

본 구조물용 기둥과 보를 이용한 흙막이 벽체 지지 공법 Strut as Permanent System



염경수
(주) 하모니 구조엔지니어링 대표

1. 개요

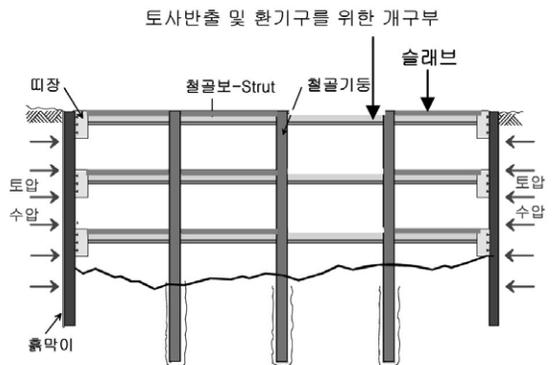
현행 토공사에서 흙막이를 위해 사용되는 벽체는, Slurry Wall, H-Pile과 토류판을 사용하거나, CIP (Cast in Place Wall), SCW (Soil Cement Wall) 등이 사용되며, 흙막이를 지지하는 형식은 재래의 가설 Strut로 지지하는 방식과 Earth Anchor, Soil Nailing, Rock Bolt 그리고 RC 역타지공법 등이 있다. 이중 가설 Strut를 사용하는 경우는 가설재의 설치 및 해체 공정에 따른 공기의 증대와 해체시 주변 지반의 변형을 유발할 가능성이 높으며, RC 역타지공법은 주변 지반의 변형을 극소화하는 장점은 있으나, 지하공사시의 작업환경이 열악하며 슬래브의 단면이 증대할 가능성이 높고 굴착공사와 골조공사의 간섭으로 공사가 어렵고, 굴착공기가 길어지는 단점이 있다.

현재 국내의 건설공사에서는 합리적이고 효율적인 기술 및 공법의 개발이 필수적인 것으로 인식되고 있으며, 개발된 공법을 적용하여 경제적 및 구조적인 측면에서 시공의 합리화를 이루어 가고 있는 실정이다. 이러한 측면에서 재래의 흙막이 공법을 개선하여, 구조적인 측면뿐만 아니라, 시공의 측면에서도 공기단축 등과 같은 합리화를 유도할 수 있도록 개발되어진 공법이 SPS(Strut as Permanent System) 공법이다.

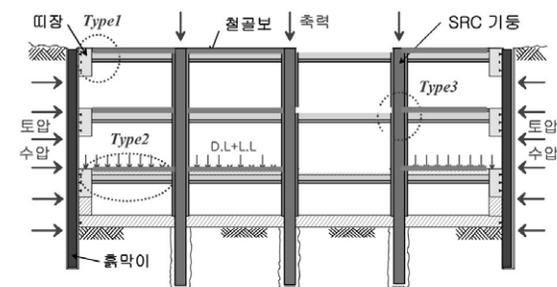
2. 구조설계 개념

SPS 공법으로 만들어진 SPS 지하복합골조는 흙막이 벽(Slurry Wall, CIP, SCW등)에서 전달되는 토압 및 수압을 받는 띠장과 띠장에서 전달되는 압축력과 연직하중을 받는 슬래브와 합성보, 그리고

SRC기둥으로 구성되어진다. 이러한 SPS 지하복합골조는 <그림 1>에 서와 같이 지하굴토 공사가 진행 중일 때에는 슬래브와 철골보가 토압과 수압의 압축력을 받는 Strut 역할을 하게 되고 철골기둥은 이를 지지하는 역할을 하게 된다. SPS공법은 흙막이를 지지하는 Strut를 가설재가 아닌 건물의 주구조체(기둥, 보)와 슬래브를 이용하는 공법이다. 그러므로 Strut용 가설재의 설치 및 해체 작업이 필요치 않아서 획기적으로 지하공사의 공정을 줄일 수 있다.



