

중력하중을 받는 하부골조 상부벽식 구조의 3차원 해석 기법



송진규*

1. 서론

대도시의 인구집중 현상 및 토지난이 증가함에 따라 고층 아파트가 많이 건설되는 것과 동시에 교통난 해결 및 건물 임대료의 경제성을 동시에 만족하는 주상복합 건물의 공급이 증대되고 있다. 주상복합 건물의 경우 건물의 경제성을 높이기 위하여 상부를 벽식구조 시스템으로 하고 하부층은 골조구조 시스템으로 계획하는 경우가 많다. 이러한 시스템에서는 상부의 벽이 골조에 하중을 전달하기 위해 전이층이나 전이보의 설치가 불가피하다. 그러나 전이보를 통하여 하중이 전달될 경우 경계층에서의 원활한 하중전달이 어렵고 횡력에 취약하여 최근의 고층화 추세에 부합하지 못하는 구조적 결함이 있다. 또한 내진설계시 주상복합건물의 횡강성이 전이보를 경계로 급격히 변하게 되어 이 부근에서의 국부적인 거동이 건물 전체거동에 절대적인 영향을 미치게 되므로 해석 및 설계시 국부변형 및 응력의 효과를 반영해야하는 어려움이 존재한다.

따라서 해석시 상층부의 하중이 하부골조로 전달되면서 발생하는 하부 벽체 단부의 응력집중 현

상과 전이보 근처에서 하중 전달과정이 전체 구조물의 거동 및 응력 전달 메카니즘에 미치는 영향을 고려해야한다.

특히, 한 경간에서 불연속 벽체가 존재할 경우 2차원 해석으로는 슬래브의 강성이 벽체에 미치는 효과를 포함하기가 곤란하며 또한, 하부의 골조와 상부의 벽체가 만나게 되는 전이층에서의 국부 응력이 시스템 전체의 파괴 모드를 지배하게 되나 고층건물에 대한 3차원 해석에서 이러한 Locality를 고려하기는 쉽지 않다.

그러므로 본 연구에서는 합리적인 해석 모델링을 제시하기 위하여 이상적인 3차원 모델링을 통한 해석과 2차원 해석, 3차원 간편해석을 비교 검토하였다.

2. 모델링

기존 연구¹⁾에서는 본 구조시스템에 대한 국부응력을 분석하기 위하여 정형적인 형태를 갖는 1경간 또는 2경간 시스템에 대한 2차원 해석을 수행하였으나, 실제의 경우 불연속 벽체로 인하여 평면배치가 매우 비정형적이므로 2차원 해석만으로는

* 정회원 · 전남대 건축학부 조교수 공학박사

정확도에 한계가 존재한다. 따라서 보다 합리적인 해석 모델링 방법을 제시하기 위하여 슬래브 효과를 고려한 3차원 유한요소 해석 모델과 2차원 모델, 기존 연구에서의 3차원 간편 해석모델을 이용하였다.

2.1 3차원 해석 모델

2.1.1 3차원 해석 모델링

3차원 주상복합 건물의 거동을 고찰하기 위하여 그림 1, 2와 같이 이상화 된 가상모델을 설정하였다. 그림 1은 평면으로서 실제로 존재 가능한 벽체의 배치 형태를 고려하고, 이에 따른 응력상태를 구현하기 위하여 여러 형태의 불연속벽이 배치된 판상형 평면을 구성하였다. 그림 2는 해석 모델을 나타낸다. 29층으로써 1층의 층고는 4.8m, 나머지 층의 층고는 2.8m이며, 2층 부분에 춤이 큰 전이보(Transfer Girder)를 두어 상부에서 벽체를 통해 전달되는 하중을 지지하여 기둥으로 전달하도록 하였다. 해석은 대상 모델에 대하여 범용 유한요소 구조해석 프로그램인 SAP2000⁷⁾을 사용하였고, 여기에서 기둥은 선요소(Line Element)로 모델링하였으며 전이보, 전단벽과 각층의 바닥판은 쉘요소로 구성하였다. 작용하중은 고정하중과 사용하중을 모두 고려하였으며 하중은 계수하중을 적용하였다.

