

# 지지선과 선행하중 버팀대를 이용한 도심지 지반굴착 설계 사례

강 신 철<sup>1)</sup>, 이 세 환<sup>2)</sup>, 서 완 중<sup>3)</sup>, 윤 경 수<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 보람컨설턴트(주) / 토질 및 기초 기술사

<sup>2)</sup> (주)단·구조 / 건축구조 기술사

<sup>3)</sup> 보람컨설턴트(주) / 이사

<sup>4)</sup> 보람컨설턴트(주) / 과장

## 1. 서 언

현재 지하 굴착공사중 굴착단면을 지지하기 위한 가설 흠막이 지지공법으로는 스트러트, 지반앵커, 지반네일, 스트러트에 유압잭을 사용한 버팀대 선행하중공법 등 매우 다양한 공법들이 적용되고 있으며 각기 현장여건, 지층조건, 인접주변여건 등을 고려하여 가장 적합한 공법이 선정되어지고 있다.

그러나 각 공법들의 현장 적용성에 있어 각각 많은 제약을 받음으로 인해 제한적으로 활용되어지고 있는 실정이다. 예컨대, 스트러트의 경우 50m 이상의 장변일 경우 적용의 어려움, 지반앵커의 경우 인접구조물 및 이에 따른 동의문제, 지반 네일의 경우 변위량 과다에 따른 민원 발생 및 안정성문제 등 각각의 공법에 대한 개요 및 장·단점은 다음과 같다.

### (1) 스트러트 공법

굴착내부에 버팀대를 가로·세로방향으로 설치하여 양측의 토압을 지지할 수 있도록 하는 공법으로서, 버팀대의 좌굴방지를 위해 중간말뚝(Center Pile) 설치가 불가피하여 토공작업 시 많은 장애가 되며, 굴착완료 후 본 구조물 축조 시 슬래브 등에 많은 구멍이 생기게 됨으로 인해 본 지하구조물 방수처리 문제가 뒤따르게 된다. 또한 이러한 중간말뚝과 가로·세로방향으로 설치된 버팀대로 인해 본 지하구조물 축조공사를 위한 자재반입, 철근 및 거푸집작업 등에 많은 장애가 되어 공사기간이 길어지며, 작업 공간 협소로 인해 본 지하구조물 품질관리도 문제가 되고 있는 실정이다. 또한 50m이상의 장변일 경우 구조적 불안정성은 물론 과다한 강제 소요와 이에 따른 과대한 지중발생 등의 문제로 인해 현장적용이 어렵다.

## (2) 지반앵커 공법

굴착배면 지반 측으로 앵커를 설치하여 인장력을 가함으로써 토압을 지지할 수 있도록 하는 공법으로 위의 스트러트 공법의 많은 문제점을 해소할 수 있는 공법이다. 그러나 최근 도심지의 지반굴착 시 앵커설치를 위한 천공과정 중에 발생하는 진동 및 지반침하 등의 영향으로 인해 인접 구조물, 지하 매설물(관로 등)에 많은 손상을 가져와 민원발생의 문제가 심각하며, 이에 따라 인접대지 측의 동의를 얻기가 매우 어려워 도심지에서의 적용은 많은 제약을 받고 있다. 또한 연약지반에 서는 앵커 체와 지반과의 마찰력이 매우 작아, 소요지지력을 얻기 위해서는 앵커길이 길어져야 하며 이로 인해 공사비가 증가하게 된다.

## (3) 지반네일 공법

굴착배면 지반 측으로 강봉 또는 철근을 설치하여 토압을 지지할 수 있도록 하는 공법으로서, 인접 지하구조물 또는 지하매설물(관로 등)의 교차로 인해 소요 앵커길이 확보가 불가할 경우에 적용되고 있으나, 실제 시공 시 단계별 굴착 미 준수 등으로 인해 구조적 안정성 및 과도한 지반변위 발생 등의 문제점이 있어 지반조건이 비교적 양호하며 어느 정도의 지반변위가 허용될 수 있는 주변 여건에 한하여 제한적으로 적용될 수 있다. 또한 앵커에 비해 더 많은 개소의 천공작업이 요구 되므로 공사비가 더욱 증가하게 되며, 앵커의 경우와 마찬가지로 인접대지 측의 동의문제가 수반된다.

