

건축구조물의 효율적인 연직진동 해석

Efficient Analysis of Vertical Vibration of Building Structures

이 동근* 안 상 경** 김 태 호***
Lee, Dong Guen Ahn, Sang Kyoung Kim, Tae Ho

국문요약

본 논문은 바닥판을 고려한 3차원 골조 구조물의 효율적인 연직 진동 해석법을 제안한다. 바닥판의 영향을 고려하면 구조물의 진동해석을 좀 더 정확히 수행할 수 있는 반면, 변요소의 사용에 따른 많은 자유도의 사용으로 많은 해석시간과 기억용량이 필요하게 된다. 따라서, 행렬응축기법을 사용하여 적절한 요소분할 및 주자유도 선택 기법을 제안하였으며, 대형요소를 사용하여 정형화된 일반적인 건물의 동적해석에 적용하여 입력 데이터의 작성을 간단히 하고 동적해석을 빠르고 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있는 기법에 대하여 연구하였다.

주요어 : 건축구조물, 바닥판의 진동, 대형요소, 변장비

ABSTRACT

This research proposes an effective analytical methodology for vertical vibration of three dimensional frame structures including slabs. The consideration of slabs, although allows more precise results, requires large amount of computer time and memory space due to the use of plane stress elements.

In consideration of these problems, a method to properly manage nodal points and degrees of freedom is proposed based on matrix condensation technique. Also studied is the use of super elements to obtain fast and reliable results with simple input data when they are applied to conventional building structures.

Key words : building structures, vibration of slab, super element, aspect ratio

1. 서 론

1.1 연구의 목적

현대의 건축물은 여러 가지 이유로 인하여 복잡화, 대형화되는 경향이 있으며 동시에 소음, 진동 등 환경적 문제들이 중요한 요소로 대두되고 있다. 열차가 지나가는 역사구조물, 주차타워, 고층구조물의 기계실 등 많은 구조물에서 진동이 유발된다. 이러한 진동하중은 수평 성분과 연직 성분으로 구분될 수 있으며,

주로 연직 성분의 진동이 많이 발생한다. 연직 진동해석에 있어서 건축구조물은 골조해석만을 수행하는 경우가 보편적이나 실제로 진동이 발생하는 위치는 진동에 민감한 주요 기체가 놓이거나 환경문제가 발생하는 곳으로 주로 구조물의 바닥판이다. 그러므로 좀 더 실제적인 해석을 위해서는 바닥판을 포함한 3차원 구조물의 해석이 필요하다. 이 때 구조물을 보다 정확하게 해석하기 위해서는 보와 같은 1차원요소가 아닌 2차원요소를 사용하여야 하지만 이것은 많은 요소 및 절점을 필요로 하고 해석시간이 길어지며 많은 기억용량을 차지하게 되는 단점이 있다. 그러므로 보다 더 효율적으로 동적해석을 수행할 수 있는 해석

* 정회원, 성균관대학교 건축공학과 교수

** 성균관대학교 건축공학과 박사과정

*** 학생회원, 성균관대학교 건축공학과 석사과정

및 모델링 기법이 필요하다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구에서는 바닥판이 첨가된 골조 구조물의 연직 진동해석을 효율적으로 수행할 수 있는 요소분할법, 주자유도 선택기법 및 모델링기법에 대하여 연구하였다. 자유도수를 줄이기 위하여 Guyan의 정적 및 동적 행렬응축기법을 사용하였다. 3차원 구조물의 해석을 위하여 골조와 바닥판과의 결합성을 고려한 쉘 요소를 사용하였으며, 먼저 단일 판에 대하여 적절한 요소 분할법과 주자유도 선택기법에 대하여 연구하였다. 또한 이러한 기법들을 이용한 대형요소(super element)를 형성하여 좀 더 효율적인 계산이 되도록 하였다. 각각의 요소들 상호간의 연결성을 고려하였으며, 주자유도 선택은 모드형상과 질량 참여율 등을 이용하였다.

2. 단일 판 구조물의 연직진동해석

건축구조물에서는 일반적으로 동일한 두께와 크기를 갖는 바닥판이 반복되어 배치되어 있다. 그러므로 바닥판의 크기 및 두께에 따라 대형요소를 형성하여 같은 바닥판에 대하여 동일한 강성행렬 및 질량행렬을 사용한다면 구조물의 모델링시간과 해석시간을 줄일 수 있다. 대형요소를 형성하기 위하여 먼저 단일 판의 요소분할과 주자유도 선택에 대하여 연구하였다.

2.1 쉘 요소의 강성행렬 조합

본 논문에서 사용한 쉘 요소는 평면 응력 요소와 판의 휨 요소를 결합하여 사용하였다. 한 개의 절점당 자유도수는 평면응력 요소에서 3개와 판의 휨 요소에서 3개를 합쳐서 모두 6개를 가지게 하였으며, 또한 기둥과의 결합성을 고려하여 면내방향의 회전자유도를 고려하였다.

판의 요소 분할 형태를 고려할 때는 정형화시키기 편리하고 골조 구조물과의 결합이 간

단한 사각형요소를 사용하였다. 2차원 탄성 문제에 있어서는 1개의 요소당 12개의 자유도를 갖는 Lee⁽²⁾에 의하여 개발된 요소를 사용하였다. 이것은 면내 방향의 회전자유도가 고려되었기 때문에 골조와의 강성행렬 조합이 원활하다는 장점이 있다.

판의 휨 요소는 Melosh, Zienkiewicz와 Cheung이 개발한 MZC사각형요소⁽³⁾를 사용하였다. 이 요소는 절점당 면외방향의 회전자유도 2개와 연직 자유도 1개를 가진다. 그러므로 1개의 요소에 대한 자유도수는 12개가 된다.