2.1.2 하중 조건

3차원 모델의 해석을 위하여 아래와 같이 가 정된 고정하중($\times 1.4$)과 적재하중($\times 1.7$)을 적용하였다.

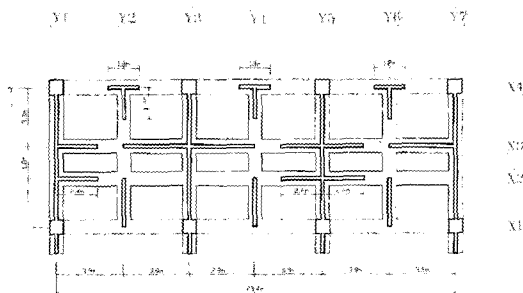


그림 1 3차원 해석 모델 평면도

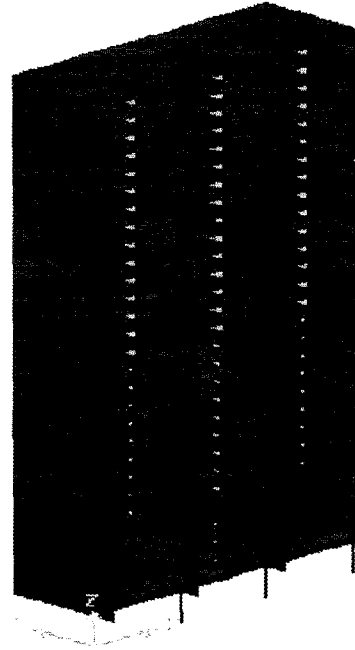


그림 2 3차원 해석모델(SAP)

(1) Dead Load(진층동일)

Panel Heating(THK : 120mm)	: 240kg/m ²
Slab self weight(150mm)	: 360kg/m ²
	600kg/m ²

(2) Live Load : 200kg/m²

2.1.3 부재단면 치수

각 부재의 단면은 다음과 같이 가정하였다.

- (1) Transfer Girder(b \times h) : 800mm \times 2400mm
- (2) Column : 1000mm \times 1000mm
- (3) Wall Thickness : 200mm
- (4) Slab Thickness : 150mm

2.2 2차원 해석 모델

2차원 해석모델은 3차원 모델의 해당 Line만을 따라 베어내어 해석한 것으로 슬래브 및 다른 전이보와의 연결이 고려되지 않는다는 점에서 3차원 모델과 차이점을 갖는다. 해석 Line에 작용하는 슬래브 하중의 산정은 편의상 3차원 해석결과를 이용하여 전단벽에 등분포로 작용시켰으며, 기둥과 직접 연결되지 않은 X3, Y2 Line 전이보의 지지조건

약술기사

은 3차원 해석결과와 X3 Line 변형형상, Y2 Line 변형형상을 참고하여 결정하였다. 3차원 해석 시 X3, Y2 Line 전이부의 변형 형상은 그림 3, 그림 6과 같으며 이를 고려한 2차원 해석모델은 그림 4, 그림 7에서처럼 한쪽 끝단은 회전단, 다른 지점들은 모두 이동단으로 설정하였다. X4, Y3 Line의 경우는 지점조건의 변화 없이 기둥에 직접 연결되어 있는 것으로 그림 5와 그림 8과 같이 모델링하였다.

