

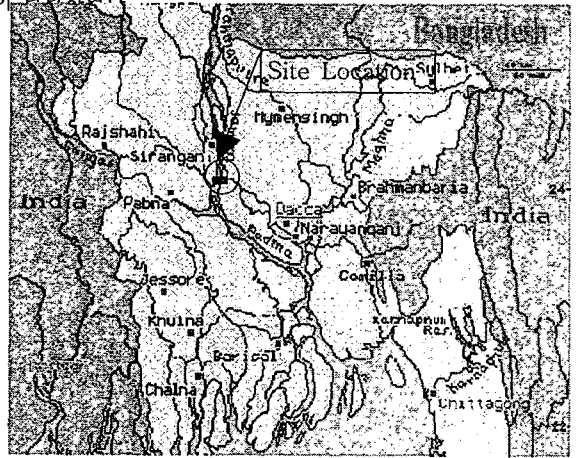
변단면 프리캐스트 세그멘탈 교량의 설계와 시공

1. 공사 개요

1.1 공사 개요

본 공사는 방글라데시의 자무나강을 횡단하는 교량공사로서 전체 Project중 1 공구는 주교량 및 접속교량 공사, 2 공구는 양안의 호안공사, 3 공구와 4 공구는 동서측의 접속도로 공사로서 총 4개의 공구로 구성되어 있다. 발주처는 방글라데시 정부 산하의 자무나 다목적 교량 건설국(Jamuna Multipurpose Bridge Authority)이며, 설계감리 및 공사 감독은 영국의 HPR(High Point Rendel), 네덜란드의 NEDECO, 방글라데시의 BCL 사가 각 담당하고, 주 계약자로서 1 공구는 현대건설, 2 공구는 네덜란드의 HAM-VOA, 3,4 공구는 삼한기업이 담당하였다.

현대건설이 담당한 제 1 공구는 방글라데시의 Sirajganj 남측 8km 지점에 자무나강을 횡단하는 총 4.8km의 주교량과 동서측 12.8km의 접속교량을 가설하는 공사이며 위치를 그림 1에 나타내었다. 방글라데시는 북위 20.5-26.5도, 경도 88-92도에 위치하고, 총면적 144,000 km², 인구 1억 2천만명의 세계 최빈국 중에 속하며, 외신을 통하여 홍수의 나라로 알려져 있듯이 전 국토에 산이 없고 6월부터 9월에 이르는 몬순 시에는 주요 강이 범람하는 양상을 보인다. 그림에서 보는 바와 같이 자무나 강은 방글라데시를 동서로 양분하는 강으로서 본 교량이 완공되기 전까지 일체의 연결 교량이 없는 상태로서 방글라데시의 숙원 사업이었다. 공사기간은 1994년 10월부터 1998년 6월 까지 총 43개월이었다.



[그림1]

1.2 설계 조건

본 공사는 Turn-Key 공사로서 Contractor가 설계와 시공에 대하여 일괄 책임을 갖는 시공형태이다. 입찰 시 기본설계 및 실시설계는 미국의 TY Lin 사에 의하여 행해 졌고, 지방서에 규정된 주요한 설계조건을 요약하면 다음과 같다.

1.2.1 일반사항

- i. 상부 구조 강/콘크리트 합성형 또는 프리스트레스트 콘크리트 박스 거더
- ii. 하부 구조 대구경 경사강관파일 또는 프리스트레스트 콘크리트 실린더 파일
- iii. 주요시설
4차선 (설계 속도 100km/hr)
단선의 Meter Gauge 철로 (설계 속도 40km/hr)
고압 전선로 (230kV) - Tapered Tubular Pole Pylon
전화선로 (2 Nos, ID 150mm), 고압 가스관 (OD 760mm)
- iv. 내구 연한 100년
- v. 선형 종단구배: 0.5% 이하 및 포물선 형상
- vi. 일반 시방 BS 5400

1.2.2 하중

교량 설계에 고려된 주요하중 및 특수하중은 다음과 같다

i. 활하중

본 교량에 적용되는 활하중은 BS5400 Part 2에 규정된 차량하중을 사용한다. 상거시방에서 정의되는 차량하중은 HA 하중과 HB 하중으로 이루어지며, 다시 HA 하중은 분포하중과 (UDL)과 집중하중(K디)으로 이루어진다. 각 하중은 대략 다음과 같다.

HA 하중	UDL	16.9kN/m (100m 경간장에 대하여)
	KEL	120kN

HB 하중 30Units 1 Unit = 4 axles (10kN per axle)

철도하중은 10개의 차축으로 이루어진 (총 차축중량 1185 kN) 두 대의 Wagon과 이에 따르는 37.9 kN/m 의 열차하중으로 구성된다.

ii. 지진하중

지반가속도는 0.2g 이며, 최대 응답가속도는 0.47g 이다. 특이한 사항은 연약한 지반조건으로 인하여 장 주기 성분에서 응답가속도의 크기가 크다는 점이다. 동시에 Shock Transmission Unit를 설치하는 것을 규정하고 있다.

iii. Scouring

General Scour -32.0m PWD or -20.0m PWD

Local Scour 1.6 x Pile Diameter = 5.0m(OD 3.15m), 4.0m(OD 2.5m)

iv. Boat Impact

하부구조 5000 kn with 0-45° inclined angle

상부구조 500 - 1500kN

1.3 교량 제원

총연장 4.8km의 자무나 교량은 약 700m 간격으로 설치된 신축이음 장치에 의하여 분리되는 총 7개의 프리캐스트 상부구조 모듈로 나뉘어진다. 표준 모듈은 약 100m의 7개의 균형 캔틸레버로 구성되어 있고(7 Span Module), 중앙에는 6개의 균형 캔틸레버로 구성된 모듈 (6 Span Module)로 구성되어 있다. 양쪽 끝에는 65m 의 경간을 같은 모듈(West & East End Span Module)로 구성되어 있다. 신축이음 장치는 교량 양단과 주요량 내부에서는 1/4되는 위치에 설치되어 있다. 이를 그림 3에 나타내었다.

하부구조는 외경 3.15m 의 2 Pile Pier와 외경 2.5m 의 3 Pile Pier로 두 가지 형태가 있는데 표준 모듈에서 3, 4, 5 번째 교각의 기초가 3 Pile Pier 의 형태를 갖추고 있다. 3 Pile Pier는 연직 하중 이외에 교량에 대하여 풍하중, Braking 및 Traction, 원심 하중, 온도, 크리프와 건조수축에 의하여 발생하는 종방향 및 횡방향의 하중을 담당하도록 하고, 2 Pile Pier 는 연직하중과 횡방향의 하중을 담당하도록 설계되었다.

모든 파일은 1:6의 경사를 가지고 내부는 콘크리트로 채우도록 되어 있다. 파일의 선단은 약 -70m, PWD(Public Works Datum)에 위치하고, 파일의 두부는 11.0m PWD에서 Cut-off된다. 이를 그림 4에 나타내었다.

상부구조는 4차선 도로와 단선 철도가 놓이게 되는 단일 박스형이다. 상자형 단면은 단부쪽의 짧은 캔틸레버에 단선 철도가 놓이는 비대칭 단면이며 전체 폭은 18.5m 이고 경간에 따라 형고가 포물선 형상으로 변화하는 단면이다. 교각에서 형고는 6.5m이며, 경간 중앙에서는 3.25m의 형고를 가진다. 복부는 경사지게 하여 미관을 좋게하고, 교각측에서 하부 슬래브의 폭을 줄여서 재료 절감을 도모하였다. 이를 그림 5에 나타내었다.

