

원형 실물 철근 콘크리트 교각의 철근 상세에 따른 내진성능 평가

Seismic Performance Evaluation of Circular RC Bridge Piers with Various Steel Type

정 영 수^{*} 박 진 영^{**} 이 재 훈^{***} 조 대 연^{****} 이 대 형^{*****}
Chung, Young Soo Park, Jin Young Lee, Jae Hoon Cho, Dae Yeon Lee, Dae Hyoung

ABSTRACT

The object of this research is to evaluate the seismic performance of existing RC bridge piers that were constructed before the adoption of the seismic design provision of Korea Bridge Design Specification in 1992. In this research, adopted test parameters were limited ductile design or non-seismic design, aspect ratio, confinement steel type, loading pattern, lap-spliced ratio for longitudinal reinforcement. This study has been performed to verify the effect of test parameter by quasi-static test. Quasi-static test has been done to investigate the physical seismic performance of RC bridge piers, such as lateral force-displacement hysteretic curve, envelope curve etc. It has been observed that seismic performance of lap-spliced test specimen, non-seismically designed specimens, was significantly reduced.

1. 서론

최근 연이은 국외의 지진 즉, 1995년 일본 고베(Kobe) 지진, 1999년 터어키 이즈미(Izmit) 지진, 2000년 대만 지진(Chi-Chi) 지진, 2001년 인도 지진 등으로 인하여 지진에 대한 국민적 관심이 크게 고조되고 있으며, 국내에서도 내진에 대한 연구가 그 어느때 보다 활발히 진행되고 있다. 이러한 내진 거동의 정확한 예측은 지진 발생시 인명 피해를 줄일 수 있으며 지진 발생 이후 교각의 보수보강에 대한 기준이 될 것이다. 본 연구는 원형 철근 콘크리트 교각의 내진 성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서, 주철근의 겹이음, 횡방향 철근 형태 등에 대해 준정적 실험(Quasi-static test)을 통하여 내진 성능을 평가하고자 한다.

2. 연구내용

본 연구에서 사용한 실험 모델은 내진 설계 규정이 도입된 1992년 이전에 시공된 고속도로상의 기존 교각을 대상으로 제원을 조사하여 통계적인 방법으로 가장 일반적인 교각의 형태를 찾고자 하였고 이에 따라 교각직경, 종방향철근지름 및 갯수, 종방향철근비, 횡방향철근간격 등의 대표값을 취하여 선정하였으며 그 결과는 다음 표 1과 같다.

* 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수
** 정회원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정
*** 정회원, 영남대학교 공과대학 토목공학과 교수
**** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원
***** 정회원, 경도대학 건설환경공학과 조교수

시험체 제작에 사용된 콘크리트는 KS F 2405 에 따라 압축강도를 측정하여 253kgf/cm^2 를 얻었다. 주철근은 KS D 3504 에 규정된 SD30을 사용하였으며, KS B 0820 에 따라 각각 3개의 시편에 대한 인장 실험을 실시하여 D19 는 $3,500\text{kgf/cm}^2$, D10 은 $3,800\text{kgf/cm}^2$ 의 항복강도를 얻었다.

