

CFS의 휨보강성능에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexural Strengthening Capacity of the Carbon Fiber Sheet

구은숙*
Koo, Eun Sook

이현호**
Lee, Hyun Ho

정하선***
Jeong, Ha Sun

ABSTRACT

Recently, the Carbon Fiber Sheet(CFS) is widely used to strengthen the RC beams. But the behaviour of the RC beams which is strengthened with the CFS is not clearly defined yet. So, in this study we experimented with simply supported RC beams strengthened with the CFS, under monotonic loads. We included three parameters in this experiment which are the number of the sheets, the length of the sheets, and the existence of the anchor bolts. We investigated the strength effect of the RC beams by adhesion of the CFS, and the strengthening effect of CFS as to the respective parameters.

1. 서론

구조물을 보강하는 방법으로는 최근 들어 강판이나 탄소섬유쉬트 및 아라미드섬유쉬트를 에폭시(epoxy)로 보강하는 외부 보강판 부착공법이 주로 사용되고 있는데, 강판접착방법은 부재 단면 크기의 변화가 거의 없고 시공이 간편한 반면, 취급이 불편하고 부식 및 내화성능이 취약하며, 취성적인 보강판 탈락현상을 보인다. 유리, 탄소, 아라미드와 같은 섬유보강재는 강도가 높고, 경량이며 내부식성, 내화화성 등의 장점 외에도 다른 재료에 비해 제작이 용이하고 취급이 간편하므로 많이 주목받고 있다. 특히 탄소섬유쉬트에 대한 관심이 커지고 있는데, 이는 대단히 가볍고, 인장강도가 높으며, 탄성계수는 철과 동등하거나 3~4배 높고 공기가 짧으며, 내후성이 우수한 장점이 있지만, 선형탄성적(linear-elastic)인 재료성질로 인하여 종국내력 도달시 폭발적인 취성파괴를 보이는 것으로 알려져 있다. 탄소섬유쉬트는 구조물의 내력을 증진하는데 기여하지만, 선형적인 특성 및 보강방법과 에폭시 등의 재료적 특성으로 인하여 그 보강효과를 명확히 정의하기는 어렵다. 본 연구에서는 탄소섬유쉬트를 보강한 RC보의 휨거동 및 내력을 실험을 통하여 확인하고 세 가지 보강변수 ①보강접수, ②보강길이, ③단부앵커볼트에 따른 보강효과를 도출하는 것을 목적으로 한다.

2. 실험

보 단면의 크기는 [그림 1]과 같고 지지점 중앙에 일점 재하하였다. 실험체의 크기 및 철근의 배근 등은 기존 실험결과와의 비교가 용이하도록 선정하였다. 콘크리트의 압축강도는 210kg/cm^2 로 설계하였다. 평형철근비 이내로 철근을 배근하였으며 항복강도 $4,000\text{kg/cm}^2$ 의 이형철근을 사용하였다. 압축

*현대건설기술연구소, 연구원

**정회원, 현대건설기술연구소, 선임연구원

***정회원, 현대건설기술연구소, 수석연구원, 공학박사

축철근과 전단보강근(stirrup)에는 2-D10을, 인장철근에는 2-D10 또는 2-D13을 사용하여 평형철근비 이하가 되도록 선정하였다. 보강변수로는 ①보강접수(1겹, 2겹), ②보강길이(전체, 절반), ③앵커볼트 설치(유, 무)가 있다. 여기서, 보강접수가 많아지면 보강재가 제능력을 발휘하기 전에 부재와 보강재의 부착능력이 저하되어 보강재가 탈락된 기존 자료¹⁾를 참고로 하여 최대 2겹으로 제한하였다. 본 연구에서 실험한 실험체의 상세를 <표 1>에 나타내었다. 보강 실험체의 형상을 [그림 2]에 나타내었다.

