

การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพาราเพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้างถนน

THE APPLICATION OF GEOGRID FROM RIBBEDSMOKED SHEET RUBBER

FOR ROAD CONSTRUCTION.



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE APPLICATION OF GEOGRID FROM RIBBEDSMOKED SHEET RUBBER
FOR ROAD CONSTRUCTION.



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR'S DEGREE IN CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2019

ปีการศึกษา 2562

การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพาราเพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้างถนน

THE APPLICATION OF GEOGRID FROM RIBBEDSMOKED SHEET RUBBER

FOR ROAD CONSTRUCTION.



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพาราเพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงาน
ก่อสร้างถนน

THE APPLICATION OF GEOGRID FROM RIBBEDSMOKED SHEET
RUBBER FOR ROAD CONSTRUCTION.

นักศึกษา นายโอจักรพรรดิ สุขชัยสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 59011592
 นายสหัสวรรษ เดียวทิพย์สุนันท์ รหัสนักศึกษา 59011379
 นายกันตินันท์ เอื้อพิทยากร รหัสนักศึกษา 59010085

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ	
ผศ.ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์	
ผศ.นัฐพร นวกิจรังสรรค์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2562

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

เรื่อง การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพาราเพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้างถนน

ผู้จัดทำ

1. นายโอจักรพรรดิ สุขชัยสิทธิ์
2. นายสหัสวรรษ เตียวทิพย์สุนนท์
3. นายกันตินันท์ เอื้อพัทธยากร



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ประโยชน์จากแผ่นยางพาราเพื่อเป็นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานก่อสร้างถนน

นาย กันตินันท์ เอื้อพัทธยากร
นาย สหสวรรษ เดียวทิพย์สุคนธ์
นาย โอจักรพรรดี สุขชัยสิทธิ์
ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการทดลองนำแผ่นยางพารามาแปรรูปและออกแบบให้มีหน้าที่การใช้งานให้เหมือน Geogrid เนื่องจากสภาวะราคายางตกต่ำที่เป็นปัญหาของเกษตรกรที่ยังแก้ไม่ตก ประจวบกับการที่ประเทศไทยประสบปัญหาเรื่องการชำรุดของถนนอยู่มากมายเราคิดที่จะนำแผ่นยางพารารวมควันมาแปรรูป เนื่องจาก แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน นั้นนำเข้ามาทั้งหมด หากถ้าเราสามารถผลิตในประเทศได้จะลดต้นทุนเป็นอย่างมาก และยังเป็นการเติมเต็มของทั้ง 2 ปัญหาได้อย่างลงตัว โดยเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติการรับแรงและการยึดตัวของตัวอย่างแผ่นยางพาราที่นำมาใช้เพื่อเลือกตัวอย่างที่มีแนวโน้มดีที่สุด จากนั้นก็ทำการปรับปรุงดินตัวอย่างที่จะมาใช้ในการทดลองทดสอบ C.B.R. ดินจะถูกปรับปรุงโดยวิธี Sieves Analysis ให้มีขนาดคละอยู่ใน Type E ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งเป็นดินชนิดที่แย่ที่สุด เพื่อที่จะสังเกตพฤติกรรมเสริมแรงได้ดีที่สุด หลังจากได้ดินตัวอย่างแล้วเราก็เข้าสู่กระบวนการ California Bearing Ratio Test (C.B.R.) ซึ่งจะแบ่งการทดลองนี้เป็น 5 ชุดการทดลอง อย่างละ 3 ตัวอย่าง ได้แก่ การทำ C.B.R. แบบดินล้วน, ติดตั้งยางพารา 1 ชั้น และ 2 ชั้น ในดิน 2 ชนิด ที่มีค่าความแข็งแรง (C.B.R.) ต่างกัน (ดินชนิดที่ 1 แข็งแรงกว่า ชนิดที่ 2) โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บผลการทดลองและนำข้อมูลต่าง ๆ มาเปรียบเทียบเพื่อหาแนวโน้มของการรับแรงและพิจารณาว่าแบบไหนมีค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจากการทดลองพบว่า จากการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นยางพารา ค่าการรับแรงดึงของยางพาราจะขึ้นอยู่กับความหนาเป็นหลัก และเมื่อนำตัวอย่างยางพาราไปใช้ในการทำ C.B.R. พบว่าดินชนิดที่ 1 เมื่อเสริมกำลัง 1 ชั้น กำลังดินจะลดลง 0.35% เมื่อเสริมกำลัง 2 ชั้น กำลังดินจะลดลง 34.34% ส่วนดินชนิดที่ 2 เมื่อเสริมกำลัง 1 ชั้น กำลังดินเพิ่มขึ้น 23.16% จึงสามารถสรุปได้ว่า แผ่นยางพารามีคุณสมบัติในการเพิ่มค่า C.B.R. ของดิน ถ้าดินนั้นมีความอ่อนมาก ๆ โดยอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งก็สามารถทำให้ค่า C.B.R. ของดินลดลงได้เช่นกันถ้าหากดินนั้นมีค่า C.B.R. สูงอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ|อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Application of Geogrid from Ribbed Smoked Sheet in Road Construction

Mr. Kantinan Auephattayakorn
Mr. Sahatsawat Deawtipsukon
Mr. Ochakkraphat Sukchaisit
Assistant.Prof.Dr.Salisa Chaiyaput

ABSTRACT

This project studied about using ribbed smoked sheet rubber as geogrid function. Due to low price of rubber and there is broken road around Thailand, so this project will use processed rubber which is ribbed smoked sheet rubber to reinforce road subgrade soil. Because geogrid was import from outside Thailand. If we can produce substitute reinforce material. We'll solved both problems. At first our project will study tensile properties of ribbed smoked sheet rubber to choose the rubber with best properties. After that we classified soil and make laterite soil type E which is the weakest soil in department of highways classification standard to study the reinforce behavior. After we get soil sample, we do California bearing ratio test. Specimens will be divided into 5 group which is soil no.1 without reinforcing, soil no.1 reinforce 1 layer, soil no.1 reinforce 2 layers, soil no.2 without reinforcing and soil no.2 reinforce 1 layer. Soil no.1 and no.2 have different C.B.R. (Soil no.1 is higher). In this testing will compare testing result to find the best condition. Rubber tensile testing result show that tensile properties of ribbed smoked sheet rubber depend on thickness of rubber sheet. California Bearing Ratio testing result show that soil no.1 with 1 layer, C.B.R. decrease by 0.35% and decrease by 34.34% when reinforce with 2 layers. Soil no.2 reinforce with 1 layer, C.B.R. increase by 23.16% so in we can conclude that ribbed smoked sheet rubber will improve soil's strength and proportion of improvement will decrease as the soil strength increase so ribbed smoked sheet rubber will diminish soil's strength at some point.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและ ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง ตำหนิตักเตือนศิษย์ในเรื่องต่าง ๆจนปริญญาโทฉบับนี้สามารถเสร็จสิ้นลงได้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อันเป็นพื้นฐานให้ต่อยอดในการทดลองจนสามารถจัดทำปริญญาโทเล่มนี้ได้

ขอขอบพระคุณ สหกรณ์การเกษตรย่านตาขาว จำกัด ที่อนุเคราะห์แผ่นยางพารารมควันชนิด RSS2 และ RSS3 สำหรับทำการทดลอง และให้ความรู้เกี่ยวกับยางพาราทำให้สามารถต่อยอดความรู้ในการทดลองได้ และยังคอยให้คำปรึกษาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณพี่นิกกีบ อาแวโดที่คอยให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านวิชาการ, การทดลอง และ ประสบการณ์ในการทดลอง สนับสนุนและดูแลขณะทำการทดลองให้คำปรึกษาเมื่อเกิดปัญหาทำให้ปริญญาโทเสร็จลุล่วงลงได้

ขอขอบพระคุณคุณธีรเดช คำวิไล ที่คอยช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ในการทดลองและให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือต่าง ๆดูแลความปลอดภัย เตรียมสถานที่และอุปกรณ์ให้พร้อมตลอดเวลา อันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักของข้าพเจ้า ที่ให้กำเนิดข้าพเจ้า และสนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสมาศึกษาและ สร้างประโยชน์แก่ประเทศชาติในอนาคต คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

นาย กันตินันท์ เอื้อพัทธยากร

นาย สหสวรรษ เตียวทิพย์สุนันธ์

นาย โอจักรพรรดิ สุขชัยสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และตัด|||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 ยางพารา (RUBBER)	3
2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง	3
2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการแปรรูปยาง	4
2.1.3 การผลิตยางแผ่นดิบคุณภาพดี	7
2.1.3.1 การเตรียมน้ำยางสดก่อนการผลิตยางแผ่นดิบ	7
2.1.3.2 ขั้นตอนการทำยางแผ่น	7
2.1.3.3 การผลิตยางแผ่นรมควัน	8
2.1.4 สมบัติของยางแผ่นรมควันตามมาตรฐาน THE GREEN BOOK มี 6 ชั้น	8
2.2 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (GEOGRID)	9
2.2.1 ประวัติและประเภท	9
2.2.2 วัสดุและกระบวนการผลิต	13
2.2.3 หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานถนน	13
2.2.4 ออกแบบที่เกี่ยวข้อง	14
2.3 มาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด IV ว่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3.1 วัสดุ	20
2.4 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน	21
2.4.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง	22
2.4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน	22
2.4.3 ขนาดและลักษณะของตะแกรง	23
2.5 การทดสอบการบดอัดดิน	24
2.5.1 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)	24
2.5.2 พฤติกรรมของดินที่ถูกบดอัด	26
2.5.3 พลังงานการบดอัดดินที่ต่างกัน	29
2.5.5 การบดอัดต่อโครงสร้างของดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil)	31
2.5.6 ผลการบดอัดต่อกำลังของดิน	31
2.5.7 การบดอัดดินต่อการซึมผ่านของน้ำ	31
2.5.8 การเลือกด้านการบดอัด	32
2.5.9 ผลกระทบจากการบดอัดดินซ้ำ	33
2.6 กาทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (CALIFORNIA BEARING RATIO)	33
2.6.1 ชนิดการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ	36
2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ กับปริมาณความชื้นและความหนาแน่น	38
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	39
2.7.1 Shear Behavior of a Geogrid-Reinforced Coarse-Grained Soil Based on Large-Scale Triaxial Tests	39
2.7.2 Geogrid Reinforcement of Granular Bases Flexible Pavements	40
2.7.3 Deformative Behavior of Different Geogrids Embedded in a Granular Soil Under Monotonic and Cyclic Pullout Loads	40
2.7.4 Behavior of Subgrade Soil Reinforced with Geogrid	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	41
3.1 บทนำ	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ไปยังผู้อื่นเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2 เจ็อนไซกการทดสอบ	42
3.2.1 การทดสอบแรงดึง	42
3.2.2 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ	43
3.3 การทดสอบคุณสมบัติแผ่นยางพารารมควัน	43
3.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงดึง (Wide-Width Tensile Test)	43
3.4 คุณสมบัติของดินตัวอย่าง	46
3.4.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)	46
3.4.2 การทดสอบหาค่าพิคกของอัดตะเบิร์ก	50
3.4.3 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test)	53
3.4.4 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio)	59
3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของดินและวัสดุเสริมแรง	66
3.5.1 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio Test)	66
บทที่ 4 ผลการศึกษา	72
4.1 บทนำ	72
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับแรงของแผ่นยางพารารมควัน	72
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E แบบที่1 และ แบบที่2 ที่ใช้ในการศึกษา	75
4.3.1 คุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E แบบที่1	75
4.3.2 ดินลูกรังชนิด E แบบที่2	78
4.4 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.)	81
4.4.1 การทดสอบหาค่า แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) กรณีไม่เสริมกำลัง	81
4.4.2 การทดสอบหาค่า แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) กรณีติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน	82
4.4.3 เปรียบเทียบความแข็งแรงดิน (C.B.R.) ในกรณีมีการเสริมแรงและไม่เสริมแรง	83
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา	84
5.1 บทนำ	84
5.2 ผลการทดลอง	84
5.3 ข้อเสนอแนะ	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก ก.	87
ภาคผนวก ข.	106
ประวัติผู้เขียน	112



