

철근 콘크리트 보통모멘트골조 기둥의 구조성능평가

Performance Evaluation of Columns in Ordinary Moment Resisting Concrete Frames (OMF)

한상환 ¹⁾
Han, Sang-Whan

유혁상 ²⁾
Yu, Hyuk-Sang

이리형 ³⁾
Lee, Li-Hyung

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the capacity of columns in the Ordinary Moment Frame (OMF). For this purpose, 3-story building was designed according to Uniform Building Code and ACI building Code. (ACI 318-99)

The columns were classified into interior and exterior columns. For each interior and exterior columns, upper and lower parts are modeled by the 2/3 scale experimental specimens. The specimens for lower part columns have lap splice. The interior columns were tested under the constant axial force, while the exterior columns were tested under the fluctuating axial force.

Based on the results of the experiments, the conclusion for the capacity of the column is proposed..

1. 서론

철근콘크리트 건물에 대한 내진 설계 기준들은 구조부재의 비 탄성 거동에 기반을 두고 있다. 건물에 작용하는 지진에너지에 저항하고 이를 소산시키는 부재를 변형능력이 증진되도록 철근을 배근함으로써 실제 요구 강도보다 저감된 강도로 건물을 설계하고 있다. 그러나, 우리 나라의 많은 지역들은 약진으로 대부분의 건물들이 내진 설계 기준의 적용을 받지 않고 있다. 이러한 건물은 일반적인 설계기준(비내진 설계 기준)에 따라 철근이 배근되며, 대부분 중력하중만이 고려되어 설계된다. 이렇게 설계된 건물은 최소 휨 설계 요구 조건에 의한 휨 보유강도로 지진에 어느 정도 저항할 수 있으나, 이에 대한 실험적인 평가가 필요하다.

ACI Code는 구조물의 경제적인 설계를 위하여 설계시 적용할 모멘트골조에 대하여 지진 위험 지표(seismic risk terminology)를 약(low), 중(moderate), 강(high)으로 구분하고 있으며, 이에 적용 가능한 철근 콘크리트 모멘트골조를 보통모멘트골조(OMF), 중간모멘트골조(IMF), 특별모멘트골조(SMF)로 3가지로 분류하여 적용기준을 달리하고 있다. 그중 보통모멘트골조(OMF)는 지진을 고려

1) 한양대학교 교수, 공학박사

2) 한양대학교 석사과정

3) 한양대학교 교수, 공학박사

한 특별한 설계나 배근상세를 갖지 않는 골조로서 ACI 318-99의 1장 ~ 18장까지의 일반적인 요구조건들이 적용되는 골조이며, 이는 비내진 상세를 가진 현존하는 건물과 가장 유사한 설계방법을 갖는다고 할수 있다.

따라서, 본 연구에서는 ACI Code에서 비내진 설계시 작용하는 보통모멘트골조(OMF) 기둥에 대해 구조 실험을 통하여 구조성능을 평가하고자 한다.

2. 실험 계획

(1) 실험체 설계

본 연구에서는 ACI-318 에 의해 배근된 RC 기둥 실험체에 대한 구조적인 성능을 평가하기 위해 연구대상 건물을 전형적인 3층의 사무실 건물을 대상으로 1층 기둥을 선정하여 실험체를 계획하였다. 기둥 실험체의 주철근은 탄성해석 결과에 의해 ACI 318-99의 최소 철근비인 1%에 근접하게 선정하였다. 중력 및 횡력이 고려된 기둥 실험체는 대상 건물에 대해 2/3 축소되었으며 내·외부의 기둥과 각각의 기둥에 대해 변곡점을 기준으로 하여 상부 기둥과 하부기둥으로 구분하였다. 본 연구에서 계획된 실험체 종류와 대상 실험체 구획을 표 1과 그림 1에 나타내었다.

또한, 각각의 실험체는 높이 128.5cm 에 단면 22cm×22cm 로 하였으며 단면 각 방향에 대해 4-HD13 철근으로 주근을 배근하였다. 또한 변곡점 하부로 계획한 OC1, OC3 실험체는 하부에 철근이음을 실시하고 변곡점 상부부분으로 계획된 OC2, OC4실험체는 철근 이음을 실시하지 않았다. 기둥의 띠철근은 단면 해석결과에 의해 ACI 318-99에 의한 최소 띠철근 배근하였으며 기둥 실험체의 배근상세는 그림 2와 같다

표 1. 실험체 일람

배근기준	위치		실험체	축력 가력 계획	철근이음
OMF (ACI 318)	내부	상부	OC1	일정축력 ($P=0.3A_gf_c$)	있음
		하부	OC2		없음
	외부	상부	OC3	변동축력 ($P=1.83V+17.1tf$)	있음
		하부	OC4		없음

