บทที่ 5
ความสัมพันธ์ของน้ำหนักและปริมาตรในส่วนประกอบของดิน
(Weight – volume relationships)

5.1 เนื้อหาโดยย่อ

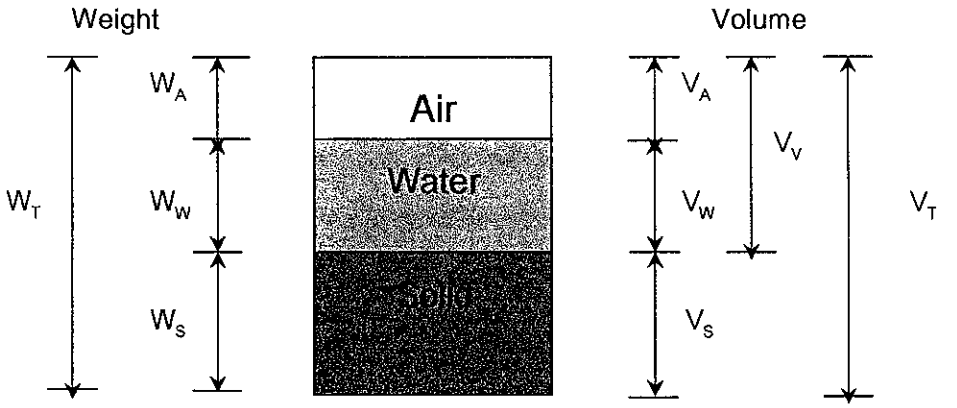
5.1.1 ส่วนประกอบของดิน (Soil Element in Natural State)

ดินประกอบด้วยเนื้อดินหรือเม็ดดินและช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งในช่องว่างอาจจะเต็มไปด้วยน้ำหรืออากาศ หรือมีทั้งน้ำและอากาศปนกัน อาจกล่าวได้ว่า ดินประกอบด้วย

1. ของแข็ง (Solid) คือ เนื้อดินหรือเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นแร่ธาตุต่าง ๆ
2. ของเหลว (Water) ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นน้ำ
3. อากาศหรือก๊าซ (Air or Gas) ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่าง ๆ ของดิน (Soil Phase Relationship)

ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรู้สัดส่วนโดยมวลหรือปริมาตรของส่วนประกอบต่าง ๆ ของดิน จึงได้มีการใช้แบบจำลองส่วนประกอบของดิน 3 ส่วน (Soil Phase Diagram) มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างมวล (mass) และปริมาตร (volume) ของเนื้อดิน (solid) น้ำ (water) และอากาศ (air) ที่ประกอบกันขึ้นเป็นดิน (soil)



รูปที่ 5.1 **แบบจำลองส่วนประกอบของดิน** (Phase Diagram)

จากรูปที่ 5.1 กำหนดให้

W_T = **น้ำหนักดินทั้งหมด** (Total weight of soil) (F)

W_S = **น้ำหนักเนื้อดิน** (Weight of the soil solids) (F)

W_W = **น้ำหนักน้ำในดิน** (Weight of water) (F)

W_A = **น้ำหนักอากาศในดิน** (Weight of air) = 0

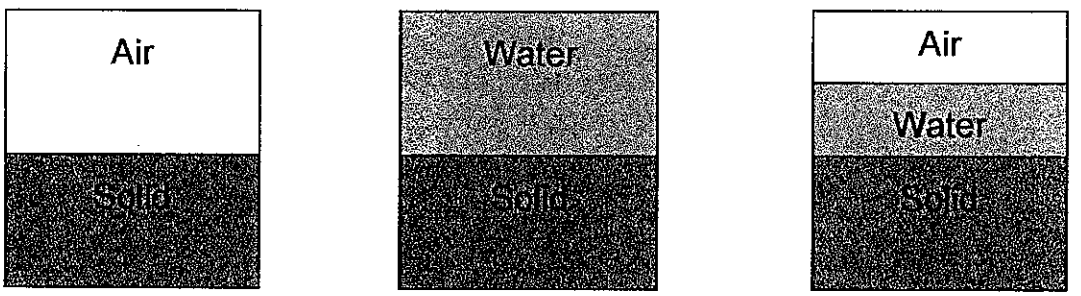
V_T = **ปริมาตรดินทั้งหมด** (Total volume of soil) (L^3)

V_S = **ปริมาตรเนื้อดิน** (Volume of soil solids) (L^3)

V_V = **ปริมาตรช่องว่างในดิน** (Volume of voids) (L^3)

V_W = **ปริมาตรน้ำในดิน** (Volume of water in the voids) (L^3)

V_A = **ปริมาตรอากาศในดิน** (Volume of air in the voids) (L^3)



ก.) **ดินแห้ง** (Dry soil)

ข.) **ดินอิ่มตัว** (Saturated soil)

ค.) **ดินชื้น** (Wet or Moist)

รูปที่ 5.2 Phase diagram **ของดินที่สภาวะความชื้น** (moisture conditions) **ต่างกัน**

จากรูปที่ 5.1 และ รูปที่ 5.2 ทำให้เราสามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินได้ โดยสรุปเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของน้ำหนัก (Weight relationship)

1.1 ปริมาณน้ำในดิน (Water or Moisture Content)

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

โดยทั่วไป ปริมาณความชื้นจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 900 %

ตารางที่ 5.1 ค่าอัตราส่วนช่องว่าง (Void ratio), ปริมาณความชื้น (moisture content) และ หน่วยน้ำหนักแห้ง (dry unit weight) ของดินในธรรมชาติทั่ว ๆ ไป

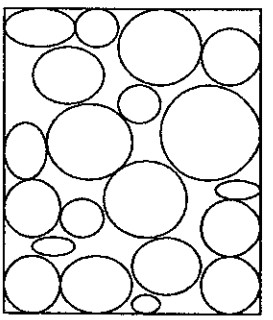
Type of soil	Void ratio, e	Natural moisture content in a saturated state (%)	Dry unit weight, γ_d	
			lb/ft^3	kN/m^3
Loose uniform sand	0.80	30	92	14.5
Dense uniform sand	0.45	16	115	18
Loose angular-grained silty sand	0.65	25	102	16
Dense angular-grained silty sand	0.40	15	121	19
Stiff clay	0.60	21	108	17
Soft clay	0.9-1.4	30-50	73-93	11.5-14.5
Loess	0.90	25	86	13.5
Soft organic clay	2.5-3.2	90-120	38-51	6-8
Glacial till	0.30	10	134	21

2. **ความสัมพันธ์ของปริมาตร** (Volumetric relationship)

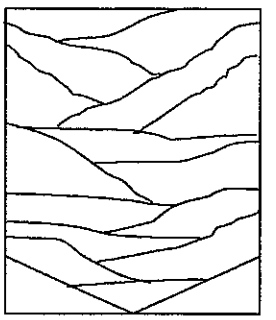
2.1 **อัตราส่วนช่องว่าง** (Void ratio), e

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

โดยทั่วไปแล้ว อัตราส่วนช่องว่างในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นก้อนขนาดใหญ่ (bulky – shaped) **จะมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนช่องว่างในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นแผ่นหรือเกล็ดเล็ก ๆ** (flaky – shaped)



ก.) Bulky – shaped



ข.) Flaky – shaped

รูปที่ 5.3 ก.) **เนื้อดินแบบ** bulky – shaped **และ** ข.) **เนื้อดินแบบ** flaky - shaped

2.2 **ความพรุน** (Porosity), η

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

โดยทั่วไปแล้ว ความพรุนในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นก้อนขนาดใหญ่ (bulky – shaped) **จะมีค่าต่ำกว่าความพรุนในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นแผ่นหรือเกล็ดเล็ก ๆ** (flaky – shaped)

ตารางที่ 5.2 ค่า η จากความสัมพันธ์ $\frac{e}{1+e}$

Type of soil	Void ratio, e	η = e/(1+e)
Loose uniform sand	0.80	0.44
Dense uniform sand	0.45	0.31
Loose angular-grained silty sand	0.65	0.39
Dense angular-grained silty sand	0.40	0.29
Stiff clay	0.60	0.38
Soft clay	0.9-1.4	0.47-0.58
Loess	0.90	0.47
Soft organic clay	2.5-3.2	0.71-0.76
Glacial till	0.30	0.23

2.3 **ระดับความอิ่มตัว** (Degree of Saturation), S

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

ระดับความอิ่มตัวจะมีค่าตั้งแต่ 0 – 100% โดยที่

S = 0 % **เมื่อดินที่พิจารณาเป็นดินอบแห้ง** (Oven – dry soil)

S = 100 % **เมื่อดินที่พิจารณาเป็นดินอิ่มตัวด้วยน้ำ** (Saturated soil)

3. **ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับปริมาตร** (Weight-volume relationship)

3.1 **ความหนาแน่น** (Density), ρ

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_W + M_S}{V_A + V_W + V_S}$$

แบ่งตามสภาวะความชื้นของดินได้ 3 แบบคือ

3.1.1 Dry density, ρ_{dry} คือ ความหนาแน่นที่ %w = 0

3.1.2 Wet or Moist density, ρ_{wet} คือ ความหนาแน่นที่ %w = w

3.1.3 Saturated density, ρ_{sat} คือ ความหนาแน่นที่ $\%V_W = V_V$

3.2 หน่วยน้ำหนัก (Unit weight), γ

$$\gamma = \rho g$$

แบ่งตามสภาวะความชื้นของดินได้ 3 แบบคือ

3.2.1 Dry Unit Weight, γ_{dry}

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$

3.2.2 Wet or Moisture Bulk Unit Weight, γ_T

$$\gamma_T = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{W_s(1 + W_W / W_s)}{V_T} = \frac{W_S(1+w)}{V_T}$$

3.2.3 Saturated Unit Weight, γ_{sat}

$$\gamma_{sat} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{W_s(1 + W_W / W_s)}{V_T} = \frac{W_S(1+w)}{V_T}$$

3.3 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Solid Particles), G_s

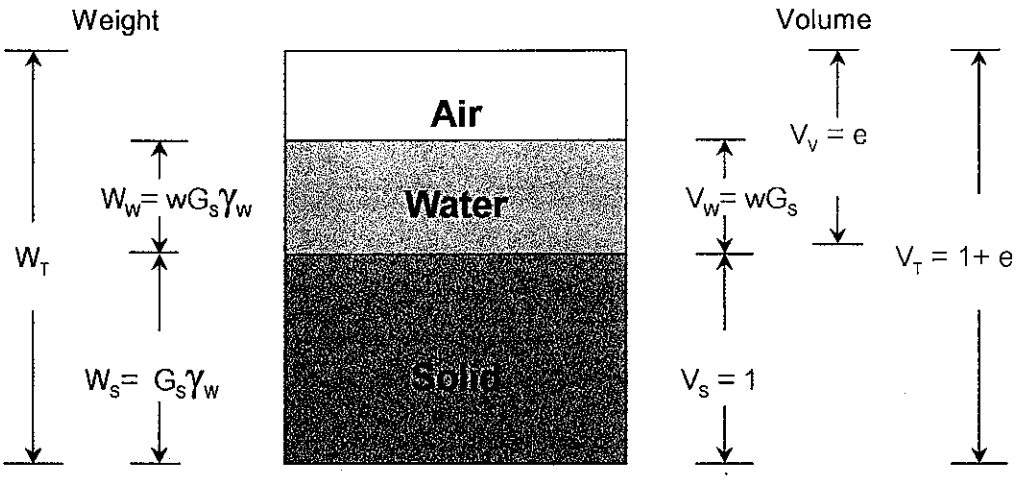
$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_W} = \frac{M_S}{V_S \rho_W}$$

ในการแก้ปัญหาทางปฐพีกลศาสตร์ (Soil Mechanics) โดยใช้ Three phase diagram มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ของดินนั้นอาจทำได้โดย

1. กำหนดให้ปริมาตรเนื้อดิน (Volume of soil solids) มีค่าเท่ากับหนึ่ง, $V_S = 1$
2. กำหนดให้ปริมาตรดินทั้งหมด (Total volume of soil) มีค่าเท่ากับหนึ่ง, $V_T = 1$

5.1.3 แบบจำลองปริมาตรเนื้อดินเท่ากับหนึ่ง ($V_S = 1$)

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยน้ำหนัก, อัตราส่วนช่องว่าง, และปริมาณน้ำในมวลดิน เรามักจะกำหนดให้ส่วนปริมาตรของเนื้อดิน (Solid Phase) มีค่าเท่ากับหนึ่ง ($V_S = 1$) ซึ่งจะทำให้ปริมาตรของช่องว่าง (Void Volume) เท่ากับอัตราส่วนของช่องว่าง ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของดินชื้น ($S<1$) ดังรูปที่ 5.4 และของดินอิ่มตัว ($S = 1$) ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.4 แบบจำลองส่วนประกอบของดินชื้นเมื่อส่วนปริมาตรของเนื้อดิน (V_S) เท่ากับหนึ่ง

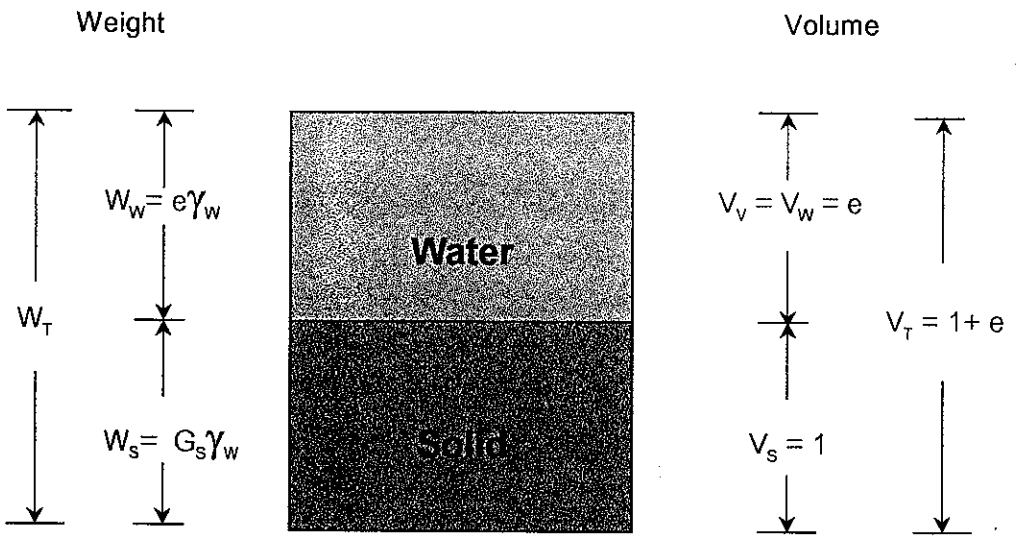
จากความสัมพันธ์จากแบบจำลอง รูปที่ 5.4 สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ดังนี้

1. $\gamma = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{G_S\gamma_W + wG_S\gamma_W}{1+e} = \frac{(1+W)(G_S)(\gamma_W)}{1+e}$

2. $\gamma_d = \frac{W_S}{V_T} = \frac{G_S\gamma_W}{1+e}$

3. $e = \frac{G_S\gamma_W}{\gamma_d} - 1$

4. $S = \frac{V_W}{V_V} = \frac{wG_S}{e}$



รูปที่ 5.5 แบบจำลองส่วนประกอบของดินอิ่มตัวเมื่อส่วนปริมาตรของเนื้อดิน (V_S) เท่ากับหนึ่ง

จากความสัมพันธ์จากแบบจำลอง รูปที่ 5.5 สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ดังนี้

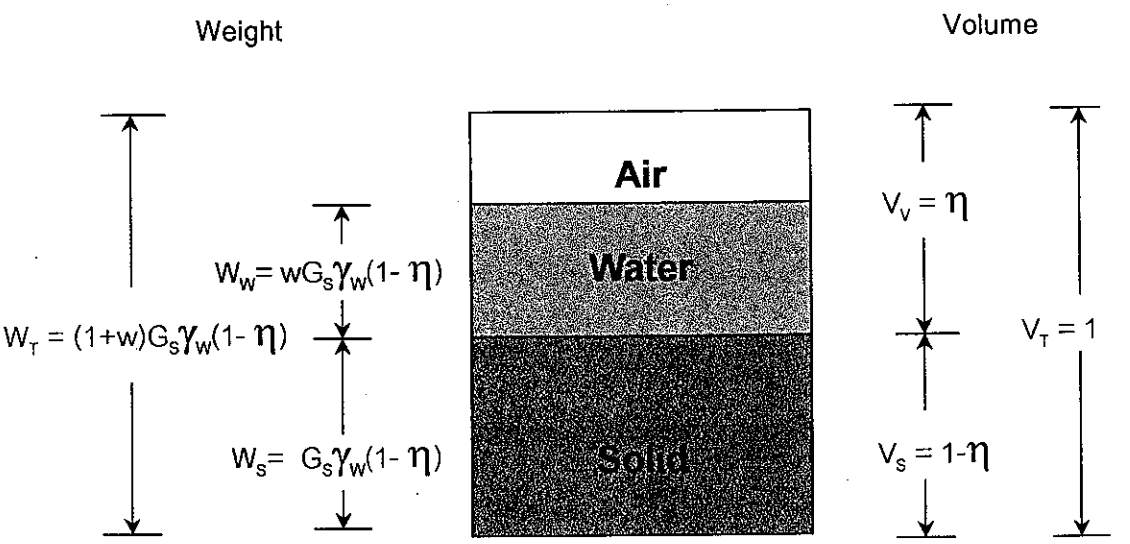
1. $\gamma_{sat} = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{G_S\gamma_W + e\gamma_W}{1+e} = \frac{(G_S + e)(\gamma_W)}{1+e}$

2. $e = wG_S$

3. $S = \frac{V_W}{V_V} = \frac{wG_S}{e} = 1$

5.1.4 แบบจำลองปริมาตรดินทั้งหมดเท่ากับหนึ่ง ($V_T = 1$)

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนัก, ความพรุน และความชื้นสามารถหาได้ด้วยวิธีการเช่นเดียวกันกับหัวข้อ 5.1.3 แต่ให้วิเคราะห์โดยกำหนดปริมาตรดินทั้งหมด (Total Volume of soil) เท่ากับหนึ่ง ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของดินชื้น ($S<1$) ดังรูปที่ 5.6 และของดินอิ่มตัว($S = 1$) ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 แบบจำลองส่วนประกอบของดินชื้นเมื่อส่วนปริมาตรดินทั้งหมด (V_T) เท่ากับหนึ่ง

