

Pseudo-Dynamic 실험에 의한 원형충진 RC교각의 내진거동

Seismic Performance of Circular Reinforced Concrete Bridge Piers By Pseudo-Dynamic Test

조 창 백* 소 진 호* 박 종 협** 정 영 수***
Cho, Chang Beck So, Jin Ho Park, Jong Heob Chung, Young Soo

ABSTRACT

Since the occurrence of 1995 Kobe earthquake, there have been much concern about seismic design for various infrastructures, inclusive of bridge structures. This research aims at evaluating the seismic performance of the existing R/C bridge piers, which were nonseismically or seismically designed in accordance with the provision of Korea Highway Design Specification. Further experimental investigations have been doing to figure out the retrofitting effects of nonseismic R/C bridge piers confined with glass fiber at the plastic hinge zone. Pseudo-dynamic tests have been carried out on nine scaled R/C column specimens to investigate their hysteretic behavior under earthquake loading. Test parameters are axial load, input ground motion, confinement steel ratio, glass fiber and etc.

1. 서 론

1995년 1월17일에 발생한 고베 지진에서도 보듯이 지진은 인간의 생명뿐만 아니라 사회적, 정치적, 경제적으로도 엄청난 영향을 초래하는 것을 보았다 우리나라도 1978년 10월7일의 홍성 지진으로 한반도도 이제 더 이상 지진에 대해 안전지역이 아님을 인식시켜 주었으며 1982년 사리원 지진 등으로 인하여 1992년 도로교 시방서에 처음으로 내진설계편의 규정을 제정하였다. 그러나 적용기준이 주로 강진지역의 규정을 적용한 탓에 중저진지역의 우리 여건에 무조건적인 사용은 바람직하지 않으며, 관련 연구실적이 상당히 미비한 상태이다. 지진설계에 대한 규정은 지진피해에 따라 시간적, 지역적, 구조특성별로 변화되는 특성을 가지고 있으나 우리나라는 지진에 대한 피해사례 및 자료가 부족한 실정이다.

본 연구는 구조물의 동적효과를 고려한 Pseudo-Dynamic 실험을 통하여 비내진과 내진 및 중저진 설계된 철근콘크리트 교각의 지진하중 하에서의 동적거동을 조사하기 위한 실험적 연구이다. 그리고 기존의 비내진 설계로 시공된 콘크리트 교각의 연성능력을 향상시키기 위한 유리섬유의 내진성능 보장 효과를 평가하고자 한다.

*정회원, 중앙대학교 대학원 지구환경시스템공학과 석사과정

**정회원, 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정

***정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수

2 실험내용

2.1 실험개요

지진과 같은 외부하중이 작용하는 경우 구조물의 안정성 및 사용성을 확보하기 위하여 정확한 해석 및 설계가 요구된다. 지진하중에 의한 구조물의 동적거동의 예측은 여러 가지 이론적인 가정을 통하여 수행되고 있으나 이러한 가정에 의한 수치해석의 문제점을 해결하고자 실험적인 연구가 수행되었다. 본 실험은 Pseudo-Dynamic Test로서 일명 On-Line Test 또는 Hybrid Test 라고도 불리워지며 전통적 시간이력해석과 유사하나 다만 복원력은 실험에 의해서 직접적으로 측정되어진다. Pseudo-Dynamic Test는 진동대 실험(Shaking Table Test)의 사실성과 준정적 실험(Quasi-Static Test)의 편리성을 결합한 시험방법이라고 말할 수 있으며 진동대 실험의 한계성을 극복한 실험방법이라고 할 수 있다.

본 Pseudo-Dynamic 실험은 실제 교량구조물을 모델로 14본의 철근콘크리트 기둥을 제작하여 그중 Pilot Test 및 Monotonic Test에 각 1본, 국내인공지진(T2)에 대하여 4본을 실험하였으며 실험체에 대한 실험개요는 표 1과 같다.

