

인접 구조물의 터파기로 인한 흙막이 벽체의 거동 분석 Behavior Analysis of Earth Retaining Walls on the Excavation for Contact Structure

김영목¹⁾, Young-Muk Kim, 정영수²⁾, Young-Soo Jung, 홍창표³⁾, Chang-Pyo Hong,
신윤섭⁴⁾, Youn-Sub Shin

1) 한밭대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanbat National University

2) (주)대우건설 현장소장, Manager, Daewoo E & C Co. Ltd.

3) (주)대우건설 이사, Director, Daewoo E & C Co. Ltd.

4) (주)윤성ENG 대표이사, President, Younsung ENG Co. Ltd.

SYOPNSIS : The study on the lateral earth pressure is briskly preformed for various conditions such as type of retaining walls, ground condition, and type of supporting systems. It is not simple to determine the distribution of lateral earth pressure accurately, however, because the lateral earth pressure is affected by various factors.

This study is performed to analyze the behavior of earth retaining walls for new excavation contacting with existing excavation by comparing with the site measuring values before and after new excavation.

On the base of observation, the distribution of strut axial forces is similar to that of general earth retaining walls, but strut axial forces is increased by removal of existing earth anchors.

When new excavation is performed contacting with existing excavation, the axial force of strut is decreased because of soil exclusion in the behind walls, but that force is increased after new excavation.

The analysis result show that the installation of strut in middle part makes a effect to not only 1 adjacent strut, but 3-5 adjacent struts. Also during new excavation strut axial forces is decreased by relaxation of total earth retaining wall system.

Key words : lateral earth pressure, earth retaining walls, contact structure, excavation

1. 서 론

개착식 굴착공사에서 가설 흙막이 구조물은 굴착이 진행됨에 따라 각 공사단계별 배면토의 자중에 의한 토압, 수압, 인접구조물의 상재하중 등에 의한 하중 및 외력과 지지조건 등 다양한 조건들이 안정에 영향을 주게 된다. 특히 작용토압은 시공 시 벽면의 변위에 수반하여 재분포하게 되며 시공방법 및 지지상태에 의해 변하므로 토질조건, 지하수 및 주위상황 등을 고려하여야 하고, 시공중의 계측관리를 통하여 토압분포의 변화에 주의를 기울여 안정성 확보와 인접구조물에 미치는 영향을 최소화 하도록 하여야 한다.

일반적으로 단계별 굴착시 토압분포는 버팀구조(strut 또는 anchor)의 설치전후의 토압의 재분배 과

정을 거치게 되므로 고전적 이론에 의한 토압이나 굴착완료된 후의 경험토압 분포와는 상이한 거동을 보이고, 특히 고심도 굴착공사중 버팀구조의 해체는 이론적인 예측치에 비해 토압의 증가가 크게 나타나므로 가시설 구조물의 안전성 확보에 주의를 기울여야 한다.

본 연구에서는 굴착이 완료되어 있는 조건에서 가시설 구조물이 설치되어 있는 지역에 접하여 새로운 고심도의 굴착이 진행되어 기시공되어 있는 토류벽 및 Earth Anchor를 해체하고 버팀보를 동시에 사용하는 경우의 토류벽 구조물의 거동을 분석하여 가시설 구조물의 안전성 확보를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 현장조건 및 지반조건

2.1 현장조건

본 지역은 중앙로 지하상가 및 대소 건물들이 밀집한 지역으로 주변의 시공 평면도는 그림 1과 같다. 그림 2는 굴착단면도로서 개착식에 의해 굴착이 되었으며, 지하상가 하단부는 under-pinning공법이 적용되었다. 한편 그림 2에서 보는 바와 같이 인접 구조물은 개착구간과 접하여 계획되었으며, 본 공사의 굴착완료 후 굴착 시공되었다.

