

# 외피형태에 따른 GFRP 보강근의 겹침 이음길이

## Lap Splice Length of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Reinforcing Bars with Different Surface Design

최 동 욱\*    이 창 호\*    하 상 수\*\*    박 영 환\*\*\*    유 영 찬\*\*\*  
Choi, Dong-Uk    Lee, Chang-Ho    Ha, Sang-Soo    Park, Young-Hwan    You, Young-Chan

### ABSTRACT

The lap splice lengths of deformed steel reinforcing bars and GFRP bars with two different to surface type were experimentally compared using beam specimens. The purpose was to evaluate the length required of the GFRP bar to develop strength equivalent to the conventional steel reinforcing bar. The main test variable was the lap splice length. Two different GFRP bar surfaces were tested: (1) spiral-type GFRP bars and (2) sand coated GFRP bars. For the conventional steel bars (SD400 grade), strength over 400 MPa in tension was reached using the lap splice length of  $30d_b$ . Splice failure was observed in the specimen with the lap splice length of  $20d_b$ . For the spiral-type and sand coated GFRP bars, the tensile strength developed in the GFRP bars decreased with decreasing splice lengths. Development of the cracks on beam surfaces 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

철근콘크리트 구조물은 해수 등 물리적인 자연환경에 의해 콘크리트의 알칼리성 손실에 의한 철근 부식의 문제가 있는 경우, 이형철근에 대신하여 섬유보강근(Fiber Reinforced Polymer Reinforcing Bar, FRP bar)이 사용될 수 있다. 본 연구에서는 FRP bar 중에서 상대적으로 경제성이 우수한 유리 섬유(Glass Fiber)로 보강된 GFRP bar의 겹침 이음성능을 보 이음 시험체를 사용하여 실험적으로 고찰하였다.

### 2. 사용 재료의 성질

시험체 제작에 사용된 이형철근 및 GFPR 보강근(나선형, 모래분사형)의 재료실험 결과를 표 1에 나타내었다. 콘크리트는 압축강도는 30MPa 이었다.

\* 정회원, 국립 환경대학교 건축학부 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 초대형 구조시스템 연구센터 연구조교수

\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

표 1. 보강근의 재료 시험결과

Material	Diameter (mm)	Elastic Modulus (GPa)	Compressive/Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Maximum Strain ( $\epsilon_m$ )
Reinf. Steel (D13)	13.0	200	460	569	2,300( $\epsilon_y$ )
GFRP Spiral	12.7	40.8	-	690	16,900
GFRP Sand Coating	12.7	41.3	-	617	14,700

3. 시험체 계획 및 설치

외피형태에 따른 GFRP 보강근의 이음성능을 파악하기 위하여 나선형 GFRP 보강근과 모래분사형 GFRP 보강근을 사용하였다. 나선형 GFRP 보강근을 사용한 시험체의 이음길이는 10db, 20db, 30db, 40db, 55db, 70db로 하였으며, 모래분사형 GFRP 보강근인 경우에는 30db, 40db, 50db, 60db으로 하여 외피형태의 이음길이에 따른 이음성능을 파악하고자 하였다. 또한, 이음길이가 20db, 30db, 40db인 일반 이형철근 실험을 계획하여 GFRP 보강근을 사용한 경우와 비교하였다. 시험체 형상은 단면크기 240mm\*320mm, 길이 3.3m인 장방형 보로서 모든 시험체가 동일하였다. 시험체 설치는 그림 1에 나타난 바와 같이 이음부가 위치한 중앙부에 일정한 크기의 휨모멘트만 작용하도록 2점가력(하중지점간 거리 : 1m)하였으며, 양쪽 단부는 전단파괴가 발생되지 않도록 전단철근(D10@d/2)을 배근하였다. 이형철근 및 FRP 보강근에 부착한 철근용 변형률계이지(Wire Strain Gage) 측정값은 보강근이 겹쳐지는 이음부분 양쪽에 부착하여 2개의 평균값으로 결정하였으며, 이 위치에서 초기균열을 발생되도록 10mm\*15mm의 crack inducer를 두었다(그림 1 참조). 보 상부 중앙에 변위계(LVDT)를 설치하여 보의 수직변위를 측정하였으며, 콘크리트 단부의 변형률을 파악하기 위하여 보 하부 중앙에 콘크리트용 변형률계이지를 부착하였다. GFRP 보강근의 피복 두께는 splitting failure가 발생되지 않도록 모든 시험체에서 2.5db(약 30mm)로 계획하였다<sup>(1)</sup>.

