

KR C-06020

Rev.1, ? May 2014

# 옹벽, 비탈면보호벽, 낙석방지공

2014. 5. ?



한국철도시설공단



## 경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

## 일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.  
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.



# 목 차

1. 용어의 정의 .....	1
2. 옹벽, 비탈면보호벽 및 낙석방지공 .....	2
2.1 일반내용 .....	2
2.2 옹벽의 보통설계 .....	8
2.3 옹벽의 특수설계 .....	8
2.4 옹벽 본체설계 .....	10
2.5 옹벽의 내진설계 .....	15
2.6 비탈면보호벽 .....	16
2.7 낙석방지공 .....	17
2.8 암반비탈면 변위 원인과 계측 .....	17
<b>해설 1. 콘크리트 옹벽 .....</b>	<b>17</b>
1. 설계 일반 .....	17
2. 설계 하중 .....	18
3. 설계 .....	25
4. 배수계획 .....	37
5. 기초의 세굴 대책 .....	41
6. 지진 및 열차진동 .....	41
7. 구조세목 .....	45
8. 기타 설계 · 시공상의 주의점 .....	48
<b>RECORD HISTORY .....</b>	<b>50</b>

### 3. 용어의 정의

- (1) 가외철근 : 콘크리트의 건조수축, 온도변화, 기타의 원인에 의하여 콘크리트에 발생하는 인장력에 대비하여 가외로 더 넣는 보조적 철근
- (2) 간극수압 : 흙의 간극 속에 존재하는 물의 압력
- (3) 관성력 : 운동하는 물체에 작용하는 힘으로 크기가 질량에 가속도를 곱한 것과 같고 방향이 가속도와 반대되는 힘
- (4) 단주(short column) : 세장비가 작아(강재기둥인 경우 약 100 이하) 좌굴이 발생하기 전에 압축응력이 허용응력을 초과하게 되는 기둥
- (5) 보일링(boiling) : 터파기 바닥면의 흙이 모래지반인 경우 상향의 침투수압에 의한 동수경사가 모래지반의 한계동수 경사보다 크게 되면 모래입자 사이의 유효응력이 상실되어 분사현상이 발생하는 것
- (6) 수동토압 : 흙막이벽이 횡방향 압력으로 흙을 뒷채움한 흙 쪽으로 밀 때 흙이 압축을 받아 파괴상태에 이를 때의 토압
- (7) 세장비 : 압축부재에서 부재의 길이를 단면회전반경으로 나눈 값으로 일반적으로 이 값이 100 이상이면 장주, 그 이하이면 단주로 구분
- (8) 엄지말뚝 : 흙막이벽 시공시에 수평나무널을 설치할 수 있도록 일정간격으로 설치하여 벽체를 형성할 수 있게 사용되는 H형강 또는 그와 비슷한 기능을 하는 부재
- (9) 옹벽 : 깎기 또는 쌓기시 측방토압에 대하여 구조물의 자중, 강도 및 강성으로 지지하고, 안정을 유지하는 구조물
- (10) 임계파괴면 : 벽체가 움직여서 횡방향으로 팽창되거나 압축되어 파괴상태에 이를 때의 파괴면
- (11) 임계활동면 : 비탈면에서 활동파괴가 발생할 때에 최소안전율을 가지는 때의 파괴면
- (12) 양압력 : 중력방향의 반대방향으로 작용하는 연직성분의 수압
- (13) 정지토압 : 벽체의 횡이동이 전혀 없거나 있더라도 극히 적은 상태의 토압
- (14) 주동토압 : 흙막이벽이 횡방향 압력에 의해 뒷채움 흙 외측으로 변위가 발생하여 흙이 횡방향으로 팽창되어 소성극한상태에 이를 때의 횡토압
- (15) 측방유동 : 연약한 지반에서 쌓기 등의 재하하중에 의해 지반이 측방으로 변위 하는 것
- (16) 활동방지 벽(Shear key) : 저판하부에 횡방향 저항력을 높이기 위해 돌출되게 만든 부분
- (17) 흙막이 구조물 : 흙막이벽, 옹벽 등 이에 준하는 구조물의 총칭
- (18) 흙막이벽 : 깎기 또는 쌓기에 의해 지지되면서, 토압, 수압 등 외력에 대하여 안정을 유지하는 구조물
- (19) 허빙 : 연약한 점성토 지반에서 터파기 외측의 흙의 중량으로 인하여 터파기된 저면이 부풀어 오르는 현상
- (20) 파이핑 : 흙막이벽의 모래지반 굴착시 배면의 수위가 높아지면 굴착저면에 상향의 침



투류가 발생되고 유효중량보다 커지게 되면 보일링이 일어나 발전되어 물의 통로가 생기면서 세굴되어 가는 과정

## 2. 옹벽, 흙막이벽 및 비탈면보호벽

### 2.1 일반내용

(1) 옹벽은 가능한 한 토압이 작게 발생하는 위치를 정함과 동시에 시공법 및 경제성을 고려하여 현장의 실상에 맞는 형식 및 기초구조를 선정하여 설계해야 한다.

(2) 옹벽의 설계방침

#### ① 설계방침

가. 옹벽은 높이가 커짐에 따라 순차로 중력식옹벽, 캔틸레버식 옹벽, 부벽식 옹벽을 이용 하는 것이 일반적인데 그 외에 현장의 실상에 알맞은 특수한 옹벽이나 구조 형식으로 설계할 수 있다.

나. 옹벽은 토압에 저항하는 구조물이므로 가능한 한 토압이 작게 발생하도록 그 위치를 선정해야 한다.

다. 옹벽배면의 뒷채움 설계시 토압은 물론, 토압보다도 큰 수압이 작용하지 않도록 배수기능을 고려해야 한다.

#### ② 옹벽설계 및 시공을 위한 조사

가. 기초지반 등 안정검토에 필요한 설계정수를 구하기 위한 토질조사

(가) 높이 8m 이하의 옹벽인 경우 뒷채움재의 종류에 따라 단위체적중량이나 토압계수가 결정되므로 뒷채움재를 흙의 분류방법에 따라 자갈 또는 모래와 자갈의 혼합물, 사질토 및 실트, 점성토(단,  $WL < 50\%$ )의 3종류로 구분하는 것이 좋다.

(나) 높이 8m초과 옹벽에 대해서는 뒷채움재에 대한 역학시험결과를 판단하여 설계정수를 산정해야 한다.

(다) 기초지반의 조사깊이는 지지력, 활동, 침하 등에 영향을 미치는 범위에 대해 실시해야 한다. 일반적으로 기초지반이 활동파괴를 일으키는 범위는 배면쌓기 높이의 1.5배 이내의 깊이로 접지압에 의한 침하의 영향범위는 쌓기 높이의 1.5~3배 이내인 것으로 알려져 있으므로 기초지반 조사의 범위를 설정해야 한다. 그러나 산정된 범위를 넘어 활동파괴나 압밀침하가 발생할 수 있는 연약층이 존재하면 그 층 전체에 대해 활동 및 침하에 대한 공학적 성질을 조사할 필요가 있다.

나. 주변 조건의 조사

(가) 옹벽파괴원인의 대부분은 집중호우 등에 의한 배수불량과 동시에 기초지반의 불량에 의한 것이므로 배면지반의 배수계통과 기초의 지반조건을 검토하여 설계해야 한다.

- (나) 옹벽을 특수한 조건의 지반에 설치해야 하는 경우 예를 들면 비탈면상의 옹벽에는 비탈면 전체로서의 안정을 우선 고려해야 하며 연약지반에서는 압밀침하나 수평변위, 인접구조물과의 상대변위 등의 영향을 고려하여 옹벽의 형식, 기초의 구조나 지지방식을 결정해야 한다.
- (다) 좁은 용지에서는 기초폭을 가능한 한 작게 한 특수한 기초형식을 이용해야 하는 경우가 많다. 이러한 경우에 이용되는 옹벽은 설계가 복잡함과 동시에 다소의 약점을 가지므로 그 적용에 있어서는 신중하게 장·단점을 검토해야 한다.
- (3) 옹벽의 보통설계와 특수설계의 구분
- ① 옹벽의 보통설계와 특수설계의 구분은 뒷채움흙의 조건, 지반조건 및 구조조건 등을 고려하여 정하며 특수설계로 하는 경우는 각각의 조건에 알맞은 검토를 해야 한다.
  - ② 옹벽의 보통설계는 연약하지 않은 평탄한 지반상에 중력식, 캔틸레버식 및 부벽식 옹벽을 이용하고 일반적인 형상의 쌓기를 한 경우이다. 이 이외의 경우에는 특수설계로 적용조항을 표시해야 한다.
- (4) 옹벽에 적용하는 토압
- ① 토압의 정의 및 벽체 변위
 

가. 옹벽에 작용하는 토압은 크게 정지토압, 주동토압 및 수동토압 3가지로 구분되는데 그 구별은 전적으로 옹벽의 변위와 관계된다.

변위가 전혀 없다면 정지토압이 되고 벽체가 뒷채움으로부터 외측 파괴변위를 일으키면 주동토압, 뒷채움쪽으로 파괴변위를 일으키면 수동토압이 된다.

나. 토압계수는 수평유효응력에 대한 연직유효응력의 비( $\sigma_h'/\sigma_v'$ )로 정의되며 흙의 종류에 따른 주동 및 수동상태에 이르는 변위량은 다음과 같다.

(가) 수동토압을 발생시키는 변위가 주동토압을 발생시키는 변위보다 크다는 사실을 알 수 있다. 정지토압계수( $K_o$ )와 관련한 많은 경험식들이 제안되어 있으나 일반적으로 정규압밀점토나 모래질 흙인 경우는  $K_o = 1 - \sin \phi'$ 를 적용한다.

(나) 과압밀 흙인 경우는 과압밀비(OCR)가 클수록  $K_o$ 가 증가되는  $K_o = (1 - \sin \phi') \sqrt{\text{OCR}}$ 을 적용한다.

(다) 변위를 전혀 허용하지 않는 옹벽의 경우는 정지토압으로 설계되어야 한다.

다. 옹벽과 뒷채움 흙과의 마찰각(벽면마찰각,  $\delta$ )과 옹벽연직변위도 주동토압에 영향을 끼친다.  $\delta$ 값에 따른 주동토압크기의 영향은 옹벽이 연직으로 많은 침하를 일으키지 않는다면 크지 않으나 수동토압에 미치는 영향은 매우 크다.
  - ② 토압의 계산
 

가. 토압공식은 Coulomb, Rankine, Terzaghi의 공식 등 여러 가지이지만 실내외 실험결과 Coulomb의 토압공식이 비교적 측정치에 가까운 값을 보이기 때문에 Coulomb의 토압공식을 사용해야 한다. 그러나 강널말뚝 등 변형하기 쉬운 구조물에 작용하는 토압은



복잡한 곡선분포를 보이므로 이 경우에는 Coulomb의 토압을 사용할 수 없다. 그리고 역 T형 옹벽 또는 부벽식 옹벽과 같이 뒷굽에서부터 연직하게 세운 가상면에 토압이 작용할 때에는 Rankine 토압을 사용해야 한다.

- 나. 벽면 마찰각의 부호는 주동토압의 경우에는 정(正), 수동토압의 경우에는 부(負)를 취해야 한다. Coulomb의 수동토압이 벽면마찰각 등의 영향으로 과대하게 되지 않도록 설계시 벽면마찰각 등을 제한해야 한다.
- 다. 토압의 계산에 적용하는 흙의 단위중량은 현장에서 채취한 토질시료에 대한 시험치를 이용하고, 점성토의 경우에는 주동토압과 수동토압 계산시에 점착력의 영향을 고려해야 한다.
- 라. 일반적으로 점성토는 함수비에 의해 현저하게 그 성질이 변화하며 설계시에 원위치시험 혹은 채취시료에 의한 실내시험의 결과에서 점착력을 구해도 그 당시의 값을 파악하는 것에 불과하므로 이러한 이유들로 인하여 흙의 점착력을 정확히 추정할 수 없는 경우에는 점착력의 영향을 무시하고 전단저항각을 작게 산정하여 토압계수를 계산해야 한다.
- 마. 벽체배면의 지표면에 하중이 작용하는 경우의 토압은 재하하중에 토압계수를 곱하여 그 영향을 고려해야 한다.
- 바. 옹벽의 설치위치에 따라 지표면 형상이나 재하하중이 불규칙한 경우 Coulomb의 흙썰기론을 기초로 한 토압의 도해법(시행썰기법)을 적용할 수 있다.

③ 옹벽에 작용하는 주동토압의 작용면 및 작용방향

가. 중력식 옹벽 이외의 경우

(가) 안정계산 및 저판설계를 하는 경우

(ㄱ) 저판 뒷굽에서부터 연직으로 세운 연직면을 가상배면으로 하고 토압은 가상배면에 작용하는 것으로 한다.

(ㄴ) 작용 방향은 가상배면의 수선에 대해  $\delta = \phi$ 의 경사를 이루는 것으로 해야 한다.  $\phi$ 는 흙의 내부마찰각이다.

(나) 벽체설계를 하는 경우

(ㄱ) 벽체배면을 토압의 작용면으로 하고, 토압의 작용면의 벽면마찰각은 <표 1>과 같이 옹벽형식, 계산의 종류 및 상시, 지진시에 따라 적용해야 한다.

표 1. 토압작용면의 벽면마찰각

옹벽형식	계산의 종류	벽면마찰각, $\delta$	
		상시	지진시
중력식 옹벽 반중력식 옹벽	안정 계산	$\phi/3$	0
	벽의 단면계산	$\phi/3$	0
역T형 옹벽 부벽식 옹벽	안정 계산	$\beta$	0
	벽의 단면계산	$\phi/3$	0

주)  $\phi$  : 흙의 전단저항각 (내부마찰각, °),  $\beta$  : 옹벽 배면 지표경사각

(다) 가상배면 선정

- (ㄱ) 토압 산정시 가상배면을 벽체정점의 후단과 뒷굽을 연결한 선으로 하는 방법과 이 항과 같이 뒷굽에서부터 연직으로 세운 연직면으로 하는 방법이 있다. 이 기준에서는 일반적으로 후자에 의한 것으로 해야 한다.

나. 중력식 옹벽의 경우

(가) 안정계산 및 저판의 설계를 하는 경우

- (ㄱ) 벽체정점의 후단과 뒷굽에서부터 세운 연직면을 가상배면으로 하고 토압은 가상배면에 작용하는 것으로 해야 한다.

- (ㄴ) 토압의 작용방향은 중력식옹벽 이외의 경우와 동일하게 적용한다.

(나) 벽체설계를 하는 경우

- (ㄱ) 중력식 옹벽이외의 경우와 동일하게 한다.

(5) 옹벽에서의 상재하중

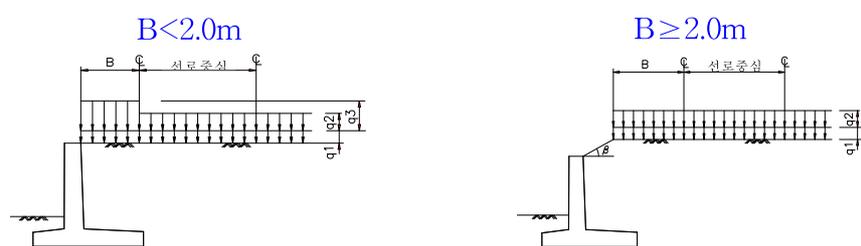
- ① 옹벽 설계시 필요한 상재하중을 고려해야 한다. 설계상 필요 없다고 생각되는 경우에도 경비탈면을 제외하고 15kN/m<sup>2</sup>의 상재하중을 고려해야 한다.
- ② 궤도중량이나 열차하중은 선로규격 등에 의하여 달라지지만 그에 따른 하중의 차이가 옹벽에 미치는 영향이 크지 않으므로 일반적으로 <표 2>과 <그림 1>에서 나타낸 상재하중으로 하여도 좋다.

(6) 옹벽에서의 하중의 조합

- ① 옹벽설계에 이용하는 하중의 조합은 「KR C-06010 흙막이 구조물 설계 일반사항 3.2항」에 의해야 한다.
- ② 안정검토시에는 하중의 조합에 부력을 고려해야 한다.
- ③ 수압, 풍하중, 설하중, 지반변위의 영향 등은 필요에 따라 고려해야 한다.