접속교량은 동서측에 각각 총연장 128m 로 13 개의 경간으로 이루어져 있다. 12 경간은 경간장이 10m이며 Transition 경간은 8m로 구성된다. 하부구조는 각 교각마다 450x450mm 구형 프리캐스트 콘크리트 파일로 -10.0m PWD 까지 향타되어 약 120톤의 허용 지내력을 갖는 12 개의 파일 기초로 이루어져 있으며, 상부구조는 차선부분에서는 500mm, 철도차선에서는 800mm 두께의 현장 타설 슬래브교로 되어있다.

2. 하부공사

2.1 강관 파일 항타

2.1.1 파일 항타

파일의 길이는 평균적으로 파일 선단에서 두부까지 81m이며, 깊이별 두께는 다음의 표에 나타나 있다. 총 121 개의 강관 파일이 사용되었다.

표 1 강관 파일제원 및 심도

OD	파 일 두께(t)						적용개소	총파일수
	60mm	55mm	50mm	45mm	40mm	60mm		
2.50m	17.0m	-	-	29.0m	32.5m	2.5m	21Piers	63 Nos.
3.15m	17.0m	24.0m	25.0m	-	11.7m	3.1m	29.Piers	58 Nos.

한편 파일 두부 및 선단에서는 전단키(20x20mm bar)가 원주방향의 2/3만큼 용접하게 된다.

본 교량의 하부공사의 가장 큰 특징은 대구경 강관 파일을 항타하는 데 있다. 말뚝 항타순서는 그림 7에 나타내었다. 말뚝 항타를 위하여 강바닥으로 0.0m PWD까지 일정하게 준설 하였으며, 말뚝을 정확한 위치에 항타하기 위하여 Zig Jacket을 설치하였다. 직경이 다른 말뚝의 항타를 위하여 2조가 제작되었으며, Jacket은 4개의 900mm 강관 Pin File로 고정하였다. 항타시 1:6의 기울기를 유지하기 위하여 탈착이 가능한 Guide를 Jacket 상단에 설치하였다. 한본의 말뚝은 2Piece 또는 4 Piece로 구성되었고, 하단 말뚝 항타 후 Stabbing Guide 가 달린 상단 말뚝을 연결하였다. 말뚝 연결 후 용접을 하였으며 Ultra Sonic Test 로 용접 부위를 검사하였다.

말뚝 항타는 에너지 200kN-m인 Vulcan 530해머로 위치를 잡은 후, Vulcan 5100 해머로 항타하고, 에너지 1700kN-m인 MHU-1700 해머로 최종 관입 깊이 까지 항타하였다. MHU-1700 해머로 항타시 에너지는 점진적으로 증가되었고, 한본의 말뚝을 항타하기 위하여 소요되는 총 항타 수는 10,000타 정도이고 최종 관입량은 3~5mm/blow 정도가 되었다. 말뚝 선단이 최종 근입 깊이에 도달하면 항타를 중지하였다.

2.1.2 동적시험

121본의 16%에 해당되는 19본에 대하여 PDA(Pile dynamic Analyzer)를 통한 시험이 이루어 졌다, 계측 자료의 신뢰성을 높이고, 경사 파일에서 발생할 가능성이 있는 휨 현상 및 쿠션 재료를 사용하지 않아 발생하는 매우 높은 가속도를 고려하여, 4개의 가속도계 및 4개의 변형도계가 사용되었다.

현장에서 Real Time으로 해머의 에너지, 항타시 응력, 말뚝 손상 여부 및 항타 시 지지력을 파악하기 위하여 CASE 방법이 사용되었고, 주변 마찰력, 선단지력 및 항타에너지를 보다 정확하게 구하기 위하여 CAPWAP 방법 또한 이용되었다.

2.2 Air Lifting

항타 후에는 시방서의 규정에 의하여 공기의 I부력을 이용하여 물을 끌어 올리는 Air Lifting 공법으로 파일 내부의 토사를 제거 하였다. 본 시스템의 구성은 그림 8에 나타나 있다. Air Compressor를 이용하여 공기를 Air Lifter의 Bit Part에 Nozzle을 달아 물을 분사시켜 토사를 교란시키고 물과 함께 토사를 Suction Pipe로 분출시킨다. 경우에 따라 Mud와 Cobble이 섞인 층이 나타났는데 이 경우 Bit 부분에 철근으로 만든 Arrow를 달고 Air Lifter를 회전시키면서 점진적으로 근입시켜 토사를 제거하였다.

2.3 채움 콘크리트 및 베이스 그라우팅

Air Lifting에 의하여 파일 내부의 토사를 제거한 후에 파일 내부에 수중 콘크리트를 타설하고 Base Grouting을 실시하였다. Base Grouting의 목적은 파일 내부 Infill Concrete와 Soil Plug 사이의 공극을 Grout Milk로 채움으로 인하여 파일

의 선단 지지력을 충분히 유발시키고자 함이다. 그러나 준비 과정에서 제일 어려웠던 문제는 이러한 목적을 달성하기 위한 Grouting 대상을 어디에 두어야 하는지의 선택과 Base Grouting 작업이 가능한가 하는 것이다. 파일 선단 부근의 Soil Plug는 항타 중 최대로 암밀되었다고 생각되고, 주변은 강관으로 폐쇄된 공간으로 둘러 쌓여있어 Grouting 자체가 불가능 할 것이라고 예측되었기 때문이다.

그러나 감독과의 협의에 따라 Compact Grout의 일종인 “Tube-a- Manchette” 방법을 최종적으로 결정하였고, 하청사를 독일의 Bauer사로 결정하였다. 현장에 적용된 T-A-M System은 2” Feeder Pipe, Rubber Manchette, Packer, Grout mixer (Bauer BM 1000), 60bar Grout Pump (Bauer KP60) 및 Pressure Recorder (MD S100)등으로 구성 되어 있으며 작업 절차는 다음과 같다

- 1) Airlifting 이 끝나면 Soil Plug 표면 측량을 하여 Manchette 위치를 조정 한다.
- 2) Steel Cage를 내리고 파일 내부 채움 콘크리트를 타설한다
- 3) 채움 콘크리트 타설이 끝난 직 후 15bar 압력으로 Grout Pipe의 Water Flushing을 실시한다.
- 4) Water Craking 은 채움 콘크리트 타설 후 6-12시간 이내에 20bar압력으로 1 -2 회 실시한다.
- 5) Grouting은 채움 콘크리트의 강도가 20Mpa 이상이 되면 한다.
- 6) Grout 압력은 OD 3.15m 파일의 경우 50 bar 이상, OD 2.5m 파일은 60 bar 이상으로 하고 어떤 경우에도 파일 들림이 2.0m 를 넘지 않도록 한다. 파인 두부의 들림은 Dial Gauge를 설치하여 측정하였으며, 대부분의 경우에서 무시할 정도였다.

2.4 파일 캡 및 교각 시공

베이스 그라우팅이 완료된 후에 파일 캡을 시공하였다. 파일 캡의 하단은 PWD 4.0m 로서 항상 수위보다 낮게 위치하게 된다. 따라서 시공사의 편의를 도모하기 위하여 영구 거푸집으로 프리캐스트 파일 캡 셸 (Precast Pile Cap Shell)을 육상에서 미리 제작하여 거치하고, 속채움 콘크리트를 채우는 방식을 채택하였다. 2 파일과 3 파일의 파일 캡 셸의 무게는 각각 200톤 및 170톤에 이르게 되는데 이는 450톤급 Floating Crane을 이용하여 운반, 설치하였고 시공순서를 나타내면 다음과 같다.

