บทที่ 15
การสำรวจสภาพชั้นดิน
(Subsoil Exploration)

15.1 เนื้อหาโดยสรุป

การสำรวจดินบริเวณสถานที่ที่จะทำการก่อสร้าง นับว่าเป็นงานที่สำคัญของการพิจารณาออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรม เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและประหยัดในการเลือกใช้วัสดุก่อสร้าง และสามารถเลือกใช้วิธีการดำเนินการก่อสร้างที่เหมาะสมได้โดยวัตถุประสงค์ของการสำรวจดินมีดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาธรรมชาติของดินและลำดับชั้นของดินในสถานที่นั้นๆ
2. หาความลึกและธรรมชาติของชั้นหินใต้ดิน
3. จากดิน in-situ สามารถนำมาหา Permeability tests, Vane shear test และ standard penetration test
4. สังเกตถึงสภาพของการระบายน้ำของดิน
5. ประเมินค่าถึงปัญหาในการก่อสร้างรวมถึงปัญหาที่กระทบถึงสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง
6. หาตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดิน

การสำรวจดินแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ
- การสำรวจพื้นผิวดิน (Surface Surveys)
- การสำรวจใต้ผิวดิน (Subsurface Surveys)

15.1.1 การสำรวจผิวดิน (Surface Surveys)

ประกอบด้วยการศึกษาจากแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ทางธรณีวิทยา และจากข้อมูลของการทดสอบดินที่ได้จากการเจาะสำรวจของผู้ที่ได้ทำมาแล้วในบริเวณข้างเคียงกับที่ที่จะทำการก่อสร้างสิ่งเหล่านี้เป็นเครื่องช่วยให้ทราบถึงสภาพลักษณะภูมิประเทศและความเป็นมาของดินบริเวณนั้นและระดับน้ำใต้ดินได้พอประมาณ และเพื่อวางแผนเจาะสำรวจดินต่อไป การสำรวจขั้นนี้ถือว่าเป็นเพียงการสำรวจและตรวจสอบขั้นต้น ถ้าต้องการทราบรายละเอียดเพิ่มเติมและคุณสมบัติของดินอย่างแท้จริงจะต้องทำการเจาะสำรวจดิน (Subsurface exploration)

15.1.2 การเจาะสำรวจใต้ผิวดิน (Subsurface Surveys)

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การเจาะสำรวจขั้นต้น (Preliminary exploration)
2. การเจาะสำรวจเพื่อหารายละเอียด (Detailed exploration)

โดยจำนวนหลุมและระยะห่างระหว่างหลุมที่เจาะสามารถแสดงได้ตามตาราง 15.1

ตารางที่ 15.1 ระยะระหว่างหลุมและจำนวนหลุมที่ควรเจาะสำรวจตามสภาพของงาน

สภาพงาน	ระยะระหว่างหลุม เมตร		จำนวนหลุมที่ควรเจาะอย่างน้อย
	ชั้นดินมีลักษณะสม่ำเสมอ	ชั้นดินมีลักษณะเปลี่ยนแปลงขนาด	
อาคารหลายชั้น	45	15	4
ตอม่อสะพาน, หอคอย	30	7	1
ทางหลวง, สนามบิน	300	30	—

ซึ่งการเจาะสำรวจดินนั้นสามารถวางแผนเจาะตาม Chart ดังต่อไปนี้

- 15.1.2.1 การวางแผนการเจาะสำรวจดิน (Planning for soil exploration)

โดยระยะห่างระหว่างหลุมที่เจาะสามารถดูได้จากตารางที่ 15.2 อีกก็ได้

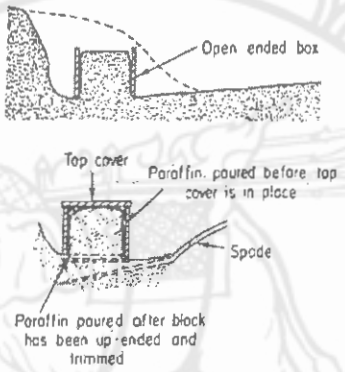
ตารางที่ 15.2 ระยะห่างระหว่างหลุม (Spacing of Boring)

Project	Boring spacings	
	m	ft
One-story buildings	25–30	75–100
Multistory buildings	15–25	50–75
Highways	250–300	750–1000
Earth dams	25–50	75–150
Residential subdivision planning	60–100	200–300

15.1.3 วิธีการเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างดิน (Boring methods)

- 15.1.3.1 โดยการขุดและเก็บตัวอย่างดินจากบ่อทดสอบ (Test pits)

ตัวอย่างดินที่เก็บได้เรียกว่า pits sample วิธีนี้ทำได้เฉพาะที่ตื้นๆ ไม่เกิน 6 m หรือเมื่อดินที่ต้องการอยู่ไม่ลึกนัก เพราะถ้าลึกกว่านี้จะทำให้ไม่สะดวกเพราะต้องทำค้ำยันกันดินพัง และมีปัญหาเรื่องน้ำใต้ดินราคาค่าใช้จ่ายก็จะสูง ดังแสดงในรูปที่ 15.1

