

## 벽식구조물 바닥의 효율적인 진동해석

### Efficient Vibration Analysis of Floors in A Shear Wall Building Structure

김 현 수\*                      이 동 근\*\*                      이 선 화\*\*\*  
Kim, Hyun-Su                  Lee, Dong-Guen                  Lee, Sun-Hwa

---

#### ABSTRACT

Recently, many high-rise apartment buildings using the box system, composed of only reinforced concrete walls and slabs, have been constructed. In residential buildings such as apartments, vibrations occur from various sources and these vibrations transfer to neighboring residential units through walls and slabs. It is necessary to use a refined finite element model for an accurate vibration analysis of shear wall building structures. But it would take significant amount of computational time and memory if the entire building structure were subdivided into a finer mesh. Therefore, an efficient analytical method, which has only translational DOFs perpendicular to walls or slabs by the matrix condensation technique, is proposed in this study to obtain accurate results in significantly reduced computational time.

---

#### 1. 서론

현재 국내에서는 콘크리트 벽과 바닥판만으로 구성되는 벽식구조 방식이 고층아파트에 주로 사용되고 있다. 아파트와 같은 주거용 건물은 거주자의 움직임이나 사물에 의한 충격하중 등 다양한 진동원에 의하여 진동이 발생하고 이러한 진동은 벽과 바닥판을 통하여 이웃한 세대 및 위, 아래층 세대로 전달된다. 최근에는 고강도 재료의 사용으로 구조부재의 단면이나 두께가 작아져서 진동이 과도하게 발생하는 경우가 많다. 따라서 건축물의 바닥진동을 정확히 평가하고 사용성을 향상시키기 위하여 바닥판의 진동에 대한 정확한 해석이 요구되고 있다. 벽식구조물의 바닥진동해석을 정확하게 수행하기 위해서는 유한요소 세분모델을 사용하는 것이 필요하다. 이때 벽식구조물 바닥판에 대한 진동해석의 정확성은 바닥판과 벽체를 모형화할 때 사용되는 유한요소의 수에 크게 좌우된다. 그러나 아파트와 같은 벽식구조물 전체를 많은 수의 유한요소로 세분하여 모형화하면 자유도의 수가 급격히 증가하게 된다. 자유도의 수가 증가함에 따라서 해석시간은 기하급수적으로 증가하게 되어 때로는 현실적으로 해석이 불가능해질 수도 있다. 따라서 엔지니어링 실무에서는 해석에 사용되는 시간과 노력을 크게 절약할 수 있는 해석기법이 요구된다. 본 연구에서는 행렬응축기법을 통하여 벽과 바닥판에 수직인 자유도만으로 벽식구조물의 진동해석을 정확히 수행할 수 있는 효율적인 진동해석 모델을 제안하였다. 또한 엔지니어가 관심을 가지는 가진층과 수진층을 제외한 나머지 층의 주자유도 수를 최소화하여 보다 효율적인 해석기법을 제안하였다.

---

\* 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 연구원, 공학박사  
\*\* 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 교수, 공학박사, dglee@skku.ac.kr  
\*\*\*성균관대학교 건축공학과 석사과정

## 2. 구조물의 진동해석 모델

### 2.1 바닥판의 진동해석 모델

본 연구에서는 바닥판의 모형을 위하여 평면응력요소와 판의 휨요소를 결합하여 절점당 6개의 자유도를 가지는 쉘요소를 사용하였다. 평면응력요소는 면내방향의 회전자유도가 있는 Lee요소[1]를 사용하였고 판의 휨요소는 MZC 사각형요소[2]를 사용하였다. 건축구조물에 배치되는 바닥판은 일반적으로 면내방향의 강성이 면의 방향의 휨강성에 비하여 매우 크기 때문에 면내변형은 거의 무시할 정도로 작게 된다. 따라서 면내 방향의 자유도는 응축을 하더라도 바닥판의 진동해석에 큰 영향을 주지 않으리라고 판단된다. 바닥판의 진동해석을 위한 효율적인 해석모델을 알아보기 위하여 그림 1의 5가지 모델을 사용하였다. 그림에서 검정색 점은 6개의 자유도가 모두 존재하는 절점을 나타내고 흰색점은 바닥판에 수직인 자유도만 남아있는 절점을 나타낸다. 바닥판의 한 변의 길이는 4m, 두께는 15cm이고 탄성계수는 210tonf/cm<sup>2</sup>, 프아송비는 0.167이며 경계조건은 4변 회전단이다.

