

원형띠철근 기둥의 내진거동에 관한 실험적 연구

The Experimental Study on Seismic Behavior of Circular-Tied Columns

석상근* 고성현** 윤석구*** 이재훈****
Seok, Sang Geun Ko, Sung Hyun Yun, Seok Ku Lee, Jae Hoon

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the seismic behavior assessment of circular-tied bridge piers, particularly with regard to assessing the displacement ductility. The experimental variables of bridge piers test consisted of transverse steel details, amount and spacing, different axial load levels etc. The test results indicated that reinforcement concrete bridge piers with confinement steel by the code specification exhibited sufficient ductile behavior and seismic performance. Also, it is found that current seismic design code specification of confinement steel requirements may be revised.

1. 서 론

국내에 발생한 약진들이 토목구조물 또는 건축구조물에 손상을 주지는 않았지만, 앞으로 중진이상의 지진이 발생할 가능성을 배제할 수는 없는 실정이다. 그리하여, 국내에서도 1992년 도로교표준시방서에 내진설계편이 신설됨에 따라 교량에 대한 내진설계가 이루어지고 있다. 그러나 시방서에 내진설계편이 제정된 후 철근콘크리트 교각의 내진설계 및 내진상세에 따른 과도한 횡구속철근의 사용으로 인한 시공의 난이성으로 많은 기술자 및 현장노무자들이 현장시공에 어려움을 겪어왔다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 원형띠철근 기둥의 역학적 거동을 규명하여 나선철근과 동등한 원형띠철근상세를 제시하고 철근콘크리트 기둥의 내진성능 향상과 장기적으로는 심부구속철근의 시방규정개선을 위한 연구자료를 제공하고자 한다.

2. 시험체 제작 및 재하실험

2.1 시험체 제작

본 연구에서는 일정한 축력하에서 반복횡하중이 작용하는 보통강도 철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가하기 위하여 단면의 직경 40cm, 부재의 총길이 230cm인 원형단면 시험체 19개를 제작하였으며 시험체의 전경은 사진 2.1과 같다.

* 정회원, 영남대학교 토목공학과 박사과정
** 정회원, 영남대학교 토목공학과 석사과정
*** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
**** 정회원, 영남대학교 토목공학과 조교수

표 21 시험체 분류

시험체명	종방향철근	심부구속철근		갈고리길이	
		구 성	횡방향철근비		
CN-SP-80-10	8-D16 $A_s = 15.89 \text{ cm}^2$ $\rho_g = 1.26\%$ cover = 2cm	Spiral	0.0099	-	
CN-SP-80-20					
CN-SP-80-30					
CN-C0-80-10					
CN-C0-80-20		Type I		$6 d_b$	
CN-C0-80-30					
CN-C1-80-10					
CN-C1-80-20					
CN-C1-80-30		Type II			
CN-C2-80-10					
CN-C2-80-20					
CN-C2-80-30		Type III			
CN-C3-80-10					
CN-C3-80-20					
CN-C3-80-30		Type IV			$12 d_b$
CN-C4-80-20					
CN-C5-80-20					
CN-C6-80-20	Type I-1				
CN-C7-80-20					
		Type II-1			
		Type III-1			
		Type IV-1			

※ 시험체명의 의미

C N - C0 - 80 - 10



사진 2.1 시험체 전경

2.2 횡방향철근의 구성

횡방향철근은 보강띠철근의 상세에 따라 C0, C1, C2, C3의 형태를 가지고 있으며, 갈고리 연장길이는 $6 d_b$ 이다. C4, C5, C6, C7 시험체는 갈고리 연장길이가 $12 d_b$ 인 것 외에는 C0, C1, C2, C3 시험체와 같다.

