

# GFRP를 이용한 각형 RC 교각의 보강

## Retrofit of Rectangular RC Columns using GFRP

이영호\*      염광수\*\*      정진우\*\*\*      권태규\*\*\*\*      박기태\*\*\*\*\*      황윤국\*\*\*\*\*  
Lee, Young Ho Youm, Kwang Soo Jeong, Jin Woo Kwon, Tae Gyu Park, Ki Tae Hwang, Yoon Koog

### ABSTRACT

This paper presents experimental studies on investigating the seismic retrofit performance of reinforced concrete rectangular columns with poor lap-splice details using GFRP wrapping. Six columns have been tested. The GFRP retrofitted columns with same 7.5 mm thickness have two section shapes, i.e., rectangular and elliptical sections. The GFRP height was changed from 450 mm to 900 mm. The performance of GFRP retrofitted columns which have different shapes and height are verified.

#### 1. 서론

비내진상세를 가진 사각형 단면의 RC 교각의 경우 급격한 취성파괴가 예상되기 때문에 내진보강이 필요하다. 강판피복으로 보강하는 경우 많은 연구를 통하여 사각단면보다는 타원형으로 증설한 후 타원형으로 보강하는 편이 훨씬 성능이 좋다고 검증되었다. 하지만, 복합섬유를 사용하여 보강하는 경우에는 사각단면에 직접 보강하는 설계법이 제안되고 있다.

본 연구에서는 같은 두께의 GFRP를 사용하여 각형단면과 타원형단면에 각각 보강한 후 거동차이를 검증하기 위하여 총 6개의 실험체를 제작하였다. 소성힌지내에 종방향 철근의 겹침이음이 존재하는 실험체의 부착파괴를 방지하기 위해 연속 GFRP를 사용하였다. 7.5 mm로 GFRP의 보강두께를 일정하게 유지한 후 보강 높이를 변화시키면서 각형단면보강과 단면증설 후 타원형단면보강을 실시한 후 각각의 거동 특성을 분석하였다. 보강 전후의 내진성능은 변위연성(Displacement ductility)이 아닌 변위비(Drift ratio)을 증가시키는 준정적 실험(Quasi static loading test)을 통해 보강 전후의 내진성능을 평가하였다.

#### 2. 1/2 규모 축소실험체 상세 및 겹침이음 보강설계

본 연구에 사용된 실험체는 표 1에 실험체 분류 및 GFRP보강 상세를 정리하였다. 본 실험을 위해 제작된 실험체는 총 6개이며, 교각단면은 680 x 540 mm이며, 높이는 2850 mm 이다. 그림 1과 같이, 실험체에 1.69%의 종방향 철근비에 해당하는 38개의 D13 ( $d_b = 12.7$  mm)을 배근하였다. 종방향 철근

\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 Post-Doc.

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 Post-Master

\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 부장

의 겹침이음 길이는 350 mm 이다. 횡방향 철근으로 D6 ( $d_b = 6.35$  mm)이 150 mm 간격으로 배근하였다. 실험체의 설계에 사용된 철근은 SD30 ( $f_y = 294.1$  MPa)이며, 콘크리트 압축강도( $f_{ck}$ )는 23.5 MPa 이다. 설계 압축력은 380.1 kN으로, 축하중비는 5.7 %이다. 표 2에 flat coupon test를 통해서 얻은 GFRP의 물성치를 정리하였다. 최대항하중보다 20%이상 감소된 경우를 파괴로 정의하였다.

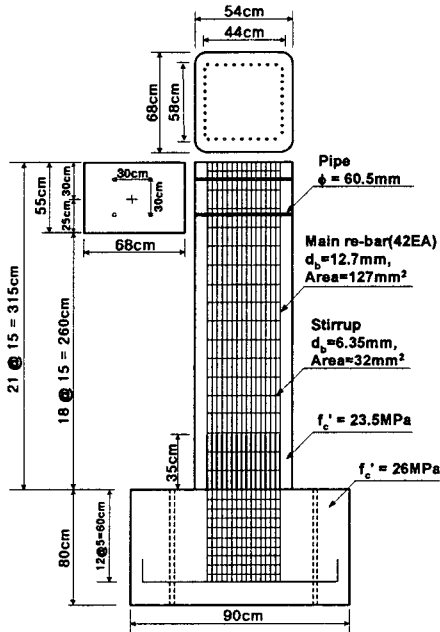


그림 1 사각형 RC 실험체 상세

표 2 실험체 분류 및 GFRP보강 상세

Specimens	Details	GFRP layout		
		Thickness	Height	Shape
1	350mm 겹침이음	-	-	rectangular
2	연속철근	-	-	rectangular
3	350mm 겹침이음	7.5 mm	450mm	rectangular
4			900mm	rectangular
5			450mm	elliptical
6			900mm	elliptical

표 3 GFRP 재료물성

	GFRP
Elastic modulus	28,994 MPa
Ultimate strength	373.3 MPa
Ultimate strain	0.0129
Layer thickness	1.0 mm