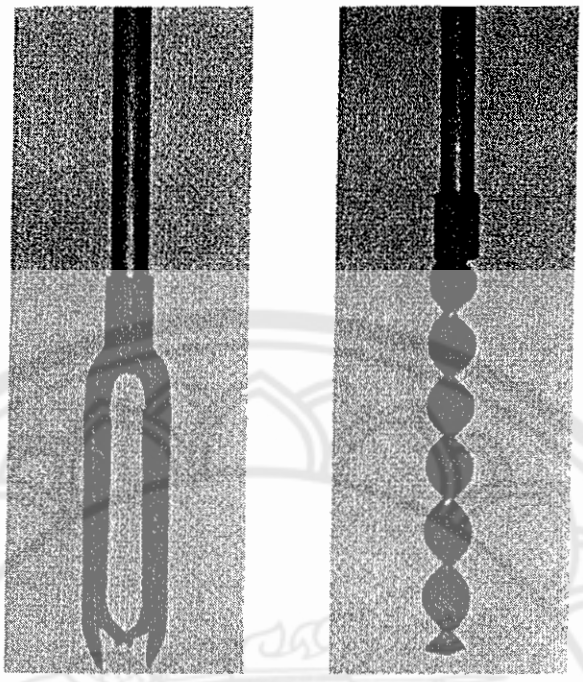


รูปที่ 15.1 Test Pits

การเก็บตัวอย่าง ทำโดยขุดดินให้เป็นบ่อรอบก้อนดินที่ต้องการจะเก็บจากก้นบ่อแล้วแต่ก้อนดินให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ขนาด 20-30 cm ตามต้องการ ใช้มีดตัดก้อนดินที่ต้องการแล้วนำมาเคลือบด้วยพาราฟิน (Paraffin) หนาประมาณ 3 mm เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แล้วนำไปส่งในห้องทดสอบโดยต้องระมัดระวังให้ดินได้รับความกระทบกระเทือนน้อยที่สุด วิธีตัดดินเป็นก้อนนี้ดินตัวอย่างจะได้รับความกระทบกระเทือนน้อยกว่าวิธีอย่างอื่น

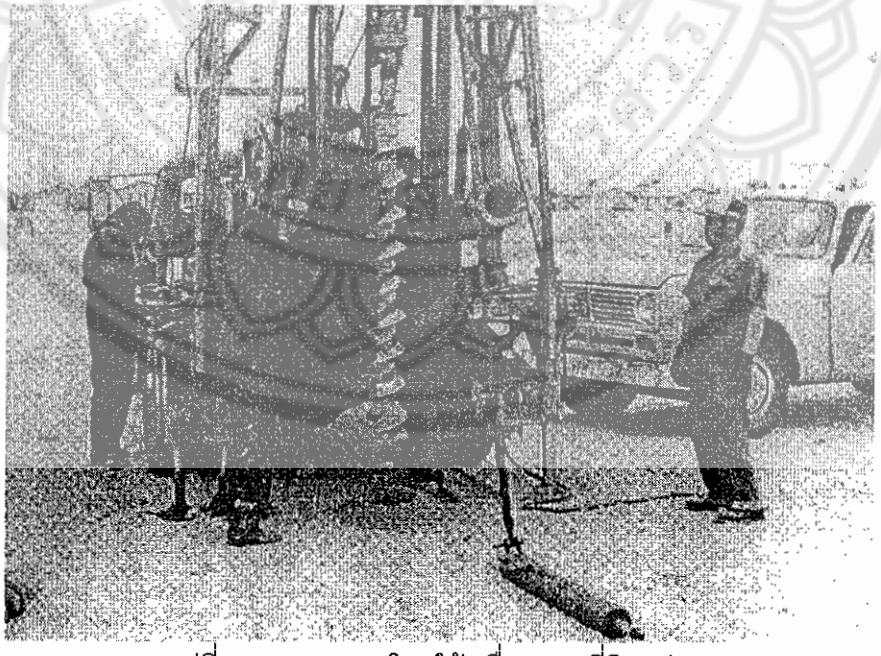
-15.1.3.2 การเจาะโดยใช้สว่าน (Augers)

โดยใช้เจาะดินและเก็บตัวอย่างดินที่ติดมากับส่วนของสว่านเหมาะสำหรับดินอ่อนหรือดินที่มีความเชื่อมแน่นมากส่วนมากใช้กับความลึกประมาณ 3-5 เมตร (10-15 ฟุต) เท่านั้นโดยการเจาะสำรวจแบบนี้ใช้ได้กับการทำงานสำหรับการสร้างทางรถไฟ, Highway และโครงสร้างเล็กๆ เท่านั้น โดยการเจาะสำรวบแบบนี้ตัวอย่างดินจะถูกรบกวนมาก จึงสามารถนำไปหา grain-size และ Atterberg limits ได้เท่านั้นในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยรูปที่ 15.2 จะแสดงถึงสว่านมือ (Hand augers) ทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 15.2 แสดงรูปสว่านมือ (a) สว่านแบบ Iwan (b) สว่านแบบ slip

