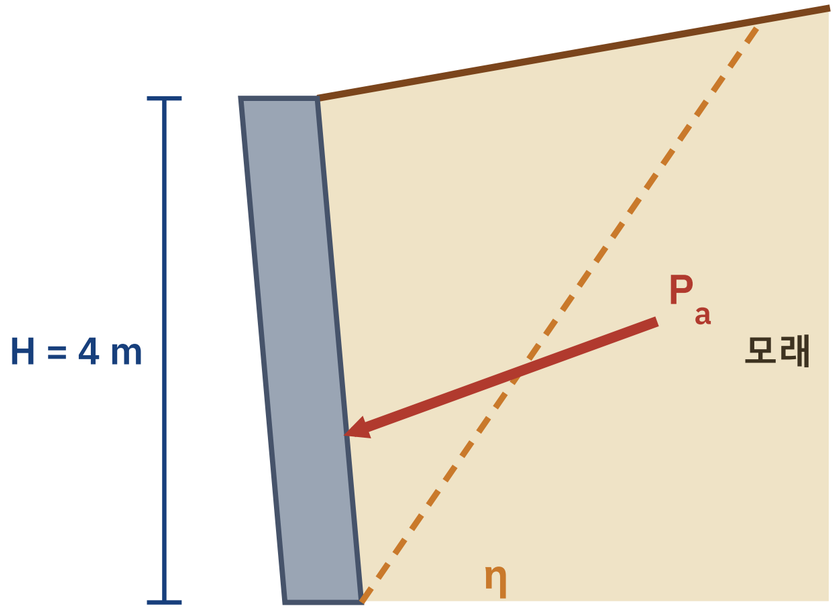
지반공학 강의 자료 · 측방토압

Coulomb 측방토압

강의: 벽체 배면의 평면 활동 쐐기, 벽면마찰, 경사진 벽면, 경사진 뒤채움에 대한 Coulomb 주동 및 수동 토압; 상재하중, 지하수, 다층 뒤채움; 주제별 계산 예제.

시행쐐기 | 벽면마찰각 δ′ | 주동 및 수동 | 상재하중 · 물 · 지층 | 점성토층



개요

이 강의에서 다루는 내용

- Coulomb의 **시행쐐기** 개념: 세 힘(W, F, P_a)의 평형과 가장 위험한 쐐기
- 벽면마찰각(δ′), 벽체 배면 경사(θ), 뒤채움 경사(α)에 따라 **K_a 및 K_p** 계수가 어떻게 달라지는지
- **주동**력은 쐐기들 중 **최댓값**이며, **수동**력은 쐐기들 중 **최솟값**이라는 점
- 힘의 작용 위치(H/3), 방향(벽면 법선에서 δ′) 및 수평 – 수직 성분을 구하기
- **상재하중**($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$), **지하수** 및 다층 뒤채움을 다루기
- 수동 상태에서 Coulomb 해가 언제 **위험측**이 되는지

강의 흐름

각 주제는 **세 단계**로 다룬다:

1 · **이론**: 규칙은 무엇이며 왜 그러한가?

2 · **문제**: 조건과 구하는 값

3 · **풀이**: 단계별 수치 계산

힘은 벽체의 단위 길이당 값(kN/m)이며, 각도의 단위는 도이다; θ는 벽면이 수직선과 이루는 각, α는 뒤채움이 수평과 이루는 각이다.

Coulomb의 평면 쐐기

이론

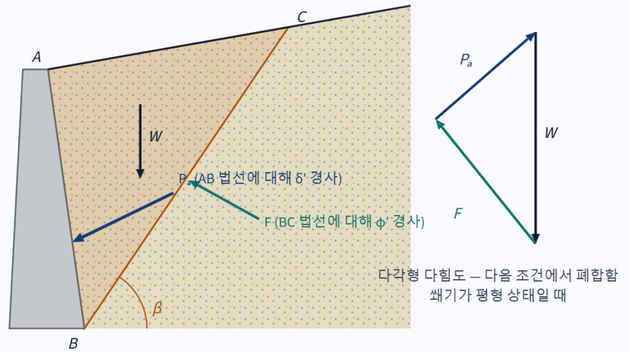
Coulomb(1776)은 벽체 배면의 지반을 뒷굽을 지나는 평면 위에서 미끄러지는 **강체 쐐기**로 보며, Rankine과 달리 벽체와 지반 사이의 **마찰**을 고려한다. 점착력이 없는 뒤채움에서 시행쐐기에는 세 가지 힘이 작용한다:

- **W**: 쐐기의 무게
- **F**: 활동면 BC 위의 합력, 면의 법선으로부터 φ′만큼 기울어짐
- **P_a**: 벽체에 작용하는 힘, 벽면의 법선에서 δ′만큼 기울어짐

평면이 수평과 이루는 각이 β이면 힘의 다각형에 사인법칙을 적용한다:

$$\frac{W}{\sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')} = \frac{P_a}{\sin(\beta - \varphi')}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \, \frac{\cos(\theta-\beta)\cos(\theta-\alpha)\sin(\beta-\varphi')}{\cos^2\theta\,\sin(\beta-\alpha)\,\sin(90^\circ+\theta+\delta'-\beta+\varphi')}$$