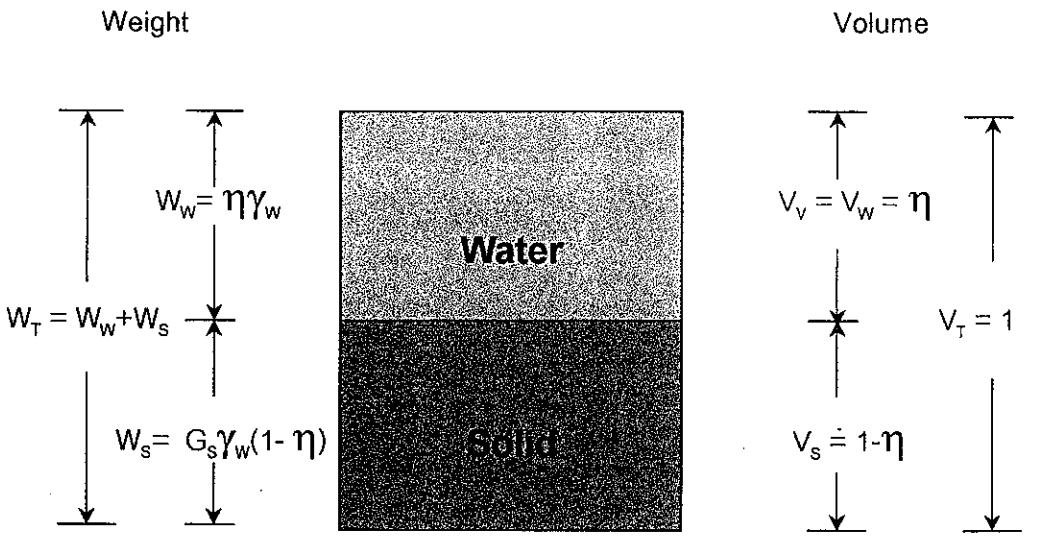
จากความสัมพันธ์จากแบบจำลอง รูปที่ 5.6 สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ดังนี้

1. $\gamma = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = G_S\gamma_W(1-\eta)(1+w)$

2. $\gamma_d = \frac{W_S}{V_T} = \frac{G_S\gamma_W(1-\eta)}{1} = G_S\gamma_W(1-\eta)$

3. $\eta = \frac{1-(G_S\gamma_W)}{\gamma_d}$

4. $S = \frac{V_W}{V_V} = \frac{wG_S(1-\eta)}{\eta}$



รูปที่ 5.7 แบบจำลองส่วนประกอบของดินอิ่มตัวเมื่อส่วนปริมาตรดินทั้งหมด (V_T) เท่ากับหนึ่ง

จากความสัมพันธ์จากแบบจำลอง รูปที่ 5.7 สามารถนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน (Soil Properties) ดังนี้

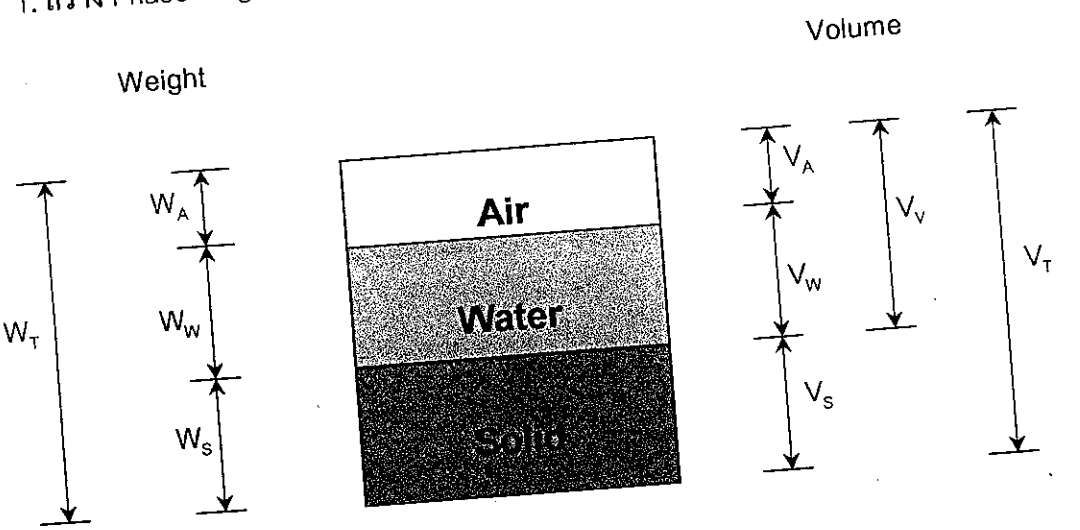
1. $\gamma_{sat} = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_S + W_W}{V_T} = \frac{(1-\eta)G_S\gamma_W + \eta\gamma_W}{1} = [(1-\eta)G_S + \eta]\gamma_W$

2. $w = \frac{W_W}{W_S} = \frac{\eta\gamma_W}{(1-\eta)\gamma_W G_S} = \frac{\eta}{(1-\eta)G_S}$

3. $S = \frac{V_W}{V_V} = 1$

5.1.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์แก้ปัญหาโจทย์โดย Three phase diagram

1. สร้าง Phase diagram



2. แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ของ Phase ต่าง ๆ ในดิน ที่ทราบค่า

3. กำหนดค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ของ Phase ต่าง ๆ ในดิน ที่ไม่ทราบค่า

4. ตั้งสมมติฐาน เช่น

- G_s = 2.5 - 2.9
- โดยทั่วไปจะใช้ G_s = 2.70
- สำหรับดินทรายและกรวด G_s = 2.65
- สำหรับดินเหนียว G_s = 2.65 – 2.85
- แบบจำลอง V_s = 1
- แบบจำลอง V_T = 1

ป
TA
ว10
.A2
ท446ก
2544

25
สำนักหอสมุด
- 2 ก.ค. 2545
4540130

5.2 โจทย์ทบทวนความรู้ ความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของเนื้อหาที่เรียน

1. ดินตามธรรมชาติ มีส่วนประกอบอะไรบ้าง

ตอบ ดินตามธรรมชาติทั่วไป มีส่วนประกอบดังนี้

1. ของแข็ง คือ เนื้อดินหรือเม็ดดิน
2. ของเหลว อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งโดยปกติจะเป็นน้ำ
3. ก๊าซ อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

2. ดินแห้ง (dry soil) , ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil) และดินชื้น (wet soil) เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ตอบ ต่างกันที่ปริมาณน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน คือ ในดินแห้งนั้น ช่องว่างระหว่างเม็ดดินไม่มีน้ำเลย แต่เต็มไปด้วยอากาศ ส่วนในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ช่องว่างระหว่างเม็ดดินนั้นเต็มไปด้วยน้ำ และในดินชื้น มีทั้งน้ำและอากาศในช่องว่างของเม็ดดิน

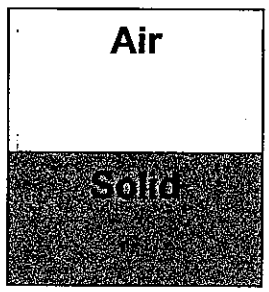
3. การวิเคราะห์หาส่วนประกอบของดินสามารถวิเคราะห์ได้จาก phase diagram ซึ่งแสดงส่วนประกอบของดิน กรุณาแสดง phase diagram ของดินในสภาวะต่าง ๆ ดังนี้ (วาดรูปประกอบ)

3.1 ดินแห้ง (dry soil)

3.2 ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated soil)

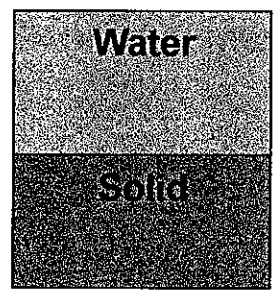
3.3 ดินชื้น (wet soil)

ตอบ



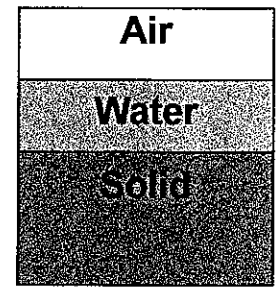
3.1) ดินแห้ง

(Dry soil)



3.2) ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

(Saturated soil)



3.3) ดินชื้น

(Wet or Moist soil)

5.3 โจทย์ทดสอบความสามารถในการคิดวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้ความรู้

1.จากการทดสอบ compaction test ผู้ทดสอบได้นำดินที่ได้จากการบดอัดมาทดสอบหา water content โดยนำดินไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากการทดสอบพบว่า น้ำหนักถาดเปล่า (W_p) 14.20 กรัม, น้ำหนักถาดและดินเปียก (W_{pws}) 73.35 กรัม, น้ำหนักถาดและดินแห้ง (W_{pds}) 60.85 กรัม ในฐานะผู้ทดสอบกรุณาคำนวณหา water content (w) ของดินตัวอย่างทดสอบนี้

วิธีทำ

จาก

$$
\begin{aligned}
w &= \frac{W_w}{W_s} x100 \\
&= \frac{W_{pws} - W_{pds}}{W_{pds} - W_p} x\,100 \\
&= \frac{(73.35 - 60.85)\ gm}{(60.85 - 14.20)\ gm} x\,100 \\
&= 27 \quad \%
\end{aligned}
$$

2. ดินทรายตัวอย่างที่อิ่มตัวไปด้วยน้ำ (saturated sand) มีปริมาตร 72 cc. หนัก 113.2 gm. หลังอบจนแห้งแล้วมีน้ำหนัก 90.6 gm. จากข้อมูลทางธรณีวิทยาพบว่า G_s = 2.68 กรุณาคำนวณหา

2.1 degree of saturation (S) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง

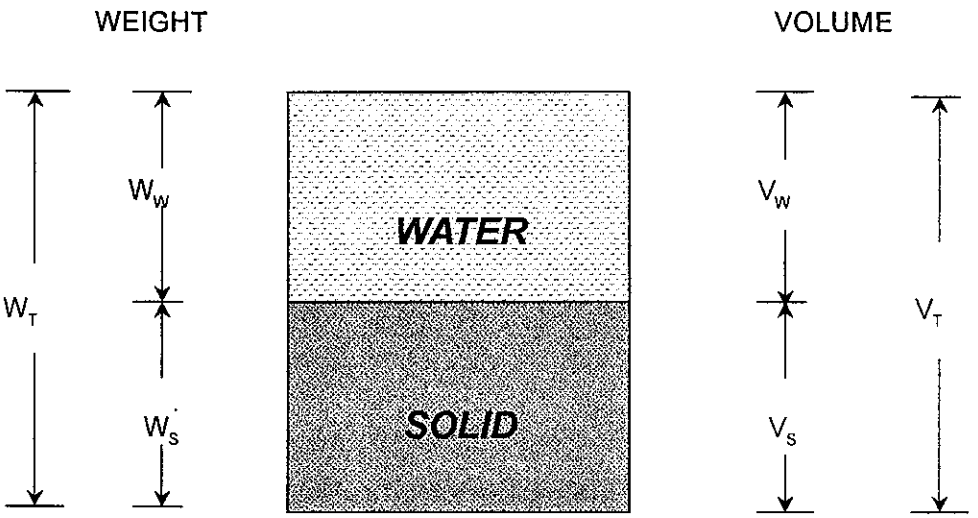
2.2 water content (w) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง

2.3 void ratio (e) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง

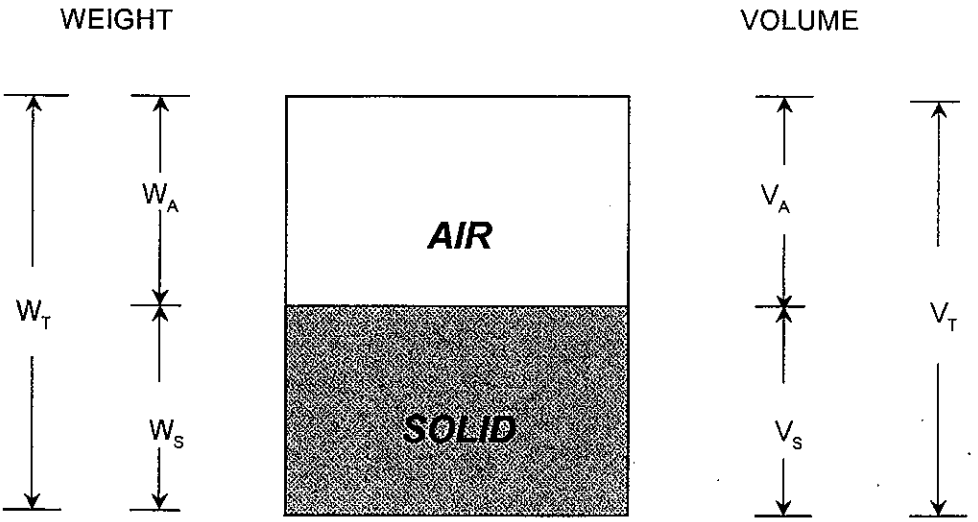
2.4 porosity (n) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง

<u>วิธีทำ</u>

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ saturated sand specimen และ dried sand specimen

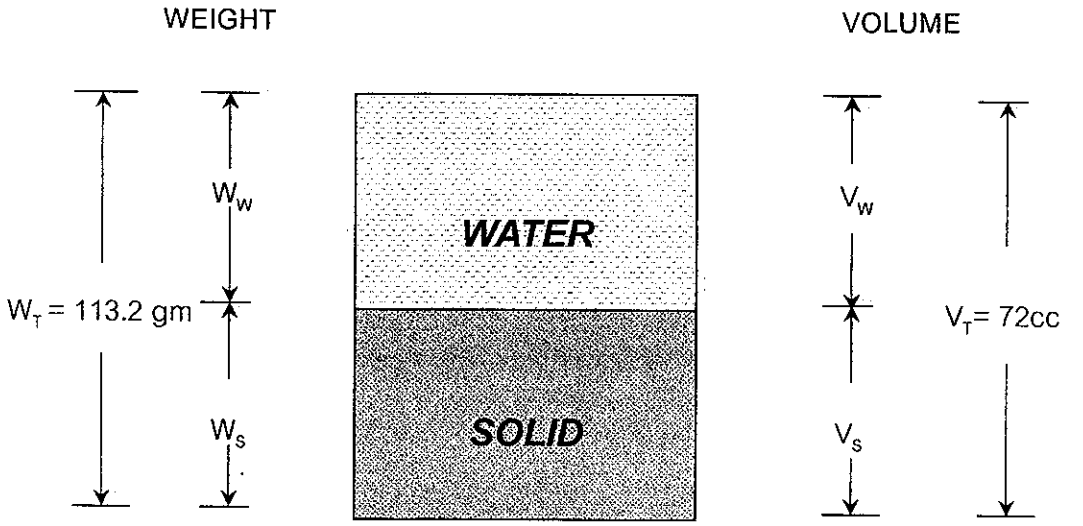


SATURATED SOIL SPECIMEN

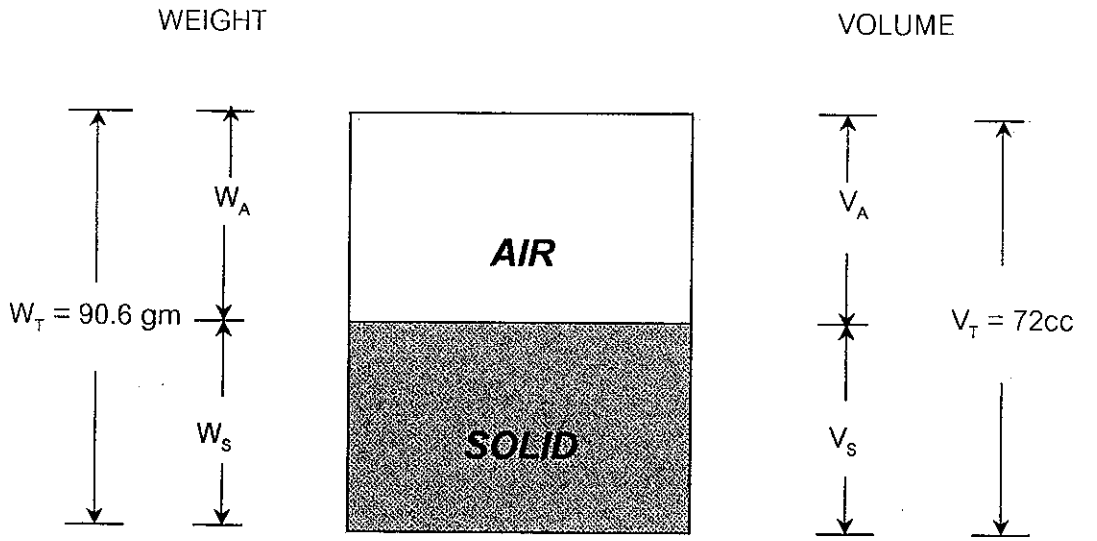


DRIED SOIL SPECIMEN

ขั้นที่ 2 แสดงค่าส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



SATURATED SOIL SPECIMEN



DRIED SOIL SPECIMEN

<u>ขั้นที่ 3</u> จากข้อมูลทางธรณีวิทยาของ soil specimen พบว่า $G_s = 2.68$ นำมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ใน phase diagram

จากความสัมพันธ์ของน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume)

