

표준화된 섬유보강공법을 적용한 RC T형 교량의 성능향상연구(I)

A Study on Strengthening of R/C T Girder Bridge using Standardized Strengthening Technique with Fiber Plastic(I)

심종성* 오홍섭** 임채옥***
Jongsung Sim Hong-Seob Oh Chae-Ok Lim

Abstract

The purpose of this study is application of strengthening technique of R/C concrete bridge by standardization of repair and rehabilitation. For that, experiment to bridge is necessary, and through the experiment, this study can identify the efficiency of applied method and analysis of design parameters which can't get in the laboratory experiment. This study will prove the structural behavior of R/C T type girder bridge which is deteriorated but repaired and rehabilitation from standardized strengthening method with fiber plastic.

keywords : standardization, experiment, laboratory

1. 서론

지금까지 적용되고 있는 성능향상공법은 사용재료와 시공자의 상황 등에 따라 외국의 기준 및 기술자의 경험등에 의하여 시공되고 있기 때문에 통일된 설계기준 및 보강성능에 대한 합리적인 현장데이터의 축적이 이루어지지 못한 실정이다. 또한 시공자에 따라 다른 시공절차 및 기준을 적용함으로써 인하여 전체적인 품질관리에 어려움이 있고, 보강후의 성능향상 결과를 예측하기에는 어려움이 따른다.

따라서 콘크리트 교량의 보수·보강방안을 표준화함으로써 성능저하되어 내하력이 부족한 교량의 안전성을 정량적이고 예측가능한 정도로 향상시키는 것이 필요하다. 따라서 제안된 표준 공법의 검증을 위한 실제 교량의 현장적용시험이 필수적이며, 이를 통하여 실내실험으로 획득할 수 없는 설계변수들에 대한 분석과 적용공법의 효율성 검증을 수행할 수 있을 것이다.¹⁾³⁾

본 연구에서는 문헌 및 사용실적 검토 등을 통하여 도출된 그림 1.1과 같은 표준시공절차에 따라 최근에 연구가 많이 진행되고 있는 섬유보강공법을 적용하여 보수·보강후의 노후화된 R/C T형 교량의 구조거동을 검증하고자 하였다.

탄소섬유취트공법(CFS)은 콘크리트 부재의 주로 인장응력 작용면에 탄소섬유시트에 에폭시수지 접착제를 함침시키면서 적층(현장성형)하여 구체에 접착시켜 일체화하는 공법이고 유리섬유플라스틱(GFRP)공법은 에폭시수지와 유리섬유를 침윤기(saturator)를 통해 침윤시켜 구조물에 접착시켜 시공하는 공법이고, 아라미드섬유시트 보강공법은 아라미드 섬유를 1방향으로 배열하여 시트모양으로 가공한 재료로서 시트에 에폭시 수지를 함침시키면서 콘크리트 표면에 일체로 되어 특히 콘크리트 구조물의 내진성능을 개선하는데 효과가 있다.

* 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 토목공학과 대학원 박사과정

*** 정회원, 한양대학교 토목환경공학과 대학원 석사과정



그림 1.1 섬유보강공법의 표준시공절차

2. 시험대상 교량의 선정

현장 채하시험 대상교량은 일제시대에 제작되어 약 60년 이상 경과된 것으로 총 연장 72m의 거더 3개로 구성되어 있으며, 각 경간은 지간장 약 12m로써 4경간은 R/C T형교이고 나머지 2경간은 강판형교이다. 그림 2.1(a)와 같이 R/C T형교의 3경간 각각의 보에 대하여 CFS, GFRP, AFS 보강기법을 적용하고, 나머지 한 경간은 보강을 하지 않고 실험하게 된다. 무보강 단면과 보강 단면의 거동을 합리적으로 고찰하기 위하여 선정된 교량의 연속교 구간 내부 지점을 cutting하여 단순교와 같이 거동하도록 하였고, 설계 및 시공자료가 보존되어 있지 않기 때문에 교량의 내하력을 예측할 수 없는 어려움이 있어서 현장 비파괴 검사결과를 기초로 schmidt hammer를 사용한 콘크리트 강도측정, concrete core에 의한 압축강도측정 등을 수행하였다. 측정결과 콘크리트의 압축강도는 150kgf/cm²로 측정되었다.