다각형 다힘도 – 다음 조건에서 폐합함
쐐기가 평형 상태일 때

문제

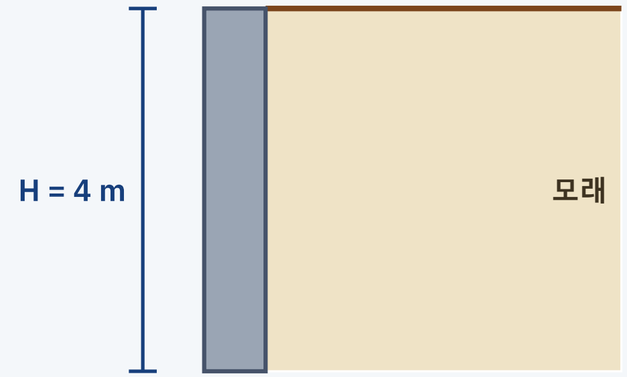
예제

조건

벽체	$H = 4$ m, 수직 ($\theta = 0$); 뒤채움 표면은 수평 ($\alpha = 0$)
지반	**건조 모래:** $\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32°$; **벽면마찰** $\delta' = 16° = \varphi'/2$

구하는 값

시행면 β = 45°, 60° 및 75°에 대한 $P_a(\beta)$; **최대** 힘과 그 각도 β.



γ = 17 kN/m³, φ′ = 32°, δ′ = 16°

풀이

풀이

1 연직 벽체, 수평 뒤채움: θ = α = 0 ⇒ $P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

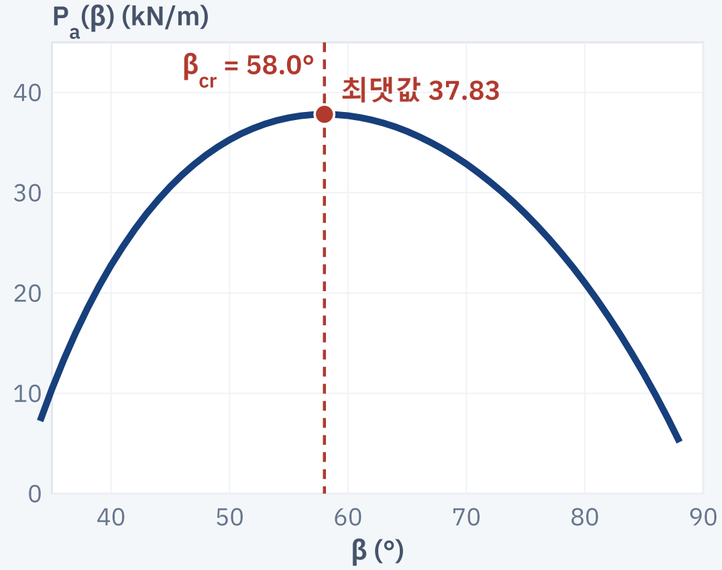
$$\beta = 45^\circ:\ P_a = \mathbf{30.64}\ \text{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ:\ P_a = \mathbf{37.69}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = 75^\circ:\ P_a = \mathbf{27.89}\ \text{kN/m}$$

2 최대 시행쐐기 ($dP_a/d\beta = 0$)

$$\beta_{cr} = \mathbf{58.0}^\circ \qquad P_{a,max} = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m}$$

시행쐐기 중 **가장 큰 값은 37.83 kN/m**(β = 58.0°)이며 이것이 Coulomb의 주동력이다. 더 가파르거나 더 완만한 쐐기는 더 작은 힘을 필요로 한다. 벽체는 가장 위험한 쐐기 하나만 지지할 수 있으면 된다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

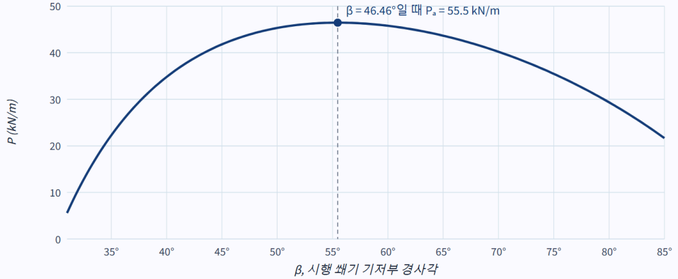
Coulomb 주동토압계수 K_a

이론

미지수는 β뿐이었다. 옹벽이 지지해야 하는 가장 위험한 쐐기는 $P_a(\beta)$가 최대인 쐐기이다($dP_a/d\beta = 0$); 그 해는:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°	δ′ = 25°
28°	0.3610	0.3448	0.3330	0.3251	0.3203	0.3186
32°	0.3073	0.2945	0.2852	0.2791	0.2755	0.2745
36°	0.2596	0.2497	0.2426	0.2379	0.2354	0.2350
40°	0.2174	0.2098	0.2045	0.2011	0.1994	0.1995



힘은 저면으로부터 **H/3** 높이에서, 벽면의 법선에 대해 **δ′**만큼 기울어져 작용하며, 수평과 θ + δ′의 각을 이룬다.

α = θ = δ′ = 0이면 Rankine 해가 된다. 벽면마찰은 주동력을 **감소시킨다**.

문제

예제

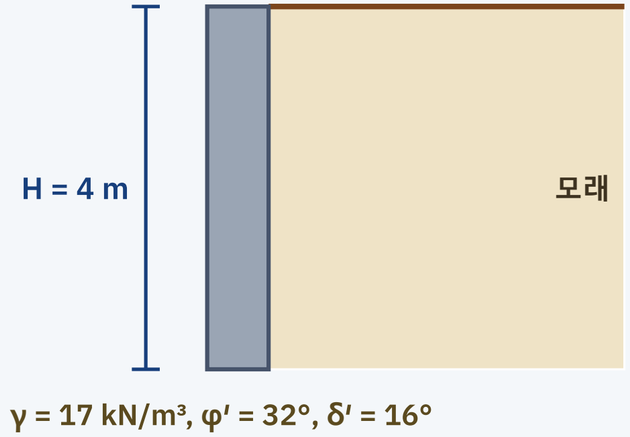
구하는 값

K_a, **P_a**, 작용 높이, 수평 및 연직 성분; Rankine과의 비교.

