

# UCAS 공법에 의해서 제작된 CFRP rod와 U형 앵커의 인장특성 Tensile Properties of CFRP Rod and U Type Anchor manufactured by UCAS Method

서성탁\*  
Seung-Tag Seo\*

## <Abstract>

Important material properties of UCAS rod can divide by tension characteristic of base rod part and both end part of U type anchor. Tensile properties of base rod part need as concrete reinforcement material as an alternative material of reinforcing rod, and tensile properties of U type anchor is used at connection with UCAS rod. This treatise carry out tensile test of UCAS rod, examine necessary properties such as strength, elastic modulus and maximum capacity of UCAS rod as reinforcement material of concrete. Also, to examine material properties carry out tensile test of U type anchor.

**Keywords** : Carbonfiber, Tensiletest, epoxy, anchor

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 컴퓨터의 고성능화, 저가격화와 통신의 대용량화, 고속화를 2개의 기둥으로 하는 IT혁명은 인터넷 이용을 급속히 보급시켜, 세계의 사회, 경제 시스템 및 문명관, 가치관을 크게 바꾸고 있으며, 그 경향은 향후 한층 심화될 것으로 예상된다. 이 IT혁명은 기능특성에 대해 2개의 벡터를 가진다고 생각된다. 그것은 무한소에 가까워지는 벡터와 무한대에 가까워지는 벡터이다. 전자는 정보 전달의 효율화에 수반하는 생산과 물류·판매에 걸리는 에너지나 자원의 삭감 등이며, 후자는 정보의 공유화 및 글로

벌화 등이다.

우리나라에 있어도 IT혁명은 정치·경제 등의 모든 분야에 영향을 주고 구조적인 변혁을 요구하는 것은 건설업에 있어도 예외는 아니다. 현재 모든 발주처에서는 공공사업 입찰계약 적정화법의 취지를 철저히 하는 것과 동시에 투명성, 경쟁성의 한층 더 향상 등을 통한 공공사업 구조개혁의 일환으로서 그 기반을 제공하는 IT화를 추진하고 있다. 이 효과로서 발주자는 공공 공사의 품질 향상, 건설 코스트의 감축, 사업 집행의 신속화, 투명성의 향상이 전망되는 것 외에 수주자는 이동 코스트의 삭감, 수주 기회의 확대 및 사업의 효율화가 전망되고 있다.

또한, 21 세기는 「환경의 세기」라고도 말하

\* 정희원, 초빙교수, 해천대학 건설정보과

\* seosungtag@yumail.ac.kr

듯이 환경 문제의 관심이 세계적으로 고조되고 있으며, 특히 지구 온난화 방지나 생활환경의 개선·보전에 배려한 사회의 구축, 건전한 물질 순환이 확보된 순환형사회의 형성 등은 절실한 과제이다. 따라서 건설공사에 있어서의 분별 해체 등 및 재자원화 등을 의무화한 「건설공사와 관련되는 자재의 재자원화 등에 관한 법률」 시행되거나 추진중에 있다. 이와 같이, 건설업에 대해서도 건설폐기물 등의 계획적인 해체, 재자원화, 재생 이용의 촉진이 중요한 과제가 되고 있다.

현재의 콘크리트 구조의 주류를 차지하는 설계·시행 시스템은 철근콘크리트 구조이다. 이 구조는 19 세기에 교량 건설에 적용된 이래 오늘날까지 근대건축과 사회기반의 구축에 중요한 역할을 하고 있다. 1세기 이상의 세월을 거친 철근 콘크리트의 원리는 건설 분야의 연구자에게 있어 오늘 더욱더 중요성을 띠고 있다. 그러나 구조물이 대량 또한 집중적으로 건설되는 현대로는 품질이 뛰어난 철근 콘크리트 구조물을 안정적으로 공급하기 어려운 상황에 있으며, 최근의 콘크리트 피폭이 벗겨져 떨어지는 사고의 발생 등에 의해 철근콘크리트에 대한 지금까지의 사회적 신용은 저하되고 있다. 또한, 고도 경제성장시에 많이 만들어진 도로 구조물의 노후화가 더욱 더 표면화하는 것이 예상되고 있어 이러한 유지보수는 향후의 큰 과제가 되고 있다.

