

# 아파트 평면형상에 따른 바닥판의 동특성 해석

## Dynamic analysis of the floor structures with different floor plans in apartments

유 승 업† · 이 평 직\* · 전 진 용\*\*

Seung Yup Yoo, Pyoung Jik Lee and Jin Yong Jeon

**Key Words** : Floor impact sound(바닥충격음), Dynamic analysis(동특성 해석), Room dimension(실 치수), Boundary condition(경계조건), Finite element analysis(유한요소해석), Modal analysis(모드해석)

### ABSTRACT

In this study, vibration characteristics of concrete slab were investigated through FEM analysis. Four different floor plans with the floor area of 100~130 m<sup>2</sup> were chosen to be analyzed. Boundary conditions of two dimensional finite element models were determined based on the modal test results. Results showed that mode shapes were formed somewhat different according to the floor plan and the contribution of 1st mode on the floor vibration is generally the highest. Through the transient analysis, it was also found that floor plan, especially connection of the living room with the kitchen, affected the vibration acceleration levels.

### 1. 서 론

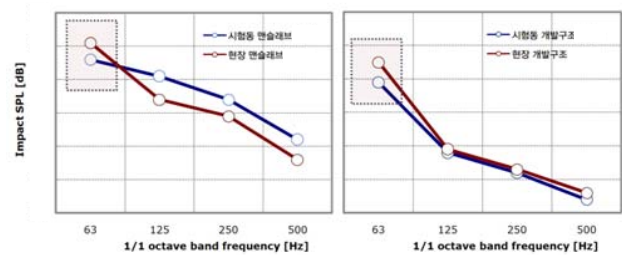
국내에서 바닥충격음 문제는 2004년 법제화를 통해 규제하였고 2005년 건설교통부 고시를 통해 바닥충격음 관련 인정구조와 표준바닥구조의 도입으로 공동주택의 층간소음 문제를 관리하고 있다. 그러나 2년여 간의 시행을 통하여 시험동에서 측정된 인정구조의 차음성능과 현장시공 후의 성능간의 괴리로 인해 현장에서의 층간소음 관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이러한 문제의 원인은 현장과 시험동의 서로 다른 환경조건들, 즉 바닥구조의 두께, 크기, 형태 그리고 내력벽체에 의한 경계조건 등에 의한 차이에 기인한 것으로 볼 수 있다. 특히, 국내 공동주택에서 대부분 채택하고 있는 벽식철근콘크리트 구조에서는 중량충격음과 같은 저주파에 의한 구조전달음(structure-borne noise) 문제에 있어 벽체와의 경계조건과 슬래브의 동특성에 따른 영향이 중요한 문제로 작용하고 있다.

최근 공동주택의 평면구성이 거주자의 다양한 생활방식과 가변적 요구에 따라서 다양하게 선보이고 있어 바닥구

조의 동특성을 결정하게 되는 요소들이 보다 복잡한 양상으로 나타나고 있다. 따라서 이와 같은 현장조건의 특수성을 이해하고 각 구조에 따른 저감구조를 적용하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

그림 1은 현장과 시험동에서 맨슬래브와 개발하여 시공한 바닥구조의 중량충격음 측정결과를 비교하여 나타내고 있다.



(a) 맨슬래브

(b) 동일시료 바닥구조

Fig 1. 현장과 시험동간의 중량충격음 차단성능 비교

위의 결과를 통해 주파수 대역별 저감량(insertion loss)의 관점에서 개발구조의 단일수치 평가값에 의한 차단 성능이 취약하게 나타난 것은 현장의 63Hz에서의 차단 성능이 시험동에 비해 떨어지기 때문인 것으로 볼 수 있다. 따라서 시험동과 현장간의 차단성능의 차이는 맨슬래브의 바닥충격음 차단성능 차이에 기인한 것으로 사료된다.

현장과 시험동의 맨슬래브 구조특성 차이를 이해하고

† 교신저자 ; 한양대학교 건축환경공학과 박사과정  
E-mail : syrus81@hanyang.ac.kr  
Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2220-4794

\* 한양대학교 건축환경공학과 박사과정

\*\* 한양대학교 건축대학 부교수

시험동에서 평가된 저감성능이 현장에서 어떻게 나타나는지를 예측하는 방법을 개발하게 되면 측정결과와 활용이라는 차원에서 큰 의미가 있을 것으로 사료된다.