- i. 파일 캡 셸의 제작
- ii. 파일 캡 하단 거푸집 설치
- iii. 파일 캡 셸의 거치 - Lifting Frame에 의하여 파일 두부에서 자립
- iv. 파일 캡 하단 거푸집 긴장, 잠수부에 의한 Sealing 작업
- v. 기 조립된 철근 설치
- vi. 수중 콘크리트 타설
- vii. 양생 후 내부 몰부기 작업 및 Lifting Frame 제거
- viii. 내부 콘크리트 타설

파일 캡이 완성된 후에 교각은 일반 form를 이용하여 현장 타설 콘크리트로 시공하였다. 교각의 높이는 교각의 단부에서는 2.85m 중앙부에서는 12.18m로 경우에 따라 2~4단으로 작업이 이루어 졌다.

3. 상부 공사

3.1 세그먼트 제작

3.1.1 세그먼트의 구성

본 교각의 상부구조를 이루는 세그먼트는 다음과 같이 구성된다.

- i. Pier Head Unit 48개
- ii. End Segment 2개
- iii. Hinge Segment 6조 (Upper Hinge 6개, Lower Hinge 6개)

iv. Standard Segment 1152개

3.1.2 세그먼트 제작장

세그먼트는 Shout Line Method에 의하여 제작되고, Pier Head Unit를 생산하기 위한 1개의 Cell과 Standard Segment를 생산하기 위한 7개의 Cell을 두었다. 그림 9는 제작장의 배치도를 보여주고 있다. 각 Cell은 Steel Form과 작업대, 측량타워 및 증기 양생을 위한 양생 천막 및 배관라인으로 구성되게 된다. 생산이 완료된 세그먼트는 Winch에 의하여 Yard Gantry가 접근할 수 있는 곳으로 이동되고, PHU Cell에는 Match Cast의 특성상 회전판(Turn Table)을 별도로 갖게된다. 그림 10에 전형적인 Steel Form의 일반도를 보여주고 있다. Hinge Segment는 기하적인 복잡성 때문에 수직으로 돌려서 콘크리트를 타설하기 위한 별도의 제작장 및 조립장을 두게 되었다. 생산된 세그먼트는 200톤 용량의 Yard Gantry를 이용하여 제작장과 연결된 야적장에 운반, 저장하였다.

3.1.3 세그먼트 제작 공정

Standard Segment의 제작 공정은 다음과 같다.

- i. 바닥 Form 설치
- ii. Match Segment 설치 및 선형관리를 위한 측량
- iii. 측면 Form 설치
- iv. 기 조립된 철근 Cage 설치
- v. 포스트 텐션 덕트, 횡방향 텐던 및 Embedded item 설치
- vi. Core Form 설치
- vii. 검측
- viii. 콘크리트 타설
- ix. 증기 양생
- x. Core Form 및 측면 Form 제거
- xi. 선형 관리를 위한 측량
- xii. Match Segment 이동

세그먼트 생산 초기에는 방글라데시 현지 작업자들의 미숙련과 Steel Form의 수정작업으로 인하여 생산 공정에 많은 문제점을 가져 왔으나 작업이 진행됨에 따라 평균 3일의 세그먼트 생산 속도를 달성할 수 있었다.

3.2 세그먼트 설치

3.2.1 Launching Gantry 및 Transporter

세그먼트의 설치에는 Launching Gantry가 이용되었다. 본 장비는 영국의 TGP사에서 설계가 이루어졌으며 제원은 다음과 같다.

총 길이	210m(2 Span Gantry)
총 중량	700톤
Crane	유압식 2조
Launching Speed	0.5m/min
Wind Speed Limit	12.5m/sec

세그먼트의 이동 운반은 2대의 특수중량물 운반차를 이용하였다.

3.2.2 설치 공정

FCM 공법에 의한 본 교량의 설치 순서를 그림 11과 12에 나타내었다. 그림 11은 표준적인 설치 방법이며, 그림 12는 Hinge 세그먼트가 있는 경간을 설치하는 순서이다. 설치 공정을 단계별로 열거하면 다음과 같다.

- i. Launching Gantry의 Set-up

- ii. 세그먼트 접합면에 에폭시를 도포한 후 1W 세그먼트 가설치
- iii. 1E 세그먼트 가설치
- iv. Crane 제거하여 다음 세그먼트 설치를 위한 준비
- v. 캔틸레버 텐던 긴장
- vi. 가설치를 위한 임시 강봉 제거
- vii. 2W 및 2E 세그먼트 설치
- viii. Stabilizer 설치
- ix. Temporary Prop 제거
- x. 상기 작업을 12W 와 12E 세그먼트까지 반복

캔틸레버 시공을 완료한 후에는 기 시공된 부분과 연결 세그먼트를 시공하여 교량을 연결하게 되는데 이에 대한 공정은 다음과 같다. 양단의 단부에서는 연결 세그먼트의 길이가 2.5m이며, 기타 경간의 경우는 0.5m이었다. 특히 원 설계에서 표준 연결 세그먼트의 길이가 1.5m에 달하였으나 마지막 세그먼트의 길이를 4m에서 4.5m로 변경하여 연결 세그먼트의 길이를 줄여서 가설 공정의 단축을 도모하였다.

- i. Control beam 설치
- ii. X-bracing 설치
- iii. Crane을 이용한 캔틸레버의 Elevation 조정
- iv. X-bracing을 이용한 캔틸레버의 Alignment 조정
- v. Control beam을 임시 강봉을 이용하여 고정
- vi. 철근 작업 및 텐던 작업
- vii. 콘크리트 타설
- viii. 증기 양생
- ix. 소정의 강도 확보후 스펠 텐던 긴장

최초의 경간을 시공하는 데 57일이 소요되었으나 작업의 숙련도가 증가하면서 평균 7일만에 한 경간을 완성할 수 있었다.

3.3 선형관리

3.3.1 세그먼트 제작 시 선형관리

FCM 공법에서 가장 중요한 핵심 기술중의 하나는 선형 관리를 얼마나 정확하게 이루는 가에 있다. 특히 Short Line 으로 제작되는 프리캐스트 공법에서는 거의 모든 선형 관리가 프리캐스트 제작 시 이루어져야 한다. 더욱 본 교량은 변 단면으로서 세그먼트의 바닥 Form이 세그먼트를 생산할 때 마다 변화가 있고, 12000m의 곡률을 가지는 교량이기 때문에 4m길이의 세그먼트를 제작하면서 소요의 정확도를 유지하는 것은 고난도 작업중의 하나였다. 본 공사에서는 프랑스 E.E.G 사로부터 타설곡선을 산정하고, 프리캐스트 선형관리 프로그램인 'GCP'(Geometry Control Program)을 구매하여 현장에 적용하였다.

세그먼트 제작시 적용한 선형 관리는 다음과 같은 절차에 의하여 이루어 졌다.

