

# 주근비와 편심거리에 따른 고강도 콘크리트 기둥의 거동

## Behavior of High-Strength Concrete Columns by Longitudinal Reinforcement Ratio and Eccentric Distance

김재환*	김경희*	최명신*
Kim, Jae Hwan	Kim, Kyong Hoi	Choi, Myung Shin
이광수**	반병열***	신성우****
Lee, Kwang Soo	Bahn, Byong Youl	Shin, Sung Woo

### ABSTRACT

With increasing use of high-strength concrete tied columns in structural engineering, it becomes necessary to examine the applicability of related sections of the current design codes. This experimental study was conducted to investigate the behavior of eccentrically loaded high-strength concrete columns. Column specimens with concrete strength 234, 437, 703 kgf/cm<sup>2</sup> were tested under monotonically increasing eccentric compression. The test parameters included the longitudinal reinforcement ratio, eccentric distance and concrete compressive strength. The analytical results obtained from the stress-strain relationship and the ACI's equivalent rectangular stress block are compared with experimental test results.

### 1. 서론

최근들어 대도시의 극심한 토지부족으로 인하여 단일 목적성의 고층건물만이 아닌 40층 이상의 주상복합건물과 같은 초고층건물들이 다수 들어서고 있는 추세에 따라, 초고층건물에서의 하중지지능력을 확보함과 동시에 기둥단면 감소로 인한 효율적인 거주성과 경제성을 확보하기 위해서는 고강도 콘크리트 기둥의 사용은 매우 효과적이라고 말할 수 있다. 고강도 콘크리트는 수평부재에도 많은 이점을 지니고 있으나, 특히 수직부재(기둥)에 사용될 경우 그 효과를 극대화 할 수 있다. 그러나 고강도 콘크리트를 사용한 구조부재들에 대한 국내의 연구는 대부분 수평부재들이다. 따라서 본 연구에서는 고강도 R/C 기둥의 거동을 예측하고 현재 사용되고 있는 설계식의 적합성을 규명하기 위한 목적을 두고, 주근비와 콘크리트 압축강도 그리고 편심거리를 주요변수로 하여 실험을 진행하였다.

\* 정희원, 한양대학교 건축공학과 대학원

\*\*\*\* 정희원, 한양대학교 건축공학과 교수

\*\* 정희원, 여주대학 건축과 조교수

\*\*\* 정희원, 대전대학교 건축공학과 조교수

## 2. 실험

### 2.1 재료시험

실험체에 사용된 철근의 재료역학적 특성은 표 1과 같으며, 콘크리트는 최대골재치수를 13mm로 사용하였고, 28일 압축강도를 표 2에 나타내었다.

표 1 철근의 역학적 성질

철근	$\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$E_s$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_v (\times 10^{-4})$	$\sigma_u$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	연신율 (%)
D13	4812	$2.15 \times 10^6$	2238	6145	20.2
D10	4690	$1.83 \times 10^6$	2558	6297	20.0
D6	4655	$1.97 \times 10^6$	4363	6105	12.5

### 2.2 변수 및 실험체

주요 변수는 콘크리트 압축강도(234, 437, 703kgf/cm<sup>2</sup>), 주근비( $\rho=2.13\%$ ,  $3.81\%$ ) 그리고 편심거리(0h, 0.1h, 0.2h, 0.3h)이다. 실험체는 단면  $20 \times 20$ cm, 높이 70cm로써 양단부에서 각각 15cm를 제외하고 실험구간은 40cm로 하였다. 단부는 떠철근을 실험구간의 1/2 간격으로 배근하고, 단면보다 10cm 큰 스티브를 두어 국부파괴를 방지하도록 하였다.

### 2.3 실험체 설치 및 실험방법

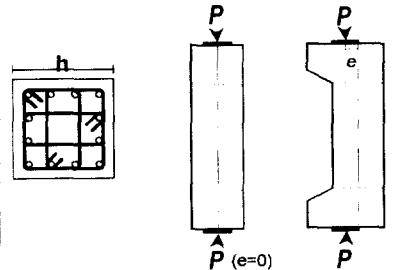
실험체는 Strong Frame에 수평방향으로 설치한 후 500ton 용량의 오일잭으로 가력하였다. 수평방향으로 가력시 정확한 편심거리를 확보하기 위해 Steel Block을 사용하여 실험체를 설치하였다. 실험체의 횡변위를 측정할 수 있도록 LVDT를 설치하였고, 타설시 철근에 W.S.G.와 아울러 실험 직전 콘크리트 표면에 W.S.G.를 부착하여 콘크리트의 변형률을 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 분석

11개 실험체에 대한 실험결과는 표 2, 그림 1~4와 같다.

