

아파트 거실 바닥판에 대한 진동해석

Vibration Analysis for the Living Room Slab of Apartment

김 용 태*
Kim, Yong-tae

박 강 근**
Park Kang-geun

요 약

아파트의 온돌 바닥판은 콘크리트 바닥판위에 경량기포 모르타르, 완충재, 마감 모르타르가 복층으로 시공되어 콘크리트 바닥 상부의 시공방법 및 재료에 의한 구조적 거동에 대한 영향이 다르게 나타난다. 따라서 보다 합리적인 아파트의 콘크리트 적층 바닥판의 진동평가를 위해서는 시공방법 및 재료를 고려한 새로운 개선된 진동해석 모델이 요구된다. 본 논문에서는 실제 아파트의 적층으로 시공된 콘크리트 바닥판에 대한 보다 합리적인 진동해석 방법을 제안하고자 한다.

Abstract

Recently the floor vibration of apartment is often beginning to make its appearance of the environmental dispute, the standard floor system of housing are suggested for the settlement of this issue by government. For the slab vibration analysis on the laminated floor system of apartment, it is required the effectively analytical method of the floor system considering laminated theory. In this paper, more effective modeling methods of laminated floor slab are proposed for the method of accurate rigidity evaluation. By using the advanced modeling method, the more accurate vibration response can be obtained and can accurately evaluate the rigidity of living room floor system of apartment with different laminated materials.

키워드 : 적층 바닥판 시스템, 진동반응, 강성평가

Keywords : Laminated floor system, Vibration response, Rigidity evaluation

1. 서 론

아파트의 온돌 바닥판은 콘크리트 슬래브위에 경량기포 모르타르, 완충재, 마감 모르타르가 적층으로 시공되어진다. 아파트 적층 바닥판의 진동평가를 위해서는 바닥판의 시공방법 및 재료의 특성을 고려할 수 있는 새로운 모델이 필요하다. 적층 바닥판의 층별로 분할하여 상세하게 모델화하여 진동해석을 수행하는 것은 복잡함으로, 본 논문에서는 적층으로 시공된 온돌주택의 바닥판에 대한 보다 합리적인 수치해석 방법을 제안하고자 한다.

최근에 시공되는 아파트의 바닥판에 대해서 소음과 진동이 사회문제로 대두되면서 건설교통부에서 바닥충격음과 진동을 저감하기 위한 바닥판 구조물의 구체적인 성능기준과 표준시방서 개정하였다. 아파트 바닥판의 진동 및 소음에 대한 저감에 대한 연구는 주로 현장실험 위주의 평가와 충격흡수제를 사용한 저감재료에 대한 단편적이 성능실험이 수행되었으며 정량적인 진동평가나 공법에 대한 연구가 미비한 실정이다. 국내에서 시공되고 있는 표준바닥 구조는 콘크리트 슬래브, 완충재, 경량기포콘크리트, 마감 모르타르의 구성에 따라서 여러 가지 형태를 취하고 있다. 최근에는 중량충격음에 대한 성능기준을 만족하기 위하여 바닥판 슬래브의 두께를 210mm 이상으로 제안하고 있으나 실제로 과거에 시공된 대부분 아파트의 바닥판 두께는 120-180mm로 시공

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술 연구비(2년)에 의해서 연구되었음.

* 부산대 산업건축과 교수

** 정회원, 부산대 산업건축과 교수

Tel: 055-350-5345, E-mail:sampgk@pusan.ac.kr

되어 있다.

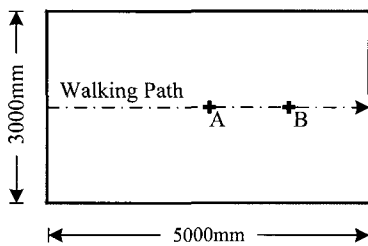
아파트 바닥판의 진동에 대한 사용성 문제가 사회적 이슈로 대두되고 있는 상황에서 실무를 수행하는 엔지니어들에게 바닥판 구조물의 진동에 대한 정확한 분석과 평가가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 MiDAS사에서 개발된 프로그램(MiDAS/Gen)을 이용하여 국내에서 시공되고 있는 아파트의 거실 바닥판에 대한 진동응답을 평가하고, 쉽게 적용할 수 있는 보다 실용적인 바닥판의 진동 평가 방법을 제시하고자 한다.

2. 아파트 바닥판의 진동해석 방법

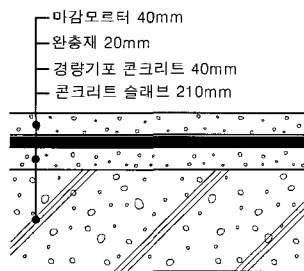
2.1. 바닥판의 진동해석 방법

바닥판 시스템의 상세해석과 실무에서 하고 있는 일반해석에 의한 정적응답을 비교 분석하기 위하여 사변 고정 바닥판에 대하여 정적해석 및 진동해석을 수행하고자 한다.