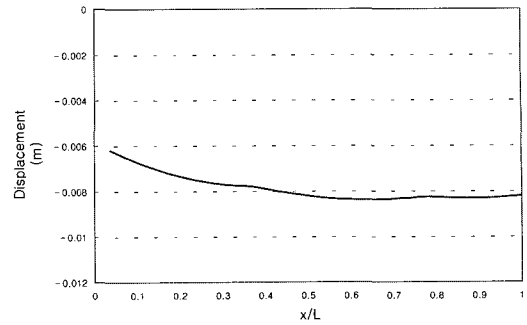


그림 6 Y2 Line 변형형상

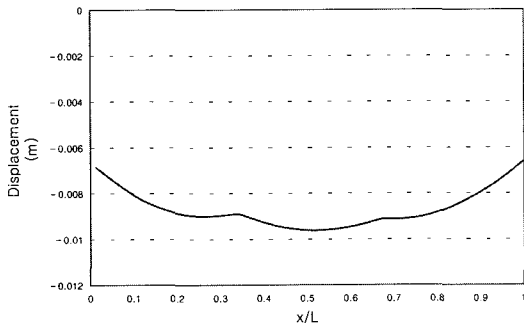


그림 3 X3 Line 변형 형상

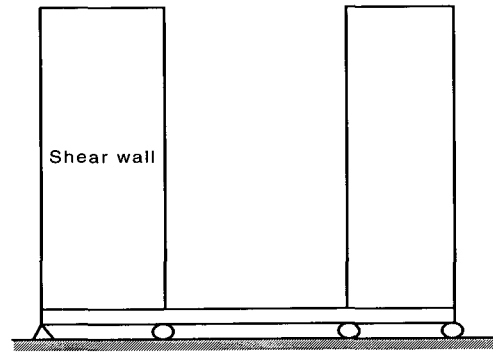


그림 7 Y2 Line 2차원 모델링

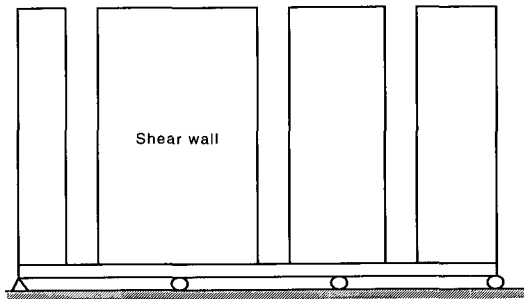


그림 4 X3 Line 2차원 모델

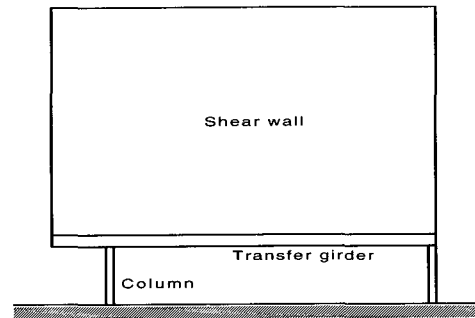


그림 8 Y3 Line 2차원 모델링

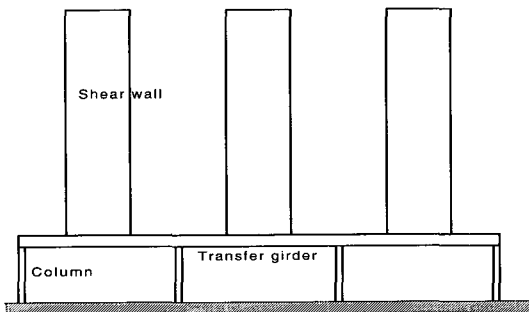
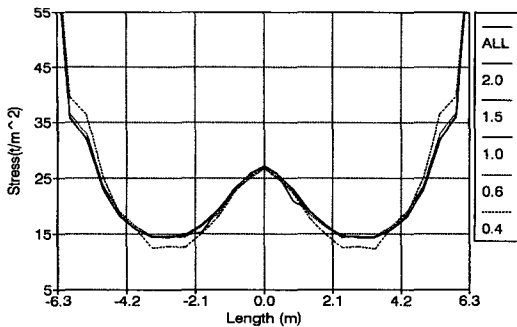


그림 5 X4 Line 2차원 모델

2.3 3차원 간편 해석 모델

본 구조 시스템에 대하여 기존 연구 결과에 따르면 연직하중에 대한 전이층의 응력 집중현상(아칭현상)은 벽체의 높이와 길이의 비(H/L)의 비를 1.5 또는 2.0정도이면 구조물을 전체 모델링한 것과 거의 같은 결과를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이를 이용해 그림 9에서와



