



## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินและส่วนประกอบทางเคมี

##### 4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐาน

ผลการทดสอบคุณสมบัติชั้นพื้นฐานของดินเหนียวธรรมชาติแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยมีค่าขีดพิกต์เหลว ประมาณ  $96.3 \pm 3.18$  % ค่าขีดพิกต์พลาสติก ประมาณ  $33.4 \pm 0.50$  % ซึ่งจะได้ค่าดัชนีพลาสติกซีดี ประมาณ  $63.0 \pm 3.45$  % และความชื้นธรรมชาติในมวลดิน ( $w_n$ ) มีค่าประมาณ  $98.3 \pm 5.96$  % จะได้ค่าดัชนีความเหลว ประมาณ  $1.0 \pm 0.04$  ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าเป็นดินอ่อนที่มีความไฉ สำหรับความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ( $G_s$ ) จะมีค่าประมาณ 2.65 และหน่วยน้ำหนักรวม ( $\gamma$ ) มีค่าประมาณ  $1.48 \pm 0.01$   $t/m^3$  จากผลการทดสอบดินระหว่างหลุมเจาะแสดงให้เห็นว่าดินมีความสม่ำเสมอและมีการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีน้อยมาก

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวธรรมชาติ

Bore Hole No.	Depth (m)	$w_n$ (%)	$\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LI	$G_s$
BH-1	5-8	103.7	1.47	98.9	33.5	65.4	1.1	2.65
BH-2	5-8	89.9	1.48	91.8	33.9	57.9	1.0	2.65
BH-3	5-8	100.9	1.48	98.1	33.3	64.8	1.0	2.65
BH-4	5-8	98.6	1.47	96.5	32.7	63.8	1.0	2.65
Average		98.3	1.48	96.3	33.4	63.0	1.0	2.65
SD.		5.96	0.01	3.18	0.50	3.45	0.04	0
Co. eff. of Variation (%) = (SD x 100)/Average		6.07	0.68	3.30	1.50	5.47	4.35	0

#### 4.1.2 ผลการทดสอบส่วนประกอบทางเคมี

ส่วนประกอบทางเคมีในดินที่ทำการทดสอบได้แก่ Salt Content, Organic Content และ pH เนื่องจากดินกรุงเทพฯ เป็นดินที่ตกตะกอนในทะเล (Marine Deposit) โครงสร้างของดินจึงมีแนวโน้มที่จะจัดเรียงกันแบบระเกะระกะ (Flocculated Structure) ดังนั้น Salt Content ในดิน ซึ่งมี NaCl เป็นส่วนประกอบหลัก จึงเป็นตัวบ่งชี้เสถียรภาพของโครงสร้างดิน ถ้าดินผ่านขบวนการ Leaching ซึ่งเป็นขบวนการชะล้างปริมาณเกลือในมวลดินด้วยน้ำ จะทำให้ปริมาณ NaCl น้อยลง เมื่อเทียบกับปริมาณ NaCl ในน้ำทะเลที่มีค่าประมาณ 35 กรัม/ลิตร ทำให้โครงสร้างของดินขาดเสถียรภาพ (Meta - Structure) และดินจะมีพฤติกรรมที่มีความไว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการหดตัวและพฤติกรรมทางด้านกำลังรับน้ำหนักของดินด้วย

#### 4.2 การตรวจสอบความสม่ำเสมอของดินเหนียวสร้างใหม่

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในดินเหนียวสร้างใหม่ และขีดพิกัต Atterberg Limits เป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกที่สุดในการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อดิน ซึ่งจะพบว่ามีความแปรปรวนค่อนข้างต่ำ โดยขีดพิกัตเหลว (LL) มีค่าประมาณ  $98.2 \pm 2.72$  % ขีดพิกัตพลาสติก (PL) มีค่าประมาณ  $35.8 \pm 0.64$  % ซึ่งจะได้ค่าดัชนีพลาสติกซีดี (PI) ประมาณ  $62.4 \pm 2.90$  % และปริมาณความชื้นในมวลดิน ( $W_n$ ) มีค่าประมาณ  $73.0 \pm 3.55$  % ซึ่งจะได้ค่าดัชนีความเหลว (LI) ประมาณ  $0.6 \pm 0.06$  ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และเมื่อเปรียบเทียบขีดพิกัต Atterberg Limits ระหว่างดินเหนียวธรรมชาติกับดินเหนียวสร้างใหม่ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จะพบว่าขีดพิกัตเหลว (LL) ของดินเหนียวสร้างใหม่มีค่ามากกว่าดินเหนียวธรรมชาติเล็กน้อย สำหรับขีดพิกัตพลาสติก (PL) จะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวธรรมชาติกับดินเหนียวสร้างใหม่

