

재하상태를 고려한 탄소섬유 보강공법의 전단 보강 효과

Shear Strengthening Effect of Pre-loaded RC Beams Strengthened by CFS

김 주 연* 신 영 수** 홍 건 호***
Kim, Ju Yeon Shin, Yeong Soo Hong, Geon Ho

ABSTRACT

This paper was aimed to investigate the shear strengthening effect of the pre-loaded reinforced concrete beams strengthened by carbon fiber sheet (CFS). Main test parameters was the magnitude of pre-loading at the time of the retrofit and the strengthening methods of carbon fiber sheet. A series of nine specimens was tested to evaluate the corresponding effect of each parameters such as maximum load capacity, load-deflection relationship, and failure mode. The results of this study showed that the failure mode is bonding failure between the concrete and the CFS before the tensile failure strain of the CFS is reached.

keywords : shear strengthening, pre-loaded, reinforced concrete, CFS

1. 서론

국내에서 주로 사용되는 철근콘크리트 구조물의 보강공법으로는 강판, 탄소섬유, 유리섬유 등을 부재 외부에 부착하는 부착식 보강공법들이 널리 사용되고 있는데 이중 탄소섬유 보강공법은 작업성이 뛰어나고 재료의 부식에 대한 염려가 없어 최근 보강재료로 사용이 증가되고 있으며 이에 따른 연구도 많이 이루어지고 있다. 그러나 그간의 연구에서는 주로 탄소섬유의 휨 성능 향상에 대해서만 진행되어 왔고 탄소섬유의 전단 보강 효과에 대해서는 연구가 미흡한 실정이다. 뿐만 아니라 실제 구조물의 경우에는 하중이 지속적으로 작용하고 있는 가운데 보강이 이루어지므로 보강재료와 원부재 사이에서 초기변형율의 차이가 발생하게 되므로 이에 대한 고려가 보강 설계시 필요하게 된다. 따라서 실제 구조물과 유사한 실험방법으로 탄소섬유쉬트의 전단보강 효과에 관한 연구가 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 재하수준과 탄소섬유 보강형식을 변수로 두어 하중이 가력된 상태에서 보강한 탄소섬유쉬트의 전단보강 효과를 알아보고자 한다.

2. 실험 계획 및 방법

본 연구에서는 보강시점에서 부재의 하중 재하정도와 탄소섬유 보강방법에 따른 전단보강효과를 연구하기 위해 기본시험체의 최대 전단내력의 0%, 30%, 50%, 70%를 가력한 상태에서 각각 jacket형과

* 정희원, 이화여자대학교 건축학과 석사과정

** 정희원, 이화여자대학교 건축학과 교수

*** 정희원, 호서대학교 건축학과 교수

strip형으로 탄소섬유를 보강하여 실험하였다. 시험체 크기는 단면이 20×35cm, 길이 230cm인 시험체에 순지간 186cm의 3등분점 재하로 단순보 상태에서 가력하여 재하상태에서 탄소섬유 보강을 실시하였다. jacket형의 탄소섬유는 보중앙에서 31cm 떨어진 부분에서부터 길이 72cm씩 2겹으로, strip형은 같은 위치에 10cm씩 번갈아가며 4줄(길이40cm) 2겹으로 보강하였고 부재의 사용성 및 강성의 변화를 분석하기 위해 시험체의 중앙 및 1/4지점에 LVDT를 설치하여 수직 처짐을 측정하였으며 모멘트가 일정한 부재 중앙 측면에 스트레인 게이지 및 수평방향의 LVDT를 상·하에 설치하여 스트레인 게이지가 파단된 후에도 하중 증가에 따른 부재의 곡률변화를 관찰할 수 있도록 하였다. 또 CFS 보강 후 CFS가 부담하는 내력을 알아보기 위해 전단력이 일정한 부위에 스트레인 게이지를 부착하였다. 실험에 사용한 재료의 물성은 표2와 같다.

