



단지내 또는 소규모 사면에서 석축을 광범위하게 사용하고 있습니다. 석축의 설계방법과 안정 해석법은 일반옹벽과 어떻게 다른지 알고 싶습니다.



안태봉 (우송대학교 철도건설환경공학과 교수, 토질 및 기초기술사 53회)

1. 석축의 정의

석축은 축대라고도 불리며 돌을 쌓아서 옹벽 구조물을 만드는 것으로서 비탈면에 견치석, 막돌, 마름돌 등을 쌓아 토사의 붕괴방지 등의 목적으로 널리 사용되는 구조물이다.

비탈면의 높이가 높고 중요한 장소에는 철근콘크리트 옹벽이나 보강토 옹벽으로 시공하는 것이 유리하지만 비탈면의 높이가 낮은 장소에서는 석축을 사용하는 것이 경제적이며 시공도 용이하여 1970년대 말까지만 하더라도 택지조성, 공업단지 조성 및 제방공사의 사면처리공법으로 많이 이용되어 왔으며 근래까지도 비교적 완만한 유속의 소규모 하천에 많이 시공되고 있다. 그리고 현재 친환경사업의 하나인 자연형 하천복원사업의 일환으로 석축시공이 증가되고 있는 추세이다.

이와 같은 중요성에 반하여 석축의 설계는 경험에 의해 비탈경사는 대략 1:0.3~1:0.6 정도로 하고 높이, 경사 및 토질에 따라서 메쌓기와 찰쌓기로 구분하여 시공한다. 또한 안정해석은 석축의 벽체는 층분한 강성을 가지고 있지 않음에도 불구하고 석축을 중력식 옹벽으로 가정하여 고정토압공식을 적용하

여 안정해석을 하고 있다. 그러나 석축은 콘크리트 옹벽과 달리 석축 전체가 일체로써 작용하는 것이 아니라 각각의 돌이 서로 물려서 그 위치를 유지하여 전체로써 전도 또는 활동을 하지 않도록 되어 있다. 그래서 정부의 몇 개 기관에서 석축의 표준도를 작성하여 석축시공의 기준으로 제시하고 있으면 다음 그림 1은 이와 같은 표준도의 한 예를 보이고 있다. 하지만 이것은 역학적 방법을 기초로 하여 설계된 것이 아니라 경험적으로 산출된 것이다.

그리고 돌쌓기의 표준치수는 직고에 따라 그 값이 달라진다. 돌쌓기의 표준치수는 다음 표 1과 같다.

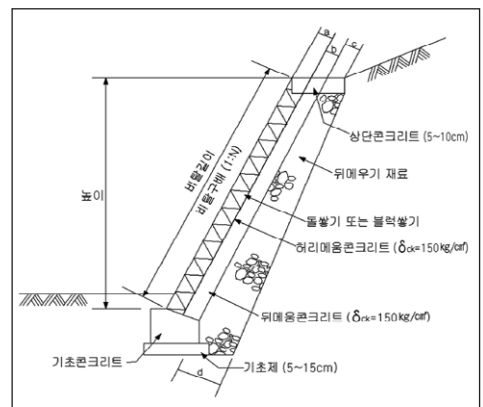


그림 1. 석축의 일반적인 표준단면도

표 1. 돌쌓기의 표준치수

구 분	표 준 치 수		비 고
직고(m)	0 ~ 1.5	1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 5.0
비탈성도	1 : 0.3	1 : 0.4	1 : 0.5
구배절도	1 : 0.3	1 : 0.3	1 : 0.4
견치돌 헛쌓기	35	35	45
길이(cm) 찰쌓기	25	35 ~ 45	45
뒤메우기 상부	20 ~ 40	20 ~ 40	20 ~ 40
하부두께	30 ~ 60	45 ~ 75	60 ~ 100

2. 석축 쌓기에 의한 분류

석축은 돌을 쌓는 방법에 의해 구분되는데 Mortar를 사용하지 않고 쌓는 메쌓기와, 뒷채움과 배채움에 Concrete를 사용하는 찰쌓기로 구분된다. 메쌓기는 Mortar이나 Concrete를 사용하지 않기 때문에 뒷면의 물이 잘 배수되지만 안정성이 작기 때문에 쌓기 높이에 제한을 받는다. 이에 비해 찰쌓기는 메쌓기에 비해 안정하지만 뒷면의 배수에 대해서 주의해야 한다.

