

도시철도 (지하철) 계획, 설계, 시공

※ 계획의 요점

1. 도시철도 건설사업의 특성

- 도시철도는 기존의 도로교통(자동차)이 속도저하, 환경오염, 인명사고 및 주차문제등의 많은 문제를 유발
 - 이에대한 근본적 대안으로 세계 주요 대도시에서 앞 다투어 건설하고 있는 도시교통 수단임.
- 주요특성으로는

가. 교통수단측면 : 지역철도와 도시철도 비교

- 공통사항 : 안전성 및 승차감 확보, 정시, 신속, 정확, 대량 수송
- 지역철도 : 지역간 교통, 정시착발, 시격이 길다. → 급/완행, 화물 혼용
동시에 대량, 지상을 주로 이용
- 도시철도 : 도시내 교통, 수시착발, 시격 짧음 → 전용공간, 동질/동격차량
일정시간에 대량, 지하공간을 주로 이용

나. 건설기술측면

- 교통 및 운전, 운수 등 영업분야와 토목, 건축, 궤도, 전기, 신호, 통신, 기계, 차량 및 검수설비 등 전 공학기술분야의 종합건설사업임
- 대규모 투자를 요하는 사업으로 막대한 자원과 상당기간의 건설공기 필요
- 지하의 한정된 공간에서 시공됨으로 정밀시공 및 품질관리가 곤란
- 완공으로 영업개시후 시설물의 확장 및 개·보수는 거의 불가

다. 노선경유진 현황

- 도시내 교통수요 다발지역 통과 : 과밀 혼잡지역
 - 공사 장애물이 집중되어 공사추진 애로
 - 공사중 주변시설물 피해축소 노력 필요
 - 공사공해로 각종 민원 유발
- 공공용지하부이용 주로 도로하부 통과
 - 도로의 입지상 계곡부가 많아 지반조건이 열악
 - 도로기능유지를 위해 노면교통장애 최소화 필요

라. 토목분야 공사관리의 중점사항

- 노면교통장애의 최소화
- 연변의 기존시설물 보호 및 피해방지
- 진동, 소음, 분진 등 공사공해 극소화
- 시공성과 경제성 유지

마. 도시철도건설사업의 애로사항

- 사업의 특수성 측면
 - 도시철도사업은 토목, 건축, 전기등 13개 복합공종의 건설사업으로 유기적인 상호 협조가 필요하여 사업추진이 매우 어려움

※ 관련공학

- ┌ 교통 및 운전, 운수 등 영업분야
- └ 토목, 건축, 궤도, 전기, 신호, 통신, 기계, 차량 및 검수설비분야 등

※ 주요추진과제

- ┌ 기술분야별 업무협의 조정 : Coordination
 - └ 총체적인 공정관리 : Schedule 관리
- 대중의 대량교통수단으로서 기술의 완벽성이 요구됨

○ 건설기술측면

- 도심구간 통과에 따라 집중된 지하지장물 및 공사중 주변시설물, 교통혼잡, 소음·진동 등 피해발생
- 대부분 도로하부통과에 따라 지반조건이 열악함
 - 도로의 입지상 계곡부가 많아 지반조건이 열악
 - 도로기능유지를 위해 노면교통장애 최소화 필요
- 지하의 한정된 공간에서 시공되므로 정밀시공 및 품질관리가 곤란
- 건설공사 완공후 시설물확장 및 개·보수는 거의 불가 하므로 종합계획수립후 시행되어야 함
- 도시철도건설기술에 대하여 전반적인 연구, 보완, 계승 및 관리체제 미비

2. 도시철도 주요건설공법

가. 개요

도시철도 노선은 일반적으로 시가지 도로를 따라 계획하고 있으나 최근 도시철도 건설이 증가되면서 더 이상 간선도로만을 따라서 계획할 수 없게 되었고 협소한 리면도로나 주택지를 관통해야 할 경우가 많게 되었다. 따라서, 도시철도 건설공사는 더 한층 높은 정도를 요구하게 되어 신속하고 안전하며 경제적인 뿐만 아니라 노선주변의 건축물과 시민의 안전 및 재산상의 피해가 없도록 주도면밀한 공법검토 및 계획이 이루어져야 할 것이다.

도시철도 건설공법의 적용공법 선택은 선형조건 및 노선주변의 현황, 주변지반의 지질상태, 지하수위, 지형조건 등을 종합적으로 검토 분석하여 그 목적물의 용도 및 규격에 적합하며 시공이 용이하고 경제적인 최적공법이 선정되어야 한다.

나. 주요공법

- 지상건설
 - 흙 노반(지표) : At-grade
 - 고가구조 : Elevated structure
 - 교 량

- 지하건설
 - 개착 BOX : BOX Tunnel
 - 터 널 : Bore Tunnel

다. 공법선정시 주요 고려사항

도시철도 건설공법의 선정은 다음과 같은 주요사항을 충분히 고려한 후 결정되어야 한다.

- 구조형상
- 지반조건
- 인접구조물 및 매설물
- 노면교통허리
- 공사비
- 공사기간
- 시공성 및 안전성
- 주변환경에 미치는 영향

- 1) 일반적으로 구조형상은 철근콘크리트 BOX와 터널로 대별되며, 철근콘크리트 BOX는 개착공법에 의해 시공되며, 터널공법은 수평굴진방식에 따라 분류된다.

2) 지반조건

건설공법 선정시 가장 중요한 결정요인은 지반조건이다. 연약한 충적토사층이 깊게 발달한 경우에는 개착식 또는 Shield 터널 공법의 적용이 고려될 수 있고, 견고한 암반층이 지표면까지 노출된 경우에는 NATH 또는 TBM 공법의 적용을 고려할 수 있다.

한편, 지하수위가 높고 투수성이 큰 토사층을 굴착할 경우에는 차수 또는 지수대책을 고려한 공법을 적용하여야 하며, 터널공법의 적용에 있어서도 지하수위가 높거나 용출수가 많을 경우에는 방수 또는 배수를 고려한 단면형상이나 시공방법을 적용하여야 한다.

3) 인접 구조물 및 매설물

도시철도 노선 연도에는 수많은 지상 또는 지하 지장물이 산재해 있다. 이러한 지장물중 규모가 크거나 기능상 이설이나 철거가 지극히 어려운 경우는 도시철도가 이를 피해 갈 수 있는 공법을 검토하여야 한다. 고층건물의 주위를 통과하거나 주택지구 하부를 통과할 경우에는 굴착에 따른 주변지반의 변형을 최소화시킬 수 있는 공법을 선정하여 인접 구조물의 피해를 방지하여야 한다. 지표면 부근에 매설된 지장물중 규모가 작고 경량구조물인 경우에는 개착식공법의 적용구간에서는 매어달기로 해결할 수 있으나 대규모의 중량 구조물인 경우에는 Pipe Roof 공법이나 Under Pinning 공법과 같은 특수공법을 적용하여야 한다. 터널공법의 적용에 있어서도 고층건물의 지하실, 또는 심층에 설치된 공동구나 전력구, 통신구에 인접하여 통과할 때에는 충분한 안전지역(Safety Zone)을 설정하여 구조물의 피해가 없도록 하여야 한다.