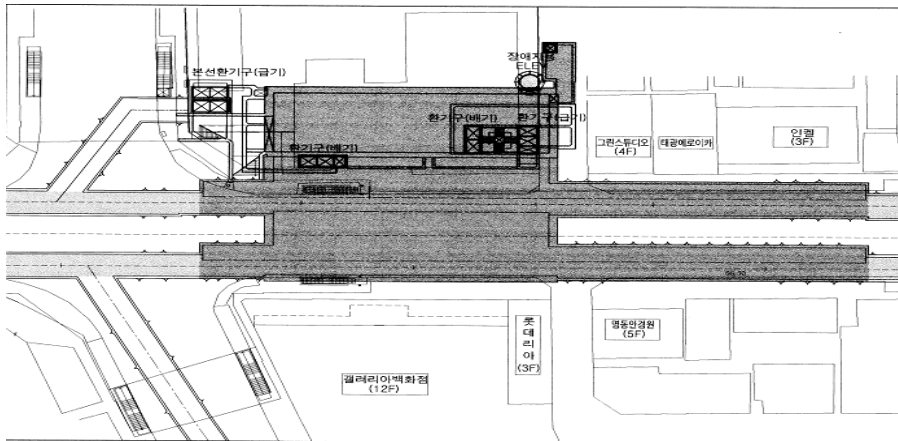


그림 1. 현장 평면도

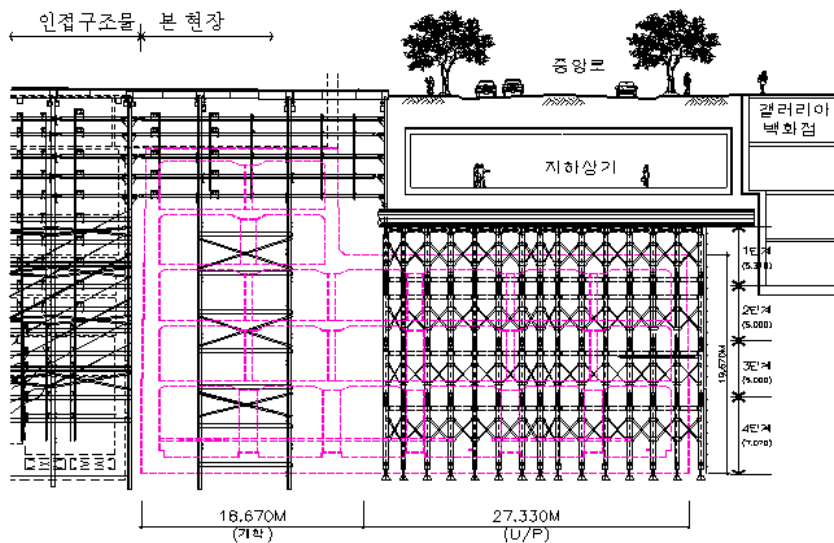


그림 2. 굴착단면도

2.2 지반조건

본 현장은 지표면 콘크리트 피복(0~2.0m)하부로부터 모래 및 잔자갈, 풍화토, 풍화암, 경암 순으로 구성 되어 있으며, 표 1과 표 2는 시추결과로부터 구한 토층의 구성상태와 표준관입시험결과이다.

본 지역의 표토부는 점토질의 모래에 잔자갈이 혼재되어 있으며, 모래는 중립층이 우세한 편으로 암회색 상의 습윤상태로서 상대 밀도는 느슨한 편이다.

풍화토층은 중립질이 우세한 편으로 색상은 담회내지 담황색상으로서 상부는 건조하며 하부로 갈수록 약간의 습윤상태로 되어 있고 상대밀도는 비교적 중간조밀에서부터 조밀한 조건이다.

풍화암은 전반적으로 심하게 풍화가 진행되어 있는 상태로서 주변의 지반구조는 내부까지 변색되어 있고 경암층의 암질은 매우 신선하여 밀착상태로 암반으로서는 매우 견고한 편으로 RQD는 95%정도이다.

3. 결과분석 및 고찰

3.1 인접 구조물 터파기 이전

3.1.1 버팀보 축력

그림 3은 인접 구조물 터파기 이전까지의 대표단면의 버팀보 축력의 변화를 나타낸 것이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 버팀보의 축력은 굴착깊이가 증가함에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 굴착깊이가 GL-22~25m정도에서 최대축력을 보이고 있다. 특히 4단 버팀보(S/T L4)에서는 90 ton을 넘는 축력을 보이고 있다.

한편, 비교단면인 STA.5K 720 구간 사버팀보에 설치된 하중계의 계측결과는 그림 4와 같다. 대표단면과 마찬가지로 굴착이 진행됨에 따라 버팀보 축력이 증가하는 경향을 보이나 최대축력의 크기는 대표단면에 비해 상대적으로 작고 under-pinning부 굴착 후에는 축력이 다소 감소하며 안정화하는 경향을 보이고 있다.

