



การปรับปรุงดินเหนียวด้วยของเสียจากอุตสาหกรรม Improvement of Clay Soil with Industrial Wastes

دنوپل تاننโยпас และ ทวีศักดิ์ ถิ่นปากพนัง

Danupon Tonnayops¹ and Thawisak Thinpakphanang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ตำบลคอหงส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

Kho Hong, Hat Yai, Songkhla, 90110, Thailand

E-mail: ¹danupon.t@psu.ac.th, Telephone and Fax. 074-558834

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เพื่อทำความเข้าใจถึงผลกระทบของเถ้าแกลบสังข์หยด เถ้าไม้ยางพาราและยิปซัมเทียมที่มีต่อการปรับปรุงคุณภาพตัวอย่างดินเก็บจากฐานรากสระว่ายน้ำ ในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ม.อ.) ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของการบดอัดดีที่สุดได้จากการทดสอบแบบบดอัดมาตรฐาน เติมเถ้าแกลบสังข์หยดร้อยละ 5 และ 10 เถ้าไม้ยางพาราร้อยละ 5 10 และ 15 ยิปซัมเทียมร้อยละ 25 ผสมในตัวอย่างดิน ม.อ. ที่เติมปริมาณน้ำไปจากที่เหมาะสมสามอัตราส่วนที่ 0.50, 0.55 และ 0.60 ทดสอบพิกัดแอดเตอร์เบอร์ก ความหนาแน่นรวม ความแข็งแบบชอร์ ความทนน้ำ และกำลังอัด หลังจากบ่มในบรรยากาศควบคุม 1 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า เถ้าแกลบสังข์หยด เถ้าไม้ยางพาราและยิปซัมเทียมได้เพิ่มกำลังอัดและทนการชะละลายน้ำแก่ดินเหนียว ม.อ. อย่างมีนัยสำคัญ ผลวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของตัวอย่างดินที่ปรับปรุง กลไกของการปรับปรุงดินเหนียว ม.อ. ด้วยของเสียจากอุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ABSTRACT

This study is carried out to understand the effects of Sung Yod rice husk ash (SYRHA), rubber wood fly ash (RWFA) and flue gas desulphurization gypsum (FGD) on the stabilization of clay soil (CS) sample collecting from swimming pool foundation in Prince of Songkla University (PSU). Optimum moisture content (OMC) for the best compaction of the PSU soil was determined by standard compaction tests. Different quantities of 5 and 10wt.%SYRHA, 5, 10 and 15wt.%RWFA and 25wt.%FGD were added to PSU-CS samples with three ratios of water plus OMC at 0.50, 0.55 and 0.60. Laboratory tests on Atterberg limits, bulk density, Shore hardness, water stability and unconfined compressive strengths were performed on untreated and treated PSU samples, after curing period of 1, 7 and 28 days. The test results indicated that SYRHA+RWFA+FGD can significantly increase the unconfined compressive strength and water stability of PSU-CS sample. Based on the X-ray diffraction and scanning electron microscopy analysis of the stabilized soil, the stabilization mechanisms of these industrial waste stabilizers were hydrated in the PSU-CS sample.

1. บทนำ

ดินเป็นวัสดุก่อสร้างพื้นฐาน ช่วยรองรับโครงสร้างใต้ดินของโครงการบางประเภท และดินคันทาง ซึ่งรองรับพื้นทางและชั้นพื้นทางของผิวจราจร ดินเดิมบาง

แห่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้าง เนื่องจากความสามารถในการรับแรงแบกทาน (bearing capacity) ต่ำ และความสามารถอัดตัวได้ (compressibility) สูงหรือแม้ในบางครั้งการบวม