모델 PL-A는 바닥판을 8×8의 요소분할로 모형화한 모델로서 절점당 6개의 자유도를 사용하는 일반적인 해석모델이다. 모델 PL-B는 모델 PL-A에서 바닥판에 수직인 이동자유도만을 남기고 나머지는 소거한 모델로서 자유도 수가 49개로 줄었다. 이 모델에서 질량은 남아있는 이동자유도에 대하여 집중질량으로 고려하였고 회전자유도에 대한 질량은 고려하지 않았다. 모델 PL-C는 모델 PL-B와 같은 방법으로 판에 수직인 이동자유도만을 남겼지만 일관질량을 사용하여 행렬응축 후 소거되는 회전자유도에 대한 질량을 고려하였다. 모델 PL-D는 바닥판을 16×16로 요소분할하고 행렬응축기법[3]으로 판에 수직인 이동자유도만을 남긴 모델이다. 모델 PL-D의 절점의 수는 모델 PL-A보다 대폭 많아졌지만 해석할 때 사용되는 자유도의 수는 오히려 69개로 줄어든 것을 알 수 있다. 모델 PL-E는 8×8로 요소분할한 바닥판에서 주요 저차모드를 표현할 수 있도록 5개의 자유도만을 남긴 모델이다. 표 1의 해석모델에 따른 진동모드의 고유진동수를 보면 알 수 있듯이 일반적으로 많이 사용하는 모델 PL-A는 저차모드에서는 오차가 비교적 작지만 고차모드로 갈수록 오차가 커진다. 모델 PL-B는 회전질량에 대한 고려를 전혀 하지 않았기 때문에 자유도 수가 줄어들어서 해석시간은 짧겠지만 오차가 PL-A보다 더 큰 것을 알 수 있다. 모델 PL-C는 일관질량을 사용하여 회전질량을 고려한 후에 응축을 하였다. 따라서 모델 PL-C의 자유도 수는 모델 PL-B와 같지만 해석결과는 모델 PL-A와 비슷하다. 즉, 일관질량을 사용하면 절점의 모든 자유도를 살려서 해석한 결과와 판의 수직방향의 이동자유도만을 살려서 해석한 결과가 거의 비슷하므로 모델 PL-C를 사용하면 효율적인 판의 진동해석을 할 수 있다. 모델 PL-D의 경우에는 사용된 자유도 수는 모델 PL-A에 비하여 작지만 사용한 요소와 절점수가 많기 때문에 이론해와 가장 가까운 결과를 나타냈다. 이를 통하여 바닥판의 회전자유도나 면내 이동자유도보다 판

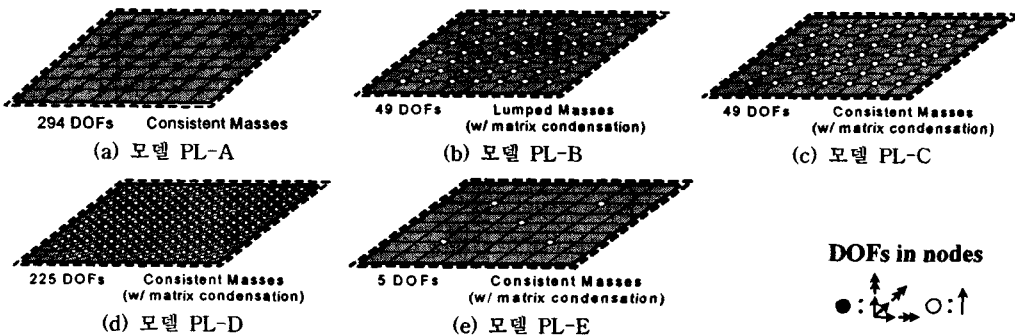


그림 1. 바닥판의 진동해석 모델

표 1. 해석모델에 따른 진동모드의 고유진동수

(단위: Hz)

모드	모델 PL-A			모델 PL-B		모델 PL-C		모델 PL-D		모델 PL-E	
	이론해 진동수	진동수	오차(%)	진동수	오차(%)	진동수	오차(%)	진동수	오차(%)	진동수	오차(%)
1	25.24	25.07	-0.67	25.06	-0.71	25.07	-0.67	25.20	-0.16	25.45	0.83
2	63.18	62.43	-1.19	62.34	-1.33	62.43	-1.19	62.94	-0.38	69.31	9.70
4	101.12	98.30	-2.79	97.92	-3.16	98.33	-2.76	100.27	-0.84	103.9	2.75
5	126.35	124.87	-1.17	124.27	-1.65	124.94	-1.08	125.86	-0.39	137.84	9.09

