량기포Concrete70+마감물달50 | ● | |
| | B-2 | 천장틀+공기층230+슬래브150+ 경량기포Concrete70+그라스메트6+ 차음쉬트1.2+마감물달50 | ● | |
| | C | 기본벽체+석고보드+차음쉬트2+ 석고보드9.5+벽지마감 | | ● |
| | D-1 | 벽지+천장틀+차음쉬트2+방진행거+ 공기층230+슬래브150+ 경량기포Concrete80+마감물달50 | | ● |
| | D-2 | 벽지+천장틀+차음쉬트2+천장방진거+ 슬래브150+경량기포Concrete80+ 마감물달50 | | ● |
| | 조합 차음 시공 | E | B구조+C구조 | ● |
| F | | C구조+D-1구조 | | ● |
| G | | B구조+D-1구조 | ● | ● |
| H | | B구조+C구조+D-1구조 | ● | ● |
| 차음재 두께 변화 | I | 슬래브150+그라스메트8+ 폴리에틸렌폼4+경량기포Concrete70+ 마감물달50 | ● | |
| | J | 슬래브150+그라스메트10+ 폴리에틸렌폼4+경량기포Concrete70+ 마감물달50 | ● | |
| | K | 슬래브150+그라스메트20+ 폴리에틸렌폼4+경량기포Concrete70+ 마감물달50 | ● | |

3. 측정 결과의 분석 및 고찰

3.1 소음 측정 결과

바닥충격음 차단성능 및 영향요인을 단일척도로 평가하기 위하여 일본공업규격(JIS A 1419, 1418(1,2), 2000) 및 일본건축 학회에서 제시하고 있는 차음등급곡선(L등급)과 역A특성곡선에 의한 평가(역A곡선)를 병용하여 평가하였다.

(1) 바닥 시공시의 주파수 대역별 바닥충격음레벨 차음재의 바닥시공(구조B)에 의한 차음효과를 알아보기 위하여 기본 구조 A의 측정결과와 비교하였다. "구조B"는 "구조A"와 비교하면 경량 충격원에서 개선량은 L지수로 11(역A값은 9)인 것으로 나타났다. 그러나 중량 충격원에서는 이러한 차음성능 개선이 없었다. 주파수대역별 경량충격음의 특성 평가시 125Hz를 제외하고는 전 주파수대역에서 저감되는 것을 볼 수 있지만, 중량충격음의 경우에는 저감량이 미미한 것을 볼 수 있고, 125Hz나 250Hz에서는 충격음레벨이 다소 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현

상은 경량충격음의 125Hz에서도 나타났으며, 이 현상은 차음재인 글라스메트의 공진 등에 의한 것으로 사료된다.

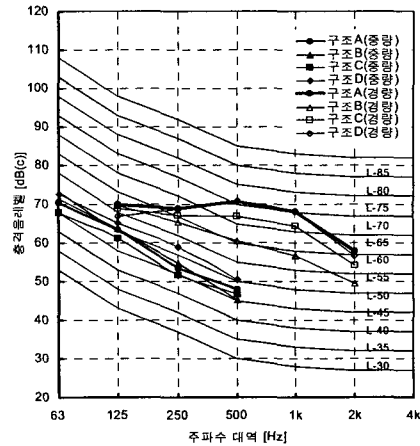


그림 3. 각 구조의 전체 바닥충격음 비교

바닥차음층의 위치별 L지수 저감량을 살펴보면 중량 충격음의 경우에는 경량기포콘크리트 상부에 차음재를 시공했을 때 차음효과가 더 크지만 경량충격음의 경우는 하부에 차음재를 시공했을 때 차음성능이 유효한 것으로 판단된다. 그러므로 동일한 바닥 차음재를 시공할 경우 경량기포콘크리트 상부에 시공하는 것이 중량충격음을 보다 효율적으로 저감할 수 있을 것이다.

(2) 벽체 시공시의 주파수 대역별 바닥충격음 레벨 "구조A"의 측정결과와 비교해 보면 "구조C"는 중량 및 경량에서 L지수로 2, 4(역A값은 2, 3)의 저감효과가 있는 것으로 나타났다. (최대저감량 5)

특히 "구조C"의 경우는 모든 실(전 주파수 대역)에서 저감되는 것을 볼 수 있다. 그러므로 벽체 시공에 의한 차음효과가 유효한 것으로 평가될 수 있다.