3.1.2 버팀보 축력에 의한 배면토압

버팀보 축력 계측수행 결과로부터 산정되는 배면 토압분포는 중점분할법을 이용하여 정하였다. 지반에 작용하는 토압을 환산한 결과 그림 5~그림 8과 같다. 여기서 굴착단계에 따른 지점별 토압양상은 그림 5 및 그림 6에 도시하였으며, 최종굴착시의 심도별 토압분포는 그림 7 및 그

표 1. 토층의 구성

토층구성	콘크리트피복	모래 및 잔자갈	풍화토	풍화암	경암	소계
토층두께 (m)	0.20	5.8	10.5	11.9	1.1	29.5

표 2. 표준관입시험결과

심도(m)	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	13.5
N치	7/30	10/30	13/30	27/30	28/30	35/30	50/17	50/16	50/15
심도(m)	15.0	16.5	18.0	19.5	21.0	22.5	24.0	25.5	27.0
N치	50/13	50/4	50/2	50/2	50/0	50/0	50/0	50/0	50/0

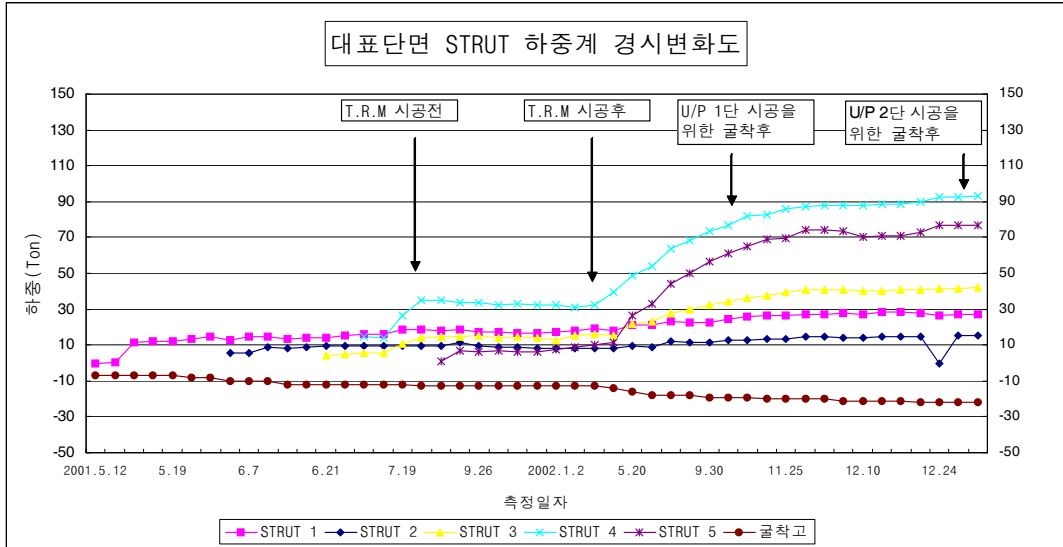


그림 3. 대표단면의 버팀보 축력 측정결과

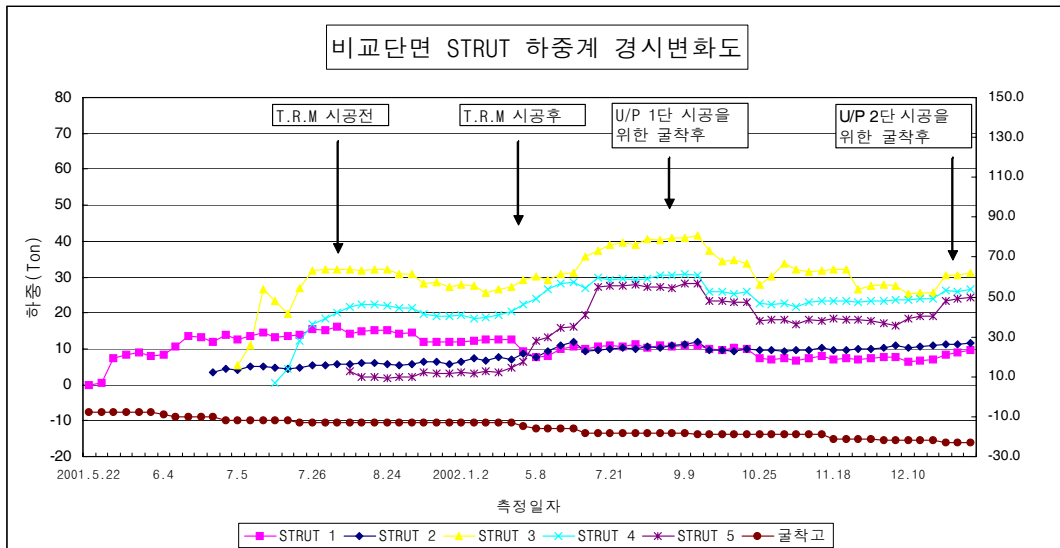


그림 4. 비교단면의 버팀보 축력 측정결과

림 8에 도시하였다. 굴착깊이별 각 버팀보의 축력에 의한 토압의 변화를 살펴보면 대표단면에서는 굴착 깊이가 증가함에 따라 토압이 지속적으로 증가하는 경향을 보이며, 비교단면에서는 GL-18m 깊이의 굴착이후에는 토압이 다소 감소하고 있다. 특히, 대표단면의 지표하 6m지점의 3~5단 버팀보는 굴착이 진행됨에 따라 급격한 증가를 보이고 있다.

이는 단계별 굴착에 따라 버팀시설을 설치하기 위한 굴착 작업시에는 버팀보 축력이 증가하고, 버팀시설 설치 후에는 버팀보 축력이 수렴하고 있으나, 대표단면의 경우 under pinning 가시설을 설치하기 위하여 통상 버팀보 설치를 위한 단계별 굴착깊이인 2.5m보다 3배정도 큰 6.5m를 일시에 굴착함으로써 급격한 토류벽체의 변위증가와 그에 따른 토압의 증가가 원인으로 보이며, 그 영향은 직상부에 위치한 5단 버팀보와 4단 버팀보에 미친 것으로 보인다.