น้ำหนักของเนื้อดิน $W_s = G_s V_s \rho_w$

$90.6 \text{ gm} = (2.68)(V_s)(1 \text{ gm/cc})$

$V_s = 33.8 \text{ cc}$

ก่อนอบแห้ง

ปริมาตรดินทั้งหมด $V_T = V_W + V_s$

∴ ปริมาตรน้ำ, $V_W = V_T - V_s$

$= (72 - 33.8) \text{ cc}$

$= 38.2 \text{ cc}$

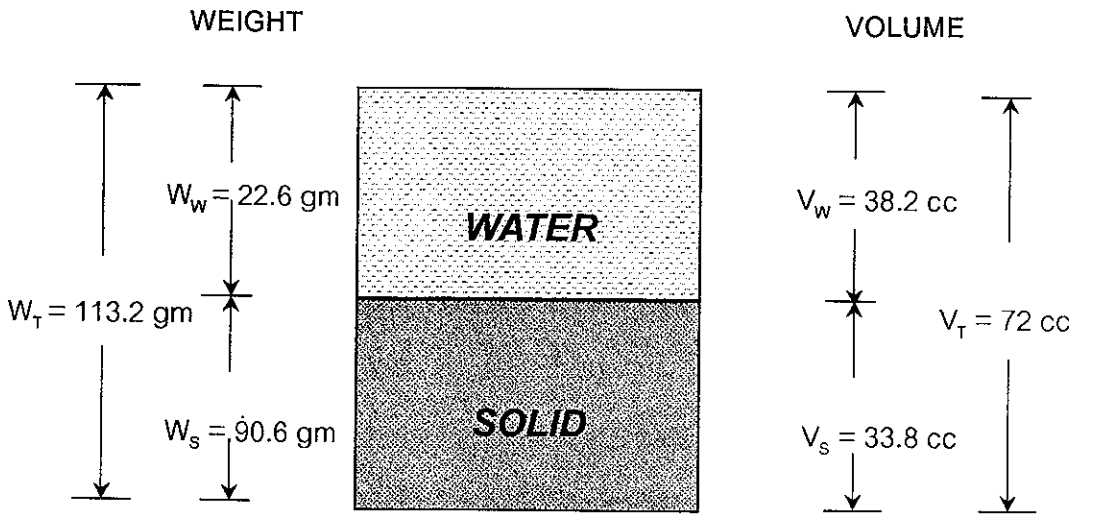
น้ำหนักดินทั้งหมด, $W_T = W_W + W_s$

∴ น้ำหนักน้ำ, $W_W = W_T - W_s$

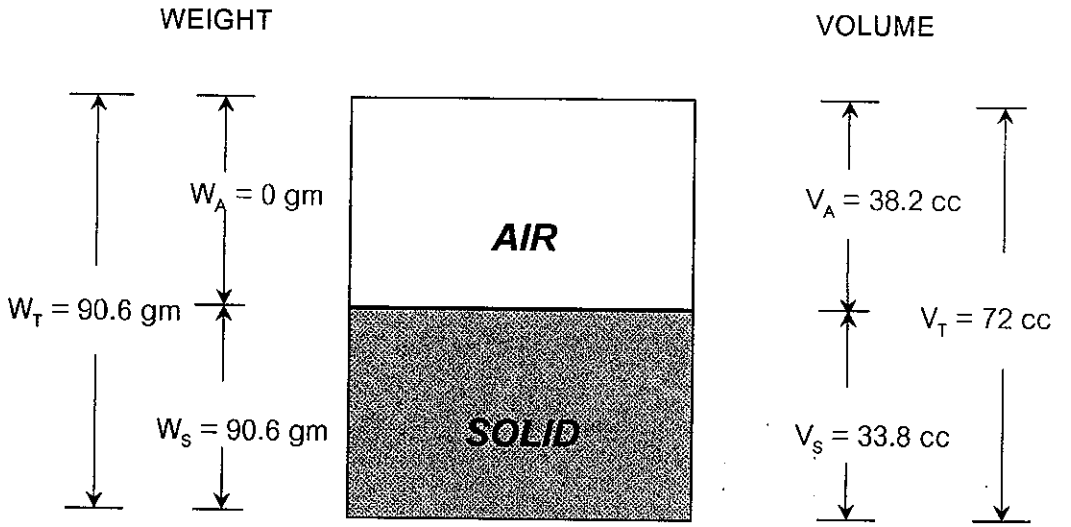
$= (113.2 - 90.6) \text{ gm}$

$= 22.6 \text{ gm}$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) **และปริมาตร** (volume) **ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3 เพิ่มลงใน** phase diagram



SATURATED SAND SPECIMEN



DRIED SOIL SPECIMEN

ขั้นที่ 5 ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้วคำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

2.1 คำนวณค่า degree of saturation (S) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้งและหลังอบแห้ง

จาก $S = \frac{V_W}{V_V} x\, 100\,\%$

พิจารณา degree of saturation (S) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง

$$s = \frac{38.2\ cc}{38.2\ cc} x\ 100\ \%$$
$$= 100\ \ \%$$

พิจารณา degree of saturation (S) ของตัวอย่างดินหลังอบแห้ง

$$s = \frac{0\ cc}{38.2\ cc} x\ 100$$
$$= 0\ \ \%$$

2.2 คำนวณค่า water content (w) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง

จาก

$$w = \frac{W_W}{W_S} x\, 100\,\%$$
$$w = \frac{22.6\ gm}{90.6\ gm} x\, 100\,\%$$
$$= 25\ \ \%$$

2.3 คำนวณค่า void ratio (e) ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง

จาก

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$
$$= \frac{38.2\ cc}{33.8\ cc}$$
$$= 1.13$$

2.4 **คำนวณค่า** porosity (n) **ของตัวอย่างดินก่อนอบแห้ง**

จาก

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$
$$= \frac{38.2\ cc}{72.0\ cc}$$
$$= 0.53$$

3. **ในการเก็บตัวอย่างดินอิ่มตัว** (saturated soil) **จากชั้นดินที่จะทำการก่อสร้างฐานรากตื้น** (shallow foundation) **รองรับโครงสร้างโกดังเก็บพืชผลทางการเกษตร พบว่าตัวอย่างดินมี** water content (w) = 30 % **และมี** bulk unit weight (γ_T) = 1.97 T/m ^{3} **เพื่อคำนวณคุณสมบัติที่จำเป็นในการออกแบบ กรุณาคำนวณหา**

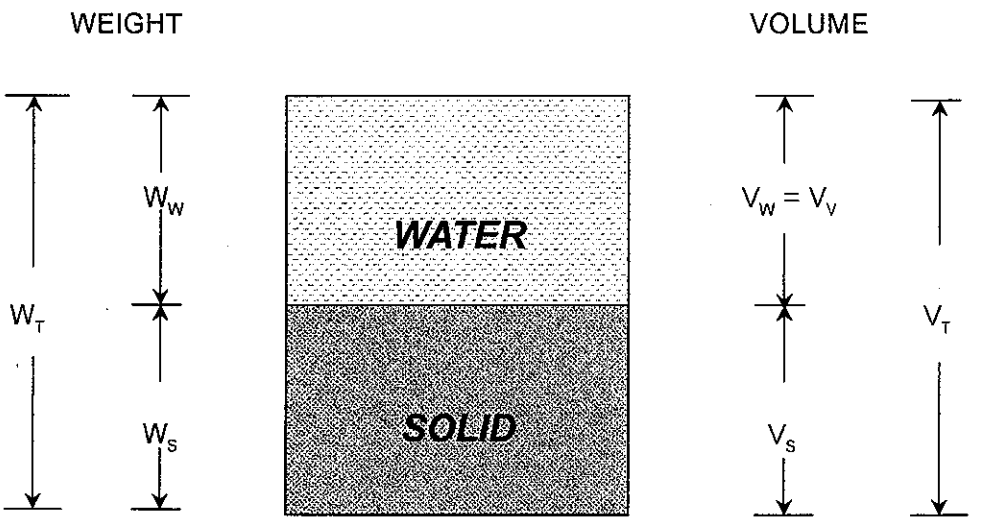
3.1 dry unit weight (γ_d)

3.2 void ratio (e)

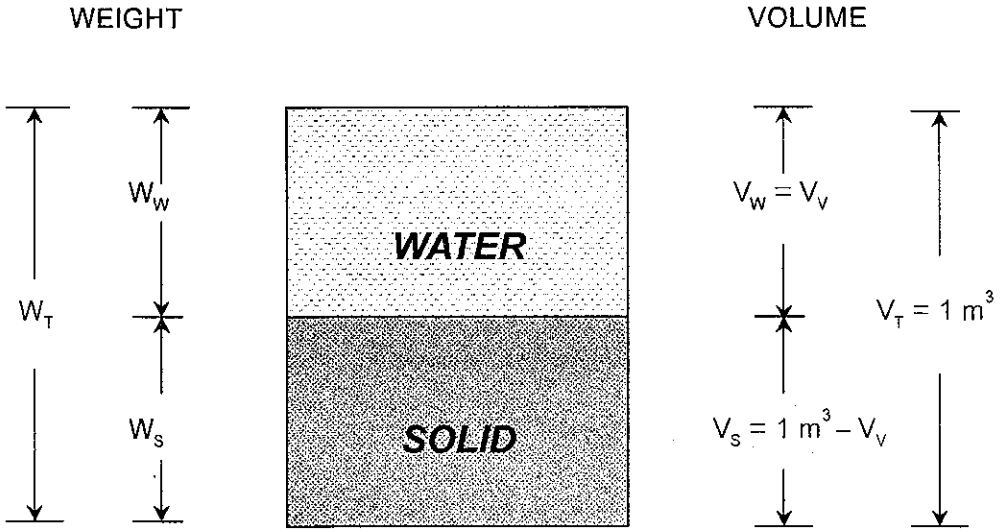
3.3 specific gravity (G_s)

<u>วิธีทำ</u>

<u>ขั้นที่ 1</u> **สร้าง** phase diagram **ของ** saturated soil **โดย** $V_W = V_V$



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง $V_T = 1\ m^3$ และแสดงค่าของส่วนที่ทราบค่าแล้วใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จาก physical properties ของตัวอย่างดิน นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก

$$\gamma_{sat} = \frac{W_T}{V_T} = 1.97 \quad T/m^3$$

$$W_T = (1\ m^3)\,(1.97\ T/m^3)$$

$$= 1.97 \quad T$$

จาก water content (w) = 0.3

$$w = \frac{W_W}{W_S} = 0.3 \qquad (1)$$

$$W_T = W_W + W_S = 1.97 \quad T \qquad (2)$$

จาก (1) และ (2) จะได้

$W_W = 0.45\ T$

$W_S = 1.52\ T$

จากคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของน้ำ ; $\gamma_w = 1\ T/m^3$

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W} = 1\,T/m^3$$

$$V_W = \frac{0.45\,T}{1\,T/m^3}$$

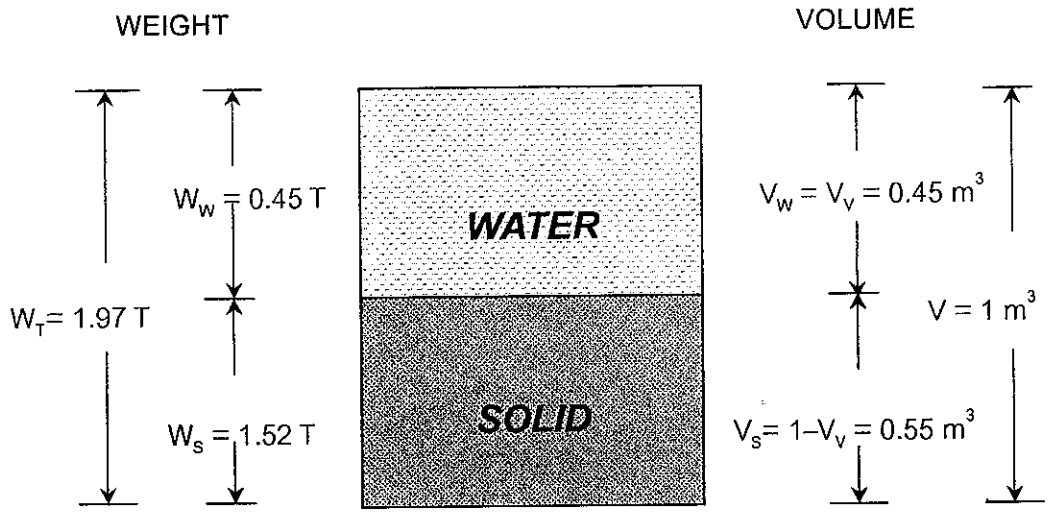
$$= 0.45 \quad m^3$$

จาก $V_S = V_T - V_V$

$= (1 - 0.45)\ m^3$

$= 0.55 \quad m^3$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 3 เพิ่มลงไปใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

3.1 คำนวณค่า dry unit weight (γ_{dry})

$$\gamma_{dry} = \frac{W_s}{V}$$
$$= \frac{1.52 \quad T}{1 \quad m^3}$$
$$= 1.52 \quad T/m^3$$

3.2 คำนวณค่า void ratio (e)

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$
$$= \frac{0.45\ m^3}{0.55\ m^3}$$
$$= 0.82$$

3.3 คำนวณหา specific gravity (G_s)

$$e = w\ G_s$$
$$G_s = \frac{e}{w}$$
$$= \frac{0.82}{0.3}$$
$$= 2.73$$

4. จากการทดสอบตัวอย่างดินที่เก็บจากบริเวณที่จะทำการก่อสร้างหอพัก พบว่า void ratio (e) เท่ากับ 0.60, water content (w) เท่ากับ 15 % และ specific gravity (G_s) เท่ากับ 2.70 จากข้อมูลดังกล่าว กรุณาคำนวณหา

4.1 porosity (n) ของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

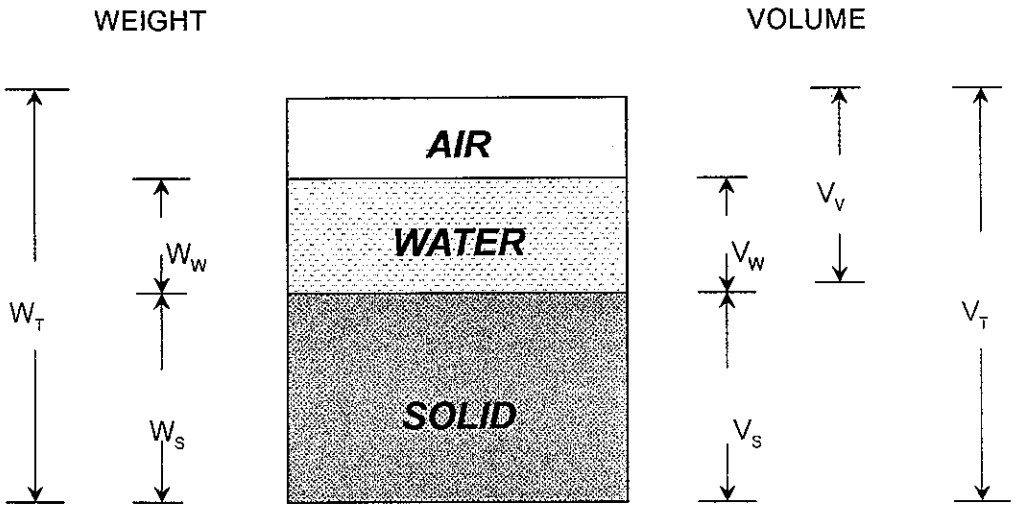
4.2 degree of saturation (S) ของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

4.3 bulk unit weight (γ_T) ของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

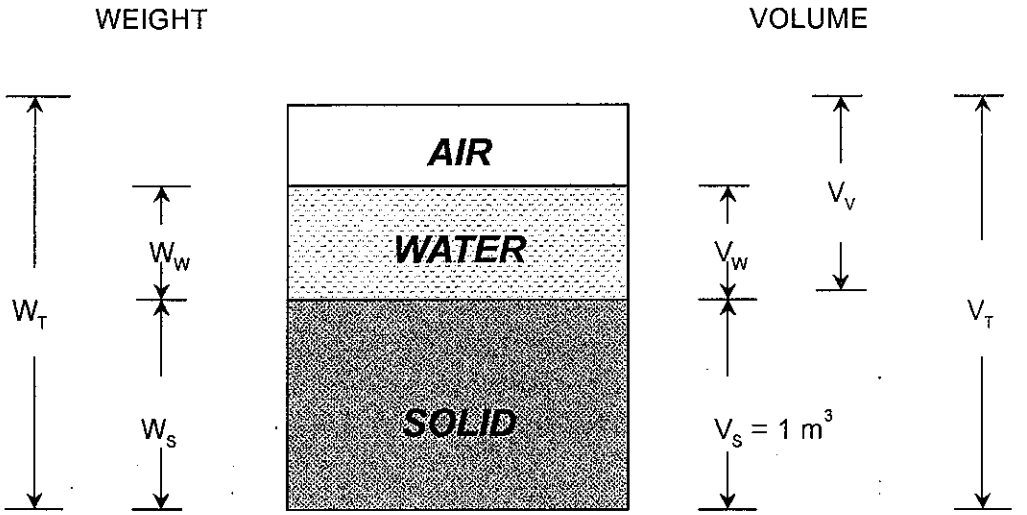
4.4 dry unit weight (γ_{dry}) ของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

<u>วิธีทำ</u>

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง V_S = 1 m^3 และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จากคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของตัวอย่างดิน นำมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ใน phase diagram

จาก

$$e = 0.6 = \frac{V_V}{V_S}$$

จะได้ $V_V = 0.6\,V_S$

$= 0.6\,(1m^3)$

$= 0.6 \quad m^3$

จากแบบจำลอง

$V_T = V_S + V_V$

$= (0.6 + 1)\ m^3$

$= 1.6 \quad m^3$

จาก

$$w = 15\% \quad = 0.15 = \frac{W_W}{W_S}$$

$$W_W = 0.15 W_S \qquad (1)$$

จาก $W_S = G_S V_S \gamma_W$

$W_S = (2.70)\ (1\ m^3)\ (9.81\ kN/m^3)$

$W_S = 26.49\ kN$

แทนค่า W_S ใน (1) จะได้

$W_W = 3.97 \quad kN$

จากแบบจำลอง

$W_T = W_A + W_W + W_S$

$W_T = (0 + 3.97 + 26.49)\ kN$

$W_T = 30.46 \quad kN$

จาก

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$V_W = \frac{3.97 \quad kN}{9.81 \quad kN/m^3}$$

$$V_W = 0.405 \quad m^3$$

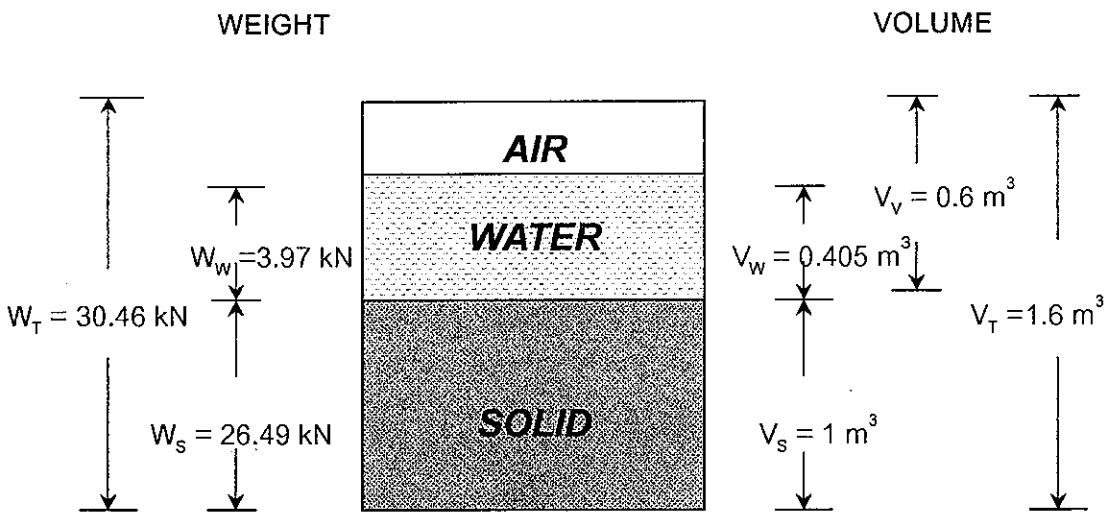
จากแบบจำลอง

$$V_T = V_S + V_W + V_A$$

$$V_A = (1.6 - 1 - 0.405)\ m^3$$

$$= 0.195 \quad m^3$$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงไปใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

4.1 คำนวณหาค่า porosity (n)

จาก

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

$$= \frac{0.6 \quad m^3}{1.6 \quad m^3}$$

$$= 0.375$$

4.2 คำนวณหาค่า degree of saturation (S)

จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V} \; x \; 100 \quad \%$$

$$= \frac{0.405 \quad m^3}{0.6 \quad m^3} x \, 100 \, \%$$

$$= 67.5 \quad \%$$

4.3 คำนวณหาค่า bulk unit weight (γ_T)

