

기계적 정착된 전단보강근을 가진 RC 기둥의 구조적 거동

Structural Behavior of RC Columns with Mechanically Anchored Crossties under Cyclic Loading

이성호* 천성철** 오보환*** 나환선**** 김상구*****
Lee, Sung Ho Chun, Sung Chul Oh, Bohwan Nah, Hwan Seon Kim, Sang Koo

ABSTRACT

Seven columns laterally reinforced with either mechanically anchored crossties or conventional crossties under cyclic loading are tested. 4 columns are specimens for flexural strength and 3 columns are for shear strength. Main variable is anchorage types of crossties. Conventional hooks, 180° standard hook-mechanical anchorage and all mechanical anchorage type are used. The specimens are tested under 10% axial load of nominal axial capacity of the columns combined with increasing lateral load. From the flexure test, it is found that columns with mechanical anchorages exhibit superior performance in terms of ductility and energy dissipation. The crossties with mechanical anchorages reduce buckling length of longitudinal rebar. From the shear test, it is found that 3 specimens exhibit almost the same strength, displacement, and shear failure mode at ductility factor =2.

1. 서론

철근콘크리트 기둥에서 전단보강근의 역할은 주로 부재의 전단내력 향상, 압축콘크리트의 횡구속과 압축철근의 좌굴방지 기능을 하는 것이다. 특히 지진지역에서는 그 역할이 중요하게 고려되어지며, 지진하중에 대한 부재의 성능 확보를 위해서 전단보강근의 요구량이 증가되고, 그 상세 또한 엄격하게 규정하고 있다[1]. 이러한 엄격한 상세 규정이 적용된 다수의 전단보강근은 과밀배근을 야기하게 되고 시공성과 콘크리트 품질이 저하 되는 문제를 유발하게 된다. 기존의 전단보강근의 경우는 양 끝단에 135°와 90° 갈고리를 두어 정착을 하게 된다. 그러나 고축력하에서는 90° 갈고리가 밖으로 열리게 되는데, 이 경우에는 주근의 좌굴을 방지하는 역할을 할 수가 없으며 피복의 파괴를 일으키게 되어, 콘크리트를 구속하는 것에 대한 전단보강근의 효율성에 문제가 제기되어 왔다[2]. 따라서 본 연구에서는 기둥 전단보강근의 기존 갈고리 정착을 기계적 정착으로 대체하여 비교 실험을 통하여 그 효율성을 검증하고자 한다.

*정회원, 대우건설기술연구소 전임연구원,

**정회원, 대우건설기술연구소 수석연구원,

*****정회원, 부원비엠에스 기술이사

**정회원, 대우건설기술연구소 선임연구원

****정회원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

2. 실험변수 및 방법

2.1 실험변수

주요 실험 변수는 전단보강근의 정착상세로 갈고리 정착, 기계적 정착 및 2가지 혼용한 방법으로 그림 1과 같다. C1 실험체를 제외한 모든 실험체는 전단보강근이 주근과 hoop근을 같이 구속하도록 하였다. 전단 실험체 C2, MC2, M2 상세는 전단보강근의 수직 간격을 제외하고 C1, MC1, M1과 동일하다.

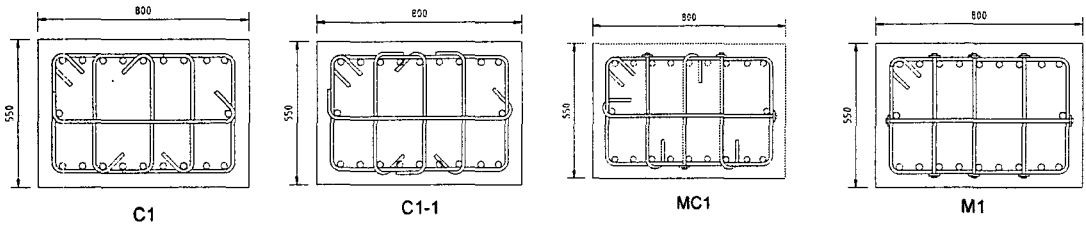


그림 1 실험체 형상

2.2 실험방법

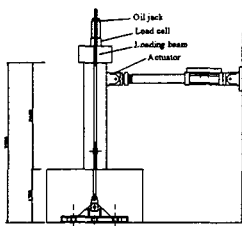


그림 2 가력장치도

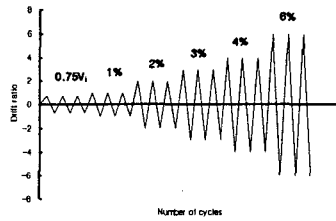


그림 3 하중이력

그림 2와 같이 실험체 상부에 일정 축력 (공칭 축내력의 10%)을 재하 하였고, 횡 하중은 변위제어를 통해 층 변위비 (story drift ratio)를 증가시켜서, 각 단계별로 3회씩 반복가력 하였다 (그림 3).

3. 실험결과

3.1 휨실험체

(1) 전체거동

4개의 실험체가 전체적으로 유사한 휨거동을 하였으며, 정착 상세가 극명하게 다른 C1과 M1 실험체의 거동을 비교해 보고자 한다. C1, M1 실험체 모두 0.2% 변위비(drift ratio) 내에서 초기 휨 균열이 발생했으며, 1% 변위비에서 주근 항복이 진행되었고, 대각 균열이 발생하였다. 4% 변위비에서 최대내력에 도달하였으며, 두 실험체가 큰 차이를 보이지 않았다. 최대내력 도달 후 피복 콘크리트의 손상이 진행되었고, 압축주근의 좌굴이 발생되어 내력이 감소하기 시작하였다. C1 실험체는 주근이 좌굴되고 전단보강근의

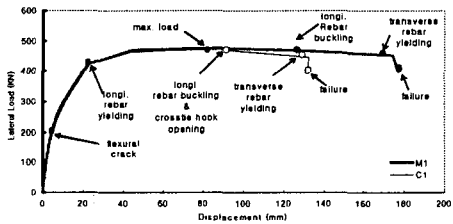


그림 4 하중-변위 포락선 곡선

90° 갈고리가 퍼지면서 내력 감소가 M1 실험체에 비해 급격하게 진행되었다. 6% 변위비에서 C1 실험체의 코어 콘크리트가 손상되고, 전단보강근이 항복하면서 내력이 최대내력의 80% 이상 감소하여 실험을 종료하였다. M1 실험체는 8% 변위비에서 전단보강근이 항복한 후 인장 주근이 파단되어 실험을 종료하였다.

(2) 에너지 소산

각 실험체의 에너지 소산능력을 평가하기 위하여 실험 종료시 까지의 누적 외부일 곡선을 그림 5에 나타냈다. 여기서 x축은 누적변위를 나타내고, y축은 하중-변위 곡선의 내부면적을 구한 누적 외부일을 나타낸다. 변위비 6% 초기까지는 각 실험체가 동일한 에너지 소산능력을 나타냈으나, C1 실험체는 6%에서 내부 코어 콘크리트의 손상이 심화되어 전단보강근이 항복하면서 차이가 발생하였다. M1 실험체는 변위비 8%까지 진행되어 에너지 소산능력이 우수하게 나타났다.

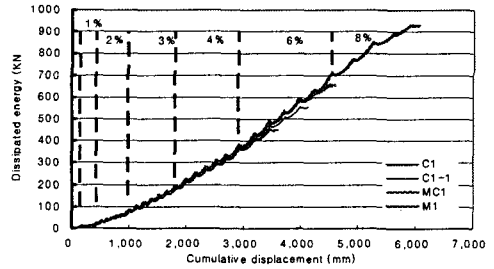


그림 5 누적변위-누적 외부일 곡선

(3) 주근의 좌굴

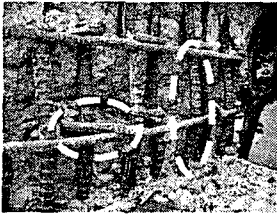


그림 6 주근 좌굴 형상(C1)

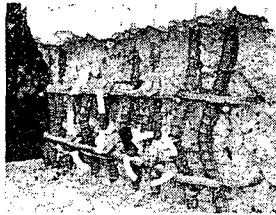


그림 7 주근 좌굴 형상 (M1)

그림 6, 7에서와 같이 주근이 전단보강근에 직접 구속되지 않는 경우도 M1 실험체의 주근 좌굴 길이가 C1 실험체 주근 좌굴길이의 1/2 정도인 것을 볼 수 있다. 이는 M1 실험체의 정착판이 hoop근을 구속하고 있어서 전단보강근에 구속되지 않은 주근도 hoop근에 의해서 좌굴이 구속되기 때문이다. C1 실험체의 경우, 전단보강근에 직접 구속된 주근도 90° 갈고리가 펼쳐지면서 좌굴 길이가 증가 되었다.

3.2 전단 실험체

(1) 전재거동

C2, MC2, M2 실험체들은 전단보강근량을 조절하여 휨과괴 이전에 의도적으로 전단과괴를 유도한 실험체로서, 전단보강근의 정착 형태별로 그 특성을 파악하였다. 3가지 실험체 모두 인장축 휨균열이 초기 하중제어 구간에서 발생하였다. 0.5% 변위비에서 대각 전단 균열이 발생하기 시작하여 실험체 전체의 횡강성이 저하되었다. 2% 변위비에서 최대하중에 도달하였고, 최대하중 도달 후에 전단균열이 상부로 진전되고 내력이 감소하기 시작했다. 균열 양상은 기계적 정착된 실험체에 작은 균열이 널리 분포된 반면, 갈고리 정착된 실험체는 큰 균열이 집중되었다 (그림 8). 이것은 기계적 정착이 콘크리트를 보다 효과적으로 구속하여, 작은 균열로 분산된 것이다. 비록 하중-변위 관계에서는 정착 상수에 따른 차이가 크지 않으나, 균열 양상을 통해 기계적 정착된 실험체의 거동이 우수함을 알 수 있었다.

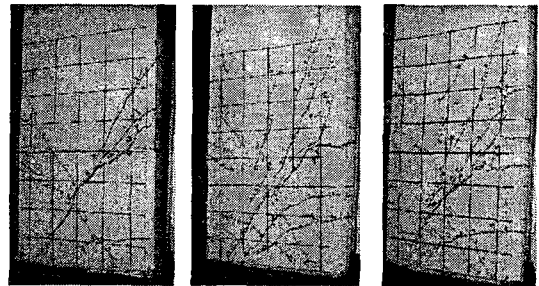


그림 8 균열양상 (1.5% drift ratio)

(2) 전단보강근 변형률

C2, M2 실험체 전단보강근의 변형률을 그림 9, 10에 나타냈다. 기존의 갈고리를 사용한 C2 실험체의 경

우는 최종 변위비 도달시 중앙부에서만 철근이 항복했고 90, 135° 갈고리가 있는 단부는 충분한 변형을 하지 못했다. 이에 반해 M2 실험체는 정착판과 180°갈고리가 있는 단부까지 항복이 진행되어 충분한 내력을 발휘 한 것으로 판단된다. 기존의 90, 135° 갈고리를 사용한 전단보강근의 경우 단부 갈고리 부분의 변형이 발생하기 전에 내부 코어 콘크리트의 손상에 의해서 단부의 정착부분이 자신의 내력을 충분히 발휘 하지 못 한 것으로 사료된다.

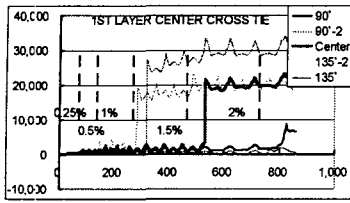


그림 9 전단보강근의 변형률 (C2)

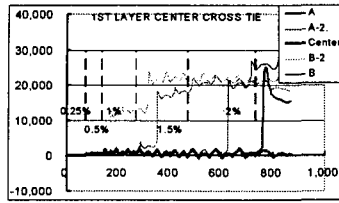


그림 10 전단보강근의 변형률 (M2)

4. 결론

기존 90, 135° 갈고리의 시공성과 경제성을 개선하기 위한 대안인 기계적 정착의 적용성 및 구조성능 평가를 위해서 압축부재의 휨, 전단 실험을 수행하였다. 각 실험에서는 기계적 정착의 콘크리트에 대한 구속 효과, 압축 주근의 좌굴 억제 효과에 의하여 연성이 증가하는 부분과 철근의 전단내력 발현 여부에 관한 성능 평가를 수행하였다. 각 실험체에 관한 평가의 결과는 다음과 같다.

(1) 휨과파 실험

1) 각 실험체가 나타난 최대 횡변위는 전단보강근의 정착 형태별로 다르게 나타났으며, 전단보강근 양단에 기계적 정착을 적용한 M1 실험체가 가장 크게 평가되었다. 이는 M1 실험체가 기존의 90, 135° 갈고리를 적용한 C1, C1-1 실험체 보다 큰 연성을 지니고 있음을 나타낸다. 또한 에너지 소산능력 평가에서는 8% 횡변위비까지 실험이 진행된 M1 실험체가 가장 큰 에너지 소산 능력을 보였다.

2) 기존의 90° 갈고리는 피복 콘크리트의 손상 이후에 펼쳐짐으로써 압축주근의 좌굴 억제에 크게 기여하지 못 하는 반면, 주근과 hoop 근을 같이 구속하고 있는 기계적 정착은 압축 주근의 좌굴 길이를 상대적으로 감소시켜 좌굴억제 효과를 나타냈다.

(2) 전단파괴 실험

1) C2, MC2, M2 실험체 모두 강도와 변형면에서 큰 차이를 보이지 않았고, 연성비 $\mu=2$ 에서 전단파괴 모드 (shear failure mode)를 나타냈다. 기계적 정착된 M2 실험체는 작은 균열이 넓게 분포하여, 큰 균열이 집중된 갈고리 정착에 비해 콘크리트의 거동이 우수하게 나타났다.

2) 전단보강근의 변형률을 비교했을 때, 기존 갈고리 형태에서는 중간 부분에서만 충분한 변형을 나타냈고 갈고리가 위치한 단부에서는 큰 변형율을 나타내지 않았다. 이에 반해 기계적 정착을 적용한 경우에는 단부에까지 충분한 변형을 보였다. 이는 기계적 정착을 적용할 경우 전단 보강근 어느 위치에서도 자신의 내력을 충분히 발휘 할 수 있다는 것을 보여주며, 이것으로 보아 기계적 정착이 기존의 갈고리 정착보다 우수한 정착능력을 가진다고 판단된다.

참고문헌

1) American Concrete Institute, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 218R-02)", Farmington Hills, Michigan, Jan. 2002.
 2) Samer A. Youakim and A. Ghali, "Behavior of Concrete Columns with Double-Head Studs Under Earthquake Loading: Parametric Study", ACI StructuralJournal, V.100, No. 6, 2003, pp. 795-803