<그림 1>과 같이 장방형 바닥 슬래브의 중심선(C.L)에 5,000kgf/m의 등분포하중을 가하여 먼저 정적해석을 수행한다. 이때 적용되는 바닥판의 단면은 <그림 2>와 같고, 슬래브의 단면별 재료상수는 <표 1>과 같다.



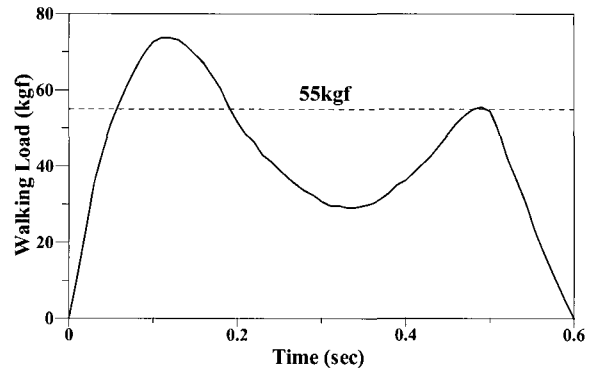
<그림 1> 바닥판의 보행경로



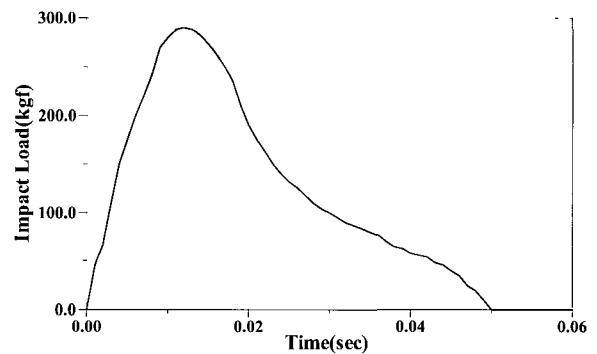
<그림 2> 아파트 바닥판 단면

<표 1> 바닥판의 재료상수

재료	탄성계수 (kgf/cm ²)	프와송비	밀도 (kg/m ³)
슬래브	2.3E09	0.167	2,400
원충재	4.0E00	-	15
경량기포	1.8E09	0.167	1,500
마감모르터	2.3E09	0.167	2,400



<그림 3> 보행하중(Working load)

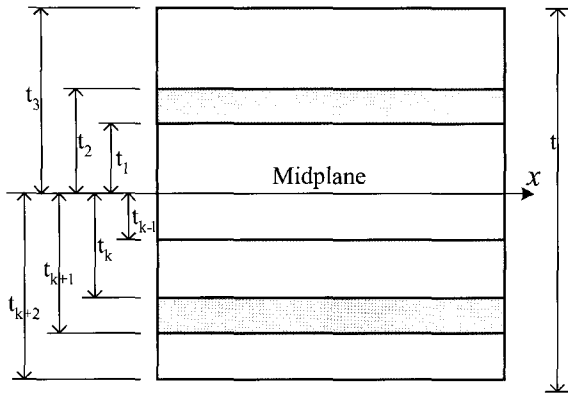


<그림 4> 뒷꿈치 충격하중

보행하중에 의한 진동응답을 분석하기 위하여 <그림 3>과 같은 보행하중을 보행경로(Walking Path)를 따라서 보폭 700mm, 보행진동수 2.0Hz로 가하였다. 그리고 충격하중에 의한 진동응답을 분석하기 위하여 점A에 <그림 4>와 같은 뒷꿈치 충격하중을 가하였다.

2.2. 적층판이론에 의한 표준바닥판의 강성평가

아파트의 표준 바닥판 시스템은 콘크리트 슬래브, 단열재, 경량기포콘크리트, 마감 모르터가 적층으로 쌓여있는 적층 바닥판 구조로 생각할 수 있다. 단열



〈그림 5〉 적층판(Laminate plate)

재에 의하여 콘크리트 슬래브와 경량기포콘크리트가 분리되어 있으므로 이를 어떻게 고려하는가에 따라서 표준바닥구조의 강성이 다르게 평가될 것이다.

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 사용한다.

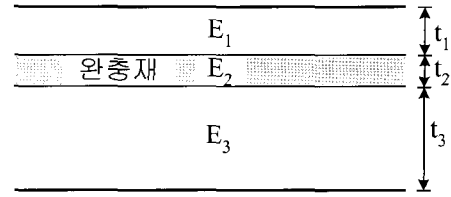
〈그림 5〉와 같이 다층으로 이루어진 적층판에 대한 k 층에 대한 변형도-변위 관계식은 다음과 같다.

