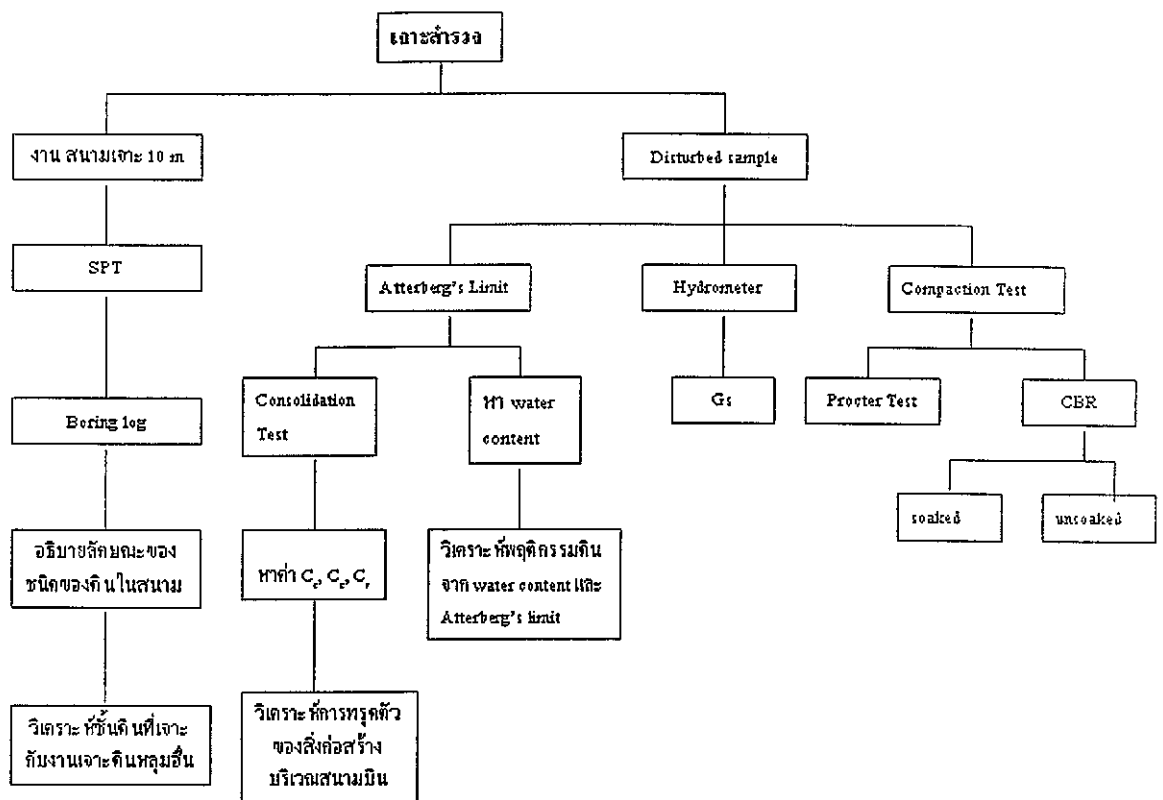


### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### การดำเนินงานด้านการวิจัย



### 3.1 การปฏิบัติงานภาคสนาม

#### 3.1.1 วิธีการเจาะสำรวจดิน

1. การเจาะสำรวจดินกระทำโดยใช้เครื่องเจาะแบบ Wash Boring ณ บริเวณ ท่าอากาศยาน พิษณุโลกแห่งใหม่ จังหวัดพิษณุโลก โดยเริ่มการติดตั้งแท่นเจาะ บริเวณที่ได้กำหนดไว้ เพื่อทำการสำรวจ