표 1 시험체의 구성

구분	시험체지수 (cm)	주근		스터립	CFS 보강형식	보강시 재하용력	보강시 재하유무
		상부근	하부근				
CONTROL	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	-	-	기본시험체
CON-CFJ	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Jacket	-	무재하상태보강
CFLJ	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Jacket	0.3Vn	재하중보강
CFMJ	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Jacket	0.5Vn	재하중보강
CFHJ	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Jacket	0.7Vn	재하중보강
CON-CFS	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Strip	-	무재하상태보강
CFLS	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Strip	0.3Vn	재하중보강
CFMS	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Strip	0.5Vn	재하중보강
CFHS	20×35×230	2-D19	3-D25	D6@150	Strip	0.7Vn	재하중보강

표 2 사용재료의 역학적 성질

콘크리트		철근		탄소섬유			
압축강도	탄성계수	인장강도	탄성계수	두께	설계강도	인장강도	탄성계수
293kgf/cm ²	2.48×10 ⁴ kgf/cm ²	3400kgf/cm ²	1.48×10 ⁴ kgf/cm ²	0.011cm	11800kgf/cm ²	23600kgf/cm ²	2.35×10 ⁴ kgf/cm ²

3. 실험결과 및 분석

3.1 시험체의 파괴양상

대표적인 시험체의 균열의 형태는 그림1과 같다. 시험체는 전반적으로 초기에는 부재 중앙부에서 휨에 의한 균열이 발생하다가 점차적으로 지점주위에서 사인장균열이 발생하는 전단파괴형태를 보여주고 있다. 가력 후 재하상태에서 보강한 시험체의 경우에는 기존의 균열과 동일한 위치에서는 균열이 발생하지 않고 그 주변부분에서 다시 균열이 발생하였는데 이는 에폭시에 의해 균열의 연속성이 확보되어진 것으로 볼 수 있다. 균열 발생후의 양상은 CFS와 콘크리트가 일체로 거동하다가 전단근이 항복한 후 균열을 잡아주는 보강재들이 콘크리트를 물고 떨어지는 박리현상이 일어나 전단내력이 급격히 떨어지는 취성파괴 양상을 보였다. 그러므로 실험의 분석 결과 CFS의 보강효과 연구시 CFS의 인장강도 뿐 아니라 부착파괴에 관한 고려가 있어야 한다는 것을 알 수 있다. 다음의 그림 2는 시험체의 전단근이 최대 전단내력 전에 모두 항복하였음을 보여주고 있다.

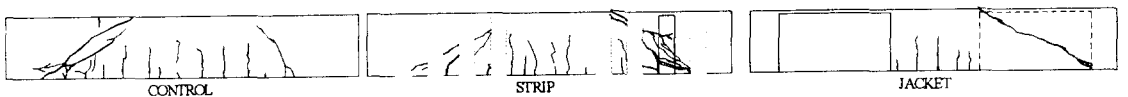
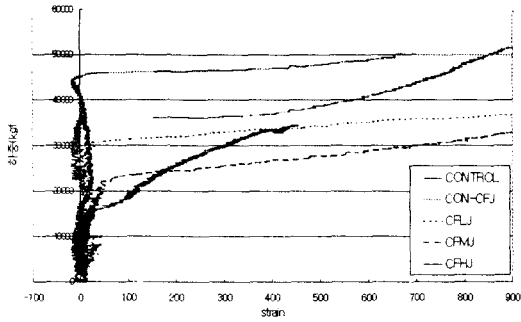
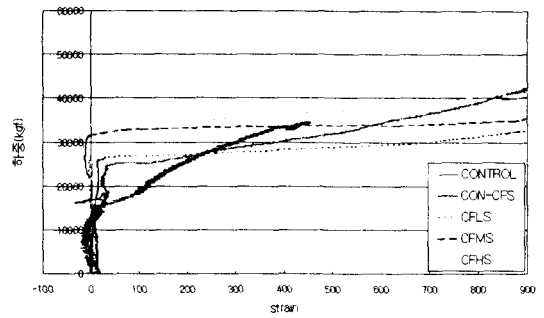


