130㎞가 교량 구간 - 어떤 공법이 적용되었나

- 설계 및 시공에 최신 기술 도입, 공기 단축과 비용 절감에 기여 -

이미 기존에 건설되어 운영 중인 다른 해외 고속철도 노선들과 비교할 때 한국의 경부고속철도 노선은 많은 부분을 교량과 터널이 차지하고 있다. 이는 주로 지형적인 이유 때문이다. 그래서 선로 구간 중 약 130㎞를 교량 구간으로 건설하게 되었다. 특히, 몇몇 교량들의 경우 노선의 설계 및 시공에 최신 기술을 적용하였고, 기술 수준의 변화에 커다란 영향을 미쳤다는 점에 주목할 필요가 있다. 여기서는 고속철도 사업에 사용된 각각 다른 형식의 교량 및 시공 방법에 대하여 간단히 설명하고자 한다.

표준 경간(Typical Spans)

고속철도 사업의 표준 교량은 1개의 폐단면을 갖는 PSC 박스로 2@25 m, 3@25 m, 1@40 m, 그리고 2@40 m 표준 지간들로 구성되었다. 또한, 2@37 m+ 10 @40 m, 8@ 40 m, 그리고 7@40 m 등 표준 지간들과 동일한 지간 길이를 갖는 특수 구조물들이 운영을 위해 고려된 궤도 switch와 turnout의 설치를 위하여 천안과 오송역 구간에 사용되었다. 특히, 동일한 경간 길이를 위해 독창적인 설계가 이 구간에 대하여 적용되었다.

구조물의 시공은 처음에는 MSS 및 FSM과 같은 주로 일반적인 시공 방법으로 시공되었다. 철근 및 긴장재가 거푸집 내부에 직접 위치되었고, 단면은 일반적으로 하부 슬래브와 복부, 그리고 상부 슬래브로 구성하여 2단계로 시공하였다. 이러한 전통적인 시공 방법은 충분히 증명된 간단한 방법이라는 장점이 있지만 상대적으로 시공이 느린 단점이 있다. 따라서, 1995년도에 고속철도건설공단은 시스트라사에게 표준 구조물에 대한 최적화된 설계 및 시공 방법을 요청하였었다.

시스트라사는 개선 방법으로 구조물 설계의 표준화 및 단순화로 콘크리트 표면의 블리스터와 부벽, 긴장재 배치 및 철근 배치 등과 같은 복잡한 부분의 생략 및 감소를 이루어냈다. 또한, 단위 콘크리트에 대해서는 약 150 kg/m^{3}인 철근 비의 재료 수량 부분 최적화를, 그리고 시공 부분에 있어서의 단순화를 이루었다. 이러한 단순화는 좋은 품질의 확보와 공사 기간 및 비용을 충분히 단축시킬 수 있었다. 단순화를 위해서는 '실시 설계 및 시공 상세도 'ㄹ 매우 혁신적인 CAD 방법으로 수행하였다. 이 CAD 방법에 의해 설계 단계에 철근과 철근 또는 철근과 긴장재 간에 발생할 문제를 조사, 해결할 수 있는 충분한 축척의 컬러 도면, 도면에서의 콘크리트 타설 및 vibration hole에 대한 조사 및 설명이 가능하였다. 또한, 간단한 철근의 구부림과 배치를 할 수 있는 정확한 치수로 그려진 표준 철근과 조립 결과를 이미 설계 단계에서부터 조사할 수 있었다. 아래 사진은 간략화된 철근 및 콘크리트 형상에 대한 예를 보여주고 있다.

이 뿐만 아니라 표준화된 Precast Reinforcement Cage의 사용 가능성을 설계에 반영하였다. 일부 시공업체들은 전체 공사 기간을 단축시키기 위하여 이 방법을 사용하였다. 일부의 경우에는 전체 구조물에 대하여 Precast Reinforcement를 사용하였으며, 다른 경우에서는 다이아프램과 같은 구조물 내의 가장 복잡한 부분에만 Precast Reinforcement를 사용하였다.