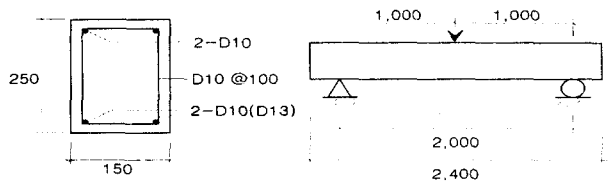


표 1 실험체의 특성

실험체명	인장철근	보강길이	보강접수	앵커유무	실험체명	인장철근	보강길이	보강접수	앵커유무	
UM	2-D10	.	.	.	UL	2-D13	.	.	.	
SMHC 군	SMHC1N	2-D10	절반	1장	SLHC 군	SMHC1N	2-D13	절반	1장	무
	SMHC1Y	2-D10	절반	1장		SMHC1Y	2-D13	절반	1장	유
	SMHC2N	2-D10	절반	2장		SMHC2N	2-D13	절반	2장	무
	SMHC2Y	2-D10	절반	2장		SMHC2Y	2-D13	절반	2장	유
SMFC 군	SMFC1N	2-D10	전체	1장	SLFC 군	SMFC1N	2-D13	전체	1장	무
	SMFC1Y	2-D10	전체	1장		SMFC1Y	2-D13	전체	1장	유
	SMFC2N	2-D10	전체	2장		SMFC2N	2-D13	전체	2장	무
	SMFC2Y	2-D10	전체	2장		SMFC2Y	2-D13	전체	2장	유

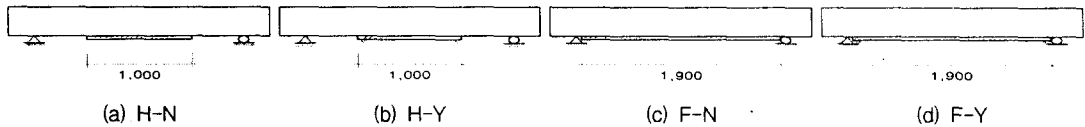


그림 2 보강실험체 형상 (H, F : 보강길이(절반, 전체), Y, N : 앵커볼트(유, 무))

기존의 실험결과²⁾를 참고로 하여 본 실험에서는 실험체를 손상시키지 않고 바로 보강하였다. 보강재와 접하는 콘크리트의 밀면의 부착력을 향상시키기 위하여 보의 폭 방향으로 5mm 간격으로 폭 2mm의 홈(grooving)을 만든 후에 에폭시를 이용하여 각 보강재를 부착시켰다. 에폭시가 완전히 굳은 다음, 보강재 단부에 앵커를 정착시켰다.

사용된 각 재료의 성질을 <표 2~5>에 나타내었다. 여기서, 사용된 철근 D10 및 D13은 KS B 0802에 의거하여 시험한 결과를 나타내었다. 본 실험에서 사용된 CFS는 일방향성으로서 인장한계까지는 선형의 응력-변형도 관계를 유지하다가 인장한계에 다다르면 갑자기 파단되는 특성을 지녔다.

표 2 콘크리트의 재료성질

실험체	탄성계수 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)
①	2.37 × 10 ⁶	250	23
②	2.41 × 10 ⁶	258	24

표 3 철근의 재료성질

철근	탄성계수 (kg/cm ²)	항복강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	연신율*
D10	2.12 × 10 ⁶	4,374	5,159	15 %
D13	2.14 × 10 ⁶	4,252	5,512	22 %

① UM, UL, SLHC군, SLFC군, ② SMHC군, SMFC군

*표점거리 : 8db

1) 이한승 외, "탄소섬유쉬트에 의해 횡보강된 RC보의 유한요소해석", 일본콘크리트공학 연차논문보고집, Vol.18, No.1, 1996.

2) 김지영 외, "강판 보강된 철근 콘크리트보의 휨거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 1997.10

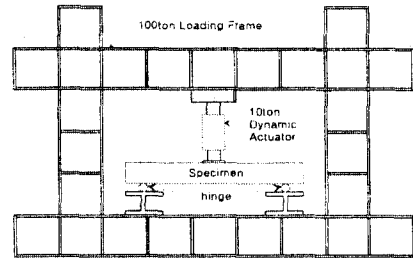
표 4 탄소섬유쉬트의 재료성질

탄성계수 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	비중 (t/m ³)	단위면적중량 (g/m ²)
2.6×10 ⁶	35,000	1.82	300

