

인발성형된 T형 탄소섬유복합재료를 이용한 철근콘크리트보의 휨보강 성능

Flexural Strength Capacity of RC Beams Strengthened with Pultruded T-Shape Carbon Fiber Reinforced Polymers

박 종 섭* 박 영 환** 유 영 준*** 정 우 태*** 강 재 윤*
Park, Jong Sup Park, Young Hwan You, Young Jun Jung, Woo Tai Kang, Jae Yoon

ABSTRACT

Carbon Fiber Reinforced Polymer(CFRP) composites are widely applied to strengthen deteriorated concrete structures. This paper presents the experimental results of the performance of reinforced concrete(RC) beams strengthened with Near Surface Mounted T-shape CFRP. Simple beams with 3m span length were tested to investigate the effect of CFRP reinforcement shapes on the flexural behavior of strengthened RC beams. The test results were analyzed with the special emphasis on the failure mode and the maximum load.

1. 서론

노후화된 철근콘크리트 구조물에 대한 보강기술은 다양하게 개발되어 적용되고 있으며, 최근에는 섬유복합재료(Fiber Reinforced Polymer, 이하 FRP)를 보강재로 이용하는 사례가 급증하고 있다. FRP에 의한 철근콘크리트구조물의 보강은 대부분 접착용 에폭시에 의해 기존 콘크리트 표면에 FRP를 부착하는 방법으로 이루어지고 있으며, 많은 경우에 있어서 FRP와 콘크리트 계면사이에서의 부착파괴와 같은 조기파괴가 문제점으로 지적되고 있다¹⁾.

FRP 부착공법의 조기파괴 문제점은 FRP와 콘크리트의 접착계면을 확대시키는 방법으로 개선시킬 수 있으며, 이러한 원리에 착안하여 최근 FRP를 이용한 표면매립공법(NSM-Near Surface Mounted Strengthening)이 개발되어 연구되고 있다^{2),3)}. NSM공법은 기존의 부착공법에 비해 FRP와 콘크리트의 부착면을 확대시킬 수 있으며, 콘크리트 표면에 대한 사전처리 작업 등을 생략할 수 있기 때문에 시공성이나 보강성능면에서 부착공법에 비해 유리하지만 FRP 보강재를 설치하기 위한 최소한의 피복두께를 확보해야 하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 NSM공법에 적용하기 위한 목적으로 T형상의 새로운 CFRP 보강재를 개발하고 이를 이용하여 보강된 철근콘크리트보에 대한 정적 재하실험을 수행하여 T형 FRP 보강재로 보강된 철근콘크리트보의 휨거동 특성과 파괴모드, 휨성능에 대해 고찰하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

2. 실험계획 및 실험방법

2.1. T형 보강재 제작 및 실험변수

본 연구에서는 매립에 의한 정착력과 표면 부착에 의한 접착력의 복합작용을 통해 최소한의 흙 시공으로도 충분한 보강량을 시공할 수 있도록 하기 위하여 T형상의 새로운 CFRP 보강재를 제작하였으며, 단순 매립된 경우와 비교하기 위하여 동일한 단면적을 갖는 판형태의 CFRP 보강재도 제작하였다. 실험에 사용된 CFRP 보강재는 모두 인발성형 방식에 의해 제작되었으며, 일방향 섬유로 제작된 CFRP 보강재의 단점인 섬유방향 찢겨짐을 방지하기 위하여 0.1mm 두께의 2방향 유리섬유 패브릭(fabric)을 단면중앙에 배치한 형태와 배치하지 않은 형태로 제작하였다. 제작된 보강재의 치수 및 단면형태는 그림 1에 나타내었다.

실험변수는 보강재의 종류 및 보강방법으로 설정하였으며, 각 실험변수명과 보강방법은 표 1에 나타내었다.

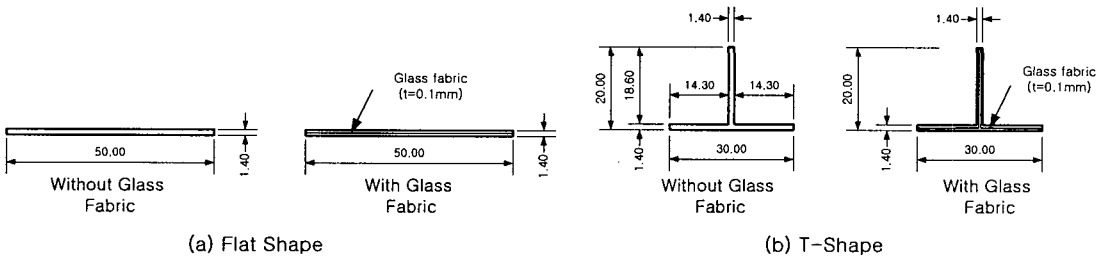


그림 1 CFRP 보강재 단면형상(단위 : mm)

