

การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยใช้ซีเมนต์และปูนขาว

STABILIZATION OF SOFT CLAYEY SOIL USING CEMENT AND LIME

ศุภกิจ นนทานันท์ (Supakij Nontananandh)

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กมล อมรฟ้า (Kamol Amornfa)

อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนโดยใช้ซีเมนต์และปูนขาว ดินเหนียวที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินเหนียวที่มีค่าพลาสติกสูง (CH) มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 93.5% มีค่าความเป็นพลาสติกเท่ากับ 60.2% ค่ากำลังอยู่ในช่วง 0.08-0.21 กก./ซม.² นำตัวอย่างดินมาผสม ซีเมนต์ และ ปูนขาว ที่ปริมาณ 100, 150, 200 และ 250 กก./ม.³ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 0.8 จากนั้นทำการทดสอบหาค่ากำลังของดินโดยวิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ที่อายุการบ่ม 4, 7, 14, 28, 90 และ 180 วัน ตามลำดับ

ผลการศึกษาพบว่าดินผสมซีเมนต์มีการพัฒนากำลังอย่างรวดเร็วในระยะแรก ตั้งแต่เริ่มผสมจนถึง 28 วัน และหลังจากนั้นกำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในระยะยาว เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังเพิ่มขึ้นด้วย ผลจากการทดสอบการทรุดตัวพบว่า เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรม เช่นค่า C_v , k , C_r และ C_c ลดลง ในขณะที่ค่า P_c เพิ่มขึ้น กรณีดินผสมปูนขาวจะมีการพัฒนากำลังอย่างสม่ำเสมอทั้งในระยะแรกและระยะยาว และเมื่อปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม (Optimum Lime Content) ซึ่งให้ค่ากำลังสูงสุด เมื่อปูนขาวมีปริมาณมากกว่านี้กำลังของตัวอย่างจะมีแนวโน้มลดลง ผลจากการทดสอบการทรุดตัว พบว่าเมื่อปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า C_v , k , C_r และ C_c เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า P_c ลดลง ในการวิจัยนี้ยังได้เสนอสมการที่ใช้คาดคะเนกำลังที่อายุการบ่มต่าง ๆ ของดินผสมซีเมนต์และปูนขาวไว้ด้วย

ABSTRACT: The research attempted to study properties of soft clayey soil stabilized with cement and lime. The soil is clay having high plasticity, which can be classified as CH. Natural moisture content was 93.5%, P.I. was 60.2%, and remolded strengths of untreated soil were within a range of 0.08 and 0.21 kg/cm². Stabilizers used in this study were cement and lime with a content of 100, 150, 200 and 250 kg/m³. A ratio of water to cementing material used in this study was 0.8. Strength of the stabilized soils was measured by the Unconfined Compression Test after a curing time of 4, 7, 14, 28, 90 and 180 days.

Experimental results showed that soils mixed with cement could rapidly gain strength at short-term (after mixing up to 28 days), while they slowly gained in strength at longer curing time, i.e., after 28 days. Strength markedly increased with cement content. Based on results of Consolidation Test, increased cement content caused a decrease in engineering properties such as C_v , k , C_r , C_c , while an increase in P_c . Soils mixed with lime could uniformly gain strength over curing time. When lime content was increased, strength increased up to its maximum strength (Optimum Lime Content), and then had a trend to decrease beyond this content. An increase in lime content resulted in an increase in C_v , k , C_r , C_c , and a decrease in P_c . This research also proposed equations to predict strength with curing time for the soils that were stabilized with cement and lime.

