

# Steel Band로 보강된 철근콘크리트 교각의 내진성능

## Seismic Performance of RC Bridge Piers Retrofitted with Steel Bands

이 대 형\*    송 희 원\*\*    박 창 규\*\*\*    이 범 기\*\*    정 영 수\*\*\*\*  
Lee, Dae Hyoung    Song, Hee Won    Park, Chang Kyu    Lee, Beom Gi    Chung, Young Soo

---

### ABSTRACT

It has been known that lap splices of the longitudinal reinforcement steel in bridge columns are not desirable for seismic performance, but it is sometimes unavoidable. Lap splices were usually be located in the plastic hinge region of most bridge columns that were constructed before the adoption of the seismic design provision of Korea Bridge Design Specification on 1992. This research is to evaluate the seismic performance of reinforced concrete bridge piers with lap splicing of longitudinal reinforcement in the plastic hinge region, and to develop the enhancement scheme of their seismic capacity by retrofitting with steel bands. It was observed that RC bridge specimens with lap-spliced longitudinal steels appeared to fail at low curvature and displacement ductility, but significant improvement was appeared in the ductility of RC specimens with steel bands retrofitted around the plastic hinge region.

---

### 1. 서론

현재 강진지역에서 채택하고 있는 내진설계규정에서는 교각의 소성힌지 구간에서의 주철근 겹침이음을 엄격히 금지하고 있다. 그러나, 1992년 이전에 설계시공된 교각들은 내진설계가 되어있지 않을 뿐더러 소성힌지 구간에 주철근이 겹침이음이 되어 있을 가능성이 매우 높아 내진성능저하가 초래되어 교량의 안전성에 문제를 일으킬 수 있는 것으로 보고되고 있다. 또한, 2005년 설계기준이 개정되기 이전에도 소성힌지 구간에서의 주철근 겹침이음에 대한 언급이 없었으며, 도로교 설계기준(2005)에 소성힌지 구간에서 모든 주철근량의 50%미만까지는 겹침이음을 허용하고 있다. 따라서, 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.

이에 본 연구에서는 내진설계규정이 도입된 1992년 이전의 설계규정에 따라 휨과피모드로 설계시공된 철근콘크리트 교각의 보강기법을 마련하고자 비내진 실험체(형상비=3.5)를 제작하여 준정적실험을 통한 내진성능평가를 수행하였으며, 또한 손상된 실험체의 소성힌지부를 Steel band를 이용해 횡구속력을 증대시킨 새로운 보강방법에 대한 내진성능 향상정도를 평가 하였다.

---

\*정회원, 경도대학 건설환경과 교수

\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 석사과정

\*\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 박사

\*\*\*\*정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

## 2. 실험계획

### 2.1 실험개요

본 연구는 반복이력하중에 의한 철근콘크리트 교각의 내진성능을 준정적실험을 통하여 평가하였다. 실험체 상세는 표 1에 나타난 바와 같이 실험체는 휨파괴모드(형상비=3.5)로 설계되었으며, 내진설계 기준 도입 이전의 비내진 설계법으로 주철근 겹침이음 50%를 한 실험체 1기, Steel band로 보강한 실험체 2기를 제작하였고, 또한 비교 평가를 위해 한정연성실험체와 내진실험체를 각각 1기씩 제작하였다.

표 1 실험체 상세

실험체	직경 (mm)	높이 (mm)	$f_{ck}$ (MPa)	주철근			횡구속철근			보강 (Steel band)
				철근비 (%)	겹침이음	$f_y$ (MPa)	철근비 (%)	배근간격 (mm)	$f_{yh}$ (MPa)	
3.5N-SP05-R0	600	2,100	24	22-D16 =1.55%	50%	330	0.24	220	350	-
3.5N-SP05-R1										120mm
3.5N-SP05-R2										40mm
3.5L-SP00-R0							0%	0.53	100	-
3.5S-SP00-R0							0%	1.06	50	-

\*N: Nonseismic design, L: Limited ductility design, S: Seismic design, SP: Lap-splice, R: retrofit

### 2.2 Steel band

Steel band는 두께 3mm, 폭 20mm의 SS400의 일반 구조용 강재로 제작되었으며, 인장실험을 통해 평균항복강도는 284MPa 값을 얻었다. 그림 1에 보강에 사용된 Steel band를 나타내었고, 주철근 겹침이음이 있는 소성힌지구간을 Steel band로 그림 2와 그림 3과 같이 보강하였다. 3.5N-SP05-R1 실험체는 한정연성실험체에 비해 부족한 횡구속력을 Steel band로 보강하기 위해 간격을 120mm로 하였으며 3.5N-SP05-R2 실험체는 내진실험체에 맞게 횡구속력을 증가시키기 위해 Steel band 간격을 40mm로 하였다.

