

# 고압분사주입 및 TRM 사례연구

김정윤\*, 오민열\*\*, 오성진\*\*\*

---

\* (주)동원기초 부사장  
\*\* (주)양광Eng. 대표이사  
\*\*\*한양대 석사과정

## 사례 I:

# 교대구조물의 측방유동방지를 위한 대책공

## 1. 서론

본 사례는 ○○지구 교량구조물에서 교대배면에 성토시, 하부 연약지반에서 발생할 수 있는 측방유동의 대책공으로서 적용된 고압분사주입공법에 대한 사례이다. 고압분사주입공법을 이용하여 연약지반중에 고강도의 고압분사주입 개량체를 형성하고 개량체 상부를 short length 개량체로 서로 연결시켜 구속함으로써 지반의 강도증진과 추후 상부에 단계성토하중을 하부 지지층까지 전달하는 작용을하여 궁극적으로는 지반의 변형을 최소화하는 것이다.

## 2 토층상태 및 토질특성

지층의 구성은 매립토층, 해성퇴적층, 풍화잔류토층, 풍화암층 순으로 구성되어 있다. 해성퇴적층(ML/CL)의 두께는 약 17m이고, 자연함수비는 25.0%~36.0%이고, 액성한계는 25.8%~28.9%, 소성한계 7.3%~7.6%이다. 해성퇴적층의 표준관입시험치는 상부 10m에서는 1/30~5/30로 연약한 상태로 나타났으며 그 하부는 5/30~9/30, 50/28~28/30로 보통 단단한 상태~굳은 상태로 깊이가 깊어질수록 단단한 것으로 나타났다. 잔류토층(SM)은 약 4m의 두께로 조사되었으며 표준관입시험치는 47/30~50/18로 조밀 또는, 매우조밀한 상태이다. 풍화암층은 모암의 풍화대로서 실트질 모래로 분해되는 성질을 지니며 표준관입시험치는 전범위에 걸쳐 50/8~50/1로 매우 조밀한 상태이다.

### 3. 공법의 적용

본 사례는 연약지반상에 도로를 축조하기 위하여 Sand Drain공법을 적용하여 지반개량을 실시하고 있던중, 민원으로 교량 하부의 수로개방이 불가피하게 되었으며, 수로개방시 연약지반의 안정성, 공사차량의 이동 등의 문제로 인하여 교량의 건설이 시급한 실정이다. 교량을 건설하고 이를 이용하려면 교대 배면의 성토가 필요한데, 단계성토에 의한 연약지반의 개량이 아직 끝나지 않은 상태에서 교대 배면에 교량의 높이까지 성토를 하게 되면 교대 및 교대기초에 측방유동토압이 작용하게 되어 이러한 구조물에 위해가 예상되고 있는 실정이다. 이러한 이유로 본 현장에 측방유동 및 교대 구조물을 포함한 대단면 사면활동이 예상되어 이에 대한 대책공으로 고압분사주입 개량체를 교대배면 및 전면에 그림 3과 같이 주입시공할 계획이다.

