



# 토질 및 기초공학<sup>1</sup>

## Chapter 2. 흙의 기본적인 특성<sup>2</sup>

박성직<sup>3</sup>



# 1. 입경<sup>1</sup>

## • 크기(입경)에 따른 분류<sup>2</sup>

- 흙입자는 크기에 따라 자갈, 모래, 실트, 점토 등으로 구분<sup>3</sup>
- 흙입자가 비교적 굵은 자갈, 모래를 조립토(coarse soil) 또는 사질토(granular soil)라고 하며, 흙입자가 비교적 가는 실트나 점토를 세립토(fine soil)<sup>4</sup>

| 분류법    | 입자 크기 (mm) |      |       |             |                   |
|--------|------------|------|-------|-------------|-------------------|
|        | 100        | 10   | 1     | 0.1         | 0.01 0.001 0.0001 |
| 통일분류법  | 울석         | 자갈   | 모래    | 세립토(실트와 점토) |                   |
|        | 75         | 4.75 | 0.075 |             |                   |
| AASHTO | 울석         | 자갈   | 모래    | 실트          | 점토                |
|        | 75         | 2    | 0.075 | 0.002       |                   |
| MIT    | 울석         | 자갈   | 모래    | 실트          | 점토                |
|        | 60         | 2    | 0.06  | 0.002       |                   |
| ASTM   | 울석         | 자갈   | 모래    | 실트          | 점토                |
|        | 75         | 4.75 | 0.075 | 0.002       |                   |
| USDA   | 울석         | 자갈   | 모래    | 실트          | 점토                |
|        | 75         | 2    | 0.05  | 0.002       |                   |

그림 2-1 크기에 따른 흙입자의 분류

- 1) Unified Soil Classification System
- 2) American Association of State Highway and Transportation Officials
- 3) Massachusetts Institute of Technology
- 4) American Society for Testing and Materials
- 5) US Department of Agriculture, USDA





# 1. 입경<sup>1</sup>

- 입경의 결정<sup>2</sup>

- 체분석(sieve analysis) : 0.075mm 이상의 입경을 결정 하는데 사용. 굵은체와 가는체를 위에서부터 아래로 포개어 놓고 흙을 넣어 흔든 다음, 각 체를 통과한 흙의 무게를 계량하여 전체의 무게로 나눈다. 이렇게 결정된 비율은 임의 체에 남아있는 흙의 입경보다 더 가는 입경의 흙 전체에 대한 통과중량백분율<sup>3</sup>
- 비중계 분석(hydrometer analysis) : 0.075mm(# 200체)이하의 입경 결정에 사용. 구(sphere)를 물에 떨어뜨렸을 때의 침강속도( $v$ )는 그 구의 직경의 제곱에 비례한다는 Stokes의 원리를 이용<sup>4</sup>

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} d^2 \quad ^5$$





# 1. 입경<sup>1</sup>

## • 체분석<sup>2</sup>

– 체분석에 주로 사용하는 표준체는 4, 10, 20, 40, 60, 100, 200번<sup>3</sup> 체이며, 체 번호는 1inch(=2.54cm) 안에 포함된 체눈의 수



4

| 체 번호 | 체눈 크기(mm) |
|------|-----------|
| 4    | 4.750     |
| 6    | 3.350     |
| 8    | 2.360     |
| 10   | 2.000     |
| 16   | 1.180     |
| 20   | 0.850     |
| 30   | 0.600     |
| 40   | 0.425     |
| 50   | 0.300     |
| 60   | 0.250     |
| 80   | 0.180     |
| 100  | 0.150     |
| 140  | 0.106     |
| 200  | 0.075     |
| 400  | 0.038     |

5

| 체 번호 | 직경(mm) | 각 체에 남은 흙의 무게(g) | 잔류율(%) | 가적잔류율(%) | 통과율(%) |
|------|--------|------------------|--------|----------|--------|
| 4    | 4.750  | 0                | 0      | 0        | 100    |
| 10   | 2.000  | 0                | 0      | 0        | 100    |
| 16   | 1.180  | 2                | 2      | 2        | 98     |
| 30   | 0.600  | 6                | 6      | 8        | 92     |
| 40   | 0.425  | 4                | 4      | 12       | 88     |
| 60   | 0.250  | 5                | 5      | 17       | 83     |
| 100  | 0.150  | 8                | 8      | 25       | 75     |
| 200  | 0.075  | 13               | 13     | 38       | 62     |
| 팬    |        | 62               | 62     | 100      | 0      |

6

체분석 결과 예시<sup>7</sup>

체진동기<sup>8</sup>

체의 번호와 체눈의 크기<sup>9</sup>





# 1. 입경<sup>1</sup>

## • 비중계분석<sup>2</sup>

- 진공 속에서 낙하하는 물체의 속도는 시간에 따라 증가하지만, 물속에서 침강하는 흙입자의 속도는 마찰저항 때문에 점차 일정
- 흙입자의 침강속도는 흙입자의 크기, 무게 등에 따라 다르며, 흙입자를 구라고 가정하면 흙입자의 침강속도는 Stokes의 법칙을 따름

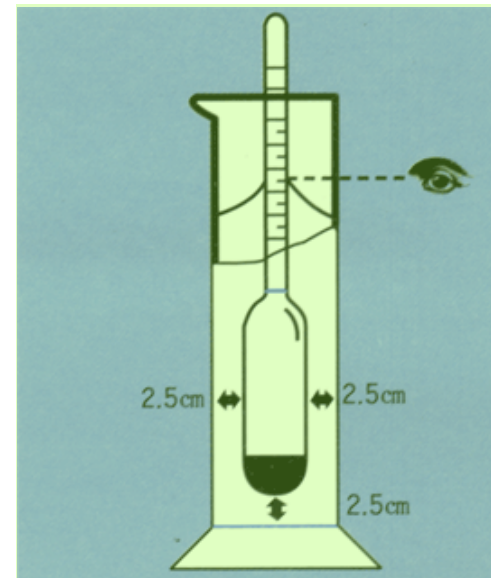
$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{18\eta} D^2$$

여기서,  $\gamma_s$  = 흙입자의 단위중량

$\gamma_w$  = 물의 단위중량

$\eta$  = 물의 점성계수

$D$  = 흙입자의 직경(입경)

