

## 주거용 건축물의 효율적인 바닥진동해석

# An Efficient Vibration Analysis of the Floors in Residential Building

김 태 호\*            이 동 근\*\*  
Kim, Tae-Ho        Lee, Dong-Guen

---

### ABSTRACT

The floor impact sound insulations are installed frequently for reducing the floor impact sound into the floor slab of the residential buildings in recent years. Therefore the analytical FE model considering the insulations is needed for the sound and vibration analysis of the floor and it is necessary to use a refined finite element model for considering the large number of modes involving in the dynamic responses. So it is very difficult to use FE model because of the tiresome task for constructing the FE model, taking a lot of times for analysis and the impossibility of using the proportional damping. The efficient analysis and modeling method are proposed to the dynamic analysis for the floor with floor impact sound insulations in this study. The floor slabs and finished layers are modeled individually and the spring elements that mean floor impact sound insulations use to connect two parts. The dynamic analysis by the Newmark- $\beta$  method is performed to solve the non-proportional damping problem due to the damping coefficient of insulations .

---

### 1. 서    론

현행법상 건축물의 재료에 따라 12~20cm사이의 벽체, 바닥 등으로 이루어진 공동주택의 특성상 생활에 의한 소음 및 진동은 불가피한 측면도 있다. 환경부 산하의 중앙환경분쟁조정위원회에 따르면 소음이나 진동으로 인한 분쟁이 1991년 위원회 설립 이후 현재까지 접수되어 처리된 사례 중의 86%를 차지하고 있다. 이는 거주자들의 주거에 대한 높은 관심 등으로 건축물의 설계시에 소음, 진동 등에 관련한 사용성 문제가 중요시 되고 있음을 의미한다. 특히 생활에 의한 소음과 진동에 영향을 받게 되는 건축물의 종류는 거주자가 하루의 절반이상을 보내게 되는 주택과 오피스이다. 우선 주택의 경우에 가장 흔한 형태의 주거환경은 아파트이고 이는 주로 벽과 바닥판만으로 이루어진다. 아파트와 같은 주거구조물에서는 다양한 진동원에 의하여 진동이 발생하고 이러한 진동은 벽과 바닥판을 통하여 이웃한 세대 및 위, 아래층 세대로 주로 전달된다. 그리고 오피스의 경우는 가장 일반적인 구조형태가 모멘트 저항 골조이고 이는 바닥판의 진동이 기둥을 통하여 인접층으로 전달되는 경로를 가진다. 이러한 구조물의 경우에는 문제가 되는 진동모드는 주로 바닥판이 진동하는 연직방향의 모드이고 이들은 대부분 수평모드에 비하여 높은 진동수를 가진다. 이를 해석하기 위해서는 높은 진동수를 표현할 수 있을 만큼 부재를 분할하여야하고 이는 바닥구조물과 같은 경우에 엄청난 수의 요소를 발생시킨다. 특히 국내의 주거구조물의 경우에는 최근에 소음 등의 문제를 해결하기 위하여 바닥판에 방진패드를 삽입하여 시공한다. 이와

---

\* 학생회원, 성균관대 건축공학과 대학원 박사과정

\*\* 정회원, 성균관대 건축공학과 교수

같은 경우에는 하나의 바닥판이 여러 개의 적층판으로 이루어지게 되고 이를 해석하기 위해서는 기존의 단일재료의 바닥판에 비하여 몇 배의 자유도를 필요로 하며 해석모형의 작성 또한 상당히 어려운 점이 있다. 그리고 방진층을 가진 바닥판 구조물을 해석하기 위해서는 방진층의 비비례 감쇠문제를 해결해야하는 데 이는 기존의 상용해석프로그램으로는 해결이 어려운 점이 있다.

현재 이러한 방진층을 포함한 바닥판의 소음 및 진동에 대한 평가는 대부분 구조물의 시공 후에 현장에서 간단한 실험 등을 통하여 성능을 검토하는 데 그치고 있다. 여러 연구에서 지적된 바와 같이 바닥판의 크기에 따라서 구조물의 동적특성이 크게 차이가 있기 때문에 동일한 방진층을 가지더라도 때로는 예상치 못한 결과를 가져올 수도 있다.

본 연구에서는 방진층을 가진 바닥판을 포함한 건축물의 동적해석을 위하여 효율적인 모형화 방법과 이에 대한 해석법을 제안하였다. 방진층을 포함한 바닥판의 모형화를 위하여 바닥슬래브와 상부 마감층을 각각 독립적으로 모형화하고 이들 사이에 방진층을 의미하는 스프링 요소를 사용하였으며 방진층의 감쇠에 의한 비비례 문제를 해결하기 위하여 Newmark- $\beta$ 법을 적용하여 동적해석을 수행하였다.

## 2. 주거용 건축물의 바닥구조 시스템

아파트의 바닥구조를 주요 요소별로 분리해보면 다음과 같다. 우선 구조체 역할을 하는 콘크리트층과 건축단열기준을 충족시키기 위한 단열층, 배관누름을 위한 누름층, 비닐시트나 장판지계통의 마감층 등으로 크게 분류할 수 있다. 이 중에서 기존의 콘크리트 슬래브는 120~150mm의 범위에서 시공되고 있으며 온수배관 누름층은 40~50mm로 시공된다. 단열층 부위는 건설사마다 차이를 나타내는 데 대표적인 형태가 슬래브 상부에 50~80mm 정도의 경량콘크리트를 타설하거나 20~30mm 두께의 스티로폼을 시공하고 30~50mm 정도의 경량콘크리트를 타설하는 경우도 있다. 이러한 기존의 시공법은 소음 및 진동에 큰 효과를 주지는 못하였고 2004년 3월에 “공동주택 바닥충격음 차단구조인정 및 관리기준”이 제정되었으며 여기에는 그림 1과 같이 5종류의 표준 바닥구조를 지정하여 층간소음을 줄이고자 하고 있다.

