

비틀림비정형을 갖는 건물의 비선형 시간이력해석

Non-linear time history analysis of building with torsional irregularity

이 한 선* 고 동 우**

Lee, Han Seon, Ko Dong Woo

ABSTRACT

Many RC building structures of multiple uses constructed in Korea have the irregularities of torsion and soft story at bottom stories. A typical irregular building was selected as prototype and shaking table tests were performed to investigate the seismic performance of this building. The objective of this study is to evaluate the correlation between the experimental and analytical responses of this irregular building structure subjected to the earthquake excitation by using OpenSees(Open System for Earthquake Engineering Simulation). The results of analyses simulate well the behavior of the building having torsional irregularity and weak stories.

1. 서론

1995년 고베지진과 1999년 터키와 대만지진에 이어 지난 2월에 발생한 이란지진 등에서 보듯이 대형지진에 의한 피해는 국가의 경제, 사회적인 면에서 큰 손실을 주고 있다. 이러한 가운데 근래 우리나라에서 급증하고 있는 상부벽식-하부골조의 형태를 띠는 비정형 구조물은 모멘트 저항골조나 벽식구조와는 달리 하부골조에서 연약층 파괴가 발생할 가능성이 높고, 코어의 위치에 따라 과도한 비틀림이 발생할 수 있어 대형지진이 발생할 경우 극심한 피해가 우려되는 대표적인 건물의 형태라고 할 수 있다. 따라서, 향후 발생할 수 있는 지진에 대비할 수 있도록 이와 같은 건물을 설계하기 위해 건물의 동적특성을 명확히 파악하는 것은 매우 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 이미 수행된 1/12 축소 17층 주상복합 건물의 진동대 실험에서 얻어진 비정형 건물의 반응과 비선형 시간이력해석을 통해 얻은 건물의 반응을 비교함으로써 해석 프로그램의 한계와 실험에서 발견하지 못한 동적특성을 파악하고자 한다.

2. 대상건물의 선정과 설계

우리나라의 대표적인 비정형건물에 해당하는 주상복합건물에 대한 실제 시공사례를 조사⁽¹⁾하여 그림 1과 같이 하부에 연약층이 형성되면서 비틀림비정형에 해당하는 건물을 정하였다. 하부골조는 보-기둥 골조로 2개층으로 이루어져 있고, 상부층은 벽식구조로서 15개층으로 이루어져 있다. 이 건물에 대한 지진거동을 파악하기 위해 1/12 축소모델을 이용한 진동대 실험을 수행하였다. 상부구조물의 강성이 하부골조부분보다 훨씬 크므로 실험체 상부구조물은 콘크리트 덩어리로 제작하고, 하부골조부분은 실제 구조물에 최대한 가깝도록 상사성에 맞추어 정확히 제작하