높이와 길이비(H/L)에 따른 전이층의 응력집중 현상

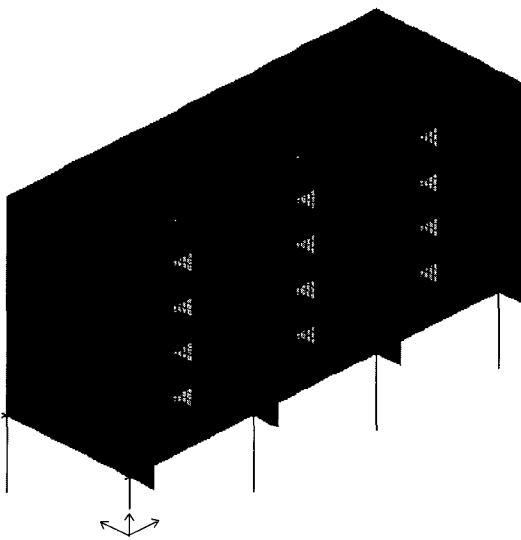


그림 9 3차원 간편해석 모델링

같이 전체 구조물중 6층까지만 해석 모델링을 하고, 하중은 상부에서 전달되는 벽체의 자중을 제외한 모든 하중을 6층 슬래브 부분에 등분포로 작용시키고, 상부층들의 벽체 자중은 해당 벽체에 재하하여 해석을 수행하였다.

3. 해석 결과 비교

3.1 2차원 해석과 3차원 해석결과 비교

앞에서 제시한 가상 모델에 대한 정해를 얻기 위하여 슬래브를 포함한 3차원 유한요소 해석을 수행하였으며 이를 실무에서 중력하중에 대한 해석시 일반적으로 적용하는 2차원 모델링 방법에

의한 결과와 비교하기 위하여 대상 평면 중 X3, X4, Y2, Y3 Line을 선정하여 동일 프로그램으로 2차원 해석을 수행하였다. 각 해석결과는 주로 전이부의 휨모멘트와 하부 벽체의 지압응력에 주안점을 두어 비교·분석하였다.

3.1.1 전이부의 휨모멘트 해석결과 비교

해석 모델의 전이부 휨모멘트를 그림 10~그림 13에 나타내었다. 여기서 x축은 보의 스패에 대해 무차원화 하였으며 y축은 전이부 셀요소의 응력(stress)으로부터 계산되어진 모멘트값($t \cdot m$)이다. 그림에서 보면 X3 Line과 X4 Line의 경우에는 비교적 2차원 해석 결과와 3차원 해석결과가 유사하게 나타남을 알 수 있다. X4 Line은 전이부가 기둥에 직접 지지되어 있기 때문에 3차원 해석과 2차원 해석이 큰 차이가 없으며, X3 Line의 경우 해석 결과를 보면 그림 4와 같은 지지조건을 설정하는 것이 타당한 것으로 생각된다. X3, X4 Line의 2차원 해석결과는 3차원 해석결과에 비해 정모멘트와 부모멘트가 모두 크게 과대 평가되어, 2차원 해석결과로 보의 휨설계를 하는 것이 3차원 해석에 비해 안전측으로 설계가 가능하다. 그러나 X3 Line에서는 2차원 해석 모멘트가 3차원 해석에 비해 최대 4배 정도 과대평가 되는 부분도 있는데, 그 이유는 2차원 해석에서 지점으로 고려하여 수직방향 변위를 잡아준 전이부가 실제로는 수직방향으로 처짐이 발생하면서 휨모멘트를 감소시켜 주기 때문인 것으로 생각된다. Y3 Line의 해석결과를 살펴보면, Y3 Line의 경우에는 3차원 해석결과가 2차원 해석결과보다 전체적으로 모멘트가 크게 나오는 것을 알 수 있는데, 이는 3차원 해석에서 Y3 Line의 전이부에 걸치는 2개의 X방향 전이보를 통해 작용하는 수직하중의 영향 때문이라고 판단된다. 따라서 X3 Line의 전이부가 지나가는 $x/L=0.35$ 지점에서 모멘트가 가장 크게 작용하는 것을 알 수 있다. Y2 Line은 2차원 해석결과와 3차원 해석결과가 그림 11과 같이 매우 다르게 나타난다. 그 이유를 명확히 규명할 수는 없지만, 아마도 3차원 해석에서 보의 변형은 그림 6과 같지만 2차원 해석에서는 $x/L=0.35, 0.77$ 인 지점에 지점을 설정해 보의 변형형태가 달라지게 되며 x방향으로 가로지르는 전이보에 의한