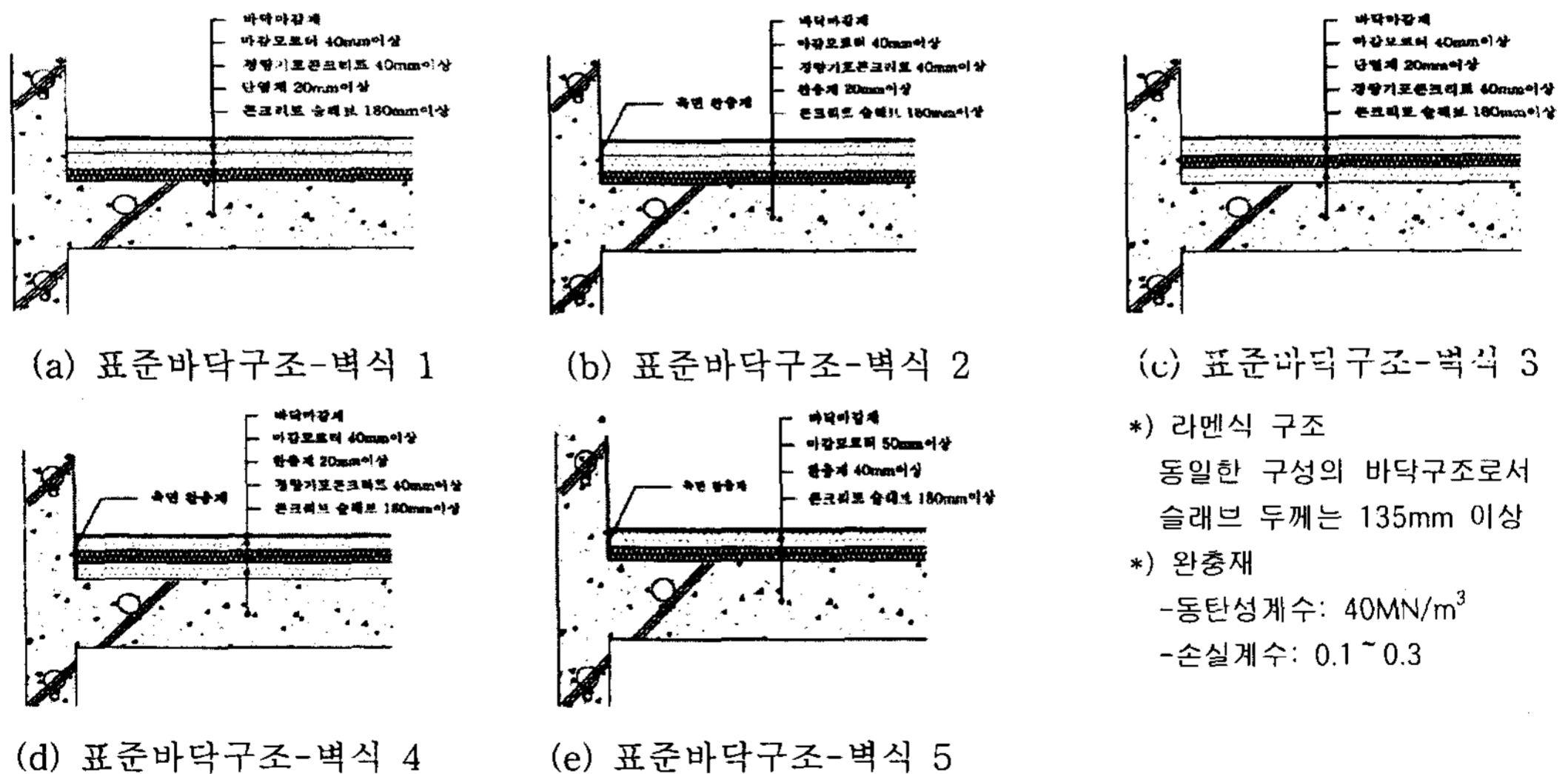


그림 1 바닥(경량)충격음 차단 표준바닥구조

위의 그림 1 (a)와 (c)의 바닥구조형식은 완충재를 가지지 않은 것으로 충분한 바닥충격음레벨 저감량을 가지는 바닥마감재를 설치할 것을 요구하고 있으며 나머지 바닥구조형식은 바닥마감재 사용제한이 없는 형식이다. 구조체의 진동에 의하여 크게 발생하는 중량충격음의 경우에는 현재 특별히 규정된 바닥구조형식은 없는 상태이다.

### 3. 방진층을 가진 구조물의 해석

앞 장에서 알아본 표준바닥판들은 공통적으로 바닥슬래브와 여러 개의 다른 층의 조합으로 이루어져 있다. 이를 정확하게 유한요소로 모형화하기 위해서는 입체요소를 사용하여야 한다. 그러나 이러한 경우에 엄청난 수의 요소가 필요하기 때문에 상용해석프로그램의 사용이 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 방진층을 가진 바닥판의 효율적인 해석을 위한 모형화 방법을 제시하고자 한다.

#### 3.1 적층판의 모형화

표준바닥판들은 방진층(완충재)의 사용여부에 따라서 크게 두 가지의 종류로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 단열재를 사용한 경우와 바닥마감재는 구조재로 보지 않았으며 완충재는 소음 및 진동을 저감하기 위한 구조재료로 고려하기로 한다. 이 경우에 해당하는 표준바닥판이 그림 1의 (b), (d), (e)이다. 이들의 단면구성을 살펴보면 콘크리트 슬래브와 완충재 그리고 두층 정도의 재료가 사용된 것을 알 수 있다. 적층효과를 모델링하기 위해서는 입체요소를 사용해야하는 데 이는 앞서 밝혔듯이 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 따라서 동일한 결과를 얻기 위한 등가의 판을 구할 수 있다면 해석모델을 단순화시킬 수 있게 된다. 경량 및 중량 충격하중에 의한 진동응답과 소음평가를 위해서는 고차의 진동모드 파악이 필수적이다. 방진층의 특성에 따라 방진층 상하부의 동적응답을 얻기 위해서는 방진층의 모델링이 필수적이고 이에 따라서 방진층 상하부의 바닥판을 단순화할 필요가 있다.

