

신개념 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 거동 특성 고찰

A Study on the Behavior Characteristics of a New-Type FRP-Concrete Composite Deck

조근희*
Cho, Keunhee

진원종**
Chin, Won Jong

김성태**
Kim, Sung Tae

조정래*
Cho, Jeong-Rae

김병석***
Kim, Byung-Suk

ABSTRACT

A new-type of FRP-concrete composite bridge deck system is proposed and its behaviors are experimentally studied. The new-type deck consists of FRP as a permanent form and main tension resisting member and concrete as a compression resisting member. A suitable bonding method such as silica coating is applied to the interface between FRP and concrete to ensure composite behavior. The proposed deck system uses the box-shape FRP member, while a typical FRP-concrete composite deck uses the I-shape FRP member. The proposed deck system has inherent advantages of a FRP-concrete composite deck like corrosion free and easy construction. The new-type deck shows the equal performances compared to a previous one, and has the advantage of reducing self-weight. In this study, the static tests on 3-span FRP-concrete decks in full scale are carried out, so that load-displacement relation, stress distribution, failure mode and design criteria are analyzed. The test results show that the deflection design criterion ($L/800$, L : span length) is satisfied at the service load state. No concrete tensile crack occurs in the negative moment region above the main girder, regardless of no tensile reinforcement at upper concrete portion.

1. 서론

콘크리트 바닥판에 FRP를 합성시키기 시작한 것은 1980년대로, 보강철근을 탄소섬유나 유리섬유 계통의 FRP근이나 FRP 격자로 대체하는 개념이 주류를 이루고 있다. 또 다른 FRP 합성 바닥판 개념은 I-형 단면 등을 갖는 FRP 부재를 사용하여 주요 인장부재로 활용함과 동시에 바닥면에 FRP판을 위치시켜 콘크리트 양생 시까지 거푸집의 기능을 갖도록 하는 개념이다. 최근에는 실제로 이와 같은 개념을 도입한 FRP-콘크리트 합성 바닥판을 적용한 교량이 미국, 일본, 유럽 등의 나라에서 시공되고 있다.

이 연구는 그림 1과 같이 FRP 부재를 인장부에 콘크리트를 압축부에 위치시켜 FRP와 콘크리트의 재료적인 장점을 충분히 이용하는 신개념 FRP-콘크리트 합성 바닥판을 개발하고자 한다. 이 때 FRP

* 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

** 정회원, 한국건설기술연구원 연구원

*** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원

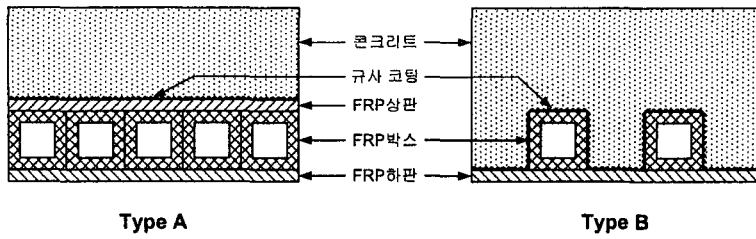


그림 1. 신개념 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 기본적인 단면 형상

부재는 영구 거푸집 겸 주인장 부재로서의 기능을 수행하는 것으로써 콘크리트 타설 시에는 FRP 부재만이 자중에 저항하고, 콘크리트 양생 후에는 콘크리트와의 합성 거동으로 사하중과 활하중에 저항한다.

이러한 합성 바닥판은 기존 철근콘크리트 바닥판과 비교하여 강도, 내부식, 피로저항, 시공성 등의 장점을 갖고 있다. 또한 완전 FRP 바닥판의 단점인 상부 FRP 판의 국부적인 좌굴도 상부의 콘크리트에 의해 하중이 분산되므로 이에 대한 문제도 완화시킬 수 있다. 그리고, 콘크리트와의 합성 작용으로 인하여 단면 강성이 크기 때문에 사용하중 상태의 과다 처짐 문제 또한 극복할 수 있다. Type A 단면은 Type B와 비교하여 FRP 부재의 단면 강성이 크기 때문에 콘크리트가 파괴된 이 후에도 FRP 부재의 하중 저항 능력에 의하여 추가적인 하중을 더 받을 수 있으므로 취성 파괴를 예방할 수 있다는 특징을 갖는다.

이 연구에서는 이러한 FRP-콘크리트 합성 바닥판에 대하여 DB-24 하중에 대한 설계 제한 조건을 만족하도록 실험체를 설계하고, 이의 거동 특성을 실험적으로 고찰함으로써 신개념 바닥판의 가능성을 확인하고자 한다.

