

**주철근 겹이음에 따른 철근 콘크리트 교각의
내진성능 평가**
**Seismic Performance Evaluation of Circular RC Bridge Piers
with Longitudinal Steel Lap Splice**

이 대형* 박 진영** 정 영수*** 조 대연**** 이 재훈*****
Lee, Dae Hyoung · Park, Jin Young · Chung, Young Soo · Cho, Dae Yeon · Lee, Jae Hoon

ABSTRACT

The object of this research is to evaluate the seismic performance of existing circular reinforced concrete bridge piers by the Quasi-static test. Existing reinforced concrete bridge piers, which were non-seismically designed in accordance with the conventional provisions of Korea Highway Design Specification, are needed to rating evaluate seismic performance for probable earthquake motions in future by developing a seismic analysis computer program with estimation algorithm.

This study has been performed to verify the effect of lap spliced longitudinal steel, confinement steel type and confinement steel ratio for the seismic behavior of reinforced concrete bridge piers. Quasi-static test has been done to investigate the physical seismic performance of RC bridge piers, such as displacement ductility, energy absorption, strength degradation etc.

1. 서 론

국·내외에서 사회기반시설의 하나인 교량의 RC 교각에 대한 내진 성능 향상 및 보수보강기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구도 이러한 연구의 일환으로 지진발생시 교각의 내진 거동에 따른 교각의 거동을 파악하고자 하였다. 이러한 교각의 내진거동의 정확한 예측은 지진 발생시 인명피해를 줄일 수 있으며 지진발생 이후 교각의 보수·보강에 대한 기준이 될 것이다. 특히 현행 세계 각국의 내진설계규정에서는 교각 소성힌지구간에서의 주철근 겹이음을 엄격히 금지하고 있는 데 반해 1992년 내진설계규정 도입 이전에 설계 시공된 국내의 기존 비내진 설계 교각의 상당수는 시공상의 이유로 소성힌지구간에서 주철근이 겹이음 되어 시공되었으나 국내 설계 기준에는 아직 주철근의 겹이음에 대한 규정이 도입되어 있지 않은 실정이다. 따라서 중저진지역에 위치한 우리나라에서도 만약에 있을 수 있는 지진에 대비하여 기존 콘크리트 교각의 내진거동을 파악하여 미래에 대비하여야 할 것이다.

* 정희원, 경도대학 건설환경공학과 조교수 · 공학박사
** 정희원, 중앙대학교 토목환경공학과 석사과정
*** 정희원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수 · 공학박사
**** 정희원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원 · 공학박사
***** 정희원, 영남대학교 토목공학과 교수 · 공학박사

본 연구는 RC 교각의 내진 성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서, 주철근의 겹이음, 횡방향 철근비, 횡방향 철근 형태 등에 대해 준정적 실험(Quasi-static test)을 통하여 내진성능에 미치는 영향을 평가하고자 한다.

2. 연구 내용

본 연구에서 사용한 실험 모델은 내진설계규정이 도입된 1992년 이전에 시공된 고속도로상의 기존 교각을 대상으로 제원을 조사하여 통계적인 방법으로 가장 일반적인 교각의 형태를 찾고자 하였으며 이에 따라 교각직경, 종방향철근지름 및 갯수, 종방향철근비, 횡방향철근간격 등의 대표값을 취하여 선정하였으며 그 결과는 다음 표1과 같다. 본 연구에서 사용된 시험체의 상세는 그림 1에 나타내었다.

표 1. 기존 콘크리트 교각의 제원 조사표 및 시험체상세

변수	기존 교각		시험체안(비내진)
	전체 범위	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			19 mm

2.1 재료의 특성

시험체 제작에 사용된 콘크리트의 목표 압축강도는 240kgf/cm^2 로 골재최대치수 25mm 의 레미콘을 사용하였으며, KS F 2405 에 따라 압축강도를 측정하여 253kgf/cm^2 를 얻었다. 아래의 표 2는 콘크리트 배합표이다.