1) 메쌓기

메쌓기는 Mortar이나 Concrete를 사용하지 않고 돌만을 쌓는 것이다. 메쌓기는 줄쌓기를 원칙으로 하며, 하루 쌓기 높이는 1m 미만이어야 한다. 돌의 폭이 견치돌일 경우 5~10cm, 깬돌일 경우 3~6cm가 되도록 타래정도로 다듬어서 맞추고, 고임돌을 끼워 돌을 고정시키고, 틈새에 뒤채움돌을 채워 넣어야 한다. 다음 그림 2는 메쌓기의 단면도를 나타낸 것이다.

2) 찰쌓기

찰쌓기는 앞면에서 돌이를 맞추고, 허리 고임돌로 쌓기 돌을 고정 시키고, 돌 사이의 틈에는 콘크

리트를 채워준다. 콘크리트는 앞면의 돌이까지 충분히 채워 다져야 한다. 상단 콘크리트는 뒤채우기 콘크리트와 일체로 시공해야 한다. 다음 그림3은 찰쌓기의 단면도를 나타낸 것이다.

3. 석축의 설계 및 안정검토방법

1) 석축의 안정검토

(1) 석축의 안정검토방법

석축의 안정을 검토하는데 있어서 현재까지 가장 널리 행해지고 있는 방법은 토압을 근거로 삼고 있다.

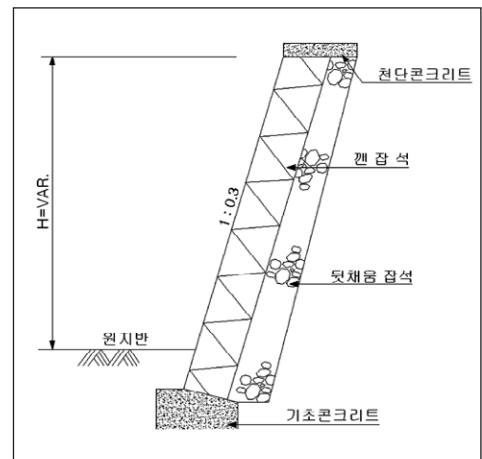


그림 2. 메쌓기 단면도

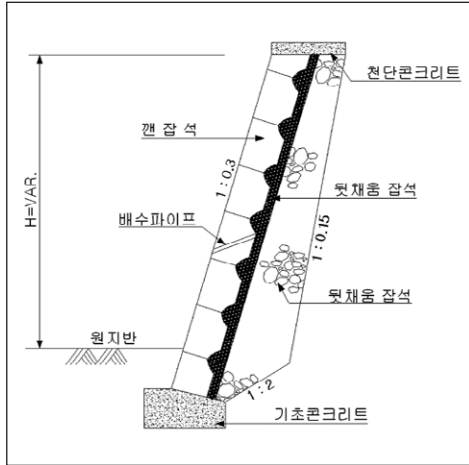


그림 3. 철썰기 단면도

석축은 구체 쌓기 재료의 자중 및 석재 상호간의 맞물림 작용에 의하여 사면의 안정을 유지하는 구조물이기 때문에, 부재의 단면력에 의하여 설계하는 철근콘크리트 옹벽과 같은 구조설계방법은 정립되어 있지 않다. 다만 (다분히 경험적인 방법에 의해 석재의 크기, 공장, 뒷채움 콘크리트량 및 쌓기 높이 등을 결정하고) 구체에 작용하는 자중 및 토압의 합력선의 위치에 의해 안전을 검토하는 방법 정도가 고작이다. 이는 중력식 옹벽의 전도에 대한 안정검토방법과 유사하지만, 석축의 경우는 중력식 옹벽 같은 충분한 강성을 가지고 있지 않다는 점을 감안하여 안정성 검토에 적용하여야 한다.

(2) 석축의 안정 조건

석축은 구체 전체를 일체로 보고, 전도 또는 활동이 일어나지 않기 위해서는 시력선(示力線 : 석축에 있어서 자중과 토압의 합력이 나타내는 선)이 석축 벽두께의 중앙3분권 (Middle third)이내에 있으면 안전하다고 본다. 다음 그림 4는 석축의 안정계산을 나타낸 그림이다.

