

## GFRP 보강근의 설계 인장강도 발현을 위한 적정 그립시스템 개발

유영찬<sup>1)\*</sup>·박지선<sup>1)</sup>·유영준<sup>1)</sup>·박영환<sup>1)</sup>·김금환<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원

(2005년 3월 25일 원고접수, 2005년 9월 30일 심사완료)

### Development of Optimum Grip System in Developing Design Tensile Strength of GFRP Rebars

Young-Chan You<sup>1)</sup>, Ji-Sun Park<sup>1)</sup>, Young-Jun You<sup>1)</sup>, Young-Hwan Park<sup>1)</sup>, and Keung-Hwan Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Korea Institute of Construction Technology, Koyang, 411-712 Korea

(Received March 25, 2005, Accepted September 30, 2005)

#### ABSTRACT

Previous test results showed that the current ASTM(American Standard for Testing and Materials) grip adapter for GFRP(Glass Fiber Reinforced Polymer) rebar was not fully successful in developing the design tensile strength of GFRP rebars with reasonable accuracy. It is because the current ASTM grip adapter which is composed of a pair of rectangular metal blocks of which inner faces are grooved along the longitudinal direction does not take into account the various geometric characteristics of GFRP rebar such as surface treatment, shape of bar cross section as well as physical characteristics such as poisson effect, elastic modulus in the transverse direction and so on. The objective of this paper is to provide how to proportion the optimum diameter of inner groove in ASTM grip adapter to develop design tensile strength of GFRP rebar. The proportioning of inner groove in ASTM grip adapter is based on the force equilibrium of GFRP rebar between tensile capacity and minimum frictional resistance required along the grip adapter. The frictional resistance of grip adapter is calculated based on the compressive strain compatibility in radial direction induced by the difference between diameter of GFRP rebar and inner groove in ASTM grip. All testing procedures were made according to the CSA S806-02 recommendations. From the preliminary test results on round-type GFRP rebars, it was found that maximum tensile loads acquired under the same testing conditions is highly affected by the diameter of inner groove in ASTM grip adapter. The grip adapter with specific dimension proportioned by proposed method recorded the highest tensile strength among them.

**Keywords :** GFRP(glass fiber reinforced polymer) rebar, testing methods, tensile strength, grip system, ASTM(American Standard for Testing and Material) grip

#### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 시공성·경제성·내화성 및 내구성 측면에서 매우 유리한 건설재료로 인식되어 왔지만, 최근에 철근부식에 기인한 노후화 현상에 의해 지속적으로 손상이 발생되고 있으며, 이로 인한 유지관리 비용의 증대가 사회적으로 큰 관심을 불러일으키고 있다. 이에 따라 일본, 캐나다를 비롯한 선진 외국에서는 FRP 복합 재료를 이용한 구조물 건설 기술에 대한 많은 연구 개발을 통하여 설계매뉴얼<sup>6)</sup>이 작성되었으며, 이를 바탕으로 실제 구조물의 건설에 FRP 보강근이 많이 적용되고 있는

실정이다. 국내에서도 부식 환경에 자유로운 FRP 보강재의 특성을 건설 분야에 활용하기 위한 연구가 구조물의 보강 분야를 중심으로 활발하게 이루어지고 있으며, 이러한 연구개발은 FRP 보강재의 물리적·역학적 특성 분석 뿐만 아니라 내구성 평가를 위한 단계로까지 진전되고 있다<sup>1-3)</sup>. FRP 보강재는 자중이 작고 취급이 용이할 뿐 아니라, 최근에 구조적 성능에 있어서도 철근과 동등한 성능의 제품이 선진외국에서 개발되고 있어, 철근이나 강연선의 대체 재료로서 사용범위가 점차 확대되고 있는 추세이다. 이러한 장점을 지니는 FRP 보강재가 구조재료로서 충분한 강도와 강성을 지니기 위해서는 우선적으로 인장 특성치에 대한 명확한 분석이 요구된다.

한편 FRP 보강재는 재료 자체가 갖고 있는 취성적 특성으로 인하여 인장시험용 그립 부위에서의 응력집중에 기인한 조기 파단 현상이 나타나는 것으로 보고되고 있다<sup>4,6)</sup>.

