



기술자료  
기술자료

# 世界 최초 OPEN CAISSON 施工사례 JAMUNA RIVER CROSSING 송전탑 기초공사 - BANGLADESH

The Foundation Construction of JAMUNA RIVER CROSSING  
Transmission Tower



安 勇\*  
Ahn, Yong

\* 토목시공기술사, 태·종합기술단 理事.  
김포시 청송마을 現代아파트25·1세대 현장 土木감리

## 머리말

세계에서 가장 가난한 나라 Bangladesh에서 資源을 찾아보면, 사람, 颱風, 大洪水순으로 經驗하게 되는 데, 水路工事나 道路工事は 하루 3~5千名의 人員이 개미역사를 벌이고 있는 광경을 지금도 쉽게 접할 수 있다.

연중 수차례의 大洪水로 대부분의 河川의 하상이 높아진 천정천이라서 土工事에서의 토취장의 概念은 옆에서 파서 10m거리 내에서 축소하게 되므로 사람이 대신 하는 것이 工事費를 절감하게 할뿐만이 아니라 발주처에서도 人力을 最大로 사용하도록 尊重하고 있는 실정이다.

JAMUNA RIVER에서 施工한 본 CASSION 공사는 Bangladesh 국내의 貧弱한 조건 속에서 이제껏 시공할 수 없었던 CASSION공사를 시도하는 것이었기에 처음 시작에서 많은 어려움을 당하게 되었다.

한정된 地球表面에서 條件과 環境이 좋은 곳은 이미 개발이 되어 적은 틈도 없는 현실 속에서 필요한 구조물의 기초공사는 극히 한정된 범위 내에서 고도에 기술을 要하게 되는 실정이다.

본 시공사례가 특수 地層에 특수 구조물을 위한 구상이나 시공에서 100m~500m까지도 가능하다는 事例에 뒷받침이 되기를 바란다.

## I. 공사 개요

1. 위치 : JAMUNA RIVER, ARICHA BANGLADESH
2. 공사기간 : 1979.10~1981.11(14기, Caisson공사에 한 해 25개월)
3. 공사종류 :  
\*Caisson(우물통 기초) 14기 외 2기 Anchor Tower  
\*직경 : 저부(외경) : 12.00meter,  
길이 : 30.00meter(내경)7.00meter  
중부(외경) : 12.00meter,  
길이 : 30.00meter(내경)6.70meter  
상부(외경) : 12.00meter,  
길이 : 30.00meter(내경)6.40meter  
\*총관입깊이 : 103.00meter
4. 발주처 : BANGLADESH 전력청
5. 감리(설계) : Rendel Palmer & Trittion (Consulting & Designing Engineers, London)
6. 시공자 : 고려개발 주식회사



- 7. 공사금액 : US\$ 7천만-
- 8. 주요공사물량 :
  - 1) Caisson기초 Concrete 5,000m<sup>2</sup>x14=70,000m<sup>3</sup>
  - 2) 송전탑높이 100m
- 9. 본인담당업무 : Caisson 최초1개(육상), 1기(해상), Anchor Tower 1기 담당소장

## II. 시공방침

JAMUNA강은 현 BANGLADESH국토를 남북으로 흐르는 폭 14km로 BANGLADESH 국토를 양분하는 강이며, 인도 GANZIS강과 접하는 유역과 상류 히말라야산맥의 눈이 녹는 3~5월에 큰 홍수에 의한 퇴적층으로 하상이 매우 높아지고 지하 500m까지도 암석층이 없는 지반 층으로서 동쪽에서의 천연GAS를 이용한 발전시설의 전기를 서쪽으로 공급하기 위해 본 공사가 계획된지 20년만에 쿠웨이트의 무상원조로 ZIA 군사정부에 의해 시도된 공사로서, 국제입찰에서 미국의 벡델, 한국의 현대건설을 제치고 고려개발이 수주한 공사임.

지반조사에 따라 마찰계수를 크게 할 수 있는 대형 우물통 기초로 설계되어 이에 맞는 Open Caisson공법으로 시공방침을 정하게 됨.

