

GFRP 보강근의 이음성능

Lap Splice Length of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Reinforcing Bar

이 창 호* 최 동 옥* 송 기 모** 박 영 환*** 유 영 찬***
Lee, Chang-Ho Choi, Dong-Uk Song, Ki-Mo Park, Young-Hwan You, Young-Chan

ABSTRACT

The lap splice lengths of deformed steel reinforcing bars and GFRP bars were experimentally compared using beam specimens. The purpose was to evaluate the length required of the GFRP bar to develop strength at least equivalent to the conventional steel reinforcing bar. The main test variable was the lap splice length: 10, 20, 30 d_b for the deformed steel bars and 20, 30, 40 d_b for the GFRP bars. Two different types of GFRP bars were tested: (1) one with spiral-type deformation and (2) plain round bars. Elastic modulus was about 1/5 of the steel bars while the tensile strength was about 690 MPa for the GFRP bars. Nominal diameter of the GFRP bars and steel bars was 12.7 and 13 mm, respectively. Normal strength concrete (28-day $f_{cu} = 30$ MPa) was used. For the conventional steel bars (SD400 grade), strength over 400 MPa in tension was developed using the lap splice length of 20 and 30 d_b . Only 87 % of the nominal yield strength was reached with the lap splice length of 10 d_b . For the spiral-type deformed GFRP bars with 40- d_b lap splice length, 440 MPa in tension was determined. The maximum tensile strength developed of the GFRP bars with smaller lap splice lengths decreased. The plain GFRP bar was not effective in developing the tensile strength even with 40- d_b lap splice length. Development of the cracks on beam surface was clearly visible for the beams reinforced with the GFRP bars. Mid-span deflections, however, were significantly smaller than the comparable beams with conventional steel bars indicating potential ductility problem.

1. 서론

해수 등에 인접한 철근콘크리트구조물, 기타 온습도 조건 및 염해로 인한 콘크리트의 알칼리성 손실에 의한 철근 부식의 문제가 있는 경우, 이형철근에 대신하여 Fiber Reinforced Polymer Reinforcing Bar(FRP bar)가 사용될 수 있다. 본고에서는 FRP bar 중에서 상대적으로 경제성이 우수한 유리섬유(Glass Fiber)로 보강된 GFRP bar의 정착 성능을 보 이음 시험체를 사용하여 실험적으로 고찰하였다.

* 정회원, 국립 환경대학교 건축학부 교수

** 정회원, 국립 환경대학교 건축학부 대학원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

2. 사용 재료의 성질

시험체 제작에 사용된 콘크리트, 이형철근, GFRP 보강근(나선형, 원형)의 재료실험 결과가 표 1에 나타나 있다.

표 1. 보 시험체 재료의 실험결과

Material	Diameter (mm)	Elastic Modulus (GPa)	Compressive/Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Rupture Strain (%)
Concrete	--	25.9	30	--	--
Reinf. Steel (D13)	13	200	460	569	--
GFRP Spiral	12.7	40.8	--	690	~2.0
GFRP Plain	12.7	41.3	--	689	~2.0

3. 시험체 설계 및 설치 상태

세 가지의 서로 다른 보강근(이형철근, 나선형 GFRP, 원형 GFRP)에 대하여 이음길이(10db, 20db, 30db, 40db)를 달리하면서 실험하였다. 이를 위하여 단면 크기 240mm*320mm, 길이 3.3m의 보를 보강근의 종류와 이음길이를 달리하면서 7개를 제작하였다(이형철근-30db, 20db, 10db; 나선형 GFRP-40db, 30db, 20db; 원형 GFRP-40db). 이음부의 위치와 설치 상태는 그림 1과 같다. 전체 길이 3.3m의 보 중간에 두 지점(지점 간 거리 1.0m)을 두고 양쪽의 두 하중점(하중점 간 거리 3.0m)에서 유압실린더를 사용하여 가력하였다. 이는 단순보에 두 군데 집중하중이 작용하는 상태를 뒤집어 놓은 것이다. 이러한 설치 상태에서 상부근은 이형철근(D13, SD400) 또는 GFRP 보강근(직경 12.7mm)을 접침이음하였고 하부근으로는 이형철근(D10, SD400)을 사용하였다. 하중과 지지조건에 의하여 보를 삼등분하여 이음부가 위치한 중간부는 일정한 크기의 휨모멘트만을 받게 되고 양쪽 부분은 전단력과 휨모멘트를 받는다. 양쪽 부분은 전단파괴를 방지하기 위하여 스티럽(D10 @ d/2)을 배치하였다. 이형철근 또는 FRP 보강근의 이음위치에 strain gage를 부착하였고 이 위치에서 초기균열을 발생시키기 위하여 보의 폭 방향으로 10mm*15mm의 crack inducer를 만들었다. 이에 따라서 실험도중에 crack inducer에서 발생한 초기 균열과 균열의 진행상황을 손쉽게 관찰할 수 있었다. 시험체 가력상황은 그림 2에 나타내었다.

