

휩전단 거동을 보이는 원형 RC교각의 내진성능평가

Seismic Performance of Flexural-Shear Circular Reinforced Concrete Bridge Piers

송 호 진* 정 영 수** 김 용 곤*** 김 훈* 김 대 호*
Song, Ho Jin Chung, Young Soo Kim, Yon Gon Kim, Hoon Kim, Dae Ho

ABSTRACT

Lap splice in plastic hinge region of RC bridge piers is inevitable because of the constructional joint between footing and column. RC circular columns with lap-splice in plastic hinge region are widely used in Korean highway bridges. It is, however, believed that there are not many experimental research works for nonlinear behavior of these columns subjected to earthquake motions.

This study has been performed to verify the effect of lap splice and confinement steel ratio for the seismic behaviour of reinforced concrete bridge piers. Quasi-static test have been done to investigate the physical seismic performance of RC bridge piers, such as displacement ductility.

1. 서론

근래에 히로시마 지진과 인도의 지진을 계기로 지진에 대한 사회적 관심이 고조되고 있으며 여러 역사적 기록과 근래에 국내에서 발생하는 지진은 한반도에서의 지진에 대한 인식을 전환하는 계기를 마련하고 있다. 따라서, 사회기반시설의 하나인 기존교량의 RC교각에 대한 내진성능 향상 및 보수보강 기법에 관한 연구는 시급한 실정이라 할 수 있다. 특히 현행 세계 각국의 내진설계규정에서는 교각의 소성힌지구간에서의 주철근 겹침이음을 엄격히 금지하고 있는데 반해 1992년 내진설계규정도입 이전의 국내의 기존 비내진 설계교각의 상당수는 주철근 겹침이음 시공되었으리라 판단되며, 주철근 겹침이음에 대한 명확한 도면이 없는 탓에 실제 건설당시 시공현장에서 소성힌지구간에서의 주철근 겹침이음이 시공되었는지는 판단할 수가 없다.

본 연구는 RC교각의 내진성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서 주철근 겹침이음 유무, 횡방향철근 비 등에 대한 준정적(Quasi-static)실험을 실시하여 이들 변수에 의한 RC교각의 내진성능을 평가하고자 하였다. 특히, 휩과 전단에 의한 복합모드가 작용하여 파괴에 이를 가능성이 많은 형상비 (Aspect ratio)가 2.5~4.0 내외인 교각의 내진 안전성을 평가하였다. 이들 교각의 초기전단강도는 지진시 작용하는 교각의 전단력보다 크지만 휩파괴가 진행되면서 전단강도가 급격히 저하되고 그에 따라 전단에 대한 안전성이 보장되지 못할 우려가 있다. 이러한 결과는 장래 시공상의 문제로 시행되고 있는 소성힌지구간에서의 겹침이음에 대한 시방규정을 제시하고자 한다.

* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 대학원
** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수
*** 정회원, 한경대학교 안전공학과 전임강사

2. 연구내용

본 연구에서는 국내 교량 중 내진1등급으로 설계된 교량을 대상으로 교각의 형상비(Aspect Ratio)를 4.0 횡과피, 2.5 횡전단과피를 유도한 원형 콘크리트 교각시험체를 제작하였다. 준정적실험(Quasi-Static Test)에 의한 이들 교각의 내진성능을 평가하기 위하여 실험변수로는 파괴모드에 따라 띠철근 간격에 의한 한정연성설계의 유/무, 주철근 겹침이음 유/무를 채택하였다.

2.1 재료의 특성

교각 시험체 제작에 사용한 콘크리트는 굵은골재 최대치수 25mm 골재의 레디믹스트 콘크리트를 사용하고 철근은 SD30인 D16의 상용철근을 주철근으로, 띠철근은 SD30 D10을 사용하였다. 철근의 인장강도는 KS B 0820에 따라 각각 3개의 시편에 대한 인장실험을 실시하여 D16은 3500 kgf/cm^2 과 D10은 3400 kgf/cm^2 의 평균항복강도를 얻었으며 아래의 그림 1은 철근의 P- Δ curve이다. 기둥본체를 타설한 콘크리트의 압축강도는 264 kgf/cm^2 를 얻었다. 아래의 표 1은 콘크리트의 배합표이다.

