



การใช้ตะกอนที่ได้จากการขุดลอกทะเลเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง Dredged Marine Sediment used for Pavement Material Substitution

วรรณวรงค์ รัตนานิคม¹ และสยาม ยิ้มศิริ^{*}

Received: September, 2017; Accepted: January, 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี เป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วน ทราย:ดินตะกอนทะเล โดยน้ำหนักแห้งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 จากนั้นส่วนผสมจะถูกทดสอบหาคุณสมบัติทางดัชนี ได้แก่ ขนาดคละ พิกัดอัตราซีเมนต์ และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง โดยผลการศึกษาพบว่าสามารถแทนที่ทรายด้วยดินตะกอนทะเลได้ถึงร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้งรวม โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติใด ๆ ของทราย นอกจากนี้ยังสามารถแทนที่ทรายด้วยดินตะกอนทะเลได้ถึงร้อยละ 15 ของน้ำหนักแห้งรวม เพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง ร้อยละ 20 ของน้ำหนักแห้งรวมเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข ชั้นทรายถมคันทาง และชั้นดินถมคันทาง และร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้งรวมเพื่อใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ข และชั้นดินถมคันทางได้

คำสำคัญ : ดินตะกอนทะเล; ทราย; วัสดุงานทาง; ชั้นทาง; คุณสมบัติทางวิศวกรรม

¹ Faculty of Engineering, Burapa University, Chon Buri

^{*} Corresponding Author E - mail Address: ysiam@buu.ac.th

Abstract

This research studies a possibility of using dredged marine sediment for pavement material substitution. The dredged marine sediment is obtained from Laem Chabang Port, Thailand. Sand is replaced by dredged marine sediment at various sand:sediment ratios are 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, and 0:100 by dry weight. The mixtures are undergone several tests to determine: (i) index properties, i.e. grain size distribution, Atterberg limits, and specific gravity and (ii) engineering properties, i.e. compaction and CBR. The obtained results are compared with standard specifications for highway materials of the Department of Highway, Thailand. The study shows that the sand can be replaced by the dredged marine sediment of up to 5 % of total dry weight without any significant alteration to the properties of sand. Moreover, the sand can be replaced by the dredged marine sediment of up to 15 % of total dry weight for being used as subbase, 20 % of total dry weight for being used as selected material A and B and sand embankment, and 30 % of total dry weight for being used as selected material B and soil embankment.

Keywords: Marine Sediment; Sand; Highway Material; Pavement; Engineering Properties

บทนำ

การขนส่งสินค้าทางน้ำเป็นการขนส่งที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยมีท่าเรือเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ ท่าเรือต้องมีการขุดลอกอย่างสม่ำเสมอ (Maintenance Dredging) เพื่อรักษาระดับความลึกของท่าเทียบและร่องน้ำให้เรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่สามารถเข้าจอดเทียบท่าได้ โดยวัสดุที่ถูกขุดลอก (Dredged Material) เกิดจากการสะสมของวัตถุต้นกำเนิด (การสลายตัวของหินและแร่ธาตุ) บริเวณชายฝั่งที่ทับถมกันเนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำและระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง วัสดุนี้มีปริมาณความชื้นสูง มีคุณสมบัติด้านกำลังต่ำ และอาจมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก จึงอาจเรียกได้ว่าเป็น “ขยะทางสิ่งแวดล้อม” เนื่องจากปริมาณวัสดุที่ถูกขุดลอกมีจำนวนมากจึงก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมตามมาเนื่องจากต้องกำจัดอย่างเหมาะสม ปัจจุบันวิธีการกำจัดขยะดังกล่าวแบบดั้งเดิม เช่น การทิ้งในทะเลลึกมีข้อจำกัดทางกฎหมายทั้งในและระหว่างประเทศ นอกจากนี้วิธีการกำจัดแบบอื่น เช่น การทิ้งบนบกก็มีข้อจำกัดด้านค่าดำเนินการตลอดจนปัญหาการขาดแคลนพื้นที่ขนาดใหญ่เพื่อรองรับปริมาณขยะจำนวนมาก [1] เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่ถูกขุดลอกเพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานทาง โดยนำวัสดุที่ได้จากการขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี แทนที่ทรายในสัดส่วนต่าง ๆ และทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมที่ได้ คือ 1) คุณสมบัติทางดัชนี คือ ขนาดคละพิกต์คัตเตอร์เบิร์ก และความถ่วงจำเพาะ และ 2) คุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถช่วยในการออกแบบชั้นโครงสร้างทางที่ใช้วัสดุที่ถูกขุดลอกเป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างได้

การใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกขุดลอก

วัสดุที่ถูกขุดลอก คือ ดินตะกอนเนื้อละเอียด (อาจเป็นทรายถึงทรายปนซิลต์ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ทำการขุดลอก) ที่เกิดจากการสะสมบริเวณชายฝั่งของวัตถุต้นกำเนิดจากอิทธิพลของกระแสน้ำและระดับน้ำทะเลที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเป็นสาเหตุให้ชายฝั่งตื้นเขินส่งผลกระทบต่อการเข้าเทียบท่าของเรือบรรทุกสินค้าและมีความจำเป็นต้องขุดลอกออกเป็นระยะ ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว มีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาการนำวัสดุที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งทะเลมาใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมโยธา เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม เพื่อลดปัญหาการกำจัดทิ้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าขยะทางสิ่งแวดล้อมและประหยัดแหล่งทรัพยากรธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมด้วย หากพิจารณาการใช้ประโยชน์จากวัสดุที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งในงานทางวิศวกรรมโยธาพบว่าประเทศญี่ปุ่นมีการใช้สูงสุดเป็นอันดับ 1 โดยปริมาณดินที่ถูกขุดลอกมากถึงร้อยละ 90 จะถูกปรับปรุงคุณภาพโดยซีเมนต์และนำมาใช้ในการก่อสร้างสนามบินและงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งอันดับสองคือ ประเทศสเปน โดยร้อยละ 76 ของดินที่ถูกขุดลอกถูกนำมาใช้ในงานป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและงานถม อันดับสาม สหราชอาณาจักร และทำคือ ประเทศสหรัฐอเมริกา (ร้อยละ 20-30) ประเทศเนเธอร์แลนด์ (ร้อยละ 23) และประเทศไอร์แลนด์ (ร้อยละ 20) ตามลำดับ [2]

