

이축 하중을 받는 이주형 철근콘크리트 교각의 손상도평가

Damage Assessment of RC Column-Bent Pier under Bidirection Loading

박창규* 이범기** 윤상철** 정영수***
Park, Chang Kyu Lee, Beom Gi Yun, Sang Chul Chung, Young Soo

ABSTRACT

Reinforced concrete(RC) column-bent piers represent one of the popular piers used in highway bridges of Korea. Seismic performance of RC column-bent piers under bi-directional seismic loadings was experimentally investigated. Six column bent piers were constructed with two circular supporting columns which were made in 400 mm diameter and 2,000 mm height. Test parameters are different transverse reinforcement ratio and loading pattern. Three specimens were loaded with bi-directional lateral forces which were main cyclic loads in the longitudinal direction and sub-cyclic 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

최근 세계 여러나라에서는 크고 작은 지진이 발생하고 있으며 그 횡수가 증가하고 있다. 또한 중·저지진지역으로 분류되고 있는 우리나라도 더 이상 지진에 대해 안전지대가 아니다. 지난 2004년 경북 울진 해역에서 1978년 이후 남한에서 발생한 가장 큰 지진이 발생하였다. 우리나라 교량교각의 대부분은 다주교각으로 이루어져 있으며 지진하중은 그 방향성이나 크기에 대해 예측할 수 없음에도 불구하고 그동안의 연구는 단주와 일축반복하중을 받는 교각에 대한 연구가 대부분이었다. 본 논문에서는 이주형 교각을 제작하여 다양한 횡구속 철근비와 주하중방향에 따른 내진성능을 평가하였다.

2. 실험계획

2.1 실험계획

* 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 교수 · chung47@cau.ac.kr
** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 박사과정수료
*** 정회원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정
**** 정회원 · 경도대학 건설환경과 교수

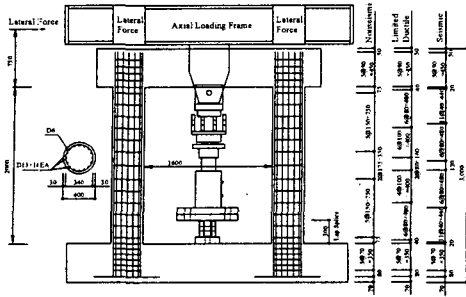


그림 1 실험체 상세

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		
	S1C-SP00		

* PHR : 소성현저구간, NPHR : 비소성현저구간

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

주철근 및 띠철근은 각각 SD30인 D13(330MPa)과 D6(390 MPa)을 사용하였으며, 콘크리트의 28일 평균압축강도는 28 MPa로 나타났다. 실험체는 그림 1과 표 1과 같이 단면지름이 0.4 m, 기둥높이 2 m 인 이주형 RC교각으로 겹침이음이 없는 비내진실험체, 한정연성실험체, 내진실험체 각 2기에 대하여 횡구속력 및 횡구속철근비에 따른 내진성능을 평가하고, 주하중 재하방향에 따른 실험체의 거동을 규명하였다.

2.2 실험방법

본 실험에서는 그림 2와 같이 실험체의 상부에는 프레임을 설치하여 축방향력과 2방향의 횡하중을 재하할 수 있도록 설계하였다. 축방향력은 $0.1f_{ck}A_g$ 를 재하하도록 600 kN을 가력하여 각 교각에 300 kN이 재하되도록 하였으며 횡방향 하중은 하중은 3개의 Actuator를 가력력에 부착하여 재하하였다. 실험수행후의 실험체의 거동을 분석하기 위하여 하중계와 변위계를 이용하였으며, 주철근, 띠철근에 변형률 게이지를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였다.



그림 2 실험전경

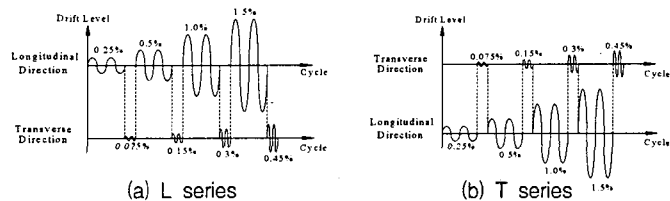


그림 3 하중재하방법

그림 3(a)는 주하중방향이 교축방향인 실험체의 하중재하방법이며, 그림 3(b)는 주하중방향이 교축직각방향인 실험체의 하중재하방법을 보여주고 있다. 변위 제어량은 기둥의 유효길이에 대한 가력된 변위의 퍼센트(%)로, 주방향 하중이 교축방향인 실험체는 기초상단에서 가력부까지 높이 2.8m, 주방향이 교축직각 방향인 실험체는 기둥의 유효길이 1m의 $\pm 0.25\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$, $\pm 3.0\%$, ... 단계로 2번 반복재하하여 교각의 파괴시까지 진행하였다. 또한 각각 실험체의 부방향 하중의 크기는 주방향의 30%에 해당하는 값으로 주방향과 동일하게 2회 반복 재하하였다.

3. 실험결과

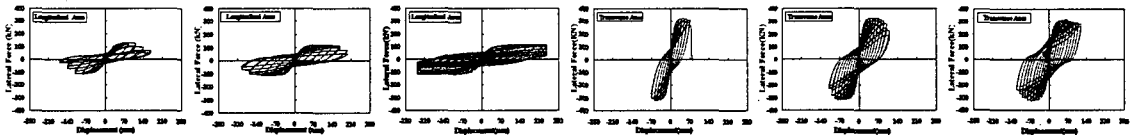
3.1 단계별 파괴거동

표 2는 시험의 진행에 따른 하중단계별 파괴거동을 나타내었다. 주하중방향에 관계없이 횡구속 철근비가 증가 할수록 파괴양상의 진행이 느려짐을 알 수 있다. 즉, 항복하중에서 최대하중과 극한하중으로의 진행이 오래 지속되어 연성이 증가하였다. 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.