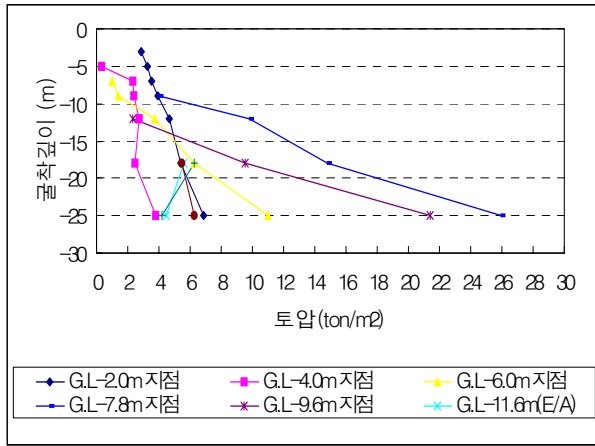


그림 5. 대표단면의 굴착단계에 따른 심도별 환산토압분포

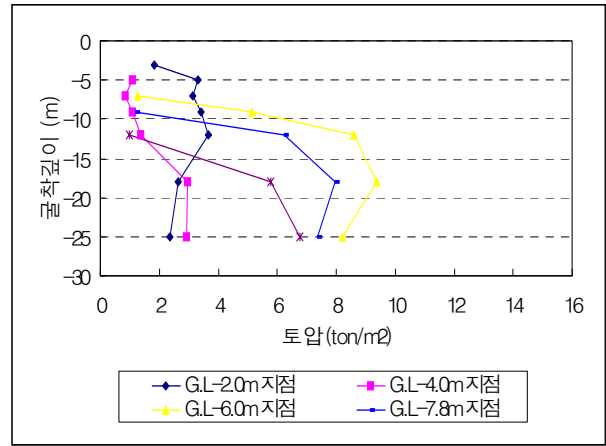


그림 6. 비교단면의 굴착단계에 따른 심도별 환산토압분포

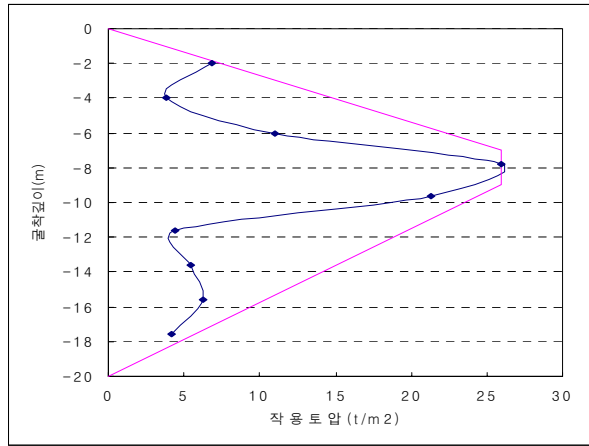


그림 7. 대표단면의 최종굴착시 환산토압분포

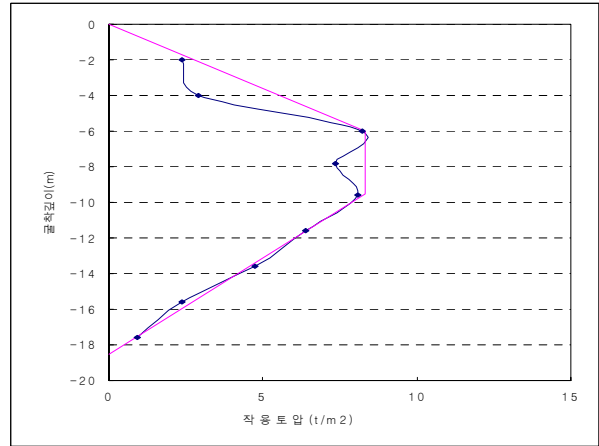


그림 8. 비교단면의 최종굴착시 환산토압분포

최종굴착시 환산토압 분포를 살펴보면 대표단면과 비교단면 모두 사다리꼴 분포를 나타내고 있으며, 3~5단 버팀보가 위치하고 있는 지표하 6~10m지점에서 최대값을 보이고 있으나, 대표단면에서는 최대값이 약 26t/m^2 의 값을 보이는 반면 비교단면에서는 약 10t/m^2 의 상대적으로 적은 토압분포를 보이고 있다.

이는 대표단면이 비교단면에 비해 풍화암층의 두께가 두꺼우므로 굴착에 따른 상단 버팀에 미치는 영향이 크고, 비교단면의 경우 지하상가와 중점부 PORTAL부를 지지하는 버팀보 축력에 대한 계측결과이므로 개착부분의 굴착에 대한 영향과 지하상가 하부 굴착에 대한 영향이 함께 존재하는 것으로 보인다.

3.1.3 설계축력과 계측 축력의 비교

대표단면의 각 버팀보별 설계최대 축력과 계측 최대 축력을 정리하면 아래 표 3과 같다. 설계시에는 각 버팀보의 하단을 굴착시 직상부의 버팀에만 토압증가의 영향이 있을 것으로 가정하여 최대축력은 버팀하부 굴착시 나타날 것으로 예상하였으나, 계측결과는 최대축력이 굴착이 진행됨에 따라 증가함을 보이고 있으며, 4단 및 5단 버팀보의 경우 설계시 예상된 축력을 초과하고 있다.