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับแนวทางการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งพบว่าสามารถจำแนกตามประเภทของงานได้ 4 ประเภทดังนี้

1. การใช้งานทางวิศวกรรม (Engineering Uses) คือการใช้เป็นวัสดุถมเพื่อการก่อสร้างทางวิศวกรรมโยธา (Land Reclamation) เช่น โครงการ Changi East Reclamation Project ในประเทศสิงคโปร์ ใช้ดินตะกอนทรายที่ถูกขุดลอกประมาณ 200 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อถมทะเลพื้นที่ 30 ตารางกิโลเมตร [3] เป็นต้น

2. การใช้งานด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Enhancement) ได้แก่ (ก) การสร้างหาดทรายเพื่อป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเลและลดพลังงานของคลื่นที่มากกระทบ (Coastal Protection) [4] Van der Wal, D., et al. [5] พบว่าการนำดินที่ถูกขุดลอกมาถมบริเวณปากน้ำขึ้น - น้ำลง ส่งผลดีอย่างมากต่อการลดการกัดเซาะของหาดโคลน (Mudflats) และ (ข) การใช้เป็นวัสดุเพื่อบรรจุใน Geotube เพื่อการป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่งทะเล [6]

3. การใช้งานด้านเกษตรกรรม (Agricultural Uses) ดินที่ถูกขุดลอกสามารถนำมาใช้เป็นดินชั้นบนเพื่อการปลูกพืชโดยการผสมกับขยะอินทรีย์ในสัดส่วนที่เหมาะสม Sheehan, C., et al. [7] ได้นำดินตะกอนที่ถูกขุดลอกจาก Port of Waterford ผสมกับขยะอินทรีย์และพบว่าดินที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี คือ ระบายน้ำได้ดี มีความสามารถในการเก็บกักสารอาหารและน้ำที่เพียงพอ และมีปริมาณสารอาหารที่สูงกว่ามาตรฐานดินชั้นบน

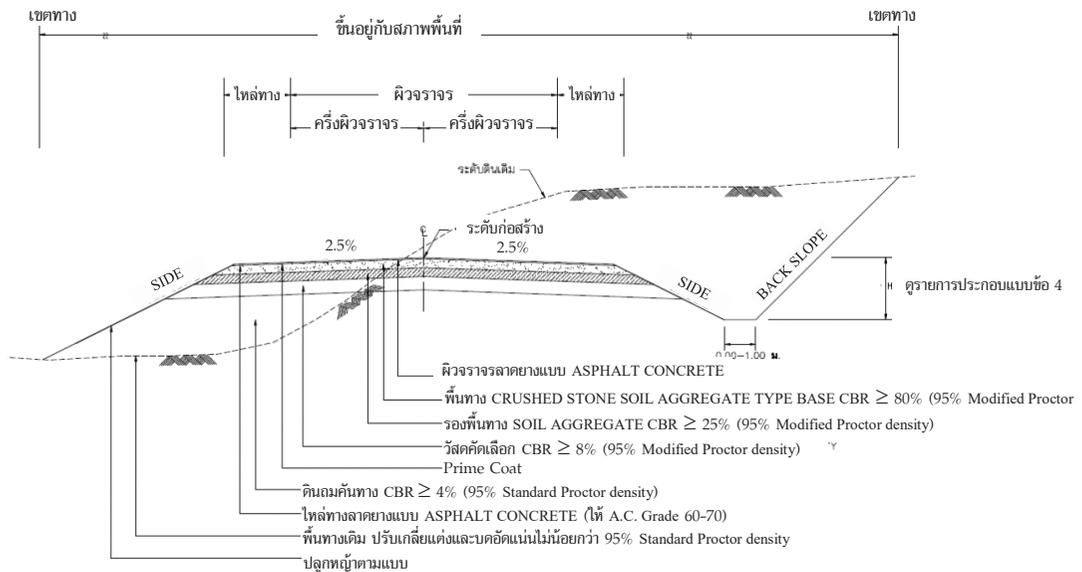
4. การใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานก่อสร้าง (Substituted Product Uses) ได้แก่ (ก) การใช้เพื่อเป็นวัสดุทดแทนในงานทาง เช่น การปรับปรุงดินที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือ Dunkirk ประเทศฝรั่งเศส โดยวิธีต่าง ๆ คือ การผสมทรายเพื่อเพิ่มคุณสมบัติขนาดคละและความแข็งแรง และการปรับปรุงคุณสมบัติด้านกำลังโดยการผสมซีเมนต์ ปูนขาว และวัสดุปอซโซลาน เพื่อใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทาง [1], [8] - [10] (ข) การใช้เป็นวัสดุเติมในงานอุตสาหกรรมการผลิตอิฐและเซรามิก Hamer, K. and Karius, V. [11] พบว่าโลหะหนักและสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในดินที่ถูกขุดลอกจะถูกทำลายด้วยความร้อนสูงในกระบวนการผลิตอิฐและเซรามิก ซึ่งเป็นข้อดีอย่างยิ่งสำหรับการใช้ประโยชน์จากดินที่ปนเปื้อนโลหะหนัก (ค) การใช้เป็นวัสดุในงานคอนกรีต Limeira, J., et al. [12] และ Wang, H. Y. [13] พบว่าดินเนื้อละเอียดที่ได้จากการ

ขุดลอกมีศักยภาพเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตทั่วไป คอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตสมรรถนะสูง และยังพบว่าคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของตัวอย่างคอนกรีตที่แทนที่ทรายหินปูนบด (Crushed Limestone Raw Sand) ด้วยดินเนื้อละเอียดที่ถูกขุดลอกจาก Port of Barcelona มีลักษณะเช่นเดียวกับ คอนกรีตมาตรฐาน และ (ง) การใช้เป็นวัสดุกันซึมในบ่อฝังกลบขยะ ดินเนื้อละเอียดที่ถูกขุดลอกสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกันซึมในบ่อฝังกลบขยะ (Landfill Liner) [14] - [17] นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นวัสดุปิดทับหน้าขยะมูลฝอยในแต่ละวัน (Daily Capping Layer) หรือวัสดุชั้นปิดทับหน้าชั้นสุดท้ายในบ่อฝังกลบขยะ (Landfill Final Cover) [18]

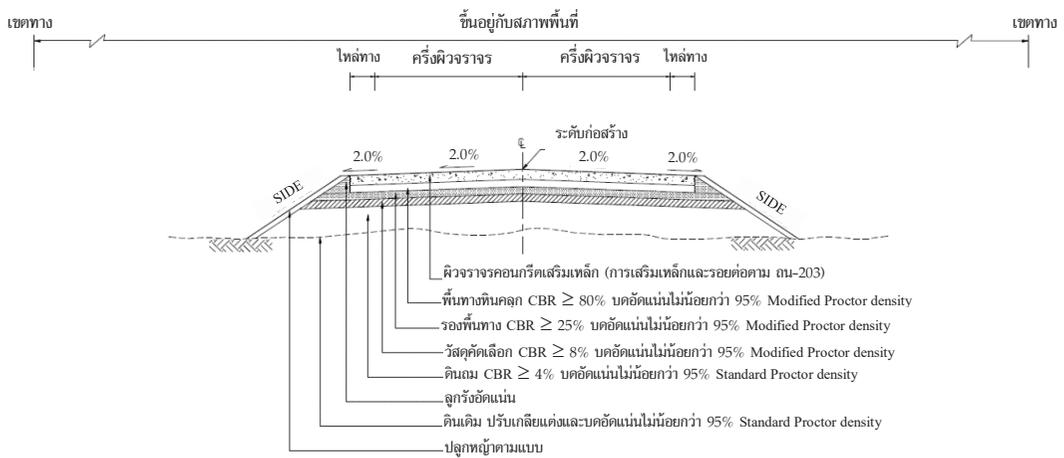
แม้ในต่างประเทศจะมีการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินตะกอนที่ถูกขุดลอก จากชายฝั่งทะเลมาเป็นวัสดุทางเลือกในงานต่าง ๆ อย่างกว้างขวางแต่กลับยังไม่มีการศึกษาเรื่องดังกล่าว ในประเทศไทย จากข้อจำกัดของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันรวมทั้งข้อกำหนดและมาตรฐานในการก่อสร้างต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกัน เช่น โครงสร้างชั้นทาง งานดินถม และงานคอนกรีต ทำให้ไม่สามารถคาดเดาผลหรือความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากดินที่ถูกขุดลอกจากชายฝั่งทะเลของไทย ในงานประเภทต่าง ๆ ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เพื่อใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานทาง โดยพิจารณาคูณสมบัติตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

โครงสร้างชั้นทาง

การออกแบบชนิดของถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ลักษณะการใช้งาน ปริมาณการจราจร น้ำหนักบรรทุก อายุการใช้งาน และกำลังแบกทานของดินคันทาง โดยนิยมออกแบบผิวจราจร 2 ประเภท คือ ผิวทางจราจรแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) หรือที่เรียกกันว่า ถนนแอสฟัลติกคอนกรีต (Asphalt Concrete) (รูปที่ 1) และผิวทางจราจรแบบแข็ง (Rigid Pavement) หรือที่เรียกกันว่า ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก (รูปที่ 2) โครงสร้างถนนทั้งสองประเภทมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ชั้นพื้นทาง (Base Course) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และชั้นดินถม (Subgrade) วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมตามความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของแต่ละชั้นดังแสดงในตารางที่ 1 โดยในการก่อสร้างถนนต้องมีการคัดเลือกวัสดุที่มีค่าซี บี อาร์ (CBR) และดำเนินการบดอัดให้มีค่าร้อยละการบดอัด (Percent Compaction) หรือความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) เป็นไปตามข้อกำหนดในรูปแบบและรายการ นอกจากนี้ต้องพิจารณาคูณสมบัติทางกายภาพและดัชนีอื่น ๆ เพิ่มเติม ได้แก่ ขนาดคละ (ตารางที่ 2) ค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate (LAA) ค่าความคงทน (Soundness) ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit, LL) และดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI)



รูปที่ 1 โครงสร้างถนนผิวจราจร Asphalt Concrete [19]



