

거시적 모델을 이용한 내력벽 시스템의 Pushover 해석 - 2차원과 3차원 해석 모델링의 비교

Pushover Analysis of Bearing Wall System with Macroscopic Models - For Comparisons of 2D and 3D Analysis Modelling

이 영 옥
Lee, Young Wook

ABSTRACT

To study the effect of the macroscopic TVLEM(Three Vertical Line Element Model) which is developed in 2D, a bearing wall system is selected and 2D and 3D pushover analyses are carried out. In 2D model, the participating width of a flange wall to lateral resistance is modelled based on Paulay's effective width. From the comparisons of roof displacements, 2D model which uses the effective width of flange wall has better prediction and less analysis time than 3D model which has intrinsically the full width of the flange that causes higher stiffness and strength and shorter deformation capacity than 2D model.

1. 서론

공동주택의 리모델링 설계시 내진성능 분석을 위하여 Pushover 해석이 필요하며 이를 위하여 내력벽에 대한 구조 해석 모델링이 필요하다. 공동주택인 내력벽 시스템의 층수가 대개 12층 이상이고 한 층에 다수의 세대가 있으므로 해석과 분석 시간상의 문제로 인하여 미시적(micro) 모델보다는 그림 1과 같은 거시적(macro) 모델을 사용하게 된다.

그림 1의 거시적 모델은 Kabeyasawa⁽¹⁾가 TVLEM(Three Vertical Line Element Model)으로 제안하였으며 다른 연구자들^{(2),(3)}에 의하여 발전되어 왔다. 중앙부에 3개(전단과 축력과 휨)의 스프링으로 구성되어 있으며 단부에도 보강요소(Boundary Column)를 모델링하기 위하여 축력 스프링을 사용한다. 이러한 모델은 2차원의 거동을 전제로 개발된 요소이므로 3차원 모델로 적용될 때에 문제점이 발생하게 될 것이다. 예상되는 문제점 중의 하나는 Wallace의 연구 결과와 같이 플렌지가 인장을 받을 때 강성과 강도가 증가하는 현상⁽³⁾이다. 본 연구에서는 벽식 구조물의 2차원과 3차원 해석을 통하여 이러한 문제점을 발견하고 해결 방안을 고찰하고자 한다.

2. 3차원 모델과 문제점

내력벽 시스템에서 그림 2와 같은 판상형 평면은 일반적인 형태이며 길이방향의 전단벽과 단변방향의 전단벽으로 구성되어 있다. 그림 3은 판상형 모델의 구조 평면도이며, 두꺼운 선은 연결보를 나타내며 얇은 선은 전단벽을 나타낸다. 이 모델을 길이방향에 대하여 Pushover 해석하면, 외단부의 벽체

* 정희원, 군산대학교 건축공학과 교수

와 세대간벽은 플렌지(flange)로써 작용하게 된다. 이때 웨브 벽체와 플렌지 벽체는 각자 독립적인 거동을 하지 않고 합성 작용에 의하여 강성과 내력이 증가할 것이다.

본 연구를 위하여 그림 2와 같은 지상 15층의 모델을 선정하였다. 모델의 평면은 그림 3과 같으며 9개의 세대가 복도로 연결된 형상이다. 그림에서 평면의 Y방향(판의 길이에 대한 직각방향)으로는 많은 벽량이 존재하지만 X방향(판의 길이방향)으로는 25평 세대의 거실과 안방의 구획 벽체와 중앙 코어 벽체에 매우 소량만이 있다. Y방향의 벽체는 세대간을 구획하는 벽체와 세대내부의 짧은 벽체로 대별된다. 이러한 X와 Y방향의 벽체는 크게 2가지로 설계가 되어 있는데, 세대간벽과 비세대간 벽으로 구분된다. 모델의 X방향과 Y방향의 거동이 중첩되지 않은 거동을 보여주며 각 주기는 다음과 같다.

1차 모드 : X 방향, 주기 = 2.25 sec.

2차 모드 : Y 방향, 주기 = 1.10 sec.

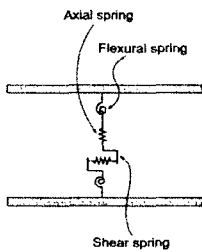


그림 1 거시적 전단벽 모델

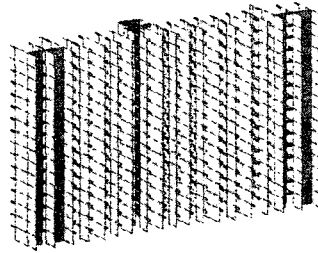
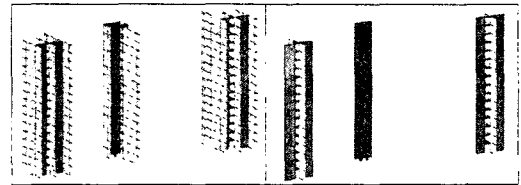


