

การปรับปรุงคุณสมบัติเทคนิคธรณีของดินลำตะคองผสมด้วยแรียิปซัม

Geotechnical Property Improvement of Lamtakong Soil Mixed with Gypsum

ภาณุวัฒน์ สุริยจันทร์ และ สัณชัย ธรรมวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

E-mail: phanuwat.sur@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของดินลำตะคองผสมแรียิปซัมเพื่อความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินลำตะคองด้วยแรียิปซัม โดยผสมดินลำตะคองกับแรียิปซัมในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดินลำตะคองล้วนมีค่าปริมาณไฮโดรเจนร้อยละ 87.26 ค่าไฮโดรเจนที่แลกเปลี่ยนได้เท่ากับร้อยละ 7.3 อัตราการดูดซับไฮโดรเจนมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.91 และค่าความเป็นกรดต่างของดินอยู่ที่ 7.6 จากการทดสอบ Pinhole Test และ Double Hydrometer Test พบว่าดินบริเวณนี้เป็นดินกระจายตัวมีระดับการกระจายตัวปานกลาง การผสมดินลำตะคองกับแรียิปซัมในอัตราส่วนต่างๆ ข้างต้นสามารถลดระดับการกระจายตัวของดินได้ โดยเฉพาะอัตราส่วนของปริมาณแรียิปซัมที่ร้อยละ 5 ลดระดับการกระจายตัวของดินได้ดีที่สุด สามารถสรุปผลได้ว่าการลดปัญหาการกัดเซาะบนลาดดินและการเกิดรูโพรงของดินลำตะคองด้วยการผสมแรียิปซัม ผลการทดสอบคุณสมบัติทางธรณีเทคนิคมีดังนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของดินลำตะคองผสมแรียิปซัมตามอัตราส่วนต่างๆ จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มแรียิปซัมในปริมาณที่สูงขึ้น ค่าขีดจำกัดความชื้นเหลวและดัชนีพลาสติกจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณแรียิปซัมสูงขึ้น จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน ค่าความหนาแน่นแห้งจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแรียิปซัมที่อัตราส่วนร้อยละ 5 และค่าความหนาแน่นแห้งจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดที่ปริมาณแรียิปซัมร้อยละ 10 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.15 กรัม/ลบ.ซม. ในการทดสอบหาค่า California Bearing Ratio (CBR) ตัวอย่างแบบ Unsoaked อายุบ่ม 7 วัน และ 14 วัน และแบบ Soaked อายุบ่ม 7 วัน ค่า CBR แบบ Unsoaked อายุบ่ม 7 วัน และ 14 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นและเมื่อผสมแรียิปซัมร้อยละ 5 ค่า CBR จะมีค่าสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 40 และร้อยละ 90 ตามลำดับ ต่อจากนั้นค่า CBR ลดลงจากร้อยละ 35.5 ถึง ร้อยละ 28 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมแรียิปซัมจากร้อยละ 10 เป็นร้อยละ 20 สำหรับกรณีแบบ Soaked ค่า CBR ลดลงตลอดจากร้อยละ 8.3 ถึงร้อยละ 5.9 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมแรียิปซัม ค่าดัชนีการบวมตัวลดลงตามจำนวนครั้งที่บดอัดเพิ่มขึ้น ที่จำนวนครั้งที่บดอัด 56 ครั้งต่อชั้นมีค่าดัชนีการบวมตัวในช่วงร้อยละ 0.47 ถึงร้อยละ 0.73 ในขณะที่ปริมาณแรียิปซัมสูงขึ้นจากร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 20 สุดท้ายค่า Undrained Shear Strength ได้จากการทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียวที่อายุการบ่ม 0, 3, 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าแรียิปซัมร้อยละ 5 ค่า Undrained Shear Strength มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาบ่มเพิ่มขึ้นและที่อายุบ่ม 28 วัน จะมีค่า Undrained Shear Strength สูงที่สุดเท่ากับ 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (เพิ่มขึ้นร้อยละ 75 จากที่ไม่ผสมแรียิปซัม)

Abstract

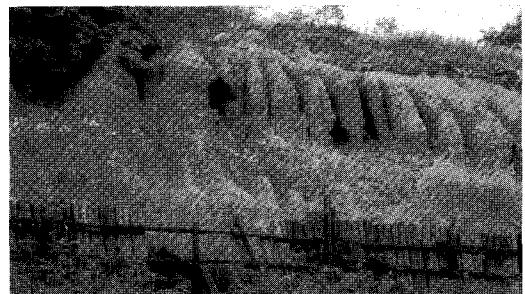
The purpose of this study was to feasible improving the Lamtakong soil with Gypsum by mixing in the percentage of Gypsum as 0%, 5%, 10%, 15% and 20% by weight of dry Lamtakong soil. From the experiment, the chemical properties of the Lamtakong soil showed that the amount of Sodium was 87.26%, the exchange Sodium