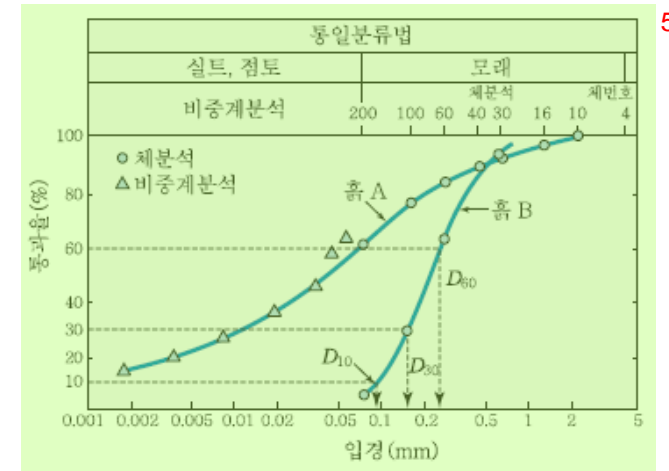
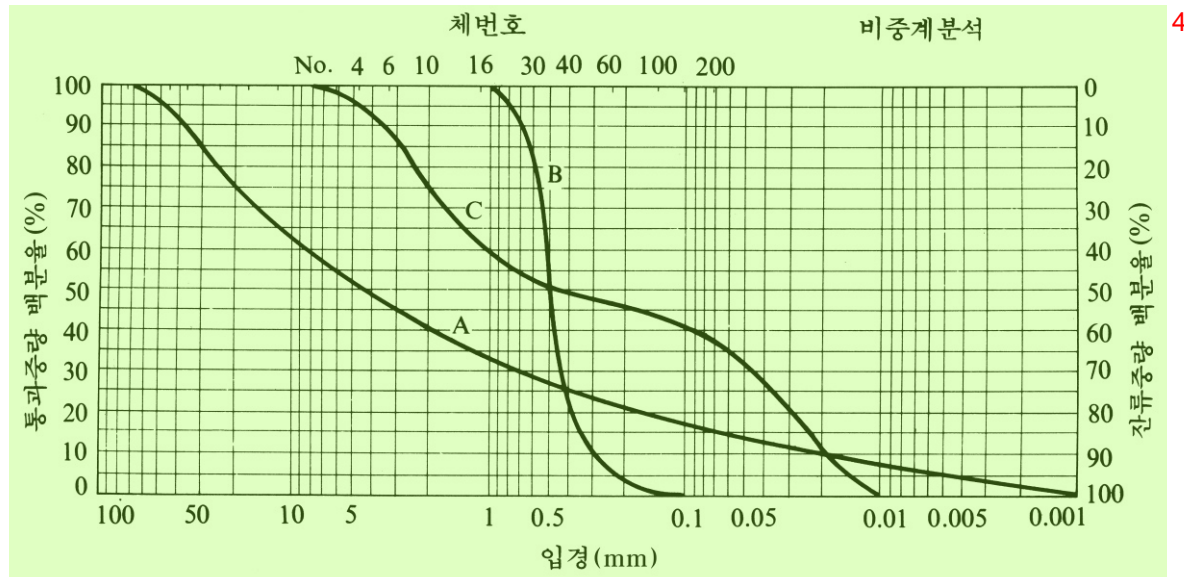




# 1. 입경<sup>1</sup>

## • 입도분포곡선<sup>2</sup>

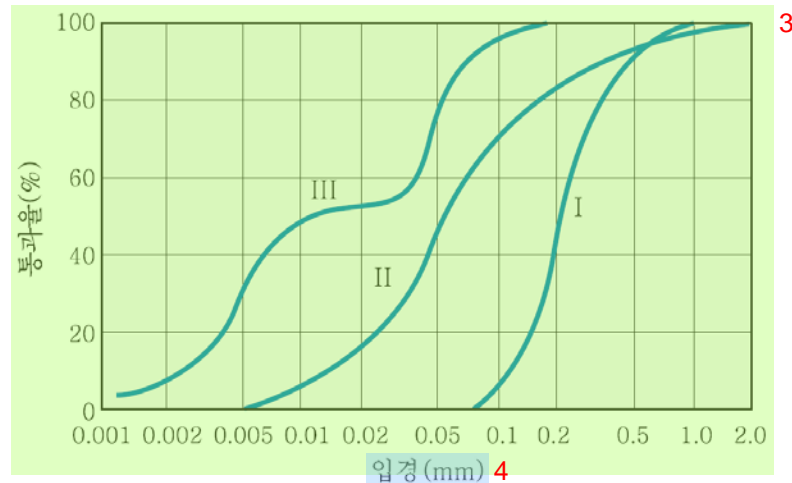
– 체분석과 비중계분석의 결과들을 반대수용지(semi-log graph) 위에 점으로 표시하고 이 점들을 연결한 곡선<sup>3</sup>





# 1. 입경<sup>1</sup>

## • 입도분포곡선<sup>2</sup>



- 곡선 I : 대부분의 흙입자들의 크기가 거의 비슷한 흙으로서, 이런 흙을 입도 불량한 흙(poorly graded soil) 또는 입도 균등한 흙
- 곡선 II : 흙입자들의 크기가 넓은 범위에 걸쳐 있는 흙으로서, 크고 작은 흙입자가 골고루 섞여 있으므로 입도 양호한 흙(well graded soil)
- 곡선 III : 중간 크기의 흙입자가 없어서 중간부분이 수평에 가까운 분포를 나타내는 흙으로서, 이런 형태의 입도분포를 계단식 입도 또는 결손분포(gap graded)





# 1. 입경<sup>1</sup>

- 유효경( $D_{10}$ )<sup>2</sup>

– 유효경 또는 유효입경은 통과율 10%에 해당하는 흙입자의 직경<sup>3</sup>

- 균등 계수(uniformity coefficient)<sup>4</sup>

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$
<sup>5</sup>

- 곡률 계수(coefficient of curvature, gradation)<sup>6</sup>

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$
<sup>7</sup>







## 2. 비중<sup>1</sup>

- 비중(specific gravity,  $G$ )<sup>2</sup>

$$\text{비중} = \frac{\text{어떤 물체의 중량}}{\text{같은 부피의 물의 중량}} = \frac{\text{어떤 물체의 단위중량}}{\text{물의 단위중량}} \quad ^3$$

- 흙입자의 비중 ( $G_s$ )<sup>4</sup>

$$G_s = \frac{\text{어떤 흙입자의 중량}}{\text{같은 부피의 물의 중량}} = \frac{\text{흙입자의 단위중량 } \gamma_s}{\text{물의 단위중량 } \gamma_w} \quad ^5$$