에 수직인 이동자유도가 바닥판의 운동에너지를 더 잘 나타내는 것을 알 수 있다. 또한 절점당 판에 수직인 이동자유도 하나만을 남기면 전체 자유도수가 줄어들어서 더 많은 절점을 사용할 수 있고 더 많은 절점을 사용하면 정확해에 더 가까운 결과를 얻을 수 있다. 모델 PL-E는 그림 2에서 보는 바와 같이 바닥판의 주요 저차모드의 동적거동을 가장 잘 표현할 수 있는 5지점의 연직자유도를 선택하였다. 표 1의 모델 PL-E의 해석결과를 보면 10% 미만의 오차를 가지고 주요 저차모드를 잘 표현할 수 있다는 것을 알 수 있다. 벽식구조물은 여러 개의 방과 거실, 욕실 등으로 구성되고 이러한 실들은 그 용도에 따라서 각 실을 구성하는 벽체와 바닥판의 크기가 다양하다. 벽식구조물의 진동모드가 고차로 갈수록 벽체와 바닥판을 구성하는 판도 점점 많이 구부러지는 고차모드의 형상을 나타낸다. 이 때 거실과 같이 면적이 큰 바닥판은 여러번 구부러지는 고차모드의 형상을 나타내지만 화장실과 같이 면적이 작은 실을 구성하는 판들은 아직 몇 번 구부러지지 않는 저차모드형상을 나타내게 된다. 따라서 모델 PL-E와 같이 바닥판에 5개의 자유도만 남긴 해석모델로도 면적이 작거나 운동에너지가 작은 판의 거동은 적절히 표현할 수 있다.

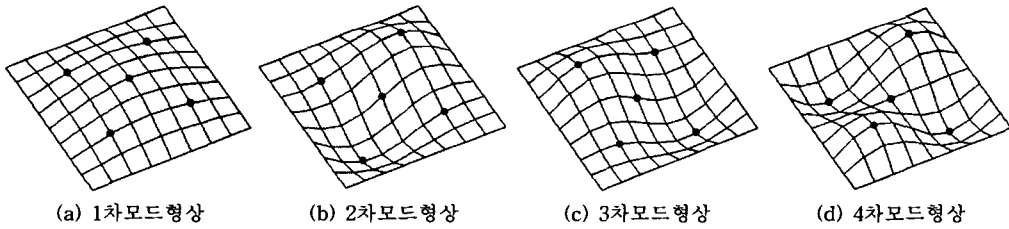


그림 2. 단순지지 정방형 바닥판의 주요저차모드

## 2.2 벽식구조물의 진동해석 모델

앞 절에서 설명한 바닥판과 마찬가지로 벽식구조물의 경우에도 대부분의 운동에너지는 판에 수직방향의 이동자유도에 의하여 표현된다. 따라서 판에 수직인 자유도를 살린 모델이 절점의 자유도 6개를 모두 살린 모델과 비슷한 해석결과를 얻으리라고 예상된다. 이를 검토해보기 위하여 그림 3에 나타난 4가지 해석모델을 사용하였다. 바닥판의 한 변의 길이는 6m, 층고는 3m이며 나머지 물성치는 앞 절의 바닥판 모델과 같다. 모델 BX-A는 절점당 6개의 자유도를 모두 가지고 있는 일반적인 해석모델로서 가장 정확한 해석결과를 나타낸다고 예상할 수 있다. 모델 BX-B는 바닥판과 벽에 수직인 이동자유도만 남기고 나머지 자유도를 모두 소거한 것이다. 벽식구조물은 일반적으로 벽체의 판크기가 바닥판의 크기보다 작으므로 벽체의 운동에너지가 바닥판보다 작다. 따라서 모델 BX-C는 벽체의 자유도를 그림 3(c)에서 보는 바와 같이 수직인 5개의 이동자유도만 남기고 모두 소거한 것이다. 모델 BX-D는 그림 3(d)와 같이 바닥판에 수직인 이동자유도만을 남기고 모든 자유도를 소거한 모델이다. 해석결과 1, 2, 8 주요 저차모드의 고유진동수와 모드형상은 모델 BX-A의 결과와 나머지 모델의 결과가 큰 오차 없이 거의 비슷하였다. 그러나 13차 모드를 보면 모델 BX-D는 벽체의 자유도가 전혀 없어서 고유진동수가 다른 모델에 비하여 10%이상의 오차를 나타내었다. 이러한 현상은

벽체의 운동에너지가 큰 모드일수록 더욱 심해질 것이다. 그러나 모델 BX-C는 모델 BX-D에 비하여 벽체당 5개의 자유도를 추가하여서 벽체의 주요 저차모드를 표현할 수 있으므로 모델 BX-A의 고유진동수와 비교하여 1.3%의 오차만을 나타낸다. 벽식구조물의 진동해석을 할 때 바닥판이 주로 진동한다고 하여 벽체의 자유도를 모두 소거하면 구조물의 고유진동수에 오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 특히 다층의 벽식구조물일 경우에 벽체자유도가 없으면 진동이 다른 층으로 전달되는 것을 표현하는데 많은 어려움이 있다. 그러나 벽체에 자유도가 전혀 없는 모델에 비하여 5개의 자유도만 추가한 모델은 벽체의 주요 저차모드를 표현할 수 있어 벽식구조물의 동적거동을 상당히 효과적으로 표현할 수 있다.