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด viii อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างยางธรรมชาติ CIS-1,4-POLYISOPRENE	3
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน	10
รูปที่ 2.3 WOVEN GEOGRIDS	11
รูปที่ 2.4 EXTRUDED GEOGRIDS	12
รูปที่ 2.5 TRIAXIAL GEOGRID	12
รูปที่ 2.6 BIAXIAL GEOGRID	12
รูปที่ 2.7 UNIAXIAL GEOGRID	13
รูปที่ 2.8 หน้าที่ของGEOGRID	14
รูปที่ 2.9 น้ำหนักที่แพร่กระจายด้วยชั้นมวลรวม	15
รูปที่ 2.10 กราฟการออกแบบของเม็ดรูดและนอย์เรย์	18
รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง GRANULAR SOIL	23
รูปที่ 2.12 การกระจายตัวเม็ด (GRAIN SIZE DISTRIBUTION CURVE)	23
รูปที่ 2.13 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน	25
รูปที่ 2.14 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ	25
รูปที่ 2.15 เม็ดดินและปริมาณน้ำมีผลต่อพฤติกรรมดิน	27
รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง ปริมาณน้ำในมวลดิน(MOISTURE CONTENT)-ปริมาตร(DRY DENSITY)	28
รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นนำเสนอโดย HOGENTOGLER	28
รูปที่ 2.18 อิทธิพลของพลังงานบดอัดต่อกราฟการบดอัดของดินลูกรัง	30
รูปที่ 2.19 อิทธิพลของชนิดดินต่อการบดอัดแบบมาตรฐาน	30
รูปที่ 2.20 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน	31
รูปที่ 2.21 การทดสอบความซึมผ่านได้และการบดอัดดิน	32

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.22 การ FAIL ของดินใต้ PISTON	35
รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะชั้นทางของงานถนน	35
รูปที่ 2.24 แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ C.B.R.	36
รูปที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการบดอัดและ ค่าแคลิฟอร์เนีย แบบรีจ เรโซ	38
รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างค่าแคลิฟอร์เนีย แบบรีจ เรโซ บนกราฟการบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่างกัน	39
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความหนา	43
รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล	43
รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างแผ่นยางพารา	44
รูปที่ 3.4 แสดงการวัดความหนาของแผ่นยาง	44
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว	45
รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งตัวอย่างกับเครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล	45
รูปที่ 3.7 ลักษณะตัวอย่างเมื่อเดินเครื่องทดสอบ	46
รูปที่ 3.8 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบหาขนาดคละของดินตัวอย่าง	47
รูปที่ 3.9 แสดงน้ำหนักตัวอย่างดินที่เตรียมมาใช้ในการทดสอบ	48
รูปที่ 3.10 แสดงน้ำหนักตะแกรงเปล่า	49
รูปที่ 3.11 ติดตั้งตะแกรงบนเครื่องเขย่า	49
รูปที่ 3.12 แสดงการชั่งน้ำหนักตะแกรงที่มีดินค้างอยู่	49
รูปที่ 3.13 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบการบดอัดดิน	55
รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างดินที่เตรียมพร้อมทำการทดสอบ	56
รูปที่ 3.15 แสดงการนำตัวอย่างดินมาผสมน้ำและคลุกเคล้าให้เข้ากัน	57
รูปที่ 3.16 แสดงการบดอัดดิน	57
รูปที่ 3.17 แสดงการชั่งน้ำหนักหลังแต่งผิวและทำความสะอาด	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 3.18 แสดงการหาความชื้นโดยการใช้เตาอบ	58
รูปที่ 3.19 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ	60
รูปที่ 3.20 แสดงเครื่องทดสอบการเจาะทะลุแบบอิเล็กทรอนิกส์	61
รูปที่ 3.21 แสดงการเตรียมตัวอย่างก่อนนำมาทดสอบ	61
รูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างดินและภาชนะบดอัดที่พร้อมทำการบดอัด	62
รูปที่ 3.23 แสดงการบดอัดด้วยวิธีโมดิฟายด์	63
รูปที่ 3.24 แสดงแบบบดอัดดินที่ประกอบกับฐานรองพร้อมทำไปทดสอบการเจาะทะลุ	63
รูปที่ 3.25 แสดงการทดสอบการเจาะทะลุ	64
รูปที่ 3.26 แสดงตัวอย่างดินที่นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น	65
รูปที่ 3.27 วัสดุเสริมแรงจากยางพารารมควันที่พร้อมทดสอบ	68
รูปที่ 3.28 การติดตั้งวัสดุเสริมแรงจากยางพารารมควัน	69
รูปที่ 3.29 แบบจำลองการติดตั้งวัสดุเสริมแรงจากยางพารารมควัน	69
รูปที่ 3.30 แสดงแบบจำลองการทดลองการกด	70
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยึดตัวของแผ่นยางพารา	72
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยึดตัวของแผ่นยางพาราประเภทที่3	73
รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางประเภทที่ 3	74
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการกระจายขนาดคละของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่1	75
รูปที่ 4.5 กราฟระหว่างจำนวนครั้งในการเคาะกับปริมาณความชื้นดินลูกรัง E แบบที่ 1	76
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแสดงความหนาแน่นแห้งกับเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังชนิด E แบบที่1	77
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการกระจายขนาดคละของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่2	79
รูปที่ 4.8 กราฟระหว่างจำนวนครั้งในการเคาะกับปริมาณความชื้นดินลูกรัง E แบบที่ 2	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของอนุภาคเม็ดยางเมื่อนำอนุภาคเม็ดยางมาวิเคราะห์ พบส่วนประกอบโดยประมาณดังนี้	4
ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองแสดงอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ เนื่องจากติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน	19
ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดคละเกรดต่าง ๆ ของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (กรมทางหลวง, 2532)	20
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีการและเครื่องมือระหว่างวิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (STANDARD PROCTOR TEST) กับ การทดสอบแบบโมดิฟายด์ (MODIFIED PROCTOR TEST)	27
ตารางที่ 2.5 ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (STANDARD UNIT STRESS) ที่ความลึกในการกด (PENETRATION) ต่าง ๆ	34
ตารางที่ 2.6 ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่เหมาะสมต่อชั้นทางต่าง ๆ	35
ตารางที่ 2.7 ค่ามาตรฐานการบดอัดตัวอย่างดินในแบบอัดดินแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ	37
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบแรงดึง	42
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ	43
ตารางที่ 3.3 น้ำหนักดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง	47
ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบวิธีการและเครื่องมือระหว่างวิธีแบบมาตรฐานกับวิธีแบบโมดิฟายด์	59
ตารางที่ 3.5 ค่า STANDARD UNIT STRESS ที่ PENETRATION ต่าง ๆ	66
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดึง (WIDTH-WIDTH TENSILE TEST)	73
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบแรง (WIDE-WIDTH TENSILE TEST) ของแผ่นยางพาราชนิด RSS 3	74
ตารางที่ 4.3 แสดงการกระจายขนาดคละของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่ 1	75
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบขีดจำกัดเหลวดินลูกรัง E แบบที่ 1	76
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกดินลูกรัง E แบบที่ 1	77
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการบดอัดดินชนิด E แบบที่ 1	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
ตารางที่ 4.7 แสดงการกระจายขนาดคละของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่2	78
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบขีดจำกัดเหลวดินลูกรัง E แบบที่ 2	79
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกดินลูกรัง E แบบที่ 2	80
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่1 ไม่มีการเสริมกำลัง	81
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่2 ไม่มีการเสริมกำลัง	81
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่1 เสริมกำลัง 1 ชั้น	82
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่1 เสริมกำลัง 2 ชั้น	82
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่2 เสริมกำลัง 1 ชั้น	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด **XII** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีการปลูกยางพารากันอย่างแพร่หลายทำให้มีเกษตรกรไทยได้รับผลกระทบเนื่องจากปัญหาราคายางพาราที่ตกต่ำอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ หนึ่งในการแก้ปัญหาคือการเพิ่มอุปสงค์หรือความต้องการใช้ยางพาราในประเทศ เช่น การคิดค้นผลิตภัณฑ์จากยางพาราใหม่ ยางพาราเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีการผลิตและปลูกกันแพร่หลายมากที่สุดชนิดหนึ่งสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น ยางก้อน แผ่นยางรมควัน หรือน้ำยาง ซึ่งนิยมนำไปในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ อาทิ เคมีภัณฑ์ การผลิตยางรถยนต์ หรือวัสดุที่ทนต่อสารเคมี เป็นต้น

ในการก่อสร้างมักประสบปัญหาดินที่ใช้เป็นฐานรากหรือเป็นวัสดุก่อสร้างขาดเสถียรภาพมีความสามารถและกำลังการรับแรงที่ต่ำโดยเฉพาะดินที่นำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานถนนจึงจำเป็นต้องพัฒนาปรับปรุงคุณภาพกำลังการรับแรงของดิน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีและหนึ่งในนั้นคือ เสริมกำลังดินด้วย แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ผลิตจากโพลีเมอร์ที่มีกำลังรับแรงดึงที่สูง สามารถช่วยเสริมสร้างเสถียรภาพของดินได้และนิยมใช้ในงานก่อสร้างถนนเพื่อที่จะเพิ่มกำลังรับแรงอัดของดินหรือใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดิน ปัจจุบันมีการใช้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ในการก่อสร้างงานทางด้านวิศวกรรมมากขึ้น แต่ยังคงต้องสั่งซื้อและนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นหากสามารถผลิตแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) จากวัตถุดิบที่มีภายในประเทศได้ จะสามารถลดต้นทุนในงานก่อสร้างที่ใช้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) มาเป็นวัสดุเสริมกำลังได้ และยังสามารถเพิ่มมูลค่าส่งเสริมการใช้วัตถุดิบภายในประเทศได้อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาคุณสมบัติของแผ่นยางพารารมควันที่ผลิตภายในประเทศ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังในงานถนน โดยมีหน้าที่เช่นเดียวกับแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ที่ผลิตจากพอลิเมอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ยิ่งไปกว่านั้นยังเป็นการเสริมมูลค่าให้กับผลผลิตที่ได้จากยางพารา เป็นการช่วยเหลือเกษตรกรและรัฐบาลที่ต้องหานโยบายต่าง ๆ มาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นประจำในทุก ๆ ปี

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.) ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรง (wide-width tensile strength) ของแผ่นยางรมควัน
- 2.) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงและความหนาของแผ่นยางพารารมควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) ออกแบบแผ่นยางพารารมควันให้มีหน้าที่การใช้งานเหมือนตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ที่ผลิตจากพอลิเมอร์

