

# CFS로 보강된 RC보의 피로거동에 관한 연구

## A Study on Fatigue Behaviors of RC Beams Strengthened with Carbon Fiber Sheets

박정용\*

정진환\*\*

김성도\*\*\*

조백순\*\*\*\*

장준환\*\*\*\*\*

Park, Jeong Yong · Cheung, Jin Hwan · Kim, Seong Do · Cho, Baik Soon · Jang, Jun Hwan

---

### Abstract

Carbon fiber sheets are widely used for strengthening the deteriorated RC structures. However most studies on the strengthening method of RC structures with carbon fiber sheets are concerning static problems. The purpose of this experimental study is to present the basic data on fatigue behaviors of RC beams strengthened with carbon fiber sheets. The experimental parameters of this study are ; 1) the existence of U-shaped carbon fiber sheets at the ends for anchoring, 2) the number of carbon fiber sheet layers in strengthening the RC beams, 3) the load levels of 60%~90% of the static bending moment strength, which is obtained from the static tests. Experimental results are estimated from the relationships of load level, displacement, number of repeated load and released energy. It is concluded that U-shaped carbon fiber sheets for end anchoring is very effective and the beams strengthened with one layer of carbon fiber sheet have longer fatigue life than that with three layers.

---

### 1. 서론

보강섬유(CFS : Carbon Fiber Sheet) 접착공법은 가공성, 시공성이 우수하고, 재료가 가벼우며, 부식되지 않는 장점 등으로 최근에 철근콘크리트 구조물의 내력증가를 위해 많이 사용되고 있으며, 이에 따라 이들의 정적 혹은 반복하중 하에서 보강효과와 거동, 파괴특성 등에 대한 실험적인 연구가 활발하다. 보수 및 보강되는 보의 대부분은 사용 중인 보로서 동적 반복하중을 받으며 낮은 강도에서 성능저하가 발생할 수 있는 가능성이 항상 존재 한다. 그러나 이에 대한 대부분의 연구는 섬유시트로 보강한 부재의 정적하중에 의한 거동을 파악하거나, 반복하중상태에서 보강섬유시트의 유무에 따른 연구에만 초점이 맞추어져 있다. 본 연구에서는 철근콘크리트 보의 인장축을 탄소섬유시트로 보강하고 단조증가하중실험을 수행하여 보강방법별 파괴강도 및 거동특성을 파악한 후 그 결과를 이용하여 반복하중에 의한 재하실험을 수행하였으며, 탄소섬유시트로 보강된 철근콘크리트 보의 보강변수에 따른 피로 거동특성을 비교·고찰함으로써 보강설계 및 보강공사에 대한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

---

\* 정희원 · 부산대학교 토목공학과 · 박사수료 · 공학석사 · 051-510-1325(E-mail:pjy6810@yahoo.co.kr)

\*\* 정희원 · 부산대학교 토목공학과 교수 · 공학박사 · 051-510-2354(E-mail:cheung@pusan.ac.kr)

\*\*\* 정희원 · 경성대학교 건설환경공학부 교수 · 공학박사 · 051-620-4754(E-mail:sdkim@star.ks.ac.kr)

\*\*\*\* 정희원 · 인제대학교 토목공학과 조교수 · 공학박사 · 055-320-3555(E-mail:civcho@inje.ac.kr)

\*\*\*\*\* 정희원 · 부산대학교 토목공학과 · 박사수료 · 공학석사 · 051-510-1325(E-mail:jang65@pusan.ac.kr)

## 2. 실험

### 2.1 시험체의 제원 및 실험변수

시험체는 단면폭이 20cm, 높이가 40cm, 길이 320cm인 복철근 직사각형보로 제작되었다. 주철근으로 D22를 2본, 압축철근으로 D13철근을 2본, 전단철근으로는 D10철근을 단부에서 각각 20cm 간격으로 14본 배근하였다. 시험체의 형상은 그림 1과 같으며, 탄소섬유시트 부착형태는 그림 2와 같다.