4) 노면교통처리

주요 간선도로나 상가 또는 시장부근으로 차량 또는 사람의 통행이 빈번한 지역에는 노면교통의 지장을 초래하지 않는 터널공법의 적용을 검토하여야한다. 이러한 지역에 불가피하게 개착식 공법을 적용하게될 경우에는 신속히 복공을 설치하여 노면교통의 원활한 소통이 이루어지게 하여야 한다

5) 공사비 및 공사기간

건설공사비가 최소가 되는 공법을 선택하는 것이 원리이나 때로는 총건설 공사비는 저렴하나 용지수용에 따른 보상비나 피해보상비가 클 경우가 있으므로 전체적인 공사비를 비교 분석할 필요가 있다.

도시철도 건설은 장기간의 공기가 소요되므로 건설공사중 자재나 인력수급이 원활하지 못함으로 인하여 공사비 상승이나 공기지연의 요인이 될 수 있으므로 가능한 기계화, 자동화된 공법을 적용하여 조속히 공사를 마무리 짓는 것도 공사비를 절감하고 공기를 단축하는 방법이 될 것이다.

6) 시공성 및 안전성

적용공법이 가능한 한 국내 건설기술에 의해서 수행될 수 있어야 하며 충분히 안전한 공법이여야 한다. 물론 신공법인 경우에는 국내시공경험이 없어 외국기술지원이 불가피하나 장기적인 측면에서 보면 건설공법의 다양화에 따른 공사비 절감효과를 기대할 수 있으므로 적극적으로 검토할 필요가 있다.

7) 주변환경에 미치는 영향

굴토공사에 적용되는 대부분의 건설공법은 진동, 소음, 분진을 발생시키거나 지하수를 고갈 또는 오염시키는 등 주변환경에 막대한 악영향을 미친다. 따라서 도심지 구간에서는 무소음, 무진동 공법을 적용하거나 위 문제점들의 발생을 최소화할 수 있는 공법을 적용하여야 한다.

건설공법비교

검토항목 공법		노면교통처리	주변피해 및 공해	지장물 처리	적용조건
고가구조		<ul style="list-style-type: none"> •교통장애 요인이 있으나 무동바리 공법을 채택하여 교통장애 감소 	<ul style="list-style-type: none"> •소음, 진동 공해 •도시경관의 손상 •방음벽 설치가 필요 •고가방음벽에 미관설계 기술도입필요 	<ul style="list-style-type: none"> •기초처리에 유연성이 있으나 한계가 있고 경우에 따라 지장물 처리에 고가의 비용소요 	<ul style="list-style-type: none"> •지반조건에 따라 다양한 기초형식 결정가능 •지반조건에 영향이 적음 •계곡부, 교외부 지역 적용
지상구조		<ul style="list-style-type: none"> •도시기능 양분 	<ul style="list-style-type: none"> •진동, 소음공해 		<ul style="list-style-type: none"> •지반조건에 영향이 적음
지 하 공 법	개착식 공법	<ul style="list-style-type: none"> •공사중 교통 장애 초래 	<ul style="list-style-type: none"> •주변 지반침하 과대 •민원발생 	<ul style="list-style-type: none"> •지장물 이설등 필요 	<ul style="list-style-type: none"> •토사~풍화암 지반 •노폭이 넓은 광로에 적합 도심지에는 부적합 •지하20m이내가 적정 심도
	NATM 터널공법	<ul style="list-style-type: none"> •지하공사이므로 노면교통에 영향이 거의 없음 	<ul style="list-style-type: none"> •발파시 진동발생 •작업환경 불량 -경음 콤프레셔 사용필요 -Shodtcrete 타설시 습식공법 도입필요 	<ul style="list-style-type: none"> •설계단계에서 정 확한 지반상태, 단면최소 및 최대토피고, 최소곡선등을 확실히 하여 지장물을 피할수 있도록 하여야 함 	<ul style="list-style-type: none"> •토사~경암지반 •지반이 불량한 경우주입등 보조공법 병행 •대단면에 유리
	TBM 터널공법		<ul style="list-style-type: none"> •진동, 소음이 작다 •작업환경 양호 		<ul style="list-style-type: none"> •비교적 균질한 연경암 지반 •진동 소요구간 •소단면에 유리
	shield 터널공법		<ul style="list-style-type: none"> •진동, 소음이 작다 •공사중 지표침하가 많을 경우 slurry shield사용 바람직 •자갈, 호박돌혼재, 용수가 많은 경우 지압식 shield사용 		<ul style="list-style-type: none"> •지반 변화가 비교적 적은 토사~풍화암 지반 •지반침하 억제 구간 •연약지반 •slurry shield의 경우 호박돌층 통과 어려움

검토항목 공법		시공성 및 공기	경제성, 기타	안 전 성
고가구조		<ul style="list-style-type: none"> •시공이 비교적 용이 •기후영향 -지하공법에 비해 일반적으로 공기가 짧다 	<ul style="list-style-type: none"> •지하공법보다 건설비가 대체로 적다 •운영비 절감 •환기조명 양호 	<ul style="list-style-type: none"> •안전성이 매우 높음 •공사중 지표침하의 염려가 없음
지상구조		<ul style="list-style-type: none"> •시공은 용이하나 절토 및 성토량에 관계됨 •기후영향 	<ul style="list-style-type: none"> •건설비 적음 •운영비 절감 •환기조명 양호 미관불리 	<ul style="list-style-type: none"> •안전성이 매우 높음
지 하 공 법	개착식 공 법	<ul style="list-style-type: none"> •지반조건에 따라 시공유리 •구조물 시공 유리 	<ul style="list-style-type: none"> •작업공간이 확보되고 심도가 낮은 토사지반에서 경제적 •주변지반 보강정도에 의해 경제성 좌우 -지장물처리, 지장물이 설에 많은 시간과 비용이 소요됨 -기계화시공의 제약이 많아 인력에 의존하는 비중이 큼 	<ul style="list-style-type: none"> •지질상태에 따라 적당한 보조공을 병행하면 비교적 시공의 안정 확보 •공사의 확실성 제공
	NATM 터널공법	<ul style="list-style-type: none"> •대단면 1일 1~2m/막장 굴진 •지반변화에 대한 대응용이 •시공경험다수 •현장의 막장 상태에 따라 공법전환 용이 	<ul style="list-style-type: none"> •터널공법중 상대적으로 경제적 -기계굴착에 비해 여굴이 많음 	<ul style="list-style-type: none"> •공사중 계측에 의한 Feed-Back 실적으로 안전성 확보 •지반역학에 입각하여 자체지대력을 최대한 이용
	TBM 터널공법	<ul style="list-style-type: none"> •소단면 1일 4~6m/막장 굴진 •버력반출 능력에 따라 시공속도 좌우 •지반변화에 적용성 적음 •현장의 막장 상태에 따라 공법전환 용이 	<ul style="list-style-type: none"> •장비가 고가임 •터널 연장이 짧으면 비경제적 •원형단면으로 필요이상의 공간형성 -지보공의 절약, 여굴 및 Lining 절약 작업구의 면적이 많이 소요됨 -발전기지 최소 20×30m 	<ul style="list-style-type: none"> •단면이 원형으로 구조적으로 안전
	shield 터널공법	<ul style="list-style-type: none"> •소단면 1일 5~6m/막장 굴진 •버력반출 능력에 따라 시공속도 좌우 •지반변화에 적용성 적음 •국내 지하철 시공실적 없음 -급곡선부 곤란 -지질변화 공법변환 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> •장비가 고가임 •터널 연장이 짧으면 비경제적 •원형단면으로 필요이상의 공간형성 -장비를 적기에 주문 제작해야 함 -여굴 및 Lining 최소 	<ul style="list-style-type: none"> •단면이 원형으로 구조적으로 안전 •셴드에 의해 지반의 붕괴를 방지하기 때문에 시공의 안전성이 큼