표 2 Steel band의 보강량 산정

실험체	횡구속철근 인장력		추가소요 횡구속력 =③or④-②	보강 간격 =⑤/(⑥or⑦)	기준 실험체
	$P = A_{sh} \times f_y$	단위길이당 (100mm) =(①/간격)×100			
3.5N-SP05-R0	71.33×0.35 =24.97kN ①	11.35kN ②	-	-	-
3.5L-SP00-R0		24.97kN ③	-	-	-
3.5S-SP00-R0		49.94kN ④	-	-	-
3.5N-SP05-R1	Steel band 인장력 =60mm(3mm×20mm)×0.284 =17.04kN ⑤		24.97-11.35 =13.62kN ⑥	17.04/13.62 =1.25≒120mm	한정연성실험체
3.5N-SP05-R2			49.94-11.35 =38.59kN ⑦	17.04/38.59 =0.44≒40mm	내진실험체

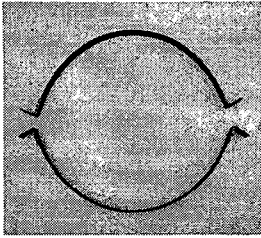


그림 1 Steel band



그림 2 3.5N-SP05-R1

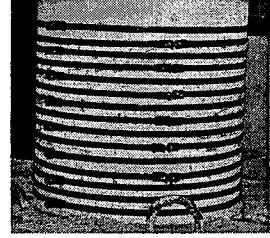
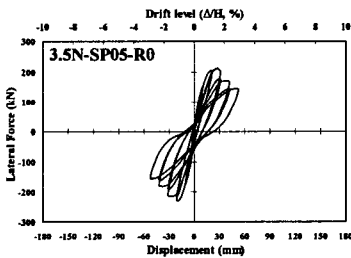


그림 3 3.5N-SP05-R2

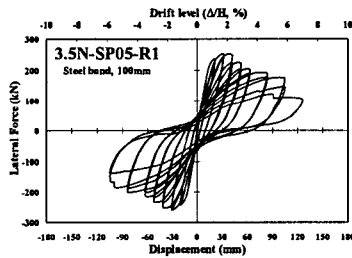
### 3. 실험 결과

#### 3.1 하중-변위 이력곡선

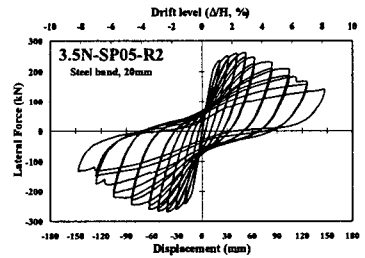
아래 그림 4와 같이 보강하지 않은 실험체 3.5N-SP05-R0는 Drift level 1%에서 주철근 Slip 현상에 의해 내진성능이 급격히 저하됨을 알 수 있다. 반면 보강된 실험체 3.5N-SP05-R1는 주철근의 Slip 현상 없이 Drift level 5%에서 주철근이 파단되었고 3.5N-SP05-R2 실험체 역시 Drift level 6%에서 주철근이 파단되기 시작하였다. 이를 통해 Steel band 보강에 의한 내진성능 증가를 확인할 수 있었다.



