

# 경부고속철도 트러스교 건설



황낙연<sup>1)</sup>

배선순<sup>2)</sup>, 김창환<sup>3)</sup>, 김병용<sup>4)</sup>

## 1. 머리말

김천시 및 경부고속도로를 통과하는 8-2공구는 고속 철도구간중 최고 난공사 구간중의 하나로서 (주)대우건설컨소시엄에 의해서 수행되었는데 건설초기 원가 절감과 공기완수라는 목표를 두고 전면적인 설계검토를 착수하였다. 교량구간이 전체 연장중 절반이 넘는 9.6km이므로 교량에서 대안 설계가 중점적으로 검토되었고 이에 따라 PSM(Precast Span Method) 공법이 적용되었다. (토목학회지 1999. 6.) PSM공법은 25m 경간이

므로 도로, 철도등을 통과하는 구간에는 한계가 있어 50m 경간의 강합성교량을 적용하였다. (한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2001.5) 또한 경부고속도로를

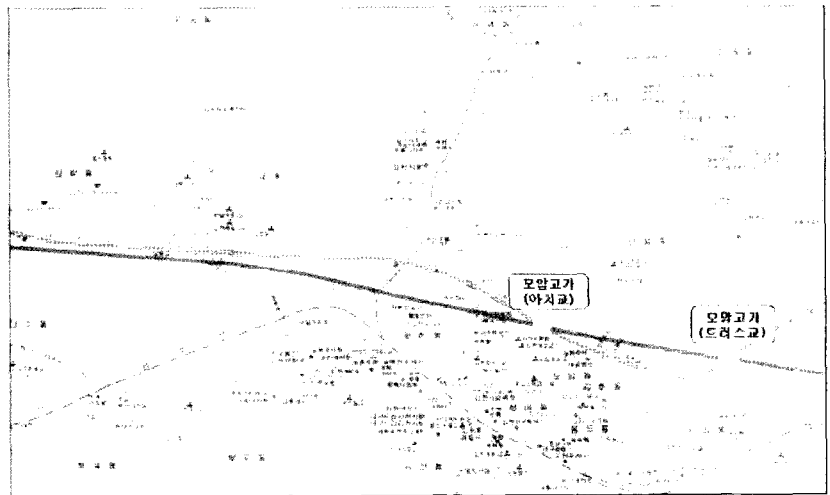


그림 1-1 현장위치도

■주■

- 1) (주)대우건설, 경부고속철도 8-2공구 현장소장
- 3) (주)대우건설, 경부고속철도 8-2공구 설계팀장

- 2) (주)대우건설, 경부고속철도 8-2공구 공사담당
- 4) (주)대우건설, 경부고속철도 8-2공구 설계담당

통과하는 2곳중 한 곳은 125m 아치교(토목학회지 2001.9)를 그리고 다른 한 곳은 본 고에 소개하고자 하는 트러스교량을 적용하였다.

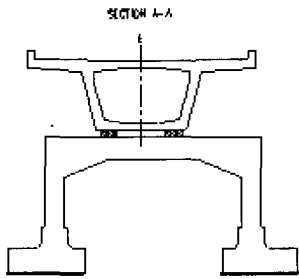
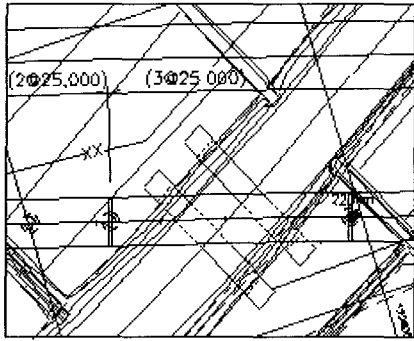


그림 2-1 경부 고속도로와 고속철도교량 교차부에 대한 당초설계

## 2. 트러스교의 적용배경

### 2.1 기존설계 검토

경부고속철도 서울기점 222.960km 지점은 모암교가 구간으로 경부고속도로와 약 42°의 경사로 교차한다. 당초설계는 하부구조가 2개의 문형라멘구조로서 구성되었고 상부구조는 25m 경간의 MSS공법의 교량으로 설계되었다.(그림 2-1 참조) 이에 대하여 다음과 같은 문제점이 대두되었다.

