

## 버팀대 선행하중 공법을 이용한 깊은 굴착 사례 연구

### Case Studies on the Strut Preloading Methods for the Deep Excavations

백규호<sup>1)</sup>, Kyu-Ho Paik, 오성남<sup>2)</sup>, Sung-Nam Oh, 조현태<sup>3)</sup>, Hyun-Tae Cho, 양구승<sup>4)</sup>, Ku-Seung Yang

<sup>1)</sup> 관동대학교 이공대학 토목공학과 조교수, Assistant Professor, Dept. of Civil Engineering, Kwandong Univ.

<sup>2)</sup> 스마텍엔지니어링 이사, Director, Smartec Engineering

<sup>3)</sup> 스마텍엔지니어링 기술팀장, Manager, Smartec Engineering

<sup>4)</sup> 삼성물산 건설부문 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Institute of Technology, E&C Group, Samsung Co.

**SYNOPSIS :** In order to protect excessive ground movements in braced excavations, the strut preloading system can be effectively used. In this paper, the newly developed preloading jack and the measured results of the lateral displacements of braced wall at three deep excavation sites in Seoul city are introduced. The measured results showed that the displacements of braced wall can be minimized by preloading which is acted on bracing. As a result, it is confirmed that if the new preloading jack is properly used in braced excavation, the cost and the period of construction can be effectively saved.

**Key Words :** deep excavation, preloading of bracing, preloading jack, wall displacement

## 1. 서 론

최근들어 토지의 활용성을 극대화하기 위하여 근접시공이 증가하고 있으며 동시에 굴착심도 또한 깊어지고 있다. 이처럼 지반을 굴착하게 되면 주변지반은 침하하게 되며, 이러한 주변지반의 침하는 지반의 굴착깊이가 증가할수록 더욱 커지는 경향을 보이게 된다. 따라서 최근과 같이 근접시공 및 대심도 굴착이 진행되는 상황에서는 주변지반의 침하로 인하여 인접구조물에 피해가 야기되면서 많은 민원들이 제기되고, 그로 인하여 공사가 중단되는 사례가 빈번히 발생한다.

굴착공사시 주변지반이 침하하는 원인으로는 흙막이벽체의 휨변형 및 이동에 의한 것, 지하수위 저하로 인한 지반의 압밀침하에 의한 것, 흙막이벽체의 토사 유출에 의한 것, 보일링이나 히빙현상에 의한 것 등을 들 수 있다. 여기서 압밀이나 토사유출과 관련된 주변지반의 침하는 차수성 흙막이벽체를 시공하여 어느정도 억제할 수 있으나, 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 스크류잭을 이용한 버팀대 공법으로는 흙막이벽체의 휨변형 및 이동에 의한 주변지반의 침하는 억제에 한계가 있는 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 선진 각국에서는 버팀대에 일정 크기의 선행하중을 작용시켜서 버팀대 부재들간의 연결부 틈새를 제거하고 흙막이벽체를 배면방향으로 밀어준 후 굴착을 진행하는 버팀대 선행하중공법의 사용이 늘고 있다. 이 공법은 흙막이벽체의 수평변위와 함께 주변지반의 침하량 억제에도 효과가 뛰어난 것으로 알려져 있으며, 효율적인 시공을 위하여 자국의 시공특성에 적합한 선행하중장치를 개발하여 이용하고 있다. 국내에서도 최근 대심도·대규모의 굴착공사가 진행되면서 많은 현장에서 버팀대 선행하중공법의 필요성이 인식되어 왔지만 그에 따른 적합한 장비의 부재와 시공효과에 대한 불확신으로 인하여 일반화되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 버팀대 선행하중공법이 국내에서도 효율적으로 활용될 수 있도록 하기 위하여 새롭게 개발한 선행하중재를 소개하고, 이 장치를 이용하여 시공된 현장 중에서 3개소의 근접시공 사례를 통하여 버팀대 선행하중공법의 흠막이구조물 및 인접 구조물에서의 변위억제 효과를 분석하고자 한다. 또한 스크류잭을 이용한 버팀대공법과의 공사비 및 공사기간 등의 비교를 통하여 버팀대 선행하중공법의 경제성을 분석하고 프리로딩잭을 이용한 시공시 유의해야 할 몇가지 사항에 대해 살펴보고자 한다.

