

프리스트레스드 콘크리트 활절 라멘교의 신보강공법(상진대교구교적용)

New Rehabilitation Method of Prestressed Concrete Rahmen Bridge with a Hinge at Midspan

이 원 표* 하 성 욱** 김성호***
Lee, Won Pyo Ha, Sung Wook Kim, Sung Ho

ABSTRACT

The Sang-Jin bridge constructed by the Free Cantilever Method in 1985 is 4-span concrete rahmen bridge with a hinge at midspan. Due to the effect of creep, shrinkage of concrete and relaxation of tendon, the Sang-Jin bridge exposed the excessive displacement at midspan with the passage of time. In order to improve the load-carrying-capacity and durability of the bridge, needs to repair and rehabilitate the structure emerged. New rehabilitation methods were applied such as external prestressing of concrete box, application of pier pre-camber and steel truss jacking. Structural analysis and several tests including static load test, dynamic load test and ambient vibration test were executed to verify the improvement. The test result showed that the displacement of the midspan was improved by 10mm and it was verified that the stiffness of the bridge was increased. Totally, the load-carrying-capacity of Sang-Jin bridge was increased at least 1.56times which was attributed to the new rehabilitation method.

1. 서론

1985년 FCM(Free Cantilever Method)공법으로 시공된 구상진대교는 지간중앙이 힌지인 활절라멘교로서 구조 해석의 편리함으로 초기 PSC 박스교 시공에 널리 사용되었으나 콘크리트의 크리프 및 건조수축과, 강선의 릴랙세이션으로 시간이 경과함에 따라 과도한 처짐이 발생하게 되었다. 보강전의 상진대교 구교는 지간중앙 힌지부에 30~40cm의 처짐이 발생하여 미관상 불안감을 일으킬 뿐만 아니라 사용성이 저하되고, 차량하중에 대한 충격하중이 심하여, 1995년 이래로 통과 차량중량 32ton 이하, 통과 속도 40km/h 이하로 제한시켜 왔다.

이에 상진대교 구교의 보강공사를 통하여 통과차량 43ton의 1등교로 환원시키고 내하력 및 내구성을 증대시키기 위한 적절한 보강이 필요하게 되었으며, 활절 라멘교의 보강공사에 주로 사용되었던 연속 라멘교나 교각과 거더를 분리시키는 연속거더교와 같은 기존의 활절 라멘교의 보강공법을 개선하여 시공하였다. 즉, 경간 중앙부의 힌지부를 연속화시켜 추후 처짐진행 등의 단점을 개선시키고, External Tendon에 의한 프리스트레스 도입 이전에 교각에 Pre-Camber를 도입하여 단면력을 감소시키는 방법과 하부 단면의 콘크리트 강도 부족을 보완하기 위하여 콘크리트 박스 내부에 강재트러스를 가설하여 보강하는 새로운 개념을 도입하였다.

본 논문에서는 새로운 보강형식의 상진대교 구교에 대하여 보강전·후의 정·동적 재하시험 및 상시진동시험을 실시하였으며, 교량의 동특성을 추출한 결과값과 재하시험을 통한 교량의 처짐을 비교·분석하여 보강전·후의 내하력을 평가하고 보강후 교량의 초기치를 확보하고자 하였다.

* 정희원, 현대건설(주) 기술연구소 책임연구원
** 정희원, 현대건설(주) 기술연구소 주임연구원
*** 정희원, 현대건설(주) 기술연구소 연구원

2. 보강 공법

2.1 강제트러스 긴장

상진대교 구교의 보강공사는 당초 힌지를 그대로 두고 external tendon을 설치하는 방법이었으나, 대상교량의 추정강도가 초기의 보수설계시 가정된 설계강도에 미치지 못하는 것으로 평가됨에 따라 그림1과 같이 강선 긴장작업전에 콘크리트 박스 하부슬래브에 인장력을 도입하는 개념이다.

