รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากำลังรับแรงดึงของพารากริดด้วยวิธีการเคลือบสาร

THE DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH OF PARAGRID BY COATING METHOD

นาย อนุพุทธ์ เลียงสุนทรสิทธิ์

นาย ภัคภณ จรูญรัตน์

นาย ภูบดี ภู่สันติสัมพันธ์

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากำลังรับแรงดึงของพารากริดด้วยวิธีการเคลือบสาร

THE DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH OF PARAGRID BY COATING METHOD

นาย อนุพุทธ์ เลียงสุนทรสิทธิ์

นาย ภัคภณ จรูญรัตน์

นาย ภูบดี ภู่สันติสัมพันธ์

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่องานวิจัย: การพัฒนากำลังรับแรงดึงของพารากริดด้วยวิธีการเคลือบ
ชื่อ-สกุล คณะวิจัย: 1. นายอนุพุทธ์ เลียงสุนทรสิทธิ์ 60011141
2. นายภัคภณ จรูญรัตน์ 60010762
3. นายภูบดี ภู่สันติสัมพันธ์ 60010794
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขา** วิศวกรรมโยธา

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำงานวิจัย “การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 เพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้าง” มาพัฒนาต่อ โดยมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่ถูกนำไปทำตาข่ายเสริมกำลังดิน(พารากริด) ด้วยวิธีการเคลือบด้วยสารเคมีประเภทต่าง ๆ เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงแบกทานของดิน โดยมีการทดสอบ 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1. การหาแนวที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 2. การหากำลังรับแรงดึงของพารากริดที่เพิ่มขึ้นจากการใช้สารเคมีเสริมกำลัง โดยควบคุมจำนวนชั้นในการเคลือบสารและวันที่ทดสอบ และ 3. การหาพฤติกรรมกำลังรับแรงแบกทานของดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่มีการคลือบสารเคมีและพารากริดที่มีการเคลือบสารเคมีด้วยการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio) ผลการวิจัย พบว่า เมื่อทดสอบแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ในทิศทางขนานกับแนวการรีด มีค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดมากกว่าในทิศทางตั้งฉากกับแนวการรีด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ทิศทางขนานกับแนวการรีดในการทดสอบ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของพารากริดที่เคลือบสารแล้ว ที่เวลาหลังการเคลือบสารตามเงื่อนไข ได้ผลว่าพารากริดที่เคลือบสาร T-201 จำนวน 2 ชั้น เป็นเวลา 14 วัน มีกำลังรับแรงดึงมากที่สุดและเทียบเท่ากับตาข่ายเสริมกำลังดิน(geogrids) ที่นำมาอ้างอิง และเมื่อนำดินที่เสริมกำลังด้วยพารากริดที่เคลือบสาร T-201 จำนวน 2 ชั้น เป็นเวลา 14 วันมาหากำลังรับแรงแบกทานด้วยการทดสอบด้วยวิธีแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio) พบว่ามีความสามารถในการรับแรงแบกทาน มากกว่าดินที่ไม่เสริมกำลัง และดินที่มีการเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสาร เท่ากับ 46.66% และ 7.81% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Strength development of paragrid by coating method

Researcher: 1. Mr. Anubud Liangsunthornsit 60011141

2. Mr. Pakkapon Jaroonrat 60010762

3. Mr. Phubodi Phusantisamphan 60010794

Faculty: Engineer **Department:** Civil engineer

ABSTRACT

This research is intended to bring the research. " The Application of Geogrid from Ribbed smoked Sheet Rubber for Road Construction " has been further developed by focusing on increasing the tensile strength of the ribbed smoked sheet type 3 that being used to make geogrids (paragrids) by coating method with different coating materials to increase the compressive strength of the soil. There are three test steps: 1. Determine effective direction on the tensile strength of the ribbed smoked sheet type 3 2. Determine the tensile strength of paragrids increased by the use of coating material which have number of coating layers and test date as conditions, and 3. Determine the characteristics of increased soil compressive strength when reinforced with uncoated paragrids and coated paragrids were tested by California Bearing Ratio Test. The results showed that when testing ribbed smoked sheet type 3 in a longitudinal direction has a higher tensile strength than in the travers direction. Therefore, researchers selected the longitudinal direction for testing when testing the tensile strength of the coated paragrids. At the time after conditional coating. It was found that two layers of T-201 coated paragrids for 14 days have the highest tensile strength and comparable to the reference geogrids. And from California Bearing Ratio test, the soil that was reinforced with two layers of T-201 coated paragrids for 14 days have more soil's compressive strength than soil reinforced with uncoated paragrids and unreinforced soil by 46.66% and 7.81% respectively

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและการสนับสนุนอย่างสูงสุดจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ศลิษา ไชยพุทธ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง คณะผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

อนึ่ง คณะผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์สำหรับผู้ที่จะศึกษาวิจัยต่อไป จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง และขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แด่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น คณะผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

นายอนุพุทธ เลียงสุนทรสิทธิ์ 60011141

นายภัคภณ จรูญรัตน์ 60010762

นายภูบดี ภู่สันติสัมพันธ์ 60010794

เมษายน 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid)	3
2.2 วัสดุรองพื้นทาง	7
2.3 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน	8
2.4 การทดสอบการบดอัดดิน	8
2.5 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	14
3.1 บทนำ	14
3.2 เงื่อนไขการทดสอบ	14
3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 แบบไม่เคลือบสาร	15
3.4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 แบบเคลือบสาร	17
3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังดินของพารากริด	24
บทที่ 4 ผลการศึกษา	34
4.1 บทนำ	34
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติแนวที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3	34
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงของพารากริดที่ใช้สารเคมีในการเสริมกำลัง	35
4.4 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	43
5.1 บทนำ	43
5.2 สรุปผลการทดลอง	43
5.3 ข้อเสนอแนะ	44
เอกสารอ้างอิง	45
ใบรับรองโครงงานพิเศษ	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงขนาดคละของมวลรวม	2
2.1 แสดงขนาดคละเกรดต่าง ๆของวัสดุชั้นรองพื้นทาง	7
2.2 ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่าง ๆ	9
2.3 ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ที่เหมาะต่อชั้นทางต่าง ๆ	10
2.4 การเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของ geogrids ทั้ง 7 ประเภท	11
2.5 คุณสมบัติต่างๆ ของ geogrids แต่ละชนิด	12
2.6 ค่า unsoaked C.B.R. ที่เสริมกำลังด้วย geogrids ชนิดต่าง ๆ	13
3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนขนาดคละของดินตัวอย่าง	29
3.2 ค่าหน่วยแรงกดมาตรฐาน ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว	33
4.1 ตารางแสดงผลการการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงตามแนวต่างๆ	34
4.2 ตารางแสดงผลกำลังรับแรงดึงของพารากริดที่เสริมกำลังด้วยสาร T-201 ตามเงื่อนไขที่กำหนด	35
4.3 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีดินไม่มีการเสริมกำลัง	37
4.4 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีเสริมกำลังด้วยพารากริด	38
4.5 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201	39
4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) ทั้ง 3 กรณีแบบเฉลี่ย	40
4.7 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่า แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) ทั้ง 3 กรณี	41
4.8 แสดงผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ **หน้า**

2.1 Woven Geogrids 4
2.2 Extruded Geogrids 4
2.3 Geogrids ชนิดต่างๆ ตามการรับแรง 5
2.4a หน้าที่ของ Geogrid 6
2.4b หน้าที่ของ Geogrid 6
2.4c หน้าที่ของ Geogrid 6
3.1 แผนภาพขั้นตอนการทดสอบ 14
3.2 การตัดและขีดเส้นบนแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 15
3.3 แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่ตัดและขีดเส้นแล้ว 16
3.4 การเปลี่ยนแปลงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 เมื่อถูกดึง 16
3.5 PENTENS T-200H 18
3.6 PENTENS T-201 18
3.7 PENTENS NPU-12E 18
3.8 ตัวอย่างแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ขนาด 20x20 เซนติเมตรที่กำหนดหมายเลขแล้ว 19
3.9 การวัดและบันทึกค่าความหนาแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 19
3.10 การแบ่งชุดแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 สำหรับทาสารเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น 20
3.11 การทาสารเคลือบบนแผ่นยาง 20
3.12 ขั้นตอนการทาสารเคลือบบนแผ่นยางแบบ 1 ชั้นและ 2 ชั้น 21
3.13 การวัดความหนาของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 หลังเคลือบสาร 22
3.14 การขีดเส้นกึ่งกลางและเส้นขอบสำหรับพื้นที่ทดสอบ 22
3.15 การพันเทปกาวบริเวณที่เครื่องทดสอบจับแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 23
3.16 แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่เจาะช่องเปิดขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร 25
3.17 พารากริดหลังทำการเคลือบสารแล้ว 25
3.18 วาดวงกลมขนาดเท่าโมลบดอัดดินเพื่อเป็นแนวสำหรับตัด 26
3.19 การตัดพารากริดให้มีขนาดเท่าโมลบดอัด 26
3.20 พารากริดที่ตัดแล้วสำหรับใส่ในโมลบดอัด 27
3.21 การตัดดินใส่ตะแกรงที่ประกอบแล้ว 28
3.22 ใส่ตะแกรงเข้าเครื่องเขย่าแล้วจับเวลา 15 นาที 28
3.23 เทดินแต่ละขนาดลงในภาชนะแยกตามเบอร์ที่กำหนดไว้ 29

สารบัญรูป (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่	**หน้า**
3.24 การผสมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบการบดอัด	30
3.25 การผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม	30
3.26 การบดอัดดินด้วยตุ้มขนาด 10 ปอนด์	31
3.27 การกดทดสอบด้วยเครื่อง UTM	32
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงสูงสุดและเวลาหลังจากที่ทำการเคลือบสาร	36
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกดกับระยะกด	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันจำนวนประชากรในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความต้องการในการเดินทาง การสัญจรและการคมนาคมขนส่งมีมากขึ้น ซึ่งหมายความว่าปริมาณจราจรในแต่ละวันจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยส่งผลให้น้ำหนักกดทับที่ถนนต้องรับในแต่ละวันมากขึ้น เพื่อรองรับปริมาณการจราจรและน้ำหนักกดทับที่เพิ่มขึ้น โครงสร้างของถนนจึงต้องมีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งในการเสริมความแข็งแรงของถนนนั้นหนึ่งในวิธีที่ได้ผลดีและนิยมใช้งานคือการใช้ตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) เข้ามาช่วยเพิ่มความแข็งแรงและลดการทรุดตัวของชั้นดินและหินที่รองรับอยู่

เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศกำลังตกต่ำส่งผลทำให้ยางพาราและผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากยางพารามีราคาต่ำลงอย่างต่อเนื่องทุกปี ส่งผลต่อเกษตรกรผู้ปลูกยาง เพื่อช่วยเหลือปัญหาเรื่องราคาที่ตกต่ำของยางพารา จึงได้มีการนำผลิตภัณฑ์จากยางพารามาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เลือกคือแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 (Ribbed smoked sheet)ประเภทที่ 3 โดยนำมาเพื่อทำหน้าที่เป็นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ซึ่งวัสดุเดิมที่ใช้คือสารประเภทพอลิเมอร์จำพวก PEP และ PP ซึ่งตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 นี้ถูกเรียกใหม่ว่าพารากริด (Paragrid)

