

탄소섬유 보강판 전용 정착장치를 이용한 외부 프리스트레싱 보강공법 사례연구

Case study on the external prestressing method strengthened carbon fiber reinforced plates.

정 원 용 *
Chung, Won Yong

임 공 목 **
Lim, Kong Mook

ABSTRACT

In recent years, FRP plates have been studied for flexural reinforcement of RC structures due to easy installation and good quality control. This study presents experimental field test results for the effectiveness of flexural reinforcement of the RC slab using external prestressing with thin CFRP strips made by the pultrusion process. It was demonstrated that flexural strength was considerably increased with relatively easy installation when compared to the other methods used for the composite reinforcement.

1. 서론

지금까지 주로 항공분야를 비롯한 첨단과학분야에서 사용되었던 복합소재를 건설용 재료로 사용하기 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 그 중 복합소재 섬유시트는 콘크리트 구조물의 휨강도 보강에 널리 이용되고 있다. 그러나 현재 사용중인 섬유시트 보강공법은 가볍고, 부식하지 않는 등 많은 장점을 지니고 있으나 시공 조건에 따라서 품질 관리에 문제점이 발생할 수 있어 최근에는 섬유보강판(FRP, Fiber Reinforced Plates)을 이용한 콘크리트 구조물의 보강공법에 대한 연구가 이루어지고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾

본 연구에서는 품질관리가 일정하게 이루어 질 수 있는 인발성형(Pultrusion)기법에 의해 탄소섬유판(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plate)을 제작하고 단부에 정착장치를 설치한 후 콘크리트 슬래브를 외부 프리스트레싱 공법에 의해 휨 보강 한 후 현장 재하시험을 통한 보강효과를 분석하였다.⁽³⁾

* 정회원, 씨씨엘코리아 기술연구소장

** 씨씨엘코리아 기술부 과장

2. 탄소섬유보강판을 이용한 외부 프리스트레싱 보강공법

국내에서 적용되고 있는 탄소섬유보강으로는 섬유시트를 현장에서 함침·접착하여 사용하는 방법이 주로 사용되어 왔으며 2000년대에 접어들면서 탄소섬유보강판을 현장에서 접착하는 사전양생시스템(pre-cured system)으로 발전하였다. 사전양생시스템은 연속섬유를 에폭시로 함침하면서 고온으로 순간 양생하여 사출형성하는 인발성형공정(Pultrusion)에 의해 생산되는 얇은 박판 형태의 섬유보강판으로서 라미네이트(laminate) 또는 스트립(strips) 등의 이름으로 불리우고 있다.

특히 최근에는 섬유보강판에 의한 보강공법이 더욱 발전되어 섬유보강판에 프리스트레싱 힘을 도입하여 구조물을 보강하는 공법이 개발되어 국내에서도 이미 교량구조물 보강현장에 적용한 사례가 있어 향후 그 적용성이 확대될 것으로 기대되고 있다.

현재 국내 및 국외에 소개되고 있는 섬유보강판에 의한 프리스트레싱 보강공법으로는 섬유보강판 단부에 정착장치를 부착하는 방법(사진 1), 섬유보강판 단부를 조임판으로 압착하는 방법(사진 2) 그리고 섬유보강판 단부에 형성된 섬유보강판 지지대를 이용한 방법(사진 3, 4) 등이 있다. 사진 1, 사진 2의 공법은 현재 유럽에서 적용되고 있는 공법이며 사진 3, 4의 공법은 국내에 적용된 공법으로 탄소섬유보강판을 정착할 수 있는 전용 장치를 개발하여 시험시공을 실시하였으며 성능평가를 위해 구조물 보강 전·후에 각각 현장 재하시험을 실시하여 보강성능 향상을 확인하였다.

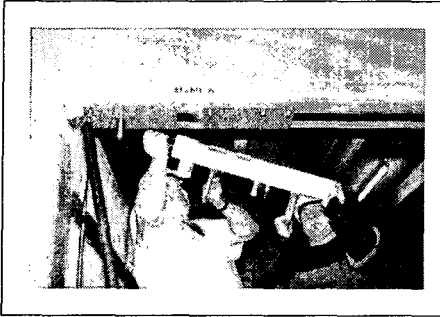


사진 1. 섬유보강판 단부 정착장치 부착방법

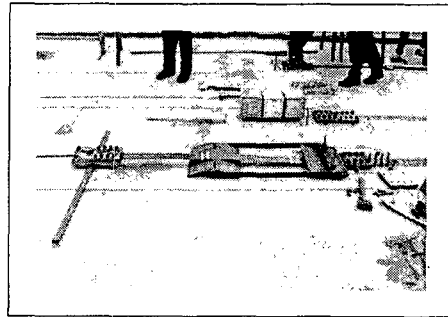


사진 2. 섬유보강판 단부 조임 압착방법

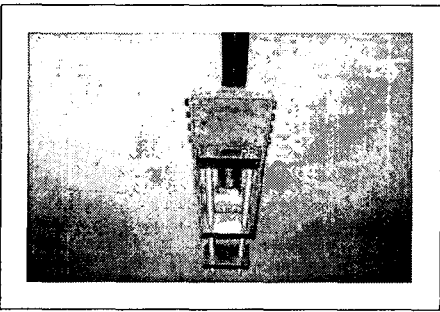


사진 3. 섬유보강판 지지대를 이용하는 방법(인장축)

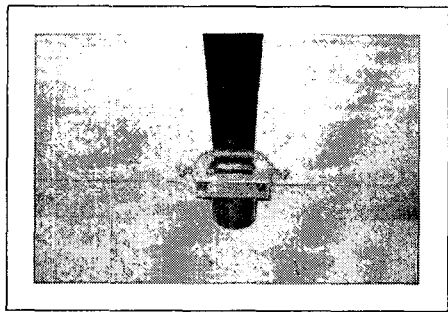


사진 4. 섬유보강판 지지대를 이용하는 방법(고정축)

3. 탄소섬유보강판을 이용한 외부 프리스트레싱 보강공법 현장 적용 사례

본 절에서는 제2절에서 서술된 탄소섬유보강판 단부에 형성된 섬유보강판 지지대를 이용한 방법(사진 3, 4)을 통해 보강한 사례를 서술하였다.

