

기존 교각의 FRP 원통관을 이용한 내진보강의 실험연구

The Experimental Study on the Seismic Strengthening Effect of FRP Circular Tube on the Circular Bridge Piers

황윤국* 윤순종** 김정호*** 최영민**** 박경훈***** 권태규*****
Hwang, Yoon Kook Yoon, Soon Jong Kim, Jung Ho Choi, Young Min Park, Kyung Hun Kwon, Tae Gyu

ABSTRACT

This paper describes the experimental study on seismic strengthening effect of circular bridge columns with poor lap-splice details using FRP(Fiber Reinforced Plastic) wrapping. The as-built column suffered brittle failure due to the deterioration of lap-spliced longitudinal reinforcement without developing its flexural capacity or any ductility. The strengthening columns using FRP wrapping showed significant improvement in seismic performance due to FRP's confinement effect.

1. 서론

국내에서도 내진설계 개념이 설계에 반영되기 시작하여 1992년 AASHTO의 내진규정을 기본으로 내진설계규정이 도로교표준시방서에 도입되었으며, 1997년 말 내진설계기준이 제정, 발표되었고, 2000년도에 개정된 "도로교설계기준"에서는 이 내용을 일부 반영한 새로운 내진설계요건을 추가하였다. 그러나 이러한 내진설계규정은 신설된 교량에 적용되고 있으므로 내진설계규정의 도입 이전에 건설된 교량은 지진의 대한 영향을 고려하지 않은 채 설계, 시공되었을 뿐만 아니라 공용연수의 증가에 따라 열화손상이 많이 진행되어 내진성능을 제대로 발휘하지 못할 것으로 사료되고 있다. 이러한 기존 교각에서는 적절한 내진보강을 통해 교량의 내진안전성을 확보하여야만 한다. 내진성능향상을 위한 보수·보강공법으로 강판보강법이 대두되었으나 최근에는 섬유보강복합체(FRP; Fiber Reinforced Plastic)를 사용한 보수·보강공법이 기존 범용 구조재료에 비해 작업이 용이하고, 고내구성, 고비강도의 우수한 재료적 특성 때문에 대체 방법으로 개발되고 있다. Matsuda(1990)에 의해 일방향 카본섬유쉬트르 소성힌지 구간을 감싸는 방식의 연구가 있었으며, Priestley등(1991, 1993)은 경제적인 E-glass섬유쉬트를 사용한 방법으로 실험하였다. Xiao and Rui(1997)은 기성 복합재료관을 이용한 원형교각의 내진보강에 대해 연구하였다.

지진발생시 일반적인 철근콘크리트 교각의 파괴모드는 형상비(교각높이/교각지름)에 따라 휨파괴, 휨-전단파괴, 전단파괴로 나눌 수 있다. 휨파괴는 지진으로 인해 발생한 휨응력이 부재의 항복강도를

* 정희원, 한국건설기술연구원 수석연구원
*** 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원
***** 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

** 정희원, 홍익대학교 건설도시공학부 부교수
**** 정희원, 한양대학교 연구교수
***** 정희원, 한국건설기술연구원 연구원

초과하여 소성흔지가 발생한 후 추가 하중저항능력을 상실한 상태에서 계속 변형이 발생하는 파괴모드이다. 주로 형상비가 큰 교각에서 발생하는 파괴형태이다. 휨-전단파괴는 휨 항복이후 전단강도가 저하되어 전단파괴가 발생하는 파괴모드이고, 전단파괴는 지진에 의한 전단용력이 전단강도를 초과하여 급격한 취성파괴가 일어나는 파괴모드로서 형상비가 작은 단주에서 주로 발생한다. 휨파괴인 경우에도 교각과 기초의 연결부에서 주철근의 겹침이음으로 인해 파괴형태가 달라진다. 즉, 겹침이음이 존재할 경우 휨파괴에 이르지 못하고 급격한 부착파괴에 이르는 경우와 겹침이음이 존재하지 않고 일체형으로 휨파괴에 이르는 경우이다.

본 연구에서는 지진이 발생하였을 경우 겹침이음이 존재하는 큰 형상비를 가진 원형교각에서 교각과 기초접합부 근처의 부착파괴에 의한 취성파괴를 방지하기 위해 FRP 원통관의 구속력을 이용하는 보강기법을 제시하고자 한다.