## 2. 비중<sup>1</sup>

### • 비중 실험<sup>2</sup>



|                              |                           |                |          |
|------------------------------|---------------------------|----------------|----------|
| Sample No.                   |                           | SM-1           |          |
| Test Date                    |                           | Mar., 13, 1996 |          |
| Wf & Ws                      | Pycnometer(P) No.         | K-7            | K-8      |
|                              | Wt. of (P) + Soil (Wp), g | 68.31          | 71.21    |
|                              | Wt. of (P) (Wf), g        | 43.06          | 41.01    |
|                              | Wt. of Soil (Ws), g       | 25.25          | 30.20    |
| after Boiling                | (P)+Ws+Water (Wb), g      | 183.87         | 189.04   |
|                              | Temperature (Tb), °C      | 25             | 22       |
|                              | Water Density at Tb(Gwb), | 0.997075       | 0.997800 |
| Buoyant by full-filled water | (P) + Water (Wa'), g      | 168.41         | 170.32   |
|                              | Temperature (Ta), °C      | 10             | 10       |
|                              | Water Density at Ta(Gwa), | 0.999728       | 0.999728 |
|                              | Corrected of Wa' (Wa), g  | 168.08         | 170.07   |
|                              | Bouyant Force (Fb), g     | 9.45           | 11.23    |
| Gs'                          | Gs' at the Tb °C          | 2.670          | 2.689    |
|                              | Corrected Gs at 15 °C     | 2.664          | 2.685    |
| GS(Average)                  |                           | 2.67           |          |





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

#### • 구성요소의 부피<sup>2</sup>

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_g \quad 3$$

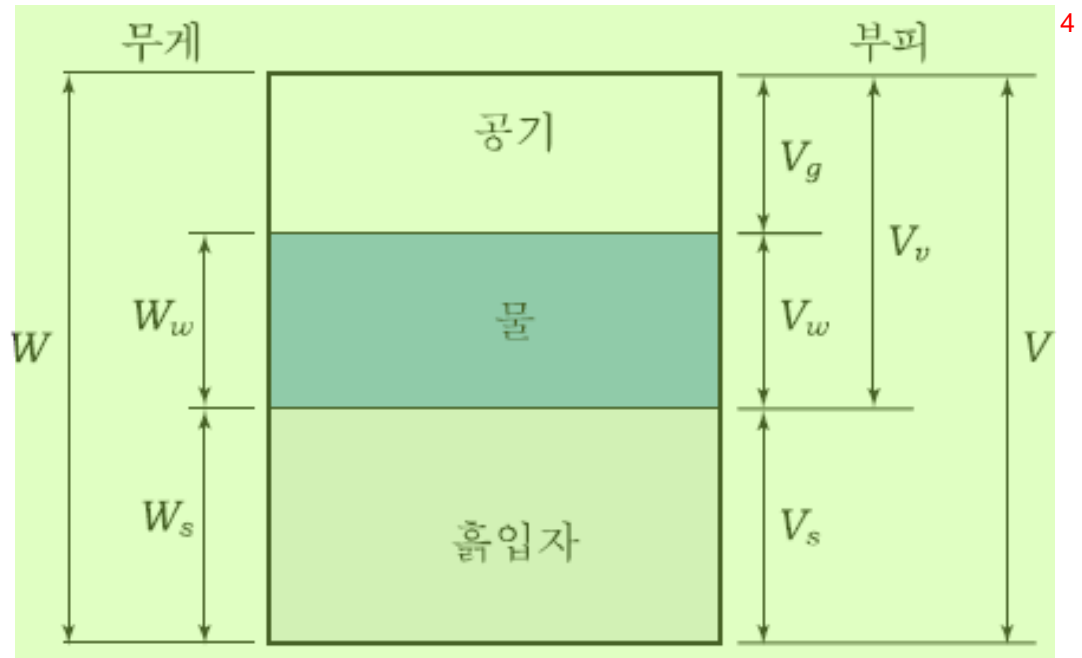
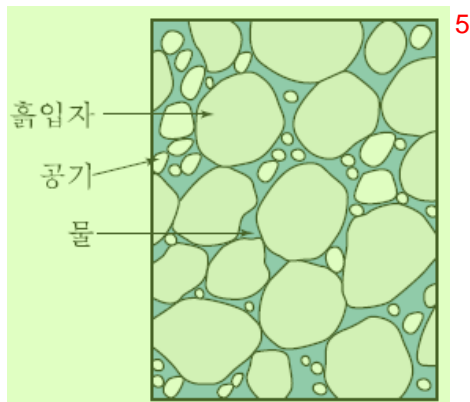
여기서,  $V$  = 흙전체의 부피

$V_s$  = 흙입자의 부피

$V_v$  = 간극의 부피

$V_w$  = 물의 부피

$V_g$  = 공기의 부피





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 간극비(void ratio)와 간극률(porosity)<sup>2</sup>

$$e = \frac{\text{간극의 부피 } V_v}{\text{흙입자의 부피 } V_s}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

$$n = \frac{\text{간극의 부피 } V_v}{\text{흙전체의 부피 } V}$$

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100(\%)$$

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

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

- 포화도(degree of saturation)<sup>4</sup>

$$S = \frac{\text{물의 부피 } V_w}{\text{간극의 부피 } V_v}$$





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.3<sup>2</sup>

그림 2-6(b)에서 흙입자의 부피가  $10\text{cm}^3$ , 물의 부피가  $4\text{cm}^3$ , 공기의 부피가  $1\text{cm}^3$ 이다. 이 흙<sup>3</sup>의 간극비, 간극률, 포화도를 구하라.