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 2. 실험체 배합설계표

구분	W/C (%)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)	단 위 량 (kgf/cm^3)					28일 강도
				물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제	
본체	50.1	3.8	12	126	349	869	909	1.75	253

2.2 실험체 제작

실험에 사용된 총 12기의 시험체 단면과 띠철근 및 Cross tie 제원은 그림 1에 나타내었고, 표 2는 실험변수 및 실험체명을 나타낸다. 축하중은 $P/f_{ck}A_g=0.07$ 인 190tonf를 재하하였다. 횡방향 철근은 겹이음 수, Cross tie 유무에 따라 그림 2와 같이 4가지 형태 (HT1, 2, 3, 4)로 구분하였으며, 겹이음은 기존의 연구결과(이강균 등 1998)로부터 주철근의 파단이 처음으로 발생한 부분 (기둥하단 0.25D)을 겹이음의 중심으로 하였으며 주철근 겹이음 길이는 국내 도로교 시방서 규정에 따라 그림 3과 같이 배근하였다.

2.3 계측장비

본 실험에서는 그림 4와 같이 주철근, 횡방향 철근, Cross tie의 변형율을 측정하기 위하여 소성계이저를 부착하였으며, 곡률 측정은 기둥 가력방향 양단에 Clip gage를, 가력 직각방향으로 좌우에 각각 2개씩의 경사계를 설치하였다.

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	Cross Tie
	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		

※註 NS : Non Seismic Design HT1,2,3,4 : Confinement Steel Type
 A : 100% Lap-splice H : 50% Lap-splice L2 : Load Pattern (2 cycles)

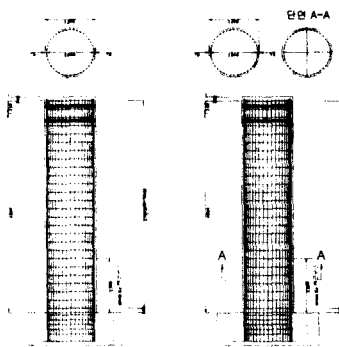


그림 1. 실험체 상세

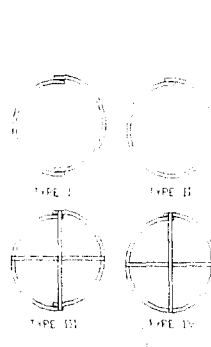
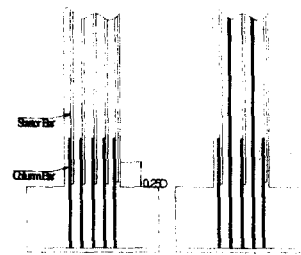


그림 2. 띠철근 상세



(a) 100% (b) 50%

그림 3. 겹이음 상세

3. 실험 개요 및 하중

준정적 실험을 위하여 그림 5와 같이 300tonf Oil jack을 이용하여 교각이 받는 상부의 사하중에 해당하는 축하중을 재하하고, 3,500kN Hydraulic actuator를 이용하여 변위제어 방식으로 가력하였다. 횡방향 변위는 그림 6과 같이 sine wave형태로서 기동길이에 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 반복재하하였다.

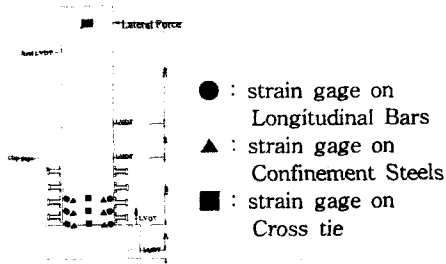


그림 4. 계측장비 부착도

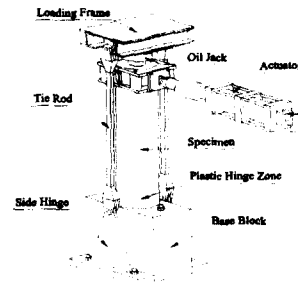


그림 5. 실험 개요도

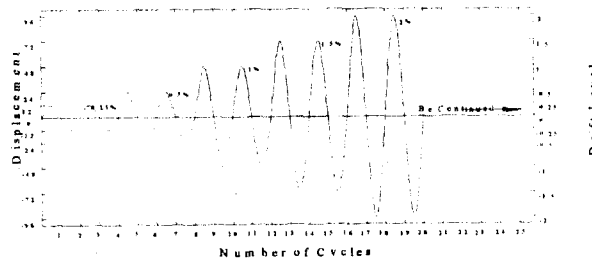


그림 6. 횡방향 하중 재하 형태

4. 실험결과 분석

4.1 하중-변위 이력곡선 및 포락선

주철근에 100% 겹이음을 둔 실험체는 주철근의 파단으로 인한 파괴가 발생하지 않고 띠철근의 항복으로 인한 코아 콘크리트의 파괴와 함께 주철근 겹이음 부분의 Slip으로 인하여 그림 7 및 그림 8에서 보는 바와같이 급격한 강도 저하를 보였다. 비내진 실험체중 100% 겹이음 실험체는 Drift Level $\pm 1.0\%$ 이후 급격한 강도 저하를 보인 반면 50% 겹이음 실험체는 $\pm 1.5\%$ 이후 완만한 강도 저하를 보였다.