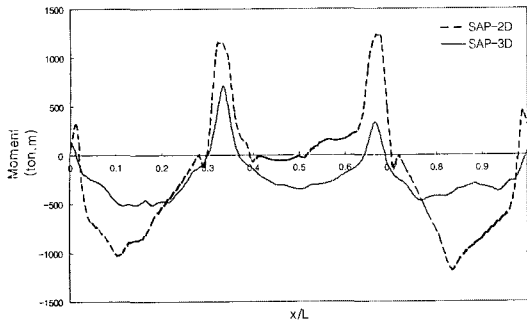


그림 10 X3 Line 전이보 휨모멘트

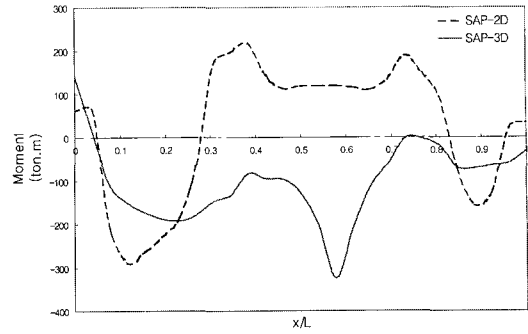


그림 12 Y2 Line 휨모멘트

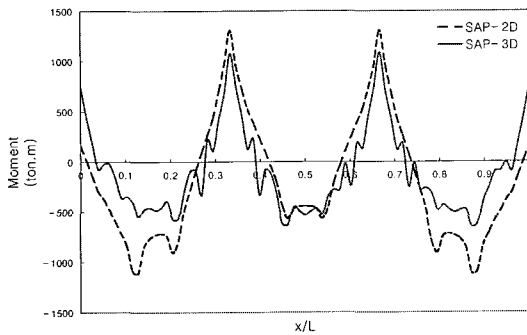


그림 11 X4 Line 전이보 휨모멘트

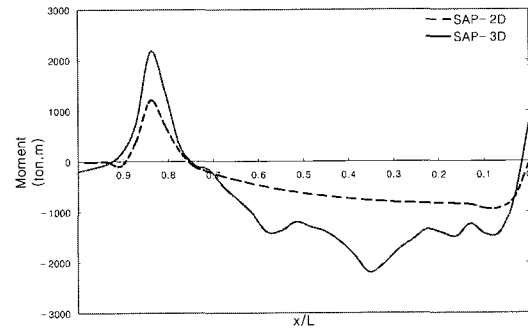


그림 13 Y3 Line 전이보 휨모멘트

수직하중의 영향으로 인하여 모멘트가 다른 양상을 보이는 것으로 생각된다.

3.1.2 전이층 벽체의 지압응력 해석결과 비교

전이보 상부벽체의 지압응력을 그림 14~그림 16에 나타내었다. 그림에서 x축은 보의 스패에 대해 무차원화 하였으며 y축은 지압응력으로 단위는 t/m이다. 각 Line에 대한 해석결과를 보면, 3차원 해석과 지지조건을 동일하게 한 X4, Y3 Line은 두 해

석결과와의 지압응력 분포가 비교적 유사하게 나올 수 있다. 그러나 X3 Line은 비대칭 벽체의 단부에서 수직방향 응력이 크게 다르게 나타나는데 이 차이는 주로 전이보의 지점조건의 차이에서 비롯된 것으로 생각된다. X4 Line의 지압응력은 두 해석결과가 비슷한 형태를 갖지만, 그 값은 전반적으로 벽체 단부에서 2차원 해석의 결과가 크게 나타나며, 지점조건이 동일한 것을 고려하면 이 차이는 2차원 해석에서는 바닥판에 의한 구속효과를