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%
N2C-SP00-L	★			●		♥	■◆	◎	▲						
L2C-SP00-L	★			●		♥	■◆		▲◎						
S2C-SP00-L	★			●		♥		■	◆			▲			
N2C-SP00-T		★			●	♥		■◆	◎				▲		
L2C-SP00-T		★			●		♥	■	◆	◎				▲	
S2C-SP00-T		★			●		♥	■		◆					▲

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



(a) N2C-SP00-L (b) L2C-SP00-L (c) S2C-SP00-L (d) N2C-SP00-T (e) L2C-SP00-T (f) S2C-SP00-T
그림4 하중-변위이력곡선

3.2 Damage index

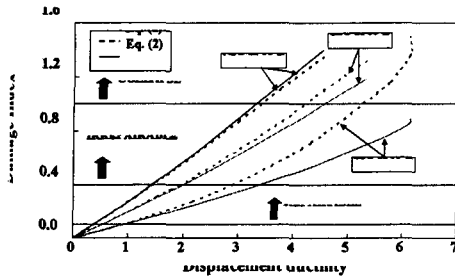
본 연구는 Park and Ang의 손상도 산정식 Eq. (1)을 기초로 하여 Eq. (2)와 같은 방정식을 제안하였다. Park and Ang의 손상도 산정식은 구조물 거동의 방향성이 고려되어있지 않으나 본 제안식은 이방향의 거동을 고려한 2차원식을 제안하였다. 분석결과 횡구속철근비의 증가는 구조물 손상의 진행을 지연시키는 것으로 나타났다. 그림 5는 Eq. (1)과 Eq. (2)에 의해 본 실험체들을 분석한 그래프이다. 비내진시험체의 경우 두 식이 비슷한 값을 보여주고 있지만 한정연성실험체와 내진실험체에서는 많은 차이를 보이고 있다. 이전연구에서 계산된 변위연성도의 값과 파괴상태를 비교해보면 Eq. (2)의 식이 더 실험의 결과와 유사한 값을 나타내고 있다.

$$D = \frac{\delta_M}{\delta_u} + \frac{\beta}{Q_y \delta_u} \int dE \quad \text{Eq. (1)}$$

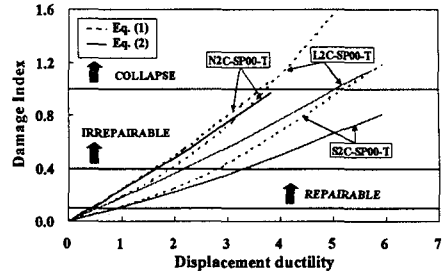
$$D = \alpha_x D_x + \alpha_y D_y \quad \text{Eq. (2)}$$

$$\alpha_x = \frac{\delta_{M_x}}{\delta_{M_x} + \delta_{M_y}} \quad \alpha_y = \frac{\delta_{M_y}}{\delta_{M_x} + \delta_{M_y}}$$

$$D_x = \frac{\delta_{M_x}}{\delta_{u_x}} + \frac{\beta}{Q_{y_x} \delta_{u_x}} \int dE_x \quad D_y = \frac{\delta_{M_y}}{\delta_{u_y}} + \frac{\beta}{Q_{y_y} \delta_{u_y}} \int dE_y$$



(a) L-series



(b) T-series

그림5 Eq.(1)과 Eq(2)에 의한 손상도 평가

4. 결 론

1. 주 하중방향이 교축방향인 경우의 이주형 교각의 내진거동은 단주교각의 파괴거동과 유사하게 교각 하부에서만 파괴되었다. 또한, 주 하중방향이 교축직각 방향인 실험체의 경우 교각상부에도 소성힌지부가 발생하여 균열이 발생하고 파괴되었다.
2. 횡구속 철근비를 증가시키에 따라서 교각의 연성도가 증가하였으며, 주하중방향이 교축직각인 실험체의 경우 교축인 실험체보다 더 좋은 연성도를 나타냈다.
3. Park and Ang의 손상도 산정식은 2방향 하중에 의한 손상도를 산정하기 힘들기 때문에 2방향 하중을 고려할 수 있는 2차원 손상도 산정식을 제안하였으며 분석결과 실험결과와 근접한 값을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 지진공학연구센터(과제번호:R11-1997-045-12005-0)의 지원 및 현대건설기술연구소 구조실험동 관계자의 협조로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Park, Y. J. & Ang, Alfredo H-S. 1985, Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, Journal of structural engineering Vol.111, No.4, APR pp722-739.
2. M. J. N. Priestly, Seible, F., and Calvi, G.M., "Seismic Design And Retrofit of Bridge," John Wiley & Sons, Inc., 1996.
3. 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.
4. 정영수, 박창규, 이범기, 송희원, "이축방향 유사정적 실험에 의한 이주형 철근콘크리트 원형 교각의 내진 성능평가", 한국콘크리트학회 논문집, 제17권, 제1호, 2005, pp.121~128.
5. 정영수, 이재훈, 김재관 등, "고속도로 기존 교량의 유형별 내진 성능평가를 위한 실험적 연구", 한국도로공사, 2001.
6. 김재관, 김익현, 이재호, 김남식, "이축방향 교번반복하중을 받는 구형 철근 콘크리트교각의 거동특성 시험", 한국지진공학회 학술발표회 논문집, 제5권, 제1호, 2001, pp.323~328.