

구조물 겸용 흠막이 스트러트 공법

Development of Struts for Soil Shuttering as a Permanent System

홍 원 기* · 김 선 국* · 김 희 철*

Hong, Won-ki · Kim, Sun-kuk · Kim, Hee-Chul

Abstract

In conventional method of supporting soil shuttering wall during excavation a system of struts and wales to provide cross-lot bracing is common in trench excavations and other excavations of limited width. This method, however, becomes difficult and costly to be adopted for large excavations since heavily braced structural systems are required. Another expensive and unsafe situations are expected when temporary struts must be removed for the construction of underground structures. This paper introduces innovative strut systems which can be used as permanent underground structures after its role as brace system to resist earth pressure during excavation phase. Underground structural system suggested from architect is checked against the soil lateral pressures before the analysis of stresses developed from gravity loads. In this technology, named SPS(Struts as Permanent System), retaining wall is installed first and excavation proceeds until the first level of bracing is reached. Braces used as struts during excavation will serve as permanent girders when buildings are in operation. Simultaneous construction of underground and superstructure can proceed when excavation ends with the last level of braces being installed. In this paper, construction sequence and the calculation concept are explained in detail with some photo illustrations. SPS technology was applied to three selected buildings. One of them was completed and two others are being constructed. Many sensors were installed to monitor the behavior of retaining wall, braces as column in terms of stress change and displacement. Adjacent ground movement was also obtained. These projects demonstrate that SPS technology contributes to the speed as well as the economy involved in construction.

키워드 : 흠막이, 응력 불균형, SPS, 가설용 스트러트

Keywords : Soil shuttering, Stress change, Struts as Permanent System, Temporary struts

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

현행 도심지 굴착공사에서 토공 가시설의 흠막이 지지방법은 대부분이 H-PILE을 이용한 스트러트 공법(흠막이로는 토류판, CIP, SCW 또는 Slurry Wall 등)을 활용한다. 그러나 토압저항을 위한 버팀대 역할을 담당하는 스트러트 가시설은 지하 구조체 시공 시 철거되어야 하며, 해체과정에서 흠막이 벽에 갑작스런 응력 불균형 현상을 유발한다. 또한 설치, 해체 시 발생하는 위험성 뿐 아니라 골조공사 기간단축 저해 및 이로 인한 원가절감 기회 상실 등 여러 가지 측면에서 개선할 필요가 있다.

그 동안 공사 환경에 따른 적정 흠막이 공법선정 연구(김재엽 외 2003), 스트러트를 포함한 지하 가설구조와 본 구조물과의 간섭 관계를 분석한 연구(조훈희 외 2001) 등 흠막이 공법을 개선하기 위한 연구가 일부 수행되었다. 그러나 기 수행된 연구들도 前述한 것과 같이 영구 구조물 겸용 가설 스트러트로 활용하는 해법을 제시하지 못했다.

따라서 본 연구에서는 본 구조물 겸용 가설 스트러트(SPS: Strut as a Permanent System) 공법을 개발한 후 현장 사례시공을 통해 공기, 원가, 안전, 품질 등의 측면에서 제안한 공법의 효용성을 검증하는 것을 목적으로 한다. 즉, 제안된 공법의 활용은 가시설의 철거에 소요되는 시간적, 경제적 손실을 절감함은 물론 기초골조 완성과 동시에 지상·지하공사의 착공(up-up공

* 정희원, 경희대 토목건축대학 교수, 공학박사

법)을 가능케 한다. 또한, 철거 시 발생하는 응력 불균형에 따른 붕괴 위험성 및 이로 인한 주변 지반 변형에서 발생하는 시설안전 및 민원억제를 가능케 한다.

2. SPS 공법 수행 고찰

2.1 기존 공법과 SPS 공법의 비교

기존 공법의 경우 지하 굴토 시 굴토면의 토압저항을 위해 흙막이 벽¹⁾과 함께 시공되는 가설 스트러트의 시공을 위해 H-PILE로 된 기둥 파일(post pile)을 먼저 시공한다. 굴토와 동시에 기 설치된 기둥 파일에 스트러트를 시공하며, 이때 스트러트의 층고 및 간격은 일반적으로 2-3m 이내이며 설계 시에 결정된다. 기초바닥까지 굴토한 후에 기초를 설치하게된다. 이후 지하 최하층부터 기 설치된 스트러트를 해체하면서 본 구조물(기둥, 보 그리고 슬래브)을 지상층까지 시공하는 방법이다. 이때 미리 설치해 둔 스트러트를 해체하는 과정에서 구조적으로 토류벽에 응력 불균형을 야기해 많은 위험성을 내포하고 있다.

