

고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 종실교각의 내진거동에 관한 실험적 연구

오병환^{1)*} · 조근호¹⁾ · 박대균¹⁾

¹⁾ 서울대학교 토목공학과

(2004년 2월 5일 원고접수, 2004년 12월 30일 심사완료)

An Experimental Study on the Seismic Behavior of Solid RC Piers Using High Strength Concrete and High Strength Rebars

Byung-Hwan Oh^{1)*}, Keun-Ho Cho¹⁾, and Dae-Kyun Park¹⁾

¹⁾ Dept. of Civil Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

(Received February 5, 2004, Accepted December 30, 2004)

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the structural behavior of RC piers using high strength concrete and high strength rebars. The high strength concrete offers many advantages such as enhanced mechanical performance and durability, in addition to member size reduction. The high strength rebars are used here to reduce the amount of rebars, which facilitates the placement of concrete and labor works. Five RC piers were tested under a constant axial load and a cyclically reversed horizontal load. The seismic design of piers were implemented, according to the current Korean Bridge Design Code. 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.

Keywords : RC Pier, high strength concrete, high strength rebar, solid section, seismic performance

1. 서 론

현재 국내에는 국토의 균형발전과 기간도로망구축으로 서해안고속도로, 중앙고속도로, 중부내륙고속도로, 서천-공주간 고속도로 등 전국적으로 많은 고속도로 및 국도가 건설되었거나 건설공사가 활발하게 전개되고 있으며, 이러한 고속도로에는 교각이 수 없이 많이 놓여 있다. 특히 이런 고속도로가 깊은 계곡이나 산악지역을 통과하게 됨에 따라 높은 고교각의 건설이 늘어나게 되고 이에 따라 교각의 안전도와 각종 성능문제가 크게 대두되고 있다. 교각이 높아질수록 단면은 더욱 커지게 되어 보통강도의 콘크리트를 사용할 경우 품질저하는 물론, 매우 비경제적인 교각건설이 될 수 있다.

현행 국내의 콘크리트 교각의 콘크리트 강도는 24MPa 철근 강도는 300MPa에 머물러 있는 실정이며, 고강도 콘

크리트와 고강도 철근을 사용한 사례 또한 거의 없는 실정이다.

고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각의 사용은 수밀한 콘크리트 및 확산계수의 감소로 고품질의 시공이 가능하게 된다.

반면에 콘크리트와 철근 모두 강도가 증가함에 따라 재료적으로 취성화될 수 있으므로 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 교각의 내진성능에 대한 검토가 필요하다. 특히, 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각의 내진성능에 관한 연구는 아직 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 고강도 재료를 사용한 콘크리트 교각의 내진성능을 평가하는데 있다.

본 연구에서는 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 교각의 횡방향 반복하중 재하 실험을 수행하였고, 고강도 재료의 사용에 따른 내진성능(변위연성도, 극한변위, 고강도 재료의 적용성, 고강도 철근 적용에 따라 감소된 철근비에 따른 내진성능 등)을 분석하였다.

* Corresponding author

E-mail : bhohcon@snu.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

2. 시험체 제원 및 변수

2.1 시험체 제작

본 실험에서는 중실 사각형단면에 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 교각의 성능을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같이 단면 45×45cm의 중실단면 5개를 제작하여 일정 축하중 하에서 반복 횡가력 실험을 수행하였다.

모든 시험체 교각의 높이는 기초상단부터 가력점까지 3.5m로 하였고, 기초의 높이는 75cm로 하였고, 실험 수행시 기초의 균열과 파괴에 의해 교각의 거동에 영향을 미치는 것을 방지하기 위해 기초에는 충분한 철근을 보강하였다. 시험체의 변수는 Table 1에 나타내었다.