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

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

여기서, w 는 판의 연직방향 처짐이며 적층 강성매트릭스 D_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$)는 전환매트릭스 $[T]$ 를 이용하여 다음과 같이 얻어진다. D_{13} 과 D_{23} 이 다른 식에 대하여 종속하므로 직교이방성판의 강성은 D_{11} , D_{22} , D_{22} 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 다음과 같이 구할 수 있다.

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



〈그림 6〉 완충재의 강성 평가 방법

k 는 적층판의 수를 의미하며 본 논문에서 적용한 적층 바닥판은 4개의 층으로 구성되어 있다.

표준 슬래브의 모델화에 있어서 본 논문에서는 표준 슬래브 실용적인 해석방법에 목적을 두고 있으므로 완충재 상부층의 경량기포 콘크리트 또는 마감모르터의 강성을 완충재 하부층의 콘크리트 슬래브의 강성에 추가하는 방법으로 적층 바닥판의 강성을 평가하고자 한다.

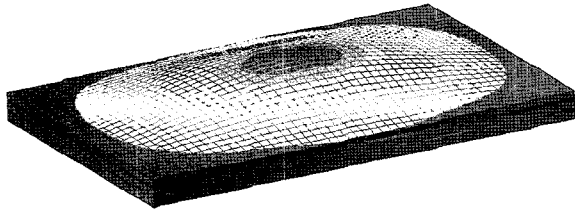
〈그림 6〉과 같이 완충재가 있는 슬래브의 강성을 다음과 같이 평가한다. 완충재 층의 강성은 완충재 층의 탄성계수(E_2)가 다른 층의 탄성계수와 비교하여 매우 작기 때문에 무시한다. 그리고 완충재 하부층의 탄성계수(E_3)에 완충재 상부 층에 의한 추가 탄성계수(E)를 더하여 완충재가 있는 슬래브의 탄성계수를 결정한다. 따라서 표준바닥판의 탄성계수는 하부 층의 탄성계수(E_3)에 식 (5)와 같은 추가 탄성계수(E)를 더하여 계산 한다

$$E' = E_1 \left(\frac{t_1}{t_3} \right)^3 \quad (4)$$

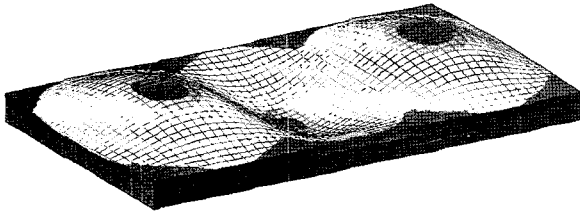
$$E = E_3 + E_1 \left(\frac{t_1}{t_3} \right)^3 \quad (5)$$

3. 시변고정 바닥판의 진동해석

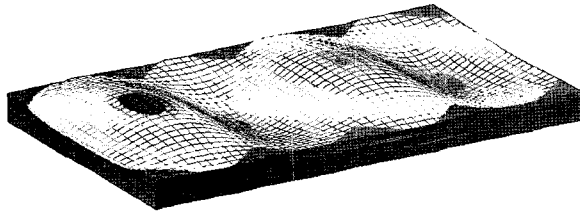
〈그림 7〉은 진동해석 예제를 층별로 상세하게 모형화한 Model-D의 진동모드를 나타낸 것으로 전형적인 바닥판 진동모드의 형상을 보여주고 있다. 〈그림 8〉은 상세모델(Model-D)과 일반모델(Model-G)의 정적해석에 의한 처짐을 나타낸 것이다. 〈그림 8〉에서 정적해석에 의한 중심선(C.L)에서의 처짐을 살펴보면, 일반모델(Model-G)의 처짐이 상세모델



(a) 1st mode

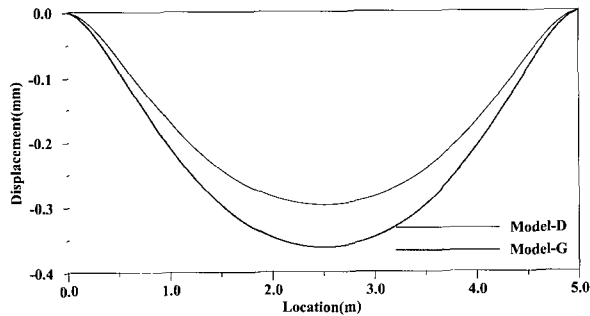


(b) 3rd mode



(c) 6th mode

<그림 7> Model-G의 진동모드



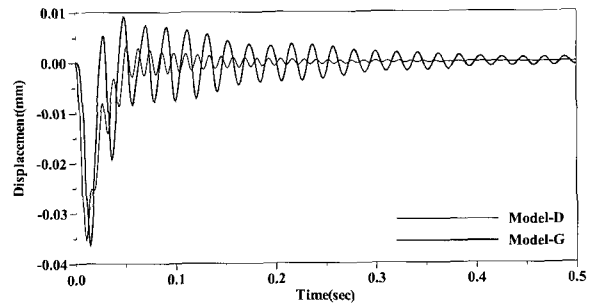
<그림 8> 슬래브 처짐

(Model-D)의 처짐보다 크게 나타나고 있다. 이는 Model-G가 콘크리트 슬래브만 모델화 하였기 때문에 완충재 상층에 위치한 경량기포 콘크리트와 마감 모터르의 강성이 무시되기 때문이다.

