

중저진 철근 콘크리트 교각의 횡방향 철근 배근 형태에 따른 내진성능 평가

Seismic Performance Evaluation of Moderate Seismically Designed RC Bridge Piers with Confinement Steel Type

박종협* 김훈** 이재훈*** 정영수**** 조대연*****

Park, Jong Hyup · Kim, Hoon · Lee, Jae Hoon · Chung, Young Soo · Cho, Dae Yeon

ABSTRACT

Lap splice in plastic hinge region is inevitable because of due to constructional joint between footing and column. R/C Circular columns with lap-splice in plastic hinge region are widely used in Korean highway bridges. In addition, these columns which constructed before the seismic design code have a number of structural deficiencies. It is, however, believed that there are not many experimental research works for nonlinear behavior of these columns subjected to earthquake motions.

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 were moderate seismically designed in accordance with the conventional provisions of Korea Highway Design Specification. 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. 서론

전 세계적으로 크고 작은 지진의 발생으로 많은 인명의 손실과 경제적 손실이 발생되고 있다. 아울러, 한반도에서도 지진관측이 빈번해지면서, 갈수록 지진발생확률이 높아짐에 따라 사회적인 관심이 모아지고 있다. 이러한 추세에 맞추어 기존에 제정되어 적용되던 고속도로 내진 설계지침¹⁾의 효용성을 검토하여 실질적으로 설계기준에 맞는 내진 설계지침의 개정필요성이 제기되며, 국내의 고속도로상의 교량들에 대한 내진 설계기준 적용에 대한 체계적인 검토가 요구된다.

-
- * 정회원, 중앙대학교 토목공학과 강사 · 공학박사
 - ** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정
 - *** 정회원, 영남대학교 토목공학과 교수 · 공학박사
 - **** 정회원, 중앙대학교 건설대학 토목공학과 교수 · 공학박사
 - ***** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 수석연구원 · 공학박사

따라서, 본 연구에서는 한정연성에 따라 설계된 시험체를 제작하여 준정적 실험(Quasi-Static Test)을 통하여 철근콘크리트교각의 내진성능에 직접적인 영향을 미치는 것으로 사료되는 주철근의 겹이음 정도, 구속철근비와 띠철근의 배근 형태에 따른 내진성능을 평가하고자 하였다.

2. 연구내용

본 연구는 RC교각의 내진성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서 구속철근비, 횡방향 철근 배근형태에 대한 준정적(Quasi-Static)실험을 실시하여 변수에 의한 RC교각의 내진성능을 평가하고자 하였다. 이러한 결과는 장래 시공상의 문제로 시행되고 있는 소성힌지구간에서의 주철근의 겹이음 및 횡방향 철근 배근형태에 대한 시방규정을 제시하고자 한다.

2.1 재료의 특성

교각 시험체 제작에 사용한 콘크리트는 굵은골재 최대치수 25mm 골재의 레디믹스트 콘크리트를 사용하고 철근은 SD30인 D19의 상용철근을 주철근으로, 띠철근은 D10을 사용하였다. 압축강도는 28일간 표준 양생시킨 후 측정된 결과, 약 253kgf/cm^2 의 값을 얻었다. 또한 철근은 인장시험을 실시하여 각각 평균항복강도 $3,500\text{kgf/cm}^2$ 과 $3,800\text{kgf/cm}^2$ 의 값을 얻었다. 아래 표 1.은 콘크리트 배합설계표를 보여주고 있다.

표 1. 시험체 배합설계표

구 분	W/C (%)	슬럼프 (cm)	최대골재 치수(mm)	단위중량(kgf/cm^3)					28일강도 (kgf/cm^2)
				물	시멘트	굵은골재	잔골재	혼화재	
본체	50.1	12	25	126	349	869	909	1.75	253

2.2 시험체 제작

본 연구에서는 주철근의 겹이음 및 횡방향철근의 배근형태에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능을 평가하기 위하여 단면의 직경 120cm, 부재의 총길이 480cm인 원형단면의 시험체 6개를 제작하였다. 시험체의 변수 및 띠철근배근상세는 표 2. 및 표3.와 같다. 주철근의 겹이음 길이는 도로교 시방서의 규정에 따라 다음 식 (1)과 같으며 겹이음의 중심은 기둥하단부에서 0.25D의 위치로 하였다. 이는 기존의 연구결과^{2),3)}에 따라 주철근 좌굴파괴의 위치이다.

