

GFRP 보강근으로 보강된 바닥판의 보강비에 따른 거동 실험

Behavior of GFRP reinforced decks with various reinforcement ratio

유 영 준* 박 지 선** 박 영 환*** 김 형 열**** 김 긍 환*****
You, Young Jun Park, Ji Sun Park, Young Hwan Kim, Hyeong Yeol Kim, Keung-Hwan

ABSTRACT

The tensile and bond performance of GFRP rebar are different from those of conventional steel reinforcement. It requires some studies on concrete members reinforced with GFRP reinforcing bars to apply it to concrete structures. GFRP has some advantages such as high specific strength, low weight, non-corrosive nature, and disadvantage of larger deflection due to the lower modulus of elasticity than that of steel. Bridge deck is a preferred structure to apply FRP rebars due to the increase of flexural capacity by arching action. This paper focuses on the behavior of concrete bridge deck reinforced with newly developed GFRP rebar. A total of three real size bridge deck specimens were made and tested. Main variable was reinforcement ratio of GFRP rebar. Static test was performed with the load of DB-24 level until failure. Test results were compared and analyzed with ultimate load, deflection behavior.

요 약

유리섬유를 사용한 섬유강화복합체(Glass Fiber Reinforced Polymer, GFRP) 보강근의 인장강도 및 부착성능 등은 철근과 다르기 때문에 GFRP 보강근을 콘크리트 구조물에 적용하기 위해서는 GFRP 보강근으로 보강된 콘크리트 부재의 거동에 관한 연구가 선행되어야 한다. GFRP는 높은 비강도, 경량성, 비부식성 등의 장점을 가지고 있으나 탄성계수가 철근보다 작아 상대적으로 큰 처짐이 발생하는 단점이 있다. 교량 바닥판은 아칭효과 등에 의해 휨성능이 증가하므로 FRP 보강근을 우선 적용할 수 있는 대상 중 하나이다. 본 논문은 국내에서 개발된 철근 대체재용 GFRP 보강근의 콘크리트 구조물의 적용 가능성을 관찰하기 위한 실험연구에 관한 것으로 폭과 길이가 3,000 mm, 4,000 mm이고 두께가 240 mm인 실제 크기의 콘크리트 바닥판을 제작하여 GFRP 보강근의 보강비에 따른 거동을 관찰하였다. 정적실험을 수행하였으며 DB-24 하중등급의 축하중을 모사한 재하면적을 가진 직사각형 강재로 바닥판이 파괴될 때까지 집중하중을 가하였다. 철근 보강 바닥판과 GFRP 보강 바닥판의 거동 차이를 최대성능 및 처짐 거동 등에 대해 비교 검토하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원
** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원
*** 정회원, 한국건설기술연구원 책임연구원
**** 정회원, 한국건설기술연구원 책임연구원
***** 정회원, 한국건설기술연구원 책임연구원

1. 서론

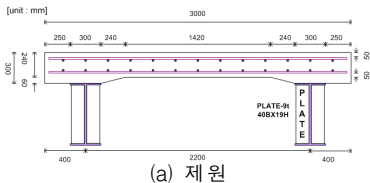
유리섬유를 사용하여 제작된 GFRP 보강근은 탄성계수가 철근의 1/4~1/5 정도로 작기 때문에 휨부재의 보강근으로 사용될 경우 동일 보강비의 철근 보강 부재에 비해 상대적으로 큰 처짐이 발생하게 된다. 교량 바닥판의 경우 단면에 균열이 발생하지 않은 경우에는 일방향 휨거동으로 작용하중에 저항하지만, 단면에 균열 발생한 경우에는 아칭효과(arching action)로 인해 휨성능이 향상된다(Graddy 등, 2002). 따라서 교량 바닥판은 FRP가 가장 널리 적용될 수 있는 대상 중 하나로 현재 해외에는 FRP 보강근을 사용하여 교량 바닥판을 성공적으로 시공한 사례가 다수 보고되고 있다(Ospina와 Nanni, 2007; Benmokrane 등, 2006). 그러나 현재까지도 이방향 바닥판에 대한 설계기준이 전 세계적으로 미비한 상황이기 때문에 이에 대해 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다.

본 논문은 국내에서 개발된 GFRP 보강근(한국건설기술연구원, 2006)의 교량 바닥판으로의 적용 가능성을 알아보기 위한 실험연구로서, 실제 크기의 콘크리트 바닥판을 제작하여 정적실험을 수행하였다. 실험체의 크기는 3,000×4,000×240 mm (폭×길이×두께)로 설정하였으며, GFRP 보강근의 보강비를 변수로 고려하여 실험결과를 하중-처짐, 균열거동, 파괴모드, 최대하중 등에 대하여 상호 비교하였다.

