

스테인레스 스틸 와이어 메쉬 보강에 따른 교각의 연성능력 평가

Evaluation of Ductility for Bridge Piers Retrofitted by Stainless Steel Wire Mesh

김 성 훈* 김 대 곤* 이 규 남** 김 선 호*** 김 석 희***
Kim, Sung Hoon Kim, Dae Kon Lee, Kyu Nam Kim, Sun Ho Kim, Seok Hee

ABSTRACT

The objective of this study is to investigate the seismic capacity of the non-seismically detailed RC bridge piers before and after applying a seismic retrofitting method using stainless steel wire mesh. Total nine circular section RC piers were constructed. Different lap splice longitudinal reinforcement details were adapted for four specimens and various types of stainless steel wire mesh were applied for the remaining five specimens. Harmonic cyclic lateral load was applied on each specimen under a constant axial load.

The test results indicated that the existing circular piers have low seismic capacity while the stainless steel wire mesh retrofitting method improves the seismic capacity considerably. In addition, test results revealed that the circular section piers could have a considerable amount of ductility if longitudinal bars are not lap-spliced in potential plastic hinge zone. Based on this experimental study it could be concluded that the seismic performance, that is ductility and energy absorption capacity, of the non-seismically detailed RC bridge piers would be increased by applying the stainless steel wire mesh seismic retrofitting method.

1. 서 론

지진의 피해를 경감하기 위해서 우리 나라에서는 1992년에 교량구조물의 내진시방서가 마련되었기 때문에 그 이전에 건설된 교량은 내진설계가 제대로 되지 않은 것으로 추정되어 강판보강공법, 섬유공법등이 적용되어져 오고 있다. 본 연구에서는 지진 발생시 교량구조물에서 가장 취약한 요소중 하나인 교각의 내진 성능개선을 목표로 스테인레스 스틸 와이어 메쉬와 침투성 폴리머 모르타르에 의한 내진 보강공법을 도입하였다. 교각의 내진설계 유·무에 따른 구조적 거동을 비교, 분석하고 내진보강 실험체는 보강길이와 와이어직경을 변수로 하여 실험체를 제작하여 보강여부에 따른 강도, 강성 및 연성능력을 비교, 평가하였다.

* 정회원, 서울산업대 구조공학과, 교수
** 정회원, 서울산업대 구조공학과, 석사
*** 정회원, 서울산업대 구조공학과, 석사과정

2. 실험

2.1 실험체 계획

실험체별 제작조건 및 변수를 정리하여 나타내면 표 1과 같고, 실험체의 형상 및 제원은 그림 1에 나타내었다.

표 1. 실험체 일람표

실험체명	접이음 길이(cm)	보강길이 (cm)	와이어 직경	와이어 접수	비고
CS-LSC	continues	-	-	-	무보강 실험체
CS-LS48	48(30cb)	-	-	-	
CS-LS32	32(20cb)	-	-	-	
CS-LS24	24(15cb)	-	-	-	
CR-HIP2	32	38.4 (1.5L _p)	Ø3.2	1접	보강 높이가
CR-H2P2	32	51.2 (2L _p)	Ø3.2	1접	
CR-H3P2	32	64 (2.5L _p)	Ø3.2	1접	와이어 직경
CR-H2P1	32	51.2 (2L _p)	Ø2.4	1접	
CR-H2P3	32	51.2 (2L _p)	Ø4.8	1접	

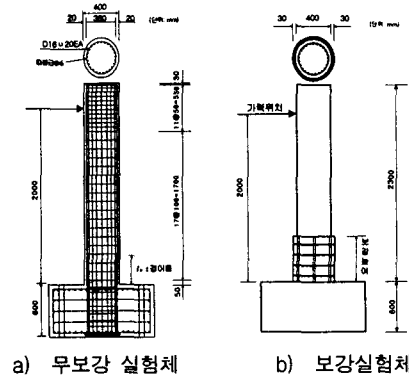


그림 1. 실험체의 형상 및 제원

2.2 가력 및 측정장치

기둥실험체에 대한 반복가력실험을 위하여 반력벽에 유압식 가력기를 장치하고 반력상에 기둥 실험체를 장착하여 각종 센서에 의해 데이터를 획득하였으며 실험체에 부착된 스트레인 게이지 및 LVDT의 위치는 그림 2에 도시하였다.

