급속시공기술 개발을 위한 FRP로 보강된 프리캐스트 교각의 실험 연구

An Experimental Study on Precast Bridge Piers Confined by FRP for Technical Development of Accelerated Construction

이승혜* 이영호** 황윤국*** 송재준****

Lee, Seung-hye Lee, Yeong-ho, Hwang, Yoon-koog, Song, Jae-joon

ABSTRACT

Today, some bridges or highways are becoming superannuated in Korea. Also, in this section, rehabilitation, replacement and expansion are necessary to increasing traffic volumes these days. Bridge reconstruction is major problem because it has relation to civil application, economical loss and loss of vehicles made a detour while this work. Many precast components and methods of construction are developed for this issue. Many research of various precast components and new materials are being performed owing to apply to prefabrication bridges. The present paper represents experimental studies on the performance of precast CFFT pier model. Also, stay-in-place RC pier and stay-in-place CFFT pier are made an experiment on due to comparing test results. Hysteretic responses of all columns are obtained through the test. Compared with the displacement ductility factors, conclusions of seismic performances can be made.

요약

현재 우리나라 고속도로의 일부 도로와 교량들은 이미 노후화가 진행 중이며, 또한 증가하는 교통량을 소화하기 위해 교량의 보수 및 보강, 신축, 확장이 필요한 구간이 많은 실정이다. 이러한 교량 공사는 공사가 진행되는 동안 야기되는 사회적 민원이나 그 밖의 손실, 교통통제에 따른 우회차량의 경제적 손실등과 밀접하며 점점 중요한 문제로 부각되고 있다. 이러한 영향으로 교량 공사의 현장작업 최소화를 위해 다양한 프리캐스트 부재와 공법 등이 개발되고 있으며 새로운 소재를 적용하기 위한 연구 또한 진행 중이다. 본 연구에서는 프리캐스트形 CFFT 개발을 위해 축소모형 실험을 수행하였고, 결과 비교를 위해 동일한 제원의 현장타설形 RC교각과 현장타설形 CFFT 교각의 축소모형 실험도 수행하였다. 각 실험체의 하중-변위 곡선을 얻어 내하력을 비교하였고, 변위연성도를 구하여 내진성능을 비교해 보았다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 연구원 · E-mail : lsh153@kict.re.kr

** 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원 · E-mail : lyh205@kict.re.kr

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 책임연구원 · E-mail : ykhwang@kict.re.kr

**** 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원 · E-mail : jjsong@kict.re.kr

1.서론

현재 우리나라 고속도로의 총 연장은 2006년 말 기준으로 3,103km에 달하고 있으며 최초의 고속도로가 건설된 지 약 40년이 되고 있다. 일부 도로와 교량들은 이미 노후화가 진행 중이며, 또한 증가하는 교통량을 소화하기 위해 교량의 보수 및 보강, 신축, 확장이 필요한 구간이 많은 실정이다. 이러한 교량공사는 신속하게 돌아가는 현대인들의 생활패턴에 큰 영향을 끼치므로, 공사가 진행되는 동안에 야기되는 사회적 민원이나 그에 따른 손실, 교통통제에 따른 우회차량의 경제적 손실등과 밀접할 수밖에 없으며, 해가 거듭할 수 록 이러한 문제들은 더 중요한 문제로 부각될 것이다[1].

이러한 영향으로 교량 공사의 현장작업의 최소화를 위해 다양한 프리캐스트부재와 공법 등이 개발되고 있으며 새로운 소재를 적용하기 위한 연구 또한 진행 중이다. 이와 같이 부재를 프리캐스트화 시킴으로서 앞서 말한 경제적 손실을 막을 수 있음은 물론 공장에서 품질을 균일하게 제작할 수 있게 되어 교량의 전체적인 품질 향상을 기대할 수 있다.

FRP(Fiber-Rainforced Plastics) 복합재료는 기존 재료의 단점을 보완할 수 있는 대안으로 연구되고 있다. 복합재료 중 고분자 수지(Polymer)를 기지(Matrix)로 사용하고 이것에 유리섬유, 탄소섬유 등을 섬유형태로 보강하는 FRP 복합재료는 강성 및 강도가 기존의 강재나 콘크리트 재료에 비해 상대적으로 높고 열에 의한 변형이 적으며 부식이 잘 발생하지 않는 등의 우수한 특성을 가지고 있다. 이러한 FRP관 안에 콘크리트를 주입하여 만든 CFFT(Concrete Filled FRP Tube)는 연성이 뛰어나 교각의 내진성능을 향상시킬 수 있다 하겠다. 본 연구에서는 기존의 RC 프리캐스트 교각에서 더 나아가 이러한 FRP 복합재료를 이용한 프리캐스트 CFFT 교각에 대한 내진성능을 축소모형 실험을 통해 살펴보기로 하겠다.

