

유리섬유보강근(GFRP bar)을 적용한 철도 교량 바닥판 개발

Development of Railway Bridge Deck Reinforced with GFRP bar

정유석*, 이재하**, 정의석***, 정순봉****, 문도영*****†

Yoseok Jeong*, Jaeha Lee**, Euseok Jeong***, Sun Bong Chung****, Do Young Moon*****†

초 록 철근 대체재로 주목받고 있는 유리섬유보강근(이하 GFRP 보강근)을 철도 교량 바닥판에 적용하기 위한 시험체 설계를 수행하였다. GFRP 보강 콘크리트 구조물 설계를 위해 최근 제정된 KDS 14 20 68(구조 기준) 및 KDS 24 50 05(교량 기준) 을 참고하여 진행하였으며 정적 재하 시험 뿐만 아니라 반복 재하 시험 및 피로 시험에 적합한 실험 크기의 시편으로 시험체 설계를 수행하였다. 설계 결과, GFRP 보강근을 활용함으로써 구조적 사용성과 안전성을 확보하는 동시에, 경량 재료의 적용에 따른 작업 소요 시간 단축 및 투입 인원 절감이 가능할 것으로 분석되었다. 또한, 탄소 저감 효과와 더불어 장기적인 내구성 확보 역시 기대된다.

주요어 : 유리섬유보강근, 철도 교량, 바닥판, 설계, 경제성

1. 서 론

최근 철근 시장의 불균형과 탄소중립 목표 달성을 위해 다양한 탄소 저감형 건설 재료 및 보강재에 대한 연구개발이 활발하게 이루어지고 있다. 특히, 보강재 중 유리섬유보강근(GFRP bar)은 가벼운 무게 대비 높은 강성 및 인장 강도를 가지며 높은 내구성을 보여 우수한 물성을 바탕으로 주목받고 있다 [1][2]. 또한, 철도 시설에서 궤도 회로 신호 전류의 손실을 유발할 수 있는 철근과 달리, GFRP 보강근은 이러한 문제를 방지할 수 있어 철도 인프라에서 철근을 대체할 수 있는 유망한 보강재로서 활용이 기대되고 있다. 이에 본 연구에서는 철도 교량 바닥판 철근을 GFRP 보강근으로 대체하여 최근 제정된 GFRP 보강근 기준(KDS 14 20 68 및 KDS 24 50 05)[3][4]에 따라 설계를 수행하였다.

2. 본 론

2.1 철도교량 바닥판

철도 교량은 거더 위 레일을 포함하여 도상 콘크리트(TCL), 보호콘크리트(PCL), 그리고 바닥판으로 구성된다. 특히 바닥판의 경우 시공의 편의를 위해 프리캐스트 데크($t=135$ mm)와 현장타설 바닥판 슬래브($t=145$ mm)로 나뉘어 구성된다. 이러한 바닥판은 철도교량의 IPC 거더 위에 설치되며 고려한 교량 연장과 교폭은 각각 35 m와 10.9m 이다. 본 연구에서는 PCL과 현장타설 바닥판 슬래브 그리고 프리캐스트 패널을 모두 바닥판 설계 요소로 보고 철근을 GFRP 보강근으로 대체하여 설계를 수행하였다.

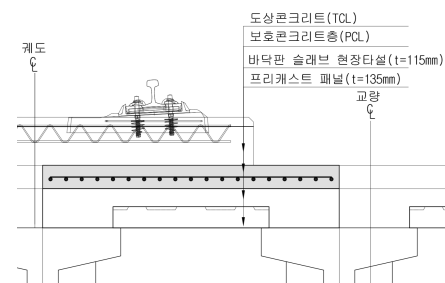


Fig. 1 Cross sectional view of railway bridge deck slab.