다음의 그림 2는 n개의 층으로 구성된 적층판을 나타내고 있다. A.C. Ugural에 따르면 적층판의 모멘트와 변위에 대한 관계식은 다음과 같다고 밝히고 있다.<sup>1)</sup>

$$\begin{Bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $D_{ij} = \frac{1}{3}(D_{ij}^*)_n (t_k^3 - t_{k-1}^3)$  ( $i, j = 1, 2, 3$ ) 이고 k는 임의의 층을 나타내며  $(D_{ij}^*)_k$ 는 k층의 판에 대한 휨강성을 의미한다.

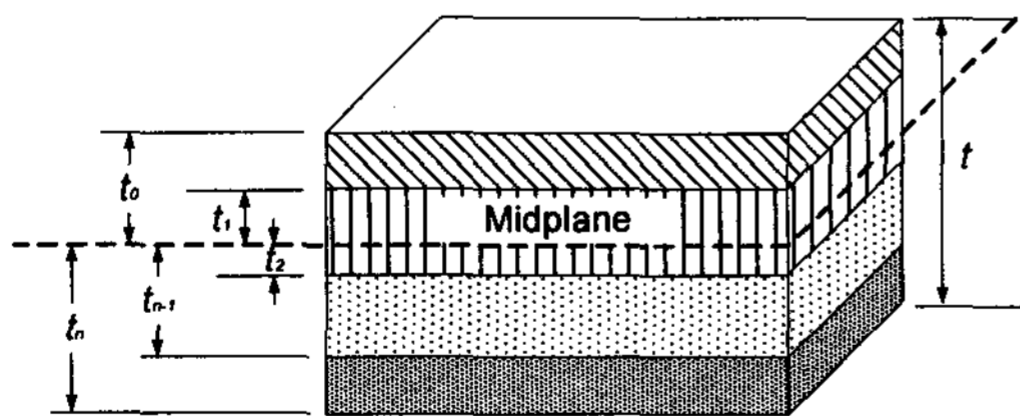


그림 2 n개로 구성된 적층판

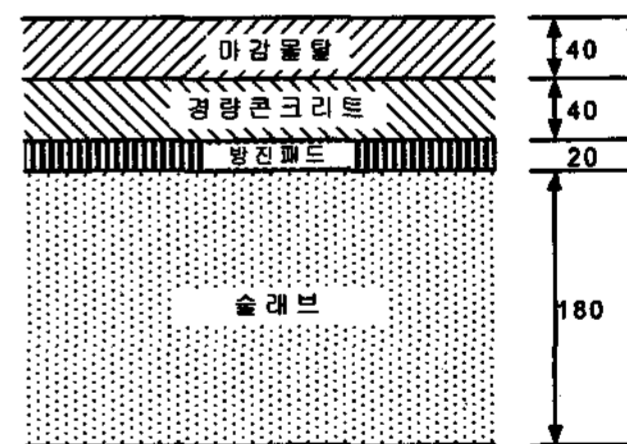


그림 3 적층바닥판 예

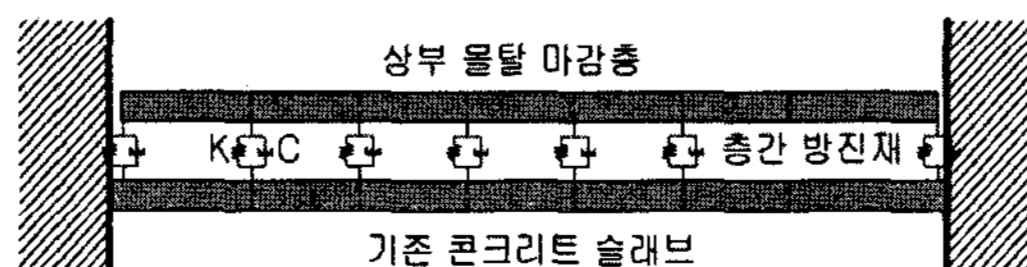


그림 4 방진층을 가진 바닥 구조물의 해석모형

표 1 방진층을 포함한 적층바닥판의 물성치

바닥판 조건	두께(mm)	표준바닥판구조-벽식 2		등가바닥판	
		중량	탄성계수	중량	탄성계수
마감몰탈	40	2.00tf/m <sup>3</sup>	2.40×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	1.85tf/m <sup>3</sup>	2.04×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>
경량콘크리트	40	1.70tf/m <sup>3</sup>	1.75×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>		
방진층	20	-	4.00kgf/cm <sup>2</sup>	-	4.00kgf/cm <sup>2</sup>
슬래브	180	2.40tf/m <sup>3</sup>	2.40×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>	2.40tf/m <sup>3</sup>	2.40×10 <sup>5</sup> kgf/cm <sup>2</sup>

표준바닥구조-벽식 2의 형식을 따른 그림 3의 예를 들어보면 다음과 같다. 그림 3의 경우는 방진패드상부에 마감몰탈과 경량콘크리트층이 존재하는 경우로 두 층을 하나의 판으로 모델링할 수 있다면 위의 바닥판은 상부의 바닥판과 방진층 그리고 바닥슬래브로 이루어진다. 이를 유한요소해석모형으로 본다면 그림 4와 같은 형태를 가진다. 그림 3에 사용된 재료의 물성치와 적층판 이론에 의하여 치환된 재료의 물성치를 표 1에 나타내었으며 치환된 물성치의 정확성 비교를 위하여 그림 5와 같은 치환된 물성치를 가진 단순지지 바닥판을 두 가지 물성치를 각각 모형화한 입체요소모델과 바닥판 중앙에 100kgf를 가한 경우의 정적처짐과 30차 모드까지의 진동수를 비교하였다. 입체요소와 판요소의 요소분할은 모두 4cm × 4cm로 하였다.