## 2. 스크류잭을 이용한 버팀대공법

### 2.1 스크류잭을 이용한 버팀대공법의 문제점

스크류잭(screw jack)을 이용한 버팀대공법은 버팀대의 한쪽 단부에 설치한 스크류잭을 회전시켜서 버팀대와 띠장, 흠막이벽체, 그리고 버팀대 부재들간의 연결부 틈새들을 밀착시키므로써 발현되는 버팀대의 강성에 의해 흠막이벽체의 변위를 억제하는 것으로, 시공이 간편해서 현재 지보공으로 가장 많이 사용되고 있는 공법이다. 그러나 현장의 계측결과에 의하면 스크류잭을 이용하여 버팀대에 5 ton 이상의 선행하중을 작용시키는 것은 어려운 것으로 알려져 있다(천일기술단, 1997). 일반적으로 스크류잭은 버팀대의 한쪽 단부에 설치되며 재하하중의 크기, 중간말뚝과 버팀대간의 연결상태 등을 고려할 때, 이 정도 크기의 선행하중으로는 흠막이벽체의 변위 억제는 물론 각 부재들 간의 연결부 틈새를 폐합시키는 것도 어렵게 된다. 따라서 스크류잭을 이용한 버팀대공법을 흠막이 구조물에 적용하는 경우에는 버팀대의 강성이 예상외로 현저히 감소하게 된다.

이러한 버팀대 강성의 저하에 의한 흠막이벽체의 과도한 변위 발생을 억제하기 위하여, 필요 이상의 버팀대를 비효율적으로 설치하므로써, 공사비가 상승하게 되고 작업공간이 협소해져서 시공성이 저하되는 경우가 많은 것이 현재의 국내 실정이다.

### 2.2 스크류잭 이용시 버팀대의 강성

버팀대를 지보재로 이용하는 경우, 버팀대의 강성은 흠막이벽체와 부재의 설치상황, 부재 상호간의 밀착 정도 등의 조건에 따라 결정된다. 따라서 버팀대의 강성은 현장의 시공 상태에 따라 달라지므로 지보공 설계시 버팀대 강성의 크기를 결정하는 것은 상당히 어려운 문제이다. Palmer와 Kenney(1972)는 버팀대에 선행하중을 도입하지 않은 상태에서 실측한 버팀대의 초기강성은 식 (1)과 같이 계산되는 이상강성의 2~4% 정도였다고 보고하였다. 즉, 버팀대를 설치할 때 부재들 간의 연결부 틈새가 제거되지 않아 버팀대의 초기강성은 이상강성보다 훨씬 작게 되며, 굴착이 진행됨에 따라 부재가 축방향 압축력을 받으면서 부재들간의 연결부 틈새가 폐합되어 최종적으로 버팀대의 강성은 이상강성에 가까워진다는 것이다. 물론 이 과정에서 흠막이벽체의 변형은 증가하게 된다.

$$k_{ideal} = \frac{E_b A_b}{L_b} \quad \text{식 (1)}$$

여기서,  $E_b$ 와  $A_b$ 는 버팀대의 탄성계수와 단면적을, 그리고  $L_b$ 는 버팀대의 유효좌굴장을 나타낸다. 그러나 국내에서 흠막이 구조물을 해석할 때 버팀대의 초기강성은 이상강성과 같다고 가정하기 때문에 현장에서 실측한 벽체의 변위량과 해석에 의한 변위량은 상당한 차이가 날 수 있다. 일본 토질공학회(1975)의 보고에 의하면 버팀대에 선행하중을 도입하지 않은 경우에는 부재들간의 연결부 틈새로 인하여 설계시 변형량보다 약 20mm 정도의 변형량이 추가적으로 발생한다고 한다. 결국 과도한 지반변형을 억제하기 위해서는 버팀대의 설치시 초기강성을 증가시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

### 3. 버팀대 선행하중공법

#### 3.1 버팀대 선행하중공법의 필요성

버팀대 선행하중공법은 다음 단계의 굴착에 앞서 버팀대에 선행하중을 재하하여 흙막이벽을 배면방향으로 밀어주는 방법으로, 버팀대에 축력을 재하하기 위하여 유압잭을 이용함으로써 100ton 이상의 선행하중까지도 손쉽게 정확하게 작용시킬 수 있다. 그 결과 버팀대 부재들간의 연결부 틈새가 대부분 제거됨은 물론 버팀대의 탄성압축량도 줄어들어서 버팀대를 비롯한 흙막이 구조물의 강성이 증가하게 되어, 굴착으로 인한 지반 및 흙막이 구조물의 변위가 감소하게 된다.

O'Rourke(1981)는 버팀대에 선행하중을 가하지 않은 상태에서의 각 버팀대에 걸리는 축력(이하 설계하중이라 함)의 50%를 버팀대에 선행하중으로 재하한 상태에서 버팀대의 강성을 측정하였으며, 그 크기는 이상강성의 45~75%였다. 또한 野尻明美와 近藤貞雄(1973)는 유압잭을 이용하여 설계하중의 100%까지 단계별로 선행하중을 버팀대에 재하한 후 버팀대의 강성을 측정한 결과 실측된 버팀대의 강성은 이상강성의 47~100% 범위에 있음을 알 수 있었다. 그리고 양구승(1996)은 버팀대의 강성에 따른 흙막이벽체의 수평변위를 해석한 결과 버팀대의 강성이 감소함에 따라 흙막이벽체의 변위량은 지속적으로 증가하며, 버팀대의 강성이 이상강성의 50% 이하가 되면 수평변위는 급격히 증가한다고 보고하였다.