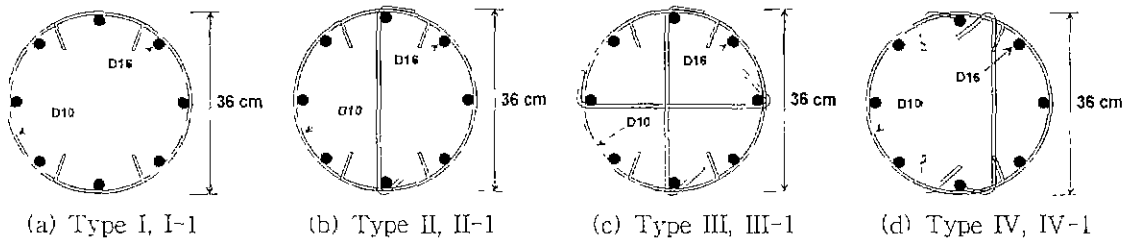
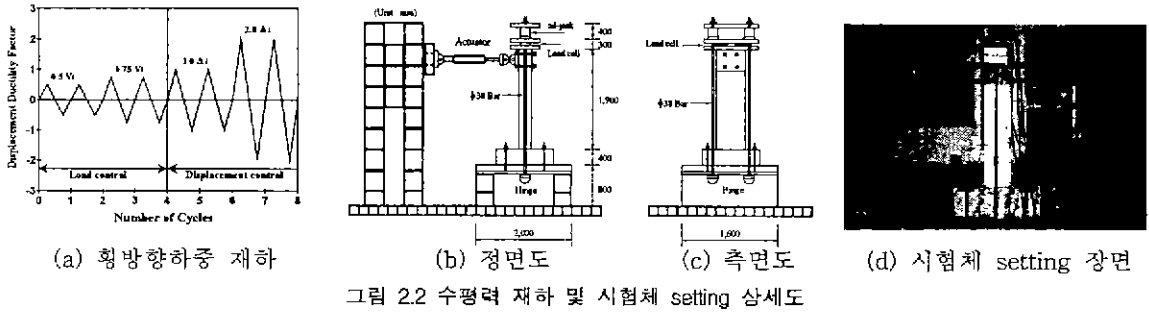


그림 2.1 원형띠철근의 구성

2.3 재하시험

원형단면 철근콘크리트 교각의 내진성능을 위한 실험으로 부재에 일정한 축력을 가한 상태에서 횡방향 하중을 반복적으로 가력하는 준정적(Quasi-static) 재하실험을 수행하였다. 횡방향 하중은 그림 2.2와 같이 각각의 하중과 변위에 대하여 2cycle씩 재하하였고, 처음에는 하중제어방식으로 가력을 하여 항복변위(Δ_i)를 구한 후, 결정된 항복변위를 기준으로 변위제어방식으로 횡변위를 증가시키며 가력하였다.



3. 실험결과 및 분석

3.1 시험체 파괴양상

초기균열은 하중제어 단계인 0.5V_i와 0.75V_i일 때 기둥하단부 20~40cm 부근에 주로 발생하였고, 그 후 휨균열이 계속 진전되면서 2 Δ_i 일 때 초기전단균열이 발생하였다. 시공이음부에서의 초기균열은 1~2 Δ_i 일 때 발생하였으며, 콘크리트의 초기스폴링은 2 Δ_i ; 2cycle에서 3 Δ_i 정도일 때 모두 압축단에서부터 시작되었으며, 초기스폴링이 발생한 후 기둥전면에서 수직균열이 발생하면서 콘크리트 덮개가 박리되기 시작하였다. 종방향철근의 좌굴과 파단현상은 거의 모든 시험체가 7~8 Δ_i 의 변위단계에서 관찰되었다.

횡방향철근의 상세에 따른 시험체의 파괴양상을 사진 3.1에 나타내었다. CN-C0 시험체는 최대횡력 이후 심부가 많이 파괴된 반면, CN-C3 시험체는 심부파괴를 보이지 않았다. 그리고 CN-SP-80 시험체와 CN-C3-80 시험체의 파괴양상이 유사한 것을 볼 수 있다.

