

굴착 공정별 주변지반 거동 분석

Sequential Analysis of Adjacent Ground Behaviors Caused by Deep Excavations

서 민 우¹ Seo, Min-Woo

석 정 우² Seok, Jeong-Woo

양 구 승³ Yang, Ku-Seung

김 명 모⁴ Kim, Myoung-Mo

Abstract

Long-term field observations were performed in three excavation sites in order to investigate the displacement behavior of adjacent ground during overall excavation procedure, where the depths of deep excavations were 15 m~29 m. In this study, ground settlements and lateral displacements of braced wall measured during installation of retaining wall and removal of bracing were specially focused to evaluate the behavior quantitatively according to three-stage-divided procedure, i.e. pre-excavation, main excavation, and removal of bracing. Through field measurements on three excavation sites, lateral displacements induced during removal of bracing are approximate to 40% of the amount found during main excavation stage and additional adjacent ground deformation during post-excavation procedure ranges from 18% to 33% of that found during main excavation stage, based on the settlement volume. In conclusion, it was quantitatively identified in this study that the deformations of adjacent ground during pre- and post-excavation stage were not negligible.

요 지

굴착 공정에 따른 주변지반의 거동 특성을 파악하기 위하여 굴착 깊이가 15m~29m인 3개 굴착현장에서 장기간에 걸쳐 계측을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 이 논문에서는 본 굴착뿐만 아니라 토류벽 설치 및 지보 해체 작업이 굴착 주변지반의 거동에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위하여 전체 굴착 공정을 굴토 전 준비 공정, 본 굴착 공정, 지보 해체의 세 공정으로 구분하여 계측을 수행하였다. 3개 굴착현장에서 이루어진 계측결과에 의하면, 지보 해체로 인하여 추가적으로 발생한 벽체 수평변위는 본 굴착단계에서 발생한 변위의 약 40% 내외였으며, 지표침하의 경우에는 본 굴착 시 발생한 침하체적의 18%~33%가 발생하였다. 이와 같은 현장계측 결과를 통하여, 굴착 전 및 지보 해체 공정 중에도 무시할 수 없을 정도의 지반 변위가 발생할 수 있음을 정량적으로 확인하였다.

Keywords : Deep excavation, Excavation procedure, Main-excavation, Pre-excavation, Removal of bracings, Settlements

1. 서 론

계속되는 경제 성장과 빠른 도시화로 인해 더 많은

도심지 내에 공간이 필요하게 되었고, 이에 부응하여 도심지 내에 많은 지하 공간의 개발이 이루어지고 있다. 이러한 시설을 갖추기 위해서는 도심지 내 지반 굴착이

1 정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 (Member, Senior researcher, Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, minwseo@kowaco.or.kr)

2 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 선임연구원 (Member, Senior researcher, Research Engineer Institute of Technology, SAMSUNG Corporation)

3 정회원, 대보해운(주) 상무이사 (Member, Manager, Daebo Shipping Co. Ltd)

4 정회원, 서울대학교 지구환경시스템공학부 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil, Urban, and Geosystem Engr., Seoul National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2006년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

필수적이며, 이러한 공사는 주로 대심도로 이루어지게 된다. 도심지에서 수행되는 굴착공사는 인접해서 위치한 많은 건물들로 인해 공사 중 특별한 주의를 요하게 되며, 깊은 굴착이 진행되는 동안 인접 건물들의 안정성을 확보하기 위해서 깊은 굴착 공사가 진행되는 동안 이로 인해 유발되는 인접지반의 움직임은 미리 예측하여 대비하는 일은 매우 중요한 일이라 할 수 있다.

깊은 굴착에 의한 인접지반 침하에 대한 연구는 1960년대 이후부터 다양한 관점에서 이루어졌으며, 국내에서도 여러 연구자들에 의해 진행되었다. 임희대 등(2001)은 Caspe의 식을 토대로 침하 영향거리와 침하량을 산정하는 해석방법을 제안하였으며, 신은철 등(2000)도 현재 제안된 여러 침하 예측방법을 적용하는 연구를 실시하여 Caspe, Clough, Fry 방법에 의한 침하영역범위와 예상 침하량은 거의 비슷하고, Peck에 의한 방법은 예측결과보다 과대하게 산정된다고 발표한 바 있다. 굴착 주변 지반에 발생하는 침하는 주로 다음의 3가지 원인, 즉 (1) 토류벽체와 앵커 설치과정에서 유실되는 토사 (2) 굴착에 의한 응력 이완에 따른 지반 변위 (3) 지하수위 저하에 따른 체적 감소 및 압밀 침하 등에 기인하며, 최근에는 이러한 침하가 인접 구조물에 미치는 영향을 최신 기법을 활용하여 평가하는 연구가 수행되고 있다(김성욱과 김주봉, 1999; 김학문, 2003; 유충식과 최병석, 2003).

양구승과 김명모(1997)의 연구에 의하면, 본 굴착이 이루어지기 이전에 수행되는 굴착 준비 단계에서도 인접지반의 움직임이 관찰되었으며, 또한 본 굴착이 모두 종료된 후 지보 해체 공정에서도 예상치 못한 추가 침하가 발생하여 인접지반 및 주변구조물의 피해가 발생하기도 한다. 그러나 기존의 연구는 주로 본 굴착이 이루어

지는 동안에 발생하는 지반 및 구조물의 거동에 초점을 맞추어 이루어져 왔으며, 현재까지 본 굴착 전후 공정을 포함한 전 공정에 걸쳐 예측된 자료를 종합적으로 분석한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 암반 위에 풍화잔적토나 모래질 충적토가 쌓인 형태로 구성된 지반조건을 갖는 3개 굴착현장에서 측정된 지반 변위를 (1) 굴착 전 공정 (2) 본 굴착 공정 (3) 지보해체 공정으로 나누어 분석함으로써, 굴착 공정에 따른 인접 지반의 거동 양상을 정량적으로 비교하고자 하였으며, 특히 이전 연구에서 다루지 않았던 지보 해체 공정에서의 지반 거동을 비교적 자세히 고찰하였다.

2. 현장 개요

2.1 현장 개요 및 침하 측정점 분포

계측이 행해진 3개 현장의 지층 구성은 그림 1과 같다. 일산 ○○상가의 경우는 대전 ○○센터와 서울 ○○빌딩 현장과는 다르게 실트질 모래가 심층까지 발달되어 있었으며, 대전 ○○센터와 서울 ○○빌딩 현장의 지층은 매립토, 모래, 풍화토, 풍화암 그리고 연암 순으로 구성되어 있다.