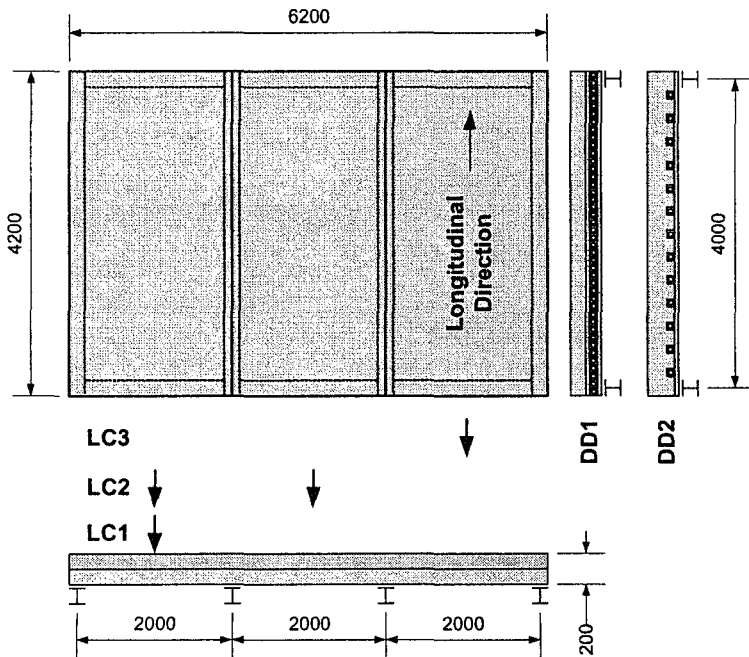


그림 2. 실험체 형상 및 재하방법 (단위 : mm)

2. 실험 개요

FRP-콘크리트 합성 바닥판의 거동 특성을 알아보기 위하여 실물크기의 실험체에 대해 정적재하실험을 수행하였다. 그림 2는 실험체의 전체 형상 및 하중 재하 방법을 나타낸 것으로서, Type A에 해당하는 DD1 실험체와 Type B에 해당하는 DD2 실험체 각 1개씩 제작하였다. 하부의 FRP 상자형 조합 부재는 인발(Pultrusion)에 의해 제작된 GFRP 박스 부재와 수적층(Hand-Layup) GFRP판을 샌드위치형으로 구성하였다. FRP 부재간의 연결에는 에폭시 등에 의한 접착을 우선적으로 고려하고 FRP 부재와 콘크리트와의 합성 거동은 2개 부재 사이의 계면에 규사코팅을 실시하여 전단연결을 하였다.

설계 제한 조건의 만족여부를 실험적으로 검증하기 위하여 하중 조합에서 가장 위험한 경우에 해당하는 첫 번째 지간에 재하하는 경우(LC1)와 첫 번째 지간과 두 번째 지간에 동시 재하하는 경우(LC2)를 고려하였다. 이 때 하중은 충격계수를 고려한 DB-24 하중인 12.48tonf를 재하하였다. 또한 합성 바닥판의 극한 거동 특성을 고찰하기 위하여 세 번째 지간에 파괴시까지 하중을 재하하는 경우(LC3)도 고려하였다.

3. 실험 결과 고찰

DB-24 하중 재하시에 대해 하중 재하부의 처짐을 측정한 결과 DD1, DD2 실험체 모두 AASHTO(2002)에서 제시한 주형에 대한 처짐 제한 규정(L/800)을 바닥판에 준용하였을 때의 허용처짐인 2.5mm를 만족하였다.

주형 위 부모멘트부에서의 인장균열은 DD1, DD2 실험체 모두에서 발생되지 않았다. 실제 발생된 변형률도 LC2 하중 재하 경우 60×10^{-6} (DD1), 35×10^{-6} (DD2)로서 인장균열 발생 변형률인 138×10^{-6} 에 비해 상당히 작았다. 이는 주형 위의 부모멘트부에 콘크리트에 균열이 발생하지 않을 정도로 작은 모멘트만이 작용한다는 의미이며, 따라서 주형 위의 부모멘트 구간에 대해 보강이 필요하지 않을 수도 있다는 가능성을 확인하는 결과이다.

극한 강도는 DD1, DD2 실험체가 각각 91.83tonf, 91.36tonf으로써 충분한 안전율이 확보됨을 확인할 수 있었다. 그림 3은 LC3의 하중 재하 경우에 대한 힘-변위 관계로서, 파괴가 발생한 이후에도 DD1 실험체는 FRP 구조 자체의 단면 강성이 크기 때문에 상당한 연성 거동을 보이고 있는 반면, DD2 실험체는 강도 감소가 크게 나타난다. 이는 DD1 실험체가 2가지 취성재료로 이루어졌음에도 불구하고 취성 파괴 방지 설계가 가능함을 보여주는 결과이다.

