

수지배합에 따른 GFRP 보강근의 인장 특성

Tensile Properties of GFRP Rebars Based on Resin Mix Proportions

박지선*

유영찬**

박영환**

유영준*

김형열**

김금환***

Park, Ji-Sun You, Young-Chan Park, Young-Hwan You, Young-Jun Kim, Hyeong-Yeol Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

The tensile characteristics of four types GFRP (glass fiber reinforced polymer) reinforcing bars with different resin mix proportions and fiber volume fraction were analyzed experimentally. Four types of GFRP reinforcing bars containing approximately 66 or 70% fiber volume fraction with A or B resin mix proportions were considered in this test. All testing procedures including specimens preparation, set-up of test equipments and measuring devices were made according to the recommendations of CSA Standard S806-02.

From the test results, it was found that GFRP reinforcing bars containing approximately 70% fiber volume fraction with A resin mix proportion showed the higher tensile strength than that of the others due to the higher fiber volume fraction and proper resin mix proportion.

1. 서론

건설 분야에서 사용되는 FRP(fiber reinforced polymer) 보강근은 고성능의 강화섬유와 결합재(matrix)로 구성된다. 여기서 강화섬유는 하중을 견디는 요소이며 결합재는 강화 섬유와 섬유 사이의 응력 전달, 외부 환경으로부터 섬유의 보호, 기계적인 손상으로부터 섬유를 보호하는 역할을 한다.

FRP 보강근의 인장 강도는 실용적인 측면에서 보강근의 전단면적을 기준으로 정의하게 되는데, 전형적인 FRP 보강근의 경우, 섬유가 전체 단면적의 60~70% 정도이며 나머지는 결합재인 수지로 구성되게 된다. 결합재는 긴장재의 인장 강도에 크게 기여하지 않으며 인장강도 계산시, 무시되므로 보강근의 평균 인장강도는 보강근에 포함되어 있는 섬유의 인장 강도에 비해 낮은 값을 나타내는 것이 일반적이다¹⁾.

그러나 FRP 보강근의 결합재로 사용되는 수지가 인장 강도에 직접적으로 기여하는 바는 미비하지만, 복합재료로서 FRP 보강근이 요구되는 용도에 최적의 성능을 발휘하기 위해서는 결합재인 수지와 강화 섬유간의 유기적인 응력전달이 기본적으로 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서 FRP 보강근에 대하여 결합재로 사용되는 수지의 배합조건에 따른 응력 전달 성능을 평가해 보고자 유리 섬유와 비닐에스터를 사용한 GFRP 보강근의 수지 배합에 따른 인장 특성을 파악하고자 하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

2. GFRP 보강근의 결합재(matrix)용 수지

복합재료의 결합재로는 에폭시(epoxy) 수지, 불포화 폴리에스터(polyester) 수지, 페놀(phenol) 수지 등의 열경화성 수지와 열가소성(thermoplastic) 수지 등이 사용된다. 이 중 GFRP 보강근의 결합재로는, 유리섬유와의 접착성이 상대적으로 우수한 비닐에스터 수지가 주로 사용된다.

비닐에스터 수지는 불포화 폴리에스터 중의 한 종류로 수지를 경화시킬 때에는 수지의 중합개시 및 촉진을 위한 경화제와 경화시의 수축을 저감시키기 위해서 저수축제, 그리고 충전제 및 회석제를 주체에 혼합한다.

경화제는 라디칼(radical)을 생성시켜 중합경화를 유도하는 역할을 하며, 저수축제는 주체를 가열 경화시킬 때 동반되는 주체의 경화수축의 일부를 상쇄시켜 경화시, 수지의 체적변화를 적게 한다. 충전제는 성형품이 경화온도에서 실온으로 냉각되는 과정에서 수지의 열수축보다 저수축제 자체의 큰 열수축에 따라 발생한 내부의 잔금(crazing) 또는 공극(void)으로 인한 성형품의 강도 저하를 방지하고자 사용되는 재료이다. 회석제는 주체와 저수축제, 충전제, 경화제의 고른 교반을 위하여 사용된다²⁾.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험 재료 및 변수

본 연구에서는 GFRP 보강재에 대하여, 결합재로 사용된 수지의 배합에 따른 인장 특성을 파악하고자 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 GFRP 보강근은 각각 약 66, 70%의 유리섬유 함유량에 대하여 수지 배합을 표1과 같이 하여 전체 4종류의 GFRP 보강근을 제작하였다.