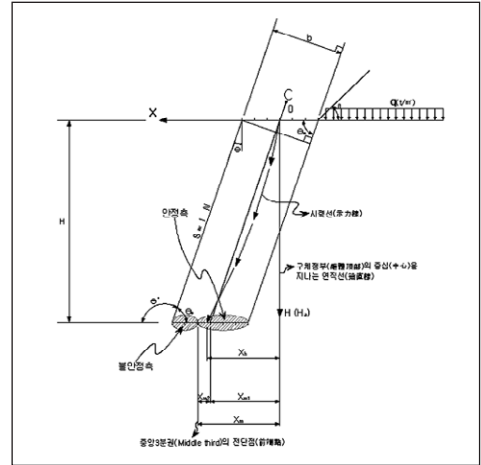


그림 4. 석축의 안정계산

X_m : 구체정부(軀體頂部)의 중심을 지나는 연직면(鉛直面)에서 중앙3분권의 전단점까지의 길이(m)

X_{m1} : 구체정부(軀體頂部)의 중심을 지나는 연직면(鉛直面)에서 구체하단 중심점까지의 길이(m)

X_{m2} : 구체하단 중심점에서 중앙3분권 전단점까지의 길이(m)

X_h : 구체정부중심을 지나는 연직면에서 시력선까지의 길이(m)

H : 석축의 높이(그림에서는 구체정부중심점 0에서의 깊이)(m)

b = 구체의폭(m), N : 석축의 경사도,

K_a : 주동토압계수

θ' : 석축의 경사각, $90 + \cot^{-1}N$

θ_0 : $180 - \theta' = 180 - (90 + \cot^{-1}N)$ (度)

γ : 배면토의 단위중량(t/m^3)

γ_b : 석축재료의 단위중량(t/m^3)

q : 과재하중(t/m^2), β : 지표경사각(度)

H_a : 석축의 한계고(점에서의 깊이로 나타냄)

여기서, 구체정부 중심을 지나는 연직면에서 중앙3분권의 전단점 까지의 길이를 구하면

$$X_m = X_{m1} + X_{m2} = H \times \cot \theta_o + \frac{b \times \operatorname{cosec} \theta_o}{6} \quad (m) \quad (\text{식 3-1})$$

$$X_h = \frac{K_A \times \gamma}{6 \times \gamma_b \times b \times \operatorname{cosec} \theta_o} \times \left[H^2 + \left[\frac{K_A \times q \times \frac{\sin \theta'}{\sin(\theta' + \beta)}}{2 \times \gamma_b \times b \times \operatorname{cosec} \theta_o} + \frac{\cot \theta_o}{2} \right] \times H \right] \quad (m) \quad (\text{식 3-1})$$

※안정조건 : $X_h \leq X_m$, 안정조건을 만족하지 못할 경우에는 석재의 크기 및 뒷채움 콘크리트의 두께를 증가 시키던가, 구체의 경사를 줄여야 한다.

(3) 석축의 한계고 (Ha)

석축의 안정 조건을 만족시키는 범위 내에서 최대로 쌓을 수 있는 높이를 한계고라고 한다. 즉, 구체 바닥면에서 시력선과 중앙3분권 전단점이 일치하도록 ($X_h = X_m$) 벽고를 계획 했을 때의 높이를 말한다. 석축 설계시 주어진 재료 및 토질조건에 의해 한계고를 구하여 적용할 경우 경제적이고 안전한 설계를 할수 있다.

한계고 Ha는 다음 식 (3-3)의 2차 방정식에 의하여 구한다.

$$\frac{K_A \times \gamma}{6 \gamma_b b \operatorname{cosec} \theta_o} Ha^2 + \frac{K_A q \frac{\sin \theta'}{\sin(\theta' + \beta)} - \gamma_b b \operatorname{cosec} \theta_o \cot \theta_o}{2 \times \gamma_b \times b \times \operatorname{cosec} \theta_o} Ha - \frac{b \operatorname{cosec} \theta_o}{6} = 0 \quad \langle \text{식 3-3} \rangle \quad (x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a})$$

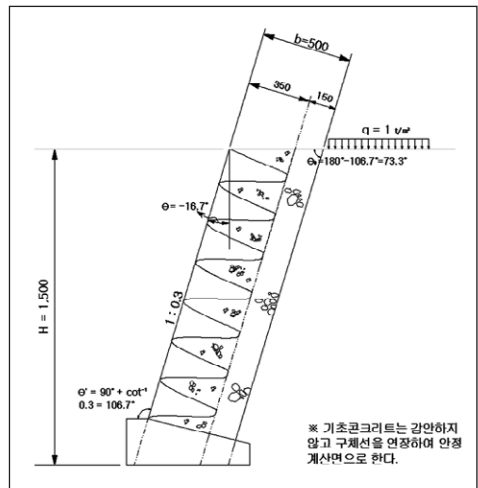
여기서, Ha는 그림 4에서 벽체 정부 0점에서의 길이로 나타낸다.