(a) 지하굴토공사 진행중일때의 응력상황

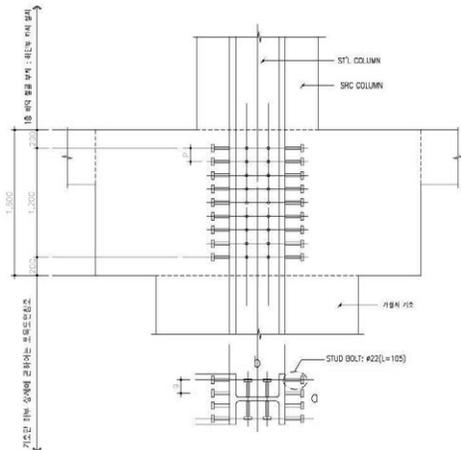


(b) 지하굴토공사 완료후의 응력상황

<그림 1> SPS 지하복합골조

2.1 PRD/RCD 타설

일반적으로 PRD (Percussion Rotary Drill) 기둥 설계는 굴토시 시 공하중만을 받는 부재로 설계하고 바닥슬래브(MAT기초) 타설 후에는 전체건물의 하중을 <그림 2>와 같은 스티드를 통하여 영구시 기초가 받도록 한다. 굴토단계별 좌굴깊이를 고려(통상 2개층 높이)하여 내력이 확보되도록 설계한다. 또한, 공사방식(Up-Up, Top-down 등)과 지질에 따라 RCD(Reverse Circulation Drill)와 Barrette Pile도 사용 가능하다.



<그림 2> PRD기둥과 MAT기초 접합상세



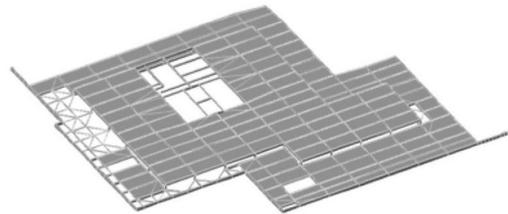
<그림 3> PRD천공 후 기둥 설치

2.2 철골보와 거더설계

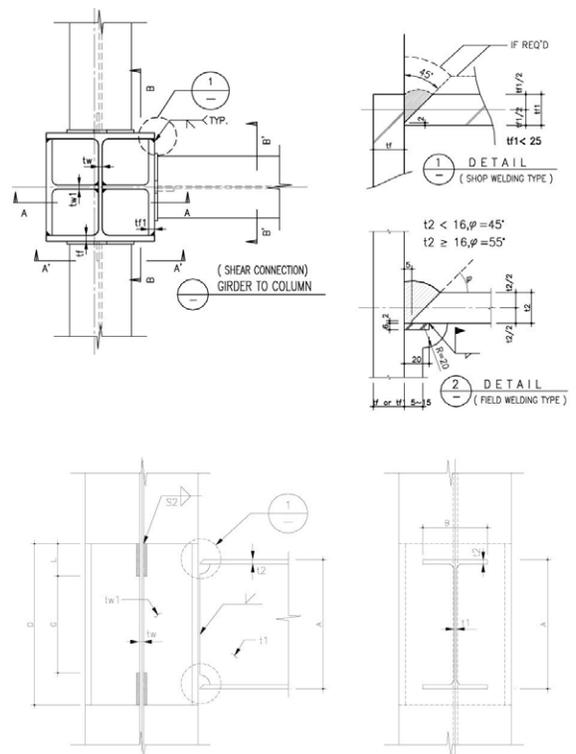
철골보와 거더는 설계하중 산정시 시공시 하중과 영구시 하중 중 큰 값을 적용하게 되는데 굴착시 토압에 의한 부재 결정시에 일반적인 해석방법(기둥 및 Girder만 모델링)으로는 토압에 의해 발생하는 축력에 대한 보와 슬래브의 하중 부담률이 고려되지 않으므로 <그림 4>와 같이 Girder와 Beam을 모두 모델링 하고 Slab를 Plate 요소화 하여 축력과 모멘트를 고려하여 설계한다.

2.3 접합부설계

접합부 설계시 토압전달을 목적으로 하는 경우에는 <그림 5>과 같이 보의 플랜지와 웨브를 용접하거나 플랜지와 기둥면 사이에 Shim Plate를 삽입하여 축력이 전달되도록 한다. 또한, Cut-Tee 타입은 기존의 스티프너 타입시 발생하는 보 단차와 보 Depth의 변화에도 원활하게 토압을 전달할 수 있도록 한 것이다.



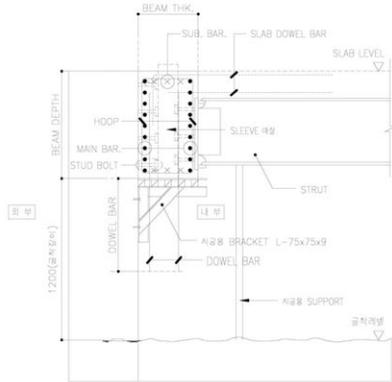
<그림 4> Plate 모델링



<그림 5> 기둥-보 접합부(CT-bar type)

2.4 테두리보 설계

슬래브와 연결되는 테두리보는 <그림 6>과 같이 흙막이 벽체에서 전달되는 토압과 수압을 슬래브와 철골보에 전달하는 역할과, 철골보와 흙막이 벽체와의 연결을 위해 필요하다. 일반적으로 테두리보와 철골보의 접합은 Embedplate Type의 핀접합이 되도록 하며 현재 공사현장에 따라 몇가지 개선안이 작성되어 적용되고 있는 실정이다.