3. 개착공법

가. 개 요

도시철도 건설에 있어서 개착식공법은 공사전체를 통하여 구조본체를 축조하기 위하여 토류, 노면복공, 토류지보공 등의 가시설공이 점유하는 역할이 크다. 가설공은 구조본체를 축조하기 위한 보조수단외에 장기간에 걸친 갱내에 안전을 유지시키고 노면교통, 주변건물이나 구조물, 거주자 등에 대한 안전을 확보하는데에 중요한 역할을 가진다.

개착식공법에서는 적합한 토류공의 선정이 공사의 승패를 좌우하게 되며 토류공의 선정은 사전에 충분한 연구검토를 하여 신중하게 결정하여야 한다.

나. 가시설선정시 주요 고려사항

- 안전한 공법일 것
- 불필요한 비용을 줄이도록 필요최소한의 구조일 것
- 공기가 가급적 빠른 공법일 것
- 시공성이 좋고 불명확한 개소가 없을 것
- 현장의 상황변화에 따라 적절한 보수나 보강등의 대응책을 강구할 수 있는 탄력성이 있을 것

다. 가시설구조물 설계시 주요 검토사항

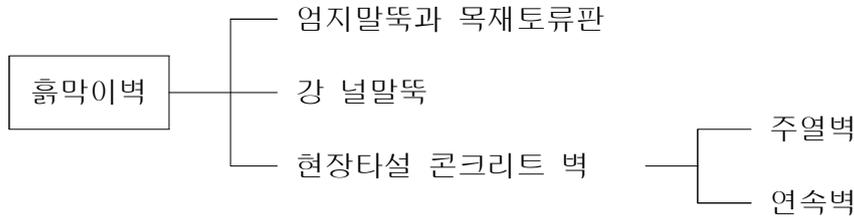
- 토류벽의 안전성 : 응력, 변위, 지지력
- 지보공의 안전성 : 응력(축력, 전단력, 모멘트)
- 굴착저면의 안전성: : Boiling, Heaving
- 주변구조물의 안전성 : 침하, 수평이동
- 지하수처리에 관한 문제

라. 토류공법

토류벽은 본래 기초터파기 공사중의 토압·수압 등의 측압에 대해 저항하는 것을 목적으로 시공되는 가설구조물 이었으나 최근의 도심지 구간에서 굴착공사가 빈번해짐에 따라 주변지반 침하 및 건물의 보호를 목적으로 시공되는 등 그 이용목적에 따라 다양화되어가고 있다

마. 토류공법의 분류

- 일반적으로 토류공은 직접 흙에 접하는 부분의 토류와 이를 지보하는 토류지보공으로 구성되며 일반적인 토류공법은 아래와 같이 분류한다.



- 이외에 지하수 처리방법에 따라 다음과 같이 분류한다.

- 개수성 토류벽
- 차수성 토류벽

- 또한, 토류지보공과 관련하여 다음과 같이 분류한다.

- 자립성 토류벽
- 버팀대 토류벽

- Anchor식 토류벽
 - Earth Anchor공법
 - Tie-rod Anchor공법

바. 주요 토류공법

1) H-Pile + 목재토류판 공법

- 개요

일반적으로 지하공사에 가장 많이 사용하는 토류공으로 지질 및 굴착 깊이에 따라 H-Pile을 적당한 간격으로 타입하고 굴착 진행에 따라 목재토류판을 H-Pile 사이에 설치하여 나가는 공법이다.

- 공법의 특징

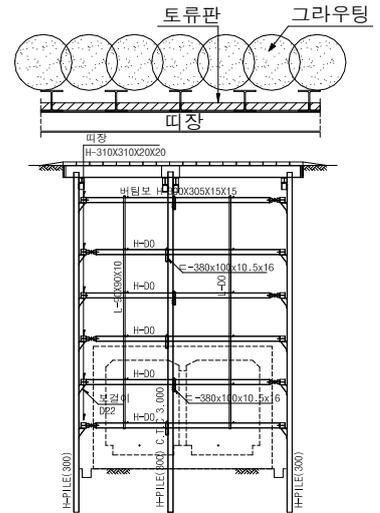
- 시공이 용이하며 공기가 단축되고 공사비도 경제적이다.
- 지중에 매설물 등의 장애물이 있어도 비교적 용이하다.
- 비교적 견고한 지반에서도 시공이 가능하다.
- 지하철 공사에서 다년간 사용한 공법으로 풍부한 시공 경험이 있는 공법이다.

- 장점

- 지층이 단조롭고 지하수위가 낮은 경우에는 공사비가 가장 저렴하다.
- 시공이 용이하고 경험이 풍부해 공사기간이 단축된다.
- 소음이나 진동이 적고, 비축 강재의 활용이 가능하다.

○ 단점

- 지하수위가 높은 곳에서는 별도의 차수공법이 필요하다.
- 연약한 지반에서는 Boiling 및 Heaving에 대한 대책이 요구된다.
- 장기공사시 토류벽의 부식이 우려된다.



○ 표준 단면 및 시공 순서

- 줄파기
- 주형보받침 설치
- 복공판 설치
- 버팀보 설치
- 도자 굴착(토류판 설치)
- 포크레인 굴착(토류판 설치)
- 천공 및 향타
- 주형보 설치
- 띠장 설치
- 가시설 철거 및 되메우기

2) H-Pile + 현장타설 콘크리트 토류벽공법

○ 개요

H-Pile 공법 중 목재토류판 토류공법과 모든 시공방법은 동일하며 목재 토류판 대신에 Pile과 Pile사이에 철근을 조립하여 콘크리트를 타설하여 토류를 형성시키는 공법과 Wire Mesh를 삽입하고 뿔어붙임 콘크리트를 타설하여 토류시키는 방법이 있다.

○ 공법의 특징

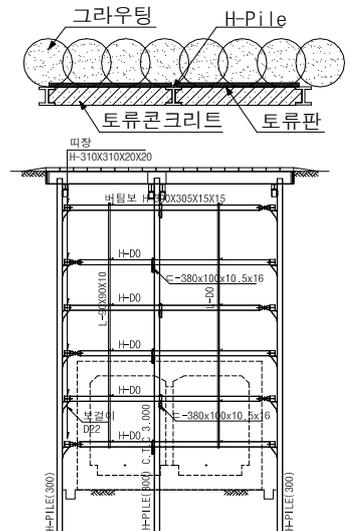
차수벽은 부분차수가 가능하며, 지반변형 정도는 다소 변형축소된다. 안전성은 보통이며 비교적 전 지질에 적용된다. 이 공법은 보편적으로 사용되고 있다.