\* Corresponding author

E-mail : yyou@kict.re.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

즉 FRP 보강근은 철근과는 달리 횡방향 전단강도가 낮기 때문에 인장특성치 파악을 위한 시험시, 정착구와 맞물리는 부위에서 조기에 파단되는 경우가 발생한다. 이러한 현상으로 인하여 시험시마다 인장강도 편차가 크게 발생하는 것이 일반적이며, 이로 인하여 FRP 보강근의 강도 특성치를 정확히 평가하지 못할 뿐만 아니라, 시공시의 품질 성능 및 공사 안전성을 확보하기 어려운 주요 요인으로 작용하게 된다. 따라서 이와 같은 현상을 방지하기 위해서는 FRP 보강근의 정착을 위한 그림장치로부터 가해지는 높은 국부압축응력을 적절히 분산시킴으로써 설계기준 강도를 발현할 수 있는 적정 그림 장치의 개발이 필요하다고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 FRP 보강근의 인장특성치 시험시 그림 부위에서의 국부적인 압축응력을 최소화할 수 있도록 ASTM(American Standard for Testing and Materials) 그림의 제원(= 내부 홈 직경)을 결정하는 방법을 제안하고, 원형 GFRP 보강근에 대한 인장강도 시험을 통하여 제안된 방법의 타당성을 입증함으로써 FRP 보강 콘크리트 구조물 건설 기술의 발전에 기여하고자 한다.

## 2. ASTM 인장 시험용 그림

### 2.1 ASTM 그림의 특징

ASTM 규준에서 제안하는 그림은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 내부 면이 반원 형태로 가공된 한 쌍의 금속블록으로 구성되어 있으며, FRP 보강근을 압착하여 고정하는 것을 특징으로 한다. 본 시험용 그림(grip)은 보강근의 공칭직경보다 약간 작은 치수로 강재블록의 내부에 반원 형태의 홈을 가공함으로써 시험기와 맞물리는 부분에서의 지압력에 의해 FRP 보강근이 국부적으로 파괴되는 것을 방지하도록 고안되었다. 또한, 홈의 내부는 FRP 보강근과 그림과의 마찰 저항력을 높이기 위해 샌드블래스트 처리를 한다. ASTM 그림은 탭(tab) 형태로 제작되어 설치 및 제작이 용이할 뿐만 아니라 재활용이 가능하여 편의성 측면에서 가장 유리할 것으로 판단된다. 공칭지름 12.7mm의 GFRP 보강근에 대한 그림의 형상을 나타내면 Fig. 1과 같다.

### 2.2 ASTM 그림의 문제점 분석

ASTM 그림방식은 GFRP 보강근에 유도되는 인장력을 금속블록과의 마찰력에 의해 지지하는 것을 기본 원리로 하고 있으며, 마찰력을 극대화하기 위해 GFRP 보강근과 금속블록이 접촉되는 반원형의 그림 내부에는 샌드블래스트 처리를 한다.

한편 현행 ASTM 규준에서 제안하고 있는 그림의 형상 및 치수는 동일한 공칭직경을 갖는 모든 GFRP 보강근에

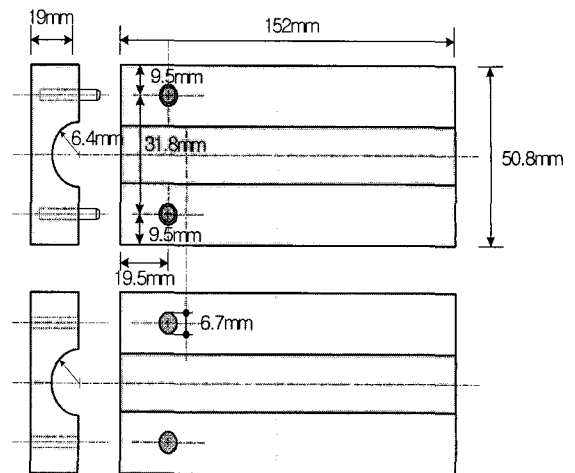


Fig. 1 Details of ASTM grip

대하여 동일한 규격을 제안하고 있으며, 내부직경의 크기는 실제 직경보다 다소 작게 제안되고 있다. 그러나 동일한 공칭직경으로 생산되는 제품의 경우에도 외피형상에 따라 각 제조회사별로 실제 직경에 차이가 있는 것으로 파악되고 있다. 이에 따라, 그림의 내부직경이 지나치게 작을 경우에는 UTM(Universal Testing Machine)의 상·하부의 그림에 유도되는 직경 방향의 압축응력이 급격히 증가되는 결과가 초래된다. 따라서 현행 ASTM 그림 규격의 제원으로는 GFRP 보강근의 기하학적인 형상 및 외피형상의 차이로 인한 영향을 고려할 수 없을 것으로 판단되며, 이로 인하여 각 종류별 GFRP 보강근의 인장특성치 평가에 대한 신뢰도가 저하될 것으로 사료된다.

