

# CFS 보강 중 주기하중을 받은 RC보의 거동

## Behavior of RC Beam subjected to Cyclic Load during CFS Strengthening

조 일 래\*      장 희 석\*\*      이 홍 주\*\*\*      김 희 성\*\*\*\*  
Cho, Il Lae      Jang, Hee Suk      Lee, Hong Ju      Kim, Hee Sung

### ABSTRACT

This study was performed to analyze effect of cyclic load during CFS curing on the behavior of RC beam strengthened with CFS. In the experiment, five different beginning times of cyclic load and two different strengthening amounts of CFS were chosen for experiment parameters.

From the experimental results, it could be known that the cyclic load during CFS curing might give detrimental effects to the CFS strengthening effects compared to without cyclic load cases.

### 1. 서 론

철근 콘크리트 구조물의 내구성과 안전성을 저하시키는 노화 및 손상은 각종 보수·보강 기술의 발전에 의하여 획기적으로 개선이 되고 있다. 근래에는 비부식성, 고강도, 경량이며 또한 시공성과 운반 측면에서 유리한 FRP(Fiber Reinforced Polymer or Plastic) 재료를 Plate 혹은 Sheet 형태로 가공하여 구조물의 보수·보강에 많이 이용하고 있다.

RC 구조물에 대하여 FRP로 보수·보강 작업시, 주변 온도에 따른 일정기간의 양생을 필요로 하며 또한 양생과정 중 외부의 진동원으로부터 유해한 작용을 받는 것을 피하는 것이 바람직하다. 그러나 FRP로 교량하부 보강시 차량 통행에 의한 영향이나, 건축물의 슬래브 보강시 슬래브 상부 이동하중에 의한 영향 등과 같이, FRP로 구조물 보강시에 외부 하중의 영향을 피할 수 없는 경우가 대부분이다.

이와 같이 FRP 양생 도중이라도 사용하중을 받고 있는 경우가 대부분이지만 기존의 연구<sup>1-3)</sup>는 보강 효과에 대해서만 관심이 집중되어 왔으므로, 시공 과정에서 생길 수 있는 이러한 영향을 고려하는 즉, FRP 양생 중 사용하중이 보강성능에 미치는 영향에 관한 연구<sup>4)</sup>는 현재까지 극히 미미하다고 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 탄소섬유쉬트(CFS)로 보강되는 RC 구조물에 대하여, CFS 양생과정 중 작용하는 주기하중(Cyclic Load)이 보강성능에 미치는 영향을 일련의 보 실험을 통하여 분석하였다.

\* 정회원, 부경대학교 건설공학부 대학원 석사과정  
\*\* 정회원, 부경대학교 건설공학부 교수  
\*\*\* 정회원, 부산정보대학 건설환경시스템과 조교수  
\*\*\*\* 정회원, 부산대학교 생산기술연구소 특별연구원

## 2. 실험 조건

본 실험에서는 실험변수로서 CFS 보강 후 주기하중의 가력시작시간 및 CFS 보강접수를 택하였다. 시험체로서 그림 1과 같이, 단면 15cm×25cm, 길이 240cm의 철근 콘크리트 보 시험체를 사용하였으며, 2-D13의 인장철근, 2-D10의 압축철근, D10의 전단철근(전단지간 10cm 간격, 순수 휨구간 20cm 간격)을 배근하였다. 사용된 탄소섬유는 보 하부에 폭 13cm, 길이 190cm로 부착하였으며, CFS의 단부탈락에 대비하여 지점으로부터 15cm 떨어진 위치에 20cm 폭으로 보의 높이까지 CFS로 U형 형태 단부보강을 실시하였다.

실험에 사용된 시험체는 CFS로 보강을 하지 않은 기준보(S-1-con, S-2-con), CFS로 보강은 하였으나 주기하중을 받지 않은 보(S-1-NF, S-2-NF), 보강 후 주기하중의 최초 작용시간을 즉시, 3시간 후, 6시간 후, 12시간 후, 24시간 후로 구분한 총 14개로 구성하였다. CFS 양생기간은 CFS 부착 후 양생온도 15℃를 유지한 상태에서 주기하중 작용기간을 포함하여 7일간으로 하였다. 사용된 콘크리트와 철근 및 CFS의 물리적 성질은 표 1과 같다. 재하실험은 MTS사의 250kN Actuator와 강제보를 사용한 4점 재하로 실시하였으며, 사용된 주기하중의 주기는 교통량 조사자료를 참고하여 0.1Hz로 하였다. 주기하중의 최대하중 값은 기준보의 파괴실험결과 얻어진 항복하중의 50%, 최소하중 값은 최대하중 값의 10%로 하였다. 보의 파괴 시험은 4점 휨가력으로 1mm/min의 변위제어로 파괴시까지 가력하여 항복하중, 최대하중 및 각 하중상태에서의 처짐을 측정하였다. 구체적인 실험 조건은 표 2와 같다.

