การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดินเหนียวจังหวัดสงขลาผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราสำหรับชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบมูลฝอย

Assessment of Utilization of Local Songkhla Clay – Rubber wood ash Mixture as Landfill Liner

ณัฐรัตน์ ไชยพลฤทธิ์[1,*] ธนิต เฉลิมยานนท์[2] และ ธนันท์ ชุบอุปการ[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา

**Corresponding author; E-mail address: nattarat.eve@gmail.com*

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้วัสดุผสมจากดินเหนียวท้องถิ่นจังหวัดสงขลาและเถ้าลอยไม้ยางพารา สำหรับใช้เป็นชั้นกันซึมบ่อฝังกลบมูลฝอย งานวิจัยของ Benson และ Daniel แสดงให้เห็นว่าช่วงของค่าคุณสมบัติที่เหมาะสมของชั้นกันซึม ประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต้องมีค่าต่ำกว่า $1x10^{-7}$cm/s ค่ากำลังอัดแกนเดียวต้องไม่น้อยกว่า 200 kPa และค่าการหดตัวเชิงปริมาตรต้องต่ำกว่า 4% ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้อัตราส่วนของดินเหนียวต่อเถ้าลอยไม้ยางพารา ของวัสดุผสมโดยน้ำหนักแห้งได้แก่ 100:0 และ 80:20 และมีการแปรผันระยะเวลาในการบ่มที่ 0, 7 และ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่าดินเหนียวอย่างเดียว (อัตราส่วน 100:0) ถึงแม้ว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต่ำกว่า $1x10^{-7}$cm/s แต่ก็ยังไม่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นชั้นกันซึมเนื่องจากมีค่ากำลังอัดแกนเดียวต่ำกว่า 200 kPa และค่าการหดตัวเชิงปริมาตรมากกว่า 4% อย่างไรก็ตาม สำหรับวัสดุผสมในอัตราส่วน 80:20 ในทุกระยะเวลาการบ่ม ผลการทดสอบได้ค่าทุกคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่เหมาะสมตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นวัสดุผสมในอัตราส่วน 80:20 จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เป็นชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย

คำสำคัญ: ชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด, ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ, ค่ากำลังอัดแกนเดียว, ค่าการหดตัวเชิงปริมาตร

Abstract

In this study, mixtures of Songkhla local clay and Rubber wood ash were studied as a landfill liner. Benson and Daniel showed that suitable liner properties consist of a hydraulic conductivity lower than $1x10^{-7}$ cm/s, an unconfined compressive strength not less than 200 kPa and a volumetric shrinkage strain lower than 4%. In order to determine an appropriate mixture, the clay-fly ash ratios of 100:0 and 80:20 were used. For the mixture of 80:20, incubation times of 0, 7, and 28 days were employed. Experimental results show that for the 100:0 mixture (clay only) although its coefficient of hydraulic conductivity is lower than $1x10^{-7}$cm/s but it is not suitable for use as a liner because its unconfined compressive strength and volumetric shrinkage strain are less than 200 kPa and more than 4%, respectively. On the other hand,for the 80:20 mixture with at all incubation times, the test results meet the specified criteria. Hence, it is suitable for use as the landfill liner.

Keywords: Compacted clay liner, Hydraulic conductivity, Unconfined compressive, Volumetric shrinkage strain

1. ที่มาและความสำคัญ

บ่อฝังกลบ (Landfill) เป็นสถานที่สำหรับฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) ซึ่งเป็นวิธีกำจัดมูลฝอยอีกวิธีหนึ่งที่ป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม โดยนำขยะมูลฝอยมาเทกองไว้ในบ่อฝังกลบ จากนั้นใช้เครื่องจักรบดอัดให้แน่นและกลบดินทับเป็นชั้นๆ บ่อฝังกลบประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ชั้นกันซึม (Liner) เป็นส่วนที่อยู่ล่างสุดของบ่อฝังกลบ ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำชะมูลฝอยซึมผ่านไปปนเปื้อนกับน้ำใต้ดิน, ระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอย (Leachate collection system) และระบบปิดทับชั้นสุดท้าย (Final cover system) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำฝนซึมผ่านลงไปในบ่อฝังกลบ จึงทำให้เกิดน้ำชะมูลฝอยได้น้อยลง [1]

ดินเหนียวสามารถใช้ในการก่อสร้างชั้นกันซึมได้อย่างดีถ้ามีการบดอัดที่เหมาะสม เนื่องจากดินเหนียวมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านต่ำ ในขั้นตอนการบดอัด มักนิยมบดอัดจนดินเหนียวมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต่ำกว่า $1x10^{-7}$ cm/s ในการก่อสร้างชั้นดินเหนียวกันซึมนี้จะนำดินเหนียวมาบดอัดเป็นชั้นๆ ซึ่งอาจจะมีความหนา 60 เซนติเมตร แต่เนื่องด้วยเมื่อบดอัดดินเหนียวอาจจะเกิดรอยรั่วหรือรอยแตกถ้าบดอัดไม่ดี หรือเกิดรอยรั่วส่งผลให้สารปนเปื้อนเคลื่อนที่ผ่านไปได้ [2]