#### ■ 상부구조 거동의 불리함

라멘구조의 슬라브에 교량받침이 설치되므로 교축 또는 교축직각 방향간 부등변위가 우려됨

#### ■ 시공성 문제

상부구조 ; MSS교량으로서 특수 Gantry Truss가 준비되어야 함(기존 장비 활용 불가)

하부구조 : 교통통제 없이 작업 어렵고 안전사고의 우려 있음.

#### ■ 기타

교량 미학적으로 불리하고 고속도로 운전자에 위압감 제공 및 시야 불량 요소가 됨

## 3. 하부구조

하부구조는 상부구조 경간장을 최소화할 수 있는 것에 역점을 두고 계획되었다. 상부구조가 단순 지간이기 때문에 경간장이 커지면 단부의 꺾임각, 지간중양부 변위등에 큰 영향을 미치게 되는데 이것을 제한하기 위해서는 상부구조의 큰 강성이 요구되고 결국 공사비가 증가하기 때문이다. 따라서 소요 고속도로폭을 확보하기 위한 최소 경간장을 위해 교각은 고속도

표 3-1 하부구조 형상

구분	교각P51(교축방향 고정)	교각P52(교축방향 가동)
기초단면	16.5m×13.5m	16.5m×9.4m
말뚝수	609mm강관 64본	609mm강관 56본
기둥(중공식)	6.0m×4.0m (t=0.6m)	6.0m×4.0m (t=0.6m)
코핑	두께 : 단부 2.0m, : 기둥부 3.0m	두께 : 단부 2.0m, : 기둥부 3.0m

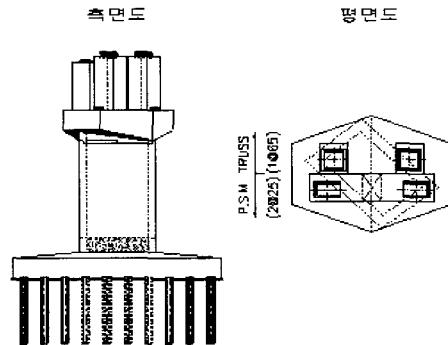


그림 3-1 하부구조 형상

로와 나란한 형태로 계획되었으며 후텁 또한 시공시에 현 고속도로를 침범하지 않도록 고속도로와 나란하게 계획되었다. 즉 기초 및 기둥은 교축방향과 42° 경사를 갖는 직사각형 형상이며 코핑구조물은 교축과 직각으로 계획되어 하부구조가 복잡한 구조형상을 갖게 된다. 교각의 부재별 크기는 표 3-1과 같다.

코핑구조에 보여지는 단차는 인접한 25m PSM 교량의 형고가 2.7m로서 트러스교량의 단부형고의 7.4m보다 작기 때문에 나타난다.

#### 4. 상부구조

##### 4.1 상판개요

본 트러스교는 TGV 고속철도 교량전문 설계사인 프랑스의 Systra에서 설계하였다. 교량형식은 Warren 트러스교량으로 상로교로 설계되었다. 당초 일반적인 철도 트러스교와 같이 하로교로도 고려하였으나 상로교에 비하여 약 15%-20%정도의 강재물량이 증가되어 상로교로 확정하였다. 강관은 SWS520으로 대부분 50mm이내의 두께이며 Charpy energy가 -20℃에서 40J이 확보된 것을 적용하였다. 상판은 슬래브 두께 40cm의 강합성이며 상판의 내부로 2%의 하향경사를 갖게 하여 교량 중심선상에 위치한 배수구를 따라 배수가 이루어지도록 하였다. 교좌장치는 단부 가로보하단에 설치되었다.(그림4-1참조), 그림에서 보듯이 단부 가로보의 높이는 1.7m이고 교좌가 이 위치에서 설치되므로 bottom chord 위치에 설치하는 것과 비교하는 바, 이는 다음과 같은 잇점을 고려하였다.

