

## 도심지 흠막이 굴착시 손상거동에 대한 대책공법사례 Case Study of Damage Behavior in Urban Excavation

김만하<sup>1)</sup>, Man-Ha Kim, 채영수<sup>2)</sup>, Young-Su Chae, 김학문<sup>3)</sup>, Hak-Moon Kim

1) 선학개발(주) 대표이사, President, Sun Hak Development Co. Ltd.

2) 수원대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Suwon University

3) 단국대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dankook University

**SYNOPSIS** : Reliable predictions of the movement of earth retaining structures and the ground adjacent to braced walls in urban excavation are often difficult due to many variable factors. The ground settlement and the damage of adjacent structures in urban excavation has been an important issue. Therefore, the stability of the adjacent structures must be secured with the excavation support and research on the protection of adjacent structure is necessary. This study showed a counter-measure method for case of damage behavior in urban excavation.

**Keywords** : damage behavior, urban excavation, countermeasure method

### 1. 서 론

경제성장과 더불어 인구 및 경제활동의 과도한 도시집중으로 인하여 사회간접자본시설의 확충이 불가피하게 되었고, 도심지에서 건물용지 부족으로 인하여 토질 활용의 극대화를 위해 기존 구조물에 인접하여 흠막이 공법을 적용한 대규모, 대심도 굴착공사가 증가하고 있다.

이러한 도심지에서의 대규모, 대심도 근접굴착은 흠막이 구조물 및 주변지반에 변형을 발생시키며, 이로 인하여 인접 구조물과 흠막이 구조물 자체의 안정성에 영향을 미치게 된다.

또한, 인구와 고층건물이 밀집된 도심지에서 흠막이 벽체 및 주변지반의 과도한 변형거동은 인접 건물의 균열, 지하 매설물의 파괴 및 시공중 흠막이 벽체의 붕괴로 인한 막대한 인적 및 물적 피해를 야기시킬 수 있다.

본 연구에서는 인접건물이 밀집되어 있는 도심지 흠막이 굴착시 발생된 손상사례에 대한 원인분석 및 수치해석적인 검토를 통하여 손상거동원인 규명과 현장조건에 맞게 제안된 대책공법 사례를 검토하여 도심지 굴착시 안전한 시공을 위한 대책 및 안전관리 방안에 대한 사례를 검토하였다.

### 2. 지층 및 현장개요

#### 2.1 지층개요

본 현장의 지질은 서울-경기지역 일원에 분포하는 편마암이 기반암층을 형성하고 있으며 구릉지 하부 지역으로 평탄한 지형을 이루고 있다. 본 조사지역의 지층구성 상태는 상부로부터 매립층, 퇴적토층(봉적토층), 풍화토층, 풍화암층, 연암층의 순으로 분포하고 있다. 현장의 지하수위는 지반조사당시 지표면

으로부터 최대 GL.-3.8m 정도 깊이로 퇴적토층(실트질모래층)에 위치하고 있었으나, 굴토공사에 따라 지하수위가 최대 GL.-8.8m 까지 저하되었으나, 벽체변위 증가에 의한 보강방안으로 압성토를 수행함으로써 현재는 GL.-7.4m에 위치하고 있는 것으로 계측되었다.

## 2.2 현장개요

본 현장의 굴착공법은 S.C.W공법을 적용하여 흙막이 벽체를 형성한 후 제거식 Ground Anchor로 벽체를 지지하며 굴착하는 공법을 적용하였으며, 최종굴착고는 GL. -9.16m(A구간)~GL.-11.16m(B구간)까지 굴착하였다.

본 현장의 굴토공사시 문제가 발생한 구간인 A구간은 3단 제거식 G/A 시공이 완료되었고, B구간은 4단 제거식 G/A가 설치된 상태에서 B구간에서 추가굴착시(GL. -10.5m) 급격한 벽체변위와 배면침하가 발생하여 안전조치로 GL.-6.5m까지 압성토에 의한 보강공법을 적용하여 추가벽체변위 및 배면지반 침하를 억제시킨 상태였다.

