

GFRP Rebar의 인장특성 및 시험법에 관한 연구

Tensile Properties and Testing Method for Glass Fiber Reinforced Polymer Reinforcing bar

박지선* 유영찬** 박영환** 최기선* 유영준** 김금환***

Park, Ji-Sun You, Young-Chan Park, Young-Hwan Choi, Ki-Sun You, Young-Jun Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

This study is to investigate the tensile properties of glass fiber reinforced polymer(GFRP) reinforcing bars with various kinds of anchor systems experimentally. Three types of anchor systems were examined : resin sleeve anchor adopted by CSA Standard, metal overlay anchor by ASTM Standards and wedge anchor normally used in prestressing tendons. Also, three different types of GFRP bars with different surface deformations were tested in this study. All test procedures including specimens preparation, test apparatus and measuring devices were made according to the recommendations of CSA Standard S806-02.

From the test results, it was found that the highest tensile strength of GFRP bar was developed by resin sleeve anchor, and tensile strength of GFRP bar with CSA anchor system is 10% higher than that with ASTM anchor system in the case of sand-coated GFRP bar.

1. 서론

철근콘크리트 구조물은 재료적·시공적 요인 또는 염해나 중성화 등과 같은 원인에 의해 지속적으로 손상이 발생하고 있으며, 이들 손상에 의한 유지관리비용의 증대가 사회적 관심으로 부각되고 있다. 이에 따라 국내에서도 부식 환경에서도 자유롭게 사용할 수 있는 FRP 보강재에 대한 연구에 관심이 집중되고 있다. FRP 보강재는 자중이 작고 취급이 용이할 뿐 아니라, 최근에 구조적 성능 및 사용성 등에 있어서도 철근과 동등한 성능을 지니는 제품이 선진외국에서 개발되고 있어, 철근이나 강연선의 대체 재료로써 사용범위가 점차 확대되고 있다.

이러한 장점을 지니는 FRP 보강재가 구조재료로서 충분한 강도와 강성을 지니기 위해서는 우선적으로 인장 특성치에 대한 명확한 규명이 요구된다. 본 연구에서는 여러 종류의 FRP 보강재 중, 생산비 측면에서 상대적으로 비교우위인 GFRP 보강재를 대상으로 하여 인장강도 특성치 규명을 위한 시험을 실시하고, 부가적으로 외국규준에서 제시하고 있는 FRP 시험편의 그립(또는 앵커) 형태에 따른 영향을 분석하고자 한다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구부장

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

2. 실험계획 및 방법

FRP는 연속섬유를 유기계 폴리머로 함침·고정하여 제작된 복합재료로서, 재료구성이 기존의 강재와 근본적으로 상이한 특성을 지니고 있으므로, 인장강도 시험시에도 재료 특성치를 충분히 발휘할 수 있는 시험장치 및 시험법에 대한 고려가 필요하다. 본 연구에서는 다양한 외피 형태별 GFRP 보강재의 인장 특성치 분석을 위한 시험을 실시하고, 부가적으로 시험편의 고정을 위한 장치(이하, '앵커'라 칭함)의 유형에 따른 영향을 분석하고자 한다. 실험에 사용한 GFRP 보강재는 원형, 나선형, 그리고 모래를 분사하여 표면처리한 보강재를 선택하였고, 앵커는 각각 Canadian Standard Association(이하, CSA) 규준에서 제안하는 앵커, American Society for Testing and Materials(이하, ASTM) 규준에서 제안하는 앵커 및 프리스트레스 강연선의 정착에 주로 사용되는 썬기형 형태의 앵커를 선정하였다. CSA 제안 앵커의 형상과 치수는 그림 1과 같다. 앵커의 제작은 한 쪽 단부의 앵커를 에폭시 수지로 충진 한 후, 12시간 경과 후에 다른 편의 앵커에 에폭시 수지를 채워 양생하였다. 그림 2는 ASTM 규준에서 제안한 앵커(그림 어댑터)의 형태로, 재질은 ALUMINUM ALLOY 6061-T6이다. 그림 3은 썬기형태 앵커의 형상과 치수를 나타내고 있다. 모든 시험체의 수는 CSA S806-02 규준에서 제시한 바에 따라 각각 5개로 하였다. 사용한 GFRP 보강재의 물리적 특성은 표 1과 같다. 실험은 최대 200tf 용량의 만능시험기를 사용하여 GFRP 보강재의 상하 단부에 인장하중을 가력 하였다. 하중가력 속도는 500MPa/min로 하였으며, 시편의 중앙부의 양편 반대쪽으로 2개의 변형률 게이지를 부착하여 변형률을 측정하였다.