○ 장점

- 토류벽 강성이 비교적 크다.
- 장기공사시 유리하다.

○ 단점

- 지하수위가 높은 곳에서는 굴부적인 차수공법이 필요하다.
- 콘크리트 양생기간이 필요하다.
- Pile의 매몰로 재사용 불가.



○ 표준 단면 및 시공 순서

- 줄파기
- 주형보받침 설치
- 복공판 설치
- 버팀보 설치
- 가시설 철거 및 되메우기
- 도자 굴착(현장타설토류 Con'c)
- 포크레인 굴착(현장타설토류 Con'c)
- 천공 및 향타
- 주형보 설치
- 띠장 설치
- 구조물 시공

3) Sheet Pile공법

○ 개요

차수가 요구되는 경우와 Boiling, Heaving이 우려되는 경우 및 연약지반 등에서 지하수 누출과 토사의 붕괴를 방지하여 효과적인 토류공으로의 역할을 행할수 있다. 즉 강 Sheet Pile의 이음부를 물리게하여 연속하여 지중에 타설하는 공법

○ 공법의 특징

재료의 반복사용이 가능하고 재료의 종류가 많아 선택사용이 자유롭다. 차수효과가 크고 탄소성변형을 유발하며 안전성은 보통이다. 전석층 및 암층에 시공이 곤란하며 특수 지반에 사용된다. 지중에 매설물이나 기타 지장물이 있는 경우는 불연속부가 생겨 이부분에 대하여는 별도의 보조공법을 병행하여야 한다. 최근에는 Sheet Pile 선단에 Water Jet설비를 장착하여 모래자갈층이나 풍화암층의 불투수층까지 타입하여 적용하고 있다.

○ 장점

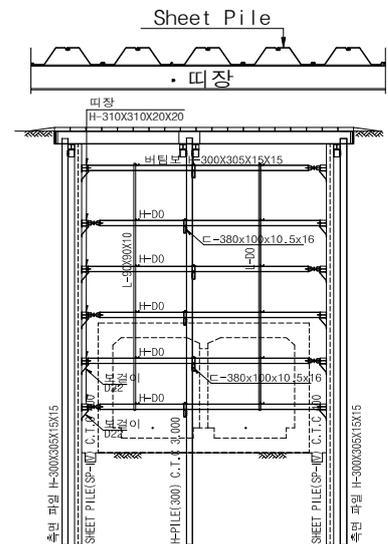
- 별도의 차수벽을 필요로 하지 않는다.
- 지하수위가 높은 연약지반에서는 굴착저면 지하의 밀넣기 부분의 연속성이 유지된다.
- 복원성이 좋다.
- 대체로 연약지반층에서 가능하다.

○ 단점

- 자갈, 전석층에서는 별도의 관입 장비가 필요
- 완벽한 차수효과는 기대하지 못한다.
- 향타시 소음, 진동이 크게 발생한다.
- Pile의 두부보강이 필요하다.

○ 표준 단면 및 시공 순서

- | | |
|-----------------|------------|
| - 줄파기 | - 천공 및 향타 |
| - 포크레인 굴착 | - 주형보받침 설치 |
| - 주형보 설치 | - 복공판 설치 |
| - 도자 굴착 | - 띠장 설치 |
| - 버팀보 설치 | - 구조물 시공 |
| - 가시설 철거 및 되메우기 | |



4) 주열식 지하연속벽공법

○ 개요

어스드릴 및 어스오가로 소정의 깊이까지 주열로 천공하여 공내에 몰탈이나 콘크리트를 타설한 후 철골 또는 철근망을 삽입, 연결된 콘크리트 주열벽을 만들어 이것을 토류벽으로 사용하는 공법이다.

○ 공법의 특징

굴착 이전 지반에 현장타설 콘크리트말뚝을 연결 설치하여 벽체를 형성하며 Soil-Cement말뚝 벽체에 비하여 강성이 크고 특수장비가 필요하지 않으며 천공할 수 있는 모든 지반에 설치할 수 있으므로 지반조건에 구애를 받지 않는 장점을 갖고 있다.

○ 장점

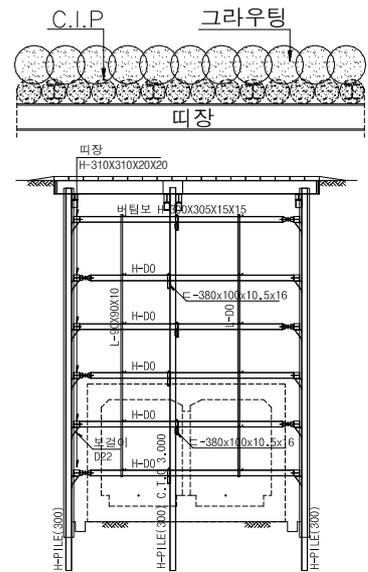
- 구조물과 근접 시공함으로서 터파기 폭을 최소화 한다.
- 토류관 설치 작업이 불필요 하므로 빠른 굴착을 할수 있다.
- 버팀보 설치이전 지지력이 확실 하므로 굴착에 따른 사고위험이 적다.

○ 단점

- 공과 공사이의 연결부가 취약하기가 쉽다.
- 공과 공사이의 보조차수의 필요성이 있다.
- 자갈 및 전석층에서는 대구경의 천공이 난이해진다.
- 대형장비 투입시 넓은 공간을 필요로 함.

○ 표준단면 및 시공순서

- Auger로 천공
- Mortar를 주입시켜 Screw를 뽑아올린다.
- 주열식 벽체의 계산높이까지 Mortar주입
- Crane으로 H-Pile을 공내에 근입한다.
- 작업완료
- 완성 후 토공가설 및 구제공



5) 벽식 지하연속벽공법

○ 개요

크고 깊은 Trench를 만들어 Bentonite 용액으로 지반안정을 껴한후 굴착하고 굴착된 곳에 조립된 철근을 삽입하여 콘크리트를 타설하여 지중에 벽체를 형성하는 공법

○ 공법의 특징

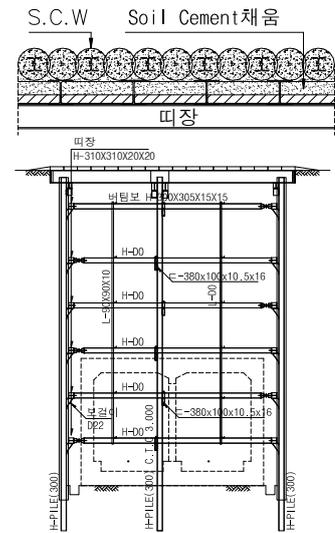
콘크리트 판 사이의 연결성이 매우좋다 거의 완전한 차수성을 갖고 있으며 벽체는 강성이 좋아 단순한 흙막이 벽체로만 사용되지 않고 지하구조물의 벽체로 이용하는 경우가 많다. 흙막이벽 벽체 중 가장 우수하고 진동소음이 적게 발생하는 있으나 공사비가 크고 암층이 신선하고 굳은 경우는 공사비가 매우 고가이며 작업효율이 떨어진다.