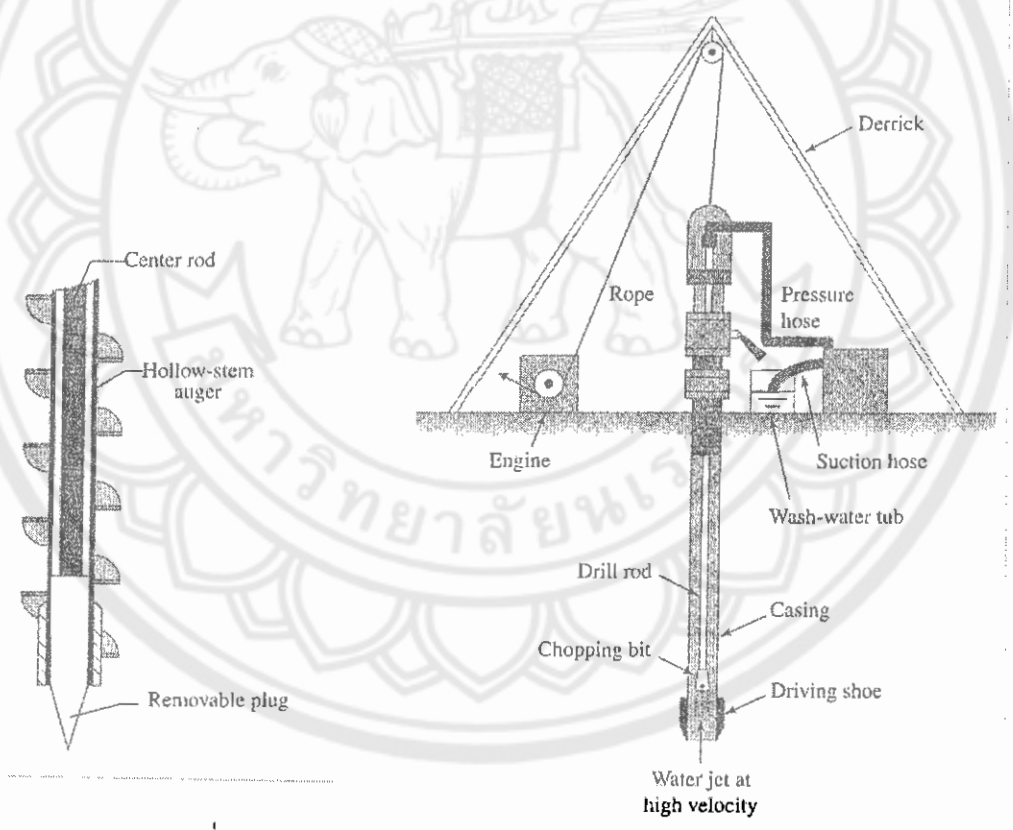
แต่เพื่อให้ได้ความลึกที่มากขึ้นเราก็สามารถจะใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรในการเจาะหาซึ่งสามารถเรียกได้ว่า "Continuous flight augers" ดังแสดงได้ในรูปที่ 15.3



รูปที่ 15.3 การเจาะโดยใช้เครื่องเจาะที่ติดสว่าน

-15.1.3.3 การเจาะฉีดล้างตัวอย่าง (Wash Boring)

ใช้วิธีนี้ในหลุมเจาะที่ลึกลงไปมากๆ ในวิธีนี้ทำได้โดยการตอกปลอกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้วหรือ 2.5 นิ้ว ยาวท่อนละ 2-3 m (6-10 ft) ลงไปก่อนด้วยแรงคนหรือเครื่องจักรเพื่อป้องกันดินพัง ดินภายในปลอกเหล็กนี้จะถูกกระแทกและถูกตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ด้วยหัวเจาะ (auger bit หรือ chopping bit) ที่ปลายของก้านเจาะ (drill rod) ซึ่งมีรูภายในขนาด 1 นิ้ว เมื่อเจาะถึงระยะที่ลึกตามต้องการแล้ว ใช้น้ำฉีดดันลงไปตามก้านเจาะ น้ำที่ฉีดไหลออกตรงปลายหัวเจาะและละลายดินให้เป็นโคลนแล้ว ย้อนกลับมาข้างบนทางช่องว่างระหว่างก้านเจาะกับปลอกเหล็ก น้ำที่ไหลย้อนขึ้นมาจะไหลออกสู่ถังโดย น้ำผสมดินก้นหลุมจะตกตะกอนกันในถังที่เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 15.4



รูปที่ 15.4 การเจาะดินแบบฉีดล้างตัวอย่าง (Wash Boring)

- 15.1.3.4 การเจาะหาตัวอย่างแห้ง (dry boring)

วิธีนี้คล้ายกับวิธีการเจาะฉีดล้างหาตัวอย่างทำโดยใช้สว่านเจาะคว้านดินออกก่อน เมื่อถึงระดับที่ต้องการจะเก็บตัวอย่างดินก็ใช้กระบอกเก็บดิน (sampling spoon) ตัดที่ปลายก้านเจาะแทนหัวเจาะ แล้วกดหรือดันกระบอกเหล็กนี้ลงไปในดิน หมุน 2 รอบ ให้ดินขาด แล้วดึงก้านเจาะขึ้น วิธีนี้ใช้กันมาก เพราะได้ตัวอย่างดินที่ไม่โดนรบกวน ไม่เปลี่ยนจากสภาพเดิม (undisturbed sample)