그림 1. 시험체의 파괴양상



(a) 전단근의 변형도(jacket형)



(b) 전단근의 변형도(strip형)

그림 2. 전단근(stirrup)의 변형도

3.2 CFS의 전단 보강 효과

각 시험체에 대한 분석 결과는 다음의 표3과 같다. 기본시험체 최대 전단내력의 30, 50, 70%의 하중을 가력한 상태에서 jacket형식으로 탄소섬유 보강된 시험체의 최대 전단력을 무재하 상태에서 보강한 기본시험체(CON-CFJ)의 최대전단력과 비교하면 각각 0.86, 1.07, 1.14배의 값을 나타내었다. 또한 strip형식으로 보강된 시험체는 CON-CFS와의 비율이 0.98, 1.05, 1.28로 나타났다. 그러므로 탄소섬유의 전단보강효과는 재하레벨에 따라 다른 결과를 가지는 것을 알수 있는데, V_n 의 30%를 가력한 후 보강한 CFLJ, CFLS 시험체는 처음부터 보강한 시험체(CON-CFJ, CON-CFS)와의 비가 각각 0.86과 0.98로 1보다 작게 나왔지만 나머지 50%, 70%를 가력한 후 보강한 시험체들은 그 비가 1보다 큰 값으로 보강 후 가력한 시험체보다 보강 효과가 더 큰 것으로 나타났다. 또 그 비가 선행 가력한 재하레벨이 큰 시험체일수록 더 크게 나오는데 이는 탄소섬유를 보강하기전 선행가력에 의해 발생한 균열의 에폭시 균열 보수시, 재하레벨이 커져 균열의 폭이 커질수록 에폭시의 부착면적이 증가되어 균열 보수 보강재의 부착강도가 향상된 것으로 판단된다.

표 3. 실험 결과 요약 (단위 : tonf)

구분	V_{max}	① V_n (계산값)	②최대전단력 (실험값)	비율 (②/①)	비율 (/CON-CF)	*③ V_{cfs} (계산값)	*④ V_{cfs} (실험값)	비율 (④/③)	비율 (/CON-CF)
CONTROL	25.64	11.84	17.26	1.46	-	0	0	-	-
CON-CFJ	25.64	28.01	25.05	0.89	1.00	16.17	7.78	0.48	1.00
CFLJ	25.64	28.01	21.86	0.78	0.86	16.17	4.27	0.26	0.55
CPMJ	25.64	28.01	28.00	1.00	1.07	16.17	9.64	0.60	1.24
CFHJ	25.64	28.01	30.06	1.07	1.14	16.17	11.3	0.70	1.45
CON-CFS	25.64	19.93	21.08	1.06	1.00	8.09	3.82	0.47	1.00
CFLS	25.64	19.93	21.16	1.06	0.98	8.09	3.39	0.42	0.89
CFMS	25.64	19.93	23.44	1.18	1.05	8.09	4.93	0.61	1.29
CFHS	25.64	19.93	29.36	1.47	1.28	8.09	9.93	1.23	2.60

(* V_{cfs} 는 각각 시험체의 최대 전단력에서 V_n 를 빼준 값임 : $V_{cfs}=V_n-V_c-V_s$)

각 시험체 별로 탄소섬유만의 보강효과를 비교해보면 CFHS 시험체를 제외한 나머지 시험체들의 값이 계산값에 훨씬 못미치게 내력을 부담하는 것으로 나타났고 CFS가 부담하는 내력(④)은 계산값(③)보다 작으므로 탄소섬유가 항복하기 전에 계면파괴가 일어났음을 알 수 있다. 이는 CFS가 설계인장강