(swelling) เกินเช่นกรณีดินที่ขยายตัว ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (ม.อ.) วิทยาเขตหาดใหญ่ ได้มีการปลูกสร้างอาคารหลายหลังของคณะตั้งขึ้นใหม่ รวมทั้งอาคารต่อเติมและแก้ไขข้อ โดยเฉพาะในช่วงเตรียมความพร้อมเป็นเจ้าภาพจัดการแข่งขันกีฬามหาวิทยาลัยแห่งชาติ ครั้งที่ 39 ภายใน ม.อ. ได้ทำการปรับปรุงและมีการก่อสร้างสถานที่จัดการแข่งขันกีฬา ไม่ว่าจะเป็นอาคารกีฬา สระว่ายน้ำ (รูปที่ 1 ก) ได้มีการเปิดหน้าดินขุดลึกลงไปถึง 4-6 เมตร (รูปที่ 1 ข) จึงมีดินจำนวนมากที่ต้องขุดออกไป ขนมาคูกานวิจัยที่ผ่านมาเรื่องสมบัติดินทางธรณีเทคนิคในพื้นที่ ม.อ. วิทยาเขตหาดใหญ่มีน้อย ดังนั้นจึงถือโอกาสนี้นำดินดังกล่าวมาศึกษาคุณภาพของดินฐานรากระดับต้นของพื้นที่ก่อสร้างดังกล่าว นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวแทนดินของบริเวณก่อสร้างในวิทยาเขตอื่นหรือสถานที่อื่นที่มีสมบัติในการทำนองเดียวกัน การปรับปรุงดินแก่สถานก่อสร้างขาดเสียมิได้ เนื่องจากราคาที่ดินสูงขึ้นและอุปสงค์มากมายในการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้น จึงต้องคำนึงถึงสมบัติของดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพ โดยค่าใช้จ่ายครอบคลุมดำเนินการรวบรวมข้อมูลเขาทำนองเดียวกันกับการบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรม ซึ่งของเสียจากอุตสาหกรรมที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงสมบัติทางธรณีเทคนิคของดิน ได้แก่ เถ้าแกลบ [1, 2, 3] เถ้าลอย [4, 5, 6, 7] เถ้าปาล์มน้ำมัน [8] เถ้าไม้ยางพารา [3, 8] ฝุ่นเม็ดปูน [9, 10] และยิปซัมเทียม [11, 12] เป็นต้น



รูปที่ 1 ก) ฐานรากสระว่ายน้ำขุดลงไปดินที่ศึกษา และ ข) ลักษณะหน้าตัดของชั้นดินที่เก็บมาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างดินที่ศึกษาได้จากดินฐานรากที่ความลึก 4-5 เมตร บริเวณสระว่ายน้ำและอาคารกีฬา ม.อ. วิทยาเขตหาดใหญ่ ในลักษณะเสียสภาพ (disturbed sample) อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำการบดให้ละเอียด คัดขนาดเล็กลงกว่า 200 เมชหรือ 75 ไมครอน (รูปที่ 2 ก) วัสดุปรับปรุงดินประกอบด้วย เถ้าแกลบสังข์หยด (SYRHA) จากโรงสีข้าววิสาหกิจชุมชนสังข์หยด จังหวัดพัทลุง (รูปที่ 2 ข) เถ้าลอยไม้ยางพารา (RWFA) เป็นของเสียที่ได้จากเชื้อเพลิงของโรงงานผลิตถ่านไม้ยาง จังหวัดสงขลา (รูปที่ 2 ค) ยิปซัมเทียม (FGD) เกิดจากกระบวนการดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (รูปที่ 2 ง) ของโรงไฟฟ้ากระบี่ อำเภอลองท่อม จังหวัดกระบี่



รูปที่ 2 วัตถุดิบที่ใช้ศึกษาครั้งนี้ ก) ตัวอย่างดิน ข) เถ้าแกลบสังข์หยด ค) เถ้าลอยไม้ยางพารา และ ง) ยิปซัมเทียม

2.2. การเตรียมตัวอย่าง

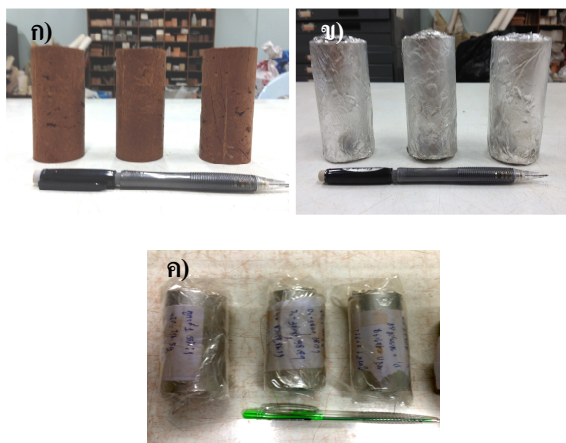
ยิปซัมเทียมอบที่อุณหภูมิ 115 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. ให้สลายเป็นปูนขาว (hydrated lime) บดละเอียดด้วยเครื่องบดปากกรวย (Gyratory) เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง และเครื่องบดลูกบอลกระแทก (Ball mill) อีกประมาณ 30 นาที คัดขนาดเล็กลงกว่า 45 ไมครอน อัตราส่วนผสมของดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพกำหนดไว้ 3 สูตรแสดงไว้ในตารางที่ 1 ตัวอย่างดินขึ้นรูปเป็นแท่ง

