

국내 최장(最長), 최고(最高) ED(Extradosed)교 안전관리 분석

88올림픽고속도로 야로대교의 시공 중 안전관리 사례

SK건설 고속국도 제12호선 담양-성산 간 확장공사 12공구 박진규 부장



야로대교 조감도

야로대교는 국내 최장(경간장 190m), 최고(기초상단에서 포장면까지 121.7m)의 ED(Extradosed)교로, 88올림픽고속도로(담양-성산) 확장공사 중 유일한 특수형식의 교량이다.

88올림픽고속도로는 1984년 준공 이후 영호남 지역을 직접 연결하여 도서 간의 화합과 두 지역의 산업 교류에 큰 기여를 하였다. 시공 당시 국내 최초의 콘크리트 포장, Slipform 공법 적용(성기대교) 등 첨단 시공기법이 적용되었으나, 현재는 불량한 평면-종단 선형으로 인하여 중대 교통사고율이 높은 왕복2차선 고속도로로 지목되고 있다.

이를 해결하기 위하여 88올림픽고속도로 확장공사가 2009년 착공에 들어갔다. 공사는 선형개량과 확장을 통해 설계속도와 안전

성을 높이는 데 목적이 있다. 시공 당시 첨단 시공기법이 적용됐던 것처럼, 현재 확장공사에도 야로대교(ED교, FCM), 백전교(PSC BOX, ILM), 번암교(PSC BOX, FCM)에 첨단 설계 및 시공기법이 적용되고 있다. 그 중 국내 최장(最長), 최고(最高)의 ED교인 야로대교(12공구, 경남 합천군 소재)는 최초의 Slipform 공법을 적용하였던 성기대교(경남 합천군 소재)와 같이 전 교각에 Slipform 공법이 적용됐다. 공기단축과 품질 및 안전성을 높이고 국내 최장의 ED교를 시공하여 88올림픽고속도로의 Landmark가 될 것으로 기대된다. 본 기사에서는 국내 최고의 높이를 가진, 그리고 국내 최장 FCM공법으로 시공되는 교량인 야로대교의 시공 중 적용된 안전관리 및 개선사례를 집중 분석해본다.

1. 야로대교 교량 개요

- 가. 교량형식 : 1면 2주탑 Extradosed교
- 나. 교량연장 : $L=105+180+190+180+105 = 760m$
- 다. 교량폭원 : $B=27.04m$ (왕복4차로)
- 라. 설계하중 : DB-24, DL-24(1등급)
- 마. 상부형식 : 3 Cell PSC BOX거더
- 바. 케이블 : SWPC 15.2mm
- 사. 가설공법

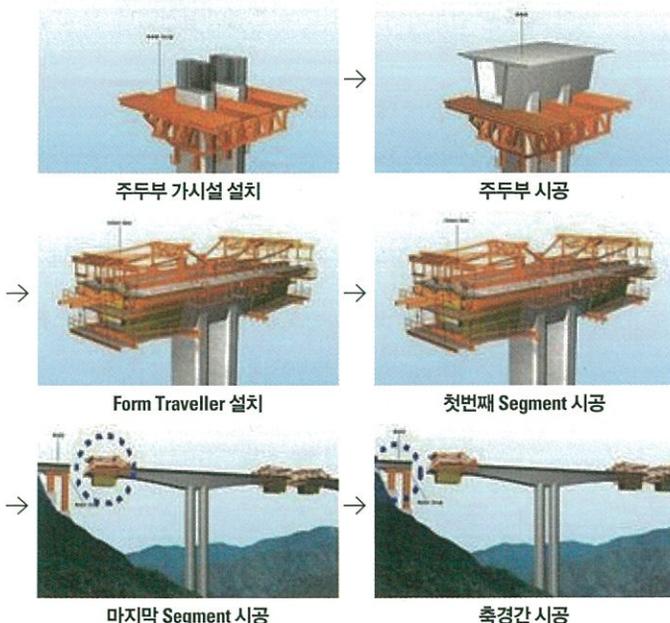
- (1) 교 각 - Slipform 공법(직선 사각중공)
- (2) 코핑부 - 강재거푸집 공법(Y형부)
- (3) 주두부 - Bracket Bent + 동바리 공법
- (4) 상 부 - FCM + FSM

