

버팀 굴착시 버팀대 선행하중의 인접지반 변위 억제 효과

Effects of Strut Preloading on the Restraining of
Adjacent Ground Displacement at Braced Excavations

백 규 호*¹

Paik, Kyu-Ho

조 현 태*²

Cho, Hyun-Tae

Abstract

The bracing system using screw jack is not effective for the restraining of adjacent ground displacement, since the screw jack dose not induce sufficient preloading on struts. In order to protect excessive displacement of adjacent ground at braced excavation, new preloading jack was developed in the country. In this paper, the new preloading jack and the measurement results of the lateral displacement of braced wall at three deep excavation sites in Seoul city are introduced. The measurement results showed that the maximum displacements of braced wall are smaller than 0.15% of excavation depth, therefore the wall displacements can be minimized by preloading which is acted on bracing. If the bracing system with new preloading jack is used in braced excavation, it is effective for reducing the cost and period of construction.

요 지

스크류잭은 스트러트에 충분한 선행하중을 가할 수 없기 때문에 스크류잭을 이용한 버팀대공법은 주변지반의 변위를 억제하는데 효과적이지 못하다. 따라서 버팀 굴착시 주변지반의 과도한 변형을 방지하기 위하여 새로운 선행하중잭을 개발하였다. 본 논문에서는 새로 개발된 선행하중잭과 그 장치를 이용하여 시공한 현장 중 3곳에서 측정된 흙막이벽체의 수평변위에 대한 결과를 소개하였다. 현장에서 측정한 결과에 의하면 흙막이벽체의 최대수평변위는 굴착심도의 0.15% 이내로, 스트러트에 가해지는 선행하중에 의하여 최소화될 수 있는 것으로 밝혀졌다. 그리고 경제성 분석을 위하여 스크류잭을 이용한 버팀대공법과 버팀대 선행하중공법에 의한 공비와 공기를 비교한 결과 버팀대 선행하중공법이 공사비와 공사기간의 단축에도 효과적인 것으로 나타났다.

Keywords : braced excavation, bracing system, wall displacement, strut preloading, preloading jack

*1 정회원, 관동대학교 이공대학 토목공학과 조교수

*2 정회원, 스마텍엔지니어링 과장

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 원인으로서는 흙막이벽체의 휨변형이나 이동, 지하수위 저하로 인한 지반의 압밀침하, 흙막이벽체의 토사 유출, 굴착 바닥면에서 보일링이나 히빙 현상의 발생 등을 들 수 있다(김두준, 1998). 여기서 압밀이나 토사유출과 관련된 주변지반의 침하는 차수성 흙막이벽체를 시공하여 어느 정도 억제할 수 있으나, 현재 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 스크류잭을 이용한 버팀대 공법으로는 흙막이벽체의 휨변형에 의한 주변지반의 침하를 억제하는데 한계가 있는 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 현재 외국에서는 버팀대에 일정 크기의 선행하중을 작용시켜서 버팀대 부재들간의 연결부 틈새를 제거하고 흙막이벽체를 배면방향으로 밀어준 후 굴착을 진행하는 버팀대 선행하중공법을 사용하고 있다. 이 공법은 흙막이벽체의 변위 및 주변지반의 침하량 억제에 효과적인 것으로 알려져 있으나, 그 효과가 현장 계측을 통하여 정량적으로 입증된 경우는 많지 않기 때문에 공법의 효과에 대하여 의문을 갖는 경우가 여전히 많은 실정이다. 국내에서도 최근 대심도·대규모의 굴착공사가 진행되면서 일부 현장에서 버팀대 선행하중공법의 필요성이 인식되었지만 그에 따른 적합한 장비의 부재와 시공효과에 대한 불확실성으로 인하여 일반화되지 못하

고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 버팀대 선행하중공법이 국내에서도 효율적으로 사용될 수 있도록 하기 위하여 새롭게 개발한 선행하중잭을 소개하고, 이 장치를 이용하여 시공된 현장 중에서 3개소의 근접시공 사례를 통하여 버팀대 선행하중공법의 흙막이벽체 변위 억제 효과를 정량적으로 규명하고자 한다. 그리고 스크류잭을 이용한 버팀대공법과의 공사비 비교를 통하여 버팀대 선행하중공법의 경제성을 분석하고자 한다.

