

CFRP판용 썬기형 정착장치에 대한 실험적 연구

Experimental Study on Wedge-type Anchorage System for CFRP Laminates

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 laminates. The main objective of this study is the development of an applicative wedge-type anchorage system for prestressed CFRP laminates through experimental study. The experimental parameters were the type of anchorage and the effect of elastic modulus of tab. The test results showed that the developed anchor assures 100% CFRP laminate strength.

1. 서론

FPR(Fiber Reinforced Polymer)는 중량에 비해 높은 강도, 높은 내부식성 등 우수한 역학적 특성으로 인해 최근 건설분야에 적용되는 사례가 많아지고 있으며, 특히 노후 구조물에 대한 보강에 있어서는 FRP를 활용한 공법이 대세를 이루고 있다. FRP를 이용한 구조물의 보강은 전통적으로 콘크리트 인장면에 FRP를 부착하는 형태의 부착공법이 주로 이루어지고 있으나, FRP 부착공법은 고정하중의 분담이나 사용성 개선 등의 효과가 거의 없으며, FRP의 박리 또는 부착파괴와 같은 조기파괴의 문제점이 있다. 이러한 FRP 부착공법의 문제점들을 해결하기 위한 노력으로 최근에는 FRP 판에 프리스트레스를 도입하는 공법에 대한 연구들이 시작되었다. 판형태의 FRP를 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 FRP를 효율적으로 활용할 수 있는 방법이 된다(El-Hacha 2000).

FRP 판 긴장공법을 위해 최우선적으로 해결되어야 하는 것은 FRP 보강재를 정착하기 위한 적절한 정착장치의 개발이다. 보강에 사용되는 FRP 판은 대부분 일방향으로 섬유가 배치된 복합재료이다. 이러한 FRP 판은 섬유방향의 인장강도는 매우 크지만 섬유직각 방향의 전단강도는 매우 낮은 특성을 갖고 있다. 따라서 정착장치에서 과도한 정착압에 의해 FRP를 지지하는 경우에는 인장파괴에 앞서 취

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

성적인 정착부 전단파괴가 발생할 위험이 있다. 반면 불충분한 정착압에 의해 정착되는 경우에는 정착구에서의 슬립으로 도입된 긴장력 대부분이 손실되거나 보강재로서의 기능을 완전히 상실할 수도 있다. 기존의 FRP 판용 정착장치는 대부분 강재로 제작된 사례에 대한 연구였으며, 최근 상용화된 FRP 판 긴장공법들에서도 모두 강재 정착장치를 사용하고 있다. 그러나 Stoecklin과 Meier(2003)는 내부식성이 우수한 FRP를 긴장재로 사용하면서 정착장치 자체는 부식에 취약한 강재를 사용하여 FRP의 고내구성 장점을 활용하지 못하는 기존 방식의 모순을 지적한 바 있다.

본 연구에서는 현장에서의 적용을 고려하여 강재에 비해 제작이 용이하고 일반적인 부식환경에서 사용성이 뛰어난 재료인 알루미늄을 이용한 정착장치를 개발하였으며, 정착장치 상세에 따른 거동특성과 정착성능을 고찰하기 위하여 정착장치 체결 형식 및 정착용 탭을 변수로 실험을 수행하고 개발된 정착장치의 성능을 검증하였다.

2. 정착성능 실험

본 연구팀은 다양한 매개변수 분석과 해석을 통해 강재로 제작된 CFRP 판 긴장공법용 썬기형 정착장치를 개발한 바 있다(정대성 등, 2004). 그러나 개발된 정착장치에 대한 옥외 장기 노출 실험을 실시한 결과, Stoecklin 과 Meier(2003)가 지적한 바와 같이 강재 정착장치에 부식이 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 일반 강재와 유사한 강도를 갖지만, 제작은 강재에 비해 용이하고 일반적인 부식환경에서 사용성이 뛰어난 재료인 알루미늄을 이용한 정착장치를 제작하였다. 알루미늄은 내부식성이 강재에 비해 우수할 뿐만 아니라 강재 썬기에 비해 CFRP 판에 집중되는 응력을 작게 하므로 정착성능의 향상도 기대할 수 있다(정대성 등, 2004).

본 연구에서는 이미 개발된 강재 정착장치의 제원을 바탕으로 실용적으로 사용될 수 있는 알루미늄 정착장치의 상세를 결정하기 위해 그림 1에 나타난 바와 같이 상하로 분리된 정착장치를 체결하는 볼트의 위치와 체결 형식을 실험변수로 결정하였으며, CFRP판 긴장재에 설치되는 정착탭의 탄성계수를 달리하여 정착탭의 탄성계수 변화에 따른 정착성능의 차이를 고찰하였다. 알루미늄 정착장치의 형상은 그림 2와 같으며, 표 1에는 실험에 사용된 주요재료의 물성을 나타냈다.

