

지하구조물 축조를 위한 TRM 공법

천병식^{*1}, 김정윤^{*2}, 최현석^{*3}

지하구조물은 변화무쌍한 자연의 생성물인 지반을 대상으로 하여 축조되기 때문에 조사나 해석, 설계, 시공 등 각각의 단계별로 실무자들이 많은 어려움을 겪게 된다. 특히 사전에 충분한 지반정보와 정확한 설계자료에 근거하여 시공이 이루어지기 어렵기 때문에 적은 양의 정보를 이용하여 신뢰도를 높이고 분석력을 향상시켜 나가는 노력이 필요하며, 또한 시공 자료의 세밀한 분석을 통해 설계기술의 보완 및 발전이 있어야 할 것이다.

지반조건이 연약하거나 상용중인 기존의 구조물 하부 등의 지반조건에서 지하구조물(Box 구조물, 터널 등)을 축조해야 할 경우, 지반변형을 최소화하고 안정성을 확보할 수 있는 굴착공법 선정이 필수적이라 할 수 있다.

즉 개착식 공법의 적용이 어려운 여건에서의 지하 구조물 축조나 연약한 토사층에 터널을 시공하는 경우 기존의 공법으로는 복잡한 토층조건이나 곡선의 선형조건에서 효과적으로 대응하기 어렵고 시공성 및 안정성을 확보하기 위해서는 많은 보조공법의 적용이 필요하게 된다. 따라서 이러한 관점에서 시공성을 개선하고 안정성을 향상할 수 있는 TRM 공법을 소개하고자 한다.

1. TRM 공법 개요

TRM(Tubular Roof Construction Method)공법은 벨기에의 SMET 사가 개발한 지하구조물 축조공

법으로서 강관을 이용하여 지하에 거대한 Roof를 형성하는 수평관 굴진공법이라 할 수 있다.

즉 강관을 작업구에서 유압잭을 이용하여 압입한 후 강관 내부굴착과 함께 콘크리트를 주입하여 루프를 완성시키고 강관의 하부를 굴착함으로써 구조물을 축조하는 공법으로 현재 유럽 및 동남아시아 등에서 도심지에 지하상가나 지하철, 전력구, 공동구 공사에 활용되고 있다. 본 공법은 공사가 진행되는 동안 제반 문제점들 즉 지상의 구조물이나 차량통행, 노면침하, 지하 매설물 등에 대하여 안정하고 경제적인 시공을 할 수 있는 공법이라고 할 수 있다.

2. TRM 공법의 특징

TRM 공법은 앞서 언급한 바와 같이 발진부에서 강관을 압입하고 내부를 굴착한 후 시설물을 설치하는 공법으로서 주변지반의 침하를 방지하여 기존의 지상 및 지하구조물에 대한 피해를 최소화하고 소요의 공간을 확보할 수 있는 공법이다. 또한 이와 같이

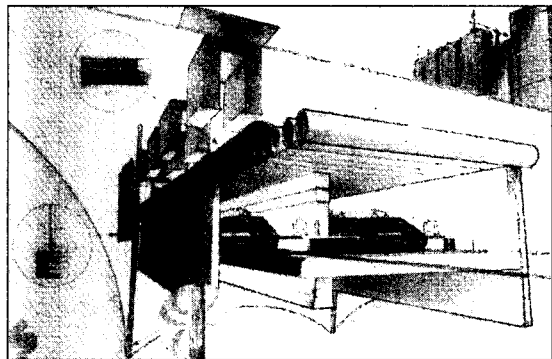


그림 1. TRM 공법의 적용 예

^{*1}정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

^{*2}정회원, (주) 동원기초 부사장

^{*3}한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

시공된 구조물을 영구 구조물로 활용하고 견인식 공법이 아니기 때문에 발진부에서 시작된 강관이 소요 길이 만큼 임의의 선형으로 시공이 가능하다.

