การตรวจสอบประสิทธิภาพของยางพารามควันสำหรับการเสริมกำลังถนน

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF RIBBED SMOKED SHEET FOR ROAD REINFOECEMENT

ฐิติรัตน์ โชติทรัพย์ชลัท

อาดิ๊ล ณรงค์อัสดร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบประสิทธิภาพของยางพารามคควันสำหรับการเสริมกำลังถนน

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF RIBBED SMOKED SHEET FOR ROAD REINFORCEMENT

ฐิติรัตน์ โชติทรัพย์ชลัท

อาดิ๊ล ณรงค์อัสดร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF RIBBED SMOKED SHEET FOR ROAD REINFORCEMENT

THITIRAT CHOTSUPCHALAT
ADILL NARONGUSSADORN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การตรวจสอบประสิทธิภาพของยางพารามควันสำหรับการเสริมกำลังถนน
Evaluating the effectiveness of Ribbed smoked sheet for road reinforcement.

นักศึกษา	นางสาวฐิติรัตน์ โชติทรัพย์ชลัท	รหัสนักศึกษา 62010238
	นายอาดิ๊ล ณรงค์อัสดร	รหัสนักศึกษา 62011056

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศลิษา	ไชยพุทธ	
ผศ.ดร.ธนาดล	คงสมบูรณ์	
อ.อุบะ	ศิริแก้ว	
ดร.พิณิช	ธนชัยโชคศิริกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ.2566 เวลา 9.00-9.20 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธา CV ชั้น 2 ห้อง CV-202

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การตรวจสอบประสิทธิภาพของยางพารารมควันสำหรับการเสริมกำลังถนน
นักศึกษา นางสาวฐิติรัตน์ โชติทรัพย์ชลัท รหัสนักศึกษา 62010238
นายอาดิ๊ล ณรงค์อัสดร รหัสนักศึกษา 62011056
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไทยกำลังตกต่ำส่งผลทำให้สินค้าและผลิตภัณฑ์ที่ผลิตและแปรรูปมาจากยางพาราที่จำหน่ายในท้องตลาดมีแนวโน้มที่ตกลงอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา งานวิจัยนี้เป็น “การใช้ประโยชน์จากยางพาราเพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้าง” โดยการประยุกต์ใช้ "แผ่นยางพารารมควัน (RSS)" ในการเสริมการรับแรง เรียกว่า “แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควัน” โดยใช้แผ่นยางพารารมควัน หรือ RSS3 ออกแบบให้เป็น แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน สองแกนที่มีช่องเปิดขนาด 20 มม. × 20 มม. และระยะห่าง 20 มม. งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ คือ การทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังคันดินด้วยแผ่นยางพารารมควันในสนาม ซึ่งประกอบด้วยการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการจนนำไปสู่ข้อมูลเพื่อนำมาออกแบบสนามทดสอบขนาดที่มีการเสริมกำลังจำนวน 2 ชั้นที่ตำแหน่ง 0.05 เมตร และ 0.25 เมตร จากผิวดินและน้ำหนักวิ่งผ่านบนสนามตามจำนวนครั้งที่กำหนดพร้อมกับวัดค่าอัตราการทรุดตัว, แคลิฟอเนียแบริ่งเรโช (CBR) ในสนาม และ ความลึกของร่องล้อ (Rutting depth) จากการศึกษาพบว่าการเสริมกำลังคันดินด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากยางพารารมควันจะมีค่าอัตราการทรุดตัวและค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting depth) เกิดขึ้นน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคันดินที่ไม่เสริมกำลัง และในทางตรงกันข้ามค่า แคลิฟอเนียแบริ่งเรโช (CBR) ของดินที่เสริมกำลังด้วยตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากยางพารารมควันจะมีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับคันดินที่ไม่เสริมกำลังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Evaluating the effectiveness of Ribbed smoked sheet for road reinforcement.

Student MissThitirat Chotsupchalat Student ID 62010238

Mr.Adill Narongussadorn Student ID 62011056

Advisor Assoc.Prof.Dr.Salisa Chaiyaput

Co-Advisor Asst.Prof.Dr.Thanadol Kongsomboon

Degree Bachelor of Engineering

Major Civil Engineering

Academic year 2022

ABSTRACT

Due to the overall economic situation in Thailand is deteriorating, resulting in products and products produced and processed from rubber sold in the market tends to drop significantly over the past several years. This research is “The utilization of rubber as a soil reinforcement net in construction” by applying "Smoked Para Rubber Slats (RSS)" in reinforcement is called "Smoked Para Rubber Soil Reinforcing Mesh Sheets". To reinforce the load, it is called "Soil Reinforcement Net made from Smoked Para Rubber Sheet" by using Smoked Para Rubber Sheet or RSS3 designed to be soil reinforcement mesh Two cores with an opening of 20 mm × 20 mm and a pitch of 20 mm. .The purpose of this research is to test the efficiency of soil reinforcement with smoked para rubber sheets in the field which consisted of testing the properties of the soil used in the laboratory until leading to data for designing a test field with a size of 2 reinforcement layers at the position of 0.05 meters and 0.25 meters from the soil surface and the weight running through the field according to the number set times with subsidence rate measurements, California Bearing Ratio (CBR) in the field and rutting depth. From the study, it was found that reinforcement of the embankment with soil reinforcement net produced from smoked para rubber had the subsidence rate and the rutting depth. This occurs less in comparison with non-reinforced embankments and, on the contrary, the value The California bearing ratio (CBR) of soils reinforced with soil reinforcing nets produced from smoked para rubber are significantly higher compared to unreinforced embankments.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.ศลิษา ไชยพุทธ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อีกทั้งยังจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับปริญญานิพนธ์นี้ ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธานี้ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกทราบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์
นางสาวฐิติรัตน์ โชติทรัพย์ชลัท
นายอาดิ๊ล ณรงค์อัสดร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน	5
2.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน	6
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	16
3.1 บทนำ	16
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้	17
3.2.1. การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน	17
3.2.2 การทดสอบการบดอัดดิน	18
3.2.3 การทดสอบหาค่า CBR	20
3.2.4 การทดสอบหาค่าการทรุดตัว	24
3.2.5 การทดสอบหาค่าความลึกร่องล้อ	26
3.3 การออกแบบสนามทดสอบ	27
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 บทนำ	30
4.2 ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน	30
4.3 ผลการทดสอบการบดอัดดิน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.4 ผลการทดสอบหาค่า CBR 31
4.5 ผลการทดสอบหาค่าความลึกร่องล้อในสนาม 33
4.6 ผลการทดสอบหาค่าการทรุดตัวในสนาม 33
4.7 การนำค่าความลึกร่องล้อมาเปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัว 35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 36
5.1 สรุปผลการวิจัย 36
5.2 ข้อเสนอแนะ 36
เอกสารอ้างอิง 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทดลองแบบมาตรฐาน และวิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน	7
2.1 ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่าง ๆ	12
2.2 ค่า CBR ที่เหมาะต่อชั้นทางต่าง ๆ	12
4.2 แสดงค่าการร่อนดินผ่านตะแกรง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบทางเดียว (Uniaxial Geogrid)	4
รูปที่ 2 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบสองทาง (Biaxial Geogrid)	4
รูปที่ 3 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบทางเดียว (Uniaxial Geogrid)	5
รูปที่ 4 ลดการเคลื่อนตัวของออกด้านข้าง (Lateral restraint)	5
รูปที่ 5 เพิ่มกำลังรับน้ำหนักแบกทานของระบบ (Bearing capacity increase)	5
รูปที่ 6 (Membrane tension effect)	6
รูปที่ 7 เส้นโค้งการบดอัดดิน	8
รูปที่ 8 เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ	9
รูปที่ 9 เครื่องกระทุ้ง	9
รูปที่ 10 เครื่องจักรขนาดใหญ่ (Heavy Soil Compaction)	10
รูปที่ 11 วิธีแทนที่ด้วยทราย (Sand Cone Method)	11
รูปที่ 12 แสดงแผนผังการวิจัย	14
รูปที่ 13 แสดงกระบวนการร่อนผ่านตะแกรง	15
รูปที่ 14 แสดงการบดอัดดินแบบมาตรฐาน	17
รูปที่ 15 แสดงตัวอย่างดินที่ผ่านการแช่น้ำมาแล้ว	20
รูปที่ 16 รูปกล้องสำรวจ	21
รูปที่ 17 รูปไม้สตาฟ	21
รูปที่ 18 ตัวอย่างของลักษณะแผ่นการทรุดตัว (Settlement plate)	22
รูปที่ 19 แสดงการติดตั้งแผ่นการทรุดตัว	22
รูปที่ 20 แสดงการเก็บบันทึกค่าในสนาม	23
รูปที่ 21 แสดงการวัดความลึกร่องล้อ	23
รูปที่ 22 สนามทดสอบ (Test section)	24
รูปที่ 23 ความสูงของชั้นต่าง ๆ ในการเสริมกำลัง	24
รูปที่ 24 แสดงการเตรียมสนามทดลองตามแบบ	24
รูปที่ 25 แสดงการใส่แผ่นตาข่ายเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควัน	25
รูปที่ 26 แสดงการสร้างสนามทดสอบตามแบบ	25
รูปที่ 27 สนามทดสอบที่สร้างสำเร็จแล้ว	25
รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ไฟเนอร์ติ่น้ำหนักและเส้นผ่านศูนย์กลาง	26
รูปที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้ง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกดและความต้านทานการกด 27
รูปที่ 31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความลึกร่องล้อในจุดที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง 27
รูปที่ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาระหวางจุดที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราธรรมชาติ และจุดที่ไมมีการเสริมกำลังดินที่ตำแหน่งความลึก 0.5 เมตรจากพื้นผิว 28
รูปที่ 33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาระหวางจุดที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราธรรมชาติ และจุดที่ไมมีการเสริมกำลังดินที่ตำแหน่งความลึก 0.05 เมตรจากพื้นผิว 28
รูปที่ 34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาระหวางจุดที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราธรรมชาติ และจุดที่ไมมีการเสริมกำลังดินที่ตำแหน่งความลึก 0.5 เมตรจากพื้นผิว 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความต้องการในการเดินทางการสัญจรและการคมนาคมขนส่งมีมากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณการจราจรในแต่ละวันที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำหนักกดทับที่ถนนต้องรับในแต่ละวันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อรองรับปริมาณการจราจรและน้ำหนักกดทับที่เพิ่มขึ้น โครงสร้างของถนนจึงต้องมีความแข็งแรงมากขึ้น การเสริมความแข็งแรงของถนนนั้นหนึ่งในวิธีที่ได้ผลดีและนิยมใช้งาน คือ การใช้ตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) เข้ามาช่วยเพิ่มความแข็งแรงและลดการทรุดตัวของชั้นดินและหินที่รองรับอยู่

เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศกำลังตกต่ำส่งผลทำให้ยางพาราและผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากยางพารามีราคาต่ำลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ส่งผลโดยตรงต่อเกษตรกรผู้ปลูกยาง ดังนั้นเพื่อช่วยเหลือปัญหาเรื่องราคาที่ตกต่ำของยางพารา งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำผลิตภัณฑ์จากยางพารามาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เลือกนำมาศึกษาคือ แผ่นยางพารารมควันเกรด3 โดยนำมาประยุกต์ใช้แทนที่ตาข่ายเสริมกำลังดิน ที่ผลิตจากสารประเภทพอลิเมอร์ ซึ่งตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันนี้

จากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันนั้นพบว่าสามารถเสริมกำลังได้จริงแต่การศึกษาก่อนหน้านั้นเป็นการทดสอบเพียงในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ยังไม่มีการทดสอบโดยการสร้างสนามทดสอบขึ้นมา งานวิจัยนี้จึงศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นยางพารารมควันในการเสริมกำลังคันดินด้วยการทดสอบในสนาม

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกำลังจากแผ่นยางพารารมควันชั้น 3 ในสนามด้วยการวัดอัตราการทรุดตัว , ค่า CBR ในสนาม , ค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting depth) ในสนาม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.) แผ่นตาข่ายเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควัน (Paragrid) ที่ทำมาจากแผ่นยางพารารมควัน

2.) แผ่นตาข่ายเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควัน (Paragrid) มีลักษณะดังนี้

- ตัดเป็นตาข่ายที่มีช่องเปิดขนาด 2×2 เซนติเมตรและมีระยะห่าง 2 เซนติเมตร

3.) ไม่ศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

4.) ไม่ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

โดยศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกำลังจากแผ่นยางพาราในสนาม โดยการศึกษาวรรณกรรมทั้งในประเทศและต่างประเทศเพื่อทราบถึงข้อมูลต่างๆ ที่สามารถนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงในงานวิจัยได้ ทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆที่ได้ศึกษามา จากนั้นนำข้อมูลมาทำการออกแบบสนามทดสอบรวมถึงวิธีการทดสอบ โดยในสนามทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลการทดสอบดังนี้