- 열차통과시 단부 회전각으로 인한 상판의 이동량을 줄이기 위함
- 지진시 수직 브레이싱과 받침지지구조물(기둥형식)간의 낙교 방지 역할

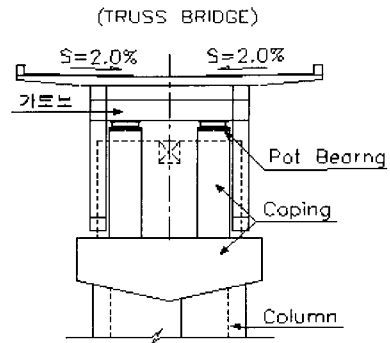


그림 4-1 트러스교량의 교좌장치 위치

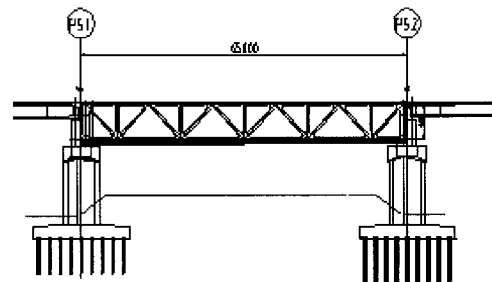
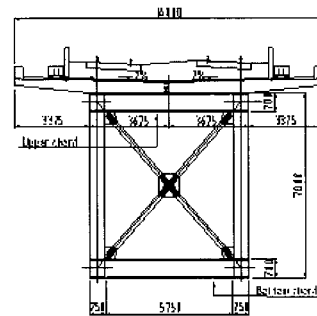


그림 4-2 트러스교량의 횡단면 및 종단면도

#### 4.2 구조상세

##### 1) 수직재의 상,하현재 단면

트러스교량의 수직재(높이:7m)의 단면은 그림4-3과 같이 상현재와 하현재로 구분되어 있고 각각의 형상은 700mm\*700mm로 같다. 상현재는 콘크리트 슬래브와의 연결을 위해 전 단연결재(φ 22, 5개씩 종방향으로 배치)가 설치하였다.

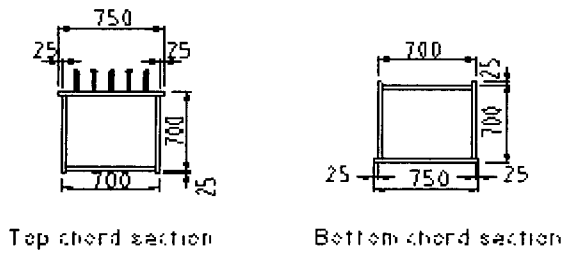


그림 4-3 수직재의 상,하현재 단면

2) Principal cross girder 와 Secondary cross girder  
 Principal 및 Secondary cross girder가 12.64m 간격으로 종방향으로 설치하였다. 주거더의 단면은 브레이싱(L175×175×15)이 좌우 수직재를 서로 연결한다.(그림4-4 참조)

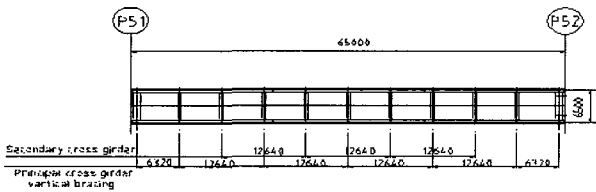


그림 4-4 트러스교량 평면도

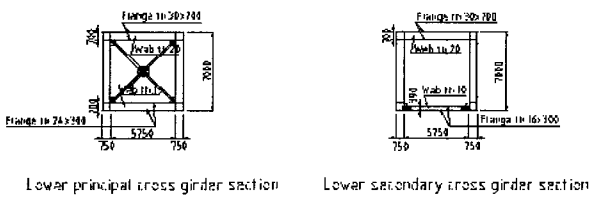


그림 4-5 Principal & Secondary cross girder

## 5. 부속구조물

### 5.1 배수

교량상판은 종방향으로 0.1%의 구배를 갖고 있으므로 상판 내부로 모아진 우수는 낮은쪽으로 흐르면서 교량 중심선을 따라 설치된 배수구를 통하여 유출된다.