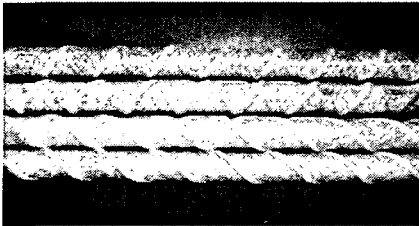


그림 1 제작한 GFRP 보강근

표 1 제작한 GFRP 보강근의 수지 배합 (단위: %)

배합성분 배합종류	주체	회석제	저수축제	충진제	경화제
A	100	4	4	20	3
B	100	4	4	10	1.5

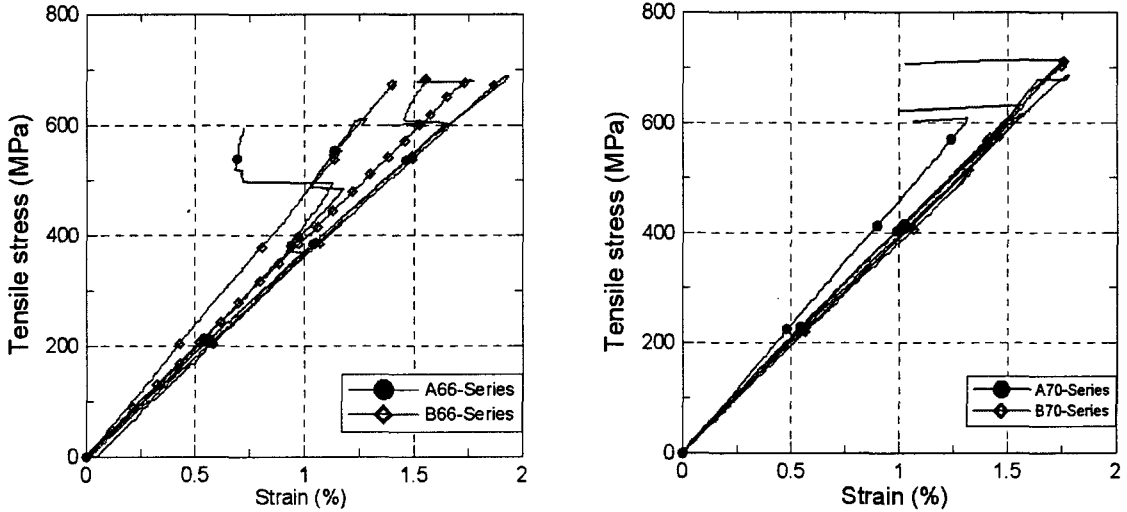
3.2 실험 방법

수지 배합에 따른 GFRP 보강근의 인장특성을 파악하기 위하여 Canadian Standard Association(이하, CSA) 규준⁵⁾에서 제시하는 시험법에 따라 인장성능을 파악하였다. 시험에 사용한 그립 어댑터는 CSA 제안에 따라 강관(steel sleeve)에 에폭시 수지를 내부 충전하는 방법을 채택하였다. 시험체 수는 보강근의 유형별로 각각 5개씩으로 하였다. 실험은 최대 1,000 kN 용량의 만능시험기를 사용하여 GFRP 보강재의 상하 단부에 인장하중을 가력 하였다. 하중가력 속도는 500 MPa/min로 하였으며, 시편의 중앙부의 양편 반대쪽으로 2개의 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 동일한 섬유함유량을 갖는 GFRP 보강근에 대한 수지배합에 따른 인장 특성 비교

동일한 섬유함유량을 갖는 GFRP 보강근에 대하여 수지 배합에 따른 인장 특성을 비교하면 그림 2와 같다. 섬유 함유량이 중량비로 66%인 GFRP 보강근의 경우, 수지 배합 A, B에 대하여 각각 평균 약 611, 682 MPa로 B배합의 경우가 약 11% 큰 인장 강도를 발휘하였다. 또한 섬유함유량이 중량비로



a. 섬유함유량 중량비 66%의 GFRP 보강근

b. 섬유함유량 중량비 70%의 GFRP 보강근

그림 2 동일한 섬유함유량을 갖는 GFRP 보강근의 수지배합에 따른 인장 특성 비교

표 2 대표적인 강화용 유리섬유 및 수지의 물리적 특성

(단위: %)

