

반복수평하중을 받는 철근콘크리트 기둥의 비탄성 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study On the Inelastic Behavior of the Reinforced Concrete Column subject to Cyclic Lateral Loads

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

ABSTRACT

This research has been carried out experimentally to verify the structural efficiency of the reinforced concrete columns subjected to cyclic lateral loadings in the inelastic range. Sixteen specimens have been used in the tests, the factors such as reinforcing bars, shear-span ratio, axial load level and loading history being taken differently. The load-carrying capacities and the stiffness degradation in the inelastic range by cycle lateral load application have been counted by observing the load-deformation relationship, the crack initiation and propagation and the energy dissipation phenomena.

1. 머리말

철근콘크리트 기둥은 수직하중을 지지하는 데에는 구조적으로 매우 효율이 높으나 지진하중과 같은 수평하중을 받는 경우에는 내력이 현저하게 감소하여 구조 안전성이 저하되므로 철근콘크리트 기둥이 수직하중을 지지하는 상태에서 반복 수평하중을 받을 때의 비탄성 거동에 대하여 실험을 통한 폭넓은 연구가 요구되고 있다. 따라서 이 연구에서는 철근콘크리트 기둥에 축하중을 일정하게 가하면서 수평하중을 반복으로 작용시켜 하중-변위관계와 균열발생 및 전파, 에너지소산 능력등을 실험적으로 측정하여 하중지지 능력과 강성저하 현상을 관찰하였다. 이 실험에서는 전단스팬비와 철근비, 축하중 및 재하형태를 변수로 하였다.

2. 시험체 계획 및 실험

2.1 시험체 개요

이 연구에서 사용된 시험체의 단면은 20 cmx20cm로 일정하며, 보강형태는 그림 1과 같다. 시험체의 형태는 그림 2와 같고 기둥의 길이(L)는 50cm와 110cm로 하고 있다. 기둥의 전단스팬비, 철근비 및 축하중을 각각 2종류로 하고 있으며, 수평하중은 일정 반복하중, 변동 반복하중, 점중 반복하중으로 하여 총 16개의 시험체가 사용되었다. 시험체의 평균 압축강도는 310 Kg/cm²이고 시험체의 상세는 표 1과 같다.

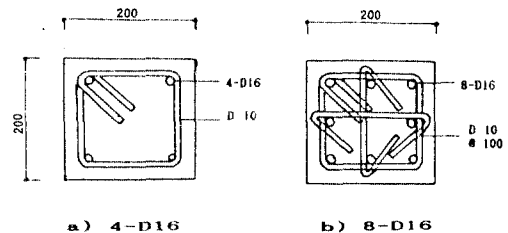


그림 1 기둥단면의 형태

* 정희원 인하대학교 건축공학과 박사과정
** 정희원 주택 공사 구조 연구실장, 공박
***정희원 인하대학교 건축공학과 교수, 공박

이 표에서 D는 수평하중 작용방향의 기둥 치수, a는 고정단에서 수평하중 작용점까지의 거리를 나타낸다.

표 1 시험체

기 호	축하중 (t)	주 근 (D16)	철근비 (%)	a/D	가력형태
C4MCA4	40	4	1	6	일정 반복
C4MCB4	40	4	1	6	점중 반복
C8MCA4	40	8	1.5	6	일정 반복
C8MCB4	40	8	1.5	6	점중 반복
C4SCA4	40	4	1	3	변동 반복
C4SCB4	40	4	1	3	점중 반복
C8SCA4	40	8	1.5	3	변동 반복
C8SCB4	40	8	1.5	3	점중 반복
C4MCA2	20	4	1	6	변동 반복
C4MCB2	20	4	1	6	점중 반복
C8MCA2	20	8	1.5	6	변동 반복
C8MCB2	20	8	1.5	6	점중 반복
C4SCA2	20	4	1	3	변동 반복
C4SCB2	20	4	1	3	점중 반복
C8SCA2	20	8	1.5	3	변동 반복
C8SCB2	20	8	1.5	3	점중 반복

2.2 가력형태 및 가력장치

가력방법은 그림 3에 나타난 바와 같이 세가지 형태로, 일정 반복하중은 최대 수평하중의 75 퍼센트 (0.75P)로 일정하게 유지하면서 파괴에 이를 때까지 가하는 것이고, 점중 반복하중은 초기하중을 최대 수평하중의 30 퍼센트 (0.3P)로 시작하여 10 퍼센트 씩 증가시키면서 시험한 형태이며, 변동 반복하중은 일정 반복하중을 변형한 것으로 처음에는 0.75P로 4회 반복가력한 후 10 퍼센트를 증가시켜 0.85P로 2회, 0.95P로 2회 반복하중을 가한 형태이다.