was 7.3%, the Sodium absorption rate was 6.91% and the pH was 7.6. From Pinhole Test and Double Hydrometer Test showed that the Lamtakong soil was the dispersive soil with moderately dispersion. The dispersion degree of the Lamtakong soil could be decreased when mixing higher Gypsum content at above ratio. Specifically at 5% Gypsum the dispersion degree was minimum. It can be concluded that the problems of the gully erosion and piping in Lamtakong soil were resolved by mixing with Gypsum. The geotechnical properties of Lamtakong soil mixed with Gypsum are described. The specific gravity decreased when the amount of Gypsum in the admixture increased. The liquid limit and plastic index decreased when the percentages of Gypsum increased. From the modified compaction test, the dry unit weights decreased until the amount of Gypsum reached 5% and then the dry unit weights increased continuously to the maximum value of 2.15 g/cm^3 at 10% Gypsum. The CBR tests, samples unsoaked at 7 days and 14 days curing times and soaked at 7 days curing time, were carried out. The results from unsoaked condition at 7 days and 14 days curing times indicate that the values of CBR increased by extending curing times and when 5% Gypsum was mixed, the highest values of CBR were achieved equal to 40% and 90% respectively. Then the values of CBR decreased between 35.5% to 28% when the percentages of Gypsum were between 10% to 20%. From soaked condition, the values of CBR decreased from 8.3% to 5.9% when the percentages of Gypsum increased. Swelling index decreased while increasing number of blow per layer of compaction, at 56 blows per layer the swelling index had a range from 0.47% to 0.73% while the Gypsum increased from 5% to 20%. Finally the undrained shear strength from unconfined compression tests at 0, 3, 7, 14 and 28 days curing times were performed. The test results showed that at 5% Gypsum, the undrained shear strengths increased by extending curing times and at 28 days curing time, the maximum undrained shear strength was 3.5 Kg/cm^2 (by increasing 75% as compared with unmixed Gypsum).

1. บทนำ

การก่อสร้างเส้นทางคมนาคมทางบกนั้น เช่น ถนน ทางรถไฟ และดินคันทาง (Embankment) จำเป็นต้องใช้วัสดุพื้นฐานที่มีอยู่ในท้องถิ่นนั้นๆ เพื่อเป็นการประหยัดค่าขนส่งและเวลาในการลำเลียงวัสดุมายังสถานที่ก่อสร้าง วัสดุพื้นฐานที่หาได้ง่ายในแต่ละแห่งก็คือดิน โดยที่ดินนั้นจะต้องมีคุณสมบัติในการรับกำลังได้ตามที่ต้องการ แต่เนื่องจากดินมีความแปรปรวนทางคุณสมบัติและบางครั้งอาจมีความสามารถในการรับกำลังได้ต่ำกว่าที่ต้องการและมักจะเป็นปัญหาการพังทลายของดินเช่นกรณีการพังทลายของดินคันทางรถไฟที่ อ.ลำตะคอง จ.นครราชสีมา เกิดการพังทลายเนื่องจากทั้งน้ำผิวและใต้ดินดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 เมื่อตรวจสอบขั้นตอนการออกแบบและก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการทุกประการ การหลีกเลี่ยงการใช้ดินบริเวณนี้ในการก่อสร้างนั้นเป็นทางเลือกที่ควรพิจารณาในอันดับแรก อย่างไรก็ตามบางกรณีการหลีกเลี่ยงการใช้ดิน

บริเวณนี้เป็นวัสดุก่อสร้างนั้นอาจทำได้ยากเนื่องจากแหล่งวัสดุใกล้เคียงที่เหมาะสมส่วนใหญ่เป็นดินที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน ดังนั้นเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ดินบริเวณนี้ ในการก่อสร้างก็ควรที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินและควบคุมคุณภาพการก่อสร้างควบคู่กันไปเพื่อให้มีอายุการใช้งานยาวนาน ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงดินมีผู้ทำการศึกษาไว้มีดังนี้



รูปที่ 1 การกีดเซาะบนลาดดิน

Shahid and Sahel [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการเปลี่ยนแร่แอนไฮไดรต์เป็นแร่ยิปซัมของดินเหนียวอ่อนบริเวณด้านตะวันออกของซาอุดีอาระเบีย Chen [2] ได้ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินกระจายตัวโดยทดลองใช้อะลูมิเนียมซัลเฟตร้อยละ 0.5 ผสมกับดินกระจายตัวพบว่าใช้ได้ผลดีสามารถเพิ่มกำลังได้มาก และการเพิ่มอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ร้อยละของโซเดียมอิ่มตัพลดลงด้วย George และคณะ [3] ได้ทำการ



รูปที่ 2 การกัดเซาะเป็นรูโพรงบนถนนจากบริเวณสถานีรถไฟจันทาลจันทิก อำเภอลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา

ทดสอบใช้แร่ยิปซัมและถั่วลันเตาปรับปรุงดินกระจายตัวและสรุปผลว่าเมื่อใช้แร่ยิปซัมร้อยละ 1 โดยน้ำหนักผสมลงไปดินซึ่งใช้ถั่วลันเตาแล้วบ่มไว้ 7 และ 28 วันค่ากำลังอัดของดินผสมจะดีขึ้น และเมื่อใช้ยิปซัมร้อยละ 1 และปูนขาวร้อยละ 15 พบว่ากำลังของดินจะดีขึ้นมาก Sherard และคณะ [4] ได้ชี้ให้เห็นว่าร้อยละโซเดียมในดินจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างยิปซัมและสารประกอบแคลเซียมตัวอื่น ดังนั้นยิปซัมจึงเป็นวัสดุที่ดีในการใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินและป้องกันการกระจายตัวของดินได้ Lopez และคณะ [5] ได้ศึกษาการปรับปรุงดินโดยใช้ยิปซัมผสมกับดินร้อยละ 4-6 ซึ่งได้ผลการทดลองที่ดีที่สุด โดยยิปซัมจะช่วยลดขีดจำกัดความชื้นเหลว

