

Front Jacking工法の 施工例

— 京元線 清涼里驛構内 清涼架道橋擴張工事의 施工 —

金 鍾 鎬*

序 文

清涼里驛構内(서울쪽)의 清涼架道橋는 京元復線과 2個의 引上線이 架道橋 上部를 通過하며 架道橋의 下部에는 清涼里驛 前面인 龍頭洞과 뒷面의 典農洞을 連結하는 都市幹線 道路가 通過하고 있다. 道路의 交通停滯가 甚하여 서울特別市에서는 首都圈 交通解消의 一環으로 現 架道橋의 幅을 倍로 擴張하기로 計劃하였다.

本 架道橋(幅7.5m×2連→4連) 擴張工事は 架道橋 上部의 列車運行과 架道橋 下部의 道路交通에 支障없이 施工 可能한 프런트 재킹(Front Jacking) 工法을 採擇하였다. 콘크리트 廠體(高6.4m 幅16.4m)를 製作하여 PC 동선을 jack에 連結하여 線路下의 所定位置에 牽引하는 工法이다.

本工程는 서울特別市(東大門區庁)의 要請에 依하여 鐵道庁(서울地方鐵道庁)에서 施行하며 施工會社는 日本極東鋼絃콘크리트振興(株)과 技術提携한 特殊建設工業(株)가 施工하게 되었다.

1. 施工法의 檢討

橫斷區間의 鐵道 路盤幅 全長 49.0m에 맞추어서 構造物의 延長을 49.0m로 定하고 列車運行區間인 25.5m만을 Front jacking 工法으로



사진 1. Front Jack 裝置完了

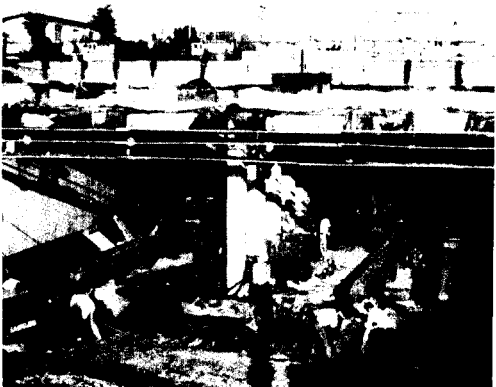


사진 2. Front jack 掘鑿排土作業中

* 正會員, 特殊建設(株)顧問

施工키로 하고 殘余區間은 一般的인 工法으로 施工하기로 하였다.

(1) Pipe Roof

工法의 選擇은 經濟性, 工期, 安全性, 施工性 등을 考慮하여 架道橋의 上下部 交通에 支障없고 安全性이 確實한 本工法을 擇하였으며 安全性을 더욱 높이기 爲하여 pipe roof를 併用키로 하였다. pipe의 直徑은 300mm~800mm까지 使用되고 있으나 이곳에서는 推進時에 道床의 安全을 爲하여 $\phi 400\text{mm}$ 의 pipe를 使用하였다.

(2) 牽引方法

牽引方法은 片側牽引工法 相互牽引工法 分割牽引工法이 있는데 本工事現場은 線路兩側의 空地를 利用하여 函體를 兩側에 分割製作키로 하여 相互牽引工法을 採擇하였다.

前進基地에 ① 函體($l=12.5\text{m}$)를 到達坑에 ② 函體($l=10.0\text{m}$)의 2箇 函體를 製作하여 相互間에 anchor로 使用하였다.

片側牽引工法은 先端shoe를 1箇만 製作하면 되는 便利한 點이 있으나 反力壁을 別途로 만들어야 하는 作業 過程이 必要하다.

清涼架道橋의 設計諸元은 다음과 같다.

