

# 일반적인 흠막이 가시설의 구조적인 이해

글 | 김창수 | 토목기술부 과장 | 전화 : 02-3433-7767 E-mail : conshot@ssyenc.com

흠막이 가시설은 먼저 흠막이 벽체를 시공한 후 굴착이 진행된다. 지지구조물의 설치심도에 도달하면 버팀보, 어스앵커, 레이커 등의 지지구조물을 설치하고 다음 굴착공정을 진행한다.

이러한 지하공간을 확보하기 위한 가설구조물은 순서에 따라 흠막이 벽체의 응력검토, 지지구조물 제원 및 단면설계, 기타 주요부재 단면검토, 주변지반 침하영향 검토, 히빙 및 파이핑 현상 검토 등의 순으로 설계가 진행된다.

본 장에서는 흠막이 가시설중 가장 널리 사용되고 있는 H-Pile+토류판 공법을 위주로 각 부재의 설계원리와 기능적 특성을 약술하여, 흠막이 가시설에 대한 구조적인 이해를 돕고자 한다.

## 1. 서론

흠막이 가시설은 먼저 흠막이 벽체를 시공한 후 굴착이 진행된다. 지지구조물의 설치심도에 도달하면 버팀보, 어스앵커, 레이커 등의 지지구조물을 설치하고 다음 굴착공정을 진행한다. 이러한 지하공간을 확보하기 위한 가설구조물은 순서에 따라 흠막이 벽체의 응력검토, 지지구조물 제원 및 단면설계, 기타 주요부재 단면검토, 주변지반 침하영향 검토, 히빙 및 파이핑 현상 검토 등의 순으로 설계가 진행된다.

본 장에서는 흠막이 가시설중 가장 널리 사용되고 있는 H-Pile+토류판 공법을 위주로 각 부재의 설계원리와 기능적 특성을 약술하여, 흠막이 가시설에 대한 구조적인 이해를 돕고자 한다.

## 2. 토류용 강제말뚝

### 2-1. 주요 기능

토류용 강제 말뚝의 주요 기능은 토류판을 통해 전달되는 배면토의 토압을 띠장에 전달하는 기능과 복공이 계획된 경우 상부 하중을 지중에 전달하는 기능이 있다. 따라서, 토류용 강제 말뚝은 복공판을 지지하는 보의 최대반력과 토압에 의한 모멘트에 대하여

충분한 내력을 확보하여야 하며, 말뚝의 지지 지반은 상부 하중에 대하여 충분한 지지력을 확보하여야 한다.

### 2-2. 단면 검토

토류용 강제 말뚝은 시공단계별로 분리한 경우에 대하여 설계하며, 버팀보 위치를 지점으로 하는 단순보 또는 연속보로 계산한다. 토류용 강제말뚝에 작용하는 하중은 복공판을 지지하는 보의 최대 반력과 토압에 의한 최대 모멘트를 사용하여 단면을 검토하며 토압에 의한 최대 전단력에 대해서 검토하여야 하며, 다음 <표 1>은 신강재의 허용응력을 나타낸 것이다.

### 2-3. 말뚝의 안정 검토

#### 1) 지지력 검토

다음과 같이 산정한 최대 축방항력은 말뚝의 허용 지지력 이내이어야 한다.

최대 축방항력(P)=주형보 지점의 반력+주형보의 지지보 자중+버팀보 지점의 반력(자중에 의한 반력)+띠장의 자중+Pile 자중

#### 2) 근입장 검토

충분한 근입심도의 확보는 벽체의 안정 및 변위발생억제에 매우 중요하다.

〈표 1〉 신강재의 허용응력

종류	일반구조용 압연강재 SS 400, SWS 400 SMA-41	SWS 490	비고
축방향인장 (순단면)	2,100kg/cm <sup>2</sup>	2,850kg/cm <sup>2</sup>	
축방향압축 (총단면)	L/r ≤ 20일 경우 2,100kg/cm <sup>2</sup>	L/r ≤ 15일 경우 2,850kg/cm <sup>2</sup>	L(cm) : 유효좌굴장 r(cm) : 단면 2차 반경
	20 < L/r ≤ 93일 경우 2,100-13(L/r-20)	15 < L/r ≤ 80일 경우 2,850-119.5(L/r-15)	
	L/r > 93일 경우 $\frac{18,000,000}{6,700 + (L/r)^2}$	L/r > 80일 경우 $\frac{18,000,000}{5,000 + (L/r)^2}$	
휨 응 력	인장면 (순단면) 2,100kg/cm <sup>2</sup> L/b < 4.5일 경우	2,850kg/cm <sup>2</sup> L/b < 4.0일 경우	L : flange의 고정 점간 거리 b : 압축flange의 폭
	압축면 (총단면) 2,100kg/cm <sup>2</sup> 4.5 ≤ L/b < 30일 경우 2,100-36(L/b-4.5)	2,850kg/cm <sup>2</sup> 4.0 ≤ L/b < 30일 경우 2,850-57(L/b-4.0)	
전단응력 (총단면)	1,200kg/cm <sup>2</sup>	1,650kg/cm <sup>2</sup>	
지압응력	3,150kg/cm <sup>2</sup>	4,200kg/cm <sup>2</sup>	
용접 공장	모재의 100%	모재의 100%	
강도 현장	모재의 90%	모재의 90%	