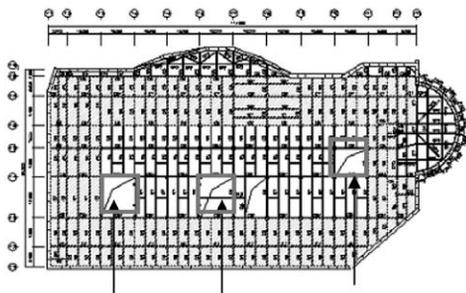
<그림 6> Perimeter Beam Bracket 상세



<그림 7> 테두리보 설치

2.5 슬라브 설계

슬래브는 시공성과 공기단축 효과 및 토압지지에 유리한 Flat Deck 슬래브로 설계하며 토압에 의해 발생하는 축력을 슬래브의 다이어프램 효과로 지지하기 위하여 <그림 8>과 같이 장비반입구와 토공반출구 및 환기 등 지하공사여건을 고려한 Opening 계획을 반영하여 필요구간에 대해서 슬라브를 타설한다.



<그림 8> 슬라브 타설 구간

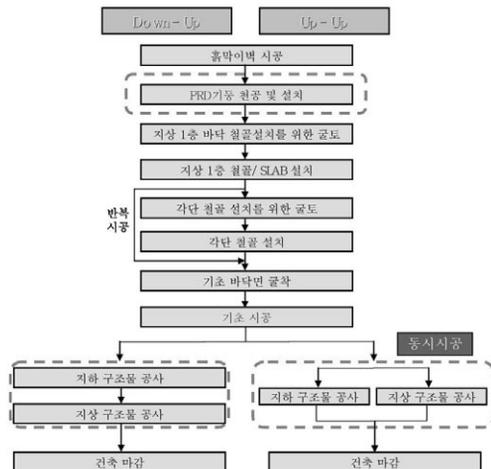
3. SPS 공법 시공순서

3.1 일반SPS공법(전 구간에 적용)

