

1. 응용역학

합력  $R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos\alpha}$

단면 1차 모멘트  $G = A \cdot y$

단면 2차 모멘트  $I = I + A \cdot y^2$

사각형	삼각형		원
$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{36}$		$\frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi r^4}{4}$
$\frac{bh^3}{3}$	아래	위	$\frac{5\pi D^4}{64} = \frac{5\pi r^4}{4}$
	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{6}$	

단면 2차 극모멘트(극관성모멘트)  $I_P = I_x + I_y$

단면 상승모멘트  $I_{xy} = A \cdot x_0 y_0$

단면계수  $Z = \frac{I}{y_0}$

사각형	삼각형		원
$\frac{bh^2}{6}$	아래	위	$\frac{\pi D^3}{32}$
	$\frac{bh^2}{12}$	$\frac{bh^2}{24}$	

단면 2차 반지름(회전반경)  $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

후크 법칙  $\sigma = E \cdot \epsilon$      $\sigma = \frac{P}{A}$

포아송비  $\nu = \frac{\beta}{\epsilon} = \frac{\text{가로변형도}}{\text{세로변형도}}$     포아송수  $m = \frac{\epsilon}{\beta} = \frac{\text{세로변형도}}{\text{가로변형도}}$

전단탄성계수  $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$     체적탄성계수  $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$

2축응력의 체적 변형률  $\epsilon_v = \frac{(1-2\nu)}{E}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$

비틀림응력  $\tau = \frac{T}{I_p} r$      $\sigma = \frac{M}{I} y$  에서 파생(연관시켜서 생각)

원환응력  $2\sigma \cdot t = q \cdot D$

힘응력  $\sigma = \frac{M}{I} y$     곡률반경  $R = \frac{EI}{M}$     전단변형량  $= \frac{S \cdot l}{G \cdot A}$

전단응력  $\tau = \frac{S \cdot G}{I \cdot b}$     구형단면  $\tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{S}{A}$     원형단면  $\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{S}{A}$

삼각형(중심)  $\tau_{\max} = \frac{3}{2} \frac{S}{A}$     삼각형(도심)  $\tau_{\max} = \frac{4}{3} \frac{S}{A}$

단주  $-\frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} = -\frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e_x}{Z}$     사각형 단주 핵거리  $e = \frac{b}{6}$     원형 단주 핵거리  $e = \frac{D}{8}$

세장비  $\lambda = \frac{k \cdot l}{r_{\min}}$     좌굴계수  $n = \frac{1}{k^2}$     좌굴하중  $P = \frac{\pi^2 EI}{(kl)^2} = \frac{n\pi^2 EI}{l^2}$

트러스 변위계산(연직처짐) 처짐  $\delta = \sum \frac{S \cdot U \cdot L}{EA}$

탄성변형에너지 기본식  $u = \int_0^L \frac{M^2}{2EI} dx$

단순보에 등분포하중  $u = \frac{w^2 L^5}{240EI}$

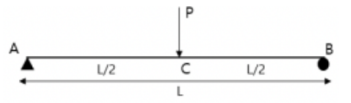
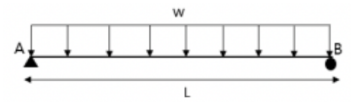

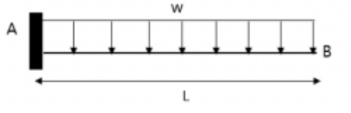
캔틸레보에 등분포하중  $u = \frac{w^2 L^5}{40EI}$

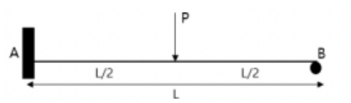
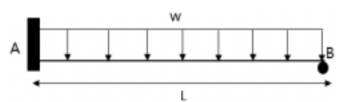

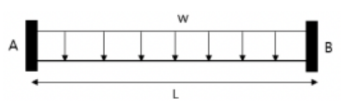
Castigliano의 제1정리 =  $P_i = \frac{\partial U}{\partial \Delta_i}$

Castigliano의 제2정리 = 처짐(변위)구하기

베티의 법칙  $P_1 \delta_{12} = P_2 \delta_{21}$   $\delta_{\text{위치 힘}}$

맥스웰의 정리  $\delta_{12} = \delta_{21}$

정정 구조물	BMD	처짐각	처짐
	$\frac{Pl}{4}$	$\theta_A = \frac{Pl^2}{16EI}$	$y_C = \frac{Pl^3}{48EI}$
	$\frac{wl^2}{8}$	$\theta_A = \frac{wl^3}{24EI}$	$y_C = \frac{5wl^4}{384EI}$
		$\theta_B = \frac{Pl^2}{2EI}$	$y_B = \frac{Pl^3}{3EI}$
		$\theta_B = \frac{wl^3}{6EI}$	$\frac{wl^4}{8EI}$

부정정 구조물	SFD	BMD	처짐
	$R_B = \frac{5P}{16}$		
	$R_B = \frac{3wl}{8}$		
		$M_A = M_B = -\frac{Pl}{8}$ $M_C = \frac{Pl}{8}$	$\delta_C = \frac{1}{4} \times \frac{Pl^3}{48EI} = \frac{Pl^3}{192EI}$
		$M_A = M_B = -\frac{wl^2}{12}$ $M_C = \frac{wl^2}{24}$	$\delta_C = \frac{1}{5} \times \frac{5wl^4}{384EI} = \frac{wl^4}{384EI}$

모멘트 분배 강도  $K = \frac{I}{l}$

부재의 조건	유효강비	모멘트 도달률
양단고정	$1k(K)$	$\frac{1}{2}$
일단고정, 타단힌지	$\frac{3}{4}k(K)$	0

## 2. 측량학

정밀도  $\frac{D^2}{12R^2} = \frac{1}{M}$       3축반경  $R = \frac{2a+b}{3}$

지구의 편평률  $P = \frac{a-b}{a}$       지구의 편심률  $e = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}}$