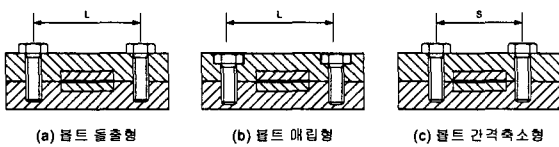


그림 1 볼트 체결 형식 변수

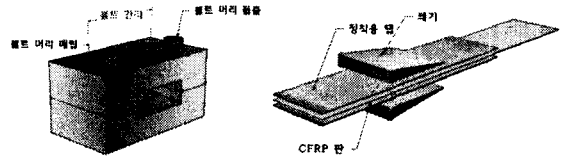


그림 2 정착장치 형상 및 정착용 탭 설치 위치

표 1 사용재료 물성

재료	항목	물성값
CFRP판	인장강도(MPa)	2942
	탄성계수(GPa)	147
	파단변형률(%)	1.7
고탄성 탭	인장강도(MPa)	388
	탄성계수(GPa)	21.7
	두께(mm)	1.0
저탄성 탭	인장강도(MPa)	75.7
	탄성계수(GPa)	0.55
	두께(mm)	0.9



그림 3 실험 전경

실험은 그림 3과 같이 980kN용량의 만능시험기에 치구를 이용하여 정착장치를 설치하고 정착장치에 설치된 CFRP 판을 유압그립에 의해 직접 인장하는 방법으로 수행하였다. 하중은 변위제어방식으로 가력하였으며, 0.45mm/sec의 가력속도로 인장하였다. 정착장치 중앙부와 CFRP판 중앙에는 전기저항식 변형률게이지를 설치하여 인장하중에 따른 정착장치의 변형을 측정하였다. 실험은 각 변수별로 3개씩 총 18개의 실험체에 대해 수행되었으며, 각 변수별로 CFRP판이 파단될 때의 하중과 변형률의 평균값과 편차를 사용하여 변수별 정착성능을 비교하였다.

3. 실험결과 및 분석

총 18개의 실험체 중에서 볼트매립형+고탄성탭, 볼트간격 축소형+고탄성탭, 저탄성탭 실험체 각 1개씩을 제외하고는 모든 실험체에서 CFRP판의 인장강도를 상회하는 정착성능을 나타내었다. 정착성능이 CFRP판 인장강도에 미치지 못한 3개의 실험체를 제외하면 모든 정착장치는 CFRP판 파단으로 실험이 종료되었다. 그림 4에는 각 변수별 평균하중을 CFRP판의 인장강도와 비교하여 나타냈으며, 표 2에는 정착장치 실험으로부터 측정된 CFRP판의 파단강도, 탄성계수, 파단시의 변형률에 대한 평균값과 표준편차를 나타내었다.

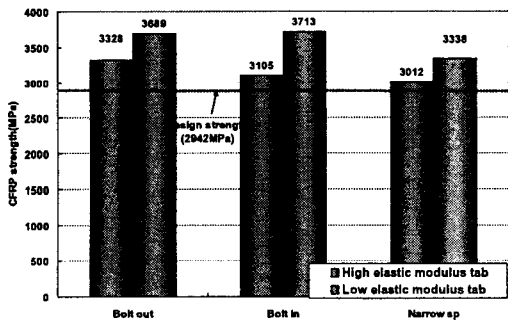


그림 4 변수별 CFRP판 파단강도 비교

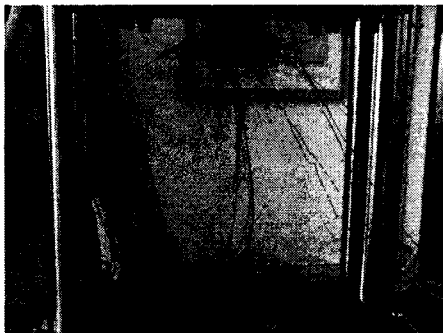


그림 5 CFRP판 파단 전경

표 2 변수별 실험결과 정리

실험변수	실험체	CFRP 파단강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	파단변형률 ($\times 10^{-6}$)
볼트출형	고탄성탭	평균 3328.41	191.09	17417.16
	표준편차	201.17	1.33	979.13
	저탄성탭	평균 3688.77	192.87	19561.70
	표준편차	391.01	2.05	2348.14
볼트매립형	고탄성탭	평균 3104.64	189.81	16954.80
	표준편차	621.71	4.81	3803.96
	저탄성탭	평균 3713.17	193.35	19311.95
	표준편차	210.81	3.01	1403.94
볼트간격 축소형	고탄성탭	평균 3011.54	189.40	16149.73
	표준편차	1118.45	10.19	5789.36
	저탄성탭	평균 3337.83	191.55	17829.06
	표준편차	514.23	2.54	3123.96