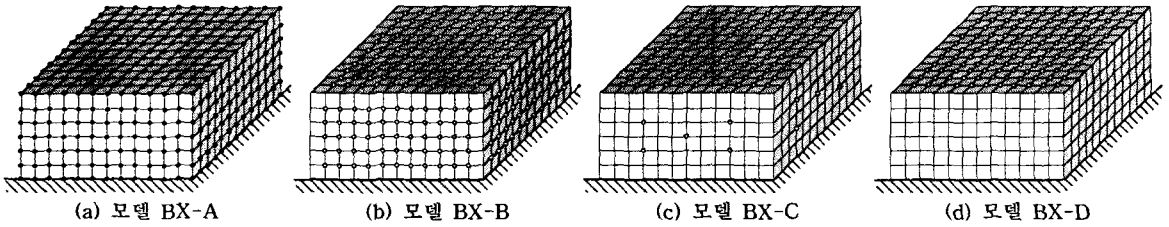


그림 3. 벽식구조물의 진동해석 모델

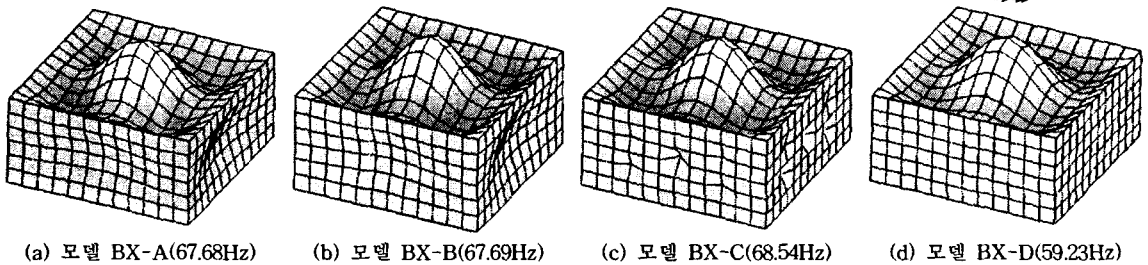
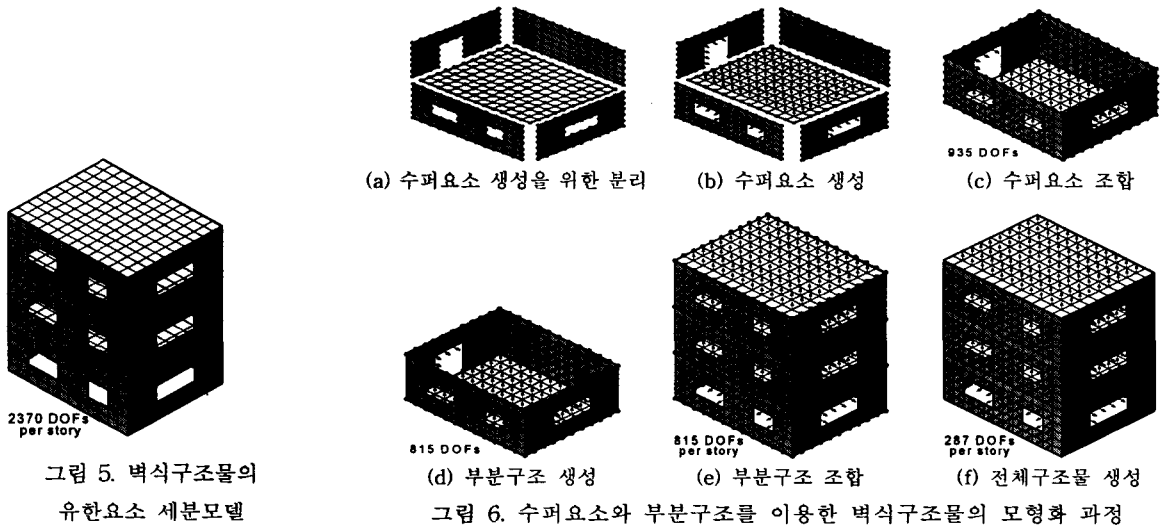