표 2 실험 결과

Series	실험체명	$f_{ck}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (%)	s (mm)	$\rho_s$ (%)	$P_{cr}$ (t)	$P_{max}$ (t)	$M_{max}$ (t·m)	N SR - E3	
N	NSR-E0	234	2.13	67	1.77	93.30	113.60	-	편심거리 : 0h, 0.1h, 0.2h, 0.3h 떠철근 배근형태 : SR(Square Rectangular) 콘크리트 강도 : N(234kgf/cm <sup>2</sup> ), M(437kgf/cm <sup>2</sup> ), H1(703kgf/cm <sup>2</sup> ), $\rho=2.13\%$ , H2(703kgf/cm <sup>2</sup> , $\rho=3.81\%$ )	
	NSR-E2					64.44	68.95	2.97		
	NSR-E3					59.93	62.36	3.98		
M	MSR-E0	437				157.30	207.10	-		
	MSR-E1					130.50	148.08	3.72		
	MSR-E3					94.63	106.43	6.55		
H1	HSR1-E0	703				203.70	239.50	-		
	HSR1-E1					174.50	191.40	4.55		
	HSR1-E3					101.81	122.63	7.59		
H2	HSR2-E1	703				3.81	149.47	216.80		5.14
	HSR2-E3						109.91	138.83		8.73

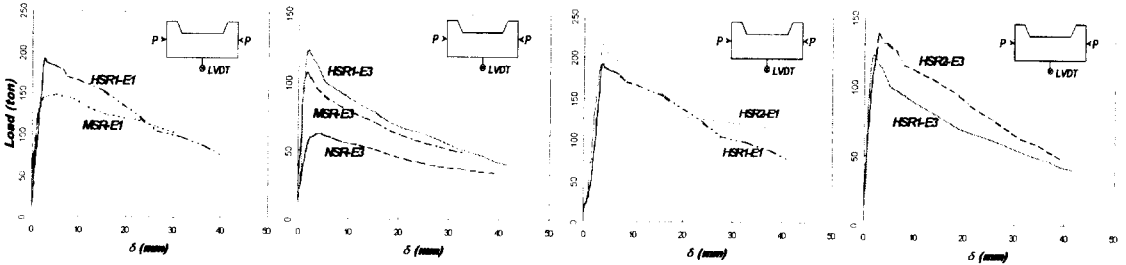


### 3.1 하중-횡변위 곡선

실험체의 거동을 평가하기 위하여 가력시의 하중과 횡변위 관계를 그래프로 나타내었으며(그림 1~3) 그 결과는 각각의 변수에 따라 다른 양상을 보여주었다.

### 3.1.1 콘크리트 압축강도의 영향

콘크리트 압축강도가 증가함에 따라 최대하중 역시 증가하는 것으로 나타났으며, 편심거리(e)가 0에서 0.3h(6cm)로 증가함에 따라서 최대하중의 증가폭은 줄어들고 있다. 편심거리가 0.1h인 경우와 0.3h인 경우 모두 최대하중 이후 다소 완만한 하강곡선을 보여주고 있다. 특히 콘크리트 압축강도가 증가할수록 고강도 콘크리트의 급격한 취성과괴라는 재료적인 특성과 유사한 급격한 하강곡선을 보여주고 있다. (그림 1(a), 1(b)) 그러나 하강곡선부분의 전반적인 양상은 비교적 안정적인 것으로 나타났다.



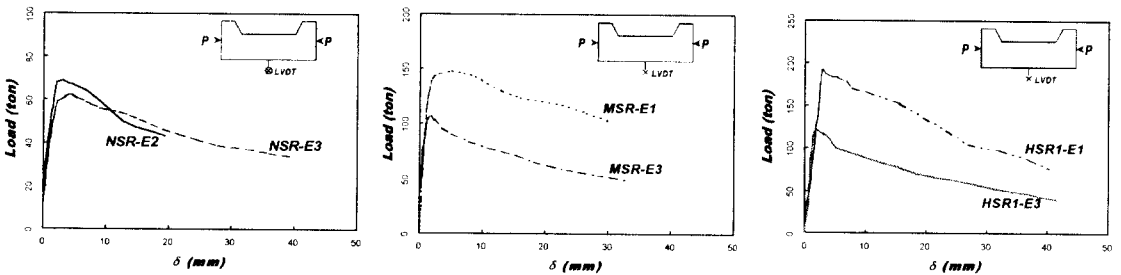
(a) 편심거리 0.1h (b) 편심거리 0.3h (a) 편심거리 0.1h (b) 편심거리 0.3h  
 그림 1 콘크리트의 압축강도별 하중-형변위 곡선      그림 2 주근비별 하중-형변위 곡선

### 3.1.2 주근비의 영향

주근비의 영향은 편심거리가 증가함에 따라 그 영향이 큰 것으로 나타났다. 압축력의 영향이 큰 편심거리 0.1h의 경우보다 휨의 영향력이 커지는 0.3h의 경우 최대내력의 상승폭이 증가하였으나, 하강곡선에 있어서는 주근비에 따라 별다른 차이가 나타나지는 않았다.(그림 2(a), 2(b))

### 3.1.3 편심거리의 영향

편심거리가 0.1h에서 0.3h로 증가함에 따라서 최대하중은 감소하고 있으며, 콘크리트 강도가 클수록 감소폭은 커지는 것으로 나타났다. 하강곡선에 있어 각각의 series별로 비교하여 보았을 때 N series는 편심거리가 작은 실험체의 하강곡선의 기울기가 급격히 커지며, H1 series의 초기하강곡선 기울기는 유사하나 점차 형변위가 증가할수록 편심거리가 작은 0.1h 실험체의 기울기가 급해짐을 알 수 있다.