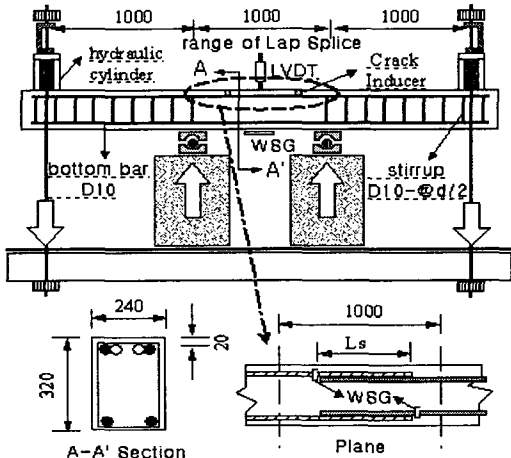


그림 1. 시험체 설치 및 배근 (단위 : mm)

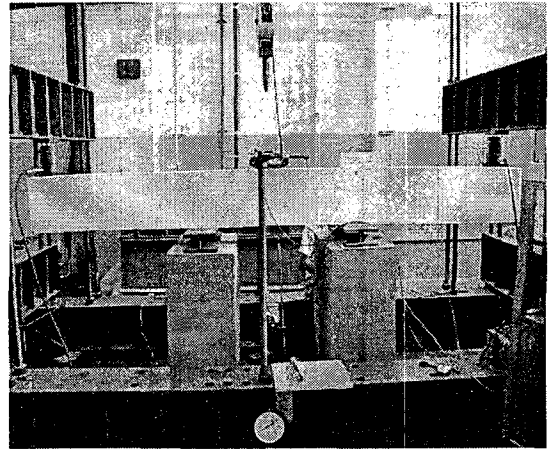


그림 2. 시험체 가력 상황

4. 실험 결과

이형철근, 나선형 GFRP 보강근, 모래분사형 GFRP 보강근을 사용한 각 시험체의 실험결과를 표 2에 정리하여 나타내었으며, 각 시험체의 하중변위 곡선, 이음재 보강근의 변형률 및 콘크리트 압축변형률을 그림 3 - 그림 5에 각각 나타내었다.

표 2. 보 최종파괴 시 측정 값

Surface type	Specimen	Lap splice length (L/db)	Deflection (mm)	Conc. strain ( $10^{-6}$ m/m)	Rebar strain ( $10^{-6}$ m/m)	Bar force (kN)	$M_{max}$ (kN·m)	Failure mode
Steel	R-20db	20	-	642	2,470 $> \epsilon_y$	44.2	31.8	splice failure
	R-30db	30	8.0	2,210	5,000 $> \epsilon_y$	$> 50.8$	45.3	conc. rupture
	R-40db	40	7.25	-	11,200 $> \epsilon_y$	$> 50.8$	49.0	conc. rupture
GFRP Spiral	FS-10db	10	1.43	445	4,430	26.3 $< 100$	14.3	splice failure
	FS-20db	20	2.15	828	7,137	42.2 $< 100$	22.3	splice failure
	FS-30db	30	2.39	1,020	8,827	52.2 $< 100$	25.8	splice failure
	FS-40db	40	2.16	932	10,780	63.8 $< 100$	28.6	splice failure
	FS-55db	55	3.23	1,543	11,238	66.6 $< 100$	39.8	splice failure
	FS-70db	70	2.14	1,260	10,094	59.7 $< 100$	40.8	splice failure
GFRP Sand Coating	FCS-30db	30	2.38	991	9,246	50.1 $< 79.6$	30.7	splice failure
	FCS-40db	40	2.33	731	10,266	55.6 $< 79.6$	33.3	splice failure
	FCS-50db	50	2.05	1,089	10,074	54.6 $< 79.6$	35.1	splice failure
	FCS-60db	60	2.76	1,057	11,081	60.0 $< 79.6$	37.1	splice failure