TRM 공법의 대표적인 특징을 열거하면 다음과 같다.

- ① 선도관 후미의 조정장치에 의해 방향이 조절되므로 시공 정밀성이 우수하다.
- ② 지반거동을 극소화하므로 인접한 구조물에 관계없이 시공이 가능하다.
- ③ 압입식이므로 진동 및 소음에 따른 문제점이 발생하지 않는다.
- ④ 견인식 공법과는 달리 발진부에서 시작된 강관은 소정의 지점까지 제한없이 도달할 수 있다.
- ⑤ 대형강관을 시공하므로 내부굴착 및 토사반출이 용이하다.
- ⑥ 곡선선형에 관계없이 굴진 및 구조물 설치가 가능하다.
- ⑦ 굴진시 호박돌이나 전석이 조우되더라도 기계식 굴착에 의한 처리가 가능하다.
- ⑧ 외부조건에 관계없이 시공되므로 공기가 단축된다.
- ⑨ Gallery, 측벽 및 수평강관으로 구성된 가설구조물을 표면처리하여 영구 구조물로 활용하므로 전체적인 공사비가 절감된다.
- ⑩ 연·경암부 굴착시 다소 시간이 요구되나 굴착이 가능하다.
- ⑪ 강관 선단부의 굴착단면적이 터널공사에 비해 작으므로 연약지반, 붕괴성 토질, 지하수 유입과 같은 문제성 지반에 대한 대책적용이 용이하다.
- ⑫ 도심지 공사에 유리하다.

3. TRM 시공법 및 시공순서

본 공법은 먼저 대형관 추진 Jack으로 가설지점에 관을 압입추진 후 관내부를 굴착하고 콘크리트를 주입하여 가설구조물을 형성한 후 다시 소요 공간부를

굴착하여 본 구조물을 축조하는 방법으로서 $\phi 800 \sim 3,000\text{mm}$ 까지 시공이 가능하다.

구체적인 시공순서는 다음과 같다.(그림 2, 3 참조)

- ① 최소한 가로 3m×깊이 10m 정도의 수직갱을 예상구조물의 한쪽 끝에 설치해서 전진기지 및 반출구를 구축한다(발진부 시공).
- ② 지하구조물의 크기 및 방향에 따라 구조물의 1개 방향으로 갤러리(수평갱도 3m×3.5m)를 구축해 나간다.
- ③ 수평갤러리의 축방향에 대한 직각방향으로 직경 1.5~2m의 강관을 3m 단위로 만들어 잭킹장치를 사용하여 수평으로 강제 압입하면서 관내의 토량을 굴착하여 구조물의 루프를 지하에서 구

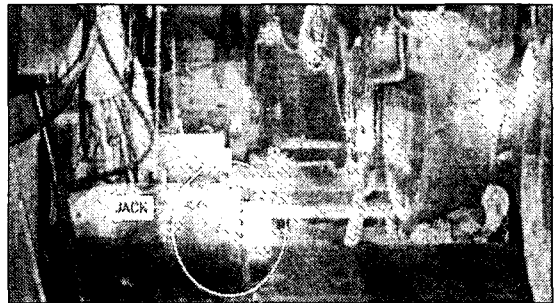


사진 1. Tubular Roof 추진 Jack

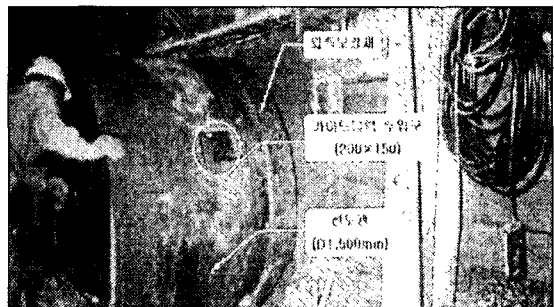


사진 2. TRM 강관추진용 선도관 거치

축한다(PIPE 1.0m 압입, 1.0m 굴착 운반) 이러한 수평관 압입을 평행하게 연속적으로 진행한 후 내부에 철근 가공 조립 및 콘크리트를 타설하여 구조물의 루프 구조를 형성한다(기술 특허).

