

단조 하중을 받는 고강도 철근 콘크리트 기둥의 비탄성 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study On the Inelastic Behavior of the High Strength Reinforced Concrete Column subject to Monotonic Loads

○ 정세환* 정하선** 김상식***
Chung, Sei Hwan Jeong, Ha Sun Kim, Sang Sik

ABSTRACT

This research is related to the experimental investigation of the inelastic behavior of R/C columns with high strength concrete. A total of eight specimens have been tested with different span ratios, steel reinforcements and load applications. Through tests bending moments were applied incrementally while axial forces being kept constantly at 80 tons. Careful observations were given to initial crack formations, crack patterns and propagation paths. Comparative studies have been made on the load carrying capacity for R/C columns with high strength concrete versus normal strength concrete.

1. 머리말

근래에 들어 건축 구조물의 대형화, 고층화 그리고 특수 구조물 등의 필요성에 따라 높은 강도의 콘크리트가 요구되고 있다. 콘크리트를 고강도화하게 되면 부재 단면의 축소, 자중의 감소, 부재 내력의 증대 및 경제성의 향상 등의 장점이 있다. 그러나 고강도 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 최대 내력 이후의 강도 저하가 현저하고 취성적인 파괴가 되므로 실제 구조물에 적용하기에 앞서 실험을 통한 조사가 필요하다.

또한 기둥은 수직 하중을 지지하는 데에는 콘크리트의 재료적인 장점을 가지고 있으나, 지진 하중과 같은 수평 하중을 받는 경우에는 휨모멘트에 의하여 비탄성 거동을 하므로 실험을 통하여 이에 대한 폭넓은 연구가 요구되고 있다.

따라서 이 연구에서는 고강도 콘크리트 기둥에 수직 하중을 일정하게 가하면서 수평 하중에 의한 모멘트를 증가시켜 기둥이 파괴에 이르는 동안의 하중-변위 관계와 균열 발생 및 전파와 그에 따른 하중 지지 능력의 저하 등을 보통 콘크리트 기둥과 비교해 실험적으로 측정 고찰하였다.

이 실험에서는 전단 스펠비와 철근 보강을 중요 변수로 하였고 수직 하중을 80 톤으로 일정하게 유지하면서 수평 하중에 의한 휨모멘트는 단조 하중과 2회 반복하중으로 하였다.

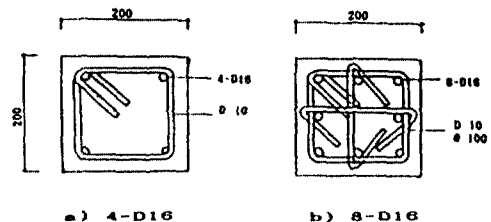


그림 1 기둥단면의 형태

* 정회원 인하대학교 건축공학과 박사과정
** 정회원 대한주택공사 주택 연구소장, 공박
*** 정회원 인하대학교 건축공학과 교수, 공박

2. 실험 계획

2.1 시험체 개요

이 연구에서 사용된 시험체의 단면은 20 x 20 cm로 일정하며, 보강 형태는 그림 1 과 같다. 시험체의 형태는 그림 2 와 같으며, 기둥의 전단 스펙비 및 철근비를 각각 2 종류로 하고 있으며, 수평 하중은 단조하중 과 2 회 반복 하중으로 하여 총 8 개의 시험체가 사용되었다. 시험체의 상세는 표 1 과 같다.

2.2 사용 재료

시험체 제작에 사용된 시멘트는 KSL 5201 의 규정에 맞는 제품이 사용되었고, 보강용 철근은 SD 30 의 KS 규격품으로 하였다. 시험체의 배합비는 표 2 와 같으며 골재는 최대 지름 20 mm 이하의 것으로 하였다. 거푸집에 콘크리트를 부어 20 시간이 지난 후부터 시험체의 노출된 부분에 습윤 상태의 섬유를 덮어 온도는 10-15°C, 습도는 70 - 80 퍼센트를 유지하면서 4 주까지 양생하였고 그 후는 자연 대기 상태에서 건조시켰다. 압축 강도 시험용 공시체는 $\phi 10 \times 20$ cm 모울드를 사용하여 KS F 2405에 따라 제작하였고 시험체와 동일한 조건에서 양생을 실시하였다. 시험체의 평균 압축 강도는 545 Kg/cm² 이었다.