## (4) 유압잭을 사용한 버팀대 선행하중 공법

스트러트에 유압잭을 설치하여 굴착배면 지반 측으로 선행하중을 가함으로써 구조적 안정성 유지와 지반변위를 최소화할 수 있는 공법이다. 그러나 스트러트 공법에서와 같이 중간말뚝, 가로·세로 방향의 버팀대로 인해 토공작업 및 본 구조물 축조작업에 장애요인이 되며, 장

변의 경우 과도한 강제 소요와 이에 따른 문제는 여전히 뒤따르게 된다. 기타 Top-Down 공법, Island 공법 등이 대규모 굴착현장의 경우 적용되고 있으나 시공성, 공기, 경제성 등의 문제는 불가피한 실정이다.

## 2. 본 공법 개요

본 공법은 지하 토목구조물이나 건축구조물 축조공사를 위한 개착식 지반 굴착시 발생하는 토압을 지지하기 위한 가설 흙막이 지지공법으로서, 강재에 비해 매우 경량인 지지선과, 굴착초기에 흙막이 배면 지반 측으로 선행하중을 가할 수 있는 장치(지지선 고정부, 버팀대 선행하중 장치)를 이용하여, 굴착이 진행됨에 따라 흙막이 벽에 작용하게 되는 주동토압 및 수압을 버팀대를 통해 지지선의 인장력으로 지지하도록 하는 공법이다.

따라서 경량의 지지선을 이용하여 유압잭을 사용한 버팀대 선행하중 공법과 동일한 효과(지반변위의 최소화)를 얻게 된다.

## 3. 본 공법의 적용 범위

- (1) 정방형 또는 장방형 굴착현장
- (2) 지하철 노선과 같은 연속 굴착현장
- (3) 기타 부정형 굴착평면의 경우에는 정방형 및 이에 준하는 여러 평면으로 분할하여 적용한다. 이와 같이 다수의 평면으로 분할하여 본 공법을 적용할 경우에는 각 부재에 균등한 응력이 발생될 수 있도록 굴착작업, 피장 및 각 부재 설치작업, 선행하중 재하 작업 등에 대한 공정계획을 충분히 검토 수립하여 적용한다.

# 기술 기사

## 4. 본 공법의 적용 효과

본 공법은 굴착 내부에 설치되는 지지선의 인장저항력을 이용하여 선행하중 효과와 아울러 흙막이 벽에 발생하는 주동토압 및 수압을 지지하도록 함으로써 종래의 지반앵커 및 지반 네일 공법들의 제한적 적용성에 비해 현장 적용성이 광범위하게 되며, 구조적 안정성은 물론 선행하중을 가함으로 인접 주변 지반변위를 억제하여 민원을 최소화 할 수 있고, 본 구조물 축조공사를 위한 원활한 공간 제공은 물론 종래의 버팀대 공법에 비해 강제 소요량, 이음부 접합수량을 대폭 줄일 수 있어 공사비 절감, 공사기간 단축 등의 복합적 효과를 거둘 수 있다.