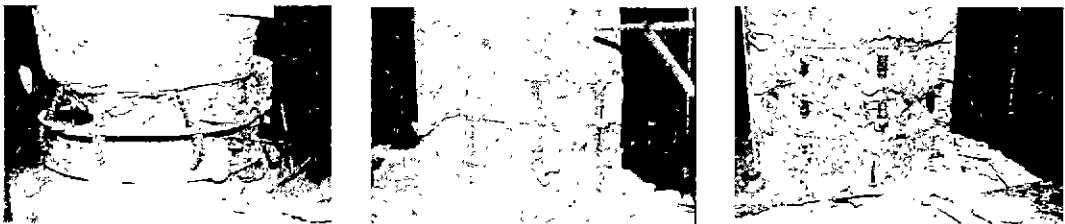


사진 3.1 CN-C0-80-20, CN-SP-80-20, CN-C3-80-20 시험체의 파괴양상

3.2 하중-변위 이력곡선과 변위연성계수

원형단면 시험체의 하중-변위 이력곡선으로 축력비와 원형띠철근상세, 갈고리 연장길이에 따른 경향을 보면 다음과 같이 비교된다.

▶ 축력비의 영향

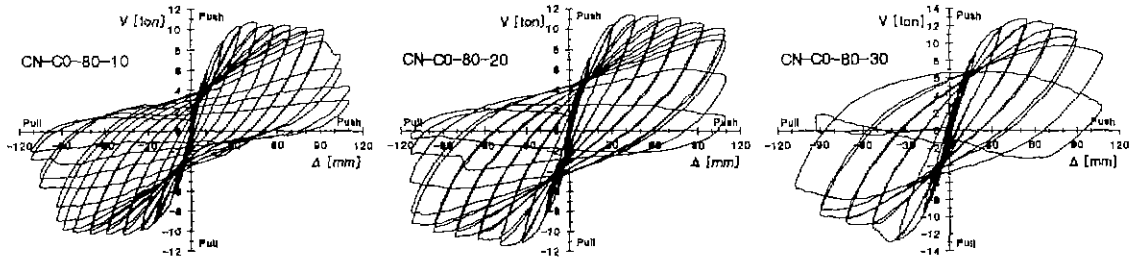


그림 3.1 CN-C0-80-10, CN-C0-80-20, CN-C0-80-30 시험체의 하중-변위 이력 곡선

▶ 원형띠철근 상세의 영향

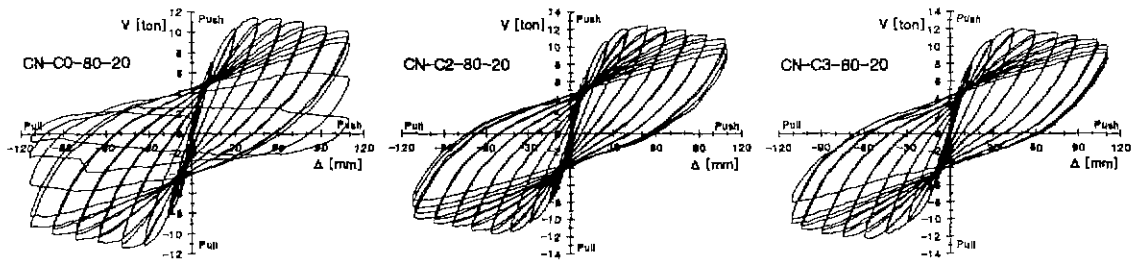


그림 3.2 CN-C0-80-20, CN-C2-80-20, CN-C3-80-20 시험체의 하중-변위 이력곡선

▶ 갈고리 연장길이의 영향

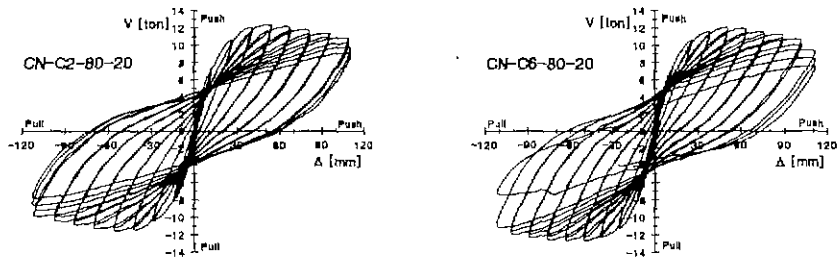
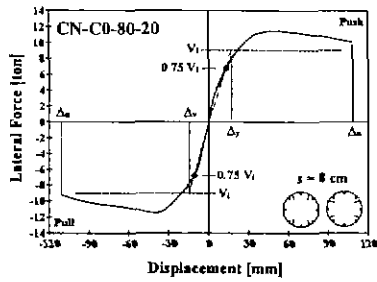
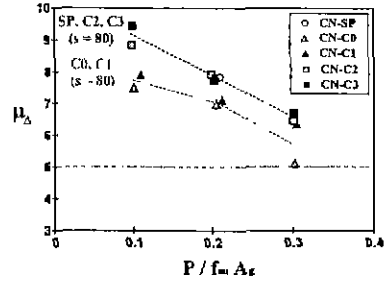


그림 3.3 CN-C2-80-20, CN-C6-80-20 시험체의 하중-변위 이력곡선

원형기둥 시험체에 대한 변위연성계수는 축력비가 증가함에 따라 변위연성계수가 감소하는 경향을 보인다 또한, 원형후프띠철근에 사용된 보강띠철근의 양 및 상세에 따라서도 변위연성이 변화하는 경향을 볼 수 있다. 원형띠철근의 갈고리 길이가 $6d_b$ 와 $12d_b$ 인 경우, 변위연성계수에서는 큰 차이를 보이지 않아 현행 콘크리트구조설계기준(1999)에서 규정하고 있는 갈고리 길이 $6d_b$ 를 적용하여도 충분한 성능을 발휘할 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 3.4 CN-SP-80-20 시험체의 하중-변위 이력곡선의 이상화와 변위연성계수의 비교