이상과 같이 IT시대의 도래는 정보넷 시스템에 적합한 콘크리트 건설시스템의 확립을 저비용과 시공관리의 측면으로부터 요구하고 있다. 또한 환경·에너지 절약성이나 토털 라이프 사이클 코스트가 사회적으로 중요시되고 있다. 이러한 사회적 과제에 대응하려면, FRP보강 콘크리트에 관한 새로운 각도에서 대응이 필요하다. 이것이 본 연구의 배경이며, 발단이다. 즉, 경량·고강도이며, 내식성이 뛰어난 FRP 재료, 특히 탄소섬유(CFRP)는 중후·장대한 철근이나 강재에 없는 IT 적합성이 풍부하며, 3K(힘듦, 위험, 더러움)를 경감시키며, 신뢰성이 있는 시공을 가능으로 하는 등, 잠재적으로 매력의 큰 보강 구조재이다.1),2),3)

이러한 과제에 대응하기 위해서 UCAS 공법(Uni-directional Carbon-fibers Assembly System for Concrete Structure)의 제안한다.

UCAS 공법이란, 자동배근 로봇에 의해, 비경화형 탄소섬유 케이블, 혹은 상온 경화형 섬유 결합재를 사용한 전경화형, 부분 경화형의 탄소섬유 강화 플라스틱을 제조하여, 이것들을 콘크리트 구조물의 보강재로서 자동 설치하는 보강 공법이다.

이 공법의 특징으로서, ① 설계로부터 시공까지를 온라인화하는 것으로 정확한 정보의 전달이 가능해지기 때문에, 설계 및 배근을 로봇에 의해 실시하는 것으로 프리캐스트화가 가능하며, 현장에 있어서의 배근공 등의 감축화·저비용화가 실현된다. ② 내식성·내화학 약품성이 뛰어난 소재이므로, 장수명의 성능 설계가 가능하고, 콘크리트 피복도 작게 할 수 있으므로, 콘크리트 구조물 전체의 중량이 감소시키고, 상부공의 내진성도 유지된다. 또한, 건설시에 사용되는 콘크리트 량도 줄어들기 때문에, 초기 건설 코스트도 그 만큼 줄어들며, 보강재의 제작 및 건설시에 배출되는 CO2도 삭감할 수 있다. 즉, 자원 절약화·저비용화가 가능해져, 환경보전과도 연결된다. ③ 경량임으로 수송 코스트의 절감, 작업의 안전성의 향상이 가능해진다. ④ 콘크리트 커터에 의한 해체 및 재생 이용이 용이하여, 순환형 사회에 적절하다. 등을 들 수 있다.

본 연구에서는 먼저 UCAS rod 모재의 인장시험을 실시하며, UCAS rod의 내력, 강도, 탄성계수 등의 콘크리트 보강재로서 필요한 물성치를 파악하고, U형 앵커의 인장시험을 실시하여, U형 앵커의 내력을 규명하는데 목적이 있다.

## 2. 모재 및 U형 앵커 인장시험

### 2.1 공시체 제원

#### (1) UCAS rod 모재의 인장시험

공시체 및 사용한 sleeve의 치수를 Fig.1, Fig.2에 나타낸다. 시험에서는 Table.1에 나타내는 연속 탄소섬유와 섬유 결합재를 사용하였으며, 축방향 및 원주방향 긴장력을 각각 49N로 UCAS rod를 제작했다.

시험 케이스는 Table.2와 같이 연속 탄소섬유의 감은수를 변수로 하여 40다발, 80다발 및 120다발의 3가지 타입으로 하였다. 공시체수는

40다발의 공시체는 20체, 80다발 및 120다발의 공시체는 각각 3체를 제작하였다. 40다발은 Fig.1(a)에 나타낸 바와 같이 모재를 직접, 80다발 및 120다발은 정착을 강하게 하기 위해서 Fig.1(b)에 나타낸 것과 같이 U형 앵커를 각각 sleeve에 삽입하여, 팽창재를 충전했다. 정착에 사용한 팽창재는 태평양 매테리얼(주)를 사용하였으며, 설정팽창압은 60 N/mm<sup>2</sup>로 했다.

(2) U형 앵커 인장시험

공시체는 Table.1에 나타내는 연속탄소섬유와 섬유결합재를 사용하여, 축방향 및 원주방향 긴장력을 각각 49N로 제작하였다. 연속탄소섬유의 감음수는 40다발 공시체수는 6체이다. U형 앵커의 형상은 Fig.2에 나타내듯이 한편은 단수, 다른 한편은 복수가 된다. 이것을 Photo.1과 같이 단부를 앵커로 연결하는 것을 목적으로 했기 때문이다.4)

