

GFRP Rebar의 적정 인장강도 발현을 위한 정착구 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Grip Adapters for Developing Design Tensile Strength of Glass Fiber Reinforced Polymer Rebar

박 지 선* 유 영 찬** 박 영 환** 김 형 열** 유 영 준* 김 금 환***

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

ABSTRACT

Some test results indicated that the current ASTM grip adapter of GFRP rebar was not successful in developing the design tensile strength of GFRP rebar with reasonable accuracy. It is because the current ASTM grip adapter of GFRP rebar does not take into account the various geometric characteristics of GFRP rebar such as surface treatment, shape of bar cross section, bar deformation as well as physical characteristics such as poisson effect, elastic modulus in the transverse direction and so on. The research reported in this paper is to provide how to proportion an adequate grip adapter to develop design tensile properties of GFRP rebar. The proposed grip adapter is derived from the equilibrium or compatibility equations.

From the preliminary test results for rounded GFRP rebar, it was found that the grip adapter with specific size proportioned by proposed method shows the highest tensile strength among them.

1. 서론

FRP Rebar는 철근과는 달리 횡방향 전단강도가 낮기 때문에 프리스트레스트 시스템에서의 정착 또는 인장특성치 파악을 위한 시험시, 정착구와 맞물리는 부위의 FRP Rebar가 조기에 파단되는 경우가 발생한다. 이러한 현상으로 인하여 FRP Rebar의 인장강도 시험시에는 인장강도의 편차가 크게 발생하는 것이 일반적이며, 이로 인하여 FRP Rebar의 강도 특성치를 정확히 평가하지 못할 뿐만 아니라, 시공시의 품질성능 및 공사안전성을 확보하기 어려운 주요 요인으로 작용하게 된다. 따라서 이와 같은 현상을 방지하기 위해서는 FRP Rebar의 정착을 위한 그립장치에서 정착구(또는 시험장치)로부터 가해지는 높은 국부압축응력을 적절히 분산시킴으로써 설계기준 강도를 발현할 수 있는 적정 그립장치의 개발이 필요하게 된다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구부장

한편, FRP Rebar는 각기 다른 섬유와 결합 수지를 사용할 뿐만 아니라 제조 방법, 기하학적인 형상, 물리적인 성질 등이 다르기 때문에 모든 FRP Rebar에 손상을 주지 않는 적절한 정착구의 설계가 현실적으로 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 FRP Rebar의 국부 압축용력을 최소화할 수 있도록 ASTM 그림의 제원(= 내부 직경)을 결정하는 방법을 제안하고, 이를 원형 GFRP Rebar에 대하여 적용하여 타당성을 검증하고자 한다.

2. 인장 시험을 위한 정착구의 종류 및 특성

2.1. CSA 규준의 정착구

CSA 규준에서 제안하는 정착구는 강재의 실린더 속을 에폭시 수지로 채워 양생, 경화시킨 후 긴장 시 Rebar와의 부착력을 이용하여 인장시험을 하도록 제작된다. GFRP Rebar와 내부 충전 수지와 접착력이 충분할 경우에는 가장 양호한 GFRP Rebar의 인장 강도를 구할 수 있으나 에폭시 수지의 충전시, 기포 발생과 수지의 수축으로 인한 공극의 생성으로 충전 작업이 쉽지 않으며 수지의 양생을 위한 시간이 소요되어 제작이 번거롭다. 또한 재활용이 불가능하여 비경제적인 단점이 있다. 공칭 지름 12.7mm의 GFRP Rebar에 대한 정착구의 형상 및 치수는 그림 1과 같다.

2.2. ASTM 규준의 정착구

ASTM 규준에서 제안하는 앵커는 시험기와 맞물리는 부분에 압착으로 인하여 시편이 파괴되는 것을 방지하기 위하여 FRP Rebar에 전해지는 압축력을 감소시키도록 고안한 것이다. 알루미늄 탭 형태로 제작되어 설치 및 제작이 용이하며 재활용이 가능하여 가장 합리적인 것으로 판단된다. 공칭 지름 12.7mm의 GFRP Rebar에 대한 그림형상은 그림 2와 같다.

