

탄소섬유판으로 보강된 RC보의 휨 거동

Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with CFRP Strips

최기선* 유영찬** 박영환** 박종섭*** 김금환****
Choi, Ki Sun You, Young Chan Park, Young Hwan Park, Jong Sup Kim, Keung Hwan

ABSTRACT

CFRP strips manufactured in factory are produced normally with smaller width and larger thickness than CFRP sheets. By this reason, bonding force between CFRP strips and concrete substrate is not sufficient to sustain tensile force in CFRP strips. Therefore premature debonding failure cannot be avoided when strengthening is done by simply bonding the CFRP strips. The flexural strength of RC beam strengthened with CFRP strips must be calculated based on the effective strain considering debonding failure.

This paper presents test results of an experimental study conducted to evaluate the flexural strength on RC beams strengthened with CFRP strips. 7 specimens were tested with respect to bond length and amount of CFRP strips. From the test results, it was indicated that the strain of the CFRP strips achieved at debonding failure can be decreased less than $6,000\mu$ depending on the amount of CFRP strips.

1. 서론

탄소섬유판은 공장에서 인발성형 과정을 통해 제작되기 때문에 탄소섬유쉬트에 비하여 품질의 신뢰도가 우수하며, 현장에서의 작업공정을 단축할 수 있다. 반면, 탄소섬유판은 규격화된 생산시스템으로 인하여 통상적으로 탄소섬유쉬트에 비하여 폭이 좁고 두꺼운 형태로 제작된다. 이에 따라 탄소섬유판을 단순 접착하여 보강하는 경우에는 재료의 인장성능에 비하여 부착성능이 부족하기 때문에, 일반적으로 조기 박리파괴가 발생된다. 따라서, 탄소섬유판을 단순 부착하여 구조물을 보강하는 공법은 탄소섬유판의 박리시의 변형율에 근거하여 보강설계를 실시하는 것이 통상적이다.

본 연구에서는 탄소섬유판으로 휨보강된 축소모형 실험체를 대상으로 탄소섬유판의 박리파괴에 영향을 미치는 다양한 변수를 도출하고, 박리발생 하중 및 변형률을 파악함으로써 탄소섬유판으로 보강된 부재의 보강설계를 위한 기초자료를 구축하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구에서는 탄소섬유판의 부착길이 및 보강량과 보강방법을 변수로 실험을 수행하였다. 부착길이를 변수로 하는 실험체는 지간의 90%와 60%를 부착하였으며, 보강량을 변수로 한 실험체는 탄소섬

* 정희원, 한국건설기술연구원, 연구원
** 정희원, 한국건설기술연구원, 수석연구원
*** 정희원, 한국건설기술연구원, 선임연구원
**** 정희원, 한국건설기술연구원, 선임연구부장

유판을 각각 1매 및 2매를 부착하였다. 여기서, 2매로 보강한 실험체의 경우는 수직방향으로 적층하여 보강한 경우와 폭방향으로 2매를 병렬부착한 실험체로 구성되었다.

3. 실험

실험체의 단면치수는 200×300mm로 인장축과 압축축 피복두께를 30mm로 하였으며, 지점간 거리 3,000mm, 전체 실험체 길이는 3,400mm로 계획하였다. 압축철근은 3-D13, 인장철근으로는 3-D10을 배근하였다. 또한, 전단 보강근은 휨 파괴를 유도하기 위하여 D10 철근을 100mm 간격으로 배근하였다. 대표적인 실험체의 형상 및 치수를 나타내면 그림 1과 같다.

실험체는 총 7개로서 기준실험체인 무보강 실험체를 포함하며, 보강실험체는 현재 국내에서 제작된 두께 1.3mm, 폭 50mm의 탄소섬유판을 부착길이, 적층량, 보강폭을 변수로 제작하였다.