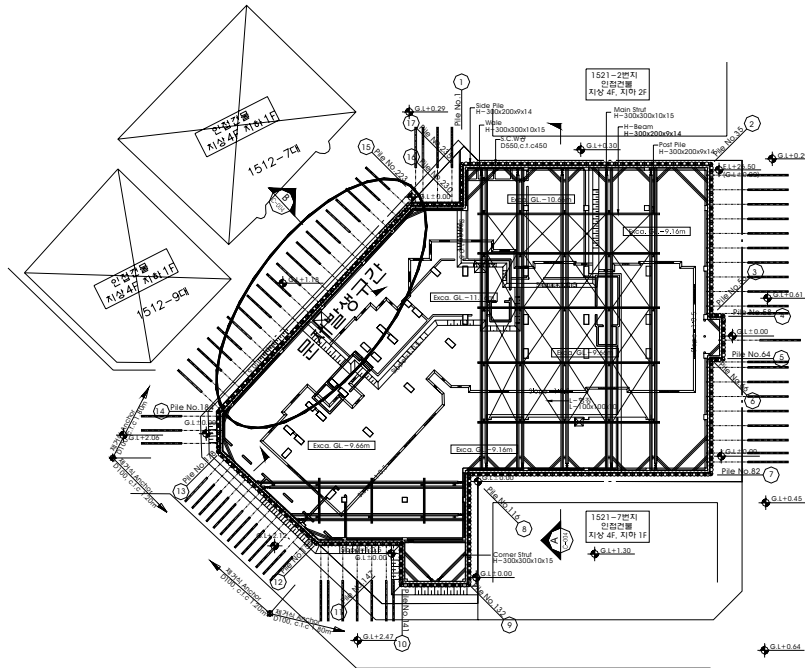


그림 1. 현장평면도

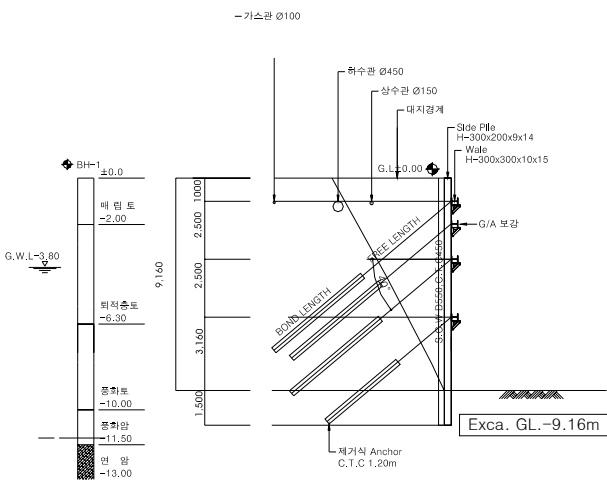


그림 2. A구간 단면도

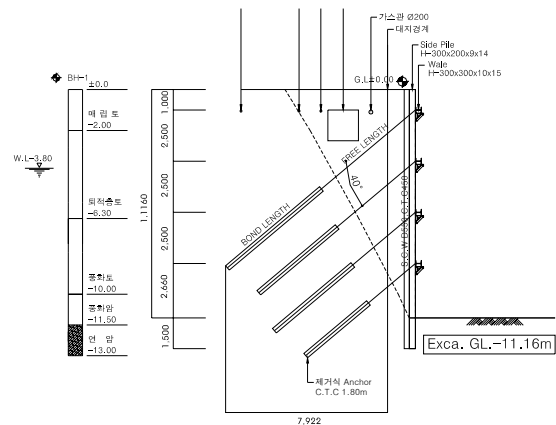


그림 3. B구간 단면도

현장계측자료를 검토한 결과 3단 제거식 G/A와 4단 제거식 G/A가 시공시 지중경사계 계측값이 급격히 증가하였으며, 4단계제거식 G/A 인장 후 변위가 수렴되는 듯 하였으나, 추가굴착이 진행됨에 따라 다식 변위가 급격히 증가하여 압성토 실시후 벽체변위는 거의 수렴된 것으로 나타났다. 한편, 앵커에 설치된 하중계를 검토한 결과 1단 앵커의 경우는 일정한 하중값을 유지하여 안정한 상태인 것으로 나타나고 있으나 2단 및 3단 앵커의 경우는 지중경사계 변위가 크게 증가되는 시점에서 측정된 하중값이 점차 감소되어 세심한 주의가 필요한 것으로 나타났다.