일산 ○○상가는 지중연속벽과 스트럿으로 지지된 굴착현장이며, 굴착 전 지하수위와 최종 굴착깊이는 각각 GL(-)7m와 18.5m이다. 대전 ○○센터에는 CIP와 지중연속벽이 흙막이벽으로 사용되었으며, 어스앵커 지보가 적용되었다. 최종 굴착깊이는 29.3m이며, 지하수위는 GL(-)3m였다. 마지막으로 서울 ○○빌딩 현장의 지

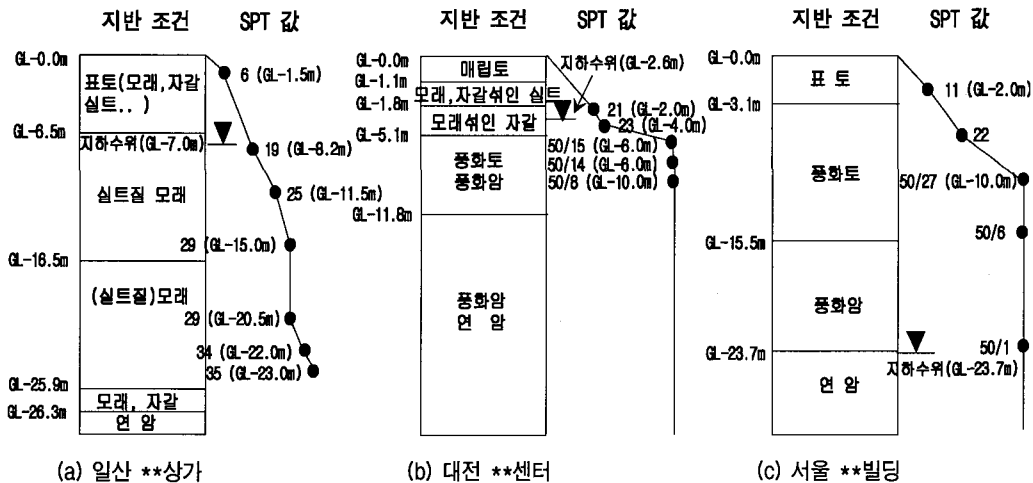
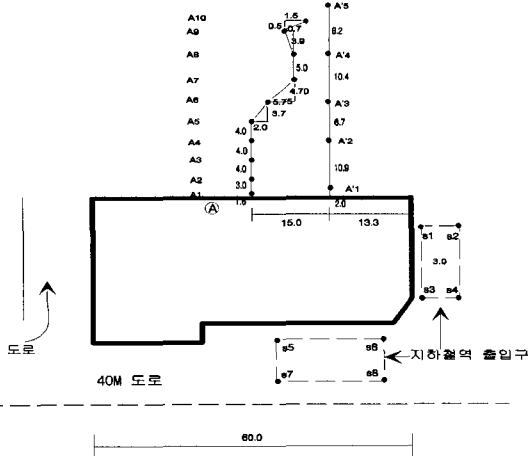


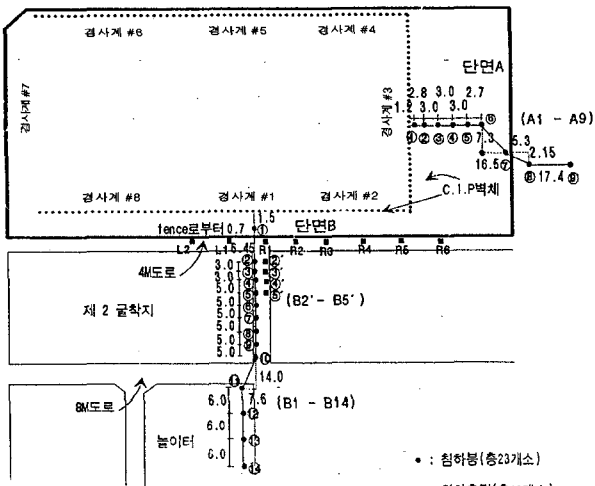
그림 1. 대상 현장의 지층 구성 및 N 값

단위 : M



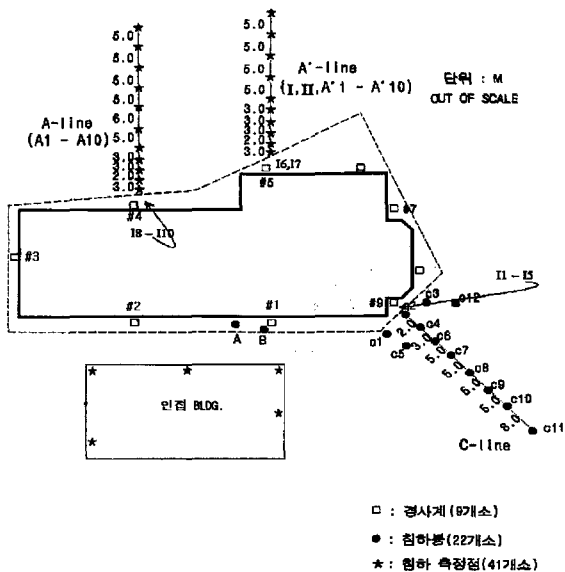
● : 침하측정점 (총15개소)

(a) 일산 ○○상가



● : 침하봉(총23개소)
■ : 침하측정점(총12개소)

(b) 대전 ○○센터



□ : 경사계 (9개소)
● : 침하봉 (22개소)
★ : 침하 측정점 (41개소)

(c) 서울 ○○빌딩

그림 2. 침하 측정점 및 계측기 배치도

보 시스템은 스트럿으로 지지된 엄지말뚝+토류판 벽체로 이루어져 있으며, 최종 굴착깊이는 23.5m이고 지하수위는 GL(-)23.7m이다.

굴착 공정 진행에 따른 굴착 주변지반의 지표침하 포락선을 구하기 위하여 각 굴착현장마다 대표 단면을 선정하여 침하 측정점을 설치하고 공정에 따른 지표침하를 측정하였다. 지표침하량 측정을 위한 측정점 및 굴착 현장에 설치된 통상적인 계측기 위치는 그림 2와 같다.

3. 공정별 계측결과 분석

각 현장별로 굴착 전, 본 굴착 및 지보 해체 공정에 따라 발생한 지표침하(일산 ○○상가, 대전 ○○센터, 서울 ○○빌딩), 벽체 수평변위(대전 ○○센터, 서울 ○○빌딩), 지보재 축력 변화(대전 ○○센터) 등을 계측하여 분석한 결과는 다음과 같다.