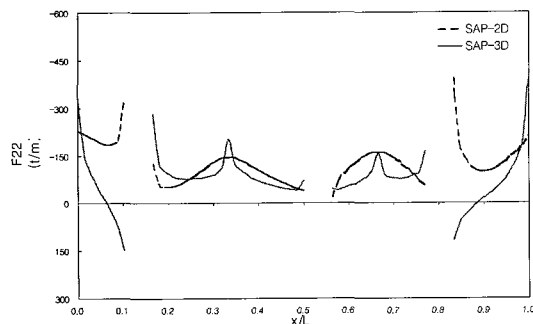


그림 14 X3 Line 지압응력

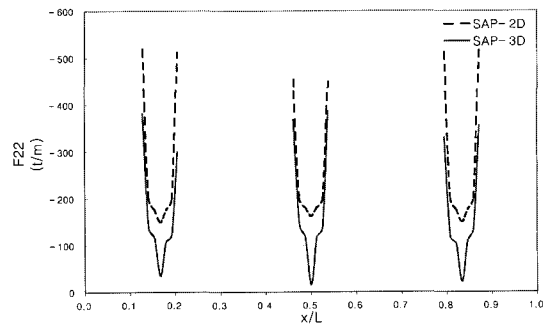


그림 15 X4 Line 지압응력

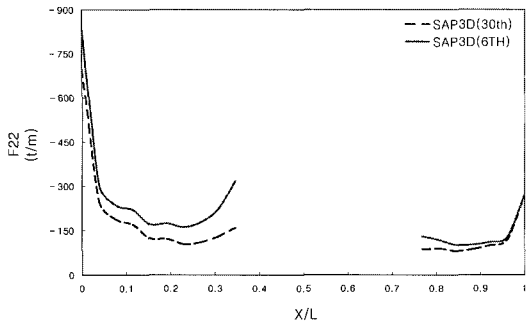


그림 16 Y2 Line 지압응력

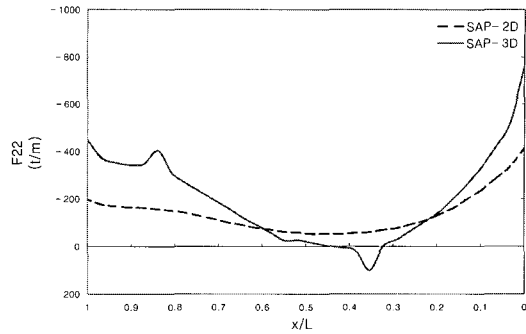


그림 17 Y3 Line 지압응력

고려할 수 없기 때문에 벽체로의 응력이 집중되기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 이러한 수직응력의 분포차이를 감안하면, 실제 벽체설계에서 2차원 해석결과를 가지고 그대로 설계에 반영하는 것에 는 무리가 있을 것으로 판단된다.

멘트는 그림 18~그림 21과 같다. 불연속벽이 존재 하는 X3, X4, Y2 Line의 경우 약간의 차이가 발생 하나 연속벽인 Y3 Line의 경우 휨모멘트의 결과 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 부재를 간이해석에 의한 응력으로 설계하여도 안전측으로 설계가 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.2 3차원 해석과 3차원 간편 해석의 비교