項 目	諸 元
道 路 幅	步道 車道 兼用 $7.5\text{m} \times 2$
施工延長	開通區間 23.5m , 牽引區間 25.5m 計 49.0m
函體形狀	外形寸수 幅 16.4m 高 6.0m 函體長 25.5m ($12.5\text{m} + 10.0\text{m} + 3.0\text{m}$ - 接續部)
工 期	1986. 7. 29 ~ 1987. 10.
工 法	Front jacking 工法 (相互牽引式)
土 被	F. L에서 40cm
構 造	라멘 철근콘크리트造
牽 引 長	23.5m
牽 引 工	Front jack 36台 ($150\text{t}/\text{台}$) Face jack 48台 ($30\text{t}/\text{台}$) P. C 鋼組 36組 ($8\text{T } \phi 15.2$) 推定牽引抵抗力 約 $3,800\text{t}$
線路保護工	水平 pipe roof $l = 27.0\text{m}$, $\phi 400\text{mm}$ 39本 鉛直 pipe roof $l = 27.0\text{m}$ $\phi 400\text{mm}$ 兩側 $11\text{本} \times 2 = 22\text{本}$
導 坑	3箇所 ($25.5\text{m} \times 3$) 高 2.17m , 幅 2.00m
Tie rod	PC 鋼線 $12 \phi 7$ 36個所
補助工法	藥液注入工 (函體底部 側面上部) pipe 속채우기

(3) Boring 結果

Boring 結果는 그림 1에서 보는 바와 같이 路盤上層은 盛土層으로 자갈, 실트, 모래層으로 形成되어 있으며 下層은 原地層으로 모래질 실트층이다. 그러므로 特別한 支障없이 掘鑿이 可能한 土質이었다.

또한 現場調査를 通하여 既存 地下道의 基礎와 基礎말뚝 및 隣接되어 있는 下水溝의 位置를 正確히 測定하여 函體牽引에 支障없음을 確認하였다. 그림 1 參照