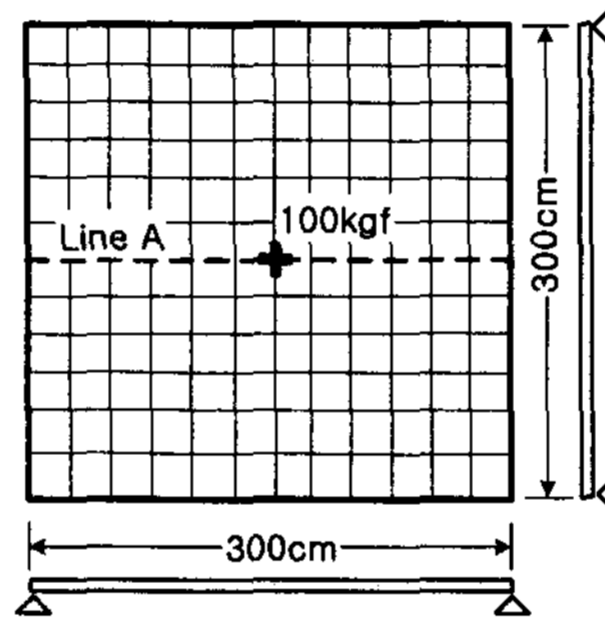


그림 5 예제 구조물

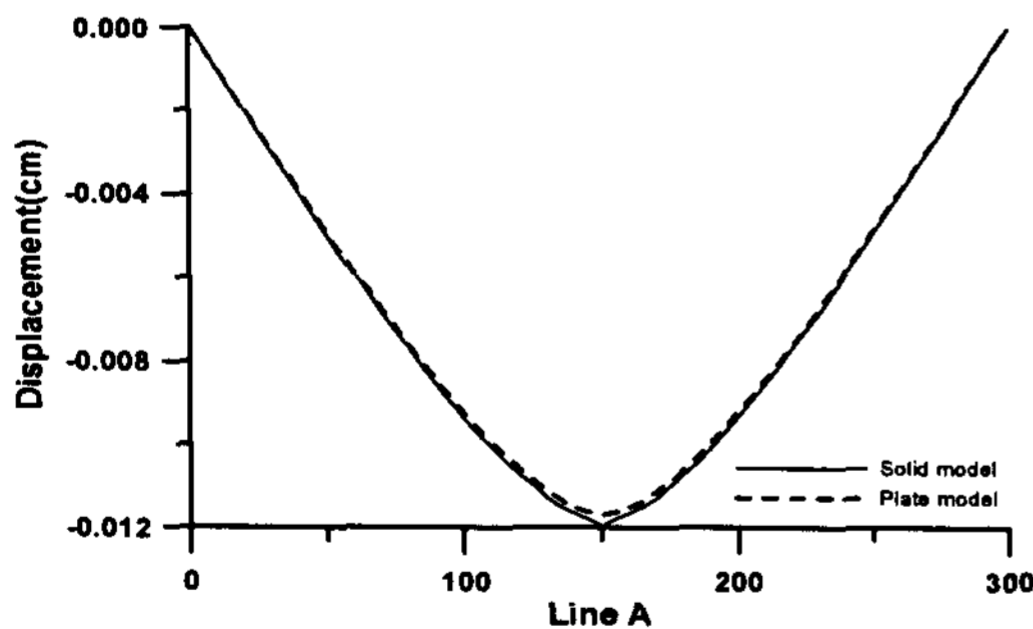


그림 6 정적처짐(Line A)

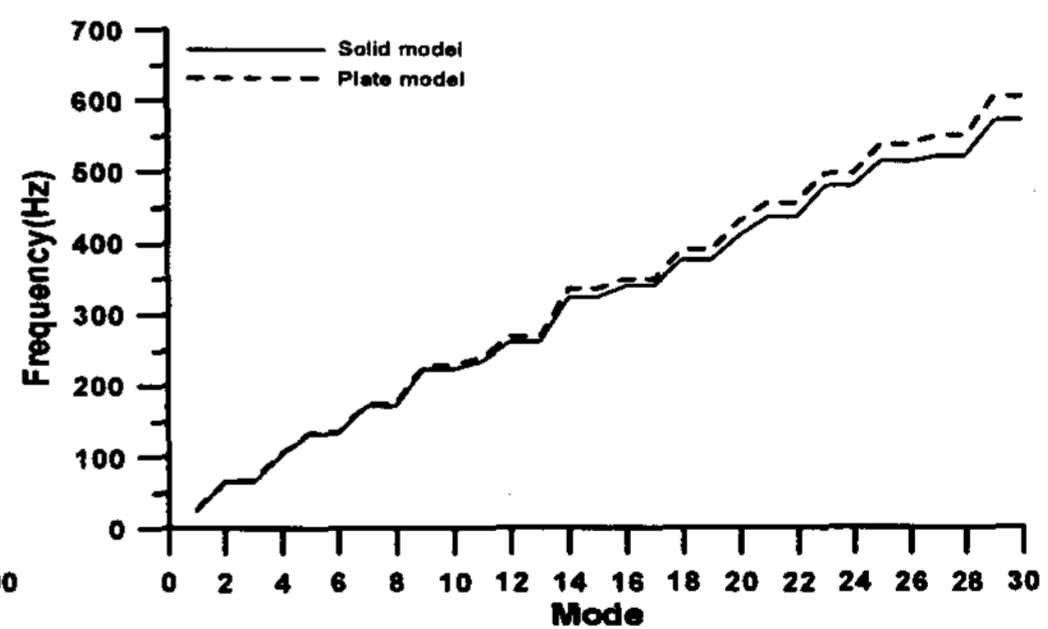


그림 7 모드별 고유진동수 비교

입체요소와 등가의 판요소로 해석한 경우의 결과를 살펴보면 그림 6의 정적처짐의 경우 두 해석모델이 거의 일치함을 알 수 있다. 중앙부에서 약간의 오차가 나타나는데 이는 입체요소 자체가 집중하중에 의하여 영향을 더 크게 받음에 따른 것으로 판단된다. 이는 그림 7의 결과를 통해서도 등가의 판요소가 충분히 정확성을 보유하고 있다는 것을 알 수 있다. 다만 200Hz이상의 모드부터 조금씩 오차를 보이고 있으나 본 연구에서 검토하고자 하는 중량 충격하중의 대역을 벗어나는 것이므로 상부의 여러 적층판을 등가의 단일판으로 치환하는 것은 타당하다고 할 수 있다.

