



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ขุดลอก  
บริเวณท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดชั้นเหลวและคุณสมบัติพลาสติก  
Influence of organic matter on consistency limits and plasticity behavior  
of marine dredged sediments from Laemchabang harbour, Chonburi

นางสาววรรณวรางค์ รัตนานิคม

โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้  
จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน)  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559  
มหาวิทยาลัยบูรพา

รหัสโครงการ 2559A10802015

สัญญาเลขที่ 132/2559

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ขุดลอก

บริเวณท่าเรือแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดชั้นเหลวและคุณสมบัติพลาสติก

Influence of organic matter on consistency limits and plasticity behavior  
of marine dredged sediments from Laemchabang harbour, Chonburi

นางสาววรรณวรางค์ รัตนานิคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2559

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 132/2559

## บทคัดย่อ

อินทรีย์วัตถุ คือองค์ประกอบหนึ่งในดินที่เกิดจากการย่อยสลายผู้พังของซากอินทรีย์ทั้งโดยกระบวนการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ปะปนอยู่ในมวลดินถือเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์และส่งผลเสียต่อคุณสมบัติด้านการรับกำลังของดินและอาจมีแนวโน้มทำให้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและดัชนีพื้นฐานอื่นๆของดินเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ค่าพิกัดแอสเตอร์เบิกและค่าดัชนีพลาสติกของดิน ซึ่งถือเป็นดัชนีที่มีความสำคัญในการจำแนกหมวดหมู่และสามารถบ่งชี้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมอื่นๆ ของดินได้ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกมาจากบริเวณท่าเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดแอสเตอร์เบิก ได้แก่ ค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติกและค่าดัชนีพลาสติก ตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ชนิดคือ ตัวอย่างดินตะกอนทะเลธรรมชาติ ตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่น และตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ค่าพิกัดเหลวถูกทดสอบโดยใช้สองวิธี คือ วิธีถ้วยคาซาเกนตีและเครื่องมือกรวยตก นอกจากนั้นค่าพิกัดพลาสติกถูกทดสอบโดยวิธีการคลึงและเครื่องมือกรวยตกเพื่อเปรียบเทียบถึงความแตกต่างของผลการทดสอบและความแม่นยำของเครื่องมือทดสอบด้วย

คำสำคัญ: อินทรีย์วัตถุ, ดินตะกอนทะเล, พิกัดแอสเตอร์เบิก, คุณสมบัติพลาสติก

## Abstract

Organic matter is a soil composition resulting from a process of microbial degradation and chemical reaction. It is well known that the amount of organic matter in soil mass is an undesirable element in geotechnical engineering works because it is an important factor affecting on the strength behavior of soil. Moreover organic matter might affect the physical and index properties such as consistency limits and plasticity behavior. The objectives of this research were to study the effects of organic matter on Atterberg limit, i.e. liquid limit, plastic limit and plasticity index; of dredged marine sediments from Laemchabang Port, Sriracha, Chonburi. Three types of soil specimens were prepared, i.e. natural dredged marine sediments, dredged marine sediments soaked in distilled water, and dredged marine sediments soaked in hydrogen peroxide. Liquid limits were determined by Casagrande's cup method and fall cone method. Plastic limits were determined by rolling method and fall cone method in order to compare of two tests results and accuracy and precision of these techniques.

Keywords: organic matter, marine sediment, Atterberg limit, plastic behavior

## สารบัญเรื่อง

กิตติกรรมประกาศ

บทคัดย่อ

สารบัญ

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1/1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1/3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1/4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1/4

### บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกำเนิดของดิน	2/1
2.1.1 ดินเม็ดหยาบ (Coarse-grained soil)	2/1
2.1.2 ดินเม็ดละเอียด (Fine-grained soil)	2/1
2.2 รูปร่างของเม็ดดิน (Particle Shape)	2/1
2.2.1 รูปร่างเม็ดดินเป็นก้อนเป็นเม็ด (Bulky grains)	2/1
2.2.2 รูปร่างเป็นแผ่นแบนบาง (Flaky Grains)	2/2
2.2.3 รูปร่างยาวคล้ายรูปเข็ม (Needle-Shaped Grains)	2/3
2.3 โครงสร้างของดิน (Soil structure)	2/4
2.3.1 โครงสร้างดินแบบเม็ดเดี่ยว (Single-Grained Structure)	2/4
2.3.2 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง (Honeycomb Structure)	2/4
2.3.3 โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed Structure)	2/5
2.3.4 โครงสร้างแบบประเกสรกะ (Flocculent Structure)	2/5
2.4 แร่ดินเหนียว	2/6
2.4.1 หน่วยรูปเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral Unit)	2/6
2.4.2 หน่วยรูปเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral Unit)	2/6
2.5 นิยามค่าพิกัดชั้นเหลว (Consistency limit)	2/10
2.5.1 ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit, LL)	2/11
2.5.2 พิกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL)	2/11
2.5.3 พิกัดหดตัว (Shrinkage Limit, SL)	2/11
2.6 วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดชั้นเหลวต่างๆ	2/11

2.6.1	วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว	2/11
2.6.2	วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติก	2/13
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2/15

### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1	วิธีดำเนินการวิจัย	3/1
3.1.1	การเตรียมตัวอย่างดิน	3/1
3.1.2	แผนการทดสอบ	3/1
3.2	วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	3/4
3.3	อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ	3/4
3.3.1	การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาแกนดี (Casagrande's cup: ASTM D4318)	3/4
3.3.2	การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีกรวยตก (Fall cone penetration method: BSI 1377 Part 2)	3/5
3.3.3	การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติกโดยวิธีการคลิ้ง (Rolling method: ASTM D4318)	3/5
3.3.4	การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติกโดยเครื่องมือกรวยตก (Fall cone penetration method: BSI 1377 Part 2)	3/6
3.3.5	การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test: ASTM D854)	3/6

### บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1	การทดสอบหาค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดิน	4/1
4.2	ผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าพิกัดเหลวโดยวิธีต่างๆ	4/1
4.3	ผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีต่างๆ	4/3
4.4	ผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าดัชนีพลาสติกโดยวิธีต่างๆ	4/5

### บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

5.1	สรุปผลการวิจัย	5/1
5.2	ข้อเสนอแนะ	5/1
	ผลงานตีพิมพ์	
	รายงานการเงิน	

บรรณานุกรม  
ประวัตินักวิจัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าพิกัดอัตราเบี่ยงเบนโดยวิธีต่างๆ

4/1

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด (Bulky grains)	2/2
รูปที่ 2.2 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด (Flaky Grains)	2/3
รูปที่ 2.3 รูปร่างยาวคล้ายรูปเข็ม (Needle-Shaped Grains)	2/3
รูปที่ 2.4 ลักษณะความแตกต่างของอัตราส่วนช่องว่างของเม็ดดิน	2/4
รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง	2/5
รูปที่ 2.6 (a) โครงสร้างแบบระเกะระกะในน้ำเกลือ (b) โครงสร้างแบบระเกะระกะโดยทั่วไป (c) โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ	2/5
รูปที่ 2.7 (a) Silica tetrahedron (b) Silica sheet (c) alumina octahedron (d) Octahedron (gibbsite) sheet	2/6
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ (a) Kaolinite (b) Illite (c) Montmorillonite	2/8
รูปที่ 2.9 โครงสร้างอะตอมของแคโอลิไนท์ (Kaolinite)	2/8
รูปที่ 2.10 โครงสร้างอะตอมของอีไลท์ (Illite)	2/9
รูปที่ 2.11 โครงสร้างอะตอมของมอนต์มอริโอไนท์ (Montmorillonite)	2/9
รูปที่ 2.12 สถานะของดินมวลละเอียดเมื่อปริมาณความชื้นในมวลดินแตกต่างกัน	2/10
รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงสภาพของมวลดินในรูปความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง ความชื้นและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร	2/10
รูปที่ 2.14 การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาเกรดตี (Casagrande's cup: ASTM D4318)	2/12
รูปที่ 2.15 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาเกรดตี	2/12
รูปที่ 2.16 การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยกรวยตก (Fall cone method: BSI 1377 Part 2)	2/12
รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยกรวยตก	2/13
รูปที่ 2.18 การทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลิ้ง (Rolling method: ASTM D4318)	2/14
รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัย	3/3
รูปที่ 4.1 พิกัดเหลวของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน	4/2
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีถ้วยคาซาเกรดตี และวิธีกรวยตก	4/2
รูปที่ 4.3 พิกัดพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน	4/3
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าพิกัดพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีการคลิ้ง และวิธีกรวยตก	4/4
รูปที่ 4.5 ดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน	4/5

รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด จากผลการคำนวณ โดยวิธีต่างๆ	4/5
---	-----

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

อินทรีย์วัตถุ (Organic matter) คือ องค์ประกอบหนึ่งในดินที่เกิดจากการย่อยสลายของซากอินทรีย์ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ ทั้งโดยกระบวนการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมี อินทรีย์วัตถุในมวลดินนี้ถือว่าเป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในงานทางด้านเกษตรกรรม ทั้งนี้เพราะอินทรีย์วัตถุเป็นองค์ประกอบที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ทำให้ดูดซับน้ำได้ดีและมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าสูง ส่งผลทำให้สามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ได้สูง ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมที่พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่าในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ปะปนอยู่ในมวลดินถือเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์และส่งผลเสียบางประการต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ในอดีตจนถึงปัจจุบัน นักวิจัยจำนวนมากพยายามศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินที่มีอินทรีย์วัตถุปะปน (Organic soil) เช่น Schmidt (1965) และ Holtz and Krizek (1970) พบว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในมวลดินเพิ่มสูงขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) ของดินจะมีค่าลดลง และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum water content) ในกระบวนการบดอัดดินจะมีค่าสูงขึ้น ในปีค.ศ. 1973 Franklin และคณะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุชนิดต่างๆ ในมวลดินธรรมชาติต่อกระบวนการบดอัดและพฤติกรรมการรับแรงเฉือน พบว่าคุณสมบัติต่างๆ ของดินในกระบวนการบดอัด เช่น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม รวมถึงพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินธรรมชาติที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในมวลดินเท่ากันแต่ต่างชนิดกัน มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน แต่เมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ปะปนอยู่ในมวลดินเพิ่มสูงขึ้น กลับส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลดลง จากผลการทดลองนี้อาจกล่าวได้ว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ปะปนอยู่ในมวลดินถือเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลและควบคุมคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ในขณะที่ชนิดของอินทรีย์วัตถุในมวลดินกลับไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติดังกล่าวมากนัก

นอกจากปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มากน้อยแตกต่างกันในมวลดินจะส่งผลให้คุณสมบัติด้านการรับกำลังของดินเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ยังมีแนวโน้มทำให้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพและดัชนีพื้นฐานอื่นๆ ของดินเปลี่ยนแปลงไปด้วย เช่น ค่าพิกิตชันเหลว (Consistency limits) ของดิน ค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity index) เป็นต้น ซึ่งค่าดัชนีต่างๆ เหล่านี้ถือว่ามีความสำคัญที่ใช้ในการจัดจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และสามารถบ่งชี้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินได้ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม เช่น พฤติกรรมการทรุดตัวของดิน ค่ากำลังรับแรงเฉือน และความสามารถในการระบายน้ำของดิน เป็นต้น ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆ ข้างต้นนี้ได้แก่ Odell et al., (1960); Buckman and

Brady (1969); Abdallah et al. (1999); Zentar et al. (2009) Ekrem et al. (2013) และ Odell et al. (1960)

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งพยายามทำการศึกษาและหาคำตอบเกี่ยวกับผลของปัจจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น กลับยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนมากนัก ทั้งนี้เพราะมีความไม่สอดคล้องกันของผลการทดลองที่ได้ในแต่ละงานวิจัย เช่น Odell et al., (1960) พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินส่งผลทำให้ดินแสดงคุณสมบัติพลาสติกเพิ่มขึ้น แต่ Buckman and Brady (1969) กลับพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินส่งผลทำให้คุณสมบัติพลาสติกของดินลดลง โดยให้เหตุผลว่าเพราะอินทรีย์วัตถุในดินเป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติพลาสติกต่ำ เป็นต้น จากความแตกต่างกันของผลการทดลองที่ได้ในแต่ละงานวิจัยนี้เอง เป็นผลทำให้ปัจจุบันยังมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและหาคำตอบในปัญหาเหล่านี้

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น การแสวงหาแหล่งวัสดุใหม่เพื่อใช้ทดแทนวัสดุแหล่งเดิมที่กำลังจะหมดไปถือว่ามีสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งทางเลือกหนึ่งในการแสวงหาแหล่งวัสดุใหม่ คือ การนำวัสดุเหลือใช้หรือผลิตผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ อาทิ เช่น การนำกากน้ำตาลและแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือทิ้งจากโรงงานมาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังเพื่อใช้เป็นวัสดุในงานทาง (วิเศษและประทีป, 2552; ศราวุธและประทีป 2552) การนำวัสดุมวลรวมคอนกรีตที่ใช้แล้ว (Recycled concrete aggregate) อิฐดินเหนียวแตก (Crushed clay bricks) มาใช้เป็นวัสดุมวลรวมในโครงสร้างชั้นทาง (Poon and Chan, 2006; Molenaar and Niekerk, 2002; Chini et al., 2001) เป็นต้น

นอกจากนี้ยังพบว่า ปัจจุบันมีนักวิจัยจำนวนมากเริ่มให้ความสนใจในการนำเอาวัสดุทางธรรมชาติที่ไม่มีประโยชน์หรือขยะทางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมโยธามากขึ้น เช่น การขุดลอกดินทรายหรือดินตะกอนที่เกิดจากการพัดพาของกระแสน้ำมาตกตกรอบที่ถมบริเวณชายฝั่งมาใช้เป็นวัสดุทางเลือกใหม่ในงานดิน งานทาง (Dubois et al., 2009; Zentar et al., 2008; Siham et al., 2008) และงานคอนกรีต (Dubois et al., 2009; Zentar et al., 2008; Kozlova et al., 2004; Millrath et al., 2001; Chapman, 1968, Limeira et al., 2010; Siham et al., 2008) เป็นต้น