2. เปิดปากหลุมโดยใช้จอบหรือเสียมนำ โดยเฉพาะถ้าเป็นดินแข็งหรือมีเศษผงหรือเศษอิฐอยู่มาก
3. ตั้งสามขาโดยให้จุดศูนย์กลางอยู่ตรงกับหลุมที่เตรียมไว้แล้วติดตั้งเครื่องกว้านและปั้มน้ำ ก้านเจาะและหัวต่าง ๆ เตรียมไว้บริเวณใกล้ ๆ กันเพื่อสะดวกในการใช้งาน
4. ร้อยเชือกป่านมะนิลาจากเครื่องกว้าน ผ่านรอกที่ปลายสามขา แล้วยึดกับตัวหัวหัว (Swivel) ที่ปลายของก้านเจาะ สวมท่อน้ำจากปั้มเข้าปลายก้านเจาะ
5. เริ่มปั้มน้ำผ่านก้านเจาะลงไปฉีดที่ปลายหัวเจาะพร้อม ๆ กับใช้เครื่องกว้านยกหัวเจาะขึ้นลงเพื่อกระแทกกับก้นหลุมจนเศษดินจะไหลขึ้นมาที่ปากหลุมแล้วปล่อยให้ไหลลงในบ่อตกตะกอน
6. เมื่อก้นหลุมลึกพอสมควร (ลึกกว่า 1.0 เมตร) ใส่ปลอกเหล็กก้นดินฟังตามความจำเป็น
7. เมื่อถึงระดับความลึกที่ต้องการเก็บตัวอย่างดินนำกระบอกล้อกบางติดข้อต่อเก็บดินและก้าน เจาะหย่อนลงก้นหลุมแล้วค่อย ๆ กดด้วยแรงคนจนกระบอกล้อกลงไปประมาณ 50-60 ซม. หมุนก้านเจาะเวียนขวา 3 รอบเป็นการเลื่อนตัวอย่างดินที่ปลายกระบอกล้อให้ขาดแล้วจึงดึงกระบอกล้อขึ้น
8. นำกระบอกล้อเก็บดินมาล้างทำความสะอาดภายนอกแล้วอุดด้วย พาราฟิน กันความชื้นระเหยออกไปปิดฉลาก ระบุตำแหน่งหลุมเจาะ ความลึก วันที่ และข้อมูลอื่นที่จำเป็น แล้ววางไว้ในที่ปลอดภัย เพื่อรวบรวมส่งไปห้องทดลอง

### 3.1.2 การเก็บตัวอย่างดิน

การเก็บตัวอย่างดินโดยปกติจะเก็บที่ระดับความลึกทุก ๆ 1.00 เมตร แต่ในการสำรวจครั้งนี้ ปั้มน้ำได้เกิดการขัดข้องระหว่างการปฏิบัติงานการเจาะสำรวจที่ระดับความลึก 1.5 เมตร จึงทำให้เก็บตัวอย่างโดยวิธีการ Wash Boring ไม่ได้ดังนั้นจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างดินเป็น 2 วิธีดังนี้

1. การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกล้อกบาง Shelby tube ลักษณะของกระบอกล้อกบางเป็นกระบอกล้อกขนาดเล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.1 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างดินที่เก็บได้ต้องปิดหัวท้ายด้วยเทียนไขเพื่อป้องกันความชื้นระเหยแล้วขนย้ายไปยังห้องปฏิบัติการอย่างระมัดระวัง เพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่อไป
2. การเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกล้อ Split spoon samples ลักษณะของกระบอกล้อเป็นกระบอกล้อกซึ่งเป็นสองซีกประกบเข้าด้วยกัน โดยมีหัวครอบปิดทั้งหัวท้าย เพื่อเมื่อเก็บตัวอย่างแล้วสามารถเปิดแยกเพื่อเก็บตัวอย่างดินได้ กระบอกล้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ 5.0 และ 3.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ยาว 70 เซนติเมตร ซึ่งใน

การเจาะสำรวจดินได้เริ่มเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าที่ระดับความลึก 2.90-10.00 เมตร และไม่มี การ Wash Boring คือใช้กระบอกผ่าตอกลงไปเก็บตัวอย่างทุก ๆ 70 เซนติเมตร จนถึงระดับความลึก 10 เมตร ด้วยตุ้มเหล็กขนาด 63.5 กิโลกรัม ระยะลูกตุ้มที่ใช้ในการตอกสูง 76.2 เซนติเมตร และจดบันทึกการตอกทุกระยะการจมลง 15 เซนติเมตร เป็น สามช่วงโดยค่าการตอกสองระยะหลังรวมกันเรียกว่าค่า Standard penetration number (N) การทดสอบวิธีนี้เรียกว่า Standard penetration test (SPT) ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาความต้านทานได้จากห้องปฏิบัติการ

### 3.2 งานภาคห้องปฏิบัติการ

การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และทางแมคคานิกส์ ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 การหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific gravity of soil)

คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของเนื้อวัตถุนั้นต่อน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศา ที่มี ปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้นทำได้โดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ ซึ่งมี 2 ขนาด คือ ขวดตวงปาก ขนาด 100-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

เหมาะสำหรับดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่ และขวดแก้วขนาด 25-100 ลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับดินเม็ดละเอียด น้ำหนักเนื้อดินเราสามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักดินแห้ง แต่น้ำหนักน้ำที่มี ปริมาตรเท่าเนื้อดิน ทำได้โดยการนำมวลดินไปแทนที่น้ำแต่จะมีปัญหาที่ต้องแก้ไขคือ มักจะเกิด ฟองอากาศขนาดเล็กปนกับน้ำผสมดิน และน้ำหนักของน้ำในขวดความถ่วงจำเพาะที่ระดับปากขวด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปกับอุณหภูมิ จึงต้องมีเทคนิคการแก้ปัญหา ดังนี้