따라서 시험동과 현장의 맨슬래브의 바닥충격음 차단성능이 차이의 원인요소인 바닥구조의 특성(재료물성, 경계조건 등) 및 수음실 환경(흡음력, 배경소음 등)에 대한 수치해석적 접근과 다양한 케이스에 대한 DB의 축적이 필요하다. 본 연구에서는 바닥구조 차이에 따른 진동특성을 비교 분석하기 위해 공동주택의 대표적인 거실평면을 선정하여 전산해석적 방법으로 구체를 모델링을 하였다. 그리고 구조체의 동특성을 분석하여 중량충격음에 영향을 줄 수 있는 구조적 요인에 대해 검토해보았다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 단위세대 모델링

현재 국내 공동주택에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 전용면적기준 100~130㎡의 단위세대 평면을 본 연구의 대상으로 하였다. 그 중 거주자들의 보행빈도가 잦고 일상적 활동량이 많은 거실공간을 분석대상으로 삼았다. 거실(L)은 일반적으로 식당(D)과 부엌(K)이 평면상 하나로 연결되어 구성된다. 따라서 본 연구에서는 LDK가 연계되어 있는 바닥슬래브를 모델링하여 부정형의 평면에 대한 바닥진동의 영향요인을 검토하였다.

거실의 평면설계는 ‘주택건설기준에 관한 규칙’에 따르면 거실의 각 변은 최소 3m 이상의 길이를 확보해야 하며 30cm 단위로 설계되어야 한다고 명시되어 있으며 본 연구에서는 시험동의 단위평면에 대한 바닥면적을 기준으로 하여 거실 부 벽체의 중형 간의 비율은 1:1.17로 시험동의 1:1.13과 유사하게 설정하였다.

그림 2는 본 연구에서 검토된 대상평면을 나타낸다. 타입 1은 시험동의 단위평면을, 타입 2는 전면 2베이(bay) 시스템을 가지는 단위세대에서 흔히 볼 수 있는 거실평면을 보여준다. 복도의 구성방식에 따라 타입 3은 전면 3베이 시스템의 대표평면으로 구분하였다. -1과 -2는 L과 DK의 배치에 따라 꺾인 배치와 일렬 배치를 나타낸다. 각

타입의 거실면적은 23㎡로 동일하게 설정하였다. 단, 타입 2~3의 경우, 거실(L)의 바닥면적에는 시험동과 달리 식당 및 부엌(DK)과 연결되는 복도면적을 포함하였으며 거실과 연결되는 DK의 면적은 12㎡로 동일하게 설정하여 총 바닥면적을 35㎡로 설정하였다. 각 타입은 210mm 두께의 철근콘크리트 슬래브를 대상으로 하며 그림 2에서 굵은 실선으로 표현되어 있는 내력벽체의 두께는 200mm, 실의 높이는 2600mm로 동일하게 가정하였다.

### 2.2 충격 진동 해석 방법

#### (1) 바닥충격 진동해석 및 평가

유한요소법을 이용하여 공동주택을 대상으로 바닥 충격진동에 대하여 해석한 다수의 연구사례들을 볼 수 있다. 이전 연구결과들에서는 바닥 충격진동과 소음레벨의 상관성이 실험 및 해석적으로 규명하여 충격음에 영향을 주는 요소에 대한 유한요소해석(FEA) 방법론들이 적용되었다. 특히 서상호(2006)는 해석모델을 통한 다양한 바닥구조의 설계요소들, 즉 콘크리트 재료의 물리적 특성 및 슬래브 두께 등의 영향을 살펴보았으며 결과적으로 콘크리트 슬래브의 두께가 충격진동의 저감에 효과적인 요소로 작용할 수 있음을 규명하였다. 또한 다구찌법과 같은 최적화 기법들을 통해 바닥진동을 줄이기 위한 평면상 효율적인 제어요소를 조사하였고 결과적으로 베란다 창틀의 폭과 현관의 위치가 중요한 요소로 작용함을 확인하였다.

본 연구에서는 선행연구의 모델링 및 해석방법을 바탕으로 공동주택 평면설계에 있어 적용할 수 있는 평면 형태들을 대상으로 동적해석을 수행하였고 이를 통해 실 치수와 내력벽체, 평면구성에 따른 중량충격음에 대한 영향 요인들을 검토하였다.