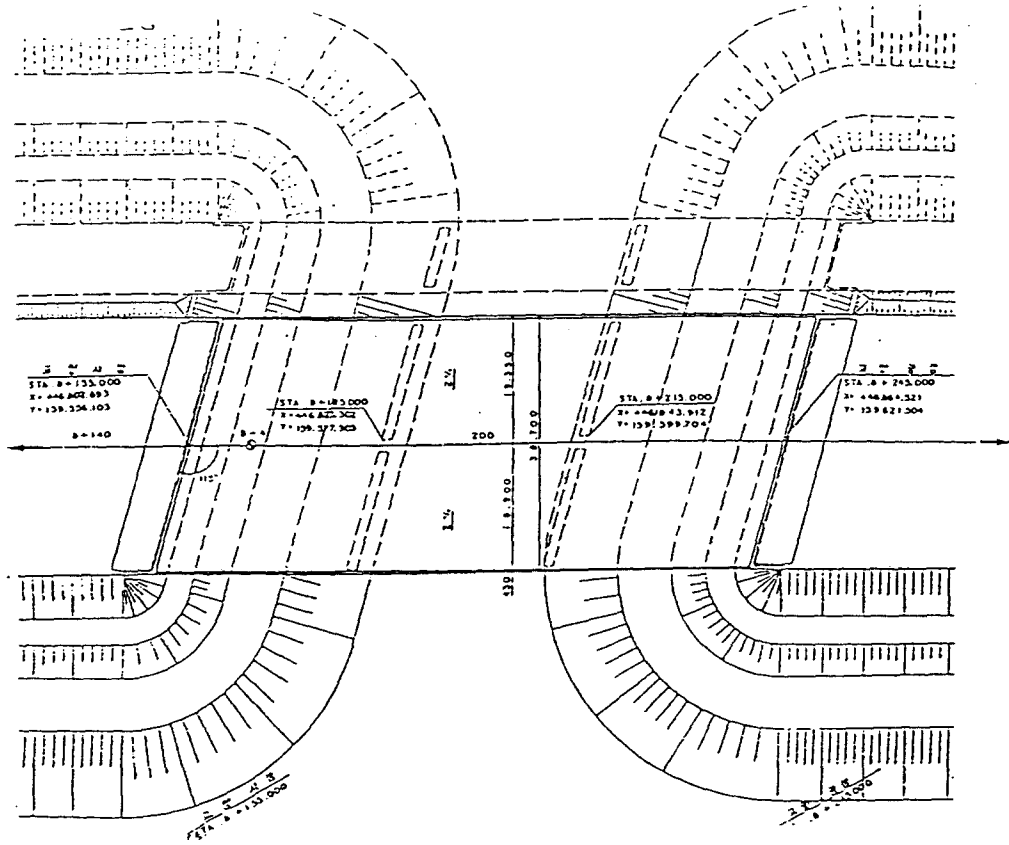


그림 1 교량의 평면도

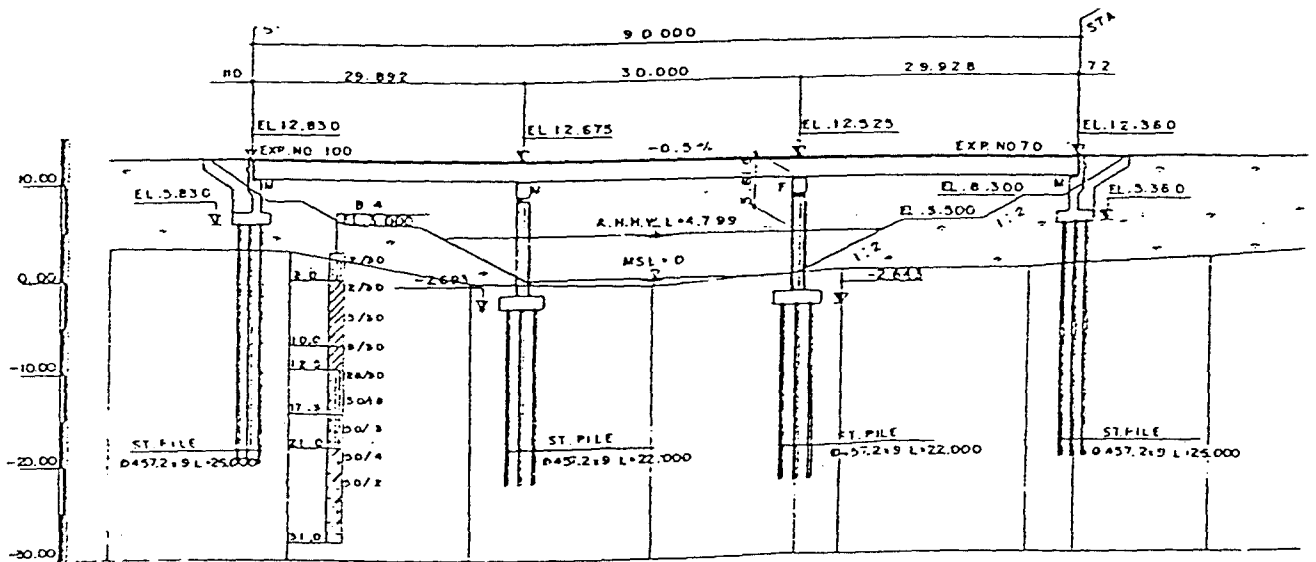


그림 2 교량의 횡단면도

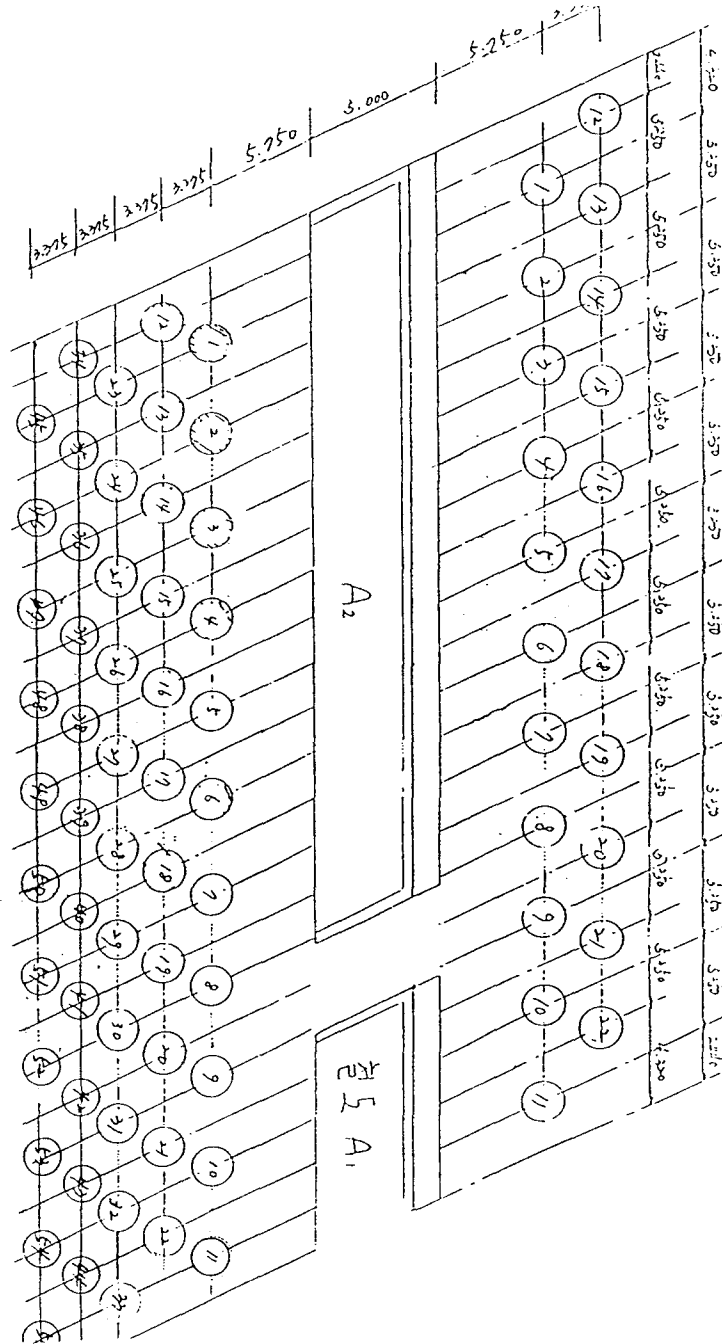


그림 3 고압분사주입 개량체 시공배치도

## 사례 II:

# 사면활동방지를 위한 대책공

## 1. 서론

해안에 수제선구조물 등의 설치를 위한 연약지반처리시, 추후 성토, 전면의 준설 등으로 인하여 발생가능한 히빙, 사면활동을 억제하기 위해 실시한 고압분사주입공법에 대한 사례이다.

## 2. 토질특성 및 토층구성

대상지역의 지층상태는 지표에 약 3~4m 내외의 매립토층(SM, GM), 해성점토층(CH)은 약 40m두께로 존재하고 있으며 표준관입시험치는 0~5로 매우 연약한 상태이다. 그 하부에는 실트질 세립내지 중립의 모래(SM/SP) 또는 실트질자갈(GM/GP)로 구성되어있다.

대상지역의 해성점토층의 액성한계는 87.4%, 소성지수는 51.1이고, 자연함수비는 평균 73%로 나타났으며 지하수의 염분농도가 약 0.75%로 나타났다. 대상지반의 깊이에 따른 표준관입시험치와 자연함수비는 다음 그림 4, 그림 5와 같다.