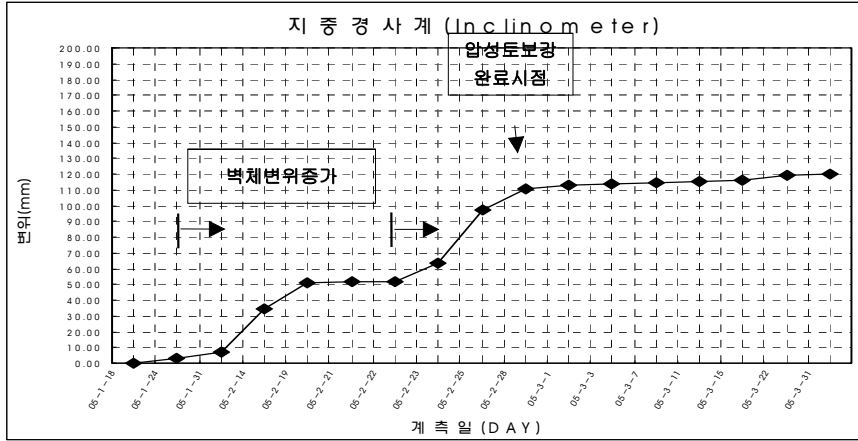


그림 4. 지중경사계 계측데이터

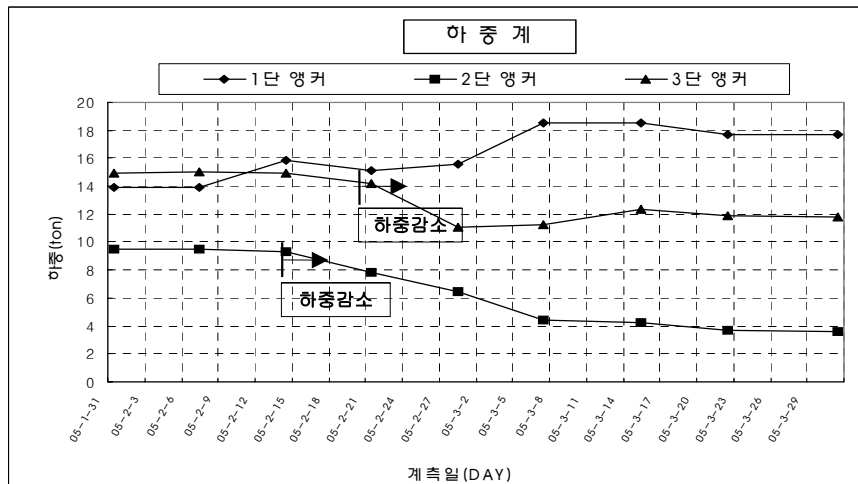


그림 5. G/A 축력 계측데이터



그림 6. 배면지반 침하거동상태



그림 7. 도로측구 균열

### 3. 압성토 보강상태에서의 안정성 검토

본 현장의 지하굴착공사에 따른 과도한 벽체변위 및 배면침하가 발생한 원인분석과 현재 압성토 시공에 의해 보강된 상태에서의 흙막이 구조물 및 주변지반의 안정성 평가하기 위하여 탄·소성지반상보해석 프로그램인 SUNEX(Ver w 5.3), 유한차분해석프로그램인 FLAC 2D, 그리고 토사구간이 비교적 깊이 분포한 현장의 특성을 고려하여 직립사면인 흙막이 벽체의 외적인 안정성 검토를 위하여 한계평형해석 프로그램인 TALREN 97을 이용하여 현장조건에 맞게 해석을 수행하였다.

#### 3.1 흙막이 구조물의 구조적안정성 검토

압성토에 의해 보강전 상태에서의 흙막이 구조물의 구조적 안정성을 검토한 결과, 본 현장에서 최대로 굴착한 GL.-10.5m까지 굴착시 흙막이 벽체, 띠장, Anchor 축력은 허용값 이내의 값을 나타내고 있으나, 2단 앵커의 정착장이 다소 부족하게 나타났으며, 1단 Anchor의 필요 정착장 길이도 거의 한계상태에 있는 것으로 나타났다(표 1 참조).

