

탄소섬유 보강부재의 단부탈락 방지 방안에 관한 실험적 연구

An Experimental Study to Prevent the Delamination of the CFS with End-Anchorage

김 두 벽* 이 우 철** 정 진 환***
Kim, Du Byeok Lee, Woo Cheol Cheung, Jin Hwan

ABSTRACT

The strengthening of concrete structures in situ with externally bonded fiber sheets is increasingly being used for repair and rehabilitation of existing structures. Because fiber sheets are attractive for this application due to their good tensile strength, resistance to corrosion, and low weight. But, debonding failure may occur at the beam ends that fiber sheet bonded to the soffit of a beam. The method which can prevent debonding failure is suggested and proved its efficiency by using CFS experimental test. And this paper summarized the results of experimental studies concerning the end-anchorage system. Results show that the suggested method is faithful in strengthening with CFS.

1. 서론

1.1. 연구배경

최근 RC구조물의 보강재로 널리 사용되는 탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유 등의 복합재료가 있다. 그 중에서도 특히 탄소섬유쉬트는 철근과 유사한 탄성계수를 가지며, 철에 비해 경량이고, 높은 인장강도를 가지며, 부식에도 문제가 없기 때문에 보강재로 널리 사용되고 있다.

그러나, 에폭시를 이용한 부착식 탄소섬유보강공법은 보강재가 구조물의 단부에서 조기에 탈락되거나, 보강 설계 하중보다 작은 값에서 탈락이 발생하는 경향을 보이고 있다. 따라서, 보강재의 탈락을 방지할 수 있는 실험적 연구가 요구되고 있다.

1.2. 연구목적

기존의 방법으로는 보의 단부를 U자형으로 감싸는 방법이 있으나, 이 방법은 전단보강이나 벽체, 슬래브의 경우에는 사용하지 못하는 단점이 있다.

이에 따라 본 연구에서는 강판과 강봉을 이용한 강제 정착을 실시하여 보강의 신뢰성을 높이고 전단보강이나 슬래브의 경우에도 사용할 수 있는 보강재 탈락 방지 방안을 연구하고자 한다.

* 정회원, 부산대학교 토목공학과 석사과정
** 정회원, 부산대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 부산대학교 토목공학과 교수

기존의 실험^[1]을 통해 강제정착장치를 사용함에 따라 섬유유리의 최종적인 탈락을 방지할 수 있음이 검증되었다. 본 연구에서는 실험을 통해 강제정착장치의 강봉 직경 및 콘크리트 턱의 곡률 반경 결정과 검증에 그 목적이 있다. 따라서 강제정착방식의 시험체 거동특성, 파괴양상, 하중-변위관계, 최대하중까지의 거동을 실험을 통하여 분석한다.

2. 실험

2.1. 본 장치의 개요 및 실험계획

기존의 실험 결과를 살펴보면, 부착길이가 최소정착장(20cm) 이상으로 확보된 시험체의 경우에도 거의 대부분의 시험체에서 예상 최대 하중의 약 50% 정도의 하중에서 부착 파괴로 인한 섬유유리의 탈락현상이 발생되었다. 본 연구에서 사용된 강제 정착장치는 그림1과 같이 섬유유리와 콘크리트 사이의 부착이 거의 대부분 파괴된 경우에도 정착장치의 기계적인 정착력으로 섬유 유리의 최종적인 탈락을 방지하여 보수 및 보강의 신뢰성을 확보할 수 있도록 하기위하여 고안된 것이다. 그러나 이전의 실험 결과는 정착부 섬유 유리의 응력 집중 현상으로 섬유유리의 겹수에 따라 하중 지탱 능력에 상당한 편차가 발생하였고, 이는 주로 정착장치에 사용된 강봉의 직경과 정착부 바로 전면의 콘크리트 턱의 곡률 반경에 좌우된다는 사실을 발견하였다. 따라서 본 연구에서는 강제정착장치의 응력집중을 피하기 위해 강봉직경과 콘크리트 턱의 곡률 반경 결정을 위한 실험 I 과 실험 I 에서 결정된 강봉 직경과 곡률 반경의 검증에 대한 실험II로 두 번의 실험을 수행하였다.

