

# 층고절감형 거더를 이용한 영구 스트러트 공법

## Strut as a Permanent System using Composite Beams

홍원기\*                      박선치\*\*                      김진민\*\*\*                      이호찬\*\*\*\*  
 Hong, Won-Kee              Park, Seon-Chee              Kim, Jin-Min              Lee, Ho-Chan

### Abstract

Sheathing work used for excavation in a crowded downtown is generally a temporary strut method using H-piles and sheathing wall includes lagging, CIP, SCW or slurry wall.

A temporary strut serving the support for sheathing wall acts to resist the earth pressure, but it shall be removed when installing the underground structure members. A traditional temporary strut might cause the stress imbalance of the sheathing wall when it is demolished, resulting in time extension and the risk of collapse. A traditional temporary strut method thus needs to be improved for schedule and cost reduction, risk mitigation and for preparation for potential civic complaint. A permanent strut method doesn't require installing and demolishing the temporary structure that will lead to reducing the time and cost and the structural risk during the demolition process. And given the girder, the part of the underground structure, serves the role of strut, it can secure the wider interval compared to the traditional method, which enables to secure the wider space for the convenience of excavation as well as enhance the constructability and efficient site management.

The thesis was intended to study the composite girder designed to use the strut as permanent structure so as to reduce the excavation and floor height.

키워드: 흙막이 벽, 스트러트, 굴토, 공사비, 공사기간

Keywords : earth retaining wall, strut, excavation, construction cost, construction period

### 1. 서론

최근 도심지에서 고층 구조물의 축조 및 재개발에 의한 건축물의 축조가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 도심지 내에서의 건축물 축조는 주로 주변 건물과의 근접 시공과 지하 공간을 최대한 확보하기 위한 굴착이 선행된다. 특히 지하부의 굴착시 주변 건물의 피해를 최소화하기 위하여 지반에 대한 안정이 고려되어야 한다.

현재 도심지내 지하 굴착공사에서 사용되는 흙막이 지지방법은 대부분 H-PILE을 이용한 가시설 스트러트 공법이 사용되고 있으며 흙막이 벽은 토류판, CIP(Cast in Place), SCW(Soil Cement Wall) 및 Slurry Wall등을 이용한다.

기존에 사용된 흙막이 벽의 버팀대 역할을 하는 가시설 스트러트는 토압을 저항하는 역할을 수행하지만 지하 구조 부재의 설치시 제거되어야 한다. 재래식 가설 스트

러트는 해체시 흙막이 벽의 응력 불균형을 유발하며 설치 및 해체에 따른 공사기간 증대와 해체시의 붕괴 가능성을 내포하고 있다. 또한 재래식 가설 흙막이 벽은 해체 작업시 흙막이 벽에 응력 불균형 현상에 따른 민원이 발생하고 주변 지반의 안정성을 저해하는 단점 및 원가절감의 기회가 상실되는 단점을 가지고 있다. 따라서 기존의 재래식 가설 스트러트 공법은 공기단축 및 공비 절감, 위험 발생 억제 및 민원 발생에 대하여 개선이 필요하다. 최재원 등은 PS 띠장을 이용한 버팀대식 흙막이 공법의 적용 사례분석<sup>1)</sup>을 하였으며 홍원기 등은 구조물 겸용 흙막이 스트러트 공법<sup>2)</sup>에 대하여 연구하였다. 이러한 연구는 스트러트의 해체 작업이 없이 본 구조물로 이용하는 공법으로 철골 스트러트에 해당되는 공법이다.

