

## ETABS와 ABAQUS에 의한 탄성 및 탄소성단계에서 철근콘크리트지지벽식건물의 내진안전성평가

박지봉, 고광수

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《지난 기간 우리 나라에서도 지진이 여러번 일어난것만큼 앞으로 큰 지진이 일어나지 않는다는 담보가 없습니다. 새로 건설하는 살림집과 공공건물들에 대한 지진방지대책을 철저히 세우며 이미 건설된 건축물들에 대해서도 검토하여보고 대책을 세워야 하겠습니다.》(《김정일선집》 증보판 제7권 136페이지)

론문에서는 현재 건축구조해석프로그램으로 널리 리용되고있는 ETABS와 ABAQUS를 리용하여 철근콘크리트지지벽식건물을 모형화하고 그 계산값과 측정값과의 대비고찰을 진행함으로써 7bar의 지진조건에서 건물의 내진안전성을 평가하였다.

건물의 구조해석에서는 건물을 모형화할 때 모형화가 실체에 얼마나 더 가깝게 되었는가 하는 문제가 초미의 과제로 제기된다. 때문에 한 건물에 대하여 여러가지 프로그램을 리용하여 모형화를 진행하고 그것을 비교하는 방법으로 그 모형의 정확성을 확증하고 있다.

건축구조해석분야에서는 구조설계전용프로그램인 ETABS가 많이 리용되고있는데 탄성단계에서의 구조해석에서는 제기되는 문제가 없다. 그러나 비선형단계 즉 탄소성단계에서는 구조분석에서의 기능상 차이가 있다.[1, 2]

우리는 ETABS와 ABAQUS로 교-66호동건물에 대한 모형화를 통한 모드분석을 진행한 결과를 그 건물에서 미진계를 리용하여 측정한 자료와 비교분석하는 방법으로 모형화의 합성을 확증하고 그 차이의 원인을 해석하였으며 탄성단계에서의 내진변형계산을 진행하고 두 프로그램의 결과에 대한 비교를 진행하였다.

### 1. 건물모형화의 합성확증

모형화대상으로는 전형적인 철근콘크리트지지벽식건물로서 층고가 2.7m이고 높이가 20층인 교-66호동건물을 리용하였다. 그리고 건물시공에 리용된 구조설계도와 배근도 등의 자료를 리용하여 건물을 모형화하였다.

ETABS와 ABAQUS 및 건물의 상시미동측정에 의한 진동모드분석결과는 표 1과 같다.

표 1에서 보는바와 같이 두 프로그램의 분석결과에서는 다같이 1차모드는 건물의 단방향으로의 진동이고 2차모드는 건물의 꼬임진동이였으며 3차모드는 건물의 긴방향으로의 진동으로 해석되였다. ETABS의 진동모드주기가 ABAQUS의 진동주기보다 0.03s정도 더 큰데 이것은 ETABS에서는 모든 건물요소를 철근콘크리트로만 보고 계산하지만 ABAQUS에서는 배근도를 고려하여 모드분석을 진행하였기때문이다. 결국 강철의 양그물이 철근콘크리트의

약 10배로서 일반적인 탄성흔들의 진동평가식인  $\omega = 2\pi\sqrt{k/m}$  을 고려할 때  $k$ 값이 커지므로 진동주기가 더 짧아지기때문이라고 볼수 있다.

표 1. ETABS와 ABAQUS 및 건물의 상시미동측정에 의한  
진동모드분석결과

진동주기/s	1차진동	2차진동	3차진동
ETABS	0.834 1	0.809 1	0.710 3
ABAQUS	0.809 7	0.713 6	0.678 7
측정값	0.89	—	0.68

이 건물의 진동주기를 미진계를 리용하여 측정평가한 주기값자료에 비추어 볼 때 1차모드가 0.89s, 3차모드가 0.68s로 측정되었는데 건물의 꼬임모드는 측정평가할수 없다는것을 류의할 때 1차모드와 3차모드의 진동주기가 우의 계산값과 거의 류사하였다.

측정값이 약간 큰것은 이 건물의 고정하중에 대한 구체적인 하중계산서가 없는 조건에서 모형에 구체적이고 정확한 하중값을 반영하지 못하였으므로 계산모형에 고정하중을 작게 주어 생긴것이라고 볼수 있다.

## 2. 내진변형계산결과

내진설계규범에 규정된 기준지진세기 6, 7, 8bar에 해당하는 지진의 수평지진작용조절결수(평가속도/중력가속도)는 표 2와 같다.[1]

표 2에 제시된 수평지진작용조절결수에 기초하여 ETABS에서는 해당하는 응력스펙트르를 정의하고 ABAQUS에서는 내진설계규범에 밝혀진 동력학결수 곡선의 정의에 맞게 곡선을 작성하고 그 곡선을 \*.inp 화일에 입력하고 응답스펙트르로 리용하여 탄성단계에서의 진동형태분해응답스펙트르법에 의한 내진변형계산을 진행하였다.

표 2. 기준지진세기 6, 7, 8bar에 해당하는 지진의 수평지진작용조절결수

지진세기	6bar	7bar	8bar
작은 지진	0.016	0.032	0.064
큰 지진	0.075	0.15	0.3

7bar의 작은 지진조건에서 표-66호동건물의 내진변형계산결과는 표 3과 같다.

