

# 2주형 철근콘크리트 원형 교각의 내진 성능

## Seismic Performance Of RC Two Column-Bent Piers

정 영 수\*                  박 창 규\*\*                  이 범 기\*\*\*                  이 대 형\*\*\*\*  
Chung, Young Soo      Park, Chang Kyu      Lee, Bum G.              Lee, Dae Hyung

### ABSTRACT

RC column bent piers represent one of the most popular piers used in highway bridges. Seismic performance of reinforced concrete (RC) column-bent piers under bidirectional seismic loadings was experimentally investigated. Six column bent piers were constructed with two circular supporting columns. Test parameters are different transverse reinforcement and loading pattern. Three specimens were loaded with bidirectional lateral forces which were main cyclic loads in the longitudinal direction and subcyclic loads in the transverse direction. Other three specimens were loaded in the opposite way. Test results indicated that lateral strength and ductility of the latter specimens were bigger than those of the former specimens. Plastic hinge was formed with the spall of cover concrete and the fracture of the longitudinal reinforcing steels in the bottom part of two supporting columns for the former three specimens. Similar behavior was observed in the top and bottom parts of two supporting columns for the latter three specimens.

### 1. 서론

우리나라는 과거 지진에 대하여 안전지대라 여겨 내진설계에 소홀히 하였으나, 최근에 이르러 많은 중·소규모의 지진이 다수 발생하여 내진에 대한 관심을 고조시키고 있다. 이에 많은 연구자들이 최근 몇 년 동안 내진에 관하여 많은 연구를 수행하고 있으나 단주에 한정되어 연구가 진행되고 있다. 그러나 고속도로상의 교각은 대부분이 다주교각으로 이루어져 있으며, 또한 지진발생시 지진하중은 매우 불규칙한 하중으로 작용한다. 국내에서 김재관은 사각형 철근콘크리트 단주 교각에 축력이 재하 되지 않은 상태로 2축 휨 실험을 하였으며, 실험결과 일축하중을 받는 교각에 비하여 강도, 강성 및 연성이 저하된다고 보고하고 있다. 국외에서는 NCEER 보고서에서 주철근 겹침이음이 있는 3주형 교각을 단면증설 보강하여 내진성능을 실험하였다. 또한 시공된지 32년된 2주형 교각의 안전성 평가를 하였다. 본 논문에서는 다양한 횡구속 철근비에 따른 내진성능을 실험적으로 파악하였으며, 하중재하 방향을 교축과 교축직각방향을 각각 주축으로 하여 이축반복하중을 주어 하중의 방향에 따른 내진성능을 파악하고자 하였다. 또한 다주와 동일한 단면과 높이를 가진 단주형 실험체를 설계, 제작하여 단주와 다주의 거동을 비교하였다.

\* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수 · chung47@cau.ac.kr

\*\* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정수료

\*\*\* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*\* 정회원 · 경도대학 건설환경과 교수

## 2. 실험계획

실험체는 그림 1과 표 1과 같이 단면지름이 0.4m, 높이 2m이며 횡방향하중 가력높이는 코퍼부 및 받침 높이까지 고려한 2.8m인 2주형 RC 교각으로서 겹침이음이 없는 비내진시험체, 한경연성시험체, 내진시험체 각 2기와 내진설계된 2.8m의 단일주를 제작하였다. 실험체의 주철근은 SD30 16D13으로 주철근비는 1.61%이고 떠철근은 SD35 D6을 사용하였다. 그리고 콘크리트의 압축강도는 28MPa이다.

표 1 실험체의 특성

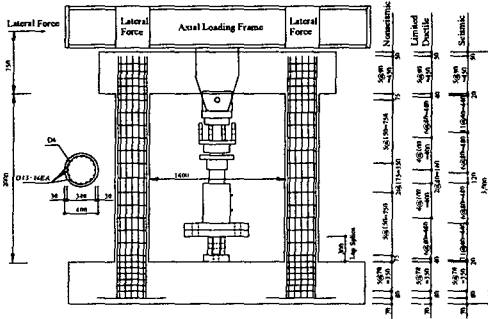


그림 1 실험체 상세

실험체명		횡방향철근(SD35)	
		철근비 (%)	간격(mm) PHR / NPHR*
Nonseismic Design	N2C-SP00-L	0.231	150 / 150
	L2C-SP00-T		
Limited Ductile Design	L2C-SP00-L	0.433	80 / 100
	L2C-SP00-T		
Seismic Design	S2C-SP00-L	0.867	40/80
	S2C-SP00-T		
	SIC-SP00		

\* PHR : 소성힌지구간, NPHR : 비소성힌지구간

-L : 주축이 교축방향인 시험체 -T : 주축이 교축직각방향인 시험체

## 3. 실험방법

본 실험에서는 그림 2과 같이 실험체의 상부에는 프레임을 설치하여 축방향력과 2방향의 횡하중을 재하할 수 있도록 설계하였다. 축방향력은  $0.1f_{ck}A_g$ 에 해당하는 600kN을 가력하여 각 교각에 300kN이 재하되도록 하였다. 그리고 하중은 3개의 Actuator를 가력벽에 부착하여 재하하였다.