อัตราการทรุดตัว

1. ค่า แคลิฟอเนียแบริ่งเรโช (CBR) ในสนาม
2. ค่า ความลึกของร่องล้อ (Rutting depth) ในสนาม

จากนั้นทำการทดสอบโดยการนำรถจักรยานยนต์ยี่ห้อ Honda All New scoopy I ปี 2018 ที่มีน้ำหนัก 98 กิโลกรัม (Ref.https://www.thaihonda.co.th) และน้ำหนักมาตรฐานคนไทยโดยไม่ระบุเพศอยู่ที่ประมาณ 63.2 กิโลกรัม (Ref.https://www.nstda.or.th)มาวิ่งผ่านโดยกำหนดจำนวนครั้ง เมื่อทำการทดสอบเสร็จสิ้นจึงนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อหประสิทธิภาพของการเสริมกำลังจากแผ่นยางพารารมควันในสนาม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงประสิทธิภาพในการเสริมกำลังของแผ่นยางพารารมควันที่เกิดขึ้นบนสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid)

Geogrid เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้เสริมสร้างกำลังดิน โดยทั่วไปมักใช้ Geogrid ในงานเสริมสร้างกำแพงดิน เช่นเดียวกันกับงานชั้นรองผิวทาง (subbases) หรือดินชั้นล่างใต้ถนนหรือโครงสร้าง เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างดินโดยส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้แรงดึง (Tension) อันเนื่องมาจากน้ำหนักที่มากระทำ ส่งผลให้เกิดการแยกตัว หรือแตกออกจากกันได้ ดังนั้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับ ดินที่เสริมแรงด้วยตาข่ายสังเคราะห์ (geogrids) จะพบว่าดินจะมีความแข็งแรงมากกว่าในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีนี้ช่วยในเรื่องการกระจายแรงกำลังของดินของบริเวณที่มีการรับแรงดึงไปยังพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าของดินได้

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrids) ผลิตครั้งแรก ณ ประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 1982 โดยในช่วงแรกผลิตจากวัสดุประเภทพอลิเอสเตอร์ ด้วยการนำเส้นใยสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นแผน พลาสติกมาสานกัน ต่อมาจึงมีการพัฒนาสารเคลือบผิวและวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแถบพลาสติก ปัจจุบันแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินผลิตจากการประสานเส้นใยพลาสติกชนิดรับแรงดึง (Tensile) สูง ความคืบ (Creep) และ การยืดตัว (Elongation) ต่ำ เช่น พอลิเอสเตอร์ พอลิโพรไพลิน หรือพอลิเอสทีลีน และเคลือบเส้นใยด้วยวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เพื่อป้องกันการถูกทำลายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลตจากแสงแดด กระบวนการผลิตแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน มีหลายวิธี เช่น การเชื่อมแบบวัสดุเส้นใยพลาสติกด้วยความร้อน การถักทอในลักษณะเดียวกับการถักทอแผ่นใยสังเคราะห์ การถักทอด้วยเส้นด้าย และการเจาะรูแผ่นวัสดุพลาสติกแล้วยืดออกเป็นตาราง เป็นต้น แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมีลักษณะเป็นช่องตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีช่องเปิด (Apertures) ประกอบไปด้วยแถบวัสดุตามแนวยาว (Longitudinal Ribs) และแถบวัสดุตามแนวขวาง (Transverse Ribs) ไขว้กัน เพื่อให้ดินลอดผ่านได้ มีขนาด ตั้งแต่ 10 ถึง 100 มิลลิเมตร พื้นที่ของช่องเปิดอยู่ในช่วงร้อยละ 40 ถึงร้อยละ 90 ของพื้นที่ทั้งหมด ช่องเปิดถูกออกแบบเพื่อช่วยเสริมกำลังให้ดินมีความแข็งแรง มีประสิทธิภาพในการรับแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับดิน มีความสามารถในการรับแรงเฉือนในชั้นดิน เนื่องจากกลไกการ ยึดเกาะระหว่างช่องเปิดของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินกับดิน (Interlock) แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมีคุณลักษณะพิเศษใช้ในการช่วยรับแรงดึงที่กระทำกับดิน เช่นเดียวกับเหล็กเสริม ที่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก และค่าความเครียด (Strain) ใกล้เคียงกับดิน เหมาะสมกับงานประเภท เสริมกำลังในกำแพงกันดิน หรือลาดดินตลอดจนเสริมกำลังของโครงสร้างทาง เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่ง (Stiffness) ให้กับโครงสร้างที่เกิดหน่วยแรงดึงขึ้น เมื่อมีน้ำหนักจากยานพาหนะมากระทำ เช่น งานถนน ทางรถไฟ หรือพื้นสนามบิน เสริมใต้ฐานเขื่อนเพื่อป้องกัน หรือลดการกัดเซาะ และเสริมกำลังกระจายน้ำหนักเหนือเข็มกลุ่ม ในงานฐานราก เป็นต้น (ศลิษา ไชย พุทธ. 2565)

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrids) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามแนวการรับแรงดังนี้

1. แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบทางเดียว (Uniaxial Geogrid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

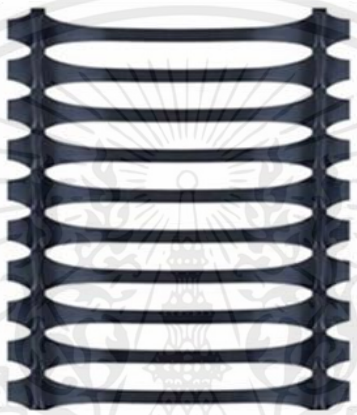
ลักษณะช่องเปิดจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังรูปที่ 2 และจะรับแรงดึงได้เพียงทิศทางเดียว เหมาะสำหรับการก่อสร้างกำแพงกันดิน เสริมกำลังความลาดชันในงานเขื่อน เป็นต้น

2. แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบสองทาง (Biaxial Geogrid)

ลักษณะช่องเปิดจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสดังรูปที่ 3 และจะรับแรงดึงได้ 2 ทิศทาง เหมาะสำหรับการก่อสร้างถนน ลาดดิน เป็นต้น

3. แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบสามทาง (Triaxial Geogrid)

ลักษณะช่องเปิดจะเป็นสามเหลี่ยม มุมภายใน 60 องศาดังรูปที่ 4 และจะรับแรงดึงได้ 3 ทิศทาง เหมาะสำหรับการก่อสร้างทางรถไฟ เป็นต้น



รูปที่ 1 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบทางเดียว (Uniaxial Geogrid) (HAPPHO.com)

รูปที่ 2 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบสองทาง (Biaxial Geogrid) (HAPPHO.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

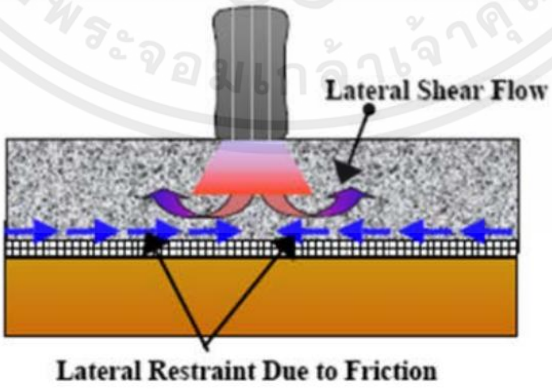
รูปที่ 3 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินแบบทางเดียว (Uniaxial Geogrid) (HAPPHO.com)

2.2. หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ทำหน้าที่ช่วยเสริมกำลังรับแรงในถนนโดยจะมีกลไกดังนี้

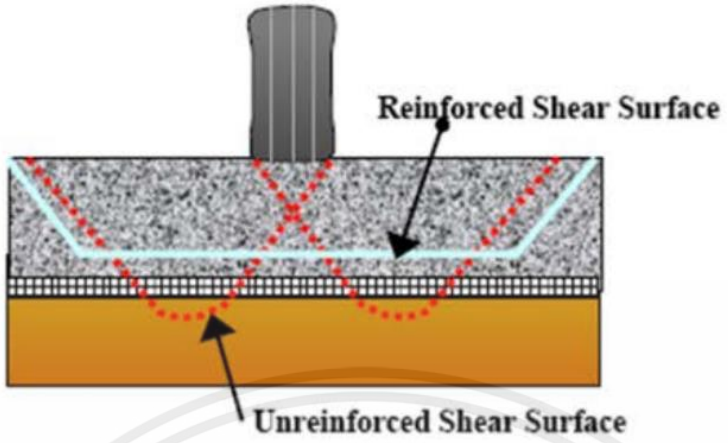
1. ลดการเคลื่อนตัวของออกด้านข้าง (Lateral restraint)
2. เพิ่มกำลังรับน้ำหนักแบกทานของระบบ (Bearing capacity increase)
3. แรงดึงที่เกิดจากวัสดุเสริมกำลัง (Membrane tension effect)

โดยรูปที่ 5, 6 และ 7 จะแสดงลักษณะการกระจายแรงในแต่ละหน้าที่ตามลำดับ (Haliburton et al. 1981; Giroud et al. 1984; Koerner. 1997; Christopher. 2010)

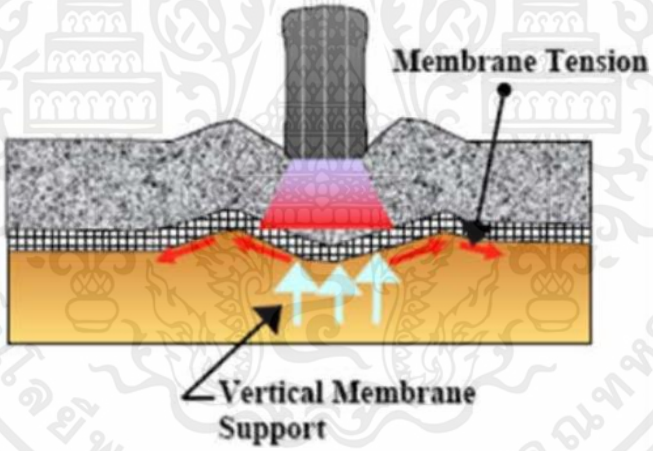


รูปที่ 4 ลดการเคลื่อนตัวของออกด้านข้าง (Lateral restraint) (Holtz et al., 1998)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 เพิ่มกำลังรับน้ำหนักแบกทานของระบบ (Bearing capacity increase) (Holtz et al., 1998)



รูปที่ 6 (Membrane tension effect) (Holtz et al., 1998)

2.3. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

2.3.1. วิธีร่อนผ่านตะแกรง

วิธีการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) เป็นการทำเพื่อวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่ต้องมีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงอยาบที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงแต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นเพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลมหรือลูกบาศก์แต่เป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะใช้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer Analysis) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะเกี่ยวเนื่องกันเมื่อได้ผลแล้วต้องนำผลทั้ง 2 วิธีมาเขียนกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินต่อไปในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน โดยทั่วไปขนาดของเม็ดดินกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดดิน (Diameter) ที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่าที่ระบุหรือเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงค่าต่าง ๆจะถูกนำมาเขียนกราฟมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางบันทึกผล

2.3.2. การบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) คือ การศึกษาหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ที่ทำให้เกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) เนื่องจากในระหว่างการก่อสร้างจำเป็นต้องควบคุมคุณภาพงานบดอัดดิน เพื่อตรวจสอบว่าชั้นดิน ในโครงการก่อสร้างมีความหนาแน่นเพียงพอ และมีคุณภาพเหมาะสมเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำตัวอย่างดินซึ่งเป็นดินที่มาจากแหล่งเดียวกับที่ใช้ในโครงการก่อสร้างมาทดสอบ ในห้องปฏิบัติการ และนำผลการทดสอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการบดอัดดินในสนาม ในปี ค.ศ. 1930 Proctor ได้พัฒนาทฤษฎีการบดอัดดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความชื้นและความหนาแน่น ของดิน ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายในการทดสอบการบดอัดดิน ในห้องปฏิบัติการมาจนถึงปัจจุบัน เรียกวิธีนี้ว่า วิธีการทดสอบแบบมาตรฐานของพรอคเตอร์หรือนิยมเรียกว่า วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน

วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิศวกรรมโยธาทั่วไป แต่ในปัจจุบันยานพาหนะได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับโครงการก่อสร้างต่าง ๆ มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลทำให้ดินที่นำมาบดอัดในโครงการก่อสร้างต่าง ๆ ต้องรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบที่เรียกว่า วิธีการทดสอบแบบดัดแปลงของพรอคเตอร์ หรือนิยมเรียกว่า วิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเพิ่มพลังงานในการบดอัดดินให้สูงขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักของยานพาหนะและโครงสร้างที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการบดอัดดินในสนามได้ ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบ วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และ วิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) (ศลิษา ไชยพุทธ, 2562)