벽차음재에 의한 세대간 차음성능의 평가에서 D값의 개선은 없었지만, 500-2000Hz에서 평균 5dB정도 개선되었다. 이는 적용대상세대에만 벽차음시공이 적용되었기 때문에 수음세대에도 벽차음시공이 적용된다면 저주파, 고주파 대역에서도 개선이 되어 좀 더 유효한 개선을 기대할 수 있을 거라 사료된다.

(3) 천장 시공시 주파수 대역별 바닥충격음레벨 "구조D-1"에서의 중량 및 경량충격음에 대한 L지수는 결과를 살펴보면 중량 및 경량충격음 모두 차음효과가 없는 것으로 나타났으며 오히려 충격음레벨이 증가되는 것으로 평가되었다. 이는 방진행거의 시공 오차와 천장의 판진동 등에 의한 결과라고 사료된다.

또한 "구조D-1"의 개선량을 보완하기 위해서 방진행거를 천장방진기로 시공하여 "구조D-2"를 시공하였다. "구조D-2"는 평형 및 평면이 다른 현장에서 측정되었다. "구조D-2"에서의 저감량은 L지수로는 중량 및 경량충격음에서 각각 2, 1(역A값 1로 동일)로 차음성능을 보이는 것으로 평가되었다. 이에 "구조D-1"보다, "구조D-2"에서 유효하게 바닥충격음을 개선하는 것으로 나타났다.

(4) 각 조합 시공시 바닥충격음 레벨

"구조E"의 경우 중량충격음의 경우 L지수, 역A값 둘 다 3, 경량충격음의 경우는 L지수의 경우는 12(역A값은 11)로 저감되어 차음성능이 우수한 것으로 평가되었다. "구조F"의 경우도 벽,천장의 조합시공한 예로서 경량충격음의 L지수와 역A값에서 각각 4, 6정도 저감되는 것이다. "구조G"의 경우는 경량충격음의 경우는 7 정도 저감이 되지만 중량충격음의 경우에는 오히려 1정도 증가되는 것을 알 수 있다.

(5) 벽, 천장, 바닥 시공시의 바닥충격음레벨

그림 4은 "구조H"의 주파수대역별 바닥충격음레벨을 나타낸 것이다. "구조H"의 중량 및 경량충격음의 L지수를 보면 중량충격음의 경우 11, 경량충격음은 19 정도의 차음효과를 보이고 있다. 이는 L등급으로도 중량 및 경량에서 각각 2등급, 3등급의 저감량을 보여 매우 유효한 차음효과가 있는 것으로 평가되었다.

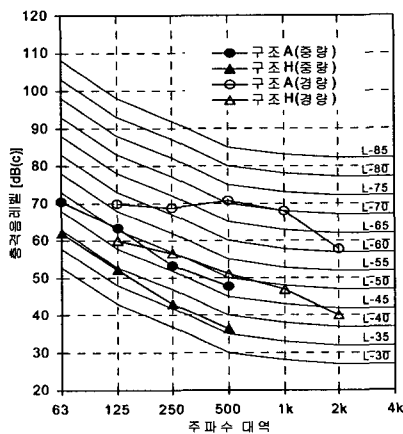


그림 4. A, H 구조의 전체 바닥충격음 비교

(6) 바닥차음층의 두께별 차음성능 비교

바닥에 시공된 차음재인 글라스매트의 두께별 차음성능을 비교평가하기 위하여 8mm(구조 D), 10mm(구조 J), 20mm(구조 K)로 나누어 시공한 후 측정 및 분석하였다. 중량 및 경량충격음에서 바닥차음층의 두께

별 효과가 주파수 대역별로 1,2dB정도의 차이를 보이고 있다.