KEYWORDS: SOIL STABILIZATION, SOFT CLAYEY SOIL, CEMENT, LIME, UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

1. บทนำ

ในปัจจุบันงานก่อสร้างบนดินเหนียวอ่อน มักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับสภาพที่ไม่มั่นคง มีการทรุดตัวเป็นปริมาณมาก และใช้เวลานานในการทรุดตัวทั้งหมด การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการผสมซีเมนต์หรือปูนขาวจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น การปรับปรุงคุณภาพดินระดับตื้นในส่วนของโครงสร้างถนน รวมไปถึงการปรับปรุงคุณภาพดินในระดับลึก โดยการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ หรือ เสาเข็มดินปูนขาว (Cement Column หรือ Lime Column)

ซีเมนต์ที่ผสมลงในดิน จะทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ กำลังรับแรงเฉือนและกำลังรับแรงเบากทานของดินเพิ่มขึ้น ความคงทนของดินเพิ่มขึ้น การบวมตัวและการหดตัวจะน้อยลง ดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วดินจะเปลี่ยนจากวัสดุประเภทที่มีความเป็นพลาสติก กลายเป็นวัสดุที่เปราะมากขึ้น ซึ่งลักษณะของการวิบัติจะเกิดที่ความเครียดต่ำ ความชื้นของดินที่ได้รับการปรับปรุงจะต่ำลง ในขณะที่หน่วยน้ำหนักของดินจะสูงขึ้น โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านได้ของดินที่ได้รับการปรับปรุงจะต่ำลง แต่อาจจะสูงขึ้นก็ได้สำหรับดินเหนียว คุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และปฏิกิริยาปอซโซลานิก ระหว่างดิน น้ำ และซีเมนต์ที่ผสมเข้าไป ([1], [2], [3])

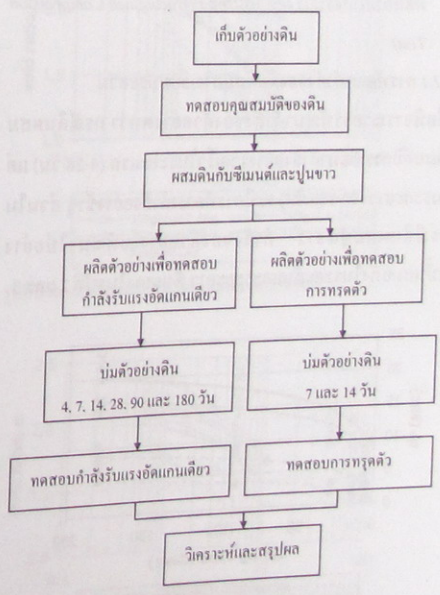
เมื่อผสมปูนขาวลงในดินเหนียวอ่อน ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นซึ่งได้แก่ปฏิกิริยาไฮเดรชัน การแลกเปลี่ยนไอออน ปฏิกิริยาปอซโซลานิก และคาร์บอนชั่น จะทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น เพิ่มกำลังความแข็งแรงของดิน ลดการบวมตัวปรับปรุงความสามารถในการทำงานได้ (ลดค่าครชนีความเหนียว) ลดการบวมตัวและการหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน เพิ่มค่าความชื้นน้ำของดิน ซึ่งทำให้ลดการเกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเนื่องจากแรงกระทำ ([2], [4])

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนที่ผสมด้วยซีเมนต์และปูนขาว โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของสารเชื่อมประสานและอายุการบ่มต่างๆ รวมไปถึงศึกษาถึงแนวทางในการคาดการณ์กำลังที่เปลี่ยนไปของดินเหนียวอ่อนที่ผสมด้วยซีเมนต์และปูนขาว

3. วิธีการวิจัย

ตัวอย่างดินเหนียวถูกเก็บแบบเปลี่ยนสภาพที่ความลึก 2 - 4 เมตร จากบริเวณรังสิตคลองสอง จ.ปทุมธานี ทำการทดสอบคุณสมบัติของดินก่อนการปรับปรุงคุณภาพ นำดินเหนียวมาผสมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง และปูนขาว (Quicklime) ซึ่งร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 และมีปริมาณ CaO มากกว่า 65 % ที่ปริมาณ 100, 150, 200 และ 250 กก/ม³ อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสานเท่ากับ 0.8 ตามมาตรฐาน JSF T821-1990 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการปรับปรุงดินในระดับลึกด้วยระบบเปียก (Wet Mixing) ดินผสมจะถูกนำไปบรรจุในแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10 ซม. สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ที่อายุการบ่ม 4, 7, 14, 28, 90 และ 180 วัน และบรรจุในแบบทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ซม. สูง 3 ซม. สำหรับการทดสอบการทรุดตัว ที่อายุการบ่ม 7 และ 14 วัน การผลิตตัวอย่างจะมีการควบคุมคุณภาพอย่างละเอียด เช่น การป้องกันการระเหยของน้ำจากตัวอย่างดิน การควบคุมความหนาแน่นของดินให้มีความสม่ำเสมอ เป็นต้น ลำดับวิธีการวิจัยแสดงดังในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลำดับวิธีการวิจัย

The soil is 60.2%. This study used in a curing r mixing markedly engineering ly gain strength resulted gth with PRESSIVE

4. ผลการวิจัย

4.1 คุณสมบัติของดินเหนียวก่อนการปรับปรุงคุณภาพ

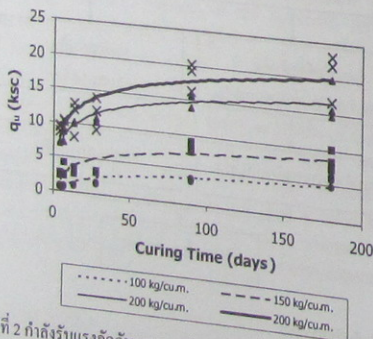
จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวก่อนการปรับปรุงคุณภาพ ได้ผลการทดสอบต่างๆ ดังนี้ ค่าความชื้นของดินในสภาพธรรมชาติเท่ากับ 93.5% หน่วงน้ำหนักเปียกเท่ากับ 1.38 ตัน/ม.³ ค่าความด่างจำเพาะของเม็ดดินเท่ากับ 2.56 ซีดจังก์คความชื้นเหลว (L.L.) เท่ากับ 101.6% ซีดจังก์คความเป็นพลาสติก (P.L.) เท่ากับ 41.4% ค่าครชนีความเหนียว (P.I.) เท่ากับ 60.2% และค่า Loss on Ignition เท่ากับ 18.33%

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวก่อนการปรับปรุงคุณภาพแบบถูกรบกวน โดยการทดสอบ กำลังรับแรงอัดแกนเดียว และการทดสอบการทรุดตัว สามารถสรุปได้ดังนี้ ค่า q_u อยู่ในช่วง 0.08-0.21 กก./ชม.² ค่า E_{50} อยู่ในช่วง 6.55-16.85 กก./ชม.² ค่า E_c อยู่ในช่วง 3.54-9.96% ค่า C_v เท่ากับ 1.2×10^{-4} ชม.²/วินาที ค่า k เท่ากับ 9.8×10^{-5} ชม./วินาที ค่า C_c เท่ากับ 0.647 และค่า C_s เท่ากับ 0.038

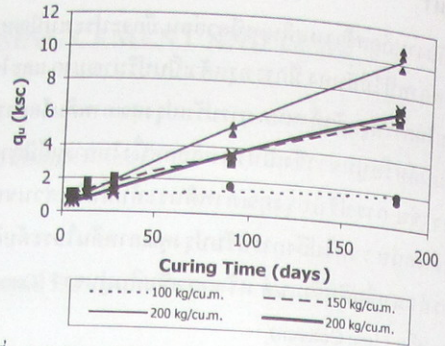
4.2 คุณสมบัติของดินเหนียวหลังการปรับปรุงคุณภาพจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

4.2.1 การพัฒนากำลังของดินผสมสารเชื่อมประสาน

เมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังของตัวอย่างพบว่า ฤทธิ์ดินผสมซีเมนต์มีการพัฒนากำลังอย่างรวดเร็วในระยะแรก (4-28 วัน) แต่ในระยะยาว (90-180 วัน) จะมีการพัฒนากำลังอย่างช้าๆ ส่วนในกรณีดินผสมปูนขาว กำลังของตัวอย่างจะพัฒนาไปอย่างสม่ำเสมอทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



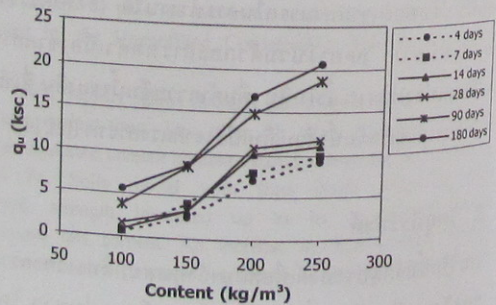
รูปที่ 2 กำลังรับแรงอัดกับอายุการบ่มของดินผสมซีเมนต์