3.2.1 전이부의 휨모멘트 해석 결과 비교

두 해석 모델에 대한 해석 결과 전이부의 휨모

3.2.2 전이층 벽체의 지압응력 해석결과 비교

해석 모델에서 전체 3차원 모델링한 경우와 6층 까지 모델링 한 경우의 전이층 부분에서 벽체의

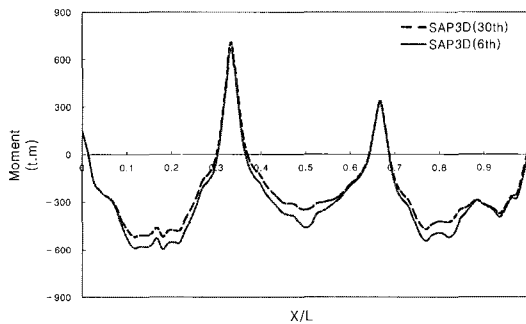


그림 18 X3 Line 휨모멘트 비교

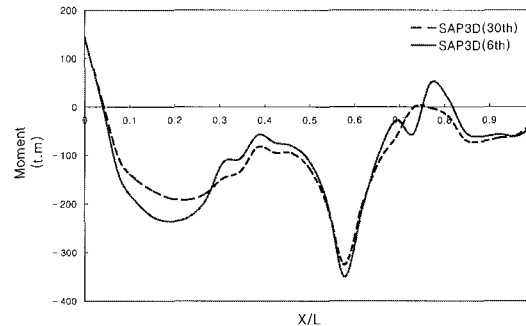


그림 20 Y2 Line 휨모멘트 비교

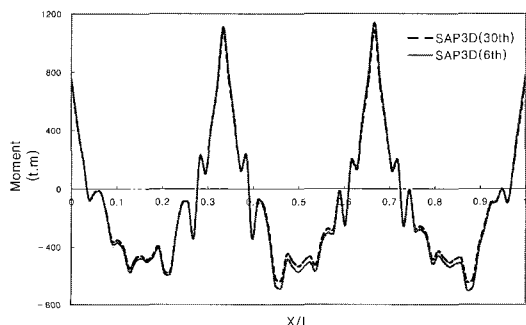


그림 19 X4 Line 휨모멘트 비교

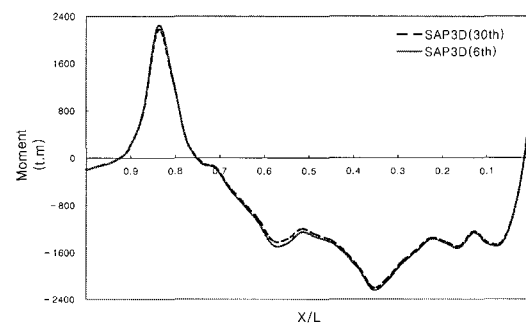


그림 21 Y3 Line 휨모멘트 비교

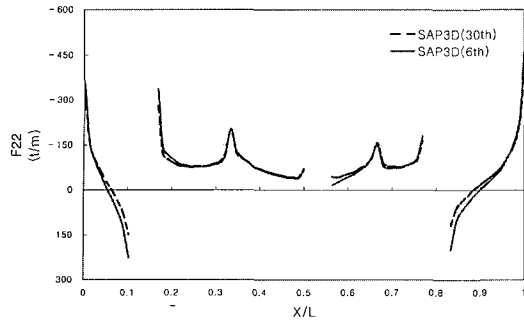


그림 22 X3 Line 지압응력 비교

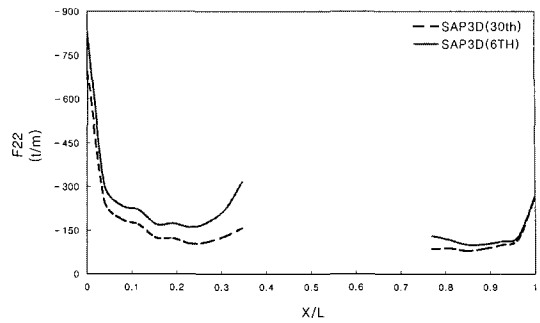


그림 24 Y2 Line 지압응력 비교

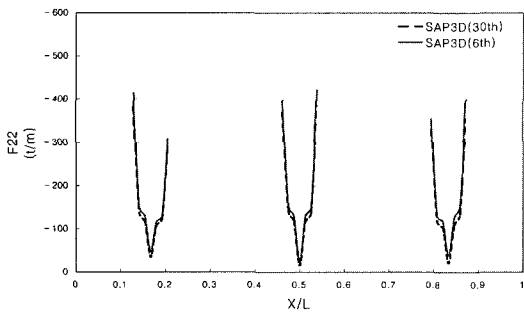


그림 23 X4 Line 지압응력 비교

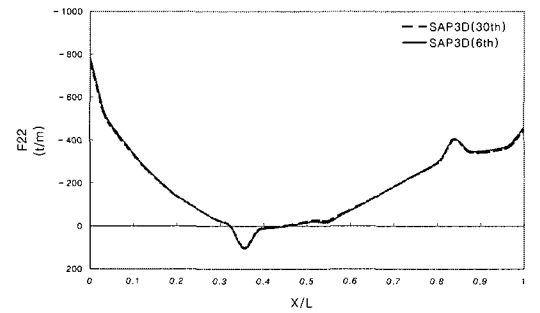


그림 25 Y3 Line 지압응력 비교

지압응력을 X2, X3, Y2, Y3 Line의 프레임에 대하여 비교하였다. 그 결과 대부분 벽체의 지압응력은 유사한 분포와 벽체 단부를 제외한 모든 부분에서의 응력 값들이 많은 차이를 보이지 않으나 대체적으로 6층까지 모델링한 경우에 벽체단부의 최대 지압응력 값들이 전체 모델링의 경우와 비교했을 때 약 20%정도 크게 나타났다. 그러나 연속벽인 Y3 Line(그림 25) 프레임의 경우 응력의 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 전체 구조물을 대상으로 해석한 결과보다 전반적으로 6개층만 모델링 한 경우가 약간 크게 나오므로 6개층만의 해석결과를 이용할 경우 안전측으로 설계가 가능하다.

4. 결 론

1. 2차원 해석에서 실제적으로 적용 가능한 지점조건은 힌지나 고정단만이 존재하므로 실제 구조물의 지점조건을 정확히 구현하기 어려워 해석 결과의 오류가 발생한다.
2. 전이보의 휨모멘트는 해석 Line을 가로질러 지나가는 다른 전이보에 의한 효과 등이 포

함되어 장변방향의 전이보에서 단변방향 전이보의 효과보다는 단변방향의 전이보를 해석할 때 장변방향 전이보의 효과가 더 크게 작용하여 X3, X4 Line에서는 비교적 두 해석 결과가 유사하나 Y2, Y3 Line의 경우에는 3차원 해석의 결과가 더 크거나 모멘트의 형태가 다른 양상을 나타내어 2차원 해석결과로 전이보를 설계하는 데에는 무리가 있다.

