

프리스트레스트 콘크리트 활절 라멘교의 신보강공법

-상진대교 구교 적용

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



정하선*



박정일**



김철환***

1. 서론

상진대교 구교는 1985년 Free Cantilever Method(이하 FCM)공법으로 시공되었으며, 상부구조의 형식은 지간중앙이 힌지인 프리스트레스트 콘크리트(이하 PSC) 활절라멘교이다.(표1 참조) 활절라멘교는 구조해석의 편리함 때문에 초기 PSC 박스교 시공에 널리 사용되었으며 국내의 시공실적은 원효대교, 청풍교, 운암교가 동일한 형식으로 시공되었다.

하지만 콘크리트의 크리프 및 건조수축과, 강선의 릴랙세이션으로 시간이 경과함에 따라, 과도한 처짐이 발생하고 이로 인해 주행성이 나빠져, 근래는 지간중앙을 강결시킨 연속라멘교나(시공예: 비금도초교, 안양동교), 교각과 거터를 분리시킨 연속거터교로(시공예: 강동대교, 주진교), 주로 시공되고 있다.

현재 상진대교 구교는 지간중앙 힌지부가 30~40cm의 처짐이 발생하여 미관상 불안감을 일으킬 뿐만 아니라 차량 주행성이 불량하고 차량하중에 대한 충격하중이 심하여, 1995년 이래로 통과 차량중량 32ton 이하, 통과 속도 40km/h 이하로 제한하고 있다. 따라서 이를 통과차량 43ton의 1등교로 환원시키고 내하력을 증대시키기 위해 적절한 보강이 필요하다.

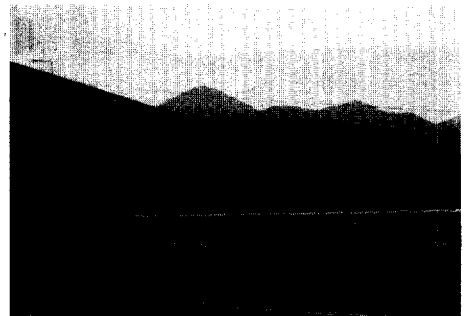


그림 1 상진대교 구교 전경

* 정회원, 현대건설 기술연구소 이사
** 정회원, 현대건설 기술연구소 부장
*** 현대건설 기술연구소 대리

표 1 상진대교 구교 현황

위치	충북 단양군 단양읍 상진리 국도 5호선
교량연장	397m (56m + 3@95m + 56m)
교폭	12.5m (2차선)
상부구조	P.S.C Box 활절 라멘교
설계하중	DB 24 (1등교)
시공법	FCM (DYWIDAG)
이력	1985 준공 (동아건설) 1990.5 구조안전진단 (건설기술 연구원) 1990.10 균열보수 및 덧씌우기 시행 1994.4 안전도검사 (충북대 연구소) 1995.2 안전도검사 및 보강설계 (대한건설탈트)

표 2 보강공법안 비교

구분	원안 (현지 구조계)	변경안 (연속 구조계)
시공성	▪ 시공 다소 용이	▪ 시공 공정 추가
구조 변화	▪ 현지 유지 ▪ 정정 ▪ 온도변화유리	▪ 현지 연속화 ▪ 부정정 ▪ 온도변화 부정정력발생
사용성	▪ 활하중 처짐변동 큼 ▪ 현지부 E.L. 개선미흡 ▪ 주행성 불리 ▪ 현지부 충격과다	▪ 활하중 처짐변동 감소 ▪ 현지부 E.L. 개선효과 큼 ▪ 주행성 향상 ▪ 교량의 피로수명향상
유지 관리	▪ 현지부의Expansion Joint와 교량받침의 유지관리 및 교체 필요	▪ 현지부의 유지관리 필요없음

2. 연속화 보강공법

2.1 개요

보강공법의 원안은 원효대교나 청풍교의 보강공법처럼 기존현지를 그대로 유지한 채 외부 텐던(External Tendon)을 보강하는 방식이었으나, 표2와 같이 여전히 사용성과 유지관리상의 문제점을 가지고 있기 때문에, 상진대교 구교의 교각길이가 30m이상으로 충분히 길어 연성이 있다는 점을 착안하여, 그림2와 같이 현지부를 강결시켜 연속화하고 이에 따른 구조계의 변화(정정에서 부정정)를 수용할 수 있도록 적절하게 외부텐던을 절곡 배치하여(그림3 참조) 보강하는 공법으로 바꾸었다.

이와 유사한 보강사례는 1968년 시공된 루마니아의 Cerna교로 상진대교 구교와 동일한 PSC 활절라멘교로 지간중앙에 약30cm의 과다 처짐이 발생하여 1993년 Freyssinet사에 의해 현지를 강결시켜 보강하였다.

변경안에 대한 실시설계는 프랑스 EEG사에서 FCM 공법의 시공단별 해석이 가능한 BC 프로그램을 사용하여 연속라멘교를 설계하는 방법과 동일한 개념으로 설계를 수행하였다.