현재 주로 사용되고 있는 본 구조물 겸용 가설 스트러트(SPS: Strut as a permanent System) 공법은 기존의 스트러트를 가설재로서 사용하지 않기 때문에 해체하지 않고 본 구조물로 사용하는 공법이다. 영구 구조물로 사용되는 스트러트 공법은 재래식 가설 스트러트 지지공법 시공 시 행하여지는 가설재의 설치공정과 해체공정이 생략되기 때문에 공기단축의 효과와 해체시 발생하는 구조적인 문제점 해결 및 공비 절감의 효과가 발생하는 공법이다. 또한 건물 지하부의 구조체인 보가 스트러

\* 주저자, 경희대학교 건축공학과, 부교수  
 \*\* 교신저자, 경희대학교 대학원 박사과정 (pscgogo@khu.ac.kr)  
 \*\*\* 경희대학교 대학원 석사과정  
 \*\*\*\* (주) MCS Tech. 대표이사

트 역할을 하기 때문에 재래식 스트러트 공법에 비하여 간격이 넓다. 따라서 굴토시에 이용되는 작업공간의 확보가 용이하여 시공성을 높일 수 있으며 작업장의 유지 관리가 개선된 공법이다.

본 연구에서는 구조물 겸용 가설 스트러트(SPS) 공법을 개선하여 본 구조물로 사용되는 스트러트를 층고 절감형 거더로 대체하는 공법으로서 기존 공법의 장점과 더불어 지하부 굴토량 감소, 층고 절감에 따른 공사기간 단축과 공사비용 절감 등의 장점을 추가한 공법에 대하여 연구하였다.

## 2. 기존 흠막이 지지 방식

토류벽을 설치한 후 토사의 붕괴를 방지하기 위하여 설치하는 흠막이 지지방식은 그림1과 같이 분류된다.

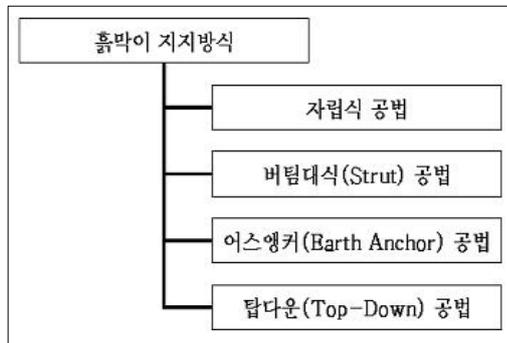


그림 1. 흠막이 지지방식

### 2.1 자립식 공법

버팀대, 락킹 및 앵커(긴장재) 등의 지지구조를 가설하지 않고 흠막이벽 자체로 토류벽의 휨 저항 및 근입부분 지반의 횡저항에 의한 토압을 부담시키고 굴착을 진행하는 공법이다. 자립식 공법은 굴토 깊이가 낮고 규모가 작은 경질지반에 주로 사용되며 연약지반에서는 근입장을 길게 설치해야 한다. 경질지반과 같은 자립성이 큰 지반에서는 5~6m 이내로 설치할 수 있으며 연약지반에서는 3~4m 이내로 설치해야 한다. 규모가 작은 현장에서는 버팀대가 없으므로 기계 굴착이 가능하고 공기단축이 가능하지만 벽체의 변형과 주변 지반의 침하가 예상되므로 도심지내에서의 채택은 한계가 있다.

### 2.2 버팀대식(Strut) 공법

부지 외곽에 토류벽을 설치한 다음 중앙에 기둥을 설치하고 단계별로 굴착을 하여 버팀대와 락킹 등의 지지구조로 지지한 후, 다음 굴착을 진행해 가는 공법으로 가장 많이 사용된 공법이다. 버팀대식 공법은 가장 일반적인 공법으로 적용성이 넓고 배면 부위 보강이 쉽다. 단, strut의 간격이 조밀하여 굴착이 불편하며 가시설의 설치와 해체의 공사기간 증대, 공사비 증대 및 토압에 대한 응력 불균형으로 인한 안정성 저하 등의 단점이 있다. 또한 대지가 넓을수록 부재의 좌굴에 유의하여야 한다. 재

래식 가설 스트러트 공법인 버팀대식 공법의 경우 지하 굴토시 굴토면의 토압 저항을 위해 흠막이 벽과 함께 시공되는 가설 스트러트의 시공을 위해 H-PILE로 된 기둥 파일(post pile)을 먼저 선시공하며 그림2의 버팀대식 시공 개념도에서 확인된다.