4.) ศึกษาเปรียบเทียบกำลังความแข็งแรงของดินที่ถูกเสริมกำลังด้วยตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันกับดินที่ไม่ถูกเสริมกำลัง โดยการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio)

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.) ใช้แผ่นในยางพารารมควันชนิด RSS 2 และ RSS 3 ในการศึกษาเท่านั้น แผ่นยางรควันมีความหนาประมาณ 3-4 มิลลิเมตร

2.) แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันมีขนาดช่องเปิด 20x20 มิลลิเมตร

3.) ใช้ดินลูกรังประเภท E ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

4.) ทดสอบ CBR ด้วยวิธีโมดิไฟด์

5.) ควบคุมปริมาณความชื้นในดินในทุกตัวอย่างการทดลองให้มีค่าเท่ากับ 14.5%

6.) ไม่ศึกษาผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.) สามารถนำแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันมสร้างเป็นวัสดุเสริมกำลังดินได้

2.) ผลงานวิจัยนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางพาราในการเสริมกำลังดิน และเพิ่มมูลค่าของสินค้ายางพาราในที่สุด

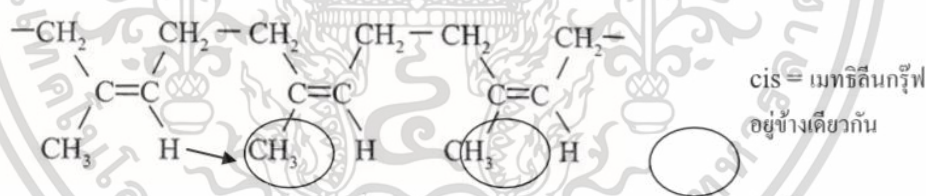
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ยางพารา (Rubber)

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมันแต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน $(C_5H_8)_n$ มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวประมาณ 50,000 หน่วย แบบเส้นตรงใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่อัลฟาเมทิลีนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถันและเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ยางจึงเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเช่นเดียวกัน ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดีมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก สำหรับความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด เนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขีดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จะต้องมีการบดยาง ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.1 โครงสร้างยางธรรมชาติ cis-1,4-polyisoprene

2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวเหมือนน้ำนม มีสภาพเป็นคอลลอยด์ หรือ สารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความถ่วงจำเพาะ 0.92 กรัมต่อ ลบ.ซม. มี ค่า pH ประมาณ 6.5 - 7.0 มีความหนืดประมาณ 12-15 centipoises เป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ มีปริมาณของเนื้อยางแห้งระหว่าง 25 - 45% ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดและส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้ง ประมาณ 3 % น้ำยางสดเมื่อนำมาปั่นด้วยความเร็วสูง 20,000 รอบต่อนาที น้ำยางจะแยกออกได้ 4 ส่วนดังนี้ 1. ส่วนของเนื้อยางแห้ง 2. อนุภาคเฟรย์-วิสลิง 3. เซรุ่ม และ 4. ตะกอนสีเหลืองหรือขาวที่เรียกสารพวกลูทอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของอนุภาคเม็ดยางเมื่อนำอนุภาคเม็ดยางมาวิเคราะห์ พบ ส่วนประกอบ โดยประมาณดังนี้

ส่วนประกอบ	โดยประมาณ
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86%
น้ำที่เจือเข้าไปในอนุภาค	10%
สารโปนติน	1%
สารพวกไลปิด ไขมัน	3%
พวกโลหะ (Mg, P, Cu)	ไม่เกิน 0.05%

2.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการแปรรูปยาง

ในเนื้อหานี้จะกล่าวเฉพาะสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดและสารจับตัวยางตามลักษณะการแปรรูปยางดิบ ซึ่งสารเคมีแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพและการใช้งานแตกต่างกันไป การเลือกใช้สารเคมีแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ว่าต้องการรักษาน้ำยางสดเพื่อนำไปแปรรูปเป็นยางดิบชนิดอะไร

1. สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อผลิตยางแผ่นดิบหรือยางแผ่นรมควัน

ปกติการผลิตยางแผ่นในสวนขนาดเล็กไม่มีความจำเป็นต้องใช้สารรักษาสภาพน้ำยาง เนื่องจาก ใช้ระยะเวลาไม่นานนัก แต่ในกรณีที่เป็นสวนขนาดใหญ่หรือโรงงานที่ต้องใช้เวลารวบรวมน้ำยางนานและในปริมาณมาก ๆ เพื่อเข้ากระบวนการผลิตพร้อม ๆ กันจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานพอสมควร ควรใช้สารเคมีดังต่อไปนี้

1.1 โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3)

เป็นผงละเอียดสีขาว ละลายน้ำได้ดีมีส่วนของ SO_2 ประมาณ 50% ต้องเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดมิดชิดในที่อากาศเย็น อัตราการใช้ 0.05% - 0.08% ต่อน้ำหนักน้ำยางสด รักษาสภาพได้ 12-14 ชั่วโมง หมายความว่าถ้าน้ำยางสด 100 กิโลกรัม ใช้โซเดียมซัลไฟต์ 50 กรัม ส่วนวิธีการ ให้เตรียมเป็นสต็อกโซเดียมซัลไฟต์ 5% ดังนี้ซังโซเดียมซัลไฟต์ 50 กรัม ละลายด้วยน้ำสะอาด 950 ซีซี จะสามารถใช้ได้กับน้ำยางสด 100 กิโลกรัม

ข้อดี

-ยางที่ได้สีจะไม่คล้ำเหมาะสำหรับผลิตยางแผ่นดิบ ยางแผ่นฟุ้งแห้ง (Air Dried Sheet, ADS)

และยางเครพขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อระวัง

- การเตรียมจะต้องเตรียมวันต่อวัน เพราะสาร SO_2 จะระเหยได้ง่ายหากใช้ในปริมาณมากเกินไป ยางจะเหนียวเหนอะหนะแห้งช้าและอาจต้องเพิ่มกรดมากขึ้นอาจเกิดฟองอากาศในแผ่นยางได้

วิธีการใช้

หลังจากเตรียมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์เรียบร้อยแล้ว แบ่งใส่ขวดพลาสติกที่มีรูเจาะอยู่บนฝา นำไปบีบลงในถ้วยรองรับน้ำยางหลังจากที่กรีดน้ำยางลงไปประมาณ 2 ซีซี หากสารที่เตรียมเหลือให้ใส่ใน ถังรวบรวมน้ำยางก่อนนำน้ำยางสดส่งมายังโรงทำแผ่น

1.2 แอมโมเนีย (NH_3)

แอมโมเนียเป็นสารที่ใช้ทำลายแบคทีเรียและมีฤทธิ์เป็นด่าง ให้เตรียมแอมโมเนียอยู่ในรูปของสารละลายโดยเก็บไว้ในที่เย็นปิดฝาภาชนะให้สนิทและภาชนะควรเป็นสารทนการกัดกร่อน ควรหลีกเลี่ยง ภาชนะที่เป็นเหล็กหรือโลหะบางประเภท อัตราการใช้ทำยางแผ่นควรใช้แอมโมเนียในอัตรา 0.01% - 0.05% ต่อน้ำหนักยาง รักษาสภาพได้นาน 3 - 10 ชั่วโมง

ข้อระวัง

- การใช้แอมโมเนียรักษาสภาพต้องเพิ่มปริมาณกรดที่ใช้จับตัวประมาณ 2 เท่าของอัตราปกติ
- ทำให้อย่างมีสีคล้ำ

วิธีการเตรียมแอมโมเนียจากถังก๊าซ

แอมโมเนียจากถังก๊าซบรรจุในรูปก๊าซจะมีความเข้มข้น 100% ให้เจือจางด้วยการเตรียมเป็นสัดส่วนความเข้มข้น 16% โดยการชั่งน้ำหนักของก๊าซแทนที่น้ำดังนี้ ชั่งน้ำสะอาด 84 กิโลกรัม ปล่อยก๊าซแอมโมเนีย 16 กิโลกรัมลงไปใต้น้ำที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วจะได้สารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้น 16% สารละลายที่ได้นี้จะเรียกว่าสต็อกแอมโมเนีย

1.3 โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ ($\text{Na}_2 \text{S}_2\text{O}_5$)

โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์เป็นผงสีขาว มีส่วนประกอบของ SO_2 ประมาณ 60% - 67% ปกติใช้ในการผลิตยางเครพขาวและยางแผ่นฟุ้งแห้ง เพราะช่วยทำลายเอนไซม์ที่ทำให้ยางมีสีคล้ำ ทำให้อย่างมีสีจางลงโดยมีอัตราการใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ 0.16-0.5% ต่อน้ำหนักยาง รักษาสภาพน้ำยางได้ถึง 24 ชั่วโมง ส่วนวิธีการ ให้เตรียมเป็นสต็อกโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ 5% เช่นเดียวกับโซเดียมซัลไฟด์

2. สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อผลิตยางแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางแท่ง STR XL และ STR5L เป็นยางแท่งชั้นพิเศษที่ต้องการสีของยางจางกว่ายางปรกติ การรักษาสภาพของน้ำยางสด จึงต้องพิจารณาถึงสารเคมีที่ใช้อย่างรอบคอบ การใช้แอมโมเนียหรือ โซเดียมซัลไฟด์ 0.05% ต่อน้ำหนักยางรักษาสภาพได้นาน 4 ชั่วโมง และถ้าต้องการให้สีจางเป็นพิเศษ อาจใช้แอมโมเนียร่วมกับกรดบอริก ในอัตรา 0.05% : 0.05% รักษาสภาพน้ำยางสดได้นานถึง 40 ชั่วโมง

3. สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดเพื่อผลิตน้ำยางชั้น

การรักษาสภาพน้ำยางสดเป็นระยะเวลายาวนาน เพื่อรวบรวมให้ได้ปริมาณเพียงพอสำหรับ ผลิตน้ำยางชั้นนิยมใช้แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับสารอื่น เนื่องจากประสิทธิภาพสูง การใช้งาน โดยใช้ในอัตรา 0.3% - 0.5% ต่อน้ำหนักน้ำยาง เนื่องจากน้ำยางสดที่นำไปปั่นเป็นน้ำยางชั้นต้องใช้เวลาเก็บก่อนปั่นอีก 1 วัน แต่การเพิ่มปริมาณแอมโมเนีย เพื่อลดปริมาณกรดไขมันระเหยนั้นไม่สามารถทำได้ การใช้แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น เช่น TMTD/ZnO หรือที่ชาวบ้านเรียกยาขาวในอัตรา 0.025% ต่อน้ำหนักน้ำยางร่วมกับแอมโมเนีย 0.2% ถึง 0.35% ต่อน้ำหนักยางจะรักษาสภาพน้ำยาง ที่มีกรดไขมันระเหยได้ (VFA No.) ต่ำกว่า 0.02 ไปได้จนถึง 10 วัน หากจะนำมาผลิตเป็นยางแผ่นดิบ เพื่อผลิตเป็นยางแผ่นรมควันแล้ว ไม่แนะนำให้ใช้เพราะจะทำให้ยางแผ่นเหนียวและมีสีคล้ำ ยางแผ่นที่ใช้แอมโมเนียรักษาสภาพน้ำ ยางเมื่อวางซ้อนทับกันจะดึงหรือลอกออกทำได้ยาก หากใช้ในอัตราที่ มากเกินไปจะทำให้ต้องใช้กรดใน ปริมาณที่มากกว่าปกติ

