

프리스트레스트된 강판으로 보강된 철근콘크리트 교각의 준정적 실험에 의한 내진 성능 향상 연구

Seismic Performance Enhancement of Reinforced Concrete Bridge Piers wrapped with Prestressed Steel Jacket by the Quasi-Static Test

백민철* 정영수** 최은수*** 양동욱****
Beak Min Choel Chung Young Soo Choi Eun Soo Yang Dong Wook

ABSTRACT

Lap splices were located in the plastic hinge region of most bridge piers that were constructed before the adoption of the seismic design provision of Korea Highway Design Specification on 1992. This research aims at evaluating the seismic performance of reinforced concrete bridge piers with lap-spliced longitudinal steels, which were strengthened with prestressed steel jacket in the plastic hinge region. Quasi-static test was used to investigate the seismic performance enhancement of RC test specimens. Conventional method applied mortar grouting inside steel jacket, but this research did not apply mortar grouting inside steel plate. Four test specimens in an aspect of 3.5 were constructed with 400 mm in diameter and 1600 mm in height. Test parameters are the lap splice of longitudinal reinforcing steels and thickness of steel jacket.

요약

국내 내진설계가 도입되지 않은 1992년 이전에 설계 시공된 교량과 교각의 경우 소성힌지구간에 충분한 횡구속이 되지 않은 상태에서 주철근 겹침 이음을 가지고 있는 것이 대부분이다.

이 연구는 철근콘크리트 교각의 내진성능에 영향을 미치고 있는 변수들로서 소성힌지구간의 주철근 겹침이음 및 두께를 달리한 강판보강을 선택하여 준정적(Quasi-Static) 실험 방법에 의하여 철근콘크리트 교각의 내진 성능을 평가 하였다. 특히 기존의 강판 보강 공법은 강판 내부를 모르타르로 그라우팅하였으나, 이 연구에서는 보강된 강판내부를 그라우팅하지 않았다. 이를 위하여 형상비 3.5의 철근콘크리트 기둥 시험체 (지름 400mm, 높이 1600mm) 4개를 제작하였다. 실험 변수는 주철근 겹침이음 0%, 50%, 보강 강판 두께 2종(1mm, 2mm)을 선택하였다.

* 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: guriguri1000@naver.com

** 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 정교수 · 공학박사 · E-mail: chung47@cau.ac.kr

*** 정희원 · 홍익대학교 건설도시공학부 조교수 · 공학박사 · E-mail: eunsoochoi@hongik.ac.kr

**** 정희원 · 중앙대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail: yang4ever@hanmail.net

1. 서론

국내에서는 도로교표준시방서의 내진 설계 기준이 마련된 1992년 이전에 설계 시공된 철근 콘크리트 교각은 주철근의 겹침이음이 소성힌지구간에 위치하여 이들 교각에 대한 내진성능평가 및 내진보강에 관한 연구의 필요성이 제기되어 왔으며, 또한 이들을 전면 재시공하는 것은 많은 경제적, 사회적으로 많은 어려움을 초래할 수 있으므로 적절한 보수·보강을 수행하여 내진성능을 확보하는 것이 최선의 방법이라 판단된다. 그리하여 이 연구에서는 내부 그라우팅을 하지 않은 Steel Jacket 보강을 선택하여 1mm Steel Jacket 1장 보강과 2장을 보강하여 교각의 내진 성능을 평가하였고, 이 논문에서는 이들 시험체의 에너지 소산과 유효강성에 대하여 주철근 겹침이음이 없는 시험체와 비교, 평가 해보았다.

2. 실험계획

2.1 실험 개요

이 연구는 반복이력하중에 의한 철근콘크리트 교각의 내진 성능을 준정적실험을 통하여 평가하였다. 실험체 상세는 표 1에 나타난 바와 같이 실험체는 휨과괴모드(형상비3.5)로 설계되었으며, 내진설계기준 도입 이전의 비내진 설계법으로 주철근 겹침이음 50%를 한 시험체 1기, Steel Jacket으로 보강한 실험체 2기를 제작하였고, 또한 비교 평가를 위하여 기준 시험체로서 주철근 겹침이음 0%의 실험체를 제작하였다. 사용된 콘크리트의 굵은골재 최대 직경도 9mm로 제한하기 위해서 골재 체가름을 통해서 사용하였고 별도로 배합설계를 하였다. 콘크리트 설계압축강도는 24 MPa로 하였다. 실험체에 축방향력을 $0.1f_{ck}A_g$ 를 도입하기 위해서 교각을 제작할 때 단면의 중심에 쉬스관을 배치하여 실험 직전에 포스트텐션으로 압축력을 도입하고 그 크기를 로드셀로 확인하였다. 그림 1과 같이 시험체를 설치하여 실험을 하였다.

