

프리캐스트 공법에 의한 Beer Sheba Valley 철도교 가설

Replacing Historic Rail Bridge in the Beer Sheba Valley, Israel



김영진*
Young-Jin Kim



마향욱**
Hyang-Wook Ma

이 기사는 Structural Engineering International, Journal of IABSE (by Eliezer Shamir, Struct. Eng., Shamir Posner Brown Consulting Eng. Ltd, Tel Aviv, Israel) 2005년 11월호(Vol.15, No.4)에 실린 논문을 번역한 것입니다. 이스라엘에서 시공된 노후 철도교 인근에 신설 철도교를 가설하는 공사에 관한 내용입니다. 신설 철도교는 프리캐스트 부재를 이용하여 거더를 건설하고 거더 하부의 바닥판은 수축 보상 콘크리트를 이용하여 가설하였는데, 미관을 고려한 프리캐스트 부재를 이용했다는 점에서 흥미롭습니다.

1. 개 요

Beer Sheba 계곡과 25번 도로를 지나 Ramat Hovav 화학처리장에 이르는 단일 철도운송로를 연결하기 위하여 두 개의 철도교량이 이스라엘의 Beer Sheba에 설계 및 시공되었다. 계곡을 가로지르는 교량은 연장 215m에 9개의 경간이고, 도로를 가로지르는 교량은 연장 90m에 4개의 경간으로 구성되어 있다. 두 개 교량 모두 표준경간(24.9m, 20m)과 표준교각이 적용되었다.

계곡을 가로지르는 장대교량은 "역사적인 Othoman 철도교량"의 동쪽에 나란히 위치해 있다. Othoman 교량은 독특한 석조 아치교량으로서 역사적이고 미적인 가치를 보존하기 위해 공식적인 보호구조물로 지정되었다. 구 교량은 갈색톤 노랑과 폭이 좁은 석조아치 등 사막의 풍경과 조화를 이루는 특징을 가지고 있다. 이러한 구 교량을 복원하여 Beer Sheba 계곡 산책로의 일부 부분으로 이용하려는 새로운 계획이 추진되고 있다. 신 교량의 철로높이는 구교량의 바닥판보다 약 8m 더 높다. 이러한 높이차와 매우 근접한 위치 때문에 구 교량의 우아함과 미관 등 독특한 특성이 감소되지 않도록 신 교량을 설계해야 한다는 요구가 제기되었다.

이러한 요구에 부합하여 신 교량의 단면은 합성 U형 단순 거더교(single girder medium-span deck of multiple round sided U shape)로 설계되었다. 불꽃 모양의 교각 위에 바닥판이 매끄럽게 배치되어 구 교량의 상부와 신 교량의 하부 사이의 공간에 최대한의 정돈된 시야를 확보하였고 드라마틱한 신구 교량의 대조를 연출하였다(사진 1, 2). 이러한 신구 교량의 드라마틱한 대조는 구 조요소를 조화롭게 하였을 뿐만 아니라 서로 다른 스타일, 재료



사진 1. 전체 전경



사진 2. 구 교량과 나란히 위치한 신 교량의 전경

* 정희원, 대우건설기술연구원 토목연구팀 수석연구원 kimyj@mail.dwconst.co.kr

** 대우건설기술연구원 토목연구팀 진입연구원

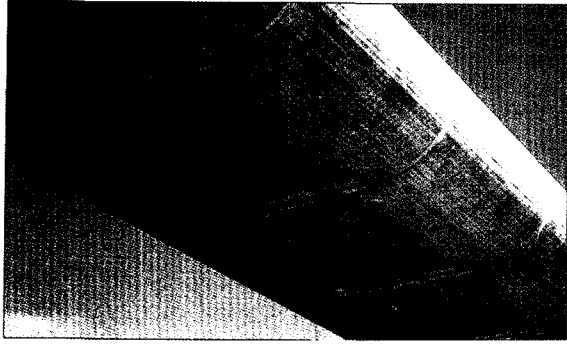


사진 3. 합성바닥판의 하부모습

와 색감을 선택하는데 초점을 맞추었기 때문이다.