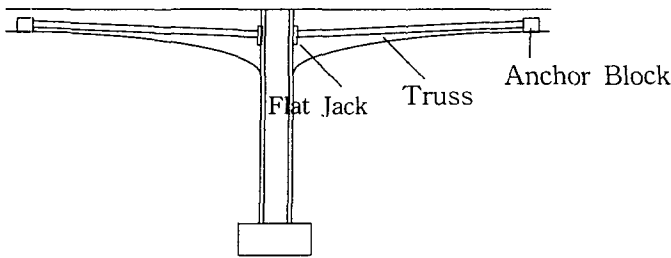


그림 1 강제트러스 긴장 개념도

- 총 1000tonf의 Pre-Compression을 도입(최대560tonf 용량의 PSC Freyssinet flat jack 2개)
- Flat Jack의 유압제거후 영구적인 Shimming System을 삽입
- 4개의 Jack 위치에 있는 Dial Gauge를 통해 트러스의 변위와 스트로크를 모니터

2.2 중앙경간 힌지부 강결

- Expansion Joint 제거
- 힌지부 Gap에 고강도 모르타르 그라우팅
- 모르타르 강도가 200kgf/cm² 도달후 고정용 강봉긴장

2.3 교각에 Pre-Camber 도입

보강 tendon의 프리스트레스력에 의해 교각이 내측으로 sway가 생기면서 단면력이 증가하는데, 이에 대한 단면력의 감소방안으로 교각에 Pre-Camber를 주는 방법을 도입하였다. 그림 2-3과 같이 힌지부 Gap에 Flat Jack를 삽입후 jacking하여 교각에 미리 외측으로 sway를 도입하고 나중에 프리스트레스력에 의한 영향을 상쇄시키는 개념이다.

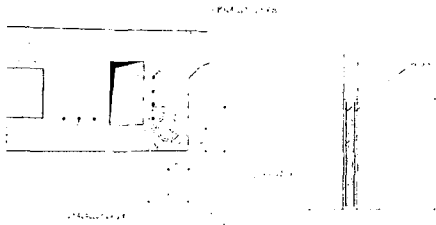


그림 2 Flat Jack 설치

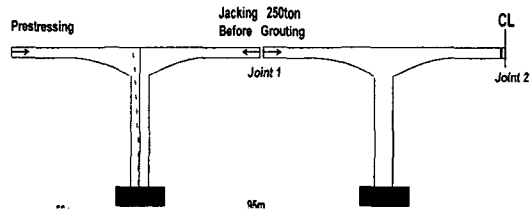


그림 3 Pre-camber 도입개념

- 측경간 힌지부에 Flat Jack 삽입
- Flat Jack에 250톤씩 Jacking하여 Pre-Camber 도입

- 고강도 Mortar 그라우팅
- Fixing용 강봉긴장

2.4 보강 외부텐던 설치

- 강봉과 추가텐던 설치를 위한 구멍천공
- Anchor Block 및 Deviator 콘크리트 타설
- 텐던 Support 설치
- 콘크리트 강도 300kg/cm² 도달후 Anchor Block 고정용 강봉 긴장
- 텐던 긴장후 그라우팅

3. 보강효과 검증을 위한 재하시험

보강효과 검증을 위한 재하시험으로는 정적재하시험과 동적재하시험을 수행하였으며 대상구간은 영주측 교대 (A1)쪽 측경간과 교각 P1과 P2 사이의 중앙경간이며 재하차량의 무게는 표 1에 나타난 것과 같다.

표 1 재하차량의 무게(tonf)

구분		총중량 (TON)	전륜 무게 (TON)	후륜 무게 (TON)
보강전	재하차량1	26.13	5.70	20.43
보강후	재하차량1	26.38	5.75	20.63

3.1 정적재하시험

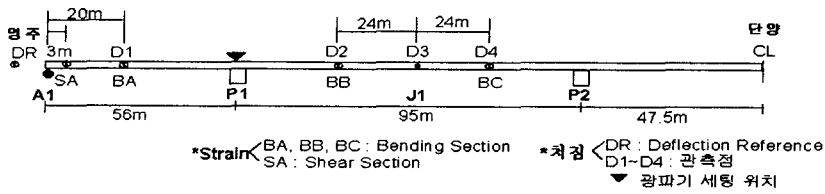


그림 4 하중재하위치

표 2 정적재하시험 결과(처짐)