วิธีการเตรียมแอมโมเนียจากถ้ำก๊าซ

แอมโมเนียจากถ้ำบรรจุในรูปก๊าซจะมีความเข้มข้น 100% ให้เจือจางด้วยการเตรียม เป็นสต็อก ความเข้มข้น 16% โดยการชั่งน้ำหนักของก๊าซแทนที่น้ำดังนี้ ชั่งน้ำสะอาด 84 กิโลกรัม ปล่อยก๊าซแอมโมเนีย 16 กิโลกรัมลงไปใต้น้ำที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว จะได้สารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้น 16% สารละลายที่ได้นี้จะเรียกว่าสต็อกแอมโมเนีย

4. สารเคมีสำหรับจับตัวยาง

สารเคมีตามคำแนะนำคือ กรดฟอร์มิก เนื่องจากเป็นสารอินทรีย์ระเหยได้ง่าย ไม่ส่งผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อมและไม่ตกค้างในยางหากใช้ในอัตราที่แนะนำ สารจับตัวยางจึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ยางจับตัวได้เร็วและได้ยางที่มีความยืดหยุ่นดี

2.1.3 การผลิตยางแผ่นดิบคุณภาพดี

ยางแผ่นจะมีคุณภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิตถ้าหากเกษตรกรสามารถผลิตยางแผ่นคุณภาพดีออกจำหน่ายก็จะได้ราคาที่สูงกว่ายางแผ่นคุณภาพต่ำ ยางแผ่นคุณภาพดีเป็นยางแผ่นที่มีความยืดหยุ่นดี แผ่นยางสะอาด สีของแผ่นสม่ำเสมอ และมีขนาดมาตรฐาน

2.1.3.1 การเตรียมน้ำยางสดก่อนการผลิตยางแผ่นดิบ

ขั้นตอนแรกทำการเก็บน้ำยางสด ถ้าหากเป็นสวนยางขนาดเล็กแล้ว สามารถรวบรวมน้ำยางได้ในระยะเวลาที่จำกัดไม่จำเป็นต้องใช้สารรักษาสภาพ แต่หากเป็นสวนยางขนาดใหญ่หรือต้องรวบรวมมาจากหลายสวนและใช้ระยะเวลาเกินกว่า 6 ชั่วโมงหลังจากการกรีดยาง ก็จำเป็นต้องใช้สารรักษาสภาพน้ำยางตามคำแนะนำข้างต้น น้ำยางสดเมื่อมาถึงโรงทำยางจำเป็นต้องกรองน้ำยางก่อนโดยใช้ตะแกรงกรองที่มีขนาดรูตะแกรงเบอร์ 40-60 เมช (mesh) ขั้นตอนการกรองจะใช้ตะแกรงที่มีความถี่หยากกว่าวางข้างบนซ้อนกับตะแกรงเบอร์ละเอียดเพื่อที่จะได้กรองสิ่งสกปรกออกไปได้มากที่สุด การทำยางแผ่นในตะกวด

น้ำยางสดที่ผ่านการกรองแล้ว นำมารวบรวมในภาชนะเดียวกัน เพื่อที่จะได้ความเข้มข้นของเนื้อยางเท่ากัน ตะกวดจะมีความจุโดยเฉลี่ย 6 ลิตร ดังนั้นส่วนผสมของน้ำยางสดและน้ำควรมีระดับไม่เกิน 5 ลิตร โดยทั่วไปน้ำยางจะมี DHC 32 - 35% จะใช้อัตราส่วนส่วนน้ำยาง 3 ลิตร ผสมกับน้ำสะอาด 2 ลิตร การเตรียมกรด

กรดฟอร์มิคเข้มข้น 3 ซ้อนแกงผสมน้ำ 3 กระป๋องนมข้น คนให้เข้ากันจะได้ความเข้มข้น 3% แบ่งมาใช้ 1 กระป๋องนมต่อ 1 ตะกวด

2.1.3.2 ขั้นตอนการทำยางแผ่น

เทน้ำยางสดที่ผ่านการกรองเรียบร้อยแล้ว ลงไปในตะกวดก่อน แล้วเทน้ำสะอาดลงไปตามสัดส่วนข้างต้น (หากเทน้ำลงไปก่อนแล้วผสมน้ำยางลงไปจะทำให้ น้ำยางเหนียวเมื่อผสมกับน้ำกรดจะจับตัว ไม่ทั่ว ยางแผ่นที่แห้งแล้วเนื้อยางจะไม่สม่ำเสมอ) คนให้เข้ากันจากนั้นเติมน้ำกรด 1 กระป๋องนม คนเบาๆ ให้เข้ากันแล้วปาดฟองให้หมด ทิ้งไว้ประมาณ 45 นาที ยางจะเริ่มจับตัว ใช้มือแตะเบาๆ หากน้ำยางไม่ติด มือให้หล่อน้ำเพื่อไม่ให้ผิวยางมีสีคล้ำ ปล่อยให้ยางจับตัวนานประมาณ 1 ชั่วโมง นำมาขนาดด้วยมือหรือ วัสดุท่อนกลมที่สะอาด จากนั้นนำไปรีดด้วยจักรรีดยางที่มีน้ำหล่อผ่านเหนือลูกกลิ้งผ่านจักรรีดเรียบ ประมาณ 3 ครั้ง แล้ว ผ่านจักรดอกอีก 1 - 2 ครั้ง นำไปล้างน้ำให้สะอาดเพื่อชะล้างน้ำกรดออกไป ผึ่งให้ สะเด็ดน้ำนำไปตากในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก

2.1.3.3 การผลิตยางแผ่นรมควัน

การรมควันเป็นการแปรรูปยางโดยใช้ความร้อนและควัน ด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้ยางแผ่นแห้ง นอกจากนี้จะเป็นการลดความชื้นในแผ่นยางแล้ว ยางที่ผ่านการรมควันจะมีความยืดหยุ่น เหมาะสมกับการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว สารจากควันไฟยังช่วยป้องกันการเกิดรา ซึ่งเป็นตำหนิชนิดหนึ่งในการจัดชั้นยาง การผลิตยางแผ่นรมควันทำได้ 2 วิธี คือเริ่มจากการนำน้ำยางสดจับตัวรีดเป็นแผ่น พึ่งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำเข้าห้องรมควัน อีกวิธีคือเริ่มจากนำยางแผ่นดิบมาล้างด้วยเครื่องล้าง แล้วนำไป รมควัน

2.1.4 สมบัติของยางแผ่นรมควันตามมาตรฐาน THE GREEN BOOK มี 6 ชั้น

RSS1X	พิเศษ	เป็นยางที่ควบคุมการผลิตทุกขั้นตอนโดยต้องตรวจกรรมวิธีการผลิตภายใน โรงงานผลิตยางแผ่นดิบและโรงรมควัน ส่วนยางแผ่นรมควันชั้นอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องตรวจขั้นตอนการผลิต ยางแผ่นรมควันชั้นนี้ต้องปราศจากราทุกชนิด และไม่อนุญาตให้มีตำหนิใด ๆ ที่แผ่นยางได้เลย
	สมบัติ	แผ่นยางแห้ง เนื้อแน่นแข็ง สะอาด แผ่นสมบูรณ์ 100% สีสม่ำเสมอ
RSS 1	สมบัติ	แผ่นยางแห้ง เนื้อแน่นแข็ง สะอาด แผ่นสมบูรณ์ สีสม่ำเสมอ (อนุญาตให้มีเปลือกไม้เล็ก ๆ ได้เล็กน้อย)
	ไม่อนุญาต	ยางฟอง ยางฟองอากาศ ยางแกร่ม ยางแก็ไฟ ยางไหม้ ยางอ่อนรม ยางดิบ ยางเยิ้ม ผิวแผ่นเป็นตำหนิ
RSS 2	สมบัติ	อนุญาตมีราแห้งหรือราสนิมบริเวณระหว่างแผ่นห่อกับผิวก้อน ได้ไม่เกิน 5% ของยาง ลูกขุนส่งมอบ แผ่นยางแห้ง เนื้อแน่นแข็ง สีสม่ำเสมอ ผิวแผ่นตำหนิ ได้เล็กน้อย ฟองอากาศขนาดเล็ก
	ไม่อนุญาต	ยางแกร่ม ยางอ่อนรม ยางดิบ ยางเยิ้ม ยางอ่อน ยางแก็ไฟ ยางไหม้
RSS 3	สมบัติ	อนุญาตมีราแห้งหรือราสนิมบริเวณระหว่างแผ่นยางกับผิวก้อนได้ไม่เกิน 10% ของยางส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		มอบ แผ่นยางแห้ง สะอาด เนื้อแน่นแข็ง มี ตำหนิผิวแผ่นได้เล็กน้อย ต่างตำเล็กน้อย ฟองอากาศเล็กน้อย
	ไม่อนุญาติ	ยางแกร้ม อ่อนรม ยางดิบ ยางเี่ยม ยางอ่อน ยางแก็ไฟ ยางไหม้ ยางฟองขนาดใหญ่
RSS 4	สมบัติ	อนุญาติมีราแห้งหรือราสนิมบริเวณระหว่าง แผ่นห่อกับผิวก้อนได้ไม่เกิน 20% ของยาง ลูกขุนส่งมอบ แผ่นยางแห้ง เนื้อแน่นแข็ง สะอาด ผิวแผ่นมีตำหนิ สีต่าง ต่างตำปาน กลาง สีคล้ำเล็กน้อย ยางแกร้มได้เล็กน้อย ยางอ่อนรมยางดิบ ยางเี่ยม ยางแก็ไฟ ยาง ไหม้ ยางฟองขนาดใหญ่
RSS 5	สมบัติ	อนุญาติมีราแห้งหรือราสนิมบริเวณระหว่าง แผ่นห่อกับผิวก้อนได้ไม่เกิน 30% ของยางส่ง มอบ แผ่นยางเนื้อแน่นแข็ง สะอาดแห้งมีสิ่ง สกปรกขนาดใหญ่ขึ้นได้ เล็กน้อย ยางแกร้ม อ่อนรมมีได้เล็กน้อย
	ไม่อนุญาติ	ยางดิบ ยางเี่ยม ยางอ่อน ยางแก็ไฟ ยางไหม้

2.2 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid)

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน คือ วัสดุเสริมสังเคราะห์ที่ใช้ในงานดินชนิดหนึ่งที่ใช้ในการเสริม
กำลัง มีลักษณะเป็นแผ่นตาข่ายมีช่องเปิด ที่มีหน้าที่ทำให้เกิดการขัด (Interlock) กับเม็ดดินและ ทำ
ให้น้ำผ่านช่องเปิดนั้นได้ ใช้ในงานเสริมความแข็งแรงของถนน และกำแพงกันดินเป็นต้น เมื่อดินได้รับ
แรงกดดัน อนุภาคของดินจะถูกแรงกระทำให้ดึงออกจากกัน ซึ่งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมีคุณสมบัติ
ในการรับแรงดึงที่ดี เพราะฉะนั้นจึงทำให้สามารถถ่ายโอนแรงไปยังดินบริเวณรอบข้างได้มากกว่า และ
มีพื้นที่ในการรับแรงที่มีขนาดใหญ่กว่าในกรณีที่ไม่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

2.2.1 ประวัติและประเภท

ปัจจุบันแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมี 3 ประเภท ประเภทที่ 1 เป็นต้นแบบของ แผ่นตาข่าย
เสริมกำลังดินเรียกว่า Unitized หรือ Homogeneous types หรือเป็นที่รู้จักในชื่อว่า Punched
Geogrid และ Drawn Geogrids ถูกคิดค้นโดย Dr. Frank Brian Mercer ในประเทศอังกฤษ ที่บริษัท
Netlon, Ltd. และถูกนำมาเผยแพร่ในประเทศอเมริกาในปี 1982 โดยบริษัท Tensar การประชุมเชิง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