표 1. ANCHOR 정착장 검토 결과(압성토 설치전(GL-10.5m 굴착시)

적용 앵커	최대 축력 T(ton)	마찰 저항력 (t/m <sup>2</sup> )	설계 정착장 (m)	발생축력에 의한 계산 정착장(m)	판정	비고
1 단	25.00	20.00	6	5.970	O·K	2단 제거식 G/A 정착장이 다소부족
2 단	31.49	25.00	6	6.014	N·G	
3 단	39.51	35.00	6	5.390	O·K	
4 단	35.00	35.00	6	4.178	O·K	

#### 3.2 벽체변위 및 배면지반의 거동 검토

유한차분해석법을 통해 흙막이 벽체 및 지반의 거동을 검토한결과, 벽체의 수평변위 및 배면침하량은 3단 굴착 이후 급격히 증가하였으며, 압성토 보강전의 최대 벽체변위는 134.5mm, 배면침하량은 130.5mm로 벽체 및 배면 지반의 거동이 비교적 크게 나타나고 있으며(표 2참조), 본 현장의 G/A의 기능에 영향을 미치고 있을 것으로 판단되었다.

표 2. 시공단계별 벽체변위 및 배면지반 침하량 결과(FLAC 2D검토결과)

시공단계	벽체수평변위(mm)	배면침하량(mm)
1단 굴착(GL -1.5m)	2.19	0.292
1단앵커시공		
2단굴착(GL -4.0m)	15.25	10.11
2단앵커시공		
3단굴착(GL -6.5m)	82.95	69.58
3단앵커시공		
4단굴착(GL -9.0m)	118.1	109.2
4단앵커시공		
5단굴착(GL -10.5m)	134.5	130.5

### 3.3 흙막이 구조물의 외적 안정성 검토

한계평형해석 프로그램인 TALREN 97를 이용하여 원호활동에 대한 안정성을 검토하였으며, 본 현장에서 최대로 굴착한 상태(GL.-10.5m)에서의 안정성 검토와 현재 압성토(GL.-6.5m)로 보강되어 있는 경우에 대한 안정성을 검토한 결과, 최대로 굴착된 시점에서는 기준안전율 이하로 나타나 원호활동에 의한 파괴가 예상되었으나, 변위거동이 크게 발생하는 시점에서 압성토 보강시공에 의해 원호활동에 대한 안정성을 검토한 결과 기준안전율 이상인 것으로 나타나 압성토 보강후인 상태에서는 안정한 것으로 판단되었다.

표 3 가설 흙막이 구조물의 외적안정성 검토 결과

단 면	검토결과	기준치	판정	비고
GL. -10.5m 시공	0.87	1.2	N.G	압성토설치요구됨
GL. -6.5m	1.59	1.2	O.K	현재 압성토 상태에서는 안정한 것으로 판단됨

### 4. 대책공법 검토

대책공법으로는 본 현장 시공상황을 고려하여 Raker 시공에 따른 흙막이 구조물의 구조검토를 수행하였으며, 현재 시공되어 있는 제거식 G/A가 체 기능을 발휘하지 않는 것으로 가정하여 보강대책을 검토하였다. 검토시 적용한 토압은 경험토압을 적용하였으며, 국내에서 주동토압에 73%를 보는 연구사례가 있지만 본 검토에서는 벽체변위가 약 100mm로 크게 발생한 점과 배면지반과 구조물에 영향을 미치고 있는 점을 고려하여 보다 보수적인 검토를 위하여 주동토압의 80%를 사각형 토압으로 적용하였다.

본 현장은 압성토에 의해 계층변위가 안정화 되어있으나, 압성토 제거시 흙막이 구조물의 안정성이 유지되면서 굴착을 진행할 수 있기 위하여 우선 문제구간을 제외한 인접구간의 기초바닥슬래브를 우선적으로 시공한후 문제가 발생된 구간의 압성토를 유지한 상태에서 인접구간에 시공된 기초바닥슬래브를 지지체로 하여 본 문제발생구간의 흙막이 벽체에 Raker 시공을 통해 안전하게 지지하며 순차적으로 굴착함으로써 흙막이벽체 및 주변지반의 변위를 억제하도록 하였다.