รูปที่ 2 โครงสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก (ชั้นพื้นทางหินคลุก) [19]

ตารางที่ 1 ข้อกำหนดของคุณสมบัติของวัสดุสำหรับโครงสร้างทางตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

โครงสร้างทาง	LL (%)	PI (%)	CBR (%)	การบวมตัว (%)	การบดอัด	LAA (%)	Soundness (%)
พื้นทางหินคลุก [20]	≤ 25	≤ 6	≥ 80	-	95 % Modified Proctor	≤ 40	≤ 9
รองพื้นทาง [21]	≤ 35	≤ 11	≥ 25	-	95 % Modified Proctor	≤ 60	-
วัสดุคัดเลือก ก [22]			≥ 10				
วัสดุคัดเลือก ข [23]	≤ 40	≤ 20	≥ 6	≤ 3	95 % Modified Proctor	-	-
ดินถมคันทาง [24]	-	-	≥ 4 [25]	≤ 4	95 % Standard Proctor	-	-

ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของขนาดคละของชั้นพื้นทางหินคลุกและชั้นรองพื้นทางวัสดุผสมรวม

ขนาดตะแกรง (มม.)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก						
	ชั้นพื้นทางหินคลุก [20]		ชั้นรองพื้นทางวัสดุผสมรวม [21]				
	A	B	A	B	C	D	E
50 (2 นิ้ว)	100	100	100	100	-	-	-
25 (1 นิ้ว)	-	75 - 95	-	-	100	100	100
9.5 (3/8 นิ้ว)	30 - 65	40 - 75	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-
4.75 (เบอร์ 4)	25 - 55	30 - 60	-	-	-	-	-
2 (เบอร์ 10)	15 - 40	20 - 45	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100
0.425 (เบอร์ 40)	8 - 20	15 - 30	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50
0.075 (เบอร์ 200)	2 - 8	5 - 20	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ X-Ray Fluorescence Spectrometer ของดินตะกอนทะเล

ธาตุ	ปริมาณ (ร้อยละ)
SiO ₂	63.56
Al ₂ O ₃	22.19
Fe ₂ O ₃	3.67
K ₂ O	3.04
Na ₂ O	2.07
Cl	1.68
MgO	1.34
CaO	1.02

วัสดุและวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ถูกขุดลอกที่ใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง บริเวณเฟส 3 ดังรูปที่ 3 โดยท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบังเป็นท่าเรือหลักของประเทศไทยในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ตั้งอยู่ชายฝั่งตะวันออกของอ่าวไทยที่ ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอสัตหีบ และอำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ประมาณ 120 กิโลเมตร ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเทพฯ ท่าเรือมีพื้นที่ประมาณ 6,340 ไร่ และมีความลึกของพื้นน้ำ 18 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง เริ่มเปิดใช้เมื่อ พ.ศ. 2534 ปัจจุบันได้พัฒนาไป 2 เฟส และสามารถรองรับปริมาณตู้สินค้าได้ 10 - 11 ล้าน TEU/ปี (54 % ของการส่งออกและนำเข้าของประเทศไทย) ซึ่งถือเป็นอันดับที่ 23 ของโลก และมีแผนการก่อสร้างเฟส 3 โดยตั้งเป้าหมายให้ท่าเรือแหลมฉบังติดอันดับท่าเรือที่ทันสมัย 1 ใน 10 ของโลก

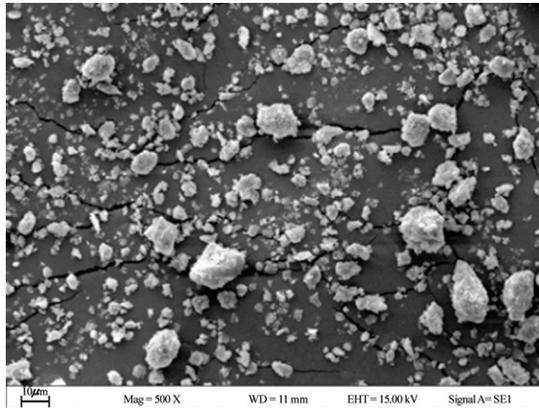
วัสดุที่ถูกขุดลอกมีเนื้อละเอียด จากการทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท. 102/2515 [26] และ ทล.-ท. 103/2515 [27] พบว่าค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 53 ร้อยละ 32 และร้อยละ 21 ตามลำดับ โดยการจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) ได้เป็นดินตะกอนที่มีสภาพความเป็นพลาสติกสูง (High Plasticity Silt, MH) [28] วัสดุที่ถูกขุดลอกมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.69 [29] และมีปริมาณอินทรีย์วัตถุร้อยละ 5.0 (เผาที่อุณหภูมิ 440°C [30]) มีส่วนประกอบทางเคมีจากการทดสอบ X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) ตามตารางที่ 3 รูปตัวอย่างวัสดุที่ถูกขุดลอกแสดงในรูปที่ 4 และลักษณะโครงสร้างจุลภาคจากผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงในรูปที่ 5 ดังนั้นจะเรียกวัดที่ถูกขุดลอกที่ใช้ในการศึกษานี้ว่าดินตะกอนทะเล



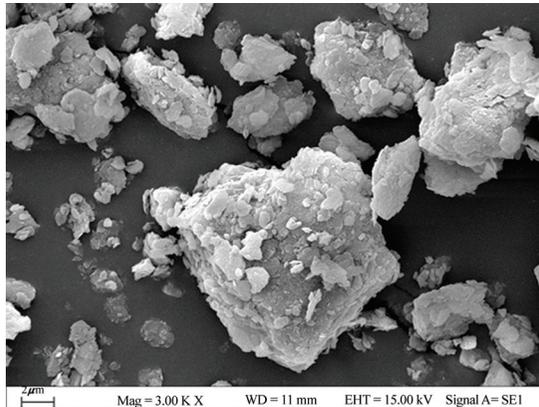
รูปที่ 3 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินตะกอนทะเล



รูปที่ 4 ตัวอย่างดินตะกอนทะเล



(ก) ขยาย 500 เท่า



(ข) ขยาย 3,000 เท่า

รูปที่ 5 ผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM) ของดินตะกอนทะเล

ดินตะกอนทะเลมีความเป็นพลาสติกสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุงานทางโดยตรง งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ดินตะกอนทะเลเป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทราย ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเล ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 (ทราย:ดินตะกอนทะเล) โดยทรายที่ใช้ในการทดสอบนี้มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ดังรูปที่ 6 (ทราย:ดินตะกอนทะเล 100:0) มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 [27] $C_u = 9.5$ $C_c = 1.4$ $D_{50} = 0.6$ มิลลิเมตร และจำแนกตามระบบ USCS ได้เป็น Well-Graded Medium Sand with Silt (SW-SM) [28] ส่วนผสมของทรายและดินตะกอนทะเลจะถูกทดสอบหาคุณสมบัติทางค้ำขึ้น คือ ขนาดคละ พิกัดอัตราเบร์ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง ข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถช่วยในการออกแบบชั้นโครงสร้างทางที่ประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลเป็นวัสดุทดแทนในการก่อสร้างได้

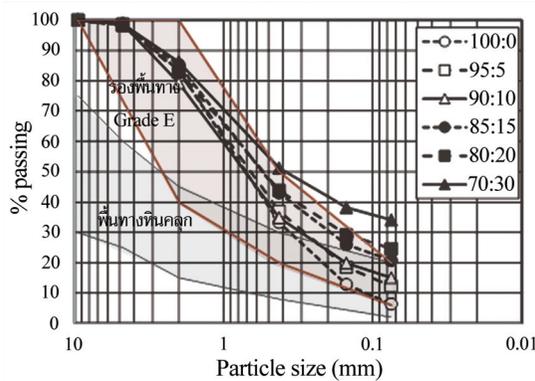
ตารางที่ 4 ขนาดคละของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (มม.)	ร้อยละผ่านตะแกรง (ทราย:ดินตะกอนทะเล)						
		100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	0:100
3/8"	9.51	100	100	100	100	100	100	100
#4	4.75	98.8	98.7	98.8	98.5	98.2	98.8	100
#10	2.00	83.4	82.9	79.3	85.2	83.3	86.2	100
#40	0.425	33.3	37.0	34.9	42.9	43.8	51.2	100
#100	0.150	12.8	18.4	19.9	26.0	29.3	38.3	100
#200	0.075	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	100

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. คุณสมบัติทางดัชนี

1.1 ขนาดคละ ผลการทดสอบหาขนาดคละของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยผ่านตะแกรงแบบล้างแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 6 โดยพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างทรายและดินตะกอนทะเลเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 และ 85:15 จัดอยู่ในมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุผสมรวม เกรด E คือมีขนาดคละที่ดีและมีร้อยละที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยน้ำหนักร้อยละ 6 - 20 แต่ไม่มีอัตราส่วนผสมโดยอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุก



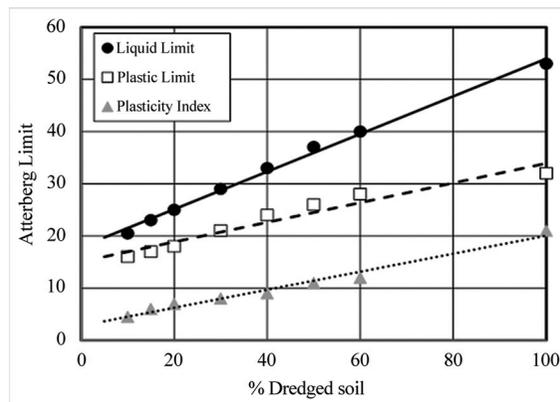
รูปที่ 6 กราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

1.2 ค่าพิกค้อตเตอร์เบิร์ก (Atterberg Limit) ผลการทดสอบค่าพิกค้อตเตอร์เบิร์กของตัวอย่างทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 5 และรูปที่ 7 โดยพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของดินตะกอนทะเลเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าพิกค้อตเตอร์เบิร์ก ค่าพิกค้อตเตอร์พลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะค่าพิกค้อตเตอร์เบิร์กเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของดินเม็ดละเอียด (Fine-Grained Soil) เมื่อเพิ่มปริมาณดินตะกอนทะเลซึ่งเป็นดินเม็ดละเอียดย่อมส่งผลให้ค่าพิกค้อตเตอร์เบิร์ก ค่าพิกค้อตเตอร์พลาสติก และค่าดัชนีพลาสติกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 5 ค่าพิคต์แอดเตอร์เบิร์กของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล	LL (%)	PL (%)	PI (%)
100:0	NP	NP	NP
95:5	NP	NP	NP
90:10	21	16	5
85:15	23	17	6
80:20	25	18	7
70:30	29	21	8
60:40	33	24	9
50:50	37	26	11
40:60	40	28	12
0:100	53	32	21

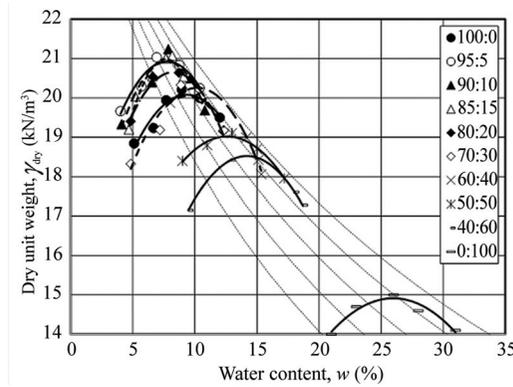
NP = non-plastic



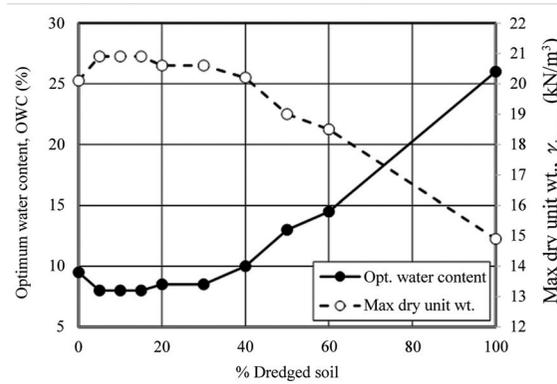
รูปที่ 7 ค่าพิคต์แอดเตอร์เบิร์กของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

2. คุณสมบัติทางวิศวกรรม

2.1 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของทรายผสมดินตะกอนทะเลในสัดส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในรูปที่ 8 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัด (OWC) และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดได้สรุปในตารางที่ 6 และรูปที่ 9 โดยพบว่าเมื่อผสมดินตะกอนทะเลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีปริมาณดินตะกอนทะเลในตัวอย่างมากกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมลดลง ทั้งนี้เพราะเมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมีจำนวนน้อย จะไม่มีผลกระทบต่อพฤติกรรมของมวลดินรวม ซึ่งถูกควบคุมด้วยมวลดินส่วนใหญ่คือ ดินทราย (ดินมวลหยาบ) ค่าร้อยละ 40 นี้สอดคล้องกับมาตรฐาน AASHTO ที่แบ่งสัดส่วนของดินมวลหยาบและมวลละเอียดออกจากกันที่ร้อยละ 35



รูปที่ 8 ผลการทดสอบการบดอัดทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ



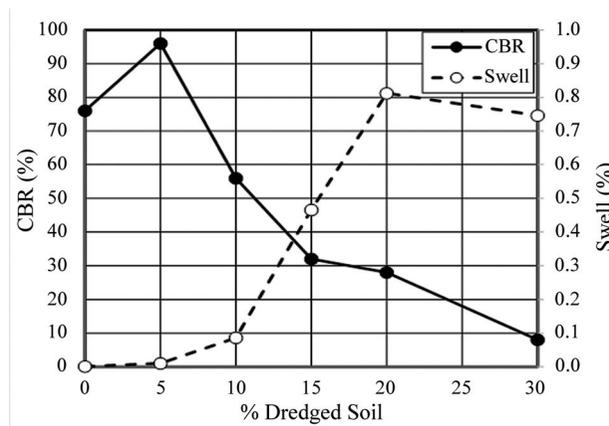
รูปที่ 9 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

ตารางที่ 6 ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล	Optimum water content (%)	Max dry unit weight (kN/m ³)
100:0	9.5	20.1
95:5	8.0	20.9
90:10	8.0	20.9
85:15	8.0	20.9
80:20	8.5	20.6
70:30	8.5	20.6
60:40	10.0	20.2
50:50	13.0	19.0
40:60	14.5	18.5
0:100	26.0	14.9

ตารางที่ 7 ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล	CBR (Soaked) (%)	Swell (%)
100:0	76	0
95:5	96	0.01
90:10	56	0.09
85:15	32	0.47
80:20	28	0.81
70:30	8	0.75



รูปที่ 10 ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ

2.2 ค่า ซี บี อาร์ ผลการทดสอบหาค่าซี บี อาร์ แบบแช่น้ำและการบวมตัวของทรายผสมดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แสดงในตารางที่ 7 และรูปที่ 10 โดยพบว่าเมื่อผสมดินตะกอนทะเลในปริมาณไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าซี บี อาร์ และการบวมตัวเปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมากขึ้น คุณสมบัติบวมตัวของดินตะกอนทะเลซึ่งเป็นดินมวลละเอียดที่แทนที่ทรายนี้จะทำให้ตัวอย่างดินมีการบวมตัวสูงขึ้น และส่งผลทำให้ค่าซี บี อาร์ ลดลง อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนของทรายผสมดินตะกอนมีค่าการบวมตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 0 - 0.81 ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด

ค่าคุณสมบัติทางดัชนีและคุณสมบัติทางค้ำานวิศวกรรมต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบข้างต้น จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโครงสร้างชั้นทางต่าง ๆ ของกรมทางหลวงดังสรุปไว้ในตารางที่ 8 (ชั้นรองพื้น) ตารางที่ 9 (ชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข) ตารางที่ 10 (ชั้นทรายถมคันทาง) และตารางที่ 11 (ชั้นดินถมคันทาง) จากผลการทดสอบที่กล่าวมาแล้วและผลการเปรียบเทียบพบว่า

- ทรายผสมดินตะกอนทะเลในทุก ๆ อัตราส่วนผสมไม่สามารถใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุกได้เพราะมีการกระจายของขนาดละเอียดไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด

- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้งรวมจะไม่ทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของส่วนผสมเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อมีปริมาณดินตะกอนมากขึ้นจะทำให้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นและค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลง
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะไม่มีผลกระทบต่อค่าซี บี อาร์ และการบวมตัว แต่เมื่อปริมาณดินตะกอนทะเลมากขึ้นจะทำให้ค่าซี บี อาร์ ลดลงและค่าการบวมตัวเพิ่มขึ้น
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 สามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมชั้นรองพื้นทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ก และ ข ชั้นทรายถมคันทาง และชั้นดินถมคันทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 30 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเลือก ข และชั้นดินถมคันทางได้

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล						[21]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	
1	การทดสอบค่าความลึกทรอยของ coarse aggregate [31]	%	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 60
2	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง [32]		E	E	E	E			เกรด A-E
3	การทดสอบค่าพิคคิเทลลว [26]	%	NP	NP	21	23	25	29	< 35
4	การทดสอบค่าดัชนีพลาสติก [27]	%	NP	NP	5	6	7	8	< 11
5	การทดสอบค่าซีบีอาร์ [33]	%	76	96	56	32	28	8*	> 25

NA = ไม่สามารถหาค่าได้, NP = non-plastic, * ไม่ผ่านมาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง อำเภอกะป้อราชฯ จังหวัดชลบุรี เป็นวัสดุทดแทนเพื่อผสมกับทรายในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุในงานทาง โดยทรายจะถูกแทนที่ด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนทราย : ดินตะกอนทะเล โดยน้ำหนักแห้งต่าง ๆ ได้แก่ 100:0 95:5 90:10 85:15 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 และ 0:100 แล้วทดสอบหาคคุณสมบัติทางดัชนี คือ ขนาดคละ พิกคิอิตเตอร์เบิร์ก และความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การบดอัด และ ซี บี อาร์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับมาตรฐานโครงสร้าง

ชั้นทางของกรมทางหลวง โดยผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

- ทรายผสมดินตะกอนทะเลในทุก ๆ อัตราส่วนผสมไม่สามารถใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุกได้ เพราะมีการกระจายของขนาดคละไม่เป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติใด ๆ ของทรายอย่างมีนัยสำคัญ
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 15 สามารถใช้เป็นวัสดุมวลรวมชั้นรองพื้นทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเล็อก ก และ ข ชั้นทรายถมคันทาง และชั้นดินถมคันทางได้
- การทดแทนทรายด้วยดินตะกอนทะเลในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 30 สามารถใช้เป็นชั้นวัสดุคัดเล็อก ข และชั้นดินถมคันทางได้

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นวัสดุคัดเล็อก ก และ ข

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล						[22] - [23]	
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	วัสดุคัดเล็อก ก	วัสดุคัดเล็อก ข
1	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง [32]	%	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	ผ่าน #200 < 30%	ผ่าน #200 < 35%
2	การทดสอบค่าพิคักเทลว [26]	%	NP	NP	21	23	25	29	< 40	-
3	การทดสอบค่าดัชนีพลาสติก [27]	%	NP	NP	5	6	7	8	< 20	-
4	การทดสอบค่าซีบีอาร์ [33]	%	76	96	56	32	28	8 [*]	> 10	> 6
			0	0.01	0.09	0.47	0.81	0.75	swelling < 3%	

NP = non-plastic, * ไม่ผ่านมาตรฐานชั้นวัสดุคัดเล็อก ก แต่ผ่านมาตรฐานชั้นวัสดุคัดเล็อก ข

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นทรายถมคันทาง

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล						[34]
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	ทรายถมคันทาง
1	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง [32]	มม.	2	2	2	2	2	2	เม็ดโตสุด < 9.5 มม.
		%	6.3	12.3	15.0	20.7	24.6	34.1	ผ่าน #200 < 25%
2	การทดสอบค่าซีบีอาร์ [33]	%	76	96	56	32	28	8 [*]	> 10

* ไม่ผ่านมาตรฐานชั้นทรายถมคันทาง

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของทรายผสมดินตะกอนทะเลกับมาตรฐานชั้นดินถมคันทาง

ลำดับ	การทดสอบ	หน่วย	อัตราส่วนทราย:ดินตะกอนทะเล					[24]	
			100:0	95:5	90:10	85:15	80:20	70:30	ดินถมคันทาง
1	การทดสอบขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล่าง [32]	มม.	2	2	2	2	2	2	เม็ดโตสุด \leq 50 มม.
2	การทดสอบค่าซีบีอาร์ [35]	%	36	50	32	20	15	5	$>$ ตามแบบ (\geq 4)
			0.01	0.02	0.12	0.74	0.98	1.25	Swelling \leq 4%

* ผลการทดสอบซีบีอาร์ที่การบดอัดแบบมาตรฐาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ วจพ. 5/2560 และทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ 48/2561

References

- [1] Dubois, V., Abriak, N. E., Zentar, R., and Ballivy, G. (2009). The used of Marine Sediments as a Pavement Base Material. **Waste Management**. Vol. 29, Issue 2, pp. 774-782. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.05.004
- [2] Sheehan, C., Harrington, J., and Murphy, J. D. (2009). An Overview of Dredging and Dredged Material Beneficial Use in Ireland. **Terra et Aqua**. No. 115, Issue 2009, pp. 3-14
- [3] Arulrajah, A., Nikraz, H., Chu, J., and Bo, M. W. (2009). Instrumentation at Changi Land Reclamation project, Singapore. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering**. Vol. 162, Issue 1, pp. 30-40. DOI: 10.1680/geng.2009.162.1.33
- [4] Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H. H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A., and Spanhoff, R. (2002). Beac Nourishment Projects, Practices and Objectives - a European Overview. **Coastal Engineering**. Vol. 47, Issue 2, pp. 81-111. DOI: 10.1016/S0378-3839(02)00122-9
- [5] Van der Wal, D., Forster, R. M., Hummel, H., Ysebaert, T., Roose, F., and Herman P. M. (2011). Ecological Evaluation of an Experimental Beneficial use Scheme for Dredged Sediment Disposal in Shallow Tidal Waters. **Mar Pollut Bull**. Vol. 62, Issue 1, pp. 99-108. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2010.09.005
- [6] Sheehan, C. (2012). **An Analysis of Dredged Material Reuse Techniques for Ireland**. Ph.D. Dissertation, Cork Instituted of Technology.

- [7] Sheehan, C., Harrington, J., and Murphy, J. D. (2010). An Environmental and Economic Assessment of Topsoil Production from Dredge Material. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol. 55, Issue 2, pp. 209-220. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.09.011
- [8] Zentar, R., Dubois, V., and Abriak, A. (2008). Mechanical Behaviour and Environmental Impacts of the Test Road Built with Marine Dredged Sediments. **Resources, Conservation and Recycling**. Vol. 52, Issue 6, pp. 947-954. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.02.002
- [9] Siham, K., Fabrice, B., and Edine, A. N. (2008). Marine Dredge Sediments as New Material Resource for Road Construction. **Waste Management**. Vol. 28, Issue 5, pp. 919-928. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.03.027
- [10] Wang, D., Abroak, N. E., and Zentar, R. (2017). Dredge Marine Sediments Used as Novel Supply of Filling Materials for Road Construction. **Marine Georesources & Geotechnology**. Vol. 35, Issue 4, pp. 472-480. DOI: 10.1080/1064119X.2016.1198945
- [11] Hamer, K. and Karius, V. (2002). Brick Production with Dredged Harbor Sediments. An industrial-Scale Experiment. **Waste Management**. Vol. 22, Issue 5, pp. 521-530. DOI: 10.1016/S0956-053X(01)00048-4
- [12] Limeira, J., Agullo, L., and Etxeberri, M. (2010). Dredged Marine Sand in Concrete: An Experimental Section of a Harbor Pavement. **Construction Build Material**. Vol. 24, Issue 6, pp. 863-870. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2009.12.011
- [13] Wang, H. Y. (2008). Durability of Self-Consolidating Lightweight Aggregate Concrete Using Dredged Silt. **Construction and Building Materials**. Vol. 23, Issue 6, pp. 2332-2337. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2008.11.006
- [14] Giroud, J. P., Badu-Tweneboah, K., and Soderman, K. L. (1997). Comparison of Leachate Flow Through Compacted Clay Liners in Landfill Liner Systems. **Geosynthetics International**. Vol. 4, Issue 3-4, pp. 391-431. DOI: 10.1680/gein.4.0100
- [15] Zhang, P. and Wu, Z. (2005). Municipal Sludges as Landfill Barrier Material. **Asian Journal of Water, Environment and Pollution**. Vol. 2, No. 1, pp. 27-32
- [16] Riordan, J. (2008). **Feasibility of Utilizing Construction and Demolition Waste and Dredged Material as Landfill Liner**. M.Eng. Dissertation, Cork Institute of Technology.
- [17] Stefan, C. and Fokke, S. (2013). Investigation of Dredged Materials in Combination with Geosynthetics Used in Dike Construction. **Procedia Engineering**. Vol. 57, pp. 213-221. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.04.030
- [18] Nolan, C. (2009). **Cover at Landfills**. Access (15 June 2017). Available (http://www.epa.ie/pubs/reports/other/events/oe/epawasteworkshop2009/2_Caoimhin_Nolan_-_EPA.pdf)
- [19] Department of Rural Roads. (2013). **Standard Drawing**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.drr.go.th/>)
- [20] Department of Highways. (2001). **Standard No. DH-S 201/2544**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs201-44.pdf>)

- [21] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 205/2532**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs205-32.pdf>)
- [22] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 208/2532**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs208-32.pdf>)
- [23] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 209/2532**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs209-32.pdf>)
- [24] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 102/2532**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs102-32.pdf>)
- [25] Department of Public Works and Town and Country Planning. (2014). **Standard No. 2203-57**. Access (15 June 2017). Available (http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/std2100.pdf)
- [26] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 102/1972**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht102-15.pdf>)
- [27] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 103/1972**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht103-15.pdf>)
- [28] ASTM. (2004). **Standard No. D2487-00 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)**. In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). pp. 249-260. West Conshohocken PA
- [29] ASTM. (2004). **Standard No. D854-2 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer**. In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). pp. 96-102. West Conshohocken PA
- [30] ASTM. (2004). **Standard No. D2974 Standard Test Methods for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils**. In Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.08, Soil and Rock (I). pp. 331-334. West Conshohocken PA
- [31] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 202/1972**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht202-15.pdf>)
- [32] Department of Highways. (1974). **Test Number DH-T 205/1974**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht205-17.pdf>)
- [33] Department of Highways. (1974). **Test Number DH-T 109/1974**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht109-17.pdf>)
- [34] Department of Highways. (1989). **Standard No. DH-S 103/2532**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs103-32.pdf>)
- [35] Department of Highways. (1972). **Test Number DH-T 107/1972**. Access (15 June 2017). Available (<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht107-17.pdf>)