그림 2 공동주택 구조해석 모델



그림 3 공동주택 구조해석 모델의 평면



(a) 세대간벽 포함 (b) 세대간벽 비포함

그림 4 공동주택 구조해석 모델

이러한 내력벽 시스템에서 길이방향의 내력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 그림 4와 같은 2가지의 경우에 대하여 마이다스 프로그램을 이용하여 Pushover 해석을 수행하였다. 벽체의 뼈대 곡선은 성능은 FEMA 273⁽⁵⁾의 제안 모델을 적용하였다. 그림 4 (a)는 단변방향의 단독으로 있는 전단벽을 제거하고 플렌지로 작용하는 세대간벽과 외단부 벽을 포함한 모델이며, (b)는 모든 단변방향 벽을 제거한 경우이다. 그림 2의 모든 전단벽이 있는 모델과 그림 4의 모델의 지붕층 변위 이력을 비교한 것이 그림 5이다. 단변방향의 벽을 제거한 모델은 완전히 다른 거동이력을 보여주고 있다. 외단부벽체와 세대간 벽을 플렌지 벽체로 모델링한 경우를 3차원 전체 구조물의 해석이력과 비교하면, 최대내력이 약간 감소하나 거의 유사한 거동을 보여주고 있다. 따라서 플렌지 벽체의 유무는 내력벽 시스템의 변위 이력에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

3. 유효폭을 고려한 2차원 해석 모델

앞에서 모드해석을 수행한 결과 평면의 길이방향과 직각방향의 모드는 거의 중첩이 되지 않으므로 2차원 해석을 통하여서도 동일한 해석결과가 예측되므로, 3차원 모델의 정확성을 확인하기 위하여 2차원 해석을 수행하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 벽체의 거시적 해석 모델에서 단부의 스프링은 단부

보강부재(Boundary Column)를 모델링한다. 따라서 플랜지의 내력특성은 단부의 스프링에 반영된다. Kabeyasawa⁽¹⁾는 단부 스프링의 이력거동을 제안하였으며 인장항복의 값은 철근의 인장 항복 값을 사용하였으며 압축의 항복은 없는 것으로 가정하였다.

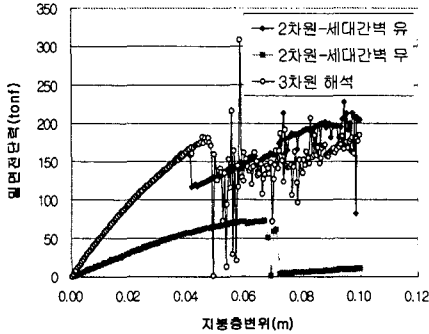


그림 5 2차원 모델과 3차원 모델의 해석비교

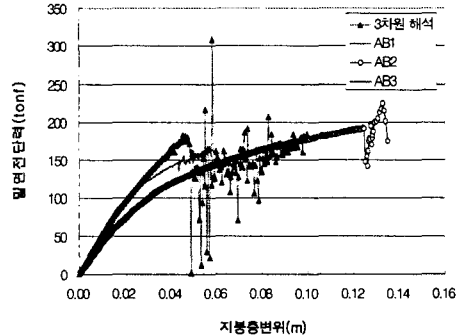


그림 6 RUAUMOKO를 이용한 2차원 해석

플랜지의 전단면이 단부의 스프링으로 모델링되지 않고 유효폭만이 작용하게 된다. 본 해석에서는 Paulay⁽⁴⁾의 플랜지의 유효폭을 사용하였으며, 정의된 유효폭은 아래 식과 같다.

$$b_{eff} = h_w + t_w \quad (1)$$

여기서 h_w 는 벽체의 높이이고 t_w 는 벽체의 두께이다.

2차원 해석시 플랜지의 유효폭의 효과를 확인하기 위하여 다음의 3가지 경우의 모델을 작성하여 해석을 수행하였다.

모델 AB1 : Pauley의 유효폭과 보강부재 압축항복 모델 사용

모델 AB2 : Pauley의 유효폭과 보강부재 Kabeyasawa 모델(압축항복 없음) 사용

모델 AB3 : 플랜지의 전단면을 유효면적으로 사용

상기 3개의 모델의 뼈대곡선(envelope curve)은 이선형(bilinear) 모델을 사용하였으며, 2차원 해석과 3차원 해석을 비교하여 그림 5에 도시하였다. Paulay의 모델을 사용한 경우 보강부재의 항복을 고려한 경우(AB1 모델)나 항복을 고려하지 않은 경우(AB2 모델)은 동일한 이력을 보여주었다. 예상한 바와 같이 플랜지의 전단면을 유효면적으로 사용한 경우(AB3 모델)는 앞의 AB1과 AB2 보다 큰 강성을 나타내고 작은 변형 능력을 나타내었다. AB3 모델의 초기 강성이 마이다스의 3차원 해석 결과와 동일하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 따라서 일반적으로 거시적 모델을 이용하여 내력벽 시스템을 3차원 모델링하면 플랜지의 전단면이 유효하게 되어 강성이 높게 산정된다. 또한, AB1과 AB2의 모델은 동일한 곡선거동을 보여주고 있으므로 유효 플랜지로 사용된 보강부재에 압축 항복이 발생하지 않음을 보여준다.

