

CIVL0371 Soil Mechanics

Soil Properties

บรรยายโดย : อ.พลช ตั้งฐานทรัพย์

บทที่ 3 Soil Properties

การศึกษาสมบัติของดินแบ่งเป็น 2 ประเภท

- สมบัติขั้นพื้นฐาน

ทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ

- ปริมาณความชื้น (Water Content)
- ระดับการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Degree of Saturation)

- อัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio)
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

- พิกัด Atterberg (Atterberg Limits)
- ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density)

- ขนาดและลักษณะการกระจายของเม็ดดิน (Grain Size Distribution)

- สมบัติทางด้านวิศวกรรม

คุณสมบัติของดินทางวิศวกรรม (ต่อ)

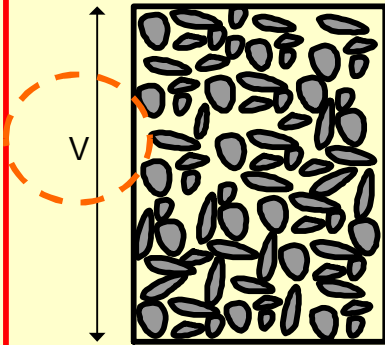
• สมบัติทางด้านวิศวกรรม

ทดสอบได้ในห้องปฏิบัติการ และในสนาม

- สมบัติด้านกำลังรับน้ำหนัก หรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน
- สมบัติทางด้านความสามารถในการไหลซึมของน้ำผ่านดิน
- สมบัติทางด้าน การเคลื่อนตัวของดิน

คุณสมบัติขั้นพื้นฐาน

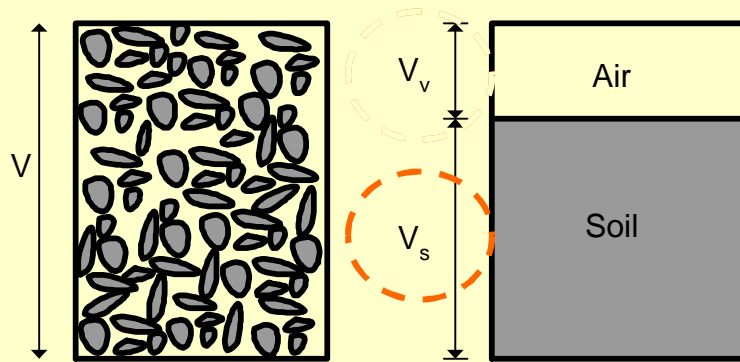
Soil Mass



(a) มวลดิน

V = ปริมาตรทั้งหมด

Dry Soil



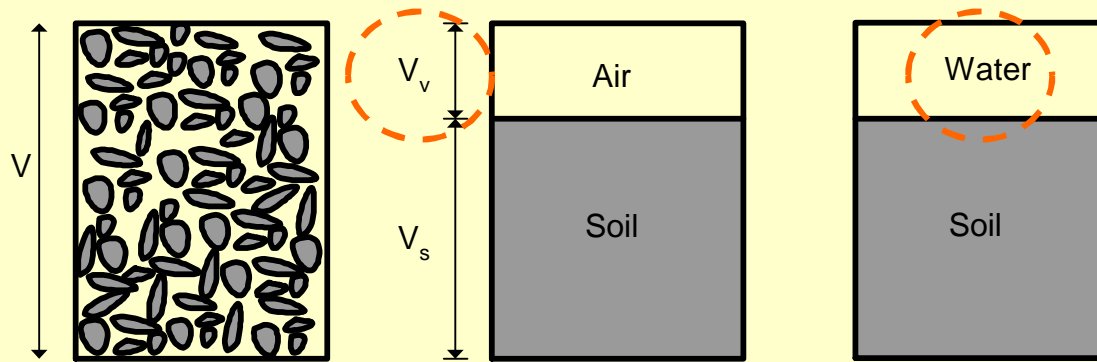
(a) มวลดิน

(b) Dry soil

V = ปริมาตรทั้งหมด V_s = ปริมาตรดินแห้ง

V_v = ปริมาตรอากาศ

Saturated Soil



(a) มวลดิน

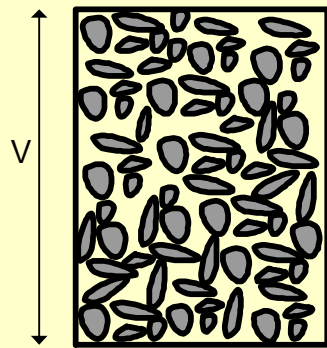
(b) Dry soil

(c) Saturated Soil

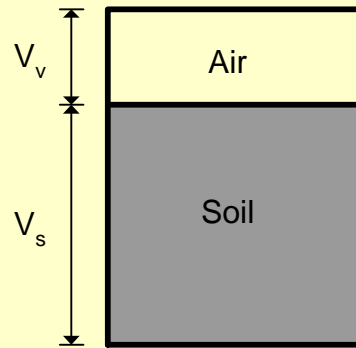
V = ปริมาตรทั้งหมด V_s = ปริมาตรดินแห้ง

V_v = ปริมาตรน้ำ

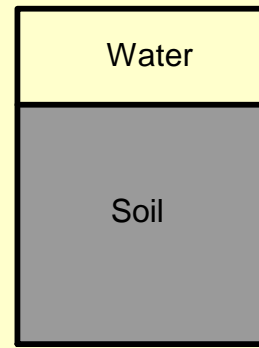
Partially saturated Soil



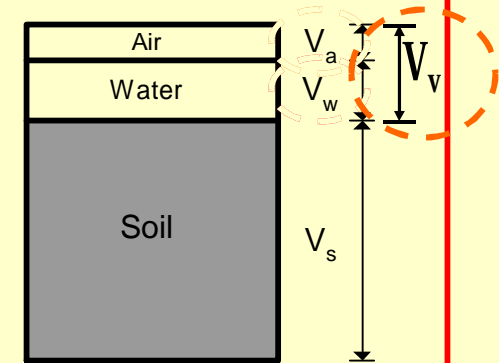
(a) มวลดิน



(b) Dry soil



(c) Saturated Soil

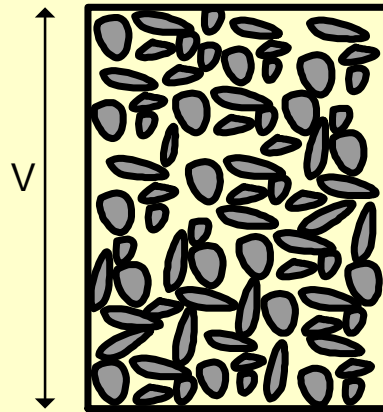


(d) Partially saturated soil

V = ปริมาตรทั้งหมด V_s = ปริมาตรดินแห้ง
 V_a = ปริมาตรอากาศ V_w = ปริมาตรน้ำ

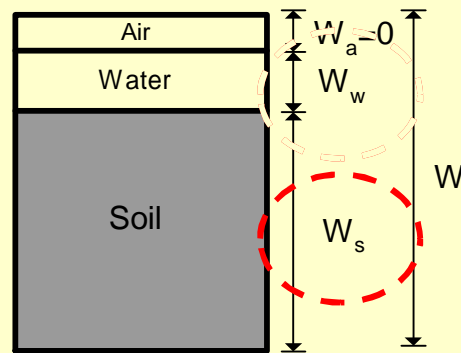
$$V_v = V_a + V_w$$

Physical properties



มวลคิน

Water content, w

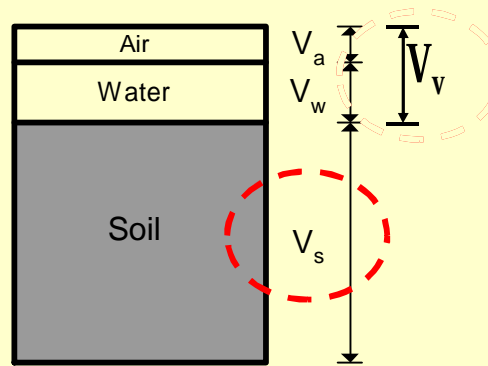


Phase Diagram

$$W = \frac{W_w}{W_s}$$

Void Ratio, e

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

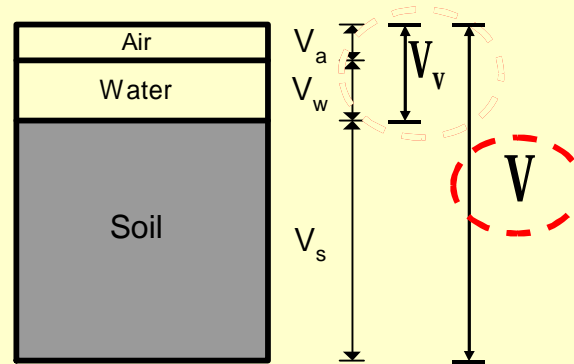


Phase Diagram

• ดินที่มี e เกิน 1.0 และความหนาแน่นรวมต่ำ (น้อยกว่า 1.5 t/m^3)

