

# 철근콘크리트 보통모멘트골조건물의 기둥에 대한 구조성능 평가

## Structural Performance Evaluation of Columns in a Reinforced Concrete Ordinary Moment Frame Building

배 성 진\*  
Bae, Sungjin

한 상 환\*\*  
Han, Sang Whan

이 리 형\*\*  
Lee, Li Hyung

### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the structural performance of columns in a Reinforced Concrete Ordinary Moment Frame building. For this purpose, a 3-story building was designed according to the Korea seismic design provisions and ACI 318-99, and the columns of in the first story were constructed.

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 effects of the lap splice and axial force on the column performance are evaluated

### 1 서 론

철근콘크리트 건물에 대한 현재의 내진설계기준들은 구조부재의 비탄성거동에 기반을 두고 있다. 건물에 작용하는 지진에너지에 저항하며 이를 소산시키는 부재의 변형능력이 증진되도록 철근을 배근함으로써 요구강도를 저감시켜 건물의 설계에 사용하고 있다. 그러나 우리나라의 많은 지역들은 약진 지역으로 대부분의 건물들이 내진설계기준의 적용을 받지 않고 있으며, 서울과 같은 중진지역에서도 6층 이하의 저층건물의 경우 내진설계기준의 적용을 받지 않고 있다. 이러한 건물은 일반적인 설계기준(비내진설계기준)에 따라 철근이 배근되며, 대부분 중력하중만이 고려되어 설계된다. 이렇게 설계된 건물은 최소 휘설계요구조건에 의한 휨 보유강도로 지진에 대해 어느 정도 저항할 수 있으나, 이에 대한 실험적인 평가가 필요하다. 이러한 건물은 일반적으로 약한기둥-강한보로 설계되기 때문에 기둥부재의 구조성능이 전체 건물의 구조성능에 미치는 영향이 크다.

김희원, 한양대 건축공학과, 석사과정

김희원, 한양대 건축공학과, 조교수

김희원, 한양대 건축공학과, 교수

본 연구의 목적은 ACI 318-99의 설계에 따라 비내진설계된 건물의 기둥부재에 대한 구조성능을 평가하기 위한 것이다. 이를 위해 전형적인 사무실 용도의 3층 철근콘크리트 골조건물을 설계하여, 이를 기준으로 기둥실험체를 2:3으로 축소하여 제작하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 대상건물 선정

본 연구를 위한 건물의 형태는 그림 1에 나타나 있다. 선정된 건물의 용도는 사무소 건물이며, ACI 318-99 기준에서 정의하는 보통모멘트골조 방식으로 설계하였다. 고려된 하중은 자중을 포함한 고정하중  $0.53\text{tonf}/\text{cm}^2$ 과 이동하중  $0.25\text{tonf}/\text{cm}^2$ 이며, 보통포틀랜드 시멘트( $f_{ck}=0.24\text{tonf}$ )와 HD19와 SD10 철근을 사용하였다.

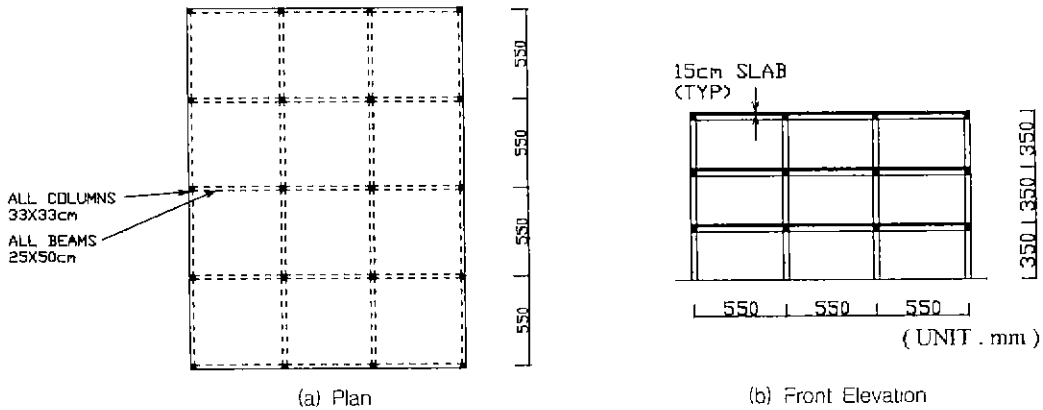


그림 1 대상건물

### 2.2 기둥실험체 제작

기둥실험체는 대상 건물에 대해 2:3으로 축소되었으며 내·외부의 기둥과 각각의 기둥에 대해 변곡점을 기준으로 하여 상부 기둥과 하부기둥으로 구분하였다. 실험체명과 대상 실험체 구획은 표 1과 그림 2에 나타나 있다.

