บทที่ 3

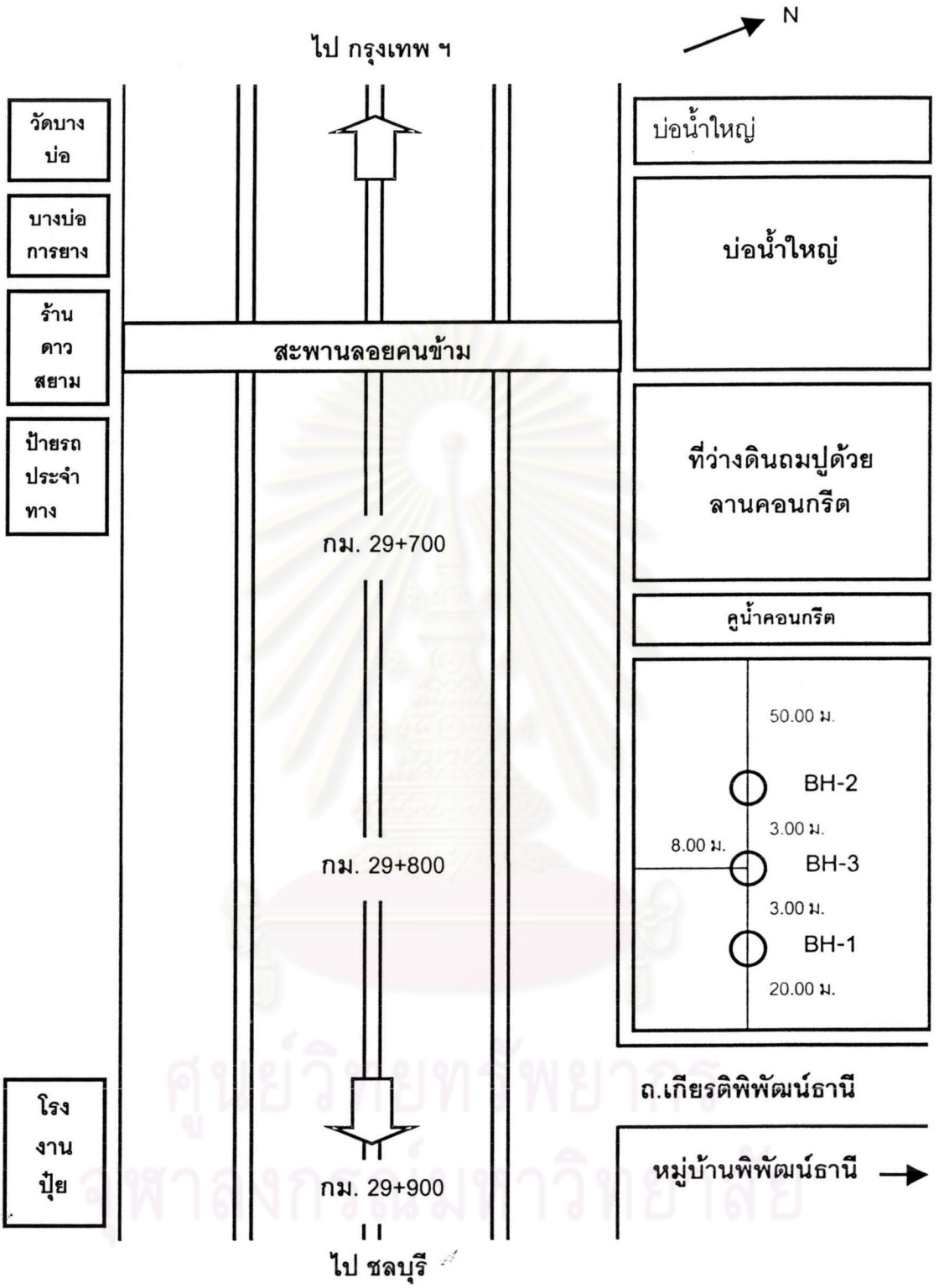
วิธีการทดสอบและวิจัย

3.1 สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่างดิน

3.1.1 สถานที่เก็บตัวอย่างดิน

ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกเก็บมาจาก บริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ซึ่งเป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯบริเวณชานเมืองด้านที่อยู่ใกล้ทะเล และสามารถเป็นตัวแทนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯบริเวณหนองงูเห่า ซึ่งกำลังทำการก่อสร้างท่าอากาศยานนานาชาติกรุงเทพฯแห่งที่สองได้เป็นอย่างดี เนื่องจากอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน และยิ่งไปกว่านั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯในบริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 ถือว่าเป็นบริเวณที่มีปัญหาในการก่อสร้างมากที่สุดจุดหนึ่งของกรุงเทพฯ จากข้อมูลการทรุดตัวของถนนสายนี้ในช่วงปี พ.ศ. 2512-2522 พบว่ามีการทรุดตัวมากถึงประมาณ 2.50 ม. อันเนื่องมาจากดินบริเวณนี้เป็นดินเหนียวอ่อนมากมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ค่าการยุบตัวสูง และมีความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนถึงประมาณ 20 ม. อีกทั้งเคยมีการศึกษาพฤติกรรมของดินบริเวณนี้มาบ้างแล้วโดย พินิจ (2528) ยุทธนา (2545) และ วรการ (2545) ทำให้เหมาะสมเป็นอย่างมากในการที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้

บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างดินเป็นบริเวณที่ดินว่างเปล่าริมถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 ขาออกจากกรุงเทพฯ ซึ่งอยู่บริเวณหน้าทางเข้าหมู่บ้านพิพัฒน์ธานี จำนวน 3 หลุม คือ BH-1, BH-2 และ BH-3 ตำแหน่งต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.1 โดยแต่ละหลุมห่างกันประมาณ 3 ม. เพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันทุกหลุม และพยายามให้หลุมเจาะอยู่ห่างจากถนนมากที่สุดเพื่อให้ได้ตัวอย่างดินที่เป็นธรรมชาติมากที่สุด เนื่องจากบริเวณถนนสายนี้ฝั่งขาออกที่ทำการเก็บตัวอย่างดินเพิ่งมีการปรับปรุงครั้งล่าสุดเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2528 การอัดตัวคายน้ำของดินบริเวณนี้จึงอาจยังไม่สมบูรณ์ อีกทั้งยังเป็นการหลีกเลี่ยงแนวท่อก๊าซของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยที่ฝังไว้ห่างจากแนวขอบถนนประมาณ 5 ม. โดยบริเวณที่ทำการเจาะเพื่อเก็บตัวอย่างคาดว่าจะเป็นบริเวณขอบ Berm ซึ่งเคยถูกต่อเติมเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของถนนสายนี้ประมาณปี พ.ศ. 2528 สำหรับตัวอย่างดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ตัวอย่างดินจาก BH-1, BH-2 และ BH-3 ที่ความลึกประมาณ 7.50 – 8.50 ม.