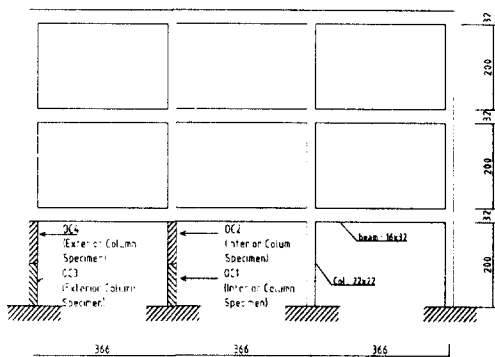


그림 1. 대상 실험체 구획

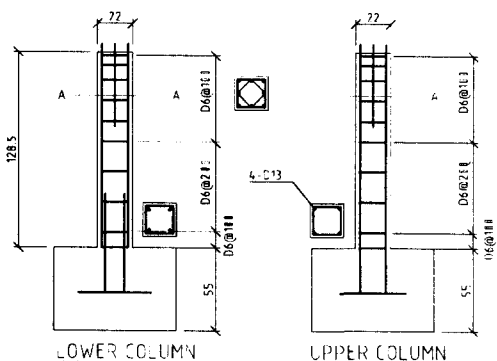


그림 2. 실험체 배근상황

(2) 가력계획 및 측정계획

모든 기둥 실험체는 연약층(soft story)의 변곡점이 발생한다고 가정된 기둥 순 경간의 1/2인 가력 기초 상부 100cm 높이에서 가력 하였다. 기둥 실험체 OC1 과 OC2 는 최하부층의 내부기둥이 받는 일정한 중력하중 즉 P(constant axial force) = 34tonf를 작용하고 OC3와 OC4 실험체는 횡하중에 의해 골조의 외부기둥에서 발생하는 변동 축력 (fluctuating level of axial force)을 고려하여 $P(axial\ force) = 1.83V(lateral\ force) + 17.1tonf$ 가 되도록 계획되었다.

가력시 정가력의 하중과 변위를 (+)로 설정하고 부가력의 하중과 변위를 (-)로 설정하였다. 기둥의 양측면에 설치된 6개의 변위계(LVDT)로 곡률 및 휨변위를 측정하였으며, 가력은 동일 변위에 대해 2회씩 반복 가력 하였다.

3. 실험결과 및 분석

(1) 하중-이력 곡선

실험체에 작용한 하중과 변위의 관계를 하중-변형각(drift)의 형식으로 그림 3에 나타내었다. 모든 실험체는 변형각(drift) 2%에서 최대내력을 나타내었다. 최대내력 이후 일정축력을 적용한 실험체의 경우 철근이음(lap-splice)이 있는 OC1 실험체는 내력의 저하가 급격하게 발생한 반면, OC2 실험체는 최대변위까지 연성적인 거동을 하였다. 또한, 변동축력을 가한 실험체는 축력이 감소하는 부가력시 최대강도도 감소하였으며, 특히 철근이음이 있는 OC3실험체의 경우 부가력시 3%의 변형각에서 급격한 내력저하를 보여주었다.

표 2에서 보여지듯이 모든 실험체들이 변위연성비 3이상의 양호한 연성능력을 보이거나 변동축력을 고려한 OC3실험체는 부가력시 상대적으로 적은 연성능력을 가진 것으로 나타난 반면, 철근이음(lap-splice)이 없는 OC4 실험체의 경우 부가력시 최대내력 이후 내력의 저하가 거의 없는 양호한 결과를 보였다.

표 2. 실험체의 변형능력 지표

실험체		항복하중 $V_y (t)$	최대하중 $V_{max}(t)$	항복변위 (mm) Δ_y	최대변위 (mm) Δ_{max}	변위연성비 μ_Δ	변형능력 $\theta_u(\%)$
OC1	+	4.2	5.0	9.0	34.9	3.9	3.5
	-	-4.25	-5.0	-7.9	-35.3	4.46	3.5
OC2	+	4.3	4.8	10.6	44.5	4.2	4.45
	-	-4.3	-5.0	-10.9	-44.5	4.08	4.45
OC3	+	3.4	4.24	10.4	42.5	4.2	4.25
	-	-2.6	-3.26	-11.0	-35.3	3.2	3.5
OC	+	4.0	4.94	8.9	46.4	5.2	4.64
	-	-2.38	-2.89	-7.1	-58.1	8.18	5.81

+ : 정가력, - : 부가력

(2) 축력-모멘트 상관도에 의한 내력평가

각 실험체에 작용된 축력과 재료실험에서 얻어진 결과를 적용하여 평가된 기둥의 공칭강도 (nominal strength)와 실험을 통해 얻어진 최대강도 및 강도비를 표3에 나타내었다. 표3에 의하면 모든 실험체는 기둥의 축력-모멘트 상관도에 의해 결정된 예상 공칭강도 이상의 내력을 발휘하는 것으로 나타났으나, 축력비가 적은 OC3, OC4의 부가력시 공칭강도 이후 최대강도 발현비율이 OC1, OC2에 비해 적은 것으로 나타났다.

