

상부전단벽과 하부골조로 구성된 복합구조 시스템의 효율적 해석

Efficient Analysis for the Hybrid Structural Systems with Upper Shear-Wall and Lower Frames

장극관†

안태상*

Chang, Kug-Kwan

Ahn, Tae-Sang

(논문접수일 : 2001년 8월 9일 ; 심사종료일 : 2002년 9월 6일)

요 지

최근에 급증하고 있는 주상복합 건물은, 건물의 특징상 상부는 전단벽 구조, 하부는 라멘구조로 구성되는 경우가 많으며, 그 구조적 취약성을 고려하여 많은 연구자들에 의해 효율적인 해석방법이 연구되어 왔다. 그러나 이러한 일련의 연구성과는 지나치게 이론에 치우치거나, 전이층 해석에 필수적인 횡력에 대한 고려가 되어있지 않으며, 실제 구조설계에 적용하기 어려운 비선형 프로그램을 사용하여 수행되어, 구조설계 실무에 적용하기는 매우 어려운 형편이다. 따라서 본 논문은 기존 구조해석 실무에서 전이층 해석시 통상 사용되어지는 방법과 정밀해석 모델의 비교분석을 통해 실무에서 적용되는 모델링 방법에서 주의해야 할 점을 도출하였다. 특히 실제 구조설계 실무에서 중력하중 뿐만 아니라 지진하중 해석에서도 보다 정밀하고 간편하게 활용될 수 있는 제안모델을 제시하여 정밀해석 모델과, 기존실무에서 사용되는 해석방법과 비교, 분석함으로써 그 유용성을 확인하였다.

핵심용어 : 주상복합건물, 상부벽식 하부골조, 전이보, 내진설계

Abstract

Recently, Increasing residential-commercial buildings are composed of upper wall and lower frame type. As structural fragility, a large numbers of researchers have tried to develop the efficient analysis methods. But these studies were too theoretical and were not considered the lateral load which was required in analysing the transfer level in addition to being used nonlinear program which was difficult to use for practical design. thus, results of these studies are not appropriate to apply practical design, therefore, in this paper, the procedure of the current design practice were compared with that of used FEM method and presented new modeling method. in particular, an efficient analytical model which can be used in practical design of residential-commercial buildings for vertical and seismic loads was proposed and the usefulness of proposed model was verified.

Keywords : residential-commercial building, upper wall and lower frame, transfer girder, seismic design

† 책임저자, 정희원 · 서울산업대학교 건축학부 부교수 공학박사
전화: 02-970-6567; Fax: 02-974-1480
E-mail: kkch@snut.ac.kr

* 정희원 · 서울산업대학교 건축공학과 석사과정

• 이 논문에 대한 토론을 2002년 12월 31일까지 본 학회에
보내주시면 2003년 3월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

공간의 활용도를 높이기 위해 대도시에 고층아파트가 많이 건설되는 것과 동시에 도심 교통난과 주거환경을 개선하기 위한 방안으로 상부벽식 하부골조로 구성된 복합구조 시스템의 주상복합건물의 설계와 시공이 증가하고 있다. 이런 상이한 시스템을 연결하기 위해 일반적으로 매우 큰 단면을 가진 전이보(transfer girder)를 사용하고 있다. 이러한 구조는 상·하부를 연결하는 층의 질량과 강성이 인접한 층과 크게 차이가 나므로 내진 설계를 위해서는 반드시 동적 해석을 하여야 할 정도로 비정형성이 강한 구조물이다. 그러나 전이보 해석식 선형 보 이론(beam theory)이 적용될 수 없으므로 구조설계 실무에서 구조해석 및 설계에 어려움이 따르며 많은 경우, 과다 안전설계의 경향을 띄거나 혹은 위험한 설계를 수행하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 수직하중과 지진하중에 대한 전이층의 거동을 각 case별로 비교 분석하고, 실무에서 적용 가능한 해석 모델을 제안함으로써 구조설계 실무에 필요한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 기존 연구

2.1 해외 연구동향

상부벽식 하부골조 시스템은 횡하중에 근본적인 취약성을 가지고 있어 외국의 경우에는 지진구역에서 사용이 제한되어 왔고, 따라서 외국의 실험과 연구사례들도 흔치 않은 실정이다. 다만 전단벽이나 깊은 보에 관한 일부 연구들^{1),2)}이 상부벽식 하부골조의 복합구조에 유용하게 적용될 수 있는 정도이다. Green³⁾은 전단벽과 이를 지지하는 보-기둥 상부 응력의 분포와 이에 따른 하중의 범위에 의한 예비설계를 위한 방법을 제시하였다. 그의 연구에서는 개구부가 없고, 폭에 대한 높이의 비가 1.5 이상인 전단벽을 대상으로 벽과 보의 강성비에 의하여 지지부분의 응력을 산정하여 시스템의 거동을 예측하였다. 그러나 Green의 연구는 전단벽의 여러인자를 고려하여 쉽게 설계에 응용할 수 있는 반면에 관계식들이 일정한 하중이 주어졌을 때에 대한 응력을 구하는 용도로 만들어졌기 때문에, 전체 시스템의 극한내력을 구하는 방법이 아니며, 극한상태에 이르기

전 상태에만 효력을 갖는다.⁴⁾

2.2 국내 연구동향

국내의 경우 복합구조의 연결층에서의 취약성에도 불구하고 국내의 제반여건으로 상부벽식 하부골조의 복합구조가 계속 증가하고 있으며, 이에 따라 다수의 이론 및 해석적 연구결과가 발표되었다. 이동근 등^{5),6)}은 행렬응축기법에 의한 전용프로그램을 사용한 2차원 및 3차원에서의 동적해석 방법을 연구 발표하였다. 이 연구에서, 질량을 집중시킨 막대모델을 이용하여 상부층과 하부층을 각각 독립된 모델로 모델링하여 행렬크기를 줄여서 조합한 형태의 모델을 사용하였다. 신경재 등⁷⁾은 ETABS를 사용하여 모델방법에 따른 전이보 및 경계층의 응력변화를 연구하였다. 이 연구에서 셀요소를 사용한 벽체 모델과 보-기둥 요소를 사용한 전이보, 기둥모델을 사용하여 높이, bay의 수에 따른 변수와 전이보의 모델링 방법에 따른 해석결과를 비교 연구하였다.

