Go Back

CEN29

อิทธิพลของเถ้าแกลบต่อการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวโดยการใช้ปูนขาว

Effect of Rice Husk Ash on Lime Stabilization of Clay

ประภาส วันทอง[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3410 โทรสาร 0-2549-3412 E-mail: criticaldepth@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ ในการนำเถ้าแกลบมาปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนร่วมกับปูนขาว โดยใช้อัตราส่วนระหว่างปูนขาวต่อเถ้าชานอ้อย 1:1 เป็นสารผสมเพิ่ม แล้วใช้สารผสมเพิ่มผสมกับดินเหนียวตากแห้งและร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40ปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักดินเหนียว และทำการบ่มที่อายุ 7, 14 และ 28 วันจากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (UCS) ของดินปรับปรุงคุณภาพจากผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวพบว่า ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มที่เติมลงไปในดิน คือที่อัตราส่วนผสมเพิ่มร้อยละ 20 จะมีค่า UCS สูงที่สุด นอกจากนี้ค่า UCS จะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม คือ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดินปรับปรุงคุณภาพจะมีค่า UCS สูงที่สุดในทุกๆอัตราส่วนผสม ซึ่งปริมาณสารผสมเพิ่มร้อยละ 20 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ดินปรับปรุงคุณภาพจะมีค่า UCS สูงที่สุดคือ 14.32 ksc. ซึ่งจากงานวิจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการนำเถ้าแกลบมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินร่วมกับปูนขาวเพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทางในการก่อสร้างถนน

คำสำคัญ: เถ้าแกลบ, การปรับปรุงคุณภาพดิน, การบดอัดดิน, กำลังอัดแกนเดียว, ดินเหนียวอ่อน

Abstract

The focus of this paper is to evaluate the effectiveness of using rice husk ash (RHA) as admixture to enhance the lime stabilization of soft clay. The improved property of soil are investigated by unconfined compressive strength (UCS). RHA was mixed with pulverized clay and lime and UCS tests were conducted. The results of unconfined compression test shown that amount of admixture at 20% by weight of clay at curing time of 28 days has the highest UCS which is 14.32 ksc. It is feasible to use RHA as subbase in road construction because of reduced construction costs and reduced environmental impact due to the disposal of waste material as RHA.

Keywords: Rice husk ash, Lime stabilization, compaction, Unconfined Compressive Strength, Soft Clay

1. บทนำ

การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวด้วยปูนขาวนั้นจะช่วยในการลดค่า plasticity และการพองตัว (swelling) ของดิน นอกเหนือจากการเพิ่มค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfinewd Compressive Strength:UCS) ของดินเหนียว ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวนั้นการใช้ปูนขาวจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมเนื่องจากดินที่ปรับปรุงคุณภาพจะเกิดเสถียรภาพเนื่องจากการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าบวกระหว่างดินและปูนขาว (Cation exchange) และปฏิกิริยา Flocculation, Agglomeration และ Pozzolanic โดยที่การแลกเปลี่ยนประจุปฏิกิริยา Flocculation และ Agglomeration จะเกิดขึ้นในช่วงแรก ส่วนปฏิกิริยา Pozzolanic จะเกิดขึ้นในภายหลังอันจะส่งผลให้กำลังอัดแกนเดียวมีค่าสูงขึ้นในระยะยาว[1] แต่ปูนขาวจะมีราคาค่อนข้างสูงดังนั้นจึงควรนำวัสดุปอซโซลานมาใช้ร่วมกับปูนขาวในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการเกษตรของไทยได้มีการเจริญเติบโตมากขึ้นตามกำลังการบริโภคของประชากรที่เพิ่ม แต่การได้มาซึ่งผลผลิตทางอุตสาหกรรมการเกษตรย่อมต้องใช้วัตถุดิบทางการเกษตรมาทำการแปรรูป และหลังจากการแปรรูปแล้วก็จะเหลือของเหลือใช้ (By-products) ซึ่งส่วนใหญ่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เถ้าแกลบ (Rice Hush Ash) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าจากเถ้าชีวมวล ซึ่งแกลบจะเป็นของเหลือจากการปลูกข้าวโดยข้าวเปลือก 4 ตันหลังจากสีแล้วจะได้แกลบ 1 ตัน และแกลบจะถูกทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งแกลบเมื่อนำไปเผาแล้วจะได้เถ้าแกลบประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแกลบ[2] นอกจากนี้เถ้าแกลบยังเป็นผลพลอยได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งใช้เถ้าแกลบเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าในแต่ละปีมีปริมาณมาก ประเทศไทยมีการผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน และได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน เถ้าแกลบจะมีน้ำหนักเบาและฟุ้งกระจายได้ง่ายในอากาศและละลายไปกับน้ำได้ง่ายซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเถ้าแกลบมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวร่วมกับปูนขาวเพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทางสำหรับการก่อสร้างถนน เพื่อที่จะเป็นการลดปริมาณของเหลือที่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษาของชัยและคณะ [3] พบว่าเถ้าแกลบ- เปลือกไม้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน ที่ดีเมื่อมีความละเอียด และจากการศึกษา วลัยลักษณ์และคณะ[4] พบว่าเถ้าแกลบมีปริมาณ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 74.8 ผลรวมของปริมาณ SiO_2,Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เท่ากับร้อยละ 75.8 มีปริมาณ SiO_3 เท่ากับร้อยละ 0.5 ซึ่งน้อยกว่าร้อยละ 4 แต่มีค่าการสูญเสียน้ำหนัก