### 3.2 방진층의 모형화

앞서 언급한 바와 같이 방진층은 연직 스프링과 감쇠계수만을 가지며, 상부 마감판은 적합조건의 문제로 연직자유도만을 고려해야한다. 일반 상용해석 프로그램에서는 이를 고려하기 위해서 나머지 자유도를 모두 고정시켜야하는 문제를 가진다. 나머지 자유도를 모두 고정시킬 경우 상부마감판은 움직임의 제약으로 고유진동수가 높아지는 문제를 가질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이를 고려하기 위하여 연직자유도를 제외한 나머지 자유도를 행렬응축하여 문제를 해결하였다.

방진층을 포함한 바닥판 구조물을 해석하기 위해서는 바닥판 내부에 포함되는 방진층을 고려하여야 한다. 바닥판에 발생하는 진동은 주로 연직모드에 의한 영향이 지배적이므로 본 연구에서는 방진층의 강성과 감쇠를 연직방향에 대해서만 고려하였다. 상부 마감층의 자유도는 적합조건을 만족하기 위하여 연직방향의 자유도만 고려하였다. 바닥판 요소는 Lee<sup>2)</sup>에 의하여 개발된 평면응력요소와 Melosh, Zienkiewicz와 Cheung이 개발한 휨요소<sup>3)</sup>를 조합한 것이다.

### 4. 방진층을 가진 구조물의 동적해석법

방진층이 설치되지 않은 건물은 정적응축을 통하여 강성행렬을 응축할 수 있고 동적 응축을 통하여 질량행렬을 응축할 수 있다. 이렇게 응축된 강성행렬과 질량행렬을 사용하여 감쇠행렬을 구하고 동적해석을 수행하는 것이 일반적인 해석절차이다. 그러나 방진층이 설치된 바닥구조물의 감쇠행렬을 구하기 위해서는 감쇠행렬에 방진층의 영향과 상부 마감층의 감쇠행렬도 고려하여야 한다. 다음은 방진층이 있는 바닥구조물의 주요 행렬응축과정이다.

주구조물의 동적 평형방정식은 식 (2)와 같다.

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{D}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{D}} + \mathbf{K}\mathbf{D} = \mathbf{A} \quad (2)$$

식 2에서 구하고자하는 방향의 자유도의 첨자를 F, 나머지를 A로 분류하여 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{AA} & \mathbf{M}_{AF} \\ \mathbf{M}_{FA} & \mathbf{M}_{FF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{D}}_A \\ \ddot{\mathbf{D}}_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{AA} & \mathbf{C}_{AF} \\ \mathbf{C}_{FA} & \mathbf{C}_{FF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{D}}_A \\ \dot{\mathbf{D}}_F \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{AA} & \mathbf{K}_{AF} \\ \mathbf{K}_{FA} & \mathbf{K}_{FF} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{D}_A \\ \mathbf{D}_F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_A \\ \mathbf{A}_F \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 3에서 변위벡터  $\mathbf{D}_A$ 는 변위벡터  $\mathbf{D}_F$ 에 종속되어 있다고 가정하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mathbf{D}_A = \mathbf{T}_{AF}\mathbf{D}_F \quad (4)$$

여기서  $\mathbf{T}_{AF}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{T}_{AF} = -\mathbf{K}_{AA}^{-1}\mathbf{K}_{AF} \quad (5)$$

응축된 질량행렬은 변위벡터에 대한 가정 식 (4)를 두 번 미분하고 식 (6)과 같은 변환연산행렬을 도입하여 응축된 주구조물의 동적방정식 (7)을 얻을 수 있다.

$$\mathbf{T}_B = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{AB} \\ \mathbf{I}_B \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{M}_{FF}^M \ddot{\mathbf{D}}_F + \mathbf{C}_{FF}^M \dot{\mathbf{D}}_F + \mathbf{K}_{FF}^M \mathbf{D}_F = \mathbf{A}_F^M \quad (7)$$

위첨자 M은 주구조물의 행렬응축을 의미하고 같은 방식으로 상부의 마감층에 대한 운동방정식 또한 구할 수 있다.

$$\mathbf{M}_{FF}^S \ddot{\mathbf{D}}_F + \mathbf{C}_{FF}^S \dot{\mathbf{D}}_F + \mathbf{K}_{FF}^S \mathbf{D}_F = \mathbf{A}_F^S \quad (8)$$

상부 마감층과 주 구조물의 행렬은 사이의 방진층을 구성하는 강성과 감쇠행렬에 의하여 식 (9)와 같이 결합될 수 있다. 여기서 방진층의 강성과 감쇠는 분할되는 요소의 면적에 따라 결정된다.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_{FF}^M & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{M}_{FF}^S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{D}}_F^M \\ \ddot{\mathbf{D}}_F^S \end{bmatrix} + \left( \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{FF}^M & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{C}_{FF}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{pad} & -\mathbf{C}_{pad} \\ -\mathbf{C}_{pad} & \mathbf{C}_{pad} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{D}}_F^M \\ \dot{\mathbf{D}}_F^S \end{bmatrix} + \left( \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{FF}^M & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{FF}^S \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{pad} & -\mathbf{K}_{pad} \\ -\mathbf{K}_{pad} & \mathbf{K}_{pad} \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \mathbf{D}_F^M \\ \mathbf{D}_F^S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_F^M \\ \mathbf{A}_F^S \end{bmatrix} \quad (9)$$

위의 동적 방정식은 감쇠행렬이 방진층의 감쇠로 인하여 모드별로 분리되지 않는 성질을 지닌다. 따라서 본 연구에서는 Newmark-β 법을 이용하여 해석을 수행하였다.

