บทที่ 3

วิธีการวิจัย

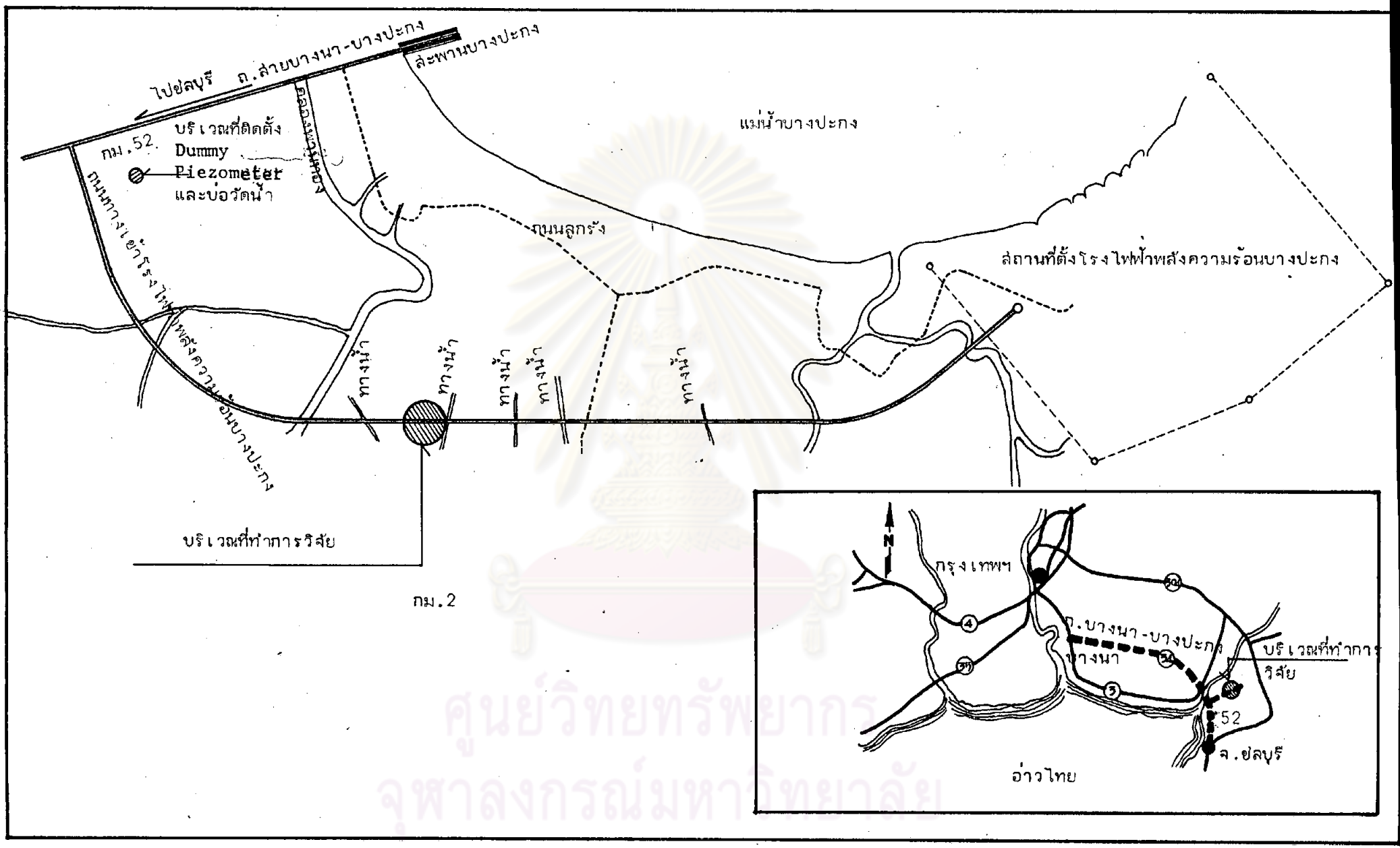
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดินในสนาม

ตัวอย่างดินที่ทดสอบนำมาจากบริเวณถนนทางเข้าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบางปะกง ที่ กม. 2 ซึ่งตั้งอยู่ในเขตอำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังแสดงในรูปที่ 3.1 บริเวณที่นำการเก็บตัวอย่างอยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางถนนประมาณ 15 ม. ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.2

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดินในสนาม

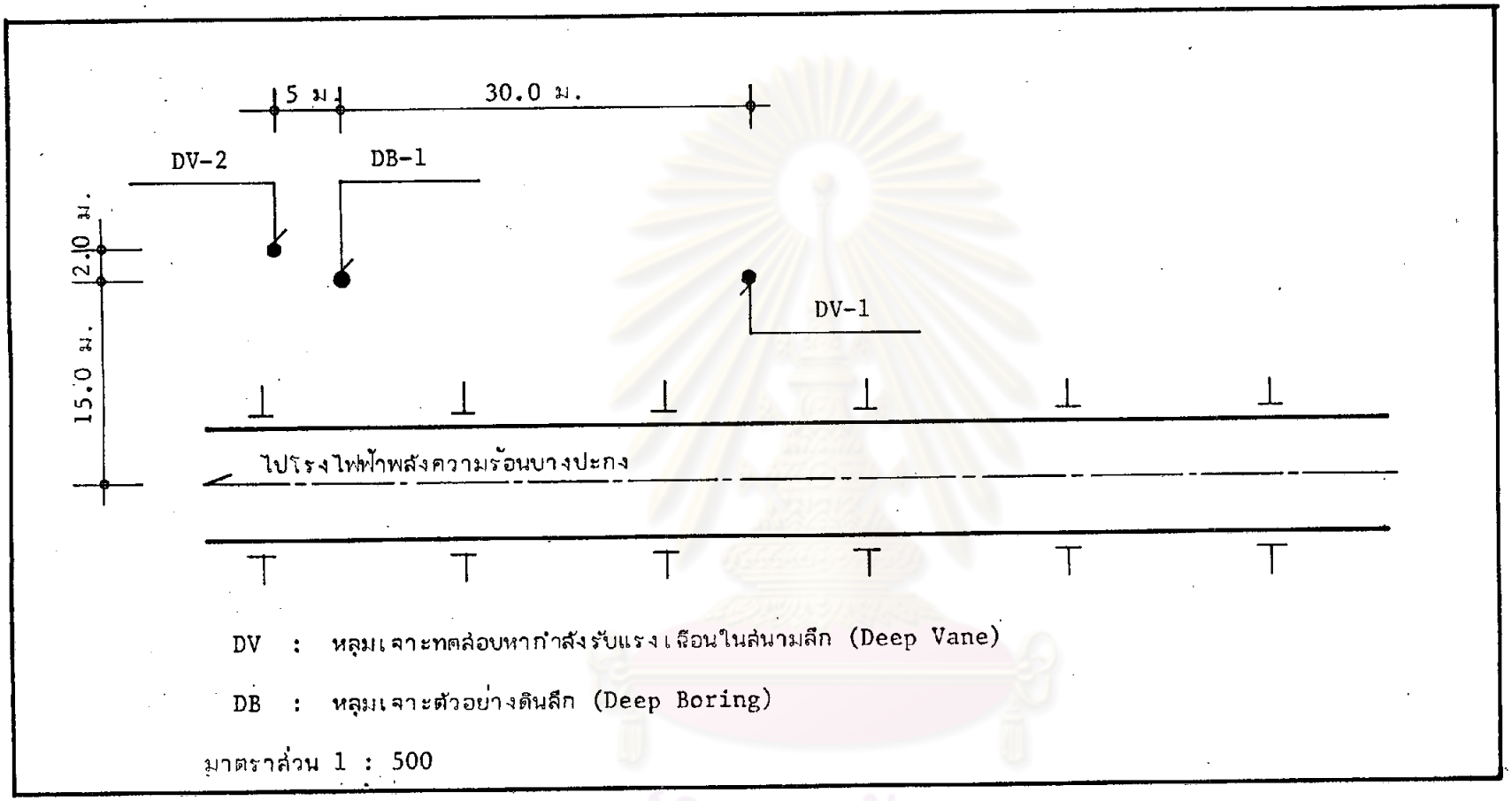
การเก็บตัวอย่างดินในสนามโดยทำการเจาะดินเก็บตัวอย่างดินตลอดชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จนกระทั่งถึงชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) หรือดินทราย (Sand) ทุกระยะ 1.50 ม. จำนวน 1 หลุม โดยเก็บตัวอย่างชนิดไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample) ด้วยกระบอกบาง (Shelby Tube) และกระบอกบางมีลูกสูบ (Piston Shelby Tube) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ซม. ยาว 100 ซม. โดยทำความสะอาดหลุมเจาะ ด้วยการใช้ล่วานที่มีหัวฉีดน้ำที่ปลายก้านปั่นหมุนในหลุมเจาะพร้อมกันอัดน้ำเข้าไปในหลุม เศษดินจะลอยขึ้นบนปากหลุมเจาะและล้นออกมา โดยที่การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบางมีลูกสูบนั้น ก่อนทำการเก็บตัวอย่างดินจะยึดแน่นลูกสูบ (Locked Piston) กับกระบอกบาง แล้วจึงดันพร้อมกันลงไปในดินประมาณ 30-50 ซม. จนถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อป้องกันตัวอย่างดินถูกรบกวน หลังจากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างดินได้

สำหรับการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกบางจะกระทำในชั้นดินผิวบน แต่สำหรับดินชั้นล่าง ๆ ลงไปจะเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกบางมีลูกสูบเพื่อป้องกันดินดันขึ้นมาในกระบอกบางขณะทำการเก็บตัวอย่าง และป้องกันดินหักหลุดร่วงออกมาขณะดึงกระบอกบางขึ้นจากหลุมเจาะ ตลอดการเก็บตัวอย่างจะดันเหล็กปลอก (Casing) เพื่อป้องกันดินถล่มลงไปเหนือระดับที่จะเก็บตัวอย่างเพียงเล็กน้อยเสมอ หลังจากทำความสะอาดหลุมเจาะ และเผื่อความหนาเหนือ



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งบริเวณที่ทำการวิจัย (ที่ กม.2 ของถนนทางเข้าโรงไฟฟ้าพลังความร้อนบางปะกง)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



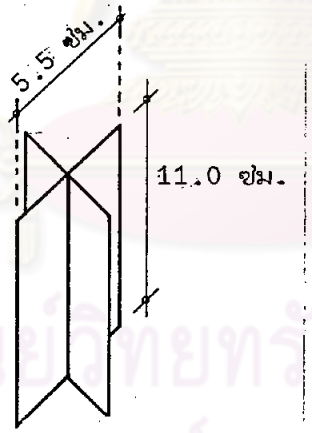
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการเจาะสำรวจดินที่ กม. 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระดับชั้นดินที่จะเก็บตัวอย่างไว้เรียบร้อยแล้ว ยึดแน่นลูกสูบให้อยู่ตอนปลายล่างด้านในของกระบอกบาง ดันกระบอกบางพร้อมลูกสูบไปจนถึงระดับที่ต้องการเก็บตัวอย่างดิน จากนั้นคลายลูกสูบให้อยู่ในสภาพอิสระ, แล้วดันกระบอกบางลงไปในดินอย่างช้าๆ เพื่อเก็บตัวอย่างประมาณ 80 ซม. โดยลูกสูบจะหยุดนิ่ง หมุนกระบอกเพื่อตัดดินให้ขาดแล้วค่อยๆ ดึงกระบอกบางพร้อมตัวอย่างดินขึ้นจากหลุมเจาะทันที ปิดฉลากหมายเลขทุกกระบอก บอกความลึก วัน เดือน ปี และสถานที่เก็บตัวอย่างดินปิดหัวท้ายกระบอกบางด้วยไข (Wax) หลอมละลายแล้วใช้พลาสติคปิดทับหัวท้ายกระบอกบางและรัดแน่นด้วยเทปอีกครั้งเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้น จากนั้นนำตัวอย่างดินเข้าไปเก็บไว้ในห้องรักษาความชื้นภายในตึกปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย

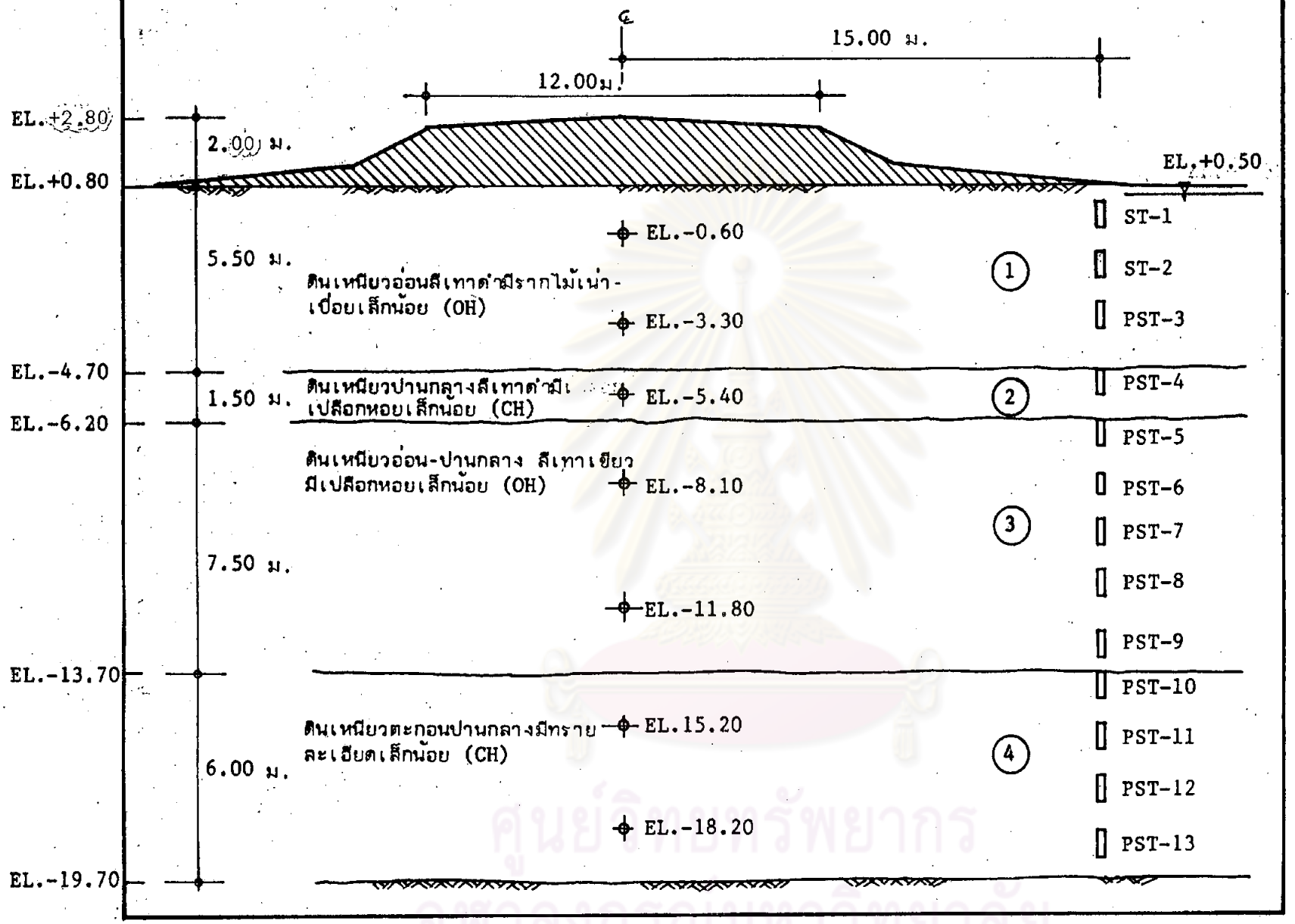
3.3 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนาม (In Situ Field Vane Shear Test)

ทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสนามตลอดชั้นดินเหนียวอ่อนจนกระทั่งถึงชั้นดินเหนียวแข็งหรือชั้นทราย โดยทดสอบทุก ๆ ความลึก 50 ซม. ทั้งในสภาพที่ดินไม่ถูกรบกวนและในสภาพ Remold คือ ดินได้พิบัติไปแล้ว เพื่อต้องการทราบค่าความไว (Sensitivity) ของดิน



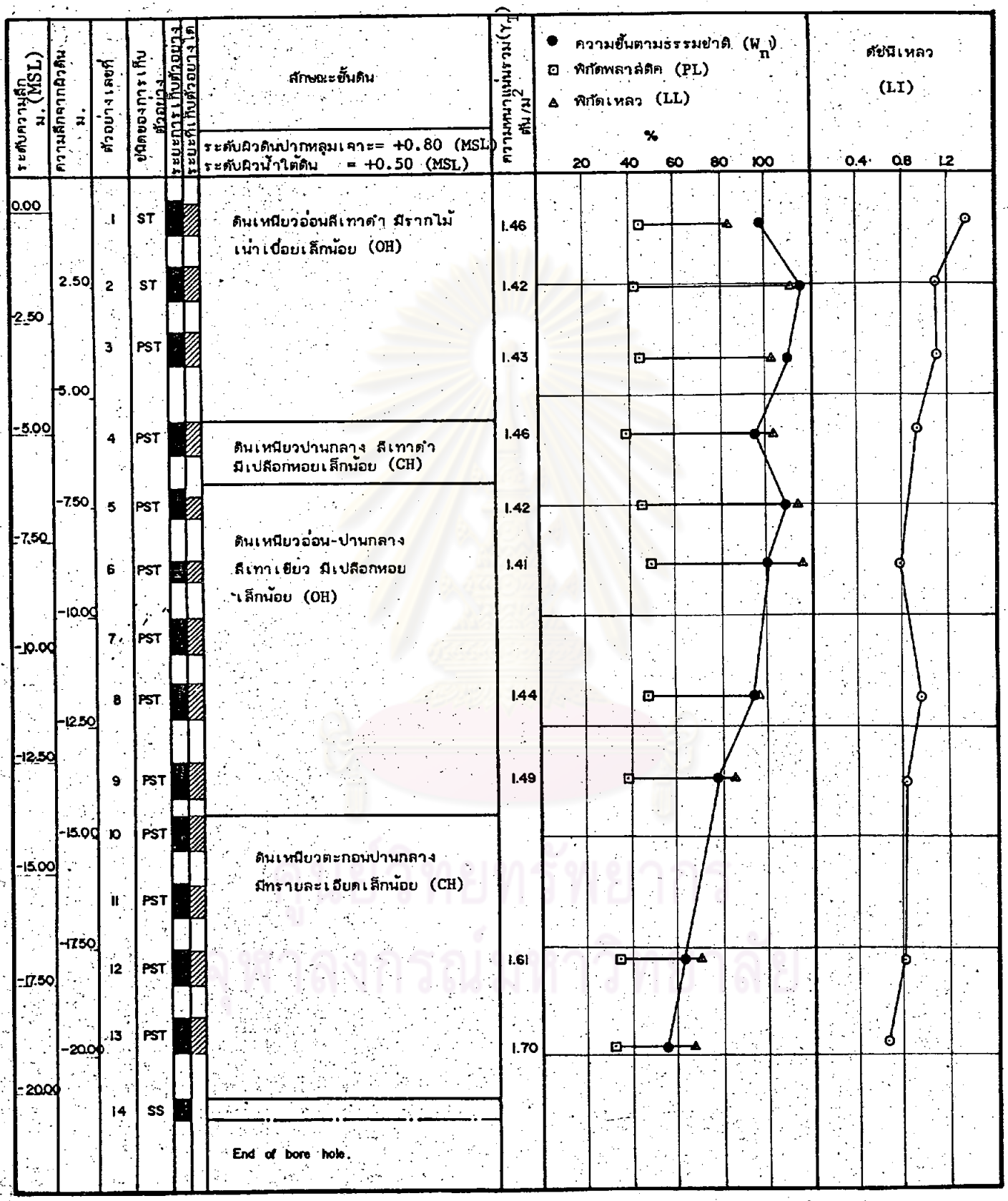
รูปที่ 3.3 ลักษณะขนาดของ Vane

ขั้นตอนการทดสอบโดยทำการเจาะดินจนถึงระดับที่ต้องการ (ปลายล่างของ Vane อยู่เหนือระดับที่ต้องการทดสอบพอดี) ใส่เหล็กปลอกเพื่อกันดินถล่มดัน Vane ลงไป แล้วหมุนเพื่อเกิดแรงบิด (Torque) ที่ Vane กระทำต่อดินแล้วแปลงสภาพเป็นกำลังรับแรงเฉือนของดินซึ่งจะเกิดตามขอบในแนวดิ่ง และแนวนอนของ vane จนดินพิบัติ ซึ่งเป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนในสภาพที่ดินไม่ถูกรบกวน แล้วทำการหมุนปั่นดินเพื่อแน่ใจว่าดินได้พิบัติไปแล้ว หลังจากนั้นทำการทดสอบดังกล่าวแล้วตอนต้นอีกครั้ง เพื่อหากำลังรับแรงเฉือนในสนามในสภาพ Remold ทำเช่นนี้ตลอดชั้นดินที่ทดสอบทุกระยะ 50 ซม. โดยทำการทดสอบ 2 หลุม คือ DV-1 และ DV-2 ดังแสดงแผนที่ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.4 รูปตัดขวางของถนนแสดงตำแหน่งระดับที่จำลองหน่วยแรงในสนาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 ลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติพื้นฐาน

3.4 การทดสอบในห้องทดลอง

3.4.1 โปรแกรมการทดสอบในห้องทดลอง

การทดสอบในห้องทดสอบประกอบด้วยการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ด้วยเครื่องทดสอบ Oedometer โดยเพิ่มน้ำหนักหลังสิ้นสุดการยุบตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำทันที

ตารางที่ 3.1 โปรแกรมการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติโดยเพิ่มน้ำหนักหลังสิ้นสุดการยุบตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำ (t_{100} หาโดยวิธี $\sqrt{t}$ ของ taylor)

ตัวอย่างเลขที่	ระดับความลึกที่ทดสอบ, ม. (MSL)
ST-1	- 0.25
ST-2	- 1.65
PST-4	- 5.05
PST-5	- 6.70
PST-6	- 8.00
PST-8	-11.05
PST-9	-12.95
PST-12	-17.05
PST-13	-18.45

2. การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ด้วยเครื่องทดสอบ Oedometer โดยเพิ่มน้ำหนักตามการทดสอบมาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 โปรแกรมการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ โดยเพิ่มน้ำหนักตามการทดสอบมาตรฐาน (เพิ่มน้ำหนักคงที่หลังน้ำหนักชุดก่อน 24 ชม.)