2. 스크류잭을 이용한 버팀대공법

2.1 스크류잭을 이용한 버팀대공법의 문제점

스크류잭(screw jack)을 이용한 버팀대공법은 버팀대의 한쪽 단부에 설치한 스크류잭을 회전시켜서 버팀대와 흙막이벽체, 그리고 버팀대 부재들간의 연결부 틈새들을 밀착시킴으로써 발견되는 버팀대의 강성에 의해 흙막이벽체의 변위를 억제하는 것으로, 시공이 간편해서 현재 지보공으로 가장 많이 사용되고 있는 공법이다. 그러나 현장의 계측결과에 의하면 스크류잭을 이용하여 버팀대에 5ton 이상의 선행하중을 작용시키는 것은 어려운 것으로 알려져 있다(천일기술단, 1997). 일반적으로 스크류잭은 버팀대의 한쪽 단부에 설치되며 지주말뚝과 버팀대간에 마찰력이 발생하는 점을 고려할 때 이 정도 크기의 선행하중으로는 흙막이벽체의 변위 억제는 물론 각 부재들 간의 연결부 틈새를 폐합시키는 것도 어렵게 된다. 따라서 스크류잭을 이용한 버팀대공법을 흙막이 구조물에 적용할 경우에는 버팀대의 강성이 예상외로 현저히 감소하게 된다.

이러한 버팀대 강성의 저하에 의한 흙막이벽체의 변위 발생을 억제하기 위하여 현장에서는 필요 이상의 버팀대를 설치하므로써 공사비가 상승하게 되고 작업공간이 협소해져서 시공성이 저하되는 것이 현재의 실정이다. 그리고

스크류잭에 의해 버팀대에 도입되는 선행하중의 크기를 정확히 아는 것이 어렵기 때문에 정밀시공이 힘들다는 문제점도 있다.

2.2 스크류잭 이용시 버팀대의 강성

버팀대를 지보재로 이용하는 경우, 버팀대의 강성은 흙막이벽체와 부재의 설치상황, 부재 상호간의 밀착정도 등의 조건에 따라 결정된다. 따라서 버팀대의 강성은 현장의 시공상태에 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 이상강성(ideal stiffness)의 2~4% 정도였다고 보고하였다. 즉, 버팀대를 설치할 때 부재들간의 연결부 틈새가 제거되지 않아서 버팀대의 초기강성은 이상강성보다 훨씬 작게 되며, 굴착이 진행됨에 따라 부재가 축압을 받으면서 부재들간의 연결부 틈새가 폐합되어 최종적으로 버팀대의 강성은 이상강성과 같아지게 된다는 것이다. 물론 이 과정에서 흙막이벽체의 변형은 증가하게 된다.

$$K_{ideal} = \frac{E_b A_b}{L_b} \quad (1)$$

여기서, E_b 와 A_b 는 버팀대의 탄성계수와 단면적을, 그리고 L_b 는 버팀대의 길이를 나타낸다. 그러나 국내에서 흙막이 구조물을 해석할 때 버팀대의 초기강성은 이상강성과 같다고 가정하기 때문에 현장에서 실측한 흙막이벽체의 변위량은 일반적으로 해석결과보다 크게 된다. 일본 토질공학회(1975)의 보고에 의하면 버팀대에 선행하중을 도입하지 않은 경우에는 부재들간의 연결부 틈새로 인하여 설계시 변형량보다 약 20mm 정도의 변형량이 추가적으로 발생한다고 한다. 따라서 과도한 지반변형을 억제하기 위해서는 버팀대의 설치시 초기강성을 증가시킬 필요가 있음을 알 수 있다.

3. 버팀대 선행하중공법

3.1 버팀대 선행하중공법의 필요성

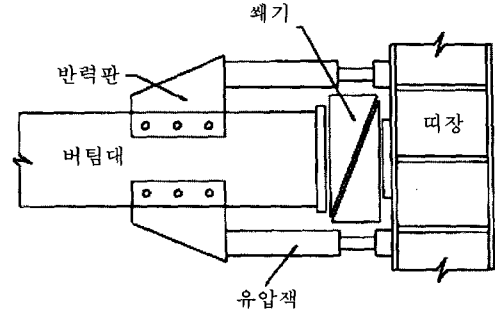
버팀대 선행하중공법은 다음 단계의 굴착에 앞서 버팀대에 선행하중을 재하하여 흙막이벽체를 배면방향으로 밀어주는 방법으로, 버팀대에 축력을 재하하기 위하여 유압잭을 이용함으로써 100톤 이상의 선행하중까지도 손쉽게 정확하게 작용시킬 수 있다. 그 결과 버팀대 부재들간의 연결부 틈새가 완전히 제거됨은 물론 버팀대의 탄성압축량도 줄어들어서 버팀대 및 흙막이 구조물의 강성이 증가하게 되어 흙막이벽체의 변위가 감소하게 된다.