표 5 에폭시수지의 재료성질

탄성계수 (kg/cm ²)	압축강도 (kg/cm ²)	부착강도 (kg/cm ²)	비중 (t/m ³)	단위면적당 중량(g/m ²)
3.0×10 ⁴	700이상	100이상	1.08	200

[그림 3]과 같이 보 스펀의 중앙에 집중하중을 반복하중 이전까지는 하중제어 방식, 반복하중 이후에는 변위제어 방식으로 점진적으로 가력하였다. 보의 처짐은 L.V.D.T(Linear Variable Displacement Transducer)를 이용하여 측정하였고, 철근의 변형도는 5mm 스트레인 게이지(strain gauge)를, 콘크리트의 변형도는 50mm 스트레인 게이지를 이용하여 밑면 중앙부에서 측정하였다.



3. 탄소섬유쉬트 보강 보의 실험결과

실험결과를 <표 6>에 나타내었다. 파괴양상은 크게 ①터짐(tension failure), ②단부박리(separation), ③피복분리(rip off)의 세 가지로 나타났다. 보강길이별 파괴양상은 확연했는데, 절반 보강 실험체에서는 단부박리나 콘크리트 피복분리가 지배적이었던 반면, 전체 보강 실험체에서는 중앙부의 터짐이 주로 나타났다. 보강접수별 파괴양상은 큰 차이는 없었지만, 1장 보강에서는 대체적으로 보강재 단부의 콘크리트피복이 분리되거나 보강재 중앙부가 터지는 현상이 주로 나타난 반면, 2장을 보강한 경우에는 보강재 단부박리현상이 대체적으로 많이 나타났다. 보강재 단부의 앵커 볼트 설치 유무에 따른 파괴양상은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 6 CFS로 보강된 보의 실험결과

실험체명	초기균열 발생시		항복시		최대내력시		파괴양상
	하중	처짐	하중	처짐	하중	처짐	
UM	1.009	0.36	2.235	3.75	3.894	30.70	UM
UL	1.179	0.55	4.520	6.20	6.077	61.51	UL
SMHC1N	1.506	0.63	3.499	4.86	3.733	5.79	좌측 보강재 단부 콘크리트 피복분리
SMHC1Y	1.565	0.63	3.599	4.69	5.331	15.03	좌측 보강재 단부 콘크리트 피복분리
SMHC2N	1.792	0.68	3.581	3.83	5.102	9.78	우측 보강재 단부박리 및 콘크리트 피복분리
SMHC2Y	1.509	0.56	3.678	4.39	4.718	11.92	우측 보강재 단부박리 및 콘크리트 피복분리
SMFC1N	1.834	0.77	3.500	4.59	5.476	16.53	보강재 정중앙 터짐
SMFC1Y	1.625	0.65	3.656	4.82	6.268	18.33	좌측 20cm지점 터짐
SMFC2N	1.703	0.76	4.107	5.20	6.120	12.87	우측 3cm지점 터짐
SMFC2Y	1.681	0.61	4.476	5.77	6.672	14.64	좌측 5cm지점 터짐
SLHC1N	1.622	0.69	5.755	7.28	7.450	16.64	좌측 보강재 단부 콘크리트 피복분리
SLHC1Y	.	.	5.676	6.68	6.892	14.03	우측 7cm지점 터짐
SLHC2N	1.496	0.52	6.510	7.52	7.310	12.72	우측 보강재 단부 콘크리트 피복분리
SLHC2Y	1.125	0.52	6.269	7.60	7.080	11.62	우측 보강재 단부 콘크리트 피복분리
SLFC1N	1.255	0.45	5.834	7.08	7.231	13.42	보강재 정중앙 터짐
SLFC1Y	1.642	0.57	5.867	7.28	7.465	15.66	좌측 15cm지점 터짐
SLFC2N	.	.	6.855	7.04	9.772	18.87	우측 보강재 단부박리
SLFC2Y	1.284	0.49	6.729	7.56	9.486	19.07	우측 보강재 단부박리

[그림 4]의 하중-처짐곡선을 살펴보면 보강 실험체가 비보강 실험체에 비하여 반복하중 및 최

대하중이 증가하며 최대하중에 도달한 이후 비보강 실험체와 유사한 수준으로 하중이 감소하게 되고 그후 보강 실험체의 거동 또한 비보강 실험체와 유사한 형태를 나타내는 것을 알 수 있다.

