

# 외부 긴장 보강을 위한 탄소섬유 복합재료용 썬기형 정착구 거동

## (Behavior of Wedge-Type Anchor System for External Prestressing Method with CFRP)

신재민\* 정대성\*\* 정우태\*\*\* 박종섭\*\*\*\* 박영환\*\*\*\*\* 김철영\*\*\*\*\*  
Shin, Jae-Min Jung, Dae-Sung Jung, Woo-Tae Park, Jong-Sup Park, Young-Hwan Kim, Chul-Young

### ABSTRACT

This paper present test result to develop wedge-type anchor system for external prestressing method with CFRP. The test results indicated that the lower a slope angle and elastic of wedge are, the higher ultimate strengths are for plate types. Bar types showed premature failure because of local high stress in FRP of anchor system. Therefore, to improve the strength for bar types needs further work of strengthening sleeves, slope angles of wedge and materials.

### 1. 서론

노후화된 철근콘크리트 구조물의 성능을 향상시키기 위해 복합재료(Composite Polymer)를 이용한 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존의 FRP 보강방법은 접착제를 사용하여 탄소섬유 폴리머(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Polymer)를 콘크리트에 부착하는 방법이 많이 사용되었으나 보강재와 콘크리트 계면 사이에서의 거동특성에 따라 부착파괴나 저장도에서 보강재 파단의 문제점을 보였다. 본 연구에서는 기존 방법의 문제점인 부착파괴나 조기파괴의 문제점을 방지하고 보강재 성능을 최대한 발휘하기 위한 비부착공법으로 CFRP 긴장재를 이용한 정착장치 개발을 위한 다양한 설계변수를 이용하여 정착구의 성능실험을 수행하였다.

### 2. 정착구 제원 및 재료물성

정착구는 그림 1에서 보는 바와 같이 보강재의 형태에 따라 Plate용 정착구와 Bar용 정착구로 설

\* 명지대학교 토목환경공학과 석사과정  
\*\* 명지대학교 토목환경공학과 박사과정  
\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 연구원  
\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원  
\*\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 수석연구원  
\*\*\*\*\* 명지대학교 토목환경공학과 교수

게하였다. Plate용 정착구에서 웨지의 경사각  $\theta$ 가 서로 다른 4개의 정착구를 제작하였고 웨지는 재질을 달리하여 강재(steel), 알루미늄(aluminum), 동(bronze)으로 제작하였다. Bar용 정착구는 경사각이  $4.13^\circ$ 의 강재 웨지에 대해서만 실험을 수행하였다. 정착구와 복합재의 형태별 재료물성은 표 1과 같다.

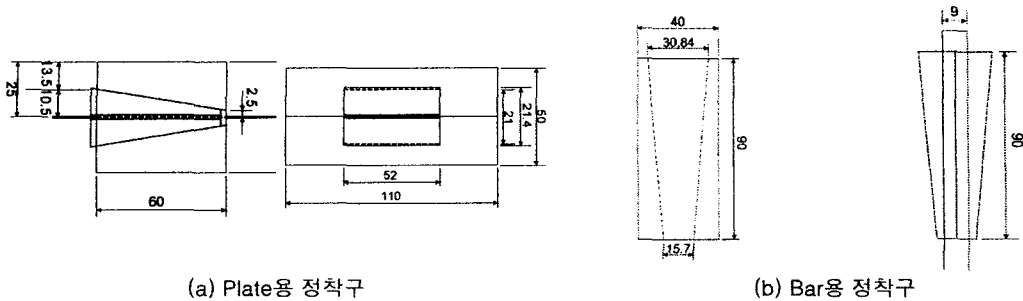


그림1 정착구 제원

표 1 재료 물성

Properties	Plate					Bar		
	Plate	Guide	Wedge			Bar	Guide	Wedge
	CFRP, orthotropic	Steel, isotropic	Steel, isotropic	Aluminum, isotropic	Bronze, isotropic	CFRP, orthotropic	Steel, isotropic	Steel, isotropic
<i>Elastic Modulus</i>		200	200	70	110		200	200
-Longitudinal direction, E1(GPa)	165					123.9		
-Transverse direction, E2,E3(GPa)	10.3					10.3		
<i>Shear modulus</i>		77	77	26	41		77	77
-Longitudinal direction, G12,G13(GPa)	7.2					7.2		
-Transverse direction, G23(GPa)	7.2					7.2		
<i>Poisson's ratio</i>		0.3	0.3	0.33	0.345		0.3	0.3
-Major Poisson's ratio, $\nu_{12}, \nu_{13}$	0.27					0.27		
-Minor Poisson's ratio, $\nu_{23}$	0.02					0.02		