도 만큼의 내력을 부담하지 못하고 그전에 부착에 의한 파괴를 일으킴을 나타내주는 것으로 탄소섬유 보강효과 계산시 CFS의 인장강도 외에 부착파괴도 고려한 설계가 필요하다는 것을 알 수 있다. 또 jacket과 strip의 계산값(①)과 실험값(②)의 비율을 각 재하레벨별로 비교하여 보면 jacket 형식의 보강 시험체보다 strip형식으로 보강한 시험체가 계산값보다 훨씬 큰 강도를 받는 것으로 나타났다. 이는 최대 전단내력보다 큰 값으로 설계된 jacket보강 시험체의 보강효과가 strip형식에 비해 떨어진다는 것을 보여주는데 이로부터 최대전단내력 이상의 보강은 별로 효율적이지 못함을 알 수 있다. 다음의 그림 3은 시험체별 하중-처짐 곡선을 나타내는데 그림에서 알 수 있듯이 곡선의 기울기가 거의 흡사하므로 CFS의 전단보강에 의한 강성 증진효과는 없다고 볼 수 있다.

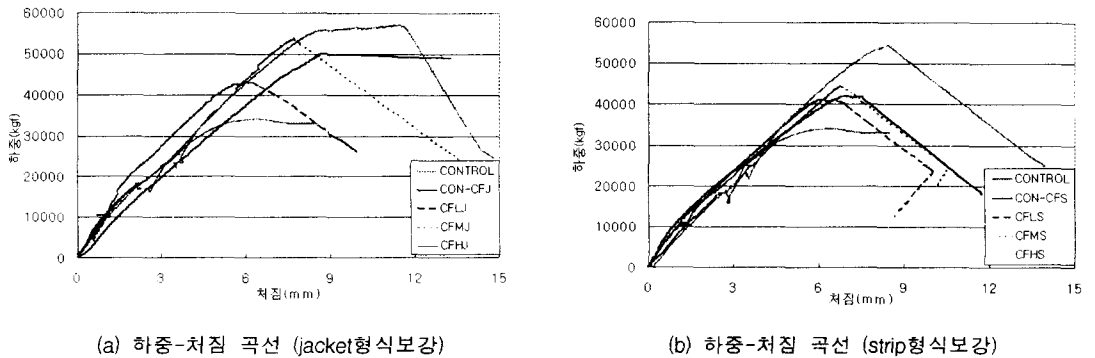


그림 3. 시험체의 하중-처짐 곡선

4. 결론

본 연구의 실험 결과에 따라 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 선행가력 재하레벨이 0.5Vn과 0.7Vn은 재하전 보강 시험체보다 큰 내력을 가지며 선행가력의 하중의 크기가 클수록 보강효과가 커지는데 이는 선행가력시 발생한 균열의 에폭시주입시 균열이 커질수록 부착면적이 증가하여 내력이 증가한 것으로 볼 수 있다.
- (2) CFS의 전단보강 효과는 계산식에 의한 이론치보다 훨씬 작았는데 이는 CFS가 설계강도까지 이르지 못한 상태에서 전단균 항복 이후 시험체와 보강재 사이에서의 부착파괴가 발생되었기 때문이다. 그러므로 CFS의 전단보강효과는 CFS의 설계인장강도뿐아니라 부착강도에 관한 고려도 필요하다.
- (3) jacket형식과 strip형식의 전단보강효과를 비교해본 결과 최대 전단력 이상으로 설계하여 보강한 jacket형식이 strip형식에 비해 보강효과가 작았다. 그러므로 탄소섬유슈트 보강시 최대전단내력 이상의 보강은 불필요하다고 볼 수 있다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단의 연구비 지원과 (주)한국 쇼본드 건설의 시험체 보강지원에 의하여 이루어졌음을 밝히며, 관계자 여러분의 도움에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 신성우, 반병렬, 이광수, 조인철, 남정희, "탄소섬유슈트로 보강한 R/C보의 전단거동에 관한 연구", 한국구조물 진단학회, 제2권 제3호, 1998.7, pp.205~211
- 2) 심종성, 김규선, "FRP로 보강된 RC보의 전단보강효과 비교연구", 콘크리트학회지, 제 10권 4호 1998.8, pp.101~111