그림 3.4(a)와 같이 Priestly의 제안방법을 적용하여 변위연성계수를 평가하였고, 그것을 그림 3.4(b)에 나타내었다. 그림 3.4(b)에 따르면, C0, C1 시험체가 C2, C3 시험체와 도로교표준시방서 규정대로 설계된 CN-SP-80 시험체보다 변위연성이 상당히 감소한 것을 볼 수 있다. 하중-변위 곡선의 비교 분석결과 C2, C3 원형띠철근기둥이 C0, C1 원형띠철근기둥보다 연성능력 및 성능이 좋은 것으로 판단된다. 전반적으로 보면, C0, C1의 원형띠철근상세보다 C2, C3의 철근상세가 나선철근기둥과 유사한 경향을 보이므로 횡방향철근을 나선철근 대신 원형띠철근을 사용할 경우 C2와 C3의 상세를 갖는 원형띠철근을 사용할 수 있다고 판단된다.

또한, 축력비에 대하여는 모든 시험체가 축력비가 증가할수록 연성계수가 감소하는 경향을 보인다. 특히, C0 원형띠철근 시험체는 축력비가 0.3일 때 급격히 감소하는 경향을 나타내었는데 실험시에도 심부 콘크리트의 파괴가 매우 심하게 발생하였다. 따라서, 축력비가 낮은 경우에 적절한 식의 제안이 필요하며 축력비를 변수로 한 적절한 심부구속철근량 식의 제안이 필요한 것으로 판단된다.

3.3 갈고리 상세

그림 3.5에 나타난 바와 같이 원형띠철근의 갈고리 길이를 $6d_b$ 로 한 시험체와 $12d_b$ 로 한 시험체는 변위연성계수가 유사한 경향을 보인다. 따라서 $6d_b$ 의 갈고리 길이가 띠철근의 연장길이에 적절한 것으로 판단된다.