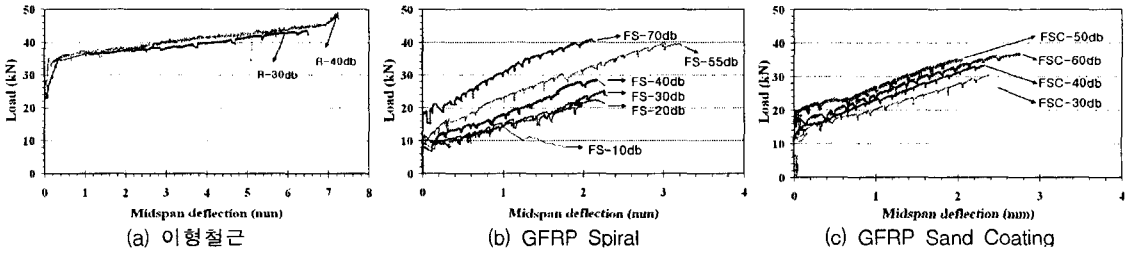


그림 3. 하중-변위 곡선

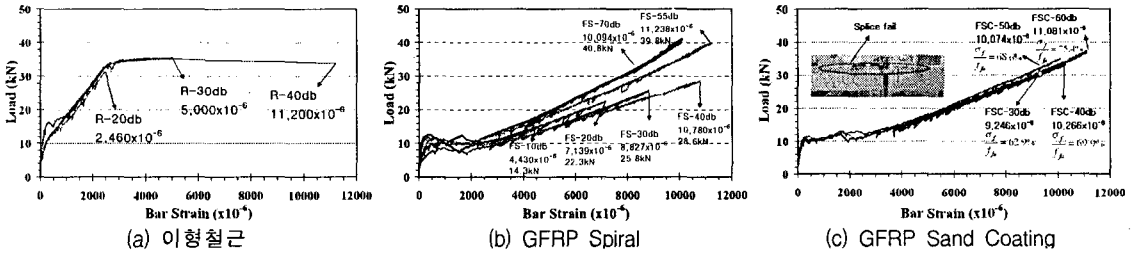


그림 4. 보강근의 변형률

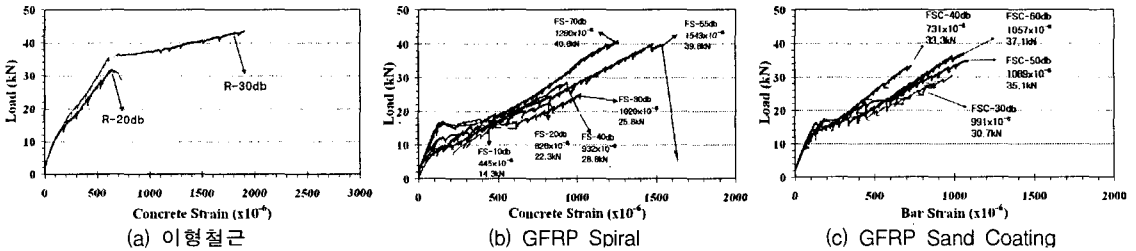


그림 5. 콘크리트 변형률

4.1 이형철근을 사용한 실험결과

이음길이가 30db인 시험체와 40db인 시험체의 하중-변위 곡선은 그림 3(a)에 나타난 바와 같이 거의 동일하게 나타나고 있으며, 이음된 철근변형률(그림 4(a)참조)이 모두 항복을 지나고 있어 정착이 확보된 것으로 보인다. 반면, 이음길이가 20db인 시험체는 철근의 항복변형률을 지난 직후에 철근 이음부의 슬립이 발생하였고 그 이상의 하중 증가는 보이지 않았다.

#### 4.2 나선형 GFRP 보강근을 사용한 실험결과

이음길이가 증가할수록 보의 내력은 증가하였으나 최종파괴는 이음길이에 관계없이 splice failure로 파괴되었다. 최종파괴시 GFRP Spiral 보강근의 변형률은 파단 변형률의 42.2%(20db) - 59.7%(70db)으로 나타나 이음길이가 보강근 지름의 70배까지 이음한 시험체도 최종변형률까지 도달되지 못하였다. 이러한 주요 원인은 하중이 증가함에 따라서 순수 휨 모멘트 구간에서 휨균열이 더욱 증가하고 이러한 균열들이 보강근과 콘크리트 사이의 마찰을 감소시켜 splitting failure를 발생시켰기 때문인 것으로 판단된다. Splitting failure는 피복두께와 밀접한 관계가 있으며, ACI 440.1R-03의 제안에 따라 2.5db 피복두께를 사용하여 실험을 실시하였으나, splitting failure가 발생됨에 따라 피복두께를 변수로 하는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4.3 모래분사형 GFRP 보강근을 사용한 실험결과

모래분사형 GFRP 보강근을 사용한 시험체 역시 나선형 GFRP 보강근의 시험체와 같은 파괴 형태와 보강근의 변형률 분포를 보여주었다. 그러나 표 2에 나타난 바와 같이 이음길이가 60db인 모래분사형 시험체인 경우, 한 개의 GFRP 보강근이 최대하중(79.6kN)의 75.4%(60kN)까지 받을 수 있어 나선형 GFRP 보강근을 사용한 것에 비해(70db ; 59.7%) 콘크리트와의 부착성능이 상대적으로 우수한 것으로 실험결과가 나타났다.

### 5. 결론

본 연구에서 도출된 주요 결과는 다음과 같았다.

- (1) 이형철근을 사용하고 이음길이가 확보된 시험체(30db, 40db)는 철근의 항복변형률을 지나서까지 내하성능을 발휘하였으나, 이음길이 20db에서는 항복변형률에 도달되자마자 이음부의 슬립이 발생하여 최종파괴 되었다.
- (2) 나선형 GFRP 보강근을 사용한 시험체의 경우 이음길이가 70db의 경우에도 보강근 파단변형률의 59.7%까지 변형하였고, 모래분사형 시험체 역시 유사한 파괴 양상을 보여주며 갑작스런 이음부의 파괴로 실험이 종료되었다. 따라서, GFRP를 이용한 철근콘크리트 부재의 설계에서는 취성파괴를 방지하기 위해 이음길이를 적용하되, 실제 받는 보강재의 변형률이 파단변형률의 비율로써 설계에 반영되어야 할 것으로 판단된다.
- (3) GFRP 보강근을 사용한 보는 이형철근을 사용한 보와 비교하여 균열 발생은 유사하였으나, 처짐의 뚜렷한 감소 양상을 보였다.

#### 감사의 글

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

#### 참고문헌

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