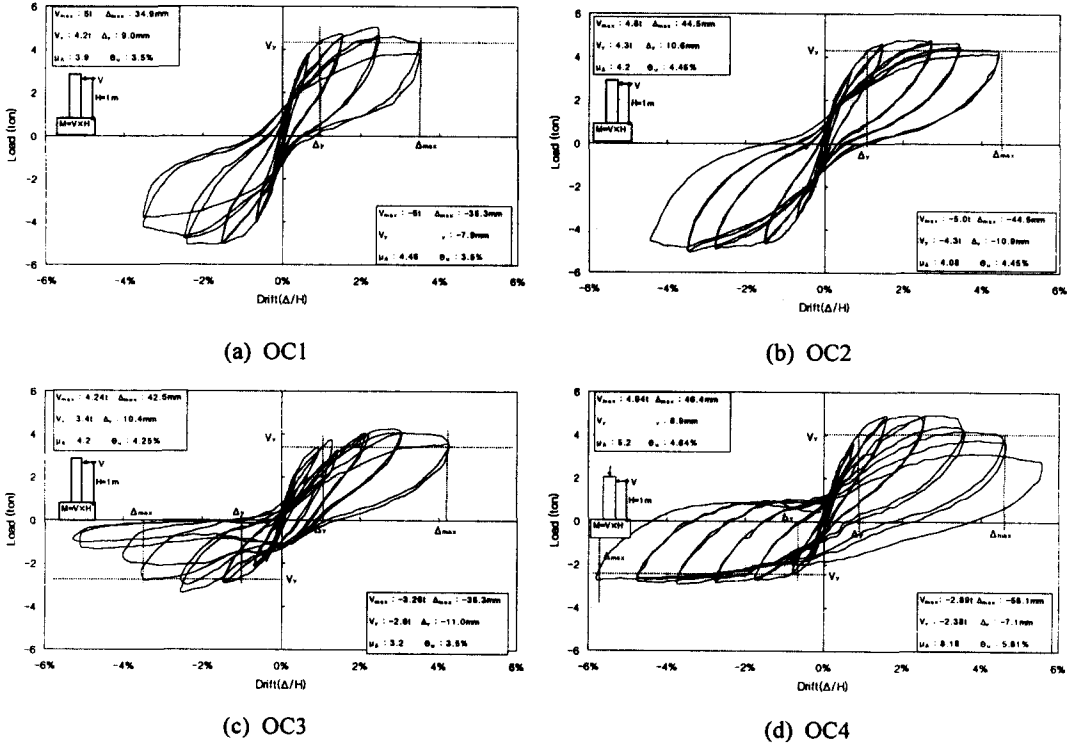


그림 3. 하중 이력 곡선

표 3. 축력비에 따른 실험체의 공칭강도 평가

실험체		축력비($A_g f_c$)	공칭강도 M_n (t-m)	최대강도 (실험)	Ratio (M_{max} / M_n)
				M_{max} (t-m)	
OC1	+	0.28	3.75	5.0	1.33
	-			-5.0	1.33
OC2	+	0.28	3.75	4.8	1.28
	-			-5.0	1.33
OC3	+	0.2	3.4	4.24	1.25
	-	0.07	-2.6	-3.26	1.25
OC4	+	0.2	3.4	4.94	1.45
	-	0.07	-2.6	-2.89	1.11

+ : 정가력, - : 부가력

(3) 소성힌지 길이평가

기둥의 비탄성 회전을 가능하게 하는 소성힌지는 실험결과 모든 실험체가 기둥 하부에서 발생하였는데, 소성힌지 길이는 비탄성이후의 변형크기와는 연관성이 없는 것으로 나타났다. 다만, 축력비에 비례하여 소성힌지의 길이가 커짐을 실험 결과를 통해 알 수 있었다. 소성힌지(Lp)는 $0.2 A_g f_c'$ 이상에서 0.6~1.43h 범위이며, 상대적으로 적은 축력($0.2 A_g f_c'$ 이하)에서 0.42~0.86h의 범위에서 형성되는 것을 알 수 있었다.

(4) 각 실험체의 에너지 소산능력 평가

그림 4는 각 실험체의 누적 에너지 소산량을 나타낸 것이다. 변형각 2%까지는 모든 실험체는 동일한 능력을 보이고 있으나 3%에서 철근이음이 있고 변동축력이 작용하는 OC3 실험체는 기타 실험체의 70%의 수준을 보였다. 또한 최대 변형에서 비교한 에너지 소산능력에서 OC3 실험체는 동일한 축력 조건인 OC4의 69%수준으로 축력비가 상대적으로 적은 외부기둥에서 철근 이음이 존재할 경우 에너지 소산능력이 저하되는 것으로 나타났다.

