

연결부 상세에 따른 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 거더 위 부모멘트부 휨강도 평가

Evaluation of Flexural Strength of FRP-Concrete Composite Decks According to Details of Their Connecting Parts above Girders

박성용* 조근희* 김성태** 조정래* 김병석***
Park, Sung Yong Cho, Keunhee Kim, Sung Tae Cho, Jeong-Rae Kim, Byung-Suk

ABSTRACT

Tests were performed to obtain the flexural capacity of the innovative FRP-Concrete Composite Deck (FCCD) above girders. Test parameters were details of connection parts between FCCD and girder, such as continuity of FRP module, reinforcing ratio of FRP re-bars, and existence of shear connecting plate. As a test result, we found flexural strength of FCCD in the negative zone increases when FRP module is continuous, and reinforcement is increased, and shear connecting plate exists. And the flexural strength of all specimens give enough safety compared to the value needed in Korean highway bridge design code.

1. 서론

FRP-콘크리트 합성 바닥판은 FRP 패널 위에 콘크리트를 타설하여 완성시키는 새로운 개념의 구조 형식이다. 현장에서 FRP 패널을 거더 위에서 연결하는 방법으로는 보통 암수연결방법이 사용되는데, 이는 그림 1과 같이 미리 제작된 암수 연결부에 에폭시를 도포한 후 면을 맞춰서 끼워 넣는 방식이다. 일반적으로 거더 위에는 바닥판과의 합성을 위하여 스티드(강교) 또는 스티럽(콘크리트교) 등의 전단 연결재가 미리 설치되는데, 암수연결과 같이 부재를 수평방향으로 연결하는 방식에는 이러한 전단연결 재와의 간섭이 발생하게 된다. 강교의 경우에는 FRP 패널을 조립한 후 스티드를 설치하는 순으로 시공 순서를 변경함으로써 이러한 문제점을 일정부분 해소할 수 있지만, 거더와 일체로 시공되는 스티럽을 갖는 콘크리트교에서는 이 방법을 적용할 수가 없다. 따라서 교량의 종류에 따라 거더 위에서 FRP 모듈을 연결하는 방식을 다르게 적용할 필요가 있다. 이에 본 연구진은 그림 2와 같이 강교에서는 FRP패널을 교량 전 폭에 걸쳐서 연속으로 하고, 콘크리트교에서는 거더 위에서 불연속으로 처리하여 별도로 연결하는 경우로 구분하여 이 문제를 해결하였다. 이 연구는 이러한 연속화 방법에 있어서의 서로 다른 상세를 갖는 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 거더 위 부모멘트부에서의 거동 특성을 파악하고자 실시하였으며, 실험 결과를 해석 및 설계 기준과 비교하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 구조시스템연구실 책임연구원

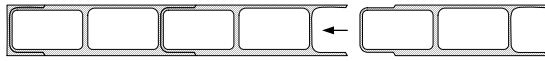


그림 1 암수연결방법에 따른 FRP 모듈의 조립

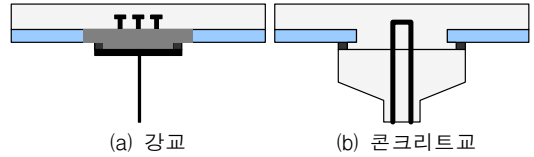


그림 2 거더 형식별 FRP 패널의 연결 상세

2. 부모멘트부 성능실험

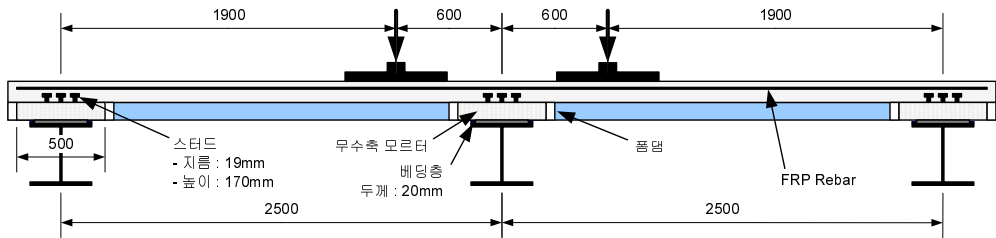
2.1 실험 개요

부모멘트에 대한 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 거동 특성을 평가하기 위하여 표 1과 같은 변수를 취해 실험체를 제작하였다. 주요 실험변수는 거더 위에서 FRP 모듈의 연속 여부와 FRP근의 보강량 및 전단연결판의 유무이다. 실험체의 형상, 하중 조건(DB 24 후륜) 등은 그림 3과 같다.