#### วิธีการทดลอง

เมื่อนำขวดหา ถ.พ.ใหม่มาใช้ หรือ เมื่อใช้ไปนานพอสมควร ควรจะต้องทำการหากราฟ ความสัมพันธ์ของน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็ม และอุณหภูมิโดยทำได้ดังนี้

1. ล้างขวด ถ.พ. ให้สะอาดเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่คอขวด(อ่านที่ระดับท้องน้ำ)
2. ต้มไล่ฟองอากาศหรือดูดโดยปั๊มสุญญากาศ ประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด
3. เติมน้ำปรับระดับจนน้ำเสมอระดับที่คอขวดพอดีเช็ดภายนอกขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่ง น้ำหนัก
4. วัตถุน้ำหนักของน้ำในขวดให้ละเอียดโดยวัดที่ปลายระดับถ้าอุณหภูมิต่างกันมากให้ ตะแคงขวดแล้วกลิ้งไปมาเพื่อให้ผสมเข้ากันดีทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอแล้วจึงบันทึก อุณหภูมิที่ถูกต้อง

5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และ 4 โดยให้ความร้อยหรือให้เย็นลงในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน (20-40 °c) ประมาณ 4-5 จุดเช่นที่ 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 °c

6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของขวดที่มีน้ำเต็มและอุณหภูมิ

วิธีการหาความถ่วงจะเพาะของดิน

1. นำดินตัวอย่างที่แห้งประมาณ 50 กรัม (ถ้าเป็นดินชั้นต้องเพื่อน้ำหนักความชื้น)ผสมกับน้ำกลั่นแล้วกวนให้เข้ากันโดยใช้เครื่องปั่น (Mixer Machine) โดยให้ส่วนผสมไม่เกิน 200 ล.บ.ช.ม.
2. เทส่วนผสมน้ำดินลงในขวดหา ถ.พ.ขนาด 250 ล.บ.ช.ม. แล้วใช้น้ำกลั่นล้างดินในภาชนะผสมลงในขวด ถ.พ.ให้หมด ระวัง อย่าให้ระดับน้ำเกินขีดวัดปริมาตรที่คอขวด
3. ไล่ฟองอากาศโดยการต้มหรือดูดโดยปั๊มสุญญากาศ ประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด แล้วเติมน้ำกลั่นให้ถึงระดับขีดคอขวด แล้วปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง
4. ถ้าระน้ำลดลงอีกให้เติมน้ำลงอีกให้เต็มให้เต็มถึงขีด แล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม แล้ววัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด
5. เทแล้วล้างส่วนผสมในขวด ถ.พ. ลงในถาดนำไปอบให้แห้งเพื่อชั่งน้ำหนักดินที่แน่นอน
6. นอนอีกครึ่ง

### 3.2.2 Grain Size Analysis การหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดิน

ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักดินจำนวน 500-5000 กรัม แล้วนำมาอบแห้งพร้อมชั่งน้ำหนักดินแห้ง หลังจากนั้นนำดินใส่ในตะแกรงที่มีขนาดเหมาะสมเช่น ตะแกรงเบอร์ 3/8,4 ,8,10,40,200 แล้วเขย่าประมาณ 10-15 นาที จึงนำดินที่ค้างตะแกรงและถาดมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปจำแนกโดยระบบ AASHO Classification

วิธีทำการทดลอง

ก. วิธีการร่อนผ่านตะแกรง

น้ำหนักดินที่พอดีที่ใช้ในการทดลองนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดใหญ่สุด ดังแสดงในตารางข้างล่างนี้

ขนาดเม็ดดินที่ใหญ่ที่สุด (นิ้ว)	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	3
น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย (กรัม)	500	1000	2000	3000	4000	5000

1. ชั่งตะแกรงทุก ๆ ขนาดที่ใช้ โดยตาชั่งอ่านได้ถึง 0.1 กรัม โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่ควรเกิน 7 ใบ โดยมีขนาดตะแกรงละเอียดถึง เบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง
2. ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง แต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก
3. นำตัวอย่างดินที่อบชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปละเอียด โดยมีฝาปิดด้านบน และมีถาด (Pan) รองด้านล่างรวมเป็นถาดของตะแกรงนำไปเข้าเครื่องเขย่า (Sieve Shaker) เขย่านานอย่างน้อย 10 นาที
4. ชั่งดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง แล้วนำไปคำนวณหาค่า %F