표 1 사용재료의 물리적 특성

구성재료	물리적 특성	
콘크리트	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	262 (1 ply) 250 (2 plies)
	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$2.43 \times 10^5$ $2.37 \times 10^5$
철근	항복강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	3,500
	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$2.00 \times 10^6$
탄소섬유 쉬트 (CFS)	인장강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	35,500
	탄성계수 (kgf/cm <sup>2</sup> )	$2.35 \times 10^6$
	파단변형률 (%)	1.5
	두께 (mm)	0.165

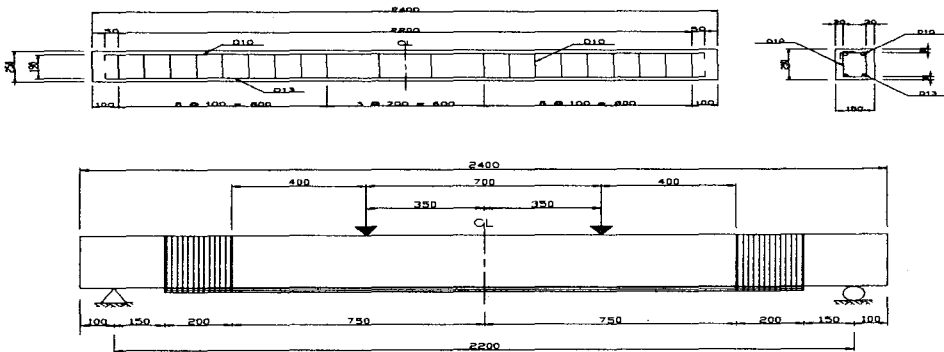


그림 1 시험체 형상 및 치수

표 2 실험 조건 및 결과

시험체명	보강 겹수 (ply)	주기하중 가력시간 시 간 (CFS부착 후)	주기하중 가력시간 (hr)	항 복 하 중				최 대 하 중				연성 지수
				하중 (tonf)	처짐 (mm)	보강효과		하중 (tonf)	처짐 (mm)	보강효과		
						con 기준	NF 기준			con 기준	NF 기준	
S-1-con	없음	없음	-	4.80	11.00	1.000	0.778	6.10	43.60	1.000	0.666	3.960
S-1-NF	1	없음	-	6.17	12.24	1.285	1.000	9.16	39.26	1.502	1.000	3.208
S-1-00	1	즉시	168	5.53	9.72	1.152	0.896	7.72	29.27	1.266	0.843	3.011
S-1-03	1	3시간 후	165	5.55	9.28	1.156	0.900	8.07	29.88	1.323	0.881	3.220
S-1-06	1	6시간 후	162	5.47	10.49	1.140	0.887	7.95	31.67	1.303	0.868	3.019
S-1-12	1	12시간 후	156	5.31	10.81	1.117	0.869	7.86	32.37	1.289	0.858	2.994
S-1-24	1	24시간 후	144	6.05	9.36	1.260	0.981	8.38	32.05	1.374	0.915	3.424
S-2-con	없음	없음	-	5.30	15.10	1.000	0.667	6.15	35.38	1.000	0.585	2.343
S-2-NF	2	없음	-	7.95	15.51	1.500	1.000	10.52	29.72	1.711	1.000	1.916
S-2-00	2	즉시	168	7.52	13.61	1.419	0.946	10.37	30.77	1.686	0.986	2.261
S-2-03	2	3시간 후	165	7.71	12.81	1.455	0.970	10.19	24.32	1.657	0.969	1.899
S-2-06	2	6시간 후	162	8.17	13.34	1.542	1.028	10.43	25.15	1.696	0.991	1.885
S-2-12	2	12시간 후	156	8.81	14.84	1.662	1.108	10.13	23.05	1.647	0.963	1.553
S-2-24	2	24시간 후	144	8.23	12.80	1.553	1.035	10.81	23.68	1.758	1.028	1.850

3. 실험 결과

실험결과로 얻어진 각 시험체들의 항복하중, 최대하중 및 각 하중에서의 처짐, 보강효과, 그리고 항복하중과 최대하중에서의 처짐값의 비교로부터 계산된 연성지수를 표 2에 나타내었고, 하중-처짐 곡선은 CFS 보강겹수별로 그림 2 및 그림 3에 각각 나타내었다.

