

탄소섬유복합재로 보강된 철근콘크리트 바닥판의 휨보강 성능

Flexural Strength Capacity of RC Decks Strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymers

박종섭*

박영환**

정우태***

강재윤*

Park, Jong Sup Park, Young Hwan 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) decks strengthened with CFRP composites. Simple span decks with 2m span length were tested to investigate the effect of CFRP reinforcement types 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 교량의 보강에서 FRP는 강판을 대체하는 재료로서 크게 각광받고 있으며 최근 노후 교량 보강의 대세는 FRP를 이용한 보강공법이라고 할 수 있다¹⁾. 지난 수십 년간 FRP를 이용한 구조물의 보강은 대부분 콘크리트 인장면에 FRP를 부착하는 형태의 부착공법(Externally Bonded Reinforcement: EBR)이었다. 그러나 FRP 부착공법은 FRP의 박리, 부착과피 등과 같은 조기파괴의 문제점이 계속 지적되어 왔으며 이러한 외부부착공법의 조기 파괴 문제를 극복하기 위하여 최근에는 FRP를 이용한 표면매립공법(Near Surface Mounted reinforcement: NSM)을 적용하고자 하는 노력들이 나타나고 있다²⁾. CFRP로 보강된 보를 대상으로 한 기존 연구결과에 따르면, NSM으로 보강된 보 는 외부부착공법으로 보강된 보에 비해 휨보강성능이 우수한 것으로 나타났으며, 외부부착공법에 비해 CFRP 보강재의 활용성도 뛰어난 것으로 나타났³⁾. 그러나 기존 연구는 대부분 보를 대상으로 한 것으로서 교량 바닥판에 대한 연구는 매우 적은 것이 현실이다. 교량 바닥판은 차량하중을 직접 받는 부재로 국부하중에 의한 파괴가 많고 특히 별도의 전단철근을 배치하지 않는 경우가 많기 때문에 보에서 검증된 휨보강성능이 바닥판에서도 그대로 발현될 것이라고는 기대하기 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 CFRP 판과 슈트를 이용해 외부부착공법으로 보강된 철근콘크리트 바닥판과 NSM CFRP로 보강된 바닥판에 대한 재하실험을 통해 휨보강된 교량 바닥판의 보강재 종류 및 보강방법에 따른 파괴모드를 고찰하고 보강된 바닥판의 휨거동 특성과 보강성능을 고찰하였다.

*정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

**정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 수석연구원

***정회원, 한국건설기술연구원 구조연구부 연구원

2. 실험계획 및 실험방법

2.1. 실험체 제작 및 보강

본 연구에서는 보강된 바닥판의 거동 특성을 파악하기 위하여 1978년도 건설부 제정 “도로교상부 구조 표준도”에 제시된 설계 2등급(DB-18)의 PSC I형교의 바닥판을 모사하여 그림 1과 같은 단위폭의 1경간 바닥판 실험체를 제작하였다. 제작에 사용된 콘크리트의 설계압축강도는 24MPa이며 철근의 항복강도는 494MPa이다. 실험변수는 보강재의 종류 및 보강방법으로 설정하였으며, 각 실험변수명과 보강방법은 표 1에 나타내었다. 보강재료 중 CFRP 쉬트는 현장합침 방법에 의해 제작된 것이며, CFRP 판 및 로드는 인발성형 방식에 의해 제작된 것을 사용하여 모든 보강실험체에 대해 주철근 방향으로 보강되었다. 실험에 사용된 주요 보강재료의 물성은 표 2와 같다. 바닥판에 대한 보강은 현장 시공순서와 동일하게 보강재료에 따라 표면처리, 프라이머 도포, 보강재 접착 또는 매립의 순서로 시공되었으며, 접착용 에폭시의 설계강도 발현을 위해 모든 실험체는 최소 7일 이상의 상온 양생 후 실험을 수행하였다.