O'Rourke(1981)는 버팀대에 선행하중을 가하지 않은 상태에서 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 단계별 선행하중 하에서 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 되므로 흙막이벽체의 휨변형이 작게 발생하여 흙막이벽체의 수평변위는 감소하게 된다(김학문, 1985). 뿐만 아니라 흙막이 구조물 전체의 강성이 높아져서 버팀대의 수를 줄이는 것이 가능하므로 작업공간이 넓어져서 시공성이 증대되는 효과도 얻을 수 있다.

3.2 버팀대 선행하중공법의 설계

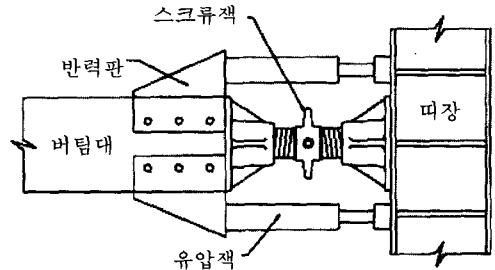
버팀대 선행하중공법에 대한 설계는 2단계로 이루어진다. 1단계에서는 흙막이 프로그램을 이용하여 버팀대에 선행하중을 가하지 않은 상태에서 각 버팀대에 걸리는 축력(혹은 설계하중)을 구하는 것이며, 2단계에서는 1단계에서 구한 설계하중의 일정 비율을 각 버팀대에 가한 후 다시 흙막이 프로그램을 이용하여 흙막이 구조물의 안정성을 확인하는 것이다.



(a) 구미의 방식

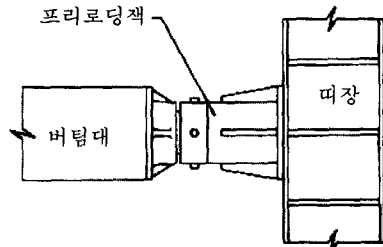
3.3 국내에서 개발된 선행하중잭의 특징

외국에서는 버팀대 선행하중공법의 효율적인 시공을 위하여 각국의 실정에 적합한 시공 장비와 시공법을 개발하여 왔다. 구미의 경우에는 버팀대에 선행하중을 가하기 위하여 그림 1(a)와 같이 버팀대에 유압잭으로 소정의 축력을 작용시킨 후 유압잭이 늘어난 부분에 썰기를 끼워 넣고 유압잭을 제거하는 방법을 사용하였다(Goldberg 등, 1992). 그러나 이 방법은 작업이 번거롭고 유압잭을 제거할 때 버팀대에 작용시킨 선행하중이 손실되며, 설치가 완료된 후에는 썰기가 설치된 곳이 휨모멘트에 대하여 취약하므로 그 부분을 보강해야 하는 문제가 있다.



(b) 일본의 1960년대

일본에서는 1960년대까지 구미의 경우와 동일한 방법을 사용하였으나, 그림 1(b)와 같이 썰기 대신에 스크류잭을 사용함으로써 잭 설치부의 휨모멘트에 대한 취약성을 보완하였다. 그리고 1970년대부터 유압실린더가 내장되고 멈춤나사가 부착된 프리로딩잭이 사용되기 시작하였다(그림 1(c)). 이 장치는 정밀시공이 가능하다는 장점을 갖고 있으나, 잭의 길이조절이 유압실린더의 피스톤 길이에 의해서만 조절되기 때문에 유압실린더의 크기와 중량이 커져서 작업성이 저하되고 잭마다 유압실린더가 내장되므로써 가격도 비싸다는 단점을 갖고 있다.



(c) 일본의 1970년대

그림1. 각국의 선행하중 재하 방식

이러한 문제점을 해결하기 위하여 유압잭의 기능과 스크류잭의 기능을 결합시킨 선행하중잭을 개발하였다. 즉, 잭의 길이조절은 스크류

잭의 기능을 하는 상부몸체에서 담당하고 선행하중의 재하는 유압잭의 기능을 하는 하부몸체에서 담당하도록 하였으며, 잭과 유압실린더의 크기 및 중량을 줄임으로써 작업성이 향상될 수 있도록 하였다. 이러한 선행하중잭을 이용하여 버팀대에 선행하중을 재하하는 것은 4단계에 걸쳐서 행해지게 된다(그림 2). 먼저 1~2단계에서는 버팀대의 단부에 선행하중잭을

부착하고 상부몸체를 이용하여 잭의 길이를 조절한 후 하부몸체에 유압실린더를 삽입하고 소정의 선행하중을 가하게 된다. 그 후에는 3단계로 하부몸체의 멈춤나사를 돌려서 하중을 고정시키고 4단계로 유압실린더를 회수하므로써 작업이 완료된다.