최소 근입심도는 양호한 지반에서 1.5m 이상, 연약지반에서는 3.0m 이상이어야 하며, 엄지말뚝 근입 후 확인측량을 실시하여 소정의 심도까지 충분히 근입되었는지 확인하거나 플렌지에 일정간격으로 심도를 표시하여 근입 정도를 지표면에서 확인할 수 있어야 한다.

근입심도 부족의 주요원인을 기술하면 다음과 같다.

- 표고측량의 잘못에 의한 근입심도의 부족
- 과잉굴착에 의한 근입심도의 부족
- 호박돌출, 자갈층 및 암반층 등의 관입불량에 따른 근입심도 부족 토압에 대한 H-Pile 벽체의 근입장은 다음 식에 의하여 검토한다.

$$F_s = \frac{M_p}{M_A} > 1.2$$

여기서

F<sub>s</sub> : 안전율

M<sub>A</sub> : 최하단 버팀보를 지점으로 하는 주동토압에 의한 모멘트

M<sub>P</sub> : 최하단 버팀보를 지점으로 하는 수동토압에 의한 모멘트

〈표 2〉 지하철공사에서의 강말뚝 최소근입깊이

구 분	서울지하철 6호선	부산지하철 3호선
최소 근입장	1.0m	풍화암 : 2.5m 연,경암 : 1.5m

### 3) 허빙에 대한 안정 검토(점성토지반)

허빙이란 연약한 점성토지반의 경우 굴착배면토의 중량 및 재하중이 굴착저면 이하의 지반지지력보다 크게 되어 지반내의 흙이 미끄러지면서 굴착저면이 부풀어 오르는 현상을 말한다.

굴착폭이 클 때는 체보타리오프 방법에 의하여 검토하여 안전율을 1.2이상으로 한다.(버팀보와 강말뚝 근입깊이가 고려됨)

굴착폭이 작을 때는 테르자기-팩의 방법에 의하여 검토하여 안전율을 1.5이상으로 한다.(강말뚝 근입깊이가 고려안됨.)

### 4) 파이핑에 대한 안정검토(사질토지반)

굴착바닥면의 흙이 모래지반인 경우 상향의 침투수압에 의한 동수경사가 모래지반의 한계동수경사(c)보다 크게 되면 모래의 입자 사이에는 유효응력을 잃게 되어 굴착바닥면의 안정을 잃게 된다.

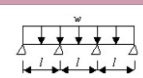
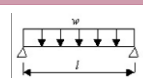
이 분사 현상이 발전되어 물의 통로가 생기면서 흙이 세굴되어 가는 과정을 파이핑현상이라고 한다. 배면의 수두손실을 고려할 경우의 안전율은 2.0이상으로 한다. 배면의 수두손실을 고려하지 않을 경우 안전율은 1.2이상으로 한다.

### 5) 흙막이판

토류판 설치시 여굴 및 뒷채움 부실은 배면침하의 주요원인에 해당하므로 여굴을 줄이고 뒷채움을 충실히 시행한다. 지하수의 유출이 많은 경우 지하수와 함께 토사가 유출되는 것을 방지하기 위하여 부직포 등의 배수재료를 사용하여 토사의 유실을 방지하여야 한다. 흙막이판은 배면지반과 밀착 시공되어야 하며 간격이 있거나 배면지반이 느슨할 경우 양질의 토사로 채운 후 다짐을 하거나 소일시멘트로 채워야 한다.

흙막이판은 엄지말뚝 내부로 40mm 이상 걸침길이를 확보하도록 끼워 넣는다.