4. 실험 결과 분석

4.1 파괴양상

탄소섬유판을 지간의 90%로 부착한 B2 계열의 실험체(BF1-B2, BF2-B2, BW2-B2)에서는 탄소섬유판의 보강량에 관계없이 모두 중앙부 하중가력점에서 최초 탄소섬유판과 콘크리트 계면에서의 박리가 관찰되었으며, 중앙부에서 발생된 박리는 단부로 진행되어지면서 최종박리 파괴되었다. 이와 같이 최대모멘트 및 전단력이 작용하는 중앙부에서 시작되어 단부로 진행되는 탄소섬유판의 박리파괴 현상은 슈트형 FRP 보강공법에서도 관측되는 것으로서, 탄소섬유판으로 휨보강된 RC부재의 주요 파괴메커니즘의 하나라고 판단된다.

이에 대하여, 탄소섬유판을 지간길이의 60%로 부착한 B1 계열의 실험체(BF1-B1, BF2-B1, BW2-B1)에서는 두께 1.3mm 탄소섬유판 1매를 부착한 BF1-B1 실험체의 경우 중앙부 콘크리트 계면에서 발생한 박리가 단부로 진행되어져 파괴되었으나, 2매를 적층 보강한 BF2-B1 실험체와 2매를 폭방향으로 부착한 BW2-B1 실험체는 그림 2와 같이 탄소섬유판 단부의 콘크리트가 활열파괴되면서 최종적으로 보강성능이 상실되었다.

표 2 실험체 일람표

시험체	보강재	적층매수	보강폭	부착길이	비고
Control	-	-	-	-	무보강
BF1-B1	CFRP ·tf=1.3mm ·bf=50mm ·f _{tu} =2,800MPa	1	50	1,800	부착길이
BF1-B2		1	50	2,700	부착길이
BF2-B1		2	50	1,800	적층
BF2-B2		2	50	2,700	적층
BW2-B1		1	100	1,800	폭2매
BW2-B2		1	100	2,700	폭2매

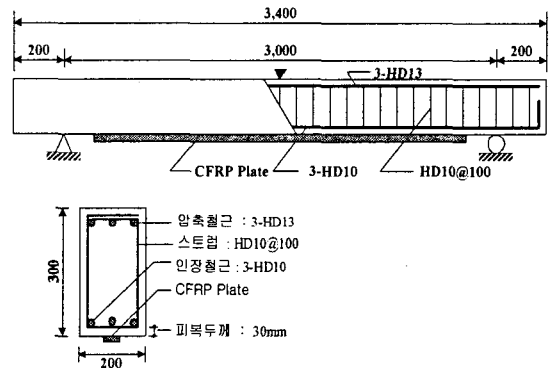


그림 1 실험체 상세

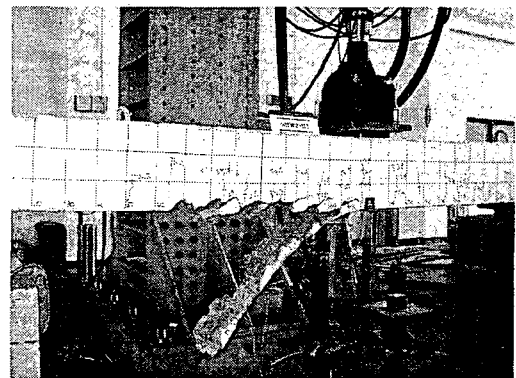


그림 2 단부 탈락 파괴상황

표 1 실험결과 일람표

실험체명	항복하중(kN)		박리발생시			최대하중(kN)		최종파괴시			파괴형상
	Cal _n	Exp	P _d	Cal _e	ε _{fd}	Cal _n	Cal _u	δ	ε _c	ε _{fu}	
Control	28.1	35.5	-	-	-	29.8	40.6	22.18	3,000	-	휨압축
BF1-B1	36.1	49.5	64.2	51.8	6,231	84.8	89.3	21.40	2,952	6,163	중앙박리
BF1-B2	36.1	49.6	60.5	50.6	5,945	84.8	89.3	19.68	2,117	5,310	중앙박리
BF2-B1	44.2	-	55.7	43.7	2,737	137.9	142.0	13.54	737	2,737	단부탈락
BF2-B2	44.2	60.1	73.7	60.8	4,454	137.9	142.0	16.62	2,233	4,290	중앙박리
BW2-B1	44.2	64.4	74.3	59.5	4,309	137.9	142.0	18.50	1,374	4,309	단부탈락
BW2-B2	44.2	63.2	92.9	76.6	6,372	137.9	142.0	25.52	2,430	6,334	중앙박리