$$0.007d_b f_y \text{ 이상} : f_y \leq 4000\text{kgf/cm}^2 \quad (1)$$

$$0.007 \times 1.27 \times 3000 = 26.67\text{cm} \approx 27\text{cm} \text{ 겹이음}$$

표 2. 실험변수 및 시험체명

Classification	Nomenclature	Lap Splice Ratio (%)	Confinement Steel Space		Axial Force (tonf)
			Plastic Hinge Region	Non-plastic Hinge Region	
Moderate Seismic Design	MS-HT3-H-L2	50%	11.5 cm	15 cm	190
	MS-HT4-H-L2	50%	11.5 cm	15 cm	
	MS-HT5-H-L2	50%	11.5 cm	15 cm	
	MS-HT3-N-L2	0%	11.5 cm	15 cm	
	MS-HT4-N-L2	0%	11.5 cm	15 cm	
	MS-HT5-N-L2	0%	11.5 cm	15 cm	

표 3. 띠철근 배근 상세

구분	HT3	HT4	HT5
배근상세			

2.3 계측장비

시험체의 주철근, 띠철근, Cross Tie에 Strain Gage를 부착하여 철근의 변형률을 측정하였고 시험체 기둥부의 횡방향 처짐량을 측정하기 위하여 상단부에 1000mm Wheel LVDT를 설치하였고, 기초의 들림과 slip을 측정하기 위하여 100mm LVDT를 기초에 직각방향으로 설치하였다. 또한 소성힌지구간의 곡률을 측정하기 위하여 push방향과 pull 방향에 Clip Gage를 각각 4개씩 설치하고 가력방향의 직각방향에는 소성힌지구간의 1/4지점과 1/2지점에 각각 2개씩의 경사계를 설치하였다.

3. 실험개요 및 방법

Quasi-static⁴⁾ 실험을 위하여 그림 2와 같이 축하중을 300ton Oil jack을 이용하여 재하하고 횡방향 변위가 발생하더라도 일정한 축하중이 재하될 수 있도록 일정한 하중을 유지할 수 있는 유압기를 이용하였다. 횡방향의 반복하중은 350ton actuator를 이용하여 변위제어방식으로 가력하였다. 변위재하 유형은 기둥높이에 대한 하중변위의 비율(Drift Level)로 그림2와 같이 $\pm 0.25\%$, $\pm 0.5\%$, $\pm 1.0\%$, $\pm 1.5\%$, $\pm 2.0\%$, $\pm 2.5\%$, $\pm 3.0\%$, $\pm 4.0\%$...로 Drift Level을 처음에는 0.25%, 0.5%씩 증가시켜 초기에는 교각의 연성도를 상세하게 관측하고 $\pm 3.0\%$ 이후는 1.0%씩 증가시키는 방법으로 2 cycle 반복 재하하여 동일 진폭에 대한 교각의 거동특성의 차이를 비교 분석하였다. 다음 그림 1과 그림 2는 각각 시험체의 설치 및 하중재하형태를 나타낸다.