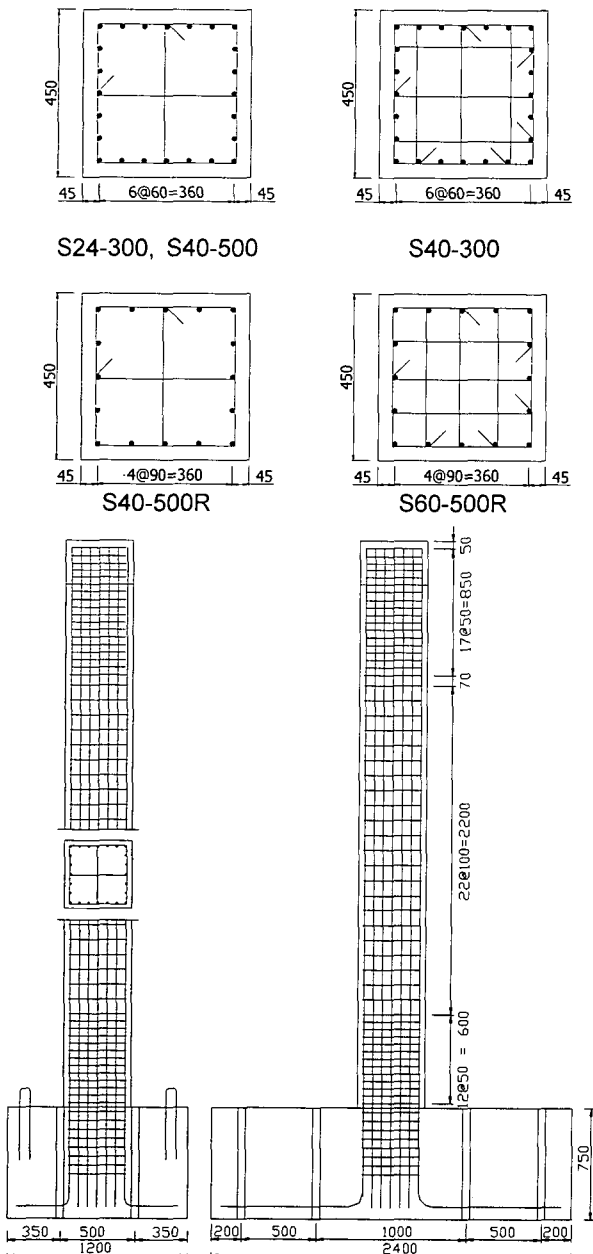


Fig. 1 Details of pier dimensions

시험체의 주철근은 D13 철근, 횡방향철근의 경우 D10을 사용하였다. 주철근의 철근비는 S40-500R과 S60-500R 시험체에 대해서는 1%로 하였으며, 나머지 시험체는 1.5%로 하였다. 즉, 고강도 철근을 사용한 경우 철근량의 감소에 따른 이점을 보기 위한 것이다. Fig. 1과 Table 1에서 부재기호의 앞숫자는 콘크리트 설계기준강도(MPa)를 나타내고, 뒷숫자는 철근의 설계항복강도(MPa)를 나타낸다.

S24-300과 S40-300, S40-500R과 S60-500R은 콘크리트의 강도를 40 MPa에서 60 MPa로 증가시켜 이로 인한 시험체의 거동의 변화 등을 비교하고자 한 것이다. S40-300과 S40-500은 철근의 강도를 증가 시킨 경우이고, S40-500과 S40-500R은 철근비를 감소시킨 경우이다.

S40-300과 S40-500R은 두 시험체의 최대 휨저항 능력을 같도록 설계함으로써 철근의 강도를 증가시킨데 반해 철근의 물량을 감소시켜 이로 인한 시험체의 변위연성도와 극한변위의 변화를 관찰하고자 한 것이다.

2.2 횡방향 철근

시험체의 횡방향 철근은 주철근과 동일한 강도를 가지는 철근을 사용하였다. 모든 시험체는 도로교 설계기준의 내진설계 지침에 따라 내진설계를 적용하였다.

콘크리트의 강도가 증가함에 따라 그에 상응하는 내진 성능을 갖도록 하기 위해서는 횡방향 철근의 양을 증가시키거나 고강도 철근을 사용하는 방법이 있는데, 본 실험에서는 주철근의 강도와 같은 강도를 사용함으로써 횡방향 철근의 강도를 증가시켜 철근의 양을 감소시키는 방법을 사용하였다. 내진보강이 필요한 구간은 기초상단으로부터 60cm까지로 하였다.

횡방향 철근의 간격은 내진보강 구간에서는 5cm로 하였고, 그 외의 구간에서는 10cm로 하였다. 또, 축하중과 횡하중이 직접 가해지는 교각의 머리부분은 응력의 집중에 의한 파괴를 방지하기 위하여 횡방향 철근을 5cm 간격으로 배치하여 충분한 강도를 갖도록 하였다.

Table 1 Properties of test specimens

ID	Compressive strength (MPa)	Longitudinal Rebars	Long. reinf. ratio	Lateral rebars
S24-300	24	SD300 D13	1.50	SD300 D10
S40-300	40	SD300 D13	1.50	SD300 D10
S40-500	40	SD500 D13	1.50	SD500 D10
S40-500R	40	SD500 D13	1.00	SD500 D10
S60-500R	60	SD500 D13	1.00	SD500 D10

Denotation : S40-500R ; First term-solid section, Second term-Compressive strength of concrete, Third term-Steel strength, Forth term-reducer of the amount of rebars

2.3 재료특성

교각의 콘크리트 설계압축강도는 각각 24 MPa, 40 MPa, 60 MPa이며, 굵은 골재의 최대치수는 피복두께 등을 고려하여 13mm로 하였다. 28일 양생 후의 공시체(φ10×20 cm)의 압축강도는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 30.4 MPa, 42.2 MPa, 58.6 MPa가 나왔다.

철근의 경우 Fig. 2에서 보는 바와 같이 extensometer를 이용하여 변형률을 측정하였으며, Fig 4에서 보는 바와 같이 SD300, SD500 철근의 경우 실험에 의한 항복강도는 각각 350 MPa, 520 MPa으로 측정되었다. 철근의 인장 실험결과 항복강도가 같은 경우, 철근의 직경에 관계없이 철근의 항복강도와 파단시 변형률 값이 비슷하게 나왔다.