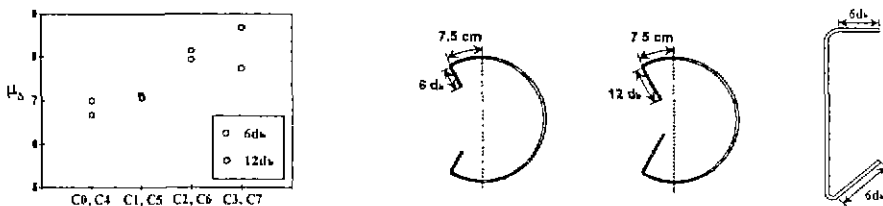


그림 3.5 갈고리 연장길이에 따른 경향

또한, 보강띠철근의 갈고리 상세의 경우 본 연구에서 사용한 $135^\circ + 90^\circ$ 갈고리를 사용해도 성능이 떨어지지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 갈고리를 사용하면 현장실무에서 시공성이 다소 향상될 것으로 판단된다

4. 결론

원형단면 철근콘크리트 기둥 시험체에 대한 내진성능 실험을 통하여 축력, 횡방향철근의 간격 및 양, 횡방향철근의 구성 등에 따른 내진성능의 경향을 파악하였고 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 본 연구를 통하여 심부구속철근 요구량의 현행 설계기준을 더욱 합리적으로 개정할 수 있다는 가능성을 확인하였다. 즉, 교각에 작용하는 축력비가 약 0.25 미만인 경우에는 심부구속철근량을 현행 설계기준보다 다소 감소시켜도 내진거동에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다. 따라서, 이를 위한 실험적인 연구가 추가된다면 경제성, 시공성 및 안전성을 고려한 합리적인 심부구속철근 요구량의 계산식을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.
- (2) 횡방향철근의 갈고리 연장길이를 $6d_b$ 로 한 시험체와 $12d_b$ 로 한 시험체의 내진성능은 별 차이를 보이지 않으므로 갈고리 연장길이를 $6d_b$ 로 사용하여도 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 또한 보강띠철근 양단의 갈고리 상세로 $135^\circ+90^\circ$ 의 철근상세를 사용하여도 내진성능에는 큰 문제는 없을 것으로 판단된다.
- (3) 원형단면 철근콘크리트 교각의 설계 및 시공 시, 본 시험체의 심부구속철근 상세인 C2나 C3와 같은 원형후포띠철근과 보강띠철근을 사용한다면 나선철근기둥과 동등한 내진성능을 발휘할 수 있을 것으로 판단된다. 다만 실무설계에 적용하기 위하여는 본 연구에서 실험된 시험체보다 단면의 크기가 큰 시험체에 대한 성능실험을 수행하여 크기효과를 검증하는 것이 바람직하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로연구소의 지원으로 수행되었기에 한국도로공사의 연구비 지원에 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. 이재훈, "철근콘크리트 교각의 내진설계 예제 및 해설", 한국도로공사 세미나, 1999. 2.
2. 권영봉, 이재훈, "고강도 콘크리트를 이용한 철근콘크리트 기둥과 합성기둥의 설계, 해석프로그램의 개발 및 모형실험", 한국도로공사, 도로연구소, 최종보고서, 1999.12.
3. 이재훈, 배성용, 손혁수, "철근콘크리트 교각 심부구속철근량의 비교연구", 한국지진공학회, 1999년도 춘계학술발표회 논문집, 제 3권 제 1호, 1999.3., pp 239~246.
4. 이재훈, "RC교각, 내진설계기준의 적용 및 이해". 한국지진공학회, 국제내진설계학술세미나, 1999. 4.
5. 정영수, 이강관, 한기훈, 박종협, "단일주 원형 철근콘크리트 교각의 내진거동에 관한 준정적실험", 한국지진공학회 논문집, 제 3권 제 2호, 1999.6., pp 55~66.
6. Priestley, M. J. N., Seible, F., and Calvi, G. M., *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1996.
7. Paulay, T. and Priestley, M. J. N., *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, New York, USA, 1992.