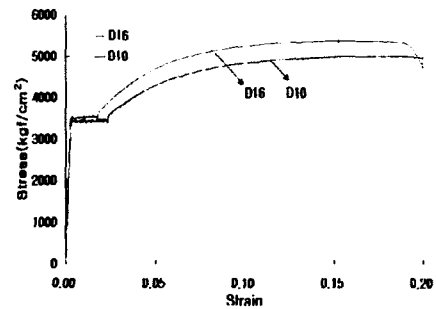


그림 2 P - Δ curve

표 1 시험체 배합설계표

굵은골재 최대치수(mm)	W/C (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	단위량(kgf/m^3)						28일강도 (kgf/m^2)
				물	시멘트	굵은골재	잔골재	혼화재	혼화재	
25	46.4	4.1	14	178	365	816	934	19	1.92	264

2.2 시험체 제작

기존고속도로 교량의 지진시 철근콘크리트 교각의 파괴거동이 전단파괴모드에서 휨/전단, 휨과피 모드까지 다양하게 예측됨으로써, 기둥단면지름 60cm, 기둥높이 1.5m (Aspect Ratio=2.5), 지름 60cm 기둥높이 2.4m (Aspect Ratio=4.0)인 횡전단과피모드와 횡과피모드로 설계된 원형 콘크리트 교각을 제작하여 준정적(Quasi-Static)실험에 의한 거동분석을 하였다. 주철근의 겹침이음은 기존 연구결과로부터 주철근의 파단이 처음으로 발생된 부분(기초상단 0.28D)을 겹침이음 중심으로 배근하였으며, 주철근의 겹침이음은 종방향 주철근의 50%를 겹침이음 하였다. 표 2는 실험내용을 나타냈으며, 시험체 단면의 채원은 그림 2에 나타내었다.

3. 실험개요

Quasi-Static 실험을 위하여 Oil jack(100tonf)을 이용하여 축하중을 재하하였으며, 횡방향의 반복하중은 100tonf 용량의 Actuator를 이용하여 변위제어 방식으로 가력하였다.

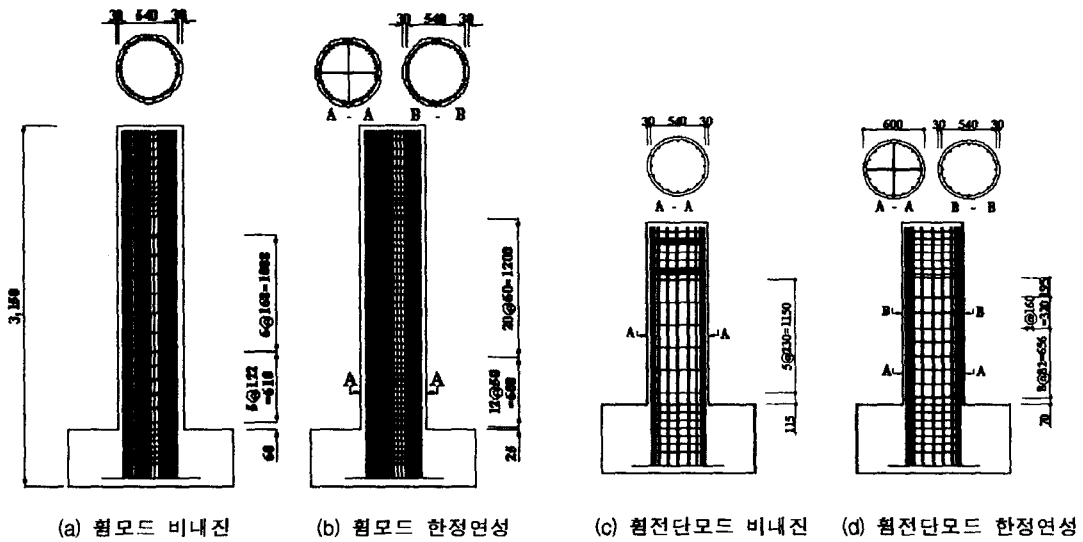


그림 2 시험체 단면 및 제원

표 2 실험변수 및 시험체명

Classification		Nomenclature	Confinement Steel		Aspect Ratio (%)	Axial Force (tonf)
			Space(cm)	Ratio(%)		
			PHR/NPHR*			
Nonseismic	0%Lap	N-SP00-P1-R0	12.2/16.8	0.19	4.0	$\frac{P}{f'_c A_g} = 0.1$ (67.8)
	50%Lap	N-SP05-P1-R0				
Limited Ductile	0%Lap	L-SP00-P1-R0	5/6	0.47		
Nonseismic	0%Lap	N-SP00-R0	23/23	0.23		
	50%Lap	N-SP50-R0				
Limited Ductile	0%Lap	L-SP00-R0	8.2 /10	0.64		