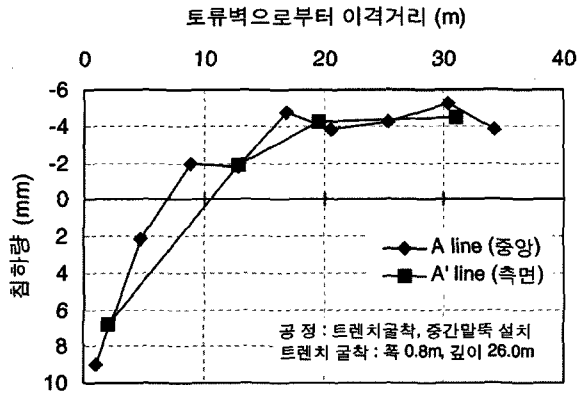
3.1 일산 ○○상가

3.1.1 지표침하

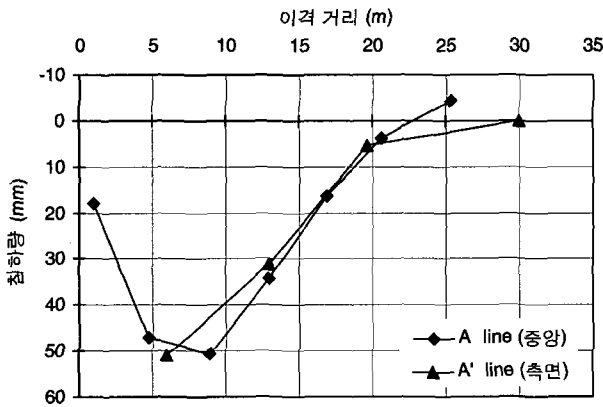
굴착 가시설 구조물의 설계 과정에서는 본 굴착이 이루어지기 이전에 수행되는 공정에 의한 지반 변위를 무시하는 것이 일반적인 관례이나, 기존 발표 자료에 의하면 굴착 이전 단계에서도 경우에 따라 무시할 수 없는 크기의 지표침하가 발생함을 확인할 수 있다. 일산 ○○상가 현장의 굴착 전 공정 단계에서 발생한 침하는 그림 3(a)와 같다. 이 때 수행된 작업으로는 트렌치 굴착, 중간 말뚝 설치 등이며, 이러한 사전 준비 공정이 끝난 후, 지하 5층, 지상 6층의 철근 콘크리트 구조물을 축조하기 위해 GL(-)18.5m까지 본 굴토 작업을 실시하였다.

한편 18.5m의 본 굴착으로 발생한 중앙부의 침하량(A-line)은 토류벽에서 8.9m 떨어진 곳에서 최대 50.5mm (0.27H%, H는 굴토깊이)였으며, 침하영향거리는 25.3m (1.37H)였다(그림 3(b)). 한편 모서리 부분(A' line)에서는 토류벽에서 6.0m 떨어진 곳에서 최대 51.0mm(0.28H%)의 침하가 발생하였으며 침하영향거리는 중앙부와 비슷한 1.35H였다(양구승과 김명모, 1997).

앞서 기술한 바와 같이 일산 ○○상가 현장의 지보 시스템은 지중연속벽과 7단의 스트럿으로 구성되었다. 토류벽으로 사용된 지중연속벽은 영구 구조물이기 때문에 본 현장에서는 지보를 해체하면서 건물의 지하층 외벽을 따로 축조할 필요가 없었으며, 지보 해체와 동시



(a) 굴착전 공정에 의한 침하



(b) 본 굴착 공정에 의한 침하

그림 3. 일산 ○○상가에서 굴착 전 및 본 굴착 시 발생한 침하(양구승 과 김명모, 1997)

에 외벽공사를 하지 않고 지하층 바닥 슬래브를 시공하였다. 또한 7단의 스트럿을 가시설로 사용한 이 현장에서는 주변 지반의 거동을 최소화하기 위해 한 번에 1단의 스트럿을 해체하였다. 그러나 스트럿의 위치와 지하 바닥의 슬래브의 위치가 겹치거나 시공성을 고려하여 부득이한 경우에는 2단의 스트럿을 동시에 해체한 경우도 있었다. 지보 해체(지하층 축조)로 인한 추가 침하와 각 공정(굴착 전, 굴착, 지보 해체)에서 발생한 지표침하 분포(A-line)를 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 그림 4를 보면 5단 스트럿 해체 단계에서 전체 해체 공정에서 발생한 지표침하의 대부분이 발생하였으며, 이는 이후에 언급할 대전 ○○센터 현장의 침하 양상과는 상이한 결과이다. 지보 해체 초기단계에서 많은 침하가 발생한 것은 토류벽이 실트질인 연약지반에 근입되어 있어 하부 스트럿을 해체함에 따라 근입부가 움직였기 때문으로 판단된다. 즉, 이 현장과 같이 토류벽 선단이 근입된 지반의 수평 저항력이 충분하지 않을 경우에는 지보 해체 공정의 초기 단계에서 많은 주의를 기울여야만 지보 해

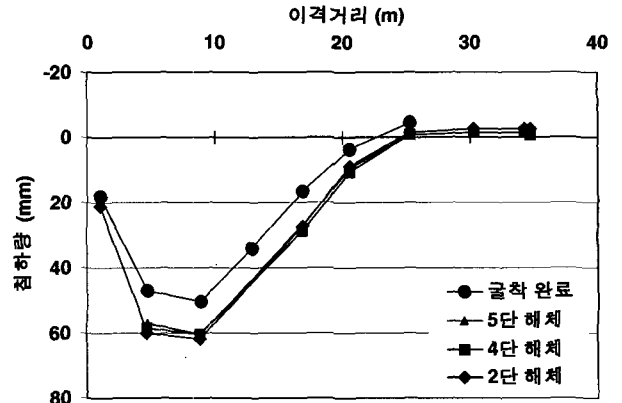


그림 4. 지보 해체에 의한 지표침하(일산 ○○상가, A-line)

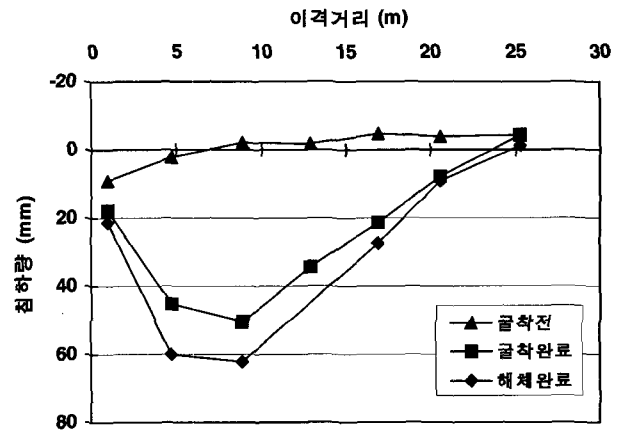


그림 5. 세 단계 공정에서 발생한 침하량 비교(일산 ○○상가, A-line)

체로 인한 추가적인 지반 변위의 발생을 최소화시킬 수 있다.