표 2. 상재하중(kN/m<sup>2</sup>)

구분	일반철도	고속철도
Q <sub>1</sub>	15	15
Q <sub>2</sub>	35	35
Q <sub>3</sub>	73/B	78/B



주)  $q_1$  : 자갈케도중량에 의한 상재하중  
 $q_2$  : 열차하중에 의한 상재하중( $B \geq 2.0m$ )  
 $q_3$  : 열차하중에 의한 상재하중( $B < 2.0m$ )

그림 1. 상재하중의 크기 및 분포

(7) 옹벽의 안정 조건

① 일반내용

- 가. 활동에 대한 안전율은 건기시 1.5, 지진시 1.2를 초과해야 한다. 다만 옹벽 전면의 수동토압을 활동 저항력에 포함할 경우의 안전율은 2.0 이상 이어야 한다. 그리고 우기시 침투수의 영향을 받는 특별한 경우에 대해서는 별도의 검토가 필요하며 이 경우 안전율은 1.3 이상이어야 한다.
- 나. 전도 및 지지력에 대한 안정조건을 만족하며 활동에 대한 안정조건만 만족하지 못할 경우에는 활동방지벽을 설치하여 활동저항력을 증대시킬 수 있다.
- 다. 전도에 대한 저항 모멘트는 횡토압에 의한 전도모멘트의 2.0배 이상이어야 한다. 모든 힘들의 합력작용위치가 저판 폭의 중앙 1/3(지진시 토압에 대해서는 2/3) 이내에 있다면 전도에 대한 안정성 검토는 생략할 수 있다. 만일 기초지반이 암반인 경우라면 그 합력이 중앙 1/2 이내에 있어도 된다.
- 라. 기초지반에 작용하는 최대압축응력이 기초지반의 허용지지력을 초과하지 않아야 한다.
- 마. 기초지반의 지지력 산정과 침하에 대한 검토는 「KR C-11 교량하부 및 기초」를 따른다.
- 바. 기초지반이 연약하거나 하부로 갈수록 연약해지는 토층구조인 경우에는 침하에 대하여 특별한 검토가 필요하다.
- 사. 연약지반이나 경사지를 깎기하고 옹벽을 축조하는 경우에는 옹벽과 기초 하부 및 벽체 배면 지반을 포함한 비탈면 안정성 검토를 수행해야 한다.
- 아. 모든 옹벽은 작용토압에 대해 구조적으로 안전하도록 설계되어야 할 뿐만 아니라 옹벽의 활동, 전도, 지지력에 대한 안정조건이 만족되어야 한다.

② 활동에 대한 안정

- 가. 옹벽에 작용하는 토압의 수평성분에 의해서 옹벽은 수평방향으로 활동하려는 특성을 지닌다. 옹벽의 수평활동에 대하여 옹벽바닥면이 저항하지 못하면 옹벽이 활동하여 파괴에 이를 수 있다. 따라서 옹벽은 활동에 대해 안전해야 한다.

나. 옹벽 저판의 설치깊이는 동결심도 이상이어야 하며 동결심도가 얇은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1.0m 이상의 깊이에 설치해야 한다. 그리고 비록 저판이 소요깊이를 확보하더라도 다음과 같은 점에서 수동토압에 의한 저항을 무시하는 것이 안전측이다.

(가) 수동토압이 발생하기 위해서는 상당한 옹벽의 변위가 필요하다.

(나) 우수나 유수에 의해 옹벽 앞굽 주변의 흙이 세굴될 수 있다.

(다) 옹벽 앞굽 주변은 되메움한 흙으로서 초기 강도를 기대하기 곤란하다.

다. 옹벽 앞굽 앞에 있는 저판 바닥 위의 토피 두께가 그대로 유지될 수 있다면 활동에 대한 안정 검토시 본 수동토압을 고려할 수 있으나 이때의 최소 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

라. 저판과 흙 사이의 마찰력이나 부착력에 의한 저항만으로 활동에 대한 안정이 제대로 얻어지지 못하는 경우에는 저판 바닥면에 돌출부를 설치하거나 말뚝을 설치하여 활동에 대한 저항력을 증대시킬 수 있다.

### ③ 전도에 대한 안정

가. 옹벽은 횡방향 토압으로 인해 저판의 앞굽을 중심으로 회전하려는 경향을 갖는데 만약 이에 대해 저항하지 못하면 전도에 의해 옹벽이 불안정해질 수 있다. 따라서 옹벽은 전도에 대해서도 안정해야 하며 전도에 대한 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

나. 한편 모든 힘들의 합력작용위치가 저판 폭의 중앙 1/3 내에 있다면 전도에 대한 안정성 검토는 생략해도 좋다. 만일 기초지반이 암반인 경우라면 그 합력이 중앙 1/2 이내에 있어도 된다.

### ④ 지지력에 대한 안정

가. 기초지반에 작용하는 최대압축응력( $\sigma_{max}$ )이 기초지반의 허용응력( $\sigma_a$ )을 초과한다면 기초지반의 지지력에 대한 안정을 유지할 수 없다. 즉, 지지력에 대한 안정을 검토해야 한다.

나. 기초지반의 허용지지력( $q_a$ )은 일반적으로 극한지지력( $q_{ult}$ )을 안전율 3.0으로 나눈 값을 사용해야 한다.

### ⑤ 굴착면 전체의 안정

가. 전체 안정성이란 옹벽구조물 뿐만 아니라 옹벽기초 아래 및 옹벽 벽체 뒤의 지반이 포함된 전체의 안정성을 의미한다. 특히 연약지반상에 구조물이 축조되는 경우 전체 안정성이 문제될 수 있으며 이에 대한 평가를 위해서는 현장에 대한 지질학적 탐사, 토질역학적 조사 및 시험과 이를 바탕으로 한 안정성 해석이 필요하다. 전체안정성 해석에는 수정 Bishop법, Janbu의 간편법, Spencer방법 등이 사용될 수 있다. 전체 안정성이 문제될 수 있는 연약지반의 경우 다음과 같은 현상이 발생할 수 있다.



- (가) 옹벽 구조물 하중으로 인한 압밀침하
  - (나) 장기간의 경과에 따른 크리프 침하
  - (다) 지반의 측방유동으로 인한 구조물의 수평이동
- 나. 옹벽을 포함한 굴착면 전체의 안전율이 1.5 이하인 경우 「(가)~(바)항」방법을 취해야 한다.
- (가) 기초 슬래브 하부의 돌출부 깊이를 증가시킨다.
  - (나) 기초지반이 연약하고 비교적 얇은 곳에 지지층이 있는 경우, 연약층을 치환해야 한다. 치환재료는 뒷채움재와 동등 이상의 것으로 하고, 지하수가 있는 경우에는 쇄석 등 양질의 것을 사용해야 한다.
  - (다) 일반적으로 연약층이 얇은 경우는 양질의 재료로 치환하는 것이 경제적이지만, 치환재료 획득이 곤란하거나 수동토압을 기대할 수 있는 옹벽에서는 기초 슬래브 저면을 지지층까지 내리는 것이 경제적일 수 있으므로 치환여부는 현장조건을 감안하여 결정해야 한다.
  - (라) 기초지반이 경사진 경우 또는 기초 슬래브 저면의 일부가 불량한 경우, 그 부분을 굴착하여 콘크리트로 치환해야 한다. 치환하는 위치의 저면은 수평으로 굴착하고 필요에 따라 최소 0.5m 정도의 받침대를 설치하는 것이 좋다.
  - (마) 말뚝기초를 검토해야 한다.
  - (바) 상기 방법에 의해서도 안전율을 확보할 수 없는 경우, 옹벽설치에 관한 전체계획을 변경해야 한다.

## 2.2 옹벽의 보통설계

### (1) 옹벽의 보통설계법

- ① 옹벽의 보통설계는 「KR C-06010 3.3항」에 표시한 토압을 적용하여 설계해야 한다.
- ② 옹벽은 구조형식 및 하중상태에 따라 「KR C-07010 지하구조물 설계」에 기술되어 있는 슬래브, 보 등에 준하여 설계계산을 해야 한다.

## 2.3 옹벽의 특수설계

### (1) 옹벽의 특수설계법

- ① 옹벽의 특수설계는 다음에 해당하는 항목에 대한 것으로 각 경우 활동, 전도, 지지력과 변위 및 부재의 강도가 필요한 안전도를 갖도록 설계해야 한다.

- 가. 주동토압 산정에 배면토의 점착력을 고려하는 경우
- 나. 배면의 지표면 형상이 복잡한 경우
- 다. 옹벽배면이 원지반 또는 구조물에 근접한 경우
- 라. 국부 하중이 작용하는 경우
- 마. 연약지반상의 옹벽

바. 비탈면상의 옹벽

사. 특수한 구조의 옹벽

- ② 특수설계 조건인 경우에는 보통설계의 검토만으로는 불안전하거나 비경제적이 될 수 있으므로 조사 설계에 있어서 검토가 필요하다.
- ③ 특수조건에 대한 검토는 아직 규명되지 않고 있는 사항도 있으므로 조사와 계산결과에 대한 세심한 판단이 필요하다.

(2) 연약지반상의 옹벽

- ① 연약지반 위에는 옹벽을 설치하면 안되지만 부득이 설치해야 하는 경우에는 다음 각 항에 대하여 주의해야 한다.

가. 비탈면안정

「2.1(7)」에 의해 검토해야 한다.

나. 압밀침하

(가) 직접기초인 경우에는 「KR C-11 교량하부 및 기초」에 따라 검토해야 한다. 이 경우 배면의 쌓기하중에 의한 압밀침하와 함께 기초저면에 작용하는 하중에 의해서도 압밀 침하가 생기며 침하형태는 복잡하게 되므로 주의가 필요하다.

(나) 말뚝기초의 경우에는 「KR C-11 교량하부 및 기초」에 준하여 검토해야 한다.

(3) 비탈면상의 옹벽

- ① 비탈면상의 옹벽설계는 옹벽의 안정검토를 행함과 동시에 비탈면 전체의 안정검토를 해야 한다.
- ② 비탈면에 쌓기를 하여 옹벽을 만드는 경우 시공전의 자연비탈면보다 안정이 약화되므로 그 영향에 대하여 검토해야 한다.

(4) U형 옹벽

- ① U형 옹벽의 설계는 형상, 토압, 지반반력 등을 검토해야 한다.
- ② 측벽의 내측공간을 사용한 U형 옹벽의 설계는 일반적으로 다음과 같이 해야 한다.

가. 토압의 산정

(가) 좌, 우측벽의 높이가 유사한 경우 측벽 및 저판의 단면산출에는 정지토압이 수평으로 작용하는 것으로 생각해야 한다. U형 옹벽에는 일반적으로 배수공을 만들지 않기 때문에 지하수의 영향을 고려할 필요가 있다.

(가) 좌, 우측벽의 높이가 다른 경우에는 그 정도와 지반조건에 따라 좌우의 측벽에 작용하는 토압을 변화시키도록 해야 한다.

나. 부상 및 침하에 대한 검토

U형 옹벽은 증가하중이 적어서 부(-)로 되는 경우가 많으므로 부상의 검토를 수행할 필요가 있다. 특히 느슨한 사질토의 경우에는 액상화에 의한 부상 및 침하에 대하여 검토할 필요가 있다.



(5) 흙채움 U형 옹벽

- ① 흙채움 U형 옹벽의 설계는 형상, 토압 등을 검토해야 한다.
- ② 부재설계에 있어서는 일반적으로 정지토압으로 고려한다. 측면에 작용하는 토압은 채워진 흙의 성질과 다짐 정도에 영향을 받는다. 일반적으로 정지토압 계수는  $K_o = 0.5$ 로 해야 한다.
- ③ 저판설계에 있어서는 측벽으로부터 전달된 휨모멘트와 축방향 인장력을 고려해야 한다. 흙채움 U형 옹벽에는 옹벽 내부로부터의 배수에 주의할 필요가 있다.

(6) 기타 특수형식의 흙막이벽

- ① 특수형식의 흙막이벽을 이용하는 경우에는 그 특성을 고려하여 현장의 조건에 맞는 형식의 것을 선정해야 한다. 어떠한 형식에 있어서도 설계상 여러 가지 문제에 대한 가능성이 있을 때는 그 영향에 대하여 검토해야 한다.

② 타이바(Tie Bar)식 옹벽

토압을 타이바(인장강재)에 부담시키는 형식인데 옹벽에 작용하는 토압 및 타이바의 수평력의 분담은 시공순서, 옹벽의 변형, 타이바의 신장이나 휨 등에 의해서도 크게 달라진다. 또 쌓기의 침하에 의해 타이바가 변형하면 과도한 응력이 발생하므로, 쌓기에 의한 압밀침하가 생기는 지반에서는 사용해서는 안 된다. 한편 타이바의 부식에 대해서도 검토가 필요하다.

③ 말뚝식 흙막이벽

말뚝식 흙막이벽에는 엄지말뚝(H 형강, 강관 및 PHC말뚝)과 널말뚝, 현장타설말뚝(주열식, SCW, SPW 등) 및 지하연속벽 등이 있으며 자립식과 버팀대, 앵커 등으로 지지되는 형식이 있다. 널말뚝은 일반적으로 강성이 적으므로 토압에 의해 변형하기 쉽고 특히 자립식은 지표부근의 지반에 큰 수평지지력을 기대하므로 수평변위량이 크게 된다. 배수공을 만들지 않는 경우에는 수압을 고려해야 한다.

④ 박스식 흙막이벽

일반적으로 원지반의 경사지, 연약지반상 쌓기의 흙막이 등 조건이 열악한 위치에 이용되는 예가 많다. 박스식 흙막이벽은 배수, 통수가 매우 좋고 시공이 용이하고 빠르며 지반변형에 대해 유연한 구조적 장점이 있다.

2.4 옹벽 본체설계

(1) 옹벽 본체설계

① 중력식 옹벽

자중에 의해 토압을 지지하는 형식으로, 토압과 자중의 합력에 의해 구체단면이 콘크리트 허용인장응력 이상의 인장응력이 발생하지 않도록 설계해야 한다.

② 반중력식 옹벽

가. 중력식 옹벽과 같이 자중에 의해 토압을 지지하는 형식으로 지형 및 기타 물리적 제약에

의해 중력식 옹벽의 경우보다 벽체 두께를 얇게 해야 하는 경우에 적용해야 한다.  
 나. 설계방법은 중력식 옹벽과 동일하나 토압과 자중의 합력에 의해 단면 내에 생기는 인장력을 담당할 수 있도록 필요한 양의 철근을 배근해야 한다.

다. 반중력식 옹벽의 인장철근 설계

반중력식 옹벽에서 인장영역이 발생되면 인장응력을 철근이 부담하도록 배근해야 한다.

③ 캔틸레버식 옹벽

가. 캔틸레버식 옹벽의 벽체와 기초는 접합부를 고정단으로 하는 캔틸레버로 설계해야 한다.

나. 벽체는 자중을 무시하고 토압의 수평분력을 고려해서 설계해야 한다.

다. 앞판은 상향의 지반반력과 하향의 앞판 자중을 고려하여 설계해야 한다.

라. 뒷판은 뒷판 상부의 흙의 중량, 토압의 연직분력, 지표면의 상재하중, 뒷판 자중 및 지반반력을 고려하여 설계해야 한다.

마. 기초슬래브의 앞판 상측과 뒷판 하측은 균열방지 등을 위해 반대측 주철근량의 1/3 이상을 배근해야 한다.

바. 수동토압을 고려하는 경우에는 앞판위의 가상 지표면 아래 흙의 중량을 고려해야 한다.

사. 벽체설계에 사용하는 토압은 옹벽배면이 경사진 경우 안정계산을 할 때와 같은 위치의 토압을 취하면 매우 크게 되므로 일반적으로 전벽 배면 위치에서의 토압으로 설계해야 한다.

아. 기초 슬래브의 뒷판 설계에 있어서 뒷판(벽체 연결부)의 휨모멘트가 벽체의 휨모멘트를 초과하는 경우 설계계산에 있어 휨모멘트는 벽체의 휨모멘트를 쓰는 것으로 해야 한다.

④ 뒷부벽식 옹벽

가. 벽체는 뒷부벽으로 지지된 연속판이 토압의 수평분력에 저항하도록 설계해야 한다.

나. 뒷부벽은 저판에 고정된 변단면 T형 캔틸레버 보로 간주하여 벽체에 작용하는 전 토압의 수평분력에 저항할 수 있도록 설계해야 한다.

다. 기초 슬래브는 뒷부벽으로 지지된 연속판으로서 저판 위의 흙의 중량, 토압의 연직분력, 지표면의 상재하중, 판의 중량 및 지반반력을 고려하여 설계해야 한다.

라. 기초 슬래브의 앞판 설계는 캔틸레버식 옹벽과 같은 방법으로 설계한다.

마. 벽체 및 기초 슬래브의 양쪽 단부는 부벽에 지지된 캔틸레버 보로 설계해야 한다.

⑤ 앞부벽식 옹벽

가. 앞부벽식 옹벽의 부벽은 저판에 지지된 구형보로 설계하며 벽체 및 기초는 앞부벽으로 지지된 연속판으로 보아 설계해야 한다.



나. 앞부벽, 벽체, 기초의 설계에 있어서 외력의 고려방법은 뒷부벽식 옹벽과 같은 방법으로 설계한다.

### (2) 옹벽의 배수공

① 옹벽에는 배면상의 배수를 위하여 배수공을 만들어야 한다. 부득이 배수 설치를 할 수 없는 경우에는 수압의 영향을 고려해야 한다.

