

CFRP판 긴장재를 위한 부착형 정착장치의 정착성능

Anchorage efficiency of mold-type anchorage for CFRP plates

박 종 섭* 박 영 환** 정 우 태***
Park, Jong Sup Park, Young Hwan Jung, Woo Tai

ABSTRACT

Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) laminates can be used more efficiently in strengthening applications by applying prestress to the CFRP laminates. A key problem for prestressing with CFRP laminates is anchoring the laminates. These may include fracture to the CFRP laminates due to excessive gripping force or slippage of the CFRP laminates out of the anchorage zone caused by low friction between the anchor device and the lamiantes. The main objective of this study is the development of an applicative mold-type anchorage system for prestressed CFRP laminates through experimental study. The experimental parameters were the type of anchorage detail and the effect of surface treatment. The test results showed that the developed anchor assures 100% CFRP laminate strength.

요 약

FPR(Fiber Reinforced Polymer)는 중량에 비해 높은 강도, 높은 내부식성 등 우수한 역학적 특성으로 인해 최근 건설분야에 적용되는 사례가 많아지고 있으며, 특히 콘크리트 구조물 보강에 가장 활발히 적용되고 있다. FRP를 이용한 전통적인 보강방법은 인장면에 FRP를 부착하는 부착공법이었으나, 부착공법은 FRP의 박리 또는 부착파괴와 같은 조기파괴 문제점과 고정하중과 분담과 사용성 개선이 어려운 단점을 갖고 있다. 이러한 FRP 부착공법의 문제점들을 해결하기 위한 노력으로 최근에는 CFRP 판에 프리스트레스를 도입하는 공법에 대한 연구들이 시작되었다. 판형태의 CFRP를 이용하여 구조물에 긴장력을 도입하면 주인장철근의 응력을 경감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 구조물의 균열폭과 휨변형도 감소시킬 수 있으며, 추가되는 활하중뿐만 아니라 고정하중도 일부 분담할 수 있게 되어 고가의 CFRP를 효율적으로 활용할 수 있는 방법이 된다. CFRP 판 긴장공법을 위해 최우선적으로 해결되어야 하는 것은 CFRP 긴장재를 정착하기 위한 적절한 정착장치의 개발이다.

본 연구에서는 CFRP 판 긴장재를 위한 정착장치를 개발하고자 CFRP 판의 정착단부 상세를 변수로 한 정착장치 인장실험을 수행하였으며, 기존 상용 정착구와 비교하여 저비용으로 제작 가능한 CFRP 판 긴장재용 몰드형 정착구의 성능을 검증하였다. 몰드형 정착장치에 대한 성능실험 결과 CFRP 판 긴장재의 표면이 거칠게 처리된 시편이 가장 정착성능이 우수한 것으로 나타났으며, 정착단부의 형상변화는 정착성능에 기여하지 못하는 것으로 나타났다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 책임연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 연구원

1. 서론

일반적으로 FRP(Fiber Reinforced Polymer) 보강공법은 콘크리트 인장면에 FRP를 부착하는 형태의 부착공법이 주로 이루어지고 있으나, 부착공법은 부착된 FRP가 박리 또는 부착파괴되는 조기파괴의 문제점이 지적되어 왔다. 또한 FRP 부착공법은 공법의 특성상 고정하중의 분담이나 사용성 개선 등의 효과는 거의 없는 단점이 있다. 이러한 FRP 부착공법의 문제점들을 해결하기 위한 노력으로 최근에는 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Polymer) 판에 프리스트레스를 도입하는 공법에 대한 연구들이 다수 수행되었으며, 일부 CFRP 판 긴장공법은 상용화되어 현장에 적용되고 있다(한국건설기술연구원, 2006). CFRP 판 긴장공법은 구조물에 긴장력이 도입되어 기존 구조물의 주인장철근의 응력을 경감시킬 수 있을뿐 아니라 구조물의 균열폭과 휨변형 감소 등 사용성 개선에도 효과적이며, 추가 활하중만 분담하던 기존 부착공법에 비해 고정하중도 일부 분담할 수 있게 되어 고가의 CFRP 판을 효율적으로 활용할 수 있게 된다(El-Hacha 2000).