จาก

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$= \frac{30.46 \quad kN}{1.6 \quad m^3}$$

$$= 19.34 \quad kN/m^3$$

4.4 คำนวณหาค่า dry unit weight (γ_{dry})

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$

$$= \frac{26.49 \quad kN}{1 \quad m^3}$$

$$= 16.56 \quad kN/m^3$$

5. อบต. ท่าโพธิ์ มีโครงการที่จะก่อสร้างอาคารสำนักงานแห่งใหม่ ที่บริเวณใกล้กับสำนักงานแห่งเดิม ก่อนทำการออกแบบฐานรากของอาคารสำนักงานแห่งใหม่ วิศวกรผู้ออกแบบได้นำดินที่เก็บมาจากบริเวณที่จะทำการสร้างอาคารสำนักงานแห่งใหม่ มาทดสอบ โดยดินตัวอย่างทดสอบ มีน้ำหนัก 1.8 kN มีปริมาตร 0.1 m^3 จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า water content (w) เท่ากับ 12.6 % จากข้อมูลทางธรณีวิทยาพบว่า G_S = 2.70 เพื่อคำนวณคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับใช้ในการออกแบบ กรุณาคำนวณ

5.1 bulk unit weight (γ_T)

5.2 dry unit weight (γ_{dry})

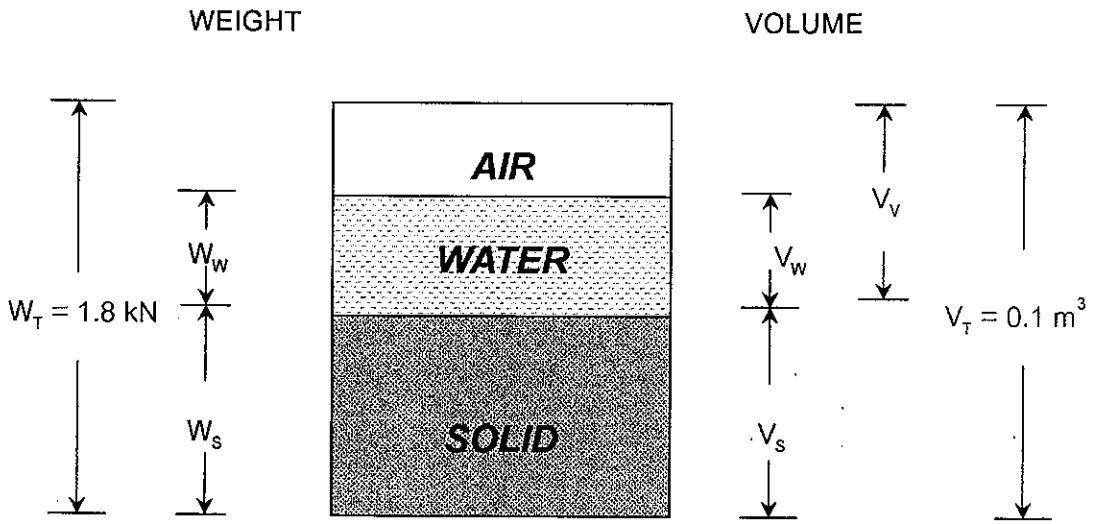
5.3 void ratio (e)

5.4 porosity (n)

5.5 degree of saturation (S)

<u>วิธีทำ</u>

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil และแสดงค่าของส่วนที่ทราบค่าแล้วใน phase diagram



ขั้นที่ 2 จาก physical properties ของตัวอย่างดิน นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก

$$w = \frac{W_W}{W_S} x\ 100$$

$$W_W = \frac{12.6 W_S}{100} = 0.126 W_S$$

จาก $W_T = W_W + W_S$

$= 0.126\ W_S + W_S$

จะได้ $W_W = (1.8 - 1.6)$ kN

$= 0.2$ kN

จาก $W_S = G_S V_S \gamma_W$

$$V_S = \frac{1.6\ \ kN}{2.70\ x\ 9.81\ kN/m^3}$$

$$= 0.060\ \ m^3$$

จาก

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$V_W = \frac{W_W}{\gamma_W}$$

$$= \frac{0.2\ \ kN}{9.81\ \ kN/m^3}$$

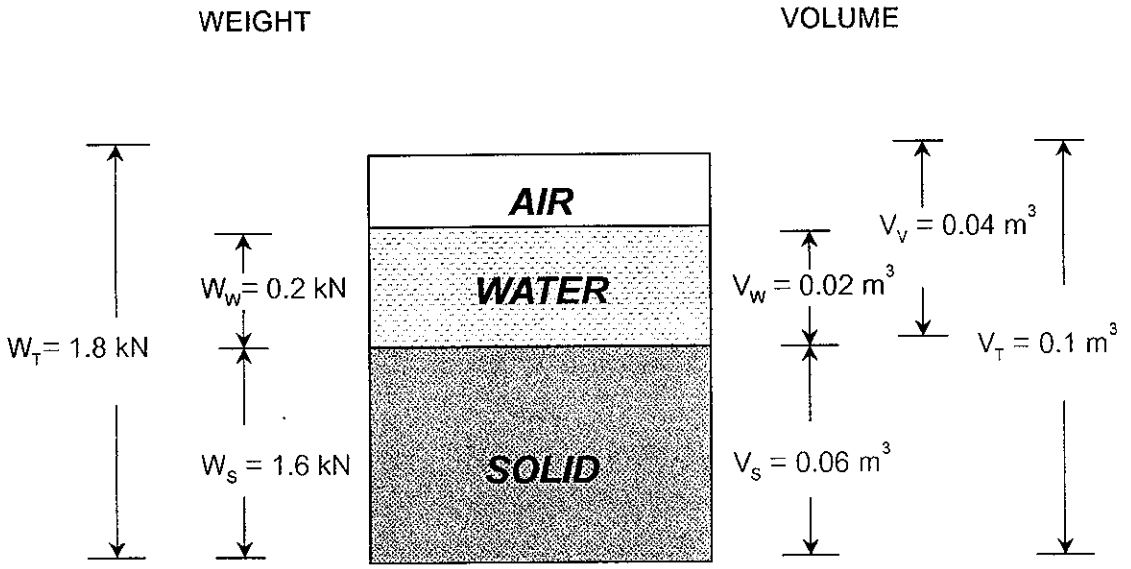
$$= 0.020\ \ m^3$$

จาก $V_T = V_V + V_S$

$V_V = (0.1 - 0.06)\ m^3$

$= 0.04\ \ m^3$

<u>ขั้นที่ 3</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 2 เพิ่มลงไปใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 4</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้วคำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

5.1 คำนวณค่า bulk unit weight (γ_T)

จาก

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$= \frac{1.8\,kN}{0.1\,m^3}$$

$$= 18 \quad kN/m^3$$

5.2 **คำนวณค่า** dry unit weight (γ_{dry})

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$
$$= \frac{1.6\ kN}{0.1\ m^3}$$
$$= 16\ \ kN/m^3$$

5.3 **คำนวณค่า** void ratio (e)

จาก

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$
$$= \frac{0.04\ m^3}{0.06\ m^3}$$
$$= 0.67$$

5.4 **คำนวณค่า** porosity (n)

จาก

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$
$$= \frac{0.04\ \ m^3}{0.1\ \ m^3}$$
$$= 0.4$$

5.5 **คำนวณค่า** degree of saturation (S)

จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V} x\ 100\ \%$$
$$= \frac{0.02\ \ m^3}{0.04\ \ m^3} x\ 100\ \%$$
$$= 50\ \ \%$$

6. นิสิตที่เรียนวิชาปฐพีกลศาสตร์ (soil mechanics) กลุ่มหนึ่ง ได้นำตัวอย่างดินจากบริเวณที่จะทำการก่อสร้างอาคารพลังงานในมหาวิทยาลัยนเรศวรมาทำการทดสอบ พบว่า bulk unit weight (γ_T) เท่ากับ 96 lb/ft^3, water content (w) เท่ากับ 17 % และ degree of saturation (S) เท่ากับ 60 % จากข้อมูลดังกล่าว กรุณาคำนวณหา

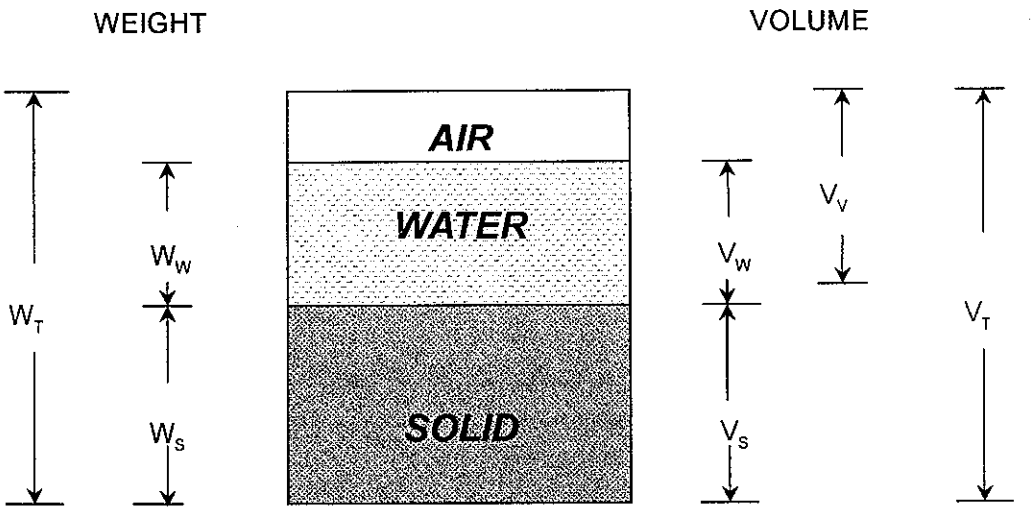
6.1 void ratio (e)

6.2 specific gravity of soil (G_S)

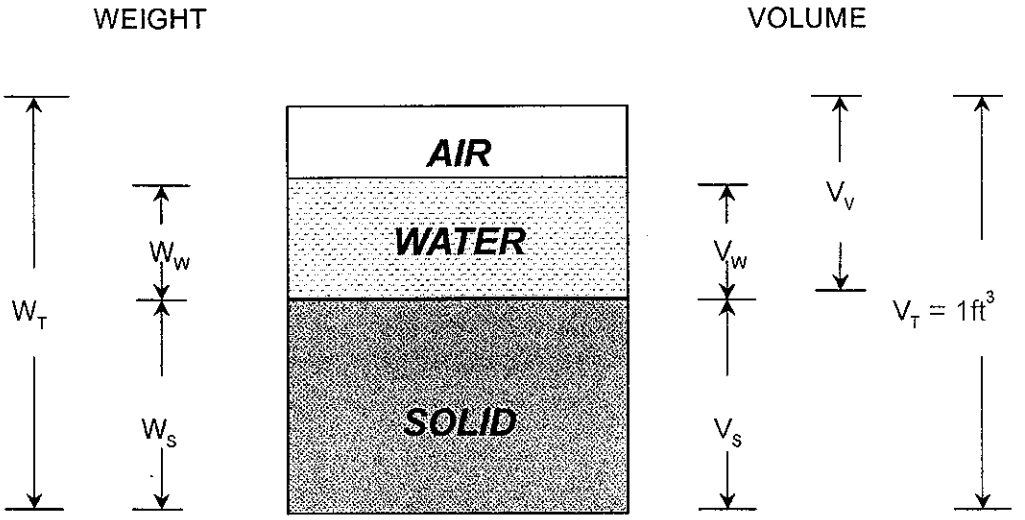
6.3 saturated soil unit (γ_{sat})

<u>วิธีทำ</u>

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง V_T = 1 ft^3 และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$96\ lb/ft^3 = \frac{w_T}{1\ ft^3}$$

$$W_T = 96\ \ lb$$

จาก

$$w = 17\,\% = 0.17 = \frac{W_W}{W_S}$$

$$W_W = 0.17\,W_S \qquad (1)$$

จาก

$$W_T = W_W + W_S$$

$$96\ lb = 0.17\,W_S + W_S$$

$$W_S = 82\ \ lb$$

แทนค่าใน (1) จะได้ W_W = 0.17 (82 lb)

= 14 lb

จาก

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$62.4\ lb/ft^3 = \frac{14\ lb}{V_W}$$

$$V_W = 0.224\ ft^3$$

จาก

$$s = \frac{V_W}{V_V} x\ 100\%$$

$$60 = \frac{0.224\ ft^3\ x\ V_V}{100}$$

$$V_V = 0.373\ ft^3$$

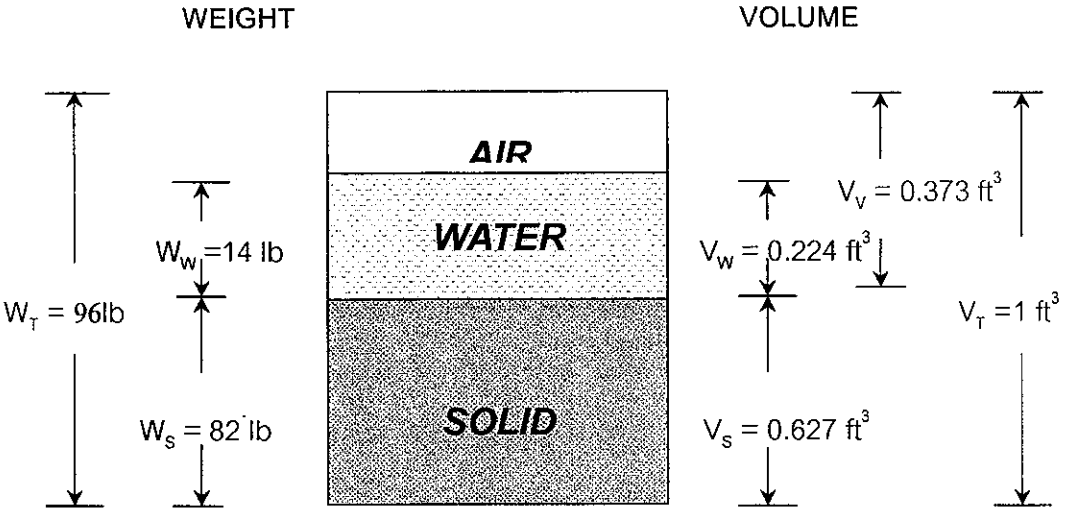
จากแบบจำลอง

$$V_T = V_S + V_V$$

$$1\ ft^3 = 0.373\ ft^3 + V_S$$

$$V_S = 0.627\ ft^3$$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงไปใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume)แล้วคำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

6.1 คำนวณหาค่า void ratio (e)

จาก

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$= \frac{0.373\ ft^3}{0.627\ ft^3}$$

$$= 0.59$$

6.2 คำนวณหาค่า specific gravity of soil (G_s)

จาก

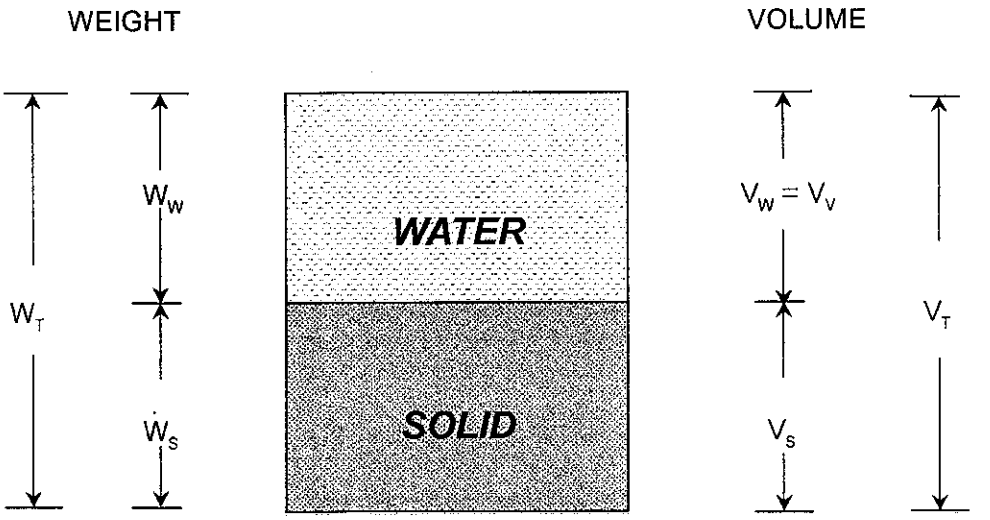
$$G_S = \frac{W_S}{V_S\,\gamma_W}$$

$$= \frac{82\ \ lb}{(0.627\ ft^3)\,(62.4\ lb/ft^3)}$$

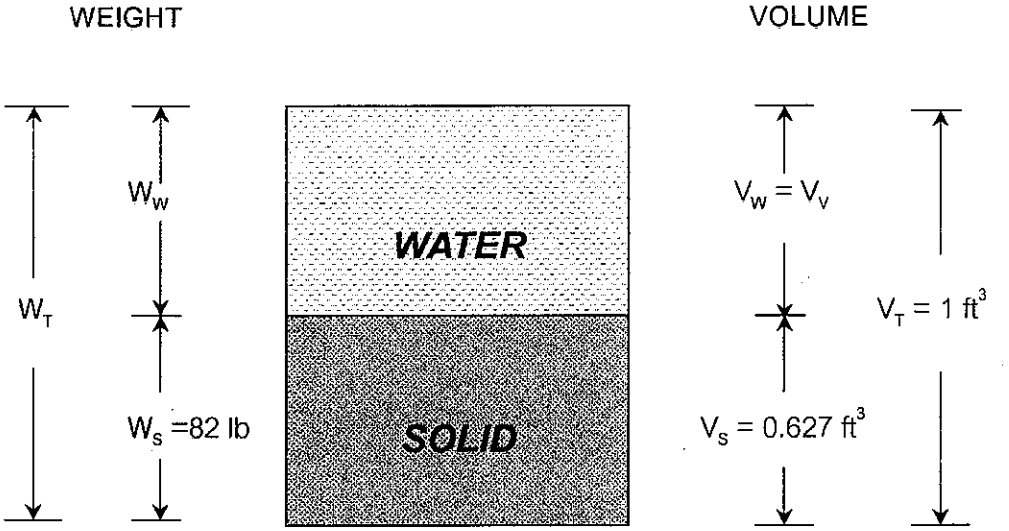
$$= 2.09$$

6.3 คำนวณหาค่า saturated soil unit (γ_{sat})

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ saturated soil โดย $V_W = V_V$



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง $V_T = 1\ ft^3$ และแสดงค่าของส่วนที่ทราบค่าแล้วใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จาก physical properties ของตัวอย่างดินที่ได้จากการ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก $V_T = V_S + V_V$