Go Back

เนื่องจากการเผา (LOI) เท่ากับร้อยละ 11.2 ซึ่งสูงกว่าร้อยละ10 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ- เปลือกไม้พบว่าไม่สามารถจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ตามมาตรฐาน ATMC 618 ได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเถ้าแกลบ- เปลือกไม้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี

2.วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำเถ้าแกลบมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนร่วมกับปูนขาว

2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของเถ้าแกลบที่มีต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการบดอัด

3.ขอบเขตของงานวิจัย

1. ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพที่ระดับความลึก 2-4 เมตรจากผิวดิน โดยใช้รถ back hoe ตักจากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง และย่อยให้ละเอียดด้วยเครื่องทดสอบ Los angeles Machine จากนั้นนำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40

2. เถ้าแกลบจากจังหวัดนครนายกตากแดดให้แห้งแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 เถ้าแกลบที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (ตารางขนาด 1 x 1 ซม.)

3. ใช้อัตราส่วนปูนขาวไฮเดรตต่อเถ้าชานอ้อย ที่ 1:1, 1:2, 1:4 เป็นสารผสมเพิ่ม

4. ใช้อัตราส่วนของสารผสมเพิ่มต่อดินเหนียวร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ20โดยน้ำหนักดินเหนียวแห้ง

5. ทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ โดยวิธี Modified Proctor ตามมาตรฐาน ASTM:D 1557-70

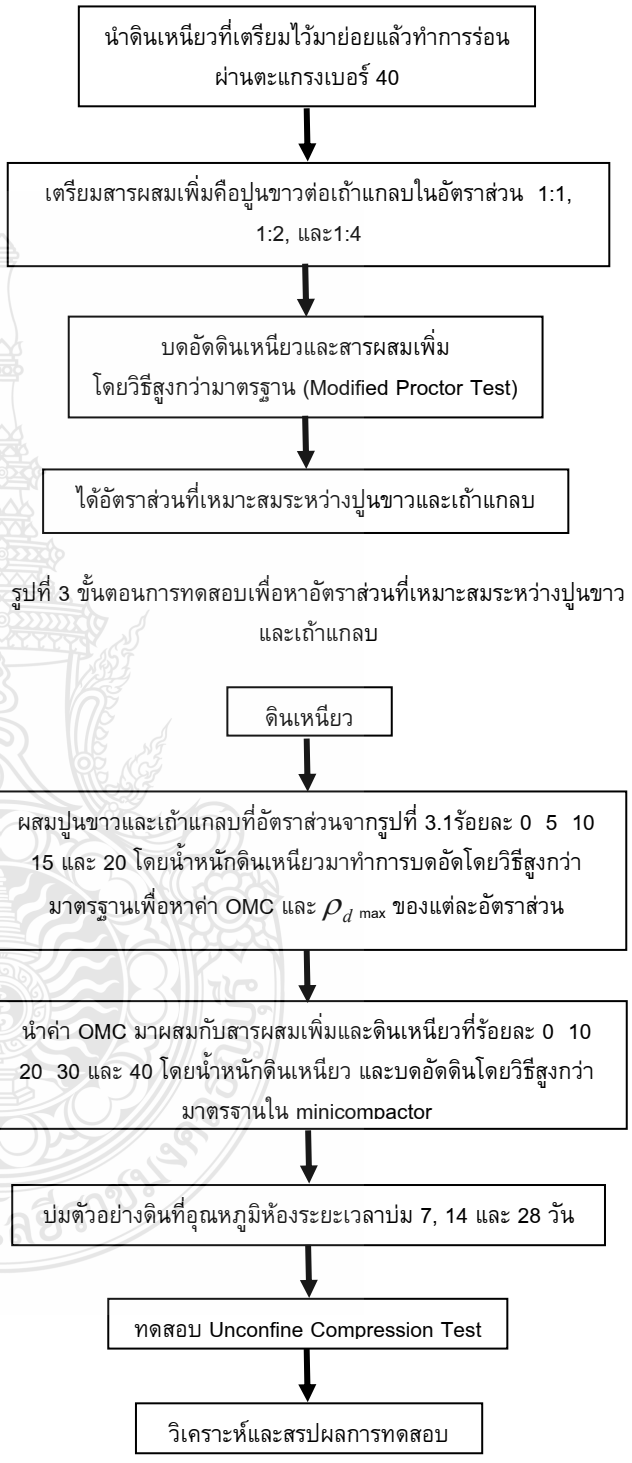
6. ขึ้นรูปตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวโดยใช้ minicompactor ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 ซม. สูง 10 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 Minicompactor สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน

7. บ่มตัวอย่างดินที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วัน

8. ทดสอบการแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test) ตามมาตรฐาน ASTM:D 2166

4. ขั้นตอนในการดำเนินงาน



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปูนขาวและเถ้าแกลบ

รูปที่ 4 การทดสอบกำลังของดินปรับปรุงคุณภาพ

5. ผลการทดสอบ

5.1 การจำแนกชนิดของดินเหนียว

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของดิน

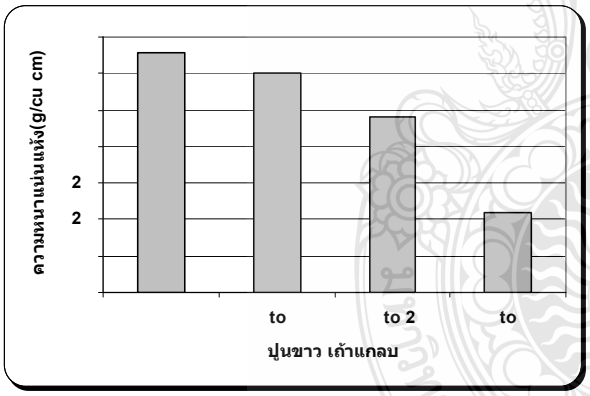
Liquid Limit : LL	58.30
Plastic Limit : PL	28.87
Plastic Index : PI	29.43
ความถ่วงจำเพาะดินเหนียว	2.62

จากสมบัติพื้นฐานของดินพบว่าดินเหนียวที่นำมาทดสอบนี้จำแนกในระบบ Unifined Classification System ว่าเป็นดินเหนียวอนินทรีย์ที่มีความเป็นพลาสติกสูง (High Plasticity Clay : CH)เนื่องจากค่า LL และ ค่า PI อยู่เหนือเส้น A-Line ของ Plasticity Chart [5] และจำแนกในระบบ ASSHTO เป็นดินกลุ่ม A7-6 [6]

5.2. อัตราส่วนระหว่างปูนขาวและเถ้าแกลบที่เหมาะสม

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารผสมเพิ่ม ค่าOMC และความหนาแน่นแห้ง

ปูนขาว:เถ้าแกลบ	OMC	ความหนาแน่นแห้ง (g/cu-cm)
0	29.5	1.410
1:1	29.2	1.400
1:2	32.5	1.341
1:4	33.2	1.210



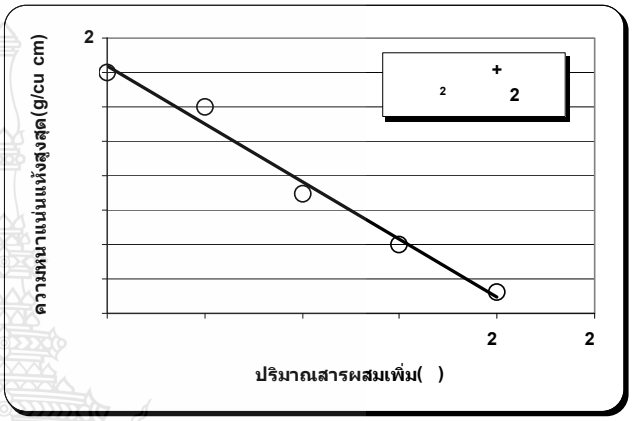
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารผสมเพิ่ม ค่าOMC และความหนาแน่นแห้ง