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

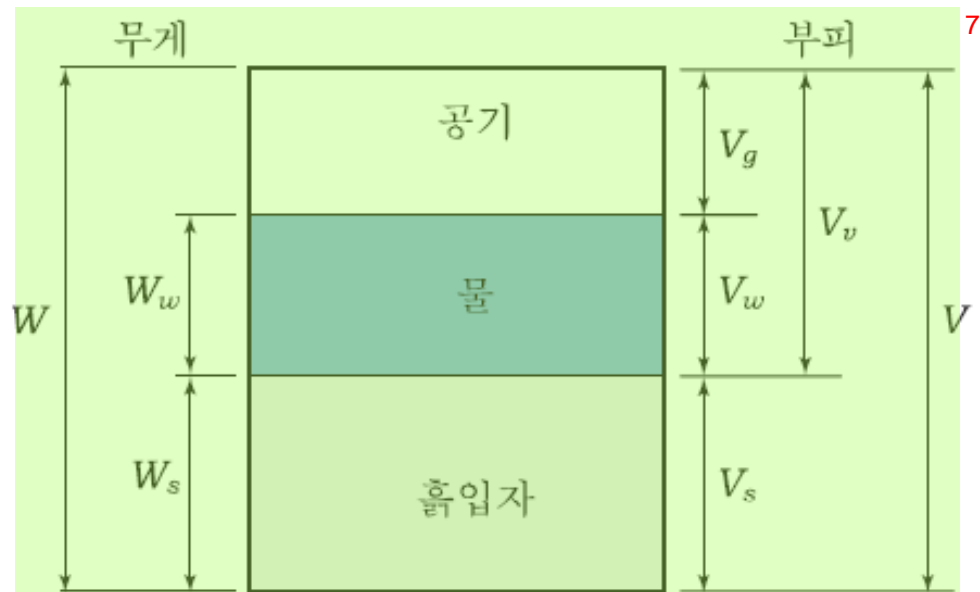
- 구성요소의 무게<sup>2</sup>

$$W = W_s + W_w$$
<sup>3</sup>

여기서,  $W$  = 흙전체의 무게 = 젖은 흙의 무게<sup>4</sup>

$W_s$  = 흙입자의 무게 = 마른 흙의 무게<sup>5</sup>

$W_w$  = 물의 무게<sup>6</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 함수비(water content, moisture content)<sup>2</sup>

$$w = \frac{\text{물의 무게 } W_w}{\text{흙입자의 무게 } W_s}$$
<sup>3</sup>

- 함수율  $w'$ <sup>4</sup>
  - 흙전체 무게  $W$  에 대한 물 무게  $W_w$ 의 비
  - 토질역학에서는 함수율을 거의 사용하지 않음

$$w' = \frac{\text{물의 무게 } W_w}{\text{흙전체의 무게 } W}$$
<sup>5</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 전체단위중량(total unit weight,  $\gamma_t$ )/습윤단위중량(moist unit weight,  $\gamma_{wet}$ )<sup>2</sup>

$$\gamma = \frac{\text{흙전체의 무게 } W}{\text{흙전체의 부피 } V}$$
<sup>3</sup>

- 건조단위중량(dry unit weight,  $\gamma_d$ )<sup>4</sup>

$$\gamma_d = \frac{\text{흙입자의 무게 } W_s}{\text{흙전체의 부피 } V}$$
<sup>5</sup>

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[1 + \frac{W_w}{W_s}\right]}{V} = \frac{W_s (1 + w)}{V} = \gamma_d (1 + w)$$
<sup>6</sup>

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$
<sup>7</sup>







### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.4<sup>2</sup>

예제 2.3에서 흙입자의 무게가 25g일 때, 이 흙의 함수비, 전체단위중량, 건조단위중량을 구하라.<sup>3</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.5<sup>2</sup>

자연상태에서 흙전체의 부피가  $9\text{cm}^3$ 이며 무게는  $18\text{g}$ 이고 이것을 건조시킨 무게는  $15\text{g}$ 이다. 흙 입자의 비중  $G_s$ 가  $2.7$ 일 때 이 흙의 함수비, 전체단위중량, 건조단위중량, 간극비, 간극률 그리고 포화도를 구하라.<sup>3</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

#### • 포화도, 간극비, 함수비, 비중 사이의 관계<sup>2</sup>

간극의 부피  $V_v = V_s e = e$

물의 부피  $V_w = V_v s = e S$

흙전체의 부피  $V = V_s + V_v = 1 + e$

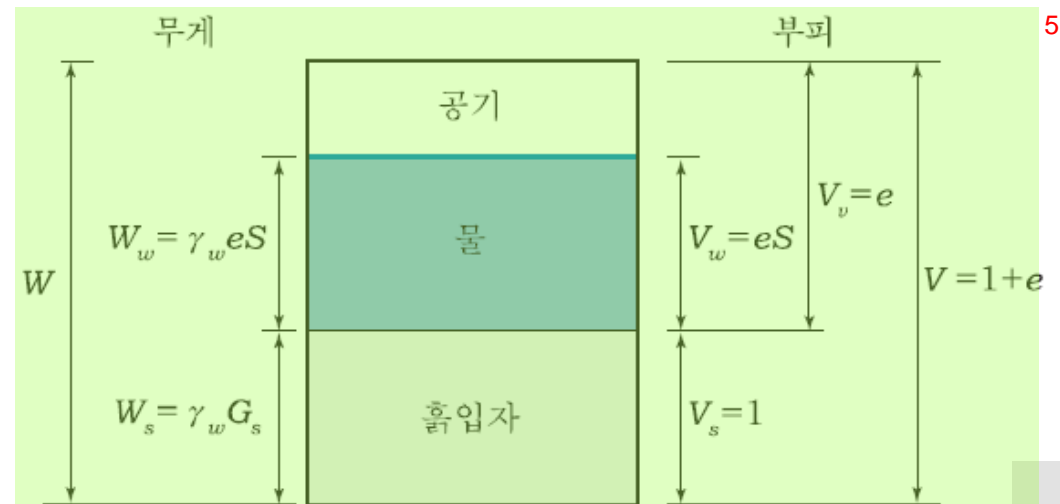
흙입자의 무게  $W_s = \gamma_s V_s = \gamma_w G_s V_s = \gamma_w G_s$

물의 무게  $W_w = \gamma_w V_w = \gamma_w V_v S = \gamma_w V_s e S = \gamma_w e S$

여기서,  $\gamma_s$  = 흙입자의 단위중량<sup>4</sup>

$\gamma_w$  = 물의 단위중량

$G_s$  = 흙입자의 비중





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 포화도, 간극비, 함수비, 비중 사이의 관계<sup>2</sup>

$$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{\gamma_w e S}{\gamma_w G_s} = \frac{e S}{G_s} \quad S e = G_s w$$

- 흙의 전체단위중량<sup>5</sup>

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{\gamma_w G_s + \gamma_w S e}{1 + e} = \frac{G_s + S e}{1 + e} \gamma_w$$

- 건조단위중량<sup>7</sup>

$$\gamma_d = \frac{G_s}{1 + e} \gamma_w$$





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 포화단위중량(saturated unit weight of soil,  $\gamma_{sat}$ )<sup>2</sup>

$$\gamma_{sat} = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w$$
<sup>3</sup>

- 수중단위중량(submerged unit weight,  $\gamma_{sub}$ )<sup>4</sup>

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{G_s + e}{1 + e} \gamma_w - \gamma_w = \frac{G_s - 1}{1 + e} \gamma_w$$
<sup>5</sup>