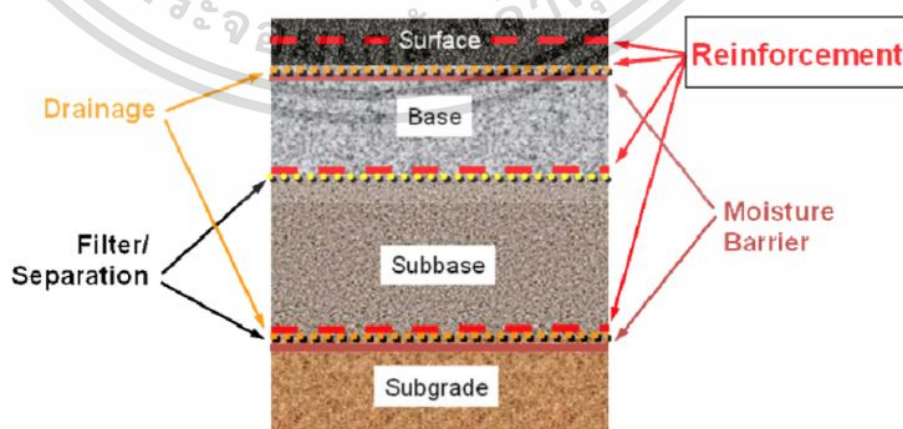
วิชาการในปี1984 ทำให้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้านวิศวกรรมเป็นต้นมา

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ประเภทที่ 2 นั้นมีความยืดหยุ่นและมีลักษณะเหมือน แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน มากขึ้นโดยใช้เส้นใยพอลิเอธิลเอนที่เคลือบด้วยพอลิเอทิลีน และนำไปสู่การพัฒนาแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินของเส้นด้ายพอลิเอธิลเอนที่ผลิตจากเครื่องจักรทอผ้า ในการผลิตแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินด้วยวิธีนี้ เส้นด้ายพอลิเอธิลเอนจะถูกทอตามแนวยาวและแนวขวาง ก่อนถูกเคลือบด้วยปิทุเมน, ลาเทก, พอลิไวนิลคลอไรด์

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ประเภทที่ 3 นั้นทำจากพอลิเอธิลเอน และ พอลิโพรพิลีน ถูกยัดเข้าด้วยกันด้วยเลเซอร์ในลักษณะตาราง

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินถูกนำมาใช้ในการออกแบบผิวทางอย่างแพร่หลาย การเสริมแรงโดยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินใช้ในถนนลาดยางมีหน้าที่หลักสองส่วนคือ การเสริมแรงชั้นฐานทาง และเพิ่มเสถียรภาพ ในการเสริมแรงโดยทั่วไปแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินจะถูกวางไว้ระหว่างชั้น หรือที่ด้านล่างของชั้นฐานทางของถนนลาดยาง และปรับปรุงความสามารถในการรับน้ำหนักของถนนภายใต้การจราจร ในการลดการสั่นสะเทือนของชั้นรองฐานทาง แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินถูกใช้เพื่อสร้างแพลตฟอร์มการก่อสร้างบนดินเดิมที่อ่อนแอเพื่อรับน้ำหนักอุปกรณ์ในการก่อสร้างและอำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงชั้นโครงสร้างของถนน (base / subbase หรือ subgrade) ผ่านการเสริมกำลังของชั้นฐานทาง,ชั้นรองฐานทางในถนนลาดยาง และ ถนนไม่มีผิวทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแบ่งประเภทของ แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะภายนอกอย่างกว้างๆโดยจะมีลักษณะต่างกันอย่างชัดเจนและมีหน้าที่ในการทำงานที่แตกต่างกันด้วย

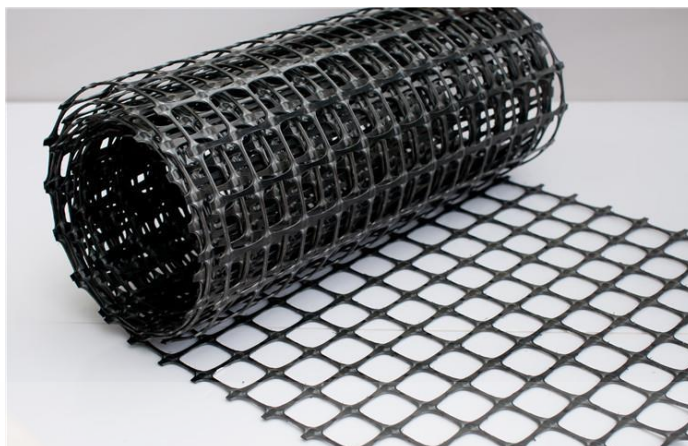
1.Woven Geogrids เป็นผ้าทอที่มีความยืดหยุ่นด้วยน้ำหนักโมเลกุลสูง ผลิตโดยเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ (PET) ที่มีการคืบน้อยความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีลักษณะเป็นเส้นด้ายมีความมั่นคงและเชื่อมต่อกันเป็นตารางโดยอยู่ภายใต้ความตึง ถูกเคลือบอย่างสม่ำเสมอด้วยสารปลอดสารพิษที่เป็นโพลีเมอร์เพื่อเพิ่มความต้านทานโดยรวมต่อการเสียดสี, อัลตราไวโอเลต, สภาพอากาศ, กรด, ด่าง, การสลายตัวทางชีวภาพ และ สภาพภายนอกอื่นๆที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.3 Woven Geogrids

2.Extruded Geogrids เป็นแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่อัดขึ้นรูปนั้นทำจากพอลิโพรพิลีน (PP) โดยการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นแบนแล้วเจาะรู รูปแบบของหลุมจะส่งผลให้เกิดแนวของรูที่เราเรียกว่า Apertures เพื่อสร้างความต้านทานแรงดึง วัสดุจะถูกยึดออกไปทั้งแนวยาวและแนวขวาง ใช้ในงานปรับปรุงเสถียรภาพของโครงสร้างของถนนและทางรถไฟ, เสื่อซ้อน, แพลตฟอร์มการทำงาน, ถนนชั่วคราว กำแพงเสถียรเชิงกล (MSE) และ พื้นผิวดินที่มีความลาดชัน

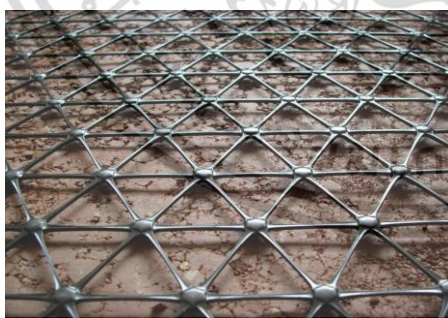
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 Extruded geogrids

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้อีก 3 ประเภทตามแนวการรับแรงและการใช้งานได้แก่

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

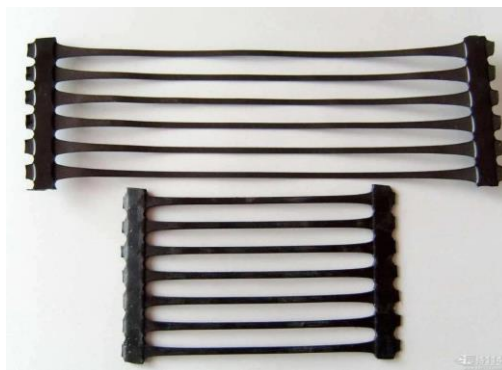


รูปที่ 2.5 Triaxial Geogrid



รูปที่ 2.6 Biaxial Geogrid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 Uniaxial Geogrid

2.2.2 วัสดุและกระบวนการผลิต

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินทำจากวัสดุพอลิเมอร์ เช่น พอลิเอทเธอร์, พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, พอลิเอทิลีน หรือ พอลิโพรพิลีน การผลิตอาจจะทอหรือถักจากเส้นใย แล้วใช้ความร้อนในการเชื่อมประสานขอบวัสดุเข้าด้วยกัน หรือผลิตโดยการเจาะรูวัสดุแล้วยืดออกเป็นตาราง

การผลิตผลิตภัณฑ์จากพอลิเมอร์ที่ค่อนข้างแข็งโดยการใส่แรงดึงในการทำแบบรีดเย็น (Cold Working) ทำให้มีความเป็นไปได้ที่วัสดุดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในงานเสริมแรงของดินสำหรับ กำแพงกันดิน ทางลาดคันดิน พื้นถนน และ ฐานรากของชั้นดิน หน้าที่หลักของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในการเสริมแรง ก็เหมือนกับวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในงานดินอื่น ๆ มีการใช้งานที่หลากหลายโดยขึ้นอยู่กับวัสดุ ปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้รับความนิยมคือช่องว่างตามแนวยาวและแนวขวางที่อยู่ติดกันเรียกว่า “Apertures” ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะให้ดินทะลุผ่านจากด้านหนึ่งของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินไปยังอีกด้าน ซึ่งวัสดุของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมักจะค่อนข้างแข็งเมื่อเทียบกับเส้นใยของแผ่นผ้าเสริมกำลังดิน (Geotextile) นอกจากความแข็งแรงของวัสดุที่สำคัญ จุดเชื่อมต่อระหว่างซี่เองก็สำคัญเช่นกัน เนื่องจากการที่วางตัววัสดุลงไปบนดินแล้วดินจะทะลุผ่านมาตามช่องเปิด ซึ่งแรงกระทำจะถูกส่งจากซี่โครงตามขวางสู่ซี่โครงตามยาวผ่านทางแยกหรือจุดตัด ซึ่งจะถูกรเรียกว่า “nodes”

2.2.3 หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานถนน

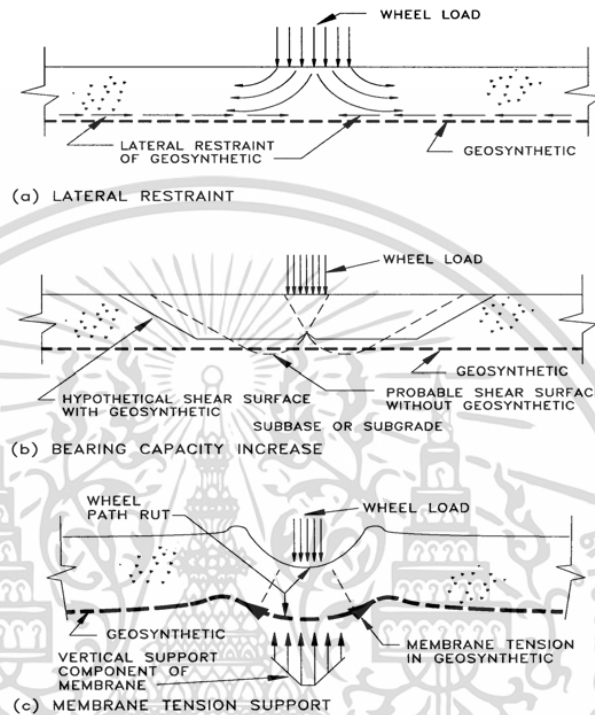
ตามที่ระบุไว้ในส่วนของการแนะนำแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างถนนลาดยางหรือถนนไม่มีผิวทางผ่านการเสริมแรงซึ่งอาจมีให้ผ่านกลไกที่เป็นไปได้สามแบบ