* 고려대학교 건축공학과 교수, 정회원,

** 고려대학교 건축공학과 박사과정, 정회원

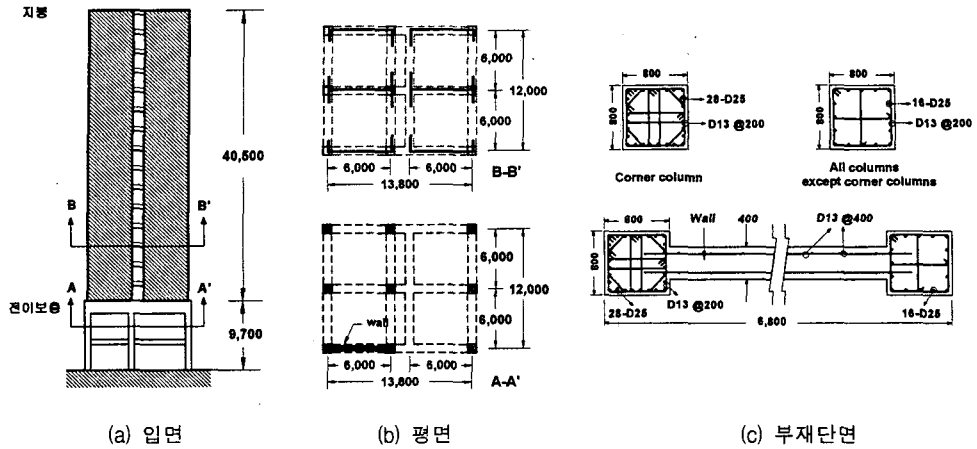


그림 1 대상건물과 부재설계결과

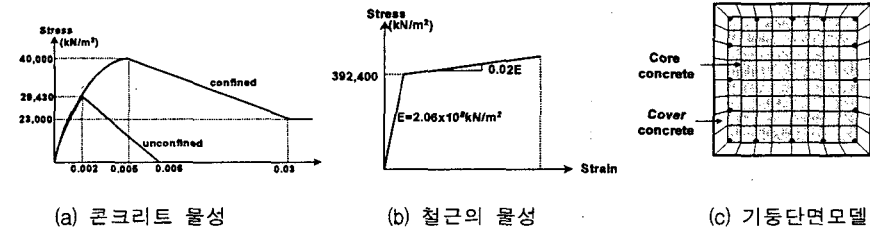


그림 2 재료의 물성과 기둥의 단면 모델

였다. 상사성의 원리에 따라 줄어든 무게를 보정할 부가질량용 철판을 상부구조물에 설치하였는데, 진동대능의 한 계로 인해 상부부가질량은 실제 요구량의 1/2만 설치하였다. 실험체 제작, 상사성의 원리 및 세팅에 대한 사항은 참고문헌⁽²⁾에 언급되어 있다. 그림 1은 대상건물의 입면과 평면, 그리고 설계된 부재단면을 보여준다.

3. 해석모델

대상건물의 비선형시간이력 해석을 수행하는 프로그램으로 U.C. Berkeley의 PEER Center에서 제공하는 OpenSees(Open System for Earthquake Engineering Simulation)⁽³⁾를 사용하였다. OpenSees는 지진에 의한 구조, 지반 시스템의 거동을 모사하기 위한 소프트웨어 frame work로 여러 명의 이용자와 관리자가 원격적으로 연계되는 공동활동영역의 하나로 구상되던 시스템으로서 기본적으로 사용하는 비선형 지진해석프로그램은 Objective-oriented Finite Element Analysis program이다. OpenSees는 보-기둥요소, zero-length요소, 트러스요소, quad 요소를 포함하고 있으며, 12가지 비선형 이력모델을 4가지 단면모델에 적용함으로써 비선형적인 거동을 나타낼 수 있어 일반건축물 뿐만 아니라 교량, 댐 등과 같은 토목구조물, 지반의 운동에 대한 해석까지 가능하다.

그림 2는 해석에 적용한 콘크리트와 철근의 이력모델, 그리고 기둥의 비선형 Fiber 단면모델을 보여준다. 기둥의 피복과 보의 경우 비구속콘크리트의 물성을 적용하였으며, 기둥의 코어부분은 횡철근에 의해 구속되기 때문에 구속 콘크리트의 물성을 적용하였다. 단, 모델콘크리트의 경우 실물콘크리트보다 탄성계수가 낮기 때문에, 최대강도 시 비구속콘크리트의 변형률을 0.002로 정하고, 철근의 탄성계수는 2.06×10^8 kN/m²으로 철근의 탄성계수의 1/2을 적용하였다. 구속콘크리트의 경우 횡철근의 배근에 따라 구한 유효 최대횡압력과 구속콘크리트의 압축력을 이용하여 구속콘크리트의 응력-변형률 관계를 구하는 Paulay와 Priestley의 방법⁽⁴⁾을 따랐다. 그림 2 (c)는 기둥의 비탄성거동을 모사하기 위한 fiber모델을 보여준다. 주근 안쪽은 구속콘크리트로, 피복부분은 비구속콘크리트로 모델하

