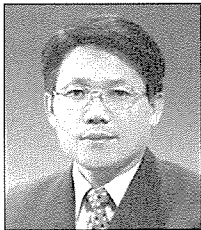
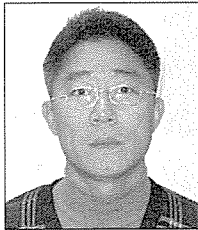


도심지 저심도 광폭굴착에 따른 흙막이 설계사례



주신우CEC 대표(사주)
토질 및 기초 기술사
김학청¹⁾



주신우CEC 부장
정광렬²⁾

1. 서론

최근 수도권 및 도심지 인구 증가로 인한 대단지 주거 시설의 확충과 기존의 공동 주택단지의 재개발로 인하여 대단위 굴착공사가 지속적으로 이루어지고 있으며, 도심지 특성상 도심지내 협소한 부지를 효율적으로 사용하기 위하여 지하주차장 등의 건축시설물을 지하공간에 배치하게 된다. 도심지 특성상 다양한 구조물이 흙막이 주변에 인접하여 위치하고 있기 때문에 지하굴착시 인접 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

본 현장의 경우 평면상 지하층 구조물이 불규칙한 형상으로 계획이 되어있어 가시설의 평면 계획이 까다롭지만 굴착시 토압에 적절하게 저항할 수 있는 평면계획을 수립하고, 다양한 버팀 구조를 적용하여 굴착시 발생하는 주변지반의 변위를 최대한 억제할 수 있도록 계획하였다.

깊은 굴착의 경우 지층구조의 중하부에 위치한 암반층 보다는 주로 상층부에 위치하고 있는 토사층에서의 흙막이 변형이 주변지반의 침하를 발생시킨다. 저심도의 굴착공사도 근입심도 하부까지 퇴적층이 분포하고 있어 흙막이 안전에 대한 중요성의 인식은 깊은 심도 굴착공사와 전혀 다르지 않다.

본 현장은 건축평면계획 및 주변여건상 장지간의 STRUT, RAKER 및 ANCHOR에 의한 버팀시설을 계획하였으며, 장지간의 STRUT와 RAKER 설치구간은 흙막이의 변형을 최소화하기 위해 선행하중 개념을 도입하였다. 본 과업에서는 굴착시 발생하는 수평변위 및 수직변위를 예측하고 이때 발생하는 부재력의 변화를 비교 분석하여 설계에 반영하였다.

2. 주변현황 및 지반조건

2.1 주변현황

설계 대상부지는 서초구 잠원동에 위치하며 기존의 공동주택단지를 재건축하는 현장으로써 북쪽으로 20m도로와 그 하부 14m 깊이에 지하철 7호선 본선 BOX구조물이 위치하고, 동쪽에는 중학교 건물과 남쪽으로는 아파트단지 등이 있으며, 서쪽으로는 30m도로가 위치하고 있다. 단지 주변의 학교, 아파트, 유치원 등의 건물은 강관파일에 의해 지지되어 있으며, 단지내에는 북측에서 서측으로 지하수 BOX(2.0X1.2)가 매설되어 있어 북측 20M 도로 인도를 경유하여 서측 30M도로의 차로를 따라 이설할 계획이다.

2.2 지반조건

설계지역은 한강 제방의 배후 저습지로 제4계 홍적세 기간중 한강의 범람에 의하여 퇴적된 것으로 모래, 자갈, 점토 등이 혼합 퇴적되어 있다.

지층의 구성을 보면 상부는 주로 실트질 모래층의 매립

층이 1.5~4.5m두께로 위치하고, 그 하부로 퇴적토층이 14m내외의 두께로 분포하는데 상부로부터 모래층, 실트질 점토층, 자갈섞인 모래층 순으로 위치하고 있다. 퇴적토층 하부로는 1m 내외의 풍화토 내지 풍화암 층이 존재하고 이후 편마암의 연암층이 분포하고 있다.

지하수위는 지반조사시 8.1M 부근에 위치하는 것으로 조사되었으나 느슨한 상태의 지반조건으로 인하여 홍수시 수위는 상승될 것으로 예상되어 GL-3.0m에 지하수위를 위치시켜 구조검토를 수행하였다.

설계에 적용한 각 각의 토층별 지반조건 및 지반 정수는 다음과 같다.