อย่างไรก็ตามสิ่งที่ควรคำนึงถึงและให้ความสำคัญสูงสุดในการพิจารณานำเอาวัสดุเหลือใช้หรือวัสดุทางธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง นอกเหนือไปจากการมุ่งเน้นให้เกิดประโยชน์สูงสุดทางด้านการลงทุนการก่อสร้างภายใต้หลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพียงอย่างเดียว คือ การพิจารณาคัดเลือกเฉพาะวัสดุที่มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ดีและเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานก่อสร้างประเภทต่างๆ ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยและการป้องกันปัญหาจากการก่อสร้างที่อาจเกิดขึ้นตามมาในอนาคต

จากตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของดินทรายหรือดินตะกอนที่ถูกขุดลอกบริเวณชายฝั่งทะเลในหลายๆ ด้านในงานวิจัยในประเทศอื่น จึงเป็นไปได้ว่าวัสดุประเภทดังกล่าวนี้อาจได้รับความสนใจให้ใช้เป็นแหล่งวัสดุทางเลือกใหม่ในประเทศไทยในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามจากลักษณะการกำเนิดและแหล่งกำเนิดของดินดังกล่าวนี้ อาจมีความเป็นไปได้ว่าดินประเภทนี้จะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุชนิดต่างๆ ปะปนและสะสมอยู่ ซึ่งอาจส่งผลเสียบางประการต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาวินิจฉัยถึงผลกระทบของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ปะปนอยู่ในมวลดินต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ดัชนีพื้นฐานตลอดจน คุณสมบัติต่างๆ ด้านวิศวกรรมของดินก่อนการนำไปใช้งานจริง

จากข้อจำกัดของข้อมูลวิจัยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดชั้นแผลว (Consistency limits) ได้แก่ ค่าพิกัดเหลว (Liquid limit) ค่าพิกัดพลาสติก (Plastic limit) และคุณสมบัติพลาสติก (Plasticity behavior) โดยวิธีต่างๆ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุประเภทดังกล่าวเพื่อใช้เป็นแหล่งวัสดุทางเลือกใหม่ในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปฐพี ตลอดจนทราบถึงความแตกต่างของเครื่องมือทดสอบต่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการทดสอบ ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรให้ความสำคัญในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือ

1. เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาเกนดีและเครื่องมือกรวยตก
2. เปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวของตะกอนทะเลที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีถ้วยคาซาเกนดีและเครื่องมือกรวยตก
3. เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลึงและเครื่องมือกรวยตก
4. เปรียบเทียบค่าพิกัดพลาสติกของตะกอนทะเลที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีการคลึงและเครื่องมือกรวยตก
5. เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อคุณสมบัติพลาสติก

### 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย ผู้วิจัยจึงออกแบบขอบเขตของโครงการวิจัยเพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าคุณสมบัติต่างๆ โดยการเตรียมตัวอย่างดินตะกอนที่ใช้ในการทดสอบ 3 ชนิดคือ ตัวอย่างดินตะกอนทะเลธรรมชาติ ตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่น และตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) และทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ของดินตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ดังนี้

1. ทดสอบหาค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลโดยวิธี Loss of Ignition
2. ทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ่วงคานาเคนดีและเครื่องมือกรวยตก
3. ทดสอบค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลึงและเครื่องมือกรวยตก
4. วิเคราะห์หาค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity index) จากผลการทดสอบในส่วนที่ 3 และ 4
5. ทดสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานอื่นๆ เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ค่าดัชนีบวมตัวอิสระ (Free swelling index) เป็นต้น

ค่าพิกัดชั้นเหลวต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบแต่ละวิธีจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับความแตกต่างเพื่อหาแนวทางและข้อสรุปเกี่ยวกับความแตกต่างของเครื่องมือทดสอบต่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการทดสอบ ซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรให้ความสำคัญในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ่วงคานาเคนดีและเครื่องมือกรวยตก
2. สามารถทราบถึงความแตกต่างและเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวของตะกอนทะเลที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีถ่วงคานาเคนดีและเครื่องมือกรวยตก
3. สามารถทราบถึงผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลึงและเครื่องมือกรวยตก
4. สามารถทราบถึงความแตกต่างและเปรียบเทียบค่าพิกัดพลาสติกของตะกอนทะเลที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีการคลึงและเครื่องมือกรวยตก
5. สามารถทราบถึงผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ต่อคุณสมบัติพลาสติก

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การกำเนิดของดิน

ดินประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นเนื้อดิน สารอินทรีย์ และน้ำ เกิดขึ้นจากการผุ่ร่อนของเปลือกโลก ขึ้นนอกด้วยกระบวนการทางกล (Mechanical Weathering) และทางเคมี (Chemical Weathering) อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมเช่น สภาพอากาศ อุณหภูมิ ความดัน เป็นต้น อาจถูกเคลื่อนย้ายด้วยตัวกลางทางธรรมชาติหรือตกตะกอนทับถมอยู่กับที่ก่อให้เกิดดิน ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง ซึ่งในทางวิศวกรรมปฐพี ดินถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามขนาดอนุภาคของดิน ได้แก่

**2.1.1 ดินเม็ดหยาบ (Coarse-grained soil)** เป็นดินที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 0.075 มิลลิเมตร รูปร่างส่วนใหญ่จะเป็นทรงกลมหรือเหลี่ยม และส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษหินพวกควอตซ์ (Quartz) ร่วมกับแร่เหล็ก แคลเซียมคาร์บอเนต และไมกา (Mica) รูปร่างของดินชนิดนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโครงสร้างผลึก และแร่ธาตุของหินต้นกำเนิด คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเม็ดหยาบขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ อันได้แก่ รูปร่าง มวลคละ และความแข็งแรงของอนุภาคดิน

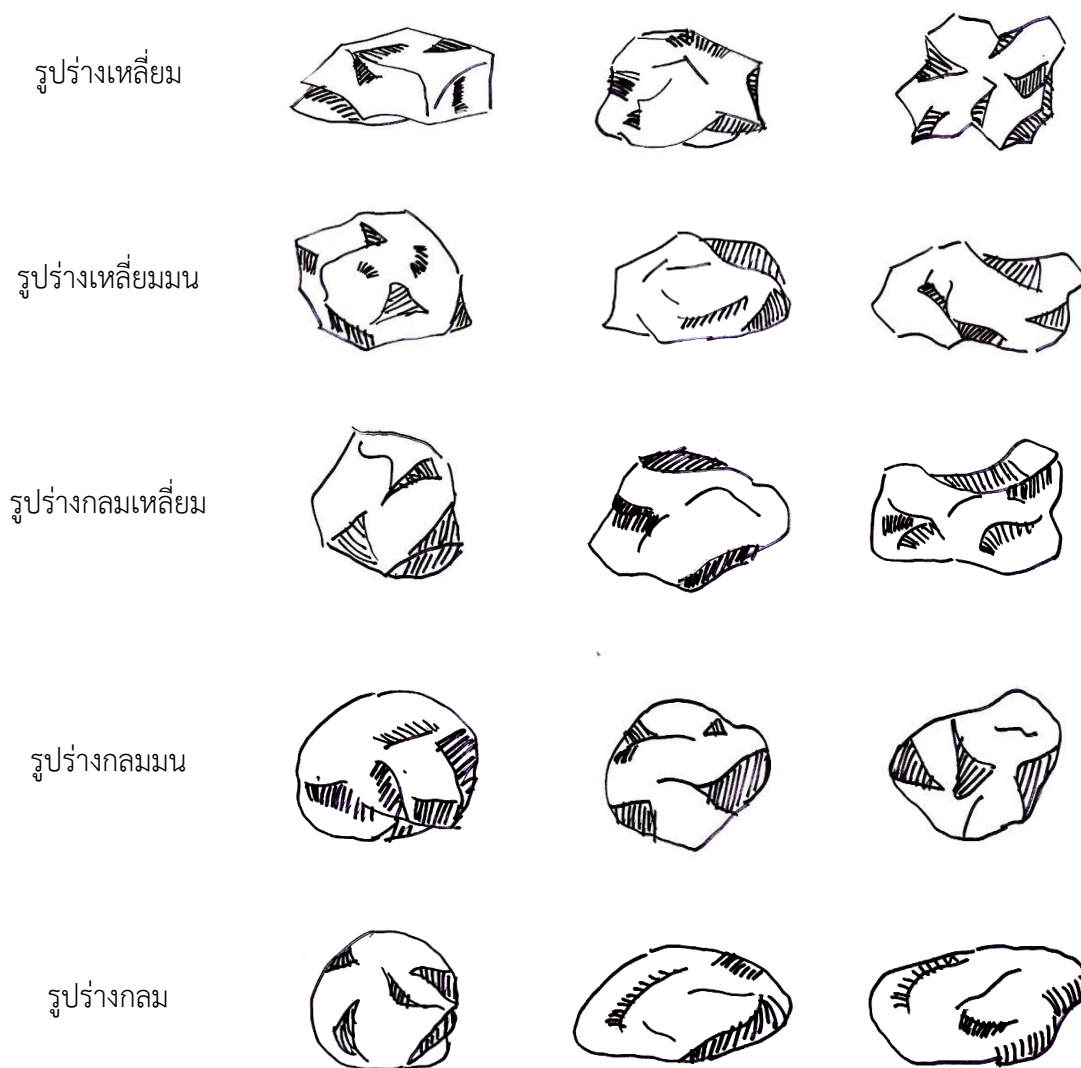
**2.1.2 ดินเม็ดละเอียด (Fine-grained soil)** เป็นดินที่มีอนุภาคเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร และมีรูปร่างเป็นแผ่นบาง ดินประเภทนี้ ได้แก่ ดินตะกอนและดินเหนียว ดินประเภทนี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ ออกไซด์ ซัลไฟด์ และสารอนินทรีย์ คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเม็ดละเอียดขึ้นอยู่กับของเหลวภายในโพรงระหว่างอนุภาคของดิน (Pore fluid) และพื้นที่ผิว (Surface area) ของอนุภาคของดิน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแร่ดินเหนียว โดยแร่ดินเหนียวที่มีอนุภาคเล็กและบางจะมีพื้นที่ผิวสูง

#### 2.2 รูปร่างของเม็ดดิน (Particle Shape)

จากกระบวนการก่อกำเนิด กระบวนการพัดพา รวมถึงการแปรสภาพ ส่งผลให้เม็ดดินที่คลุกเคล้ารวมกันอยู่ในมวลดินจึงอาจมีรูปร่างต่างๆกัน ดังนี้

**2.2.1 รูปร่างเม็ดดินเป็นก้อนเป็นเม็ด (Bulky grains)** มีลักษณะเหลี่ยมคม เหลี่ยมมน เม็ดกลมหรือเกือบกลม หยาบ มิติทั้งสามด้านเกือบเท่ากัน ซึ่งเป็นรูปร่างของก้อนหิน (Aggregate) กรวด (Gravel) ทราย (Sand) ที่ได้มาจากการสลายตัว ผุพังหรือสึกกร่อนจากการขัดสีตามขบวนการธรรมชาติและการพัดพา มักประกอบด้วยแร่ควอตซ์ (Quartz) และเฟลสปาร์ (Feldspar) ซึ่งเป็นแร่ประกอบที่สำคัญของหินแกรนิต (Granite) หินทราย (Sandstone) และหินปูน (Limestone) มีขนาดโตพอที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าซึ่งดินกลุ่มนี้มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้มากและมีการยุบตัวน้อยถ้ารูปร่างเป็นเหลี่ยมจะสามารถบดอัดได้ง่ายด้วยแรงสั่นสะเทือนและแรงกระทำดังรูปที่ 2.1



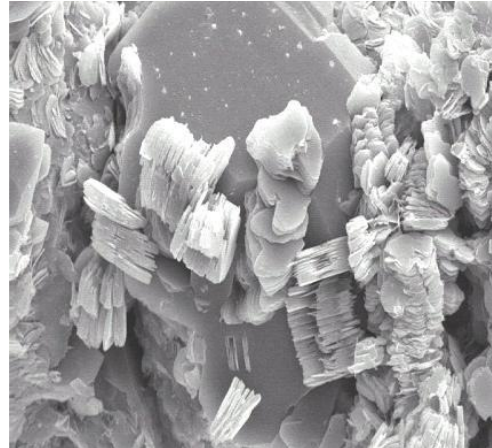


รูปที่ 2.1 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นก้อนหรือเป็นเม็ด (Bulky grains)

2.2.2 รูปร่างเป็นแผ่นแบนบาง (Flaky Grains) มีลักษณะเป็นแผ่นแบนและบางดังรูปที่ 2.2 (ก) และ (ข) ดินกลุ่มนี้ได้แก่ ดินเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทรายและดินเหนียวซึ่งประกอบด้วยแร่จำพวกไมก้า (Mica) และแร่ดินเหนียวบางชนิด เช่น Kaolinite คุณสมบัติที่สำคัญของดินกลุ่มนี้คือสามารถยุบตัวได้ง่าย ภายใต้น้ำหนักคงที่ การกดอัดด้วยแรงสั่นสะเทือนและแรงกระทำทำให้ดินอัดตัวกันแน่นได้ยาก



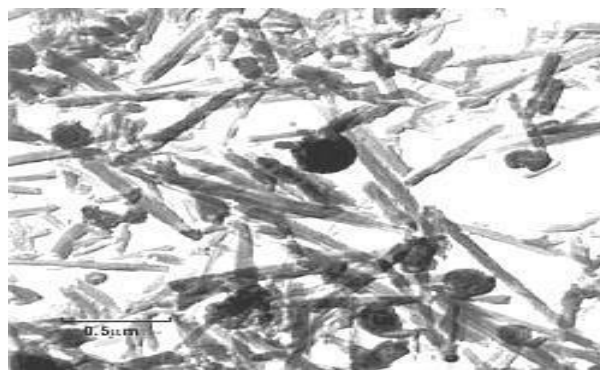
(ก) Mica



(ข) Kaolinite

รูปที่ 2.2 รูปร่างของเม็ดดินแบบเป็นแผ่นหรือเป็นเกล็ด (Flaky Grains)