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทดลองแบบมาตรฐาน และวิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ	วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน	วิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน
น้ำหนักตุ้มกระแทก	5.5	10
ระยะยก (นิ้ว)	12	18
จำนวนครั้งการบดอัดดินต่อชั้น	25	25
จำนวนชั้นในการบดอัดดิน	3	5
พลังงานในการบดอัดดิน (ฟุต-ปอนด์/ลบฟุต)	12,400	56,200

ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบดอัดดิน คือ

1. ชนิดและขนาดคละในมวลดิน
2. ความชื้นในมวลดิน (W)
3. ความหนาแน่น (γ) หรือ ความหนาแน่นแห้ง (γ_d)
4. พลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน (E)

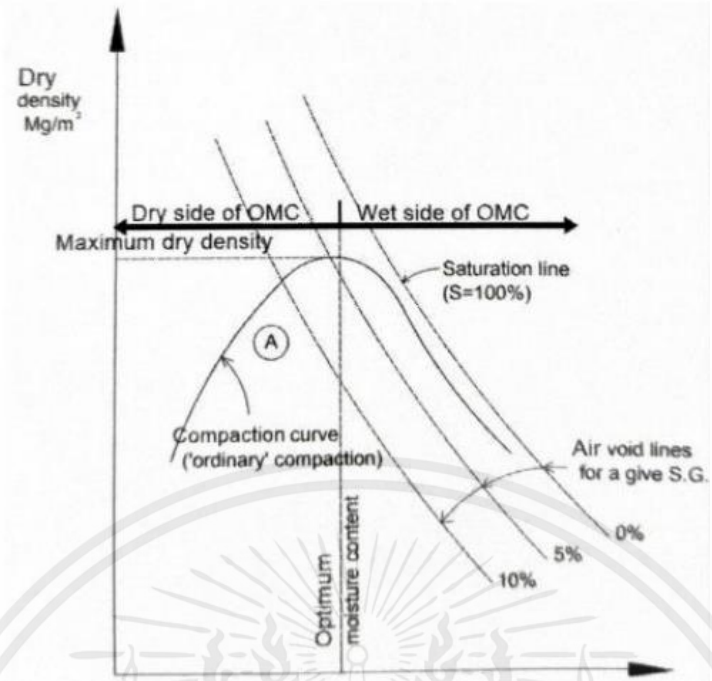
สมการการคำนวณพลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน (Compaction Energy, E)

$$\text{การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน (Compaction Energy, E)} = \frac{\text{น้ำหนักตุ้มกระแทก} \times \text{ระยะยก} \times \text{จำนวนครั้งการบดอัดดินต่อชั้น} \times \text{จำนวนชั้นในการบดอัดดิน}}{\text{ปริมาตรของแบบใส่ตัวอย่างดิน}} \quad (1)$$

2.3.3. ทฤษฎีการบดอัดดินของพรอคเตอร์

Proctorได้พัฒนาทฤษฎีการบดอัดดิน ในปี ค.ศ. 1930 และตีพิมพ์เผยแพร่ในหนังสือเอ็นจิเนียริง นิวส์ เรคคอร์ด (Engineering New Record) ในปี ค.ศ. 1933 (Proctor, 1933) ทฤษฎีดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานการทดสอบกรบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ เรียกว่า วิธีการทดสอบแบบมาตรฐานของพรอคเตอร์ ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของการบอัดดินจะแปรผันตามปริมาณน้ำ หรือปริมาณความชื้นในดิน และพลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (Moisture Content) และความหนาแน่นแห้ง จากการทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการจะถูกนำมาพล็อต เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content หรือ OMC) ที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด เนื่องจากจุดที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดเป็นจุดที่อนุภาคของดินเคลื่อนที่มาชิดติดกันมากที่สุด ช่องอากาศที่เหลืออยู่ภายในมวลดินจะมีปริมาณน้อยมาก จึงเป็นจุดที่มีประสิทธิภาพในการบดอัดดินสูงที่สุด แต่ในทางปฏิบัติแล้วการบดอัดดินยังคงมีช่องอากาศหรือช่องว่างในมวลดินเหลืออยู่ ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ไม่สามารถกำจัดได้ทั้งหมด ดังนั้นเส้นโค้งการบดอัดดิน จึงไม่ตัดกับเส้นโค้งปราศจากอากาศที่ช่องอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Voids Curve) หรือเรียกว่า เส้นอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation Line, S = ร้อยละ100) ดังรูปที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 เส้นโค้งการบดอัดดิน

จากเส้นโค้งการบดอัดดินพบว่าเส้นโค้งแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ 1) ด้านแห้ง (Dry Side) และ 2) ด้านเปียก (Wet Side) สำหรับด้านแห้งจะมีแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินที่สูงจากแรงตึงผิวที่เกิดจาความชื้นตาพิลลารี่ (Capillary Moisture) ทำให้ยากต่อการบดอัดดิน เมื่อเพิ่มปริมาณความชื้นในดิน ความหนาแน่นแห้งของดินจะค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากน้ำในดินทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่น ช่วยลดแรงตึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี่ที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เมืดดินเคลื่อนตัวเข้าไปแทรกระหว่างกันได้ง่ายเม็ดดินจัดเรียงตัวกันใหม่ ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ลดลง ส่งผลให้ความหนาแน่นของดินเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ซึ่งเป็นจุดที่มีความชื้นเหมาะที่สุด (จุดยอดของเส้นโค้งการบดอัดดิน) ในทางตรงกันข้ามเมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มมากขึ้นเกินปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ความหนาแน่นแห้งจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากปริมาณน้ำส่วนเกินจะเข้าไปแทนที่เม็ดดิน และแทรกอยู่ภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ด้านดังกล่าวจะถูกเรียกว่า ด้านเปียก และเมื่อปริมาณความขึ้นในดินสูงขึ้นมาก ๆพบว่า ดินจะอยู่ในสภาพอ่อนตัว ไม่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป

2.3.4. การบดอัดดินระดับตื้น (Shallow Compaction)

การบดอัดดินระดับตื้น หรือการบดอัดดินที่ผิวดิน (Shallow Compaction หรือ Surface Compaction) เป็นการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินต่ำจากผิวดินลงไปประมาณ 10-30 เซนติเมตร วิธีนี้เป็น วิธีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่ง่าย และราคาถูก เนื่องจากงานทางด้านวิศวกรรมโยธา เช่น งานถนน งานเขื่อม งานระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐาน จำเป็นต้องปรับระดับพื้นที่ก่อนการก่อสร้าง แทบทั้งสิ้น ทำให้ต้องควบคุมการบดอัดดินในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างให้มีค่าความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกับ ผลทดสอบที่ได้ในห้องปฏิบัติการ หลายหน่วยงาน อาทิ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กรมโยธาธิการ และผังเมือง จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีข้อกำหนดเพิ่งควบคุมคุณภาพของงานบดอัดดินของแต่ละโครงการ เช่น การกำหนดความหนาแน่นแห้งที่ใช้ในสนามต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการเดินในห้องปฏิบัติการ และปริมาณความชื้นในดินต้องมีค่าอยู่ระหว่าง ±2 ของปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (±2 OMC) เป็นต้น

เครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัดดินระดับตื้น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) เครื่องจักรขนาดเล็ก (Light Soil Compaction) เหมาะสำหรับบดอัดดินในบริเวณพื้นที่ ขนาดเล็กและแคบเฉพาะจุด ได้แก่

1.1) เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ (Vibrating Plate Compactors) เป็นเครื่องจักรขนาดเล็ก ใช้แรงสั่นสะเทือนในการบดอัดตีน เหมาะกับ การปรับระดับดินให้เรียบก่อนจะปูพื้น ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ (ที่มา : ศลิษา ไชยพุทธ, 2565)

1.2) เครื่องกระทุ้ง (Rammer) เป็นเครื่องจักรขนาดเล็กให้แรงโดยการกระแทก ทำให้สามารถตบอัดดินได้แน่นกว่าเครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ ใช้กับพื้นที่ ที่มีขนาดเล็กมาก เหมาะกับ ดินประเภท กรวด และ ทราย ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 เครื่องกระทุ้ง (ที่มา : ศลิษา ไชยพุทธ, 2565)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบดอัดดินในพื้นที่เล็ก และแคบ โดยใช้เครื่องจักรขนาดเล็ก ควรใช้เครื่องจักรทั้งสองประเภทควบคู่กันไป เนื่องจากแรงกระแทกของเครื่องกระทั่ง มีประสิทธิภาพในการบดอัดดินให้มีความหนาแน่น ตามต้องการ ลดปัญหาการทรุดตัว และรอยร้าวของพื้นดินที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต หลังจากนั้นจึงปรับระดับ พื้นให้เรียบด้วยเครื่องตนสั่นสะเทือนแบบเรียบ บางครั้ง ว่าในการก่อสร้างที่ไม่ได้คุณภาพ ตัวอย่างเช่น การซ่อมแซมถนนส่วนที่เป็นหลุมจะใช้เครื่องตบกันสะเทือนแบบเรียบเพียงประเภทเดียว
ซึ่งไม่ได้รับแรงกระแทกจากเครื่องกระทุ้ง ก่อนทำการปูพื้นผิวลาดยาง ส่งผลให้ถนนลาดยางเกิดปัญหา การทรุดตัวเป็นหลุมเป็นบ่อในระยะเวลาเพียงไม่นาน

2) เครื่องจักรขนาดใหญ่ (Heavy Soil Compaction) ลักษณะการทำงานของรถบดอัดดินในสนามจะเป็นแบบนวด (Kneading) ดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 เครื่องจักรขนาดใหญ่ (Heavy Soil Compaction) (ที่มา : LIFTKAZ.com)

โดยพลังงานการบดอัดดินจะแปรผันตรง กับจำนวนเที่ยวของรถบดอัดที่วิ่งในสนาม หากจำนวนเที่ยวของการบดอัดดินมาก พลังงานที่ได้รับในการบดอัดดินก็จะมีมากขึ้น โดยรถบดอัดดินสามารถพบเห็นได้ทั่วไป ในสถานที่ก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างถนน เขื่อน และ กำแพงกันดินเสริมกำลัง เป็นต้น ซึ่งเครื่องจักรขนาดใหญ่สามารถแบ่งประเภทการใช้งานตามชนิดของดินที่บดอัด คือ รถบด สำหรับดินเม็ดละเอียด เช่น รถบดตีนแกะ (Sheepsfoot Roller) และรถบดสำหรับดินเม็ดหยาบ เช่น รถบดล้อยาง (Pneumatic Tyres Roller) รถบดสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) และ รถบดล้อเหล็กผิวเรียบ (Smooth Wheeled Rollers) เป็นต้น

เนื่องจากไม่มีมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมจำนวนเที่ยวของรถบดอัด ทำให้จำนวนเที่ยว ของการเดินขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ขับรถบด ซึ่งจะขับรถให้มีจำนวนเที่ยวมากที่สุด เพื่อให้ได้ความหนาแน่นแห้งตามที่ต้องการ จำนวนเที่ยวของการบดอัดดินมีผลอย่างมากต่อคุณภาพ การบดอัดดิน ทั้งนี้หากจำนวนเที่ยวของรถบดอัดดินน้อยเกินไปจะทำให้ความหนาแน่นแห้งน้อยกว่า ค่าที่ได้ในห้องปฏิบัติการ ในขณะที่จำนวนเที่ยวของการบดอัดดินมากเกินไปจะส่งผลให้เกิด ความสิ้นเปลือย ไม่ว่าจะเป็นการสิ้นเปลืองเวลา ค่าจ้างแรงงาน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และ ค่าเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อควบคุมให้การบดอัดดินในสถานที่ก่อสร้าง หรือในสนามมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องตรวจสอบความหนาแน่นของดินในสนาม ซึ่งสามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ ดังนี้

1) วิธีทดสอบตัวอย่างแปลงสภาพ (Disturbed Specimen Methods) ได้แก่ วิธีแทนที่ด้วยน้ำมัน (Oil Replacement Method) วิธีบัลลูนน้ำ (Water Balloon Method) และ วิธีแทนที่ด้วยทราย หรือวิธีกรวยทราย (Sand Replacement Method or Sand Cone Method) ดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 11 วิธีแทนที่ด้วยทราย (Sand Cone Method) (ที่มา : lgtool.com)

2) วิธีทดสอบตัวอย่างคงสภาพ (Undisturbed Specimen Methods) ได้แก่ วิธีการเจาะแก่น (Core-Cuter Method) วิธีแทนที่ด้วยน้ำ (Water Displacement Method)

3) วิธีนิวเคลียร์ (Nuclear Method) ด้วยการปล่อยรังสีนิวเคลียร์ (Nuclear) ลงไปในชั้นดิน เปรียบเหมือนการหาความหนาแน่นด้วยการเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) ชั้นดิน ภายหลังการตรวจสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม หากผู้ควบคุมงานพบว่าการบดอัดดิน ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของโครงการ หรือค่าที่ได้ออกแบบไว้ หรือความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำในดิน ในสนามไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จำเป็นที่จะต้องบดอัดดินใหม่ ให้ได้ความหนาแน่นแห้งตามที่กำหนดไว้ (ศลิษา ไชยพุทธ, 2565)