3.2 진동 측정 결과

(1) 충격원의 진동 특성

중량충격원 및 경량충격원에 대하여 시공 형태별로 구체 표면의 관진동 특성을 조사하였다. 16개 가속도계의 측정치를 평균하여 dB로 표시한 결과 중량충격원의 경우 그림 5에서와 같이 대략 40Hz와 80Hz대역에서 정점을 보이고 있다. 각 시공 조건별로 볼 때, 개선시공을 전혀 하지 않았을 경우(기본구조) 50Hz, 100Hz에서 mode를 형성하며, 개선시공에 의해 mode 발생 주파수 대역이 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 바닥을 차음 시공했을 경우 진동 mode는 31.5Hz, 63Hz로 낮아지는 것으로 나타났다. 이와 같이 지배 진동 주파수가 낮아지는 것은 바닥 시공시 사용된 방진 재료층에서 형성된 공간에 의한 것으로 사료된다. 그림 4에서 소음 차음 시공 후 진동발생이 감소한 것을 볼 수 있으며 특히 peak를 전후로 많은 감소량을 보였다. 특히 진동의 경우 저감 개선 시공이 없었던 경우에 비하여 100Hz 이후의 고주파 mode가 급격히 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 부가된 재료의 특성이 질량이 작고 탄성이 큰 재료이기 때문에 높은 주파수의 뎀핑 특성이 상대적으로 컸기 때문으로 판단된다.

경량 충격원의 경우 그림 5에서와 같이 mode 발생 주파수에 있어서 중량충격이 유사하게 평균적으로 40Hz, 80Hz로 나타나고 있으며 차음 시공시 mode 발생 주파수는 50Hz에서 31.5Hz로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 차음 시공을 하지 않은 경우 중량충격원과는 달리 고주파의 진동이 감소하지 않고 고주파에서 peak가 형성될 것으로 판단된다. 또한 저감구조의 개선 정도에 따라 상대적으로 높은 주파수 대역에 있어서 진동 저감폭이 증가하는 현상을 보이고 있다.

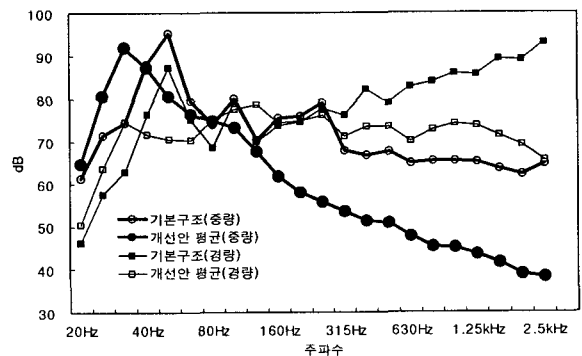


그림 5. 개선 시공에 따른 주파수별 진동 특성(중량충격원)

(2) 진동 저감 특성

각 구체 부위별 충격음 차음 시공에 따른 진동 특성을 조사하여 저감량은 차음 시공 종류에 따라 중량충격원의 저감량은 4~11dB, 경량충격원은 10~20dB 까지 진동 저감 효과가 있는 것으로 나타났다.

차음시공별 중량충격원의 저감량을 살펴보면 천장을 개선하였을 때 가장 효과가 크게 나타났으며, 바닥과 천장의 개선에 의해서도 큰 저감량이 나타났다. 그러나 바닥만을 개선했을 때는 오히려 다소 진동레벨이 증가하는 현상을 보였는데 그림 5에서와 같이 mode 가 발생하는 주파수 대역(31.5Hz)을 중심으로 진동레벨이 증가하기 때문으로 사료된다. 이는 바닥충격음 저감 재료층에서 공진이 발생한 것으로 판단된다.

경량 충격원의 경우 모든 차음 시공에서 큰 진동 저감량을 보였다. 따라서 내력벽체에 진동 및 소음방사를 막기위해 차음시트 등으로 차단할 경우 상당한 진동 저감 효과가 나타나고 있음이 밝혀졌다. 특히 경량 충격원의 경우 천장이나 바닥의 차음 시공보다는 벽체를 개선하는 것이 효과적인 진동 저감 방안임을 알 수 있다.

(3) 차음 시공에 따른 진동 기여도

상부 바닥 진동의 하부 벽체 및 바닥으로 전달되는 특성을 파악하기 위하여 각 구체 부위에서 발생한 진동에너지를 면적에 따라 에너지량을 구하여 상호 기여도를 비교하였다. 분석 결과 충격원의 종류에 따라 하부세대에 전달되는 에너지의 비가 달라짐을 알 수 있다. 중량충격원의 경우 대부분의 에너지 방사가 천장을 통해 이루어지므로 저감 원인은 뜬 바닥 구조나 벽체 및 천장 차음 시공에 의해 벽체로 전달되는 에너지의 전달 경로가 차단되었기 때문으로 사료된다. 경량충격원의 경우 중량충격원과 달리 내력벽의 에너지 방사 비율이 큼을 알 수 있다. 특히 천장의 시공 및 벽체의 개선시공 후 현저한 에너지 감소를 나타내었다.