- 포화단위중량 > 전체단위중량 > 건조단위중량 > 수중단위중량의 관계<sup>6</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.6<sup>2</sup>

간극비  $e = 0.7$ , 함수비  $w = 25\%$ , 흙입자의 비중  $G_s = 2.65$ 인 흙의 간극률  $n$ , 포화도  $S$ , 전체 단위중량  $\gamma$ , 건조단위중량  $\gamma_d$ , 포화단위중량  $\gamma_{sat}$ , 수중단위중량  $\gamma'$ 을 구하라.<sup>3</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.7<sup>2</sup>

포화된 흙의 함수비가 20%이고, 이 흙을 건조시켰을 때의 건조단위중량이  $1.65\text{t/m}^3$ 이다. 다음을 구하라.<sup>3</sup>

(1) 흙입자의 비중  $G_s$       (2) 간극비  $e$       (3) 포화단위중량  $\gamma_{sat}$ <sup>4</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 상대밀도(relative density,  $D_r$ )<sup>2</sup>

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100(\%)$$
<sup>3</sup>

여기서,  $e$  = 현재 간극비 = 어느 흙의 자연상태에서의 간극비<sup>4</sup>

$e_{max}$  = 최대간극비 = 어느 흙의 가장 느슨한 상태에서의 간극비<sup>5</sup>

$e_{min}$  = 최소간극비 = 어느 흙의 가장 조밀한 상태에서의 간극비

$$D_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{dmin}}{\gamma_{dmax} - \gamma_{dmin}} \frac{\gamma_{dmax}}{\gamma_d} \times 100(\%)$$
<sup>6</sup>

여기서,  $\gamma_d$  = 어느 흙의 자연상태( $e$ )에서의 건조단위중량<sup>7</sup>

$\gamma_{dmin}$  = 어느 흙의 가장 느슨한 상태( $e_{max}$ )에서의 최소건조단위중량<sup>8</sup>

$\gamma_{dmax}$  = 어느 흙의 가장 조밀한 상태( $e_{min}$ )에서의 최대건조단위중량<sup>9</sup>







### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 상대밀도(relative density,  $D_r$ )<sup>2</sup>

- 조립토를 가장 느슨한 상태<sup>3</sup>

- 모래의 가장 느슨한 상태를 만드는 방법은 낙하높이 약 25.4 mm(1 in)를 유지하면서 모래를 살며시 자유낙하시켜 부피 2,830 cm<sup>3</sup>(0.1 ft<sup>3</sup>)의 몰드를 가득 채우<sup>4</sup>

$$\gamma_{dmin} = \frac{W_s}{V_m}$$

여기서,  $W_s$  = 몰드를 채우는 데 필요한 모래의 무게<sup>5</sup>  
 $V_m$  = 몰드의 부피<sup>6</sup>

- 가장 조밀한 상태<sup>7</sup>

- 몰드를 채운 모래의 윗면에 0.14 kg/cm<sup>2</sup>(2lb/in<sup>2</sup>)의 상재하중을 가하고, 주파수 3,600 cycles/min, 진폭 0.635mm(0.025 in)인 진동대 위에 몰드를 놓고서 8분간 진동<sup>8</sup>

| 상대밀도(%) | 흙의 상태                    |
|---------|--------------------------|
| 0~20    | 매우 느슨(very loose)        |
| 20~40   | 느슨(loose)                |
| 40~60   | 중간(medium)               |
| 60~80   | 조밀(촉촉, dense)            |
| 80~100  | 매우 조밀(매우 촉촉, very dense) |





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.8<sup>2</sup>

어느 모래의 현재 상태의 간극비가 0.6이다. 이 모래를 가장 조밀한 상태로 만들면 간극비가 0.3이고, 가장 느슨한 상태로 만들면 간극비가 0.8이다. 이 모래의 현재 상태에서의 상대밀도를 구하라.<sup>3</sup>





### 3. 흙의 각 성분 사이의 관계<sup>1</sup>

- 예제 2.9<sup>2</sup>

현장 흙의 단위중량을 구하기 위하여 부피  $500\text{cm}^3$ 의 구멍에서 파낸 젖은 흙의 무게가  $900\text{g}$ 이고, 건조시킨 후의 무게가  $800\text{g}$ 이다. 건조한 흙  $400\text{g}$ 을 몰드에 가장 느슨한 상태로 채운 부피가  $280\text{cm}^3$ 이고, 진동을 가하여 조밀하게 다진 후의 부피는  $210\text{cm}^3$ 이다. 흙입자의 비중  $G_s = 2.7$ 이다. 이 흙의 상대밀도를 구하라.

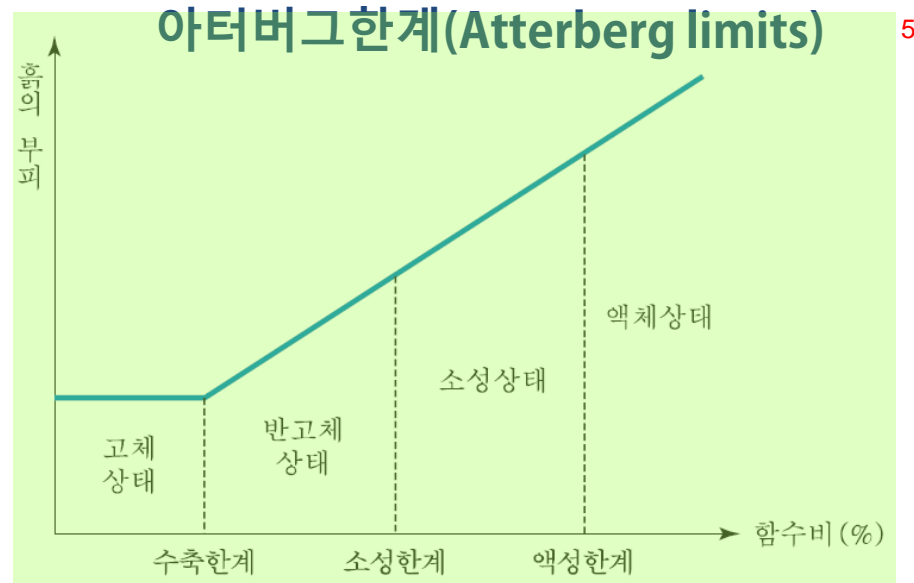




## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

### • 흙의 연경도(consistency)<sup>2</sup>

- 점토는 함수비가 매우 작은 상태에서는 마치 고체덩어리처럼 거동하며, 함수비가 증가하면 소성이 커지고, 함수비가 더욱 증가하면 흙탕물과 같은 액체상태<sup>3</sup>
- 소성이란 흙이 하중을 받아 변형이 생긴 후, 하중을 제거하여도 원래의 상태로 회복되지 않는 성질<sup>4</sup>