#### (2) 진동해석 모델링

우선 슬래브 끝단의 경계조건 설정을 위해 시험동 맨슬래브를 대상으로 모달 테스트를 수행하였다. 가속도계(Endevco 710-10)를 50cm 간격으로 가로방향 12개, 세로방향 10개의 120개 지점에 위치하여 임팩트해머(Dytran 5803A)를 이용한 1점 가진법으로 슬래브의 주파수응답함수

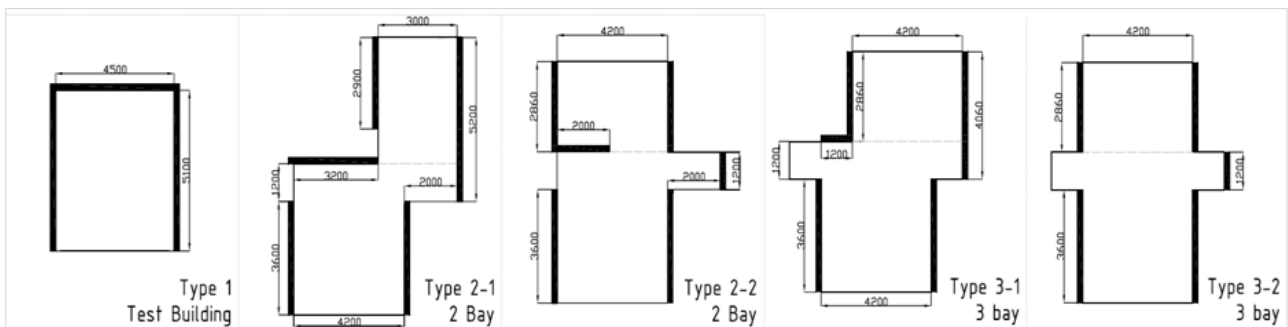


Fig 2. 해석대상 거실평면 (총 5개 타입, 단위: mm)

(FRF)를 측정하였다. 모달해석은 Star Modal(Spectral Dynamics)프로그램을 이용하여 진행하였다. 계산된 바닥 구조의 동특성, 즉 고유진동수 및 모드쉐이프을 통해 그림 3과 같이 내력벽체 및 슬래브 끝단의 경계조건을 각각 고정단(clamped)과 수직방향에 대해 자유단으로 가정한 단순지지조건(simply support)으로 설정할 수 있었다. 따라서 이러한 경계조건을 반영하여 현장을 대상으로한 해석모델에서도 내력벽체는 고정단으로, 발코니 및 개구부는 단순지지조건으로 가정하여 해석하게 되었다.

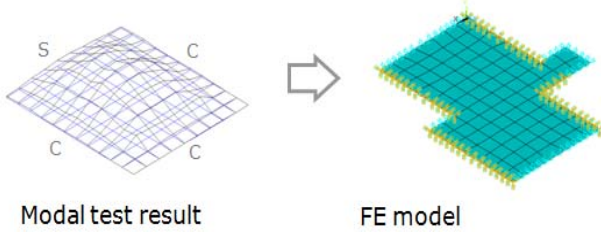


Fig 3. 내력벽체 및 슬래브 끝단의 경계조건

슬래브의 진동해석은 상용 유한요소 해석프로그램인 ANSYS™를 이용하였다. 거실 및 주방부를 쉘요소(shell element)를 이용하여 단순모델링을 하였으며 경계조건은 위에 언급한 방법과 같이 설정하였다. 입력한 물성치는 모든 타입에 대해 동일하게 210kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도를 가지는 철근콘크리트로 이뤄진 슬래브 두께210mm로 구조로 설정하여 해석하였다. 입력한 재료의 물성은 탄성계수는 2.254\*E<sup>10</sup>N/m<sup>2</sup>, 밀도는 2400kg/m<sup>3</sup>, 프아송비 및 감쇠율은 각각 0.167와 3%로 입력하여 해석하였으며 바닥충격음은 비교적 충격력이 작고, 구체의 진동 지속시간이 짧기 때문에 선형조건으로 가정하여 해석을 진행하였다

본 연구에서는 모드해석과 뱅머신의 충격력을 입력하여 해석한 과도해석 방법을 이용하여 구조물의 진동특성을 해석하였다.

### 3. 해석 결과

#### 3.1 모드해석결과

모드해석을 통해 각 타입에 대한 모달특성을 계산하여 중량충격음에 있어서의 영향요인을 살펴보았다. 그림 4는 거실부에서 나타나는 각 타입별 1차 모드의 모드쉐이프을 보