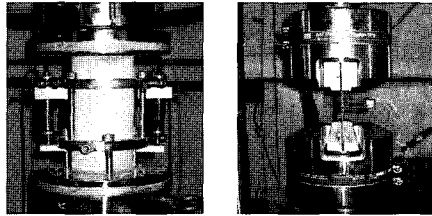


Fig. 2 Tests of concrete and rebar

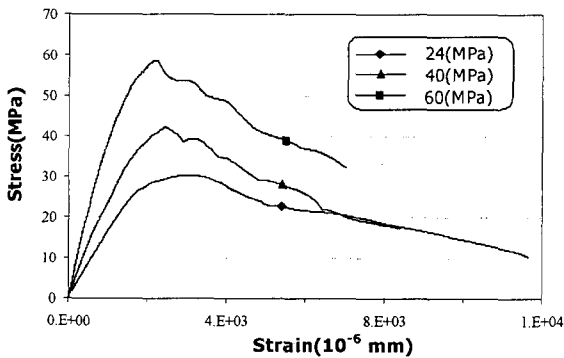


Fig. 3 Stress-strain curves of concrete

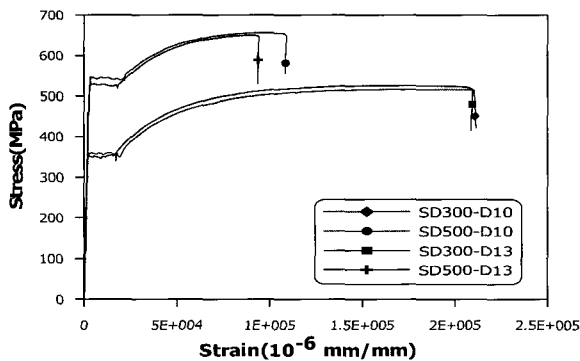


Fig. 4 Stress-strain curves of rebar

3. 횡하중 반복재하실험

3.1 재하실험

현행 국내에서 시공된 교각의 시공자료를 분석하였을 때 대부분의 경우 사하중의 비율이 실제 축강도의 10% 이하로 분석되었다. 이에 본 시험체의 축하중은 교각단면 축강도의 10%에 해당하는 일정 축하중을 재하하였으며, 축하중은 유압펌프에 일정하중 유지장치를 설치하여 실험도중 축력의 변화 없이 일정하게 재하하도록 하였다. 실험중 오차는 평균 ±1 tonf 이내에 불과하였다. 횡방향 하중은 Fig. 5와 같이 ±0.5%, ±1.0%, ±2.0%, ±3.0%, ±4.0%, ±5.0%까지는 pull과 push가 동일하게 drift ratio를 증가시키는 방법으로 각각의 drift ratio 마다 2사이클씩 반복 재하하였고, drift ratio가 ±6.0% 이상부터는 횡변위가 가력기의 변위능력을 초과하게 되어 가력기와 시험체 사이에 액세서리를 부착하여 push 방향으로는 최대변위를 drift ratio 8.0%까지 pull 방향으로는 최대변위를 5.0%까지 적용하도록 하였다. 시험체의 제작오차와 설치오차 등에 의해 가력도중 가력방향 이외의 방향으로 예기치 않은 변위가 발생하는 것을 억제하기 위해 Figs. 6과 7에서 보는 바와 같이 상부프레임에 볼지거를 설치하였다.