### 3. 실험 결과 및 분석

겹침이음된 교각의 파괴 후 형상과 이력곡선을 그림 2에 도시하였다. 최대항하중에 도달한 직후 바로 겹침이음된 종방향 철근의 취성파괴가 되었다. 겹침이음 구간에 수평균열이 발생하였으며, 기초와 기둥이 분리되었다. 최대항하중에 도달한 직후 바로 파괴가 되어 파괴변위가 최대항하중이 발생한 변위보다 적은 값으로 정의된다. 이 경우에는 취성 파괴된 실험체의 거동을 적절하게 수치적으로 설명하기 위하여, 최대항하중이 발생한 변위를 파괴변위로 판단하였다. 실험종료 후, 겹침이음 구간의 종방향 철근의 손상은 발견

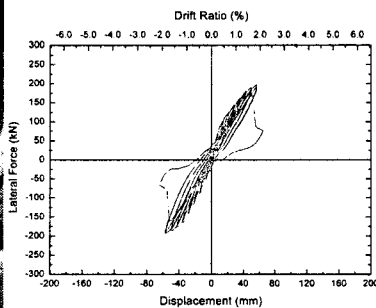
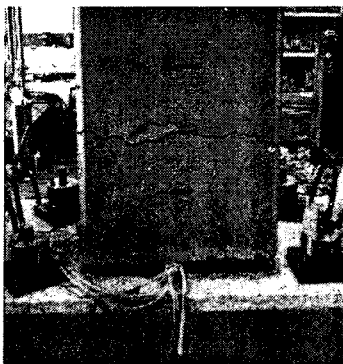


그림 2 겹침이음 실험체의 파괴모습과 이력곡선

되지 않았다.

그림 3은 연속된 종방향 철근이 배근된 각형실험체의 파괴모습과 이력곡선이다. 전형적인 휨거동을 하였으며, 피복콘크리트의 박리 후 종방향 철근의 좌굴이 발생한 후 파괴되었다. 그림 2의 겹침이음 실험체와 비교할 때 상당히 높은 연성을 보유했다.

그림 4는 각형단면으로 두께 7.5 mm로 높이 450 mm까지 GFRP로 보강된 실험체의 단면과 파괴모

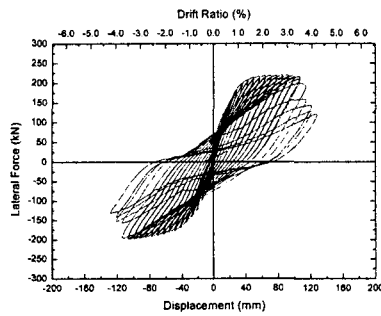


그림 3 일체형 실험체의 파괴모습과 이력곡선

에서와 같이 모서리부근에서 응력집중이 발생하여 모서리에서 먼저 GFRP의 파괴가 일어나 보강효과가 감소한 것으로 판단된다.

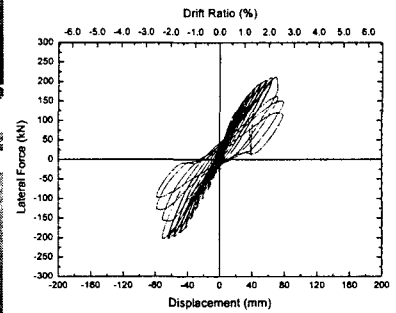
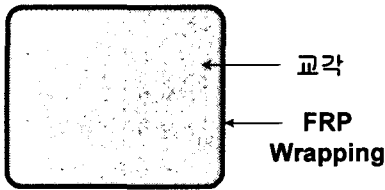


그림 4 각형보강 단면과 450 mm 보강실험체 파괴모습 및 이력곡선

그림 5는 타원형으로 단면을 증설한 후 높이 900 mm의 GFRP로 보강된 실험체의 단면과 파괴모습 및 이력곡선이다. 타원형 GFRP보강 실험체는 종방향 철근의 부착파괴를 방지하고 휨파괴 거동을 유도하였다. 또한 보강 높이에 따라 최대횡하중 및 파괴하중이 증가하였고, 연성 역시 증가하였다.

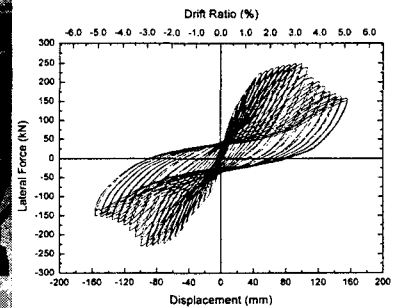
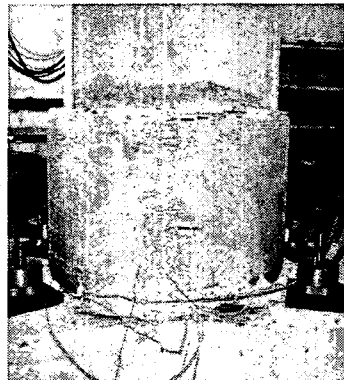
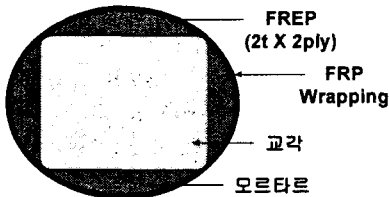


그림 5 타원형보강 단면과 900 mm 보강실험체 파괴모습 및 이력곡선

이는 타원형상으로 바뀌면서 GFRP가 전단면에 걸쳐 일정한 구속력을 발휘하였고, 단면증가로 인해 강성이 추가되었기 때문으로 판단된다. 실험종료 후 GFRP로 보강된 부분에서 손상은 발견되지 않았다.