이외에도 복합구조물의 동적거동에 대한 연구⁸⁾가 꾸준히 진행되었으나, 기존의 연구들은 개발된 전용프로그램에 의한 해석기법의 경우로 쉽게 실무에 적용하기에는 어려움이 있으며, 실무에 사용이 어려운 비선형 해석프로그램에 의한 거동을 연구한 내용이 대부분이었다. 또, 범용프로그램에 의한 모델화 연구의 경우 수직하중에 제한된 연구결과라는 한계가 있다. 따라서, 상부벽식 하부골조의 복합구조에 있어서, 지진하중을 고려하여 실무적으로 적용 가능한 해석기법에 대한 연구는 아직 초보단계에 있다고 판단된다.

3. 구조해석

3.1 해석대상건물

해석대상 건물은 총15층, 층당 2세대인 상부전단벽 하부골조 시스템의 건물로써 해석의 간략화와 결과분석의 용이함을 위해 비교적 간단하지만, 크게 3가지 종류로 구별되는 즉, 구조모델에서 설명되어지는 그림 3의 형태-1, 형태-2와3, 형태-4등, 전이층의 형태를 모두 포함하는 모델을 선정하였다.⁹⁾ 상부 전단벽 구조의 단위세대 평면은 그림 1과 같고 하부골조 평면은 그림 2와 같다.

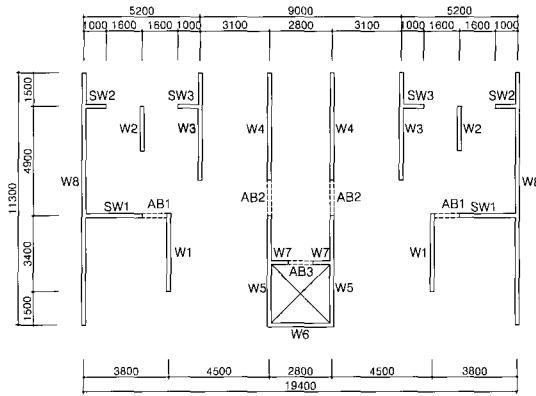


그림 1 단위세대 평면도

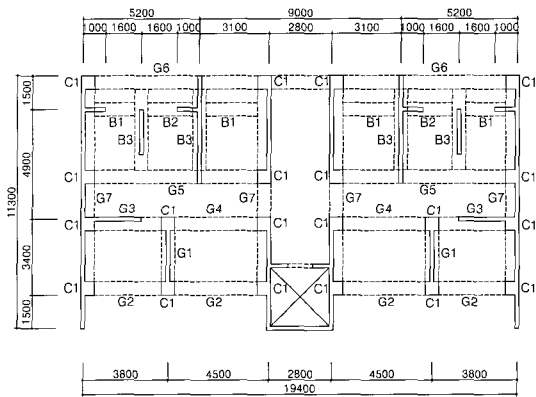


그림 2 전이층 평면도

표 1 보단면 및 사용위치

사용위치	보	
	AB1, AB2, AB3	B1, B2, B3, G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7
3-15층	18cm×38cm	
2층		60cm×1500cm

표 2 벽체두께 및 사용위치

사용위치	벽체	
	W1, W2, W3, W8, SW1, SW2, SW3	W4, W5, W6, W7
2-15층	18cm	18cm
1층		18cm

3.2 구조모델

전이층은 크게 상부벽체가 전이보와 어떻게 구성되

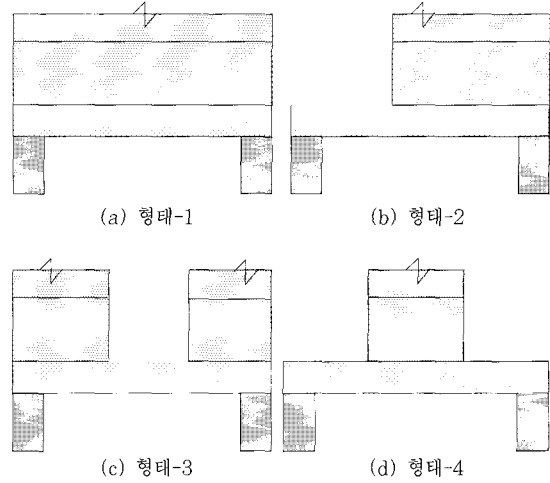


그림 3 전이보와 벽체의 대표적 형태

어지는지에 따라 크게 4가지 형태로 분류할 수 있다. 이때 그림 3에서 형태-1은 전이보 진장에 상부벽체가 위치해 있는 경우이고, 형태-2는 전이보의 지점 끝단에 한쪽 벽체가 걸쳐지나 전이보의 스패 중간에서 연속이 끊기는 경우이며, 형태-3은 형태-2와 유사하게 전이보의 지점 끝단에 한쪽 벽체가 걸쳐지고 전이보의 스패 중간에서 연속이 끊기는 벽체가 전이보 양단에 위치되는 경우이다. 형태-4는 전이보의 중간에 벽체가 걸쳐있는 경우이다. 여기서 형태-2와 형태-3은 거동이 유사하므로 하나의 유형으로 고려하였다.

본 연구에서는 위의 형태의 고찰을 그림 3에서와 같이 형태-1은 그림 4의 TYPE-A에서 형태-2와 형태-3은 TYPE-B에서 그리고 형태-4는 TYPE-C에서 추출된다.

