

중공단면 고강도 철근 콘크리트 교각의 연성거동에 관한 실험적 연구

Ductility performance of hollow-section reinforced concrete piers using high-strength reinforcing bars

오병환*
Oh, Byung Hwan

박대균**
Park, Dae Gyun

조근호***
Cho, Keun Ho

신용석****
Shin, Yong Suk

ABSTRACT

Three Hollow RC piers were tested under a constant axial load and a cyclically reversed horizontal load to investigate the structural behavior of hollow RC piers using the high strength concrete and the high strength rebars. The test variables include concrete compressive strength, steel strength, and steel ratio. The test results indicate that RC piers using the high strength concrete and high strength rebars exhibit ductile behavior and appropriate seismic performance, in compliance with the design code. The present study allows more realistic application of high strength rebars and concrete to RC piers, which will provide enhanced durability as well as more economy.

1. 서 론

국토의 균형적인 발전과 기간도로망구축으로 깊은 계곡이나 산악지역을 통과하는 교량이 많이 건설되면서 30m 이상의 높은 교각의 건설이 늘어나고 있는데, 일반적으로 교각은 동일단면에 대한 유효강성이 높고 콘크리트 등의 재료를 크게 절감할 수 있는 중공단면 교각으로 주로 건설된다. 이러한 교각은 교각의 높이가 높아질수록 단면은 더욱 커지게 되어 보통강도의 콘크리트나 철근을 사용할 경우 품질저하는 물론, 매우 비경제적인 교각건설이 된다. 현행 국내의 콘크리트 교각의 콘크리트 강도는 24MPa 철근 강도는 300MPa에 머물러 있는 실정이며, 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 사례 또한 거의 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 고강도 재료를 사용한 중공단면 콘크리트 교각의 내진성능을 평가하기 위하여, 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 중공단면 교각의 횡방향 반복하중 재하 실험을 수행하였고, 고강도 재료의 사용에 따른 내진성능을 분석하였다.

* 정회원, 서울대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

*** 정회원, (주) 청석엔지니어링

**** 정회원, (주) 현대산업개발 기술연구소 대리

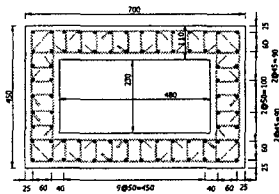
2. 횡하중 반복재하실험

2.1 실험변수 및 시험체 설계

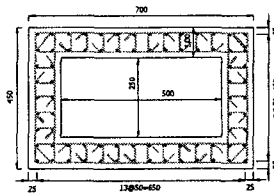
본 실험에서는 그림 1 및 그림 2와 같이 단면 70×45cm의 중공단면 교각 시험체 3개를 제작하여 일정 축하중 하에서 반복 횡가력 실험을 수행하였고, 시험체의 주요변수와 사용재료의 특성은 표 1에 나타나있다. 시험체 H24-300과 H40-300은 콘크리트의 강도증가에 따른 중공단면 교각의 내진성능의 변화를 비교하기 위한 것이고, H40-300과 H60-500R은 두 시험체의 최대 휨저항 능력을 같도록 설계해 콘크리트의 강도와 철근의 강도를 증가시키고 단면적과 철근비를 감소시켜 이로 인한 내진성능의 변화를 비교하고자 한 것이다.

표 1 실험변수 및 파괴양상

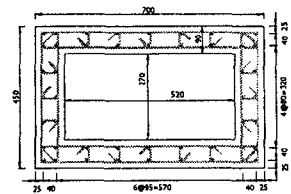
ID	벽체 두께 [mm]	콘크리트 설계강도 [kgf/cm^2]	28일 압축강도 [kgf/cm^2]	주철근	주철근비	횡방향 철근	철근의 인장강도 [kgf/cm^2]	drift ratio [%]		
								spalling	buckling	rupture
H24-300	110	240	304	SD300 D10	2.65	SD300 D6	3500	+3,-3	-5,+6	+7,-7
H40-300	100	400	422	SD300 D10	2.85	SD300 D6	3500	-3,+4	+6,-6	+7,-7
H60-500R	90	600	586	SD500 D10	1.96	SD300 D6	5200	-3,+4	-6,+7	+7,-7



(a) H24-300



(b) H40-300



(c) H60-500R

그림 1 시험체 단면 상세

2.2 재하방법 및 계측

모든 시험체에 대해서 축하중은 축강도의 10%에 해당하는 일정 축하중을 재하하였다. 횡방향 하중은 Drift Ratio $\pm 5.0\%$ 까지는 pull과 push가 동일하게 증가시키는 방법으로 각각의 Drift Ratio 마다 2 cycle씩 반복재하하였고, Drift ratio가 $\pm 6.0\%$ 이상부터는 횡변위가 Actuator의 변위능력을 초과하게 되어 Actuator와 시험체 사이에 악세사리를 부착하여 push 방향으로는 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 하중-변위 이력곡선