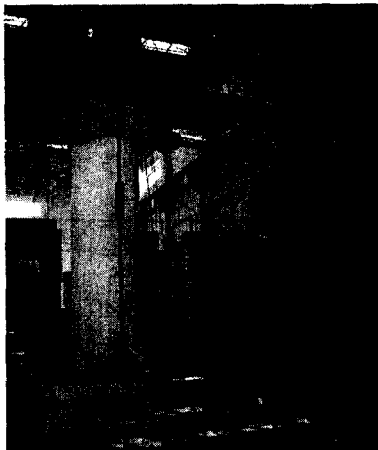


그림 1. Test Setup

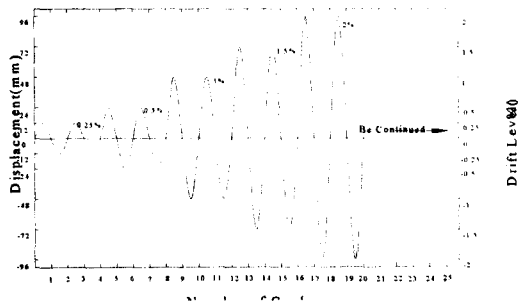


그림 2. 수평하중 재하

4. 실험결과분석

실험결과로는 초기균열은 대부분 $\pm 1\%$ 이내에서 발생하였으며 수평하중은 대체적으로 Drift Level 2.5%에서 가장 큰 하중이 발생하였고 최대하중은 60ton ~ 65ton 사이의 값이 측정되었다. 그림 5, 그림 6, 그림 7에서 보이는 바와 같이 겹이음이 없는 시험체의 경우 강도저하가 Drift Level $\pm 4\%$ 에서 시작되고 겹이음이 50%인 시험체의 경우에는 1.5% 및 2%에서 강도저하 현상이 발생되고 있다. 이러한 결과로 미루어 겹이음에 의한 기동시험체의 연성능력의 차이가 가장 뚜렷한 것으로 판단된다.

겹이음이 없는 시험체의 경우 주철근의 좌굴파단으로 인하여 급격한 강성저하가 발생하며 보통 3~5개 정도의 주철근이 파단되었다. 하지만, 겹이음이 50%인 시험체의 경우에는 주철근의 파단이 거의 일어나지 않고 피복콘크리트가 먼저 탈락한 이후 심부 콘크리트가 파괴되면서 주철근의 겹이음 부분에 Slip으로 강도저하 현상이 발생하였다.

겹이음이 50%인 경우에는 최대하중을 지난 후 급격한 강도저하가 발생하는 것이 관찰되었다. 그림8에서는 겹이음이 있음으로서 에너지 흡수율은 최대50%감소시키는 경향이 나타나는 것을 보여주고 있다. 겹이음이 있는 시험체 가운데에서도 HT4형태의 띠철근 형상 시험체가 에너지 흡수 능력면에서 상당히 낮은 경향을 보이고 있다.