시공제한으로 인해 바닥판 거더는 측면을 둥글게 처리한 두 개의 프리캐스트 L형 프리스트레스트 거더로 구성되고, 교각의 양끝에 거치된다. 거치된 두 개의 L형 거더의 중앙을 현장타설 콘크리트로 연결하고 횡방향 긴장작업을 실시하면 최종적으로 하나의 U형 바닥판이 완성된다. U형 단면의 적용으로 신구 교량사이의 수직공간에 정돈된 시야가 확보되었고 두 구조물 사이의 뚜렷한 대조가 이루어졌으며 신 교량의 날렵한 외관을 강조할 수 있었다.

연꽃잎과도 같은 불꽃형상의 교각을 적용하여 이스라엘에 일부 존재하는 다소 동양적인 본질과 조화를 이루었을 뿐만 아니라 바닥판이 두 개의 지점으로 지지되어 마치 바닥판이 교각과 분리되어 있는 것처럼 보이도록 하였다. 이같은 특징은 날렵함, 연속성과 바닥판 단면의 우아함, 간소함과 안정감 같은 강한 인상을 준다.

2. 구조개념

경간은 측면이 둥글게 처리된 조립식 L형 거더 두 개를 합성한 단순지지 합성 U형 거더로 구성된다. 조립식 L형 거더는 현장에서 제작되며 긴장 작업 후 최종위치에 거치된다. 거치된 두 개의 거더는 수축 보상 콘크리트 타설 작업과 양쪽 측면 복부 최상부에 매립되어 있는 정착구를 이용한 횡방향 긴장작업을 통하여 최종적인 합성단면을 형성한다.

〈사진 3〉에서 보는 바와 같이 횡방향 긴장작업에 의한 연결은 5m 간격으로 실시한다. 이를 통해 휨과 전단강도 뿐만 아니라 구조적인 합성상태를 확보할 수 있다. 표준단면은 〈그림 1〉과 같다.

수축 보상 콘크리트 바닥판은 교량 전체길이에 대해 바닥 슬래브의 일체적인 연속성을 위해 교각위에 연속적으로 타설된다. 이 작업은 슬래브 위치 그리고 거더 복부가 연결되지 않고, 네오프렌 베어링이 휘어지기 쉬운 상태에서 타설되기 때문에 거더

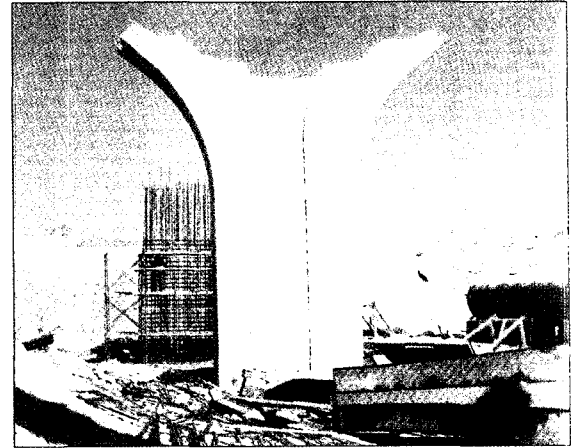


사진 4. 철제 거푸집을 사용한 표준 교각

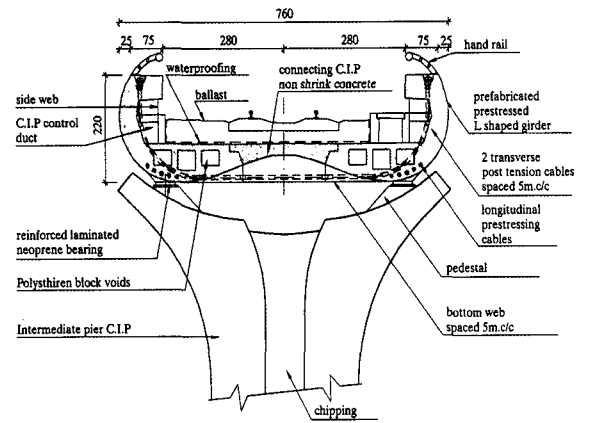


그림 1. 표준단면

자체의 종방향 연속성은 없다. 이런 형식의 바닥판은 부분적으로나마 종방향 축력이 작용될 수 있는 연속성을 가지지만, 종방향 휨 강성이나 휨 모멘트는 받지 못한다. 그래서 이 상태의 바닥판은 팽창조인트가 바닥판의 양쪽에 있고 수직력만 작용하는 단순지지보의 연속된 형태라고 생각 할 수 있다.

종방향 또는 횡방향 하중의 경우, 바닥판은 축력과 전단력을 한 경간에서 다른 경간으로 전달하는 기능을 한다. 이러한 하중에는 제동, 정지마찰 및 지진력 등이 있다. 교각과 교대 상부에 위치한 보강된 네오프렌 베어링은 바닥판을 지지하고 충격을 흡수하는 역할을 한다.

하부구조는 교각 당 6개의 수직매입말뚝으로 구성되고, 말뚝은 현장에서 콘크리트로 캡핑하여 연결된다. 〈사진 4〉에서 보는 바와 같이 교각은 다용도 철제 거푸집을 사용하여 현장에서 시공된다. 교각은 말뚝머리덮개에 완전히 고정된 것으로 간주한다.

수평지진하중은 기관차, 침목, 철로 등을 포함한 바닥판의 무게 중심에 작용하는 것으로 가정한다. 횡방향력은 충격완화장치 역할을 하는 탄성 베어링을 통해 교각으로 전달된다. 여기서 베어링은

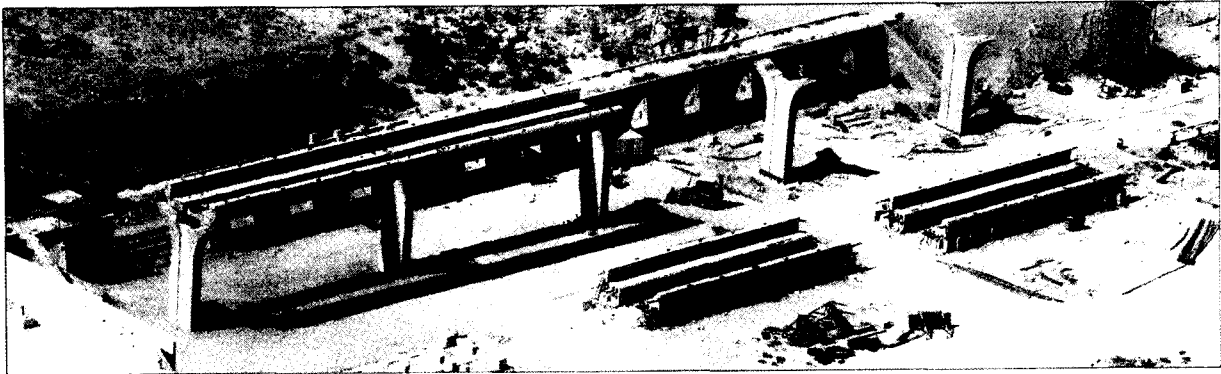


사진 5. 시공전경

지진격리장치로 간주되는데, 이는 지진하중의 크기를 감소시키는 주요한 수단의 하나로 주기를 이동시키는 역할을 한다.

3. 설계와 해석

교량설계는 영국 설계기준 BS 5400과 유사한 이스라엘 설계기준 IS 1227 part 2가 준용되었다. 고려된 하중은 다음과 같다.

- 자중(자갈, 침목과 철로 등 상부하중을 포함)
- 수직 활하중(동적효과 포함)
- 수평 활하중(제동, 정지, 수송 등)
- 흔들림 효과
- 지진하중(IS 1227 part1, IS 413과 AASHTO 설계서에 따라 재검토한 내용에 따름)
- 풍하중
- 온도효과
- 홍수에 의해 교각에 작용하는 수압

전체적인 구조물은 수평, 수직하중 작용 시 3차원 프레임 거동을 하는 것으로 가정하였고 바닥판은 보와 판 요소로 이루어진 격자구조로 가정하였으며, 탄성 지반-구조물 상호작용을 고려하여 구조해석을 실시하였다.

