

제 2 장 흙의 기본적인 특성¹2.1 흙입자²(1) 흙입자의 크기에 따른 구분³

세립분		조립분						석분	
점토	실트	모래			자갈			바위	
		가는모래	중간모래	큰모래	가는자갈	중간자갈	큰자갈	옥석	전석
(입경)	0.005	0.075	0.25	0.85	2.0	4.75	19	75	300 (mm)
토질재료 <---:---> 암석재료									

가. 조립토⁵

- 자갈(gravel)⁶
- 모래(sand)

나. 세립토

- 실트(silt)
- 점토(clay)

(2) 흙입자 분류 예⁷

분류법	입자 크기(mm)									
	100		10		1		0.1		0.01	0.001
통일분류법	옥석	자갈		모래		세립토(실트와 점토)				
	75	4.75		0.075						
AASHTO	옥석	자갈		모래		실트		점토		
	75	2		0.05		0.002				
MIT		자갈		모래		실트		점토		
		2		0.06		0.002				
ASTM		자갈		모래		실트		점토		
		4.75		0.075		0.002				
USDA	옥석	자갈		모래		실트		점토		
		2		0.05		0.002				

그림 2-1 크기에 따른 흙입자의 분류⁹※ 통일분류법(USCS): Unified Soil Classification System¹⁰

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

MIT: Massachusetts Institute of Technology

ASTM: American Society for Testing and Materials

미국농무성(USDA): US Department of Agriculture

2.2 흙입자의 비중¹

- 흙입자의 비중 (specific gravity): G_s ²

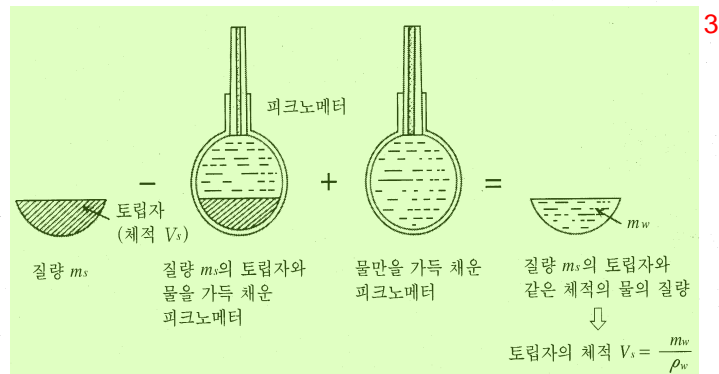


그림 2-2 흙입자의 비중 측정⁴

- (1) 흙입자의 중량과 같은 부피의 15°C 증류수의 중량과의 비⁵
- (2) 흙입자의 단위중량 (γ_s) 와 15°C 증류수의 단위중량 (γ_w) 과의 비
- (3) t°C에서 흙입자의 비중 : G_t ⁶

$$G_t = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{W_w} = \frac{W_s}{W_s + W_a - W_b}$$
⁷

W_a : 부피 50cm³ 이상의 비중병 (pycnometer) 에 t°C 의 증류수를 가득 채웠을 때의 중량⁸

W_s : 노건조한 흙시료의 중량⁹

W_b : 비중병에 건조한 흙시료를 넣고 증류수로 채웠을 때의 중량¹⁰

W_w : 흙시료와 같은 부피의 물의 무게¹¹

$$G_s = K \times G_t \quad (K: \text{온도에 따른 비중 수정계수})$$

2.3 입도분석¹²

2.3.1 개요¹³

(1) 흙속에 있는 입자들의 크기 정도 결정¹⁴

(2) 종류: 한국산업규격 KS F 2302¹⁵

- 체분석(sieve analysis): 흙입자 직경 0.075 이상인 경우¹⁶
- 비중계분석(hydrometer analysis): 흙입자 직경 0.075 이하인 경우

2.3.2 체분석(sieve analysis) 1



체 번호	구멍 크기 (mm) 2
4	4.750
6	3.350
8	2.360
10	2.000
18	1.000
20	0.850
30	0.600
40	0.425
50	0.300
60	0.250
80	0.180
100	0.150
140	0.106
170	0.088
200	0.075