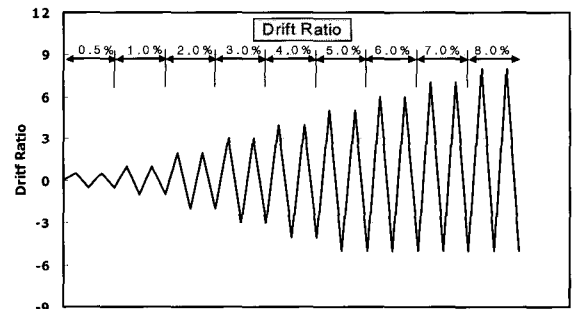


Fig. 5 Specified displacement history

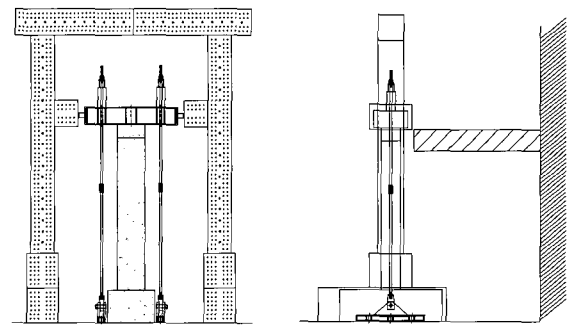


Fig. 6 Diagram of test setup

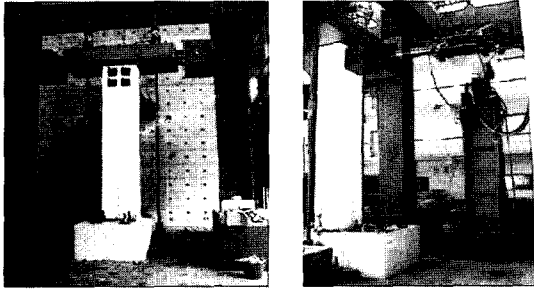


Fig. 7 Photograph of experimental setup and testing frame

3.2 계측

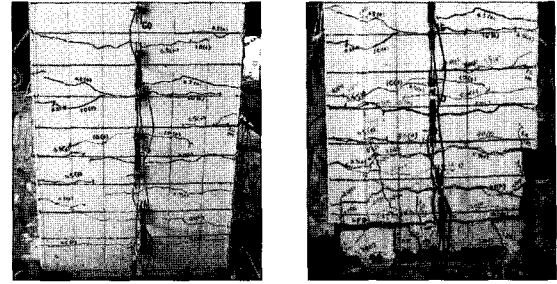
각 시험체의 횡변위를 측정하기 위하여 교각의 높이별로 4개의 LVDT를 설치하였다. 특히, 가력점의 변위는 가력기에 내장된 LVDT 측정값이 교각자체의 변위를 정확하게 측정하지는 못하므로, 하중-변위 이력곡선 등 실험 결과들은 가력점에 설치한 LVDT값에 근거하였고, 가력기의 변위도 가력점에 설치된 LVDT의 값으로 제어하였다. 또한, 기초에도 LVDT를 설치하여 횡하중에 의해 기초에 변위가 발생하는지 여부를 계측하였다. 계측결과 모든 시험체에서 기초의 밀림은 거의 측정되지 않아 무시할 수 있었다.

4. 실험결과

4.1 균열발생 양상 및 파괴거동

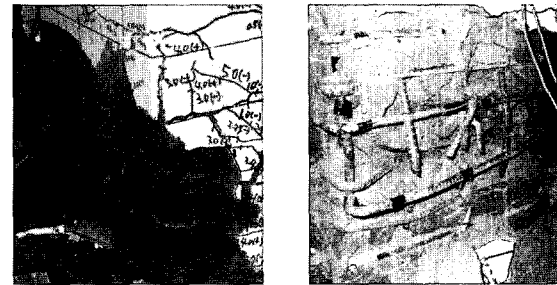
모든 시험체에서 첫 번째 하중 사이클에서는 시험체의 높이 120cm까지만 수평 실균열이 발생하였다. 그 후, $\pm 1.0\%$ 부터는 높이 150cm 정도까지도 수평균열이 발생하였다. 이러한 수평균열은 drift ratio $\pm 3.0\%$ 정도까지는 균열의 폭과 함께 조금씩 증가하다가 $\pm 3.0\%$ 이후부터는 더 이상의 균열은 발생하지 않고 높이 30cm 정도에 존재하는 균열의 균열폭이 크게 증가하는 경향을 나타냈다. drift ratio $\pm 3.0\%$ 정도부터 수직균열이 코너부부터 발생하기 시작하여 콘크리트의 박리가 시작되는데, 콘크리트의 박리는 코너부에서부터 면의 중앙부로 발전하는 경향을 보였다.

수평균열은 상당히 넓은 면에서 발생하지만 drift ratio $\pm 4.0\%$ 이후부터는 높이 45cm 이하의 소성흔지 영역에서 콘크리트의 균열이 집중되면서 박리가 발생하는 경향을 나타내었다. 콘크리트 피복의 박리 후 주철근이 좌굴되고, 결과적으로 주철근이 파단되면서 파괴가 발생하는 전형적인 휨파괴의 특징을 나타냈다. Fig 8에서 이러한 교각 시험체의 파괴 양상을 보여주고 있다.