ปัจจุบันไม้ยางพาราถูกนำไปใช้เป็นวัสดุทำเฟอร์นิเจอร์เป็นผลทำให้เหลือเศษไม้ยางพาราเป็นจำนวนมากและถูกเก็บมาทำเป็นเชื้อเพลิงของการอบไม้ยางพารา โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้ที่มีอุตสาหกรรมแปรรูปไม้

ยางพาราเป็นจำนวนมาก หากนำเถ้าลอยที่ได้จากการอบไม้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ย่อมส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมและสภาพแวดล้อมในภาคใต้ [3]

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของชั้นกันซึมแบบดินเหนียวบดอัดที่ใช้ดินเหนียวท้องถิ่นจังหวัดสงขลาผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราในอัตราส่วน 0 และ 20% เพื่อประเมินความเหมาะสมสำหรับทำชั้นวัสดุกันซึมใต้บ่อฝังกลบ (Liner) ตามข้อกำหนดของระบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลและสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำชะขยะ (Leachates)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด

ชั้นกันซึม (Liner) เป็นชั้นที่อยู่ด้านล่างสุดของบ่อฝังกลบขยะมูลฝอย ทำหน้าที่ป้องกันการไหลซึมของน้ำชะขยะมูลฝอยลงสู่น้ำใต้ดินและแหล่งน้ำธรรมชาติใกล้เคียง ดินเหนียวบดอัด มักถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบขยะมูลฝอยและกักเก็บของเสีย ทั้งนี้ เนื่องจากดินเหนียวมีคุณสมบัติในการระบายน้ำต่ำ นอกจากนั้นประจุลบที่อยู่ในอนุภาคของดินเหนียวยังสามารถหน่วงประจุบวกของสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำชะขยะได้ หน่วยงานที่ควบคุมดูแลส่วนใหญ่ต้องการออกแบบให้ชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด (Compacted clay liner) และชั้นปิดทับ (Cover) เพื่อกักเก็บของเสียอันตราย (Hazardous waste) ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial waste) และขยะมูลฝอยจากชุมชน (Municipal solid waste) [1]

2.2 เถ้าลอย

เถ้าลอย (Fly ash) จัดเป็นสารปอซโซลานสังเคราะห์หรือปอซโซลานดัดแปลงประเภทหนึ่งเป็นผลพลอยได้ (By-product) จากการเผาไม้ยางพารา มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.00-2.60 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิด จะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิสภาพแวดล้อมขณะเผา [4]

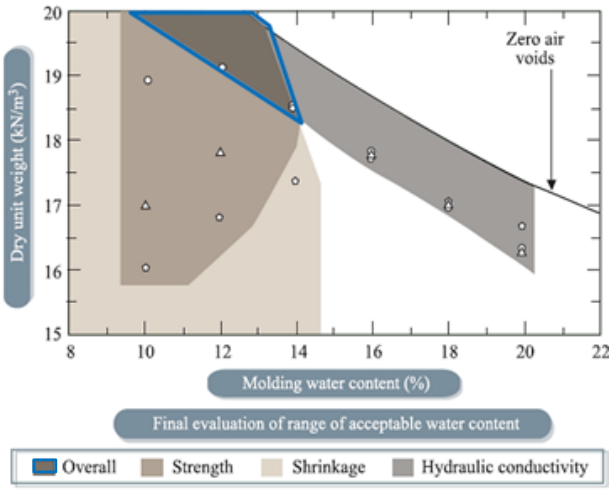
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพาราโดยวิธี X-Ray - Fluorescence ตามมาตรฐานการปฏิบัติการวิเคราะห์ โดยศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ แสดงดังตารางที่ 1 พบว่ามีองค์ประกอบของ CaO ร้อยละ 41.19 องค์ประกอบของ SiO_2 ร้อยละ 2.57, Al_2O_3 ร้อยละ 0.53, Fe_2O_3 ร้อยละ 0.56 เถ้าลอยไม้ยางพารามีองค์ประกอบของ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 รวมกันเท่ากับร้อยละ 3.66 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 พบว่าไม่สามารถจัดเป็นสารปอซโซลานแต่มีปริมาณของ CaO ร้อยละ 41.19 ซึ่งใกล้เคียงกับปริมาณของ CaO ในปูนซีเมนต์จึงมีความสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้ [3]

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยไม้ยางพาราและเถ้าลอย [3],[5]

ออกไซด์	เถ้าลอยไม้ยางพารา	เถ้าลอย
CaO	41.91	15.27
SiO_2	2.57	41.16
Al_2O_3	0.53	22.30
Fe_2O_3	0.56	11.51
MgO	4.52	2.70
K_2O	16.11	2.93
Na_2O	-	1.66
TiO_2	-	-
P_2O_5	3.06	-
SO_3	5.54	1.43
Cl	0.82	-
MnO_2	1.36	-
ZnO	0.12	-
Rb	0.18	-
SrO	0.16	-
ZrO_2	-	-
น้ำหนักสูญหายหลังการเผา	-	-
พื้นที่ผิวจำเพาะ ม.^{2} /กรัม	9.23	-
ความพรุน ม.^{2} /กรัม	17.72	-