2.3.5. การทดสอบหากำลังรับน้ำหนักแบบ CBR

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California bearing ratio test, CBR) ถูกพัฒนาในช่วงปี ค.ศ. 1930 โดยเป็นวิธีการหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น ซึ่งการทดสอบหาค่า เปอร์เซ็นต์ CBR สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม สำหรับการทดสอบใน ห้องปฏิบัติการปกติจะทำการทดสอบที่จุดความชื้อที่เหมาะสมที่สุด (OMC) โดยใช้เหล็กกลมตัน (penetration piston) ขนาดพื้นที่ 3 ตารางนิ้ว กด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงบนตัวอย่างด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที หรือ 1.25 มิลลิเมตรต่อนาที แล้วนำค่าหน่วยแรงที่ได้ที่ความลึกในการกดต่าง ๆ ใหถือว่าเป็น test unit stress และนำไปหาอัตราส่วนกับค่าหน่วยแรงมาตรฐาน standard unit stress ที่การยุบตัวเดียวกัน (สมการที่ 1) โดยหน่วยแรงมาตรฐานนั้นได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคลุกที่กำหนดโดย California Division of Highways และกำหนดให้มีค่าเป็นมาตรฐานตามตารางที่ 2

$$CBR = \frac{\text{test unit stress}}{\text{standard unit stress}} \times 100\% \qquad (2)$$

ตารางที่ 2 ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่างๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm.	In.	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5.0	0.20	10.3	1500
7.5	0.30	13.0	1900
10.0	0.40	16.0	2300
12.7	0.50	18.0	2600

การทดสอบ CBR แบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. ทดสอบแบบแห้ง (unsoaked sample test) คือ การที่ทดสอบตัวอย่างดินที่บดอัดไว้แล้วทันที

2. ทดสอบแบบเปียก (soaked sample test) คือ การที่ทดสอบตัวอย่างดินที่บดอัดแล้วและ ผ่านการแช่น้ำไม่ต่ำกว่า 96 ชม. (4 วัน) หรือจนกว่าดินจะหยุดการบวมตัว (swelling) โดย ดินที่มีค่าบวมตัวสูงไม่เหมาะกับการทำถนน

โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่า CBR ที่ความลึกการกดที่ 0.1 นิ้ว แต่ถ้าค่า CBR ที่ความลึก 0.2 นิ้วมี ค่ามากกว่าที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (ปกติค่า CBR ที่ 0.1 นิ้วมีค่ามากกว่า CBR ที่ 0.2 นิ้ว) และหากทดสอบอีกครั้งแล้วยังได้ผลเหมือนเดิมก็ให้ใช้ค่าที่ 0.2 นิ้วได้ เมื่อได้คุณสมบัติ CBR ของ ดินแล้วสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินว่าเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานถนนหรือไม่และเหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุในชั้นใดของงานทางดังแสดงในตารางที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ค่า CBR ที่เหมาะต่อชั้นทางต่าง ๆ

CBR no.	General rating	User	Classification system	
			Unified	AASHTO
0-3	Very poor	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Poor to fair	Subgrade	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Fair	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Good	Base of Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excellent	Subgrade	GW, GM	A1a, A2-4, A3

2.4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Arwaedo et al. (2020) ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารา โดยดินลูกรังที่ไม่เสริมกำลัง พบว่าค่าซีบีอาร์ของดินลูกรัง E1 มีค่าเท่ากับร้อยละ 64.53 (ซีบีอาร์สูง) และดินลูกรัง E2 มีค่าเท่ากับร้อยละ 40.56 (ซีบีอาร์) ค่าซีบีอาร์ของดินลูกรัง ที่เสริมกำลังด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารา E1-RSS และ E2-RSS มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 64.31 และ 49.95 ตามลำดับ ค่าซีบีอาร์ของดินลูกรัง E1 ลดลงร้อยละ 0.34 ในกรณีที่เสริมกำลังด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควัน ในทางตรงกันข้ามค่าซีบีอาร์ของดินลูกรัง E2 เพิ่มร้อยละ 23.15 ในกรณีที่เสริมกำลังด้วยแผ่นตาข่าย เสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารา สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการเสริมกำลังดินของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังของดินที่มีค่าซีบีอาร์หรือกำลังรับน้ำหนักต่ำ

Arwaedo et al. (2020) ได้มีการทดสอบการประยุกต์ใช้แผ่นยางพารา RSS-Geogrid เพื่อเสริมกำลังถนน วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEM 2D โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับจำนวนชั้นและตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังของคันดินถนน ซึ่งในงานวิจัยจะประยุกต์ใช้แนวคิดอัตราส่วนต่อความสูง u/H และ h(N-1)/H โดยงานวิจัยระบุไว้ว่า จำนวนชั้นและตำแหน่งที่เหมาะสมในการเสริมกำลังนั้นคือ จำนวน 2 ชั้น ทีตำแหน่ง 0.1H และตำแหน่ง 0.4H โดยที่ H คือความสูงทั้งหมดของถนน มีหน่วยเป็น เมตร

G.Latha,Asha Nair & M.Hamalatha (2010) ได้มีการทดสอบศึกษาภาคสนามเกี่ยวกับการเสริมกำลังถนน แบ่งเป็นส่วนที่เสริมกำลังและส่วนที่ไม่เสริมกำลังถนน โดยการใช้ Geotextile,geogrid แบบสองแกนหรือแกนเดียว, Geocell และเศษยางที่จะนำไปต่อประสานในชั้นรองพื้นทาง โดยจะทำการทดลองโดยการนำรถจักรยานยนต์ขับผ่านทั้งหมด 250 ครั้ง บันทึกผล แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน โดยผลการทดสอบมีดังนี้ ส่วนถนนที่ไม่มีการเสริมแรงนั้นใช้งานต่อไม่ได้หลังจากรถผ่าน 17 คัน ส่วนถนนที่มีการเสริมกำลังทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

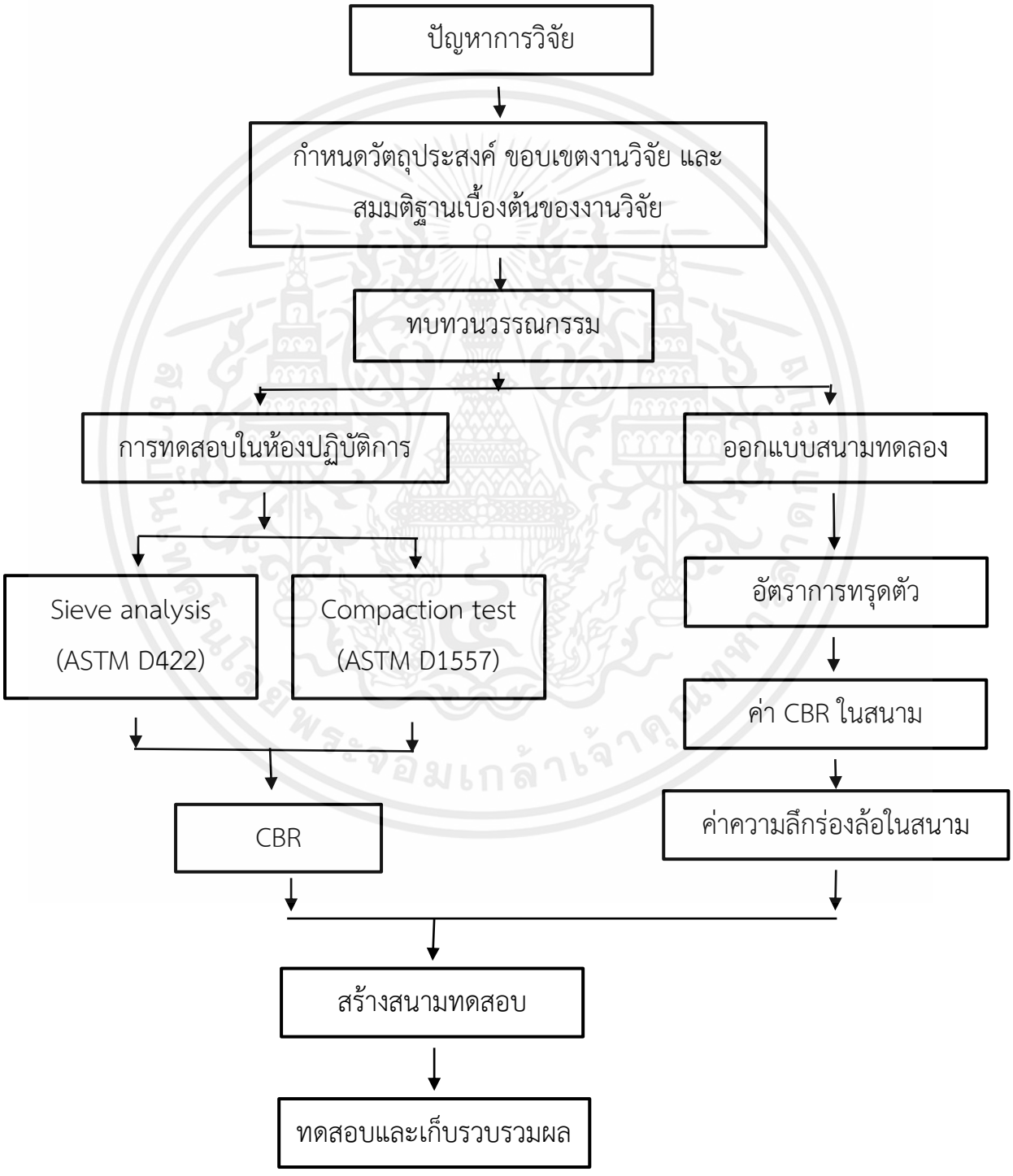
ได้แก่ Geogrid หรือ Geocells สามารถที่จะใช้รถผ่านไปได้ทั้งหมด 250 คัน ยกเว้นส่วนที่เสริมด้วย Geotextile ใช้งานต่อไม่ได้ก่อนที่รถจะผ่าน 100 คัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

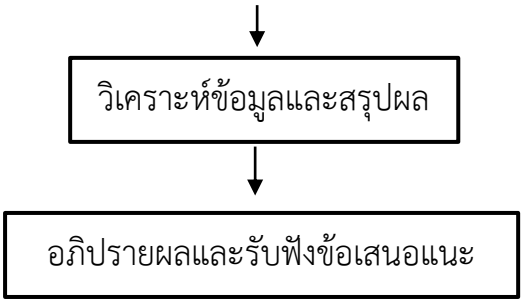
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย เริ่มต้นตั้งแต่การทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้เลือกใช้รวมถึงการออกแบบสนามทดสอบและวิธีการทดสอบภายในสนาม โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังแผนผังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงแผนผังการวิจัย

3.2. การทดสอบคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้

3.2.1. การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน

วัตถุประสงค์

เพื่อหาขนาดของเม็ดดินและการกระจายส่วนคละของเม็ดดินโดยใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรง

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

ASTM D422-63 Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ตะแกรงที่ใช้ร่อนตัวอย่างพร้อมถาดรอง และเครื่องเขย่าตะแกรง
2. ถาดใส่ตัวอย่าง
3. ค้อนยาง
4. เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม อ่านละเอียด 0.1 กรัม
5. แปรงทำความสะอาดตะแกรง
6. ตู้อบ (Drying Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 + 5 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดตะแกรงทั้งหมดด้วยแปรงทำความสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่ละเบอร์พร้อมบันทึกค่า (ชั่งน้ำหนักของ Pan ด้วย)

2. นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดช่องใหญ่อยู่บน แล้วเรียงขนาดเล็กลงมา ตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กสุด ดังนี้ No. 3/8, 4, 10, 20, 40, 100, 200 และ Pan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้เทใส่ลงบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า ใช้เวลา ในการเขย่าอย่างน้อย 10 นาที เสร็จ แล้วนำตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรง รวมกับดินที่ค้างบนตะแกรง นำดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงออกทิ้งแล้วทำความสะอาดตะแกรง ให้เรียบร้อย

รูปที่ 13 แสดงกระบวนการร่อนผ่านตะแกรง

3.2.2. การทดสอบการบดอัดดิน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นในการบดอัด (Moisture Density Relative)

2. เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ของดินตัวอย่าง

3. เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด (Optimum Moisture Content, OMC)

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

1. ASTM D698-07 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12, 400 ft- lb / ft (600 KN-m/m))

2. ASTM D1557-00 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56, 000 ft- lb/ ft (2,700 KN-m/ m^3))

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แบบหล่อทดสอบการบดอัดดิน(Compaction Mold) มีสองขนาดให้เลือกใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใน 4 นิ้ว (105 ม.ม.) ความสูง 4,584 นิ้ว (116.43 ม.ม) และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว (152.4 ม.ม.) ความสูง 4.584 นิ้ว (116.43 ม.ม) พร้อมด้วยปลอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเดียวกัน (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plat) สูง 50 ม.ม. (มีปริมาตร 1000 ซม.)

