

단조하중을 받는 철근콘크리트 기둥의 비탄성 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study On the Inelastic Behavior of the Reinforced Concrete Column subject to Monotonic Loading

○ 정 세 환 * 정 하 선 ** 김 상 식 ***
Chung, Sei Hwan Jeong, Ha Sun Kim, Sang Sik

ABSTRACT

This research is related to the experimental investigation of the inelastic behavior of reinforced concrete columns. A total of 12 specimens have been cast with different span ratios, steel reinforcements and load applications. Through the tests axial forces have been kept constantly at 40 tons while the bending moments were applied incremently and careful observations were given to the initial crack formation, crack pattern and propagation.

1. 머리말

콘크리트 구조물에서 기둥은 축하중과 더불어 휨모멘트를 받으며, 특히 풍하중이나 지진하중과 같은 수평하중을 받는 경우에는 휨모멘트에 의하여 비탄성 거동을 하므로 실험을 통하여 이에 대한 폭넓은 연구가 요구되어 있다. 이러한 연구의 일환으로 이 연구에서는 기둥에 축하중을 일정하게 가하면서 수평하중에 의한 모멘트를 증가시켜 기둥이 파괴에 이르는 동안의 하중-변위 관계와 균열 발생 및 전파와 그에 따른 하중 지지능력의 저하 등을 실험적으로 측정 고찰하였다. 이 실험에서는 전단스팬비와 철근 보강을 중요 변수로 하였고 축하중을 40 톤으로 일정하게 유지하면서 수평하중에 의한 휨모멘트는 단조하중과 2회 반복하중으로 하였다.

2. 시험체 계획 및 실험

2.1 시험체 개요

이 연구에서 수행된 시험체의 치수는 그림 1. 과 같고 기둥단면의 형태는 그림 2. 와 같다. 기둥은 전단스팬비를 3 종류, 철근비를 2 종류로 하였으며, 수평하중은 단조하중과 2 회 반복하중으로 하여 총 12 개의 시험체를 제작하였다. 시험체의 상세는 표 1. 과 같다.

2.2 사용 재료

시험체 제작에 사용된 콘크리트의 배합비는 표 2 에 표시되어 있다. 콘크리트는 28 일 압축강도 210 Kg/cm² 를 기준으로 제작하였으며, 골재는 최대 지름 20 mm 이하의 것으로 하였고 사용된 시멘트는 KS L 5201 의 규정에 맞는 쌍용시멘트회사 제품을 사용하였다. 시험체 보강에는 SD 24 이형철근으로 하였고, 콘크리트 타설후 습윤상태에서 모포를 덮어 온도는 10-15 °C, 습도는 70-80 % 를 유지하면서 4 주까지 양생하였다. 양생후 자연 대기 상태에서 건조시켰으며, 콘크리트 압축강도는 $\Phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 원주 시험체로 평균 217 Kg/cm² 를 얻을 수 있었다.

표 1. 시험체의 형태

시험체 명칭	길이 (cm)	주근	횡 하중 가력형태	콘크리트 강도	단면 (cm)
C4SMA	60	4-D16	단 조	보 통	20x20
C4SMB	60	4-D16	2차 반복	보 통	20x20
C6SMA	60	8-D16	단 조	보 통	20x20
C6SMB	60	8-D16	2차 반복	보 통	20x20
C4MMA	120	4-D16	단 조	보 통	20x20
C4MMB	120	4-D16	2차 반복	보 통	20x20
C8MMA	120	8-D16	단 조	보 통	20x20
C8MMB	120	8-D16	2차 반복	보 통	20x20
C4LMA	180	4-D16	단 조	보 통	20x20
C4LMB	180	4-D16	2차 반복	보 통	20x20
C8LMA	180	8-D16	단 조	보 통	20x20
C8LMB	180	8-D16	2차 반복	보 통	20x20