② 옹벽 배면에 침투하는 물의 처리

가. 옹벽 배면토에 물이 침투함으로써 함수량이 증가하면 흙의 단위중량의 증가, 내부 마찰각 및 점착력의 감소, 점성토의 팽창 등으로 인하여 토압의 증가를 초래하게 된다. 더욱이 배면토 내의 간극, 균열 등에 물이 유입하여 배수가 불량하면 큰 수압이 가해져서 옹벽파괴의 원인이 된다. 또 배면에서 저관 아래에 침투수가 유입 되면 지반지지력의 저하를 초래하게 된다.

나. 옹벽 배면에 침투하는 물을 구분하면 배면토 위에 강우의 직접침투에 의한 것, 광범위한 지역으로부터 배면부근에 모여진 우수, 수로로부터 넘쳐 들어온 물 등에 의한 표면수에 의한 것, 산기슭의 깎기부, 지하수위가 높은 장소에 있어서의 지하수나 상하수도로 부터의 누수 등에 의한 것이다.

다. 옹벽의 설계에 있어서 우선 배면 및 기초지반에 침투하는 물을 방지해야 하며 배면에 침투한 물이 토압, 수압의 증대를 초래하지 않도록 신속하게 배제하기 위한 배수공에 관하여 검토해야 한다.

라. 침투수의 방지에 대해서는 현장의 지질, 기상, 지하수 등의 조건에 알맞은 조치를 취해야 한다.

### ③ 배수설비

가. 배수구멍은 옹벽배면에 모인 물을 배수하기 위한 최종설비로서 만들어지는 것이며 벽체의 전면으로 용이하게 배수할 수 있는 높이의 범위에서 배면 배수공의 면적을 합하여 2~4m<sup>2</sup>에 1개소를 만들어야 한다.

나. 배수구멍은 내경 60~100mm 정도의 경질염화비닐관 등의 재료를 수평 또는 완만한 구멍배열이 가능하도록 매입하여 만드는데 콘크리트 찌꺼기, 토사 등에 의해 막히지 않도록 주의해야 한다. 부벽식 옹벽에는 각 판넬마다 배수구멍을 만들어야 한다.

다. 배수공의 재료는 종래부터 사용되어 온 자갈, 쇠석 등과 근래 사용되게 된 부직포 등의 인공재료가 있다. 또 배수구멍에 대한 필터재로서는 일반적인 막자갈 외에 부직포, 다공 콘크리트관 등을 사용해야 한다.

라. 배수공의 재료 선택은 「다.항」의 배수공재료 이외의 세립분이 함유되는 경우 「구조물기초설계 기준해설(국토해양부)」를 따른다.

### (3) 옹벽의 구조상세

철근콘크리트의 철근배근, 이음 등은 「KR C-10 콘크리트교」 및 다음 기준에 의해야 한다.

### ① 배근

- 가. 피복두께는 벽의 노출면에서는 50mm 이상, 콘크리트가 흠에 접하는 면에서는 50mm 이상, 직접 흠 중에 묻히는 기초 슬래브에서는 80mm 이상으로 해야 한다.
- 나. 철근콘크리트에서는 수축 및 온도변화에 의한 균열을 방지하기 위하여 벽의 노출면에 가깝게 수평방향으로 벽의 높이 1m당 5cm<sup>2</sup> 이상의 단면적을 가진 철근을 중심간격 0.3m 이하로 배치해야 한다. 이 철근은 가는 것을 좁은 간격으로 배치하는 것이 좋다.
- 다. 뒷부벽식 옹벽에서는 전면벽과 기초 슬래브에 의해 부벽에 전달되는 응력을 지지하기 위해 필요한 철근을 부벽에 배근해야 한다. 또 전면벽과 기초 슬래브에는 인장철근의 20% 이상의 배력철근을 두어야 한다.
- 라. 앞부벽식 옹벽의 전면벽에는 인장철근의 20% 이상의 배력철근을 두어야 한다.
- 마. 수평철근의 콘크리트 총 단면적에 대한 최소철근비는 「(가)~(라)항」과 같아야 한다.
  - (가) 설계기준항복강도 400MPa 이상으로서 지름이 16mm 이하인 이형철근: 0.0020
  - (나) 기타 이형철근 : 0.0025
  - (다) 지름이 16mm 이하인 용접강선망 : 0.0020
  - (라) 수평철근의 간격은 벽체 두께의 3배 이하 또는 450mm 이하

### ② 연결부

- 가. 시공이음부에는 시공이음, 수축변형의 영향을 줄이기 위한 수축이음, 전단면에 걸쳐 일정간격으로 신축이음을 두어야 한다.
  - 다만 옹벽의 길이가 짧거나 콘크리트의 수화열, 온도변화, 건조수축 등 부피변화에 대한 별도의 구조해석을 수행한 경우에는 종방향 철근을 연속으로 배근하여 신축, 수축이음을 두지 않을 수 있다. 또한 응력집중이 발생하는 모서리에는 이음을 두지 않아야 한다.
- 나. 시공이음(construction joint)
  - (가) 중력식 옹벽의 시공이음에는 가외철근을 사용하고 시공이음은 계산상 요구되지 않더라도 흠막이벽에서 배근된 만큼 가외 철근을 배근해야 한다.
- 다. 수축이음(contraction joint)
  - (가) 벽체의 전면에 수축이음부를 두면 콘크리트의 수축변형에 의한 영향을 줄일 수 있다. 일반적으로 폭 6~8mm, 깊이 12~16mm인 수축이음부의 홈을 9m 이하의 간격으로 만들며 옹벽 기초 슬래브 상부에서 벽체 상단까지 연속시킨다. 이때 철근을 끊지 않아야 한다.
  - (나) 부벽식 옹벽의 경우에는 수평방향의 철근량이 많으므로 수축이음을 설치하지 않아도 좋다.



#### 라. 신축이음

- (가) 길이가 긴 옹벽의 경우 온도변화나 지반의 부등침하가 콘크리트 구조물에 미치는 영향에 대비하여 길이방향으로 유연성 재료의 신축이음을 설치해야 한다.
- (나) 신축이음 설치 간격은 중력식 옹벽의 경우는 10m이하, 캔틸레버식 및 부벽식 옹벽에서는 15~20m 이하의 간격으로 설치하여야 한다. 신축이음에서는 철근이 끊겨야 한다.
- (다) 신축이음부 양측의 일체성을 유지하기 위하여 강철봉을 사용하여 벽체(stem)를 가로지르는 방향으로 보강을 실시해야 한다. 강철봉이 콘크리트에 강하게 부착되면 신축이음의 효과가 상실될 수 있으므로 강철봉 표면에 윤활유를 바르는 방법 등을 적용해야 한다.

#### ③ 본체

- 가. 노선에 접해있는 벽체의 전면은 미관 및 주행상 일반적으로 1:0.02 이상의 경사를 설치해야 한다.
- 나. 옹벽 상단에는 소단을 설치하는 것이 좋다. 소단의 길이( $l$ )는 설치장소에 따라 다르지만 일반적으로 0.7m를 적용해야 한다.
- 다. 연속된 옹벽에서 옹벽의 상단 또는 저면의 높이가 변하는 경우 설치위치, 구조형식 등을 고려하여 접속시켜야 한다. 일반적으로 설치위치에 의해 정해지는 근입깊이를 기준으로 1블럭의 길이를 결정하며 저판은 수평으로 시공하는 것이 좋다.
- 라. 옹벽저면에 배수시설, 배수관 등을 설치하거나 저판 앞면에 U형 측구, 우수받이 등을 설치함으로써 유효단면의 감소가 있을 때에는 다음 사항에 주의해야 한다.
  - (가) 가정하는 단면에서 옹벽 블록사이의 단면감소의 합계가 1블럭길이  $L$ 의 6% 이하로 되게 하고 가능한 한 균등하게 분포시킨다. 이와 같이 하면 철근간격을 조절하는 등의 조치만으로 충분하며 별도로 보강할 필요는 없다.
  - (나) 「(가)항」의 제한을 넘을 경우에는 단면 감소가 있는 부분의 응력을 계산하여 필요시 철근으로 보강해야 한다.

#### ④ 활동방지 벽(Shear key)

- 가. 활동에 대한 효과적인 저항을 위하여 저판에 활동방지벽을 적용하는 경우 저판과 일체로 설치해야 한다.
- 나. 활동방지 벽의 형상은 돌출부의 깊이, 토질상태 등에 따라 구조물 굴착선에 맞는 형상으로 설치해야 한다.
- 다. 사질토 지반에서는 유효하나 점성토 지반에서는 점성토의 비배수 전단강도에 의하여 활동에 대한 저항력이 결정되기 때문에 효과가 적을 수 있으므로 세부검토를 통해 적용 여부를 결정해야 한다.

## 2.5 옹벽의 내진설계

지진에 의한 지반운동이 발생하는 동안에는 옹벽의 파괴나 변위로 인한 설계 및 세부 사항에 대한 세심한 주의가 요구된다.

### (1) 해석 및 설계에 대한 규정

- ① 철도 시설물 중 옹벽의 내진설계에 관해서만 다룬다. 기타 시설물들은 지진으로 인한 하중 이외의 일반적인 수평 및 수직하중에 대해서 안전한 것으로 간주해야 한다.
- ② 옹벽의 설계시 토압은 상시토압과 지진에 의해 발생하는 동적영향에 의한 추가적인 토압의 합력으로 설계해야 한다.
- ③ 옹벽의 내진해석방법은 등가정적해석법을 적용해야 한다.
- ④ 보다 정밀한 해석이 필요하다고 판단되는 경우 설계자의 판단에 따라 타당한 방법을 선정하여 해석을 수행할 수 있다.
- ⑤ 해석 및 설계에 사용되는 입력지반운동은 내진등급별 평균재현주기를 가진 지반운동을 사용해야 한다. 등가정적해석을 위한 수평지진계수( $K_h$ ) 및 수직지진계수( $K_v$ )는 가속도 계수( $A$ )를 이용하여 다음과 같이 적용해야 한다.

#### 가. 수평지진계수( $K_h$ )

##### (가) 옹벽의 영구변위를 허용하는 경우

경제적인 구조물이 되기 위해서는 변위가 전혀 발생하지 않도록 설계하기보다는 작은 허용변위에 대해 설계하는 것이 좋다. 일반적으로 옹벽의 설계허용수평 변위를  $254A(\text{mm})$  이내로 하는 경우에는  $K_h$ 를  $0.5A$ 로 보고 등가정적하중은 Mononobe-Okabe의 의사정적해석방법에 따라 토압을 산정해야 한다.

##### (나) 옹벽의 영구변위를 허용하지 않는 경우

변위를 구속하는 독립식 옹벽은 수평지진계수( $K_h$ )를  $1.0A$ 로 적용하여 등가정적하중으로 토압을 계산해야 한다.

#### 나. 수직지진계수( $K_v$ )의 결정

특별한 요구가 없는 한 수직지진계수( $K_v$ )는 0으로 본다.

- ① 옹벽의 기초는 정적하중 성분에 지진에 의한 하중성분을 추가로 고려하여 지지력 파괴 및 전도 및 활동을 일으키지 않도록 설계되어야 한다.
- ② 설계하중의 조합

가. 옹벽의 설계는 강도설계법을 따르되 허용응력설계법도 사용할 수 있다.

나. 지진하중 고려시 하중조합의 하중계수는 <식 (1)>으로 계산한다.

$$U = 1.0(D + H + Q + E) \quad (1)$$

여기서,  $U$  : 설계하중 또는 이에 따른 단면력

$D$  : 고정하중 또는 이에 따른 단면력



- $H$  : 토압 또는 이에 따른 단면력
- $Q$  : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
- $E$  : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

다. 허용응력설계법에서는 지진하중 고려시 하중조합과 허용응력 증가계수를 <표 3>의 값으로 해야 한다.

표 3. 하중조합과 허용응력 증가계수

하중 조합	허용응력 증가계수
활하중 및 충격하중 이외의 주하중 + 지진하중	1.40

(2) 해석방법

- ① 지진 동안에 수평방향으로 파괴가 유발될 수 있는 중력식 또는 캔틸레버식 옹벽에 작용하는 지진에 의한 주동 및 수동토압의 계산은 Mononobe-Okabe의 방법으로 산정하여 등가정적해석법을 이용해야 한다.
- ② 토압의 합력이 옹벽에 작용하는 높이  $h_a$ 는 토압의 정적분력이 옹벽밑면으로부터  $H/3$ 에 작용하고 지진에 의한 추가적인 동적영향이  $0.6H$ 의 높이에 작용한다고 가정하여 구할 수 있다. 그러나 대부분의 경우에는 토압이 균등하게 분포되어 있고  $h_a$ 를  $H/2$ 로 가정한다.

(3) 설계상세

- ① 옹벽의 내진설계상세는 「2.3항」과 「2.4항」에 따른다.

2.6 비탈면보호벽

- (1) 부분적으로 불안정한 깎기비탈면 표면을 보호하기 위한 목적으로 콘크리트 벽체를 설치하여 지지시키는 비탈면보호벽의 설계에 적용한다.
- (2) 깎기부의 비탈면보호벽은 깎기면이 자립함과 동시에 비탈면 전체의 안정을 확보할 수 있는 장소에 사용해야 한다. 또 지지지반이나 배면이 암인 경우에는 현장조건에 따른다. 한편 지지지반 강도가 조건에 만족하지 않는 경우에는 저부의 폭을 넓게 하거나 근입깊이를 크게 해야 한다.
- ① 비탈면보호벽의 자중은 콘크리트의 단위중량과 부피로 계산하며, 옹벽의 무게중심에 작용시킨다.
- ② 파괴썰기의 하중은 파괴면과 나란한 방향으로 파괴썰기의 높이  $1/3$  높이에 위치시킨다.
- ③ 평상시 깎기 후 비탈면의 안전율은 1.5 이상으로 해야 한다.
- ④ 비탈면보호벽의 근입깊이는 기초전면에 배수공을 고려하여 최소 1.0m를 확보해야 한다.
- ⑤ 배수공의 설치위치가 1.0m보다 깊은 경우 근입을 깊게 할 필요가 있다. 다만 지지지반이 경암인 경우 및 지하수위가 깊은 경우에는 지하배수공을 만들지 않고 근입깊이를 0.5m까지 얇게 하여도 된다.

## 2.7 낙석방지공

- (1) 암반비탈면에서 낙석이나 낙반의 위험이 있는 개소는 비탈면을 보호하기 위해 낙석방지공을 설계해야 한다.
- (2) 낙석방지공 방법에는 비탈면의 하단부나 중간부에 단독으로 설치하는 방법과 옹벽 등의 구조물 상부에 설치하는 방법 중 현장조건에 대한 적용성을 고려하여 설계해야 한다.

## 2.8 암반비탈면 변위 원인파 계측

암반비탈면에서 진행 중이거나 예상되는 변위를 주의 깊게 관찰하기 위해 필요한 개소에 계측을 설계해야 한다.



## 해설 1. 콘크리트 옹벽

### 1. 설계 일반

#### (2) 기본계획

콘크리트 옹벽은 다음 검토사항에 대하여 안전율 또는 기준을 만족해야 한다.

##### ① 안정성검토

- 가. 활동에 대한 안정성
- 나. 전도에 대한 안정성
- 다. 지지력 및 침하에 대한 안정성
- 라. 옹벽을 포함한 전체 안정성

##### ② 부재의 응력도 검토

- 가. 구체의 응력도 검토
- 나. 기초공의 응력도 검토

##### ③ 배수 및 기타 부대설비의 검토

- 가. 배수공 및 침수대책
- 나. 기타 부대설비 검토

#### (3) 설계순서

옹벽의 설계는 옹벽 종류별 높이와 그 특징을 고려하여 <그림 2>와 같은 순서에 따른다.