그림 4. 해석모델의 13차모드 고유진동수 및 진동모드형상의 비교

### 3. 슈퍼요소를 이용한 구조물의 모형화

벽식구조물의 효율적인 진동해석을 위해서 바닥판과 벽에 수직방향 이동자유도만을 남기고 나머지 자유도를 Guyan의 행렬응축기법을 사용하여 응축할 수 있었다. 그래서 해석에 사용되는 자유도 수를 대폭 줄일 수 있고 따라서 고유치해석 및 시간이력해석 과정에서 소요되는 시간을 상당히 저감시킬 수 있었다. 그러나 전체 자유도에 대하여 행렬응축을 하게 되면 행렬응축과정에서 많은 시간이 소요되는 단점이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 행렬응축과정에서 소요되는 시간을 줄이기 위하여 부분구조법과 슈퍼요소를 도입하였다. 본 논문에서 벽식구조물을 모형화하는데 사용한 슈퍼요소와 부분구조법을 설명하기 위하여 그림 5의 예제구조물을 사용하였다. 예제구조물은 창문형 개구부와 출입문형 개구부를 가진 3층 벽식구조물로서 층 당 2370개의 자유도를 가지고 있다. 설명의 편의를 위하여 그림 6(a)와 같이 한 개의 층을 사용하여 설명하기로 한다. 우선 슈퍼요소의 생성을 위하여 그림 6(a)와 같이 벽식구조물의 벽과 바닥판을 분리한다. 분리된 벽과 바닥판 모델에서 내부의 절점에 대하여 판에 수직방향인 이동자유도를 남겨두고 나머지 자유도를 행렬응축기법으로 소거한다. 이러한 과정을 정하여 그림 6(b)와 같이 슈퍼요소를 생성할 수 있다. 생성된 슈퍼요소를 그림 6(c)와 같이 테두리의 절점을 결합시킴으로써 한 층에 대하여 조합하면 자유도의 수는 953개로 줄어든다. 조합된 모델에서 벽과 벽이 만나는 부분에 존재하는 절점의 자유도를 행렬응축기법으로 소거하면 그림 6(d)에서 보는 바와 같이 한 층에 대한 부분구조를 생성할 수 있다. 여러 층에서 동일한 평면이 반

복되는 경우에는 이러한 부분구조를 반복해서 사용할 수 있으므로 매우 효율적이다. 생성된 부분구조를 조합하고 상부층벽과 하부층 벽이 만나는 부분에 존재하는 절점의 자유도를 소거함으로써 그림 6(f)와 같이 바닥판과 벽에 수직인 이동자유도만을 가진 벽식구조물의 해석모델을 얻을 수 있다. 이러한 과정을 통하여 해석모델의 총 당 자유도 수는 그림 5의 세분모델에 비하여 12%에 불과한 287개로 줄일 수 있다. 이렇게 수퍼요소와 부분구조를 사용하여 벽식구조물을 모형화하면 한번에 응축되는 자유도 수가 작기 때문에 행렬응축에 소요되는 계산시간을 크게 단축시킬 수 있다.



#### 4. 예제해석

그림 7과 같은 구조물로 변위시간이력과 사용된 자유도 수 및 소요된 해석시간을 비교하였다. 하중은 예제 구조물의 시간이력해석을 위하여 제작한 충격하중을 사용하였다. 그림 7에서는 가진위치와 수진위치를 쉽게 확인할 수 있도록 정면의 전단벽을 구조물과 분리해서 나타내었다. 충격하중은 그림 8에서 보는 바와 같이 3층 바닥판의 중앙인 A점에 가하였고 A점과 5층의 B점 및 2층의 C점의 변위시간이력해석 결과를 비교하여 보았다. 해석에 사용된 충격하중은 그림 9에서 보는 바와 같이 벽돌을 떨어뜨렸을 때 발생하는 동적하중을 로드셀을 이용하여 측정한 것이다. 동적하중은 그림 9(a)과 같이 벽돌의 한쪽 모서리 부분이 먼저 로드셀에 닿을 때 발생하는 큰 충격하중과 계속해서 다른 쪽 부분이 닿으면서 발생하는 몇 번의 작은 충격하중으로 이루어져 있다. 이 하중을 FFT한 것을 그림 9(b)에 나타내었는데 20Hz 이내의 진동수 성분이 많으며 100Hz까지의 진동수 성분을 가지고 있다. 본 예제에서 사용한 모델은 표 2에서 보는 바와 같다. 모델 W5-E와 W5-F는 B점과 C점의 해석결과를 나타낼 수 없으므로 A점에서의 결과만 비교하여 보았다. 모든 모델에서 질량은 일관질량을 사용하였으며 자유도의 소거는 Guyan의 행렬응축기법을 사용하였다. 모든 자유도를 사용한 모델 W5-A는 행렬응축으로 인한 오차가 발생하지 않으므로 모델 W5-A를 가장 정확한 모델이라고 가정할 수 있다. 따라서 나머지 모델의 해석결과를 모델 W5-A와 비교하였다. 모델 W5-B의 변위시간이력결과는 그림 10에서 볼 수 있듯이 세 곳의 수진위치에서 모두 W5-A의 결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 그림 11를 보면 W5-C도 W5-A의 결과와 거의 일치한다. 따라서 가진층과 수진층의 이외의 바닥판과 벽체의 자유도를 5개만 사용하여도 매우 정확한 해석결과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 그림 12의 모델 W5-D 해석결과를 보면 수진위치 A와 C에서는 모델 W5-A의 결과와 상당히 비슷한 것을 볼 수 있다.