### 1. 시공상 문제점

- 1) 설계상의 최소 100m Bearing Area까지 Caisson 침하시 발생하는 Caisson주변 마찰력
- 2) Caisson내 토사굴착이 수중에서 이루어지게 됨에 따라 크라함셀작업의 한계점
- 3) 주자재, 자갈, Cement, 철근반입문제
  - a) 자갈 : 해상으로 약 300km 지역에서 하상에서 얻을 수 있는 호박돌이 전부로 운반상의 문제
  - b) Cement : 한국에서 전량수입

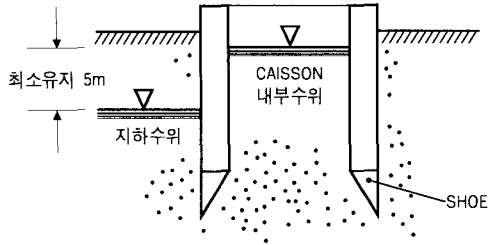
c) 철근 : 한국에서 전량수입

d) Bentonite : Singapore에서 수입

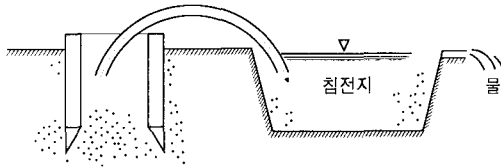
- 4) 국내, 외 통틀어 동종의 공사 사례가 전무함에 따른 기술자, 기능공 구인난으로 초기 약 3개월은 공정의 진도가 없었음.
- 5) 미국 Oakland bay에서 시공한 Open Caisson근입심도 69.5m와 Tagus에서 심도 79.3m가 문헌으로는 전부였으나 본 공사와는 지반조건이 아주 상이하여 참고가 되지 못했음.
- 6) 최종안으로 Caisson주변에 Bentonite벽을 형성 Caisson주변마찰력 Zero시공으로 이론상으로 감리단과 의견일치로 시공에 활기.
- 7) 100m의 깊이에 ø12m의 Caisson자체중량 12,500Ton의 주변마찰력이 Zero상태에서 Caisson내부 Shoes주변의 토사유동과 용천수의 변동사항, 지하수와 Caisson내 수위유지, 24시간 침하작업시 Caisson의 유동성 및 일회Con`c타설 약 200m<sup>3</sup>의 비교적 많은 양의 con`c 집중타설에 따른 고온화의 수화열 하강유지.

### 2. Sinking 방법확정

- 1) 0~10m : Caisson주변 토사 Open굴착
- 2) 11~103m : Bentonite막으로 Caisson주변 Jetting마찰력, Zero유지. Caisson내부토사 크라함셀로 수중작업은 깊이 25m까지 시도.
- 3) Caisson내부토사굴착방법
  - 0~10 Air Life System 고안 기계화 굴착 특별기기고안(별도설명)
- 4) Caisson내부수위 조절 방안
  - Caisson침하작업시 20m이상부터 철저한 수위조절작업 지하수위와 Caisson내 수위 5m(최소)로 유지 용천수, 기타 지하수의 분출방지.



5) 토사분출 저수조 사전준비 : 저수지에 1차 유입토사 침전, 물유출 토사운반



6) Sinking 완공후 Caisson 주변 Grouting으로 Bentonite 제거.

### 3. 기타작업방법

- 1) 거푸집 : 내, 외부 철제로 제작 작업진도 및 효율 증대.
- 2) 철근 : 수직 12m 길이 수평 12m(반지름에 6m맞게 Bending) 1개 설치.
- 3) Con'c 타설: Batch Plant Caisson 주변 (7m이내) 설치 Conveyor Belt와 Crane 이용 타설, 거푸집 제거후 즉시 Curing Compound 이용 양생.