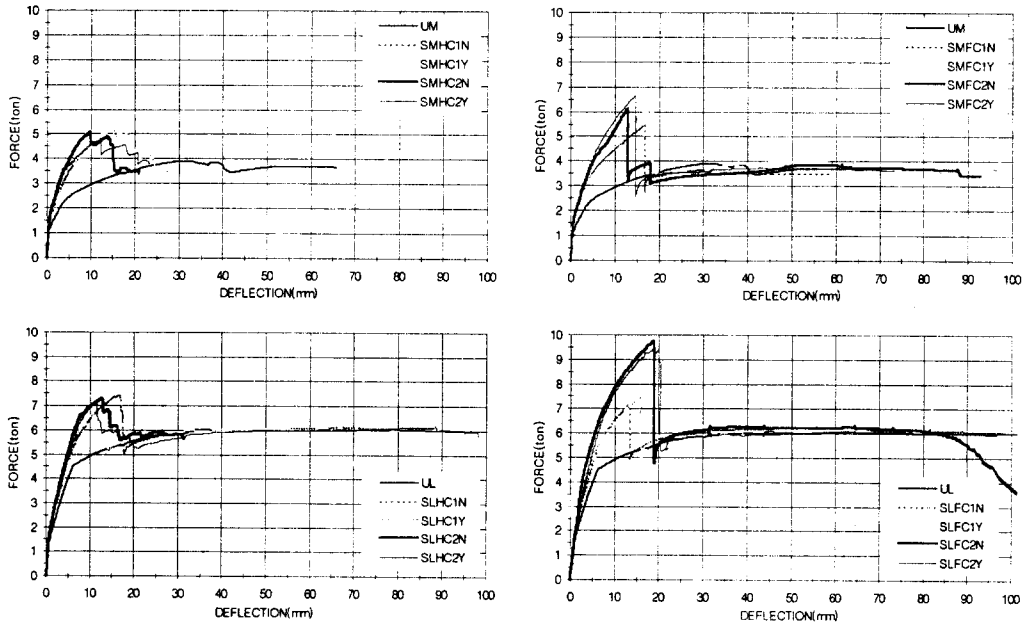


그림 4 하중-처짐 곡선

4. 보강효과 분석

4.1 보강길이에 대한 보강효과

(1) 인장철근이 2-D10인 경우

절반길이를 보강한 SMHC군의 항복하중은 평균 3.589ton으로 UM의 1.6배 정도이고, 전체길이를 보강한 SMFC군의 항복하중은 평균 3.935ton으로 UM의 1.8배 정도이다. 최대하중에 대해서는 절반길이를 보강한 SMHC군은 평균 5.051ton으로 UM의 1.3배 정도이고, 전체길이를 보강한 SMFC군은 평균 6.134ton으로 UM의 1.6배 정도이다. 또한, SMHC군의 항복하중은 최대하중에 대하여 평균 71%정도, SMFC군의 항복하중은 최대하중에 대하여 평균 64%정도로 나타났다.