표 3. 7bar의 작은 지진조건에서 표-66호동건물의 내진변형계산결과

지진세기	작용방향	최대변위/ Mm	위치	최대층간변위각 지수	최대층간변위/ mm	위치
ETABS	x	7.08	만장2층	0.000 154	0.415 8	10, 11층
	y	8.33	만장2층	0.000 181	0.488 7	12, 13층
ABAQUS	x	6.78	만장2층	0.000 148	0.399 6	10층
	y	8.17	만장2층	0.000 172	0.464 3	11층

최대층간변위각지수: 층사이변위값/층높이

보는바와 같이 두 프로그램의 계산결과는 최대층간변위가 0.49mm와 0.46mm로서 내진규범에 규정된 탄성단계에서의 내진변형한계값인 2.7mm의 요구를 만족하므로 이 건물은 7bar의 작은 지진조건에서 내진설계의 요구를 만족한다.

또한 층간변위가 최대로 되는 위치도 일치한다. 따라서 건물의 내진변형의 정확성을 검토확증할수 있는데 이 건물은 7bar의 작은 지진조건에서 안전하다고 말할수 있다.

다음으로 7bar의 큰 지진조건에서 건물의 탄소성시간과정해석을 ABAQUS/Explicit를 리용하여 진행하였다.

리용한 지진파는 엘센트로지진파를 내진규범에 규정된 7bar의 큰 지진의 최대가속도 값인  $150\text{gal}(\text{cm}\cdot\text{s}^{-2})$ 에 맞게 수정하여 리용하였다.

7bar의 큰 지진조건에서 표-66호동건물에 대한 탄소성동력학계산결과는 표 4와 같다.

표 4. 7bar의 큰 지진조건에서 표-66호동건물에 대한 탄소성동력학계산결과

분석명	분석 조건	누름과피 지수	구부러짐과피 지수	층간 변위 /mm	소성변형지수 (변형값/원래길이)
분석 1	보, 층막-탄성, 벽-탄소성 (x방향작용)	1층 외벽; 0.699, 1층 내벽; 0.897, 0.9이상의 큰 파괴없음	1, 3, 7층의 외벽 아래부분에서 0.9이상의 큰 균열, 승강기칸을 중심으로 한 넓은 구역의 내벽전체 면에서 0.9이상의 큰 균열	6.98 (19층)	
분석 2	보-탄성, 벽-탄소성 (x방향작용)	1층 외벽; 0.742, 1층 내벽; 0.875, 0.9이상의 큰 파괴없음	1, 3, 7층의 외벽 아래부분에서 0.9이상의 큰 균열, 승강기칸을 중심으로 한 넓은 구역의 내벽전체 면에서, 1층층막의 많은 면에서 0.9이상의 큰 균열	4.52 (6층)	1, 3층의 외벽과 내벽에서 0.034, 층막 0.000 915
분석 3	보-탄성, 벽-탄소성 (y방향작용)	1층 외벽; 0.641, 1층 내벽; 0.821, 0.9이상의 큰 파괴없음	1, 7, 11층의 외벽 아래부분에서 0.9이상의 큰 균열, 1층 내벽의 많은 부분에서 0.9이상의 구부러짐 파괴, 7층 중심부위 내벽에서 0.9이상의 큰 균열, 층막에서는 1층에서 많은 미세균열	5.22 (7층)	1, 7층의 외벽과 내벽에서 0.051 4, 층막 1층에서 0.001 47

벽체와 층막은 탄소성으로, 보는 탄성으로 보고 y방향으로 지진파를 입력하였을 때 건물의 구부러짐과피분포결과를 보면 1층과 7층, 11층의 외벽 아래부위에서 명백한 균열이 발생하였다. 그러나 총체적인 내진변형결과를 내진규범에 규정된 탄소성내진변형한계값과 비교해볼 때 그 값이 약 4배정도 작으므로 건물은 안전하다고 볼수 있다. 즉 건물은 7bar의 작은 지진조건에서는 파괴되지 않으며 7bar의 큰 지진조건에서는 비록 국부적인 손상과피는 있지만 전체적인 붕괴는 없으므로 내진설계규범에 반영된 건물의 내진안전성요구를 만족한다.

## 맺는 말

1) ETABS와 ABAQUS를 리용한 모드분석결과를 실제 측정값과 비교분석하여 내진변형계산결과의 정확성을 확증하였다.

2) 건물의 기본지진세기가 7bar인 큰 지진조건에서의 탄소성해석을 진행하여 그 안전성을 확증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] F. Zhu1 et al.; Earthquake Engng Struct. Dyn., **44**, 221, 2015.
- [2] 王玉镯 等; ABAQUS结构工程分析及实例详解, 中国建筑工业出版社, 5~40, 2010.

주제 107(2018)년 12월 5일 원고접수

### **Seismic Safety Evaluation of RC Bearing Wall Building in Elasticity and Elasto-Plasticity Stage Using ETABS and ABAQUS Analysis**

*Pak Chi Bong, Ko Kwang Su*

We evaluated the natural vibration mode of RC bearing wall building in elastic stage by ETABS and ABAQUS analysis and proved the suitability of the model by comparing the calculated natural frequencies with the measured one.

And using ABAQUS, we analyzed the elasto-plasticity during 7-bar seismic wave acts on the building, and evaluated the seismic safety of the building by the results.

Key words: earthquake, earthquake-proof construction