

콘크리트로 충전된 FRP 보의 해석을 통한 거동평가

Analytical Behavior of FRP Girder filled with Concrete

정 상 모* 박 동 원** 정 유 석** 김 현 준**
Jeong, Sang Mo Park, Dong Won Jeong, Yo Sok Kim, Hyun Joon

ABSTRACT

Recently, much research has been conducted on FRP composite to replace steel. However, the concept of FRP girder filled with concrete has not been fully attempted. This study focuses on the analytical behavior of FRP girders filled with concrete. FRP girders usually have large deflection due to relatively low elastic modulus compared to steel members. However, in the previous experimental investigation on small sized modular beams, it has been verified that the displacement of FRP-girder filled with concrete is reduced and the strength is increased considerably. In this research, analytical investigations have conducted to verify the analytical method by comparing the results with tests. In addition, analyses on large girders assembled with small modules have been carried out to predict the feasibility before tests. The analytical results showed that the assembled FRP girders can be used as substitutes for steel girders.

요 약

최근 세계적으로 FRP 복합재료를 이용한 다양한 연구가 진행 중에 있다. 본 연구 과제중 가격 경쟁력을 위해 유리 섬유를 이용한 신개념의 FRP+콘크리트 합성 거더 모듈을 제안하고 장경간 교량에 적용될 수 있도록 하중 재하실험을 수행한 바 있다. 실험 결과 콘크리트 충전으로 인하여 성능이 현저하게 개선되는 것으로 평가되었다.

본 연구에서는 소형화된 모듈의 FRP+콘크리트 합성거더에 대하여 거동을 해석하고 실험결과와 비교, 분석하였다. 또한, 큰 단면을 위해 모듈화된 FRP 거더 4개를 연결하여 어떠한 거동을 보이는지 예측해 보았다. 해석을 위해 FRP 거더면끼리는 충분한 접촉강도를 가지고 있으므로 완전 부착으로 가정하였다. 그 결과 콘크리트가 충전되지 않은 FRP 거더는 처짐 허용량을 초과하였지만, 콘크리트가 충전된 FRP 거더는 상대적으로 적은 처짐량을 보여 주며 충전된 FRP거더를 실제 구조물에 사용되더라도 추가 보완 연구를 통해 처짐으로 인한 사용성의 문제를 해결 할 수 있을 것으로 사료된다.

*정회원, 한동대학교 공간환경시스템공학부 교수

**정회원, 한동대학교 대학원

1. 서론

최근 국내외적으로 FRP 복합재료를 기존의 구조보강재가 아닌 신설 구조물의 주부재로 활용하려는 연구가 진행 중에 있으며 이미 국외에서는 FRP를 이용한 다양한 부재들이 개발되어 실용화 단계에 있다. 국내에서는 FRP로 된 바닥판 및 기둥, FRP tendon등이 연구되고 있으며 일부는 실용화 단계에 이르고 있다. 그럼에도 불구하고 FRP 거더 개발을 위한 연구는 현재 국내에서는 전무한 실정이다. 그 원인으로서는 가격 경쟁력을 위해 탄소섬유가 아닌 유리섬유를 이용한 FRP를 거더로 사용시 강재에 비해 낮은 탄성계수로 과도한 처짐이 발생하므로 상대적으로 단면이 커져야 한다는 단점과 제품 생산회사에서 단면이 큰 부재를 생산할 시설투자의 여력이 없다는 것을 들 수 있다.

이런 기술적인 문제점을 해결하기 위하여 대형 단면의 생산이 가능하도록 모듈형식의 소형화된 단면이 제시되었다. 선행 연구에서 FRP의 낮은 강성을 확보하기 위하여 FRP에 콘크리트를 충전한 합성 거더에 대하여 재하 실험을 수행하여 충전효과를 검증한 바 있다. 본 연구에서는 FRP+콘크리트의 실험 결과와 해석을 통한 결과를 비교, 분석을 통해 모듈화된 소형단면을 조립하여 대형단면으로 접합시 해석적으로 어떠한 거동을 나타내는지 예측해 보았다.

2. 소형화된 FRP거더 모듈의 실험값과 해석값의 비교

기존 실험을 통해 얻어진 FRP거더와 FRP+콘크리트 합성 거더의 거동과 해석적 방법을 통해서 얻어진 거동을 비교해 보았다. 해석을 위해 범용 유한요소 프로그램인 Abaqus가 사용되었으며 각각 하중에 따른 중앙점에서의 처짐을 비교함으로써 해석 모델의 타당성을 검증하였다. 해석 모델의 단면 형상과 대상 구조물은 그림1, 그림2 와 같으며 해석에 사용된 콘크리트와 FRP 물성치는 실험을 통해 구해진 값으로 표1, 표2와 같다.