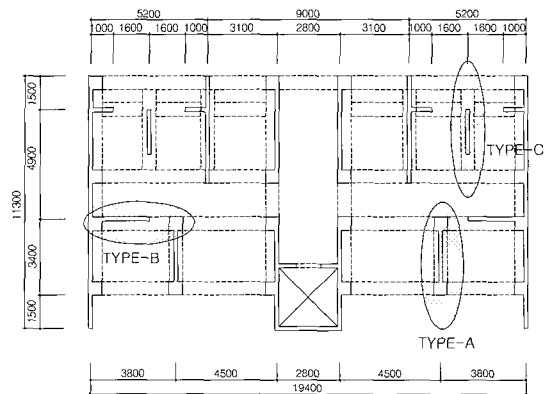


그림 4 해석모델의 선정위치

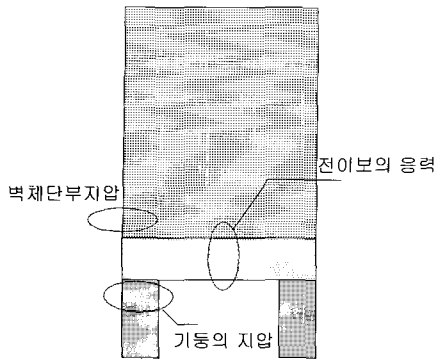


그림 5 전이층의 주요 점검 부위

한편, 주상복합 건물시스템의 전이층 해석시에 반드시 검토해야 할 주요 점검 부위로는 그림 5에서와 같이 전이보 자체의 부재력 산정은 물론이고, 벽체단부의 지압응력과 기둥과 전이보 인접부위의 국부응력등을 주요한 점검항목으로 들 수 있다.

이러한 복합건물의 해석수행시 일반 건축물에 적용하는 3차원모델은 지진하중에 대한 건물전체의 동적거동 특성을 반영할 수 있으나, 전이층의 중요 점검사항인 벽체단부와 기둥상단 및 전이보 인접부위의 응력집중현상을 해석하기에는 여러가지 문제점을 가지고 있다.

건축물 해석전용 프로그램인 ETABS나 MIDAS-BDS는 건물의 전체거동을 분석하기에는 적합하나 응력집중부위의 세밀한 해석을 수행하기에는 근본적인 문제점을 안고 있고 범용구조해석 프로그램인 SAP2000이나 MIDAS-GENw는 전이층 인접부위를 판요소로 하여 비교적 정밀한 모델을 만들수는 있으나, 실무에서 적용하기에는 과도한 수의 자유도가 필요하고, 해석시간이 자유도수(N)의 2N 배에 비례함을 감안하면 현실

적으로 무리가 따르는 방법임을 알 수 있다.

한편, 2차원 모델은 수직하중에 의한 기둥상단 및 전이보 인접부의 응력집중 현상의 해석에 비교적 간단하게 적용할수 있으나, 지진하중등의 동적해석을 반영하기가 매우 까다로우며, 또한 상부 벽식구조에 슬래브의 영향등을 고려하지 못함으로 전이보의 정확한 해석 모델로 평가하기에는 역시 무리가 있다.

본 논문에서는 그림 6과 같은 5가지의 3차원 모델과 그림 8의 형태와 같은 각 TYPE별 2차원 해석모델, 그리고 그림 7과 같은 슬래브 전용해석 프로그램을 이용한 모델로 전이층의 구조해석을 수행하였다.

그림 6의 (a)는 건물전체를 판요소를 이용하여 모델링한 것으로서 건물의 동적해석을 수행함과 동시에 응력집중부위를 가장 정밀하게 확인 해볼 수 있는 모델이다. 그림 6(b)는 전이층 상부 3개층만을 작은 판요소로 모델링하고, 이후의 층은 한 개층을 하나의 판요소로 모델링한 것으로, 이는 전이보 인접부위의 응력해석만을 위한 모델로써 상부 전단벽구조의 응력을 고려하지 않는 경우에 대한 효율성을 측정하기 위한 것이다. 그림 6(c)는 전단벽을 벽요소로 모델링한 것으로, 이는 건물의 3차원해석 전용프로그램인 ETABS나 MIDAS-BDS를 이용한 간편 모델의 전이층 해석시 오차를 알아보기 위한 모델이다. 그림 6(d)는 벽요소를 사용하되 해당 전이보가 4절점 이상으로 분할되도록 상부벽체를 분할한 것으로, 이는 상부 전단벽의 응력분포를 보다 정확하게 전이보에 전달하기 위함이다.

그림 6(e)는 상부벽체를 그림 6(d)와 동일하게 수직분할하였고, 전이층 상부에서 1.0m의 가상층을 두어 수평분할을 한번 더한 모델이다. 이는 전이보와 인접벽체의 응력 교류를 원활하게 하기 위한 모델이다. 각 모

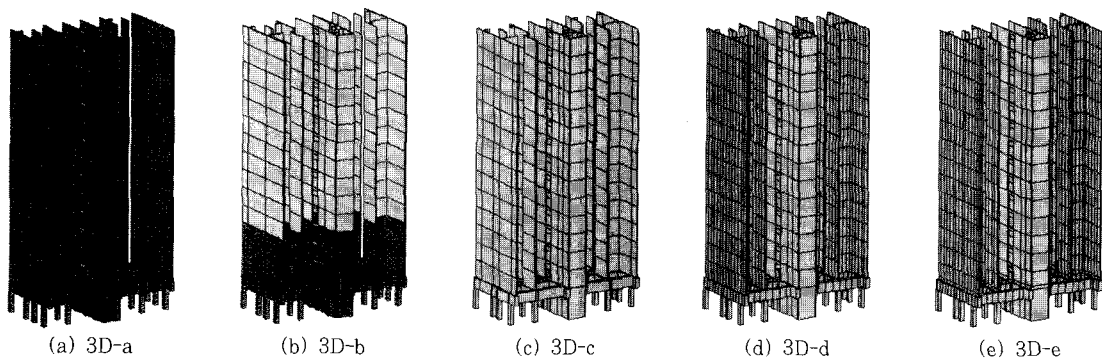


그림 6 3차원 해석 모델

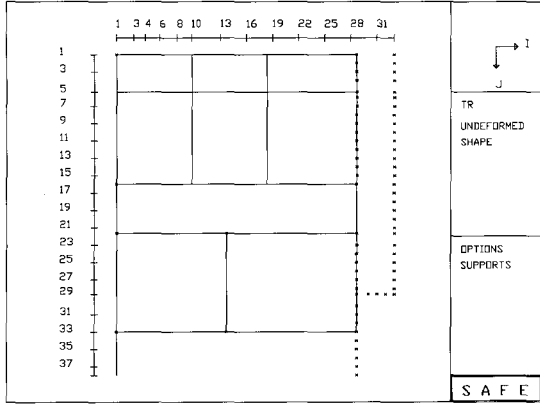


그림 7 SAFE를 이용한 2차원 모델

델별 해석의 수행은 범용구조해석 프로그램으로 널리 쓰이는 MIDAS-GENw를 이용하였다.