(a) Transverse crack

(b) Spalling



(c) Buckling of long rebars

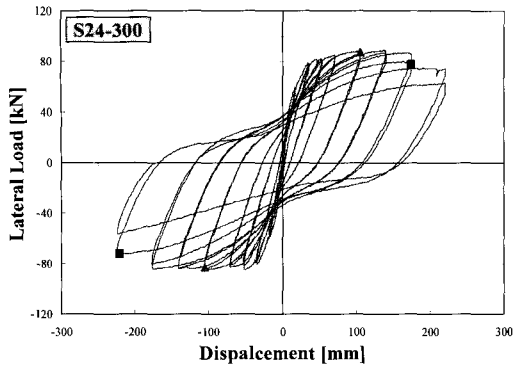
(d) Rupture of long rebars

Fig. 8 Failure patterns of specimens

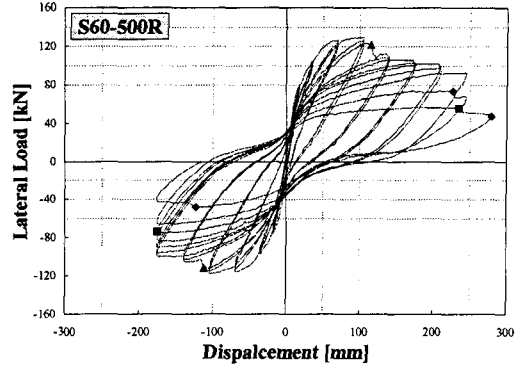
4.2 하중-변위 곡선

Fig. 9는 모든 시험체의 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것이다. 하중-변위 이력곡선에 나타난 삼각형 모양은 콘크리트의 박리가 시작된 때를 나타낸다. 사각형 모양은 주철근의 좌굴이 시작된 때를 나타내고, 다이아몬드 모양은 주철근이 파단된 때를 나타낸다. 주철근의 좌굴도 거의 마지막 사이클에서 일어난 것을 볼 수 있다. SD500인 철근을 사용한 경우에는 좌굴이후 다음 사이클에서 철근의 파단으로 이어진 것을 볼 수 있다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 철근의 파단시 변형률이 SD300이 SD500에 비해 2배 이상이 되는 것을 볼 수 있다. 즉, 철근의 강도 증가로 연성이 감소하여 좌굴 이후 급격하게 파단된 것으로 사료된다. Fig. 9에서 볼 수 있는 것처럼 첫 번째 사이클보다 두 번째 사이클에서 동일한 변위에 대해 더 작은 하중을 보였다. 이는 반복하중 재하 시 생기는 콘크리트 균열의 진전과 잔류변형의 확대 영향으로 재하 횟수가 증가할수록 콘크리트의 강성이 감소하고 또한, 항복이후 철근의 강성이 감소한다는 사실을 말해 준다.

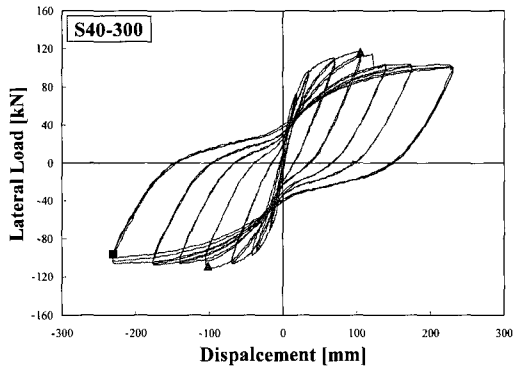
Fig. 9와 Table 2에서 보는 바와 같이 모든 시험체는 drift ratio가 $\pm 6.0\%$ 과 $\pm 7.0\%$ 정도에서 좌굴이 일어났다. 좌굴이 일어나기 전까지는 비교적 안정적인 이력곡선의 특성을 보이다가 그 후 횡방향 하중이 급격하게 저하되는 것을 볼 수 있는데, 이는 좌굴이후 구속된 콘크리트의 구속력이 사라지게 되고 이로 인해 하중이 재재하될 때 구속 콘크리트가 파괴되어 급격하게 저항하중이 저하된 것으로 판단된다.