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินลำตะคองโดยผสมแร่ยิปซัมว่ามีคุณสมบัติของการกระจายตัว และคุณสมบัติทางด้านธรณีเทคนิคเป็นอย่างไร ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้ประโยชน์โดยคำนึงถึงข้อดีข้อเสียทั่วๆไปในการใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินและป้องกันการกระจายตัวของดิน

2. วิธีการศึกษา

ตัวอย่างดินที่นำมาทำการศึกษาเก็บมาจากบริเวณสถานีรถไฟจันทิก ตำบลจันทิก อำเภอลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา ลักษณะของดินเป็นสีน้ำตาลแดง และสีน้ำตาลเหลือง เมื่อแห้งจะแข็งมากเมื่อใช้มือบีบดินจะแตกตัวเป็นฝุ่นผง และแร่ยิปซัมที่ใช้ในการทดสอบใช้จากเหมืองแร่ยิปซัมของบริษัทปูนซิเมนต์ไทย ที่กิ่งอำเภอคงเจริญ จังหวัดพิจิตรมีขนาดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 โดยปริมาณที่ใช้ผสมกับดินเป็นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักดินแห้งซึ่งมีวิธีการศึกษาดังนี้

2.1 ทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดิน

2.1.1 วิธีหาคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดินกระจายตัวจะทำการวิเคราะห์ตามวิธีของกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

2.1.2 วิธี Double Hydrometer ตามมาตรฐาน ASTM D 422, D 4221 เพื่อหาค่า Percent Dispersion โดยใช้อัตราส่วนผสม ดินกระจายตัวต่อแร่ยิปซัมที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ

2.1.3 วิธี Pinhole test ตามมาตรฐาน ASTM D 4647 เมื่อใช้อัตราส่วนผสมดินต่อแร่ยิปซัมที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ

2.2 ทดสอบคุณสมบัติทางด้านธรณีเทคนิค

2.2.1 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินลำตะคอง อันได้แก่ Atterberg Limits ตามมาตรฐาน ASTM D 4318-98, Grain Size Analysis ตามมาตรฐาน ASTM D 421-85, D 422-63, D 1140-97, ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินตามมาตรฐาน ASTM D 854-98 และการจำแนกประเภทของดินด้วยระบบวิธี Unified Soil Classification ตามมาตรฐาน ASTM D 2487-98

2.2.2 ทดสอบอัดแบบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 1557-91 เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) เมื่อใช้อัตราส่วนผสมดินต่อแร่ยิปซัมที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยใช้แบบหล่อขนาด 4 x 4.6 นิ้ว ซึ่งจะทำให้การทดสอบอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง

2.2.3 ทดสอบ California Bearing Ratio

(CBR) ตาม มาตรฐาน ASTM D 1883-99 เมื่อใช้อัตราส่วนผสมดินต่อแบริบซัมที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยใช้แบบหล่อขนาด 6 x 7 นิ้ว ซึ่งจะทำให้การทดสอบแบบ Unsoaked อัตราส่วนผสมละ 6 ตัวอย่าง โดยจะทำการบ่มที่ระยะเวลา 7 และ 14 วัน ตามลำดับ และแบบ Soaked อัตราส่วนผสมละ 6 ตัวอย่าง โดยจะทำการบ่มที่ระยะเวลา 7 วัน แล้วจึงนำไปแช่น้ำต่อเป็นเวลา 4 วัน ก่อนนำมาทำการทดสอบ รวมระยะเวลารวมทั้งสิ้น 11 วัน

2.2.4 ทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว

(Unconfined Compression Test, UCT) ตามมาตรฐาน ASTM D 2166-98a เมื่อใช้อัตราส่วนผสมดินต่อแบริบซัมที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก โดยแบบหล่อมีขนาด 4x4.6 นิ้ว ทำการบดอัด 25 ครั้งต่อชั้นและบดอัดทั้งหมด 5 ชั้น ซึ่งจะทำให้การผสมดินต่อแบริบซัมที่ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับเมื่อต้นตัวอย่างออกจากแบบหล่อ นำแผ่นฟิล์มมาห่อหุ้มตัวอย่างให้มิดชิด ใส่ไว้ในถุงพลาสติกที่ปิดปากถุงให้แน่น บ่มที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบอายุการบ่ม นำตัวอย่างออกจากถุงแล้วทดสอบกำลังรับแรงอัดทันที

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดิน

ล้าตะคอง

3.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดิน

ล้าตะคอง

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดินล้าตะคอง พบว่าดินตัวอย่าง มีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้

1. ดินตัวอย่างมีปริมาณโซเดียมอยู่ร้อยละ 87.26 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติดินกระจายตัวเป็นจำนวนมาก โดยอร่ามศรี [6] พบว่าดินกระจายตัวสูง จะมีค่าโซเดียมอยู่สูงเกินร้อยละ 80 ขึ้นไป

2. ร้อยละของโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ (Exchangeable Sodium Percentage, ESP) มีค่าเท่ากับ 7.3 จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าดินที่มีค่าร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้ ESP สูงเกิน 7 จะเป็นดินกระจายตัว [6]