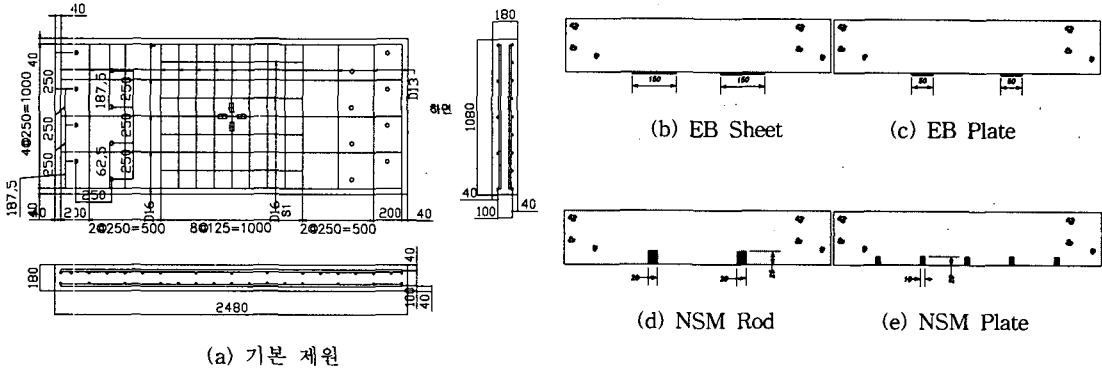


그림 1 바닥판 실험체 형상

표 2 실험변수 및 해설

변수명	보강재료	보강재 단면적 (mm ²)	보강재 축강성 (E×A, kN)	보강방법
Control	-	-	-	무보강
EB Sheet	탄소쉬트	121	23491	부착
EB Plate	탄소판	120	19800	부착
NSM Rod	탄소리바	128	15542	NSM
NSM Plate	탄소판	120	19800	NSM

표 3. 주요 보강재료의 물성

재료	항목	물성값
탄소섬유 쉬트	인장강도(MPa)	3479
	탄성계수(GPa)	230.3
	두께(mm)	0.11
탄소 리바	인장강도(MPa)	1878
	탄성계수(GPa)	121.42
	공칭직경(mm)	9
탄소판	인장강도(MPa)	2942
	탄성계수(GPa)	147
	두께(mm)	1.2

2.2. 재하 및 측정방법

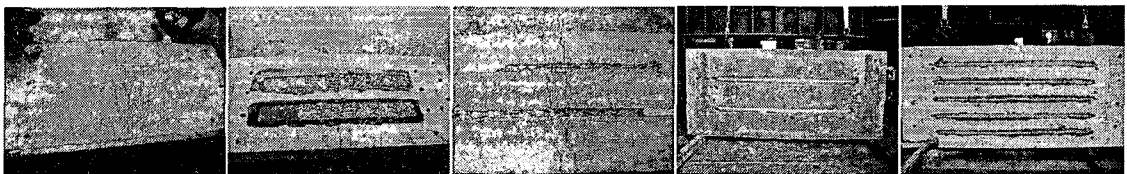
실험체에 대한 재하는 3점 재하방법을 선택하였으며, 3000kN 용량의 액츄에이터를 사용하여 재하하였다. 하중은 변위제어로 초기 20mm 변위 발생시까지 초당 0.01mm의 속도로 재하하고, 20mm 이상의 변위가 발생한 시점부터 파괴시까지 초당 0.03mm의 속도로 재하하였다. 각종 실험데이터의 계측은 정적데이터 로거 및 컴퓨터를 이용하였으며, 매 1초 간격으로 측정을 실시하였다. 단면 중앙부의 주철근과 배력철근에는 전기저항식 변형률 게이지를 매설하여 철근의 변형률을 측정하였으며, 주철근

방향으로 보강된 CFRP에는 중앙점과 L/4 위치에 변형률 게이지를 설치하여 하중-변형률 관계를 측정하였다. 하중 재하에 따른 실험체의 변위는 바닥판 중앙 하부에 설치된 LVDT를 통해 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

재하실험 결과 각 실험체는 보강재 형태 및 보강공법에 따라 각각 다른 파괴모드를 나타내었다. 무보강 바닥판인 Control 실험체의 경우에는 인장철근 항복 후에 압축콘크리트가 파괴되는 전형적인 휨 파괴 양상을 나타내었으며, 부착공법에 의해 보강된 EB Sheet, EB Plate 실험체는 인장철근 항복 후에 보강재와 콘크리트 계면에서 FRP 보강재가 박리되는 전형적인 부착파괴 양상을 나타내었다. 부착 파괴시의 FRP 변형률은 EB Sheet 실험체에서 $9,452 \times 10^{-6}$, EB Plate 실험체에서 $5,727 \times 10^{-6}$ 으로 측정되었다. 이들 실험체의 FRP 보강재에 측정된 변형률은 CFRP 쉬트와 플레이트 극한변형률의 각각 63%, 34%로 동일한 보강재를 이용한 보실험에서 측정된 60%, 30%와 유사한 수준인 것으로 나타났다³⁾

NSM으로 보강된 NSM Rod 실험체는 CFRP 심재(Core)와 표면돌기 사이가 박리되면서 최대하중을 나타내었으며, NSM Plate 실험체의 경우에는 보강재 단부에서 시작된 전단균열이 바닥판의 사인장균열과 만나면서 전단파괴에 의해 최종 파괴되었다. NSM Plate를 제외한 실험체는 보강재 단부에 발생하는 전단력에 의해 계면 또는 보강재 피복이 박리되는 양상을 나타내었지만 NSM Plate 실험체의 경우에는 충분히 확보된 부착면적으로 인해 계면이 아닌 콘크리트 모재의 전단파괴가 유도된 것으로 판단된다. 각 실험체의 최종 파괴 형상은 그림 2에 나타내었다.