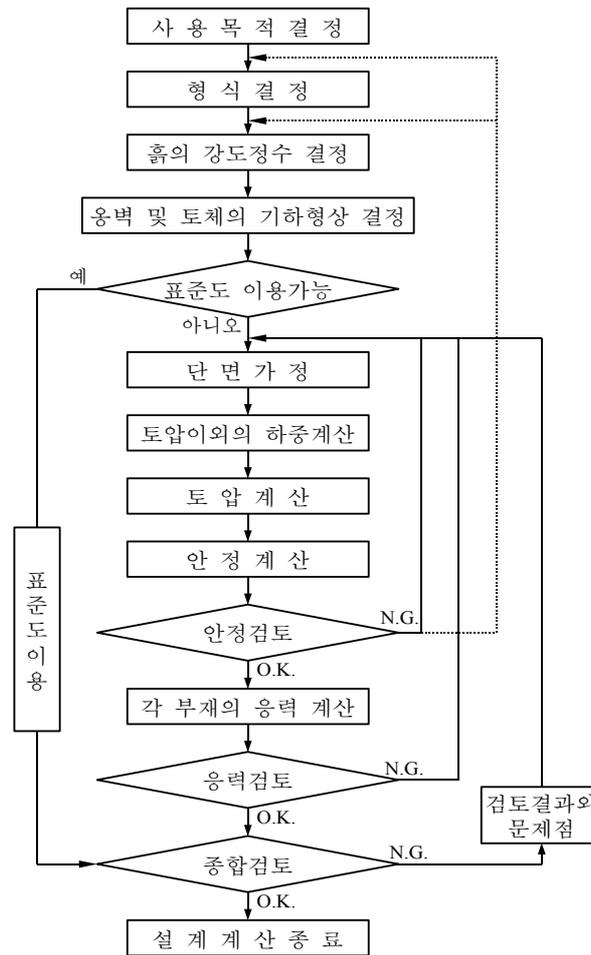


그림 2. 옹벽의 설계 계산 순서

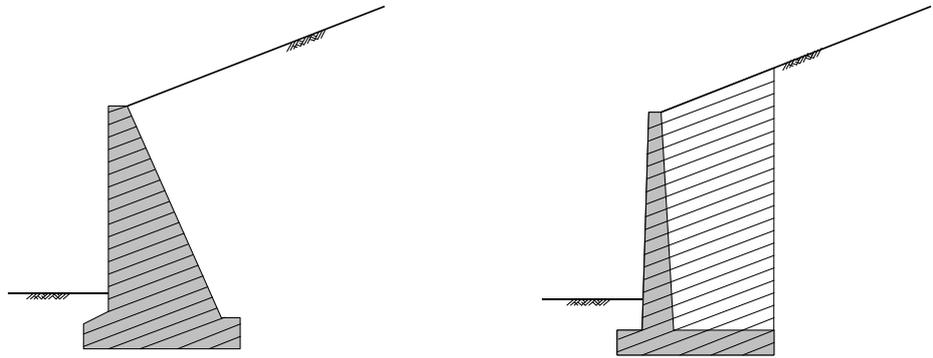
## 2. 설계 하중

옹벽설계에 고려되는 하중은 고정하중, 상재하중(열차 활하중 포함), 토압, 풍하중(방음벽 설치 시), 지진하중 등을 고려하여 설계하중으로 적용한다. 옹벽배면 수압은 배수 공에 의해 충분히 배수되도록 하고 통상의 조건인 경우 고려하지 않는다.

### (1) 고정하중(자중)

고정하중은 옹벽 구체 중량 외에 캔틸레버식 옹벽, 부벽식 옹벽 등의 저판 위에 있는 흙의 중량을 포함한다. 또, 역T형 옹벽의 앞판의 흙은 보통의 경우 이를 무시해도 좋지만 근입깊이가 큰 경우와 역L형 옹벽 등의 경우에는 그 영향을 고려한다.

고정하중은 <그림 3>과 같이 빗금 친 부분으로 한다. 고정하중의 계산에 쓰이는 철근 콘크리트 및 무근 콘크리트의 단위중량은 <표 4>의 값을 적용하되 실제 하중의 크기가 명백할 때는 그 값을 사용한다. 또, 지진의 영향을 고려하는 경우의 자중에 대해서는 「해설 1의 6. 지진 및 열차진동」에 따른다.



(a) Coulomb 토압적용 시                      (b) Rankine 토압 적용 시

그림 3. 옹벽종류별 고정하중 고려 범위

표 4. 재료의 단위중량

구분		단위중량(kN/m <sup>3</sup> )
철근콘크리트		24.5
무근콘크리트		23.0
뒤채움흙	사 질 토	19
	양질의 사질토	20

(2) 상재하중(활하중)

옹벽 상부에 노반이 설치되는 경우는 <그림 4(a)>에서와 같이 궤도하중( $q_1$ )과 열차하중( $q_2$ )을 등분포상재하중으로 적용한다.

$$q = q_1 + q_2 \quad (2)$$

여기서,  $q$  : 설계에 적용할 등분포상재하중

$q_1$  : 궤도하중에 의한 등분포상재하중

$q_2$  : 열차활하중에 의한 상재하중

옹벽에서 궤도중심까지의 거리  $B$ 가 2.0m 이하인 경우, 일본의 「철도구조물설계표준(1999)」에서는 폭  $B$ 에 대해서  $q_2$  대신  $q_3 = \text{축하중}/(\text{축거} \times 2B)$ 의 하중을 가하도록 되어 있다.

표 5. 상재하중(kN/m<sup>2</sup>)

구분	일반철도	고속철도
$q_1$	15	15
$q_2$	35	35
$q_3$	73/B	78/B



가상벽면이 형성되는 것으로 가정하여 Rankine 토압을 적용하며, 작용방향은 지표면경사와 일치하는 것으로 간주한다. 토압의 합력  $P_a$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (3)$$

여기서,  $\gamma$  : 흙의 단위중량

$H$  : 옹벽의 높이

$K_a$  : 주동토압계수

이때, Rankine 또는 Coulomb 주동토압계수는 각각 <식 (3)> 및 <식 (5)>와 같다.

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (4)$$

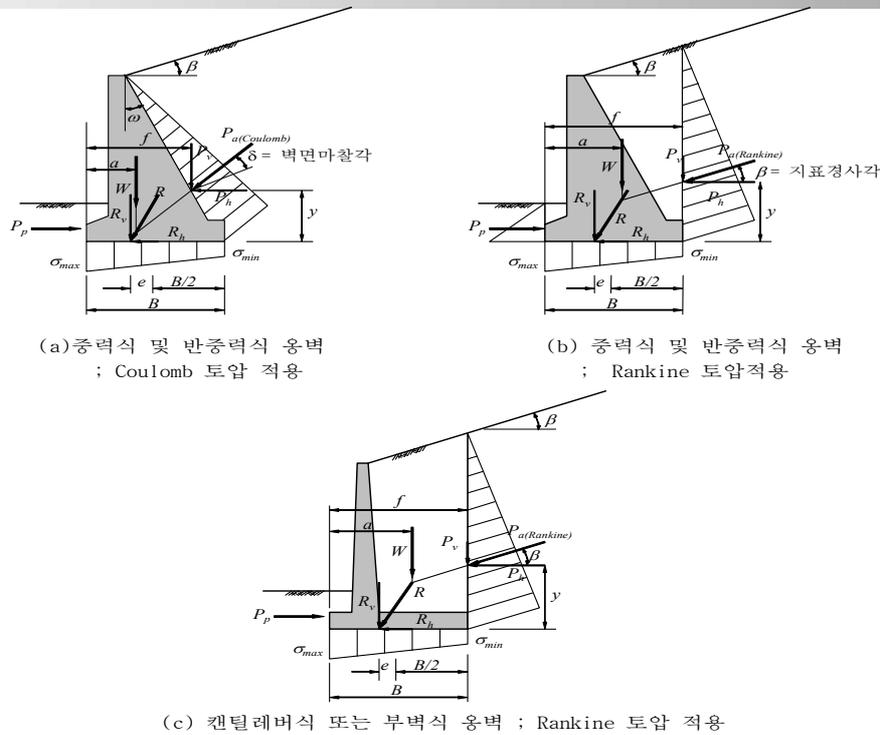
$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \omega)}{\cos^2\omega \cos(\omega + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta)}{\cos(\omega + \delta)\cos(\omega - \beta)}}\right]^2} \quad (5)$$

여기서,  $\omega$  : 수직선으로부터 옹벽 배면의 경사도

$\phi$  : 배면흙의 내부마찰각

$\delta$  : 외적안정 계산시의 벽면마찰각

$\beta$  : 상재성토비탈면의 경사도



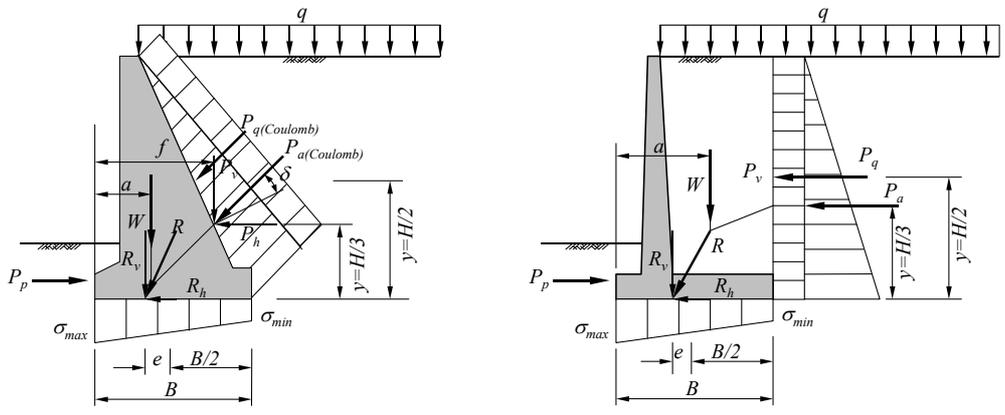
- $R$  : 합력       $R_v$  : 모든 수직력의 합력       $R_h$  : 모든 수평력의 합력
- $H$  : 옹벽의 높이       $B$  : 옹벽 저판의 폭       $e$  : 편심거리
- $\delta$  : 벽마찰각       $\beta$  : 옹벽상부 지표경사각
- $W$  : 옹벽의 무게(캔틸레버식 옹벽에서는 저판 위의 흙까지 포함)
- $P_a$  : 주동토압의 합력( $P_v, P_h$  : 주동토압의 연직, 수평 분력)
- $a$  : 옹벽 앞굽에서  $W$  까지의 모멘트 팔길이
- $f$  : 옹벽 앞굽에서 주동토압( $P_a$ )의 작용점까지의 수평거리
- $y$  : 옹벽 앞굽에서 주동토압( $P_a$ )의 작용점까지의 연직거리

그림 5. 안정해석 시 토압적용 방법

옹벽의 안정성 검토에 사용하는 토압은 어느 한 이론으로 통일하여 적용하거나 Coulomb 토압이론을 적용하는 것이 더 경제적이라는 생각은 잘못이며, 옹벽의 실제 거동에 맞는 토압을 선택하여 적용하는 것이 타당할 것이다. 실용상 옹벽의 거동과 계산의 편의성 등을 고려하여 보통의 경우 중력식과 반중력식 옹벽의 경우에는 옹벽배면에 Coulomb 토압을 적용하고, 캔틸레버식 옹벽이나 부벽식 옹벽의 경우에는 저판배면을 지나는 가상배면에 Rankine 토압을 적용한다.

옹벽 상부에 등분포하중이 작용하는 경우에는 <그림 6>에서와 같이 추가토압을 고려하며, 등분포하중( $q$ )에 의한 토압의 합력  $P_q$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_q = qHK_a \tag{6}$$



(a) Coulomb 토압 적용                      (b) Rankine 토압 적용

그림 6. 등분포상재하중의 고려방법

② 시행썰기법

옹벽 상부의 지표면이 수평이거나 무한비탈면인 경우에는 Rankine 토압이론이나, Coulomb 토압이론을 적용하여 옹벽에 작용하는 토압을 계산할 수 있으나, <그림 7>에서와 같이 비탈면의 상부가 수평인 경우에는 시행썰기법을 사용하여 토압을 계산하는 것이 더 정확하다. 시행썰기법은 Coulomb의 썰기이론에 근거한 방법으로서, <그림 7>에서와 같이 여러 개의 파괴썰기를 가정하고, 힘의 다각형으로부터 토압이 최대가 되는 파괴썰기를 찾아 이때의 토압을 주동토압으로 한다.

시행썰기법을 적용하는 경우 토압의 작용방향은 다음 <그림 7>에서와 같이 썰기의 상부의 2등분점 A와 수직선(가상벽면)이 비탈면과 만나는 점 B를 연결한 선과 평행하게 작용하며, 이 선의 경사각  $i$ 가  $\phi$  보다 큰 경우에는  $i = \phi$ 로 한다. 또한 등분포상재하중이 있는 경우에는  $q/\gamma$ 만큼 성토가 더 있는 것으로 보고 계산한다.

$$P_a = \frac{W \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\alpha - \phi - i)} \quad (7)$$

$$K_a = \frac{2P_a}{\gamma H^2} \quad \left( P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \right) \quad (8)$$

- 여기서,  $P_a$  : 주동토압의 합력
- $W$  : 흙썰기의 무게
- $\alpha$  : 썰기의 경사각
- $\phi$  : 흙의 내부마찰각

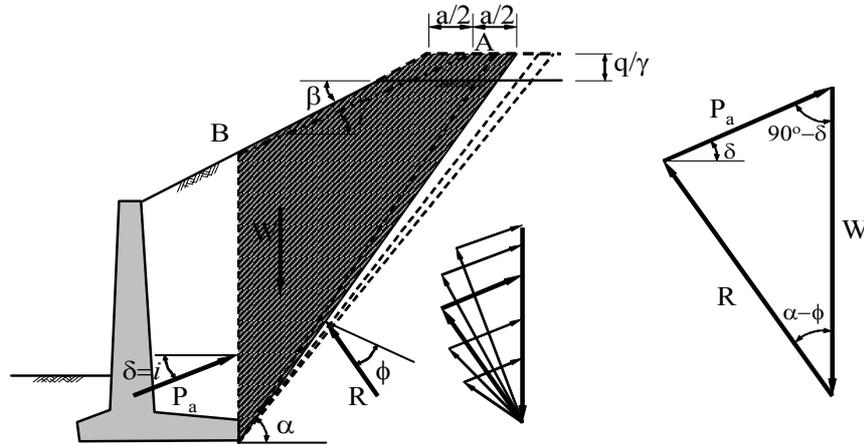


그림 7. 시행썰기법에 의한 토압계산

<그림 7>에서의 기호는 다음과 같다.

$K_a$  : 주동토압계수

$i$  : 토압의 작용방향

$R$  : 썰기과괴면의 반력

$q$  : 상재등분포하중

여기서 토압의 작용방향  $i$ 는 옹벽의 가상벽면이 수평한 부분에 있는 경우에는 수평방향이며, 가상벽면과 썰기과괴면이 모두 비탈면상에 있는 경우에는 비탈면의 경사와 동일하다.

#### (4) 수압

옹벽설계시 배면수가 원활하게 배수될 수 있도록 설계하여 옹벽에 수압이 부과되지 않도록 해야 한다. 다만, 특수한 경우나 공공의 안전에 지대한 영향이 있다고 판단될 경우에는 수압을 고려하여 설계할 수 있다.

#### (5) 풍하중

옹벽의 방음벽 설계에 적용하는 풍하중의 크기는  $1.47 \text{ kN/m}^2$  를 적용하되, 풍하중을 저감시킬 수 있는 구조의 방음벽은 이 값을 감소시켜 적용할 수 있다. 참고로 「도로교 설계기준(국토해양부, 2010)」에서는 설계기준풍속에 따른 풍하중의 크기를 다음과 같이 제시하고 있다.

$$p = 5 \times 10^{-7} \rho V_d^2 C_d G \quad (9)$$

여기서,  $p$  : 단위면적당 작용하는 풍하중( $\text{kN/m}^2$ )

$\rho$  : 공기의 밀도( =  $1.225 \text{ kN} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ )

$V_d$  : 설계기준풍속( $\text{m/s}$ )

$C_d$  : 항력계수

$G$  : 거스트 응답계수(순간풍속변동의 영향을 보정하기 위한 계수)



### 3. 설계

#### (1) 안정검토

모든 옹벽은 <그림 8>에서와 같이 옹벽 저면을 따른 활동, 옹벽의 선단을 중심으로 한 전도, 기초 지반의 지지력 및 침하에 대하여 안정성을 확보할 수 있도록 설계되어야 한다.

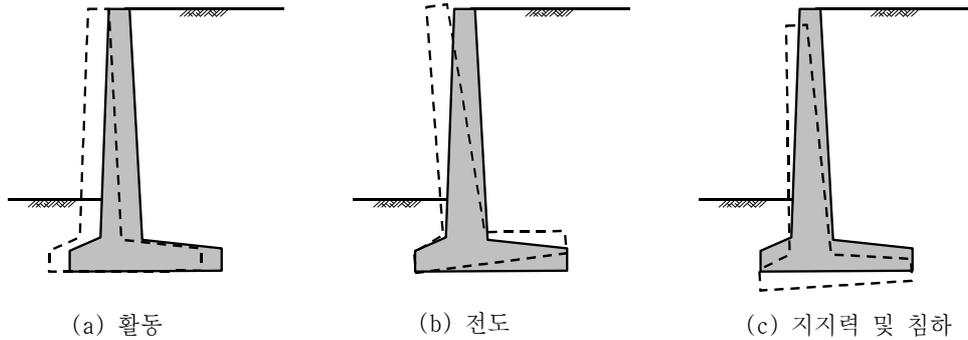


그림 8. 옹벽의 안정성 검토

#### ① 활동에 대한 안정

옹벽은 옹벽 배면에 작용하는 토압의 수평성분에 의해서 수평방향으로 활동하려는 특성을 지닌다. 이 경우 옹벽 바닥 면에서의 저항력이 충분히 확보되어야 하며, 활동에 대한 안전율은 <식 (10)>로부터 구한다.

$$F_s = \frac{R_v \tan \delta + c_a B}{R_h} \geq 1.5 \quad (10)$$

여기서,  $R_v$  : 모든 연직력의 합(kN/m)

$R_h$  : 모든 수평력의 합(kN/m)

$\delta$  : 옹벽 저판과 지지지반 사이의 마찰각(<표 7>)

$c_a$  : 옹벽 저판과 지지지반 사이의 부착력(kN/m<sup>2</sup>)(<표 8>)

$B$  : 옹벽 저판의 폭(m)

옹벽저판과 지지지반 사이의 마찰계수  $\tan \delta$ 와 점토의 종류에 따른 옹벽 저판과 지지지반 사이의 부착력  $c_a$ 는 각각 <표 7>과 <표 8>를 참고할 수 있으며, 정확한 값은 현장지반에 대한 시험을 통하여 얻을 수 있다. 옹벽 저판은 동결심도 아래에 설치되는 것이 원칙이며 동결심도가 얇은 지반이라 하더라도 지표면 아래로 최소한 1m 이상의 깊이에 설치한다. 옹벽의 안정에 대하여 수동토압은 옹벽 선단부에 작용하여 활동에 대한 저항력을 제공할 수 있으나, 비록 저판이 소요깊이를 확보하더라도 다음과 같은 이유로 수동토압에 의한 저항을 무시한다.