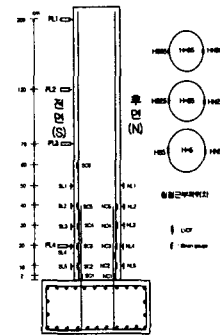


그림 2. 게이지 및 LVDT 부착위치

2.3 사용재료

2.3.1 콘크리트

본 실험에서 사용한 콘크리트는 설계기준강도 240 kg/cm², 슬럼프 값은 12cm로 설계된 레미콘 제품을 사용하였으며, 그 배합비는 표 2와 같으며 압축강도는 각각 3개 공시체의 실험 결과에 대한 평균값으로 재령 28일과 실험 당일의 실험결과에 대한 평균값을 표 3에 나타내었다.

표 2. 콘크리트 배합비

물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	콘크리트 배합량 (kg/m ³)				
		시멘트	물	잔골재	굵은골재	엄화물 함유량
47.8	46.5	393	188	768	902	0.3

표 3. 콘크리트 압축강도 시험결과

공시체	압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (kg/cm ²)	프라이송 비
28일	279	1.78×10 ⁵	0.19
실험당일	296	2.07×10 ⁵	0.20

2.3.2 사용철근

실험체 제작에 사용된 철근은 SD30인 D16 이형철근을 사용하였다. KSB 0802의 금속재료 인장시험 방법에 따라 시험을 실시하였으며, 락철근은 D6 이형철근을 구할 수 없어 물성치가 비슷한 Ø6 원형

강봉을 사용하였으며 그 물성치를 정리하여 나타내면 표 4와 같다.

표 4. 철근의 인장시험 결과표

종류	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	탄성계수	연신율 (%)
D16	3323	4863	2.09×10 ⁶	38
Ø6	3925	5440	1.95×10 ⁶	16

2.3.3 보강용 재료

본 실험에서 사용한 보강용 모르타르 및 와이어의 물성 및 내구성 시험 결과를 정리하여 표 5와 표 6에 나타내었다.

표 5. 침투성 폴리머 모르타르의 재료 특성

물 성		침투성 폴리머 모르타르
압축강도 (kg/cm ²)		418 ~ 425
인장강도 (kg/cm ²)		61
휨강도 (kg/cm ²)		150 이상
접착강도 (kg/cm ²)	바탕콘크리트	31
	와이어 보강후	27
열팽창계수 (/°C)		10.2×10 ⁻⁶

표 6. 스테인레스 스틸와이어의 물성

케이블지름 (mm)		공칭단면적 (mm ²)	파괴하중 (kg)		Ultimate Stress (kg/cm ²)	
φ	actual	actual	spec(Min)	actual	σ ₁	0.85σ ₁
2.4	2.5	2.93	420	501	17047	14490
3.2	3.35	5.20	740	865	16539	14068
4.8	4.97	11.66	1620	1802	15437	13122

2.4 실험체 설치 및 가력방법

수평가력은 그림 3과 같이 각 횡변위 진폭당 각 2 사이클씩 변위제어 방식으로 반복적으로 실시하였으며, 실험체 설치상황은 그림 4에 나타내었다.

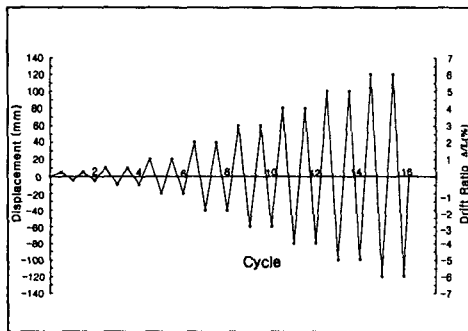


그림 3. 변위이력

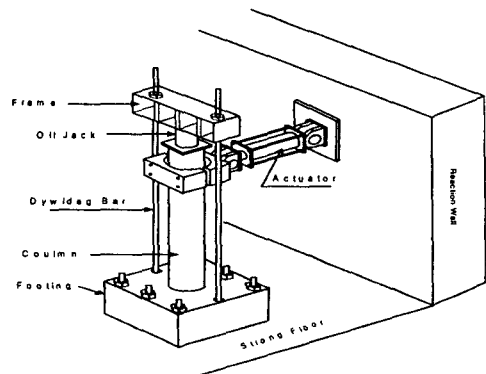


그림 4. 실험체 설치상황

3. 실험 결과

3.1 무보강 기둥실험체

주철근의 겹이음길이를 실험변수로 한, 겹이음이 없는 경우(CS-LSC)와 겹이음을 기둥 하단으로부터 각각 24cm(CS-LS24), 32cm(CS-LS32), 48cm(CS-LS48)높이로 한 경우에 대한 하중-이력곡선은 그림 5~그림 8과 같다.