3.2 대전 ○○센터

3.2.1 지표침하

대전 ○○센터에서 굴착 전 공정과 본 굴착이 진행되는 동안 인접 지반에서 발생한 침하량은 그림 6 및 그림 7과 같다. 본 현장의 최종 굴착 깊이는 29.3m이었으며, 굴착 전 공정에서 지반침하에 영향을 주었을 것으로 예상되는 작업으로는 CIP 토류벽 설치, JSP 보강, SCW 설치, 초기 굴토 작업 등을 들 수 있다.

그림 7(a)의 A 단면에서 최종 굴착 전까지의 침하량이 B 단면에 비하여 작게 발생한 이유는 굴토한 흙을 운반하기 위한 작업로(Ramp)에 의해 이 구간의 벽체 변위가 구속되었기 때문으로 판단된다. 작업로가 제거된 후(GL-29.5m) 이 단면에서의 침하가 급속도로 증가한 점은 위와 같은 분석 결과의 타당성을 뒷받침하고 있다. 한편 벽체로부터의 이격거리가 17m 이내인 구간에서의 침

하량은 그 뒤편의 침하량과 주목할 만한 편차를 나타내었는데, 이 구간에는 흙을 운반하는 공사용 중차량의 통행로가 위치하고 있어 작업 차량에 의한 추가적인 상재하중이 작용하였기 때문이다. 최종적으로 굴착이 완료된 후 토류벽에서 7m 정도 떨어진 위치에서 65.4mm(0.22H%)의 침하가 발생하였으며, 이 때 영향거리는 55.2m(2.0H) 정도였다. A 단면의 침하양상을 통해서 첫째 작업용 중차량도 인접지반의 침하에 큰 영향을 줄 수 있다는 것과, 둘째 작업로(Ramp)는 굴토작업 중에 생기는 인접지

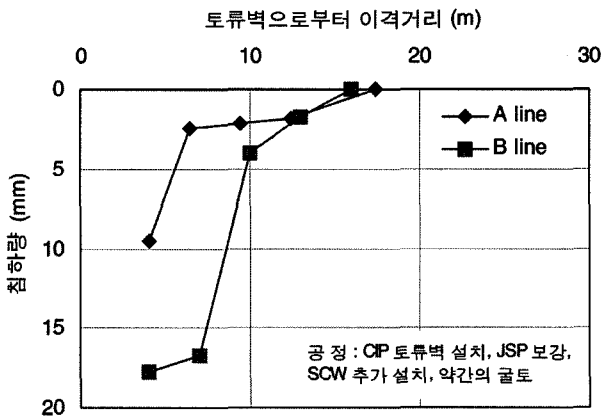
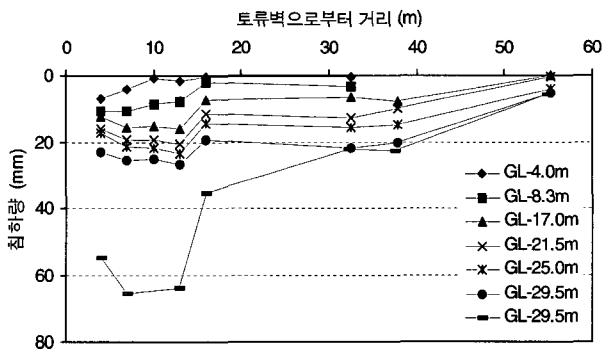
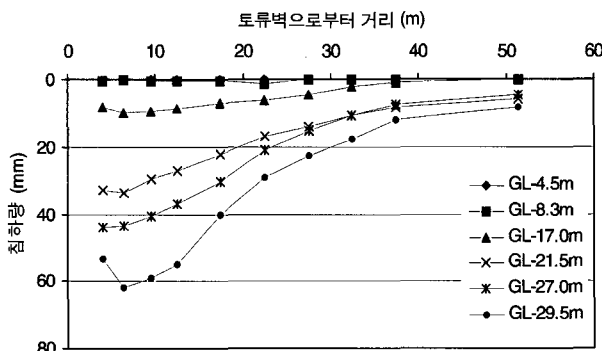


그림 6. 굴착 전 공정에 의한 대전 ○○센터의 침하량(양구승과 김명모, 1997)



(a) A 단면의 침하량



(b) B 단면의 침하량

그림 7. 본 굴착에 의한 대전 ○○센터의 침하량

반의 변위를 상당히 줄여줌과 동시에 작업로가 제거된 후에는 매우 큰 추가 침하량을 유발시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

단면 B에서 측정한 침하량 분포는 그림 7(b)와 같다. 이 단면의 경우는 17m정도 굴착을 할 때까지 큰 침하를 보이지 않다가 굴착깊이가 20m를 넘어서면서 급격한 침하가 발생하였다. 굴토작업이 완료된 후에는 토류벽에서 6.45m 떨어진 곳에서 최대 62.0mm(0.21H%)의 침하가 발생하였으며 침하 영향거리는 51.5m(1.8H)였다.

본 굴착이 완료된 후, 대전 ○○센터에서 실시된 지보 해체 및 지하층 축조 공정은 다음과 같다. GL(-)29.6m까지 굴착한 후 버림 콘크리트와 매트기초를 타설하고, 이어서 각 지하층마다 두께 80cm의 외벽과 20cm 두께의 슬래브 설치가 반복적으로 이루어졌다. 이 때 흙막이벽을 지지하기 위한 앵커 두부와 띠장이 바닥 슬래브와 외벽 시공에 장애가 되기 때문에, 지하층 외벽을 아래로부터 축조해 올라오면서 앵커 고정용 띠장과 만나는 지점에서 앵커 강선을 절단하고 띠장을 제거하는 방식으로 지보를 해체하였다. 지보 해체로 인해 발생한 추가 침하량은 그림 8과 같다.

대전 ○○센터의 경우, 일산 ○○상가의 경우와 반대로 지보 해체 초기에 오히려 인접 지반이 약간 상승하고, 지보 해체 공정의 마지막에 많은 침하가 발생하는 모습을 보였다. 해체 초기단계에서 주변지반이 상승한 것은 해체된 앵커가 부담하고 있던 하중이 남아있는 앵커로 재분배됨에 따라서 앵커 축력이 다소 증가하게 되고 이로 인해 일시적으로 앵커가 벽체를 굴착 배면 쪽으로 끌어당기는 현상이 발생하였기 때문으로 추정된다.