2.2 요소분할에 따른 고유진동수 비교

일반적으로 판구조물의 해석은 요소를 많이 나눌수록 정확한 값을 얻을 수 있으나, 보 요소에 비하여 훨씬 많은 컴퓨터의 해석시간과 기억용량을 필요로 한다. 따라서 적은 요소분할로도 보다 더 정확한 해를 얻는 것이 중요하다.

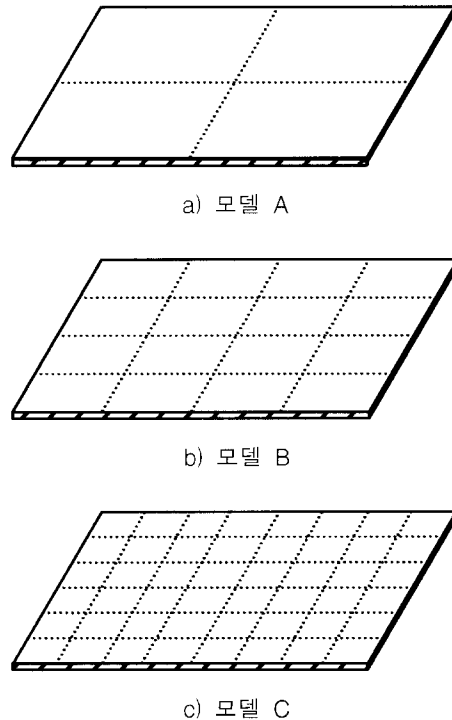
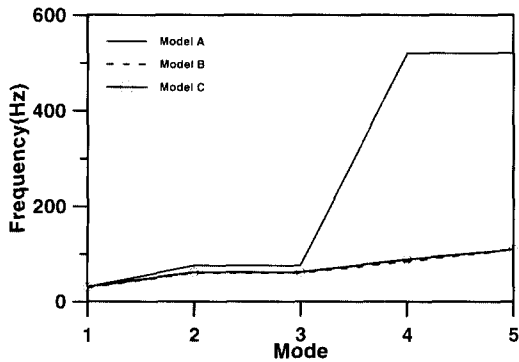
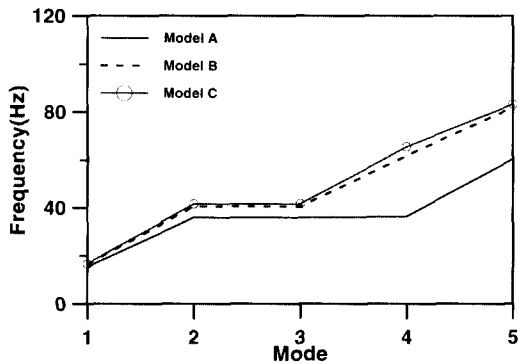


그림 1 쉘요소 분할에 따른 예제모델

본 연구에서는 그림 1(c)와 같이 8×8 의 요소분할을 비교적 정확한 해석값이라 가정하였다. 골조해석의 경우에서 얻었던 요소 분할⁽¹⁾을 기준으로 하여 그림 1(b)의 경우에는 4×4 로 요소를 분할하였다. 그리고 그림 1(a)는 2×2 로 요소를 분할한 것이다. 예제에서 사용한 모델은 $4m \times 4m$ 의 정방형판으로 설정하였으며, 자중만을 고려하였다. 판구조물의 경계조건은 고정지와 단순지지로 하여 비교하였으며, 3개의 모델에 대하여 고유진동수를 비교하였다.



a) 주변고정 모델



b) 주변단순지지 모델

그림 2 요소분할에 따른 각 모드별 고유진동수의 변화

위의 결과를 비교하여 보면 그림 2와 같다. 모델 C와 모델 B의 경우는 해석결과가 매우

근사한 반면 모델 A의 경우는 고차 모드에서 매우 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이것은 2×2 의 요소분할로는 고차모드를 잘 표현할 수 없음을 나타낸다.

바닥판은 4×4 로 나누었을 경우가 8×8 로 나누었을 때보다 오차가 크다. 그러나 실제 구조물에서처럼 여러 개의 바닥판이 연속되어 있다면 저차 모드 뿐만이 아니라 고차 모드까지도 잘 표현할 수 있다. 그러므로 최소한 4×4 로 요소를 분할하더라도 해석 결과의 정확도에는 큰 차이를 보이지 않는다.

2.3 단일 쉘요소에 대한 적합한 자유도 선택

바닥판의 요소 분할은 최소한 4×4 이상으로 나누어야 비교적 정확한 값을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 절에서는 4×4 로 분할된 모델에 대하여 자유도 선택에 따른 고유진동수를 비교하였다. 그림 3과 같이 B-1 모델은 주변의 경계조건을 고려하였으며 내부의 자유도는 연직자유도만을 남기고 나머지 자유도는 응축하였다. 일반적으로 연직진동의 경우는 연직자유도만을 선택하더라도 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또한 쉘요소의 경우에는 면내 방향의 강성이 휨 강성에 비하여 매우 크기 때문에 면내 방향의 자유도는 응축을 하더라도 해석결과에는 큰 영향을 주지 않는다. 그림 3에 나타난 모델의 경우 해석 결과의 정확도를 비교하기 위하여 1개의 절점당 6개의 자유도를 사용한 모델과 진동수를 비교하였다.