Cal_n (규준치) : 각 재료의 설계용 공칭강도를 기준으로 한 값

Cal_u (해석치) : 재료실험을 통하여 구한 재료강도를 기준으로 한 값

Cal_e (실험 해석치) : 실험에서 측정된 CFRP의 변형률을 통하여 구한 인장강도를 기준으로 한 값

Exp (실험치) : 실험 측정값

4.2 보강량에 따른 보강성능

보강량의 증가에 따라서 휨강성과 항복하중이 증가하는 것으로 나타났으며, 동일한 부착길이를 갖는 실험체에서는 두 개의 탄소섬유판을 겹쳐서 시공하는 방법보다 폭 방향으로 보강량을 증가시키는 것이 초기박리에 효과적인 것으로 나타났다. 즉, 탄소섬유판의 겹수를 증가시키는 방법과 폭 방향으로 보강량을 증가시키는 방법은 동일한 휨 강성의 증가를 초래하지만, 폭 방향의 보강량 증가는 탄소섬유판과 콘크리트의 부착면적이 증가됨으로써 박리파괴를 지연시키는 것으로 나타났다.

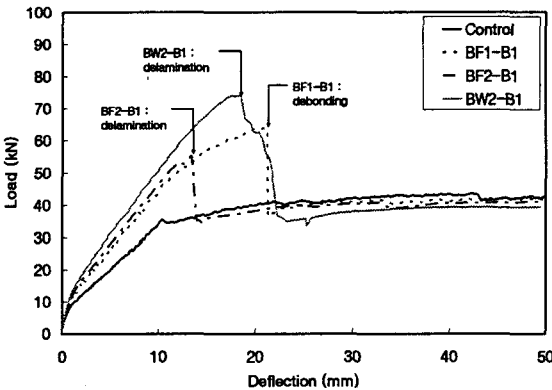


그림 3 0.6L 실험체의 보강량에 따른 하중-변위

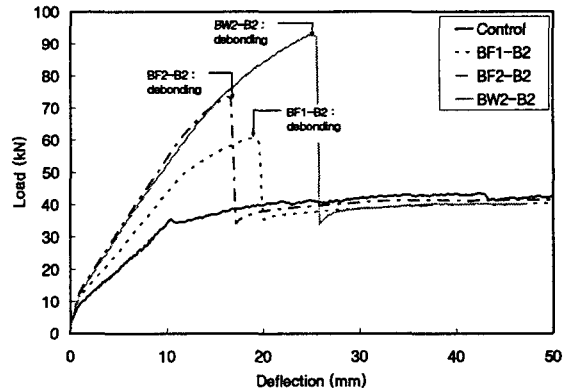


그림 4 0.9L 실험체의 보강량에 따른 하중-변위

4.3 부착길이에 따른 보강성능

탄소섬유판 1매를 보강한 실험체에서는 그림 5에서 보는 바와 같이 부착길이에 관계없이 박리하중은 유사한 것으로 나타났으며, 이때 탄소섬유판의 박리변형률은 약 6,000μ로 측정되었다. 이러한 현상은 초기박리파괴의 발생원인이 부착력의 부족에 기인하기 보다는 휨부재에서 발생되는 휨균열과 전단변형에 의한 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 탄소섬유시트를 대상으로 한 선행연구²⁾에서 나타난 것과 같이 동일한 보강량을 갖을 때 일정 부착길이 이상에서는 부착길이에 관계없이 초기박리하

중은 일정한 것으로 나타났다.