○ 단점

- 수직공사만 가능하다.
- 대형장비를 사용하므로 넓은 작업공간이 필요
- 지반이 균질하지 않을 경우 정확한 강도 산출에 어려움이 있다.

○ 시공 순서 및 표준단면

- 특수 다축 Auger 천공
- Mortar를 주입시켜 Screw를 뽑아 올린다.
- 주열식 벽체의 계획높이까지 Mortar 주입
- Crane으로 H-Pile을 공내에 근입한다.
- 작업완료
- 완성후의 토공 가설 및 구체공 으로 사용가능



주요토류공법의 특성 및 문제점

토류벽 종류	특 정	시 공 상의 문 제 점	지하수에 대한 문제점
엄지말뚝공법 (H- PILE)	<ul style="list-style-type: none"> • 시공이 간단하다 • 단가가 싸다 	<ul style="list-style-type: none"> • Heaving을 일으킬 우려가 있는 연약지반에서는 적용 곤란 • 타입깊이가 불충분하면 주변지반 침하가 크게 발생한다 • 전석층등에서는 타입이 곤란 • 시공시 소음·진동의 문제가 발생 	<ul style="list-style-type: none"> • 지하수가 있는 지역에서는 사전에 지하수위를 내리는 배수공법을 병용한다 • 모래층 아래에 불투수층이 있는 경우 배수처리 곤란
강 시 판 (Sheet Pile)	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반이나 지하수가 많은 곳에서 비교적 용이 • 공시비가 경제적임 	<ul style="list-style-type: none"> • 사력증이나 조밀한 모래 지반에서는 시공이 곤란 • 시공시 소음·진동문제 발생 • Auger를 병용하여 박아 넣으면 지반이 교란됨 • 인발후의 뒷처리가 어렵고 영향이 크다 	<ul style="list-style-type: none"> • 맞물림이 불완전하면, 그곳에 지하수가 집중되므로, 모래의 유입이 심해지고 터파기 저부에 서는 Boiling이 생기는 경우가 있음
주 열 벽	<ul style="list-style-type: none"> • 강성을 자유롭게 선정하여 설계 가능 • 소음·진동 문제 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 지중 매설물은 사전에 철거필요 • 사력증이나 전석층에서는 시공이 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> • 보조공법(약액주입등)을 이용하지 않으면 지수성이 상당히 나쁘다
연 속 벽	<ul style="list-style-type: none"> • 지수성이 좋다 • 벽의 강성을 자유롭게 설계한다 • 소음·진동 문제 없음 	<ul style="list-style-type: none"> • 지중 매설물은 사전에 철거필요 • 전석층에서는 시공 곤란 	<ul style="list-style-type: none"> • Element Joint부에서 누수대책 필요

사. 가설재의 시공사례 및 시공시 유의사항

1) 가설재의 시공사례

가) H-Pile

- Pile간격은 측벽 2.0m, 중앙 4.0m를 기준으로 가능한 한 직선배열
- 천공은 구축중심선 측량후 작업 여유폭(85cm)을 감안하여 위치결정
- 향타 : 향타기록부 작성 및 근입장 표시, 최종매입량, 편심량 등을 측정하고 중앙 Pile은 토공 즉시 Bracing설치

나) 주형보

- 교통처리계획에 의한 복공규모에 의거 설치

다) 버팀보 및 띠장

- 양단부가 직각이 되도록 제작하며 곡선부에서 부채꼴 형상으로 설치하고 L-형강으로 Bracing 설치
- 버팀보의 좌굴방지를 위해 수평, 수직 L-형강을 즉시 설치하고 Jack는 좌우 및 상하로 엇갈리도록 설치
- 버팀보와 중앙 Pile, c-형강이 일체가 되도록 U-Bolt로 견고히 채워야 한다.

2) 시공시 유의사항

가) H-Pile

- 미근입 Pile은 이어(Connecting) 내리고 인접 Pile과 L-형강 등으로 Bracing 설치
- Pile 연결부가 인접 Pile과 동일선 높이에 오지 않도록 하며 하단부가 장기간 노출될 경우 Rock-Bolt 등으로 보강
- 중앙 Pile 좌굴과 부등침하 방지를 위해 L-형강으로 Diamond식 및 X-형 Bracing 보강

나) 버팀보 및 띠장

- 우각부에 대하여 Bracing 및 사보강재 설치
- 버팀보의 수평방향 변형방지를 위해 사재 H-형강 또는 L-형강 보강
- 띠장과 c-형강 연결부는 L-형강 Plate로 용접 또는 Bolt로 체결
- 띠장 끝부분이 Cantilever로 되지않게 버팀보를 설치하며, Cantilever의 경우 L-형강 또는 기타 강재로 사보재 보강하여야 한다.

다) 토류벽

(1) 토류판

- 굴착과 동시에 배면토사와 밀착되도록 적기에 설치하고 이탈방지를 위한 꺾쇠, 선등으로 연결한다.
- 상하단 띠장과 띠장 공간은 수직토류판을 설치하여 보강하고 수직토류판과 기설치 토류판 사이에 목재 썬기 삽입
- H-Pile Flange에 4cm 이상

(2) 토류벽 콘크리트 시공

- 시공 Joint부 공극이 발생하지 않도록 충진에 주의(토사 제거후 설치)
- 굴착작업과 병행하여 조기 시공할 것
- 토질상태를 감안하여 배면토류판 설치 유무를 검토후 결정

(3) 벽면 Shotcrete 및 Rock-Bolt 시공

- 이완된 암석 제거후 Shotcrete 타설
- Pile 좌굴방지용 Rock-Bolt 시공시에는 L-형강(Angle) 또는 Plate로 Pile을 지지 시킬것
- Rock-Bolt 시공은 암절리면과 가급적 직각방향으로 타설할 것.

4. 터널공법 : NATM 위주

가. NATM의 원리

지반내에 터널을 굴착하면 굴착면 주변의 3축응력상태에서 1축응력상태로 된다.

이때 소멸되는 지반응력 때문에 접선응력이 크게 증가하게 되어 지반은 내축으로 변위를 일으키게 된다. 변위크기는 지반의 고유강도와 새로이 형성된 응력의 크기에 좌우된다.

굴착으로 인해 반경방향으로 작용하는 응력은 벽면 변위가 증가함에 따라 급격히 감소 하지만, 변위가 어느한계를 넘으면 지반이 이완되기 시작하므로 원래의 지반강도가 완전히 상실되고 터널주변의 지반은 하중으로 지보공에 작용하기 된다.

NATM은 이러한 원리를 토대로 지반자체가 주지보재 역할을 감당할 수 있도록 슛크리트와 강지보재 및 록볼트 등으로 지반을 보강해 주는 공법이다. 즉 가축성 지보재를 설치함으로써 변위를 허용하되 지반의 강도를 상실시키지 않는 상태에서 지반과 지보재가 평형을 이루도록 하는 것이다. 따라서 설계에 제시된 지보재를 이러한 원리를 무시한 채 일반 구조물 건설의 최종 구축물로 생각하고 시공한다면 이는 이미 NATM이 아니다.

NATM은 적절한 시기에 적절한 강성의 지보를 실시하여야 한다는 시간개념이 가장 중요한 요소이다.

