

## 공동주택 바닥판에 대한 실용적인 진동해석

### Practical Vibration Analysis for the Floor of Dwelling Building

박 강 근\*  
Park, Kang-Geun

김 용 태\*\*  
Kim, Yong-Tae

최 영 화\*\*\*  
Choi, Young-Wha

#### 요 약

공동주택의 바닥 슬래브의 합리적인 진동평가를 위하여 보다 정확한 진동해석이 수행되어야 하므로 바닥 슬래브의 시공방법 및 재료에 따라서 상세하게 모델화하여야 한다. 실제 바닥 슬래브의 수치해석에 있어서 매우 상세하게 모델화하여 진동해석을 수행하는 것은 현실적으로 어려우므로 이에 대한 대안으로 본 논문에서 공동주택의 표준바닥 슬래브에 대한 보다 합리적인 수치해석 방법을 제안하였다.

#### Abstract

In these days the floor vibration is beginning to make its appearance of the environmental dispute in dwelling building. Standard floor system are suggested for the settlement of this issue by government. The sound of floor impact sound is needed to secure comfortable quality in housing. Also, it is required an accurate analysis and a proper evaluation for floor vibration. Refine model is necessary for the floor system of housing to analyze accurately the floor vibration. But this refine model is not efficient because it is required so much running time for vibration analysis and it is difficult of modeling of standard floor slab. In this paper, new modeling methods of standard floor slab are proposed for the accurate rigidity evaluation. By using the new modeling method, the accurate vibration response can be obtained and can accurately evaluate the rigidity of standard floor system with resilient materials. Therefore the proposed modeling method is of practical use for vibration analysis of floor system of housing.

**키워드 :** 공동주택, 바닥판 진동, 진동 해석, 강성 평가

**Keywords :** Dwelling building, Floor vibration, Vibration analysis, Rigidity evaluation

## 1. 서 론

국내 주거환경은 단독주택의 형태에서 공동주택의 형태로 변화되고 있고 최근에는 고층 주거건물이 일반화 되고 있다. 주거 건물의 고층화, 집중화에 따라서 층간차음성능 및 진동에 대한 문제가 야기되고 있다. 주거환경에 대한 인식의 변화로 세대간 또는 주변 소음과 진동이 분쟁과 민원으로 발전하여 심각한 사회적 문제로 나타나고 있다. 특히 공동주택에서의 세대간 소음과 진동이 이웃간 분쟁을 야기 시키기도 한

다. 이러한 가운데 층간소음과 진동에 대한 정량적인 근거설정과 향후 원만한 민원해결을 위하여 일관성 있는 기준이 필요하게 되었으며 이에 따라서 건설교통부에서는 「바닥충격음 차단성능 기준」에서 중량충격음에 대하여 50dB이하로 제한하였다.<sup>1)</sup> 이와 같이 사회적으로 많은 관심이 집중되고 있는 바닥판 구조물의 진동 및 소음 저감기술은 환경분쟁을 사전에 방지하고 쾌적한 주거공간을 제공한다는 점에서 매우 중요한 기술이다.

공동주택의 소음과 진동이 사회문제로 대두되면서 건설교통부에서는 바닥충격음과 진동을 저감하기 위한 방편으로 바닥판 구조물의 구체적인 성능기준과 표준시방서 개정하였다. 지금까지 바닥판 구조물의 진동 및 소음에 대한 저감에 대한 연구는 주

\* 정회원, 부산대학교 산업건축과 교수  
Tel : 055-350-5345 E-mail : sampkg@mnu.ac.kr

\*\* 부산대학교 산업건축과 교수

\*\*\* 대구대학교 건축공학과 교수

로 현장실험 위주의 평가와 저감재료에 대한 단편적이 성능실험이 수행되었으며 일반적이고 정량적인 저감시스템이나 공법에 대한 연구가 매우 미비한 실정이었다. 현재 공동주택의 대부분을 차지하고 있는 벽식 아파트구조에 있어서 아직까지 경제적이고 효율적인 진동 및 소음 저감대책이 부족한 실정이다. 국내에서 시공되고 있는 표준바닥 구조는 콘크리트 슬래브, 완충재, 경량기포콘크리트, 마감모타르의 구성에 따라서 여러 가지 형태를 취하고 있다. 이러한 표준바닥구조는 층간의 바닥충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다. 특히, 최근에는 중량충격음에 대한 성능기준을 만족하기 위하여 바닥판 슬래브의 두께를 210mm이상으로 제안하고 있다. 실제로 과거의 많은 주택의 슬래브 두께는 130~150mm로 시공 되어 있다.

바닥판 구조물의 진동에 대한 사용성 문제가 사회적 이슈로 대두되고 있는 상황에서 실무를 수행하는 엔지니어들에게 바닥판 구조물의 진동에 대한 정확한 분석과 평가가 요구되고 있다. 바닥판 구조물의 진동에 대한 합리적인 설계를 위해서는 바닥판 구조물에 대한 정확한 진동해석이 수행되어야 하며 이를 바탕으로 올바른 진동평가가 이루어져야 한다.<sup>8)</sup> 따라서 본 연구에서는 국내에서 시공되고 있는 바닥 슬래브에 대한 진동응답을 평가하고자 한다. 그리고 실무에서 적용할 수 있는 보다 실용적인 바닥 슬래브의 진동에 대한 수치해석방법을 제시하고자 한다.