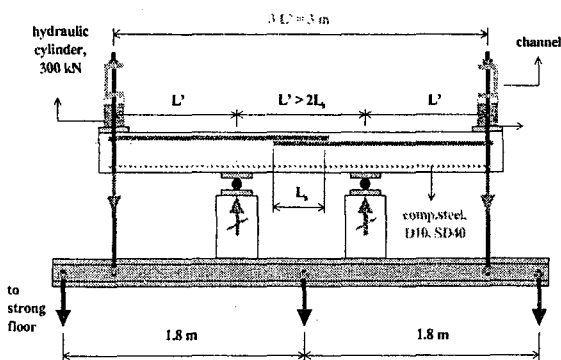


그림 1. 시험체 설치 상태

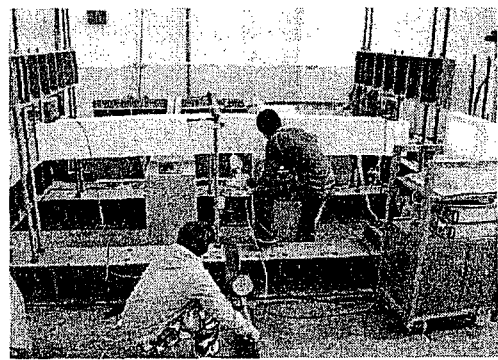


그림 2. 시험체 가력 상황

4. 실험 결과

이형철근, 나선형 GFRP 보강근, 원형 GFRP 보강근을 사용한 보에 대하여 최종파괴 시의 측정값을

표 2에 정리하였다.

표 2. 보 최종파괴 시 측정 값

Rebar type	Lap splice length (L/db)	Deflection (mm)	Conc. strain (10^{-6} m/m)	Rebar strain (10^{-6} m/m)	Bar force (kN)	M_{ult} (kN·m)	Failure mode
Steel	30	8.0	> 2,210	> ϵ_y	> 50.8	45.3	conc. rupture
	20	--	642	> ϵ_y	> 50.8	31.8	splice failure
	10	0.22	519	1,740	44.2	25.9	ditto
GFRP Spiral	40	2.16	--	10,780	55.9	28.6	ditto
	30	2.39	1,066	8,827	45.7	25.8	ditto
	20	2.15	814	7,172	37.2	22.5	ditto
GFRP Plain	40	11.7	1,040	--	--	12.9	ditto

4.1 이형철근을 사용한 보의 실험결과

이음길이 30db의 보는 철근의 항복변형율을 지난 후에 콘크리트의 압축파괴에 의하여 극한상태에 도달했다(표 2). 그림 3의 하중-변위곡선을 보면 보의 항복상태가 상당 기간 지속됨을 알 수 있으며 그림 4에서는 보의 처짐 및 균열분포가 나타나 있다. 이음길이 20db의 보는 철근의 항복변형율을 지난 후에 철근 이음부의 슬립에 의하여 파괴되었다. 이음길이 10db의 보는 철근이 항복하기 전 항복강도의 87%(44.2kN)에 달했을 때 이음부 슬립에 의하여 파괴되었다.

4.2 나선형 GFRP 보강근을 사용한 보의 실험결과

이음길이 40db, 30db, 20db의 모든 보에 있어서 GFRP 보강근의 파단변형율(약 2%)에 이르기 전에 이음부 슬립에 의하여 파괴되었다(표 2). 40db의 보의 경우 파괴 시 GFRP 보강근의 변형율은 약 1%($10,780 \times 10^{-6}$)이다. 또한 이음길이의 감소 따라서 파괴 시 GFRP 보강근에 발생한 인장력과 보 중앙부의 처짐(그림 5)도 감소하였다. 그림 6의 이음길이 40db 보의 처짐 및 균열분포에서, 이형철근을 사용한 이음길이 30db 보의 처짐(그림 4)와 비교하여 처짐이 상대적으로 작게 발생하였음을 알 수 있다.