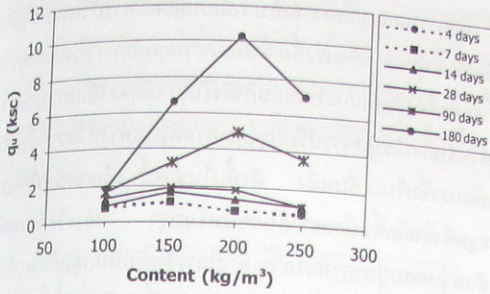
รูปที่ 3 กำลังรับแรงอัดกับอายุการบ่มของดินผสมปูนขาว

4.2.2 ผลของปริมาณสารเชื่อมประสาน

เมื่อพิจารณาถึงผลของปริมาณสารเชื่อมประสานต่อกำลังของตัวอย่าง พบว่ากรณีดินผสมซีเมนต์ กำลังของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณ 250 กก./ม.³ ให้กำลังเท่ากับ 11.8 และ 20.57 กก./ชม.² ที่อายุการบ่ม 28 และ 180 วัน กรณีดินผสมปูนขาว กำลังของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปูนขาวในช่วงปริมาณน้อย จนถึงปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม (Optimum Lime Content) ซึ่งให้กำลังสูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนขาวมากกว่าปริมาณนี้ กำลังของตัวอย่างจะมีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อพิจารณาอายุการบ่มในระยะสั้น คือ 150 กก./ม.³ ซึ่งให้กำลังที่อายุการบ่ม 28 วันเท่ากับ 1.88 กก./ชม.² และเมื่อพิจารณาอายุบ่มในระยะยาว คือ 200 กก./ม.³ ซึ่งให้กำลังที่อายุการบ่ม 180 วันเท่ากับ 10.32 กก./ชม.² ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดกับปริมาณซีเมนต์



รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัดกับปริมาณปูนขาว

4.2.3 การคาดการณ์กำลังในระยะยาว

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินตัวอย่างทั้งหมด สามารถนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของดินที่อายุการบ่มต่างๆ ซึ่งสามารถใช้คาดการณ์กำลังในระยะยาวของดินผสมซีเมนต์ และดินผสมปูนขาว โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\text{กรณีดินผสมซีเมนต์ } q_u(t) = q_u(t_0) + 0.4C \log(t/t_0) \quad (1)$$

$$\text{กรณีดินผสมปูนขาว } q_u(t) = q_u(t_0) + 0.01(LX/100-4)(t-t_0) \quad (2)$$

เมื่อ $q_u(t)$ = Unconfined Compressive Strength at t days, ksc .

$q_u(t_0)$ = Unconfined Compressive Strength at t_0 days, ksc.

C = ปริมาณซีเมนต์เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

L = ปริมาณปูนขาวเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

X = ปริมาณ CaO ในปูนขาวเป็นร้อยละ

สมการที่ (1) ซึ่งใช้ในการคาดการณ์กำลังของดินผสมซีเมนต์ มีความสอดคล้องกับสมการที่เสนอโดย Mitchell [5]

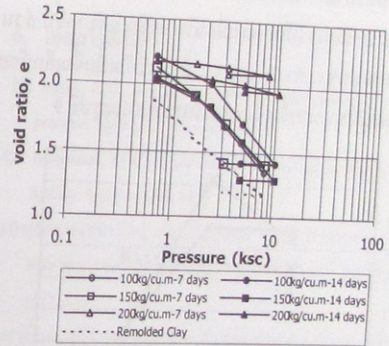
สมการที่ (2) เป็นสมการที่ใช้คาดการณ์กำลังของดินผสมปูนขาว จะมีความเหมาะสมกับการใช้ปูนขาวไม่เกินปริมาณที่เหมาะสม (Optimum Lime Content) และปริมาณปูนขาวต้องไม่น้อยกว่า 4% เมื่อปูนขาวที่ใช้เป็นปูนขาวชนิด CaO 100% (กรณีที่ใช้ปูนขาวมี CaO เท่ากับ 67% ต้องใช้ปริมาณปูนขาวไม่น้อยกว่า 6%) ซึ่งเป็นปริมาณที่ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