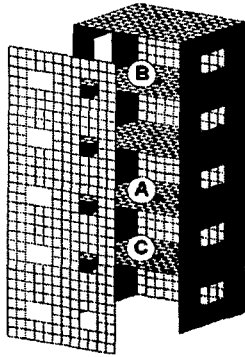


그림 7. 예제 구조물

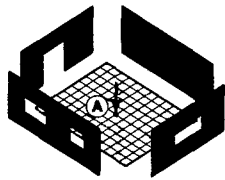
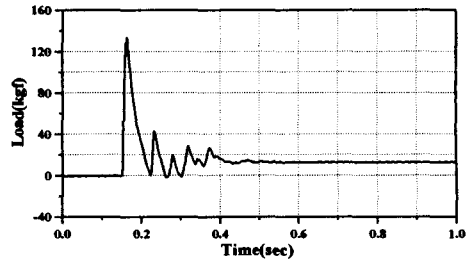
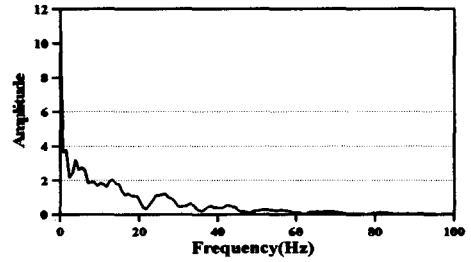


그림 8. 충격하중 재하위치



(a) 시간영역



(b) 진동수영역

그림 9. 점 A에서의 가진하중

표 2. 모델별 자유도 구성

모델	바닥판의 수직 자유도					벽체의 수직 자유도
	2층	3층	4층	5층	지붕층	
W5-A	A	A	A	A	A	A
W5-B	B	B	B	B	B	B
W5-C	B	B	C	B	C	C
W5-D	B	B	D	B	D	D
W5-E	D	B	D	D	D	D
W5-F	-	B	-	-	-	D*

- A : 절점당 6개의 자유도를 모두 사용
- B : 판에 수직방향 이동자유도만 남기고 나머지 자유도는 모두 응축
- C : 판에 수직방향 이동자유도 중 5개만 남기고 나머지 자유도는 모두 응축
- D : 판에 존재하는 모든 자유도를 응축
- D\* : 가진층과 아래층의 벽체만 모형화하고 벽체에 존재하는 모든 자유도를 응축

그러나 수진위치 B의 결과는 모델 W5-A의 결과에 비하여 상당히 부정확한 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 3층 바닥판에서 발생한 진동이 5층으로 전달되는 것을 제대로 표현하기 위해서는 3층과 5층 사이에 위치한 바닥판과 벽에도 자유도가 고려되어야 한다. 모델 W5-C의 결과를 보면 3층과 5층의 중간에 있는 바닥판과 벽에 5개의 자유도만 남기더라도 3층의 진동이 5층으로 전달되는 것을 상당히 정확하게 표현할 수 있음을 알 수 있다. 그림 13에서 보는 바와 같이 모델 W5-E는 가진층의 수직 이동자유도만 고려하여도 가진위치에서의 응답을 비교적 정확하게 나타낼 수 있다. 진동해석에서는 일반적으로 하중이 가해지는 위치에서의 구조물의 응답이 가장 중요한 경우가 많다. 따라서 가진위치의 응답만을 얻고자 한다면 모델 W5-F를 사용하여도 그림 14과 같이 비교적 정확한 해석결과를 효율적으로 얻을 수 있다. 그림 12을 보면 W5-D의 수진위치 B점에서의 변위시간이력이 모델 W5-A의 해석결과와 가장 많이 차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 가진위치에서 모드형상의 변위가 구조물의 동적응답에 큰 영향을 미치므로 20Hz의 진동수를 가진 하중이 3층 바닥판의 동적거동에 큰 영향을 주게 된다는 것을 나타낸다. 예제구조물의 해석에 사용된 모델별 해석시간과 자유도의 수를 표 3에서 비교하였다. 모델 W5-A는 절점당 6개의 자유도를 모두 사용하므로 해석시간이 다른 모델에 비하여 가장 많이 소요된다. 모델 W5-C는 W5-B보다 많은 수퍼요소를 생성해야 하므로 수퍼요소 생성에 소요되는 시간은 조금 더 소요된다. 그러나 자유도 수가 작기 때문에 부분구조와 전체구조물에서 소요되는 행렬응축시간은 모델 W5-B보다 더 작게 소요된다. 모델 W5-E와 F의 자유도 수가 작기 때