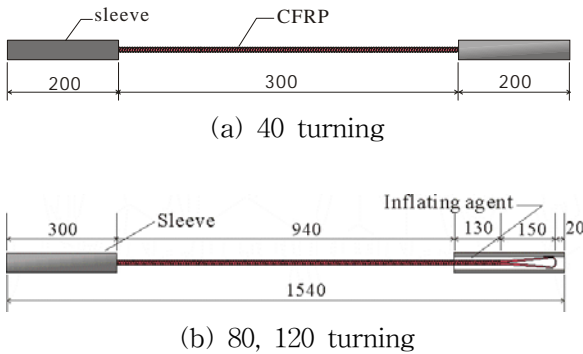


Fig.1. Specimen properties

Table.1 Properties of Carbon Fiber

Material	Products	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (N/mm <sup>2</sup> )
Carbon fiber	Torayca T700S 12K	4.80 × 10 <sup>3</sup>	2.35 × 10 <sup>3</sup>
Epoxy	TS primer	60.6	

Table.2 Case of Test

Case	Section area			Specimen No.
	CFRP(A <sub>T</sub> )	CF(A <sub>CF</sub> )	A <sub>CF</sub> /A <sub>T</sub> (%)	
40회	32.9	18.4	55.9	20
80회	61.5	36.8	59.8	3
120회	88.7	55.2	62.2	

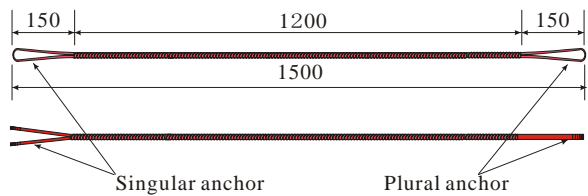


Fig.2. Specimen Size.



Photo.1. End part connection of U anchor type.

2.2 Sleeve와 일체화

인장공시체는 팽창재를 이용하여 Sleeve와 UCAS rod를 일체화시켰다. 일체화의 순서는 먼저 완성한 UCAS rod의 단부를 강관 sleeve의 중앙에 설치한다. 강관 하단부에는 누수 방지용의 패킹을 설치하며, 강관 상단부에서 강관과 UCAS rod와의 틈새에 정착용 팽창재를 충전하여, UCAS rod와 Sleeve를 일체화시켰다. Sleeve에 걸리는 팽창압은 Fig.3에 나타내듯이 Sleeve축방향, Sleeve 원주방향으로 강재용 변형계이지를 각각 2매씩 붙여 계측하였으며, 변형을 식(1)로 관리했다.

$$p_e = \frac{E_s(k^2 - 1)}{2(1 - \gamma_s^2)} (\epsilon_\theta + \nu_s \epsilon_L) \quad (1)$$

여기서,

$P_e$  : 팽창압(N/mm<sup>2</sup>)

$E_s$  : Sleeve의 탄성계수(N/mm<sup>2</sup>)

$k$  : Sleeve의 외내경비(외경/내경)(mm)

$v_s$  : Sleeve의 포아송비

$\epsilon_\theta$  : Sleeve 원주방향 변형률 평균치

$\epsilon_z$  : Sleeve 축방향 변형률 평균치

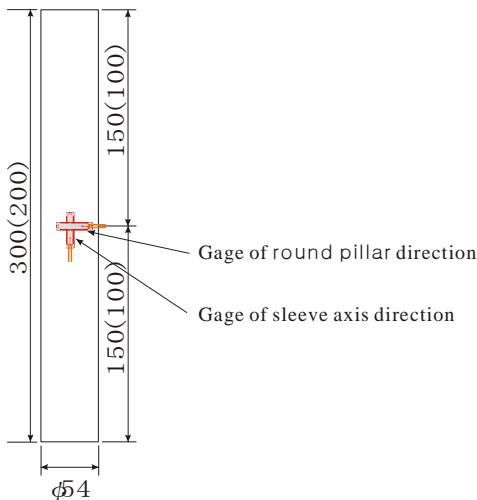


Fig.3. Gage setting.

### 2.3 측정방법

UCAS rod의 모재인장시험 및 U형 앵커 인장시험의 계측기기 설치요령을 Fig.4에 나타냈다. 공시체에 걸리는 인장 하중은 40다발의 시험은 눈금의 읽기를 60다발 및 120다발의 시험은 공시체의 상부에 설치한 로드셀로 계측했다. 변형은 모재중양부에 붙인 탄소섬유용 변형 게이지로 계측했다.