동일한 FEMA⁽⁵⁾ 뼈대곡선을 이용하는 경우에 3차원 모델과 2차원 모델을 그림 7에서 비교하였다. 3차원 모델은 마이다스를 이용하였으며, 2차원 모델은 RUAUMOKO⁽⁶⁾를 이용하였다. 2차원 모델은 Paulay의 유효폭을 적용한 모델로써 FEMA 모델과 내력벽 시스템에 소성힌지를 힌지로 가정하였을 때의 모델을 해석하였다. 3차원 모델은 앞의 그림 6에서 보았듯이 초기 강성과 강도가 2차원 모델에 비하여 증가하고 있다. 이러한 차이는 항복후의 변형 능력에도 차이를 보여주고 있다.

따라서 일반적인 3차원 해석은 플랜지의 전체 길이가 수평저항내력에 참여하게 되므로 높은 강도와

강성을 발휘하게 되고 구조물의 수평 변형능력이 감소하게 된다. 본 예제에서와 같이 X축과 Y축 방향의 거동이 중첩되지 않는 경우, 플렌지의 유효폭을 고려한 2차원 해석은 3차원해석에 비하여 신뢰할 수 있는 결과를 보여 주며 해석 시간이 감소되는 장점이 있다.

4. 결론

전단벽의 해석 모델로 사용되는 TVLEM은 2차원 거동을 전제로 하여 개발되었으므로, 3차원 Pushover 해석에서 나타나는 문제점을 고찰하고자 2차원 해석과 비교하였다. 3차원 해석은 범용 프로그램 마이더스, 2차원 해석은 RUAUMOKO를 이용하였으며 플렌지의 유효폭으로 Paulay의 제안식을 사용하였다.

2차원 해석에서 플렌지 벽체의 전단면을 유효폭으로 가정한 경우의 초기 이력이 3차원 해석과 동일하게 나타났으므로, 일반적인 3차원 모델링을 하게 되면 플렌지 벽체 전단면이 수평내력에 유효하게 되어 초기 강성과 강도가 높게 산정됨을 확인할 수 있었다. 또한 동일한 FEMA의 뼈대곡선을 이용하더라도 3차원 모델링의 경우 전체의 플렌지 벽체가 유효하게 되어 초기의 강성과 강도가 증가함에 따라 항복 후의 최대 변형 능력이 플렌지의 유효폭을 고려한 2차원 해석에 비하여 작게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 플렌지의 유효폭을 고려한 2차원 해석은 3차원해석에 비하여 신뢰할 수 있는 결과를 보여 주었으며 해석 시간이 상당히 감소되었다.

그러나 비틀림의 거동이 수반되는 시스템의 경우, 정확한 3차원 Pushover 해석을 위하여 가력 하중의 직각 방향의 플렌지 벽체의 유효폭을 자동적으로 고려할 수 있는 해석 모듈의 개발이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행하는 05 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: 05 산학연 C105A1050001-05A0505-00110)에 의한 것임.

참고문헌

1. Kabeyasawa, T., Otani, S. and Aoyama, H., "Nonlinear Earthquake Response Analysis of RC Wall Frame Structures," Transactions, Japan concrete Institute, 1983, pp277-284
2. Vulcano, A., Bertero, V.V., "Analytical Models for Predicting the Lateral Response of RC Structural Walls: Evaluation of their Reliability," Report No. UCB/EERC-87/19, University of California, 1987
3. Orakcal, K., Wallace, J.W., Conte, J.P., "Flecural Modelling of Reinforced Concrete Walls- Model Attributes", ACI Structural Journal, Vol. 101, No. 5, Sep.-Oct. 2004
4. Paulay, T., M.J.N. Priestley, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley and Sons, 1990
5. FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, 1997
6. Carr, A.J., RUAUMOKO, Computer Program Library, Dept. of Civil Engineering University of Canterbury, New Zealand. 2001

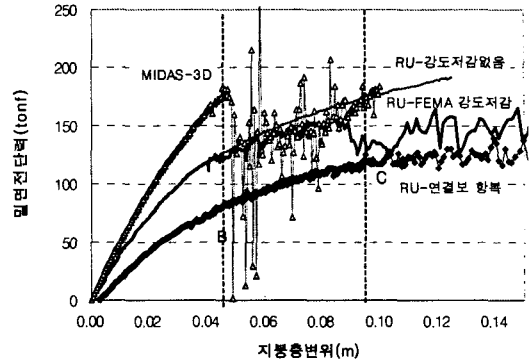


그림 7 FEMA 모델을 사용한 경우의 비교