Note. 1 GPa = 1kN/mm<sup>2</sup>

### 3. 실험 및 결과 분석

실험은 100ton 용량의 만능재료시험기(UTM)를 사용하였으며 60kN/min.의 속도로 인장파괴실험을 수행하였다. 양 끝단 정착구의 웨지와 가이드에 각각 LVDT를 설치하여 상대슬립을 측정하였고 하중 방향으로 정착구와 부재 중앙에 각각 변형률 게이지를 부착하였다.

실험 결과, CFRP Plate형의 파괴양상은 그림 2에서 보는 바와 같이 전체단면이 일시에 실오라기처럼 순간적으로 파단되는 취성인장파단 형태와 정착구측에서 전단파괴 되는 두가지 형태로 나타났다. CFRP Bar형은 그림 3에서 보는 바와 같이 정착구 측에서 전단파괴가 발생하여 파단되는 형태로 나타났다. CFRP Plate형은 웨지 경사각이  $7.59^\circ$ 에서, 재료는 알루미늄을 사용했을 시, 그리고 외부압축력을 도입한 경우 가장 우수한 결과를 보였다. CFRP Bar형인 경우는 단일 경사각, 단일재료를 사용하여 직접적인 비교를 할 수 없었으나 극한강도에 따른 파괴강도의 비율이 64.42%로 웨지 앞굽 부근의 보강재에서 매우 큰 국부적인 압축 응력이 발생하여 충분한 강도를 발휘하지 못하고 파단되는 결과를 보였다. 표 2는 각각의 실험모델별 파괴강도이다.

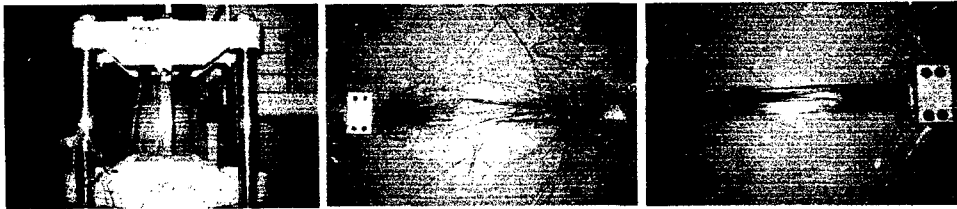


그림2 CFRP Plate 보강재 파단양상

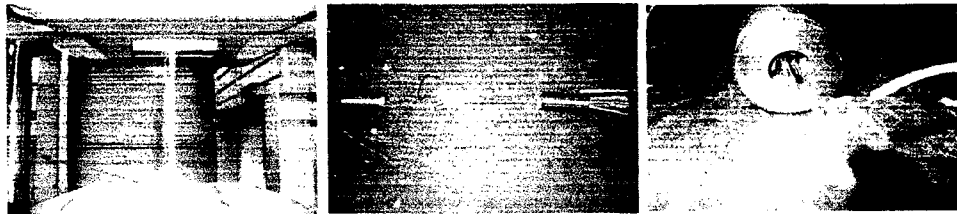


그림3 CFRP Bar 보강재 파단양상

표 2 파괴강도 비교

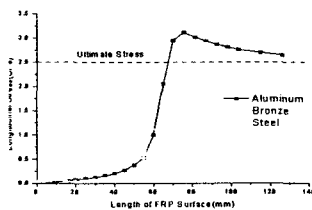
		CFRP Plate			CFRP Bar		
압축력 도입 여부	경사각 (deg.)	파괴강도(GPa)			압축력 도입여부	경사각 (deg.)	파괴강도 (GPa)
		Steel	Al.	Bronze			
w/ p.	5.71	2.18 (87.24)	2.26 (90.36)	2.32 (92.82)	w/ p.	-	-
	7.59	2.39 (95.56)	2.51 (100.27)	2.17 (86.82)		-	-
	9.46	2.19 (87.43)	2.27 (90.78)	-		-	-
	11.31	1.88 (75.12)	1.90 (76.00)	-		-	-
w/o p.	7.59	2.24 (89.68)	2.45 (98.08)	2.47 (98.64)	w/o p.	4.23	1.22 (64.42)