† 교신저자: 경성대학교 공과대학 토목공학과

* 경북대학교 과학기술대학 건설방재공학과

** 한국해양대학교 해양과학기술융합대학 토목공학과

*** Bauhaus-Universität Weimar Civil and Environmental Engineering

**** (주)이산

***** 경성대학교 공과대학 토목공학과

2.2 바닥판 GFRP 보강근 설계 고려사항

철도 교량 바닥판 설계를 위해, 앞서 언급한 바와 같이 GFRP 보강근 기준(KDS 14 20 68 및 KDS 24 50 05)[3][4]에 따라 설계를 수행하였다. 구조물의 고정하중 외에도 철도 시설물이므로 레일 및 침목, 전선 및 신호 케이블 등 고정하중으로 고려하였으며, 차량하중은 KRL-2012를 적용하여 분석하였다. 또한, 충격하중과 탈선하중 등을 철도설계기준: 노반편[5]에 근거하여 하중을 적용하였다. 특히 ACI 440.1R[1]에서는 휨설계시(특히 GFRP 보강근 사용시)에는 많은 경우 사용성 한계상태가 설계를 지배하는 경우가 많음을 명시하고 있으며 이에 따라 GFRP 보강근의 피로와 크리프 파괴도 시험체 설계시 설계기준(KDS 24 50 05 및 KDS 14 20 68)[3][4]에 따라 각각 25%와 30% 이하로 적용하였다.

또한 전단설계에서는 GFRP 보강근의 상대적으로 낮은 탄성계수와 횡방향전단저항성능(transverse shear resistance), 항복점 없이 높은 인장강도를 보유하고 있는 취성적 특성에 주의를 기울여 설계를 수행하였다.

최종적으로 BS EN 13230[6]의 합격조건에 따라 시험체에 적용되는 정적재하시험, 반복재하시험 및 피로시험에 대한 시험체 설계를 수행하였다.

2.3 철근과 GFRP 보강근 설계의 비교

철근을 GFRP 보강근으로 모두 대체하여 설계를 수행한 결과 교축방향 2.8미터 시험체 단위에 대해 G16과 G13 보강근이 활용되었으며 모든 사용성 및 안전성 요건을 만족하는 것으로 확인되었다. 안전율($M_u/\phi M_n$)의 경우, GFRP 바닥판이 1.484, RC 바닥판이 1.418로 GFRP 바닥판이 5% 정도 높았다. 산출물량의 경우 2.8m 교축방향 1개 시험체에 대하여 PCL에서 101.7m, 프리캐스트 데크에 50.3m, 바닥판 현장타설 슬래브에 144.9m의 GFRP 보강근 물량이 산출되었다. 본 설계에는 적용하지 않았지만 향후 피복두께 등의 설계최적화를 통해 추가적인 콘크리트 물량 절감 및 경량화가 가능할 것으로 판단된다. GFRP의 낮은 중량(철근 대비 약 25%)으로 인해 작업

소요시간이 66% 투입 인원은 60% 탄소저감 효과는 약 73% 기대되며 장기 내구성 확보가 기대된다.

3. 결 론

GFRP 보강 철도교량 바닥판 슬래브의 설계를 수행한 결과, GFRP의 경량성으로 인해 시공성 및 장기적인 내구성 증대를 통해 유지·관리 비용 절감 효과가 기대된다. 또한, GFRP 보강근의 전기적 절연 특성은 궤도 회로 신호 전류의 손실을 최소화하는 데 기여할 것으로 판단된다.

향후 GFRP 보강근을 교량 바닥판뿐만 아니라 터널 라이닝, 교각, 교대, 박스 구조물 및 옹벽 구조 등에도 적용을 확대해 나갈 계획이다. 다만, 화재에 대한 취약성이 중요한 터널 및 박스 구조물의 경우, 추가적인 검토가 필요하며, 내화 성능을 보유한 GFRP 보강근 적용 설계를 병행하여 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 국가철도공단 “철도구조물 유리섬유보강근(GFRP) 적용 확대 방안 연구용역”의 지원을 받아 수행했습니다.

참고문헌

- [1] ACI Committee 440 (2015) Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars, ACI 440.1R-15, pp. 88, ACI.
- [2] ACI Committee 440. (2022). Building Code Requirements for Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Bars-Code and Commentary, ACI 440.11-22, pp. 255, ACI.
- [3] 국토교통부 (2024) 유리섬유 강화 폴리머 보강근 콘크리트구조 설계기준, KDS 24 50 05 : 2024, pp. 49, 국토교통부.
- [4] 국토교통부 (2024) GFRP 보강근용 콘크리트교 설계기준, KDS 14 20 68 : 2024, pp. 22, 국토교통부.
- [5] 한국철도시설공단 (2016) 철도설계기준(노반편), pp. 1020, 국토교통부
- [6] British Standard Institution (2016) Railway applications. Track. Concrete sleepers and bearers, BS EN 13230, BSI