### 2.3 ASTM 그림의 개선 방향

일반적으로 UTM에서는 V자형 척(jaw)의 장부작용에 의해 인장시험편이 고정되므로 ASTM 그림에서는 GFRP 보강근의 직경과 반구형 내부 홈의 직경 차이(= 직경방향 변형량)만큼 보강근에 압축력이 가해질 것으로 예상된다. 여기서 직경방향 변형량에 의해 유도되는 GFRP 보강근의 고정력(= 마찰력)이 보강근의 인장내력보다 작을 경우에는 GFRP 보강근의 인장파괴 이전에 슬립이 발생하지만, 고정력이 지나치게 증가되면 그림 내부에서 GFRP 보강근의 국부적인 압축파괴를 일으킬 가능성이 있다. 따라서 ASTM 그림에서 반구형 내부 홈의 직경은 개개의 GFRP 보강근의 외피특성에 부합하여 슬립이 발생되지 않는 범위내에서 가능한 작은 압축응력을 유발하도록 최적화되어야 할 것으로 판단된다.

## 3. GFRP 보강근의 인장특성 시험

### 3.1 GFRP 보강근

**Table 1** Properties of GFRP rebar

	Nominal diameter (mm)	Fiber volume fraction (%)	Density (g/m <sup>3</sup> )	Poisson ratio ( $\nu$ )	Longitudinal tensile strength (MPa)	Longitudinal elastic modulus (GPa)	Radial compressive strength (MPa)	Radial elastic modulus (GPa)
Round-type GFRP rebar	12.7	70	2.57	0.3	788	41.3	140	9

본 시험에 사용된 GFRP 보강근은 E-glass 섬유와 Vinyl Ester 수지를 사용하여 인발성형 (pultrusion) 방식에 의해 제작된 국내 K사 제품을 선정하였다. 현재 외국에서 상용화되고 있는 GFRP 보강근의 외피에는 규사를 코팅하거나 나선형태의 이형마디(deformation)를 성형하는 것이 일반적이다. 이러한 외피 부분은 콘크리트와의 부착 성능을 높이기 위해 반드시 요구되는 부분이지만, 보강근의 내부 심재(core)에 비하여 역학적 성능에 대한 기여도가 작은 반면 두께, 구성 등에 있어서 비정량적인 요소가 상대적으로 높다.

이에 따라 ASTM 그림에서의 내부 홈 직경의 최적화 도출 방법을 검증하기 위해서는 우선적으로 외피의 영향에 의한 비정량성을 배제하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다. 따라서 본 연구에서는 내부 심재에 해당하는 원형 GFRP 보강근을 시험 대상으로 선정하였다. 선정된 보강근의 물리적 특성을 나타내면 Table 1과 같으며, 그 형상은 Fig. 2와 같다.

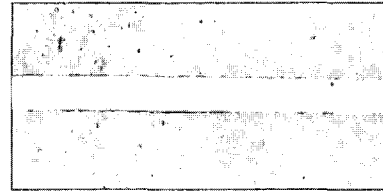
### 3.2 ASTM 그림의 제작

ASTM 규준에서 제안하는 규격에 따라 제작된 그림의 형상을 나타내면 Fig. 3과 같다. 공칭직경 12.7 mm의 GFRP 보강근에 대하여 규정된 ASTM 그림의 크기는 152×50×19 mm이며, 그림 내부 면에 가공되는 반원의 직경은 6.4 mm로 규정되어 있다. 금속의 재질로는 알루미늄 합금 6061-T6을 사용하였다. ASTM 그림은 탭(Tab) 형태로 제작되므로 조립 및 해체가 용이할 뿐만 아니라 재활용이 가능하여 편의성 측면에서 유리할 것으로 판단된다. ASTM 그림의 GFRP 보강근에 대한 조립상황을 나타내면 Fig. 4와 같다.

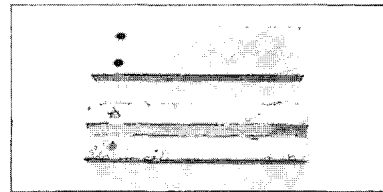
### 3.3 인장강도 시험편 치수 및 형상

현재 GFRP 보강근의 인장강도 시험법을 규정하고 있는 ASTM D3916-02에서는 인장강도 시험편의 길이에 대한 명확한 규정이 없는 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 CSA C806-02의 권고사항에 따라 40d (d는 공칭직경) 이상의 측정길이(gauge length)를 확보하는 것으로 설정하였다. 따라서 ASTM 그림을 사용하는 인장강도 시험편의 길이는 측정 길이인 448 mm를 포함하여 총 길이를 848 mm로 결정하였다.