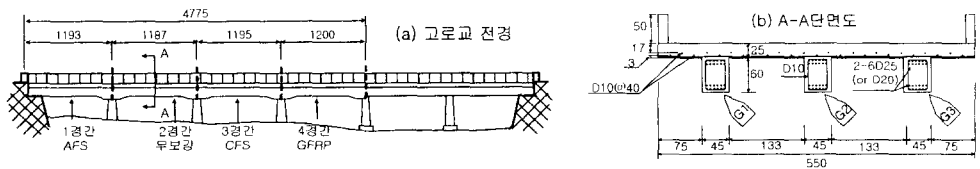


그림 2.1 시험대상교량-고로교 (단위: cm)

또한 철근의 개수 및 재원을 측정하기 위하여 철근탐사와 함께 거더 하면과 상판슬래브를 부분적으로 파손시켜 직접 검사하였고, 그 결과 그림 2.1(b)와 같이 제1,3,4 경간의 경우 거더 하나당 주철근은 상·하단에 D25 철근이 6개씩 2열배근 되어있었고 제2경간의 경우에는 D20 철근이 배근되어 있는 것

으로 관찰되었다. 또한 상부에는 D10 철근이 40cm 간격으로 엇갈리게 2열 배근되어 있었다.

3. 보강설계

보강된 단면은 콘크리트 강도, 사용철근비 및 보강비에 크게 영향을 받는다. 따라서 압축부위의 콘크리트가 철근이나 보강재보다 먼저 파괴되지 않도록 그림 3.2와 같이 보강재의 파단과 동시에 콘크리트가 극한변형률에 도달되는 평형상태를 가정함으로써 철근비 및 보강비에 대한 제약조건을 얻었다.²⁾

휨에 대한 설계는 먼저 1,3,4경간에 대해 그림 3.1과 같은 단면의 무보강 단면 해석시 중립축 위치 $c = (A_s \cdot f_y - A'_s \cdot f'_y) / 0.85k_f f_{ck} b = 7.63(\text{cm})$ 가 상판에 존재하므로 단순보로 가정한다. 등가압축블럭깊이 $a = A_s \cdot f_y / 0.85f_{ck} b = 7.28(\text{cm})$ 이고, 공칭저항모멘트 $M_n = A_s \cdot f_y (d - a/2) = 377(\text{tonf} \cdot \text{m})$, 자중에 의한 모멘트 $M_d = 99(\text{tonf} \cdot \text{m})$ 이므로 활하중에 대한 공칭저항모멘트 $M_n - M_d = 287(\text{tonf} \cdot \text{m})$ 이다. 그러므로 주철근이 항복할 때 2m 간격으로 4점 재하시 외부하중 $P_n = 111.2(\text{tonf})$ 이다.

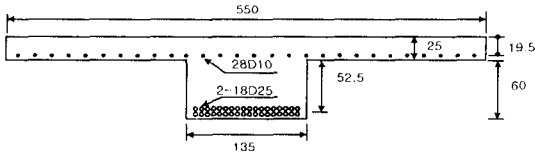


그림 3.1 무보강단면 (단위:cm)

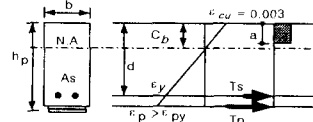


그림 3.2 보강된 평형단면

보강설계는 극한강도의 75%를 적용하여 설계하였고, CFS의 보강설계는 아래 식(3.1)과 같이 철근비와 보강비를 합한 값(ρ)에서 압축철근비(ρ')를 뺀 좌항의 값이 우항 보다 작으므로 압축철근이 항복하지 않고, 따라서 압축철근은 무시하고 단철근 직사각형 형태의 설계로 거더 하면에 2 ply로 보강을 하였다. 보강단면의 등가압축블럭은 식(3.2)와 같고 공칭단면모멘트는 식(3.3)과 같다. 자중에 의한 모

$$(\rho - \rho') = 0.004028 \leq 0.85k_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \frac{d'}{d} \frac{6120}{6120 - f_y} = 0.01975 \quad (3.1)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y + A_{cf} \cdot 0.75f_{cf}}{0.85f_{ck}b} = 7.95(\text{cm}) \quad (3.2)$$

$$M_n = A_s \cdot f_y (d - \frac{a}{2}) + A_{cf} \cdot 0.75f_{cf} (h - \frac{a}{2}) = 413.9(\text{tonf} \cdot \text{m}) \quad (3.3)$$

멘트 $M_d = 99(\text{tonf} \cdot \text{m})$ 이므로 활하중에 대한 공칭저항모멘트 $M_n - M_d = 314.9(\text{tonf} \cdot \text{m})$ 이고, CFS가 항복할 때 2m 간격으로 4점 재하시 최대외부하중 $P_n = 125.96(\text{tonf})$ 이다.