3. 2차원 해석에서는 3차원 모델의 직교방향 전이보의 영향, 전이보 위의 비대칭 전단벽체 및 슬래브의 영향 등을 표현할 수 없기 때문에 전이보 상부벽체의 지압응력은 2차원 해석과 3차원 해석결과가 상당한 차이가 있다.
4. 전이층 벽체의 지압응력과 전이보의 해석결과 간편 3차원 해석의 경우 정밀해석에 비해 응력이 집중되는 벽체의 단부와 보의 중앙부에서 최대 약 20%정도 크게 평가되나 이는 전체 모델링한 경우와 비교했을 때 안전측에 속하고 전반적으로 유사한 응력분포를 보인다. 따라서 간편 3차원 해석에 의한 해석 및 부재 설계가 가능하다.

참 고 문 헌

1. 송진규 외 5인, “연직하중을 받는 하부골조 상부 벽식 구조의 모형화 방법에 관한 연구, 1998. 8, 대한건축학회 논문집, 제14권, 제8호, pp.37~44
2. Coull, A., “Composite Action of Walls Supported on Beams”, *Build. Sci.* Vol. 1, 1966, pp.259~270
3. Coull, A., “Stress Analysis of Shear Walls”, *Civil Engineering and Public Works Review*, 1965
4. D. R. Green, “The Interaction of Solid Shear Walls and their Supporting Structures”, *Build. Sci.* Vol. 7, 1972, pp.239~248
5. Habibullah, A., “ETABS-Three-Dimensional Analysis of Building Systems, Users Manual”, : *Computers and Structures, Inc.*, Berkeley, California, 1989
6. SAKI ROSENHAUPT, “Stresses in Point Supported Composite Walls”, *Journal of the American Concrete Institute*, July, 1964
7. Wilson, E. L., Habibullah, A., “SAP90-A Series of Computer Programs for Finite Element Analysis of Structures-Structural Analysis Users Manual”, *Computers and Structures, Inc.*, Berkeley, CA, 1991 