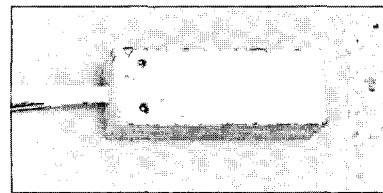
### 3.4 시험 및 측정 방법



**Fig. 2** Round-type GFRP rebar



**Fig. 3** Manufacture of ASTM grip



**Fig. 4** Fabrication of ASTM grip

GFRP 보강근에 대한 인장강도, 인장탄성률 등의 인장특성치에 대한 시험 방법은 CSA S806-02 제안에 근거하여 실시하였다. GFRP 보강근에 대한 가력방법은 최대용량 1,000 kN의 만능시험기 상·하부에 GFRP 보강근의 고정을 위한 그림장치를 설치하고 단조가력 방식으로 인장하중을 도입하였다. 하중 가력속도는 500 MPa/min.로 파단시까지 일정하게 가력하였다. GFRP 보강근의 변형률을 측정하기 위해 시험편의 중앙부에 변형률 게이지(W.S.G)를 각각 2개 부착하였으며, Data Logger를 이용하여 연속적으로 기록·측정하였다. 1,000 kN 용량의 만능시험기에 인장강도 시험편을 설치한 모습을 나타내면 Fig. 5와 같다.

## 4. ASTM 그림의 반구형 내부 홈 직경 산정 방법

### 4.1 산정 방법

ASTM 그림에서 반구형 내부 홈의 최적 직경은 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 GFRP 보강근의 직경방향 변형률에 의해 유도되는 그림에서의 압축력과 표면마찰계수의 곱으로 표현되는 GFRP 고정력이 보강근의 인장내력과 힘의

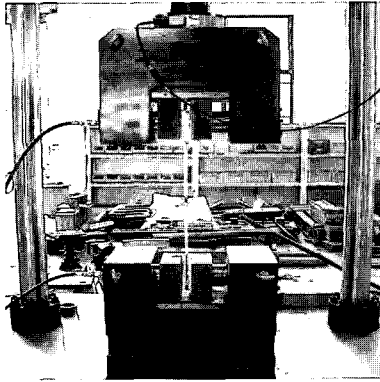


Fig. 5 Test set-up

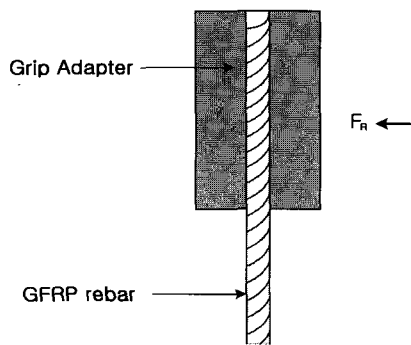


Fig. 6 Force equilibrium on ASTM grip

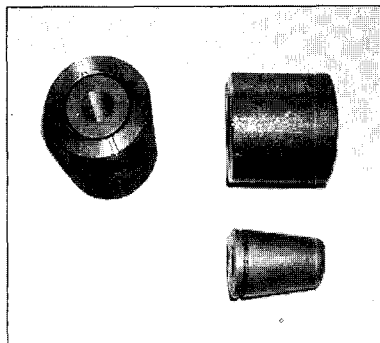


Fig. 7 Details of wedge-type grip

평형을 이루는 조건으로 구할 수 있다. 또한 ASTM 그립에서 GFRP 보강근에 대한 압축력은 GFRP 보강근의 직경과 반구형 내부 홈의 직경 차이에 의한 변형을 적합조건에 의해 구할 수 있다. ASTM 그립에서 GFRP 보강근의 직경방향으로 작용하는 압축력에 의해 유발되는 마찰력과 GFRP 보강근의 길이 방향으로 작용하는 인장력과 힘 평형조건식을 나타내면 식(1)~(3)과 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 보강근의 인장내력  
 $F_F$  : GFRP 보강근과 그립과의 마찰력  
 $F_R$  : GFRP 보강근의 직경방향 압축력  
 $\sigma_T$  : 측면 구속압,  $l$  : 그립의 길이  
 $D_G$  : 그립의 반구형 내부 홈 직경  
 $D$  : GFRP 보강근의 직경  
 $\mu$  : GFRP 보강근과 그립의 표면 마찰계수

위 식에서 GFRP 보강근의 고정을 위하여 요구되는 최소한의 마찰력을 발생시키기 위하여 요구되는 원형 GFRP 보강근의 직경방향 압축 변형률은 식(2)와 식(3)의 힘 평형조건에 의해 식(4)와 같이 계산되며, 이를 기준으로 그립의 의 내부 홈 지름을 식(5)와 같이 계산할 수 있다. 식(5)는 GFRP 보강근의 파단시의 축방향 변형에 대한 횡방향 변형을 푸아송비로 추가로 고려한 값이다.