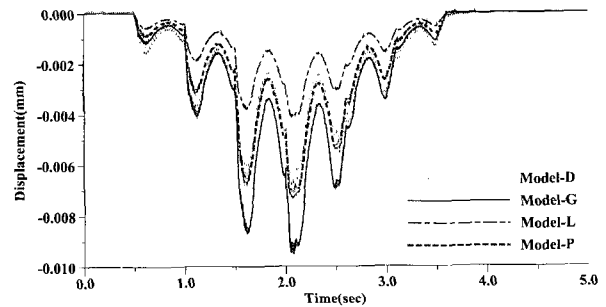
진동해석 예제의 모드별 모드진동수는 콘크리트 슬래브의 강성이 크기 때문에 <표 2>와 같이 비교적 높게 나타나고 있다. 상세모델(Model-D)과 일반 모델(Model-G)의 모드진동수를 비교하여 보면, 진동응답에 많은 영향을 미치는 저차 모드에서 진동

<표 2> Vibration mode

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	116.73	176.47	200.83	231.93	258.31
(%)	(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)



<그림 9> 충격하중에 대한 응답

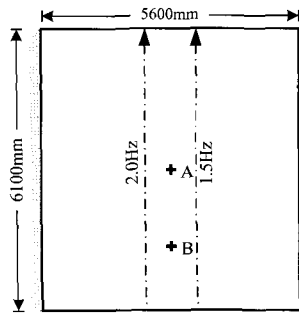


<그림 10> 모델별 진동해석결과 비교

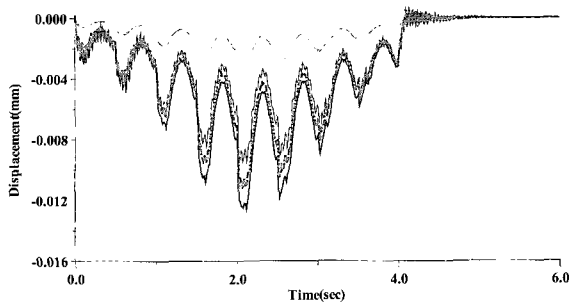
수 차이가 더 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 1차 고유진동수에서 약 12%의 오차를 보이고 있으며 2차 모드에서는 7%의 오차 그리고 3차 이후의 모드에서는 4%정도의 오차를 보이고 있다.

<그림 9>는 뒤꿈치 충격하중에 의한 점A에서의 변위응답으로 충격하중에 의한 전형적인 진동응답을 보이고 있다. 충격하중이 제거된 0.05초 이후에는 진동응답의 양상이 자유진동 양상이 나타나고 있다.

모델별 보행하중에 의한 진동해석 예제의 점A에서의 변위응답은 <그림 10>과 같다. 시간영역 변위 응답에서 응답의 피크가 일곱 번 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 보행자가 진동해석 예제 바닥판 구조물의 장변방향을 일곱 걸음 가로질러 보행하였기 때

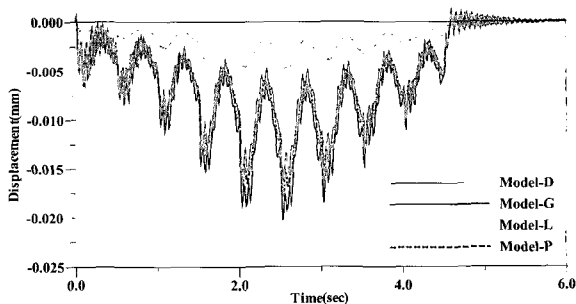


<그림 13> 보행경로 III



(a) 변위응답 ($l = 4600\text{mm}$)

(b) 변위응답 ($l = 5000\text{mm}$)



(c) 변위응답 ($l = 5600\text{mm}$)

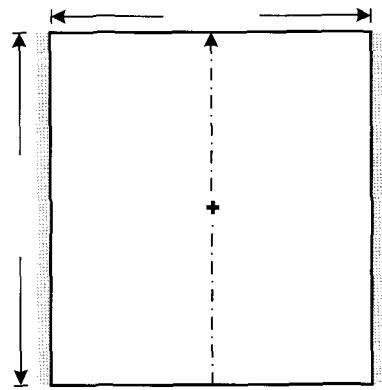
<그림 14> 바닥판의 변위응답(path I)

문이다. 보행자가 점A를 통과하는 시간대역인 2.0초 부근에서 응답이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

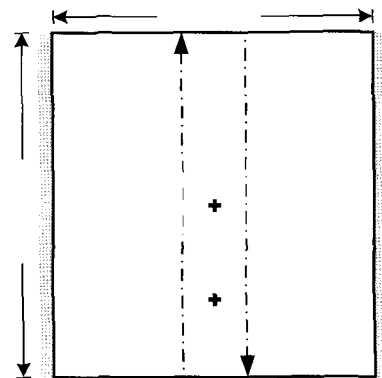
<그림 10>에서 표준 슬래브의 단면을 가지고 있

는 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 2>에서와 같이 차이를 보이고 있다. 본 논문에서 제안한 Model-P의 모드 진동수가 상세모델(Model-D)에 가장 근접한 것을 볼 수 있다. Model-G는 강성이 작게 평가되기 때문에 모드 진동수는 가장 작게 나타나고 있으며 Model-L은 강성이 실제보다 과다하게 평가되기 때문에 모드 진동수가 가장 크게 나타나고 있다.

완충재 층이 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 작



<그림 11> 보행경로 I



<그림 12> 보행경로II

게 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.

3. 아파트 거실 바닥판의 진동해석

보행하중과 같은 충격원에 의하여 진동과 소음이 가장 크게 발생하는 곳은 거실로 거실은 바닥 면적이 크고 주거인의 활동이 가장 많이 이루어지는 공간이다. 따라서 본 연구에서는 실제 주택의 거실에서의 보행하중에 의한 진동해석을 수행하였다.

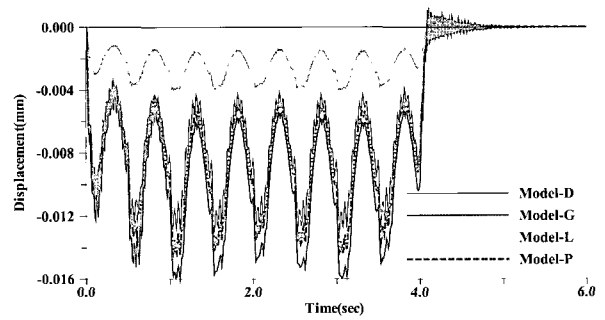
<그림 11>은 거주자 1인의 보행경로를 나타낸 것으로 바닥판의 크기는 5.0m×5.8m 해석모델의 경계 조건은 2변 고정 2변 자유단으로 하였다. Fig 14는 거주자가 거실 중앙을 가로질러 보행할 때 야기되는 거실 중앙 점A에서의 변위응답을 나타낸 것이다.

무리에 의한 보행의 특징은 보행자의 보행방향과 보행진동수가 다양하게 나타날 수 있다는 것이다. 본 연구에서는 무리 보행의 가장 기본적인 적용방법으로 두 보행자가 반대 방향으로 같은 보행속도로 보행할 때와 같은 방향으로 다른 보행속도로 보행할 때 야기되는 예제 구조물의 변위응답을 분석하였다.

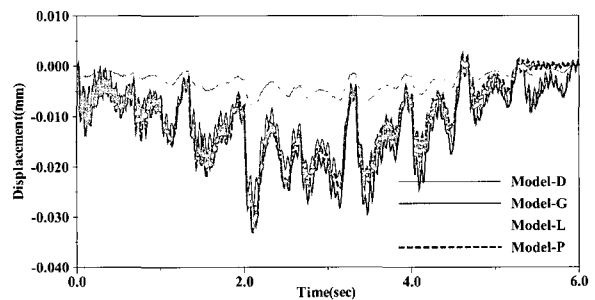
<그림 12>는 거실에서 보행자-A가 Walking path-A를 따라서 2.0Hz의 보행진동수로 위에서 아래로 보행하고 그리고 보행자-B가 2.0Hz의 보행진동수로 Walking path-B를 따라서 아래서 위로 서로 반대 방향으로 각각 보행하는 방법이다. <그림 13>은 보행자-A가 2.0Hz의 보행진동수로 보행자-B가 1.5Hz의 보행진동수로 같은 방향으로 보행하는 방법이고, <그림 14>는 두 보행자가 같은 방향으로 보행하는 방법이다.

<그림 15>에서는 반대방향의 보행에 의한 변위 응답 그래프로 보행자-A와 보행자-B가 점 B를 지나가는 시간대역인 1.0초와 3.0초 에서 응답이 크게 나타나고 있으나 전체적으로 같은 변위응답을 보여주고 있다.

