

저층 RC 필로티형 집합 주택의 내진 성능 평가

Seismic performance evaluation of piloti-type low-rise RC apartment building

이 한 선* 이 정 재**

Lee, Han Seon Lee Jeong Jae

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the seismic weakness of existing nonseismic low-rise piloti-type apartment buildings which have the irregularities of weak story, soft story, and torsion simultaneously.

A prototype 4-story RC building was selected, analyzed using linear dynamic procedure and finally evaluated according to the acceptance criteria of FEMA356. This building satisfies the criteria.

요 약

본 연구는 목적은 1층에 연층/약층 및 비틀림 비정형성을 동시에 보유한 우리나라 비내진 현존 필로티형 저층 집합주택의 내진 취약성을 평가하는 것이다.

해석 구조물로서 4층 RC 집합 주택이 선정되었고, 선형 동적 해석법을 사용하여 해석되었으며, FEMA356에 의하여 평가되었다. 해석 결과 본 구조물은 FEMA356의 선형 동적 해석법 규정을 만족하였다.

* 정회원, 고려대학교, 건축사회환경공학과 교수

** 정회원, 고려대학교, 건축사회환경공학과 석사과정

1. 연구의 배경 및 목적

근래 국내에서 가용 건축 대지의 부족에 의해 복합 용도의 건축물이 많이 건설 되고 있다. 가장 보편적인 건물이 필로티형 건물로서 저층부는 건축적으로 주차장으로 활용하기 위해 보와 기둥의 형식을 가진 골조를 사용하되, 상부 구조는 지금까지 널리 사용되어 왔던 벽식 구조를 사용하는 철근 콘크리트 구조 형식일 것이다. 이러한 구조형식은 저층부가 상대적으로 상층부에 비해 강도면에서 약하고 강성면에서 보다 유연하여 지진이 발생할 경우 대부분의 피해가 저층부에 발생하는 수직 비정형의 형태를 띠거나 코어의 위치 또는 평면 형태에 따라 수평 비정형의 형태를 띠게 된다.

그럼에도 불구하고 현재 우리나라에서 현존하는 집합주택의 주거 형태로서 많은 부분을 차지하는 5층 이하의 필로티형 저층 RC집합주택은 그 동안 건축법상 내진설계 대상에서 제외되었었다. 하지만 최근 KBC2005¹⁾기준이 개정 되면서 3층 이상의 건축물에 대해서 내진 설계 대상으로 변경됨으로서 지진에 대해 그나마 내진성능을 확보하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 KBC2005기준 이전에 지어진 비내진 상세를 가지는 필로티형 저층 RC 집합주택을 선정하여 이미 지어진 건물을 대상으로 FEMA356²⁾의 내진성능평가를 통해 검증해 보고 그에 따른 문제점을 제시하고자 한다.

2. FEMA356의 목표

FEMA356은 기존에 지어진 건물의 재사용에 대한 내진 성능을 평가하는 기준으로서 기본적인 목표는 50년의 10%초과확률에 대해서는 Life safety performance level, 50년에 2%초과확률에 대해서는 Collapse prevention performance level의 두 가지 목표에 대해 만족시키는 것이다.

3. 해석모델

3.1 대상 구조물의 선정

우리나라 현존하는 저층형 집합주택 중 가장 일반적인 지상 4층 규모의 RC집합주택을 대상 구조물로 선정하였다. 본 구조물은 2003년에 완공되었으며, 필로티가 있는 1층의 층고는 3.0m, 2~4층까지의 층고는 2.7m로 전체 건물 높이는 11.1m이며, 상부 벽체는 180mm로 모든 벽체가 동일하게 시공되었고, 슬래브 두께는 125mm이다. 또한, 강도는 21MPa, 철근의 항복강도는 400MPa로 지어졌다. 기둥과 보의 철근의 주근은 19mm, 스트립은 10,13mm로 각각 사용되었으며, 평면도 및 배근도는 그림1~3과 같다. 그리고 1층은 주차장의 용도로 효율적인 사용을 위해 기둥 사이즈가 장방향 형태로 400 X 800mm로 시공되었음을 알 수 있다.

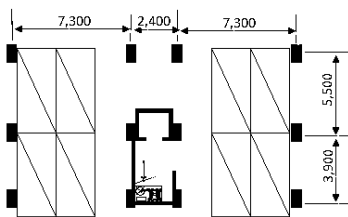


그림1. 1층 평면도

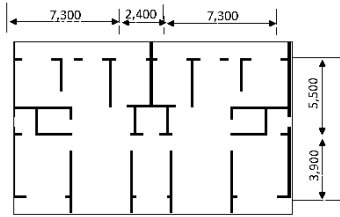


그림2. 2~4층 평면도

NAME	C1	WALL
SHAPE		
SIZE	400 X 800	D13 @200
BARs	14 - HD19	D13 @200
STIRRUP	D10@250	

그림3. 기둥 및 벽체 배근도

3.2 해석 과정

정형·비정형성의 판단에 따라 해석 방법이 결정되는데 FEMA356에서는 면내 불연속 비정형, 면외 불연속 비정형, 약층 비정형, 비틀림 강도 비정형성에 따라 선형 해석과 비선형 해석으로 나누어진다.