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

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

여기서,  $\epsilon_{fT}$  : 횡방향 압축 변형률  
 $E_{fT}$  : 횡방향 압축 탄성계수  
 $\epsilon_{fu}$  : 축방향 파단 변형률,  $\nu$  : 푸아송비

#### 4.2 반구형 내부 홈의 최적 직경 산정

시험 대상으로 선정한 원형 GFRP 보강근의 물리적 특성을 식(5)에 대입하여 계산한 ASTM 그립의 최적 내부 홈 직경은 GFRP 보강근과 ASTM 그립과의 마찰계수의 범위를 0.2~0.4로 가정하였을 때, 12.19~12.25mm 범위인 것으로 산정되었다. 여기서 ASTM 그립의 길이  $l$ 은 ASTM 규격에서 규정된 값을 사용하여 152mm로 고정하였다. 또한 Table 1에서 보는 바와 같이 실험적으로 정량화하기 어려운 제반 특성치인 밀도(density), 직경방향 압축강도 및 탄성계수 값은 제조사의 규격치(catalog)를 참조하여 계산하였다.

### 5. 시험 결과 및 고찰

#### 5.1 예비시험 결과 분석

본 연구에서 개발하고자 하는 ASTM 그립에 의한 시험 방법의 적정성을 비교하기 위해 Fig. 7에서 보는 바와 같이 기존 강연선의 정착에 일반적으로 사용되는 썬기형 그립을 사용하여 시험된 GFRP 보강근의 강도발현 특성 결과를 요약하여 표로 나타내면 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이, 썬기형 그립에 의해 시험

**Table 2** Test results of round-type GFRP rebar with wedge-type grip

Specimen*	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Elastic modulus (GPa)	Failure pattern	
Wedge-type grip	W-1	482.22	1.120	43.1	Fracture
	W-2	560.40	1.171	45.6	"
	W-3	503.12	1.187	42.4	"
	W-4	507.76	1.228	41.3	"
	W-5	513.18	1.052	40.2	"
	Ave.	513.34	1.15	42.52	-

\* W : specimen tested wedge-type specimen

**Table 3** 1st test results on round-type GFRP rebar

Specimen*	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Elongation (%)	Failure pattern	
φ10.4	R 5.2-1	664.12	38.10	-	Fracture
	R 5.2-2	685.71	37.50	1.721	"
	R 5.2-3	687.26	37.60	2.034	"
	Ave.	679.03	37.73	1.878	-
φ11.2	R 5.6-1	821.48	43.30	1.981	"
	R 5.6-2	810.33	44.80	-	"
	R 5.6-3	734.71	44.30	1.927	"
	Ave.	788.84	44.13	1.954	-
φ12.0	R 6.0-1	808.94	44.60	1.841	"
	R 6.0-2	862.81	45.00	-	"
	R 6.0-3	790.05	43.40	1.835	"
	Ave.	820.60	44.33	1.838	-

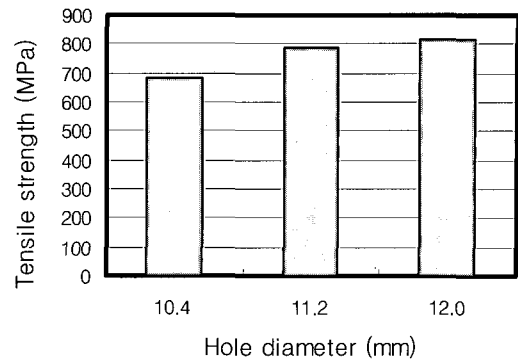
\* R : radius of grip adapter

된 GFRP 보강근의 평균 인장강도는 약 513.3MPa 정도로 규격강도의 약 65% 정도를 나타내고 있다. 이러한 경향은 파단신율에 대한 비교에서도 알 수 있는 바와 같이, 썸기형 그림에 의해 시험된 GFRP 보강근에서는 썸기의 장부작용에 의한 국부적인 응력집중이 크게 발생되어 규격강도에 도달하기 이전에 조기 파단이 발생된 것으로 판단된다. 따라서 썸기형 그림에 의한 시험방법은 GFRP 보강근의 인장 특성치 파악에 매우 부적절하다고 판단된다.