그림 4.1의 현치부가 끝나는 곳(단면1)과 지점으로부터 h만큼 떨어진 곳(단면2)에서의 전단을 검토하면 콘크리트에 의한 전단저항력 $0.53\sqrt{f_{ck}} \cdot b d$ 는 각각 68, $80(\text{tonf})$ 이고 스테럽에 의한 전단저항력 $A_s \cdot f_y \cdot d/s$ 는 각각 62, $72.7(\text{tonf})$, 자중에 의한 전단력은 각각 26.4, $33(\text{tonf})$ 이므로 활하중에 의한 전단저항력이 각각 103, $119.7(\text{tonf})$ 로 $P_n = 125.96(\text{tonf})$ 보다 크므로 전단에 대해 안전한 것으로 검증되었다.

같은 과정으로 AFS와 GFRP도 보강설계를 하였고, 공칭저항모멘트를 동일하게 하기 위하여 두 보강공법에서는 1ply로 보강을 하였다.

표 3.1 보강재의 물성 및 설계강도

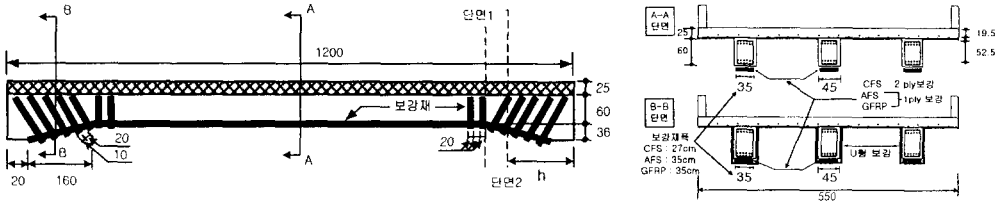
구분	극한강도 (kgf/cm ²)	극한 변형률 (%)	두께 (cm)	거더당 보강폭 (cm)	보강 적층수	$M_n - M_d$ (tonf · m)	P_n (tonf) (4점 재하시)
CFS	35500	1.5	0.011	27	2 ply	314.9	125.96
AFS	30000	2.6	0.0193	35	1 ply	313.5	125.4
GFRP	4500	2.0	0.13	35	1 ply	313.8	125.5

이와같이 보강재의 물성과 설계강도를 요약한 것이 표.3.1에 나타내었으며, 보강 단면은 무보강 단면

에 비해 약13% 정도의 내하력 향상을 보였다.

4. 보강방법

전체 구조계의 내하력에 가장 큰 영향을 미치는 주형을 보강하여 보강성능을 검증하고자 하였고, 대상 공법에 대한 표준시공절차에 따라 거더 및 상판을 에폭시로 균열 보수를 하고, 단면손상부위의 단면복구를 수행하여 주형의 보강성능이 나타날 수 있도록 하였다. 시험대상 교량의 보강단면은 다음그림 4.1과 같고, 단부박리파괴를 방지하기 위하여 B-B단면과 같이 단부에 U자형으로 보강을 하였다.



4.1 보강단면 상세도 (단위 : cm)

5. 재하방법 및 측정방법

교량 재하시험은 하중 재하용 콘크리트 블록(120×100×50cm, 240×100×50cm)을 제작하여 지간 중앙에 두 개의 H형강을 2m 간격으로 놓고 그 위에 쌓아올리는 방법을 사용할 것인데, 이 방법은 경제성과 시공성이 우수하고 교량의 사용하중상태에서 장기거동의 예측이 가능하다. 또한 하중가력이 용이할 뿐만아니라 지간별 하중을 동시에 재하함으로써 소요시간을 절약할 수 있는 장점이 있다.

철근의 변형률 및 처짐은 철근게이지와 LVDT를 사용하여 측정한다.

6. 결론

콘크리트 교량의 보수·보강 방안을 표준화함으로써 성능저하되어 내하력이 부족한 교량의 안전성을 정량적이고 예측가능한 정도로 향상시킬 수 있고, 제안된 표준시공법을 적용한 실제 교량의 현장적용시험으로 실내실험으로 획득할 수 없는 설계변수들에 대한 분석과 적용공법의 효율성 검증을 수행할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 시설안전기술공단의 지원에 의한 “콘크리트 교량의 보수·보강방법의 표준화”연구의 일환으로 수행되고 있으며, 실험수행에 많은 도움을 주시는 시설안전기술공단, SK케미칼, 한국카본, 풀림파이버랩, 리폼시스템 관계자 여러분들께 깊은 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 김기봉 외 다수, “국도상 노후교량의 성능개선기법 개발에 관한 연구”, 건설교통부, 1997. 12.
- 2) 심중성, 배인환, “강판 및 탄소섬유로 보강된 철근콘크리트 보에 대한 해석적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.9, No.6, 1997. 12.
- 3) Quantril R.J., Holloway L.C., Thorne. A.M, “Experimental and analytical investigation of FRP Strengthened beam response”, Mag.Concr.Res., 48, No. 177, 1996, pp. 331-342.