표 1 기존 콘크리트 교각의 제원 조사표 및 시험체상세

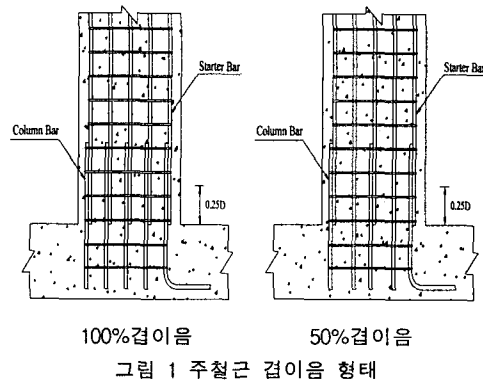
변 수	기존 교각		시험체안(비내진)	
	전 체 범 위	주요범위 또는 대표값		
1	지름 D	1.1~3.5 m	1.8~2.4 m	1.2 m
2	종방향철근 크기 (d_{bl})	D19~D32	D32	D19
3	종방향철근 개수 n	20~172 개	36~72 개	40 개
4	종방향철근비 ρ	0.53~2.04 %	1 %	1.01 %
5	횡방향철근 크기 (d_{bt})	D13~D19	D13~D16	D10
6	횡방향철근 간격 s	15~40 cm	30 cm	20 cm
7	후프띠철근 체적비 ρ_s	0.05~0.25 %	0.1~0.16 %	0.127 %
8	s / d_{bl}	4.7~20.9	7~11.8	10.5
9	s / d_{bt}	9.4~31.5	15~31.5	20
10	종철근 겹침이음 L_{lap}	94~121 cm	116~121 cm	60 cm
11	L_{lap} / l_d	1.26~1.62	1.55~1.62	1.74
12	L_{lap} / d_{bl}	32.5~42.3	32.5~42.3	31.4
13	L_{lap} / D	0.64~0.78	0.64~0.78	0.5
14	L_{lap} / s	3~4	3~4	3
15	최대골재치수			25 mm

2.1. 연구의 범위

본 연구를 위하여 다음 표 2에서 보인바와 같이 제작하였으며 주요한 실험변수는 다음과 같다.

1. 구속철근비 즉, 비내진 및 한정연성설계 시험체
2. 구속철근의 형태
3. 주철근의 겹이음
4. 형상비(Asspect Ratio)
5. 하중재하 형태

위와 같은 실험변수에 따른 내진성능을 평가하고자 하였으며 다음 그림 1과 2는 각각 주철근 겹이음 및 실험체 상세, 띠철근의 형태를 보이고 있다.



2.2. 실험체 제작

실험체는 1992년 내진규정이 도입되기 이전의 교량 교각에 대하여 내진성능을 평가하기 위해 비내진 설계에 의한 교각 8기와 Eurocode 8의 한정연성설계에 의한 실험체 12기를 7가지 형태의 띠철근으로 제작 하였다.

비내진 설계 실험체에는 주철근의 겹이음을 100%, 50%로, 한정연성설계 실험체는 50%와 0%로 하여 주철근의 겹이음에 따른 내진성능의 변화를 평가하고자 하였다.

표 2 실험변수 및 실험체명

Classification	Nomenclature	Lap Splice Ratio (%)	Confinement Steel Space (cm)		Axial Force (tonf)	Remark
			Plastic Hinge Region	Non-plastic Hinge Region		
Nonseismic Design	NS-HT1-A-L2	100%	20	20	190	
	NS-HT1-H-L2	50%	20	20		
	NS-HT2-A-L2	100%	20	20		
	NS-HT2-H-L2	50%	20	20		
	NS-HT3-A-L2	100%	20	20		
	NS-HT3-H-L2	50%	20	20		
	NS-HT4-A-L2	100%	20	20		
	NS-HT4-H-L2	50%	20	20		
Limited Ductile Design	MS-HT3-N-L2	0%	11.5	15		Cross Tie
	MS-HT3-H-L2	50%	11.5	15		
	MS-HT4-N-L1	0%	11.5	15		
	MS-HT4-N-L2	0%	11.5	15		
	MS-HT4-N-L3	50%	11.5	15		
	MS-HT4-H-L2	50%	11.5	15		
	MS-HT5-N-L2	0%	11.5	15		
	MS-HT5-H-L2	50%	11.5	15		
	MD-HT6-N-L2	0%	11.5	15		
	MD-HT7-N-L2	0%	11.5	15		
MS-HT4-N-FS	0%	11.5	15	주철근 2열배근		
MS-HT4-N-SH	0%	11.5	15	Aspect Ratio:2.5 Aspect Ratio:1.8		

※註 NS : Non Seismic Design MS : Limited Ductile Design MD : Longitudinal Steel 2 Layer
 HT1,2,3,4,5,6,7 : Confinement Steel Type
 A : 100% Lap-splice H : 50% Lap-splice N : 0% Lap-splice
 L1,2,3 : Load Pattern (1,2,3 cycles)