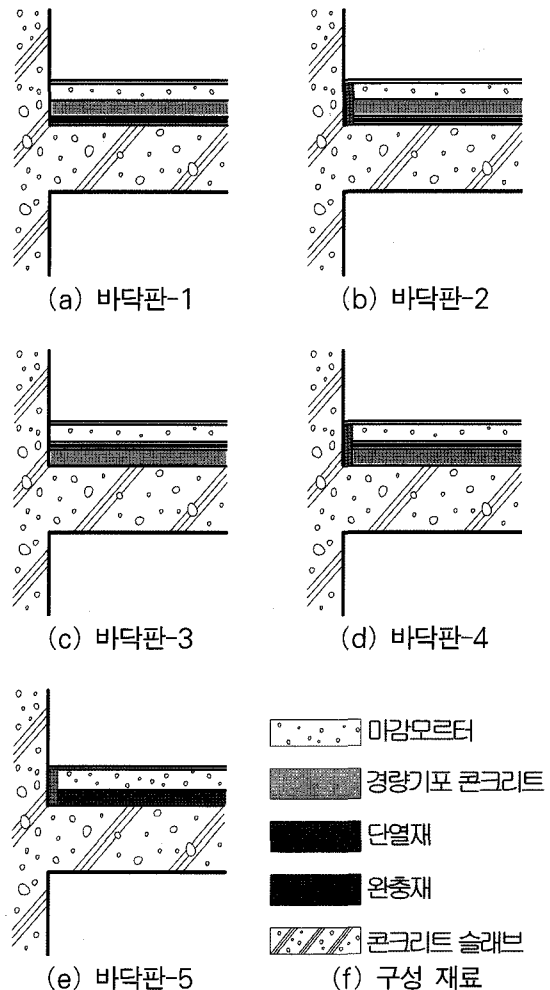
## 2 공동주택의 표준바닥판 구조와 진동원

### 2.1 표준 바닥판 구조

본 연구에 공동주택의 진동과 소음은 충격원, 바닥구조, 하부공간 구성조건 등에 따라서 다르게 나타내며 특히, 진동과 관련해서는 슬래브 두께, 경계조건, 바닥판 구성재료, 등과 같은 구조형식에 따라서 진동양상이 매우 다양하게 나타난다. 국내에서 충격음과 진동을 저감하기 위한 시공법으로 슬래브 고강성공법과 뜯 바닥공법이 적용하고 있으나 충격음과 진동에 대한 경제적이고 효율적인 저감기술과 시공법이 아직까지는 미흡한 실정이다. 정부에서는

환경 분쟁을 줄이고 쾌적한 주거환경을 조성하기 위한 방안으로 바닥판 구조물의 진동과 소음 저감을 위한 표준바닥구조를 제시하였다.

고층 주거건물을 건설하기 위해서 선진 외국에서는 진동 및 바닥충격음에 대한 평가하는 방법을 설정하여 기준화 하였고, 지속적인 연구를 통하여 대책을 수립해 나가고 있다. 독일에서는 1953년 바닥충격음 측정 방법을 공업화한 이후에 바닥 충격음의 실험 및 현장측정(DIN-52211), 뜯 바닥구조 시공 지침(DIN-4109) 등에 대한 체계적인 바닥 구조체의 차음성능 개선방향이 연구되어 왔다. 미국에서는 1970년대 표준경량 충격원(Tapping Machine)으로 바닥을 가진 하였을 경우에 충격음레벨을 계산할 수 있는 예측 식을 제안 하였다. 일본에서도 1965년 주택건설계획법의 제정으로 내부소음에 대한 문제의식이 변화되어 1973년 바닥충격음 측정방법이 제



〈그림 1〉 공동주택의 바닥판 구조

〈표 1〉 표준바닥 슬래브의 단면상세

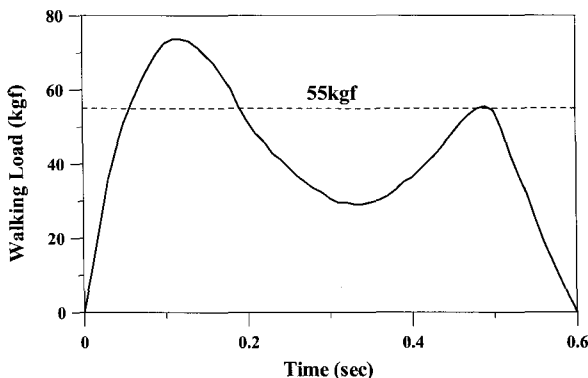
구분	바닥슬래브 단면상세	마감재 종류
바닥판-1	콘크리트 슬래브 210 +단열재 20 +경량 기포콘크리트40 +마감모타르 40	충격음 저감량이 13dB이상인 마감재
바닥판-2	콘크리트 슬래브 210 +완충재 20 +경량 기포콘크리트40 +마감모타르 40	마감재 사용제한 없음
바닥판-3	콘크리트 슬래브 210 +경량 기포콘크리트 40 +단열재 20 +마감모타르 40	충격음 저감량이 13dB이상인 마감재
바닥판-4	콘크리트 슬래브 210 +경량 기포콘크리트 40 + 완충재 20 +마감모타르 40	마감재 사용제한 없음
바닥판-5	콘크리트 슬래브 210 +완충재 40 +마감모타르 50	마감재 사용제한 없음

정 되었다. ISO에서도 바닥 충격음에 대한 규정이 제시 되었고, 최근에는 진동 및 차음지수 등에 대한 개선방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

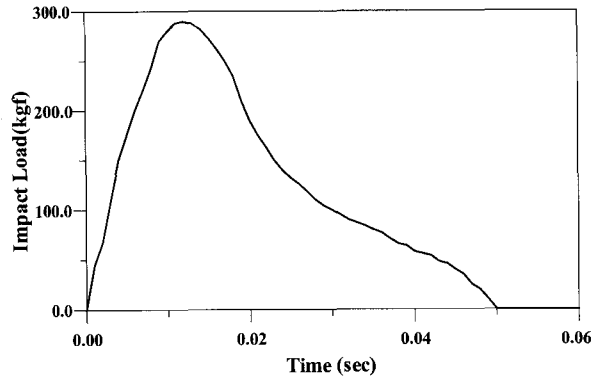
바닥충격음 저감재인 발포고무, 타이어 분쇄칩, 방진 고무 등은 경량충격음 효과적이거나 중량충격음에 대하여 효과가 미비한 것으로 나타났다.

### 2.2 보행하중과 충격하중

공동주택에서의 소음과 진동을 유발시키는 원인으로는 거주자의 움직임과 배수관 유체의 흐름에 의한 것이 대부분이다. 거주자의 움직임에 의한 진



〈그림 2〉 보행 하중



〈그림 3〉 충격 하중

〈표 2〉 바닥 충격원 발생기

항목	경량 충격원		중량 충격원	
	Tapping Machine		Bang Machine	
장비명	질량	500±12g	질량	7.3±0.4kg
	재질	Steel	재질	Rubber
	크기	지름 3cm	크기	자동차 타이어
	낙하높이	4±0.1cm	낙하높이	90±10cm
주파수	고주파수 대역		저주파수 대역	
특징	입식생활 소음 (하이힐 보행)		좌식생활 소음 (어린이 뛰)	
국내기준	KS F 2810-1		KS F 2810-2	

동원은 구두를 신은 여성의 보행, 주화/수저의 낙하 소리와 같은 경량충격원과 어린이의 뛰는 행동과 같은 중량충격원으로 구분되어 진다. 본 논문에서는 경량 충격하중으로 <그림 2>와 같이 55kgf의 보행자에 의한 보행하중을 적용하였으며 그리고 중량 충격하중으로는 <그림 3>과 같이 뒤꿈치 충격하중을 적용하였다<sup>3),8)</sup>. 그리고 <표 2>와 같은 충격원을 사용하여 경량 충격하중과 중량 충격하중을 생성할 수 있다.

### 3. 표준바닥 슬래브의 상세해석

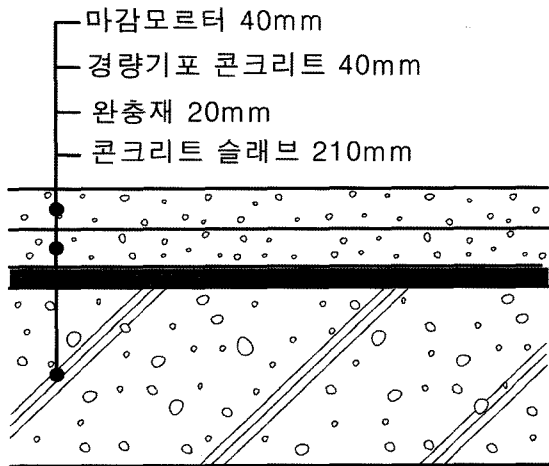
실무에서는 바닥판 구조물의 해석에 있어서 바닥판 구조물의 단면은 상세하게 모델화하여 해석을 수행하기가 쉽지 않기 때문에 콘크리트 슬래브만을 모델화하여 해석을 수행하는 경우가 대부분이다. 따라서 엔지니어 수행하는 일반적인 해석에 의한 응답과 실제 응답에서 약간의 차이가 나타난다.

### 3.1 표준바닥 슬래브의 정적해석

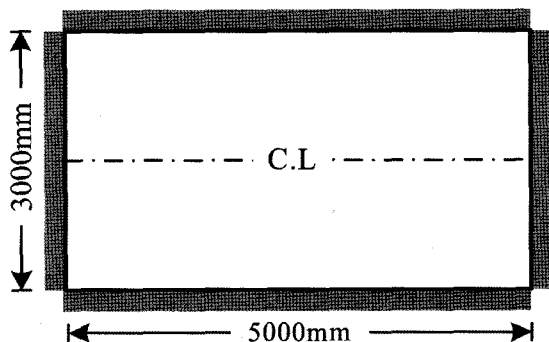
바닥판 시스템의 상세해석과 실무에서 하고 있는 일반해석에 의한 정적응답을 비교 분석하기 위하여 <그림 4>와 같은 슬래브 구조(바닥판-1) 단면을 가지고 있는 네변 고정의 바닥판에 대하여 정적해석을 수행하였다.

<그림 5>와 같이 3000mm×5000mm의 장방형 바닥 슬래브의 중심선(C.L)에 5,000kgf/m의 등분포 하중을 가하여 정적해석을 수행하였다. <그림 6>은 상세모델(Model-D)과 일반모델(Model-G)의 정적해석에 의한 처짐을 나타낸 것이다. 상세모델(Model-D)은 <표 3>와 같은 표준바닥 슬래브의 구성재료를 입체요소로 상세히 모형화한 것이며 일반모델(Model-G)은 실무에서 수행하는 것과 같이 콘크리트 슬래브만 모형화한 것이다.