### 5.2 교좌장치

교각번호 및 고정여부		연직하중(ton)	수평하중(ton)
P51	양방향 고정	2250	280
	일방향 가동	2250	225
P52	일방향 가동	2250	225
	양방향 가동	2250	0

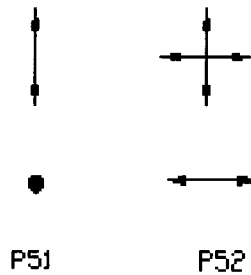


그림 5-1 트러스교량의 교좌장치현황 및 배치

## 6. 제작

철관제작은 충북진천에 소재한 대우건설 철구사업소에서 수행하였다. 본교량에 적용된 강재두께는 비교적 후판이 적용되었으므로 기존 국내 제작시방서로는 품질관리에 다소 미흡하다고 판단되어 별도의 보완된 제작시방서를 준비하여 작업을 수행하였다. 용접방법은 Submerged Arc welding(SAW) 및 Flux Cored Arc Welding(FCAW)이 적용되었고 저 수소계 용접봉(ASTM 기준으로 8mmg/L 이하)을 사용하였다. 용접의 품질관리를 위해 초음파법(UT) 및 자기장분석법(MT) test를 수행하여 검사하였다. 부재들의 보다 정확한 치

수관리를 위해 가조립을 실시하였다. 가조립시 경간 중앙부 상향 camber의 확인이 매우 중요한 바, 이는 154mm로서 사하중 및 열차하중에 대한 연직변위를 고려한 것이다.

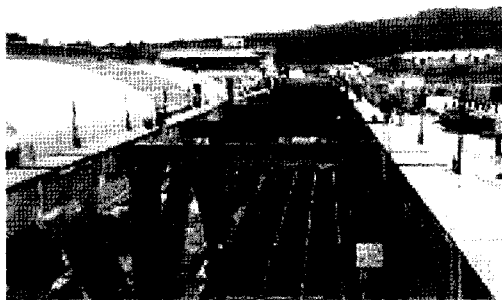
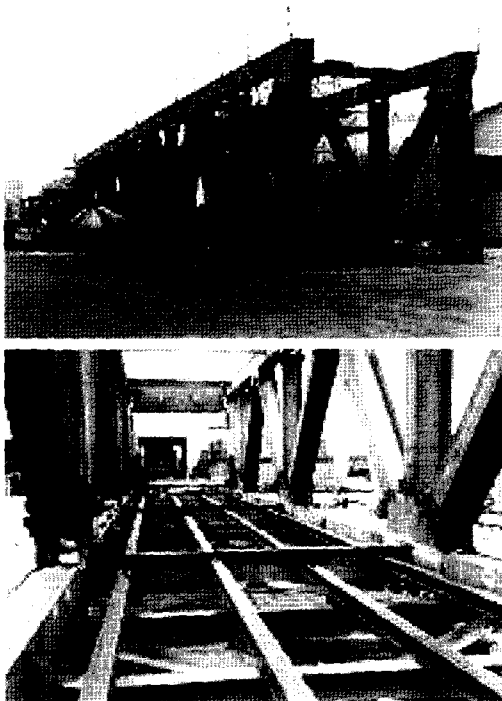


사진 6-1 트러스 가조립 검사

## 7. 현장작업 및 설치

### 1) 교각(Coping)위에 가설구조물 설치

트러스교량을 교각P51, P52까지 압출하기 위해 가벤트 구조물을 도입하지 않고 기존에 설치된 교각과 간단한 가설구조물을 설치하여 그위로 트러스교량을 압출하는 방법을 채택하였다.(그림 7-1 참조) 교각(Coping)위에 설치된 가설구조물의 평면도 및 횡단면도는 그림7-2, 그림7-3, 그림7-4와 같다.