아. 상부형고 : 일반구간 - 10.0~3.5m, ED구간 - 7.0~3.5m

자. 경관설계

야로대교는 88올림픽고속도로의 상징적인 교량으로 설계부터 주변 환경과 어울리면서도 랜드마크가 될 수 있도록 경관설계를 실시하였다. 특히 해인사 처마 “연화무늬”를 교각 및 주탑에 적용하였고, 단순할 수 있는 케이블에도 까치의 이미지를 적용하여 아름다운 교량이 될 수 있도록 노력하였다.

2. FCM공법 시공절차



Key Segment 시공

본 기사에서는 설계에 적용된 일반적인 안전계획을 배제하고 고소교량 시공에 적용된 안전관리 및 개선사례를 소개하여 실무에 도움이 되고자 한다. 따라서 안전에 대한 소개 전에 FCM 공법에 대한 시공절차를 먼저 언급하고자 한다.

가. Form Traveller 설치 및 해체

F/T는 주두부 시공 완료 후 Segment 시공을 위한 이동식 거푸집으로써, 좌우 평형을 유지하기 위하여 좌우 동시에 Segment를 제작하며 교량 하부의 이용이 불가능하거나(도로 및 하천 등의 지장물) 상부구조의 높이가 높아서 동바리 공법의 적용이 어려운 경우 적용한다.



레일 설치

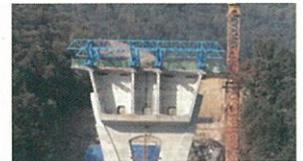


메인프레임 설치

주두부 가시설 해체와 동시에 F/T가 이동하는 통로인 레일을 설치하고 레일 고정과 메인프레임 설치를 위한 각종 액세서리를 설치한다. 자재는 전부 공장에서 선제작 운반되며, 공정 진행 중 하부에서 지조립을 수행한다.



레일, 메인프레임 설치전경



횡방향 트러스 설치

메인프레임 설치 후 횡방향 트러스 및 강재 빔을 설치하여 일체 구조를 만든다. 트러스 설치 시 메인프레임에 근로자가 위치해야 하므로 고소작업에 대한 안전관리가 필요하다.



캔틸레버부 거푸집 설치



벽체거푸집 설치

프레임 설치가 완료되면 거푸집을 설치하는데, 외측 캔틸

레버부와 상부슬래브 하면 거푸집을 설치하여 벽체거푸집을 설치할 수 있도록 한다. 벽체거푸집 설치 시 위 그림과 같이 F/T 구조상 타워크레인의 와이어가 횡방향 빔에 간섭되므로 T/C와 체인블록을 이용한 들어치기를 시행한다. 이 때 그림과 같이 추락 및 낙하물에 따른 피해가 예상되므로 특별한 안전관리가 요구된다.



벽체거푸집 설치 전경



하부품 설치

벽체거푸집 설치 후 최종적으로 F/T 하부품을 인양하는데, 하부품은 그 중량으로 인해 미리 인양할 위치에서 선조립하며, 인양 전 하부 낙하물 안전망 및 안전시설물을 선설치한다.



하부품 지조립



하부품 안전망 설치

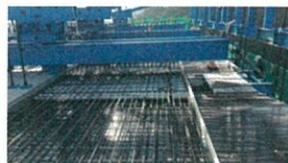
하부품은 HeavyLifting Jack을 이용하게 되는데, 이 때 좌우 불균형이 발생하지 않도록 무선을 통한 지속적인 관리가 필요하다.

나. Segment 시공

아로대교는 일반구간의 경우 17Segment, ED구간은 19Segment로 구성되며, 각 Segment는 3.5~5.0m이며 1개 Segment의 타설량은 좌우측 각각 150~130m³ 정도이다.