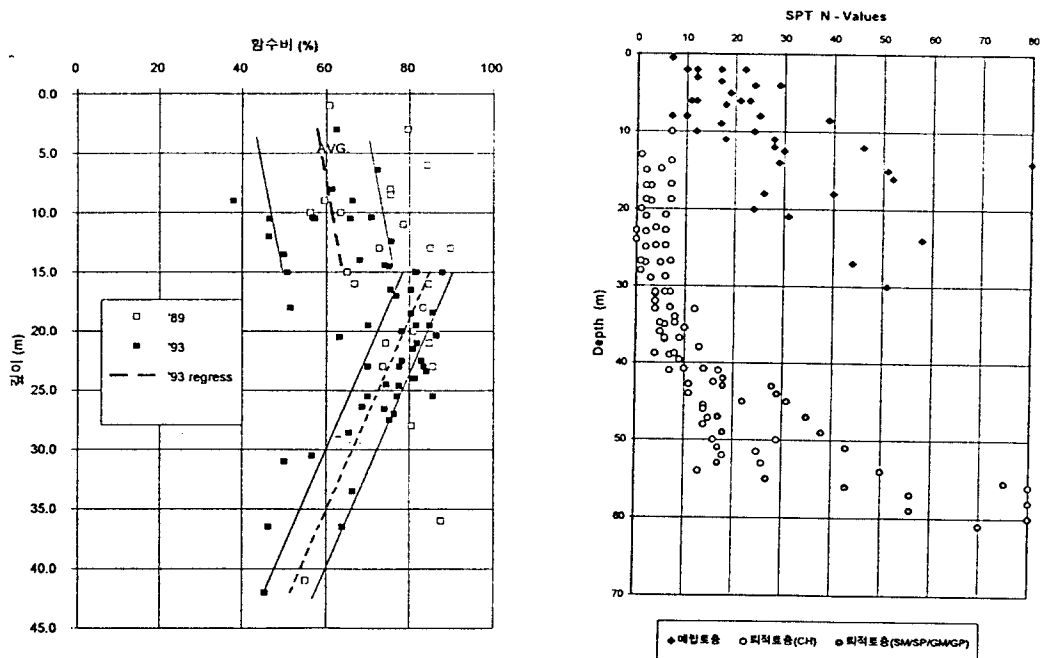


그림 4. 심도에 따른 지층별 N치의 분포 그림 5. 깊이에 따른 함수비의 변화

### 3. 공법의 적용

해상전면부에 Hydraulic filling 및 육상부에서 Berm의 설치로 지반을 안정시키고 나서 단계성토로 지반개량을 실시한 후, 그 위에 기존안벽으로 부터 40m구간은 중력식 안벽으로, 나머지 180m구간은 잔교식 안벽으로 시공하도록 설계되었다. 그러나 항로쪽으로 토사의 대량유출과 함께 동일위치에서 파괴성 지반침하가 계속 발생하였다. 계속해서 압성토를 실시할 경우 인접한 기존안벽에 심한 손상이 우려되었다. 이에 원설계의 연약지반처리가 아닌 새로운 공법의 선정이 불가피하게 판단되어 그 대안으로 고압분사주입에 의한 고결공법이 도입되었다. 본 현장의 평면도 및 대표단면은 다음 그림 6~그림 8과 같다.

