

유사동적실험을 이용한 철근콘크리트 단주실험에 관한 연구

Structural Behavior of Reinforced Concrete Short Columns by Pseudo-Dynamic Test

민 경 민* 김 용 인** 이 강 석***
Min, Kyung Min Kim, Yong In Lee, Kang Seok

ABSTRACT

According to the survey of earthquake disaster, low-rise reinforced concrete building larger by the extent of damage and because of the underlying distribution of reinforced concrete structures more, it is very likely to be disasters. The purpose of this study is to discuss how strength and stiffness of each system in low-rise reinforced concrete buildings consisted of extremely brittle, shear and flexural failure lateral-load resisting systems have influence on seismic capacities of the overall system. Generally, if shear failure members including extremely brittle failure members are failed during an earthquake, the lateral-load resisting seismic capacities of RC buildings are lower rapidly, and if the seismic capacities of shear failure members were higher than that of flexural failure members, failures of shear failure members have influence on failures of the overall system. The result of this paper will provide pseudo-dynamic test of carried out to estimate the possibility of proposals.

요 약

과거 지진피해 조사에 의하면 건물이 많은 피해를 입었으며, 현재 널리 보급되어진 저층 철근콘크리트(RC) 건물도 예외는 아니었다. 우리나라의 경우 과반수 이상이 저층 RC 건물로서 대규모지진이 발생한다면 저층 RC 건물에 거대한 피해가 발생할 것으로 예상된다. 한편, 대다수의 저층 RC 건물은 다양한 수평저항시스템으로 이루어져 있으며, 이것들은 각기 다른 범위에서 파괴될 것으로 판단된다. 그 가운데에서도 강성 및 강도는 높지만 소성영역에서 극취성적인 파괴성상(Extremely Brittle Failure)을 보이는 극단주(Extremely Short Column)(본 연구에서는 $h/D < 2$ 인 기둥을 극단주라 정의함, h: 순높이, D: 폭), 전단벽 등의 전단파괴형 부재 및 비교적 강성 및 강도는 낮지만 연성능력이 우수한 기둥 등의 휨파괴형 부재는 전형적인 수평저항시스템으로 다수의 피해지진에 의하여 그것들의 중요성이 대두되었다. 일반적으로, 극취성파괴형 부재를 포함한 전단파괴형 부재가 지진시 파괴되면, 건물의 수평저항능력은 급속히 저하되며, 전단파괴형 부재의 내력이 휨파괴형 부재의 내력에 비해 비교적 높다면, 전단파괴형 부재의 파괴가 건물 전체의 파괴를 야기할 것이다. 본 연구에서는 상기 전단파괴형 부재의 지진시의 손상메커니즘을 파악할 목적으로 전단파괴를 하는 철근콘크리트 기둥(극단주) 실험체를 계획·제작하여 유사동적실험(Pseudo-dynamic Test)을 실시하였다.

* 정회원, 전남대학교, 건축공학과, 박사과정

** 정회원, 전남대학교, 건축공학과, 석사과정

*** 정회원, 전남대학교, 건축학부, 조교수

1. 서론

본 연구에서는 전형적인 수평저항시스템 가운데 하나인 전단파괴를 하는 전단기둥(극단주)을 대상으로 전단기둥의 강지진시 손상메커니즘을 파악 및 검토할 목적으로 극취성 부재인 철근콘크리트 단주실험체를 제작하여 유사동적실험을 실시하였다.

2. 실험 방법 및 사용재료

2.1 실험 방법

유사동적실험의 일반적인 순서를 그림 1에 나타내었다.¹⁾ 그림으로부터 알 수 있듯이 유사동적실험은 컴퓨터에 의한 수치계산 부분과 실험체의 가력실험 부분으로부터 구성되며, 본 실험에서 이용할 유사동적실험 시스템의 개요를 그림 2에 나타내었다.