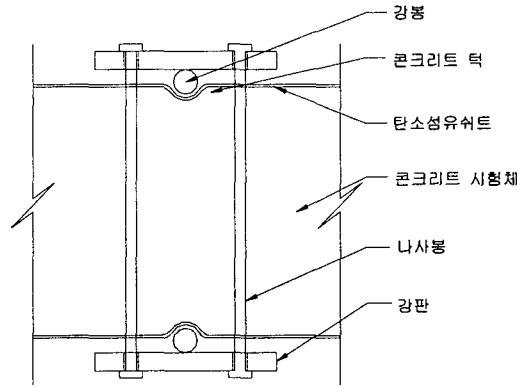


그림 3 강제정착장치 상세도

2.1.1. 시험체 단면

사용된 시험체의 단면 및 배근은 그림 2, 그림 3 과 같다. 단면의 크기는 실험 I 의 경우는 20cm×15cm×50cm인 시험체를 제작하였고, 실험II의 경우는 20cm×30cm×50cm인 시험체를 제작하였다. 인장력으로 인한 콘크리트의 국부파괴를 피하기 위해 철근(D13-실험 I, D19-실험II)을 배근하였고, 고장력 볼트를 용접하여 매입하였다.

2.1.2. 실험변수

실험은 실험 I 과 실험II로 나누어 실시하였으며 각 실험의 실험변수는 다음과 같다.

(1) 실험 I

정착장치의 강봉 직경과 곡률 반경을 주변수로 정했으며 탄소섬유 보강겹수는 2겹이다. 강봉 직경은 2cm와 3cm이고 각각의 곡률 반경은 1배와 2배로 하였다.

(2) 실험 II

실험 I 에서의 결과를 근거로 강봉 직경과 곡률 반경은 강봉 직경 2cm와 곡률 반경 2배로 정하고 탄소섬유 보강겹수를 주변수로 하였다.

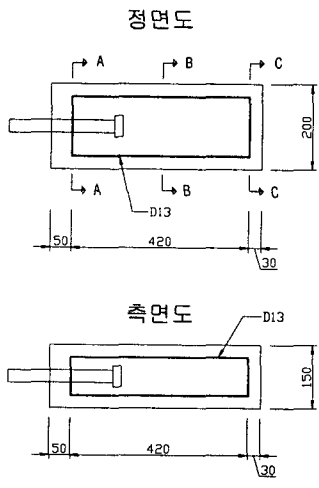


그림 4 실험 I의 시험체 단면

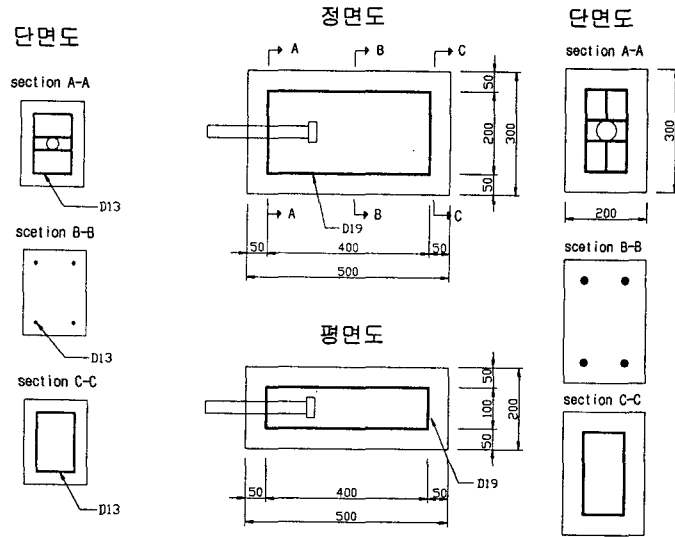


그림 5 실험 II의 시험체 단면

2.2. 실험재료

2.2.1. 콘크리트, 철근, 에폭시의 재료 물성

실험 I 과 실험 II 에서의 콘크리트와 철근의 재료 특성치는 표 1, 표 2와 같으며 에폭시의 역학적 성질은 표 3와 같다.

표 1 콘크리트의 재료 물성

구 분	압축강도 (kgf/cm ²)	공기량 (%)	슬럼프 (cm)
실험 I	240	4.5	12
실험 II	270	4.5	12

표 2 철근의 재료 물성

구 분	직 경	항복강도 (kgf/cm ²)	탄성계수 (kgf/cm ²)
실험 I	D13(1.267cm ²)	4000	2.0 × 10 ⁹
실험 II	D19(2.865cm ²)	4000	2.0 × 10 ⁹

표 3 에폭시 재료 물성

인장강도	압축강도
400 kgf/cm ²	750 kgf/cm ²
휨강도	전단강도
700 kgf/cm ²	300 kgf/cm ²

2.2.2. 탄소섬유쉬트의 재료 물성

탄소섬유쉬트 인장시험은 ASTM D 636에 준하여 1점, 2점, 3점의 탄소섬유쉬트 인장시험편을 제작하였으며, 시험편의 최대하중은 표4와 같이 설계강도를 만족하였다. 따라서, 탄소섬유의 설계강도는 표5와 같이 35500 kgf/cm²을 사용하였다.