표 1 실험변수 및 해설

실험체명	보강재	유리섬유 패브릭 유무	보강재 길이(cm)	매립홈(폭×깊이)(mm)	보강방법
CONTROL	-	-	-	-	무보강
CPL-50-BOND	평판형 탄소판	×	290	-	부착
NSM-PL-25×2	평판형 탄소판	×	270	10×25×2ea	NSM
PL-F-20	평판형 탄소판	○	270	10×20	NSM
PL-NF-20	평판형 탄소판	×	270	10×20	NSM
T-F-B	T형 탄소판	○	270	10×20	NSM+부착
T-NF-B	T형 탄소판	×	270	10×20	NSM+부착

2.2. 보강실험체 제작

실험을 위하여 제작된 보시편의 제원은 그림 2와 같으며, 28일 설계기준강도 27MPa의 레미콘을 사용하여 제작하였다. 인장철근은 SD40의 D10 철근을 철근비 0.0041로 배근하였으며, 압축철근에는 D13을 세 가닥 배근하였다. 전단파괴를 방지하기 위하여 전단구간에는 D10의 전단철근을 10cm 간격으로 배치하였다.

부착공법에 의한 보강은 표면처리 후 프라이머 도포 및 보강재 부착의 공정으로 실시하였으며, 보강된 보는 에폭시의 양생을 위하여 상온에서 7일 이상 양생을 실시하였다. NSM은 그라인더를 이용하여 보 하단에 홈을 시공하고 접착제를 도포한 후 보강재를 매립하는 공정으로 보강하였으며, 보강된 보는 3일 이상의 양생을 실시하여 접착제로 사용된 에폭시가 설계강도를 발현할 수 있도록 하였다. 보강에 사용된 주요 재료의 물성은 표 2에 나타내었다.

표 2 주요 재료의 물성

재료	항목	물성값	재료	항목	물성값
콘크리트	공시체 압축강도(MPa)	31.3	탄소판 (without Fabric)	인장강도(MPa)	2452.59
인장철근 (HD10)	항복강도(MPa)	426		탄성계수(GPa)	165.49
	인장강도(MPa)	562		극한변형률(%)	1.48
압축철근 (HD13)	항복강도(MPa)	481	탄소판 (with Fabric)	인장강도(MPa)	2325.00
	인장강도(MPa)	608		탄성계수(GPa)	152.92
				극한변형률(%)	1.66

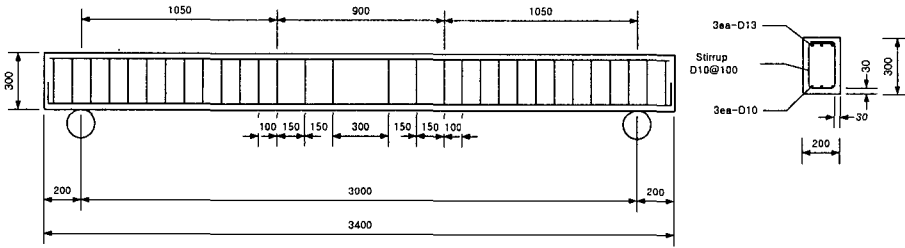


그림 2 시험체 제원(단위 : mm)

실험체에 대한 재하는 4점 재하방법을 선택하였으며, 980kN 용량의 UTM을 사용하여 재하하였다. 하중은 변위제어로 초기 15mm 변위 발생시까지 초당 0.02mm의 속도로 재하하고, 15mm 이상의 변위가 발생한 시점부터 파괴시까지 초당 0.05mm의 속도로 재하하였다. 각종 실험데이터의 측정은 정적 데이터 로거 및 컴퓨터를 이용하였으며, 매 1초 간격으로 측정을 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

재하실험 결과 각 실험체는 보강재 형태 및 보강공법에 따라 각각 다른 파괴모드를 나타내었다. 무보강 기준보인 CONTROL 실험체의 경우에는 인장철근 항복 후에 압축콘크리트가 파괴되는 전형적인 휨파괴 양상을 나타내었으며, 부착공법에 의해 보강된 CPL-50-BOND는 인장철근 항복 후에 계면에서 보강재가 탈락하는 전형적인 부착파괴의 양상을 나타내었다.

NSM으로 보강된 NSM-PL-25×2 실험체는 홈에 삽입된 에폭시+보강재가 빠져나오면서 최대하중을 나타내었으며, 보강재를 부분 매립한 PL-F-20, PL-NF-20의 경우에는 매립되지 않은 부분의 보강재가 쪼개지는 파괴양상을 나타내고 최종적으로는 매립된 보강재가 파단하기 이전에 압축측 콘크리트가 파괴되면서 실험이 종료되었다. 한편 부착과 매립 두 가지의 시공방법이 결합된 T-F-B, T-NF-B는 NSM-PL-25×2와 마찬가지로 에폭시+보강재가 탈락하면서 최대하중에 도달하였다.

표 4는 각 실험체의 항복하중과 최대하중을 나타낸 것으로 보강된 실험체는 무보강 실험체보다 항복하중은 31~54%까지 증가하는 것으로 나타났으며, 최대하중은 30~91%까지 증가하는 것으로 나타났다. 동일한 보강재료를 사용하여 보강방법만을 달리한 CPL-50-BOND, NSM-PL-25×2, P-NF-20 실험체에서 보면 부착공법에 의해 보강된 실험체인 CPL-50-BOND의 보강효과가 30%로 가장 낮은 것으로 나타났으며, 25mm씩 두줄이 매립된 NSM-PL-25×2의 보강효과가 95%로 가장 우수한 것으로 나타났다. 매립+부착으로 시공된 T-F-B의 보강효과는 91%로 NSM-PL-25×2와 거의 유사한 것으로 나타났다. 표 4의 결과에 따르면 보강재의 형태에 관계없이 유리섬유 페브릭이 있는 보강재로 보강된 경우에 유리섬유 페브릭이 없는 일방향 보강재로 보강된 경우 보다 약 10%의 보강효과가 상승되는 것으로 나타났다. 그러나 보강재의 형태는 최대하중에 미치는 영향이 미소한 것으로 나타났다.

표 3. 항복하중 및 최대하중

변수명	항복		최대	
	하중(kN)	보강비	하중(kN)	보강비
CONTROL	46.69	-	56.19	-
CPL-50-BOND	61.04	1.31	73.24	1.30
NSM-PL-25×2	71.96	1.54	109.66	1.95
PL-F-20	66.57	1.43	106.88	1.90
PL-NF-20	66.89	1.43	100.31	1.79
T-F-B	65.64	1.41	107.10	1.91
T-NF-B	65.67	1.41	101.46	1.81

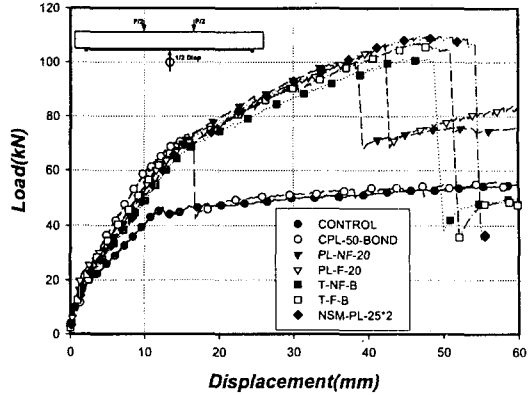


그림 3 실험체별 하중-변위곡선

그림 3은 각 실험체의 하중-변위곡선을 나타낸 것으로 보강실험체는 강성이 모두 유사한 것으로 나타났다. 단 유리섬유패브릭이 포함되지 않은 T형 보강재로 보강된 T-NF-B의 경우에는 하중 증가에 따라 부분적으로 표면부착된 보강재의 부착파괴가 발생하면서 상대적으로 강성이 다소 낮게 나타났다. 한편 연성에 있어서는 보강재의 형태 또는 보강방법에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히 평판형 보강재로 보강된 PL-F-20, PL-NF-20에 비해 T-F-B, T-NF-B의 연성이 더 큰 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 T형 CFRP 보강재로 보강된 철근콘크리트보의 휨거동 및 보강효과를 고찰하기 위한 실험으로 보강재의 형태, 보강방법을 변수로 하는 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) NSM공법은 기존의 부착공법에 비해 최대 내력이나 연성 측면에서 모두 우수한 효과를 발현하는 것으로 나타났다. NSM은 기존 부착공법에 비해 보강효과가 최대 65% 증가하는 것으로 나타났다.

(2) 유리섬유 패브릭이 포함된 T형 CFRP 보강재로 보강된 보(T-F-B)는 두 개의 매립홈에 보강재를 보강한 보(NSM-PL-25×2)와 거의 동등한 최대하중 및 연성을 나타내었다. 즉, T형 보강재는 매립홈의 깊이와 수를 줄이면서도 충분한 보강효과를 얻을 수 있는 것으로 나타나 일반적인 평판형 CFRP 보강재를 매립하는 경우보다 시공성 측면에서 우수한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 노후 교량의 성능향상 기술 개발의 3차년도 연구 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2003), 노후 교량의 성능향상 기술 개발
2. Hassan, T. and Rizkalla, S. (2003) Investigation of Bond in Concrete Structures Strengthened with Near Surface Mounted Carbon Fiber Reinforced Polymer Strips, Journal of Composites for Construction, Vol 7, No. 3
3. Täljsten, B. and Carolin, A. (2001) Concrete Beams Strengthened with Near Surface Mounted CFRP Laminates, Proceeding of the fifth international conference on fibre-reinforced plastics for reinforced concrete structures(FRPRCS-5), Cambridge, UK, 16-18 July 2001