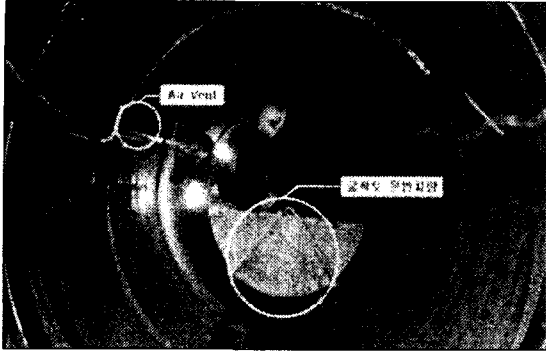


사진 3. 강관내 굴착토 운반

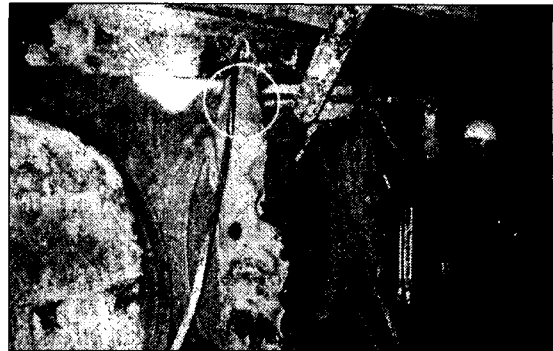


사진 5. TRM 선도관 위치조정 작업

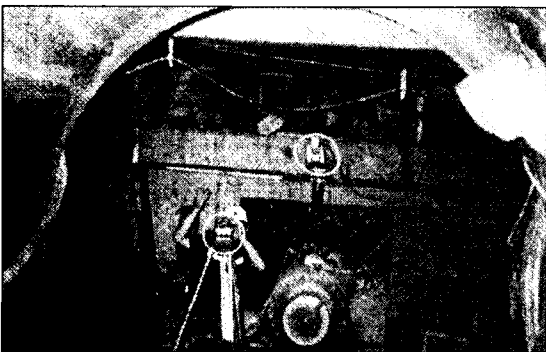


사진 4. 강관내 콘크리트 타설

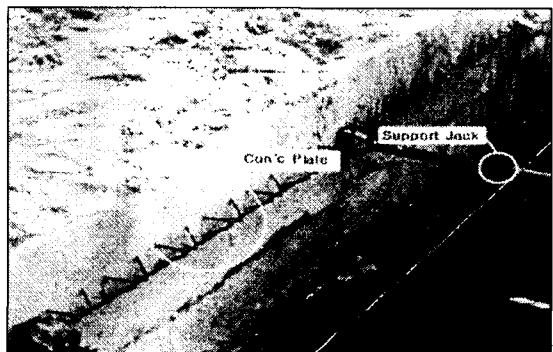


사진 6. 수직 Trench 굴착

- ④ 파이프 잭킹은 종단 400m 정도의 시공경력을 갖고 있으며 이 때, 토량의 안정을 위해 벤토나이트 혼탁액을 파이프 주위에 주입하고 일수현상에 대비하여 일정한 압력을 유지하도록 주입한다.
- ⑤ 수평관은 계속 압입하고 있으면서 특수 레이저 광선 빔을 이용, 선단부의 끝을 조정하여 상하, 좌우로 변화시킴으로서 정확한 방향으로 유입하여 관의 축방향 측정 및 정도관리를 시행한다(오차 : 50mm 이내).
- ⑥ 수평관 압입(파이프 잭킹)이 끝나면 예상 구조물의 측벽에 해당되는 4개의 방향에 수직 트랜치벽(Trench Wall)을 설치한다.
- ⑦ 수직 트랜치벽은 파이프 내에서 수직 직하 방향으로 역공법을 이용해서 굴착하는데 이때, 굴착 측벽의 붕괴를 방지하기 위해서 특별히 고안 제작된 콘크리트 토류판을 쓰거나 목재 토류판을

사용할 수도 있다.