중량충격원은 가진량이 상대적으로 크기 때문에 일차적으로 가진된 바닥판이 판진동을 일으켜 에너지가 하부세대의 천장면으로 전달되기 때문에 상대적으로 벽체로 전달된 에너지의 양보다 천장으로 전달된 에너지가 현저히 증가된 반면 경량 충격원의 경우 낮은 가진 강도 때문에 하부세대 천장 개선 시공시 고주파 진동에너지가 저감되어(그림 5참조) 상대적으로 천장면의 에너지 방사 비율이 작아진 것으로 사료된다.

(4) 진동 및 소음의 특성 비교

충격소음은 구체 내부에서는 고체 전달음의 형태로 전달되나 최종적으로는 고체의 판진동에 의한 공기 전달음으로 전

환된다. 본 연구에서는 이러한 과정에서 구체 부위별 진동특성이 음장 형성에 어떻게 영향을 미치고 있는가에 대하여 조사하였다.

그림 6에서와 같이 중량충격원의 경우 전반적으로 진동과 소음이 주파수별 레벨에 있어서 비슷한 경향을 보였으며 100Hz이상의 고주파에서는 진동 보다 소음의 감소가 급격한 것을 알 수 있었다. 경량충격원의 경우 40Hz, 80Hz부근에서 진동과 소음원의 차이가 커졌으며 전반적인 흐름은 중량충격원과 같은 성향을 보였다. 이러한 지배주파수는 구체의 크기에 따른 고유 특성으로 공간내 크기가 4.4×3.8×2.3m(L×W×H)에서 발생하는 Axial mode(0,1,0 = 44.4Hz), Tangential mode(1,1,0 = 58.8Hz)가 지배적으로 작용한 것으로 사료된다. (식 1 참조)

$$f = \frac{C}{2} \sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2} \quad (1)$$

이와 같은 결과에 대하여 진동에 의한 음향 방사특성을 예측하기 위하여 다중회귀 분석을 이용하여 계산한 결과, 중량충격음의 경우 식 2에서와 같이 천장에서의 영향성이 가장 큰 식으로 나타났으며, 최적화된 다중회귀식(식 3)에서도 천장만의 진동특성에 대한 소음의 설명도가 93.3%로 나타났다.

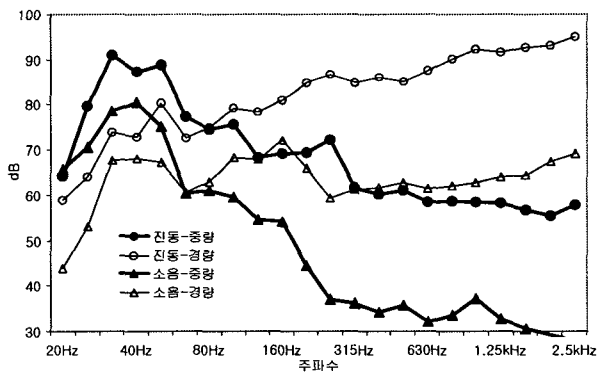


그림 6. 진동 및 소음의 주파수 특성

경량충격원의 경우에는 식 4와 같이 천장 및 비내력벽의 진동 특성이 음장 형성에 주된 영향을 미치는 것으로 분석되었으나 이 회귀식을 최적화 하였을 경우(식 5참조) 천장과 비내력벽의 특성만으로는 77.5%의 설명도를 보여, 중량충격원과 같이 특정 부위의 구체에 의해 소음 특성이 좌우되는 것이 아니라 복합적인 요소에 의해서 결정되는 것으로 판단된다.

$$y_H = 0.063x_1 + 0.984x_2 - 0.217x_3 + 0.123x_4 - 17.718 \quad (2)$$

$$y'_H = 0.966x_2 - 23.057 \quad (3)$$

$$y_L = 0.143x_1 + 1.206x_2 - 0.005x_3 + 0.564x_4 - 16.397 \quad (4)$$

$$y'_L = 1.179x_2 - 0.428x_4 - 14.188 \quad (5)$$

4. 결론

바닥충격음의 구조부위별 차음성능을 평가한 본 연구를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

1) 중량충격음의 차음성능을 개선하기 위해서는 벽차음시공을 하거나 벽, 바닥 또는 벽,천장 조합시공을 통해서 유효한 효과를 거둘 수 있는데, 본 연구의 벽차음시공시에는 L지수로 2의 저감량을 보이고, 벽·바닥시공시는 3, 벽·천장 조합시공시는 4, 그리고 전체조합시는 11의 저감효과를 보이고 있다.