จากการวิจัย“การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 เพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้าง(2020)” พบว่ามีความสามารถในการเสริมกำลังของดินได้จริง แต่ยังคงมีข้อด้อยคือความสามารถในการรับแรงดึงที่น้อยเมื่อเทียบกับตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) เพื่อพัฒนาความสามารถในการเสริมกำลังของดินของพารากริด (Paragrid) งานวิจัยนี้จึงศึกษาการพัฒนาพารากริดให้มีความสามารถในการเสริมกำลังดินที่สูงมากขึ้นด้วยการเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงให้มากขึ้น โดยวิธีการที่ผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพคือการนำสารชนิดต่างๆมาเคลือบพารากริด (Paragrid)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของสารเคลือบแต่ละชนิดกับกำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้นของพารากริด
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นการเคลือบสารเคลือบกับกำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้นของพารากริด
3. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังเคลือบสารกับกำลังรับแรงดึงของพารากริด
4. เพื่อศึกษากำลังการรับแรงแบกทานของดินลูกรังที่เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเคลือบสาร จากการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. พารากริด (Paragrid) ที่ใช้ทำมาจากแผ่นยางพารารมควัน (Ribbed smoked sheet)ชนิดที่ 3
2. พารากริด (Paragrid) มีลักษณะตามที่กำหนด
   - เจาะรูเป็นตาข่ายที่มีช่องว่าง 2×2 เซนติเมตรและเว้นช่องว่าง 2 เซนติเมตร
3. ไม่ศึกษาผลจากการเปลี่ยนตำแหน่งการวางพารากริด (Paragrid) ในการทดสอบ แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)
4. ดินลูกรังที่ใช้ทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) มีขนาดคละของมวลรวมเป็นอัตราส่วนตามที่กำหนดตามตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงขนาดคละของมวลรวม

ขนาดตะแกรง	3/8	4	10	20	40	100	200	ถาดรับ
ร้อยละที่ผ่านโดยมวล	100	93.28	75.67	54.19	37.10	17.54	13.51	0.00

5. ไม่ศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ
6. ไม่ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
7. ไม่ศึกษาผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสารเคลือบ
8. ใช้สารเคลือบ 3 ชนิด ได้แก่ T-200H, T-201 และ NPU-12E

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พารากริด (Paragrid) ที่มีสารเคลือบมีกำลังรับแรงดึงมากกว่าพารากริด (Paragrid) ที่ไม่ได้เคลือบสาร
2. พารากริด (Paragrid) ที่มีสารเคลือบสามารถเพิ่มกำลังของดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid)

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

2.1.1 ประเภทและการใช้งาน

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมี 3 ประเภท ประเภทที่ 1 เป็นต้นแบบของ แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน เรียกว่า Unitized หรือ Homogeneous types หรือเป็นที่รู้จักในชื่อว่า Punched Geogrid และ Drawn Geogrids ถูกคิดค้นโดย Dr. Frank Brian Mercer ในประเทศอังกฤษ ที่บริษัท Netlon, Ltd.

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ประเภทที่ 2 นั้นมีความยืดหยุ่นและมีลักษณะเหมือน แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน มากขึ้นโดยใช้เส้นใยพอลิเอ็ซเทอร์ที่เคลือบด้วยพอลิเอทิลีน และนำไปสู่การพัฒนาแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินของเส้นด้ายพอลิเอ็ซเทอร์ที่ผลิดจากเครื่องจักรทอผ้า

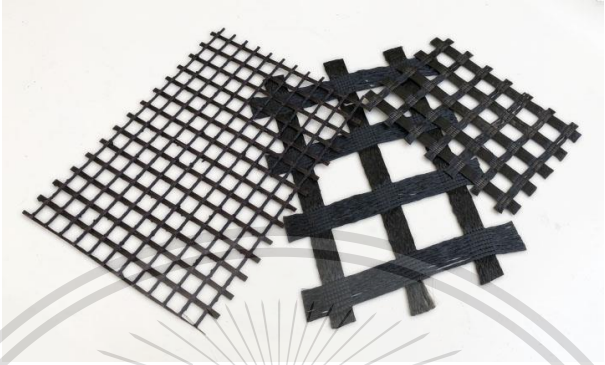
แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ประเภทที่ 3 นั้นทำจากพอลิเอ็ชเทอร์ และ พอลิโพรพิลีนถูกยึดเข้าด้วยกันด้วยเลเซอร์ในลักษณะตาราง

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินถูกนำมาใช้ในการออกแบบผิวทางอย่างแพร่หลาย การเสริมแรงโดยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินใช้ในถนนลาดยางมีหน้าที่หลักสองส่วนคือ การเสริมแรงชั้นฐานทาง และ เพิ่มเสถียรภาพ ในการเสริมแรงโดยทั่วไปแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินจะถูกวางไว้ระหว่างชั้น หรือที่ด้านล่างของชั้นฐานทางขอถนนลาดยาง และปรับปรุงความสามารถในการรับน้ำหนักของถนนภายใต้การจราจร ในการลดการสั่นสะเทือของชั้นรองฐานทาง แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินถูกใช้เพื่อสร้างแพลตฟอร์มการก่อสร้างบนดินเดิมที่อ่อนแอเพื่อรับน้ำหนักอุปกรณ์ในการก่อสร้างและอำนวยความสะดวกในการก่อสร้างแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงชั้นโครงสร้างของถนน(base / subbase หรือ subgrade) ผ่านการเสริมกำลังของชั้นฐานทาง,ชั้นรองฐานทางในถนนลาดยาง และถนนไม่มีผิวทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยสามารถแบ่งประเภทของ geogrids ได้ตามลักษณะภายนอกได้ดังนี้

1. Woven Geogrids เป็นผ้าทอที่มีความยืดหยุ่นด้วยน้ำหนักโมเลกุลสูง ผลิตโดยเส้นด้ายโพลีเอสเทอร์ (PET) ที่มีการคืบน้อยความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีลักษณะเป็นเส้นด้ายมีความมั่นคงและเชื่อมต่อกันเป็นตารางโดยอยู่ภายใต้ความตึง ถูกเคลือบอย่างสม่ำเสมอด้วยสารปลอดสารพิษที่เป็นโพลิเมอร์เพื่อเพิ่มความต้านทานโดยรวม



รูปที่ 2.1 Woven Geogrids

ที่มา: Geosynthetics Australia (2017). Polyester-woven-geogrids. Geosynthetics. https://geosynthetics.net.au/polyester-woven-geogrids/woven-geogrid/

2. Extruded Geogrids เป็นแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่อัดขึ้นรูปนั้นทำจากพอลีโพรพิลีน (PP) โดยการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นแบนแล้วเจาะรู รูปแบบของหลุมจะส่งผลให้เกิดแนวของรูที่เราเรียกว่า Apertures เพื่อสร้างความต้านทานแรงดึง วัสดุจะถูกยืดออกไปทั้งแนวยาวและแนวขวาง ใช้ในงานปรับปรุงเสถียรภาพของโครงสร้างของถนนและทางรถไฟ, แพลตฟอร์มการทำงาน, ถนนชั่วคราว และ พื้นผิวดินที่มีความลาดชัน

รูปที่ 2.2 Extruded Geogrids

ที่มา Shandong Dageng Project Material Co. , Ltd(2015). Dagenggeogrid. http://th.dagenggeogrid.com/geogrid/plastic-geogrid/extruded-pp-geogrid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้อีก 3 ประเภท ตามแนวการรับแรง ได้แก่

1. Uniaxial Geogrid เป็นแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินทีมีแนวการรับแรงเพียงเดียว นิยมใช้กับงานกำแพงกันดิน
2. Biaxial Geogrid เป็นตาข่ายเสริมกำลังดินที่มีแนวการรับแรง 2 แนว นิยมใช้ในงานโครงสร้างถนน
3. Triaxial Geogrid เป็นตาข่ายเสริมกำลังดินที่มีแนวการรับแรง 2 แนว นิยมใช้ในงานโครงสร้างถนน

รูปที่ 2.3 geogrids ชนิดต่างๆ ตามการรับแรง

ที่มา : HAPPHO (2016).

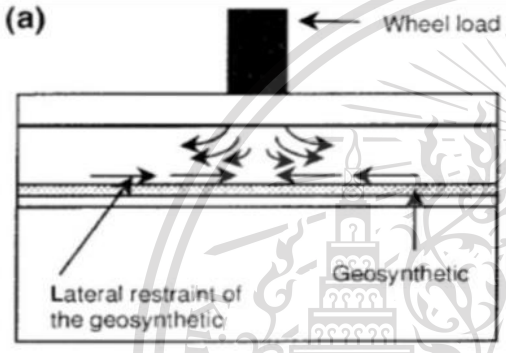
https://happho.com/geogrids-manufacturing-process-applications-advantages/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

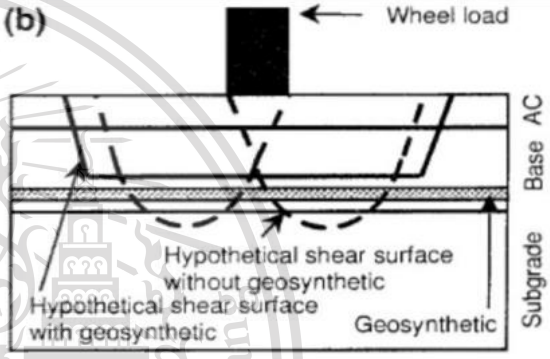
2.1.2 หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานถนน

ตามที่ระบุไว้ในส่วนของการแนะนำแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างถนนลาดยางหรือถนนไม่มีผิวทางผ่านการเสริมแรงซึ่งอาจมีให้ผ่านกลไกที่เป็นไปได้สามแบบ ดังนี้

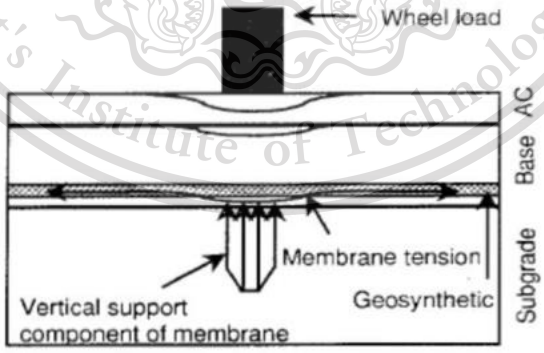
1. แรงเหนี่ยวรั้งจากด้านข้างของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินและดินเดิมผ่านแรงเสียดทาน (Interlock) ดังแสดงในรูปที่ 2.4a
2. เพิ่มค่าแคลิฟอเนียร์ แบริง เรโช ของระบบโดยการบังคับการแนวพังทลายของดินที่อาจเกิดขึ้นโดยแนวจะอยู่เหนือแนวของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน เพื่อพัฒนาตามแนวที่มีกำลังรับแรงเฉือนที่สูงขึ้นเหนือพื้นผิวแทนดังแสดงในรูปที่ 2.4b
3. การรองรับแรงกระทำที่เกิดจากล้อและถ่ายแรงดังแสดงในรูปที่ 2.4c



รูปที่ 2.4a หน้าที่ของ Geogrid
ที่มา U.S. Corps of Engineers, ETL. (2003)



รูปที่ 2.4b หน้าที่ของ Geogrid
ที่มา U.S. Corps of Engineers, ETL. (2003)



รูปที่ 2.4c หน้าที่ของ Geogrid
ที่มา U.S. Corps of Engineers, ETL. (2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 วัสดุรองพื้นทาง

งานก่อสร้างถนนประกอบไปด้วยมวลรวม ซึ่งมีขนาดคละสม่ำเสมอจากขนาดใหญ่ไปขนาดเล็ก โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นบนวัสดุคัดเลือกหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว โดยการบดอัดที่ถูกต้องตามมาตรฐาน ได้ขนาด ความลาด รูปตัดตามที่ออกแบบไว้อย่างถูกต้อง

วัสดุมวลรมที่ใช้ในการก่อสร้างนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ เม็ดดินแข็งแรงทนทานมีขนาดคละที่ดี มีการรับรองมาตรฐานแหล่งที่มา วัสดุมวลรวมที่เกาะกันมีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตรจะคชต้องถูกกำจัดออกหรือบดให้เข้ากับเนื้อดินปราศจากก้อนดินเหนียวและวัชพืชต่าง ๆ ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของวัสดุรองพื้นทางเป็นอย่างอื่น วัสดุมวลรวมที่นำมารองพื้นทางจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของมวลรวม โดยวิธีการทดสอบการขัดสีลอสแองเจลีส (Los Angeles Abrasion test) ไม่เกินร้อยละ 60
- มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้างต้องมีขนาดหนึ่งตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดคละเกรดต่าง ๆของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (กรมทางหลวง, 2532)

ขนาดตระแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
มิลลิเมตร	A	B	C	D	E
50	100	100	-	-	-
25	-	-	100	100	100
9.5	30-65	40-75	50-85	60-100	-
2	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
0.425	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
0.075	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

- ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) หินดินดาน (Shale) รากไม้หรือวัชพืชอื่น ๆ
- ขนาดวัสดุใหญ่สุดไม่โต กว่า 5 เซนติเมตร-ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 35 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : L.L.)
- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่าร้อยละ 11 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.)
- ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช จากห้องทดลอง (Lab CBR) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน

วิธีร่อนผ่านตะแกรง

วิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) เป็นการวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนบินผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงอยาบที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงแต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นเพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลมหรือลูกบาศก์แต่เป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะใช้การทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer Analysis) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะเกี่ยวเนื่องกันเมื่อได้ผลแล้วต้องนำผลทั้ง 2 วิธีมาเขียนกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินต่อไปในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดินโดยทั่วไปขนาดของเม็ดดินกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดดิน (Diameter) ที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่าที่ระบุหรือเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงค่าต่าง ๆจะถูกนำมาเขียนกราฟมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางบันทึกผล

2.4 การทดสอบการบดอัดดิน

การบดอัดดิน (compaction) เป็นวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพการรับแรงของดินที่แพร่หลายและเป็นที่นิยมที่สุด โดยเฉพาะงานก่อนสร้างที่ดินเป็นวัสดุถม (fill material) เช่นงานถนน งานเขื่อน งานสนามบิน เป็นต้น เนื่องจากการบดอัดดิน คือ การใช้แรงภานอก เช่น แรงกระแทก แรงบดไดนามิก มาไล่อากาศในมวลดินออกไป ทำให้ดินที่ได้รับการบดอัดแล้วมี ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยมีจุดประสงค์ 3 ข้อด้วยกัน คือ

1. ช่วยลดการทรุดตัวที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (Decrease Future Settlement)
2. เพิ่มเสถียรภาพการรับกำลังของดิน (Increase shear strength) เพื่อให้เดินรับแรงได้มากขึ้น
3. ลดความซึมน้ำของดิน (Decrease permeability)

การอัดดินนั้นจะทำโดยการใช้เครื่องจักขนาดใหญ่โดยสามารถแบ่งประเภทออกเป็น 2 ประภทของดินที่บดอัดได้เป็น รถบดอัดสำหรับวัสดุมวลรวมเม็ดระเอียด เช่น รถบดอัดตีนแกะ (Sheepfoot roller) และ รถบดอัดสำหรับวัสดุมวลรวมเม็ดหยาบ เช่น รถบดอัดล้อยาง (Pneumatic tyres roller) รถบดอัดล้อเหล็ก 2 ล้อสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) รถบดล้อเหล็กล้อเหล็กผิวเรียบ เป็นต้น การควบคุณคุณภาพการบดอัดดินเป็นสิ่งที่สำคัญ ดังนั้นจึงต้องมีการนำดินจากแหล่งเดียวกับที่นำมาก่อสร้างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับดินที่บดอัดแล้วในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช (CALIFORNIA BEARING RATIO)

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าการทดสอบ “CBR” เป็นการทดสอบเพื่อหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio Test : CBR) ถูกพัฒนาในช่วงปี ค.ศ. 1930 ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยวัสดุ ซึ่งเป็นหน่วยงานของ Department of the California Division of Highways, USA ได้รับการเผยแพร่โดย O.J. Porter (1938) จุดประสงค์เริ่มต้นเพื่อทดสอบหาวัสดุที่มีคุณภาพและเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานบดอัดถนนในชั้นพื้นทาง (Base) และในชั้นรองพื้นทาง (Subbase) เท่านั้น แต่เนื่องจากปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นในช่วงนั้น (ปี 1930) ทำให้วิธีการเดิมไม่เหมาะสม O.J. Porter ได้แสดง

ตารางที่ 2.2 ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่าง

CBR No.	General rating	User	CLASSIFICATION SYSTEM	
			Unified	ASSHTO
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	Subgrade	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Good	Base or Subgrade	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excellent	Subgrade	GW, GM	A1a, A2-4, A3

ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทดสอบของเขากับลักษณะจริงของดินที่ถูกบดอัดภายใต้การจราจรบนถนน และค่าที่ได้จากทดสอบของเขาก็ได้รับการยอมรับในเวลาต่อมาในระยะแรกเป็นการทดสอบเพื่องานถนนเท่านั้น แต่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีหน่วยงาน U.S. Army Corps of Engineers ได้มีการนำการทดสอบนี้มาใช้ในงานสร้างสนามบินด้วยการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช เป็นวิธีการหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น ซึ่งการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามในการทดสอบในห้องปฏิบัติการปกติจะทำการทดสอบตัวอย่างดินบดอัดที่จุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม(Optimum Moisture Content) โดยใช้แห่งเหล็กกลมตัน (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที (1.25 มิลลิเมตรต่อนาที) แล้วนำค่าหน่วยแรง (Unit Load) ที่ได้จากการทดสอบ (Test Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) ที่การยุบตัวเดียวกัน โดยค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) เป็นค่าหน่วยแรงมาตรฐานที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างหินคลุก (Crushed Rock) ที่กำหนดโดย California Division of Highways และกำหนดให้มีค่าเป็นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยทั่วไปจะใช้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ที่ความลึกของการกด (Penetration) 0.1 นิ้ว แต่ถ้าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ที่ความลึก 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ สามารถกำหนดคุณสมบัติของดินจากค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ว่าเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานถนนหรือไม่และเหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุในชั้นใดของงานทางดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ที่เหมาะต่อชั้นทางต่าง ๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm.	In.	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Measurement of Tensile Properties of Geogrids.

Mohammed Kadum Fakhraldin. (2012) ได้ทำการทดสอบการดำเนินการเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของ geogrids 7 ประเภท โดยคุณสมบัติที่ทดสอบคือความต้านทานแรงดึงสูงสุด, โมดูลัสของความยืดหยุ่น, ความแข็งแรงครากส่วนบน, ความแข็งแรงครากส่วนล่าง, ความต้านทานแรงดึง, ความแข็งแรงของส่วนขยายที่ไม่ได้สัดส่วน, การยืดตัวของการแตกหักการยืดตัวที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดและการยืดตัว ซึ่งผลการวิจัยจะเปรียบเทียบคุณสมบัติของ geogrids ทั้ง 7 ประเภท แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบค่าต่างๆ ของ geogrids ทั้ง 7 ประเภท

Geogrid type	Peak tensile strength MD/XMD(kN/m)	Modulus of elasticity MD/XMD (GPa)	Rib Thickness MD/XMD (mm)	Mass per unit area (g/m2)	Rib width Lw/tw (mm)
Netlon CE121	6.4	0.39	1.6/1.45	740	2/2.75
Tensar SS2	14.4/28.2	0.57/0.99	1.2/1.1	300	3/3
Iraqi geogrid	1.6	0.083	1.4/2.25	255	1.6/2
China geogrid	1.1	0.03	1.2/1.1	283	1.4/1.25
PMP SQ12	0.25	0.28	1.7	318	1.3/1.6
PMP SQ15	2.41	0.12/0.54	2	385	2.5/2.2
CE131	1.92	0.32	2.8	429	3.1/3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.2 Large-scale direct shear testing of geogrid-reinforced aggregate base over weak subgrade.

Venkata Abhishek Sakleshpur et al. (2017) ได้ทำการการศึกษาการทดสอบแรงเฉือนตรงขนาดใหญ่ ได้ดำเนินการเพื่อประเมินปฏิสัมพันธ์เชิงกลระหว่าง ดินชั้นคันทาง และชั้นพื้นทางที่มีและไม่มี geogrids ที่ผิว โดยทดลองกับ biaxial geogrids 7 ชนิด ที่ความเค้นปกติ 50, 100 และ 200 kPa ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติต่างๆ ของ geogrids แต่ละชนิด

Property	Sample Geogrids						
	1	2	3	4	5	6	7
Aperture size (mm)	25	25	33	15	15	35	25
Aperture area (mm^2)	825	825	1089	225	225	1225	525
Tensile strength at 2% strain (kN/m)	4.1	6.0	4.0	5.0	6.0	15.0	7.7
Ultimate tensile strength (kN/m)	12.4	19.2	12.8	13.0	25.0	40.0	34.9
Junction strength (kN/m)	11.53	17.86	11.90	0.44	0.47	1.00	0.87

สามารถสรุปได้ว่าพื้นที่ช่อง ความยาวช่องและความแข็งแรงของจุดต่อของ geogrids ทั้งเจ็ดที่ทดสอบในการศึกษานี้มีอิทธิพลอย่างมากต่อค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานแรงเฉือนของพื้นผิวสูงสุดโดยเฉลี่ย อย่างไรก็ตามไม่มีความสัมพันธ์ที่สังเกตได้ระหว่างความต้านทานแรงดึงของ geogrids ที่ 2% ความเครียด และค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานแรงเฉือนเฉลี่ยสูงสุดของพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.3 Influence of fines (%) and geo-grid reinforcement on engineering properties of subgrade -A lab Study.

Unnam Rajesh & V K Chakravarthi. (2014) ได้ทำงานวิจัยนี้โดยมีจุดประสงค์เพื่อแนะนำการใช้งาน geogrids ที่จะนำไปเสริมกำลังดินอ่อนในชั้นรองพื้นทางที่เงื่อนไขต่างกันโดยจะทดสอบกับดินที่ต่างกันด้วยเงื่อนไขทางวิศวกรรมโยใช้ geogrids 3 ชนิดโดยดินจะถูกเลือกจากคุณสมบัติความเป็นพลาสติกและ geogrids จะถูกเลือกโดยกำลังรับแรงดึงและขนาดของช่องเปิด โดยจะศึกษาคุณสมบัติของดินที่มี geogrids ในการเสริมกำลังและไม่มี geogrids ในการเสริมกำลัง ดังนี้ ลักษณะการบดอัด unconfined compressive strength และค่า CBR ซึ่งจะได้ผลการทดลองดัง ตารางที่2.6

ตารางที่ 2.6 ค่า unsoaked CBR ที่เสริมกำลังด้วย geogrids ชนิดต่างๆ

Sample	Geogrid tensile strength (kN/m)	CBR (soil example 1)	CBR (soil example 2)
Unreinforced soil	-	3.37	4.83
Soil + geogrid-1	40	6.11	8.76
Soil + geogrid-2	30	5.38	8.30
Soil + geogrid-3	15	4.75	7.67

สรุปได้ว่าความเป็นพลาสติกของดิน อัตราส่วนขนาดคละ และกำลังรับแรงดึงของ geogrids ส่งผลต่อคุณสมบัติของดินดังนี้ ลักษณะการบดอัดและค่า CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การนำวัสดุเพื่อไปใช้ในงานทางนั้น จะต้องทำการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงความสามารถของวัสดุที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดินที่ทำการบดอัด โดยในการศึกษาในครั้งนี้จะทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 การทดสอบการเสริมกำลังรับแรงดึงของพารากริดที่มีการเคลือบสารโดยจะทำการทดกำลังรับแรงดึงของพารากริดแบบไม่เคลือบสารและแบบเคลือบสาร แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน โดยพารากริดชนิดเคลือบสารนั้นจะต้องควบคุมความหนาและจำนวนวันที่ทิ้งไว้หลังทาสารเคลือบเสร็จ ให้ได้รูปแบบของพารากริดที่มีกำลังรับแรงดึงมากที่สุด และช่วงที่ 2 การทดสอบความสามารถของพารากริดในการเสริมกำลังดิน ทำการทดสอบเปรียบเทียบกำลังของดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกำลังดินด้วยพารากริดแบบไม่เคลือบสารและพารากริดเคลือบสารที่ทำให้มีกำลังรับแรงดึงมากที่สุด

รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนการทดสอบ

3.2 เงื่อนไขการทดสอบ

การทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงของ พารากริดแบบไม่เคลือบสารและแบบเคลือบสาร ทดสอบโดยการเตรียมตัวอย่าง

- แผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ที่นำไปเจาะแล้ว เรียกว่า พารากริดแบบไม่เคลือบสาร
- พารากริดที่เคลือบสาร 3 ชนิด เรียกว่า พารากริดแบบเคลือบสาร ได้แก่

1. พารากริดที่เคลือบสาร PENTENS T-200H
2. พารากริดที่เคลือบสาร PENTENS T-201
3. พารากริดที่เคลือบสาร PENTENS NPU-12E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 แบบไม่เคลือบสาร (Wide-Width Tensile Test)

อ้างอิง : BS EN ISO 10319:1996 และ ISO 10319:1993

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3
- เพื่อหาแนวของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่มีกำลังรับแรงดึงสูงสุด

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดความหนาวัสดุ
2. เครื่องทดสอบยูนิเวอแซล (Universal Testing Machine) สามารถวัดระยะยืดหด (Stroke) ติดตั้งหัวจับสำหรับทดสอบวัสดุเป็นแผ่นตั้งตรง (Jaw)
3. อุปกรณ์การตัดตัวอย่าง เช่น กรรไกร มีดคัตเตอร์
4. เทปกาว
5. ปากกาเคมี

3.3.1 การเตรียมแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 แบบไม่เคลือบสารสำหรับทดสอบแรงดึง

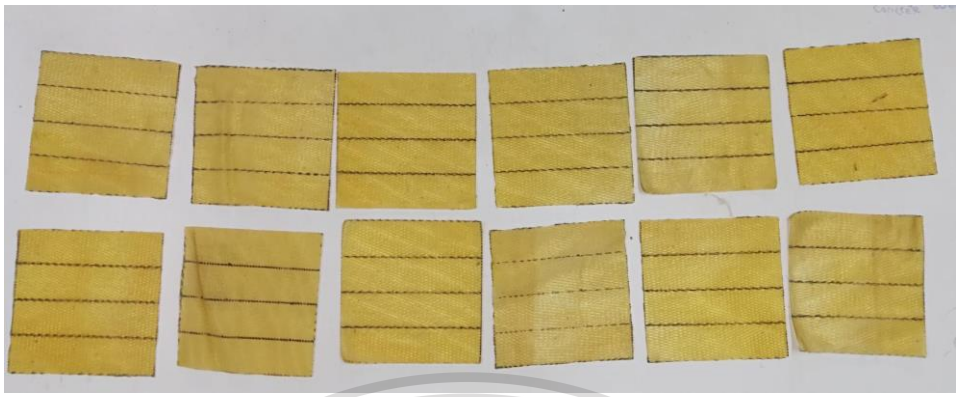
ในการเตรียมแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 สำหรับการทดสอบจะแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองชุดคือ ตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังรับแรงดึงตามแนวยาวของรอยรีดแผ่นยางและวอย่างสำหรับทดสอบกำลังรับแรงดึงตามแนวขวางของรอยรีดแผ่นยาง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ตัดแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ให้มีขนาด 20×20 เซนติเมตร จำนวน 6 แผ่น
2. ขีดเส้นที่กึ่งกลางของของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 โดยวัดกึ่งกลางตามแนวยาวของรอยรีดแผ่นและวัดตามแนวขวางของรอยรีด 3 แผ่น

รูปที่ 3.2 การตัดและขีดเส้นบนแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. วัดระยะจากแนวเส้นกึ่งกลางของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ออกไปสู่ของด้สนละ 5 เซนติเมตรเพื่อให้ได้ความยาวของพื้นที่ทดสอบกำลังรับแรงดึง 10 เซนติเมตรแล้วขีดเส้นขอบ



รูปที่ 3.3 แผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ที่ตัดและขีดเส้นแล้ว

4. ใช้เทปกาวพันบริเวณของแผ่นยางที่อยู่นอกเส้นขอบทั้งสองด้านเป็นจำนวน 2 ทบเพื่อป้องกันแผ่นยางเสียหายจากแรงบีบจากการจับของเครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง

5. กำหนดหมายเลขของแผ่นยางแต่ละแผ่นวัดความหนาและบันทึกค่า

3.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 แบบไม่เคลือบสาร

1. นำตัวอย่างมาติดตั้งที่เครื่องทดสอบให้ระยะหัวจับห่างกัน 10 เซนติเมตร

2. เริ่มเดินเครื่องทดสอบ โดยให้อัตราเร็วในการดึงคือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวเท่ากับ 15% ต่อนาที (Stain Increase rate = 15%/min) โดยความยาวเริ่มต้นของวัสดุคือ 10 เซนติเมตร ดังนั้นจึงกำหนดให้ดึงด้วยอัตราเร็ว 1.5 เซนติเมตร ต่อ นาที

รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 เมื่อถูกดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. บันทึกกำลังรับแรงดึงที่ระยะต่าง ๆ หากำลังรับแรงดึงสูงสุดจากนั้นหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงที่ได้จากการวางตัวอย่างแผ่นยางทั้ง 2 แนว

4. เปรียบเทียบหาแนวของแผ่นยางที่มีกำลังรับแรงดึงมากที่สุด

3.4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 แบบเคลือบสาร (Wide-Width Tensile Test)

อ้างอิง : BS EN ISO 10319:1996 และ BS EN ISO 10319:1993

วัตถุประสงค์

- เพื่อหากำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ที่เคลือบสารแล้ว
- เพื่อหาชนิดของสารเคลือบที่สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ได้สูงสุด
- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังการเคลือบสารกับกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ที่เพิ่มขึ้น

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดความหนาวัสดุ
2. เครื่องทดสอบยูนิเวอแซล (Universal Testing Machine) สามารถวัดระยะยืดหด (Stroke) ติดตั้งหัวจับสำหรับทดสอบวัสดุเป็นแผ่นตั้งตรง (Jaw)
3. อุปกรณ์การตัดตัวอย่าง เช่น กรรไกร มีดคัตเตอร์
4. เทปกาว
5. ปากกาเคมี

3.4.1 การเตรียมแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 แบบเคลือบสารสำหรับทดสอบแรงดึง

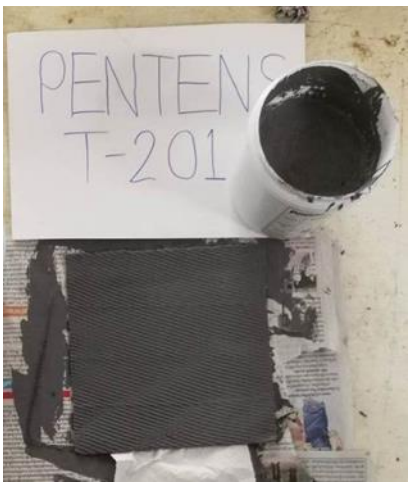
สารเคมีที่นำมาใช้เคลือบ

ในการทดสอบมีการใช้สารเคมีเพื่อนำมาเคลือบ มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ประกอบด้วยสาร 3 ชนิด

1. PENTENS T-200H เป็นสารสีเขียว ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย Polyurethane และ Acrylic Polymer เป็นสารเคลือบเพื่อลดอุณหภูมิ
2. PENTEN T-201 เป็นสารเคลือบสีเทา มี acrylic emulsion เป็นตัวทำละลาย เป็นสารเคลือบเพื่อกันน้ำ
3. PENTEN NPU-12E เป็นสารที่ให้ความยืดหยุ่นและคงทน และป้องกันความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.5 PENTENS T-200H



รูปที่ 3.6 PENTENS T-201

รูปที่ 3.7 PENTENS NPU-12E

ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบเนื่องจากมีตัวแปรควบคุมหลายจุดถึงจำเป็นจะต้องวางแผนการเตรียมตัวอย่างให้รัดกุมเพื่อป้องกันความผิดพลาดซึ่งตัวแปรควบคุมในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. ชนิดของสารเคลือบ 3 ชนิดคือ PENTENS T-200H, PENTENS T-201 และ PETENS NPU-12E
2. ความหนาของสารเคลือบ แบ่งเป็น ทา 1 ชั้น และทา 2 ชั้น
3. จำนวนวันที่ทิ้งไว้หลังการเคลือบสารเสร็จโดยกำหนดไว้ที่ 1, 3, 7 และ 14 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตามตัวแปรควบคุมข้างต้นจะได้ขั้นตอนการเตรียมแผ่นยางดังนี้

1. ตัดแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ให้มีขนาด 20×20 เซนติเมตร จำนวน 72 แผ่นและใช้ปากกาเคมีเขียนหมายเลขลงบนแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ขนาด 20x20 เซนติเมตรที่กำหนดหมายเลขแล้ว

2. วัดความหนาของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 และบันทึกค่าตามหมายเลขที่กำหนดไว้

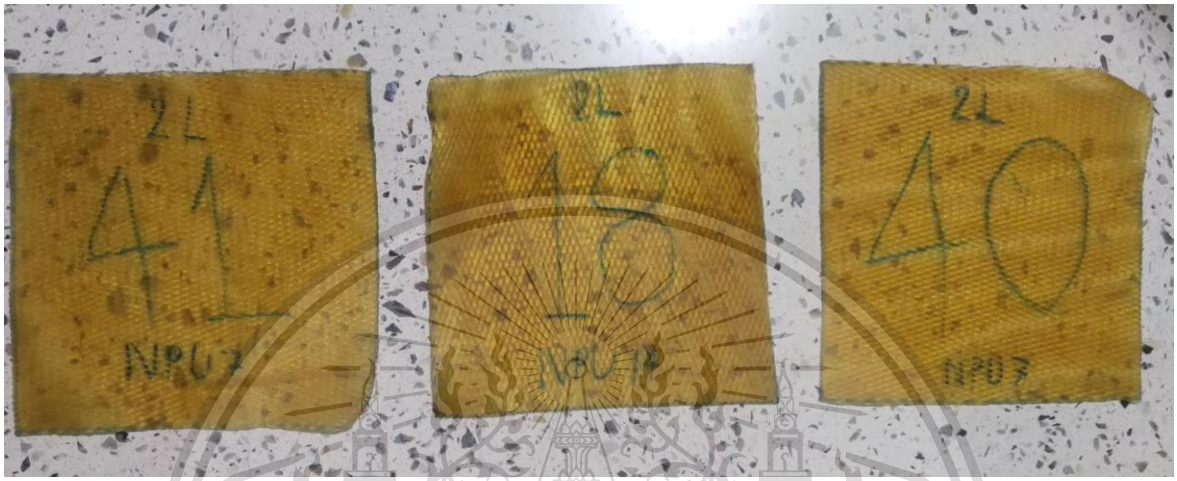
รูปที่ 3.9 การวัดและบันทึกค่าความหนาแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. แบ่งตัวอย่างแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ออกเป็น 2 ชุดคือ

- ชุดที่ 1 สำหรับทาสารเคลือบ 1 ชั้น
- ชุดที่ 2 สำหรับทาสารเคลือบ 2 ชั้น

โดยใช้แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 เป็นจำนวนชุดละ 36 แผ่น บันทึกหมายเลขของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ในแต่ละชุด



รูปที่ 3.10 การแบ่งชุดแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 สำหรับทาสารเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น

4. ทำการทาสารเคลือบทั้ง 3 ชนิดลงบนแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ชุดที่ 1 ชนิดละ 12 แผ่น ทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

รูปที่ 3.11 การทาสารเคลือบบนแผ่นยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. ทำการทาสารเคลือบซ้ำอีกครั้งบนด้านเดิมของแผ่นยางชุดที่ 2 และทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

6. ทำการพลิกแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ชุดที่ 2 แล้วทาสารเคลือบลงบนอีกด้านหนึ่งของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ชุดที่ 2 และเริ่มทาสารเคลือบทั้ง 3 ชนิดลงบนแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ชุดที่ 1 ชนิดละ 12 แผ่น และทิ้งแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ทั้ง 2 ชุดไว้ 12 ชั่วโมง

7. ทำการทาสารเคลือบลงบนด้านเดิมของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ชุดที่ 2 และพลิกด้านแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ชุดที่ 1 แล้วทาสารเคลือบ ทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง

รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการทาสารเคลือบบนแผ่นยางแบบ 1 ชั้นและ 2 ชั้น

8. ในช่วงที่รอเวลาให้แห้ง 12 ชั่วโมงทำการแบ่งแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 เป็น 4 ชุดสำหรับทดสอบที่ 1, 3, 7 และ 14 วัน โดยในแต่ละชุดจะประกอบด้วย

8.1 แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่เคลือบด้วยสาร PENTENS T-200H หนา 1 ชั้นและ 2 ชั้น อย่างละ 3 แผ่น

8.2 แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่เคลือบด้วยสาร PENTENS T-201 หนา 1 ชั้นและ 2 ชั้น อย่างละ 3 แผ่น

8.3 แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่เคลือบด้วยสาร PENTENS NPU-12E หนา 1 ชั้นและ 2 ชั้นอย่างละ 3 แผ่น

บันทึกหมายเลขของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่อยู่ในแต่ละชุดทดสอบ

9. หลังจากขั้นตอนที่ 7. เป็นเวลา 12 ชั่วโมงนำแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 สำหรับทดสอบที่ 1 วันมาเตรียมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยมีขั้นตอนดังนี้

9.1 วัดความหนาของแผ่นยางที่จะทดสอบแล้วบันทึกค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.13 การวัดความหนาของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 หลังเคลือบสาร

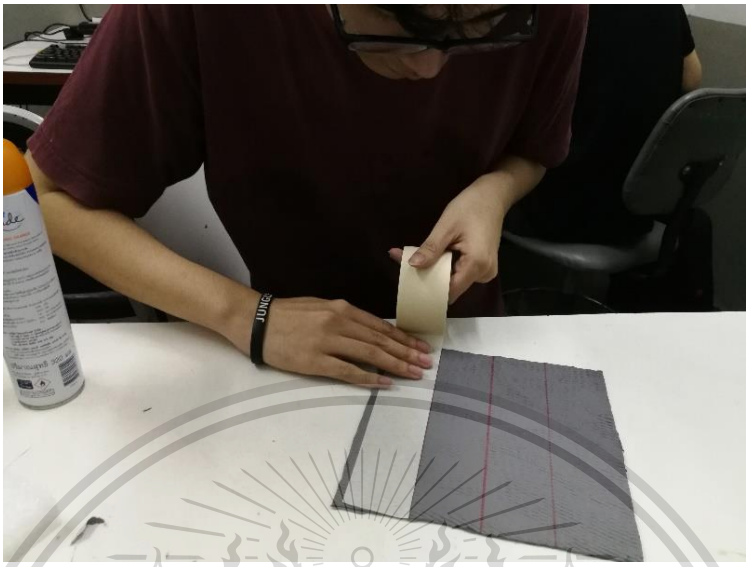
9.2 ขีดเส้นที่กึ่งกลางของของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 โดยเลือกแนวที่มีกำลังรับแรงดึงสูงสุด

9.3 วัดระยะจากแนวเส้นกึ่งกลางของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ออกไปสู่ของด้สนละ 5 เซนติเมตรเพื่อให้ได้ความ ยาวของพื้นที่ทดสอบกำลังรับแรงดึง 10 เซนติเมตรแล้วขีดเส้นขอบ

รูปที่ 3.14 การขีดเส้นกึ่งกลางและเส้นขอบสำหรับพื้นที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

9.4 ใช้เทปกาวพันบริเวณของแผ่นยางที่อยู่นอกเส้นขอบทั้งสองด้านเป็นจำนวน 2 ทบเพื่อป้องกันแผ่น ยางเสียหายจากแรงบีบจากการจับของเครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 3.15 การพันเทปกาวบริเวณที่เครื่องทดสอบจับแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3

10. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 9. จนครบทุกชุดตัวอย่างตามเวลาที่กำหนดที่ 1, 3, 7 และ 14 วัน

3.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 แบบเคลือบสาร

1. นำตัวอย่างมาติดตั้งที่เครื่องทดสอบให้ระยะหัวจับห่างกัน 10 เซนติเมตร

2. เริ่มเดินเครื่องทดสอบ โดยให้อัตราเร็วในการดึงคือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวเท่ากับ 15% ต่อนาที (Stain Increase rate = 15%/min) โดยความยาวเริ่มต้นของวัสดุคือ 10 เซนติเมตร ดังนั้นจึงกำหนดให้ดึงด้วยอัตราเร็ว 1.5 เซนติเมตร ต่อ นาที

3. บันทึกกำลังรับแรงดึงที่ระยะต่าง ๆ หากำลังรับแรงดึงสูงสุดจากนั้นหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงที่ได้จากการเคลือบสารทั้ง 3 ชนิด

4. เปรียบเทียบหาชนิดของสารเคลือบที่เพิ่มกำลังรับแรงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ได้สูงที่สุดและเปรียบเทียบหาจำนวนวันที่ทิ้งไว้หลังการเคลือบสารที่ทำให้สารเคลือบมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันระหว่างกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่ไม่มีสารเคลือบกับแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่มีเคลือบสารแต่ละชนิดว่าสารเคลือบชนิดใดที่เพิ่มกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ได้มากที่สุดโดยคิดเป็นเปอร์เซนที่เพิ่มขึ้นจากแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่ไม่มีสารเคลือบโดยคำนวณตามสมการดังนี้

$$\frac{\text{กำลังรับแรงดึงของแผ่นยางที่มีเคลือบสาร} - \text{กำลังรับแรงดึงของแผ่นยางที่ไม่มีเคลือบสาร}}{\text{กำลังรับแรงดึงของแผ่นยางที่ไม่มีเคลือบสาร}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังดินของพารากริด

สำหรับการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินที่ถูกเสริมแรงด้วย พารากริดสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบ ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ของตัวอย่างดินที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยพารากริด และ ตัวอย่างดินที่มีการเสริมแรงด้วยพารากริด โดยขั้นตอนการทดสอบนั้นจะคล้ายคลึงกับ การทดสอบ แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช แต่จะมีการติดตั้ง พารากริดไว้บนชั้นที่ 3 ของการบดอัดดิน

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio Test)

วัตถุประสงค์

- เพื่อหากำลังของดินบดอัดในค่าของ CBR

อุปกรณ์

1. แบบอัดดินซีบีอาร์ (CBR Mold) Ø 6” x 7” พร้อมปลอก (Collar)สูง 2” แผ่นฐาน (Base Plate) ปลอกตัดดิน (Cutting Collar) และแผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) Ø 5.94” x 2.416” ด้านหนึ่งเจาะรูมีเกลียวสำหรับใช้มือสกรูดึงแผ่นออกจากแบบอัดดิน
2. ตุ้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) ขนาด Ø 2” หนัก10 lb ระยะตก 18” สำหรับการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)
3. กระบอกตวงน้ำ (Graduate Cylinder) ขนาด250-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
6. ไม่บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)
7. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)
8. ตาช่างขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
9. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)
10. กระดาษกรอง (Filter Papers) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6”(150 มิลิเมตร)

การกดทดลอง (Penetration)

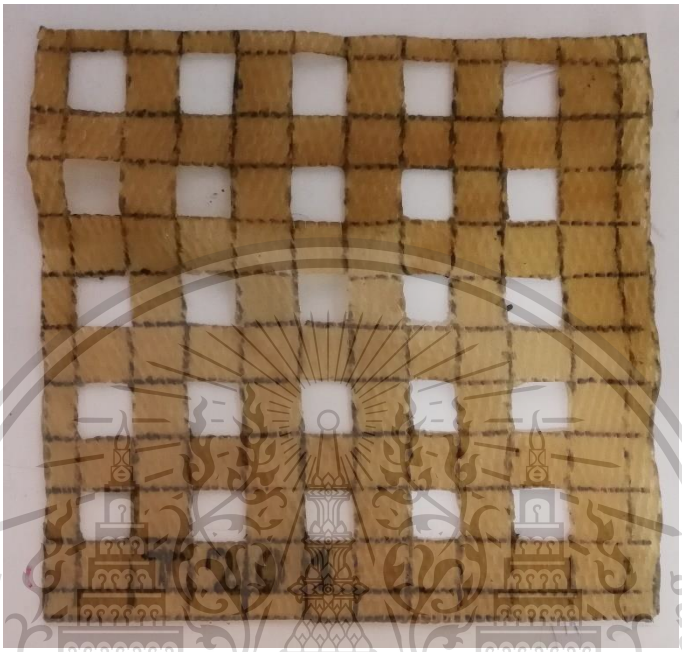
1. เครื่องกดแบบมือหมุน (Mechanical) หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Motorized) มีกำลังกดอย่างต่ำ 6000 ปอนด์
2. แท่งเหล็กกดกลมตัน (Penetration Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 in^2 ยาวอย่างน้อย 4” ต่อเข้ากับ Proving Ring
3. มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) ขนาด 1” อ่านละเอียด 0.001” หรือขนาด 25 มิลลิเมตร อ่านละเอียด 0.01 มิลลิเมตร พร้อมอุปกรณ์ยึดเข้ากับแท่งเหล็กกดกลมตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดสอบ

3.5.1 การเตรียมพารากริดแบบเคลือบสาร

1. ตัดยางพาราให้มีช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร โดยแต่ละช่องเปิดห่างกัน 20 มิลลิเมตร ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง



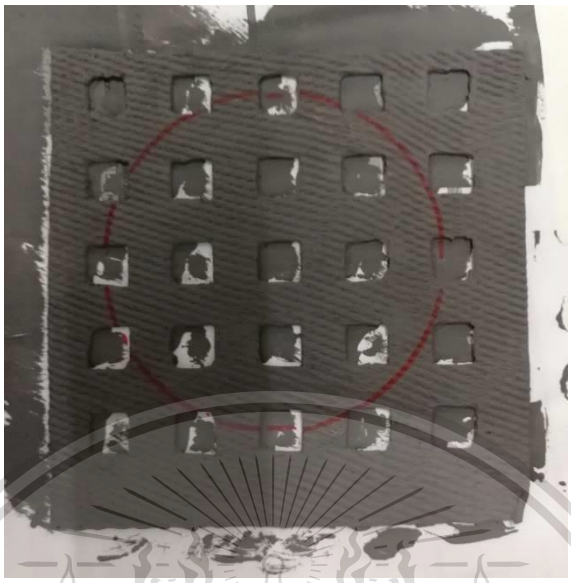
รูปที่ 3.16 แผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่เจาะช่องเปิดขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร

2. ทาสารเคลือบลงบนแผ่นยางที่ตัดเสร็จแล้วโดยทาแบบการเคลือบสาร 2 ชั้น

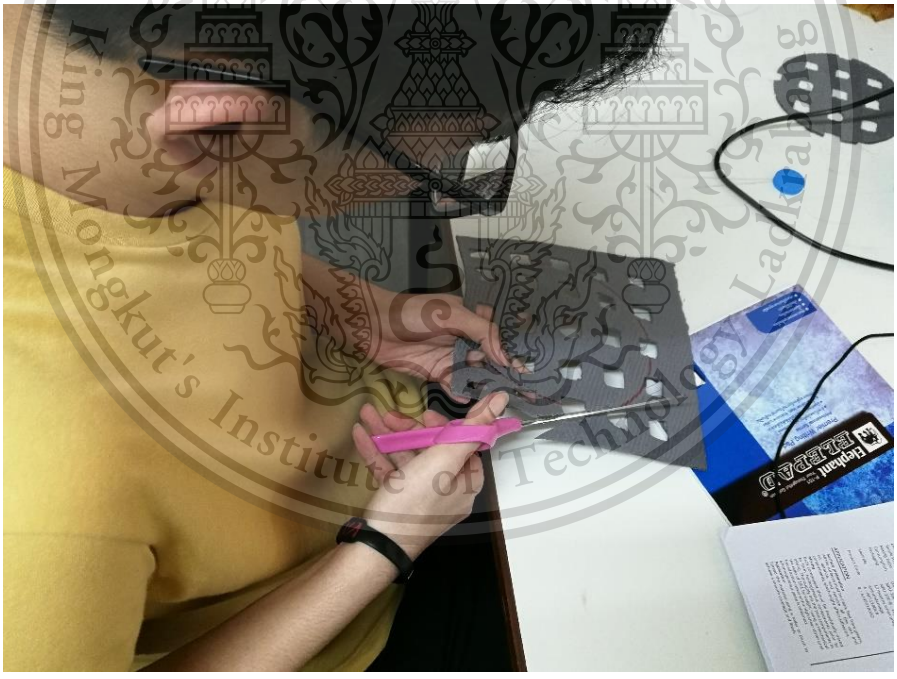
รูปที่ 3.17 พารากริดหลังทำการเคลือบสารแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ตัดแผ่นยางพารามควัน ชนิดที่ 3 ที่เคลือบสารแล้วเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับโมล สำหรับทดสอบการบดอัด

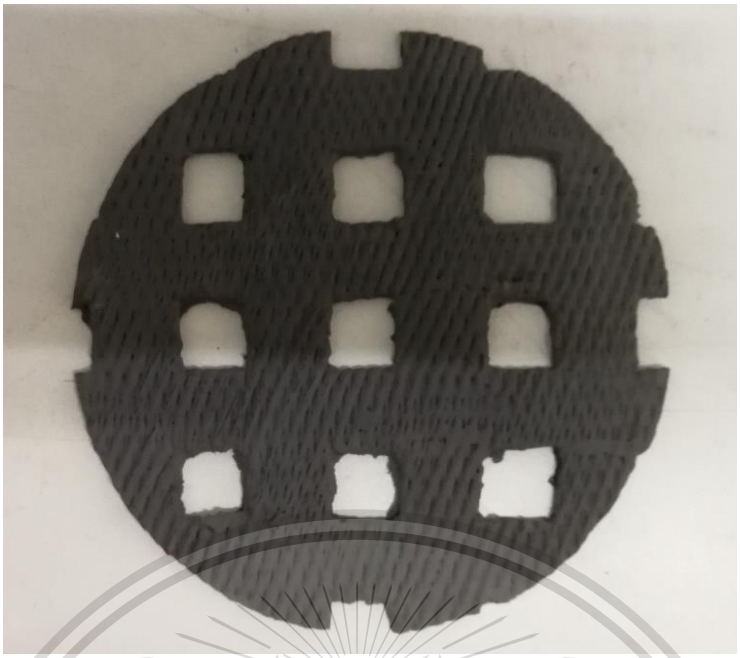


รูปที่ 3.18 วาดวงกลมขนาดเท่าโมลบดอัดดินเพื่อเป็นแนวสำหรับตัด



รูปที่ 3.19 การตัดพารากริดให้มีขนาดเท่าโมลบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.20 พารากริดที่ตัดแล้วสำหรับใส่ในโมลบดอัด

3.5.2 การเตรียมตัวอย่างดิน

วัตถุประสงค์

- เพื่อแยกเม็ดดินขนาดต่างๆที่ผสมรวมกันอยู่ในมวลรวมออกจากกัน
- เพื่อให้ได้ดินที่มีขนาดคละของมวลรวมตามที่กำหนด

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการเลือกตะแกรงตามขนาดที่ต้องใช้ในการแยกดินตามขนาดคละที่ต้องการคือตระแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว, เบอร์ 4, เบอร์ 10, เบอร์ 20, เบอร์ 40, เบอร์ 200, ถาดรับและฝาปิด

2. ทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบด้วยแปรงลวดและทำความสะอาดตะแกรงขนาดละอียดด้วยแปลงอ่อนไม่ให้มีเศษหินหรือฝุ่นตกค้างเพื่อป้อมกันความผิดพลาดของขนาดคละ

3. ประกอบตะแกรงเข้าด้วยกันเรียงตะแกรงเบอร์หยาบไว้บนและเบอร์ละเอียดไว้ล่างรวมถาดรับ

4. นำดินที่อบแห้งแล้วใส่ลงในตะแกรงชั้นบนสุดแล้วปิดฝา จากนั้นนำไปเข้าเครื่องเขย่า(Sieve Shaker) ประมาณ 15 นาที

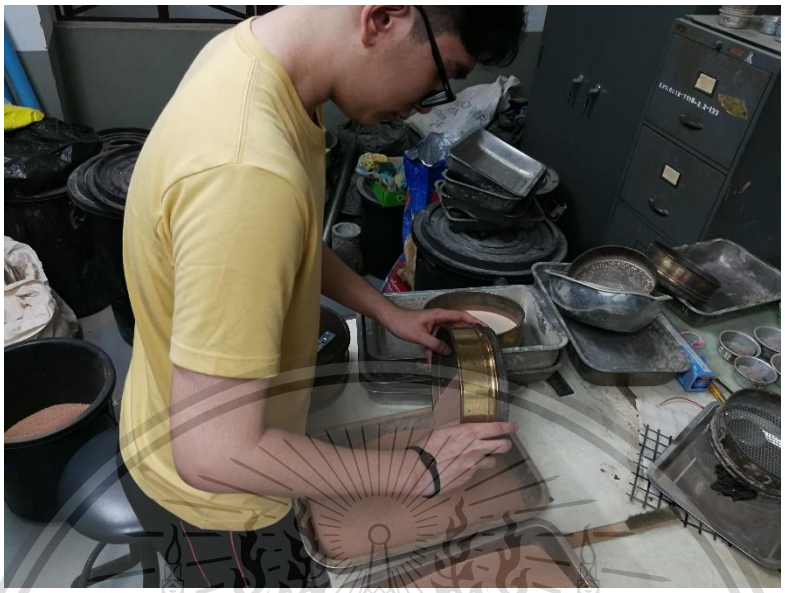
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.21 การตัดดินใส่ตะแกรงที่ประกอบแล้ว

รูปที่ 3.22 ใส่ตะแกรงเข้าเครื่องเขย่าแล้วจับเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. เมื่อครบเวลานำตะแกรงออกจากเครื่องเขย่าแล้วนำดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์เทลงใส่ภาชนะแยกกันโดนแต่ละภาชนะมีการเขียนกำกับเบอร์ไว้ชัดเจน



รูปที่ 3.23 เทดินแต่ละขนาดลงในภาชนะแยกตามเบอร์ที่กำหนดไว้

3.5.3 การบดอัด (Compaction)

1. นำดินที่แยกแล้วแต่ละขนาดมาผสมให้ได้ 48 กิโลกรัมเพื่อใช้ในการบดอัดดินเปล่า 2 ตัวอย่าง ดินเสริมกำลังด้วยพารากริดแบบไม่เคลือบสาร 3 ตัวอย่างและดินเสริมกำลังด้วยพารากริดแบบเคลือบสาร 3 ตัวอย่าง โดยมีอัตราส่วนขนาดคละสำหรับดินตัวอย่างดังตารางที่ 3.1 ด้านล่างนี้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอัตราส่วนขนาดคละของดินตัวอย่าง

ขนาดตะแกรง	3/8	4	10	20	40	100	200	ถาดรับ
ร้อยละที่ผ่านโดยมวล	100	93.28	75.67	54.19	37.10	17.54	13.51	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.24 การผสมตัวอย่างดินสำหรับการทดสอบการบดอัด

2. ประกอบโมลเข้ากับ แผ่นฐาน และ แผ่นเหล็กรอง โดยให้ด้านที่มีรูเกลียวอยู่ข้างล่าง วางแผ่นกระดาษกรองบน แผ่นเหล็กรอง เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก ตั้งชุดโมลบนพื้นที่ที่เรียบและแข็งแรง

3. นำน้ำปริมาณมากกว่าที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) 2% (เพื่อเผื่อการระเหยและติดภาชนะ) ผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดินโดยใช้ขวดฉีดน้ำ โดยใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ 14 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (โอจักรพรรดิ์ สุขชัยสิทธิ์, (2020), The application of geogrid from ribbed smoked sheet rubber for road construction.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.25 การผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม

4. ทำการบดอัดดินตามวิธีการบดอัดแบบโมดิฟายด์ในวิธีการทดสอบการบดอัดดินตามมาตรฐาน Modified Proctor Test (ASTM D 1557): ด้วยตุ้มขนาด 10 ปอนด์ ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง โดยเมื่อทำการบดอัดถึงชั้นที่ 2 เสร็จเรียบร้อย ให้ติดตั้งแผ่นพารากริดที่เคลือบสาร แล้วก่อนบดอัดดินชั้นถัดไป

รูปที่ 3.26 การบดอัดดินด้วยตุ้มขนาด 10 ปอนด์

5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออก แล้วใช้ไม้บรรทัดเหล็กปาดดินให้สูงเสมอขอบโมลพร้อมซ่อมแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินให้เรียบ

6. ถอดแผ่นฐาน และ แผ่นเหล็กรองออกแล้วดึงออกจากแบบอัดดิน หลังจากนั้นนำโมลและตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่น และนำตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัมหรือ มากกว่าไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังการบดอัด

7. นำโมลที่บรรจุดินอัดแน่นประกอบเข้ากับ แผ่นฐาน โดยให้ขอบโมลด้านที่มีดินเสมอขอบวางบนแผ่นฐาน ให้ส่วนโมลที่มีช่องว่างอยู่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

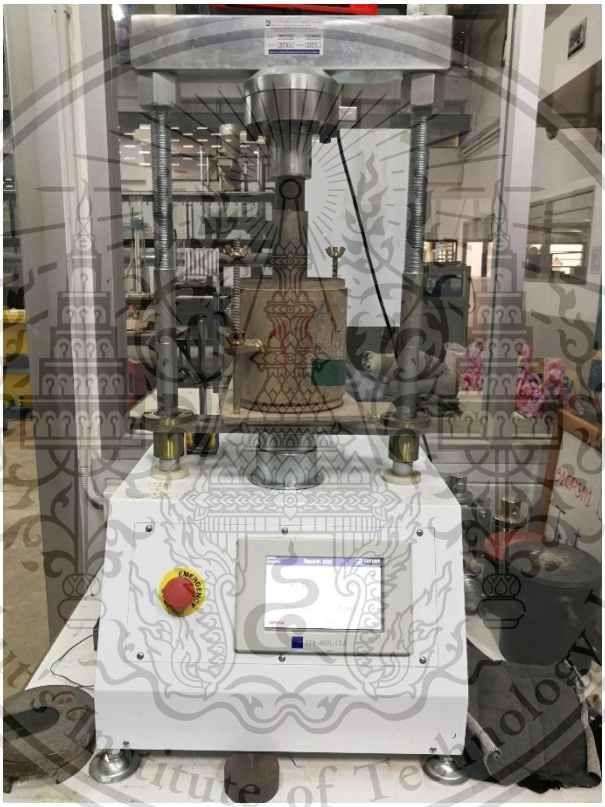
4. การกดทดสอบ (Penetration)

1. วางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) อย่างน้อย 10 ปอนด์ ลงบนตัวอย่างดินใน โมล

2. จัดวางโมลพร้อมตัวอย่างดินเข้ากับเครื่องทดสอบซึ่งมีแท่งเหล็กกดกลมตันขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่ โดยจัดให้ผิวหน้าของตัวอย่างดินในโมลแตะสัมผัสกับแท่งเหล็กกดกลมตันดังกล่าว

3. ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวเพื่อวัดการยุบตัวเข้ากับแท่งเหล็กกดกลมตัน จัดปลายมาตรวัดการยุบตัวให้ชนเสมอขอบโมลจากนั้นปรับมาตรหน้าปัดของมาตรวัดการยุบตัวให้เป็นศูนย์

4. เริ่มกดทดสอบโดยใส่แรงกดในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าแรง ที่ตรงกับการยุบตัว (Penetration) 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.225, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400 และ 0.500 นิ้ว จึงหยุด



รูปที่ 3.27 การกดทดสอบด้วยเครื่อง UTM

5. นำโมลออกจากเครื่องทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม สำหรับดินเม็ดละเอียด หรือประมาณ 500 กรัม สำหรับดินเม็ดหยาบ เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการ

$$\text{Test Unit Stress} = \frac{\text{Test Unit Load (lb)}}{3\ (\text{in}^2)}$$ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว(psi)

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า หน่วยแรงแรงที่เกิดขึ้น กับค่า ระยะการกดพร้อมทำการปรับแก้กราฟตามวิธีการปรับแก้ข้างต้น

3. อ่านค่าหน่วยแรงจากกราฟที่ค่า 0.1 นิ้วและ 0.2 นิ้ว และคำนวณหา ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช

ตารางที่ 3.2 แสดงค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Stress) ที่ความลึกในการกด (Penetration) ต่าง ๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm.	In.	MPa	psi
2.5	0.10	6.9	1000
5	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

$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Stress}} \times 100$$ (%)

ค่าหน่วยแรงกดมาตรฐาน ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ปกติค่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว ควรจะมีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ที่ระยะกด 0.2 นิ้ว ถ้าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ที่ 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (Retest) หากการทดสอบใหม่ยังได้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ที่ระยะกด 0.2 นิ้ว มากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโช

4. คำนวณหาค่าความหนาแน่นดินแห้ง (Dry Density), $\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)}$ lb/ft3, g/cm3

เมื่อ W = น้ำหนักดินเปียก(Wet Weight) ใน โมล lb , g

V = ปริมาตรของ โมล ft3, cm3

w = ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้สารเคมีเพื่อเสริมกำลังรับแรงดึงแรงของพารากริด ศึกษาปัจจัยและเงื่อนไขเกี่ยวกับการนำสารเคมีมาใช้ในการเสริมกำลังรับแรงดึงของพารากริด พฤติกรรมของพารากริดหลังจากการเสริมกำลังด้วยสารเคมี และประสิทธิภาพในการพัฒนากำลังของดินเมื่อติดตั้งพารากริดที่เสริมกำลังด้วยสารเคมีโดยการทดสอบการบดอัด

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติแนวที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3

ในการทดสอบคุณสมบัติแนวรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ทำให้ทราบค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ในทิศทางขนานกับแนวการรีดและทิศทางตั้งฉากกับแนวการรีด เพื่อหาทิศทางรับแรงดึงที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงสูงสุด โดยในการทดสอบโดยใช้แผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ประเภทที่ 3 จำนวน 6 ตัวอย่าง โดยเป็นการทดสอบกำลังรับแรงดึงสูงสุดในทิศทางขนานกับแนวการรีด 3 ตัวอย่างและการทดสอบกำลังรับแรงดึงสูงสุดในทิศทางตั้งฉากกับแนวการรีด 3 ตัวอย่าง ผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1 แสดงต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงตามแนวต่างๆ

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงดึงสูงสุด (kN/m)			กำลังรับแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย (kN/m)
แผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ประเภทที่ 3 (ทิศทางขนานกับแนวการรีด)	0.204	0.339	0.310	0.284
แผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ประเภทที่ 3 (ทิศทางตั้งฉากกับแนวการรีด)	0.178	0.138	0.271	0.196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดโดยเฉลี่ยของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ประเภทที่ 3 ในทิศทางขนานกับแนวการรีดมีค่ามากกว่าในทิศทางตั้งฉากกับแนวการรีด จึงสรุปได้ว่าควรใช้แผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ประเภทที่ 3 ในทิศทางขนานกับแนวการรีดในการทดสอบ

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงของพารากริดที่ใช้สารเคมีในการเสริมกำลัง

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติกำลังรับแรงของพารากริดที่ใช้สารเคมีในการเสริมกำลัง โดยการทดสอบนี้จะทำให้ทราบค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด เนื่องจากต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงดึงกับจำนวนชั้นของสารเคมีที่ใช้ในการเสริมกำลังรับแรงของพารากริด และศึกษาความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงดึงกับจำนวนวันหลังการเคลือบสาร โดยจะได้ผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 การเสริมกำลังรับแรงดึงด้วยสาร T-201

ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยสาร T-201 จะได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.2

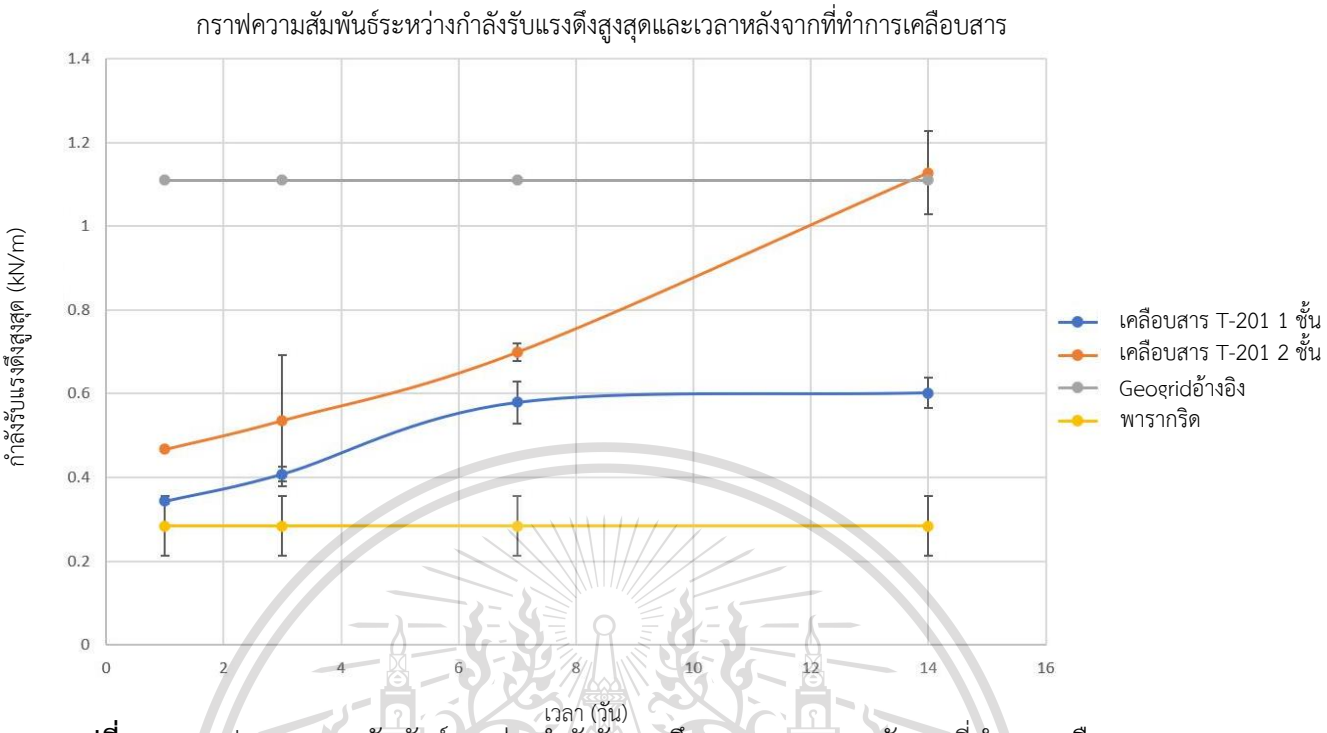
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลกำลังรับแรงดึงของพารากริดที่เสริมกำลังด้วยสาร T-201 ตามเงื่อนไขที่กำหนด

ชนิด	จำนวนวัน	กำลังรับแรงดึงสูงสุด (kN/m)		กำลังรับแรงดึงสูงสุดเฉลี่ย (kN/m)	ความเครียดสูงสุด (%)		ความเครียดสูงสุดเฉลี่ย (%)
เคลือบสาร T-201 1 ชั้น	1	0.339	0.347	0.343	77.83	70.74	74.15
	3	0.421	0.395	0.408	59.37	60.60	59.98
	7	0.543	0.615	0.579	67.17	63.98	65.57
	14	0.576	0.627	0.602	71.29	69.55	70.42
เคลือบสาร T-201 2 ชั้น	1	0.466	0.469	0.468	67.24	63.97	65.61
	3	0.647	0.425	0.536	49.25	49.49	49.37
	7	0.714	0.685	0.699	48.61	55.72	52.16
	14	1.198	1.057	1.128	51.46	48.61	50.04
Geogrid อ้างอิง*	-	1.11	1.11	1.11	-	-	-

* หมายเหตุ : Geogrid ที่ใช้อ้างอิงคือ China Geogrid จากงานวิจัย Mohammed Kadum Fakhraldin. (2012). Measurement of Tensile Properties of Geogrids.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากข้อมูลในตารางที่ 4.2 สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ได้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงสูงสุดและเวลาหลังจากที่ทำการเคลือบสาร

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงสูงสุดและเวลาหลังจากที่ทำการเคลือบสาร สามารถระบุได้ว่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของพารากริดที่เคลือบด้วยสาร T-201 จำนวน 2 ชั้นเป็นเวลา 14 วัน มีค่ากำลังรับแรงดึงมากที่สุดและมีค่ามากกว่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของGeogridอ้างอิง จึงสรุปว่าพารากริดที่เคลือบด้วยสาร T-201 จำนวน 2 ชั้นเป็นเวลา 14 วัน มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปทำการทดสอบต่อไป

4.3.2 การเสริมกำลังรับแรงดึงด้วยสาร T-200H

ในการทดสอบการกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยสาร T-200H ได้ผลว่าเมื่อให้กำลังรับแรงดึงแก่ตัวอย่างทดสอบระยะยืดที่เกิดขึ้นมีค่ามากซึ่งพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเป็นพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับวัสดุที่มีลักษณะยืดหยุ่นซึ่งไม่เหมาะกับการนำมาทำGeogridที่มีลักษณะแข็งเกร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.2 แสดงพฤติกรรมการยืดของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 ที่เสริมกำลังด้วยสาร T-200H

4.3.3 การเสริมกำลังรับแรงดึงด้วยสาร NPU-12E

ในการทดสอบการกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วยสาร NPU-12E ได้ผลว่าในขั้นตอนการเคลือบตัวอย่างด้วยสาร NPU-12E พบว่าความหนืดของสารเคลือบมีไม่เพียงพอที่จะเกาะดิดพื้นผิวของพารากริดจึงไม่สามารถนำไปทดสอบได้

4.4 ผลการทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)

ในการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช การทดสอบมีผลดังนี้

4.4.1 การทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีดินไม่เสริมกำลัง

ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีดินไม่มีการเสริมกำลัง

ระยะกด (Inch)	ความเค้นกด (psi)		
	ดินไม่เสริมกำลัง 1	ดินไม่เสริมกำลัง 2	ดินไม่เสริมกำลังเฉลี่ย
0.025	102	104	103
0.050	186	172	179
0.075	269	258	264
0.100	325	312	318
0.125	406	402	404
0.150	483	479	481
0.175	558	551	555
0.200	633	624	628
0.225	704	698	701
0.250	769	761	765
0.300	892	887	889
0.350	995	989	992
0.400	1088	1081	1085
0.500	1248	1245	1247

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2 การทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีเสริมกำลังด้วยพารากริด