ทรงกระบอกด้วยกระบอกทรงทั้งขนาดเล็ก (Mini procter) วิธีกระทุ้งแบบปรับปรุง มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.85 เซนติเมตร สูง 8.50 เซนติเมตร (รูปที่ 3 ก) ผสมน้ำใน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของบรรดาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

สัญลักษณ์ สูตร	ปริมาณ (%)			
	ดิน	SYRHA	RWFA	FGD
CRWG1	55	0	20	25
CRWG2	55	5	15	25
CRWG3	55	10	10	25

ส่วนผสมตัวอย่างสูงจากปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) เป็นร้อยละ 50 55 และ 60 น้ำที่เกินไปช่วยในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างยิปซัมเทียบกับตัวอย่างดินและเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานกับเถ้าแกลบสังเคราะห์ สังเกตว่ามีความร้อนเกิดขึ้นสูงถึงประมาณ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งพบเช่นเดียวกันในงานวิจัยของ Bourjan et al. [11] และ Chimnee et al. [12] ซึ่งตัวอย่างดินทั้งหมดเก็บรักษาโดยการห่อด้วยพลาสติกใสและกระดาษแผ่นตะกั่ว (รูปที่ 3 ข) ก่อนหุ้มด้วยถุงพลาสติก (รูปที่ 3 ค) แล้วเก็บใส่ไว้ในถังโฟมที่มีน้ำหล่อเลี้ยงตลอด เป็นเวลา 1 7 และ 28 วัน



รูปที่ 3 ก้อนตัวอย่าง ก) ก้อนตัวอย่าง ข) ห่อด้วยกระดาษแผ่นตะกั่ว และ ค) ถุงพลาสติกหุ้มตัวอย่างนอกสุด

2.3 การทดสอบตัวอย่าง

วัดการกระจายขนาดของดินด้วยเครื่องวัดอนุภาคด้วยแสงเลเซอร์ และจำแนกชนิดดินด้วยการทดสอบพิกัดแอตเทอร์เบิร์ก (Atterberg limits test) ตามวิธี ASTM D4318 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของตัวอย่างดินทดสอบตามวิธี ASTM D698 [13] ทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) ด้วยเครื่อง Hardness Tester (EQUO TIP) รุ่น CA 6525 กำลังอัดแกนเดียวตาม ASTM D2166 [14] ทดสอบการชะละลายของดินตามมาตรฐานกรมทางหลวง พื้นทางดินซีเมนต์ [15] ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง 3 ก้อน

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบทั้งหมดผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการวาวแสงรังสีเอกซ์ (X-ray fluorescence-XRF) ดินที่ใช้มี SiO_2 อยู่ร้อยละ 43.88 ส่วนเถ้าแกลบสังเคราะห์มีปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ รวมกันได้ร้อยละ 74.7 เทียบตาม ASTM C618 พบว่าจัดอยู่ในระดับประเภท F (ตารางที่ 2) ส่วนเถ้าไม้ยางพาราและยิปซัมเทียมนมี CaO สูงถึงร้อยละ 43.14 และ 70.43 ตามลำดับ ทำนองเดียวกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของบรรดาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบ ทางเคมี	ปริมาณ (%)			
	ดิน	SYRHA	RWFA	FGD
CaO	0.37	1.94	43.14	70.43
SiO_2	43.88	66.13	3.29	14.41
Al_2O_3	24.92	5.48	0.33	2.66
Fe_2O_3	19.73	3.23	0.59	3.63
MgO	-	1.68	3.82	1.38
P_2O_5	-	8.35	2.53	-
MnO	0.14	0.61	-	-
SO_3	-	0.92	1.02	3.78
K_2O	1.92	8.35	20.12	0.97
MnO_2	-	-	1.35	-