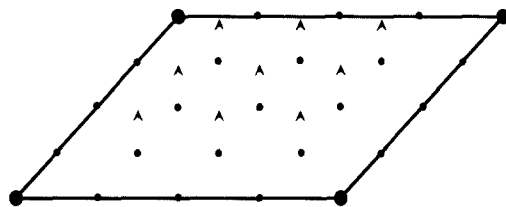
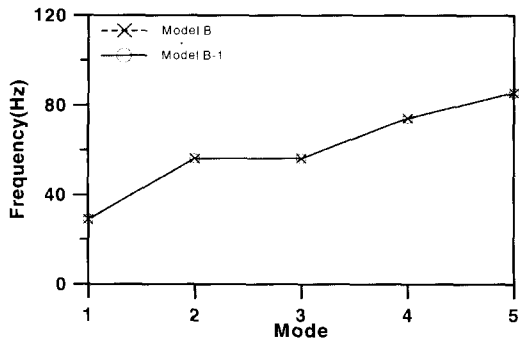
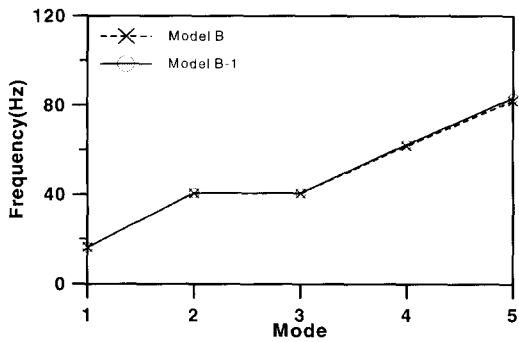


그림 3 연직자유도만 선택한 모델 B-1

해석 결과는 그림 4와 같다. 판구조물 주변의 지지조건에 관계없이 해석 결과는 거의 차이가 없었다. 위의 결과에서 판구조물을 동적 해석하는데 있어서 요소를 4×4 이상으로 나누고 연직자유도만을 선택하여 해석할 경우와 절점당 6개의 자유도를 고려할 때를 비교하면 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 더 많은 자유도를 응축하고자 할 경우에는 세심한 주의가 필요하며, 해석결과에는 많은 오차가 발생한다.



a) 주변고정지지 모델



b) 주변단순지지 모델

그림 4 자유도 선택에 따른 모드별 고유진동수의 변화

표 1은 그림 3의 모델 B-1, 그림 1의 모델 B와 모델 C의 해석 시간을 비교한 것이며 사용한 컴퓨터 기종은 펜티엄 166MHz이다. 모

델 C는 8×8 로 요소를 분할하고 절점당 6개의 자유도를 고려하였기 때문에 나머지 2개의 모델에 비하여 상대적으로 해석시간이 많이 소요되고 있다. 또한 모델 B와 모델 B-1과의 해석시간 차이는 모델 B-1의 경우에는 연직자유도만을 남기고 나머지 자유도에 대해서는 응축을 하였기 때문이다.

위의 결과에서 판구조물을 효율적으로 해석하기 위하여 요소분할은 적어도 4×4 이상으로 나누어야 하며, 주자유도 선택은 연직자유도만 선택을 하더라도 좋은 결과를 얻을 수 있다.

표 1 모델에 따른 해석시간의 비교 (단위:초)

지지조건 \ 모델	B	B-1	C
주변 고정지지	6.2	2.2	190.87
주변 단순지지	12.8	6.65	455.11

2.4 변장비에 따른 비교

일반적으로 구조물의 바닥판은 보의 간격에 따라 변장비가 주어지게 되며, 정방형이 아닌 경우가 많다. 앞 절에서는 바닥판이 정방형일 때에 대하여 연구하였다. 바닥판을 모형화 하는데 있어서 쉘요소의 변장비에 따라 바닥판 구조물의 거동을 정확히 표현할 수 없는 경우도 있다. 그러므로 본 절에서는 2.2절 및 2.3절에서 얻은 결과를 바탕으로 하여 변장비가 다른 바닥판에 대하여 해석결과를 비교 검토하였다. 적용 예로서는 변장비를 1:2 및 1:3으로 변화시켜 고유진동수와 고유진동모드를 비교하여 보았다. 쉘요소의 변장비가 1:3이 되도록 분할한 경우는 해석결과가 매우 좋지 않아 다시 1:1.5가 되도록 분할하여 각각에 대하여 비교하였다. 여기서 변장비가 1:1은 4×4 의 요소 분할을 한 것이고 변장비 1:2는 4×8 , 1:3은 4×12 , 그리고 1:1.5는 4×6 으로 요소 분할한 것이다.

a) 변장비 1 : 2의 경우

판구조물의 변장비가 1:2의 경우에 대하여 4×8의 요소 분할과 4×4의 분할을 비교하였다. 예제에서 판구조물의 지지조건은 사변 고정 지지와 사변 단순 지지로 하였으며, 각각의 경우에 대하여 고유진동수와 주요 진동 모드형을 비교하였다.

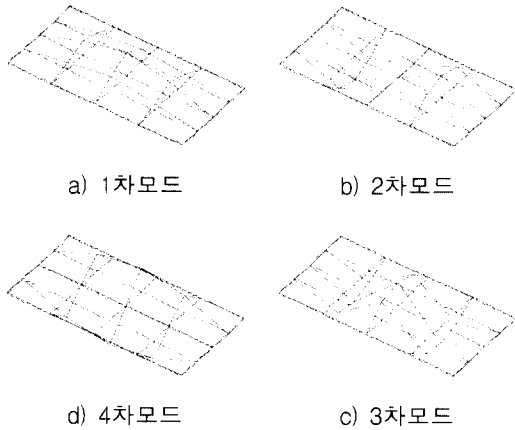


그림 5 요소분할 4×4에서의 주요 모드형상 (사변 단순지지)