각 실험체는 높이 1285cm, 단면  $22\text{cm} \times 22\text{cm}$ 로서 기초로부터 높이 100cm를 시험구간으로 하였다. 주철근은 4-HD13으로 주철근비는 101%이다. 띠철근은 HD6 철근을 사용하였다. 변곡점 아래의 하부기둥으로 계획된 OC1, OC3 실험체에는 철근이음(lap splice)을 하였으며, 상부기둥으로 계획된 OC2, OC4 실험체에는 철근이음을 하지 않았다. 철근의 이음길이는 지진하중이 작용하여 주철근이 인장력을 받을 경우를 고려하여 27cm로 산정하였다.

기둥의 띠철근은 ACI 318-99 기준에 따라 최소배근하였다. 비시험 구간인 상부 28cm 구간은 조기전단파괴를 방지하고 충분한 강성을 갖도록 띠철근을 조밀하게 배근하였다. 기둥 실험체의 배근상세는 그림 3에 나타나 있다.

### 2.3 실험체 가력 및 측정방법

모든 기둥 실험체는 기둥 순 경간의 1/2인 가력 기초 상부 100cm 높이에서 가력하였다. 기둥 실험

체 OC1과 OC2는 하부층의 내부기둥이 받는 일정한 증력하중을 재현하기 위해 고정축력  $P=34\text{tonf}$ 를 가력하였으며, OC3와 OC4 실험체는 횡하중에 의해 외부기둥에서 발생하는 변동축력을 재현하기 위해 변동축력  $P=1.83V(\text{lateral force})+17.1\text{tonf}$ 으로 가력하였다.

기둥의 양측면에 6개의 변위측정기(displacement transducer)를 설치하여 횡변위와 단면의 평균곡률을 측정하였으며, 실험체 기초에 변위측정기를 설치하여 기초와 실험체 접합면 사이에서 발생하는 미끄러짐 변위를 측정하였다. 실험체의 가력계획 및 변위측정기 설치상황은 그림 4에 나타나 있다.

가력은 동일 변위에 대해 2회씩 반복가력하였으며, 변위이력은 그림 5와 같다.

표 1. 실험체 일람

배근기준 (ACI 318-99)	위치		실험체 명	가력계획	철근이음 (lap-splice)
보통모멘트 골조 (Ordinary Moment Frame)	내부	상부	OC1	고정축력 ( $P=0.3A_g f_{ck}$ )	있음
		하부	OC2		없음
	외부	상부	OC3	변동축력 ( $P=1.83V-17.1\text{tonf}$ )	있음
		하부	OC4		없음

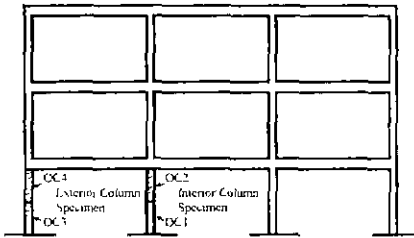
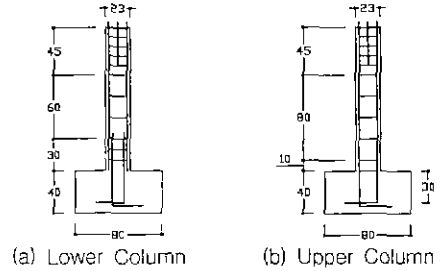


그림 2 대상실험체 구획



(a) Lower Column

(b) Upper Column



(c) Section

그림 3 실험체 배근상황

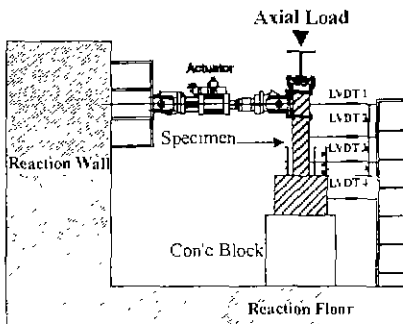


그림 4 기둥 실험체의 가력상황도

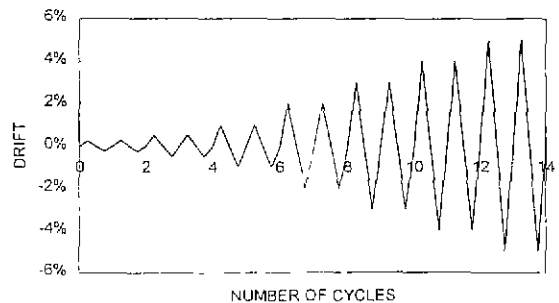


그림 5 실험체에 적용된 변위이력곡선

### 3. 실험결과

#### 3.1 균열 및 파괴상황

실험체의 초기 휨균열은 고정축력을 가한 내부기둥 실험체(OC1, OC2)는 2.4tonf에서 초기 휨균열이 발생하였으나, 변동축력을 가한 외부기둥 실험체(OC3, OC4)는 축력이 증가하는 정가력 때에는 2.3~2.7tonf에서, 축력이 감소하는 부가력 때에는 1.7~1.8tonf에서 초기 휨균열이 발생하였다.

고정축력을 가한 내부기둥 실험체(OC1, OC2)는 휨 균열이 바닥에서 상부로 진행되었으며, 변위가 증가할수록 휨균열의 폭이 커지고 수직균열이 발달하여 콘크리트가 박리하였다.

변동축력을 가한 외부기둥 실험체(OC3, OC4)는 정가력시 휨 균열, 수직균열과 함께 콘크리트의 박리가 발생하였지만, 부가력 때의 휨균열의 폭과 압축 축의 박리는 정가력 때보다 작았다. 특히 철근이음 있는 하부기둥 실험체(OC3)는 정·부가력에 따라 파괴정도가 크게 달랐다.

#### 3.2 하중-변형 곡선

실험체에 작용한 하중과 변위의 관계를 하중-변위각(drift)의 형식으로 그림 6에 나타내었다. 모든 실험체는 변위각 2%에서 최대강도를 발휘하였다. 철근이음 없는 상부기둥 실험체의 경우, 고정축력을 가한 내부기둥(OC2)과 변동축력을 가한 외부기둥(OC4) 모두 최대변위까지 인성적인 거동을 보였다. 반면, 철근이음 있는 하부기둥 실험체의 경우, 고정축력을 가한 내부기둥(OC1)은 최대강도 발휘 이후 강도저하가 크게 발생하였으며, 변동축력을 가한 외부기둥(OC3)은 축력이 증가하는 정가력시에는 연성적인 거동을 보인 반면 축력이 감소하는 부가력시에는 3% 변형각 이후 급격한 강도저하를 보였다.

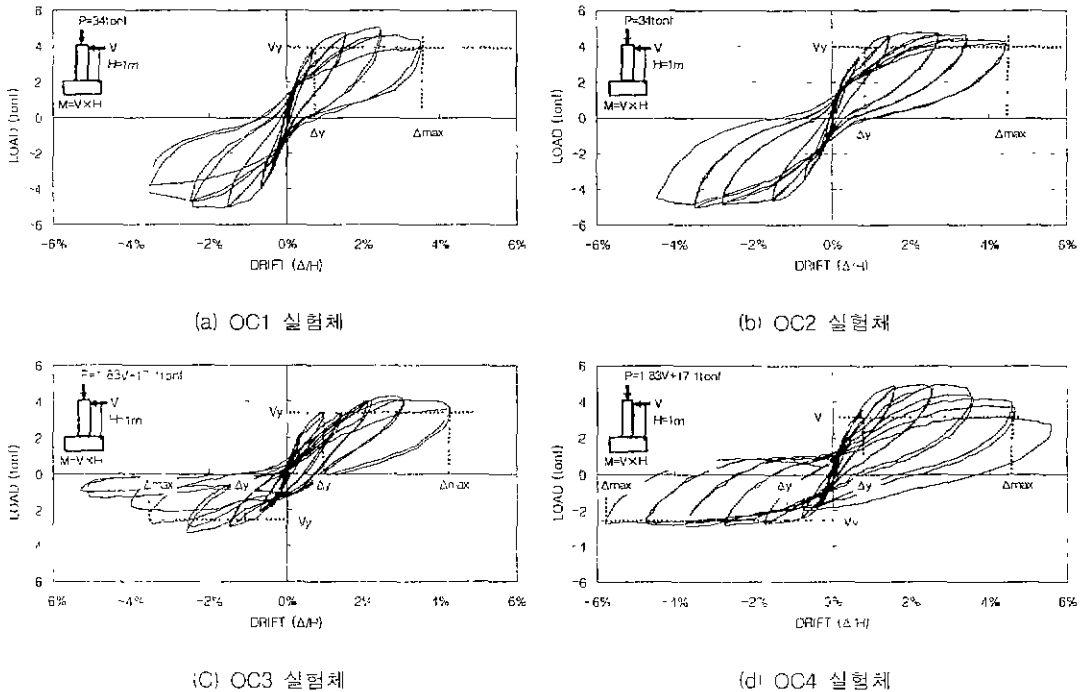


그림 6 하중-변위각 곡선

표 3은 최대내력의 75%에서 평가된 활선강성(secant stiffness)에 의한 항복변위와 최대내력의 80%에 해당하는 강도에서 평가한 최대변위 및 변위 연성비(displacement ductility ratio)와 최대변위각을 보여준다. 모든 실험체가 변위연성비 3이상의 연성능력을 가졌다.