LOAD CASE	측정점		계산치(mm)	실측치(mm)
LC1 : BA	보강전	구속	-5.00	-7.39
		불구속	-6.00	
	보강후	-5.02	-3.40	
LC2 : BB	보강전	구속	-4.00	-3.39
		불구속	-6.00	
	보강후	-4.27	-5.80	
LC3 : J1	보강전	구속	-22.0	-21.1
		불구속	-32.0	
	보강후	-9.58	-11.20	
LC4 : BC	보강전	구속	-4.00	-3.19
		불구속	-7.00	
	보강후	-3.54	-3.70	

BB, BC단면의 보강후 처짐값이 보강전에 비해 크게 나타난 것은 측정당시 기상(바람)이나 주위의 영향(기차의 통행이나 신상진대교에서의 차량통행)으로 인한 오차인 것으로 사료된다.

3.2 동적재하시험

동적재하시험은 동적재하하중에 의한 교량의 동적 거동을 파악하여 구조물의 현상태에서의 노후손상도를 추정하고, 동적하중에 의한 충격계수를 구하여 공용하중 산정의 기본자료로 활용하는 것이 목적이다. 동적재하시험 방법 동적 재하 시험은 정적재하시험과 동일한 차량을 교량의 중앙을 따라 주행시켜 변형율을 측정하였다. 동적 변위는 측정간의 BA지점과 중앙경간의 BB지점, J1 지점BC지점에서 측정하였다. 각 지점에서는 각각 5km/h, 10km/h, 20km/h, 40km/h, 60km/h의 속도로 차량을 주행시켜 변형율을 측정하였다.

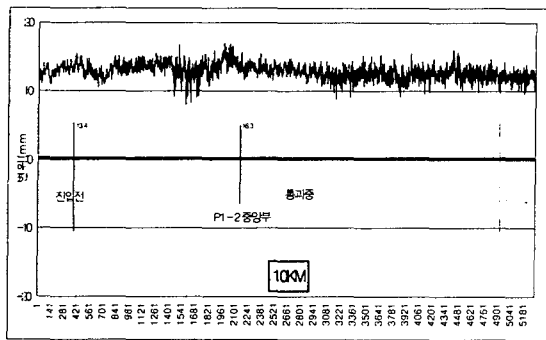


그림 5 10km/h 일 때 변위

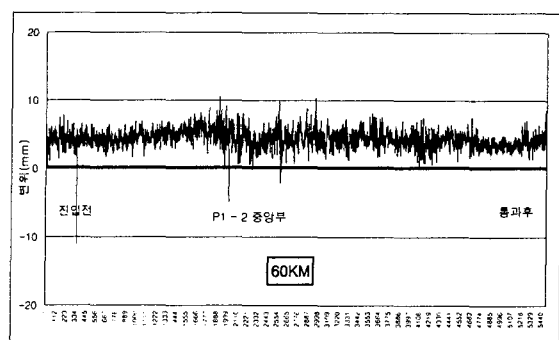


그림 6 60km/h 일 때 변위

동적 주행 시험으로 측정된 시간-변위 이력곡선의 속도별 최대값과 이로부터 산출된 충격계수는 표3.3과 같다. (P1~P2 중앙부지점), 충격계수 $i = \frac{\text{각 속도별 변위}}{5\text{km/h 일 때 변위}} - 1$

표 3 주행시험에 의한 충격계수

주행속도	동적 최대 변위(mm)		계산충격계수
	변위	충격계수 : i	
5	3.3	-	$i = \frac{15}{40 + L}$ $= \frac{15}{40 + 95}$ $= 0.11$
10	2.9	-	
20	4.4	0.333	
40	5.3	0.606	
60	6.9	1.091	

4. 상시진동시험

대상교량이 공용중이며 상부구조의 중량이 크다는 점을 감안하여 상시진동시험으로 동적 특성을 추출하고자 한다. 신호처리 및 잡음제거는 당사에서 보유하고 있는 HyunAVT(등록번호 99-01-12-0837)를 이용하였다. 상진대교 교교는 콘크리트 박스 교량으로 현재 보강공사로 인하여 차량의 통행이 불가능하므로 공사 작업 및 풍하중에 의한 진동발생을 측정하였다. 모든 측정점은 단면내 1개소에서 보강전과 보강후의 수직방향 가속도를 측정하였다.