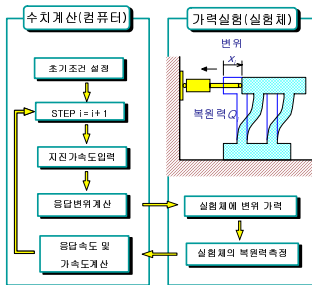


그림 1. 유사동적실험체의 일반적인 순서¹⁾

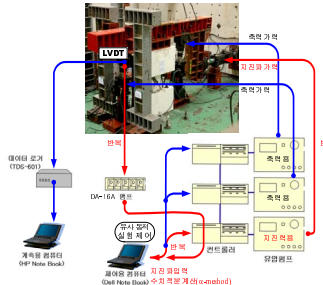


그림 2. 유사동적 실험 시스템

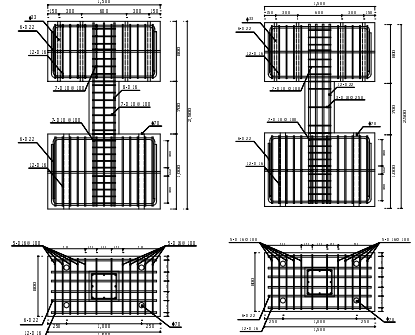


그림 3. 실험체 형상 및 배근상황

2.2 실험체 계획 및 재료시험

실험체의 주요변수는 전단스팬비 및 입력지진동으로서 그림 3에 나타낸 바와 같이 휨파괴형으로 설계된 휨기둥이 내림벽 및 허리벽의 영향으로 전단스팬비가 $h/D=1.75$ (h : 기둥순높이, D : 기둥폭, $700/400=1.75$)로 줄어드는 PD-FSC실험체 및 전단파괴형으로 설계된 전단기둥이 내림벽 및 허리벽의 영향으로 전단스팬비가 $h/D=1.75$ 로 줄어드는 PD-SSC를 설정하여 유사동적실험을 실시하였다.

표1. 실험체 일람표 및 변수

실험체명	부재 높이 (mm)	입력지진동 (El Centro.NS)	콘크리트강도 (kgf/cm ²)	철근의 항복강도 (kgf/cm ²)	단주(기둥)			단주화 전의 원 스팬비 (h/D)=6
					철근배근		단면 (mm)	
1 PD-FSC	700	980gal	300	4000	8-D16	7-D10@100	400×400	
2 PD-SSC	700	850gal	300	4000	12-D22	3-D10@100	400×400	

* 실험 체명 PD ① - F S C ② ③ ④ ① Test method (PD: Pseudo Dynamic)
② Flexural Failure or Shear Failure
③ Short ④ Column

표2(a). 철근의 인장강도 시험 결과

종류	f_y (kgf/cm ²)	ϵ_y	f_u (kgf/cm ²)	E_s (kgf/cm ²)	연신율(%)
D10	5,550 (544MPa)	0.0032	6,858 (672MPa)	1.72×10^6 (169GPa)	16.5
D16	4334 (425MPa)	0.0024	6,574 (645MPa)	1.81×10^6 (177GPa)	19.8
D22	4,558 (447MPa)	0.0025	6,599 (647.1MPa)	1.83×10^6 (179GPa)	17.5

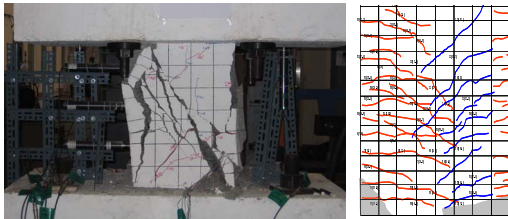
표2(b). 콘크리트의 압축강도 시험 결과

설계 기준강도 f_{ck} (kgf/cm ²)	28일 압축강도 f_{ck} (kgf/cm ²)	실험시	
		압축강도 f_{ck} (kgf/cm ²)	탄성계수 E_s (kgf/cm ²)
300 (29MPa)	340 (33MPa)	353 (35MPa)	2.75×10^5 (27GPa)

