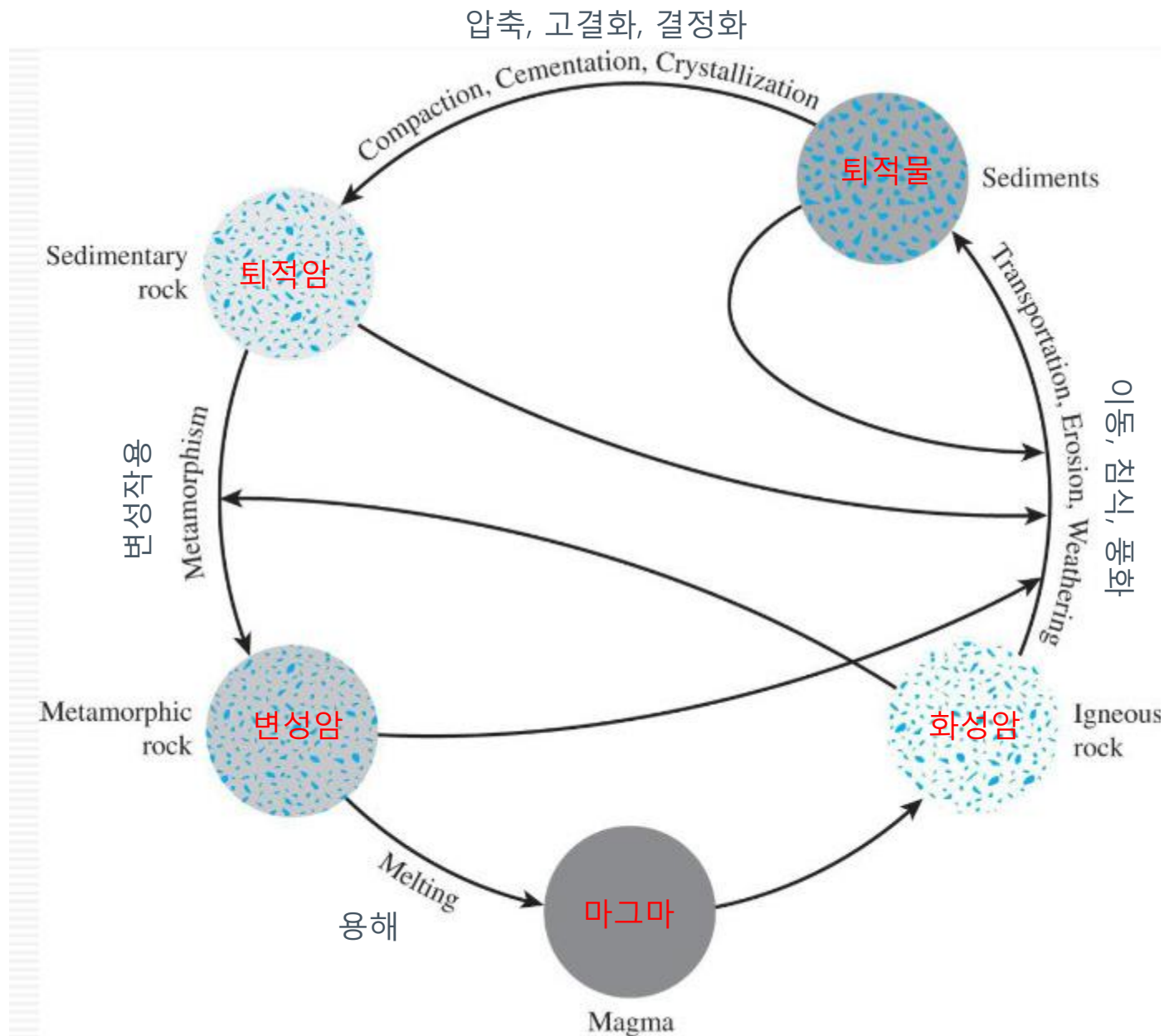


## 2. 흙의 기본적 성질

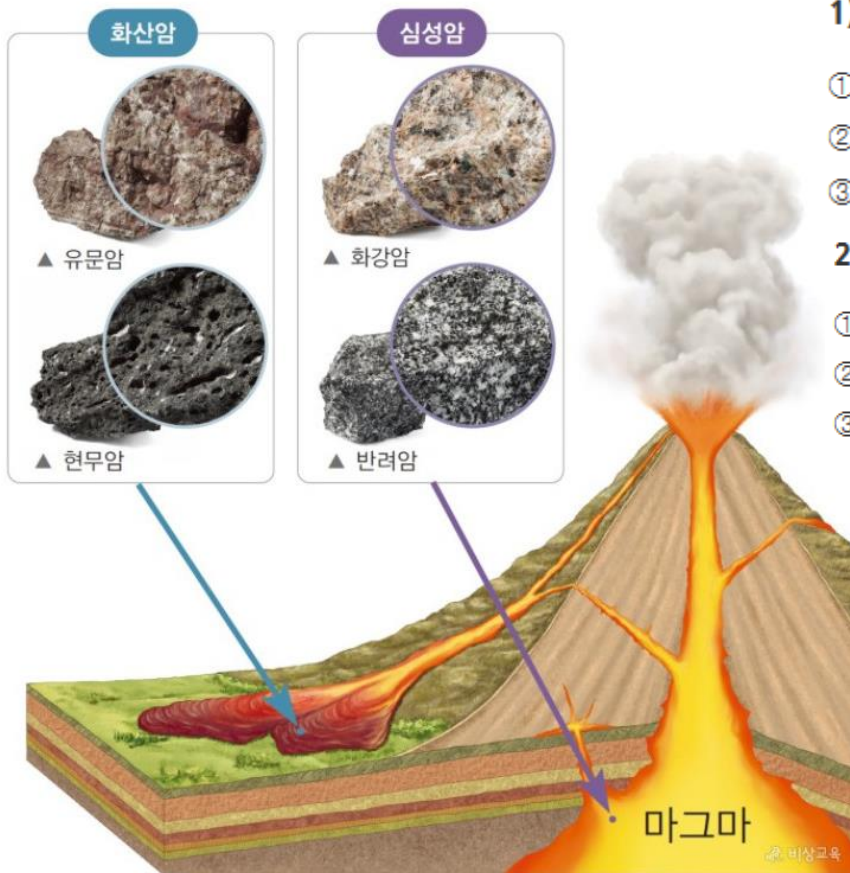
## 2.1 흙의 생성

$\pi$



## 화성암

- › 지하 깊은 곳에서 암석이 높은 열과 압력을 받아 녹이 있는 것을 마그마.
- › 마그마가 지표로 흘러나와 식거나 지하 깊은 곳에서 식으면 단단한 암석이 되는데, 이처럼 마그마가 식어서 만들어진 암석을 화성암이라 함.



### 1) 화산암

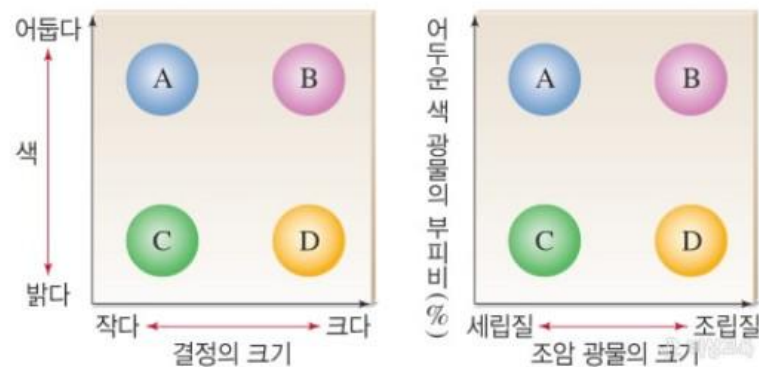
- ① 마그마가 지표 부근에서 빨리 식어 굳어진 화성암
- ② 결정이 자라는 시간이 짧아 암석을 이루는 결정의 크기가 작다.
- ③ 현무암, 안산암, 유문암