4.2 에너지 흡수

그림 9는 실험변수에 따른 실험체의 에너지 흡수 능력을 나타내고 있다. 주철근 50% 겹이음 된 실험체가 100% 겹이음 된 실험체보다 HT2는 1.4배, HT3는 1.2배, HT4는 1.6배의 에너지 흡수 능력의 증진을 보였다.

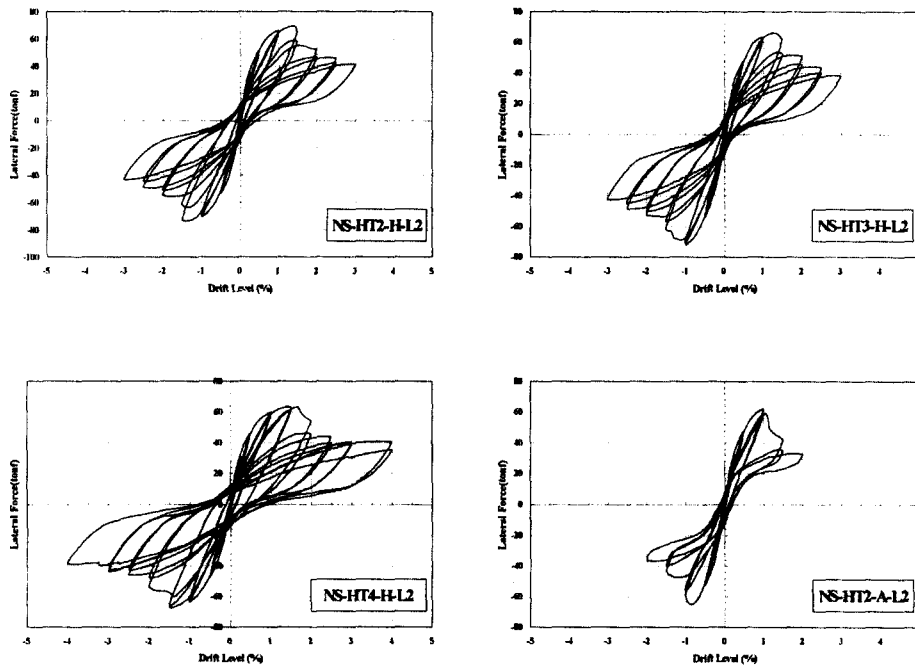
4.3 띠철근의 형태

그림 8에서 보이는 바와 같이 띠철근의 형태에 따른 연성능력은 거의 차이가 없는 것으로 판단되며 100%겹이음 시험체의 경우 HT3가 50%겹이음 시험체의 경우 HT4가 다소 내진성능이 뛰어난 것으로 평가된다.

5. 결론

본 연구를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 주철근 100% 겹이음 실험체와 50% 겹이음 실험체는 그림 7 및 8에서 보는 바와 같이 Drift Level $\pm 1.0\%$ 까지는 유사한 성능을 보이나, 그 이후 100% 겹이음 실험체가 급격한 강도저하를 나타낸다.
2. 횡방향 하중이 최대 횡방향 하중의 85%까지 저하되는 시점의 변위를 기준으로 비교하였을 때, 100% 겹이음 실험체는 Drift Level이 $\pm 1.0\%$, 50% 실험체는 Drift Level이 $\pm 2.0\%$ 를 보여 주철근을 50% 겹이음 한 실험체가 2배의 연성도 증진 효과가 있음을 알 수 있다.
3. 본 연구에서 사용한 주철근 겹이음 실험체는 주철근의 좌굴로 인한 파괴현상이 발생되지 않고, 띠철근의 항복과 그에 따른 심부콘크리트의 파괴, 그리고 겹이음 부분의 Slip으로 인한 파괴 형태를 보였다.
4. 본 연구에서 채택한 실험변수만을 고려해 보면 철근콘크리트 교각의 내진성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 주철근의 겹이음 정도이며 띠철근의 형태는 거의 영향이 없는 것으로 평가된다.



