

철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 준정적 실험

Quasi-Static Tests for seismic performance of RC bridge piers

이강균^{*} 한기훈^{*} 정영수^{**} 이대형^{***} 황의승^{****}
Lee, Kang Kyun Han, Ki Hoon Chung, Young Soo Lee, Dae Hyoung Hwang, Eui Seung

ABSTRACT

The objective of this experimental study is to investigate the hysteretic behavior of reinforced concrete piers subjected to quasi-static cyclic loads, which have been used in large numbers for railway and urban transportation facilities. Important test parameters are hoop ratio, axial load, loading type, and the behaviors of members have been evaluated through limit states of crack occurrence, yielding and ultimate state of member, ductility and load-deflection characteristics under quasi-static alternating cyclic loads.

As a result, it is concluded that the analytic load-deflection loop can be secured by considering the influence of hoop reinforcement ratio and axial load, and that plastic hinge length and ductility are determined by the combination of the quantities of hoop reinforcement and axial load.

1. 서론

최근의 강진에 의해 철근콘크리트 교각은 심각한 손상을 입는 결과를 초래하였으며 이러한 결과는 설계에 대한 많은 관심을 불러일으키고 있다. 이러한 철근콘크리트 교각은 실제 교량의 교각으로 가장 일반적인 형태이며 이 외에 건축물의 기둥으로도 많이 사용되는 일반적인 형태이다. 이러한 형태의 기둥은 최근의 Kobe지진 등으로 인하여 심각한 손상을 입었으며 대부분의 기둥은 전단에 의해 하부가 파괴되는 양상을 보이고 있다. 이러한 파괴는 기둥의 높이 뿐만 아니라 축방향 하중에도 많은 영향을 받고 있다.

일반적으로 강진은 관성력에 의해 기둥의 횡방향 변위를 야기하고 이는 부재의 탄성능력을 넘는 비탄성 변위를 일으킨다. 일반적인 기둥구조물에서 이러한 변위는 소성힌지부위라고 생각되는 높은 휨응력이 발생하는 위치에서 일어난다. 이러한 힌지부의 저항은 최소한 상부구조에 의한 사하중에 저항할 수 있는 비탄성 반복변위에 저항할 수 있어야 한다. 따라서 철근콘크리트부재는 충분한 횡방향철근이 심부콘크리트와 전단파괴에 저항할 수 있도록 설계되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 철근콘크리트 단주에 대한 반복하중에 의한 준정적(Quasi-Static)실험을 수행하였으며 다양한 실험변수를 통하여 각 실험변수에 대한 내진성능을 규명하고 또한 국내의 철근콘크리트 교량의 내진 보강방안에 대해서 새로운 방향을 제시하고자 한다.

* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

*** 정회원, 경북도립 예천전문대학 전임강사

**** 정회원, 경희대학교 토목공학과 교수

2. 실험개요

(1) 사용재료

본 실험에 사용한 콘크리트의 시방배합은 다음 표 1에 나타내었다. 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 원주형공시체($\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$)의 압축강도 실험결과 약 240 kg/cm^2 를 나타내었다. 실험에 사용한 철근은 D10($\phi 9.53\text{mm}$)과 #6 wire($\phi 4.8\text{mm}$)를 사용하였으며 축방향 및 띠철근의 항복강도는 각각 4200 kg/cm^2 , 3200 kg/cm^2 정도이다.

표 1. 콘크리트의 시방배합

굵은 골재 최대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	물-시멘트 비	잔골재율 (%)	단위량 (kg/m^3)				
				물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은골재 G	AE 감수제
13	12	46.1	49	169	375	866	937	1.88

(2) 시험체의 제원

본 실험에서 이용한 시험체는 경기도지역의 실존 RC구조물인 하갈교를 축소한 모델을 이용하였으며 축소비율은 시험체의 해석 및 시공이 용이하도록 1/3.4를 이용하였다. 따라서 시험체의 단면은 지름이 50cm, 유효높이 47cm, 전단지간 185cm, 전단지간비 $a/d = 3.94$ 인 원형 RC기둥이다. 표 2.2에 시험체의 제원을 나타내었다. 실험변수로는 띠철근 비, 축방향력 및 하중재하 형태이다. 띠철근비는 2.25%와 4.5%의 두가지 경우로 하였다. 또한, 실제 구조물에서의 RC기둥은 상부구조 및 자중에 의해 15 kg/cm^2 정도의 압축응력이 작용하고 지진시(수평진도 0.2)에는 $\pm 6 \text{ kg/cm}^2$ 정도의 축응력의 변화가 예상된다. 본 실험에서는 $P/\sigma_{ck}A_g = 0.1$ 인 축하중 43ton을 재하하고 이 때의 축방향 압축응력은 21.94 kg/cm^2 이 발생된다. 축하중을 변수로 하여 로 $P/\sigma_{ck}A_g = 0.15$ 하는 경우 축방향 압축응력은 36.01 kg/cm^2 가 발생한다. 다음 그림 1.는 시험체의 치수 및 배근을 나타내고 있다.

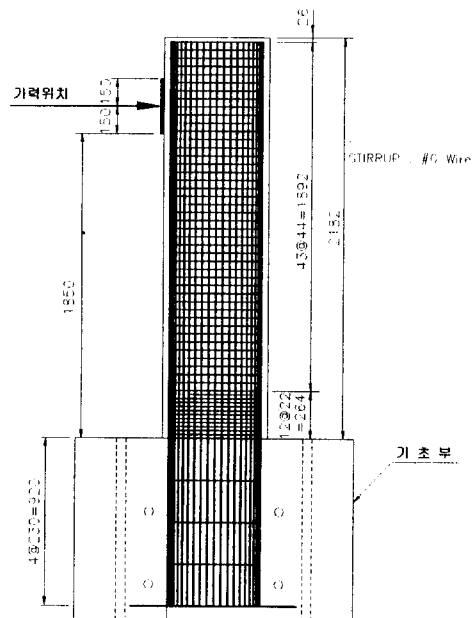


그림 1. 시험체의 제원 및 배근 예

(3) 재하방법

재하는 축력을 일정한 값으로 유지한 상태에서 기둥의 상부에 인장 및 압축의 반복수평하중을 재하하였으며, 수평하중은 변위제어 방식을 채택하였다. 그림 2.에는 재하개념도를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 수평하중이 재하하는 경우 기둥의 하부에서 축방향력의 편심으로 인한 휨 모멘트가 발생할 수 있다. 그러나, 이 값은 수평변위, δ_y 에 의해 기둥의 하부에서 발생하는 휨모멘트에 비해 약 2.8 %정도이므로 본 실험에서는 이에 대한 영향은 무시하였다.

하중형태는 그림 3.와 같은 2 가지의 반복하중으로서 기둥하부의 인장철근이 항복 변형률 0.002에 도달하는 항복변위 δ_y 의 1배, 2배, 3배, …… 로 하여 각각이 반복횟수는 3회, 10회이다.

표 2. 시험체의 제원 및 일반사항

시험체 명	축방향 주철근		띠철근			축응력 (kg/cm^2)
	철근지름 (mm)	철근비 (%)	철근지름 (mm)	간격 (cm)	철근비 (%)	
CS1P1L1	9.53	1.16	4.8	2.2	4.5	21.94
CS1P1L2	9.53	1.16	4.8	2.2	4.5	21.94
CS1P2L1	9.53	1.16	4.8	2.2	4.5	36.01
CS1P2L2	9.53	1.16	4.8	2.2	4.5	36.01
CS2P1L1	9.53	1.16	4.8	4.4	2.25	21.94
CS2P1L2	9.53	1.16	4.8	4.4	2.25	21.94
CS2P2L1	9.53	1.16	4.8	4.4	2.25	36.01
CS2P2L2	9.53	1.16	4.8	4.4	2.25	36.01

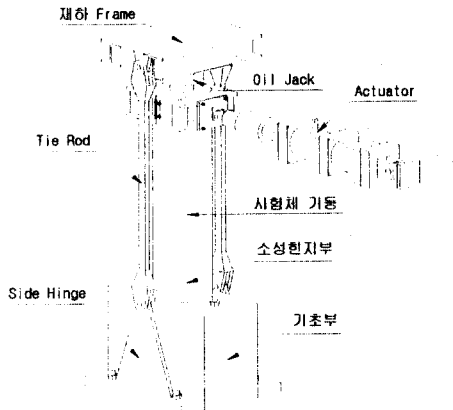


그림 2. 재하 개념도

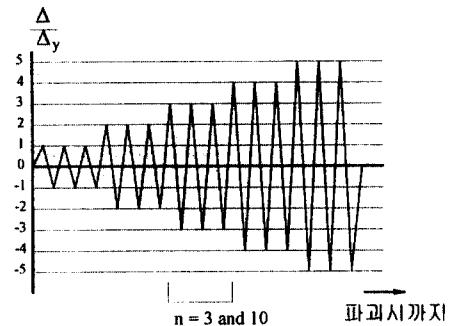


그림 3. 하중재하 형태

(4) 게이지의 부착

본 실험을 수행하기 위하여 LVDT, 변형률게이지 및 crack게이지를 부착하였으며 부착위치는 그림 4에 나타내었다. LVDT는 시험체의 높이에 따른 변위를 측정하고 변형률게이지는 주철근 및 띠철근의 변형률을 측정하였다. 또한 시험체 표면에서의 균열 및 변형률을 측정하기 위하여 crack게이지를 제작·설치하여 M- ϕ 관계를 조사하였다.

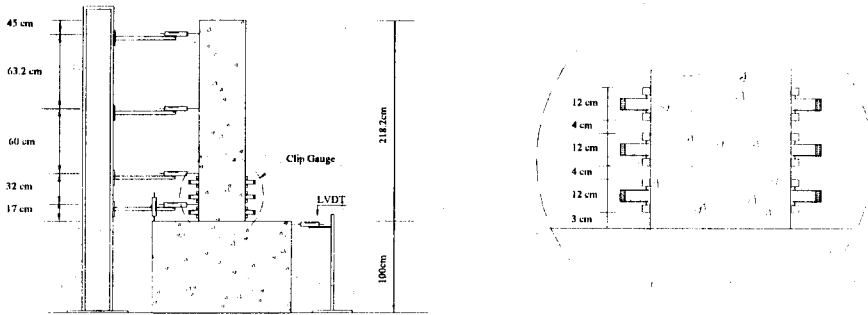


그림 4. 게이지 부착위치도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 하중-변위 이력특성

시험체 CS2P2L1의 각 변위에서의 수평하중 P 와 수평변위 δ 와의 관계를 그림 5에 나타내었다. 다른 시험체에서도 같은 조건의 시험체의 경우 거의 유사한 형태의 하중-변위 곡선의 형태를 보인다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 종국에 이를 때까지 안정한 방추형(紡錘型)의 모양을 보이고 있으며 축방향 철근이 많은 만큼 또한 띠철근량이 많은 만큼 $P-\delta$ loop의 면적은 약간 증가한다.

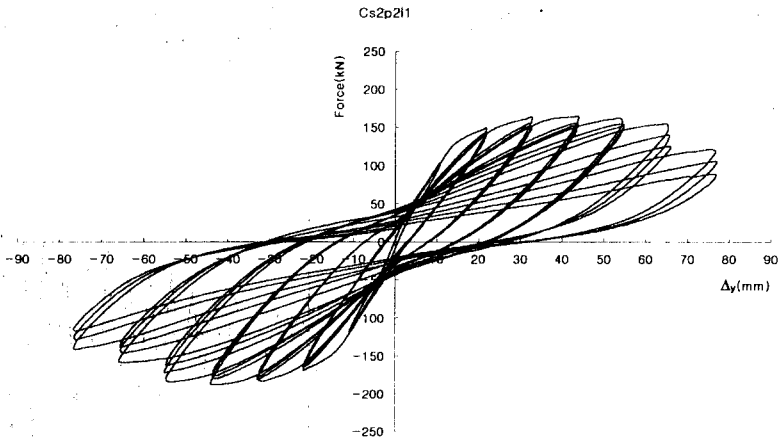


그림 5. 시험체 CS2P2L1의 P- δ Curve

한편, 시험체 CS1P1L1의 LVDT에 의한 실험결과는 다음 그림 6과 같다. 그림에서 알 수 있듯이 하중단계 초기에는 전체적인 시험체의 변위가 높이에 큰 영향이 없으나 연성비 n 이 4이상이 되면서부터 뚜렷한 변화를 보이고 있으며 이러한 변화는 $n=6$ 에서 확실히 알 수 있다. 또한 소성힌지의 위치는 기둥하부에서부터 약 50cm이내의 위치에 있음을 알 수 있으며 이 이상의 높이에서는 변형이 거의 선형으로 변화하고 있다.

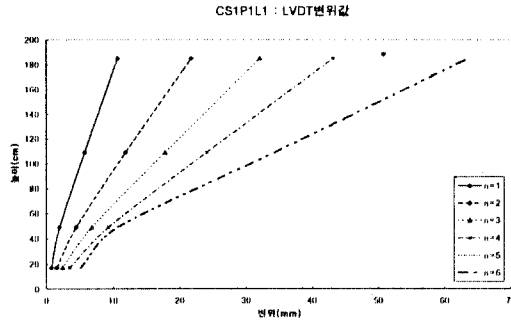


그림 6. 시험체 CS1P1L1의 LVDT에 의한 실험결과

3.2 Strain gage 실험결과

변형률 게이지를 주철근의 좌굴이 예상되는 위치에 부착하였으며, 각각의 높이에 따른 변형률의 차이를 측정하였다. 변형률 게이지에 의한 측정은 게이지의 사용한도에 따른 제약으로 높은 변위에서는 신뢰성이 떨어지나 초기하중단계에서는 다소 정확한 소성힌지구간을 측정할 수 있다. 소성힌지구간은 변형률의 변화가 가장 큰 높이 12cm로 추정되며 이 결과는 실험종료 후 철근의 좌굴 부위를 실측한 값과 같은 결과를 보이고 있다.

3.3 파괴형상

일반적인 시험체의 파괴형상은 먼저 수평균열이 발생하고 다음으로 수평균열 주위로 미세한 수직균열이 발생한다. 상부 변위가 더욱 커지면서 최초로 발생한 수평균열이 사방향으로 발전하게 되며 이 단계에서부터 수직균열이 발생한다. 이후 하중이 반복되면서 소성힌지부에서 피복콘크리트의 탈락이 시작된다. 피복 콘크리트가 탈락이 된 이후에도 상당한 변형능력을 보이다가 노출된 철근이 좌굴과 인장의 반복되면서 이후 주철근이 파단에 이른다. 전반적인 소성힌지부는 대략적으로 13 - 15cm 가 일 반적이거나 기초부에서 3cm 정도 떨어진 시험체도 있다. 소성힌지부의 길이는 축방향 하중이 큰 시험체에서 더 크게 나타나고 있다. 소성힌지부(주철근의 좌굴부위)의 결과는 다음 표 3과 같다. 또한 시험체 CS2P2L1의 파괴 형상은 다음 사진 1에 나타내었다.

표 3. 시험체의 소성힌지부의 주철근 좌굴위치

시험체 명	주철근비 (%)	띠철근비 (%)	축용력 (kg/cm^2)	소성힌지부 주철근 좌굴위치(cm)	
				side1	side2
CS1P1L1	1.16	4.5	21.94	12	18
CS1P1L2	1.16	4.5	21.94	12	13
CS1P2L1	1.16	4.5	36.01	15	13
CS1P2L2	1.16	4.5	36.01	17.5	15.5
CS2P1L1	1.16	2.25	21.94	4	5
CS2P1L2	1.16	2.25	21.94	11.5	3.5
CS2P2L1	1.16	2.25	36.01	20.5	12.5
CS2P2L2	1.16	2.25	36.01	11.5	15

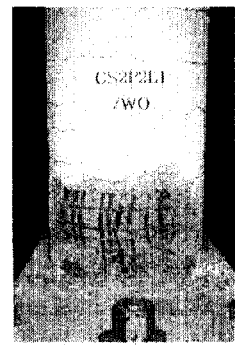


사진 1. 시험체 CS2P2L1의 파괴 형상

4. 결론 및 추후연구과제

본 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- ① 일반적인 RC기둥의 소성힌지부는 기둥의 지름이하의 위치에서 일어나며 정확한 위치는 기둥에 따라 다소 차이가 있으나 대부분 기둥 지름의 1/2이하의 위치에서 발생한다.
- ② 축방향 하중이 증가하는 경우 RC기둥의 내력 저하는 다소 떨어지는 경향을 나타낸다.
- ③ 일반적인 RC기둥은 주철근의 항복변형률의 4내지 5배 즉, 연성도 4 - 5를 기대할 수 있다.
- ④ 띠철근의 변형률을 측정된 결과 Cross Tie의 변형률의 결과 RC 기둥의 내진능력을 향상시키기 위해서 Cross Tie를 적절히 배치하는 것이 효과적이라 사료된다.

본 실험을 통하여 기존의 RC기둥의 내진능력을 증가시키기 위하여 현재 유리섬유보강에 의한 내진능력의 평가 및 중공단면(hollow section) RC기둥에 대한 준정적 실험을 실시하고 있다. 또한 축방향 하중, 띠철근비, 유리섬유 보강유무 및 하중재하 형태에 따른 유사동적 실험도 실시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통기술연구개발사업에 관련하여 수행되었으며, 연구수행에 많은 도움을 주신, 건설교통부 및 (주)현대건설기술연구소에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, “도로교 표준시방서”, 1996
2. 한국지반공학회, “진동 및 내진설계”, 구미서관, 1997
3. 한국전산구조공학회, “구조물의 내진설계”, 한국전산구조공학회 기술강습회 자료집, 교재 15-1, 1997
4. Newmark, Rosenblueth, “Fundamental of Earthquake Engineering”, PrenticeHall, 1971
5. Benson H.Tongue, “Principle of Vibration”, Oxford University Press, 1996
6. Y.H.Chai, M.J.N.Priestley, Frieder Seible, “Seismic Retrofit of Circular Bridge Columns for Enhanced Flexural Performance”, ACI Structural Journal V.88, No. 5, 9-10, 1991, pp572 ~ 584
7. A.B.Ghee, M.J.N.Priestley, T.Paulay, “Seismic Shear Strength of Circular Reinforced Concrete”, ACI Structural Journal V.86, 1-2, 1989, pp 45~59
8. M.J.N.Priestley, R.Park, “Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading”, ACI Structural Journal V.84, 1-2, 1987, pp 61~76
9. F.A.Zahn, M.J.N.Priestley, R.Park, “Flexural Strength and Ductility of Circular Hollow Reinforced Concrete Columns Without Confinement on Inside Face”, ACI Structural Journal V.87, No. 2, March-April 1990, pp 156~166
10. Jack P. Moehle, “Strength of Slab-Column Edge Connections”, ACI Structural Journal V.85-S11, November-December 1988, pp 89~98
11. Yuk-Lung Wong, T.Paulay, M.J. Niegel Priestly, “Response of Circular Reinforced Concrete Columns to Multi-Directional Seismic Attack”, ACI Structural Journal V.90, No.2, March-April 1993, pp 180~191
12. 辛在賢二, 大塚久哲, 星隈順一, 佐佐木協一, 新保弘, “RC橋脚の變形性能向上に關する 實驗的研究”, 土木學會 論文集, No. 578/V-37, 1997.11, pp43~56