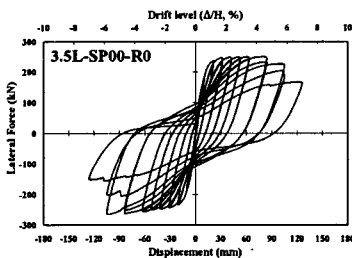
(a) 3.5N-SP05-R0



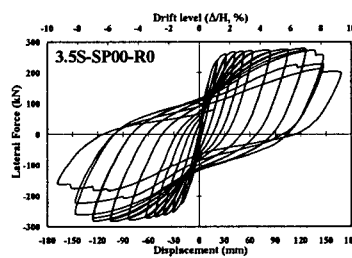
(b) 3.5N-SP05-R1



(c) 3.5N-SP05-R2



(d) 3.5L-SP00-R0



(e) 3.5S-SP00-R0

그림 4 하중-변위 이력곡선

#### 3.2 연성도

구조형식, 기둥길이, 기둥의 구속조건에 따른 구조물의 연성을 나타내는 변위연성도는 항복변위에 대한 극한변위의 비( $\mu_{\Delta} = \Delta_u / \Delta_y$ )로 정의된다. 또한, 변위연성도에 비해 곡률연성도( $\mu_{\phi} = \phi_u / \phi_y$ )는 단면의 형상, 재료의 특성, 철근의 배근형태 등에 따른 기둥 단면의 연성을 나타낸다. 이는 지진이력시 부재의 변형이 하부에 집중되는 교각의 거동특성을 고려할 때 위험단면의 연성도를 나타내는 곡률연성도의 중요성이 높다고 판단된다. 연성도의 경우, 하중-변위의 관계에서 항복점이 뚜렷하지 않기 때문

에 항복변위를 결정하기 위해 여러 연구자들이 다양하게 정의를 하였는데, 본 연구에서는 Paulay와 Priestley(1992)가 제안하고 현재 가장 널리 사용되는 하중-변위 곡선상에서 공칭모멘트  $M_n$ 에 해당하는 횡력  $V_n$ 을 지나는 수평선과 원점에서 공칭모멘트 강도의 75%에 해당하는 횡력을 지나는 직선과의 교점을 항복변위로 정의하였다. 또한, 극한변위는 횡하중의 감소폭은 항복변위에 해당하는 항복하중과 유사하도록 하여 횡방향 하중이 20% 감소된 변위를 극한변위로 정의하였다.

실험결과 표 3에서 보는 바와 같이 50% 주철근 겹침이음이 있는 실험체(3.5N-SP05-R0)는 요구연성도 5에 크게 못미치는 연성도 값을 나타내었다. 그러나 Steel band를 120mm간격으로 보강한 실험체 (3.5N-SP05-R1)는 2배정도의 연성능력 증가현상을 보여 요구연성도를 만족하였으나 한정연성실험체의 연성도에는 못 미치는 값을 나타내었다. 곡률연성도 또한 2.5배의 연성도 증가를 보였고 대표적인 한정연성개념 설계규정인 Eurocode 8과 비교하여 볼 때 요구곡률연성도 “7”을 만족시켰다. Steel band를 40mm 간격으로 보강하였을 경우 3.5배정도의 큰 증가를 보였고 곡률연성도는 Eurocode 8의 완전연성에 대한 요구곡률연성도 “13”을 상회하는 연성 증가량을 보였다. 그러나 기준실험체인 내진실험체보다는 낮은 값을 나타내었다.

표 3 실험체별 변위연성도 및 곡률연성도

실험체	항 복		극 한		변위연성도	곡률연성도
	변 위 (mm)	곡 른 (rad/mm)	변 위 (mm)	곡 른 (rad/mm)		
3.5N-SP05-R0	15.005	1.449E-04	41.368	4.219E-05	2.76	3.43
3.5N-SP05-R1	10.711	2.696E-05	65.574	2.326E-04	6.12	8.63
3.5N-SP05-R2	10.442	2.930E-05	102.542	5.207E-04	9.82	17.77
3.5L-SP00-R0	10.710	2.427E-05	113.538	3.026E-04	10.60	12.47
3.5S-SP00-R0	12.591	-	159.109	-	12.64	-

주)3.5S-SP00-R0의 곡률연성도 값은 실험적 오차에 의해 구하지 못하였다.

#### 4. 결 론

1. 50% 주철근 겹침이음 시공된 비내진 실험체(3.5N-SP05-R0)는 변위연성도는 2.76, 곡률연성도는 3.43으로 요구연성도에 못미치는 연성능력 저하를 보여주었다.
2. Steel band를 이용하여 보강시 내진성능이 매우 향상되었으며 다른 공법에 비하여 시공성도 상당히 향상될 수 있으리라 판단된다. 그러나 주철근 겹침이음이 교각의 내진성능에 지대하게 영향을 미치므로, 요구 내진성능을 만족하기 위해 소요되는 구축량은 이론적인 양보다 더 많이 필요한 것으로 나타났다

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 2004년도 건설핵심기술 연구개발사업 (과제번호: 04핵심기술C02-02)의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. T. Paulay, M. J. N. Priestley, "Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings"
2. 박창규, 정영수, 고성현, 이재훈 (2004), "주철근 겹침이음된 실물교각의 횡구속 정도에 따른 내진성능 평가", 한국 콘크리트 학회 논문집, Vol.16, No.5, pp. 687~696.