Clay Type	$W_n$ (%)	$\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LI
Natural Clay	98.3	1.48	96.3	33.4	63.0	1.0
Reconstituted Clay	73.0	1.56	98.2	35.8	62.4	0.6

หมายเหตุ : คุณสมบัติพื้นฐานที่แสดงไว้ในตารางจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างหลุมเจาะของดินเหนียวธรรมชาติและค่าเฉลี่ยระหว่างรุ่นผสมของดินเหนียวสร้างใหม่

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินเหนียวสร้างใหม่

Batch No.	$w_n$ (%)	$\gamma_t$ ( $t/m^3$ )	LL (%)	PL (%)	PI (%)	LI
1	74.4	1.53	100.9	35.1	65.8	0.6
2	77.3	1.52	97.0	36.5	60.5	0.7
3	70.9	1.58	99.8	36.1	63.7	0.5
4	69.4	1.60	94.9	35.4	59.5	0.6
Average	73.0	1.56	98.2	35.8	62.4	0.6
SD.	3.55	0.04	2.72	0.64	2.90	0.06
Coeff. of Variation (%) = (SD x 100)/Average	4.86	2.48	2.77	1.79	4.65	9.30

#### 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยเครื่องมือ Geonor DSS (Monotonic)

ผลการทดสอบด้วยเครื่องมือการเฉือนแบบตรง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย

- 1) การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ในขั้นตอนนี้ การทดสอบจะแบ่งออกเป็น Increment ย่อยๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า Preshear Stress ค่า Max Stress และค่าหน่วยแรงกดทับสูงสุดที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ( $\sigma'_p$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนน้ำหนักแต่ละช่วงของการ Consolidation เมื่อค่า  $\sigma'_p$  เท่ากับ 100 kPa

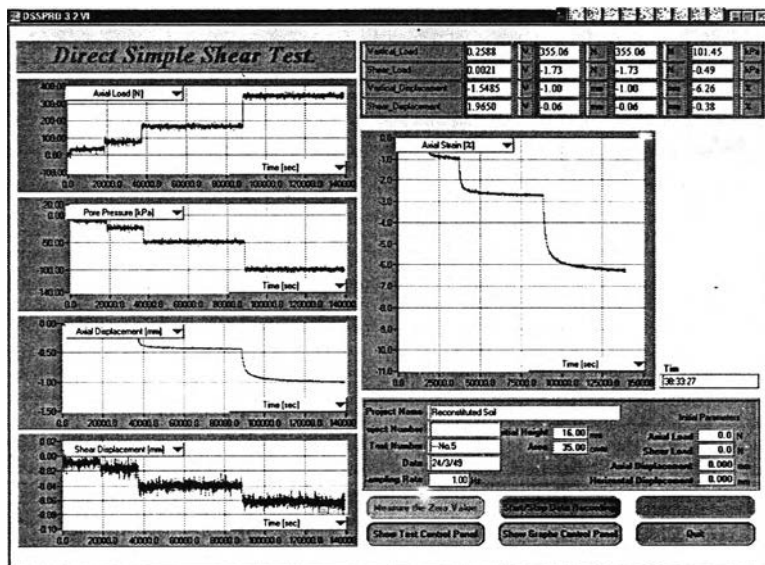
ตารางที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนน้ำหนักแต่ละช่วงของการ Consolidation

No.	Load Increment (kPa)	Remarks
1	6	Seating Load
2	$(1/8)*100 = 12.5$	Loading #1
3	$(1/4)*100 = 25.0$	Loading #2
4	$(1/2)*100 = 50.0$	Loading #3
5	$1*100 = 100$	Loading #4
6	$2*100 = 200$	Loading #5