- I. 콘크리트 타설 즉시 Alignment 조정을 위한 Hair Pin 및 Elevation조정을 위한 Bolt 설치.
- ii. 콘크리트 양생후 Match Cast Segment 및 As-cast Segment 의 Alignment 및 Elevation 측량 실시
- iii. 'GCP' 프로그램을 통한 Match Segment 의 위치 산정
- iv. Match Segment 설치후 검측

3.3.2 Hinge Segment 의 Pre-Assembly

모든 세그먼트는 Match Cast 방법에 의하여 생산되기 때문에 타설 곡선에 의하여 정의되는 세그먼트 간 Elevation 과 Alignment 의 상대적인 값을 유지하게 된다. 그러나 Hinge Segment 에서는 교량의 불연속면이 이루어지고, 이 부분에서 타설 곡선상에 급격한 변화를 보이기 때문에 Upper Hinge Segment 와 Lower Hinge Segment 간에 상대적인 위치를

설치 전에 미리 정하여야 한다. 이러한 과정은 Pre-Assembly를 통하여 행하여 지는 데 이에 대한 공정은 다음과 같다.

- i. 6E 세그먼트의 설치
- ii. 7Ea(Lower Hinge Segment) 를 6E 세그먼트에 가설치
- iii. 7Eb(Upper Hinge Segment) 를 설치
- iv. 8E 세그먼트를 7Eb 세그먼트에 가설치
- v. 각 세그먼트 하단 및 측면에 기 설치된 Jack을 통하여 Elevation 및 Alignment 조정
- vi. 임시 Blocking Concrete 타설
- vii. 세그먼트 해체 및 야적장 이동

이러한 과정을 통하여 Hinge Segment간의 상대적인 선형은 임시 Blocking Concrete에 의하여 유지되게 되고, Hinge Span 이 완성된 이후 제거함으로써 소요의 캠버를 유지하면서 Hinge가 이루어지게 된다.

3.3.3 세그먼트 설치시 선형 관리

앞에서 언급하였지만 선형 관리는 세그먼트 제작시 이루어진다. 그러나 제작시 선형관리는 그 절차에 있어서 실수가 있었던 지의 파악이 불가능하며, 측량 오차가 누적이 될 경우의 영향을 정량적으로 평가할 수 없다. 따라서 세그먼트 설치시 계속적인 측량을 통하여 이상 현상, 즉 Elevation 과 Alignment 상에 이상이 발견될 경우 즉각적인 조치가 이루어질 수 있도록 하는 것이 중요하다.

4. 기타 특기 사항

4.1 동원 및 가설

본 공사를 위한 증장비 및 자재 동원에서 제일 어려운 점은 수송로였다. 유일한 수송로는 강이었지만 방글라데시 외항인 몽글라 항으로부터 현장까지는 수로로 약 400km에 달하는 먼 거리였고, 현장은 자무나 강의 상류측에 위치하였기 때문에 전기에는 수심이 2m도 되지 못한 구간이 있는 반면 우기에는 수심은 확보되나 유속이 빨라 현지에 있는 기존 예인선으로는 대량의 화물을 운반할 수 없는 실정이었다. 따라서 항타용 1000톤 데릭 바지는 우기에 동원하여 우기에 철수하는 공정을 추진할 수 밖에 없었으며, 강관 파일과 동원 자재를 지속적으로 운반하기 위해서는 얕은 수심에도 움직일 수 있는 1200톤급 특수 자항 바지 3대를 설계, 건조하였다. 특히 1개의 길이가 30-40m 에 중량이 200-300톤에 달하는 강관 파일을 외항에서 환적하는 일과 하상이 수시로 변하는 위험한 수로로 현장까지 운반하는 데는 엄청난 노력과 어려움이 따랐다.

한편 본 공사를 위한 대표적인 가설 공사로는 파일항타를 위한 Zig Jacket, 프리캐스트 세그먼트 제작장 및 야적장, 프리캐스트 파일 캡 셸의 제작장 및 Lifting Frame, Launching Gantry 조립장 및 최초 Commissioning을 위한 기초 및 토공, 수로를 통한 자재의 공급 및 하역을 위한 물양장, 골재 생산 및 콘크리트 생산을 위한 Crusher Plant, Washing Plant, Batch Plant 등을 들 수 있다. 뿐만 아니라 항상 변하는 하상에 대하여 수상 작업 선단이 교량구간에서 지속적인 작업이 가능하도록 유지 준설하는 양만도 800만 m³에 달하였다. 이러한 엄청난 규모의 가설을 적기에 설계, 제작 및 시공, 운용하는 것은 본 공사의 성공적 완수를 위한 핵심 요소이었다.

4.2 면진장치

본 교량은 시방서의 규정에 따라 면진장치를 설치하였다. 내진장치에는 여러가지 종류가 있으나 본 교량에서는 강봉의 소성변위를 통하여 지진 에너지를 흡수하도록 하는 Elasto-Plastic 형태의 충격 흡수 장치를 사용하였다. 이 장치는 42개의 작은 스테인레스 Pin으로 구성되어 350톤의 하중에서 소성변형을 시작하면서 200mm의 변위를 담당할 수 있는 것으로 제작, 설치되었고 실물 시험을 통하여 시방 조건을 만족하는 것을 확인하였다.

한편 본 내진장치는 교량의 고정단과 이동단에도 설치되게 일상적인 교량의 변위, 즉 온도변화 및 콘크리트의 건조수축과 크리프에 대한 변위를 수용하면서 지진시에만 작동이 되어야 하므로 충격 전달 장치(Shock Transmission Unit,

STU)를 함께 가지게 된다. 내진 장치의 바닥은 교각 머리에 고정시키고 상부는 STU를 통하여 교량 상부와 연결이 된다. STU는 실린더 통 모양속에 오일이나 실리콘 합성 수지를 넣어 저속움직임에는 저항을 하지 않고 순간적인 고속 움직임에 대해서는 Lock이 되면서 지진하중을 충격 흡수 장치에 전달되도록 하게 되는 것이다.

4.3 내구성 확보를 위한 콘크리트 품질 관리

본 교량의 시방서는 구조물로서 안전성과 사용성을 확보함과 동시에 100년 동안의 내구년한에 해당되는 소요의 내구성을 확보하도록 콘크리트의 품질을 강화하고 있다. 이를 위하여 시방서에서는 플라이 애쉬 또는 고로 슬래그의 혼합시멘트를 강제적으로 규정하였으며, 뿐만 아니라 강도별 최대 시멘트량을 규정하였다는 점이다.

Cube 설계강도가 45 Mpa 세그먼트에 사용된 콘크리트는 플라이 애쉬를 30% 사용하였고, 단위 시멘트량은 설계강도가 420kgf/m²에 해당하는 경우 단위 시멘트량이 500kg/m³ 정도인 것을 감안하면 상당히 작은 량임을 알 수 있다. 따라서 소요강도를 확보하기 위하여 물/시멘트가 0.33 으로 감소되었고, 유동화제를 엄격한 품질 관리하에 사용하였으며 확보된 압축강도는 평균 60 Mpa에 달하였다.

5. 결론

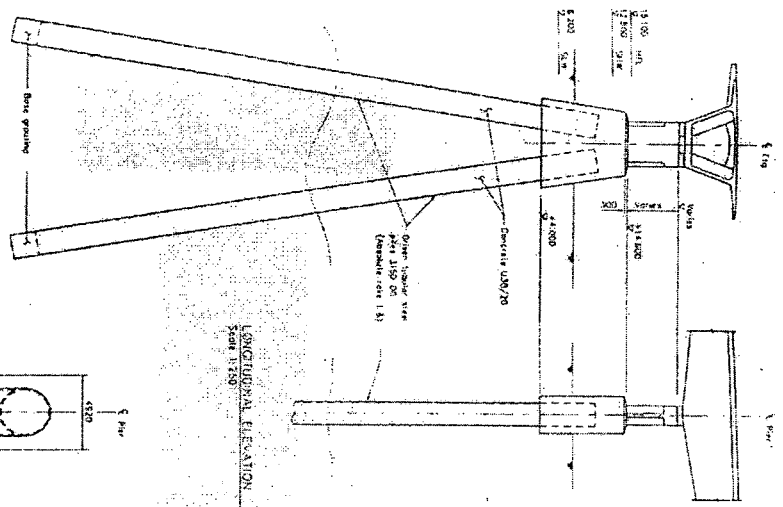
본 교량은 방글라데시의 숙원 사업을 성공적으로 완공하였다는 측면 이외에 성공적인 세계은행의 투자 사업으로 평가되고 있다. 현대건설은 1980년대 말레이시아의 페낭대교를 완공한 이후, 초기의 어려움을 극복하고 성공적으로 완공함으로써 우수한 교량 시공 능력을 다시 한번 과시하였다. 또한 이러한 기술능력을 국내에 접목하여 장대교량건설에 이바지 하리라 믿는다.