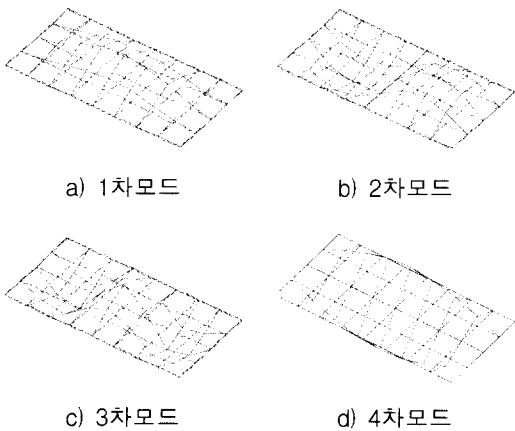
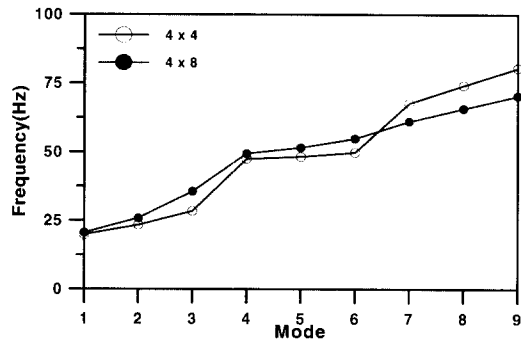


그림 6 요소분할 4×8에서의 주요 모드형상 (사변 단순지지)

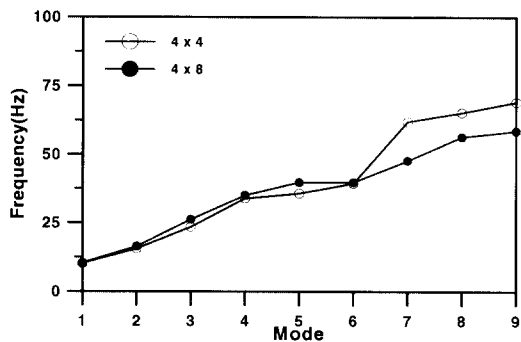
요소를 4×4 나누었을 때의 주요 진동모드를 그림 5에 나타내었으며, 그림 6에서는 4×

8로 나누었을 때의 주요 진동모드를 1차에서 4차까지 나타내었다.

해석결과를 비교하면 사변 단순 지지조건 경우에는 그림 7에 나타낸 것과 같이 주요 저차모드에서 고유진동수가 잘 일치함을 알 수 있다. 이는 그림 5와 그림 6에서 잘 나타나고 있는데, 1차 모드에서 4차 모드까지 잘 일치함을 보여준다. 그리고 사변 고정 지지조건 경우에는 고유진동수의 비교에서 약간의 차이를 보이나 질량 참여율이 90% 정도까지를 나타내는 주요모드의 모드형상이 일치하고 있다. 따라서 4×4로 요소를 분할하여도 주요 모드를 충분히 표현할 수 있음을 알 수 있다.



a) 사변 고정지지

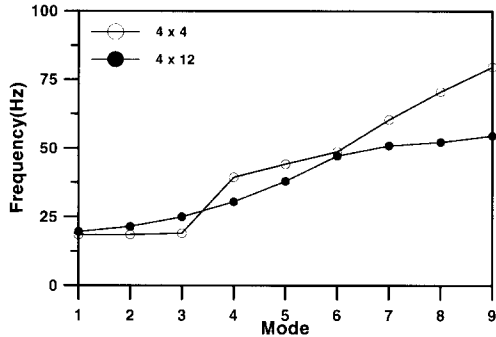


b) 사변 단순지지

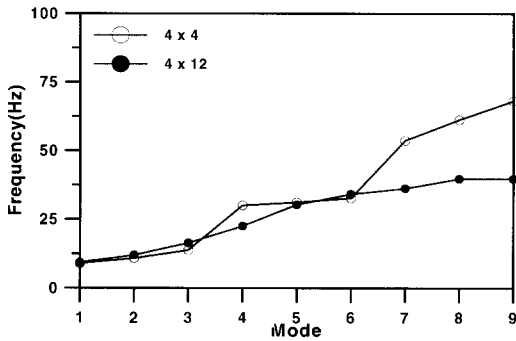
그림 7 지지조건에 따른 고유진동수의 비교 (변장비 1 : 2)

b) 변장비가 1:3인 경우

바닥판의 변장비가 1:3인 경우는 셸요소의 변장비가 정방형이 되도록 한 4×12의 요소 분할과 셸요소의 변장비가 1:3인 4×4의 요소 분할을 비교하였다. 지지조건은 사변 고정지지와 사변 단순지지이며, 각각의 경우에 대하여 고유진동수와 진동모드 형상을 비교하였다.



a) 사변 고정지지



b) 사변 단순지지

그림 8 지지조건에 따른 고유 진동수의 비교 (변장비 1 : 3)

그림 8은 변장비가 1:3인 경우에 지지조건에 따른 고유진동수를 비교한 것이며, 해석결과를 보면 4×4의 요소 분할은 4×12의 분할에 비하여 적은 요소 분할로 인하여 고유진동수의 차이가 많음을 알 수 있다. 이는 또한 그림 9와 10을 비교해 보더라도 주요진동모드를 제대로

나타내지 못함을 보여 주고 있다. 4×4로 나눈 모델의 1차 모드형상은 4×12로 나눈 모델의 2차 모드형상과 같다. 또한 그림 10의 1차 모드는 그림 9의 2차 모드와 유사함을 알 수 있다.