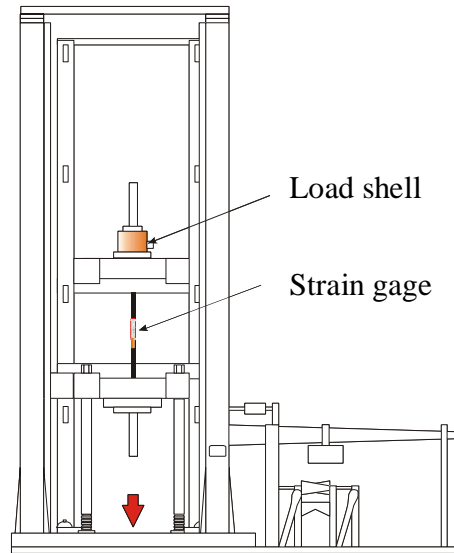
### 2.4 재하

#### (1) UCAS rod 모재 인장시험

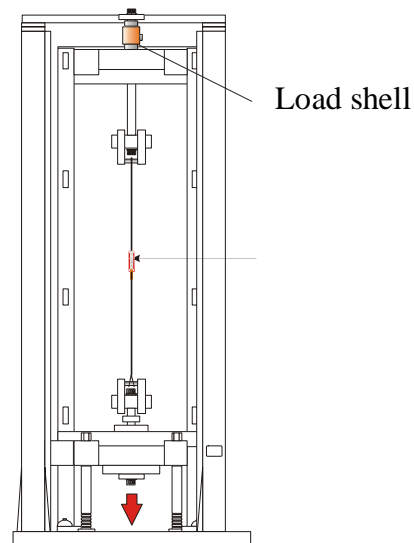
시험 방법은 「연속 섬유 보강재의 인장시험 방법(안)(JSCE-E531-1995)」에 준하여 실시하였다. 시험상황을 Photo.2에 나타냈다. 재하속도는 40다발의 시험은 매분 500N/mm<sup>2</sup>, 80다발 및 120다발의 시험은 매분 250 N/mm<sup>2</sup>로 했다.

#### (2) U형 앵커 인장시험

U형 앵커 인장시험의 재하에는 올센만능 시험기를 사용했다. 시험체는 Fig.4와 같이 실시하였다. 또한, 단수 앵커의 설치 상황을 Photo.2에 나타낸다. 재하속도는 매분 250 N/mm<sup>2</sup>로 했다.



(a) CFRP Rod



(b) U type anchor

Fig.4. Measure equipment setting(Tensile test).



(a) Tensile test of CFRP rod



(b) Tensile test of U type anchor  
Photo.2. Experiment situation.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 모재 인장 시험

전공시체의 시험결과를 Table.3에 나타냈으며, 평균치를 정리한 결과를 Table.4에 나타냈다. UCAS rod의 인장강도는 최대 하중( $P_0$ )을 CFRP의 단면적( $A_t$ )으로 제거한 값으로 했다. 또한, 탄성계수는 하중-변형 관계로부터 최대 하중의 20%와 60%의 값을 이용하여 식(2)로 산정하였다.

$$E = \frac{\Delta F}{\Delta \epsilon \cdot A_T} \quad (2)$$

여기서,

$E$  : 탄성계수( $N/mm^2$ )

$\Delta F$  : 최대하중의 20%와 60%의 2점간 하중차( $N$ )

$\Delta \epsilon$  : 최대하중의 20%와 60%의 2점간 변형률차

$A_T$  : CFRP의 단면적

복합체의 탄성계수는,

$$E_e = \frac{A_{CF} \cdot E_{CFO} + A_{EP} \cdot E_{EP}}{A_T} \quad (3)$$

여기서,

$E_e$  : 복합탄성계수( $N/mm^2$ )

$A_{CF}$  : 연속탄소섬유의 단면적( $mm^2$ )

$A_{EP}$  : 에폭시의 단면적( $mm^2$ )

$E_{CFO}$  : 연속탄소섬유의 탄성계수( $N/mm^2$ )

$E_{EP}$  : 에폭시지수의 탄성계수( $N/mm^2$ )

평균치를 표시한 Table.4로부터, 인장강도는 다발수가 많아짐에 따라 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 40다발과 80다발의 증가율은 10% 정도인 것이나 Table.3의 결과의 일람에 의하면, 증가의 경향은 상호차이가 원인이 다고 생각된다. 탄성계수의 실험치는 이론치와 일치하고 있으며, UCAS rod의 탄성계수도 복합칙을 적용할 수 있는 것을 알 수 있다.5),6)

Table.5에 각 케이스의 보증내력을 나타냈다. 보증내력은 최대하중의 평균치로부터 표준편차의 3배를 감한 값이다. 보증내력은 40다발이 70.2kN, 80다발이 138.5kN, 120다발이 223.8kN이 되며, SD295의 철근이라면, 40다발로 D19(84kN), 80다발로 D25(150kN), 120다발로 D32(234kN)에 상당한다. Fig.5에 각 케이스의 대표적인 응력-변형률 곡선을 나타냈다. 모든 공시체가 응력-변형률 관계는 직선적인 거동을 나타내며, 탄성체로서 판단 되었다.