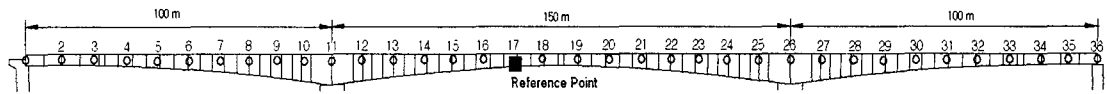


그림 7 측정과 Reference point

4.1 분석결과

표 4.1은 AVT에 의해서 검출된 모드의 보강전과 보강후의 고유진동수와 해석에 의해서 산출한 모드의 고유진동수가 표시되어 있다. 보강후의 고유진동수 실측치와 해석치 모두 보강전에 비하여 증가한 것으로 보아 구조물의 강성이 증가된 것으로 나타났다. 그림 4.2-5는 보강전·후의 고유진동모드(Mode1,2)형상을 보여주고 있다.

표 4 보강전, 후의 고유진동수(Hz) : 실측치 및 해석치

Mode NO.	보강전		보강후	
	AVT	해석치	AVT	해석치
1차 Mode	1.110	0.957	1.250	1.260
2차 Mode	1.305	1.102	1.484	1.500
3차 Mode	-	1.220	1.898	1.780
4차 Mode	1.760	1.487	2.797	2.800
5차 Mode	-	2.524	3.578	2.850
6차 Mode	-	2.550	4.070	3.450
7차 Mode	3.530	3.290	4.617	3.890

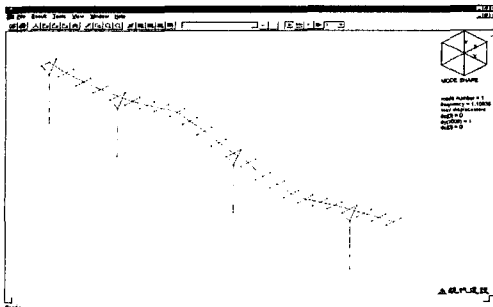


그림 8 수직방향 Mode 1(보강전)

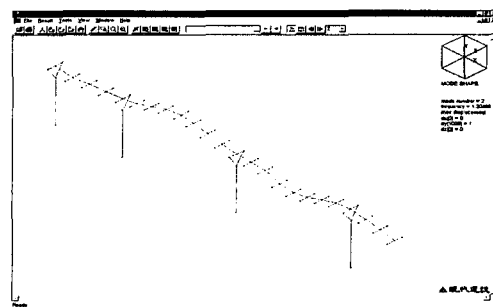


그림 9 수직방향 Mode 2(보강전)

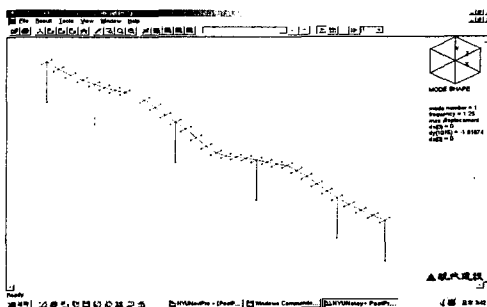


그림 10 수직방향 Mode 1(보강후)

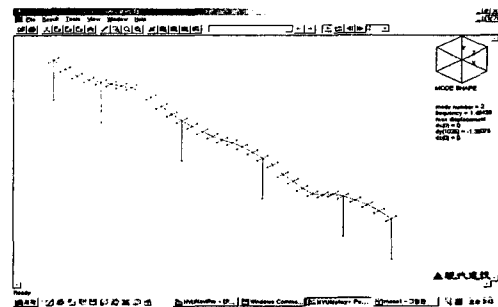


그림 11 수직방향 Mode 2(보강후)