DD1, DD2 실험체 모두 재하부에서 편칭파괴가 발생하였다. 이러한 콘크리트부의 편칭파괴는 FRP 구조로 편칭파괴가 전파되기보다는 FRP 구조와 콘크리트 사이의 분리를 야기시켰다.

FRP-콘크리트 합성 바닥판의 DB-24 하중에 대한 설계 제한 조건 만족 여부를 검토하기 위하여 처짐, 콘크리트의 압축응력, 인장균열, FRP 파괴, 극한강도 등의 항목에 대하여 조사하였다. 모든 검토 항목에서 설계 기준을 만족하였으며 이를 표 1에 정리하였다. 극한강도 검토 항목의 설계기준값은 DB-24 하중 외에도 교량 부속물의 하중을 포함한 기타 하중들이 있으나 바닥판에 대해서는 차량 하중이 가장 큰 주요 하중이므로 이를 기준으로 선정하였다. FRP 파괴의 경우 DB-24 하중 재하 시

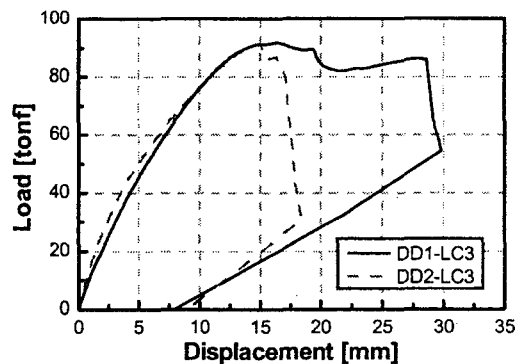


그림 3. LC3 하중 재하시의 힘-변위 관계

발생한 응력만을 기준으로 파괴지수를 산출한 것이며 콘크리트 타설 시 발생한 응력까지를 고려하면 파괴지수는 0.3~0.4 수준이 되나 파괴상태인 1.0에 비해 작으므로 안전하다고 할 수 있다. 특히 FRP만으로 이루어진 바닥판에서 문제가 되는 처짐 기준을 만족하였다는 것과 주형 위 부모멘트부의 콘크리트에 보강근을 적용하지 않고도 인장균열이 발생하지 않은 것은 주목할 만한 사실이다.

표 2는 설계 안전율로서 위험도가 높은 항목(처짐<콘크리트 파괴<FRP 파괴)일수록 더 높은 안전율이 나왔음을 알 수 있으며, 이는 바람직한 거동 특성이라 할 수 있다.

표 1. FRP-콘크리트 합성 바닥판의 설계 제한 조건 검토

	처짐 [mm]	콘크리트 압축응력 [kgf/cm ²]	콘크리트 인장균열 [x10 ⁻⁶]	FRP 파괴지수 [Tsai-Hill]	극한강도 [tonf]
설계기준	2.50	590	138	1.00	12.48
DD1	1.49	379	60	0.25	91.83
DD2	1.50	246	35	0.19	91.36

표 2. FRP-콘크리트 합성 바닥판의 설계 안전율

	처짐	콘크리트 압축응력	콘크리트 인장균열	FRP 파괴지수	극한강도
DD1	1.68	1.56	2.30	4.00	7.36
DD2	1.67	2.40	3.94	5.26	7.32

4. 결론

FRP와 콘크리트가 합성된 신개념 바닥판 형식을 제시하고, 제시한 FRP-콘크리트 합성 바닥판의 거동 특성을 실험적으로 고찰하였다. 신개념 바닥판은 인장부에 FRP 부재를, 압축부에 콘크리트를 위치시켜 재료적인 장점을 충분히 이용하는 바닥판으로서, 이 때 FRP 부재는 영구 거푸집과 인장부재의 기능을 수행한다. 실험 크기 3경간 실험체에 대해 처짐, 콘크리트의 압축 파괴, 콘크리트의 인장 균열, FRP의 파괴 등의 설계 제한 조건을 검토하였다. 전체 바닥판의 높이는 20cm내외로 기존 바닥판과 비교하여 상대적으로 작은 단면 높이를 갖는다. 합성 바닥판은 FRP만으로 이루어진 바닥판이나, FRP Rebar를 사용하는 콘크리트 바닥판과는 달리 처짐이 작게 발생하여 처짐에 대한 설계 제한 조건을 충분히 만족하였으며, 콘크리트의 압축 파괴와 FRP의 파괴에 대해서도 충분한 안전율을 확보하고 있음을 알 수 있었다. 주형 위 부모멘트부에서는 콘크리트에 인장 보강을 하지 않았음에도 불구하고 균열이 발생하지 않은 것은 주목할 만한 사실이다.

감사의 글

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

참고문헌

1. 도로교 설계기준 (2000) 건설교통부, 474pages.
2. Standard Specifications for Highway Bridges (2002) AASHTO, 829pages