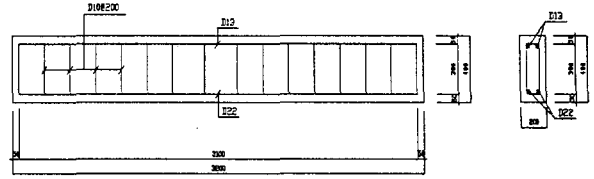


그림 1. 시험체의 제원

본 연구의 실험변수는 보강접수, U밴드에 의한 탄소섬유시트의 단부보강유무, 하중수준 등이다(표 1).

표 1. 시험체 종류

시험체 종류		비고
1점 무밴드	정적 최대하중 60%	
	정적 최대하중 70%	
	정적 최대하중 80%	
1점 U밴드	정적 최대하중 70%	
	정적 최대하중 80%	
	정적 최대하중 90%	
3점 U밴드	정적 최대하중 60%	
	정적 최대하중 70%	
	정적 최대하중 80%	

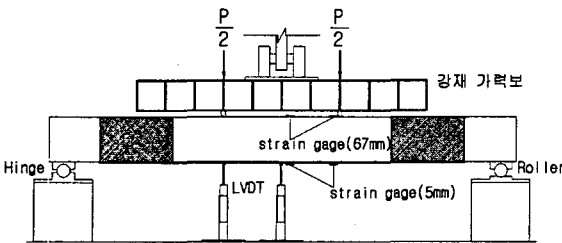


그림 2. 게이지 부착위치

### 2.2 실험개요

단조 증가하중실험에서 얻어진 정적 최대하중의 60%~90%를 하중의 범위로 하고, 최소하중은 최대하중의 10% 크기로 하여 최대 100만회를 반복가력 하였다. 1Hz의 속도로 단진재하 하였으며 중앙으로부터 40cm 떨어진 곳에 하중을 각각 재하 하였다. 보의 중앙부와 가력되는 부분에 변위계와 변형률계 이치를 설치하여 측정하였다(그림 2).

### 3. 단조 증가하중 실험결과 및 분석

피로실험에서의 균열형상과 파괴특성을 비교하고 하중범위를 결정하기 위하여 단조 증가하중 실험을 먼저 수행하였다. U형 밴드가 없는 1점 보강 시험체에서는 휨 전단균열이 발생했고, 1점 U밴드, 3점 U밴드가 있는 시험체에는 전단균열이 억제되었다. 단부에 U형 밴드로 탄소섬유시트를 보강함으로써 보의 처짐이 작아지고 정적 최대하중도 증가하였다. 1점 U밴드로 보강된 시험체의 탄소섬유시트의 파단위치는 시험체 중앙부이고, 3점 U밴드로 보강된 경우는 휨 보강과 단부보강이 접하는 부분에서 탄소섬유시트가 파단되었다(표 2).

표 2. 시험체의 최대하중 및 파괴특징

시험체 종류	휨 전단균열의 발생 유무	탄소섬유시트의 파단위치	최대하중 (kgf)	탄소섬유 파단시의 처짐량(mm)
1점 무밴드	발생	시험체의 중앙부	22,620	23.09
1점 U밴드	억제	시험체의 중앙부	25,868	25.31
3점 U밴드	억제	단부U밴드와 탄소섬유시트 접합부	29,951	34.54