F/T 세팅



철근조립



콘크리트 타설



양생



강연선 인장



F/T 런칭

Segment 시공은 위 그림과 같이 F/T 세팅(좌표 및 레벨) 후 철근조립, 콘크리트 타설 및 양생, 강연선 인장, F/T 런칭 및 세팅의 반복적인 작업으로 이루어진다. F/T 런칭 시 벽체 개구부에 대한 추락 및 낙하물의 위험이 존재하여, 당 현장에서 서 그림과 같이 안전로프와 이동식 안전망을 설치하였다.

3. 아로대교 시공 중 중점안전관리

아로대교 기초에서 상부까지 시공과정 중 많이 경험을 할 수 있는 기초(직접기초+강재거푸집)와 교각(Slipform) 및 강재거푸집은 많은 현장에서 경험할 수 있으므로 생략하기로 하고, 이번 기사에서는 100m 이상의 고소작업을 해야만 하는 FCM 공정에 대하여 당 현장에서 수행한 안전관리 요소를 소개하고자 한다. 당 현장에서는 아로대교 시공 중 중점관리 공정을 다음과 같이 정하였다.

가. 주두부 가시설 설치 및 해체

나. Form Traveller 설치 및 해체

다. 케이블 설치

위의 중점관리 공정에서는 한국도로공사와 SK건설, VSL코리아 및 외부전문가가 같이 모여 특별안전점검을 실시하였다. 특별안전점검은 단순히 점검에서 그치는 것이 아니라 공정 실행 전 시공계획서를 바탕으로 사전검토를 수행하고, 공정 실행중 현장에서 다시 점검을 수행하고, 그 점검결과를 상호간에 의견을 교환하여 개선하는 과정을 수행하였다

주두부 가시설 해체 시 작업위치 변경을 통한 안전 개선 사례

주작업위치 : 하부슬래브 상면



특징	· 주두부 가시설 해체를 위한 Heavy Lifting Jack 및 작업자의 주 작업 위치가 하부슬래브 상면에 위치함 · 해체용 Hole을 하부슬래브에서만 계획 설치
장점	· 하부슬래브 상단에 Jack과 주두부 브라켓 인양고리 위치 일치로 강연선에 인양력이 확실히 전달 · 해체를 위한 강연선 사용 적정
단점	· Jack 및 작업자의 위치가 하부슬래브에 있으므로 이동동선 확보가 어렵고, 작업공간이 협소(맨케이지 이용) · Jack은 하부에 강연선 다발은 상부에 있으므로, 상하부 작업연계가 중요 · 비상사태 발생 시 하부슬래브 작업자 이동의 어려움으로 인해 대처 지연 예상

주작업 위치 : 상부슬래브 상면



특징	· 주두부 가시설 해체를 위한 Heavy Lifting Jack 및 작업자의 주 작업 위치가 상부슬래브 상면에 위치함 · 해체용 Hole을 상부/하부슬래브에서 동시 고려하여 계획 설치
장점	· Jack 및 작업자의 위치가 상부슬래브에 있으므로 이동동선이 확실히 확보되며, 상부슬래브 전면(27mx14m)을 작업공간으로 활용 · Jack 압력조절 및 강연선 다발 풀림 작업을 모두 한 공간에서 하므로 작업의 연계성이 높음 · 이동동선 확보에 따른 비상사태 발생시 즉각적 대처 가능(근로자 부상 등) · 자재 및 장비 설치 및 이동이 용이
단점	· 상하부 슬래브 Hole 위치 차이에 따른 인양용 강연선 마찰 증가 · 해체를 위한 강연선 과다 사용 (주두부 높이 10m)

주두부 가시설 해체 시 작업장비 변경을 통한 안전 개선 사례

Heavy Lifting Jack을 이용한 인양



특징	· Heavy Lifting Jack을 이용하여 주두부 가시설을 인양
장점	· 동일 장비를 이용하여 일률적인 작업 시행 B

단점	· 과다한 시간 소요, 40m 인양 시 약 4시간 소요 · P2의 경우 가시설 1개 인양에 한나절 소요예상(8시간 이상) · A등급의 위험작업을 장시간 지속해야 함 · 좌우 수평을 유지하기 위한 지속적인 노력 필요
----	--