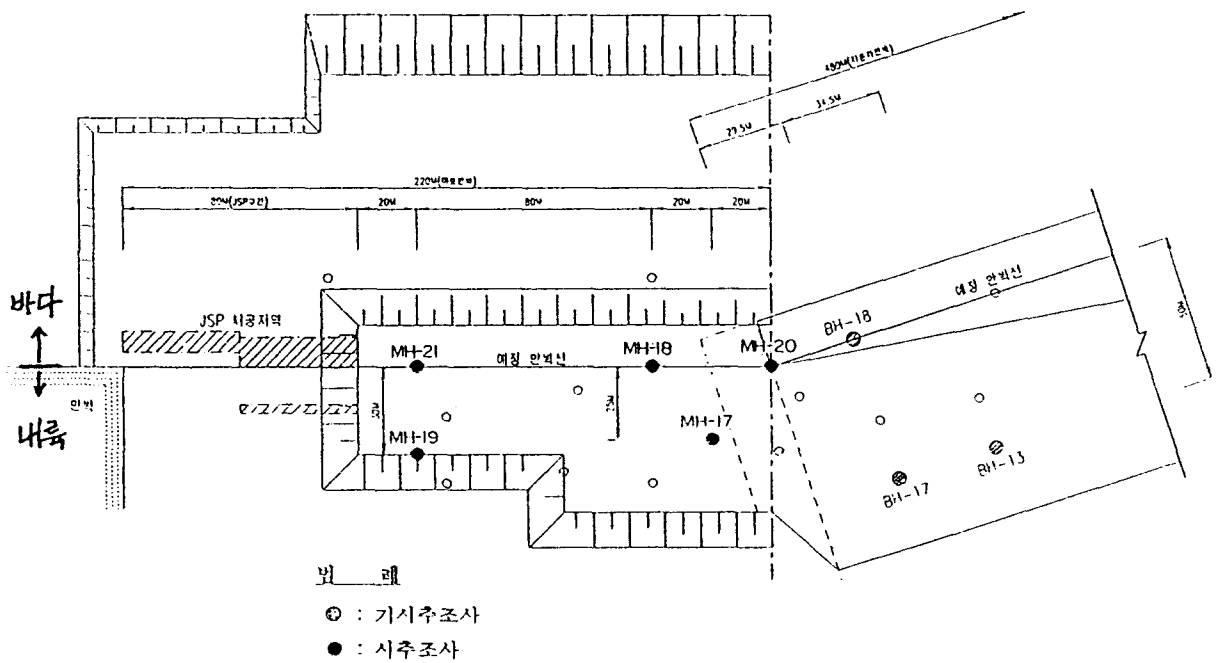


그림 6 대상지역의 평면도

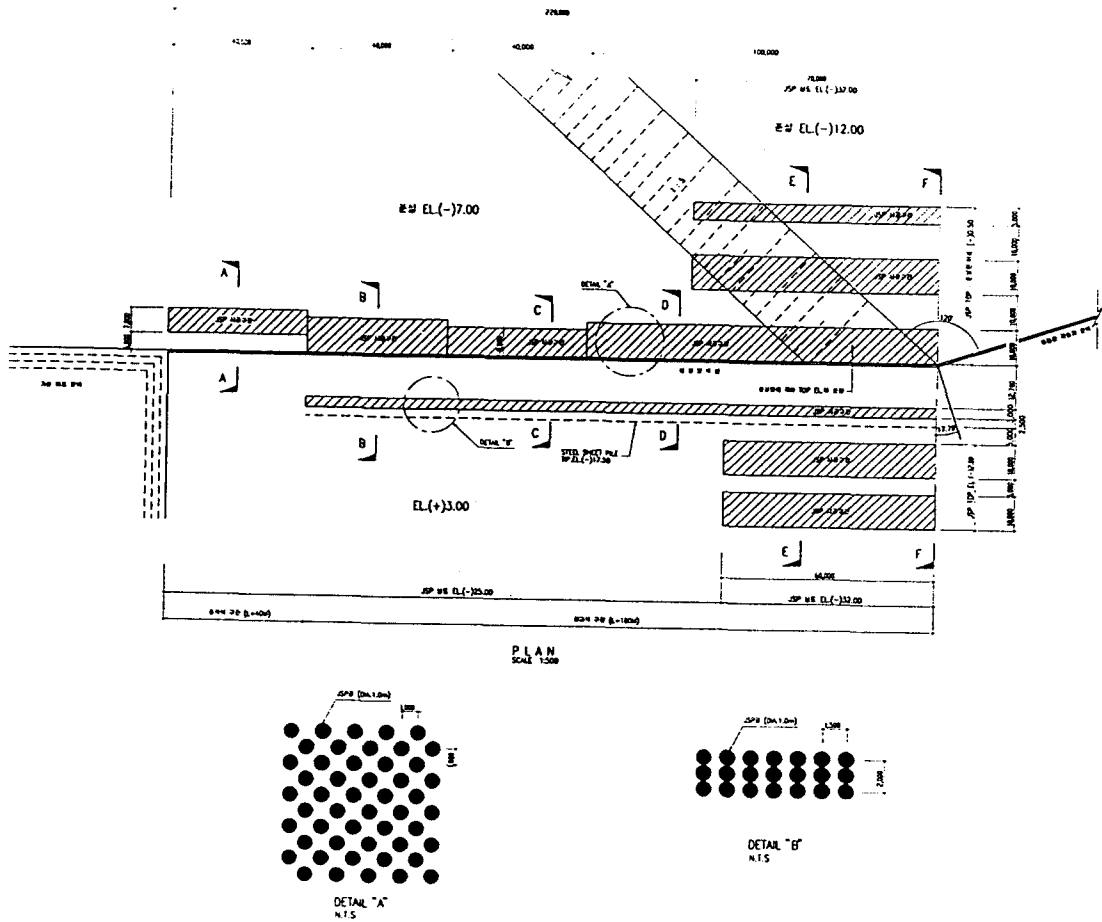


그림 7 고결공법 평면도

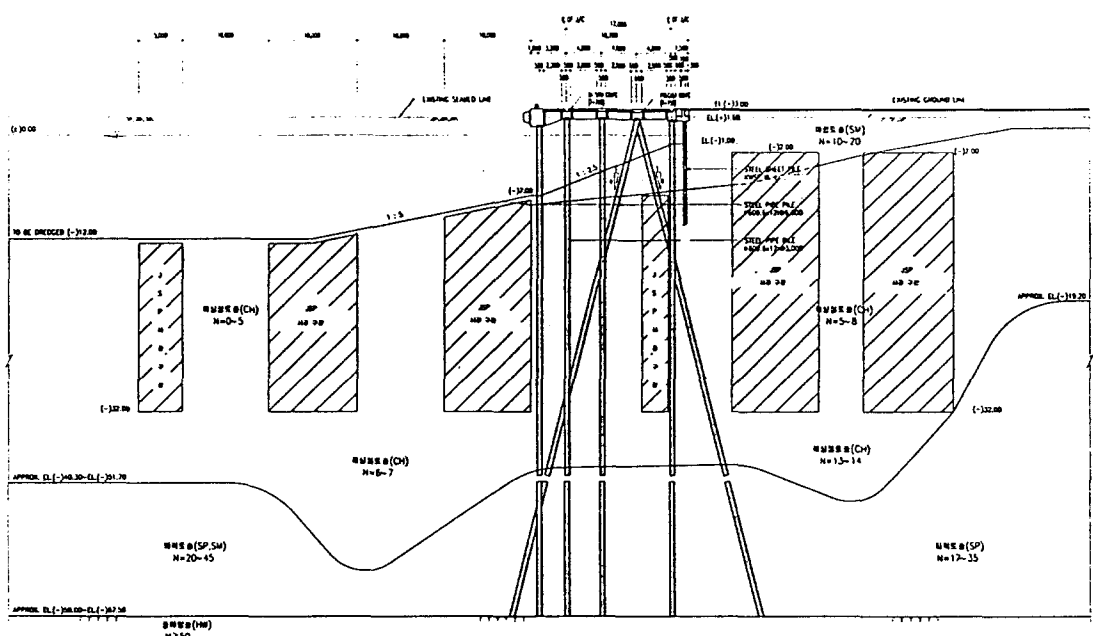


그림 8 고결공법 횡단면도(B-E단면)



### 사례 III:

## 지하철 건설공사에서 TRM공법 적용에

### 1. 공법개요

본 공법은 지하구조물 축조공법으로서 지하에 거대한 루프구조를 형성하는 공법이다. 현재 유럽에서 많이 이용되는 공법으로 복잡한 시가지 중심에 넓은 지하상가, 지하철, 지하철역사, 통신구 등을 시공하고 있는데 시공방법이 아주 간편한 것이 특징이다. 특히, 공사가 진행되는 동안 지상의 제반 문제점 즉 지상 구조물, 건물, 차량통행, 아스팔트 노면의 침하, 지하매설시설물 등에 대하여 안전하며, 부담없이 시공할 수 있는 최신의 공법이다.

### 2. 시공순서

강관을 압입하는 본공법의 시공순서는 다음과 같다.

- (1) 최소한 3m×3.5m×6m(가로×세로×깊이)정도의 수직갱을 예상구조물 한쪽 끝에 설치해서 전진기지 및 반출구를 구축한다.
- (2) 지하구조물의 크기 및 방향에 따라 구조물의 1개 방향으로 갤러리(수평갱도3m×3.5m)를 구축해 나간다.
- (3) 수평갤러리의 축방향에 대한 직각방향으로 직경 1.5~2m의 강관 또는 콘크리트 홉관을 1m 단위로 만들어 잭킹 기계로서 수평으로 강제 압입하면서 관내의 토량을 굴착하여 구조물의 루프를 지하에서 구축한다. 이러한 수평관 압입을 평행하게 연속적으로 진행한 후 내부에 콘크리트를 충전하여 원형보의 루프구조를 형성한다.
- (4) 파이프잭킹은 400m 정도의 시공경력을 갖고 있으며 이때 토량의 안정을 위해 벤토나이트 혼탁액을 파이프 주위에 주입하고 일정한 압력을 유지하도록 주입한다.
- (5) 수평관은 계속 압입하고 있으며 특수레이저 광선빔을 이용한 관의 축방향의 측정 및 정도관리를 시행하면서 진행한다.(오차 ±50mm이내)

- (6) 수평관 압입(파이프 잭킹)이 끝나면 예상구조물의 측벽에 해당하는 4개의 방향에 수직트렌치벽(Trench Wall)을 설치한다.
- (7) 수직트렌치벽은 파이프내에서 수직 직하방향으로 역공법을 이용해서 굴착하는데 이때 굴착측벽의 붕괴를 방지하기 위해서 특별히 고안 제작된 콘크리트 토류판, 또는 목재토류판을 사용할 수도 있다.
- (8) 이렇게 해서 수직트렌치벽을 소정의 깊이까지 굴착하면 구조계산에 따른 철근을 배근하고 콘크리트를 부어넣어 측벽의 구체를 형성하고 잭킹한 파이프 내부에도 구조경간을 고려하여 철근을 배근하고 콘크리트를 부어넣어 강력한 루프구조물을 형성하게 되는 것이다.
- (9) 이 때 파이프와 파이프의 사이에는 측벽과 파이프루프가 완성되면 루프파이프의 아래의 토랑 역시 역공법으로 굴착하면서 기둥, 빔 등을 설치해서 대경간의 지하구조물을 형성할 수 있다.

이러한 지하구조물을 대개 지하상가, 지하철 및 지하철역사, 지하주차장, 지하차도, 지하통신구, 터널, 지하도수로 등의 다목적의 용도로 쓰이고 있다.

### 3. 사용자재

#### (1) 수평관 압입용 자재

일반적으로 사용목적에 따라 다르지만 강관과 흙관으로 구분되며, 대개 구경은  $\phi 1200\text{mm}$ 부터  $\phi 2400\text{mm}$ 까지 다양하다(KS F 4403, 4405, 4406). 외경의 표면처리는 사용목적에 따라 행해지고 흙관의 경우 구조목적 또는 도수관, 보호관용 등의 목적에 따라 후처리를 행하여 목표를 달성할 수 있다. 강관 추진의 경우 방수공사, 장거리추진 등이 용이하므로 대경간의 구조물의 목적에 주로 적용되고 있다.

#### (2) 트렌치용 자재

- P.C.토류판 : 토류판의 목적으로  $1.5\text{m} \times 0.45 \times 0.05$ 의 규격으로 기계작된 콘크리트판.
- 수평버팀대 : 스크류볼트를 사용한 수평버팀대(Strut)를 제작해서 토류판을 지지한다.