그림 2-3. 체진동기 및 표준체의 번호와 눈금의 크기 3

2.3.3 비중계분석 (hydrometer analysis) 4

(1) 방법: 물속으로 가라앉는 흙입자의 침강원리 5

(2) 대상 흙입자의 크기: $0.0005\text{mm} < \text{비중계분석} < 0.2\text{mm}$ 6

(3) 각 흙입자 비중의 다양성, 침강중 흙입자간의 간섭 등으로 신뢰성이 낮음 7

(4) Stokes 법칙: 흙입자를 구라고 가정한 흙입자의 침강속도 8

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2 \quad 9$$

γ_s : 흙입자의 단위중량

γ_w : 물의 단위중량

η : 물의 점성계수

D: 흙입자의 직경

2.3.4 입도분포곡선 (particle size distribution curve) 10

(1) 체분석과 비중계분석 결과를 반대수용지(semi-log paper)에 표시한 것 11

(2) 흙입자의 직경 (mm) vs 흙입자의 통과중량 백분율 (%) 12

(3) 예: 흙 A의 통일분류법에 의한 분류 1

가. 자갈 (4.75mm 이상): 0%

나. 모래 (4.75 ~ 0.075mm): 38%

다. 실트와 점토 (0.075mm 이하): 62%

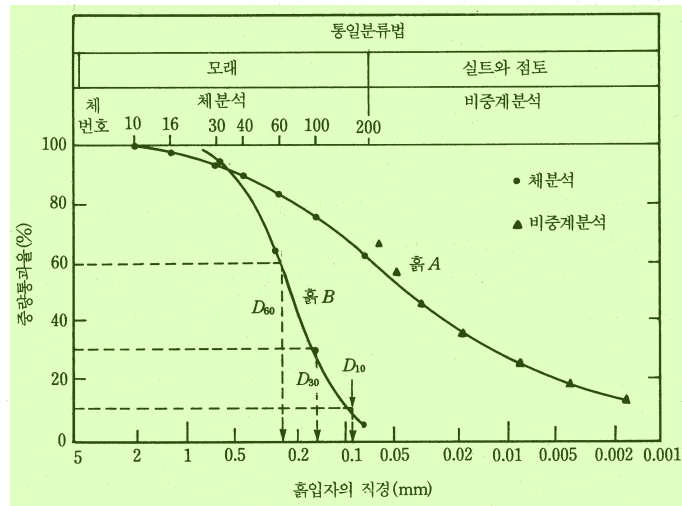


그림 2-4 입도분포곡선 3

(4) 여러 입자크기의 분포형태 4

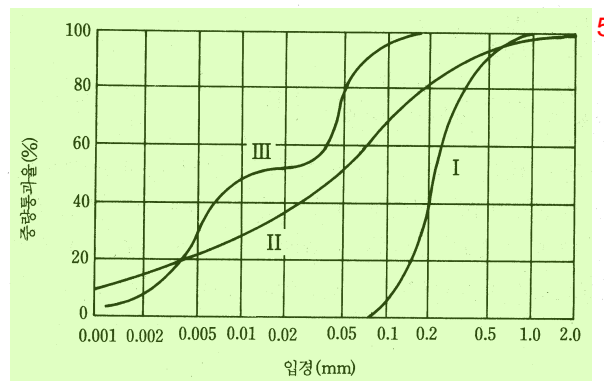


그림 2-5 여러 가지 형태의 입도분포곡선 6

가. 곡선 I: 입도분포 불량한 흙 (poorly graded soil) 7

나. 곡선 II: 입도분포 양호한 흙 (well graded soil)

다. 곡선 III: 2개 이상 균등분포된 흙 (계단식 입도, gap graded)