**2.2.3 รูปร่างยาวคล้ายรูปเข็ม (Needle-Shaped Grains)** เป็นรูปร่างของดินที่มีเนื้อละเอียดมากที่ประกอบขึ้นจากแร่ดินเหนียว (clay minerals) ส่วนพวกดินอินทรีย์สารที่ได้มาจากซากพืชและซากสัตว์เรียกว่า พีต (peat) จะมีรูปร่างยาวคล้ายรูปเข็มเช่นกันแต่มีธาตุคาร์บอนอยู่มาก ฉะนั้นเมื่อหีบดินขึ้นมาก้อนหนึ่งจะสังเกตเห็นว่า เนื้อดินประกอบไปด้วยดินเม็ดหยาบซึ่งมองเห็นด้วยตาเปล่า และดินเม็ดละเอียดที่มองเห็นด้วยตาเปล่า ถ้ามองเห็นเม็ดดินด้วยตาเปล่าว่ามีมากกว่าร้อยละ 50 ให้จัดเป็นดินเม็ดหยาบ ส่วนมากเป็นรูปร่างของแร่ Hallo site พวกใยหินซีไถ้ภูเขาไฟบางชนิดและพวกอินทรีย์สาร เช่น Peat ดังรูปที่ 2.3



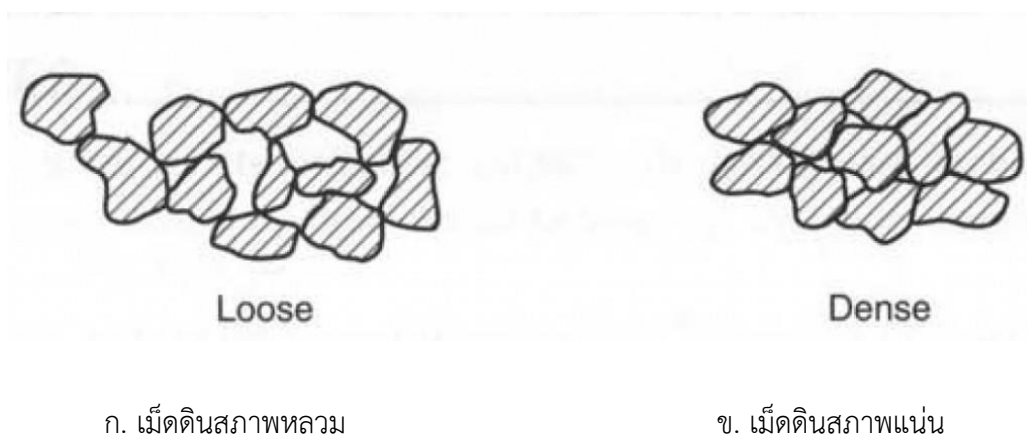
รูปที่ 2.3 รูปร่างยาวคล้ายรูปเข็ม (Needle-Shaped Grains)

## 2.3 โครงสร้างของดิน (Soil structure)

โครงสร้างของเม็ดดินคือการจัดเรียงตัวตามธรรมชาติ ตามขนาดและรูปร่างของเม็ดดิน รวมทั้งแร่ที่ประกอบกันเป็นเม็ดดินเนื่องมาจากแรงดึงดูดที่ผิวของเม็ดดินและแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นโครงสร้างของดินเหล่านี้จึงมีผลต่อคุณสมบัติของดินซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 4 กลุ่มดังนี้

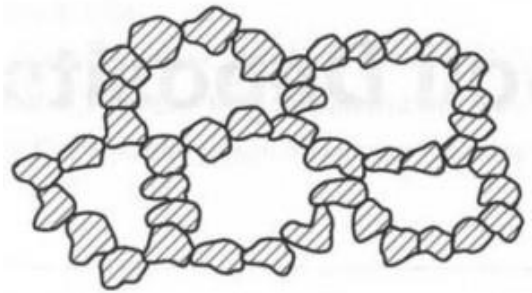
**2.3.1 โครงสร้างดินแบบเม็ดเดี่ยว (Single-Grained Structure)** ส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างของพวกทรายหรือตะกอนทรายที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.02 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเม็ดดินตกตะกอนทับถมกันจะเรียงตัวกันแบบเป็นเม็ดต่อเม็ดซ้อนกันอยู่ โดยธรรมชาติจะอยู่ในสภาพหลวม เมื่อดินได้รับน้ำหนักกดทับหรือแรงสั่นสะเทือนจะทำให้โครงสร้างของเม็ดดินขยับตัวเรียงชิดติดกันจนอยู่ในสภาพแน่น ดินประเภทนี้จึงมีการทรุดตัวสูงมากในทันทีทันใดและจะเริ่มทรุดตัวน้อยลงหรือไม่มีเลยหลังจากที่ได้รับน้ำหนักกดทับหรือแรงสั่นสะเทือนแล้ว

ลักษณะความแตกต่างของอัตราส่วนช่องว่างของโครงสร้างดินขึ้นอยู่กับรูปแบบการจัดเรียงตัวกันของเม็ดดิน เช่น การจัดเรียงตัวกันในสภาพหลวมซึ่งจะมีอัตราส่วนของช่องว่างมากดังรูปที่ 2.4 (ก) และการจัดเรียงตัวในสภาพแน่นจะมีอัตราส่วนช่องว่างน้อยดังรูปที่ 2.4 (ข)



รูปที่ 2.4 ลักษณะความแตกต่างของอัตราส่วนช่องว่างของเม็ดดิน

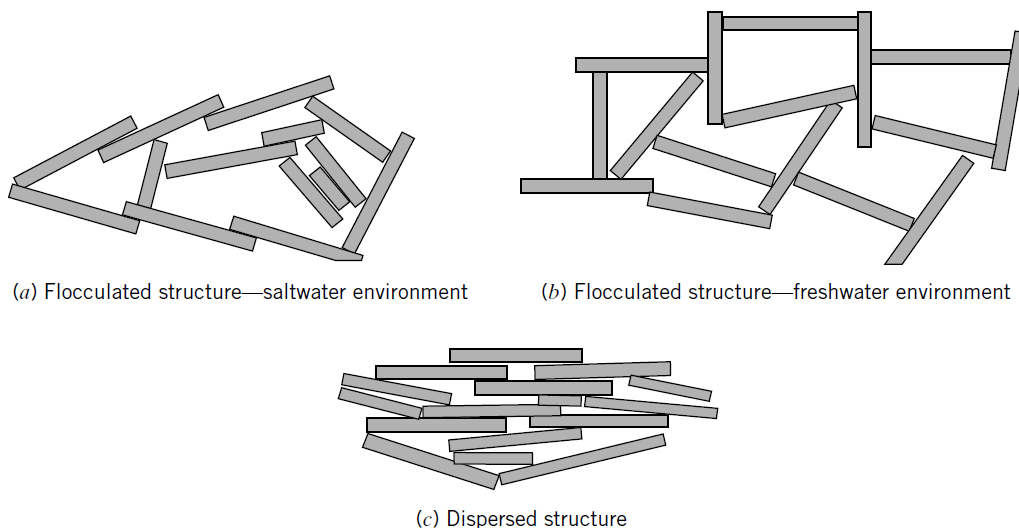
**2.3.2 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง (Honeycomb Structure)** เป็นโครงสร้างดินตะกอนทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 0.02 มิลลิเมตร เม็ดดินพวกนี้จะตกตะกอนและเกาะติดกันเป็นรูปร่างคล้ายรวงผึ้ง ดังรูปที่ 2.5 ลักษณะของโครงสร้างนี้จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินสูงมากและรับน้ำหนักได้จำกัด ถ้าน้ำหนักที่กระทำต่อมวลดินมีค่ามากพอที่จะทำให้ลายรูปร่างของโครงสร้างนี้ได้ก็จะทำให้โครงสร้างนี้เปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างแบบดินเม็ดเดี่ยวและอัตราส่วนช่องว่างก็จะลดลงไปด้วยทำให้เกิดการทรุดตัวมาก ถ้าก่อสร้างอาคารหรือมีน้ำหนักของโครงสร้างอยู่บนชั้นดินประเภทนี้ก็อาจเกิดการพิบัติได้เนื่องจากการลดลงของปริมาตรดินหรือจากการทรุดตัว



รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบรวงผึ้ง

**2.3.3 โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ (Dispersed Structure)** เป็นโครงสร้างของดินเหนียวมีลักษณะเป็นผลึกแผ่นบางมีคุณสมบัติที่สามารถดึงดูดน้ำได้ดีซึ่งเกิดจากการตกตะกอนในน้ำจืด มีคุณสมบัติการยึดเกาะกันด้วยแรงไฟฟ้าเคมี (Electro-Chemical Forces) แรงยึดเกาะนี้เรียกว่า แรงเชื่อมแน่น ผลลัพธ์จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินขณะตกตะกอนทับถมกันเกิดการจัดเรียงตัวแบบ Face to Face ได้เป็นโครงสร้างแบบเป็นระเบียบ

**2.3.4 โครงสร้างแบบระเกะระกะ (Flocculent Structure)** เป็นโครงสร้างของดินเหนียวที่เกิดจากการตกตะกอนในทะเลและผลลัพธ์จากประจุไฟฟ้าของเม็ดดินทำให้เมื่อเม็ดดินตกตะกอนและทับถมกันเรียงตัวแบบ Edge to face โดยเม็ดดินจะยึดติดกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างผิวที่จุดสัมผัสได้เป็นโครงสร้างแบบระเกะระกะ และโดยทั่วไปโครงสร้างแบบนี้จะไม่มั่นคงและมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินมาก ส่วนการตกตะกอนในน้ำสะอาดจะมีแนวโน้มเป็นทั้งสองแบบก้ำกึ่งกัน



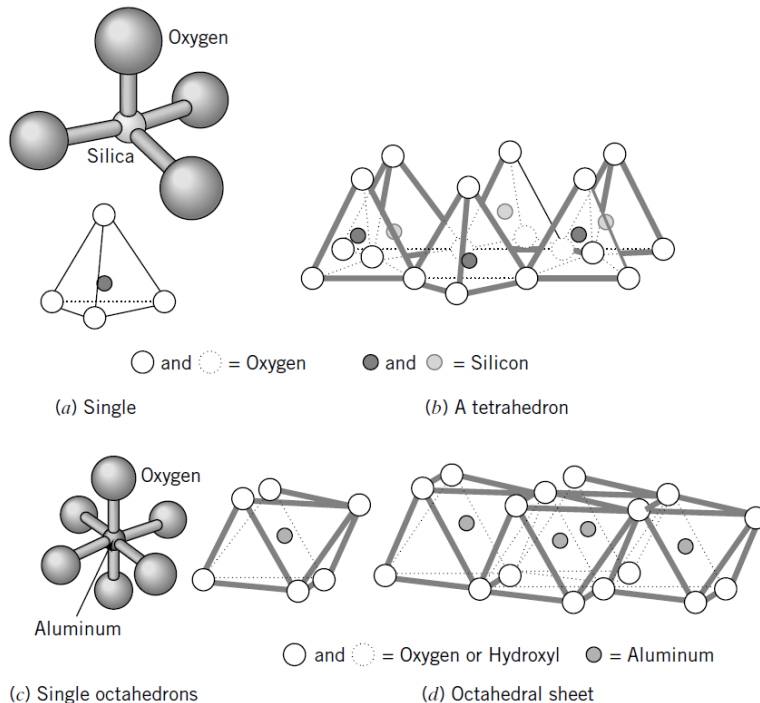
รูปที่ 2.6 (a) โครงสร้างแบบระเกะระกะในน้ำเกลือ (b) โครงสร้างแบบระเกะระกะโดยทั่วไป (c) โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ

## 2.4 แร่ดินเหนียว

แร่ดินเหนียวเป็นสารอนินทรีย์โพลีเมอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งโครงสร้างของผลึกประกอบขึ้นด้วยหน่วยพื้นฐาน (Unit Cell) 2 ชนิด คือ หน่วยรูปเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral Unit) และหน่วยรูปเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral Unit) มาเรียงต่อกันในลักษณะต่างๆ

**2.4.1 หน่วยรูปเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral Unit)** ประกอบด้วยธาตุซิลิกอน (Si) 1 อะตอม อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยออกซิเจน (O) 1 อะตอม เมื่อลากเส้นเชื่อมระหว่างอะตอมของออกซิเจนทั้งสี่จะปรากฏเป็นรูปปริมาตรฐานสามเหลี่ยม หน่วยรูปเหลี่ยมสี่หน้าเชื่อมต่อกันโดยออกซิเจนที่ตำแหน่งฐานของปริมาตรเกิดพันธะกับซิลิกอน 2 อะตอมในหน่วยที่อยู่ติดกันการเชื่อมต่อนี้สามารถขยายออกในแนวระนาบได้ทั้งแกน x และแกน y ทำให้เกิดเป็นแผ่นรูปเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedral Sheet) หรือแผ่นซิลิกา (Silica Sheet)

**2.4.2 หน่วยรูปเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral Unit)** ประกอบด้วยโลหะที่สามารถมีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 เช่น อะลูมิเนียม แมกนีเซียม และเหล็ก เป็นต้น อยู่ตรงกลางหน่วย โดยมีออกซิเจนล้อมรอบอยู่ 6 อะตอม เมื่อลากเส้นเชื่อมระหว่างอะตอมของออกซิเจนทั้งหมดจะปรากฏเป็นรูปปริมาตรฐานสี่เหลี่ยมประกบกัน หน่วยรูปเหลี่ยมแปดหน้าเรียงตัวต่อกันในแนวระนาบในลักษณะของปริมาตรเตี้ย โดยโลหะที่เป็นศูนย์กลางของหน่วยใช้ออกซิเจนร่วมกันเกิดเป็นแผ่นรูปเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral Sheet)



รูปที่ 2.7 (a) Silica tetrahedron (b) Silica sheet (c) alumina octahedron  
(d) Octahedron (gibbsite) sheet

แร่ดินเหนียวจะประกอบไปด้วยโครงสร้างพื้นฐาน (Basic Sheet Structure) ที่วางตัวเรียงซ้อนกัน โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างหน่วยย่อยเกิดจากไอออนบวกของธาตุโลหะ เช่น โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก การเรียงตัวของโครงสร้างพื้นฐานและองค์ประกอบที่แตกต่างกันภายในทำให้เกิดเป็นแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ มากมาย ซึ่งสามารถจำแนกชนิดของกลุ่มดินเหนียวได้ 4 กลุ่มหลักๆ คือ กลุ่มแร่ดินเหนียวแคโอลิไนท์ (Kaolinite) อีไลต์ (Illite) มอนต์มอริโอไนท์ (Montmorillonite) และปาลิโกไฟต์ (Palygorfite) โดยดินเหนียว 3 กลุ่มแรกที่พบมากที่สุดได้แก่