### 5. 중량충격하중을 받는 표준바닥판구조의 동적해석

표준바닥판 구조는 경량충격하중을 줄이기 위하여 도입되었으며 슬래브의 두께는 종전에 비하여 50mm 정도로 크게 증가하였다. 이는 구조체 전체 중량을 증가시키고 충고를 높게 하는 등의 단점을 가진다. 본 연구에서는 경량하중이 아닌 중량충격하중을 받는 방진층을 가진 표준 바닥판에 대하여 방진층의 강성과 감쇠의 변화에 따른 응답을 분석해보고자 한다. 제안된 해석법의 정확성은 참고문헌[4]에서 이미 다루었으므로 본 연구에서는 중량충격하중에 대한 방진층의 효과만을 확인하는 것을 목적으로 하였다. 중량충격하중으로 사용한 하중은 그림 8에 나타내었으며 1m 높이에서 농구공을 떨어뜨렸을 경우에 대하여 계측한 하중이며 시간간격 Δ=0.00003125sec로 수행하였고 예제 구조물의 형상은 그림 9와 같다. 예제 구조물의 물성치는 표 1의 등가 바닥판의 물성치를 적용하였다.

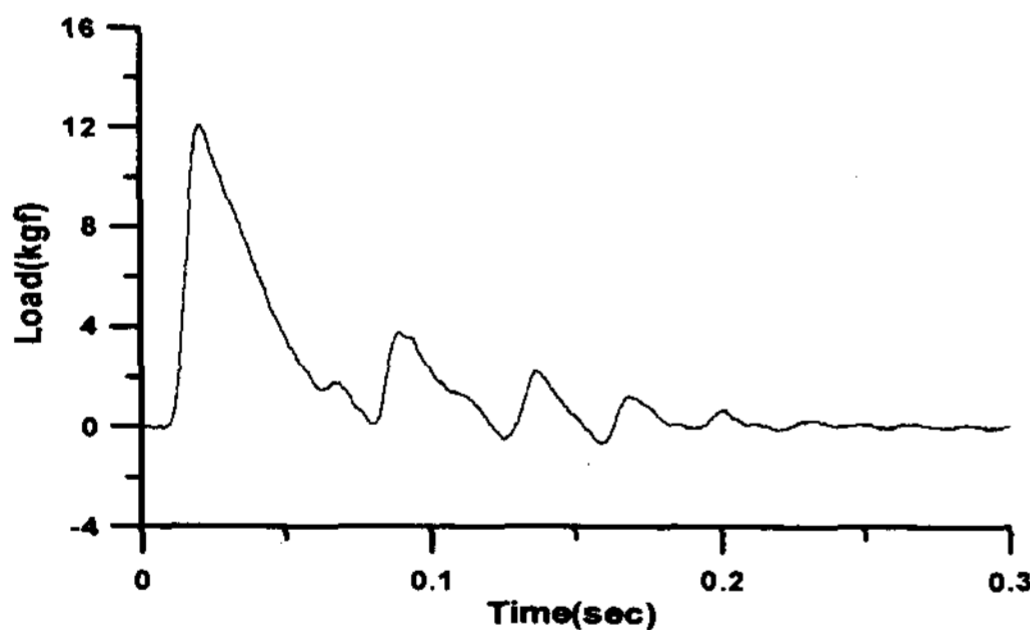


그림 8 중량충격하중의 시간이력

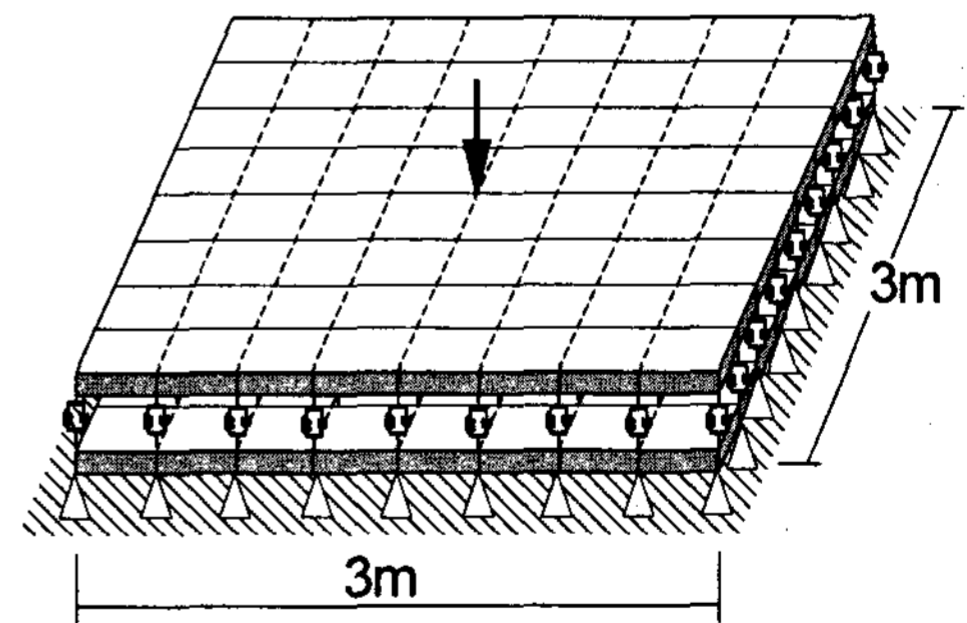
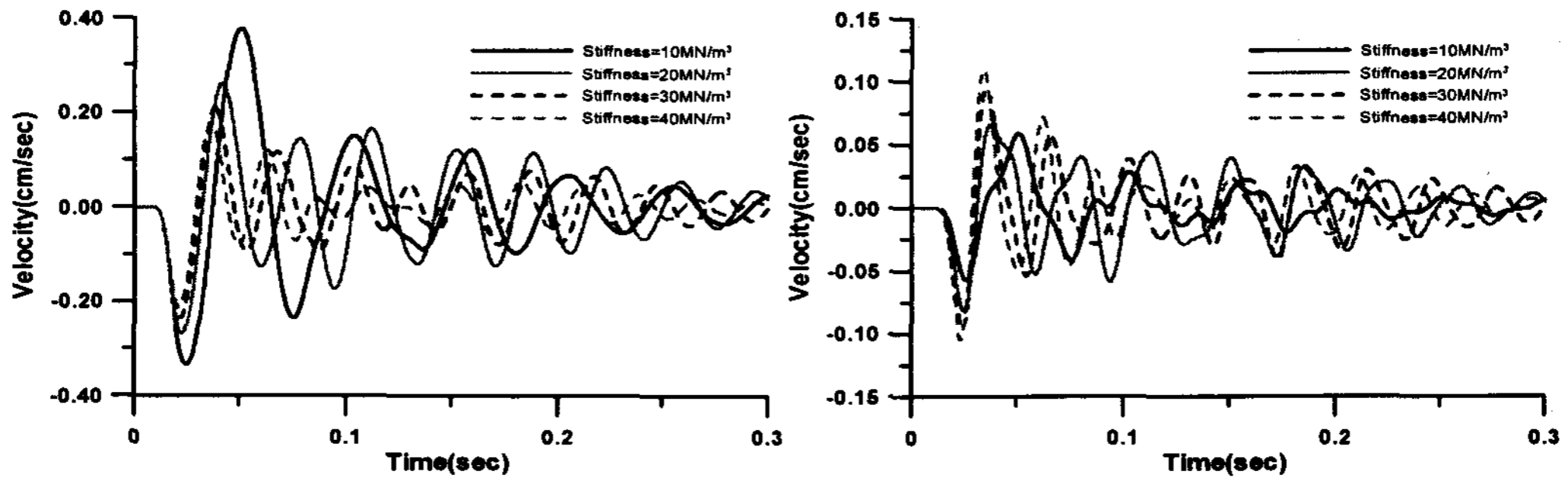


그림 9 예제 구조물

#### 5.1 방진층의 강성이 변할 경우

현재 바닥충격을 차단을 위한 표준바닥구조에 대한 제한 조건으로 동탄성계수는 40MN/m<sup>3</sup>이하이어야 하고 손실계수는 0.1~0.3 사이가 제시되고 있다. 본 연구에서는 우선 동탄성계수를 10MN/m<sup>3</sup>~40MN/m<sup>3</sup>사이로 10MN/m<sup>3</sup> 간격으로 변화시켜 가면서 소음응답과 관계가 큰 속도응답을 구하여 보았다. 이때 구조물의 감쇠는 콘크리트 슬래브와 상부판 모두 각각 1, 2차 모드가 2%인 레일리(Rayleigh) 감쇠를 적용하였고 방진층의 손실계수는 0.2로 두었다.