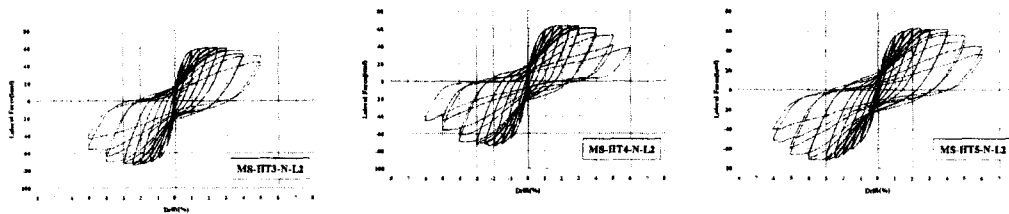


그림 5. 겹이음이 없는 시험체의 Hysteretic Curve

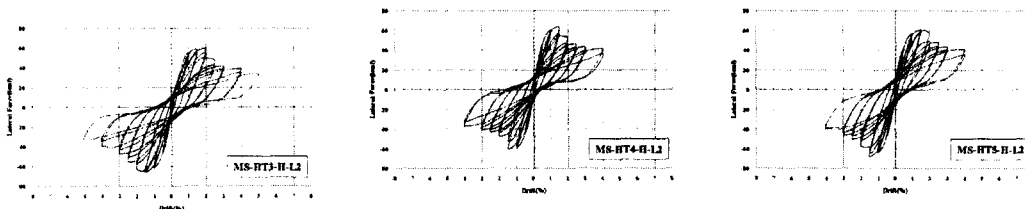


그림 6. 50%겹이음 시험체의 Hysteretic Curve

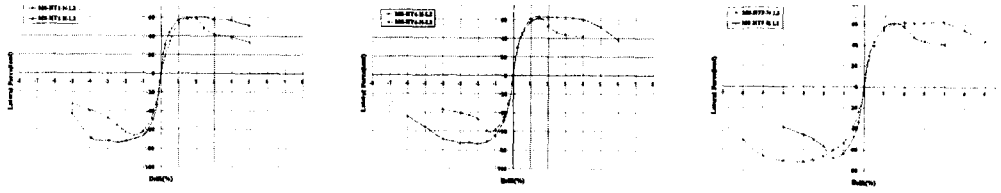


그림 7. 배근형태에 따른 Envelope Curve

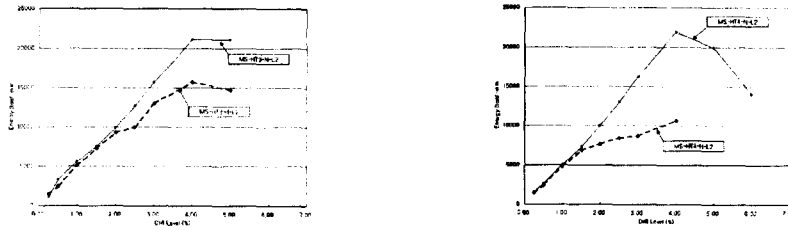


그림 8. Energy Absorption Curve

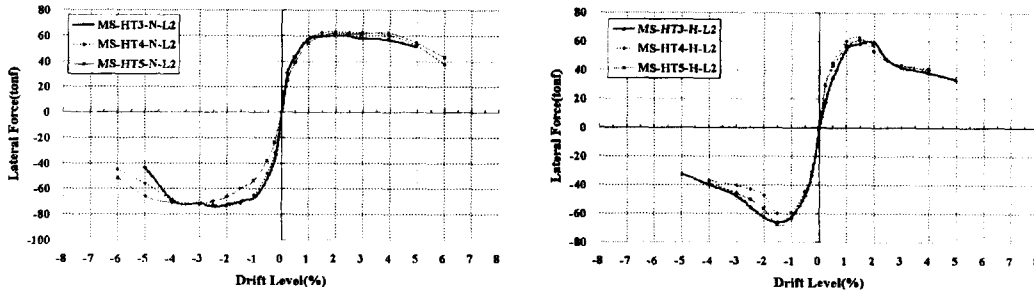
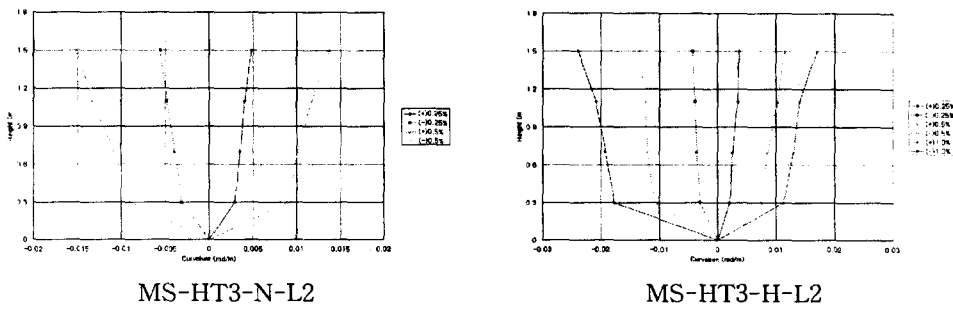


그림 9. 중저진 Envelope Curve



MS-HT3-N-L2

MS-HT3-H-L2

그림 10. Cumulative Curvature

5. 결론

본 연구는 횡방향 철근의 배근 형태에 따른 내진성능을 평가하기 위한 실험으로 그림9.에서와 같이 횡방향보강철근이 있는 경우에는 띠철근의 형태에 의한 특별한 경향이 관찰되지 않았다. 그림 7.을 보면 주철근의 겹이음에 대해서는 상당한 내진성능의 감소를 보여주고 있다. 동일한 구속 철근비를 갖는 시험체의 경우 띠철근의 배근형태에서 구속철근에 의하여 구속력이 보강된 시험체에서는 띠철근의 겹이음을 이용한 경우와 갈고리를 이용한 경우 별다른 차이를 보이지 않으므로 띠철근의 겹이음 길이를 충분히 할 경우 충분한 내진성능을 확보할 수 있는 것으로 사료된다. 추 후 다양한 주철근의 겹이음정도에 따른 내진성능을 평가하여 시공상 피할 수 없는 주철근 겹이음 의 정도를 제시하여야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 "고속도로 기존 교량의 내진성능 평가를 위한 실험적 연구"의 일환으로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국도로교통협회(1996) 도로교 설계기준
2. 정영수 외 3인(2001) 준정적실험에 의한 겹이음된 철근콘크리트 교각의 내진성능 평가, 2001년 도 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp. 877-882
3. 이재훈 외 3인(2001) 겹침이음 상세에 따른 철근콘크리트 교각의 내진성능에 관한 실험적 연구, 2001년 봄 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제13권, 1호 pp.553-558
4. 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