그러나 SPS 공법은 이것과는 대조적으로 진행된다. 사례 현장을 대상으로 설명하면, 그림1과 같이 굴토 전 대지의 본 기둥 위치에 오거링 장비를 사용하여 천공한다. 그리고 본 구조용 철골기둥을 그림2와 같이 근입 · 설치하고, 그림3과 같이 일정깊이를 굴착 후 지상1층 레벨의 본 구조물 거더(철골보)를 설치한다. 이와 같은 시공공정을 반복하여 그림4와 같이 지하 1층 레벨까지 흙을 굴토하고 지하 1층 거더를 다시 시공한다. 이러한 작업을 반복적으로 수행하여 그림5, 그림6에서처럼 지하 기초구조물까지 굴토와 철골 거치를 완료하게 된다. 이때 양측의 토압은 기존의 스트러트 대신 본 구조물의 거더에 의해서 지지된다. 기초 레벨까지 굴착이 끝나면 지하에서는 그림7과 같이 기초공사로부터 기초바닥 슬래브 타설과 같은 지하공사가 시작되며, 1층에서는 그림 8과 같이 지상 1층 슬래브 타설 및 지상으로의 공사가 동시에 진행되는 업업(up-up)공법이 수행된다.



그림 1. SPS 기둥용 오거링 장면

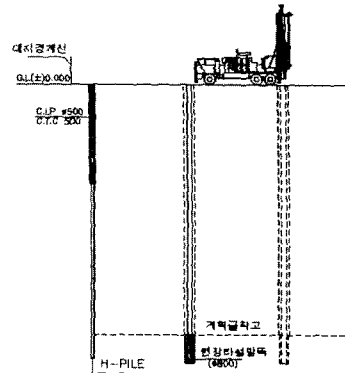


그림 2. SPS 공법 시공순서도 STEP-1

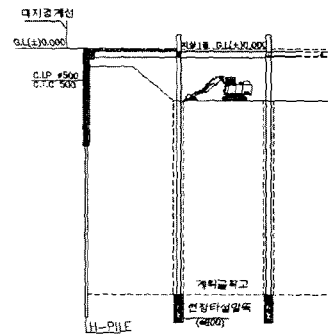


그림 3. SPS 공법 시공순서도 STEP-2
(GL-1.6m까지 굴착 후 지상1층 철골 시공)

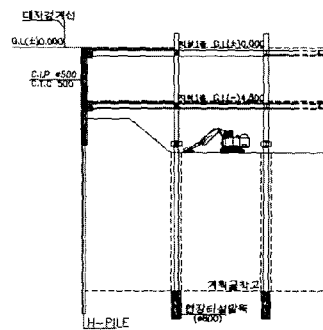


그림 4. SPS 공법 시공순서도 STEP-3
(GL-6.4m까지 굴착 & 지하1층 철골 거치)

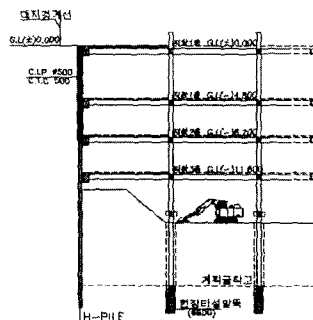


그림 5. SPS 공법 시공순서도 STEP-4
(동일한 방법으로 굴착후 지하 2.3층 철골 거치)

1) 흙막이 벽으로는 CIP(Cast In Place Concrete Pile), SCW(Soil Cement Wall), Slurry Wall 등의 공법을 사용할 수 있다.

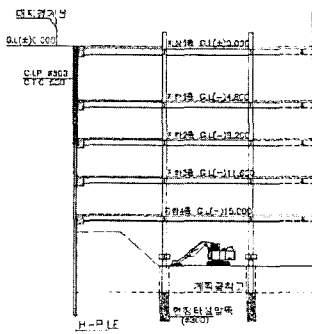


그림 6. SPS 공법 시공순서도 STEP-5 (GL-16.6m까지 굴착 & 지하4층 철골 거치)

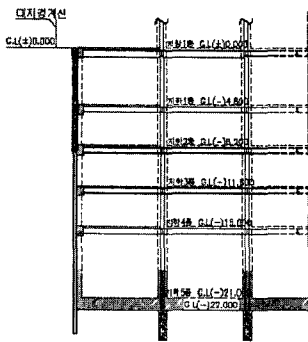


그림 7. SPS 공법 시공순서도 STEP-6 (기초바닥 슬라브타설, 지상층 철골공사)

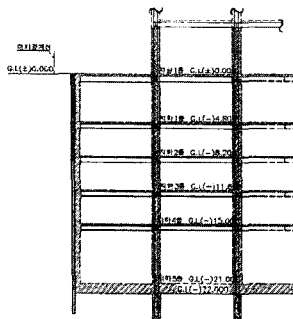


그림 8. SPS 공법 시공순서도 STEP-7 (단계별 지하층 기둥 및 벽체 순타시공 (지상 1층 슬라브 및 지상층 공사))

2.2 SPS 공법의 의의

SPS 공법은 현행의 H-PILE을 이용한 스트러트 공법의 시공성, 경제성 및 안전성을 향상하기 위하여 개발되어진 공법이다. 따라서 앞서 제기된 스트러트 공법의 단점들이 SPS 공법의 장점들이 된다. 이것들을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 구조 안정성 - 스트러트 해체 공정이 없으므로 스트러트 제거 시 발생하는 작업 위험요소 및 토류벽의 급격한 변위를 방지할 수 있으며 따라서 구조체(슬라브, 옹벽)의 균열을 감소시킬 수 있다.