* PHR: Plastic Hinge Region, NPHR: Non-plastic Hinge Region, N:Nonseismic, L: Limited Ductile
SP00(05,50): Longitudinal Bar Lap Splice 0%(50%)

3.1 계측장비 및 하중재하형태

시험체의 주철근에 Strain Gage를 6~8개, 띠철근에 6개, Cross Tie에 3개를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였고 시험체의 변위를 측정하기 위하여 시험체의 중앙부와 횡방향 가력위치에 LVDT 2기를 설치하였다. 그림 3은 시험체의 변형측정장치 부착도를 나타내었다.

기둥상부에 일정한 축력을 유지시킨 상태에서 수평방향으로 반복 하중재하를 하는 준정적(Quasi-Static)실험을 수행하기 위하여 Oil jack (100tonf)을 이용하여 기둥 상부에 축하중을 재하하고 Load Cell (150tonf)을 설치하여 축력을 측정하였다. 횡방향의 반복하중은 100tonf 용량의 Hydraulic Actuator를 이용하여 변위제어 방식으로 가력하며 횡방향변위는 기둥상면의 가력방향에 설치된 LVDT를 이용하여 측정하였다.

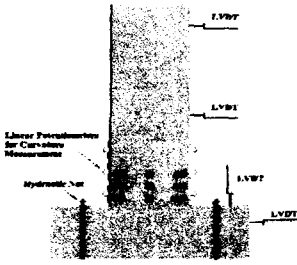


그림 3 측정장치 부착도

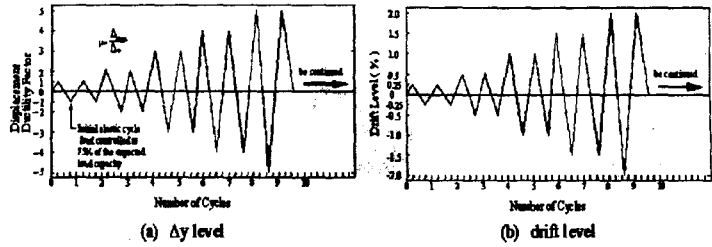


그림 4 하중재하형태

하중재하형태(Load Pattern)는 변위제어방식으로 그림 4와 같이 휨시험체에서는 4(a)와 같이 Δy level을 사용하였고, 휨전단시험체는 drift level을 사용하였는데, $\pm 0.25\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 0.75\%$, $\pm 1\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2\%$... 순으로 증가시켰다. 처음 1%까지는 0.25%씩 변위를 증가시키며 초기 교각의 연성도를 상세하게 관측하였고 1% 이후로는 0.5%씩 증가시켰다. 하중은 drift level마다 2cycle 형태로 반복 재하하여 동일한 진폭에 대한 교각의 거동특성의 차이를 비교 분석하였다. 휨전단시험체의 항복 변위는 평균 drift level 1.5%로 계산되었다.

4. 실험결과 및 분석

지진과 같은 과도한 변형에 대해 구조물이 안전하려면 충분한 변형에너지의 소산능력이 필요하며 이는 구조시스템에서 충분한 연성도를 갖고 있어야 한다. 콘크리트와 같은 복합구조물을 이용한 실험에서 구조물의 항복변위와 극한변위를 결정하기는 매우 어려우므로 Park, R.이 제안한 간접적인 방법으로 항복변위와 극한변위를 구하였다. 표 3에서 보여지는 바와 같이 비내진시험체 중 주철근의 겹침이음으로 비내진시험체에 비해 휨과파괴모드에서는 23%,

표 3 변위연성계수(μ)

Specimen	Displacement(cm)		Ductility Factor(μ)
	Yield	Ultimate	
N-SP00-R0	1.84	5.99	3.25
N-SP50-R0	1.84	4.60	2.50
L-SP00-R0	1.84	8.15	4.43
N-SP00-P1-R0	2.17	7.98	3.68
N-SP05-P1-R0	2.17	4.69	2.16
L-SP00-P1-R0	2.17	9.79	4.51

*Average value all Test specimens without Lap-splice
 휨전단과파괴모드에서는 41%의 연성능력저하를 나타내었다. 그림 5는 본 연구에 사용된 휨전단시험체의 하중-변위 이력곡선을 나타내었다.