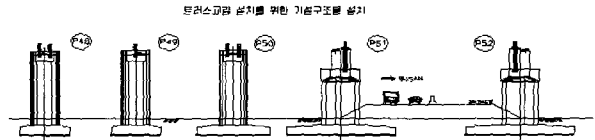


그림 7-1 트러스교량 압출을 위한 가설구조물 설치

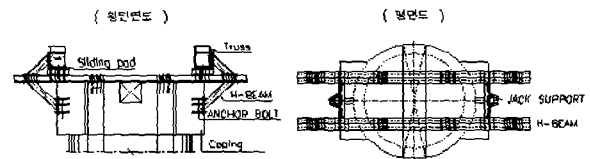


그림7-2 교각P48, P50 가설구조물

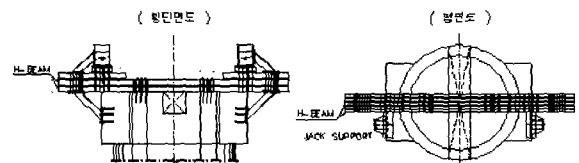


그림7-3 교각P49 가설구조물

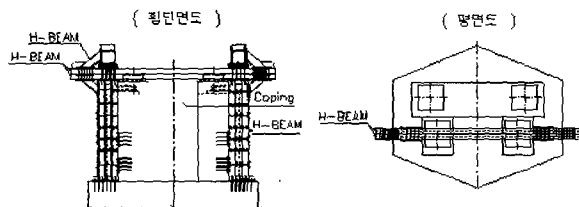


그림7-4 교각P51, P52 가설구조물



사진7-1



사진7-2



사진7-3

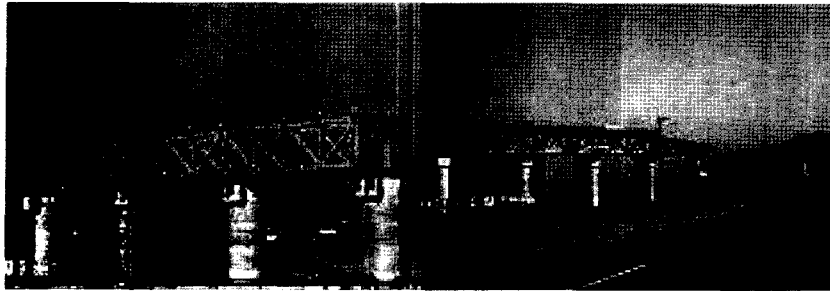


사진7-4

사진7-5

## 2) 트러스 구조물 조립

압출을 위한 가설구조물의 설치가 완료되면 트러스 구조물을 가설구조물위에 설치한다.

교량전체 길이를 세등분하여 각각의 수직재를 육상 제작하고 각각 들어올려 교각에서 연결작업을 하는 방식을 채택하였다.

- ◎ 7m 높이의 수직재 2 Segment를 크레인을 이용하여 가설구조물위로 올린다.(사진7-1참조)
  - ◎ 횡빔등을 이용하여 수직재 2개를 임시 고정시킨다.(사진7-2참조)
  - ◎ 계속하여 7m 높이의 수직재 2 Segment를 기 설치된 수직재와 연결하는 작업을 반복한다. (사진 7-3참조)
  - ◎ 주요부재의 연결이 끝나면 상하연재 및 추가적인 브레이싱 작업을 하여 교량을 완성한다. 가설구조물위에 완성된 트러스교량 모습(사진7-4참조)
  - ◎ 트러스교량에 압출을 위해 Front nose와 Back nose를 용접으로 연결한다. (사진7-5참조)
- 이러한 용접연결은 추후 해체해야 하므로 이에 대한

충분한 고려를 해야 한다.

## 8. 압출공법에 의한 트러스교량 거치

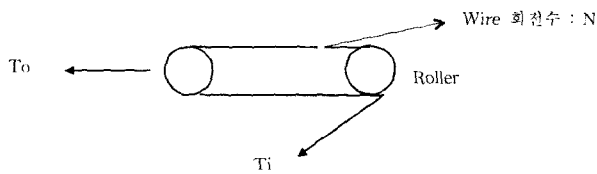
교각(P48,P49,P50)위에 시공 완료된 트러스교량은 Steel deck 거푸집으로 상판을 마무리하게 된다. 압출시 중량을 줄이기 위해 슬래브 콘크리트는 압출이 완료된 후에 타설 하도록 하였다. 압출은 교량을 끌어당기는 과정의 반복으로 이루어졌다. 초기 인장하중을 전달하기 위하여 160ton 용량의 Crane이 이용되었고 교량에 하중이 전달되는 wire고리용 lug의 위치를 적절히 변경시키는 작업이 이루어졌다.(사진8-1참조) 교량에 하중이 전달되면 교량상관하면(bottom chord 하면)과 가설지지구조물의 접촉면에서 미끄러져 이동하게 되는데 마찰계수를 적게하기 위해 접촉면은 Stainless steel plate를 삽입하도록 하였다. 그리고 지지점의 접촉구조물은 미끄럼판으로서 Ertlyte제품을 사용하였다. 트러스교량이 설치될 구간이 평면상으로 곡선이므로 압출시에 횡방향으로 이탈하는 것을 제어

하기 위해 횡방향지지 구조물을 설치하였다.(이에 대한 그림이나 사진이 필요함) 본 트러스교량은 상로교로서 압출이 완료시에는 Lowering작업이 필요한데 이는 교각 P51과 P52에 각각 기 설치된 하강Bent를 단계적으로 강하시키는 방법을 적용하였다.(사진8-3, 8-4, 8-5참조)

### 8.1 트러스교량 압출과정

#### 1) 시작단계

트러스교량이 교각위에 설치가 완료된 후에 그림에 보이듯이 160ton크레인이 Wire 를 당 기면 교각P51에 설치된 Roller를 통해 트러스 본체에 용접 연결된 wire 고리용 LUG(P50 에 위치)를 당기게 됨으로 트러스는 압출이 되기 시작한다.



Ti : Crane에 의한 초기 인장하중  
To : 교량에 전달되는 하중,  $To=2N \cdot Ti$

그림 8-1 하중전달 개념도

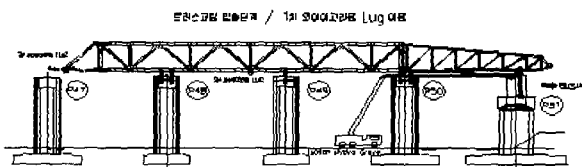


그림 8-2 트러스 압출을 위한 준비완료



사진 8-1 교각P51에 설치된 Roller와 Wire고리용 Lug

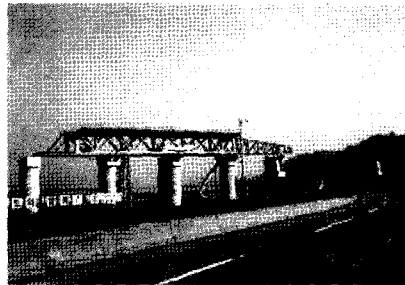


사진 8-2 트러스 압출을 위한 준비완료

#### 2) 압출 진행단계

압출이 진행되면서 1차 Wire고리용 Lug가 롤러가 설치된 교각P50위치에 도달하게 되면 이때부터는 2차 Wire고리용 Lug 및 3차 Wire고리용 Lug를 이용하여 트러스교량을 교각 P51 및 P52까지 압출을 한다. 이때 트러스교량의 균형을 유지하기 위하여 100ton의 Counter balance를 사용했다. 이동시 트러스교 중량은 두 지지점에 지지되도록 설계하였는데 이는 세 지지점 일 경우 이동시 어느순간 두 지지점으로 바뀔 경우 갑작스런 충격이 있을 수 있기 때문에 이를 방지하기 위함이었다. 이에 따른 각 부재의 안전성은 사전에 검토되었다. 트러스교량은 자체 캠버 및 자중에 의한 변위를 가지기 때문에 이동시 항상 두 지지점이 유지되도록 하기 위해서 각 지지점마다 적절한 elevation을 갖도록 설계되었다.

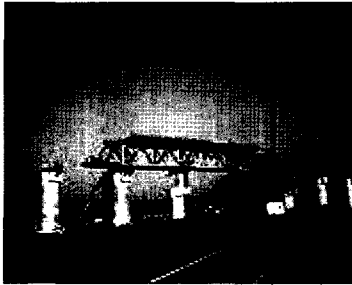
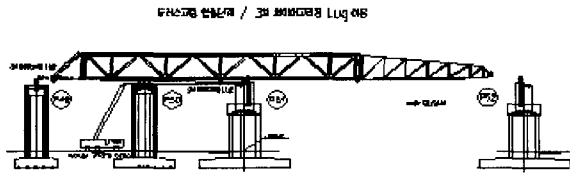


그림 8-3 압출단계 - 2차, 3차 Wire고리용 Lug 사용

### 3) 압출완료 단계

최종적으로 트러스구조물이 교각 P51 및 P52에 위치하면 압출을 완료한다.

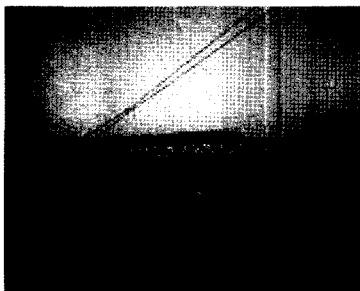
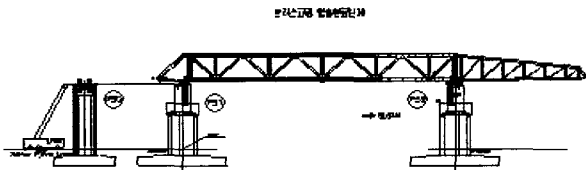


그림 8-4 압출 완료단계  
8.2 트러스교량 강하방법(Jack down)

압출이 끝난 후 트러스는 bottom chord가 압출용 bent상에 임시로 지지되어 있는 상태로 있게 된다. Bottom chord하면이 아닌 단부 가로보하면에서 Bearing에 의해 지지되므로 최종 Bearing에 안착시키

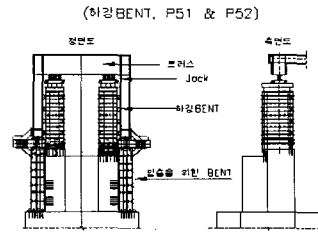


그림 8-5 교각P51 및 P52에 설치된 하강을 위한 Bent 및 압출을 위한 Bent



사진 8-3 트러스 강하시작

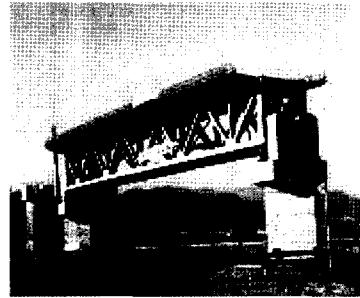


사진 8-4 트러스 강하작업 중



사진 8-5 트러스 강하작업 완료

기 위하여는 하강작업이 필요하다. 이러한 하강작업은 교각 Coping상에 기설치해 놓은 하강BENT와 Jack을 이용하여 이루어지며 그 방법은 다음과 같다.



- 1) 교각 P51 및 P52에 기 설치된 하강 Bent위에 Jack 을 설치한다.
  - 2) Jack을 이용하여 트리스를 약간 들어올린다. 이때 Jack은 트리스교의 단부 가로보를 지지 하게 된다.(트리스교 지지점 이동)
  - 3) 압출용 Bent 상부 구조물 1단을 제거한다.
  - 4) 하강Bent위에 설치한 Jack을 조정 트리스교량을 내려 1단 제거된 압출용 Bent상단에 지지되게 한다.(트리스교 지지점 이동)
  - 4) Jack을 일시 제거하고 하강Bent 상단의 Frame을 1단 제거한다. .
  - 5) 남아있는 하강 Bent위에 다시 Jack을 설치하여 상기 1)과정부터 반복한다.
- 트리스교 단부 가로보가 최종 Bearing에 안착할 때 비로소 끝나게 된다.

을 재하하였다.

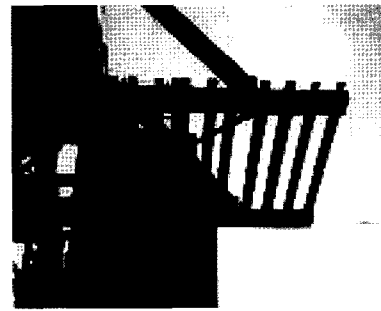
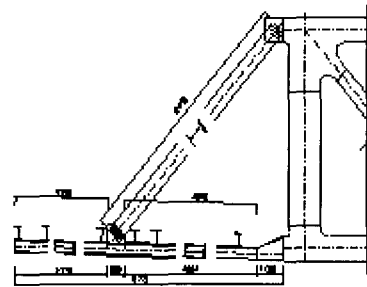


그림 8-7 Back nose의 형상 및 사진

### 8.3 압출공법에 사용된 장치

#### 1) Front nose & Back nose

Front nose의 자중은 72ton이고 Back nose는 30ton이다. 압출동안 Back nose에는 트리스 교량의 균형을 유지하기 위하여 100ton의 균형유지중량물

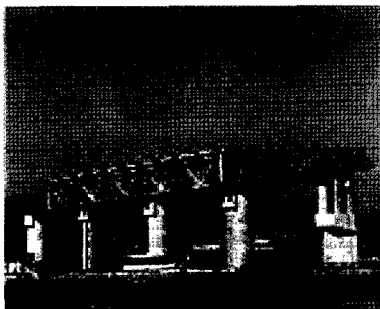
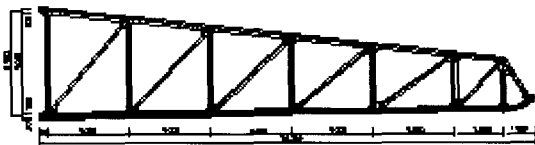


그림 8-6 Front nose 형상 및 사진

#### 2) 미끄럼장치

접촉면 마찰계수 0.05를 유지할 수 있도록 Earthlyte를 그림 8-7과 같이 설치하였다. 그리고 캠버로 인한 곡률에 의해 미끄럼장치의 한 측면에 집중하중이 재하되면 Earthlyte가 파괴될 수 있으므로 트리스 캠버곡률에 따라 미끄럼장치가 회전할 수 있는 hinge(roller)를 설치하였다.

## 9. 맺음말

경부고속도로를 통과하는 경부고속철도 모암고가 트러스교량이 성공리에 건설되므로서 향후 국내 고속철도 교량시공시 좋은 참고가 될 것으로 판단된다. 압출공법으로 교량을 거치하는 것이 보기에는 단순하지만 매 시공단계마다 신중히 고려 할 사항이 많다. 특히 교통량이 많은 경부고속도로상에 교통차단없이 대형교량을 시공한다는 것은 단 한번의 실수만으로 대형사고를 유발할 수 있기 때문에 시공기술과 엔지니어링 기술이 잘 조합되어야 한다. 본 교량은 최소한의 가설 구조물과 최소한의 장비로 압출하여 시공한 국내 교량 시공의 대표적 사례로 볼 수 있다.

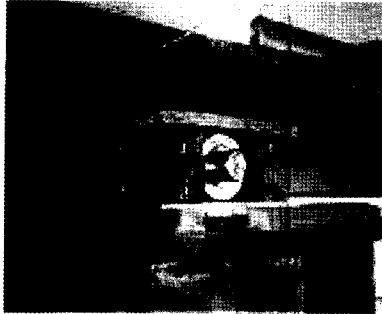
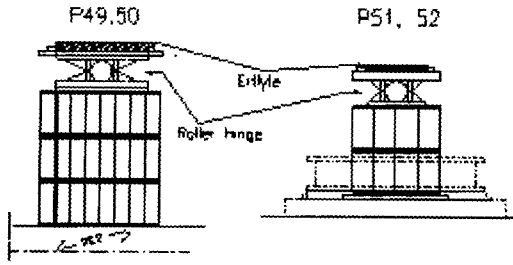


그림 8-8 미끄럼장치 및 hinge(roller)

### 3) 횡방향 지지구조물

트러스교량이 설치될 위치는 평면상으로 R=8000m의 곡률을 갖고 있으므로 직선으로만 압출이 가능한 이 공법을 적용시, 횡방향의 제어가 가능한 구조물이 필요하여 그림8-8과 같이 횡방향 지지구조물을 설치하였다.

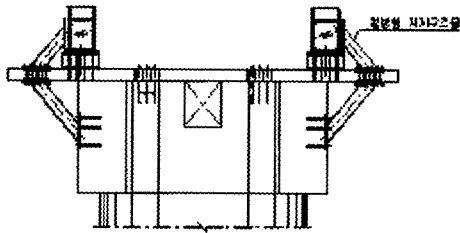


그림 8-9 횡방향 지지구조물