$V_V = (1 - 0.627)\ ft^3$

$= 0.373\ ft^3$

จากคุณสมบัติทางกายภาพ (physical properties) ของน้ำ ; $\gamma_W = 62.4\ lb/ft^3$

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W} = 62.4\ lb/ft^3$$

$$W_W = (62.4\ lb/ft^3)(0.373\ ft^3)$$

$$= 23\ \ lb$$

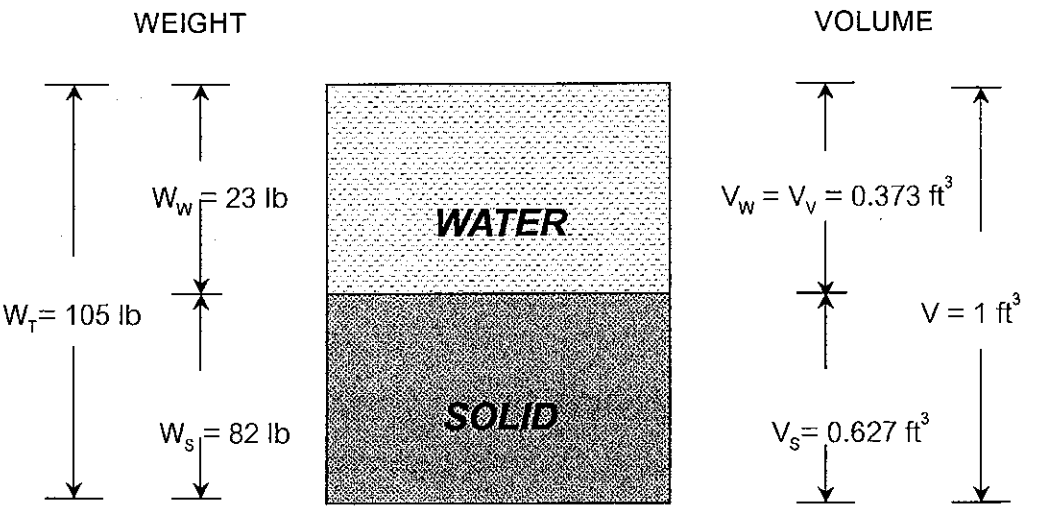
จาก

$$W_T = W_W + W_S$$

$$= (82 + 32)\ lb$$

$$= 114\ \ lb$$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงไปใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้วคำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

จาก

$$\gamma_{sat} = \frac{W_T}{V_T}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{(105\ lb)}{1\ ft^3}$$

$$= 105\ \ lb/ft^3$$

7. โครงการก่อสร้างถนนภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร บริเวณรอบกลุ่มอาคารพลังงานแสงอาทิตย์ ก่อนที่จะทำการก่อสร้างถนนดังกล่าววิศวกรผู้ควบคุมโครงการก่อสร้างได้นำดินจากบริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนน 4 ตัวอย่าง มาทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า

soil no.	γ_T (kN/m^3)	γ_{dry} (kN/m^3)	G_S	e	n	S (%)	w
1	16.0			0.60			0
2	17.7		2.71		0.45		
3			2.65		0.50		0.33
4			2.68	0.90		90	

โดยที่ γ_T = bulk unit weight

γ_{dry} = dry unit weight

G_S = specific gravity

e = void ratio

n = porosity

S = degree of saturation

w = water content

ในฐานะวิศวกรผู้ควบคุมโครงการ กรุณาคำนวณ ค่า physical properties ที่ยังไม่ทราบค่าของดินแต่ละตัวอย่างดิน

<u>วิธีทำ</u>

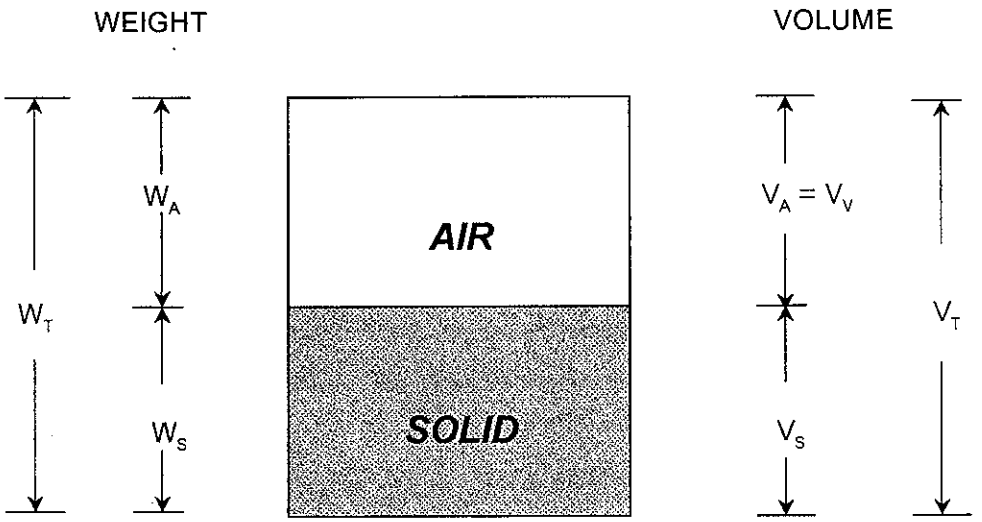
<u>Soil no. 1</u> γ_T = 16 kN/m^3

e = 0.6

w = 0

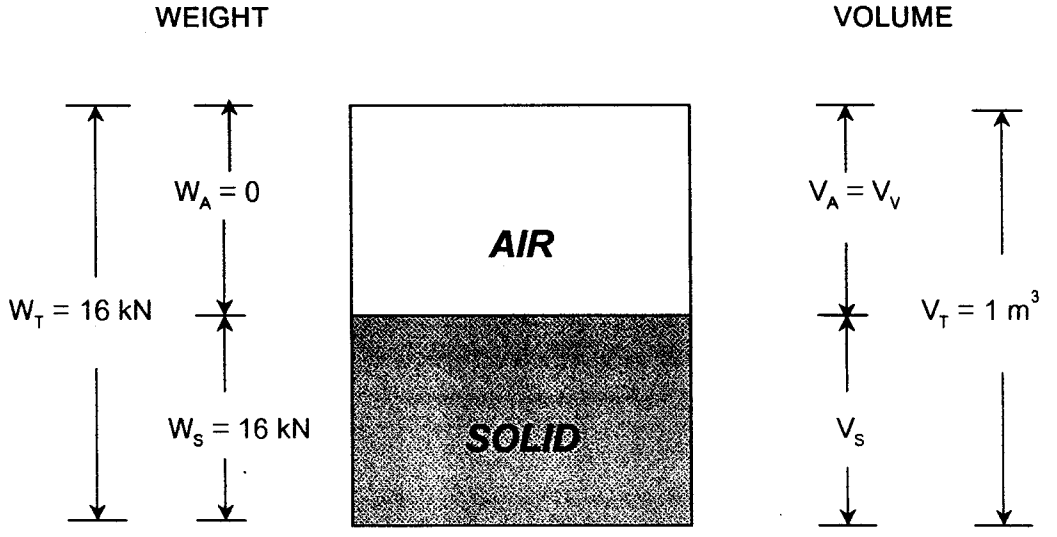
ต้องคำนวณค่า γ_{dry}, G_S, n, และ S

<u>**ขั้นที่ 1**</u> **สร้าง** phase diagram **ของ** dried soil **โดย** $V_A = V_V$



DRIED SOIL SPECIMEN

ขั้นที่ 2 ใช้แบบจำลอง $V_T = 1\ m^3$ และแสดงค่าส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



DRIED SOIL SPECIMEN

จากข้อมูล soil no. 1

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T} = 16.0 \quad kN/m^3$$

$$W_T = 16 \quad kN$$

จาก phase diagram $W_T = W_S + W_A$

เนื่องจาก $W_A = 0$

ดังนั้น $W_T = W_S$

ขั้นที่ 3 จาก physical properties ของ soil no.1 พบว่า นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก void ratio (e) เท่ากับ 0.6

$$e = \frac{V_V}{V_S} = 0.6$$

$$V_V = 0.6\,V_S$$

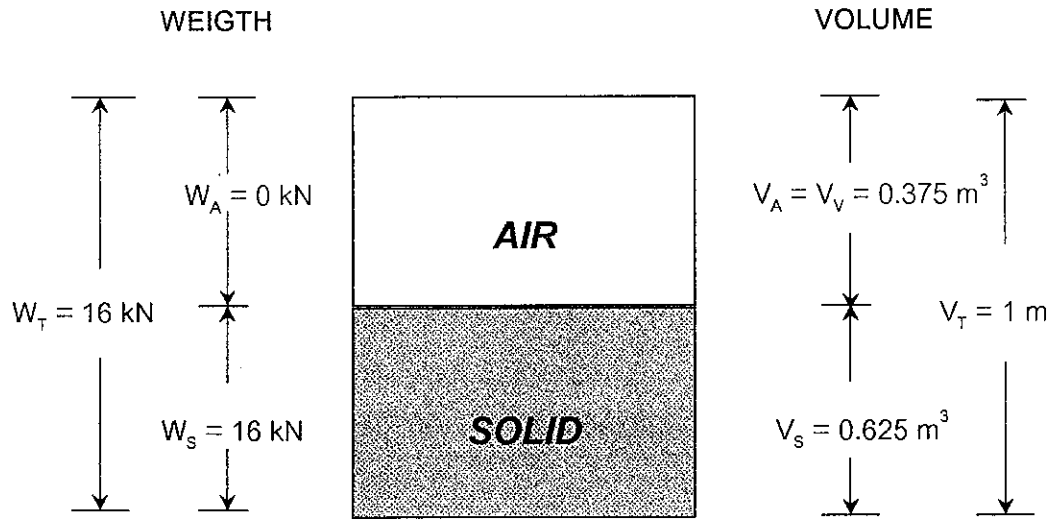
จากปริมาตรดินทั้งหมด, V_T = $V_S + V_A$

$1\ m^3$ = $0.6\ V_S + V_S$

V_S = $0.625\ m^3$

จะได้ V_V = $0.375\ m^3$

ขั้นที่ 4 แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงใน phase diagram



DRIED SOIL SPECIMEN

ขั้นที่ 5 ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

5.1specific gravity (G_S)

จาก

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_w}$$

$$= \frac{16\ \ kN}{(0.625\ m^3)\,(9.84\ kN/m^3)}$$

$$= 2.61$$

5.2 คำนวณค่า porosity (n)

จาก

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

$$= \frac{0.375\ m^3}{1\ m^3}$$

$$= 0.375$$

5.3 degree of saturation (S)

จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V} x\ 100\ \%$$

$$= \frac{0\ \ m^3}{0.375\ m^3} X\ 100\ \%$$

$$= 0\ \ \%$$

5.4 dry unit weight (γ_{dry})

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$

$$= \frac{16\ \ kN}{1\ \ m^3}$$

$$= 16\ \ kN/m^3$$

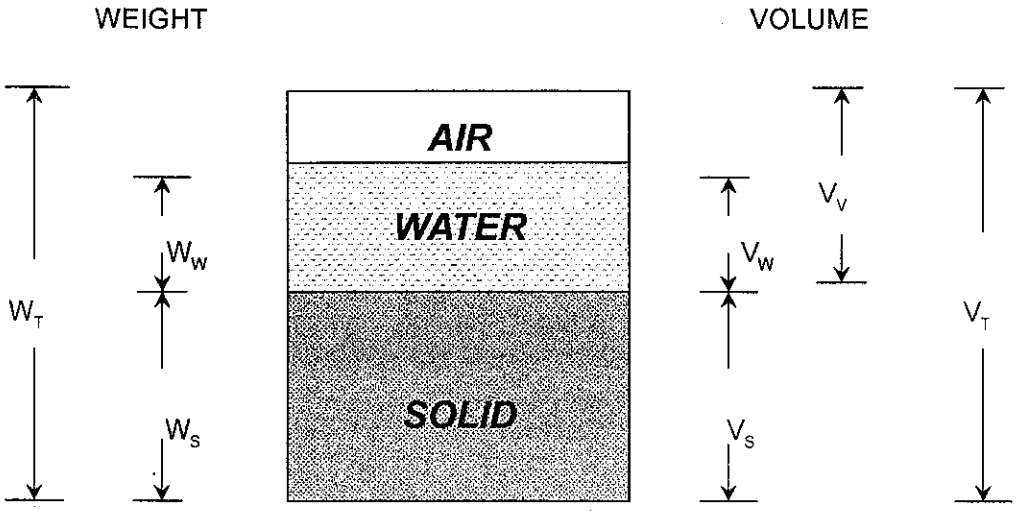
Soil no. 2 γ_T = 17.7 kN/m^3

G_S = 2.71

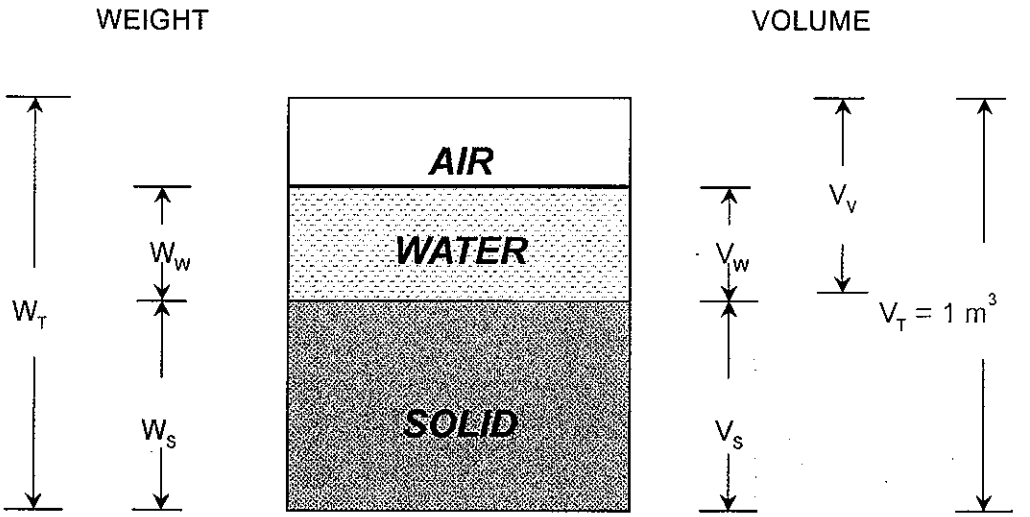
n = 0.45

ต้องคำนวณค่า γ_{dry}, e, S, และ w

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง $V_T = 1\ m^3$ และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก bulk unit weight (γ_T) เท่ากับ 17.7 kN / m^3

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$17.7\ kN/m^3 = \frac{w_T}{1\ m^3}$$

$$W_T = 17.7\ kN$$

จาก porosity (n) เท่ากับ 0.45

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

$$0.45 = \frac{V_V}{1\ m^3}$$

$$V_V = 0.45\ m^3$$

จาก ปริมาตรของดินทั้งหมด (V_T) เท่ากับ 1 m^3

$$V_T = V_S + V_V$$

$$1\ m^3 = V_S + 0.45\ m^3$$

$$V_S = 0.55\ m^3$$

จาก specific gravity (G_S) เท่ากับ 2.71

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_W}$$

$$2.71 = \frac{W_S}{(0.55\ m^3)(9.81\ kN/m^3)}$$

$$W_S = 14.62\ kN$$

จาก bulk unit weight (γ_T) เท่ากับ 17.7 kN / m^3

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$\gamma_T = \frac{W_S + W_W + W_A}{V_T}$$

$$17.7\ kN/m^3 = \frac{(14.62 + W_W + 0)\ m^3}{1\ m^3}$$

$$W_W = 3.08\ kN$$

จาก water unit weight (γ_W) เท่ากับ 9.81 kN / m^3

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$9.81\ kN/m^3 = \frac{3.08\ kN}{V_W}$$

$$V_W = 0.314\ m^3$$

จาก ปริมาตรของดินทั้งหมด (V_T) เท่ากับ 1 m^3

$$V_T = V_S + V_W + V_A$$

$$V_A = V_T - V_S - V_W$$

$$= (1 - 0.55 - 0.314)\ m^3$$

$$= 0.136\ m^3$$

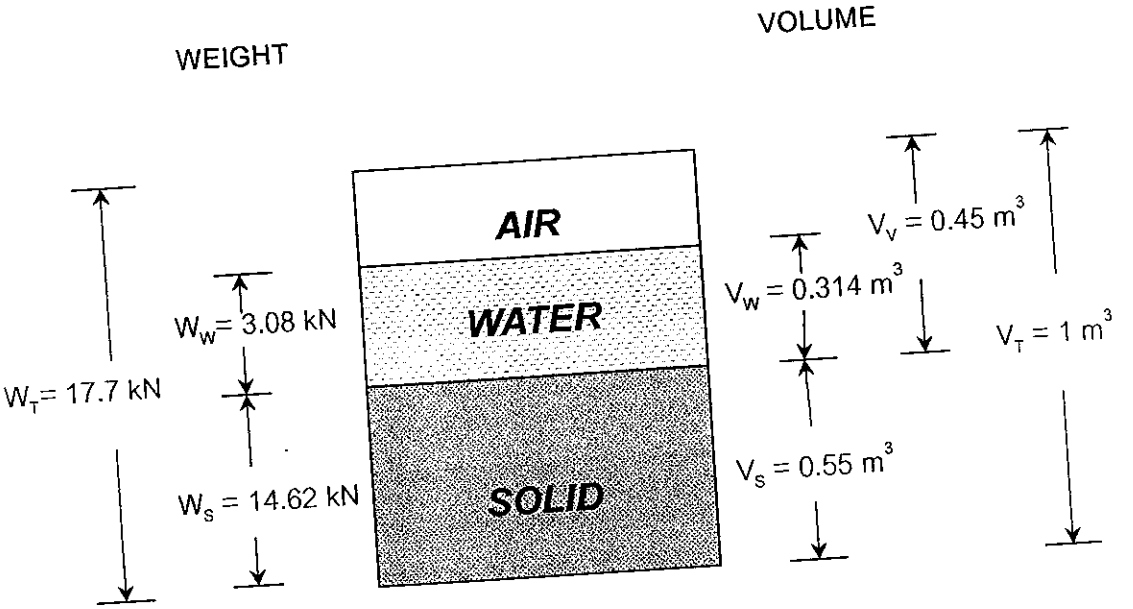
คำนวณ ปริมาตรของช่องว่าง (V_V)

$$V_V = V_W + V_A$$

$$= (0.314 + 0.136)\ m^3$$

$$= 0.45\ m^3$$

ขั้นที่ 4 แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงใน phase diagram



ขั้นที่ 5 ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

5.1 void ratio (e)

จาก

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$= \frac{0.45 \ \ m^3}{0.55 \ \ m^3}$$

$$= 0.82$$

5.2 dry unit weight (γ_{dry})

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$

$$= \frac{14.62 \ \ kN}{1 \ \ m^3}$$

$$= 14.62 \ \ kN/m^3$$

5.3 degree of saturation (S)

จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V} x\,100\,\%$$

$$= \frac{0.314 \quad m^3}{0.45\,m^3} X\,100\,\%$$

$$= 70 \quad \%$$

5.4 water content (w)

$$w = \frac{W_W}{W_S}$$

$$= \frac{3.08 \quad kN}{14.62 \quad kN}$$

$$= 0.21$$

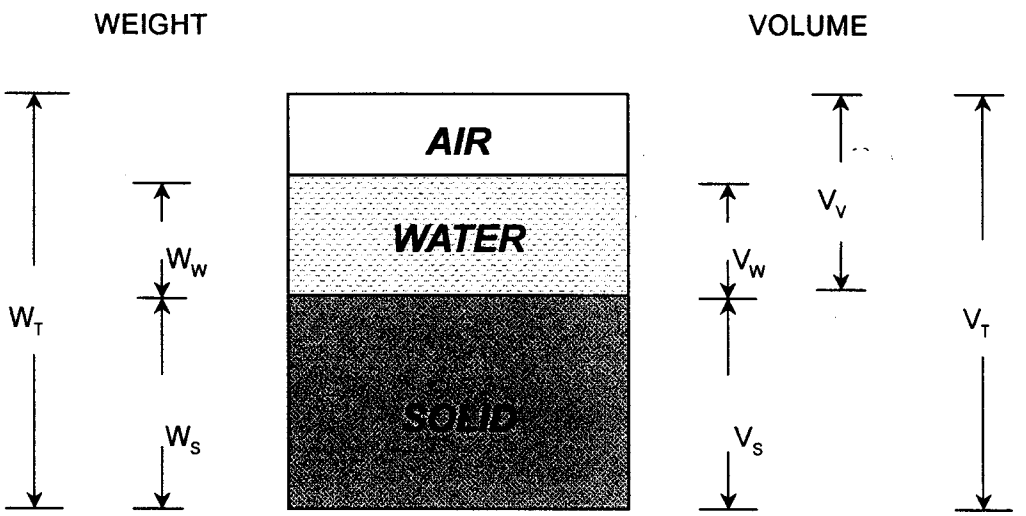
Soil no. 3 G_S = 2.65

n = 0.50

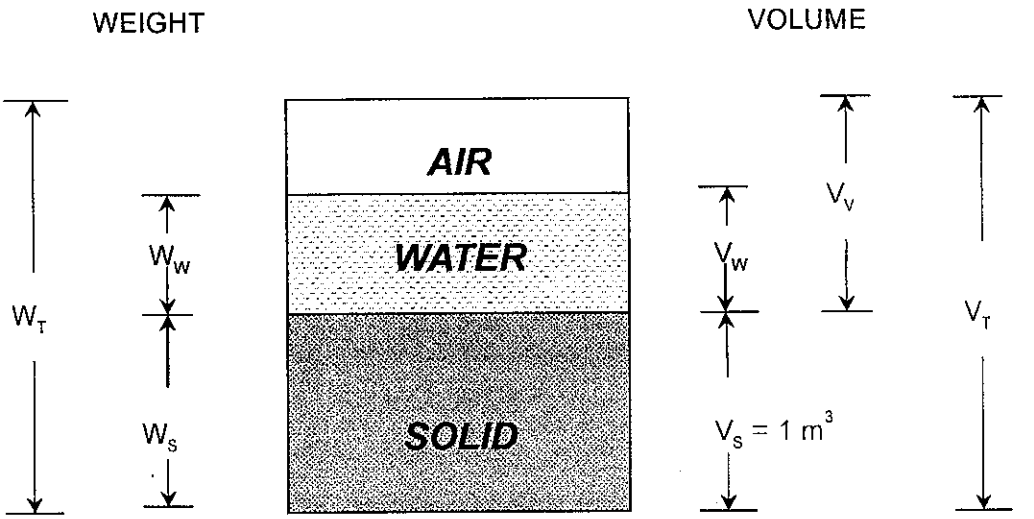
w = 0.33

ต้องคำนวณค่า γ_T, γ_{dry}, e, และ S

ขั้นที่ 1 สร้าง phase diagram **ของ** wet soil



ขั้นที่ 2 ใช้แบบจำลอง V_s = 1 m^3 และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



ขั้นที่ 3 จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก specific gravity (G_s) เท่ากับ 2.65

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_w}$$

$$2.65 = \frac{W_S}{(1\,m^3)\,(9.81\,kN/m^3)}$$

$$W_S = 26 \quad kN$$

จาก water content (w) เท่ากับ 0.33

$$w = \frac{W_W}{W_S}$$

$$0.33 = \frac{W_W}{26 \quad kN}$$

$$W_W = 8.58 \quad kN$$

คำนวณ น้ำหนักของดินทั้งหมด (W_T)

$W_T = W_S + W_W$

$W_T = (26 + 8.58)$ kN

$W_T = 34.58$ kN

จาก water unit weight (γ_W) **เท่ากับ** 9.81 kN / m^3

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$9.81\ kN/m^3 = \frac{8.58\ kN}{V_W}$$

$$V_W = 0.875\ m^3$$

จาก porosity (n) **เท่ากับ** 0.50

$$n = \frac{V_V}{V_T} = \frac{V_W + V_A}{V_S + V_W + V_A}$$

$$0.50 = \frac{(0.875 + V_A)\ m^3}{(1 + 0.875 + V_A)\ m^3}$$

$$V_A = 0.125\ m^3$$

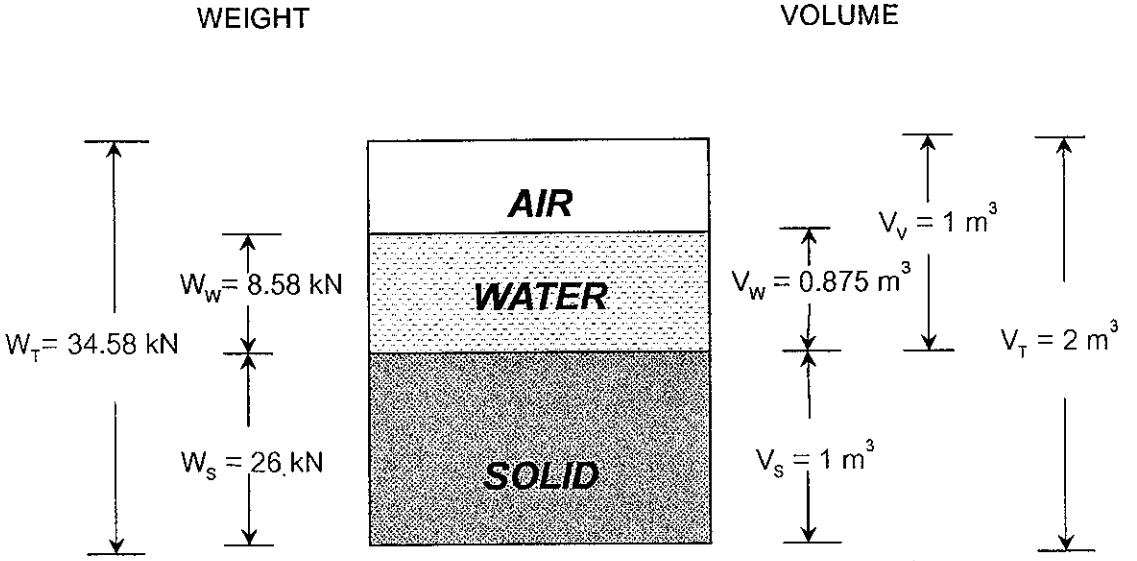
คำนวณ ปริมาตรของดินทั้งหมด (V_T)

$V_T = V_S + V_W + V_A$

$= (1 + 0.875 + 0.125)\ m^3$

$= 2\ m^3$

ขั้นที่ 4 แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงใน phase diagram



ขั้นที่ 5 ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

5.1 bulk unit weight (γ_T)

จาก

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$= \frac{34.58\ kN}{2\ m^3}$$

$$= 17.29\ kN/m^3$$

5.2 dry unit weight (γ_{dry})

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$

$$= \frac{26\ kN}{2\ m^3}$$

$$= 13\ kN/m^3$$

5.3 void ratio (e)

จาก

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$= \frac{1 \quad m^3}{1 \quad m^3}$$

$$= 1$$

5.4 degree of saturation (S)

จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V} x\,100\,\%$$

$$= \frac{0.875 \quad m^3}{1\,m^3} X\,100\,\%$$

$$= 87.5 \quad \%$$

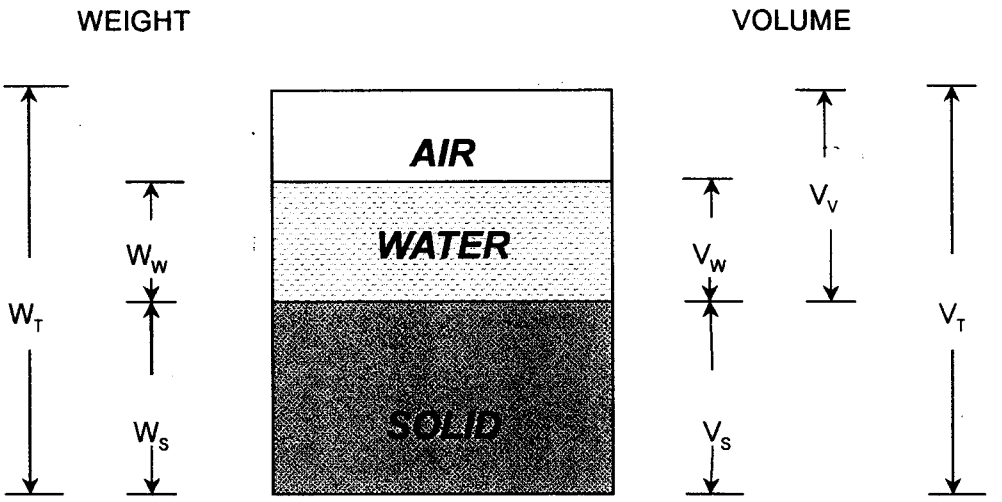
Soil no. 4 G_S = 2.68

e = 0.90

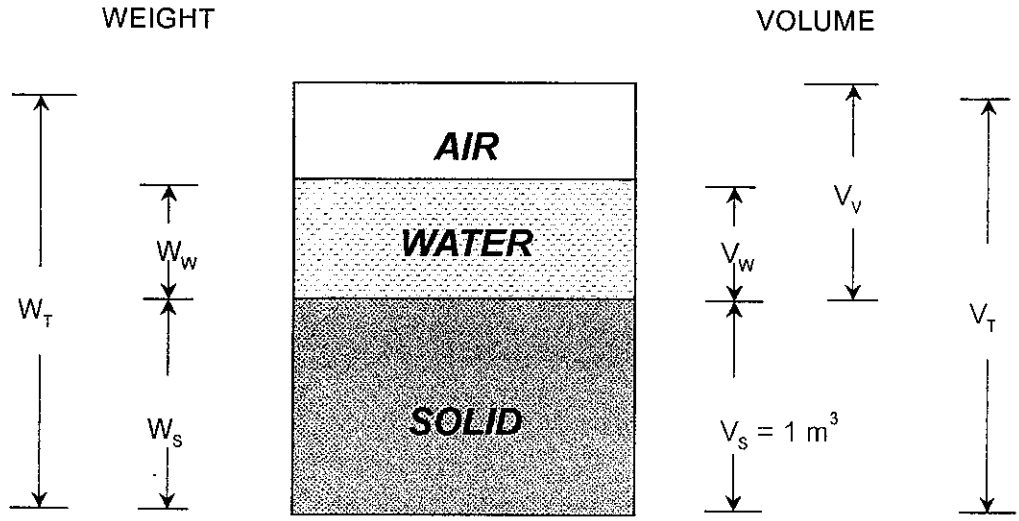
S = 90 %

ต้องคำนวณค่า γ_T, γ_{dry}, n, และ w

ขั้นที่ 1 สร้าง phase diagram ของ wet soil



ขั้นที่ 2 ใช้แบบจำลอง V_S = 1 m^3 และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



ขั้นที่ 3 จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก void ratio (e) เท่ากับ 0.9

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$0.9 = \frac{V_V}{1\ m^3}$$

$$V_V = 0.9\ m^3$$

คำนวณ ปริมาตรของดินทั้งหมด (V_T)

$$V_T = V_S + V_V$$

$$= (1 + 0.9)\ m^3$$

$$= 1.9\ m^3$$

จาก specific gravity (G_s) เท่ากับ 2.68

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_W}$$

$$2.68 = \frac{W_S}{(1.9\ m^3)\,(9.81\ kN/m^3)}$$

$$W_S = 26.3\ \ kN$$

จาก degree of saturation (S) เท่ากับ 90 %

$$S = \frac{V_W}{V_V} x\,100\,\%$$

$$90 = \frac{V_W}{0.9\ m^3}\ X\ 100\,\%$$

$$V_W = 0.81\ \ m^3$$

จาก water unit weight (γ_W) เท่ากับ 9.81 kN / m^3

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$9.81\ kN/m^3 = \frac{W_W}{0.81\ m^3}$$

$$W_W = 7.95\ \ kN$$

คำนวณ น้ำหนักของดินทั้งหมด (W_T)

$W_T = W_S + W_W$

$W_T = (26.3 + 7.95)$ kN

$W_T = 34.05$ kN

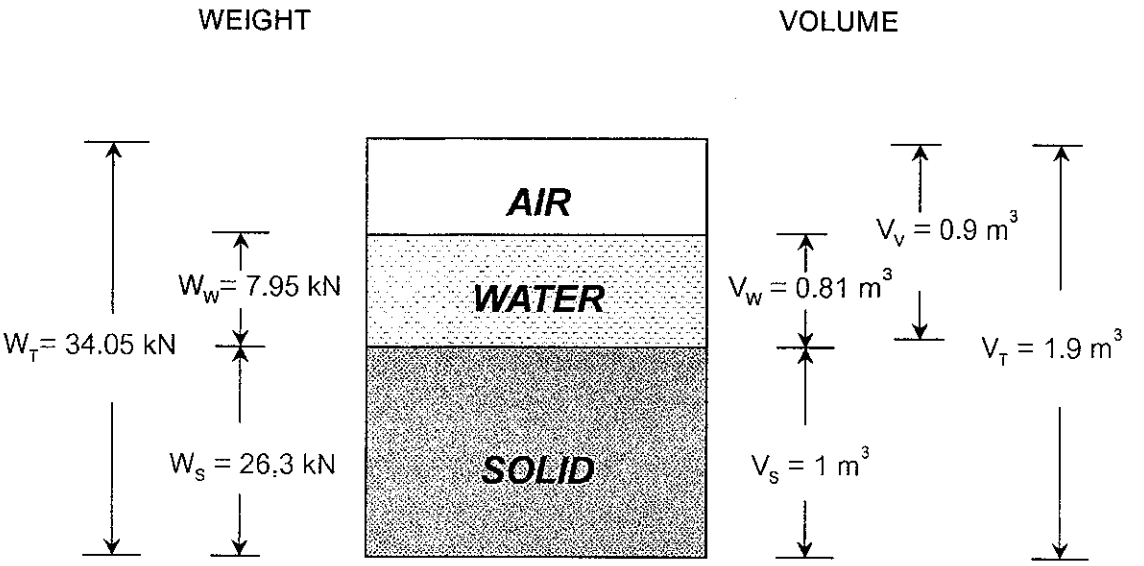
คำนวณ ปริมาตรของอากาศในดิน (V_A)

$V_V = V_W + V_A$

$0.9\ m^3 = 0.81\ m^3 + V_A$

$V_A = 0.09\ \ m^3$

ขั้นที่ 4 แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงใน phase diagram



ขั้นที่ 5 ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

5.1 bulk unit weight (γ_T)

จาก

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$= \frac{34.05\ kN}{1.9\ m^3}$$

$$= 17.92\ kN/m^3$$

5.2 dry unit weight (γ_{dry})

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_T}$$

$$= \frac{26.3\ kN}{1.9\ m^3}$$

$$= 13.84\ kN/m^3$$

5.3 porosity (n)

จาก

$$n = \frac{V_V}{V_T}$$

$$= \frac{0.9\ m^3}{1.9\ m^3}$$

$$= 0.47$$

5.4 water content (w)

จาก

$$w = \frac{W_W}{W_S}$$

$$= \frac{7.95\ \ kN}{26.3\ \ kN}$$

$$= 0.3$$

5.4 โจทย์ทดสอบความสามารถในการนำความรู้ไปใช้ในการทำงานจริง

1. วีระและมานะได้นำดินตัวอย่างแบบคงสภาพ (undisturbed sample) จาก อ. ลอง จ. อุตรดิตถ์ และ อ. สอง จ. แพร่ ไปทำการทดสอบหา water content (w) พบว่า ดินจากแหล่งอุตรดิตถ์ มี water content = 12 % และดินจากแหล่งแพร่มี water content = 13.5 % ชูใจซึ่งเป็นผู้ร่วมทดสอบได้ตั้งคำถามว่า " ดินจากแหล่งอุตรดิตถ์ ควรมีความแข็งแรงมากกว่าดินจากแหล่งแพร่ ใช่หรือไม่"

ในฐานะเพชร วิศวกรผู้รับผิดชอบการให้คำแนะนำในการทดสอบดังกล่าว ได้โปรดกรุณาให้ข้อคิดเห็นอย่างสั้นๆ ต่อคำถามของชูใจว่า ใช่หรือไม่ เพราะเหตุใด

วิธีทำ

ในฐานะเพชร วิศวกรผู้รับผิดชอบการให้คำแนะนำในการทดสอบดังกล่าว จะให้คำแนะนำว่า ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าดินจากแหล่งอุตรดิตถ์ ควรมีความแข็งแรงมากกว่าดินจากแหล่งแพร่ เพราะในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของดินจะต้องพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ ของดิน (soil properties) ประกอบในการวิเคราะห์ เช่น ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity), อัตราส่วนช่องว่าง (void ratio), หน่วยน้ำหนัก (unit weight) เป็นต้น ดังนั้นต้องหาคุณสมบัติอื่นๆ ของดิน (soil properties) มาประกอบการพิจารณา