2. 준정적 실험을 통한 교각의 내진성능 평가

2.1. 실험모형 설계

본 연구에 사용한 철근콘크리트 교각 실험체는 형상비가 3.0 이상인 휨파괴 거동을 하는 실제 공용 중인 비내진 원형교각으로 교각과 기초의 연결부위에 겹침이음이 존재하는 교각을 대상모델 교각으로 하였다. 실험조건을 만족하는 교량으로 경기도 가평군의 국도상에 위치한 창촌교를 선정하였다. 대상 교량은 8경간 연속 슬래브교로서 각 교각들은 II형 원형교각이고, 교각 중 P4 교각을 실험대상 교각으로 선정하였으며 실험대상 교각의 상세는 그림 1과 같다. 또한, 겹침이음 교각과 내진거동을 비교하기 위해서 다른 조건이 같고 겹침이음이 존재하지 않는 일체형 교각을 설계하였다.

기초부의 경우 실험동 반력바닥에서의 설치를 위하여 흙을 일정간격으로 설계하였으며, 기초부의 파괴를 배제한 교각 본체의 파괴만을 고려하기 위해 충분한 강성을 발휘하도록 설계하였다.

2.2 실험방법

교각의 내진성능 평가를 위한 준정적 실험에서 하중을 재하하는 부분은 교각 상부에 수직방향으로 재하하는 축하중과 교각 측면에서 재하하는 횡하중으로 구분된다(그림 2). 축하중은 실험대상 교량의 상부구조의 중량 155ton을 실험 중 항상 일정한 하중을 재하하도록 하였으며, 축하중 재하 장치는 시험체 상부와 일체로 거동하도록 하였다. 횡하중은 교각 시험체의 높이에 대한 수평변위인 Drift level로 하중을 재하하는 방법을 사용하였다. 즉, 준정적 하중(Quasi Static Loading) 재하방식으로 Drift level 0.25%→0.50%→0.75%→1.00%→1.25%...의 순서로 2cycle씩 0.002Hz의 sine파 형식의 횡하중을 재하하였다.

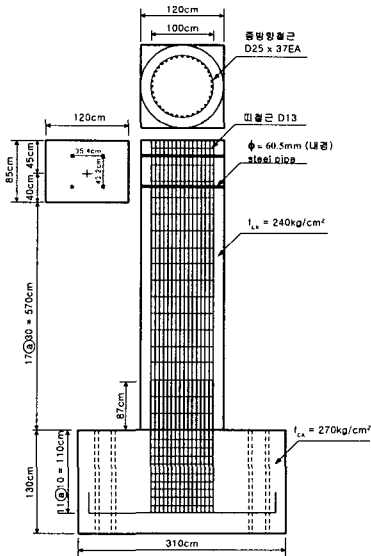


그림 1 실험대상 교각의 상세

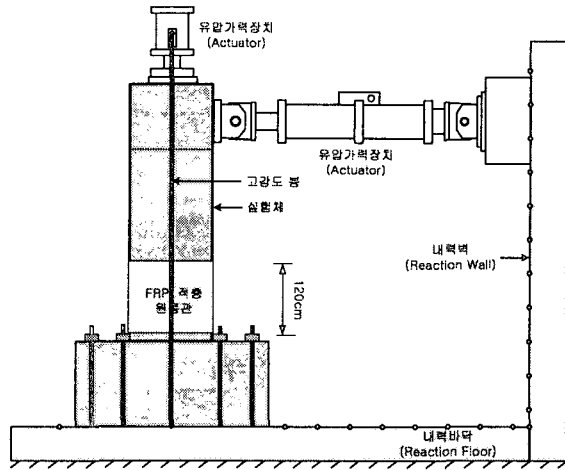


그림 2 실험 전경

2.3 보강방법

FRP 보강은 철근콘크리트 원형교각의 접침이음 구간에 (주)근형에서 개발한 자동화 Wrapping 기계를 이용하여 현장에서 보강할 수 있다(그림 3). 자동화 Wrapping 기계는 FRP 배향각, 두께, 높이 등이 조절가능하도록 설계되었으며, 이번 실험에서는 배향각 5°, 두께 11mm, 기초위 23cm되는 위치부터 높이 120cm로 FRP 보강하였다. 시편시험을 통한 FRP의 섬유배향각방향 탄성계수(E_1)는 28.984GPa, 섬유배향직각방향 탄성계수(E_2)는 4.383GPa, 전단탄성계수(G)는 1.444GPa, 포아송비(ν_{12})는 0.28이었다.