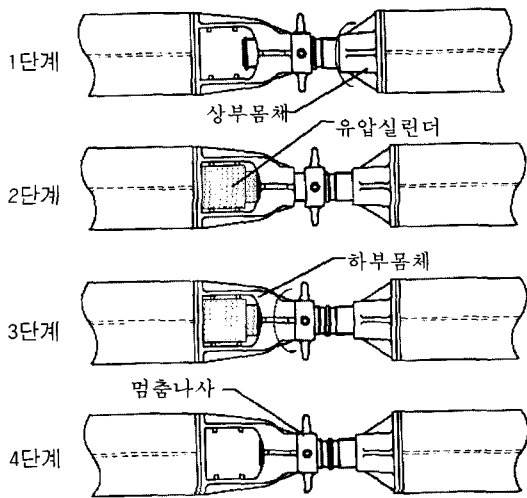


그림 2. 새로운 선행하중잭의 선행하중 재하 방식

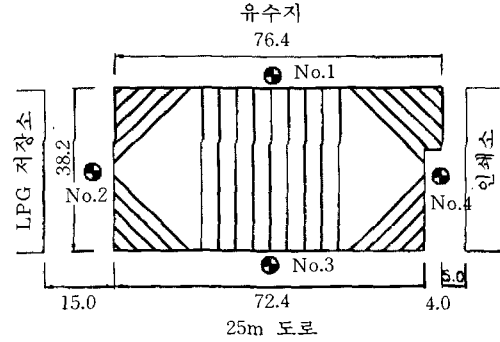


그림 3. A현장의 평면도

15)에 재하한 선행하중의 크기는 1단의 경우에는 버팀대 선행하중공법이 효과를 발휘하기 위한 최소의 하중이 20ton 이라는 野尻明美와 近藤貞雄(1973)의 결과에 따라 설계하중의 69%인 20ton을 재하하였으며, 2~6단까지는 위치에 따라 설계하중의 26~49%까지 재하하였다(그림 4). 버팀대에 선행하중을 가한 후 굴착이 진행되면서 4개 위치에서 벽체의 수평 변위를 측정하였다.

4단 버팀대가 설치되는 지하 15m까지 굴착이 진행되는 동안 유수지와 도로 측에서는 지표 부근에서 변위가 각각 9.8mm와 2.74mm 만큼 배면방향으로 발생하였으며, 전체적으로는 변위 발생이 거의 없다는 것을 알 수 있다(그림 5). 이처럼 도로측보다 유수지측의 변위가

4. 시공사례

4.1 양평동 A현장

이 현장은 그림 3과 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 두께 800mm의 지중연속벽에 스크류잭을 이용한 버팀대공법을 적용하여 버팀대를 7단으로 하는 것이었으나 굴착에 의한 변위로 인하여 LPG저장소와 인쇄소의 피해가 예상됨에 따라 변위 발생을 억제하기 위하여 버팀대 선행하중공법을 적용하고 버팀대를 6단으로 변경하였다. 버팀대(300×300×10×

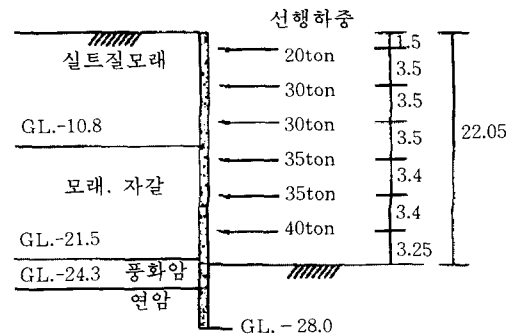


그림 4. A현장의 버팀대 배치도

크게 발생한 것은 실트질 모래층이 도로측보다는 우수지측에서 더 두꺼울 뿐만 아니라 우수지측의 표고가 현장의 표고보다 낮았기 때문으로 생각된다. 그리고 LPG저장소와 인쇄소 측에서는 각각 17.29mm와 14.37mm의 최대수평변위가 발생하였으며, 우수지와 도로 측에 비해 이처럼 큰 변위가 발생한 것은 버팀대의 설치형태가 다르기 때문으로 생각된다. 즉 우수

지와 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 연직된 방향으로 전달되는 선행하중의 크기도 상대적으로 작았기 때문으로 생각된다.

