

흙막이 침하균열 원인과 대책방안

김종구 재해예방팀 전문위원

1. 서론

흙막이란 건축물의 지하층을 건설하기 위하여 지반을 파내려 가면서 주위 지반의 이동과 침하가 생기지 않도록 하기 위한 시설을 말한다. 기초 굴착에 따른 지하수 등 물의 침입방지, 지반붕괴의 목적으로 수압과 토압을 지지하는 것인데 안전관리측면에서 매우 중요한 공법이다.

토공사를 한마디로 말하자면 "물과의 전쟁"이라고 말하고져 한다. 물을 어떻게 다루느냐에 따라서 공사의 성패(成敗)가 좌우되며, 터파기 시공전 적절한 배수 및 차수공법을 면밀히 검토하여 안전에 대비하여야 한다. 흙막이 벽 배면에 지하수위가 높을 경우, 흙파기 시공시 급격한 지하수위 강하로 인하여 인접지반의 침하가 발생되며, 이를 방지할 경우에는 붕괴 및 주변 지반의 변형을 초래하여 막대한 하자보수 비용을 지불하거나 공사기간의 연장등 원가부담 증가의 원인이 되기도 한다.

흙막이 공사를 위해서는 지반의 선상, 지하수의 상황, 인접 건물이나 시설, 지하매설물 등에 대한 상세한 사전조사가 필요하다.

또 흙막이나 흙파기 공사에서는 소음, 진동, 먼지 등에 의한 오염등 주위에 미치는 영향이 크므로 이에 대한 충분한 대책도 필요하다. 즉 흙막이 공사는 안전하면서도 공해를 최소화하는 것이 시공상 첫째 조건이다.

2. 흙막이 공법 분류

가. 지지방식에 의한 분류

- (1) 자립식
- (2) 버팀대식 : 수평버팀대식, 경사버팀대식
- (3) EARTH ANCHOR

나. 구조방식에 의한 분류

- (1) H-pile 공법
- (2) Steel sheet pile(강널말뚝) 공법
- (3) Slurry wall 공법
- (4) Top down 공법
- (5) 구체흙막이 공법 : Well 공법, Caisson 공법

3. 흙의 주상도

가. 간극비(e)

(1) 흙 입자의 용적에 대한 간극 용적의 비

$$(2) e = v_v / v_s$$

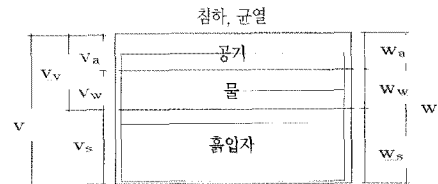
(3) 흙의 체적에 굴착으로 인한 공기, 물, 흙이 유출되면서 체적이 감소되어 지반 균열 침하로 이어지는 원인제공

나. 함수율(w')

(1) 흙 전체 중량에 대한 물중량의 백분율

$$(2) w' = w_w / w \times 100\%$$

(3) 우천(장마)으로 인한 함수율 증대로 흙막이 배면 주동토압 상승으로 붕괴의 원인제공



v : 흙 전체의용적

v_s : 흙 입자용적

v_a : 공기의 용적

w_a : 공기의 중량

w_s : 흙입자의 중량

v_v : 간극의 용적

v_w : 물의 용적

w : 흙 전체의 중량

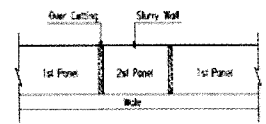
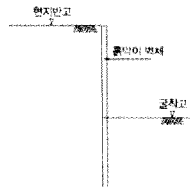
w_w : 물의 중량

4. 흙막이 공법선정시 고려사항

- (1) 안전하고 경제적
- (2) 무공해성
- (3) 흙막이 해체 고려
- (4) 주변 대지조건 고려
- (5) 차수성 높은 공법
- (6) 지반 성상에 맞는 공법
- (7) 강성이 높은 공법
- (8) 지하수 배수시 배수처리공법 적격여부 고려

5. 흙막이공법 종류별 특성

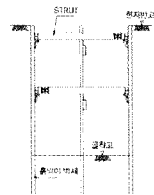
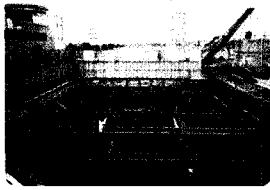
- (1) 자립식 흙막이공법