조건

벽체와 지반

예제 1의 벽체: $H = 4$ m, $\theta = \alpha = 0$; $\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32^\circ$, $\delta' = 16^\circ$



풀이

풀이

1 계수 (θ = α = 0)

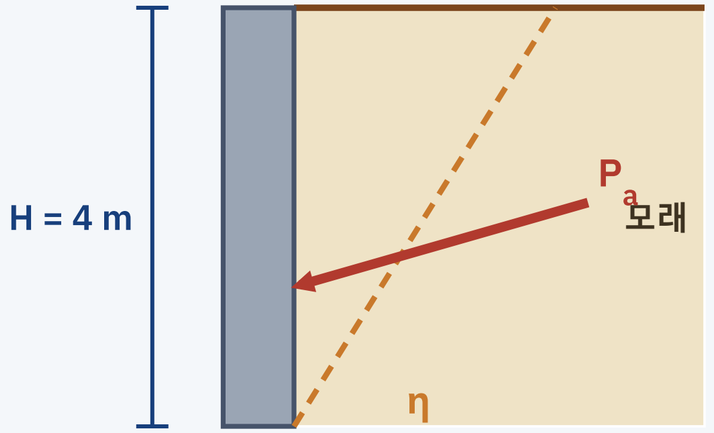
$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

$$K_a = \frac{\cos^2 32^\circ}{\cos 16^\circ \,(1 + 0.6401)^2} = \frac{0.7192}{2.5856} = \mathbf{0.2782}$$

2 힘, 위치 및 성분 (수평면과 이루는 각 $\delta' = 16^\circ$)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(0.2782)(17)(4)^2 = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{4}{3} = 1.33\ \text{m}$$

$$P_h = P_a \cos 16^\circ = 36.36 \qquad P_v = P_a \sin 16^\circ = 10.43\ \text{kN/m}$$



P_a = **37.83 kN/m**이며, 시행쐐기 중 가장 큰 값(예제 1)과 같다. Rankine($\delta' = 0$, $K_a = 0.3073$)은 41.79 kN/m를 주었을 것이다: 벽면 마찰이 힘을 9% 감소시켰다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

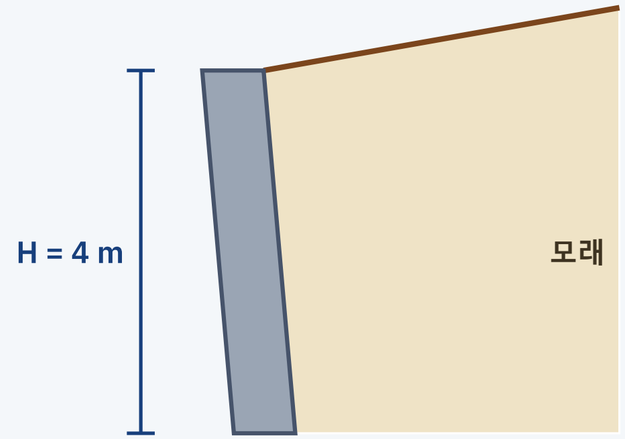
예제

구하는 값

K_a, P_a, 그 방향과 위치; 위험 쐐기 β.
모듈은 이 벽체로 시작한다.

조건

벽체	$H = 4$ m; **벽면이 연직에서** $\theta = 5^\circ$ **경사**
매립토	**지표 경사** $\alpha = 10^\circ$; $\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
벽면마찰	$\delta' = 15^\circ$ $(\delta'/\varphi' = \frac{1}{2})$



풀이 (1/2)

풀이

1 분자와 제곱근 항

$$\cos^2(30^\circ - 5^\circ) = 0.8214 \qquad \cos^2 5^\circ \cos(15^\circ + 5^\circ) = 0.9326$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin 20^\circ}{\cos 20^\circ \cos(-5^\circ)}} = \sqrt{0.2583} = 0.5083$$

2 계수

$$K_a = \frac{0.8214}{0.9326\,(1 + 0.5083)^2} = \mathbf{0.3872}$$

풀이 (2/2)

풀이

3 힘과 위치

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.3872) = \mathbf{46.46}\ \text{kN/m}$$

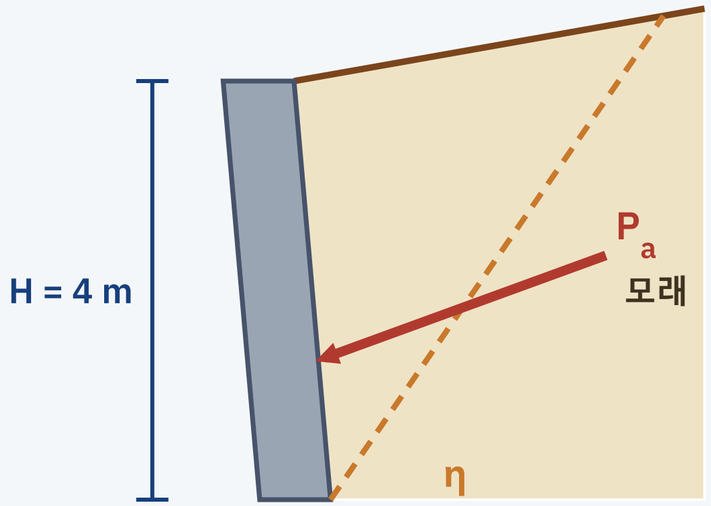
$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \text{m}$$

4 방향: 법선에서 $\delta' = 15°$, 수평에서 $\theta + \delta' = 20°$

$$P_h = P_a \cos 20^\circ = 43.66\ \text{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 20^\circ = 15.89\ \text{kN/m}$$

P_a = **46.46 kN/m**이며, 저면으로부터 1.33 m 위에 작용한다. 임계 쐐기는 수평선과 **$\beta \approx 55.5°$**를 이룬다 (시행쐐기들의 정점).