ตัวอย่างเลขที่	ระดับความลึกที่ทดสอบ, ม.(MSL)
ST-1	- 0.35
ST-2	- 1.60
PST-4	- 4.70
PST-5	- 6.85
PST-8	-11.20
PST-10	-13.90
PST-12	-17.00

3. การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสภาพไม่ระบายน้ำ โดยการทดสอบดินแบบไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อน (Unconsolidated Undrained Triaxial Test, UU Test)

ตารางที่ 3.3 โปรแกรมการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในสภาพไม่ระบายน้ำ

ตัวอย่างเลขที่	ระดับความลึกที่ทดสอบ, ม.(MSL)	ความดันเซลล์ (σ_c), ตัน/ม^2
ST-1	- 0.15	1.37
ST-2	- 1.85	3.82
PST-4	- 4.80	8.06
PST-5	- 6.60	10.66
PST-6	- 8.20	12.10
PST-8	-11.10	17.20
PST-10	-14.10	21.60
PST-12	-17.20	26.70

4. การทดสอบการทรุดตัวโดยวิธีทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path Test) ด้วยเครื่องทดสอบ Triaxial

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 โปรแกรมการทดสอบการทรุดตัวโดยวิธีทางเดินของหน่วยแรง

ตัวอย่างเลขที่	ระดับความลึกที่จำลองหน่วยแรงกระทำ,ม. (MSL)	ความหนาชั้นดินที่จำลอง, ซม.	หน่วยแรงประสิทธิผลเริ่มแรก ตัน/ม^2		K_o (1)	หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น (2) ตัน/ม^2		หน่วยแรงประสิทธิผลท้ายสุด, ตัน/ม^2	
			$\bar{\sigma}_{vo}$	$\bar{\sigma}_{ho}$		$\Delta\sigma_v$	$\Delta\sigma_h$	$\bar{\sigma}_{vf}$	$\bar{\sigma}_{hf}$
ST-1	- 0.60	280	0.92	0.92	1.00	4.37	2.30	5.29	3.22
ST-2	- 3.30	270	2.10	2.10	1.00	4.16	1.05	6.26	3.15
PST-4	- 5.40	150	3.04	2.46	0.81	3.78	0.90	6.82	3.36
PST-5	- 8.10	380	4.25	3.02	0.71	3.55	0.77	7.80	3.79
PST-9	-11.80	370	5.87	4.17	0.71	3.20	0.45	9.07	4.62
PST-10	-15.20	300	7.69	4.92	0.64	2.85	0.80	10.54	5.72
PST-12	-18.20	300	9.64	6.17	0.64	2.60	1.36	12.24	7.53

(1) หาได้จาก Alpan (1967) และ Ladd et al.(1977) ดังนี้ (หัวข้อ 3.4.9.2)

$$K_o(NC) = 0.190 + 0.233 \log PI$$

$$\frac{K_o(OC)}{K_o(NC)} = OCR^m$$

(2) หาได้จากทฤษฎีอิลาสติคที่มีความหนาของชั้นดินแน่นอนรองรับด้วยฐานที่มั่นคง (หัวข้อ 2.3.1)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดิน

นำตัวอย่างดินออกจากห้องรักษาความชื้น แกะไขที่ปิดหัวท้ายของตัวอย่างดินในกระบอกออกแล้วดันตัวอย่างดินออกจากกระบอกด้วย Hydraulic Jack ตัดแบ่งตัวอย่างยาวท่อนละ 10 ซม. พันรอบให้มิดชิดด้วยแผ่นอลูมิเนี่ยมบาง (Aluminium Foil) ปิดฉลากหมายเลยกระบอก ตำแหน่งในกระบอก ระดับความลึก แล้วชุบด้วยไขพลอมละลายหลาย ๆ ชั้น เก็บตัวอย่างไว้ที่ห้องรักษาความชื้นเช่นเดิม สำหรับตัวอย่างดินที่จะทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานก็แบ่งมาทำการทดสอบตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials (ASTM) ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบดังนี้ (แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 3.5)

1. ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติ (Natural Water Content)
2. Atterberg's Limits
3. ความหนาแน่นรวม (Total Density)

3.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ที่ใช้ในการทดสอบมี 2 แบบ คือ

ก. แบบ Lever Arm สำหรับตัวอย่างดินมีเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 2.5 นิ้ว (6.35 ซม.) ความสูง 1 นิ้ว (2.5 ซม.) ปิดหัวท้ายด้วยหินพรุน (Porous Stone)

ข. แบบ Lever Arm ออกแบบโดย Professor A.W. Bishop ผลิตจาก Wykeham Farrance Engineering Ltd, England รุ่น WF 24001 สำหรับตัวอย่างดินมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว (5.0 ซม.) ความสูง 0.75 นิ้ว (1.91 ซม.) ปิดหัวท้ายด้วยหินพรุน

เครื่องทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ทั้ง 2 ชนิด ใช้น้ำหนักคงที่ (Dead Weight) กระทำผ่านหินพรุน เพื่อกระจายขนาดการทรุดตัวสม่ำเสมอเท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินและระบายน้ำได้สม่ำเสมอทั้งทางด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน

2. เครื่องทดสอบ Triaxial มาตรฐานผลิตจาก Wykeham Farrance Engineering Ltd., Englang ระบบให้ความดันเป็นแบบ Self-Compensating Mercury Column System โดยใช้ความสูงของลำปรอทเป็นตัวกำหนดความดันและปรอทจะรักษาระดับโดย Self Compensating Mereury Pot. โดยสปริงทำให้ความดันระหว่างการทดสอบคงที่ตลอดเวลา

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ลักษณะการเก็บตัวอย่างดิน			คุณสมบัติพื้นฐาน						
ตัวอย่างเลขที่	ความลึกจากผิวดิน ม.		ปริมาณความชื้น %	ATTERBERG LIMITS %			ดัชนีเหลว (LI)	ความหนาแน่นรวม (γ_T) ตัน/ม^2	UNIFIED SOIL CLASSIFICATION
	จาก	ถึง		LL	PL	PI			
ST-1	0.50	1.30	98	84	45	39	1.36	1.46	OH
ST-2	2.00	2.80	116	111	43	68	1.07	1.42	OH
PST-3	3.50	4.30	109	103	45	58	1.10	1.43	OH
PST-4	5.50	6.30	95	104	39	65	0.86	1.48	CH
PST-5	7.10	7.80	109	114	46	68	0.93	1.42	OH
PST-6	8.70	9.20	100	116	49	67	0.76	1.41	OH
PST-7	10.00	10.80							
PST-8	11.50	12.30	94	97	47	50	0.94	1.44	OH
PST-9	13.30	14.10	77	86	38	48	0.81	1.49	OH
PST-10	14.50	15.30	54	77	32	45	0.49		CH
PST-11	16.00	16.75							
PST-12	17.50	18.30	62	69	34	35	0.80	1.61	CH
PST-13	19.10	19.90	54	66	31	35	0.68	1.70	CH

3. เครื่องวัดความดันน้ำ (Pore Water Pressure Measurement) แบบ Electric Pressure Transducer ใช้สำหรับวัดความดันน้ำในระหว่างการทดสอบ

4. วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) สำหรับวัดแรงกระทำในแนวดิ่ง (Vertical Loading) ถูกปรับแก้ (Calibrate) หาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับค่าการยุบตัวของวงแหวนวัดแรงที่อ่านได้จากเกจ (Dial Goage) โดยใช้น้ำหนักคงที่วาง

5. โครงแขวนเหล็ก(Steel Frame Hanger) ใช้สำหรับแขวนน้ำหนักคงที่ (Dead Weight) ในการทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบแนวดิ่ง และแนวนอนไม่เหมือนกัน (Anisotropic Consolidation) และในการทดสอบการทรุดตัวโดยวิธีทางเดินของหน่วยแรง

6. เกจ (Gage) วัดการยุบตัว, ที่ตัดดินเส้นลวดขนาดเล็ก (Steel Wire Saw), โครงแต่งขอบ (Trimming Frame) เป็นต้น