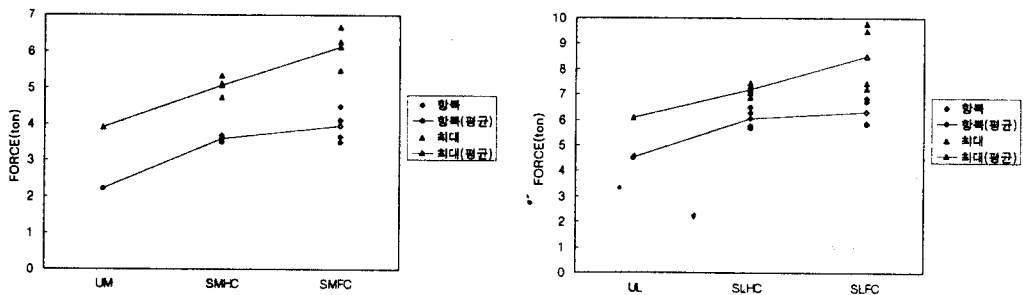


그림 5 보강길이에 따른 보강효과

(2) 인장철근이 2-D13인 경우

절반길이를 보강한 SLHC군의 항복하중은 평균 6.053ton으로 UL의 1.3배 정도이고, 전체길이를

보강한 SLFC군의 항복하중은 평균 6.321ton으로 UL의 1.4배 정도이다. 최대하중에 대해서는 절반 길이를 보강한 SLHC군은 평균 7.183ton으로 UL의 1.2배 정도이고, 전체길이를 보강한 SLFC군은 평균 8.489ton으로 UL의 1.4 정도이다. SLHC군의 항복하중은 최대하중에 대하여 평균 84%정도이고, SLFC군의 항복하중은 최대하중에 대하여 평균 74%정도로 나타났다.

보강길이에 따른 보강효과를 살펴보면 인장철근에 관계없이, 보강길이가 길어지면서 항복하중은 약간 증가한 반면, 최대하중은 상대적으로 큰 증가를 나타내었다.

4.2 보강접수에 대한 보강효과

(1) 인장철근이 2-D10인 경우

보강길이가 절반일 때, 2장을 보강한 경우의 항복하중은 1장일 때에 비하여 내력증진이 거의 없었던 반면, 최대하중은 1장일 때 보다 오히려 감소하였다. 반면, 전체길이를 보강했을 때에는, 2장을 보강한 경우가 1장 보강보다 항복하중이나 최대하중에서 모두 증가했는데, 증가량에서는 항복하중에서는 1.53배로 증가한 반면, 최대하중에서는 1.26배로 다소 증가량이 감소하였다.

(2) 인장철근이 2-D13인 경우

보강길이가 절반일 때, 2장을 보강한 경우의 항복하중은 1장일 때에 비하여 보강효과가 1.56배 정도 증가한 반면, 최대하중은 1장일 때에 비하여 내력증진이 거의 없었다. 반면, 전체길이를 보강했을 때에는, 2장을 보강한 경우가 1장 보강보다 항복하중이나 최대하중에서 모두 증가했는데, 증가량에서는 항복하중에서는 1.71배이었고, 최대하중에서는 2.79배로 증가량이 더 큰 것으로 나타났다.

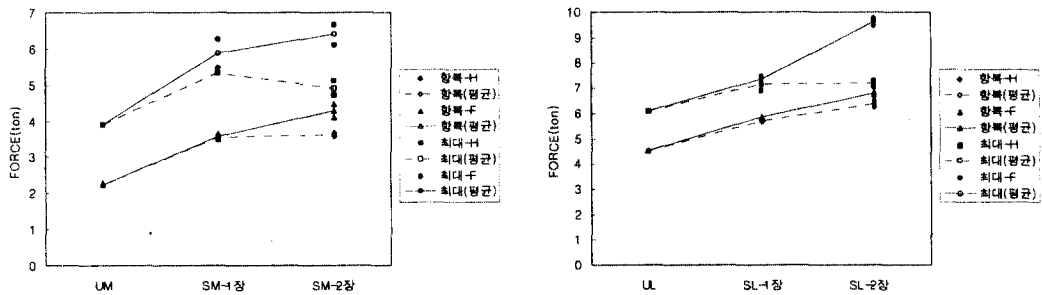


그림 6 보강접수에 따른 보강효과

보강접수에 대한 보강효과를 살펴보면, 보강길이가 길 때, 보강접수에 대한 보강효과가 우수한 것으로 나타났다. 이는 보강길이가 절반일 경우에는 보강재 단부에 집중되는 응력이 접착체의 한계치를 초과하여 보강접수의 증가가 부재에 보강효과를 그리 큰 발휘하지 못하기 때문으로 판단된다. 또한, 인장철근량이 많을 때, 보강접수에 대한 보강효과가 우수한 것으로 나타났다.