การคาดการณ์กำลังในระยะยาวจากสมการทั้ง 2 นั้นเป็นการหากำลังระยะยาวเมื่อทราบกำลังในระยะแรก ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยต่อไป เช่น การศึกษาถึงกำลังที่จะเพิ่มขึ้นในระยะยาวภายหลังการก่อสร้างเสร็จสิ้น อย่างไรก็ตาม สมการที่

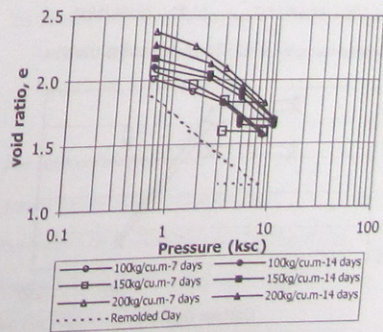
เสนอนี้เป็นเพียงแนวทางเพื่อให้เห็นถึงรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่เพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มและปริมาณสารเชื่อมประสานที่ใช้เปลี่ยนไป สำหรับการนำไปใช้จริงในการคาดการณ์กำลังในระยะยาว ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น ชนิดและคุณสมบัติของดิน วิธีการผสม รวมไปถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมด้วย

4.3 คุณสมบัติของดินเหนียวหลังการปรับปรุงคุณภาพจากการทดสอบการทรุดตัว (Consolidation Test)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับน้ำหนักก่กตัวของดินผสมซีเมนต์และดินผสมปูนขาวจากผลการทดสอบการทรุดตัว พบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักก่กตัวลงไป ค่าอัตราส่วนช่องว่างจะลดลงในปริมาณที่น้อยกว่ากรณีดินเหนียวก่อนการปรับปรุงคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าการผสมซีเมนต์หรือปูนขาวกับดินเหนียวจะทำให้โครงสร้างของดินแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้การทรุดตัวเกิดขึ้นน้อยด้วย ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7



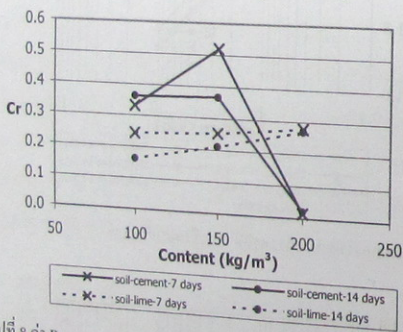
รูปที่ 6 ผลการทดสอบการทรุดตัวของดินผสมซีเมนต์



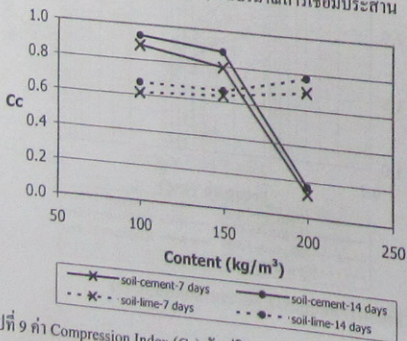
รูปที่ 7 ผลการทดสอบการทรุดตัวของดินผสมปูนขาว

นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนช่องว่างกับน้ำหนักกักตัวของดินเหนียวก่อนการปรับปรุงคุณภาพนั้น จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีค่าความชันหรือค่าครุชนิการอัดตัว (Compression Index, C_c) เท่ากับ 0.647 เมื่อนำดินเหนียวมาผสมซีเมนต์หรือปูนขาว จะส่งผลให้ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีการเปลี่ยนแปลงความชัน โดยค่าความชันในช่วงน้ำหนักกักตบ้น้อยหรือค่าครุชนิการคายตัว (Recompression Index, C_r) มีค่าอยู่ในช่วง 0.015 ถึง 0.520 ซึ่งมีค่าต่ำกว่ากรณีของดินเหนียวก่อนการปรับปรุงคุณภาพ แสดงให้เห็นว่าการผสมซีเมนต์และปูนขาวจะทำให้การทรุดตัวลดลงในช่วงน้ำหนักกักตบ้น้อย ส่วนค่าความชันในช่วงน้ำหนักกักตบ้นมากหรือค่าครุชนิการอัดตัว (Compression Index, C_c) มีค่าอยู่ในช่วง 0.131 ถึง 0.936 ซึ่งค่าครุชนิการทรุดตัว (C_r และ C_c) ในช่วงนี้ จะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ

เมื่อพิจารณาค่าครุชนิการคายตัว (C_r) และค่าครุชนิการอัดตัว (C_c) กับปริมาณสารเชื่อมประสาน พบว่ากรณีดินผสมซีเมนต์ ค่า C_r และ C_c มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณซีเมนต์มากขึ้น ส่วนกรณีดินผสมปูนขาว ค่า C_r และ C_c มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณปูนขาวมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9



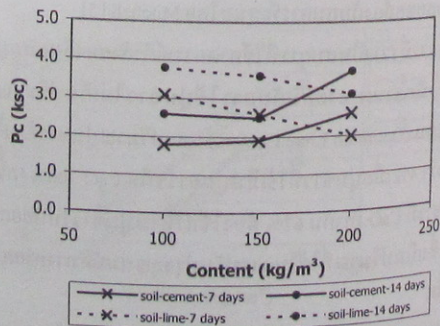
รูปที่ 8 ค่า Recompression Index (C_r) กับปริมาณสารเชื่อมประสาน



รูปที่ 9 ค่า Compression Index (C_c) กับปริมาณสารเชื่อมประสาน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าซีเมนต์มีผลทำให้โครงสร้างดินมีความแน่นและแข็งแรงขึ้น ซึ่งผลการทดสอบการทรุดตัวมีความสอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดคงที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับการใช้น้ำปูนขาวปรับปรุงคุณภาพดินจะทำให้โครงสร้างดินแข็งแรงขึ้นในระดับหนึ่ง ดังนั้นในช่วงน้ำหนักกักตบ้น้อยการทรุดตัวจึงเกิดขึ้นน้อยกว่าดินก่อนปรับปรุง อย่างไรก็ตามเมื่อสัดส่วนผสมปูนขาวมีมากขึ้น ดินมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน ทำให้เกิดโครงสร้างที่แข็งแรงแต่มีช่องว่างมากขึ้น ดังนั้นน้ำหนักกักตบ้นมาก การทรุดตัวจึงเกิดมากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของช่องว่างในโครงสร้างดินสามารถยืนยันได้จากผลการทดสอบค่าความชื้นน้ำของดินดังจะได้กล่าวต่อไป

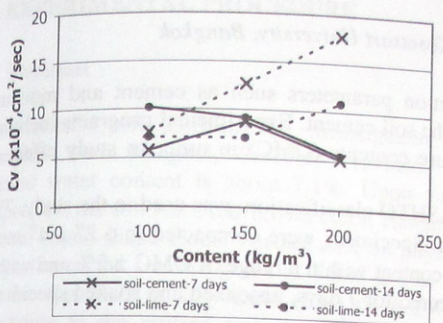
ในดินปกติ การเปลี่ยนความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับน้ำหนักกักตบ้นเกิดจากการที่น้ำหนักกักตบ้นในอดีตซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำหนักกักตบ้นในปัจจุบัน ทำให้ดินนั้นมีความแน่นและทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวมากกว่าดินที่ไม่มีประวัติการรับแรงในอดีต แต่กรณีของดินผสมสารเชื่อมประสาน จุดเปลี่ยนความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับน้ำหนักกักตบ้น (Preconsolidation Pressure, P_c) เป็นผลมาจากความเชื่อมแน่นของดินที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างดิน สารเชื่อมประสาน และน้ำ รูปที่ 10 แสดงค่า P_c กับปริมาณสารเชื่อมประสาน สำหรับดินผสมซีเมนต์ พบว่าค่า P_c มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณซีเมนต์มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ส่วนดินผสมปูนขาว ค่า P_c มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้น