구면삼각형  $R^2: A = \rho'' : \epsilon''$        $\rho'' = 206265$ ,  $\epsilon'' =$  구과량

서부  $125^\circ$     중부  $127^\circ$     동부  $129^\circ$     동해  $131^\circ$

정오차  $M = e \cdot n$       우연오차  $M = \pm e\sqrt{n}$

면적관측시 정확값 및 평균제곱근 오차의 합  $M = \pm \sqrt{(L_1 \cdot m_2)^2 + (L_2 \cdot m_1)^2}$

파장 =  $\frac{\text{빛의 속도}}{\text{주파수}}$

감도 =  $\frac{\Delta l}{D} \cdot \rho'' = \frac{nS}{R} \cdot \rho''$       교호수준측량(사이에 강, 하천) 고저차  $H = \frac{(a_1+a_2)-(b_1+b_2)}{2}$

양차 = 구차 + 기차 =  $+\frac{D^2}{2R} - \frac{D^2}{2R} \cdot K$       n회 관측한 평균값에 의한 오차  $m = \pm \sqrt{\frac{2}{n}(a^2 + \beta^2)}$

정밀도  $\frac{1}{M} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta \alpha}{\rho}$       폐합오차  $E = \sqrt{(\text{위거오차량})^2 + (\text{경거오차량})^2}$

트래버스에서 자오선 기준 두 점이 밖에 있을 때 측각오차  $W_a - W_b + \alpha - 180(n+1)$

한 점만 안에 있을 때  $W_a - W_b + \alpha - 180(n-1)$

두 점이 안에 있을 때  $W_a - W_b + \alpha - 180(n-3)$

(신뢰성) 거리가 각과 같거나 클 때 = 컴퍼스 법칙, 거리가 각보다 작을 때 = 트랜싯 법칙

종류	표시방법(m)	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{25000}$	$\frac{1}{50000}$
주곡선	가는실선	1	5	5	10	20
간곡선	가는 긴 실선	0.5	2.5	2.5	5	10
조곡선	가는 짧은 실선	0.25	1.25	1.25	2.5	5
계곡선	굵은 실선	5	25	25	50	100

단곡선 곡선길이 =  $2\pi R \times \frac{I^\circ}{360}$       편각  $\delta = \frac{l}{2R} \times \frac{180}{\pi}$

매개변수  $A^2 = R \cdot L$       캔트  $C = \frac{b \cdot v^2}{R \cdot g}$       확폭  $\epsilon = \frac{L^2}{2R}$

면적 측량  $\frac{\Delta l}{l} \times 2 = \frac{\Delta A}{A}$        $\frac{\Delta l}{l} \times 3 = \frac{\Delta V}{V}$        $M_0^2 : A_0 = M^2 : A$   
 $M =$  축척 분모

심프슨 1법칙(3, 4, 2)       $\frac{d}{3}(h_0 + h_{\text{마지막}} + 4(\text{나머지}) + 2(\text{짜수}))$

심프슨 2법칙(8, 3, 3, 2)       $\frac{3d}{8}(h_0 + h_{\text{마지막}} + 3(\text{나머지}) + 2(3\text{의 배수}))$

점고법  $V = \frac{1}{2} \frac{ab}{3} (\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4 + 5\sum h_5 + 6\sum h_6)$

3점법  $V = \frac{1}{4}(V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8})$       각주공식  $V = \frac{h}{6}(A_1 + 4A_m + A_2)$

3. 수리학 및 수문학

단위중량  $\omega = \frac{W(\text{중량})}{V}$  ( $t/m^3, kg/l, g/cm^3$ )      밀도  $\rho = \frac{\omega(\text{단위질량})}{g}$

비중 주어짐 = 단위중량  $w$  준 것

표면장력  $T = \frac{p \cdot d}{4}$   $g/cm$       유리관 상승고  $h = \frac{4T \cos \theta}{w \cdot d}$       연.평 상승고  $h = \frac{2T \cos \theta}{w \cdot d}$

체적탄성계수  $E = \frac{1}{C}$        $C$ : 압축률

동점성계수  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$        $\nu$ : 동점성계수( $cm^2/s$ )       $\mu$ : 물의 점성계수( $g/cm \cdot s$ )       $\rho$ : 밀도

차원 변환에서 t, kg, g 은 F로 변환, 단 점성계수  $\mu$ , 밀도  $\rho$ 에서는 M으로 변환

절대압력 = 대기압 + 계기압력(수압) = 대기압 - 진공압력

$P(\text{압력}) = \frac{P(\text{힘})}{A} = \omega \cdot h$

전수압  $P = \omega h_G A$        $\omega$ : 유체 단위중량       $h_G$ : 수면에서 도심거리       $h_c = h_G + \frac{I_G}{h_G A}$

곡면에서 전수압  $P = \sqrt{P_H^2 + P_V^2}$        $P_H = w h_G A$        $P_V = w V$        $A =$  투영면적

물체  $W=B$  유체  $\omega \cdot V = \omega \cdot V$        $t \begin{cases} \text{정상류} = 0 \\ \text{부정류} \neq 0 \end{cases} \quad l \begin{cases} \text{등류} = 0 \\ \text{부등류} \neq 0 \end{cases}$        $\rho$ 이 붙으면 압축성

에너지 보정계수( $\alpha$ ): 층류  $\alpha = 2$ ,      운동량 보정계수( $\eta$ ): 원형관 층류  $\eta = \frac{4}{3}$

일반적으로  $\alpha > \eta > 1$       이상(이론, 완전)  $\alpha = \eta = 1$

베르누이 법칙  $H = \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{w} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{w} + z_2$       정체압 = 동압력 + 정압력 =  $\frac{\rho V^2}{2} + wh$