이는 인접 구조물 터파기 이전 굴착이 풍화암층까지 이루어짐에 따라 굴착에 따른 토압의 증가가 지속적으로 버팀보에 영향을 미친 것으로 판단된다.

표 3. 버팀보 설계축력과 측정축력 비교

STRUT No.	설 계		계 측		설치위치
	축력(ton)	굴착고(m)	축력(ton)	굴착고(m)	
1단	30.24	GL-4.5m	28.52	GL-22.0m	GL-2.0m
2단	38.39	GL-6.5m	15.17	GL-22.0m	GL-4.0m
3단	49.30	GL-8.3m	41.87	GL-22.0m	GL-6.0m
4단	48.56	GL-10.1m	93.3	GL-22.0m	GL-7.8m
5단	46.11	GL-11.9m	76.92	GL-22.0m	GL-9.6m

3.2 인접 구조물 터파기 이후

3.2.1 버팀보 축력

인접 구조물의 터파기를 위한 버팀보 설치는 2003년 4월에 완료되었으며 이후 대상현장의 E/A를 지속적으로 해체하면서 굴착이 진행되었다. 인접 구조물의 터파기 이후 대표단면의 버팀보 축력의 변화는 그림 9와 같다. 인접 구조물의 터파기가 시작된 직후부터 버팀보 설치가 완료되는 시점까지는 버팀보 축력이 감소하나, 버팀보 설치가 완료된 후부터는 인접 구조물의 터파기 이전 계측결과와 마찬가지로 버팀보 축력은 굴착이 진행됨에 따라 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있다.