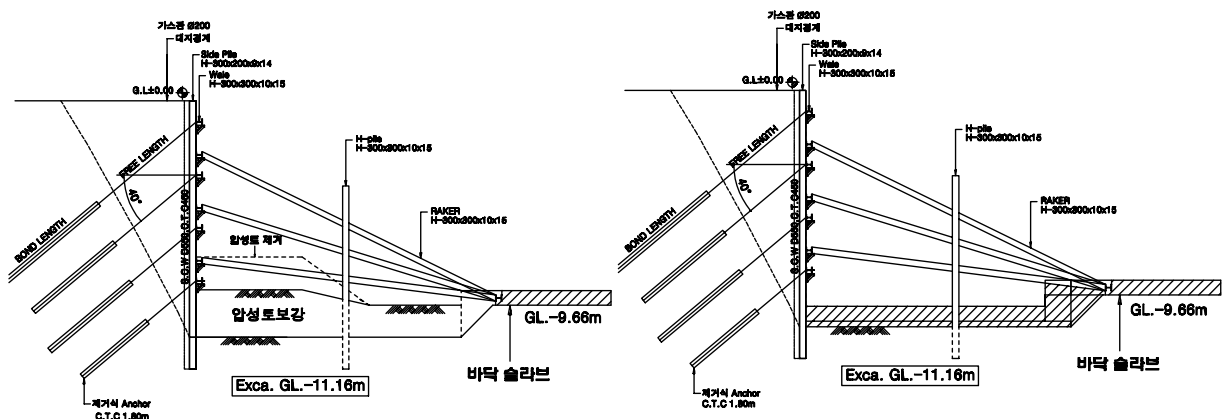


그림 8. 대책공법

## 5. 결 론

도심지 흠막이 굴착시 발생된 손상사례 검토를 통해 손상거동 원인과 대책공법을 제안하였으며, 본 현장사례를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 현장에서 측정된 계측자료 분석에 의하면, GL. -10.5m 굴착공사 진행시 흠막이 벽체변위는 급격히 증가하였으며, 이때 흠막이 벽체 및 주변지반의 안정을 위해 GL. -6.5m까지 압성토 보강공법을 신속히 시공 조치하였다. 계측자료에 의하면 압성토 보강공법 적용이 흠막이벽체의 변위를 수렴시켜 문제발생구간의 추가적인 벽체변위 및 주변지반의 침하와 균열을 제어할 수 있을 것으로 나타났으며, 이러한 안전조치는 수치해석을 통하여 만족한 것으로 검증되어 현재 보강된 상태는 안전한 것으로 판단되었다.
2. 대책공법으로 본 현장 시공상황을 고려하여 Raker 시공에 따른 흠막이 구조물의 구조검토를 수행하였으며, 현재 시공되어 있는 제거식 G/A가 제 기능을 발휘하지 않는 것으로 가정하여 보강대책을 검토하였다. 검토시 적용한 토압은 경험토압을 적용하였으며, 국내에서 주동토압에 73%를 보는 연구사례가 있지만 본 검토에서는 벽체변위가 약 100mm로 크게 발생한 점과 배면지반과 구조물에 영향을 미치고 있는 점을 고려하여 보다 보수적인 검토를 위하여 주동토압의 80%를 사각형 토압으로 적용하였다.
3. 안전한 시공을 위한 대책공법으로 Raker를 이용한 Island 공법을 적용시 현재 압성토가 GL. -6.5m까지 시공되어 있는 상태에서의 변위와 Raker로 보강된 대책공법 적용 후 최종굴착시(GL. -11.16m) 예측되는 벽체변위의 증가량은 매우 미미하게 발생하는 것으로 나타나 대책공법에 대한 안정성은 확보되는 것으로 나타났다. 또한 배면침하량의 증가양상을 보면 Raker에 의한 대책공법적용 후 최종굴착시(GL. -11.16m) 최대침하 증가량 역시 매우 미미해 침하에 대한 안정성도 확보되는 것으로 나타났다.

## 참고문헌

1. 한국지반공학회(1997), “구조물기초설계기준”.
2. 한국지반공학회(2002), “굴착 및 흠막이 공법”, 지반공학시리즈 3.
3. Bowles, J. E., *Foundation Analysis and Design*, 5th Edition, MGH, 1996, pp. 589~623. pp. 781~782.
4. Caspe, M. S. (1996). "Surface settlement adjacent to braced open cut", JSMED, ASCE, Vol.92, SM4,
5. Chang, C. Y., and Duncan, J. M., "Analysis of Soil Movement around a Deep Excavation.", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 96, No. SM5, Proc. Paper 7513, Sept., 1970, pp. 1629~1653.
6. Das, B.M., *Principles of Foundation Engineering*, 3rd ed. ITP, 1995, pp. 296~304.
7. Malcolm Puller, "Deep Excavations a Practical manual"