표 2. 시험체의 배합비

물시멘트 비 (W/C)	잔골재 함 (S/A)	중 량 비 (Kg/m ³)		슬럼프 (cm)		
		물	모래 시멘트 차 값			
50.0 %	40.3 %	170	746	340	1.106	15.0

* 정희원 인하대학교 건축공학과 박사과정
** 정희원 주택공사 구조 연구실장, 공박
*** 정희원 인하대학교 건축공학과 교수, 공박

2.3 가력장치 및 시험방법

기둥에 수직 및 수평하중을 가하기 위한 가력장치를 설계 제작하여 인하대학교 건축공학과 구조실험실에 설치하였다. (그림 3.) 가력장치는 수직하중 200 톤, 수평하중 30 톤 용량의 것으로 수직하중을 가한 상태에서 수평하중을 가할 때 생기는 마찰을 줄이기 위하여 기둥상부에 스러스트 베어링 (Thrust Bearing) 판을 고정시켜 베어링의 회전으로 마찰에 의한 수평하중 전달의 감소를 방지하게 하였다. 스러스트 베어링은 용량 51톤의 것 2 개를 사용하였다. 하중의 가력에는 기둥의 축하중용으로 100 톤, 수평하중용으로 10 톤 용량의 유압 잭을 사용하였고 하중의 증감은 자동변형을 측정기를 통하여 조정할 수 있게 하였다. 부재의 변형을 측정하기 위하여 다이얼 게이지를 설치하였고, 다이얼 게이지는 동장 10 $\frac{mm}{mm}$ 의 것으로 10⁻² $\frac{mm}{mm}$ 단위의 변형까지 측정 가능한 것으로 하였다. 시험체에의 가력은 수직하중을 4 톤씩 일정하게 증분하여 40 톤까지 가하여 고정시킨 후 수평하중을 0.5 톤씩 기둥이 파괴에 이르기까지 증가시키면서 매 재하단계별로 균열의 발생위치 및 전파과정, 수평변위 등을 조사하였다.