รูปที่ 3.1 แผนที่ตำแหน่งหลุมเจาะ บริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 อ.บางบ่อ จ. สมุทรปราการ

3.1.2 วิธีการเก็บตัวอย่างดิน

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างดินนี้นำมาเพื่อใช้ในงานวิจัย ดังนั้นเพื่อให้ได้ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed Sample) ที่มีคุณภาพดีที่สุด จึงเลือกเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Fixed Piston Sampling โดยใช้กระบอกบางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 นิ้ว และยาวประมาณ 1 ม. ในการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากดินบริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 นี้เป็นบริเวณที่ดินอ่อนมาก มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ปริมาณความชื้นในธรรมชาติสูง (110-150 %) และเป็นดินเหนียวที่มีความไวสูง (ประมาณ 6) ดังนั้นการจะเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกบางธรรมดา (Shelby Tube) อาจจะเก็บไม่ได้หรือได้ตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี โดยการเก็บตัวอย่างจะทำทุกๆ 1.50 ม. จนกว่าจะไม่สามารถเก็บตัวอย่างด้วยกระบอกบางได้

ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างมีดังนี้ (ดูรูปที่ 3.2 ประกอบ)

ก. ใช้ Hand Auger เจาะนำเพื่อให้ได้แนวหลุมเจาะเบื้องต้น

ข. เจาะดินโดยการใช้การฉีดล้าง (Wash Boring) จนถึงระดับก่อนเก็บตัวอย่างประมาณ 0.50 ม. (รูปที่ 3.2 ก)

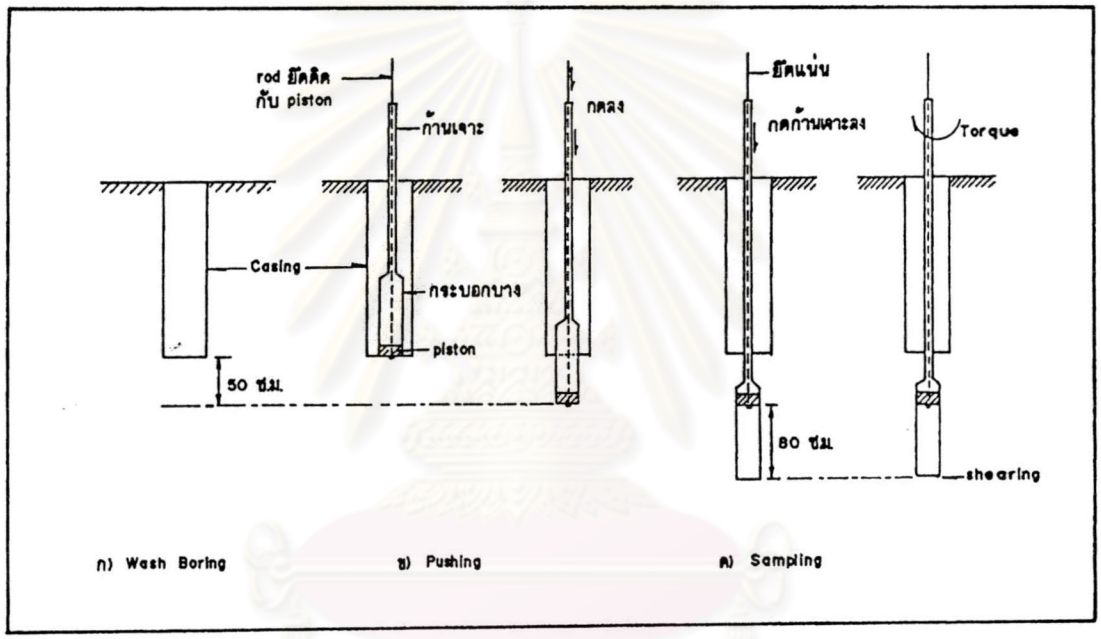
ค. ใช้กระบอกบางทำด้วย Stainless Steel เส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาวประมาณ 1.0 ม. ที่ประกอบกับ Piston เรียบร้อยแล้ว ดันไล่ดินอ่อนลงไปอีก 0.50 ม. โดยใช้ Hydraulic Jack ของเครื่องเจาะดิน (รูปที่ 3.2 ข)

ง. เริ่มทำการเก็บตัวอย่างดิน โดยการล็อค Piston ให้นิ่งอยู่กับที่ พร้อมกันนั้นก็ใช้ Hydraulic Jack ของเครื่องเจาะดิน ดันกระบอกบางโดยส่งถ่ายแรงทางก้านเจาะลงไปในดินอ่อนประมาณ 0.80 ม. (รูปที่ 3.2 ค)

จ. หมุนก้านเจาะเพื่อเฉือนดินที่ปลายกระบอกบางให้ขาดออกจากกัน จากนั้นนำกระบอกบางขึ้นมาเคลือบพาราฟินที่หัวและท้ายกระบอกบาง พร้อมทั้งเขียนคำอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของตัวอย่างที่เก็บ และปิดไว้กับตัวกระบอกบาง

เนื่องจากบริเวณที่เก็บเป็นดินเหนียวอ่อน ฉะนั้นจึงป้องกันหลุมเจาะพังทลายด้วยการ Stabilize หลุมเจาะด้วย Casing ตลอดช่วงที่เป็นดินเหนียวอ่อนและเติมน้ำให้เต็มหลุมตลอดเวลา

หลังจากเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาดันออกด้วย Hydraulic Jack ที่ห้องปฏิบัติการ โดยตัดตัวอย่างออกเป็นก้อนขนาดความยาวประมาณ 13 ซม. แล้วหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์เคลือบทับด้วยพาราฟินจนแน่ใจว่าสามารถรักษาความชื้นไว้ได้ พร้อมติดฉลากระบุความลึก หมายเลขตำแหน่งของตัวอย่างในกระบอกโดยเรียงลำดับจากบนลงล่าง สถานที่เก็บตัวอย่าง หมายเลขหลุมเจาะ และวันที่เก็บ จากนั้นนำไปเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้นเพื่อรอการทดสอบต่อไป

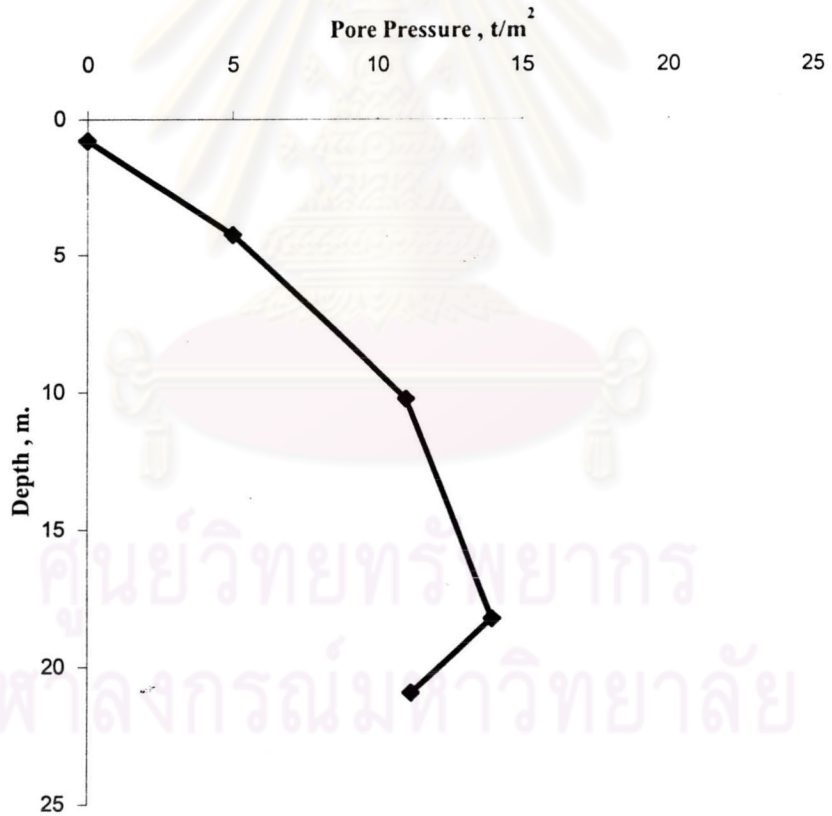


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Fixed Piston Sampling

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การวัดระดับน้ำและแรงดันน้ำในสนาม

ในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการติดตั้ง Piezometer เพื่อวัดแรงดันน้ำในสนามโดยตรง ดังนั้นการคำนวณหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติในแนวดิ่ง (In-situ effective vertical stress) ที่ถูกต้องจึงจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากบริเวณใกล้เคียงที่เคยมีการศึกษาไว้แล้ว ซึ่งได้แก่ บริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 30 ซึ่งห่างจากบริเวณที่เก็บตัวอย่าง (กม.ที่ 29+800) เพียง 200 ม. โดยในปี พ.ศ. 2527 คณะวิจัยโครงการ "ศึกษาผลกระทบอันจะมีต่อแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบก" ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการติดตั้ง Piezometer และ Dummy Piezometer เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของแนวท่อส่งก๊าซ ระดับที่ติดตั้งอยู่ที่ -4.245 , -10.245 , -18.245 และ -20.934 ม. สำหรับข้อมูลแรงดันน้ำได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะใช้ในการคำนวณสำหรับตัวอย่างดินในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.3 แรงดันน้ำในโพรงดินบริเวณ ถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 30 (พินิจ, 2528)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการ

เนื่องจากในงานวิจัยของ ยุทธนา (2545) และ วรการ (2545) ได้ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานและหน่วยแรงประสิทธิผลสูงสุดในอดีต (Maximum Past Pressure, σ'_p) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ บริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ซึ่งเป็นบริเวณเดียวกับบริเวณที่เก็บตัวอย่างดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ไว้อย่างครบถ้วน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้มีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติดังกล่าวอีก แต่จะนำผลการทดสอบจากงานวิจัยของ ยุทธนา (2545) และ วรการ (2545) มาใช้ในการคำนวณหาค่าที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบ

โดยที่ในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างดินที่ความลึกเดียวกันทั้งหมด คือที่ความลึกประมาณ 7.50 – 8.50 ม. ซึ่งที่ความลึกดังกล่าวตัวอย่างดินจะมีคุณสมบัติต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ บริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 ที่ความลึกประมาณ 7.50 – 8.50 ม. (ยุทธนา, 2545; วรการ, 2545)

คุณสมบัติของดิน (Soil properties)	ค่า (Value)
Natural water content, %	120.56
Liquid limit, %	120.60
Plastic limit, %	47.02
Plasticity index, %	73.58
Liquidity index, %	99.90
Total unit weight, t/m^3	1.35
Specific gravity	2.73
Maximum past pressure, t/m^2	6.37

3.4 โปรแกรมการทดสอบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลง หน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ย (Mean effective stress, p') หน่วยแรงเบี่ยงเบน (Deviator stress, q) ความเครียดเชิงปริมาตร (Volumetric strain, ε_v) และความเครียดเฉือน (Shear strain, ε_q) ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินเหนียวอ่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนคงสภาพจากบริเวณถนนบางนา-ตราด กม.ที่ 29+800 อ.บางบ่อ จ.สมุทรปราการ ที่ระดับความลึกเดียวกันทุกการทดสอบคือ 7.50-8.50 ม. เพื่อตัดผลกระทบจากคุณสมบัติของดินที่อาจมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินเหนียวอ่อนในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial cell) โดยวิธีการทดสอบแบบเฮดคงที่ (Constant head test) ซึ่งในทุกการทดสอบตัวอย่างดินเหนียวอ่อนคงสภาพจะถูกอัดตัวคายน้ำจนกระทั่งตัวอย่างดินอยู่ภายใต้หน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ (In-situ effective stress) โดยใช้วิธีการอัดตัวคายน้ำในสภาพ K_0 (K_0 consolidation) ไปตามทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective stress path, ESP) ที่กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และ รูปที่ 3.4

ภายหลังจากการอัดตัวอย่างดินด้วยหน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติจนสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้ว จากนั้นจะทำการอัดตัวอย่างดินโดยการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งและแนวราบอีกทั้งสิ้น 4 ระดับ โดยสัดส่วนของ $\Delta\sigma'_h/\Delta\sigma'_v$ จะแตกต่างกันในแต่ละการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.5 เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผลเฉลี่ย หน่วยแรงเบี่ยงเบน ความเครียดเชิงปริมาตร และความเครียดเฉือน ที่มีต่อค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ ซึ่งค่านี้จะทำการหาทุกครั้งเมื่อสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำในแต่ละระดับ (รวมทั้งสิ้น 5 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่าง) ด้วยวิธีการทดสอบแบบเฮดคงที่ โดยการทำให้เกิดความลาดชันทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) ระหว่างด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน เท่ากับ 80

ตารางที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนในการอัดตัวคายน้ำในสภาพ K_0 จากเริ่มต้นจนกระทั่งถึง In-situ stress สำหรับทุกการทดสอบ

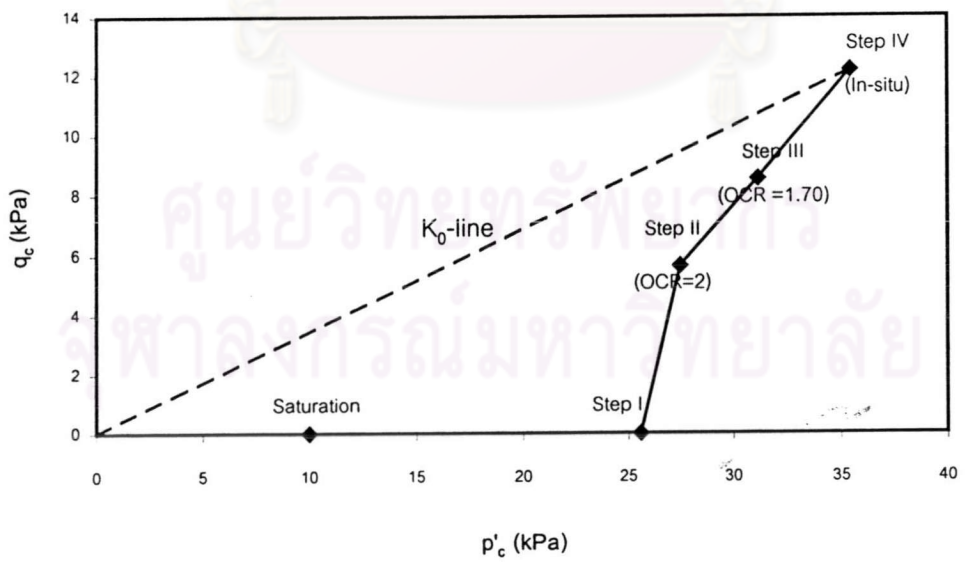
Step	σ'_p (kPa)	OCR	K_0	σ'_{vc} (kPa)	σ'_{hc} (kPa)	p'_c (kPa)***	q_c (kPa)***
Saturation	62.49	-	-	10.00	10.00	10.00	0
I*	62.49	-	-	25.59	25.59	25.59	0
II	62.49	2	0.82	31.24	25.59	27.47	5.65
III	62.49	1.70	0.77	36.86	28.31	31.16	8.55
IV**	62.49	1.44	0.72	43.56	31.38	35.44	12.18