표 4 탄소섬유쉬트 인장시험편의 최대하중

점수	시험체명	최대하중 (kgf)	점수	시험체명	최대하중 (kgf)	점수	시험체명	최대하중 (kgf)
1점 (507 kgf)	1P-1	588	(1,014 kgf)	2P-1	1158	(1,521 kgf)	3P-1	1454
	1P-2	498		2P-2	927		3P-2	1364
	1P-3	481		2P-3	1086		3P-3	1517
	1P-4	486		2P-4	1007		3P-4	1254

표 5 탄소섬유쉬트의 재료 물성

설계두께(mm)	0.11
설계강도(kgf/cm ²)	35500
인장강도(kgf/cm폭)	390
설계탄성률(kgf/cm ²)	2.35 × 10 ⁹
파단신률(%)	1.5

2.3. 실험방법

2.3.1. 탄소섬유쉬트와 강제정착장치 부착

탄소섬유쉬트는 그림 4(a)와 같이 양면에 부착하였으며 섬유 시공시 시험체의 비틀림으로 인한 보강 섬유의 강도저하와 부착력저하를 방지하기 위하여 재하 직전까지 앵글로 시험체를 묶어 두었다. 강제 정착장치는 그림 4(b)와 같이 탄소섬유쉬트의 양쪽 단부에 부착하였다.

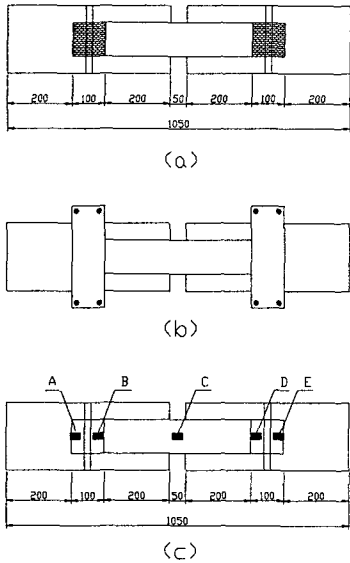


그림 6 탄소섬유와 게이지 부착도

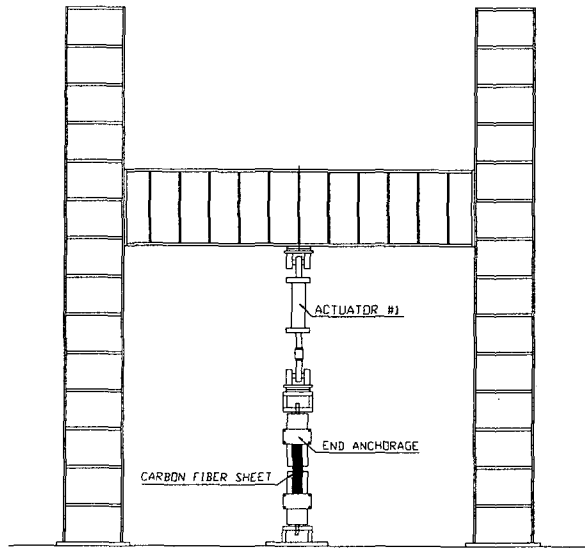


그림 7 시험장치도

2.3.2. 하중재하와 측정방법

실험장치도는 그림 5과 같으며 하중재하는 KS M 3006-93에 준하여 변위제어 방식으로 1분당 1mm의 속도로 섬유의 파단까지 재하하였다. Strain Gage의 위치는 그림 4(c)와 같으며 값은 Data Acquisition System을 통하여 측정하였고, Actuator의 변위는 제어 Program에서 저장하여 비교, 분석하였다.