### 1. กลุ่มแร่ดินเหนียวแคโอลิไนท์ (Kaolinite)

โครงสร้างเป็นแบบ 1:1 ประกอบด้วยกิบไซต์ (Gibbsite Sheet) 1 หน่วย ซ้อนด้วยซิลิกาชีท (Silica Sheet) 1 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.9 มีความหนาประมาณ 7 แองสตรอม (Angstrom,  $A^\circ = 10^{-7} \text{mm}$  หรือ  $10^{-10} \text{m}$ ) การเรียงตัวอาจซ้อนทับกันได้มากตั้งแต่ 100  $A^\circ$  ถึง 1000  $A^\circ$  แรงยึดเหนี่ยวเกิดจากพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) มีความแข็งแรงเป็นอย่างมาก ยากต่อการหลุดแยกระหว่างชั้น น้ำไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้จึงทำให้แร่ดินเหนียวกลุ่มนี้มีความเสถียรค่อนข้างสูงและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของดินที่กำเนิดอยู่กับที่

### 2. กลุ่มแร่ดินเหนียวอีไลต์ (Illite)

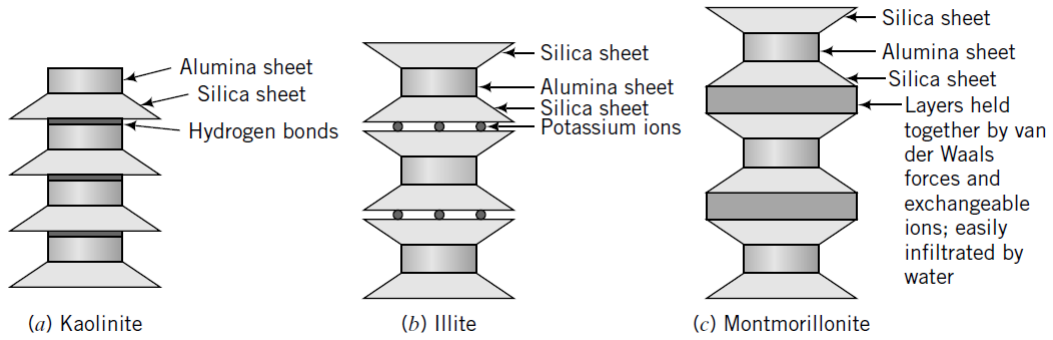
โครงสร้างเป็นแบบ 2:1 ประกอบไปด้วยซิลิกาชีท (Silica Sheet) 2 หน่วย ปิดทับด้านบนและด้านล่างของกิบไซต์ (Gibbsite Sheet) 1 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.10 มีความหนาประมาณ 50  $A^\circ$  ถึง 500  $A^\circ$  โดยจะมีการแทนที่อะตอมของซิลิกาโดยอะตอมของอะลูมินาในชั้นเตตระฮีดรอลบางส่วนและมีอะตอมของโพแทสเซียมแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นเพื่อปรับสภาพสมดุลและเกิดแรงยึดเหนี่ยวจากไอออน (Cation Bond) ที่ไม่แข็งแรงมาก ซึ่งจะแข็งแรงน้อยกว่าพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen Bond) ในดินเหนียวแคโอลิไนท์ (Kaolinite) แต่มากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของน้ำ (Water Bond) ในดินเหนียวมอนต์มอริโอไนท์ (Montmorillonite)

### 3. กลุ่มแร่ดินเหนียวมอนต์มอริโอไนท์ (Montmorillonite)

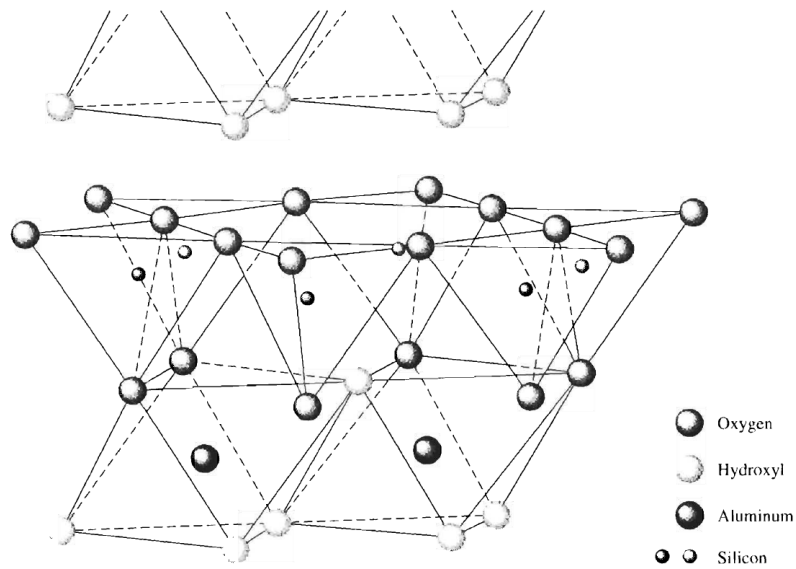
โครงสร้างเป็นแบบ 2:1 ประกอบไปด้วยซิลิกาชีท (Silica Sheet) 2 หน่วย ปิดทับด้านบนและด้านล่างของกิบไซต์ (Gibbsite Sheet) 1 เช่นเดียวกับอีไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ 2.11 มีความหนาประมาณ 10  $A^\circ$  ถึง 50  $A^\circ$  ชั้นของกิบไซต์ อาจประกอบด้วยอะตอมของอะลูมินา เหล็ก แมกนีเซียม หรือหลากหลายชนิดรวมกัน และอะตอมของซิลิกาในเตตระฮีดรอนอาจเกิดการแลกเปลี่ยนภายในกับอะตอมของอะลูมินาทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่ไม่มีรูปทรงแน่นอนซึ่งเรียกว่า อะมอร์ฟิว เชนจ์ (Amorphous Change) ส่งผลต่อประจุลบที่ผิวของแร่ดินเหนียวโดยประจุบวกในน้ำ ( $\text{Ca}^{++}$  และ  $\text{K}^{++}$ ) จะดึงดูดประจุลบที่ผิวของแร่ดินเหนียวแต่จะมีกำลังอ่อนเรียกว่า วอเตอร์บอนด์ (Water Bond) มอนต์มอริโอไนท์สามารถดูดน้ำได้มากและทำให้เกิดการบวมตัวสูง แต่ก็มีเมื่อนำแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้ไปใช้ประโยชน์



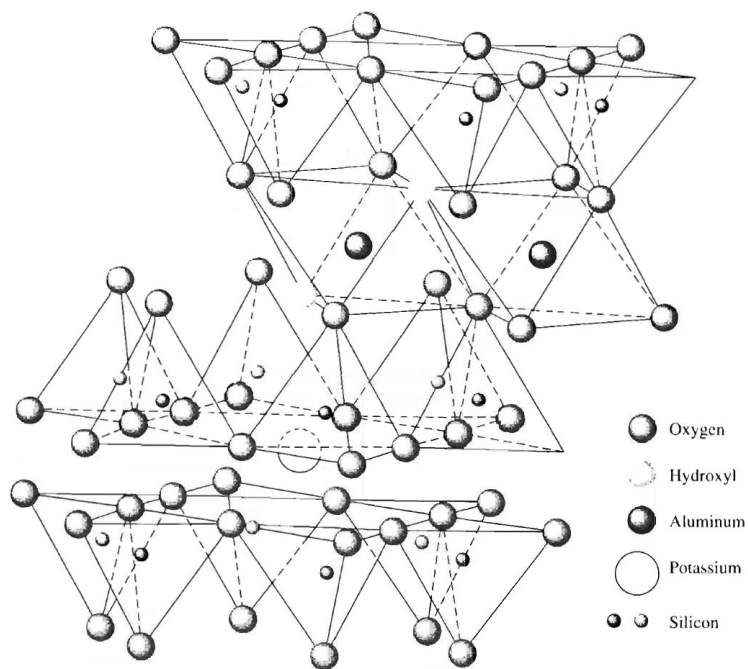
เช่นกันโดยนำ Bentonite ไปใช้เพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะในการก่อสร้าง เสาเข็มเจาะ หลุมเจาะสำรวจดินไดอะแฟรมวอร์ เป็นต้น



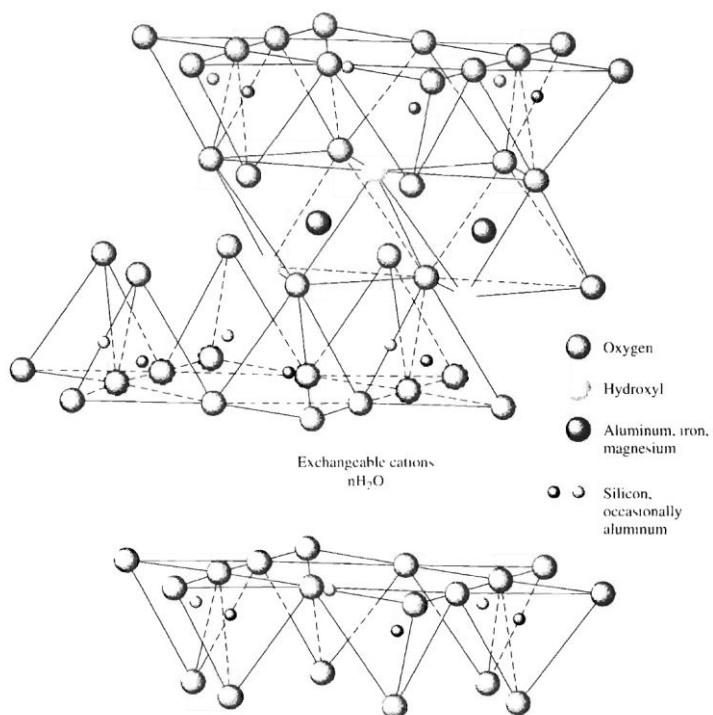
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ (a) Kaolinite (b) Illite (c) Montmorillonite



รูปที่ 2.9 โครงสร้างอะตอมของแคโอไลไนท์ (Kaolinite)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างอะตอมของอีไลต์ (Illite)

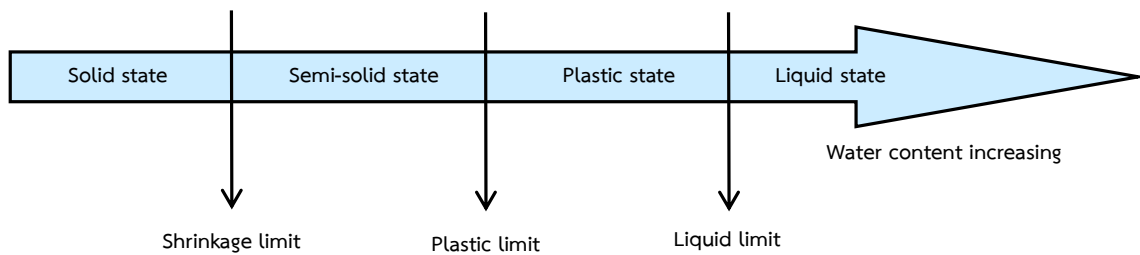


รูปที่ 2.11 โครงสร้างอะตอมของมอนต์มอริโอไนท์ (Montmorillonite)

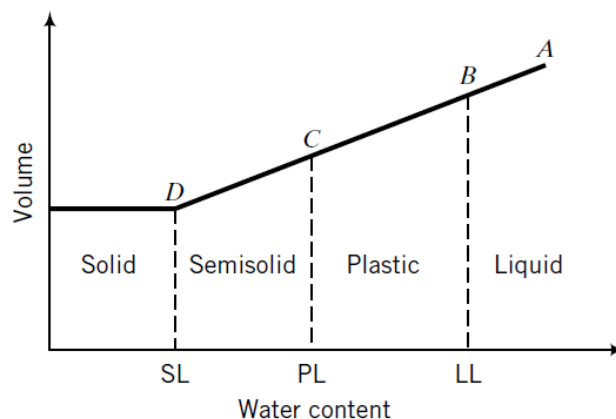


## 2.5 นิยามค่าพิกัดชั้นเหลว (Consistency limit)

ค่าพิกัดชั้นเหลว (Consistency limit) เป็นคุณสมบัติของดินมวลละเอียด (Fine-grain soils) ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาดเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร หรือร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกันขนาด หมายเลข 40 ในปี ค.ศ.1911 นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดน ชื่อ Atterberg ได้พัฒนาวิธีการเพื่อใช้อธิบายค่าพิกัดชั้นเหลวของดินเม็ดละเอียดเมื่อมีปริมาณความชื้น (Water content) ในมวลดินแตกต่างกัน กล่าวคือ เมื่อปริมาณความชื้นในมวลดินต่ำ มวลดินนั้นจะแสดงลักษณะคล้ายของแข็ง (Solid) และเมื่อปริมาณความชื้นในมวลดินเพิ่มสูงขึ้นมากๆ มวลดินนั้นจะแสดงลักษณะคล้ายของเหลว (Liquid) โดยทั่วไปสามารถแบ่งสภาพของมวลดินที่มีปริมาณความชื้นในมวลดินมากน้อยแตกต่างกันได้ 4 สถานะคือ สถานะของเหลว (Liquid state) สถานะพลาสติก (Plastic state) สถานะกึ่งของแข็ง (Semi-solid state) และสถานะของแข็ง (Solid state) โดยช่วงแบ่งสภาพของมวลดินแต่ละช่วงตามปริมาณความชื้นในมวลดินที่เปลี่ยนแปลงไป เรียกว่า ค่าพิกัดชั้นเหลว ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าพิกัดหดตัว ตามลำดับ



รูปที่ 2.12 สถานะของดินมวลละเอียดเมื่อปริมาณความชื้นในมวลดินแตกต่างกัน



รูปที่ 2.13 การเปลี่ยนแปลงสภาพของมวลดินในรูปความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นและการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

**2.5.1 ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit, LL)** คือปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปเป็นสารหนืดตัวในสถานะพลาสติก

**2.5.2 พิกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL)** คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง

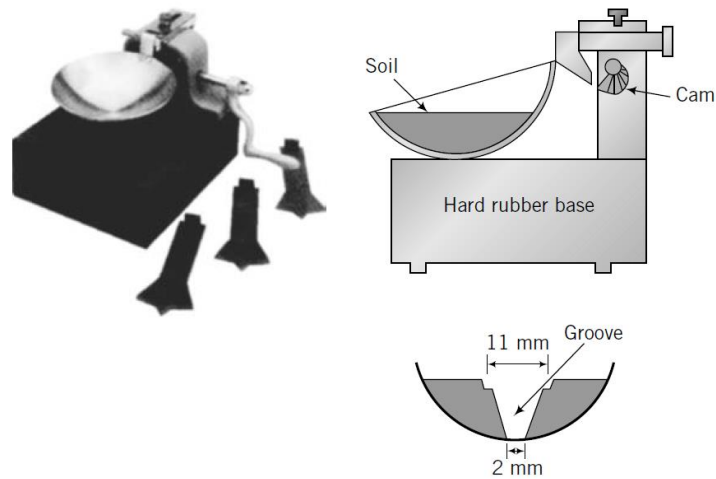
**2.5.3 พิกัดหดตัว (Shrinkage Limit, SL)** คือ ความชื้นซึ่งมวลดินเริ่มเปลี่ยนจากสภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง หรือเป็นค่าปริมาณความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินมีปริมาตรน้อยที่สุด แม้ว่าความชื้นในมวลดินจะลดลงไปต่ำกว่านี้ปริมาตรของมวลดินรวมจะไม่เปลี่ยนแปลง

ค่าพิกัดต่างๆ เหล่านี้ถือเป็นค่าดัชนีที่สำคัญที่สามารถบ่งชี้คุณสมบัติพื้นฐานของดิน ใช้ในการจัดจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และใช้เป็นข้อมูลในการคาดคะเนคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางอย่างของมวลดินได้ เช่น กำลังรับแรงเฉือน (Shear strength) การทรุดตัวของดิน (Compressibility) เป็นต้น ดังนั้นการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวที่ถูกต้องและแม่นยำจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรให้ความสำคัญในงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี

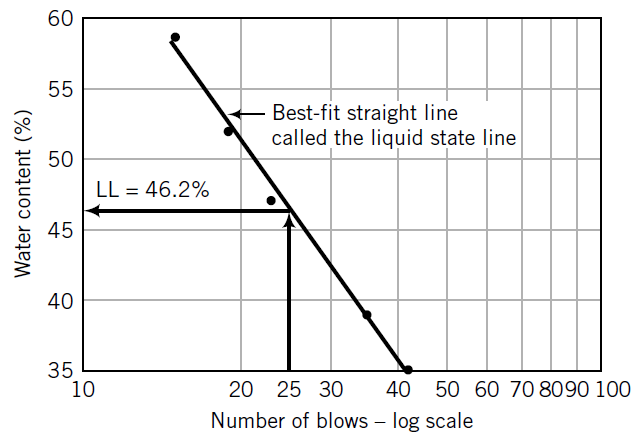
## 2.6 วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดชั้นเหลวต่างๆ

### 2.6.1 วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว

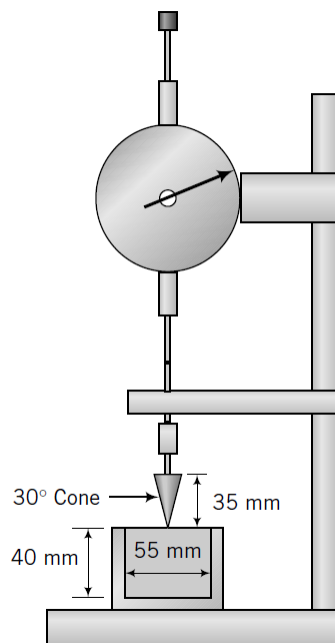
วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยทั่วไปมีสองวิธี คือ วิธีถ้วยคาซาเกรดตี (Casagrande's cup) ตามมาตรฐาน ASTM D4318 และเครื่องมือกรวยตก (Fall cone method) ตามมาตรฐาน BSI 1377 Part 2 ทั้งสองวิธีนี้ใช้หลักการและวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน คือค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีถ้วยคาซาเกรดตีมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องมาจากแรงต้านทานความหนืดของมวลดินที่เคลื่อนที่เข้าหากันเป็นระยะทาง 12.7 มิลลิเมตร ภายหลังจากการตกกระทบอย่างอิสระของถ้วยคาซาเกรดตีที่ระดับความสูง 10 มิลลิเมตร ด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที เครื่องมือถ้วยคาซาเกรดตีที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.14 การทดสอบใช้การเคาะตัวอย่างดินแล้วดินเลื่อนมาชนกันในช่วงการเคาะระหว่าง 10-50 ครั้ง จากนั้นนำค่าความชื้นของมวลดินและจำนวนครั้งในการเคาะมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในมวลดินอยู่ในแกนธรรมดา (แกนตั้ง) และจำนวนครั้งในการเคาะอยู่ในแกนมาตราส่วน log (แกนนอน) ลากกราฟเส้นตรงเฉลี่ยค่าระหว่างจุดที่กำหนด แล้วจึงลากตัดเส้นกราฟที่จำนวนเคาะ 25 ครั้งลากขึ้นไปตัดเส้นกราฟ และลากตามแนวนอนไปตัดเพื่ออ่านค่าความชื้นในมวลดินซึ่งจะเป็นค่าพิกัดเหลวนั่นเอง (รูปที่ 2.15)



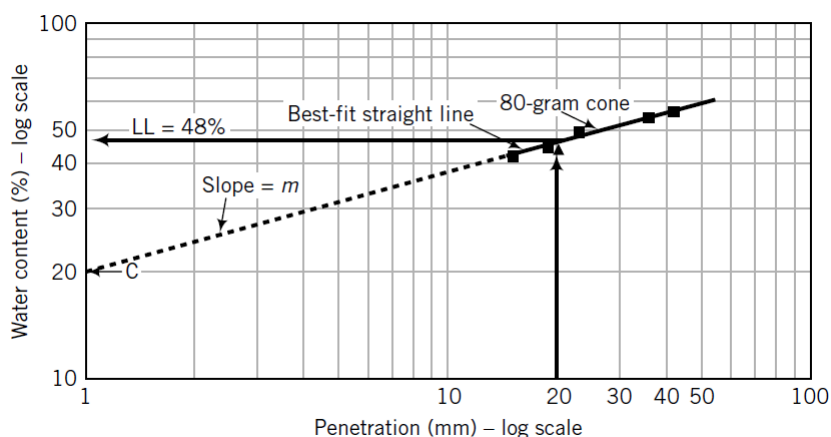
รูปที่ 2.14 การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาแกนดี (Casagrande's cup: ASTM D4318)



รูปที่ 2.15 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาแกนดี



รูปที่ 2.16 การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยกรวยตก (Fall cone method: BSI 1377 Part 2)

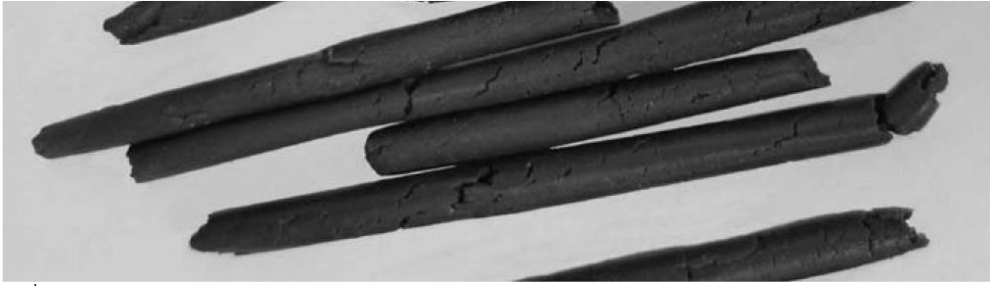


รูปที่ 2.17 การวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยกรวยตก

ส่วนค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องมือกรวยตกมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของกรวยที่จมลงไปในมวลดินอย่างอิสระเป็นระยะทาง 20 มิลลิเมตรในเวลา 5 วินาที โดยน้ำหนักกรวย 80 กรัม และปลายกรวยทำมุม  $30^\circ$  ดังรูปที่ 2.16 การทดสอบสามารถทำได้โดยการปล่อยให้กรวยตกอย่างอิสระภายในเวลา 5 วินาที ระยะจมของกรวยอยู่ระหว่าง 10-50 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าความชื้นของมวลดินและระยะจมของกรวยมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในมวลดินอยู่ในแกนมาตราส่วน log (แกนตั้ง) และระยะจมของกรวยอยู่ในแกนมาตราส่วน log (แกนนอน) ลากกราฟเส้นตรงเฉลี่ยค่าระหว่างจุดที่กำหนด แล้วจึงลากตัดเส้นกราฟที่ระยะจมของกรวย 20 มิลลิเมตร ลากขึ้นไปตัดเส้นกราฟ และลากตามแนวนอนไปตัดเพื่ออ่านค่าความชื้นในมวลดินซึ่งจะเป็นค่าพิกัดเหลวนั่นเอง (รูปที่ 2.17)

## 2.6.2 วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติก

วิธีการทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติกที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกันสองวิธี คือ วิธีการคลึง (Rolling method: ASTM D4318) และการทดสอบโดยเครื่องมือกรวยตก (Fall cone method: BSI 1377 Part 2) ซึ่งความแตกต่างของหลักการและวิธีทดสอบของทั้ง 2 วิธีนี้คือ ค่าพิกัดพลาสติกที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีการคลึง หมายถึงค่าปริมาณความชื้นในมวลดินที่น้อยที่สุดที่สามารถคลึงดินให้เป็นเส้นและแตกตัวเป็นเส้นร้าวที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 mm (1/8 นิ้ว) ส่วนการทดสอบโดยเครื่องมือกรวยตกนั้น ค่าพิกัดพลาสติกมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของกรวยที่จมลงไปมวลดินอย่างอิสระเป็นระยะทาง 2 มิลลิเมตรในเวลา 5 วินาที



รูปที่ 2.18 การทดสอบหาค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลึง (Rolling method: ASTM D4318)

จากหลักการและวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันนี้เอง ถือเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดข้อสงสัยเกี่ยวกับความแตกต่างของผลการทดสอบที่ได้ในแต่ละวิธี ปัจจุบันมีนักวิจัยจำนวนมากทำการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าพิกัดเหลวและค่าพิกัดพลาสติกของดินชนิดต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบหลายวิธีดังที่ได้กล่าวมา เช่น Cambell (1975) Wasti and Bezirei (1986) Christaras (1991) Sridharan and Prakash (2000) Dragoni et al. (2008) Ozer (2009) Matteo (2012) และ Mishra et al. (2012) เป็นต้น

โดยทั่วไปค่าพิกัดชั้นเหลวและดัชนีพลาสติกจะมีค่าแตกต่างกันในดินมวลละเอียดแต่ละชนิด ทั้งนี้ อาจเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการ เช่น การกำเนิดดิน ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะภูมิอากาศ องค์ประกอบของแร่ในมวลดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมในมวลดิน เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า อินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในมวลดินถือเป็นสิ่งที่ไม่พึงประสงค์และส่งผลเสียบางประการต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน กล่าวคือ ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) ของดินจะมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum water content) ในกระบวนการบดอัดดินมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในมวลดินเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มสูงขึ้นในมวลดินมีแนวโน้มทำให้คุณสมบัติการรับแรงเฉือนของดินลดลง อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยที่ผ่านมาในอดีตกลับยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนมากนักเกี่ยวกับการศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุต่อดัชนีพื้นฐานต่างๆ ของดิน เช่น ค่าพิกัดชั้นเหลว ค่าดัชนีพลาสติก คุณสมบัติการยุบอัดตัว และบวมตัวของดิน เป็นต้น จากข้อจำกัดของข้อมูลวิจัยนี้เอง เป็นเหตุผลที่ทำให้ปัจจุบันมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาและหาคำตอบในปัญหาเหล่านี้อยู่ ดังนั้นเพื่อเติมเต็มข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกบริเวณท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดชั้นเหลว (Consistency limits) ได้แก่ ค่าพิกัดเหลว (Liquid limit) ค่าพิกัดพลาสติก (Plastic limit) และคุณสมบัติพลาสติก (Plasticity behavior) โดยวิธีต่างๆ

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 อิทธิพลของเกลือและอินทรีย์วัตถุที่ส่งผลต่อค่า Atterberg's limit ของดินตะกอนทะเล (Zentar, Abriak and Dubois, 2009)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหาค่าพิกัดเหลวของตัวอย่างดินตะกอนทะเลโดยใช้วิธีการทดสอบสองวิธีคือวิธีถ้วยคาซาเกรดดีและวิธีกรวยตก แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน และได้ทำการศึกษาและทดลองเพื่อหาค่าพิกัดพลาสติก โดยใช้วิธีการทดสอบสองวิธีคือวิธีปั้นคลึงและวิธีกรวยตก แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 วิธีมาเปรียบเทียบกัน โดยใช้ดินตะกอนทะเลที่ใช้ในการศึกษานี้ได้จาก 4 สถานที่ในเขตเมือง Dunkirk Harbor (ทางตอนเหนือของฝรั่งเศส) ขั้นตอนการปฏิบัติงานคือ การล้างดินตะกอนตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ก่อนที่จะนำไปทดสอบตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

จากการศึกษาเปรียบเทียบพบว่าผลกระทบจากสารอินทรีย์วัตถุในดินสามารถส่งผลต่อค่าพิกัดเหลวอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบผลการทดลอง และค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีกรวยตกให้ค่าต่ำกว่าวิธีถ้วยคาซาเกรดดี นอกจากนี้ยังพบว่าผลกระทบจากสารอินทรีย์สามารถส่งผลต่อค่าพิกัดพลาสติกอย่างเห็นได้ชัดเช่นกัน โดยวิธีกรวยตกให้ค่าพิกัดพลาสติกต่ำกว่าวิธีปั้นคลึง

### 2.7.2 ค่าพิกัดเหลวของดินที่มีค่าความเป็นพลาสติกต่ำถึงปานกลาง โดยเปรียบเทียบการทดสอบจากวิธี Casagrande's cup และ cone penetrometer (Lucio, 2012)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีต่างกัน ได้แก่ Casagrande's cup และ cone penetrometer โดยทดสอบผ่านกลุ่มตัวอย่างดินชนิด 2 ชนิด จากเหมืองในฝั่งลุ่มน้ำ Holocene ของแม่น้ำ Paglia ในประเทศอิตาลี