2. ค้อนบดอัดแบบมาตรฐาน (Compaction Hammer) หนัก 5.5 ปอนด์ ระยะยก 12 นิ้ว และแบบสูงกว่ามาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์ ระยะยก 18 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold

4. เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 ซม.

5. ตะแกรงร่อนดินขนาด เบอร์4 (Sieve)

6.เครื่องชั่งขนาด ตั้งแต่ 1.0 กรัม - 10 กิโลกรัม

7. ขวดฉีดน้ำ

8. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)

9. ที่ตักดิน (Scoop)

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอยางดินแปลงสภาพรอนผานตะแกรงเบอร4 หนักประมาณ3 – 5 กิโลกรัมแลวผึ่งใหแห้ง โดยอากาศหรือดินที่ไดจากการเก็บตัวอยางในสนาม

1. นำตัวอยางดินที่ไดจัดเตรียมไวมาเทลงในถาดผสมดิน ใชคอนยางทุบดินที่เกาะอยูออกจากกัน ถาตัวอยางเปนดินเหนียว ผึ่งใหแหงแลวทุบใหละเอียดหรืออาจใชเครื่องบด

2. พิจารณาตัวอยางของเม็ดดิน เพื่อเลือกใช Mold ใหเหมาะสมกับขนาดของเม็ดดิน ถาตัวอย่าง เปนดินเม็ดเล็ก ใหรอนผานตะแกรงเบอร4 ใชกับ Mold ขนาดเสนผาศูนยกลาง 105 ม.ม. ถาเม็ดดินมีขนาดใหญ กวาตะแกรงเบอร4ใหร่อนผานตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว(19.05ม.ม.)ใชกับMoldขนาดเส่นผาศูนยกลาง 152.4 ม.ม. โดยสวนทีคางตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว ใหแทนที่ดวยดินทีผานตะแกรงขนาด 3/4 นิ้วและคางตะแกรงเบอร 4 ใน ปริมาณที่เทากัน

3. ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

ขั้นตอนการทดสอบ

1.วัดขนาดเส่นผาศูนยกลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold จากนั้นประกอบ Mold และ Base plate พรอมชั่งน้ำหนัก (ไมตองชั่ง Collar)

2. นำตัวอยางดินที่เตรียมไวอยางนอย 3 กิโลกรัมสำหรับทดสอบแบบมาตรฐานและ 5 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบสูงกวามาตรฐาน โดยเริ่มผสมน้ำใหมีความชื้น ตามคาที่ไดจาก ขั้นตอนการเตรียมตัวอยางแลวคลุกเคลาใหเขากัน

3. ตักดินใส Mold ที่ประกอบไวแลว โดยกะให้ความสูงในแตละชั้นเทาๆ กันโดยมีจำนวน 3 ชั้นสำหรับ Standard และ 5 ชั้นสำหรับ Modified เมื่อบดอัดครบจำนวนชั้นแลวใหดินพน ขอบMoldขึ้นไปประมาณ1-2ซม.

4. ใชค่อนหนัก 5.5 ปอนดสำหรับบดอัดแบบมาตรฐานและ 10 ปอนดสำหรับบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานบดอัดดินใน Mold แตละชั้นใหทั่วทั้งMold บดอัดชั้นละ25 ครั้งสำหรับ Mold ขนาด 105 ม.ม. และ 56 ครั้งสำหรับ Mold ขนาด 152.4 ม.ม. โดยให Mold วางอยูบนพื้นคอนกรีตเรียบ

5. ถอดปลอก (Collar) ออกแลวใชเหล็กปาดดิน (Straight Edge) ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก และแตงผิวดินใหเรียบใชแปรงขนออนปดเศษดินที่ค่างอยูออกใหหมดแลวนำไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ดันแทงตัวอยางดินออกจาก Mold แลวผากลางตามแนวตั้งเพื่อเก็บตัวอยางตามแนวผา ประมาณ 100 กรัม ไปอบเพื่อหาคาปริมาณความชื้น (Water Content)

7. ใชค่อนยางทุบก่อนดินที่เหลือใหแตกออกจนรวน แลวผสมน้ำเพิ่มอีก 2 - 3 % คลุกเคลาให เขากันทั่วแลวทดสอบซ้ำตามข่อ4 - 6จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลงแลวทดลองเพิ่มอีกครั้ง เพื่อใหได กราฟทาง ดานเปยกจำนวนครั้งในการทดสอบไมควรเกิน 5 – 6 ครั้ง

รูปที่ 14 แสดงการบดอัดดินแบบมาตรฐาน

3.2.3. การทดสอบหาค่า CBR

วัตถุประสงค์

เพื่อหาคากำลังของดินบดอัดตามคา % C.B.R ที่ 0.10 นิ้ว (2.54 มิลลิเมตร) และที่ 0.20 นิ้ว (5.08 มิลลิเมตร) ในหองปฏิบัติการ

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

ASTM D 1883-99 Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. โมล ซีบีอาร (C.B.R. Mold) เปนโลหะทรงกระบอกมีขนาดเสนผานศูนยกลางภายใน 6 นิ้ว ± 0.018 นิ้ว (152.4 ± 0.46 มิลิเมตร) สูง 7 นิ้ว ± 0.018 นิ้ว (177.8 ± 0.46 มิลิเมตร) ยึดติดกับ Base plate ที่หนา 3/8 นิ้ว และมีรูพรุน ขนาดของรูไมเกิน 1/16 นิ้ว และมี Collar ทีสูง 2 นิ้ว เพื่อใชครอบปาก Mold ได

2. ตุมบดอัด (Hammer) ใชบดอัดตัวอยางทดสอบใน C.B.R. Mold ตามมาตรฐาน ASTM D 698 หรือ D 1557 แบบ Standard Proctor หรือแบบ Modified Proctor

3. กระบอกตวงน้ำ (Graduated Cylinder) ขนาดความจุประมาณ 250 – 500 ลูกบาศกเซนติเมตร

4. ชอนตักดิน (Soil Scoop)

5. ไมบรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)

6. เครื่องดันตัวอยางดิน (Sample Extruder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กระดาษกรอง (Filter Paper)

8. แผนวัดการบวมตัว (Swell Plate หรือ Perforated Plate) ใช้ประกอบวัดคาการบวมตัวของตัวอยางทดสอบเปนโลหะทีไมเปนสนิมงายมีขนาดเส่นผานศูนยกลาง 5.875 นิ้ว หนา1/4 นิ้ว มีแกน (Stem) ที่ปรับไดเพื่อใชติดตั้ง Dial Gauge อานคาการบวมตัว

9. มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) ใช่อานคาระยะการจม (Penetration) ของแทงกด(Penetration Piston) และการบวมตัวของตัวอยางทดสอบ ขนาด 1 นิ้ว อานคาความละเอียด 0.001 นิ้ว หรือขนาด 25 มิลลิเมตร อานคาความละเอียด 0.01 มิลิเมตร

10. สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod) ใช่ประกอบกับมาตรวัดการยุบตัว (Dial Gauge) เปนโลหะสามขามีรูตรงกลาง เพื่อใชติดตั้ง มาตรวัดการยุบตัว (Dial Gauge)

11. แผนน้ำหนัก (Surcharge Weight) ใช่วางทับผิวหนาตัวอยางทดสอบ โดยการสมมติให เป็นน้ำหนักเนื่องจาก Pavement ของถนนหรือพื้น มีลักษณะเปนโลหะตันรูปวงกลมมีรูตรงกลางหรือรูปเกือกม้าขนาดเสนผานศูนยกลาง 5.875 นิ้ว หนักแผนละ 5 ปอนด

12. แผนเหล็กรอง (Spacer Disc) เปนแทงโลหะทรงกลมมีขนาดเสนผานศูนยกลางภายนอก 5.9375 นิ้ว(150.8 มิลิเมตร) สูง 2.416 ±0.005 นิ้ว (61.37 ± 0.127 มิลลิเมตร)

13. เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine) สามารถให่แรงกดไมน่อยกวา 10,000 ปอนด (4,540 กิโลกรัม) และให่มีสวนเคลื่อนที่ได่อยางสม่ำเสมอที่สวนบน (Head) หรือสวนลาง (Base) เพื่อให่อัตราการกดของแทงกด (Penetration Piston) อยูในอัตรา 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ตอนาที และความละเอียดของแรงให่อานไดไมเกิน 10 ปอนด (4.5 กิโลกรัม)

14. แทงกด (Penetration Piston) เปนแทงโลหะทรงกระบอกมีขนาดเส่นผานศูนยกลาง 1.954 นิ้ว±0.005 นิ้ว (49.63±0.13มิลลิเมตร) มีพื้นที่หนาตัด3ตารางนิ้ว (19.355ตาราง เซนติเมตร) ยาวไมนอยกวา 4 นิ้ว

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

เตรียมตัวอยางที่ต่องการทดสอบเชนเดียวกับการทดสอบ Compaction ตามมาตรฐาน ASTM : D698 หรือ D1557 ถ่าเปนตัวอยางที่ผานตะแกรงเบอร4 (ดินเม็ดละเอียด) ควรใช่ประมาณ5.50 กิโลกรัมและถ่า เปนตัวอยางที่ผานตะแกรงเบอร 3 / 4 นิ้ว (ดินเม็ดหยาบ) ควรใช่ประมาณ 6 กิโลกรัม โดยนำมาผสมกับน้ำ ในปริมาณ O.M.C. ที่ไดจากการทดสอบ Compaction ให่เขากันทั่วถึง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. การทดสอบกับตัวอยางที่ไมแช่น้ำ (Unsoaked Sample)

1.1. ทำการชั่งน้ำหนักของC.B.R. Mold แล่วยึด C.B.R. Mold กับ Base Plate ให่แนนพอสมควร และนำ Spacer Disc มาใสลงใน C.B.R. Mold หมุนเอาหูหิ้ว (Handle) ออก นำเอากระดาษกรองมารองบน Spacer Disc เพื่อปองกันตัวอยางทดสอบติดกับSpacer Disc พรอมประกอบ Collar ให่เรียบรอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. ทำการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D1140 – 54 ใช้ค้อนขนาด 5.5 lb ระยะตก 12 in ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง หรือ D1557 – 00 ใช้ค้อนขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง (Standard Proctor หรือ Modified Proctor)

1.3. ถอด Collar ออกปาดตัวอย่างทดสอบให้เรียบเสมอขอบ C.B.R. Mold แล้วยกออกจาก Base Plate นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเฉพาะของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold แล้วพลิกกลับเอาด้านที่มีตัวอย่างทดสอบเสมอขอบของ C.B.R. Mold มาวางลงบน Base Plate ซึ่ง รองด้วยกระดาษกรองไว้ก่อนแล้วทำการยึด C.B.R. Mold กับ Base Plate ให้แน่น

1.4. หลังจากเตรียมตัวอย่างทดสอบเสร็จแล้วให้นำตัวอย่างทดสอบที่เหลือจากการบดอัดดินไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) ทันที

1.5. นำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้ตามขั้นตอนที่ 1.3 มาทดสอบโดยการวางแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากับน้ำหนักของวัสดุที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ ให้กดทับลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วให้นำไปวางในเครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

1.6. ทำการปรับแท่งกด (Penetration Piston) โดยให้ผ่านรูตรงกลางของแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) และให้แท่งกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบพอดี โดยค่อย ๆ ปรับและค่อยสังเกตเข็มของ Load Dial Gauge เริ่มขยับขึ้นจึงหยุดปรับเสร็จแล้วทำการ ติดตั้ง Penetration Dial Gauge เพื่ออ่านค่าระยะจมของแท่งกดแล้วทำการปรับ Dial Gauge ทั้งสองให้เข็มอยู่ในตำแหน่งเลขศูนย์

1.7. เริ่มกดแท่งกด (Penetration Piston) ลงบนตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราการกด 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ต่อนาที ต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ ให้อ่านค่าน้ำหนักกดจาก Load Dial Gauge ที่ระยะจมดังนี้ 0.025 (0.64 มม.), 0.050 (3.81 มม.), 0.075 (1.91 มม.) , 0.100 (2.54 มม.) , 0.125 (3.18 มม.), 0.150 (3.81 มม.), 0.175 (4.45 มม.), 0.200 (5.08 มม.), 0.250 (6.35 มม.), 0.300 (7.62 มม.), 0.350 (8.98 มม.), 0.400 (10.16 มม.), 0.450 (11.43มม.) และ 0.500นิ้ว (12.7มม.) ตามลำดับ