2. CFFT 프리캐스트 교각 실험

2.1 실험 개요

본 연구에서는 프리캐스트 CFFT 교각의 개발을 위해, 프리캐스트 CFFT 교각 축소모형 1종과 이를 비교하기 위한 현장타설形 CFFT 축소모형 1종, 현장타설形 RC 교각 축소모형 1종을 실험하였으며, 실험체 제원은 (표 1)과 같다.

표 1 실험체 제원

실험체 명	교각 직경 (mm)	하중재하 높이 (mm)	FRP 두께 (mm)	FRP 체적비 (%)	주철근	띠철근	재하축력 (tonf)	비고
RC-1	300	1,500	-	-	6-D19	D13@100	58	기존 RC 교각
CFFT-1	300	1,500	2.5	3.36	6-D19	D13@100	58	현장타설形 CFFT
CFFT-2	300	1,500	2.5	3.36	6-D19	D13@100	58	프리캐스트形 CFFT

각 실험체의 교각 직경은 300mm로 하였으며, 하중 재하 높이는 1.5m이다. RC-1은 비교를 위한 RC 교각 실험체이며, CFFT-1은 FRP관을 이용하여 현장타설 방식으로 교각을 구축한 현장타설形 CFFT 교각이다. 프리캐스트形 CFFT 실험체인 CFFT-2의 제작을 위하여, 각각의 세그먼트를 제작할 시 쉬스관을 매설하여 조립을 위한 주철근 경로를 확보하였고, 이렇게 프리캐스트 단위 블록을 제작한 후, 블록 간 연결부에 모르타르를 주입하여 조립 시공하였다.

필라멘트 와인딩 기법으로 제작된 FRP 관은 유리섬유와 에폭시 수지로 구성되어 있으며, Split Disk Test 결과 2.5mm두께의 FRP관의 횡방향 파괴응력은 530.4MPa이였고, 횡방향 탄성계수는 56.1GPa 이었다. 모든 실험체의 콘크리트 강도는 40MPa이며, 사용된 철근의 강도는 400MPa 이다. 설계강도가 40MPa이었던 콘크리트의 공시체 시험 결과 실제 콘크리트 압축파괴강도는 54.4MPa 이었다.

2.2 실험 방법

교각의 내진성능 평가를 위한 준정적 실험을 함에 있어, 실험체에 최대한의 실제 하중을 적용시키기 위해 일정한 수직 축하중을 재하하였으며, 동시에 수평하중을 재하하였다. 모든 실험체는 이동하중과 사하중에 해당하는 축하중 58tonf을 재하하였으며, 이때 액츄에이터(Actuator)는 실험체 상부와 일체 거동하여 실험체의 수평변위와 관계없이 항상 일정한 수직력이 작용하도록 하였다. 수평하중 재하방식은 항복변위를 증가시키는 변위제어 방식으로 하중을 재하하였다. 수평방향 하중을 재하할 때 이용된 액츄에이터는 최대스트로크 ±250mm, 최대하중 1000kN의 제원이고, 수직방향 하중을 재하할 때 이용된 액츄에이터의 최대하중은 3,500kN이었다.

2.3 실험 현상

RC-1 실험체는 교각부 하단에서 22cm, 43cm 높이의 위치에 횡방향 균열이 일어나는 것을 시작으로, 실험이 진행되면서 여러 지점에서 균열이 발생하였다. 변위 +35.4mm에서 사인장 균열과 압축균열이 보였으며, -35.4mm 변위에서는 균열이 관통하였다. 변위 -70.8mm에서는 높이 150mm, 250mm의 주철근에서 좌굴이 육안으로 확인되었다(그림 1).

CFFT-1 실험체는 변위 +47.2mm에 기초에서 140mm 높이에 횡방향 균열(에폭시 수지균열)이 발생하는 것을 시작으로 균열이 진행되어 결국 변위 +94.4mm때 압축 측의 FRP관이 일부 파단하는 양상을 보였다. 실험 종료 후 기둥 하부에 파단된 FRP 관을 벗겨보았더니 관속에 있던 콘크리트는 주철근이 보일 정도로 콘크리트가 파괴되어있었다(그림 2).

그림 1 RC-1의 파괴모습

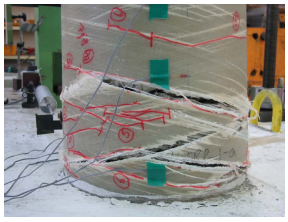

그림 2 CFFT-1의 파괴모습

그림 3 CFFT-2의 파괴모습

CFFT-2 실험체는 초기 단계에서 블록간 균열이 육안으로 관찰되지 않았으나, 변위 +23.6mm에서 첫 번째 블록과 두 번째 블록 사이에 균열이 관찰되었고 하부 모르타르가 일부 압괴되었다. 실험이 계속 진행되면서 블록과 블록 사이의 균열이 육안으로 확인되다가 결국 기초 상부에서부터 225mm 높이 지점의 FRP가 터지는 현상이 나타났으며 실험을 종료되었다(그림 3).