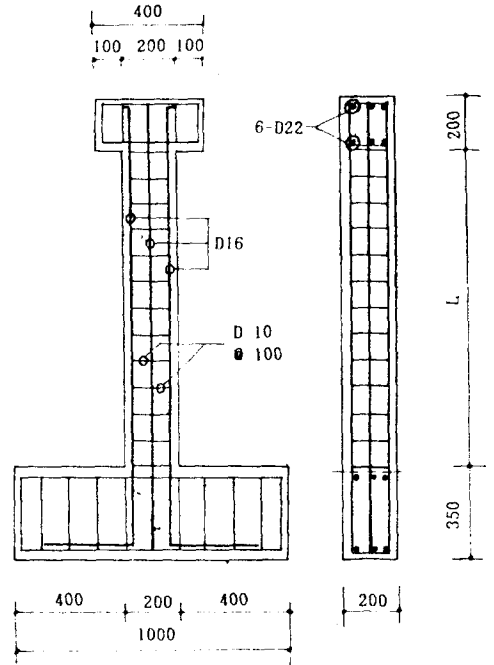


그림 1. 시험체의 치수

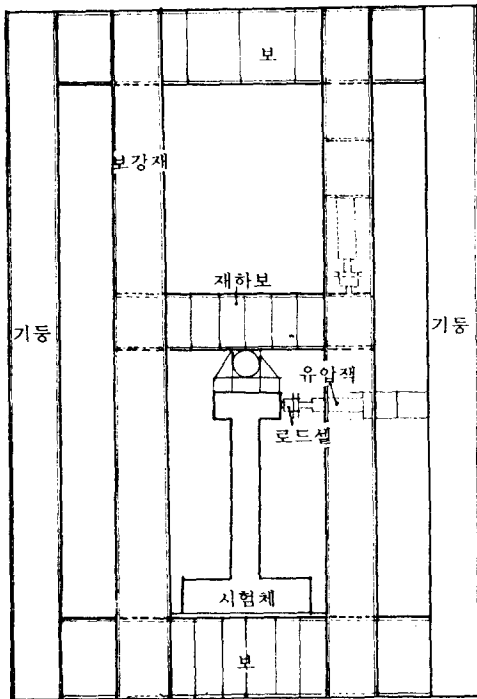


그림 3. 구조실험실 가력장치

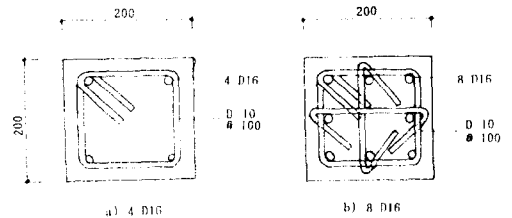


그림 2. 기둥단면의 형태

표 3. 시험체에 가한 하중

시험체	수직하중 (t)	초기 균열 발생시		최대 하중	
		하중 (t)	처짐 (mm)	하중 (t)	처짐 (mm)
C4SMA	40	5.0	2.9	6.9	7.7
C4SMB	40	5.5	4.4	5.9	6.1
C8SMA	40	6.9	3.7	7.3	5.7
C8SMB	40	6.0	2.9	8.4	7.0
C4MMA	40	2.3	10.7	3.6	22.0
C4MMB	40	2.5	7.1	3.5	18.3
C8MMA	40	2.4	5.0	4.6	23.3
C8MMB	40	2.5	6.9	4.0	20.6
C4LMA	40	1.8	16.1	2.7	39.0
C4LMB	40	2.5	11.5	3.2	40.2
C8LMA	40	2.0	8.2	3.0	33.5
C8LMB	40	2.0	8.6	3.4	40.2

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴양상

모든 시험체에서 초기균열은 대체로 기둥의 인장측 우각부분에서 발생하였으며, 하중의 증가에 따른 균열의 전파양상은 그림 4.에 나타냈다. 각 시험체 별 균열발생 및 파괴양상은 다음과 같다.

1) C4SMA : 초기균열은 수평하중 5 톤에서 나타나기 시작하여 6 톤까지 수직방향으로 진행되었다. 6.5 톤 이후 변위가 크게 증가하였고 6.9 톤 이상 지지하지 못하고 압축파괴되었다.

2) C4SMB : 5.5 톤에서 초기균열이 발생하였고 인장측 균열영역은 24 cm 위치까지였으며, 2 차재하시에 균열발생이 미소하였으나, 3 차재하시에 많은 균열 진전이 있었다.

3) C8SMA : 초기균열은 6.9 톤에서 발생하여 수직방향으로 7.3 톤까지 확산되었다. 7.3 톤에서 변위가 크게 증가하였고 이후 하중 지지능력이 저하되었다.

4) C8SMB : 초기균열이 8 cm 위치에서 발생하였고 15 cm 위치까지 균열이 진전되었다. 압축측 균열은 기둥방향으로 18 cm 위치까지 전파되었고 8.4 톤에서 압축파괴되었다.

5) C4MMA : 초기균열은 우각부와 5cm, 25 cm, 35 cm 위치에서 발생하여 수직방향으로 진전되었다. 인장측 균열은 58 cm, 압축측 균열은 25 cm 위치까지 확산되었다.

6) C4MMB : 초기균열은 우각부와 6 cm, 18 cm, 28 cm, 37 cm 위치에서 발생하여 수직방향으로 진전되었다. 2 차재하시에 균열 진전이 없다가 3 차재하시에 균열 진전이 많았고 압축파괴되었다.

7) C8MMA : 균열은 인장측에서 12 cm, 압축측에서는 45 cm 위치까지 전파되었다. 변위는 2.4 톤에서 크게 증가하기 시작하여 4.6 톤에 이르러 하중 지지능력을 잃었으며, 4.5 톤에 이르러 압축파괴되었다.

8) C8MMB : 초기균열은 우각부와 12 cm, 21 cm 위치에서 발생하였다. 변위는 2 톤에서 크게 증가하였고 2 차재하시에 균열 진전이 없다가 3 차재하시에 압축측에 균열이 많이 발생하였다.