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

### • 액성한계 시험<sup>2</sup>

- 1. 40번체(체눈 크기 0.42mm)를 통과한 흙에 물을 가하여 반죽하고, 황동제 접시에 흙시료를 수평하게 채운다(그림 2-9(b)).<sup>3</sup>
- 2. 표준 흙파기날을 이용하여 흙시료 중앙에 흙을 판다(그림 2-9(c), (d)),<sup>4</sup>
- 3. 손잡이를 회전시켜 황동제 접시를 10mm 높이에서 고무판에 떨어지도록 한다. 이렇게 여러 번 낙하시킨 후 흙 중앙의 밑부분이 13mm(0.5in) 정도 맞닿을 때의 낙하횟수  $N$ 과 맞닿은 부분의 흙시료의 함수비  $w$ 를 측정한다(그림 2-9(d)).<sup>5</sup>
- 4. 같은 흙에 대하여 함수비를 변화시켜 가면서 최소한 네 번의 실험을 실시한다. 이때 낙하횟수  $N$ 이 15~35회 범위 안에 오도록 한다.<sup>6</sup>
- 5. 흙의 함수비  $w$ 와 그에 해당하는 낙하횟수  $N$ 를 반대수용지(semi-log graph) 위에 점으로 표시한다(그림 2-10). 이 점들을 연결하면  $w$ 와  $\log N$ 사이의 관계는 거의 직선으로 그려지며, 이 직선을 유동곡선(flow curve)이라고 한다.<sup>7</sup>
- 6. 유동곡선에서 낙하횟수  $N=25$ 에 해당하는 함수비가 그 흙의 액성한계  $LL$ 이다.<sup>8</sup>





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

### • 액성한계 시험<sup>2</sup>

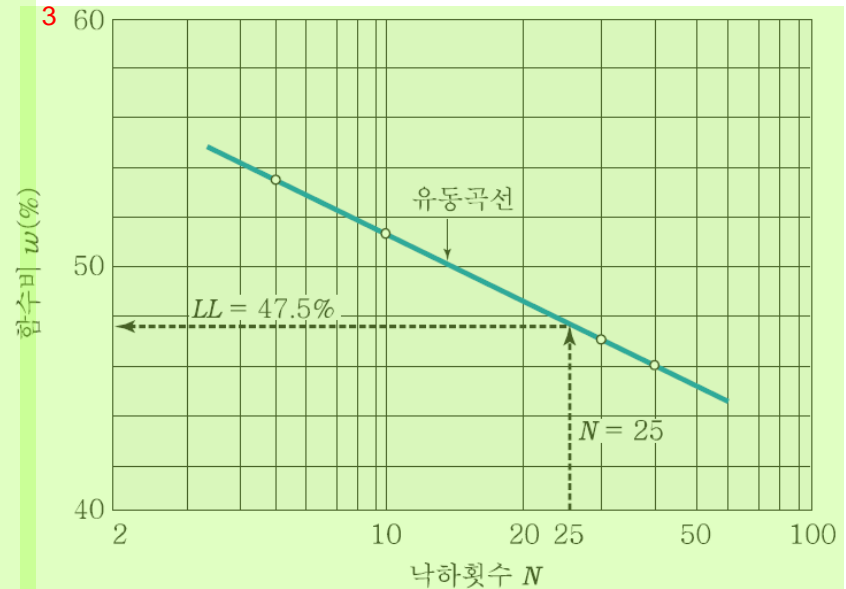
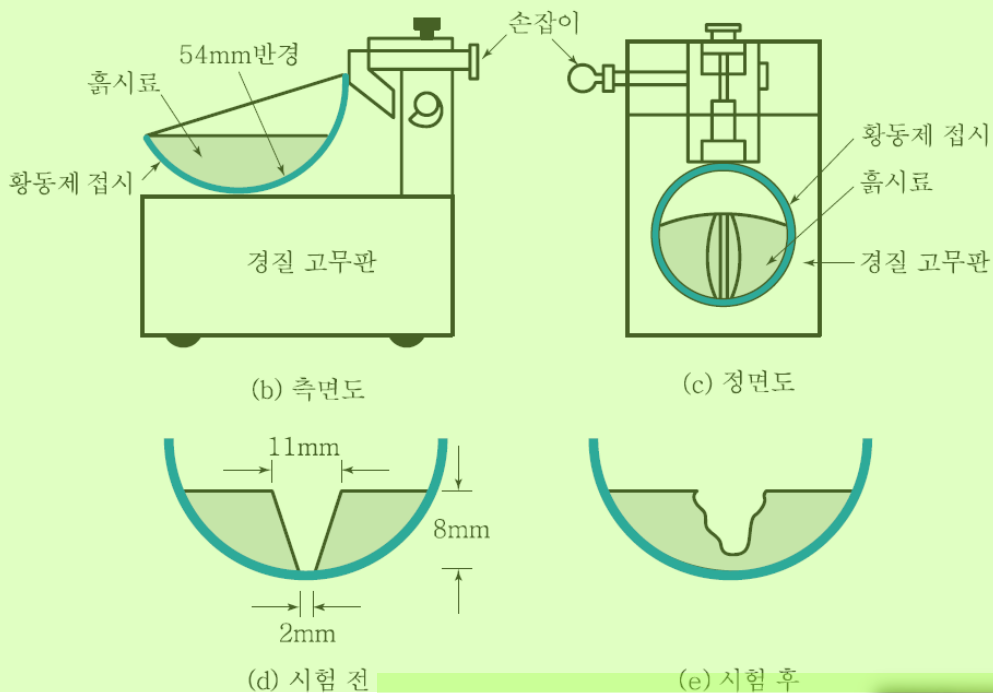
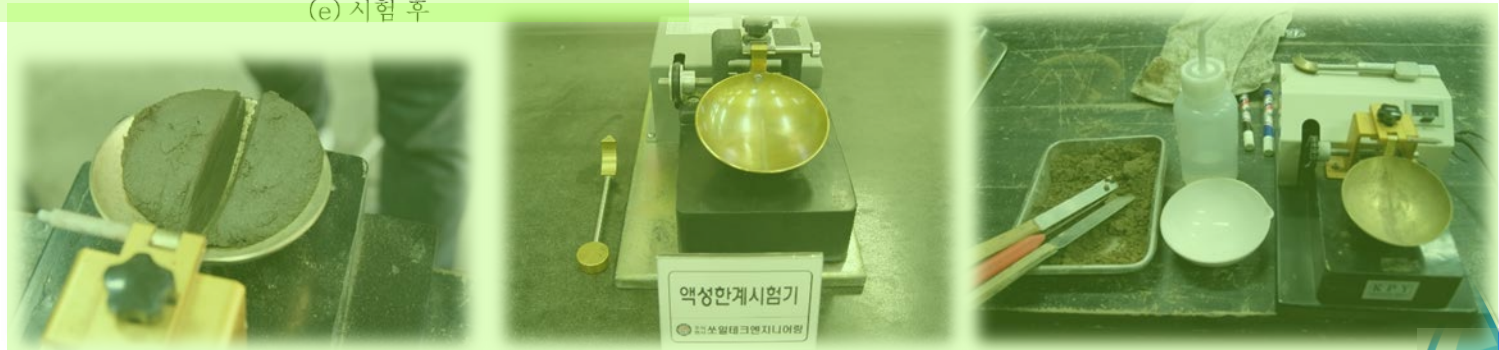