사진 5는 보강 전 교량의 현황이며 사진 6은 보강 후 교량의 현황을 보여주고 있다. 본 공법은 내하력 증대 및 처짐발생을 최소화하기 위해서 국내에서 개발된 탄소섬유보강판 정착장치를 이용하여 교통의 통행을 통제하지 않은 상태로 보강공사를 실시한 국내 최초 탄소섬유보강판 외부 프리스트레싱 보강공법으로 처짐감소 및 확실한 단부정착방법에 의해 기존의 공법보다 내구성 및 안전성확보에 유리하다.

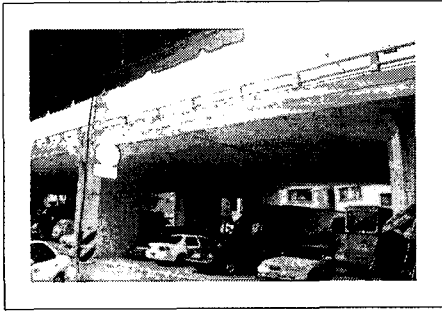


사진 5. 보강 전 전경

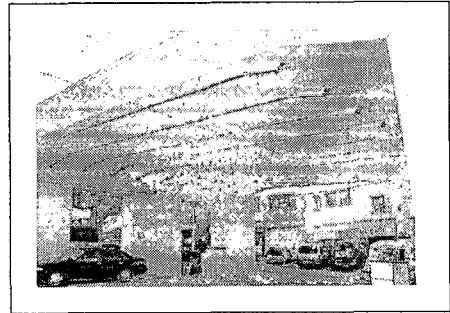


사진 6. 보강 후 전경

4. 현장 재하시험 결과 및 분석

탄소섬유보강판 외부 프리스트레싱 보강공법의 성능을 평가하기 위해 보강공사 전·후 각각 현장 재하시험을 실시하여 그 성능을 평가하였다. 현장재하시험 결과는 크게 처짐량 감소부분과 구조물 내하력 향상 부분으로 나누어 검토하였으며 그 결과를 토대로 보강성능효과를 검증하였다.

4.1 처짐에 대한 시험 및 해석결과

재하하중에 대한 변위를 측정하기 위하여 LVDT를 지간 중앙부에 설치하여 4가지의 재하 상태에 따른 처짐량을 측정하였으며 그 값을 이론에 의한 해석값과 비교 검토하였다. 표 1은 이론적인 해석치와 재하시험 결과치를 보여주고 있다.

표 1 LVDT에서의 처짐 비교

구 분	LVDT							
	보강 전			보강 후			보강 후 보강 전	
	실측값 (mm)	해석값 (mm)	응답비	실측값 (mm)	해석값 (mm)	응답비	실측값	해석값
Load Case 1	1.25	1.04	0.83	0.60	0.72	1.20	0.48	0.69
Load Case 2	1.00	0.53	0.53	0.55	0.25	0.45	0.55	0.47
Load Case 3	0.75	0.70	0.93	0.40	0.41	1.03	0.53	0.59
Load Case 4	0.75	0.38	0.51	0.40	0.11	0.28	0.53	0.29

4.2 공용내하력 평가

정적재하시험과 동적재하시험 등의 현장재하시험과 구조해석을 수행하여 표 2에 나타난 바와 같이 보강 전·후의 내하력 평가를 통해 탄소섬유보강판을 이용한 외부 프리스트레싱 보강공법의 보강성능을 확인하였다.

표 2 공용내하력 평가결과

구 분	보강 전	보강 후	비 고
허용응력법(WSR) : WorkingStress Rating	DB-15.58 (28.04 tonf)	DB-25.56 (46.01 tonf)	64% 증대
하중-저항계수법(LRFR) : Load and Resistance Factor Rating	DB-20.30 (36.54 tonf)	DB-29.95 (53.91 tonf)	48% 증대

5. 결론

본 연구는 최근 사용성이 늘고있는 탄소섬유보강판에 국내 최초로 외부 프리스트레싱을 도입하여 구조물을 보강하는 사례를 통해 탄소섬유보강판에 의한 외부 프리스트레싱 보강공법 적용의 필요성과 보강공법의 성능을 입증하는 결과를 다음과 같이 도출하였다.

- 1) 보강공사 후의 처짐은 약 40~50%정도 감소하는 것으로 나타났으며, 보강공사 전의 처짐도 회복되는 효과를 나타내었다.
- 2) 공용내하력 평가 결과 보강공사 후의 공용내하력은 약48%정도 증가된 것으로 나타났다.
- 3) 현재 장기내구성에 대한 검토 및 긴장완화 등을 위한 연구가 수행되고 있으며, 다양한 재료 및 정착장치의 개발로 내구성에 대한 불확실성을 해소할 수 있는 연구가 진행되고 있다.

참고문헌

1. H. Saadatmanesh and A.M. Malek, "Design Guide Lines For Flexural Strengthening of RC Beams with FRP Plates," Journal of Composites For Construction, Nov., 1998
2. Marco Arduini et. al., "Brittle Failure in FRP Plate and Sheet Bonded Beams," ACI Structural Journal, July-August, 1997
3. 씨씨엘코리아, "탄소섬유판 전용 정착장치를 이용한 구조물 외부 프리스트레싱 보강공법," 2002