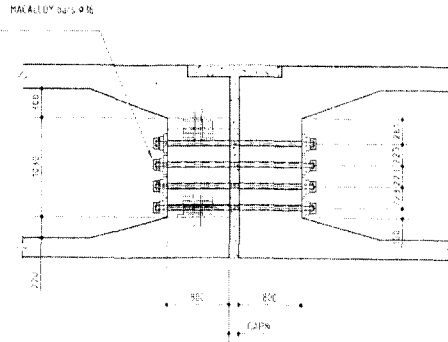


그림 2 현지부 보강상세도

2.2 과다처짐의 원인

과다처짐의 원인은 현지 시스템의 구조적 문제뿐만 아니라 설계시 콘크리트의 크리프, 건조수축 강선의 릴랙세이션등 재료불성치의 과소평가 및 해석 Software의 미비로 Camber를 지나치게 작게평가한 것이 주원인으로 판단되며, 시공시 Camber 및 텐던 긴장력관리 미비등의 복합적인 문제에 의해 발생한 것으로 생각된다.

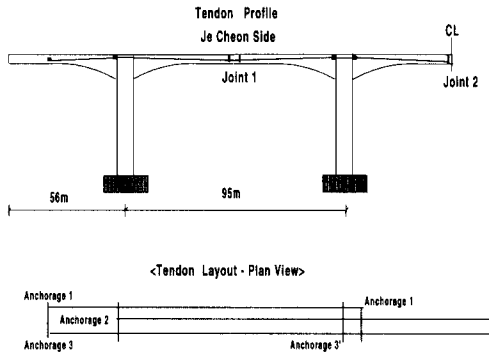


그림 3 보강 외부텐던 배치도

또한 FCM공법으로 시공할 때 긴장력 도입시의 콘크리트재령, 탄성계수등 시공단계를 고려한 Camber 계산은 필수적이며, 근래는 강선의 릴랙세이션효과를 저감시키기 위해 2% 정도의 저릴랙세이션 강선을 주로사용한다.

2.3 힌지부의 Elevation 개선

구상진대교의 보강의 주목적은 과도한 처짐을 개선시키는 것이다. 외부텐던의 긴장에 의한 상향 처짐만으로는 Deck의 Elevation을 30~40cm 높일 수는 없다. 따라서 추가포장(Overlay)으로 Elevation을 개선할 수밖에 없으며 이로 인한 사하중의 증가는 외부텐던을 설치하여 보강한다는 개념이다. 연속화 보강공법은 외부텐던을 적절히 절곡하여 구조계의 변화를 동시에 만족시켜야 한다. 표3은 힌지를 그대로 유지하는 보강공법

원안과 힌지를 강결화하는 연속화 보강공법의 포장 Overlay, 처짐, Elevation 개선 효과를 비교한 것이다. 힌지 구조계인 원안의 경우, 보강 텐던에 의한 상향처짐보다 Overlay 하중에 의한 하향처짐이 큰 것을 알 수 있다. 변경안의 경우 포장 Overlay에 의한 Elevation 개선효과를 원안 대비 10~30cm 향상시킬수 있다. 물론 포장 Overlay의 증가는 Elevation을 개선시키지만 사하중의 증가를 의미하므로 구조계의 응력이 안전한 범위까지 제한될 수밖에 없다.

2.4 교각에 Pre-Camber 도입

상부구조를 강결시키면 정정구조에서 부정정구조계로 바뀌고 온도변화에 의한 부정정력이 발생하여 교각에 전달된다. 부정정 구조물로 변화시 온도하중에 의한 교각의 단면력은 늘어나지만, 반대로 활하중에 의한 단면력은 감소한다.

또한 보강 텐던의 프리스트레스트력에 의해 교각이 내측으로 Sway가 생기면서 단면력이 증가하는데, 이에대한 단면력의 감소방안으로 교각에 Pre-Camber를 주는 방법을 도입하였다.

힌지부를 연속화 하기전에 그림4와 같이 힌지부 Gap에 Flat Jack을 삽입후 250톤씩 Jacking하여 교각에 미리 외측으로 Sway를 도입하고 나중에 프리스트레스트력에 의한 영향을 상쇄시키는 개념이다.(그림5 참조)

표 3 보강공법에 의한 Elevation 개선효과 비교 (단위 m)

구분	설계 EL.	95년 EL.	원안 (힌지 구조계)			변경안 (연속 구조계)			원안과 변경안 차이
			포장 Overlay	Deflection	최종 EL.	포장 Overlay	Deflection	최종 EL.	
Joint 1	156.95	156.60	0.16	-0.021	156.739	0.35	+0.023	156.973	+23cm
Joint 3	156.95	156.67	0.16	-0.021	156.809	0.23	+0.020	156.920	+11cm
Joint 2	157.425	157.33	0.04	+0.012	157.382	0.13	+0.004	157.464	+8cm