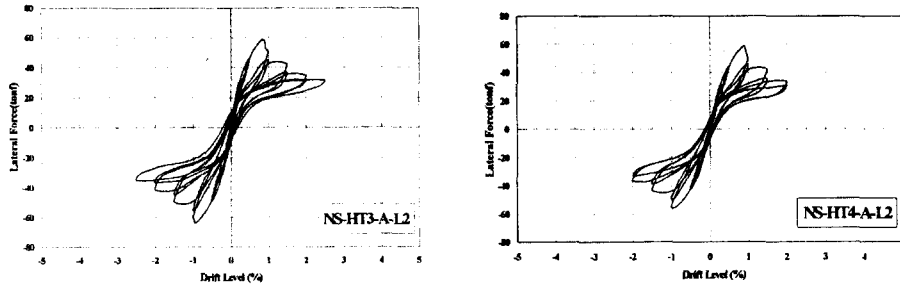


그림 7. 하중-변위 이력곡선

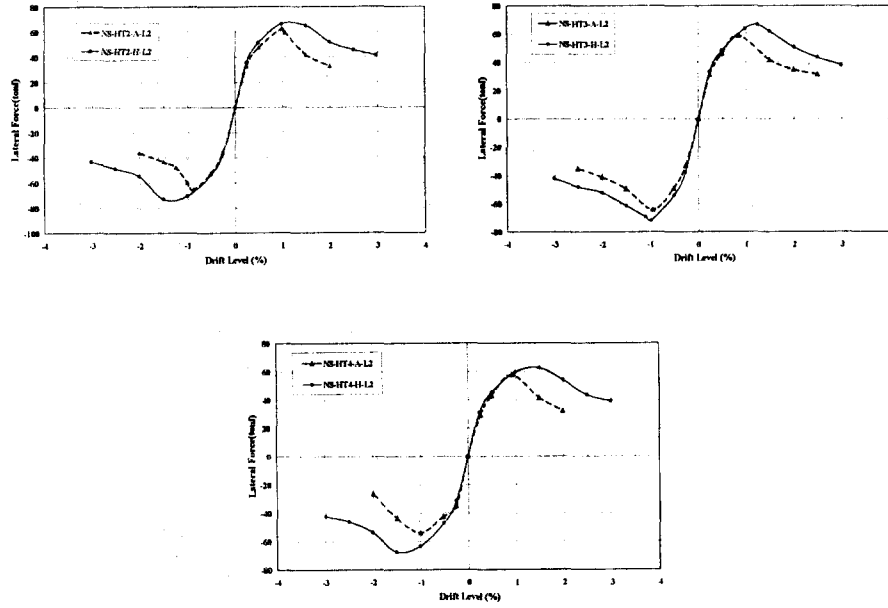
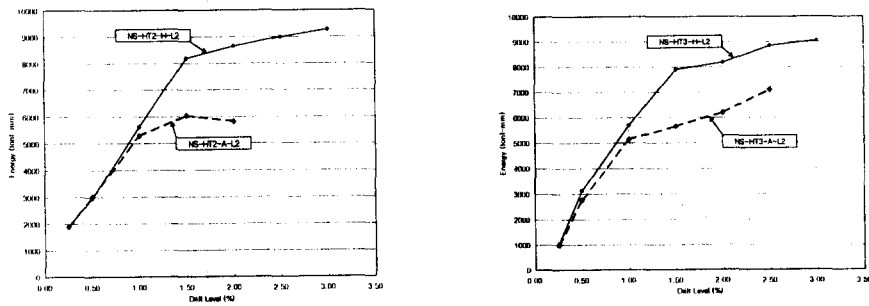


그림 8. 하중-변위 포락곡선



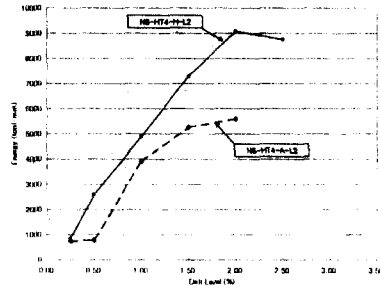


그림 9. 에너지 흡수 곡선

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 (과제명 : 고속도로 기존 교량의 유형별 내진성능 평가를 위한 실험적 연구)의 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 도로교 설계기준(2000), 한국도로교교통협회
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
6. K.K.Lee, G.H.Han, Y.S.Chung, D.H.Lee, E.S.Hwang, "Quasi-Static Test for Seismic Performance of R.C Bridge Piers," *Proceedings of the Korea Concrete Institute*, V.10, No.2, 1988, pp.615-620