#### (3) 갤러리용 자재

- sheet파일 : 형으로 가공된 180mm×1200mm 두께 3~5mm의 sheet파일
- H 형 강 : 150×200(하중에 따라 가변)의 빔으로 문형(Gate Type)틀을 만들어 수평관을 형성하는데 사용

#### (4) 기타

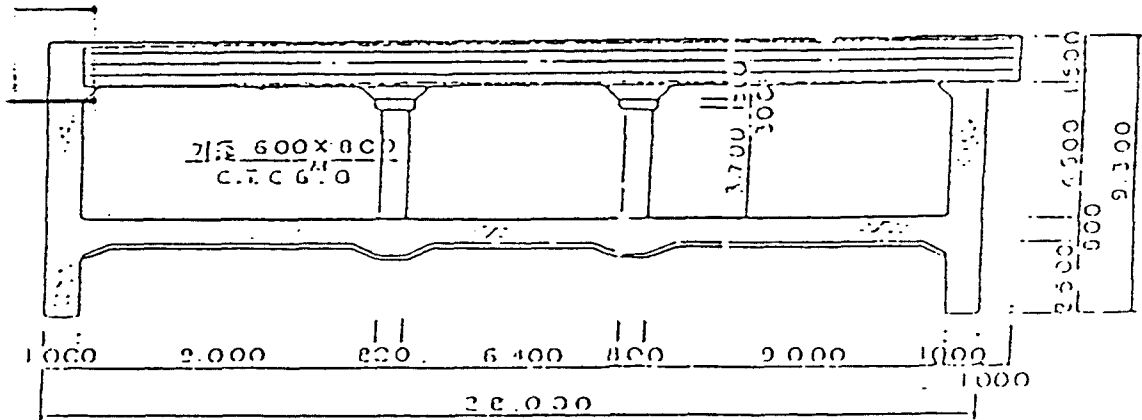
- 벤토나이트 용액 : 관의 안정을 위해 수평관의 주위에 충전
- Poly Urethane : 뜬돌이나 낙반으로 발생하는 여굴충전
- 증공벽돌 : 수평관과 관의 사이에 뒷채움하고 그라우트하여 관사이의 공간보강용
- 시멘트 : 각종 그라우팅용
- 벤트파이프:  $\phi 75$ mm의 강관으로 관내 콘크리트 타설시 에어포켓 벤트용
- 그라우트 튜브 :  $\phi 30$ mm P.V.C튜브, 관내 콘크리트 타설후 발생할 수 있는 응결수축부분의 그라우팅 목적
- Flexible Tube : 환기용튜브,  $\phi 300$ ,  $\phi 200$ ,  $\phi 100$ mm 등
- 지수관 : P.V.C 지수관 W=300
- 기타 거푸집, 철근, 콘크리트 등 : 구조물 구축용

## 4. 소요장비

- 포크레인 : 수직갱굴착
- 크레인 : 강관반입, 버럭반출 등
- 유압추진장비 : 강관추진, 압입용 잭크 4대, 소형원치 1대 및 작동유닛포함
- 그라우트 믹서 : 벤토나이트와 시멘트 그라우팅용
- 복동 원치 : 갱내 버럭반출용
- 수중펌프
- 콤프레샤 : sheet파일 타입용
- 핸드뿌레이키 : 슈트파일 타입용
- 핸드뿌레이키(Pick Hammer) : 갱내 굴착, 강관내 굴착, 트렌치 굴착 등
- 송풍기 : 관, 트렌치 송풍용
- 그레브크레인 또는 크립샬 : 굴착버럭 운반 상차용
- 용접기 : 각종 용접용