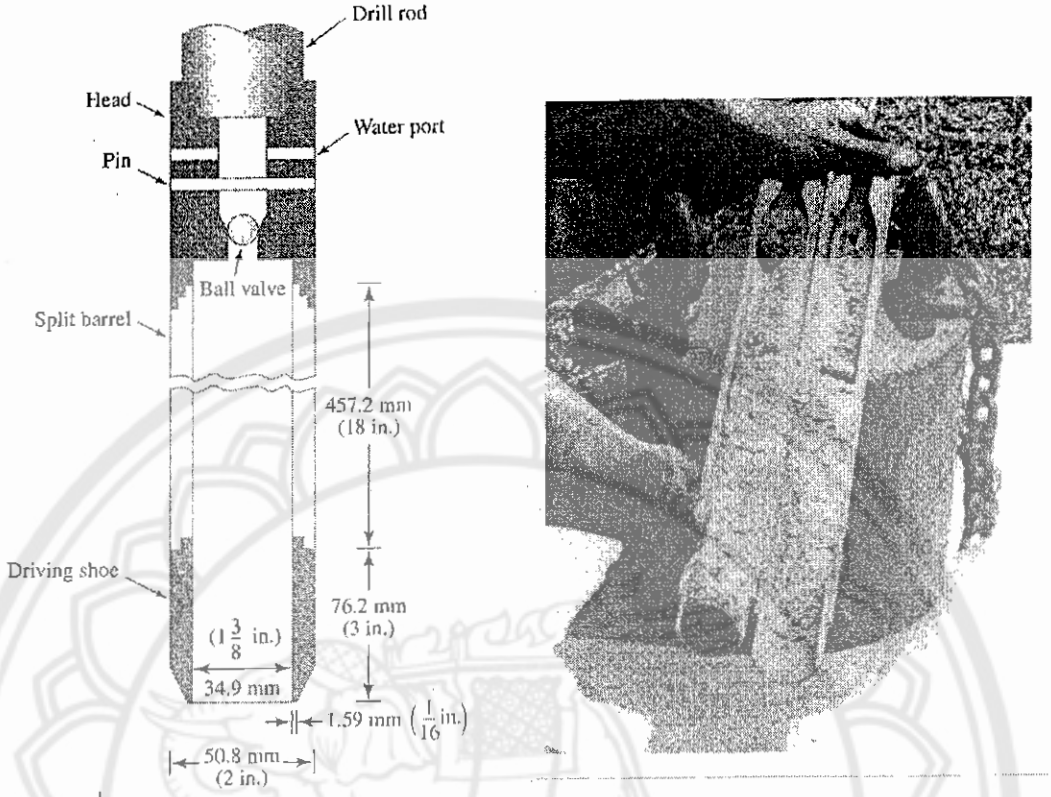
ในระหว่างการเจาะและเก็บตัวอย่างดิน อาจทำการทดสอบในที่ของก้นหลุมเจาะเพื่อหากำลังของดินควบคู่กันไป เช่น หากำลังต้านทานของแรงเฉือนของดินโดยทำ Vane Shear test หากำลังต้านทานต่อแรงกดอัดโดยทำ Cone Penetration test เป็นต้น

15.1.4 **วิธีการเก็บตัวอย่างดิน**

สามารถแบ่งออกเป็นหลายวิธีดังต่อไปนี้

-15.1.4.1 การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเก็บตัวอย่างแบบ Standard

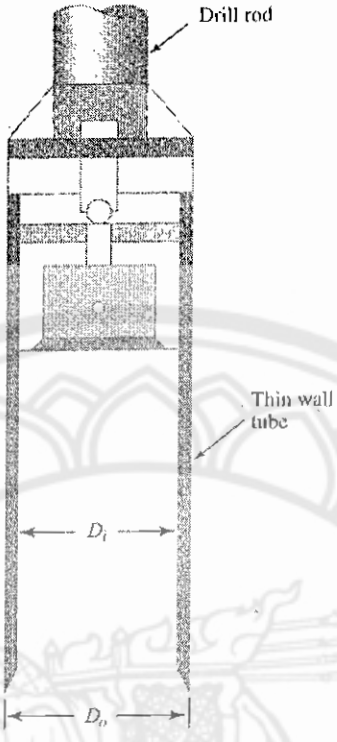
ใช้เก็บตัวอย่างดินโดยการกดและกระแทกลงไปในดินจะทำให้ดินถูกรบกวน โดยสามารถแสดงถึงลักษณะของกระบอกได้ตามรูปที่ 15.5



รูปที่ 15.5 แผนภาพของกระบอกแบบ Standard (Standard split-spoon sample)

- 15.1.4.2 การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเก็บตัวอย่างแบบ Thin wall