2.3.5 유효입경, 균등계수 및 곡률계수 ¹

(1) 입도분포곡선 형상을 특징짓는 요소: 유효입경, 균등계수, 곡률계수 ²

(2) 유효입경(effective size), D_{10} : 중량통과 백분율 10%에 해당하는 입자의 직경 ³

(3) 균등계수(uniformity coefficient): 입도분포 특성을 나타내는 값인 곡선의 경사 ⁴

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad 5$$

D_{60} : 중량통과 백분율 60%에 해당하는 입경

(4) 곡률계수 (coefficient of gradation) : 곡선의 단계적인 상태 ⁶

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad 7$$

D_{30} : 중량통과 백분율 30%에 해당하는 입경

입도분포가 좋은 흙	입도분포가 나쁜 흙	입도의 특징 ⁸
$C_u \geq 10$ $1 < C_c \leq \sqrt{U_c}$	$C_u < 10$	균등입도
	$C_u \geq 10$ $C_c \leq 1$	계단식입도
	$C_u \geq 10$ $C_c > \sqrt{U_c}$	

(5) 흙시료의 입도분포 판정 (일본 토질공학회) ⁹

예제) 그림 2-4 에서 흙 B에 대하여 $D_{10} = 0.096\text{mm}$, $D_{30} = 0.16\text{mm}$, $D_{60} = 0.24\text{mm}$ 일 때, 균등계수와 곡률계수를 구하시오. ¹⁰

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0.24}{0.096} = 2.5 \quad 11$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} = \frac{0.16^2}{0.24 \times 0.096} = 1.11$$

2.4 흙의 구성¹

(체적 V) (질량 m) (중량 W)²
 V : 흙 전체의 체적 m, W : 흙 전체의 질량, 중량

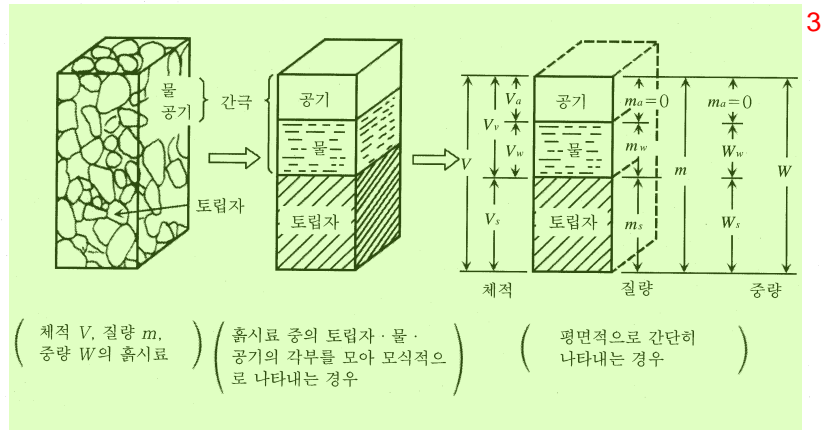


그림 2-6 흙의 구성도⁴

2.4.1 구성요소의 부피⁵

(1) 흙의 전체부피⁶

$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$, $m = m_a + m_w + m_s = m_w + m_s$ ⁷
 $V_v = V_a + V_w = V - V_s$, $W = W_a + W_w + W_s = W_w + W_s$
 V_s : 흙입자의 부피
 V_v : 간극의 부피
 V_w : 간극속의 물의 부피
 V_a : 간극속의 공기의 부피
 m_a, W_a : 간극 중 공기의 질량, 중량 (= 0)
 m_w, W_w : 간극 중 물의 질량, 중량
 m_s, W_s : 토립자 부분의 질량, 중량

(2) 흙의 상태에 대한 기본적인 생각⁸

	상태	관계	값
흙의 상태	수분 포함 상태	질량과의 관계	함수비(w)
	결합상태 (다짐상태)	체적에 대한 질량의 관계	습윤밀도(ρ), 건조밀도(ρ_d)
	틈의 양 (간극의 양)	체적의 관계	간극비(e), 포화도(S)

(3) 간극비(void ratio, e): 흙의 압축성 판단 1

$$e = \frac{\text{흙의 간극의 체적}}{\text{흙의 토립자부분의 체적}} = \frac{V_v}{V_s} \quad 2$$

(4) 간극률(porosity, n): 3

$$n = \frac{\text{흙의 간극의 체적}}{\text{흙의 전체적}} \times 100 = \frac{V_v}{V} \times 100 (\%) \quad 4$$

(5) 간극비와 간극률 사이의 관계 5

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\frac{V_v}{V}}{1 - \frac{V_v}{V}} = \frac{n}{1 - n} \quad 6$$