ในวิจัยนี้ได้ทำการทดลองตามมาตรฐาน เช่น การกระจายขนาดอนุภาค (ASTM D421-85 1998; ASTM D422-63 1998), ความถ่วงจำเพาะ (CEN ISO/TS 17892-3 2004), Plastic limit (ASTM D 4318 2000) และ Liquid limit ที่ถูกทดสอบโดยวิธีถ้วยคาซาเกรดดี (cup with hard base) และ dry preparation (ASTM D 4318 2000) ซึ่งค่า Liquid limit อาจหาได้จากวิธี cone penetrometer ก็ได้ CEN ISO/TS 17892-12 (2004)

จากการเปรียบเทียบพบว่าค่าพิกัดเหลวช่วงต่ำตั้งแต่ 20% - 50% แสดงให้เห็นว่าค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธี fall cone จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบโดยใช้ hard base Casagrande's apparatus 2.2% โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการคือ  $LL_{\text{cone}} = 1.00LL_{\text{cup}} + 2.20$

### 2.7.3 การเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวโดยการทดสอบ ASTM (hard base) และ BS (soft base) Casagrande apparatus และ the cone penetrometer (Mustafa, 2009)

เนื่องจากค่าพิกัดเหลวเป็นดัชนีชี้วัดคุณสมบัติของดินที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวของตัวอย่างดินธรรมชาติทั้งหมด 42 กลุ่ม โดยใช้ hard base และ soft base Casagrande apparatus และ the cone penetrometer ซึ่งมีค่าขีดจำกัดของเหลวอยู่ระหว่าง 30 ถึง 105 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างที่ถูกนำมาใช้ในการทดสอบนำมาจากสถานที่ต่างๆ ในประเทศตุรกี โดยปกติตัวอย่างดินเบนโทไนท์ที่นำมาทดสอบจะถูกเจาะที่ความลึกแตกต่างกันตั้งแต่ 2.5 – 10 เมตร แต่บางการทดสอบอาจเจาะที่ความลึก 1 เมตร ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วิธีคาซาแกนดีแบบ soft base ให้ค่าพิกัดเหลวที่สูงกว่าวิธีแบบ hard base ประมาณ 5% โดยกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์  $r = 0.998$
2. วิธีคาซาแกนดีแบบ hard base จะให้ค่าพิกัดเหลวที่ต่ำกว่า สำหรับดินที่มีค่าพิกัดเหลวน้อยกว่า 70% และให้ค่าที่สูงกว่าเมื่อดินมีความเหลวมากกว่า 70% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีกรวยตก โดยกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์  $r = 0.996$
3. สำหรับดินที่มีค่าพิกัดเหลวมากกว่า 40% จากวิธีคาซาแกนดี แบบ soft base จะให้ค่าพิกัดเหลวที่สูงกว่าวิธีแบบกรวยตก โดยกำหนดให้มีค่าสัมประสิทธิ์  $r = 0.997$

### 2.7.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแตกต่างของค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาแกนดี (Casagrande's cup) และวิธีกรวยตก (Fall cone) (Mishra et. al., 2012)

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของเบนโทไนท์และความเข้มข้นของน้ำเกลือต่อค่าพิกัดเหลวของดินเหนียวโดยวิธีถ้วยคาซาแกนดีและเครื่องมือกรวยตก โดยแปรผันอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักแห้งของดินเหนียวและเบนโทไนท์ที่ได้จาก 12 แหล่งจากประเทศญี่ปุ่นและประเทศสหรัฐอเมริกา คือ 100:20 และแปรผันอัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลาย NaCl และ  $\text{CaCl}_2$  0.5 และ 1 Molar ผลที่ได้จากการทดสอบคือค่าพิกัดเหลวของวิธีคาซาแกนดีจะมีค่าสูงกว่าวิธีกรวยตก แต่ค่าพิกัดเหลวจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของสารละลายเกลือเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้นักวิจัยหลายท่าน (เช่น Skopek and Ter-Stepanian, 1975; Budhu, 1985; Belvso et al., 1985; Sivapullaiah and Sridharan, 1985; Wasti and Bezirci, 1986) ได้สังเกตค่าพิกัดเหลวจากวิธีคาซาแกนดีและวิธีกรวยตก พบว่าค่าที่ได้นั้นไม่ตรงกัน คือสำหรับดินที่มีค่าพลาสติกต่ำ ผลการทดสอบโดยวิธีกรวยตกจะให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีคาซาแกนดี ซึ่งตรงกันข้ามกับดินที่มีค่าพลาสติกสูง วิธีคาซาแกนดีจะให้ค่าที่สูงกว่าวิธีกรวยตก Budhu (1985) ได้อธิบายว่าค่าพิกัดเหลวที่แตกต่างกันนั้น สาเหตุเกิดจากดินที่นำมาทดลองนั้นต่างชนิดกันและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบก็แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่ดินจะให้ค่าทดสอบที่เท่ากัน

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลต่อค่าพิกัดชั้นเหลวและคุณสมบัติพลาสติกของดิน และค่าความถูกต้องและแม่นยำของดัชนีต่างๆ ดังกล่าวของดินตะกอนทะเลเมื่อใช้เครื่องมือทดสอบต่างชนิดกัน วิธีการดำเนินการวิจัยของโครงการวิจัยนี้จึงถูกออกแบบดังนี้ รูปที่)3.1(

##### 3.1.1 การเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อแปรผันปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเล ดินตะกอนที่ใช้ในการทดสอบจะถูกเตรียมเป็น 3 ชนิดคือ

1) ตัวอย่างดินตะกอนทะเลธรรมชาติ คือ ตัวอย่างดินที่เก็บได้จากสถานที่วิจัย )ทำเทียบเรือแหลมฉะเชิงเทรา อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี (โดยตรง ที่คงคุณสมบัติพื้นฐานดั้งเดิมของดินไว้ทุกประการ

2) ตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำ

การเตรียมตัวอย่างดินชนิดนี้ทำเพื่อลดปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างดินโดยการใช้น้ำกลั่น วิธีการเตรียมตัวอย่างคือ แช่ดินตะกอนทะเลธรรมชาติในน้ำกลั่นและทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 7 วัน จำนวน 3 ครั้งโดยเปลี่ยนน้ำกลั่นที่ใช้แช่ทุกครั้ง

3) ตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

การเตรียมตัวอย่างดินชนิดนี้ทำเพื่อลดปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างดินโดยการใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ วิธีการเตรียมตัวอย่างคือ แช่ดินตะกอนทะเลธรรมชาติในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 7 วัน จำนวน 3 ครั้งโดยเปลี่ยนสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้แช่ทุกครั้ง

##### 3.1.2 แผนการทดสอบ

ดินตัวอย่างที่ถูกเตรียมขึ้นทั้ง 3 ชนิดจะถูกนำมาทำการทดสอบ 5 ส่วน โดยทุกการทดสอบทำอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ยที่สะท้อนผลการทดสอบที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ดังนี้

**ส่วนที่ 1** ทดสอบหาค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลทั้งสามชนิดโดยวิธี Loss of Ignition



ส่วนที่ 2 ทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาแกนดี (Casagrande's cup: ASTM D4318) และเครื่องมือกรวยตก (Fall cone penetration method: BSI 1377 Part 2)

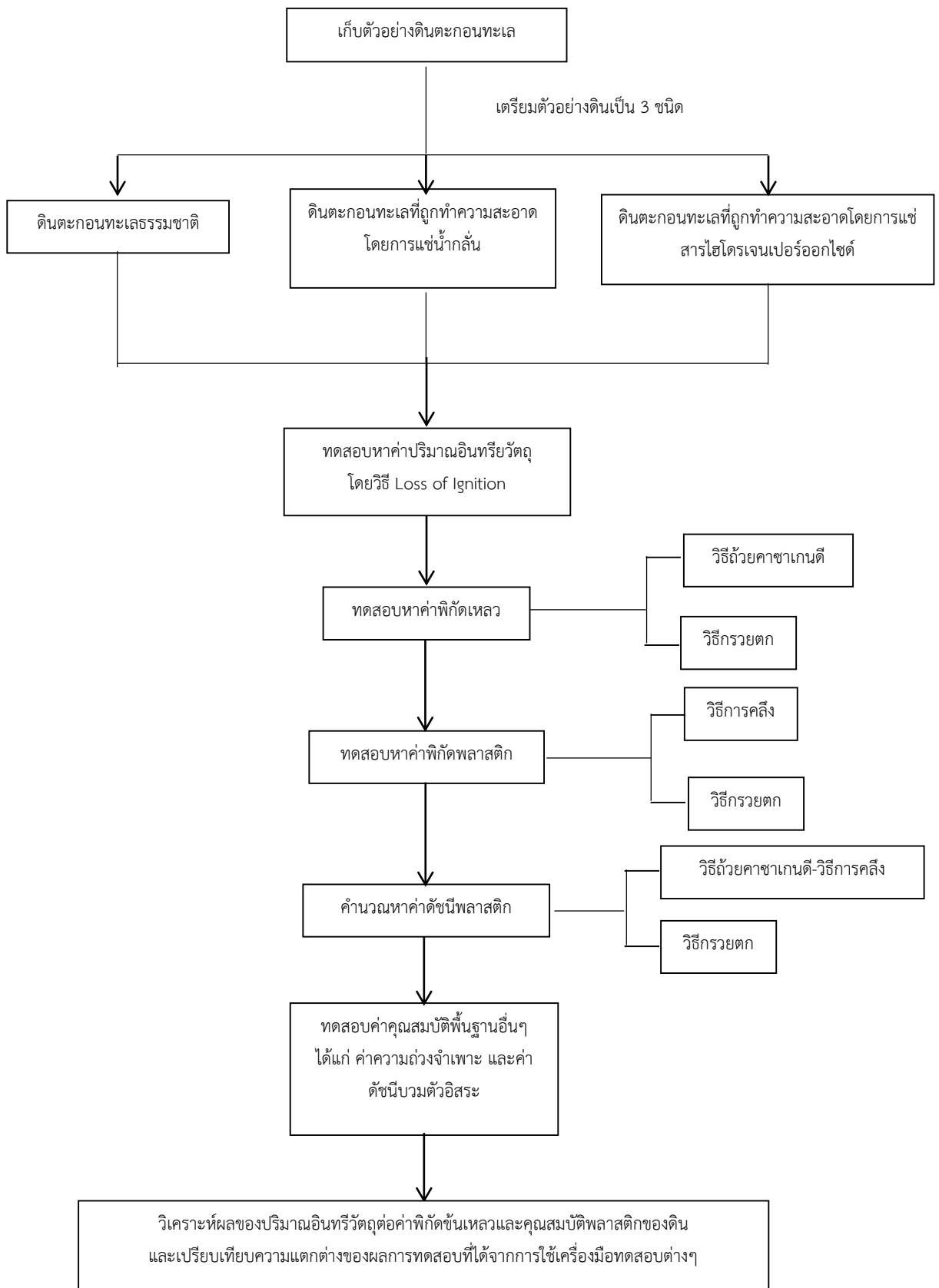
ส่วนที่ 3 ทดสอบค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลิ้ง (Rolling method: ASTM D4318) และเครื่องมือกรวยตก (Fall cone penetration method: BSI 1377 Part 2)

ส่วนที่ 4 วิเคราะห์หาค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity index) โดยใช้ผลการทดสอบในส่วนที่ 2 และ 3

ส่วนที่ 5 ทดสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานอื่นๆ ดังนี้

- ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test: ASTM D854)

ค่าดัชนีต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบทั้ง 5 ส่วน จะถูกนำมาวิเคราะห์และอธิบายถึงผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลต่อค่าพิกัดชั้นเหลวและคุณสมบัติพลาสติกของดินและเปรียบเทียบความแตกต่างของผลการทดสอบที่ได้จากการใช้เครื่องมือทดสอบต่างๆ



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ดินตะกอนจากชายฝั่งท่าเทียบเรือแหลมฉบัง อำเภอกีราชา จังหวัดชลบุรี
2. น้ำกลั่น
3. สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide)

### 3.3 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

#### 3.3.1 การทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาเจนตี (Casagrande's cup: ASTM D4318)

##### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องเคาะดิน (Casagrande's cup)
2. มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool)
3. ถ้วยผสมดิน
4. มีดปาดร่อง (Spatula ขนาด 10 ซม.)
5. ขวดบีบน้ำ (Wash Bottle) ขนาด 500 ซม3
6. กระบอกลงขนาด 100 ซม3
7. ตะแกรงร่อนเบอร์ 40
8. น้ำกลั่น

##### วิธีการทดสอบ

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม (ถ้าเป็นดินเหนียวเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯสามารถใช้ดินในสภาพธรรมชาติได้ อาจใช้ตัวอย่างดินแบ่งดินดังกล่าว ประมาณ 50 กรัม ไว้ทำ Shrinkage limit ส่วนที่เหลือใช้ทดสอบ Liquid Limit และ Plastic Limit)

2. นำตัวอย่างดินมาผสมน้ำโดยให้น้ำเข้าไปในเนื้อดินอย่างทั่วถึงในบางกรณีอาจจะต้องแช่ดินที่ผสมดังกล่าวทิ้งไว้ 1 คืน ใช้มีดปาด (Spatula) ตักดินปาดลงบนถ้วยทองเหลือง (Casagrande Cup) โดยความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ซม. แล้วบากโดยเครื่องมือบาก (Grooving Tool) ให้เป็นร่องตรงกลาง

3. เคาะถ้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินตอนล่างของรอยบาก เคลื่อนเข้าบรรจบกัน 1 ซม. ดังรูป แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งของการเคาะไว้

4. ปาดแต่งดินอีกครั้ง ทำรอยบากแล้วเคาะซ้ำ ถ้าจำนวนการเคาะเท่ากันหรือห่างกันไม่เกิน 2 ครั้ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนการเคาะ (N) ที่ถูกต้อง นำดินบริเวณรอยบากไปหาปริมาณความชื้น (การเคาะครั้งแรก จำนวนครั้งควรประมาณ 40 - 50 ครั้ง ถ้ามากกว่าให้เพิ่มน้ำอีก แต่ถ้าน้อยกว่ามากให้ทำให้แห้งลง)