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

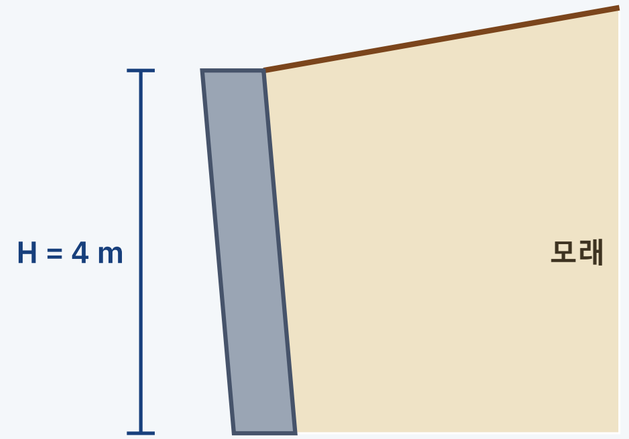
예제

조건

벽체와 뒤채움	**예제 3의 벽체:** $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ,\ \varphi' = 30^\circ$**; 비교를 위한 연직 벽체, 수평 뒤채움 (**$\theta = \alpha = 0$**)**
변수	$\delta' = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ$

구하는 값

각 δ'에 대한 **K_a**; **가장 작은** K_a는 어느 δ'에서 나타나는가? 권장 δ'/φ' 범위.

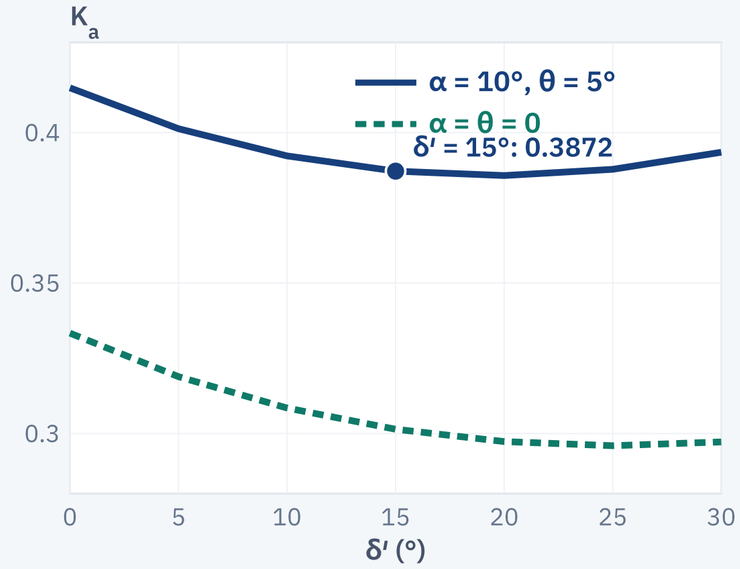


풀이

풀이

1 동일한 식에 의한 일곱 가지 δ' 값

δ'	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_a (θ = 5°, α = 10°)	0.4149	0.4013	0.3923	0.3872	0.3857	0.3878	0.3935
K_a ($\theta = \alpha = 0$)	0.3333	0.3189	0.3085	0.3014	0.2973	0.2959	0.2972



δ'가 커지면 K_a는 먼저 **감소하다가**($\delta' = 0 \rightarrow 15°$에서 0.415 → 0.387), $\delta' \approx 20–25°$에서 최솟값에 도달한 뒤 다시 **증가한다**. 실무에서는 $\delta' = (1/2 – 2/3)\varphi'$를 취한다; $\delta' = \varphi'$로 취하는 것은 벽체가 지반에 대해 아래로 미끄러지는 것에 의존하므로 안전측이 아니다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

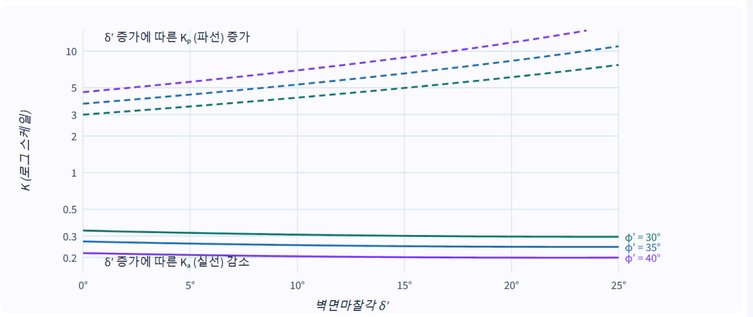
Coulomb 수동토압계수 K_p

이론

벽체가 지반 쪽으로 밀리면 합력과 벽체에 작용하는 힘은 법선의 **반대쪽**으로 돌아가며, 수동 합력은 시행쐐기들 중 **가장 작은 값**이다:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' - \theta)\left[1 - \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°
15°	1.698	1.901	2.131	2.403	2.735
20°	2.040	2.313	2.635	3.029	3.525
25°	2.464	2.833	3.285	3.855	4.597
30°	3.000	3.505	4.143	4.977	6.105
35°	3.690	4.391	5.309	6.555	8.324
40°	4.599	5.593	6.946	8.872	11.771



벽면마찰은 수동력을 **급격히 증가시킨다**(φ′ = 30°: δ′ = 0 → 20°일 때 K_p는 3.00 → 6.11).