하중과 변위값은 Actuator에 내장되어 있는 Load Cell을 이용하였으며, 횡방향변위를 측정하기 위하여 변위계를 설치하였다. 또한 기초 하단으로부터 20cm, 180cm, 200cm 지점에 경사계를 설치하여 상·하부 소성힌지 구간의 곡률을 측정하였다. 그림 3은 주하중방향이 교축방향인 실험체의 하중재하방법이며, 주하중방향이 교축직각방향인 실험체의 하중재하순서는 역순으로 재하하였다. 주방향이 교축방향인 시험체는 기초상단에서 가력부까지 높이 2.8m, 주방향이 교축직각방향인 실험체는 기둥의 유효길이 1m의  $\pm 0.25\%$ ,  $\pm 0.5\%$ ,  $\pm 1.0\%$ ,  $\pm 1.5\%$ ,  $\pm 2.0\%$ ,  $\pm 3.0\%$ ,  $\pm 4.0\%$ ... 단계로 진행되어 파괴시까지 진행되었으며, 각각의 drift level 마다 동일 변위 하중을 2회 반복재하하여 교각의 거동특성을 비교 분석하였다. 또한 각각 실험체의 부방향은 주방향의 30%에 해당하는 값으로 설정되었다.

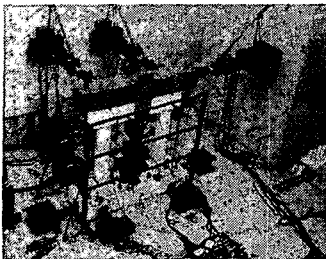


그림 2 실험전경

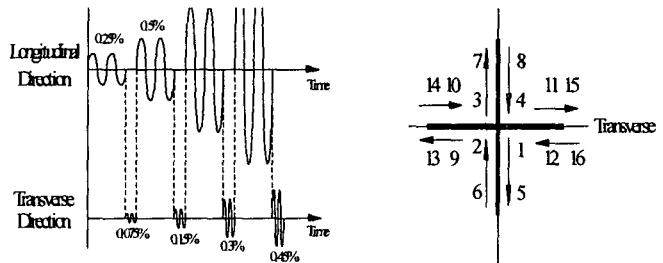


그림 3 하중재하방법

## 2 내진특성 및 구조실험

#### 4. 실험결과

##### 4.1 단계별 파괴거동

표 2 하중단계별 파괴거동

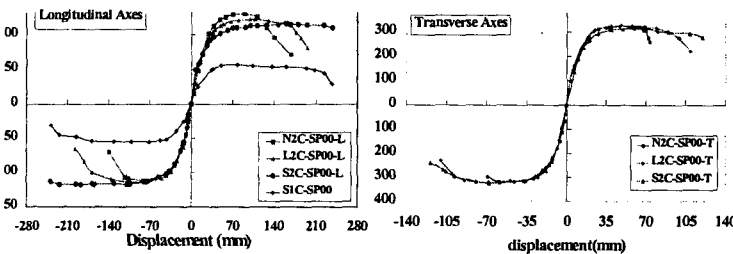
	0.25%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	8.5%	9%	10%	11%
S1C-SP00	★			●		♥■◆				▲	◎				
N2C-SP00-L	★			●		♥	■◆	◎	▲						
L2C-SP00-L	★			●		♥	■◆			▲◎					
S2C-SP00-L	★			●		♥		■	◆			▲			
N2C-SP00-T		★			●	♥		■◆	◎				▲		
L2C-SP00-T		★			●		♥	■	◆	◎				▲	
S2C-SP00-T		★			●		♥	■		◆					▲

★:초기균열 ●:항복하중 ♥수직균열 ■:최대최하중 ◆:피복탈락 ◎:극한하중 ▲:주철근 파단

표 2는 시험의 진행에 따른 하중단계별 파괴거동을 나타내었다. 주하중방향에 관계없이 횡구속 철근비가 증가 할수록 파괴양상의 진행이 느려짐을 알 수 있다. 항복하중에서 최대하중과 극한하중으로의 진행이 오래 지속되었다. 또한 첫 번째 주철근의 파단 또한 횡구속철근비가 증가함에 따라 늦게 발생함을 볼 수 있다. 하중방향이 교축직각인 시험체는 교축방향인 시험체와 달리 교각의 상부에서도 파괴가 일어났다. 하부의 바깥쪽면에서 파괴가 발생한 후 상단의 안쪽면이 파괴되었다. Drift level 3.0%(N2C-SP00-T), 4.0% (L2C-SP00-T), 4.0%(S2C-SP00-T)에서 상부에도 균열이 발생하였으며, 각각 Drift level 6.0%(N2C-SP00-L), 6.0%(L2C-SP00-T) 7.0%(S2C-SP00-T)에서 상부의 피복이 탈락되었다.