3. 흙막이의 평면계획

본부지는 약 7,214평의 대지면적에 5,515평의 지하층이 계획되어 있으며 굴착심도는 지하 2층으로서 9.8m이다. 그림 1과 같이 평면상 계획된 지하층 구조물의 형상은

표 1. 지반조건

지 층	두께(m)	N - 치	상대밀도 및 컨시스턴시	비 고
매립토층	1.5 - 4.5	6/30 - 50/30	느슨한 상태 내지 조밀한 상태	
퇴적토층	2.5 - 3.0	7/30 - 18/30	중간 상태 내지 굳은 상태	점토층
	1.5 - 8.5	6/30 - 50/4	느슨한 상태 내지 매우 조밀한 상태	모래층
풍화토층	0.5 - 1.7	50/21 - 50/12	매우 조밀한 상태	
풍화암층	0.3 - 0.5	50/10	매우 조밀한 상태	
연 암 층	1.0 - 1.2	-	-	

표 2. 설계지반정수

구 분	$\gamma_1(t/m^3)$	$\gamma_{sub}(t/m^3)$	C(t/m ²)	$\phi(^{\circ})$	Ks(t/m ²)	비 고
매 립 토 층	1.7	0.7	0	27	1890	N=12
모 래 층	1.8	0.8	0	28~29	2130	N=16
실트질 점토층	1.7	0.8	1	25~26	1520	N=7
점토질 모래층	1.85	0.9	0	32	2330	N=20
자갈섞인모래층	1.9	0.9	0	33	3380	N=50
풍 화 토 층	1.9	0.9	0	33	3380	N=50
풍 화 암	2.0	1.0	2	34	4,000	N=50

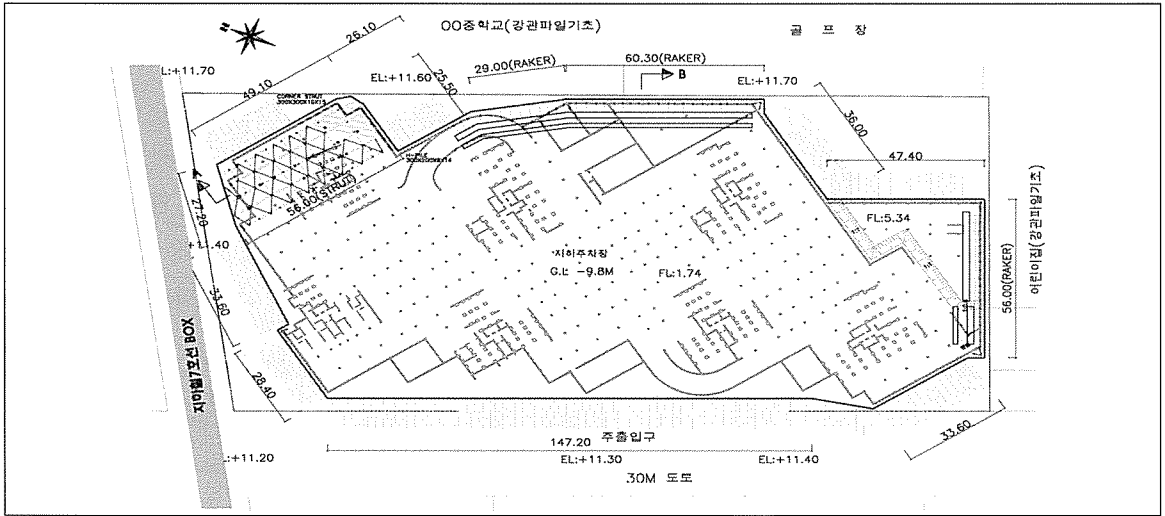


그림 1. 가시설계획 평면도

건축 용도상 필요에 의해 굴곡이 심한 형상으로 계획되어 건축의 지하외벽을 따라 흠막이를 설치할 경우 구조상 불리한 우각부가 여러 곳에서 발생되므로 굴착시 토압에 절절히 대응하지 못하고 흠막이벽체의 과도한 변위 발생 및 공사중 붕괴의 우려가 있다. 따라서, 이러한 경우 흠막이의 평면계획을 그림 1과 같이 단순화함으로써 굴착시 토압에 충분히 저항하고 안정성을 확보할 수 있다.

그림 1의 평면도상에서 하단의 경우 건축외벽을 따라 흠막이 벽체를 시공할 경우 217m이고 일직선으로 계획한 흠막이 벽체의 길이는 166m이므로 추가로 발생하는 토공사비를 감안하더라도 원할한 시공성과 약간의 공사비 감소가 발생되어 경제성면에서도 유리하다 할 수 있다.