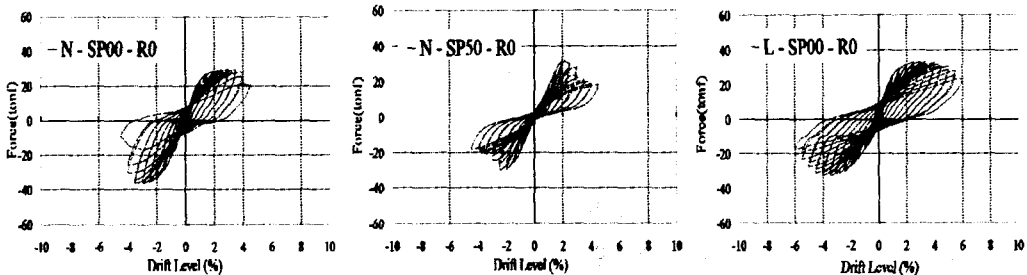


그림 5 하중-변위 이력곡선

4.1 형상비에 따른 비교

휨전단 거동을 보이는 시험체의 연성도는 휨거동만을 보이는 시험체에 비하여 전단력의 영향으로 급격한 파괴가 유발됨으로써 같은 조건에서 평균 14%의 연성도 저하가 나타났다. 또한, 50% 겹침이음 비내진시험체의 경우 겹침이음이 없는 시험체에 비해 휨시험체는 40%, 휨전단시험체는 22%의 연성능력 저하를 보였다.

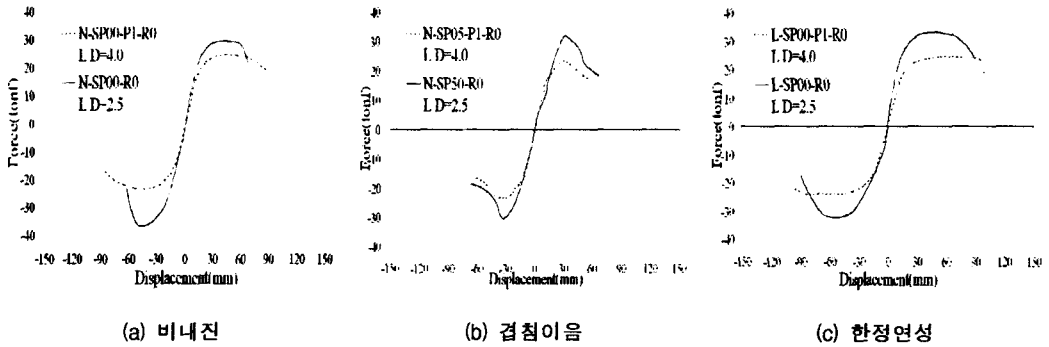


그림 6 휨-휨전단 비교

4.2 크기에 따른 비교

실물시험체와 축소시험체의(1/S) 크기에 대한 실험결과치의 차이를 알아보기 위하여 하중에는 S^2 , 변위에는 S를 적용하여 하중-변위 이력곡선을 분석하였다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 형상비가 동일한 시험체의 크기가 1인 축소시험체의 하중과 변위는 실물크기시험체에 비하여 각각 20% 증가함을 보였다.

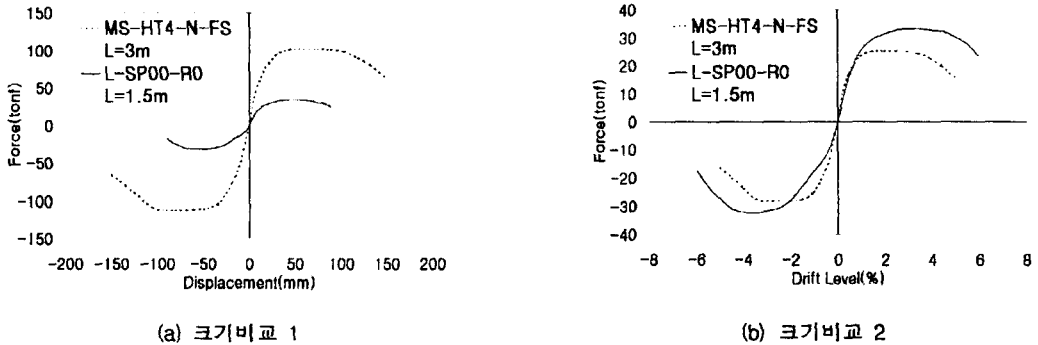
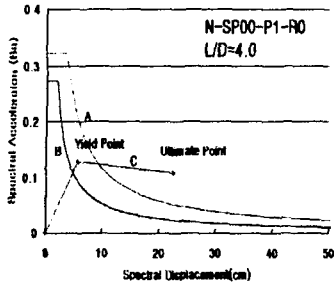