가. 수동토압이 발생하기 위해서는 상당한 옹벽의 변위가 필요하다.

- 나. 우수나 유수에 의해 옹벽앞굽 주변의 흙이 세굴될 수 있다.
- 다. 옹벽앞굽 주변은 다시 메운 흙으로서 초기에는 충분한 강도를 기대하기 곤란하다. 만약 저판과 흙 사이의 마찰력이나 부착력에 의한 저항만으로 활동에 대한 안정이 제대로 얻어지지 못할 경우에는 <그림 9(a), (b)>와 같이 저판 바닥 면에 돌출부를 설치하거나 <그림 9(c)> 와 같이 말뚝을 박아 활동에 대한 저항력을 증대시키기도 한다.

표 7. 옹벽 저판과 지지 지반 사이의 마찰계수

흙의 종류	저면 마찰각	마찰계수
실트와 점토를 함유치 않은 조립토	29°	0.55
실트를 함유한 조립토	24°	0.45
점토를 함유한 조립토*	19°	0.35

\* 이러한 종류의 흙이 존재하는 경우 옹벽이 활동에 대해 불안정하므로, 옹벽 저판 밑의 흙을 두께 100mm의 모래나 자갈로 치환하는 것이 좋다.

표 8. 점토의 종류에 따른 옹벽 저판과 지지 지반 사이의 부착력( $c_a$ )

점토의 종류	점착력 $c$ , (kN/m <sup>2</sup> )	부착력 $c_a$ , (kN/m <sup>2</sup> )
매우 연약한 점성토	0~11.76	0~11.76
약한 점성토	11.76~23.52	11.76~23.52
중간 정도의 견고한 점성토	23.52~48.02	23.52~36.26
견고한 점성토	48.02~96.04	36.26~45.08
매우 견고한 점성토	96.04~192.08	45.08~62.72

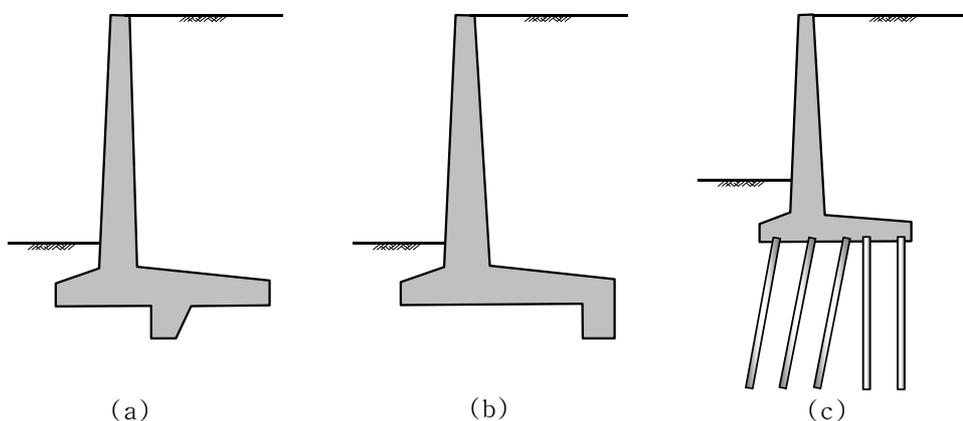


그림 9. 옹벽의 활동방지를 위한 방법



돌출부는 일반적으로 <그림 9(a)>와 같이 저판 중앙부에 설치하는 경우가 많지만, <그림 9(b)>와 같이 뒤꿈치에 설치하면 활동저항에 더욱 효과적이다. 돌출부는 단단한 지반이나 암반에 지반을 흐트러뜨리지 않고 지반에 밀착되도록 시공해야만 그 효과를 기대할 수 있다.

수동토압을 고려하는 경우의 안전율은 <식 (11)>로부터 구하며 그 값은 2.0 이상이 되어야 한다.

$$F_s = \frac{R_v \tan \delta + c_a B + P_p}{R_h} \geq 2.0 \quad (11)$$

돌출부가 있는 경우의 안전율은 <식 (12)>로 결정한다.(<그림 10> 참조)

$$F_s = \frac{F}{P_h} \geq 2.0 \quad (12)$$

점성토 :  $F = (W + P_v) \tan \delta + c_a (B - \overline{a_1 b}) + c (\overline{a_1 b}) + P_p$

사질토 :  $F = (W + P_v) \tan \delta + P_p$

여기서,  $c$  : 기초 지반의 점착력

$c_a$  : 콘크리트와 기초 지반과의 부착력

$B$  : 옹벽저판의 폭

$P_p$  : 옹벽 전면의 수동토압(동상깊이 아래 부분만 고려)

$\delta$  : 기초 지반과 콘크리트의 마찰각

돌출부의 수동토압  $P_p$ 는 다음과 같이 계산할 수 있다.

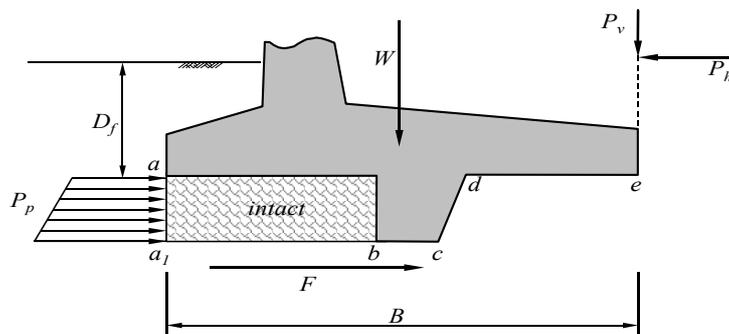


그림 10. 옹벽의 활동방지를 위한 돌출부

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma \overline{aa_1}^2 K_p + \gamma D_f \overline{aa_1} K_p \quad (13)$$

여기서,  $K_p$  : 수동토압계수 ( $K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$ )

$D_f$  : 지표에서 옹벽 저면까지의 깊이

$\overline{aa_1}$  : 돌출부의 높이

② 전도에 대한 안정

옹벽은 횡방향 토압으로 인해 저판의 앞굽을 중심으로 회전하여 전도되려 하므로 옹벽은 이에 대한 저항이 충분해야 한다. 전도에 대한 안전율은 <식 (14)>으로 계산하며 2.0 이상이어야 한다.

$$F_s = \frac{M_r}{M_o} \geq 2.0 \quad (14)$$

여기서,  $M_o$  : 전도모멘트의 합

$M_r$  : 저항모멘트의 합

즉, <그림 5>에서 전도에 대한 안전율은 <식 (15)>로 표현된다.

$$F_s = \frac{W \cdot a}{P_h \cdot y - P_v \cdot f} \quad (15)$$

여기서,  $P_h$  : 토압 합력의 수평성분

$P_v$  : 토압 합력의 수직성분

$f$  : 옹벽앞굽에서 주동토압( $P_a$ )의 작용점까지의 수평거리

$y$  : 옹벽앞굽에서 주동토압( $P_a$ )의 작용점까지의 연직거리

다음과 같은 경우 전도에 대해서 안전하다.

가. 토압합력  $P_a$ 의 방향이 옹벽 저판 중앙 1/3(지진 시에는 2/3) 이내를 통과하는 경우  
나. 기초 지반이 암반(연암이상)일 때 토압 합력이 중앙 1/2 이내에 있는 경우

③ 지지력 및 침하에 대한 안정

<그림 5>의 기초 지반에 작용하는 최대압축응력( $q_{max}$ )이 기초 지반의 허용지지력( $q_a$ )을 초과한다면 기초 지반의 지지력에 대한 안정을 유지할 수 없다. 지지력에 대한 안정은 <식 (16)>에 의해 검토한다.

$$q_{max} \leq q_a \quad (16)$$

한편 저판 아래의 압력이 <그림 5>와 같이 직선분포를 한다고 가정하면 저판이 받는 최대 및 최소압축응력은 <식 (17)>로 계산한다.

$$q_{max} = \frac{R_v}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (17a)$$

$$q_{min} = \frac{R_v}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) \quad (17b)$$

이 때, 편심은 저판의 임의점(옹벽앞굽 또는 뒷굽)에 대한 모든 힘들의 1차 모멘트를 취하여 이를 합력  $R$ 로 나누어 구한다. 기초 지반의 허용지지력( $q_a$ )은 일반적으로 극한지지력( $q_{ult}$ )을 안전율 3.0으로 나눈 값을 사용한다.

지반의 극한지지력은 얇은 기초의 지지력공식 등을 적용하여 평가하며, 얇은 기초로는 옹벽의 소요지지력을 얻을 수 없는 경우에는 말뚝기초나 원지반의 치환 또는 개량(안정



처리) 등의 공법을 적용하여 소정의 소요지지력을 확보해야 한다. 말뚝기초를 사용하는 경우에는 얕은 기초의 지지력은 무시하고 말뚝의 지지력만을 사용한다.

기초의 지지력에 대한 안정성의 검토에서는 지지력에 대한 안전율 뿐만 아니라 기초의 침하에 대해서도 검토해야 한다. 옹벽의 허용침하량은 인접 토공 또는 구조물의 허용침하기준을 만족해야 하며, 침하량 산정은 일반적인 기초 침하량 산정방법에 따른다. 옹벽의 부등침하(침하량/구조물의 길이 : 부등침하량)는 0.003 이하로 한다.(Duncan, J. M. and Buchignani, A. L.,1976)

④ 옹벽을 포함한 전체 안정성

지반전체 안정성이란 옹벽구조물 뿐만 아니라 옹벽기초 아래 및 옹벽 벽체 뒤의 지반이 포함된 전체의 안정성을 의미한다. 특히 옹벽이 비탈면에 축조되는 경우 전체 안정성이 문제될 수 있으며 이에 대한 평가를 위해서는 현장에 대한 토질조사 및 시험을 바탕으로 한 안정성 해석이 필요하다. 전체안정성의 해석에는 수정 Bishop법, Janbu의 간편법, Spencer방법 등이 적용될 수 있다.

<그림 11>은 전체지반의 여러 가지 파괴형상을 나타낸다. 이와 같은 활동면에서는 적어도 1.5 이상의 안전율을 확보해야 한다.

- 가. 기초 슬래브 밑 활동방지벽의 추가
- 나. 기초 지반고의 하향 조정
- 다. 말뚝기초 적용 등을 검토한다.

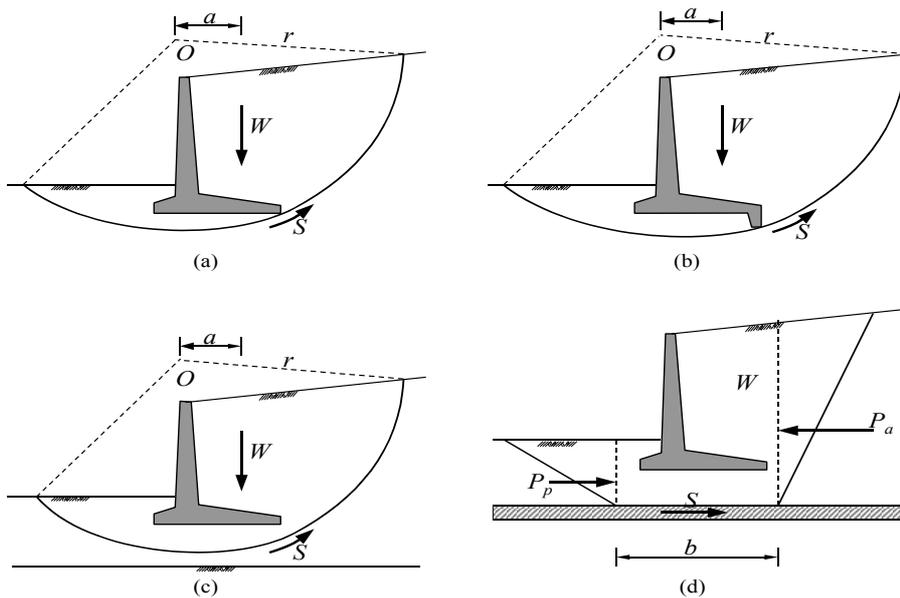


그림 11. 여러 가지 전반활동 파괴형태

(2) 부재 설계시의 적용토압

옹벽 부재의 설계는 관련 구조물 설계기준과 철근콘크리트 시방에 따라 설계해야 한다. 다만, 부재설계 시 적용하는 토압은 옹벽의 높이에서 저판의 두께를 제외한 순수한 벽체 높이에만 토압이 작용하는 것으로 간주하며, 종류별로 설명하면 다음과 같다.

① 중력식과 반중력식 옹벽

중력식 또는 반중력식 옹벽에 대해서는 <그림 12>에서와 같이 옹벽 배면에 대하여 Coulomb 토압을 적용하고 그 작용방향은 벽체 배면의 수직선에 대하여 벽면 마찰각만큼 기울여 작용시킨다. 그러나 중력식 또는 반중력식 옹벽에 대해서는 특별히 부재설계를 할 필요가 없는 경우가 대부분이다.

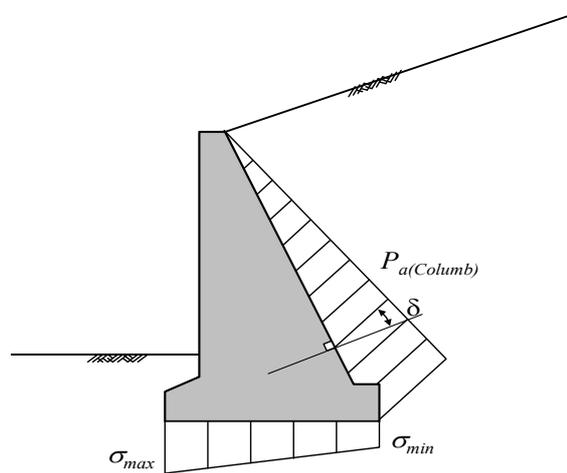
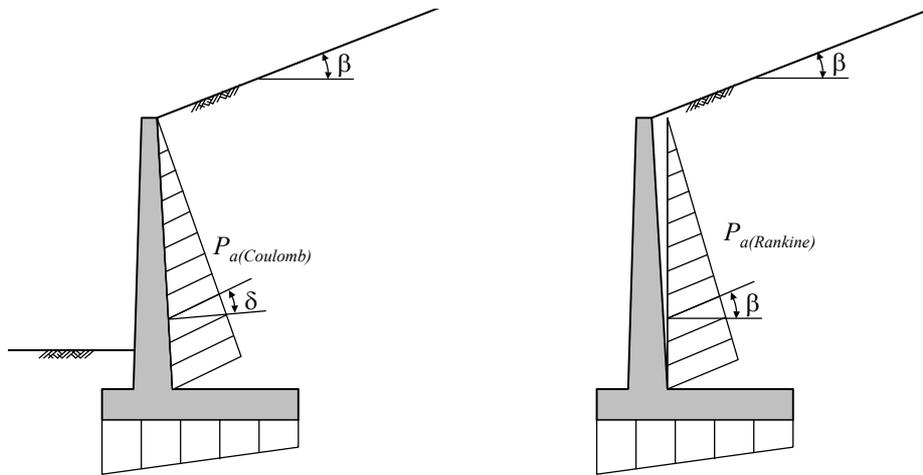


그림 12. 중력식 옹벽 부재력 계산시 토압적용

② 캔틸레버식 옹벽(역T형과 L형)

- 가. 연직방향의 벽체와 수평방향의 저판 슬래브는 일반적으로 캔틸레버로 가정하여 설계한다.
- 나. 역T형이나 L형 옹벽의 벽체 설계 시에는 <그림 13(a)>에서와 같이 벽면마찰을 고려하는 Coulomb 토압을 적용한다. 그러나 실제로 벽체와 뒤채움 흙 사이에는 전단력이 크지 않으므로 이를 무시할 수 있어, <그림 13(b)>에서와 같이 가상수직면에 Rankine 토압을 적용할 수 있으며, 이 경우 다소 과다설계가 되지만 계산이 단순하고 편리하다.



(a) Coulomb 토압 적용시

(b) Rankine 토압적용시

그림 13. 캔틸레버식 옹벽의 부재력 계산시 토압적용

③ 부벽식 옹벽

부벽식 옹벽의 부재설계에 적용하는 토압은 캔틸레버식 옹벽과 동일하다.