หมายเหตุ * Isotropic consol. to $\sigma'_c = \sigma'_{hc}$ at OCR = 2

** In-situ stress

*** Cambridge stress path

รูปที่ 3.4 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (ESP) ในการอัดตัวคายน้ำในสภาพ K_0 จากเริ่มต้นถึง In-situ stress



ตารางที่ 3.3 ระดับของหน่วยแรงประสิทธิผลที่จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

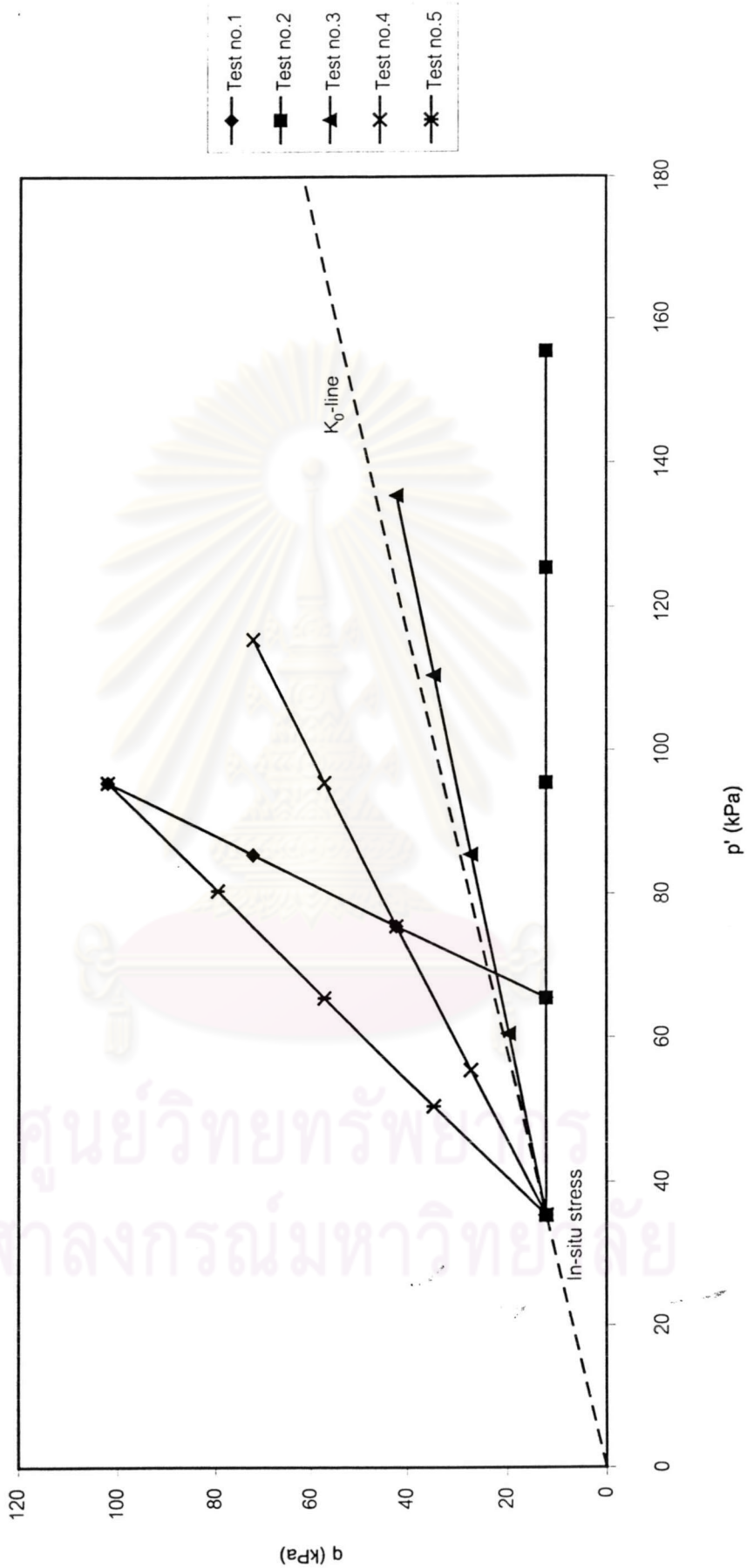
Sample Description					Test Condition										
Test No.	BH No.	Tube No.	Depth (m.)	Sample No.	Stess Level	$\Delta\sigma'_v$ (kPa)	$\Delta\sigma'_h/\Delta\sigma'_v$	$\Delta\sigma'_h$ (kPa)	σ'_v (kPa)	σ'_h (kPa)	p' (kPa) *	q (kPa) *	Δp' (kPa)	Δq (kPa)	Δq/Δp'
1	BH-3	ST-5	7.50-8.50	2	In-situ stress	0	-	0	43.56	31.38	35.44	12.18	0	0	-
					1	30	1	30	73.56	61.38	65.44	12.18	30	0	0
					2	60	0.5	30	103.56	61.38	75.44	42.18	40	30	0.75
					3	90	0.33	30	133.56	61.38	85.44	72.18	50	60	1.2
					4	120	0.25	30	163.56	61.38	95.44	102.18	60	90	1.5
2	BH-3	ST-5	7.50-8.50	4	In-situ stress	0	-	0	43.56	31.38	35.44	12.18	0	0	-
					1	30	1	30	73.56	61.38	65.44	12.18	30	0	0
					2	60	1	60	103.56	91.38	95.44	12.18	60	0	0
					3	90	1	90	133.56	121.38	125.44	12.18	90	0	0
					4	120	1	120	163.56	151.38	155.44	12.18	120	0	0
3	BH-1	ST-5	7.50-8.50	2	In-situ stress	0	-	0	43.56	31.38	35.44	12.18	0	0	-
					1	30	0.75	22.5	73.56	53.88	60.44	19.68	25	7.5	0.3
					2	60	0.75	45	103.56	76.38	85.44	27.18	50	15	0.3
					3	90	0.75	67.5	133.56	98.88	110.44	34.68	75	22.5	0.3
					4	120	0.75	90	163.56	121.38	135.44	42.18	100	30	0.3

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) ระดับของหน่วยแรงประสิทธิผลที่จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