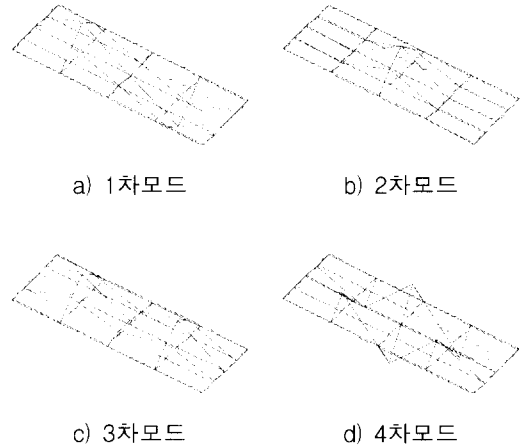


그림 9 요소분할 4×4에서의 주요 모드형상 (사변 고정지지)

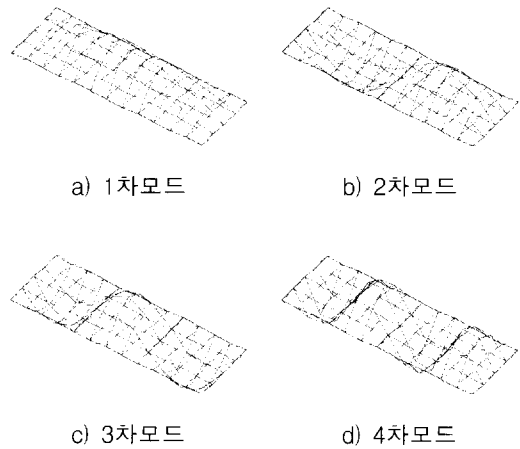
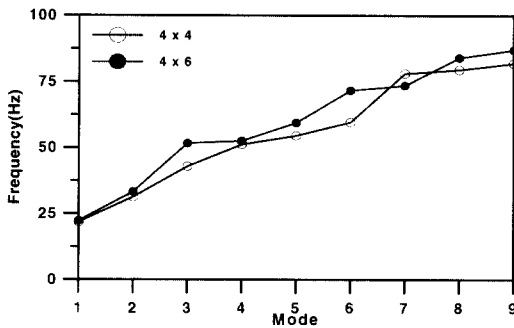


그림 10 요소분할 4×12에서의 주요 모드형상 (사변 고정지지)

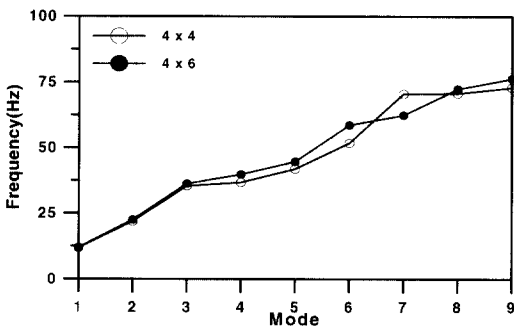
본 결과에 따르면 변장비가 1:3 이상이 되면 고유진동모드 자체를 정확히 표현할 수 없게 된다. 그러므로 좀 더 정확한 해석을 위해서는 요소의 변장비가 1:3미만이 되도록 하여야 한다.

c) 변장비가 1:1.5인 경우

앞 절의 결과에서 변장비가 1:3인 경우는 변장비가 1:1.5가 되도록 2개의 바닥판으로 모형화 할 수 있다. 변장비가 1:1.5가 되도록 분할한 4×4 요소분할과 변장비가 1:1인 4×6으로 요소 분할한 경우에 대하여 고유진동수의 변화와 진동모드 형상을 비교하였다.



a) 사변 고정지지



b) 사변 단순지지

그림 11 지지조건에 따른 고유진동수의 비교 (변장비 1 : 1.5)

그림 11에서 알 수 있듯이 고유진동수의 변화는 1:1로 요소 분할한 경우와 1:1.5로 요소 분할한 경우가 비교적 잘 일치하고 있다. 그리고 그림 12 및 13은 4×4의 요소 분할과 4×6의 요소 분할시의 모드형상을 나타낸 것이며 모드형상 역시 변장비 1:2에서 얻었던 결과와 마찬가지로 주요 모드들이 모두 일치함을 보

여주고 있다. 위에서 살펴본 바와 같이 요소분할에 있어서 적절한 변장비 제한은 1:2정도가 됨을 알 수 있다. 요소의 변장비가 1:2이하일 경우는 요소 분할을 4×4로 하여도 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다. 또한 요소분할은 가능하면 변장비가 1:1이 되도록 하는 것이 오차를 줄일 수 있는 좋은 방법이라 생각된다.

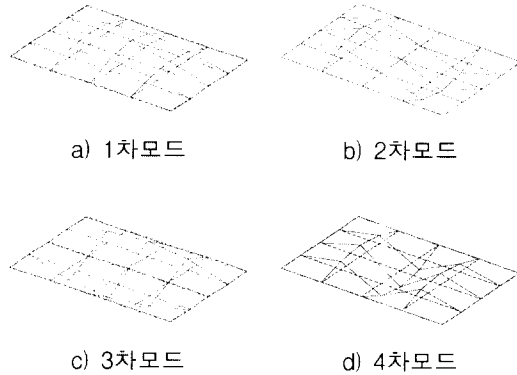


그림 12 요소분할 4×4에서의 주요 모드형상 (사변 단순지지)

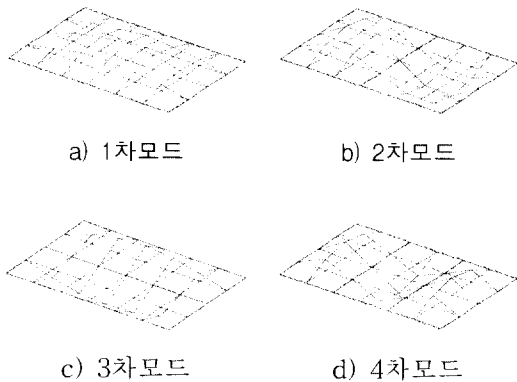


그림 13 요소분할 4×6에서의 주요 모드형상 (사변 단순지지)

3. 대형요소를 이용한 구조물의 진동 해석

일반적으로 대형 건축구조물에서 바닥판은

보의 간격에 따라 그 크기가 정해진다. 이러한 바닥판은 때로는 연속되기도 하며 동일한 크기와 두께를 가지는 바닥판이 중복되기도 한다.