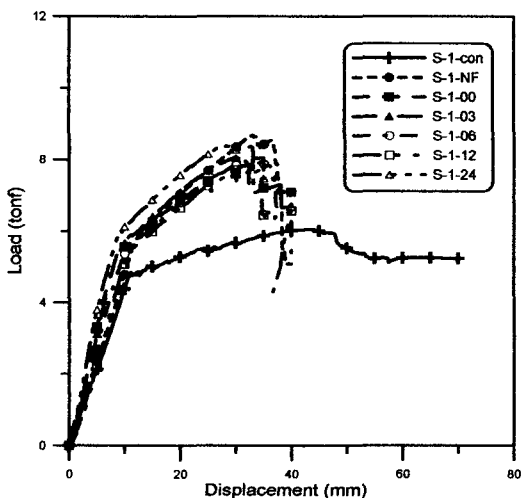


그림 2 하중-처짐 곡선 (1 ply)

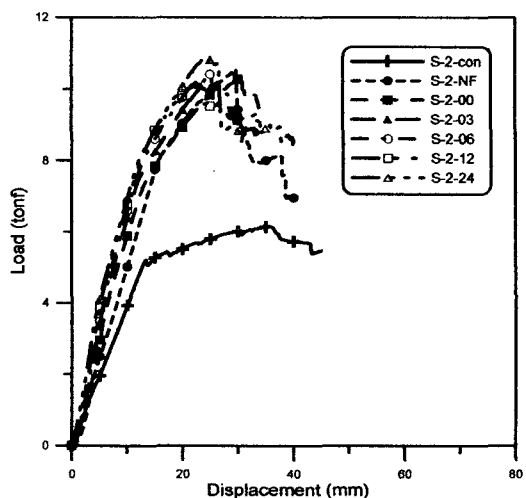


그림 3 하중-처짐 곡선 (2 plies)

시험체들의 파괴양상은 실험 도중 CFS의 섬유가 파열되는 소리가 몇 차례 나타났으나 급작스런 파괴 또는 단부박리에 의한 파괴현상은 발생하지 않았으며, 대부분이 탄소섬유의 계면박리 및 부분적인 파단과 압축측 콘크리트의 압괴에 의한 파괴를 보여주었다. 기준시험체는 항복 이후 강성이 크게 줄어드는 가운데 최종 파괴시까지 상당한 연성을 보였으나, 보강시험체들은 항복 이후에도 CFS의 높은 인장력으로 인하여 상당 부분의 강성을 유지한 채 하중의 증가를 계속하다가 CFS의 박리 및 파단에 따른 시험체의 파괴로 인하여 취성파괴형태를 나타내었다.

주기하중 가력시작시간에 따른 항복하중 및 최대하중의 변화는 양생 중 작용하는 주기하중을 받은 시험체라도 기준시험체(S-1-con 및 S-2-con)에 비하여 항복하중의 증가(1겹 보강시 11.7~26.0%, 2겹 보강시 41.9%~66.2%) 및 최대하중의 증가(1겹 보강시 26.6~37.4%, 2겹 보강시 64.7%~75.8%)를 나타내었다.

그러나 양생 도중 주기하중의 작용이 없었던 시험체(S-1-NF 및 S-2-NF)를 기준으로 하여 비교하면 보강효과는 대부분 감소(항복하중은 1겹 보강시 최고 13.1% 감소, 2겹 보강시 최고 5.4% 감소, 최대하중은 1겹 보강시 최고 15.7% 감소, 2겹 보강시 최고 3.7% 감소)하는 것으로 나타났으며, 1겹 보강시에 보강효과가 2겹 보강에 비하여 상대적으로 더 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

탄소섬유쉬트로 보강되는 RC 구조물에서 탄소섬유쉬트 양생 도중에 작용하는 주기하중이 보강성능에 미치는 영향을 조사하기 위한 본 연구에서, 일련의 보 시험체로 휨 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 주기하중 가력시작시간에 따른 항복하중 및 최대하중의 변화로부터, CFS 양생 도중 주기하중을 받은 시험체라도 보강되지 않은 기준시험체에 비하여 항복하중 및 최대하중의 증가를 나타내었다.
- 2) CFS 양생 도중 주기하중의 작용이 없었던 시험체를 기준으로 하여 비교할 경우, 보강효과는 대부분 감소하는 것으로 나타났으며, 1겹 보강시에 2겹 보강시보다 상대적으로 더 감소하였다.
- 3) CFS 양생 도중 주기하중의 작용을 고려해야 하는 구조물에서는 CFS 부착 후 주기하중 혹은 진동요인을 차단하는 최소한의 양생기간에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. Papakonstantinou,C.G., Petrou,M.F. and Harries,K.A. (2001) Fatigue behavior of RC beams strengthened with GFRP sheets, *Journal of Composites for Construction*, Vol.5, No.4, pp.246-253.
2. Masoud,S., Soudki,K. and Topper,Y. (2001) CFRP strengthened and corroded RC beams under monotonic and fatigue loads, *Journal of Composites for Construction*, Vol.5, No.4, pp.228-236.
3. Shahawy,M. and Beitelman,T.E. (1996) Static and fatigue performance of RC beams strengthened with CFRP laminates, *Journal of Structural Engineering*, Vol.125, No.6, pp.613-621.
4. Carolin,A., Hejll,A. and Täljsten,B. (2002) Behavior of concrete beams strengthened with CFRP and loaded in fatigue during the strengthening process, *Third International Conference on Composites in Infrastructure*, Univ. of Arizona, San Fransico, California, Jun 10-12, 2002.