2. 設計諸元

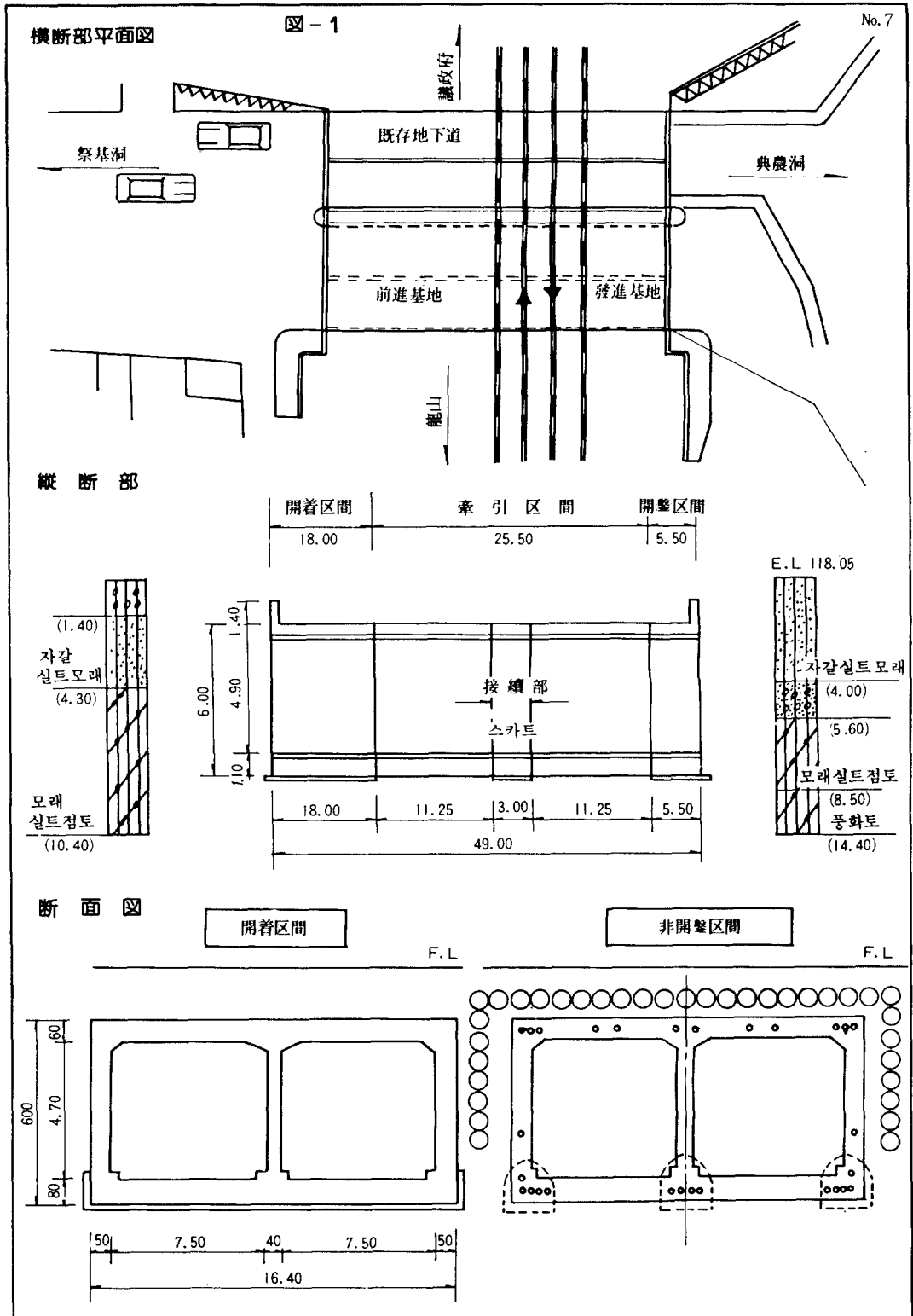
3. 工事記錄

工事は 1986年 7월 29日 着工하여 1987年 10月末頃 竣工 되었다.

以下 施工內容의 概要를 施工順序에 따라 簡單하게 記述한다.

(1) 立坑施工 (前進基地, 反力基地)

前進基地는 pipe roof를 推進할 수 있고 函體를 製作할 수 있는 充分한 空間을 確保하여야 한다. 反力基地 역시 反力壁을 製作하지 않고 # 2의 函體를 製作하여 反力으로 利用하므로 函體를 施工할 수 있는 空間을 確保하여야



한다.

前進基地는 幅 18.3m, 길이 15.5m로 定하고 前面의 線路側은 H型鋼(H-298×201×9×14) $l=8.50m$ 를 1.60m~2.00m 間隔으로 박고 흙막이板($t=12cm$)을 使用하여 前進基地를 만들었다.

버팀대는 H-300×300×10×15와 H-298×201×9×14를 使用하였다. 反力基地는 反力壁 代身에 #2의 函體를 製作하였다.

(2) Pipe Roof 工

Pipe roof 工의 施工은 Front jacking 工法에서 函體牽引時에 軌道の 變化를 防止하는 切緣 役割과 牽引掘鑿時의 上載荷重(死荷重 및 活荷重) 및 受働土壓에 依한 地盤의 弛緩이 發生하였을 때에 軌道에 影響을 미치지 않도록 하기 爲한 防護工으로서 施工하는 것이다.

本工事に 있어서의 水平 pipe roof 工은 鋼管 $\phi 400mm \times 24.0m$ 를 31本, 鉛直 pipe roof 工은 始點側 11本 終點側 11本, 計 22本 合計 53을 前進基地부터 片押으로 壓入하여 施工하였다.

水平 pipe roof의 鋼管은 F.L부터 40cm 밑에 있고 推進壓入 順序는 中央部를 基準鋼管으로 하여 正確하게 到達하게 하고 固定한 다음 基準鋼管의 左側으로 順次的으로 施工하고 다음에 基準鋼管의 右側으로 施工하였다.

壓入時에 軌道에 미치는 影響을 減少하기 爲하여 KA MO 機를 使用하고 地中 障害物을 撤去하였다. 施工中에는 軌道の 變位測定을 繼續的으로 施行하였으며 多少의 道床隆起 沈下가 發生하였으나($\pm 50mm$) 列車運行에는 支障이 없이 完了하였다.

(3) Tie Rod 工

Tie rod는 水平 Boring 機로 掘鑿하여 $\phi 100$ (P.V.C) pipe를 埋入하여 P.C 鋼緣 12 $\phi 7mm$ 를 使用하였다. 上, 下 2段으로 11個씩 2列로 하여 22個所에 設置하고 線路兩側을 合하며 44個所가 된다.

(4) 水平 Boring 工

函體牽引時에 牽引用 PC 鋼線挿入孔으로 使用하는 것이며 當現場에서는 Front jack 台數와 同數인 36孔의 水平 Boring을 施工하였다. 施工은 KA, MO(1100) 機를 使用하여 鋼管($\phi 350mm$)을 押入과 同時에 掘鑿 排土한 後에 P.V.C($\phi=200mm$) pipe를 鋼管內에 挿入하여 鋼管을 뽑아내는 方法을 使用하였다. 이와 같은 水平 Boring 工은 函體牽引時의 精密度에 關係되는 것이므로 施工時의 橫方向 縱方向에 對하여 充分한 注意가 必要하다. 精度는 施工 延長의 1%以下, 最大 200mm 以下를 目標로 하고 있다. 當現場에서는 最大 200mm 以內로 函體牽引에 支障없는 範圍였다. 그러나 水平 Boring의 間隔이 50cm이고 縱方向에 數段이 있으므로 鑿孔後에 鋼管을 뽑아낼때 水平 Boring 孔이 接觸하는 狀態를 一部 벗어났다. 그러므로 jack 配列에 關하여는 이 點을 配慮하여 決定하는 것이 바람직하다.