그림 7은 슬래브 판요소 전문 해석프로그램인 SAFE를 이용하여 전이층보를 해석한 모델을 보여준 것이다. 이는 현재실무에서도 전이보의 해석을 위해 빈번하게 사용되는 방법으로, 이러한 방법의 정확성을 검증하기 위한 모델이다.

그림 8(a)~(e) 모델은 3차원 모델과 동일한 방법으로 TYPE-A를 2차원으로 모델링한 것이다. 즉 그림 8(a)는 전이보 상부 전체 벽체를 판요소로 모델링한 것이며, 그림 8(b)는 전이보 상부 3개 층만 판요소를 사용하고, 이후 층은 벽요소로 모델링한 것이다. 이러한 2차원 해석 방법은 전이보에 동적거동의 영향을 반영할 수 없고, 상부 슬래브의 영향등을 고려할 수 없음에도 불구하고, 그 사용의 간편함 때문에 현재 실무에서 널리 쓰이고 있다.

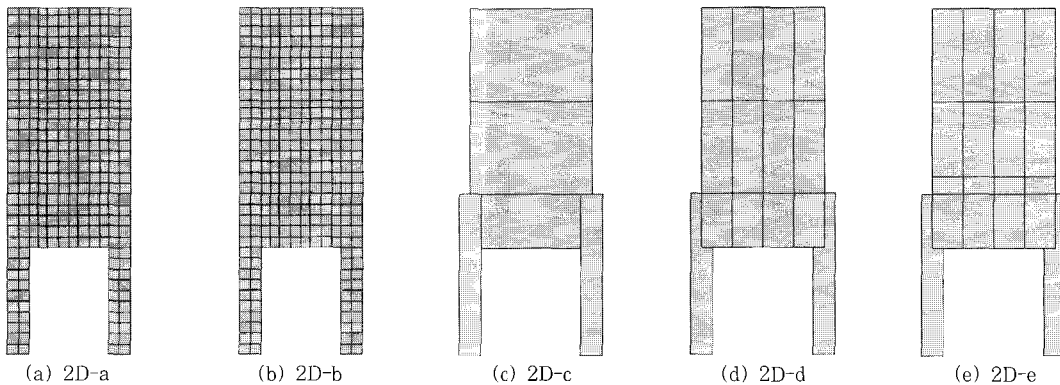


그림 8 2차원 해석 모델

4. 해석결과

4.1 수직하중에 의한 전이보의 단면력 분석

4.1.1 TYPE-A의 분석

그림 9는 TYPE-A의 각 3차원 모델별 전이보의 모멘트를 비교한 것으로 3D-a와 3D-b는 산정된 값이 정확히 일치함을 알 수 있다. 이는 상부벽체의 응력분포는 고찰의 대상에서 제외하고, 전이보 부근의 응력만을 고찰하고자 한다면, 전이층 상부 3개층 정도만을 정밀한 판요소로 모델링 하여도 정확한 결과를 도출할 수 있음을 나타내준다. 그러나 3D-b 모델 또한 3D-a 모델 보다는 상대적으로 작은 값이기는 하지만, 역시 많은 절점수와 이에 따른 자유도의 증가로 인해 과도한 해석시간이 소요되었다. 모델 3D-c는 전이보에서 상부하중 분포를 정확히 반영하지 못함으로써, 전이보에는 모멘트가 거의 생기지 않는 것으로 나타났다. 모델 3D-d는 벽체의 하중을 전이보의 중간에 전달하고자 전이보를 최소 4등분 이상으로 분할하여 벽체를 모델링 한 것으로, 모멘트의 분포형상은 상세 모델과 비슷한 양상을 보이거나, 모멘트의 값은 거의 3배상의 큰 수치를 보였다. 모델 3D-e도 역시 3D-d와 비슷한 양상을 보이고 있다.

그림 10은 각 2차원 모델별 전이보의 모멘트를 비교한 것이다. 2D-a와 2D-b의 값은 3차원 모델과 마찬가지로 서로 정확히 일치하고 있으며, 3D-a와는 약간의 차이는 있지만, 오차범위 이내로 수직하중만을 고려한 해석 방법으로는 적용 가능한 모델이라 사료된다. 그러나 2D-c, 2D-d 그리고 2D-e는 3차원 모델과 마찬가지로

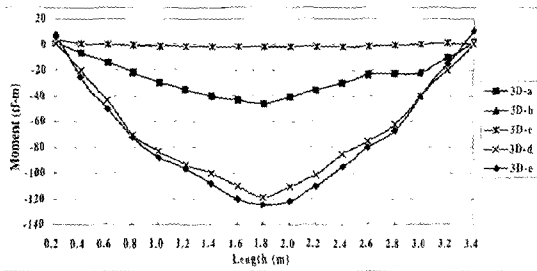


그림 9 TYPE-A(3D) 전이보 수직하중 모멘트

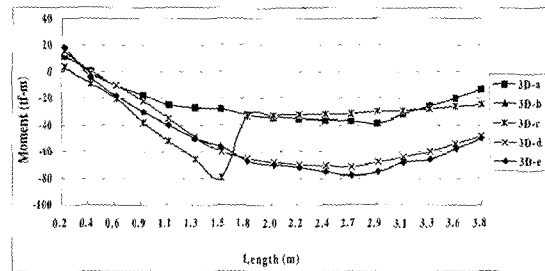


그림 11 (3D) 전이보 수직하중 모멘트

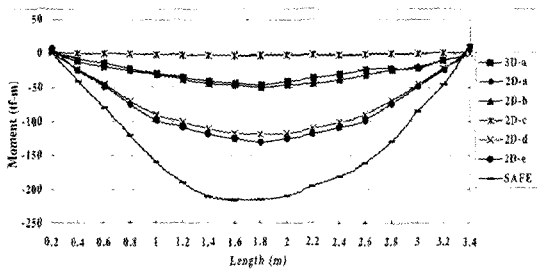


그림 10 TYPE-A(2D) 전이보 수직하중 모멘트

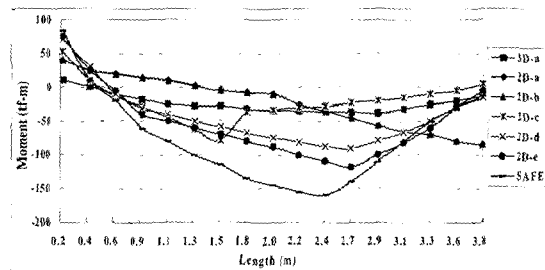


그림 12 TYPE-B(2D) 전이보 수직하중 모멘트

가지로 3D-a와 큰 차이를 보이므로서, 적용하기에는 어려운 모델이라 사료된다.