표 6 실험 I의 최대하중과 파괴양상

시험체명	예상하중 (tonf)	강봉직경	곡률반경	최대하중 (tonf)	파괴양상	비고 (%)
D2_R1_1	15.60	2 cm	1배	11.44	곡률부위 섬유파단	73
D2_R1_2				9.20	곡률부위 섬유부분파단, 정착장치에서의 섬유 탈락	59
D2_R1_3				12.14	시험체 파괴	78
D2_R2_1			2배	11.33	시험체 파괴	73
D2_R2_2				11.49	시험체 파괴	74
D3_R1_1				15.60	3 cm	1배
D3_R1_2	12.43	시험체 파괴	80			
D3_R1_3	10.77	시험체 파괴	69			
D3_R2_1	2배	9.56	시험체 파괴			61
D3_R2_2		8.33	정착장치에서의 섬유탈락			53

3. 실험결과

3.1. 실험 I

강봉 직경 2cm에 곡률 반경 1배의 경우는 3개의 시험체중 2개의 시험체는 곡률부위의 섬유가 완전파단 혹은 부분파단되었으며, 1개의 시험체는 시험체가 파괴되었고, 강봉 직경 2cm의 곡률 반경 2배의

경우는 2개의 시험체가 파괴되었다.

강봉 직경 3cm에 곡률 반경 1배의 경우는 3개의 시험체중 1개의 시험체는 강제정착장치에서의 섬유가 탈락하였으며, 2개의 시험체는 시험체가 파괴되었고, 강봉 직경 3cm에 곡률 반경 2배의 경우는 1개는 시험체가 파괴되었으며 나머지 1개의 시험체는 강제정착장치에서의 섬유가 탈락하였다. 각각의 최대하중과 파괴양상은 표 6에 정리하였다.

전체적인 변형률은 그림 6과 같이 섬유의 중앙부에서부터 증가하기 시작하여 단부의 정착장치 앞부분이 최대치를 기록하였으며 섬유가 파단되거나 탈락하였다.

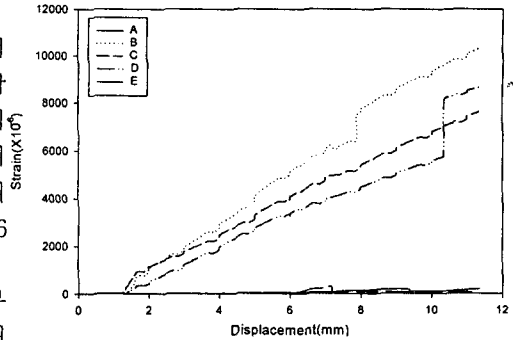


그림 8 실험 I의 변형률

3.2. 실험 II

실험 I의 결과를 바탕으로 강봉 직경과 곡률 반경의 크기는 각각 지름 2cm와 2배로 고정하고 섬유의 보강계수를 주변수로 실험하였다. 1점보강의 경우는 3개의 시험체중 2개의 시험체는 섬유중앙부와 상·하부에서 파단이 일어났으며 1개의 시험체는 곡률 부위에서 파단이 일어났다. 2점보강의 경우는 3개의 시험체 모두 섬유 상부파단, 상·하부파단과 중앙부·상부파단으로 섬유가 파단되었다. 3점보강의 경우는 3개의 시험체중 1개의 시험체는 곡률부의 섬유파단과 콘크리트 지압파괴가 일어났으며 2개의 시험체는 표 7과 같이 강제정착장치의 미끄러짐과 시험체 파괴로 섬유의 파단은 일어나지 않았다.

1점과 2점의 경우는 예상하중의 70%이상의 최대하중을 보이고 있다. 하중 재하시의 편심으로 인해 최대하중이 예상하중에 못 미치는 것으로 나타났다. 1점, 2점과 3점의 각각의 하중-변위 곡선은 그림 7에 나타냈으며, 변형률은 그림 8, 그림 9와 그림 10에 나타내었다.

표 7 실험 II의 최대하중과 파괴양상

		예상하중 (tonf)	최대하중 (tonf)	파괴형태	비고 (%)
1점	1P-1	7.80	5.71	섬유파단 (상,하부의 곡률앞)	73
	1P-2		5.08	섬유파단 (중앙부)	65
	1P-3		3.88	섬유파단 (곡률부분)	50
2점	2P-1	15.60	11.73	섬유파단 (상,하부의 곡률앞)	75
	2P-2		10.40	섬유파단 (상부의 곡률앞)	67
	2P-3		12.40	섬유파단 (중앙부, 상부의 곡률앞)	79
3점	3P-1	23.40	12.87	섬유파단(곡률부분), 콘크리트 지압파괴	55
	3P-2		14.11	콘크리트 파괴	60
	3P-3		9.81	볼트의 미끄러짐 파괴	42