그림 2-10 유동곡선<sup>5</sup>





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

### • 액성한계 시험<sup>2</sup>

- 액성한계 시험에서 여러 번의 낙하시험을 하는 대신에 간편하게 낙하시험을 한 번만 실시하여 액성한계를 구하는 방법을 일점법(one point method)이라고 하며, 다음과 같은 식을 이용. 이때 낙하횟수  $N$ 이 20~30 범위에 있어야 함.<sup>3</sup>

$$LL = w_N \left( \frac{N}{25} \right)^{\tan \beta} \doteq w_N \left( \frac{N}{25} \right)^{0.12} \quad 4$$

여기서,  $N$  = 흙시료의 흙 중량의 밑부분이 13mm 맞닿을 때의 낙하횟수<sup>5</sup>

$w_N$  = 낙하횟수  $N$ 에 해당하는 함수비

$$\tan \beta = 0.12$$

- 액성한계가 큰 흙은 물을 많이 흡수할 수 있으므로 압축성이 큼<sup>6</sup>
- 점토함유량이 많을수록, 유기물함유량이 증가할수록 액성한계 큼





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

### • 소성한계 시험<sup>2</sup>

- 유리판에 잘 반죽된 흙을 놓고 손바닥으로 굴려 함수비를 감소시키면서 흙실(국수가락 모양)을 만든다. 이 흙 실의 지름이 3mm가 되어 토막토막 부서지기 시작할 때의 함수비를 측정하여 소성한계를 결정<sup>3</sup>

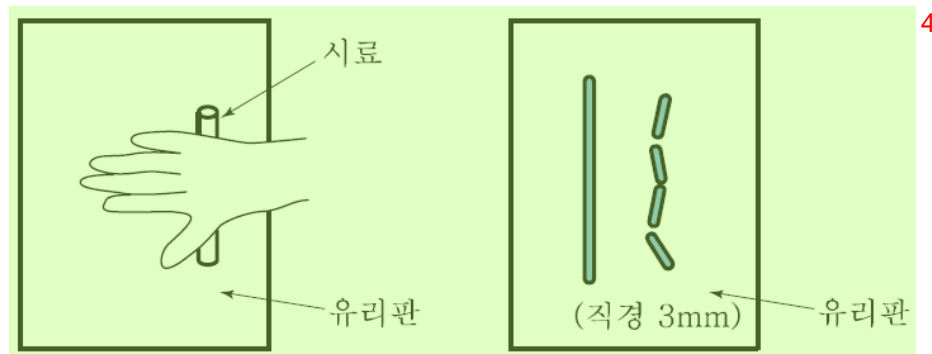


그림 2-12 소성한계 시험<sup>5</sup>

- 유기물함유량의 증가에 따라 커지며, 점토광물의 차이에 따른 소성한계의 변화폭은 액성한계의 변화폭에 비해 매우 작음<sup>6</sup>







## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

- 비소성(non plastic, NP)<sup>2</sup>

- 점토함유량이 적은 흙에서는 앞의 방법에 의해 액성한계나 소성한계를 구할 수 없는 경우<sup>3</sup>
- 또한 소성한계가 액성한계보다 큰 경우
- 여러 흙 및 점토광물의 액성한계와 소성한계<sup>4</sup>

| 종 류      | 액성한계(%) | 소성한계(%) |
|----------|---------|---------|
| 모 래      | 30~50   | 20~40   |
| 모래질 실트   | 40~70   | 30~50   |
| 점토질 실트   | 40~120  | 30~70   |
| 카오리나이트   | 30~110  | 25~40   |
| 일라이트     | 60~120  | 35~60   |
| 몬트모릴로나이트 | 100~900 | 50~100  |





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

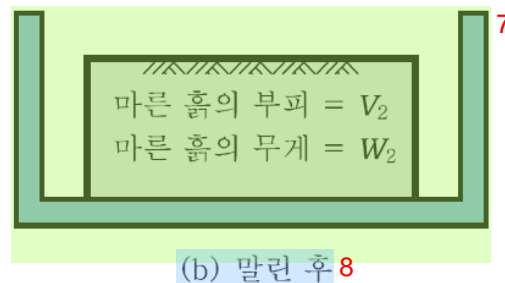
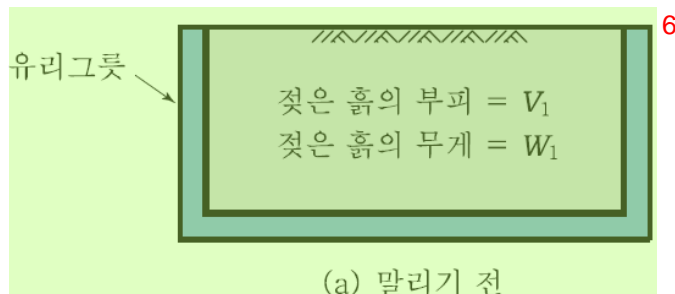
### ● 수축한계 시험<sup>2</sup>

– 수분이 어느 정도 적어지면 수분이 더 감소하더라도 부피가 더 이상 줄어들지 않는 평형상태에 도달할 때의 함수비를 수축한계<sup>3</sup>