#### ข. วิธีตกตะกอน

ก่อนทำผู้ทดลองควรลองจุ่ม ไฮโดรมิเตอร์ ในลักษณะที่ถูกต้องเสียก่อน โดยจับก้านไฮโดรมิเตอร์ ทั้งสองมือ แล้วค่อย ๆ หย่อนลงในกระบอกตกตะกอน จนใกล้เคียงตำแหน่งที่ไฮโดรมิเตอร์ จะลอยขึ้นแล้วค่อย ๆ ปล่อยถ้าปล่อยสูงเกินไปจะทำให้ไฮโดรมิเตอร์จมลงไปกระทบกับกระบอก เกิดแตกหักเสียหายได้

การหาความสัมพันธ์ของ  $R_c$  และ  $h$  จะทำโดยการวัดขนาดกระเปาะไฮโดรมิเตอร์ (L), ความยาวก้านจาก 1,000 ถึง 1,040 (L<sub>v</sub>), ปริมาตรกระเปาะ (V<sub>v</sub>) โดยอ่านจากการจุ่มไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวง แล้วอ่านระดับน้ำที่เปลี่ยนไป, พื้นที่หน้าตัดของกระบอกตกตะกอน (A<sub>v</sub>) แล้วนำไปคำนวณเขียนกราฟดังที่กล่าวไว้ข้างต้น สำหรับขั้นตอนการทดลองทำได้ดังนี้

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งประมาณ 50 กรัม ผสมน้ำกลั่น และ น้ำยา Dispersing Agent (4% สารละลาย Sodium hexa meta phosphate) จนได้น้ำผสมประมาณ 300-500 ล.บ.ช.ม.
2. ปั่นกวนส่วนผสมโดยใช้เครื่องผสมไฟฟ้าประมาณ 10 นาที เพื่อให้มีเม็ดดินที่จับกัน เป็นก้อนแยกออกจากกัน แล้วเทลงในกระบอกตกตะกอน ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมด เติมน้ำให้ได้ระดับ 1000 ล.บ.ช.ม.
3. ใส่ น้ำกลั่นในกระบอกตวงไว้ข้าง ๆ อีกหนึ่งกระบอกเพื่ออ่าน ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ และ แชนไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด
4. ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้าโดยสม่ำเสมอ แล้ววางลง เริ่มจับเวลาทันที
5. หย่อนไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่า  $R_u$  ที่เวลา .25, .5, 1 และ 2 นาที โดยไม่ยกไฮโดรมิเตอร์ออกจนกระทั่ง 2 นาที ให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออก แล้วเขย่ากระบอกใหม่

6. วางกระบอกให้เกิดการตกตะกอนอีกครั้ง แล้ววัด  $R_1$  ที่ 2, 5, 10, 20,... ฯลฯ จนไฮโดรมิเตอร์อ่านประมาณ 8 ถึง 15 จุด ซึ่งอาจกินเวลาถึง 1 สัปดาห์หรือมากกว่านั้น ในระหว่างการอ่านให้วัดอุณหภูมิด้วยอย่างน้อยๆ 1 ชั่วโมง
7. เมื่อทดลองเสร็จแล้ว เทส่วนผสมลงในถาด นำเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

3.2.3 Water content ปริมาณความชื้นของดินหาได้จากการชั่งตัวอย่างดินก่อนและหลังจากนำตัวอย่างดินเข้าตู้อบ คำนวณน้ำหนักน้ำในมวลดินคือน้ำหนักดินก่อนอบลบด้วยน้ำหนักดินแห้ง ปริมาณความชื้นของดินคือน้ำหนักมวลดินหารด้วยน้ำหนักดินแห้งคูณด้วยร้อย

3.2.4 Atterberg's Limits , Liquid Limit (L.L.) คือความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นสารเหนียวในสถานภาพพลาสติก หาได้โดยการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม ผสมน้ำจนชุ่มแล้วปาดลงในถ้วยทองเหลืองให้มีความหนาของเนื้อดินประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วบากดินให้มีร่องเคลื่อนที่เข้าชนกันยาวประมาณ 1 เซนติเมตร จดบันทึกจำนวนการเคาะและนำดินตรงที่เคลื่อนที่เข้าชนกัน ไปหาปริมาณความชื้น ทำเช่นนี้ประมาณ 3-4 ครั้ง โดยผสมน้ำเปลี่ยนความชื้นจากมากไปน้อยซึ่งจำนวนการเคาะจะเพิ่มขึ้น เมื่อได้จำนวนครั้งที่เคาะและปริมาณความชื้นควบล้วนแล้วนำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟ Flow-curve จะได้จุดที่อยู่ในแนวเส้นตรงลากเส้นผ่านจุดเหล่านี้ค่าความชื้นที่จำนวนเคาะ 25 ครั้ง คือค่า Liquid Limit (L.L.)