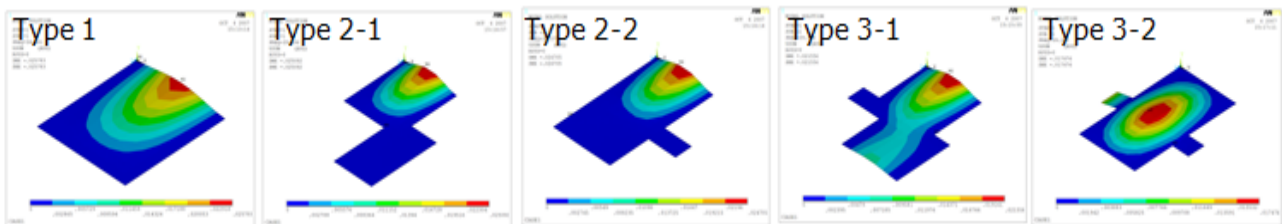


Fig 4. 각 타입별 1차 모드쉐이프

여준다. 판의 경계조건에 의해 베란다와 연결되는 부분에서 진동유발이 잘 될 수 있으며 중앙점 및 베란다 부위에서 가진 할 경우, 진동유발이 크게 나타날 수 있음을 확인할 수 있다. 한편, 시험동과 타입 2는 거실부에서의 모드쉐이프이 유사하게 나타나나 거실 및 주방부가 큰 판의 형태를 가지는 타입 3에서는 판 전체에 대한 굽힘모드가 지배적으로 나타난다.

중량충격음에 있어 1차 모드와 같은 저주파수 대역에서의 모드는 뱅머신과 같은 표준중량충격원의 충격력이 저주파수 대역(0~40Hz)에서 지배적이기 때문에 구조체 공진으로 인한 충격음의 증폭의 원인이 될 수 있다. 그림 5는 각 모드에 대한 유효모드질량을 나타낸 것으로 각 모드에 대한 진동기여도를 확인할 수 있다. 이를 통해 공동주택 슬래브와 같은 구조에서는 1차 모드에 의한 진동이 주요하게 작용할 수 있음을 확인할 수 있다. 따라서 1차 모드의 공진을 제어하는 방법이 효과적인 중량충격원에 의한 진동 제어의 방법으로 제안될 수 있을 것이라 사료된다.

또한 타입 2와 3의 1차 모드의 유효모드질량에 많은 차이를 보이는 것을 통해 1차 모드의 제어를 통한 중량충격음의 저감에 타입 3의 경우, 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

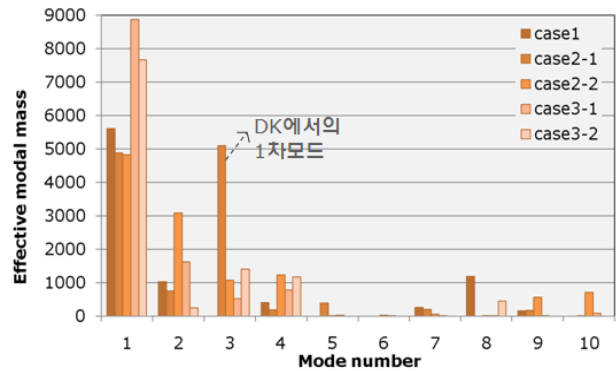


Fig 5. 각 모드에 대한 유효모드질량

그림 6은 각 모드에 대한 고유진동수를 보여준다. 1차 모드의 고유진동수는 내력벽에 의해 구속되는 거실부의 면적이 가장 넓은 타입 1(시험동)이 가장 낮은 것으로 나타났다. 현장의 경우, 타입1에 비해 다소 높은 1차 고유진동수를 형성하고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 3차 모드에

서 타입 2와 3의 고유진동수가 20Hz이상의 차이를 보이고 있는데 이는 거실과 주방부가 연결되는 형상에 의한 영향으로 거실과 주방의 연결부(복도의 치수 및 내력벽의 위치)에 형상에 기인한 것으로 판단된다.

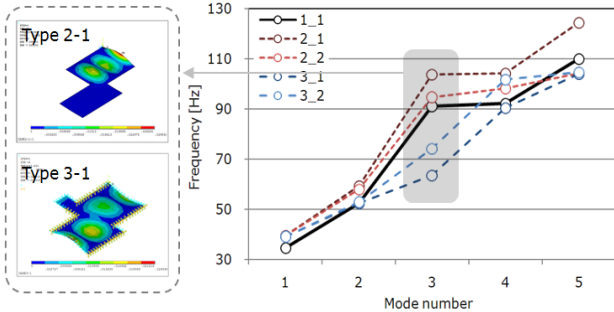


Fig 6. 각 타입별 저차모드의 고유주파수

### 3.2 과도해석결과

그림 7은 표준중량충격원(뱅머신)의 충격력으로 슬래브 중앙부를 가진 하였을 때의 슬래브 중앙부의 진동응답을 과도해석을 통해 시뮬레이션 한 결과이다. 시험동 및 타입 3-2와 같은 단순 판의 구조에서는 낮은 고유진동수를 나타내고 있다. 한편, 1차 공진에서의 진동가속도레벨은 타입 2-1이 가장 낮으며 중량충격음에 큰 영향을 미치는 주파수 대역인 63Hz에서의 진동레벨은 타입 2-2와 3-1에서 가장 낮게 나타남을 확인할 수 있다. 반면, 100Hz이상의 주파수 대역에서는 장방형의 큰 판 형태를 가지는 타입 3-2의 진동레벨이 가장 낮게 나타난다.