#### 4.3.1 การทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำของดินเหนียว

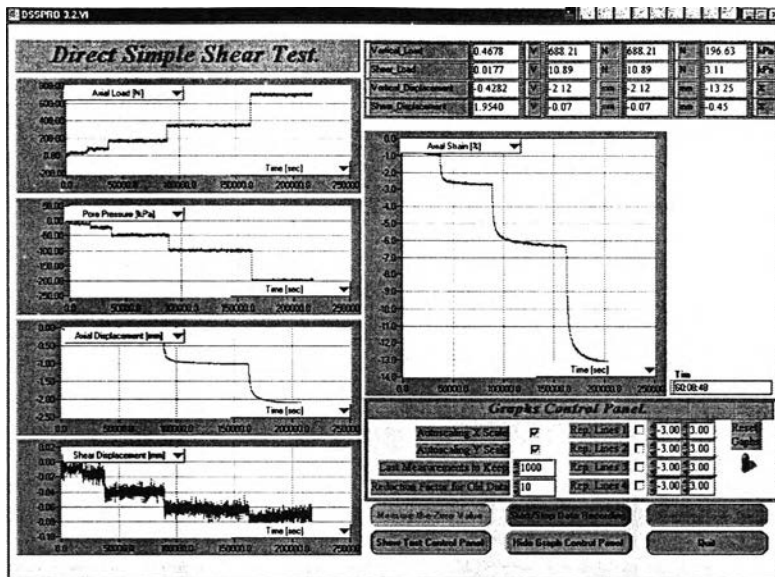
ตัวอย่างผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 สำหรับรูปที่ 4.1 เป็นตัวอย่างหน้าจอแสดงผลการทดสอบจาก โปรแกรม DSSPRO 3.2 ขณะกำลังทดสอบ ในช่วงการยุบอัดตัวคายน้ำ โดยปกติค่าในแกนนอนจะกำหนดให้เป็น Time(sec) ส่วนค่าในแกนตั้งจะกำหนดการแสดงผลได้ 4 ค่า ในที่นี้คือ Axial Load[N], Pore Pressure[kPa], Axial Displacement[mm] และ Shear Displacement[mm] นอกจากนี้ยังสามารถเลือกการแสดงผลในค่าอื่นๆ ได้อีก คือ Axial Load[V], Shear Load[V], Axial Displacement[V], Shear Displacement[V], Shear Load[N], Shear Strain[%], Axial Strain[%], Shear Stress[kPa], Axial Stress[kPa] ก่อนการขึ้น Load ใหม่แต่ละครั้งต้องแน่ใจว่าสิ้นสุดกระบวนการยุบอัดตัวคายน้ำเรียบร้อยแล้ว คือต้องถึง EOP (End of Primary Consolidation) อ้างอิงตามหลักการของวิธีการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำแบบปกติ (Consolidation Test) หรืออย่างน้อย 24 ชั่วโมงต่อ 1 Load

ข้อสังเกต หน้าจอแสดงผลที่แสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณากราฟระหว่าง Axial Displacement[mm] กับ Time[sec] กราฟที่แสดงไม่ได้พล็อตในรูปของ Log Scale แต่เป็น Scale ธรรมดา ดังนั้นทำให้ไม่สามารถพิจารณาได้ว่าจริงๆ แล้วตัวอย่างดินนั้นถึง EOP หรือยัง ในการทดสอบให้ Save ค่าจากเครื่องคอมพิวเตอร์ มา Plot โดยใช้วิธี Log t หรือ Square Root t เพื่อตรวจสอบก่อนขึ้น Load ต่อไป



รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำ ของตัวอย่างดินเหนียว (Recompression)

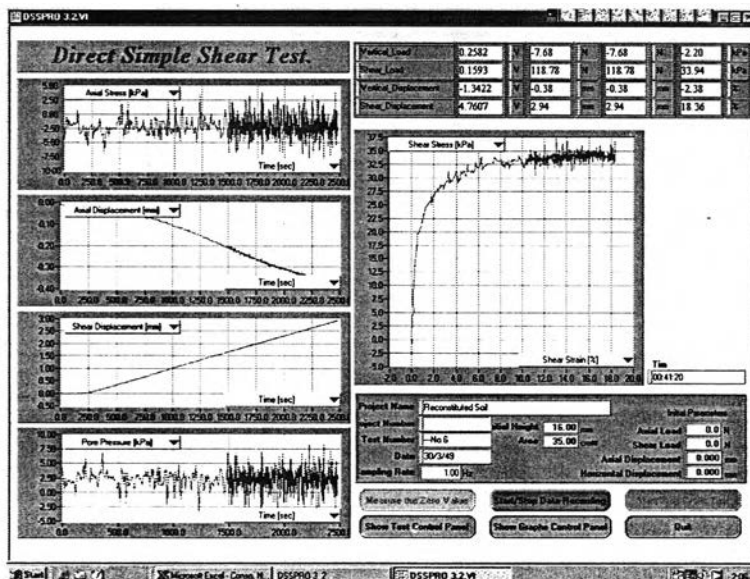
รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลขณะทดสอบการยุบอัดตัวคายน้ำด้วย SHANSEP Method