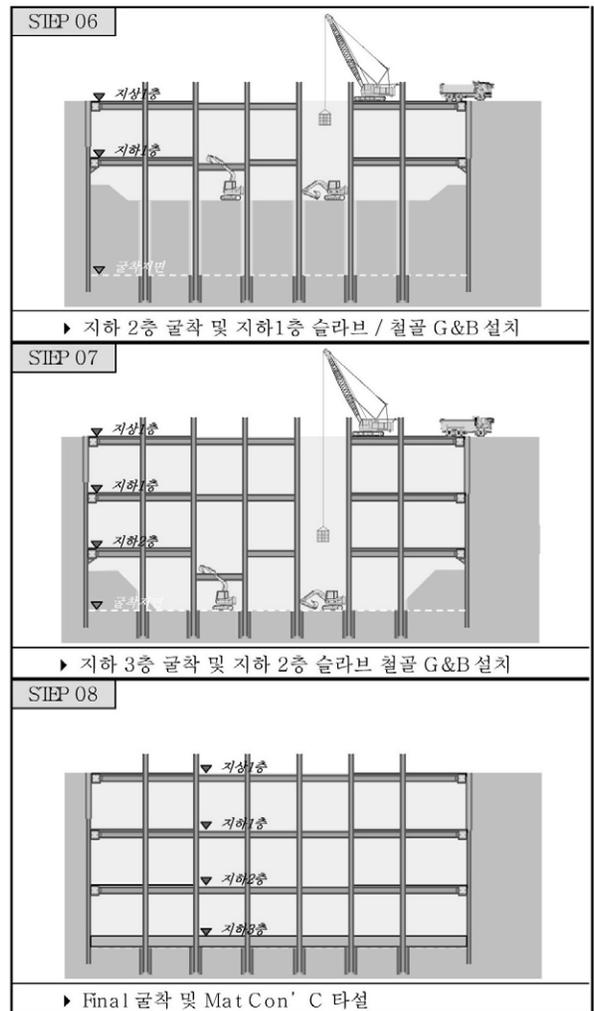
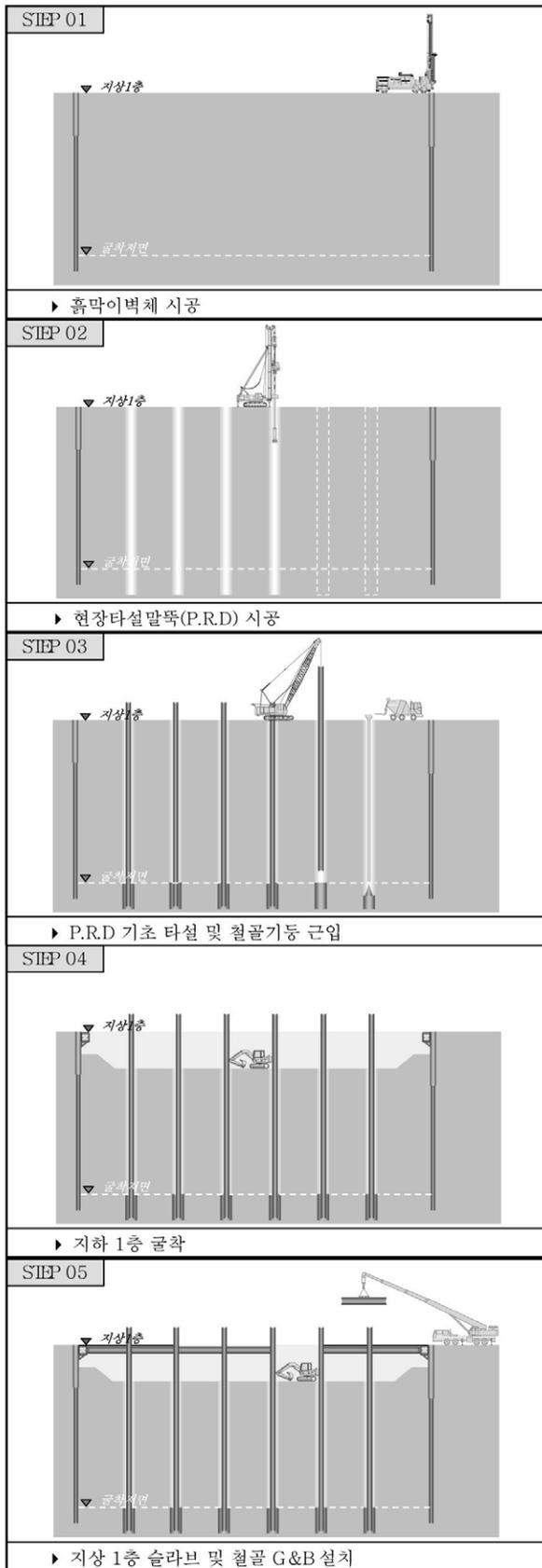
SPS 공법의 시공과정은 지반을 굴착하기 전에 내부 철골기둥을 관입시키고, 굴토를 층단위로 진행하여 철골보를 Strut로서 흙막이에 지지시켜 최하층까지 굴토를 완료하게 된다. 일단 최하부층까지 골조가 구축되면, 기초를 타설한 후, 벽체와 잔여구간의 슬래브를 최하층에서 상부로 진행하면서 시공하며, 이때 지상 1층에서부터 지상층으로의 시공을 동시에 진행할 수 있다.

SPS 공법의 시공순서는 다음과 같으며, 이를 도식화하면 <그림 9>과 같으며, <그림 10>은 시공과정을 그림으로 나타낸 것이다.

- 흙막이 설치 부분에 흙막이 공법에 따라 흙막이벽을 설치하거나 지하연속벽(Diaphragm wall)을 시공한다. (<그림 10>의 Step1)
- 건물외곽이 시공될 부지의 각 기둥위치에 기둥을 관입시킨다. (<그림 10>의 Step2)
- 첫 번째 Strut를 설치하기 위하여 지반을 굴토한다. (<그림 10>의 Step4)
- 흙막이를 지지하는 띠장을 설치하며 작업장이 우선적으로 필요할 때는 부분적으로 슬래브를 시공한다. (<그림 10>의 Step5)
- 띠장과 내부 기둥(관입된 H-형강)을 연결하는 보를 설치하여 첫 번째 Strut를 완성한다. (<그림 10>의 Step5)
- 두번째 Strut를 설치하기 위하여 지반을 굴토하고 동일한 과정을 반복하여 최하층 Strut까지 설치한다. (<그림 10>의 Step6,7)
- 기초를 시공한다. (<그림 10>의 Step8)
- 띠장의 상·하부에 지하옹벽, 잔여 슬라브, 코어벽체, SRC기둥의 콘크리트 시공 등을 하부에서 상층의 순서로 시공하며, 이와 동시에 건물의 지상층 골조를 시공할 수 있다.



<그림 9> SPS 공법의 시공순서



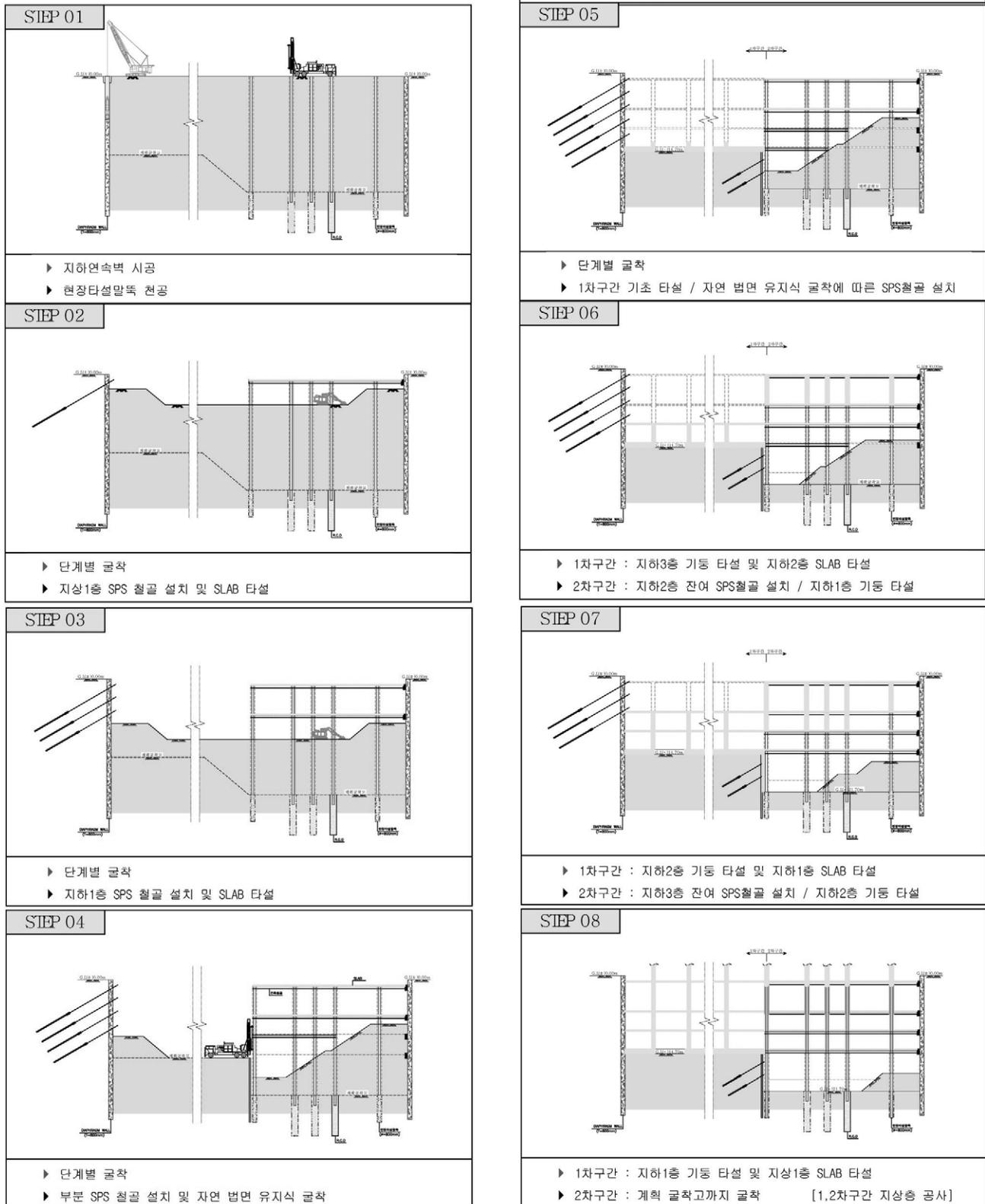
〈그림 10〉 SPS 공법의 시공순서도

3.2 편토압(SPS공법일부구간적용)

3.2.1 구조설계개념

편토압 방식이란 최근 대규모 현장의 경우 일정구간은 Open Cut방식으로 하고 부분적으로 SPS공법을 적용하는 것으로 부분굴착을 적용해야 하는 경우 철골보와 슬래브타설이 부분적으로 시공되어지기 때문에 〈그림 11〉 step4와 같이 한쪽면으로만 토압이 작용하게 되는 방식을 말한다. 지지방식은 〈그림 11〉 step5와 같이 Open 구간이 시공되기 전까지 소단을 이용 편토압 구간을 최소화 하고 Perimeter Beam과 슬래브의 Deep beam작용하여 지지한다. 토압은 슬래브가 타설되기 전까지 D/W 벽체면에서 형성되는 소단(slurry wall)면에 굴착되지 않은 흙으로 지지되며 소단 제거시 대부분의 토압은 강성이 큰 D/W에 연결된 Perimeter Beam과 슬래브의 Deep Beam작용으로 지지되어 철골부재에 전달되는 힘은 상대적으로 작다. 또한, 횡토압으로 인한 기둥좌굴과 변위제어를 위해 수직브레이스를 설치하여 보강한다.

3.2.2 시공순서도

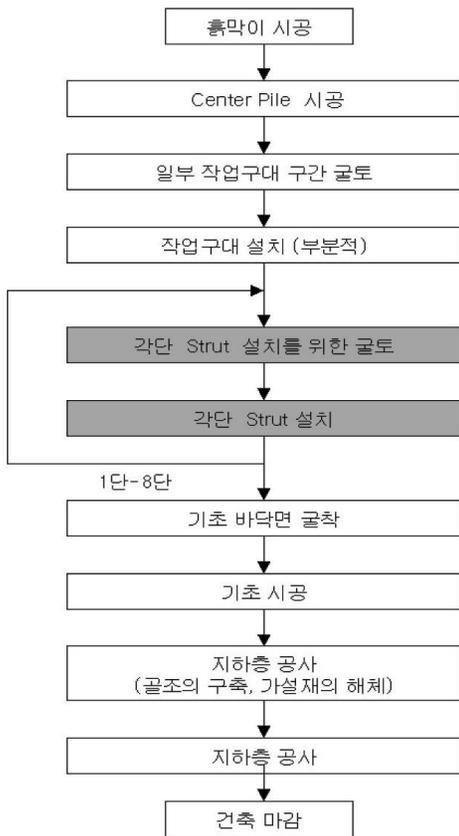


〈그림11〉 편토압 시공순서도

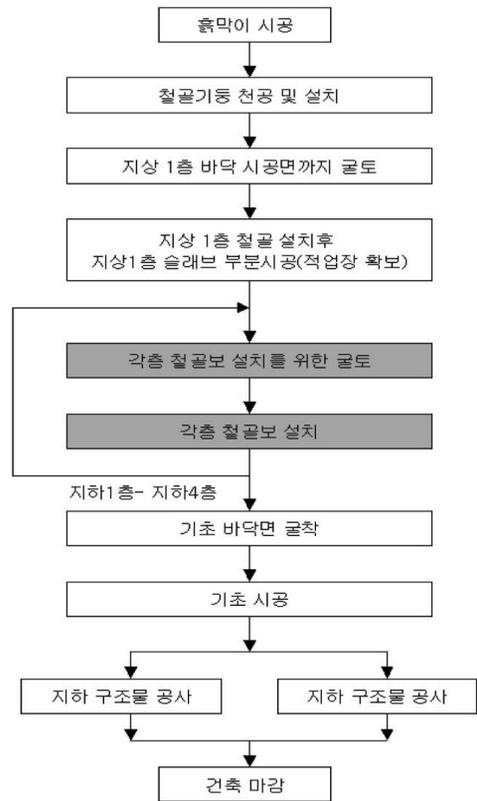
5. 기존 흠막이 공법과의 비교·분석

5.1 버팀대 지지공법과의 비교

SPS(지하구조물을 이용한 흠막이용 스트러트) 공법은 재래식 흠막이 공법중 버팀대(Strut)의 성능을 개선한 공법이다. 따라서, 본 공법의 성능은 버팀대 공법과 비교함으로써 평가할 수 있다. <그림 12 (a)>는 재래의 버팀대 공법과 본 공법의 시공순서도를 나타낸 것으로서, 재래의 버팀대 공법은 지하 4층까지만 경우, 총 6단 정도의 버팀대(Strut)가 필요하지만, <그림 12 (b)>는 각층의 보가 버팀대 역할을 하기 때문에 총 버팀대는 4단이 된다. 또한, 기초를 시공한 후에도 버팀대 공법에서는 건물 골조의 구축, 가설재의 해체라는 과정을 거쳐 지하공사를 완료한 후에 지상공사를 진행할 수 있지만, SPS 공법에서는 기초가 완료된 후부터 별도의 조치나 공정없이 지하공사와 동시에 지상공사의 시공도 가능해지게 되어 버팀대 공법에 비하여 전체 공사기간이 짧아질 수 있다.

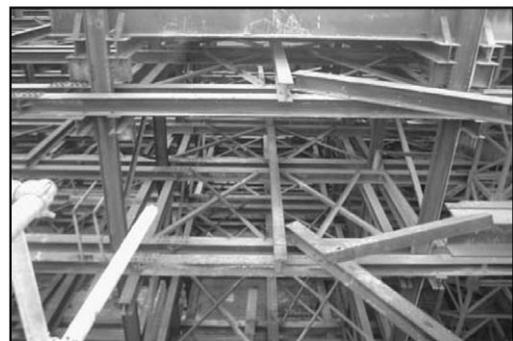
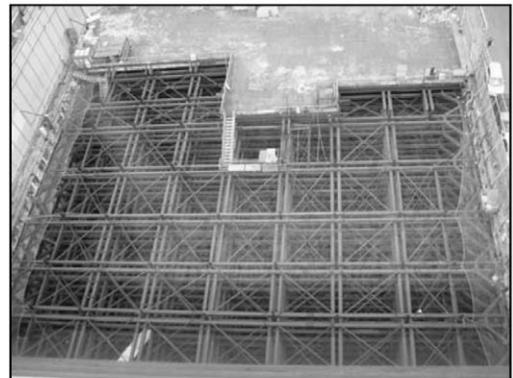


(a) 재래의 버팀대 공법

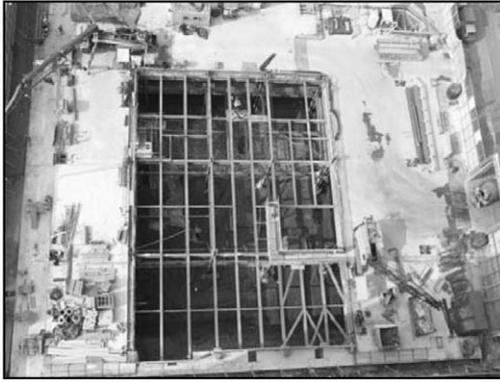


(b) SPS 공법

<그림 12> 버팀대 공법과 SPS 공법의 편면 비교



(a) 재래의 버팀대 공법



(b) SPS 공법

〈그림 13〉 버팀대 공법과 SPS 공법의 편면 비교

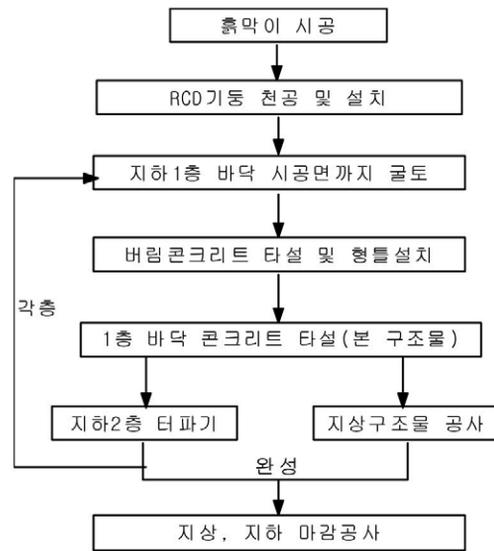
〈표 1〉 버팀대 지지공법과 SPS 공법의 비교

구분	버팀대 지지공법	SPS 공법
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 적용성이 높다 · 보강이 용이 · 재질이 균등하고 재사용 가능 · 작은 규모의 부지일수록 경제적 	<ul style="list-style-type: none"> · 가설공사가 필요없음 · 이에따라 해체공사시 발생하는 응력 불균형의 문제 없음 · 건물의 보가 Strut가 뒀으므로 인해 넓은 작업공간 확보 가능 · 해체공정이 없으며, 지하공사와 지상공사를 동시에 병행가능하여 시공 시 공기단축이 가능 · 가설 Strut로 인해 발생하는 폐기물의 저감 · 현장의 유지관리가 용이 · SRC 기둥사용에 다른 기둥강성의 강화
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 가설재의 설치 및 해체작업이 필요 · 가설재의 해체 공정시 응력 불균형 발생 및 주변지반 변형 · Strut의 간격이 조밀하여 토공 및 구조물 시공의 어려움 · 해체공정에 따른 공기의 증가 · 대지가 넓을수록 부재의 좌굴등으로 시공곤란 	<ul style="list-style-type: none"> · 대지가 넓은 경우 비용이 증대될수 있음 · 철골보의 단면이 증대될 수 있음

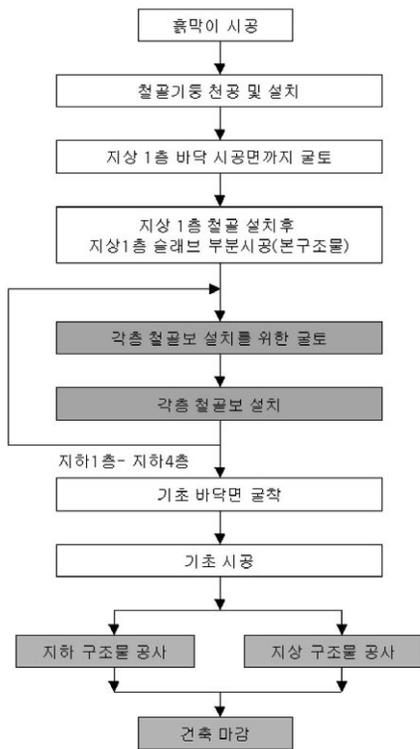
5.2 RC Down Ward (Top-Down)공법과의비교

RC Down Ward (Top-Down)공법은 지하 본 골조를 흠막이 지지체로 이용하여 흠막이 벽체에 가해지는 토압을 지지하는 공법으로, 〈그림 14〉는 RC Down Ward 공법과 SPS 공법의 시공순서도를 나타낸 것이다

SPS 공법과의 주요 차이점을 살펴보면 RC Down Ward 공법에서는 대구경(D1200이상) RCD 기둥의 설치가 필수적이거나 SPS 공법에서는 소구경(D600~800) 기둥이 설치되고, RC Down Ward 공법에서는 흠막이 지지체로 본설 슬래브(RC) 및 보(일반적으로 RC)가 일체로 타설된 후 일정기간 양생되어 토압을 지지하는 방식이며, SPS공법은 철골보와 Deck 슬래브로 바닥구조를 형성하여 지지하는 방식이다. 이와 같은 차이로 인하여 SPS공법이 공기와 공사 편이성 측면에서 유리한 것으로 평가되고 있다. 또 RC Down Ward 공법에서는 RCD기둥이 설치되어 1층 바닥 형성 후 지상공사와 지하공사를 병행하는 Top-Down 방식이 주로 사용되며, SPS공법은 현장여건에 따라 Down-Up, Up-Up, Top-Down등의 시공순서의 여러 방법이 모두 적용되고 있으며 최근에는 PRD를 이용한 Top-Down 방식이 많이 적용되고 있다.



(a) RC Down Ward (Top-Down) 공법



(b) SPS 공법

<그림 14> 버팀대 공법과 SPS 공법의 시공순서도 비교

6. 결론

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

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

<표 2> RC DOWN WARD(TOP-DOWN)공법과의 비교

구분	버팀대 지지공법	SPS 공법
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 흠막이 벽체의 종류와 무관하게 적용가능 · 가설재가 부담하는 하중이 상대적으로 적어 소구경(D600~800)으로 기둥 천공함 · 흠막이 지지체로서 구조안정성이 높다 · 배면지반 변위최소 · 1층 바닥을 작업장으로 사용할 수 있다. · 가설 지지체로서 철골 보만 설치되므로 본설 슬래브가 설치되는 T/D에 비해서 상대적으로 굴토 공사기간이 짧아진다. · 기초 타설후 지하, 지상공사의 병행 가능(Up-Up) - 공기단축효과 · 지상부가 외기에 오픈되어 있어 채광, 환기 등에 있어서 별도의 시설이 필요 없고 공사 환경 상 유리함 · 공사환경이 좋아지므로 지하 굴토공사 작업능률 향상 	<ul style="list-style-type: none"> · 본설 슬래브가 흠막이 지지체로서 적용되며 구조안정성 높다 · 배면지반 변위 최소 · 본설 바닥슬래브 및 보를 일체로 타설하는 공법이므로 소음, 진동이 최소화되어 주변에 미치는 영향이 상대적으로 적음 · Top-Down의 적용으로 공기단축 가능 · 1층 바닥을 작업장으로 사용할 수 있다
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 가설재의 설치 및 해체작업이 필요 · 가설재의 해체 공정시 응력 불균형 발생 및 주변지반 변형 · Strut의 간격이 조밀하여 토공 및 구조물 시공의 어려움 · 해체공정에 따른 공기의 증가 · 대지가 넓을수록 부재의 좌굴등으로 시공곤란 	<ul style="list-style-type: none"> · 대지가 넓은 경우 비용이 증대될수 있음 · 철골보의 단면이 증대될 수 있음