

RC 교량상판의 휨 성능향상을 위한 탄소섬유 보강방법 연구

An Experimental Study on Flexural Behavior of RC Bridge Deck Strengthened with Carbon Fiber Sheet

심 종 성* 오 홍 섭** 이 승 원*** 김 경 민***
Sim, Jong-sung Oh, Hong Seob Lee, Seung Won Kim, Kyoung Min

Abstract

Recently, Carbon Fiber Sheets(CFS) have been used for strengthening the deteriorated RC beams and bridge decks because of its resistant capacity of corrosion and easy repairing works. In this study, the static tests are performed on RC bridge decks strengthened with CFS. Test results show that ultimate strength of specimens strengthened with CFS is increased as 15~26% comparing to the control specimen.

Keywords : Carbon fiber sheet, RC bridge deck, strength, crack, punching

1. 서론

교량상판(RC bridge deck)은 대부분의 하중을 1차적으로 받으므로 거더와는 달리 열화손상이 가속화되는 부재이다. 설계·시공 당시 콘크리트상판의 내하율은 일반적으로 1.5~2.0의 수준으로서 거더의 안전율인 1.2~1.5보다 높으나, 시간이 경과함에 따라 상판에 발생된 균열, 박리 및 철근부식 등의 열화현상으로 내하율이 급격히 떨어진다. 이로 인하여 손상 후 실제 상판의 내하력은 하중제하에 따른 측정값과 해석결과사이에 큰 차이가 발생하게 된다. 이와 같이 시간이 경과함에 따라 철근콘크리트상판의 건설초기에 확보된 안전성이 차량하중에 의한 손상 등으로 크게 저하되고 있으나, 교량의 안전성확보를 위한 보수·보강이 주로 거더에 집중적으로 적용되고 있기 때문에 상판의 구조성능이 상대적으로 취약하게 되어 이에 보수·보강공법에 대한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

이러한 보수·보강공법중 최근에는 에폭시 접착제를 사용하여 강판으로 보강하는 방법이 주로 사용되어 왔으나, 제작과 이송 그리고 시간경과에 따른 부식으로 인한 접착성능저하 등의 여러 가지 문제점에 지적되고 있으며, 이러한 결점을 극복하기 위하여 부식저항능력이 우수하고 재료자체의 물성이 뛰어난 신소재들이 개발되고 있다.

* 정회원, 한양대학교 토목·환경공학과 교수

** 한양대학교 토목공학과 박사과정

*** 한양대학교 토목·환경공학과 석사과정

이에 본 연구에서는 인장강도가 강판에 비해 뛰어나고 작업성이 우수한 탄소섬유시트(Carbon Fiber Sheet : 이하 CFS)로 보강된 RC교량상판의 정적구조성능평가를 실시하여 각각의 보강방법에 따른 보강효과 및 휨 거동특성을 실험을 통해 분석하고자 한다.

2. 실험계획

2.1 사용재료 및 시험체제작

2.1.1 사용재료

본 실험에서 사용한 콘크리트는 레미콘제품이며 재령 28일 압축강도는 310 kg/cm^2 로 측정되었으며, 슬럼프값은 18cm로 측정되었다. 또한, 시험체의 배근에 사용된 철근은 항복응력 4000 kg/cm^2 인 D10, D16철근이다. 사용재료의 역학적 성질은 다음 표 1에 나타내었다.

표 1. 사용된 재료의 역학적 성질 (kg/cm²)

재료 \ 물성	항복강도	압축강도	인장강도	탄성계수
콘크리트	-	310	31	2.55×10^9
철근	4,000	-	5,700	2.04×10^9
CFS	35,500	-	35,500	2.35×10^9

2.1.2 시험체제작

제작된 시험체는 도로교표준시방서에 준하여 현재 시공중이거나 공용중인 교량과 유사하게 설계하였다. 두께는 바닥판의 최소두께인 22cm를, 폭과 길이는 각각 200cm와 240cm로 제작하였으며, 주철근은 인장측 및 압축측에 각각 D16@200과 D16@400을 배근하였다. 일반적으로 거더교 상판의 경우 주철근방향의 균열 이후, 배력철근방향의 균열이 발달하여 바닥판을 관통하는 양상이 바닥판 손상의 주원인이므로 이와 유사한 거동양상을 획득하기 위하여 RC 상판을 지지하기 위한 거더를 설계, 제작하였다. 실험에 사용될 RC 교량상판의 제원은 그림 1에 나타내었다.