Design Method	Specimen	Diameter D Height H (mm)	Longitudinal Steel		Transverse Steel		Steel Jacket
			Sectional Ratio	Lap splice	Volumetric Confinement Steel Ratio	Space (mm)	
Non-Seismic	RC-N-SP00-NUB	D=400 H=1,400	16D13 =1.61%	0%	0.27%	130/130	-
	RC-N-SP50-NUB			50%			-
	RC-N-SP50-UB1			50%			1mm
	RC-N-SP50-UB2			50%			2mm

표 1 Characteristics of RC Bridge Pier Specimen



그림 1

2.2 Steel Jacket

Steel Jacket의 보강두께는 Priestley 제안식 $t_j = \frac{0.18(\epsilon_{cm} - 0.004)Df_{cc}'}{f_{uj}\epsilon_{sm}}$ 과 FHWA 제안식 $t = \frac{F_L D}{400} (mm)$ 을 이용하여 각각 0.62mm와 1.39mm의 보강두께를 구하였다. 그리하여 Steel Jacket의 보강두께를 1mm와 2mm로 하여 소성힌지구간의 2배인 400 mm높이로 보강을 하였다. 주철근 겹침이음이 있는 소성힌지구간을 위 그림1과 같이 보강하였다. Steel Jacket은 인장실험을 통해 평균항복강도는 236.7MPa 값을 얻었다.

3. 실험결과

1)에너지평가

콘크리트 교의 손상을 평가하기 위해 부재가 파괴될때까지 흡수 또는 소산 할수 있는 능력은 내진 성능을 평가하는데 중요한 요소중 하나이다. 구조물 또는 어떤 부재의 총 에너지량에 있어서 지진응답 해석에 의한 변위이력으로부터 실제로 흡수 및 소산되는 에너지를 계산하고 총에너지량과 비교하여 구조물의 안전성 여부를 검토할수 있다. 따라서 에너지 소산능력을 분석하기 위하여 축적 에너지 흡수능력(Cumulative Energy Absorption CaPacity)을 분석하였다.

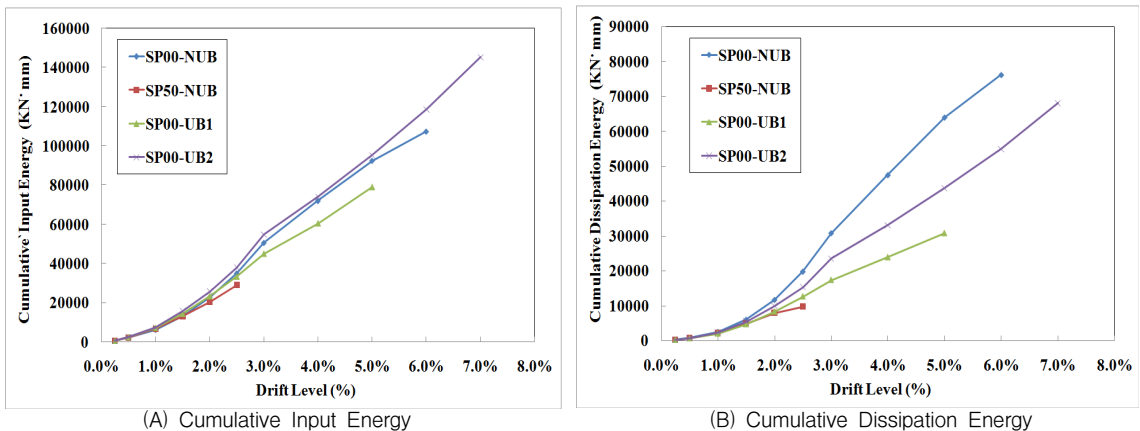


그림 2 누적 입력 및 소산 에너지

그림 2와 같이 Drift Level 1.5%까지는 모든 시험체가 입력(Input Energy) 및 소산에너지(Dissipation) 모두가 유사하였으며, 주철근 겹침이음이 50%인 무보강 실험체(RC-N-SP50-NUB)는 주철근에 슬립이 발생하여 Drift Level 2.0%부터 입력 및 소산에너지가 다른 실험체에 비해 저하됨을 알수 있었다. Drift Level 2.5%에서 소산에너지는 RC-N-SP50-NUB의 경우 주철근 겹침이음이 없는 실험체(RC-N-SP00-NUB) 보다 소산에너지가 72.57% 작음을 알수 있다. Steel Jacket 보강으로 인하여 1mm Steel Jacket이 1장 보강된 실험체(RC-N-SP50-UB1)는 RC-N-SP50-NUB보다 소산에너지가 10.04% 증가됨을 보여주고, 1mm Steel Jacket이 2장 보강된 시험체(RC-N-SP50-UB2)는 34.01%가 증가됨을 보여준다. 이를 통해 Steel Jacket 보강에 의한 내진성능 증가를 확인할 수 있었다.