CFRP 판 긴장공법에서는 CFRP 판을 정착하기 위한 적절한 정착장치의 개발이 필수적이라고 할 수 있다. CFRP 긴장재의 정착장치에 대한 연구는 주로 원형단면을 갖는 바형(Bar type) CFRP에 대한 연구가 이루어졌으며, 정착장치의 형태에 따라 클램프형, 썸기형, 몰드형 등으로 다양하게 개발되어 사용되고 있다(ACI, 2004). 정착장치는 정착력을 발생시키는 원리에 따라 클램프형이나 썸기형과 같이 역학적 작용으로 정착되는 기계적 정착장치와 몰드에 채워진 모르타르나 레진(Resin)의 접착력에 의해 정착되는 부착형 정착장치로 구분하기도 한다(Reda 등, 2003). 다양한 정착장치 중 썸기형 정착장치는 설치와 쉽고 재사용이 가능하며 크기를 작게 할 수 있는 장점이 있기 때문에 바형 FRP 긴장재에 대한 정착장치로 선호되는 형식이다(ACI, 2004). 그러나 CFRP는 섬유방향의 인장강도가 우수한 것에 비해 섬유 직각 방향의 강도는 매우 낮은 물리적 특성을 갖고 있으므로 정착장치를 통해 섬유직각방향으로 작용하는 하중의 크기를 결정할 때에는 충분한 주의가 필요하다. 바형 CFRP 긴장재에 비해 상대적으로 얇은 두께인 판형 CFRP 긴장재에 대해서는 특히 섬유 직각 방향 하중에 주의를 기울여야 하기 때문에 CFRP 판 긴장재에 대한 기존 정착장치는 주로 접착제를 혼용하는 부착 클램프형이 사용되고 있다. 부착 클램프형 정착장치는 정착성능의 일부를 부착력이 분담하기 때문에 CFRP 판에 과도한 힘이 가해질 위험이 적다. 부착 클램프형 정착장치는 현장에서 접착제 도포 및 클램프 체결 작업이 이루어지기 때문에 품질관리에 어려움이 있으며, 제작 단가가 비교적 고가인 단점이 있다.

본 연구에서는 비교적 경제적 비용으로 제작이 가능하며, 사전 제작을 통해 품질 관리를 용이하게 할 수 있는 몰드형 정착장치를 개발하기 위해 몰드 내에서 모르타르와 접착되는 CFRP 판의 형상 및 표면처리 여부를 변수로 하는 정적실험을 수행하여 변수별 CFRP 판용 몰드형 정착장치의 정착성능 및 파괴모드를 분석하였다.

2. 몰드형 정착장치 제작

CFRP 판 긴장재는 철근이나 바형 CFRP 긴장재와 같이 돌기 등의 표면처리가 별도로 설치되어 있지 않은 매끈한 표면을 갖기 때문에 몰드형 정착장치의 정착성능은 정착장치에 충전된 충전재와 CFRP 판의 접착력과 아주 작은 마찰력에 의해 결정된다. 그러나 포아송비 특성으로 인장을 받을 때 CFRP 판의 단면이 감소하게 되므로 이 효과는 빨리 소멸되는 편이다. 따라서 인장력에 상응하는 소요 정착성능을 확보하기 위해서는 접착력을 충분히 확보할 수 있는 매우 긴 부착길이가 필요하게 된다. 이형 철근 또는 바형 CFRP 긴장재의 돌기는 역학적으로 힘의 전달을 통해 부착성능을 높이는 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 이형 철근의 돌기와 같은 역할을 할 수 있도록 몰드 내에 정착되는 CFRP 판의 단부 형상을 가공하거나 표면을 처리하여 정착단부 형상 및 표면처리 종류에 따른 정착성능을 고찰하였다. 그림 1에는 각 시편별 정착단부 형상과 가공방법을 나타내었다.

모든 시편은 CFRP 판 단부에서 200mm 구간에 형상 변화를 가공하였으며, 3PART_COAT 시편에는 형상 변화 구간에 알루미늄 옥사이드를 코팅하여 표면이 거칠어지도록 처리하였다. 모든 시편은 구조용 각관으로 제작된 몰드에 무수축 모르터를 충전하여 정착되도록 제작되었으며, 제작된 정착장치의 제원과 사용된 재료의 물성은 각각 그림 2와 표 2에 나타났다.

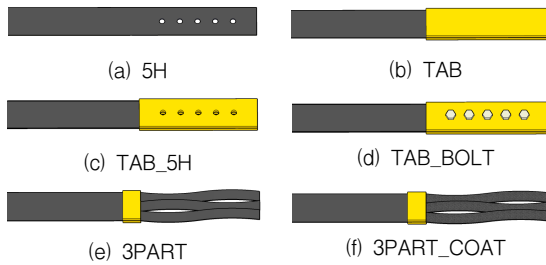


그림 1. CFRP 판 정착단부 형상

시편	가공방법
(a) 5H	CFRP판에 5홀(200mm)
(b) TAB	유리섬유탭(200mm) 설치
(c) TAB_5H	유리섬유탭(200mm)에 5홀
(d) TAB_BOLT	200mm 탭설치후 5개 볼트체결
(e) 3PART	CFRP판 200mm구간을 3조각으로 분리후 변형(옥사이드 X)
(f) 3PART_COAT	CFRP판 200mm구간을 3조각으로 분리후 변형(옥사이드 O)