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{V_v}{V_s + V_v} = \frac{\frac{V_v}{V_s}}{\frac{V_s}{V_s} + \frac{V_v}{V_s}} = \frac{e}{1 + e} \quad 7$$

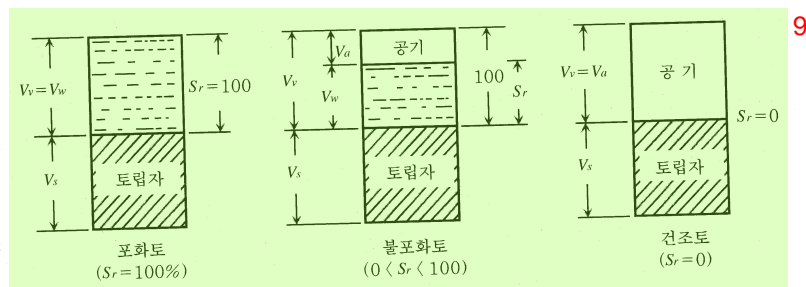
(6) 포화도(degree of saturation, S) : 8

그림 2-7 포화상태 따른 흙의 분류 10

$$S = \frac{\text{간극에 차지하는 물의 체적}}{\text{흙의 간극의 체적}} \times 100 = \frac{V_w}{V_v} \times 100 (\%) \quad 11$$

2.4.2 구성요소의 무게 12

(1) 함수비(moisture content, w): 흙의 간극에 함유된 물의 양의 비 13

$$w = \frac{\text{간극에 포함된 물의 질량(중량)}}{\text{토립자부분의 질량(중량)}} \times 100 = \frac{m_w}{m_s} \text{ (또는, } \frac{W_w}{W_s}) \times 100 (\%) \quad 14$$

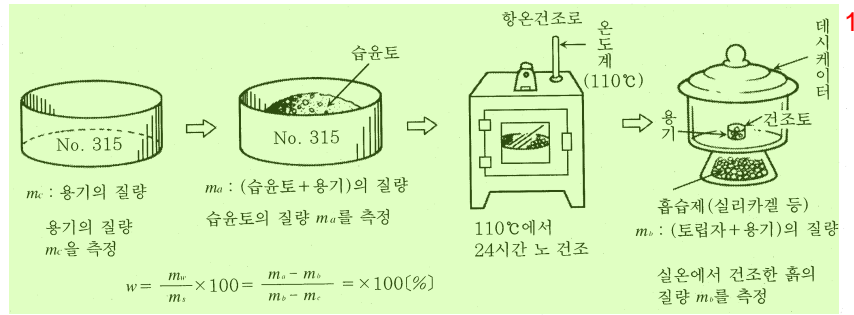


그림 2-8 함수비의 측정과 계산 2

(2) 습윤밀도와 건조밀도: 흙의 결합과 다짐 등의 상태, 단위체적당 질량 3

가. 습윤밀도(moist density, ρ_t): 습윤상태에서 흙의 단위체적당 질량 4

$$\rho_t = \frac{\text{흙의 전 질량}}{\text{흙의 전체적}} = \frac{m}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad 5$$

나. 건조밀도(dry density, ρ_d): 토립자만의 질량 6

$$\rho_d = \frac{\text{흙의 토립자 부분의 질량}}{\text{흙의 전체적}} = \frac{m_s}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad 7$$

$$\rho_t = \frac{m}{V} = \frac{m_s + m_w}{V} = \frac{m_s (1 + m_w/m_s)}{V} = \rho_d (1 + w) \quad 8$$

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{(1 + w)} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad 9$$

(3) 전체단위중량(= 습윤단위중량)과 건조단위중량: 중량으로 생각하는 경우의 밀도 9

가. 전체단위중량(total unit weight, γ) 또는 습윤단위중량 (moist unit weight, γ_t):

$$\gamma = \gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{mg}{V} = \rho_t g \text{ (N/m}^3, \text{kN/m}^3\text{)} \quad 10$$