이러한 현상은 상부 벽식 구조를 벽요소로, 전이보를 보요소로 모델링 하였을 경우, 상부 전단벽의 효과가 정확히 반영되지 않고, 상부하중이 전이보를 통해 기둥에 직접 전달되는 메카니즘이 적절히 고려되지 못한 결과로 판단된다. SAFE모델은 단순히 상부 벽체가 하중으로만 작용하여 가장 큰 오차를 보이고 있다.

4.1.2 TYPE-B의 분석

그림 11은 TYPE-B의 각 3차원모델의 모멘트 다이어그램이다. 역시 TYPE-A와 마찬가지로 3D-a와 3D-b 모델은 그 값이 정확히 일치하였으며, 3D-c는 상부 벽체가 끝나는 지점에서 모멘트의 변화가 불연속에 가깝게 큰 편차를 보여 정확한 해석이 수행되지 않았음을 보여주고 있다. 3D-d와 3D-e는 전술한 바와 같이 전이보를 통한 축력의 직접 전달 작용과 상부 전단벽의 효과가 정확히 반영되지 않으므로 해서 최대 휨모멘트가 3D-a와는 약 2배 가량의 차이를 보였다.

그림 12는 TYPE-B의 각 2차원모델별 전이보의 휨모멘트를 비교한 곳이다. TYPE-A의 2차원모델에

서는 3차원모델과 비슷한 결과를 도출하였으나, TYPE-B에서는 3D-a와는 모멘트의 형상과 값 모두에서 적용할 수 없는 수치를 보여준다. 이는 상부구조의 슬래브의 역할이 적절히 고려되지 못함으로써, 발생하는 차이로 TYPE-B와 같은 경우에는 상부 슬래브의 영향이 전이보의 거동에 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 따라서 상부 슬래브를 고려할 수 있는 3차원 모델로 설계되어야함을 알 수 있다. 또한 2D-c, 2D-d, 2D-e, SAFE모델은 오차가 더욱 커지는 모습을 보이고 있다.

4.1.3 TYPE-C의 분석

그림 13과 그림 14는 각각 TYPE-C의 3차원 모델과 2차원 모델의 모멘트 거동을 나타내고 있다. 이 역시 3D-a와 3D-b는 정확히 일치하는 결과 값을 보이며 3D-c, 3D-d, 3D-e는 3D-a와는 많은 차이를 보인다. 다만 3D-c, 3D-d는 벽체의 경계부위에서 모멘트 값이 불연속면을 나타내나, 3D-e는 불연속면이 없는 결과값을 보이고 있다. 2차원 모델에서는 상부 슬래브의 영향이 비교적 TYPE-B 보다는 작으므로 2D-a와 2D-b의 값이 3D-a에 근접하는 양상을 보였고, SAFE 모델은 3D-e와 거의 동일한 값을 보였다.

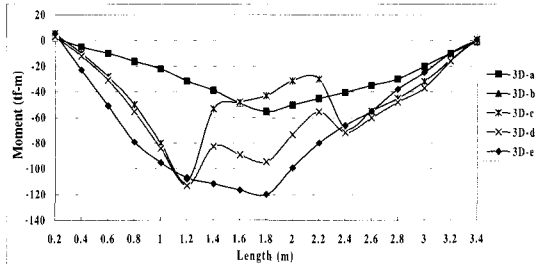


그림 13 TYPE-C(3D) 전이보 수직하중 모멘트

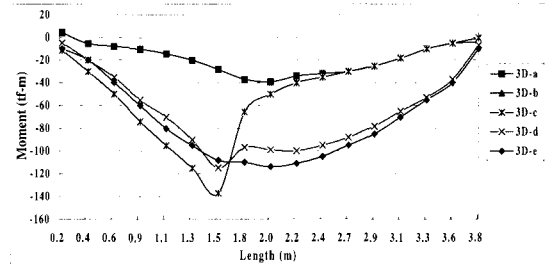


그림 16 TYPE-B(3D) 전이보 지진하중 모멘트

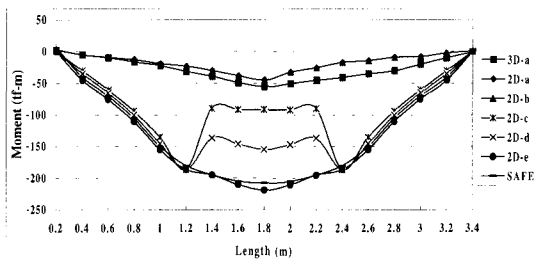


그림 14 TYPE-C(2D) 전이보 수직하중 모멘트

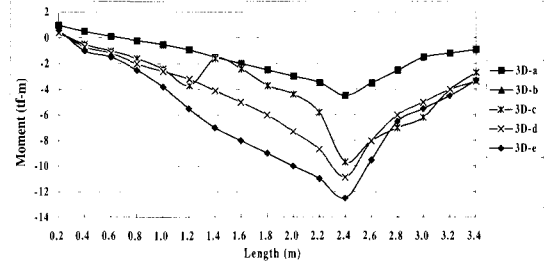


그림 17 TYPE-C(3D) 전이보 지진하중 모멘트

4.2 지진하중에 의한 전이보의 단면력 분석

그림 15에서 그림 17까지는 각 TYPE 별 지진하중을 받는 전이보의 휨모멘트 값을 나타낸 것이다. 수직하중의 경우와 마찬가지로 3D-a와 3D-b는 동일한 결과를 나타내었다. 그러나 판요소를 이용한 모델의 지진하중에 의한 전이보 단면력 검토시 간과해서는 안될 점은 판요소를 이용함으로써, 전이보 판요소의 면외 휨강성이 고려되었다는 점이다. 따라서 실제로 고려하지 않아야 할 전이보의 면외 휨강성이 고려됨으로써, 지진하중에 의한 전이보의 단면력이 감소됨에 주의하여야 할 것으로 사료된다.