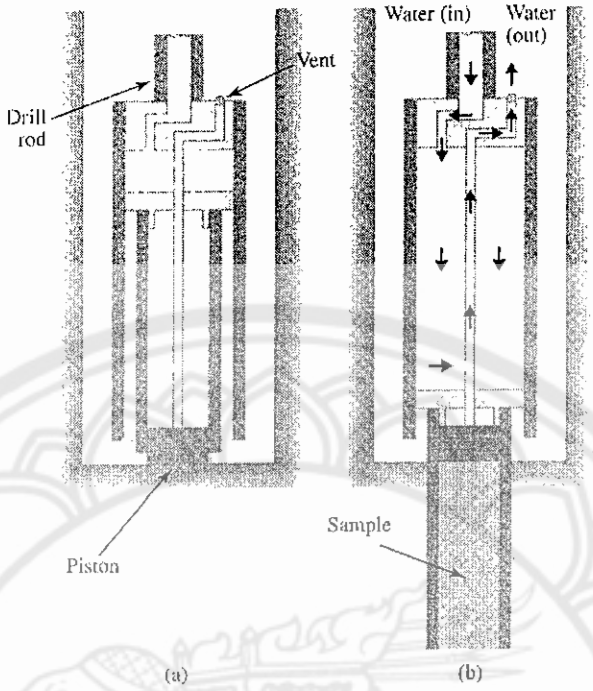
ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับแบบ Standard เพียงแต่มีผนังที่บางกว่าและดินจะไม่ถูกรบกวนมาก เพราะใช้วิธีการเจาะสำรวจแบบกดโดยการติดตั้งก็สามารถติดตั้งไปที่ Drill rod ได้เลยโดยสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 15.6



รูปที่15.6 กระบอกเก็บตัวอย่างแบบ Thin wall (Thin wall tube)

- 15.1.4.3 การเก็บตัวอย่างโดยกระบอกเก็บตัวอย่างแบบ Piston

กระบอกเก็บตัวอย่างแบบนี้จะเก็บโดยวิธีการกดจึงทำให้ดินไม่ถูกรบกวนดังแสดงตามรูปที่ 15.7



รูปที่ 15.7 ตัวอย่างแบบ Piston (a) ตัวอย่างที่อยู่ใต้สุดของหลุมเจาะ
(b) แสดงทางเดินของน้ำขณะเจาะ

- 15.1.5 **การรบกวนตัวอย่าง** (Sample Disturbance)

การรบกวนตัวอย่างนี้ก็จะขึ้นอยู่กับค่า area ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพื้นที่ของดินที่ถูกแทนที่ต่อพื้นที่ของตัวอย่างดินสามารถหาได้จากสมการ

$$A_r(\%) = \frac{D_0^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100 \qquad \text{(สมการที่ 15.1)}$$

โดยที่ A_r = Area ratio

D_o = เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของกระบอกเก็บตัวอย่าง

D_i = เส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของกระบอกเก็บตัวอย่าง

โดยค่า A_r นี้ไม่ควรมากกว่า 25% และสำหรับดินอ่อนที่มีความไวตัวมาก (Sensitive) ค่า A_r นี้ไม่ควรมากกว่า 10% ซึ่งการรบกวนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ A_r เกิน 25%

โดยจะสามารถแบ่งชนิดของตัวอย่างดินได้ดังต่อไปนี้

- 15.1.5.1 ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (undisturbed sample)

เป็นตัวอย่างดินที่ได้รับความกระทบกระเทือนจากการเจาะดิน ทำให้โครงสร้างของดินเปลี่ยนไปหรือถูกทำลายไปอาจเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด อย่างไรก็ตามส่วนประกอบของดินยังคงเดิม ดังนั้นจึงสามารถนำตัวอย่างดินแบบนี้ไปทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน ปริมาณน้ำในมวลดิน ดัชนีต่างๆ หรือนำไปทดสอบเกี่ยวกับการบดอัดดินได้

- 15.1.5.2 ตัวอย่างดินคงสภาพ (disturbed sample)

เป็นตัวอย่างดินที่ได้รับความกระทบกระเทือนหรือรบกวนน้อยที่สุด ซึ่งถือว่าโครงสร้างและคุณสมบัติต่างๆ ของดินไม่เปลี่ยนแปลงไป ฉะนั้นตัวอย่างดินคงสภาพจึงใช้ในการทดสอบหาค่าความต้านทานการเฉือย การทรุดตัวของดิน การยอมให้น้ำซึมหรือไหลผ่านหรือการทดสอบอื่นๆ ที่กล่าวแล้วเกี่ยวกับในตัวอย่างดินที่เปลี่ยนสภาพ

15.1.6 ความสัมพันธ์สำหรับ (Standard Penetration test)

สำหรับการประมาณอย่างคร่าวๆ เกี่ยวกับชนิดของดินเหนียวจาก Standard Penetration number (N) และ Unconfined compression strengths (q_u) ได้ตามตารางที่ 15.3

ตารางที่ 15.3 การประมาณค่าของ Standard Penetration Number และ Consistency ของดินเหนียว