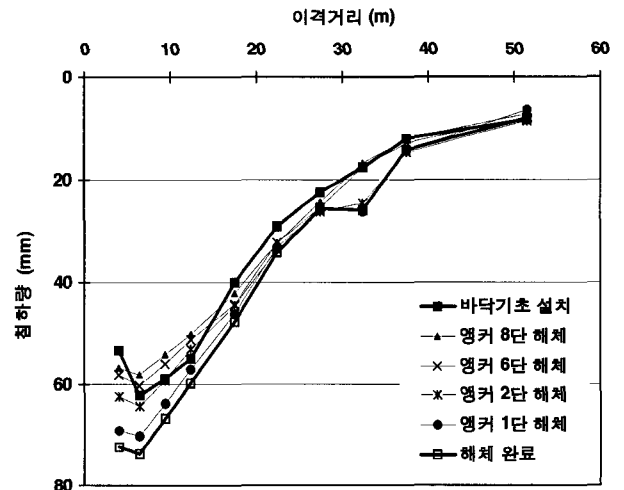


그림 8. 지보 해체에 의한 침하량(대전 ○○센터, B-line)

이 현장은 일산 ○○상가와는 달리 벽체 선단이 풍화암 이하 지반에 근입되었으며 앵커 지보가 사용되었기 때문에, 하부 지반보다는 비교적 느슨한 상부 지반을 지지하고 있던 지보가 해체되는 단계에서 많은 양의 추가 변위가 발생한 것으로 판단된다. 즉, 굴착 규모, 지반 조건 및 지보 형태에 따라 지보 해체시 인접 지반의 거동이 다르게 나타날 수 있음을 알 수 있다.

3.2.2 수평변위

표 1은 경사계로 측정된 흙막이벽체의 최대 수평변위를 표로 정리한 것이다. 표 1에 의하면, 본 굴착 공정에서는 침하측정점 B 단면에 인접한 1번 경사계의 최대 수평변위가 60.77mm(0.21%H)로 다른 경사계 계측결과에 비하여 가장 크게 나타났다. 이는 1번과 3번 경사계가 위치한 구간이 경사계 5번과 7번 구간의 벽체 형식인 지중연속벽에 비하여 강성이 비교적 작은 CIP 벽체로 지지되었기 때문으로 판단된다.

본 굴착 공정에서 발생한 최대 수평변위와 지보 해체 공정에서 발생한 최대 수평변위를 비교하면, 최종 굴착 단계 이후 지보 해체로 인하여 추가적으로 발생한 최대 수평변위는 본 굴착 단계에서 발생한 수평변위의 34%~59%(평균 44%)였다. 이 현장 역시 지보 해체 공정에서 무시할 수 없을 정도의 지반 변위가 발생했음을 확인할 수 있었다.

3.2.3 지보 해체 시 지보재 축력 변화

그림 9에 나타난 지보 해체에 따른 앵커 축력의 측정 결과에 의하면, 10단 및 9단의 지보가 제거된 해체 초기 단계에는 해체한 앵커에 인접한 9단 및 7단 앵커의 축력이 증가하는 경향을 보였으나, 이후로는 앵커의 해체가 주변 앵커의 축력 변화에 큰 영향을 미치지 않았다. 이로부터 지보 해체가 어느 정도 진행된 후에는 바닥층

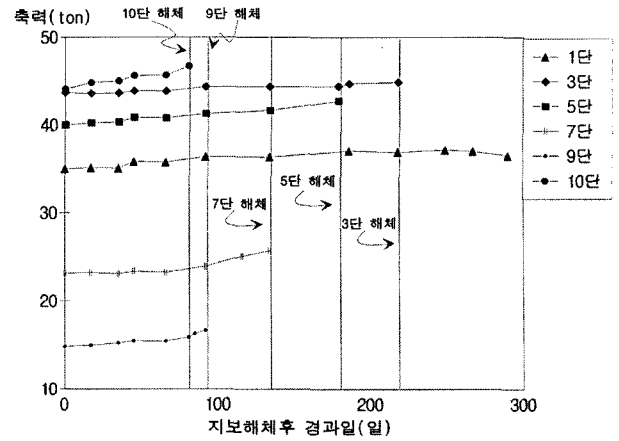


그림 9. 지보(앵커)해체 시 축력변화(대전 ○○센터)

슬래브와 지하층 외벽이 앵커를 대신하여 지보역할을 충분히 수행한다고 판단할 수 있었다.

3.3 서울 ○○빌딩

서울 ○○빌딩에서는 굴착 전 공정의 지표침하 및 수평 변위 측정이 이루어지지 않았으므로, 본 굴착과 지보 해체시 발생한 지반 변위를 중심으로 분석을 실시하였다.

3.3.1 지표침하

서울 ○○빌딩 현장의 경사계 4번(A), 5번(A'), 9번(C)이 위치한 단면에서 본 굴착에 의해 발생한 지표침하 분포는 그림 10과 같다. 경사계 4번(A)과 5번(A')은 위치한 단면은 아스팔트 포장체 위에 측정점을 표시하여 공정에 따른 침하량을 측정하였고, 경사계 9번(C)이 위치한 단면은 공원 부지에 침하봉을 설치하여 측정하였다. 5번 위치(A')의 최대 침하량은 토류벽에서 1.5m떨어진 곳에서 38.5mm(0.16H)이었고 침하영향 거리는 33.1m(1.4H)였으며, 9번 위치(C)의 최대 침하량은 토류

표 1. 굴착 및 지보 해체로 인한 최대 수평변위량 비교(대전 ○○센터)

경사계	본 굴착		지보 해체		지보 해체로 인한 수평변위 증가율 (%)
	최대 수평변위, $\delta_{h,max(A)}$ (mm)	$\delta_{h,max(A)}/H$ (%)	최대 수평변위, $\delta_{h,max(B)}$ (mm)	$\delta_{h,max(B)}/H$ (%)	
1번	60.77	0.21	85.29	0.29	40
2번	43.88	0.15	69.87	0.24	59
5번	33.07	0.11	45.23	0.15	37
6번	38.05	0.13	53.36	0.18	40
7번	28.91	0.10	44.36	0.15	53
8번	33.73	0.12	45.20	0.15	34

벽에서 2.7m 떨어진 곳에서 34.3mm(0.15H%)이었고 침하영향 거리는 21.0m(0.9H)였다. 경사계 4번 위치(A선)의 최대침하량은 48.5mm(0.21H%)이었고 침하영향 거

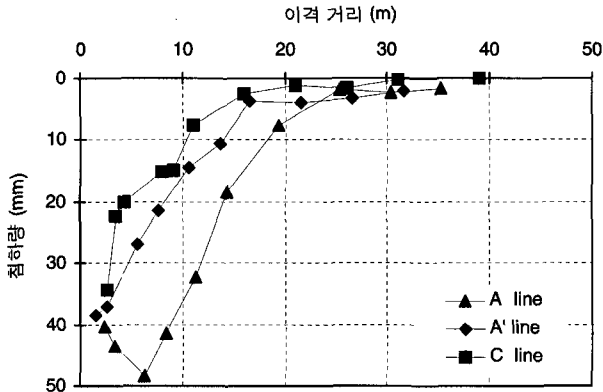
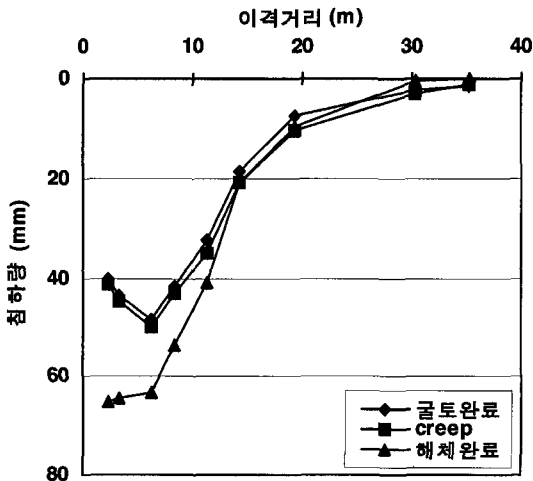
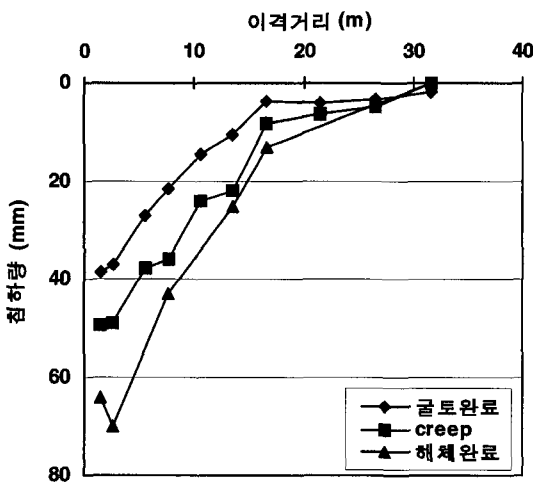


그림 10. 본 굴착 시 서울 ○○빌딩에서 발생한 침하



(a) A-line



(b) A'-line

그림 11. 지보 해체에 의한 침하량 (서울 ○○빌딩)

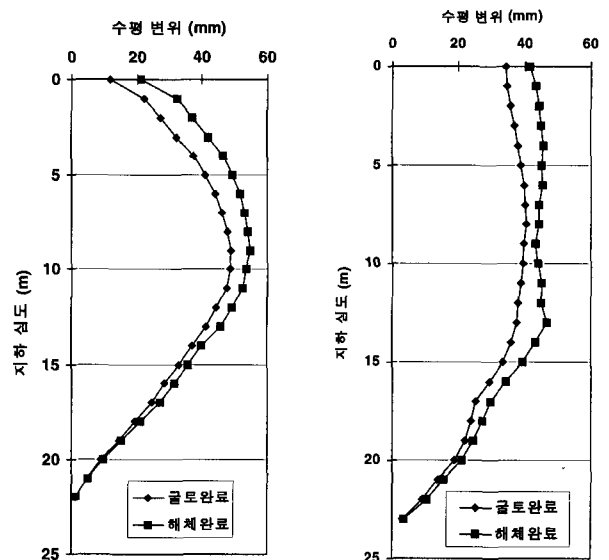
(creep라 함은 굴토완료 후 현장상황으로 인해 공정을 더 이상 진행시키지 못하고 그대로 방치한 기간을 말한다.)

리는 35.3m(1.5H)였다.

그림 11은 서울 ○○빌딩 현장의 2개 단면에 대하여 굴토 완료 및 지보 해체 종료 시점에서의 지표침하 양상을 비교한 것이다. 동일한 현장이라도 굴착면의 기하학적 형상이나 공정 진행 상황 등 여러 가지 변수에 의해 단면별로 최대 침하량의 발생위치, 추가 침하량, 그리고 공정 완료 후의 침하 형상 등이 상이하게 나타났다. 특히 이 현장의 경우에는 현장 사정상 지보 해체 도중에 공정 진행이 일시적으로 중지되었는데, 일부 단면(A'-line)에서는 이 기간 동안에 약 10mm 내외의 추가적인 지표침하가 관찰되었다. 이는 별도의 공정 진행이 없더라도 creep 현상에 의해 인접 지반의 변위가 발생할 수 있음을 보여주는 결과로서, 현장에서는 추가적인 해체공정이 이루어지지 않더라도 모든 공사가 완료 될 때까지 일상적인 계측관리가 필요하다는 것을 의미한다.

3.3.2 벽체 수평변위

경사계 4번(A-line)과 경사계 5번(A'-line) 위치에서의 수평변위를 도시한 그림 12에 의하면, 본 굴착 공정에서의 변위, 지보 해체 시기와 방법, 그리고 지하 바닥층 슬래브 위치 등에 따라 지보 해체로 인하여 추가적으로 발생한 수평변위의 양상이 다르게 나타났다. 경사계 5번의 경우에 GL(-)10m~GL(-)15m 사이의 구간은 다른 위치보다 큰 추가 변위가 생겼는데, 이는 과도한 지보 해체(동시에 2~3단 해체)가 국부적으로 큰 변위가 유



(a) 경사계 4번

(b) 경사계 5번

그림 12. 지보해체로 인한 수평변위 비교(서울 ○○빌딩)

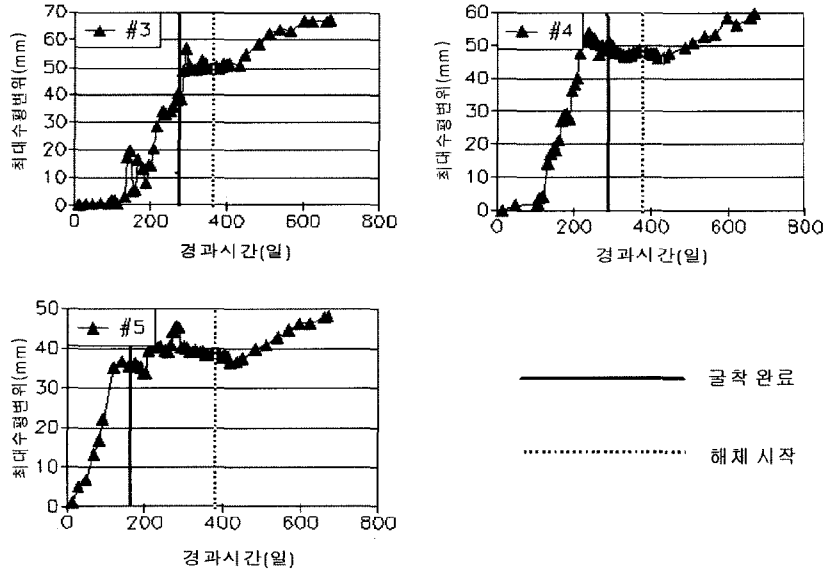


그림 13. 굴착 및 해체 공정시 발생한 최대 수평 변위량(서울 ○○빌딩)