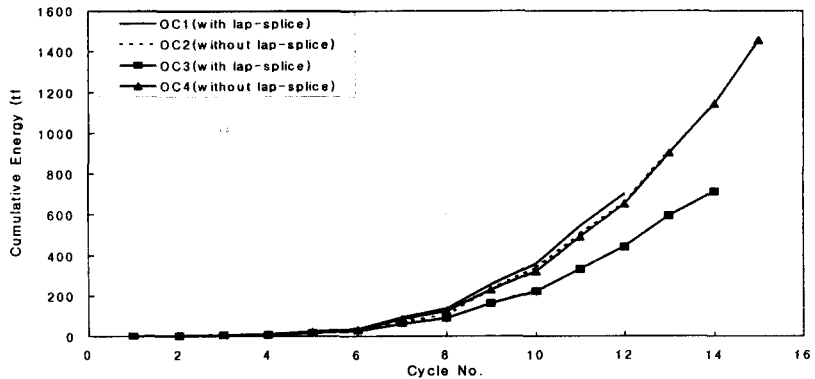


그림 4. 각 실험체의 누적에너지 소산량

(5) 기둥부재의 내진 성능 평가

FEMA 273에서 제시하고 있는 기둥부재의 모델링시 제시된 변형능력 제한치와 실험에 의해 구해진 소성힌지 부위에서의 변형능력을 비교한 결과, 모든 실험체들은 FEMA 273에서 제시하는 변형능력 값보다 큰값을 나타냈다. 다만, 철근이음이 있는 외부 기둥인 OC3의 경우 축력이 감소하는 부가력시 변형능력 값이 변형능력 제한치보다 작게 나타났다. 따라서, 기둥 부재 모델링시 사용하고 있는 변형능력 제안값들은 대체적으로 보수적(conservative)인 값을 제시하고 있다고 판단되며, 철근 이음이 있는 외부 기둥의 경우는 더 많은 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

4. 결론

보통 모멘트 골조 (OMF)의 기둥실험체에 대한 실험결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 철근이음에 상관없이 모든 실험체는 공칭강도(nominal strength) 이상을 발현하는 것으로 나타났다.
- (2) 최대하중의 80%를 최대 변위로 평가한 변형능력에서 모든 실험체는 3.5%의 변형능력을 보였으며 변위연성비는 OC1 실험체는 3.9, OC2는 4, OC3는 3.2, OC4는 5.2를 나타내어 보통모멘트 골조의 기둥 변위 연성비는 3 정도로 하는 것이 타당할 것으로 사료된다.
- (3) 에너지 소산능력의 경우 내부기둥의 경우 상·하부기둥이 비슷한 성능을 보였으나, 외부기둥의 경우 하부기둥은 상부기둥의 69% 수준을 보였다.
- (4) 소성힌지 길이는 축력에 커질수록 길어지는 경향이 있으나 철근이음의 유무에는 영향을 받지 않는 것으로 판단되며 0.42~1.43h (h : 기둥의 단면크기) 사이에서 소성힌지가 형성되는 것을 알수 있었다.
- (5) 외부하부기둥(OC3) 실험체의 에너지 소산능력 및 변형능력이 다른 실험체에 비해 낮게 나타나 보통모멘트 골조건물의 연성 및 변형능력을 제한할 것이며, 이에 대한 보완이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 과제는 '97건설교통부 연구개발사업과제(R&D97-0002)에 의해 지원되었고 이에 감사를 포함합니다.

참고 문헌

1. ICBO, Uniform Building Code, International Conference on Building Officials, Whittier, California, 1988, 1994, 1997
2. Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads: Part I - Design and Properties of a One-Third Scale Model Structure.", Technical Report NCEER-92-0027, 1992.
3. Aycardi, L.E., Mander, J.B., and Reinhorn, A.M., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads in Low Seismicity Zones: Part II - Experimental performance of Subassemblages", Technical Report NCEER-92-0028, National Center for Earthquake Engineering Research, SUNNY/Buffalo, 1992.
4. Bracci, J.M., Reinhorn, A.M., and Mander, J.B., "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Frame Structures Designed only for Gravity Loads : Part III - Experimental Performance and Analytical Study of Structural Model", Technical Report NCEER-92-0027, 1992.
5. ACI Committee 318, Building code requirements for reinforced concrete, ACI, 1999.
6. T.paulay, M.J.N Priestley, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings", A Wiley Interscience Publication, 1991
7. 극한강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조설계기준 및 해설, 건설교통부, 1990