표 3 실험체의 변형능력 지표

실험체명 (+ 정가력) (- 부가력)	항복하중 $V_y$ (tonf)	최대하중 $V_{max}$ (tonf)	항복변위 $\Delta_y$ (mm)	최대변위 $\Delta_{max}$ (mm)	변위연성비 $\mu_d$	최대변위각 $\theta_u$ (%)
OC1	+	420	5.00	90	34.9	3.9
	-	-425	-5.00	-7.9	-35.3	4.46
OC2	+	430	4.80	10.6	44.5	4.2
	-	-430	-5.00	-10.9	-44.5	4.08
OC3	+	340	424	10.4	42.5	4.2
	-	-2.60	-3.26	-11.0	-35.3	3.2
OC4	+	4.00	4.94	8.9	46.4	5.2
	-	-2.38	-2.89	-7.1	-58.1	8.18

#### 4.5 축력비에 따른 연성능력 평가

그림 7은 축력비에 따른 기둥실험체의 연성능력을 철근이음의 유무에 의해 구분하여 나타낸 것이다. 철근이음이 없는 실험체는 축력비가 감소할 때 연성능력이 우수해지나, 철근이음이 있는 경우  $0.2A_g f_{ck}$  이상의 축력이 가해질 때는 연성능력의 차이가 없으나  $0.1A_g f_{ck}$  이하에서 연성능력이 감소하는 것으로 나타났다.

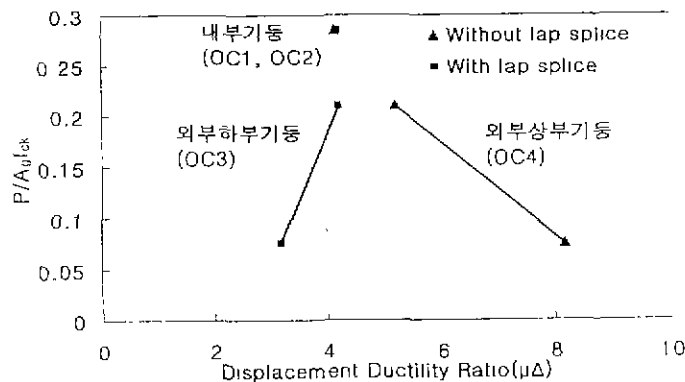


그림 7 축력비에 따른 연성능력

#### 4 결 론

철근콘크리트 보충보멘트골조건물의 기둥실험체에 대한 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 최대하중의 80%를 최대변위로 인장한 최대변위각에서 모든 기둥실험체는 3.5% 이상의 능력을 보였으며, 변위 연성비에 대해 OC1 실험체는 3.9, OC2는 4.2, OC3는 3.2, OC4는 5.2의 결과를 보

여 보통모멘트 골조 기둥의 연성능력은 3 이상으로 하는 것이 타당하다고 판단된다.

- 2) 축력비에 따른 기둥 실험체의 연성능력은 축력비가  $0.1A_g f_{ck}$ 인 경우 철근이음이 있는 하부기둥 실험체는 이음이 없는 상부기둥 실험체의 40% 수준이었다. 따라서 철근이음이 있는 1층 하부의 외부기둥은 지진력에 대해 축력이 변하므로 연성능력 향상을 위해 특별한 배근상세가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 과제는 한국과학재단의 '산업화 촉진과제' 연구비에 의해 초대형 구조시스템 연구센터에서 실시된 연구로서 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 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-Three 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: Part II - Experimental Performance of Subassemblages", Technical Report NCEER-92-0028, 1992.
4. T.paulay, M.J.N Priestley, "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonary Buildings".
5. 홍성진, 최광호, 노재선, 이한선, 강하선, "지진을 받는 1/2 축소 2층 철근콘크리트 라멘 구조물의 동적 거동에 관한 연구(I)", 대한건축학회 논문집, 7권3호, 통권35호, pp.307-317. 1991.6