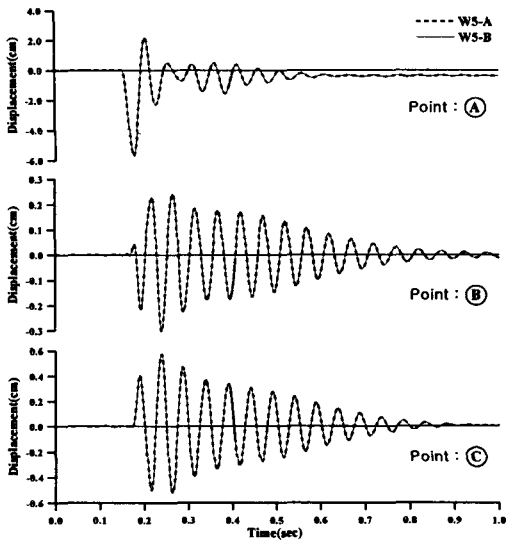


그림 10. 모델 W5-A와 W5-B의 변위시간이력

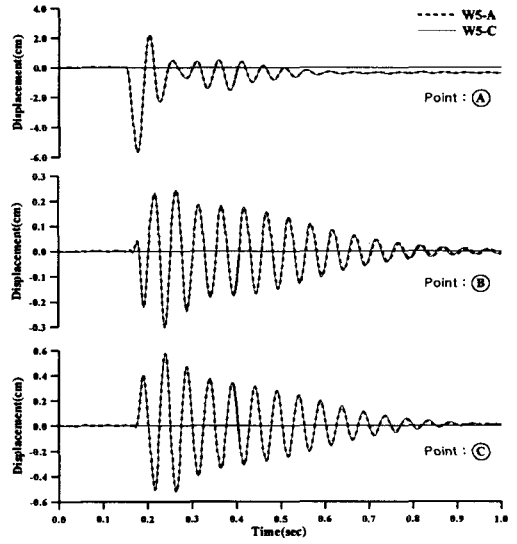


그림 11. 모델 W5-A와 W5-C의 변위시간이력

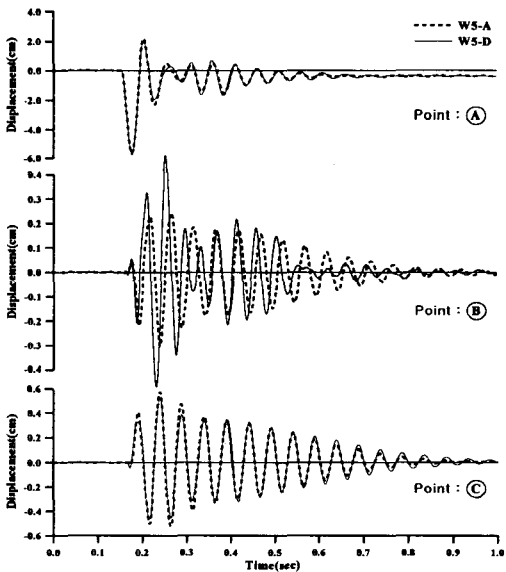


그림 12. 모델 W5-A와 W5-D의 변위시간이력

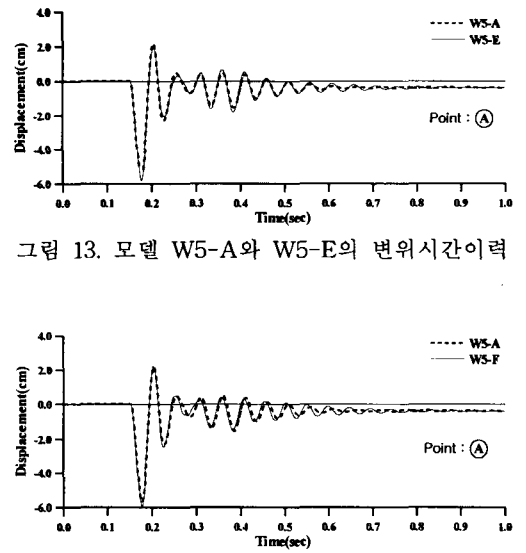


그림 13. 모델 W5-A와 W5-E의 변위시간이력

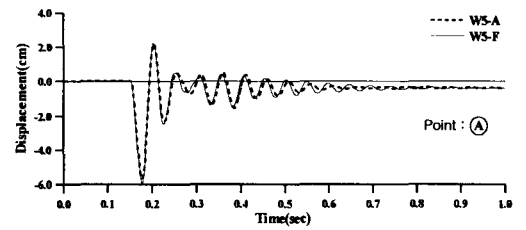


그림 14. 모델 W5-A와 W5-F의 변위시간이력

표 3. 모델별 자유도수 및 해석시간의 비교

모델	자유도수	소요시간(초)					
		강성·질량 행렬구성			고유치해석	시간이력해석	전체
		수퍼요소	부분구조	전체구조물			
W5-A	10530	0	0	18.23	9090.06	695.78	9,804.07
W5-B	1435	25.26	5.36	638.53	140.21	69.69	879.45
W5-C	407	37.47	4.08	176.99	12.14	21.61	252.29
W5-D	297	36.34	3.83	98.72	4.89	15.27	159.05
W5-E	99	36.28	3.79	68.78	2.97	2.30	114.12
W5-F	99	24.28	3.67	1.22	2.83	2.22	34.22

문에 고유치해석과 시간이력해석에 소요되는 시간이 매우 작으므로 가진층에서의 진동을 얻고자 할 때 효율적으로 사용될 수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 벽식구조물의 효율적인 진동해석을 위하여 벽체와 바닥판에 수직방향의 이동자유도만 남기고 나머지는 행렬응축기법을 이용하여 소거한 해석모델을 제안하였다. 또한 벽식구조물 해석모델의 행렬응축과정에서 소요되는 시간을 줄이고 모델링 작업의 편의를 위하여 수퍼요소와 부분구조를 사용한 모형화기법을 제안하였다. 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유한요소법으로 구조물의 진동해석을 수행할 경우에는 자유도 수가 증가할수록 해석시간은 기하급수적으로 늘어나서 때때로 실무에서는 적용할 수 없을 정도로 많은 해석시간이 소요된다. 본 연구에서 제안한 해석기법은 절점당 하나의 이동자유도만 남기므로 절점당 6개의 자유도를 모두 사용한 세분모델보다 더 많은 절점을 사용하고도 자유도 수는 더 작은 해석모델을 생성할 수 있으므로 효율적인 해석을 할 수 있다.