5. 내하력 평가

내하력 평가에 적용한 응력보정계수값은 정적구조해석을 통한 처짐량과 응력값, 동적구조해석을 통한 모드형상 및 진동수 등을 비교 분석한 결과 경간중앙부 힌지의 경계조건이 종방향으로 구속된 것으로 판단된다. 그러므로 적용된 응력보정계수값은 종방향으로 구속된 결과값을 사용하였다. 현 시방서의 하중계수인 사하중계수 1.3, 활하중계수 2.15를 적용한 내하력 조사결과 설계하중 DB24를 상회하며, 구상진대교 보강후 내하력이 보강전보다 최저 1.56배 이상 상승되었다.

표 5 보강전, 후 내하력 조사 결과

위치	보강전 내하력		보강후 내하력		증가율	
	허용응력	하중- 저항	허용응력	하중- 저항	허용응력	하중- 저항
BA 단면	45.0	37.0	100.7	57.7	2.24	1.56
II 단면	-	-	37.5	38.1	-	-
BB 단면	63.5	121.4	226.9	357.2	3.57	2.94
BC 단면	40.8	90.0	360.1	459.7	8.83	5.11

6. 결론

상진대교 구교는 완공후 약 15년이 경과한 교량으로 경간 중앙부 힌지의 과도한 처짐으로 인하여 차량속도 제한 및 차량통과하중이 DB18로 제한되는 등 제기능을 발휘하지 못하고 있어 경간 중앙부의 힌지부를 연속화시켜 추후 처짐진행 등의 단점을 개선시키고, External Tendon에 의한 프리스트레스 도입 이전에 교각에 Pre-Camber를 도입하여 단면력을 감소시키는 방법과 하부 단면의 콘크리트 강도 부족을 보완하기 위하여 콘크리트 박스 내부에 강재트러스를 가설하여 보강하는 새로운 개념을 도입하였다. 또한 상진대교 구교의 보강전·후의 내하력을 평가하고, 보강후 교량의 초기치를 획득하기 위해 재하시험 및 상시진동시험을 실시하였다.

신개념 보강공법을 적용한 활절라멘교의 계측결과 중앙지간의 처짐이 개선되었으며, 상시진동시험에 의한 고유진동수 분석결과 구조물의 강성이 증가한 것으로 나타났다. 보강후 상진대교 구교에 대한 내하력평가 결과, 설계값 DB-24를 상회하므로 통과 차량중량은 1등급기준인 43.5tonf으로 공용이 가능하며, 보강후 내하력이 보강전보다 최저 1.56배 이상 향상된 것으로 나타났다. 활절라멘교에 대한 처짐문제와 이를 개선하기 위한 보강공사는 앞으로 점차 증가할것으로 생각되며, 유사한 PSC 박스교량의 보강공법에 상진대교 구교의 보강공법이 참고적인 자료로 적극적으로 응용 활용되기를 기대한다.

참고문헌

1. 건설교통부 "콘크리트 교량가설특수공법, 설계 시공, 유지관리지침", 1994
2. 건설교통부 대전지방국토관리청 "국도 5호선 상진대교 안전도검사 종합보고서", 1995
3. 서울대 공학연구소 "프리스트레스드 콘크리트 형교의 해석 및 설계에 관한연구", 1991
4. 건설교통부 대전지방국토관리청 "국도 5호선 상진대교 건설지", 2000
5. 현대건설 "구상진대교 초기치 측정 및 재하시험 결과보고서", 2001
6. EEG "Final Report of Sang Jin Bridge Rehabilitation", 1998
7. EEG "Cerna Bridge Rehabilitation", 1993
8. B. Massicotte, A. Picard, Y. Gaumont, C. Ouellet "Strengthening of Long Span Prestressed Segmental Box Girder Bridge", PCI Journal, May-June, 1994, pp52-65.