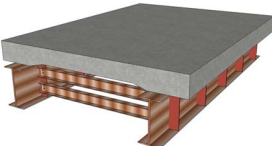
2. 실험연구

실험체의 크기는 그림 1(a)와 같이 폭과 길이, 두께가 각각 3,000 mm, 4,000 mm, 240 mm이고 그림 1(b)와 같은 형상으로 제작되었다. 거더는 복부를 수직 보강재(stiffener)로 보강한 4,400 mm 길이의 H 형강(600 mm×300 mm)을 사용하였고, 거더 사이의 거리는 2,200 mm이다. 강제 스테어를 이용하여 거더와 바닥판을 일체화시켰으며, 바닥판의 길이 방향 양끝 위치에서 ㄷ자 형강으로 거더와 거더를 볼트를 이용하여 강결시켰다.

실험체는 철근을 사용하는 경우에 대해 도로교설계기준(2005)를 만족하도록 보강비를 산출하였으며 GFRP_S200 실험체는 이 보강비에 대해 철근 대신 GFRP 보강근을 사용한 경우이다.



(a) 제원



(b) 형상



그림 2 GFRP 보강근



그림 3 실험 전경

그림 1 교량 바닥판 실험체

표 1 실험체에 사용된 보강근 종류와 배근간격 및 보강비

거더 직각방향 하부의 피복두께를 50 mm로 설정하였으며 휨보강비에 따른 성능을 비교하고자 모든 실험체의 상부 보강근은 동일하게 배근하였다. 실험체에 대한 배근간격과 보강비를 정리하여 표 1에 나타내었다. 실험체에 사용된 콘크리트의 압축강도는 30 MPa이며, GFRP 보강근은

시편명	거더 직각 방향		거더 방향	
	하부	상부	하부	상부
GFRP_S200	D16@200 ($\rho=0.546\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)
GFRP_S125	D16@125 ($\rho=0.873\%$)	D16@160 ($\rho=0.764\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)
GFRP_S100	D16@100 ($\rho=1.091\%$)	D16@140 ($\rho=0.879\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)	D16@250 ($\rho=0.436\%$)

직경이 16 mm이고 그림 2에 나타난 것과 같은 나선형 돌기를 가지고 있다. 측정된 보강근의 평균인장강도와 이 값에서 표준편차의 3배를 뺀 공칭인장강도는 각각 1,066 MPa, 988 MPa이고, 평균탄성계수는 47.8 GPa이다.

실험은 3,000 kN 용량의 액추에이터로 바닥판 중앙에 집중하중을 가하는 정적실험을 수행하였다(그림 3). 재하면적은 도로교설계기준(2005)에 명시되어 있는 DB-24 하중등급(96 kN)의 축하중이 닿는 면적을 직사각형(231 mm×577 mm)으로 환산하였고, 이 크기의 강제 가력판을 제작하여 재하하였다. 응력집중이 발생하지 않도록하기 위하여 20 mm 두께의 고무판을 가력판과 바닥판 사이에 설치하였으며 단순지지 형태로 실험을 수행하였다.

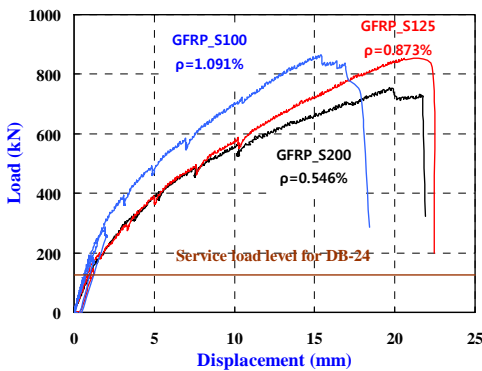
3. 실험 결과 및 분석

모든 실험체는 거더 직각방향으로 휨균열이 발생하여 진행된 후 최종적으로 편칭에 의해 파괴되었다. 실험체에 대한 실험결과를 최대성과 균열 거동에 대해 표 2에 나타내었다. 각 결과분석에서 사용된 사용하중(124.8 kN)은 도로교설계기준(2005)에 명시되어 있는 DB-24 하중등급에 대한 축하중에 충격계수를 고려하여 산출된 것이다.

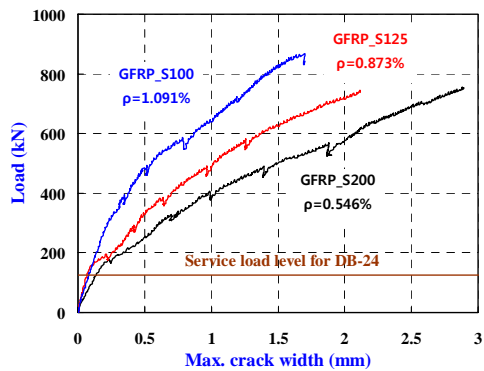
그림 4(a)에 하중과 하면 중앙에서 측정한 변위 관계를 나타내었다. 모든 실험체의 하중-변위 곡선은 균열하중까지 선형 거동을 보인 후 비선형 거동을 보이며 파괴까지 도달하는 형태를 나타내었다. 보강비에 따라서는 GFRP 보강근의 보강비에 증가함에 따라 동일하중에 대한 처짐값이 작아지는 거동을 나타내었다. 특히 보강비가 GFRP_S200에 비해 160% 증가된 경우보다는 200% 증가된 경우에 그러한 거동이 더욱 확연히 나타났다. 최대하중은 보강비를 160% 증가시키는 경우 113%로 증가하였으나 보강비를 200% 증가시키더라도 더 이상의 뚜렷한 최대하중 증가는 관찰되지 않았다. 그러나 후자의 경우 사용하중에 대한 처짐은 30% 정도 감소하였다.