δ′가 큰 경우 평면 쐐기는 수동저항을 **실제보다 크게** 준다(비안전측): 대수나선 모듈.

문제

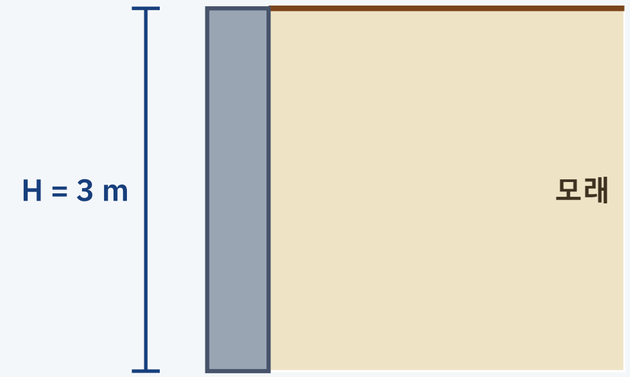
예제

조건

벽체	$H = 3$ m, 수직; 수평 뒤채움
지반	건조 모래: $\gamma = 15.7$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
벽면마찰	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ$

구하는 값

각 δ'에 대한 K_p, P_p 및 그 성분; $\delta' = 15°$에 대해 곡선 파괴면 해(302–326 kN/m)와의 비교.



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30° (수동)

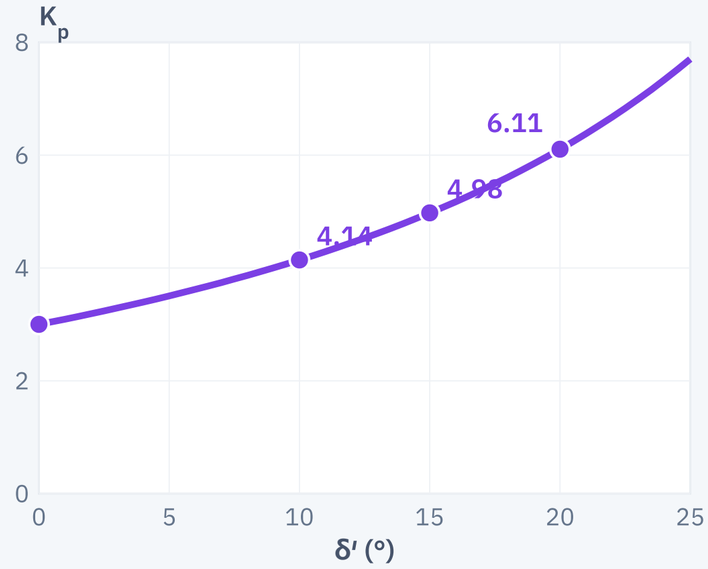
풀이

풀이

1 K_p 공식, $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2 = \frac{1}{2}K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$

δ'	K_p	P_p (kN/m)	P_h	P_v	β (위험 쐐기)
0°	3.000	212.0	212.0	0.0	30.0°
10°	4.143	292.7	288.3	50.8	23.4°
15°	4.977	351.6	339.6	91.0	20.7°
20°	6.105	431.3	405.3	147.5	18.1°

$\delta' = 0$에서 20°로 증가하면 P_p는 212.0 → 431.3 kN/m로 **2.0배**가 된다. $\delta' = 15°$에서 Coulomb 해는 351.6 kN/m이고, 곡면 활동면 해는 302–326 kN/m 범위이므로 평면 쐐기법은 수동토압을 약 **8% 크게** 산정한다(위험 측).



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Coulomb 해법의 모듈 확장

이론

상재하중 q(경사면의 단위면적당 연직 하중)는 각 시행쐐기의 중량에 지반과 같은 비율로 가산되며, 임계 쐐기와 K_a는 변하지 않는다. 연직 단위깊이당 등가 응력:

$$q_e = q\,\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q_e H$$

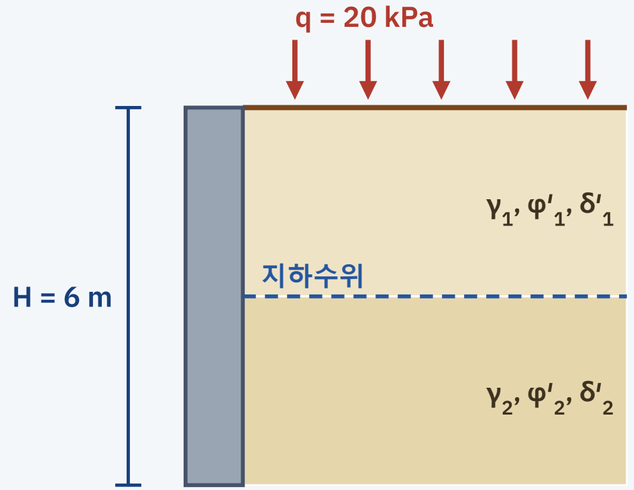
첫 번째 부분은 저면으로부터 H/3 높이에, 두 번째 부분은 H/2 높이에 있다. **층상 뒤채움**의 경우 (경계는 수평이며 두께는 벽면 상단 A로부터 연직으로 측정) 각 층은 자체의 γ, φ′, δ′에 따라 자체의 K_i 계수를 갖는다:

$$\sigma'_v = q_e + \sum \gamma_i h_i \qquad \sigma' = K_i\,\sigma'_v\cos\theta$$

σ′는 벽면의 단위 길이당 작용하며, 해당 지층의 δ′ 각도만큼 법선에서 기울어져 있다; K가 바뀌는 경계에서는 압력이 급변한다.

지하수(수평, z_w) 아래에서는 $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$이며, $u = \gamma_w(z - z_w)$는 벽체에 **수직으로** 더해진다. 힘은 면에 수직인 성분(N)과 평행한 성분(T)으로 분해하여 합산한다: $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$.