나. NATM 지보재의 종류 및 역할

터널작업시 설치되는 지보재는 주변지반이 강도를 최대한 발휘하도록 설계 및 시공되어야 한다. 터널에 사용되는 주요지보재의 종류와 이들의 주요역할을 요약하면 다음과 같다.

1) 슛크리트의 역할

- 지반의 이완방지, 암반 JOINT의 폐합, 암괴의 활동에 의한 낙반방지
- 굴착면의 원지반강도를 유지시켜 암반아치 형성
- 응력의 국부적인 집중방지

2) 철망의 역할

- 슛크리트 부착력 및 전단강도 증가
- 슛크리트 시공이음부 보강 및 크리이프(CREEP) 또는 증가응력에 의한 균열발생 방지

3) 강지보재의 역할

- 무지보 지반의 직접보강 및 슛크리트 라이닝의 하중분산 효과
- 슛크리트 타설후 경화시까지 일시적인 지보기능 담당
- FOREPOLING의 지지 및 터널단면형상 유지

4) 록볼트의 역할

- 국부적인 암괴의 붕락방지 및 굴착면 주위에 암반아치 형성
- 암의 전단강도를 증가시키고 소성영역의 확대 방지
- 암반의 크리이프(CREEP) 거동 억제

다. 굴착공법

- 터널 굴착공법은 지반조건, 현장여건, 시공성에 따라 크게 굴착수단 (발파, 인력굴착, 기계굴착등) 과 굴착규모 및 순서에 의하여 분류 구분된다.
여기서는 후자를 설명한다.

1) 전단면(동시) 굴착

2) 분할굴착

- 상·하반 분할굴착
 - Long Bench와 Short Bench
- 다단계 분할굴착
 - Ring Cut
 - C·D (Central Diaphragm)
 - Side Lot
 - Pilot tunnel + 확대굴착

라. 시공상의 문제점 및 개선방향

1) 굴착면에서의 지반평가

터널굴착으로 노출된 굴착면을 직접 관찰하여 설계시 가정된 지반의 역학적 특성치들과 비교 검토하고, 터널설계시 고려되지 않았으나 시공시 터널안정에 큰 영향을 미치는 절리나 단층 등 지질구조적 특성과 암반거동과의 관계를 규명하여 설계의 적합성뿐만 아니라 시공공법의 적정성 여부도 판단하여야 한다.

가) 문제점

- 표준화된 지반분류안이 설정되어 있지 않을 뿐 아니라 각기 상이한 분류기준을 사용하고 있어 전과정의 일관성유지가 이루어지지 않고 있다.
- 시공시 갱내 막장관찰을 실시하고 있으나 대부분 신뢰성이 떨어지고 기록으로만 유지하고 있을 뿐 이를 통한 설계의 적합성 여부를 평가하는 작업이 합리적으로 이루어지지 않고 있다.

나) 개선방향

- 시공시의 지반조사에는 정량적인 지반분류방법을 적용하도록 하여 지보패턴의 변경조정에 실질적이고 쉽게 활용할 수 있도록 하여야 한다.

2) 지보패턴의 적용

현재 적용하고 있는 지보패턴은 조사단계에서 마련된 지반분류에 근거를 두고 있으며 그의 적용도 너무 경직되어 있다. 이는 현장여건에 따라 유연성 있게 대처하여야 하는 NATM의 기본원리에 일치하지 않고 있다.

가) 문제점

- 설계시 적용된 지반조건의 실제지반상태와 차이를 보여 과소·과다 설계가 되는 경향이 있다.
- 설계도에 나타난 표준 지보패턴을 손쉽게 변경하며 시공할 수 있는 제도적·기술적 뒷받침이 부족하다.

나) 개선방향

- 지보패턴을 설계시 결정하는 것은 설계 시공계획의 설정 및 개략적인 공사비와 공사기간을 산정하기 위한 것으로 실시공시 접하게 되는 모든 여건을 반영한 것이 아니므로 현장여건 및 지반의 상태 등에 따라 적절히 변경 조절하여야 한다.
- 또한 지보패턴을 변경 조절할 경우에도 정형화된 패턴들로 변경하기 보다는 좀더 유연성 있는 대처가 필요하다.

3) 품질관리

설계가 요구하는 품질을 달성하기 위하여서는 시공자체에 하자가 없어야 할 뿐만 아니라 공사준비 단계부터 공사종료시까지 지속적인 품질관리가 시행되어야 한다. 터널의 지보재에 대한 시공상의 문제점과 품질개선사항들은 다음과 같다.

가) 슛크리트

NATM 터널에서 가장 중요한 지보재는 슛크리트이다. 슛크리트는 굴착 즉시 가능한 최단시간내에 타설하여 굴착면을 보호하고, 지반의 변형을 억제하여야 하므로 슛크리트 타설장비는 항상 막장으로부터 근거리에서 타설준비를 갖추고 대기시켜야 한다. 슛크리트의 초기 응결시간, 양호한 시공성 및 최종 강도 등과 같은 특성치와 관련 요구되는 품질을 얻기 위해서는 적절한 배합설계, 양질의 시공장비, 높은 숙련도 및 철저한 품질관리가 수행되어야 한다.

○ 문 제 점

- 타설시기의 지연 및 배면공극 발생
- 체계적 강도관리 미흡과 리바운드량 과다
- 비효율적 장비운영 및 배합장비의 낙후
- 기능공의 숙련도와 품질관리 대책 미흡

○ 품질향상을 위한 개선방향

- 시방서에서 규정한 입도분포의 골재를 사용하며, 골재의 계량은 중량계량으로 한다.
- 압송압력의 기준은 $2.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 이며, 가능한 이보다 높지 않게 한다.
- 노즐과 벽면과의 거리는 1m, 각도는 90° 가 되도록 유지한다.
- 타설순서는 저면, 측면을 먼저 타설한 후 중앙부를 나중에 타설한다.
- 믹서기와 노즐사이의 거리는 최대 30m이내로 유지하여 노즐맨이 수신호가 가능토록 한다.
- 상하 이동식 작업대를 사용하여 타설시에 적당한 타설거리가 확보될 수 있도록 한다.
- 1차 철망을 원지반에 밀착 고정시킨후 슛크리트를 타설함으로써 슛크리트와 지반과의 부착을 증진시키고 리바운드량을 줄이도록 한다.

나) 철 망

철망은 슛크리트의 후속 파괴거동에 있어서 유연성을 증대시키는 역할을 할 뿐만 아니라 슛크리트의 부착성을 증대시켜 주는 역할을 한다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 철망은 불규칙한 굴착면에 밀착 설치할 수 있을 만큼 유연하여야 하는 반면, 보강재료로서의 역할을 하기 위해서는 충분한 강성을 가져야 한다.