4. 선행하중 버팀보의 적용

저심도 광폭의 굴착현장에서는 여건상 장지간의 버팀보를 설치하거나, 인접 건물 및 인접 대지 점용허가 등으로 ANCHOR시공이 불가능한 경우 RAKER형태의 버팀

보를 적용하는 경우가 종종 발생된다.

장지간의 STRUT의 경우 계절적인 온도차 및 인접 STRUT와 구조적 결합(Bracing) 후 응력 재분배시 다수의 이음부에서 폐합으로 인하여 발생하는 부재의 변형은 흠막이 벽체의 변형으로 전이되고 결국에는 주변 지반의 침하를 발생시킨다. RAKER는 주로 30°~45°의 경사로 설치되는데 수평력에 대한 저항력이 작고, STOPPER가 설치되는 지지 지반의 변형, 단계별 굴착시 굴착측에 형성되는 삼각형모양의 잔여토의 수동저항능력이 작아 흠막이 벽체의 변위를 유발시킨다.

따라서 본 설계에서는 최근에 국내에서도 자주 적용하고 있는 선행하중 방식을 도입하여 장지간 STRUT와 RAKER 구간에서의 흠막이 벽체의 변위를 최소화 할 수 있도록 계획하였다.

단면도상 흠막이 계획은 그림 2와 같이 STRUT 구간은 50~56m의 장지간으로 설치되고, RAKER 구간은 6~12m의 길이로 설치된다.

선행하중의 적용은 일반적으로 최초의 축력에 대하여 50%~80%로 검토 적용하며 선행하중 적용에 따른 흠막

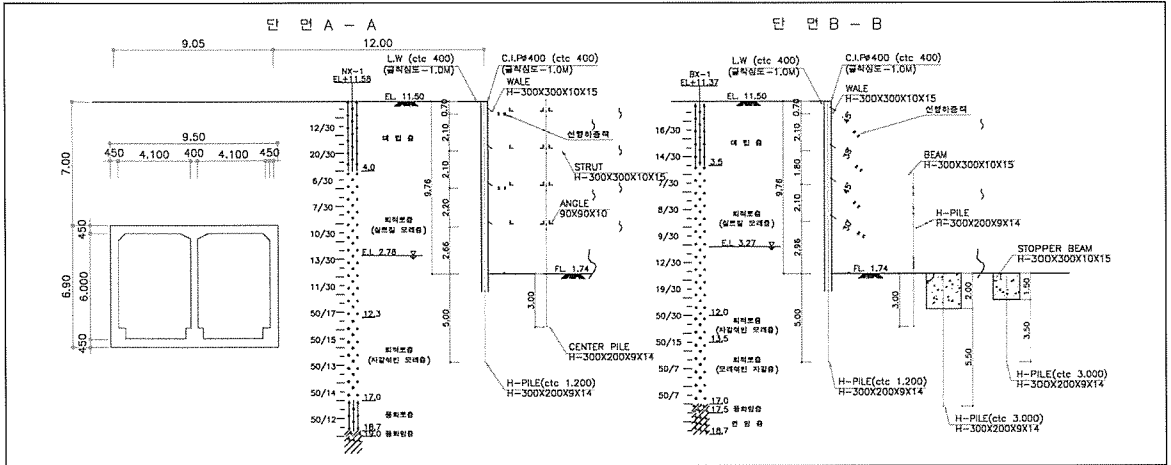


그림 2. 가시설계획 단면도

이의 해석은 초기축력, 50%, 80%의 3가지 경우로 검토하였으며 탄소성 해석프로그램이 EXCAV와 SUNEX 프로그램을 사용하여 검토하였다.

그림 3과 그림 4는 각각 장지간 STRUT와 RAKER 설치 시 선행하중 적용에 따라 흠막이 벽체의 변형과 주변

지반 침하에 대하여 나타내고 있다.

본 현장은 굴착심도까지 느슨한 상태의 비교적 불리한 지반조건으로써 흠막이의 최대 변위는 굴착 심도(GL-9.8m)부근에서 발생되고 있으며, 해석결과 STRUT 구간에서 선행하중 50% 적용시 변위는 49% 감소하고, 80%

표 3. 단면 A-A(STRUT, H=9.80m)

항 목	버팀대 축력				흠막이 벽체			주변침하 변위(mm)	
	1단	2단	3단	4단	최대수평 변위(mm)	휨모멘트 (t·m)	전단력 (ton)		
1단계결과	12.9	46.0	62.9	82.0	23.60	9.78	11.82	30.15	
2단계 (50%)	선행하중	6.5	23.0	31.5	41.0	12.23	8.35	13.18	7.63
	결과	17.7	56.4	81.6	104.1				
3단계 (80%)	선행하중	10.3	36.8	50.3	65.6	10.02	9.75	13.57	4.22
	결과	20.1	65.4	93.5	119.6				
허용치	신재기준 약 200톤					13.2	24.5		

