

# 비부착 방식으로 CFRP 판을 외부 긴장하여 보강한 R.C. 보의 보강성능 해석

## F.E. Analysis of R.C. Beams Strengthened by Prestressed CFRP Plate with Unbonded System

유 영 준\* 박 종 섭\*\* 정 우 태\* 박 영 환\*\*\* 강 재 윤\*  
You, Young Jun Park, Jong Sup Jung, Woo Tai Park, Young Hwan Kang Jae Yoon

### ABSTRACT

Strengthening by bonded CFRP sheet/plate onto the surface has been generally used for the R.C. beams. The strengthening efficiency of this system depends on the performance of the adhesive interface between the beam and the CFRP, and the interface often causes unexpected failure. In this paper, an unbonding system is proposed with prestressed CFRP. Finite element analysis has been conducted using DIANA for the R.C. beams strengthened by prestressing the unbonded CFRP plate. The results of analysis were compared with those of experiment.

#### 1. 서론

성능이 저하된 철근 콘크리트(이하 R.C.) 교량을 보강하기 위해 많은 종류의 공법이 사용되고 있는데 최근 재료적인 내부식성과 시공성 등이 우수한 Fiber Reinforced Plastics(섬유복합체, 이하 FRP) 쉬트나 판을 사용한 보강공법이 많이 적용되고 있다.

이러한 보강공법은 FRP 쉬트나 플레이트를 에폭시 등을 사용하여 주형 하면에 부착함으로써 하중을 분담하도록 하는 시스템이다. 따라서 FRP로의 하중 분담은 접착계면을 통하여 이루어지게 되고, 접착계면의 시공 품질 및 성능이 보강성능을 좌우하게 된다.

그러나 이 계면에서 거동 특성에 따라 부착파괴나 저장도에서 FRP의 파단 등 예기치 못한 조기파괴가 발생하여 FRP가 지닌 성능이 미처 발현되기 전에 파괴에 도달하는 양상을 나타낸다.

이러한 문제점을 개선하고자 그림 1과 같이 FRP 쉬트나 플레이트를 부착하지 않는 비부착(unbond)

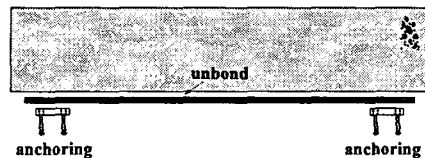


그림 1 비부착 보강 시스템

\*정회원, 한국건설기술연구원 연구원

\*\*정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

\*\*\*정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

방식이 제안되었고 이에 대한 실험이 수행되었다(한국건설기술연구원, 2002, 2004).

본 연구에서는 유한요소 해석을 통하여 상기 방법으로 보강된 R.C. 보의 파괴거동을 검토하고자 범용 유한요소 프로그램인 DIANA를 이용하여 비선형 해석을 수행하였으며, 그 결과를 실험결과와 비교하였다.

## 2. 실험체 제원

실험체는 총길이 3.4m, 지간길이 3m로서, 폭 200mm, 높이 300mm인 단면을 가진 직사각형 보이고, 하중은 4점 재하를 실시하였다. 각 재료의 물성값은 표 1, 표 2와 같으며 CFRP 판으로 보강하는 실험체의 경우 표 3과 같이 미리 프리스트레스(이하 PS)을 도입하였다.

표 1 콘크리트 및 철근의 물성

	항목	물성값
콘크리트	압축강도 [MPa]	28.3
	인장철근	
(3 HD10)	항복강도 [MPa]	426
	인장강도 [MPa]	562
압축철근	항복강도 [MPa]	481
	(3 HD13)	인장강도 [MPa]

표 2 탄소판의 물성

항목	물성값
탄성계수 [GPa]	167
인장강도 [MPa]	2,482.5
파단 변형률 [%]	1.48
폭 [mm]	50
두께 [mm]	1.4

## 3. 유한요소 모델링

대상 보는 대칭 구조물이므로 반만 모델링하였고, 콘크리트는 4절점 평면 응력 요소, 철근은 콘크리트 속에 매립되는 REBAR 요소를 사용하였다.

콘크리트 압축부는 Mohr-Coulomb의

항복 기준을 적용 하였으며 그림2와 같은 거동을 하는 것으로 고려하였으며, 균열은 smeared crack model로 고려하여 linear tension cut-off를 적용하고 Moelands et al.(DIANA, 2002)의 인장연화 곡선을 따르도록 하였다. 이때 파괴 에너지는 0.062 N/mm, 전단 감소계수는 0.2로 고려하였다.

철근은 항복 후에 0.2% $E_s$ 의 기울기를 가지고 인장·압축 거동하도록 bi-linear 곡선으로 모델링하였고, CFRP 판은 truss 요소로 선형 거동 후 취성 파괴가 발생하도록 입력하였다(그림 2).

표 3 실험체별 도입 긴장력

실험체명	긴장량 [ $\mu$ ]	긴장응력 [MPa]	긴장력 [kN]	FRP 극한강도 대비 비율[%]
PL-NF-N-0	114	1.91	0.13	0.1
PL-NF-N-50	5,270	881.67	61.72	35.5
PL-NF-N-70	7,600	1,271.48	89.00	51.2

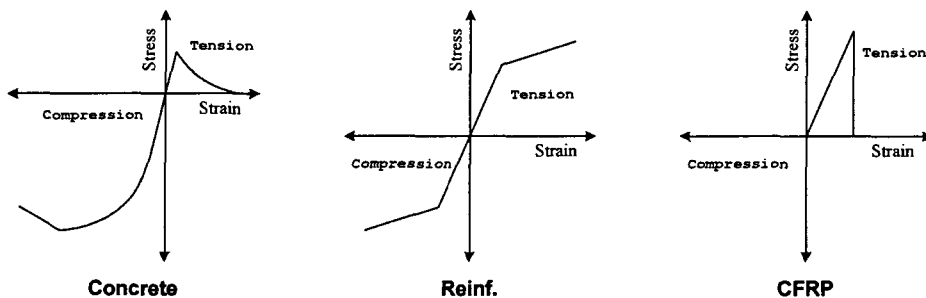


그림 2 재료의 비선형 거동

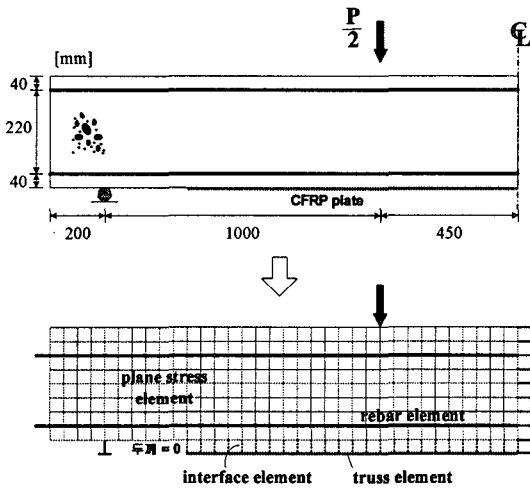


그림 3 F.E. Modeling

CFRP 판은 보 하면에 접착되어 있지 않기 때문에 이것을 모델링하기 위하여 계면요소(interface)를 사용하였다.

비재하 상태에서 CFRP 판은 보의 면에서 떨어져 있고 하중이 가해지면서 보의 하면이 CFRP 판을 누르게 된다. CFRP 판에 PS가 도입되지 않은 경우에는 판은 비부착 상태로 보와 접하고 있기 때문에 이러한 효과를 무시할 수 있지만, CFRP 판에 PS가 도입된 경우에는 이에 의해 보에 솟음이 발생하게 된다. 따라서 이러한 상태를 묘사하기 위해서는 처음 상태에서는 떨어져 있다가 재하에 의해 두 개의 요소가 서로 닿게 되는 상태를 묘사할 수 있는 요소를 사용해야 한다. 그러나 PS에 의한 보의 솟음이 0.93, 1.34 mm로 작은 양이므로 계산의 편의를 위해 본 해석에서는 CFRP 판과 보의 하면 사이에는 계면요소를 이용하여 모델링 하는 것으로 하였다.

정착구는 그림 5와 같이 콘크리트 요소 중 정착구에 해당하는 부분에 강제 재료값을 입력하였고 CFRP 판과는 강결로 고려하였다.

#### 4. 유한요소 해석 결과

해석결과 기준 보에 대해서는 실험값과 거의 일치하였고, CFRP 판으로 보강된 보에 대한 하중-변위 곡선은 다소 크게 나왔으나 그 거동이 실험의 하중-변위 곡선과 거의 유사하다.

표 4 실험결과와 해석결과의 비교

	Yield Load (kN)			Max. Load (kN)		
	Experiment	Analysis	Anl./Exp.	Experiment	Analysis	Anl./Exp.
CONTROL	42.9	38.5	0.90	51.8	53.6	1.03
PL-NF-N-0	61.0	63.2	1.04	113.8	141.9	1.25
PL-NF-N-50	91.1	92.0	1.01	123.0	148.2	1.20
PL-NF-N-70	105.7	102.4	0.97	N.A.	148.1	-

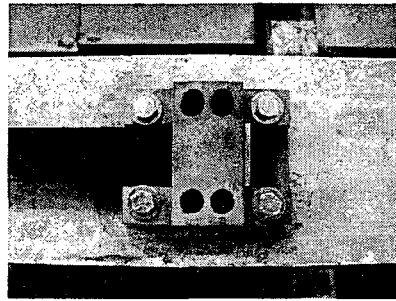


그림 4 정착구 형상

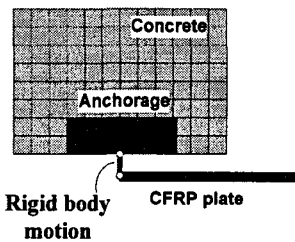


그림 5 Anchorage modeling

모든 보에서 인장철근의 항복하중은 실험값과 거의 일치하고 있으나 보강된 보에 대해서 최대하중이 실험값보다 다소 높은 결과를 나타내었다.

최대하중의 차이는 유한요소 모델과 보의 실제 거동 사이의 차이점에 기인한 것으로 볼트로 체결된 정착구의 상·하판이 변형을 일으키므로 CFRP 판이 슬립을 일으키거나, 보 하면에 흠을 파서 에폭시와 앵커로 체결한 정착구를 콘크리트와 전면이 강결된 상태로 모델링했기 때문인 것으로 판단된다.

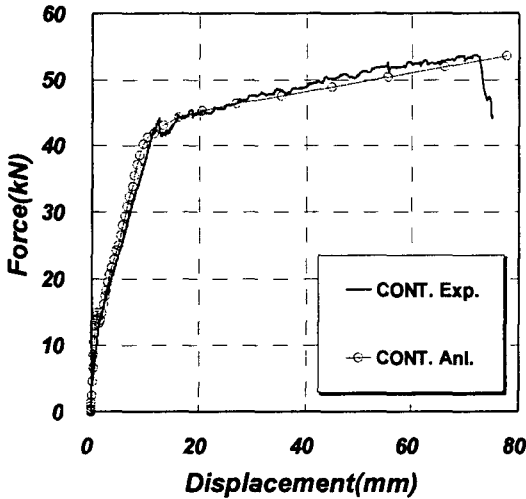


그림 6 Load-Displacement (Control)

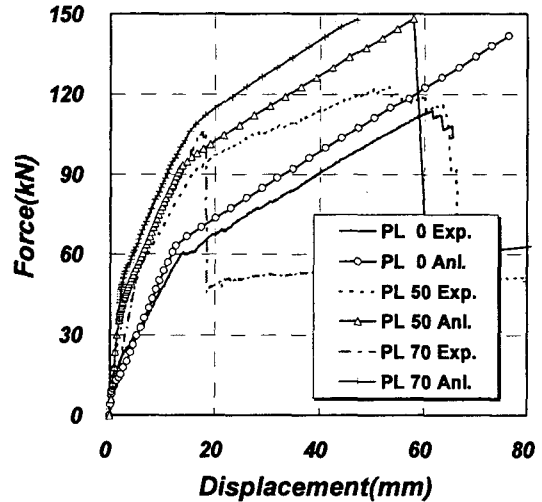


그림 7 Load-Displacement (Strengthened)

PL-NF-N-70의 경우에는 실험시 인장철근의 항복점이라고 추정되는 시점에서 정착용 썸기와 CFRP 판 사이의 탭이 빠지면서 실험이 중단되어 최대하중을 측정할 수 없었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 프리스트레스트 GFRP 판을 비부착 방식으로 적용하여 보강된 R.C. 보의 보강성능을 예측하기 위하여 유한요소 해석을 실시하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

- 1) CFRP 판으로 보강된 보에 대한 유한요소 해석결과는 인장철근의 항복까지는 실험값과 거의 유사한 값을 나타내었으나 최대하중은 최고 25%까지 오차가 발생했다.
- 2) 높은 하중단계에서 정착구의 변형에 의한 CFRP 판의 슬립이나 정착 시스템의 파괴 등으로 인해 해석 값보다 낮은 하중에서 파괴를 일으키는 것으로 판단된다.
- 3) 비선형 유한요소 해석을 통하여 프리스트레스트 CFRP 판을 비부착 방식으로 보강한 R.C. 보의 보강성능 및 파괴거동을 유사하게 예측할 수 있다.

## 참고문헌

- 1) 한국건설기술연구원, 노후 교량의 성능향상 기술 개발, 2002.
- 2) 한국건설기술연구원, 노후 교량의 성능향상 기술 개발, 2004.
- 3) DIANA, User's Manual, 2002