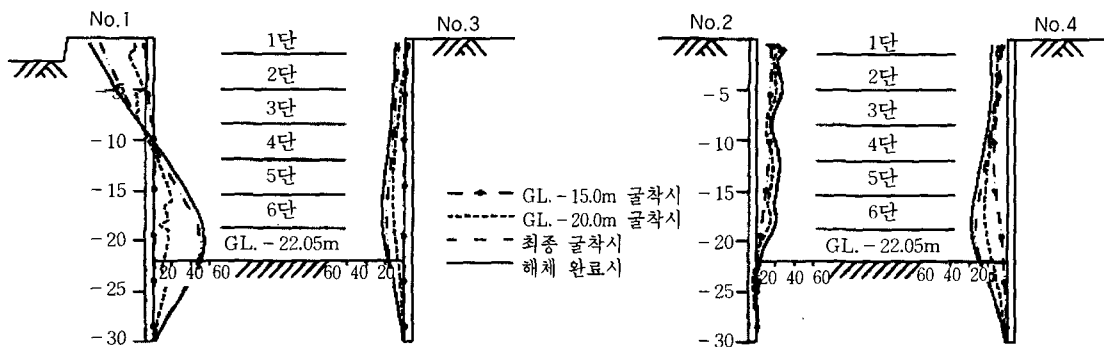


그림 5. 각 지점의 굴착단계별 수평변위(A현장)

4단 버팀대가 설치된 직후 우수지에서 또 다른 공사를 위하여 항타작업이 행해졌으며, 이로부터 1주일 후 굴착이 지하 20m까지 진행되었을 때 우수지측의 변위는 지표면 부근에서 -26.43mm, GL-16m 지점에서는 20.13mm로 증가하였으며, 도로측에서도 최대수평변위가 12.61mm로 증가하였다. 그리고 인쇄소와 LPG저장소 측에서도 굴착면 방향 뿐만 아니라 우수지 방향으로도 큰 변위가 발생하였다. 특히 우수지 측의 변위가 깊이에 따라 불규칙한 양상을 보이고 있으며, 이러한 현상은 항타에 의해 지반이 교란되어서 변위가 급증했기 때문으로 생각된다. 이것은 이 시점에 현장에서 발생한 변위가 전체적으로 우수지 방향으로 진행되었음을 통해서도 알 수 있다. 그리고 도로측보다는 우수지측의 변위가 더 큰 것은 위에서 언급한 지반조건의 차이 외에도 굴착

이 진행되는 중에 우수지에서 행해진 항타로 인한 지반의 교란정도가 우수지측에서 더 컸기 때문으로 생각된다. 이때 최대수평변위는 인쇄소 측에서 발생하였으며, 그 크기는 굴착심도의 0.13%에 해당하는 26.93mm였다.

굴착이 완료된 상태에서 우수지측의 변위는 지표면 부근에서 -55.85mm이고 GL-20.5m 지점에서 50.57mm였으며 도로측의 최대수평변위는 19.05mm였다. 그리고 인쇄소와 LPG저장소 측의 최대수평변위는 각각 33.51mm와 29.29mm의 변위를 보였다. 버팀대의 수직간격을 증가시키고 항타로 인한 악영향이 있었음에도 불구하고 굴착면 방향으로 발생한 최대수평변위는 우수지 측의 50.57mm(굴착심도의 0.23%)에 불과하였다. 이와 같이 현장의 시공조건이 상당히 불량했음에도 불구하고 시공이 성공적으로 끝난 것은 버팀대 선행하중공법이

적용되었기 때문으로 생각된다.

4.2 역삼동 B현장

이 현장은 정면으로는 10m 도로가, 좌우측과 뒤쪽으로는 지하 1층, 지상 4~5층 규모의 건물이 근접하여 위치하고 있다(그림 6).

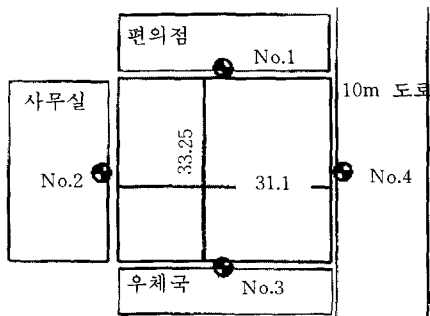


그림 6. B현장의 평면도

굴착깊이는 24.3m이며, 원 설계안은 스크류 잭을 이용한 버팀대공법을 적용하여 8단의 버팀대로 하는 것이었으나 버팀대 선형하중공법을 적용하고 버팀대를 7단으로 줄이도록 재 설계되었다(그림 7). 변위를 최소화하기 위하여 벽체는 두께 800mm의 지중연속벽으로 하였으며 버팀대는 경사부재를 사용하지 않고 직교로 거치하였다. 버팀대(300×300×10×15)에 가한 선형하중의 크기는 1단의 경우에는 설계하

중의 117%인 20ton을 재하했으며, 2~7단까지는 위치에 따라 설계하중의 56~74%까지 재하하였다.