표 4. 단면 B-B(RAKER, H=9.80m)

항 목	버팀대 축력				흠막이 벽체			주변침하 변위(mm)	
	1단	2단	3단	4단	최대수평 변위(mm)	휨모멘트 (t·m)	전단력 (ton)		
1단계결과	7.3	23.9	34.3	54.0	22.94	9.91	12.36	24.20	
2단계 (50%)	선행하중	3.7	12.0	17.0	27.0	12.73	10.46	13.62	6.48
	결과	9.6	28.9	44.4	68.7				
3단계 (80%)	선행하중	5.8	19.1	27.4	43.2	11.20	11.38	14.02	4.22
	결과	11.0	33.2	51.0	79.1				
허용치	신재기준 약 100톤					13.2	24.5		

적용시 변위는 58% 감소하였다. RAKER구간에서는 선형하중 50% 적용시 45%, 80% 적용시 52%의 변위 감소량이 나타났다.

침하량은 선형하중 50% 적용시 각각 75%, 84%가 감소하고, 80%적용시 각각 86%, 83%가 감소하였다.

설계의 적용은 선형하중을 크게 적용 할수록 흙막벽체의 변위를 최소화 할 수 있으나 선형하중이 클수록 부재의 응력이 커지는 경향이 있어 50%의 선형하중을 적용하였다.

표 3과 표 4는 선형하중 적용시 각각의 부재력, 변위, 침하량의 최대 변화를 나타내고 있다.