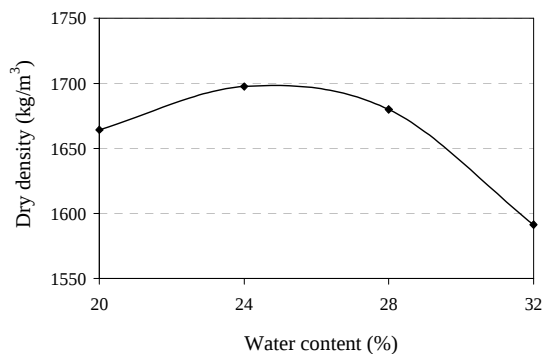
ตารางที่ 2 (ต่อ) องค์ประกอบทางเคมีของบรรดาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)			
	ดิน	SYRHA	RWFA	FGD
TiO ₂	1.22	0.80	-	0.22
LOI	7.76	2.51	23.74	2.44

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 การจำแนกและสมบัติดัชนีของดิน

วัดความชื้นเหลวของดินได้ค่าพิกต์เหลว (LL) เท่ากับร้อยละ 46.33 จัดเป็นดินเหนียวในเคโอลิไนต์ (Kaolinite) และค่าพิกต์พลาสติก (PL) ร้อยละ 23.47 ซึ่งค่าดัชนีพลาสติก (PI) ร้อยละ 22.86 เมื่อเทียบกับแผนภาพระบบการจำแนกดินเอกภาพ จัดอยู่ในดินประเภท CL และปริมาณน้ำเหมาะสมคือร้อยละ 24 (รูปที่ 4) กำลังอัดของดิน (Unconfined compressive strength) 4.34 กิโลพาสคัล

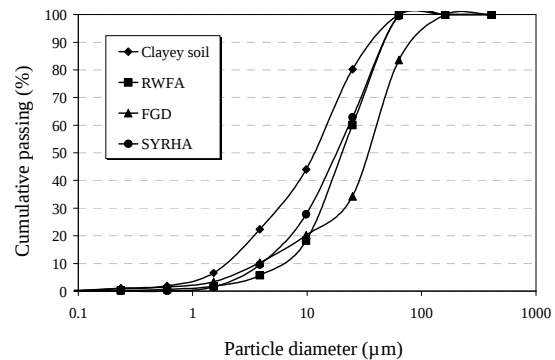


รูปที่ 4 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของตัวอย่างดินทดสอบ

3.2 การกระจายขนาดของวัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้หลังผ่านการคัดขนาดพบว่าการกระจายขนาดก่อนข้างคิ (รูปที่ 5) ตัวอย่างดินกระจายตัวในช่วง 0.04-76.43 ไมครอน เหล็ก (d₅₀) 12.65 ไมครอน แก้วเคลือบสังกะยกระจายตัวในช่วง 0.04-83.90 ไมครอน เหล็ก 14.89 ไมครอน แก้วไมยางพารากระจายตัวในช่วง 0.04-83.90 ไมครอน เหล็ก 12.96 ไมครอน และขี้ปซัมเทียมกระจายตัวในช่วง 0.04-121.8 ไมครอน เหล็ก 24.69 ไมครอน และการ

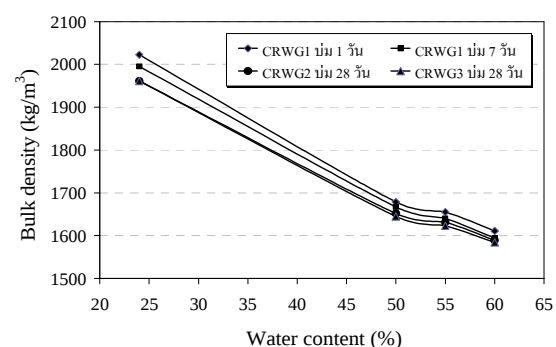
คัดขนาดของตัวอย่างดินมี ค่า ส.ป.ส. ความสม่ำเสมอ (uniformity coefficient-C_u) เท่ากับ 8.5 และ ส.ป.ส ของขนาดละเอียด (gradation coefficient -C_z) เท่ากับ 0.66 ซึ่งจัดเป็นดินที่ได้ส่วนขนาดละเอียด (well-graded soil)



รูปที่ 5 การกระจายขนาดของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงเสถียรภาพ

3.3 ความหนาแน่นรวม

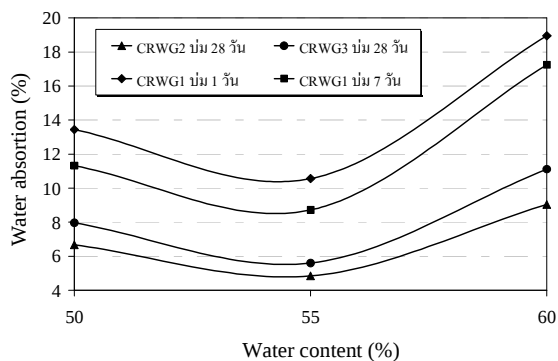
ตัวอย่างดินผสมแก้วเคลือบสังกะยหัด แก้วไมยางพารา และขี้ปซัมเทียม ที่สูตรดิน CRWG3 บ่ม 28 วัน มีค่าความหนาแน่นรวมต่ำสุด 1,584 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และที่ตัวอย่างดินบ่ม 1 วัน มีค่าสูงสุด 2,022 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณน้ำที่เติมเพิ่มจากปริมาณน้ำที่เหมาะสม (ร้อยละ 24) เป็นร้อยละ 50 55 และ 60 ของตัวอย่างดินแต่ละสูตร มีผลทำให้ค่าความหนาแน่นรวมมีค่าลดลงตามลำดับ (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพ

3.4 การดูดซึมน้ำ

ตัวอย่างดินผสมเถ้าแกลบสังขยด เถ้าไม้ยางพารา และขี้ปซัมเทียม มีการดูดซึมน้ำลดลงได้แปรผันตามทั้งอัตราส่วนเถ้าแกลบสังขยด เถ้าไม้ยางพาราและขี้ปซัมเทียมแทนที่และปริมาณน้ำที่เติม อายุบ่ม (รูปที่ 7) การดูดซึมน้ำน้อยลดลง โดยค่าการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดของดินสูตรผสม CRWG2 ที่เติมน้ำร้อยละ 55 บ่ม 28 วัน และการดูดซึมน้ำมากที่สุดอยู่ที่สูตรผสม SCGW1 ที่เติมน้ำเป็นร้อยละ 60 บ่ม 1 วัน สังเกตว่าการดูดซึมน้ำที่อัตราส่วนเติมน้ำเท่ากัน แต่ค่าผกผันกับค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 6)



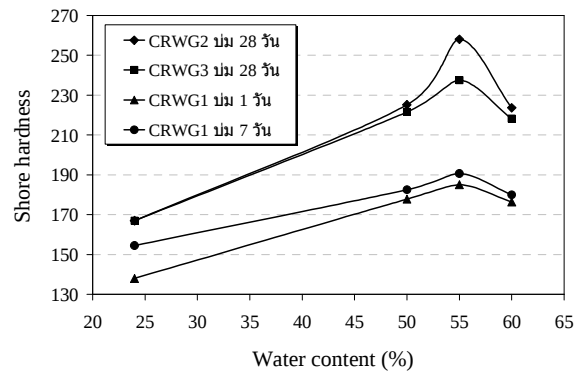
รูปที่ 7 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพ

3.5 ความแข็งแบบชอร์

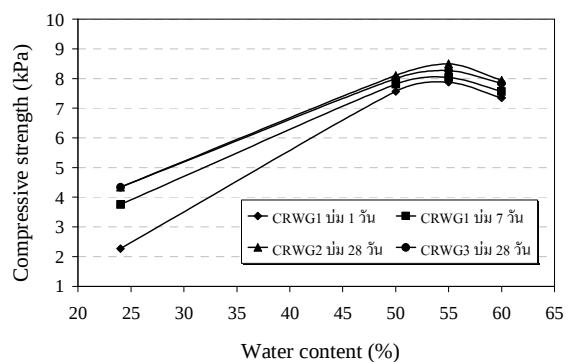
ความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) ของตัวอย่างดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพมีแนวโน้มแปรผันตามอายุบ่มและที่สูตรผสม CRWG2 ที่ปริมาณน้ำที่เพิ่มเป็นร้อยละ 55 บ่ม 28 วัน มีค่าสูงสุด 258 และตัวอย่างดินที่ปริมาณน้ำเหมาะสม บ่ม 1 วัน มีค่าต่ำสุด 138 (รูปที่ 7) สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม ยกเว้นดินไม่ผสมตรงกันข้าม เนื่องจากเนื้อดินอ่อนนุ่มได้ดูดซับแรงกดค่าจึงอ่านได้ต่ำ

3.6 กำลังอัด

กำลังอัดของตัวอย่างดินผสมเถ้าแกลบสังขยด เถ้าไม้ยางพาราและขี้ปซัมเทียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแปรผันตามอายุบ่ม ที่สูตร CRWG2 ที่ปริมาณน้ำร้อยละ 55 อายุบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 8.5 กิโลพาสคัล และตัวอย่างดินเมื่อเติมน้ำที่ที่เหมาะสมร้อยละ 24 บ่ม 1 วัน มีค่าต่ำสุด เท่ากับ 2.27 กิโลพาสคัล (รูปที่ 9)



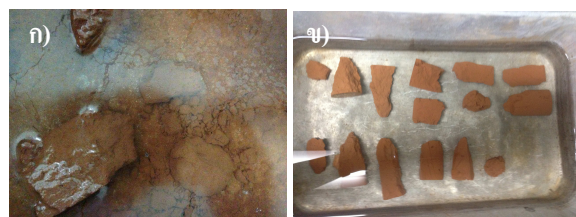
รูปที่ 8 ความแข็งแบบชอร์ของตัวอย่างดินที่ปรับปรุง



รูปที่ 9 กำลังอัดของตัวอย่างดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพ

3.7 การชะละลายของตัวอย่างดิน

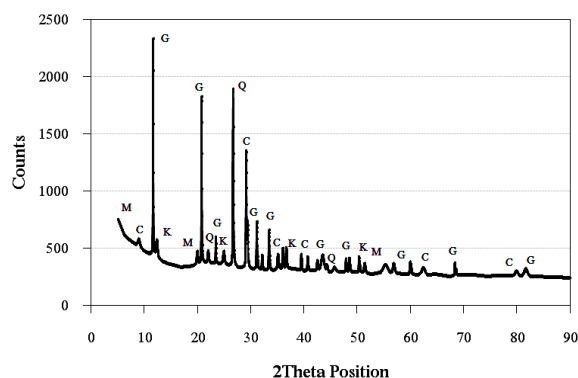
ผลการแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน เห็นได้ว่าชิ้นส่วนก้อนตัวอย่างที่ไม่ปรับปรุงเสถียรภาพเกิดการชะละลายเป็นตะกอนเห็นได้ชัดเจน (รูปที่ 10 ก) ส่วนดินที่ผ่านการปรับปรุงชะละลายเล็กน้อยจนถึงไม่ชะละลาย (รูปที่ 10 ข) โดยเฉพาะสูตรที่เติมเถ้าไม้ยางพาราเพิ่มชิ้นการชะละลายน้ำลดลง อันเป็นผลจากการยึดกันแน่นจับกันเป็นก้อนเนื้อเดียวกันของปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างเถ้าไม้ยางพารากับตัวอย่างดิน



รูปที่ 10 การชะละลายของชิ้นตัวอย่างดิน (ก) ที่ไม่ปรับปรุงเสถียรภาพ และ (ข) ที่ปรับปรุงเสถียรภาพ

3.8 วิทยาการประกอบขึ้นใหม่

ก่อนตัวอย่างดินปรับปรุง CRGW2 เติมน้ำร้อยละ 55 อายุบ่ม 28 วัน วิเคราะห์แร่ประกอบขึ้น (XRD) ตรวจพบมีแร่ 5 ชนิด (รูปที่ 11) และผลคำนวณปริมาณแร่ของ แต่ละชนิดอย่างคร่าวๆ จากพื้นที่ใต้กราฟ XRD คิดเป็นร้อยละ ได้ว่า แร่แคลไซต์ (CaCO_3 -C) 6.96 ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -G) 35.48 ควอตซ์ (Quartz-Q) 21.46 มัสโคไวต์ (Muscovite-M) 19.44 เคโอลิไนต์ (Kaolinite-K) 16.65 โดยเฉพาะแร่ที่เกิดขึ้นใหม่น่าเป็น แร่แคลไซต์ที่เป็นผลมาจากเถ้าไม้ยางพารา และยิปซัม เทียมที่เกิดขึ้นรูปกลับเป็นยิปซัมอีกครั้ง อันเนื่องจากมี ปริมาณสารประกอบ CaO ทำปฏิกิริยากับน้ำได้เป็นแร่ทั้งสองดังกล่าว ส่วนแร่ควอตซ์ ไมโครไคลน์และเคโอลิไนต์ เป็นแร่ที่มีอยู่เดิมในดิน ม.อ. ผลวิเคราะห์ครั้งนี้ได้ในการทำนอง เดียวกับงานวิจัยของ Bourjan et al. [11] และ Chimme et al. [12] ที่พบว่าเกิดมีปริมาณยิปซัมเป็น ส่วนใหญ่

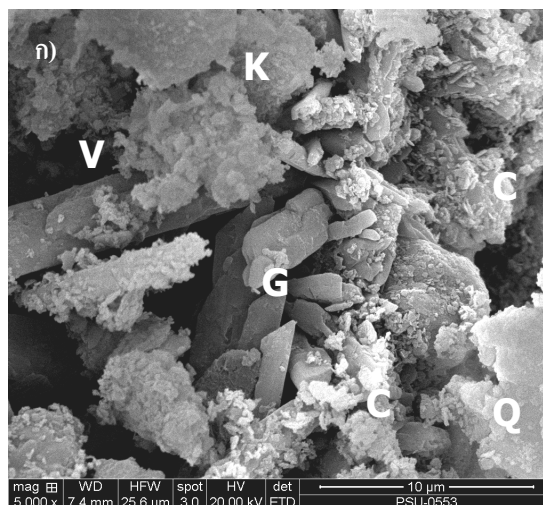


รูปที่ 11 ลายพิมพ์ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่าง ดินที่ปรับปรุงสูตร CRGW2 น้ำร้อยละ 55 บ่ม 28 วัน

3.9 โครงสร้างจุลภาค

ตัวอย่างดินชุดเดียวกับวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสี เอกซ์ ได้นำมาตรวจโครงสร้างจุลภาค พบว่าเนื้อดินมีความ พรุณ (V) ซึ่งภายในซอกโพรงมีผลึกยิปซัม (G) ซึ่งเป็นรูป แท่งสี่เหลี่ยมปลายตัดเฉียง (รูปที่ 12) ส่วนแร่แคลไซต์ (C) ออกเป็นทรงพุ่มเข็มแท่งออกมาอยู่บนแผ่นแร่อื่น

มัสโคไวต์ (M) มองเห็นเป็นแผ่นบาง (รูปที่ 12 ข) ส่วน ควอตซ์ใสขอบคม (Q)



รูปที่ 12 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ ดินที่ปรับปรุงสูตร CRGW2 ด้วยกำลังขยาย (ก) 5,000 เท่า และ (ข) 10,000 เท่า

4. สรุปผลการวิจัย

ดินที่ศึกษาในพื้นที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จำแนกได้เป็นดินเหนียวพลาสติกต่ำ สามารถปรับปรุง เสถียรภาพด้วยวิธีทางเคมีได้ผลอย่างเป็นที่น่าพอใจ เถ้า แกลบสังกะยัดที่ใช้มีคุณลักษณะเทียบได้กับสารปอซโซ ลานเถ้าลอย ชนิด F การเติมน้ำเพิ่มจากปริมาณน้ำที่

เหมาะสม (ร้อยละ 24) ของดิน ม.อ. เป็นร้อยละ 50 55 และ 60 พบว่าปริมาณน้ำร้อยละ 55 และอายุบ่มที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัดแกนเดียวของดินเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของแต่ละสูตรผสม มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 8 เท่า เมื่อเทียบกับก้อนตัวอย่างดิน และการดูดซึมน้ำของสูตร CRWG2 อายุบ่ม 28 วัน มีค่าน้อยสุด ซึ่งวิธีนี้สามารถปรับปรุงใช้พื้นที่กันทางในการทำทางเดินหรือลานจอดรถในพื้นที่รองรางรถไฟ โดยไม่ต้องใช้อิฐปูพื้นหรือพื้นคอนกรีตหรือลาดยางมะตอยหรือลงหินเกล็ด ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากการพื้นดังกล่าวได้แผ่ความร้อนขึ้นมาและให้ความกลมกลืนกับ

สภาพพื้นแบบธรรมชาติ อันถือว่าเป็นวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพดินแบบสีเขียว (green soil stabilization)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โรงไฟฟ้ากระบี่ บริษัท เซฟสกินคอร์ปอเรชั่น จำกัด จังหวัดสงขลา และวิสาหกิจชุมชน บ้านกลาง จังหวัดพัทลุง ที่ให้การสนับสนุนวัตถุดิบดังกล่าวที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rahman, M.A. A comparative study of the potentials of rice husk ash on cohesive and cohesionless soils. *Building and Environment*, 1987; 22(4): 331-337.
- [2] Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B. and Muntohar, A.S. Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, 2005; 19(6): 448-453.
- [3] อรุณ สุวรรณสุนทร ดนุพล ตันนโยภาส และ พิพัฒน์ ทองนิม. (2552). ผลกระทบของการผสมตัวปรับสภาพเถ้าแกลบและเถ้าไม้ยางพาราที่มีต่อดินเหนียวสงขลาสำหรับวัสดุคันทาง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 21-22 พฤษภาคม 2552 หน้า 21-26.
- [4] Kamei, T., Ahmed, A. and Shibi, T. The use of recycled bassanite and coal ash to enhance the strength of very soft clay in dry and wet environmental conditions. *Construction and Building Materials*, 2013; 38: 224-235.
- [5] Kolias, S., Kasselouri-Rigopoulou, V. and Karahalios, A. Stabilisation of clayey soils with high calcium fly ash and cement. *Cement & Concrete Composites*, 2005; 27(2): 301-313.
- [6] Misra, A., Biswas, D. and Upadhyaya, S. Physico-mechanical behavior of self-cementing class C fly ash-clay mixtures. *Fuel*, 2005; 84(11): 1410-1422.
- [7] Senol, A., Edil, T.B., Bin-Shafique, Md.S., Acosta, H.A. and Benson, C.H. Soft subgrades' stabilization by using various fly ashes. *Resources, Conservation and Recycling*, 2006; 46(4): 365-376.
- [8] ดิษฐพร แก้วมณีโชติ ดนุพล ตันนโยภาส และพิพัฒน์ ทองนิม. (2551). พฤติกรรมทางกายภาพ – เชิงกลของส่วนผสมดินเหนียวปากพนังกับเถ้าไยปาล์มน้ำมันและเถ้าไม้ยางพาราที่ชีดประสานด้วยตนเอง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, 14-16 พฤษภาคม 2551, รร.จอมเทียนปาล์มบีช พัทยา จ.ชลบุรี.
- [9] ดนุพล ตันนโยภาส กลยุฑ หนูเมือง และ ชีรพัฒน์ นวลประดิษฐ์. (2553). ผลกระทบของฝุ่นเมีตุปนมีต่อดินลูกรังที่ปรับปรุง. การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่โลหการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 9, 13-14 มกราคม 2554, รร.มณเฑียร ริเวอร์ไซด์ กทม.
- [10] ดนุพล ตันนโยภาส พงศ์นิจ ศรีสุข และ ชีรพัฒน์ นวลประดิษฐ์. (2554). การพัฒนาอิฐดินประสานทางแร่ดินขาวผสมฝุ่นเตาเผาปูนและยิปซัมเทียม. การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่โลหการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 9, 13-14 มกราคม 2554, รร.มณเฑียร ริเวอร์ไซด์ กทม.

- [11] Bourjan, P., Tonnayopas, D. and Tongchim, P. Novel soil stabilization method used flue gas desulphurization gypsum and oil palm ash in highway construction. *The 10th International Conference on Mining, Materials and Petroleum Engineering and The 6th International Conference on Earth Resources Technology : PSU-IC 2012*, May 9-11, 2012, Songkhla, Thailand.
- [12] Chimmee, R., Tonnayopas, D. and Tongchim, P. Enhancing properties of clayey soil with compacted flue gas desulphurization sludge and Para rubber wood fuel ash. *The 4th KKU International Engineering Conference 2012 (KKU-IENC 2012)*, May 10-12, Khon Kaen University, Thailand, 2012.
- [13] ASTM D4318 -05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
- [14] ASTM D2166 - 06 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
- [15] มาตรฐาน ทล.-ม. 204/2533 มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base). กรมทางหลวง