(a) Control (b) EB Sheet (c) EB Plate (d) NSM Rod (e) NSM Plate

그림 2 실험체 파괴 형상

표 4. 최대하중 및 보강효과

변수명	하중 (kN)			보강효과 (%)		
	균열	항복	최대	균열	항복	최대
Control	29.94	265.86	285.10	-	-	-
EB Sheet	62.39	336.96	390.68	208	127	137
EB Plate	38.18	274.23	304.24	128	103	107
NSM Rod	58.89	314.05	381.86	197	118	134
NSM Plate	52.89	306.88	377.47	177	115	132

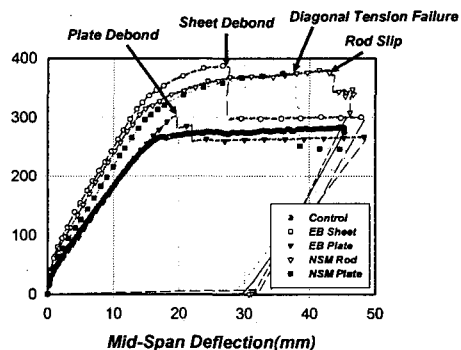


그림 3 하중-변위곡선

표 3에는 각 실험체의 균열, 항복 및 최대하중과 보강효과를 나타내었으며, 그림 3에는 실험체의 하중-변위 곡선을 나타내었다. 표 3에 따르면 보강된 실험체는 무보강 실험체보다 항복하중은 3~27%

까지 증가하는 것으로 나타났으며, 최대하중은 7~37%까지 증가하는 것으로 나타났다. 최대하중은 EB Sheet가 가장 많이 증가하는 것으로 나타났으며, EB Plate는 인장철근 항복 직후 부착파괴 됨에 따라 최대하중 증가효과가 가장 낮은 것으로 나타났다.

표 3에 나타낸 결과를 일반화하기 위하여 각 실험체의 보강효과를 보강재의 축강성으로 나누어 보강재 단위축강성당 보강효과를 구하였으며, EB Sheet의 단위축강성당 보강효과를 1로 할 때 각 실험체의 단위축강성당 보강효과를 그림 4에 비교하여 나타내었다. 그림 4에 따르면 보강재의 단위축강성당 보강효과가 가장 우수한 것은 NSM Rod 실험체이며, EB Plate 실험체의 경우에도 최대하중 측면에서는 EB Sheet 실험체보다 보강효율이 좋은 것을 알 수 있다.

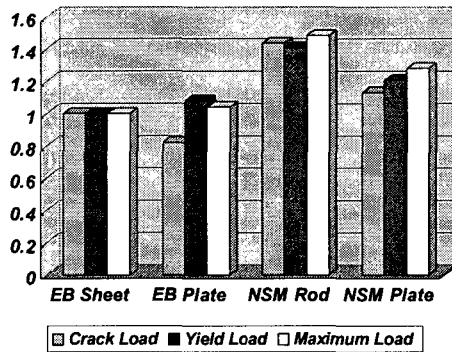


그림 4 보강재 단위축강성당 보강효과 비교

4. 결론

본 연구는 CFRP 보강재로 보강된 철근콘크리트 바닥판의 휨거동 및 보강효과를 고찰하기 위한 실험으로 보강재의 종류, 보강방법을 변수로 하는 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) NSM공법은 바닥판 보강에 있어서도 EBR공법에 비해 보강효율이 우수한 것으로 나타났다. 그러나 NSM Plate 실험체는 부착파괴가 아닌 콘크리트의 전단파괴가 발생하는 것으로 나타났다.

(2) CFRP 쉬트 또는 CFRP 판으로 외부부착된 실험체는 모두 부착파괴가 발생하는 것으로 나타났다. 부착파괴 발생시점에서의 CFRP 보강재의 변형률은 쉬트와 판에서 각각 최대변형률의 63%, 34%로 나타나 보강된 보에서 부착파괴될 때의 변형률과 거의 동일하게 부착파괴되는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 노후 교량의 성능향상 기술 개발의 4차년도 연구 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.

참고문헌

1. Täljsten B. (2004) "FRP strengthening of concrete structures: new inventions and applications", *Prog. Struct. Engng Mater.*, pp. 162-172
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. 박종섭, 박영환, 유영준, 정우태, 강재운, (2004) 인발성형된 T형 탄소섬유복합재료를 이용한 철근콘크리트보의 휨보강 성능, 한국콘크리트학회 2004년도 가을학술발표회 논문집, Vol. 16, No. 2, pp473~476