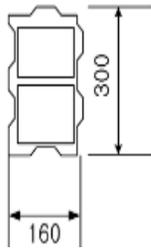


그림 1 단면형상

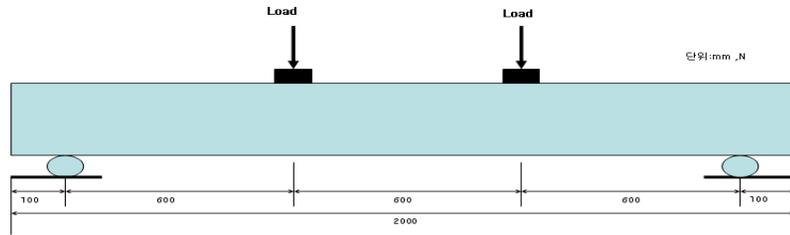


그림 2 해석 모델

표 1 FRP 물성

	탄성계수(MPa)		전단탄성계수(MPa)			포아송비	인장강도(MPa)		압축강도(MPa)		전단강도(MPa)
	E_1	E_2	G_{12}	G_{13}	G_{23}		σ_1	σ_2	σ_1	σ_2	
Flange	36,368	19,200	3,500	3,500	350	0.3	365.64	102.96	400.66	127.52	68.76
Web	37,320	17,520	3,500	3,500	350	0.3	361.8	105.04	364.4	75.08	71.18

표 2 콘크리트 물성

	탄성계수(MPa)	포아송비	압축강도(MPa)
콘크리트	25,700	0.167	30

2.1. 콘크리트를 충전하지 않은 FRP거더

총 재하하중과 중앙점에서의 처짐이 Abaqus로 해석한 값과 실험값이 비교적 잘 일치함을 그림3을 통해서 알 수가 있다. 또한, Tsai-Wu의 failure식을 적용하기 위해 FRP를 lamina로 모델링하여 해석

한 결과, 총 재하하중이 약 400kN이 될때 응력집중 및 local buckling으로 재하판의 압축부에서 파손이 먼저 일어나는 것을 알 수가 있다. 이는 실험과 비슷한 결과로 하중 재하시 정확한 결과를 얻기 위해 응력 집중 현상을 방지할 필요가 있는 것으로 사료된다.

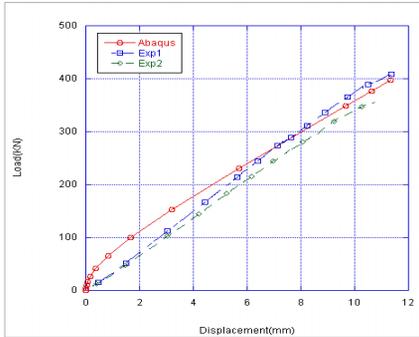


그림 3 FRP 거더 중앙점의 하중 vs 처짐

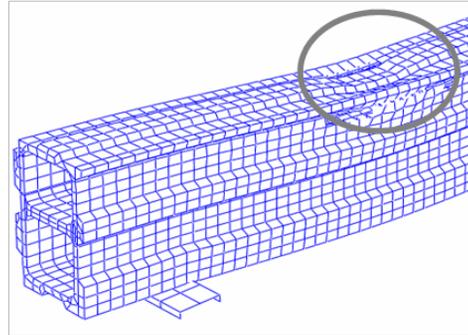


그림 4 400kN 재하시 파단 모습

2.2. 콘크리트를 충전한 FRP 거더

압축부에 콘크리트를 충전한 FRP 거더를 해석할 시 FRP와 콘크리트간의 마찰계수를 기존 연구 보고서(IT 기반형 첨단기술+FRP+콘크리트 합성연구, 2007)를 통해 0.2로 하여 해석하였다. 그림5 는 실험값과 해석값의 하중-처짐 그래프를 나타낸 것이다. 그래프의 곡선이 상당히 유사함을 알 수가 있다. 이는 앞으로 FRP와 콘크리트와의 접촉 해석시 마찰계수를 0.2으로 설정할시 정확한 해석을 할 수 있는 근거가 되어 추후의 파라미터 해석이 가능하게 되었다.. 또한, 콘크리트 충전 효과로 강도는 200kN 이상 증가하고 하중 재하시 처짐이 15% 정도 저하됨을 해석을 통해서도 확인 할 수가 있었다.

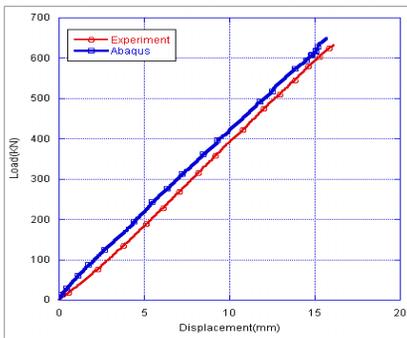


그림 5 콘크리트 충전 FRP거더 중앙점의 하중 vs 처짐

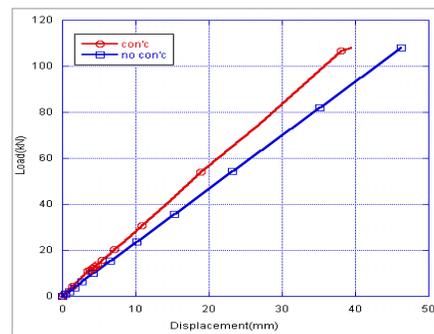


그림 6 콘크리트 충전 vs 비충진 (15m거더연결)

3. FRP 거더 연결을 통한 대형단면 거동 분석

FRP 거더를 그림7 과 같이 대형단면으로 연결하여 하중에 따른 거동을 예측하였다. FRP거더면은 충분한 접촉강도를 가지므로 완전부착으로 가정하였으며 해석 모델은 그림8 과 같다. 하중은 도로교 설계 기준의 DB-24 표준트럭 하중을 적용하여 실제 교량에서의 처짐을 예측하였다.

콘크리트를 충전하지 않은 거더일 경우 DB-24 하중을 주었을 경우 최대 처짐량이 46mm로 나타났으며 이 경우 사용성에 있어서 문제가 됨을 알 수 있다.

콘크리트가 충전된 FRP 거더인 경우 DB-24 하중에 대해서 최대 처짐량이 20%정도 줄어들어 35mm를 나타내었다. 이는 비록 사용 처짐량에는 못 미치지만 콘크리트를 충전함으로써 충분한 강성을 가질 수 있는 것으로 판단된다. 그림6 은 콘크리트를 충전 했을 때와 하지 않았을 때의 하중에 따른 처짐을 나타낸 것이다.

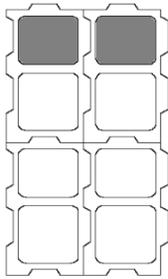


그림 7 연결 형상

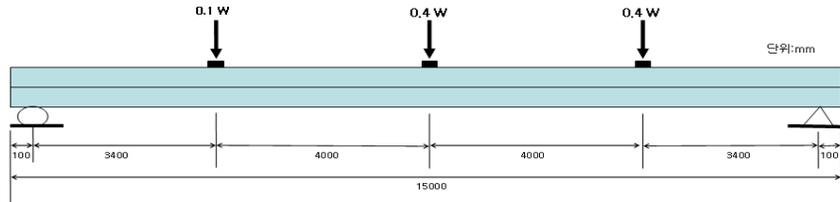


그림 8 소형거더 연결 해석 모델

4. 결론

기존의 실험값과 Abaqus를 이용한 FEM 해석값을 비교하여 FRP같은 이방성재료도 정확한 물성치만 있다면 실험과 유사한 결과를 얻을 수 있다는 결론을 얻었다. 또한, 장경간 교량 구조물로 사용하기 위하여 모듈화된 FRP거더를 연결한 후 하나의 대형거더로 이용시 그 처짐이 20%정도 줄어든다는 것을 알았다. 이것은 비록 처짐 허용량보다 크지만 추가적인 연구를 통해 콘크리트 충전 FRP거더를 보완한다면 실제 구조물에 사용하더라도 처짐으로 인한 사용성의 문제를 해결할 수 있으리라 예상된다.

감사의 글

이 논문은 건설교통부 건설핵심기술연구 개발 사업중 차세대 해안공간확보기술 연구비 지원에 의해 수행된 “해안 저지대 방호기술개발” 연구 결과중 일부로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. “IT 기반형 첨단기술+FRP+콘크리트 합성연구”, 1차년도 최종보고서, 원광대학교(주관연구기관), 한동대학교(협동연구기관), 한국건설기술연구원(위탁기관), 2007.9. p151
2. 광계환, 장화섭, 성배경, 정현수, 김우중, “FRP+콘크리트 합성 거더의 휨강도 평가”, 제33회 대한토목학회 정기 학술대회 논문집, 2007.
3. Arvid Hejll, Bjorn Taljsten, Masoud Motavalli, “Large scale hybrid FRP composite girders for use in bridge structures-theory, test and field application”, Composites: Part B 36 (2005) 573-585