3.4.4 การทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบ 1 มิติ ด้วยเครื่องทดสอบ Oedometer

นำตัวอย่างดินมาตัดแต่งลงในวงแหวน (Consolidation Ring) สำหรับเครื่องทดสอบรุ่น WF 24001 ใช้วงแหวนตัดขอบตัวอย่างดินเลย จากนั้นวัดขนาดตัวอย่างชั่งน้ำหนัก หาความหนาแน่น ทำดินส่วนที่เหลือจากการตัดแต่งไปหาปริมาณความชื้นที่เป็นความชื้นของตัวอย่างก่อนทดสอบ ปิดหัวท้ายตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรอง (Filter Paper) แล้วนำตัวอย่างดินติดตั้งในเครื่องทดสอบ มีหินพรุนปิดอยู่ด้านบนและด้านล่างเพื่อให้น้ำได้ระบายอย่างสม่ำเสมอ ติดตั้งเกจแล้วหล่อน้ำในเครื่องทดสอบจนระดับน้ำอยู่เหนือระดับผิวบนของตัวอย่างดิน

สำหรับการทดสอบด้วยการเพิ่มน้ำหนักทันทีหลังสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำโดยทำการเพิ่มน้ำหนักคงที่ทันทีหลังจากสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำ ตรวจสอบด้วยวิธี $\sqrt{t}$ ของ Taylor

สำหรับการทดสอบแบบเพิ่มน้ำหนักตามมาตรฐาน เพิ่มน้ำหนักคงที่หลังจากเพิ่มน้ำหนักยุดก่อน 24 ชม. โดยมีอัตราส่วน $\Delta P/P_o = 1.0$

ΔP : หน่วยแรงที่กระทำเพิ่มต่อตัวอย่างดิน

P_o : หน่วยแรงก่อนเพิ่มน้ำหนัก

บันทึกการยุบตัวและเวลาอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบ

3.4.5 การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบด้วยเครื่อง Triaxial

นำตัวอย่างดินออกจากห้องรักษาความชื้น แกะไขและแผ่นอลูมิเนียมบางที่เคลือบ

ผิวออก แต่งขอบ (Trim) ด้วยที่ตัดดินเส้นลวดขนาดเล็กในโครงแต่งขอบจนกระทั่งได้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.50 ซม. แล้วนำตัวอย่างดินนี้ออกจากโครงแต่งขอบตัดหัวท้ายยาว 7.00 ซม. เพื่อให้สัดส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 2 ต่อ 1

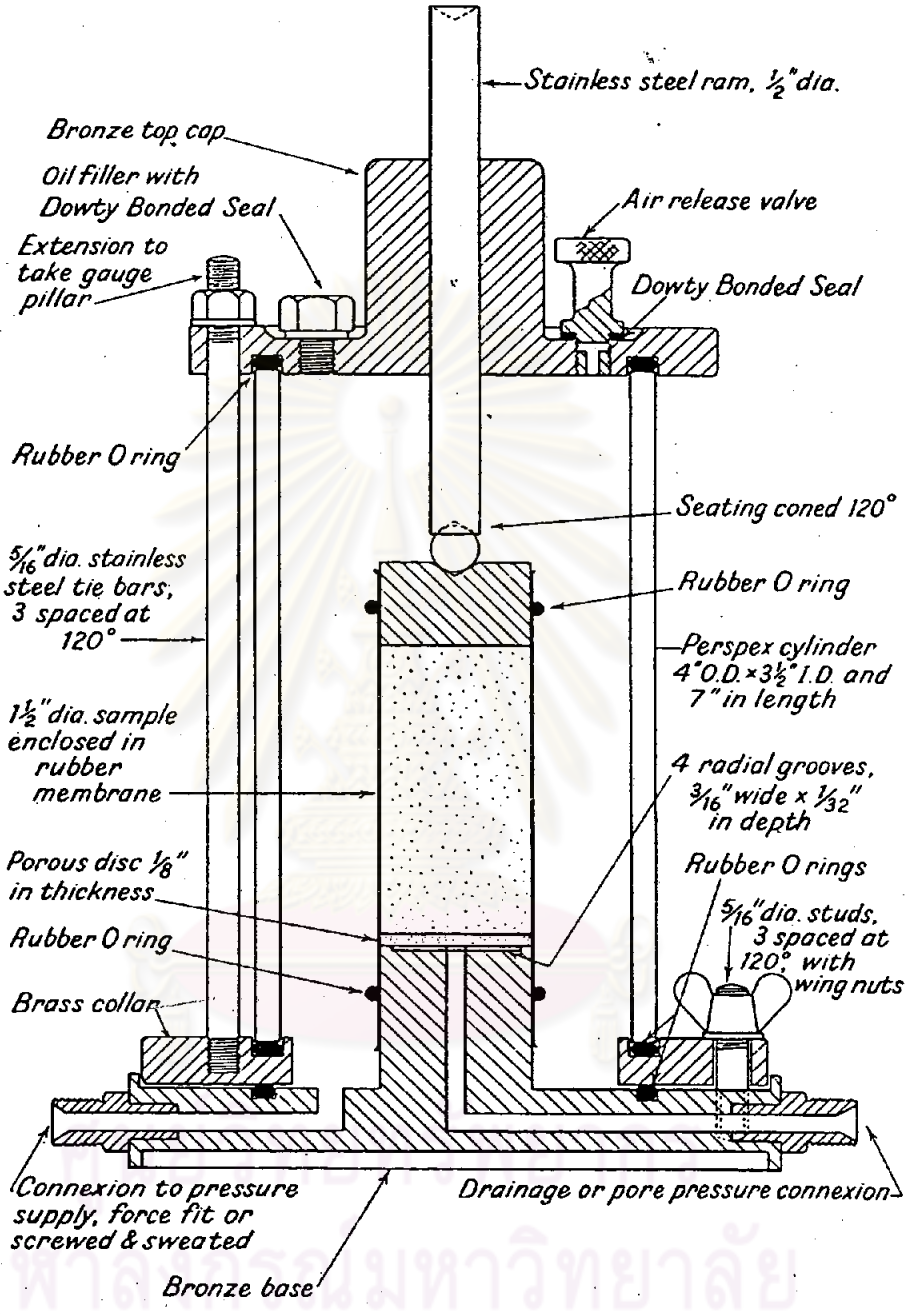
วัดความสูงของตัวอย่างดินด้วยเวอร์เนียร์ (Vernier) และวัดเส้นรอบรูปด้วยแถบกระดาษกราฟพันรอบตัวอย่างดินที่บริเวณส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่าง เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย และปริมาตรของตัวอย่างดิน แล้วนำไปชั่งน้ำหนักหาความหนาแน่นของตัวอย่างดิน สำหรับดินที่เหลือจากการแต่งขอบนำมาหาปริมาณความชื้นเริ่มแรก(Initial Water Content)

3.4.6 การจัดตัวอย่างดินเข้าเครื่องทดสอบ Triaxial

ขั้นแรกของการทดสอบ Triaxial ต้องตรวจสอบฐานของเซลล์ และสายที่ต่อจากฐานทุกเส้นต้องมีน้ำเต็ม และน้ำที่ใช้ในระบบต้องเป็นน้ำกลั่นที่ถูกไล่ฟองอากาศออกหมดแล้ว นำหินพรุนที่ต้มไล่ฟองอากาศ และอิ่มตัวด้วยน้ำวางบนฐานของเครื่องทดสอบ Triaxial นำตัวอย่างดินมาปิดท้ายด้วยกระดาษกรองเบียกน้ำ แล้ววางทับหินพรุนบนฐานของเครื่องทดสอบ จากนั้นปิดส่วนบนตัวอย่างดินด้วยกระดาษกรองเบียกน้ำ และวาง Top Cap ทับอีกครั้ง