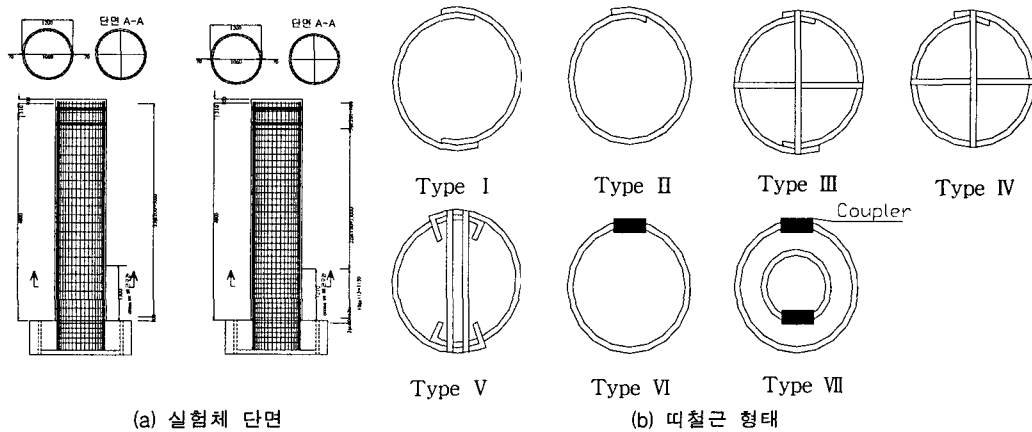


그림 2 실험체 제원 및 띠철근 형태

3. 실험 개요 및 하중 형태

준정적 실험을 위하여 그림 3과 같이 300tonf Oil jack을 이용하여 교각이 받는 상부의 사하중에 해당하는 축하중을 재하하고, 3,500kN Hydraulic actuator를 이용하여 변위제어 방식으로 가력하였다. 횡방향 변위는 그림 4와 같이 sine wave형태로서 기둥길이에 대한 비율(Drift Level)로 $\pm 0.25\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$, $\pm 2.5\%$, $\pm 3.0\%$, $\pm 4.0\%$, $\pm 5.0\%$, $\pm 6.0\%$, ... 로 초기에는 급작스런 파괴를 방지하고 초기 교각의 연성도를 상세하게 관측하기 위해 $\pm 0.5\%$ 씩 증가시키고, $\pm 3.0\%$ 이후부터는 $\pm 1.0\%$ 씩 증가시키는 2Cycle 형태로 반복 재하하였다.

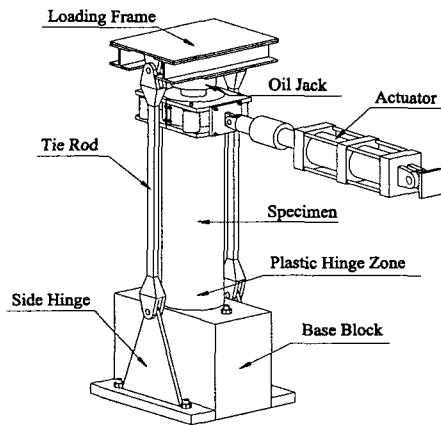


그림 3 실험 개요도

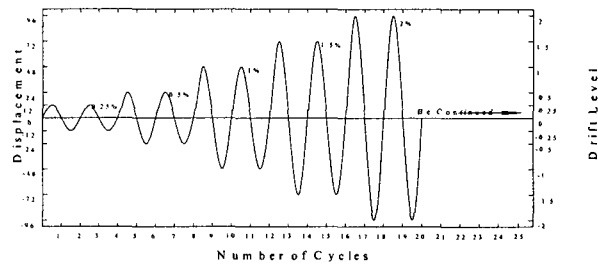
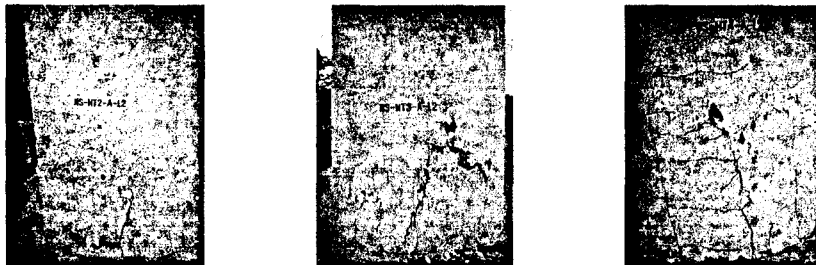