이처럼 버팀대에 선행하중을 가한 경우에는 흙막이 구조물의 유효강성이 커지게 되어 흙막이벽체는 휨변형량이 작게 발생하며, 흙막이벽체의 수평변위는 감소하게 된다(김학문, 1995). 뿐만 아니라 흙막이 구조물 전체의 강성이 높아져서 버팀대의 수를 줄일 수 있으며, 이로 인하여 작업공간이 넓어져서 시공성이 좋아지는 효과도 얻을 수 있다.

#### 3.2 개발된 선행하중잭의 특징

외국의 경우 흙막이벽체의 변위 억제에 대한 버팀대 선행하중공법의 효과는 오래전부터 알려져 왔으며, 효율적인 시공을 위하여 각국의 실정에 적합한 시공장비와 시공법을 개발하여 왔다(스마텍엔지니어링, 1998). 歐美에서는 버팀대에 선행하중을 가하기 위하여 그림 1과 같은 방법을 사용하기도 하였다. 그러나 이 방법은 버팀대에 반력판과 유압잭 받침대를 설치하는 작업이 번거롭고 유압잭 제거시 버팀대에 작용시킨 선행하중이 손실되며, 설치가 완료된 후에는 썸머가 설치된 곳이 휨모멘트에 대하여 취약부가 되므로 그 부분을 보강해야 하는 문제를 갖고 있다. 한편 일본에서는 1960년대까지 歐美의 경우와 유사한 방법을 사용하였으나, 그림 2(a)와 같이 썸머 대신에 스크류잭을 사용함으로써 잭 설치부의 휨모멘트에 대한 취약성을 보완하였다. 그러나 이 방법 또한 반력판을 설치하는 작업이 번거롭다는 단점을 갖고 있었다. 따라서 1970년대부터 유압실린더가 내장되고 멈춤나사가 부착된 선행하중잭이 사용되기 시작하였다(그림 2(b)). 이 장치는 정밀시공이 가능하다는 장점을 갖고 있으나, 잭의 길이 조절이 유압실린더의 피스톤 길이에 의해서만 조절되기 때문에 유압실린더의 크기와 중량이 커져서 작업성이 저하되고 잭마다 유압실린더가 내장되므로써 비경제적이라는 단점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 유압잭의 기능과 스크류잭의 기능을 결합시킨 선행하중잭이 국내에서 개발되었다(스마텍엔지니어링, 1998). 즉, 잭의 길이조절은 스크류잭의 기능을 하는 상부몸체에서 담당하고 선행하중의 재하는 유압잭의 기능을 하는 하부몸체에서 담당하도록 하였으며, 이 잭을 이용하여 버팀대에 선행하중을 재하하

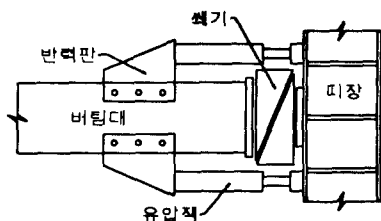
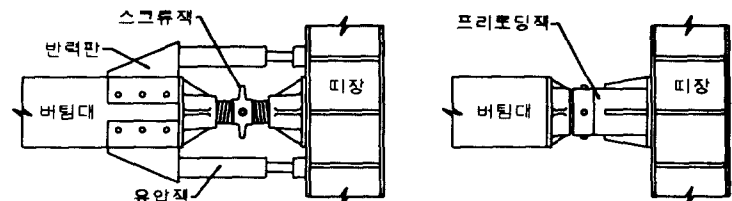


그림 1. 歐美의 선행하중 재하 방식



(a) 1960년대

(b) 1970년대

그림 2. 일본의 선행하중 재하 방식

는 작업은 그림 3과 같이 4단계에 걸쳐 수행된다. 먼저 버팀대의 단부에 선행하중재를 부착하고 상부몸체를 이용하여 책의 길이를 조절한 후 하부몸체에 유압실린더를 삽입하고 소정의 선행하중을 가한다. 선행하중이 재하된 후에는 하부몸체의 멈춤나사를 돌려서 하중을 고정시키고 유압실린더를 회수하므로써 작업이 완료된다. 그리고 굴착이 완료된 후, 버팀대를 해체할 경우에는 설치 때의 역순으로 작업을 수행하면 된다. 이 책은 일본의 프리로딩책과 기능은 동일한 반면 스크류책의 기능을 도입하여 책과 유압실린더의 크기와 중량을 줄이므로써 경제성과 작업성을 향상시켰다.