2.3 ทฤษฎี Daniel and Benson

Daniel and Benson [6] ได้แสดงให้เห็นว่า ช่วงของค่าคุณสมบัติที่เหมาะสมของชั้นกันซึม ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต้องมีค่าต่ำกว่า $1x10^{-7}$cm/s ค่ากำลังอัดแกนเดียวต้องไม่น้อยกว่า 200 kPa และค่าการหดตัวเชิงปริมาตรต้องต่ำกว่า 4% โดยใช้พลังงานบดอัดดินสามชนิดได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน, ค่ากำลังอัดแกนเดียว และค่าการหดตัวเชิงปริมาตร นำค่าดังกล่าวมาพล็อต "ขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมด (Overall acceptable zone)" ของทั้งสามเงื่อนไขเพื่อให้นำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมด (Acceptable Zone) [6]

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

การประเมินความเหมาะสมของการใช้ดินเหนียวจังหวัดสงขลาผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราสำหรับชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบมูลฝอย ผู้วิจัยเลือกใช้ดินเหนียวท่านางหอม ในพื้นที่ตำบลน้ำน้อย อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และมีการนำเถ้าลอยไม้ยางพารามาผสม โดยดินต้องผ่านคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับชั้นกันซึมดินที่ใช้เป็นวัสดุชั้นกันซึมควรจะต้องมีค่าขีดจำกัดเหลวไม่น้อยกว่า 20% เพราะดินที่มีค่าขีดจำกัดเหลวสูงจะทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต่ำ [7] และดินที่ใช้เป็นวัสดุชั้นกันซึมควรจะต้องมีค่าดัชนีพลาสติกไม่น้อยกว่า 7-10% และไม่มากกว่า 30-40% เพราะเมื่อดินมีค่าดัชนีพลาสติกสูงมาก เมื่อแห้งดินจะเป็นก้อนแข็งและเมื่อเปียกดินจะเหนียวมากทำให้การบดอัดในสนามทำได้ยาก [6]

3.2 อัตราส่วนผสมของดินเหนียวและเถ้าลอยไม้ยางพารา

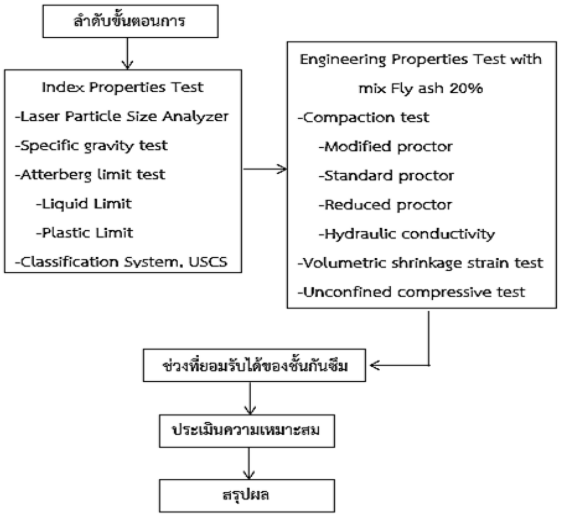
อัตราส่วนผสมของดินเหนียวและเถ้าลอยไม้ยางพารา ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ 2 อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 2 โดยอัตราส่วนแรกใช้ดินเหนียวอย่างเดียว (เถ้าลอยไม้ยางพารา 0%) และ อัตราส่วนผสมของดินเหนียว 80% และเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ซึ่งให้ค่าคุณสมบัติของวัสดุผสมที่ดีเป็นไปตามผลการศึกษาของ [8] สำหรับอัตราส่วนผสม 80:20 ได้ศึกษาผลของเวลาบ่มที่ 0, 7, และ 28 วันด้วย

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของดินเหนียวและเถ้าลอยไม้ยางพารา

อัตราส่วนผสม	ดินเหนียว (%)	เถ้าลอย (%)
1	100	0
2	80	20

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการศึกษาการประเมินความเหมาะสมของดินเหนียวท่านางหอมสำหรับใช้เป็นชั้นกันซึมดินบดอัดสำหรับสถานที่ฝังกลบ ตังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้ ในส่วนแรกคือการทดสอบคุณสมบัติดัชนี ได้แก่ การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity test), การทดสอบพิกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg limit test) และ การจำแนกชนิดของดินตามวิธี Unified Soil Classification System (USCS) ในส่วนที่สองคือ Engineering Properties Test (การทดสอบคุณสมบัติวิศวกรรม) ได้แก่ การทดสอบการบดอัด (Compaction test) การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Hydraulic conductivity test) การทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined compressive test) และ ค่าการหดตัวเชิงปริมาตร (Volumetric shrinkage strain test) หลังจากนั้นนำผลการทดสอบเขียนกราฟหาช่วงที่ยอมรับได้เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของชั้นกันซึมบดอัด จากนั้นนำช่วงที่ยอมรับได้ทั้งหมดตามหัวข้อ 2.3 เพื่อประเมินอัตราส่วนผสมดินเหนียวและเถ้าลอยไม้ยางพารา ที่เหมาะสมสำหรับกันซึมดินบดอัดสำหรับสถานที่ฝังกลบต่อไป



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทดสอบ

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวท่านางหอมและเถ้าลอยไม้ยางพารา

คุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวท่านางหอมและเถ้าลอยไม้ยางพาราแสดงดังตารางที่ 3 คือมีค่าขีดจำกัดเหลวเท่ากับ 57.90% ค่าขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ 25.60% และค่าดัชนีพลาสติกเท่ากับ 32.30% นอกจากนั้นสามารถจำแนกชนิดของดินเหนียวได้เป็นดินเหนียวที่มีค่าความเป็นพลาสติกสูง (High plasticity clay, CH) และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 ในส่วนของเถ้าลอยไม้ยางพารามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.58

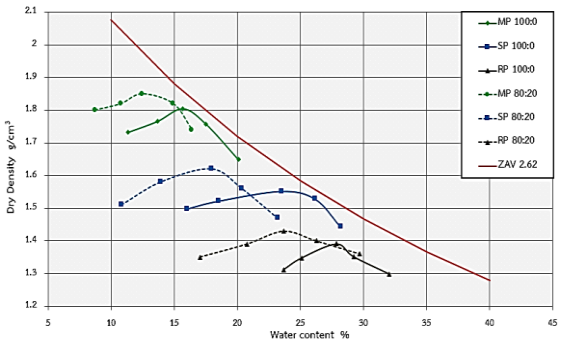
ตารางที่ 3 คุณสมบัติดัชนีของดินเหนียวจังหวัดสงขลาและเถ้าลอยไม้ยางพารา

คุณสมบัติ	ดินเหนียว	เถ้าลอยไม้ยางพารา	ดินเหนียวผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา
Liquid limit (%)	57.90	-	49.5
Plastic limit (%)	25.60	-	32.4
Plasticity index (%)	32.30	-	17.1
Specific gravity	2.62	2.58	2.65
Classification	CH	-	-

4.2 ผลการทดสอบการบดอัด

ผลการทดสอบการบดอัดดินด้วยพลังงานการบดอัดทั้ง 3 พลังงานคือ แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified proctor, MP), แบบมาตรฐาน (Standard proctor, SP) และแบบต่ำกว่ามาตรฐาน (Reduced proctor, RP) ซึ่งใช้พลังงานบดอัดต่อปริมาตรเท่ากับ 50% ของ SP ของดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่อัตราส่วน 100:0 และ 80:20 พบว่าเมื่อพลังงานการบดอัดต่ำลง ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งจะลดลงและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นทุกอัตราส่วนผสม และดินเหนียวที่มีการผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราจะทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งเพิ่มสูงขึ้นและปริมาณความชื้นลดลง ซึ่งในกราฟบดอัดแต่ละเส้นต้องมีค่าไม่เกิน Zero Ari Voids (ZAV, G_s

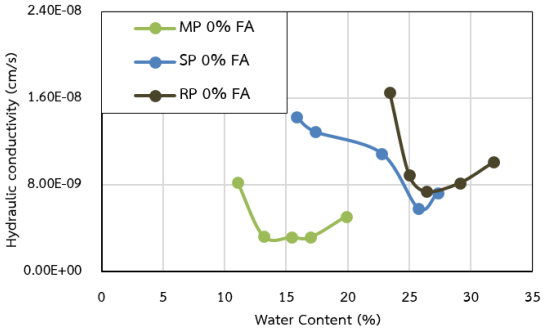
2.62) เป็นเส้นที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักดินแห้งของดินบดอัดในกรณีที่ดินอิ่มตัว แสดงดังรูปที่ 3



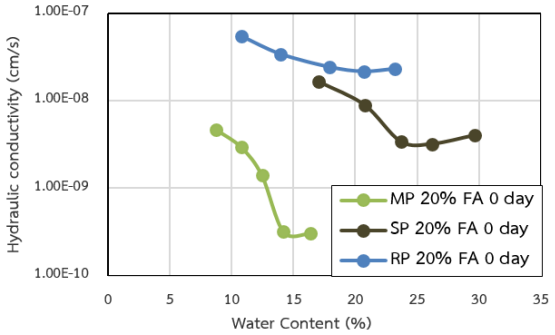
รูปที่ 3 กราฟการบดอัดในอัตราส่วนดินเหนียวต่อเถ้าลอยไม้ยางพารา 100:0 และ 80:20

4.3 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ

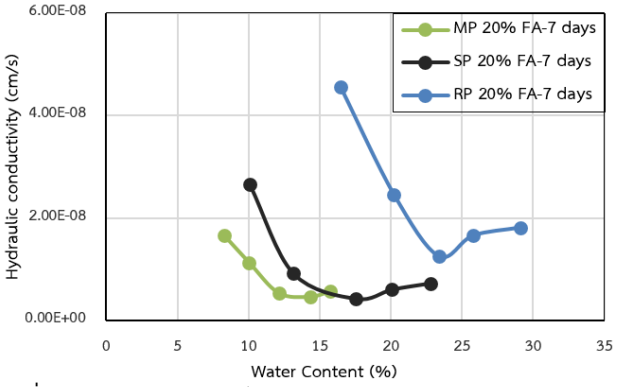
ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำของดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่อัตราส่วน 100:0 และ 80:20 ที่ระยะเวลาบ่มที่ 0, 7 และ 28 วัน พบว่าเมื่อพลังงานบดอัดเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำลดลง และเมื่อพิจารณาปริมาณเถ้าไม้ลอยยางพาราที่ผสมเข้าไปในสัดส่วน 20% ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำลดลงเช่นกัน แต่ระยะเวลาการบ่มไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ เพราะด้วยตัวดินเหนียวเองนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่ต่ำอยู่แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณวรางค์ รัตนานคม [8] เนื่องจากเถ้าลอยไม้ยางพาราเข้าไปทำให้พื้นที่ช่องว่างภายในดินเหนียวลดลงเมื่อทำการบดอัดทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จึงทำให้ดินผสมเถ้าลอยไม้ยางพารามีความทึบน้ำมากขึ้น ทั้งนี้ในอัตราส่วน 0% และ 20% ที่การบดอัดทั้ง 3 พลังงานจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำต่ำกว่า $1x10^{-7}$ cm/s ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ Daniel and Benson [6] ดังแสดงในรูปที่ 4-7



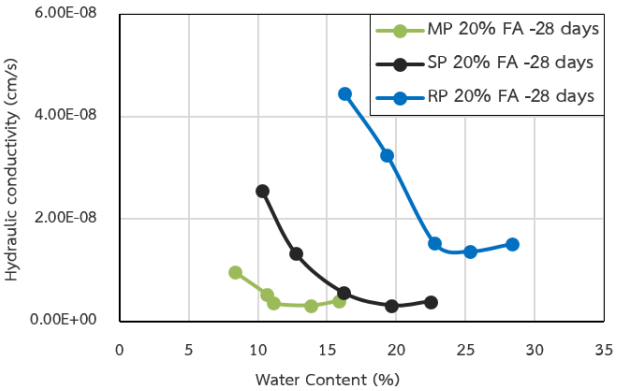
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Hydraulic conductivity และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 0% ระยะการบ่ม 0 วัน



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Hydraulic conductivity และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 0 วัน



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Hydraulic conductivity และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 7 วัน

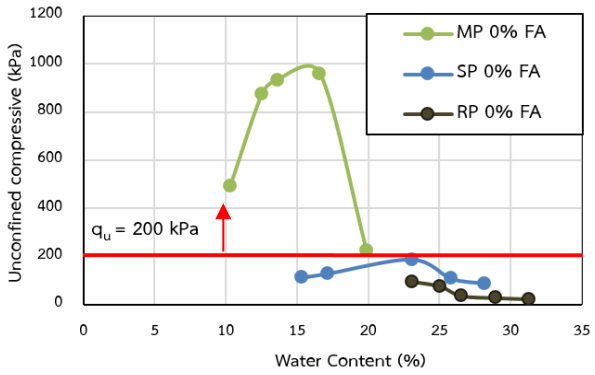


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Hydraulic conductivity และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 28 วัน

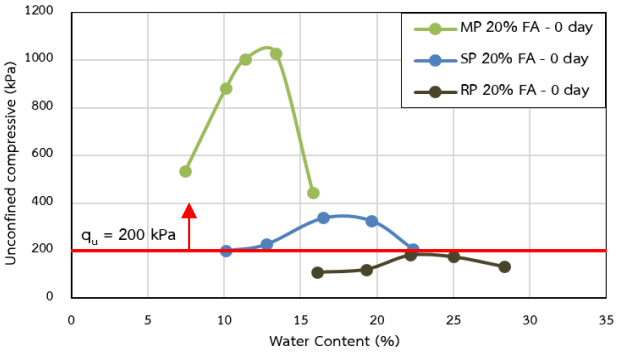
4.4 ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราในอัตราส่วน 100:0 และ 80:20 ระยะเวลาการบ่ม 0, 7 และ 28 วัน พบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานในการบดอัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 8-11 และเมื่อพิจารณาในกรณีเพิ่มเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% พบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มที่ 0, 7 และ 28 วัน พบว่ากำลังอัดยิ่งสูงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 9-11 ทั้งนี้เพราะเถ้าลอยที่นำมาใช้เป็นเถ้าลอยไม้ยางพารา ซึ่งมีคุณสมบัติเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้ (Pozzolanic Reaction) คือมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่สูงจะเกิดการทำปฏิกิริยากับน้ำกลายเป็น $Ca(OH_2)$ ซึ่งสารนี้จะทำปฏิกิริยาต่อไปกับ SiO_2 และ Al_2O_2 เกิด