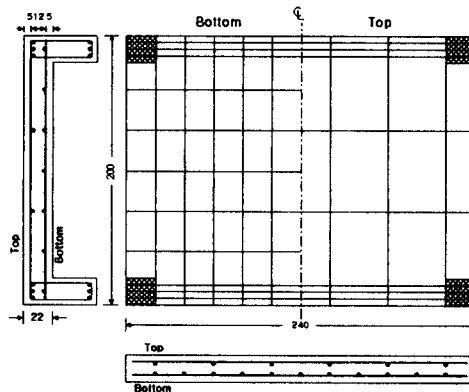


그림 1. 시험체의 형상 및 제원

2.2 실험변수

본 연구에서는 실험변수로서 보강재량 및 보강재방향을 고려하였으며 이를 토대로 5개의 시험체를 제작하였다(그림 2참조). 각각의 실험변수 및 실험결과를 표 2에 나타내었다.

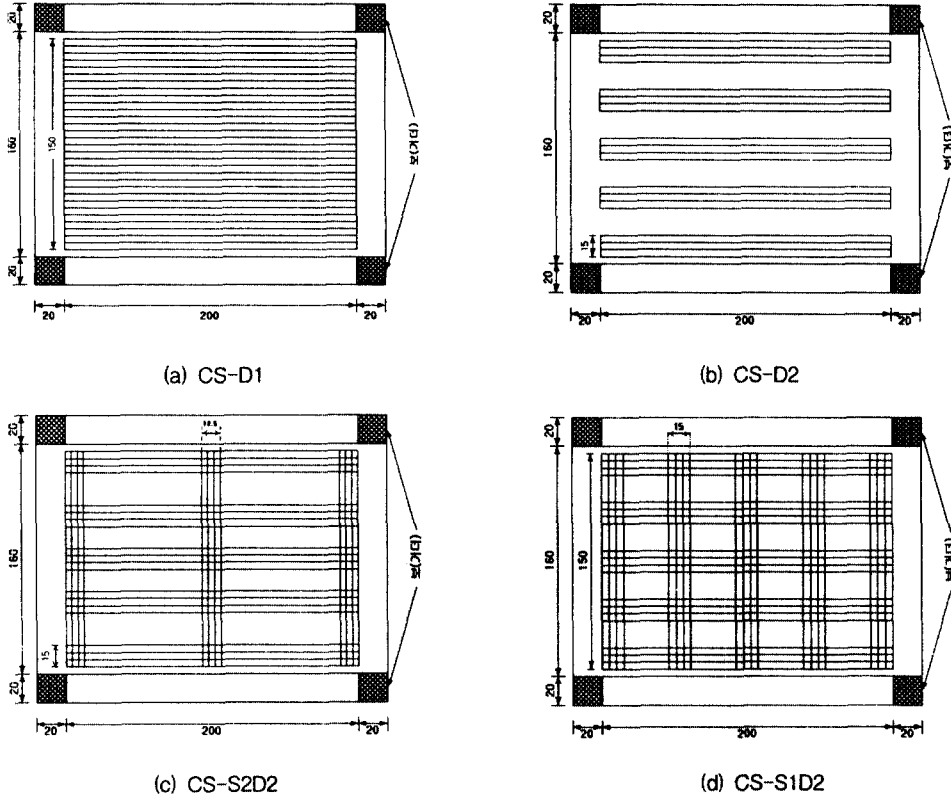


그림 2. 보강방법

표 2. 실험변수 및 실험결과

실험변수 보강재료	보강재량	보강방향	최endah중 (ton)	보강효과 (%)	시험체명
기본시험체	-	-	47	-	CON
CFS	전면보강	1방향*	54	115	CS-D1
	단책보강	1방향	54	115	CS-D2
	단책보강	2방향*	56	119	CS-S2D2
	전면단책보강**	2방향	59	126	CS-S1D2