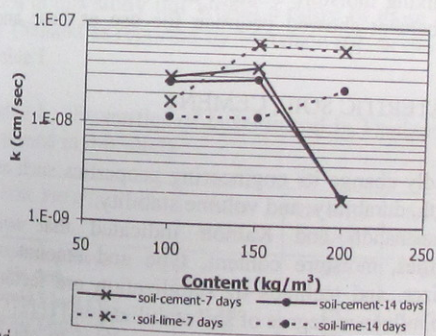
รูปที่ 10 ค่า Preconsolidation Pressure (P_c) กับปริมาณสารเชื่อมประสาน

รูปที่ 11 และรูปที่ 12 แสดงปริมาณสารเชื่อมประสานกับค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัว (Coefficient of Consolidation, C_v) และ

ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดิน (Coefficient of Permeability, k) จากการทดสอบการทรุดตัว พบว่าในดินผสมซีเมนต์ ค่า C_v และค่า k มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับดินผสมปูนขาว ค่า C_v และค่า k มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณปูนขาวมาก



รูปที่ 11 ค่า Coefficient of Consolidation (C_v) กับปริมาณสารเชื่อมประสาน



รูปที่ 12 ค่า Coefficient of Permeability (k) กับปริมาณสารเชื่อมประสาน

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางวิศวกรรม เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัว และค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินที่ผสมสารเชื่อมประสาน มีความสัมพันธ์กับ โครงสร้างของดินที่เปลี่ยนไป ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารเชื่อมประสานที่ใช้ได้กล่าวไว้แล้ว

โครงสร้างและการจับตัวของอนุภาคดินตลอดจนสมมติฐานของปฏิกิริยาเคมีในดินผสมสารเชื่อมประสานมีความสัมพันธ์กับการพัฒนากำลังตลอดจนคุณสมบัติด้านวิศวกรรมต่างๆ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคด้วยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) และ X-Ray Diffraction (XRD) เพื่ออธิบายลักษณะโครงสร้างและการจับตัวที่แท้จริงต่อไป

5. สรุป

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้ซีเมนต์และปูนขาวผสมลงในดินเหนียวอ่อน จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน เช่น กำลังรับแรงอัด และค่าการทรุดตัว เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญต่างๆ เช่น ชนิดของดิน ปริมาณน้ำที่ผสม วิธีการผสมและอายุการบ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนิดและปริมาณสารเชื่อมประสานที่ใช้ โดยกำลังของดินผสมซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น สำหรับในดินผสมปูนขาว กำลังของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนขาวที่เพิ่มขึ้น จนถึงปริมาณปูนขาวที่เหมาะสม (Optimum Lime Content) ซึ่งจะให้กำลังสูงสุด ปริมาณปูนขาวที่มากเกินไปจะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลัง นอกจากนี้จากการศึกษาคุณสมบัติทางด้านทรุดตัว พบว่าซีเมนต์และปูนขาว จะทำให้การทรุดตัวของดินลดลง โดยเฉพาะในช่วงที่มีน้ำหนักกดทับน้อย อย่างไรก็ตามดินผสมปูนขาวจะมีคุณสมบัติในด้านทรุดตัวที่ต่างกับดินผสมซีเมนต์อย่างชัดเจน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ingles, O.G. and J.B. Metcalf. *Soil stabilization principles and practice*. Sydney: Butterworth, 1972.
- [2] Hausmann, M.R. *Engineering principles of ground modification*. Sydney: McGraw-Hill, 1990.
- [3] ศุภกิจ นันทนันทน์, การปรับปรุงคุณภาพดิน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2537
- [4] Broms, B.B. and P. Boman. *Stabilization of soil with lime columns*. Department of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology, Stockholm, 1978.
- [5] Mitchell, J.K., *The properties of cement-stabilized soils*, 1976. Cite by M.R. Hausmann. *Engineering Principles of Ground Modification*. McGraw-Hill, Sydney, 1990.

For further detail, contact:

Assoc.Prof.Dr. Supakij Nontananandh,

Department Of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

Kasetsart University, Bangkok, 10900, Thailand

Tel. 02-579-3171 Fax. 02-579-3171

E-mail: fengskn@ku.ac.th