표 1 시험체의 형태

시험체 명칭	길이 (cm)	주 근	수평하중 가력형태	콘크리트 강도	단면 (cm)
HAS4	60	4-D16	단 조	고강도	20x20
HSB4	60	4-D16	2차 반복	고강도	20x20
HSA8	60	8-D16	단 조	고강도	20x20
HSB8	60	8-D16	2차 반복	고강도	20x20
HMA4	120	4-D16	단 조	고강도	20x20
HMB4	120	4-D16	2차 반복	고강도	20x20
HMA8	120	8-D16	단 조	고강도	20x20
HMB8	120	8-D16	2차 반복	고강도	20x20

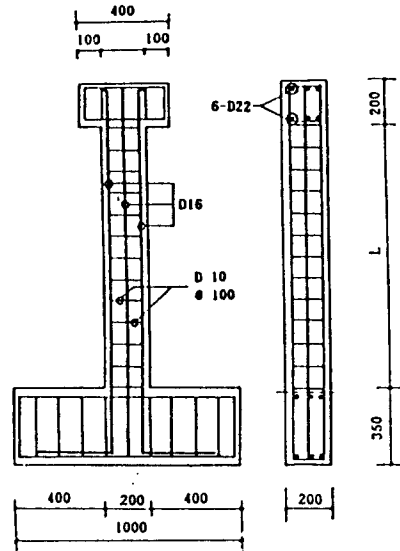


그림 2 수행된 시험체의 형태

표 2 시험체의 배합비

물시멘트 비 (W/C)	간골재 울(S/A)	중량비 (Kg/m ³)				
		물	모래	시멘트	자갈	혼화제
36.0 %	45.3 %	159	796	450	972	4.89

표 3 수평 하중 및 처짐

시험체	수직 하중 (t)	초기 균열 발생시		최대 하중	
		하중(t)	처짐(mm)	하중(t)	처짐(mm)
HSA4	80	8.0	2.7	9.7	6.0
HSB4	80	8.5	3.6	12.7	11.2
HSA8	80	9.0	2.9	14.8	10.7
HSB8	80	7.5	1.7	14.9	8.7
HMA4	80	4.0	7.8	6.8	18.6
HMB4	80	5.5	5.3	8.3	18.8
HMA8	80	4.0	7.7	9.2	27.2
HMB8	80	4.0	7.8	8.4	30.1

2.3 가력 장치 및 시험 방법

가력 장치는 수직하중 200 톤, 수평 하중 30 톤 용량의 것으로 수직하중을 가한 상태에서 수평 하중을 가할 때 생기는 마찰을 줄이기 위하여 기둥 상부에 스러스트베어링(thrust bearing) 판을 고정시켜 수평 하중 시에 베어링의 회전으로 마찰에 의한 수평 하중 전달의 감소됨을 방지하게 하였다. 하중의 가력에는 기둥의 수직 하중 가력용으로 100 톤 용량의 유압 잭과 로드 셀, 수평 하중 가력용으로 30 톤 용량의 유압 잭과 로드 셀이 사용되었고 하중의 증감은 자동 변형을 측정기를 통하여 조정할 수 있게 하였다.

부재의 변형을 측정하기 위하여 다이얼 게이지를 설치하였고, 다이얼 게이지는 동장 10 mm의 것으로 10^{-2} mm 단위의 변형까지 측정 가능한 것으로 하였다. 시험체에의 가력은 먼저 수직 하중을 4 톤씩 일정하게 증분하여 80 톤까지 가하여 고정시킨 후 수평 하중을 0.5 - 1.0 톤의 범위에서 기둥이 파괴에 이르기까지 증가시키면서 매 재하 단계별로 균열의 발생 위치 및 전파 과정, 수평 변위 등을 조사하였다.

3. 실험결과 및 분석

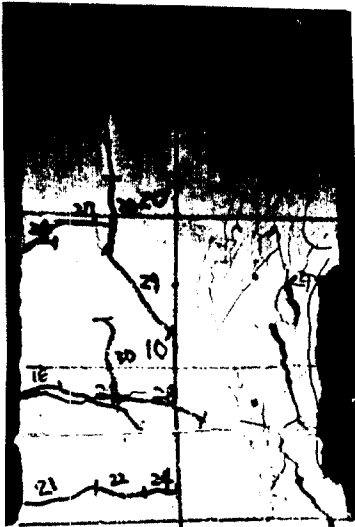
3.1 균열 및 파괴 양상

모든 시험체에서 초기 균열은 대체로 10 cm 위치에서 발생되었으며, 균열의 전파 양상은 사진 1 과 같다. 각 시험체 별 균열 발생 및 파괴 양상은 다음과 같다.