2.3. 썬기형 정착구

썬기형 정착구는 주로 프리스트레스 강연선의 정착에 사용하는 것으로 외부 소켓과 내부 썬기로 이루어져 있다. Rebar의 긴장시 Rebar와 썬기의 마찰 저항으로 정착력을 확보할 수 있도록 고안된 것이다. 기성제품으로 설치가 간편하며 가격도 경제적이지만 주로 GFRP Rebar의 인장강도 55~60% 내에서 정착구 부위에서의 응력 집중으로 인하여 파단되는 현상이 발생한다. 공칭 지름 12.7mm의 GFRP Rebar에 대한 형상 및 치수는 그림3과 같다.

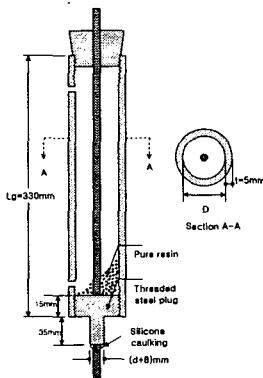


그림 1 CSA 정착구

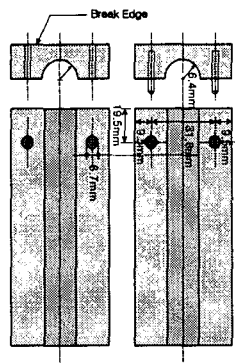


그림 2 ASTM 정착구

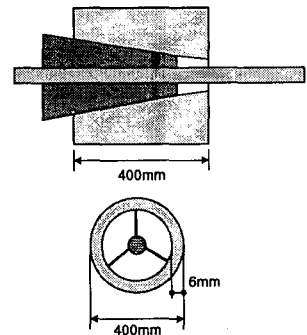
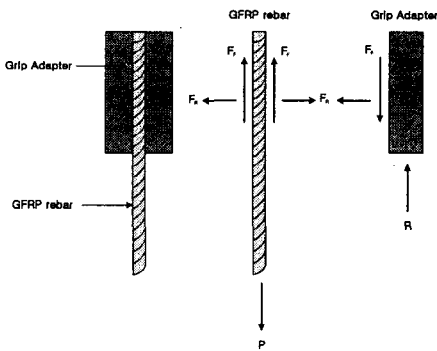


그림 3 썬기형 앵커

3. 제안 정착구

3.1. 정착구의 설계

현재 ASTM에서 제안하고 있는 그립의 형상 및 치수는 동일한 공칭지름을 갖는 모든 GFRP Rebar에 대하여 동일한 규격을 제안하고 있는 실정이다. 이에 따라 GFRP Rebar의 기하학적인 형상 및 외피형상의 차이로 인한 영향을 고려할 수 없어 각 종류별 GFRP Rebar의 인장특성치 평가에 대한 신뢰도가 저하되는 것이 현실이다. 이에 따라 본 연구에서는 다음의 방법을 이용하여 GFRP Rebar의 고정을 위한 그립 정착구의 적정 지름을 산정하였다. GFRP Rebar와 그립에서의 힘 평형조건은 그림 4와 같다.



$$F_F \geq P \quad (1)$$

$$F_R = \sigma_T D_G \pi l \quad (2)$$

$$F_F = \mu F_R \quad (3)$$

여기서, P : GFRP Rebar 파단하중,

F_F : GFRP Rebar와 정착구 사이의 마찰력,

F_R : 측면 구속력, σ_T 측면 구속압,

D_G : 정착구의 변형후 지름,

l : 정착구의 길이,

μ : GFRP Rebar와 정착구의 표면 마찰계수

그림 4 제안 정착구의 힘의 평형 조건

따라서 적정 마찰력 발생을 위한 원형 GFRP Rebar에서의 요구 변형도는 식(4)와 같이 계산되며, 이를 기준으로 하여 정착구의 내부지름을 식(5)와 같이 계산할 수 있다. 식(5)에서는 GFRP Rebar의 파단시의 축방향 변형에 대한 횡방향 변형을 프아송비로 고려한 값이다. 즉,

$$\epsilon_{FR} = \frac{\mu F_R}{D_G E_{FR} \pi l} \quad (4)$$

$$D_G = D(1 - \epsilon_{FR})(1 - \nu \epsilon_{FR}) \quad (5)$$

여기서, ϵ_{FR} , E_{FR} 는 각각 횡방향의 압축 변형을, 횡방향의 압축 탄성계수이며, ϵ_{FR} 는 GFRP Rebar의 축방향 파단 변형을, ν 는 프아송비이다. 시험대상으로 한 원형 GFRP Rebar의 물리적 특성을 나타내면 표 1과 같다. 상기의 GFRP Rebar의 제원에 대하여 마찰계수 μ 를 0.2로 가정하고, 정착구 길이 l 를 152mm로 했을때, 식(5)로부터 구한 적정그립의 내부지름은 12.22mm이다.