## 5. 설계 사례

### 5.1 현장개요

- 현장명 : 당산동 ○○ 지하주차장 신축공사
- 현장위치 : 서울시 영등포구 당산동
- 굴착규모 : 가로 61.6m × 세로 48.6m(약 907평), G.L. -10.3m
- 흙막이 벽체 : C.I.P + L/W보강
- 흙막이 지지 : 지지선과 선행하중 버팀대

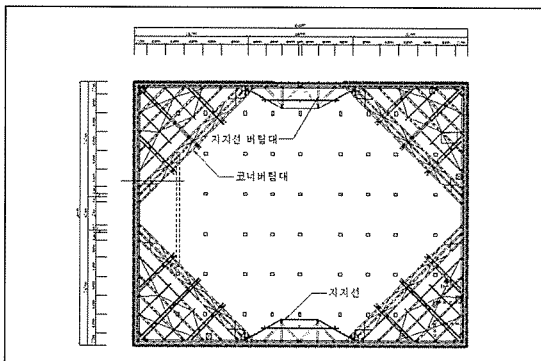


그림 1. 평면도

### 5.2 주변현황

공원부지로서 각종 수목들과 시설물들이 현장인접 주변에 산재해 있고, 서측으로는 8m 도로, 남서측 코너부에 당산지구대가 위치해 있다.

### 5.3 지층조건

당 현장의 지층구성은 현 지표하 매립층, 퇴적층, 풍화암층 순으로 분포하고 있으며 지하수위는 굴착저면 이하에 위치하는 것으로 조사되었다. (그림 2)

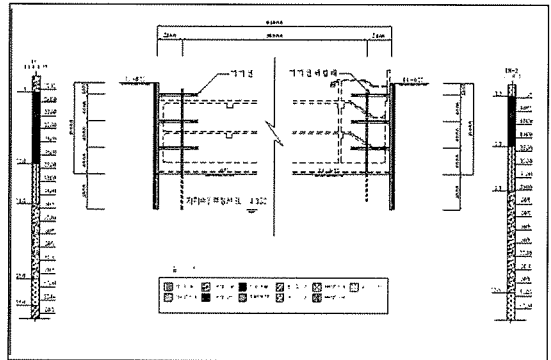


그림 2. 단면도

### 5.4 흙막이 구조설계

#### 5.4.1 흙막이 지지 System에 작용하는 토압의 적용

당 현장의 지반거동에 따른 안정성 검토에 적용된 각 지층의 지반정수는 경험식 및 문헌에 제시된 값을 참조하여 산정 하였으며, 탄소성 해석 범용 Program 인 SUNEX를 이용 각 지점의 버팀대 반력을 단위토압으로 환산 하여 흙막이 지지 System 에 작용하는 토압으로 적용하였다. 이때 버팀대 반력은 전 굴착 단계 중 각 단계에서의 최대값을 취하였다.

#### 5.4.2 엄지말뚝의 설계

엄지말뚝에 작용하는 전단력, 휨 모멘트에 대한 검토와

근입장 검토는 일반적인 흙막이 구조설계시와 마찬가지로 SUNEX를 이용하여 부재검토 및 설계하였다.

### 5.4.3 흙막이 지지System의 Modeling 및 응력해석 주안점

- (1) MAIDAS / GEN을 사용하였으며 단변방향으로의 역변위가 발생하는 불합리한점을 보완하기 위하여 수동 토압을 받는 단변방향에 수평지반 반력계수에 상당하는 SPRING을 가지는 BOUNDARY CONDITION을 주어 응력해석을 수행함.
- (2) 적절한 변위제어를 위하여 코너 버팀대와 지지선 버팀대에 유압장치에 의한 선행하중을 가하였으며, 변위 및 토압 등 현장계측 정보입력 필요시, 적절한 변위제어 및 주요부재의 응력검토가 가능하도록 Modeling 하였다.
- (3) 겹 따장은 버팀대의 간격조절 및 단면의 효율을 극

대화하고 지지선 고정부와의 구조적인 일체 형성을 위하여 Spacer Beam을 가지는 STUB GIRDER Type을 채택하였다.

- (4) 지지선은 소요인장력 발휘 및 시공의 편의성, 재사용성을 고려 단부에 Fitting Anchor(로만손)가 고정된 케이블(Coating PC 강연선)을 사용하였다.