2) 경량충격음을 저감시키기 위해서는 바닥차음시공을 통하여 차음성능이 유효하게 개선이 되며 벽시공 또는 모든 조합시공을 통해서도 유효한 차음성능을 얻을 수 있는데, 벽차음시공시는 L지수로 4만큼 저감되고, 모든조합시공시에 6-20만큼 저감이 되고 있다. 그리고 뜬바닥구조에서 L지수로 11의 저감효과를 보여주고 있다.

3) 중량 및 경량충격음을 모두 고려할 때 벽차음시공과 바닥,벽 조합시공 그리고 벽,천장 및 벽,천장,바닥시공을 통하여 유효한 차음성능을 얻을 수 있다. 이 중에서 특히 중량충격음을 비중있게 고려한다면 바닥·벽·천장 조합시공이 가장 유효하다 할 수 있다.

또한 구체 진동의 경우 차음 시공시에 peak 진동주파수가 낮아지는 것으로 나타났다. 일반적인 천장, 바닥, 벽의 개선을 모두 개선할 경우 약 5~10dB가량 진동 저감효과를 보였다. 그러나 중량 충격원의 경우 대부분의 진동 방사가 천장을 통해 이루어지고 있어 하부세대로 방사되는 소음의 주파수 특성을 규정하는 주된 요소는 천장인 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 구체의 진동이 소음으로 방사될 때 음장의 형성은 구체 진동특성의 영향이 매우 큰 것으로 나타났으며 기존의 바닥만을 통한 소음 저감대책보다는 벽체, 천장 등을 통한 소음 개선의 노력이 절실히 요구된다고 하겠다. 특히 경량충격음의 경우 벽체의 차음 시공시 큰 저감량을 보여 향후 벽체 진동 차음 시공 기술에 관한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) Yanbin Liu, Teik C. Lim and Yi Wang, 2001,

"Vibration Characteristics of welded beam and plate structures", J. Acoust. Soc. Am., 49, pp265-275.

(2) Carl M. Pray, Stephen A. Hambric, Timothy E. McDevitt and Courtney B. Burroughs, 2001, "Characterization of Folded Beam Waveguide Absorbers for Damping of Flexural Vibrations in a Thick Plate", Noise Control Eng. J., 48, pp185-192.

(3) F.Fahy, 1985. "Sound and Structural Vibration. Academic Press", pp 53.

(4) L. G. Copley, 1968. "Fundamental Results Concerning Integral Representations in Acoustic Radiation", J. Acoust. Soc. Am., 44, pp28-32.

(5) G. Maidanik, 1962, "Response of Ribbed Panels to Reverberant Acoustic Fields", J. Acoust. Soc. Am., 34, pp809-826.

(6) C. E. Wallace, 1972, "Radiation Resistance of a Baffled Beam", J. Acoust. Soc. Am., 51, pp 936-945.

(7) G. H. Koopmann and H. Benner, 1982, "Method for Computing the Sound Power of Machines based on the Helmholtz Integral", J. Acoust. Soc. Am., 71, pp 78-89.

(8) C. E. Wallace, 1972, "Radiation Resistance of a Rectangular Panel", J. Acoust. Soc. Am., 51, pp 946-952.

(9) D. Feit, 1966, "Pressure Radiated by a Point-Excited Elastic Plate", J. Acoust. Soc. Am., 40, pp 1489-1494.

(10) 김명준, 1999, "SEA법에 의한 벽식구조 건물 구조체의 고체전달음 예측을 위한 기초적 연구", 대한건축학회논문집, v.15, pp215-223.

(11) 김명준, 1997, "음향인텐시티법을 이용한 수음실 부위별 바닥충격음의 전달 기여율 평가", 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, v.17, pp 311-741.

(12) 대한주택공사 주택연구소, 1999, "설비 기계실의 방음·방진 설계지침에 관한 연구", 대한주택공사 주택연구소 연구-99-30.

(13) ISO 2631-1:1997, Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration -Part 1: General requirements.

(14) ISO 2631-2:1989, Evaluation of human exposure to whole-body vibration -Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80Hz).