F มักจะเป็นดินเหนียวที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่ และมีการทรุดตัวที่สูง

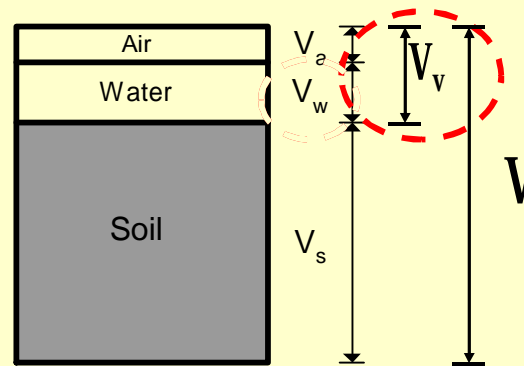
Porosity, n



Phase Diagram

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

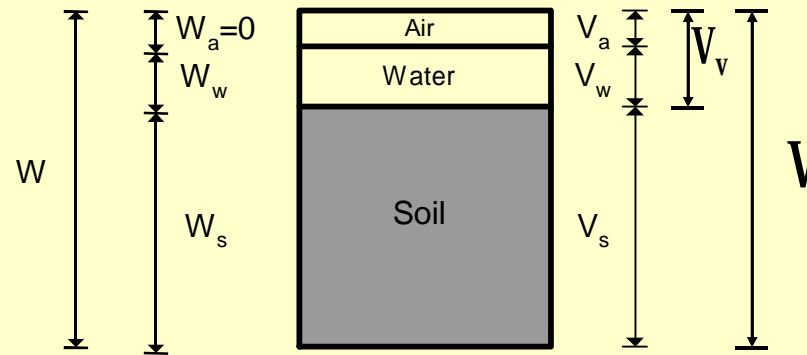
Degree of Saturation, S



Phase Diagram

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

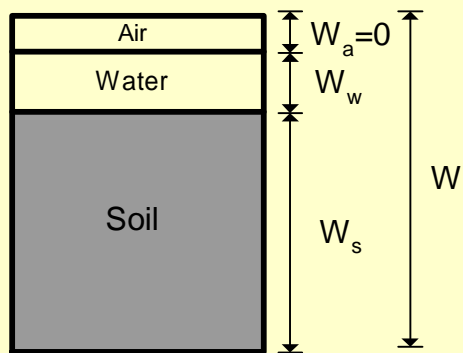
Specific Gravity, G_s



Phase Diagram

$$G_s = \frac{g_s}{g_w} = \frac{W_s}{V_s g_w}$$

Density and Unit weight



Phase Diagram

$$r = \frac{M}{V}$$

ความหนาแน่น, Density

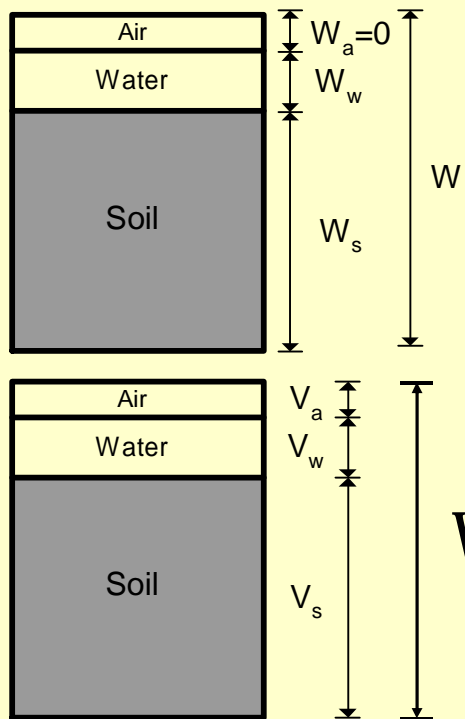
$g/cm^3, t/m^3$

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

หน่วยน้ำหนัก, Unit weight

kN/m^3

(Bulk) Total Density, Total unit weight



Phase Diagram

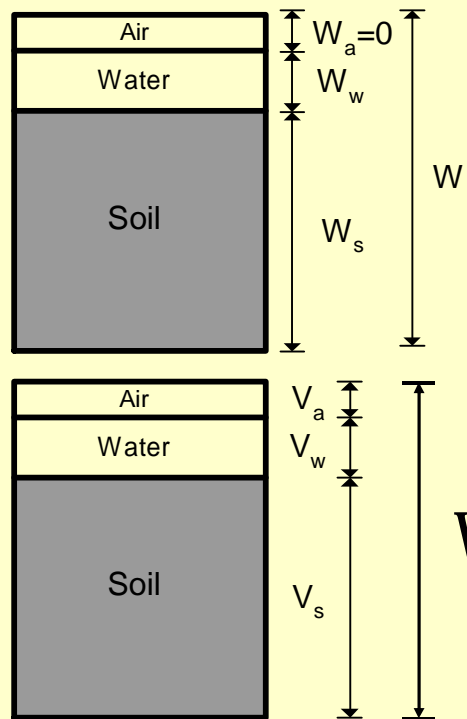
$$r_t = \frac{M}{V}$$

ความหนาแน่นรวม,
Total Density

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

หน่วยน้ำหนักรวม,
Total unit weight

Dry Density, Dry unit weight



Phase Diagram

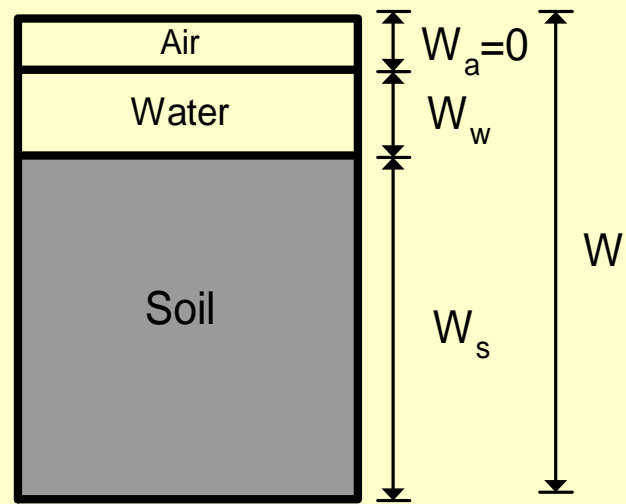
$$r_d = \frac{M_s}{V}$$

ความหนาแน่นแห้ง,
Dry Density

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

หน่วยน้ำหนักแห้ง,
Dry unit weight

การคำนวณ



Phase Diagram

ความสัมพันธ์ระหว่าง n กับ e

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

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

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

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

ความสัมพันธ์ระหว่าง e , wG_s และ S_r

$$g_w = \frac{W_w}{V_w} \rightarrow W_w = V_w g_w \quad G_s = \frac{W_s}{V_s g_w} \rightarrow W_s = G_s V_s g_w$$

$$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{V_w g_w}{V_s g_w G_s} = \frac{V_w}{V_s G_s} \quad S_r = \frac{V_w}{V_v} \rightarrow V_w = S_r V_v$$

$$w = \frac{S_r V_v}{G_s V_s} = \frac{S_r e}{G_s}$$

$$e = \frac{w G_s}{S_r}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง e , g_t , G_s และ S_r

$$G_s = \frac{W_s}{V_s g_w} \rightarrow W_s = G_s V_s g_w \quad G_w = \frac{W_w}{V_w g_w} \rightarrow W_w = G_w V_w g_w$$

$$g_t = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w} \quad g_t = \frac{G_s V_s g_w + V_w g_w}{V_s + V_w}$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_s} \quad g_t = \frac{G_s V_s g_w + \left(\frac{V_w}{V_s}\right) V_s g_w}{V_s + V_w}$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง e , g_t , G_s และ S_r (ต่อ)

