

비선형 정적해석을 이용한 필로티형 저층 RC 집합주택의 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of Piloti-type low-rise RC apartment buildings using Nonlinear Static Analysis

이 정 재* 이 한 선** 김 희 철*** 이 영 학*** 이 기 학****
Lee, Jeong Jae Lee, Han Seon Kim, Hee Cheul Lee, Young Hak Lee Ki Hak

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the seismic performance of the low-rise RC apartment buildings having piloties at ground level by using nonlinear static analysis with regards to the maximum considered and design earthquakes in Korea. To do this, the target displacement at roof was estimated according to FEMA356 (or ASCE/SEI-41), and the deformations of the critical members were compared with the failure criteria of Life Safety(LS) and Collapse Prevention(CP) given in FEMA356. The conclusions are as follows: (1) columns satisfy criteria of LS and CP, but (2) the shear wall in the longitudinal direction failed to satisfy those of both LS and CP while those in the transverse direction satisfy that of LS, but failed that of CP.

요 약

1층에 필로티를 가지는 저층 RC 집합주택의 표준대상구조물을 선정하여 비선형 정적해석에 의해 우리나라 내진 기준에 정하는 최대 지진과 설계 지진에 대하여 내진성능을 평가하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위하여 FEMA356 (혹은 ASCE/SEI-41) 보고서에 의해 목표 변위를 산정한 후 이 목표 변위에 대한 주요 부재(기둥, 벽체)의 상태를 검토하였다. 이 결과 (1) 기둥은 생명안전수준(LS)과 붕괴 방지 수준(CP)의 요구 조건을 전부 만족하고 있지만 (2) 벽체의 경우 단변 방향은 LS는 만족하였지만, CP는 만족하지 못하였고, 장변 방향의 경우 LS와 CP 공히 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

* 정회원, 고려대학교, 콘크리트구조공학연구소, 석사과정
** 정회원, 고려대학교, 건축사회환경공학과 교수
*** 정회원, 경희대학교, 건축공학과 교수
**** 정회원, 세종대학교, 건축공학과 교수

1. 서 론

최근 우리나라에서는 인구의 도시집중화가 가중되면서 집합주택의 수가 급증하고 있는 추세이다. 이러한 집합주택은 대단위단지로 개발되는 고층 또는 초고층 집합주택 뿐만 아니라, 소규모 대지에 건설되는 저층규모의 집합주택으로 크게 나눌 수 있다. 여기서 저층이란 5 층 이하의 건물을 지칭하는 것으로 상부는 벽식 구조 하부는 보-기둥 골조 시스템을 가지는 필로티형 저층 집합주택은 하부 골조 부분에 연층 또는 약층이 형성됨과 동시에 평면 형태에 따라 비틀림비정형을 띠기 때문에, 지진 발생 시 하부골조에 대부분의 손상이 집중되며, 이는 구조물 전체의 붕괴를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 실존하는 사례를 중심으로 표준대상구조물을 선정하여 이와 같은 구조물의 거동을 분석하고자 비선형 정적해석을 수행하여 예측하였다.

2. 대상 구조물의 선정과 설계

현재 우리나라에서 건설되어 있는 필로티형 저층 집합주택에 대한 사례를 조사한 후, 1층 하부골조는 보-기둥 골조로 구성되고 상부 벽식 부분은 4층으로 이루어진 건축물을 대상 건물로 선정하였다.

그림 1은 자료 조사를 근거로 결정된 표준대상구조물의 평면도이다. 건물이 지어질 당시에 내진 설계가 되지 않은 것으로 가정하였으며, 따라서 상세 또한 기둥, 벽체, 보에 대해 공히 비내진 상세를 가정하였다.



그림 1. 표준대상구조물의 평면도 및 기둥 상세도

3. 표준대상구조물의 목표 변위

FEMA356과 ASCE/SEI 41에 따라 비선형 해석 모델을 수립하고 일방향 비선형 정적 해석 (Push-over Analysis)을 수행하였다.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

식 1은 대상 지진의 수준에 따라 목표 변위(Target Displacement)이며, 여기서 C_0 = MDOF의 지붕 변위와 SDOF 탄성스펙트럼 응답사이의 비, C_1 = 탄성 변위로부터 나누어진 최대 비탄성 변위의 비, C_2 = 이력곡선에서 강성감소와 강도저감의 펀칭 효과의 비, C_3 = P- Δ 효과에 의한 증가된 변위의 비, S_a = LS와 CP에 대한 탄성스펙트럼 가속도, 그리고 T_e = 지진 가력 방향의 유효 지반 주기를 나타낸다.

목표 변위를 산정하기 위해서는 지붕층 질량 중심에 위치한 점의 밀면전단력-변위의 관계를 비선형 해석을 통해 구한 후 그림 2에서 보여지는 것처럼 유효 횡강성, K_e , 과 유효 항복 강도, V_y , 를 계산하기

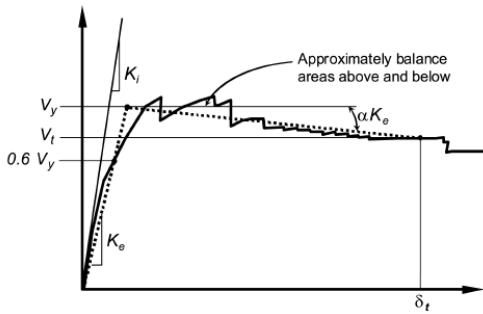


그림2. 하중-변위 관계

위해 초기 기율기, K_e ,와 항복 기율기, α ,와 함께 쌍일차(bilinear)로 나타낸다. 쌍일차 선을 그릴 때 선 위-아래 면적은 대략적으로 비슷하게 잡아 그리며, 유효 횡 강성, K_e ,은 유효 항복 강도, V_y ,의 60%와 같게 잡는다. 유효 지반 주기, T_e ,는 식 1을 이용하여 구하며, 이때 T_i 는 탄성 지반 주기, K_i 는 지진 가력방향의 탄성 횡강성이다.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (2)$$

그리고 LS(2500년 재현주기의 2/3)와 CP(2500년 재현주기)에 따른 스펙트럼 가속도(S_a , 그림 4)와 C_{0-3} 의 변수값을 각각 계산 후 목표 변위를 산정하여 초기 쌍일차(bilinear)로 가정한 목표변위, δ_t ,와 같을 때까지 반복하여 계산한다. 상기와 같은 반복적인 작업을 통해 얻은 성능 기준에 따른 목표 변위는 그림 4에 나와 있다. 이 때, X방향, Y방향 모두 벽체의 갑작스런 강도 감소로 인한 밀면전단력의 변화가 그래프상에 나타났다.

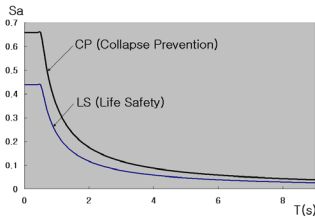
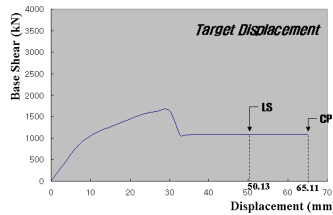
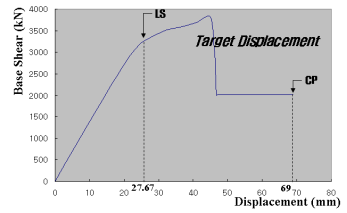


그림3. 스펙트럼 가속도



(a) X방향 목표변위



(b) Y방향 목표변위

그림4. X,Y방향의 목표 변위

상기 그림 4와 같이 δ_t (목표 변위)를 구한 후 목표변위 만큼 밀었을 때 각각 부재의 변위를 측정하여 FEMA356의 허용기준(표 1)에 따른 만족도를 조사하였고, 결과는 표 2과 그림 5에 자세하게 나와 있다.

| 기 등 | 모델링 변수 | | | 허용 기준 | | 벽 체 | 모델링 변수 | | | 허용 기준 | |
|--------|-------------|------|--------|-------|-------|--------|-----------|-----|--------|-------|------|
| | 소성회전각 (Rad) | | 잔여 강도비 | LS | CP | | 전체 변위비(%) | | 잔여 강도비 | LS | CP |
| | a | b | | | | | d | e | | | |
| | 0.003 | 0.01 | 0.2 | 0.002 | 0.003 | | 0.75 | 2.0 | 0.4 | 0.60 | 0.75 |

표 1. FEMA356의 허용 기준(Acceptance Criteria)

| 기등 | | 허용기준 | 해석 | 만족 여부 | 벽체 | 허용기준 | 해석 | 만족도 | |
|-----------|-------|------|------|-------|----------|------|-------|-------|-----|
| 코너 기둥 | X-Dir | LS | 20.7 | 13.67 | 장변 방향 | LS | 16.69 | 42.39 | |
| | | CP | 25.2 | 18.14 | | | O.K | N.G | |
| | Y-Dir | LS | 17.0 | 4.73 | | CP | 20.86 | 57.15 | N.G |
| | | CP | 20.8 | 11.82 | | | O.K | | |
| 가운데 기둥 | X-Dir | LS | 19.4 | 13.39 | 단변 방향 | LS | 14.96 | 6.72 | |
| | | CP | 22.0 | 17.16 | | | O.K | O.K | |
| | Y-Dir | LS | 15.7 | 4.72 | | CP | 18.70 | 40.49 | N.G |
| | | CP | 18.3 | 12.78 | | | O.K | | |

표 2. FEMA356의 허용 기준(Acceptance Criteria)

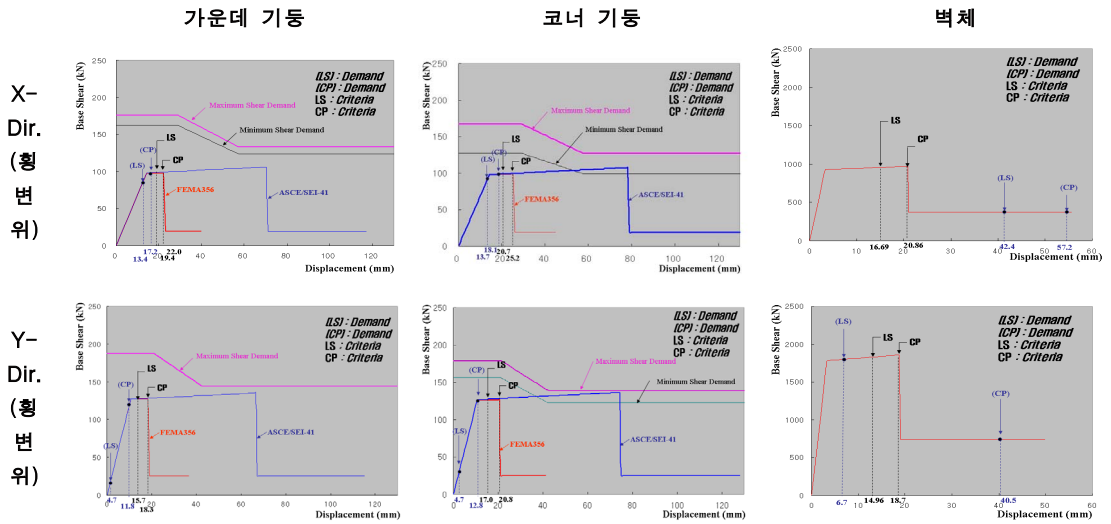


그림5. 비선형 정적 해석에 의한 LS,CP 수준에서의 기둥과 벽체의 성능 평가

4. 결론

Perform3D를 사용하여 비정형건물에 대한 비선형 정적해석을 수행하고, 그 결과 코너 기둥은 지진 발생시 X방향, Y방향 모두 휨 파괴에서 전단 파괴로 이어지는 휨-전단파괴 모드가 예상되었으며, 벽체의 경우 X방향에 대해서는 LS 수준과 CP 수준 모두 만족하지 못하였지만 Y방향에 대해서는 LS수준은 만족하였고, CP 수준은 만족하지 못하였다.

감사의 글

이 논문은 2007년 한국과학재단 특정기초연구(과제번호:R01-2007-000-20765)지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. FEMA 356, 2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared by the American Society of Civil Engineers for the Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C. (FEMA Publication No. 356).
2. ASCE.41. Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, ASCE/SEI Standard 41 .06, 2006.
3. Computer and Structures Inc. (CSI). Perform3D Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures. Computer and Structures Inc.: Berkeley, CA, 2006.
4. Sherif El-Tawil, Gregory G. Deierlein. (2001). Nonlinear Analysis of Mixed Steel-Concrete Frames. II: Implement and Verification. Journal of Structural Engineering 127:6, 656-665.