3. อัตราการดูดซับโซเดียม (Sodium Adsorption Rate, SAR) มีค่าเท่ากับ 6.91 โดยค่าอัตราการดูดซับโซเดียมจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการกระจายตัวของดิน โดยที่ค่า SAR ยิ่งสูงดินก็จะยิ่งกระจายตัวมาก และจากผลการวิเคราะห์ดินกระจายตัวเป็นจำนวนมากในประเทศไทยพบว่าดินกระจายตัวส่วนใหญ่จะมีค่า SAR สูงเกิน 2.0 ขึ้นไป [6]

4. ค่าความเป็นกรดด่างของดิน (pH) มีค่าเท่ากับ 7.6 ส่วนใหญ่ดินกระจายตัวมีค่า pH อยู่ระหว่าง 4.3 ถึง 9.3 และพบว่าดินยิ่งมีค่า pH สูงมากจะยิ่งกระจายตัวมาก [6]

3.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดินล้าตะคอง

3.1.2.1 ผลการทดสอบ Pinhole Test

จากการทดสอบ Pinhole Test ของดินล้าตะคอง ผสมแบริบซัมที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับของน้ำหนักดินแห้ง และทำการบ่มตัวอย่างที่อายุ 3, 7, 14 และ 21 วัน ผลการทดสอบสามารถจำแนกดินได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ Pinhole Test

Pinhole Classification				
G y p s u m Content	Curing Time (Days)			
	3	7	14	21
0%	ND 4	ND 4	ND 4	ND 4
5%	ND 3	ND 3	ND 2	ND 1
10%	ND 3	ND 2	ND 2	ND 2
15%	ND 3	ND 3	ND 2	ND 2
20%	ND 3	ND 3	ND 3	ND 2
Remark				
D1 และ D2 = High - Dispersion ดินมีการกระจายตัวสูง				
ND4 และ ND3 = Moderately-Dispersion กระจายตัวปานกลาง (เริ่มมีปัญหา)				
ND2 และ ND1 = Non-Dispersion ไม่มีปัญหาเรื่องการกระจายตัว				

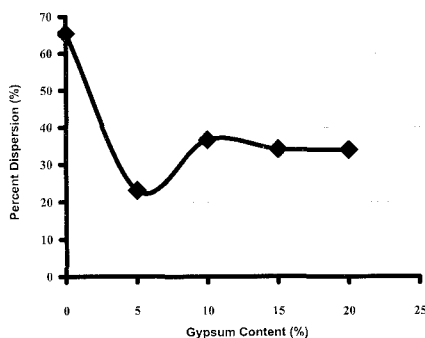
ผลการทดสอบ Pinhole Test พบว่าดินล้าตะคองล้วน มีผลการทดสอบเป็น ND4 ซึ่งอยู่ในระดับกระจายตัวปานกลาง

(Moderately Dispersion) เริ่มมีปัญหาในการกระจายตัวและเมื่อทำการผสมแรียบซ์ในอัตราส่วนต่างๆ ผลการทดสอบโดยรวมพบว่าสามารถลดการกระจายตัวได้ เนื่องจากผลการทดสอบส่วนใหญ่จะเป็น ND 2 และ ND 3 สำหรับอิทธิพลจากการบ่มตัวอย่างพบว่ามียุทธพลน้อยมาก จะมีอิทธิพลบ้างในบางอัตราส่วนเท่านั้นที่ทำให้ระดับการกระจายตัวลดลง เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้นเช่นที่ปริมาณแรียบซ์ร้อยละ 5, 10 และ 15 ส่วนที่อัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 20 ไม่มีผลกระทบจากการบ่มตัวอย่าง นั่นคือระดับการกระจายตัวคงที่เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น และให้ผลเป็น ND 3 ซึ่งอยู่ในระดับที่เริ่มมีปัญหาในการกระจายตัวที่เป็นผลดังนี้ สามารถอธิบายได้จากการเติมแรียบซ์เป็นการแทนที่ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในโครงสร้างดินทำให้ลดการกระจายตัว และเมื่ออายุการบ่มนานขึ้นการแทนที่ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ขึ้น ปริมาณร้อยละ 5 ของแรียบซ์ที่เติมลงไปลดคุณสมบัติการกระจายตัวได้ดีที่สุด หากเติมมากกว่านั้น แคลเซียมไฮดรอกไซด์มากเกินไปและปริมาณน้ำของแรียบซ์จะทำให้ดินมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้น

3.1.2.2 ผลการทดสอบ Double Hydrometer

Test

ผลการทดสอบ Double Hydrometer Test ของดินล้าตะกองผสมแรียบซ์ในอัตราส่วนการผสมร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแรียบซ์และค่า Percent Dispersion

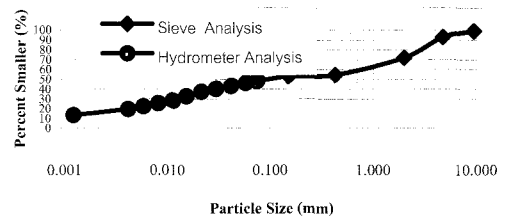
จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างดินล้าตะกองล้วนจะมี Percent Dispersion สูงกว่าตัวอย่างดินที่ผสมแรียบซ์และเมื่อทำการผสมแรียบซ์ในปริมาณร้อยละ 5 จะมี Percent Dispersion ต่ำที่สุดซึ่งเท่ากับร้อยละ 23.07 และเมื่อเพิ่มปริมาณแรียบซ์เป็นร้อยละ 10, 15 และ 20 จะมี Percent Dispersion สูงกว่าตัวอย่างดินที่ผสมแรียบซ์ร้อยละ 5 แต่ยังไม่ต่ำกว่าตัวอย่างดินล้าตะกองล้วน เหตุผลเช่นเดียวกับที่อธิบายในหัวข้อ 3.1.2.1