Standard penetration number, *N*	Consistency	*Unconfined compression strength* kN/m²	lb/ft²
0	Very soft	0	0
2	Soft	25	500
4	Medium stiff	50	1000
8	Stiff	100	2000
16	Very stiff	200	4000
32		400	8000
>32	Hard	>400	>8000

และถ้าเราได้ Standard Penetration number จากสนามเราจะได้ตัวแปรคือ N_F และ N เพื่อที่จะนำไปหาค่า Corrected Standard Penetration number (N_{cor}) ตามสมการ

$$N_{cor} = C_N N_F \qquad \text{(สมการที่ 15.2)}$$

โดยที่ C_N = Correction Factor

= สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

1. Liao and Whitman (1986)

SI Units $C_N = 9.78\sqrt{1/\sigma_0'}$

English Units $C_N = \sqrt{1/\sigma_0'}$

2. Skempton (1986)

SI Units $C_N = 2/\left[1+0.01\sigma_0'\right]$

English Units $C_N = 2/\left[1+\sigma_0'\right]$

โดยที่ σ_0' = effective overburden pressure (kn / m^2) in SI Units

= effective overburden pressure in U.S.ton / ft^2

(1 U.S.ton = 2000 lb)

และค่า N_{cor} สามารถประมาณได้จากค่า Relative density (D_r) ได้อีกจากสมการ

$$D_r(\%) = \left[\frac{N_F\left(0.23+\frac{0.06}{D_{50}}\right)^{(1.7)}}{9}\left(\frac{98}{\sigma_0'}\right)\right]^{(1/2)} \times 100 \qquad \text{(สมการที่ 15.3)}$$

จากนั้นนำค่า D_r ที่ได้ไปประมาณหาค่า N_{cor} ตามตารางที่ 15.4

ตารางที่ 15.4 การประมาณค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Corrected Standard Penetration Number และ Relative Density ของดินทราย

Corrected standard penetration number, N_{cor}	Relative density, D_r (%)
0–5	0–5
5–10	5–30
10–30	30–60
30–50	60–95

เมื่อได้ค่า N_{cor} จากการหาข้างต้นทั้ง 2 วิธีแล้วก็สามารถนำไปค่ามุม angle of friction ($\varnothing$) สำหรับ granular soil ได้จากสมการของ Peck, Hanson และ Thornburn (1975) คือ

$$\phi(\deg) = 27.1 + 0.3N_{cor} + 0.00054N_{cor}^2 \qquad \text{(สมการที่ 15.4)}$$

ซึ่งเราจะได้ค่า ϕ สำหรับดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั่นเอง

15.1.7 การทดสอบ In-situ (In-situ Test)

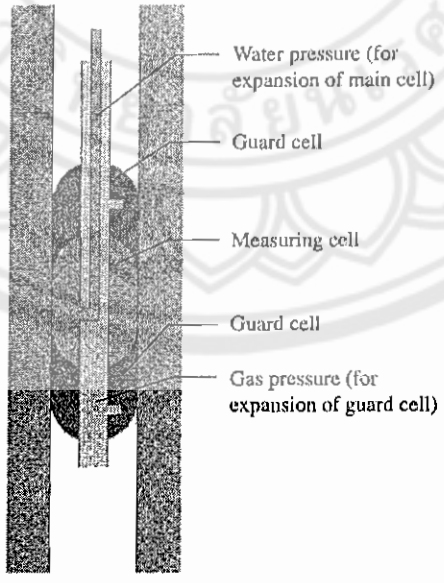
สามารถกระทำการทดสอบได้หลายวิธีดังต่อไปนี้คือ

- 15.1.7.1 Vane Shear test

การทดสอบนี้สามารถทำได้พร้อมๆ กันกับการตอกหรือเจาะเพื่อไปเก็บตัวอย่างซึ่งผลสุดท้ายสามารถจะได้ค่า undrained shear strengths (c_u) ของดินเหนียวโดยจะสามารถหาได้จากหลุมเจาะได้เลย

- 15.1.7.2 Borehole Pressuremeter test

รูปแบบการติดตั้งเครื่องมือในการทดสอบเราก็สามารถติดตั้งได้ตามรูปที่ 15.8



รูปที่ 15.8 แผนภาพของการทดสอบ pressuremeter

โดยการทดสอบนี้เพื่อการหาค่า modulus of elasticity ของดินซึ่งอยู่ในช่วงอีลาสติกเทียม (pseudoelastic) ได้ตามสมการดังนี้

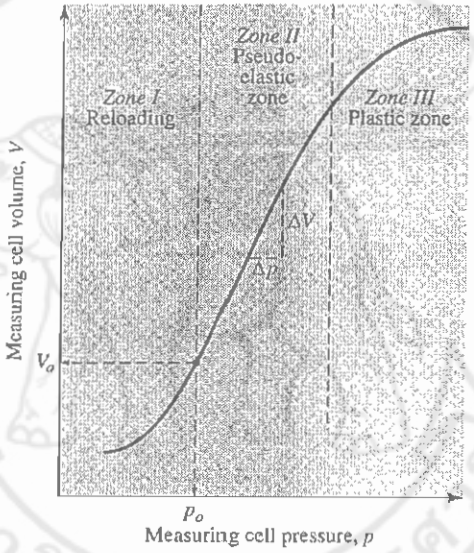
$$E_s = 2(1+\mu_s)V_0\frac{\Delta P}{\Delta V} \qquad \text{(สมการที่ 15.5)}$$