<그림 16>에서는 같은 방향 진행에 대한 변위응



<그림 15> 바닥판의 변위응답(path II, $\ell = 4600\text{mm}$)



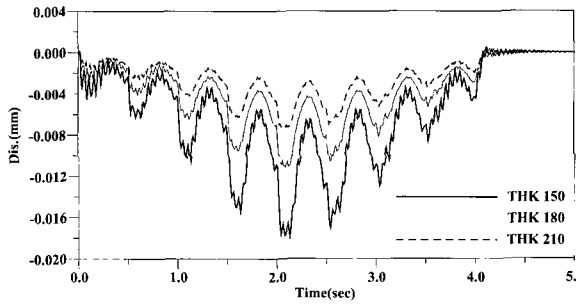
<그림 16> 바닥판의 변위응답 III(path III, $\ell = 5600\text{mm}$)

답을 나타낸 것으로 보행자-A는 2.1초 시간대역에서 그리고 보행자-B는 3.0초 시간대역에서 점 A를 지나가므로 이 시간대에서 응답이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

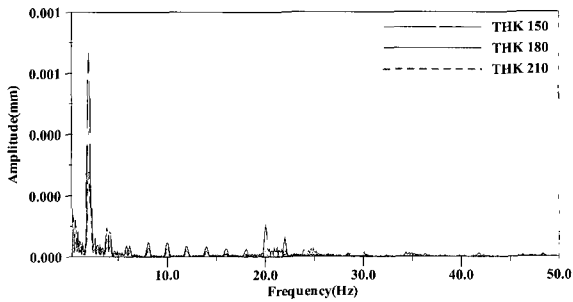
4. 두께별 아파트 거실 바닥판의 진동 해석 결과 비교

공동주택에서의 층간소음 및 진동 문제를 해결하기 위해 소음진동기준을 설정함으로써 아이들 뽀, 화장실 배수 및 피아노 소리 등 생활소음과 진동을 크게 줄일 수 있도록 공동주택의 바닥판 슬래브 두께가 150mm, 180mm 그리고 210mm로 기준이 점점 강화되고 있다. 따라서 바닥판 두께변화에 따른 실제 거실평면의 진동양상을 분석하고자 한다. 거주자의 거실 중앙을 2.0Hz로 가로질러 보행할 때 야기되는 거실 중앙 점A에서의 변위응답을 분석하였다.

<그림 17(a)>에서 34평형 거실 바닥판의 변위응답을 분석해 보면 바닥판의 두께에 따른 바닥판 강성의 차이로 인하여 변위응답이 다른 것을 볼 수 있다. 바닥판 두께 150mm(THK 150)인 예제 구조물



(a) 점A 변위응답 (시간영역)



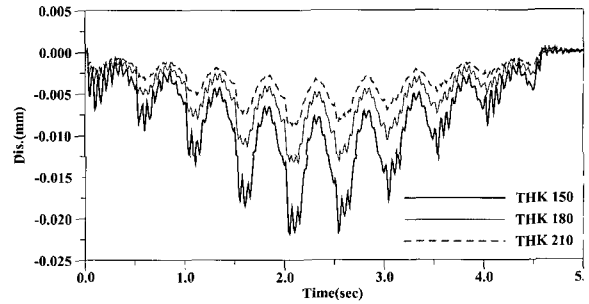
(b) 점A 변위응답 FFT (진동수영역)

<그림 17> 보행하중에 의한 34평형 거실 바닥판의 변위응답($\ell = 4600\text{mm}$)

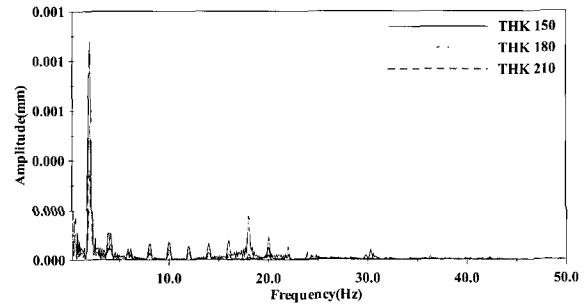
의 변위응답이 가장 작게 나타나고 있으며 다음으로 바닥판 두께 180mm(THK 180) 그리고 바닥판 강성이 가장 큰 바닥판이 210mm(THK 210)인 예제 구조물의 변위응답이 가장 작게 나타나고 있다.

<그림17(b)>에서 진동수 영역에서의 변위응답을 살펴보면 보행하중의 정수배에서 응답이 크게 나타나고 있으며 그리고 구조물의 1차 고유진동수 영역에서 응답이 크게 나타난 것을 볼 수 있다. THK 150 예제 구조물의 1차 고유진동수는 20.97Hz, THK 180 예제 구조물의 1차 고유진동수는 24.72Hz, THK 210 예제 구조물의 1차 고유진동수는 28.63Hz로 이들 진동수 영역에서 응답이 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

<그림 18> 40평형 거실 바닥판의 변위응답을 분석하면 바닥판의 두께에 따른 바닥판 강성의 차이로 인하여 변위응답이 많이 다른 것을 볼 수 있다. 바닥판의 강성이 클수록 변위가 작게 일어남을 알 수 있다. 진동수 영역에서의 변위응답은 보행진동수의 정배수에서 크게 나타나고 있으며 그리고 예제 구조물의 1차 고유진동수 영역인 17.76Hz, 20.94Hz, 24.27Hz에서 응답이 크게 나타난 것을 볼 수 있다.