후기

본 원고는 방글라데시 자무나 다목적 교량 현장에 참가하여 소중한 경험을 각 분야별로 작성한 여러 직원 분들의 공사를 참고로 요약, 정리한 것입니다. 이 기회를 빌어 자무나 현장의 성공적 완수를 위하여 몰심양면으로 도와주신 모든 직원 여러분께 감사 드립니다.

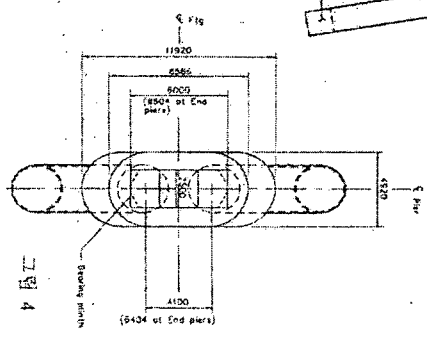
[그림 목차]

그림 1	교량의 위치 (본문 중에 위치)
그림 3	교량의 구성
그림 4	교량 하부 구조의 구성
그림 5	교량 상부 구조의 구성
그림 6	교량 위치의 지반 조사 결과
그림 7	말뚝 항타 순서
그림 8	Air Lifting System
그림 9	세그먼트 제작장
그림 10	세그먼트 Steel Form의 구성
그림 11	표준 경간의 세그먼트 가설
그림 12	Hinge Segment 가 있는 경간의 세그먼트



TRANSVERSE ELEVATION
Scale 1:250

LONGITUDINAL ELEVATION
Scale 1:250

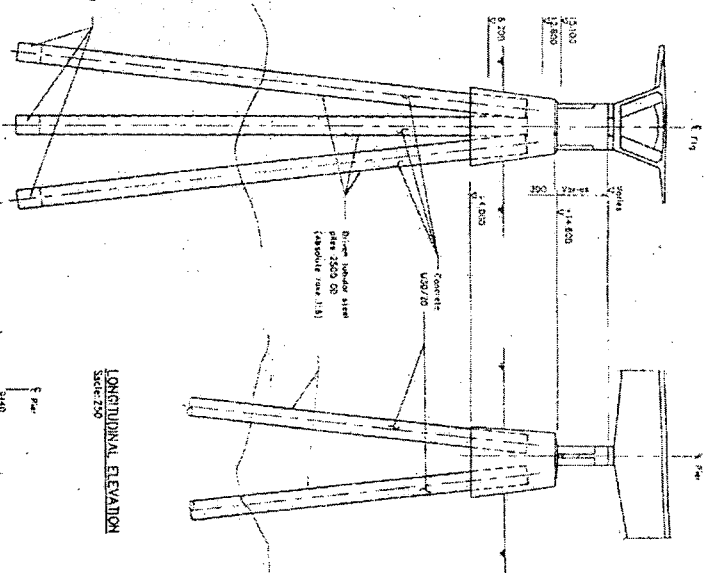


TYPICAL 2 PILE PIER

PLAN
Scale 1:125

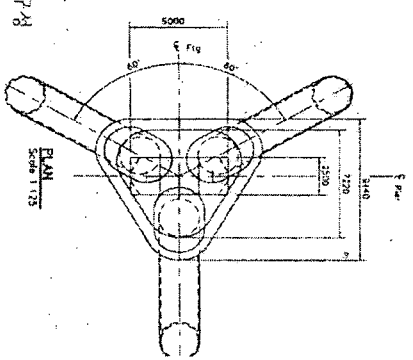
그림 4

교량 하부 구조의 구성



TRANSVERSE ELEVATION
Scale 1:250

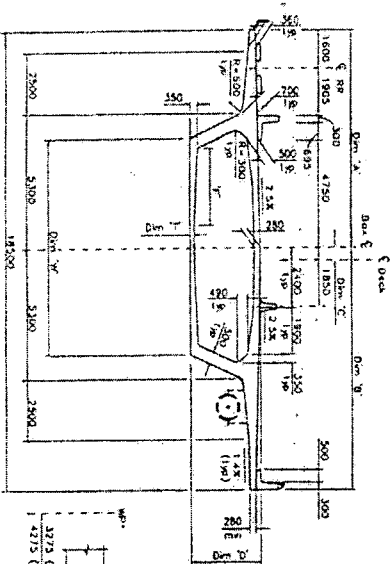
LONGITUDINAL ELEVATION
Scale 250



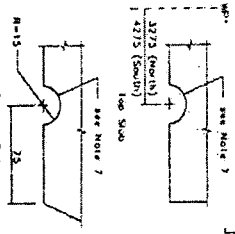
TYPICAL 3 PILE PIER

PLAN
Scale 1:175

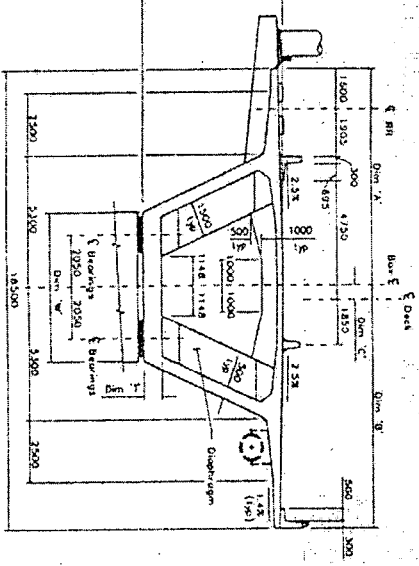
TYPICAL SECTION IN SPAN
Scale 1:100



DRIP GROOVE DETAIL
Scale 1:100

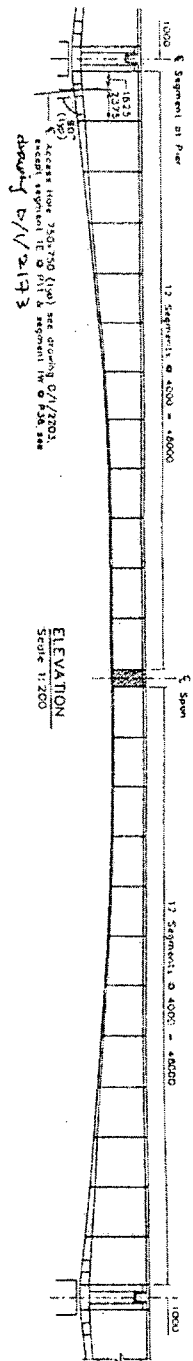


TYPICAL SECTION AT PIER
Scale 1:100



구리 & 구리 사분 구조의 구성

Dim. T	Dim. K	Dim. H	Bottom Slab Width 'w'	Bottom Slab Thk. 't'	Overall Depth 'D'	Distance from E. Span
8750	8750	5971	850	850	6500	48887.5
8750	8750	5971	850	850	6500	48887.5
8748	8751	6336	650	5993	44687.5	
8747	8753	6746	500	5501	40687.5	
180	8743	8757	7130	312	5036	36687.5
2900	8738	8762	7484	250	4607	32687.5
3740	8732	8768	7802	213	4222	28687.5
5000	8724	8776	8074	200	3892	24687.5
5000	8715	8785	8298	200	3621	20687.5
5000	8705	8795	8484	200	3420	16687.5
5000	8693	8807	8588	200	3294	12687.5
5000	8680	8820	8604	200	3250	8687.5
5000	8668	8834	8604	200	3250	4687.5
5000	8650	8850	8604	200	3250	687.5
5000	8650	8850	8604	200	3250	687.5
5000	8646	8834	8604	200	3250	4687.5
5000	8680	8820	8604	200	3250	8687.5
5000	8693	8807	8588	200	3294	12687.5
5000	8705	8795	8484	200	3420	16687.5
5000	8715	8785	8298	200	3621	20687.5
5000	8724	8776	8074	200	3892	24687.5
3740	8732	8768	7802	213	4222	28687.5
2900	8738	8762	7484	250	4607	32687.5
180	8743	8757	7130	312	5036	36687.5
8747	8753	6746	500	5501	40687.5	
8748	8751	6336	650	5993	44687.5	
8750	8750	5971	850	850	6500	48887.5
8750	8750	5971	850	850	6500	48887.5



ELEVATION
Scale 1:200

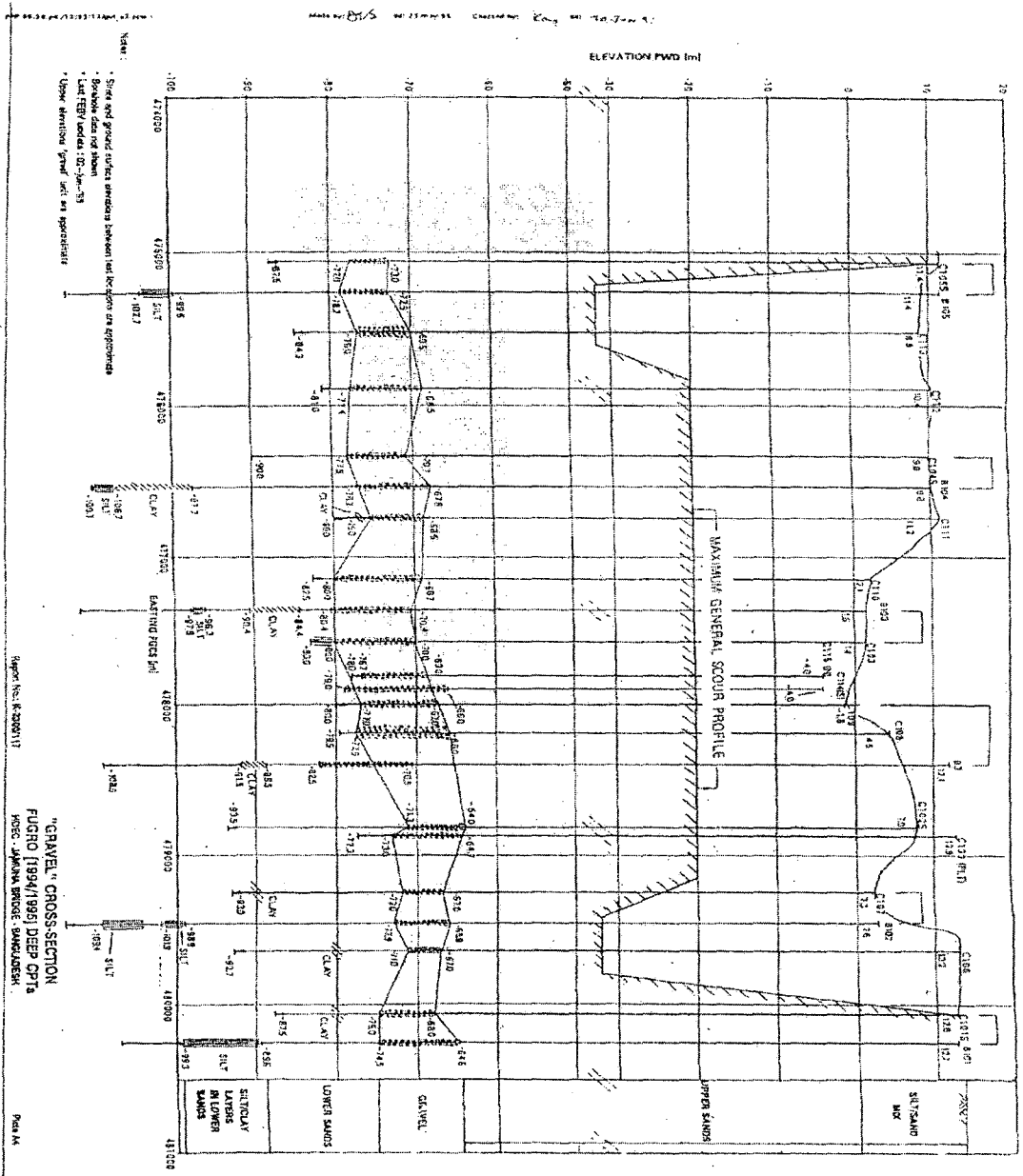
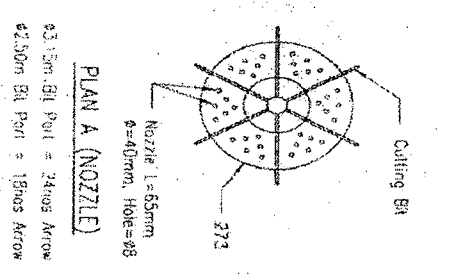
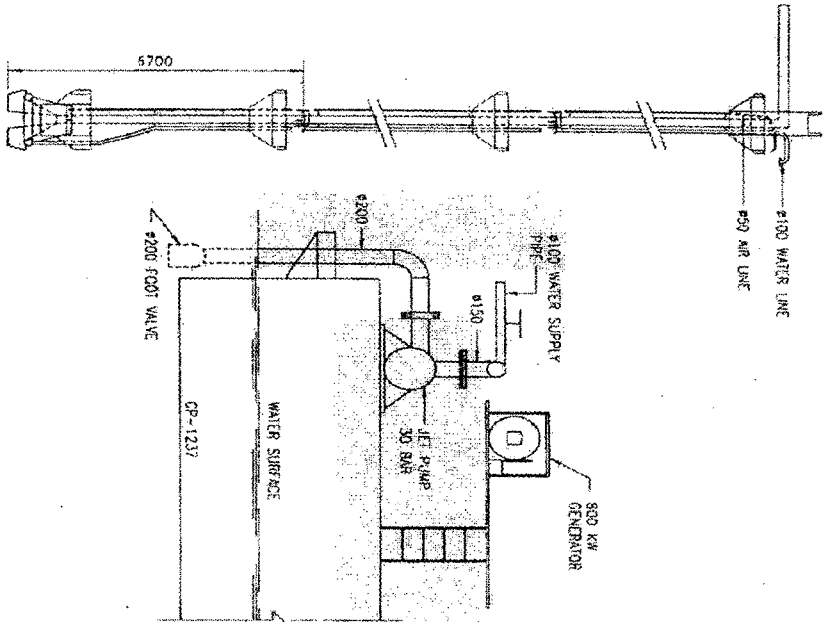


그림 6 교량 위치의 지반 조사 결과



63.5mm Bit Pail = 24nos Arrow
 42.50m Bit Pail = 18nos Arrow

BIT PARI DETAIL

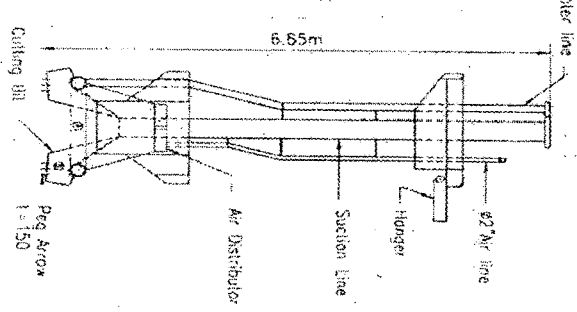


그림 8 Air Lifting System

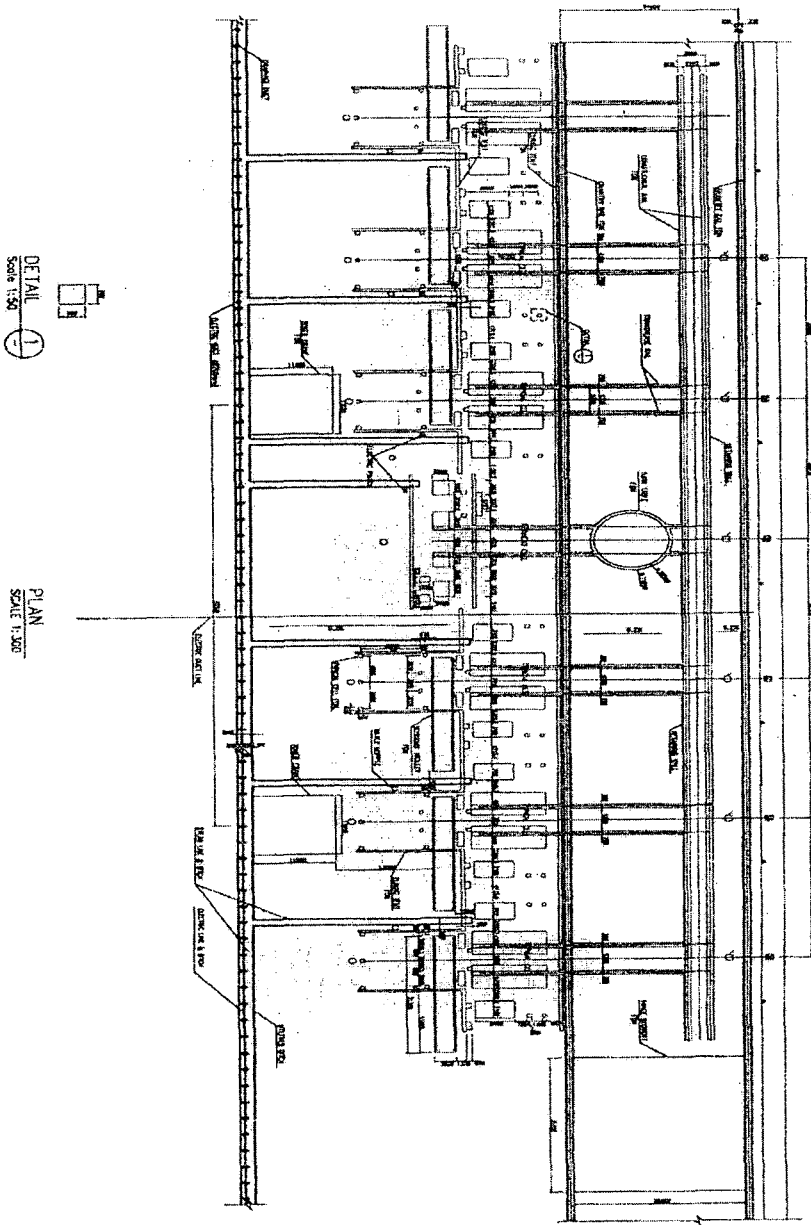
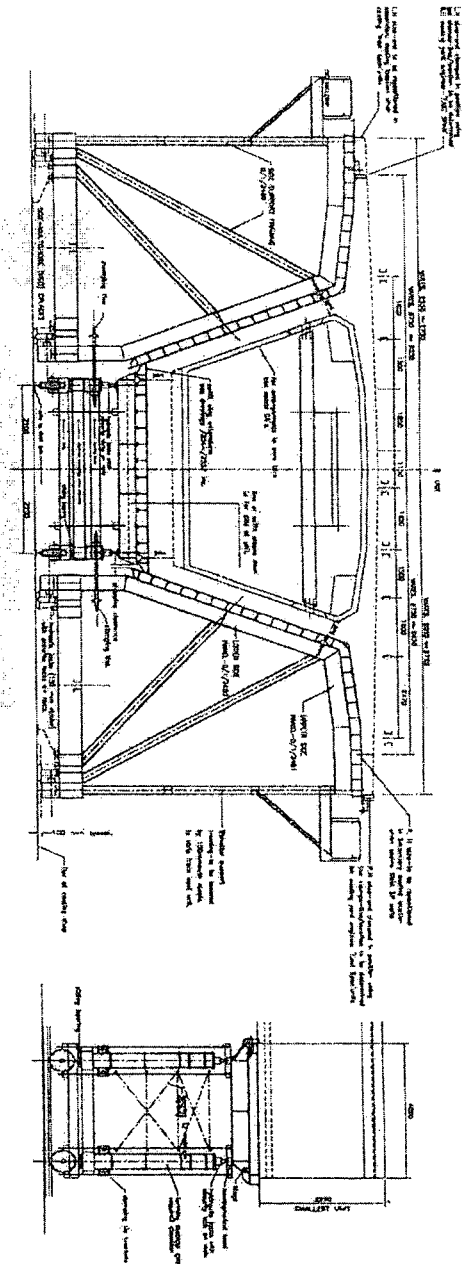
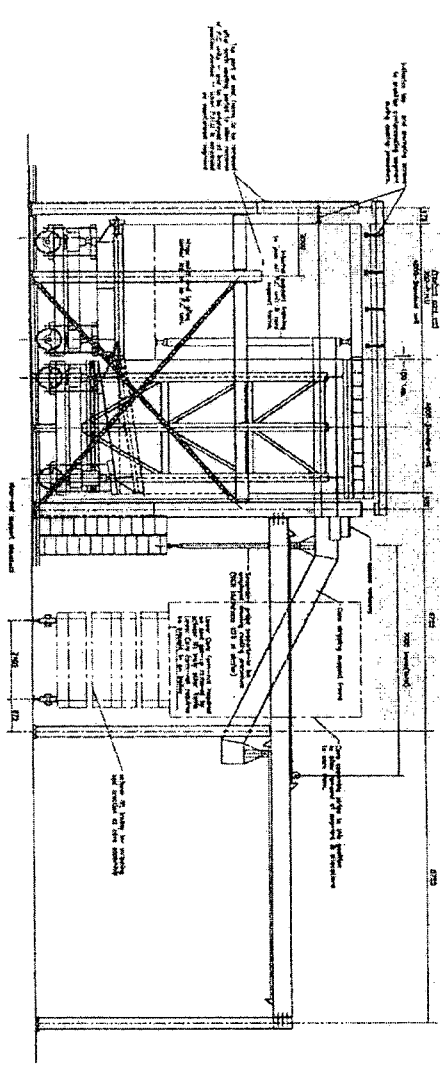


그림 9 세그먼트 레스토랑

01 鋼工 鋼筋コンクリート Steel Form 鋼 構造



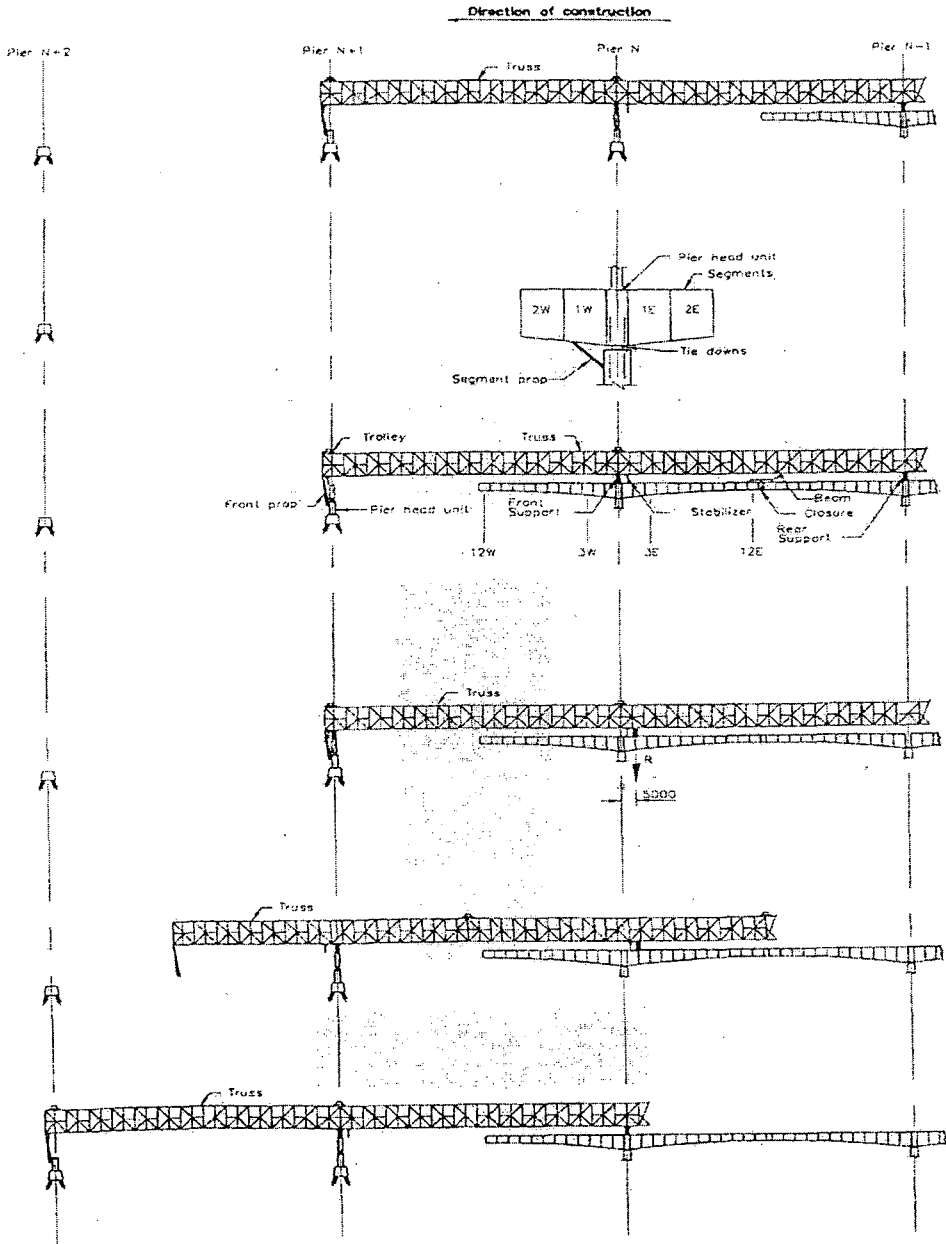


그림 11 표준 경간의 세그먼트 가설

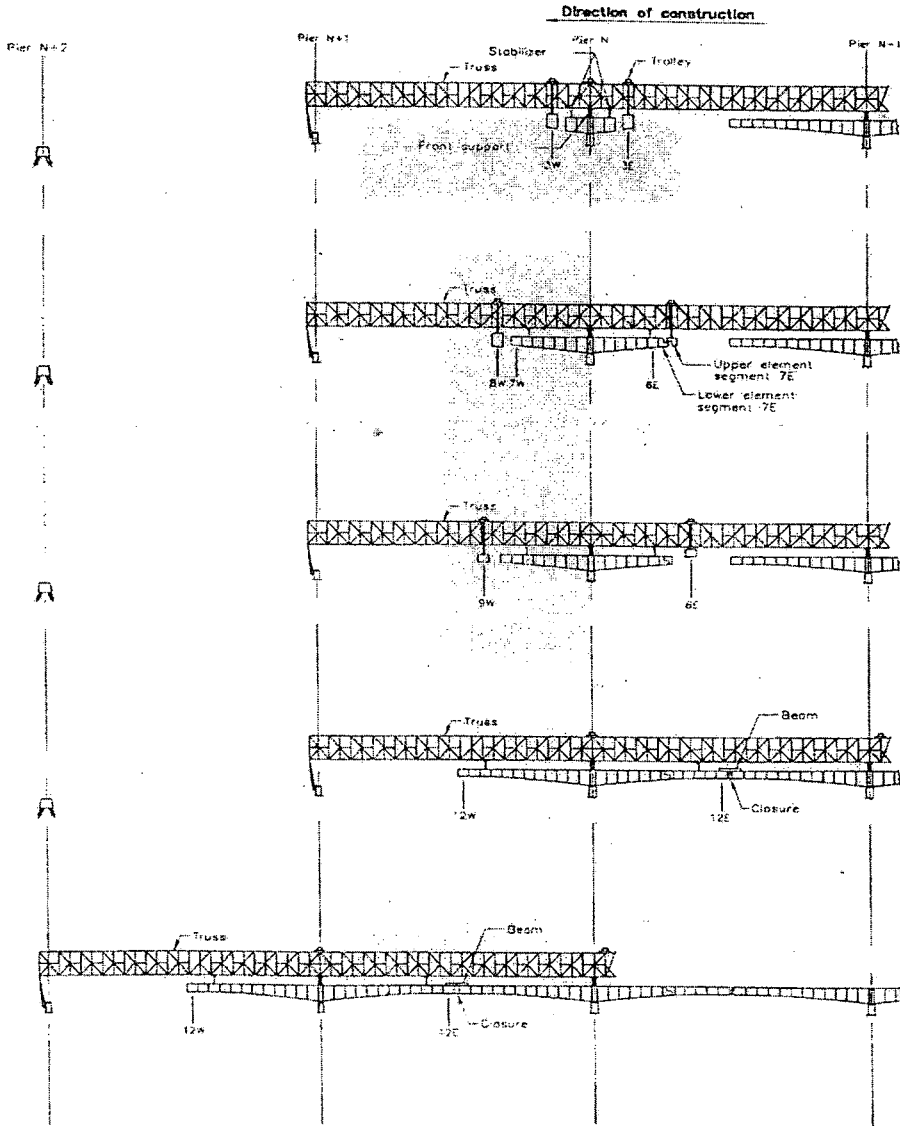


그림 12

Hinge Segment 가 있는 경간의 세그먼트 가설