그림 15에서처럼 4m×4m간격의 보로 구획된 바닥판이 2개가 있다면, 바닥판을 일일이 4×4로 요소분할하여 모델링하고 동적해석을 수행하는 것은 비경제적이다. 이러한 문제는 구조물이 대형화 될수록 심화 될 것이다. 그러므로 효율적으로 모형화 할 수 있는 방법과 계산시간을 줄일 수 있는 방법이 필요하다.

동일한 조건을 갖는 바닥판의 종류에 따라 제 2장에서 연구한 쉘요소의 요소분할법과 주자유도 선택기법을 이용하여 바닥판의 종류에 따라 대형요소를 형성 할 수 있다. 이러한 대형요소를 동일한 조건의 바닥판에 대하여 강성행렬을 조합해서 전체 구조물에 대한 강성행렬을 형성한다. 또한 대형요소를 사용할 때는 경계점에서의 자유도 선택에 따라 적합조건에 문제가 발생하여 해석결과에 많은 오차가 발생하게 된다. 그러므로 본 절에서는 대형요소의 경계점에서 적합조건을 만족시킬 수 있는 자유도 선택에 대하여 연구하였다.

3.1 대형요소를 사용한 해석

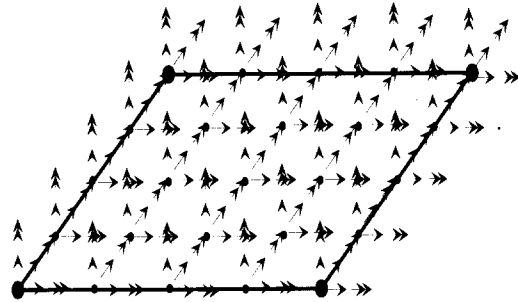
대형요소에서의 자유도 선택에 따른 구조물의 거동을 비교하기 위하여 다음과 같은 해석조건을 사용하였다.

a) 대형요소의 자유도 선택

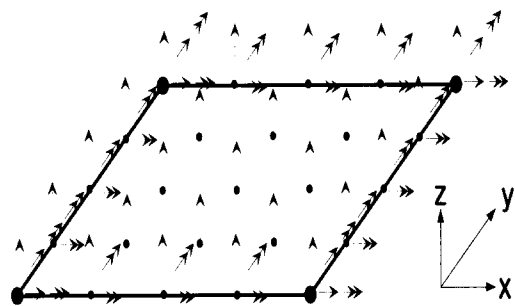
대형요소를 형성하는데 있어서 그림 14와 같이 2가지 방법으로 자유도를 선택하였다. 대형요소 SE1은 절점당 6개의 자유도를 사용하였으며 자유도 응축을 전혀 하지 않은 것이다.

대형요소 SE2는 인접 대형요소와 만나는 경계부에서 연직방향 자유도, x방향의 회전 자유도 및 y방향의 회전 자유도 성분을 고려하고 경계면 이외의 부분은 모두 연직방향의 자유도만을 선택하였으며 나머지 자유도는 모두

응축하였다. 여기서 대형요소 SE2와 같이 자유도를 선택한 것은 2.3절에서 고찰에 의하여 쉘 내부는 연직자유도만을 선택하였으며 대형요소 경계면에서의 자유도는 인접요소와의 접합조건을 만족시키기 위하여 선택하였다.



a) 대형요소 SE1 : 자유도 150



b) 대형요소 SE2 : 자유도 65

그림 14 대형요소의 자유도 선택 모델

b) 예제 구조물

대형요소를 그림 15에 나타난 예제 구조물에 사용하였다. 사용재료는 콘크리트로 가정하였으며, 단면크기는 30cm×30cm 이고, 구조물의 전단면에 걸쳐 일정한 것으로 하였다.

작용 하중은 그림 16와 같이 열차의 선로에서 4m떨어진 곳에서 계측한 가속도⁽⁴⁾를 입력 지반가속도로 사용하였다. 보로 둘러싸인 판 구조물에 대하여 대형요소 SE1을 사용한 모델을 S1이라고 하였으며, 대형요소 SE2를 사용

한 모델을 S2라고 하였다. 또한 시간이력을 비교하기 위하여 위의 2가지 모델을 동적해석하여 그림 15에 나타난 A점에서의 시간에 따른 연직 변위를 계산하였다.

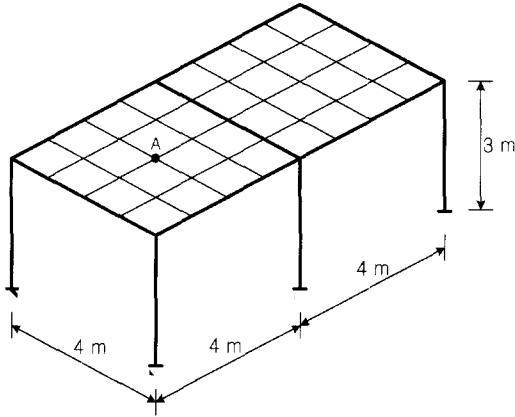


그림 15 예제 구조물

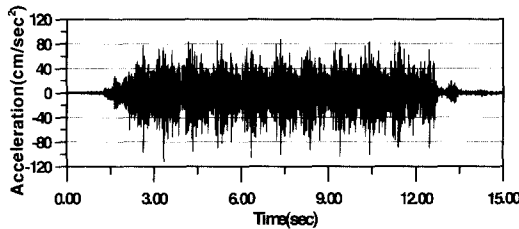


그림 16 입력 지반 가속도

c) 해석 결과의 비교

고유 진동수의 차이는 그림 17과 같으며 모델 S1과 S2는 매우 좋은 결과를 보여주고 있다. 따라서 시간이력해석에서도 자유도수를 줄인 모델 S2가 절점당 6개의 자유도를 사용한 S1과 같은 결과를 나타낼 것이라고 예상할 수 있다.