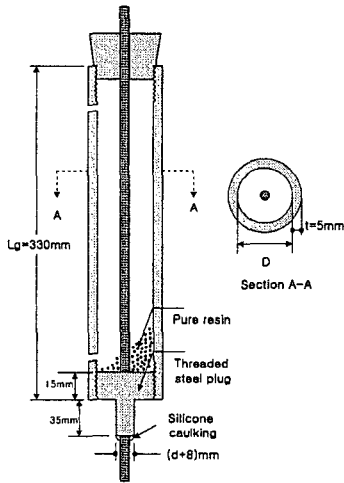


그림 1. CSA 제안 앵커

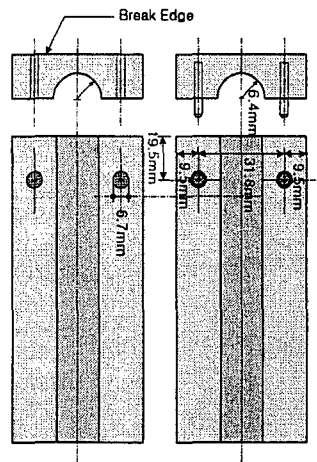


그림 2. ASTM 제안 앵커

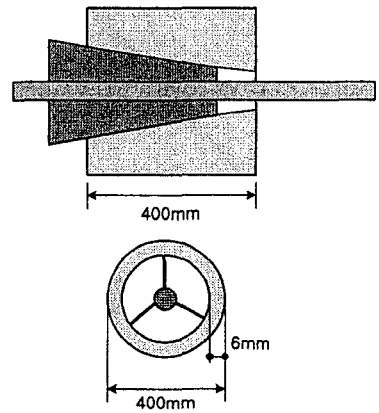


그림 3. 썬기형 앵커

표 1 GFRP 보강재의 물리적 특성

외피형태	공칭직경 (mm)	단면적 (mm ²)	구성 재료		섬유 함유량(%)	비중 (g/m ³)	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	비고
			섬유	수지					
원형	12.7	126.61	E-Glass	Vinyl Ester	80.8	2.57	689	41.3	국내제작
나선형	12.7	144.85	"	Vinyl Ester	70.0	2.00	690	40.8	미국
모래분사형	12.7	129.00	"	Vinyl Ester	70.0	2.04	617	42.0	캐나다

3. 실험결과 및 고찰

그림 4는 CSA 제안 앵커, ASTM 제안 앵커 및 쐐기형 앵커를 이용하여 각각의 GFRP 보강재의 인장 특성을 시험한 결과를 비교한 것 중 대표적인 것이다. 또한, 표 2는 각 GFRP 보강재의 외피형태 및 앵커 유형에 따른 GFRP 보강재의 인장강도, 탄성계수 및 최대 인장 변형율을 나타낸 것이다.