(a) N series (b) M series (c) H1 series

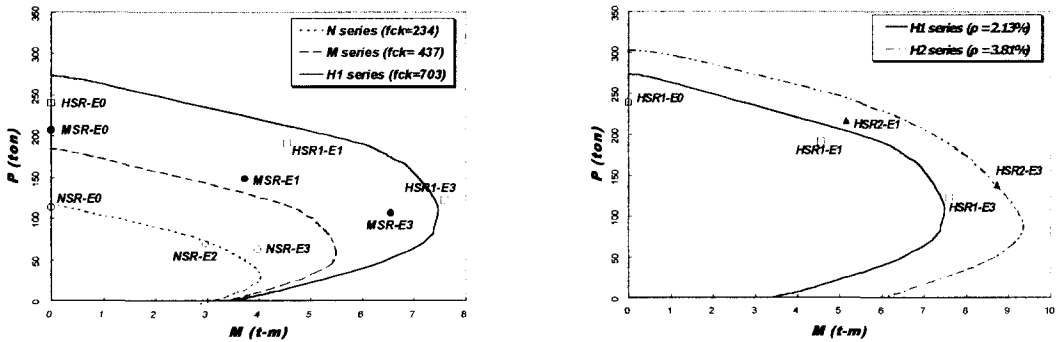
그림 3 편심거리에 따른 하중-형변위 곡선

## 3.2 P-M 상관곡선

### 3.2.1 콘크리트 압축강도의 영향

보통강도 콘크리트인 N series의 경우 P-M 상관곡선과 거의 일치하는 결과를 나타내었다. (그림 4(a)).

편심거리가 큰 0.3h의 경우 각 강도별로 매우 안정적인 범위에 위치하고 있으나, 압축지배영역에서는 고강도 콘크리트인 H1 series의 경우 P-M 상관곡선보다 실험값이 낮게 나타났다.



(a) 콘크리트 압축강도별 P-M 상관곡선

(b) 주근비율 P-M 상관곡선

그림 4 P-M 상관곡선

### 3.2.2 주근비의 영향

편심거리가 0.1h에서 0.3h로 증가함에 따라 휨에 의한 영향이 커지므로, 0.3h의 경우 주근비가 커짐에 따라 모멘트에 대한 저항력이 크게 증가하였다. 압축지배영역인 0.1h의 경우도 0.3h보다는 덜하지만 주근비 증가에 따른 약간의 최대내력상승의 효과가 있는 것으로 나타났다. (그림 4(b))

## 4. 결론

이상과 같은 편심하중을 받는 보통강도 콘크리트 및 고강도 콘크리트 기둥의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 압축강도가 증가함에 따른 최대하중 이후의 하강곡선 기울기는 다소 급격해지나 비교적 안정적인 거동을 나타낸다.
- (2) 편심거리가 증가함에 따른 최대하중 이후의 하강곡선 기울기는 다소 완만해지는 것으로 나타났다.
- (3) P-M 상관곡선과 비교한 결과 휨이 지배적인 경우( $e=0.3h$ )에는 전반적으로 안전측인 것으로 나타났으며, 압축력이 지배하는 경우( $e=0.1h$ ) 고강도 콘크리트 기둥 실험체는 불안전측인 것으로 나타났다.

## 감사의 글

이 논문은 한양대학교 초대형구조시스템 연구센터와 풍림산업(주)의 연구비 지원에 의한 것으로 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) ACI, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-95)", ACI Committee 318, American Concrete Institute, 1995.
- 2) 이리형, 김성수, 조용원, "철근콘크리트 기둥의 탄소성거동에 관한 연구 - 휨과 축력 작용시의 내력 및 연성에 관해서", 대한건축학회논문집, 4권 3호, 1988.6, pp.165-176
- 3) 이재훈, 손혁수, 김준범, "고강도 철근 콘크리트 기둥의 실험 및 강도해석", 콘크리트학회지, 제11권 1호, 1999.2, pp.149-160
- 4) Hisham H. H. Ibrahim & James G. MacGregor, "Tests of Eccentrically Loaded High-Strength Concrete Columns", ACI Structural Journal, Title No.93-S55, Sep~Oct 1996, pp.585-594
- 5) Stephen J. Foster & Mario M. Attard, "Experimental Tests on Eccentrically Loaded High-Strength Concrete Columns", ACI Structural Journal, Title No.94-S27, V.94, No.3, May~Jun 1997, pp.295-303