표 2. 굴착 및 지보 해체시 발생한 최대 수평변위의 값 비교(서울 ○○ 빌딩)

경사계	굴착에 의한 변위, A(mm)	해체에 의한 변위, B(mm)	변위량 비교 (B/A, %)
1번	30	18	60
2번	35	18	51
3번	50	17	34
4번	48	18	38
5번	38	10	26
6번	19	9	47
8번	68	16	24

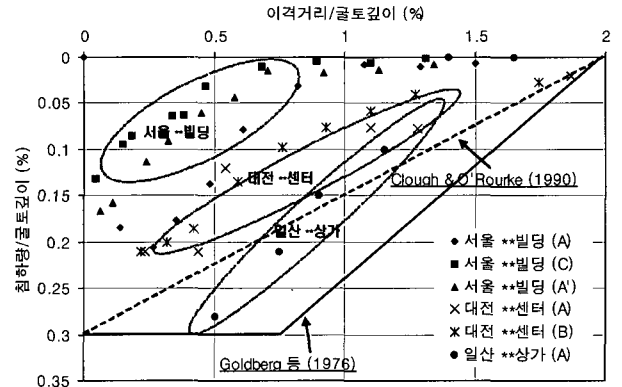


그림 14. 정규화된 본 굴착에 의한 침하량(3개 현장)

발시킬 수 있음을 보여주는 예이다. 그림 13은 굴착 및 지보 해체 공정에서 발생한 최대 수평변위의 변화를 보여주고 있다. 지보 해체로 인해 거의 모든 단면에서 상당량의 추가 변위가 발생함을 확인할 수 있다. 표 2에는 이러한 경사계 계측 결과를 본 굴착에 의한 변위량과 지보 해체로 발생한 최대 수평변위를 구분하여 정리하였다. 두 공정에서 발생한 최대 수평변위를 비교하면, 해체 시 발생한 최대 수평방향 변위는 본 굴착과정에서 발생한 최대 수평변위의 24%~60%(평균 40%) 수준이었다.

3.4 계측결과 종합

3.4.1 본 굴착에 의한 지표침하

본 절에서는 3개 현장에서 측정된 본 굴착에 의한 침하량과 침하영향거리를 그림 14와 표 3과 같이 정리하

표 3. 본 굴착에 의한 침하량 정리

현장명	단면	최대 침하량(mm) (H:굴착깊이)	침하영향거리(m)
일산 **센터	A	50.5 (0.27H%)	25.3 (1.4H)
	A'	51.0 (0.28H%)	25.3 (1.4H)
대전 **센터	A	65.4 (0.22H%)	55.2 (2.0H)
	B	62.0 (0.21H%)	51.5 (1.8H)
서울 **빌딩	A	48.5 (0.21H%)	35.3 (1.5H)
	A'	38.5 (0.16H%)	33.1 (1.4H)
	C	34.3 (0.15H%)	21.0 (0.9H)

였다. 지반 특성, 지보 종류 및 굴착 규모에 따른 침하량을 비교하기 위하여 기존 연구자(Goldberg 등, 1976, Clough와 O'Rourke, 1990)에 의해 제시된 기준과 비교한 결과, 기존에 제시된 국외 사례에 비해 3개 현장의 계측 결과가 상대적으로 작게 나타났다. 이는 지반 조건, 굴착 단면의 형상, 지보 시스템 등의 차이에서 기인

한 것으로 생각되며, 굴착으로 인한 주변지반 침하 예측에서 위에서 언급한 국외 침하기준은 전형적인 국내 지반조건에서 이루어지는 굴착문제에 대하여 보수적인 결과를 나타내었다.

표 3과 그림 14에 의하면, 본 굴착에 의한 침하양상은 단면위치(현장 내 상대위치)와 지층(풍화토, 실트), 그리고 시공능력에 따라 매우 다른 경향을 보인다. 굴착 깊이가 20m 이상인 서울 ○○빌딩과 대전 ○○센터 현장을 비교해 보면 지하수위가 상대적으로 높게 형성되어 있는 대전 ○○센터에서 더 큰 침하가 발생하였으며, 지하수위가 비슷하게 형성되어 있는 일산 ○○상가와 대전 ○○센터의 경우에는 실트층을 포함한 일산 ○○상가 현장에서 최대 침하량 및 침하영향범위가 더 크게 나타났다. 종합적으로 최대 침하량의 경우 대부분이 0.15%H~0.28%H의 범위에 존재하였으며, 침하영향거리의 경우에는 0.9H~2.0H의 범위에 분포하였다.

3.4.2 지보 해체에 의한 지표침하

본 굴착과 지보 해체 공정에서 발생한 지표침하의 변화 추이를 보다 명확하게 분석하기 위하여, 각 공정에서의 지표침하를 침하 포락선의 면적으로 정의되는 단위 폭당 침하체적(이하 ‘침하체적’)으로 환산하여 비교해 보았다. 표 4에서와 같이, 3개 현장에서 측정된 지보 해체에 의해 추가적으로 발생한 침하체적은 본 굴착에서 발생한 침하체적의 18%~98% 범위에 존재하였다. 그러나 서울 ○○빌딩 현장의 경우에 A'-line은 지보 해체 단계에서 공사용 자재의 적치 및 잦은 작업차량의 통행에 따라 많은 변위가 유발되었고, C-line은 측정위치가 건물의 모서리에 위치하여 지보 해체 공정과 슬래브의 설치상황이 다른 단면과 다소 차이가 있었다. 즉, 일반적인 현장 상황을 대표한다고 볼 수 없는 두 위치에서의 측정값을 제외한다면, 이 논문에서 다룬 3개 현장의 지보 해체 공정에서 통상적으로 본 굴착에서 발생한 침하체적의 18~33% 정도가 추가적으로 발생한다고 할 수 있다.

한편 지보 해체로 생긴 추가 침하량을 본 굴착에 의한 침하량과 비교한 결과는 그림 15와 같다. 이 그림은 슬래브가 정상적으로 설치되고 측정점의 상태가 지보 해체 종료까지 양호한 위치에서의 침하량을 본 굴착 단계에서 발생한 침하량과 비교하여 분석한 결과이다.