(a) 점A 변위응답 (시간영역)



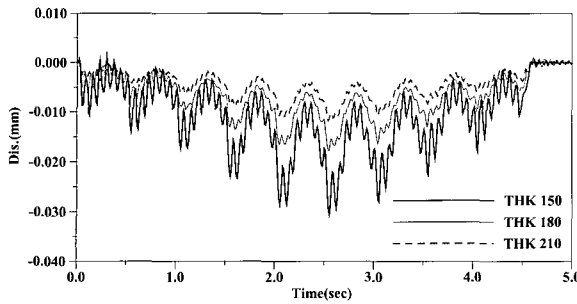
(b) 점A 변위응답 FFT (진동수영역)

<그림 18> 보행하중에 의한 40평형 거실 바닥판의 변위응답($\ell = 5000\text{mm}$)

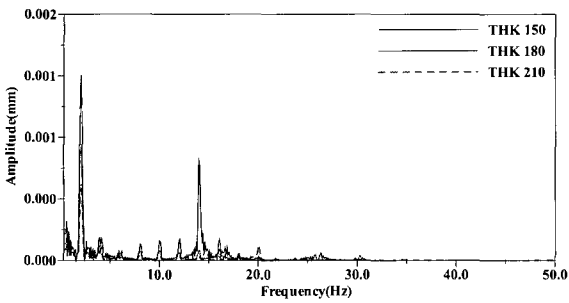
<그림 19> 50평형 거실 바닥판의 변위응답에서 시간영역에서의 변위응답을 살펴보면 바닥판의 두께에 따른 바닥판 강성의 차이로 인하여 변위응답이 다른 것을 볼 수 있다. 진동수 영역에서의 변위응답은 보행진동수의 정배수와 예제 구조물의 1차 고유진동수 영역인 14.17Hz, 16.71Hz, 19.37Hz에서 응답이 크게 나타난 것을 볼 수 있다.

무리에 의한 보행의 특징은 보행자의 보행방향과 보행진동수가 다양하게 나타날 수 있다는 것이다. 본 절에서는 두 보행자가 반대 방향으로 같은 보행속도로 보행할 때와 같은 방향으로 다른 보행속도로 보행할 때 야기되는 예제 구조물의 변위응답을 분석하였다. 그림 4는 두 보행자가 2.0Hz로 서로 마주보며 보행하는 것을 나타낸 것이다. 그림 5는 한 보행자는 2.0Hz 그리고 다른 한 보행자는 1.5Hz로 같은 방향으로 보행하는 것을 보여주고 있다.

<그림 20>은 34평형 거실에서 보행자-A가 Walking path-A를 따라서 2.0Hz의 보행진동수로 위에서 아래로 보행하고 그리고 보행자-B가 2.0Hz의 보행진동수로 Walking path-B를 따라서 아래서

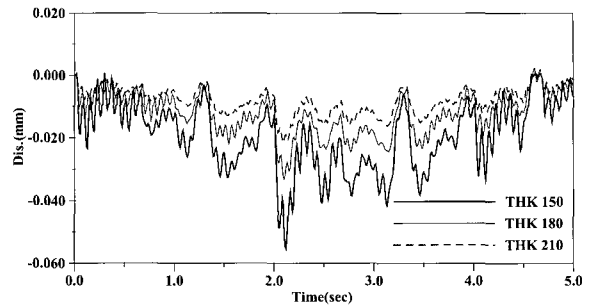


(a) 점A 변위응답 (시간영역)

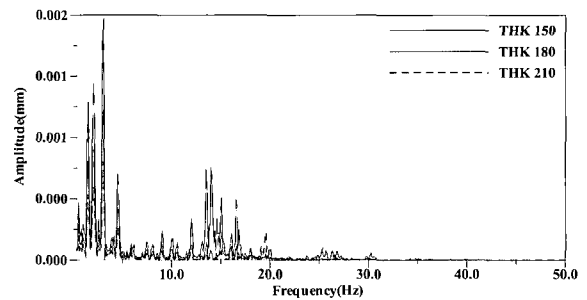


(b) 점A 변위응답 FFT (진동수영역)

〈그림 19〉 보행하중에 의한 50평형 거실 바닥판의 변위응답 ($l=5600\text{mm}$)