Note. ( )값: 파괴강도 비(파괴강도/극한강도×100%)

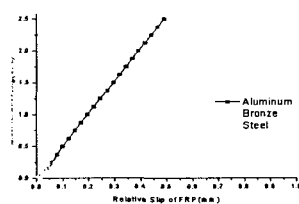
CFRP Plate 극한강도 = 2.5GPa, CFRP Bar 극한강도 = 1.9GPa

#### 4. 유한요소 해석

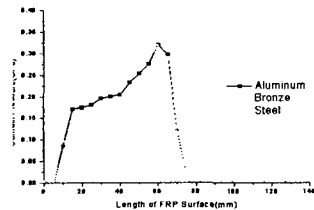
비용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 쉘과 가이드, FRP와 쉘기간의 접촉부는 ABAQUS의 접촉해석(contact analysis) 기능을 이용하여 모델링하였다. ABAQUS의 접촉해석 기능은 segment to node 접촉모델을 사용하여 마찰을 고려하였으며, 마찰의 정식화는 Lagrange multiplier formulation을 사용하였고 상당한 디크리저임을 허용하는 finite sliding formulation을 사용하였다. 그림 4와 그림 5는 각각의 보강재 형태별 축방향 응력, FRP 상대슬립 및 접촉압 분포이다.



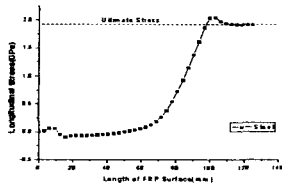
(a) 부재 축 방향 응력



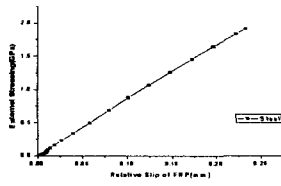
(b) FRP의 상대슬립  
그림4 CFRP Plate 해석



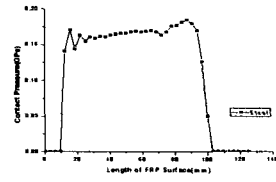
(c) FRP의 접촉압



(a) 부재 축 방향 응력



(b) FRP의 상대슬립  
그림5 CFRP Bar 해석



(c) FRP의 접촉압

## 5. 결론

CFRP 보강재를 이용한 외부보강 정착구의 개발을 위해 다양한 설계변수에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 그 결과 Plate형인 경우 경사각이 작을수록, 쐐기의 탄성계수가 작을수록 파괴강도가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 외부 압축력을 도입한 경우가 그렇지 않은 경우보다 약 5%정도의 성능향상 효과를 보였다. 그리고 웨지의 경사각이 클 경우 전단파괴가 발생하였는데 이는 보강재에 국부적으로 큰 압축력이 발생한 것으로 판단된다. 기존 FRP Plate의 접촉식 보강의 경우 보강재 성능의 35%~60% 정도만이 사용되나 본 쐐기형 정착구의 경우 75%~100%까지의 성능발현으로 부착식보다 더 나은 성능향상을 가져올 수 있을 것으로 판단된다. 반면 Bar형인 경우에는 정착구 내부 보강재에 상당한 크기의 국부압축응력이 발생하여 조기 파단되는 결과를 보였다. 따라서 강성을 갖는 슬리브 보강을 하는 것이 바람직할 것이라 판단되며 보강재의 슬리브 보강, 쐐기의 경사각 및 재질등에 따른 추가적인 연구가 필요하겠다.

### 감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 노후 교량의 성능향상 기술 개발의 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.

### 참고문헌

1. T.I. Campbell, N.G. Shrive, K.A. Soudki, A. Al-Mayah, J.P. Keatley, and M.M. Reda, "Design and evaluation of a wedge-type anchor for fiber reinforced polymer tendons," Can. J. Civ. Eng. Vol. 27. p 285-992. 2000.
2. A. Al-Mayah, K. Soudki, and A. Plumtree, "Mechanical Behavior of CFRP Rod Anchors Under Tensile Loading", Journal of Composites for Construction, pp.128-135, May 2001.
3. A. Al-Mayah, K. A. Soudki, A. Plumtree, "Experimental and Analytical Investigation of a Stainless Steel Anchorage for CFRP Prestressing Tendons", PCI Journal, pp 88-100, March-April 2001.
4. 한국건설기술연구원, 노후 교량의 성능향상 기술 개발, 2003. 12.