##### 4.2 변위연성도

실험결과 변위연성도를 그림 4 및 표 3에 비교 정리하였다. 분석결과 주철근 겹침이음이 없이 비내진설계된 경우 이전 연구(이대형 2002, 정영수2003)에서는 일축반복하중을 받을시 요구연성도를 만족하는 것으로 보고하고 있으나, 본 연구에서 이축반복하중을 받는 비내진 실험체(N2C-SP00-L, N2C-SP00-T)는 요구연성도에 상당히 미치지 못하는 것으로 나타났다. 이는 내진설계시 2축반복하중을 받는 경우도 고려해야 한다는 것을 의미한다. 이는 일축이 아닌 이축반복하중을 받음으로서 손상도가 증가하여 연성이 저하되는 것으로 판단된다. 한정연성 실험체의 경우 현행규정의 50%에 해당하는 횡구속철근비로 이전 단주의 결과에 비해 낮은 연성도를 보였으나 변위연성도 5에 근접하는 것으로 나타났다. 한정연성실험체(L2C-SP00-T)의 경우 L2C-SP00-L실험체와 같이 요구연성도에 근접하는



(a) 교축방향 (b) 교축직각방향

그림 4. 하중-변위 포락곡선

표 3. 실험결과

specimen	Yield	Ultimate	Ductility
	Displ (mm)	Displ (mm)	
N2C-SP00-L	37.0	126.4	3.5
L2C-SP00-L	36.8	176.9	4.8
S2C-SP00-L	38.7	>238.0	>6.2
N2C-SP00-T	18.3	72.01	4.0
L2C-SP00-T	19.2	98.4	5.1
S2C-SP00-T	20.3	>120.0	>5.9
S1C-SP00	37.4	207.8	5.6

것으로 나타났다. 내진 실험체(S2C-SP00-L, S2C-SP00-T)의 경우 연성능력이 뛰어나 극한상태까지 실험을 수행하지 못하였지만 변위연성도가 매우 좋을 것으로 추측된다. 또한 교축직각방향을 주하중으로 하는 실험체가 교축방향을 주축으로 하는 실험체보다 연성도가 더 우수함을 알 수 있다. 이는 교축직각방향 재하시에는 기둥의 유효길이가 짧아지므로 내하력이 크고, 소성힌지구간이 기둥의 상·하단에서 모두 생기기 때문으로 판단된다.

## 5. 결 론

1. 주하중방향이 교축방향인 경우 단주교각의 거동과 유사하게 교각의 하부에서만 파괴되었지만 주하중방향이 교축직각 방향인 실험체의 경우 교각상부에도 소성힌지부가 발생하여 균열이 발생하고 파괴되었다.
2. 횡구속철근비를 증가시킴에 따라서 교각의 연성도가 증가하였으며, 주하중방향이 교축직각시험체의 경우가 교축시험체보다 더 좋은 연성도를 나타내었다.
3. 횡구속 철근비를 증가시킨 한정연성 교각의 경우 비내진 교각보다 연성도가 41% 높게 나타났다. 그러나 일축 반복 하중을 받는 경우 횡구속철근비가 현행 내진규정의 30% 만으로도 요구연성도를 만족하였으나, 이축 반복하중을 받는 경우에는 현행 내진규정의 50%의 횡구속철근비에 요구연성도 5에 근접하는 것으로 나타났다. 따라서 중진지역에 적합한 내진설계식 검토시 이축반복하중에 의한 연구결과를 고려해야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 지진공학연구센터(과제번호:R11-1977-045-12005-0)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 건설교통부, "도로교설계기준", 2000.
2. M. J. N. Priestly, Seible, F., and Calvi, G.M., "Seismic Design And Retrofit of Bridge," John Wiley & Sons, Inc., 1996.
3. Murat Saatcioglu and Guney Ozcebe, "Response of Reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading," *ACI Structural Journal*, Vol. 56, No. 1, 1989, pp. 3~12.
4. F. A. Zahn, R. Park, and M. J. N. Priestley, "Strength and Ductility of Square Reinforced Concrete Column Sections Subjected to Biaxial Bending," *ACI Structural Journal*, Vol. 56, No. 2, 1989, pp. 123~130.
5. Yuk-Lung Wong, T. Paulay, and M. J. N. Priestley, "Response of Circular Reinforced Concrete Columns to Multi-Direction Seismic Attack," *ACI Structural Journal*, Vol. 90, No. 2, 1993, pp. 180~191.
6. 정영수, 이재훈, 김재관 등, "고속도로 기존 교량의 유형별 내지 성능평가를 위한 실험적 연구", 한국도로공사, 2001.
7. 김재관, 김익현, 이재호, 김남식, "이축방향 교면반복하중을 받는 구형 철근 콘크리트교각의 거동특성 시험", 한국지진공학회 학술발표회 논문집, 제5권, 제1호, 2001, pp.323~328.