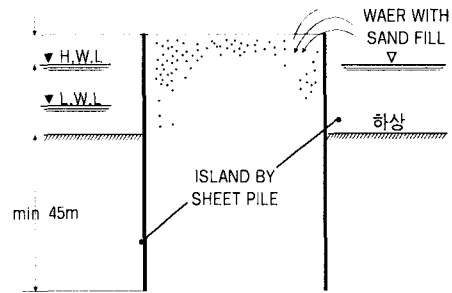
## III. 실작업순서

### 1. 작업장 가설작업(해상)

- a) 측점위치에 따라 Sheet Pile 항타 해상에서 최소 45m 깊이까지 관입 홍수시 하부 쇄굴

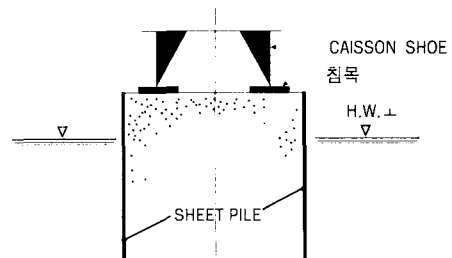
로 인한 Cofferdam 유실 방지.

- b) 주변하상에서 모래 Pumping으로 Cofferdam 축소.
- c) 갈수기(8~2월)중 Sheet Pile 사전 타설로 축소 수중작업시 Barge선 이용경비 절감시도.



### 2. Caisson Shoe설치

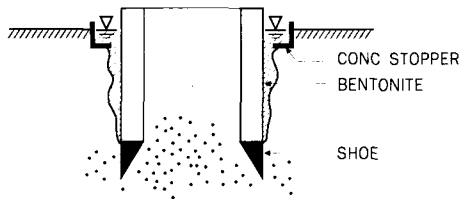
- a) 축소된 Sheet Pile 내 모래체움의 다짐 작업, Shoe설치에 침하가 발생하지 않도록 다짐작업.
- b) 침목설치(36개)
- c) Steel Shoe 설치
- d) 기타 Batch Plant, Bentonite Jetting Pump, Water Pump, Air Compressor, 철근, 골재 야적장 준비
- e) 1차 Con'c 타설후 침목제거는 대칭으로 해 나감. 최초 Shoe Con'c 후 최후 6개의 침목이 남았을 때 침목이 하중에 의해 부러지는 현상시작 실제 침하 시작





3. Lubrication System -> Bentonite막

- a) Con'c Stopper를 설치 Bentonite와 작업장을 구분하는 경계로 설치
- b) Bentonite Jetting Pump 가동, 역으로 Tank로 흡입 모래 등을 Filtering하면서 Bentonite 신선도 계속 유지보유.

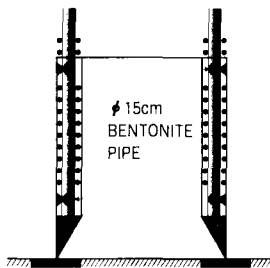


4. 일반작업

Form 조립 -> (Inner, Outer Form)

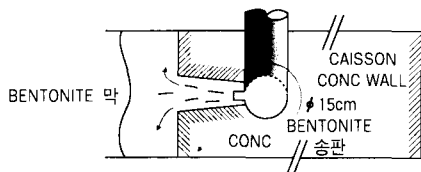
철근조립 Vertical 12m 길이 수평 Lubrication Pipe Cone 설치

Con'c 타설 1회 2.4m-> 양생 Curing Compound Form 청소, Form Oil



5. Caisson Sinking 작업

- a) 1차 SINKING : 0~10meter Open Cut (Caisson) 내외부, Con'c Stopper 설치
- 0~103meter Lubrication System (Bentonite용 액) 가동 마찰 Zero 시도



6. Caisson 내부굴착

1차 0~15 m 정도 깊이는 크라함셀로굴착

2차 15~103 m는 특수 Air Lift System으로 물과 토사 동시 굴착

- a) 1차 침하시 0~15~25m까지는 깊이 에서는 Caisson이 주변토사의 Open굴착으로 심하게 움직이므로 이때 Excavation시 대칭으로 굴착량을 조절하여 Caisson이 위치 변동이 없도록 했음

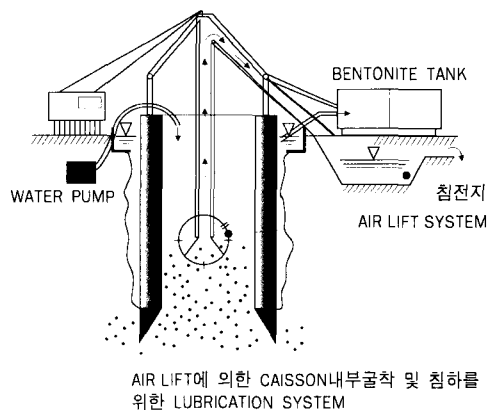
- b) 2차 침하구간 25~103m 구간에서는 용천수의 Caisson 내부 침투를 방지하기 위해 인위적으로 수위를 유지해야 한다.