가력장치는 수직하중 200t, 수평하중 30t 용량의 것으로, 하중의 가력은 기둥의 축하중가력용으로 100t 용량의 유압재크와 로드셀, 수평하중 가력용으로 양쪽 모두 10t 용량의 유압재크와 로드셀이 사용되었고, 하중의 증감은 자동변형률측정기(일본 KYOWA 사 제품 UCAM-5A)를 통하여 조정할 수 있게 하였다.

부재의 변형을 측정하기 위하여 다이얼계 이지를 설치하였고, 매 재하단계별로 균열의 발생위치와 전파과정 및 수평변위 등을 조사하였다.

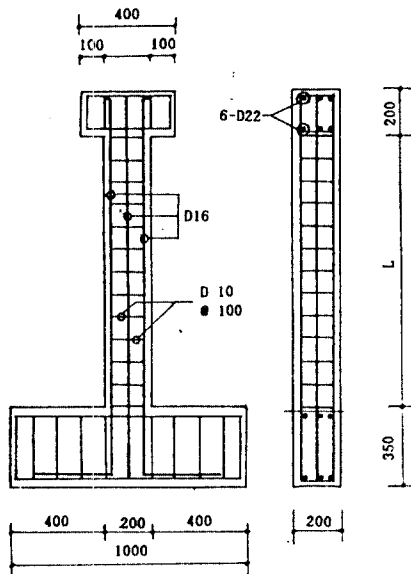


그림 2 시험체의 치수

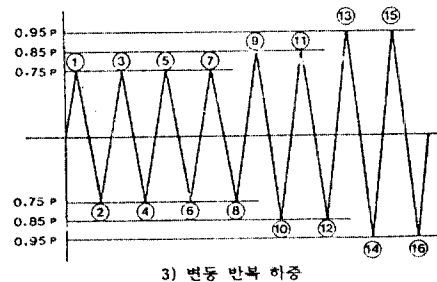
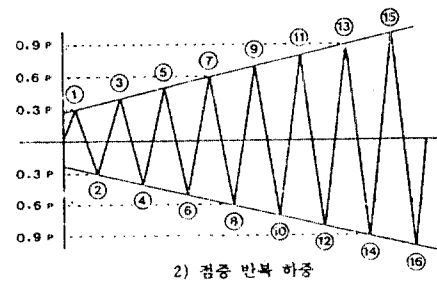
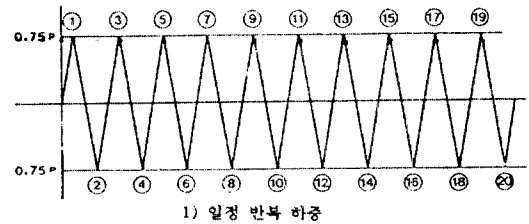