그림 4 횡방향 하중 재하 형태

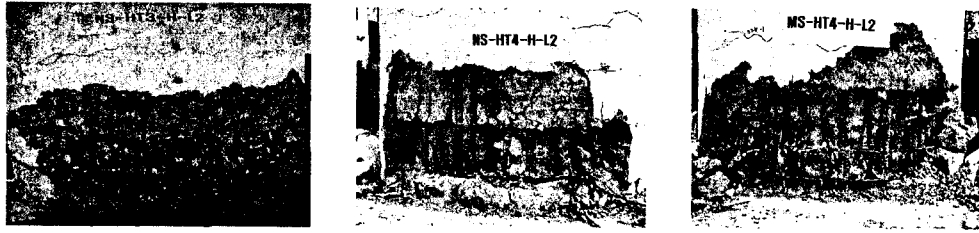
4. 실험 결과 분석

4.1. 하중-변위 이력곡선 및 포락선

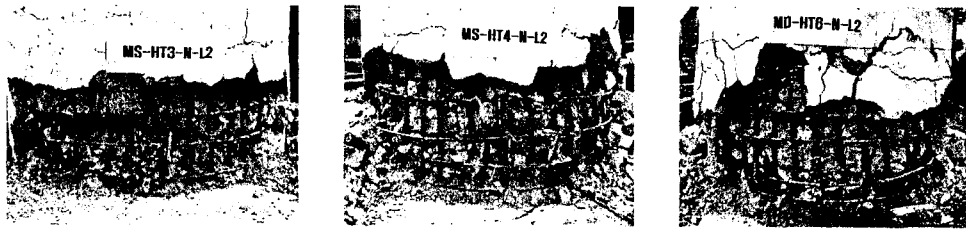
비내진 실험체중 주철근을 100% 겹이음 한 실험체는 그림 5와 같이 피복박리가 발생하지 않고 주철근 겹이음 부분의 slip 으로 인하여 그림 6에서 보는 바와 같이 Drift Level $\pm 1.0\%$ 이후 급격한 강도 저하를 보이며 50% 겹이음 실험체는 Drift Level $\pm 1.5\%$ 이후 완만한 강도 감소를 나타낸다. 한정 연성 실험체중 주철근 겹이음이 없는 실험체는 그림 7에서와 같이 모두 Drift Level $\pm 3.0\%$ 에서 피복이 박리된 후 $\pm 5.0\%$ 에서 주철근이 파단되면서 완만하게 강도 감소를 보인 반면 50% 겹이음 실험체는 피복이 박리되기 전인 Drift Level $\pm 2.0\%$ 부터 강도가 저하되기 시작했다.



(a) 비내진 100% 겹이음 실험체



(b) 비내진(NS) 및 한정연성설계(MS) 50% 겹이음 실험체



(c) 한정연성설계 0% 겹이음 실험체

그림 5 실험 종료후 교각의 파괴 양상

5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 비내진 설계된 실험체에서 주철근 100% 겹이음 실험체와 50% 겹이음 실험체는 Drift Level $\pm 1.0\%$ 까지는 유사한 성능을 보이나, 그 이후 100% 겹이음 실험체가 급격한 강도저하를 나타낸다.
2. 주철근에 겹이음이 있는 경우 주철근의 좌굴로 인한 파괴현상이 발생되지 않고, 띠철근의 항복과 그에 따른 심부 콘크리트의 파괴, 그리고 겹이음 부분의 slip으로 인한 파괴 형태를 보였다.
3. 본 연구에서 띠철근 형태에 따른 현저한 내진성능의 차이를 보이지는 않았으나, 좀 더 면밀한 분석과 검토가 필요한 것으로 사료된다.