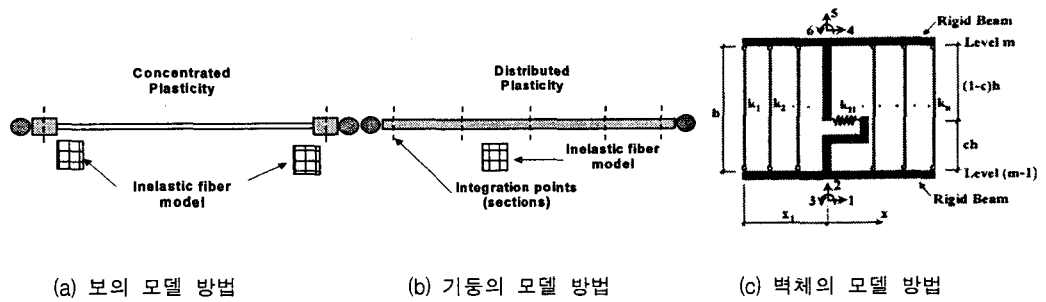


그림 3 보, 기둥, 벽체의 모델 방법

였다.

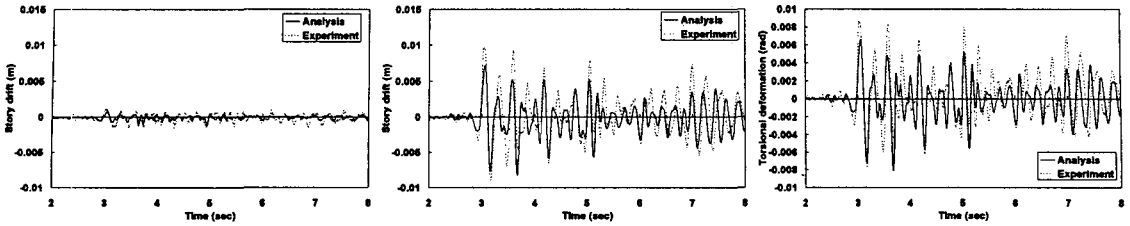
OpenSees는 그림 3과 같이 부재의 양 단부에 비탄성거동을 묘사하는 부분이 집중되는 concentrated plasticity 모델과 부재 전체에 걸쳐 비탄성거동을 발생시키는 distributed plasticity 모델로 보-기둥 요소를 나타낸다. 대상 건물의 경우 보는 concentrated plasticity 모델을, 기둥은 distributed plasticity 모델을 적용하였다. 벽체는 그림 4에서 보듯이 MVLE(Multiple-Vertical-Lime-Element)⁽⁵⁾을 적용하였다. MVLE 모델은 Bertero가 벽체의 모델에 대하여 제시한 모델로서 벽체 중앙에 전단강성을 갖는 스프링과 벽체 단면을 나타내는 여러개의 수직 트러스 요소로 이루어져 있다. 이 모델은 트러스 요소의 개수와 전단스프링이 놓이는 상대적인 위치에 따라 거동이 달라질 수 있다. 기존의 벽체 모델은 지진 시 발생하는 rocking 현상을 제대로 묘사하지 못하였으나, MVLE 모델은 이를 비교적 정확히 묘사하였다. 단, 벽체가 복곡률로 변형이 일어나는 현상은 묘사를 할 수 없다. 이상의 요소를 이용하여 그림 4와 같이 건물을 모델하였다. 하부골조부분은 비선형부분을 상세히 모델한 반면, 상부골조부분의 탄성계수는 $2.06 \times 10^9 \text{ kN/m}^2$ 로서 하부골조부분보다 약 10배 큰 값을 적용하였으며, 각층의 질량중심에 X, Y, RZ성분의 총질량을 집중시킨 후 각 층의 절점을 rigid link로 구속시켰다. 해석에 사용된 지진파는 실험 시 적용한 파와 동일한 Taft파의 최대가속도를 조정하여 사용하였다.

4. 해석결과

그림 4는 Taft080에서 전이보층의 층변위와 층비틀림각의 시간이력을 비교하고 있다. 연약골조에서 최대 전이보층 변위를 보여주는 3초부분에서 해석값은 실험값의 74%를 보여주었으며, 강한골조에서는 해석값이 실험값의 65%를 보여주었다. 그림 4 (c)는 전이보층에서 층비틀림각을 비교하고 있는데, 층비틀림각이 최대일 때 해석값은 실험값의 75%정도의 값을 보여주었으며, 해석은 실험에서 나타난 반응을 잘 따르고 있었다. 일부 시간에서 해석과 실험의 거동 양상이 다소 차이가 있었으나, 전체적으로 해석은 실험값을 잘 묘사하였다. 그림 5는 축력기둥의 축력의 반응을 비교하여 보여준다. 강한골조의 외부기둥인 C31은 실험에서 지속적으로 압축만 받았으나, 해석에서는 압축축으로 반응이 편향되어 있을 뿐 인장과 압축이 번갈아 나타났다. 연약골조의 외부기둥인 C33은 실험에서 인장축으로 편향되는 모습을 보여주었는데, 해석에서도 이와 동일함 반응이 나타났다. 실험에서 발견된 이와 같은 건물의 동적거동에서 특징은 지진에 직각방향 전도모멘트의 반응이 일방향성을 보여준다는 것이다. 이를 확인하기 위해 그림 3에서는 실험에서 측정된 3개 기둥의 축력을 이용하여 구한 지진에 직각방향 전도모멘트와 동일한 기둥의 축력을 이용하여 해석에서 구한 전도모멘트를 비교하고 있다. 실험은 일방향성의 전도모멘트를 보여주었으나, 해석은 (+)방향으로 편향되어 있을 뿐 실험에서와 같은 일방향성 반응은 보여주지 못하였다.

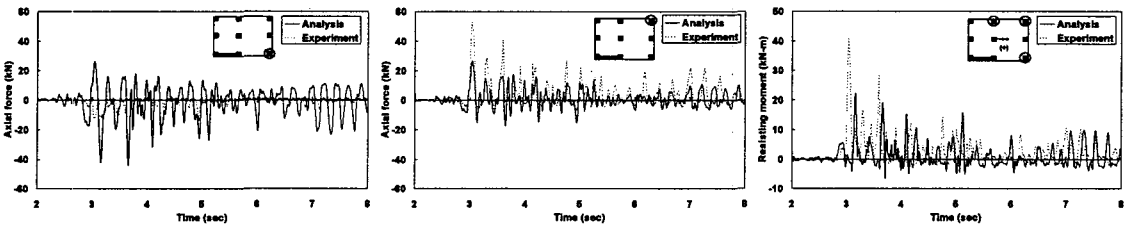
4. 결론

OpenSees를 사용하여 비틀림과 연약층을 가진 건물에 대해 해석을 수행할 경우 전체적인 거동은 실험결과에 거



(a) 강한골조의 변위 (b) 연약골조의 변위 (c) 전이보층 비틀림각

그림 4 전이보층의 층변위와 비틀림각의 시간이력 (Taft080)



(a) C31 (b) C33 (c) 저항모멘트

그림 5 기둥축력과 지진의 직각방향 저항모멘트의 시간이력 비교 (Taft080)

의 근접하였으며, 기둥에서 보여준 편향현상과 지진에 직각방향 전도모멘트도 비교적 잘 묘사하였다. 따라서 해석에 대한 좀더 심층적인 연구를 수행할 경우 실험에서 보여준 구조물의 거동특성을 해석을 통해 분명히 파악할 수 있고, 더 나아가 OpenSees를 이용한 해석은 대상건물과 같은 건물에 지진거동을 예측하는데 큰 도움을 줄 것으로 기대 된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2004-041-D00749)에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. 김상연, 이한선, 고동우, "상부전단벽과 하부골조로 구성된 복합구조의 설계실무 현황분석," 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 제 11권, 제 1호, 1999, pp. 223-228
2. Han-Seon Lee and Dong-Woo Ko, "Shaking table tests of a high rise RC bearing-wall structure with bottom piloti stories," Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 1, No. 1, 2002, pp. 47-54.
3. OpenSees, "Open System for earthquake engineering simulation(opensees.berkeley.edu)," Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, 2004.
4. T. Paulay and M.J.N. Priestley, "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings," John Wiley & Sons, Inc. 1992.
5. K. Orakcal, J.W.Wallace, J.P.Conte, "Nonlinear modeling and analysis of slender reinforced concrete walls," ACI Structural Journal, Vol. 101, No. 5, 2004., pp.688-698.