주) * 보강방향에서 1방향은 배력철근방향만, 2방향은 주철근 및 배력철근방향의 보강을 나타냄

** 주철근방향의 전면보강은 CFS를 철근비로 환산하였을 경우 주철근 철근비와 동일한 값을 나타냄

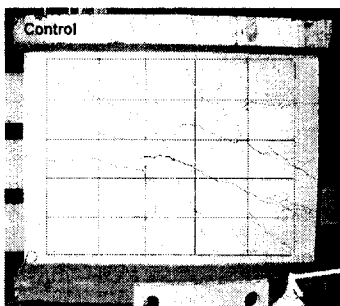
2.2 하중재하 및 측정방법

시험체의 휨 성능평가를 위하여 하중재하는 200ton의 oil jack과 load cell을 strong frame에 설치하였으며, 재하블럭은 차량바퀴의 접지면적과 같은 25×50cm 강판을 시험체의 중앙면에 설치하였다. 각 하중단계별로 탄성회복 정도를 측정하기 위하여 10ton 단위로 하중을 재하하였다가 하중을 완전히 제거하고 탄성 회복되기를 기다린 후 다음단계의 하중을 재하하였다. 시험체의 변위를 측정하기 위하여 시험체의 중앙지점, 단부 및 거더중앙에 각각 1개의 변위계를 설치하였고, 하부철근의 항복여부를 판단하기 위하여 주철근 및 배력철근에 각각 4개의 strain gage를 타설전 설치하였으며, 콘크리트 상판 중앙의 변형율을 측정하기 위하여 2개의 게이지를 부착하였다. 또한 설치된 모든 측정장치들은 TDS-601에 연결하여 하중 단계별로 측정하였다.

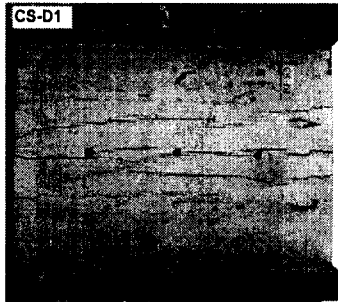
3. 실험결과 및 고찰

3.1 파괴양상

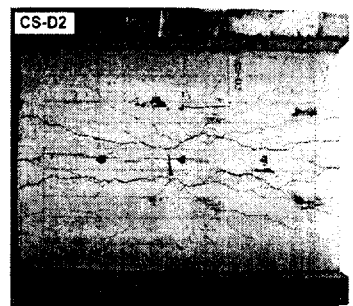
무보강 시험체의 경우 균열양상은 그림 3(a)와 같이 하중 가력점을 중심으로 방사형 균열로 진전되면서 파괴되었다. 배력철근 방향으로만 전면보강한 경우(CS-D1) 주철근 방향의 균열제어효과는 있으나 시험체의 중앙부에서 배력철근 방향으로 발생한 주균열에 의해 파괴되었으며(그림 3(b)참조), 배력철근방향으로 단책보강한 경우(CS-D2), 전면보강의 경우와 달리 주균열의 발달이 억제되어 휨 파괴되었다(그림 3(c)참조).