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีเสริมกำลังด้วยพารากริด

ระยะกด (Inch)	ความเค้นกด (psi)			
	เสริมกำลังด้วยพารากริด 1	เสริมกำลังด้วยพารากริด 2	เสริมกำลังด้วยพารากริด 3	เสริมกำลังด้วยพารากริดเฉลี่ย
0.025	107	115	112	111
0.050	205	224	229	219
0.075	324	352	350	342
0.100	451	475	481	469
0.125	565	587	600	584
0.150	659	691	705	685
0.175	763	788	804	785
0.200	854	867	894	872
0.225	943	969	980	964
0.250	1017	1042	1056	1038
0.300	1141	1171	1195	1169
0.350	1274	1304	1321	1300
0.400	1373	1402	1425	1400
0.500	1561	1596	1605	1587

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.3 การทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) กรณีเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201

ระยะกด (Inch)	ความเค้นกด (psi)			
	เสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201 1	เสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201 2	เสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201 3	เสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201 เฉลี่ย
0.025	137	126	136	133
0.050	249	240	253	247
0.075	373	359	381	371
0.100	492	490	497	493
0.125	604	615	623	614
0.150	703	732	762	732
0.175	789	835	860	828
0.200	872	930	962	921
0.225	964	1018	1052	1011
0.250	1025	1099	1136	1087
0.300	1160	1234	1278	1224
0.350	1283	1353	1394	1343
0.400	1391	1454	1470	1438
0.500	1587	1620	1654	1620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

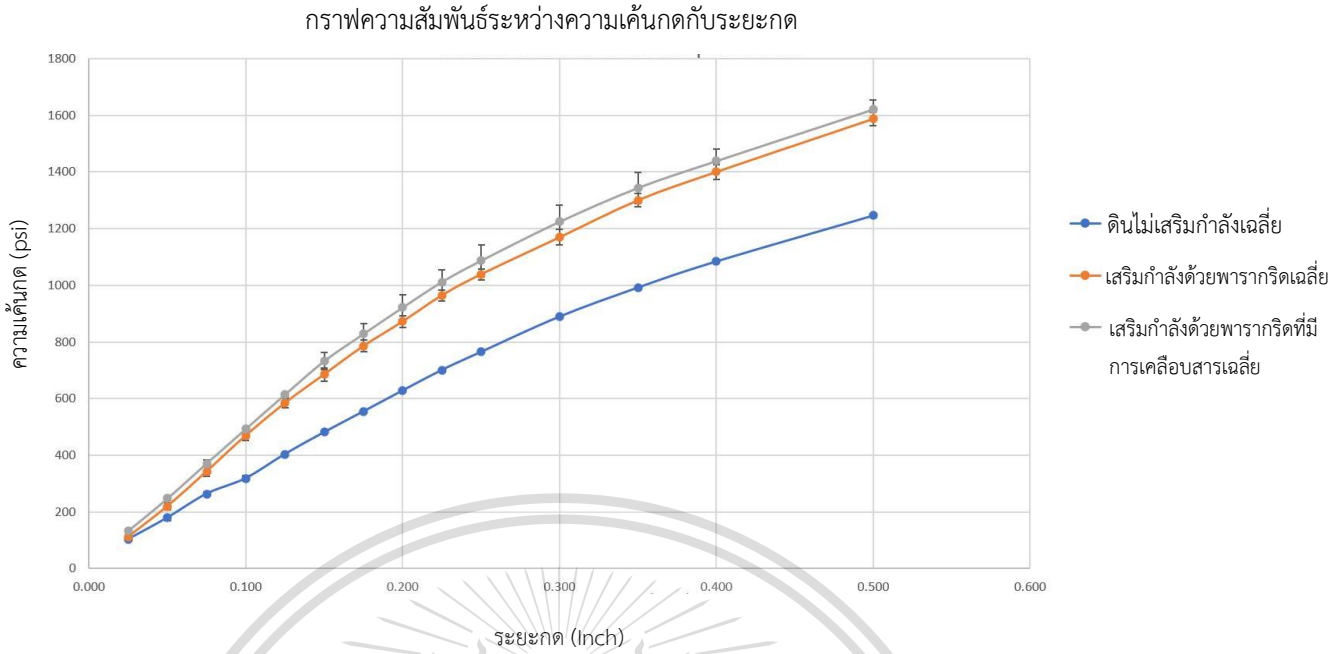
4.4.4 เปรียบเทียบกำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) ทั้ง 3 กรณี

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการทดสอบหากำลังแบกทานของดินด้วยเครื่องแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) ทั้ง 3 กรณีแบบเฉลี่ย

ระยะกด (Inch)	ความเค้นกด (psi)		
	ดินไม่เสริมกำลังเฉลี่ย	เสริมกำลังด้วยพารากริดเฉลี่ย	เสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสารT-201 เฉลี่ย
0.025	103	111	133
0.050	179	219	247
0.075	264	342	371
0.100	318	469	493
0.125	404	584	614
0.150	481	685	732
0.175	555	785	828
0.200	628	872	921
0.225	701	964	1011
0.250	765	1038	1087
0.300	889	1169	1224
0.350	992	1300	1343
0.400	1085	1400	1438
0.500	1247	1587	1620

จากตารางที่ 4.6 สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟได้ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกดกับระยะกด

จากกราฟสามารถนำค่าความเค้นกดที่ระยะกด 0.2 นิ้ว มาเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบกำลังแบกทานของดิน

ตัวอย่าง	ความเค้นกด (psi)			ความเค้นกดเฉลี่ย (psi)	เปอร์เซ็นต์ความเค้นกดที่เพิ่มขึ้นจากดินไม่เสริมกำลัง (%)
ดินไม่เสริมกำลัง	633	624	-	628	0
ดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสาร	854	867	894	872	38.85
ดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201	872	930	962	921	46.66

จากตารางที่ 4.7 พบว่าที่ระยะกด 0.2 นิ้วดินที่มีการเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201 มีกำลังรับแรงกดมากที่สุด ซึ่งมีค่ามากกว่าดินที่ไม่เสริมกำลังเท่ากับ 46.66 % และมีค่ามากกว่าดินที่เสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสารเท่ากับ 7.81 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR)

ตัวอย่าง	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (%)	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช ที่เพิ่มขึ้นจากดินไม่เสริมกำลัง (%)
ดินลูกรังไม่เสริมกำลัง	41.86	0
ดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสาร	58.13	38.85
ดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201	61.4	46.66

จากตารางที่ 4.8 พบว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) ของตัวอย่างดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201 มีค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) สูงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 61.4 ซึ่งเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะมากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่เสริมกำลังเท่ากับ 46.66 % และมากกว่าตัวอย่างดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสาร 7.81 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 บทนำ

การวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึงของพารากริด ด้วยการทดสอบแรงดึง โดยมีการแบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ 1. การหาแนวที่มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางพารารมควัน ชนิดที่ 3 2. การหากำลังรับแรงดึงของพารากริดที่เพิ่มขึ้นจากการใช้สารเคมีเสริมกำลัง และ 3. การหาพฤติกรรมกำลังรับแรงของดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อทำการเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่มีการคลือบสารเคมีและพารากริดที่มีการเคลือบสารเคมีด้วยการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาความสัมพันธ์ของสารเคลือบแต่ละชนิดกับกำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้นของพารากริด มีการนำสาร 3 ชนิดเพื่อใช้ในการทดลองการเคลือบสารเพื่อเสริมกำลังรับแรงในการทดสอบ สรุปได้ว่า

- สาร T-200H เพิ่มกำลังรับแรงดึงแก่ตัวอย่างที่ทดสอบ แต่ระยะยืดที่เกิดขึ้นมีค่ามากซึ่งพฤติกรรมที่เกิดขึ้นเป็นพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับวัสดุที่มีลักษณะยืดหยุ่น ซึ่งไม่เหมาะกับการนำมาทำgeogridsที่มีลักษณะเป็นวัสดุแข็งเกร็ง
- สาร NPU-12E มีความหนืดต่ำทำให้เกิดการไหลได้ง่ายและไม่สามารถยึดเกาะกับผิวของแผ่นพารากริดได้ ทำให้ไม่สามารถสารนำมาเคลือบพารากริดเพื่อทดสอบกำลังรับแรงดึงได้
- สาร T-201 สามารถยึดเกาะกับแผ่นพารากริดได้ดีและเมื่อทดสอบกำลังรับแรงดึงได้ผลว่าค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางเพิ่มขึ้นและระยะยืดตัวมีค่าที่ต่ำ

2. จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชั้นการเคลือบของสารเคลือบกับกำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้นของพารากริด เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของตัวอย่างแบบเคลือบสาร T-201 จำนวน 1 ชั้นและจำนวน 2 ชั้น ได้ผลว่าตัวอย่างที่มีการเคลือบสาร T-201 จำนวน 2 ชั้นมีกำลังรับแรงดึงสูงกว่าตัวอย่างที่มีการเคลือบสารจำนวน 1 ชั้น

3. จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังการเคลือบสารกับกำลังรับแรงดึงของพารากริด ที่เวลา 1, 3, 7 และ 14 วัน เมื่อนำผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงมาทำกราฟได้แนวโน้มว่าค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดจะเพิ่มขึ้นแปรผันตรงตามจำนวนวันหลังการเคลือบสาร โดยค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างที่เคลือบสาร T-201 จำนวน 2 ชั้นที่เวลา 14 วันนั้นเพิ่มขึ้นจนถึงกำลังรับแรงดึงสูงสุดของgeogridที่นำมาใช้อ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. จากการศึกษากำลังการรับแรงแบกทานของดินลูกรังที่เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการเคลือบสาร จากการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (CBR) เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 แบบคือ ดินลูกรังไม่เสริมกำลัง, ดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสาร และดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201 ได้ผลว่าตัวอย่างดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่มีการเคลือบสาร T-201 มีค่ากำลังแบกทานสูงที่สุด โดยเพิ่มจากตัวอย่างดินลูกรังไม่เสริมกำลังอย่างมาก แต่ค่ากำลังแบกทานเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับตัวอย่างดินลูกรังเสริมกำลังด้วยพารากริดที่ไม่เคลือบสาร

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทานบนพื้นผิวของพารากริดกับกำลังของดินที่เพิ่มขึ้น
2. ศึกษากำลังรับแรงดึงสูงสุดที่สารเคลือบจะพัฒนาให้พารากริดได้
3. ศึกษาวิธีการเสริมกำลังด้วยวิธีอื่นๆนอกจากวิธีการเคลือบสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] Mohammed Kadum Fakhraldin. (2012). **Measurement of Tensile Properties of Geogrids**. สืบค้นจาก https://www.researchgate.net/publication/319136558_MEASUREMENT_OF_TENSILE_PROPERTIES_OF_GEOGRIDS

[2] Venkata Abhishek Sakleshpur, et al. (2017). **Large-scale direct shear testing of geogrid-reinforced aggregate base over weak subgrade.** สืบค้นจาก https://www.researchgate.net/publication/316548196_LargeScale_Direct_Shear_Testing_of_Geogrid-Reinforced_Aggregate_Base_over_Weak_Subgrade

[3] Unnam Rajesh, V K Chakravarthi. (2014). **Influence of fines (%) and geo-grid reinforcement on engineering properties of subgrade -A lab Study**. สืบค้นจาก http://www.ijerd.com/paper/vol10-issue8/Version_3/B1080817.pdf

[4] Ochakkraphat Sukchaisit, Sahatsawat Deawtipsukon, Kantinan Auephattayakorn. (2020). **The Application of Geogrid from Ribbed smoked Sheet Rubber for Road Construction.**

[5] กรมทางหลวง. (2532). **มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม**. สืบค้นจาก http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs205-32.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนากำลังรับแรงดึงของพารากริดด้วยวิธีการเคลือบ
THE DEVELOPMENT OF TENSILE STRENGTH OF PARAGRID BY COATING METHOD

นักศึกษา
นายอนุพุทธ เลียงสุนทรสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 60011141
นายภัคภณ จรูญรัตน์ รหัสนักศึกษา 60010762
นายภูบดี ภู่สันติสัมพันธ์ รหัสนักศึกษา 60010794

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
รศ.ดร.ธนาดล คงสมบรูณ์	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 31/05/2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.