표 2 실험 결과

시편명	보강비 증가율	파괴하중 (kN)		최대처짐 (mm)		사용하중시 최대균열폭 (mm)	파괴모드
		최대값	증가율	사용하중	파괴		
GFRP_S200	100%	755	100%	1.0	19.6	0.18	Punching
GFRP_S125	160%	854	113%	1.1	20.6	0.07	Punching
GFRP_S100	200%	865	115%	0.7	15.4	0.08	Punching



(a) 하중-변위 거동



(b) 하중-최대 균열폭 거동

그림 4 교량 바닥판 실험결과

그림 4(b)는 다수의 옴형 게이지로 측정된 실험체 하면의 균열폭 중 최대 균열폭과 하중의 관계를 나타낸 그래프이다. 최대 균열폭의 거동 역시 하중-변위 관계와 유사하게 보강비가 증가할수록 동일

하중에 대해 최대 균열폭이 감소하는 경향을 나타내었다.

도로교설계기준(2005)에서는 사용성 설계에 대해 철근을 사용하는 경우 일반적인 환경과 고부식성 환경인 경우 각각 피복두께의 0.005, 0.0035배를 균열폭으로 제한하고 있다(본 실험체의 경우 각각 0.25 mm, 0.175 mm). 표 2에 나타낸 바와 같이 GFRP 보강근을 사용한 실험체의 사용하중에 대한 최대균열폭은 0.139, 0.074 mm로 철근 콘크리트 부재에 대한 도로교설계기준(2005)을 만족하였으며, FRP 보강 콘크리트 부재에 대한 CHBDC(2006)에서 제안하고 있는 허용 균열폭 규정(0.5 mm)도 만족하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 GFRP 보강 바닥판의 거동 특성을 관찰하기 위하여 GFRP 보강근의 보강비를 변수로 하여 실험을 실시하였다. 이를 통하여 얻은 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 교량 바닥판의 보강근으로 GFRP 보강근을 사용하는 경우 바닥판은 최종적으로 펀칭에 의해 파괴되었으며, 하중-변위 거동은 균열하중까지 선형 거동을 보인 후 비선형 거동을 보이며 파괴까지 도달하는 형태를 나타내었다.
- 2) 최대하중은 보강비를 160% 증가시키는 경우 113%로 증가하였으나 보강비를 200% 증가시키더라도 더 이상의 최대하중 증가는 관찰되지 않은 것으로 보아 GFRP로 바닥판을 보강하는 경우 최적 보강비가 존재할 것으로 판단된다. 보강비를 200% 증가시킨 경우에는 사용하중에 대한 처짐은 30% 정도 감소하였다.
- 3) 실험체는 GFRP 보강 부재였으나 최대 균열폭이 0.2 mm 이하로 철근 콘크리트 부재에 대한 허용 균열폭을 만족하였으며, FRP 보강 부재에 대한 해외 규정 0.5 mm를 만족하였다.
- 4) 상기 결과로부터 보강근의 보강비와 바닥판의 제원을 적절히 선정할 경우 GFRP 보강근을 교량 바닥판에 성공적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 공공기술연구회 협동연구사업인 "FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발" 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 2005
2. 한국건설기술연구원, FRP 복합재료 보강재 개발 및 이를 활용한 콘크리트 구조물 건설기술 개발, 4차년 보고서, 2006.
3. Benmokrane, B., El-Salakawy, E., El-Ragaby A., and Lackey, T., "Designing and Testing of Concrete Bridge Decks Reinforced with Glass FRP Bars, Journal of Bridge Engineering, ASCE, Vol. 11, No. 2, pp.217-229, 2006.
4. CSA, Canadian Highway Bridge Design Code-CAN/CSA-S6-06, Toronto (Ont., Canada). Canadian Standards Association, 2006.
5. Graddy, J.C., Kim, J., Whitt, J.H., Burns, N.H., and Klingner, R.E., "Punching-Shear Behavior of Bridge Decks under Fatigue Loading", ACI Structural Journal, Vol. 99, No. 3, pp. 257-266, 2002.
6. Ospina, C.E., Nanni, A., "CURRENT FRP-REINFORCED CONCRETE DESIGN TRENDS IN ACI 440.1R", Proc. 8th Int. Symp. on Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures, FRPRCS-8, Triantafyllou, T. C. ed., Patras, Greece, 14-6, 2007.