โดยที่ E_s = Modulus of elasticity ของดิน

μ_s = อัตราส่วนปัวซองของดิน

V_o = หาได้จากรูปที่ 15.9

$\frac{\Delta P}{\Delta V}$ = ความชันของ Straight – line ที่เขียนลงใน Zone II ในรูปที่ 15.9



รูปที่ 15.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของ Measuring cell และความดันของ Measuring จากการทดลองโดย Menard pressuremeter

- 15.1.7.3 Cone Penetration test

เป็นการตรวจสอบเพื่อหาค่า modulus of elasticity (E_s) ของดินเพื่อนำไปใช้ในการหา clastic settlemont of foundations ต่อไปซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของ Schmertmann (1970) คือ

$$E_s = 2q_c \qquad \text{(สมการที่ 15.6)}$$

โดยที่ q_c หาได้จากความสัมพันธ์ของ Robertson และ Campanella (1983) คือ

$$\phi = \tan^{-1}\left[0.1 + 0.38\log\left(\frac{q_c}{\sigma_0'}\right)\right] \qquad \text{(สมการที่ 15.7)}$$

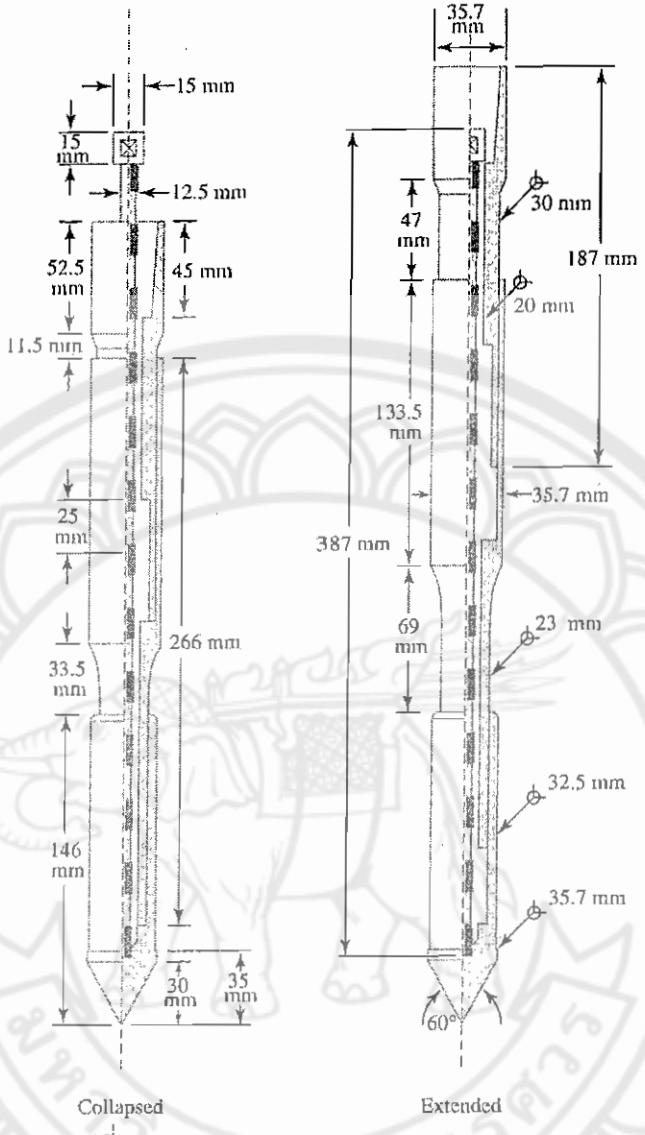
ซึ่งค่า ϕ สามารถหาได้จากหัวข้อที่กล่าวมาแล้ว

แต่เมื่อถึงปี 1974 มีผู้เสนอความสัมพันธ์ใหม่คือ Trofimenkov ซึ่งสามารถเสนอมาได้ดังนี้

$E_s = 3\, q_c$ (For sands) (สมการที่ 15.8)

$E_s = 7\, q_c$ (For clays) (สมการที่ 15.9)

จากนั้นนำค่า modulus of elasticity (E_s) ที่ได้นำไปหา elastic settlement ของฐานราก ต่อไปรูปที่ 15.10 แสดง Dutch cone ที่ใช้ทดสอบในการเจาะหลุมลงไปซึ่งตรง cone จะมีมุม = 60° ตามรูป



รูปที่ 15.10 แสดง Dutch cone penetrometer

15.7.8 การรายงานผลการสำรวจดิน (Soil Exploration Report)