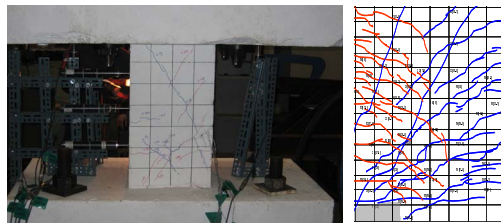
3. 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴상황

각 실험체의 파괴형상은 그림 4와 같다. 파괴형태를 살펴보면 초기 균열의 발생위치는 기둥 하부에서 발생하였으며, 항복내력에 도달하기 전까지 기둥의 중앙 부분으로 전단균열이 확산되는 양상을 보였다. 항복내력 이후 전단균열의 확산범위는 크게 증가하였으며, 기존에 발생된 균열과 균열사이에 새로운 균열이 다수 발생되었다. 그리고 기둥 중앙부 균열의 폭이 증대되어, 콘크리트 박리와 기둥단부의 부분적인 압괴로 인하여 최종파괴 되었다.



(a) PD-FSC



(b) PD-SSC

그림4. 실험체 균열양상 및 최종파괴 형태

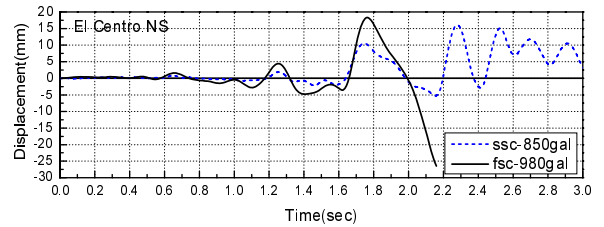
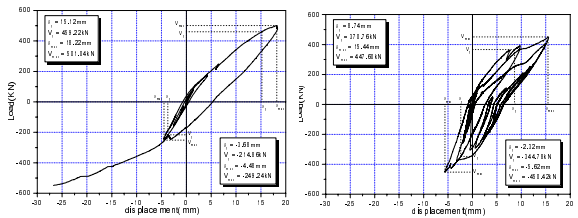


그림5. 응답변위의 시간 이력곡선



(a) PD-FSC

(b) PD-SSC

그림6. 하중-변위 관계

표3. 실험결과

Specimen	δ_c	P_c	δ_y	P_y	δ_{max}	P_{max}	μ
	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	
PD-FSC	1.12	66.54	15.12	459.22	18.22	501.04	1.2
PD-SSC	1.38	124.78	8.74	370.76	15.44	447.60	1.8

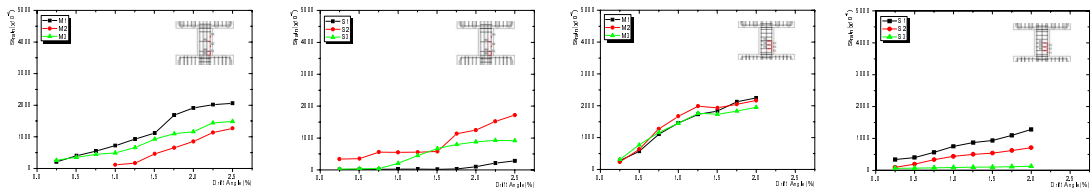
δ_c : Drift Angle at crack, P_c : Load at crack, δ_y : Drift Angle at yielding, P_y : Load at yielding, δ_{max} : Drift Angle at maximum strength, P_{max} : Load at maximum strength, μ : Displacement ductility ratio

3.2 하중 변위 곡선

본 연구에서 측정된 유사동적실험에 의한 각 실험체의 응답변위의 시간이력 곡선 및 하중-변위 곡선은 그림 5 및 그림 6과 같다. PD-SSC는 El Centro.NS를 850gal로 표준화, PD-FSC는 980gal로 표준화하여 유사동적실험을 실시하였다. 휨내력이 전단내력보다 우위에 있도록 설계하여 단주화시킨 PD-FSC실험체의 경우 부재각 2.6%(18.22mm)에서 최대내력 501.04kN의 내력을 보였으며, 단주화에 따른 급격한 내력저하를 보이면서 취성적 거동형태를 보였다. 전단내력이 상대적으로 휨내력보다 높게 설계되었으며 이를 단주화한 실험체인 PD-SSC 실험체의 경우 부재각 2.2%(15.44mm)에서 최대내력 447.60kN을 보였으며 최대내력 도달 후 급격한 취성파괴 형태를 보였다. PD-FSC는 2.16초에 완전붕괴를 하였고, PD-SSC는 항복은 하였으나 붕괴상태에는 도달하지 않았다.