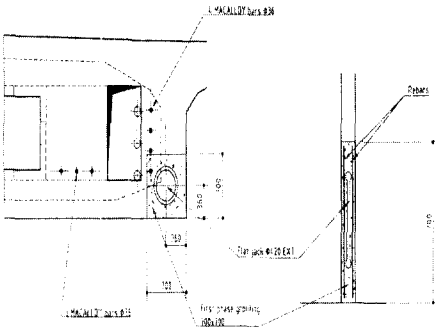


그림 4 Pre-Camber 도입 개념

- ② 중앙경간 현저부 강결**
- Expansion Joint 제거
 - 현저부 Gap에 고강도 Mortar 그라우팅
 - Mortar 강도가 200Kg/cm² 도달후 Fixing용 강봉 긴장

- ③ 교각에 Pre-Camber 도입**
- 측경간 현저부에 Flat Jack 삽입
 - Flat Jack에 250톤씩 Jacking하여 Pre-Camber 도입
 - 고강도 Mortar 그라우팅
 - Fixing용 강봉긴장

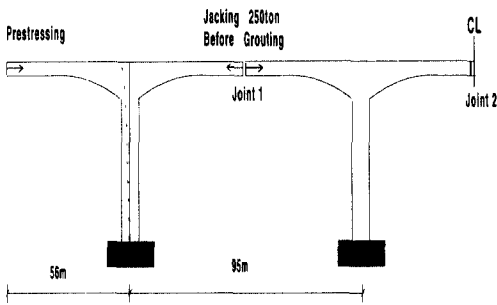


그림 5 Pre-Camber 도입 개념

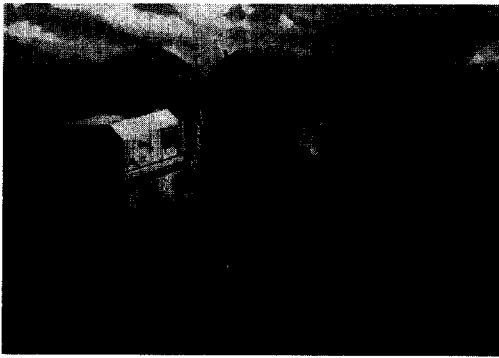
- ④ 보강 외부텐던 설치**
- 강봉과 추가텐던 설치를 위한 구멍천공
 - Anchor Block 및 Deviator 콘크리트 타설
 - 텐던 Support 설치
 - 콘크리트 강도 300kg/cm² 도달후 Anchor Block 고정용 강봉 긴장
 - 텐던 긴장후 그라우팅

- ⑤ 후속작업**
- 교대의 받침 및 Expansion Joint 교체
 - 상부 Slab 작업구 복원
 - 포장 Overlay 시공

2.5 보강공법 시공절차

- ① 사전준비작업**
- 포장개거
 - 작업구 설치

현재 상진대교 구교의 보강공사는 중앙경간 현저부 강결작업이 진행중이며(그림6 참조) 내년 상반기내에 보강공사가 완료될 예정이다.



1. 포장제거



2. Expansion Joint 제거

그림 6 포장제거 및 Expansion Joint 제거

3. 결론

일반적으로 FCM공법으로 시공되는 PSC 박스교량의 장기처짐 자체가 구조적으로 직접적인 문제점을 일으키지는 않는다. 하지만 설계시 이를 충분히 예측하지 못하였을 경우 하향처짐으로 시각적인 불안감을 일으킬 뿐만 아니라 차량주행성이 나빠지는 등의 사용성에 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 줄이기 위해서는 설계시에 시공 단계 및 재료의 시간의존적인 성질을 고려한 Camber 계산과 이를 기초한 정밀시공이 필수적이며, 미리 장기처짐량을 고려하여 교량 Profile

을 상향시공하여야 한다.

PSC 박스교의 현저부를 강결시키는 연속화 공법의 실현 가능성 여부는 구조적인 안전성 확보가 가장 중요한 문제로, 기존의 교각이 충분한 연성을 가져야 하며, 하부기초 역시 구조계가 변화하여도 안전한가를 확인하는 작업이 선행된후 공법을 채택하여야 한다.

상진대교 구교 보강시, 상부 박스구조는 추가 Tendon을 절곡배치하여 안전성을 확보하였으며 아울러 교각에 Pre-Camber를 도입하여 단면력을 감소시키는 새로운 개념을 적용하였다.

PSC 박스교는 재료의 시간의존적 성질로인해 활절 라멘교뿐만 아니라, Canada의 Grand-Mere교의 경우와 같이 연속 거더교이지만 지간중양부에 약35cm 정도의 과다한 처짐이 발생하여 보강한 사례가 있다.

이와같이 PSC 박스교량의 처짐 문제와 이를 개선하기 위한 보강공사는 앞으로 점차 증가할 것으로 생각되며, 유사한 PSC 박스교량의 보강 공법에 상진대교 구교의 보강공법이 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. EEG "Final Report of Sang Jin Bridge Rehabilitation", 1998
5. EEG "Cerna Bridge Rehabilitation", 1993
6. B. Massicotte, A. Picard, Y. Gaumond, C. Ouellet "Strengthening of Long Span Prestressed Segmental Box Girder Bridge", PCI Journal pp52-65, May-June, 1994