2. 바닥판에 진동하중이 가해진 위치에서 수진할 경우에는 가진층의 바닥판에 수직인 이동자유도만 고려하고 다른 층이나 벽에 존재하는 자유도를 모두 응축하여도 상당히 정확한 해석결과를 얻을 수 있다. 이 때 다른 층의 바닥판이나 벽체의 강성은 응축되어 가진층 바닥판의 경계조건으로 고려된다.
3. 가진위치와 수진위치가 다른 경우에는 가진위치에서 발생한 진동이 벽체나 다른 층의 바닥판을 통하여 수진위치로 전달되기 때문에 가진층 바닥판 이외의 부분에서도 판에 수직인 이동자유도를 사용할 필요가 있다. 벽식구조물의 모든 층의 바닥판과 벽체에 수직인 이동자유도를 사용하면 세분모델의 해석결과와 거의 비슷한 결과를 얻을 수 있다. 가진층과 수진층 이외의 층은 엔지니어의 관심 밖이므로 그러한 층의 바닥판과 벽체에 존재하는 자유도를 모두 응축하여 해석할 수 있는데 그러면 해석결과에 상당한 오차를 포함하게 된다. 이때 벽체와 바닥판의 주요 저차모드를 표현할 수 있도록 벽체 당 5개의 자유도를 추가하여 남긴다면 해석의 정확도를 크게 개선할 수 있다.
4. 일반적으로 벽식구조물에서 같은 형태의 평면이 많은 층에서 반복되어 사용된다. 따라서 본 연구에서 제안한 수퍼요소와 부분구조법을 사용한 모형화방법을 효과적으로 적용할 수 있고 제안한 방법을 사용하면 행렬응축에 소요되는 시간과 모델링의 노력을 크게 절감할 수 있다. 또한 제안된 해석모델은 행렬응축과정을 통하여 자유도수가 크게 줄어들기 때문에 해석시간 및 컴퓨터 메모리를 상당히 절약할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 2003년도 두뇌한국 21사업 핵심분야 사업비와 서울대학교 지진공학연구센터를 통한 한국과학기술단의 지원에 의하여 수행되었음을 밝히며 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. Lee DG. An Efficient Element for Analysis of Frames with Shear Walls, ICES88, Atlanta, April 1987.
2. Zienkiewicz OC, Cheung YK. The finite element method for analysis of elastic isotropic and orthotropic slabs. Proceedings of the Institution of Civil Engineers 1964;28:471-488.
3. Guyan, R. J. Reduction of Stiffness and Mass Matrices. AIAA Journal 1965;3(2):380.