1.8. ทำการถอดแท่งกด (Penetration Piston) กลับดังเดิม โดยหมุนให้เข็มของ Penetration Dial Gauge กลับคืนจนสุดแล้วจึงนำชุด C.B.R. Mold ออกจากเครื่องทดสอบนำตัวอย่างทดสอบส่วนหนึ่งไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) การเก็บตัวอย่างทดสอบเพื่อไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) นั้นควรเก็บบริเวณตรงกลางของตัวอย่างทดสอบ

2. การทดสอบกับตัวอย่างที่แช่น้ำ (Soaked Sample)

2.1. เตรียมตัวอย่างทดสอบตามขั้นตอนที่ 1.1 – 1.4 ทุกประการ และต่อจากนั้นให้วางกระดาษกรองลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold วางแผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) และวางแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ลงตามลำดับโดยแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) นี้ ต้องมีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากับวัสดุที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง (โดยคิดน้ำหนักที่ลงในพื้นดินจริงเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของดินใน C.B.R. Mold แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. แชชุดทดสอบลงในถังน้ำใหน้ำสามารถไหลเขาตัวอยางทดสอบไดทั้งดานลางและดานบน ซึ่งหลังจากแชน้ำแลวควรปรับใหระดับผิวน้ำอยูเสมอประมาณขอบปากของ C.B.R. Mold พรอมกับปรับแกน (Steam) ของแผนวัดการบวมตัว (Swell Plate) ใหสัมผัสกับขาของ Dial Gauge ซึ่งวางติดกับสามขาวัดการบวม (Swell Tripod) แลวจึงปรับเซ็ท Dial Gauge ให เปนศูนย์

2.3. ใหอานคาการบวมตัว (Swell) ของตัวอยางทดสอบทุก ๆ 24 ชั่วโมง (อานคาออกมาเป็นขีดกอนแลวจึงคอยคำนวณเปนเปอรเซ็นต) จนกระทั่งครบ 96 ชั่วโมงหรือเมื่อตัวอยางทดสอบหยุดการบวมตัวเสร็จแลวนำขึ้นมาจากน้ำ และนำอุปกรณที่ประกอบการหาคาการบวมตัว ออกใหหมดแลวคว่ำC.B.R. Mold ปล่อยทิ้งไว 15 นาทีเพื่อใหน้ำระบายออกไปจากตัวอยางทดสอบ ถามีน้ำขังอยูบางสวนก็ใหใชกระดาษซับน้ำช่วยก็ได แลวนำไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาคาน้ำหนักของตัวอยางทดสอบใน C.B.R. Mold

2.4. นำตัวอยางทดสอบที่เตรียมไวตามขั้นตอนที่ 2.3 มาทดสอบโดยการวางแผนน้ำหนัก (Surcharge Weight) ที่มีน้ำหนักใกลเคียงหรือเทากับน้ำหนักของวัสดุ ที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง แตจะตองไมน้อยกวา 10 ปอนด ใหกดทับลงบนผิวหนาของตัวอยางทดสอบและในกรณีที่เปนตัวอยางทดสอบแบบแชน้ำ น้ำหนักของแผนน้ำหนัก (Surcharge Weight) นี้จะตอง เทากับน้ำหนักที่กดเดิมขณะที่ตัวอยางทดสอบแชอยู

ในน้ำเสร็จเรียบรอยแลวใหนำไปวางในเครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

รูปที่ 15 แสดงตัวอย่างดินที่ผ่านการแช่น้ำมาแล้ว

2.5. ทำตามขั้นตอนในขัวขอที่ 1 ขั้นตอนที่ 1.6 – 1.8 (แบบ Unsoaked Sample)

การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการที่ 2

$$\text{Test Unit Stress} = \frac{\text{Test Unit Losd (lb)}}{3\ (\text{in}^2)} \quad \text{lb/in}^2\text{, psi} \qquad (3)$$

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงแรงที่เกิดขึ้นกับค่าระยะการกดพร้อมทำการปรับแก้กราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อ่านค่าหน่วยแรงจากกราฟที่ค่า 0.1 นิ้วและ 0.2 นิ้ว และคำนวณหาค่า CBR ด้วยสมการที่ 3 โดยเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงกดมาตรฐาน (แสดงไว้ในบทที่ 2 ตารางที่ 2) ที่ ระยะกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว

$$CBR = \frac{\text{test unit stress}}{\text{standard unit stress}} \times 100\% \quad (4)$$

4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นดินแห้ง (dry density)

$$\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad \text{lb/ft}^3, \text{g/cm}^3 \quad (5)$$

โดยที่

W = น้ำหนักดินเปียก (Wet Weight) ในโมลด์ lb, g

V = ปริมาตรของโมลด์ ft^3 , cm^3

w = ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

3.2.4. การทดสอบหาค่าการทรุดตัว

วัตถุประสงค์

เพื่อหาตำแหน่งและระยะการทรุดตัวในการก่อสร้างดินถมบนพื้นที่ที่ดินอ่อน โดยใช้แผ่นทรุดตัว (Settlement Plate)

มาตรฐานที่ในการทดสอบ

Standard No. DH-S 101/2532

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1.แผ่นการทรุดตัว

2.กล้องสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

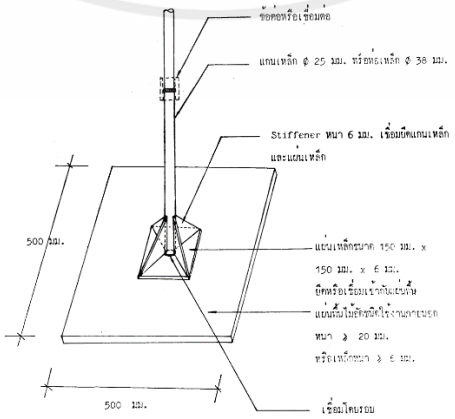
3.ไม้สตาฟ

รูปที่ 16 รูปกล้องสำรวจ

รูปที่ 17 รูปไม้สตาฟ (cstsurveying.com)

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

แผ่นทรุดตัว มีแผ่นพื้นที่ทำด้วยเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร หรือวัสดุที่มีความแข็งแรงพอเพียง ตามที่นายช่างควบคุมงานเห็นชอบ ขนาด 500 มิลลิเมตร * 500 มิลลิเมตร แกนเหล็กขนาดเส้นผ่านสุนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร หรือท่อเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 38 มิลลิเมตร เชื่อมหรือยึดเข้ากับศูนย์กลางของแผ่นพื้นอย่างมั่นคง และตั้งได้ฉากกับแผ่นพื้นด้วย แผ่นทรุดตัวอาจมีลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 18 ตัวอย่างของลักษณะแผ่นการทรุดตัว (Settlement plate) (ที่มา : doh.go.th)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ติดตั้งแผ่นทรุดตัว (Settlement plate) ไว้ที่ตำแหน่งชั้นล่างสุดของสนามทดลอง และตำแหน่ง 5 เซนติเมตรวัดจากชั้นผิวถนนโดยใส่ไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางวัดจากขอบสนามการ

ทดลอง

รูปที่ 19 แสดงการติดตั้งแผ่นทรุดตัว

2. ใช้กล้องสำรวจส่องไปที่จุดอ้างอิง อ่านค่าจากไม้สตาฟ แล้วทำการส่องกล้องไปยังเหล็กแผ่นทรุดตัวที่โผล่พ้นมาจากสนามทดลอง ทำการอ่านค่าจากไม้สตาฟแล้วทำการบันทึกผล
3. ทำการบันทึกผลทุกวัน ติดต่อกันอย่างน้อย 7-14 วัน จากนำนำค่าได้ไปทำการทำกราฟความสัมพันธ์

รูปที่ 20 แสดงการเก็บบันทึกค่าในสนาม

การคำนวณผล

นำค่าการทรุดตัวที่ได้จากการอ่านค่าโดยกล้องสำรวจ มาทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ในการทรุดตัว เทียบค่าแต่ละตำแหน่ง

3.2.5. การทดสอบหาค่าความลึกร่องล้อ

วัตถุประสงค์

เพื่อวัดความลึกของร่องบนผิวทาง ที่เกิดจากน้ำหนักล้อของยานพาหนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

Rutting depth (ASTM E1703/E 1703M – 95)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ไม้วัดระดับ ที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 19 มม.แต่ไม่เกิน 75 มม.และความยาวต้องครอบคลุมจุดสูงสุดที่ด้านใดด้านหนึ่งของร่องล้อ
2. เกจวัดความลึกร่อง ต้องวัดเป็นหน่วย 1 มม.(1/16 นิ้ว) หรือละเอียดกว่านั้น พื้นผิวด้านล่างของเกจต้องมีความยาวครอบคลุมพื้นที่การสูญเสียของมวลรวมของผิวทาง

ขั้นตอนการทดสอบ

1.วางไม้ระดับ วางตามขวางของร่องให้วางอยู่บนจุดสูงสุดของผิวทางระหว่างร่องล้อในตำแหน่งที่จะวัด และวางให้ตั้งฉากกับทิศทางของแนวร่องล้อ

2.เกจวัดความลึกร่อง ในที่นี้ทางผู้จัดทำได้ใช้ตลับเมตรแทนโดยวางตลับเมตรระหว่างพื้นผิวร่องล้อในแนวตั้งฉากกับไม้วัดระดับอ้างอิง

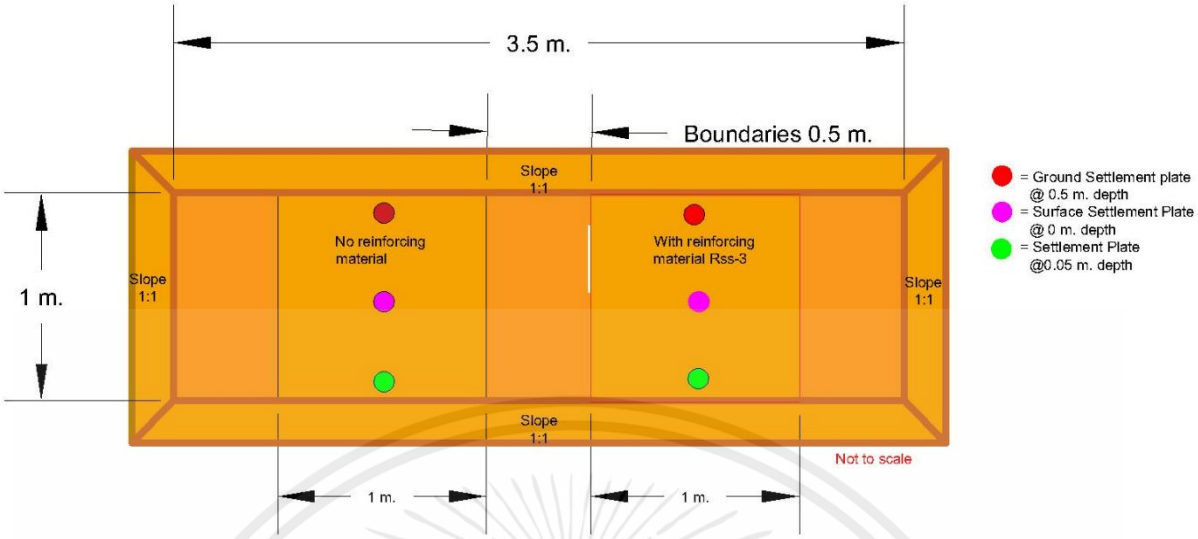
3.วัดระยะความลึกของร่อง โดยวัดระยะห่างระหว่างพื้นผิวสัมผัสร่องล้อกับไม้วัดระดับอ้างอิงของผิวทาง

รูปที่ 21 แสดงการวัดความลึกร่องล้อ

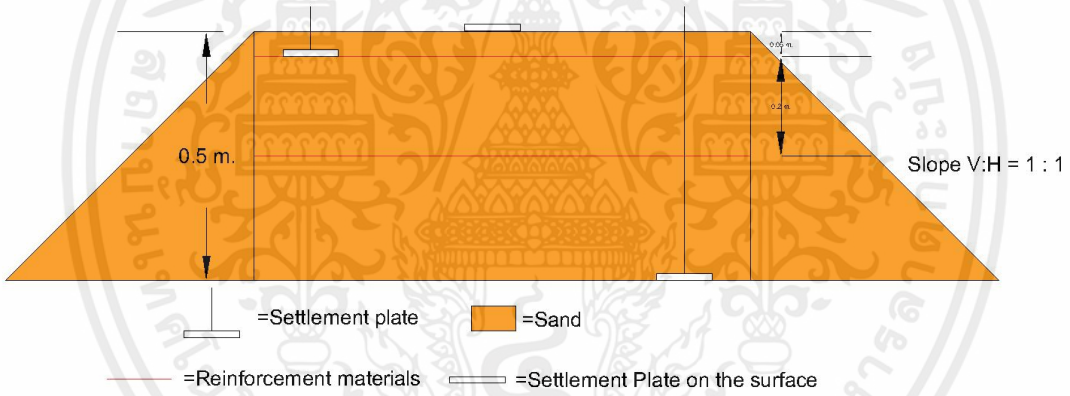
3.3. การออกแบบสนามทดสอบ

สนามทดสอบจะออกแบบดังรูปที่ 13 ซึ่งมีความยาวของสนาม 3.5 เมตร ความกว้างของเลนถนน 1 เมตรและถนนจะมีความสูง 0.5 เมตร โดยจะมีการเสริมกำลังเป็นจำนวน 2 ชั้น ที่ h(N-1)/H = 0.4 และ u/H = 0.1 (Arwaedo et al., 2020) โดยที่ H คือความสูงทั้งหมดของถนน มีหน่วยเป็น เมตร ซึ่งจะแสดงความสูงในการเสริมกำลังดังรูปที่ 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 22 สนามทดสอบ (Test section)