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบการยุบตัวของตัวอย่างดินเหนียว (SHANSEP)

4.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียว

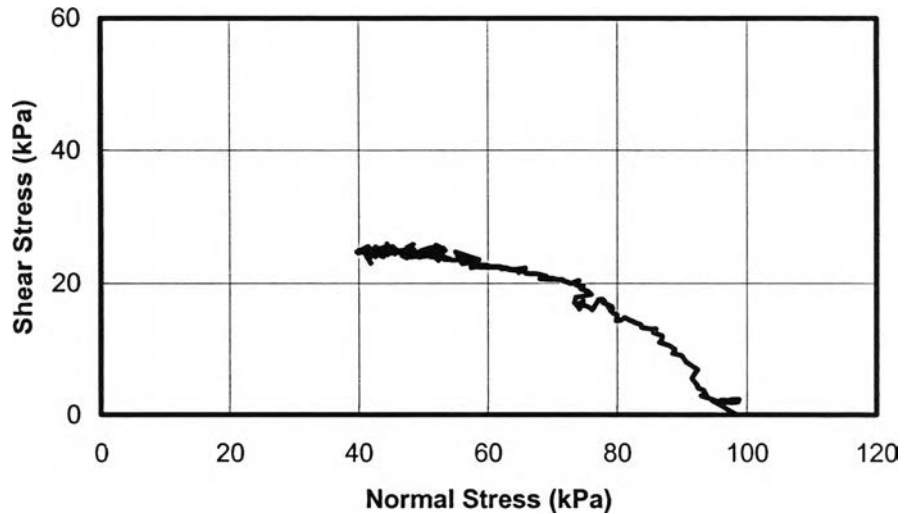
ตัวอย่างผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 หลังจากทดสอบในขั้นตอนแรกเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดิน โดยปกติค่าในแกนนอนจะกำหนดให้เป็น Time(sec) ส่วนค่าในแกนตั้งจะกำหนดการแสดงผลได้ 4 ค่า ในที่นี้คือ Axial Stress[kPa], Axial Displacement[mm], Shear Displacement[mm], และ Pore Pressure[kPa] ส่วนหน้าจอบริการทางด้านขวามือมักจะกำหนดให้พล็อตระหว่างค่า Shear Strain[%] ในแกนนอน และค่า Shear Stress[kPa] ในแกนตั้ง



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนของตัวอย่างดินเหนียว

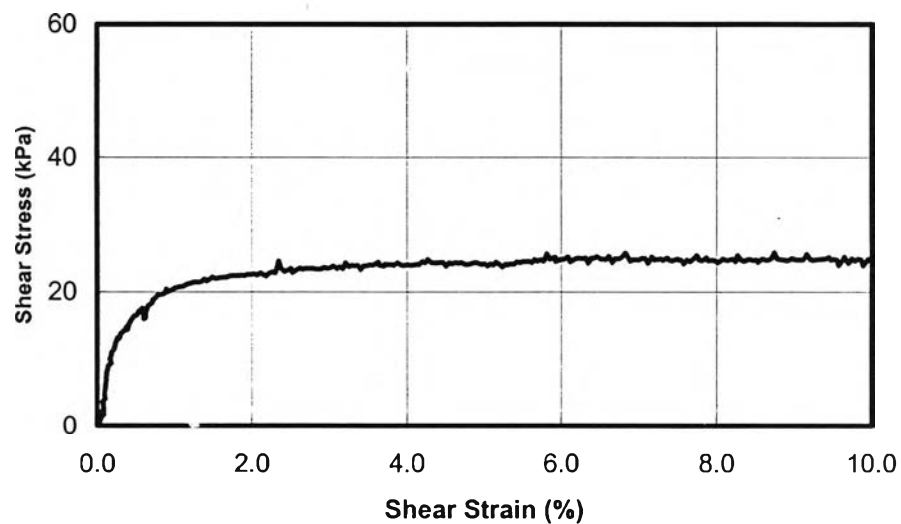
#### 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวแบบ Monotonic

รูปที่ 4.4 แสดงทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) ของดินเหนียว ที่มีค่า Preshear Stress เท่ากับ 100 kPa ทำการทดสอบแบบ Recompression ที่ค่าอัตราส่วนการยุบอัดแน่นเกินตัว (OCR) เท่ากับ 1 ได้ค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) เท่ากับ 23 kPa