สำหรับตัวอย่างดินที่ต้องการอัดตัวคายน้ำ ปิดทับด้านข้างด้วยกระดาษกรองเบียกน้ำ ที่ตัดเป็นริ้วยาวตามแนวดิ่ง 8 ชั้น กว้างชั้นละ $\frac{1}{4}$ นิ้ว ยาว $3\frac{1}{4}$ นิ้ว (ขนาดเดียวกับกระดาษกรองของ Whatman No.54) เพื่อเร่งอัตราการอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างดิน และทำให้ความดันที่เกิดขึ้นกระจายอย่างสม่ำเสมอโดยเร็ว

นำถุงยางอนามัย (Rubber Membrane) สวมทับตัวอย่างดิน 3 ชั้น เพื่อป้องกันมิให้ตัวอย่างดินถูกน้ำในเซลล์ ใช้แหวนยาง (Rubber "O" Ring) รัดทั้งเหนือด้านบนและใต้ด้านล่างตัวอย่างดินอย่างละ 3 เส้น นำกระบอกเซลล์ทา Silicone Grease บริเวณขอบยางด้านล่าง แล้วนำกระบอกเซลล์วางเข้าที่ยันแน่นด้วยน็อตเกลียวยาวพร้อมแหวนรองรับ จัดก้านถ่ายน้ำหนัก (Stainless Steel Ram) ให้แตะสัมผัสพอดีกับ Top Cap ของตัวอย่างดิน ยึดแน่น (Lock) ก้านถ่ายน้ำหนัก วางวงแหวนวัดแรงให้แตะสัมผัสพอดีกับก้านถ่ายน้ำหนัก เปิดน้ำเข้าเซลล์จนจวนจะเต็มเซลล์ ใส่น้ำมันเครื่องที่มีความหนืดสูง เพื่อลดความเสียดทานของก้านถ่ายน้ำหนักและป้องกันน้ำรั่วทางก้านถ่ายน้ำหนักเข้าทางรูระบายอากาศตอนบน จนกระทั่งน้ำมันเครื่องล้นออกมา ปิดรูระบายอากาศ จะสังเกตเห็นน้ำมันเครื่องลอยอยู่ผิวบนเหนือน้ำในเซลล์ (รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดเครื่องทดสอบ Triaxial)



รูปที่ 3.6 รายละเอียดเครื่องทดสอบ Triaxial

3.4.7 การทำให้ตัวอย่างดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำในเครื่องทดสอบ Triaxial

เพิ่มความดันดิน (Back Pressure) ให้เท่ากับ 20 ตัน/ม^2 แก่ตัวอย่างดินไว้อย่างน้อย 24 ชม. เพื่อให้น้ำกระจายเข้าไปในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน การที่จะเพิ่มให้ได้ค่าความดันดังกล่าวต้องค่อย ๆ เพิ่มความดันเซลล์ก่อนและเพิ่มความดันดินสลับกันไปอย่างช้าๆ ด้วยอัตราประมาณ 2 ตัน/ม^2 ต่อนาที เพื่อให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนน้อยที่สุด โดยท้ายสุดความดันเซลล์จะมีค่ามากกว่าความดันดินประมาณ 1 ตัน/ม^2 เพื่อป้องกันการบวมตัว (Swelling) ของตัวอย่างดิน จากนั้นต่อความดันเข้ากับอุปกรณ์ยึดเยยความดันให้คงที่ คลายก้านถ่ายน้ำหนักบันทึกค่าจากเกจ

หลังจากทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วจึงตรวจสอบสภาพอิ่มด้วยน้ำของดินโดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ ("B" Parameter ของ Skempton, 1954) ต้องมีค่ามากกว่า 0.95 ซึ่งเป็นอัตราส่วนของความดันน้ำในโพรงเพิ่มต่อความดันเซลล์ที่เพิ่มเข้าไปหลังจากปิดลิ้น (Valve) ความดันดิน

3.4.8 การอัดตัวคายน้ำด้วยเครื่องทดสอบ Triaxial

2.4.8.1 การอัดตัวคายน้ำแบบเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic Consolidation) เมื่อตัวอย่างดินอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วปิดลิ้นความดันดิน จากนั้นเพิ่มความดันเซลล์จนกระทั่งถึงค่าความดันประสิทธิผลเซลล์ (Effective Cell Pressure) ซึ่งจะเป็นค่าหน่วยแรงประสิทธิผลของตัวอย่างดินที่ต้องการ โดยเพิ่มอย่างช้า ๆ แล้วต่อสายความดันเข้ากับอุปกรณ์ยึดเยยความดันให้คงที่ จะได้ความสัมพันธ์

ความดันเซลล์ = ความดันประสิทธิผล + ความดันดินของน้ำในตัวอย่างดินเริ่มแรก

หลังจากนั้นเปิดลิ้นความดันดิน ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. แล้วตรวจสอบการลิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำโดยดูจากความดันน้ำในโพรงเพิ่มต้องเท่ากับศูนย์เพื่อปิดลิ้นความดันดิน บันทึกขนาดการเปลี่ยนแปลงความสูง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างดิน เพื่อนำไปหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย หลังจากเกิดการอัดตัวคายน้ำเรียบร้อยแล้ว

$$A_c = \frac{V_o - \Delta v}{h_o - \Delta h} \qquad \text{.....(3.1)}$$

A_c : พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของตัวอย่างดินภายหลังการอัดตัวคายน้ำ

V_o : ปริมาตรของตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ

h_o : ความสูงของตัวอย่างก่อนการทดสอบ

Δv : การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

Δh : การเปลี่ยนแปลงความสูง

3.4.8.2 การอัดตัวคายน้ำแบบแนวดิ่งและแนวนอนไม่เหมือนกัน (Anisotropic Consolidation) ก่อนที่จะทำการอัดตัวคายน้ำแบบแนวดิ่งและแนวนอนไม่เหมือนกันจะต้องทำการอัดตัวคายน้ำแบบเหมือนกันทุกทิศทางก่อน โดยการเพิ่มความดันเซลล์จนกระทั่งถึงค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอน (Horizontal Effective Stress, $\bar{\sigma}_{hc}$) ที่ต้องการ ปล่อยให้เกิดการอัดตัวคายน้ำ 24 ชม. วัดการเปลี่ยนแปลงความสูง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของตัวอย่างดิน (A_c)

หลังจากตัวอย่างดินถูกอัดตัวคายน้ำแบบเหมือนกันทุกทิศทางเรียบร้อยแล้วเพิ่มน้ำหนักคงที่บนโครงแขวนน้ำหนักวางแขวนบนก้านถ่ายน้ำหนัก ซึ่งน้ำหนักคงที่ที่กระทำตัวอย่างดินหาได้จาก

$$L_1 = (\bar{\sigma}_{yc}-\bar{\sigma}_{hc}).A_c+(\sigma_{cell}.A_r + F-W) = (1-K_o).\bar{\sigma}_{vc}.A_c+(\sigma_{cell}.A_r + F-W) \quad ..(3.2)$$

L_1 : น้ำหนักคงที่ที่กระทำต่อตัวอย่างดินระหว่างการอัดตัวคายน้ำแบบแนวดิ่งและแนวนอนไม่เหมือนกัน

K_o : สัมประสิทธิ์แรงดันของดิน ณ สภาวะสมดุลย์

$\bar{\sigma}_{vc}$: หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง

$\bar{\sigma}_{hc}$: หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอน

σ_{cell} : ความดันเซลล์

A_r : พื้นที่หน้าตัดของก้านถ่ายน้ำหนัก (Area of Stainless Steel Ram)

F : แรงเสียดทานของก้านถ่ายน้ำหนัก (Friction of Stainless Steel Ram)

W : น้ำหนักของโครงแขวนน้ำหนัก (Weight of Steel Frame Hanger)

A_c : พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยของตัวอย่างดินหลังสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแบบเหมือนกันทุกทิศทาง

สำหรับค่าของ ($\sigma_{cell}\cdot A_r$ + F-W) นี้เป็นน้ำหนักคงที่สำหรับความดันนั้น ๆ เพื่อให้เกิดการสมดุลย์ระหว่างแรงลอยตัว (Buoyant Force) และแรงเสียดทานของก้านถ่ายน้ำหนัก ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์กับน้ำหนักคงที่ที่สมดุลย์ ณ ความดันนั้น ๆ

ดังรูปที่ 3.7

3.4.9 การทดสอบตัวอย่างดินด้วยเครื่องทดสอบ Triaxial

3.4.9.1 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินที่ไม่ถูกอัดตัวคายน้ำมาก่อนในสภาพไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test, UU Test) การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนวิธีนี้ เป็นการทดสอบตัวอย่างดินชนิดไม่ถูกรบกวน (Undisturbed Sample) อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งจะมีปริมาณความชื้นในตัวอย่างดินใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นของดินในธรรมชาติ นำตัวอย่างดินมาทำตามหัวข้อ 3.4.5 และ 3.4.6 ตลอดการทดสอบปิดลิ้นความดันดินทำการเพิ่มความดันเซลล์จนกระทั่งมีค่าเท่ากับหน่วยแรงรวมในแนวดิ่งตามธรรมชาติ (Overburden Pressure, σ_{vo}) จากนั้นเพิ่มหน่วยแรงในแนวดิ่งเพียงอย่างเดียวจนกระทั่งตัวอย่างดินเกิดการพังทลายโดยดันฐานของเซลล์ยกขึ้นด้วยมอเตอร์ และระบบเพียงด้วยอัตราความเครียดคงที่ (Strain Controlled) 10% ต่อชั่วโมง

3.4.9.2 การทดสอบหาการหดตัวโดยวิธีทางเดินของหน่วยแรงแบบดินที่ถูกอัดตัวคายน้ำ ณ สภาวะสมดุลย์ (K_o) มาก่อนด้วยเครื่อง Triaxial และวัดความดันน้ำในโพรงเพิ่มในสภาพไม่ระบายน้ำเมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำต่อตัวอย่างดิน (K_o Consolidated Undrained Triaxial Test with Pore Pressure Measurement ($\overline{CK_oUC}$) by the Field Total Loading) นำตัวอย่างดินมาทำตามหัวข้อ 3.4.5 ถึง 3.4.8 สำหรับค่า K_o ที่ใช้ในการทดสอบ การอัดตัวคายน้ำ ณ สภาวะสมดุลย์นั้น ได้มาจากความสัมพันธ์ดังนี้

สำหรับดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Alpan, 1967) จากสมการ (2.4)

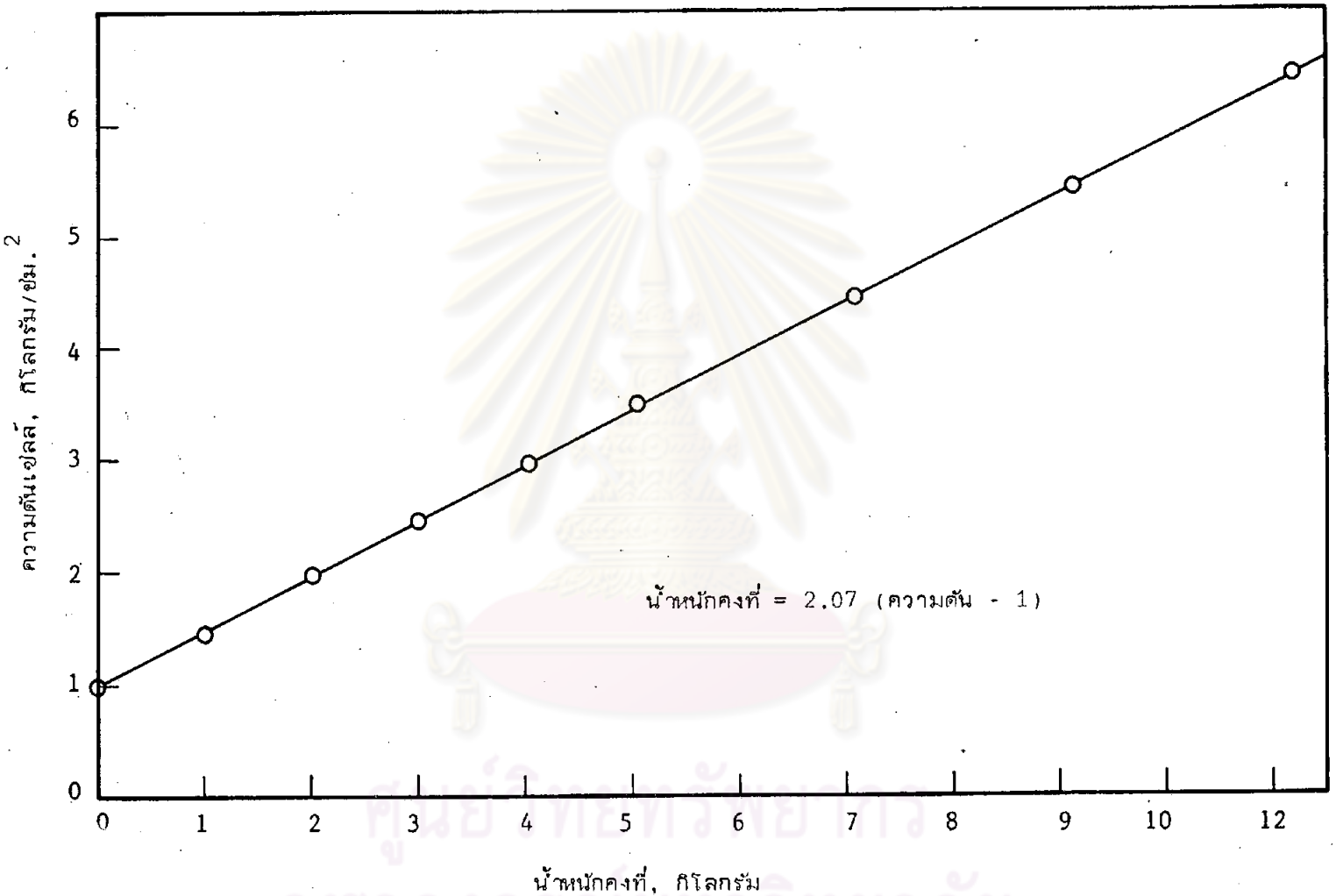
$$K_o = 0.190 + 0.233 \log PI$$

สำหรับดินเหนียวอัดแน่นเกินตัว ได้จากความสัมพันธ์ของสมการ (2.3)

$$\frac{K_o\ (OC)}{K_o\ (NC)} = OCR^m$$

สำหรับค่า m ได้จากรูปที่ 2.3 ดังแสดงค่า K_o ในตารางที่ 3.4

หลังจากสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแบบแนวดิ่ง และแนวนอนไม่เหมือนกัน ปิดลิ้นความดันดิน เพิ่มความดันเซลล์ให้เท่ากับค่าหน่วยแรงที่เพิ่มในแนวนอน เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำ ณ จุดที่พิจารณา ($\Delta\sigma_h$) ไปยังค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอนท้ายสุด ($\bar{\sigma}_{hf}$) พร้อมกับเพิ่มน้ำหนักคงที่ บนโครงแขวนน้ำหนักจนถึงค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งท้ายสุด ($\bar{\sigma}_{vf}$) โดยค่า



