

# 고성능 중공단면 교각의 파괴모드 및 연성에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study for the Failure Mode and the Ductility of a High Pier with a Hollow Section using a High Strength Concrete and Steel

오 병 환\* 최 승 원\*\* 박 영 호\*\*\* 방 기 성\*\*\*\*  
Oh, Byung Hwan Choi, Seung Won Park, Young Ho Pang, Gi Sung

### ABSTRACT

Six RC pier were tested under a constant axial load and a cyclically reversed horizontal load to investigate the performance of RC piers used in the high strength concrete and the high strength rebar. It is designed with a hollow section according to the Korean Bridge Design Standard. The variables of the test were concrete strength, rebar strength, a ratio of lap splice and a ratio of transverse rebar. The test results show that the performance of a RC Pier; failure mode, crack pattern, maximum load and ductility.

### 1. 서론

산업화가 진행되고 국토의 균형발전을 위해 많은 고속도로가 건설되고 있다. 특히 국토의 70% 정도가 산악지형인 우리나라의 경우 고속도로 건설시 많은 교량 및 터널이 건설될 수 밖에 없는 실정이다. 영동고속도로와 같은 강원 산간을 통과하는 도로의 경우에는 더욱 이러한 영향이 두드러져서 일반의 교량보다 더 높은 형식의 교량이 건설될 수 밖에 없다. 이러한 교각의 경우 지진이 발생했을 경우 적절한 내진보강을 하지 않았을 경우 경제적으로 큰 피해를 입게 된다. 이는 최근 일본의 Kobe 지진을 포함하여 세계적으로 큰 규모의 지진이 발생함에 따라 더욱 중요시 되고 있고, 또한 우리나라에서도 이러한 지진의 발생의 빈도가 꾸준히 늘고 있는 것으로 보고되고 있으므로 교각의 내진성능 확보는 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

그러나 우리나라의 경우 아직까지 고교각의 시공사례가 많지 않고, 또한 지진하중을 받는 경우의 고교각의 거동에 대한 연구가 많지 않다. 특히, 우리나라의 현행 도로교 설계 기준에는 주철근의 겹침이음 비율 및 횡철근 비율에 대한 규정을 확일화 함으로서 철근의 과다 사용에 대한 문제가 발생하고 있다. 이는 시공성 및 경제성의 저하로 이루어진다.

따라서, 본 연구에서는 국가기간 시설물인 교량의 고교각에 대한 철근의 겹침이음 및 횡철근 비율에 따른 내진거동을 실험적으로 분석하여 구조물의 강도 및 연성을 확보해 보고자 한다.

### 2. 횡하중 반복재하 실험

#### 2.1 시험체 변수 및 설계

- \* 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수
- \*\* 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정
- \*\*\* 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정
- \*\*\*\* 정회원, 한전전력연구원 구조연구실 선임연구원

본 실험에서는 중공 사각형단면에 고강도 콘크리트 및 고강도 철근의 사용과 주철근 겹침이음 및 횡철근 비율에 의한 교각의 성능을 평가하기 위하여 그림 1과 같이 70×45cm의 단면을 갖고 벽체의 두께가 10cm인 중공단면 6개를 제작하여 일정한 축하중 하에서 반복 횡가력 실험을 수행하였다.

표 1 주요 실험변수 및 재료특성

ID	fck [MPa]	주철근	횡철근	겹침이음비율 [%]	횡철근비율 [%]
C2-S3-LS50-TR75	24	SD300 D13	SD300 D10	50	75
C4-S5-LS50-TR75	40	SD300 D13	SD300 D10	50	75
C6-S5-LS0-TR50	40	SD500 D13	SD300 D10	0	50
C6-S5-LS50-TR50	60	SD500 D13	SD300 D10	50	50
C6-S5-LS50-TR75	60	SD500 D13	SD300 D10	50	75
C6-S5-LS100-TR100	60	SD500 D13	SD300 D10	100	100