한편, 그림 10은 비교단면의 버팀보에 설치된 하중계의 계측결과를 나타낸 것이다. 대표단면과 마찬가지로 굴착이 진행됨에 따라 버팀보 축력이 증가하는 경향을 보이나 최대축력의 크기는 대표단면에 비해 상대적으로 작고 특히, 인접 구조물 굴착시에도 버팀보 축력의 감소현상은 나타나지 않는다.

3.2.2 버팀보 축력에 의한 배면토압

대상 지반에 작용하는 토압을 환산한 결과 그림 11~그림 14와 같다. 여기서 굴착단계에 따른 지점별 토압양상은 그림 11 및 그림 12에 도시하였으며, 최종굴착시의 심도별 토압분포는 그림 13 및 그림 14에 도시하였다.

굴착깊이별 각 버팀보의 축력에 의한 토압의 변화를 살펴보면 대표단면에서는 인접 구조물 터파기시 이전 토압이 급격히 감소한다. 이후 인접 구조물의 터파기가 계속 진행됨에 따라 토압이 증가하여 인접구조물 터파기 이전 최대토압에 근접하지만 인접 구조물 터파기 완료 시점에서는 토압이 다소 감소하며 안정화하는 경향을 보인다. 비교단면에서는 굴착에 따라 지속적으로 토압이 증가하는 경향을 보인 후 굴착완료 시점에서 토압이 다소 감소하며 안정화하고 있다.

인접 구조물 버팀보 설치 이전까지의 토압이 감소하는 것은 인접 구조물 터파기로 인한 배면지반의 토사 제거에 따른 대상 현장 흙막이벽체의 변위가 배면지반 방향으로 발생하여 전체적인 가시설 상태가 이완됨으로써 버팀보 축력에 의해 토압을 추정시 토압감소 현상이 나타난 것으로 보인다. 마찬가지로 비교단면에서 인접구조물 터파기시 토압감소 현상이 발생하지 않는 것은 지하상가와 굴착되지 않는 종점 갱구부를 지지하는 버팀보 축력에 대한 계측결과이므로 대표단면과 달리 배면지반이 제거되지 않으므로 가시설 구조물의 이완이 발생하지 않기 때문으로 보인다.

인접구조물 터파기를 위한 버팀보설치 완료 후에는 다시 토압이 증가하고 있는데 이는 버팀보설치 완료 후 인접 구조물 터파기가 진행됨에 따라 기설치된 어스양카를 해체하게 되므로 그 영향이 상단 버팀보에 미치고 있는 것으로 보인다. 또한 버팀보 설치가 완료됨에 따라 인접구조물 터파기 배면지반의 토압이 영향을 미치게 되므로 인접 구조물 터파기 이전 토압에 근접하는 토압을 나타내게 되는 것으로 보인다.

최종굴착시 환산토압 분포를 살펴보면 대표단면과 비교단면 모두 사다리꼴 분포를 나타내고 있으며,

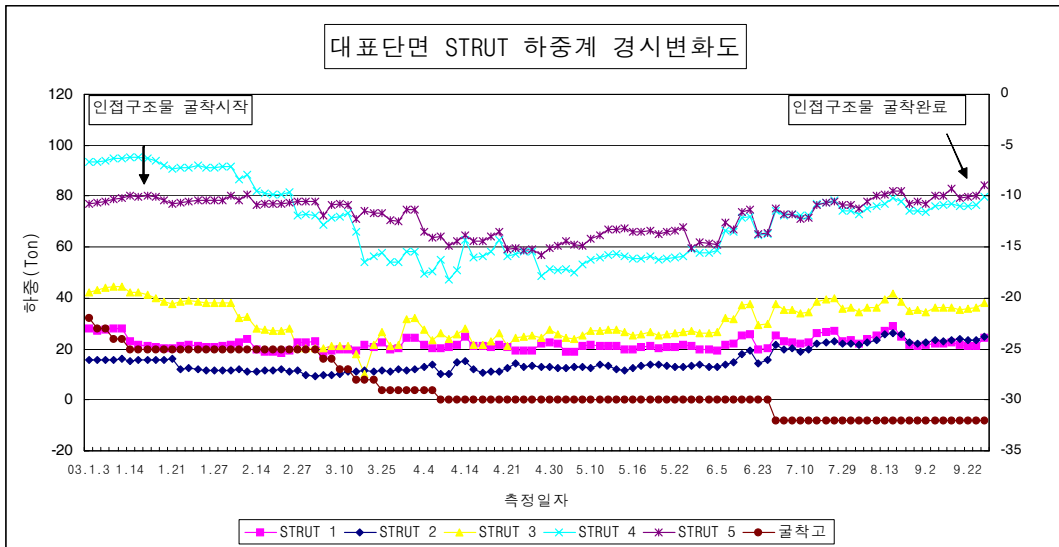


그림 9. 대표단면의 버팀보 축력 측정결과(인접 구조물 터파기 이후)