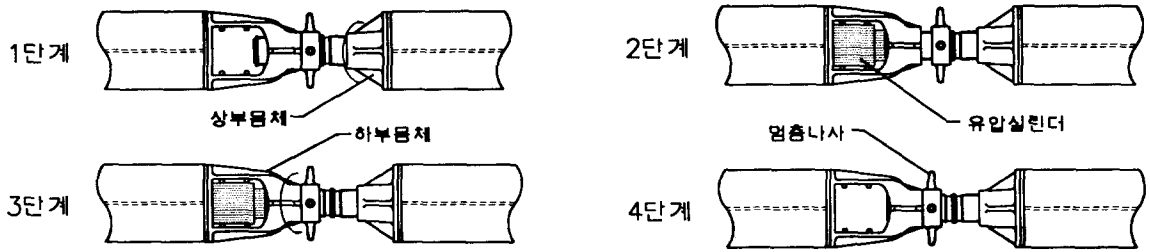


그림 3. 선행하중책의 선행하중 재하 방식

### 3.3 버팀대 선행하중공법의 적용시 유의사항

굴착현장에 버팀대 선행하중공법을 적용하여 시공하는 과정에 있어서 다음과 같은 몇가지 사항들에 유의해야 함을 알 수 있었다. 먼저, 선행하중의 전달이 원활하도록 중간말뚝과 버팀대를 U-bolt나 channel 등을 이용하여 연결해야 하며, 버팀대에 작용하는 선행하중이나 축압이 흙막이벽체에 균등하게 분포하도록 띠장과 흙막이벽체 사이의 뒷채움이 충분히 이루어져 한다. 그리고 버팀대와 만나는 띠장부분은 stiffener를 설치하여 응력집중에 의한 부재의 국부변형이 발생하지 않도록 하여야 한다. 실제로 양평동 A현장의 시공 초기에 스크류책을 이용할 때와 동일한 방법으로 공사를 수행하므로써 흙막이벽체에 선행하중이 충분히 전달되지 않아 부재의 연결 틈새가 메워지지 않거나, 띠장의 flange부분에 국부적으로 과도한 변형이 발생하여 재시공을 하거나 보강을 실시하기도 하였다.

## 4. 시공사례

### 4.1 양평동 A현장

이 현장은 그림 4와 같이 좌우측에 LPG저장소와 인쇄소가 근접하여 위치하고 정면으로는 25m 도로가, 뒤로는 안양천의 유수지가 지표면보다 1.5m 이상 낮게 위치하고 있는 곳으로 굴착깊이는 22.05m이다. 원 설계안은 스크류책을 이용한 버팀대공법을 적용하여 버팀대를 연직 방향 7단으로 하는 것이었으나 굴착에 의한 변위로 인하여 LPG저장소와 인쇄소의 피해가 예상됨에 따라 변위 발생을 억제하기 위

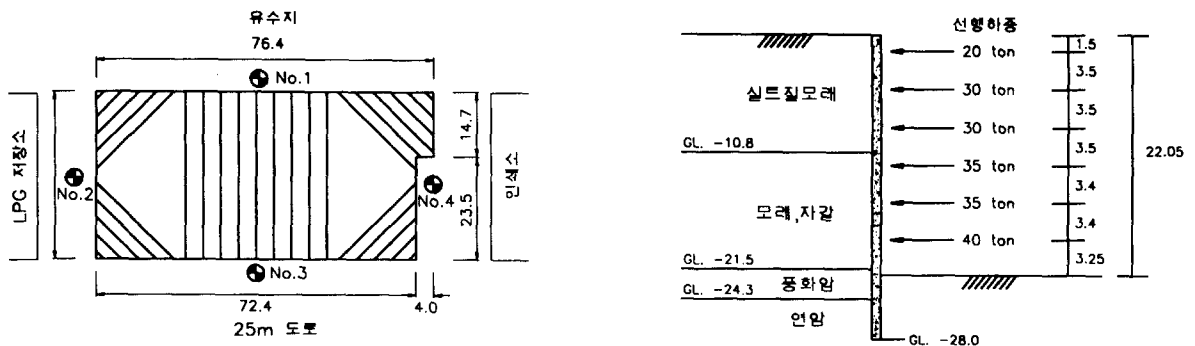


그림 4. 현장의 평면도 및 버팀대 배치도

하여 버팀대 선행하중공법을 적용하고 버팀대(2H-300×300×10×15, C.T.C 4.0m)를 6단으로 축소하여 설계를 변경하였다. 버팀대에 재하한 선행하중의 크기는 1단의 경우에는 버팀대 선행하중공법이 효과를 발휘하기 위한 최소의 하중이 20ton이라는 野尻明美와 近藤貞雄(1973)의 연구 결과에 따라 20ton을 재하하였으며, 2~6단까지는 위치에 따라 설계하중의 26~49%까지 재하하였다. 버팀대에 선행하중을 가한 후 굴착이 진행되면서 4개 위치에서 벽체(두께 800mm, 지중연속벽)의 수평변위를 측정하였다.