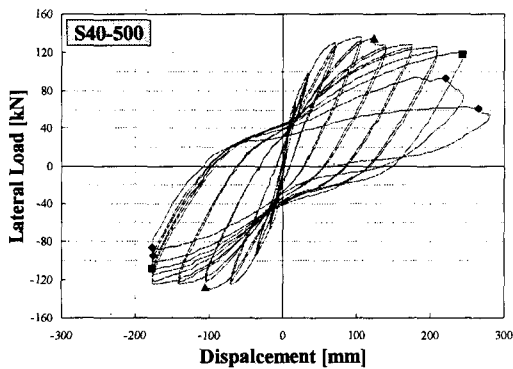
(a) S24-300



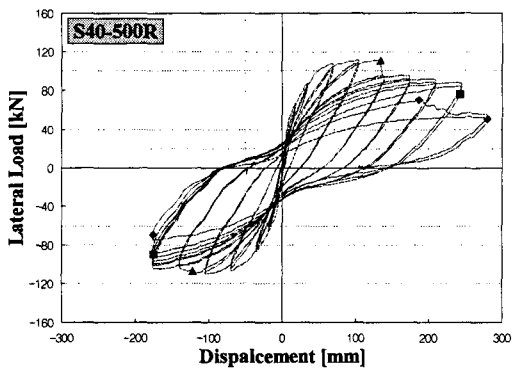
(e) S60-500R



(b) S40-300



(c) S40-500

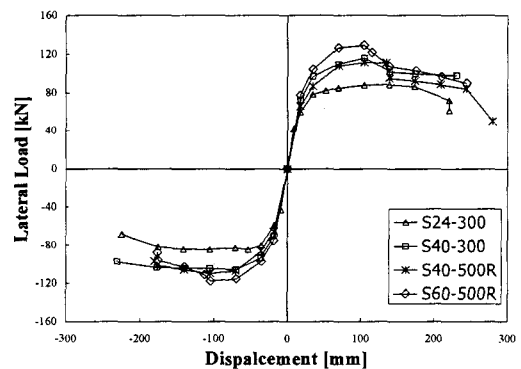


(d) S40-500R

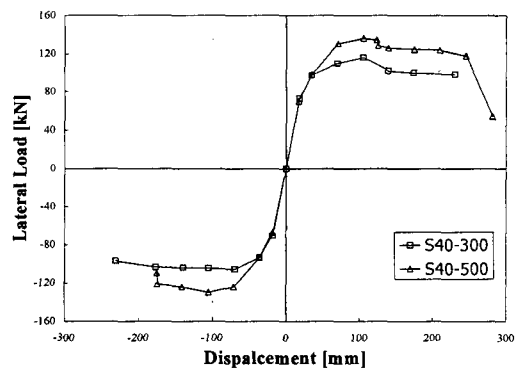
Fig. 9 Load-displacement hysteresis loops for various test specimens

Table 2 Values of drift ratios corresponding to respective failure modes

ID	Spalling	Buckling	Rupture
S24-300	+3, -3	+5, -6	-
S40-300	+3, -3	-6.6	-
S40-500	-3, +4	-6, +7	+7, -7
S40-500R	+4, -4	+7, -7	+8, -8
S60-500R	+4, -4	-7, +8	+7, -8



(a) Envelop curve according to concrete strength



(b) Envelop curve according to steel strength

Fig. 9 Load-displacement hysteresis loops for various test specimens (Continued)

Fig. 10 Envelop curves for various test specimens

횡방향 반복하중을 교각 시험체에 재하하는 경우 +방향으로 먼저 재하하고 동일한 변위를 -방향으로 재하하면 -방향의 강성이 +방향의 강성보다 다소 작게 된다.

이는 동일한 변위 진폭을 재하하더라도 -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. Fig. 10은 변위와 하중간의 관계를 알아보기 위한 하중 변위 포락선을 나타낸다.

4.3 최대하중

Fig. 11에서 보는 바와 같이 콘크리트의 강도를 증가시킨 경우(S24-300과 S40-300, S40-500R과 S60-500R)와 철근의 강도를 증가시킨 경우(S40-300과 S40-500) 모두 사용재료의 강도증가에 따라 최대하중이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 최대 휨저항 능력을 같게 설계한 경우(S40-300과 S40-500R), 두 시험체의 최대하중은 비슷하게 나왔다.

4.4 항복변위 및 극한변위

항복변위는 주 인장철근이 항복할 때의 교각 상부 재하점의 변위를 나타내는데, 실제로 부재 실험도중에 철근의

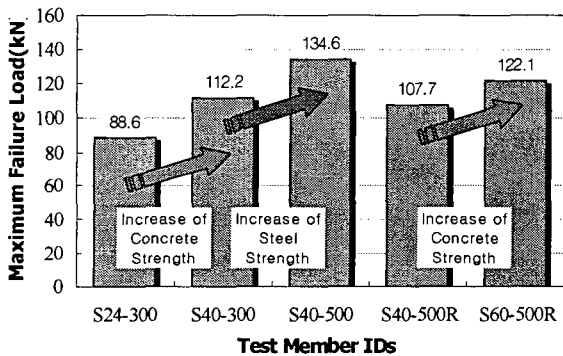


Fig. 11 Maximum failure load for various test members

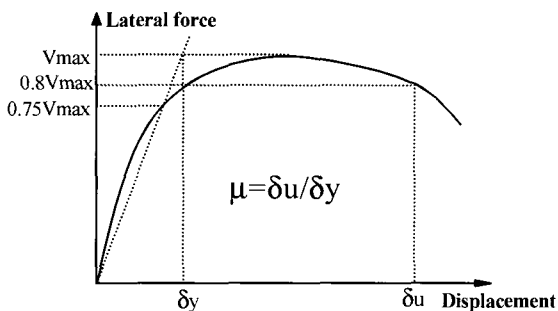


Fig. 12 Definition of ductility factor

항복 변형률을 측정하였으나, 리브의 영향 등으로 일관성있는 값이 나타나지 않아 좀더 합리적인 방안으로 측정된 항복변형률에 가장 근접한 값으로서 본 논문에서는 Fig. 12에서와 같이 최대 횡방향 하중의 75%점에 대한 할선강성과 최대 횡하중에 대한 수평선의 교점에 대한 변위를 항복변위로 정의하였다. 극한변위는 최대하중이후 내력저하시 최대하중의 80%점에 도달할 때의 변위로 정의하였다⁷⁾.

콘크리트의 강도를 증가시킨 경우, Fig. 13에서 보는 바와 같이 중립축이 압축을 받는 콘크리트 쪽으로 이동하게 되어 곡률이 감소하게 된다. 즉, 곡률이 감소하기 때문에 항복변위가 또한 감소하게 된다.