(5) 導坑

導坑은 掘鑿牽引時의 精密度(方向, 勾配)를 높이고 地質確認 및 Front jack 牽引用 PC 鋼線挿入坑으로서 設置하는 것을 目的으로 한다. 函體幅이 16.40m이므로 兩端과 中央部에 各各 1個所 計 3個所를 設置하였다.

掘鑿은 前進基地側에서 人力으로 施行하고 掘鑿土砂는 坑口까지는 Velt conveyor로 搬出하고 坑口에서는 Dozer로 整理하였다. 坑內地盤은 모래질, 실트이나 局部的으로 花강암질 九化土도 狹在하였다. 軟弱하거나 崩壞性土砂를 包含한 箇所는 縫地工法으로 掘鑿하였다. 支保工은 鋼 arch 支保工(H-125×125)을 使用하고, 支保工間隔은 90cm를 取하였다. 斷面은 底邊=2.00m 高=1.77m로 하고 兩端部의 導坑에서는 函體牽引時에 方向을 바로 잡기 爲하여 片形鋼(H-300×300)을 設置한 側壁 guide 工을 設置하였다.

(6) 發進台工

發進台는 函體를 製作하여 坑內로 牽引하기 爲한 基礎콘크리트를 말한다.

發進台의 크기는 幅 18.4m 길이 15.5m 두께

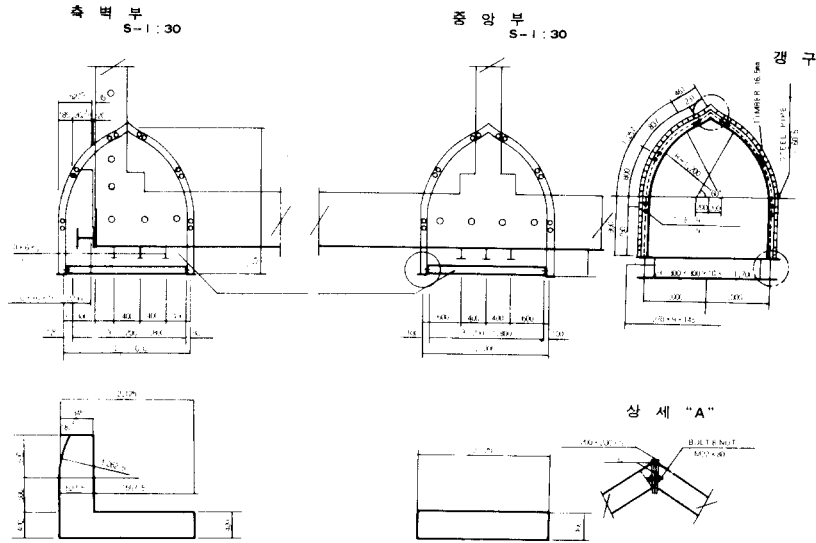


그림 2. 導坑

0.35m로 하였다. 우선 基礎捨石($t=20\text{cm}$)을 施工한 다음에 基礎콘크리트($t=15\text{cm}$)를 施工하였다. 固結하기 前에 枳木役割을 하는 Angle($L-65\text{mm} \times 65\text{mm}$)을 콘크리트中에 固定시키고 그 上面에 H形鋼($H-148 \times 100$) 3本式을 導坑方向으로 溶接하여 水平으로 固定하였다.

再次 Level 測量을 施行하여 精度를 $\pm 2 \sim 3\text{mm}$ 로 調整하여 나머지 두께 20cm의 콘크리트를 施工하였다.

(7) 函體製作工

(가) 先端 Shoe

先端 Shoe의 目的은 函體牽引時의 掘鑿을 爲한 비계 代用을 함과 同時에 막장의 崩壞防止를 目的으로 하는 것이다.