해석 시 축방향 선형탄성 지반반력계수를 사용하였고 바닥판과 교각사이는 부분적으로 핀 고정된 것으로 가정하였다. 수치해석에 사용된 소프트웨어는 STRAP 프로그램이다. 조립식 프리스트레스트 거더의 L자형 비대칭 단면으로 인해서 응력, 변형과 회전에 대한 해석 시 주축에 관한 휨이 고려되었다.

신 교량을 통행하게 될 열차에 의한 진동은 구 교량 부근의 토질입자속도에 영향을 미치게 되므로 swiss norm SN-640-312 기준에 따라 3mm/sec 이하로 제한되었다. 이를 검증하기 위하여 다양한 형태의 열차에 대해서 속도변화에 따른 주파수 함수로 정의되는 미국감쇠모델을 사용하여 동해석을 실시하였다.

4. 교량의 주요 구성요소

4.1 기초

교각의 기초는 대부분 직경 1m, 높이 18m이고 상단이 캡핑된 6개의 수직매입말뚝으로 구성되어 있다. 몇 개의 경우는 단단한 지반층으로 인해 직경 1.3m, 높이 13m의 말뚝을 사용했다. 토질특성과 높은 지하수위에 대해 천공부위의 안정성을 확보하기 위하여, 벤토나이트 슬러리 공법(bentonite slurry technique)을 적용하였다. 교대에는 교각과 동일한 파일을 적용하였으나 배열형태는 달리하였다.

4.2 교각

교각은 <사진 4>에서 보는 바와 같이 동일한 철제 거푸집을 반복적으로 사용하여 표준형상과 단면을 갖는 현장타설 철근콘크리트 교각으로 시공되었다. 예상되는 지진하중을 고려하여 철근배근을 강화하였다.

4.3 바닥판과 거더

U형 바닥판을 구성하는 두 개의 L형 거더는 <사진 5>에서 볼 수 있듯이 거치될 공간에 매우 근접한 부지에서 제작된다.

각 거더의 무게는 대략 150톤이다. 무게를 줄이기 위하여 거더의 하부플랜지에 폴리스틸렌 조각을 사용하여 중공부를 두었다. 이와 같은 방법에서는 콘크리트 타설시 폴리스틸렌 조각이 부상하는 것을 방지하기 위하여 특별한 계층이 필요하였다.

각각의 거더는 5×13 T15S, 270K Freyssinet 케이블을 사용하여 거더당 총 1,325톤으로 양쪽 끝에서 동시에 긴장하였다. 정착구는 <사진 6>과 같고 L형 거더의 표준형상은 <사진 7>과 같다. 마지막 단계에 사용되는 횡방향 긴장 케이블용 스틸 덕트는 거더에 매입되었다.