### 2) 심성암

- ① 마그마가 지하 깊은 곳에서 천천히 식어 굳어진 화성암
- ② 결정이 자라는 시간이 충분하여 암석을 이루는 결정의 크기가 크다.
- ③ 반력암, 섬록암, 화강암

## 화성암의 분류

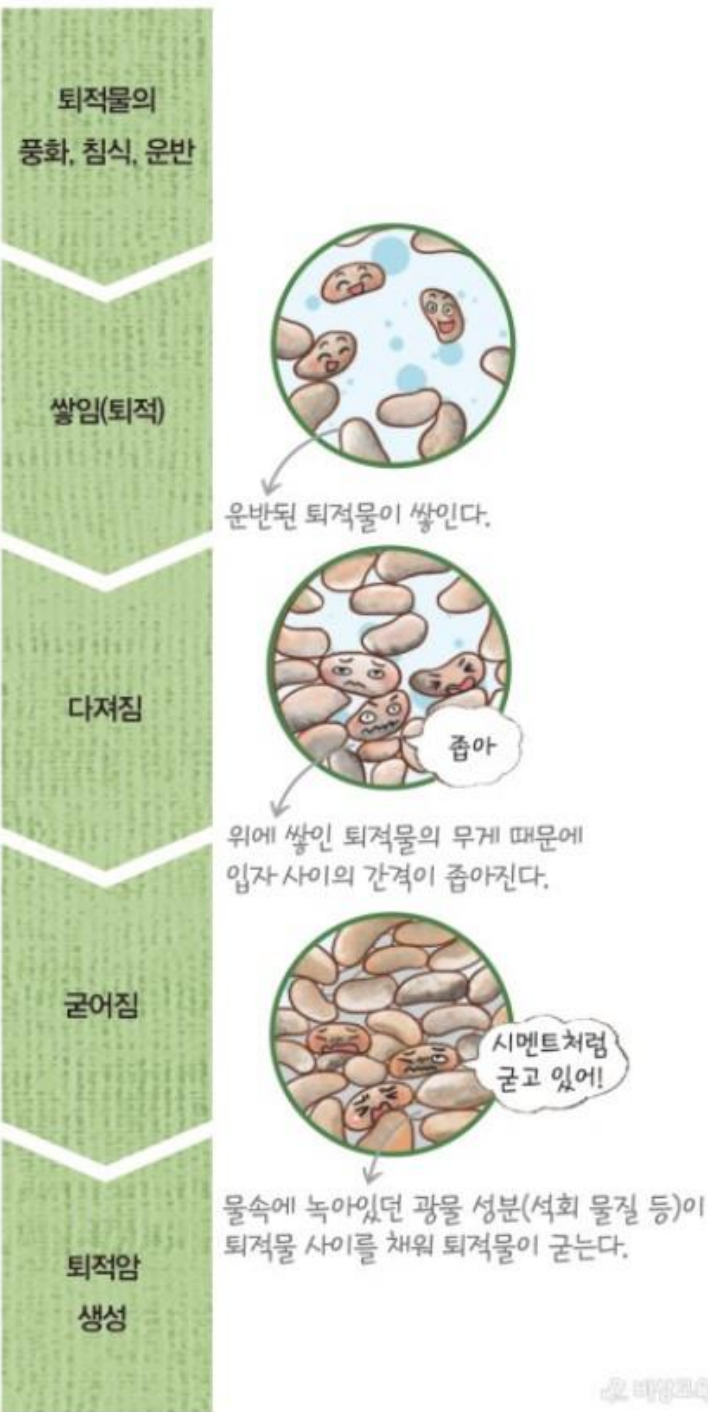
- 화성암은 암석의 색과 광물 결정의 크기에 따라 분류할 수 있음.
- 암석의 색이 어두운 광물(휘석, 각섬석, 각람석)을 많이 포함할수록 어둡고, 밝은 색 광물(장석, 석영)을 많이 포함할수록 밝다. 광물 결정이 작으면 화산암, 결정이 크면 심성암으로 분류.



- A: 결정의 크기가 작고, 어두운 색을 띤다. → 현무암
- B: 결정의 크기가 크고, 어두운 색을 띤다. → 반력암
- C: 결정의 크기가 작고, 밝은 색을 띤다. → 유문암
- D: 결정의 크기가 크고, 밝은 색을 띤다. → 화강암

## 퇴적암

› 지표에 있는 암석은 오랜 시간이 지나면서 잘게 부서짐. 부서진 암석은 강물이나 바람에 실려 운반되었다가 바다나 호수 바닥에 쌓여 퇴적물이 됨. 퇴적물은 부서진 암석, 생물의 유해, 물에 녹아 있는 석회 물질 등 다양함. 이러한 퇴적물이 오랜 시간 동안 다져지고 굳어져 만들어진 암석을 퇴적암이라 함.





## 퇴적물의 특징

- › 층리: 종류와 색이 다른 퇴적물이 쌓이면서 평행하게 생긴 줄무늬를 층리라고 한다.



- › 화석: 과거에 살았던 생물의 유해나 흔적이 퇴적물과 함께 쌓여 암석 속에 남아 있는 것을 화석



## 퇴적암의 분류

› 퇴적암은 퇴적물의 크기에 따라 분류한다.

퇴적물	자갈, 모래, 진흙	모래	진흙	화산재	석회 물질
퇴적암	 역암	 사암	 세일	 응회암	 석회암

› 퇴적암을 이루는 입자의 크기: 역암>사암>세일

› 퇴적물이 쌓이는 위치

퇴적물의 입자의 크기가 작을수록 해안에서 멀리 운반되어 퇴적된다.

->해안으로부터 거리(생성된 수심): 역암>사암>세일

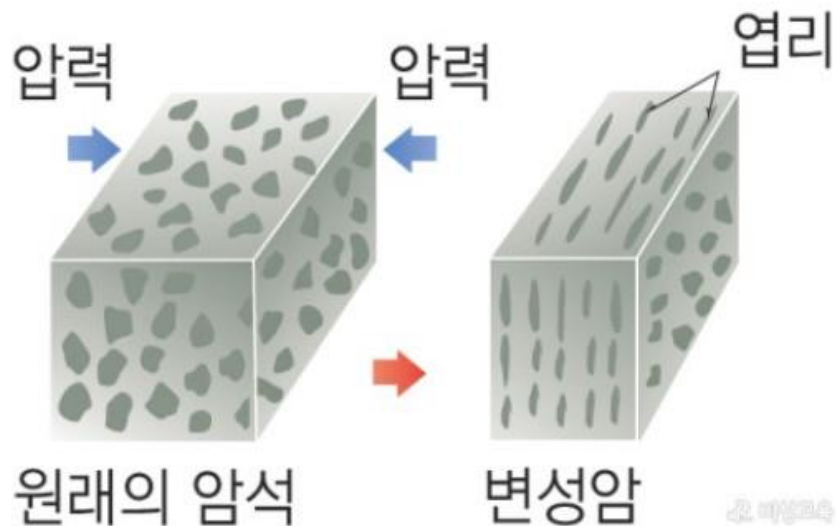


## 변성암

- 암석이 높은 열과 압력을 받아 성질이 변하는 변성 작용으로 만들어진 암석. 변성 작용은 주로 마그마가 암석을 뚫고 지나갈 때, 지표의 암석이 지하 깊은 곳으로 들어갈 때 일어난다.

## 변성암의 특징

- 큰 결정: 변성암은 원래의 암석보다 암석을 이루는 광물 결정이 크다(규암, 대리암).
- 엽리: 암석이 압력을 크게 받을 때 압력의 수직 방향으로 광물이 배열되어 생기는 줄무늬의 엽리가 생긴다 (편암, 편마암).





## 변성암의 분류

› 분류기준: 원래의 암석의 종류와 변성 정도에 따라 분류함.