버팀대, 띠장 등의 지지구조를 가설하지 않고 토류벽의 휨저항 및 근입부분 지반의 휨저항에 의해 토압을 부담시키고 굴착하는 공법

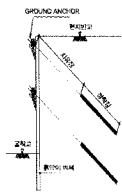
Bentonite Slurry와 굴착장비를 사용하여 지반을 굴착하고 철근망 삽입후 콘크리트를 타설하여 지중에 철근콘크리트 벽체를 만드는 공법

(2) Strut공법



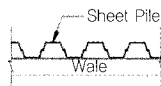
- ① 토류벽체 시공 필요한 위치에 중간 말뚝(Post Pile) 설치하여 단계별 굴착 후 띠장(Wale) 및 버팀대 거치하여 굴착하는 공법
- ② 외부용지에 여유가 없을 때
- ③ 인접대지에 대해 E/A 시공이 불가한 경우

(3) Earth Anchor공법



- ① 토류벽체 시공 단계별 굴착후 띠장(wale)설치 E/A시공을 위한 천공 후 Anchor체 삽입 1, 2차 및 3차 그라우팅 주입 앵커체 인장, 정착 및 시험하여 굴착하는 공법
- ② 굴착면적이 넓을 때
- ③ 양호한 Anchor체 정착지반이 있고 피압지하수가 없을때

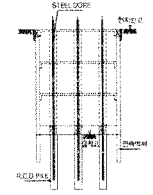
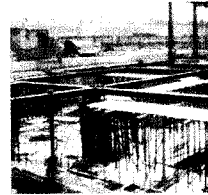
(4) Sheet Pile공법



Sheet Pile의 이음부를 물리게 하여 진동해머, Water jet 등으로 지중에 타입하여 연속된 흙막이 벽체를 형성하는 공법

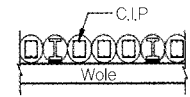
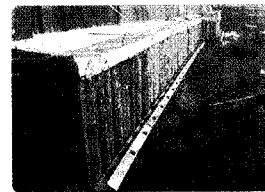
(5) Slurry Wall공법

(6) Top Down공법



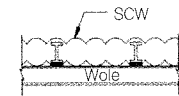
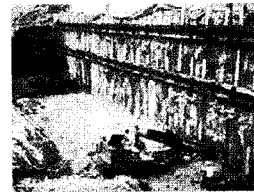
- ① 토류벽 설치(Slurry Wall)및 기초용 기둥의 설치하여 토공 및 건축 구조물의 시공(역타)
- ② 현장 규모가 중규모 이상Plant 설치 및 굴착장비 이동공간과 철근망 제작 장소가 필요함)
- ③ 전지층에 적용가능, 연면반 이상의 기반암층에서는 굴착 효율이 떨어 짐

(7) CIP공법



굴착장비(Auger, T4W, 시추기)로 소정의 깊이까지 천공 후 공내에 조립된 철근 및 조골재(자갈)를 채우고 Mortar를 주입하거나 콘크리트를 타설하여 현장타설 말뚝을 조성하는 공법

(8) SCW공법



3축 Earth Auger를 이용하여 지반을 굴착한후 Cement Milk를 주입하면서 굴착토사와 혼합시키고 H형강 응력재를 넣어 Soil Cement 기둥을 형성하는 공법

(9) Soil Nailing공법

- ① 현장 조건에 따라 적용성이 좋음
- ② 거의 전지층에 적용 가능하나, 연약한 점토 또는 느슨한 상태의 매립, 퇴적 사질토 지반에 대해서는 지지효과가 떨어짐

6. 흙막이 공사시 주변 지반의 침하원인

(1) 적정공법 선정미비

흙막이벽 강성 미확보로 인한 주변침하(H-Pile 공법 < Sheet Pile < 지하 연속벽)