4단 버팀대가 설치되는 지하 15m까지 굴착이 진행되는 동안 유수지와 도로 측에서는 지표 부근에서의 벽체 수평변위가 각각 9.80mm와 2.74mm 만큼 배면방향으로 발생하였으며, 전체적으로는 변위 발생이 거의 없다는 것을 알 수 있다(그림 5). 유수지 부근에서 배면방향으로 변위가 크게 발생한 것은 유수지의 표고가 현장의 표고보다 1.5m정도 낮았기 때문으로 판단된다. 그리고 LPG저장소와 인쇄소 측에서는 각각 17.29mm와 14.37mm의 변위가 발생하였으며, 유수지와 도로 측에 비해 이처럼 큰 변위가 발생한 것은 버팀대의 설치형태가 다르기 때문으로 생각된다. 즉 유수지와 도로 측은 직선부재로 시공하여 구조적으로 안정할 뿐 아니라 선행하중의 효과도 제대로 발휘된 반면, 인쇄소와 LPG저장소 측은 경사 버팀대로 시공하므로써 구조적으로 안정성이 좋지 못할 뿐 아니라 벽체에 직각인 방향으로 전달되는 선행하중의 크기도 상대적으로 작았기 때문으로 생각된다.

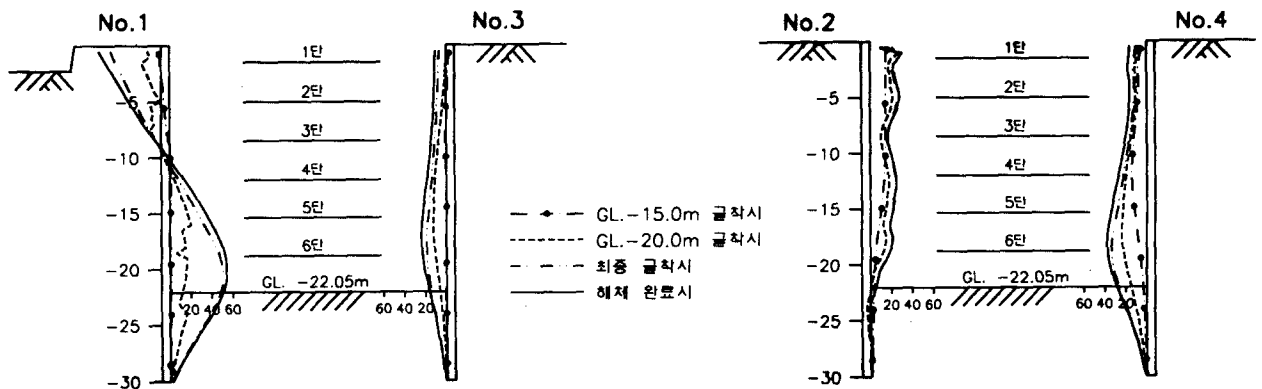


그림 5. 각 단면의 굴착단계별 벽체의 수평변위

4단 버팀대가 설치된 직후 유수지(인접 현장)에서 항타작업이 행해졌으며, 이로부터 1주일만에 유수지측의 변위는 지표면 부근에서 -26.43mm, GL-16m 지점에서 20.13mm으로 증가하였으며, 도로측에서도 변위가 12.61mm로 증가하였다. 그리고 인쇄소와 LPG저장소 측에서도 굴착면 방향 뿐만 아니라 유수지 방향으로도 큰 변위가 발생하였다. 특히 유수지측의 변위가 깊이에 따라 불규칙한 결과를 보이고 있는데, 이러한 현상은 항타에 의해 지반 및 흙막이 구조가 교란되어 변위가 급증했기 때문으로 생각된다. 이것은 이 시점에 현장에서 발생한 변위가 전체적으로 유수지 방향으로 진행되었음을 통해서도 알 수 있다. 이때 인쇄소측에서 발생한 최대 변위는 굴착심도의 0.13%에 해당하는 26.93mm였으며, 이 값은 일반적으로 사질토 지반 및 단단한 점성토 지반에서의 버팀굴착시 발생하는 최대수평변위인 굴착깊이의 0.2~0.5%(Goldberg, 1976)에 비하여 비교적 안정된 결과이다.

굴착이 완료된 상태에서 유수지측의 변위는 지표면 부근에서 -55.85mm이고 GL-20.5m 지점에서 50.57mm였으며 도로측의 최대 수평변위는 19.05mm였다. 그리고 인쇄소와 LPG저장소 측에서는 각각 33.51mm와 29.29mm의 최대 변위를 보였다. 버팀대의 연직 간격을 증가시키고 항타로 인한 악영향이 있었음에도 불구하고 굴착면 방향으로 발생한 최대수평변위가 유수지측의 경우 50.57mm였으며, 이 값은 굴착깊이의 0.23%에 해당하는 값으로 버팀대에 선행하중을 도입하지 않은 일반현장의 경우와 비슷한 값을 보였다. 한편 도로측, 인쇄소측, LPG저장소측은 각각 최대 수평변위가 굴토 깊이의 0.08%, 0.15%, 0.13%로 일반적으로 사질토 지반에서 측정되어 온 값보다 훨씬 작았다. 이와 같이 현장의 시공 조건이 상당히 불량했음에도 불구하고 공사가 성공적으로 끝난 것은 버팀대 선행하중공법이 효과적이었기 때문으로 생각된다.