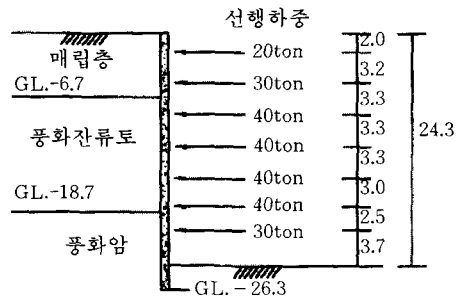


그림 7. B현장의 버팀대 배치도

굴착이 15.6m까지 진행되었을 때 벽체의 최대수평변위는 그림 8에 보이듯이 굴착깊이의 0.05~0.13%에 해당하는 7.22~12.64mm가 발생하였으며, 사무실과 도로 측보다는 편의점과 우체국 측에서 더 큰 변위가 발생하였다. 이것은 버팀대가 사무실-도로 방향으로 먼저 설치되고, 그 뒤에 편의점-우체국 방향으로 거치되면서 편의점과 우체국 측의 벽체가 무지보 상태로 장시간 방치되었기 때문으로 생각된다. 그리고 굴착이 23.0m까지 진행된 시점의 최대수평변위는 굴착깊이의 0.04~0.09%에 해당하는 9.53~20.49mm였다. 전체적으로 볼 때 기존보다 버팀대의 수직간격을 다소 증가시켰음

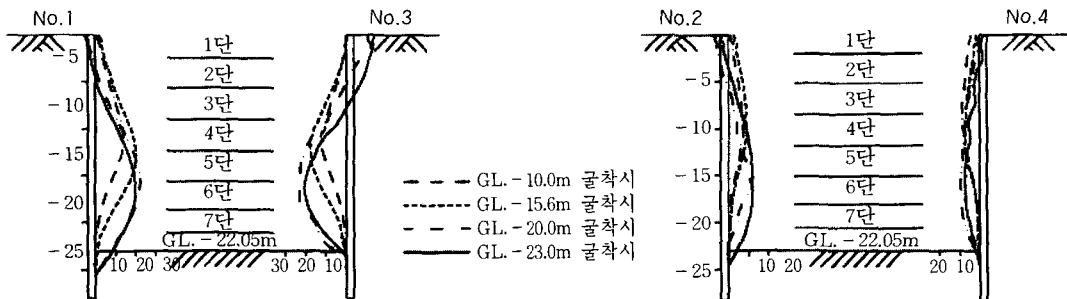


그림 9. 각 지점의 굴착단계별 수평변위(B현장)

에도 불구하고 벽체의 최대수평변위가 굴착심도의 0.09%에 해당되는 20.49mm로 매우 작았다.

4.3 신내동 C현장

이 현장은 그림 9와 같이 전면과 후면으로는 25m의 도로와 25.4 t/m²의 자중을 갖는 20층 아파트가 있고 좌측과 우측으로는 10m 도로와 또 다른 현장이 위치하고 있는 곳으로, 굴착에 따른 아파트의 변위발생을 억제하기 위하여 버팀대 선형하중공법이 도입되었다.

벽체는 $\phi 550$ 의 SCW로 이루어져 있으며, 24.6m의 굴착깊이에 8단의 버팀대(300×300×10×15)와 1단의 래커(raker)로 설계되어 있어 다른 현장보다는 버팀대간의 간격이 좁은 상태였다. 선형하중은 그림 10에 보이는 바와 같이 1~6단까지는 설계하중의 62~94%까지 재하

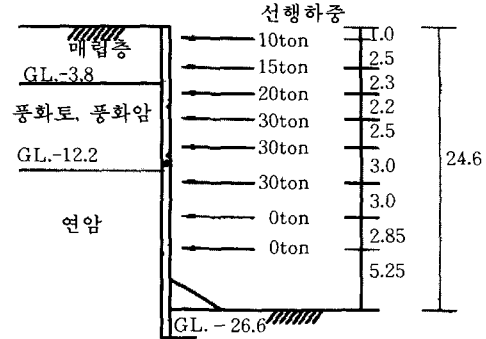


그림 10. C현장의 버팀대 배치도

했으며, 7~8단과 최하단의 래커는 연암에 위치하고 있어서 선형하중을 가하지 않은 상태에서 시공하였다. 이때 지표면 부근에서 벽체가 배면방향으로 밀리는 것을 방지하기 위하여 1단과 2단의 버팀대에는 다른 현장과 달리 최소 선형하중으로 알려진 20ton보다 작은 10ton과 15ton의 선형하중을 재하하였다.