### 5.4.4 선행하중의 크기결정

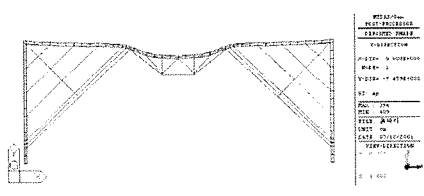
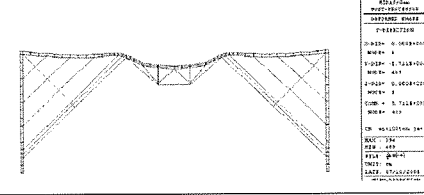
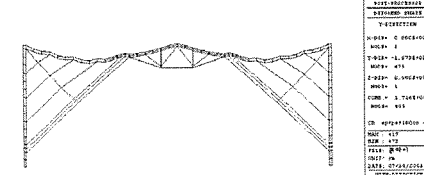
- (1) 코너 버팀대의 P/L : 작용 전 토압×80%
- (2) 지지선 버팀대의 P/L : 작용 전 토압×50% (1단계)  
작용 전 토압×100% (2단계)

### 5.4.5 Out Put 의 검토

- (1) 변위량 검토

그림 3. 참조

그림 3. DISPLACEMENT

구 분	최대변위량	검토결과	비 고
① P/L 미작용시	8.1cm		Case-I
② 코너버팀대 P/L 작용시	6.3cm		Case-II
③ 코너 버팀대 및 지지선 버팀대 P/L 작용시	-1.6cm		Case-III

# 기술 기사

## (2) 휨 모멘트 검토

겹따장(STUB GIRDER Type)에 작용하는 휨 모멘트를 검토한 결과는 그림 4와 같다.

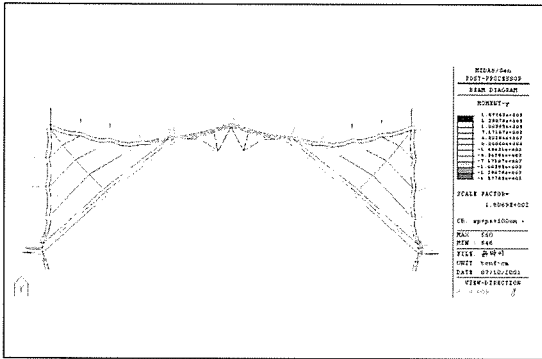


그림 4. BMD(Case-III)

## (3) 축력 및 전단력 검토

지지 System의 각 부재에 작용하는 축력(압축력 또는 인장력) 및 전단력을 검토한 결과는 그림 5와 같다.

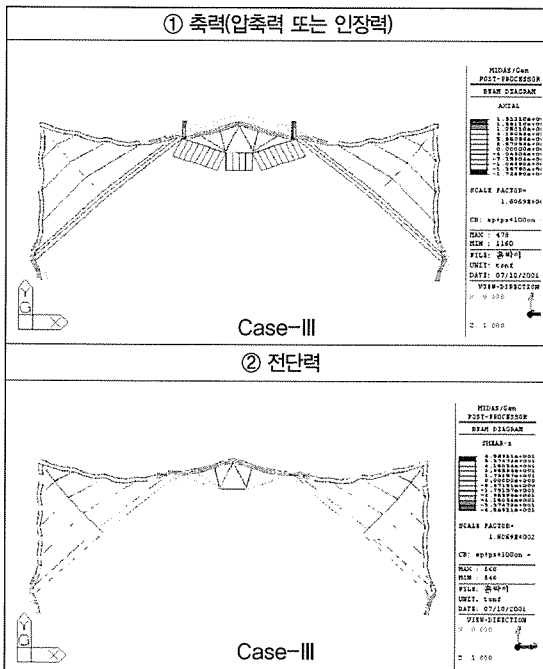


그림 5. AFD & SFD(Case-III)

## 5.4.6 주요 흠막이 지지 System의 응력검토 및 설계

한국 강구조학회 『강구조 설계기준(2003.12) 제 14장 말뚝 및 널말뚝 구조물』 적용하여 위 5.4.5의 검토결과를 토대로 각 부위별 응력검토 설계결과는 다음과 같다.