### 5.2 1차 시험 결과 및 분석

예비시험 분석에서 살펴 본 바와 같이, 썸기형 그림은 썸기의 장부작용에 의해 발생하는 국부적인 압축응력에 의해조기파괴가 발생되므로 GFRP 보강근의 강도가 낮게 측정되는 것으로 나타났다. 따라서 마찰저항 방식에 근간한 ASTM 그림에 의한 시험방법이 GFRP 보강근의 인장 특성치를 규명하는 방법의 한 가지 대안으로 타당성이 높을 것으로 판단된다.

한편 본 연구에서 계산된 최적 내부 홈 직경의 변동범위는 1/100mm 단위로서 정밀가공이 어려울 뿐만 아니라, 가점된 여러 가지 정수의 불확실성이 높기 때문에 처음부터 일반해(general solution)값에 대한 검증실험을 실시하기에는 많은 무리가 따를 것으로 예상된다. 따라서 본 연



**Fig. 8** 1st test results on the average tensile strength according to diameter of groove in ASTM grip

구에서는 제안된 방법의 타당성을 1차적으로 검증하기 위하여 내부 홈 직경의 차이를 0.8mm 정도로 넓게 설정하여 제작된 ASTM 그림을 이용하여 그 경향을 파악하고자 하였다. 실험 결과를 정리하여 나타내면 Table 3과 같으며, 내부 홈 직경별 인장강도 측정치를 나타내면 Fig. 8과 같다.

제한된 시험 결과에 의하면 공칭직경 12.7mm의 원형 GFRP 보강근의 최대 평균인장강도는 ASTM 그림의 내부 홈 직경의 증가에 따라 비례적으로 증가되는 것으로 나타났으며, 약 12.0mm 이상에서 최대값을 보일 것으로 예상된다. 이러한 시험 결과는 4.2 절에서 계산된 적정 내부 홈 직경의 크기와 일치하는 것으로서 매우 신뢰성이 높은 결과라고 판단된다. 따라서 본 연구에서는 보다 좁혀진 범위의 변수로서 내부 홈 직경의 산출을 위한 2차 시험을 실시하였다.

### 5.3 2차 시험 결과 및 분석

2차 시험에서는 보다 좁혀진 내부 홈 직경의 범위에 대하여 제작공정상의 한계오차인 0.02~0.03mm 정도를 변수로 하여 시험용 그림을 제작하였다. 즉 그림의 내부 홈 반경을 각각 6.0, 6.05, 6.08, 6.10, 6.12 및 6.15mm 로 설정하였으며, 기타 나머지 사항은 모두 동일하게 하였다. 2차 시험 결과를 정리하여 나타내면 Table 4와 같으며, 내부 홈 반경의 변화에 따른 인장강도 측정치를 1차 시험 결과와 함께 나타내면 Fig. 9와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 내부 홈 직경의 변화에 따른 평균 인장강도 측정치는 12.20mm를 정점으로 하는 2차 포물선 관계를 나타내는 것으로 나타났다. 이는 본 연구에서 제안한 방법에 따라 계산된 ASTM 그림의 적정 홈 직경의 범위인 12.19~12.25mm와 매우 근사한 것으로서 그 타당성이 매우 높은 결과라고 판단된다. 또한, 12.20

**Table 4** 2nd test results on round-type GFRP rebar

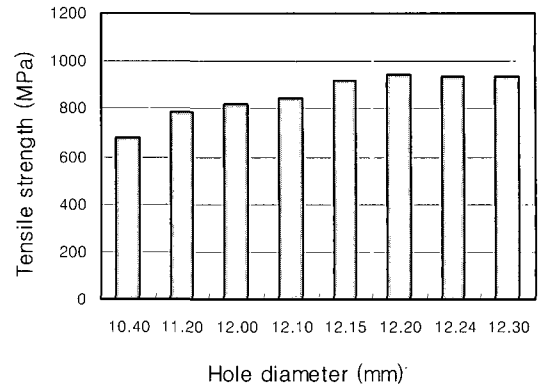
Specimen*	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Elongation (%)	Failure pattern	
φ12.10	R 6.05-1	800.58	44.43	2.112	Fracture
	R 6.05-2	818.77	45.12	1.837	"
	R 6.05-3	887.58	44.0	2.150	"
	R 6.05-4	837.89	-	-	"
	R 6.05-5	877.60	-	-	"
	Ave.	844.49	44.52	2.033	-
φ12.16	R 6.08-1	957.09	46.0	2.0817	Fracture
	R 6.08-2	843.93	43.84	2.064	"
	R 6.08-3	924.27	-	-	"
	R 6.08-4	960.88	-	-	"
	R 6.08-5	897.33	-	-	"
	Ave.	916.70	44.92	2.073	-
φ12.20	R 6.1-1	941.14	42.3	2.191	Fracture
	R 6.1-2	954.69	44.52	2.154	"
	R 6.1-3	979.77	44.48	2.379	"
	R 6.1-4	967.61	-	-	"
	R 6.1-5	-	-	-	"
	Ave.	960.80	43.77	2.241	-
φ12.24	R 6.12-1	901.98	45.9	1.971	Fracture
	R 6.12-2	987.90	44.37	2.237	"
	R 6.12-3	952.68	45.65	2.119	"
	R 6.12-4	924.27	-	-	"
	R 6.12-5	917.23	43.88	2.133	"
	Ave.	936.81	44.95	2.115	-
φ12.30	R 6.15-1	942.54	43.63	2.120	Fracture
	R 6.15-2	949.19	44.29	2.165	"
	R 6.15-3	948.42	43.98	2.167	"
	R 6.15-4	896.41	42.70	2.084	"
	R 6.15-5	929.46	45.42	2.053	"
	Ave.	933.20	44.0	2.118	-