반면 탄소섬유판 2매를 부착한 실험체에서는 부착길이에 따라서 파괴양상 및 보강효과가 상이하게 나타났다. 그림 6은 탄소섬유판 2매를 병렬 부착한 실험체로 부착길이가 지간길이의 90%로 보강한 실험체에서 탄소섬유판의 변형률은 1매 보강 실험체와 유사한 6,000 μ 에 박리가 발생하였으며, 보강효과는 보강량에 비례해서 증가한다. 그러나, 부착길이가 지간길이의 60%로 보강한 실험체는 박리 이전에 단부 피복콘크리트의 탈락에 의해서 최종 파괴되며, 탄소섬유판의 박리변형률은 약 4,000 μ 로 조기에 탈락되는 것으로 나타났다.

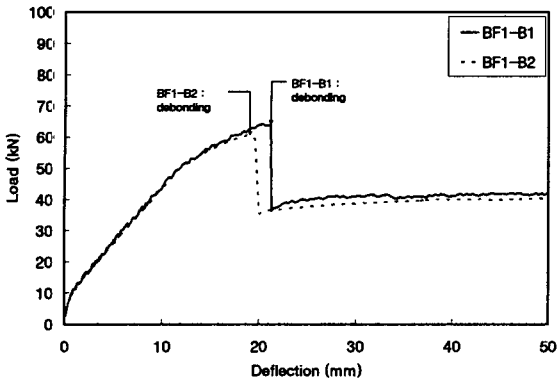


그림 5 부착길이에 따른 1매 보강 실험체

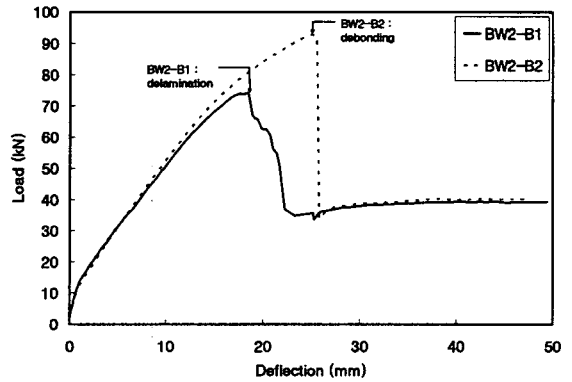


그림 6 부착길이에 따른 폭2매 보강 실험체

5. 결론

- 탄소섬유판으로 단순 부착하여 휨보강된 실험체에서는 대략 6,000 μ 의 변형률에서 중앙부로부터 진행되는 초기 박리현상에 의하여 최종적으로 박리파괴되는 것으로 나타났다.
- 부착길이 부족으로 인한 단부 탈락(delamination)이 발생된 실험체는 일반 박리파괴에 비하여 파괴시의 변형률이 감소되는 것으로 나타났다. 제한된 실험결과에 의하면 탈락파괴시의 최대변형률은 부착면적에 따라 약 2,500~4,000 μ 사이에서 파괴되는 것으로 나타났으나, 부착길이에 따라서 더 감소할 수도 있으므로 주의하여야 할 것으로 판단된다.
- 탄소섬유판의 접수를 증가시키는 방법과 폭 방향으로 보강량을 증가시키는 방법은 동일한 휨 강성의 증가를 초래하지만, 폭 방향 보강이 부착면적의 증가로 보강성능을 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- Sergio F. Brena and Beth M. Macri, "Effect of Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminate Configuration on the Behavior of Strengthened Reinforced Concrete Beams", J. Compos. Constr.,8(3), pp229-240
- Young-Chan You, et al, "An Experimental Study to Prevent Debonding Failure of Full-Scale RC Beam Strengthened with Multi-Layer CFS", Journal of the KCI, Vol. 16 No. 6, pp867-873
- 한국건설기술연구원, '외부프리스트레스트 탄소섬유판에 의한 구조물 보강공법 개발', 2004.