(3) 구체의 설계

① 중력식 옹벽

중력식 옹벽은 구체의 자중에 의해 토압을 지지하는 형식으로, 보통 무근콘크리트로 설계한다.

구체의 각 수평단면에서 그 단면보다 상부에 작용하는 토압과 자중에 의해 발생하는 응력 및 앞판에 발생하는 응력이 콘크리트 허용응력도 이하가 되도록 검토한다. 특히 단면형상이 급변하는 부분에서는 주의한다.

전면(노출면)의 경사는 1:0.02, 1:0.1, 1:0.2, 1: 0.3으로 구분하고 옹벽상단의 최소두께는 350mm 이상으로 하고 철근은 배근하지 않는다.

활동방지벽의 최소두께는 400mm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상으로 한다.

② 반중력식 옹벽

토압과 자중의 합력에 의해 옹벽단면 내에 생기는 인장응력은 모두 철근이 받게 한다. 반중력식 옹벽은 중력식 옹벽과 같이 자중에 의해 토압을 지지하는 형식의 것으로 지형상태, 기타 물리적 제약에 의해 중력식 옹벽의 경우보다 벽체 두께를 얇게 할 경우에 적용한다. 설계법은 중력식 옹벽과 같지만 토압과 자중의 합력에 의해 구체 단면에 생기는 인장력을 부담시키기 위해 구체 내에 필요한 양의 철근을 배근한다.

가. 벽체

벽체전면(노출면)의 경사는 1:0.02로 하고 옹벽상단의 최소폭은 300mm, 하단은 최소

철근으로 배치하도록 단면을 설계한다.

$\sigma_r < 0$  즉 인장부가 발생하면 인장부의 응력을 철근이 부담하도록 인장철근을 배근한다.  
벽체와 기초의 연결부에는 헨치를 설치하지 않는다.

#### 나. 저판

옹벽에 상면토사를 유효하게 작용시키며 안정을 확보한다. 저판은 단면두께를 변화시키지 않고, 최소두께는 400mm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상( $0.1H \sim 0.15H$ )으로 최소철근으로 배치하도록 설계한다.

#### 다. 활동방지벽

최소두께는 400mm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상으로 한다.

### ③ 비자립형 옹벽

비자립형 옹벽은 원지반 혹은 뒤채움 흙 등의 지지를 받으면서 자중에 의해 토압에 저항하는 형식의 옹벽으로, 설계법은 중력식 옹벽, 반중력식 옹벽에 따른다.

비자립형 옹벽은 다른 옹벽과 비교해서 구체단면에 대한 저판폭이 적고 기초에의 지반반력이 커지기 때문에 암반 등의 견고한 지지반상에 설치되는 것이 바람직하다.

또한, 비자립형 옹벽은 비탈면 등에 설치되는 경우가 많기 때문에 특히 활동과 전체적으로 안정성이 확보되도록 주의할 필요가 있다.

보통 비자립형 옹벽은 중력식 옹벽과 같은 방법에 의해 안정검토를 한다. 계곡부를 횡단하는 경우 등 높이가 연속적으로 변화하는 비자립형 옹벽을 설치하는 경우, 전도에 관한 안정검토를 하면 부분적으로 합력작용점이 저판중앙의 소정의 범위를 후방으로 벗어나는 경우가 있다. 비자립형 옹벽이 암반 등 양호한 기초지반상에 설치되어 있고 또 옹벽의 배후에 근접하여 안정된 원지반이 존재하는 등 작용토압이 적은 경우에는 일부 단면에서 옹벽의 합력의 작용점이 소정의 범위를 후방으로 벗어나 있어도 저판내에 있으면 옹벽이 후방으로 쓰러지는 일은 없다고 판단해도 좋다.

단, 이 경우에도 합력작용점의 편심거리를 산정하고 지반반력도에 대한 지반의 지지력에 관한 안정검토와 함께 구체내부에 발생한 인장응력에 대해서 검토할 필요가 있다.

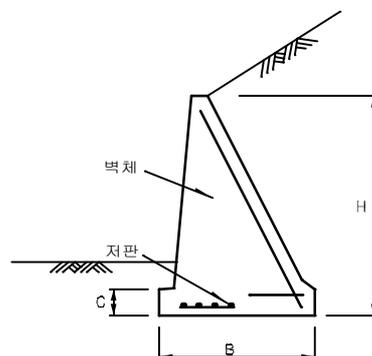


그림 14. 반중력식 옹벽의 예

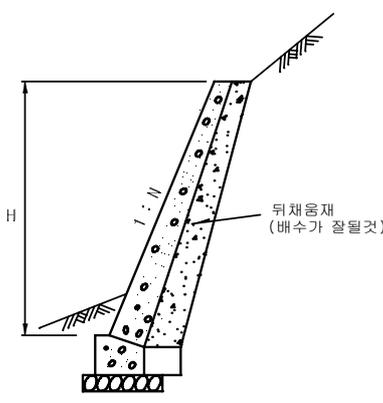


그림 15. 비자립형 옹벽의 예

④ 캔틸레버 옹벽

캔틸레버식 옹벽은 그것을 구성하는 벽체와 저판의 각각이 외력에 대해 캔틸레버보로서 저항하는 구조이고 벽체의 위치에 따라 역T형 옹벽, L형 옹벽 및 역L형 옹벽의 3가지 형식으로 분류된다. 이들 형식은 설치장소의 조건에 따라 분류되어 사용되고 보통은 균형잡힌 역T형 옹벽이 이용된다. L형 옹벽은 용지경계에 접해 있는 등 앞판을 설치할 수 없을 때, 역L형 옹벽은 뒤판을 설치함으로써 배면지반의 절토량이 많아지는 경우와 옹벽배면에 근접구조물 등이 있어 뒤판을 설치할 수 없을 때에 채용되는 경우가 많다. 캔틸레버 옹벽은 철근콘크리트 구조이고 뒤판위의 뒤채움 흙이 자중으로서 옹벽의 안정에 기여하기 때문에 중력식 옹벽에 비해 콘크리트 사용량이 적어진다.

가. 벽체

- (가) 벽체는 수평토압에 대하여 저항하며 전면의 공간확보를 목적으로 설치한다.
- (나) 벽체 전면(노출면)의 경사는 1:0.02로 하고 옹벽 상단의 최소폭은 300mm, 하단부는 최소폭 400mm로 전단철근이 필요하지 않는 단면 이상(0.1H ~ 0.15H)으로 한다.
- (다) 벽체와 기초의 연결부에는 현치를 설치한다.

나. 저판

- (가) 옹벽에 상면 토사를 유효하게 작용시키며 활동, 전도 및 지지력에 대한 안정을 확보한다.
- (나) 저판은 필요단면, 경제성, 구조적 안전성을 고려하여 저판폭의 길이에 따라 단면 두께를 변화시키되 최대경사는 15% 이내로 한다.
- (다) 저판의 최소두께는 400mm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상(0.1H ~ 0.15H)으로 한다.
- (라) 역T형 옹벽의 앞굽의 폭은 B/10 이상 B/3 이하로 한다. 또한 앞굽의 폭은 변단면 옹벽의 시공성 등을 감안하여 옹벽높이 또는 뒤채움 흙의 높이가 증가할 때 감소시키지 않는다.

다. 활동방지벽

(가) 옹벽의 활동면을 변화시켜 활동에 대한 저항력을 증가시킨다.

(나) 활동방지벽의 최소두께는 400mm 이상이며 전단철근이 필요하지 않는 두께 이상으로 한다.

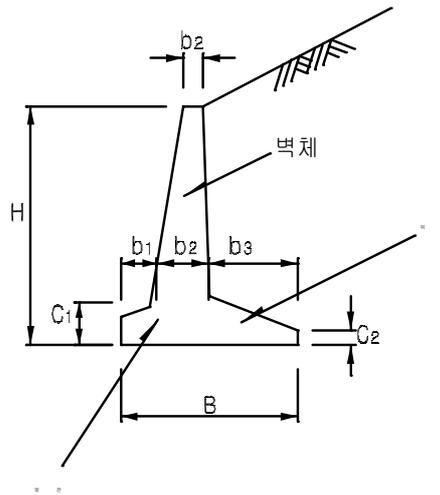


그림 16. 역T형 옹벽의 예

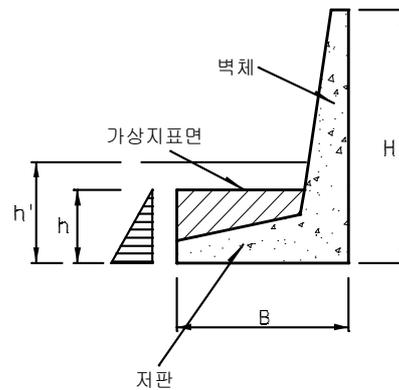


그림 17. L형 옹벽의 예

⑤ 뒷부벽식 옹벽

가. 벽체는 뒷부벽으로 지지된 연속판이 토압의 수평분력에 저항하도록 설계한다.

나. 전면벽과 뒷굽판 사이에 인장재로서 작용하는 뒷부벽을 설치한 뒷부벽식 옹벽에서는 전면벽과 뒷부벽이 토압에 의한 휨모멘트에 대해서 T형보로 설계하고, 전면벽이나 저판은 뒷부벽을 지점으로 하는 2방향 슬래브로서 설계한다.

다. 기초는 뒷부벽으로 지지된 연속판으로서 저판 위의 흙의 중량, 토압의 연직 분력, 지표면의 상재하중, 저판의 중량 및 지반 반력을 고려하여 설계한다.

라. 기초의 앞판 설계는 캔틸레버 옹벽에 준한다. 벽체 및 기초의 양쪽 단부는 부벽에 지지된 캔틸레버보로 설계한다.



마. 전면벽의 하부는 2방향 연속슬래브로서 작용한다고 보아 단면설계를 하지만, 동시에 벽체로서 또는 캔틸레버로서도 작용하므로 연직방향으로 상당한 양의 가외철근을 넣어야 한다.

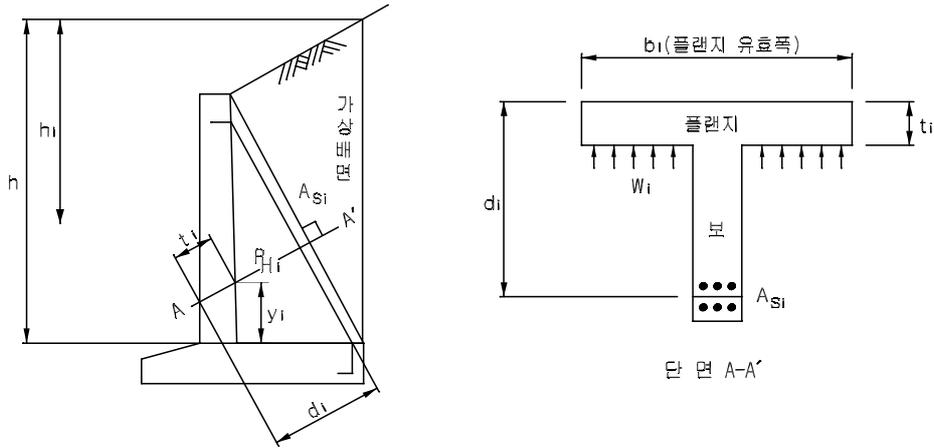


그림 18. 뒷부벽식 옹벽 예

⑥ 앞부벽식 옹벽

가. 앞굽판과 전면벽 사이에 압축지지재로서 작용하는 앞부벽을 설치한 앞부벽식 옹벽에서는 앞부벽을 역T형 직사각형보로, 전면벽을 2방향 연속슬래브로 보아 설계하는데, 여기서도 벽체의 하부에는 가외철근으로 보강해야 한다.

나. 앞부벽, 벽체, 기초의 설계에 있어서 외력의 고려방법은 뒷부벽식 옹벽에 준한다.

⑦ U형 옹벽

측벽과 저판이 일체가 되어 U자형 또는 그와 유사한 형상을 가진 반지하식 옹벽으로 입차교차점의 설치부 등에서 지하수위 이하에 노면을 설치할 필요가 있는 경우에 이용된다.

가. 구체의 형상

측벽과 저판으로 이루어진 U형 옹벽과 측벽 사이에 스트럿을 설치한 스트럿부착 U형 옹벽 등이 있고 측벽 높이, 지반조건, 시공조건 등을 고려하여 적절한 구체형상을 선정한다.

나. 측벽

U형 옹벽의 측벽 설계는 캔틸레버 옹벽의 벽체에 준하여 실시하고, 측벽에 작용하는 토압과 수압의 연직성분 및 측벽의 자중은 무시한다. 설계에 이용하는 토압은 보통의 U형 옹벽에서는 주동토압, 스트럿부착 U형 옹벽에서는 정지토압을 이용한다.

다. 저판

U형 옹벽의 저판은 다른 형식의 옹벽에 비해 저판폭이 넓기 때문에 탄성바닥 보로서 설계하는 것이 좋다. 이 경우, 측벽의 하단에 측벽의 자중 및 토압과 수압의 연직성분에 의한 연직하중과 토압과 수압의 수평성분에 의한 모멘트를 작용시킨다.

또, 저판에 작용하는 하중으로서 포장을 포함한 저판자중, 양압력, 중간채움흙의 자중 등을 고려한다. 그리고 저판중앙부에 대해서는 측벽하단의 휨모멘트 유무에 의해 응력 상태가 달라지는 경우가 있으므로 옹벽시공시의 안전성에 대해서도 검토한다.

#### 라. 양압력에 대한 검토

지하수위가 높은 위치에 U형 옹벽을 설치하는 경우는 양압력에 대한 안정 검토가 중요하다. 이 경우, 사전에 지하수위의 위치를 파악할 필요가 있지만 보링공과 주변의 우물 등의 관측결과로부터 설계에 이용하는 지하수위를 결정한다. 또, 해안선에 가까운 매립지 등에서는 만조위를 기준으로 양압력을 산출하고 하천 등의 영향으로 지하수위 변동이 큰 장소에서는 최고수위를 파악하여 설계에 이용한다.

### (4) 기초의 설계

#### ① 직접기초

##### 가. 설계일반

옹벽의 직접기초는 양질의 기초지반위에 설치하고 연직하중은 직접기초저면의 원지반만으로 지지시키는 것으로 한다. 지층은 연약하지만 비교적 얇은 위치에 양질의 지지층이 있는 경우에는 지지층까지 근입시키는 방법 외에 안정처리와 양질토에 의한 치환을 하여 개량지반을 형성하고 이를 기초지반으로 하여 그 위에 직접기초를 설치하는 방법이 있다.

##### 나. 개량지반(안정처리, 치환)상의 직접기초

개량지반상의 직접기초는 비자립형 옹벽 등의 견고한 지지지반을 전제로 한 구조형식의 옹벽에는 이용하지 않는다. 또한, 구조물로서의 중요도가 높은 옹벽에 이용하는 경우에는 신중한 검토가 필요하다.

직접기초의 기초지반을 개량하는 것은 크게 다음 3가지 경우가 있다.

- (가) 표층에 연약층이 있고 양호한 지지층이 비교적 얇은 위치(2~3m 정도 이하)에 있어 연약층의 전체두께를 개량하는 경우
- (나) 연약층이 두텁고 양호한 지지층이 깊은 위치에 있어 연약층의 두께의 일부를 개량할 경우(하중에 의한 지중응력도가 연약지반의 허용응력도 이하가 되는 깊이까지 연약층을 개량하는 경우)
- (다) 연약층이 두텁고 양호한 지지층이 깊은 위치에 있어 심층혼합처리 등에 의해 양호한 지지층까지 연약층의 전체두께를 개량하는 경우

##### 다. 치환콘크리트

직접기초의 일부에 기초지반으로서 부적합한 지반이 존재하는 경우와 비탈면위에 직접기초를 설치하는 경우에는 그 부분을 굴착하여 콘크리트로 치환한다.

비탈면상의 직접기초에서는 굴착토량을 삭감하기 위해 저판에 단차를 둔다. 치환콘크리트의 강도는 기초지반의 강도와 동등하게 한다.



또한, 치환콘크리트가 기초저면에 차지하는 비율이 비교적 큰 경우와 저판밑을 모두 콘크리트로 치환해 버리는 것은 구조적, 경제적으로 바람직하지 않은 경우가 있기 때문에 치환기초의 범위도 어느 정도 제한하는 것이 바람직하다.

## ② 말뚝기초

### 가. 설계일반

말뚝기초에 작용하는 연직하중 및 수평하중은 말뚝만으로 지지하고 이들 하중에 의해 발생하는 각 말뚝두부의 축방향반력은 말뚝의 허용지지력을 넘어서는 안 된다. 또한, 말뚝은 상시에 인발력이 발생하지 않도록 말뚝배치를 한다. 지진시 검토를 하는 경우는 교대의 기초에 말뚝기초를 이용한 경우와 마찬가지로 설계하고 지진시에 의한 내진설계는 하지 않아도 좋다.