〈표 3〉 떠장설계 일반

떠장의 종류	연속보	단순보
하중분포도		
최대휨모멘트	$M_{max} = \frac{1}{10} w l^2$	$M_{max} = \frac{1}{8} w l^2$
최대전단력	$S_{max} = \frac{6}{10} w l$	$S_{max} = \frac{7}{12} w l$
최대반력	$R_{max} = \frac{11}{10} w l$	$R_{max} = \frac{13}{12} w l^2$
비 고	w : 등분포하중(tf/m <sup>2</sup> ), l : 버팀보 간격 (m)	

### 3. 띠장

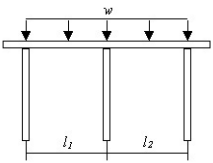
#### 3-1. 주요 기능

토류용 강재 말뚝을 통해 전달되는 하중을 버팀보에 전달하고, 강 말뚝을 일체화시키는 기능이 있다.

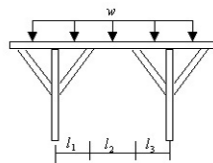
#### 3-2. 띠장의 단면 검토

띠장은 일반적으로 단순보로 설계한다. 다만 양호한 이음구조로 휨모멘트 및 전단력이 충분히 전달되는 경우에는 연속보로 설계하며, 띠장 지점간격은 순간격을 적용하며 사보강재의 사용에 따라 다음과 같이 구분하여 적용한다.

〈표 4〉 사보강재를 설치하지 않은 경우 띠장설계

구분	지점 l의 산정
사보강재를 설치하지 않은 경우	 $l = l_1, l_2 \text{ 중 큰 값}$

〈표 5〉 사보강재를 설치한 경우 띠장설계

구분	지점 l의 산정
사보강재를 설치한 경우	 $l = 1/2 l_1 + l_2 + 1/2 l_3$

띠장의 처짐은 순간격의 1/3000이하이어야 하며, 버팀보 또는 어스 앵커와의 접합부는 보강재를 설치하여야 하고, 그라운드 앵커에 연결되는 띠장은 앵커로 인한 연직분력을 고려하여야 한다. 굴착면의 가로 세로의 차가 매우 클 경우, 단변 띠장은 축력과 힘을 동시에 받는 부재로 설계하여야 한다.

### 4. 버팀보

#### 4-1. 주요 기능

버팀보는 띠장으로부터 전달되는 하중을 최종적으로 지지해주는 기능이 있다.

#### 4-2. 버팀보의 단면 검토

버팀보는 띠장으로부터 전달되는 하중, 고정하중, 상재하중 및 온도의 영향을 고려하여 휨압축부재로 설계하며, 버팀보는 흙막이벽의 변위를 억제하고 띠장과 흙막이벽의 밀착을 위하여 초기 지압력을 도입하는 경우에는 추가되는 축력의 크기를 반영하여야 한다. 좌굴은 강축 및 약축방향에 대하여 검토하며 각 방향 좌굴 길이는 다음에 따른다.

- 강축의 좌굴길이는 엄지말뚝 또는 중간말뚝 중심간 거리로 한다.
- 약축의 좌굴길이는 강축방향 좌굴길이 또는 직각이음재(수평이음재 및 수직이음재) 중심간 거리의 1.5배를 적용한다.
- 유효한 까치발이 있을 경우에는 까치발 시작점부터 적용할 수 있으며, 세장비는 100 이하로 하고, 현장의 공사여건상 부득이하여 좌굴에 대하여 효과적으로 구속시킬 수 없는 경우라도 120을 초과할 수 없다.
- 버팀보는 가설구조물 전체의 강성을 확보할 수 있도록 일정간격으로 인접버팀보와 수평가새를 설치하며, 가새의 설치는 좌굴해석에 따라 위치 및 부재규격을 결정하여야 한다.
- 레이커는 기초 Block에 대한 지지력 검토를 하여야 하고, 버팀보의 간격은 수평으로 5.0m이하, 수직으로 3.0m정도가 일반적이다.

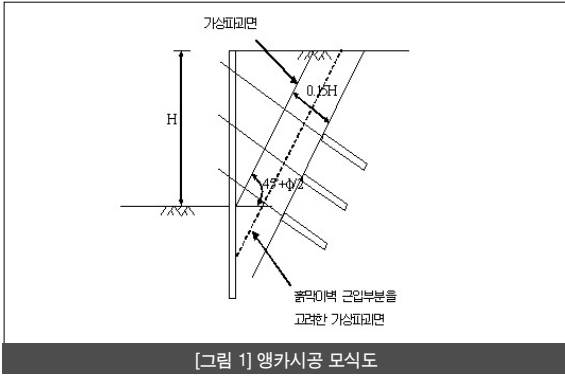
### 5. 지반앵커

#### 5-1. 앵커의 자유장 결정

앵커의 자유장은 구조물의 종류나 목적, 지반조건 등을 고려하여 결정되나 다음 [그림 1]과 같이 앵커가 유효하게 작용하기 위해서는 토층의 파괴면을 그 층의 내부마찰각에 따라  $45 + \phi/2$ 로 가정하고 앵커의 정착장이 파괴면 밖에 설치될 수 있도록 설정하여야 한다.

