

고강도콘크리트와 고강도철근을 사용한 교각의 내진거동 실험연구

An Experimental Study on the Seismic Performance of RC Piers using High-strength Concrete and High-strength Rebars

오병환*
Oh, Byung Hwan

박대균**
Park, Dae Gyun

조근호***
Cho, Keun Ho

신용석****
Shin, Yong Suk

ABSTRACT

Five RC piers were tested under a constant axial load and a cyclically reversed horizontal load to investigate the behavior of RC piers used in the high-strength concrete and the high-strength rebars. Seismic design of piers were conducted under the same design, according to the current Korean Bridge Design Standard. The parameters of the test were concrete compressive strength and steel strength, steel ratio. The test results indicated that RC piers of the high-strength concrete and high-strength rebars exhibited ductile behavior and seismic performance.

1. 서론

콘크리트 교각에 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용하면, 교각의 단면적 및 철근의 물량을 감소시킴으로서 경제적 효과를 얻을 수 있을뿐 아니라 콘크리트의 강도 증가로 인한 내구성 증진효과도 기대할 수 있다. 그러나 국내에서 건설된 대부분의 콘크리트 교각의 콘크리트 강도는 240kgf/cm^2 , 철근 강도는 3000kgf/cm^2 에 머물러 있는 실정이며, 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 사례 또한 거의 없는 실정이다. 또한, 콘크리트와 철근 모두 강도가 증가함에 따라 취성적인 거동을 보이기 때문에 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 교각의 내진성능에 대한 검토가 필요하지만, 특히 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각의 내진성능에 관한 연구는 아직 부족하다고 판단된다.

따라서 본 논문에서는 고강도 재료를 사용한 콘크리트 교각의 내진성능을 평가하기 위하여, 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 교각의 횡방향 반복하중 재하 실험을 수행하여, 고강도 재료의 사용에 따른 내진성능을 분석하였다.

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

*** 정회원, (주) 청석엔지니어링

**** 정회원, (주) 현대산업개발 기술연구소 대리

2. 횡하중 반복재하 실험

2.1 시험체 변수 및 설계

본 실험에서는 그림 1과 같이 단면 45×45cm의 중실단면 5개를 제작하여 일정 축하중 하에서 반복 횡가력 실험을 수행하였고, 시험체의 주요변수와 사용재료의 특성은 표 1에 나타내었다. 시험체 S240-30과 S400-30, S400-50R과 S600-50R은 콘크리트의 강도증가로 인한 내진성능의 변화를, S400-30과 S400-50은 철근강도의 증가에 따른 내진성능의 변화를 비교하기 위한 것이다. 또한, S400-30과 S400-50R은 두 시험체의 최대 힘저항 능력을 같도록 설계함으로써 철근의 강도 증가시킨 데 반해 철근의 물량을 감소시켜 이로 인한 시험체의 변위연성도와 극한변위의 변화를 관찰하고자 한 것이다.

표 1 주요 실험변수 및 재료특성

ID	콘크리트 설계강도 [kgf/cm ²]	28일 압축강도 [kgf/cm ²]	주철근	주철근비	횡방향 철근	철근의 인장강도 [kgf/cm ²]
S240-30	240	304	SD300 D13	1.50	SD300 D10	3500
S400-30	400	422	SD300 D13	1.50	SD300 D10	3500
S400-50	400	422	SD500 D13	1.50	SD500 D10	5200
S400-50R	400	422	SD500 D13	1.00	SD500 D10	5200
S600-50R	600	586	SD500 D13	1.00	SD500 D10	5200