2) 석축의 안정검토 및 한계고 計算例

(1) 안정검토

① 조건

- $\gamma = 1.8t/m^2$, $\phi = 30^\circ$, $\beta = 0$
- γ_b : 깎돌 $25 \times 25 \times 35 \rightarrow 1m^2$ 당 17개 340kg
 사춤콘크리트 $1m^2$ 당 $0.16m^3 \times 2,300 = 368kg$
 뒷채움콘크리트 $1m^2$ $0.15m^3 \times 2,300 = 345kg$
 고임돌 $1m^2$ $0.121m^3 \times 1,650 = 198kg$
 계 $1.25kg/0.5m^3$
 $\therefore \gamma_b = 1.25kg/0.5m^3 = 2,502kg/m^3$



② K_A 계산

벽면이 뒤로 경사져 있으므로 Cou-lomb의 토압계수에 의해 K_A 를 구한다.(Rankine의 토압계수는 적용 불가)



식에 의해 $\phi = 30^\circ, \theta = -16.7^\circ, \delta = \frac{2}{3}\phi = 20^\circ, \beta = 0^\circ$

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi - \delta)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta)}{\cos(\theta + \delta)\cos(\theta - \beta)}} \right)^2}$$

$$= \frac{\cos^2(30^\circ + 16.7^\circ)}{\cos^2(-16.7^\circ)\cos(-16.7^\circ + 20^\circ) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(30^\circ + 20^\circ)\sin(30^\circ - 0^\circ)}{\cos(-16.7^\circ + 20^\circ)\cos(-16.7^\circ - 0^\circ)}} \right)^2}$$

$$= 0.193$$

③ 중앙3분권(Middle third)의 전단점 위치 X_m
〈式 3-1〉

$$X_m = X_{m1} + X_{m2} = H \times \cot\theta_o + \frac{b \times \operatorname{cosec}\theta_o}{6}$$

$$= 1.5 \times \cot 73.3^\circ + \frac{0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ}{6} = 0.537m$$

④ 시방선(示方線)의 위치 X_h 〈式 3-2〉

$$X_h = \frac{K_A \times \gamma}{6 \times \gamma_b \times b \times \operatorname{cosec}\theta_o} \times H^2 + H^2 \left[\frac{K_A \times q \times \frac{\sin\theta'}{\sin\theta' + \beta}}{2 \times \gamma_b \times b \times \operatorname{cosec}\theta_o} + \frac{\cot\theta_o}{2} \right] \times H$$

$$= \frac{0.193 \times 1.8}{6 \times 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ} \times 1.5^2 + \left[\frac{0.193 \times 1.0 \times \left(\frac{\sin 106.7^\circ}{\sin(106.7^\circ + 0^\circ)} \right)}{2 \times 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ} + \frac{\cot 73.3^\circ}{2} \right] \times 1.5$$

$$= 0.436m$$

$\therefore (X_h = 0.436m) < (X_m = 0.537m) O.K$

(2) 한계고 계산

“1” 예의 설계조건을 주어진 조건으로 했을때의 한계고를 식 4.21에 의해 계산하면 다음과 같다.

가) 제 1항 $\frac{0.193 \times 1.8}{6 \times 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ} \times$

$$H_a^2 = 0.044 H_a^2$$

나) 제 2항

$$\frac{0.193 \times 1.0 \times \frac{\sin 106.7^\circ}{\sin(106.7^\circ + 0^\circ)} - 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ \times \cot 73.3^\circ}{2 \times 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ} \times H_a = -0.076 H_a$$

다) 제 3항 $-\frac{0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ}{6} = -0.087$

라) $0.044 H_a^2 - 0.076 H_a - 0.087 = 0$

$$44 H_a^2 - 76 H_a - 87 = 0$$

마) $H_a^2 = \frac{76 \pm \sqrt{76^2 + 4 \times 44 \times 87}}{2 \times 44}$
 $= +2.5138m \text{ or } -0.787m$

$\therefore H_a = 2.5138m \approx 2.5m$, 즉 최대 2.5m까지 쌓을 수 있다.

바) 한계고의 검토

$H_a = 2.5138m$ 를 식 4.19 및 식 4.20에 대입하여 $X_m = X_h$ 인지를 확인한다.

$$X_m = 2.5138 \times \cot 73.3^\circ + \frac{0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ}{6} = 0.84m$$

$$X_h = \frac{0.193 \times 1.8}{6 \times 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ} \times 2.5138^2 + \left[\frac{0.193 \times 1.0 \times \left(\frac{\sin 106.7^\circ}{\sin(106.6^\circ + 0^\circ)} \right)}{2 \times 2.502 \times 0.5 \times \operatorname{cosec} 73.3^\circ} + \frac{\cot 73.3^\circ}{2} \right] \times 2.5138 = 0.84m$$

$\therefore X_m = X_h \rightarrow O.K$