1. แรงเหนี่ยวรั้งจากด้านข้างของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินและดินเดิมผ่านแรงเสียดทาน (Interlock) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพิ่มค่าแคลิฟอเนียร์ แบริง เรโซ ของระบบโดยการบังคับการแนวพังทลายของดินที่อาจเกิดขึ้นโดยแนวจะอยู่เหนือแนวของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน เพื่อพัฒนาตามแนวที่มีกำลังรับแรงเฉือนที่สูงขึ้นเหนือพื้นผิวแทนดังแสดงในรูปที่ 2.8 b

3. การรองรับแรงกระทำที่เกิดจากล้อและถ่ายแรงดังแสดงในรูปที่ 2.8 c



รูปที่ 2.8 หน้าที่ของGeogrid

2.2.4 ออกแบบที่เกี่ยวข้อง

วิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytic Method) ฌีร์ดู (Giroud) และ นอยร์เรย์ (Noiray) ใช้แบบจำลองเรขาคณิตที่แสดงในรูปที่ 2.36 เพื่อแสดงรูปแบบของแรงกดทับที่เกิดจากล้อของรถ (P_{ec}) บนพื้นที่ $B \times L$ ซึ่งกระจายผ่านลงตามแนว h_0 ซึ่งคือความหนาของชั้นฐานหินที่ไม่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน และ h ความหนาของชั้นฐานหินที่มีตาข่ายเสริมกำลังดิน จากภาพจำลองแสดงให้เห็นถึงการลดลงของความเครียดในชั้นดินเดิม โดยที่ P_0 จะไม่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน และ P เป็นส่วยที่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน โดยมีสมการการคำนวณดังต่อไปนี้

$$p_0 = \frac{P}{2(B+2h_0 \tan \alpha_0)(L+2h_0 \tan \alpha_0)} + \gamma h_0 \quad (2.32)$$

$$p = \frac{P}{2(B+2h \tan \alpha)(L+2h \tan \alpha)} + \gamma h_0 \quad (2.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

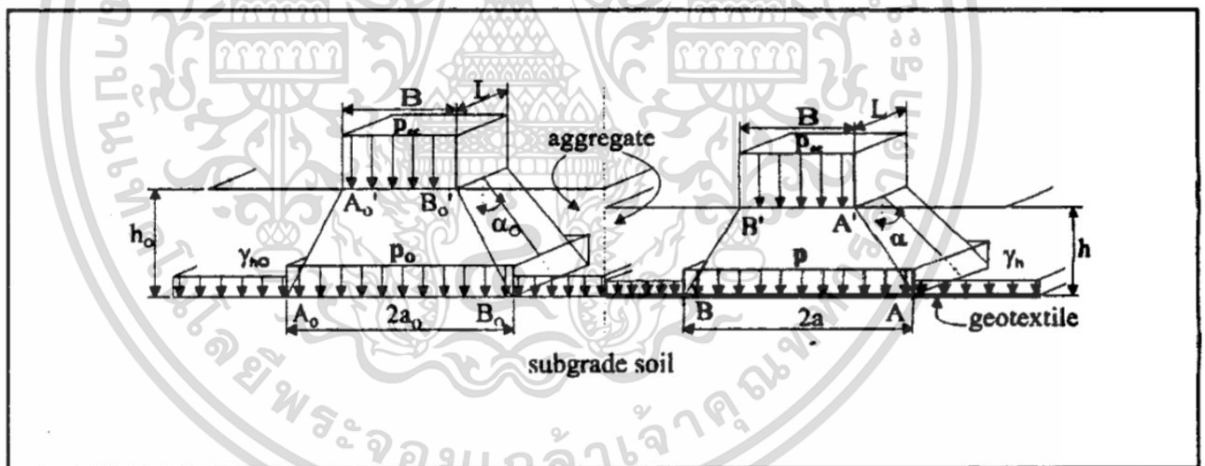
โดย

P = แรงกระทำตามแนวแกน

γ = ค่าความถ่วงจำเพาะของชั้นฐานหิน

เนื่องการความดันที่กระทำโดยไหลผ่านมวลรวมและลงไปในส่วนของชั้นดินเดิม ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในทฤษฎีพื้นฐานปัจจุบันในทางธรณีวิทยาของวิศวกรรมปฐพีที่สามารถใช้งานได้ จึงได้สันนิษฐานตลอดการวิเคราะห์ว่าดินนั้นอยู่ในสภาวะที่มีน้ำอยู่ในมวลดิน ดังนั้นจึงทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเปรียบเสมือนแรงยึดเหนี่ยวกันของอนุภาคดิน ($\tau = C$) ข้อสันนิษฐานโดยปริยายคือ การลดระดับของดินประกอบด้วยตะกอนดินที่ละเอียดและดินเหนียว สิ่งสำคัญในวิธีการออกแบบนี้คือ การสันนิษฐานว่าไม่มีแรงกดทับพื้นดินความดันสูงสุดที่สามารถรักษาไว้ได้นั้น สอดคล้องกับขีดจำกัดยึดหยุ่นของดิน ดังสมการ

$$p_0 = \pi c + \gamma h_0 \quad (2.34)$$



(ก) กรณีที่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (ข) กรณีที่ไม่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

รูปที่ 2.9 น้ำหนักที่แพร่กระจายด้วยชั้นมวลรวม

และแบบที่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินนั้นสามารถเพิ่มขีดความสามารถของกำลังรับแรงอัดสูงสุดของดินได้

ดังสมการ

$$p^* = (\pi + 2)c + \gamma h \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานเหล่านี้เห็นด้วยอย่างสมเหตุสมผลกับการค้นพบก่อนหน้านี้ของ Barenberg และ Bender โดยใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการขนาดเล็ก ซึ่งบนพื้นที่การเสีรูปของดิน พบว่าร่องขนาดใหญ่ เริ่มต้นที่ค่า $3.3c$ โดยไม่มีการเสริมแรงด้วย แผ่นตาข่ายซึ่งกำลังดิน (โดยที่ c คือค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินที่ไม่มีการคายน้ำ) ดังนั้นสำหรับกรณีที่ไม่มีการเสริมแรง ด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน โดยสมการที่ 2.36 สามารถหาได้จากสมการที่ 2.32 และ 2.34 ซึ่งค่าความหนาของชั้นดินที่ได้จะเป็นแบบที่ไม่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

$$C = \frac{P}{2\pi(\sqrt{P/p_c+2h_0 \tan \alpha_0})(\sqrt{P/2p_c+2h_0 \tan \alpha_0})} \quad (2.36)$$

โดย

C = แรงยึดเหนี่ยวมวลดิน

P = แรงกระทำตามแนวแกน

P_c = แรงกระทำจากล้อรถ

h_0 = ความหนาของชั้นดิน

α_0 = มุมของการกระจายแรง ($\cong 26^\circ$)

สำหรับกรณีที่มีการใช้การเสริมแรง ด้วยแผ่นตาข่ายซึ่งกำลังดิน P^* ในสมการ 2.35 จะถูกแทนที่โดย $(P - P_g)$ โดยที่ P_g เป็นฟังก์ชันของความตึงในแผ่นที่ตาข่ายซึ่งกำลังดิน ดังนั้นการยึดตัวจึงมีความสำคัญบนพื้นฐานของรูปทรงที่มีการเสีรูปตามระบบของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

$$p_g = \frac{E\epsilon}{a\sqrt{1+(a/2S)^2}} \quad (2.37)$$

โดย

E = ค่าโมดูลัสของแผ่นเสริมกำลังดิน

ϵ = ความเค้น

a = ค่าคุณสมบัติของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

S = การทรุดตัวที่ลึกสุดทับ (rut depth)

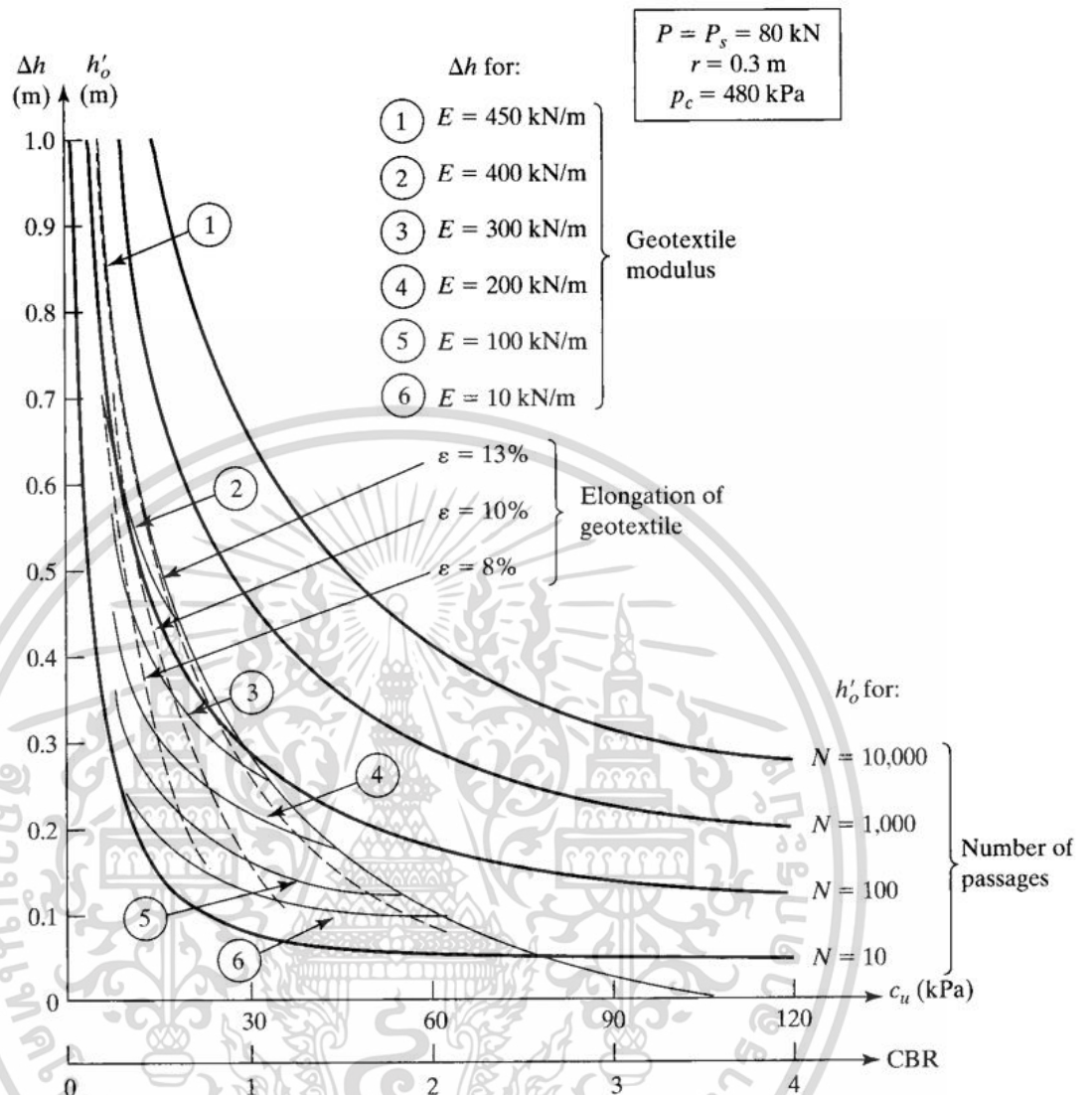
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวมสมการ 2.33 และ 2.35 และ 2.37 และการใช้ $P^* = P - P_g$ ทำให้ได้สมการที่ 2.38 โดยที่ h คือความหนารวมที่ไม่ทราบค่า โดยสามารถวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกของร่องถนน และค่าโมดูลัสต่างๆของแผ่นตะขायเสริมกำลังดิน

$$(\pi + 2)c = \frac{P}{2(B+2h \tan \alpha)(L+2h \tan \alpha)} - \frac{E\epsilon}{a\sqrt{1+(a/2S)^2}} \quad (2.38)$$