3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางทางด้านธรณีเทคนิค

ของดินล้าตะกอง

3.2.1 การทดสอบ Grain Size Analysis

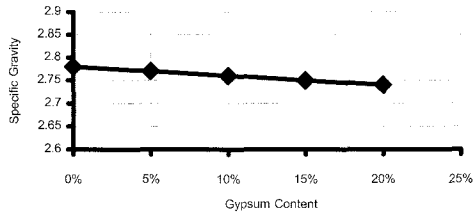
ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำตัวอย่างดินล้าตะกองก่อนที่ผสมแรียบซ์ มาทำการวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดิน ซึ่งการทดสอบจะประกอบด้วย Sieve Analysis และ Hydrometer Analysis ซึ่งส่วนประกอบของตัวอย่างดินล้าตะกอง แบ่งออกเป็นสองส่วนที่เป็นกรวด (2 - 76.2 มิลลิเมตร) เท่ากับร้อยละ 28 ส่วนที่เป็นทราย (0.075 - 2 มิลลิเมตร) เท่ากับร้อยละ 23.88 ส่วนที่เหลือจะเป็นทรายแป้งและดินเหนียว (< 0.075 มิลลิเมตร) เท่ากับร้อยละ 48.12 มีขนาดกระจายตัวตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการทดสอบ Grain Size Distribution

3.2.2 ผลการทดสอบ Specific Gravity

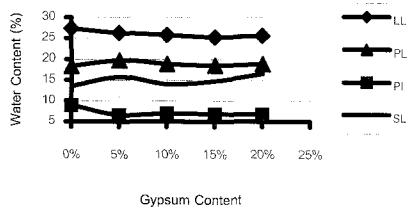
จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดินกระจายตัวผสมแรียบซ์ในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5 ค่าความถ่วงจำเพาะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณร้อยละของแรียบซ์สูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการผสมแรียบซ์ โดยที่ค่าความถ่วงจำเพาะของแรียบซ์ค่อนข้างต่ำที่ 2.38 จึงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของดินแต่ละตัวอย่างมีค่าลดลงเมื่อผสมแรียบซ์ที่ปริมาณมากขึ้น



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแบริปซั่มและค่าความถ่วงจำเพาะ

3.2.3 ผลการทดสอบ Atterberg Limit

ผลการทดสอบ Atterberg Limit นำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีที่สำคัญดังแสดงในรูปที่ 6 จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณของค่า Liquid Limit (LL) และค่า Plastic Index (PI) ลดลงในขณะที่ปริมาณของแบริปซั่มที่นำผสมลงไปสูงขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะปริมาณของแคลเซียมออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทำให้แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคของดินกับสารละลายในช่องว่างของดินดีขึ้น ทำให้ค่า Liquid Limit (LL) และค่า Plastic Index (PI) ลดลง สำหรับค่าของ Shrinkage Limit (SL) ของดินกระจายตัวที่ทำการผสมแบริปซั่มที่ร้อยละ 20 จะมีค่าสูงสุดคือร้อยละ 16 และดินล้าตะกองล้วนมีค่า SL ต่ำสุดคือร้อยละ 13 จากการจำแนกประเภทของดินตามระเบียบวิธีของ Unified Soil Classification พบว่าเป็นดินกลุ่ม SC (Clayey Sand)



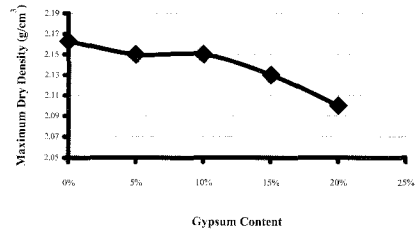
รูปที่ 6 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit และปริมาณของแบริปซั่ม

3.2.4 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่า

มาตรฐาน (Modified Compaction Test)

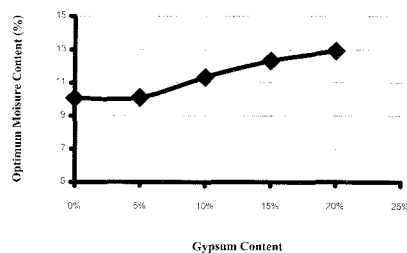
จากผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินล้าตะกองผสมแบริปซั่มในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 15 และ

20 ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) แสดงในรูปที่ 7 และค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content) ในรูปที่ 8