재래식 가설 스트러트 공법은 굴토와 동시에 미리 설치된 기둥 파일에 스트러트를 시공하며, 이때 스트러트의 층고 및 간격은 일반적으로 2~3m 이내로 설계시에 결정되고 기초 바닥까지 굴토한 후에 기초를 설치하게 된다. 이후 지하 최하층부터 미리 설치된 스트러트를 해체하면서 보 구조체인 기둥, 보 및 슬래브를 지상층까지 시공하는 방법이다.

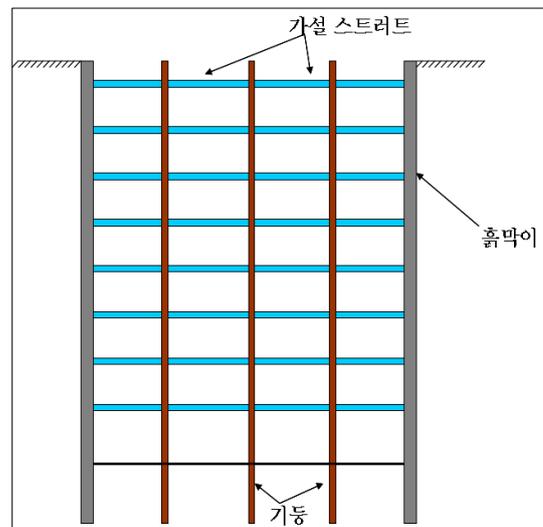


그림 2. 버팀대식(Strut) 공법 시공 개념도

### 2.3 어스앵커(Earth Anchor) 공법

어스앵커 공법은 버팀대 대신에 강선을 사용하여 토류벽을 지지하는 공법으로 굴착 주변 지반에 앵커재를 정착하고 콘크리트를 주입하여 고정시키는 방식으로 강선의 인장내력으로 토압 및 수압 등의 외력을 지지하는 구조이며 앵커를 정착시킬 수 있는 지반이 있을 경우에 사용된다.

어스 앵커 공법의 장점으로는 지보공이 불필요하여 깊은 굴착의 strut 공법보다 경제적이다. 또한 넓은 작업장 확보로 인한 기계화 시공이 가능하고 부분굴착이 가능할 뿐만 아니라 시공중 지반 변화에 따른 설계변경이 용이하고 굴착시 공기 단축이 가능하다. 어스 앵커 공법의 단점으로는 주변 대지의 사용에 대하여 민원인의 동의가 필요하며 정착 부위의 토질이 불확실한 경우에는 붕괴위험이 수반되며 지하수위가 높은 경우에는 시공중 지하수위 저하의 우려가 있다. 따라서 어스 앵커 공법을 채택할 경우, 토질 조사를 충분히 하여야 하며 시간의 변화에 따라 앵커의 인장력이 감소할 수 있으므로 앵커재의 인발력은 하나 하나 측정을 하고 주변의 상하수도, 전선, 가스관 등의 매설 유무를 확인하여야 한다. 어스 앵커 공법의 설치로는 엄지말뚝(H-Pile)이나 콘크리트 등을 일정한 깊

이까지 수직으로 박아 어미말뚝을 설치하고 설치된 어미말뚝이 견딜 수 있는 정도로 굴토를 한 후 띠장을 설치한다. 띠장을 설치하고 어스드릴로 구멍을 뚫고 PC강선을 넣은 후 콘크리트로 그라우팅한다. 마지막으로 앵커를 긴장시켜 띠장에 정착시킨다. 하나의 과정이 끝난 후, 다시 띠장을 설치하고 앵커재를 삽입하는 과정을 반복하면서 굴토를 진행하는 방법이다. 이러한 방법은 고강도 강재인 강선을 사용하여 프리스트레스를 가하는 것이 특징으로 그림3은 앵커재를 설치한 개념도이다.

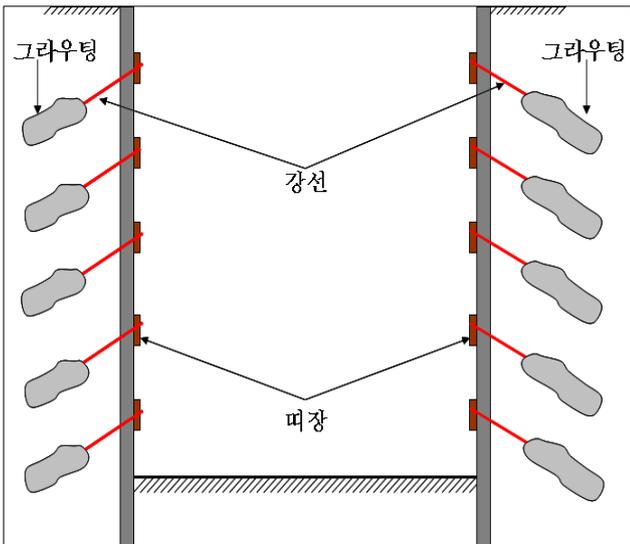


그림 3. 어스 앵커 설치 개념도

**2.4 탑다운(Top-Down) 공법**

역타공법의 지지구조는 지하 연속벽(Slurry wall)을 먼저 설치하고 기둥과 보를 구축하여 1층부분의 슬래브를 설치한 후, 이를 지지구조로 사용하여 터파기와 지상층 구조물 축조를 병행하는 공법으로 토류벽에 직접 걸리는 토압 및 수압을 부담시켜서 굴착을 진행해 가는 방법이다. 탑다운 공법은 도심지나 공사여건이 열악한 부분에서 주로 사용되는 공법이다.

탑다운 공법의 장점으로는 주변 건물과 지반에 악영향이 없는 안정적인 방법이며 지상과 지하를 동시에 작업할 수 있기 때문에 공기단축이 가능하고 1층 바닥판을 작업장으로 활용 가능, 지하부의 작업은 우천시 및 동절기와 관계없이 전천후 작업이 가능하고 도심지내에서 소음과 진동 및 분진의 피해가 감소된다. 또한 흠막이의 안정성이 우수하다.

단점으로는 소형의 고성능 장비가 필요하고 설계변경이 곤란하며 정밀한 시공 계획 수립이 요구된다. 또한 지하부의 시공시 환기와 전기설비가 필수적이며 수직부재와의 일체화 시공이 어려우며 공사비가 상대적으로 고가이다. 그림4와 그림5는 탑다운(Top-Down) 공법의 시공 개념도와 시공 순서도를 나타낸 그림이다.

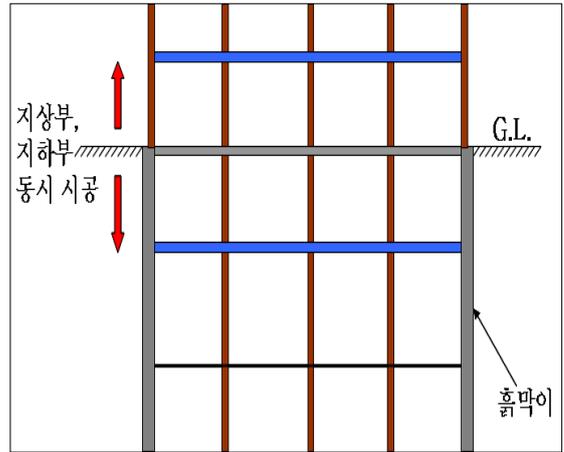


그림 4. 탑다운(Top-Down) 공법 시공 개념도

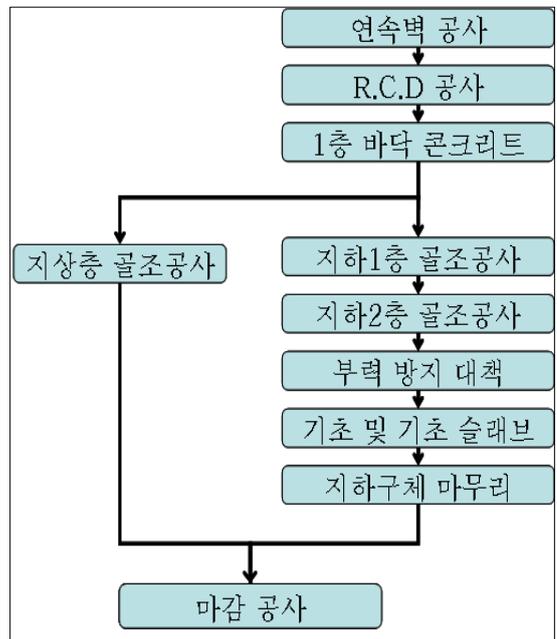


그림 5. 탑다운(Top-Down) 공법 시공 순서도

**3. 층고 절감형 스트러트 공법**

층고 절감형 거더를 이용한 영구 스트러트 공법은 스트러트를 본 구조물로 이용하는 방법과 함께 지하부에 층고 절감형 거더를 사용하여 지하부 굴토시 굴토량을 감소시키고 공기단축을 가능하게 하는 공법이다.

층고 절감형 거더는 공장에서 제작되는 PC형 부재로서 기존의 철골로 제작되는 스트러트에 비하여 층고가 절감되는 합성보이다. 기존의 철골로 제작되는 스트러트는 내화 피복을 위하여 뿔칠을 하거나 콘크리트를 타설해야 한다. 따라서 콘크리트 타설시에 거푸집이 사용되고 그에 따라서 서포트가 사용된다. 층고 절감형 거더는 공장에서 미리 제작되기 때문에 내화 피복이 되어 있는 상태이며 지하부에서 슬래브와 함께 기둥-보 접합부의 콘크리트

타설에 의해 일체화 된다. 또한 콘크리트는 스트러트에 전달되는 토압에 대하여 압축력으로 저항하는 시스템이다. 층고 절감형 거더는 거푸집이 필요가 없으며 서포트 또한 필요가 없기 때문에 지하부 시공시 작업공간의 확보가 용이하며 공사기간을 단축할 수 있는 합성보이다. 그림 6과 그림 7은 기존 철골 구조 시스템과 층고 절감형 구조 시스템을 비교한 그림이다. 기존 철골 구조 시스템은 철골 단일 재료로 철골 물량이 층고 절감형 구조 시스템보다 상대적으로 증가 하며 내화 피복이 필수적인 구조 시스템이다. 층고 절감형 구조 시스템은 RC의 장점과 철골의 장점을 가지고 있으며 RC가 내화피복 역할을 한다. 슬래브가 RC의 상부에 위치하여 철골 플랜지의 상부가 슬래브로 이동함으로써 층고 절감의 효과가 있다. 층고 절감형 구조시스템은 철골 기둥 뿐만 아니라 RC, SRC 기둥에도 적용 가능한 구조시스템이다. 기존 철골 구조시스템의 경우 슬래브와 보의 공간이 690mm가 소요되는 반면에 층고절감형 합성보는 철골보가 슬래브에 포함되고 슬래브가 RC위에 설치되기 때문에 470mm로 층당 약 20cm의 층고 절감 효과와 굴토량 절감 효과가 있다.