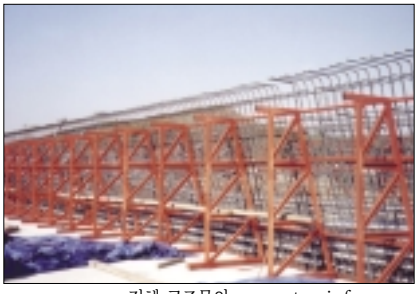
시스트라사는 고속철도건설공단의 적극적인 지원 및 현대건설, 대우건설, 동부건설 등 한국의 주요 시공업체들과의 협력으로 시공 품질 및 속도 향상을 위한 PSM(Precast Span Method)을 개발하였다. 이 방법은 길이 25 m, 무게 600 t인 지간(폭 14 m, 높이 2.4 m 또는 2.7 m)을 공장 제작하여 미리 시공된 구조물까지 트레일러로 운반하여 설치한다. 공사 물량을 줄이고, 도상 아래의 구조적


FSM 시공.


MSS 방식.


거푸집에서 철근 배치의 최적화.


콘크리트 타설 및 vibration hole을 위한 최적화된 다이아프램의 철근 배열.




전체 구조물의 precast reinforcement 사용(배방교, 현대산업개발 4-2 공구).


다이아프램을 위한 precast reinforcement(풍새교, 현대산업개발 4-2 공구).

신축 이음 수를 줄이며, 동적 거동을 개선하기 위해 지간들을 2×25 m와 3×25 m로 연속화한다. 조립은 종 방향 포스트텐션 긴장재로 하며 교각의 상부는 현장 타설로 한다.

한국에서 최초로 사용된 이 시공 방법은 매우 우수한 시공 품질의 확보가 가능하고, 1개의 지간을 하루에 건설할 수 있어 공기를 획기적으로 단축시킬 수 있는 공법이다. 이 PSM 방법은 2-2공구 및 3공구에서 최초로 사용되었으며, 8-2공구에서도 사용되었다.

특수 경간(Special Spans)

경부고속철도 사업을 수행함에 있어서 고속도로, 도로, 기존 철도 등과 같은 많은 장애물로 인하여 많은 장지간 교량들이 건설되었다. 대체로 지간들은 FSM 방법과


PSM 공법(현대건설 2-2 공구).


PSM 공법(대우건설 8-2 공구).

갑천천의 balanced cantilever bridge(한진건설

Balanced cantilever method를 사용하여 우선 건설되었다. 시험 구간의 최장 지간은 고속도로 횡단을 목적으로 갑천천에 설치되었다. 지간은 동일한 높이의 단순화된 단면으로 55/90/55 m이다. 또한, 그 밖의 다른 경우들에 대해서는 이미 기존에 검증된 설계 방법을 기반으로 특수 교량들을 개발하여 국내에서 최초로 사용하였다.

복합 보(I-beam) 구조 (Composite I-beam Structures)

1996년에 고속철도건설공단의 요청에 의해 SNCF(프랑스 국철)의 풍부한 경험을 기반으로 시스트라사는 기존 PSC 구조물을 대신하여 사용할 수 있는 지간 길이 40 m 및 25 m 표준 Twin I beam 구조물을 설계하였다. 고속철도 건설의 세부 요구 사항, 시공성, 품질, 환경 부분, 유지 관리 및 안전성 등과 같은 주요 관심사도 함께 검토되었다.

1998년과 1999년에 시스트라사는 한국의 주요 시공사들에게 Composite Twin I beam 구조물을 국도, 고속도로 및 다른 철도를 가로지르는 중·장 경간 교량에 대한 대안으로 제안하였다. 또한, PC full

고속철도용 표준합성상판(대우건설 8-2 공구)

staging construction method나 복합 라멘 교각 형식 또는 경제적인 부담이 많이 드는 합성법 등을 이용하여 시공하려 했던, 기존의 경부선을 가로지르는 고가교에도 Com posite Twin I beam 구조를 제안하였다.