2.4 실험 결과

각 실험체 별 하중-이력 곡선을 (그림 4)에서 (그림 6)에 나타내었으며, 각각을 비교하여 (그림 7)에 정리하였다. 모든 실험체는 휨파괴 거동을 보였다. (그림 7)의 RC-1 곡선을 보면 최대하중에 도달 한

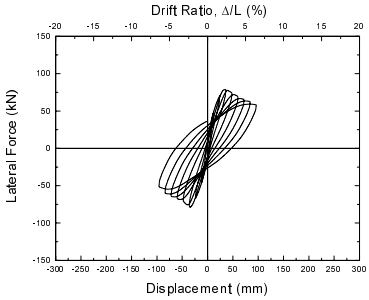

그림 4 RC-1 의 하중-이력 곡선

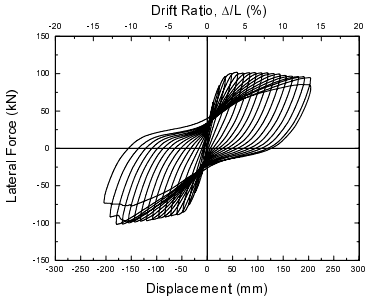

그림 5 CFFT-1 의 하중-이력 곡선

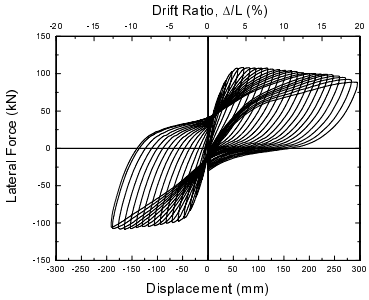

그림 6 CFFT-2 의 하중-이력 곡선

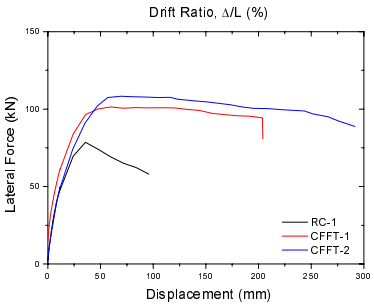

그림 7 하중-변위 곡선 비교

후 급격한 내하력 감소를 보인다. 이에 비해 CFFT-1 실험체와 CFFT-2 실험체는 최대하중에 도달 한 후에도 충분한 연성을 보이고 파괴에 이르렀다. 기존의 '현장타설形 콘크리트 교각 축소모형 실험체'인 RC-1과 '프리캐스트形 CFFT 교각 축소모형 실험체'인 CFFT-2를 비교해보면, CFFT-2실험체가 RC 교각에 비해 내하력이 약 29kN 증진된 것을 알 수 있다. '현장타설形 CFFT 축소모형'인 CFFT-1 실험체와 '프리캐스트形 CFFT 축소모형'인 CFFT-2 실험체를 비교해 보았을 때도 프리캐스트形 CFFT가 현장타설形에 비해 연성 면에서 떨어지는 것 없이 동등이상의 내하력 및 연성을 보이고 있다. 이는 프리캐스트 블록간의 연결부가 내하력 및 연성에 미치는 영향이 미미하기 때문인 것으로 판단된다. 각 실험체 별 '항복변위(수평방향 최대하중의 75%에 해당하는 변위)에 대한 극한변위(수평방향 최대하중의 20%가 저하되었을 때 변위)'를 의미하는 변위연성도를 살펴보면, RC-1 실험체는 3.43, CFFT-1은 7.69, CFFT-2는 7.54로 나와 CFFT 실험체가 RC 실험체 보다 변위연성도가 약 2배 증가된 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 급속시공기술 개발을 위한 '프리캐스트形 CFFT 교각'의 내진성능을 살펴보기 위해 축소모형 실험을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 프리캐스트形 CFFT 실험체는 동일한 제원의 RC 실험체에 비해 내하력은 약 29kN 증진되었고, 변위연성도는 2배 증가되었다.

(2) 프리캐스트形 CFFT 실험체는 동일한 제원의 현장타설形 CFFT 실험체와 비교해 보았을 때 동등이상의 내하력 및 연성을 보이고 있다.

감사의 글

이 논문은 "차세대 시설물용 신재료 활용기술 연구단"을 통하여 지원된 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업에 의하여 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국도로공사, "고속도로 교량의 조립식공법 조사 및 개념설계 연구", 2007