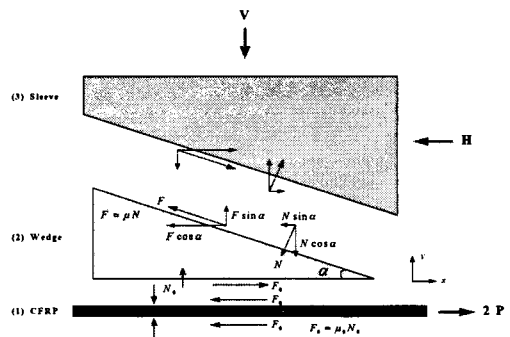


그림 6 정착장치에서의 힘의 분포

긴장재 정착장치의 효율은 긴장재의 재료강도에 대한 정착된 긴장재의 파단강도 비로 정의할 수 있다. 도로교 설계기준(2005)에서는 정착효율이 95% 이상이 되도록 규정하고 있다. 그림 4와 표 2에서 모든 변수의 평균 파단강도가 CFRP판의 재료강도를 상회하는 것으로 나타나 실험에 사용된 정착장치는 모두 도로교설계기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

고탄성탭을 사용한 정착장치의 정착효율은 평균 1.07로 저탄성탭을 사용한 정착장치의 정착효율 1.22에 비해 낮게 나타나 저탄성탭을 사용하는 것이 정착성능 향상에 유리한 것으로 나타났다. 체결 방식 측면에서는 볼트머리가 매립된 정착장치의 효율이 1.16으로 가장 높게 나타났다. 고탄성탭을 사용한 실험체들 중에서는 볼트 돌출형 정착장치의 효율이 1.13으로 가장 우수한 정착성능을 나타냈으며, 저탄성탭 실험체에서는 볼트 매립형 정착장치가 1.26의 가장 큰 효율을 나타내었다. 볼트 매립형 정착장치에 저탄성탭을 사용한 경우에는 99.97%의 신뢰범위 수준(평균-3σ)에서도 재료강도를 상회하는 정착효율을 나타내었다.

그림 6은 정착장치내에서의 힘의 분포를 나타낸 것으로 힘의 평형조건에 의해 CFRP판에 가해진 하중에 따른 정착구의 수직력을 계산할 수 있으며 계산된 수직력으로부터 정착장치 중앙부의 변형률을 예측할 수 있다. 그림 7은 예측된 값과 실험으로부터 측정된 변형률을 비교하여 나타낸 것으로 썩기 이론에 의한 계산값은 실제 정착장치의 거동을 비교적 잘 예측하는 것으로 나타났다.

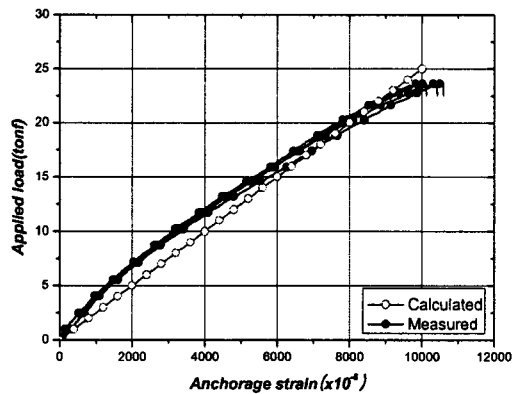


그림 7 정착구변형률의 계산값과 실험값

4. 결론

본 연구에서는 실용적으로 사용이 가능한 CFRP판용 정착장치의 상세를 결정하기 위하여 썩기형 알루미늄 정착장치의 체결 형식 및 정착용 탭을 변수로 성능실험을 수행하였으며, 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다. (1) 내부식성과 경량화를 위해 알루미늄으로 제작된 정착장치는 CFRP 판 정착성능을 충분히 나타냈다. (2) 썩기와 CFRP판 사이의 응력집중을 완화시키기 위한 탭의 재질은 탄성계수가 낮은 것을 사용하는 것이 정착효율 증가에 유리하게 작용한다. (3) 볼트머리 매립형 정착장치에 저탄성 탭을 사용하는 경우에 최대의 정착효율을 얻을 수 있다.

참고문헌

1. El-Hacha R., "Prestressed CFRP sheets for strengthening concrete beams at room and low temperatures", PhD Thesis, Queen's University, Department of Civil Engineering, Kingston, Ontario., 2000.
2. Stoecklin I. and Meier U., "Strengthening of concrete structures with prestressed and gradually anchored CFRP strips", *Proceeding of the sixth international symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures(FRPRCS-6)*, Singapore, pp. 1321-1330., 2003.
3. 정대성, 신재민, 정우태, 박종섭, 박영환, 김철영, "CFRP 판용 썩기형 정착구 설계변수에 관한 실험적 연구", 대한토목학회 2004년도 정기 학술대회 논문집, pp. 381-386., 2004.