Plastic Limit (P.L.) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกไปเป็นสถานภาพกึ่งของแข็ง หาได้โดยการนำดินที่ได้จากการทำ Liquid Limit (L.L.) มาทำคอลลิ่งกับกระจกเพื่อเป็นการรีดน้ำออก จนเป็นแท่งยาวขนาด 1 เซนติเมตร ก่อนแล้วค่อยๆ คลิ้งให้เล็กลงจนผิวของแท่งดินเริ่มแตก หากแท่งดินขณะนั้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ให้นำแท่งดินที่ได้ นั้นไปหาปริมาณความชื้นซึ่งปริมาณความชื้นที่ได้นั้นคือค่า Plastic Limit (P.L.)

วิธีการทดลอง

ก. Liquid Limit

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 สักประมาณ 200 กรัม (ในบางกรณีอาจใช้ตัวอย่างดินเปียกเลยก็ได้ถ้าแน่ใจว่า เบอร์ 40 )
2. นำตัวอย่างร่อนแล้วผสมน้ำให้เข้ากัน โดยมีความชื้นเหลวขนาดปูนฉาบ (ระวังอย่าให้เหลวเกินไป จะทำให้แห้งยาก) ใช้มีดปาด (Spatula) คัดปาดลงบนถ้วยทองเหลือง โดย

ความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วบากโดยเครื่องมือบาก (Grooving Tool) ให้เป็นรอยบากตรงกลาง

3. เคาะด้วยทองเหลือง ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ถ้วยต่อวินาที จนกระทั่งดินตอนล่างของ รอยบากเคลื่อนเข้าบรรจบกัน 1 ชั่วโมง แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งของการเคาะไว้
4. ปาดแต่งดินอีกครั้ง ทำรอยบากแล้วเคาะซ้ำ ถ้าจำนวนการเคาะเท่ากันหรือห่างไม่เกิน 2 ครั้ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนการเคาะ (N) ที่ถูกต้อง นำดินบริเวณรอยบากไปหา ปริมาณความชื้น (การเคาะครั้งแรก จำนวนครั้งควรจะเป็นประมาณ 40-50 ครั้ง ถ้ามากกว่า ให้เพิ่มน้ำอีก แต่ถ้าน้อยกว่ามากให้ทำให้แห้งลง)
5. ผสมน้ำเพิ่มในดิน แล้วทำตามข้อ 3 และ 4 โดยให้มีจำนวนครั้งของการเคาะน้อยลง ประมาณ 10 ครั้ง แล้วนำดินไปหาความชื้น ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งของการเคาะ อย่างน้อย 4 ค่า (จำนวนการเคาะครั้งสุดท้ายควรอยู่ราว 5 ถึง 10 ครั้ง)
6. เมื่อได้ข้อมูลจำนวนการเคาะ (N) และความชื้น นำไปเขียนลงในกราฟควรจะได้จุดที่อยู่ในแนวใกล้เคียงเส้นตรง ลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น
7. จากจำนวนครั้งของการเคาะ 25 ครั้ง ในแกนราบลากเส้นตัด กราฟในข้อ 6 จากจุดตัด ลากเส้นขนานแนวราบตัดค่าความชื้น (w) ในแกนตั้ง ค่าความชื้นนั้นคือ "Liquid Limit" ( $w_L$  หรือ L.L.)

#### ข. Plastic Limit

1. ดินที่เหลือจากการทดลอง Liquid Limit นำมาผึ่งให้มาดๆ แล้วนำมาปั้นคลึงเป็นแท่งยาว ขนาดประมาณ 1 ซม. เล็กก่อน แล้วค่อยๆ คลึงให้เล็กลงจนกระทั่งผิวเริ่มแตกปริ โดยรอบ ดังในรูปที่ 2.5
2. ถ้าขนาดของแท่งดิน ขณะที่แตกใหญ่กว่า 1 หุน ( $1/8$  นิ้ว) แสดงว่าแห้งไปให้เติมน้ำอีก แล้วปั้นใหม่ ถ้าขนาดเล็กกว่า 1 หุน ( $1/8$  นิ้ว) แล้วยังไม่แตก แสดงว่าดินเปียกไปให้ผึ่ง ให้แห้งอีก
3. ในกรณี ที่รอยแตกเกิดขึ้น เมื่อแท่งดินมีขนาด 1 หุน ( $1/8$  นิ้ว) ให้นำแท่งดินไปอบหา ความชื้น คือ "Plastic Limit" (น้ำหนักดินที่ใช้ในการหาความชื้นควรจะมากกว่า 10 กรัม ขึ้นไป เพื่อป้องกันการผิดพลาดขณะชั่ง)
4. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

### 3.2.5 Compaction Test

การทดสอบนี้เพื่อหาค่าความหนาแน่นจากการบดอัดดิน ซึ่งตัวอย่างดินที่นำมาทดลองจำเป็นต้องร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดดังนี้

3.2.5.1 Standard Proctor Test ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิ 140°F แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4

วิธีการทดลอง Standard Proctor ใช้ mold  $\phi$  4" x 4.6"

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold
2. ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4% คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอจนตลอด
4. ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar และ base plate แล้วกะแบ่ง ปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่า ๆ กันเมื่อ compact เสร็จแล้วขึ้นสุดท้ายให้เหลือพื้นที่ของ mold เล็กน้อยประมาณ 1-2 ซม.
5. ใช้ Hammer ขนาด 5.5 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความหนาแน่นของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอจนโดยตลอดขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออกและจุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมopak mold ใช้แปรงปิดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold แล้วถอด base pate ออกนำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้ อีกอย่างน้อย 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป
8. เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาทุบย่อยให้ร่วนแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% แล้วคลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 อีกจนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลงอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง



3.2.5.2 Modified Procter Test ดินตัวอย่างจะต้องตากให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน  $140^{\circ}\text{F}$  แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" ดินที่มีขนาดโตกว่า 3/4" จะต้องทิ้งไปและดินที่ทิ้งไปนี้จะต้องชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แต่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักที่เท่ากันแล้วทำการบดอัดใน Mold เมื่อชั่งน้ำหนักดินเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นครั้งต่อไปจะต้องเพิ่มน้ำขึ้นเรื่อย ๆ โดยทำอย่างน้อย 5 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นในการบดอัดแต่ละครั้งจะต้องหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า "ความชื้นที่หนาแน่นสูงสุด" วิธีการทดลอง Modified Procter ใช้ mold  $\phi 6" \times 5"$

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของ mold
2. ชั่งน้ำหนักของ mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 7 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4% คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นของดินสม่ำเสมอทั้งหมด
4. ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบ collar และ base plate แล้วกะแบ่ง ปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 5 ชั้นเท่า ๆ กันเมื่อ compact เสร็จแล้วชั้นสุดท้ายให้เหลือพื้นที่ของ mold เล็กน้อยประมาณ 1-2 ซม.
5. ใช้ Hammer ขนาด 10 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง และต้องพยายาม compact ให้ได้ความหนาแน่นของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอโดยตลอดขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอกปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold แล้วถอด base plate ออกนำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้ อีกอย่างน้อย 500 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป
8. เอาตัวอย่างดินที่เหลือมาชั่งให้ร่วนแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 3% แล้วคลุกเคล้าให้ทั่วสม่ำเสมอแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 อีกจนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลงอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

3.2.6 Consolidation Test การทดสอบวิธีนี้ได้ใช้ดินจากการเก็บด้วยกระบอกเปลือกบาง เพื่อนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัว ( $c_v$ ) โดยการนำตัวอย่างดินตัดแต่งลงใน Consolidation ring ขนาดตัวอย่างมาตรฐานที่มักใช้ทำการทดลองคือเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร และหนา 2 เซนติเมตร แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่นและ Initial Void Ratio นำตัวอย่างดินติดตั้งใน Consolidometer ซึ่งจะมีหินพรุนประกบทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวอย่างดิน เพื่อให้ น้ำในตัวอย่างดินระบายออกได้สะดวก นำ Consolidometer ไปวางใน Loading Frame พร้อมทั้งติดตั้ง dial gage ไว้สำหรับวัดการทรุดตัวของตัวอย่างดินแล้วหล่อน้ำใน Consolidometer ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับดินอยู่ตลอดเวลา เริ่มบรรจุน้ำหนักตั้งแต่แรงดันที่น้อยกว่า Overburden Pressure ชูดน้ำหนักมีตั้งแต่ 0.25 , 0.50 , 1.00 , 2.00 , 5.00 , และ 10.00 กก./ตร.ม.แต่ละน้ำหนักอ่านค่าการยุบตัวที่เวลา 0 , 0.25 , 1.00 , 2.00 , 4.00 , 8.00 , 15.00 , 30.00 , 60.00 , 120.00 นาที แล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟระหว่าง Dial reading และ  $\sqrt{t}$  ในระหว่างการบันทึกข้อมูลเพื่อหาลักษณะการทรุดตัวแล้วปล่อยให้ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงจะเพิ่มน้ำหนักชุดต่อไป ปฏิบัติเช่นเดียวกันจนครบชุดน้ำหนักที่จะต้องใส่ ถ้าต้องการทราบคุณสมบัติดินในการคืนตัวจากการลดน้ำหนักก็ให้ทำวิธีเดียวกันโดยเอาตุ้มน้ำหนักออกแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างดินไปหาปริมาณความชื้น