- ⑧ 수직 트랜치벽을 소정의 깊이까지 굴착하면 구조 계산에 따른 철근을 배근하고 콘크리트를 부어 넣어 측벽의 구체를 형성한 후 잭킹한 파이프 내부에도 철근을 배근하여 콘크리트를 부어 넣어 강력한 루프구조물을 형성하게 되는 것이다.
- ⑨ 파이프와 파이프의 사이에는 측벽과 파이프 루프가 완성되면 루프 파이프 아래의 토량을 굴착하면서 기둥, 기초, 보 등을 설치하여 대강관의 지하구조물을 형성할 수 있다.
- ⑩ 전반적인 방수와 천장스라브 및 전기, 환기, 부대시설 등 설비공사를 시행한다.
- ⑪ 이러한 지하 구조물은 대개 지하상가, 지하철 및 지하철 역사, 지하 주차장, 지하차도, 지하 통신구, 터널, 지하 도수로 등의 다목적 용도로 쓰이고 있다.

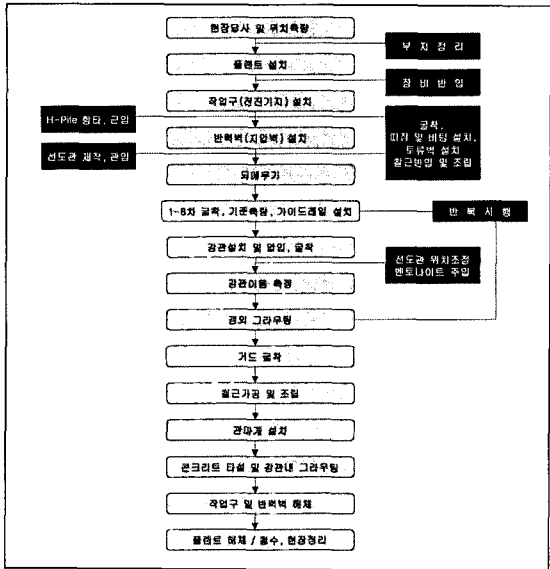


그림 2. TRM 공법 시공순서도

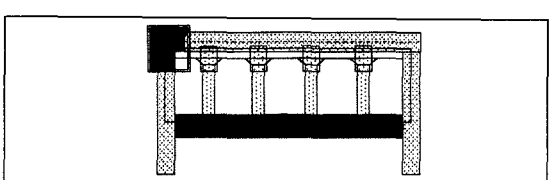
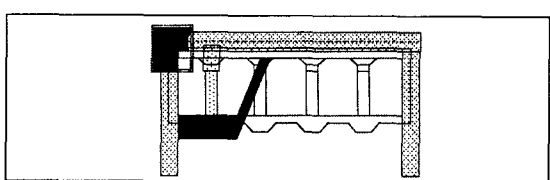
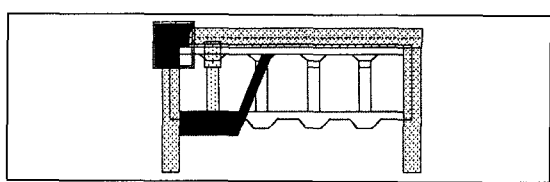
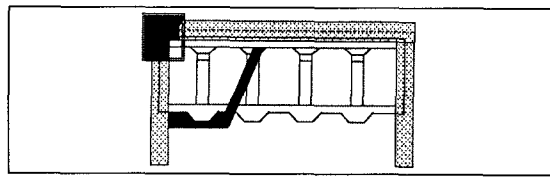
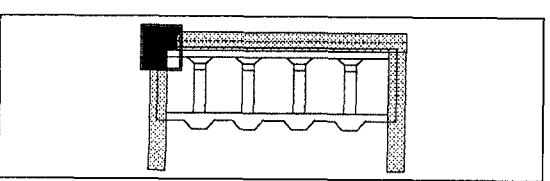
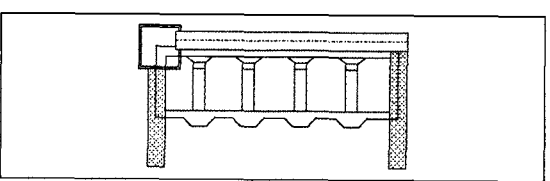