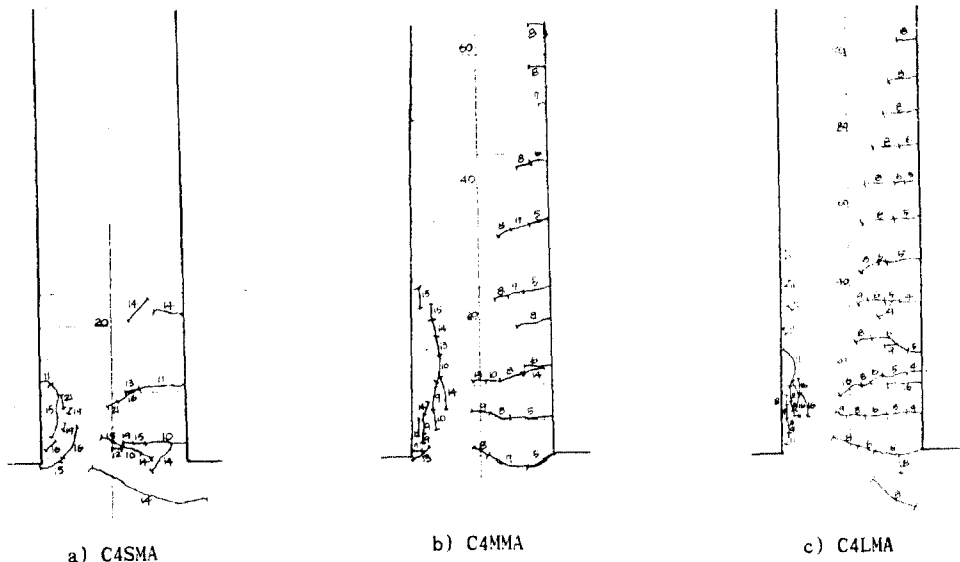
9) C4LMA : 인장측에서 균열이 104 cm 위치까지 진전되었으며, 변위는 1 톤 이후 증가하다가 2.7 톤에 이르러 하중 지지능력이 저하되었다.

10) C4LMB : 인장측에서 93 cm 위치, 압축측에서는 41 cm 위치까지 균열이 전파되었다. 변위는 1 톤에서 크게 증가하였으며, 균열 진전이 없다가 3 차재하시에 압축측에서 심하였다.

11) C8LMA : 변위는 1.5 톤에서 크게 증가하였고 3 톤에 이르러 하중 지지능력을 잃었으며, 2.9 톤에서 압축파괴되었다.

12) C8LMB : 초기균열이 8cm, 20 cm 위치에서 발생하여 진행되었다. 인장측은 96 cm, 압축측은 25 cm 위치까지 균열이 전파되었으며, 균열의 진전은 2 차재하시에 많았다.

각 시험체에 가한 하중은 표 3.에, 하중 - 변위 곡선은 그림 5.에 나타냈다.



* 숫자는 수평하중 단계임

그림 4. 균열의 전파양상

3.2 전단스팬비, 철근비 및 하중 재하형태의 영향

전단스팬비에 의한 영향은 최대내력의 경우 전단스팬비가 작을수록 증가하였는데 중간 기둥은 긴 기둥에 비하여 30 % 정도, 짧은 기둥은 긴 기둥에 비해 130 % 정도 증가하였는 바, 이는 중간 기둥과 긴 기둥의 경우보다 짧은 기둥의 경우가 효과를 크게 나타내고 있음을 보여준다. 최대내력시의 처짐은 전단스팬비가 작을수록 작았으며, 최대내력 이후의 내력저하도 전단스팬비가 작을수록 급작스런 파괴에 도달했다. 전단스팬비가 클수록 기둥방향의 균열 전파영역도 22 cm, 65 cm, 100 cm 정도 범위로 확산되었다.