Fig. 14에서 보는 바와 같이 실험결과를 통해서도 이와 같은 사실을 확인할 수 있다. 철근의 강도를 증가시킨 경우는 Fig. 13에서 보는 바와 같이 인장철근의 항복강도와 철근이 항복할 때의 변형률이 증가하게 된다. 이 경우 중립축이 인장을 받는 철근 쪽으로 이동하게 되어 곡률이 증가하게 된다. 즉, 항복변위가 증가하게 된다. 이 또한 실험결과에서 확인할 수 있다.

Fig. 14에서 보는 바와 같이 모든 시험체의 극한변위는 draft ratio가 6 이상이 나왔고 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.

Table 3은 모든 시험체의 극한변위와 항복변위를 나타낸 것이다.

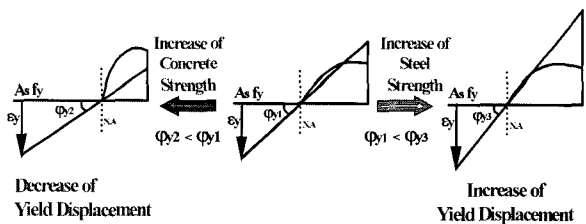


Fig. 13 Strain and force distribution

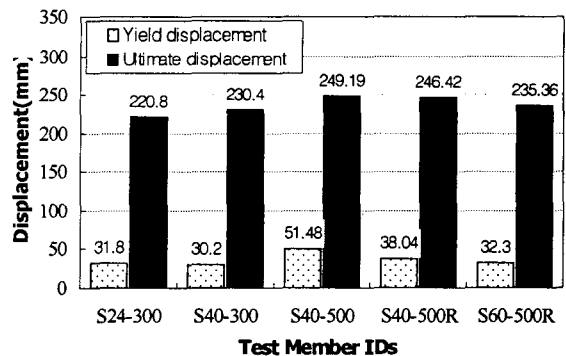


Fig. 14 Yield and ultimate displacements for the members

Table 3 Yield and ultimate displacements for test specimens

ID	Yield Displacement(mm)	Ultimate Displacement(mm)
S24-300	31.8	220.8
S40-300	30.2	230.4
S40-500	51.48	249.2
S40-500R	38.04	246.4
S60-500R	32.3	235.36

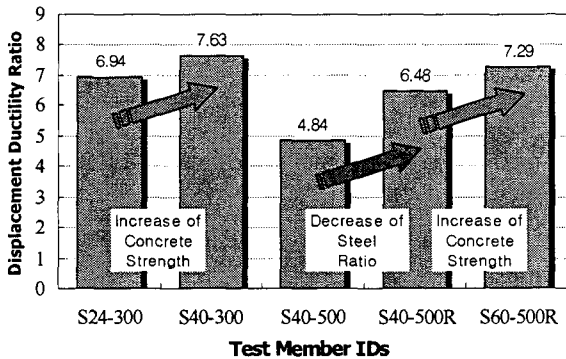


Fig. 15 Variation of ductility ratio according to test variables

4.5 변위연성도 평가

변위연성도는 극한변위와 항복변위의 비로 나타낸다. 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. 철근비를 감소시킨 경우는 극한변위가 비슷하게 나오는데 반해 항복변위의 감소로 변위연성도는 증가하였다. 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.