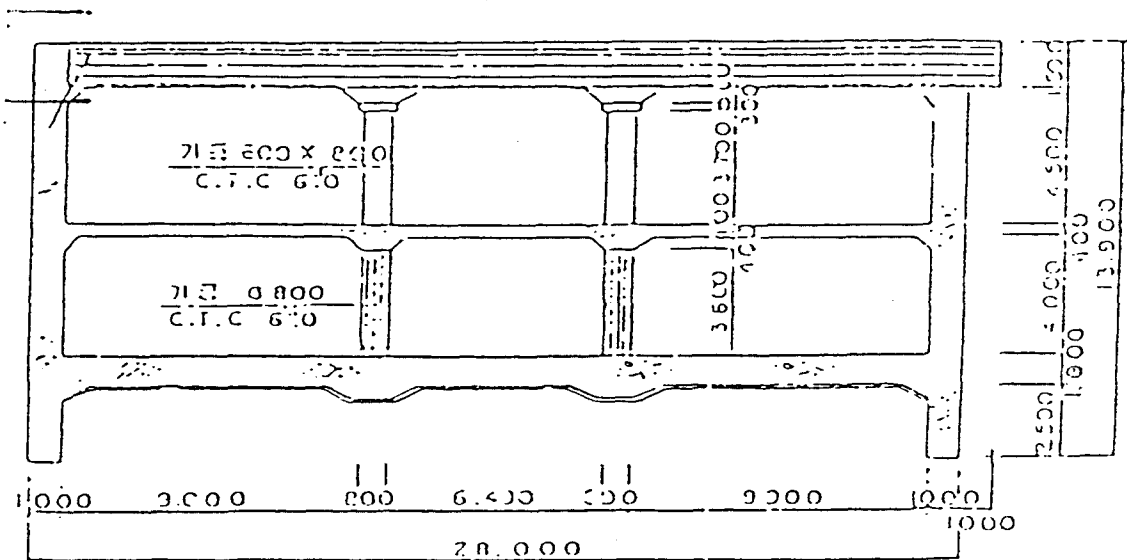
## 5. 공법의 적용예

### 5.1 시공표준단면

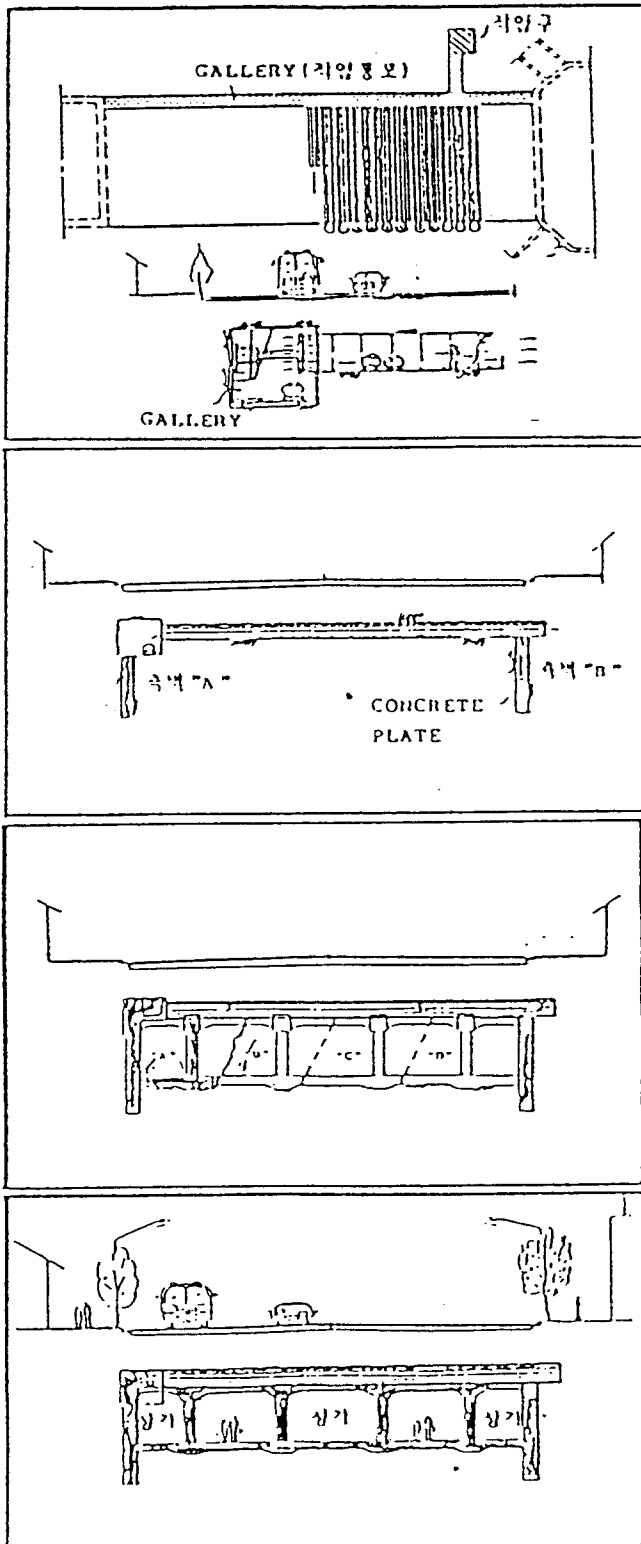


기 계 실 단 면 도

5 : 1 : 200



## 5.2 시공순서도



- ① 작업구 설치
- ② 작업통로(갤러리) 설치
- ③ 작업통로에서 수평강관 압입 및 토사반출

- ④ 강관 양쪽 끝부분에 측벽 (Timbered Trench)시공
- ⑤ 측벽, 강관속 콘크리트 채움

- ⑥ "A"부분부터 토공작업(A→D)
- ⑦ 구조물 축조
- ⑧ 건축, 설비, 내장공사

- ⑨ 시공완료
  - 공사중 보행 및 차량통행에 지장이 없음
  - 지하2층으로도 시공가능

## 6. 개착공법과의 장단점 비교

구분 \ 공법	수평강관 압입공법	개착식 공법
개요	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 강관을 압입하고 보를 형성한 후 측벽과 연결</li> <li>· 구조물 내부에서 굴만 축조하는 공법</li> <li>· 공법이 간단하고 안전함</li> <li>· 벨기에 스메트사 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· H-pile 항타후 노면을 개방</li> <li>· 흙막이와 병행 시공하는 공법</li> <li>· 재래식 공법</li> </ul>
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 차량통행 및 보행에 지장이 없음</li> <li>· 소음, 진동 없음</li> <li>· 지하 거대한 구조물에 적용</li> <li>· 시공이 간단하고 안전</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 공사비가 저렴</li> <li>· 공사경험 풍부</li> <li>· 지장물 무관</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 외국장비 및 기술자문 필요</li> <li>· 깊은 지장물 존재시 시공곤란</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 교통 및 보행에 지장 초래</li> <li>· 경음 및 진동 발생</li> </ul>
적용토질	· 토사 및 풍화암 시공	· 모든 토질에서 시공
공사비	· 1,040천원/m <sup>3</sup> 당	· 970천원/m <sup>3</sup> 당
시공예	· 국내의 태평로 지하상가 및 유럽지역	· 서울지하철 1, 2, 3, 4호선 등 다수

## 7. 시공실적

### (1) 국내

태평로 지하상가(동방프라자에서 북창동을 연결하는 지하상가로써 하부 30m × 65m, 지하3층 지하철 통과) 설계심의 통과

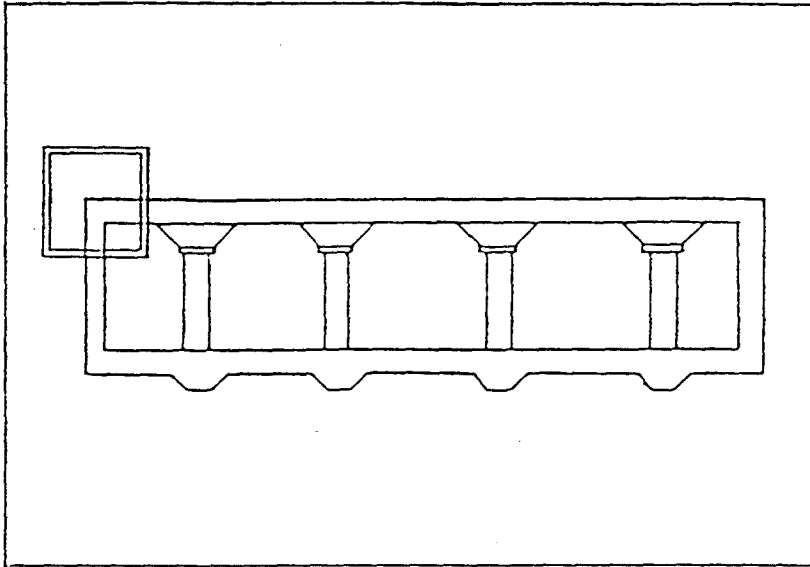
### (2) 국외

벨지움 알터 지하차도 10.4m × 15m

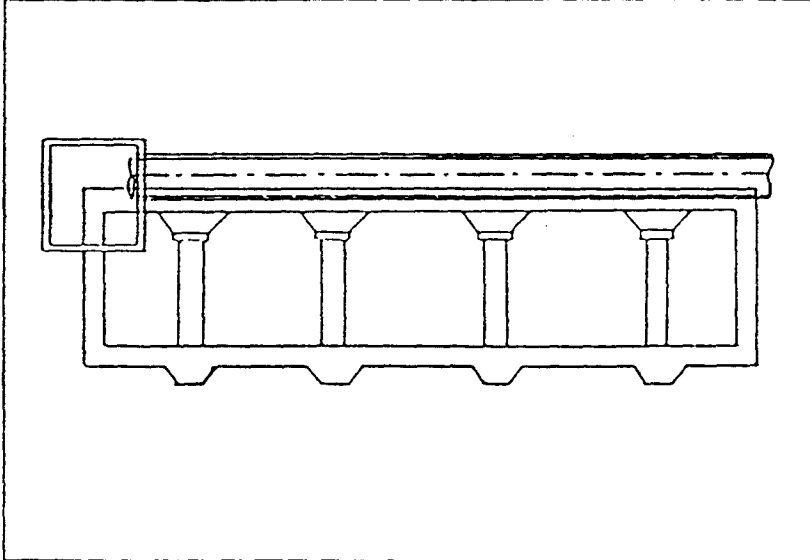
벨지움 리이스 지하차도	10.4m×32m
가 붕 보브 지하차도	20.0m×27m
벨지움 토래도 하수도터널	3.0m×420m
벨지움 이포 지하차도	2.1m×210m
벨지움 브루셀 지하철티널	22.0m×120m
이태리 밀라노 지하철티역사	24m×200m
벨지움 안트워프 지하철티널	15m×700m
벨지움 외레젼 지하보도	5m×200m