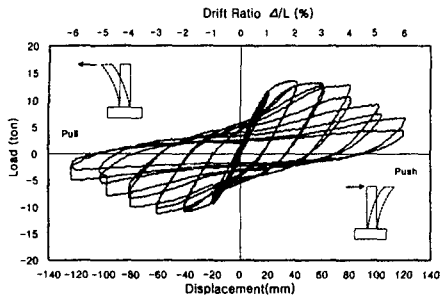


그림 5. CS-LSC

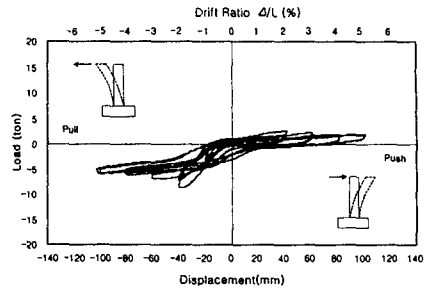


그림 6. CS-LS24

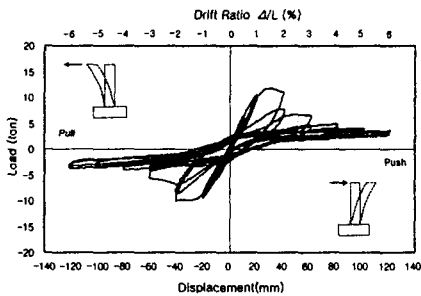


그림 7. CS-LS32

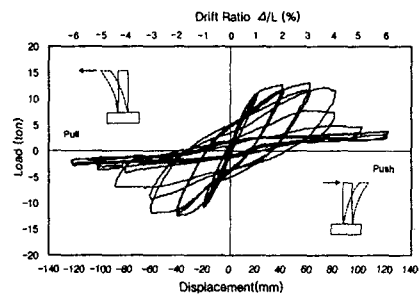


그림 8. CS-LS48

접이음이 없는 CS-LSC 실험체의 경우, 전 변위 사이클에 걸쳐 안정적인 이력곡선의 특성을 보여주고 있다. 한편 기존 비내진 교각 기둥의 접이음 길이가 연성능력에 미치는 영향은 대단히 크며 소성힌지 발생부위에 접이음을 설치할 경우 접이음 철근간의 부착력 상실과 주변 콘크리트와의 부착파괴로 인해 교각의 연성능력이 급격히 저하되어 갑작스런 파괴로 인한 붕괴 위험성이 대단히 큼을 알 수 있다.

3.2 보강실험체

보강실험체는 스테인레스 스틸 와이어 매쉬로 기둥의 소성힌지의 발생이 예측되는 취약부위를 감싸 침투성 폴리머 모르타르에 의해 기존 기둥과 일체화를 시키는 방법에 의해 비내진실험체를 사용하여 보강을 실시하였다. 보강실험체 제작은 기둥의 주철근 접이음 길이를 32cm로 하여 보강길이와 와이어 매쉬 직경의 변화에 따른 보강비를 변수로 하여 제작되었다.

보강 실험체를 분류하면, 기존 비내진 실험체를 대상으로 하여 보강길이를 38.4cm, 51.2cm, 64.0cm로 한 CR-H1P2, CR-H2P2, CR-H3P2 실험체와 보강길이를 51.2cm로 동일하게 보강하고 와이어 직경을 $\phi 2.4$ 와, $\phi 3.2$, $\phi 4.8$ 로 변화시킨 CR-H2P1, CR-H2P2, CR-H2P3 실험체로서 보강변수별로 분류하여 제시하였다.