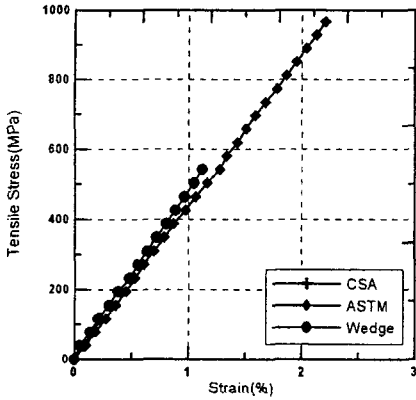


그림 4 원형 GFRP 보강재의 응력-변형률 관계

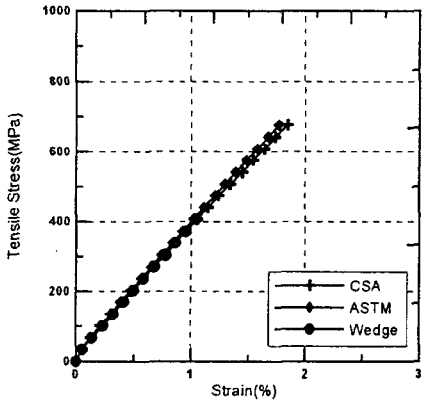


그림 5 나선형 GFRP 보강재의 응력-변형률 관계

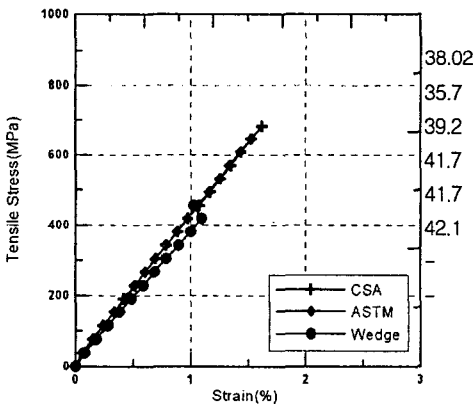


그림 6 모래분사형 GFRP 보강재의 응력-변형률 관계

표 2 GFRP 보강재의 인장강도 및 최대 인장 변형율

시험체명		인장강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	최대인장 변형율(%)	비고	
원형 GFRP	CSA 앵커	CR1	116.10	-	-	슬립
		CR2	51.86	-	-	"
		CR3	128.49	-	-	"
		CR4	91.34	-	-	"
		CR5	116.10	-	-	"
	ASTM 앵커	AR1	988.44	42.5	2.205	파단
		AR2	1,022.50	45.4	2.150	"
		AR3	924.20	38.8	1.950	"
		AR4	985.34	43.2	2.207	"
		AR5	996.95	37.8	2.207	"
	웨지 앵커	WR1	513.18	40.2	1.052	파단
		WR2	526.34	51.5	1.087	"
		WR3	547.24	49.5	1.145	"
		WR4	553.42	36.8	1.164	"
		WR5	529.44	40.3	1.168	"
나선형 GFRP	CSA 앵커	CS1	698.22	36.5	1.934	파단
		CS2	669.12	34.8	1.827	슬립
		CS3	671.15	32.8	2.088	"
		CS4	670.47	37.8	1.969	"
		CS5	596.05	38.9	1.622	"
	ASTM 앵커	AS1	710.39	32.8	2.554	파단
		AS2	676.56	37.9	1.767	"
		AS3	690.10	38.5	1.775	"
		AS4	691.45	39.2	1.774	"
		AS5	696.80	37.8	1.663	"
	웨지 앵커	WS1	439.77	46.4	1.010	파단
		WS2	412.70	41.5	0.98	"
		WS3	429.62	38.0	1.043	"
		WS4	433.00	35.7	1.063	"
		WS5	429.62	39.2	1.073	"
모래분사형 GFRP	CSA 앵커	CC1	714.87	41.7	1.010	파단
		CC2	685.24	41.7	1.637	외피박리
		CC3	537.10	42.1	1.276	"
		CC4	255.26	-	0.028	"
		CC5	338.82	-	0.064	"
	ASTM 앵커	AC1	645.74	42.1	1.534	파단
		AC2	668.53	41.7	1.622	"
		AC3	698.91	39.8	1.676	"
		AC4	622.95	42.2	1.395	"
		AC5	668.53	44.4	1.345	"
	웨지 앵커	WC1	469.49	44.1	1.066	파단
		WC2	465.70	41.6	1.111	"
		WC3	461.89	40.2	1.071	"
		WC4	457.33	40.1	1.055	"
		WC5	466.45	48.5	1.042	"

