

국내최초 사장외케이블 방식 엑스트라도즈드 교량의 시공기술

Construction Technique of the Extradosed Bridge in Pusan, Korea

김 경 단 · 이 건 주 ** 최 명 수 *** 김 봉 근 ****
Kim, Kyung Dan Lee, Gun Joo Choi, Myeong Su Kim, Bong Geun

ABSTRACT

Since Ganter Bridge in Switzerland was constructed in 1980, many extradosed bridge, especially not covered by concrete, have been constructed in Japan. From the end of 1990's, Korea, the demands for the new-styled and symbolized bridge had raised and extradosed bridge is applied in midspan bridges. The purpose of this paper is to introduce the constructional technique of the Extradosed Bridge, named Nok San Bridge in Pusan, Korea. Nok San Bridge is the first one of the several bridge used by the patterns of external tendons in Korea.

1. 서론

엑스트라도즈드 교량은 1980년 스위스 Ganter교에서 처음으로 사판식으로 시공된 이후 90년대 초반 일본을 중심으로 사장외 케이블 방식으로 많이 시공되었다. 국내에서는 90년대 후반 일반 PSC Box 거더교의 포화 및 상징성을 살릴 수 있는 새로운 형식의 교량에 대한 관심이 대두되면서 엑스트라도즈드 교량이 중·소지간의 교량에 적용되기 시작하였다.

본 논문에서는 부산 신항 진입도로 건설공사 중 엑스트라도즈드 교량이 채택된 녹산대교의 시공기술을 소개하고자 한다. 녹산대교는 국내최초로 사장외케이블 방식의 엑스트라도즈드교로서, 본 교량에 적용된 사재 케이블 및 정착구의 특징과 상부 구조물 가설 중 일반 PSC Box 거더교와의 차이점을 중심으로 시공기술을 소개하고자 한다.

2. 엑스트라도즈드 케이블이 적용된 녹산대교 개요

녹산대교는 부산 신항 진입도로의 국도 2 호선을 횡단하는 구간으로 왕복 4 차선의 2 경간 연속 콘크리트 엑스트라도즈드 교량으로 계획되었다. 상부구조는 4 실 주형으로 주탑과 교각은 강결구조로 연결되었다. 발주처는 해양수산부이며 시공사는 대우건설이 주관사이고 설계사는 DM엔지니어링이다. 녹산대교의 일반적인 교량제원 및 사용재료는 아래 표 1, 2와 같다.

* 정회원, 브이에스엘코리아 대리

** 정회원, 브이에스엘코리아 차장

*** 정회원, (주)대우건설 토목 기술 1팀 차장

**** 정회원, (주)대우건설 현장 소장

그림 1에서 보듯이 녹산대교는 중앙 1 주탑 형식으로서 사재 케이블에 콘크리트 피복이 없는 사장교 케이블 방식의 엑스트라도즈드 교량이다. 주탑에서의 케이블 정착은 새들(saddle) 정착의 형태를 취하였다.

표 1. 녹산대요의 교량 제원

교량 등급	1등급교
교량 형식	엑스트라도즈드 연속교
가설 공법	현장타설 FCM 교량
경간 구성	70.0 + 70.0 = 140.0 m
교량 폭원	22.35 m (왕복4차선)
기초 형식	직접 기초
평면 선형	곡선교 (R=2017.305 m)

표 2. 녹산대요의 사용 재료

콘크리트	상부 및 주탑 : $f_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$ 기초 및 교각 : $f_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$
케이블 (동시압출성형)	15.2 mm (SWPC7B) 19가닥 도입장력 : 240 tonf (0.479 f_{pu})
텐던 (일반스트랜드)	15.2 mm (SWPC7B) 12가닥 $\mu = 0.25 / \text{rad}$, $k = 0.005 / \text{m}$
철근	SD-40

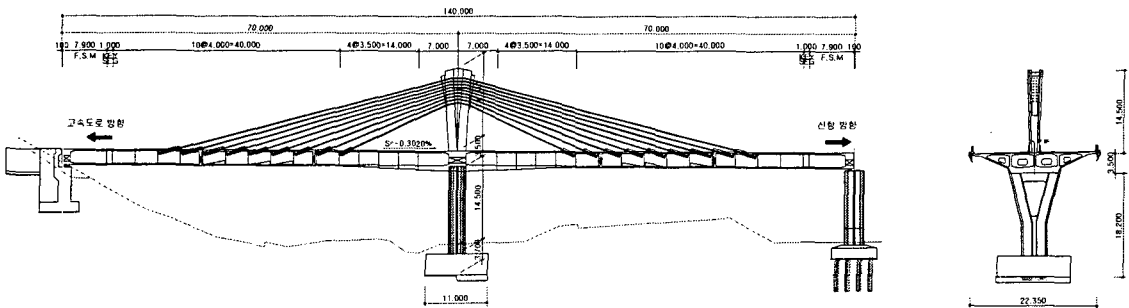


그림 1. 부산신항 진입도로 녹산대교의 종단면도

3. 엑스트라도즈드 케이블과 정착구

3.1 엑스트라도즈드 케이블

일반적으로 엑스트라도즈드 케이블의 경우에는 사장교와 같이 엄격한 기준이 적용되지는 않는다. 기본적으로 외부 텐던(external tendon)에 기본적인 배경을 가지고 있기 때문에 일반 강연선이나 사장교용 강연선 두가지 모두 적용될 수 있다.