先端 Shoe의 施工은 發進台의 콘크리트가 所要強度에 到達된 後에 모래를 若干 깔고 先端 Shoe를 掘置하였다. 先端 Shoe의 構造는 $t=19\text{mm}$ 鋼板을 縱으로 3段, 橫으로 6列이며 18個의 箱子가 格子型으로 되어있고 鋼材重量은 主體가 47t이고 Face jack 48台를 設置하기 爲한 補助裝置와 其他 補強材의 重量이 약 10t 合計 57t이다. 工事現場의 空地에 簡單한 仮施設을 하여 製作되었다.

(나) 函體施工

콘크리트의 施工은 Box-라멘 철근 콘크리트 #1函體와 #2函體를 施工하였다. 于先 1次的으로 發進台工 完了後 函體牽引이 円滑하게 되도록 모래를 깔고, 다음으로 函體콘크리트의 剝雜防止와 推進時의 摩擦抵抗의 減少를 爲하여 鋼板($t=6\text{mm}$)으로 保護工을 하였다.

保護工에는 附着을 좋게하기 爲하여 鐵筋을 取付하여 #1函體는 $t=12.5\text{m}$ 幅 16.4m 側壁높이 1.1m, #2函體는 $t=10.0\text{m}$ 幅과 側壁 높이는 #1函體와 같이 하였다.

函體製作에 있어서는 牽引推進時의 摩擦抵抗을 조금이라도 減少시키기 爲하여 외부형틀은 鐵板을 使用하고 上床版은 美匠 끝마무리를 하였다.

(8) 牽引準備工

(가) 匍進防止工

函體牽引時에 牽引壓力에 依하여 pipe roof가 牽引方向으로 移動될 것으로 豫想되므로 軌道의 影響을 考慮하여 反力側 pipe roof 先端에 H形鋼($H-300 \times 300$)을 設置하여 同一한 H形鋼으로 버팀대를 設置하였다.

(나) PC 鋼線挿入工

PC 鋼線($8T \phi 15.2\text{mm}$, $l=70\text{mm}$) 挿入은 #1函體後部에서 挿入하여 水平 Boring孔 또는 導坑을 通하여 B函體까지 한가닥씩 人力으로 挿入하여 定着하였다.

(다) 排土處理設備

掘鑿牽引에 隨伴하여 發生한 土砂는 下部에 設備한 belt conveyer에 依하여 函體 밖으로 搬出하였다.

(라) 先端 Shoe 貫入工

先端 Shoe의 貫入은 # 1 函體前面의 Shoe가 흠막이工의 버팀대(H-298×201)에 바삭 닿도록 牽引한 다음에 Face jack로 上段 버팀대(H-298×201)를 누르고 shoe의 縱方向 鋼鈹에 닿는 버팀대를 切斷하여 shoe內에 버팀대가 들어갈때 까지 函體를 牽引한다. 다음에 下段 버팀대(E-380×100)로부터 上部의 主抗인 H形鋼(H-298×201)의 切斷은 shoe의 橫方向 鋼鈹이 닿는 部分에 한다. 그러나 face jack의 돌우기(盛替)를 爲하여는 flange部를 남겨서 角材(200×200)로서 흠막이를 하고 shoe가 pipe roof 下面에 이르기까지 牽引한다.

같은 順序로 下段버팀대 主抗인 H形鋼을 切斷한다. 그리고 흠막이재 撤去(即 버팀대 主抗 Earth Anchor) face jack의 돌우기(盛替)牽引을 反覆하여 shoe 貫入을 完了하였으나 主抗 支持方式에 依한 pipe roof 받침 設備(H-300×300)의 撤去에 依한 pipe roof의 沈下가 先端에서 20cm 程度 되었다. 軌道에는 아무런 影響이 없고 無事히 shoe 貫入이 完了되었다.

(10) 掘鑿牽引工

掘鑿은 先端 shoe 貫入後에 上段부터 face jack를 開放하고 흠막이材를 撤去하면서 人力으로 掘鑿하였다. 掘鑿完了後에는 곧바로 흠막이材를 使用하여 face jack로 閉塞하여 崩壞를 防止하였다. 平均 face jack 開放率은 1/3 이며 土質에 따라서 若干式 調節하였다.