또한, Demand-capacity ratios(DCRs)= $\frac{Q_{UD}}{Q_{CE}}$ 의 값에 따라 선형 해석 과정 수행에 제한적일 수 있다. 여기서 Q_{UD} =중력하중이나 지진하중에 의한 힘이며, Q_{CE} = 주요 부재들의 예상 강도이다.

상기 조건을 이용하여 본 구조물을 판단해 본 결과 선형 해석 중에서도 동적 해석을 수행해야 하는 것으로 판단되었고, 동적 해석 방법 중에서도 응답 스펙트럼 해석법을 선택하였으며, 대상 구조물의 해석을 위해, 구조 해석 프로그램인 MIDAS Gen을 사용하였고, 유효 강성 계수 또한 적용하였다.

표1. 평가 방법

Deformation-Controlled and Force-Controlled Actions		
Component	Deformation-Controlled Action	Force-Controlled Action
Moment Frames • Beams • Columns • Joints	Moment (M) M --	Shear (V) Axial load (P), V V ¹
Shear Walls	M, V	P
Braced Frames • Braces • Beams • Columns • Shear Link	P -- V	-- P P, M
Connections	P, V, M ³	P, V, M
Diaphragms	M, V ²	P, V, M

FEMA356규정에서는 Deformation-controlled action과 Force-controlled action로 구분하여 각 부재의 응력 평가 방법이 약간씩 상이하며 그 내용은 표1.와 같다.

본 대상 구조물에 대해서는 지진시 취약할 것으로 예상되는 1층 필로티층의 기둥 및 전단벽에 대해서 내진 성능 평가를 실시하였다.

기둥과 전단벽의 응력값 중에서 기둥의 모멘트, 벽체의 모멘트와 전단력에 대해서는 Deformation-controlled action, 기둥의 축력과 전단력, 벽체의 축력에 대해서는 Force-controlled action에 의해 평가하게 되어있다.

평가 방법은 FEMA356의 Deformation-controlled action에서는 $mkQ_{CE} \geq Q_{UD}$, Force-controlled action에서는 $kQ_{CL} \geq Q_{UF}$ 식에 의거

LS(Life Safety performance level)과 CP(Collapse prevention performance level)에 각각 만족하여야 한다. 여기서 m은 기둥에 대해서는 표2.에 의거 주요부재(Primary component)의 힘에 의해 지배되는 경우

$\frac{P}{A_g f_c}$, $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$, 그리고 적합한 횡철근으로 배근되었는지 유무에 따라 NC(Nonconforming),

C(Conforming)이 결정되며, 벽체에 대해서는 전단에 위해 지배하는 벽체에 대해서는 표3.에서 보이는 것처럼 LS에 대해서는 2, CP에 대해서는 3으로 정해져 있다. 그리고 k값은 0.75 또는 1을 사용하게 되어있는데 본 선형 해석방법에서는 0.75를 적용하였고, Q_{CE} , Q_{UD} , Q_{CL} , Q_{UF} 는 각 부재들의 중력하중 및 지진하중에 의한 응력 값과 부재들의 예상 강도이다. 또한, X, Y방향 조합 하중에 대해서는

$(\frac{M_{UDx}}{m_x k M_{CEx}})^2 + (\frac{M_{UDy}}{m_y k M_{CEy}})^2 \leq 1$ 식에 의거 평가되었으며, 결과는 표4.에 나와 있다.

4. 해석 결과

고유주기는 FEMA356 규정에 의거 구한 식에서는 0.28초, 해석에서 나타난 고유 주기는 1차 모드에서 0.24초였다. 해석시 전체 중량은 8919 kN이었고, 밑면 전단력은 2507 kN으로 나타났다.

또한 각 주요 부재들의 해석결과는 $mkQ_{CE} \geq Q_{UD}$, $kQ_{CL} \geq Q_{UF}$ 식 형태에 따라 표4.와 표5.에 자세히 도표화하였으며, 선형 동적해석 결과 FEMA356의 Acceptance Criteria에 만족하는 것을 나타냈다.