Sample Description					Test Condition										
Test No.	BH No.	Tube No.	Depth (m.)	Sample No.	Stress Level	$\Delta\sigma'_v$ (kPa)	$\Delta\sigma'_h/\Delta\sigma'_v$	$\Delta\sigma'_h$ (kPa)	σ'_v (kPa)	σ'_h (kPa)	p' (kPa) *	q (kPa) *	Δp' (kPa)	Δq (kPa)	Δq/Δp'
4	BH-3	ST-5	7.50-8.50	1	In-situ stress	0	-	0	43.56	31.38	35.44	12.18	0	0	-
					1	30	0.5	15	73.56	46.38	55.44	27.18	20	15	0.75
					2	60	0.5	30	103.56	61.38	75.44	42.18	40	30	0.75
					3	90	0.5	45	133.56	76.38	95.44	57.18	60	45	0.75
					4	120	0.5	60	163.56	91.38	115.44	72.18	80	60	0.75
5	BH-3	ST-5	7.50-8.50	5	In-situ stress	0	-	0	43.56	31.38	35.44	12.18	0	0	-
					1	30	0.25	7.5	73.56	38.88	50.44	34.68	15	22.5	1.5
					2	60	0.25	15	103.56	46.38	65.44	57.18	30	45	1.5
					3	90	0.25	22.5	133.56	53.88	80.44	79.68	45	67.5	1.5
					4	120	0.25	30	163.56	61.38	95.44	102.18	60	90	1.5

หมายเหตุ * Cambridge stress path

Δ **คือ ค่าที่เปลี่ยนแปลงจากค่าเริ่มต้นที่** In-situ



รูปที่ 3.5 ทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล (ESP) แสดงระดับของหน่วยแรงประสิทธิผล ที่จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนซึ่งใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตโดยบริษัท Hogentogler & Co.Inc. เป็นเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนแบบ Stress control (รูปที่ 3.6) กล่าวคือใช้โครงแขวนเหล็ก (Steel frame hanger) ในการวางน้ำหนักเพื่อทำการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซโทรปิก (Anisotropic consolidation) ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญคือ

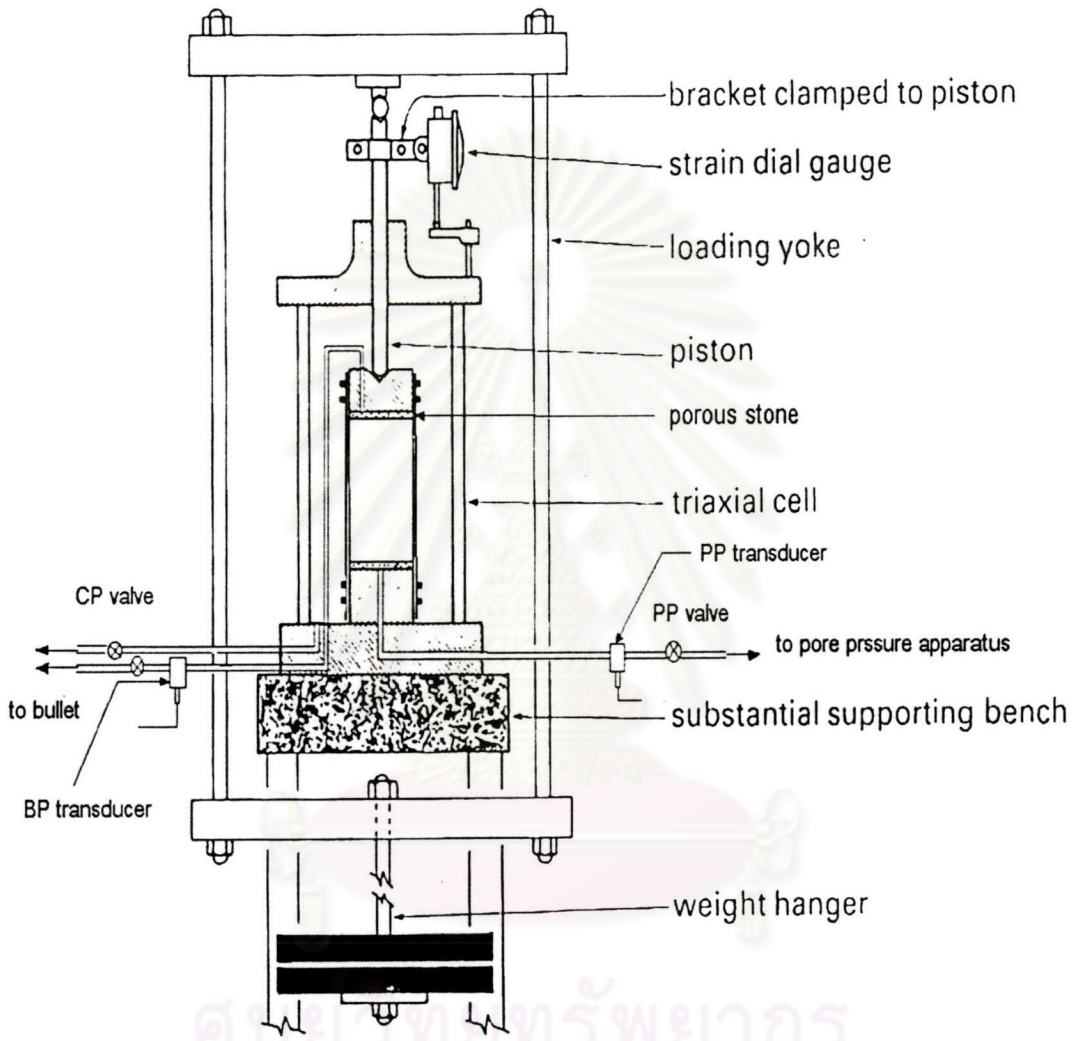
ก. ระบบควบคุมความดัน (Pressure control panel) ซึ่งให้ความดันโดยปั๊มลมความดันจากปั๊มลมจะอัดกระทำกับน้ำโดยตรง โดยมี Pressure regulator 3 ตัว สำหรับปรับความดันลมที่จะกระทำกับน้ำในสายความดันเซลล์ (Cell pressure line) สายความดันด้านบน (Top pressure line) และสายความดันภายใน (Back pressure line) ซึ่งต่อจากระบบควบคุมความดันเข้าสู่ตัวเซลล์ (Cell body) ทางฐานของตัวเซลล์ ทาง Top cap และทางฐานที่ตั้งตัวอย่าง (Base pedestal) ตามลำดับ โดยความดันจากสายความดันด้านบนและสายความดันภายในจะทำหน้าที่สร้างความต่างของเฮด (Head difference) เพื่อให้เกิดความลาดชันทางชลศาสตร์ตามที่กำหนดระหว่างด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน ทำให้เกิดการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดินตามแนวดิ่งในระหว่างการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

ข. อุปกรณ์สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume change measurement) ซึ่งต่ออยู่ระหว่างระบบควบคุมความดันกับสายความดันด้านบนและสายความดันภายใน สำหรับวัดปริมาตรน้ำที่ไหลเข้า-ออกจากตัวอย่างดิน

ค. Strain dial gauge หรือ LVDT ซึ่งติดตั้งอยู่กับแกนกด (Piston) สำหรับวัดการทรุดตัวในแนวดิ่งของตัวอย่างดิน

ง. Top & Back pressure transducer ซึ่งติดตั้งอยู่ในสายความดันด้านบนและสายความดันภายใน ก่อนที่จะเข้าสู่ตัวเซลล์ ตามลำดับ สำหรับวัดความดันน้ำในโพรง (Pore pressure) ของตัวอย่างดิน