2)유효 강성 평가

그림 3에서는 하중-변위 이력곡선을 통해 초기 강성을 100%로 하여 각 Drift Level의 각 단계에 따른 유효강성 저하를 나타내었다. 주철근 겹침이음이 50%있는 실험체 RC-N-SP50-NUB, RC-N-SP50-UB1, RC-N-SP50-UB2는 Drift Level 1.0%에서 50%가 넘는 강성저하를 나타내었고, 주철근 겹침이음이 없는 실험체 RC-N-SP00-NUB는 Drift Level 0.5%에서 50%가 넘는 강성저하를 나타내었다. Drift Level 1.0%에서 주철근 겹침이음이 없는 기준 실험체(RC-N-SP00-NUB)는 27.16%의 강성을 나타내었고, 겹침이음이 50%인 무보강 실험체(RC-N-SP50-NUB)는 44.62%, 1mm Steel Jacket이 1장 보강된 실험체(RC-N-SP50-UB1)는 44.17%, 1mm Steel Jacket 2장 보강된 실험체(RC-N-SP50-UB2)는 48.12%강성을 나타내었다. 이를 통해 Steel Jacket 보강에 따른 강성 변화의 영향을 찾을 수가 없었다.

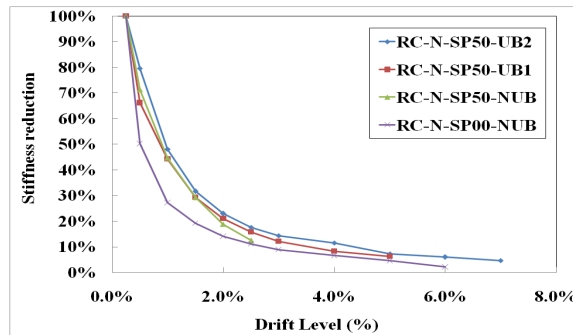


그림 3 Drift Level에 따른 강성저하 그래프

4. 결론

- 1) 주철근 겹침이음이 50%로 제작된 비내진 시험체(RC-N-SP50-NUB)는 주철근의 슬립 현상으로 인하여 주철근 겹침이음이 없는 시험체(RC-N-SP00-NUB)보다 크게 떨어짐을 알수 있었으며, Steel Jacket 보강으로 인해 보강량에 따라 소산에너지가 각각 10.04%, 34.01% 증가됨을 알수 있다.
- 2) 주철근 겹침이음이 50%로 제작된 비내진 실험체(RC-N-SP50-NUB)와 1mm Steel Jacket 1장 보강된 실험체(RC-N-SP50-UB1), 2장 보강된 실험체(RC-N-SP50-UB2)는 유효 강성 저하의 차이가 미미하고 주철근 겹침이음이 없는 시험체는 유효 강성 저하가 크게 일어났다.

감사의글

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구사업 (No. R0120060001004802006)의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사를 표하는 바입니다.

참고문헌

1. T. Paulay, M. J. N. Priestley, "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings"
2. 정영수, 박창규, 이범기, 송희원, 이축방향 유사정적 실험에 의한 이주형 철근콘크리트 원형 교각의 내진 성능평가, 콘크리트학회논문집, 제17권 제1호, pp.121-128, 2005.
3. 이대형, 송희원, 박창규, 이범기, 정영수, Steel Band로 보강된 철근콘크리트 교각의 내진성능, 한국 콘크리트학회 2005 가을 학술발표회 논문집, 제17권 2호, pp.97-100, 2005
4. 정영수, 박창규, 이은희, "지진을 경험한 형상비 2.5RC 교각의 내진 변위연성도 평가", 한국지진공학회 논문집, 제7권, 제3호, 2003, pp. 79-88.
5. Young S. Chung, Chang K. Park, and Eun H. Lee, "Seismic Performance and damage assessment of reinforced concrete bridge pier with lap-spliced longitudinal steels." Techno-Press, Vol. 17, No. 1, 2004, pp. 99-112.
6. 이대형, 정영수, 이재형, 송호진, "주철근 겹침이음된 형상비 4.0의 원형 철근콘크리트 교각의 내진성능평가", 대한토목학회 논문집, 제22권, 제5-A호, 2002, pp. 1193-1202.