#### – 시험 방법<sup>4</sup>

1. 직경 44.4mm, 높이 12.7mm인 유리그릇 속에 물로 포화된 흙을 가득 채우고, 젖은 흙의 무게  $W_1$ 와 부피  $V_1$ 를 측정하여 함수비  $w$ 를 구한다.
2. 젖은 흙을 노건조시킨 후 마른 흙의 무게  $W_2$ 를 측정한다.
3. 유리그릇에 수은을 채워서 마른 흙의 부피  $V_2$ 를 측정한다.
4. 다음 식으로 수축한계  $SL$ 를 구한다.

$$SL = w - \frac{V_1 - V_2}{W_2} \times 100$$
<sup>5</sup>



여기서,  $w$  = 젖은 흙의 함수비(%)<sup>9</sup>

$V_1$  = 젖은 흙의 부피

$V_2$  = 마른 흙의 부피

$W_2$  = 마른 흙의 무게





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

- 예제 2.10<sup>2</sup>

점토에 대하여 수축한계 시험을 한 결과가 다음과 같을 때, 이 점토의 수축한계를 구하라.<sup>3</sup>

젖은 흙의 무게  $W_1 = 33.8\text{g}$       젖은 흙의 부피  $V_1 = 23.1\text{cm}^3$

마른 흙의 무게  $W_2 = 17.3\text{g}$       마른 흙의 부피  $V_2 = 13.5\text{cm}^3$





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

- 소성지수(plasticity index, PI)<sup>2</sup>
  - 액성한계와 소성한계의 차이
  - 흙의 소성지수가 클수록 소성이 크다 하며 압축성이 커짐

$$PI = LL - PL$$

- 수축지수(shrinkage index, SI)<sup>3</sup>
  - 소성한계와 수축한계의 차이

$$SI = PL - SL$$

- 액성지수(liquidity index, LI)<sup>5</sup>

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL} = \frac{w - PL}{PI}$$

여기서,  $w$  = 자연상태 흙의 함수비





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

- 연경지수(consistency index, CI)<sup>2</sup>

$$CI = \frac{LL - w}{LL - PL} = \frac{LL - w}{PI}$$

- 유동지수(flow index, FI)<sup>4</sup>

$$FI = \frac{w_1 - w_2}{\log N_2 - \log N_1} = \frac{w_1 - w_2}{\log \frac{N_2}{N_1}}$$

여기서,  $w_1$  = 낙하횟수  $N_1$ 에 해당하는 흙의 함수비(%)

$w_2$  = 낙하횟수  $N_2$ 에 해당하는 흙의 함수비(%)

- 강도지수(toughness index, TI)<sup>6</sup>

– 소성지수를 유동지수로 나눈 값

$$TI = \frac{PI}{FI} = \frac{LL - PL}{FI}$$





## 4. 아터버그한계<sup>1</sup>

- 예제 2.11<sup>2</sup>

어느 흙의 액성한계  $LL$ 이 80%, 소성한계  $PL$ 이 30%, 수축한계  $SL$ 이 10%일 때, 이 흙의 소성<sup>3</sup> 지수  $PI$ , 수축지수  $SI$ 를 구하라.





## 5. 흙의 기타 특성<sup>1</sup>

- 비표면적(specific surface)<sup>2</sup>

– 어떤 물체의 표면적을 질량으로 나눈 값<sup>3</sup>

| 점토광물            | 두께<br>( $\times 10^{-6}$ mm) | 직경<br>( $\times 10^{-6}$ mm) | 비표면적<br>( $\text{m}^2/\text{g}$ ) |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| montmorillonite | 3                            | 100~1000                     | 800                               |
| illite          | 30                           | 10,000                       | 80                                |
| chlorite        | 30                           | 10,000                       | 80                                |
| kaolinite       | 50~2,000                     | 300~4,000                    | 15                                |





## 5. 흙의 기타 특성<sup>1</sup>

### ● 활성도(activity)<sup>2</sup>

- 일반적으로 다른 물질을 흡착하거나 물리적, 화학적으로 결합하려는 성질의 크기<sup>3</sup>
- 활성도가 크면 수분의 함량변화에 따른 체적의 수축팽창이 크게 발생<sup>4</sup>
- 흙입자의 크기가 작을수록 비표면적이 커져 물을 많이 끌어 들이므로, 흙의 활성은 점토에서 뚜렷

$$\text{점토의 활성도}(A) = \frac{\text{소성지수}}{2\mu\text{m보다 가는 입자의 중량 백분율}} \quad 5$$

표 2.7 점토광물의 활성도<sup>6</sup>

| 점토광물                          | 활성도(A) |
|-------------------------------|--------|
| kaolinite                     | 0.5    |
| halloysite(2H <sub>2</sub> O) | 0.5    |
| halloysite(4H <sub>2</sub> O) | 0.1    |
| illite                        | 0.5~1  |
| Ca-montmorillonite            | 1.5    |
| Na-montmorillonite            | 4~7    |







## 5. 흙의 기타 특성<sup>1</sup>

- 비화작용(slaking)<sup>2</sup>

- 건조한 고체상태의 점토에 갑자기 물을 가하면, 점토입자 사이의 결합력이 약해져서 점토가 붕괴되는 현상<sup>3</sup>
- 소성상태의 점토에서는 비화현상이 일어나지 않음
- 사질토층에서 다짐공사를 할 때 건조된 점토를 가해서 혼합한 후에 물을 가하면서 다짐을 하면 점토가 비화하여 흙입자를 서로 결합시켜 다짐이 단단하게 잘 됨

- 팽창작용(bulking)<sup>4</sup>

- 흙의 부피가 팽창하는 현상<sup>5</sup>
- 흙입자의 간극에 물이 들어가 표면장력이 발생해서 흙입자 사이가 벌어져서 일시적으로 부피가 증가





## 5. 흙의 기타 특성<sup>1</sup>

- 함수당량<sup>2</sup>

- 흙속의 간극수는 흙입자가 작을수록 흡착수나 모관압력 때문에 자연증발이나 강제 탈수가 어려워짐<sup>3</sup>
- 원심함수당량(centrifuge moisture equivalent, CME)은 물로 포화된 흙에 중력의 1,000배와 같은 원심력을 1시간 동안 가한 후의 흙의 함수비<sup>4</sup>
- 현장함수당량(field moisture equivalent, FME)은 젖은 흙의 매끄러운 표면에 한 방울의 물을 떨어뜨렸을 때 30초 동안 흡수되지 않고 퍼져나가는 경우, 이 흙의 함수비<sup>5</sup>