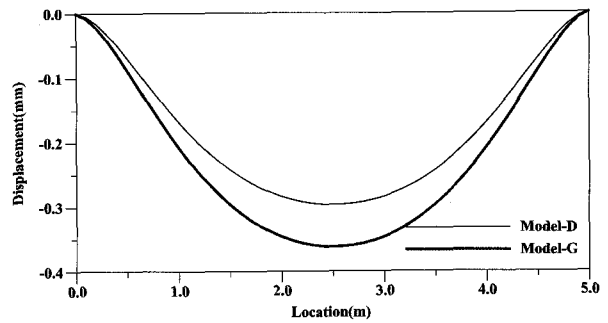
정적해석에 의한 중심선(C.L)에서의 처짐을 살펴보면, 일반모델(Model-G)의 처짐이 상세모델(Model-D)



<그림 4> 정적해석 예제 단면상세



<그림 5> 정적해석 예제 표준바닥 슬래브



<그림 6> 정적해석에 의한 처짐

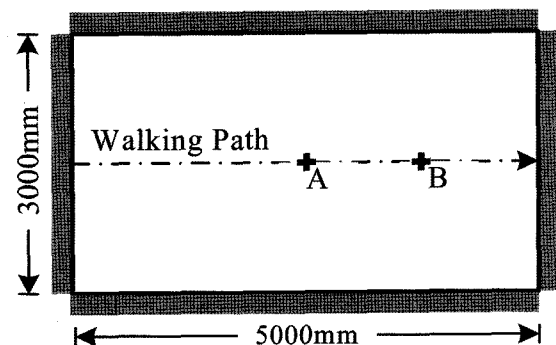
<표 3> 표준바닥 슬래브의 구성재료

재료	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	포화송비	밀도 (kg/m <sup>3</sup> )
콘크리트 슬래브	2.3E09	0.167	2,400
완충재	4.0E00	-	15
경량기포 콘크리트	1.8E09	0.167	1,500
마감 모르터	2.3E09	0.167	2,400

의 처짐보다 크게 나타나고 있다. 이는 Model-G가 콘크리트 슬래브만 모델화 하였기 때문에 완충재 상층에 위치한 경량기포 콘크리트와 마감모르터의 강성이 무시되기 때문이다. 따라서 표준바닥판 시스템을 콘크리트 슬래브만 모델화하여 정적해석을 수행하면 처짐이 작게 나타나기 때문에 처짐으로 사용성을 평가할 경우에 경제적이지 못한 설계를 초래할 수 있다.

### 3.2 표준바닥 슬래브의 진동해석

표준바닥 슬래브의 진동응답을 분석하기 위하여 <그림 7>와 같은 네변 고정의 장방형 바닥판 구조물에 보행하중과 충격하중을 가하여 진동해석을 수행하였다. 진동해석 예제의 바닥판 단면은 <그림 8>과

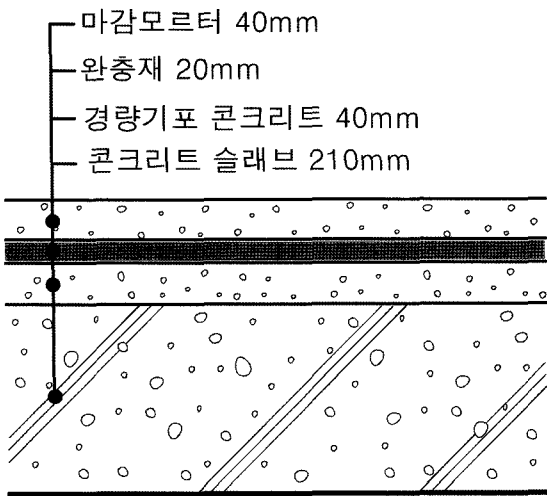


<그림 7> 동적해석 예제 및 보행경로

같다. 보행하중에 의한 진동응답을 분석하기 위하여 <그림 2>와 같은 보행하중을 보행경로(Walking Path)를 따라서 보폭 700mm, 보행진동수 2.0Hz로 가하였다. 그리고 충격하중에 의한 진동응답을 분석하기 위하여 점A에 <그림 3>과 같은 뒤꿈치 충격하중을 가하였다.

<그림 9>는 진동해석 예제를 상세하게 모형화한 Model-D의 진동모드를 나타낸 것으로 전형적인 바닥판 진동모드의 형상을 보여주고 있다. 상세모델(Model-D)의 진동모드에서는 완충재의 강성이 매우 작기 때문에 완충재 상부층과 하부층의 진동모드 형상이 분리되어 나타나고 있으나 진동응답에 많은 영향을 미치는 진동모드에서의 진동모드 양상은 일반모델(Model-G)에서의 진동모드 양상과 유사하게 나타나고 있다.

진동해석 예제의 모드별 모드진동수는 콘크리트



<그림 8> 진동해석 예제 단면상세

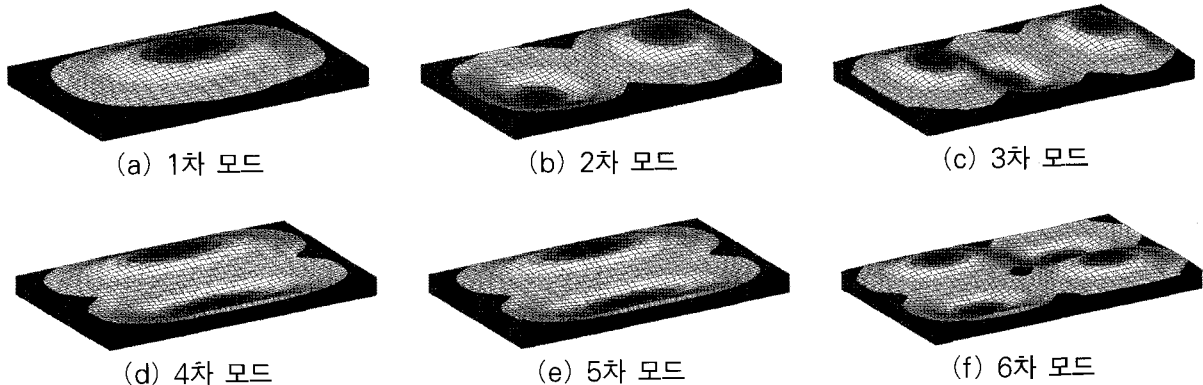
슬래브의 강성이 크기 때문에 <표 4>와 같이 비교적 높게 나타나고 있다. 상세모델(Model-D)과 일반모델(Model-G)의 모드진동수를 비교하여 보면, 진동응답에 많은 영향을 미치는 저차 모드에서 진동수 차이가 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 1차 고유진동수에서 약 12%의 오차를 보이고 있으며 2차 모드에서는 7%의 오차 그리고 3차 이후의 모드에서는 4%정도의 오차를 보이고 있다.

보행하중에 의한 진동해석 예제의 점A와 점B에서의 변위응답은 <그림 10>과 같다. 시간영역 변위응답을 살펴보면, 응답의 피크가 일곱 번 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 보행자가 진동해석 예제 바닥판 구조물의 장변방향을 일곱 걸음 가로질러 보행하였기 때문이다. <그림 10(a)>를 살펴보면, 보행자가 점A를 통과하는 시간대역인 2.0초 부근에서 응답이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 점 B의 변위응답인 <그림 10(b)>는 그림 12(a)와 비교하여 진폭이 작게 나타나고 있으며 보행자가 점B를 통과하는 시간대역인 2.5초 부근에서 응답이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

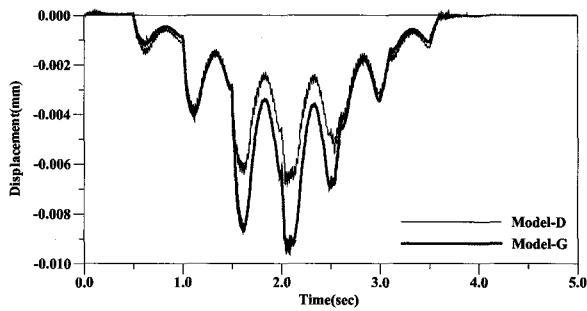
보행하중에 의한 전체적인 변위응답을 살펴보면, 상세해석 모델(Model-D)의 변위응답과 일반해석

<표 4> 동적해석 예제의 고유진동수

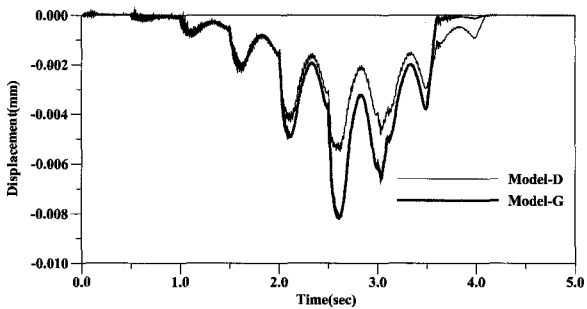
진동 모드	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Model -D	92.50	125.33	185.03	209.75	241.49	268.47
Model -G(%)	81.75 (88.4)	116.73 (93.1)	176.47 (95.4)	200.83 (95.7)	231.93 (96.0)	258.31 (96.2)



<그림 9> 진동해석 예제의 진동모드

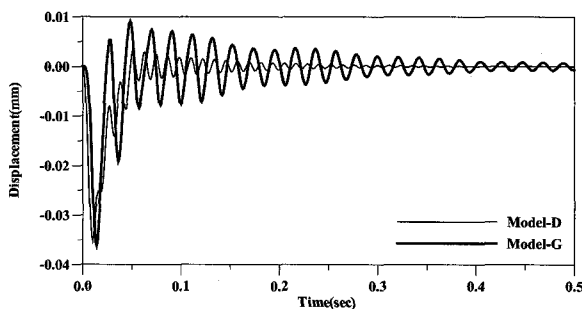


(a) 보행하중에 의한 점A에서의 처짐

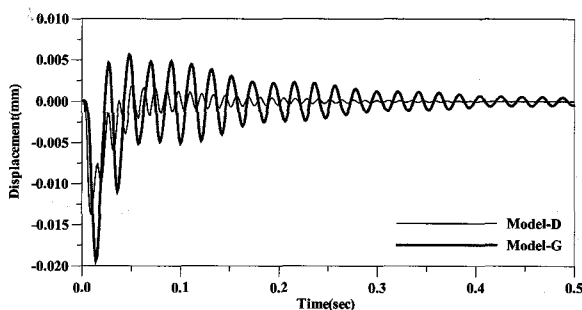


(b) 보행하중에 의한 점B에서의 변위응답

<그림 10>



(a) 충격하중에 의한 점A에서의 변위응답



(b) 충격하중에 의한 점B에서의 변위응답

<그림 11> 뒤꿈치 충격하중에 의한 진동응답

모델(Model-G)의 변위응답이 약간 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이는 정적해석의 처짐에서 알 수 있

듯이 Model-G의 슬래브 강성이 실제보다 작게 고려되기 때문이다.

<그림 11>은 뒤꿈치 충격하중에 의한 점A와 점B에서의 변위응답으로 충격하중에 의한 전형적인 진동응답을 보이고 있다. 충격하중이 제거된 0.05초 이후에는 진동응답의 양상이 자유진동 양상이 나타나고 있다. <그림 10>과 마찬가지로 상세해석 모델(Model-D)의 변위응답과 일반해석 모델(Model-G)의 변위응답이 약간 차이가 나는 것을 볼 수 있다. Model-D의 경우에 완충재의 감쇠효과로 인하여 자유진동 영역에서 응답이 빠르게 감소하고 있다.

#### 4. 바닥판 구조물의 실용적인 진동해석

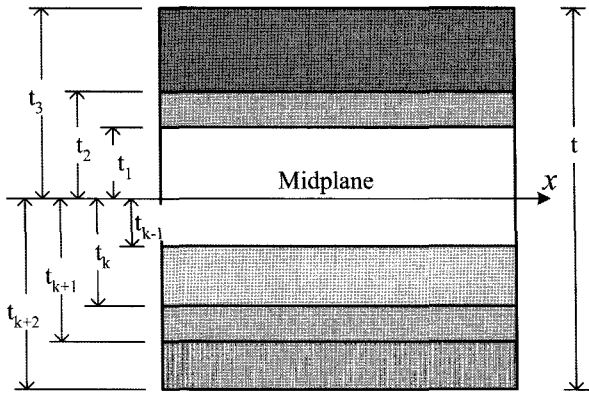
공동주택의 표준 바닥구조 시스템은 콘크리트 슬래브, 단열재(완충재), 경량기포콘크리트, 마감모르타가 적층으로 쌓여있는 적층구조로 생각할 수 있다. 단열재(완충재)에 의하여 콘크리트 슬래브와 경량기포콘크리트가 분리되어 있으므로 이를 어떻게 고려하는가에 따라서 표준바닥구조의 강성이 다르게 평가될 것이다.

표준 바닥판 시스템의 정확한 진동해석을 위해서는 슬래브, 단열재, 경량기포콘크리트, 마감모르타를 입체요소로 모델화하여 진동해석을 수행하여야 한다. 모든 요소를 입체요소로 모델화할 경우에는 요소수가 많아지므로 해석이 비효율적이다. 따라서 표준 바닥판 구조물의 강성을 제대로 반영하여 단일 판으로 모델화 할 수 있다면 비교적 정확한 진동응답을 얻을 수 있으며 모형화과정이 쉽고 절점수가 작아 효율적인 진동해석이 가능할 것이다.

##### 4.1 적층판이론에 의한 표준바닥판의 강성평가

적층판은 일련의 판들이 축에 대하여 적당한 각도를 이루며 일체화된 경우를 말하며 이러한 적층판을 해석하기 위해서는 적층판 이론이 도입되어야 한다. 본 절에서는 적층판 이론을 도입한 표준바닥판의 강성평가 식을 간략히 소개하고자 한다<sup>5)7)</sup>.

<그림 12>와 같이 다층으로 이루어진 적층판에 대한  $k$ 층에 대한 변형도-변위 관계식은 다음과 같다.



〈그림 12〉 적층판 구조물

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix}_k = -z[D^*]_k \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} = z[D^*]_k \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

$$D^* = \begin{bmatrix} D_{11}^* & D_{12}^* & D_{13}^* \\ D_{12}^* & D_{22}^* & D_{23}^* \\ D_{31}^* & D_{23}^* & D_{33}^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서,  $w$ 는 판의 연직방향 처짐이며 적층 강성 매트릭스  $D_{ij}^*$  ( $i, j = 1, 2, 3$ )는 전환매트릭스  $[T]$ 를 이용하여 다음과 같이 얻어진다.

$$D_{11}^* = E_x \cos^4 \alpha + E_y \sin^4 \alpha + (2E_{xy} + 2G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \quad (3)$$

$$D_{22}^* = E_x \sin^4 \alpha + E_y \cos^4 \alpha + (2E_{xy} + 2G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha \quad (4)$$

$$D_{12}^* = (E_x + E_y - 4G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + E_x E_y (\sin^4 \alpha + \cos^4 \alpha) \quad (5)$$

$$D_{33}^* = (E_x + E_y - 2E_x E_y - 2G) \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha + G(\sin^4 \alpha + \cos^4 \alpha) \quad (6)$$

$$D_{13}^* = (E_x - E_y - 2G) \sin \alpha \cos^3 \alpha - (E_y - E_{xy} - 2G) \sin^3 \alpha \cos \alpha \quad (7)$$

$$D_{23}^* = (E_x - E_y - 2G) \sin^3 \alpha \cos \alpha - (E_y - E_{xy} - 2G) \sin \alpha \cos^3 \alpha \quad (8)$$

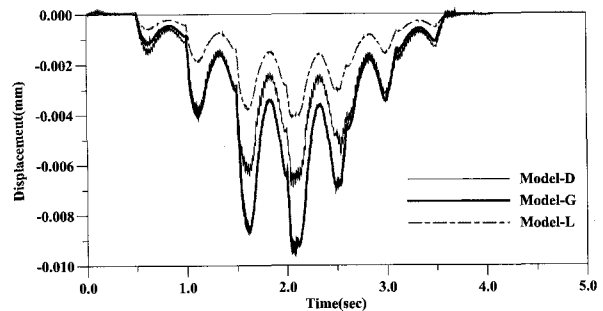
여기서,  $E_x, E_y$ 는 적층되는 각 개개의 판들이 주어지는 기준 축과 임의각도를 이룰 때의 재료 상수를 의미한다. 적층되어지는 개개의 판들이 축에 대하여 직교를 이루며 일체화되었다고 가정하는 경우, 식 (10)에서  $\alpha$ 가  $90^\circ$ 를 이루므로 강성식이 간단하게

전개된다. 그리고  $D_{13}^*$ 과  $D_{23}^*$ 이 다른 식에 대하여 종속하므로 직교이방성판의 강성은  $D_{11}^*, D_{22}^*, D_{12}^*$  그리고  $D_{33}^*$ 에 의하여 결정된다. 각각의 적층판이 직교를 이루는 직교이방성 적층판인 경우에  $D_{13}^* = 0$ 이며  $D_{23}^* = 0$ 이 된다. 적층판의 중앙면에 작용하는 휨모멘트에 대한 층의 강성식은 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^N [D_{ij}^*]_k (t_k^3 - t_{k-1}^3) \quad (i, j = 1, 2, 3) \quad (9)$$

$k$ 는 적층판의 수를 의미하며 본 논문에서 적용한 표준바닥구조는 4개의 층으로 구성되어 있다.

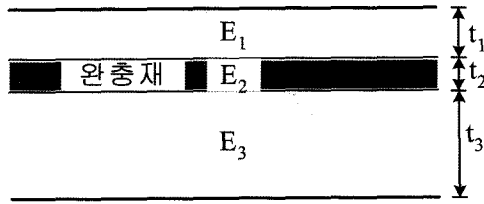
〈그림 13〉은 적층판이론을 적용한 모델(Model-L)의 보행하중에 의한 변위응답과 상세해석 모델(Model-D) 그리고 일반해석 모델(Model-G)의 변위응답을 나타낸 것이다. 적층판이론에 의한 표준바닥판 구조물의 강성이 실제보다 크게 평가되고 있기 때문에 Model-L의 변위응답이 상세해석 모델(Model-D)의 변위응답보다 작은 것을 볼 수 있다. 이는 완층재 층의 탄성계수가 다른 층의 탄성계수에 비하여 매우 작기 때문에 바닥판의 휨 거동에 있어서 완층재의 상부층과 하부층이 일체화되어 거동하지 않기 때문이다.



〈그림 13〉 보행하중에 의한 점A에서의 변위응답

#### 4.2 표준바닥 슬래브의 실용적인 강성평가

앞 절에서 언급한 표준 슬래브의 모델화에 있어서 본 논문에서는 표준 슬래브 실용적인 해석방법에 목적을 두고 있으므로 완층재 상부층의 경량기포 콘크리트 또는 마감모르타의 강성을 완층재 하부층의 콘크리트 슬래브의 강성에 추가하는 방법으



〈그림 14〉 완충재가 있는 바닥구조 시스템

로 표준 슬래브의 강성을 평가하고자 한다.

〈그림 14〉와 같이 완충재가 있는 슬래브의 강성을 다음과 같이 평가한다.

완충재층의 강성은 완충재층의 탄성계수( $E_2$ )가 다른 층의 탄성계수와 비교하여 매우 작기 때문에 무시한다. 그리고 완충재 하부층의 탄성계수( $E_3$ )에 완충재 상부층에 의한 추가 탄성계수( $E'$ )를 더하여 완충재가 있는 슬래브의 탄성계수를 결정한다. 따라서 표준바닥판의 탄성계수는 하부층의 탄성계수( $E_3$ )에 식 (10)와 같은 추가 탄성계수( $E'$ )를 더하여 식 (11)와 같이 표현한다.

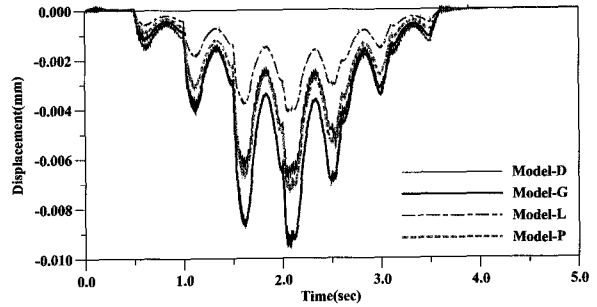
$$E' = E_1 \left( \frac{t_1}{t_3} \right)^3 \quad (10)$$

$$E = E_3 + E_1 \left( \frac{t_1}{t_3} \right)^3 \quad (11)$$

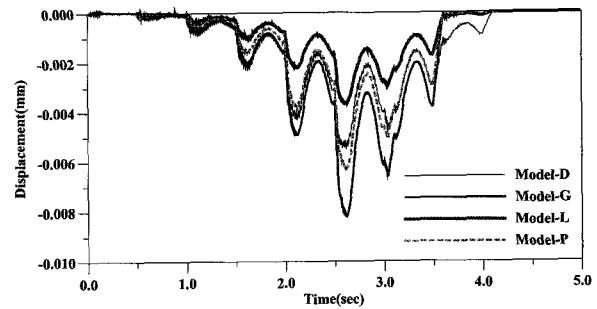
표준 슬래브의 단면을 가지고 있는 예제 슬래브의 진동모드는 상세모델(Model-D), 일반모델(Model-G), 적층이론모델(Model-L) 그리고 본 논문에서 제안한 표준 슬래브의 강성평가식을 고려한 Model-P의 진동모드 순서와 양상은 유사하게 나타나고 있으나 모형화 방법에 따른 모드진동수는 <표 5>와 같이 차이를 보이고 있다. 본 논문에서 제안한 Model-P의 모드진동수가 상세모델(Model-D)에 가장 근접한 것을 볼