동수경사선  $E = z + \frac{P}{w} = H - \frac{V^2}{2g}$ , 개수로에서는 수면과 일치

운동량 방정식  $F = \frac{w}{g} Q(V_2 - V_1)$       정지판이 이동할 경우  $V-U$ (같은방향),  $V+U$ (반대방향)

저항력  $D = C_D \cdot A \cdot \frac{\rho V^2}{2}$        $C_D$ : 항력계수       $A$ : 투영면적

작은 오리피스  $Q = AV = C_a A \times C_v V = C_a C_v A \sqrt{2gh} = CA\sqrt{2gh}$

완전 수중 오리피스  $Q = CA\sqrt{2gH}$   $H = (h_1 - h_2)$  오리피스 손실수두 =  $H - C_v^2 H$

Francis공식  $Q = 1.84b_0 h^{3/2}$   $b_0 = b - 0.1nh$   $n = 2$ (양단수축),  $1$ (단수축)

광정위어  $Q = 1.7CbH^{3/2}$   $H = h + \alpha \frac{V^2}{2g}$  삼각형 위어  $Q = \frac{8}{15} C \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh}^{5/2}$

마찰력  $\tau = \frac{\Delta p}{2l} r = \frac{w_0 \cdot h_L \cdot r}{2l} = wRI$  마찰속도  $U_* = \sqrt{gRI} \approx \sqrt{ghI}$  경심  $R = \frac{A}{P(\text{윤변})}$

Manning 공식  $V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$  Chezy 공식  $V = C\sqrt{RI}$   $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$

$f$  1.  $\frac{64}{R_e}$  2.  $\frac{124.5n^2}{d^{1/3}}$  3.  $\frac{8g}{C^2}$

손실 = 마찰 + 소손실  $h_L = (f_i + f_o + f \frac{l}{D}) \frac{V^2}{2g}$   $h_i = 0.5$   $h_o = 1$

$\frac{l}{D} > 3000$  이면 소손실 무시 레이놀즈 수  $R_e = \frac{V \cdot D}{\nu}$  (관수로)

1. 층류( $R_e < 2000$ ) -  $R_e$  고려 2. 난류( $R_e > 4000$ ) -  $R_e, \frac{e}{D}$  고려 3. 완전난류 -  $\frac{e}{D}$  고려

$1000kg \cdot m/s = 13.33Hp = 9.8kW$

출력(내려가는 힘,  $-h_L$ ,  $\times \mu$ (효율))  $E = 9.8QH_e \eta$  (kW) or  $13.33QH_e \eta$  (Hp)  $H_e = H - h_L$

동력(올라가는 힘,  $+h_L$ ,  $\div \mu$ (효율))  $E = \frac{9.8QH_e}{\eta}$  (kW) or  $\frac{13.33QH_e}{\eta}$  (Hp)  $H_e = H + h_L$

수리학적으로 유리한 단면  $R \uparrow, P \downarrow$ , 내접,  $Q_{max} = 0.94d$  or  $V_{max} = 0.81d$  다르다는 것만 기억

비에너지  $H_e = h + \frac{\alpha V^2}{2g}$  한계경사  $I = \frac{g}{\alpha C^2}$  레이놀즈 수  $R_e = \frac{V \cdot R}{\nu}$  (개수로),  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$

1. 층류( $R_e < 500$ ) 2. 난류( $R_e > 500$ )

한계수심 1.  $H_{e\min}$  2.  $Q_{max}$  3.  $h_c = \frac{2}{3} H_e$  or  $(\frac{\alpha Q^2}{g \cdot b^2})^{1/3}$

	상류	한계류	사류	공식
수심(h)	$h > h_c$	$h_c$	$h < h_c$	$\frac{2}{3} H_e$ or $(\frac{\alpha Q^2}{g \cdot b^2})^{1/3}$
유속(V)	$V < V_c$	$h > h_c V_c$	$V > V_c$	$\sqrt{\frac{gh_c}{\alpha}}$
경사(I)	$I < I_c$	$I_c$	$I > I_c$	$\frac{g}{\alpha C^2}$
Fr수	$Fr < 1$	1	$Fr > 1$	$\frac{V}{\sqrt{gh}}$

도수 후 수심  $h_2 = \frac{h_1}{2} (-1 + \sqrt{1 + 8Fr_1^2})$  도수로 인한 에너지 손실  $\Delta H_e = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1 h_2}$

비력 = 운동량 + 정수압 =  $\eta \frac{Q}{g} V_1 + h_{G1} A_1 = \text{const}$

완경사일 때 배수곡선  $h > h_o > h_c$  저하곡선  $h_o > h > h_c$   $h_o$  = 등류수심  $h_c$  = 한계수심

Darcy의 법칙  $Q = AV$   $V = KI$   $I = \frac{h_c}{l}$   $\therefore k = \frac{Ql}{Ah_c}$

굴착정(피압대수층)  $Q = \frac{2\pi ck(H-h_o)}{\ln(\frac{R}{r})}$  심정(깊은 우물)  $Q = \frac{\pi k(H^2-h_o^2)}{\ln(\frac{R}{r})}$

Froude의 상사법칙(중력과 관성력, 개수로, 하천) - 유량비  $Q_r = L_r^{\frac{5}{2}}$  시간비  $T_r = L_r^{\frac{1}{2}}$

Reynolds의 상사법칙(점성력, 관수로)

미소진폭파 : 일정, 미소, 무시 이런 뉘앙스? 파장  $L = T\sqrt{gh}$

반사율 =  $\frac{\text{반사파고}}{\text{입사파고}}$  유의파고( $H_{\frac{1}{3}}$ ) : 큰 순으로  $\frac{1}{3}$  해당 자료 평균