○ 문 제 점

- $3 \times 50 \times 50\text{mm}$ 의 1차 철망은 유연성은 커서 지반과 밀착성은 좋지만 슛크리트 리바운드량을 증가시키며, 구조적 보강재로서 약하다.
- 종·횡방향으로의 겹이음상세가 미흡한 실정이다.
- 2차 철망의 경우 종방향으로의 중첩이 현실적으로 불가능하다. (강지보재)

○ 시공성 향상을 위한 개선방향

- 슛크리트 리바운드량을 감소시킬 수 있으며, 구조적인 기능을 갖는 크기의 철망인 $5 \times 100 \times 100\text{mm}$ 를 사용하는 것이 적당하다.
- 철망은 항상 굴착면에 밀착 고정시켜 슛크리트와 굴착면 사이에 공극이 발생하지 않도록 한다
- 철망이 구조적인 기능을 발휘할 수 있도록 충분한 겹이음을 실시한다. (종방향 1격자 (10cm), 횡방향 2격자 (20cm) 이상)

다) 강지보재

NATM공법에서 강지보재는 일시적인 지반지지와 단면 확보는 물론 FOREPOLING를 용이하게 해주는 역할을 한다.

○ 문제점

- 슛크리트 두께가 얇은 곳에서 H-125 규격의 강지보재를 사용하면 슛크리트 품질을 저하시킬 수 있다.
- 강지보재의 설계·제작시 허용변형량 및 시공허용편차를 고려하지 않으므로써 내부 라이닝의 두께를 설계치대로 일정하게 유지시키기가 곤란하다.

○ 시공성 향상을 위한 개선방향

- 강지보재의 규격은 시공성을 고려 H-100으로 변경시키는 것이 바람직하다.
- 강지보재의 형상은 지반의 허용변형량과 시공허용편차를 고려하여 기존의 것보다 커져야 한다.
- 상·하반 분할굴착시 지반조건에 따라서 하부의 강지보재를 일부 생략할 수 있도록 제도적 장치를 마련한다.

라) 록볼트

록볼트는 선단정착용과 전면접착형 및 이들의 혼용으로 구분할 수 있다. 록볼트는 시공 중 일시 지지부재로 사용될 수 있으나, 주로 영구 지지구조물로 간주되므로 이의 적합한 시공이 요구된다.

○ 문제점

- 대체로 설치시기가 지연되고 있다.
- 길이는 터널의 내공단면의 크기 및 지반조건과 관계없이 일정하다.
- 굴착면에 직각방향으로 시공되지 못하고 있다.
- 볼트 조임상태가 느슨한 경우가 많다.
- 지반에 완전히 정착시키지 못하는 경우가 많다.
- 용수상태에 따라 적합한 종류의 록볼트 선정이 고려되지 못하고 있다.
- 시공후 품질관리가 제대로 이루어지지 않고 있다.

○ 품질향상을 위한 개선방향

- 레진형 록볼트의 사용을 지양하고 시멘트 몰탈이나 시멘트 밀크 주입형 록볼트를 사용한다.
- 록볼트의 길이는 굴착단면 크기 및 지반조건에 따라 3~6m 길이를 선택적으로 사용토록 배려하여야 한다.
- 록볼트 설치시기는 굴착면으로부터 2~3막장을 넘지 않도록 한다.

- 매막장마다 록볼트는 엇갈려서 배치하고 굴착면에 직각방향으로 시공한다.
- 록볼트 설치시에는 막장별로 사용갯수, 번호, 길이, 천공직경, 시멘트 주입량 및 주입압 등을 기록하여 철저한 관리가 되도록 한다.

마) FOREPOLING

지반조건이 불량할 때 막장면 상부 천단부의 안정을 확보하고 여굴을 줄이기 위한 대책으로 사용한다.

○ 문 제 점

- 2개 막장마다 1회 씩 설치함으로써 충분한 증첩이 이루어지지 않고 있다.
- 설치각도가 너무 급하여 여굴이 많고 지지효과가 충분치 못하다.
- 철근을 사용함으로써 막장전면 상부 토사하중에 대한 휨 저항력이 약하다.

○ 품질향상을 위한 개선방향

- 터널 크라운부의 지반조건이 풍화토 또는 풍화암일 경우에는 FOREPOLING을 매막장마다 실시한다.
- FOREPOLING의 배치는 터널 크라운부의 120° 내에 설치한다.
- FOREPOLING의 배치간격과 길이는 지반조건 및 굴진장에 따라 좌우되나 일반적인 배치 간격은 0.3~0.4m, 길이는 굴진장의 2.0~2.5배가 바람직하다.
- 재질은 휨 강성이 큰 강관을 사용하고 내부는 시멘트 몰탈로 주입토록 한다.
- FOREPOLING의 설치각도는 가급적 수평을 유지토록 한다. (10° 미만)

바) 대 차

현재 대부분의 현장에서 사용하고 있는 대차는 너무 높고 고정식으로 제작되어 있어 1차 지보의 품질을 저하시키는 한 요인이 되고 있다. 따라서 대차는 다음과 같이 개선되어야 한다.

○ 슛크리트 타설과 록볼트 설치를 위한 대차

높이조절이 가능한 가동식 대차를 사용하여 슛크리트 타설과 록볼트 설치가 용이하도록 하여야 한다.

○ 철망과 강지보재 설치를 위한 대차

높은 대차를 사용하여 철망과 강지보재를 원지반에 밀착 설치할 수 있어야 한다. 위와 같이 대차는 1차 지보의 종류에 따라 높낮이가 다른 것을 사용하여야 하기 때문에 고정식 높은 대차가 있는 경우에는 낮은 대차를 별도로 하나 더 준비하고, 그렇지 않을 경우에는 높낮이를 조절할 수 있는 가동식 대차를 구비하여야 한다.

4) 기 타

가) 주입공법은 주입재 및 주입대상 지반의 특성에 따라 주입효과에 큰 차이가 있으므로 반드시 시험주입을 실시하고 효과를 확인한 후 적절한 공법과 주입방법을 결정하여야 한다. 그러나 이러한 과정이 무시된 사례가 대부분이다.

나) 시공중 계측

계측점의 초기치 측정이 지연되어 실제 지반거동이 정확히 파악되지 않을 뿐만 아니라 측정후 분석결과가 시공에 즉시 반영되지 않고 있다. 기술자들의 부단한 노력과 제도적인 뒷받침이 요구된다.

마. 특수공법

1) 기계화시공

- 연약지반 대상 : Shield 공법
 - 개방형 : Open Shield
 - 폐쇄형 : Pneumatic Shield (공기가압)
Earth Balanced Shield (토압균형)
Slurry Shield (이토가압)
- 경암반지반 대상 : TBM
- 지반조건 변화가 극심한 구간은 절충형으로 TBS 투입시공

2) 특수지보 공법 : 단구간의 연약지반 또는 기존 구조물하부통과

- Pipe Roof : 대, 중, 소구경 강관 선행압입
- Pipe Messer :
- CAM : 초대구경 강관

5. 도시절도 건설공사시 주변침하 및 대책

도심지에서의 침하현상은 노면의 균열, 경사, 함몰, 지하매설물의 파손, 근접구조물의 부등침하 등의 가장 큰 피해를 발생시킨다. 일반적으로 지반침하의 발생원인, 침하의 영향 및 대책은 다음과 같다.