표 1 실험 개요

구 분	비내진설계			내진설계		유리섬유보강			국산유리 섬유	증저진 설계		비고
	LP I	LP II	LP III	LP I	LP II	LP I	LP II	LP III	LP I	LP I	LP II	
Pseudo-Dynamic Test	1			1	1	1	1	1	1	1	1	A.F(1)
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	A.F(2)
Monotonic Test	1											A.F(1)
Pilot Test	1											A.F(1)
계	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14

* LP I : Loading Pattern I (국내인공지진) A.F(1) : Axial Force Type 1 (43.07ton)

2.2 실험체의 콘크리트 및 철근 특성

콘크리트는 목표압축강도 240 kgf/cm²로 최대골재지수 13mm 골재의 레미콘을 사용하였으며 철근은 SD40을 사용하였다. 실험체의 압축강도 측정을 위해 콘크리트 타설시 $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$ 인 3개의 몰드에 28일간 양생시킨 후 단면의 편심을 방지하기 위하여 표면을 연마기로 작업한 후 UTM(Universal Testing Machine)으로 압축강도를 측정하였다. 기둥 본체의 콘크리트 압축강도는 약 251kgf/cm² 이었다. 철근은 KS D 3504에 의한 SD40인 D10의 상용철근을 주철근으로, 띠철근은 D6을 사용하였으며 KS B 0820에 따라 각각의 3개의 시편에 대한 인장실험을 실시하여 각각 평균항복강도 4,700 kgf/cm² 와 4,400 kgf/cm² 의 값을 얻었다.

2.3 실험체 제작

본 실험에 사용된 시험체의 대상모델은 내진 1등급으로 설계된 수원시 하갈교의 교각을 대상으로 하여 1/3.4 축소모델인 원형 충전단면으로 설계하였으며, 내진, 증저진, 비내진설계에 따라 소성현기 구

간의 띠철근은 30mm, 45mm, 125mm 간격으로 배근되었다. 그림 1은 비내진, 중저진, 내진설계 교각의 단면을 보여주고 있으며 표 2는 각 시험체의 단면설계특성을 나타내었다. 본 실험에 사용된 철근콘크리트 기둥은 기초부분과 본체부분으로 나누어져 있으며, 설계 교량구조물의 축척계수(scale factor)를 만족하도록 설계 제작되었다.

표 2 실험체 단면설계 특성

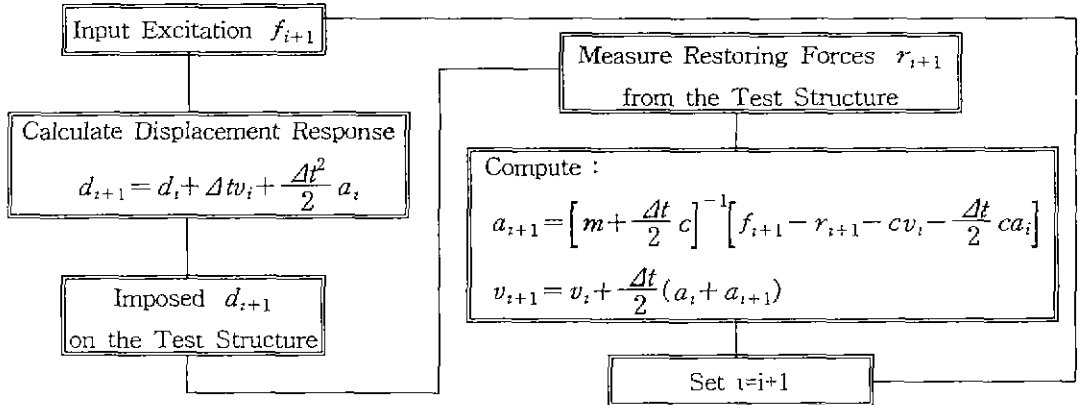
구분	비내진 실험체	중저진 실험체	내진 실험체
주철근	D10-32EA	D10-32EA	D10-32EA
띠철근	D6	D6	D6
띠철근간격 (Hinge)	전구간: 12.5cm	소성구간 : 4.5cm 비소성구간 : 5.5cm	소성구간 : 3cm 비소성구간 : 4.5cm
기둥직경	D=50cm		
기둥높이	H=1,882cm		
소성Hinge	-	L=50cm	L=25cm

2.4 실험 하중 및 장치

Pseudo-Dynamic 실험을 위하여 사하중을 고려한 축방향력 재하를 위하여 Oil Jack은 압축력이 변하므로 특수제작한 100tonf 유압실린더를 이용하여 실험체가 거동하는 동안 축방향력이 초기설정된 값의 5%이내로 변하도록 제작하였고, 횡방향의 수평하중은 그림 4와 같이 1,000kN Hydraulic Actuator를 이용하여 재하하였다