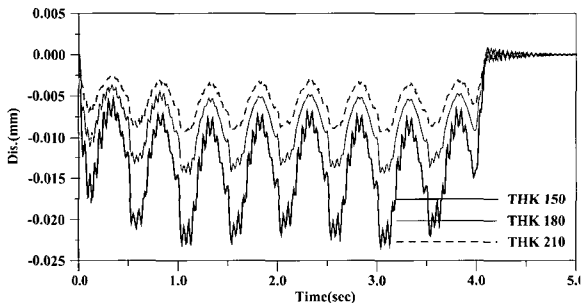


(a) 점A 변위응답 (시간영역)

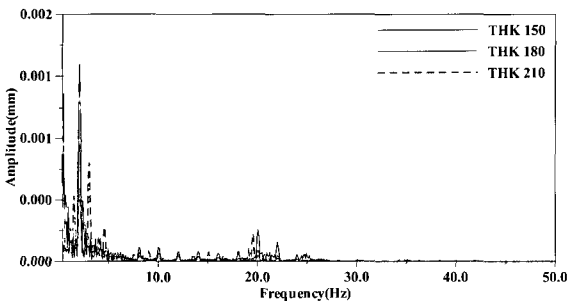


(b) 점A 변위응답 (시간영역)

〈그림 21〉 두 사람 나란히 보행에 의한 56평형 예제 구조물의 변위응답 ($l=5600\text{mm}$)



(a) 점B 변위응답 (시간영역)



(b) 점B 변위응답 FFT (진동수영역)

〈그림 20〉 두 사람 마주보며 보행에 의한 34평형 예제 구조물의 변위응답 ($l=4600\text{mm}$)

위로 서로 반대 방향으로 각각 보행할 때 야기되는

34평형 거실의 점 B에서의 변위응답을 나타내었다. 보행자-A와 보행자-B가 점 B를 지나가는 시간대역인 1.0초와 3.0초에서 응답이 약간 크게 나타나고 있으나 전체적으로 같은 변위응답을 보여주고 있다.

〈그림 21〉은 보행자-A가 2.0Hz의 보행진동수로 보행자-B가 1.5Hz의 보행진동수로 같은 방향으로 보행할 때 야기되는 56평형 거실의 점A 변위응답을 나타낸 것이다. 보행자-A는 2.1초 시간대역에서 그리고 보행자-B는 3.0초 시간대역에서 점 A를 지나가므로 이 시간대에서 응답이 크게 나타나고 있다. 진동수 영역에서는 보행진동수인 1.5Hz와 2.0Hz의 정수배에서 응답이 크게 나타나고 있으며 예제 구조물의 1차 고유진동수 영역인 14.17Hz, 16.71Hz, 19.37Hz에서 응답이 크게 나타난 것을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 아파트의 흔들 거실 바닥판에 대한 실용적인 강성평가 방법에 대하여 소개하였으며 그리고 다양한 모델화 방법에 따른 예제 구조물의

진동해석을 통하여 다음과 같은 결론은 얻을 수 있었다.

적층판 이론을 적용한 모델(Model-L)의 보행하중에 의한 변위응답과 상세해석 모델(Model-D) 그리고 일반해석 모델(Model-G)의 변위응답을 비교하면 적층판 이론에 의한 표준바닥판 구조물의 강성이 실제보다 크게 평가되고 있기 때문에 Model-L의 변위응답이 상세해석 모델(Model-D)의 변위응답보다 작은 것을 볼 수 있다. 이는 완충재 층의 탄성계수가 다른 층의 탄성계수에 비하여 매우 작기 때문에 바닥판의 휨 거동에 있어서 완충재의 상부층과 하부층이 일체화되어 거동하지 않기 때문이다. 이를 해결하기 위해서 본 논문에서 제안한 모델방법(Model-P)인 완충재 상부 층의 경량기포 콘크리트 또는 마감 모르타의 강성을 완충재 하부 층의 콘크리트 슬래브의 강성에 추가하여 해석을 수행함으로써 보다 바람직한 진동해석 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. A.C. Ugural, STRESS IN PLATES AND SHELLS, McGraw-Hill, 1999, pp. 270 ~ 279
2. Jack R. Vinson and Tsu-Wei Chou, COMPOSITE MATERIALS AND THEIR USE IN STRUCTURES, Applied Science Publishers Ltd, 1975, pp. 216 ~ 221
3. Timoshenko, S. and Woinowsky-Krieger, S., Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill, 1959
4. Rainer, J. H. and Pernica, G., "Vertical Dynamic Forces from Footsteps," Noise and Vibration Section, Division of Building Research Council Canada, Ottawa, Canada, 1986, pp.12 ~ 21
5. Bachmann, H. and Ammann, W., Vibrations in Structures-Structural Engineering Documents, 1987