- ปรับสมการให้อยู่ในรูปของ e (Void Ratio) โดยนำ V_s หารตลอด

$$g_t = \frac{G_s \left(\frac{V_s}{V_s} \right) g_w + S_r \left(\frac{V_v}{V_s} \right) g_w}{\left(\frac{V_s}{V_s} \right) + \left(\frac{V_v}{V_s} \right)} = \frac{G_s g_w + S_r e g_w}{1+e}$$

$$g_t = \left(\frac{G_s + S_r e}{1+e} \right) g_w$$

ค่าหน่วยน้ำหนักในสถานะต่างๆ

- กรณี Saturated Soils

- ค่า S_r มีค่าเท่ากับ 1 หรือ 100% จะได้

$$g_t = \left(\frac{G_s + \cancel{S_r} e}{1+e} \right) g_w \longrightarrow g_{sat} = \left(\frac{G_s + e}{1+e} \right) g_w$$

ค่าหน่วยน้ำหนักในสถานะต่างๆ

- กรณี Dried Soils

- ค่า S_r มีค่าเท่ากับ 0

$$g_t = \left(\frac{G_s + \cancel{S_r e}}{1+e} \right) g_w \longrightarrow g_d = \left(\frac{G_s}{1+e} \right) g_w$$

ค่าหน่วยน้ำหนักในสถานะต่างๆ

- กรณีดินอยู่ในระดับน้ำใต้ดิน **Submerged Unit Weight**
- ดินจะถูกพยุงด้วยน้ำ ใช้สัญลักษณ์ว่า g_{sub} หรือ g' เท่ากับ $g_{sat} - g_w$
- ทั่วไปจะสมมติให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Soils), $S_r = 1$

$$g_{sub} = \left(\frac{G_s + \cancel{S_r}e}{1+e} \right) g_w - g_w \longrightarrow g_{sub} = \left(\frac{G_s + e}{1+e} \right) g_w - g_w$$

ค่าหน่วยน้ำหนักในสถานะต่างๆ

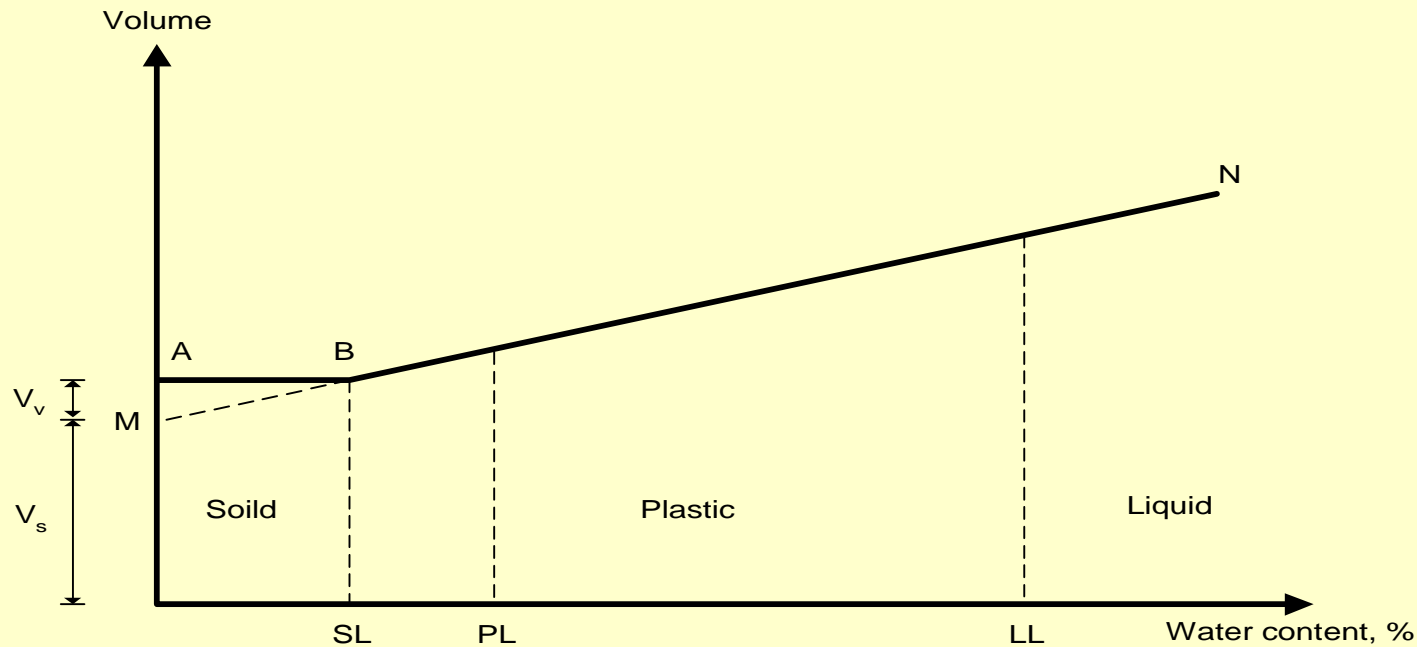
- กรณีดินอยู่ในระดับน้ำใต้ดิน Submerged Unit Weight (ต่อ)

$$g_{sub} = \frac{G_s g_w + e g_w - g_w - e g_w}{1 + e}$$

$$g_{sub} = \left(\frac{G_s - 1}{1 + e} \right) g_w$$

ขีดจำกัดแอทเทอร์เบิร์ก

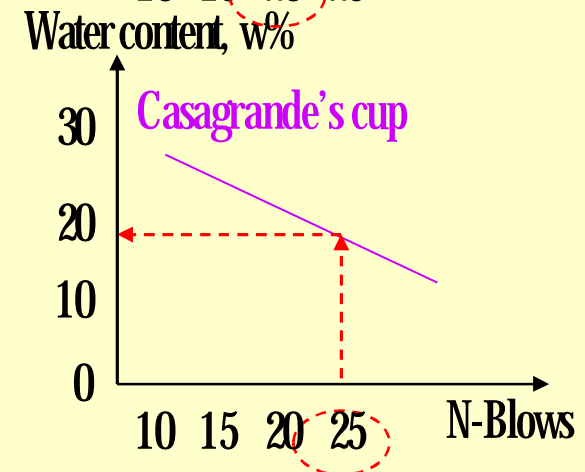
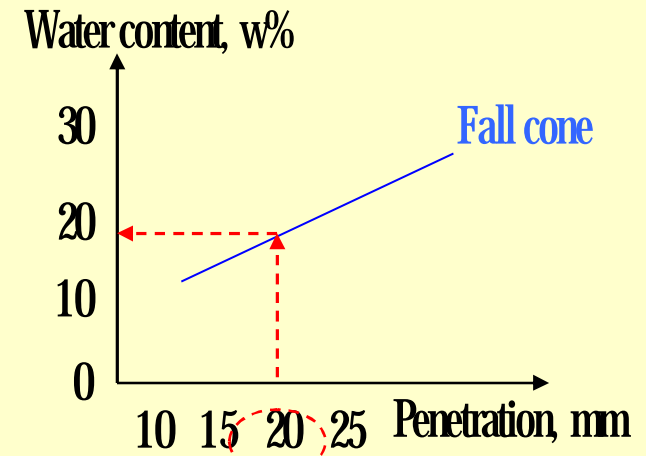
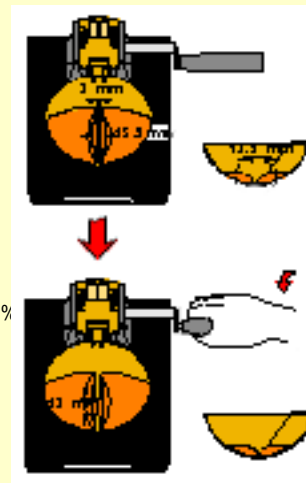
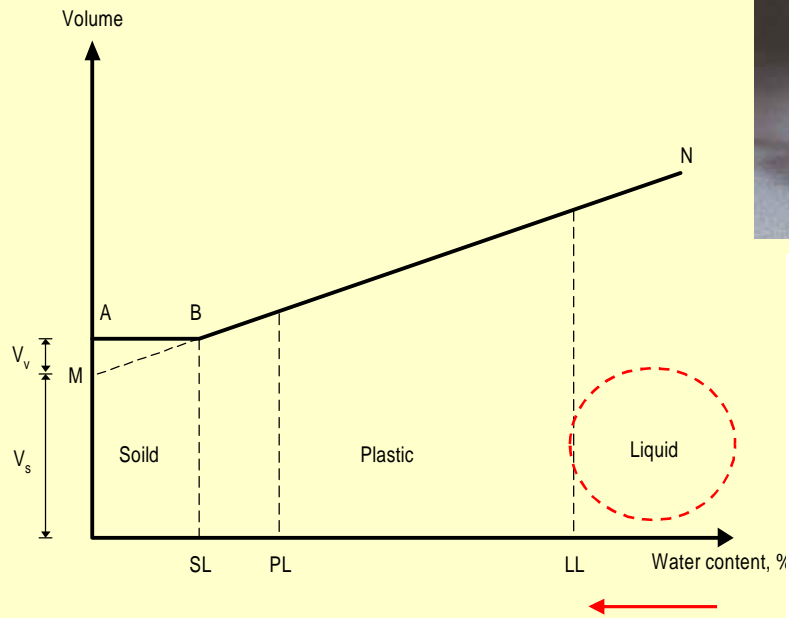
Atterberg limits