## 4.2 역삼동 B현장

이 현장은 정면으로는 10m 도로가, 좌우측과 뒤쪽으로는 지하 1층, 지상 4~5층 규모의 건물이 근접하여 위치하고 있다. 굴착깊이는 24.3m이며, 원 설계안은 스크류채를 이용한 버팀대공법을 적용하여 연직 방향 8단의 버팀대로 하는 것이었으나, 버팀대 선행하중공법을 적용하고 버팀대를 7단으로 축소하여 재설계하였다(그림 6). 흙막이 벽체는 두께 800mm의 지중연속벽으로 하였으며 버팀대(2H-300×300×10×15, C.T.C 3.7m)는 경사 부재를 사용하지 않고 띠장과 직교로 설치하였다. 버팀대에 가한 선행하중의 크기는 1단의 경우에는 20ton을 재하했으며(양평동 A현장 참조), 2~7단까지는 위치에 따라 설계하중의 56~74%까지 재하하였다.

굴착이 15.6m까지 진행되었을 때 벽체의 최대 수평변위는 그림 7에 보이듯이 7.22~12.64mm가 발생하였으며, 사무실과 도로측보다는 편의점과 우체국측에서 더 큰 변위가 발생하였다. 이것은 버팀대가 사무실-도로 방향으로 먼저 설치되고, 그 뒤에 편의점-우체국 방향으로 설치되면서 편의점과 우체국측의 벽체가 무지보 상태로 장시간 방치되었기 때문으로 판단된다.

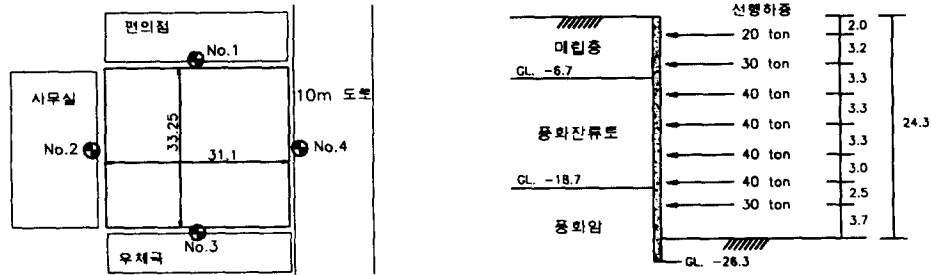


그림 6. 현장의 평면도 및 버팀대 배치도

평면상에서 변위발생 추이를 보면 변위는 4개소 모두 현장 내측을 향하고 있다. 그리고 굴착이 23.0m까지 진행된 시점의 최대 수평변위는 굴착깊이의 0.04~0.09%에 해당하는 9.53~20.49mm였다. 전체적으로 볼 때 기존보다 버팀대의 연직 간격을 다소 증가시켰음에도 불구하고 벽체의 최대수평변위가 굴착깊이의 0.1% 미만으로, 선행하중이 작용하지 않은 유사 현장의 일반적인 값인 굴착깊이의 0.2~0.5%보다 훨씬 작았다.