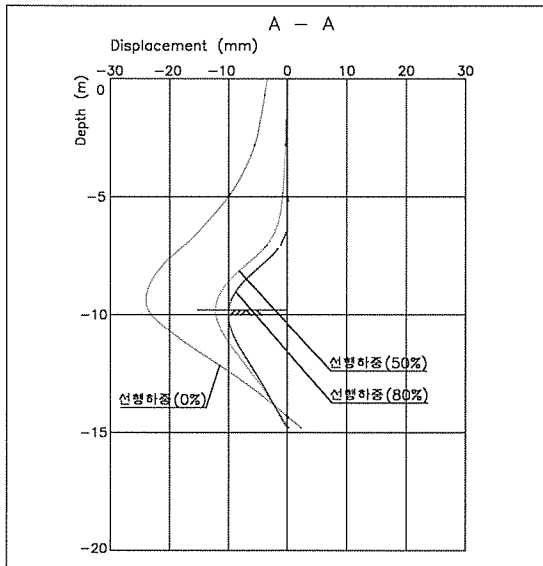


그림 3. STRUT 구간의 벽체변위도

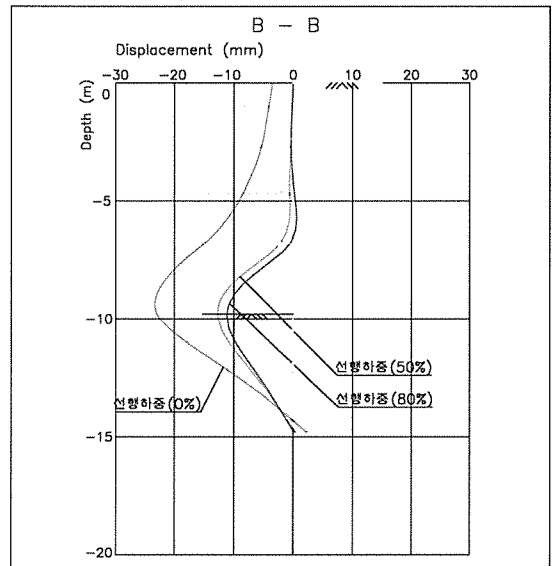


그림 4. RAKER 구간의 벽체변위도

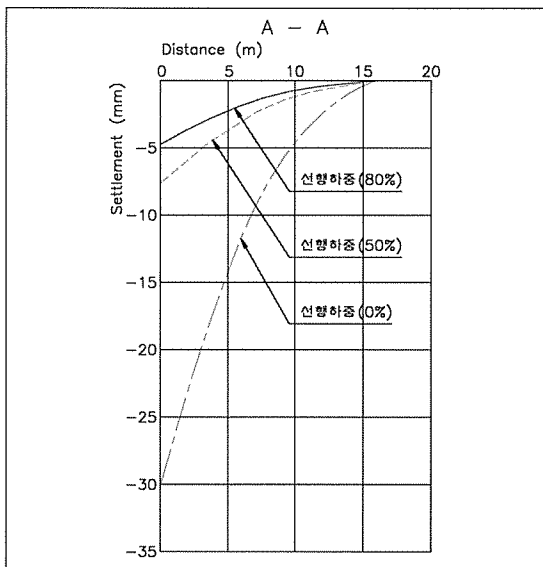


그림 5. STRUT 구간의 배면침하량

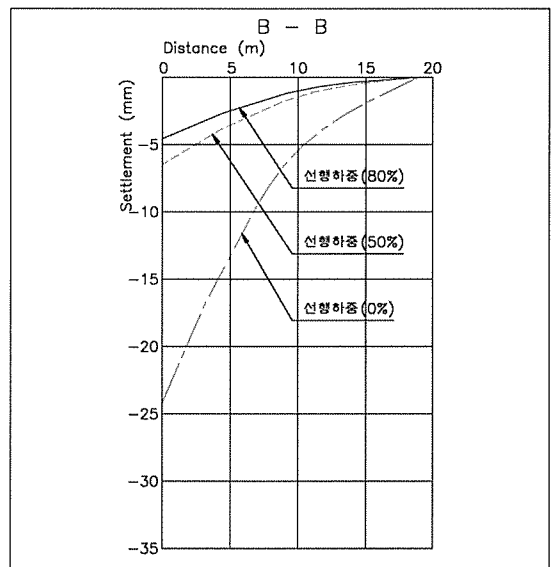


그림 6. RAKER 구간의 배면침하량

5. 결론

저심도 광폭굴착현장에서 건축지하구조물 형상을 고려하여 흙막이의 효율적인 평면계획을 수립하고, 장지간 STRUT 및 RAKER 지지시 벽체의 변위를 최소화할 수 있는 선행하중 개념을 도입하여 흙막이의 안전성을 검토하였으며 그 내용은 다음과 같다.

1) 지하구조물이 불규칙한 형상일 경우 그 평면형상에 따라 흙막이 벽체를 설치하면 많은 우각부가 발생된다. 이때 굴착측으로 발생하는 토압에 저항할 수 있는 정방향의 지지보 설치가 곤란하여 흙막이 벽체의 변형을 유발하고 주변지반의 침하를 발생시킨다. 이러한 경우 흙막이를 가급적 일지선으로 배치하는 것이 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 추가적인 토공사비가 발생되더라도 흙막이 벽체의 시공연장이 줄어 다소 공사비의 감소가 발생되고, 공간확보로 인하여 원활한 시공이 이루어 질 수 있다.

2) 장지간의 STRUT 및 RAKER의 버팀형식은 흙막이 벽체의 변위가 커지는 문제점이 발생된다. 벽체의 변위를 최소화 하기위해 선행하중 방식을 도입하여 50%의 선행하중을 적용한 결과 45%~49% 변위가 감소하고, 80% 선행하중 적용시 52%~58%가 감소하였다.

선행하중의 적용시 50%까지는 변위의 감소가 두드러지나 그 이상은 선행하중의 증가에 비하여 변위 감소폭이 적고 부재의 응력이 커지는 경향이 있으므로 50%정도가 적정하다 할 수 있다.

3) 선행하중을 도입하여 지반조건에 따른 변위의 감소 효과를 확보하기 위해서는 장지간의 STRUT 설치구간에서 다수의 이음부 폐합시 발생하는 손실을 고려하여 선행하중을 결정하여야 한다. 손실량의 정량적인 값을 정확히 예측하기는 어려우나 시공시 버팀보에 발생하는 응력을 계속하여 어느 정도는 예측할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

1. 이 송, 채점식, 김일, 우종태(2003), "흙막이 구조물의 설계와 시공", 예문사, 경기도
2. 홍성완, 이승, 채영수, 손준익,(1992), "굴착 및 흙막이공법", 한국지반공학회
3. 오성남, 조현태, 박기태, 양구승(1999), "버팀굴착시 버팀대 선행하중과 흙막이 구조물과의 상호 관계" 한국지반공학 봄학술발표회 논문집, pp. 129-136.
4. 백규호, 오성남, 조현태, 양구승 (1998), "버팀대 선행하중 공법을 이용한 깊은 굴착 사례 연구", 한국지반공학 가을학술발표회 논문집, pp. 225-232.
5. 김낙경, 박종식(2003), "조립식버팀보로 지지된 흙막이 구조물의 거동특성에 관한 연구", 한국지반공학 봄학술 발표회 논문집, pp. 553-560.