층상 뒤채움과 물



문제

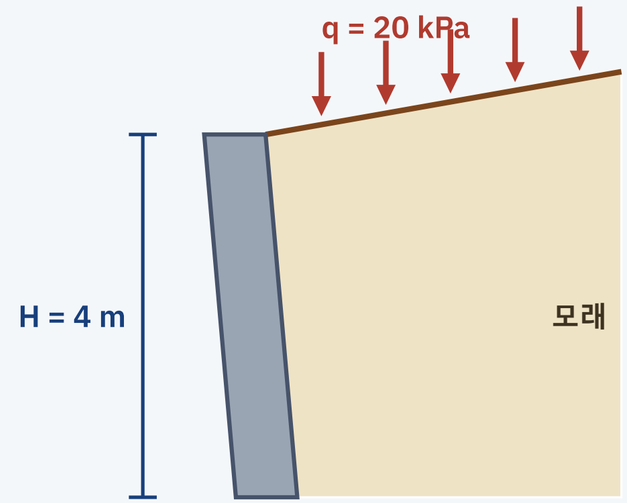
예제

조건

벽체와 지반	**예제 3의 벽체:** $H = 4$ m, $\theta = 5^\circ$, $\alpha = 10^\circ$; $\gamma = 15$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$, $\delta' = 15^\circ$
상재하중	**경사면에 작용하는 등분포 $q = 20$ kPa (면에 수직)**

구하는 값

q_e, 합계 P_a 및 작용 높이; 상재하중의 기여분.



풀이

풀이

1 등가 연직응력

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} = 20\frac{\cos 5^\circ}{\cos(-5^\circ)} = \mathbf{20.00}\ \text{kPa}$$

2 지반과 상재하중에 의한 힘 (K_a = 0.3872)

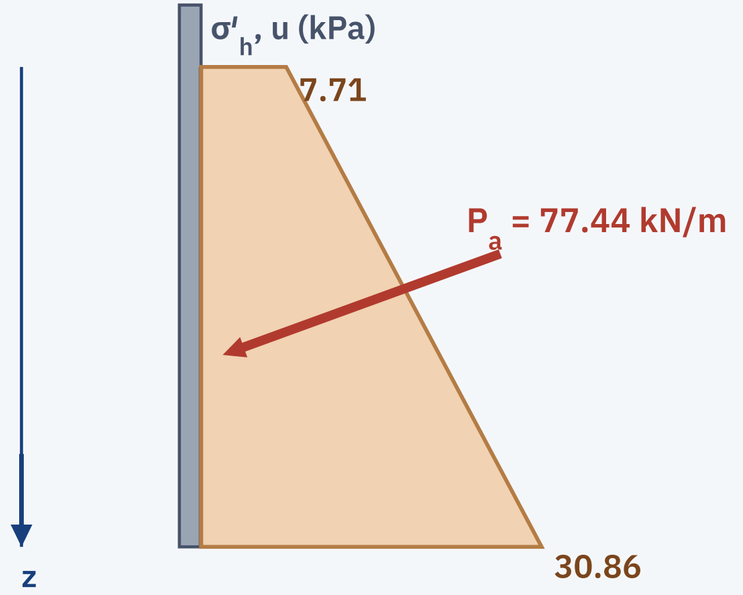
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\quad (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

$$P_q = K_a q_e H = 0.3872(20)(4) = 30.97\ \text{kN/m}\quad (H/2 = 2.00\ \text{m})$$

3 합계와 위치

$$P_a = 46.46 + 30.97 = \mathbf{77.44}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 30.97(2.00)}{77.44} = \mathbf{1.60}\ \text{m}$$



상재하중으로 힘이 67% 증가했으며(P_a = 77.44 kN/m), 작용점은 1.33 m에서 **1.60 m**로 상승했다.

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

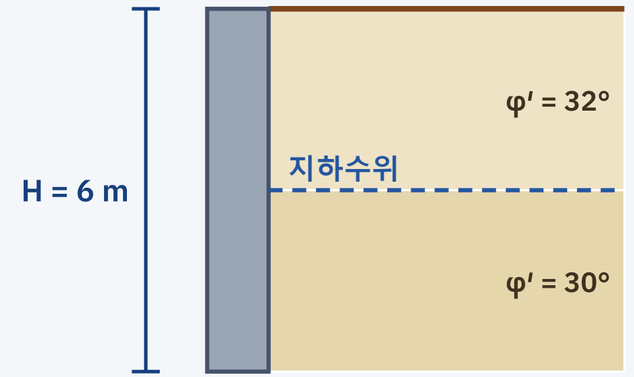
예제

조건

벽체	$H = 6$ m, 연직; 수평 뒤채움; 상재하중 없음
지층 1 (0–3 m)	$\gamma = 17$ kN/m^3, $\varphi' = 32°$, $\delta' = 16°$
지층 2 (3–6 m)	$\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$
지하수위	깊이 3 m에서

구하는 값

각 지층의 압력; 토압력과 수압력; **P**, β 및 작용 높이.