축하중은 대상구조물의 사하중을 근거로 하여 축소모델에 상응하는 $0.1f_{ck}A_g$ 의 43.07tonf를 가하였으며 수평하중은 PGA 값이 0.2g인 국내인공지진파를 이용하여 PGA값에 따른 하중형태를 축척계수를 고려하여 0.154g, 0.22g, 0.3g, 0.4g, 0.5g, 0.6g, 0.7g, 0.8g, 0.9g로 설정하여 실험을 수행하였으며 Pseudo-Dynamic Program을 이용하여 하중과 변위를 제어하고 수치적분 방법으로 Explicit Newmark Method를 이용하였으며, 아래의 표 3은 Explicit Newmark Method의 알고리즘을 보여주고 있다. 입력되는 지진데이터는 한국도로공사에서 작성된 형태I (진앙과 관측지가 비교적 가까운 경우)을 사용하였으며, 토질층은 암반 또는 경질의 토층이고 지속시간은 24초이다. 그림 5는 축척계수가 고려된 지진데이터를 보여주고 있다

표 3 Newmark Method Algorithm



2.5 실험계측

Hydraulic Actuator의 재하에 의해 발생하는 횡방향 변위를 측정하기 위해 Actuator 반대편과 기둥 중간에 LVDT를 각각 1개를 설치하였으며, 또한 예상치 못한 하중재하 직각방향으로의 변위와 기초부의 이동에 대하여 LVDT를 각각 1개씩 그림 2와 같이 설치하였다.

소성힌지 구간에서의 철근변형 거동을 파악하기 위하여 그림 3과 같이 내진설계 시험체의 주철근에는 8개, 비내진설계 시험체에는 6개의 Strain Gauge를 부착하고, 띠철근에는 Actuator 가력방향 및 직각방향에 Strain Gauge를 설치하여 철근변형을 파악하였다.

3. 실험결과

본 실험에서 하중-이력곡선의 결과는 그림 7과 같으며 PGA 값을 0.154g부터 단계적으로 증가하여 실험한 결과 비내진실험체는 0.7g, 중저진실험체는 0.8g에서 파괴현상을 보였으며, 내진실험체는 0.9g의 값에서 파괴현상을 보였다. 섬유보강실험체의 경우 내진실험체와 상응하는 0.9g 이상의 PGA 값에서 파괴되는 것을 볼 수 있었다. Actuator의 Pull 방향에서의 최대응답변위는 비내진은 0.7g에서 71.53mm, 중저진은 0.8g에서 90.09mm, 내진교각에서는 0.9g에서 93.26mm으로 나타났다. PGA값에 따른 강도는 그림 9와 같이 비내진에서는 파괴시점에 이르러 12.9%가 감소하였으며, 중저진의 경우 6.6%가 감소한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 경기도 수원시 하갈교를 대상으로 하여 1/3.4 축소모델로 단일주 형식의 교각 실험체로 14本를 제작하여 Pilot Test와 Monotonic Test 및 국내인공지진파를 입력하여 비내진, 중저진, 내진 및 섬유보강실험체 각 1본씩을 Pseudo-Dynamic Test로 실험을 수행하였다.

- ① 국내인공지진파의 PGA 값을 단계적으로 증가하여 실험한 결과 비내진실험체는 0.7g, 중저진실험체는 0.8g, 내진실험체는 0.9g에서 파괴현상을 보였으며 섬유보강실험체는 0.9g 이상의 값에서 견디었다.
- ② 현재까지의 실험으로 비내진설계된 철근콘크리트 교각도 국내 인공지진에 대해 어느 정도의 내진 성능을 갖고 있는 것으로 판단된다.
- ③ Pseudo-Dynamic 실험에서 비내진설계된 실험체에 유리섬유를 보강한 결과 내진성능이 증가한 것을 볼 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구는 건설교통부(과제번호:970003-4), 한국지진공학센터(과제번호:1997G0402)의 지원 및 1998년도 중앙대학교 연구기자재 구입지원 프로그램의 지원을 받아 수행되고 있으며 이에 감사드립니다.