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของปริมาณแบริปซั่มกับความหนาแน่นแห้ง (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานพบว่าดินล้าตะกองล้วนที่นำมาทำการทดสอบมีค่าความชื้นที่เหมาะสมที่ร้อยละ 10 และค่าความหนาแน่นแห้งที่ 2.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเมื่อเพิ่มแบริปซั่มร้อยละ 5 ค่าความหนาแน่นแห้งจะลดลงต่ำกว่าดินที่ไม่ผสมแบริปซั่ม และความหนาแน่นแห้งเริ่มลดลงที่ปริมาณแบริปซั่มร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ส่วนค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมของอัตราส่วนผสมร้อยละ 5 จะมีค่าเท่ากับตัวอย่างดินที่ไม่ผสมแบริปซั่มและจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมเป็นร้อยละ 10, 15 และร้อยละ 20 ตามลำดับที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในแบริปซั่มมีอนุภาคของน้ำเมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้นค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมเพิ่มขึ้น

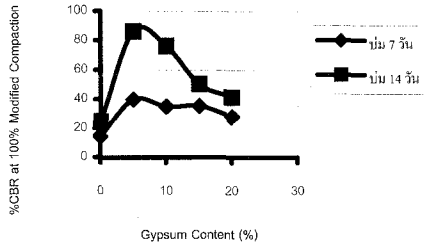


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของปริมาณแบริปซั่มกับค่าปริมาณความชื้นเหมาะสม

3.2.5 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio

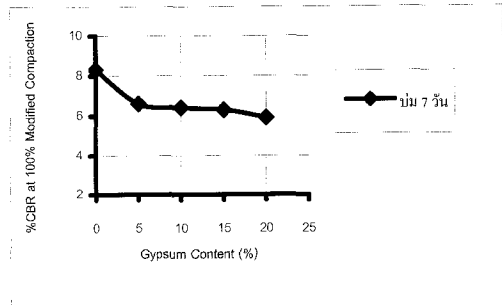
(CBR)

จากผลการทดสอบร้อยละ CBR ของดินล้าตะคองผสมแบริ่งซั่มในอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่ระยะการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน เมื่อทำการทดสอบแบบไม่แช่น้ำและแบบแช่น้ำ ทำการบ่ม 7 วัน และนำไปแช่น้ำ 4 วัน รวม 11 วันซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 9 และรูปที่ 10 และสำหรับผลการทดสอบการบวมตัวของดินตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 11



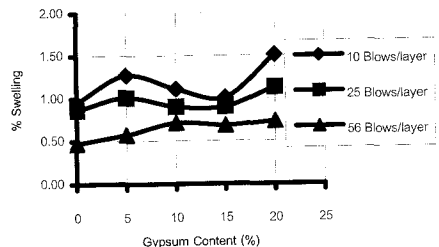
รูปที่ 9 ผลการทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำที่ 100 % Modified Compaction

ซึ่งจากรูปที่ 9 การนำดินล้าตะคองล้วนมาทดสอบหาค่า CBR แบบไม่แช่น้ำที่ทำการบ่ม 7 วัน จะได้ค่า CBR ต่ำกว่าตัวอย่างดินที่ทำการบ่ม 14 วัน ที่ผสมแบริ่งซั่มทุกอัตราส่วนผสม โดยตัวอย่างที่ผสมแบริ่งซั่มร้อยละ 5 จะได้ค่า CBR สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 40 และในส่วนของการทดสอบของการทดสอบแบบที่ทำการบ่ม 14 วัน ค่า CBR ดินกระจายตัวล้วนมีค่า CBR เท่ากับร้อยละ 24.7 ซึ่งต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมแบริ่งซั่มทุกอัตราส่วน โดยตัวอย่างที่ผสมแบริ่งซั่มร้อยละ 5 มีค่า CBR สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 90 จากผลการทดสอบนี้สามารถบอกได้ว่าตัวอย่างดินมีการพัฒนากำลังในการรับแรงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลานี้สามารถอธิบายได้จากการเติมแบริ่งซั่มเป็นการแทนที่ของโซเดียมออลอนด้วยแคลเซียมออลอน ทำให้ดินมีการยึดเกาะได้ดีขึ้นยอมได้ค่า CBR สูงขึ้น และเมื่ออายุการบ่มนานขึ้นการแทนที่ของโซเดียมออลอนด้วยแคลเซียมออลอนดีขึ้น ปริมาณร้อยละ 5 ของแบริ่งซั่มที่เติมลงไปทำให้ดินมีการยึดเกาะได้ดีที่สุด



รูปที่ 10 ผลการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำที่ 100% Modified Compaction

ในส่วนของการทดสอบแบบแช่น้ำเมื่อนำดินล้าตะคองล้วนมาทำการทดสอบหาค่าจะได้อ่า CBR เท่ากับร้อยละ 8.3 และในอัตราส่วนร้อยละ 5 ค่า CBR จะลดลงเป็นร้อยละ 6.6 และจะค่อยๆลดลงเล็กน้อยเท่ากับร้อยละ 6.4 6.3 และ 5.9 ตามลำดับ ในการเพิ่มจำนวนแบริ่งซั่มร้อยละ 10, 15 และ 20 ตามลำดับดังรูปที่ 10 ผลจากการเติมแบริ่งซั่มมากกว่าร้อยละ 5 แคลเซียมออลอนที่มากเกินไป ปริมาณน้ำของแบริ่งซั่ม และปริมาณน้ำที่แชไว้จะทำให้ดินมีการกระจายตัวเพิ่มขึ้นทำให้ค่า CBR ลดลง



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบวมตัวกับจำนวนครั้งในการบดอัดต่อชั้น