3.3 철근의 변형율

그림 7에 단주의 수직, 수평 주근과 전단보강근의 변형 성상을 부재각으로 나타내었다. 대체적으로 배근된 모든 철근이 하중 가력 초기부터 지속적인 변형률 증가를 나타내며 수직 주근의 경우 단



(a)PD-FSC(수직철근변형률) (b)PD-FSC (수평철근변형률) (c)PD-SSC (수직철근변형률) (d)PD-SSC (수평철근변형률)
그림7. 수직, 수평철근의 변형률

주의 중앙부에서 거리에 비례하여 하부쪽으로 비례하여 증가하는 경향을 나타내었으며, 수평 전단 보강근의 경우 PD-SSC실험체는 수직 주근의 경우와 같이 하부쪽으로 비례하여 변형률이 증가하였고, PD-FSC실험체는 중앙부의 변형률이 큰 것으로 나타나고 있다. 그러나 부재각에 따라 철근에 나타난 항복의 시기는 실험체별 다소 차이가 있음을 알 수 있다.

3.4 강성의 평가

강성평가는 최대내력 및 변위에서 최대값을 지나 하중 및 변위가 감소할 때의 하중-변위 곡선의 할선의 기울기(kN/mm)를 조사하여 평가하였으며, 그림 8에 나타났다. 분석결과 PD-FSC실험체에 비해 PD-SSC실험체의 강성저하가 급격하게 발생하는 것으로 나타났다.

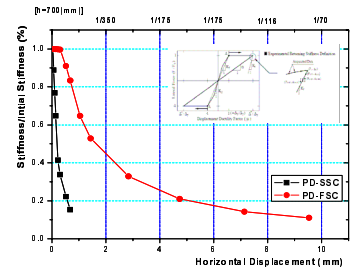


그림8. 강성저하 곡선

4. 결 론

본 연구에서는 극단주인 두 개의 기둥실험체에 대하여 유사동적실험(Pseudo-Dynamic Test)을 수행하였다. 전단내력이 부족한 실험체를 단주화한 PD-FSC 실험체, 휨 내력이 부족한 실험체를 단주화한 PD-SSC 두 개의 실험체에 대하여 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 두 실험체 모두 단주화에 따라 최대내력 도달 후, 급격한 취성과괴 형태를 보였다.
- 2) 각 실험체의 파괴형상은 항복내력 이후 전단균열의 범위가 크게 증가하였으며, 강성은 PD-SSC 실험체의 경우 급격한 강성저하 현상이 나타났다.
- 3) 장주로 설계된 기둥이 내압벽 및 허리벽과 같은 또 다른 부재의 간섭을 통해 단주화가 되었을 경우, 취성적형태를 갖는 극취성과괴형 부재가 된다. 이에 따른 적절한 내진설계를 위한 보강이 필요할 것으로 사료된다.
- 4) 유사동적 실험을 통해 부재의 내력과 변형 능력이 건물전체의 내진성능평가 및 내진설계의 기본적인 자료로서 활용 가능하다고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2007년도 첨단도시개발사업(과제번호: 07도시재생B04) 및 2008년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행되었습니다(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단). 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. T. Okada and M. Seki, “액츄에이터 온라인 시스템에 의한 철근콘크리트 골조의 지진응답실험”, 일본건축학회보고집, 275호, 1979.
2. ACI Committee 318-05 (2005), “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318 R-05)”, American Concrete Institute, Michigan.
3. AIJ(1993) “AIJ Standard for Structural Calculation of Reinforced Concrete Structures”, AIJ, Version 6, pp. 221~239.
4. 日本建築學會, “鐵筋 コソクリート 構造計算規準・同解説”, 1999.