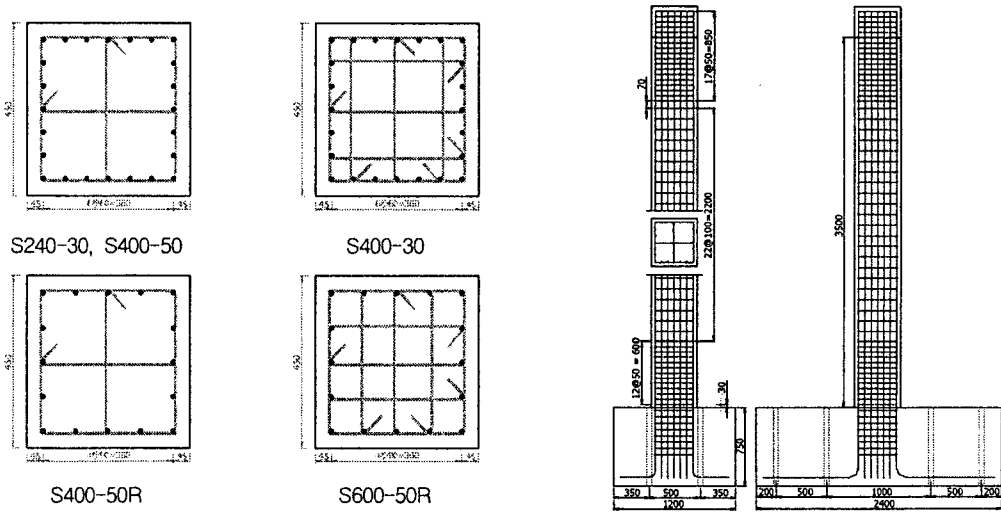


그림 1 시험체의 단면형상 및 철근상세

2.2 재하방법 및 계측

모든 시험체에 대해서 축하중은 교각단면 축강도의 10%에 해당하는 일정 축하중을 재하하였다. 횡방향 하중은 Drift Ratio ±0.5%, ±1.0%, ±2.0%, ±3.0%, ±4.0%, ±5.0%까지는 pull과 push가 동일하게 Drift Ratio를 증가시키는 방법으로 각각의 Drift Ratio 마다 2 cycle씩 반복재하하였고, Drift ratio가 ±6.0 이상부터는 횡변위가 Actuator의 변위능력을 초과하게 되어 Actuator와 시험체 사이에 악세사리를 부착하여 push 방향으로의 최대변위를 Drift ratio 8.0%까지 pull 방향으로는 5.0%까지 적용하도록 하였다. 각 시험체의 횡변위를 측정하기 위하여 교각의 높이별로 4개의 LVDT를 설치하였다.

3. 실험결과

3.1 파괴양상 및 하중-변위 이력곡선

모든 시험체에서 수평균열은 상당히 넓은 면에서 발생하지만 Drift Ratio $\pm 4.0\%$ 이후부터는 높이 45cm 이하의 소성흔지 영역에서 콘크리트의 균열이 집중되면서 박리가 발생하는 경향을 나타내었다. 콘크리트 파복의 박리 후 주철근이 좌굴되고, 결과적으로 주철근이 파단되면서 파괴가 발생하는 전형적인 휨파괴의 특징을 나타냈다.

그림 2는 모든 시험체의 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것이다. 하중-변위 이력곡선에 나타낸 삼각형 모양은 콘크리트의 박리가 시작된 때를 나타내며, 사각형 모양은 주철근의 좌굴이 시작된 때를, 다이아몬드 모양은 주철근이 파단된 때를 나타낸다.

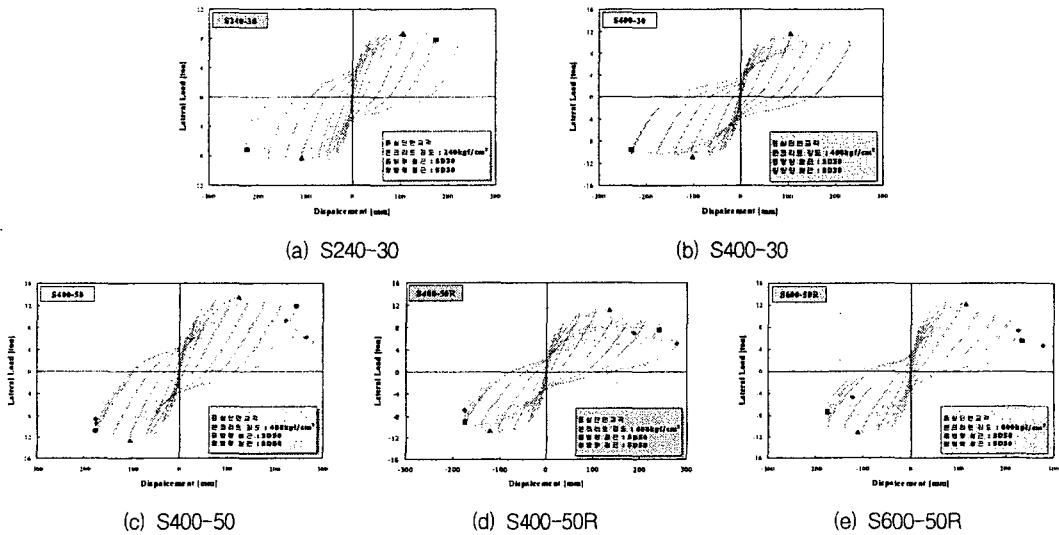


그림 2 하중-변위 이력곡선

3.2 최대하중

콘크리트의 강도를 증가시킨 경우(S240-30과 S400-30, S400-50R과 S600-50R)와 철근의 강도를 증가시킨 경우(S400-30과 S400-50) 모두 사용재료의 강도증가에 따라 최대하중이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 최대 휨저항 능력을 같게 설계한 경우(S400-30과 S400-50R), 두 시험체의 최대하중은 비슷하게 나왔다.

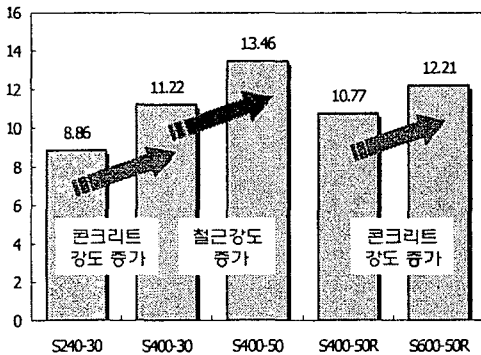


그림 3 최대하중

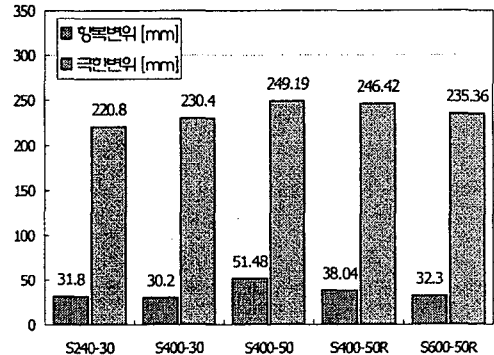


그림 4 항복변위 및 극한변위

3.3 항복변위, 극한변위 및 변위 연성도

항복변위는 인장철근이 항복할 때의 변위를 나타내며, 극한변위는 시험체의 횡방향 하중이 최대하중의 80%에 도달할 때의 변위를 나타낸다. 콘크리트의 강도를 증가시킨 경우, 중립축이 압축을 받는 콘크리트 쪽으로 이동하게 되어 곡률이 감소하게 되고, 항복변위 또한 감소하게 된다. 철근의 강도를 증가시킨 경우는 인장철근의 항복강도와 철근이 항복할 때의 변형률이 증가하게 된다. 이 경우 중립축이 인장을 받는 철근 쪽으로 이동하게 되어 곡률이 증가하게 되고, 항복변위 또한 증가하게 된다. 그림 4에서 보는 바와 같이 모든 시험체의 극한변위는 draft ratio가 6 이상으로 큰 차이가 나지 않았다. 콘크리트의 강도가 증가하면 부재는 취성적인 거동을 보이지만, 도로교 설계기준의 내진설계 지침에 따라 내진설계를 했기 때문에 모든 부재에 동등한 수준의 극한변위가 나온 것으로 사료된다.

콘크리트 강도가 증가하는 경우, 모든 시험체에서 변위연성도가 증가하였다. 콘크리트의 강도 증가로 취성적이 되지만 앞에서 언급한 것처럼 곡률이 감소하게 되어 항복변위는 감소하게 되고, 극한변위는 내진설계를 했기 때문에 동등한 수준을 나타내서 변위연성도는 증가한 것으로 사료된다. 철근의 강도가 증가한 경우는 항복변위의 증가로 변위연성도는 감소하였다. 최대 휨저항 능력을 같게 설계한 경우, 재료의 강도가 증가함에 따라 항복변위가 증가하게 되어 변위연성도는 감소하였지만 극한변위는 동등한 수준이었다. 즉, 보통강도의 재료를 사용한 교각과 동등한 내진성능을 발휘한다고 볼 수 있다.

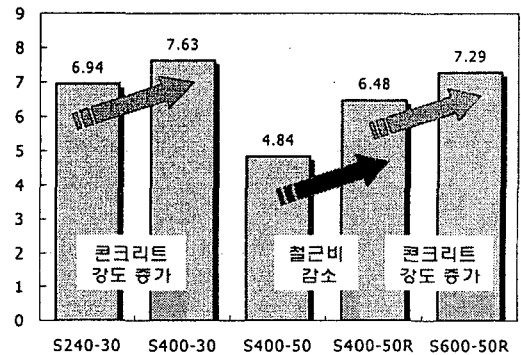


그림 5 변위연성도

4. 결 론

콘크리트의 강도를 증가시킨 경우, 극한변위는 감소하지 않고 오히려 항복변위가 감소하였기 때문에 최대하중 및 변위연성도 모두 증가하였다. 철근의 강도를 증가시킨 경우, 항복변위의 증가로 인해 변위연성도는 감소하였지만 극한변위는 강도의 증가에 관계없이 거의 일정한 값을 나타내었다. 또한, 최대 휨저항 능력을 동일하게 유지하면서, 고강도 철근을 사용하여 철근비를 줄인 경우에는 변위연성도는 감소하였지만 극한변위는 거의 일정한 값을 나타내었다. 따라서, 교각에 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용할 때 내진설계 기준을 따를 경우 보통강도 재료를 사용한 교각과 동등한 수준의 내진 저항능력을 발휘할 수 있고, 또한 단면적과 철근의 물량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로교표준시방서", 2000
2. AASHTO, "LRFD, Bridge Design Specifications", American Association of State Highway and Transportation Officials, 2nd edition, Washington, D.C., USA, 1998.
3. Frédéric Légeron, Patrick Paultre, "Behavior of High-Strength Concrete Columns under Cyclic Flexure and Constant Axial Load", ACI Structural journal, V. 97, No. 4, July-August 2000, pp591-601.
4. Atorod Azizinamini, Sharon S. Baum Kuska, Paul Brungardt, Erleen Hatfield "Seismic Behavior of Square High-Strength Concrete Columns", ACI Structural journal, V. 91, No. 4, May-June 1994, pp336-345.