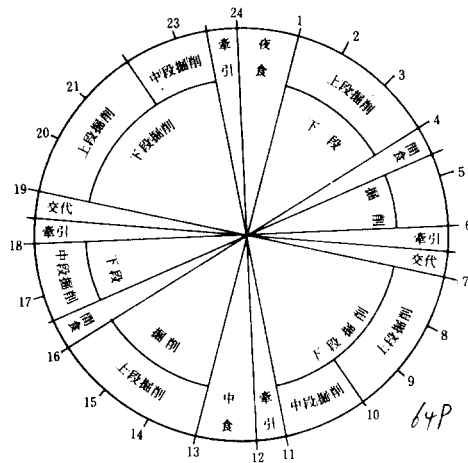
上記要領으로 shoe의 最上部부터 下段까지 掘鑿排土한 다음 # 1 函體부터 牽引作業을 始作한다.

이때에 注意할 點은 # 1 函體重量 約 1,000t Anchor 役割을 하는 # 2 函體의 重量이 約 810t에 不過하다. 牽引時의 必要한 牽引力은 30% 加算하여 約 3,100t이 되므로 3100t-810

t = 2290t 이란 힘은 反力基地側의 土留壁이 負擔하여야 한다.

그러나 土留壁은 線路의 흠막이壁에 不過하므로 大幅의인 補強을 實施하였다. # 1 函體를 所定位置까지 牽引한 다음 # 1 函體를 Anchor로 하여 # 2 函體를 掘鑿牽引 하였다. 作業의 要領과 順序는 # 1 函體와 同一하게 施行하였다.

本 掘鑿牽引作業에 있어서 側壁 guide 工이 堅固하고 Front jack를 調整 操作을 適切하게 運轉하여 道路中心 方向의 誤差는 거의 없었다. 掘鑿索引 作業의 標準 Cycle Time은 別圖와 같다.



掘鑿牽引標準 Cycle time (標準: 日進度 1.6m)

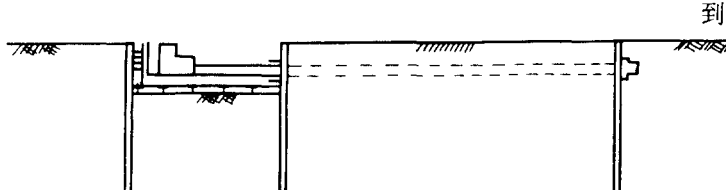
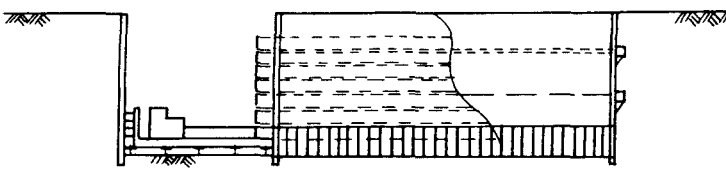
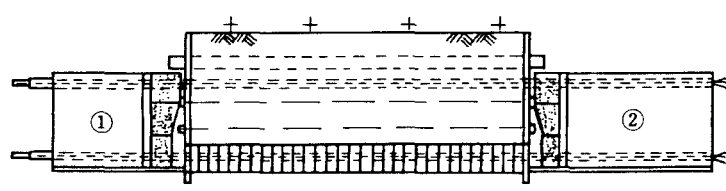
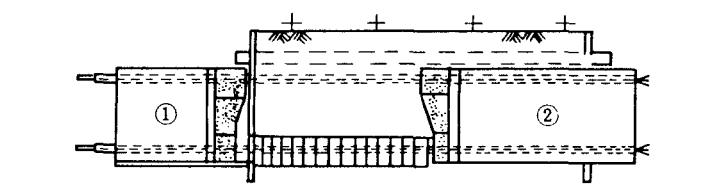
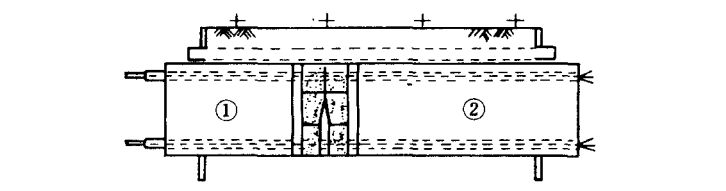
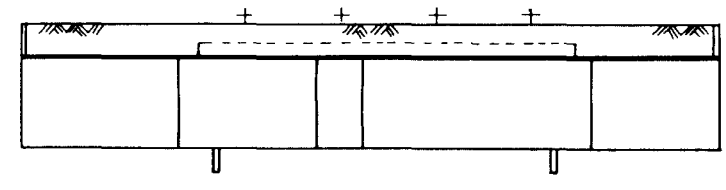
(11) 接合部處理