5. 결 론

본 연구에서는 고강도 콘크리트 및 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각의 내진성능을 검토하고자 콘크리트의 강도, 철근의 강도, 철근비를 변수로 하여 교각의 포괄적인 실험연구를 수행하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 모든 시험체에서 콘크리트의 박리는 drift ratio $\pm 3.0\%$ 정도에서 코너부부터 발생하기 시작하여 면의 중앙부로 발전하는 경향을 보였다. 수평균열은 상당히 넓은 면에서 발생하지만 drift ratio $\pm 4.0\%$ 이후부터는 높이 45cm 이하의 소성흔지 영역에서 콘크리트의 균열이 집중되면서 박리가 발생하는 경향을 나타내었다. 콘크리트 피복의 박리 후 drift ratio $\pm 6.0\%$ 정도에서 주철근이 좌굴되었고, 결과적으로 주철근이 파단되면서 파괴가 발생하였다.
- 2) 콘크리트의 강도를 증가시킨 경우, 최대하중 및 변위연성도 모두 증가하였다. 콘크리트의 강도가 증가하면 재료적으로 취성화 되나 본 실험의 경우 도로교 설계기준의 내진설계 지침에 따라 내진보강을 했기 때문에 극한변위는 감소하지 않았고, 이에 반해 항복변위는 감소하여 변위연성도가 다소 증가한 것으로 사료된다.
- 3) 철근의 강도를 증가시킨 경우, 즉 S40-300과 S40-500의 경우 최대하중의 증가로 인해 변위연성도 7.63에서 4.84로 감소하였지만 극한변위는 강도의 증가에 관계없이 약 240mm로서 거의 일정한 값을 나타내었다.
- 4) 철근비를 감소시킨 경우, 즉 S40-500과 S40-500R의 결과에서 보듯이 극한변위는 약 245mm로서 거의 비슷하게 나오는데 반해 항복변위는 각각 51, 38mm로 감소함으로써 결국 변위연성도는 증가하였다.
- 5) 최대 휨저항 능력을 같게 설계한 경우, 고강도 철근을 사용한 경우 변위연성도는 다소 감소하였지만 극한변위는 거의 일정한 값을 나타내었다. 즉, 고강도 재료를 사용하여 물량을 감소시킨 경우 보통강도 재료를 사용한 교각과 동등한 수준의 내진 저항능력을 발휘할 수 있을 것으로 사료된다.
- 6) 이러한 결론에 의하면, 교각에 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용할 때 내진설계 기준을 따를 경우 충분한 내진성능을 확보할 수 있고, 또한 교각 단면적과 철근의 물량을 감소시킬 수 있어 시공성 개선과 내구성 증진의 효과를 얻을 수 있다.
- 7) 교각의 파괴모드 즉, 연성파괴와 취성파괴 형태에 대한 지속적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국가지정 연구실 사업과 건설교통부의 연구비 지원으로 수행되었으며, 힘든 실험을 함께 도와주신 대우건설기술연구소 구조실험동의 이명호 대리님, 오태수 대리님께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 실험에 많은 도움을 주신 김기완, 최정선 학형에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로교표준시방서”, 건설교통부, 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*, Vol.97, No.4, Jul.-Aug. 2000, pp.591~601.
4. K. Mizuguchi, I. Ota, K. Otsuka, and R. Amano, “Design and Construction of High Piers of Washimi-Gawa Bridge Using High Strength Concrete and Steel,” *Conférence Internationale sur les Matériaux Pour génie*, Ottawa, Canada, Jun. 8-11 1997, pp.39~51.
5. Atorod Azizinamini, Sharon S. Baum Kuska, Paul Brungardt, and Erleen Hatfield, “Seismic Behavior of Square High-Strength Concrete Columns,” *ACI Structural Journal*, Vol.91, No.4, May-June 1994, pp. 336~345.
6. 김재관, 김익현, 임현우, 전귀현, “수평 반복하중을 받는 비내진상세 RC 중실원형교각의 거동특성”, 한국지진공학회 논문집, Vol.5, No.4 Aug. 2001, pp.83~95.
7. Park R., “State-of-the Art Report on Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing,” *Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo-Kyoto, Japan, Vol.8, Aug. 1988, pp.605~616.
8. Oguzhan Bayrak and Shamim A. Sheikh, “Confinement Reinforcement Design Considerations for Ductile HSC Columns,” *ASCE, Journal of Structural Engineering*, Sep. 1998, pp.999~1010.
9. Frédéric Légeron, Patrick Paultre and Daniel Mongeau, “Influence of Concrete Strength and Transverse Reinforcement Yield Strength on Behavior of High-Strength Concrete Columns,” *ACI Structural Journal*, Vol.98, No.4, Jul.-Aug. 2001, pp. 490~501.
10. Murat Saatcioglu and Salim R. Razvi, “Displacement-Based Design of Reinforcement Concrete Columns for Confinement,” *ACI Structural Journal*, Vol.99, No.1, Jan.-Feb. 2002, pp.3~11.
11. 김태훈, 신현목, “반복하중을 받는 철근콘크리트 교각의 비탄성 거동에 미치는 크기효과에 관한 해석적 연구,” 한국지진공학회 2001 추계 학술발표회 논문집, 5권, 2호, 2001, pp.131~138.

요 약

본 연구의 목적은 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 중실교각의 거동을 평가하기 위한 것이다. 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각의 장점으로는 교각의 단면적 및 철근의 물량을 감소시킴으로서 얻을 수 있는 경제적 효과와 콘크리트의 강도 증가로 인한 중성화 및 염해에 대한 저항성의 증가 즉, 내구성 증진효과가 있다. 특히, 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각의 내진성능에 관한 연구는 아직 거의 없는 실정이다. 따라서, 교각의 내진성능을 평가하기 위해서 5개의 중실단면 시험체를 제작하여, 일정 축하중 하에서 횡방향 반복하중을 가하는 실험을 수행하였다. 모든 교각의 내진설계는 도로교 설계기준을 따랐고, 시험변수는 콘크리트의 강도, 철근의 강도, 주철근 비로 하였다. 고강도 재료의 사용에 따른 내진성능(변위 연성도, 극한변위, 고강도 재료의 적용성, 고강도 철근 적용에 따라 감소된 철근비에 따른 내진성능 등)을 분석하였으며, 실험 결과 고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 콘크리트 교각에서도 충분한 연성적인 거동과 내진성능을 발휘하는 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : 철근콘크리트 교각, 고강도 콘크리트, 고강도 철근, 중실단면, 내진성능