표 4 실험결과

Specimens	$V_{max}$ (kN)	$\Delta_{max}$ (mm)	$V_{ult}$ (kN)	$\Delta_{ult}$ (mm)
1	197.0	56.94	170.8	50.2
2	218.5	106.6	158.4	113.0
3	213.2	69.3	161.2	70.8
4	209.5	64.2	149.2	69.8
5	214.8	84.7	166.1	113.7
6	249.8	99.6	187.3	128.3

그림 6과 7에 각형 보강실험체와 타원형 보강실험체의 하중변위곡선을 각각 도시하였다. 각형 보강실험체의 경우 높이에 상관없이 일체형 실험체보다 작은 이력거동을 하였으며, 겹침이음 실험체와 거동이 매우 유사함을 알 수 있다. 반면에 타원형 보강된 실험체는 높이에 따라서 일체형 실험체보다 더 좋은 성능을 발휘하고 있음을 확인하였다.

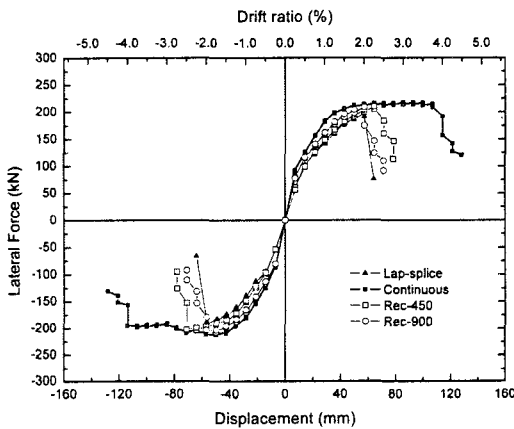


그림 6 하중변위곡선-각형보강

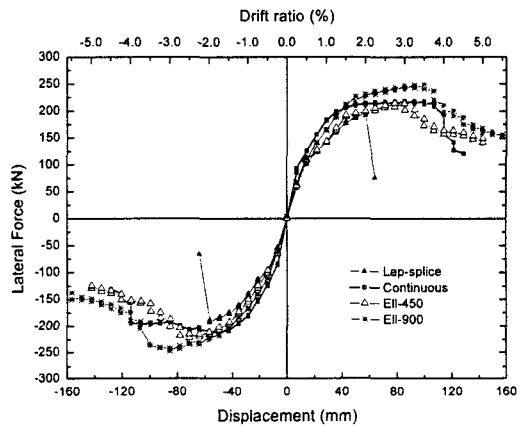


그림 7 하중변위곡선-타원형보강

#### 4. 결론

소성힌지내에 종방향 철근의 겹침이음이 존재하는 실험체의 부착과피를 방지하기 위해 7.5 mm로 GFRP의 보강두께를 일정하게 유지한 후 보강 높이를 변화시키면서 각형 단면보강과 타원형 단면보강을 실시한 후 거동차이를 검증하기 위하여 총 6개의 실험체를 제작한 후 정적실험을 실시하였다.

- 1) 겹침이음된 실험체의 경우 최대횡하중에 도달한 직후 바로 겹침이음된 종방향 철근의 취성파괴가 발생하였다. 반면에, 연속된 종방향 철근이 배근된 각형실험체는 피복콘크리트의 박리 후 종방향 철근의 좌굴이 발생한 후 휨파괴되었으며, 상당히 높은 연성을 보유하고 있다.
- 2) 각형보강 실험체의 경우 보강높이에 상관없이 일체형 실험체보다 최대횡하중 및 최대변위가 적었으며, 겹침이음 실험체의 거동처럼 최대횡하중에 도달한 후 급격히 하중전달능력을 상실하였다. 반면에 타원형보강 실험체의 경우 보강 높이에 따라 최대횡하중 및 파괴하중이 증가하였고, 연성 역시 증가하였다. 이는 보강단면 형상의 차이로 인해 GFRP가 전단면에 걸쳐 일정한 구속력을 발휘하였고, 단면증가로 인해 강성이 추가되었기 때문으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Sun, Z., Seible, F. and Priestley, M.J.N. "Flexural Retrofit of Rectangular Reinforced Concrete Bridge Column by Steel Jacketing," Report SSRP-93/07, University of California, San Diego, 1993.
2. Priestley, M.J.N., Seible, F. and Calvi, G.M. Seismic design and retrofit of bridges, John Wiley & Sons, New York, 1996, 686 pp.