

가력중 탄소섬유로 보강된 RC보의 휨보강 효과

On the Flexural Strengthening Effect of the CFS Strengthened RC Beam under Pre-Loading Condition

송원영* 장희석** 차영수*** 이홍주**** 김희성*****
Song, Won Young Jang, Hee Suk Cha, Young Soo Lee, Hong Ju Kim, Hee Sung

ABSTRACT

The flexural strengthening effect of the RC beam strengthened with CFS under pre-loading condition was studied here. The beams were additionally strengthened at the each end with U type wrapping using the same CFS. Main variables considered were number of CFS plies(1,2) and pre-loading values(30,50,70% of the yield load of the control beam). The flexural strengthening effect was investigated through comparing the yield load, ultimate load, and ductility index of the specimens.

1. 서론

탄소섬유로 RC 구조물을 보수·보강하는 경우, 작용하고 있는 하중(이하 선행하중으로 칭함)의 영향을 고려한 연구들은 선행하중이 보수·보강 효과에 영향을 주므로 탄소섬유의 보강량을 증가시켜야 한다는 의견과^{1,2,5)} 선행하중의 영향이 작아서 선행하중의 영향을 무시할 수 있다^{3,4,6)}는 연구결과로 구분할 수 있다. 또한 탄소섬유에 의하여 RC보 구조물을 보수·보강하는 경우 대부분 단부보강을 행하고 있지만, 앞서의 연구결과들은 실험과정에서 단부보강을 하지 않아서 보강재의 단부박리 현상으로 인한 시험체의 조기 파괴가 발생한 상황에서 선행 하중의 영향을 분석하였다.

따라서 본 연구에서는 탄소섬유로 보강된 RC보 시험체에 대하여 동일한 탄소섬유를 사용하여 추가로 단부보강을 행한 후 선행하중이 휨보강에 미치는 영향을 실험과 이론적으로 분석하였다.

2. 실험

본 실험에서는 실험변수로서 탄소섬유 보강접수(1, 2겹)와 선행하중의 크기(기준시험체 항복 하중의 30%, 50%, 70%)를 택하였다. 그림 1에 나타낸 RC보 시험체(단면 15cm×25cm, 길이 240cm)를 사용하였으며, 2-D13의 인장철근, 2-D10의 압축철근, D10의 전단철근(전단지간 10cm 간격, 순수 휨 구

* 정회원, 부경대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수

*** 정회원, 동의공업대학 건설정보과 교수

**** 정회원, 부산정보대학 건설환경시스템과 조교수

***** 정회원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원

간 20cm 간격)을 배근하였다. 사용된 탄소섬유는 보 하부에 폭 13cm, 길이 190cm로 부착하였으며, 단부보강은 20cm 폭으로 보의 높이까지 U형 형태로 하였다. 부착되는 탄소섬유 보강 접수에 따라 단부보강되는 탄소섬유의 접수도 동일하게 하였다. 보 시험체에 대한 구분은 표 1에 나타내었으며, 사용된 콘크리트와 철근 및 탄소섬유의 물리적 성질은 표 2에 나타내었다.

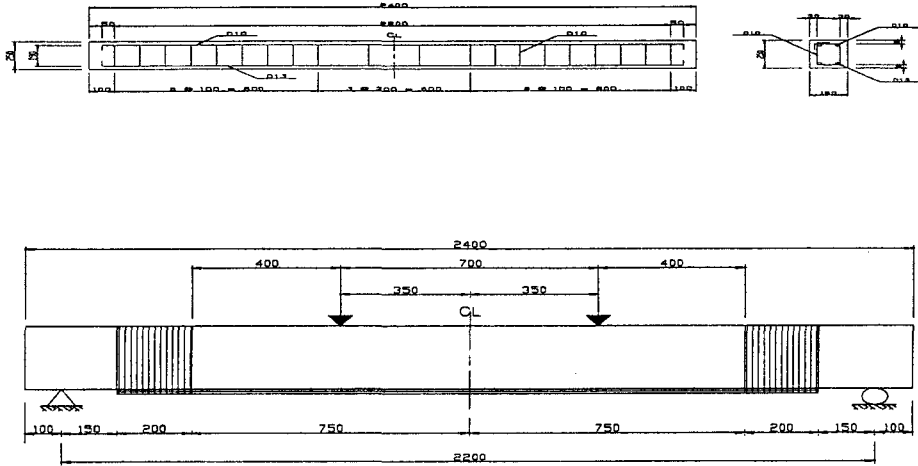


그림 1 시험체 형상 및 치수

표 1 시험체 구분

시험체명	보강접수	선 행 하 중 (× Control 항복하중)
Control	무보강	-
1-P-0	1 ply	-
1-P-30		30 %
1-P-50		50 %
1-P-70		70 %
2-P-0	2 ply	-
2-P-30		30 %
2-P-50		50 %
2-P-70		70 %