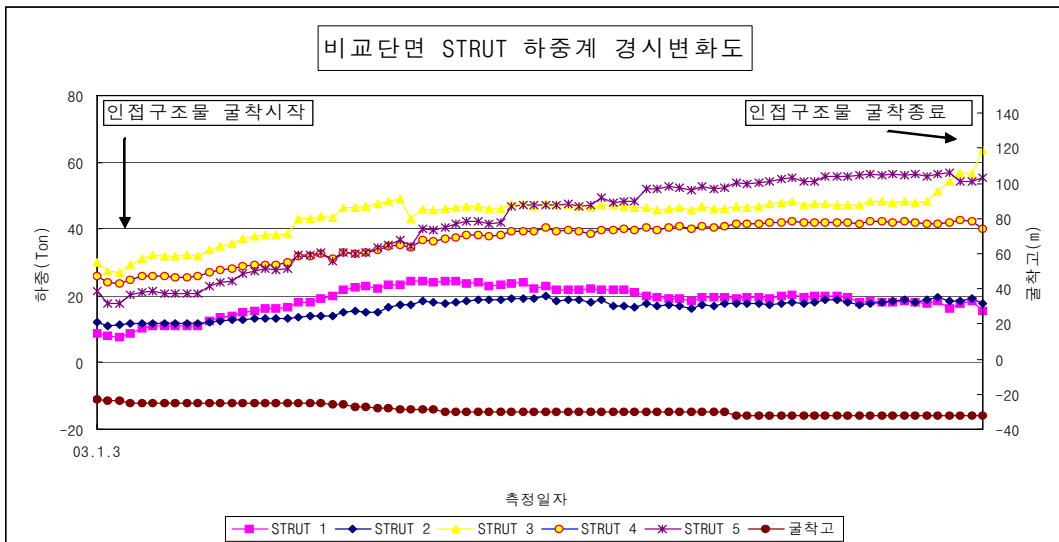


그림 10. 비교단면의 버팀보 축력 측정결과(인접 구조물 터파기 이후)