굴착이 지표로부터 5m까지 진행되었을 때 각 지점의 최대수평변위는 그림 11에 보이는 바와 같이 -2.21~6.66mm로 상당히 작았으며, 지표면 부근에서 배면방향으로 발생하는 수평변위의 크기도 상당히 줄어들었다. 이것은 A, B현장과는 달리 1, 2단의 버팀대에 상대적으로 작은 크기의 선형하중을 가했기 때문으로 판단된다. 굴착이 10m까지 진행되는 동안 최대수평변위는 위치에 따라 1.16~21.14mm로

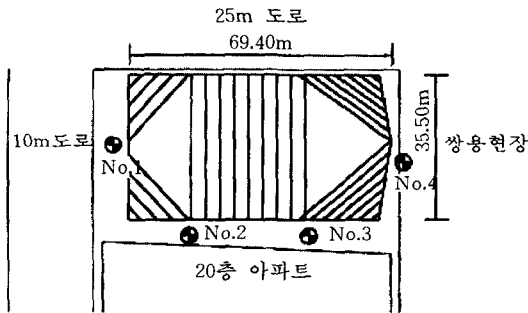


그림 9. C현장의 평면도

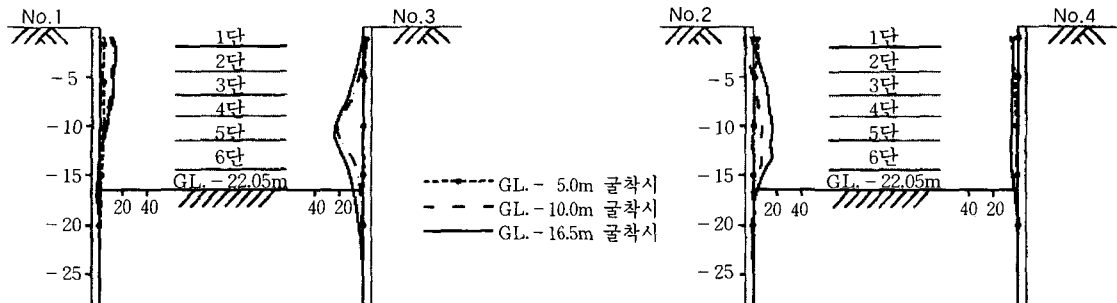


그림 11. 각 지점의 굴착단계별 수평변위(C현장)

크게 증가하였으며, 그 중에서도 20층 아파트가 위치한 No.2 지점은 최대수평변위가 21.14mm로 가장 큰 증가를 보였다. 이것은 20층 아파트의 자중이 상재하중으로 작용하여 변위를 증가시키고 동시에 버팀대가 경사로 설치되므로써 구조적으로 불안정할 뿐 아니라 벽체에 전달되는 선행하중의 전달크기가 직선부재에 비해 상대적으로 작았기 때문으로 생각된다. 그리고 굴착이 16.5m까지 진행되면서 각 지점의 최대수평변위는 전 단계보다 약간 증가한 5.51~24.61mm로 굴착심도의 0.03~0.15%에 불과하였다. 특히 지표로부터 16.5m까지 굴착이 진행되는 동안 No.2와 No.3 지점의 수평변위는 지하 13m 부근에서 급격한 변화를 보이는데, 이것은 GL.-12.2m부터 연암층이 존재하기 때문으로 생각된다.

이처럼 주변에 자중이 큰 건물이 존재하는 근접시공에서 상대적으로 강성이 작은 SCW가 흠막이벽체로 사용되었음에도 버팀대 선행하중공법을 이용하므로써 벽체의 수평변위를 최소화하면서 공사를 완료할 수 있었다. 따라서 버팀대에 적절한 크기의 선행하중을 가한 경우에는 흠막이벽체의 강성이 비교적 작더라도 벽체의 변위발생을 충분히 억제시켜서 안전시공을 할 수 있음을 알 수 있었다.

5. 버팀대 선행하중 공법의 변위 억제 효과

버팀대 선행하중공법의 주변지반 변위 억제 효과를 정량적으로 규명하기 위하여 국내에서 개발된 선행하중책을 이용하여 버팀대 선행하중공법을 시공한 3개의 굴착현장에 대하여 굴착심도별 최대수평변위를 조사하였다. A현장의 경우 지하 15m까지 지반이 굴착되는 동안 벽체에 발생한 최대수평변위는 모두 굴착심도의 0.12%보다 작았으나 인접현장에서 항타작업이 행해진 이후로는 벽체의 최대수평변위가 굴착심도의 0.23%까지 증가하였다. 그리고 B현장의 경우에는 굴착이 지하 23.0m까지 진행되는 동안 각 굴착깊이마다 발생한 최대수평변