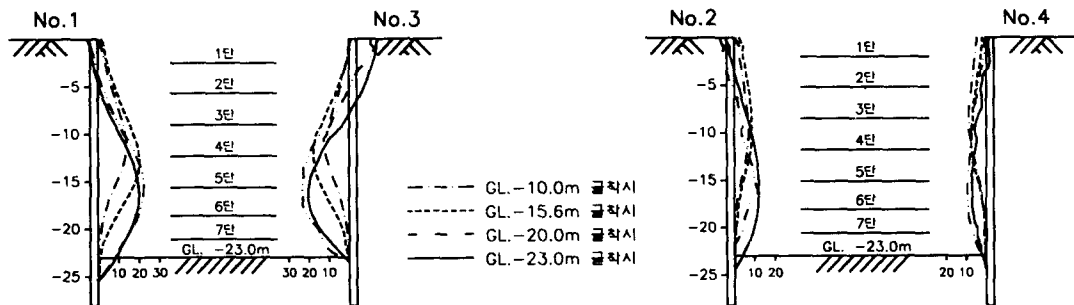


그림 7. 각 단면의 굴착단계별 벽체의 수평변위

## 4.3 신내동 C현장

이 현장은 그림 8과 같이 전면과 후면으로는 25m의 도로와 20층 아파트가 있고 좌측과 우측으로는 10m 도로와 또 다른 현장이 위치하고 있는 곳으로, 굴착에 따른 아파트의 변위 발생을 억제하기 위하여 버팀대 선행하중공법이 도입되었다. 벽체는  $\phi 550$ 의 S.C.W로 이루어져 있으며, 24.6m의 굴착깊이에 8단의 버팀대(2H-300×300×10×15, C.T.C 5.0m)와 1단의 raker로 설계되어 있어 다른 현장보다는 버팀대 간의 연직 간격이 좁은 상태였다. 선행하중은 1~6단까지 설계하중의 62~94%까지 재하했으며, 7~8단과 최하단의 raker는 연암에 위치하고 있어서 선행하중을 가하지 않은 상태에서 시공하였다. 이때 지표

면 부근에서 벽체가 배면방향으로 밀리는 것을 고려하여 1단과 2단의 버팀대에는 다른 현장과 달리 최소 선행하중으로 알려진 20ton보다 작은 10ton과 15ton의 선행하중을 재하하였다.

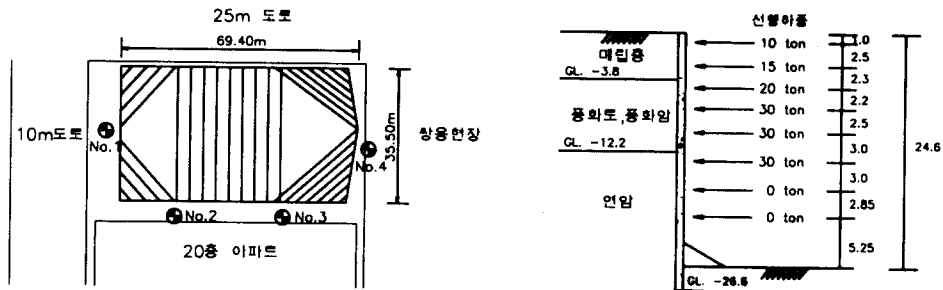


그림 8. 현장의 평면도 및 버팀대 배치도

굴착이 지표로부터 5m까지 진행되었을 때 각 지점의 최대수평변위는 그림 9에 보이는 바와 같이 -2.21~6.66mm로 상당히 작았으나, 굴착이 10m까지 진행되는 동안 최대수평변위는 위치에 따라 굴착깊이의 0.01~0.22%에 해당하는 1.16~22.14mm로 증가하였다. 그 중에서도 20층 아파트가 위치한 No.2 지점은 최대수평변위가 22.14mm로 가장 큰 증가를 보였다. 이것은 20층 아파트의 자중이 상재하중으로 작용하여 변위를 증가시키고 동시에 버팀대가 경사로 설치되므로써 구조적으로 불안정할 뿐 아니라, 벽체에 전달되는 선행하중의 전달이 직선부재에 비해 상대적으로 비효율적이었기 때문으로 생각된다. 그리고 굴착이 16.5m까지 진행되면서 각 지점의 최대수평변위는 5.51~24.61mm까지 약간씩 증가하였으나, 이 변위량은 굴착깊이의 0.03~0.15%에 해당하는 크기로, 버팀굴착시 일반적으로 발생하는 최대수평변위인 0.2~0.5%에 비해 상당히 작은 값이다.

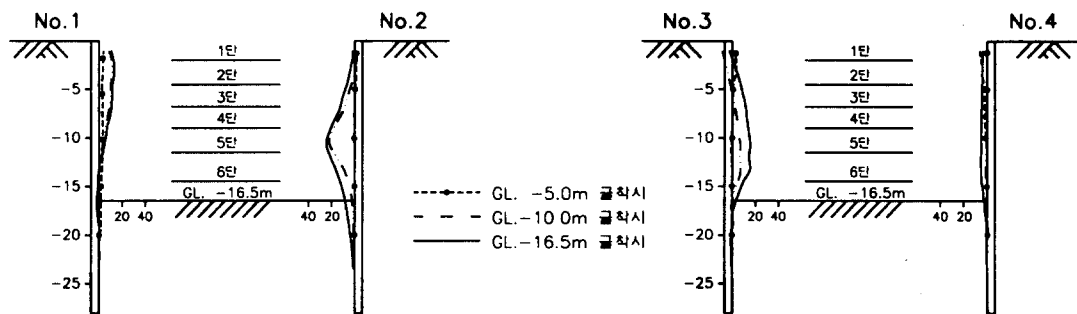


그림 9. 각 단면의 굴착단계별 벽체의 수평변위

전체적으로 볼 때 지표에서 16.5m까지 굴착이 진행되는 동안 아파트의 자중이 상재하중으로 작용한 No.2와 No.3의 수평변위가 다른 지점에 비하여 상대적으로 크게 발생하였으나, 그 크기는 굴착깊이의 0.1~0.15%로 유사 현장에 비하여 상당히 작았다. 이처럼 주변에 자중이 큰 건물이 존재하는 근접시공에서 상대적으로 강성이 작은 S.C.W가 흙막이벽체로 되어 있음에도 버팀대 선행하중공법을 이용하므로써 벽체의 수평변위를 최소화하여 흙막이 구조 및 인접 구조물의 안정성을 확보하면서 공사를 완료할 수 있었다. 따라서 버팀대에 적절한 크기의 선행하중을 가한 경우에는 흙막이벽체의 강성이 비교적 작더라도 굴착에 따른 변위 발생을 충분히 억제시키면서 안전시공을 할 수 있음을 확인하였다.