ด้วยสมการสองชุดนี้วิธีการออกแบบจึงสมบูรณ์แบบ เนื่องจากทั้ง h_0 (ความหนาที่ไม่มีแผ่นตะขायเสริมกำลังดิน)และ h (ความหนาที่มีแผ่นตะขायเสริมกำลังดิน) สามารถคำนวณได้จากค่าสองค่าเหล่านี้ $\Delta h = h_0 - h$ ซึ่งทำให้เกิดการประหยัดมวลรวม เนื่องจากการใช้แผ่นตะขायเสริมกำลังดิน อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกในการเข้าใจสามารถดูได้โดยตรงจาก รูปที่ 2.37 และในรูปนี้ยังพิจารณาถึงผลกระทบของการจราจร ในกรณีนี้

ความหมายของ h' จะกลายเป็น $h' = h_0' - \Delta h$ ซึ่งสามารถหาได้จากเส้นโค้ง โดยการลบกันของ h_0' และ Δh โดยอายุการใช้งานของถนน จะขึ้นอยู่กับจำนวนของรถที่ใช้บนถนน มีตัวอย่างดังนี้ โดยตัวอย่างแรกแสดงถึงขั้นตอนการออกแบบทั่วไป และอีกอย่างหนึ่ง แสดงตัวอย่างที่เฉพาะเจาะจง พร้อมการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจ อิทธิพลของความลึกร่องถนน ได้รับการประเมินเพิ่มเติมโดย Holtz และ Sivakugan



รูปที่ 2. 10 กราฟการออกแบบของนิรุตต์และนอย์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทางห้องปฏิบัติการ (Laboratory Method) หากมีห้องปฏิบัติการก็เป็นไปได้ที่จะสร้างแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อให้ได้อัตราส่วนการเสริมแรงที่เกิดจากแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน โดยขั้นตอนต่อไปดังนี้

1. ทำการอัดดินตัวอย่างที่เตรียมไว้โดยเป็นดินที่มีปริมาณน้ำในดินที่คำนวณไว้แล้วลงในแบบอัดดิน CBR ส่วนล่างตามวิธี CBR Test
 2. ใส่มวลรวมลงในส่วนบนของแบบอัดดิน
 3. ให้ตำแหน่งของลูกสูบไหลอยู่ด้านบนของมวลรวมพอดี ทำการทดสอบการกดตัวในช่วงเวลาที่ไม่ต่อเนื่องของการโก่งตัวของลูกสูบและบันทึกข้อมูล
 4. ใช้แบบอัดดิน CBR ที่มีการดัดแปลงเพื่อใส่แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ส่วนเชื่อมต่อระหว่างดินและมวลรวมแล้วบันทึกผล ทำซ้ำจนลักษณะนี้แต่จะเปลี่ยนตำแหน่งของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินให้อยู่สูงขึ้นหรือต่ำลงเพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบแล้วหาแนวโน้ม
 5. คำนวณหาอัตราส่วนของแรงที่เพิ่มขึ้นของการโก่งตัวในแต่ละครั้ง ดังข้อมูลในตารางที่ 2.2 แสดงอัตราส่วนการเสริมแรงนี้สำหรับชุดทดสอบ 4 ชุดที่ต่างกันของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินบนดินที่มีปริมาณน้ำในดินที่ต่างกัน ที่นี้เราจะเห็นว่าอัตราส่วนการเสริมแรงเพิ่มขึ้นทั้งการโก่งตัวตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น
 6. สมมติให้อัตราส่วนการเสริมแรงนี้สามารถใช้เป็นตัวคูณกับ CBR ของดิน จำนวนขั้นตอนการออกแบบที่ได้รับการยอมรับ สามารถนำไปใช้กับความหนาแน่นที่มีและไม่มีแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน
- ตารางที่ 2.2 ผลการทดลองแสดงอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ เนื่องจากติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน

ระยะกด (มม.)	ดินเหนียวเกลินที่ปริมาณน้ำต่าง ๆ			
	32%	35%	38%	41%
3.3	1.0	1.0	1.2	1.4
6.7	1.0	1.1	1.3	1.7
10	1.0	1.2	1.5	2.0
13	1.1	1.3	1.7	2.2
25	1.3	1.5	2.0	2.4
37	1.5	1.8	2.4	3.0
50	1.8	2.2	3.0	3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง

งานก่อสร้างถนนประกอบไปด้วยมวลรวม ซึ่งมีขนาดคละสมำเสมอจากขนาดใหญ่ไปขนาดเล็ก โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นบนวัสดุคัดเลือกหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว โดยการบดอัดที่ถูกต้องตามมาตรฐาน ได้ขนาด ความลาด รูปตัดตามที่ออกแบบไว้อย่างถูกต้อง

2.3.1 วัสดุ

วัสดุมวลรวมที่ใช้ในการก่อสร้างนั้นจะต้องมีคุณสมบัติ เม็ดดินแข็งแรงทนทานมีขนาดคละที่ดี มีการรับรองมาตรฐานแหล่งที่มา วัสดุมวลรวมที่เกาะกันมีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตรจะคชต้องถูกกำจัดออกหรือบดให้เข้ากับเนื้อดินปราศจากก้อนดินเหนียวและวัชพืชต่าง ๆ

ในกรณีที่มิได้ระบุคุณสมบัติของวัสดุรองพื้นทางเป็นอย่างอื่น วัสดุมวลรวมที่นำมารองพื้นทางจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

-มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) โดยวิธีการทดสอบการขัดสีลอสมเองเจลีส (Los Angeles Abrasion test) ไม่เกินร้อยละ 60

-มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบ ล้างต้องมีขนาดหนึ่งตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดคละเกรดต่าง ๆ ของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (กรมทางหลวง, 2532)

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ขนาดวัสดุใหญ่สุดไมโต 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 เรโซ จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

2.4 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน

ในมวลดินอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด ซึ่งขนาดของเม็ดดินนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ของมวลดินอย่างมาก เช่น มีผลต่อค่าความซึมผ่าน (Permeability) อัตราการทรุดตัว (Rate of settlement) และความสามารถในด้านกำลังของมวลดิน (Strength) เป็นต้น เพราะฉะนั้นจึงต้องทราบขนาดคละของเม็ดดินเพื่อให้เหมาะกับงานก่อสร้าง เช่น งานเขื่อน ถนน สนามบิน มวลดินที่มีขนาดเม็ดหยาบอยู่มากจะทำให้น้ำไหลซึมผ่านได้ง่าย มวลดินที่มีขนาดเม็ดละเอียดอยู่มากดินจะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ง่ายเมื่อผสมน้ำแล้วจะตกตะกอนช้ากว่าดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่กว่าการหาขนาดและ

การกระจายตัวของเม็ดดินทำได้หลายวิธีตามความเหมาะสมของขนาดเม็ดดินและตามชนิดของดินดังนี้

1. วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) สำหรับเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่
2. วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer analysis) สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร) เช่น ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนตะกอน (Silty clay)

สำหรับดินโดยทั่วไปจะใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน

2.4.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง

วิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) เป็นการวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงย่อยที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง แต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นเพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลมหรือลูกบาศก์แต่เป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะใช้การทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะเกี่ยวเนื่องกันเมื่อได้ผลแล้วต้องนำผลทั้ง 2 วิธีมาเขียนกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินต่อไป

ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดินโดยทั่วไปขนาดของเม็ดดินกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดดิน (Diameter) ที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่าที่ระบุหรือเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงค่าต่าง ๆ จะถูกนำมาเขียนกราฟมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางบันทึกผลก็จะเห็นลักษณะการกระจายตัวได้ทันทีจากลักษณะกราฟ

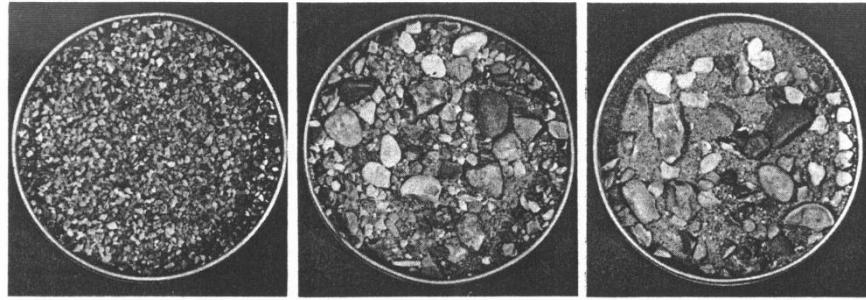
2.4.2 การวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน

จากลักษณะของกราฟแสดงการกระจายตัวของเม็ดดินจะบ่งบอกถึงปริมาณของขนาดเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ว่ามีขนาดโดยอยู่มากขนาดโดยอยู่น้อยเพื่อวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดินโดยแบ่งชนิดของดินได้ดังนี้

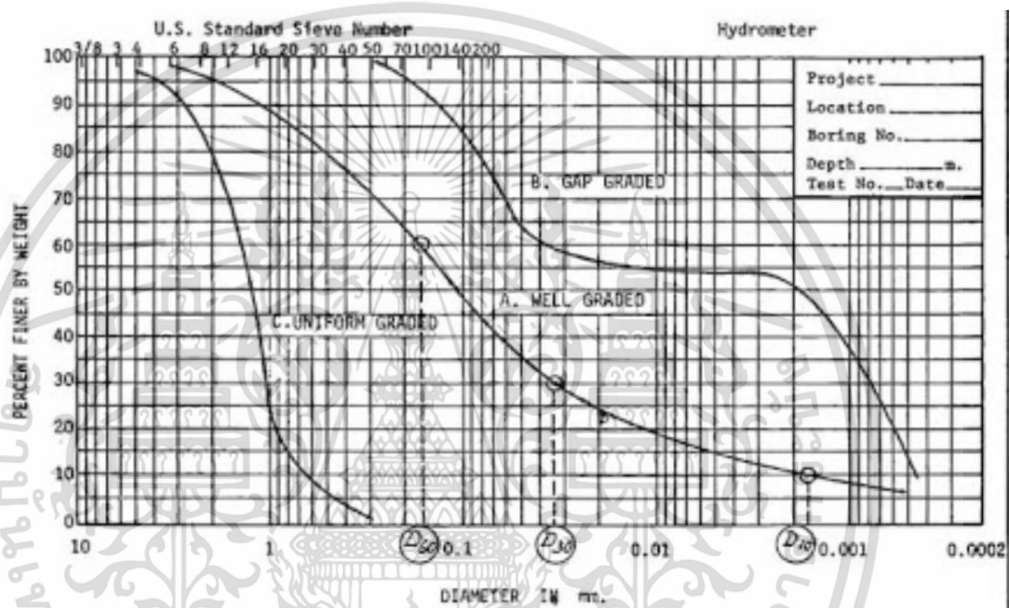
1. ดินที่มีเม็ดดินขนาดเดียว (Uniform Graded Soil) เป็นดินที่มีขนาดเม็ดดินใกล้เคียงกันเป็นส่วนใหญ่โดยถ้าจะมีลักษณะขึ้นดังเรียกดินที่มีลักษณะนี้ว่า “Narrowly Grade”