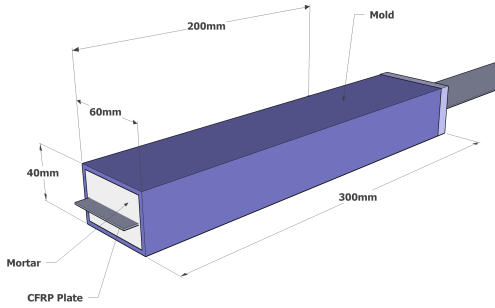


그림 2. 몰드형 정착장치 제원

표 2 주요 재료의 물성

재료	항목	물성값
충진 모르터	재령 28일 압축강도(MPa)	52
	인장강도(MPa)	3000
CFRP 판	탄성계수(GPa)	165
	폭(mm)×두께(mm)	50×1.2

3. 몰드형 정착장치의 정착성능

기존 연구자들은 바형 FRP 긴장재를 사용한 정착 시스템의 파괴모드를 크게 정착장치에서의 파괴와 정착장치 외에서의 긴장재 파괴로 구분하였다(Holte 등, 1993; Sayed-Ahmed & Shrive, 1998). 정착장치에서의 파괴는 1) 큰 정착력을 발생시키기 위해 도입된 수직력이 과도하여 FRP가 전단파괴 되는 경우와 2) 낮은 수직력으로 FRP를 지지할 만큼 충분한 정착력이 발생하지 않아 FRP가 정착장치로부터 빠져나오는 파괴로 구분된다. 몰드형 정착장치에서는 일반적으로 후자의 정착장치 파괴가 발생하게 된다. 각 시편별 정착성능과 CFRP 판 긴장재에서 측정된 최대 변형률은 표 3과 같다.

표 3. 각 시편별 정착성능

시편	최대 하중(kN)	정착성능(%) (CFRP 판 인장강도 대비 정착강도)	CFRP 판 최대변형률($\times 10^{-6}$)	파괴모드
(a) 5H	35.68	19.82	3388	슬립
(b) TAB	78.65	43.69	7371	슬립
(c) TAB_5H	66.70	37.06	6074	슬립
(d) TAB_BOLT	81.10	45.06	7746	슬립
(e) 3PART	68.63	38.13	6291	슬립
(f) 3PART_COAT	186.77	103.76	16450	파단



(a) 5H

(b) TAB_5H

(c) 3PART

그림 3. 시편별 슬립 파괴 형상

그림 3은 정착장치 내에서 CFRP 판 긴장재의 슬립이 발생한 시편의 파괴 형상을 나타내었다. 그림 3(a)에서와 같이 다우웰(dowel) 작용을 예상한 5H 시편에서는 약 25kN의 하중에서 CFRP 판의 면내 전단 파괴가 발생하면서 슬립이 발생하였으며, 그림 3(b), (c)와 같이 알루미늄 옥사이드로 표면처리되지 않은 시편에서도 모두 낮은 하중에서 슬립이 발생하였다. 알루미늄 옥사이드로 표면처리된 3PART_COAT 실험체는 CFRP 판 긴장재의 최대 인장강도까지 정착성능을 발휘하였다.

4. 결론

본 연구에서는 CFRP 판 긴장재의 정착을 위한 몰드형 정착장치에 대한 정착성능 실험을 수행하였으며, 실험결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 일방향 섬유로 제작된 CFRP 판 긴장재에 설치된 관통홀은 다우웰 효과를 기대할 수 없으며, 낮은 면내 전단에 의해 정착장치 내에서 파괴된다. CFRP 판 정착단부의 형상을 가공한 경우에도 표면처리가 없는 경우에는 슬립에 의한 정착장치 내부 파괴가 발생하여 낮은 정착성능을 나타냈다. 즉 CFRP 판의 형상 변형은 정착성능에 기여하는 바가 없는 것으로 판단된다.
- (2) 본 연구에서는 CFRP 판 표면이 알루미늄 옥사이드 코팅 처리된 경우에 가장 우수한 정착성능을 갖는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2006), Bridge200 노후교량의 성능향상 기술 개발 최종보고서.
2. El-Hacha R. (2000) "Prestressed CFRP sheets for strengthening concrete beams at room and low temperatures", PhD Thesis, Queen's University, Department of Civil Engineering, Kingston, Ontario.
3. ACI committee 440. (2004) "Prestressing concrete structure with FRP tendons", American Concrete Institute.
4. Reda Taha, M.M., and Shrive, N.G. (2003) "New Concrete Anchors for Carbon Fiber-Reinforced Polymer Post-Tensioning Tendons—Part 1: State-of-the-Art Review/Design," ACI Structural Journal, Vol. 100, No. 1, pp. 86-95.
5. Holte, L.E., Dolan, C.W., and Schmidt, R.J. (1993) "Epoxy socketed anchors for non-metallic prestressing tendons," Fibre-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, International Symposium SP138, American Concrete Institute, Detroit, pp. 381-400.
6. Sayed-Ahmed, E.Y., and Shrive, N.G. (1998) "A new steel anchorage system for post-tensioned applications using carbon fibre reinforced plastic tendons," Can. J. Civ. Engrg., Ottawa, 25(1), pp. 113-127.