〈표 5〉 동적해석 예제의 고유진동수

진동모드	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Model-D	92.50	125.33	185.03	209.75	241.49	268.47
Model-G (%)	(88.4)	(93.1)	(95.4)	(95.7)	(96.0)	(96.2)
Model-L (%)	103.88	150.36	228.26	250.46	291.46	332.53
	(112.3)	(120.0)	(123.4)	(119.4)	(120.7)	(123.9)
Model-P (%)	84.35	120.44	182.07	207.20	239.30	266.51
	(91.2)	(96.1)	(98.4)	(98.8)	(99.1)	(99.3)



(a) 보행하중에 의한 모델별 변위응답(점A)



(b) 보행하중에 의한 모델별 변위응답(점B)

〈그림 15〉

수 있다. Model-G는 강성이 작게 평가되기 때문에 모드 진동수는 가장 작게 나타나고 있으며 Model-L은 강성이 실제보다 과다하게 평가되기 때문에 모드진동수가 가장 크게 나타나고 있다.

〈그림 15〉는 보행하중을 가한 예제 바닥판 구조물의 모델별 변위응답을 나타낸 것이다. 완충재층이 있는 예제 바닥판 구조물의 변위응답을 비교 분석한 결과, 본 논문에서 제안한 Model-P의 변위응답이 입체요소로 모형화한 상세모델(Model-D)의 변위응답에 가장 근접한 것을 볼 수 있다. 그리고 실무에서 적용하고 있는 방법으로 콘크리트 슬래브만 모형화한 Model-G는 바닥판 강성을 작게 평가하기 때문에 변위응답이 상세모델(Model-D)의 변위응답보다 크게 나타나고 있어 과다 설계를 초래할 수 있다. 그리고 적층이론을 적용한 Model-L은 바닥판 강성을 과다하게 고려하기 때문에 변위응답이 상세모델(Model-D)의 변위응답보다 작게 나타나고 있어 구조적 문제를 야기할 수 있다.

공동주택의 표준바닥판 구조물의 정확한 진동해석을 위하여 입체요소로 상세히 모델화하여 진동해석을 수행하는 것이 바람직하나 상세모델의 경우에



해석시간이 많이 소요되며 모델화 과정이 쉽지 않기 때문에 실용적인 모형화방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법을 적용하여 표준바닥판 구조물의 진동해석을 수행할 경우에 비교적 정확한 진동응답을 얻을 수 있으며 모델화 과정이 쉽기 때문에 매우 실용적일 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 공동주택의 표준바닥 슬래브에 대한 실용적인 강성평가 방법에 대하여 소개하였으며 그리고 모델화 방법에 따른 예제 구조물의 진동해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

표준바닥 슬래브의 올바른 진동평가를 위하여 정확한 진동해석이 수행되어야 하므로 바닥판 구조물을 상세하게 모델화하여야 한다. 그러나 실무에서 구조물을 상세하게 모델화하여 진동해석을 수행하는 것은 현실적으로 어려우므로 이에 대한 대안으로 본 논문에서 표준바닥구조 슬래브의 합리적인 모델화 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제시한 표준바닥 슬래브의 모델화 방법에 의한 진동응답이 다른 모델화 방법의 진동응답과 비교하여 보다 정확한 진동응답을 얻을 수 있다. 또한 이 방법은 표준바닥 슬래브의 모델화 과정에 있어서도 간편한 계산식을 이용하여 완충재층이 있는 표준바닥구조를 고려할 수 있으므로 실무에서 보다 실용적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문에서는 컴퓨터 수치해석에 국한하여 연구를 수행하였으나 표준바닥구조에 대한 정확한 진동평가를 위해서는 이에 대한 실험과 진동계측이 있어야 하

며 이에 대한 연구도 함께 수반되어야 할 것이다.

## 참고문헌

1. 양관섭, "공동주택 바닥충격음의 기준 및 운영 방안," 대한설비공학회 기획기사, 제33권 제9호, 2004년 9월, pp.30~35
2. 김하근, 김명준, 이병권 "뜯 바닥구조용 완충재의 동탄성계수 측정에 관한 연구," 대한건축학회 논문집, 제21권 제1호, 2005년 1월, pp.229~234
3. 김기철 "데크 바닥판 구조물의 실용적인 진동해석," 한국전산구조공학회 논문집, Vol. 18. No. 1, 2005년 3월, pp.61~69
4. 정창화, 공동주택의 측정인자별 바닥충격음의 특성연구, 밀양대학교 산업대학원, 2005. 12
5. A.C. Ugural, *STRESS IN PLATES AND SHELLS*, McGraw-Hill, 1999, pp. 270~279
6. Jack R. Vinson, Tsu-Wei Chou, *COMPOSITE MATERIALS AND THEIR USE IN STRUCTURES*, Applied Science Publishers Ltd, 1975, pp.216~221
7. Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S., *Theory of Plates and Shells*, McGraw-Hill, 1959
8. Rainer, J. H., Pernica, G., "Vertical Dynamic Forces from Footsteps", Noise and Vibration Section, Division of Building Research Council Canada, Ottawa, Canada, 1986, pp.12~21
9. Bachmann, H., Ammann, W., *Vibrations in Structures-Structural Engineering Documents*, 1987