\* R : radius of grip adapter

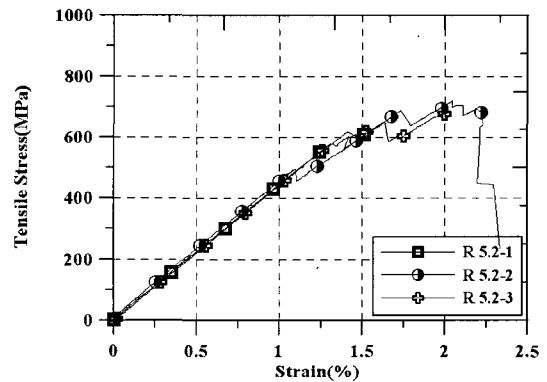
mm 직경의 그립을 이용하여 시험하였을 때 얻어진 파단 신율의 값도 평균 2.24%로서, 상용화되고 있는 외국제품의 평균적인 파단신율인 2.0% 보다 10% 정도 큰 값을 나타내고 있다. 따라서 제한된 실험 결과에 의하면 ASTM 그립에서의 내부 홈 직경을 본 연구에서 적용한 방법으로 산정할 경우 원형 GFRP 보강근의 적정 인장강도 발현이 가능할 것으로 판단된다.

#### 5.4 응력-변형률 곡선

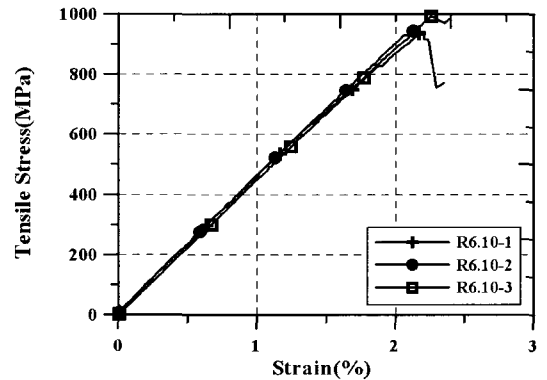
GFRP 보강근의 중앙부 표면에 부착된 W.S.G로부터 얻어진 변형률 값을 이용하여 대표적인 GFRP 보강근의 응력-변형률 관계를 나타내면 Figs. 10 및 11과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 GFRP 보강근은 파단시까지 완전 선형거동을 보이는 것을 알 수 있으며, 그립의 종류에 따라 최대인장강도 값이 다르게 예측되는 것을 알 수 있다. 그러나 그립의 종류에 따른 탄성계수의 차이는 거의 나타나지 않는 것으로 나타났다.



**Fig. 9** 2nd test results on the average tensile strength according to the diameter of groove in ASTM grip



**Fig. 10** Stress-strain relationship of GFRP rebar with φ10.4 mm-diameter grooved ASTM grip



**Fig. 11** Stress-strain relationship of GFRP rebar with φ12.2 mm-diameter grooved ASTM grip

### 5. 결 론

- 1) GFRP 보강근의 인장강도는 그립의 종류 및 특성별로 시험 결과가 각기 상이한 경향을 나타내고 있다. 따라서 GFRP 보강근의 인장강도 특성치 분석을 위해서는 적정 그립 시스템의 개발이 요구된다.