그림 3 재하형태

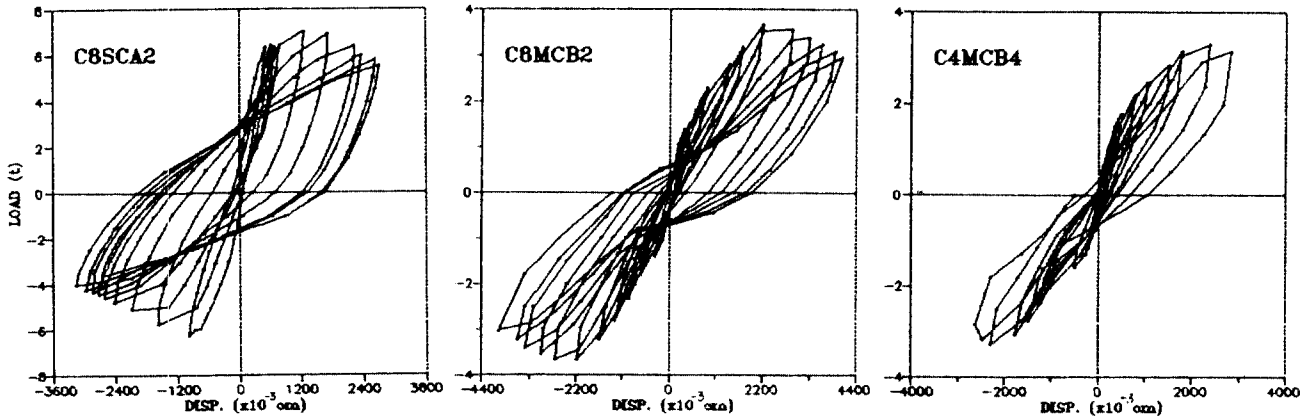


그림 4 하중 - 변위 곡선

3. 실험결과 및 분석

3.1 균열 및 파괴상황

모든 시험체에서 초기균열은 대체로 기둥의 하단으로부터 10cm 위치에서 발생하여 수평방향으로 진전되었으며, 균열의 전파범위는 짧은 기둥에서는 약 30cm인 반면에 긴 기둥의 경우는 75cm 정도였다.

축하중 40t인 경우에 있어서 최대 수평하중의 75 퍼센트 (0.75P)를 일정하게 반복시켜 가한 일정 반복하중상태에서는 휨 인장균열이 부분적으로 발생하나 눈에 띄게 진전되지는 않았으며 0.3P에서부터 점진적으로 매회 왕복에 0.1P씩 증가시킨 점중 반복하중상태에서는 일반적으로 0.5P에 해당하는 재하 5-6단계에서 균열이 발생하였고 왕복회수의 증가와 함께 균열이 증가하였다. 또한 균열발생 및 파급은 인장측에서 휨 인장응력에 의한 것으로 관찰되고 있으며 압축력의 영향에 의하여 취성상태가 아닌 안정된 형태로 발생하여 진전되고 있다.

축하중이 20t인 경우에는 40t을 받는 시험체에 비하여 균열진전 및 파급이 많았고 사인장균열의 발생이 빈번하였으며 소성인장 범위에서의 압축파괴 현상이 심화되었다. 또한 점중 반복하중상태에서의 초기균열은 재하 2-3 단계에서 조기발생하였다.

3.2 하중-변위곡선

그림 4에 나타난 시험체의 하중-변위관계로부터 전체적인 거동을 파악하고 강도와 강성의 변화 및 에너지소산 능력에 대한 비교와 평가를 하고자 한다.

(1) 하중지지 능력

비탄성 변형이 진행되는 동안 재하단계의 증가에 따른 최대강도의 변화를 그림 5의 하중-변위 포락선(Envelop Curve)을 통해 볼 때 전단스팬비가 다른 경우 a/D가 작은 시험체의 재하 15 단계시의 최대강도가 a/D가 큰 시험체에 비해 약 70 퍼센트의 강도 상승이 나타나고 있으며 최대강도 이후의 강도저하를 비교해 볼 때 a/D가 작은 시험체는 강도저하가 심각한 반면 a/D가 큰 시험체는 강도를 잘 보존하고 있음을 알 수 있다.

철근비가 다른 때에는 큰 철근비의 시험체가 27 퍼센트의 강도상승을 나타내었고 두 시험체의 강도저하는 비슷하였다.

축하중이 큰 시험체는 작은 축하중의 시험체에 비하여 33 퍼센트의 강도가 상승되었으며 점중 반복하중을 가한 시험체가 일정 및 변동 반복하중을 가한 시험체에 대하여 20 퍼센트의 강도증진을 보여 주었다.

(2) 강성저하 현상

그림 6은 각 재하단계에서 측정된 최대하중을 그 때의 변위로 나눈 값을 보여주고 있다. 재하가 진행됨에 따라 역시 a/D 가 작은 시험체의 강성저하가 매우 현저하였으며 철근비가 작은 시험체는 큰 철근비의 시험체에 비하여 강성저하가 뚜렷하였다.