여기서 계산상의 여유장은 굴착깊이를 H라고 하면 0.15H로 하여 최소 1.5m이상이어야 한다.

즉 설계자유장 > 앵커지점에서의 파괴면까지의 거리 + 0.15H로 하며 이때 최소 설계자유장은 4.5m로 한다.



### 5-2. 앵커의 정착장 결정

정착장은 예상 활동과괴선 밖에 위치되도록 하며 앵커체와 지반과의 주변 마찰저항과 앵커체와 PC 강재 사이의 부착력을 고려하여 정착 깊이를 산정하며, 최소 정착장은 토사층인 경우 4.5m이상으로 한다.

- Grout와 지반간 마찰력에 의한 정착장

$$L_g = \frac{T \cdot F_s}{\pi \cdot D \cdot \tau_u}$$

여기서,

T : 앵커체의 설계 축력(ton)

F<sub>s</sub> : 안전율

D : 천공경(m)

τ<sub>u</sub> : 정착부 주변 마찰저항(tf/m<sup>2</sup>)

- Grout와 강연선간 부착력에 의한 정착장

$$L_s = \frac{T \cdot F_s}{n \cdot \pi \cdot d_s \cdot f_a}$$

여기서,

T : 앵커체의 설계축력(ton)

F<sub>s</sub> : 안전율

n : 인장재 사용 본수(ea)

d<sub>s</sub> : 인장재 직경(m)

f<sub>a</sub> : Grout와 강연선간 허용부착강도(tf/m<sup>2</sup>)

<표 6> 앵커체와 주변 마찰저항의 범위

		지반의 종류	마찰저항 τ <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
일반		경암	10 ~ 25
		연암	6 ~ 15
		중화암	4 ~ 10
사력	N치	10	1.0 ~ 2.0
		20	1.7 ~ 2.5
		30	2.5 ~ 3.5
		40	3.5 ~ 4.5
		50	4.5 ~ 7.0
모래	N치	10	1.0 ~ 1.4
		20	1.8 ~ 2.2
		30	2.3 ~ 2.7
		40	2.9 ~ 3.5
		50	3.0 ~ 4.0
점성토			1.0C

## 6. 중간말뚝

### 6-1. 주요 기능

중간말뚝은 토류공과 토류공 사이의 중간에 설치하는 말뚝을 말하며, 복공을 설치할 경우 상부하중을 하부 지지 지반에 전달하고, 압축 부재인 버팀보의 좌굴을 억제하는 고정점 역할을 한다. 또한, 시공적인 측면에서 보면 버팀보 받침보를 설치한 후에 버팀보를 설치함으로써 버팀보의 안전한 거치가 이루어지도록 하는 기능도 있다.

### 6-2. 중간말뚝의 단면 검토

복공 및 노면 복공을 받치는 보들의 자중과 축벽을 지지하는 버팀보 등의 자중과 충격을 포함한 복공판을 지지하는 주형보의 최대 활하중 반력을 고려하여 설계한다.

외부하중에 대한 중간말뚝의 단면력을 산정하고, 지반 지지력 및 강재 응력이 만족하도록 설계한다. **S**

#### 참고문헌

1. 한국지반공학회(1992), "굴착 및 흙막이 공법", 지반공학 시리즈 3, pp.341~388
2. 한국지반공학회(2003), "구조물기초설계기준 해설", pp.463~559
3. 양구승(1996), "도심지 깊은 굴착시 인접지반 거동에 대한 분석", 서울대학교 박사학위논문, pp.150~156
4. 현대건설(주)기술연구소(1996), "도심지 굴착의 정보화 시공 관리 시스템 개발(최종보고서)"
5. ㈜대우엔지니어링 기술연구소(1988), "도심지 굴착공사를 위한 지하가설 구조물의 설계 및 시공연구", pp.319 ~397
6. ㈜신한(1995), "개착식 지반 굴착에 따른 흙막이벽의 해석기법", 한국지반공학회 연구보고, pp33~206
7. 김명모, 정충기, 양구승(1996), "도심지 깊은 굴착시 발생하는 인접지반 지표침하 분석", 96년 봄 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp.65~86