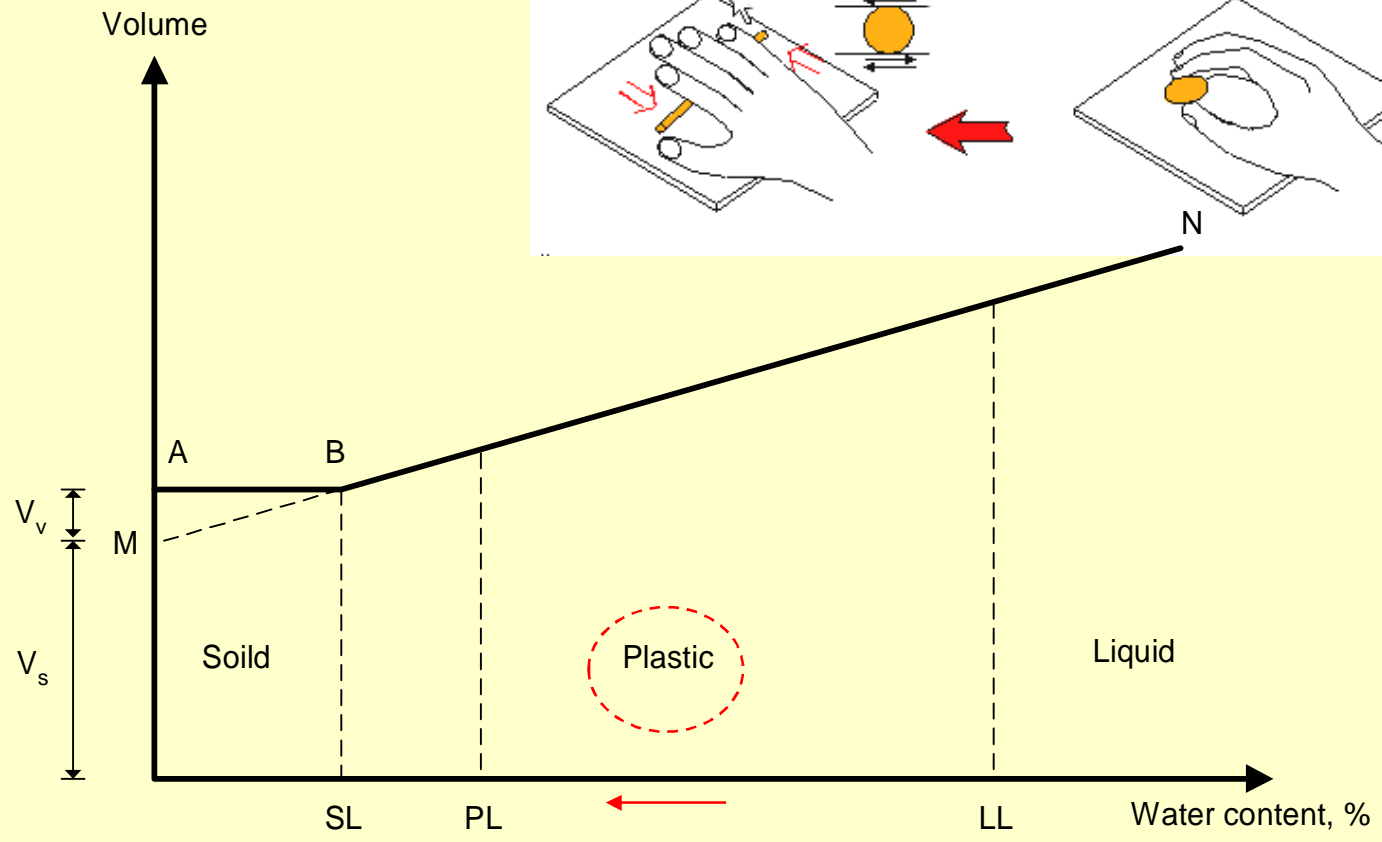
สำหรับดินเม็ดละเอียด

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น \Rightarrow มีผลโดยตรงต่อสถานะภาพของมวลดิน

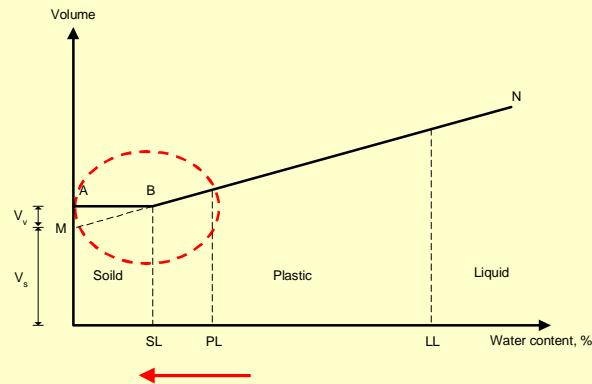
Liquid Limit (LL)



Plastic Limit (PL)



Shrinkage Limit (SL)

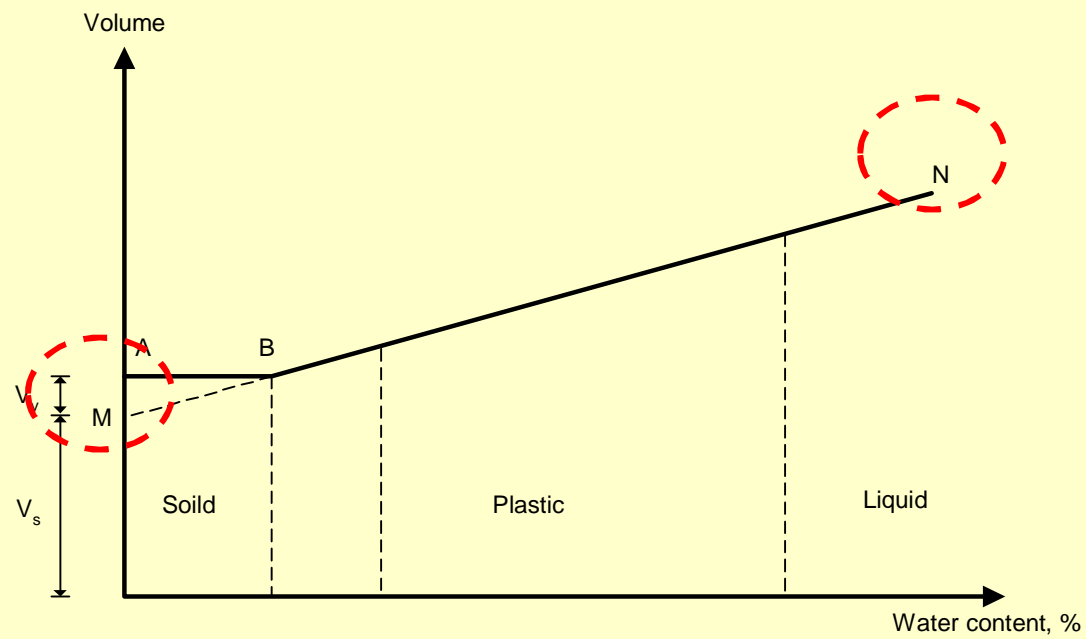


คือ ปริมาณความชื้นต่ำสุดซึ่งดินมี ปริมาตรน้อยที่สุด ในขณะที่ยังมีสภาพ อิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งมีปริมาณความชื้นสูง กว่าขีดหดตัว

- น้ำในดินจะค่อยๆ ระเหยออกไปทำให้ปริมาตรของดินลดลง
- หากถึงขีดหดตัว ปริมาตรดินจะไม่ลดลงอีกต่อไป

****หาปริมาตรของดินโดยใช้หลักการแทนที่ของปรอท****

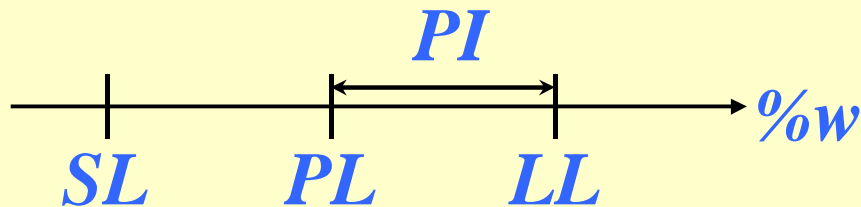
Shrinkage Ratio (SR)



คือ อัตราการลดลงของปริมาตรมวลดินเทียบกับอัตราการลดลงของความชื้น

Plasticity index (PI หรือ I_p)

ของแข็ง กึ่งของแข็ง พลาสติก ของเหลว



$$PI = LL - PL$$

แสดงถึงช่วงของปริมาณความชื้นที่ดินมีสภาพพลาสติก คือ
เปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เกิดรอยแยกหรือแตกร้าว

- ดินที่มีค่า PI สูง เป็นดินที่มีปริมาณและธาตุดินเหนียวมาก

F แสดงว่าดินนั้นมีการทรุดตัวสูง เมื่อเทียบกับเวลา

Liquidity Index (LI)

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

$$PI$$

PI

แสดงให้เห็นว่าดินในสภาพ

ธรรมชาติ มีปริมาณความชื้น

ใกล้เคียงกับขีดเหลวเท่าใด

$LI > 1.0$ → มวลดินสภาพธรรมชาติเป็นของเหลว

$0 < LI < 1.0$ → มวลดินสภาพธรรมชาติเป็น **Plastic**

$LI < 0$ → มวลดินสภาพธรรมชาติเป็นของแข็ง

Activity

$$\text{Activity} = \frac{\text{PI}}{\% \text{ by weight finer } 0.002 \text{ mm}}$$

% ดินเหนียวขนาดเม็ดเล็กกว่า 0.002 มม.
Skempton, (1954)

- Skempton พบว่า ค่า **Activity** ของดินแต่ละชนิดจะมีค่าประมาณคงที่
- เป็นตัวชี้บอกปัญหาที่จะเกิดขึ้นกับดินเม็ดละเอียด เช่น **Volume Change**

**** เป็นค่าบ่งบอกความสามารถในการดูดซึมโมเลกุลน้ำของเม็ดดิน ****

ค่า Activity ของดิน

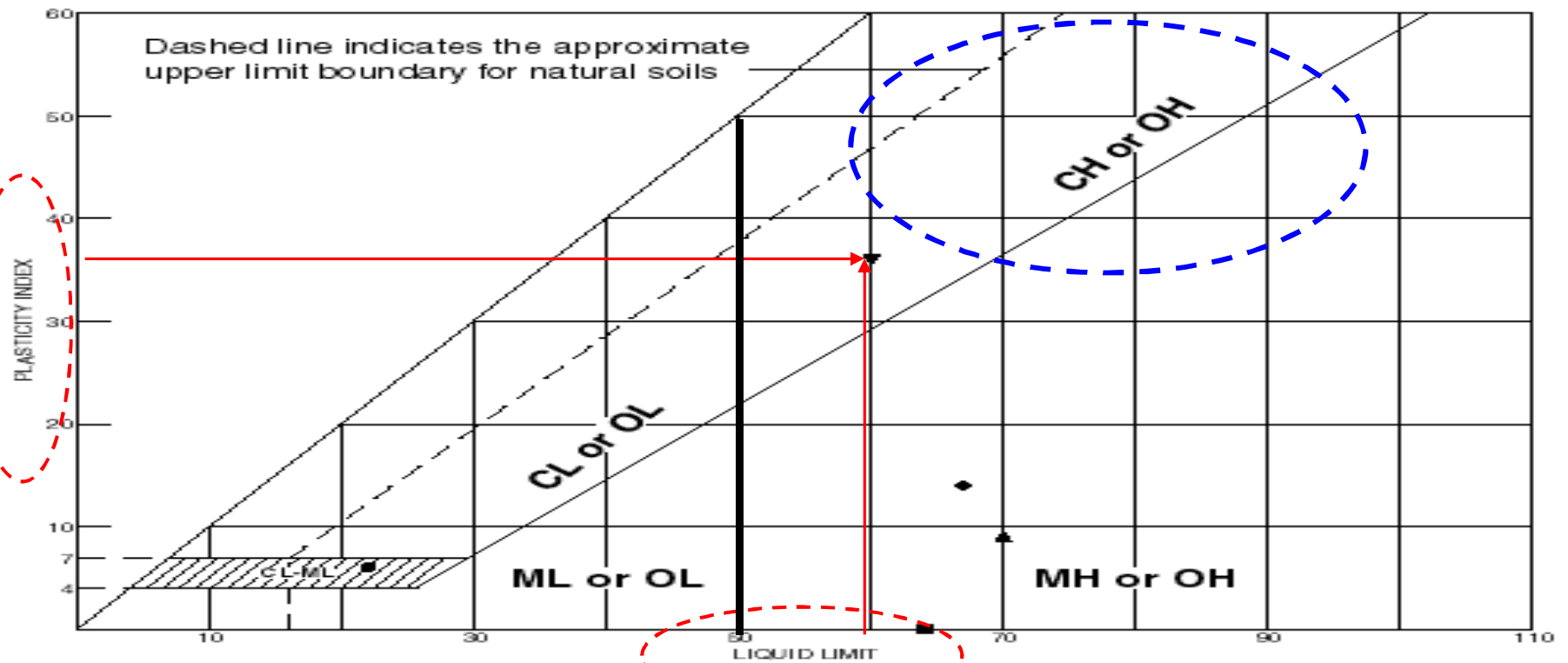
ประเภทของดิน	Activity, A
<i>Inactive Clays</i>	<0.75
<i>Normal Clays</i>	0.75-1.25
<i>Active Clays</i>	1.25-2.0
<i>Highly Active Clays</i>	>2.0

**** ค่า Activity ของดินเหนียวโดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.3- 5.5 ****

ประโยชน์ของ *LL*, *PI* และ *LI*

- ใช้ในการจำแนกดินและแบ่งลักษณะของดิน
- ใช้เป็นดัชนีที่สำคัญในการบอกสมบัติทางด้านแรงเฉือน และการทรุดตัว

LIQUID AND PLASTIC LIMITS TEST REPORT



	MATERIAL DESCRIPTION	LL	PL	PI	%<#40	%<#200	USCS
●	Silty SAND, little gravel	22	16	6	95.2	89.9	ML
■	Fat CLAY	64	NP	NP	93.2	86.7	CH
▲	Elastic silt with sand	70	61	9	80.7	70.8	CLML
◆	Poorly graded gravel with silt and sand	67	53	14	45.2	22.8	GM
▼	Clayey sand with gravel	60	24	36	42.4	20.0	SC

Project No. c91003-24 **Client:** County of Berthoud
Project: Berthoud County Landfill Expansion

● Source: Boring B-2	Sample No.: S-1	Elev./Depth: 0-5'
■ Source: Boring B-2	Sample No.: S-2	Elev./Depth: 5-10'
▲ Source: Boring B-2	Sample No.: S-3	Elev./Depth: 10-15'
◆ Source: Boring B-2	Sample No.: S-4	Elev./Depth: 15-20'
▼ Source: Boring B-2	Sample No.: S-5	Elev./Depth: 30-35'

Remarks:

- S-1 was disturbed in-transit
- Could not produce a plastic limit
- ▲ S-3 has a strong organic odor
- ◆
- ▼ All samples tested by: ERK
Checked by: ALV

Testing performed per
ASTM D 4318

LIQUID AND PLASTIC LIMITS TEST REPORT
HLK ENGINEERING ASSOCIATES, INC.