การเขียนกราฟระหว่าง Dial reading และ  $\sqrt{t}$  จะได้ค่า  $t_{90}$  เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า  $c_v$  ในการคำนวณ Void ratio เมื่อเริ่มทดลอง ( $e_0$ ) และ Void ratio ภายหลังการเพิ่มน้ำหนักใด ๆ ( $e_1$ ) สามารถนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $e_1$  และ  $p$ ,  $c_v$  และ  $p$  ลงบนกราฟ Sime-log โดยค่า  $c_c$  จะคำนวณได้จากกราฟ  $e$ -log  $p$  แล้วจะได้ค่า  $c_c = \frac{\Delta v}{\Delta \log p}$

#### วิธีทำการทดลอง

##### การเตรียมตัวอย่างดิน

1. นำตัวอย่างดินมาตัดแต่งลงใน Consolidation ring โดยใช้ Specimen trimmer ช่วย ขนาดตัวอย่างมาตรฐานที่มักใช้ทดลองคือเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 และหนา 1 นิ้ว
2. วัดขนาดตัวอย่างดินและชั่งน้ำหนักเพื่อที่จะคำนวณหาความหนาแน่นและ Initial void ratio ต่อไป ส่วนดินที่เหลือจากการตัดแต่งให้นำไปหาความชื้นซึ่งเป็นความชื้นของตัวอย่างก่อนการทดลอง
3. นำตัวอย่างดินตั้งใน Consolidometer ซึ่งมักจะมีหินพรุน (Porous stone) ประกบทั้งบนและล่างของตัวอย่าง เพื่อให้ น้ำในตัวอย่างไหลออกได้สะดวก

- นำ Consolidometer เข้าติดตั้งใน Loading frame ติด dial gage สำหรับวัดการทรุดตัวของตัวอย่าง (อ่านได้ละเอียดถึง .0001 นิ้ว) แล้วหล่อน้ำใน Consolidometer ให้ระดับน้ำอยู่เหนือระดับดินตัวอย่าง

การบรรทุกน้ำหนักและบันทึกข้อมูล

- ก่อนเริ่มบรรทุกน้ำหนักบนตัวอย่างต้องเตรียมอุปกรณ์เหล่านี้ให้พร้อม เช่นแบบบันทึกข้อมูล นาฬิกาจับเวลา ตุ่มน้ำหนัก
- น้ำหนักบรรทุกที่จะใช้ จะวางบนคานซึ่งสามารถขยายน้ำหนักซึ่งกดลงบนตัวอย่างดินมักเป็น 10 เท่าของน้ำหนักจริงขนาดของน้ำหนักที่จะใช้ขึ้นอยู่กับความลึกของตัวอย่าง โดยพิจารณาว่าต้องเริ่มต้นด้วยความดันที่น้อยกว่า Overburden pressure  $P_0$  แล้วเพิ่มจนมากกว่า เพราะฉะนั้นความดันที่ใช้กดตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0.25-10 KSC ถ้าเป็นน้ำหนักก็จะใช้ตัวเลขลงตัวเช่น 1,2,4,6,8.....กก. เป็นต้น
- วางน้ำหนักชุดแรกแล้วเริ่มบันทึกเวลาพร้อม ๆ กับ Dial gage จะหมุนไปด้วยจะอ่าน Dial gage ณ เวลาต่าง ๆ ดังนี้ 0.25 , 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8, 15, 30 นาที 1, 2, 4, .....ชม. นับจากเริ่มต้น
- เขียนกราฟ ระหว่าง Dial reading และ  $\sqrt{t}$  ในระหว่างการบันทึกข้อมูลเพื่อทราบลักษณะของกราฟของการทรุดตัว
- หลังจากทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม. จะต้องเพิ่มน้ำหนักชุดที่ 2 โดยปฏิบัติเช่นเดียวกันกับข้อ 3 และข้อ 4 จนครบทุกน้ำหนักที่ต้องการใส่
- ถ้าต้องการทราบคุณสมบัติของดินในการยึดตัวจากการลดน้ำหนักก็ให้ทำเช่นเดียวกัน โดยเอาตุ่มน้ำหนักออกแล้วทิ้งไว้ 24 ชม.
- หลังจากเสร็จการทดลองแล้วต้องนำตัวอย่างดินไปหาค่าความชื้นด้วย

3.2.7 California Bearing Ratio (CBR) เป็นการทดสอบแรงเสียดทานของดินที่ถูกดอัดจนแน่นดีแล้ว โดยทดสอบที่ Optimum water content ดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบจะต้องปล่อยให้แห้งในห้องปฏิบัติการแล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" สำหรับตัวอย่างดินที่มีการแช่น้ำให้เตรียมตัวอย่างดินประมาณ 6 กิโลกรัม แล้วบดอัดดินให้แน่นใน mold ตามวิธี Compaction Test ใส่ Swell plate สำหรับวัดอัตราการบวมตัวของดิน แช่ดินตัวอย่างไว้ประมาณ 4 วัน นำ mold พร้อมดินไปชั่งน้ำหนักแล้วนำ mold พร้อมตัวอย่างดินเข้าเครื่องทดสอบซึ่งมี piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้วติดอยู่แล้วเขตศูนย์ที่ Dial gage ตั้งค่า Load ในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมอ่านค่าที่ตรงกับ Penetration 0 , 0.025 ,