그림 3은 모든 시험체의 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것이다. 하중-변위 이력곡선에 나타난 삼각형 모양은 콘크리트의

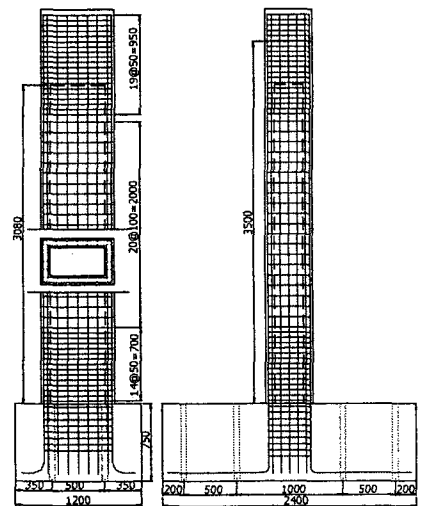
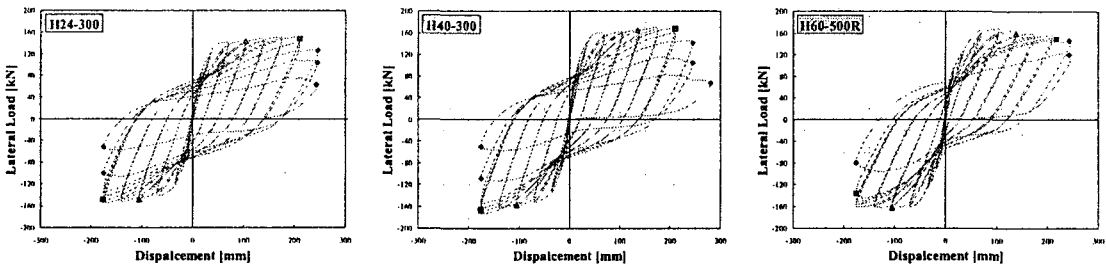


그림 2 시험체 정·측면도

박리가 시작된 Drift Ratio를 나타내고, 사각형 모양은 주철근이 좌굴이 시작된 Drift Ratio를 나타낸다. 또, 다이아몬드 모양은 주철근이 파단된 Drift Ratio를 나타낸다. 정부의 반복하중을 교각 시험체에 재하 하는 경우 +방향으로 먼저 재하하고 동일한 변위를 -방향으로 재하하면 -방향의 강성이 +방향의 강성보다 다소 작게 된다. 이는 동일한 변위 진폭을 재하 하더라도 -방향의 경우 이미 +방향으로 하중을 경험한 상태로 콘크리트 균열의 진전과 잔류변형의 확대 등이 누적된 상태에서 재하되기 때문이다. 따라서 최대하중도 -방향에서 다소 작게 되는 것이 일반적이다.



(a) H240-30

(b) H40-30

(c) H600-50R

그림 3 하중-이력 곡선

3.2 최대하중

콘크리트의 강도를 증가시킨 경우(H24-300과 H40-300), 최대하중이 증가하는 것을 볼 수 있었고, 최대 휨저항 능력을 같게 설계한 두 시험체(H40-300과 H60-500R)의 최대하중은 비슷하게 나타났다.

3.3 항복변위, 극한변위 및 변위 연성도

콘크리트의 강도를 증가시킨 경우(H24-300과 H40-300), 그림 6에서 보는 바와 같이 중립축이 압축을 받는 콘크리트 쪽으로 이동하게 되어 곡률이 감소하게 되고, 이로 인해 항복변위 또한 감소하게 된다. 이러한 결과는 그림 5의 실험결과에서도 확인할 수 있다. 그림 5에서 보듯이 모든 시험체의 극한 변위는 Draft Ratio가 7 이상이었으며, 콘크리트의 강도에 따라 큰 차이가 나지 않았다. 콘크리트의 강도가 증가하면 부재는 취성적인 거동을 보이지만, 내진설계를 했기 때문에 모든 부재에 동등한 수준의 극한변위가 나온 것으로 사료된다.