(1) HSA4 시험체 : 초기 균열은 수평 하중 8 톤에서 발생하여 수평 방향으로 진행되었고, 8 톤 이후 변위가 크게 증가하였고 압축 파괴되었으며, 이후의 하중 저하는 급격히 이루어졌다

(2) HSB4 시험체 : 수평 하중 8.5 톤에서 초기 균열이 발생하였고, 1 차 재하시에는 균열 발생이 많았으나 2 차 재하시에는 적게 나타났다.

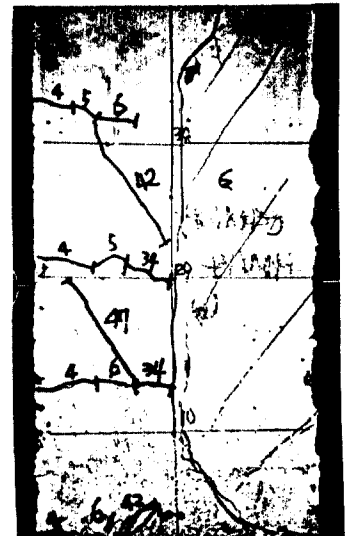
(3) HSA8 시험체 : 초기 균열은 9 톤에서 발생하여 수평 방향으로 확산되었으며, 14.8 톤에서 변위가 크게 증가하였고 이후 하중 지지 능력이 저하됐으며 압축 파괴되었다.



(a) HSA8 시험체



(b) HMA4 시험체



(c) HMB8 시험체

사진 1 균열 및 파괴 양상

(4) HSB8 시험체 : 7.5 톤에서 초기 균열이 발생하여 진전되었으며, 그 이후 10 톤에서 새로운 균열이 대각선 방향으로 파급되었다. 3 차 재하시에 14톤에서 하중 지지 능력이 현저하게 저하되면서 압축 파괴되었다

(5) HMA4 시험체 : 초기 균열은 4 톤에서 휨 인장 응력에 의하여 발생하여 진전되었다. 6.8 톤 이상 지지하지 못하고 압축 파괴되었으며, 균열의 전파 범위는 인장측 38 cm, 압축측은 41 cm였다.

(6) HMB4 시험체 : 초기 균열이 12 cm 위치에서 발생하여 수평 방향으로 진전되었다. 2 차 재하시에는 새로운 균열은 생기지 않았고 이미 발생한 균열들이 발전하였다.

(7) HMA8 시험체 : 초기 균열은 4 톤에서 5 cm, 22 cm 및 34 cm의 위치에서 발생하여 수평 방향으로 진전되었다. 9.2 톤에서 하중 지지 능력이 저하되면서 압축파괴되었다.

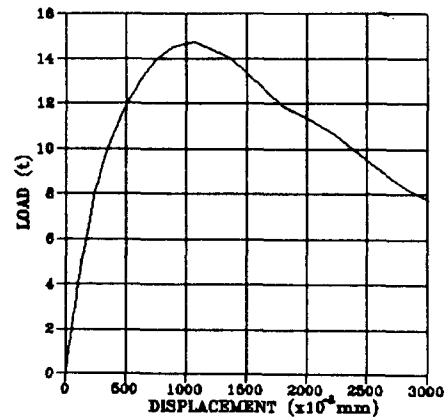
(8) HMB8 : 초기 균열은 휨 인장 응력에 의하여 발생하여 힘의 작용에 따라 수평하게 진전되었다. 8.4 톤 이상 지지하지 못하고 압축 파괴되었다.

각 시험체에 가한 수평 하중과 처짐은 표 3에 나타냈다.

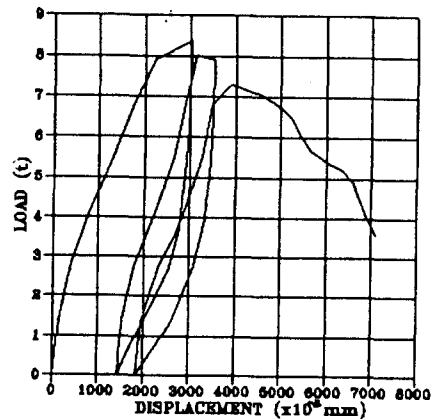
3.2 하중 - 변위 관계

각 시험체에 수직 하중을 일정하게 가하면서 수평 하중에 의한 모멘트를 증가시켜 기둥이 파괴에 이르는 동안의 시험체에 대한 하중-변위 곡선은 그림 3 과 같다.