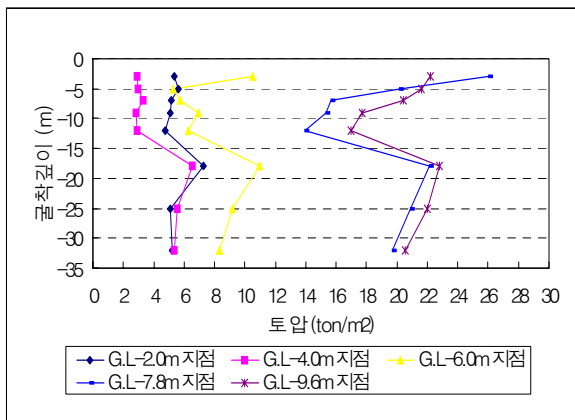


그림 11. 대표단면의 굴착단계에 따른 심도별 환산토압분포

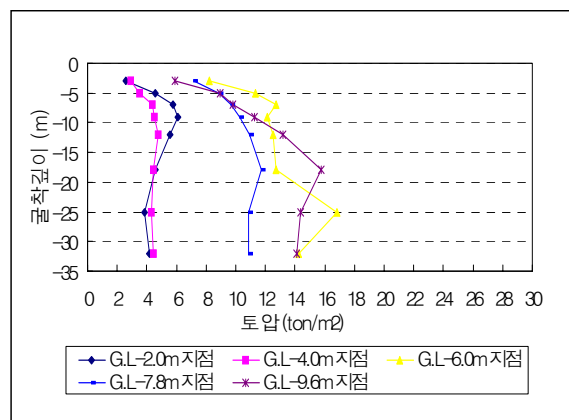


그림 12. 비교단면의 굴착단계에 따른 심도별 환산토압분포

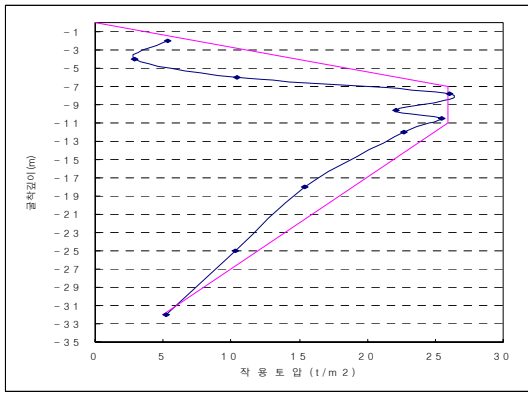


그림 13. 대표단면의 인접구조물 터파기 최종굴착시 환산토압분포

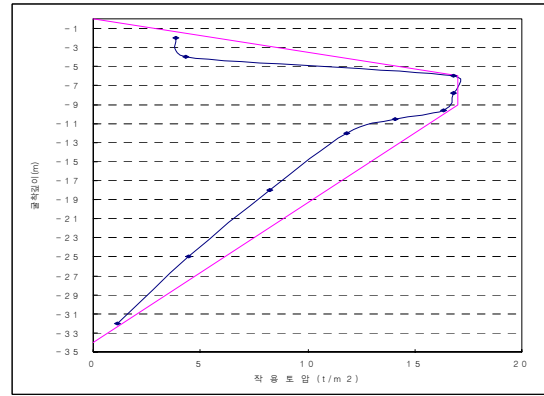


그림 14. 비교단면의 인접구조물 터파기 최종굴착시 환산토압분포

3~5단 버팀보에서 최대값을 보이고 있으나, 대표단면에서는 최대값이 약 23t/m^2 의 값을 보이는 반면 비교 단면에서는 약 17t/m^2 의 값을 보이고 있다.

이는 인접 구조물 터파기 이전과 마찬가지로 하단 암반층의 영향과 비교단면이 지하상가와 종점부를 지지하는 버팀보 축력에 대한 계측결과이므로 개착부분의 굴착에 대한 영향과 지하상가 하부 굴착에 대한 영향이 함께 존재하기 때문인 것으로 보인다.

4. 결 론

기존의 가시설 벽체에 접하여 새로운 터파기가 진행되는 경우 버팀보 축력은 전체적인 경향은 일반적인 굴착에 따른 거동과 유사하나, 굴착완료시점에서 버팀축력의 감소 또는 안정적 수립하는 일반적 거동과 달리 새로운 터파기에 따른 기존 가시설 해체 등의 영향으로 굴착에 따른 버팀보 축력의 증가로 나타났다.

기존 가시설 벽체에 접하여 새로운 터파기가 진행되는 경우 버팀보 축력의 감소현상이 나타나고 있으나 이는 기존 토압이 소멸된 것이 아니며, 인접 구조물 터파기로 인한 배면지반의 토사 제거에 따른 전체적인 가시설 상태가 이완됨으로써 버팀보 축력의 감소 현상이 나타난 것으로 판단된다.

설계시에는 굴착에 따른 토압의 증가는 근접 1개단의 버팀보에만 영향을 미치고 그 외에는 거의 영향을 받지 않고 있는 것으로 나타났으나, 실측결과 한 단의 버팀보를 설치할 때 인접 3~5개단의 버팀보에서 영향을 받는 것으로 나타났다. 인접구조물 터파기를 위한 버팀설치 완료 후에는 버팀 축력이 다시 증가하여 인접구조물 터파기 이전의 토압에 근접하는 토압을 나타내게 되는데 이는 버팀 설치 후 인접 구조물 터파기의 진행에 따라 기설치된 어스앵카를 해체하게 되므로 그 영향이 상단 버팀에 미치고 있는 것으로 판단 된다.

참고문헌

1. 김영목, 홍창표, 정영수(2003), “시가지 깊은 굴착시 흙막이 벽체의 거동”, 대한토목학회 학술발표회.
2. 한국지반공학회(1992), 굴착 및 흙막이 공법, 지반공학시리즈 3.
3. Lambe, T. W.(1970), “Braced Excavation”, Proceedings of the Speciality Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth-Retaining Structures, ASCE, pp.149-218.
4. Terzaghi, K. and Peck, R. B.(1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Edition, John Wiley and Sons, pp.394-413.
5. Tschebotarioff, G.P.(1973), Foundations, Retaining and Earth Structure, 2nd Edition, McGraw-Hill, pp.415-432.