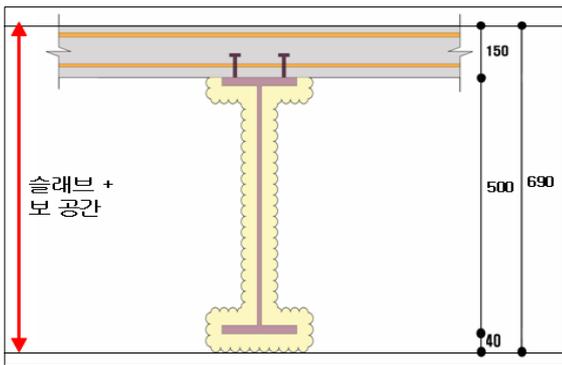


그림 6. 기존 철골 구조 시스템

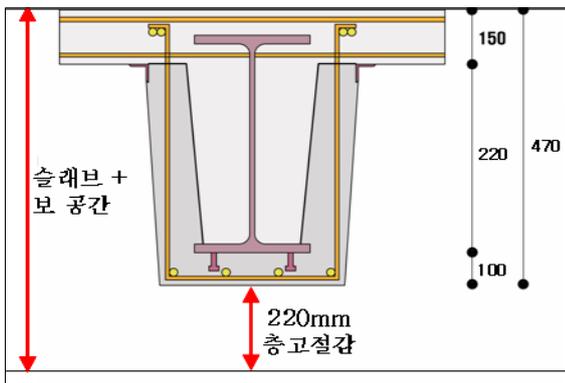


그림 7. 층고 절감형 구조 시스템

그림 8은 지하부 시공시 기둥에 층고 절감형 거더를 설치한 그림으로 철골 기둥과 볼트접합에 의하여 연결된다.

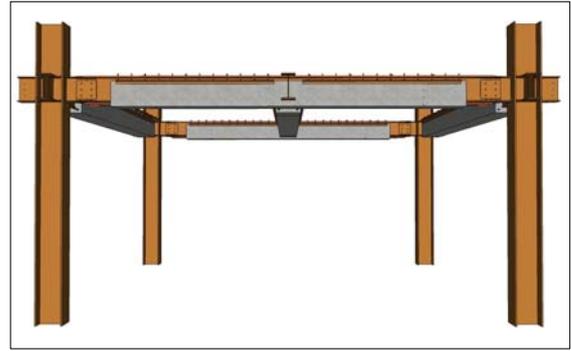


그림 8. 층고 절감형 거더의 설치

### 3.1 층고 절감형 스트러트 공법 시공 순서도

층고 절감형 스트러트 공법의 시공 순서도로서 그림 9는 부지의 외곽에 흙막이 벽을 굴착 저면까지 설치한다.

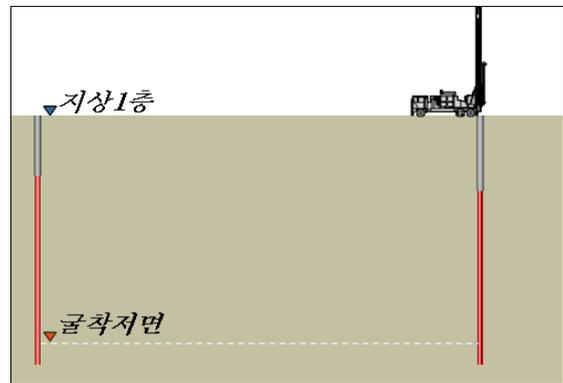


그림 9. 흙막이 벽체 시공 (step 1)

그림 10과 같이 굴토전 대지의 본 기둥 위치에 오거링 장비를 사용하여 천공한다.

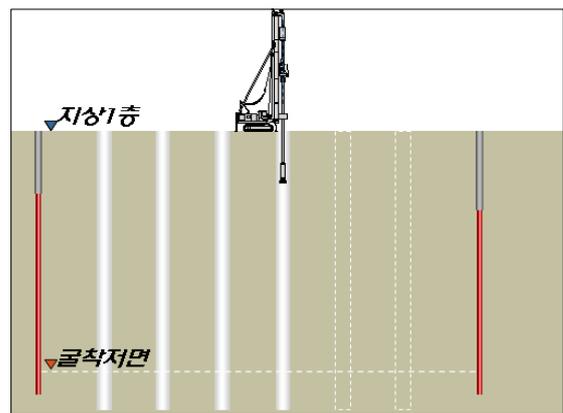


그림 10. 현장 타설 말뚝(PRD) 시공 (step 2)

그림 11은 본 구조물용 철골 기둥을 그림과 같이 근입·설치한다. 현장 타설 말뚝 하부에 콘크리트를 부어 고정 시킨다.