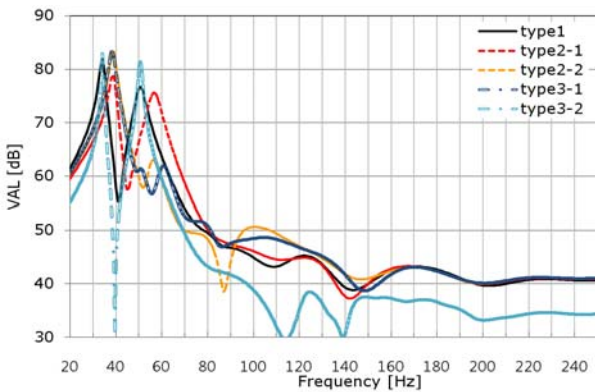


Fig 7. 각 타입별 과도해석 결과

서리부와 중앙부 가진시, 슬래브의 충격진동 레벨 및 감쇠에 대해 타입 2-1을 대상으로 비교해보았다. 중앙점 가진시 레벨이 모서리 가진에 비해 크게 나타났으며 레벨의 감쇠가 모서리 부위에 비해 작게 나타났다. 그림 8은 가진점에 따른 시간에 따른 바닥판의 진동변위를 나타낸다. 모서리 부위를 가진시 가진 0.02초 이후의 판의 거동이 1, 2차 모드와 유사하게 나타나 베란다와 중앙부에서의 거동이 중량충격원에 의한 진동에 있어 지배적임을 알 수 있다.

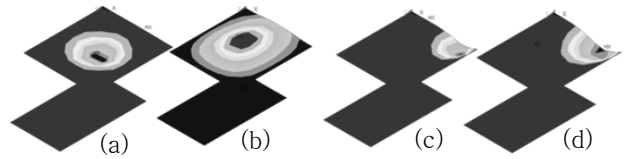


Fig 8. 슬래브 중앙 및 모서리 가진시 바닥판의 거동 (a), (b) 중앙 가진 0.002, 0.004초 후 (c), (d) 모서리 가진 0.002, 0.004초 후

## 4. 결론

공동주택에서 고려될 수 있는 4가지의 거실평면 형태와 실험동에 대해 전산해석적 방법으로 진동특성을 조사하였다. 모드해석을 통해 1차, 2차의 모드가 주요한 진동유발의 요인으로 작용하므로 이 모드에 대한 진동제어가 중량충격음 저감에 있어 중요한 부분으로 사료된다. 한편, 부정형의 평면을 가지는 현장에서 100Hz이상의 고차 모드에서의 진동전달에 있어 거실과 주방부위의 연결부위에 대한 설계요소가 판의 진동특성을 결정하는 요인으로 판단할 수 있다.

향후 거실과 주방의 연결부위 및 내력벽체의 구성 등에 대한 다양한 요소들에 대해 바닥판의 진동모드와 수음실의 음향모드를 복합적으로 반영한 해석적인 방법이 진행될 예정이다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 "표준화 기술개발사업" (과제번호 : 10023489)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) 김경우, 최경석, 이승언, 양관섭, 2004, "바닥충격음 실험동 개요 및 성능평가", 대한건축학회 학술발표논문집, 제24권 제1호, pp. 629-632.
- (2) 이은민, 2004, "브랜드 아파트의 단위평면 특성에 관한 연구", 연세대학교 석사학위 논문.
- (3) 이경아, 2005, "아파트 단위평면 분석을 통한 주거 공간 면적에 관한 연구", 연세대학교 석사학위 논문.
- (4) 서상호, 전진용, 2005, "유한 요소법을 이용한 나 슬래브의 2차원 바닥 충격진동 해석", 한국소음진동공학회 논문집, 제15권 제5호, pp. 604-611.
- (5) 서상호, 전진용, 2005, "공동주택의 바닥충격진동 저감설계를 위한 유한요소법 및 다구찌법의 활용", 한국소음진동공학회 추계학술 발표대회 논문집
- (6) Aleksandar Pavic, Paul Reynolds, Peter Waldron, Kevin Bennett, 2001, "Dynamic modelling of post-tensioned concrete floors using finite element analysis", Finite Elements in Analysis and Design, 37, pp. 305-323.