

탄소섬유판으로 보강된 철근콘크리트 보의 휨거동해석

Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Strengthened by CFRP Plates

양 동 석* 고 병 순** 박 선 규*** 유 영 찬**** 최 기 선*****
Yang, Dong Suk Koh, Byung Soon Park, Sun Kyu You, Young Chan Choi, Ki Sun

ABSTRACT

This paper focuses on the flexural behavior of RC beams externally reinforced using Carbon Fiber Reinforced Plastics plates (CFRP). A non-linear finite element (FE) analysis is proposed in order to complete the experimental analysis of the flexural behaviour of the beams. This paper is a part of a complete program aiming to set up design formulate to predict the strength of CFRP strengthened beams, particularly when premature failure through plates-end shear or concrete cover delamination occurs.

An elasto-plastic behaviour is assumed for reinforced concrete and interface elements are used to model the bond and slip.

Keywords : CFRP, finite element analysis, bond and slip, delamination, flexural behavior

1. 서론

우리나라는 지난 수 십년간 급속한 경제성장을 가져왔고 이로 인해 교통량의 증가나 환경의 변화 등이 발생하였고, 이러한 현상은 구조물에 많은 부담을 가중시켜 결과적으로 구조물의 노후화를 촉진시켰다. 이런 노후화된 구조물 중 콘크리트 구조물은 콘크리트의 균열 및 박리·박락, 철근의 부식 등이 발생하여 원래의 기능을 상실하게 되었다. 이러한 손상을 입은 구조물을 완전히 철거하고 새로 건설한다는 것은 경제적으로나 환경적으로 매우 좋지 않은 영향을 가져온다 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 외부 부착 공법중 탄소섬유판으로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨 실험을 통하여 탄소섬유판의 보강량과 보강길이에 따른 보강효과 등 실험변수에 따른 결과를 분석하고 비선형 유한요소 해석을 수행하여 탄소섬유판으로 외부 부착 휨보강한 실험체의 파괴 거동의 경향을 파악하고자 하였다.

-
- * 정희원, 성균관대학교 토목환경공학과 박사수료
 - ** (주)삼보기술단, 구조부
 - ** 정희원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수
 - *** 한국건설기술 연구원 건축연구부 수석연구원
 - **** 한국건설기술 연구원 건축연구부 연구원

2. 탄소섬유판으로 보강된 RC보의 휨 실험

2.1 실험 개요

본 실험은 탄소섬유판으로 휨보강한 철근콘크리트 보의 보강효과를 평가하기 위하여 사용된 실험변수는 탄소섬유판의 보강량, 탄소섬유판의 부착길이 등에 따라 시험체 7개를 제작하였다. 자세한 실험변수와 실험체명은 표 3과 같다.

2.2 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트 설계강도는 24 MPa, 슬럼프는 15.0±2.5cm으로 설계된 레미콘 제품을 사용하였다. 시험체에 사용된 철근은 설계항복응력 400MPa인 D10, D13 철근을 사용하였고, 탄소섬유판은 폭 50mm, 두께 1.3mm를 사용하였다. 실험에 사용된 콘크리트와 탄소섬유판의 물리적 특성은 표 1~2와 같다.

표 1 Properties of concrete

Compressive Strength(MPa)	Tensile Strength (MPa)	Young's modulus (MPa)
20.7	2.2	2.16×10 ⁵

표 2 Properties of CFRP

Thick (mm)	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)
1.3	2891	1.73×10 ⁶

2.3 시험체 제작

시험체는 표 3과 같이 실험변수를 고려하여 7개를 제작하였으며, 실험체의 형상은 그림 1과 같고, 피복두께는 3cm, 상부철근은 D13을 이용하여 배근하였으며, 하부철근은 D10을 이용하여 배근하였다. 또한, 배력철근은 D10를 이용하여 10cm로 배근하여 시험체를 제작하였다.

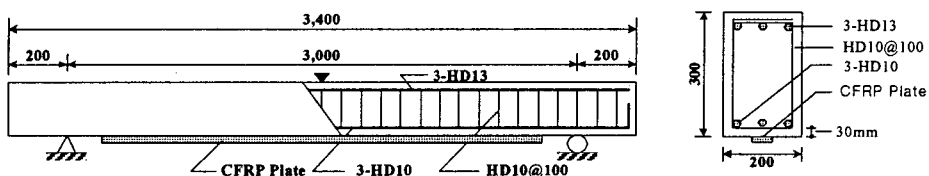


그림 1 Details of tested beams (unit : mm)

표 3 Details of tested beams

Beam	strengthening	layer	bond width (cm)	Bond ratio (%)	Bond length (cm)	Note
SBC	-	-	-	-	-	Control beam
SBF1-B1	CFRP Plate	1	5	60	180	Bond length
SBF1-B2		1	5	90	270	Bond length
SBF2-B1		2	5	60	180	layer
SBF2-B2		2	5	90	270	layer
SBW2-B1		1	10	60	180	Bond width
SBW2-B2		1	10	90	270	Bond width

2.4 재하 및 측정방법

탄소섬유판으로 휨보강한 철근콘크리트보의 휨 내력평가를 위한 하중재하는 3점 재하하였다. 시험체의 변위를 측정하기 위하여 중앙부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며, 상부 및 하부철근·배력철근의 지간 중앙에 변형률게이지를 2개씩 콘크리트를 타설하기 전에 설치하고, 시험체의 중앙 상·하부면에 콘크리트 게이지를 설치하여 변형률을 측정하였다.

3. 비선형 유한요소해석

탄소섬유판으로 보강된 보의 비선형 유한요소 해석을 범용 유한요소 해석 프로그램인 DIANA를 이용하여 해석을 수행하였다. 그림 2와 같이 콘크리트의 소성모델로는 압축부에 Drucker-Prager 모델에 Mander 등(1998)이 제안한 응력-변형률 곡선을 적용하였고, 인장균열모델로는 smeared crack 모델을 사용하였다. 철근은 von-mises yield criterion 항복 조건을 가지며 항복후의 변형 경화율은 초기 탄성 계수의 2%를 적용한 탄소성 bilinear 모델을 사용하였고, 콘크리트와 탄소섬유판의 계면은 직접전단 부착실험을 통하여 산출된 직각삼각형 본드-슬립 모델을 이용하여 해석에 적용하였다. 탄소섬유판은 완전탄성체로서 파괴시까지 선형증가한다고 가정하였다.

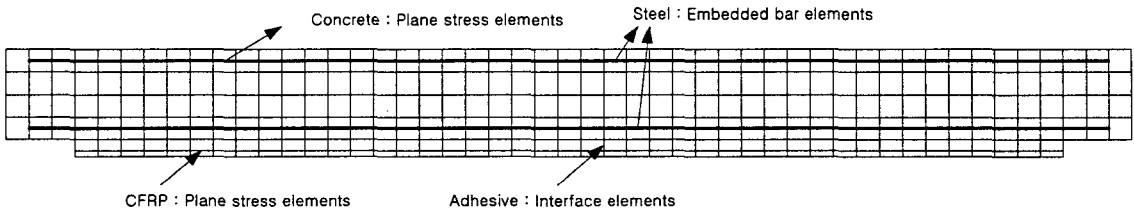


그림 2 Plane stress, embedded bar, and interface elements of the finite element mesh (B2)

4. 해석 및 실험결과 고찰

탄소섬유판으로 외부 부착 휨보강한 철근 콘크리트보의 휨 실험결과와 종합적인 양상은 표 4와 같다³⁾.

표 4 Results of tested beams

Beam	Yield load (kN)	Ultimate load (kN)	Mode of Failure
SBC	35.5	42.1	Flexural
SBF1-B1	49.5	64.2	Plate peel-off
SBF1-B2	49.6	60.5	Plate peel-off
SBF2-B1	-	55.7	Ripping-off
SBF2-B2	60.1	73.7	Plate peel-off
SBW2-B1	64.4	74.3	Ripping-off
SBW2-B2	63.2	92.9	Plate peel-off

4.1 보강량에 따른 비교

탄소섬유판을 지간길이의 60%, 90%로 부착한 시험체의 하중-처짐 곡선을 그림 3~4에 나타내었다. 탄소섬유판의 보강량의 증가에 따라서 휨강성과 항복하중은 증가하고, 동일한 부착길이를 갖는 실험체에서는 폭방향으로 보강량을 증가시키는 것이 탄소섬유판과 콘크리트의 부착면적을 증가시킴으로써 박리파괴를 지연시키는 휨 시험체의 거동특성을 적절하게 반영하고 있다.

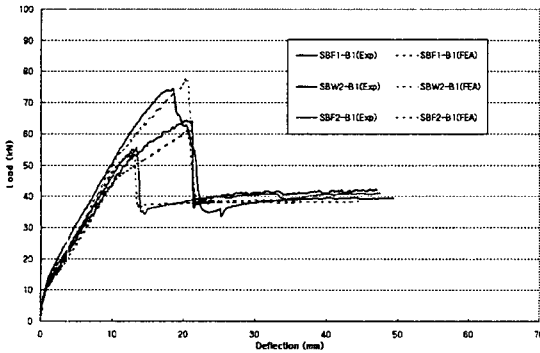


그림 3 Relation of load-deflection
(SBF1-B1, SBF2-B1, SBW2-B1)

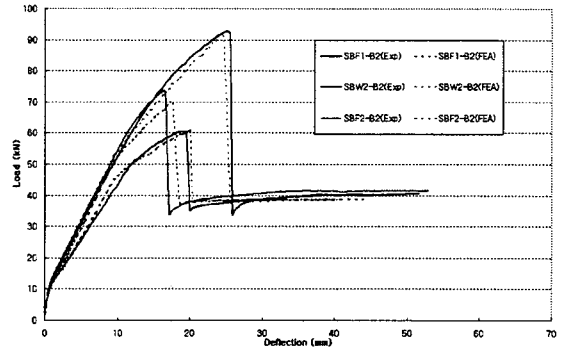


그림 4 Relation of load-deflection
(SBF1-B2, SBF2-B2, SBW2-B2)

5. 결 론

본 논문에서는 탄소섬유판으로 휨보강한 철근콘크리트 보의 휨실험 결과에 대한 비선형 유한요소해석 결과와의 비교·분석으로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 탄소섬유판으로 휨보강한 실험체는 동일한 보강량을 갖을 때 일정 부착길이 이상에서는 부착길이에 관계없이 초기박리하중은 일정한 것으로 나타났으며, 비선형유한요소해석에서 이를 비교적 정확히 예측하였다.
- 2) 탄소섬유판으로 보강한 실험체의 박리파괴 양상은 초기 박리현상이 발생된 이후 급작스런 박리가 발생되면서 매우 취성적인 파괴양상을 나타내는 것으로 나타났으며, 유한요소 해석결과에서도 이러한 거동특성이 비교적 정확히 예측됨으로 알 수 있었다.

참고문헌

1. 박중열, 황성일, 조홍동, 한상훈, "CFRP로 보강된 철근콘크리트 보의 거동 특성", 한국구조물진단학회, 제7권 제3호, pp. 125-131.
2. 양동석, 박선규, 이용학, "강연선 및 탄소섬유쉬트로 보강된 철근 콘크리트 보의 휨거동 특성", 한국 콘크리트학회 논문집, 제 14권 제 2호, pp. 216-222
3. 유영찬외, 외부프리스트레스트 탄소섬유판에 의한 구조물 보강공법 개발, 건설교통부연구개발사업, E01-01, 2004
4. Arduini, M., and Nanni, A. (1997), "Parametric Study of Beams with Externally Bonded FRP Reinforcement", ACI Structural Journal, Vol. 94, No. 4, pp.493-501
5. H. Yuan, J.G. Teng, R. Seracino, Z.S. Wu, J. Yao (2004), "Full-range behavior of FRP-to-concrete bonded joints" Engineering Structures, 26, pp.553-565