

FRC를 적용한 FRP-콘크리트 합성보의 거동특성

Behavior Characteristics of FRP-Concrete Composite Beam using FRC

조정래* 조근희* 김병석** 진원중** 김성태**
Cho, Jeong-Rae Cho, Keunhee Kim, Byung-Suk Chin, Won Jong Kim, Sung Tae

ABSTRACT

The FRP-concrete composite deck system has advantages of corrosion free and easy construction. The system is, however, comprised of two brittle materials, so that it suffers from inherent disadvantage of lack of ductility. In this study, some conceptual design is presented for preventing the brittle failure of FRP-concrete composite deck at ultimate load level. 4-point bending tests are performed for FRP-concrete composite beams using FRC(Fiber Reinforced Concrete). The specimens use the box-shape FRP member in the lower portion. Four types of concrete with different compressive strengths and ductilities including normal mortar and 3 FRCs are placed in the upper portion. Typical failure mode in the test is identified; Concrete compressive failure occurs first at the maximum moment region, and the interfacial debonding between FRP and concrete member proceeds. Finally, the tensile rupture of FRP member occurs. The specimen using FRC with the high compressive ductility of concrete fails with less brittle manner than other specimens. The reason is that the ductility from the concrete in compression prevents the sudden loss of load-carrying capacity after compressive concrete failure.

1. 서론

최근 FRP 부재를 인장부에 콘크리트를 압축부에 위치시켜 두 재료의 장점을 이용하는 FRP-콘크리트 합성 바닥판이 개발되고 있다. FRP 부재는 영구 거푸집 겸 주인장 부재로서의 기능을 수행하기 때문에 부식이 없고, 건설이 용이한 장점이 있다. 이러한 FRP-콘크리트 합성 바닥판은 취성 재료인 FRP와 콘크리트를 합성시킨 구조이기 때문에 특별한 고려가 되지 않을 경우 취성파괴가 발생한다. 본 연구에서는 취성 파괴를 방지하기 위해서 압축부 콘크리트 물성을 변화시켜 전체적인 거동이 연성 파괴가 유도되도록 제안하였다. 콘크리트 물성에 변화를 주기 위해 일반 콘크리트 보다 압축 축 강도 및 연성이 뛰어난 FRC(Fiber Reinforced Concrete)를 도입하였다. 압축부에 일반 콘크리트와 FRC를 각각 타설한 경우의 FRP-콘크리트 합성보에 대해 실험을 수행하여, 콘크리트의 특성에 따른 연성 거동 가능성을 고찰하였다.

* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

2. 취성파괴 방지 개념

그림 1은 취성 파괴를 방지하기 위해 도입한 개념 설계이다. 콘크리트와 FRP 사이의 완전 부착을 가정하였을 때, 최초 파괴는 콘크리트의 압축 파괴로 발생하게 된다. 이때 취성의 일반 콘크리트를 사용하는 경우 콘크리트부의 전 단면에 걸쳐 순간적으로 파괴가 일어나게 되고 이후 FRP 만으로 구성된 단면을 가진 보의 거동을 따르게 된다. 만약 충분한 연성을 가진 고인성 FRC를 사용하는 경우 최외각 콘크리트에서 내부로 파괴가 전달되면서 어느 정도 연성을 지닌 보로 설계할 수 있다.