จากตารางที่ 2 และรูปที่ 5 พบว่าการเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่มคือปูนขาวและเถ้าแกลบลงไปในดินนั้นจะมีผลให้ค่า OMC เพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้าแกลบจะมีองค์ประกอบคล้ายถ่านดังนั้นเถ้าแกลบจะมีการดูดซึมน้ำสูงแต่ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดก็มีค่าลดลงเมื่อปริมาณของสารผสมเพิ่มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าแกลบมีน้ำหนักน้อยกว่าดินเหนียวมาก เมื่อนำไปแทนที่ในดินเหนียวจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดลดลง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างปูนขาวและเถ้าชานอ้อยที่เหมาะสมที่จะนำมาผสมกับดินเหนียวอ่อนตากแห้งคือ 1:1 เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงกว่าที่อัตราส่วน 1:2 และ 1:4

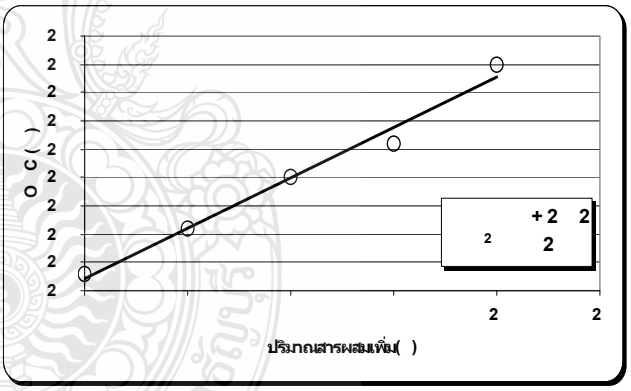
5.3 ผลการการบดอัดดิน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการบดอัดดิน

ปริมาณส่วนผสม	ปริมาณน้ำ OMC (%)	Max.Dry Density (g/cu-cm)
0	23.8	1.410
5	24.6	1.400
10	25.5	1.375
15	26.1	1.360
20	27.5	1.346



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารผสมเพิ่มและความหนาแน่นแห้ง



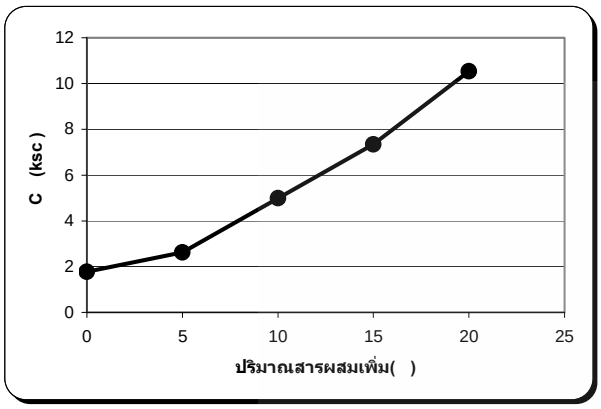
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสารผสมเพิ่มและค่า OMC

จากผลการทดสอบจากตารางที่ 3 พบว่าค่าปริมาณน้ำเพื่อใช้ในการบดอัดที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content : OMC) นั้นจะสูงขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มที่เติมลงไปในเนื้อดิน เนื่องจากเถ้าแกลบจะมีการดูดซึมน้ำมากและในการทำปฏิกิริยาของปูนขาวต้องอาศัยน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา ดังนั้นจะต้องมีการเพิ่มปริมาณน้ำให้สูงกว่าค่า OMC ของดินที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพเพื่อชดเชยน้ำที่หายไปและเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นสูงสุดที่ถูกต้องของดินในแต่ละส่วนผสม ส่วนความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณสารผสมเพิ่ม เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของเถ้าแกลบมีค่าต่ำกว่าดินเหนียวมาก คือความถ่วงจำเพาะของเถ้าชานอ้อยเท่ากับ 1.93-2.63[7] ในขณะที่ความถ่วงจำเพาะของดินเหนียวเท่ากับ 2.68 ดังนั้นการเพิ่มปริมาณส่วนผสมลงไปแทนที่ในดินจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งลดลง

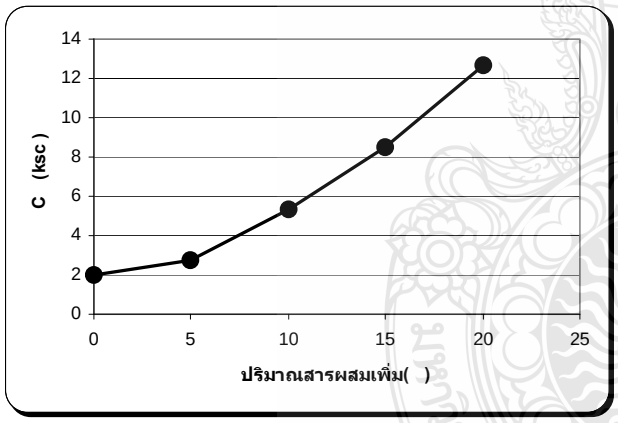
จากรูปที่ 6 เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลมีค่า Coefficient of Determination : R^2= 0.9852 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันดีมากเนื่องจากมีค่า R^2>0.80 (Draper และ Smith:1981)

จากรูปที่ 7 เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลมีค่า Coefficient of Determination : R^2= 0.9828 แสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันดีมากเนื่องจากมีค่า R^2>0.80 (Draper และ Smith:1981)

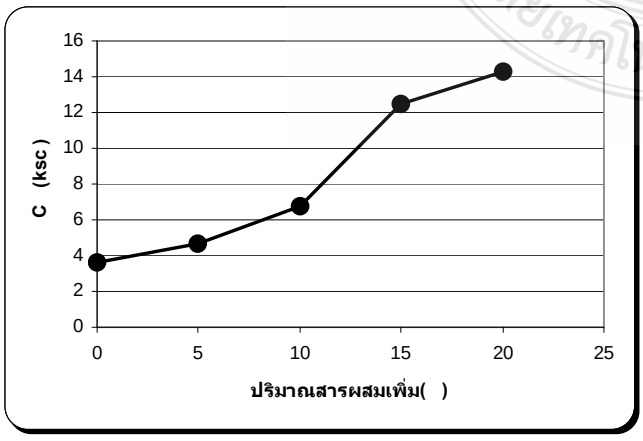
5.4 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว



รูปที่ 8 ค่ากำลังอัดแกนเดียวที่อายุการบ่ม 7 วันกับปริมาณสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนต่างๆ

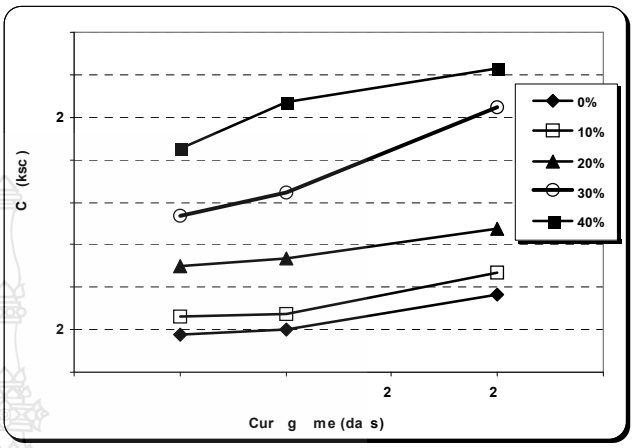


รูปที่ 9 ค่ากำลังอัดแกนเดียวที่อายุการบ่ม 14 วันกับปริมาณสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 10 ค่ากำลังอัดแกนเดียวที่อายุการบ่ม 28 วันกับปริมาณสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 8 – 10 พบว่าค่า UCS ของดินเหนียวมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใส่เข้าไปซึ่งปริมาณสารผสมเพิ่มที่ร้อยละ 20 ในทุกระยะเวลาการบ่มค่า UCS จะมีค่าสูงที่สุด คือ 10.54, 12.71 และ 14.32 ksc. สำหรับอายุการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ และการพัฒนากำลังของดินเหนียวปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม คือ ค่า UCS ของทุกอัตราส่วนผสมจะมีค่าสูงสุดที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS และระยะเวลาในการบ่ม

การเพิ่มขึ้นของค่าUCS ตามปริมาณสารผสมเพิ่มนั้นจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากรูปที่ 11 พบว่าค่า UCS จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มคือปูนขาวและเถ้าแกลบ ซึ่งที่ปริมาณสารผสมเพิ่มร้อยละ 40 ของปริมาตรดินจะมีค่า UCS สูงที่สุดในแต่ละระยะเวลาการบ่ม เมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังอัดแกนเดียวของดินที่ปรับปรุงคุณภาพจะพบว่ามีการพัฒนากำลังตามระยะเวลาการบ่ม คือ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ค่าUCS จะมีค่าสูงที่สุดในทุกอัตราส่วนผสม

6. สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

การนำปูนขาวมาใช้เป็นวัสดุประสานในการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวนั้นการเพิ่มขึ้นของค่า UCS มาจากปฏิกิริยา Pozzolanic ระหว่าง Silica และ Alumina ของดินและปูนขาว[8] โดยที่ปฏิกิริยา Pozzolanic ทำให้เม็ดดินเกิดการประสานตัวซึ่งกันและกันซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้กำลังอัดแกนเดียวเพิ่มมากขึ้น[9] ดังนั้นการเติมเถ้าแกลบจะเป็นการเพิ่มปริมาณของ Silica ซึ่งจะช่วยในการเพิ่มกำลังอัดแกนเดียว แต่การเพิ่มปริมาณเถ้าแกลบที่สูงกว่าร้อยละ 22 จะไม่ช่วยในการพัฒนากำลังอัดแกนเดียว[10] นั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ปริมาณสารผสมเพิ่มสูงสุดที่ร้อยละ 20 เนื่องจากมีปริมาณเถ้าแกลบร้อยละ 10 และปริมาณปูนขาวร้อยละ 10 ของน้ำหนักดิน ซึ่งปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินไม่ควรเกินร้อยละ 10 เพราะจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงมากเกินไป

การใช้เถ้าแกลบร่วมกับปูนขาวจะส่งผลให้ดินมีความหนาแน่นแห้งลดลงแต่มีค่า OMC สูงขึ้น และค่า UCS จะมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน งานวิจัยนี้พบว่าที่ปริมาณสารผสมเพิ่มที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนขาวต่อเถ้าแกลบที่ร้อยละ 20 ของน้ำหนักดินจะมีค่า UCS สูงที่สุดซึ่งมีค่า 14.32 ksc (1432 Kpa) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเถ้าแกลบไปใช้ในการปรับปรุง

คุณภาพดินคันทางร่วมกับปูนขาวในการก่อสร้างถนน ซึ่งจะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถนนลดลง และที่สำคัญจะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์และลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ลงอันจะส่งผลให้วัสดุเหลือใช้เหล่านั้นคงค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมน้อยลงส่งผลให้ของเสียเหล่านั้นส่งผลให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลงและยังเป็นการลดงบประมาณในการเก็บและทำลายของเหลือใช้เหล่านั้นลงอีกทางหนึ่ง

7. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาถึงค่า UCS ที่ระยะเวลาในการบ่มที่นานกว่า 28 วัน เพื่อศึกษาถึงการพัฒนากำลังอัดระยะยาว และนอกจากนี้ควรมีการทดสอบค่า California Bearing Ration (CBR) เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นชั้นพื้นทาง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลที่เอื้อเฟื้อสถานที่เพื่อใช้ในการทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] N. Kantinaris, “Re-cycling of Sugar Ash: A raw Feed Material for Rotary Kilns”, *Waste Management 24*, pp. 999-1004

[2] J.N. Jha. (2006). “Effect of Rice Husk Ash on Lime Stabilization”. *Journal of the Institution of Engineers (India)* Vol. 87 November 28,2006, pp. 33-39.

[3] พลสันธ์ พุกะทรัพย์ และ ธนนัญ วานิชชินชัย “การลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ใน คอนกรีตในคอนกรีตโดยใช้ขี้เถ้าแกลบและขี้เถ้าลอย” วิทยานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2536

[4] วลัยลักษณ์ สาระจันทร์และคณะ,” ผลกระทบความละเอียดและอัตราการแทนที่ของเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ต่อกำลังอัดและอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต”, เอกสารประกอบการประชุม ทางวิชาการการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12,พ.ศ. 2550, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์,หน้า MATS-72 ถึง MATS-78

[5] American Society for Testing Materials (ASTM) Standard. 2005

[6] American Society of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Standard. 2007.

[7] ทวีศักดิ์ แววนำและประมาณ ศรีฉัตร. 2547. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนด้วยเถ้าแกลบและแกลบบด. ม.ป.ท.

[8] M.Alhassan. Effect of Rice Husk Ash on Cemnet Stabilized Laterite. เข้าถึงได้จาก lejpt.academicdirect.org

[9] ศุภกิจ นนทนานันท์ และศรัณรัตน์ พวงพัฒน์. 2550. การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้ปูนขาวและเถ้าลอยลิกไนต์. ม.ป.ท.

[10] M.Alhassan. Effect of Rice Husk Ash on Cemnet Stabilized Laterite. เข้าถึงได้จาก lejpt.academicdirect.org