โดยที่ LVDT และ Pressure transducer จะต่อเข้ากับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลเชิงตัวเลขแบบอัตโนมัติ (Autonomous Data–acquisition Unit, ADU) ซึ่งใช้ร่วมกับโปรแกรม DS6 เพื่อเก็บข้อมูลระหว่างการทดสอบ



รูปที่ 3.6 เครื่องมือทดสอบ Triaxial ที่ให้หน่วยแรงกระทำในแนวดิ่งโดยการวางน้ำหนัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 ขั้นตอนในการทดสอบ

ในงานวิจัยครั้งนี้ มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

3.6.1 การจัดเตรียมเครื่องมือทดสอบ

ก่อนที่จะเตรียมตัวอย่างดินสำหรับทดสอบ จะต้องตรวจสอบเครื่องทดสอบแรงอัดสามแกนให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน ทำการต่อสายความดันเซลล์ สายความดันภายใน และสายความดันด้านบนเข้ากับตัวเซลล์และระบบควบคุมความดัน โดยที่สายความดันภายในและสายความดันด้านบนจะต้องต่อผ่านอุปกรณ์สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนต่อเข้ากับระบบควบคุมความดัน โดยสายความดันทุกสายต้องถูกไล่ฟองอากาศที่ค้างอยู่ออกให้หมดด้วยน้ำกลั่นที่ไม่มีฟองอากาศ (De-aired water) จากนั้นตั้งค่า Pressure Transducer ให้เท่ากับศูนย์เมื่อเปิดให้สัมผัสกับอากาศ และต้มแผ่นหินพรุน (Porous Stone) ในน้ำเดือดประมาณ 30 นาทีเพื่อไล่อากาศ

3.6.2 การจัดเตรียมตัวอย่างดิน

เมื่อพร้อมที่จะทดสอบ นำตัวอย่างดินออกจากห้องควบคุมความชื้น นำมาแกะขี้ผึ้งพาราฟินและฟอยล์ที่หุ้มอยู่ออก แล้วนำมาตัดแต่งขอบ (Trim) บนโครงแต่งตัวอย่าง (Trimming frame) ด้วยเลื่อยเส้นลวด (Wire saw) ให้เรียบและมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 35 ม.ม. แล้วใช้แบบผ่า (Split former) ตัดตัวอย่างดินทางด้านหัวและท้ายให้ได้ความยาวประมาณ 70 ม.ม.และตั้งฉากที่ปลาย เพื่อให้ได้สัดส่วนของความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 2 ต่อ 1 (H:D=2:1) ตามขนาดมาตรฐาน แล้วใช้แปรงสีฟันที่ไม่ใช้แล้วปาดที่ผิวดินทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดินเพื่อลดผลของ Smear Effect (Head, 1986) นำตัวอย่างดินไปชั่งน้ำหนัก แล้ววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านบน ตรงกลาง และด้านล่าง ตลอดจนความสูงของตัวอย่างดินด้วยเวอร์เนีย (Vernier) เพื่อใช้หาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยและปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่างดิน นำดินส่วนที่เหลือจากการตัดแต่งไปหาปริมาณความชื้นเริ่มแรก (Initial water content)

3.6.3 การจัดตัวอย่างดินในเครื่องมือทดสอบ

นำแผ่นหินพรุนซึ่งต้มไล่อากาศแล้วประกบที่หน้าตัดด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน โดยมีแผ่นกระดาษกรองที่ชุ่มน้ำวางอยู่ระหว่างแผ่นหินพรุนและหน้าตัดตัวอย่างดินทั้ง

สองด้านเพื่อมิให้ส่วนของดินที่ละลายในน้ำไหลเข้าไปในแผ่นหินพรุน แล้ววางตัวอย่างดินลงบนฐานที่ตั้งตัวอย่างในเซลล์ ไม่ต้องใช้กระดาษกรองฉลุพันรอบตัวอย่างดิน จากนั้นวาง Top cap บนแผ่นหินพรุนด้านบนของตัวอย่างดิน หลังจากนั้นจึงใช้ปลอกยาง (Rubber membrane) หุ้มตัวอย่างดินไว้ 2 ชั้น (สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้ถุงยางอนามัยแทน) รัดปลอกยางที่ฐานที่ตั้งตัวอย่างด้วยวงแหวนยาง (Rubber O-ring) จำนวน 2 เส้น และที่ Top cap อีกจำนวน 2 เส้น เพื่อที่จะแยกระหว่างระบบน้ำในตัวอย่างดินกับระบบน้ำในเซลล์ออกจากกัน หลังจากติดตั้งตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว สวมฝาครอบเซลล์บนฐานและยึดสกรูให้เรียบร้อย แล้วถ่ายน้ำเข้าเซลล์ทางสายความดันเซลล์จนกระทั่งน้ำเข้าไปเต็มเซลล์และล้นออกมาทางช่องอากาศ (Vent) จากนั้นปิดช่องอากาศแล้วทำการติดตั้ง LVDT และตั้งค่าให้เป็นศูนย์

3.6.4 การทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

ให้ความดันเซลล์ (Cell pressure) ผ่านทางสายความดันเซลล์ และความดันภายใน (Back pressure) ผ่านทางสายความดันภายในกับสายความดันด้านบน โดยในการที่จะทำให้ตัวอย่างดินรับความดันดังกล่าว จะต้องค่อยๆเพิ่มความดันเซลล์และความดันภายในอย่างช้าๆ และสลับกันอย่างต่อเนื่องในอัตราการเพิ่มประมาณ 10 kPa./Min. เพื่อให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนน้อยที่สุด โดยระหว่างการเพิ่มความดันควรให้ความดันเซลล์มีค่ามากกว่าความดันภายในประมาณ 10 kPa.เพื่อป้องกันตัวอย่างบวม ทำการเพิ่มไปจนกระทั่งความดันเซลล์เท่ากับ 210 kPa. และความดันภายในเท่ากับ 200 kPa. ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้น้ำเข้าไปเต็มช่องว่างระหว่างเม็ดดินและละลายฟองอากาศในตัวอย่างดินได้หมด ทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ ทิ้งไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง

ก่อนการทดสอบในขั้นตอนต่อไป ต้องมีการตรวจสอบความอิ่มตัวด้วยน้ำของตัวอย่างดินเสียก่อน โดยการปิดวาล์วระบายน้ำทั้งหมด แล้วเพิ่มค่าความดันเซลล์ขึ้นจากเดิม 10 kPa. วัดค่าความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้น (Excess pore pressure) พร้อมจับเวลา ถ้าสัดส่วนค่าความดันน้ำในโพรงที่เพิ่มขึ้นต่อค่าความดันเซลล์ที่เพิ่มขึ้น (B parameter) มากกว่า 95 % ภายในเวลาประมาณ 1 นาที จะถือว่าตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำแล้ว ลดความดันเซลล์ลงเท่าเดิมแล้วดำเนินการทดสอบขั้นตอนต่อไป

3.6.5 การอัดตัวคายน้ำในสภาพ K_o จนกระทั่งตัวอย่างดินอยู่ภายใต้หน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ

ในขั้นตอนการอัดตัวคายน้ำแบบ K_o จะจัดลำดับการวางน้ำหนักในการอัดตัวคายน้ำโดยเริ่มจาก OCR ≈ 2.00 และการวางน้ำหนักในลำดับต่อไปใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 0.2 ($\Delta\sigma'_v/\sigma'_v = 0.2$) โดยการอัดตัวคายน้ำแบบ K_o จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ก. การทำให้ตัวอย่างอัดตัวคายน้ำแบบ K_o (K_o consolidation) ในลำดับการวางน้ำหนักแรกที่ OCR ≈ 2.00 ในขั้นแรกจะทำการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซโทรปิกเพื่อให้ σ'_h มีค่าเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวนอนที่ OCR = 2.00 ก่อน สาเหตุที่ต้องทำการอัดตัวคายน้ำแบบไอโซโทรปิกก่อนก็เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติ เพราะตัวอย่างหลังการทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำที่มีหน่วยแรงประสิทธิผลต่ำๆ ทำให้สามารถรับแรงเฉือนได้น้อย หลังจากการอัดตัวคายน้ำในขั้นตอนนี้เสร็จสิ้นลง ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำให้ตัวอย่างถูกอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซโทรปิก โดยการวางน้ำหนักลงบนโครงเหล็กเพื่อให้ σ'_v มีค่าเท่ากับหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่งที่ OCR = 2.00 โดยค่า K_o ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (2.5) และ (2.6) รอจนกระทั่งการอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นลงจึงทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

ข. หลังจากตัวอย่างมีหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง (σ'_v) และแนวนอน (σ'_h) ตามที่คำนวณไว้ในการวางน้ำหนักลำดับแรก (OCR ≈ 2.00) การวางน้ำหนักในลำดับต่อไปจะใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 0.2 และทำการเพิ่มหน่วยแรงกระทำในแนวดิ่ง (σ'_v) และแนวนอน (σ'_h) พร้อมๆ กัน สาเหตุที่ใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักต่ำ เพื่อลดปริมาณ ε_a ที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Undrained Shear (Ladd และ Germaine, 1988) นอกจากนี้ก็เพื่อให้โครงสร้างดินถูกรบกวนน้อยที่สุดเนื่องจากผลของ Undrained Shear การอัดตัวคายน้ำจะกระทำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงหน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ ซึ่งลำดับการวางน้ำหนักในขั้นตอนการอัดตัวคายน้ำแบบแอนไอโซโทรปิกแสดงไว้ในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.4

ในการทำให้ตัวอย่างถูกอัดตัวคายน้ำแบบ K_o ต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำใน Triaxial Cell กับน้ำหนักที่จะใช้ต้านทานความดันน้ำใน Triaxial Cell เพื่อไม่ให้ Loading

Piston ลอยตัวขึ้นและน้ำหนักนี้ต้องสามารถทำให้ Loading Piston เคลื่อนลงมาสัมผัสกับ Top Cap ได้พอดี โดยการเตรียม Triaxial Cell ให้เหมือนกับการทดสอบจริง แต่ไม่ได้ใส่ตัวอย่างดินเข้าไป โดยใส่ความดันน้ำใน Triaxial Cell เข้าไปค่าหนึ่งซึ่งอยู่ในช่วงการใช้งานแล้วค่อยๆ วางน้ำหนักที่ต้องการใช้ต้านความดันน้ำใน Triaxial Cell จนกระทั่ง Loading Piston เริ่มเคลื่อนลง ทำการบันทึกค่าความดันน้ำใน Triaxial Cell และน้ำหนักที่ใช้ต้านทานความดันน้ำใน Triaxial Cell โดยการทดสอบจะทำในช่วงใช้งาน (100-400 kPa) พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันน้ำใน Triaxial Cell กับน้ำหนักทั้งหมด (รวมน้ำหนักของโครงแขวนเหล็ก) ที่ใช้ต้านทานความดันน้ำใน Triaxial Cell ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งน้ำหนักที่ใส่เพิ่มขึ้นไปบนโครงแขวนเหล็กเพื่อต้านทานความดันน้ำใน Triaxial Cell มีค่าเท่ากับน้ำหนักทั้งหมดที่ใช้ต้านทานความดันน้ำใน Triaxial Cell ลบด้วยน้ำหนักโครงแขวนเหล็ก

น้ำหนักที่ใส่เพิ่มขึ้นบนที่แขวน (เพื่อต้านทานความดันน้ำในเซลล์) = น้ำหนักทั้งหมดที่ใช้ต้านทานความดันน้ำใน Cell – น้ำหนักโครงแขวนเหล็ก

น้ำหนักที่ใส่เพิ่มขึ้นบนโครงแขวนเหล็กเพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงในแนวดิ่งที่ต้องการมีค่าเท่ากับ น้ำหนักที่ใส่เพิ่มขึ้นบนที่แขวนเพื่อต้านทานความดันน้ำใน Triaxial Cell บวกด้วยผลคูณของหน่วยแรงเบี่ยงเบน ($\sigma_1 - \sigma_3$) กับ Corrected Area ของตัวอย่างทดสอบ

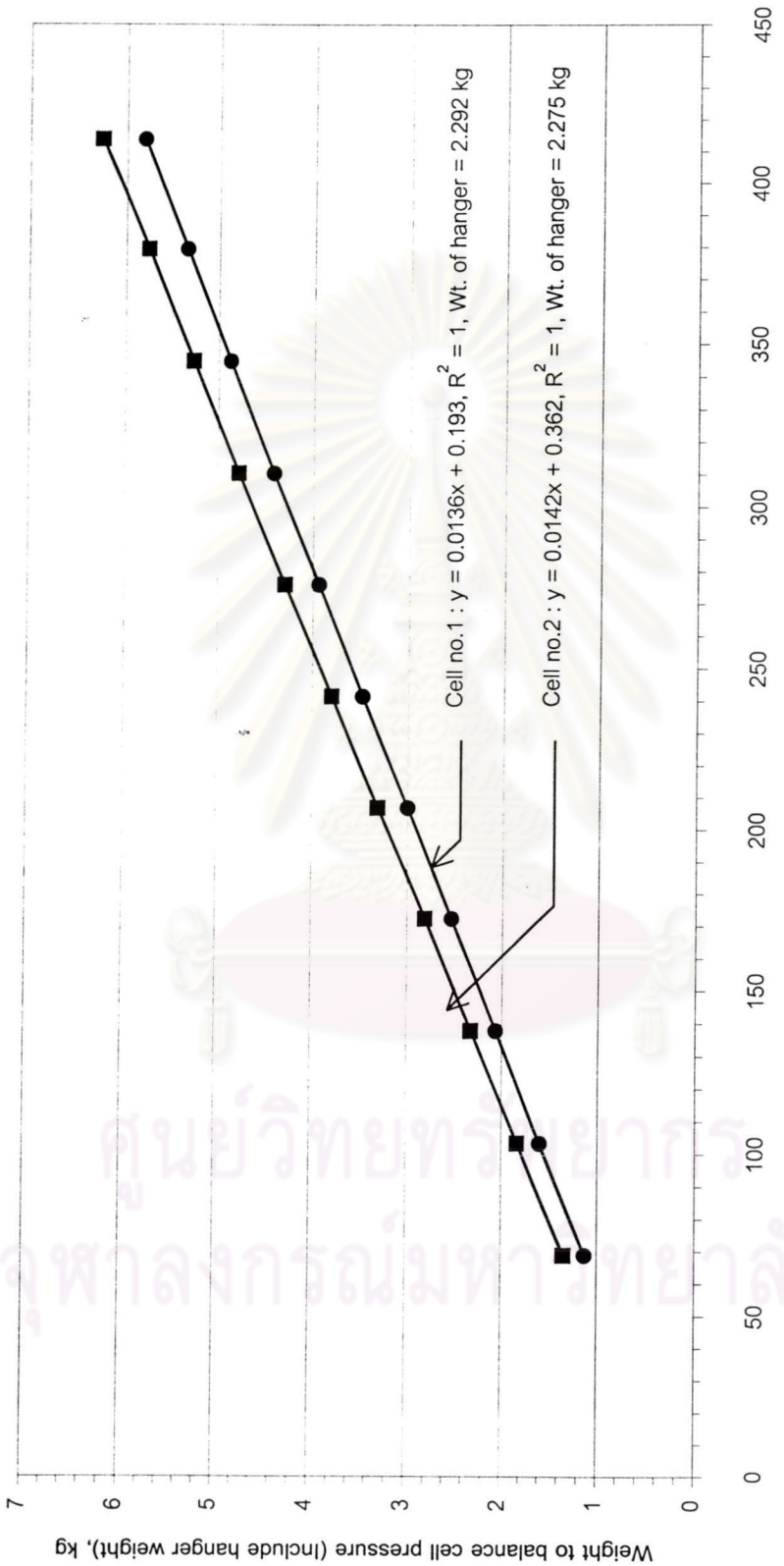
น้ำหนักที่ใส่เพิ่มขึ้นบนโครงแขวนเหล็ก = น้ำหนักที่ใส่เพิ่มขึ้นบนโครงแขวนเหล็กเพื่อต้านความดันน้ำใน เซล + $(\sigma_1 - \sigma_3)A_{corr}$