(2) 사전조사미비

- ① 설계도서 및 계약관계 검토(시방서, 계약서, 설계도, 구조계산서)
- ② 지반조사(지내력시험, 지하탐사법, 토질시험, 사운딩시험, 샘플링시험, boring, 토질시험, 기타시험)
- ③ 대지내 입지조건(대지의 고저차, 대지경계선, 대지내 가설물)
- ④ 인접대지 입지조건(주변 교통 및 도로상황)
- ⑤ 인접대지 지하매설물 현황(가스, 전기, 통신등)
- ⑥ 환경 및 소음, 진동에 대한 규제사항
- ⑦ 기후 및 기상 현황
- ⑧ 환경공해에 대한 민원대책

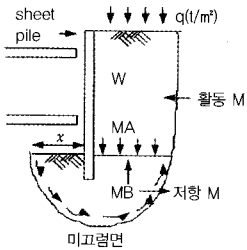
(3) 흙막이 배면의 물침투

우천(장마)으로 인한 배면 주동토압 상승

(4) 흙막이 배면의 과적재하

흙막이 배면의 D/T, 굴착장비의 이동으로 인한 과하중으로 축압 상승

(5) Heaving 파괴



<그림1 Heaving파괴>

- ① 하부 점토지반이 연약할 때 토압에 의해 저면이 붕괴되고 흙막이 바깥 흙이 안으로 밀려 불룩하게 되는 현상
- ② Heaving Failure (하이빙 파괴) MA>안전율×MB일때 전면적 파괴

$$M_A = W \times \frac{x}{2}$$

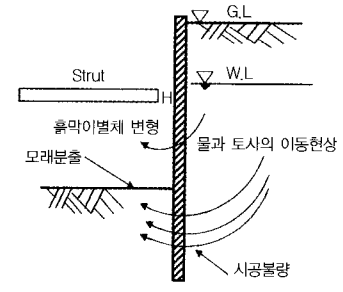
(MA : 회전모멘트, W : 흙의 중량, MB : 미찰면적×흙의 점착력(저항 모멘트) 안전율 = 1.2 이상)

(6) Boiling 파괴

투수성이 좋은 모래지반에서 유동 지하수로인한 터파기 저면 지반 지지력 상실되는 현상

(7) Piping 파괴

흙막이 널말뚝 틈이나 널말뚝 상단에서 흙탕물이 분출되는 현상

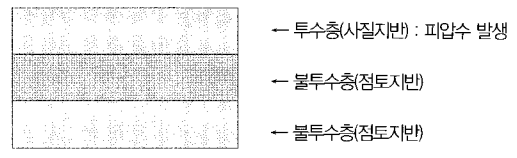


<그림 2 Piping파괴>

(8) 뒷채움 불량

흙막이 배면의 뒷채움 불량으로 인한 체적감소로 지반 균열, 침하 발생

(9) 피압수 발생시



<그림 3 피압수 파괴>

① 상하의 불투수층(점토지반) 사이에 높은 압력을 갖는 지하수

② 터파기 용출현상, Slurry Wall공법의 공벽 붕괴원인

(10) 배수에 따른 침하

- ① 배수시 토사 유출에 따른 침하
- ② 배수에 따른 점성토의 압밀 침하

(11) strut 불량

- ① strut 구조재 설치간격, 이음, 용접불량
- ② stiffener 미설치
- ③ 장 span strut경우 변위량 발생시
 $\Delta L = 10 \times 10^{-6} \times 50,000 \times 40 = 20\text{mm}$
 (Span 50m, 온도변화 40°C일 경우 변위량)

7. 흙막이 공사시 주변 지반의 침하대책

(1) 지장물조사 철저

지장물	확인처
총괄	각 구청 토목과
도시가스	각 지역 도시가스지점
전화선	전신전화국
고압선	한전지점
하수도관	각 구청 하수과
상수도관	각 구청 수도사업소

(2) 흙의 전단강도 확보

① 흙의 전단강도 $S = C + \sigma \tan \theta$

S : 전단강도, C : 점착력, σ : 파괴 면에 수직적인 힘(유효응력), $\tan \theta$: 마찰계수, θ : 내부마찰각 (점토 S \approx C, 모래 S \approx $\sigma \tan \theta$)