풀이 (1/2)

풀이

1 계수

$$K_1(32^\circ, 16^\circ) = \mathbf{0.2782} \qquad K_2(30^\circ, 15^\circ) = \mathbf{0.3014}$$

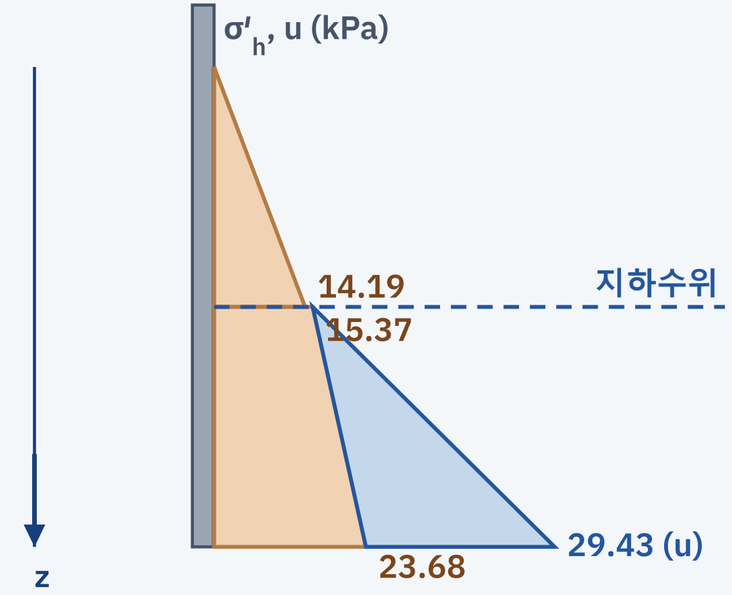
2 응력: $\sigma'_v(3) = 17(3) = 51$; $\sigma'_v(6) = 51 + 3(19 - 9.81) = 78.57$ kPa

$$p_1 = 0.2782(51) = \mathbf{14.19}\ \text{kPa (상단)}$$

$$p_2 = 0.3014(51) = \mathbf{15.37}\ \text{kPa (하단)}$$

$$p(6) = 0.3014(78.57) = \mathbf{23.68}\ \text{kPa}$$

$$u(6) = 9.81(3) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



풀이 (2/2)

풀이

3 토압력 (벽면에 작용하며, 각 지층은 자체 δ' 각도를 사용): 삼각형 · 직사각형 · 삼각형

$$P_s = \tfrac{1}{2}(3)(14.19) + 3(15.37) + \tfrac{1}{2}(3)(8.31) = 21.28 + 46.12 + 12.47 = 79.86 \text{ kN/m}$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14 \text{ kN/m (벽체에 수직)}$$

4 성분, 합력 및 위치

$$N = N_s + N_w = 77.04 + 44.14 = 121.18 \qquad T = 21.03 \text{ kN/m}$$

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{123.00} \text{ kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 9.84^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.69} \text{ m}$$

합력은 **123.00 kN/m** (지반 79.86 + 물 44.14)이며 저면에서 1.69 m 위에 작용한다. 물에 의한 힘은 지반에 의한 힘의 55% 정도이다. 경계에서 p는 14.19 → 15.37 kPa로 급변한다 (K가 변한다).

GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

문제

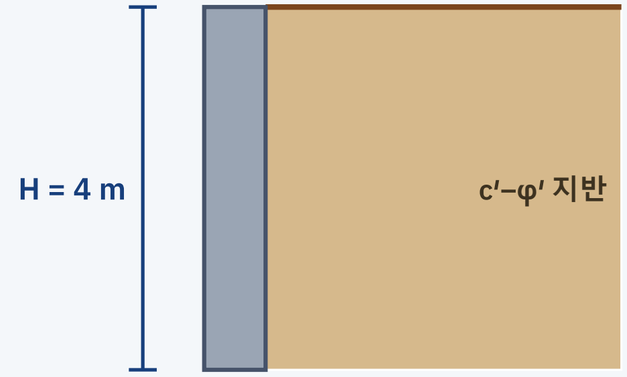
예제

조건

벽체	$H = 4$ m, 수직; 수평 뒤채움
지반	**c′–φ′:** $\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 25^\circ$, $c' = 10$ kPa; $\delta' = 12.5^\circ = \varphi'/2$

구하는 값

K_a, 인장 깊이 z_0, 균열을 고려한 경우와 고려하지 않은 경우의 **P_a**; Rankine과의 비교.



풀이 (1/2)

풀이

1 Coulomb 계수와 점착력 항 (부착은 무시한다)

$$K_a(25^\circ, 12.5^\circ) = \mathbf{0.3674} \qquad \sigma' = K_a\sigma'_v - 2c'\sqrt{K_a}$$

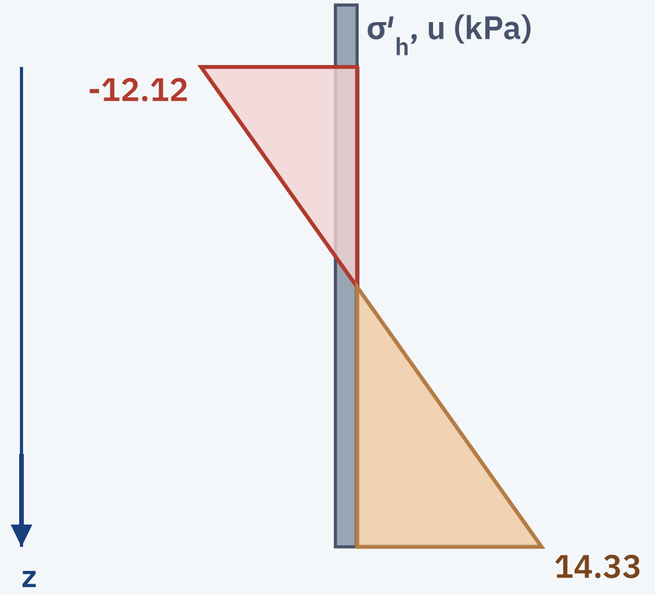
$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12 \text{ kPa}$$