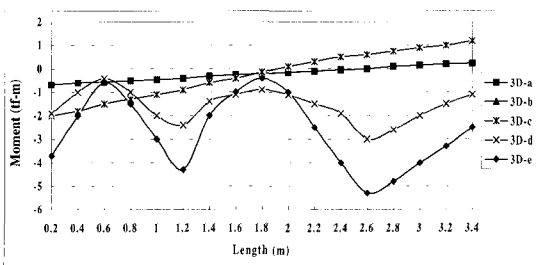


그림 15 TYPE-A(3D) 전이보 지진하중 모멘트

5. 제안모델

5.1 제안모델

각 TYPE별로 3차원 모델과 2차원 모델을 비교 분석해 본 결과 전이보의 보다 정확한 해석과 설계를 위해서는 판요소를 이용한 3차원 해석이 필수적임을 알 수 있었다. 그러나 3D-a 모델보다 자유도수를 대폭 줄인 3D-b 모델은 그 값이 3D-a와 정확히 일치함에도 불구하고, 역시 엄청나게 많은 자유도수와 이에 따른 많은 해석시간의 소요, 그리고 이에 따른 결과 산출의 어려움이 있다.

또한, 지진하중 해석시 전이보의 면외 휨강성이 고려됨으로서 전이보의 단면력이 작아지는 결과를 보였다.

그림 18은 이러한 단점을 고려한 제안모델이다. 판요소의 기둥부분은 면내 휨강성과 면외 휨강성을 모두 고려한 요소를 사용하고 전이보 및 상부 한 개층은, 실제 실무에서 구조설계시 지진하중에 대한 벽체와 전이보의 면외강성을 고려하여 설계하지 않는 점을 고려하여, 면외 강성을 면내강성의 1/10로 작게한 판요소를 사용하였다. 또한 전이층 상부 한 개층을 제외하고 나머지 상부 층은 실제 전이층의 응력 흐름에 거의 영향

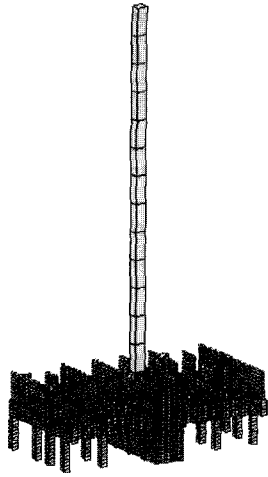


그림 18 제안모델

을 주지 않는다는 점을 고려하고, 자유도수를 대폭 감소시키기 위해 실제 건물과 동일한 등가강성을 가진 선제요소로 치환하였다. 이때, 등가강성의 산정은 3차원 모델을 Push over 해석을 통하여 산정 하였다. 이때 주의하여야 할 사항은 선제요소의 중심과 실제 건물의 횡강성 중심과 일치될 시켜야 하며, 거동의 일체성을 확보하기 위해 강제 링크기능을 활용하여 한다는 점이다.

5.2 제안모델의 거동분석

그림 19에서 그림 21까지는 제안 모델의 각 TYPE 별 수직하중과 지진하중에 대한 전이보의 휨모멘트 값을 나타낸 것이다. TYPE-A,B,C 모두 수직하중에 의한 모멘트는 3차원 정밀 모델과 거의 동일한 값을 나타내었다. 지진하중에 의한 모멘트는 TYPE-A,B,C 모두에서 3차원 정밀 모델 보다 큰 값을 나타내었다.

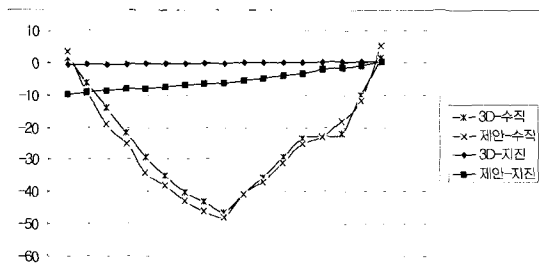


그림 19 제안모델 TYPE-A 전이보 모멘트

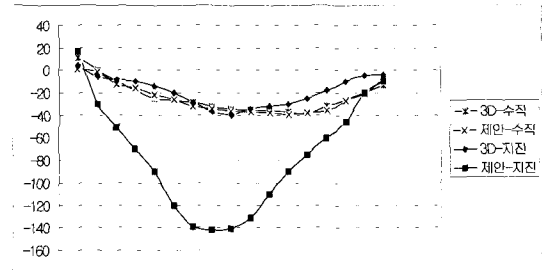


그림 20 제안모델 TYPE-B 전이보 모멘트

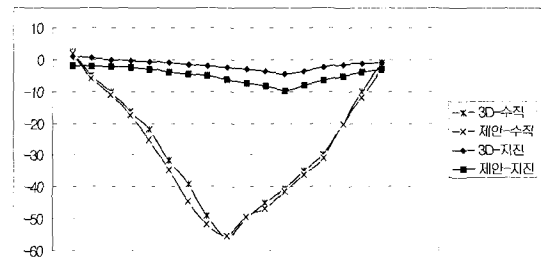


그림 21 제안모델 TYPE-C 전이보 모멘트

여기서 TYPE-A 는 지진하중에 의한 힘의 흐름이 전이보를 통하지 않고, 상부 벽체 등과 일체로 거동하여 기둥의 축력으로 바로 전달됨으로서, 전이보에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 반면 TYPE-B 는 상부 벽체의 한쪽이 기둥에 지지됨으로서 상부 벽체가 횡력에 일정부분을 분담하여 전이보에 큰 모멘트를 발생시켰다.

이때 3차원 모델에서 고려된 전이보와 상부 벽체 요소의 면외강성에 적절한 배근을 하기에는 실무적으로 불가능하다. 따라서 제안모델과 같이 전이보의 면외 휨강성을 1/10로 제한하여, 다소 보수적인 값으로 산정된 전이보의 단면력에 합당한 배근을 하는 것이 지진하중에 취약한 이러한 시스템에 적합할 것으로 판단된다. 보수적인 값으로 산정된 전이보의 단면력은 3D-e 모델과 비슷한 수치를 나타내었다. TYPE-C 는 상부 벽체의 지지강성이 상대적으로 약하여 상부 벽체가 분담하는 지진하중이 미약하게 됨으로서 지진하중에 의한 하부 전이보의 응력도 작게 산정 되었다.