4.3 원형 GFRP 보강근을 사용한 보의 실험결과

이음길이 40db의 보 실험에서, 보에 초기 균열 발생 후 GFRP 보강근이 슬립하기 시작하였다. 이후 하중의 큰 증가없이 슬립이 계속되었다. 가력을 위한 유압실린더의 stroke가 한계에 달하여 실험을 종료하였다.

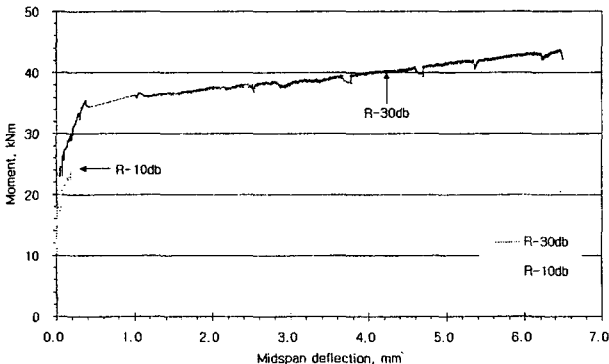


그림 3. 이형철근을 사용한 보의 하중-변위 곡선

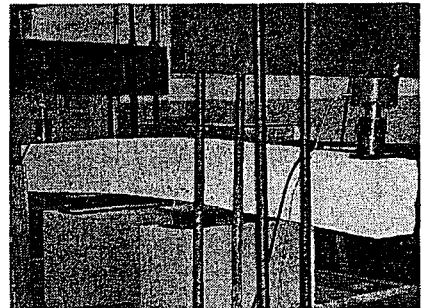


그림 4. 이형철근을 사용한 보의 처짐

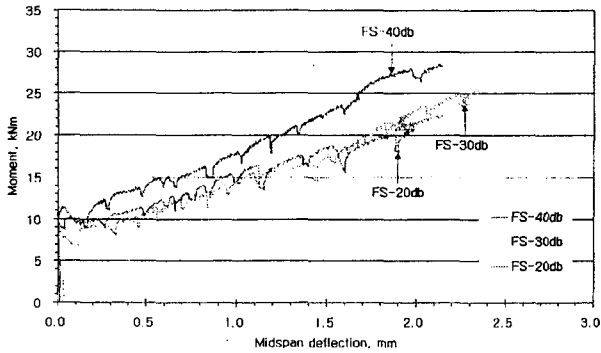


그림 5. GFRP 보강근을 사용한 보의 하중-변위 곡선

그림 6. GFRP 보강근을 사용한 보의 처짐

5. 결론

본 연구에서는 보 이음 시험체에 대하여 유리섬유로 보강된 GFRP bar의 이음성능을 살펴보았으며 연구의 주요 결과는 다음과 같았다.

(1) 이형철근을 사용한 보는 이음길이 20db와 30db에서 철근의 항복변형율을 지나서까지 내하성능을 발휘하였으나, 이음길이 10db에서는 항복변형율에 달하기 전에 슬립에 의하여 파괴되었다.

(2) 나선형 GFRP 보강근을 사용한 보는 이음길이가 40db의 경우에도 보강근의 파단변형율에 미치지 못하는 상태에서 슬립에 의하여 파괴되었다.

(3) 나선형 GFRP 보강근을 사용한 보는 이형철근을 사용한 보와 비교하여 균열 발생은 유사하였으나, 뚜렷한 처짐의 감소 양상을 보였다.

(4) 원형 GFRP 보강근을 사용한 보는 40db의 이음길이에 도 전혀 정착성능을 발휘하지 못하고 낮은 재하상태에서부터 슬립이 시작되었다.

(5) 전체적으로 정착성능 확보를 위하여 나선형 GFRP 보강근의 경우 40db 이상의 합리적인 이음길이가 필요하며 원형 GFRP 보강근은 사용에 적절하지 않은 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2003년도 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발"의 일부로서, 특별히 한국건설기술연구원의 위탁과제로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 박지선 등 6인 "GFRP Rebar의 인장특성 및 시험법에 관한 연구," 한국콘크리트학회 봄학술발표회, 2004.
2. ACI 408 위원회 "Bond Stress - The State of the Art," ACI Journal, Nov. 1966.
3. ACI 440 위원회 "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars," ACI 440.1R-03, 2003.
4. Orangun C.O., Jirsa J.O., and Breen J.E. "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI Journal, Mar. 1977.