입력지반 가속도의 주요 주파수 성분은 20Hz~40Hz에 분포하고 있다. 그러므로 구조물의 고유진동수가 이 대역에서 정확하게 나타나면 동적 해석 결과도 정확할 것이다. 그림 18에 나타난 모델 S1과 S2의 해석결과는 전구간에 대하여 일치하였으며, 그림 17에서와 같

이 연직진동모드중 저차에 해당하는 연직 1차와 2차모드의 진동수가 일치하기 때문이다. 이것은 골조와의 접합부분의 회전자유도와 대형 요소 경계에서의 적합조건을 만족시키기 위한 자유도를 모두 고려하였기 때문인 것으로 사료된다. 그러므로 본 예제를 통하여 절점당 6개의 자유도를 선택할 필요없이 경계부분에서의 연직자유도 1개와 회전자유도 2개를 선택하고, 경계이외의 점에서는 연직자유도만을 선택해도 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

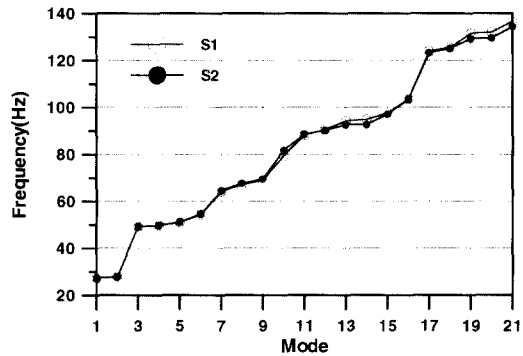
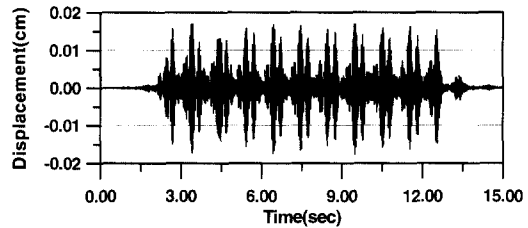
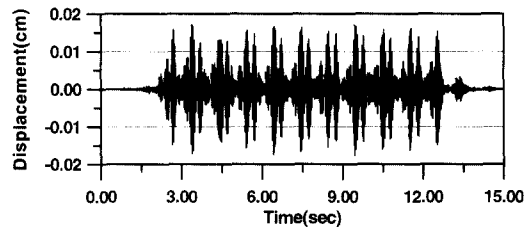


그림 17 각 모델별 연직진동모드에 대한 고유진동수 변화



a) 모델 S1



b) 모델 S2

그림 18 A점에서의 변위 시간이력

3.2 예제 해석

본 예제는 3.1절에서 연구한 대형요소의 정확성을 알아보기 위하여 좀 더 실제적인 구조물에 적용하였다. 그림 19는 3경간의 2층 구조물로 구조물의 형상이 비대칭이다. 그림 16에 나타난 가속도 자료를 연직방향의 지반가속도로 입력하여 해석하였다. 절점하중에 대해서는 열차하중을 계측할 수 없어 임의적으로 100 kg의 질량이 그림 16에 나타난 것과 같은 가속도로 진동한다고 가정하고 A점에 절점하중으로 가진하였으며, 각각 변위에 대한 시간이력을 구하였다. 본 예제에서는 그림 14에 나타난 대형요소 SE1을 사용한 S3모델과 대형요소 SE2를 사용한 S4모델에 대하여 해석결과를 비교하였다.

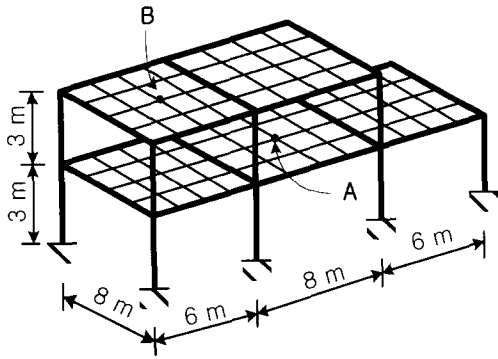
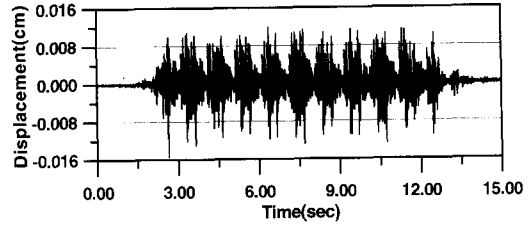


그림 19 비대칭 예제 구조물

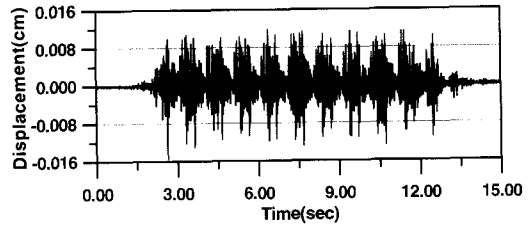
a) 하중을 지반가속도로 입력한 경우

해석결과는 3.1절에서와 같이 그림 20에서와 같이 모델 S3과 모델 S4는 일치하였다. 이것은 앞 절에서 설명하였듯이 절점당 6개의 자유도를 선택할 필요 없이 경계부분에서의 연직자유도 1개와 회전자유도 2개를 이용하고 경계 이외의 점에서는 연직자유도만을 선택하여도 좋은 결과를 얻을 수 있다는 것을 의미한다. 이것으로 알 수 있듯이 대형요소를 사용하게 되면 적은 자유도를 가지고도 정확한 계산이 가능하고 계산 시간 또한 현저하게 줄이는 효