한국에서는 시스트라사가 최초로 1@50 m, 2@50 m, 1@35 m 및 40-50-40 m인 연속교 건설에 있어 혁신적인 Composite Twin I beam을 도입하였다. 8-2공구에 있는 1@50 m, 2@50 m, 1@ 35 m 지간의 강구조물은 약 15 m 길이의 구조물들을 크레인으로 올려서 조립하였다. 대림건설에 의해 수행된 9-3공구의 40-50-40 m 연속교도 이와 유사한 방식을 사용하여 주요 연결 부위를 최종 위치의 측면에서 현장 용접하여 조립하였다. 교량 설치는 이 작업 후에 교량을 압출하여 최종 위치에서 잭으로 내려 설치하였다.

또한, 한국의 철도 분야 공사에서 주로 사용되는 볼트에 의한 연결 대신 프랑스에서 널리 이용되는 방식인 강교의 주요 부재를 현장에서 바로 용접하는 방식을 한국에서 최초로 채택하였다. 한국의 시공 조건을 고려할 때 이 방법은 공기 단축과 건설 비용 절감 측면에서 매우 효과적인 것이었다.

아치교량과 연결된 장경간 (Long Span Tied Arch Bridge)

경부고속도로를 가로지르는 모암1교는 교축방향으로 최소 125 m의 순경간과 약 20 °사각으로 만들어졌다. 최초 설계시 90 °각도

모암 1 트러스교(대우건설 8-2 공구)

모암 2 트러스교(대우건설 8-2 공구)

(약 20 m 지간)로 고속도로를 가로지르는 4개의 PSC 라멘 교각과 표준 고속철도 25 m 지간 포스트텐션 콘크리트 박스 구조물 사용을 계획했었다. 그러나, 이 구간에 대한 시공시 고속도로에 대한 교통 방해나 어떠한 임시 가설물 재배치가 허용되지 않았으므로 이 시공 방법은 복잡하고 부적절했다.

이러한 이유로 시스트라사는 125 m 단경간 강재 아치교를 고속도로와 평행한 위치에서 제작하여 시공하는 '회전거치공법'을 제시하였다. 이 공법은 교량 설치시 고속도로상의 교통에 방해를 주지 않는 최대한 안전한 임시 가설 가구 위에 있는 최종 위치에서 구조물을 회전시키는 방식으로 하였다.

이 교량의 설계는 프랑스에서 가장 최근에 건설된 고속철도선인 프랑스 지중해 고속철도에 건설된 아치 구조물을 기본으로 한 것이다. 한국에서 최초로 건설된 이러한 형식의 철도교는 고속철도 아치교에 있어서는 건설 당시 세계에서 가장 긴 교량 구조물이었다.

스틸트러스교 (Underneath Steel Truss Bridge)

경부고속도로를 약 45 °의 사각으로 가로지르는 모암2교는 약 65 m의 통과 폭이 요구되었다.

이에 시스트라사는 라멘 교각 대신 특수 구조물을 설치할 것을 제안하였다. 제안된 65 m의 단순 지지된 강재 트러스 합성교는 여유고 조건을 만족시킬 수 있었으며, 처음 설계된 교량 형식보다 훨씬 경제적이며 빠른 시간 내에 건설될 수 있었다.

시공을 위해 ILM(Incremental Launch- ing Method)이 선택되었고, 35 m의 전방 돌출부와 안전을 위한 후방 돌출부가 사용되었다. 압출 후 구조물을 최종 위치에서 잭으로 내렸다. 이 방법은 모든 가설 공사에서 교통 흐름에 지장을 주지 않았다.

설계·시공 기술 비약적 발전

한국의 고속철도 사업은 지금까지 많은 어려움과 난관을 극복하면서 최적화된 설계 및 시공 방법으로 성공적으로 이루어지고 있다.

특히, 한국고속철도건설공단과 한국 건설업체들의 끊임없는 노력과 개발은 설계와 시공 기술력에 있어서 많은 성장과 발전을 이룰 수 있는 기회를 가져왔다.

뿐만 아니라 경부고속철도 건설 사업에서 얻은 축적된 선진 기술력은 철도 및 도로 건설 공사에 활용되고, 더 나아가 해외의 고속철도 사업에도 이용될 수 있을 것이다. CJ

J.C. Vollery
SYSTRA(Asia Pacific)
Director of Civil Works