그림 7은 중공단면 교각의 변위연성도를 나타낸 것인데, 콘크리트 강도가 증가하는 경우, 모든 시험체에서 변위연성도가 증가하였다. 콘크리트의 강도 증가로 취성적이 되지만 앞에서 언급한 것처럼 곡

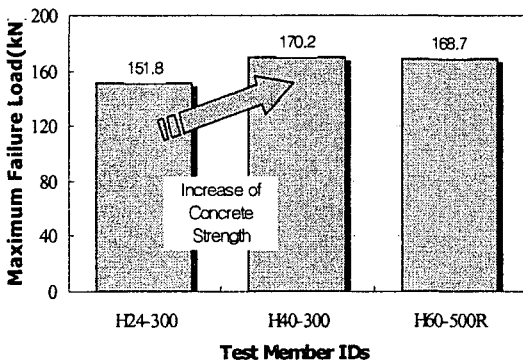


그림 4 최대하중

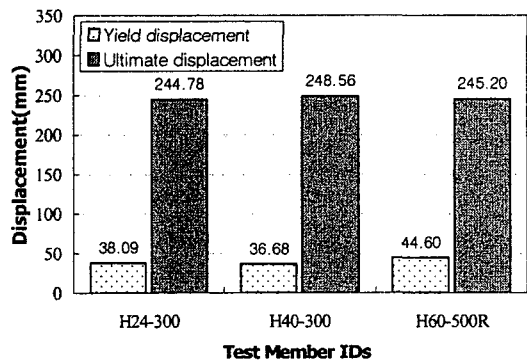


그림 5 항복변위 및 극한변위

률이 감소하게 되어 항복변위는 감소하게 되고, 극한변위는 내진설계를 했기 때문에 동등한 수준을 나타내서 변위연성도는 증가한 것으로 사료된다. 최대 휨저항 능력을 같게 설계한 경우, 재료의 강도가 증가함에 따라 항복변위가 증가하게 되어 변위연성도는 다소 감소하였지만 극한변위는 동등한 수준이었다. 즉, 보통강도의 재료를 사용한 교각과 동등한 내진성능을 발휘한다고 볼 수 있다.

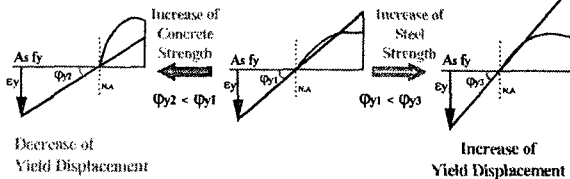


그림 6 단면의 응력 및 변형을 분포

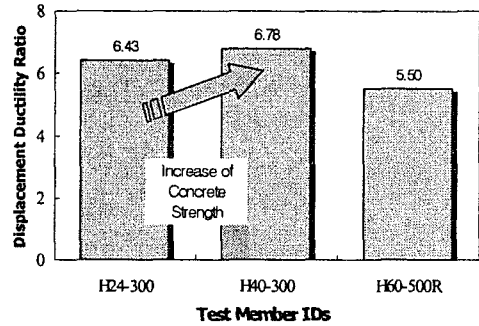


그림 7 변위연성도

4. 결 론

본 연구에서는 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 중공 콘크리트 교각의 내진성능을 검토하고자 콘크리트의 강도, 철근의 강도, 철근비를 변수로 하여 교각의 포괄적인 실험연구를 수행하였다. 콘크리트의 강도를 증가시킨 경우, 고강도 콘크리트는 취성적인 재료이지만, 본 실험의 경우 내진보강을 했기 때문에 극한변위는 감소하지 않고, 항복변위는 감소하여 변위연성도가 증가하는 결과를 나타냈다. 또한, 최대 휨저항 능력을 동일하게 유지하면서, 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용하여 단면적을 줄이고 철근의 개수를 줄인 경우에는 변위연성도는 다소 감소하였지만 극한변위는 거의 일정한 값을 나타내었다. 따라서, 고교각에 주로 적용되는 중공단면 교각에 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용하면, 기존의 내진설계 기준에 따라서 설계된 경우, 보통강도의 재료를 사용한 교각과 동등한 수준의 내진 저항능력을 발휘할 수 있고, 또한 교각의 단면적과 철근의 물량을 감소시킬 수 있어 시공성 개선과 경제적인 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로교표준시방서", 2000
2. Yasuyuki Yukawa, Tatsuo Ogata, Kumiko Suda, Hajime Saito, "Seismic Performance of Tall Reinforced Concrete Piers with Hollow Sections", Proceedings of JSCE, V. 42, No. 613, February 1999, pp103-120
3. K. Mizuguchi, I. Ota, K. Otsuka, R. Amano, "Design and Construction of High Piers of Washimi-Gawa Bridge Using High Strength Concrete and Steel", Conference Internationale sur les Matériaux Pour génie, Ottawa, Canada, June/June 8- 11 1997, pp39-51.
4. Y. L. Mo, D. C. Wong, K. Maekawa "Sismic Performance of Hollow Bridge Columns" ACI Structural journal, V. 100, No. 3, May-June 2003, pp337-348.
5. Y. K. Yeh, Y. L. Mo, C. Y. Yang "Sismic Performance of Rectangular Hollow Bridge Columns", Journal of Structural Engineering, ASCE, V. 128, No. 1, January 2002, pp60-68