## 8. 기대 효과

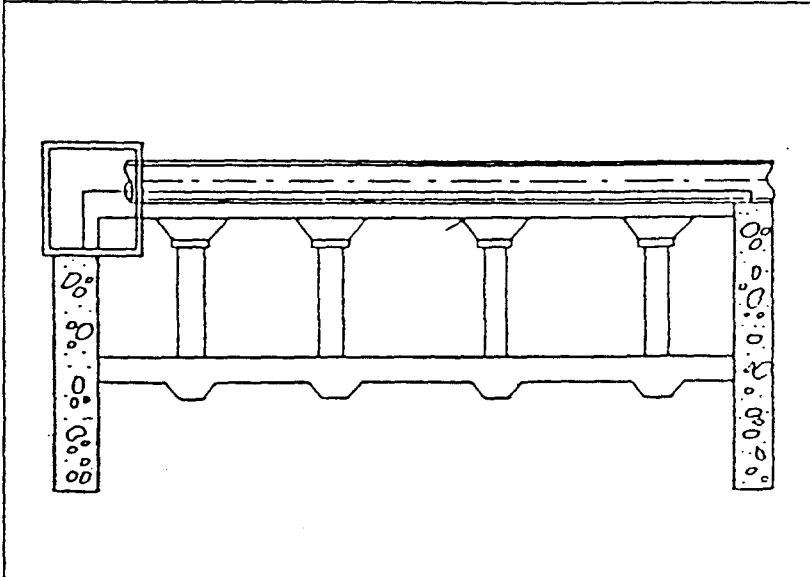
오늘날 도시 교통문제는 도심지에 있어서 제반 심각한 문제를 야기시키고 또한 지하권 개발 등에 있어서 상당히 어려운점을 제시하고 있는 바 본 공법은 이런점을 무난히 해결함으로써 도심지의 지하이용도를 높일수 있다.



수평 갤러리 설치

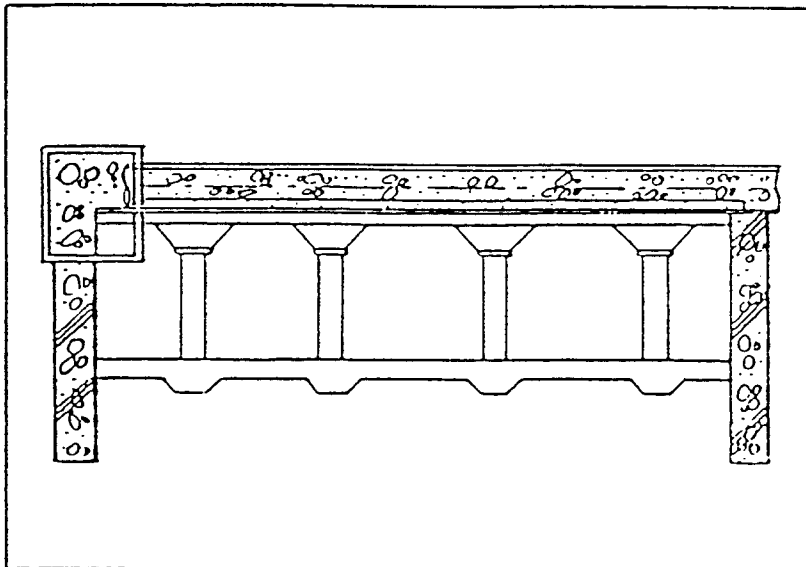


갤러리에서 수평관을 압입  
하고 관내를 굴착

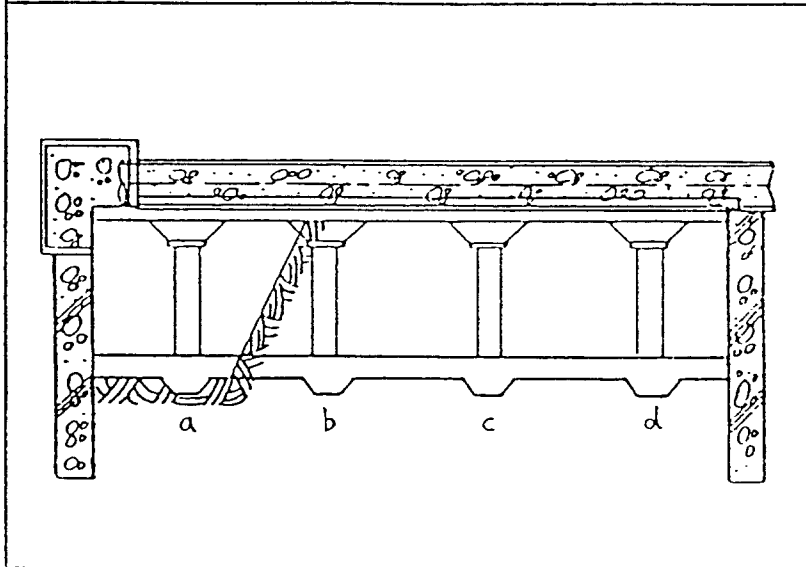


관의 막장과 갤러리에서  
수직으로 트렌치를 설치

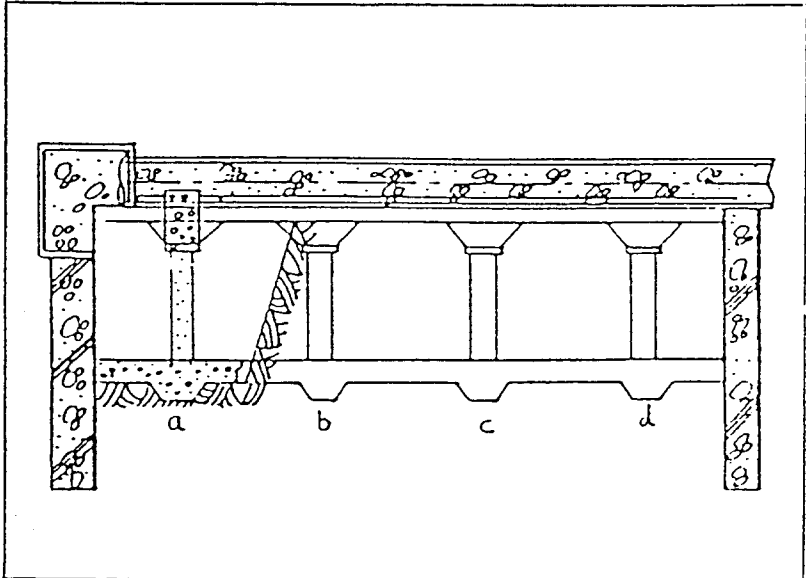




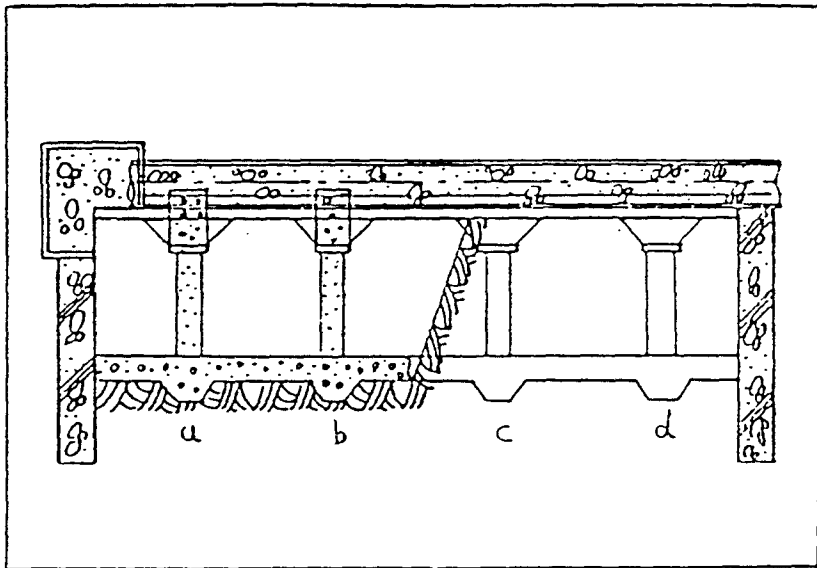
트렌치와 수평관 갤러리에  
콘크리트를 타설하여  
구조체를 형성한다.