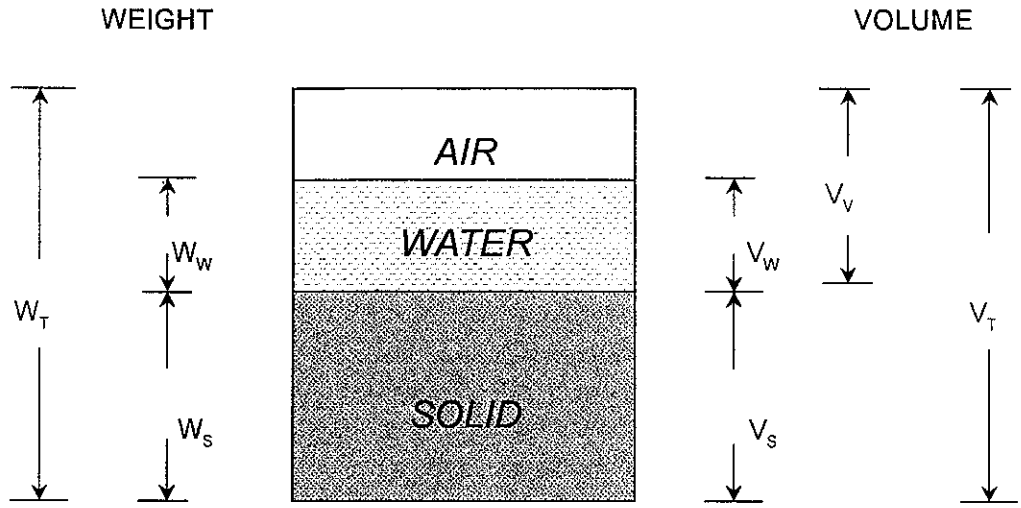
2. โครงการก่อสร้างหอพักเพิ่มเติมในมหาวิทยาลัยนเรศวรส่วนหนองอ้อ จำนวน 8 หลัง วิศวกรผู้ออกแบบ ได้ทำการออกแบบฐานรากเป็นแบบฐานรากตื้น (shallow foundation) โดยบริเวณที่จะทำการก่อสร้างหอพักนี้ ต้องบดอัดดินก่อนที่จะทำการก่อสร้าง โดยวิศวกรผู้ควบคุมโครงการกำหนดไว้ว่า เมื่อบดอัดดินเสร็จแล้ว ดินต้องมี water content (w) เท่ากับ 18 % และ dry unit weight (γ_{dry}) เท่ากับ 100 lb/ft^3 โดยดินที่จะนำมาบดอัดจะนำมาจากแหล่งดินบ้านจูงนาง ซึ่งเมื่อนำดินจากแหล่งดินบ้านจูงนางมาทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า water content (w) เท่ากับ 18 % , wet unit weight (γ_T) เท่ากับ 105 lb/ft^3 และ specific gravity (G_S) เท่ากับ 2.70

โครงการก่อสร้างหอพักต้องการดินที่บดอัดแล้ว 180,000 ft^3 ในฐานะวิศวกรผู้ควบคุมโครงการ กรุณาคำนวณว่า จะต้องขนดินจากแหล่งดินบ้านจูงนางกี่เที่ยว ถ้ารถบรรทุกขนดินได้ 20 ตัน/เที่ยว

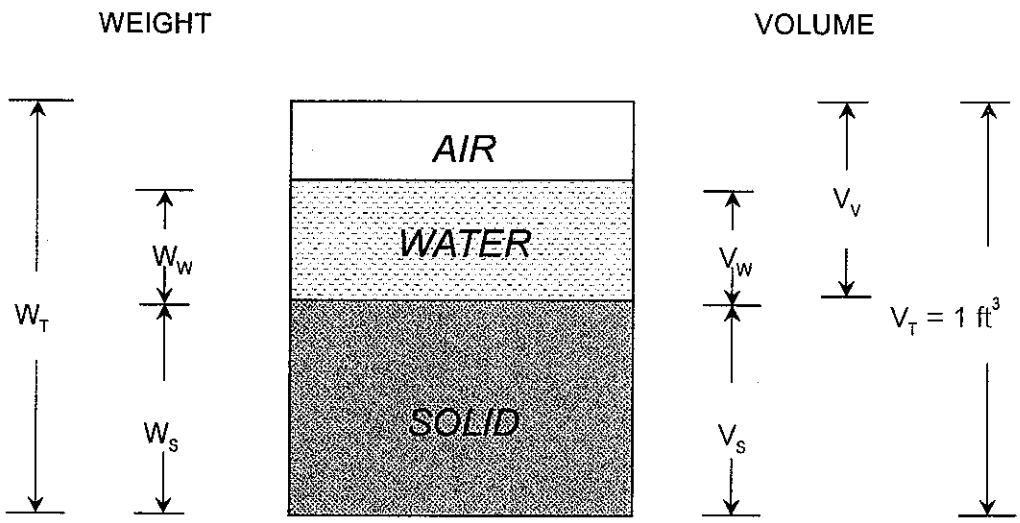
<u>วิธีทำ</u>

ในการหาปริมาณดินจากแหล่งขุดนางที่จะนำมาบดอัดในโครงการ ต้องวิเคราะห์คุณสมบัติของดินก่อน แล้วจึงนำคุณสมบัติของดินที่ได้จากการวิเคราะห์ ไปคำนวณหาปริมาณดินที่จะต้องขนมาใช้ในโครงการ โดยใช้ 5 ขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง $V_T = 1\ ft^3$ และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



ขั้นที่ 3 จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก water content (w) = 18 %

$$w = 18\% = 0.18 = \frac{W_W}{W_S}$$

$$W_W = 0.18 W_S \qquad (1)$$

จาก wet unit weight (γ_T) = 105 lb/ft^3

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$105 \ lb/ft^3 = \frac{W_S + W_W}{V_T}$$

$$= \frac{W_W + W_S}{1 \ ft^3} \qquad (2)$$

จาก สมการ (1) และ (2) จะได้

W_S = 89 lb

W_W = 16 lb

จาก specific gravity (G_S) เท่ากับ 2.70

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_W}$$

$$V_S = \frac{89 \ lb}{(2.70)(62.4 \ lb/ft^3)}$$

$$= 0.53 \ ft^3$$

จาก $V_T = V_S + V_V$

$V_V = (1 - 0.53)$ ft^3

$= 0.47$ ft^3

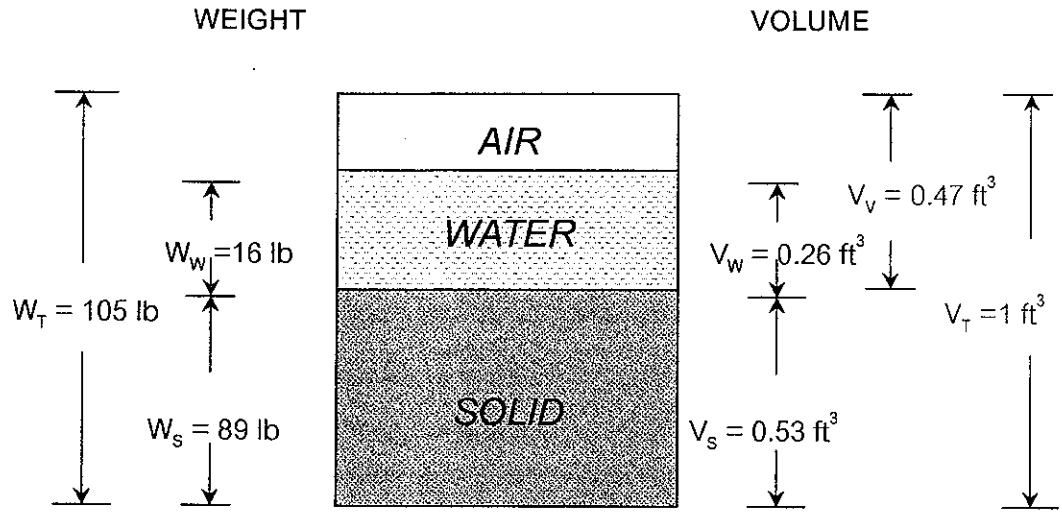
จาก

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W} = 62.4\ lb/ft^3$$

$$V_W = \frac{(16\ lb)}{62.4\ \ lb/ft^3}$$

$$= 0.26\ \ ft^3$$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงไปใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้วคำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

จาก $\gamma_W = \frac{W_S}{V_T}$

ดินเดิมก่อนทำการบดอัด

γ_w = 105 lb/ft^3

V_T = 1 ft^3

W_s = 89 lb

เมื่อบดอัดดินเดิม 1 ft^3 ให้มี $\gamma_{dry\ (หลังบดอัด)}$ เท่ากับ100 lb/ft^3

คำนวณค่า $V_{T\ (หลังบดอัด)}$ ดังนี้

จาก $\gamma_{dry\ (หลังบดอัด)} = \frac{W_s}{V_{T\ (หลังบดอัด)}}$

เนื่องจากน้ำหนักของ W_s จะคงที่ ดังนั้น

$$100 \quad lb/ft^3 = \frac{89 \quad lb}{V_T}$$

$V_{T\ (หลังบดอัด)}$ = 0.89 ft^3

ดังนั้น ดินจากแหล่งดินบ้านจูงนาง ปริมาตร 1 ft^3 เมื่อบดอัดให้มี γ_{dry} เท่ากับ 100 lb/ft^3 จะเหลือปริมาตร 0.89 ft^3 ต้องการดินที่บดอัดแล้ว 180,000 ft^3

ดินหลังบดอัด 0.89 ft^3 ต้องใช้ดินก่อนบดอัด 1 ft^3

ดินหลังบดอัด 180,000 ft^3 ต้องใช้ดินก่อนบดอัด $\frac{(1\ ft^3)\ (180{,}000\ ft^3)}{0.89\ ft^3}$

ต้องใช้ดินก่อนบดอัด เท่ากับ 202,247 ft^3

คิดน้ำหนักทั้งหมดของดินก่อนบดอัดที่ต้องขนไปบดอัดในโครงการ

จาก

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$W_T = \gamma_T V_T$$

$$= \frac{(105\ lb/ft^3)(202{,}247\ ft^3)(1\ kip)}{1000\ lb}$$

$$= 21236\ kip$$

คิดเป็น 9716 ตัน

รถบรรทุกขนดินได้ 20 ตัน/เที่ยว

ต้องขนดินทั้งหมด (9716 ตัน) / (20 ตัน / เที่ยว)

ดังนั้น ต้องขนดินทั้งหมดเท่ากับ 486 เที่ยว

3. ในช่วงฤดูแล้งที่จะถึงแขวงการทางพิษณุโลกกำลังเตรียมเปิดประมูลงานปรับปรุงทางเส้นหลวงหมายเลข 12 ช่วง จ.พิษณุโลก ถึงแยกวังทอง ซึ่งมีความยาวประมาณ 30 กม. แต่เนื่องจากภาวะฝนขาดช่วงในบริเวณพื้นที่ท้ายเขื่อนวิศวกรโครงการต้องการประมาณการเพื่อหาปริมาณน้ำที่จะต้องเตรียมสำรองไว้ใช้สำหรับผสมกับดินที่ใช้บดอัดคันทาง (embankment) หากท่านได้รับมอบหมายให้ทำหน้าที่ดังกล่าว ให้ประธานกรรมการ

กรุณาประมาณการเพื่อหาปริมาณน้ำ (m^3) ที่จะต้องเตรียมสำรองไว้ใช้สำหรับผสมกับดินที่ใช้บดอัดคันทาง (embankment) 1 m^3 เพื่อให้ได้ 90 % degree of saturation เมื่อใช้ดินจากแหล่งวัสดุ บ้านเขาสมอแคลง, บ้านโนนมะคึก (คุณสมบัติของดินจากแหล่งวัสดุทั้งสองสรุปได้ดังตารางที่ 5.3.1)

และท่านจะเลือกใช้ดินจากแหล่งใดมาบดอัดคันทาง หากเจ้าของงานมีนโยบายดึงน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อใช้สำหรับการบดอัดดินให้น้อยที่สุด

หากกรมชลประทานไม่อนุญาตให้ดึงน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติในบริเวณใกล้เคียง ปริมาณน้ำสำรองที่จะต้องจัดซื้อเข้ามาใช้ในโครงการ คิดเป็นปริมาตรกี่ลูกบาศก์เมตร (หากคันทางที่จะต้องบดอัด ใช้ดินกว้าง 8 เมตร และสูง 2 เมตร โดยเฉลี่ย)

ตารางที่ 5.3.1 คุณสมบัติดินจากแหล่งวัสดุทั้งสอง

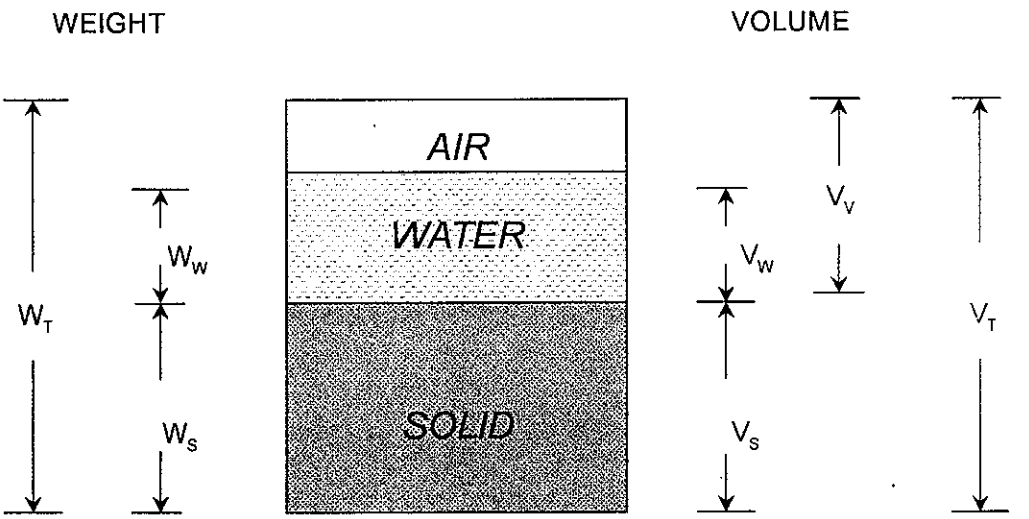
แหล่งวัสดุ	γ_T T/m^3	G_s	w_n (%)	LL (%)	PL (%)	e_0	D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)
บ้านเขาสมอแคลง	1.795	2.68	10.5	32	28	2.1	3.1	2.7	1.9
บ้านโนนมะคึก	1.875	2.67	9.5	41	37	0.9	4.1	2.6	2.4

<u>วิธีทำ</u>

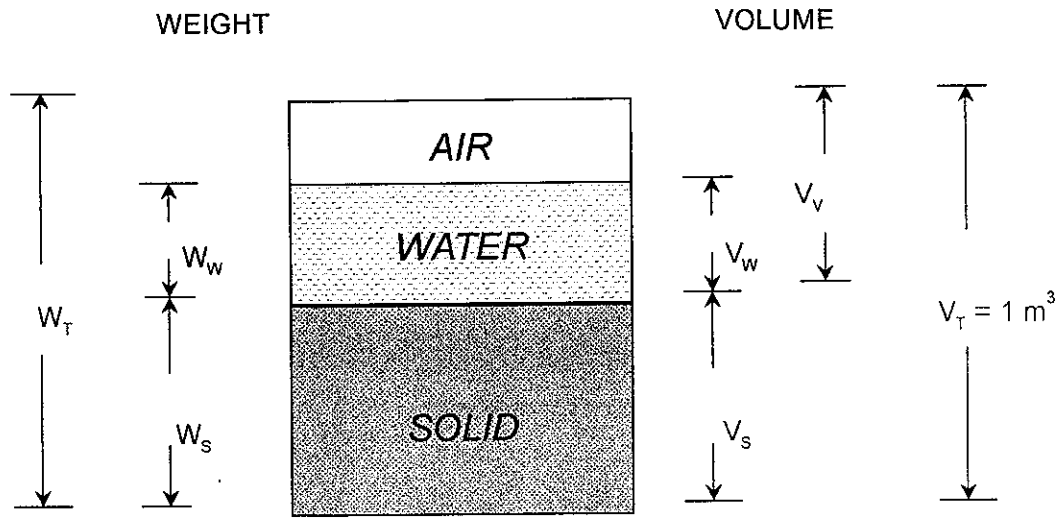
หาปริมาณน้ำ (m^3) ที่จะต้องเตรียมสำรองไว้ใช้สำหรับผสมกับดินที่ใช้บดอัดคันทาง (embankment) 1 m^3 เพื่อให้ได้ 90 % degree of saturation

<u>สำหรับแหล่งดินบ้านเขาสมอแคลง</u>

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil



ขั้นที่ 2 ใช้แบบจำลอง V_T = 1 m^3 และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



ขั้นที่ 3 จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก bulk unit weight (γ_T) เท่ากับ 1.795 T / m^3

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$1.795\ T/m^3 = \frac{w_T}{1\ m^3}$$

$$W_T = 1.795\ T$$

จาก water content (w) เท่ากับ 10.5 % หรือเท่ากับ 0.105

$$w = \frac{W_S}{W_w}$$

$$0.105 = \frac{W_S}{W_W}$$

$$W_S = 0.105\,W_W \qquad (1)$$

จาก $W_T = W_s + W_w$ (2)

จากสมการ (1) และ (2) จะได้ว่า

W_s = 1624.4 kg

W_w = 170.6 kg

จาก specific gravity of soil (G_s) เท่ากับ 2.68

$$G_S = \frac{W_S}{V_S \gamma_W}$$

$$V_S = \frac{W_S}{G_S \gamma_W}$$

$$= \frac{1624.4 \quad kg}{(2.68)\,(1000\ kg/m^3)}$$

$$= 0.606 \quad m^3$$

จาก physical properties ของน้ำ ; γ_W = 1000 kg / m^3

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$V_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$= \frac{170.6\ kg}{1000\ kg/m^3}$$

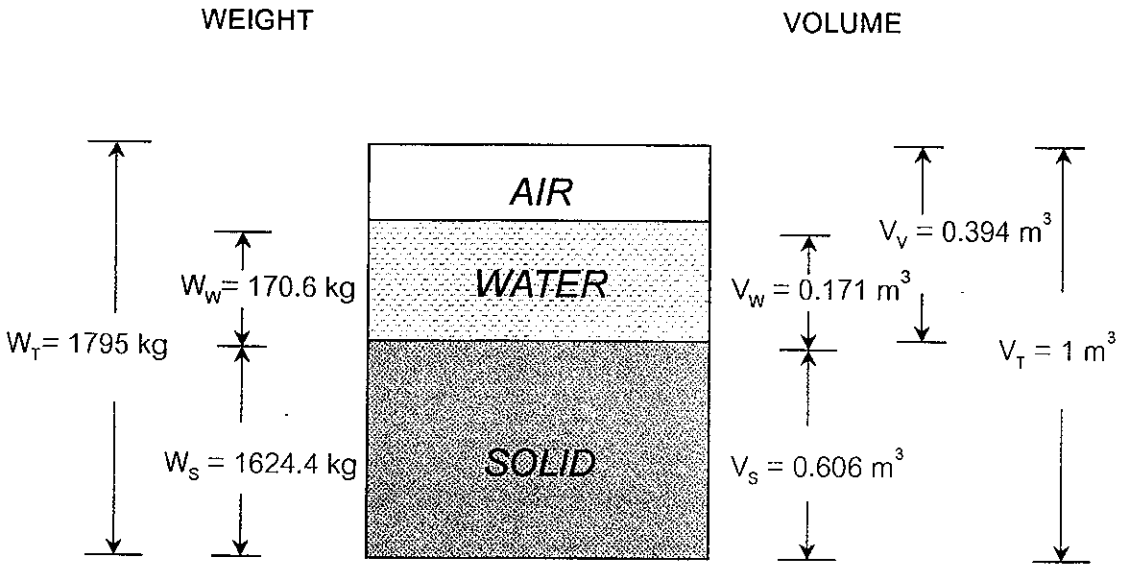
$$= 0.171 \quad m^3$$

จาก $V_T = V_s + V_v$

จะได้ V_v = (1 – 0.606) m^3

= 0.394 m^3

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

เนื่องจาก degree of saturation (S) ที่ต้องการหลังบดอัดเท่ากับ 90 % หรือเท่ากับ 0.9 จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V}$$