상대습도  $h = \frac{e}{e_s} \times 100$   $e$ : 실제 증기압  $e_s$ : 포화증기압

강수량 추정 1. 단순비례법 2. 산술평균법 3. 정상연강수량 비율법

평균 강수량 산정 1. 산술평균법 2. 티센(산악 X)  $\frac{\sum A_i P_i}{\sum A}$  3. 등우선법(산악 O)

이중누가 우량곡선 : 일관성 검증 DAD해석 : Depth, Area, Duration

토양의 침투능 결정방법 (1. 침투계, 2. 경험공식(Horton, Philip), 3. 침투지수

증발량 산정 방법(1. 물수지, 2.에너지수지, 3. 공기동역학법칙, 4. 경험식)

합리식  $Q = \frac{1}{3.6} CIA$   $Q$ : 침투유량( $m^3/s$ )  $C$ : 유출계수  $I$ : 강우강도( $mm/hr$ )  $A$ : 면적( $km^2$ )

4. 철근콘크리트 및 강구조

$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0.0033$   $\phi = 0.65 + (\epsilon_t - 0.002) \times \frac{200}{3}$

$M_d = \phi M_n \geq M_u$   $U = 1.2D + 1.6L$  or  $1.4D$  (둘 중 더 큰 것)

T형보(대칭)	반 T형보(비대칭)
- $16t_f + b_w$ (각각 양쪽 두께 8배씩)	- $6t_f + b_w$
- 양쪽 슬래브의 중심간 거리	- 보 경간의 $\frac{1}{12} + b_w$
- 보 경간의 1/4	- 인접보와의 내측거리 $\frac{1}{2} + b_w$
세 값 중 작은 값	세 값 중 작은 값

1방향 슬래브 => 2 많이 나옴 => 하중만 3배

2방향 슬래브 => 3 많이 나옴 => 하중만 2배

콘크리트의 활선탄성계수  $E_c = 8500\sqrt{f_{cm}}$   $f_{cm} = f_{ck} + \Delta f$

$f_{ck}$ 40MPa 이하	$f_{ck}$ 40MPa 초과 60MPa 미만	$f_{ck}$ 60MPa 이상
$\Delta f = 4MPa$	직선보간(10%)	$\Delta f = 6MPa$

경량콘크리트계수 ( $f_{sp}$ 가 규정되지 않은 경우)

- 전경량콘크리트  $\lambda = 0.75$       - 모래경량콘크리트  $\lambda = 0.85$       - 보통중량콘크리트  $\lambda = 1.0$

경량콘크리트계수 ( $f_{sp}$ 가 주어진 경우)  $\lambda = \frac{f_{sp}}{0.56\sqrt{f_{ck}}} \leq 1.0$

극한변형률은 설계기준압축강도가 40MPa 이하인 경우 0.0033으로 가정

40MPa를 초과하는 경우는 매 10MPa 증가마다 0.0001씩 감소시킴

등가응력 사각형의 깊이  $a = \beta_1 c$

$f_{ck}$	$\leq 40$	50	60	70	80	90
$\eta$	1.00	0.97	0.95	0.91	0.87	0.84
$\beta_1$	0.80	0.80	0.76	0.74	0.72	0.70

단철근 직사각형보

등가응력사각형의 깊이  $a = \frac{A_s \cdot f_y}{\eta(0.85f_{ck})b} (\because C = T) \rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} \rightarrow \epsilon_t = \frac{(d-c)}{c} \times 0.0033$

균형보의 중립축 위치  $c_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} \cdot d = \frac{660}{660 + f_y} \cdot d$

철근비  $\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$       균형철근비  $\rho_b = \frac{\eta(0.85f_{ck})}{f_y} \cdot \beta_1 \cdot \frac{660}{660 + f_y}$

균열모멘트  $M_{cr} = f \times Z = \lambda \cdot 0.63\sqrt{f_{ck}} \times \frac{b \cdot h^2}{6}$        $M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$        $M_d = \phi M_n$

복철근(압축철근) 직사각형보

$a = \frac{(A_s - A_s') \cdot f_y}{\eta(0.85f_{ck})b} (\because C = T)$        $M_n = (A_s - A_s') \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2}) + A_s' f_y (d - d')$

$\rho_{max} = (\frac{0.0033 + \epsilon_y}{0.0033 + 2\epsilon_y}) \rho_b + \rho' = (\frac{0.0033 + \frac{f_y}{E_s}}{0.007}) \rho_b + \rho$        $f_y = 400$ 일때

T형보

1. 단철근식으로 a 구하기 2. a가 t보다 클 때,  $A_{sf}$  구하기 3. a 다시 구하기

$a = \frac{(A_s - A_{sf})f_y}{\eta(0.85f_{ck})b_w}$        $a > t$ 일때       $A_{sf} = \frac{\eta(0.85f_{ck})(b - b_w)t_f}{f_y}$

$M_n = (A_s - A_{sf})f_y(d - \frac{a}{2}) + A_{sf}f_y(d - \frac{t_f}{2})$

부재	단순지지	1단연속	2단연속	캔틸레버
슬래브	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
보	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

$f_y$ 가 400MPa가 아닌 경우 계산된 값에  $(0.43 + \frac{f_y}{700})$ 을 곱함

균열 전 :  $I_g = \frac{bh^3}{12}$       균열 후 :  $I_e \rightarrow I_{cr}$       균열모멘트  $M_{cr} = f_r \times Z$        $f_r = 0.63\lambda\sqrt{f_{ck}}$

장기처짐 탄성처짐  $\times \frac{\text{시간계수}}{1+50 \times \rho'}$  (5년 이상일때는 2.0) 총처짐 = 탄성 + 장기