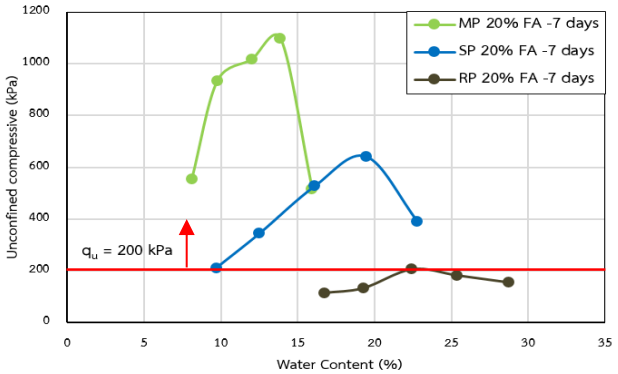
เป็นสารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานให้เนื้อดินติดกันแน่น คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (Cacium Aluminate Hydrate, CAH) ซึ่งทำให้ส่งผลตอกำลังอัดแกนเดียวมีค่าที่สูงขึ้น และค่ากำลังอัดแกนเดียวจากผลการทดสอบส่วนใหญ่ในอัตราส่วนดินเหนียวผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่ 20% มีค่าที่มากกว่า 200 kPa ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ Daniel and Benson [6] ดังแสดงในรูปที่ 9-11



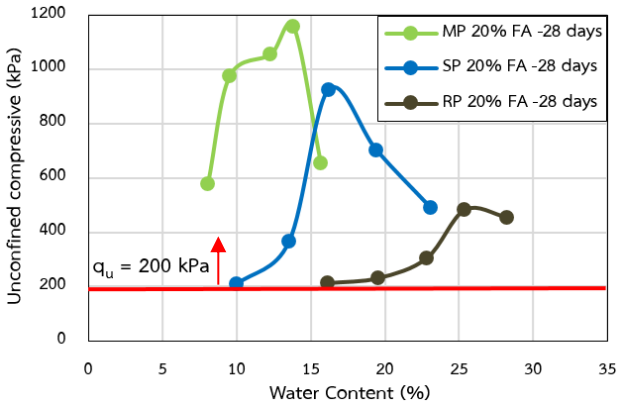
รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined compressive และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ลอย 0% ระยะการบ่ม 0 วัน



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined compressive และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 0 วัน



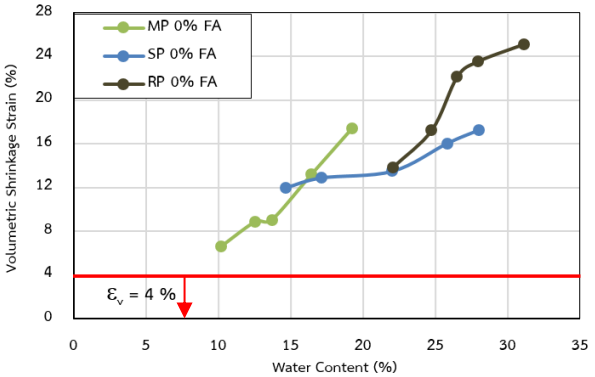
รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined compressive และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 7 วัน



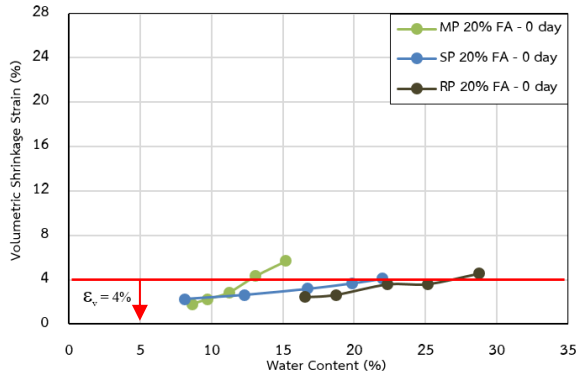
รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined compressive และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 28 วัน

4.5 ผลการทดสอบการหดตัวเชิงปริมาตร

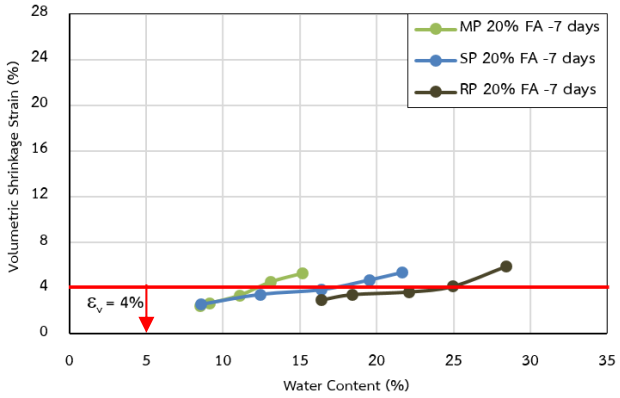
ผลการทดสอบค่าการหดตัวเชิงปริมาตรของดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราในอัตราส่วน 100:0 พบว่าเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรจะยิ่งเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 12 และเมื่อพิจารณาการเพิ่มเถ้าลอยไม้ยางพาราลงไปผสมที่อัตราส่วน 80:20 ที่ระยะเวลาการบ่ม 0, 7 และ 28 วัน ซึ่งเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรจะลดลงอย่างชัดเจนว่าส่วนใหญ่มีค่าการหดตัวน้อยกว่า 4% ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ Daniel and Benson [6] ดังแสดงในรูปที่ 13-15