0.050 , 0.075 , 0.100 , 0.200 , 0.250 , 0.400 และ 0.500 นิ้ว นำดินประมาณ 100 กรัม ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่อไป

ในส่วนของกรณีตัวอย่างดินที่ไม่มีการแช่น้ำให้น้ำ mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ แล้วทำตามวิธีดังกล่าวข้างต้น โดยไม่มีการนำ mold พร้อมดินตัวอย่างไปแช่น้ำ

#### วิธีทำการทดลอง

สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (Unsoaked CBR Test)

1. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 12 ปอนด์ หรือ 6 กก. แล้วนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (initial water content) ที่มีอยู่ในดินตัวอย่าง
2. เตรียม mold ไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนัก mold (เฉพาะ mold ไม่รวม base plate)
3. ประกอบ mold เข้ากับ base plate และ spacer ขนาด  $\phi$  6" x 2" ใช้กระดาษกรอง  $\phi$  6" ปูทับบน spacer เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก
4. กระทุ้งดินอัดแน่นใน mold ตามวิธี compaction test ASTM D 1557 optimum moisture content  $\pm$  2 %
5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอด collar ออกใช้ไม้บรรทัดเหล็ก (Straight edge) ปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ mold พร้อมกับซ่อมแต่ผิวบนของดินตัวอย่าง ให้เรียบสม่ำเสมอกับปาก mold
6. ถอด base plate และ spacer disc ออก นำ mold และดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อนำไปหา Wet density
7. เอากระดาษกรองวางบน base plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็กประกอบ mold ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับ base plate โดยให้ปาก mold ด้านที่มีดินเสมอกับปากวางบน base plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้วอยู่ด้านบน

ขั้นตอนต่อไปสำหรับ unsoaked sample ทำข้อ 8-11

8. วางแผ่นเหล็ก surcharge อย่างน้อย 10 ปอนด์ลงบนดินตัวอย่างใน mold
9. จัดวาง mold พร้อมดินตัวอย่างเข้ากับเครื่องกดทดลองซึ่งมี piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินใน mold และสัมผัสกับ piston ดังกล่าว จัดเข็ม dial gauge ที่จะใช้วัด penetration ให้อยู่ที่จุดศูนย์
10. จัดการ load ในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับ penetration 0, 0.025, 0.050, 0.750, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 และ 0.500 นิ้ว

11. เสร็จแล้วถอด mold ออกจากเครื่องกดทดลองเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม (fine grained soil) หรือ 500 กรัม (coarse grained soil) นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น (water content)  
สำหรับตัวอย่างดินที่มีการแช่น้ำ (Soaked sample) ทำข้อ 12-18 เพิ่มเติม
12. วางแผ่นเหล็ก surcharge หนัก 10 ปอนด์ลงบนดินตัวอย่างใส่ swell plate สำหรับวัดอัตราการบวมของดิน ซึ่งมีค้ำยันเกลียวขึ้นลงได้ติดอยู่กลาง plate ก่อนวางแผ่นเหล็ก surcharge ลงบนดินตัวอย่างจะต้องเอากระดาษรองวางแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว
13. แช่ mold ที่เตรียมไว้ในข้อ 12 นี้ ในภาชนะที่เตรียมไว้ให้น้ำท่วม surcharge ประมาณ 1 นิ้ว ใช้ dial gauge อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับ tripod แล้ววางบนปาก mold จัดให้ปลายของ dial gauge แตะสัมผัสกับก้าน swelling plate เพื่อวัดค่าการบวมตัวของดินต่อไป
14. แช่ดินตัวอย่างไว้ประมาณ 4 วัน จดค่าการบวมตัวจาก dial gauge ทุกวันจนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการบวมตัวคงที่อาจจะหยุดอ่านได้หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)
15. หลังจากแช่ครบ 4 วันแล้ว ยก mold ออกจากน้ำและวางตะแคง mold เพื่อรินน้ำทิ้ง และปล่อยให้แห้ง 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก mold จนหมด
16. นำ mold พร้อมดินไปชั่งน้ำหนัก
17. ทำการทดลองตามวิธี 9- ข้อ 10
18. เก็บดินตัวอย่างจาก soaked sample ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น