위는 모두 굴착심도의 0.13%보다 작았으며, C현장의 경우에도 20층 아파트가 상재하중으로 작용하였음에도 불구하고 벽체의 최대수평변위는 대부분의 굴착단계에서 굴착심도의 0.15% 이내로 나타났다. 즉 항타로 인하여 흠막이벽체의 변위가 급증한 경우를 제외하면 버팀대 선행하중공법을 적용한 현장의 최대수평변위는 대부분 굴착심도의 0.15% 이내에 존재하였다. 이것은 버팀굴착시 발생하는 최대수평변위의 일반적인 값인 굴착심도의 0.2~0.5%(Clough와 O'Rourke, 1990; Ou 등, 1993)에 비하여 매우 작은 값으로, 버팀대 선행하중공법이 타공법에 비하여 주변지반의 변위 억제에 매우 효과적임을 알 수 있게 한다.

6. 버팀대 선행하중 공법의 경제성 분석

국내에서 시행된 버팀대 선행하중공법의 경제성을 분석하기 위하여 버팀대에 선행하중을 도입하면서 표 1과 같이 설계를 변경하여 시공한 A현장에 대하여 설계변경 전후의 공비과 공기를 비교하였다. 시공을 완료한 결과 벽체의 변위를 최대한 억제하면서도 공기는 22%(20일)가 단축되었으며, 공기단축으로 인한 공사비 절감을 제외하고도 설계 변경전 공사비의 4.73%에 해당하는 공사비를 절감할 수 있었다.

따라서 적절한 설계와 시공이 행해진다면 버팀대 선행하중공법의 적용으로 벽체의 변위를 최소화하면서도 현재보다 버팀대의 수평 및 수직간격을 넓게 함으로써 굴착공사의 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다.

표 1. A현장의 설계변경 내역

항 목	변경전	변경후
선행하중 재하방법	스크류잭	선행하중잭
버팀대 수평간격	2.0m	2.0m
버팀대 수직간격	2.6~3.2m	3.4~3.5m
버팀대 단수	7단	6단
공사비	-	4.73% 절감 ^{*)}
공기	-	약 22% 단축

6. 결 론

버팀대 선행하중공법이 인접지반의 변위 억제에 미치는 효과를 알아보기 위하여 3개의 근접시공 현장에서 측정된 흙막이벽체의 수평변위를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 버팀대 선행하중공법을 굴착현장에 적용한 결과 흙막이벽체에 발생한 최대수평변위는 대부분 굴착심도의 0.15% 이하로 나타났으며, 기존의 버팀대공법을 적용한 굴착현장의 일반적인 수치인 굴착심도의 0.2~0.5%보다 상당히 작았다. 따라서 타공법에 비하여 버팀대 선행하중공법은 흙막이벽체의 변위를 억제하는 데 매우 효과적인 것으로 나타났다.

(2) 버팀대 선행하중공법의 적용으로 버팀대의 강성이 기존보다 상당히 커지게 되서 버팀대의 설치간격을 넓게 하는 것이 가능하므로 가설재의 사용량 감소로 인한 공사비의 감소는 물론 작업성 호전으로 인한 공기의 단축도 가능한 것으로 나타났다.

(3) 버팀 굴착을 행하는 현장에 향타나 발파로 인한 진동이 전달되는 경우에는 진동으로 인하여 지반이 교란되기 때문에 흙막이벽체의 수평변위가 급격히 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 굴착현장 주변에서 지반에 진동을 유발시키는 작업이 행해지는 경우에는 흙막이벽체의 변위 발생에 각별히 유의해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김두준(1998). 토류벽 설계와 계측. 도서출판 새론, 서울, pp. 289-293.

2. 김학문(1995), "연재특집 : 지반에 관련된 사고사례의 분석과 대책", 토목기술, 제3권, 제5호, pp. 44-72.
3. 양구승(1996), "도심지 깊은 굴착시 인접지반 거동에 관한 분석", 박사학위논문, 서울대학교, pp. 147-152.
4. 천일지오컨설턴트(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", 土と基礎, 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-II), pp. 242-247.
7. Clough, G. W. and O'Rourke, T. D.(1990), "Construction Induced Movements of In-situ Walls", Proceedings of Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE Special Conference, New York, pp. 439-470.
8. Goldberg, D. T., Jaworski, W. E. and Gordon, M.D.(1992), Earth Support Systems & Retaining Structures, A Pile Buck, pp. 249-254.
9. O'Rourke, T. D.(1981), "Ground Movements Caused by Braced Excavation", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 107, No. GT9, pp. 1159-1178.
10. Ou, C., Hsieh, P. and Chiou, D.(1993), "Characteristics of Ground Surface Settlement during Excavation", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 30, pp. 758-767.
11. 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.

(접수일자 1998. 9. 2)