Grain Size Distribution

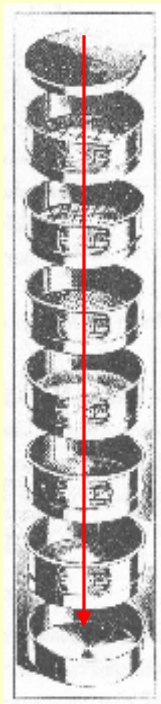
การจำแนกดินในทางวิศวกรรม => ใช้ข้อมูลการกระจายตัวของเม็ดดินและความเหนียว (Consistency) เป็นหลัก

การทดสอบเพื่อหาช่วงขนาดของเม็ดดินทำได้โดย

- การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงร่อน (Sieve Analysis)
- การวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis)
- รวมวิธีวิเคราะห์ด้วยตะแกรงและวิเคราะห์ด้วยไฮโดรมิเตอร์ (Combined analysis, Sieve and Hydrometer)

Sieve Analysis

ใช้กับดินเม็ดหยาบที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มม. เช่น กรวด, ทราย
ประเภทของ Sieve Analysis มี 2 ประเภท คือ Dry Sieve และ Wet Sieve



$$\% \text{ ค้าง} = \frac{\text{นน.ของดินที่ค้างบนตะแกรง}}{\text{นน.ดินทั้งหมด}} \times 100$$

$$\% \text{ ค้างสะสม} = \text{ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่ใหญ่กว่า}$$

$$\% \text{ ผ่าน} = 100 - \% \text{ ค้างสะสม}$$

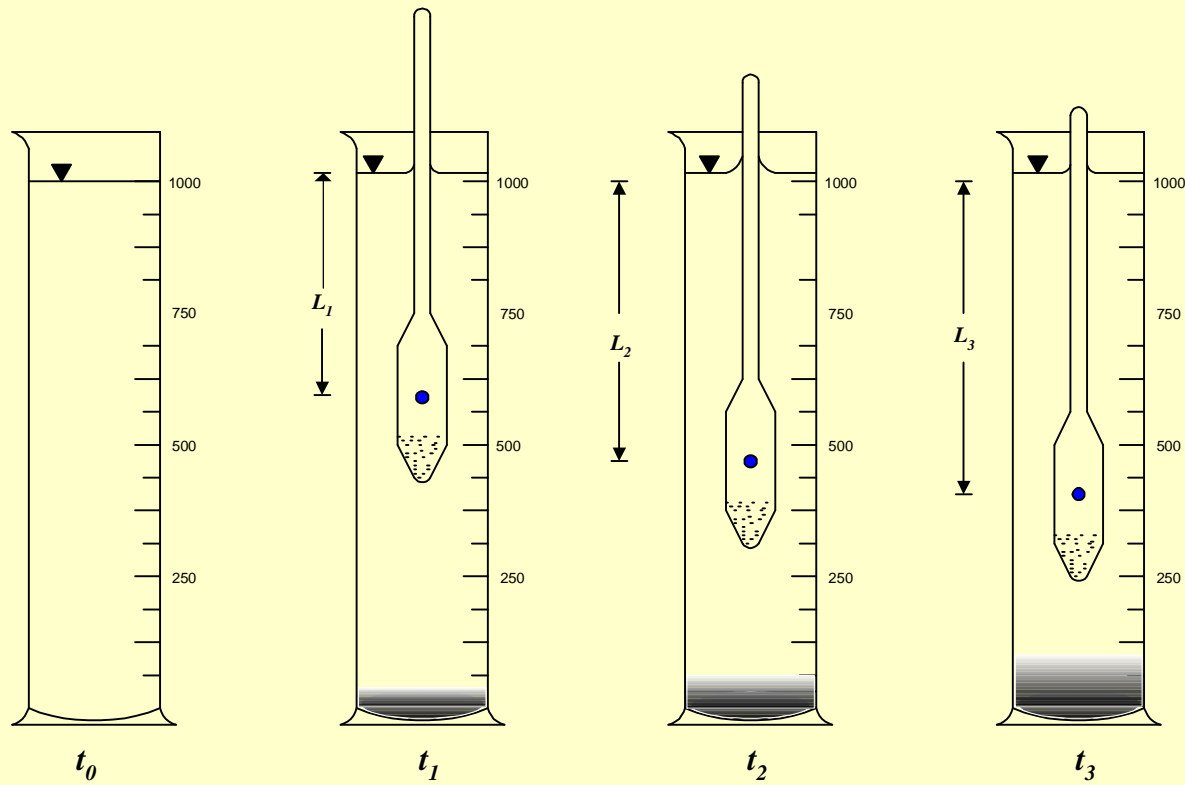
Hydrometer Test

ใช้สำหรับดินเม็ดละเอียด ที่มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร หรือมีขนาดเล็กกว่าขนาดของช่องเปิดของ #No.200 เช่น ดินเหนียว, ดินเหนียวปนดินตะกอน (ดินที่ผ่าน #No.200)

การวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์เพื่อหาขนาดเม็ดดินและ % Finer ใช้หลักของการตกตะกอนของเม็ดดินที่เวลาต่างๆ กัน (หลักของ Stoke) ซึ่งว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่าง

- ความเร็วของวัตถุทรงกลมที่จมในของเหลว
- ความถ่วงจำเพาะของวัตถุ
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุ
- ค่าความหนืดของของเหลว

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่ของ Hydrometer กับเวลา



สมมติฐาน การเคลื่อนที่ของไฮโดรมิเตอร์ เร็วเท่ากับการเคลื่อนที่ตกตะกอนของเม็ดดิน

Hydrometer Test (หาขนาดเม็ดดิน)

Stoke's Law, $v = d^2 \frac{(r_s - r_w)}{18m} \rightarrow d = \sqrt{\frac{18mv}{r_s - r_w}} \rightarrow = \sqrt{\frac{18m}{r_s - r_w} \left(\frac{h}{t}\right)}$

$$d = \sqrt{\frac{18mh}{\left(\frac{G_s r_w}{G_T} - r_w\right) t}} \rightarrow d(\text{cm}) = \sqrt{\frac{18m \left(\frac{1}{980.7 \times 1000} \frac{\text{g} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2}\right) h(\text{cm})}{\left(\frac{G_s}{G_T} - 1\right) r_w \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) t(60\text{sec})}}$$

ขนาดเม็ดดิน

$$d(\text{mm}) = 5.5308 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{mh}{\left(\frac{G_s}{G_T} - 1\right) r_w t}}$$

Hydrometer Test

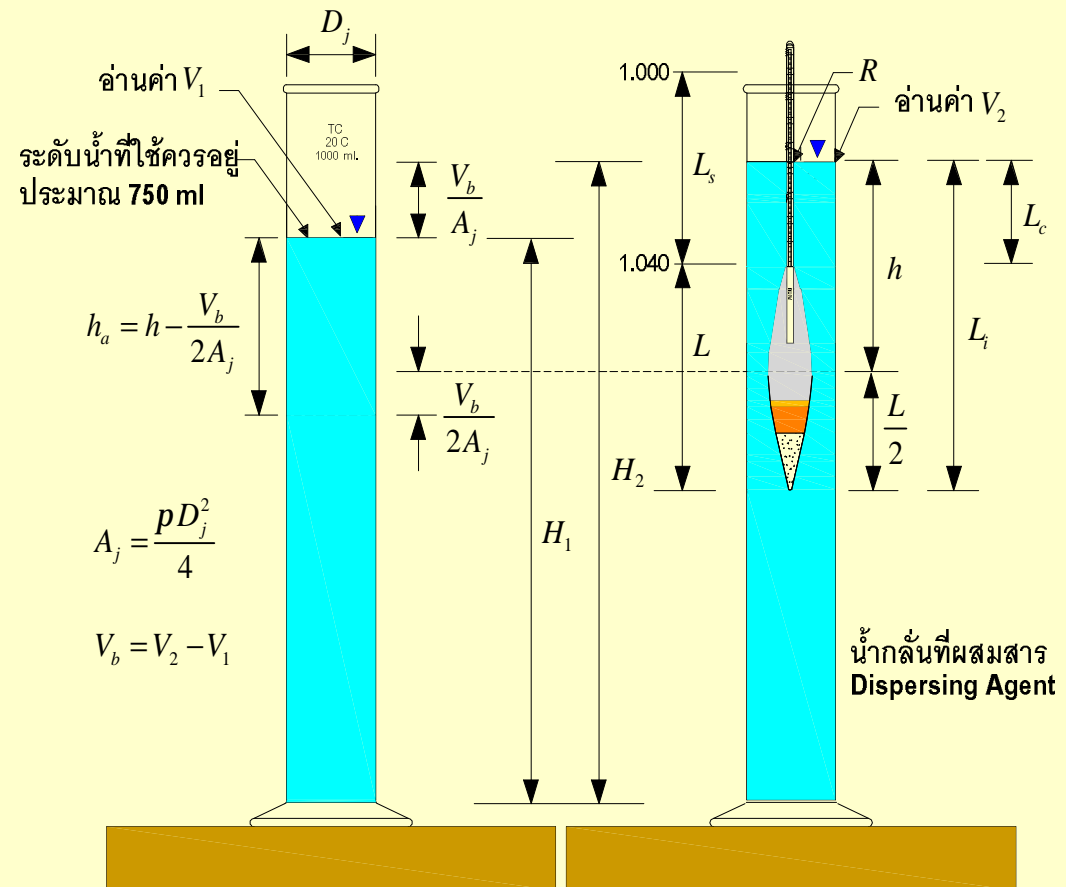
การเคลื่อนตัวไฮโดรมิเตอร์

1. ช่วง 0-2 นาทีแรก

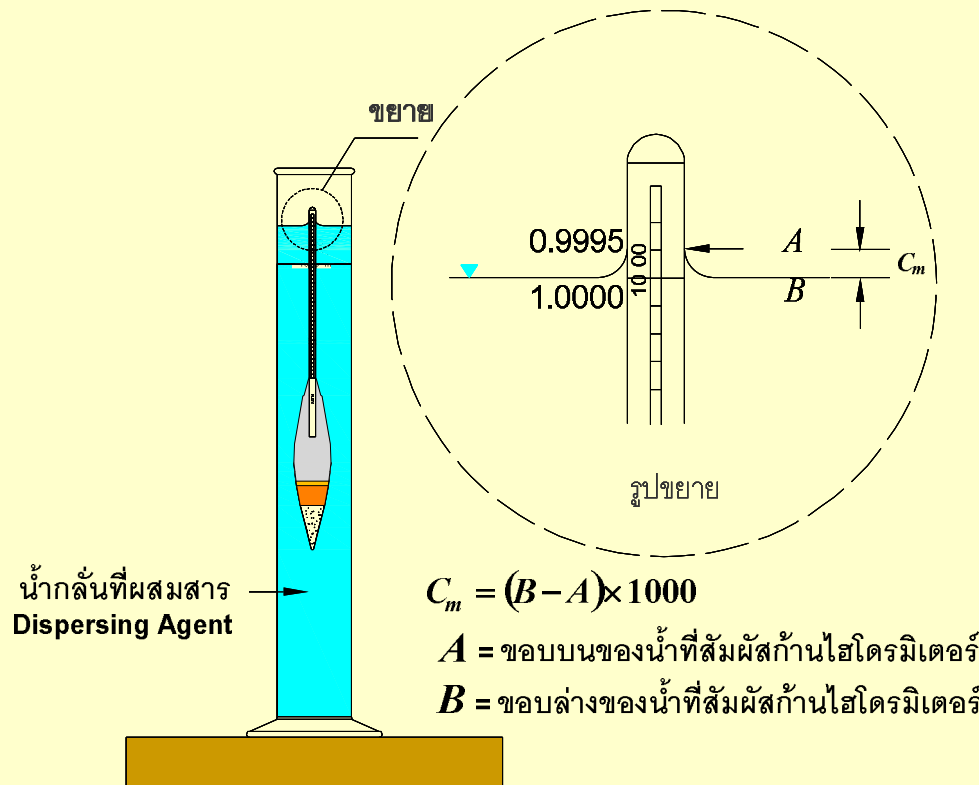
$$h = \frac{L}{2} + \frac{L_s}{40}(40 - R)$$

2. ช่วงมากกว่า 2 นาที

$$h_{(t > 2 \text{ min})} = \frac{L}{2} + \frac{L_s}{40}(40 - R) - \frac{V_b}{2A_j}$$



Hydrometer Test (การปรับแก้ค่า R_c)



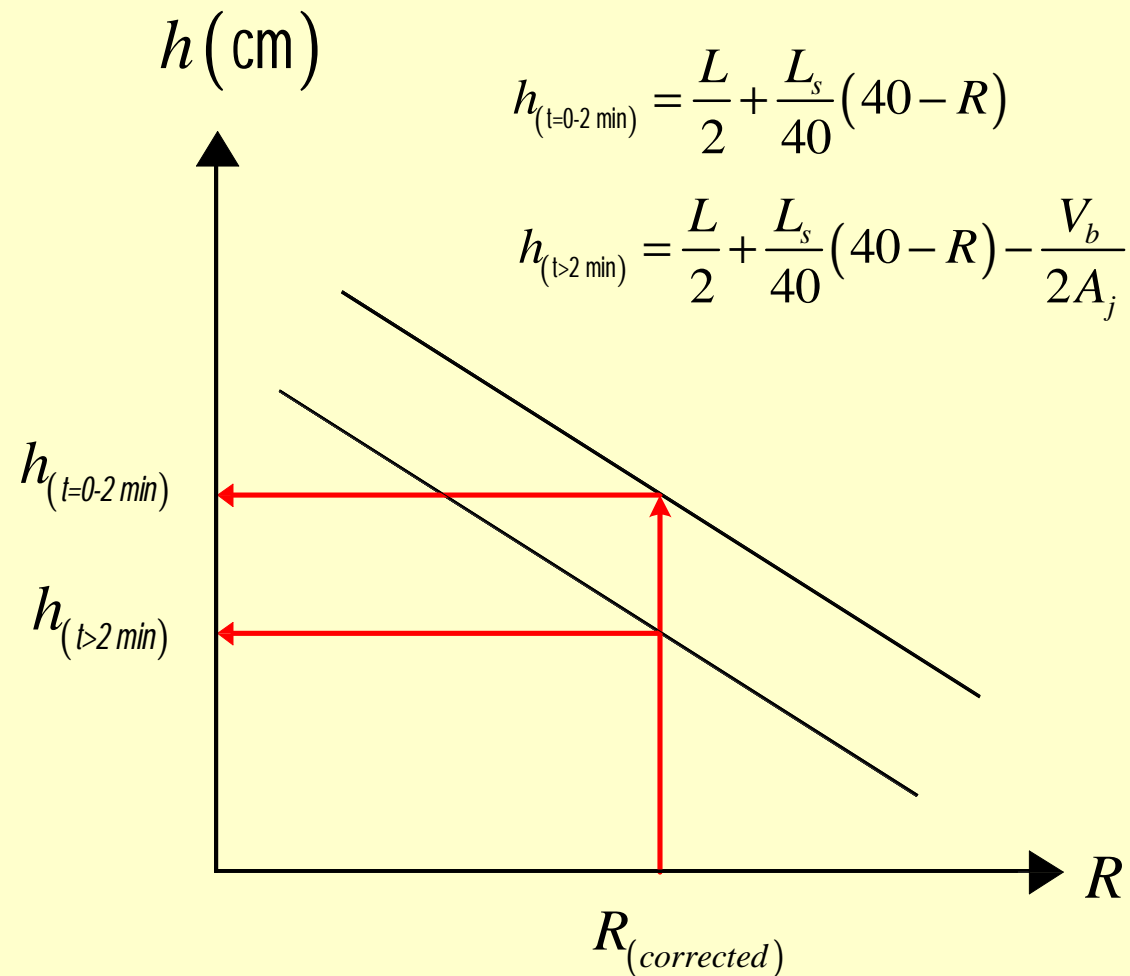
$$R_{(corrected)} = R_a + C_m - C_d$$

C_m = ค่าปรับแก้ความโค้งผิวหน้า

C_d = ค่าปรับแก้เนื่องจากส่วน

ผสมของสารละลาย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า h (cm) กับ ค่า R



Hydrometer Test

% Passing หรือ %Finer สามารถหาได้จาก

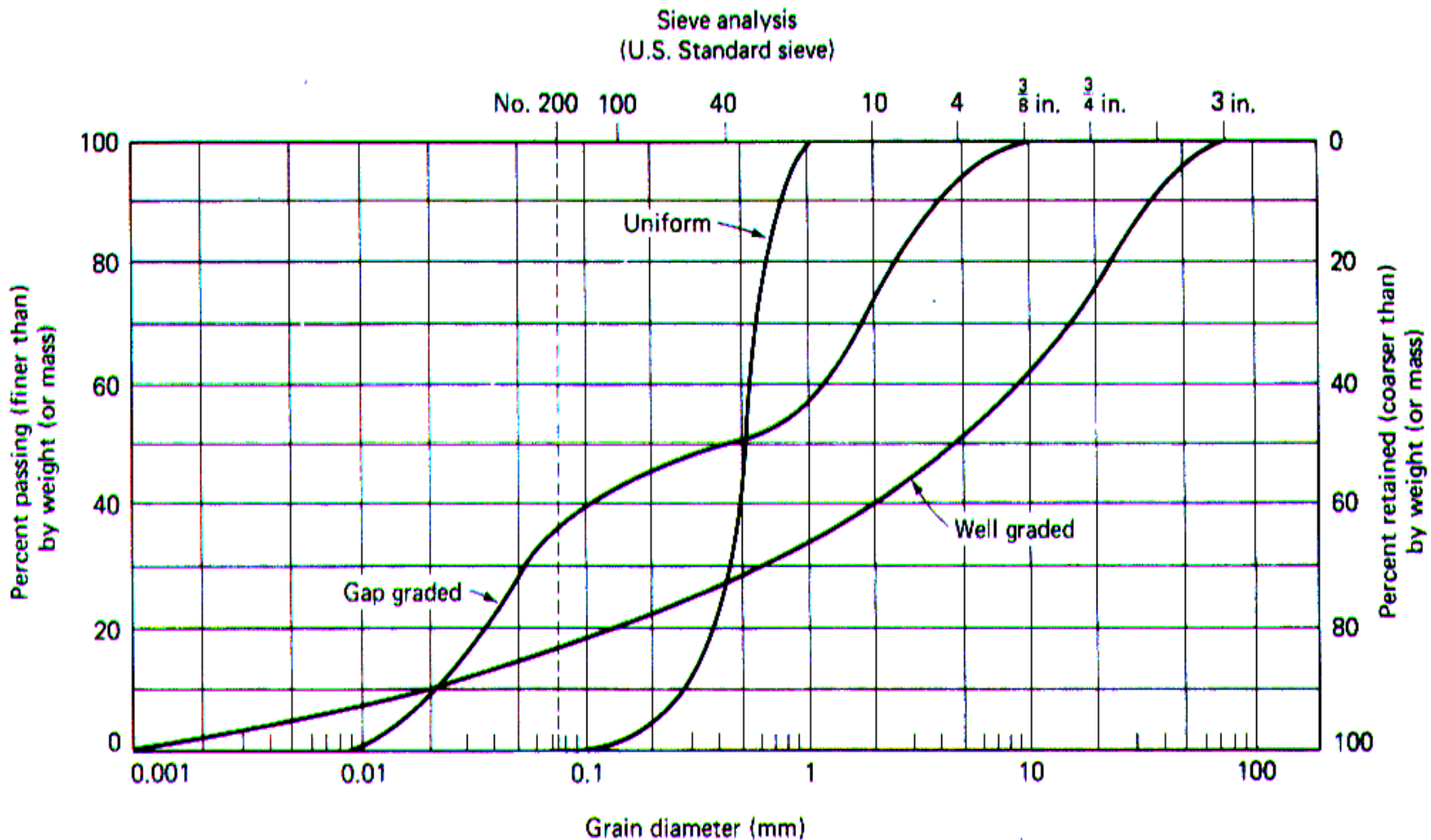
$$\% F_{\text{Hydrometer 151H}} = \left(\frac{R}{M_s} \right) \left(\frac{G_s}{G_s - 1} \right) \times 100$$

เทียบกับดินทั้งหมด

$$\% F = \left(\% F_{\text{Hydrometer 151H}} \right) \left(F_{200} \right)_{\text{Sieve}}$$

*นำค่า %F ไปพล็อต แกน y และขนาดเม็ดดิน d พล็อตแกน X ต่อจาก #No.200

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน



ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

1) ดินที่มีขนาดคละกันดี (Well graded soil)

2) ดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี (Poorly graded soil) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

ก. ดินที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ (Uniform graded)

ข. ดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Skip หรือ Gap graded)

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน -> จะพิจารณาจากช่วงของเส้นกราฟ ที่เรียกว่า Coefficient of Uniformity, $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ และความโค้งของกราฟที่เรียกว่า Coefficient of Curvature, $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$

ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

เกณฑ์แสดงความคละของดินเม็ดหยาบ (ASTMD-2487)

ชนิดของดิน	ส.ป.ส.ความสม่ำเสมอ, C_u		ส.ป.ส.เส้นโค้ง, C_c	
	คละกั้นดี	สม่ำเสมอ	คละกั้นดี	สม่ำเสมอ
กรวด (Gravel)	$C_u \geq 4$	$C_u < 4$	$1 < C_c < 3$	$1 > C_c > 3$
ทราย (Sand)	$C_u \geq 6$	$C_u < 6$	$1 < C_c < 3$	$1 > C_c > 3$

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม

คุณสมบัติของดินทางวิศวกรรม

• สมบัติทางด้านวิศวกรรม

- สมบัติด้านกำลังรับน้ำหนัก หรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน
- สมบัติทางด้านการเคลื่อนตัวของดิน
- สมบัติทางด้านความสามารถในการไหลซึมของน้ำผ่านดิน

****คุณสมบัติทางวิศวกรรมเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบในงานวิศวกรรม****

สมบัติทางด้านกำลังรับน้ำหนักของดิน

1. กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

1 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength)

- คือ กำลังรับหน่วยแรงเฉือนของดินที่อิ่มตัวในลักษณะที่ดินถูกหน่วยแรงกระทำจนวิบัติ โดยความชื้นของดินไม่เปลี่ยน

1 กำลังรับแรงเฉือนแบบระบายน้ำ (Drained Shear Strength)

- คือ กำลังรับหน่วยแรงเฉือนของดินที่อิ่มตัวในลักษณะที่ดินถูกหน่วยแรงกระทำจนวิบัติ โดยความชื้นและปริมาตรดินเปลี่ยน

สมบัติทางด้านกำลังรับน้ำหนักของดิน

- 2 ค่า f มุมต้านแรงเฉือน และค่า C ความเชื่อมั่นที่ปรากฏของดิน
- สมบัติที่ใช้งานมากที่สุด คือกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ f และค่า C ในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล

สมบัติทางด้านการเคลื่อนตัวของดิน

ดินเม็ดละเอียด

1. โมดูลัสความยืดหยุ่นในสภาพไม่ระบายน้ำ
2. - สัดส่วนการอัดตัว (Compression Ratio) CR
- สัดส่วนการอัดตัวซ้ำ (Recompression Ratio) RR
- หน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต
- โมดูลัสความยืดหยุ่นในสภาพระบายน้ำ $-E'$
- อัตราส่วนของ Poisson (Poisson's Ratio)
3. - สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวครั้งที่สอง (Coefficient of Secondary Compression) $-C_a$

ดินเม็ดหยาบ

1. - โมดูลัสความยืดหยุ่น ในสภาพระบายน้ำ (Drained Modulus of Elasticity) $-E'$
- อัตราส่วนของ Poisson (Poisson's Ratio) $-n'$

สมบัติทางด้านการซึมของน้ำในดิน

- ด้วยความแตกต่างของพลังงานศักย์ และพลังงานความดันของน้ำในโพรง น้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะไหลจากจุดที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำกว่าอย่างช้าๆ
- ปริมาณการไหลของน้ำ และอัตราการไหลของน้ำขึ้นอยู่กับสมบัติทางด้านการซึมของดิน ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การซึม