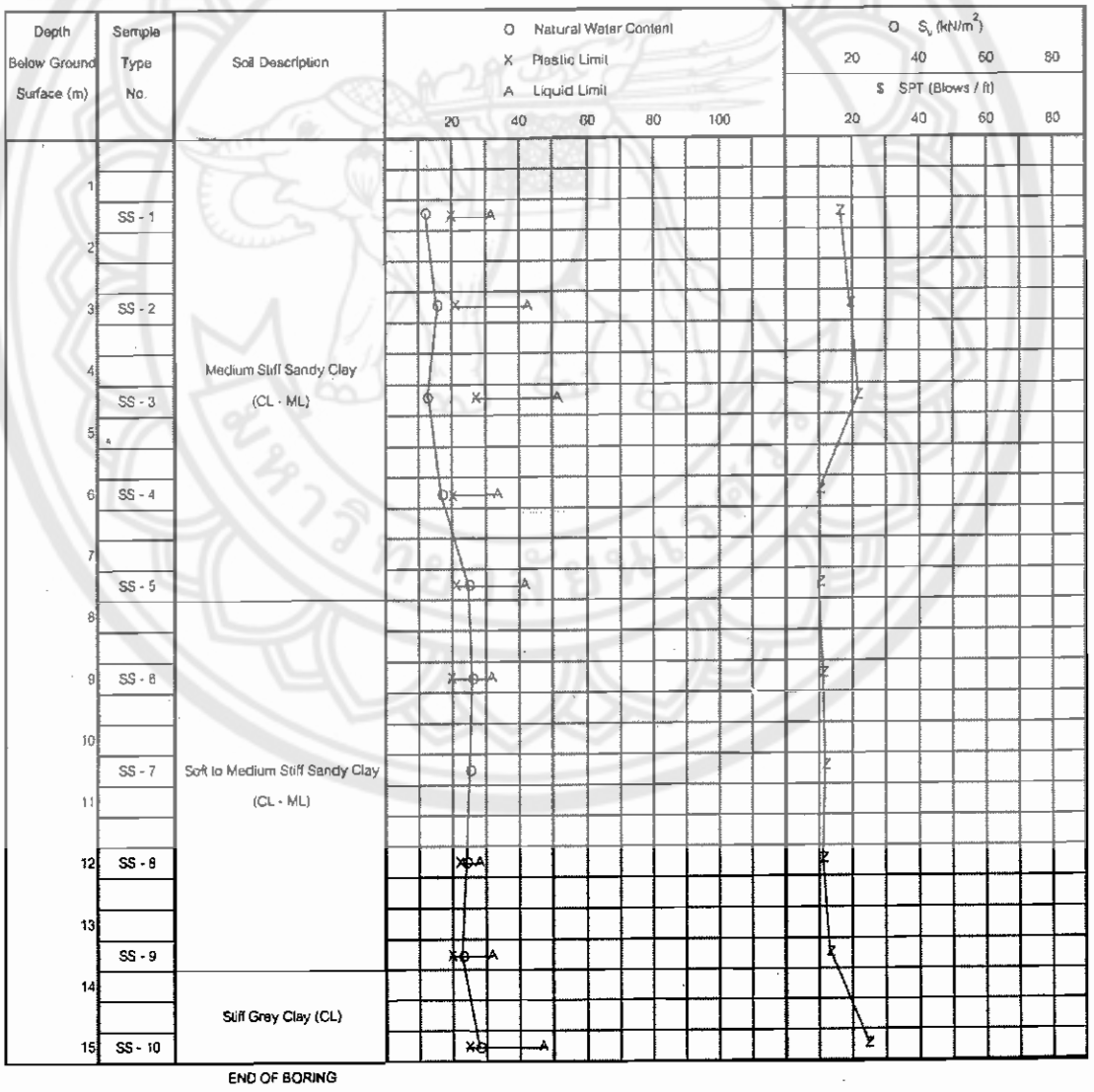
เมื่อเจาะสำรวจดินเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะถึงขั้นตอนของการเตรียมรายงานของผลเจาะสำรวจ รายงานการเจาะสำรวจจำเป็นต่อการใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวางแผนในการก่อสร้าง และการออกแบบฐานราก สำหรับวิศวกร โดยทั่วไปการรายงานผลการเจาะสำรวจจะประกอบด้วยข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ขอบข่ายของการเจาะสำรวจดิน
2. ลักษณะทั่วไปของโครงสร้างที่จะก่อสร้าง
3. ลักษณะทางธรณีวิทยาของสถานที่ก่อสร้าง
4. รายละเอียดชั้นดินหลุมเจาะ (Boring log)
5. คำบรรยายลักษณะของชั้นดินบริเวณสถานที่ก่อสร้าง

6. ระดับน้ำใต้ดิน
7. คำแนะนำสำหรับฐานรากที่เหมาะสมสำหรับโครงการนั้น
8. ปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการก่อสร้าง
9. ข้อจำกัดของการสำรวจสภาพชั้นดิน

ซึ่ง Boring log สามารถแสดงตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

Project	Plaza Bld.			Location : Muang Ayutthaya	
Boring No.	BH - 1				
Boring	Day	Month	year	Ground Water Level Above MSL (m)	Ground Water Level (m)
Started	9	1	1997	7.54	0.5
Completed	11	1	1997		



รูปที่ 15.11 รายละเอียดชั้นดินหลุมเจาะ (Boring Log)