과를 얻을 수 있다.



a) 모델 S3



b) 모델 S4

그림 20 B점에서의 변위 시간이력

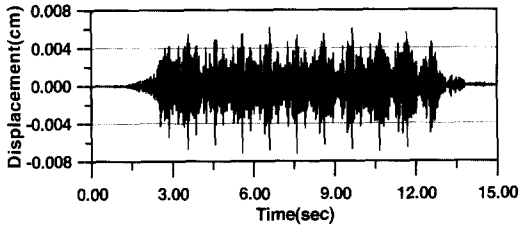
b) 하중을 절점하중으로 가진하는 경우

하중을 절점하중으로 가진하는 경우는 지반가속도로 가진할 때보다 작은 변위를 나타내었다. 해석결과에 있어서는 지반가속도로 가진한 것과 같이 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 21에 나타난 변위에 대한 시간이력을 비교하여 보아도 차이를 보이지 않고 있다. 특히 본 예제의 경우에서처럼 연직 방향으로 가진을 하게 되면 요소분할의 수를 늘려야 한다. 늘어난 요소분할만큼 자유도가 증가하게 되고 계산시간도 많이 소요되는 단점이 있다. 이런 경우 본 논문에서 제시한 대형요소를 사용하면 계산시간을 많이 줄일 수 있다. 표 2는 펜티엄 166MHz 사양의 컴퓨터로 각 모델의 해석시간을 비교한 것이다.

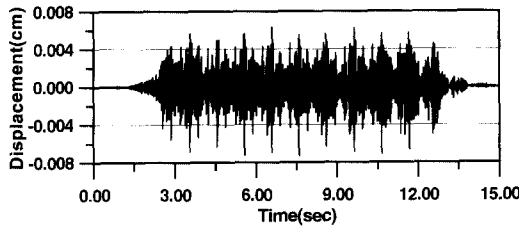
표 2 해석 시간비교

시간 \ 모델	S3	S4
해석시간	17분 58초	1분 32초

해석시간을 비교하여 보더라도 약 12배의 차이가 발생한다. 또한 각 절점에서의 최대변위를 비교하여 보더라도 정확히 일치함을 알 수 있다.



a) 모델 S3



b) 모델 S4

그림 21 B점에서의 변위 시간이력

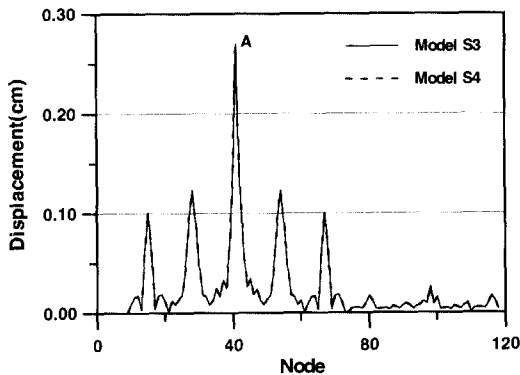


그림 22 각 절점에 대한 최대 변위

그림 22는 각 절점에서의 최대변위를 구한 것이다. 모델 S3과 모델 S4는 정확히 일치함을 알 수 있다. 그래프 상에서 A라고 표시된 부분은 가진점을 나타내고 있다. 이상에서와 같이 대형요소 SE2를 사용하면 좋은 결과를 얻

을 수 있다. 대형 건축구조물에 있어서 효율적인 동적해석을 수행할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 바닥판을 포함하는 골조구조물의 효율적인 해석을 위하여 대형요소를 이용하였다. 먼저 단일판 구조물을 효과적으로 해석할 수 있는 최소의 요소분할과 주자유도 선택에 대하여 연구하였다. 단일 판구조물에서 선택된 주자유도를 이용하여 대형요소를 형성하였다. 이렇게 형성된 요소를 이용하여 실제 구조물에서 동일한 조건의 바닥판에 해당하는 자유도를 찾아 배치하는 과정을 통하여 구조물 전체에 대한 강성행렬 및 질량행렬을 형성하여 동적해석을 수행하였다. 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 바닥판 구조물의 연직진동 해석시 요소분할은 최소한 4×4 이상의 요소로 나누어야 한다.
- 2) 보 및 판구조부와 만나는 기둥의 주자유도 선택에 있어서 연직 방향의 회전 자유도를 제외한 모든 자유도를 고려해야 한다.
- 3) 대형요소기법을 사용할 경우 인접하는 요소와의 적합조건을 만족시키기 위하여 연직 자유도 및 x-y 평면상에서의 x방향의 회전성분과 y방향의 회전성분을 고려하여야 한다.
- 4) 쉘요소의 변장비는 1:2 이하가 되도록 하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학기술처의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 안상경, 홍성일, 이동근, "3차원 골조구조물의 효율적인 연직진동해석", 한국전산구조공학회 학술 발표회 논문집, 1996.

- 2) Lee, D.-G., "An efficient element for analysis of frames with shear walls," *ICES88-Atlanta*, 1988.4.
- 3) William Weaver, Jr. and Paul R, Johnston, *Finite Elements for Structural Analysis*, Prentice-Hall, Inc., 1984, pp.78-82, 205-209.
- 4) "교량, 터널 및 복합건축구조물의 진동저감 신공법개발", 과학기술처, 1997, pp.485~507.