$\rho' = \text{압축철근비} = A_s' / b \cdot d$  시간계수 = 3개월 : 1.0 6개월 : 1.2 12개월 : 1.4

일반적인 전단강도(근사식)  $V_c = \frac{1}{6} \lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d$  정밀한 방법 = 근사식보다 살짝 큰 값 선택

전단 철근 전단강도  $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$   $V_s$ 는  $\frac{2}{3} \lambda \sqrt{f_{ck}} b_w d$  값 이하로 해야 함

위험단면의 계수전단력  $V_u = \frac{w_u l}{2} - w_u d$

전단철근 O =  $V_u \leq \phi V_c$  전단철근 X =  $V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c$

$T_u = \phi T_n = \phi \frac{1}{3} \lambda \sqrt{f_{ck}} \left( \frac{A_{cp}^2}{\rho_{cp}} \right)$   $T_u$ : 계수 비틀림모멘트  $A_{cp}$ : 콘크리트 면적  $\rho_{cp}$ : 콘크리트 단면 외부둘레길이

나선철근비  $\rho_s = 0.45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_{yt}} = 0.45 \left( \left( \frac{d_g}{d_c} \right)^2 - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_{yt}}$   $\rho_s$ (나선철근비) =  $\frac{\pi D_c \cdot a_c}{\frac{\pi D_c^2}{4} \cdot p(\text{간격})}$

설계축하중강도  $P_d = \phi P_n$  공칭강도  $P_n = \alpha(0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$

분류	보정계수 $\alpha$	강도감소계수 $\phi$
나선철근	0.85	0.70
띠철근	0.8	0.65

정착 종류	기본정착길이	정착길이 조건
인장	$l_{db} = \frac{0.6 D f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}}$	300mm 이상
압축	$l_{db} = \frac{0.25 D f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}}$	200mm 이상 및 0.043 D f_y 이상
갈고리	$l_{db} = \frac{0.24 \beta D f_y}{\lambda \sqrt{f_{ck}}}$	150mm 이상 및 8D 이상
확대머리	$l_{db} = \frac{0.22 \beta D f_y}{\sqrt{f_{ck}}}$	150mm 이상 및 8D 이상

구분	집중하중 작용	등분포하중 작용
긴 변(L)이 부담하는 하중	$P_L = \frac{S^3}{L^3 + S^3}$	$P_L = \frac{S^4}{L^4 + S^4}$
짧은 변(S)이 부담하는 하중	$P_L = \frac{L^3}{L^3 + S^3}$	$P_L = \frac{L^4}{L^4 + S^4}$

PSC 응력  $f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{I} y = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z}$  상향력  $u = \frac{8 P \cdot s}{l^2} (\because P \cdot s = \frac{u \cdot l^2}{8})$

편심 배치  $f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{I} y \mp \frac{P \cdot e}{I} y = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \mp \frac{P \cdot e}{Z}$

포스트텐션 마찰손실  $P_x = \frac{P_o}{1 + Kl + \mu\alpha}$

프리텐션방식  $\Delta f_p = n f_c$  도심일 때  $n(\frac{A}{P} + \frac{P \times e}{I} \times e)$  편심일 때  $n = \frac{E_p}{E_c}$   $E_p = 2.0 \times 10^5 MPa$

순단면적  $A_n = b_n \cdot t$  일직선  $b_n = b_g - D$  대각선  $b_n = b_g - D + \frac{p^2}{4g}$

5. 토질 및 기초

간극비  $e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n}$  간극률  $n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1+e}$  함수비  $w = \frac{W_w}{W_s}$  함수율  $w' = \frac{W_s}{W}$

포화도  $S = \frac{V_w}{V_v}$   $G_s \cdot w = S \cdot e$   $G_s$ : 흙 비중  $w$ : 함수비  $S$ : 포화도  $e$ : 간극비

습윤단위중량  $\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{G_s + S \cdot e}{1+e} \gamma_w$  건조단위중량  $\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s}{1+e} \gamma_w (S=0)$

포화단위중량  $\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w (S=1)$  수중단위중량 = 포화 -  $\gamma_w = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w$

상대밀도  $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100 = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \cdot \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \times 100$   $\Delta H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \times H$

수축한계  $\omega_s$ : 포화상태의  $\omega$ (함수비)로 구하기, 굳이 공식 사용 X

균등계수  $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$  곡률계수  $C_g = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$

양입도 조건 - 흙일 때 -  $C_u > 10, 1 < C_g < 3$  외우는 법 : 10개월동안 자식 사랑에 모두  
 자갈일 때 -  $C_u > 4, 1 < C_g < 3$   
 모래일 때 -  $C_u > 6, 1 < C_g < 3$

분류	토질	토질속성	기호	명칭
조립토 (#200<50%)	자갈(G)	(#4<50%)	GW	양입도
			GP	빈입도
			GM	실트질 자갈
			GC	점토질 자갈
	모래(S)	(#4 ≥ 50%)	SW	양입도
			SP	빈입도
			SM	실트질 모래
			SC	점토질 모래
세립토 (#200 ≥ 50%)	실트(M) 및 점토(C)	$W_L < 50\%$	ML	저압축 실트
			CL	저압축 점토
			OL	저압축 유기물
		$W_L \geq 50\%$	MH	고압축 실트
			CH	고압축 점토
			OH	고압축 유기물