나. 건조단위중량(dry unit weight, γ_d): 11

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{m_s g}{V} = \rho_d g \text{ (N/m}^3, \text{kN/m}^3\text{)} \quad 12$$

g : 중력가속도(= 9.81m/sec²)

다. 전체단위중량, 건조단위중량, 함수비와의 관계 13

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s (1 + \frac{W_w}{W_s})}{V} = \frac{W_s (1 + w)}{V} \quad 14$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(1 + w)}$$

2.4.3 포화도, 간극비, 함수비, 비중 사이의 관계 1

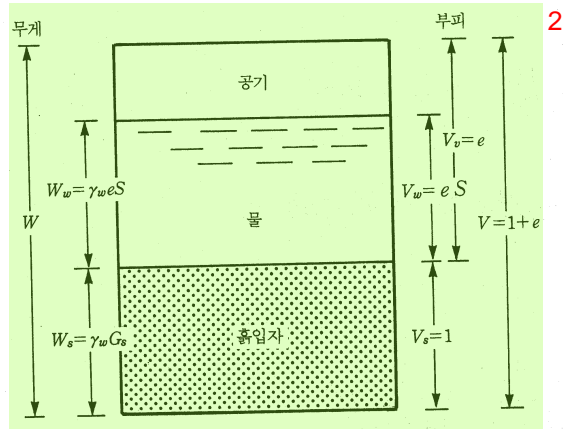


그림 2-9 흙입자의 부피가 1일 때 흙요소의 3가지 성분 3

(1) $V_s = 1$ 일 때 흙입자와 물의 무게 4

가. 흙입자의 무게 5

$$W_s = \gamma_s V_s = \gamma_w G_s V_s (=1) = \gamma_w G_s \quad 6$$

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w, \gamma_s = G_s \gamma_w$$

나. 물의 무게 7

$$W_w = \gamma_w V_w = \gamma_w V_v S = \gamma_w V_s (=1) e S = \gamma_w e S \quad 8$$

$$S = V_w / V_v, V_w = S V_v$$

G_s : 흙입자의 비중
 γ_w : 물의 단위중량

다. 전체단위중량 및 건조단위중량과의 관계 9

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{(\gamma_w G_s) + (\gamma_w e S)}{1 + e} = \frac{G_s + (e S)}{1 + e} \gamma_w \quad 10$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{V_s + V_v} = \frac{G_s}{1 + e} \gamma_w \quad 11$$

라. 포화단위중량(saturated unit weight, γ_{sat} , $S=100\%$): 간극이 완전히 물로 채워져 있는 경우 12

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} = \frac{(\gamma_w G_s) + (\gamma_w e S (=1))}{1 + e} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w \quad 13$$

마. 수중단위중량(submerged unit weight, γ_{sub}): 흙이 지하수위 아래에 있을 경우 부 14

력에 의한 영향 1

$$\begin{aligned}
 \gamma' &= \gamma_{sat} - \gamma_w & 2 \\
 &= \frac{W}{V} - \gamma_w = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_v} - \gamma_w \\
 &= \frac{(\gamma_w G_s) + (\gamma_w eS(=1))}{1+e} - \gamma_w \\
 &= \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w - \gamma_w \\
 &= \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w
 \end{aligned}$$

바. 포화도, 간극비, 함수비, 비중 사이의 관계 3

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{W_w}{W_s} = \frac{\gamma_w eS}{\gamma_w G_s} = \frac{eS}{G_s} & 4 \\
 Se &= G_s \times w
 \end{aligned}$$

2.4.4 상대밀도 5

(1) 상대밀도(relative density, Dr): 사질토의 조밀하거나 느슨한 정도 6

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} & 7$$

e: 자연상태에서 흙의 간극비
 emax: 가장 느슨한 상태에서 흙의 간극비
 emin: 가장 조밀한 상태에서 흙의 간극비

(2) 건조단위중량을 이용한 상대밀도 계산 8

$$D_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} & 9$$

γd: 자연상태에서 흙의 건조단위중량
 γdmin: 가장 느슨한 상태에서의 흙의 최소건조단위중량 (ASTM D-2049)
 γdmax: 가장 조밀한 상태에서의 흙의 최대건조단위중량 (ASTM D-2049)