รูปที่ 23 ความสูงของชั้นต่าง ๆ ในการเสริมกำลัง

รูปที่ 24 แสดงการเตรียมสนามทดลองตามแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 25 แสดงการใส่แผ่นตาข่ายเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควัน

รูปที่ 26 แสดงการสร้างสนามทดสอบตามแบบ

รูปที่ 27 สนามทดสอบที่สร้างสำเร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

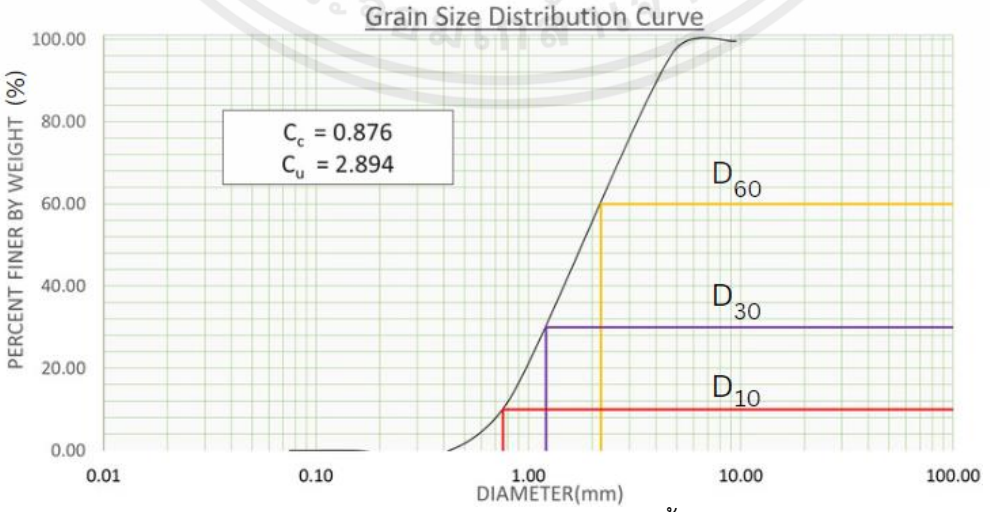
ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้แผ่นยางพารารมควันในการเสริมกำลังของถนน ศึกษาปจจัยเกี่ยวกับการป้องกันการทรุดตัวและการเสริมประสิทธิภาพของถนนภายใต้เงื่อนไขเกี่ยวกับการนำวัสดุจากยางพารารมควันมาใช้ในการเสริมกำลังรับแรงถนน พฤติกรรมของการรับแรง หลังจากการเสริมกำลังมีคาแตกตางจากตอนไมเสริมกำลังถนนอยางไร และประสิทธิภาพในการพัฒนากำลัง ของดินเมื่อติดตั้งแผ่นตาข่ายทเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควันโดยการทดสอบด้วยการบดอัดแบบมาตรฐาน

4.2 การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน

ในการทดสอบการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานการทดสอบมีผลดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงค่าการร่อนดินผ่านตะแกรง

SIEVE NO.	SIEVE OPENING	WEIGHT OF SIEVE (A)	WEIGHT OF SIEVE+SOIL (B)	WEIGHT OF SOIL RETAINED (B) - (A)	CUMMULATIVE RETAINED (C)	CUMMULATIVE RETAINED (D) =[(C)/Total weight of soil]x100%	PERCENT FINER 100% - (D)
	mm.	g.	g.	g.	g.	%	%
3.8"	9.510	522.68	528.20	5.52	5.52	0.55	99.45
4	4.750	763.50	796.45	32.95	38.47	3.84	96.16
10	2.000	446.02	1229.12	783.10	821.57	81.99	18.01
40	0.425	346.19	526.71	180.52	1002.09	100.00	0.00
100	0.150	323.73	323.73	0.00	1002.09	100.00	0.00
200	0.075	317.91	317.91	0.00	1002.09	100.00	0.00
Pan	-	349.11	349.11	0.00	1002.09	100.00	0.00

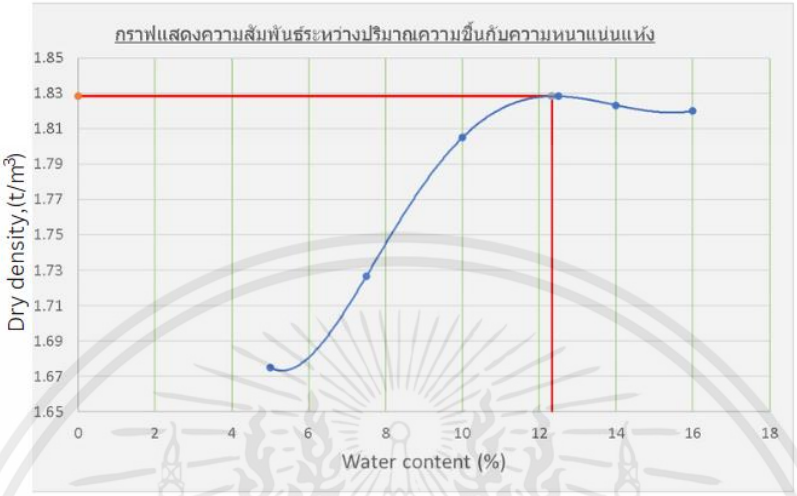


รูปที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธระหวางคาเปอรเซ็นตไฟเนอรตอน้ำหนักและเสนผานศูนยกลาง (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะทำให้เราสามารถทราบได้วาดินที่นำมาใช้ในการสร้างถนนและทดสอบในสนามทดลองนั้น เป็นดินประเภท Poorly Grade Sand (SP.) หรือเป็นทรายที่มีขนาดเม็ดไม่คละ

4.3 ผลการทดสอบการบดอัดดิน



ในการทดสอบการบดอัดดิน การทดสอบมีผลดังนี้

รูปที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นแห้ง

จากกราฟสามารถบอกได้วาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) มีค่าเท่ากับ 1.83 t/m³ และปริมาณความชื้น (Optimum Water Content) มีค่าเท่ากับร้อยละ 12.33

4.4 ผลการทดสอบหาค่าแคลิฟอริเนีย แบริ่ง เรโช ในห้องปฏิบัติการ

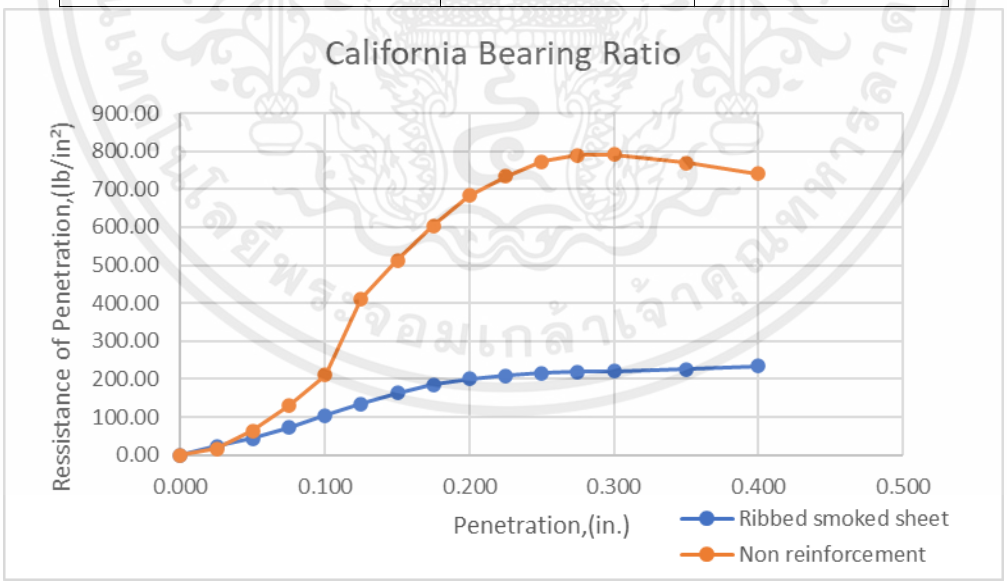
ในการทดสอบหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช การทดสอบมีผลดังนี้

ตารางที่ 5 แสดงค่าของการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mold no.	(NR)			(RSS)		
penetration (in)	Load Dial Reading (lbf)	Load P (ib)	Stress P/A (lb/in²)	Load Dial Reading (lbf)	Load P (lb)	Stress P/A (lb/in²)
0.000	0	0	0.00		0	0
0.025		71.22	23.74		49.46	16.49
0.050		131.13	43.71		193.34	64.45
0.075		215.81	71.94		386.67	128.89
0.100		313.23	104.41		633.96	211.32
0.125		403.91	134.64		1235.66	411.89
0.150		489.33	163.11		1536.41	512.14
0.175		555.28	185.09		1811.20	603.73
0.200		599.49	199.83		2048.19	682.73
0.225		626.46	208.82		2200.94	733.65
0.250		647.45	215.82		2315.52	771.84
0.275		657.94	219.31		2367.23	789.08
0.300		663.93	221.31		2374.72	791.57
0.350		676.67	225.56		2306.53	768.84
0.400		704.40	234.80		2224.10	741.37

CBR at 0.1 in Penetration	3.48	7.04
CBR at 0.2 in Penetration	4.44	15.17



รูปที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกดและความต้านทานการกด

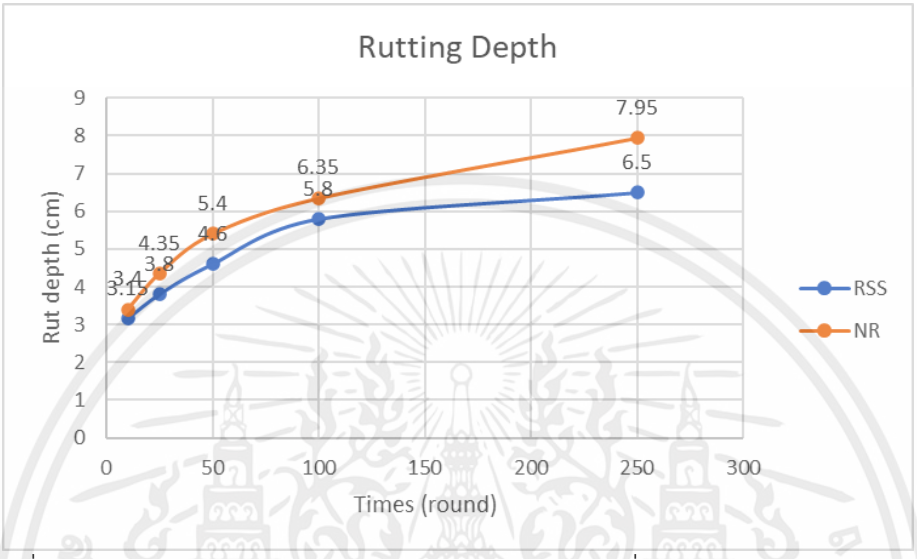
เนื่องจากในปกติค่า %CBR จะใช้ค่าการกดที่ 0.1Penetration แต่ในกรณีที่ค่าน้อยกว่าที่ 0.2Penetration ให้ทำการทดสอบใหม่ ถ้าหากค่าที่ 0.1Penetration ยังน้อยกว่า 0.2Penetration ให้ใช้ค่าที่ 0.2Penetration เป็นค่า %CBR และจากการทดสอบของเราค่าที่เราใช้นำมาเป็นค่า %CBR คือค่าที่ 0.2Penetration ทำให้เราสามารถสรุปค่าได้ดังนี้ ค่าเปอร์เซนต์แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ของตำแหน่งที่ไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสริมกำลังมีค่า ร้อยละ 13.32 และส่วนที่มีการเสริมกำลังมีค่าเปอร์เซ็นต์แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช อยู่ที่ร้อยละ 45.52 ซึ่งสามารถบอกได้ว่าการเสริมกำลังด้วยยางพารารมควันสามารถที่จะเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนได้ร้อยละ 32.20

