

# 저형상비 RC교각의 실물모형 준정적실험

## Quasi Static Test of Real Scaled RC Piers with Low-Aspect Ratio

조창백\*

곽임종\*\*

김영진\*\*\*

Cho, Chang-Beck Kwahk, Im-Jong Kim, Young-Jin

### ABSTRACT

The past Korean Bridge Design Specifications have no limitation on the amount of lap splices of longitudinal bars in the plastic hinge zone of piers. A majority of bridge piers which have been non-seismically designed might have some lap splices in plastic hinge zone. Also a number of those piers in Korea have a low aspect ratio(height/section area). So, some problems such as low ductility behavior may happen. In this study, the real pier which was non-seismically designed and has a low aspect ratio was selected for the quasi-static tests. Two groups of full scaled RC pier models of which aspect ratios are about 2.26 and about 2.67 were fabricated. And then, quasi-static tests according to the drift level history method were implemented. From the test results, the failure of these test specimens have been shown in the complex shear-flexural or shear modes. The low aspect ratio and the lap splice have largely influenced on the seismic performance of bridge piers.

### 1. 서론

최근 해상교량을 비롯한 교량 구조물의 건설에 있어서 대형화 및 장경간화의 추세가 일반적으로 계속되고 있다. 중약진 지역에 속해있다고 할 수 있는 우리나라에서는 이에 따른 지진의 피해도 우려되고 있어 내진설계에 대한 중요성이 더욱더 증대되고 있다. 2000년 이후로 교량의 내진성능 평가를 위한 교각 구조물 시험체의 내진실험의 규모가 점차 대형화되었으며, 실험장소 및 실험역량의 확대로 실물크기 대형 교각시험체에 대한 실험도 계속 실시되었다.

국내의 기존 RC교각들을 분석하기 위해서 우선적으로 이들 교각들의 형식과 기본적인 제원 등에 대한 고찰이 이루어져야 한다. 특히, 교량 하부구조의 형식과 교량의 높이는 지진시 교량의 동적거동에 영향을 미치는 중요한 인자이다.

실험 대상교량 선정을 위하여 국내 기존 교량을 관리하는 교량유지관리시스템(BMS)의 자료를 분석한 결과, 국내에는 형상비가 낮아 휨-전단 복합거동 또는 전단거동을 보일 가능성이 있는 교각들이 다수 존재하는 것으로 파악되었다.<sup>1)</sup> 따라서 본 연구에서는 이들의 내진특성을 평가하기 위해 형상비가 2.5내외인 교각을 선정하고 준정적실험을 실시하여 저형상비의 실물 RC 교각 시험체에 대한 휨-전단 및 전단 내진거동 특성 등을 조사하였다.

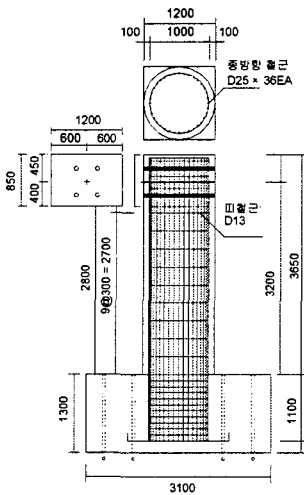
\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원  
\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원  
\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

## 2. 실험개요

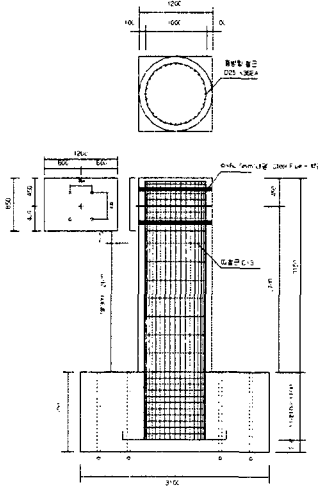
본 연구에서는 휨-전단 복합모드가 작용하여 파괴에 이를 가능성이 많은 형상비 2.5 내외인 기존 교각중에서 형상비가 2.67을 가지고 있는 것을 실험 대상모델로 선정하였다.

대상 원형교각과 동일한 실물크기로 시험체를 제작하였는데, 형상비가 원형 그대로 2.67인 교각시험체와 형상비를 더 낮춘 2.25의 교각시험체도 제작하여 파괴거동을 비교 분석하고자 하였다.

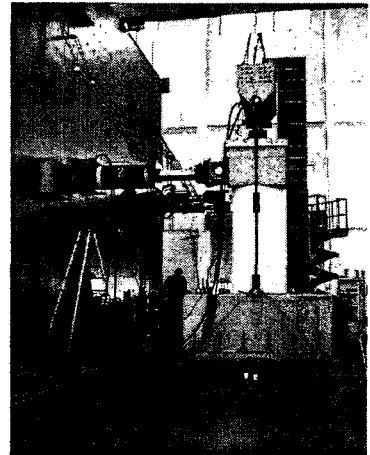
시험체의 단면은 그림 1과 같이 모두 원형 중실단면이며 시험체의 재원과 상사비, 시험체 상세는 표 1에 나타내었다. 그리고 시험체 제작시 주철근의 배근상세를 달리하여 소성인장 부분의 주철근이 겹침이음이 없는 경우, 절반이 겹침이음한 경우 그리고 전체가 겹침이음된 경우로 구분하여 총 6개의 시험체를 제작하였다.



(a) 형상비 2.67 시험체



(b) 형상비 2.25 시험체



(c) 시험체 설치 및 실험광경

그림 1. 시험체 설계 상세 및 설치

표 1. 시험체 상세

구분	본체높이	시험체명	주철근	겹이음	띠철근	형상비
실물크기 (D=120cm)	H=320cm	FS-H-LS000	D25 (36EA)	0%	D13 (S=30cm)	2.67
		FS-H-LS050		50%		
		FS-H-LS100		100%		
	H=270cm	FS-L-LS000		0%		2.25
		FS-L-LS050		50%		
		FS-L-LS100		100%		

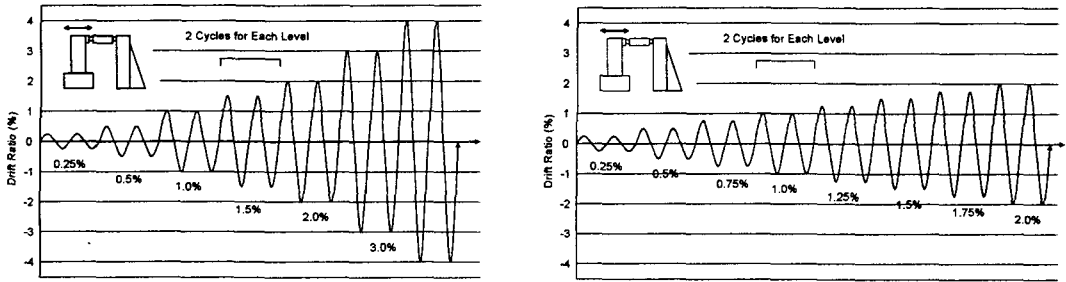
• FS : Full-Scale, H : High-Height, L : Low-Height, LS : Lap splice ratio

## 3. 준정적실험

본 실험연구에서와 같이 휨-전단 파괴모드를 나타내리라 예상되는 교각에서는 실험 시작 이전에 수

치해석에 의해 거동을 예측하는 것이 매우 힘들다. 즉, 휨 거동이 지배적인 교각보다 해석 신뢰성이 낮고, 소성현지 발생시점과 그 범위를 예측하기 쉽지 않다. 그래서 교각시험체의 항복변위를 신뢰성 있게 설정하기 곤란하다. 따라서 본 실험에서는 항복변위에 따른 변위이력을 사용하지 않고 그림 2와 같이 교각 시험체의 높이에 대한 수평방향 변위값의 Drift level 기법으로 하중을 재하하는 방법을 사용하였다.

Drift level 기법에 의한 변위이력은 여러 방법이 제안되었으나, 본 실험에서는 Mander 등이 제안하여 전단거동 교각 실험에 사용한 이력을 채택하여 실험을 실시하였다.<sup>2)</sup>



(a) Pilot Test에 적용

(b) 본 실험에 적용

그림 2. Drift level 기법에 의한 변위이력

Drift level을 이용한 준정적 실험은 Drift level을 시험체의 본체높이에 대한 Displacement로 계산 후 Actuator Control Program에 입력하여 실험을 진행한다. 형상비 2.67인 시험체에서 Drift level 증가치 0.25%에 해당하는 변위는 8mm이다. 실험중 Drift level 증가에 따라 발생된 균열 및 파괴양상, 철근 변형률 등을 조사하였다. 서보제어벨브가 장착된 350tonf 용량의 Actuator를 사용하여 200tonf의 축하중을 일정하게 재하하였으며 실험중 축력 변동오차는 평균  $\pm 0.29$  tonf에 불과하였다.

먼저 Drift level을 설정하기 위해 그림 2(a)와 같은 Drift level을 적용하여 휨-전단파괴를 예상한 실물크기 예비시험체에 대하여 Pilot Test를 실시하여 보았다. 그 결과 휨-전단 복합 파괴거동을 보인 기존의 파괴거동 특성과 달리 휨파괴 영역을 보이지 않고 전단파괴로 급격히 진전하는 것으로 나타났다. 이는 급격한 Drift level의 증가(0.5%→1.0%→1.5로 0.5%씩 증가)로 인해 휨-전단 또는 전단파괴 거동특성을 제대로 파악할 수 없었다.

따라서 본 실험에서는 그림 2(b)와 같이 Drift level의 증가치를 0.25%→0.5%→1.0% ...의 순서로 파괴시까지 0.25%씩 작게 증가시켜 휨-전단 거동특성과 파괴양상을 상세히 조사하는 것으로 하였다.

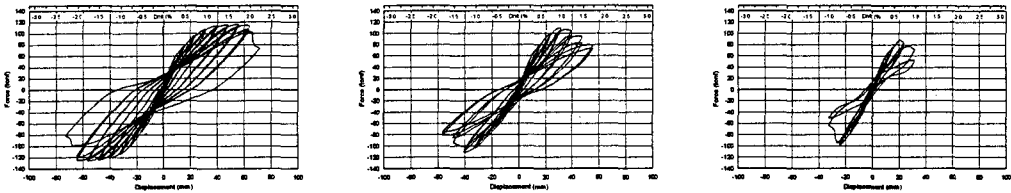
#### 4. 실험결과

큰 형상비를 갖는 시험체인 경우 비내진상세로 횡방향 철근이 배치되었음에도 연성이 충분하여 그림 3(a)와 같은 안정적인 하중-변위 이력곡선을 보이고 있다. 여기서 보면 초기에 휨거동을 보이면서 연성을 발휘하다가 철근 항복 후 콘크리트의 전단강도 저하로 인하여 최종적으로 전단에 의해 파괴되면서 내하력이 급격히 감소하였다. 결국 초기에는 휨에 의한 파괴로 진행되었고 최종적으로 전형적인 휨-전단 거동을 나타냈다고 판단된다.

주철근 또한 겹침이음이 50%, 100% 경우 모두 연속철근을 사용한 것에 비해 연성이 떨어지는 것을 알 수 있었다. 소성현지 형성 후 휨에 의한 피복 콘크리트의 박리가 상당히 진행되었고 주철근 부착과

괴로 인하여 휨에 대한 내력이 급격히 저하되는 것이 관측되었다.

낮은 형상비를 갖는 경우 큰 형상비의 시험체와는 다른 파괴양상을 보였는데, 형상비의 변화로 전단 지배적인 거동이 확실히 나타났으며 사인장 균열에 의한 전단파괴가 발생하였다. 주철근의 50% 겹침 이음의 경우도 콘크리트 전단강도 저하에 따른 전단파괴로 급격한 내하력의 감소가 발생하였으며 겹침 이음 100%의 경우 더욱 열악한 연성도를 보이며 주철근의 부착파괴가 발생하였다.

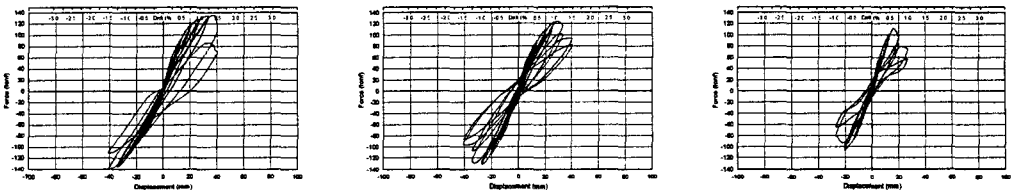


(a) FS-H-LS000

(b) FS-H-LS050

(c) FS-H-LS100

그림 3. 형상비 2.67 교각시험체 이력곡선



(a) FS-L-LS000

(b) FS-L-LS050

(c) FS-L-LS100

그림 4. 형상비 2.25 교각시험체 이력곡선

## 5. 결론

본 연구에서는 각각 휨-전단 파괴거동과 전단 파괴거동이 예상되는 실물 교각시험체를 제작하고, Drift level에 의한 준정적 실험을 실시하여 다음 결론을 얻었다.

- 1) 형상비가 2.5 내외에서 교각의 형상비 변화에 따라 파괴모드의 양상이 휨-전단파괴에서 전단파괴로 민감하게 변화할 가능성이 있는 것으로 조사되었다.
- 2) 형상비가 충분히 낮아 전단파괴가 예상되는 교각에서 소성힌지 구간의 주철근이 100% 겹침이음된 경우 전단파괴 발생이전에 주철근의 부착파괴가 발생하여 수평 저항력이 급격히 저하됨을 알 수 있었다.
- 3) 낮은 형상비를 갖는 교각의 연성도에서도 주철근 겹침이음이 큰 영향을 미쳐 내진성을 좌우할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- 4) 향후 전단파괴 거동이 예상되는 낮은 형상비를 갖는 교각에서는 주철근 겹침이음 상세에 대한 추가적인 연구를 수행하여 연성도를 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 한국건설기술연구원, “교각 내진성능 평가 및 교량 비선형 내진해석 프로그램 개발”, 전기연 2001-078, 2001.
2. Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G. M., Seismic Design andfit of Bridges, John Wiley & Sons, 1996
3. Mander, J. B., Waheed, S. M., Chaudhary, M. T.A., Chen, S.S., Seismic Performance of Shear-critical Reinforced Concrete Bridge Piers, Technical Report NCEER-93-0010, Buffalo, 1993
4. AASHTO, Guide Specifications for Seismic Isolation Design, AASHTO, 1999