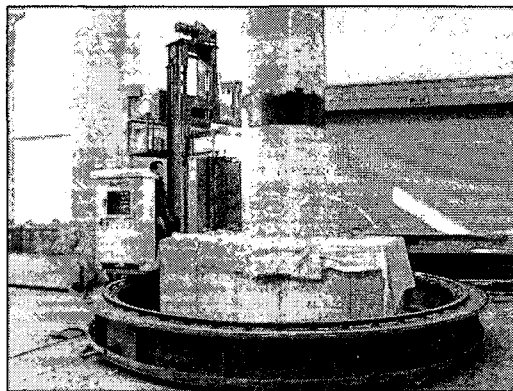


그림 3 FRP 보강 전경

2.4 실험결과

겹침이음이 존재하지 않은 일체형 교각에 대해 준정적 실험을 수행하였으며, 하중-변위 이력곡선은 그림 4에 나타내었다. 주철근 겹침이음이 없는 일체형이므로 교각 하단부 소성힌지 구간에서 주철근 부작파괴는 발생하지 않았으며 상당한 연성거동을 하였다. 수평하중 재하시 압축과 인장을 받는 교각 하단부에서 콘크리트 피복의 박리와 압쇄현상이 나타났다. Drift level에 따른 교각의 주요 파괴 진행 상태는 표 1에 정리하였다.

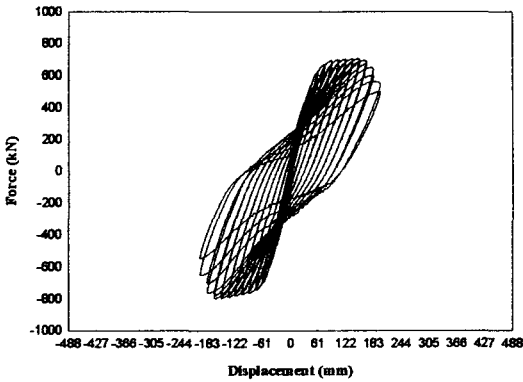


그림 4 일체형 무보강 교각의 하중-변위 이력곡선

표 1 일체형 무보강 교각의 파괴 진행 상태

Drift level	교각 파괴 진행 상태
0.75% (45.75mm)	교각 하단부에서 3m높이까지 띠철근 위치에 횡균열 발생
2.00% (122.00mm)	교각 하단부에서 세로 균열 발생
3.00% (183.00mm)	콘크리트 박리
3.25% (198.25mm)	주철근 좌굴로 인한 단면 양쪽부 손실 실험 종료

겹침이음이 존재하는 무보강 교각의 하중-변위 이력곡선은 그림 5에 나타내었고, Drift level에 따른 교각의 주요 파괴 진행상태는 표 2에 정리하였다. 일체형 교각에 비해 연성이 현저히 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 즉, 휨에 의한 주철근의 부작파괴로 인한 급격한 취성거동을 하였다.

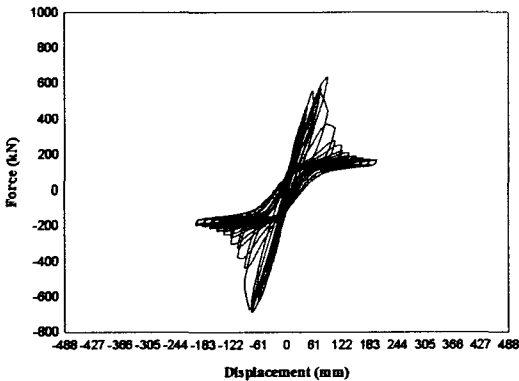


그림 5 겹침이음 무보강 교각의 하중-변위 이력곡선

표 2 겹침이음 무보강 교각의 파괴 진행 상태

Drift level	교각 파괴 진행 상태
0.50% (30.50mm)	교각 하단부에서 띠철근 위치에 횡균열 발생
1.25% (76.25mm)	교각 하단부에서 세로 균열 발생
1.50% (91.50mm)	균열 직전 최대 수평 하중
3.25% (198.50mm)	실험 종료

겹침이음 교각에 FRP 보강한 경우 하중-변위 이력곡선은 그림 6에 나타내었으며, Drift level에 따른 교각의 주요 파괴 진행상태는 표 3에 정리하였다. 겹침이음 무보강 교각을 FRP 보강으로 일체형 교각보다 큰 연성거동 및 내하력을 가지게 되었다. 초기에 에폭시 균열이 발생하였으며, FRP 보강이

되지 않은 교각 하단부 콘크리트의 압쇄현상이 나타났다.