벽체에서 0.2H(H : 굴토깊이)까지의 구간에서는 해체 단계에서의 침하량이 본 굴착에서 발생한 침하량의

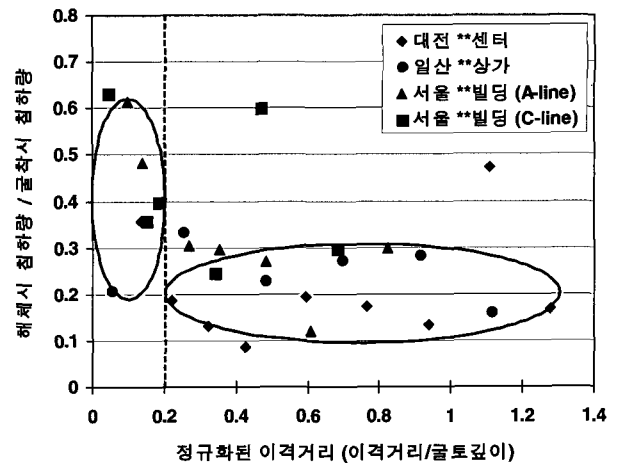


그림 15. 굴토공정과 지보해체 공정 중에 발생한 침하량 비교(종합)

표 4. 본 굴착과 지보 해체 공정에서 발생한 침하체적 비교

현 장	위 치	본굴착시 침하량 (A)	지보해체시 침하량 (B)	비 교 (B/A*100)
일산 **상가	A-line	0.68	0.17	26%
대전 **센터	B-line	1.59	0.28	18%
서울 **빌딩	A-line	0.67	0.22	33%
	A'-line	0.41	0.40	98%
	C-line	0.26	0.13	50%

20%~60% 정도였으며, 벽체로부터 이격거리가 0.2H에서 1.3H 사이인 구간에서는 10%~30% 내외의 값을 나타냈다. 또한 지보 해체 공정에서 추가로 발생하는 지표침하는 벽체로부터의 이격거리가 증가함에 따라 그 영향이 감소하였다.

결론적으로 지반 및 토류 구조물 거동에 대한 검토 작업이 수반되지 않은 무리한 지보 해체는 과도한 주변 지반의 변위를 초래하며, 이로 인한 본 구조물(지하층의 외벽과 바닥층 슬래브)과 인접 구조물의 손상이 발생할 수 있으므로 현장 특성에 적합한 해체 공정의 수립 및 관리가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

이 논문에서는 지층 구성, 지보 형식 및 굴착 단면 형상이 다른 3개 굴착현장(일산 ○○상가, 대전 ○○센터, 서울 ○○빌딩)에서 장기간에 걸쳐 굴착 주변지반의 거동을 계측하고, 그 결과를 굴착 전 공정, 본 굴착 공정, 그리고 지보 해체 공정으로 구분하여 분석을 실시하였다. 이를 통해 본 굴착뿐만 아니라 토류벽 설치 및 지보 해체 작업이 인접 지반의 거동에 미치는 영향을 정량적

으로 평가하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 본 굴착에 의한 침하양상은 지반 조건, 굴착 깊이, 지보 형식, 그리고 시공 능력에 따라 매우 다른 경향을 보인다. 본 논문에서 다른 3개 굴착현장의 계측 결과에 의하면, 최대 침하량의 경우에는 대부분이 0.15%H~0.28%H의 범위에 존재하였으며, 침하영향거리는 0.9H~2.0H의 범위에 분포하였다.
- (2) 일반적인 현장 상황을 대표한다고 볼 수 없는 측정값을 제외한다면, 이 논문에서 다른 3개 현장의 지보 해체 공정에서 통상적으로 본 굴착에서 발생한 침하체적의 18~33% 정도가 추가적으로 발생한다고 할 수 있다. 또한 벽체의 최대 수평변위는 암반 위에 풍화잔적토가 놓인 지반에서 이루어진 굴착 현장의 경우에 평균적으로 본 굴착시 발생한 변위의 40%~44% 정도가 지보 해체 공정에서 발생하였다.
- (3) 벽체에서 0.2H(H : 굴토깊이)까지의 구간에서는 해체 단계에서의 침하량이 본 굴착에서 발생한 침하량의 20%~60% 정도였으며, 벽체로부터 이격거리가 0.2H에서 1.3H 사이인 구간에서는 10%~30% 내외의 값을 나타냈다. 또한 지보 해체 공정에서 추가로 발생하는 지표침하는 벽체로부터의 이격거리가 증가함에 따라 그 영향이 감소하였다. 결론적으로 지반 및 토류 구조물 거동에 대한 검토 작업이

수반되지 않은 무리한 지보 해체는 과도한 주변지반의 변위를 초래하며, 이로 인한 본 구조물(지하층의 외벽과 바닥층 슬래브)과 인접 구조물의 손상이 발생할 수 있으므로 현장 특성에 적합한 해체 공정의 수립 및 관리가 반드시 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 김성욱, 김주봉 (1999), “깊은 굴착에서 근접시공에 따른 구조물 피해 사례 연구”, *한국지반공학학회분과발표회*, 지반공학회, pp.113-120.
2. 김학문 (2003), “도심지에서 지반굴착에 따른 구조물의 손상 예측”, *2003 지반굴착정보화 시공 위원회학술발표회*, October 17, 서울, 지반공학회, pp.3-35.
3. 신은철, 김광일, 최병길 (2000), “흙막이공의 지반변형이 주변구조물에 미치는 영향”, *한국토목학회논문집*, 제20권, 제6-C호, pp.525-534.
4. 양구승, 김명모 (1997), “도심지 깊은 굴착으로 발생하는 인접 지반 지표침하 분석”, *한국지반공학학회논문집*, 제13권, 제2호, pp.101-124.
5. 유충식, 최병석 (2003), “지반 굴착에 따른 매설관 손상 - 사례 분석”, *2003 지반굴착정보화시공위원회 학술발표회*, October 17, 서울, 지반공학회, pp.66-71.
6. 임희대, 박수용, 고근식 (2001), “도심지 지반굴착으로 인한 주변 지반의 침하예측”, *한국토목학회논문집*, 제21권, 제1-C호, pp.39-47.
7. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D. (1990), “Construction induced movements of in situ walls, design and performance of earth retaining structures”, *Geotechnical Special Publication*, No.25, ASCE, pp.439-470.
8. Goldberg, D. T., Jaworski, W. E., and Gordon, M. D. (1976), *Lateral support systems and underpinning*, Report, FHWA-RD-75-128(1), U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.

(접수일자 2005. 8. 16, 심사완료일 2006. 2. 28)