<사진 8>에서 보는 바와 같이, 두 개의 L형 거더가 베어링

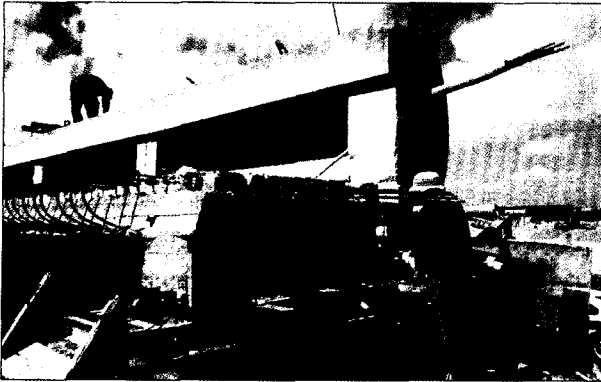


사진 6. L형 거더의 정착구

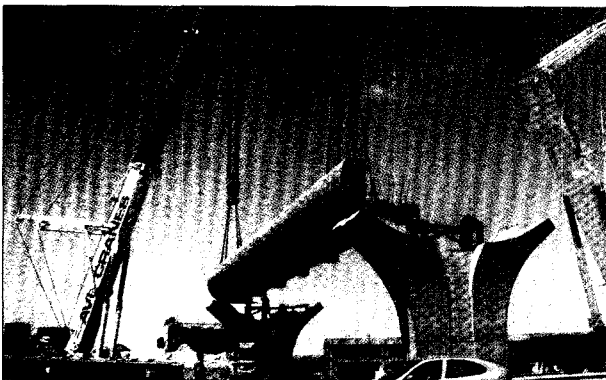


사진 7. L형 조립식 거더의 거치 모습

위에 거치된 후, 측면으로 급작스럽게 전도되는 것을 방지하기 위하여 임시적으로 거더 상부끼리 횡방향으로 연결하고, 교각과 강결한다. 이러한 임시적인 연결은 하부바닥판의 현장타설작업과 횡방향 긴장작업 같은 최종 연결작업이 완성된 후에 제거된다. <사진 4>에서 보는 바와 같이, 현장타설 콘크리트는 정밀하

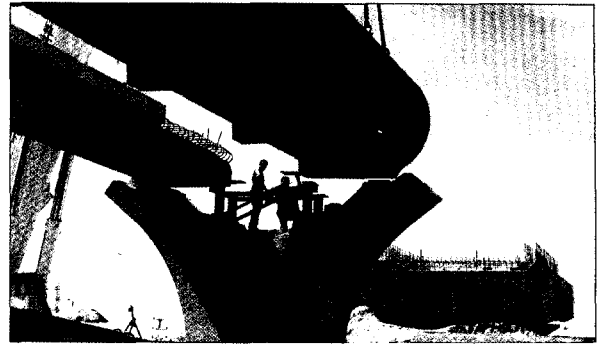


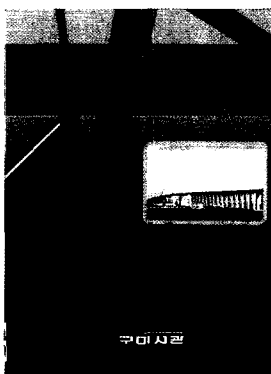
사진 8. 임시 지지점에 거치되는 두 개의 거더

게 원형으로 연결라인이 이어져서 조립식 거더의 아래면 끝과 정확하게 접선을 이뤄야 한다.

5. 결 론

두 개의 독특한 철도교량은 Beer Sheba 계곡과 25번 도로를 가로지르는 새로운 화학처리 운송로의 일부분으로서 이스라엘 기술자의 의해 설계 및 시공되었다. 구조설계는 현재 사용되지 않는 역사적인 아치철도교와 사막 풍경에 조화를 이루고 시각적인 방해물을 최소화하며, 기존 구조물의 미적인 요인에 어떤 부정적인 영향도 주지 않는 것에 목표를 두었다. 구조적인 해법을 통해서 한편으로는 모듈러 설계측면에서 반복적인 요소와 조립을 통한 시공의 편리함, 비용절감 및 공사기간의 최소화를 이룩하였고 다른 한편으로는 구조적인 강도확보와 유지측면에서 우수한 구조적, 동적 거동 뿐만 아니라 안전성도 이룩하였다. 결과적으로 구조공학에 있어 하나의 랜드마크가 되었다. □

도서소개



철근콘크리트공학

저 자 : 성장환, 이관희, 송재필, 황신우 공저
 출판사 : 구미서관
 발행일 : 2006년 2월 28일
 총쪽수 : 377면
 정 가 : 20,000원

내용 : 이 책은 2003년 개정된 콘크리트 구조설계기준에 맞춰 보다 이해 쉽게 기술하였으며 단위를 국제단위계인 SI단위체계에 맞게 집필하였다. 특히 전문대학의 특성에 맞게 가능한 쉽게 이해 할 수 있도록 많은 예제 와 문제를 삽입하여 기사시험에 대비할 수 있도록 하였다.

[목 차]

- CHAPTER 1. 서론
- CHAPTER 2. 철근콘크리트 부재의 설계법
- CHAPTER 3. 보의 휨 해석과 설계
- CHAPTER 4. 보의 진단설계
- CHAPTER 5. 사용성과 내구성

- CHAPTER 6. 철근의 정착과 이음
- CHAPTER 7. 기둥
- CHAPTER 8. 슬래브
- CHAPTER 9. 확대기초
- CHAPTER 10. 옹벽