표 2 사용재료

구성재료	물리적 특성	
콘크리트	압축강도 (kgf/cm ²)	262
	탄성계수 (kgf/cm ²)	2.43×10 ⁵
철근	항복강도 (kgf/cm ²)	3,500
	탄성계수 (kgf/cm ²)	2.00×10 ⁶
탄소섬유	인장강도 (kgf/cm ²)	35,500
	탄성계수 (kgf/cm ²)	2.35×10 ⁶
	파단변형률 (%)	1.5
	두께 (mm)	0.165

실험은 MTS사의 250KN Actuator와 강제보를 사용한 4점 재하로 이루어졌다. 선행하중이 재하된 상태에서 탄소섬유를 부착하였으며, 부착 후 15℃ 정도의 온도와 재하상태를 유지한 채 일주일간 양생하였다. 양생이 끝난 후 추가로 하중을 1mm/min의 변위제어로 파괴시까지 가력하여 항복하중, 최대하중 및 이에 따른 처짐과 변형률 등을 조사하였다. 처짐값과 가력된 하중의 크기는 Actuator에 부착된 LVDT와 Load cell로부터 얻어진 값을 사용하였다.

3. 실험 결과

실험결과 파괴된 시험체들의 사진은 대부분 그림 2와 같다. U형 단부보강을 행하였으므로 단부박리에 의한 파괴현상은 발생하지 않았으며, 대부분이 탄소섬유의 계면박리 및 부분적인 파단과 압축콘크리트의 압괴로 의한 파괴를 보여주었다. 그림 3에서는 파괴시의 균열진전 상태를 나타내었다. 실험결과로 얻어진 각 시험체들의 항복하중, 최대하중 및 이에 따른 처짐값, 기준시험체에 대한 보강보의 하중증가비율을 표 3에 나타내었다. 또한 항복하중시와 최대하중시의 처짐값의 비교로부터 계산된 연성지수 값도 함께 나타내었다. 보강 접수별 각 시험체의 하중-처짐선도는 그림 4 및 그림 5와 같고, 선행하중 크기에 따른 항복하중 및 최대하중의 변화율은 그림 6과 같다.

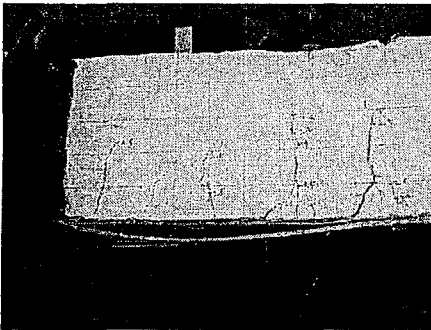


그림 2 보 시험체 파괴사진

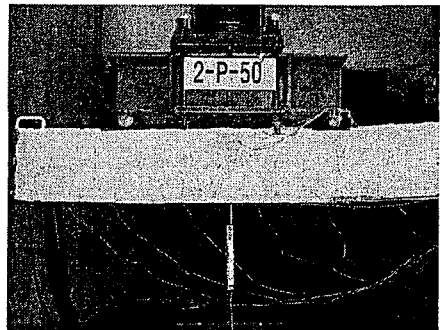


그림 3 보 시험체 균열진전 상황

표 3 실험 및 해석 결과

시험 체명	항복하중 (P_{yield})				최대하중 (P_{ult})				연성 지수
	하중 (tonf)	처짐 (mm)	하중 증가비 (%)	해석 하중 (tonf)	하중 (tonf)	처짐 (mm)	하중 증가비 (%)	해석 하중 (tonf)	
Control	4.88	12.52	0.0	4.65	6.06	42.96	0.0	5.47	3.43
1-P-0	6.10	10.16	25.0	5.30	9.06	39.74	49.5	9.63	3.91
1-P-30	5.90	12.59	20.9	5.11	8.60	34.11	41.9	9.75	2.71
1-P-50	5.50	11.85	12.7	4.99	8.40	35.99	38.6	9.75	3.04
1-P-70	5.60	13.67	14.8	4.87	8.90	37.65	46.9	9.78	2.54
2-P-0	6.90	14.10	41.4	5.54	10.10	31.64	66.7	12.83	2.24
2-P-30	6.40	15.12	31.1	5.49	10.40	36.90	71.6	12.83	2.44
2-P-50	6.10	13.74	25.0	5.30	9.70	32.71	60.1	12.76	1.95
2-P-70	6.00	14.89	22.9	5.06	9.70	35.98	60.1	12.63	2.42