철근비를 2 종류로 하여 시험한 결과 철근 보강비가 큰 시험체가 작은 것에 비하여 최대 내력이 18 % 정도 증가하였는데, 이 때 전단스팬비가 커짐에 따라 철근 보강비의 영향은 줄어들었다. 그리고 연성능력을 볼 때 철근 보강비가 큰 시험체가 작은 시험체보다 우수하였다.

재하형태를 단조하중과 2 회 반복하중으로 하였을 때 초기균열 발생시의 하중이나 최대내력의 증감 등에 미치는 영향은 뚜렷하지 않았다.

4. 맺음말

이 연구에서는 철근콘크리트 기둥에 파괴시까지 단조하중을 가하여 구조거동을 조사하였으며 실험 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기둥의 전단스팬비의 영향을 비교하면 전단스팬비가 작을수록 최대내력은 증가하였으며 긴 기둥인 경우에 비해 중간 기둥은 30 % 정도, 짧은 기둥은 130 % 정도 증가하였고 중간 기둥과 긴 기둥의 경우보다 짧은 기둥의 경우가 보다 더 효과가 크게 나타났다.

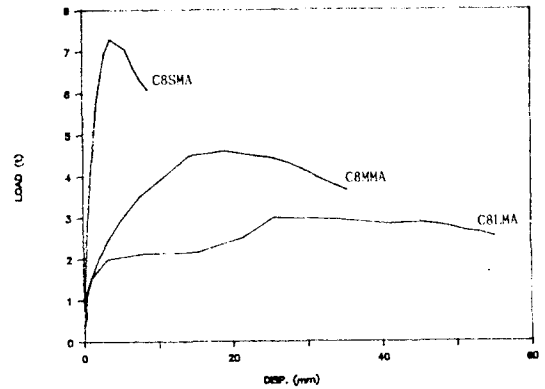
2) 기둥의 전단스팬비를 달리하여 시험한 결과 전단스팬비가 클수록 기둥방향의 균열 전파영역이 3 배 및 5 배 정도로 넓어졌으며, 최대내력시의 처짐은 전단스팬비가 작을수록 작았다.

3) 기둥의 철근 보강비의 증가는 18 % 정도의 최대내력의 증가를 가져왔으며, 우수한 연성능력을 보여 주었다.

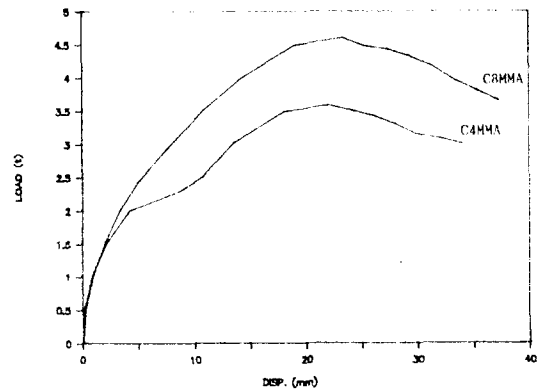
4) 반복하중과 단조하중의 가력형태에 따른 균열의 발생이나 내력의 증가 등에서는 뚜렷한 차이가 관찰되지 않았다.

감사의 글

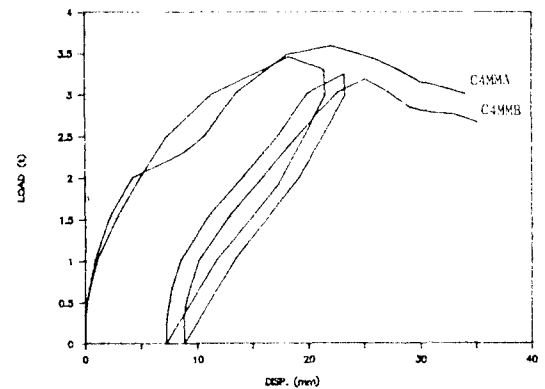
이 연구는 1989년 한국과학재단 지원으로 이루어진 연구로 재단에 감사를 드리는 바이다.



a) C8SMLA



b) C48MMA



c) C4MAB

그림 5. 하중 - 변위 곡선