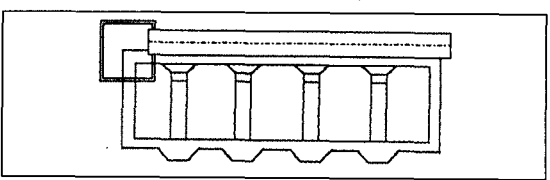
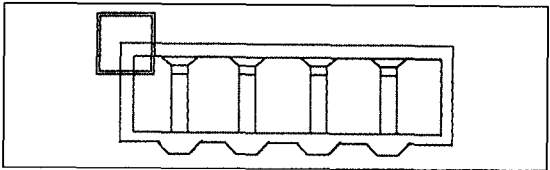
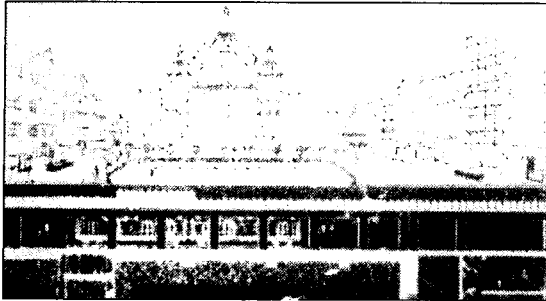


그림 3. TRM 공법 시공법 및 시공순서

4. 시공사례 소개

본 공법은 서두에서 언급하였듯이 유럽 및 동남아시아 등지에서 지하상가나 지하철, 전력구, 공동구 공사에 활발히 이용되고 있으며 시공성 및 경제성, 안정성 측면에서 앞으로 그 활용전망이 크게 기대되고 있다.

사진 7은 벨기에 엔트워프 중앙역 하부 지하철역사 시공에 TRM 공법이 적용된 예이며 사진 8은 이태리 밀라노 베네치아 역사 축조 시공예를 보여주고 있다.



(a) 지하철 역사 TRM 시공 조감도



(b) 지하철 역사 전경

사진 7. 벨기에 엔트워프 중앙역 하부 지하철역사 시공



(a) 베네치아 역사 내부굴착장면



(b) TRM 시공 완료장면

사진 8. 이태리 밀라노 베네치아 역사 시공 광경

한편 국내의 경우도 지하철 건설 및 광역 상수도사업, 변전소 부대설비, 지하차도, 지하상가 건설 등에 최근 들어 TRM 공법이 적용되고 있으며 사진 9~10과 같다.



사진 9. 인천도시철도 1-7공구 확폭터널TRM 준공후 전경

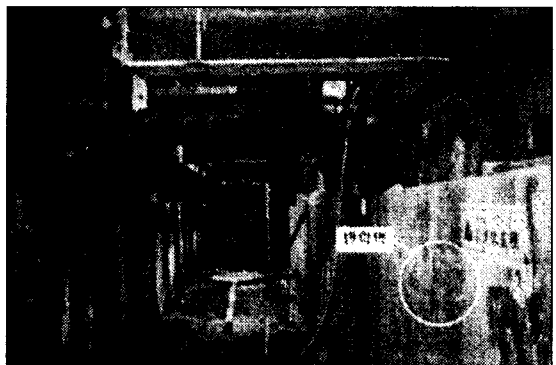


사진 10. 대구지하철 TRM 시공광경