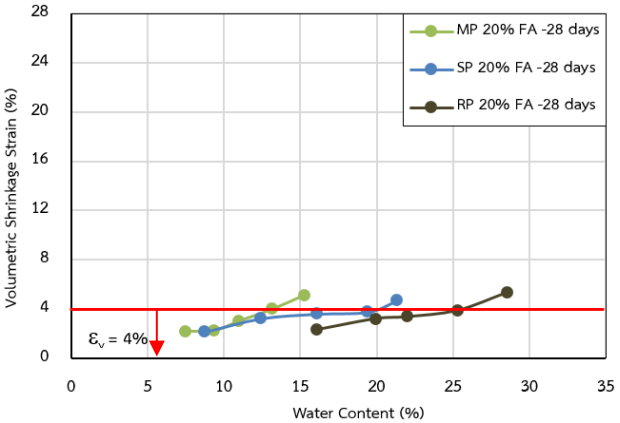
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric shrinkage strain และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 0% ระยะการบ่ม 0 วัน



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric shrinkage strain และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 0 วัน



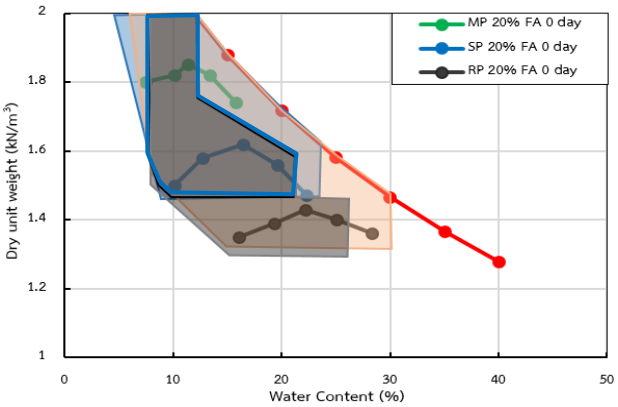
รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric shrinkage strain และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 7 วัน



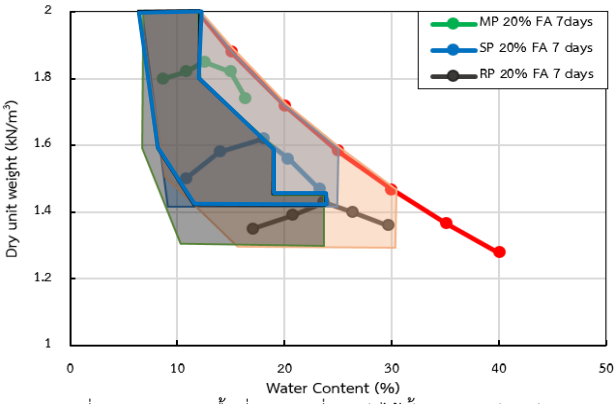
รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Volumetric shrinkage strain และ Water content ของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 28 วัน

4.6 ขอบเขตที่ยอมรับได้ของชั้นกันซึมบดอัด

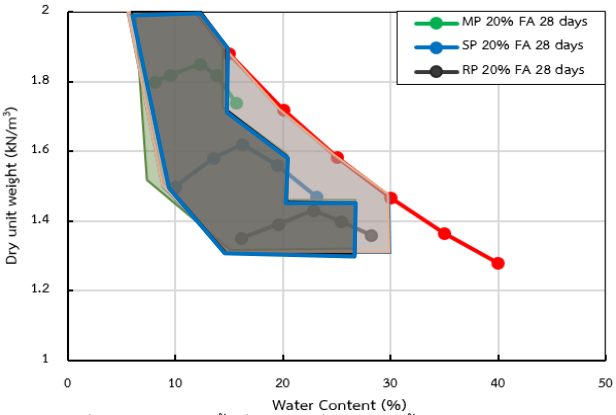
ในการพิจารณาพื้นที่ที่เหมาะสมในการบดอัดชั้นกันซึมในรูปของขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมด (หัวข้อ 2.3) ถูกนำเสนอในรูปของพื้นที่ใต้กราฟของกราฟการบดอัดในขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมด โดยการคำนวณจากผลคูณของ Dry unit weight และ Water content ซึ่งมีหน่วยพื้นที่เป็น kN/m^3 • % พบว่าขอบเขตที่ยอมรับทั้งหมด ผลการคำนวณของดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่อัตราส่วน 100:0 พบว่าไม่มีพื้นที่ที่ยอมรับได้ตามเงื่อนไข และเมื่อมีการผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่อัตราส่วน 80:20 ในระยะเวลาบ่มที่ 0,7 และ 28 วัน มีพื้นที่ใต้กราฟคือ 3.814 kN/m^3 • %, 3.912 kN/m^3 • % และ 5.353 kN/m^3 • % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ยอมรับได้มีพื้นที่มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อพิจารณาระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน พบว่าพื้นที่ที่ยอมรับได้ที่ใหญ่ที่สุดโดยมีพื้นที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 26.929 เมื่อเทียบกับที่ระยะบ่ม 0 วัน ดังรูปที่ 16-18



รูปที่ 16 กราฟแสดงพื้นที่ขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมดของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 0 วัน



รูปที่ 17 กราฟแสดงพื้นที่ขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมดของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 18 กราฟแสดงพื้นที่ขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมดของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา 20% ระยะการบ่ม 28 วัน

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเหมาะสมของการใช้ดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา สำหรับชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบมูลฝอยสรุปได้ว่า การประเมินความเหมาะสมของดินเหนียวท่านางหอมผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ในอัตราส่วน 100:0 และ 80:20 ที่ระยะการบ่ม 0, 7 และ 28 วัน เมื่อพิจารณาพื้นที่ซ้อนทับของช่วงที่ยอมรับได้ของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ, กำลังอัดแกนเดียวและการหดตัวเชิงปริมาตร จะได้พื้นที่ของขอบเขตที่ยอมรับได้ทั้งหมดได้โดยจัดลำดับความเหมาะสมของดินเหนียวผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ในการนำไปใช้เป็นชั้นกันซึมคือ ในอัตราส่วนดินเหนียวต่อเถ้าลอยไม้ยางพาราที่ 100:0 ไม่มีพื้นที่ที่ยอมรับได้ในการนำไปใช้เป็นวัสดุในชั้นกันเพราะค่ากำลังอัดแกนเดียวและค่าหดตัวเชิงปริมาตรไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แต่เมื่อมีเถ้าไม้ยางพาราเป็นส่วนผสมที่อัตราส่วน 80:20 ที่ระยะการบ่ม 0, 7 และ 28 วัน ซึ่งเถ้าลอยไม้ยางพาราเป็นวัสดุที่ทำให้ค่ากำลังแกนเดียวและค่าหดตัวเชิงปริมาตรมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จึงทำให้มีพื้นที่ 3.814 kN/m^3•%, 3.912 kN/m^3•% และ 5.353 kN/m^3•% ตามลำดับ เมื่ออัตราส่วน 80 : 20 ที่ระยะการบ่ม 0 วัน เทียบกับระยะบ่มที่ 7 และ 28 วัน พบว่าพื้นที่ที่ยอมรับได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.493 และ 26.929 ตามลำดับ จากการพิจารณาพื้นที่ยอมรับได้สรุปได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เป็นชั้นกันซึมมากที่สุดคือ อัตราส่วนดินเหนียวผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่ 80:20 ที่ระยะการบ่ม 28 วัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์สำหรับการดำเนินการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณพลวัฒน์ คงสม สำหรับความช่วยเหลือในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จอย่างสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ (2560). แนวทางในการพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่การออกแบบก่อสร้าง และการจักการสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล. กรุงเทพฯ : บริษัท ธนสิริ ปริ้นติ้ง จำกัด

[2] ธนิต เฉลิมยานนท์ (2550). *ธรณีเทคนิคของของเสีย*. หน่วยเทคโนโลยีการศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, หน้า 3.

[3] อาบีเด็ง ฮาวา (2551) สมบัติของคอนกรีตมวลเบาหินพัมมิซผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและเถ้าแกลบ วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

[4] ธนาภรณ์ ทองรูปพรรณ์ (2561) การปรับปรุงคุณภาพดินที่ถูกขุดลอกจากท่าเรือแหลมฉบังเพื่อประยุกต์ใช้เป็นชั้นวัสดุกันซึมในบ่อฝังกลบขยะ วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[5] ปิติศานต์ กร้ำมาตร. 2553. คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน. โครงการเสริมสร้างความเข้มแข็งทางวิชาการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[6] Danial, D. E. and Benson, C. H. (1990). Water Content-Density Criteria for Compacted Soil Liners. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, pp1811-1830.

[7] Danial, D. E. and Wu, Y. K. (1993). Compacted Clay Liners and Cover for Arid Sites. Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, pp 223-237.

[8] วรรณวรางค์ รัตนานคม. 2561. การประยุกต์ใช้ดินตะกอนทะเลที่ถูกขุดลอกจากทาเรือพาณิชย์แหลมฉบังเพื่อเป็นชั้นวัสดุกันซึมในบ่อฝังกลบขยะ. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล, มหาวิทยาลัยบูรพา

[9] ชัยเจริญ มาจัดสาเระ (2554) การประเมินความเหมาะสมของดินบดอัด สำหรับชั้นกันซึมของสถานที่ฝังกลบา วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์