$GI = 0.2a + 0.005ac + 0.01bd$

a : #200 - 35    b : #200 - 15    0 ~ 40 사이의 값

c :  $W_L - 40$     d :  $I_p - 10$     0 ~ 20 사이의 값

Darcy의 법칙  $V = ki$   $\therefore Q = kiA = k \frac{\Delta h}{L} A$     k: 투수계수    i: 동수경사

$$Q = A \cdot V = A_v \cdot V_s \quad \therefore V_s = \frac{A}{A_v} \cdot V = \frac{AL}{A_v L} \cdot V = \frac{V(\text{체적})}{V_v(\text{체적})} \cdot V = \frac{V}{n(\text{간극률})}$$

$$\text{모관수두 } h_c = \frac{4T \cos \alpha}{D \cdot \gamma_w} \quad \text{정수위 투수시험 } K = \frac{Q \cdot L}{h \cdot A \cdot t} \quad \text{변수위 투수시험 } K = 2.3 \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \log \frac{h_1}{h_2}$$

$$\text{수평방향 투수계수 } K_h = \frac{(K_1 H_1 + K_2 H_2 + \dots)}{H} \quad \text{연직방향 투수계수 } K_v = \frac{H}{\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \dots}$$

$$\text{등방성 투수계수 } K = \sqrt{K_h \cdot K_v}$$

$$\text{등방성 흙}(K_h = K_v)\text{의 침투수량 } Q = KH \frac{N_f}{N_d} \quad N_f: \text{유로의 수 } N_d: \text{등수두면의 수}$$

$$\text{이등방성 흙}(K_h \neq K_v)\text{의 침투수량 } Q = \sqrt{K_h \cdot K_v} H \frac{N_f}{N_d}$$

$$\text{전수두 } h_t = \frac{H}{N_d} \times n_d \quad n_d: \text{하류에서부터의 등수두면 수}$$

$$\text{압력수두 } h_p = \text{전수두}(h_t) - \text{위치수두}(h_e) \quad \text{간극수압 } u_p = \gamma_w \times \text{압력수두}(h_p)$$

$$\text{흙의 자중응력 } \sigma = \gamma \times h \quad \text{연직응력 } \sigma_v = \gamma \times h \quad \text{수평응력 } \sigma_h = K \times \gamma \times h \quad K: \text{토압계수}$$

$$\text{전응력(토립자 + 물) } \sigma = \gamma \cdot h \quad \text{그림보고} \quad \text{간극수압(물) } u = \gamma_w \cdot h \quad \text{유효응력(토립자) } \bar{\sigma} = \sigma - u$$

$$\text{침투수압 } F = i \cdot \gamma_w \cdot z \quad \text{한계동수경사 } i_{cr} = \frac{\gamma(\text{sub})}{\gamma(w)} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad \text{안전율 } F_s = \frac{i_{cr}}{i}$$

$$\text{집중하중 } \sigma_z = \frac{3Q}{2\pi} \cdot \frac{Z^3}{R^5} \quad R = \sqrt{r^2 + Z^2} \quad \text{등분포하중 } \Delta \sigma_z = \frac{P}{(B+Z)(L+Z)} = \frac{q_s \cdot B \cdot L}{(B+Z)(L+Z)}$$

$$\text{압밀도 } U_i = \frac{u_i - u}{u_i} \times 100 \quad u_i: \text{초기과잉간극수압 } u: \text{시간이 지나고 간극수압}$$

$$\text{평균압밀도 } U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

$$\text{압밀침하량 } S = \Delta H = m_v \cdot \Delta P \cdot H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H = \frac{C_c}{1 + e} \cdot H \cdot \log \frac{P_1 + \Delta P}{P_1}$$

$$\text{압밀계수 } C_v = \frac{T_v \cdot H^2}{t} \quad T_v: \text{시간계수 } T_{50}: 0.197 \quad T_{90}: 0.848 \quad \text{체적변화계수 } m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

$$\text{압축지수 } C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \frac{P_2}{P_1}} \quad \text{투수계수 } K = C_v m_v \gamma_w$$

$$\text{과압밀비 } OCR = \frac{\text{선행압밀하중}(P_c)}{\text{현재 유효연직압력}(P_o)} \quad OCR > 1 \text{ 과압밀상태} \quad OCR < 1 \text{ 과소압밀상태}$$

$$\text{Skempton 경험식 - 불교란시료 } C_c = 0.009(W_L - 10) \quad \text{교란시료 } C_c = 0.007(W_L - 10)$$

$$\text{흙의 전단강도 } \tau = c + \sigma \tan \phi \quad c: \text{점착력 } \sigma: \text{수직응력 } \phi: \text{내부마찰각}$$

$$\text{일축압축강도시험 - 환산 단면적 } A = \frac{A_o}{1 - \epsilon} \quad \text{일축압축강도 } q_u = 2c \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$

$$\text{주동토압계수 } K_a = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) \quad \text{수동토압계수 } K_p = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$$

$$P_p(\text{수동토압}) > P_o(\text{정지토압}) > P_a(\text{주동토압})$$

$$H_c = 2Z_c = \frac{4c}{\gamma} \tan(45 + \frac{\phi}{2}) = \frac{2q_u}{\gamma} \quad H_c : \text{한계고 } Z_c : \text{인장균열깊이 } q_u : \text{일축압축강도}$$

$$\text{무한사면 안전율 } F_s = \frac{c}{\gamma Z \sin i \cos i} + \frac{\tan \phi}{\tan i} \quad \text{유한사면 안전율 } F_s = \frac{M_r (\text{저항모멘트})}{M_d (\text{활동모멘트})} = \frac{c_u \cdot R \cdot L_a}{W \cdot d(e)}$$

다짐곡선 왼쪽에 있을수록-급경사,  $\gamma_{dmax} \uparrow, OMC \downarrow$ , 양입도, 조립토, 다짐 E  $\uparrow$  오른쪽은 반대

$$\text{다짐도 } C_d = \frac{\gamma_d}{\gamma_{dmax}} \times 100 = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \times 100 \quad RQD = \frac{10cm \text{ 이상 회수된 길이 합}}{\text{굴착암석 관입깊이}} \times 100$$

$$\text{면적비 } A_r = \frac{D_w^2 - D_e^2}{D_e^2} \quad D_w : \text{샘플러 외경 } D_e : \text{샘플러 내경}$$