4.5 ผลทดสอบหาความลึกร่องล้อในถนน

ในการทดสอบหาค่าความลึกร่องล้อ การทดสอบมีผลดังนี้

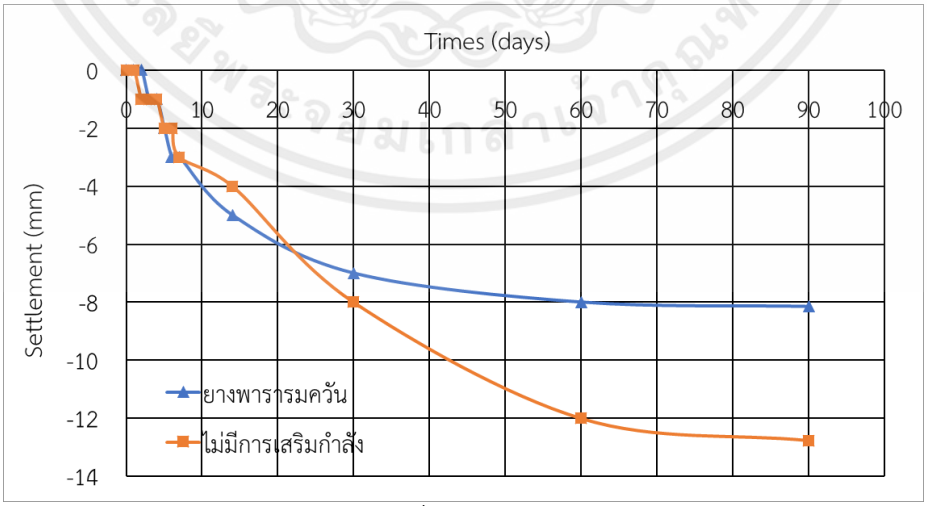


รูปที่ 31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความลึกร่องล้อในจุดที่มีและไม่มีการเสริมกำลัง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ในส่วนที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควัน จะมีความลึกที่น้อยกว่า โดยในรอบที่ 250 ครั้ง มีความลึกร่องล้อต่างกันถึง 1.45 เซนติเมตร หรือกล่าวได้มาแผ่นยางพารารมควันสามารถลดความลึกร่องล้อของถนนได้ร้อยละ 18.24

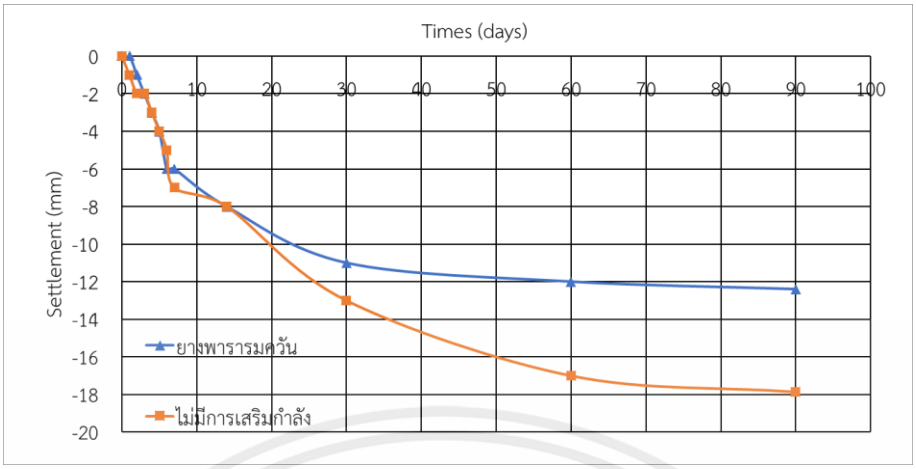
4.6 ทดสอบหาคาการทรุดตัวในสนาม ในการทดสอบหาคาการทรุดตัวในสนาม การทดสอบมีผลดังนี้

ในการทดสอบหาค่าการทรุดตัวในสนาม การทดสอบมีผลดังนี้

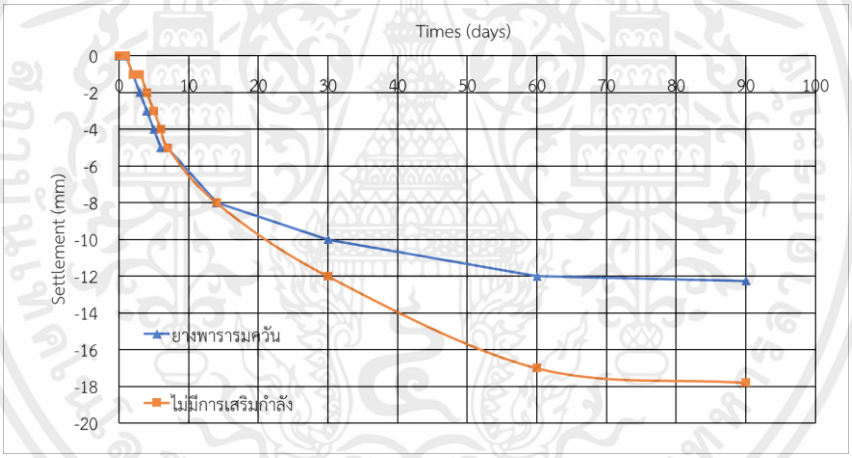


รูปที่ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาระหวางจุดที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราธรรมชาติและจุดที่ไมมีการเสริมกำลังดินที่ตำแหน่งความลึก 0.5 เมตรจากพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาระหวางจุดที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราธรรมชาติและจุดที่ไมมีการเสริมกำลังดินที่ตำแหน่งความลึก 0.05 เมตรจากพื้นผิว



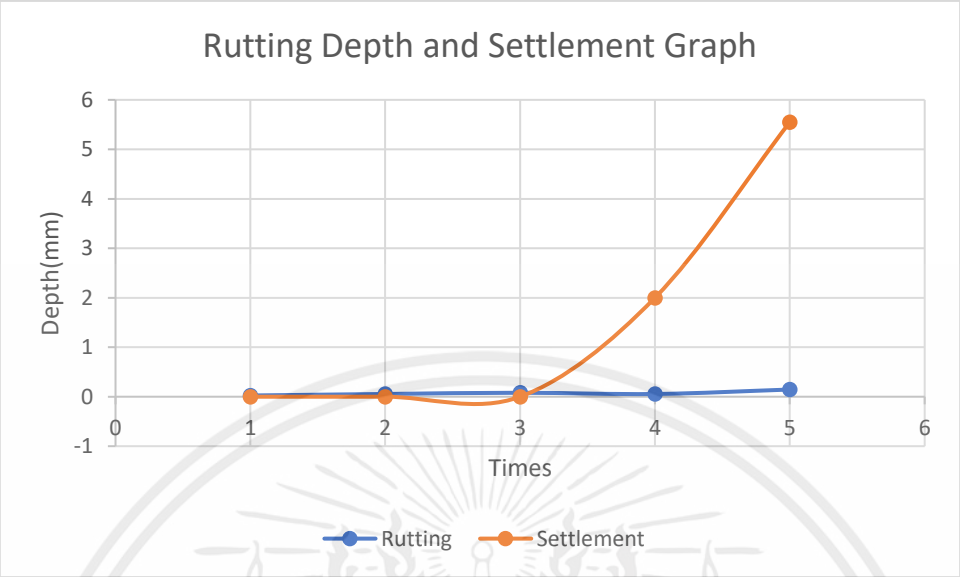
รูปที่ 34 กราฟแสดงการเปรียบเทียบคาระหวางจุดที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราธรรมชาติและจุดที่ไมมีการเสริมกำลังดินที่ตำแหน่งความลึก 0 เมตรจากพื้นผิว

จากกราฟ จะเห็นไดวาตำแหนงที่มีการเสริมกำลังดินดวยยางพาราจากธรรมชาติ จะมีคาการทรุดตัวนอยกวาตำแหนงที่ไมมีการเสริมกำลังดิน โดยในการวางตำแหน่งหมุดการทรุดตัวในแต่ละจุดมาจากการอ้างอิงงานวิจัยซึ่งวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม FEM 2D จึงได้ตำแหน่งของหมุดอ้างอิงมาดังนี้ โดยในตำแหนงหมุดที่1 สามารถลดการทรุดตัวได 4.61 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 36.13 ตำแหนง หมุดที่2 สามารถลดการทรุดตัวได 5.46 มิลลิเมตรหรือร้อยละ 30.57 และตำแหนงหมุดที่3 สามารถลดการทรุดตัวได 5.55 มิลลิเมตรหรือร้อยละ 31.18 จะสังเกตได้ว่าการเสริมกำลังจะมีประสิทธิภาพในการลดการทรุดตัวได้มากที่สุดในตำแหน่ง 0 เมตรจากพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การนำค่าความลึกร่องล้อมาเปรียบเทียบกับค่าการทรุดตัว

ในการเปรียบเทียบค่าความลึกร่องล้อและค่าการทรุดตัวมาเปรียบเทียบกัน มีผลดังนี้



รูปที่ 35 แสดงการเปรียบเทียบค่าความลึกร่องล้อและค่าการทรุดตัว

จากกราฟสามารถสรุปได้ว่า ในช่วงแรกยังไม่มีความแตกต่าง แต่เมื่อผ่านไปในครั้งที่ 4 และครั้งที่ 5 จะมีอัตราส่วนระหว่างการทรุดตัวและความลึกร่องล้ออยู่ที่ 36.36 และ 38.28 ตามลำดับ ซึ่งสามารถกล่าวได้การเสริมกำลังด้วยยางพารามควันจะช่วยลดการทรุดตัวมากกว่าความลึกร่องล้อ ถึงร้อยละ 37.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทำวิจัย

จากการดำเนินการทำวิจัยการตรวจสอบประสิทธิภาพของยางพารารมควันสำหรับเสริมกำลังถนนที่ผ่านมา กลุ่มเราสามารถสรุปได้ว่ายางพารารมควัน สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับถนนได้จริง โดยสามารถเสริมความต้านทานแรงเฉือนได้เพิ่มมากขึ้น ร้อยละ 32.2 ดังที่อ้างอิงมาจากผลจากการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช สามารถลดความลึกร่องล้อได้ ร้อยละ 18.24 สามารถลดการทรุดตัวได้ร้อยละ 32.63 และสามารถลดการทรุดตัวได้มากกว่าค่าความลึกร่องล้อร้อยละ 37.82

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำแผ่นตาข่ายเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควันไปใช้งานในงานก่อสร้างจริง

1. การนำ RSS-geogrid ไปใช้งานจริงในสนามควรนำไปใช้เสริมกำลังที่มี CBR ต่ำ (ดินอ่อน) เนื่องจาก RSS-geogrid มีประสิทธิภาพการเสริมกำลังต่ำ เมื่อใช้ในดินที่มี CBR สูง (ดินแข็ง)

การนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาต่อเพิ่มเติมในอนาคต

1. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน CBR ของดินเมื่อเสริมกำลังด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังที่ผลิตจากยางพารารมควัน โดยดินในกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่า CBR ที่ต่างกันและหลากหลายเพิ่มขึ้น
2. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกกับผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์
3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน และ การทรุดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ASTM D698. 2007. “Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12, 400 ft- Ibf/ ft^3 (600 kN-m/m^3)).” **ASTM International.** West Conshohocken, PA.

ASTM D1557. 2007. “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft^3 (2,700 kN-m/m^3)).” **ASTM International.** West Conshohocken, PA.

ASTM D1883. 1999. “Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils” **ASTM International.** West Conshohocken, PA.

ASTM D22 . 2007. “ Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils” **ASTM International.** West Conshohocken, PA.

Christopher, B.R. 2010. “**Geogrids in Roadway and Pavement Systems.**” NAUE GmbH & Co. KG, and Global Synthetics Pty Ltd. 23 Nov. – 1 Dec., 2010.

Giroud, J.P., Ah-Line, C., and Bonaparte, R. 1984. “**Design of Unpaved Roads and Trafficked Areas with Geogrids.**” Proceedings of the symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering. Institute of Civil Engineers. 116-127.

Haliburton, T.A., Lawmaster, J.D. and McGuffey, V.C. 1981. “**Use of EngineeringFabrics in Transportation Related Applications.**” Federal Highway Administration, FHWA DTFH61-80-C-00094.

Holtz, R.D, Christopher, B.R. and Berg, R.R. 1998. “**Geosynthetic design and construction guidelines.**” Federal Highway Administration, Washington, DC, FHWA-HI-98-038, 460 p.

Koerner, R. M. 1997. “**Designing with Geosynthetics, 5th Edition.**” Geosynthetic Institute Emeritus Professor of Drexel University. Pearson Education, Inc. United States of America.

Proctor, R.R (1933). "**Fundamental Principles of Soil Compaction**", Engineering News-Record, I. Aug 31, 1933, pp. 245-248; I Sept. 7, 1933, pp. 286-289; . Sept. 21, 1933, pp. 348-355; M. Sept 28, 1933, pp. 372-376

ศลิษา ไชยพุทธ และ แหลมทอง เหล่าคงถาวร. (2562). “**ปฐพีกลศาสตร์ : ทฤษฎีและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ**” ตำราและเทคโนโยลีการศึกษา วิศวลาดกระบัง

ศลิษา ไชยพุทธ. 2565. “**เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน (Ground Improvement Techniques) ฉบับปรับปรุง.**” ศูนย์จำหน่ายตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้