말뚝두부변위에 대해서는 일반 옹벽에서는 교량기초처럼 상부구조에서 정한 허용변위량을 규정할 필요가 없다고 생각할 수 있으므로 말뚝두부에서의 허용변위량은 규정하지 않기로 한다. 다만, 지진 영향을 고려하여 설계하는 경우와 건축한계, 주변상황 등을 고려하여 변위를 규제할 필요가 있는 경우 등은 변위에 대해서 별도 고려한다.

### 나. 말뚝형식 선정

말뚝기초는 그 지지형태에 따라 지지말뚝과 마찰말뚝으로 대별된다. 말뚝의 지지력은 말뚝선단에서의 저항력과 말뚝주면의 마찰력으로 이루어지는데 지지말뚝은 말뚝선단이 양질의 지지층에 근입된 말뚝이고, 마찰말뚝은 선단이 양질의 지지층에 근입되어 있지 않은 말뚝이다. 이 경우 양질의 지지층이란 모래층과 자갈층에서는 대략 N값이 30 이상, 점성토층에서는 대략 N치가 20 이상(일축압축강도( $q_u$ )가 400kPa 정도 이상)으로 본다.

옹벽의 경우, 흙쌓기의 일부로서 침하를 허용하는 것이 합리적인 경우도 있고, 변위에 대한 제약이 적은 경우와 양질의 지지층이 깊은 경우 및 하중규모가 적은 경우 등에는 마찰말뚝의 선정도 염두에 두고 말뚝형식을 선정한다.

또한, 중간에 압밀층 등 연약지반이 존재하는 경우는 옹벽의 뒤채움 흙과 흙쌓기 시공에 의해 말뚝에 부마찰력이 작용하거나 축방유동압이 작용하는 경우도 있으므로 설계시 충분한 주의가 필요하다. 이 경우 대책공으로서 말뚝본체를 보강하는 방법, 지반개량공법, 흙쌓기하중경감공법 등이 있고, 각 공법의 특징을 감안하여 종합적으로 검토한다.

### 다. 저판의 설계

말뚝기초를 이용한 옹벽저판의 설계는 지반반력 대신에 말뚝반력을 작용시켜 실시한다. 다만, 저판의 두께는 교량의 기초처럼 강제로서 취급할 수 있는 두께를 가지고 있을 필요는 없고 부재로서 정한 두께를 가지고 있으면 좋다.

## 4. 배수계획

## (1) 배수공

옹벽 배수는 지표면배수와 뒤채움배수로 대별된다. 지표면배수는 우수 등의 지표면수가 뒤채움 흙 속에 침투하는 것을 방지하는 것이며 뒤채움배수는 뒤채움중에 침입해 온 물을 신속하게 배제하기 위한 배수공이다.

배수공의 설계에 있어서는 우선 옹벽배면과 지지지반에 물이 침투하는 것을 방지하는 것이 중요하다. 따라서 식생공과 콘크리트, 블록 등의 불투수층을 마련하여 지표면수를 배수구로 집수시키거나 지하수위가 높은 경우에는 지하수 배수공을 설치하여 지하수의 유입을 방지할 필요가 있다.

그러나 이와 같은 대책을 강구한다 해도 물의 침투를 완전하게 막을 수는 없기 때문에 옹벽배면에 침투한 물을 배제하기 위한 뒤채움배수공을 설치할 필요가 있다.

뒤채움배수공에는 간이 배수공, 구형 배수공, 연속배면 배수공 등이 있고, 옹벽 규모와 뒤채움재의 토질, 설치위치의 지형상황, 우수 유무 등에 따라 적절히 선정한다. 그리고 필요에 따라 옹벽의 횡단방향 배수에 대해서도 검토할 필요가 있다.

### ① 간이 배수공

간이 배수공은 뒤채움 흙이 사질토 등으로 투수성이 좋은 경우에 이용되고 있다.

이 배수공은 <그림 19>에 있듯이 각 배수구멍 위치에 쇄석과 자갈 등 두께 500mm 정도의 수평배수층을 벽체 전길이에 걸쳐 설치하는 것이다. 또, 특히 용수량이 많은 경우는 구멍 뚫린 배수관을 병용하는 것이 좋다.

### ② 구형 배수공

구형 배수공은 투수성이 그다지 좋지 않은 뒤채움재를 이용하는 경우와 옹벽의 설치위치가 집수 지형으로 되어 있는 경우 등에 이용하면 좋다. 이 배수공은 <그림 20>에 있듯이 벽체하단 부근에서 배수구멍을 통해 용이하게 배수할 수 있는 높이의 위치에 벽체 전길이에 걸쳐 쇄석, 자갈 등으로 두께 500mm 정도의 수평한 배수층을 설치하고 동시에 벽체배면을 따라 옹벽상부부근까지 두께 300~400mm 정도의 연직배수층을 4~5m 간격으로 설치한다.

벽체의 배수구멍은 적어도 연직배수층과 수평배수층과의 각 교점마다 설치할 필요가 있다.

### ③ 연속배면 배수공

연속배면 배수공은 주로 블록쌓기옹벽에 사용되고 있으며, 구형 배수공과 마찬가지로 배면흙쌓기체가 점성토처럼 투수성이 나쁘고 또 옹벽의 설치위치가 집수 지형으로 되어 있는 경우 등에 이용하면 좋다. 이 배수공은 벽체배면의 전면에 걸쳐 쇄석 등으로 두께 300~400mm의 배수층을 설치하여 이 층의 전면에서 집수하고, 배수층 하단 및 벽체에 적당히 배치한 배수구멍을 통해 배수하는 방법이다.

### ④ 기타 배수공

옹벽 배면에 Drain Board(폴리스틸렌 일면 배수재)를 부착시키고 부직포로 Drain Board를 덮은 후 양질의 토사로 뒤채움을 하여 배면 토압의 증가를 억제하고 뒤채움 흙의 동상과 동결에 따른 수축 팽창을 방지할 수 있다.

뒤채움재로 점성토를 사용하는 경우는 배수공이 뒤채움 흙에 의해 막히지 않도록 쇠석과 자갈, 토목섬유 배수재 등으로 의해 지하배수층을 설치하는 것이 바람직하다.(〈그림 21〉 참조)

만약 흙이 팽창성 점성토인 경우에는 침투수에 의해서 흙의 팽창을 유발될 수 있으므로 이러한 흙은 뒤채움재로서 좋지 않으나 만약 부득히 사용할 경우 이중의 블랭킷 배수시설을 설치한다.(〈그림 22〉 참조)

또한, 특수한 배수공으로서 땅깍기부의 배수와 용수가 있는 장소의 배수공이 있다.(〈그림 23〉, 〈그림 24〉 참조)

### ⑤ 배수구멍

배수구멍은 옹벽배면에 모인 물을 배수하기 위한 것으로 콘크리트옹벽에서는 옹벽 전면에 용이하게 배수할 수 있는 높이의 범위내에서 5m 이내의 간격으로 설치한다. 그리고 부벽식 옹벽에서는 각 판넬마다 적어도 1개의 배수구멍을 설치한다. 또한, 블록쌓기 옹벽과 비자립형 옹벽에서는 뒤채움배수에 특히 주의가 필요하고, 배수구멍은 전면의 배수구보다 상부에서 2~3m<sup>2</sup>에 1개의 비율로 설치하는 것이 바람직하다.

배수구멍은 내경 50~100mm 정도의 경질염화비닐 등의 재료를 배수방향에 적당한 경사로 벽체에 묻어 설치하는 것이 좋다. 또한, 배수구멍 입구에 흡출방지재와 구멍지름보다 큰 자갈과 쇠석을 설치하여 배수구멍을 통해 뒤채움 흙이 유출되지 않도록 배려할 필요가 있다.

### ⑥ 배수재

배수층의 재료로는 일반적으로 자갈과 쇠석 등의 석재가 사용되어 오고 있으며, 최근 옹벽배수용 토목섬유 배수재(예로서 지오텍스타일복합체)도 사용되고 있다. 토목섬유 배수재는 경량으로 취급과 시공이 용이하다는 특징을 가지고 있지만 사용에 있어서는 투수층으로서의 성능, 내구성, 환경조건, 설계시공법, 옹벽 종류 등을 충분히 검토한 후에 이용한다. 다만, 블록쌓기 옹벽은 그 구조안정상 뒤채움재에 자갈과 쇠석을 이용하는 것을 전제로 하고 있기 때문에 그 대체로서 토목섬유 배수재를 이용해서는 안 된다.

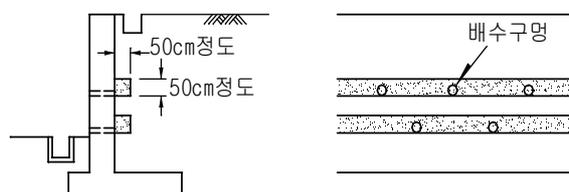


그림 19. 간이 배수공

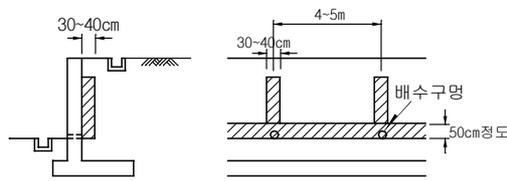


그림 20. 구형 배수공

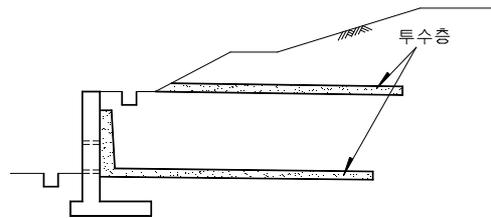


그림 21. 옹벽의 배면배수 사례

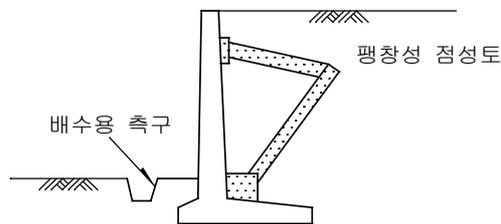


그림 22. 이중 블랭킷 배수시설

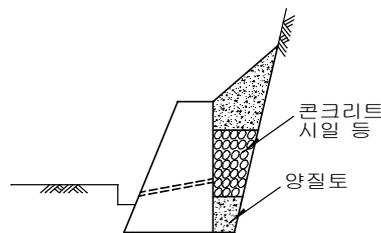


그림 23. 땅깎기부에서의 배수공 사례

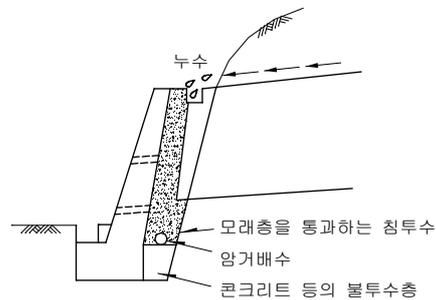


그림 24. 용수가 있는 경우의 배수공 사례

## (2) 침수대책

침수로 인하여 옹벽의 안정성이 확보되지 못할 경우에는 투수성이 양호한 재료를 뒤채움재로 사용해야 한다. 이때의 뒤채움재 기준은 다음과 같다.

- ① 최대입경 : 100mm 이하
- ② 세립토의 함유량 : 점토 크기의 입자 함유율은 5% 이내, 0.075mm(N0. 200체)를 통과한 재료의 함유량이 15 % 이하

## 5. 기초의 세굴 대책

옹벽기초가 하천의 유수에 의하여 세굴 우려가 있는 경우 세굴깊이를 감안하여 기초 깊이를 조정하거나 또는(그리고) 세굴방지공을 적용해야 한다. 세굴깊이의 산정 및 세굴방지공의 선정은 「철도설계지침 및 해설서」의 교량 관련편을 참조한다.

## 6. 지진 및 열차진동

### (1) 지진

#### ① 지진 시 토압

##### 가. 흙쌓기부

흙쌓기부의 지진시의 토압은 Mononobe-Okabe의 공식을 적용한다.

Mononobe-Okabe의 지진시의 주동토압공식은 <식 (18)>과 같으며 이 공식은 옹벽배면의 경사가 완만한 경우에 적용한다.

$$P_{ae} = \frac{1}{2}(1 \pm k_v)K_{ae}\gamma H^2 \quad (18)$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \omega)}{\cos\theta \cos^2\omega \cos(\omega + \delta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\omega + \delta)\sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\omega + \delta + \theta)\cos(\omega - \beta)}} \right]^2} \quad (19)$$

여기서,  $K_{ae}$  : 지진시 주동토압계수

$\phi$  : 뒤채움흙의 내부마찰각(°)

$\theta$  : 지진시 합성각( $\theta = \tan^{-1}\{k_h/(1 - k_v)\}$ )

$\omega$  : 옹벽배면과 연직면이 이루는 각(°)

$k_h$  : 설계수평지진가속도계수(지진에 의한 가속도의 수평성분/중력가속도) 「KR C-02040 내진설계」참조

$k_v$  : 설계수직지진가속도계수(지진에 의한 가속도의 수직성분/중력가속도)

$\delta$  : 벽면마찰각(°)

$\beta$  : 옹벽 상부의 흙쌓기비탈면각 (°)

이 식은 특성상 다음의 제한 조건을 만족시켜야 한다.

$$\omega + \beta + \theta < 90^\circ \quad (20 \text{ a})$$

$$\phi > \beta + \theta \quad (20 \text{ b})$$

또한 위의 식에서 설계수평지진가속도계수  $k_h$ 는 벽체의 변위를 허용하는 경우에 수평 지반가속도계수로부터 다음과 같이 계산할 수 있다.[AASHTO, 1996]

$$k_h = \frac{A}{2} \quad (21)$$

여기서,  $k_h$  : 설계수평지진가속도계수

$A$  : 수평지반가속도계수(지진구역계수 × 위험도계수)

「철도설계기준(노반편) (국토해양부, 2011)」에 의하면, 우리나라의 지진구역은 아래 <표 9>와 같이 구분하며, 지진구역계수 및 위험도계수는 각각 <표 9>와 <표 10>과 같다.

표 9. 지진구역구분

지진구역	행정구역		구역계수, Z
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부	
II	도	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

- 주) ① 강원도 북부(시, 군) : 춘천시, 속초시, 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 인제, 고성, 양양, 양구  
 ② 강원도 남부(시, 군) : 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시, 영월, 정선  
 ③ 전라남도 북동부(시, 군) : 광양시, 나주시, 여수시, 순천시, 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순  
 ④ 전라남도 남서부(시, 군) : 목포시, 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평

표 10. 위험도계수

재현주기(년)	100	500	1000
위험도계수	0.57	1.0	1.4

Mononobe-Okabe의 제안식은 지진시 토압의 작용점을 옹벽 저면에서 H/3 높이로 하고 있으나, 실험결과들은 H/3 위치보다 높은 곳에 지진시 토압이 작용함을 보이고 있다. Bathurst와 Cai (1995)에 의하면 동적토압 증가분  $\Delta P_{dynH}$ 의 작용점으로 0.6H를 추천하고 있다.

지진에 의한 토압증가분의 작용위치는 옹벽 저면에서 0.6H인 점으로 하며 벽면마찰각 ( $\delta$ )은 고려하지 않는다.



Mononobe-Okabe의 지진시 토압공식에는 정적 토압과 동적 토압 증가분의 모두를 포함하고 있으므로 지진시의 수평방향 토압의 증가분은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{aeH} = P_{aH} + \Delta P_{dynH} \quad (22)$$

$$\text{또는 } (1 \pm k_v)K_{aeH} = K_{aH} + \Delta K_{dynH}$$

여기서,  $P_{aeH}$  : 지진시 토압의 수평성분(=  $P_{ae} \cos(\delta - \omega)$ )

$P_{aH}$  : 정상시 토압의 수평성분(=  $P_a \cos(\delta - \omega)$ )

$\Delta P_{dynH}$  : 지진에 의한 수평방향 동적토압증가분  
(=  $\Delta P_{dyn} \cos(\delta - \omega)$ )

$K_{aeH}$  : 지진시 주동토압계수의 수평성분(=  $K_{ae} \cos(\delta - \omega)$ )

$K_{aH}$  : 주동토압계수의 수평성분(=  $K_a \cos(\delta - \omega)$ )

$\Delta K_{dynH}$  : 동적토압계수 증가분(=  $\Delta K_{dyn} \cos(\delta - \omega)$ )

일반적으로 수직방향의 지진가속도계수는 무시하는 경우가 많으며,  $k_v = 0$  이면, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta K_{dynH} = K_{aeH} - K_{aH} \quad (23)$$

$$\Delta P_{dynH} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \Delta K_{dynH} \quad (24)$$

따라서 지진시 토압의 분포는 아래 <그림 25> 에서와 같이 정적토압과 동적토압으로 나누어서 생각할 수 있으며, 토압의 작용점은 정적 토압의 경우 옹벽 바닥으로부터  $H/3$ , 동적토압의 경우에는  $0.6H$ 를 사용한다.

#### 나. 땅깍기부

땅깍기부 옹벽에 대한 지진시 토압은 시행췌기법을 적용하여 뒤채움재 췌기에 수평방향의 지진시 관성력을 더하여 계산한다.