표준관입시험 N값 산정

토질입자가 등글고 빈입도(불량한 입도)	$\phi = \sqrt{12N} + 15$
토질입자가 모나고 균일한(불량한 입도) 경우	$\phi = \sqrt{12N} + 20$
토질입자가 모나고 양입도(좋은 입도분포)	$\phi = \sqrt{12N} + 25$

베인시험

$$\text{점착력 } c = \frac{M_{max}}{\pi D^2 (\frac{H}{2} + \frac{D}{6})} \quad \text{수정계수 } \mu = 1.7 - 0.54 \log(\Pi) \quad \text{수정 비배수강도 } c_u = \mu c$$

$$\text{재하시험에 의한 허용지지력 } q_t = \frac{\text{항복강도}(q_y)}{2}, \quad q_t = \frac{\text{극한강도}(q_u)}{3} \quad \text{둘 중 작은 값 사용}$$

재하판 크기에 의한 영향

구분	사질토	점성토
지지력	비례	무관(일정)
침하량	식	비례

$$\text{평판재하시험에 의한 침하량 } S_{기초} = S_{재하} \times (\frac{2B_{기초}}{B_{재하} + B_{기초}})^2$$

$$\text{허용지지력 } q_a = \frac{q_u}{F_s} \quad \text{극한지지력 } q_u = acN_c + \beta\gamma_1BN_r + \gamma_2D_fN_q$$

구분	연속	정사각형	원형
$\alpha$	1.0	1.3	1.3
$\beta$	0.5	0.4	0.3

$$\text{탄성침하량 } S_i = q \cdot B \frac{1 - \mu^2}{E} I_s \quad q : \text{기초의 하중강도 } \mu : \text{지반 포아송비 } I_s : \text{침하에 의한 영향값}$$

$B$ : 기초 폭  $E$ : 흙의 탄성계수

군향의 허용지지력  $R_{ag} = R_a \cdot N \cdot E$   $R_a$ : 단향 허용지지력  $N$ : 말뚝 총수  $E$ : 군향 효율

$$E = 1 - \frac{\phi}{90} \left( \frac{(n-1)m + (m-1)n}{nm} \right) \quad \phi : \tan^{-1} \frac{D}{S} (\text{도}) \quad D : \text{말뚝 직경}(m) \quad S : \text{말뚝 중심 간격}(m)$$

$$Q_u = Q_p + Q_f = q_p \cdot A_p + q_f \cdot A_f \quad Q_p = A_p \cdot q_p = A_p \cdot 9c_u \quad q_p : \text{단위선단지지력 } c_u : \text{흙 비배수점착력}$$

$$\text{Sander 공식 } Q_a = \frac{W_r \cdot h}{8S} \quad W_r : \text{해머 무게 } h : \text{낙하고 } S : \text{타격당 말뚝 평균관입량}$$

Engineering News 공식( $F_s = 6$ 사용) - 낙하식 해머  $Q_a = \frac{W_r \cdot h}{F_s(S+2.5)}$

단동식 증기해머  $Q_a = \frac{W_r \cdot h}{F_s(S+0.25)}$

부마찰력  $R_{nf} = U \cdot l \cdot f_s$   $U$ : 말뚝 주변장( $\pi D$ )  $l$ : 관입깊이  $f_s$ : 말뚝 평균마찰력 or  $\frac{q_u}{2}$

Sand drain 공법 - 정삼각형 배치  $d_c = 1.05d$   $d$ : drain 간격

정사각형 배치  $d_c = 1.128d = 1.13d$

평균압밀도  $U_{vh} = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$

Paper drain 공법  $D = \alpha \frac{2(A+B)}{\pi}$   $D$ : 직경  $A, B$ : 폭과 두께  $\alpha$ : 형상계수(0.75)

주성분	Kaolinite	illite	Manotrmorillonite
활성도	$A < 0.75$	$0.75 \sim 1.25$	$A > 1.25$

점토의 활성도  $A = \frac{\text{소성지수}(I_p)}{2\mu \text{ 이하의 점토함유율}(\%)}$

6. 상하수도 공학

(계획) 1일 평균급수량 = (계획) 1일 최대급수량 × 0.7(중소도시)  
0.85(대도시)

(계획) 1일 최대급수량 = (계획) 1일 평균급수량 × 1.5(중소도시)  
1.3(대도시)

시간 최대급수량 =  $\frac{1일 최대급수량}{24} \times 1.3(대도시)$   
1.5(중소도시)  
1.8(농촌, 주택단지)

계획우수량  $Q = \frac{1}{3.6}CIA$  C: 유출계수 I: 강우강도(mm/hr) A: 단면적(km<sup>2</sup>) Q: 침투유출량

단면적 단위 ha라면 3.6이 아닌 360

계획 우수량 설계빈도 = 10 ~ 30년

구분	장점	단점
분류식	유량 및 유속 변동폭 작음	비쌘 수질오탁 관거오점에 대한 철저한 감시 필요
합류식	수세효과 기대 건설비 싼	퇴적량이 분류식에 비해 많음 수질변동 큼

\*수세효과 : 도로에 물 한번에 쓸어버리는 효과

상수 공급과정 : 수원 - 취수 - 도수 - 정수 - 송수 - 배수 - 급수

정수(응집 - 침전 - 여과 -소독)