섬유함유량 (%)	배합종류	시험체명	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	표준편차	변동계수 (%)
66	A	A66-1	605	37	0.51	0.6
		A66-2	610	38		
		A66-3	612	37		
		A66-4	616	38		
		A66-5	611	38		
	B	B66-1	670	39	0.96	1
		B66-2	680	47		
		B66-3	689	37		
		B66-4	682	40		
		B66-5	688	42		
70	A	A70-1	610	46	2.12	3
		A70-2	617	40		
		A70-3	631	41		
		A70-4	586	42		
		A70-5	602	43		
	B	B70-1	714	39	1.45	2
		B70-2	686	37		
		B70-3	703	-		
		B70-4	713	41		
		B70-5	709	40		

70%인 GFRP 보강근의 경우, 수지 배합 A, B에 대하여 각각 평균 609, 705 MPa로 B배합의 수지를 사용하여 제작한 GFRP 보강근이 A배합의 수지를 사용하여 제작한 GFRP 보강근에 대하여 약 12% 향상된 인장강도를 발현하였다. 즉, 비록 동일한 섬유함유량을 갖는 GFRP 보강근 일지라도 수지의 배합 방법에 따라 섬유간의 응력 전달 능력에 차이가 발생하여 결국, 복합재료 자체의 인장 성능의 차이를 나타내었다. 또한 비록 수지의 경화의 촉매제로 사용되는 화합물일지라도 적정 배합이 되지 않을 경우에는 오히려 강화 섬유와의 유기적인 응력 전달에 방해되는 요소로 작용되어 복합재료의 성능을 저하시킬 수 있었다.

4.2 다른 섬유함유량을 갖는 GFRP 보강근에 대한 수지배합에 따른 인장 특성 비교

A수지 배합방법으로 제작한 GFRP 보강근의 경우, 섬유함유량 66, 70%에 대하여 각각 약 611, 609 MPa의 인장강도를 발현하였고, B수지 배합방법으로 제작한 GFRP 보강근의 경우, 섬유함유량 66, 70%에 대하여 각각 682, 705 MPa의 인장강도를 나타내었다. 즉, B수지 배합을 사용하여 제작한 GFRP 보강근의 경우, 비록 상대적으로 적은 섬유함유량(66%)일지라도 A수지 배합을 사용하고 섬유함유량이 70% 인 GFRP 보강근보다 약 12% 증가한 인장강도 발현을 나타내었다. 따라서 비록 외부 하중에 대한 응력은 주로 강화 섬유에서 부담하지만 일방적인 강화섬유의 증가보다, 섬유간의 유기적인 응력 전달을 위한 수지의 역할이 충분할 때 보다 GFRP 보강근의 요구 성능이 적절하게 발현될 수 있었다.

5. 결론

본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 동일한 섬유함유량을 갖는 GFRP 보강근에 대하여 충전제 및 경화제의 성분을 달리한 수지배합을 사용하였을 경우, 약 10%의 인장 강도 차이를 나타내었다. 이와 같은 현상은 비록 수지의 경화 촉매제로 사용되는 화합물 일지라도 적정 배합을 초과하는 경우에는 수지와 강화섬유 간의 유기적인 응력 전달을 방해하는 요소로 작용될 수 있다.
- (2) 일반적으로 외부 하중에 대한 응력 부담은 주로 강화섬유 자체에서 부담한다. 그러나 강화섬유가 수지와 복합재료로서 충분한 요구 성능을 만족하기 위해서는 결합재로 사용되는 수지와의 유기적인 응력전달이 전제 되어야 한다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2004년도 정책연구사업인 “FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발”의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 심종성, 김규선, “건설 분야에서의 FRP 활용,” 콘크리트학회지 제12권 6호, p.39.
2. 문창권, 타까구 아끼라, 고분자 복합재료, 시그마프레스, 2001.
3. Canadian Standard Association, “Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers,” Canadian Standard Association, May, 2002.