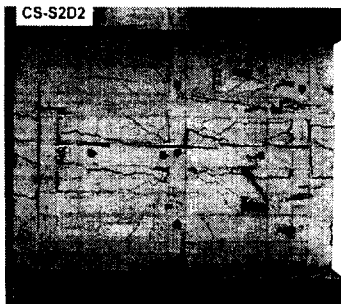
(a) 기본시험체



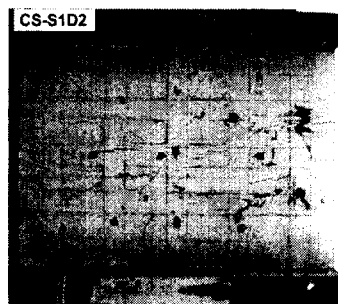
(b) CS-D1



(c) CS-D2



(d) CS-S2D2



(e) CS-S1D2

그림 3. 시험체의 파괴양상

또한, 이방향 모두 단책보강된 경우(CS-S2D2)는 주철근방향의 보강량의 부족으로 인해 CS-D2의 경우와 유사한 균열양상을 보이면서 주철근방향으로 보강된 CFS를 파단시키면서 휨 파괴되었다(그림 3(d)참조). 그러나, 주철근방향으로 전면보강, 배력철근방향으로 단책보강한 경우(CS-S1D2)는 주균열 및 방사균열을 효율적으로 제어하면서 휨 파괴되는 양상을 보였다(그림 3(e)참조).

3.2 보강효과분석

그림 4를 살펴보면 CFS로 보강한 경우 보강방법에 관계없이 강성의 변화는 거의 없음을 알 수 있으나, 이방향으로 보강한 시험체(CS-S1D2)의 경우 배력철근 방향으로만 보강된 시험체(CS-D2)보다 탄성회복능력이 뛰어난 것을 알 수 있다(그림 4(a),(b)참조).

3.2.1 배력철근방향으로만 보강한 경우

단지 배력철근 방향으로 보강하였을 경우(그림 4(c)) 보강효과는 15%정도로 나타났으나, 이러한 보강효과와는 달리 시험체의 중앙부에서 배력철근방향으로 발전된 주균열에 의해 파괴가 발생하였다. 따라서, 배력철근 방향으로 전면보강하는 경우는 상당한 주의가 필요한 것으로 판단된다.