› 변성암의 종류

- ① 편암: 셰일이 열과 압력을 받아 만들어진 변성암으로, 엽리가 나타남.
- ② 편마암: 화강암이나 편암이 높은 열과 압력을 받아 만들어진 변성암으로, 결정의 크기가 크며 뚜렷한 줄무늬인 엽리가 나타남.
- ③ 규암: 사암이 열과 압력을 받아 만들어진 변성암으로, 사암에 비해 결정의 크기가 크고 치밀함.
- ④ 대리암: 석회암이 열과 압력을 받아 만들어진 변성암으로, 석회암에 비해 결정의 크기가 크고 단단함.

## 2.1 흙의 생성

### 2.1.1 풍화작용

› 흙은 암반이 풍화되어 생성.

› 풍화작용:

① 물리적 풍화작용(mechanical weathering)

온도변화의 의하여 암반이 반복적으로 팽창 · 수축을 반복하여 쪼개져서 흙으로 변하는 과정

② 화학적 풍화작용(chemical weathering)

화학반응에 의하여 암반의 광물이 완전히 다른 광물로 바뀌면서 흙으로 풍화되는 것.

## 2.1.2 잔적토

- › 암반이 풍화되어 그 자리에서 흙이 된 것 을 잔적토(residual soil).
- › 잔적토는 비록 풍화되어 흙이 되었지만 모암의 성분을 그대로 갖고 있는 것이 일반적임.
- › 어느 경우에는 모암이 갖고 있던 전단대(shear zone)나 절리(joints) 부근에서만 풍화가 되고 나머지 부분은 암괴로 남아 있는 경우가 많음.
- › 우리나라는 전국적으로 화강암(granite)과 편마암(gneiss) 특히 화강편마암(granitic gneiss)이 편재해 있으며, 이 암이 풍화된 것이 화강풍화토임.
- › 이 흙은 모래(sand)와 점토(clay)의 중간자적 성격을 띠며, 그 거동이 아직도 완전히 규명되지 않은 상태임.

### 2.1.3 퇴적토

› 흙이 외부의 힘에 의하여 운반되어 다시 퇴적된 흙을 총칭하며 운반수단에 따라 다음과 같이 분류된다.

① 충적토(alluvial soils): 강물의 의하여 운반되어 하상에 퇴적된 흙

② 풍화토(Aeolian soils): 바람에 의하여 운반된 흙

③ 빙적토, 빙하토(glacial soils): 빙하로 인하여 운반된 흙

-빙쇄석(moraine): 빙하의 이동으로 직접 퇴적된 흙

-호상점토(varved clay): 빙하의 녹은 물에 의하여 멀리 운반되어 퇴적된 흙으로, 여름에는 비교적 큰 흙이 퇴적되고, 겨울에는 작은 것이 퇴적되어, 몇 년을 두고 계속적인 교번퇴적으로 인하여 호상으로 층을 이루고 퇴적된 흙.

④ 붕적토(colluvial soils): 흙 자체가 중력으로 움직여서 생성된 흙(예: 산사태로 흙이 떠내려간 경우)

## 2.2 흙의 삼상관계

$\pi$

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

$$W = W_s + W_w$$

$V_s$  = 흙 입자만의 부피

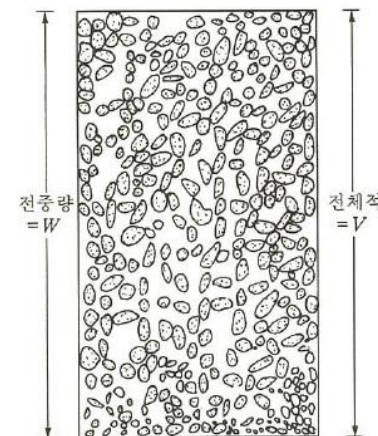
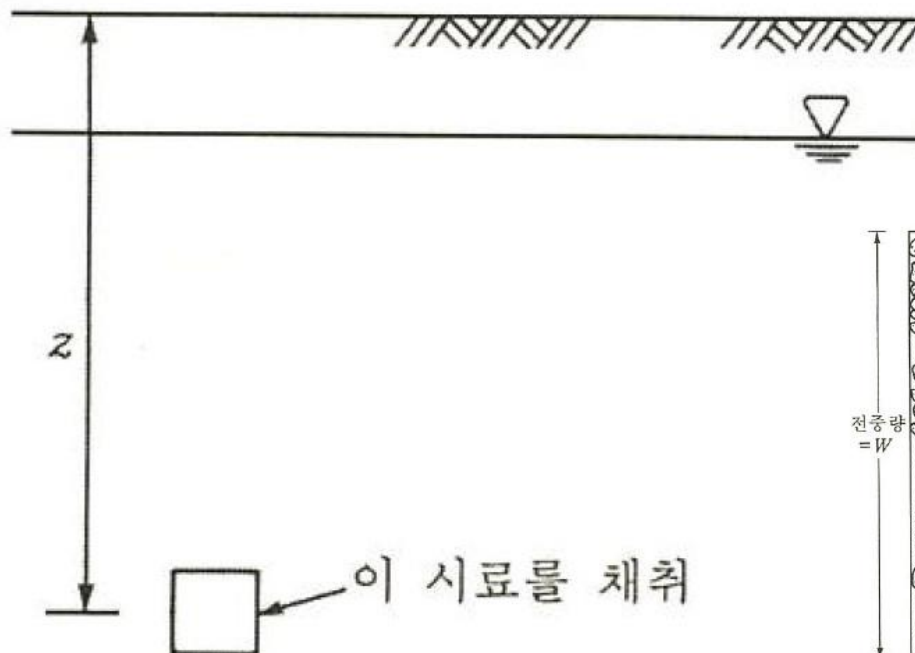
$W_s$  = 흙 입자만의 무게