1 函體와 # 2 函體의 先端 shoe 部の 接合部는 全面 熔接을 하고 必要에 따라서 付帶 lip 鋼鈹을 切斷하여 外型 거푸집으로 完成하고 防水를 徹底히 하여 2次 콘크리트를 打設한다. 콘크리트가 所要強度에 到達할때 까지는 shoe 部分은 不安全한 狀態에 있으므로 作業時間을 最少限으로 短縮하여야 한다.

여기에서 重要한 點은 漏水防止를 爲한 止水工이며 여러가지로 檢討하여야 겠다.

(12) Grouting

Pipe 內部는 air milk로 充填하고 pipe roof와 函體사이 및 函體底面下는 모두 Grouting

FRONT JACKING工法 施工 順序圖	施工 內容
 <p style="text-align: right;">到</p>	<ul style="list-style-type: none"> ① H-PILE 항타 ② 前進基地 設置 ③ 水平鋼管插入 ④ H-BEAM 設置 (機械 받침대)
	<ul style="list-style-type: none"> ⑤ 垂直鋼管 推進 ⑥ 水平 穿孔 ④ 다이랏트 設置 ⑧ 導坑設置
	<ul style="list-style-type: none"> ⑨ 發進台 設置 ⑩ 先端 SHOE 組立 ⑪ 函體 製作 ⑫ FRONT JACK 設置
	<ul style="list-style-type: none"> ⑬ 土留施設 철거 (面部) ⑭ 土砂掘鑿 ⑮ 函體牽引 (NO.1)
	<ul style="list-style-type: none"> ⑯ 土留施設 철거 (面部) ⑰ 土砂掘鑿 ⑱ 函體牽引 (NO.2)
	<ul style="list-style-type: none"> ⑲ 先端SHOE部分 콘크리트 施工 ⑳ 開前區間 ㉑ 土留工 철거 ㉒ 完 成

하였다.

4. 軌道の 保安對策

本 工事現場은 各種列車가 繼續的으로 走行하고 있다. 따라서 軌道變形의 有無를 早期把握하기 爲하여 要所마다 測點을 設定하고 順次的으로 測定하여 萬全을 期하였다. 列車速度는 構內가 가까우므로 80km/hr 程度였으며 工事로 因한 徐行은 必要 없었다.

다만 下記作業은 列車通過時는 一時作業을 中斷하였다.

- pipe roof의 推進作業
- 函體의 牽引作業

函體牽引은 晝夜交代로 施工하였으므로 牽引前

後는 軌道間隔水準, 高低를 測定하여 檢査하였고 熟練된 監視員을 常時 配置하여 軌道管理를 하였다.

後 記

Front jacking 工法은 우리나라에 導入된지 日淺하여 經驗不足으로 施工에 많은 問題點과 不安을 갖고 있었다. 그러나 今回施工에 있어서 列車에 對한 影響없이 無事히 施工할 수 있었고, Front jack의 牽引에 있어서도 別事故 없이 正確하게 完了하였다.

但 函體貫入時의 흠막이를 貫入除去 하는데 많은 經驗과 熟練을 要하였고 先端 shoe 接合部 施工에는 많은 研究가 必要하였다.

공 정 표

공 종	86					87											비 고
	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
支 障 物 移 設	—																전차선 이설
前 進 基 地 築 造	—																토류벽 및 전진기지
鋼 管 推 進			—														pipe roof (L = 24m 61공)
Tie rod 設 置				—													어스앵카
水 平 boring 工					—												Box견인용 P.C 강선삽입용
導 坑 設 置						—											
反 力 基 地 築 造								—									發進台築造
先 端 shoe 設 置							—										2 개소
函 體 築 造									—								2 개소(L = 12.55, L = 10m)
函 體 牽 引											—						L = 22.5m
地 盤 補 强 藥 液 注 入													—				鋼管內 및 函體周圍 및 函體底面 현장타설(l = 3.04)
開 鑿 區 間 Box 製 作															—		개착구간(L = 19. L = 4.5)
外 壁 및 담 장 設 置																—	
其 他 工 事 및 整 理																—	