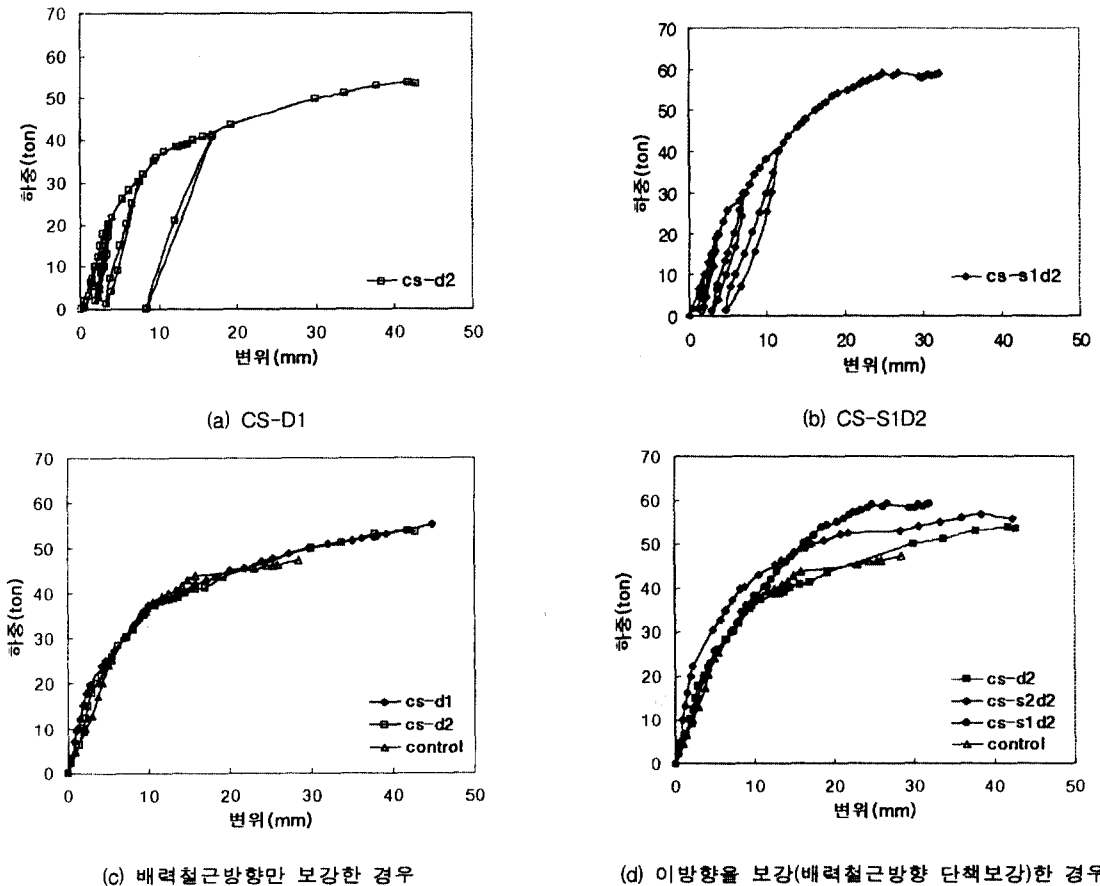


그림 4. 하중-처짐곡선

3.2.2 이방향 보강(배력철근방향 단채보강)한 경우

배력철근 방향으로 단채 보강한 후 주철근 방향으로 전면(CS-S1D2) 및 단채보강한 경우(CS-S2D2)(그림 4(d)) 19~26%의 보강효과를 나타내고 있으며, 특히 CS-S1D2의 항복하중이 기본시험체의 항복하중보다 45%이상 증가됨을 알 수 있다. 또한 배력철근 방향으로 전면보강 하였을 경우와는 달리 균열이 분산되어 발생하므로 적절한 균열제어 효과를 얻을 수 있었으며 보강효과가 우수한 것으로 나타났다.

4. 결론

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 배력철근 방향으로 전면보강한 경우 주철근 방향으로의 보강여부에 관계없이 하나의 주균열에 의해 파괴 되었으나, 배력철근 방향으로 단채보강된 이방향 보강시험체의 경우 주균열 및 방사형 균열을 효율적으로 제어하면서 휨 파괴되는 양상을 나타내었다.
- 2) CFS로 보강한 시험체의 경우 보강방법에 관계없이 강성의 변화는 거의 없음을 알 수 있으나, 이방향으로 보강한 시험체의 경우 배력철근 방향으로만 보강된 시험체보다 탄성회복능력이 뛰어난 것을 알 수 있다.
- 3) CFS로 RC 교량상판을 보강한 결과 보강효과는 15~26%로 나타내었다. 그러나, 배력철근방향으로 전면보강된 경우, 중앙부에서 하나의 주균열에 의해 조기 파괴되는 양상을 나타내므로, 배력철근방향의 경우에는 단채보강을 하고, 주철근방향으로 전면보강하는 것이 가장 효율적인 것으로 나타났다.
- 4) 최적의 보강방법을 위하여 주철근 및 배력철근방향으로의 보강량에 대한 추후 연구가 계속되어야 한다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 “98 건설기술 연구개발과제”를 수행함으로써 얻어진 결과이며, 저자들은 건설교통부와 SK 케미칼의 후원에 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. Higai Takeshi, " An Outline of Repairing and Strengthening of RC Deck Slabs", Bridge and Foundation Engineering, Vol. 26, No. 8, 1994, pp. 105~108
2. 小松秀樹, 飯束義夫, " 道路橋床版の變狀と補修・補強工法," 콘크리트工學, Vol. 31, No. 7, 1993, pp. 43~47
3. 김기봉 외 8명, "국도상 노후교량의 성능개선기법 개발에 관한 연구", 건설교통부, 1997. 12.
4. 일본도로협회, "도로교 보수편람", 1980