- 2) 원형 GFRP 보강근에 대하여 본 연구에서 제안한 방법에 의해 계산된 ASTM 그림에서의 최적 내부 홈 직경은 12.19~12.25mm 범위이며, 내부 홈 직경이 12.20mm일 때 가장 높은 인장강도를 얻을 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 제안한 방법은 원형 GFRP 보강근의 인장특성치 분석을 위한 ASTM 그림 제작에 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 3) ASTM 기준에 의해 제시된 그림의 제원을 이용하여 구한 원형 GFRP 보강근의 파단시 인장강도는 썬기형 그림에 의한 평균 인장강도 보다 약 45% 정도 큰 값을 나타내고 있다.
- 4) 현재 GFRP 보강근의 인장시험을 위해 제안된 그림 시스템 중에서 ASTM에서 제안하는 알루미늄 탭 형의 정착구가 가장 실용적인 형태인 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 공공기술연구회의 2003년도 정책연구사업인 “FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발”의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

1. 원종필, 박찬기, 서정민, 공태웅, 성상경, 최석원, “고연성 하이브리드 FRP 리바의 화학적 환경 노출 후 부착성능”, 한국콘크리트학회 2004 가을 학술발표회논문집, Vol.16, No.2, 2004, pp.333~336.
2. 박찬기, 원종필, 강주원, “콘크리트 보강용 FRP 보강근의 내구성 설계를 위한 환경영향계수의 제안”, 콘크리트학회 논문집, Vol.16, No.4, 2004, pp.529~539.

3. 원종필, 박찬기, 황금식, 윤종환, “콘크리트 보강용 하이브리드 FRP 리바의 특성”, 한국콘크리트학회 2003 봄 학술발표회논문집, Vol.15, No.1, 2004, pp.255~260.
4. 박지선, 유영찬, 박영환, 최기선, 유영준, 김궁환, “GFRP Rebar의 인장특성 및 시험법에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2003 봄 학술발표회논문집, Vol.15 No.1, 2004, pp.172~175.
5. 박지선, 유영찬, 박영환, 김형열, 유영준, 김궁환, “GFRP Rebar의 적정 인장강도 발현을 위한 정착구 개발에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 2004 가을 학술발표회 논문집, Vol.16, No.2, 2004, pp.797~800.
6. ISIS Canada, *Reinforcing Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers*, Design Manual No.3, Sep. 2001, pp.5.1~13.4.
7. Canadian Standard Association, *Design and Construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers*, Canadian Standard Association, May 2002, pp.73~83.
8. 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, pp.1~4.
9. 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.
10. L. Javier Malvar, “Tensile and Bond Properties of GFRP Reinforcing Bars”, *ACI Materials Journal*, Vol.92, No.3, May-Jun. 1995, pp.276~285.

### 요 약

기존 연구자에 의해 수행된 GFRP 보강근의 인장특성치 분석을 위한 많은 시험 결과에 의하면, 현행 ASTM 규격에서 제안하는 그림을 사용하여 GFRP 보강근에 대한 인장강도 시험을 할 경우, 설계용 인장강도 특성치가 충분히 발현되지 않는 것으로 보고되고 있다. 이러한 원인은 두개의 금속재 블록에 내부 홈을 성형하여 마찰저항 방식에 의해 GFRP 보강근을 고정하는 것을 특징으로 하고 있는 ASTM 그림은 다양한 외피조건 및 단면형상을 지니고 있는 GFRP 보강근의 물리적 특성을 충분히 반영하지 못하고 있는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 GFRP 보강근의 인장강도 특성치가 충분히 발현될 수 있도록 ASTM 그림에서의 최적의 내부 홈 치수를 도출해 내는 방법을 제안하고 시험을 통하여 입증하고자 한다. 본 연구에서 제안하는 ASTM 그림에서의 내부 홈 치수에 대한 최적화 방법은 GFRP 보강근의 인장내력을 발현하기 위해 요구되는 최소한의 압축력과 평형을 이루도록 압축변형률 적합조건을 적용하여 GFRP 보강근의 직경에 대해 ASTM 그림의 내부 홈 직경을 조정하는 방법을 적용하였다. 본 시험에 사용된 시험편의 제작, 가력 및 측정장치의 설치 등은 CSA S806-02에서 제안하는 권고 사항에 따라 실시하였다. ASTM 그림의 내부 홈 직경크기를 달리하여 실시된 GFRP 보강근의 인장강도 시험결과에 의하면 측정된 인장강도 최대치는 ASTM 그림의 내부 홈 직경의 크기에 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 그 중에서 본 연구에서 제안한 방법에 의해 산정된 ASTM 그림을 이용한 시험결과가 가장 큰 인장강도 값을 기록하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 제안하는 방법은 GFRP 보강근의 인장강도 특성치 분석을 위한 ASTM 그림의 제작에 매우 유용할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : GFRP 보강근, 시험 방법, 인장강도, 그림 시스템, ASTM 그림