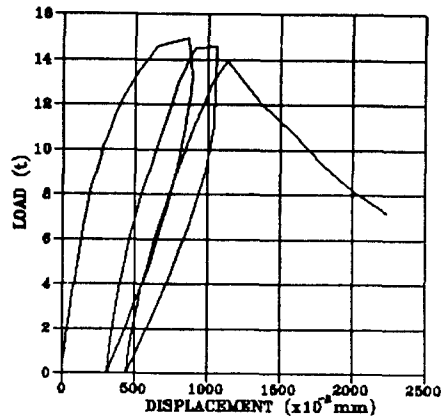
철근비율 2 종류로 하여 시험한 결과 (그림 4) 철근 보강비가 큰 시험체가 작은 것에 비하여 최대 내력이 평균 31 퍼센트 증가하였는데, 이 때 전단 스패닝이 커짐에 따라 철근 보강비의 영향은 줄어들었다. 그리고 연성 능력을 볼 때 철근 보강비가 큰 시험체가 작은 시험체보다 우수하였다.



(a) HSA8 시험체



(b) HMB8 시험체



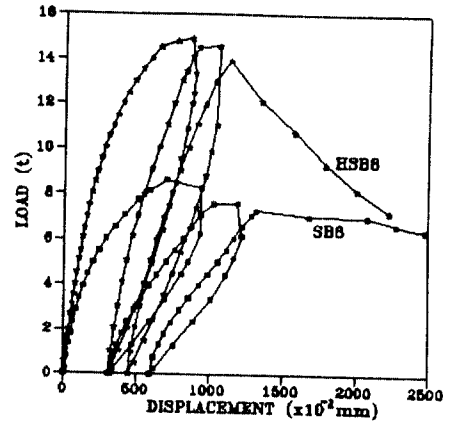
(c) HSB8 시험체

그림 3 하중 - 변위 곡선

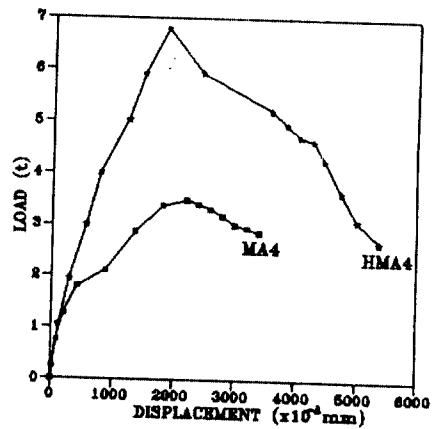
콘크리트 강도가 각각 217 Kg/cm^2 , 545 Kg/cm^2 인 시험체를 비교해 보면, (그림 5) 고강도 콘크리트 시험체의 최대 내력이 보통 강도의 시험체에 비해 평균 2 배의 강도 상승이 나타났으며, 초기 강성 또한 고강도 콘크리트의 경우가 높았다. 그러나 고강도 콘크리트의 경우는 최대 내력 이후에 취성화 현상에 따라 급격한 강도 저하를 가져왔지만 보통 콘크리트 시험체는 강도를 잘 보존하고 있음을 알 수 있었다.

전단 스패비에 의한 영향은 (그림 6) 전단 스패비가 작은 시험체는 큰 시험체에 비하여 최대 내력의 경우는 평균 58 퍼센트 증대되었고 초기 강성은 5 배 정도 크게 나타났지만 최대 내력 이후의 내력 저하는 전단 스패비가 작을수록 급작스런 파괴에 도달했다. 최대 내력시의 처짐은 큰 전단 스패비의 시험체가 작은 시험체의 경우보다 3 배 정도 크게 나타났다.

재하 형태를 단조 하중과 2 회 반복 하중으로 하였을 때 (그림 7) 초기 균열 발생 시의 하중이나 최대 내력의 증감등에 미치는 영향은 뚜렷하지 않았다.