6. 참고문헌

1. 건설교통부(1996), "도로교 표준시방서"
2. 정영수, 한기훈, 이강균(1999), "준정적 실험에 의한 중공원형 콘크리트 교각의 소성응답 연구", 한국지진공학회 춘계학술발표회
3. 정영수, 한기훈, 이강균(1999), "원형중공 콘크리트 교각의 내진성능에 대한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄학술발표회
4. Pui-Shum B. Shing and Stephen A. Mahin(1983), "Experimental Error Propagation in Pseudo-

5. Christopher R. Thewalt and Stephen A. Mahin(1987), "Hybrid Solution Techniques for Generalized Pseudo-Dynamic Testing", Report No. UCB/EERC-87/09

6. Pui-shum B. Shing and Stephen A. Mahin(1984), "Pseudo-Dynamic Test Method for Seismic Performance Evaluation: Theory and Implementation", Report No. UCB/EERC-84/01

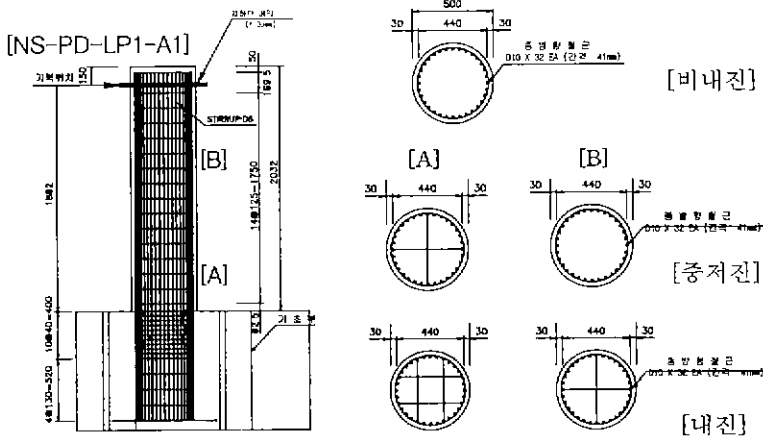


그림 1 실험체 단면도(mm)

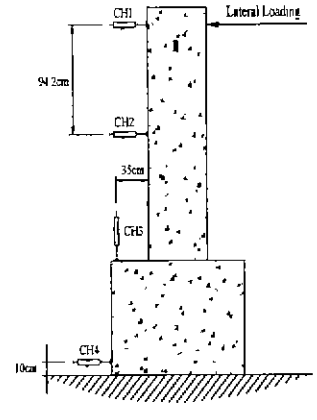


그림 2 LVDT 위치도

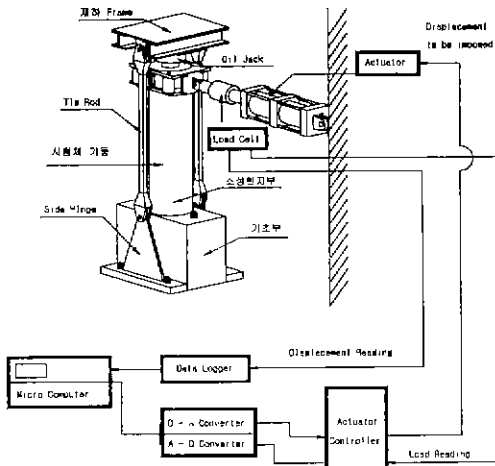


그림 4 실험 개요도

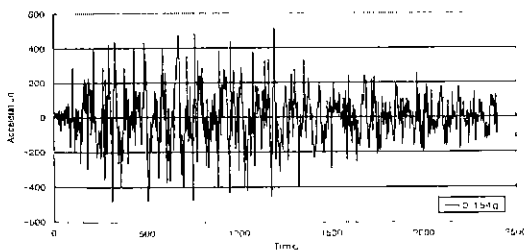


그림 5 입력지진데이터

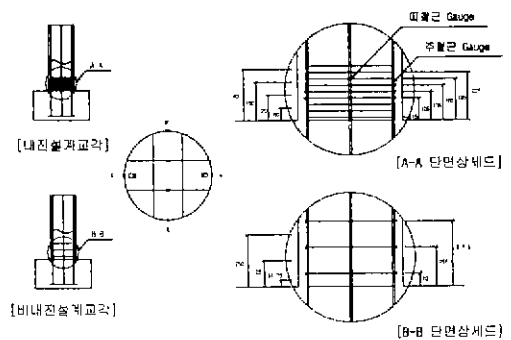


그림 3 Strain Gauge 위치도

지진DATA	Input Ground Motion		
	Sequence	G.M Type	PGA
국내	1	-38.8(gal)	0.154g
	2	-19.6(gal)	0.22g
인공지진	3	-9.8(gal)	0.30g
	4	-19.6(gal)	0.40g
LP I	5	-29.4(gal)	0.50g
	6	-39.2(gal)	0.60g
	7	-49.0(gal)	0.70g

그림 6 Loading Pattern I

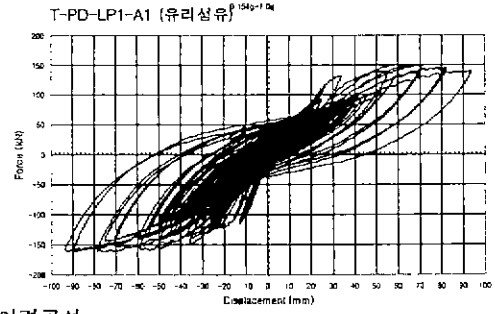
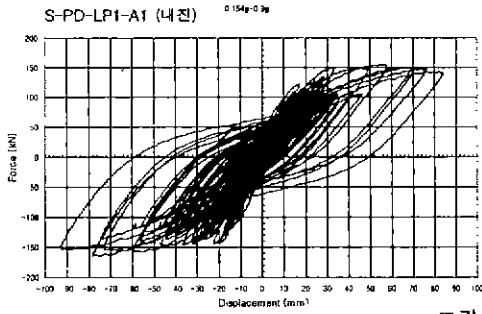
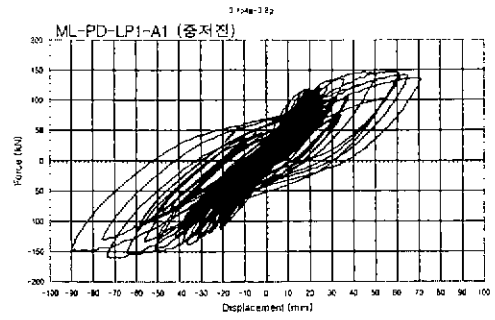
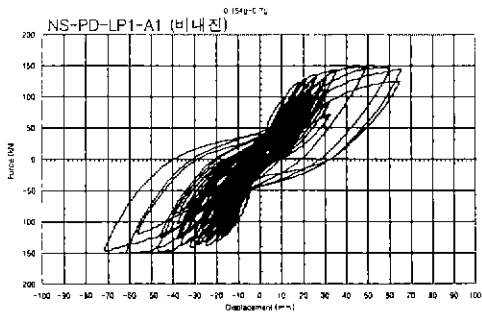


그림 7 하중이력곡선

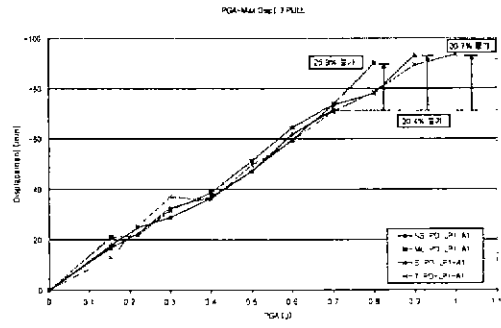
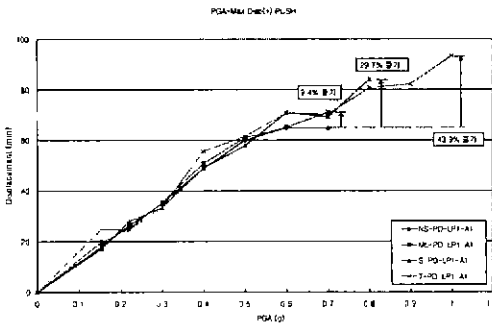


그림 8 PGA-변위 포락곡선

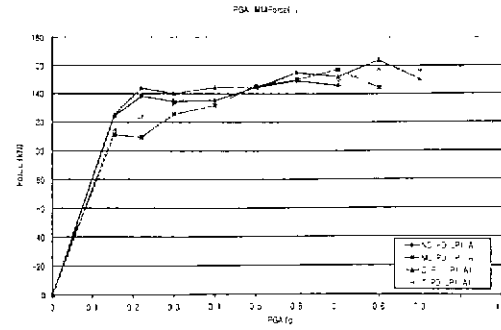
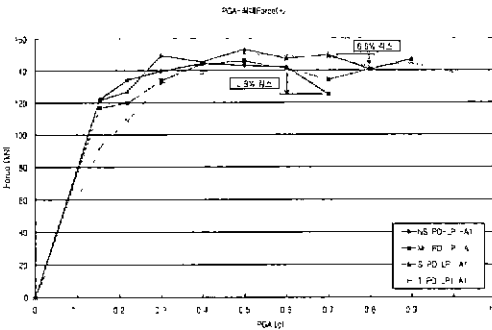


그림 9 PGA-강도 곡선