표 1 원형 GFRP Rebar의 물리적 특성

외피형태	공칭직경 (mm)	섬유 함유량(%)	비중 (g/m^3)	프아송비 (ν)	축방향 인장 강도(MPa)	축방향 인장 탄성계수(GPa)	횡방향 압축 강도 (MPa)	횡방향 압축 탄성계수(GPa)
원형	12.7	70	2.57	0.3	689	41.3	140	9

3.2. 실험을 통한 검증

위에서 분석한 바에 따라 본 실험에서는 각각 10.2mm, 11.2mm, 12mm, 12.8mm의 정착구의 내부지름

을 갖는 그림장치를 제작하여 ASTM D 3916-02에 따라 인장강도 실험을 실시하였다. 다양한 지름별 정착구의 인장응력-변형을 관계를 나타내면 그림 5 및 표 2와 같다. 표에서 보는 바와 같이, 적정 GFRP Rebar의 지름 12.3mm에 가까운 지름 12mm의 정착구를 사용하였을 때, 평균 인장강도가 820.6MPa로 가장 큰 인장강도를 얻을 수 있었다. 따라서 본 제안한 적정 그림의 산정방법은 어느 정도 타당성이 있을 것으로 판단된다.

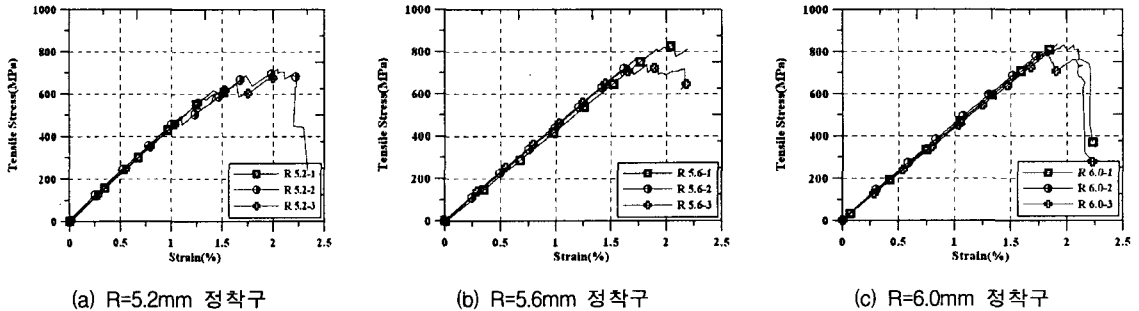


그림 5 다양한 지름의 정착구별 인장응력 - 변형을 곡선

4. 결론

- (1) GFRP Rebar의 인장시험을 위한 정착구 중에서 알루미늄 탭 형상의 ASTM 그림이 가장 실용적인 것으로 판단된다.
- (2) 계산으로 구한 원형 GFRP Rebar의 적정 그림직경은 12.24mm이며, 상기 치수에 가장 근접한 정착구를 사용하였을 때 실험적으로 가장 높은 인장강도값을 얻을 수 있었다.
- (3) 본 연구의 제안 방법을 응용하여 다양한 형상의 GFRP Rebar에 적용할 수 있는 정착구의 제원 결정방법에 대한 추가연구가 필요하다고 판단된다.

표 2 GFRP Rebar의 인장강도 및 최대 인장 변형율

시험체명	인장강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	최대인장 변형율(%)	비고	
원형 GFRP	R 5.2-1	664.12	38.1	-	파단
	R 5.2-2	685.71	37.5	1.721	"
	R 5.2-3	687.26	37.6	2.034	"
	R 5.6-1	821.48	43.3	1.981	"
	R 5.6-2	810.33	44.8	-	"
	R 5.6-3	734.71	44.3	1.927	"
	R 6.0-1	808.94	44.6	1.841	"
	R 6.0-2	862.81	45.0	-	"
	R 6.0-3	790.05	43.4	1.835	"
R 6.4	-	-	-	-	

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. 박지선, 유영찬, 박영환, 최기선, 유영준, 김광환, "GFRP Rebar의 인장특성 및 시험법에 관한 연구," 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2004.