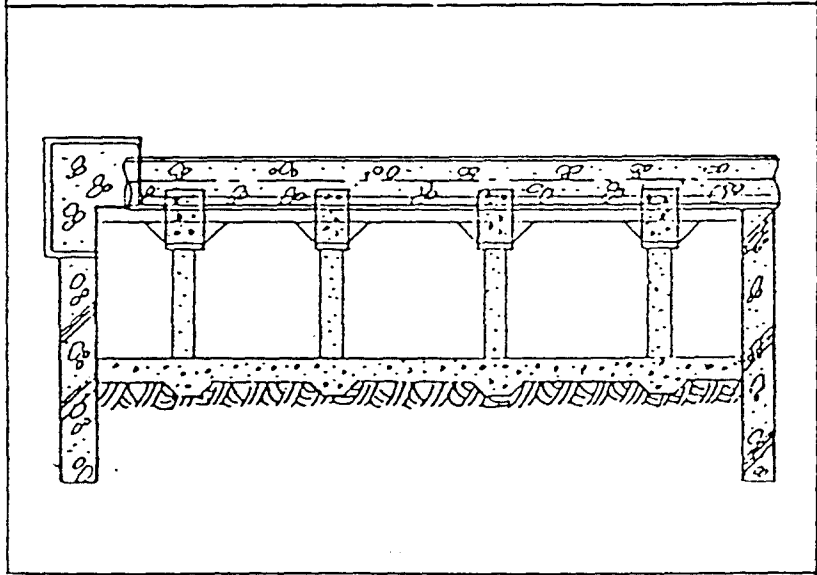
수평관으로 형성된 루프구조  
밑에서 굴착을 진행한다.



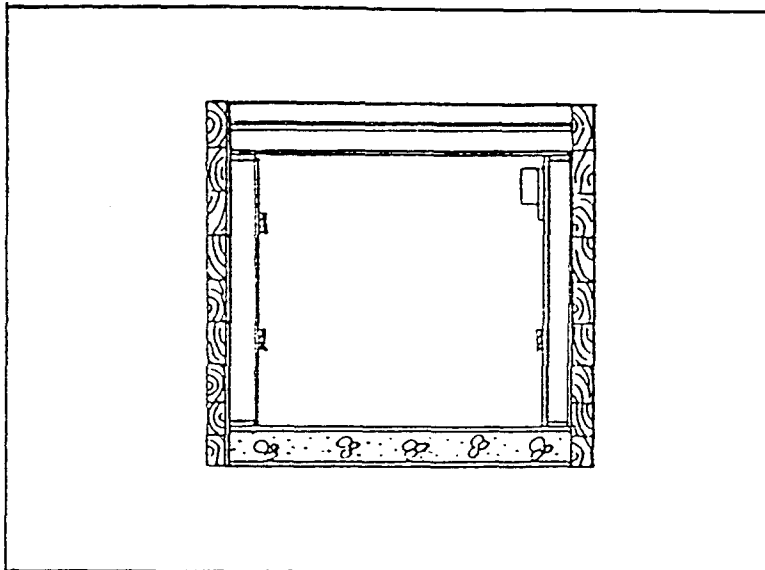
구조물의 기둥, 기초 등을  
형성한다.



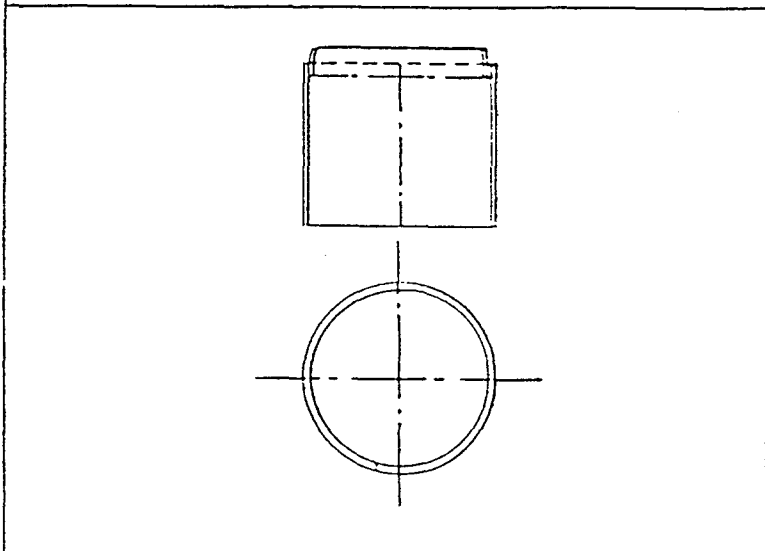
진행



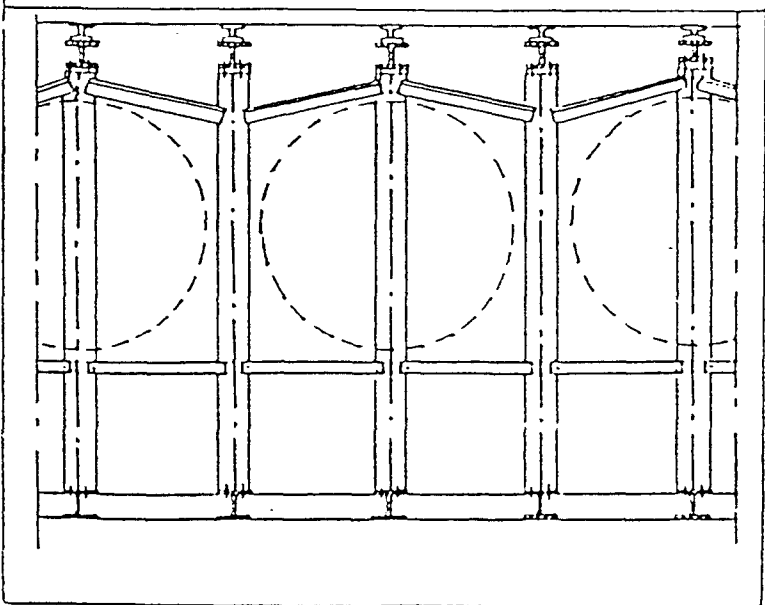
굴토 및 구체의 완료



수평갤러리



수평관의 단위길이 1m내외



갤러리에서 수평관 부분의 보강 및 진행상세