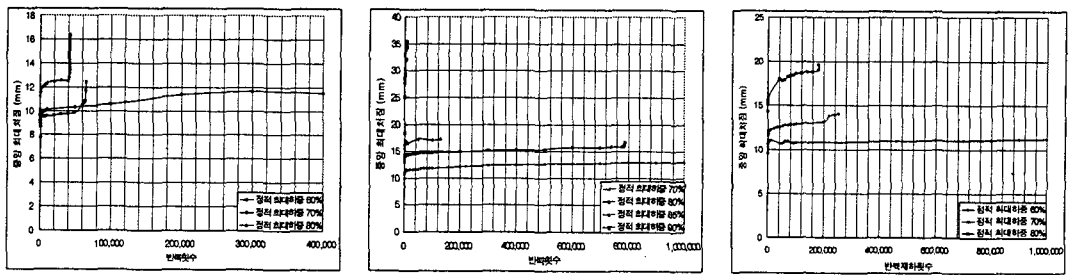
#### 4. 피로실험 결과 및 분석

##### 4.1 균열 및 파괴양상

U형 밴드가 없는 1점 보강시험체는 단조 증가하중실험에서와 같이 휨 전단균열이 발생하였고, 하중의 강도가 클수록 균열의 시작점이 지점에 가까워지는 것을 관찰할 수 있었다. 이런 휨 전단균열이 발전하여 피로파괴가 발생했다. 1점 U밴드와 3점 U밴드가 있는 시험체의 경우에는 휨 전단균열이 억제되며, 동일한 하중수준에서 U형 밴드로 보강되지 않은 경우에 비하여 피로파괴될 때까지의 하중반복횟수가 현저하게 늘어났다. 3점 U밴드가 있는 경우에는 단조 증가하중실험에서와 같이 단부U형 밴드와 탄소섬유시트 접합부에서 탄소섬유시트의 파단이 일어났다.

##### 4.2 하중반복횟수에 따른 시험체의 중앙최대처짐 관계

반복횟수별-처짐관계는 아래 그림에 나타내었다.



1점 무밴드 시험체

1점 U밴드 시험체

3점 U밴드 시험체

그림 3. 반복횟수에 따른 시험체의 중앙최대처짐 곡선

시험체 종류		처 짐 (mm)			$\Delta\delta = \delta_{10\text{회}} - \delta_{\text{파괴시}}$	$\Delta\delta = \delta_{10\text{회}} - \delta_{100\text{회}}$	파괴시 반복횟수
		반복10회	반복100회	파괴시			
1점 무밴드	정적 최대하중 60%	7.773	8.659	11.500	3.727	0.886	40만회
	정적 최대하중 70%	8.891	9.589	12.396	3.505	0.698	65,200회
	정적 최대하중 80%	10.140	11.225	16.383	6.243	1.085	42,600회
1점 U밴드	정적 최대하중 70%	9.864	10.562	12.973	3.109	0.698	100만회
	정적 최대하중 80%	13.119	14.049	16.504	3.385	0.930	787,400회
	정적 최대하중 85%	13.076	14.445	16.977	3.901	1.369	129,000회
	정적 최대하중 90%	18.406	25.131	35.387	16.981	6.725	7,600회
3점 U밴드	정적 최대하중 60%	10.303	11.320	11.793	1.490	1.017	100만회
	정적 최대하중 70%	11.104	11.940	14.549	3.445	0.833	253,000회
	정적 최대하중 80%	13.808	14.652	18.363	4.555	0.844	180,900회

표 3 시험체별 중앙최대처짐 및 피로파괴시 반복횟수

하중을 증가하면 피로파괴시의 총 반복횟수는 감소하며, 반복횟수를 증가시키면 시험체 중앙의 잔류처짐은 증가한다. 하중이 시험체의 항복하중에 근접하면 피로파괴시 처짐은 크게 증가한다. 반복횟수의 초기단계인 1~100회에서 상당한 잔류처짐이 나타나며, 이후 단계에서는 반복횟수가 증가하면 잔류처

짐의 증가율이 작아진다. 이는 반복횟수 초기단계에서 시험체의 피로손상이 크며, 이후 단계에서는 피로손상이 점진적으로 증가함을 의미한다. 실험결과에 따르면 탄소섬유시트를 같은 양으로 보강할 때 단부에 U밴드가 있는 경우가 피로에 상당한 효과를 발휘함을 알 수 있다. 또한, 반복횟수가 100만회일 때의 하중을 비교하면, 탄소섬유시트 1겹일 경우가 3겹일 경우보다 피로파괴시 유리함을 알 수 있다.