녹산대교에는 그림 2 에서 보듯이 PE(polyethylene) 피복이 동시 압출성형된 강연선(co-extruded strand)을 사용하여 케이블의 내부식성이나 내후성 등을 향상시켰다. 주탑 새들부나 데크 정착부 부분에서는 PE 피복을 제거하여 내부 그라우팅과의 정착성을 증가시켰다. 피복 내부 강연선은 아연도금 강연선을 적용하였다.



그림 2. 녹산대교에 적용된 강연선

엑스트라도즈드 케이블의 그라우팅은 상부거더의 시공이 완료된 이후에 시공하였다. PE 피복이 동시 압출성형된 케이블을 사용하므로써 그라우팅의 역할과 의미가 감소하였지만 설계수명 동안 예기치 못한 환경이나 하중 등에 대비하기 위하여 케이블 전구간에 대해서 그라우팅을 시공하였다.

3.2 정착구

정착구도 일반 외부 텐던용 정착구와 사장교용 정착구가 모두 사용될 수 있다. 그러나 정착구의 경우에는 사장교용 정착구를 사용할 경우 비효율적인 시공되기 때문에 일반 외부 텐던용 정착구를 보완하여 적용하였다. 녹산대교에 적용된 정착구는 그림 3 과 같으며 사재 케이블의 인장은 4 개소에서 멀티잭을 이용하여 동시에 수행하였다. 정착구는 이중관 형태를 취하므로써 시공 중이나 사용 중에 불의의 사고로 케이블이 손상되었을 경우 교체가 가능하도록 설계되었다.

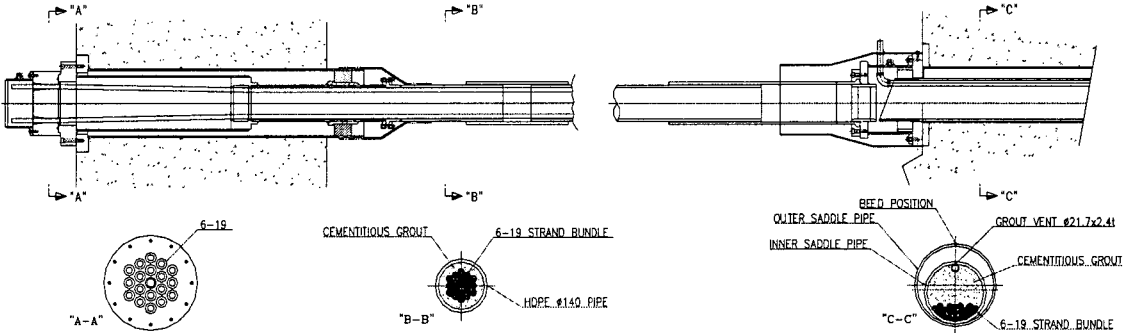


그림 3. 녹산대교에 적용된 정착구

4. 현장타설방식에 의한 세그먼트 시공

4.1 세그먼트의 시공

엑스트라도즈드 교량은 일반 PSC Box 거더교와 가장 큰 차이점이 케이블 공정이 추가되는 것이다. 한 세그먼트를 시공하는 한 사이클(1 cycle)동안 케이블 가설 및 인장 작업이 이루어지기 때문에 일반 세그먼트 공정에서는 12 일, 케이블 작업이 포함된 공정에서는 14 일을 한 사이클로 정하였다.

케이블작업이 포함된 공정은 그 작업의 공간이나 효율성을 위하여 “N+2 공정”을 취하였다. 이는 케이블 작업시 작업차 등의 기타 다른 작업의 방해받지 않기 위해서 케이블이 시공될 때 2 세그먼트를 더 시공하고 케이블 작업을 수행하였다.

일반 거더교에 비해서 교폭이 크기 때문에 엑스트라도즈드 교량은 중간 격벽을 생기는 것이 일반적이다. 녹산대교의 경우 70 m 의 지간에 2 개소의 중간격벽이 있으며 시공 중 구조물에 큰 영향을 주지 않기 때문에 시공 완료 후 타설로 시공하였다.