2 상단, 저면 및 인장균열 깊이에서

$$\sigma'(0) = -\mathbf{12.12} \text{ kPa (인장)}$$

$$\sigma'(4) = 0.3674(18)(4) - 12.12 = \mathbf{14.33} \text{ kPa}$$

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{20}{18(0.6061)} = \mathbf{1.83} \text{ m}$$



풀이 (2/2)

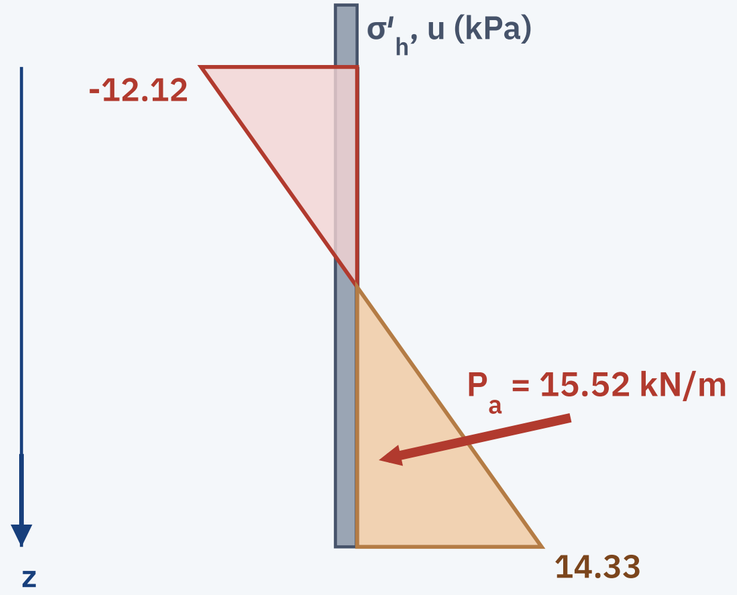
풀이

3 균열이 있는 경우의 힘 (양의 삼각형만 해당)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(14.33)(4 - 1.83) = \mathbf{15.52}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = 0.72\ \text{m}$$

균열 없음: $P_a = 4.41$ kN/m

균열을 고려한 P_a = **15.52 kN/m**; 균열을 고려하지 않은 (음의 영역 포함) 값은 4.41 kN/m: 인장 영역을 포함하면 힘이 실제보다 훨씬 작게 나온다. Rankine($\delta' = 0$)은 18.59 kN/m를 주었을 것이다.



GeoTerva에서 풀이 확인하기 ↗

Coulomb 해법의 적용 범위

이론

활동면은 평면이다. 주동의 경우 이는 실제 활동면에 대한 좋은 근사이며, 수동의 경우 큰 δ'에서는 곡면에서 멀어져 저항이 **실제보다 크게** 산정된다($\delta' > \varphi'/3$인 경우 주의; 대수나선 모듈 참조).

벽면마찰각 δ'는 입력값이다: 벽체 재료와 벽체에 대한 지반의 상대 운동에 따라 달라지며, 대략적인 가정값은 $\delta' = (1/2 – 2/3)\varphi'$ (콘크리트–모래)이다.

점성토층: 점착력 항은 Rankine 형식으로, 해당 층의 Coulomb K 값을 사용하여 취한다. 벽면–지반 부착은 무시하며, 인장 영역은 균열로 제외한다.

층상 해는 모듈의 공학적 확장이다(문헌에는 닫힌 형태의 층상 Coulomb 해가 없다). 단일 지층에서는 닫힌 형태의 해로, $\delta' = 0$이고 뒤채움이 수평인 경우에는 Rankine 해로 귀착된다.

지진은 Mononobe–Okabe 모듈에서 다루며, Coulomb은 정적 해법이다.

요약

핵심 정리

쐐기: W, F(법선과 φ′의 각), P(법선과 δ′의 각); $P_a(\beta)$는 사인 법칙으로 산정; **주동 = 최대** 쐐기, **수동 = 최소** 쐐기

$\mathbf{K_a} = \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(\ldots)}]^2\}$; 힘은 저면에서 H/3 높이에 작용하며 수평선과 θ + δ′의 각을 이룬다; δ′ = 0이고 형상이 평탄하면 Rankine 해와 같다

벽면마찰은 주동력을 감소시키고($\delta' \approx 2\varphi'/3$까지) 수동력을 급격히 증가시킨다; 수동에서 큰 δ′에 대해서는 평면 쐐기가 안전하지 않다

상재하중 $q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$: $P = \frac{1}{2}K\gamma H^2 (H/3) + K q_e H (H/2)$

층상 지반 + 물: $\sigma' = K_i \sigma'_v \cos\theta$, 경계에서 값이 급변; u는 벽체에 수직; $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

점성토층: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$, 인장균열 구간의 음의 영역은 제외한다

참고문헌

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Coulomb, C.A. (1776). Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de Mathématique et de Physique, Académie Royale des Sciences, Paris, 7, 343–382.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning — a surcharge on a sloping backfill.

참고

수치 예제는 모두 모듈 자체의 계산 엔진으로 산출하였으며, 모듈이 동일한 값을 제공한다. 모듈의 초기 예제는 예제 3의 옹벽($\theta = 5°$, $\alpha = 10°$, $\delta' = 15°$)이다.

GeoTerva

온라인 지반공학 계산

이론에서 실무로

GeoTerva에 사용자의 벽체 경사, 뒤채움 경사, 벽면 마찰, 지층, 상재하중 및 지하수를 입력하면 모듈이 힘, 그 방향 및 작용 높이를 함께 제시한다.

모듈 열기 →

이론 페이지 →

스마트폰으로 열기

체험 모듈은 가입 없이 이용할 수 있습니다.

강의에서 사용하려면: info@geoterva.com