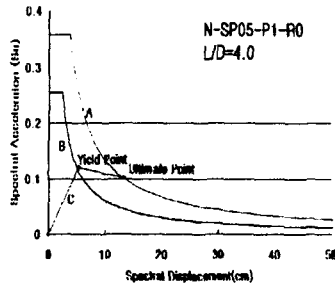
그림 7 실물-축소시험체 비교

4.3 역랑 스펙트럼

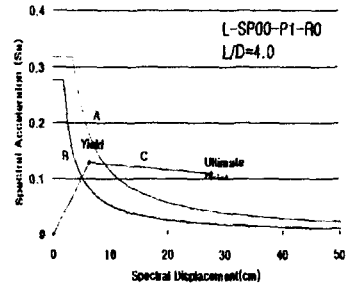
하중-변위 이력곡선으로부터 역랑스펙트럼방법에 의하여 철근콘크리트 교각시험체의 내진성능을 평가하였으며 아래 그림 8에 나타내었다. 2경간 연속 교량인 하갈교를 대상모델로 하여 각 시험체의 역랑스펙트럼 분석 결과는 실험한 6기의 시험체가 기능수행수준 및 붕괴방지수준을 만족시키는 것으로 나타났다.



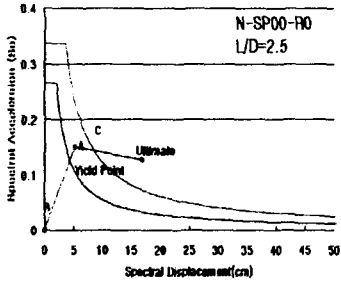
(a) 휨모드 비내진



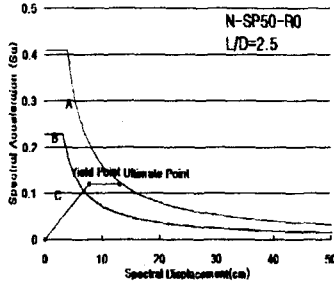
(b) 휨모드 겹침이음



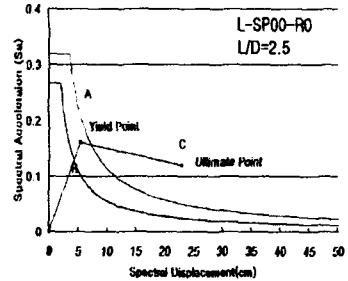
(c) 휨모드 한정연성



(a) 휨전단모드 비내진



(b) 휨전단모드 겹침이음



(c) 휨전단모드 한정연성

그림 8 역량 스펙트럼

5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 실험변수로 채택한 형상비, 겹침이음, 한정연성 유/무에 따른 연성도의 평가에서 겹침이음에 의한 연성도의 저하가 가장 두드러지는 것으로 평가되었으며 주철근 겹침이음에 대한 규정이 시급히 마련되어야 하리라 판단된다.
- 2) 휨전단거동시험체는 휨거동만을 보이는 시험체보다 전단의 영향을 받아 평균 14% 연성의 저하가 일어났다. 이에 교각의 파괴모드에 따른 내진성능평가를 위한 다양한 연구의 필요성이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 지진공학연구센터(2001G0302) 및 (주)콘크리브, (주)리플시스템, (주)SK케미칼의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 도로교설계기준(2000), 한국도로교통협회
2. K.K.Lee, G.H.Han, Y.S.Chung, D.H.Lee, E.S. Hwang(1998) Quasi-Static Tests for Seismic Performance of R.C Bridge Piers, *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, V.10, No.2, , pp615~620.
3. M.J.N. Priestley, F.Seible, G.M.Calvi,(1996) "Seismic Design and Retrofit of Bridges", *JOHN WILEY & SONS, Inc.*