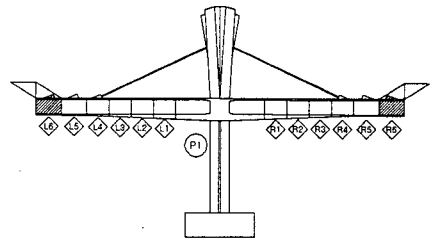


그림 4. “N+2” 시공

4.2 작업차(Form Traveller)

일반 PSC BOX 거더교량에 비해 넓은 폭원이 적용됨에 따라서 용량이 큰 작업차가 필요하게 된다. 이에 따라서 한 대의 작업차가 부정정 구조물이 되고 작업차의 탄성처짐과 강봉의 신장량 산정이 난해하게 된다. 녹산대교의 경우 넓은 폭원에 따라서 4 개의 다이아몬드형 메인프레임을 사용하는데 작업차의 탄성처짐이나 강봉의 신장량이 각 위치에서 상이하게 발생할 수 있고 이에 따라 횡방향에서 처짐의 차이가

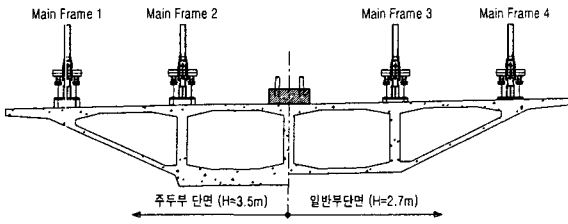


그림 5. 녹산대교에 적용된 강연선

19%를 분담한다. 이처럼 작업차의 메인프레임이 늘어남에 따라 세그먼트 자중분담의 비균등성이 구조물 캠버관리에 영향을 줄 수 있다.

4.3 상부거더의 캠버(camber) 관리

녹산대교의 캠버관리는 일반 PSC Box 거더교의 캠버관리와 크게 차이가 나지는 않는다. 사장교와 달리 사재 케이블의 장력에 의하여 거더의 변위가 크게 발생하지 않기 때문에 일반적인 PSC Box 거더교와 동일한 캠버관리가 이루어졌다. 그러나 표 2에서와 같이 사재 케이블 인장 전·후의 레벨을 체크하여 각 단계에서 케이블에 의한 변위를 관리하였다.

표 2. 한 공정(1 cycle) 내의 측량

1번째 측량	작업차 이동후 거꾸집 세팅시
2번째 측량	콘크리트 타설 전 (철근조립 완료 후)
3번째 측량	콘크리트 타설 후 (타설 다음날)
4번째 측량	내부텐던 인장 전 (타설 후 4일 경과)
5번째 측량	내부텐던 인장 후
6번째 측량	사재 케이블 인장 전 (텐던과 동시작업)
7번째 측량	사재 케이블 인장 후
8번째 측량	작업차 이동후 거꾸집 세팅시

추가캠버량으로 캔틸레버 완공시 처짐, KEY SEG 연결시 처짐, 완공 후 크리프와 건조수축에 의한 처짐의 합에 50%를 적용하였다. 최종 KEY SEG 완공시에는 작업차를 이용하여 측경간 쪽과 캔틸레버 쪽의 레벨을 조정하였으며 특히 KEY SEG의 간격이 1.0 m 로서 종방향 텐던의 긴장

5. 결론

부산 신항 진입도로 건설공사 중 녹산대교는 비교적 낮은 교각과 일면주탑으로 설계되어 처음으로 엑스트라도즈드 교량을 시공하는데 비교적 용이한 점이 있었다. 사재 케이블은 PE피복이 동시 압출성형된 아연도금 강연선을 사용하였고, 정착구는 일반 외부텐던용 정착구를 보완하여 교체가 가능한 이중관 구조로 설계되었다. 사재 케이블 인장은 멀티잭을 이용하였으며 그라우팅은 시공완료 후 전구간에 실시하였다. 현재 국내에서는 많은 설계나 터키에서 엑스트라도즈드 교량이 적용되고 있지만 엑스트라도즈드 케이블이나 정착구, 그라우팅 시공에 있어서 아직까지 정리된 기준이나 시방 및 전례가 없는 실정이다. 엑스트라도즈드 케이블 및 정착구, 인장방법, 제진장치(댐퍼), 그라우팅에 대해서 사장교와 대별되는 합리적인 설계와 시공이 가능하도록 기준이나 이론이 정립되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Mathivat, J. "Recent developments in prestressed concrete bridges", FIP Notes, 1988/2
2. Ogawa A., Kasuga A. "Extradosed bridges in Japan", FIP Notes, 1998/2
3. 김창수 "F.C.M 상하부 강결 FRAME 형식의 시공(안양동교)", 한국콘크리트학회, 제8권, 2호, 1996