$V_w$  = 물만의 부피

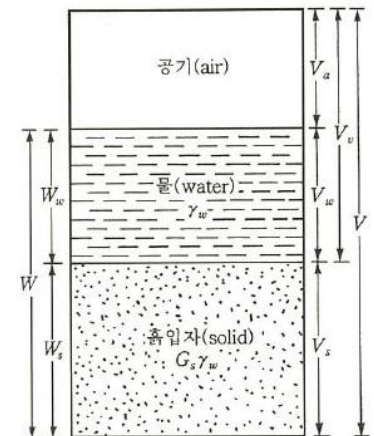
$W_w$  = 물만의 무게

$V_a$  = 공기만의 부피

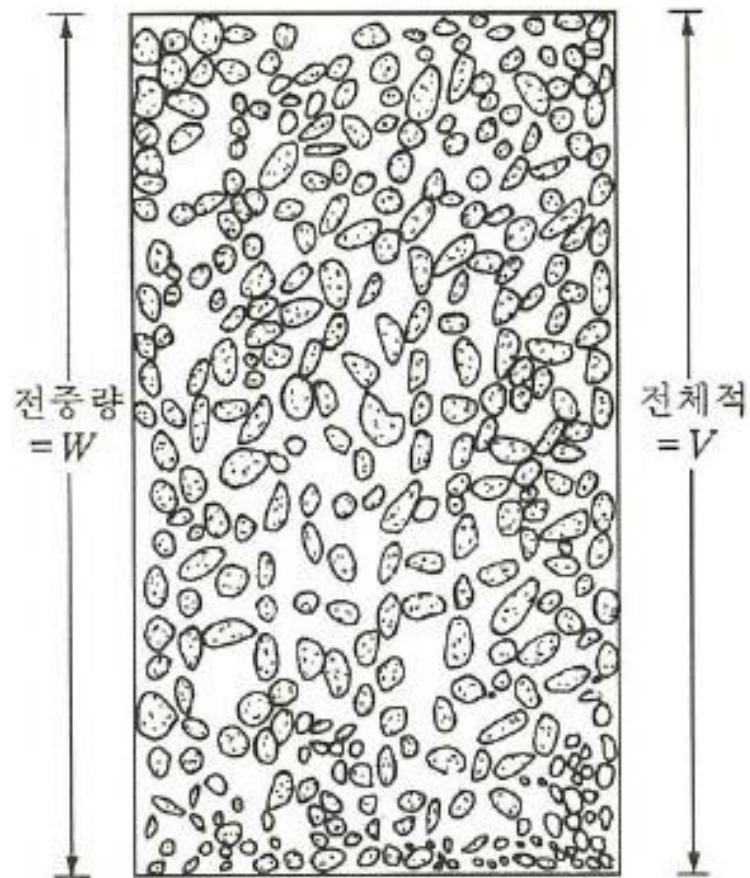
$V_v$  = 간극의 부피로서 흙 입자를 제외한 부분의 체적



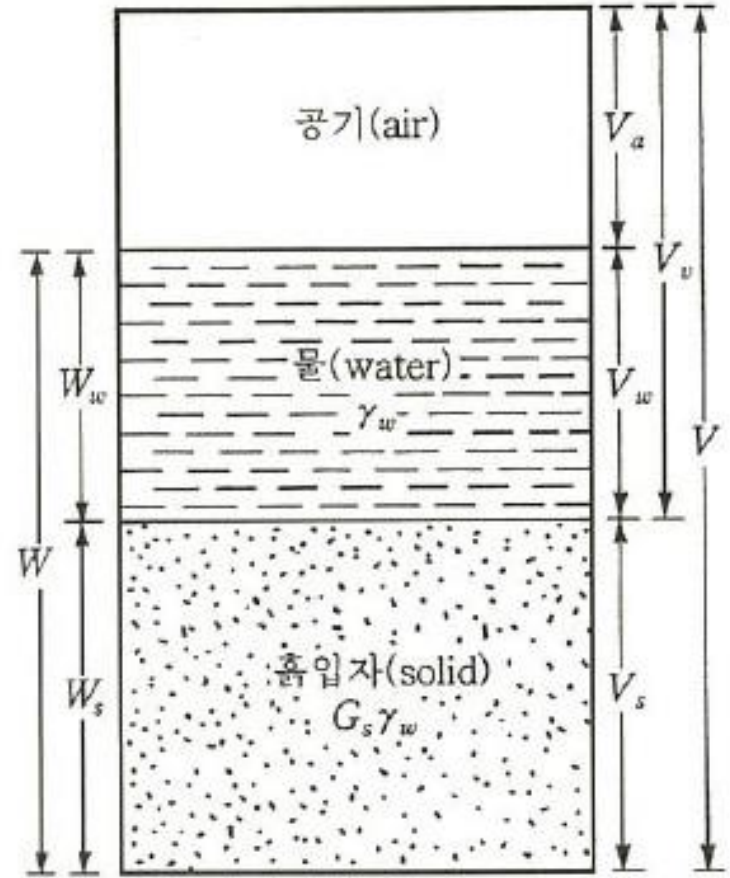
(a) 자연상태의 흙



(b) 이상화 시킨 흙



(a) 자연상태의 흙



(b) 이상화 시킨 흙



## 2.2.1 부피에 관계되는 관계식

› 간극비(void ratio):  $e$

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

› 간극률(porosity):  $n$

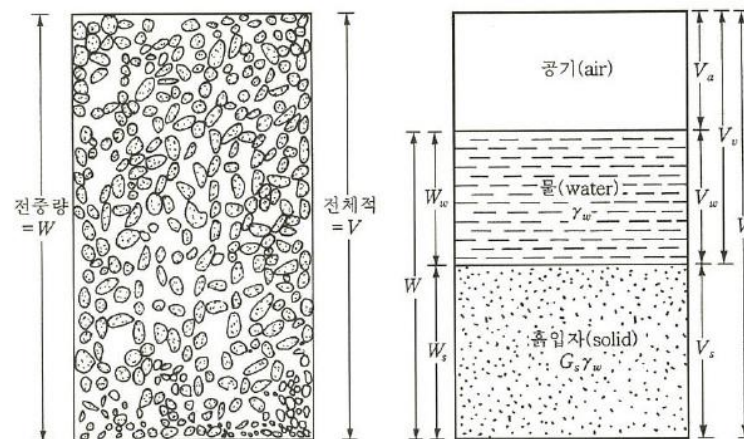
$$n = \frac{V_v}{V}$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)}{1 - \left(\frac{V_v}{V}\right)} = \frac{n}{1 - n}$$

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

› 포화도(degree of saturation):  $S$

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$



(a) 자연상태의 흙

(b) 이상화 시킨 흙

## 2.2.2 무게에 관계되는 관계식

› 함수비(water content):  $w$

$$w = \frac{W_w}{W_s} (\times 100\%)$$

단위중량은 흙(soil matrix: 흙 입자+물+공기)

비중: 흙 입자(soil solid)

› 단위중량(unit weight):  $\gamma$

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[ 1 + \left( \frac{W_w}{W_s} \right) \right]}{V} = \frac{W_s (1 + w)}{V}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}$$

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

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

비중은  $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$  (무차원의 값)

$$\gamma(\text{암반}) \approx 2.7 \text{ t/m}^3$$

$$G_s(\text{암반}) \approx 2.7$$

## 2.2.3 $V_s=1$

①  $V_s=1$

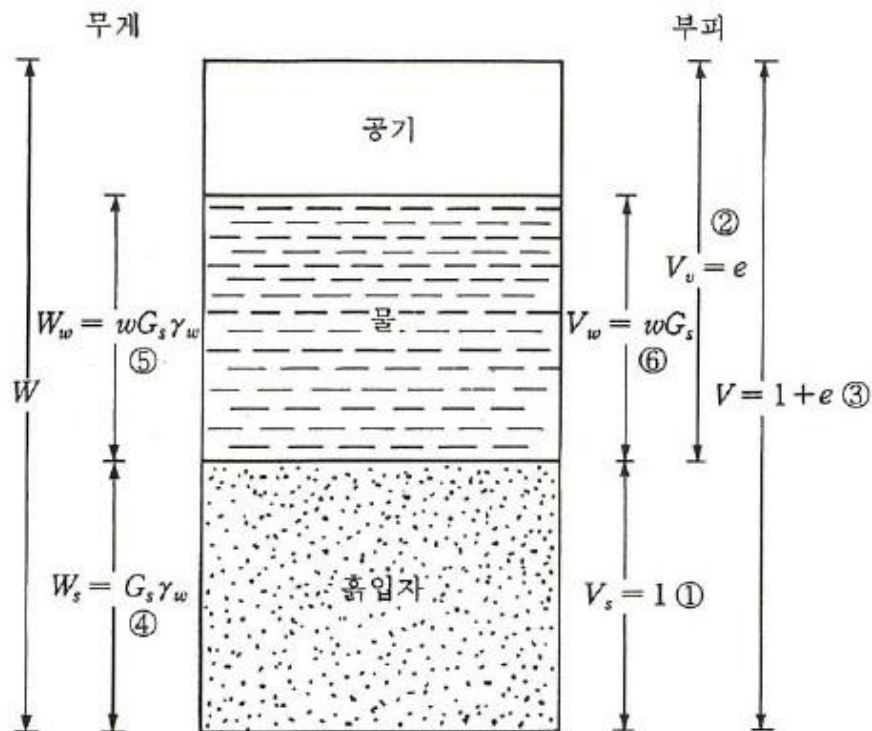
②  $V_v=eV_s=e$

③  $V=V_s+V_v=1+e$

④  $W_s=\gamma_s V_s=G_s \gamma_w$

⑤  $W_w=wW_s=wG_s \gamma_w$

⑥  $V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{wG_s \gamma_w}{\gamma_w} = wG_s$



### • 단위중량

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} \quad (\text{그림 2.2의 식 대입})$$

$$= \frac{G_s \gamma_w + w G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{(1+w) G_s \gamma_w}{1+e}$$

### • 건조단위중량

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad (\text{그림 2.2의 식 대입})$$

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

$$\text{또는 } e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

### • 포화도

$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{w G_s}{e}$$

$$\text{또는 } Se = w G_s$$

$$\gamma = \frac{(1+w) G_s \gamma_w}{1+e}$$

$$= \frac{(G_s + w G_s)}{1+e} \gamma_w = \frac{(G_s + Se)}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma_t = \frac{W}{V} = \frac{(1+w)G\gamma_w}{(1+e)}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G\gamma_w}{(1+e)} \rightarrow e = \frac{G\gamma_w}{\gamma_d} - 1$$

$$\gamma_{sat} = \frac{G\gamma_w + e\gamma_w}{(1+e)} = \frac{(G+e)}{(1+e)} \gamma_w : \text{Saturated unit weight}$$

$$\gamma_{sub} (or \gamma') = \gamma_{sat} - \gamma_w = \frac{(G-1)}{(1+e)} \gamma_w : \text{Submerged unit weight}$$

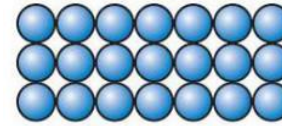
$$S = \frac{V_w}{V_v} = \frac{wG}{e} \rightarrow Se = wG$$

[If S=1.0 (fully saturated), e=wG.]

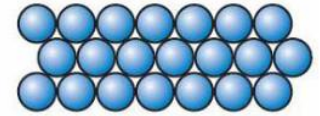
## 2.3 흙의 성질은 나타내는 요소

$\pi$

- › 사질토: 흙 입자의 크기, 즉 입도분포
- › 점성토: 광물조직



(a) Loose



(b) Dense

### 2.3.1 상대밀도

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

$$D_r = \left[ \frac{\gamma_d - \gamma_{d(\min)}}{\gamma_{d(\max)} - \gamma_{d(\min)}} \right] \left[ \frac{\gamma_{d(\max)}}{\gamma_d} \right]$$

$D_r$  = 상대밀도(×100%)

$e$  = 주어진 흙의 간극비

$e_{\max}$  = 주어진 흙이 가장 느슨한 상태일 때의 간극비

$e_{\min}$  = 주어진 흙이 가장 조밀한 상태일 때의 간극비

$\gamma_d$  = 주어진 흙의 건조단위중량

$\gamma_{d(\max)}$  = 주어진 흙의 가장 밀한 상태에서의 건조단위중량

$\gamma_{d(\min)}$  = 주어진 흙의 가장 느슨한 상태에서의 건조단위중량

- ›  $\gamma_{d(\min)}$ : 다짐몰드(부피 $2830\text{cm}^3=0.11\text{ft}^3$ )에 사질토를 1"(2.54cm) 높이에서 살살 떨어뜨렸을 때의 건조밀도
- ›  $\gamma_{d(\max)}$ : 다짐몰드에 사질토를 넣고 진동을 주어 아주 밀한 상태를 인위적으로 만들었을 때의 건조밀도

<사질토의 상대밀도와 조밀도>

상대밀도(%)	흙의 상태
0~15	매우 느슨함
15~50	느슨함
50~70	중간
70~85	밀함
85~100	매우 밀함

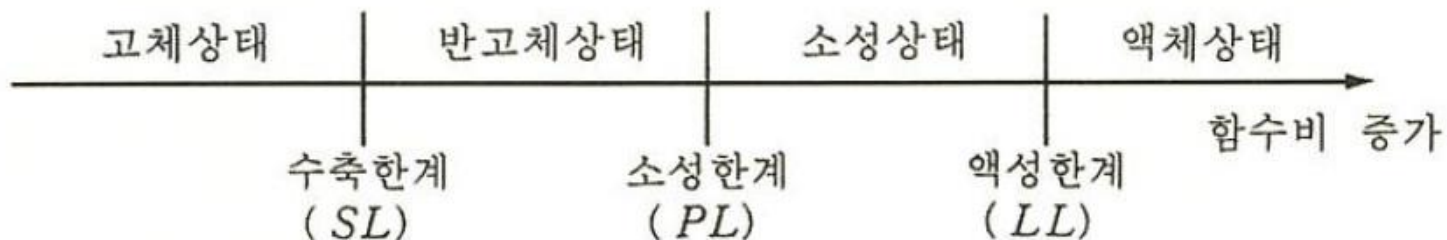


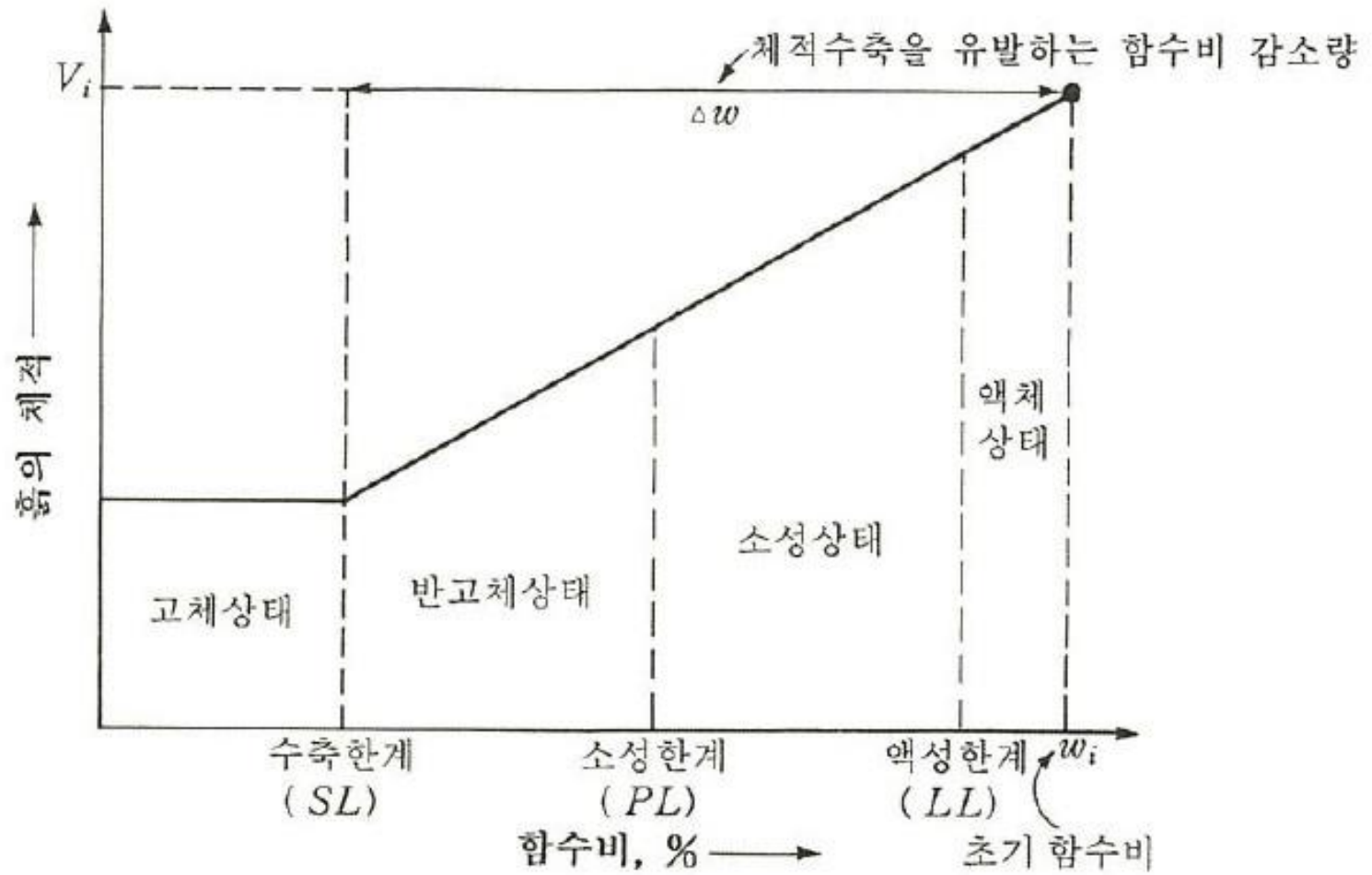
## 2.3.2 연경도

› solid → semisolid → plastic → liquid

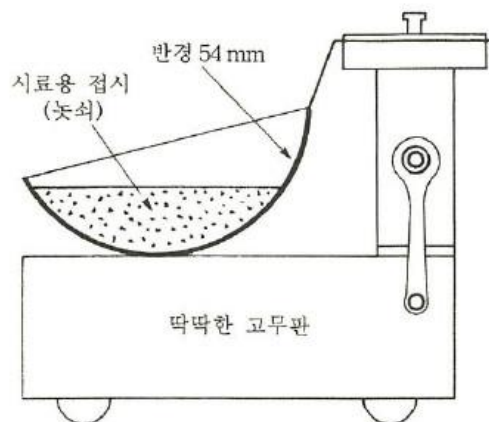
### Atterberg limit

- › Shrinkage limit: 고체상태에서 반고체상태로 넘어갈 때의 함수비
- › Plastic limit: 반고체상태에서 소성상태로 넘어갈 때의 함수비
- › Liquid limit: 소성상태에서 액체상태로 넘어갈 때의 함수비

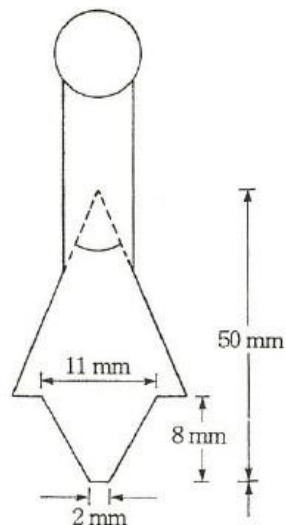




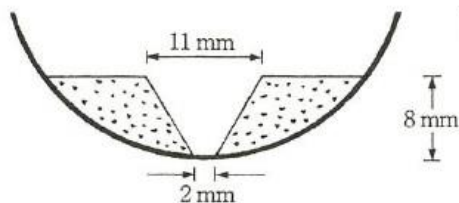
# Liquid limit, LL



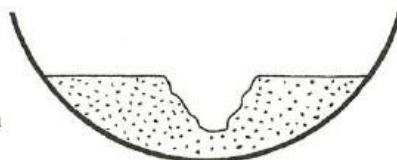
(a) 시험기구



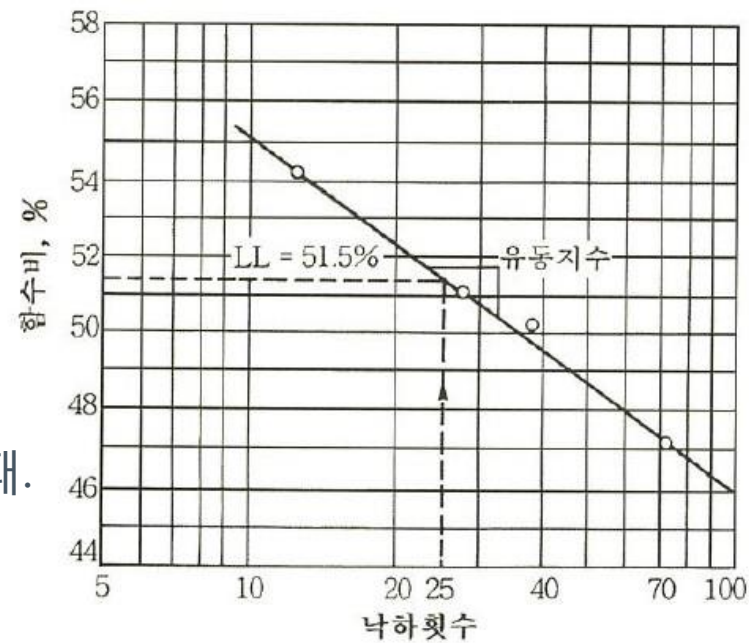
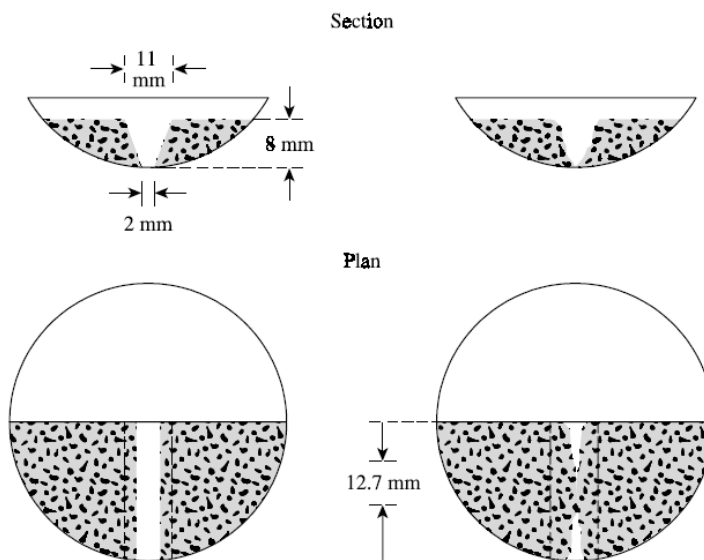
(b) 삽



(c) 시험전 시료



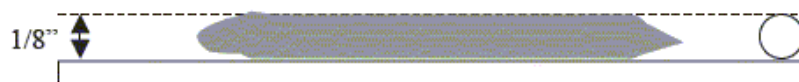
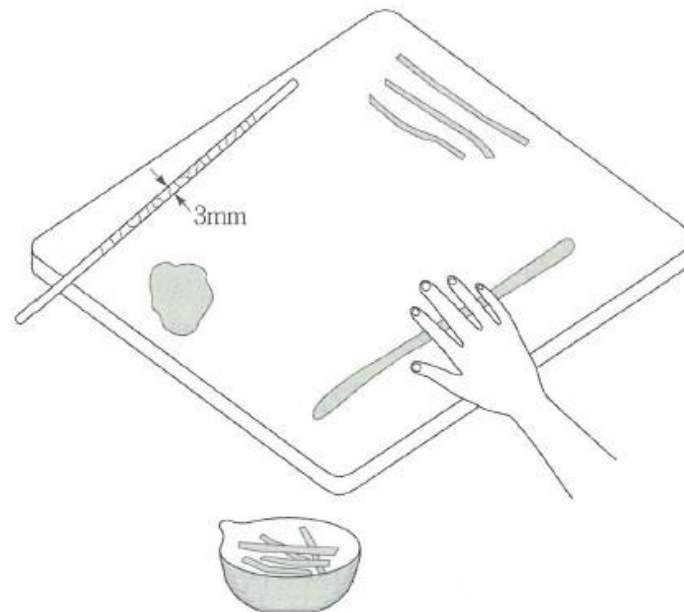
(d) 완료후의 시료



› 1cm 높이, 25회 낙하, 12.7mm 붙게 될 때.

## Plastic limit, PL

› 3.0mm의 직경.



THREAD ABOVE THE PLASTIC LIMIT



THREAD AT THE PLASTIC LIMIT



THREAD BELOW THE PLASTIC LIMIT

## Plasticity index, PI

$$PI = LL - PL$$

(Non-plastic soils → NP; e.g. sand).

Soil type	LL(%)	PL(%)	PI(%)
Sand	Nonplastic		
Silt	30-40	20-25	10-15
Clay	40-150	25-50	15-100

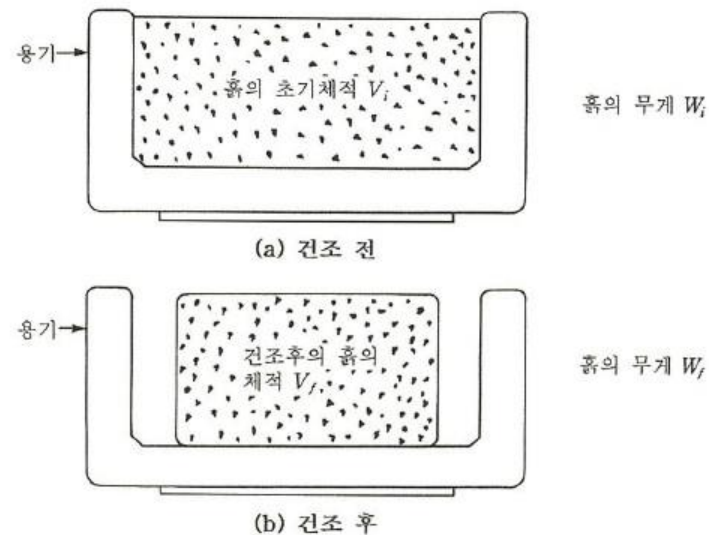
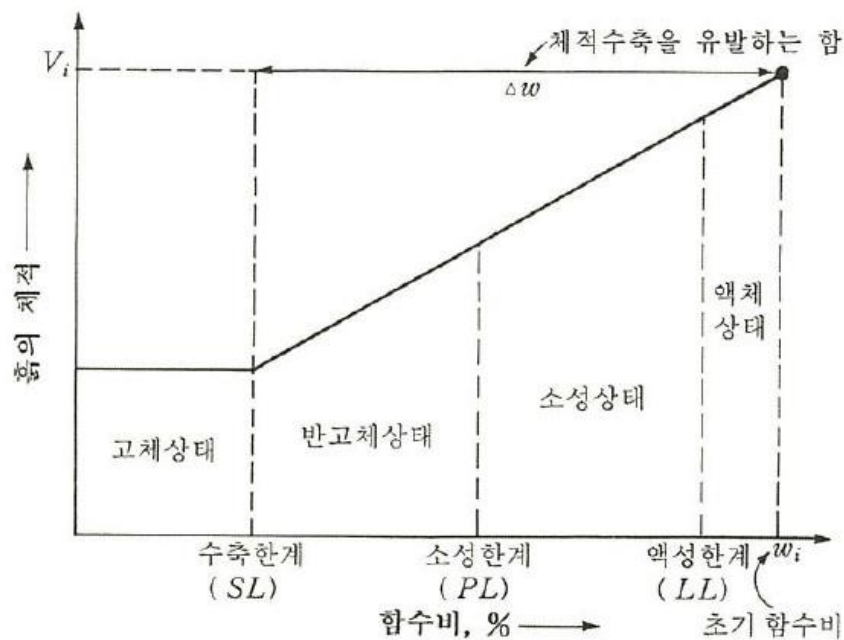
## Liquidity index, LI

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

- ›  $LI > 1$ : 현장 흙이 액체와 같은 상태
- ›  $0 \leq LI \leq 1$ : 현장 흙이 소성상태
- ›  $LI < 0$ : 현장 흙이 고체상태를 띠고 있는 상태

## Shrinkage limit, SL

- › The water content at which there is no further volume change.





## Activity

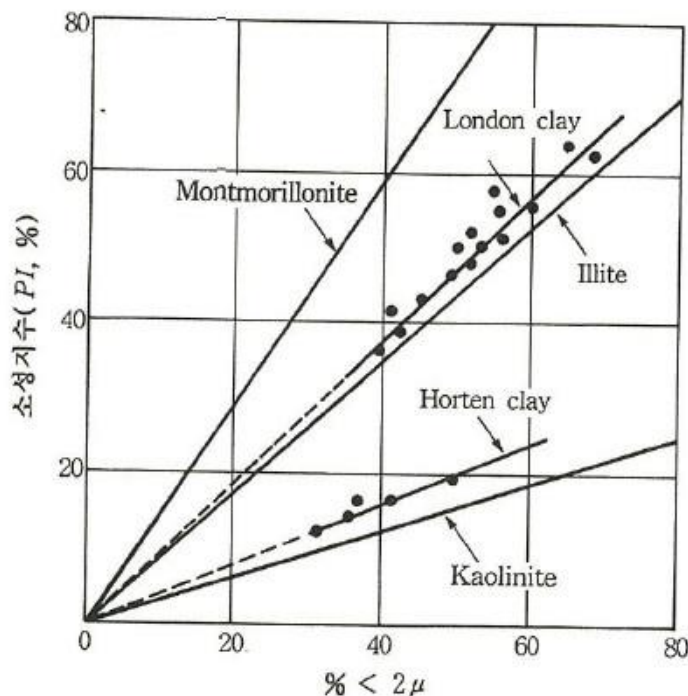
$$A = \frac{I_P}{\% < 2\mu m}$$

- The 'A' value is dependent upon the type of clay minerals in each soil.

e.g. kaolinite  $A = 0.5$

illite  $A = 0.5 - 1.0$

smectites  $A = 1 - 7$ .



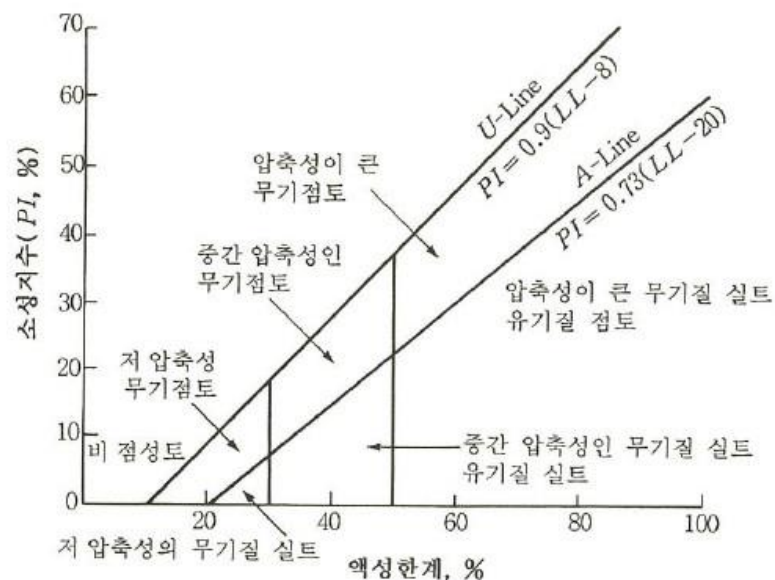
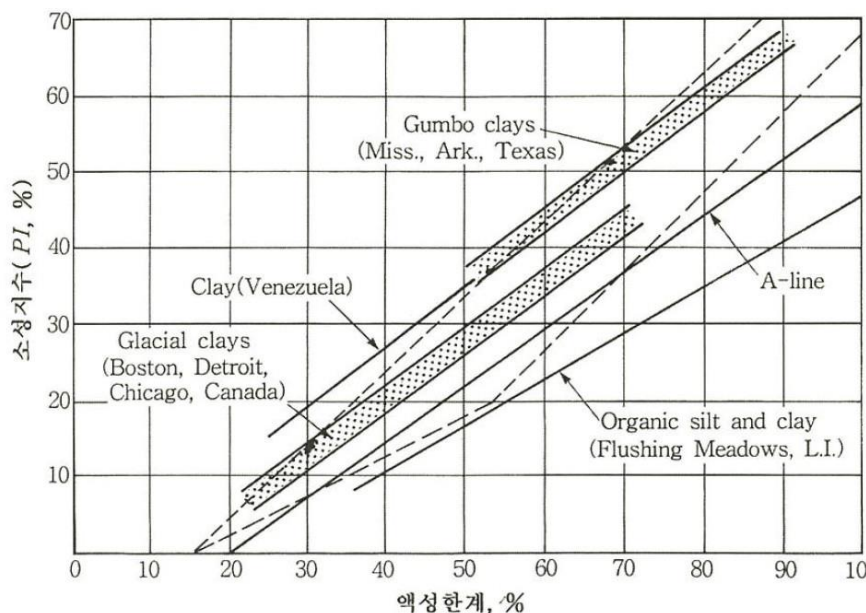
› 흙이 소성상태를 띠는 것은 점토 입자에 붙어 있는 흡착수 때문.