가. 지반침하 원인 및 대책

터파기 공사시의 침하를 크게 나누면 흙의 이동에 의한 것과 배수에 따른 지하수의 저하에 의한 압밀, 압축현상에 기인한다. 이를 구체적으로 열거하면 다음과 같은 원인에 의해 발생됨을 알 수 있다

1) 도심지의 굴착시 주변지반의 침하원인

- 주변매설물 공사시 되메움 상태가 불완전 했던 곳의 향타 및 기계진동에 의한 안밀 밀침하
- Sheet Pile 등의 토류벽의 변위에 의한 배면토의 이동에 발생하는 입밀침하
- 배수에 수반된 토사 유출에 의한 침하
- Heaving에 의한 주변지반 침하
- 배수에 의한 상부 점성토의 암밀침하
- Strut 설치시의 시공불량에 수반된 배면토 이동에 의한 침하
- Sheet Pile철거시 되메움 불량에 기인한 침하
- 2차적 침하: 1차 침하에 의해 상하수도관등이 파손되고 이로 인해 일시적인 대량의 물의 유출로 인해 토사 유출이 발생하여 생기는 함몰 침하

2) 주변지반 침하영향 범위

지반굴착 현장주변의 답사를 통해 지표면의 침하 또는 균열정도와 지반굴착폭, 굴착고, 지하수위 통과를 관련지어 생각해 볼 수 있다. 균열거리는 굴착고가 클수록 크게 되는 것을 경험적으로 알 수 있으며, 균열거리는 굴착폭과는 그다지 관계가 없는 듯하다. 또한 균열거리는 지하수위가 높을수록 크다는 것도 일반적으로 잘 알 수 있는 사실이다. 그러나 침하는 지형, 지질 및 지역여건에 따라 상이하므로 이론적인 수치보다는 실제로 현장 계측에의거 판단하여야 한다.

나. 굴착지반의 안정성

1) 흙막이벽의 안정

흙막이벽의 안정에 있어서는 먼저 흙막이벽에 작용하게 될 측방토압을 정확하게 산정하여야 한다. 이 측방토압은 지반연속벽과 같은 강성벽에 작용하는 토압과 H말뚝을 흙막이벽이나 널말뚝 흙막이벽과 같은 가소성벽에 작용하는 토압의 2가지가 있다. 그밖에도 흙막이말뚝 혹은 흙막이벽은 근입부의 토압 및 수압에 대하여 충분히 안전한 깊이까지 도달하도록 근입장을 결정해야 한다.

2) 굴착저면의 안정

점성토 지반에서는 굴착깊이가 깊어짐에 따라 굴착저면의 안정성이 떨어지게 되어 Heaving 현상에 대한 안정검토를 별도로 실시하여야 한다. Heaving에 대한 안정은 지반의 저항력과 활동력의 비로서 계산되어 사용한다. 사질토 지반에 차수성 흙막이벽을 설치할 경우 Boiling 현상에 대한 안전 검토를 실시하여야 한다. 굴착이 진행됨에 따라 흙막이벽의 전면과 배면의 수위차가 생기게되며 이 값이 한계치에 도달할때 물의 중량이 굴착부의 흙을 일거에 들어올리게 되어 모래입자가 분출되고 급격한 지반 파괴가 발생한다.

3) 사면안정 검토

굴착공사의 시공계획에 있어서 굴착사면의 안정을 검토할 필요가 있다. 이는 도심지 굴착공사시 필히 검토해야할 항목이다. 특히 깊은 굴착의 경우 굴착사면과 가설 구조물이 일체로 활동(Sliding)을 할 우려가 있으므로 굴착지반주위를 충분한 범위까지 고려하여 지반의 활동 안정 검토를 하는 것이 중요하다.

다. 지반안정 대책

토목근접 시공에 채택되는 지반안정 처리공법은 여러가지 공법이 있으나 여기서는 통상 많이 이용되는 지하수위 저하공법과 지반주입 공법에 대하여 기술한다.

1) 지하수위 저하공법

굴착공사에서 수위저하 공법은 지반이나 구조물의 안정을 도모하기 위하여 실시되나 한편, 그 주변에 미치는 영향에 대해서도 고려하지 않으면 안된다. 즉 주변 우물의 수면저하나 고갈, 점성토층의 압밀과 부등침하등의 피해가 생길수도 있으므로 주의해야 한다

가) Well Point 공법

본 공법은 진공방식에 의한 강제배수를 하기 때문에 지반의 적용범위가 커서 투수계수는 10^{-4} cm/sec 정도로 적용될 수 있다. 이론적 배수가능 깊이는 10.3m이나 실용상 6~7m가 한도이므로 굴착깊이가 그 이상일 경우는 단을 두어 설치하여야 한다.

나) Deep Well 공법

본 공법은 심정호공법이라고도 하는 중력배수공법으로서 사질지반의 배수, 사면활동에 있어서 수위저하 등을 위해 투수성 지반내에 심정호를 구축하고 여기에 물을 모아 Pump로 배수시키는 공법이다. 지반굴착시 Dry Work을 가능하게 할 뿐 아니라 지반의 유효응력을 증대시켜 흙의 안정화를 도모하는 데에 쓰이기도 한다.

2) 지반주입공법

지반주입이란 지반내에 주입관을 삽입 이것을 통하여 약액을 지중에 압송, 충전시켜 일정한 시간이 경과한후 지반을 고결시키는 것을 말하며, 지반의 불투수성화 또는 지반강도 증대를 그 목적으로 한다.

본 공법은 터널 굴진시의 붕괴방지, Heaving방지, 토류벽의 토압감소외에 말뚝기초의 지지력보강, 댐기초의 지수, 진동방지등의 보조공법으로 쓰여 왔으나, 최근에는 점차 항구적 지반개량 공법으로 되어가고 있다. 본 공법이 우리나라 건설공사에 적용된 것은 서울 지하철공사 이후라 할 수 있겠다. 초기에는 그 주입 효과는 크게 기대갈기 어려웠으나 이제는 많은 기술진전으로 건설공사의 안전성에 크게 기여하고 있다. (공법 예 : LW, SGR, JSP)

3) 침하방지를 위한 일반적인 대책

- 경제성과 현장조건을 감안 적정 토류공법을 선정한다.
- 제일단 굴착시 침하가 크므로 토류벽 두부에 Tie-Back, Anchor, 수평토류벽지 보공을 설치한다.
- 토류벽 부근에는 중차량의 진입을 금지한다.
- 토류벽 설치배면에는 깬자갈과 모래 혼합물 등으로 뒷채움하거나 콘크리트를 타설 한다.
- 수면이하에서 지하수 배출과 토사유출시 Grouting 한다.
- Sheet Pile이나 H-Pile을 인발한 후에는 즉시 Grouting 한다.

4) 계측관리

터파기 공사시 발생하는 아래현상을 감안하여 계측관리하여야 한다.

- 토류벽이나 지보공에 관한 현상

토압과 수압에 의한 토류벽의 휨, 지보공(Wale, Strut, Earth Anchor 등)의 휨과 · 인장압축현상

- 굴착지반에 관한 현상

지하수에 의한 굴착저면의 Heaving, Boiling의 발생

- 주변지반이나 인접구조물에 관한 현상

지하수의 저하나 토류벽의 휨에 의한 지반침하와 그에 수반된 인접 구조물의 변형(침하, 수평이동, 경사등), 지반개량에 따른 수질오염