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเซลล์กับน้ำหนักคงที่

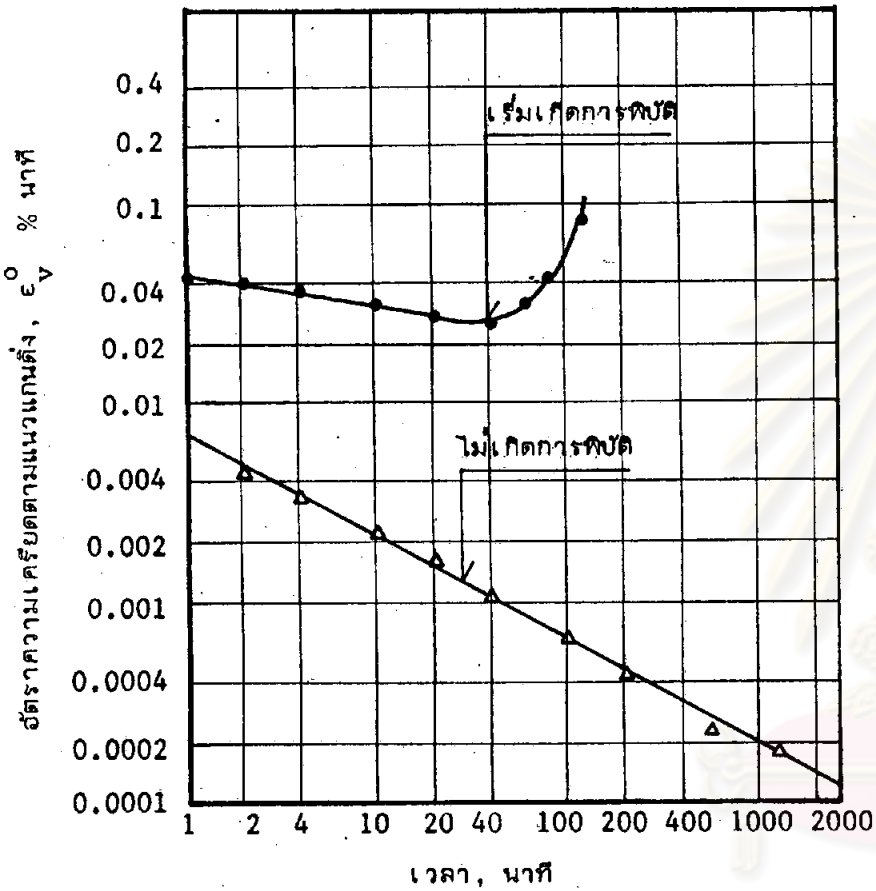
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\Delta\sigma_h$ และ $\Delta\sigma_v$ ได้มาจากการวิเคราะห์การกระจายหน่วยแรงโดยทฤษฎีอิลาสติคที่มีความหนาของชั้นดินแน่นอนรองรับด้วยฐานที่มั่นคง บันทึกค่าการยุบตัวจากเกจและความดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้น

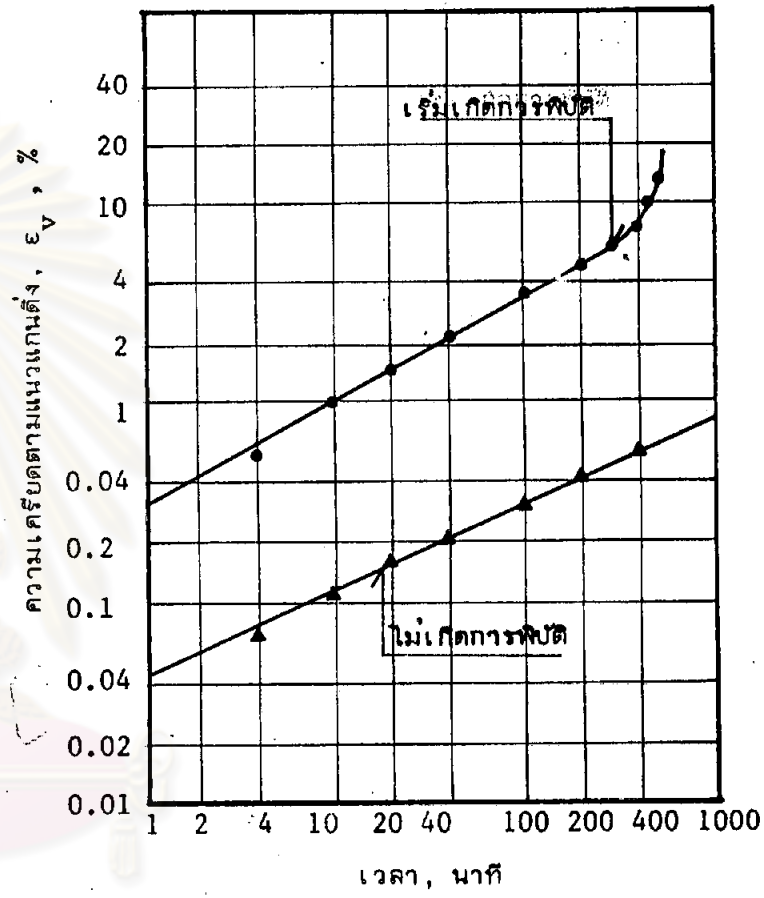
ตัวอย่างดินจะทรุดตัวในแนวดิ่งและขยายตัวเองในด้านข้าง โดยที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง การยุบตัวที่เกิดขึ้นทันทีที่น้ำหนักกระทำเป็นการทรุดตัวทันที (ρ_i) หลังจากนั้นเป็นการทรุดตัวที่ต่อเนื่องกับเวลาสำหรับในสภาพไม่ระบายน้ำนี้เรียกว่า การทรุดตัวเนื่องจากอันเดรนครีพ (ρ_u) โดยที่หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักที่มากระทำไม่เกินค่า S_u ของตัวอย่างดิน อัตราการเพิ่มของความดันน้ำโพรงเพิ่มที่เกิดขึ้นจะช้าลงเรื่อย ๆ (ถ้าตัวอย่างไม่เกิดการพิบัติ) และอาจหยุดนิ่งรอเวลาผ่านไปประมาณ 72 ชม. จนแน่ใจว่าไม่เกิดความดันน้ำในโพรงเพิ่มขึ้นอีก เปิดลิ้นความดันดินเพื่อระบายน้ำออกจากตัวอย่างดินโดยขบวนการอัดตัว-คายน้ำ

สำหรับตัวอย่างดินที่จะเกิดการพิบัติในขณะไม่ระบายน้ำนี้ สังเกตได้จากกราฟ[3] ความสัมพันธ์ระหว่างลอคของอัตราความเครียดกับ ลอคของเวลา (Sample, 1973) หรือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างลอคของความเครียดกับลอคของเวลา (Singh และ Mitchell, 1968) เส้นจะมีลักษณะชันและโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และ 3.9 ก็ทำการเปิดลิ้นความดันดินเพื่อระบายน้ำออกจากตัวอย่างดิน โดยขบวนการอัดตัวคายน้ำทันที

หลังจากเปิดลิ้นระบายน้ำแล้วบันทึกการทรุดตัว และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างดินจนสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำ ตรวจสอบการทรุดตัวเนื่องจากการอัดตัวคายน้ำครบ 100% ได้จากวิธี $\sqrt{t}$ ของ Taylor หรือ Log t ของ Casagrande แล้วหาค่า C_α ในช่วงที่เป็นเส้นตรงของลอคของความเครียดกับลอคของเวลา หลังจากสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำเพื่อประมาณการทรุดตัวเนื่องจากการคืนตัวตามระยะเวลา



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของอัตราความเครียดกับ Logarithm ของเวลา (ยู่ซาติ., 2527)



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง Logarithm ของความเครียดกับ Logarithm ของเวลา (ยู่ซาติ, 2527)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย