

FRP 보강재의 Box 형상 설계 및 거동 평가에 관한 연구

A Study on the Behavior Evaluation & Box Shape Designs of FRP Stiffeners

정 우 영* 송 영 진**
Jung, Woo Young Song, Young Jin

ABSTRACT

This paper presents the design, fabrication and performance of a reinforced concrete beam strengthened by GFRP box plate and its possibility for structural rehabilitations. The load capacity, ductility and failure mode of reinforced concrete structures strengthened by FRP box plate were investigated and compared with traditional FRP plate strengthening method. This is intended to assess the feasibility of using FRP box plate for repair and strengthening of damaged RC beams. A series of four-point bending tests were conducted on RC beams with or without strengthening FRP systems the influence of concrete cover thickness on the performance of overall stiffness of the structure. The parameters obtained by the experimental studies were the stiffness, strength, crack width and pattern, failure mode, respectively. The test yielded complete load-deflection curves from which the increase in load capacity and the failure mode was evaluated.

요 약

본 연구에서는 철근콘크리트 구조물의 보강에 이용되는 유리섬유강화 복합재료(Glass Fiber Reinforced Polymer, GFRP) 형상에 관한 연구로서 콘크리트의 피복두께 및 FRP 보강재의 형상(Plate, Box)을 실험 변수로 하여 FRP 보강 철근콘크리트 보의 거동 평가 관한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 T. J. Teng 등이 제안한 설계식을 이용하여 보강량을 결정하였고 기존의 FRP Plate 보강재의 성능개선을 위하여 FRP Sandwich box 보강재를 설계, 적용하여 보았다. 연구의 결과 예상과 달리 FRP Plate 보강재가 Sandwich box 보강재보다 보강효과가 우수한 것으로 조사되었으며, 이는 보강재 제작상의 한계점 및 core 재료가 너무 약하여 Sandwich box 보강재의 Top Plate와 Bottom Plate가 일체화 거동을 하지 못하여 나타난 결과로 사료된다.

* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 강릉대학교 토목공학과 석사

1. 서 론

노후화된 철근 콘크리트의 보수·보강의 방법에는 여러 가지가 있으나 근래에 들어와서는 FRP를 이용한 보수·보강 방법이 주를 이루고 있다. FRP 보수·보강에서 고려하여야 할 사항은 FRP의 종류, 콘크리트와의 부착방법, FRP의 형상, 보수·보강 방법, 피복두께 등 여러 가지가 있으나, 본 연구에서는 피복두께 및 FRP 형상을 변수로 선정하여 실험을 실시하였다. 콘크리트의 설계강도 240kgf/cm²의 압축강도를 가지는 배합을 이용하여 철근콘크리트 보를 제작하였으며 피복두께의 변수를 고려하기 위하여 철근 피복두께가 30mm와 50mm가 되도록 제작하였다. FRP의 설계는 J. G. Teng등이 제안한 콘크리트 보의 휨 보강에 관한 식을 이용하여 FRP 보강시편을 제작하였으며, FRP 형상에 따른 변수를 고려하기 위하여 Plate와 Box형의 시편을 각각 제작하여 실험을 실시하였다.

2. 실험

2.1 실험 계획

4개의 철근콘크리트 보를 제작하였으며, 모든 시험체는 동일한 배근상황을 가지는 복철근 직사각형 보로 제작하였다. 시험체의 단면은 200mm(폭)×300mm(높이) 시험체 3개와 200mm(폭)×280mm(높이) 시험체 1개이며, 지점간 거리 1920mm로 하고, 전체 길이는 2200mm로 하였다. 피복두께의 경우 50mm로 하였으며, 피복두께 감소 시험체의 보강 단면의 경우에는 피복두께를 30mm로 하였다. 철근은 하부에 2-D13 상부에 2-D10으로 배근하였다. 전단철근은 중앙부 350mm를 제외한 구간에 D10@150 간격으로 배근하였다.

표 1. 시험체 종류

No	시험체명	보강재 종류	보강 길이 (mm)	피복두께 (mm)	비고
1	N	-	-	50	무보강
2	50FP	Plate	1860	50	콘크리트 강도 27.2MPa
3	30FP			30	
4	SB	Box		50	

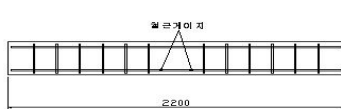


그림 1. 기준 시험체 (N)

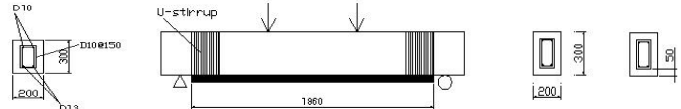


그림 2. FRP Plate 시험체 (50FP)

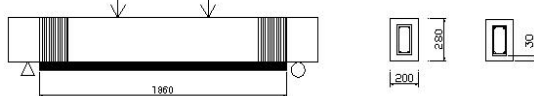


그림 3. FRP Plate 시험체 (30FP)

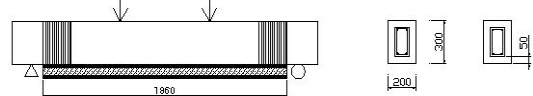


그림 4. FRP Box 시험체 (SB)

2.2 실험 방법

실험은 1000KN 대형구조시험기를 사용하여 단순지지 조건하에 대칭으로 3등분점으로 가력 하여 수행하였으며, 각 시험체의 하중상태에 따른 처짐은 시험체의 중앙부에 변위계를 설치하여 처짐을 측정하였으며, 주철근의 휨 변형 상태를 알아보기 위해 철근에 게이지(FLA-5-11-1L)를 부착하였다. 또한 콘크리트 표면 압축부 위치에 콘크리트 게이지(PL-60-11-1L)을 부착하여 변형률을 측정하였다. 하중 재하에 따른 변위 및 변형률에 관련된 데이터는 DATA LOGGER (TDS-303)로 저장하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 하중-처짐 관계 비교

N 시험체의 경우 하중-처짐의 관계가 일반적으로 철근콘크리트 보의 거동을 보이고 있다. 50FP와 30FP의 경우 보강효과에는 큰 차이가 있으나 거의 유사한 형태의 하중-처짐의 관계를 보여주고 있다. N 시험체에 대한 각 시험체별 보강 효과는 50FP의 경우 79%정도로 가장 우수한 보강효과를 보였으며, 피복두께가 20mm 감소한 30FP의 경우에는 42%정도의 보강효과를 보여주고 있으며, SB 시험체의 경우 철근콘크리트의 전단파괴 전까지의 보강효과는 38%정도를 보여주고 있다. 처짐량을 비교하였을 경우 50FP 실험체의 경우 27%의 처짐량이 감소하였고, SB 실험체의 경우에는 16%의 처짐량이 감소하였다. 하지만 30FP 실험체의 경우 처짐량은 N 실험체와 별다른 차이점은 없으며, 이는 50FP 실험체와 비교하였을 경우 피복두께의 감소로 인한 전체 단면적이 감소하여 처짐량에 영향을 준 것으로 판단된다. 각 시험체별 실험결과 및 파괴모드는 표 2 및 그림 5에 나타내었다.

표 2. 실험결과

시험체명	항복처짐 (mm)	극한처짐 (mm)	항복하중 (kN)	극한하중 (kN)	보강효과*	처짐량비**	파괴모드
N	3.99	20.32	66.92	100.38	1.00	1	휨 파괴
50FP	5.08	21.40	116.52	179.99	1.79	0.73	휨+중앙부 계면 박리파괴
30FP	5.07	21.90	83.90	142.42	1.42	1.01	휨+중앙부 계면 박리파괴
SB	4.28	11.04	85.47	138.92	1.38	0.84	휨 전단 균열의 확대에 따른 박리파괴

* : 보강효과는 각 시험체의 극한하중/ N 시험체의 극한하중

** : N 시험체의 항복 시의 처짐량에 대한 각 시험체 동등한 하중을 작용하였을 때의 처짐량을 비교한 값

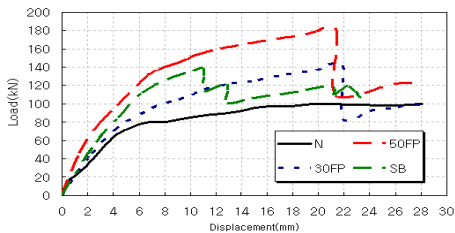


그림 5. 시험체별 하중-처짐 관계의 비교

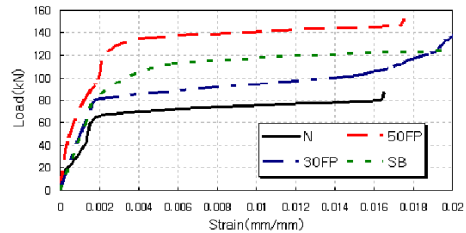


그림 6. 시험체별 하중-변형률 관계의 비교

각 시험체별 하중-변형률의 관계를 그림 6에 나타내었으며, FRP 보강재의 보강으로 인하여 철근의 항복 하중도 증가함을 알 수 있었으며 철근이 항복에 도달하는 처짐도 FRP 보강재의 보강으로 인하여 증가함을 알 수 있었으며, 50FP 시험체의 경우 철근의 항복 하중이 84% 증가하였고, SB 시험체의 경우 27% 증가하였으며, 30FP의 경우 21%정도 증가하였다. 이는 FRP 보강재가 철근콘크리트 보와 일체거동을 하여 철근의 항복 역제에 기여하였기 때문으로 사료된다. FRP 보강재로 인한 강성 증가는 50FP 시험체의 경우 약 47% 정도의 강성 증가를 보였으며, 30FP 시험체의 경우 약 26% 정도의 강성 증가를 보였고, SB 시험체의 경우 약 12% 정도의 강성 증가를 보여주고 있다. 이는 FRP 보강재의 보강성능이 우수하다는 것을 보여주고 있으며, 특히 50FP 시험체의 경우 약 1.5배 정도 강성이 증가한 것을 알 수 있다.

3.2 균열 및 파괴형태

균열 형태를 그림 7~그림 11에 나타내었다. N 시험체의 경우 전형적인 휨 파괴가 발생하였으며, 50FP와 30FP 시험체의 경우 N 시험체와 유사하게 균열이 발생하였으며, SB 시험체의 경우 초기 휨 균열이 진행하다 하중 재하 좌측부에서 전단 균열이 발생, 확대되어 보강재와 콘크리트 계면에 박리파괴가 발생하였다.

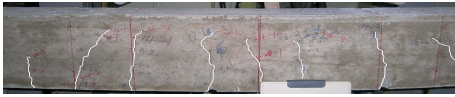


그림 7. N 시험체 균열 발생 모습



그림 8. 50FP 시험체 균열 발생 모습



그림 9. 30FP 시험체 균열 발생 모습

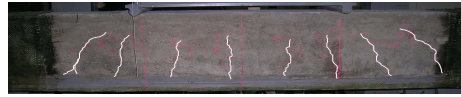


그림 10. SB 시험체 균열 발생 모습

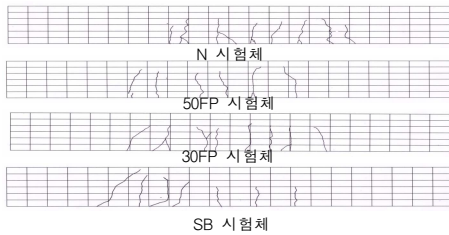


그림 11. 각 시험체별 균열패턴

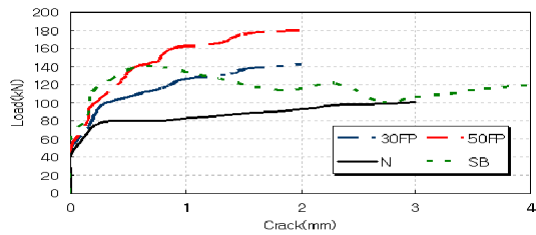


그림 12. 각 시험체별 하중-최대 균열 관계 비교

각 시험체별 하중-최대 균열을 그림 12에 나타내었으며, 최대 균열의 경우 N 시험체는 3mm 정도까지 진행되었으며, 50FP와 30FP 시험체의 경우 최대 균열이 2mm 정도 진행되어 보강재가 균열 제어에도 효과적인 것으로 사료된다. 하지만 SB 시험체의 경우 최대 균열이 4mm로 오히려 증가하였으며, 이는 전단파괴 이후 응력집중 현상으로 인하여 전단 균열이 확대되어 나타난 결과로 판단된다.

4 결 론

FRP 보강 시 FRP 보강재의 형상과 피복두께의 변화에 따른 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) 피복두께의 감소는 콘크리트의 보의 거동에는 별다른 영향을 주지 않으며, 설계변수로 부적합한 것으로 사료된다.
- 2) FRP 보강재의 형상에 따라서는 Box 형태보다 Plate 형태의 보강재가 보강성능이 우수한 결과를 보여주었으며, 이는 FRP Box 보강재 제작상의 한계점 및 core 재료가 너무 약하여 FRP box 보강재의 Top Plate와 Bottom Plate가 일체화 거동을 하지 못하여 나타난 결과로 사료된다.
- 3) 파괴 패턴은 휨에 의한 균열로 인해서 보가 파괴됨을 관측하였으며, 균열은 보의 중앙 가력점 사이에서 주로 발생하였다. 50FP와 30FP 시험체의 경우 휨 균열 + 박리파괴가 발생하였다. 하지만 SB 시험체의 경우 초기 휨 균열 발생 후 급격한 전단 균열의 발생으로 인한 휨 전단 균열 확대에 의한 박리파괴가 발생하였다.

결론적으로 FRP로 철근콘크리트 구조물을 보강할 경우 기존의 연구결과들에서 보듯이 상당한 내력 증진효과를 기대할 수 있을 것으로 사료되며, 향후 FRP Box의 core 두께 변화에 따른 거동 평가에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

참 고 문 헌

1. 심종성, 김규선, 이석무, 김경민, "GFRP로 보강된 RC보의 휨특성에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 1998, pp. 559-565.
2. 유승운, 배한욱, "연구 거푸집 및 인장 보강재로 활용한 FRP 판과 타설 콘크리트 사이의 부착 및 슬립에 관한 실험적 연구", 대한토목학회논문집, 제27권 1A호, 2007. 1, pp. 69-77.
3. J. G. Teng, J. F. Chen, S. T. Smith, L. Lam, "FRP Strengthened RC Structures", 2002.