축하중이 다른 경우는 작은 축하중의 시험체가 강성저하율이 약간 컸으며 점중 반복하중을 가한 시험체는 일정 및 변동 반복하중을 가한 시험체에 비하여 초기강성치가 높지만 15번째 재하단계부터는 거의 같은 강성을 보이고 있음을 알 수 있다.

(3) 에너지소산 능력

대지진시에 입력된 지진에너지를 안정된 이력거동을 통하여 소산할 수 있다는 것은 내진성능상 중요한 관건이 되며 전단스팬비가 작은 경우에는 그 중요성은 더욱 커진다

그림 7에서는 각 재하단계별 하중-변위곡선으로 둘러싸인 면적으로 평가된 에너지소산량을 비교하고 있다. 이 그림에 의하면 재하단계가 진행됨에 따라 철근비가 큰 시험체의 에너지 소산량은 강성저하가 나타나 이력성상이 꼬그라드는 핀칭현상(Pinching Effect)이 보이는 철근비가 작은 시험체에 비하여 증가하였다.

즉, 철근비가 큰 시험체의 에너지소산량이 철근비가 작은 시험체의 1.5배였다. 이를 통해 철근비를 증가시킨다는 것은 에너지소산능력을 증진시키는데 효과적임을 알 수 있다.

전단스팬비가 다를 때 축하중이 20t인 시험체의 경우 전단스팬비가 작은 시험체가 심각한 핀칭현상을 보이는 큰 전단스팬비의 시험체에 비하여 1.8배의 에너지소산 능력을 가지고 있다.

축하중이 다른 경우 작은 축하중을 가진 시험체가 큰 축하중을 가진 시험체에 비하여 153 퍼센트의 전체 에너지소산량의 증가를 나타내었다.

점중 반복하중을 가한 시험체에 비하여 일정 및 변동 반복하중을 가한 시험체가 1.7배의 에너지소산 능력을 보여 주었다.

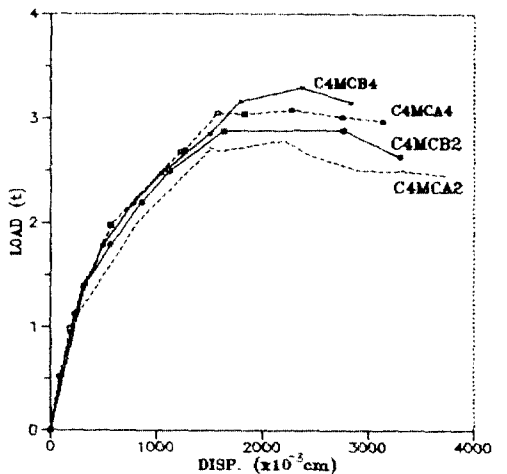
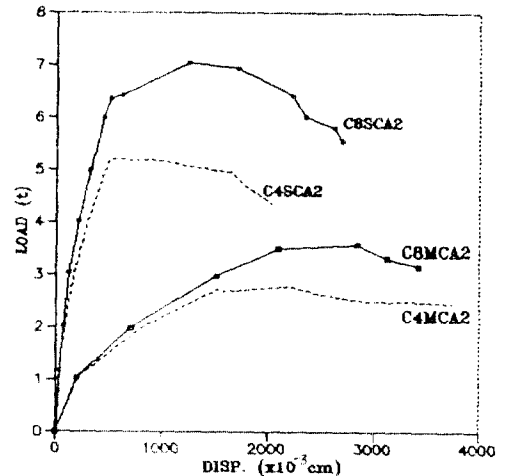
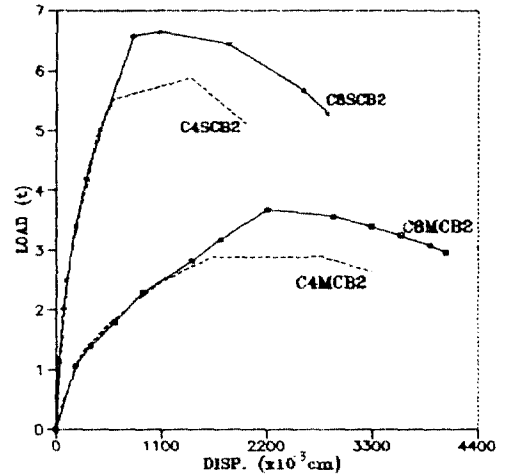