› 어느 점토의 광물성분이 일정하다면 소성지수는 점토의 함량에 따라 비례적으로 증감함.

montmorillonite > illite > kaolinite

## Plasticity Chart(Casagrande, 1932)

- ① A-line: 점토와 실트(또는 유기질 점토)의 경계선
- ② U-line: upper bound로서 이 이상의 소성지수를 가진 점토는 지구상에 없다.
- ③ 액성한계  $LL > 50$ : 큰 압축성 흙  
 $30 < LL \leq 50$ : 중간 압축성 흙  
 $LL \leq 30$ : 작은 압축성 흙

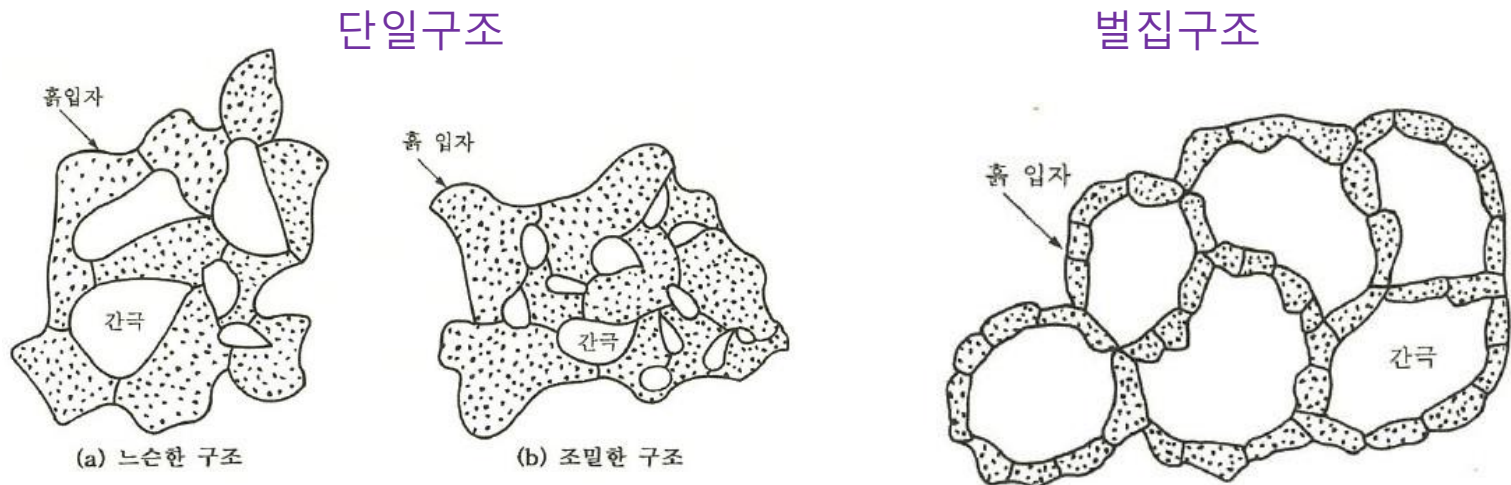


## 2.4 흙의 구조

- 흙의 구조란 흙 입자가 배열된 상태를 말하며 사질토인 경우는 흙 입자의 크기와 모양이 구조를 지배하나, 점성토는 이와 함께 구성광물, 흙을 둘러싸고 있는 물의 성질에 따라 흙의 구조가 달라짐.

### 2.4.1 사질토의 입자구조

- 사질토는 흙 입자 하나하나가 모여서 된 구조로 단일입자구조(single grained structure)가 주종.
- 가끔은 사질토라도 물을 약간 머금었을 때, 입자 사이의 수막에 작용하는 표면장력으로 체적이 증가하고 느슨한 상태 곡 벌집 같은 상태도 될 수도 있으며 이를 벌집구조(honeycombed structure)라 함.
- 벌집구조는 단일구조에 비하여 느슨하며, 간극도 크다.

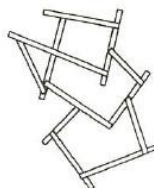


## 2.4.2 점토의 입자구조

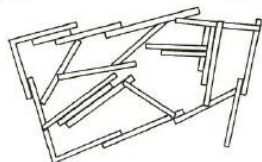
- 점토의 입자구조는 흙 입자의 크기나 모양보다는 점토광물 특성과 점토 주위의 이중층수(double layer water)의 특성에 따라서 좌우됨.
- 반발력(repulsive force): 점토표면은 음이온을 띠고, 이중층수의 양이온으로 평형을 이룸. 만일 두 점토입자가 근접해 있다면 양이온인 이중층수로 인하여 반발력이 작용하며, 이중층의 두께가 크면 클수록 반발력은 커질 것이다.
- 인력(attractive force): 두 입자 사이에는 Van der Waals힘이 작용되며, 이는 인력으로 작용됨.
- 이산구조(dispersive structure): 점토의 이중층수의 반발력이 우세하여 모든 입자가 떨어져 있는 구조.
- 면모구조(flocculant structure): 점토의 모서리와 면 사이의 강한 인력과 Van der Waals 인력에 의하여 입자들이 붙어서 생성된 구조.
- 염분의 영향: 해성점토에는 염분이 존재하며, 이 염분은 이중층수의 두께를 감소시키는 역할을 함.



(a) 이산구조



(b) 면모구조

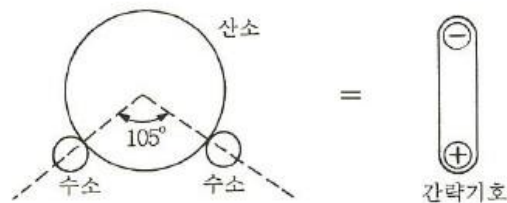


(c) 염분을 가진 면모구조

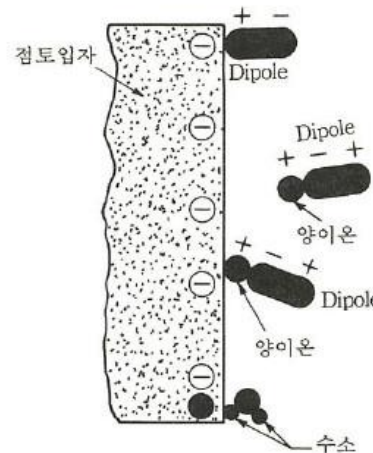
점토의 구조

## ※ 점토광물과 물의 상호작용

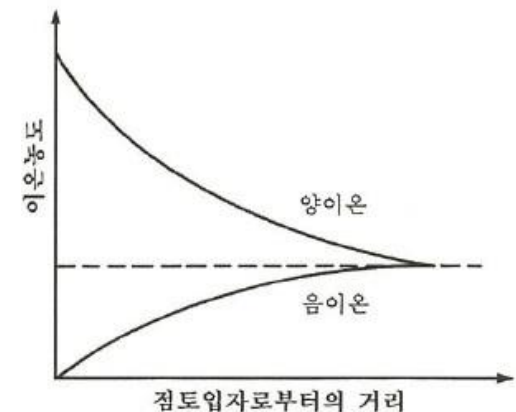
- 주로 동형치환 작용에 의하여 점토표면은 음(-)이온을 띠고 있음.
- 점토가 물에 잠길 경우, 점토 주위에 편재해 있는  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  등의 양이온이 점토표면에 부착하며, 물의 양극과 음극의 dipole 형태로 있으므로 물의 음이온이 위의 양이온에 붙게 됨.
- 또는 dipole의 양이온이 점토표면으로 음이온에 직접 부착하게 됨.
- 또는 물분자의 수소원자와 점토표면에 있는 산소가 수소결합(hydrogen bonding)으로 붙게 될 수 있음.
- 따라서 점토표면의 근처에 존재하는 물은 자유로이 움직일 수 없게 되며, 이로 인하여 점토 주위에 있는 물을 이중층수(double-layer water)라고 하며 점토 가까이에 완전히 점토와 붙어 있는 물을 흡착수(absorbed water)라고 함.



물의 Dipole 현상



이중층에서 물의 흡착



점토로부터의 거리와 이온농도