3.2.1 보강길이 변화

비내진 교각 기둥 실험체에 기둥 하단을 보강하여 제작한 보강실험체의 보강길이는 소성힌지 예측치(L_p)인 25.6cm의 1.5배~2.5배이고 접이음 길이인 32cm의 1.2~2.0배로서 이를 정리하여 제시하면 표 7과 같고 하중-변위이력곡선은 그림 9 ~그림 11과 같다.

표 7. 보강길이 비율

보강 실험체	보강길이/ 소성힌지예측치	보강길이/ 접이음길이	비고
CR-H1P2	1.5	1.2	접이음길이 32cm
CR-H2P2	2.0	1.6	소성힌지예측치 25.4cm
CR-H3P2	2.5	2.0	와이어직경 $\phi 3.2$

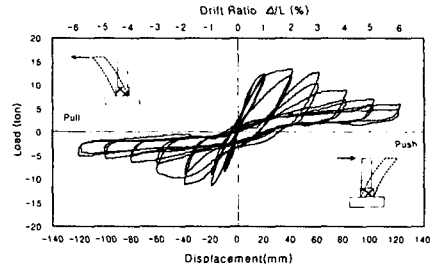


그림 9. CR-H1P2

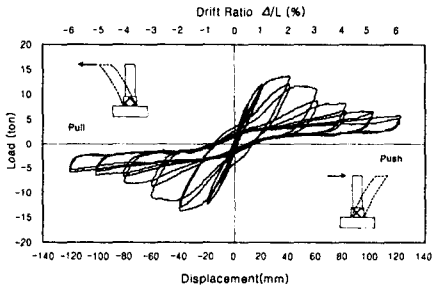


그림 10. CR-H2P2

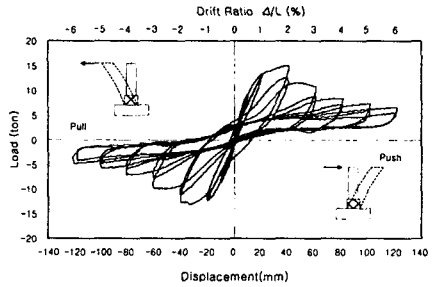


그림 11. CR-H3P2

보강실험체는 같은 제작조건의 무보강실험체인 CS-LS32 실험체보다 전사이클에 걸쳐 큰 강도를 나타내고 있으며, 소성영역에서의 사이클 증가에 따른 내력의 저하도 완만하여 연성능력이 향상됨을 알 수 있었다.

3.2.2 와이어 매쉬 직경 변화

접이음 길이가 32cm인 비내진 실험체에 보강길이를 51.2cm, 와이어 매쉬의 간격을 3cm로 동일하게 하고 와이어의 직경을 $\phi 2.4$, $\phi 3.2$, $\phi 4.8$ 로 변화시켰다. 동일한 보강길이(51.2cm)와 횡방향 와이어 간격(3cm)으로 보강된 실험체에 와이어의 직경을 변화시켜 내진설계 개념의 횡철근 체적비를 산정하여 나타내면 표 8과 같고 각 보강실험체에 대한 하중-변위 이력곡선은 그림 12 ~ 그림 14에 나타내었다.

표 8. 보강조건 및 보강비율

실험체	보강조건			횡철근		비고
	띠철근 /보강재	단면적 (cm^2)	면적비 (띠철근 /와이어)	보강 체적비 (%)	총 체적비 (%)	
CS-LS32	띠철근 5EA $\times \phi 6.0$	1.414	1.0	0.30	0.30	무보강
CR-H2P1	와이어 16EA $\times \phi 2.4$	0.724	0.5	0.15	0.45	보강
CR-H2P2	와이어 16EA $\times \phi 3.2$	1.287	0.9	0.27	0.57	보강
CR-H2P3	와이어 16EA $\times \phi 4.8$	2.895	2.0	0.60	0.90	보강
기본조건	접이음길이 32cm 보강길이 51.2cm 보강길이/접이음길이 1.6 기준교각의 횡철근체적비 (0.1~0.3%)					