3.1 GFRP 종류별 실험결과 고찰

ASTM 앵커와 썬기형태의 앵커방식에 의해 구한 원형 GFRP 보강재의 평균인장강도는 각각 983.49 MPa 및 533.92 MPa 정도로, 섬유함유량을 고려할 때 나선형 GFRP와 비교하여 평균인장강도가 각각 23% 및 8.8% 정도 큰 것으로 나타났다. 또한, 모래분사형 GFRP 보강재의 경우에는 ASTM 앵커방식의 경우만 30% 정도 평균인장강도가 큰 것으로 나타나 앵커유형 및 외피형태별로 각시험결과가 상이한 경향을 나타내었다.

3.2 앵커 유형별 실험결과 고찰

CSA 앵커를 이용하여 구한 나선형 GFRP 보강재의 파단시 인장강도는 ASTM 및 웨지형 앵커에 의한 인장강도와 비교하여 각각 동등하거나 63% 정도 큰 경향을 나타내었으며, 모래분사형 GFRP의 경우는 각각 8% 및 54% 정도 큰 값을 나타내고 있다. 이는 CSA 앵커가 GFRP bar의 그립부분에서 국부적인 응력집중을 완화할 수 있기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 나선형 GFRP 보강재에서 관측된 바와 같이 4개의 시험체에서 충전재의 주입불량으로 인한 슬립파괴가 발생되어, 앵커제작시 특별한 주의가 필요한 것으로 사료된다. 이에 대하여, ASTM 앵커에 의한 방법은 CSA 앵커를 사용하였을 경우보다 모래분사형 GFRP 보강재의 경우 일부 작은 값을 나타내고 있지만, 예폭시 수지의 충전·양생과정을 생략할 수 있어 시간절약 및 제작의 번거로움이 없는 장점이 기대된다. 한편, 썬기형태의 앵커는 모든 시험편에서 앵커주위의 응력집중에 기인하는 국부적인 파단이 발생되면서 설계기준강도의 약 65% 정도의 작은 값을 나타내어 인장강도 특성치를 제대로 규명할 수 없는 것으로 파악되었다.

4. 결론

- (1) GFRP 보강재의 인장강도는 시험대상으로 설정한 앵커유형 및 외피형태별로 시험결과가 각기 상이한 경향을 나타내고 있어, GFRP 보강재의 특성에 부합되는 적정 앵커방법의 개발이 요구된다.
- (2) CSA 앵커를 이용하여 구한 나선형 및 모래분사형 GFRP 보강재의 파단시 인장강도는 ASTM 앵커에 의한 평균인장강도와 비교하여 각각 동등하거나 10% 정도 증가되는 경향을 나타내고 있다.
- (3) ASTM의 앵커방식은 CSA 방식에 비하여 일부 작은 값을 나타내고 있지만, 예폭시 수지의 충전·양생과정을 생략할 수 있어 시간절약 및 제작의 번거로움이 없는 장점이 기대된다.

감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2003년도 정책연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발"의 지원에 의하여 연구되었으며 관계 제위께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Canadian Standard Association, "Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers," Canadian Standard Association, May, 2002.
2. American Society for Testing and Materials, "Standard Test Method for Tensile Properties of Pultruded Glass-Fiber-Reinforced Plastic Rod(ASTM D3916-02)," Annual Book of ASTM Standards , Vol 08.03, 2002.
3. A. Al-Mayah, K. Soudki, and A. Plumtree, "Mechanical Behavior of CFRP Rod Anchors under Tensile Loading," *Journal of Composites for Construction*, Vol.5, No.2, May, 2001, pp.128-135.
4. L. Javier Malvar, "Tensile and Bond Properties of GFRP Reinforcing Bars," *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.3, May-June, 1995, pp.276-285.