Table.3 Tensile test result of UCAS rod

Case	Max Capacity (kN)	Tensile strength ( $N/mm^2$ )	Yong's modulus ( $\times 10^5 N/mm^2$ )	
	$P_0$	$f_o = P_o/A$	Exp	Theory $E_c$
40 Turning	76.5	2324	1.46	1.30
80 Turning	144.8	2355	1.36	1.39
120 Turning	230.1	2593	1.44	1.44

Table.4 Guaranteed strength

Turning	Max. capacity $P_o$ (kN)		Guaranteed force (kN)
	Average	Standard deviation	
40	76.5	2.1	70.1
80	144.8	(2.1)	(186.7)
120	230.1	(2.1)	(186.7)



(a) Singular anchor

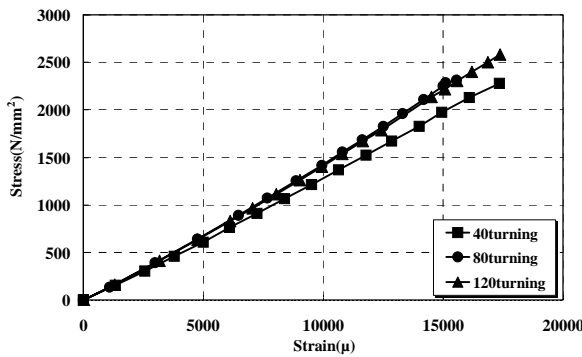


Fig.5. Relationship of stress and strain.



(b) plural anchor

Photo.3. U anchor type after the test.

### 3.2 U형 Anchor 인장시험

시험결과를 Table.6에 나타냈다. 파괴는 Photo.4에 나타내듯이 단수 및 복수의 U형 앵커에서 파단했다. U형 앵커의 최대하중은 평균 52.3kN이며, 40다발 UCAS rod의 평균최대하중(76.5 kN)과 비교하면, 68.4%에 해당 된다.)

Table.5 Result of U anchor type

No.	Max. Capacity(kN)		$P_u/P_b$ (%)
	U type anchor( $P_u$ )	Rod( $P_b$ )	
1	51.0		66.6
2	54.9		71.7
3	48.4		63.3
4	52.8		69.0
5	53.9		70.5
6	52.8		69.0
Average	52.3	76.5	68.4

### 4. 결론

- (1) 탄성계수의 실험치는 이론치와 일치하고 있으며, 합성재료로서 적용할 수 있다.
- (2) 내력은 40다발이 70.2kN, 80다발이 138.5kN, 120다발이 223.8kN이며, SD 295의 철근이라면, 40다발로 D19 (84kN), 80다발로 D25(150 kN), 120다발로 D32(234 kN)에 상당한다.
- (3) 응력-변형률 관계는 직선적인 거동을 나타내며, 탄성체로서 파단했다.
- (4) U형 앵커의 최대하중은 52.3kN이며, 40다발 UCAS rod의 최대하중(76.5kN)과 비교하면, 68.4%를 보유하고 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) 사미조 케이타로 : 비경화형 연속 탄소섬유 보강재의 콘크리트 구조물에의 적용에 관한 연구, 큐슈대학 석사학위논문, 2002.3.

- 2) 일본 건축 학회, JASS5 철근 콘크리트 공사 (해설), 1991.
- 3) 코바야시 유이치 : UCAS 공법에 따르는 콘크리트 바늘의 역학 특성에 관한 기초적 연구, 큐슈대학 논문, 2001.
- 4) 토목학회, 연속 섬유 보강재를 이용한 콘크리트 구조물의 설계·시공 지침(안), 콘크리트지침서 pp.88, 1996.9.
- 5) Djamaluddin Rudy: Fundamental Studies on Mechanical Properties of UCCF Cables for UCAS Method, 26Th conference on our World in Concrete & Structures, Singapore, August 2001, pp.513-520.
- 6) Kohei yamaguchi: Studies on Behavior of Concrete Beam Reinforced by UCAS Method, 26Th conference on our World in Concrete & Structures, Singapore, August 2001, pp.513-520.
- 7) 토목학회, 연속 섬유 보강재의 콘크리트 구조물에의 적용, 콘크리트 시방서 pp.72, 1992.4.

---

(2006년 8월 20일 접수, 2006년 11월 20일 채택)