지하수의 종류 - 천층수, 심층수, 복류수, 용천수

갈수량, 갈수위 - 1년 중 355일

저수량, 저수위 - 1년 중 275일

평수량, 평수위 - 1년 중 185일      수원 : 소비자보다 가깝고 소비지보다 높은 곳 위치

급속여과 : 고탁도수에 적용가능, 색도, 철 조류 처리 가능, 120~150m/day

완속여과 : 약품처리 필요 X, 4~5m/day

우수관거 - 계획 시간 최대우수량

우수관거 - 계획 우수량

합류식 관거 - 계획 시간 최대우수량 + 계획 우수량

차집관거 - 우천시 계획 우수량 or 계획 시간 최대우수량의 3배 이상

구분	유속	비고
도수 및 송수	0.3 ~ 3.0 m/sec	
우수관거 및 차집관거	0.6 ~ 3.0 m/sec	이상적인 유속
우수관거 및 합류관거	0.8 ~ 3.0 m/sec	1.0 ~ 1.8 m/sec

최소관경 - 우수관거 200 mm

우수관거 및 합류관거 250 mm

$$\text{BOD 잔존량} = BOD_u 10^{-k_1 t} = BOD_u e^{-k_1 t} \quad k_1 : \text{탈산소 계수 } t : \text{day}$$

$$\text{BOD 소모량} = BOD_u (1 - 10^{-k_1 t}) = BOD_u (1 - e^{-k_1 t})$$

$$\text{침전효율 } E = \frac{V_s (\text{침전속도})}{V_o (\text{침강속도})} \times 100 \quad \text{침강속도 } V_o = \frac{Q}{A} = \frac{h}{t} \quad \therefore Qt = Ah \quad V(\text{체적}) = Qt$$

염소 소독 - 비용 저렴, 방법 간단, 색도 제거 불가능

살균능력  $HOCL > OCL^- > Chloramines$

전염소 처리 - 트리할로메탄(THM) 제거 불가능

$$\text{요(염소요구량)} = \text{주(염소주입농도)} - \text{잔(잔류염소량)} \quad \text{염소주입농도} = \frac{\text{염소의 양}}{\text{유량}}$$

지하수량 - 1인 1일 최대오수량의 10~20%

$$\text{계획 1일 평균오수량} = (\text{계획 1일 최대오수량}) \times \begin{matrix} 0.7(\text{중소도시}) \\ 0.8(\text{대도시}) \end{matrix}$$

$$\text{BOD 부하} = \frac{BOD \cdot Q}{V(\text{폭기조 용적})} \quad F/M\text{비} = \frac{BOD \cdot Q}{M(\text{MLSS농도}) \cdot V} = \frac{BOD}{M(\text{MLSS농도}) \cdot t}$$

$$\text{함수율과 슬러지 부피 관계 } V_1(100 - \omega_1) = V_2(100 - \omega_2) \quad w : \text{함수율}$$

취수관거 - only 하천수만 수원

취수탑 - 대량의 취수, 건설비 비쌈

취수문

취수연(취수보) - 가장 안정적, 0.4 ~ 0.8 m/sec

SVI = 1L를 30분간 침전시킨 후 1g의 MLSS가 슬러지로 형성시 차지하는 부피

$$\text{슬러지 용량지표 } SVI = \frac{30\text{분간 침전후 슬러지 부피}(mL/L)}{MLSS(mg/L)} \quad \text{슬러지 밀도지수 } SDI = \frac{100}{SVI}$$

$$N_s = N \frac{Q^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}} \quad N : \text{펌프 규정회전수(회/min)} \quad Q : \text{펌프 규정토출량}(m^3/min) \quad H : \text{펌프 규정양정}(m)$$

$N_s$ 가 작으면 유량이 적은 고양정 펌프

호기성 소화 - 반응 빠름, 수질 양호, 효율 높음, 소화슬러지 탈수 불량

혐기성 소화 - 메탄( $CH_4$ )같은 유용한 가스 발생, 병원균 사멸률 높음

장래인구 추정 - 등차 급수방법  $P_n = P_o + n \cdot a$   $n$ : 경과년수  $a$ : 연평균 인구증가수

등비 급수방법  $P_n = P_o(1+r)^n$   $r$ : 연평균 인구증가율

로지스틱 곡선법 - 포화인구 먼저 추정

부식과정 - 용존산소 결핍으로 황화합물을 분해하여 환원시킴

부식과정 대책 - 유속 증가, 라이닝, 염소 투입

공동현상 - 펌프가 높이 설치, 직경 작고 유속 빠름, 회전수 빠름일 때 발생

공동현상 방지 - 펌프 위치 낮춤, 직경 크고 회전수 작게, 손실수두 작게, 흡입양정(-5m까지)

총대장균은 100mL에서 검출 X

대장균 검사 이유 -> 병원체의 존재 추정 대장균의 저항력이 조금 강해서 수질지표로 이용

영양염류로 인해 부영양화 황산동( $CuSO_4$ ) - 조류 발생 방지

수면접합 - 수리학적으로 가장 유리한 방법

관정접합 - 공사비 비쌈

관저접합 - 수리학적으로 가장 불리, 공사비 싼

수격작용 발생 방지 - 급정지 X, 유속 저하

급수 - 직결식, 탱크식(저수조식)

맨홀

관경(mm)	600 이하	600초과 1000이하	1000초과 1500이하	1650 이상
최대간격	75m	100m	150m	200m

상하수도 시설 계획년도 - 15 ~ 20년

오존 살균 - 경제성 X, 잔류효과(지속성) X, 암모니아( $NH_3$ ) 제거 불가능

활성탄 흡착법 - 철, 인 제거 불가능

분말은 흑수 발생 쉬움, 입상은 흑수 거의 X

자정계수  $f = \frac{k_2(\text{재포기 계수})}{k_1(\text{탈산소 계수})}$  수온 낮고 유속 클수록 커짐

등치관(손실수두 같고 직경 다른 관)  $L_2 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{4.87} \times L_1$

응집제 - Fe, Al 응집제 양(kg/day) = 농도(C, mg/L) × 유량(Q,  $m^3/day$ )