5.3 응력 집중부위의 거동분석

상부벽식 구조가 하부골조 구조로 상이한 시스템을 통해 하중이 전달될 경우 앞서 언급한 바와같이 전이보

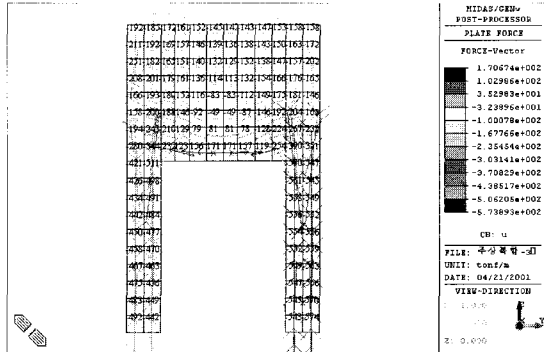


그림 22 TYPE-A 수직하중 main force

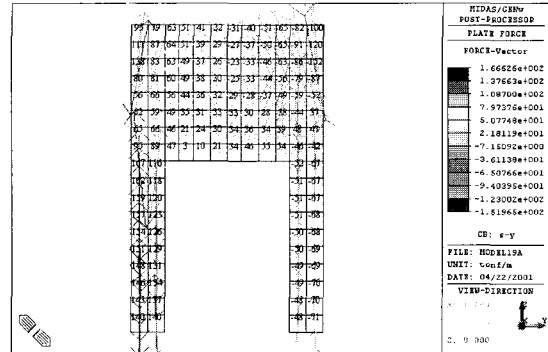


그림 23 TYPE-A 지진하중 main force

자체의 응력 뿐만 아니라, 전이보 인접 벽체 단부 및 하부 기둥의 응력집중 현상은 주의깊게 하여 다루어야 할 부분이다. 특히 응력의 집중은 상부의 누적된 축력 뿐만이 아니라, 전이보의 큰 전단력의 합성작용으로 파괴의 사전 징후가 없는 취성 파괴를 야기함에도 불구하고 실제 구조설계 실무에서 중요하게 검토되지 않는 것이 현실이다. 한편 전이보의 전단 설계는 전단-스팬비가 5이하로 일반 보의 설계이론을 적용 할 수 없기 때문에, 각 국에서는 전이보의 특수성을 감안한 경험적 규준식들을 제시하고 있다. 그러나 이러한 규준식에도 불구하고 응력 집중부위 강한 축력 직각방향으로 발생하는 인장력에 대한 적합한 보강이 이루어지지 않으면, 전이보는 이 균열에 의해 취성적인 파괴가 발생하게 된다. 따라서 주응력의 크기와 방향을 고려한 설계는 필수적이라 할 수 있다.

그림 22에서 그림 27은 제안모델의 각 TYPE별 응력의 흐름을 나타낸 것으로 그림 22와 그림 23은 TYPE-A의 수직하중과 지진하중에 의한 주 응력을 작용하중과의 비교가 용이하도록 요소의 두께 방향으로 적분한 주 응력의 크기와 방향을 나타낸다. TYPE-A에서 수직하중에 의한 응력의 집중은 여러 가지 요소에 의해 다른 양상을 보이나 주로 순경간의 길이, 기둥의 전이보 방향 두께, 전이보의 깊이에 따라 큰 영향을 받는다. 본 모델에서도 벽체단부의 축력은 전이보의 경계지점에서 벽체의 평균 축력의 1.4배에 이르며, 기둥에서의 축력은 벽체 단부 축력의 2배이상의 값을 나타내고 있다. 지진하중에 의한 거동은 TYPE-A의 경우 벽체의 양단에 지점이 형성되므로 벽체를 통해 지진하중이 바로 기둥으로 흐르게 된다. 따라서 전이보 자체에는 큰 영향을 미치지 않으나 벽체단부 및 기둥상단등 응력

집중부위에 더욱 많은 축력이 집중 되므로 반드시 지진하중에 의한 이 부분의 응력 집중 여부를 검토해야 할 것으로 사료된다.

그림 24와 그림 25는 TYPE-B의 수직하중과 지진하중에 의한 주응력의 흐름을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 수직하중에 의한 거동은 벽체에 균등하게 분포된 수직하중이 전이보의 압축대를 따라 전달됨으로서 전이보의 모멘트가 작아지는 현상을 확인 할 수 있다. 그러나 지진하중에 의한 거동은 상부 벽체의 양단부에 하중이 집중되는 거동 양상을 보임으로서 전이보에 지지되는 벽체의 단부 하단 부위에 수직하중에 의한 응력 집중의 3배에 달하는 응력 집중 현상을 발견 할 수 있다. 따라서 TYPE-B의 경우 지진하중에 의한 전이보의 응력집중에 대해 각별한 주의가 필요할 것으로 사료된다.

그림 26과 그림 27은 TYPE-C의 수직하중과 지진하중에 의한 주 응력의 흐름을 나타내고 있다. TYPE-C의 수직하중에 의한 거동도 역시 그림에서 볼 수 있듯