Tower Crane을 이용한 인양



특징	· 인양 초기 Heavy Lifting Jack을 이용하여 가시설을 일정높이까지 하향 후 Tower Crane으로 최종 인양
장점	· 신속한 해체 가능, 40m 인양 시 약 1시간 소요 · P2의 경우 가시설 1개 인양에 1시간 소요(전체 해체 3일 이내 가능) · 위험작업이 신속하게 종료 됨(안전을 확보한 상태의 작업임) · Tower Crane으로 인양하므로 좌우 수평에 대한 주의가 필요 없음
단점	· Heavy Lifting Jack에서 Tower Crane으로 인양장비가 이동이 되므로, 정격하중 확인 관리 철저

4. 야로대교 안전관리 개선사례

야로대교는 100m 이상의 고소작업이므로 작은 부주의도 용납되지 않는다. 추락사고는 즉시 중대재해로 연결되며, 작은 낙하물조차 아주 위험한 결과를 초래할 수 있다. 따라서 당 현장에서 이러한 사고를 예방하기 위하여 교육, 제도, 시설 등에서 근로자와 관리자가 합심하여 다양한 개선사례를 도출했다.

가. 사고예방 중점교육



신호수 특별교육

풍속이 10m/s초과 시 10분 동안 작업대기하고 중지 기간 내 10을 초과하지 않으면 작업 재개한다. 단, 대기시간 내 또다시 10을 초과하면 그 시점부터 다시 10분을 카운터한다.

나. 시스템 정착



풍속계



당초: 벽체거푸집



개선: 탈착식 작업대 설치



인양도구 요일별 점검확인용 깃발



추락방지용 와이어 안전난간



슬라브 상부 낙하물 방지망

다. 안전시설물 개선



추락방지용 출입문 개폐장치



전체식 낙하물 방지망



간이발판을 이용한 벽체철근 조립



철근조립용 간이발판



인장책 인양용 트롤리 설치



타설편의를 위한 미니 붐카



안전로프와 이동식 안전망



상부철근 우선배근

5. 결론

본 기사는 우수한 안전관리 개선사례가 고소작업을 하는 여러 현장에서 도움이 되었으면 하는 바람으로, 실제 현장에서 적용할 수 있는 내용들을 기술하였다. 더불어, 88올림픽고속도로의 상징적인 Landmark적 교량인 야로대교에 어울리는 안전관리를 통해 앞으로 남은 공정에서도 지속적, 선제적 안전관리를 실시하여 무재해 준공을 이룰 수 있게 되길 바란다. ☺

‘범위 외에 보강된’이라는 뜻의 ‘EXTRADOSED’는 1988년 프랑스의 Jacques Mathivat에 의해 개념이 처음 도입됐으며, 외적 프리스트레싱(External prestressing)을 이용한 교량형식을 말한다. EXTRADOSED PSC교는 원활한 구조적 연속성을 가지며, 거더교와 사장교의 장점을 결합한 복합적 특성을 갖는 새로운 형식의 교량이라고 할 수 있다. 통상 PSC박스교는 PS강재 편심량이 거더 이내로 제한되어 있어 장지 간 채택 시 형고의 증가로 인해 중량화 되는 등 지간 적용에 여러 제한이 뒤따른다. 하지만 PS강재를 거더의 유효 높이 이상으로 편심 시킨 EXTRADOSED PSC교는 거더교에 비해 자중 및 PS강재 소요량이 적어 경제적이며, 사장교에 비해 사재의 응력 변동이 적고 주탑 높이를 현저하게 낮출 수 있다. EXTRADOSED PSC교는 사재를 콘크리트로 피복한 형식(사판교)과 피복하지 않은 형식(사장의케이블교)이 사용된다.