5. ผสมน้ำในดินแล้วทำตามข้อ 3 และ 4 โดยให้มีจำนวนครั้งของการเคาะน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง แล้วนำดินไปหาความชื้น ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 4 ค่า (จำนวนการเคาะครั้งสุดท้ายควรอยู่ราว 5 ถึง 10 ครั้ง)

6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเคาะ (N) และความชื้นโดยให้จำนวนการเคาะอยู่ในรูปของ log scale

7. ความสัมพันธ์ดังกล่าวควรจะเป็นเส้นตรง ค่าความชื้นที่จำนวนการเคาะ 25 ครั้ง เรียกว่า "Liquid Limit" (WL หรือ LL)

### 3.3.2 การทดสอบหาค่าพิกต์เหลวโดยวิธีกรวยตก (Fall cone penetration method: BSI 1377 Part 2)

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องมือทดสอบกรวยตก
2. ถ้วยผสมดิน
3. น้ำกลั่น
4. ถ้วยทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ลึก 40 มิลลิเมตร

#### วิธีการทดสอบ

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัมแล้วนำตัวอย่างดินมาผสมน้ำให้เข้ากัน
2. ตักดินใส่ถ้วยทองเหลืองให้เต็ม ปาดดินให้เรียบแล้วติดตั้งเข้ากับเครื่องมือทดสอบกรวยตก
3. ปลดอยกรวยให้ตกลงมาอย่างอิสระในถ้วยตัวอย่างเป็นเวลา 5 วินาที แล้ววัดระยะที่กรวยจม
4. บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะจม ที่ระยะจมของโคนเท่ากับ 20 มิลลิเมตร คือค่าพิกต์เหลว

### 3.3.3 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติกโดยวิธีการคลิ้ง (Rolling method: ASTM D4318)

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. แผ่นกระจกขนาด 30 x 30 ซม.หนา 1 ซม.
2. ท่อนโลหะ ขนาด 3.2 มม (1/8 นิ้ว)

### วิธีการทดสอบ

1. นำดินที่เหลือจากการทดลอง Liquid Limit มาผึ่งให้หมาดๆ แล้วนำมาปั้นคลึงเป็นแท่งยาวขนาดประมาณ 1 ซม. แล้วค่อย ๆ คลึงให้ดินเล็กลงจนมีขนาดเท่ากับ 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วคลึงต่อไปเรื่อยๆ โดยพยายามรักษาขนาดดังกล่าวจนดินเริ่มแตกปรือออก
2. เมื่อดินเริ่มแตก นำดินไปบอบหาความชื้น ความชื้นดังกล่าวเรียกว่า Plastic Limit (Wp หรือ PL)
3. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

### 3.3.4 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติกโดยเครื่องมือกรวยตก (Fall cone penetration method: BSI 1377 Part 2)

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. เครื่องมือทดสอบกรวยตก
2. ถ้วยผสมดิน
3. น้ำกลั่น
4. ถ้วยทองเหลืองเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ลึก 40 มิลลิเมตร

#### วิธีการทดสอบ

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัมแล้วนำตัวอย่างดินมาผสมน้ำให้เข้ากัน
2. ตักดินใส่ถ้วยทองเหลืองให้เต็ม ปาดดินให้เรียบแล้วติดตั้งเข้ากับเครื่องมือทดสอบกรวยตก
3. ปลดอยกรวยให้ตกลงมาอย่างอิสระในถ้วยตัวอย่างเป็นเวลา 5 วินาที แล้ววัดระยะที่กรวยจม
4. บันทึกค่าที่ได้แล้วนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะจม ที่ระยะจมของโคนเท่ากับ 2 มิลลิเมตร คือค่าพิกัดพลาสติก

### 3.3.5 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test: ASTM D854)

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดแก้วฟลาซกันแบน ขนาดความจุ 500 cm<sup>3</sup>
2. เตาบูนเซ็น หรือ เตาแผ่นร้อน
3. สามขา (Tripod) และแผ่นตะแกรงแอสเบสโตส (Asbestos Gauze) ใช้กับเตาบูนเซ็น
4. ปรอท 0-100°C อ่านละเอียด 0.5-1.0°C
5. แท่งแก้วคน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 mm ยาว 30 cm
6. กรวย ขนาดปากประมาณ 10 cm แบบรูกว้าง

7. ตู้อบ
8. อ่างแก้วดูความร้อน
9. เครื่องชั่งอ่านละเอียด
10. ภาชนะ - ซีนอลูมิเนียม

#### วิธีการทดสอบ

##### (ก) การหากราฟสำหรับหาน้ำหนักน้ำและขวดที่อุณหภูมิต่างๆ

1. ล้างขวด ถ.พ. ให้สะอาดเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่คอขวด (อ่านที่ระดับห้องน้ำ)
2. ต้มไล่ฟองอากาศหรือดูดโดยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด
3. เติมน้ำปรับระดับน้ำจนเสมอระดับที่คอขวดพอดี เช็ดภายนอกขวดให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
4. วัดอุณหภูมิของน้ำภายในขวดให้ละเอียด โดยวัดที่หลายระดับ ถ้าอุณหภูมิต่างกันมาก ให้ตะแคงขวด แล้วกลิ้งไปมาเพื่อให้ผสมเข้ากันได้ทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอแล้วจึงบันทึกอุณหภูมิที่ถูกต้อง
5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และ 4 โดยให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในช่วงอุณหภูมิที่ใช้งาน (20 ถึง 40°C) ประมาณ 4-5 จุด เช่นที่ 20, 25, 30, 35 และ 40°C เป็นต้น
6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง น้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็ม และอุณหภูมิ

##### (ข) การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน

1. นำดินตัวอย่างที่แห้งประมาณ 50 กรัม (ถ้าเป็นดินชื้นต้องเผื่อน้ำหนักความชื้น) ผสมน้ำกลั่นแล้ว กวนให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องปั่น (Mixer Machine) โดยให้ส่วนผสมไม่เกิน 200 ลบ.ซม.
2. เทส่วนผสมน้ำดินลงในขวดหา ถ.พ. ขนาด 250 ลบ.ซม. แล้วใช้น้ำกลั่นล้างดินที่ติดในภาชนะ ผสมลงในขวด ถ.พ. ให้หมดระวังอย่าให้ระดับน้ำเกินขีดวัดปริมาตรที่คอขวด
3. ไล่ฟองอากาศโดยการต้มหรือดูดโดยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด แล้ว เติมน้ำกลั่นให้ถึงระดับขีดที่คอขวด แล้วปล่อยให้เย็นถึงอุณหภูมิห้องทดลอง
4. ถ้าระดับน้ำลดลงอีก ให้เติมให้เต็มถึงขีด แล้วนำไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม แล้ววัดอุณหภูมิ ของน้ำดินในขวด
5. เทแล้วล้างส่วนผสมในขวด ถ.พ. ลงในถาด นำไปอบให้แห้งเพื่อชั่งหาน้ำหนักดินที่แน่นอนอีกครั้ง

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

#### 4.1 การทดสอบหาค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดิน

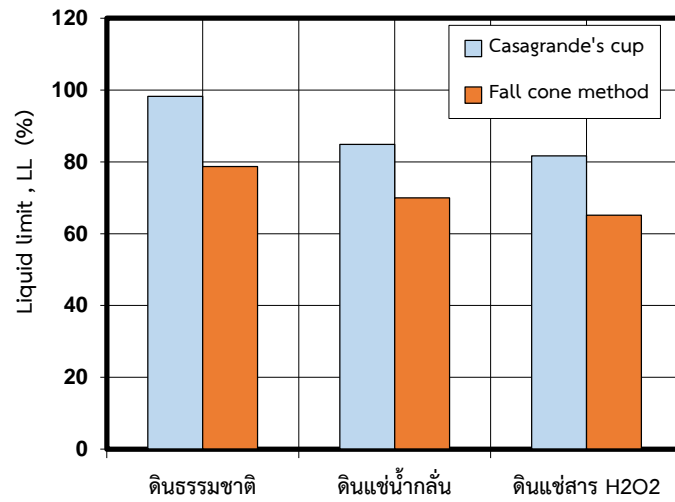
ตัวอย่างดินทั้งสามชนิด ได้แก่ ตัวอย่างดินธรรมชาติ ตัวอย่างดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่นและตัวอย่างดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแ่สสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ถูกนำมาทดสอบหาค่าปริมาณอินทรีย์วัตถุโดยวิธี Loss of Ignition พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินธรรมชาติคือ 15.99% และเมื่อดินตัวอย่างถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่นและสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณอินทรีย์วัตถุมีค่าลดลงคือ 12.70% และ 10.68% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาค่าพิกัดแ้เตอร์เปิกโดยวิธีต่างๆ

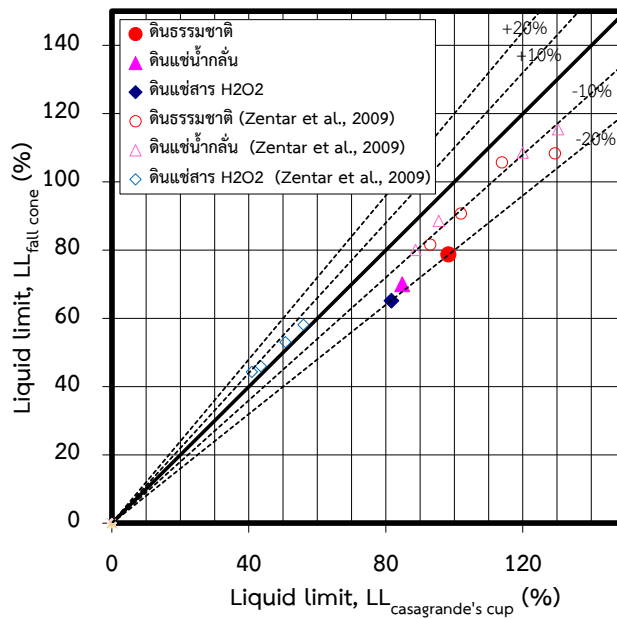
ค่าดัชนีต่างๆ	ชนิดของตัวอย่างดิน		
	ดินธรรมชาติ	ดินแช่น้ำกลั่น	ดินแ่สสาร H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
LL <sub>Casagrande's cup</sub> (%)	98.25	84.84	81.64
LL <sub>fall cone</sub> (%)	78.72	69.96	65.13
PL <sub>rolling method</sub> (%)	42.12	28.67	21.93
PL <sub>fall cone</sub> (%)	22.50	17.60	16.88
PI <sub>cup-rolling</sub> (%)	56.13	56.17	59.71
PI <sub>cone-cone</sub> (%)	56.22	52.36	48.25

#### 4.2 ผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าพิกัดเหลวโดยวิธีต่างๆ

เพื่อศึกษาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุต่อค่าพิกัดเหลว ตัวอย่างดินทั้งสามชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปะปนอยู่แตกต่างกันถูกนำมาทำการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถ้วยคาซาเกนดี ตามมาตรฐาน ASTM D4318 และเครื่องมือกรวยตก ตามมาตรฐาน BSI 1377 Part 2 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ค่าพิกัดเหลวของดินมีแนวโน้มลดลงสังเกตได้จากดินธรรมชาติที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุปะปนอยู่สูงที่สุดมีค่าพิกัดเหลวสูงที่สุด และค่าพิกัดเหลวของดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่นและตัวอย่างดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแ่สสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลงตามลำดับ



รูปที่ 4.1 พิกัดเหลวของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน



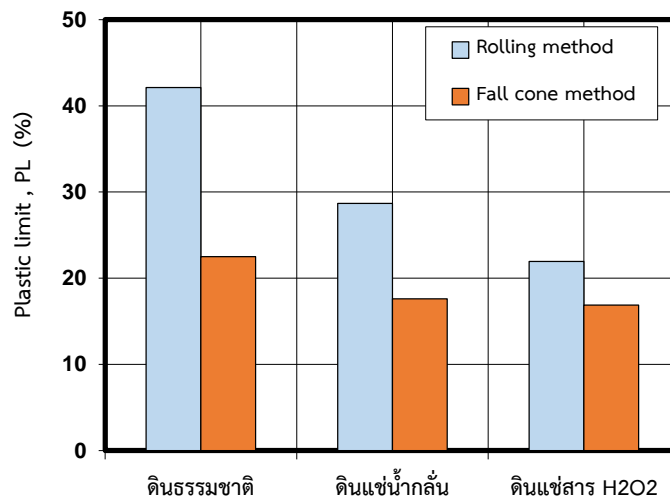
รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลวของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีถ้วยคาซาแกนดีและวิธีกรวยตก



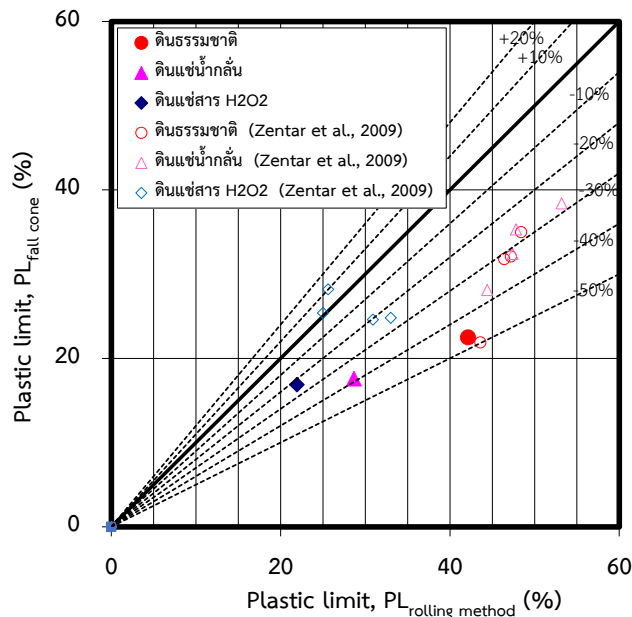
นอกจากนั้นเพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวโดยวิธีถั่วคชาเคนดีและเครื่องมือกรวยตกซึ่งใช้หลักการและวิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน คือค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีถั่วคชาเคนดีมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องมาจากแรงต้านทานความหนืดของมวลดินที่เคลื่อนที่เข้าหากันเป็นระยะทาง 12.7 มิลลิเมตร ภายหลังจากตกกระทบอย่างอิสระของถั่วคชาเคนดีที่ระดับความสูง 10 มิลลิเมตร ด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที ส่วนค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยเครื่องมือกรวยตกมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของกรวยที่จมลงไปในมวลดินอย่างอิสระเป็นระยะทาง 20 มิลลิเมตรในเวลา 5 วินาที ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าค่าพิกัดเหลวกระจายตัวอยู่ใต้เส้นกราฟที่มีความชันเท่ากับ 1 หมายความว่าค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีกรวยตกมีค่าน้อยกว่าวิธีถั่วคชาเคนดีประมาณ 20%

ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zentar และคณะในปีค.ศ. 2009 ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลของเกลือและปริมาณอินทรีย์วัตถุต่อค่าพิกัดแอตเตอร์เบิกของดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจาก 4 แหล่งบริเวณท่าเทียบเรือ Dunkirk ทางตอนเหนือของประเทศฝรั่งเศส โดยผลการทดสอบจากงานวิจัยดังกล่าวถูกแสดงเปรียบเทียบในรูปที่ 4.2 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sherwood และ Ryley ในปี ค.ศ. 1970 ด้วย

#### 4.3 ผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีต่างๆ



รูปที่ 4.3 พิกัดพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าพิกัดพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด โดยวิธีการคลึงและวิธีกรวยตก

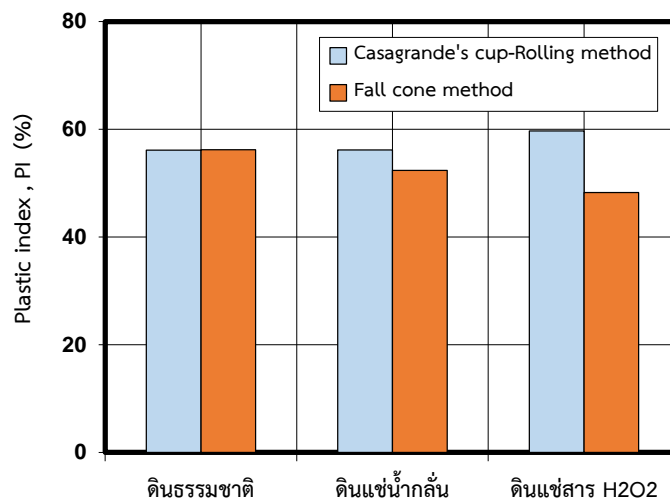
จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าพิกัดพลาสติกจากการทดสอบโดยวิธีการคลึง (ASTM D4318) และเครื่องมือกรวยตก (BSI 1377 Part 2) พบว่าค่าพิกัดพลาสติกของตัวอย่างดินจากการทดสอบทั้งสองวิธีมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง และจากรูปที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดพลาสติกโดยวิธีการคลึง ซึ่งหมายถึงค่าปริมาณความชื้นในมวลดินที่น้อยที่สุดที่สามารถคลึงดินให้เป็นเส้นและแตกตัวเป็นเส้นริ้วที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 mm (1/8 นิ้ว) และการทดสอบโดยเครื่องมือกรวยตกซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของกรวยที่จมลงไปในมวลดินอย่างอิสระเป็นระยะทาง 2 มิลลิเมตรในเวลา 5 วินาที พบว่าค่าพิกัดพลาสติกที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีกรวยตกมีค่าน้อยกว่าวิธีการคลึงมากประมาณ 40-50% ในตัวอย่างดินธรรมชาติและตัวอย่างดินที่แช่น้ำกลั่นซึ่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงกว่า แต่เมื่อดินมีปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลง (ตัวอย่างดินที่แช่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ค่าพิกัดพลาสติกที่ (ของ) ได้จากการทดสอบทั้งสองวิธีมีแนวโน้มใกล้เคียงกันมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Zentar และคณะ ในปี .ศ.2009 ดังแสดงผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 4.4

#### 4.4 ผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในตัวอย่างดินต่อค่าดัชนีพลาสติกโดยวิธีต่างๆ

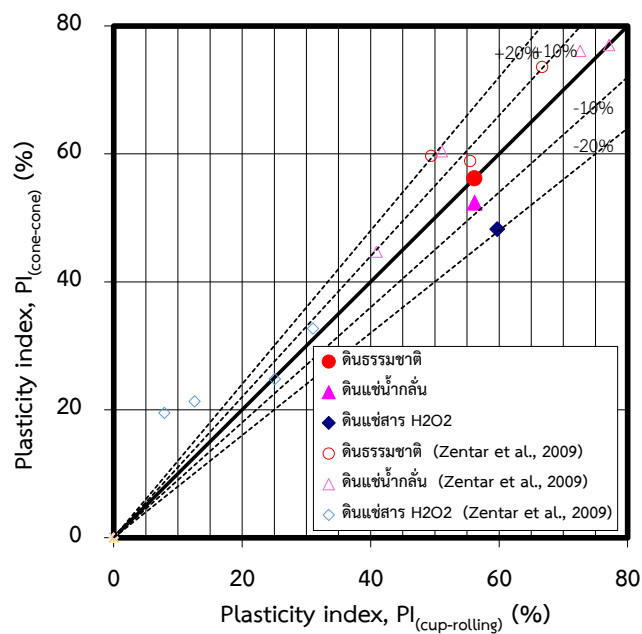
จากผลการทดสอบหาค่าพิกัดเหลวและพิกัดพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดโดยวิธีการต่างๆ สามารถคำนวณหาค่าดัชนีพลาสติกของดินจากสมการที่ (4.1) และ (4.2)

$$PI_{cup-rolling} = LL_{Casagrande's\ cup} - PL_{rolling\ method} \quad (4.1)$$

$$PI_{cone-cone} = LL_{fall\ cone} - PL_{fall\ cone} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.5 ดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินทั้ง 3 ชนิด จากผลการคำนวณโดยวิธีต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าค่าดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินธรรมชาติและตัวอย่างดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่นจากการคำนวณทั้งสองวิธีมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยดัชนีพลาสติกของดินธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 56.24% และค่าเฉลี่ยดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่นมีค่าเท่ากับ 54.27% แต่กลับพบว่าค่าดัชนีพลาสติกของตัวอย่างดินที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จากการคำนวณโดยวิธีถ้วยคาซาเกนดีและวิธีการคลึงมีค่าสูงกว่าการคำนวณโดยวิธีกรวยตก โดยค่าเฉลี่ยดัชนีพลาสติกของดินชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 53.98%

จากผลการคำนวณหาค่าเฉลี่ยดัชนีพลาสติกที่ได้จากพิจารณาผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตัวอย่างต่อค่าดัชนีพลาสติกพบว่าเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินลดลง ค่าดัชนีพลาสติกของดินตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ( $\pm 2.5\%$ ) ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Odell และคณะ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกมาจากบริเวณท่าเรือแหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ต่อค่าพิกัดแอมโมเนียมไนโตรเจน โดยตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ใช้ในการทดสอบมี 3 ชนิดที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุแตกต่างกันจากมากไปน้อยคือ ตัวอย่างดินตะกอนทะเลธรรมชาติ ตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่น้ำกลั่น และตัวอย่างดินตะกอนทะเลที่ถูกทำความสะอาดโดยการแช่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถสรุปได้ว่าผลของปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ลดลงส่งผลให้ค่าพิกัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของดินลดลงอย่างชัดเจนทั้งในค่าพิกัดเหลวและพิกัดพลาสติก แต่ค่าดัชนีพลาสติกของดินตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเท่านั้น ค่าพิกัดเหลวที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีกรวยตกมีค่าน้อยกว่าวิธีถ้วยคาซาเกนดี และค่าพิกัดพลาสติกที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีกรวยตกมีค่าน้อยกว่าวิธีการคลึงมาก

## บรรณานุกรม

ศราวุธ โกวเครือ และ ประทีป ดวงเดือน, “การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเหลือทิ้งจากโรงงาน (Improvement of Lateritic Soil by Calcium Carbonate Waste)”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14. สุรสัมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ระหว่างวันที่ 13-15 พฤษภาคม 2552

วิเศษ แจ้งจิตร และ ประทีป ดวงเดือน, “การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าก้นเตา (Improvement of Lateritic Soil by Bottom ASH)”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14. สุรสัมมนาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. ระหว่างวันที่ 13-15 พฤษภาคม 2552

Abdallah I., Husein M., Ahmed S. A. and Osama T. A (1999), “Effect of Organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil”. Applied Clay Science 14, 257-278.

ASTM D4318 (2000), “Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils”. Annual book of American Society for Testing and Material standards, West Conshohocken, United States.

Belviso R., Ciampoli S., Cotechchia V. and Federico A. (1985), “Use of the cone penetrometer to determine consistency limits”. Ground Eng 18 (5), 91-92.

British Standards (1990), “Method of test for soils for civil engineering purposes”. Classification tests 1377-part 2.

Budhu M. (1985), “The effect of clay content on the liquid limit from a fall cone and British cup device”. Geotech test J. 8 (2), 91-95.

Buckman H.O. and Brady N.C. (1969), “The nature and properties of soils”. The Macmillan, London.

Cambell D.J. (1975), “Liquid limit determination of arable topsoils using a drop-cone penetration”. J. Soil Sci 26 (3), 234-240.

Chapman G.P. (1968), “The sea dredged sand gravel industry of Great Britain”. Sea-dredged aggregates for concrete. In: Proceeding of Symposium. Sand and gravel association of great Britain. Buckinghamshire.

Casagrande A. (1932), “Research on the Atterberg limits of soils”. Public Roads 13, 121-130.

---

- Casagrande A. (1958), "Note on the design of the liquid limit device". *Geotechnique* 8 (2), 84-91.
- Chini A.R., Kuo, S.S., Armaghani, J.M. Duxbury, J.P. (2001), "Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track". *Trans Res Rec.* 127(6), 486-492.
- Christaras B. (1991), "A comparison of the Casagrande and fall cone penetrater methods for liquid limit determination in marls from Crete". Greece. *Eng Geol* 31, 131-142.
- Dragoni W., Prosperini N. and Vinti G. (2008), "Some observations on the procedures for the determination of the liquid limit: an application on Plio-Pleistocenic clayey soils from Umbria region (Italy)". *Ital J Eng Grel Environ Spec Issue* 1, 185-197.
- Dubois V., Abriak NE., Zentar R. and Ballivy G. (2009), "The used of marine sediments as a pavement base material". *Waste Management* 29, 774-782.
- Ekrem L. A., Ilker A. and Taskin O. (2013), "Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility". *Catena* 101, 157-163.
- Franklin A.F., Orozco L.F. and Semrau R. (1973), "Compaction of slightly organic soils" *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE* 99, 541-557, No. SM7.
- Holtz R.D. and Krizek R.J. (1970) , "Properties of slightly organic top soils" *Journal of the Construction Division, ASCE* 96, 29-43, No. CO1.
- Kozlova S., Shimanovich S. and Meyer C. (2004), "Method of treatment of dredged material for benefit use". United States Patent Application Publication. Pub. No.: US 2004/0158114A1. August, 12<sup>th</sup>.
- Limeira J., Agullo L. and Etxeberrir M. (2010), "Dredged marine sand on concrete: an experimental section of a harbor pavement". *Construction Build Material* 24, 863-870.
- Matteo L. D. (2012), "Liquid limit of low-to medium-plasticity soils: comparison between Casagrande cup and cone penetrometer test". *Bull Eng Geol Environ* 71, 79-85.
- Millrath K., Kozlova S., Sjimannovich S. and Meyer C. (2001), "Benefit use of dredged materials I and II progress report prepared for Echo Environmenta"l. Inc., Columbia Unive rsity, New York, NY.
-

- Mishra A.K., Ohtsubo M., Loretta Y. Li. and Higashi T. (2012), "Influence of various factors on the difference in the liquid limit values determined by Casagrande's and fall cone method". *Environ Earth Sci* 65, 21-27.
- Molenaar A.A.A. and Niekerk, A.A. (2002), "Effect of gradation, composition, and degree of compaction on the mechanical characteristics of recycled unbound material". *Trans Res Rec.* 1787, 73-82.
- Odell R.T., Thornburn T.H. and Mckenzie L.J. (1960), "Relationship of Atterberg limits to some other properties of Illinois soils". *Proceeding of the Soil Science of America* 24 (4), 297-300.
- Özer M. (2009), " Comparison of liquid limit values determined using the hard and soft base Casagrande apparatus and the cone penetrometer". *Bull Eng Geol Environ* 68, 289-296.
- Poon C.S. and Chan D. (2006), "Feasible use of recycled concrete aggregates and crushed clay brick as unbound road sub-base". *Construction and Building Materials.* 20, 578-585.
- Schmidt N.O. (1965), "A study of the isolation of organic matter as a variable affecting engineering properties of soil", Thesis presented to the University of Illinois at Urbana, IL, in 1965 in the partial fulfillment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy.
- Sridharan A. and Prakash K. (2000), "Percussion and cone methods of determining the liquid limit of soils: controlling mechanisms". *Geotechnical Testing Journal* 23 (2) 236-244.
- Sivapullaiah P.V. and Sridharan A. (1985), "Liquid limit of soil mixures". *Geotech test J.* 8 (3), 111-116.
- Sivapullaiah P.V., Sridharan A. and StalinV.K. (2000), "Hydraulic conductivity of bentonite-sand mixtures". *Canadian Geotechnical Journal* 37, 406-413.
- Skempton A.W. (1944), "Notes on the compressibility of clay". *Q. J. Geol Soc Lond* 100, 119-135
- Skopek J. and Ter-Stepanian G. (1975), "Comparison of liquid limit values determined according to Casagrande and Vasilev". *Geotechnique* 25 (1), 135-136.
-



Wasti Y. and Bezirei M.H. (1986), "Determination of the consistency limits of soils by the fall cone test". Canadian Geotechnical Journal 23 (2), 241-246.

Wood D.M. (1990), "Soil behaviour and critical state soil mechanics". Cambridge University press, Cambridge.

Zentar R., Abriak N. E. and Dubois V. (2009), "Effect of salts and organic matter on Atterberg limits of dredged marine sediments". Applied Clay Science 42, 391-397.

Zentar R., Dubois V. and Abriak NE. (2008). Mechanical behavior and environmental impacts of a test road built with marine dredged sediments. Resources Conservation and Recycling 52, 947-954.

---