#### ② 지진시 관성력

지진시에는 수평방향의 지진가속도에 의하여 옹벽 배면의 토압이 증가할 뿐만 아니라, 옹벽자체의 관성력도 발생하게 되므로, 이를 설계에 반영해야 한다. 설계 수평지진가속도계수를  $k_h$ , 옹벽의 자중(저판상의 흙의 중량 포함)을  $W$ 라 할 때 옹벽의 지진시 관성력은 수평방향으로  $k_h \cdot W$ 가 작용하며, 옹벽의 중심 G를 통과하는 것으로 한다. 또 안정계산에 쓰는 옹벽의 자중은 <그림 26>와 같이 사선부분을 취한다.

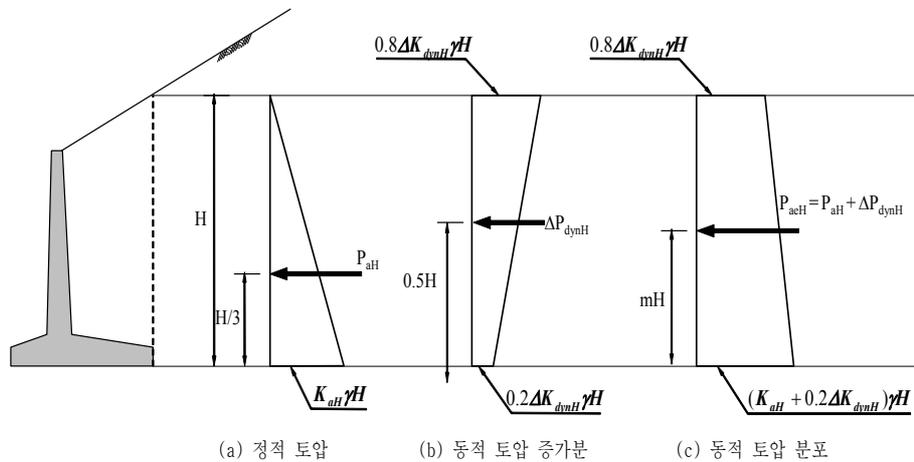


그림 25. 지진시 수평토압의 분포

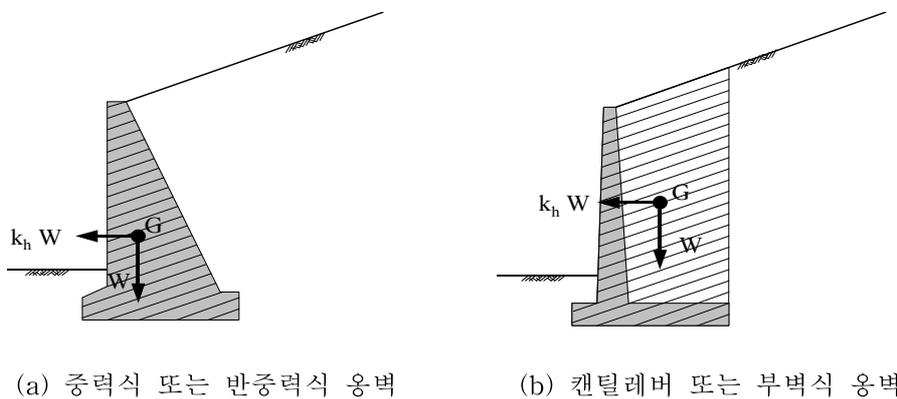


그림 26. 지진시 관성력의 고려방법

③ 내진설계 안전율

일반적으로 지진하중을 고려하는 경우 설계안전율은 정적설계안전율의 75%를 기준으로 하며, 옹벽의 설계를 위한 설계안전율은 다음과 같다.

(2) 열차진동

설계단계에서의 옹벽배면 노반에 열차운행으로 발생하는 활하중은 「해설 1. 3.(2)항」에서와 같이 등분포 상재하중으로 고려하며, 이로 인한 별도의 진동해석이나 검토는 생략한다.

표 11. 옹벽의 설계안전율

항목	평상시	지진시
활동	1.5 (2.0*)	1.1 (1.5*)
전도	2.0	1.5
지지력	3.0	2.0
옹벽을 포함한 전체 안정성	1.5	1.2

\* 옹벽 전면의 수동토압을 고려하는 경우



## 7. 구조세목

### (1) 부재 최소치수

전면벽은 200mm 이상, 저판은 300mm 이상으로 한다. 단, 중력식 옹벽의 경우에 전  
면벽은 400mm 이상이어야 한다.

### (2) 철근의 덮개

철근의 덮개는 「콘크리트 설계기준」에 의한다.

### (3) 최소 철근비

① 해석에 의하여 소요철근량을 산정한 휨부재 단면 :  $P_{mim} = 1.4 / f_y$  단, 단면에서 사용된  
철근량이 해석으로 요구되는 철근량보다 최소한 1/3 이상 많을 때는 위 식을 따르지  
않아도 되나 0.0015 이상이어야 한다.

② 수직철근의 콘크리트 총 단면적에 대한 최소비는 다음과 같아야 한다.

가. 지름이 16mm 이하인 이형철근의 항복강도가 400MPa 이상의 경우 : 0.0012

나. 가 이외의 이형철근에 대하여 : 0.0015

다. 지름이 16mm 이하인 용접강선망에 대하여 : 0.0012

③ 수평철근의 콘크리트 총 단면적에 대한 최소비는 다음과 같아야 한다.

가. 지름이 16mm 이하인 이형철근의 항복강도가 400MPa 이상의 경우 : 0.0020

나. 가 이외의 이형철근에 대하여 : 0.0025

다. 지름이 16mm 이하인 용접강선망에 대하여 : 0.0020

라. 전면벽 표면측에 배치되는 수평방향철근은 벽체 높이 1m 당  $500\text{mm}^2$  이상, 중심간격  
400mm 이하로 배치해야 하며, 전면벽에 배치되는 총수평철근량의 1/2 이상이어야 한다.

### (4) 철근간격

해석에 의하여 소요철근량을 산정한 휨부재단면에서는 철근간격이 최대 휨모멘트가  
발생되는 단면에서 단면두께의 2배 이하 또는 300mm 이하로, 그 밖의 단면에 대해서  
는 단면두께의 3배 이하 또는 400mm로 한다.

### (5) 철근의 정착 및 이음

① 철근의 정착길이는 기본정착길이( $l_d$ )를 적용하되 300mm 이상으로 하며, <표 12>를  
따른다.

② 철근의 이음 길이는 <표 13>을 따른다.

표 12. 철근의 정착길이 「옹벽표준도작성연구용역, 1998」  
콘크리트 설계기준강도( $f_{ck}$  : 24MPa), 철근의 항복강도( $f_y$  : 300MPa) 일 때(단위 : mm)

철근	인장철근		압축철근(ld)
	일반철근( $l d$ )	상부철근( $1.3 l db$ )	
D13	300 (350)	390 (460)	200 (230)
D16	370 (430)	490 (560)	250 (290)
D19	450 (520)	590 (680)	300 (350)
D22	520 (600)	680 (780)	350 (400)
D25	600 (690)	780 (900)	400 (460)
D29	750 (870)	980 (1140)	450 (520)
D32	930 (1070)	1210 (1400)	500 (570)

( )안의 값은 콘크리트 설계기준강도( $f_{ck}$  : 18MPa), 철근의 항복강도( $f_y$  : 300MPa)일 경우

표 13. 철근의 이음길이 「옹벽표준도작성연구용역, 1998」  
콘크리트 설계기준강도( $f_{ck}$  : 24MPa), 철근의 항복강도( $f_y$  : 300MPa) 일 때(단위 : mm)

철근	인장철근				압축철근
	일반철근		상부철근		
	A급	B급	A급	B급	
D13	300 (350)	390 (460)	390 (460)	510 (600)	300 (400)
D16	370 (430)	490 (560)	490 (560)	640 (730)	340 (460)
D19	450 (520)	590 (680)	590 (680)	770 (890)	410 (550)
D22	520 (600)	680 (780)	680 (780)	890 (1020)	470 (630)
D25	600 (690)	780 (900)	780 (900)	1020 (1170)	540 (720)
D29	750 (870)	980 (1140)	980 (1140)	1280 (1490)	610 (820)
D32	930 (1070)	1210 (1400)	1210 (1400)	1580 (1820)	670 (900)

( )안의 값은 콘크리트 설계기준강도( $f_{ck}$  : 18MPa), 철근의 항복강도( $f_y$  : 300MPa)일 경우

#### (6) 활동방지벽(Key)

활동저항을 증가시키기 위하여 기초저면에 활동방지벽을 설치하는 경우, 활동방지벽은 저판 콘크리트와 일체로 타설한다.

활동방지벽의 형상은 <그림 27 (a)>에 나타난 것을 원칙으로 하지만, 활동방지벽의 깊이, 토질 상태 등에 따라 <그림 27 (b)>와 같이 구조물 굴착선에 맞는 형상으로 해도 좋다.

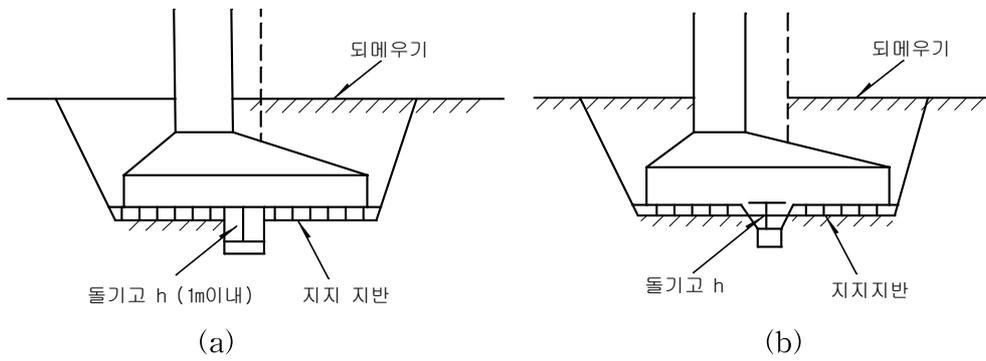


그림 27. 활동방지벽의 형상

(7) 이음

① 수축이음

철근콘크리트 옹벽에서는 표면에 V형의 홈을 가진 수축이음을 만든다. 그 간격은 6m 이하로 하되, 이 이음에서 철근을 끊어서는 안 된다.(<그림 28 (a)>참조)

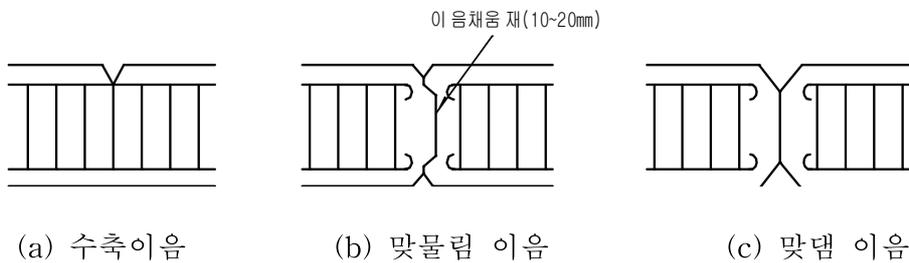


그림 28. 수축이음, 신축이음

② 신축이음

벽체의 신축이음은 일반적으로 중력식 옹벽에서는 10m 이하, 역T형, L형 및 뒷부벽식 옹벽에서는 15~20m 이하의 간격으로 두되, 이 면에서는 철근을 반드시 자른다.

신축이음은 서로 물리는 <그림 28 (b)>와 같은 형상으로 하지만, 높이가 낮고 기초지반이 견고한 경우 등에서는 <그림 28 (c)>와 같은 구조로 해도 좋다. 이 경우 시공에 있어서 엇갈림이 생기지 않도록 충분히 주의한다.

(8) 구체

① 본선에 접해 있는 벽체의 전면을 미관 및 시공을 고려하여 일반적으로 1:0.02 이상의 경사를 붙인다(<그림 29> 참조).

② 옹벽의 상부에는 <그림 29>와 같은 소단을 설치하는 것이 좋다.

그 길이 L은 설치 장소에 따라 다르지만 일반적으로 700mm로 하면 된다.

③ 연속된 옹벽에서 그 높이가 변하는 경우, 접속은 지형, 구조 형식 등을 고려하여 판단한다.

④ 산지부에 설치되는 옹벽처럼 옹벽의 상부 또는 저면의 높이가 변할 경우에는 설치 위치, 구조 형식 등을 고려하여 접속시킨다. 일반적으로 설치 위치에 의해 정해지는 근입 깊이를

기준으로 1블럭의 길이를 결정하며, 저판은 수평으로 시공하면 좋다.(<그림 30> 참조)  
 중력식 옹벽에서는 벽체 전후의 경사를 일정하게 하고 상부를 소정의 경사에 맞추면  
 된다. 역T형 옹벽 또는 뒷부벽식 옹벽의 정부의 폭은 1블럭별로 일정하게 하지만, 높이의  
 변화가 적을 때에는 저판의 폭을 일정하게 하고 상부만을 끊어내는 방법으로 처리해도  
 된다.

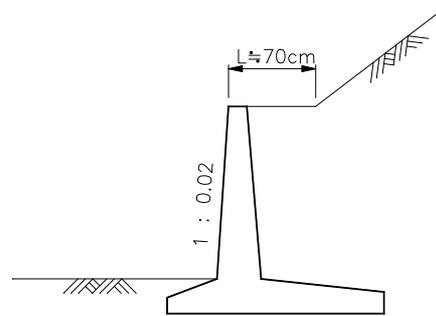


그림 29. 옹벽의 소단

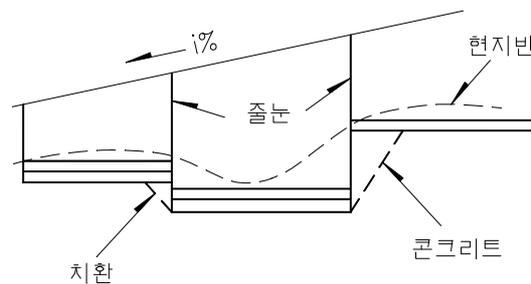


그림 30. 산지부의 옹벽 예

## 8. 기타 설계·시공상의 주의점

옹벽에 있어서의 대부분의 문제는 다음과 같은 원인에 의해 일어나는 경우가 많으므로 주의한다.

- (1) 기초 지반의 부등침하
- (2) 기초 지반의 지지력 부족
- (3) 뒤채움부의 배수 불량

옹벽의 기초지반을 잘 확인할 필요가 있다. 특히 홍적층, 충적층의 경계 부근 비탈면 상에 설치할 경우에는 특히 주의가 필요하다.

옹벽 배면에 수압을 발생시키지 않게 하기 위해 배수를 함으로써 수압을 감소시킬 필요가 있으나, 시공 도중에 메워져 배수가 잘 되지 않는 경우가 있으므로 충분히 주의할 필요가 있다. 그 방법으로써 <그림 31>, <그림 32>와 같은 시공방법이 있다.



그리고, 옹벽배면에 작용하는 토압을 효율적으로 저감시키는 대책으로 설계시 고려될 수 있는 방법으로는 다음과 같은 방법들이 있다.

- ① 역T형 옹벽의 뒤꿈치(Heel)부분을 45° 정도 경사지게 하는 방법
- ② 중력식 옹벽과 역T형 옹벽의 경우에 구조슬래브(Structural Slab)를 옹벽배면의 중간부에 추가로 설치하여 그 위쪽의 모든 하중을 지탱하게 하는 방법
- ③ 구조슬래브를 ②와 같이 동일하게 설치하고 슬래브 아래쪽에 위치하는 옹벽배면을 경사지게 시공하는 방법
- ④ 옹벽의 뒤채움재를 단위중량이 적은 경량의 흠쌓기재(예 : EPS블럭 등)로 시공하는 방법

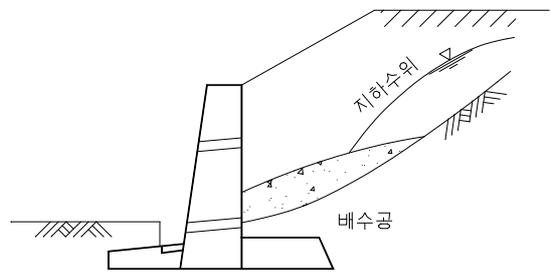


그림 31. 원지반에 지하수가 있을 때

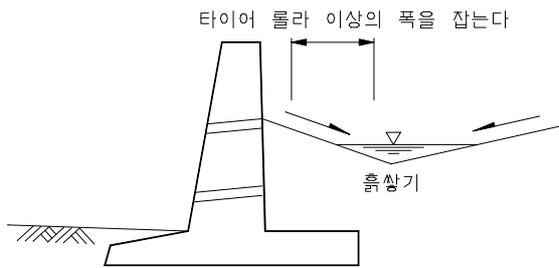


그림 32. 흠쌓기 중 지표수를 뒤채움에 유입시키지 않는 시공

## RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('14.5.?) 불일치한 구교의 하중계수 및 용벽의 상재하중 적용기준을 통일시키고 교량의 탈선방호벽에 작용하는 수평하중 준치