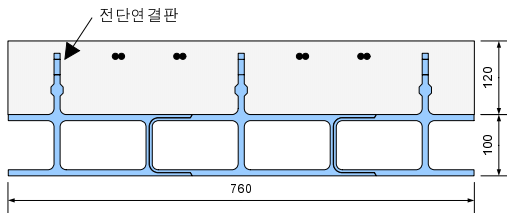
BNM1~BNM3 실험체는 FRP 모듈이 거더 위에서 연속된 실험체로서 FRP근의 보강량에 따른 거동 특성을 고찰하기 위함이 주목적이다. BNM4~BNM6 실험체는 FRP 모듈이 거더 위에서 불연속된 실험체로서 이중 BNM5 실험체는 절단 부분에 스테럽을 제작하여 배치한 상세를 갖는 것이 BNM4와의 유일한 차이이다. 또한 BNM6 실험체는 전단연결판이 없는 실험체이다.

표 1 실험체 개요

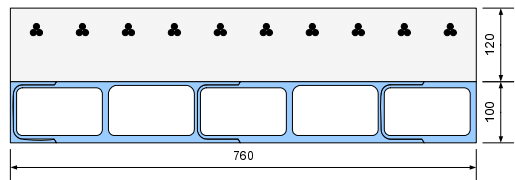
실험체명	FRP 모듈	전단연결판	FRP근 보강량	비고
BNM1	연속	○	- (0.00%)	
BNM2		○	$\phi 10@8EA$ (0.63%)	
BNM3		○	$\phi 10@16EA$ (1.25%)	
BNM4	불연속	○	$\phi 10@8EA$ (0.63%)	
BNM5		○	$\phi 10@8EA$ (0.63%)	D13 스테럽(철근) 보강
BNM6		×	$\phi 10@30EA$ (2.35%)	



(a) 실험체 개요(불연속 모델)



(b) BNM1~BNM5 단면 형상



(c) BNM6 단면 형상

그림 3 실험체 개요 및 단면 형상

표 2 FRP의 역학적 성질

구분	하부플랜지	복부	상부플랜지	전단연결판
인장강도(MPa)	439 (344)	386 (252)	401 (412)	427
탄성계수(GPa)	28.1 (27.4)	25.7 (19.5)	26.7 (28.5)	28.4

※ 표에서 ()는 BNM6 실험체에 대한 것이다.

표 2는 재료시험으로부터 구한 FRP 모듈의 역학적 성질이다. 한편, 사용된 FRP근은 직경 10mm로서 인장강도 및 인장탄성계수가 각각 738MPa, 28.8GPa이다. 콘크리트의 압축강도는 45MPa이고, 무수축모르타의 압축강도는 70MPa이다.

2.2 실험 결과

BNM1~BNM3는 FRP근의 보강비를 다르게 한 연속 실험체로서 그 결과는 이미 발표한 바 있으며(김성태 외, 2006, 토목학회), BNM4~BNM6은 보강비 및 전단연결판의 유무가 변수인 불연속 실험체로서 이 결과 또한 발표한 바 있다(김성태 외, 2006, 콘크리트학회). 따라서 이들 개별 실험 결과에 대한 논의는 생략하기로 하고, 여기서는 이들 결과에 대한 추가 분석 내용을 위주로 정리하기로 한다.

그림 4는 각 실험체의 하중-처짐 관계를 단 위쪽(1m)으로 환산하여 그린 것이다. 그림에서 FRP 모듈이 연속인 BNM1~BNM3 실험체와 FRP 모듈이 불연속인 BNM4~BNM6 실험체를 비교하면, 모듈이 연속인 경우가 극한하중에서 약 40% 더 큰 값을 보여주고 있다. 이는 모듈이 불연속인 경우 하중의 증가에 따라 중앙 지점부 바닥판이 먼저 극한상태에 도달한 후 힌지처럼 거동하게 되면서 전체적으로는 분리된 2개의 단순보처럼 저항하는 구조로 되기 때문이다. 따라서 FRP 모듈의 연속 여부와 상관없이 휨강성에는 큰 차이가 없지만, 실제 연속보로서 거동하는 BNM1~BNM3 실험체가 더 큰 극한하중을 보이게 된다. 또한, 보강비가 클수록, 그리고 전단연결판이 있으면 더 큰 저항강도를 보인다.