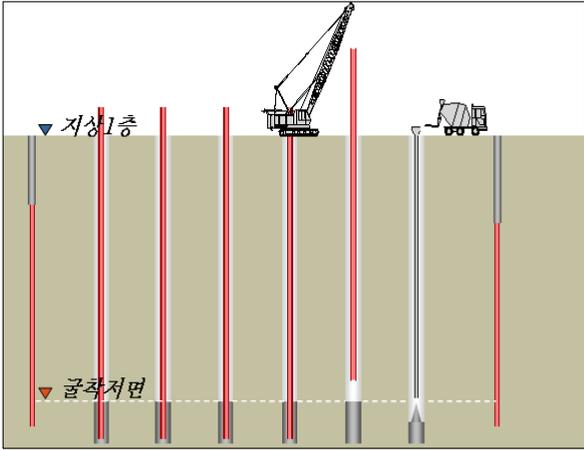


그림 11. PRD 기초 타설 및 철골 기둥 근입 (step 3)

다음으로 그림 12와 그림 13은 일정 깊이까지 흙을 굴토하고 지상 1층 레벨의 본 구조물(층고 절감형 거더)을 설치한다.

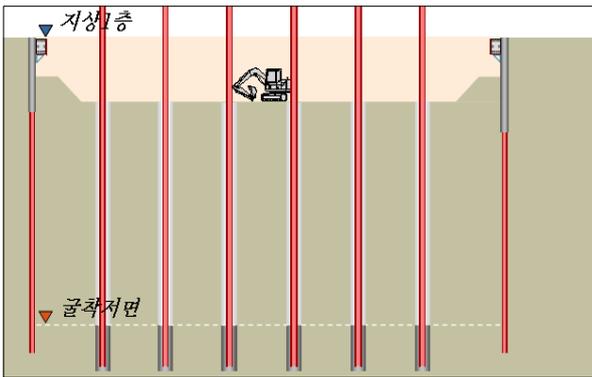


그림 12. 지하1층 굴착 (step 4)

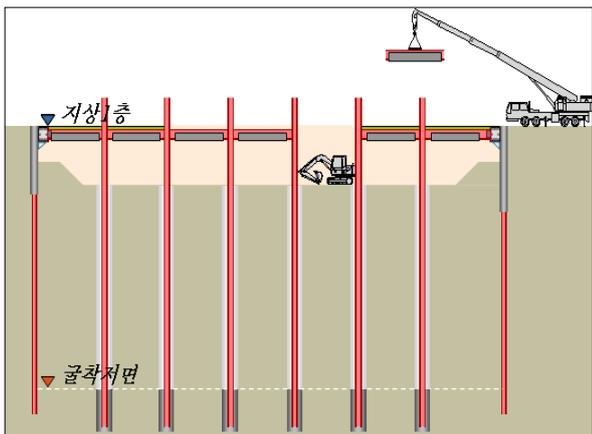


그림 13. 층고 절감형 거더, 빔 설치 (step 5)

그림 14는 지하 2층까지 흙을 굴토후 층고 절감형 거더를 설치하는 순서를 나타낸 그림이다. 그림 13과 그림 14의 과정을 반복하여 지하부에 철골 스트러트 대신 층고 절감형 거더를 설치한다.

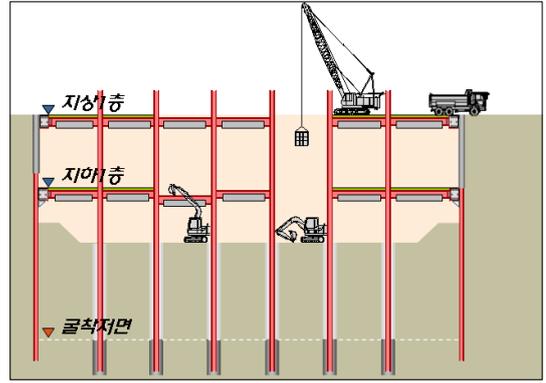


그림 14. 지하 2층 굴착 및 거더 설치 (step 6)

양쪽 측면의 토압은 기존의 스트러트 대신 본 구조물로 이용되는 층고 절감형 거더로 지지된다. 지하부 굴토 완료 후, 그림 15와 같이 기초 바닥 슬래브 타설을 실시한다.