## 5. 버팀대 선행하중공법의 경제성 분석

국내에서 스크류잭을 이용한 버팀대공법을 적용하여 굴착 공사를 수행하는 경우 일반적으로 버팀대의 수평간격은 2.0~2.5m, 연직간격은 2.5~3.0m 정도인 경우가 많다. 한편 국외의 경우, 연약한 점성토 기반

에서의 굴착 공사시 버팀대의 단면적을 크게 하고 동시에 선행하중을 재하하므로써 버팀대의 수평간격 및 연직간격을 더 넓게 하는 경우도 많다(예: 수평간격 약 3.0m, 연직간격 3.0~5.0m). 즉 국내에서도 굴착공사시 버팀대 선행하중공법을 적절히 적용한다면 현재보다 버팀대의 수평 및 연직간격을 넓게 하면서 흠막이 구조물 및 인접지반의 변위감소는 물론 경제성도 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다(표 1).

표 1. 양평동 A현장의 설계변경

항 목	변경전	변경후	비고
재의 종류	스크류재	선행하중재	-
버팀대 수평간격	4.0m	4.0m	2열 버팀대 사용
버팀대 연직간격	2.6~3.2m	3.4~3.5m	-
버팀대 단수	7단	6단	1단 축소
공사비	-	공사비의 4.63% 절감	공기 단축에 의한 공비 절감 제외
공사 기간	-	20일 단축	

\* 절감된 공사비는 버팀대 7단 설치비와 스크류재 자재비의 합으로부터 버팀대 6단 설치비와 선행하중재의 자재비를 뺀 것임.

## 6. 결론

1. 버팀대 선행하중공법을 서울시내 3개 굴착현장에 적용한 결과, 흠막이벽체에 발생한 최대수평변위는 인접현장의 향타작업에 영향을 받은 특별한 경우를 제외하고는 굴착깊이의 0.03~0.15%로 기존의 버팀대를 이용한 굴착현장의 일반적으로 값인 0.2~0.5%보다 상당히 작은 값을 보였다. 따라서 버팀대 선행하중공법은 흠막이벽체의 변위를 억제하는 데 매우 효과적이라 생각된다.
2. 버팀대 선행하중공법은 흠막이벽체의 변위 억제와 인접 구조물의 안정성 확보에 효과적이므로 굴착 공사시 지반 및 인접 구조물의 변위를 최소화해야 하는 도심지 근접공사에 상당히 효과적인 공법으로 판단된다.
3. 버팀대 선행하중공법의 적용으로 버팀대의 강성이 기존보다 상당히 커지게 되어 버팀대의 설치간격을 넓게 하는 것이 가능하므로, 가설재의 사용량 감소로 인한 공사비 절감은 물론 작업성 향상으로 인한 공기의 단축도 가능할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. 김학문 (1995), "연재특집 : 지반에 관련된 사고사례의 분석과 대책", 토목기술, 제3권, 제5호, pp. 44-72.
2. 스마텍엔지니어링 (1998), "흠막이벽체를 지지하기 위한 선행하중장치 및 그 시공방법", 건교부 신기술지정 신청서, pp. 15-32.
3. 양구승 (1996), "도심지 깊은 굴착시 인접지반 거동에 관한 분석", 공학박사 학위논문, 서울대학교, pp. 147-152.
4. 천일지오컨설팅 (1997), "단계별 지하굴착에 대한 탄소성해석 프로그램 사용법 설명서", pp. 2.10-2.12.
5. 野尻明美, 近藤貞雄 (1973), "近切り工事における切バリプレロード工法", 土ど基礎, No. 771, pp. 27-34.
6. 土質工學會 (1975), "土留め構造物の設計法", 土質基礎工學ライブラリー-II, pp. 242-247.
7. O'Rourke, T. D. (1981), "Ground movements caused by braced excavation", *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 107, No. GT9, pp. 1159-1178.
8. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D. (1990), "Construction induced movements of insitu walls", *Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical special publication*, No.25, ASCE, pp.439-470
9. Palmer, J. H. L. and Kenny, T. C. (1972), "Analytical Study of a Braced Excavation in Weak Clay", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 9, pp. 145-164.