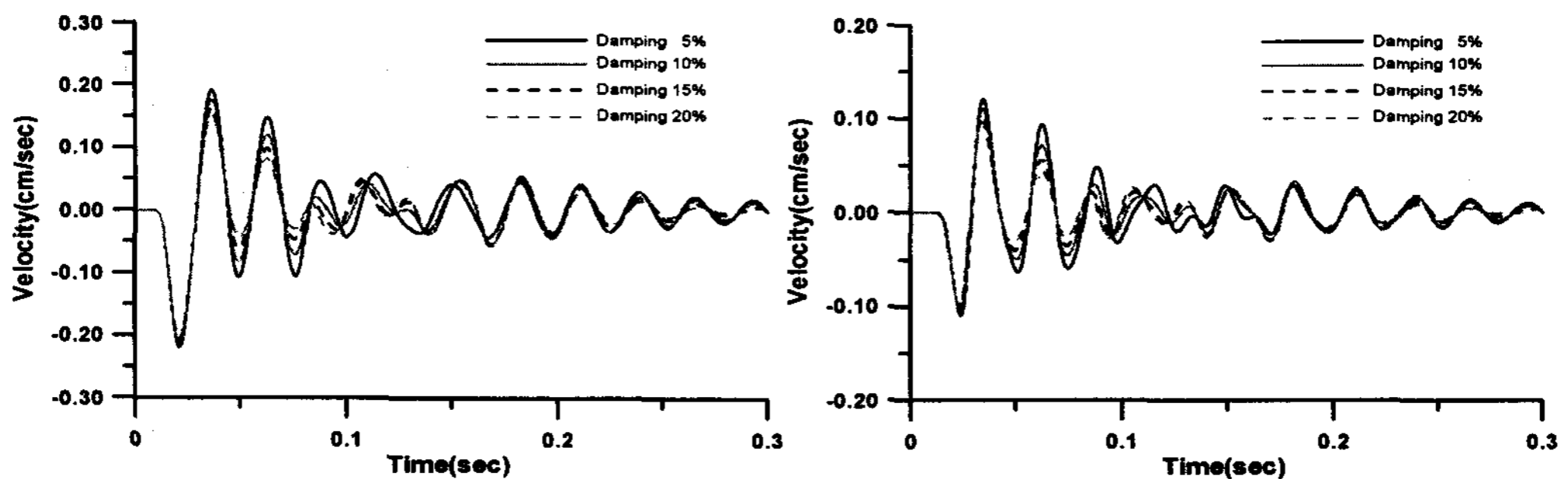
(a) 상부판의 속도응답 (b) 하부판의 속도응답

그림 10 방진층의 강성변화에 따른 예제구조물의 속도응답

방진층의 강성변화에 따른 예제구조물의 속도응답은 그림 10에 나타내었으며 예상할 수 있듯이 방진층의 강성이 약할수록 하부판에 미치는 진동응답은 작게 나타나는 것을 확인하였다. 하지만 이 예제 구조물에 국한된 결과이지만 강성이 가장 약한  $10\text{MN/m}^3$ 을 적용한 경우보다  $20\text{MN/m}^3$ 을 적용한 경우가 상부판과 하부판 모두에서 좀 더 효율적인 응답을 주는 것으로 나타났다. 이는 반드시 방진층의 강성이 작을 필요는 없다는 것을 보여주고 있으며 이에 따라서 구조물에 따라 적절한 방진층의 설계가 필요함을 의미한다. 진동모드들의 참여를 살펴보면 방진층의 강성이 클수록 탁월 진동모드에 다른 진동모드의 영향이 포함되는 것으로 보이며 강성이 작을 경우는 저차 연직모드에 의하여 지배되는 것으로 나타났다.

## 5. 2 방진층의 감쇠가 변할 경우

우선 동탄성계수는  $40\text{MN/m}^3$ 으로 고정시키고 방진층의 손실계수를 0.1~0.4까지 변화시켜보았다. 해석결과는 그림 11에 나타내었으며 방진층의 감쇠율변화는 전체구조물의 고유진동수 변화에 큰 영향을 미치지 않는 것이 확인되었다. 감쇠가 증가할수록 상부판, 하부판 모두 응답이 줄어드는 경향을 보이지만 하중이 작거나 자유진동을 할 경우에는 방진층의 감쇠는 거의 의미가 없는 것으로 나타났다. 그림 11의 감쇠율에 의한 응답감소의 정도는 감쇠율이 5%일 경우는 그리 크지 않지만 10%이상에서는 비슷한 비율로 효과를 보였다.



(a) 상부판의 속도응답 (b) 하부판의 속도응답

그림 11 방진층의 감쇠율 변화에 따른 예제구조물의 속도응답

## 6. 결론 및 추후연구과제

본 논문에서는 방진층을 포함한 바닥구조물의 효율적인 동적해석법에 대하여 연구하였다. 방진층을 모형화하기 위하여 전체 구조물을 방진층, 상부마감층, 하부 주구조물로 분리하였으며, 상부마감층과 하부 주구조물은



행렬응축 및 super-element를 적용하고 각각의 감쇠율에 따른 감쇠행렬을 산정하기 위하여 부분구조물 각각에 대하여 고유치해석을 수행하고 이를 조합하여 전체구조물을 완성하였다. 현재 바닥충격음을 줄이기 위하여 제시된 표준바닥구조를 기준으로 중량충격하중이 작용할 경우에 대하여 방진층의 영향을 살펴보았다.

- 1) 제안한 해석방법은 실제 구조물과 상부 마감층의 감쇠를 각각 별도로 고려할 수 있어 보다 실제적인 모형화가 가능할 것으로 생각된다.
- 2) 방진층의 강성이 작을수록 아래층의 층간소음에 영향을 줄 수 있는 하부판의 응답을 줄이는 것으로 나타났다. 하지만 효율성의 측면에서는 반드시 강성이 작을수록 좋은 것은 아니라는 결과가 나타났다. 따라서 바닥구조물의 형태에 따른 방진층의 설계가 필요할 것으로 생각된다.
- 3) 방진층의 감쇠는 구조물의 응답을 줄이는 효과를 가질 뿐 진동수 대역을 변화시키는 역할을 하지는 않는 것으로 나타났다. 하지만 방진층의 강성 변화는 바닥구조물의 주요모드의 진동수를 변화시킬 수 있는 것으로 나타났다.
- 3) 방진층의 감쇠는 전체 구조물의 응답을 줄이나 높은 감쇠값을 가지는 방진층을 사용하여도 큰 효율을 얻을 수 있는 것으로 보이지는 않는다. 현재 해석결과를 바탕으로 볼 때 상용화되어있는 방진층의 감쇠율만으로도 충분히 적절한 감쇠 효과를 얻는 것으로 보이나 추후 실제 구조물의 해석 및 실험을 통하여 보완되어야할 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00759)

#### 참 고 문 헌

1. Ansel C. Ugural, STRESSES IN PLATES AND SHELLS, Mcgraw-Hill, 1999, pp.253-280.
2. Dong-Guen Lee, "An Efficient Element for Analysis of Frames with Shear Walls", ICES88-Atlanta, 1988. 4
3. William Weaver, Jr., Paul R. Johnston, FINITE ELEMENTS FOR STRUCTURAL ANALYSIS, Prentice-Hall, Inc., 1984, pp.77-82, 205-209
4. 김태호, 이동근, "방진층을 포함한 바닥판 구조물의 동적해석", 한국지진공학회 춘계학술발표회, 2004.3.
4. Bachmann, H., Ammann, W., Vibration in Structures, IABSE, 1987.
5. Sven Ohlsson, Floor Vibrations and Human Discomfort, Chalmers University of Technology, 1982
6. 김기철, 이동근, "보행하중에 의한 구조물 진동의 효율적인 해석", 한국지진공학회 논문집, 제5권, 제1호, 2001.2.
7. Daniel J. Inman, Engineering Vibration, 2nd ed., Prentice Hall, 2001.
8. D. J. Ewins, Modal Testing: Theory and Practice, Research Studies Press, 1986.
9. S. P. Timoshenko, S. Woinowsky-krieger, THEORY OF PLATES AND SHELLS, Mcgraw-Hill, 1959.