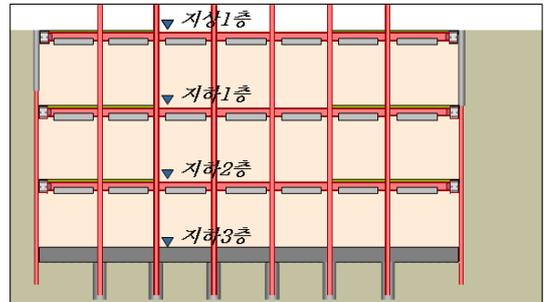


그림 15. 지하부 굴토 완료후, 기초 타설 (step 7)

이상의 7단계 과정이 층고 절감형 영구 스트러트 공법의 시공 순서이다. 층고 절감형 거더가 설치된 후 Up-Up 공법을 수행하기 위해서 지하부 기초바닥 슬래브를 타설하고 지상과 지하부의 구조물을 구축한다.

#### 4. 결론

층고 절감형 거더를 이용한 지하구조물 구축 공법은 기존에 사용된 스트러트 공법의 경제성, 시공성 등을 개선하기 위하여 연구된 공법이다. 층고 절감형 거더를 사용함으로써 얻을 수 있는 장점들은 다음과 같다.

1) 기존 스트러트의 경우 설치와 해체의 공정이 필요하지만 층고 절감형 거더를 이용한 구축 공법은 스트러트가 본 구조물로 이용되기 때문에 기존 스트러트 해체 시 발생할 수 있는 토압의 불균형 응력을 사전에 방지할 수 있다. 따라서 안전성이 확보된다.

2) 층고 절감형 거더는 영구 구조물로 사용되기 때문에 스트러트의 해체 공정이 발생되지 않는다, 따라서 스트러트 해체에 따른 작업인력이 감소되고 폐기물 발생이 감소하며 그에 따른 공사비 절감과 공기 단축의 효과가 발생한다.

3) PC형 층고 절감형 거더를 사용함으로써 콘크리트 타설시 거푸집 설치가 최소화된다. 또한 서포트의 사용이 최소화되므로 작업공간의 확보가 수월하다.

4) 층고 절감형 거더를 사용함으로써 지하부 1층당 20~25cm의 층고를 줄일 수 있으며 이에 따라 지하부 굴토량이 획기적으로 감소된다. 따라서 공기 단축, 공사비 절감 및 폐기물 감소의 효과가 있다.

5) 기존 철골 시스템과 층고 절감형 거더의 물량을 비교한 결과, 10%까지 철골 물량 절감이 가능하다.

### 감사의 글

본 연구는 [2단계 BK21사업]의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 최재원, 윤지연, 김광희, 강경인, "PS 띠장을 이용한 버팀대식 흙막이 공법의 적용 사례분석", 대한 건축학회 논문집, 20권 8호, pp.115~122, 2004.
2. 홍원기, 김선국, 김희철, "구조물 겸용 흙막이 스트리트 공법", 한국 건설관리 학회 논문집, 5권 3호, pp. 71~78, 2004.
3. Ali, M.A., White, R.N., "Consideration of compression stress bulging and strut degradation in truss modeling of ductile and brittle corbels", Engineering structures, v.23 no.3, 2001, pp.240\_249
4. Brian Uy, and Mark Andrew Bradford. (1995). "Ductility of profiled Composite beams. Part I: Experimental study." Journal of Structural Engineering, ASCE, 121(5), 876-882
5. Brian Uy, and Mark Andrew Bradford. (1995). "Ductility of profiled Composite beams. Part II: Analytical study." Journal of Structural Engineering, ASCE, 121(5), 883-889
6. Ali Mirza, S., Ville Hyttinen, and Esko Hyttinen. (1996). "Physical tests and analyses of composite steel-concrete beam-columns." Journal of Structural Engineering, ASCE, 122(11), 1317-1326
7. Clough, G.W., O'Rourke, T.D., "Construction Induced Movements of Institute Walls", Design and Performance of Earth Retaining Structures. Geotechnical Special publication, No. 25, ASCE, pp.439-470, 1990.