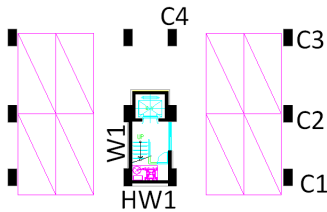


그림4. 1층의 부재 위치도

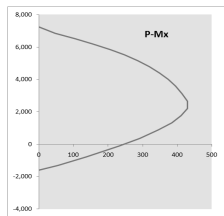


그림5. 기둥이 X방향 PM상관도

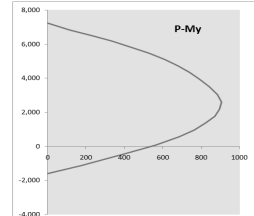


그림6. 기둥의 Y방향 PM상관도

표2. 기둥에 해당하는 m-factor

Conditions			Component Type				
			Primary		Secondary		
IO			LS	CP	LS	CP	
i. Columns controlled by flexure ¹							
$\frac{P}{A_g f_c}$	Trans. Reint. ²	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.1	C	≤ 3	2	3	4	5	
0.1 <	C	≥ 6	2	2.4	3.2	4	
≥ 0.4	C	≤ 3	1.25	2	3	4	
≥ 0.4	C	≥ 6	1.25	1.6	2.4	3.2	
≤ 0.1	NC	≤ 3	2	2	3	3	
≤ 0.1	NC	≥ 6	2	1.6	2.4	2.4	
≥ 0.4	NC	≤ 3	1.25	1.5	2	2	
≥ 0.4	NC	≥ 6	1.25	1.5	1.75	1.6	

표3. 벽체에 해당하는 m-factor

Conditions		Component Type				
		Primary		Secondary		
IO		LS	CP	LS	CP	
i. Shear walls and wall segments						
All shear walls and wall segments ¹		2	2	3	3	
ii. Shear wall coupling beams ²						
Longitudinal reinforcement and transverse reinforcement ³						
	Shear $t_w \sqrt{f_c}$					
Conventional longitudinal reinforcement with conforming transverse reinforcement		≤ 3	1.5	3	4	
		≥ 6	1.2	2	2.5	
Conventional longitudinal reinforcement with nonconforming transverse reinforcement		≤ 3	1.5	2.5	3	
		≥ 6	1.25	1.2	1.5	

표4. 주요 기둥의 평가 결과

	Life Safty Performance Level (10%/50yr.)					Collapse Prevention Performance Level (2%/50yr.)				
	Deformation- Controlled Action		Force- Controlled Action		Combi- nation	Deformation- Controlled Action		Force- Controlled Action		Combi- nation
	M (kN.m)		P (kN)	V (kN)		M (kN.m)		P (kN)	V (kN)	
	X-Dir	Y-Dir			X-Dir	Y-Dir				
C1	375 ≥ 146 O. K	1305 ≥ 93 O. K	5423 ≥ 910 O. K	180 ≥ 33 O. K	0.31 ≤ 1 O. K	563 ≥ 219 O. K	1740 ≥ 140 O. K	5423 ≥ 1365 O. K	180 ≥ 50 O. K	0.43 ≤ 1 O. K
C2	390 ≥ 156 O. K	1193 ≥ 16 O. K	5423 ≥ 1335 O. K	180 ≥ 15 O. K	0.19 ≤ 1 O. K	585 ≥ 234 O. K	1590 ≥ 25 O. K	5423 ≥ 2002 O. K	180 ≥ 23 O. K	0.30 ≤ 1 O. K
C3	360 ≥ 152 O. K	1395 ≥ 29 O. K	5423 ≥ 1212 O. K	180 ≥ 23 O. K	0.32 ≤ 1 O. K	540 ≥ 228 O. K	1860 ≥ 44 O. K	5423 ≥ 1817 O. K	180 ≥ 34 O. K	0.45 ≤ 1 O. K
C4	405 ≥ 93 O. K	1350 ≥ 14 O. K	5423 ≥ 704 O. K	180 ≥ 42 O. K	0.15 ≤ 1 O. K	608 ≥ 140 O. K	1800 ≥ 21 O. K	5423 ≥ 1056 O. K	180 ≥ 63 O. K	0.28 ≤ 1 O. K

표5 주요 벽체의 평가 결과

	Life Safty Performance Level (10%/50yr.)			Collapse Preventino Performance Level (2%/50yr.)		
	Deformation- Controlled Action		Force- Controlled Action	Deformation- Controlled Action		Force- Controlled Action
	M (kN.m)	V (kN)	P (kN)	M (kN.m)	V (kN)	P (kN)
HW1	4980 ≥ 1759 O. K	1725 ≥ 1015 O. K	7263 ≥ 144 O. K	7470 ≥ 2793 O. K	2588 ≥ 1523 O. K	7263 ≥ 216 O. K
W1	19230 ≥ 2793 O. K	2551 ≥ 1340 O. K	14179 ≥ 759 O. K	28845 ≥ 4190 O. K	3825 ≥ 2010 O. K	14179 ≥ 1139 O. K

5. 결론

FEMA356 규정에 의거 필로티형 저층 RC 집합 주택의 내진성능평가를 선형 동적 해석법으로 수행한 결과 기준을 만족하는 것으로 보여주었다. 하지만 선형 해석법만으로 정확한 구조물의 거동 파악이 어렵기 때문에 추후에 비선형 동적해석법을 수행하여 정확한 건물의 거동 특성의 파악을 위해 좀 더 심도 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2007년 특정기초 연구과제(과제번호 : R01-2007-000-20765-0) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 대한건축학회, “건축구조설계기준 (Korean Building Code),” 대한건축학회, 2005.
2. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA 356, ASCE, 2000