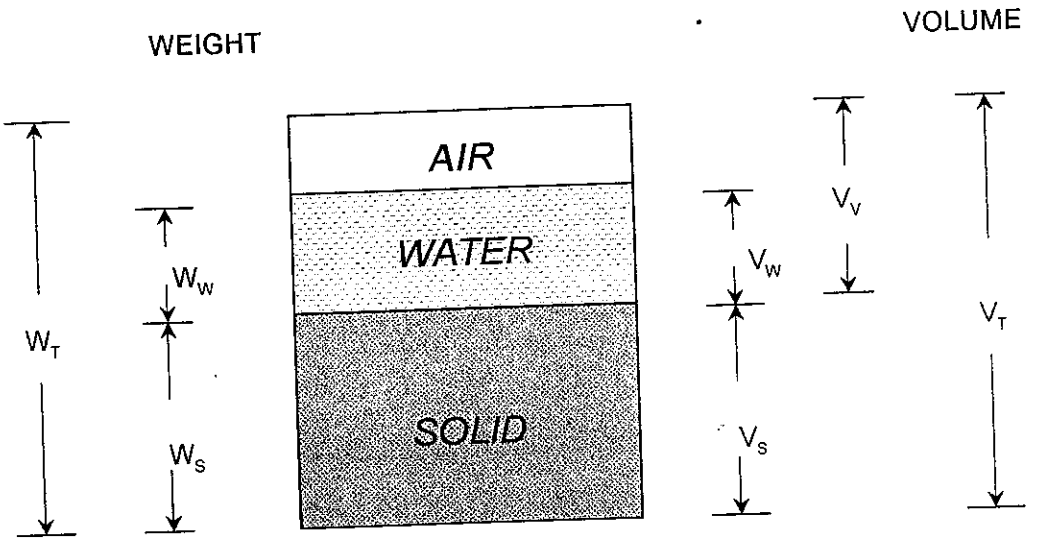
$$0.9 = \frac{V_W}{0.394\ m^3}$$

$$V_W = 0.355\ m^3$$

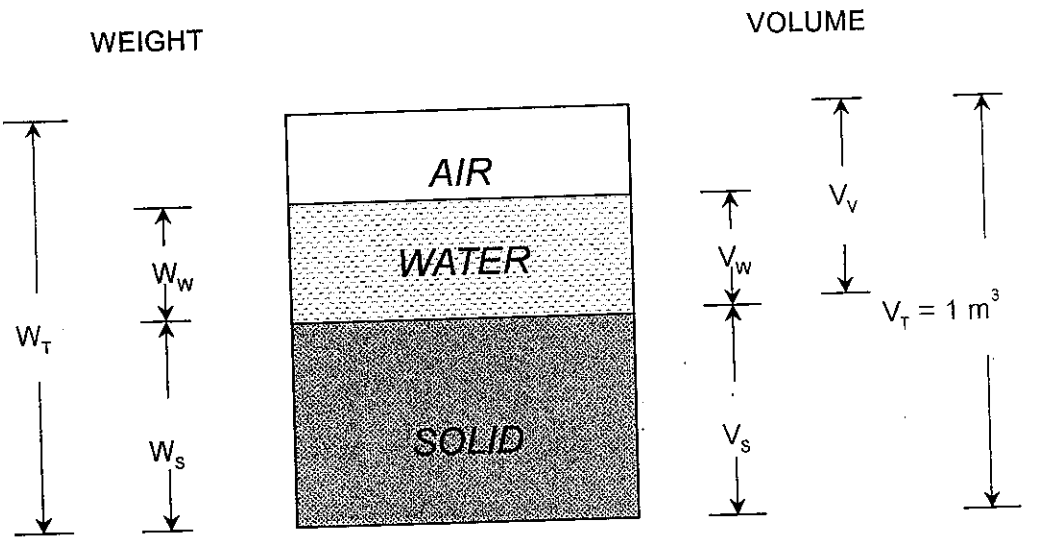
จะได้ว่าหากจะบดอัดดินจากแหล่งบ้านเขาสมอแคลง เพื่อให้ได้ 90 % degree of saturation จะต้องเตรียมน้ำเพื่อใช้ในการบดอัด เท่ากับ 0.355 m^3 – 0.171 m^3 = 0.184 m^3 ต่อดิน 1 m^3

สำหรับแหล่งดินบ้านโนนมะคึก

ขั้นที่ 1 สร้าง phase diagram ของ wet soil



ขั้นที่ 2 ใช้แบบจำลอง $V_T = 1\ m^3$ และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก bulk unit weight (γ_T) เท่ากับ 1.875 T / m^3

$$\gamma_T = \frac{W_T}{V_T}$$

$$1.875\ T/m^3 = \frac{w_T}{1\ m^3}$$

$$W_T = 1.875\ \ T$$

จาก water content (w) เท่ากับ 9.5 % หรือเท่ากับ 0.095

$$w = \frac{W_S}{W_w}$$

$$0.095 = \frac{W_S}{W_W}$$

$$W_S = 0.095\,W_W \qquad (3)$$

จาก $W_T = W_S + W_W$ (4)

จากสมการ (3) และ (4) จะได้ว่า

W_s = 1712.3 kg

W_w = 162.7 kg

จาก specific gravity of soil (G_s) เท่ากับ 2.67

$$G_S = \frac{W_S}{V_S\,\gamma_W}$$

$$V_S = \frac{W_S}{G_S\gamma_W}$$

$$= \frac{1712.3\ \ kg}{(2.67)\,(1000\ kg/m^3)}$$

$$= 0.641\ \ m^3$$

<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

เนื่องจาก degree of saturation (S) ที่ต้องการหลังบดอัดเท่ากับ 90 % หรือเท่ากับ 0.9 จาก

$$S = \frac{V_W}{V_V}$$

$$0.9 = \frac{V_W}{0.359\ m^3}$$

$$V_W = 0.323\ m^3$$

จะได้ว่าหากจะบดอัดดินจากแหล่งบ้านโนนมะคึก เพื่อให้ได้ 90 % degree of saturation จะต้องเตรียมน้ำเพื่อใช้ในการบดอัด เท่ากับ 0.323 m^3 – 0.163 m^3 = 0.160 m^3 ต่อดิน 1 m^3

หากเจ้าของงานมีนโยบายดึงน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ เพื่อใช้สำหรับการบดอัดดินให้น้อยที่สุด ควรจะใช้ดินจากแหล่งดินบ้านโนนมะคึก เพราะใช้น้ำในการบดอัดเพื่อให้ได้ 90 % degree of saturation น้อยกว่าแหล่งดินจากบ้านเขาสมอแคลง

หากกรมชลประทานไม่อนุญาตให้ดึงน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติในบริเวณใกล้เคียง ปริมาณน้ำสำรองที่จะต้องจัดซื้อเข้ามาใช้ในโครงการ คิดเป็นปริมาตรกี่ m^3 (หากคันทางที่จะต้องบดอัด ใช้ดินกว้าง 8 เมตร และสูง 2 เมตร โดยเฉลี่ย)

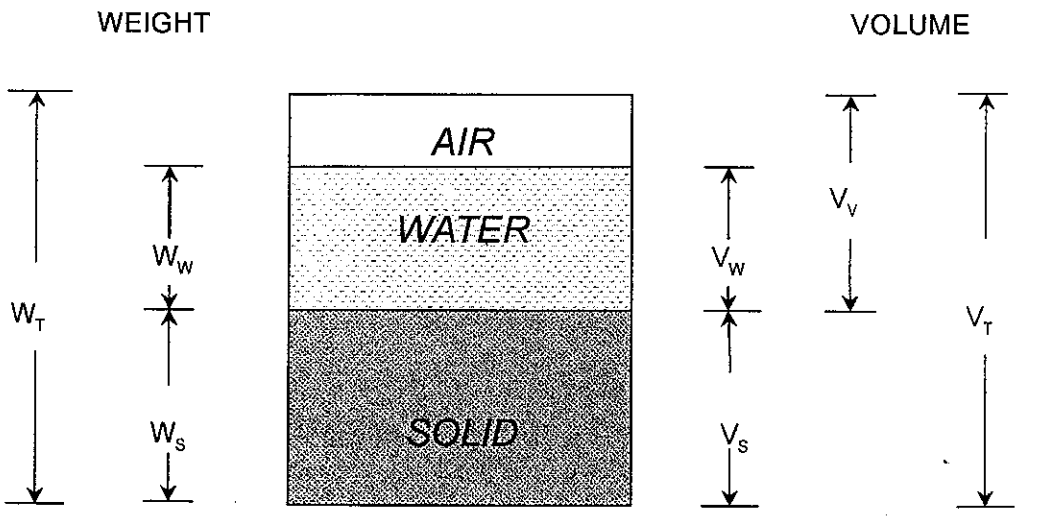
ดินที่ต้องนำมาบดอัด เท่ากับ 30 x 10^3 m x 8 m x 2 m = 480,000 m^3

เลือกใช้ดินแหล่งดินบ้านโนนมะคึก มาบดอัดเพื่อให้ได้ 90 % degree of saturation จะต้องจัดซื้อน้ำสำรอง 480,000 m^3 x 0.160 m^3 / 1 m^3 = 76,800 m^3 เข้ามาใช้ในโครงการนี้

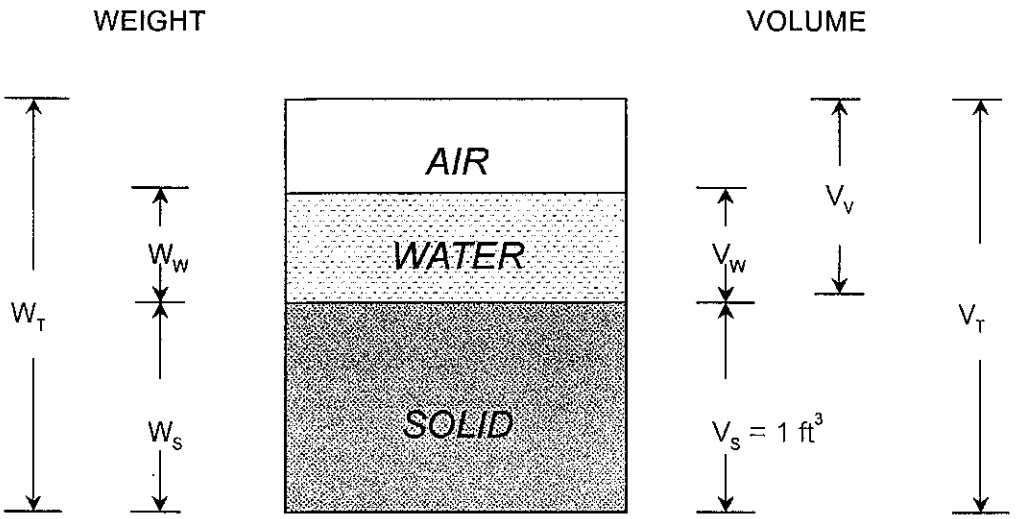
4.ในการก่อสร้างถนนรอบกลุ่มอาคารคณะวิทยาศาสตร์แห่งใหม่ของมหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้รับเหมาจะต้องทำการบดอัดดินเดิมให้ได้ $\gamma_{dry} \geq 115$ lb/ft^3 จึงจะสามารถเริ่มดำเนินการก่อสร้างผิวทาง (pavement) ตามแบบได้ ทั้งนี้ ผลจากการเก็บตัวอย่างดินเดิม (soil samples) ไปทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า $w_n = 20$ %, $G_s = 2.7$, และ $e = 0.6$ ในฐานะวิศวกรของบริษัทพิจิตรการโยธา จำกัด ซึ่งรับเหมาก่อสร้างถนนรอบกลุ่มอาคารคณะวิทยาศาสตร์แห่งใหม่ของมหาวิทยาลัยนเรศวร กรุณาช่วยให้คำแนะนำว่า เป็นไปได้หรือไม่ ที่ผู้รับเหมาจะลดต้นทุนการปรับ water content ของดินเดิมที่ natural moisture content (w_n) ไปเลยเพราะอะไร และถ้าหากเป็นไปไม่ได้ผู้รับเหมาต้องบดอัดดินที่ความชื้น (w) เท่ากับเท่าใด ทั้งนี้ในการปฏิบัติงานจริง (practical application) ผู้รับเหมามีทางเลือกที่จะปรับความชื้นของดินเดิมโดยการผสมน้ำเพิ่มเข้าไปในดิน (เช่นใช้รถน้ำราดดิน) หรือดึงน้ำออกจากดิน (เช่น ผึ่งให้แห้งขึ้นก่อนการบดอัด)

<u>วิธีทำ</u>

<u>ขั้นที่ 1</u> สร้าง phase diagram ของ wet soil



<u>ขั้นที่ 2</u> ใช้แบบจำลอง V_s = 1 ft^3 และแสดงส่วนที่ทราบค่าแล้วลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 3</u> จาก physical properties ของตัวอย่างดิน ที่ได้จากการทดสอบ นำมาวิเคราะห์หาค่าใน phase diagram

จาก specific gravity of soil (G_s) เท่ากับ 2.70

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w}$$

$$2.70 = \frac{W_s}{(1\,ft^3)(62.4\,lb/ft^3)}$$

$$W_s = 168\ lb$$

จาก water content (w) เท่ากับ 20 % หรือเท่ากับ 0.20

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

$$0.2 = \frac{168\ lb}{W_w}$$

$$W_w = 33.7\ lb$$

จาก $W_T = W_S + W_W$

$= 168 \text{ lb} + 33.7 \text{ lb}$

$= 202.2 \text{ lb}$

จาก physical properties ของน้ำ ; $\gamma_W = 62.4 \text{ lb / ft}^3$

$$\gamma_W = \frac{W_W}{V_W}$$

$$62.4\ lb/ft^3 = \frac{33.7\ lb}{V_W}$$

$$V_W = 0.54\ ft^3$$

จาก void ratio (e) เท่ากับ 0.6

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

$$0.6 = \frac{V_V}{1\ ft^3}$$

$$V_V = 0.6\ ft^3$$

จาก $V_T = V_S + V_V$

$= (1 + 0.6) \text{ ft}^3$

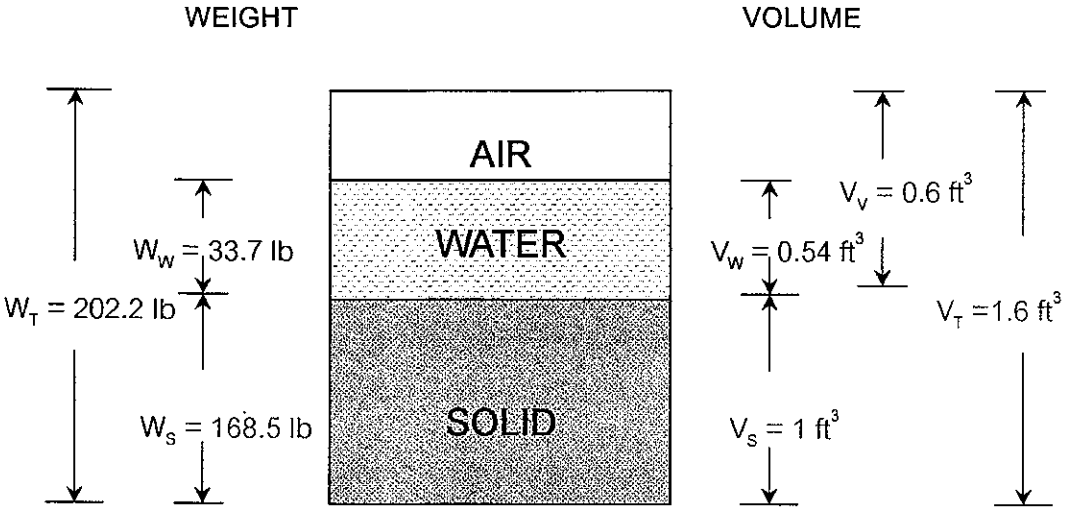
$= 1.6 \text{ ft}^3$

จาก $V_V = V_W + V_A$

$V_A = (0.6 - 0.54) \text{ ft}^3$

$= 0.06 \text{ ft}^3$

<u>ขั้นที่ 4</u> แสดงค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) ที่คำนวณได้ในขั้นที่ 3 เพิ่มลงใน phase diagram



<u>ขั้นที่ 5</u> ใช้ phase diagram ที่ทราบค่าน้ำหนัก (weight) และปริมาตร (volume) แล้ว คำนวณคุณสมบัติตามที่ต้องการ

ถ้าจะบดอัดดินเดิมไปเลย บดอัดได้มากที่สุดก็คือ บดอัดจนไม่เหลืออากาศอยู่เลย ปริมาตรของดินทั้งหมด เท่ากับ $V_W + V_S = 1.54\ ft^3$ ค่า γ_{dry} ที่เกิดขึ้นคือ

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_W + V_S} = \frac{168.5\ lb}{1.54\ ft^3} = 109.4\ \ lb/ft^3$$

ดังนั้นเป็นไปไม่ได้ที่จะบดอัดดินเดิมให้ได้ $\gamma_{dry} \geq 115$ lb / ft^3 เพราะเมื่อบดอัดดินเดิม ที่ natural moisture content (w_n) ค่า γ_{dry} ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ เท่ากับ 109.4 lb/ft^3 เท่านั้น และต้องการทราบว่าในการปฏิบัติงานจริง (practical application) ผู้รับเหมามีทางเลือกที่จะปรับความชื้นของดินเดิมโดยการผสมน้ำเพิ่มเข้าไปในดิน (เช่นใช้รถน้ำราดดิน) หรือดึงน้ำออกจากดิน (เช่น ผึ่งให้แห้งขึ้นก่อนการบดอัด)

จาก

$$\gamma_{dry} = \frac{W_S}{V_W + V_S}$$

$$115\ lb/ft^3 = \frac{168.5\ lb}{V_W}$$

$$V_W = 0.47\ \ ft^3$$

จาก water content (w)

$$w = \frac{W_S}{W_w} x\ \ 100\ \%$$

$$= \frac{(0.47\ ft^3)\ (62.4\ lb/ft^3)}{168.5\ lb} x\ 100\ \%$$

$$w = 17.4\ \%$$

ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริง (practical application) ผู้รับเหมามีทางเลือกที่จะปรับความชื้นของดินเดิมโดยการหรือดึงน้ำออกจากดิน (เช่น ผึ่งให้แห้งขึ้นก่อนการบดอัด) จนมีความชื้น 17.4 %