สำหรับผลการทดสอบการบวมตัวของดินผสมดังแสดงในรูปที่ 11 สรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนครั้งและชั้นในการบดอัดสามารถลดการบวมตัว และเมื่อทำการบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น การบวมตัวของตัวอย่างดินที่ผสมแบริ่งซั่มจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.47 ถึงร้อยละ 0.73 เมื่อผสมแบริ่งซั่มในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับโดยที่ปริมาณแบริ่งซั่มร้อยละ 15 จะมีการ

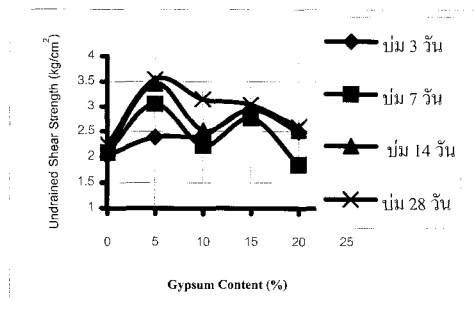
บวมตัวน้อยที่สุด ส่วนตัวอย่างดินที่ผสมแบริปซั่มที่ร้อยละ 20 มีค่าการบวมตัวสูงที่สุด เป็นไปตามหลักการคือการบดอัดเพิ่มขึ้นเป็นการให้พลังงานกับดินทำให้อนุภาคของดินยึดเกาะกันแน่นขึ้นและแรงที่ยึดเกาะมีค่ามากขึ้นทำให้ลดการบวมตัว

3.2.6 ผลการทดสอบ Unconfined Compression

Test (UCT)

ผลการทดสอบค่า UCT คำนวณค่า Undrained Shear Strength ของดินผสมยับซั่มที่อัตราส่วนการผสมร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ที่ทำการบ่ม 3, 7, 14 และ 28 วัน ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 12

จากผลการทดสอบพบว่าดินล้าตะกองล้วนมีค่า Undrained Shear Strength ต่ำกว่าค่าของดินล้าตะกองผสมแบริปซั่มที่อัตราส่วน ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ ทุกระยะเวลาการบ่ม และค่า Undrained Shear Strength จะมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนผสมยับซั่มร้อยละ 5 และทำการบ่ม 28 วัน จะได้ค่า Undrained Shear Strength เท่ากับ 3.541 Kg/cm² เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 75 จากที่ไม่ผสมแบริปซั่ม



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแบริปซั่มและค่า Undrained Shear Strength

สามารถอธิบายได้จากการเติมแบริปซั่มเป็นการแทนที่ของโซเดียมออลอนด้วยแคลเซียมออลอน เท่ากับลดปริมาณของโซเดียมออลอนในโครงสร้างดินทำให้ลดการกระจายตัว และเมื่ออายุการบ่มนานขึ้นการแทนที่ของโซเดียมออลอนด้วยแคลเซียมออลอนดีขึ้น ปริมาณร้อยละ 5 ของแบริปซั่มที่เติมลงไปเพิ่มแรงยึดเกาะของดินได้ดีที่สุด หากเติมมากกว่านั้นแคลเซียมออลอนที่มากเกินไปและปริมาณน้ำของแบริปซั่มจะทำให้ดินมีการยึดเกาะลดลง

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการศึกษา

4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของดินล้าตะกองสามารถสรุปได้ว่ามีค่าปริมาณโซเดียมอยู่ร้อยละ 87.26 และร้อยละโซเดียมที่แลกเปลี่ยนได้มีค่าเท่ากับ 7.3 มีอัตราการดูดซับโซเดียมเท่ากับร้อยละ 6.91 มีความเป็นกรดต่ำของดินเท่ากับ 7.6 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองทำให้แน่ใจได้ว่าตัวอย่างดินที่นำมาศึกษาครั้งนี้มีคุณสมบัติเป็นดินกระจายตัวระดับ ND4

4.1.2 จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินล้าตะกองและดินล้าตะกองผสมแบริปซั่ม สรุปได้ว่าเมื่อทำการผสมแบริปซั่มลงในดินล้าตะกองจะทำให้ดินล้าตะกองมีการจับตัวกันมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นทำให้ค่า Liquid Limit ลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของแบริปซั่ม และจากการจำแนกประเภทของดินตามระเบียบวิธีของ Unified Soil Classification พบว่าเป็นดินกลุ่ม SC (Clayey Sand)

4.1.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติการกระจายตัวของดินล้าตะกองพบว่าเมื่อทำการทดสอบ Pinhole Test และ Double Hydrometer Test ดินล้าตะกองล้วนมีลักษณะการกระจายตัวเป็นการกระจายตัวปานกลาง และเมื่อผสมแบริปซั่มในอัตราส่วนต่างๆ สามารถลดการกระจายตัวของดินได้ ซึ่งอัตราส่วนของปริมาณยับซั่มที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 5

4.1.4 จากการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานสามารถสรุปได้ว่า เมื่ออัตราส่วนของปริมาณแบริปซั่มร้อยละ 20 ทำให้คุณภาพของดินลดลงเพราะแบริปซั่มทำให้ดินผสมมีความหนาแน่นลดลงจากการเปรียบเทียบกับดินล้าตะกองล้วน และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก็ยังมีค่าสูงกว่าดินล้าตะกองล้วน ส่วนอัตราส่วนของปริมาณแบริปซั่มที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 5 และร้อยละ 10 เพราะทำให้ความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงสุดในขณะที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่าต่ำสุด จึงทำให้ดินสามารถรับกำลังได้ดี

4.1.5 จากการทดสอบ California Bearing Ratio สามารถสรุปได้ว่าค่าร้อยละ CBR แบบไม่แห้งตัวของตัวอย่างดินที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าร้อยละ CBR ของดินล้าตะกองที่ผสมแบริปซั่ม ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ จะพบว่าอัตราส่วนของปริมาณยับซั่มร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ มีค่าร้อยละ CBR

สูงกว่าของตัวอย่างดินที่ไม่ผสมยิปซัม โดยที่อัตราส่วนของปริมาณยิปซัมร้อยละ 5 มีค่าสูงสุด จึงเหมาะสมในการนำมาปรับปรุงคุณภาพดินมากที่สุด สำหรับร้อยละ CBR แบบแช่น้ำที่อัตราส่วนผสมต่างๆ มีค่าลดลงมากกว่าดินล้าตะกองล้วน ทั้งนี้เป็นผลจากการเพิ่มปริมาณน้ำในโครงสร้างของแรียิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ทำให้ค่าร้อยละ CBR ลดลง

4.1.6 จากการทดสอบ UCT ตามอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ตามลำดับ และนำมาบ่มที่เวลา 3, 7, 14 และ 28 วัน ซึ่งผลการทดสอบสรุปได้ว่า เมื่อนำยิปซัมมาผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 5 และระยะเวลาบ่ม 28 วัน ได้ค่า Undrained Shear Strength สูงสุด เหมาะที่จะใช้เป็นอัตราส่วนผสม ในการปรับปรุงด้านกำลังของดิน

4.2 ข้อเสนอนะ

4.2.1 จากการศึกษาโดยการนำแรียิปซัมมาผสมดินล้าตะกองแล้วทำการทดสอบในช่วงการเตรียมตัวอย่างหรือช่วงทำการผสมตัวอย่างจำเป็นต้องทำอย่างอื่นที่จะต้องทำการผสมให้เข้ากันดีที่สุดก่อนจึงทำการผสมน้ำ เนื่องจากต้องป้องกันการจับตัวเป็นก้อน และเมื่อผสมน้ำต้องคนตัวอย่างให้เข้ากันไม่เช่นนั้น แรียิปซัมจะจับตัวเป็นก้อนๆ ซึ่งจะทำให้ดินและยิปซัมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้ผลการทดสอบมีค่าคลาดเคลื่อน

4.2.2 จากการทดสอบโดยการใช้แรียิปซัมผสมดินล้าตะกองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ มาใช้ให้คุ้มค่าเพิ่มมูลค่าของแร่ภายในประเทศ อย่างไรก็ตามนำแรียิปซัมมาพัฒนาในการปรับปรุง ควรศึกษาคุณสมบัติของแรียิปซัมในระยะยาวถึงผลกระทบและความคุ้มค่าในด้านเศรษฐศาสตร์และรวมถึงระยะการขนส่งเพราะแรียิปซัมมีอยู่เพียง 5 แหล่งทั่วประเทศไทยเท่านั้น คือ จ.นครสวรรค์, จ.พิจิตร, จ.สุราษฎร์ธานี, จ.นครศรีธรรมราช และ จ.เลย

4.2.3 จากการศึกษาครั้งนี้ในการทำการทดสอบอยู่ในเวลาที่จำกัดหากมีการนำแรียิปซัมมาใช้ในงานด้านต่างๆ ควรทำการทดสอบเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ และควรปรับปรุงหรือใช้สารเคมีอื่นเพื่อเสริมจุดด้อยของแรียิปซัม

4.2.4 จากการทดสอบการใช้แรียิปซัมผสมดินล้าตะกองครั้งนี้ มีอัตราส่วนผสม 4 อัตราส่วนผสม ในการนำไปใช้หรือศึกษาควรเพิ่มอัตราส่วนผสมให้มากกว่านี้เพราะอาจจะได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำการวิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่การรถไฟแห่งประเทศไทยประจำสถานีรถไฟจันทน์ อ.ปากช่อง จ. นครราชสีมา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการทดสอบ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่บริษัทปูนซิเมนต์ไทยจำกัด (มหาชน) ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการจัดเตรียมแรียิปซัมที่นำมาใช้ในการทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shahid A., and Sahel N. A., Influence of Gypsification on Engineering Behavior of Expansive Clay, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, June, pp. 538-342, 2000.
- [2] Chen, L. J., Improvement of Dispersive Soil by Using Different Additives at Low and High P.H. Values, AIT Thesis No. Gt - 83 -15, 1982.
- [3] George, R.L., Arman, A. and Clayton, D.C., Changes in the Characteristics of Cement Stabilized Soils by Addition of Compaction Moisture, Highway Research Record, Bull.315, pp. 37-45, 1970.
- [4] Sherard, J.L., Lorn, P., Dunning, and Rey S. D., Identification and Nature of Dispersive Soil, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 1976.
- [5] Lopez-Lara.T, Zepeda-Garrido.J.A., and Castario.V.M., A Comparative Study of the Effectiveness of Different Additives on the Expansion Behavior of Clays, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1999.
- [6] อารัมศรี พัฒนโสภณ, วิถีแก้ไขดินกระจายตัว (Dispersive), วิศวกรรมสาร, ฉบับที่ 1, น. 35-39, 2532.