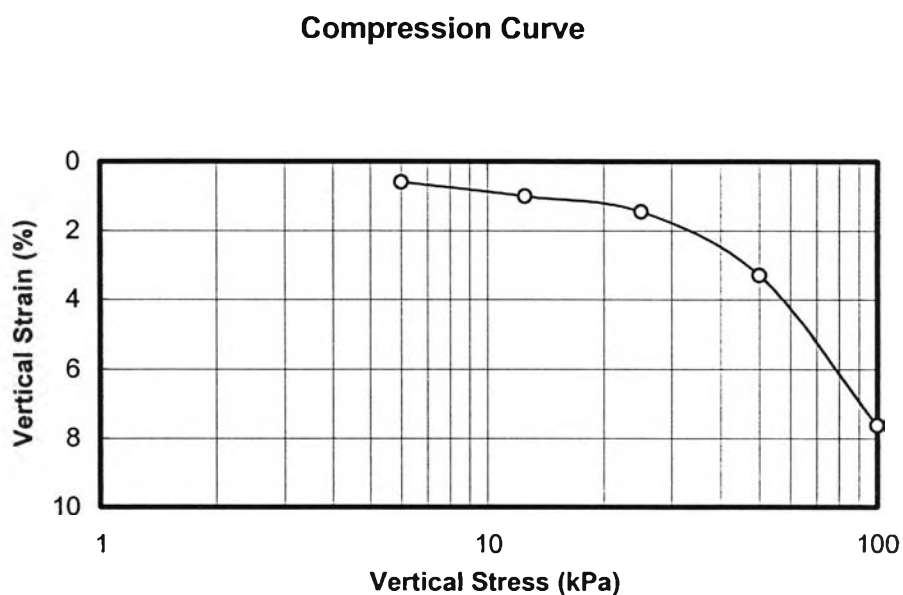
รูปที่ 4.4 ทางเดินของหน่วยแรง (Stress Path) ของตัวอย่างดินเหนียว

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Shear Stress (kPa) และค่า Shear Strain (%) จากรูป ได้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด เท่ากับ 23 kPa เมื่อค่าความเครียดเฉือน มีค่าประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นค่าความเค้นเฉือนเริ่มคงที่



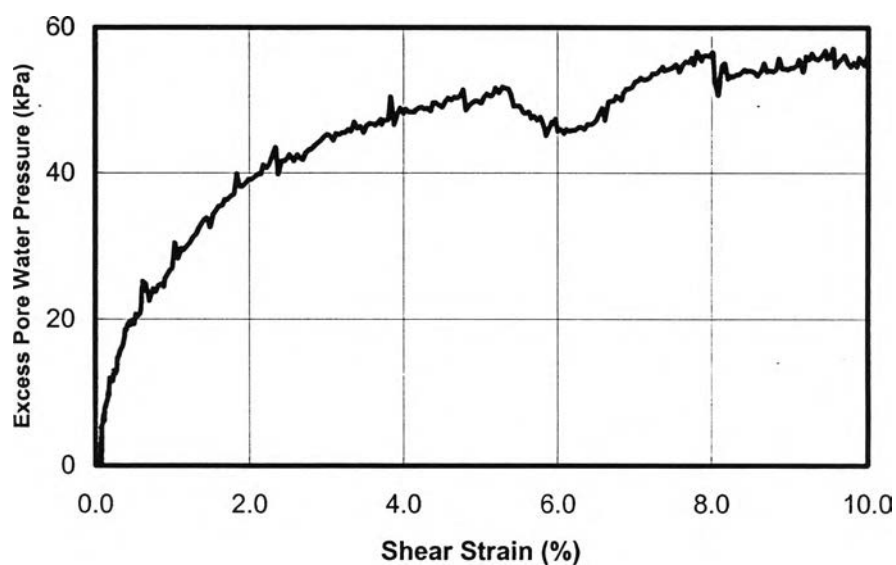
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือน (kPa) และความเครียดเฉือน (%)

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Vertical Strain (%) และค่า Vertical Stress (kPa)



รูปที่ 4.6 แสดงเส้นโค้งการอัดตัวของดินเหนียว

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Excess Pore Water Pressure (kPa) และค่า Shear Strain (%) จากรูปได้ค่า Excess Pore Water Pressure เท่ากับ 55 kPa



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันน้ำส่วนเกิน (kPa) และค่าความเครียดเฉือน (%)