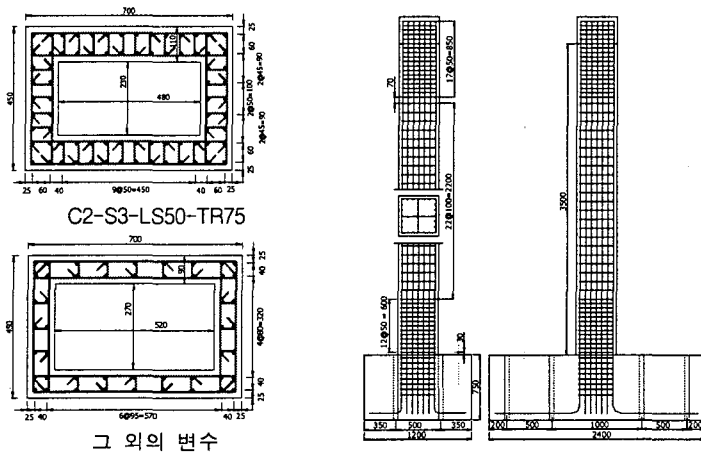


그림 1 시험체의 단면 형상 및 철근상세

모든 시험체에서 기초상단부터 가력점까지의 높이는 3.5m로 하였는데 이는 본 시험체의 대상구조물을 1/10로 축소한 결과이다. 시험체의 주요변수와 사용재료의 특성은 표 1에 나타내었다. 특히, 본 연구에서는 겹침이음의 비율과 횡철근의 비율에 따른 교각의 거동을 살펴보고자 겹침이음을 0%, 50%, 100%로, 그리고 횡철근 비율에 대해 현행 도로교 설계기준을 그대로 적용한 경우 및 각각 25%, 50% 감소시킨 경우에 대하여 실험을 수행하였다.

## 2.2 시험체 재하 및 계측

본 교각시험체의 축하중은 교각단면의 6%에 해당하는 일정축하중을 재하하였고, 횡방향하중은 Drift Ratio  $\pm 0.5\%$ ,  $\pm 1.0\%$ ,  $\pm 2.0\%$ ,  $\pm 3.0\%$ ,  $\pm 4.0\%$ ,  $\pm 5.0\%$ ,  $\pm 6.0\%$ 에 대하여 각 Drift Ratio 당 2사이클씩 반복재하하였다. 횡하중 가력시 정확한 횡방향의 변위를 측정하기 위하여 교각의 하중 재하점인 기초에서 3.5m 위치에 LVDT를 설치하여 하중-변위 이력곡선을 도출하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 파괴모드 및 하중-변위 이력곡선

모든 시험체에서 횡방향 변위가 6~10mm인 지점 즉, Drift Ratio 0.25%에서 최초의 균열이 발생하고 하중-변위 곡선의 기울기가 감소하였다. Drift Ratio  $\pm 2.0\% \sim \pm 3.0\%$  사이에서 시험체의 중앙부에 수직균열이 발생하면서 덮개 콘크리트의 파괴가 시작되고 Drift Ratio  $\pm 4.0\%$ 에서 교각 하단부에서 콘크

리트의 박리가 발생하였다. 이후 주철근이 좌굴되고, 주철근의 파단이 발생하는 휨과괴가 발생하였다.

그림 2는 6개의 시험체에 대한 하중-변위 이력곡선을 나타낸다.

최대하중은 콘크리트 강도가 증가하고 철근의 강도가 증가함에 따라 다소 증가하였다. 또한, 횡철근 비율이 증가함에 따라 최대하중은 다소 증가하였으나, 겹침이음의 비율이 증가하여도 최대하중은 감소하지 않았다. 본 실험에서는 겹침이음 비율 및 횡철근의 비율은 최대하중에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

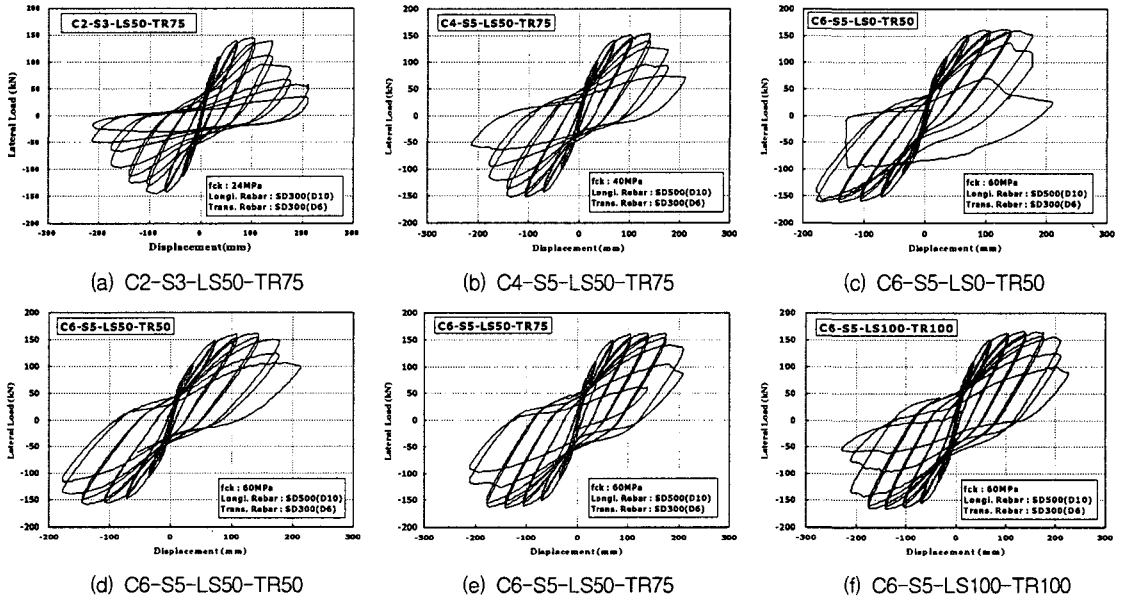


그림 2 하중-변위 이력곡선

### 3.2 항복변위, 극한변위 및 변위연성도

항복변위는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보이는데 이는 콘크리트 강도를 증가시키면 중립축이 압축을 받는 콘크리트 쪽으로 이동하게 되어 곡률이 감소하게 되기 때문이다. 주철근의 겹침이음이 증가함에 따라 그리고 횡철근 비율이 증가함에 따라 항복변위 및 극한변위는 다소 증가하였다. 특히, 콘크리트 강도가 증가하여 취성거동을 보일지라도 적절한 내진보강을 통해 항복변위 및 극한변위는 모든 시험체에 대하여 비슷한 수준을 유지할 수 있었다.

그림 3은 변위연성도를 나타낸 것이다. 주철근의 겹침이음을 증가시키고 횡철근의 비율이 증가함에 따라 변위연성도는 다소 증가하였다. 특히, 도로교 설계기준에 의거하여 횡철근을 100% 보강한 경우와 25%의 횡철근을 감소시킨 경우를 비교할 때 횡철근을 다소 감소시켰을지라도 변위연성도는 감소하지 않았고 내진성능을 발휘하는데 요구하는 변위연성도 이상을 확보함을 알 수 있다. 따라서 횡방향 철근의 부분적인 감소는 교각의 내진성능을 감소시키지 않음을 알 수 있다.

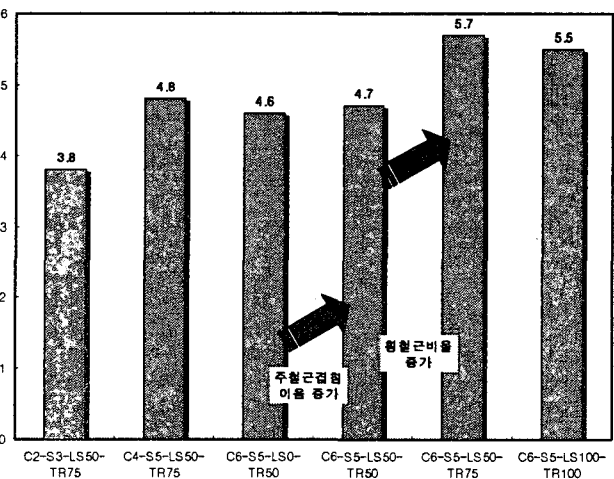
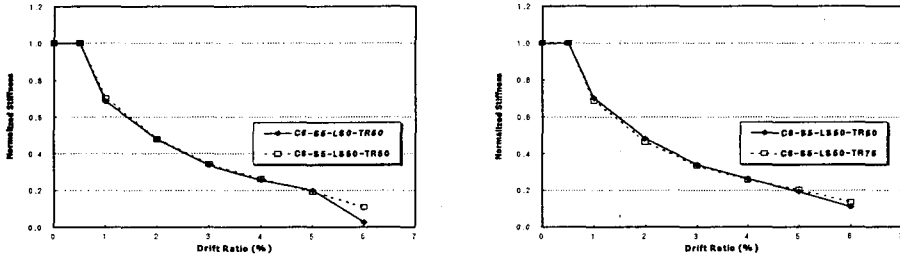


그림 3 변위연성도

### 3.3 강성감소

각 Drift Ratio에 따른 강성은 하중을 변위로 나누어 구하고 push 방향과 pull 방향에서 각각 구한 강성을 평균하여 구한 강성변화를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 교각시험체는 Drift Ratio 0.5~4.0%에서 강성의 감소가 주로 발생하고 4%이후에서는 거의 변화가 없었다. 즉, 피복이 박리되는 Drift Ratio  $\pm 4\%$  이후에는 안정적인 파괴 양상이 발생하는 것을 볼 수 있다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 주철근의 겹침이음 비율이나 횡철근의 비율에 따른 강성의 감소는 큰 변화가 없음을 알 수 있다.



(a) 겹침이음 비율에 따른 강성감소

(b) 횡철근 비율에 따른 강성감소

그림 4 강성감소

### 4. 결론

콘크리트 강도를 증가시키고, 철근의 강도가 증가함에 따라 그리고 횡철근 비율이 증가함에 따라 최대하중은 증가하였다. 그러나 주철근의 겹침이음이 증가하여도 최대하중에는 큰 변화가 없었다. 항복 변위는 콘크리트 강도가 증가함에 따라 곡률이 감소하게 되어 감소하는 경향을 보이지만 겹침이음 비율 및 횡철근 비율이 증가함에 따라 항복강도와 극한강도는 증가하였고 또한 변위연성도 역시 증가하였다. 도로교 설계기준에 따른 횡철근 배치에서 25% 감소시킨 횡철근 배근을 하더라도 변위연성도는 5.7의 값을 확보하였다. 따라서 현재의 횡철근 규정보다 25%정도의 감소된 횡철근을 배근하여도 내진 성능을 발휘할 수 있고 또한 시공성 및 물량의 감소로 인한 경제성에 도움이 될 수 있을 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, “도로교표준시방서”, 2000
2. 오병환 외, “고강도 콘크리트와 고강도 철근을 사용한 교각의 내진거동 실험연구”, 콘크리트학회 봄 학술발표회, 2004, pp.712~715
3. 박창규 외, “주철근 겹침이음된 실물교각의 횡구속 정도에 따른 내진성능 평가”, 콘크리트학회 논문집, 2004. 10, pp687~696
4. 정영수 외, “주철근 겹침이음된 실물 비내진 원형 교각의 내진성능평가”, 콘크리트학회 논문집, 2004. 10, pp697~707