4.3 단부 앵커볼트 정착 유무에 대한 보강효과

(1) 인장철근이 2-D10인 경우

앵커볼트를 설치한 경우가 설치하지 않은 경우에 비하여 항복하중은 다소 증가하였으나, 그 차이가 그리 크지 않았다. 최대하중 또한 대체로 앵커볼트를 설치한 경우에 증가하였으나, SMHC2Y는 SMHC2N보다 감소하였다.

(2) 인장철근이 2-D13인 경우

항복하중 및 최대하중은 앵커볼트 설치 유무에 관계없이 유사하였다.

앵커볼트의 정착으로 인한 보강효과는 인장철근비가 낮은 경우와 보강길이가 긴 경우에 우수

했으며, 보강접수에는 상관관계가 거의 없는 것으로 판단된다.

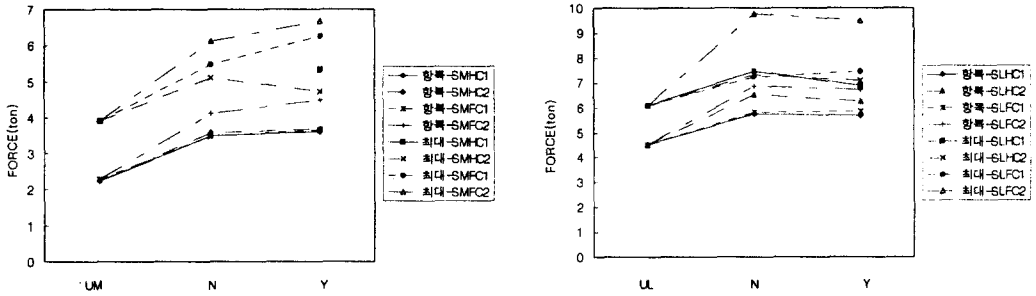


그림 7 앵커볼트 설치에 대한 보강효과

5. 결론

CFS 보강 실험체의 보강효과를 보강변수별로 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 보강길이가 길수록 보강효과는 우수하였는데, 보강길이가 길어지면서 항복하중은 약간 증가한 반면, 최대하중은 많은 증가를 나타내었다.
- (2) 보강접수의 증가에 따른 보강효과는 보강길이가 길 때, 그 보강효과가 더 우수한 것으로 나타났으나, 그 효과는 보강길이만큼 크지는 않았다. 이는 구조체와 보강재를 일체거동하도록 하는 에폭시가 사전에 파괴되기 때문으로 생각되며, 보강접수를 증가시킬 때에는 신중한 판단이 필요한 것으로 사료된다.
- (3) 앵커볼트 정착 유무에 따른 보강효과는 거의 없었으며, 오히려 앵커볼트를 설치하여 부재가 손상된 경우 내력이 저하될 수도 있으므로 주의를 요한다. 특히 보강길이가 짧을 때에는 앵커볼트로의 응력집중에 의한 내력저하가 있으므로, 이에 대한 정확한 거동예측이 필요하다. 충분한 보강길이와 부착이 확보되면 앵커볼트는 필요 없는 것으로 판단된다.

보강변수 중에서 가장 중요한 변수는 보강길이로서, 부재의 내력에 많은 영향을 미칠 뿐만 아니라, 다른 변수들의 효과에도 상당한 영향을 미친다. 즉, 보강접수나, 단부의 앵커볼트는 보강길이가 충분할 때 그 효과가 증대된다. 따라서, CFS를 보에 휨보강할 때에는 충분한 보강길이를 확보하는 것이 가장 중요하다고 볼 수 있다.

● 감사의 글 ●

본 연구에 사용된 보강재료 및 시공은 (주)청조화성이 제공한 것으로 이에 밝힙니다.

● 참고문헌 ●

1. Alfarabi Sharif, G. J. Al-Sulaimani, I. A. Basunbuk, M. H. Baluch, and B. N. Ghaleb, "Strengthening of Initially Loaded Reinforced Concrete Beams Using FRP Paltes", ACI, Vol.91, No.2, Mar-Apr. 1994.
2. 이한승 외, "탄소섬유쉬트에 의해 휨보강된 RC보의 유한요소해석", 일본콘크리트공학 연차논문보고집, Vol.18, No.1, 1996.
3. 김지영 외, "강판 보강된 철근 콘크리트보의 휨거동에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 1997.10