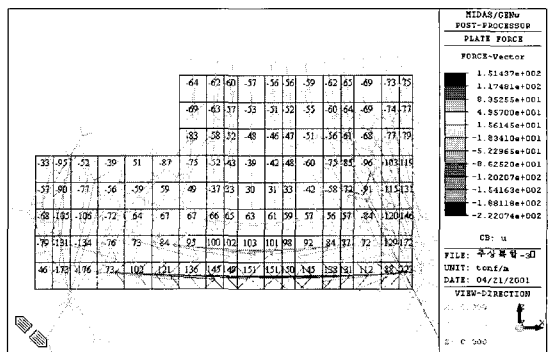


그림 24 TYPE-B 수직하중 main force

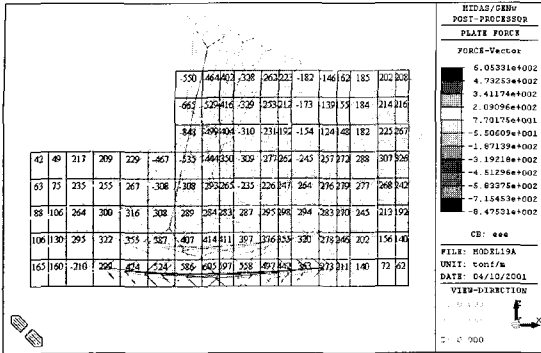


그림 25 TYPE-B 지진하중 main force

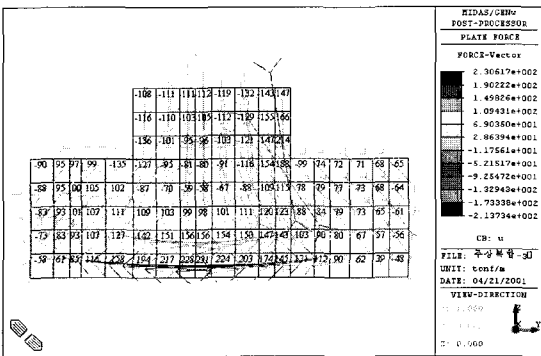


그림 26 TYPE-C 수직하중 main force

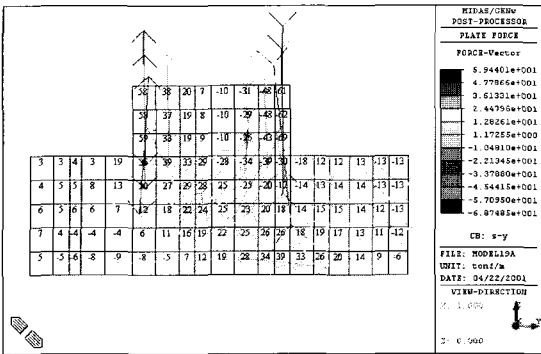


그림 27 TYPE-C 지진하중 main force

이 경사 압축대를 따른 힘의 흐름과 그에 따른 전이부의 하부 인장응력의 발생을 볼 수 있다.

지진하중의 경우에 TYPE-C는 TYPE-A나 TYPE-B와는 달리 상부 벽체 하부가 지반에 직접 힘을 전달 하는기둥이 없기 때문에 지진하중의 분담 비율이 작아져 전이부에 큰 힘이 작용하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 거동은 전이부의 경간과 상부벽체의 길

이 등에 의해 달라지므로 해석시 주의하여야 할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 논문에서는 상부벽식 하부골조를 가진 복합구조 전이층의 전이부와 상부벽체의 지지 형태별로, 현재 실무에서 널리 사용되는 해석 기법과 정밀 해석모델, 제안모델에 대해 비교, 분석 해보았다. 범용 구조 해석프로그램인 MIDAS-GENw를 이용하여 상부벽식 하부골조를 가진 복합구조 시스템의 수직하중 및 지진하중 거동에 대해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전이층의 해석시 판요소를 이용한 모델은 수직하중 작용시에는 실제 거동과 가장 근접한 거동양상을 보이나 과도한 자유도 수로 인한 많은 해석시간이 소요되고, 결과분석에도 어려움이 있으며, 지진하중의 작용시에는 판요소의 면외강성으로 힘이 분산되어 부정확한 값이 산정된다. 따라서, 전이층 상부 한 개층을 판요소로 모델링하고 상부는 등가강성의 선재요소로 치환하며, 판요소의 면외 강성을 줄인 제안모델로 이러한 문제점을 개선하였다.
- 2) 현재 구조설계 실무에서 사용되는 약산해석과 이에 따른 설계응력과 제안모델의 해석결과와 비교해본 결과, SAFE, MIDAS-GENw를 이용하여 2D로 해석하거나, ETABS, MIDAS-BDS을 이용하여 3D로 해석하는 현재 실무에서 많이 적용하는 방법은, TYPE-A의 경우 보에서는 수직하중에 대한 გადა 설계경향을 나타내나 지진하중에 대한 기둥 강성의 부족이 심각한 것으로 나타났고, TYPE-B의 경우 보의 응력이 수직하중에 비해 지진하중에 특히 취약한 해석결과를 보이며, TYPE-C의 경우 보의 응력에서 다소 과다하게 산정되는 양상을 떠나 지진하중에 대한 벽체의 영향이 거의 없기 때문에 다소 보수적인 방법으로 상부벽체를 하중으로 치환하여 설계하여도 무방할 것으로 사료된다.
- 3) 상부벽식 하부골조 시스템의 전이층은 수직하중의 급격한 분산 및 집중현상이 일어나며, 수직 비정형 구조로서 지진하중에 의한 명확한 거동분석을 위해서는 반드시 전이층의 3차원 정밀해석이 필요함을 확인 할 수 있다.

감사의 글

본 논문은 서울산업대학교 교내 학술연구비에 의하여 연구되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Coull, A., "Composite Action of Walls Supported on Beams", *Build. Sci.*, Vol. 1, Pergamon Press, 1966
2. Hong, S.-G., "Truss Model for Tension Bars in Reinforced Concrete Beams : Tension-Tension-Compression Regions", *ACI Structural Journal*, Vol. 93, No. 6, 1996
3. Green, D. R. "The Interaction of Solid Shear Walls and their Supporting Structures", *Build Sci.*, Vol. 7, Pergamon Press, 1972, pp.239~248
4. 문종우, "상부전단벽 하부 프레임 구조를 갖는 시스템의 연직하중에 대한 거동", 서울대학교 석사학위논문, 1999, pp.9
5. 황현식, 이동근, "주상복합건물의 효율적인 구조해석", 대한건축학회 학술발표논문집, 1996, pp.343~346
6. 황현식, 이동근, "주상복합건물의 효율적인 지진해석", 한국지진공학회 논문집, 제1권, 제1호, 1997, pp.79~88
7. 김현아, 정성진, 신경재, 송진규, 정혜교, 정하선, "연직하중을 받는 상부골조 하부벽식 구조의 모형화 방법에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 구조계, 제14권, 제8호, 1998, pp.37~44
8. 강병두, 전대한, 김재웅, "복합구조물의 상부층수 변화에 따른 탄소성정적 및 동적 응답특성", 한국지진공학회 논문집, 제5권, 제5호, pp.73~83
9. 안태상, "상부전단벽과 하부골조로 구성된 복합구조 전이층의 효율적 해석모델", 서울산업대학교 석사학위논문, 2001