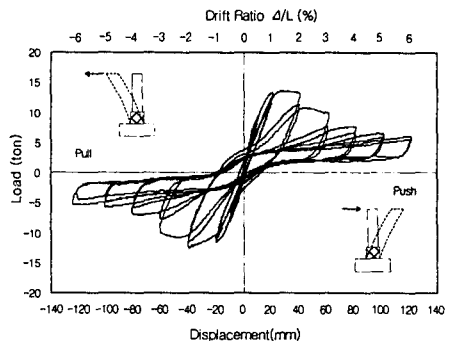


그림 12. CR-H2P1

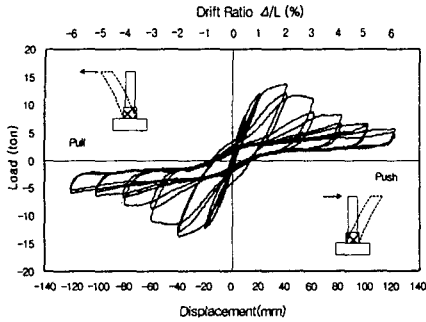


그림 13. CR-H2P2

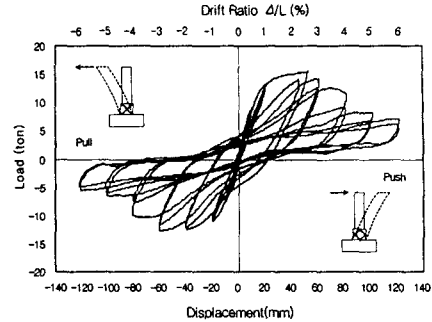


그림 14. CR-H2P3

와이어 직경의 변화에 따른 하중-변위 이력곡선을 살펴보면, 와이어 직경이 커질수록 즉 횡철근 체적비가 증가할수록 최대강도와 사이클별 강도가 크게 나타나고 있으며, 최대강도 발생 이후의 소성영역에서 사이클의 증가에 따른 강도의 감소폭은 횡철근 체적비가 클수록 작게 나타나고 있어 보다 우수한 연성능력을 발휘함을 알 수 있었다. 한편, 전반적으로 스테인레스 스틸와이어의 보강으로 소성영역에서의 하중이력이 급격하게 저하되는 현상은 나타나고 있지 않으며 대체로 안정적인 연성거동이 나타나고 있어 보강효과가 우수함을 확인 할 수 있었다.

4. 결론

1. 교각의 겹이음 길이는 강도 발현에 영향을 미치는 중요한 인자임을 확인하였으며 겹이음 길이가 짧은 경우 소성변위 영역에서 강도의 저하는 물론 갑작스런 내력저하로 인해 연성능력이 상실되어 붕괴 위험성이 큼을 확인하였다.
2. 겹이음 길이가 32cm 인 실험체를 대상으로 동일한 철근 시공상세와 횡철근 체적비에서 보강길이가 클수록 최대강도가 증진됨을 알 수 있었다.
3. 비내진 기둥 실험체의 보강시 횡철근 체적비가 증가할수록 최대강도가 증가되며 내진설계기준에서 제시한 최소 횡철근비를 만족할 정도의 보강이 이루어진다면 126%정도의 연성능력의 증진을 기대할 수가 있다고 사료된다.
4. 비내진 실험체에 있어 겹이음 길이의 증가에 따른 강성 증진 효과는 뚜렷이 나타나고 있으며 보강변수인 보강길이와 횡철근 체적비에 따른 보강실험체에서는 동일한 철근 겹이음을 가지고 있는 비내진 실험체에 비해 약 32 ~ 57%의 항복강성 증가효과 및 유효강성의 증가를 확인 할 수 있었다.

참고문헌

1. 김재관, 김익현, “소성현지역역의 주철근 겹이음에 의한 RC교각의 비선형 거동특성 및 중약진지역의 내진설계 개선방향,” 한국지진공학회 춘계학술대회 논문집, 2000.
2. 정영수, 이강균, 한기훈, 박종협, “단일주 원형 철근콘크리트교각의 내진거동에 관한 준정적 실험,” 한국지진 공학회 논문집, 제3권 제2호, 서울, 1996.6.
3. M.J.N. Priestley, R. Park, “Strength and Ductility of Concrete Bridge Columns Under Seismic Loading,” ACI Structural Journal V.86, 1-2, 1989.
4. M.J.N. Priestley, F. Seible, and G.M. Calvi, “Seismic Design and Retrofit of Bridges,” John Wiley & Sons, Inc., 1996.