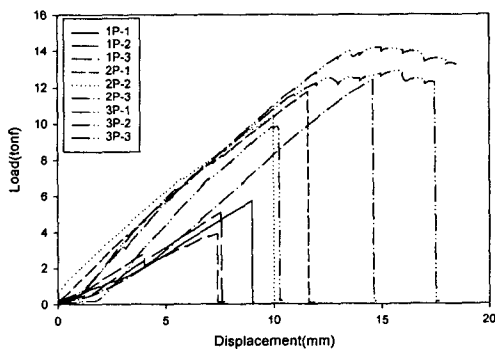


그림 9 실험 II의 하중-변위 곡선

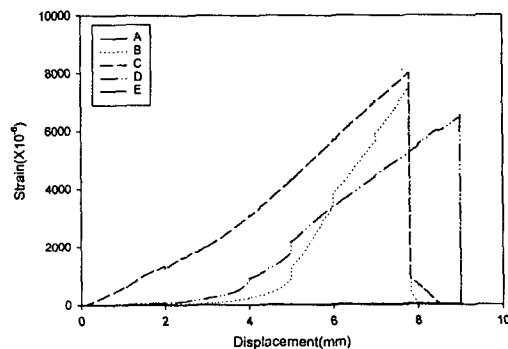


그림 10 변형률 곡선(P1-1)

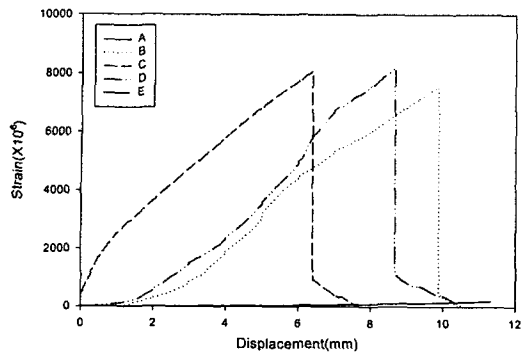


그림 11 변형률 곡선(P2-1)

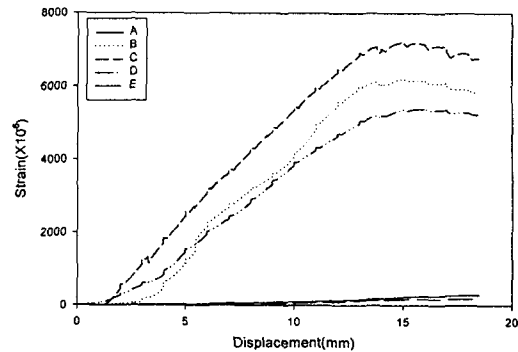


그림 12 변형률 곡선(P3-2)

4. 결론

본 연구에서 제안된 강제정착장치를 이용하여 탄소섬유 보강부재의 단부탈락 방지 방안에 관한 실험적 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 실험 I에서, 정착장치의 강봉 직경이 너무 커지면 강제정착장치가 이탈하여 정착부 섬유탈락이 발생한다. 따라서 강봉의 적정 직경은 2cm이며, 콘크리트 턱의 곡률 반경은 강봉 직경의 2배가 안정적임을 알 수 있다.
- (2) 실험 II에서, 1겹보강과 2겹보강의 시험체는 콘크리트 턱에서의 응력집중을 피할 수 있었다.
- (3) 강제정착장치가 없는 경우의 최대하중은 예상하중의 약50%였으나, 강제정착장치의 설치한 시험체의 최대하중은 예상하중의 약80%까지 향상됨을 알 수 있다. 따라서, 2겹보강까지의 정착은 본 연구에서 제안한 강제정착장치가 효과적임을 알 수 있다.
- (4) 강제정착장치는 섬유와 콘크리트의 부착력 이외에 기계적인 정착력을 발휘함을 알 수 있다.
- (5) 하중의 범위가 14tonf 이상이면 집중하중에 의한 콘크리트의 균열발생으로 인해 3겹보강 이상의 보강일 경우는 본 시험체 모델은 적절하지 못한 것으로 보인다.

추후, 실험을 통해서 보와 슬래브에 대하여 본 연구에서 제안된 강제정착장치를 이용한 검증이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 정진환외, "탄소섬유 보강부재의 단부탈락 방지 방안에 관한 실험", 콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 2000
2. 탄소섬유 Sheet 보강공법 기술자료, (주)T.S. BOND 건설공업, 1994
3. 한만엽외, "탄소섬유 보강공법의 조기 탈락 방지 공법 개발 연구", 콘크리트학회논문집, 2000.2
4. 한만엽외, "보강재의 부착방법에 따른 물리적 거동 특성에 관한 연구", 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1999
5. Ronald F. Gibson, "Principles of Composite Material Mechanics", 1994