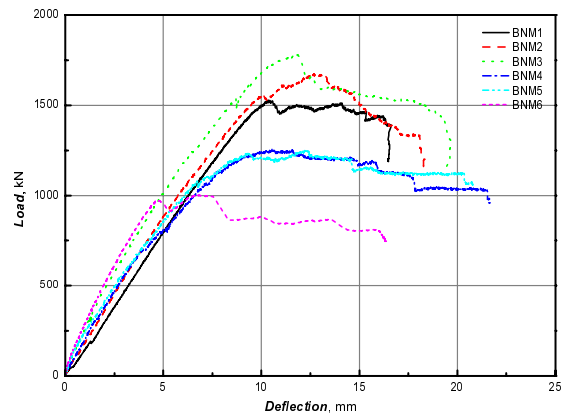


그림 4 하중-처짐 관계 곡선

표 3은 실험과 해석에 따른 휨강도를 비교한 것이다. 이때 실험체에 도입된 거더의 영향을 고려하기 위하여 거더 위치에서 병진 및 회전 자유도를 모두 구속한 경우(M_{ea})와 병진 자유도만 구속한 경우(M_{eb})로 구분하여 산정하였다. 실제 실험체에서는 두 경우의 사잇값이 될 것이며, 실험 조건상 병진 자유도만 구속한 경우에 더 가까운 값(M_{eb})을 갖는다고 할 수 있다. 해석에서 FRP 모듈이 불연속된 실험체는 하부가 콘크리트로 채워진 상태(RC 바닥판과 유사한 형상)에 대해 산정한 값이다. 표에서 볼 수 있듯이 모듈이 연속인 경우에는 실험과 해석 결과에 큰 차이가 없다. 하지만, 전단연결판이 있으면서 FRP 모듈이 불연속인 BNM4, BNM5 실험체의 경우에는 해석결과에 비해 실험결과가 2배 이상 크게 나타났다. 이는 앞서서도 설명한 바와 같이 해석에서는 지점위의 불연속부에서 콘크리트의 파괴를 극한 상태로 보았으나, 실제 실험에서는 이후에도 파괴된 부분이 힌지로 작용하면서 두 개의 단순보 구조가 연결된 구조로서의 저항 강도가 포함되어 나타난 결과로 추정된다. 또한 두 실험체의 비교에서 거더 위 연결부에 보강한 스티럽은 극한강도에 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

표 3 실험과 해석 결과의 비교

실험체명	실험		해석	비교	
	M_{ea} [kN·m]	M_{eb} [kN·m]	M_a [kN·m]	M_a/M_{ea}	M_a/M_{eb}
BNM1	259.2	300.2	248.6	0.96	0.83
BNM2	285.0	330.0	296.7	1.04	0.90
BNM3	303.5	351.4	354.3	1.17	1.01
BNM4	218.0	252.4	100.2	0.46	0.40
BNM5	216.6	250.8	100.2	0.46	0.40
BNM6	168.7	195.4	194.5	1.15	1.00

도로교설계기준(2005) 및 도로설계편람(2000)을 참고하여 고정하중 및 활하중에 의한 극한모멘트를 구하면 $M_u = 73.59\text{kN} \cdot \text{m}$ 이 된다. 이를 표 3의 값과 비교하면, 상기 실험체들의 극한강도는 2.29~4.78배가 더 크며, 따라서 모든 실험체가 설계기준에서 제시한 강도기준을 만족하고 있다.

3. 결론

FRP-콘크리트 합성바닥판의 거더 위 연결부에서의 부모멘트 저항성능을 구하기 위하여 거더 위 연결부에서 실험과 해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 거더 위 연결부에서 FRP 모듈의 연속 여부, 전단연결판의 유무, FRP근의 보강량 등을 변수로 하여 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 부모멘트부에 대한 거동 특성을 분석한 결과, FRP 모듈이 연속이고 전단연결판이 있으며, FRP근의 보강비가 클수록 파괴강도가 증가함을 볼 수 있었다.
2. 주된 파괴 양상이 FRP근의 인장파괴인 실험체를 제외하면 해석에 의해 산출한 극한모멘트는 실험 결과와 잘 일치하였다. 따라서 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 부모멘트에 대한 극한모멘트도 해석을 통한 접근이 가능하다고 판단된다. 해석결과와 일치하지 않는 실험체의 경우에는 부모멘트부가 파괴된 후에도 연속된 단순보처럼 하중을 계속해서 지지하기 때문인 것으로 추정된다.
3. 부모멘트에 대한 실험체의 극한모멘트를 관련 설계기준에 따른 설계모멘트와 비교한 결과 2.29~4.78배 정도 더 큰 것으로 나타나서, 이 실험에 적용된 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 연결부 상세는 부모멘트에 대한 저항 성능을 충분히 발휘할 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 “장수명 합리화 바닥판 개발”과 “저비용 장수명 하이브리드 사장교 기술 개발”의 과제 지원금에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김성태, 조근희, 박성용, 조정래, 김병석 (2006) FRP-콘크리트 합성 바닥판의 부모멘트부 거동 특성, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집(I), 한국콘크리트학회, pp86-89
2. 김성태, 조근희, 박성용, 조정래, 김병석 (2006) FRP근의 보강량에 따른 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 부모멘트부 거동 특성, 대한토목학회 학술발표회 논문집(I), 대한토목학회, pp2252-2255
3. 건설교통부(2005), 도로교설계기준
4. 건설교통부(2000), 도로설계편람(III)