- 2) 시공성 향상 - 지하 본 구조물과 가설 기둥 파일(post pile)의 상호간섭 배제와 본 구조용 철골조의 간격이 가설 스트러트보다 넓어 굴토공사 시 장비의 작업성이 향상된다.
- 3) 공기단축 - 스트러트의 해체 공정이 생략되고 굴토완료 후 기초타설 시점에서 지상·지하의 건축골조가 동시에 착공될 수 있으므로 상당기간의 공기단축이 가능하다.
- 4) 원가절감 - 가설용 스트러트가 필요 없으므로 공정간 간섭이 극소화되며 장비의 작업성이 극대화 될 수 있고 지상1층 바닥을 작업장으로 활용할 수 있으므로 별도의 복공판 설치에 소요되는 비용을 줄일 수 있는 등 원가절감이 가능하다.
- 5) 폐기물 발생 저감 - 가설 스트러트로 인해 발생하는 폐기물을 저감시킬 수 있는 환경 친화적인 공법이다.

2.3 SPS 공법 적용 시 주요사항

SPS 공법 개발을 위해 사전 구조계산 및 실험을 수행하고, 실제 사례적용 현장(pilot site)을 선정 후 공사를 수행한 결과 구조적, 시공적 안전성 및 공사 생산성 측면에서 개발된 공법 적용은 다음과 같은 절차로 진행되어야 한다.

- 1) 하부구조를 철골조 또는 SRC조로 설계변경 시 수직하중과 토압에 저항할 수 있는 최적의 철골구조 시스템을 대안 설계하여야 한다.
- 2) 토공사 시에는 철골부재가 흙막이 지지체 역할을 하므로 철골부재의 충고 및 간격을 고려한 흙막이 벽의 설계 및 검토가 이루어져야 한다.
- 3) 철골 띠장 대신에 테두리 거더를 설치하여, 흙막이의 토압을 철골 보 및 거더로 전달시킨다.
- 4) 지하 토공사 시 건축기둥을 천공할 때 기둥의 수직도 확보가 SPS 공법의 기본조건이 된다. 이것은 코덴(KODEN)과 같은 장비로 수직도를 측정하면서 천공을 병행하여 수직도를 확보해야 한다.
- 5) 철골 수직도 관리의 어려움에 대비하여 이를 보완할 수 있는 접합(기둥+보 또는 테두리보+철골보)대책이 수립되어야 한다.
- 6) 구조부재 설치와 굴토공정이 연차 반복적으로 이루어지므로 공정간의 간섭을 배제할 수 있도록 공정계획, 장비투입 계획, 자재반입계획 등이 충분히 검토되어야 한다.
- 7) 지하구조 부재가 철골재로 변경됨에 따라 철골부재의 내하가 문제되는데, 이것도 적절한 내화피복이나 또는 SRC조로 대응 설계한다.

2.4 현장 적용 및 시공결과 분석

본 연구에서 개발된 SPS 공법의 효율성을 검증하기 위하여 2

개의 사례 현장을 선정하고, 구조 및 시공적 안전성을 확보하는 측면에서의 엄격한 공사절차에 따라 공사를 수행하였다. 또한 이를 확인하기 위한 공사관리 주요 요소를 선정하고 그 결과를 다음과 같이 분석하였다.

2.4.1 현장 개요

최초로 SPS 공법이 적용된 S화재 전주사옥은 지상 13층, 지하 3층이며 구조형식은 지상 RC, 지하 철골+SRC, 연면적은 14,082.32 m²이다. 두 번째로 적용된 이스위트Ⅱ 신축공사는 지상 15층, 지하 5층이며 구조형식은 지상RC, 지하 철골+SRC, 연면적은 34,053m²이다.

다음 표1은 S화재 전주사옥 지하부분 설계개요이다.

표 1. 지하부 설계개요

굴토 면적	33.3m × 43.4m
흙막이벽체	가설 H-PILE : H-300×200×9/14
건축 기둥	철골기둥 : H-394×405×18/18
지 지 체	철골보 : H-588×300×12/20
지반보강 및 처수방법	C.I.P(φ 400 C.T.C 400) LW GROUTING (φ 400 C.T.C 400)

2.4.2 SPS 기둥 시공 및 수직 정밀도

SPS 공법에서 구조물의 안정성 확보를 위한 가장 중요한 부분은 기둥의 시공 정밀도를 확보하는 것이다. 즉, 기둥의 수직도는 가설구조로서 뿐 아니라 본 구조체의 구조적 안정성을 위해서 확보되어야 하며, 이를 위한 SPS 기둥의 시공순서는 다음과 같다.

- ① 기둥 중심선 측량
- ② 지름 1m, 깊이 1.2m로 철골기둥 주위 굴착
- ③ 1차 케이싱(guide casting) 설치, 수직도 확인
- ④ 가이드(guide) 콘크리트 타설
- ⑤ 1차 천공(screw) 및 수직도 확인
- ⑥ 2차 케이싱 삽입
- ⑦ 코텐을 이용한 수직도 확인
- ⑧ 뉴매팅(pneumatic hammer)에 의한 최종심도 천공
- ⑨ 컴프레서를 이용한 슬라임(slime) 제거
- ⑩ 코텐을 이용한 수직도 재확인
- ⑪ 철골기둥 근입
- ⑫ 트레미 공법에 의한 콘크리트 타설
- ⑬ 기둥 시공용 케이싱 철거 후 정리

상기 시공순서에 의해 천공된 S화재 전주사옥 SPS기둥용 홀(hole)의 수직도를 코텐 장비를 이용하여 측정한 결과 굴착심도

1st FL -16.0m 천공 시 10mm 내외의 오차가 발생한 것으로 확인되어 수직도는 1/1600으로 판단된다. 이러한 결과는 굴토공정 후 본 구조물의 기둥으로 사용되기에 충분한 수직도인 것으로 사료된다.

그림9는 SPS 기둥 삽입후 코텐 장비를 이용하여 수직도를 점검하는 공정으로 본 공정은 SPS 공법에서 가장 면밀하게 관리하여야 하는 부분이다. 그림10은 굴토가 완료된 지하 1층 부분에서 관찰된 SPS 기둥으로 가설 스트러트와 본 구조체의 보로 작용하는 철골보와의 연결상태를 보여주고 있다. 그림에서도 나타난 바와 같이 매우 복잡한 구조로 시공되는 기존의 스트러트 공법과는 달리 최종 구조체의 형태로 간결하게 시공된 SPS 공법에 의한 흙막이 구조를 확인할 수 있다.



그림 9. SPS 기둥 삽입후 수직도 점검



그림 10. 지하 2층 SPS 프레임 설치현황

2.4.4 평면도 및 단면도 비교

SPS 공법은 가설 스트러트 공법과 비교할 때 매우 간결한 지보공 구조를 가지고 있다.

예를 들어, 다음 그림11은 현재 SPS 공법을 채택하여 시공중인 사례 현장의 설계변경 전 가설 스트러트 공법과 SPS 공법 적용 시의 프레임 평면도이다.

SPS 공법에서의 철골보의 역할은 단순히 연직 하중을 지지하는 것이 아니라, 지하 굴토 단계에서는 토압을 지지하는 스트러트 역할을 하게 된다.

SPS 공법은 스트러트 공법에 비하여 스트러트와 포스트 파일의 간격이 넓어 충분한 작업공간이 확보되어 작업성이 우수하다.

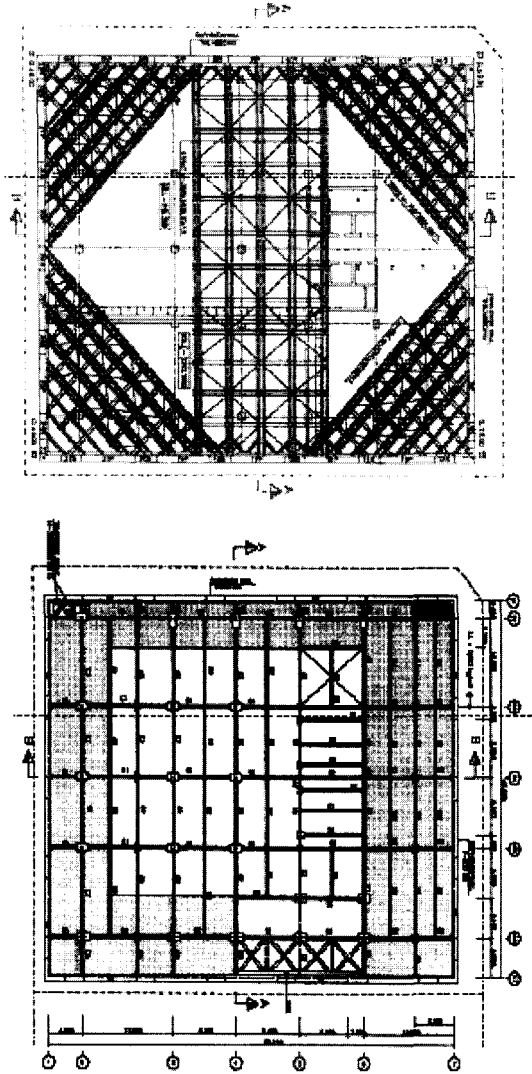


그림 11. 기존 스트러트 공법(상) 및 SPS 공법(하) 적용 시 프레임 평면도

그림12는 설계변경전 가시설 스트러트 공법과 SPS 공법 적용 시의 프레임 단면도이다.

SPS 프레임을 설계변경 전 가시설 스트러트 공법과 비교하여 다음과 같은 특징을 발견할 수 있다.

첫째, 가시설 스트러트 강성보다 건축 본 구조물의 지하 철골 프레임으로 더 큰 강성을 확보할 수 있다.

둘째, 기존 스트러트 공법에서는 횡도압을 지탱하기위해 8단의 스트러트가 필요하였으나 SPS공법에서는 각 층에 1단씩 SPS 거더만 필요하여 총 4단의 프레임으로 횡도압을 지지할 수 있었다. 이때 상기한 바와 같이 SPS 프레임의 층고 및 간격이 흠막이벽 설계에 고려되어 있어야 한다.

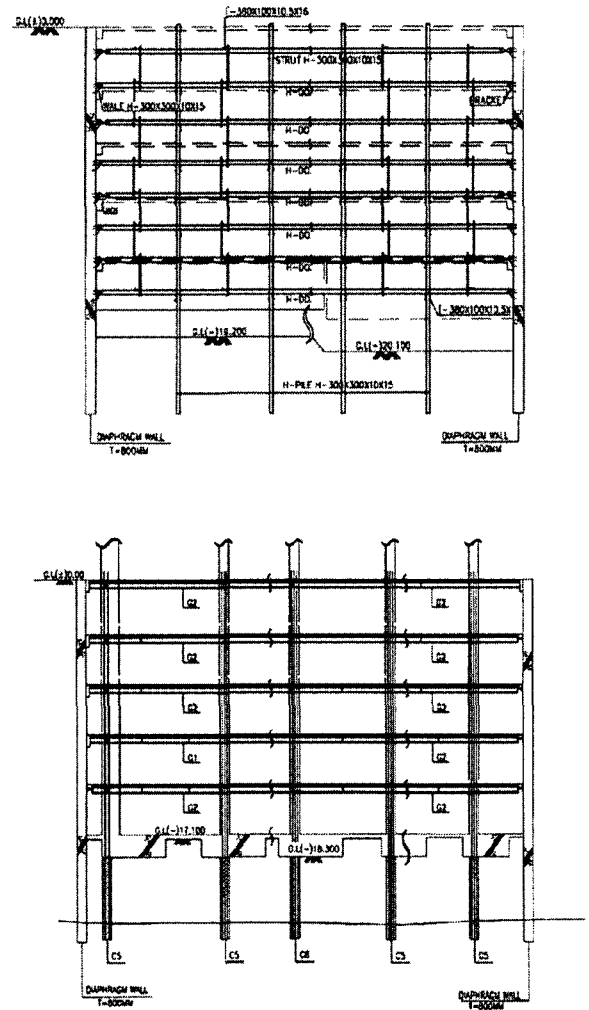


그림 12. 기존 스트러트 공법(상) 및 SPS 공법(하) 적용 시 프레임 단면도

참고로 다음 표2는 사례 현장에서 시공된 SPS 프레임의 기둥, 거더 및 보 단면의 크기로 가시설 스트러트 보다 큰 단면을 가지고 있다.

표 2. SPS 프레임의 기둥, 거더 및 빔의 단면크기

부재	단면크기	비고
기둥	H-428×407×20/35	C3
"	H-414×405×18/28	C1,C2,C4,C5
"	H-400×400×13/21	C6
거더	H-588×300×12/20	G1
"	H-488×300×11/18	G2
"	H-500×200×10/16	G3
"	H-400×200× 8/13	G4
"	H-350×175× 7/11	G5
빔	H-588×300×12/20	B1
"	H-488×300×11/18	B2
"	H-500×200×10/16	B3
"	H-400×200× 8/13	B4
"	H-350×175× 7/11	B5

2.4.5 계측 데이터 분석

그림13은 사례 현장의 경사계 2번의 위치이며 그림14는 경사계 2번에서 측정한 토류벽의 수평변위, 그림15와 그림16은 각각 지상1층과 지하1층에서 변형률계 응력변화를 나타낸 것이다. 경사계 2번 구간의 변위는 11/22~12/2일 사이에 4.2mm의 변위가 발생되었으며, 이는 지하 2층 철골이 설치되지 않은 상태에서 발파 및 굴착이 진행됨에 따른 것으로 사료되며 12/8일 지하 2층 철골이 설치됨에 따라 안정세를 나타내고 있다. 본 구간의 최대 수평변위는 21.4mm로서 토류벽체 기울기 관리기준치 이내로 안정적인 것으로 판단된다. 철골의 응력변화는 설치 후 및 일정 시간이 경과된 후에 급격한 증가세(126kg/cm²)를 나타내었으나 지하 2층 철골이 설치됨에 따라 안정세로 돌아섰다. 응력의 크기는 최대 -340kg/cm²(-65ton) 이며 이는 부재 허용 응력의 25%정도로서 안정적인 것으로 판단된다.

토류벽 수평변위는 경사계 No.2 구간의 경우에 약 21mm 정도로 전반적인 변위의 크기는 토류벽체 기울기 관리기준치 이내로 안정적인 것으로 판단된다. 철골의 응력변화는 공정에 따른 응력증가를 나타내고 있으며 경사계 No.2번 구간에서 340kg/cm² (65ton : 부재허용력 300ton) 정도로 나타나며 테두리보의 지지력에도 충분한 여유가 있어 구조물의 안전에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

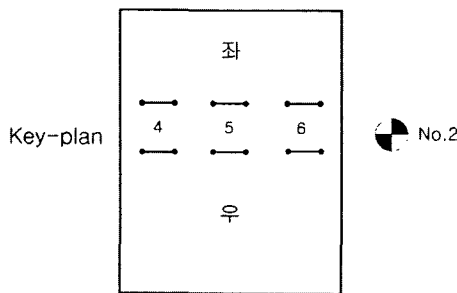


그림 13. 경사계 2번의 평면위치

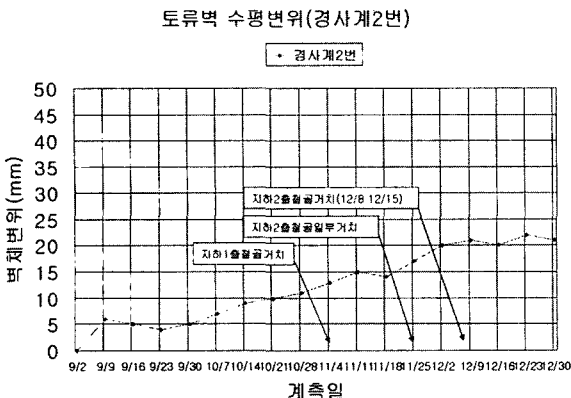


그림 14. 경사계 2번에서 측정한 토류벽의 수평범위

변형률계 응력변화 (지상 1층)

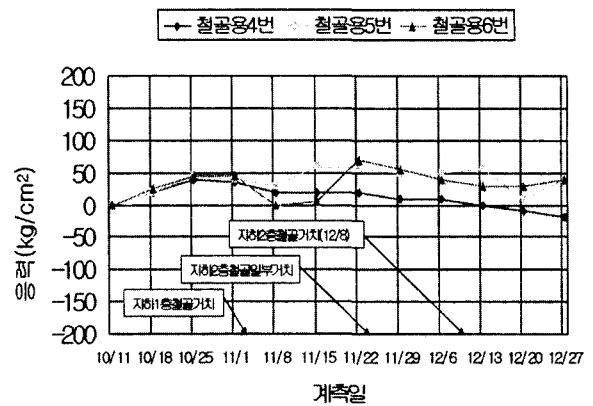


그림 15. 경사계 2번에서 측정한 지상 1층 응력변화

변형률계 응력변화(지하1층)

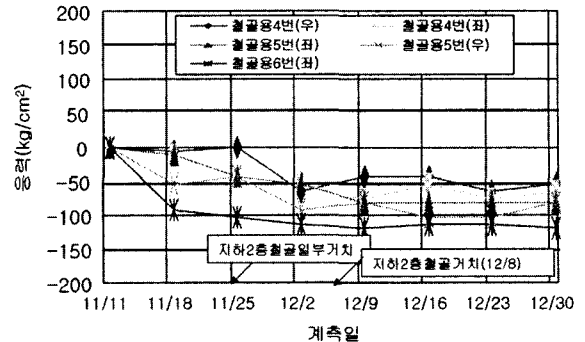


그림 16. 경사계 2번에서 측정한 지하 1층 응력변화

2.4.6 토압분포도

그림17은 두 번째 사례 현장의 토압분포 단면도를 나타낸 것이고 표3은 단계별 굴토 시 나타나는 평균토압분포, 층레벨토압, 환산축력을 예상한 값이다. 표3에서와 같이 흙파기 저면에 해당되는 B4F에 발생하는 평균토압분포는 14.893t/m²로 계산되었다.

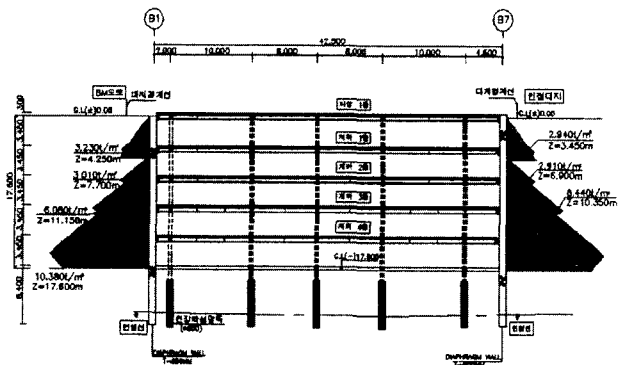


그림 17. 토압분포 단면도

표 4. 단계별 굴토시 토압력

층	평균토압분포(t/m ²)	총레벨토압(t/m)	환산축력(t)
1F	0.704	1,214	10.2
B1F	2.163	7,463	62.7
B2F	2,856	9,853	82.8
B3F	4,150	14,318	90.2
B4F	14,893	56,594	237.7

2.4.7 시공순서도 및 예정공정표

그림18은 스트리트 공법과 SPS 공법의 시공순서도를 나타낸 것으로서, 기존의 스트리트 공법은 지하 4층까지인 경우, 총 8단의 버팀대가 필요하지만 SPS 공법은 각층의 보가 버팀대 역할을 하기 때문에 총 버팀대는 4단이 된다. 또한, 기초를 시공한 후에도 스트리트 공법에서는 건물 골조의 구축, 가설재의 해체 과정을 거쳐 지하공사를 완료한 후에 지상공사를 진행할 수 있지만, SPS 공법에서는 기초가 완료된 후부터 별도의 조치나 공정없이 지하공사와 동시에 지상공사의 시공이 가능하므로 스트리트 공법에 비하여 전체 공사기간이 현저히 단축된다.

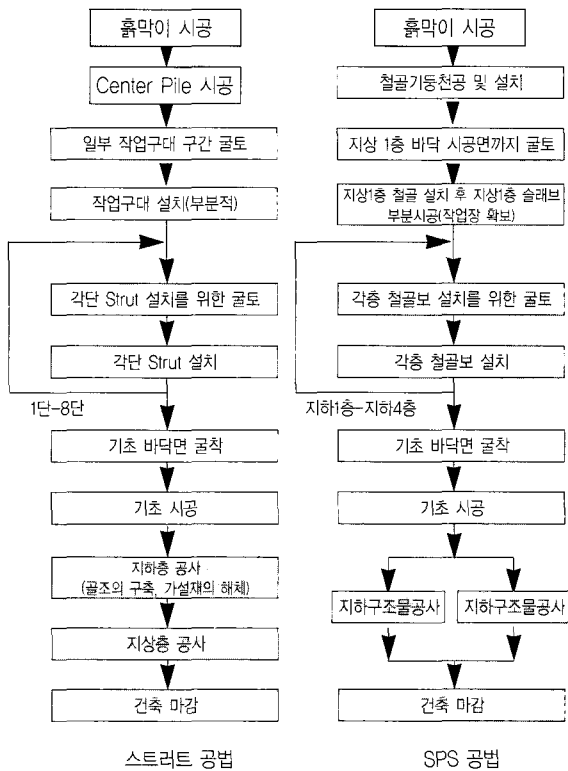


그림 18. 스트리트 공법과 SPS 공법의 시공순서도 비교

그림19는 사례 현장의 예정공정표로서 SPS 공법과 스트리트 공법의 지상 1층 공사 착수시점의 차이를 보여준다. 시공순서도 비교에서 나타나듯이 SPS 공법은 기존의 스트리트 공법과는 다르게 가설재의 설치 및 해체 공정이 생략되며, 지하층까지 SPS 골조를 축조한 후에는 지하공사와 지상공사를 병행할 수 있어 공기단축이 가능하다. 스트리트 공법은 지상1층의 공사시점이

지하부분 건축시공이 완료된 D+14개월 시점인데 반하여 SPS 공법은 지하4층 시공이 완료되는 D+10.5개월 시점에서 지상1층 공사가 시작된다. 이로써 SPS 공법으로 인한 공기단축의 효과는 3.5개월로 예상된다.

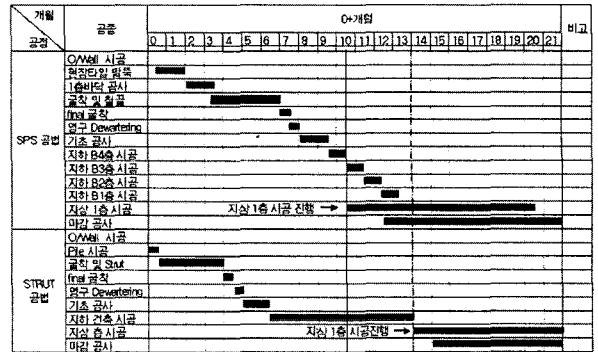


그림 19. 예정 공정표

2.4.8 철골보와 테두리보의 접합

그림20은 철골접합시공 개념도를 나타낸 그림이다. 시공 후 철골기둥의 수직도가 SHOP-DWG과 일치하지 않을 경우 철골보의 거치에 문제가 발생한다. 이때 철골기둥측의 접합은 공장 제작에 기준하여 시공하고 테두리보측의 접합은 상기와 같은 문제점을 고려하여 콘크리트로 된 테두리보로 조절한다. 그림21~그림23는 철골보와 테두리보, 철골기둥과 철골보 플랜지, 철골기둥과 철골보 웨브의 접합 상세를 나타낸 그림이다.

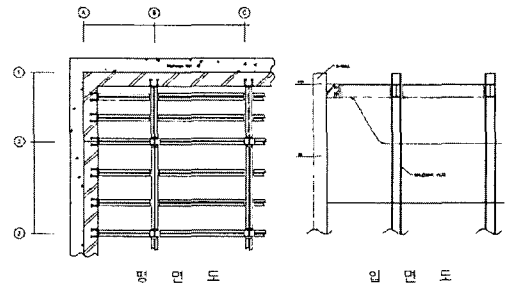


그림 20. 철골접합 개념도

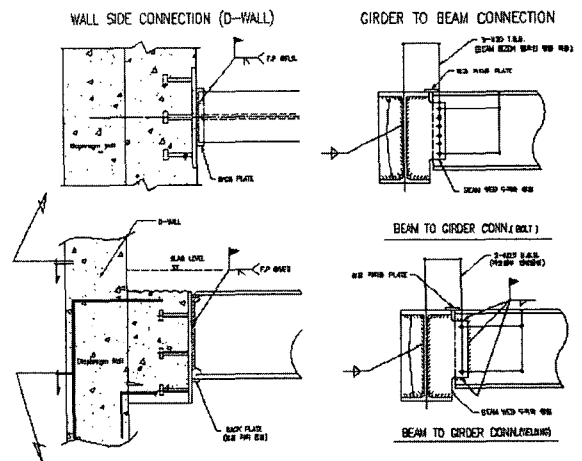


그림 21. 철골보와 테두리보의 접합 상세

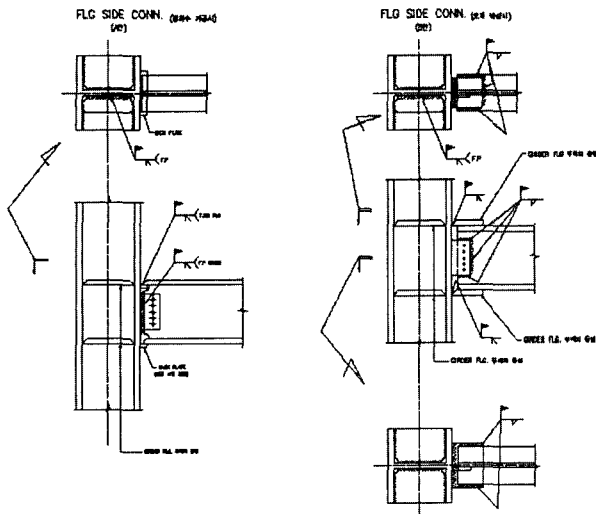


그림 22. 철골기둥과 철골보 플랜지의 접합 상세

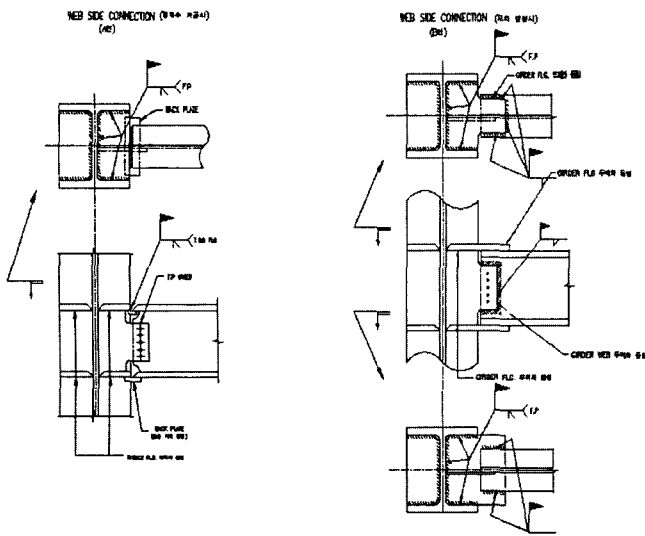


그림 23. 철골기둥과 철골보 웹의 접합 상세

3. 결론

구조물 겸용 흠막이 스트러트 공법을 개발한 후 현장 적용 사례를 통하여 기술적, 경제적 효과를 검증하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 기술개발에 의한 시공성 향상으로, 기존의 스트러트 공법에 비하여 우수한 품질의 가설구조체를 확보하여 현장의 유지관리가 상대적으로 용이하며 스트러트와 포스트 파일의 간격이 넓어 작업공간 확보에 따른 작업성이 향상된다. 또한, 인력 시공량의 감소로 인한 각종 인적재해에 대한 안전성이 높고, 각층 바닥에

부분적으로 RC슬래브를 설치하여 별도의 복공판이 필요 없다.

둘째, 기술개발에 의한 공기 단축으로, 가설재의 설치 및 해체 공정이 없어지고, 지하층까지 SPS 골조를 축조한 후에는 지하공사와 지상공사를 동시에 수행할 수 있어 공기단축이 가능하다.

셋째, 구조안전성의 제고로, 현행 스트러트 공법은 굴착공사를 끝마친 후 본 구조물을 설치하려면 최하단부의 스트러트부터 연속적으로 제거한 후 본 지하구조물을 공사하게 된다. 이때 단기적으로 최하단부의 스트러트 간격이 커지게 되는데 이로 인해 토압에 의한 응력이 스트러트를 제거한 부위에 집중하게 되며 예상 밖의 변위가 발생하는데 이때 실트나 모래질 같이 마찰력이 작은 토질이라면 심각한 문제가 발생할 수도 있다. 이에 반하여 SPS 공법은 한번 시공된 철골보와 테두리보가 본 구조체와 함께 영구적으로 구조체를 형성하게 되므로 이러한 위험성을 내포하지 않고 구조적으로 안정성을 유지할 수 있다. 또한 순간적인 가시설 스트러트 제거와 이로 인해 지하옹벽의 불균형응력 및 지하옹벽 균열에 의한 누수 등 많은 품질하자의 원인도 방지할 수 있는 장점도 있다.

마지막으로, SPS 공법은 환경 친화적 공법으로서 가설재에 의한 폐기물이 발생하지 않으며, 청결한 현장의 유지관리 및 전체 공기 단축에 의해 상대적으로 폐기물 발생량을 감소시킬 수 있다.

SPS 공법은 위와 같은 기술적인 파급효과와 더불어 공기단축에 의한 간접비 절감 및 가설작업 공정의 생략으로 인한 재료비, 노무비 절감, 그리고 민원처리비 등과 같은 부대비용 절감을 통하여 공사원가를 줄이는 경제적 파급효과도 기대할 수 있다.

참고문헌

1. 김재엽 외 (2003), 신경망을 이용한 흠막이 지보공공법 선정모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 19권 5호, 대한건축학회, pp.121-128
2. 조훈희 외 (2001), 4차원 CAD 기반의 지하공사 간섭관리 시스템 개발에 관한 연구, 대한건축학회논문집 구조계, 17권 9호, 대한건축학회, pp.225-233
3. 강구조계산규준 및 해설 (1983). 대한건축학회
4. 철근콘크리트구조계산규준 및 해설 (1995). 대한건축학회
5. AISC-ASD NINTH EDITION.
6. 건축철골구조. 김상식. 인하대 건축공학과 교수. 공학박사