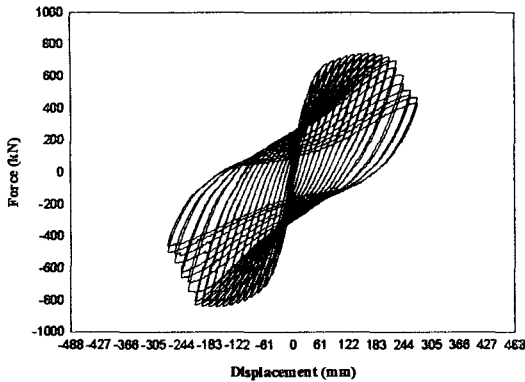


그림 6 겹침이음 FRP 보강 교각의 하중 변위 이력곡선

표 3 겹침이음 FRP 보강 교각의 파괴 진행 상태

Drift level	교각 파괴 진행 상태
0.75% (45.75mm)	교각 하단부에서 3m높이까지 띠철근 위치에 평균열 발생
1.25% (76.25mm)	수직 균열 발생 FRP 보강 부위 상단부에서 에폭시 균열
3.75% (228.75mm)	기초와 FRP보강 하단부 사이에서 콘크리트 압축파괴 발생
4.50% (274.50mm)	실험 종료

이상의 실험으로 인해 얻어진 결과를 그림 7에 정리하였다. 표 4는 변위 연성도를 계산하여 내진수행 능력을 평가하였다. 변위 연성도는 항복변위에 대한 극한변위를 의미하는 것으로, 여기서 항복변위는 수평방향 최대하중의 75%에 해당하는 변위를, 극한변위는 수평방향 최대 하중의 20% 저하되었을 때 변위를 말한다. 기존 비내진 원형교각에 FRP 보강한 교각은 충분한 연성을 발휘하므로 개선된 내진성능을 확보할 수 있었다.

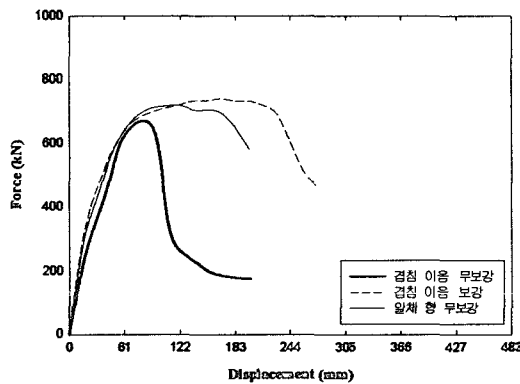


그림 7 실험 교각의 하중 변위 곡선

표 4 실험 교각의 변위 연성도

Drift level	항복변위 (mm)	극한변위 (mm)	변위 연성도
일체형 무보강 교각	57.20	198.00	3.46
겹침이음 무보강 교각	71.17	101.7	1.43
겹침이음 FRP 보강 교각	60.80	254.20	4.18

3. 결론

기존 비내진 원형교각의 FRP 원통관을 이용한 내진보강기법은 취성파괴 거동을 방지하였으며, 횡하중에 대한 내하력 증진을 가져왔다. 또한, FRP 보강 겹침이음 교각은 일체형 교각보다 개선된 내진성능 확보가 가능했다. FRP 보강 겹침이음 교각은 기초와 FRP 사이의 보강되지 않은 구간에서 콘크리트 압쇄현상으로 인한 파괴를 보였으므로 FRP 보강 위치를 수정하면 좀 더 효율적인 보강이 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 (주)근형기업의 연구비 지원으로 수행되었는바 이에 깊은 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

1. Carl, T. Herakovich, *Mechanics of Fibrous Composites* (1998), JOHN WILEY & SONS, Inc., NY.
2. Matsuda, T., Sato, H., Fujiwara, H., and Higashira, N. (1990), "Effect of carbon fiber reinforcement as a strengthening measure for reinforced concrete bridge piers." *Proc., 1st U.S.-Japan Workshop on Seismic Retrofit of Bridges*.
3. Priestley, M. J. N., Seible, F., Gilbert, A. Hegemier, and Donato, Innamorato (1997), "SEISMIC RETROFIT OF RC COLUMNS WITH CONTINUOUS CARBON FIBER JACKETS." *Journal of Composites for Construction*, 1(2), pp.52-62.
4. Xiao, Y., and Rui Ma (1997), "Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing" , *Journal of Struct. Engrg., ASCE*, 123(10), pp.1357-1364.
5. 권태규, 최영민, 황윤국, 윤순중(2002), "기존 원형교각의 휨성능 개선을 위한 FRP활용 내진보강", 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회, 14(1), pp.793-798.
6. 한국건설기술연구원(2001), 교각 내진성능 평가 및 교량 비선형 내진해석프로그램 개발, 건설교통부.