#### 4.3 에너지 소산량

에너지 소산량이란 하중-변위 선도의 둘러싸인 부분의 면적을 나타낸다. 시험체가 반복하중을 받는 경우 강성이 저하하게 된다. 강성이 저하되면 하중-변위 선도 면적이 감소되므로 결과적으로 에너지 분산능력이 감소한다.

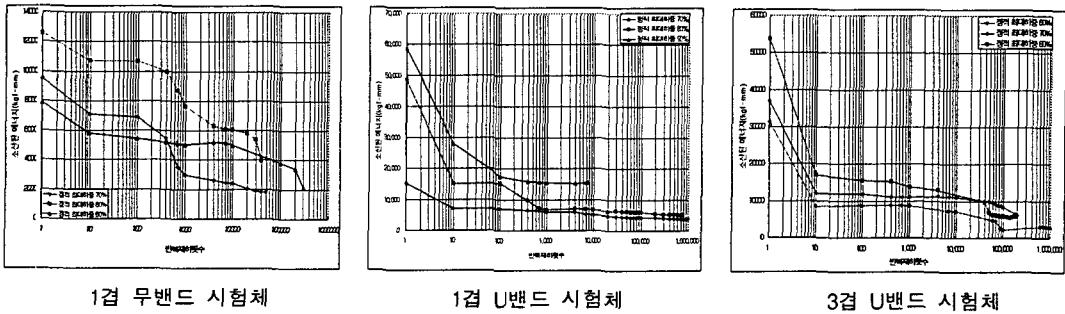


그림 4. 하중반복횟수에 따른 에너지 소산량의 감소곡선

모든 시험체는 반복10회에서 에너지 소산이 크게 발생하며 U형 밴드가 없는 1겹 보강시험체는 단부에서 RC보와 보강재인 탄소섬유시트사이에서 bond slip이 발생한 후 bonding failure로 피로파괴가 되므로 피로파괴시 에너지 소산이 크게 일어난다. 1겹 U밴드와 3겹 U밴드 시험체는 단부 U형밴드의 영향으로 피로파괴시 보강재인 탄소섬유시트가 파단되므로 피로파괴시 에너지 소산이 완만한 기울기를 갖는다.

#### 5. 결론

탄소섬유시트로 보강된 RC보는 반복하중을 받아 피로파괴를 일으킬 때의 총 반복횟수는 재하하중의 크기를 증가시키면 탄소섬유시트의 양과는 관계없이 모두 감소함을 확인할 수 있었다. 반복횟수의 초기단계인 1~100회에서 상당한 잔류처짐이 나타나며, 이후 단계에서는 반복횟수가 증가할 때 잔류처짐의 증가율이 작아진다. 반복횟수에 따른 보의 중앙최대처짐 관계에서 하중수준이 높아질수록 처짐곡선의 기울기가 급해짐을 알 수 있었다. 탄소섬유시트를 같은 양으로 구조물에 보강할 때 단부에 U형 밴드가 있는 경우가 피로파괴시에 상당한 효과를 발휘함을 알 수 있었다. 또한, 반복횟수가 100만회일 때의 하중을 비교하면, 탄소섬유시트 1겹일 경우가 3겹일 경우보다 피로파괴시 유리함을 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. 심종성, 홍영균, 최완철, 황의승, 이차돈, "강판 및 탄소섬유 sheet로 보강된 R/C 보의 피로거동에 관한 연구", 한국콘크리트학회, 1995년도 봄 학술발표회 논문집 : Vol.7 No.1 pp. 319~324
2. 이우철, 정진환, 김성도, 조백순, "탄소섬유시트 RC보의 공칭 휨모멘트 산정에 대한 실험적 연구", 한국콘크리트학회, 2002년도 가을 학술발표회 논문집, 제14권 2호, pp.587~592

#### 감사의 글

이 연구는 한국과학재단 특정기초 연구(과제번호 R01-2004-000-10614-0)지원으로 수행된 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.