4. 이론 해석

구조물을 사용하기 전에 보강한 경우는 보강재와 철근이 모두 변형률이 0인 상태에서 변형률이 증가한다고 가정할 수 있으나, 사용중인 구조물을 보강할 경우에는 원부재와 보강재의 변형률에 차이가 발생한다. 이러한 선행하중의 영향을 고려하기 위한 수치해석모델로서 콘크리트의 응력-변형률관계는 Hognestad와 Scordelis가 각각 제안한 압축모델과 인장모델을 사용하였다. 철근은 항복이후의 변형률경화현상을 고려하였으며, 탄소섬유는 완전탄성체로서 파괴시까지 선행거동하는 것으로 하였다. 본 논문에서는 CFS의 보강시기와 RC보의 손상상태를 고려한 비선형 단면해석 프로그램²⁾을 사용하여 해석을 수행하였고 대표적으로 항복하중 및 최대하중 값을 표 3에 함께 나타내었다.

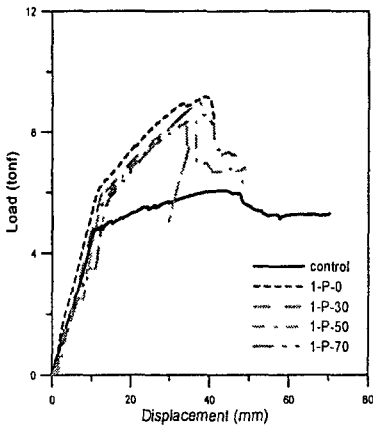


그림 4 하중-처짐 곡선 (1 nlv)

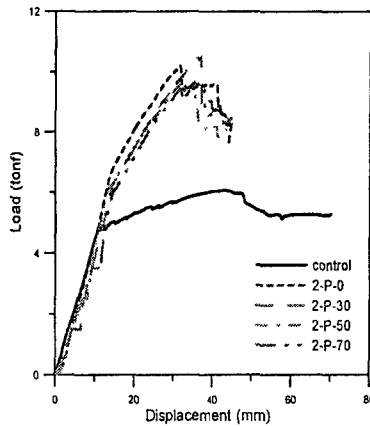


그림 5 하중-처짐 곡선 (2 nlv)

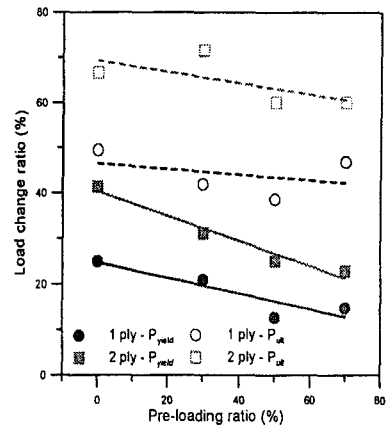


그림 6 선행하중 크기에 따른 하중 증가율

5. 결론

탄소섬유로 보강된 RC보 시험체에 추가로 단부보강을 행하여 단부박리에 의한 조기파괴를 방지한 상태에서 선행하중이 휨보강에 미치는 영향을 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 항복하중 및 최대하중의 증가율은 보강 겹수가 증가할수록 선행하중의 크기가 작을수록 선형적으로 크게 나타났다.
- 2) 항복하중 및 최대하중은 선행하중이 없는 상태를 기준으로 할 때 각각 3.3%~13.0%, 1.8%~7.3% 감소하였다.
- 3) 항복하중의 변위와 최대하중의 변위로부터 계산된 연성지수는 대부분 기준보다 작게 나타났는데, 이것은 탄소섬유의 계면박리 및 부분적인 파단에 따른 취성적 파괴거동에 의한 것이라고 판단된다.

참고문헌

1. 한만엽, 이원창, "사용중 보강되는 부재의 보강설계법 연구", 콘크리트학회논문집 제11권 3호, 1999.6, pp13-21.
2. 박성수, 조수제, "CFS로 보강된 RC보의 가력상태에 따른 휨파괴거동", 한국구조물진단학회지 제7권 3호, 2003.7, pp.223-230.
3. 건설교통부, 한국건설기술연구원, "건축구조물 보수·보강공법의 성능평가에 관한 연구-탄소섬유쉬트 보강공법을 중심으로", 2001.11, pp.203-219.
4. L.Lam and J.G.Teng, "Strength of RC cantilever slabs bonded with GFRP strips", J. of Composites for Construction, Vol.5, No.4, Nov., 2001, pp.221-227.
5. Shin, Yeong-Soo, Hong, Geon-Ho, "Flexural behavior of RC beams strengthened with steel plates/carbon fiber sheets under pre-loading conditions", KCI journal, Vol.12, No.1, 2000.1, pp.69-77.
6. ISIS CANADA, "Strengthening reinforced concrete structures with externally-bonded fibre reinforced polymers", Design Manual No.4, 2001.9, p.4.4.