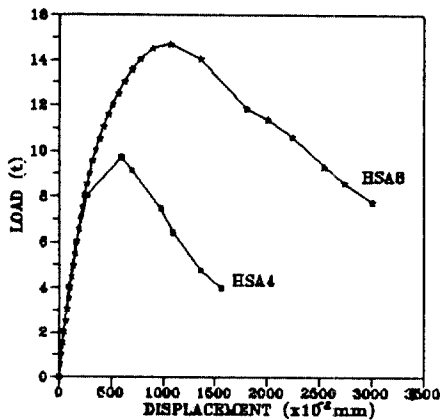


(a)

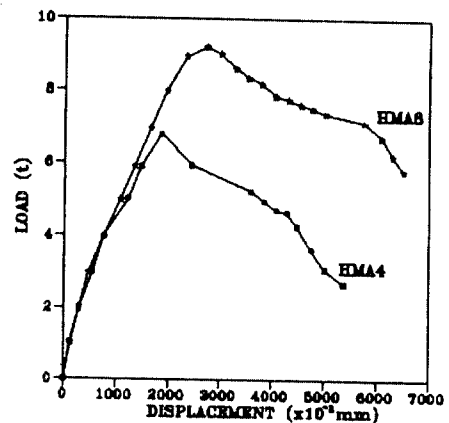


(b)

그림 5 콘크리트 강도의 비교

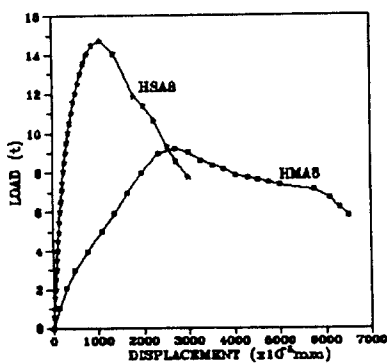


(a)

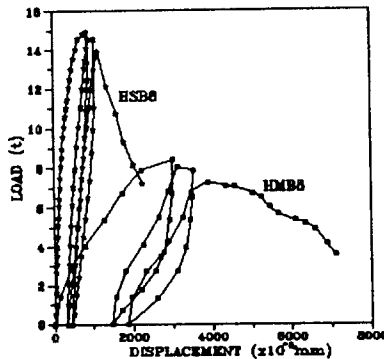


(b)

그림 4 철근 보강비의 비교



(a)



(b)

그림 6 전단 스패비의 비교

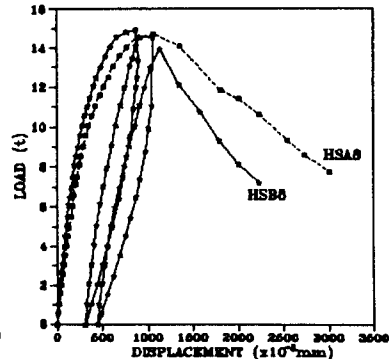


그림 7 재하 형태의 비교

4. 맺음말

이상의 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 균열 발생 및 전파 양상을 살펴보면, 초기 균열은 대체로 하부에서 10 cm 위치에서 발생되었으며, 균열 전파 영역은 보통 강도, 큰 철근 보강비, 큰 전단 스패비의 시험체가 고강도, 작은 철근 보강비, 작은 전단 스패비의 시험체보다 균열 발생 범위의 50 퍼센트 정도 더 기둥 방향으로 확산되었다.

2) 기둥의 콘크리트 강도에 의한 영향을 비교하면, 고강도 콘크리트의 최대 내력과 초기 강성은 크게 나타났지만 최대 내력 이후에 급격한 강도 저하를 가져왔다.

3) 기둥의 철근 보강비의 증가는 최대 내력의 증가를 가져왔으며 우수한 연성능력을 보여주었다.

4) 기둥의 전단 스패비를 달리하여 시험한 결과 전단 스패비가 작은 시험체가 큰 시험체에 비하여 최대 내력이 증대되고 초기 강성 또한 크게 나타났지만 최대 내력 이후의 강도 저하가 현저하였다.

5) 단조 하중과 반복 하중의 가력 형태에 따른 균열의 발생이나 내력의 증가 등에서는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다.

감사의 글

이 연구는 1989 년 한국 과학 재단 지원으로 이루어진 연구로 재단에 감사를 드리는 바입니다.

참고 문헌

1. 정세환, 정하선, 김상식, "단조 하중을 받는 철근 콘크리트 기둥의 비탄성 거동에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 가을학술 발표회 논문집, 제2권 제2호, 1990년 11월, pp.69-72.
2. 정세환, 정하선, 김상식, "반복 수평 하중을 받는 철근 콘크리트 기둥의 비탄성 거동에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제3권 제2호, 1991년 11월, pp.45-50.
3. Ehsani, M.R., and Vallenilla, C.R., "Comparison of Inelastic Behavior of Reinforced Ordinary and High Strength Concrete Frames," ACI Str. J., V.84, No.2, Mar.-Apr., 1987, pp. 161-169.