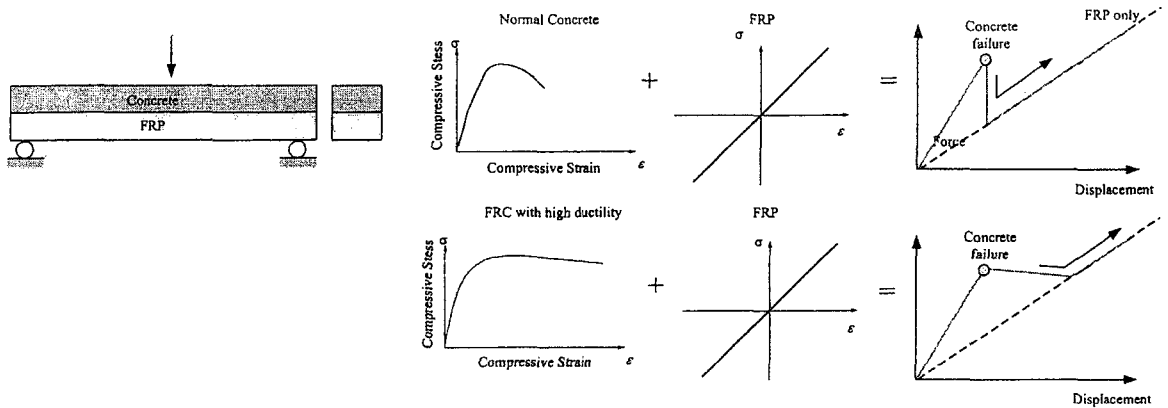


그림 1. 실험체 형상 및 재하방법 (단위 : mm)

3. FRP-콘크리트 합성보의 연성 거동 특성 실험

콘크리트의 강도 및 연성이 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 연성에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보기 위해 box 단면을 갖는 FRP 부재를 사용하는 FRP-콘크리트 합성 바닥보를 제작 시험하였다(그림 2). 실험 변수는 상부 콘크리트의 물성으로 4개의 실험체(보통 콘크리트 모르타르와 3종의 FRC 적용)를 제작하여 정적실험을 수행하였다(표 1). 그림 3은 적용된 콘크리트의 공시체에 대한 압축시험 결과로, BP2는 상대적으로 저장도 고인성 FRC이고, BP3, BP3는 고강도 저인성의 FRC이다. 그림 4는 시험체의 제작 및 실험 전경을 나타내고 있다.

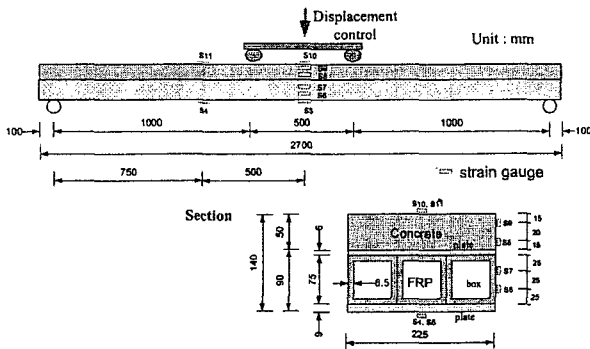


그림 2. 실험체 형상 및 재하방법 (단위 : mm)

표 1. 실험체 및 실험변수

| 실험체 명 | 상부 콘크리트 | 설계 강도 | 비고 |
|-------|-----------------|--------|------|
| BP1 | 40MPa-Plain | 40MPa | 모르타르 |
| BP2 | 40MPa-Fiber 3% | 40MPa | FRC* |
| BP3 | 70MPa-Fiber 3% | 70MPa | FRC* |
| BP4 | 100MPa-Fiber 3% | 100MPa | FRC* |

* 강섬유 사용

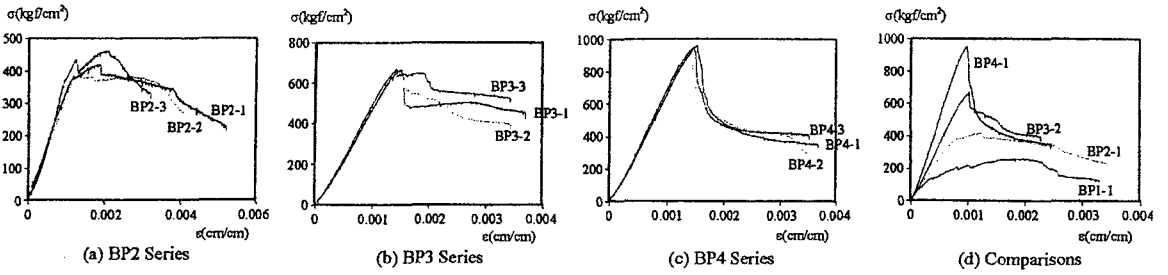


그림 3. 콘크리트 공시체의 압축시험 결과

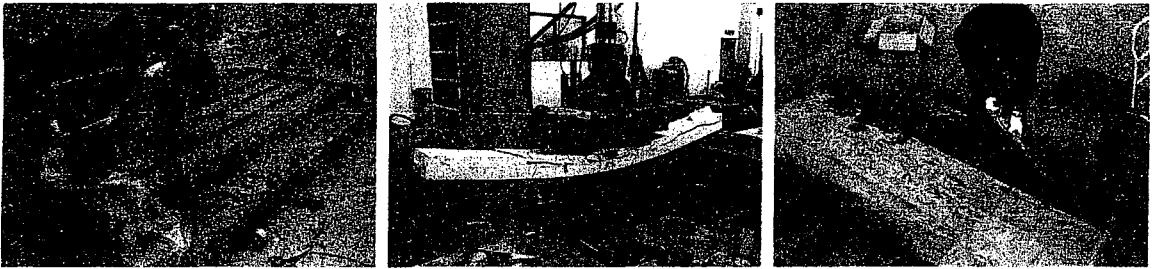


그림 4. 실험체 제작 및 실험 전경

4. 실험 결과 고찰

모든 시험체의 파괴 양상은 콘크리트의 압축 파괴 후 콘크리트·FRP 접합면의 부착파괴, 그리고 최종적으로 FRP의 파괴 순서로 진행되었다. 초기에는 콘크리트와 FRP의 합성 거동을 보이다 하중이 커짐에 따라 콘크리트의 압축파괴가 발생하게 되고, 이 때 하중재하점 사이의 콘크리트 부분에서 수직방향의 균열이 순간적으로 발생한다. 이후 보 양단 방향으로 콘크리트와 FRP 사이의 박리가 지속적으로 일어나게 된다. 완전한 박리가 일어나게 되면 이후의 거동은 FRP만으로 구성된 보의 거동을 보이게 된다. 그림 5는 시험체의 하중-변위 곡선을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 설계강도 40MPa의 FRC를 사용한 BP2가 콘크리트 파괴 직후에 발생하는 저항 하중의 감소에 있어 그 낙폭이 작으며, 완전한 부착파괴에 이르기 까지 하중 저항 능력의 상실이 작음을 알 수 있다. 이것은 BP2가 상대적으로 연성이 큰 것은 고인성 FRC의 사용으로 인해 압축 파괴 후 콘크리트가 어느 정도 저항능력을 가지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 고강도 FRC의 경우 콘크리트의 인성이 없고, 고강도이기 때문에 오히려 연성 측면에서는 불리함을 알 수 있다.

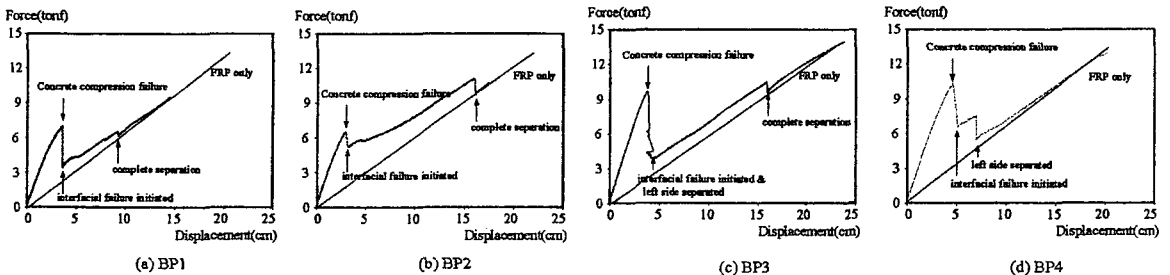


그림 5. 하중-변위 곡선

그림 6은 비선형 단면 해석 결과를 나타낸 것이고, 표 2는 콘크리트 압축파괴가 일어나는 점에서의 모멘트를 실험결과와 비교한 것이다. 단면 해석에 있어서 최대 단면 모멘트는 콘크리트 극한 변형률 ϵ_u 의 값에 크게 좌우된다. 해석에 사용된 콘크리트 극한 변형률을 보 실험시 콘크리트 파괴가 발생할 때의 최대변형률과 공시체 재료 곡선에서 주어진 값 중 작은 값을 선택하였다. BP1, BP2, BP3는 보 실험시 계측된 콘크리트 파괴시의 최대변형률이고, BP4는 공시체 재료곡선에서의 극한 변형률이다. BP1 시험체의 경우 비교적 실험결과와 일치하지만, BP2, BP3, BP4의 경우 단면 해석 결과가 과대평가됨을 알 수 있다. 이것은 적용된 콘크리트-응력 변형을 관계가 부정확하기 때문인 것으로 판단된다. 하지만, 일반적인 비선형 단면 해석으로부터 FRP-콘크리트 합성보의 콘크리트 압축파괴점을 예측할 수 있음을 알 수 있다.

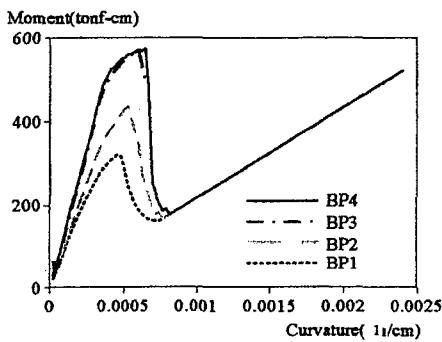


그림 6. 비선형 단면해석 결과

표 2. 콘크리트 압축 파괴시의 모멘트 비교(단위 : tonf-cm)

| 실험체 명 | 실험결과 | 단면해석결과 | 비고 |
|-------|-------|---------|---|
| BP1 | 342.6 | 321.471 | Mander 곡선 사용 $\epsilon_u = 0.004$ |
| BP2 | 319.5 | 435.389 | BP2-1 공시체 결과 이용 $\epsilon_u = 0.0034$ |
| BP3 | 473.0 | 568.235 | BP2-1 공시체 결과 이용 $\epsilon_u = 0.0032$ |
| BP4 | 515.5 | 573.164 | BP2-1 공시체 결과 이용 $\epsilon_u = 0.00369$ |

5. 결론

FRP-콘크리트 합성 바닥판은 부식이 없고 건설이 용이한 장점이 있지만 취성파괴의 가능성이 높은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 본 연구에서는 강도 및 인성이 뛰어난 FRC를 도입하였다. FRP-콘크리트 합성보의 실험을 통해 콘크리트의 압축축 연성능력이 콘크리트의 압축 파괴 후 갑작스런 하중전달능력의 감소를 막는 효과가 있음을 확인하였다. 또한, FRP-콘크리트 합성보의 콘크리트 압축파괴점은 일반적인 비선형 단면 해석을 통해 예측할 수 있다. 하지만, 콘크리트의 압축파괴 후 FRP와 콘크리트 접합면의 슬립이 커지기 때문에, 극한해석을 위해서는 본드-슬립 효과를 고려한 유한요소해석이 필요할 것으로 판단되며 이를 위해서는 추가적인 연구가 요구된다.

감사의 글

이 연구는 한국건설기술연구원의 기관고유사업인 장수명 합리화 합리화 바닥판 개발 (I)의 과제 지원금에 의해 수행된 것입니다.

참고 문헌

1. 한국건설기술연구원, 장수명 합리화 교량 바닥판 개발 (I), 2003.12.
2. 한국건설기술연구원, 콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발, 2차년도 연구보고서, 2003.12.