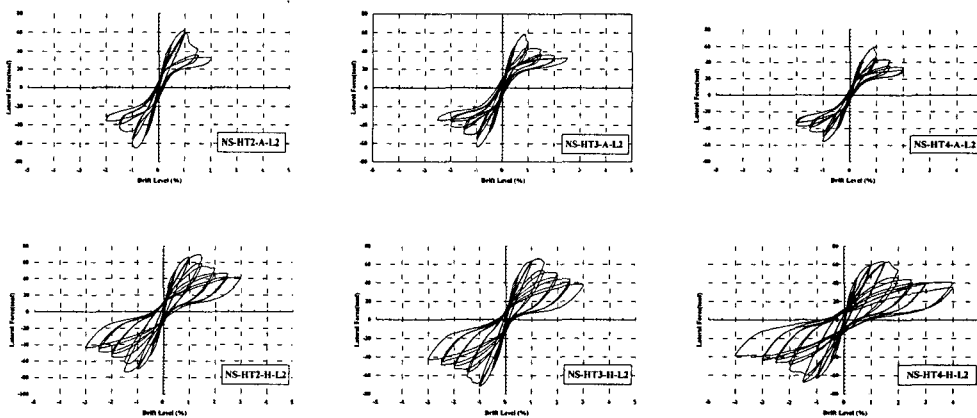


그림 6 비내진 설계 실험체의 하중-변위 이력곡선

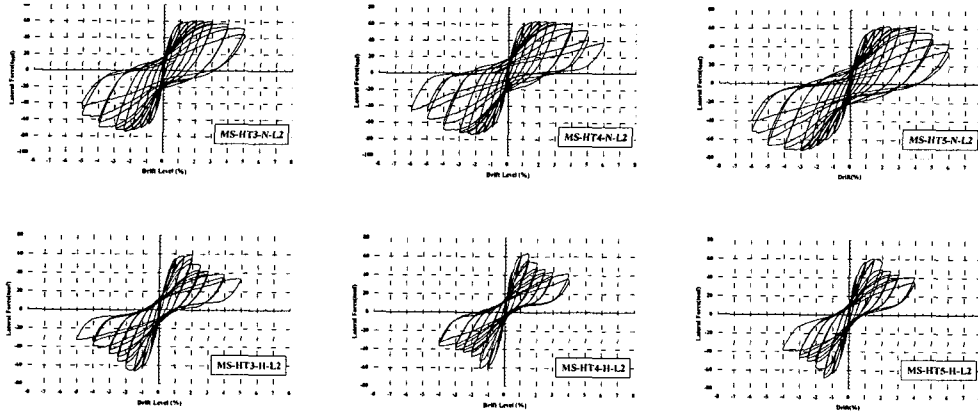


그림 7 한정연성 설계 실험체의 하중-변위 이력곡선

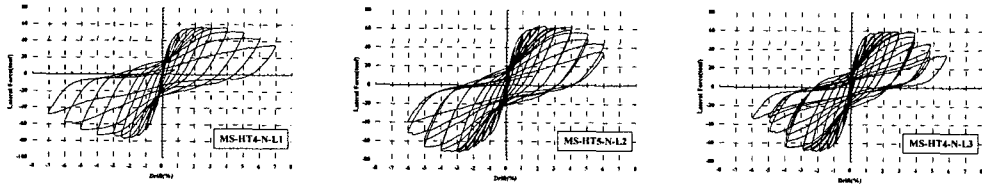


그림 8 횡방향 가력횟수에 따른 하중-변위 이력곡선

감사의 글

이 연구는 한국도로공사 “고속도로 기존 교량의 내진성능 평가를 위한 실험적 연구”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 도로교 설계기준(2000), 한국도로교통협회.
2. 이강균(1998) 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 준정적 실험, 1998년도 가을 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, pp. 615-620.
3. 정영수 외 3인(2001) 준정적실험에 의한 겹이음된 철근콘크리트 교각의 내진성능 평가, 2001년도 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp. 877-882.
4. 이재훈 외 3인(2001) 겹침이음 상세에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 실험적 연구, 2001년 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp. 553-558.
5. J.B.Mander, S.M.Waheed, M.T.A.Chaudhary and S.S.Chen (1993) Seismic Performance of Shear-Critical Reinforced Concrete Bridge Piers, Technical Report NCEER-93-0010.