### (1) 겹 따장 (Stub Girder Type)

- 일반부위 : 2H- 300×300×10×15(SS 400)
- 지지선 고정부위 및 압축력 과대 발생부위 : 3H- 300×300×10×15(SS 400)

### (2) 코너 버팀대(P/L Jacking System) : 3H - 300×300×10×15(SS 400)

### (3) 지지선 버팀대(P/L Jacking System) : H- 300×300×10×15(SS 400)

### (4) 지지선 : F 170T 2 ea

## 5.4.7 선행 하중 재하 방법

흠막이 지지System 구조 전체에 국부적인 과응력이 발생되지 않고 응력 Balance를 유지할 수 있도록 1, 2단계로 나누어 유압식 Jacking System으로써 선행하중을 재하한다.

## 6. 계측관리 계획

- (1) 지중경사계, 수위계, 변형율계, 침하계 등의 계측항목은 기존 공법의 경우와 마찬가지로 설치 계획함.
- (2) 지지선 고정부의 응력집중 부위에 지중경사계 추가 설치 계획함.
- (3) 지지선 고정부에 하중계를 설치하여 전반적인 지지 시스템 응력상태를 관찰하도록 계획함.
- (4) 계측빈도는 주 2회 기준으로 하되, 선행하중 재하

전후의 계측치를 비교 검토 분석하여, 필요시 추가 선행하중 재하 등 현장안전 유지 및 주변지반 변위를 최소화 하도록 계측관리 계획을 수립함.

## 7. 결론

- (1) 본 공법 개요 및 적용효과 등에서 전술한 바와 같이 본 공법은 굴착내부에 설치되는 지지선의 인장저항력을 이용하여 굴착배면으로 선행하중을 가함으로써 인접굴착 배면의 지반변위를 최소화 할 수 있다.
- (2) 굴착내부 지지시스템으로서 인접대지 등의 붕괴를 방지한 지반앵커, 지반네일 공법들의 제한적 적용성을

극복할 수 있다.

- (3) 장변의 스트리트 및 중간말뚝 설치 등에 의해 토공 작업과 본 구조물 축조작업에 장애가 되는 스트리트 공법에 비해, 원활한 작업 공간 제공은 물론 강재 소요량을 줄임으로써 공기단축, 공사비 절감과 아울러 본 구조물 품질향상 등을 도모할 수 있다.
- (4) 흙막이 지지공사에 현재 통용되고 있는 강재규격(300x300x10x15, SS400)으로 구조계산 및 설계함으로써 시공사의 기존 보유강재들을 충분히 활용할 수 있도록 하였다. 따라서, 현장시공 경험을 통한 전문시공팀 구성, 굴착공사와의 효율적 공정관리 수립 등으로 종래의흙막이 지지공법들에 비해 보다 광범위하게 지반굴착 현장에 널리 적용될 수 있을 것이다.

### [참고문헌]

1. 김상규 "토질역학(1991)" 흙막이 구조물에 작용하는 토압, P 223 ~ P 273
2. 정철호 "지반굴착기술(2000)" 흙막이 구조물 설계, P 68 ~ P 160
3. 한국지반공학회 "개착식 지반굴착에 따른 흙막이 벽의 해석기법(1995)"
4. 한국지반공학회 "구조물 기초 설계기준(1997)"
5. 한국지반공학회 "굴착 및 흙막이 공법(2000)"
6. 한국강구조학회 "강구조 설계기준(2003)"

<http://www.teso.co.kr>

Life is too short  
to run through....

**TESO (주) 太朝 엔지니어링**  
Total Engineering Services by Operation-network

서울시 송파구 방이동 51-1 유정빌딩 4·5층 TEL: 2140-9200(9210)