② 흙의 전단시험 실시

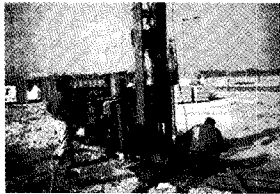
직접 전단시험, 일축 압축시험, 삼축 압축시험

(3) 경질지반 말뚝근입

H-Pile, 흙막이 근입장을 경질지반까지 근입

(4) S.P.T.시험 조사철저

63.5kg, 시험용 sampler를 75cm 높이에서 자유낙하시켜 30cm 관입되는 타격횟수 N치 측정



<그림 4 S. P. T 시험 및 지질주상도>

층	질	상	중	지	주	표	표
번호	명칭	상	중	지	주	층	높이
1	점토	1.27	1.17	1.17	1.17	1/62.5	
2	점토						
3	점토						
4	점토	1.25	1.15	1.15	1.15	2/75.0	
5	점토						
6	점토	2.18	2.08	2.08	2.08	8/75.0	
7	점토						
8	점토	0.25	0.25	0.25	0.25	15/75.0	
9	점토	1.17	1.07	1.07	1.07	22/75.0	
10	점토						
11	점토	1.15	1.05	1.05	1.05	27/75.0	

① 차수 흙막이공법 : Sheet Pile, Slurry Wall, Top down

② 고결공법 : 생석회공법, 동결공법, 소결공법

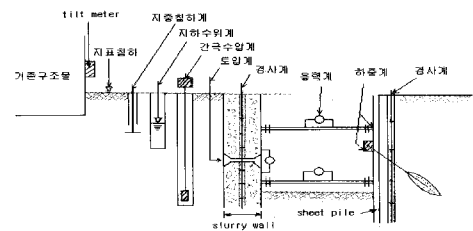
③ 약액주입공법 : JSP, LW

④ 중력식 배수공법 : 집수통, Deep well

⑤ 강제 배수공법 : Well point, 진공 Deep well

⑥ 복수공법 : 주수공법, 담수공법

(9) 계측관리 철저



<그림 5 계측관리>

(10) 안전관리 유의사항

① 장비 운행시 전담신호수 배치

② 버팀, 락 강재용접시 용접불꽃 비산, 낙하 방지조치

③ 흙막이 작업의 이해및 숙지

④ 장비, 근로자 이동통로 분리

⑤ 굴착장비의 전도방지

⑥ 흙막이벽 배면의 과굴착금지

⑦ 흙막이 지보공에 대한 구조검토

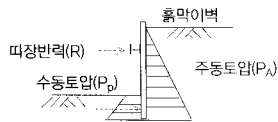
(5) 흙막이 배면 공극방지

① 토류판 배면 Cement Mortar, 물다짐 실시

② 양질토 되메우기

(6) 토압 구조안전성 검토철저

① 토압 분포도



$P_A < P_p + R$ 일때 안전
 $P_A = P_p + R$ 일때 정지토압
 $P_A > P_p + R$ 일때 붕괴

② 토압의 관계

수동토압 > 정지토압 > 주동토압($P_p > P_0 > P_A$)

(7) 적정 지반개량공법 실시

① 사질토($N \leq 10$) : vibro floatation, vibro composer, 폭파다짐공법, 전기충격공법, 약액주입공법, 동다짐공법

② 점성토($N \leq 4$) : 치환공법, 압밀공법, 탈수공법, 배수공법, 고결공법, 동치환공법, 침투압공법, 대기압공법, 표면처리공법

③ 사질토, 점성토(혼합공법) : 입도조정공법, soil cement공법, 화학약재 혼합공법

(8) 적정 차수&배수공법 실시

8. 결론

흙막이 붕괴사고 방지하기 위해서는 토압 유동에 따른 계측관리가 필요하며 이를 통해 흙막이 주변 토압 변위를 실시간 점검이 가능하도록 시스템화 하는 것이 중요하다. 토질에 있어서 토압의 변위는 토질에 포함되어 있는 물의 양에 따라 많은 차이가 있으며, 특히 높은 지하수위는 전반적인 토사유동을 유발할 수 있는 조건을 형성하게 되므로 토사 성질에 따른 차수&배수, 흙막이공법 선정의 면밀한 검토가 이루어져야 한다.

안전을 구호로만 외칠것이 아니라, 실천과 Data 분석, 현장 모든 종사자들의 강한의지가 있을 때 가능하다. 안전에 역행하는 무지(無知), 무관심(無關心), 무능(無能), 무책임(無責任)을 현장에서 몰아내고 안전교육을 통해 개선시켜 나가도록 하자. ☺