โดยที่ σ_1 หรือ σ_v คือ หน่วยแรงรวมในแนวดิ่ง

σ_3 หรือ σ_h คือ หน่วยแรงรวมในแนวราบ

A_{corr} คือ Corrected Area

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันในเซลล์กับน้ำหนักแขวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขั้นตอนการอัดตัวคายน้ำแบบ K_o จะทำการเปิดวาล์ว TP และวาล์ว BP เพื่อให้น้ำสามารถระบายได้ทั้งสองทาง การตรวจสอบว่าตัวอย่างอัดตัวคายน้ำเสร็จสิ้นหรือยัง ทำโดยการปิดวาล์ว TP และ วาล์ว BP ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชม.เพื่อดูว่ายังมีแรงดันน้ำส่วนเกินคงค้างอยู่หรือไม่ หากไม่มีแรงดันน้ำส่วนเกินเหลืออยู่ก็สามารถทำการอัดตัวคายน้ำในขั้นต่อไป สำหรับเวลาสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำในแต่ละขั้นตอนขึ้นอยู่กับค่า OCR ของดิน ถ้าดินอยู่ในช่วง OC การอัดตัวคายน้ำจะใช้เวลาไม่นาน แต่ถ้าดินอยู่ในช่วง NC หรือ Slightly OC การอัดตัวคายน้ำจะใช้เวลานานประมาณ 2-3 วันในแต่ละลำดับการเพิ่มน้ำหนัก และเมื่อการอัดตัวคายน้ำแต่ละครั้งเสร็จสิ้นลงจะทำการบันทึกปริมาณการทรุดตัวในแนวดิ่งและปริมาตรน้ำที่ออกมาจากตัวอย่างดินเพื่อคำนวณหน้าตัดดินและน้ำหนักที่จะวางในลำดับต่อไป จนกระทั่งเมื่อตัวอย่างดินถูกอัดตัวภายใต้หน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติจนสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำแล้ว จึงทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไป

3.6.6 การทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

เมื่อตัวอย่างดินเกิดการอัดตัวคายน้ำอย่างสมบูรณ์แล้ว ทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ด้วยวิธีการทดสอบแบบเฮดคงที่ (Constant head test) โดยการเพิ่มความดันของสายความดันภายใน (BP) เท่ากับ $\Delta u/2$ และลดความดันของสายความดันด้านบน (TP) เท่ากับ $\Delta u/2$ (เมื่อ Δu คือความดันที่จะทำให้เกิดความลาดชันทางชลศาสตร์ตามที่กำหนด) จนกระทั่งเกิดความลาดชันทางชลศาสตร์ระหว่างด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดินเท่ากับ 80 เปิดวาล์วระบายน้ำ TP และ BP ที่ต่อผ่านอุปกรณ์สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำจะไหลผ่านจากสายความดันภายในผ่านตัวอย่างดินตามแนวดิ่งสู่สายความดันด้านบน

โดยปริมาตรน้ำที่ไหลเข้าและออกจากตัวอย่างดินจะอ่านได้จากอุปกรณ์สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร แล้วหาอัตราการไหลของน้ำในสภาพการไหลคงตัว (Steady state flow) กล่าวคือ ปริมาตรน้ำต่อเวลา มีค่าคงที่ หรืออัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าและออกจากตัวอย่างดินมีค่าเท่ากัน (ในการทดสอบจริงถ้าอัตราการไหลเข้าและออกต่างกันไม่เกิน 5% จะถือว่าการไหลของน้ำอยู่ในสภาพการไหลคงตัวแล้ว) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ตามสมการที่ (2.31) ต่อไป โดยระยะเวลาในการรอเพื่อให้การไหลอยู่ในสภาพการไหลคงตัวนั้นใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน (เมื่อการไหลอยู่ในสภาพการไหลคงตัวจะทำการวัดอัตราการไหลคงตัวโดยใช้เวลาในการตรวจวัดทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง)

3.6.7 การอัดตัวคายน้ำโดยการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งและแนวราบจากหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ

เมื่อทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในสภาพหน่วยแรงเดียวกับหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการอัดตัวคายน้ำตัวอย่างดินโดยการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งและแนวราบจากหน่วยแรงประสิทธิผลตามธรรมชาติ อีกทั้งสิ้น 4 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.5 ด้วยวิธีการในทำนองเดียวกับการอัดตัวคายน้ำในสภาพ K_o แตกต่างแต่เพียงว่าไม่ต้องคำนวณหาค่า K_o เนื่องจากจะทำการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลตามแนวดิ่งและแนวราบไปยังค่า σ'_v และ σ'_h ตามที่ได้กำหนดเอาไว้ซึ่งไม่ใช่สภาพ K_o และใช้อัตราส่วนการเพิ่มน้ำหนักเท่ากับ 0.2 ($\Delta p'/p' = 0.2$) โดยเมื่อสิ้นสุดการอัดตัวคายน้ำในแต่ละระดับที่กำหนดไว้ จะทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ทุกครั้ง ด้วยวิธีการเดียวกับขั้นตอนการทดสอบที่ 3.6.6 และตลอดระยะเวลาในการทดสอบทุกขั้นตอน จะมีการบันทึกค่าการทรุดตัวในแนวดิ่งและค่าปริมาตรของตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความเครียดเชิงปริมาตร (Volumetric strain, ε_v) และความเครียดเฉือน (Shear strain, ε_q) ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย