

탄소판으로 외부 긴장된 철근콘크리트보의 휨거동에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Flexural Behavior of RC Beams Strengthened with Externally Prestressed CFRP Plate

박 종 섭* 박 영 환** 유 영 준*** 정 우 태***
Park, Jong Sup Park, Young Hwan You, Young Jun Jung, Woo Tae

ABSTRACT

Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP) composites are widely applied to strengthen deteriorated concrete structures. This paper presents the experimental results of the performance of reinforced concrete(RC) beams strengthened with externally prestressed CFRP plates. Simple beams with 3 m span length were tested to investigate the effect of prestressing force of CFRP plates on the flexural behavior of externally strengthened RC beams.

1. 서론

노후화된 철근콘크리트 구조물에 대한 보강기술은 다양하게 개발되어 적용되고 있으며, 최근에는 섬유복합재료(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)를 보강재로 이용하는 사례가 급증하고 있다. FRP에 의한 RC구조물의 보강은 대부분 접착용 에폭시에 의해 기존 콘크리트 표면에 FRP를 부착하는 방법으로 이루어지고 있으며, 부착과피 등과 같은 조기과피에 의해 보강 성능을 제대로 발휘하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제는 FRP 복합재료 단부를 기계적 정착장치로 정착하는 것에 의해 개선이 가능하다. 그러나, FRP 복합재료가 부착된 상태에서 단부를 정착하는 경우에는 중간부 부착과피시에 발생하는 이완 변형에너지에 의한 충격에 의해 복합재료의 성능을 충분히 발휘하지 못한 상태에서 파단될 위험이 있으므로, 효과적인 보강성능을 확보하기 위해서 기계적 정착장치에 의한 확실한 단부 정착과 함께 FRP 복합재료를 비부착으로 시공하는 것이 유리하다는 사실이 실험을 통해 검증되었다¹⁾. 그러나 정착-비부착 공법에 의해 보강된 보는 FRP 복합재료가 보부재와 일체 거동하지 않기 때문에 부착공법에 의해 보강된 보에 비해 강성이 낮아지게 된다.

본 연구에서는 이러한 정착-비부착공법의 초기 강성 저하에 따른 사용성의 문제점을 개선코자 기계적 정착장치에 의해 정착된 FRP 복합재료를 인장하여 보강된 보에 프리스트레스를 도입하는 공법에 대한 성능 실험을 수행하였으며, 프리스트레스에 의해 정착-비부착공법의 초기 강성 저하 문제점이 개선될 수 있는가에 대한 검토를 수행하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

2. 실험계획 및 실험방법

2.1. 보강실험체 제작

본 연구에서는 탄소판 외부긴장 보강공법으로 보강된 보의 휨보강 성능을 파악하기 위하여 그림 1과 같이 폭 대 높이비가 1:1.5인 단면과 단면높이 대 지간길이의 비가 1:10인 철근콘크리트 보를 제작하였다.

본 실험체의 실험목적은 휨보강 성능을 검증하는데 있으므로 휨파괴에 앞서 전단파괴가 발생하는 것을 방지하기 위하여 실험체에는 계수전단력의 2배가 넘는 전단강도를 발휘할 수 있도록 D10의 스테럽을 10cm 간격으로 배치하였다. 인장철근은 실험변수에 따라 각각 D10, D13, D16 철근을 세 가닥씩 배치하였으며, 압축철근은 D13 철근 3개를 배치하였다.

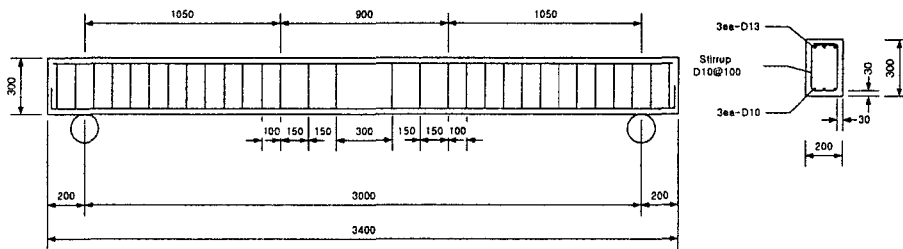


그림 1 시험체 제원(단위 : mm)

실험체 제작에는 설계강도가 270kgf/cm^2 인 콘크리트를 사용하였으며, 인장철근과 압축철근은 항복강도 $4,000\text{kgf/cm}^2$ 인 SD 40 제품을 사용하였다. 보강재로는 설계인장강도가 $28,571\text{kgf/cm}^2$ 이고 탄성계수가 $1.6 \times 10^6\text{kgf/cm}^2$ 인 탄소판을 사용하였다.

외부긴장을 위해 보의 각 지점부에는 그림 2, 3에서와 같이 기계적 정착구와 마찰지지 방식의 정착장치를 설치하였으며, 특수 제작된 단부 인장용 장치와 유압잭을 이용하여 프리스트레스를 도입하였다.

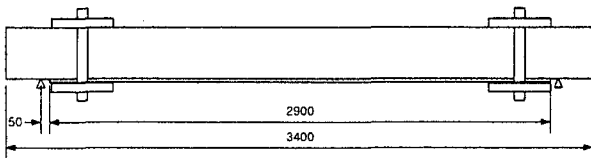


그림 2 보강실험체 형상(단위:mm)

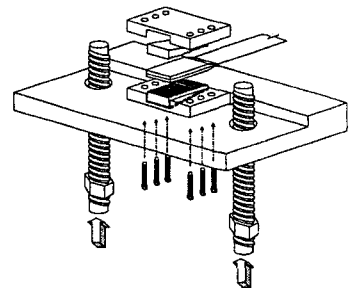


그림 3 정착 상세

2.2. 실험변수 및 재하방법

본 연구에서는 정착-비부착 공법 적용시에 프리스트레스를 도입하는 공법에 대한 성능 검증을 위하여 긴장력이 0인 PL1D10_WEA와 각각 탄소판 파단 강도의 15%, 30%를 인장한 PL1D10_3000, PL1D10_5000에 대해 재하실험을 수행하였다. 또한 전통적인 부착방식에 의해 보강된 보와의 비교를 위하여 부착공법으로 보강된 PL1D10 및 무보강 실험체인 CONTROL 실험체를 기준 시험체로 결정하였다. 실험에 사용된 실험체명 및 실험변수에 대한 설명은 표 1과 같다.

인장작업 완료 후 측정된 프리스트레스 힘은 PL1D10_3000, PL1D10_5000에서 각각 2.3tonf, 4.9tonf로 측정되어 정착구의 슬립에 의한 손실이 0.3tonf 발생한 것으로 나타났다. 또한 각 실험체의 초기 솟음은 각각 0.3mm, 0.6mm로 측정되어 긴장력에 따라 솟음량도 선형으로 증가하는 것으로 나타났다.

실험체에 대한 재하는 4점 재하방법을 선택하였으며, 25tonf 용량의 Actuator를 사용하여 재하하였다. 하중은 초기 2.0tonf까지는 하중제어로 초당 0.02tonf의 속도로 재하하였으며, 이 후에는 변위제어로 제어방법을 변경하여 초기 15mm 변위발생시까지 초당 0.02mm의 속도로 재하하고, 15mm 이상의 변위가 발생한 시점부터 파괴시까지 초당 0.05mm의 속도로 재하하였다. 각종 실험데이터의 측정은 적정데이터 로거 및 컴퓨터를 이용하였으며, 매 3초 간격으로 측정을 실시하였다.

표 1 실험체명 및 실험변수

실험체명	실험변수 해설
CONTROL	무보강 기준시험체
PL1D10	Plate 보강, 부착, 긴장력 0 tonf
PL1D10_WEA	Plate 보강, 정착구 정착, 긴장력 0 tonf
PL1D10_3000	Plate 보강, 정착구 정착, 긴장력 2.6 tonf
PL1D10_5000	Plate 보강, 정착구 정착, 긴장력 5.2 tonf

3. 실험결과 및 분석

3.1. 인장철근 항복전

긴장력이 도입된 보강실험체에 대한 인장철근 항복시까지의 하중-변위 곡선은 그림 4에 나타내었다. 그림 4에서 C는 보에 균열이 발생한 위치이며, Y는 인장철근이 항복한 위치를 의미한다.

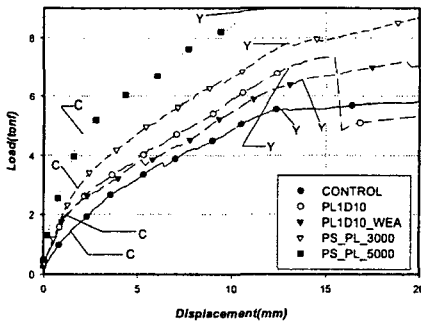


그림 4 항복전 하중-변위 곡선

표 2 보강실험체의 균열하중 비교

실험체명	균열하중 (이론값)tonf	균열하중 (실험값)tonf	이론값/ 실험값	보강/ 무보강 (균열하중비)
CONTROL	1.60	1.63	0.98	1.00
PL1D10	1.65	2.07	0.80	1.27
PL1D10_WEA	1.65	2.15	0.77	1.32
PL1D10_3000	2.50	3.30	0.76	2.02
PL1D10_5000	3.50	5.30	0.66	3.25

그림 4에 나타난 바와 같이 긴장력이 도입된 보강실험체는 긴장력의 크기에 따라 균열하중도 증가하는 경향을 나타내고 있다. 또한, 항복하중의 경우에는 단순 부착된 보강실험체와 단순 정착 실험체보다 증가하는 것으로 나타나 사용하중 수준에서의 보강성능은 긴장력이 도입되지 않은 실험체에 비해 우수한 것을 알 수 있다. 표 2에는 이론에 의해 추정된 균열하중과 실험에 의해 관측된 균열하중을 나타내었으며, 무보강 기준보에 대한 각 보강실험체의 균열하중비를 나타내었다. 프리스트레스가 도입된 보강실험체는 긴장량에 따라 각각 무보강보의 2.02배, 3.25배로 균열하중이 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 균열하중 전까지 초기 선형 강성을 유지하므로 비부착 공법의 문제점이었던 강성의 저하로 인한 사용하중하에서의 과도한 변위 발생도 프리스트레스 도입을 통해 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2. 극한 상태에서의 보강효과

보강 실험체의 하중-변위 곡선은 그림 5와 같으며, 표 3에는 무보강 실험체에 대한 보강효과비를 나타내었다.

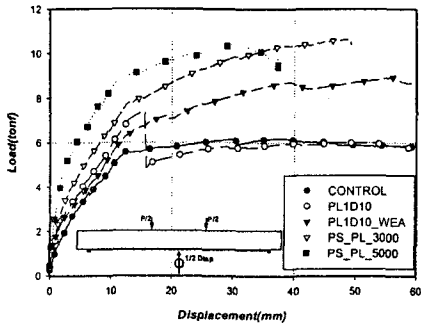


그림 5 하중-변위 곡선

표 3 보강실험체의 항복하중, 최대하중 및 보강효과비

실험체명	P_y (tonf)	P_{max} (tonf)	$P_y / P_{yCONTROL}$	$P_{max} / P_{maxCONTROL}$
CONTROL	4.31	6.18	1.00	1.00
PL1D10	5.84	7.36	1.35	1.19
PL1D10_WEA	4.80	8.92	1.11	1.44
PL1D10_3000	7.74	10.62	1.80	1.72
PL1D10_5000	8.97	10.46	2.08	1.69

표 3에서 긴장력이 도입된 보강실험체의 항복하중을 살펴보면 긴장력에 따라 각각 무보강 시험체의 1.8배, 2.08배로 나타나 균열하중의 증가량보다 다소 낮아진 것으로 나타나 있다. 최대하중의 경우에는 긴장력의 크기와 상관없이 대략 70%의 보강효과를 나타내는 것으로 나타났다. 이는 긴장력이 도입된 보강보의 경우에는 이미 압축측 콘크리트의 파괴에 의해 파괴모드가 지배받기 때문인 것으로 판단된다. 한편, 긴장력이 도입된 실험체는 긴장력이 증가할수록 연성은 감소하는 경향을 나타내었다.

4. 결론

본 연구는 탄소판으로 외부 긴장된 철근콘크리트보의 휨거동 및 보강효과를 고찰하기 위한 실험으로 부착 및 정착방법, 긴장력의 크기를 변수로 하는 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) FRP 복합재료를 이용한 프리스트레스 도입 공법은 기존의 부착방법에 의한 공법에 비해 최대 내력이나 강성 측면에서 모두 우수한 효과를 발현함을 알 수 있다. 단순부착에 비해 정착된 보는 최대 하중이 21% 증가하는 것으로 나타났으며, 긴장력이 도입된 보의 최대하중은 약 43%가 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 외부긴장된 보는 비부착공법의 문제점이라고 할 수 있는 강성 저하에 의한 과다 변위발생을 억제하는 데에도 효과적인 것으로 나타났다.

본 연구는 탄소판의 외부긴장을 통한 보강공법의 적용가능성을 검토한 실험으로, 향후 보다 많은 매개변수에 대한 분석을 통해 탄소판 외부긴장 보강공법의 설계 가이드라인이 제시될 필요가 있다. 특히, 외부에 정착된 FRP 복합재료를 인장하여 보에 긴장력을 도입하는 방법으로 철근콘크리트 보를 보강하고자 하는 경우에는 탄소판 정착상세와 도입 긴장력의 크기 및 연성확보 방안 등에 대한 추가 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 노후 교량의 성능향상 기술 개발, 2003.
2. 한국건설기술연구원, 콘크리트 교량의 보수보강재료 품질기준 및 공법평가기준개발, 2003.
3. ACI committee 440, "Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures," American Concrete Institute, 2002.
4. CEB-FIB, "Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures," technical report, 2001.