그림 5 하중 - 변위 포락선 (Envelop Curve)

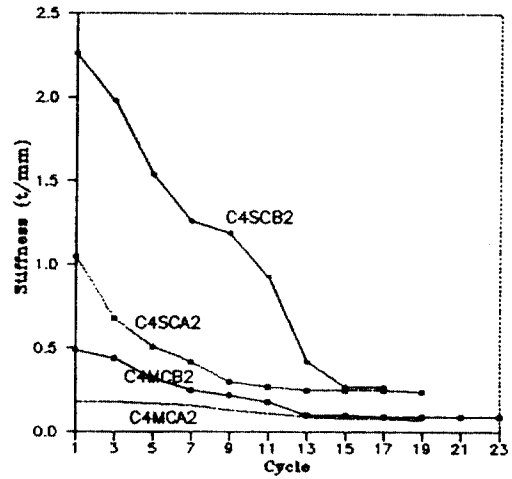
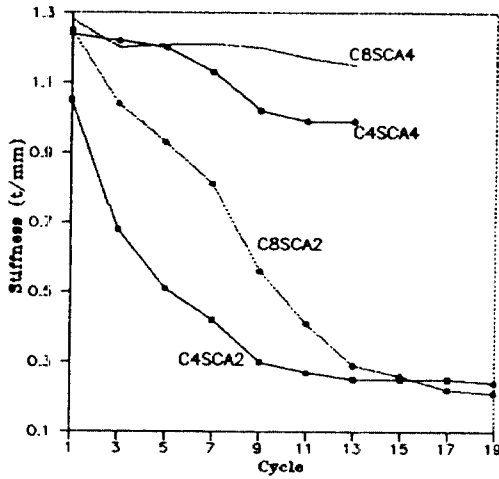


그림 6 시험체의 강성저하 곡선

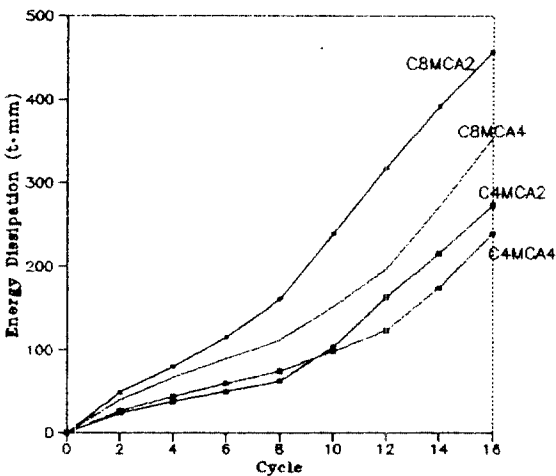
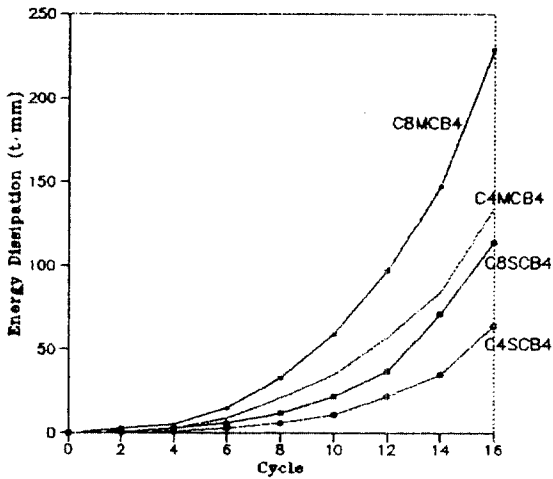


그림 7 에너지소산 능력

4. 결론

이상의 실험결과로부터의 결론은 다음과 같다.

1) 축하중이 40t인 경우 균열발생 및 파급은 휨 인장응력에 의한 것으로 안정된 형태로 발생하여 진전되지만 축하중 20t에서는 소성힌지 범위에서의 압축파괴 현상이 심화되었다.

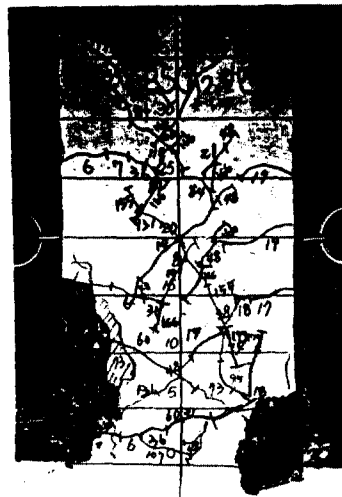
2) 전단스팬비의 영향을 볼 때 전단스팬비가 작은 시험체는 큰 전단스팬비의 시험체에 비하여 최대강도는 70 퍼센트 중대되었지만 최대강도 이후의 강도저하가 심각하였으며 재하가 진행됨에 따라 강성저하 또한 매우 현저하였는데 전단스팬비가 큰 시험체는 강도를 잘 보존하고 있었다.

에너지소산 능력에서는 축하중이 20t인 경우 전단스팬비가 작은 시험체가 심각한 핀칭현상(Pinching Effect)을 보이는 큰 전단스팬비의 시험체에 비하여 1.8배의 에너지소산 능력을 보인다.

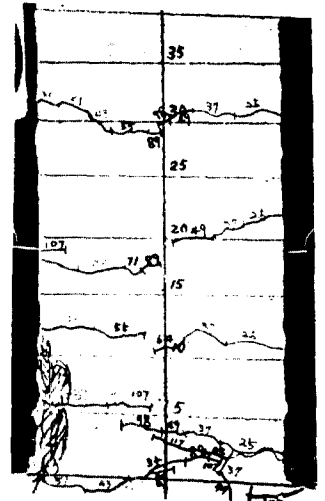
3) 철근비의 영향을 보면 철근비가 큰 시험체가 27 퍼센트의 강도상승을 보여 주었으며 강성저하률의 경우는 작은 철근비의 시험체와 비슷하였다.



(a) C8MCA2



(b) C8SCA2



(c) C4MCB4

사진 1 균열 및 파괴상황

재하단계가 진행됨에 따라 철근비가 큰 시험체의 에너지소산량은 강성저하가 나타나 이력성상이 꼬그라드는 핀칭현상이 보이는 작은 철근비의 시험체에 비하여 증가되었다. 전체에너지소산량을 볼 때 철근비가 큰 시험체가 작은 철근비의 시험체의 1.5배를 보이는바 증가시킨 철근은 에너지소산능력을 증진시키는데 효과적인 것으로 판단된다.

4) 축하중이 큰 시험체는 축하중이 작은 시험체에 비하여 33 퍼센트의 강도가 상승되었으며 작은 축하중을 가진 시험체가 축하중이 큰 시험체에 비하여 153 퍼센트의 전체에너지소산량의 증가를 보여 주었다.

5) 점중 반복하중을 가한 시험체는 일정 및 변동 반복하중을 가한 시험체에 비하여 강도는 20 퍼센트 정도, 전체에너지소산량은 77 퍼센트 정도 증가된 것으로 나타났다.

이 연구는 한국과학재단 목적기초연구의 지원에 의하여 수행된 것으로, 재단의 지원에 감사사를 드리는 바이다.

참 고 문 헌

1. 정세환, 정하선, 김상식, "단조하중을 받는 철근콘크리트 기둥의 비탄성 거동에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제2권 제2호, 1990년 11월, pp.69-72.
2. 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.
3. Park, R., and Sampson, R.A., "Ductility of Reinforced Concrete Column Sections in Seismic Design," ACI J., V.69, No.9, Sept., 1972, pp.543-551.
4. Priestley, M.J.N., and Park, R., "Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns under Seismic Loading," ACI Str. J., V.84, No.1, Jan.-Feb., 1987, pp.61-76.
5. Saatcioglu, M., and Ozcebe, G., "Response of Reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading," ACI Str. J., V.86, No.1, Jan.-Feb., 1989, pp.3-12.
6. Hwang, T.H., and Scribner, C.F., "R/C Member Cyclic Response During Various Loadings," J. of Str. Div., ASCE, V.110, No.3, Mar. 1984, pp.477-489.