이를 무시할 경우 대형 사고가 예상됨

- c) 75m이하부터는 20cm이상의 호박돌층의 굴착으로 Air Lift Main Pipe 30cm 2로는 만곡부위에서 호박돌이 걸리는 현상이 자주 발생 Pipe 전체를 해체해야 하는 어려움이 있었음

이후 작업에는 흡입구에 망을 설치해서 호박돌은 잔유하도록 했음

- d) Air Lift Pipe 전체 길이가 약 130m로서 이 길이를 Crane으로 움직이면서 내부토사를 Leveling하는데 고도의 감지도로서 성공



7. Grouting 작업

Caisson 주변벽에 Jetting 되는 Bentonite 용액을 저부 Cone Hole 부터 Cement Grouting으로 Bentonite를 상부로 밀어 올려 Caisson 주변과 기존 벽으로의 완벽을 기했음

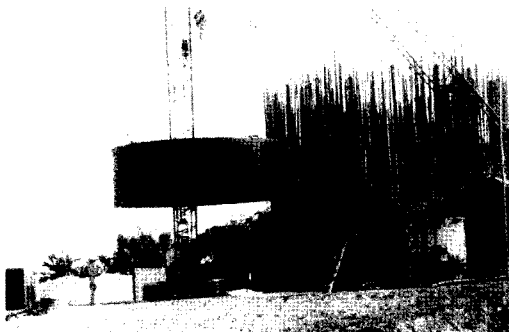
8. Caisson 내부 자갈채움

저부부터 약 70m 깊이까지 자갈채움작업으로 Caisson 14기

④ 1200m 간격 모두 완료

9. 최종 Cover

Precast로 Con'c Beam 제작 1차 설치 위에 Con'c (철근) 포설 완료



<그림 1> 12mVERTICAL철근 조립 및 내부거푸집 조립

II. 문제점 및 개선사항

본 Caisson공사는 세계에서 최초로, 최대깊이, 최대 Dia로 시공되어 얻은 시공사례가 많이 축적된 것은 사실이나 Bangladesh 국내사정의 빈약성과 노동력에 의존한 시공으로 공기를 크게 단축하지 못한 것과 최초 1기 Caisson시공이 비록 육상에서



<그림 2>1차 CONCRETE 타설후 LUBRICATION SYSTEM조립·설치, CONC면에 BENTONITE JETTNET HOLE이 보인다

이루어 졌으나 8개월이 소요된 반면 해상에서 마지막 시공된 Caisson은 불과 4개월로 단축 완공된 사실은 매우 중요한 기술축적을 의미하는 것으로 사료된다.

또한 Air Lift System 개발을 실제 14기전 Caisson에 적용 굴착작업에 저렴한 가격으로 24시간 계속작업의 이점을 크게 들 수 있으며 문제점으로는 24시간 연속작업으로 Caisson 내부 수위유지가 낮아질 경우 대형 사고에 대비하는 현장구조에 항상 초비상상태를 유지해야 하는 점이다.

본 공사의 기술을 개선할 점으로는 철근 조립을 1/4 또는 1/2로 사전조립해서 설치 가능한 점을 이용 공기단축을 기할 수 있으며 Steel Form을 3~4Set 사용시 작업시간 단축을 기할 수 있다.

우리 나라 서해지반도 대체로 연약지반이 많으므로 본 사례를 이용 적용시 많은 사례들이 실제 적용 가능할 것을 예상함.

실제 작업을 바탕으로 기술하였음.

(원고 접수일 1999, 8, 4)