2. ดินที่มีขนาดคละกัันดี (Well Graded Soil) คือดินที่มีขนาดเม็ดดินต่าง ๆ ประกันดีลักษณะของกราฟจะโค้งทอดยาวตลอดขนาดสเกลดินชนิดนี้จะมีควมหนาแน่นมากที่สุดเมื่อได้รับการบดอัดดินที่มีขนาดเล็กจะแทรกตัวในช่องว่างของดินที่มีขนาดใหญ่กว่า

3. ดินที่มีขนาดขาดช่วง (Gap Grade Soil) ลักษณะของกราฟจะมีบางช่วงที่ทอดตัวในแนวนอนแสดงถึงดินที่มีเม็ดดินบางขนาดหายไป



รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง Granular Soil: (a) Uniformly Graded, (b) Well Graded, (c) Gap Graded (ที่มา: Head Vol.1 ,1992)



รูปที่ 2.12 การกระจายตัวเม็ด (Grain Size Distribution Curve) และค่า D_{60} , D_{30} , D_{10}

2.4.3 ขนาดและลักษณะของตะแกรง

ตะแกรงที่มีขนาดเล็กกว่า 1/4 นิ้วจะเรียกเป็นเบอร์โดยมีขนาดตั้งแต่เบอร์ 4 ถึงเบอร์ 400 แต่ในการทดสอบจะใช้ตะแกรงเบอร์ 200 เป็นตะแกรงเล็กที่สุดในการร่อนดิน

ความหมายเลขเบอร์สแกนคือจำนวนช่องตะแกรงต่อระยะหนึ่งนิ้วขนาดของช่องลอดและเบอร์ตะแกรงมีขนาดตามมาตรฐานต่าง ๆ

เพื่อที่จะให้หลักการพิจารณาลักษณะการกระจายขนาดเม็ดดินเป็นมาตรฐานนอกจากการพิจารณาแล้วจึงกำหนดสูตรการคำนวณสัมประสิทธิ์สำหรับการกระจายของเม็ดดินใช้เฉพาะเม็ดดินหยาดดังนี้

1. สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากช่วงของกราฟซึ่งจะแสดงถึงการกระจายตัวของเม็ดดินว่ามีขนาดเท่ากันหรือสม่ำเสมอ

2.สัมประสิทธิ์ความโค้ง

พิจารณาจากความโค้งของเส้นกราฟซึ่งจะแสดงถึงขนาดคละกันว่าดีหรือไม่ดี

เมื่อ D_{60} , D_{30} และ D_{10} เป็นขนาดคละของเม็ดดินมีลิเมตรที่เปอร์เซ็นต์รอดผ่านตะแกรงที่ 10 30 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

2.5 การทดสอบการบดอัดดิน

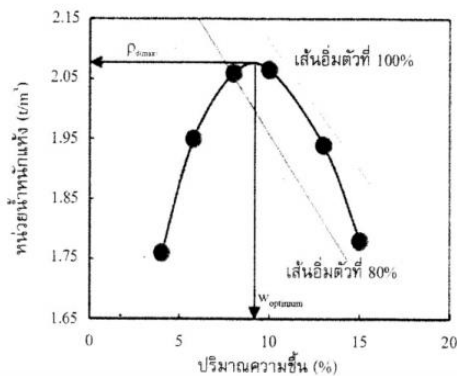
การบดอัดดิน (compaction) เป็นวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพการรับแรงของดินที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับที่สุด โดยเฉพาะงานก่อนสร้างที่ดินเป็นวัสดุถม (fill material) เช่น งานถนน งานเขื่อน งานสนามบิน เป็นต้น เนื่องจากการบดอัดดิน คือ การใช้แรงภายนอก เช่น แรงกระแทก แรงบิด ไตนา믹ส์ มาใส่อากาศในมวลดินออกไป ทำให้ดินที่ได้รับการบดอัดแล้วมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น โดยมีจุดประสงค์ 3 ข้อด้วยกัน

- 1.) ช่วยลดการทรุดตัวที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต (Decrease Future Settlement)
- 2.) เพิ่มเสถียรภาพการรับกำลังของดิน (Increase shear strength) เพื่อให้ดินรับแรงได้มากขึ้น
- 3.) ลดความชื้นน้ำของดิน (Decrease permeability)

การอัดดินนั้นจะทำได้โดยการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่โดยสามารถแบ่งประเภทออกเป็น 2 ประเภทของดินที่บดอัดได้เป็น รถบดอัดสำหรับวัสดุมวลรวมเม็ดละเอียด เช่น รถบดอัดตีนแกะ (Sheepfoot roller) และ รถบดอัดสำหรับวัสดุมวลรวมเม็ดหยาบ เช่น รถบดอัดล้อยาง (Pneumatic tyres roller) รถบดอัดล้อเหล็ก 2 ล้อสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) รถบดล้อเหล็กล้อเหล็กผิวเรียบ เป็นต้น การควบคุมคุณภาพการบดอัดดินเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงต้องมีการนำดินจากแหล่งเดียวกันที่นำมาก่อสร้างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับดินที่บดอัดแล้วในสนาม

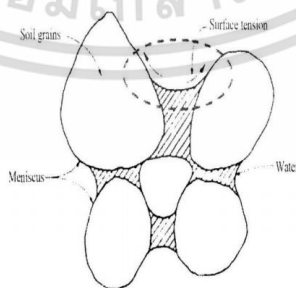
2.5.1 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)

ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีความชื้นแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R. Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า “Proctor Test”



รูปที่ 2.13 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

Proctor ได้กล่าวถึงกลไกของการเกิดเส้นการบดอัดดังแสดงในรูปที่ 2.13 ไว้ว่าประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดดินเป็น 2 ด้านคือ ด้านแห้งและด้านเปียก สำหรับการบดอัดดินที่แห้งมาก ๆ ดินจะมีแรงเสียดทานที่สูงมาก เนื่องจากแรงตึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี (Capillary Moisture) ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เป็นผลให้การบดอัดดินทำได้ยาก แต่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินที่แห้งมาก ๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลลารีและเป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงไปด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อย ๆ จนน้ำไปสลายแรงเสียดทานได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้เม็ดดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่เติมช่องว่างในช่วงหนึ่งก็จะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดว่า “Maximum Dry Density” และเรียกปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจุดนี้ว่า “Optimum Moisture Content” หลังจากจุดนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีในปริมาตรที่เท่ากันลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของน้ำน้อยกว่าดิน ในขณะที่ความหนาแน่นเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงมาก ๆ พบว่าดินจะอยู่ในสภาพอ่อนตัว ซึ่งไม่อยู่ในสภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป



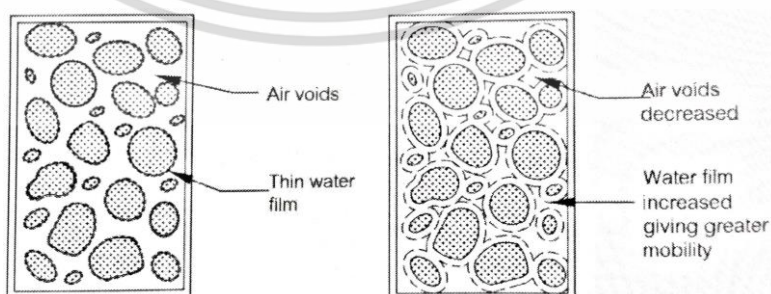
รูปที่ 2.14 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 พฤติกรรมของดินที่ถูกบดอัด

ในการบดอัดดินเป็นการทำให้เม็ดดินเข้าใกล้กันมากที่สุด ทำให้ช่องว่างหรืออากาศในมวลดินมีปริมาตรลดลง และปริมาณน้ำในมวลดินไม่ลดลงหรือลดลงน้อยมาก ในการบดดินไม่สามารถทำให้ช่องว่างหายไปทั้งหมดได้แต่สามารถทำให้เหลือน้อยที่สุดได้ โดยการควบคุมการบดอัดอย่างดีในขณะที่มวลดินมีปริมาณน้ำอยู่น้อย น้ำจะเกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบเม็ดดินอยู่เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้น เม็ดดินจะเกิดการไสลด์ขึ้นเรียกกระบวนการนี้ว่า Lubrication มีผลอย่างมากในดินเม็ดละเอียด และมีผลน้อยกว่าในดินเม็ดหยาบเนื่องจากความหนาของฟิล์มน้ำนั้นมีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดของเม็ดดิน ฟิล์มน้ำจะมีส่วนช่วยอย่างมากที่ทำให้เม็ดดินเคลื่อนที่เข้าใกล้กันอากาศบางส่วนถูกแทนที่หน่วยน้ำหนักของดินจะเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งที่เม็ดดินอยู่ใกล้กันมากที่สุด เรียกหน่วยน้ำหนักที่จุดนี้ว่าหน่วยน้ำหนักสูงสุด (Maximum Dry Density) ปริมาณความชื้นที่จุดนี้เรียกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ถึงอย่างไรก็ตามหากมีการบดอัดเพิ่มเติมความหนาแน่นของดินยังสามารถเพิ่มได้อีกจึงมักจะควบคุมปริมาณพลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำ จากปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะเกิดเป็นน้ำส่วนเกิน (Excess Water) ทำให้เกิดแรงผลักดันระหว่างเม็ดดิน น้ำเข้าไปแทนที่เม็ดดินทำให้เม็ดไม่สามารถเข้าใกล้กันได้มากเท่าที่ควร ปริมาณความชื้นในดินจะมากขึ้นโดยที่ปริมาณอากาศในมวลดินไม่ลดลงหรือลดลงน้อยมาก

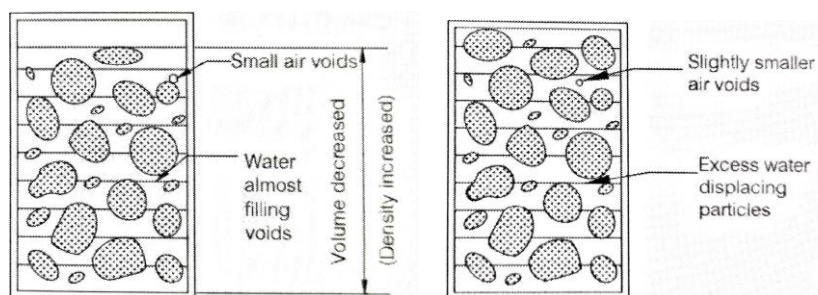
จากพฤติกรรมดังกล่าว RR. Proctor (1933) ได้กำหนดกระบวนการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณน้ำในมวลดินกับความหนาแน่นของดินจากการบดอัดในห้องปฏิบัติการขึ้นมา ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันแพร่หลาย เรียกว่าวิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) เหมาะกับงานก่อสร้าง เช่น ถนน สนามบิน เขื่อนดิน เป็นต้น เนื่องจากปัจจุบันยานพาหนะมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้น จึงมีวิธีการทดสอบที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยการเพิ่มพลังในการบดอัดดิน เรียกว่า การทดสอบแบบโมดิไฟด์ (Modified Proctor Test)



(ก) ดินแห้ง

(ข) เติมน้ำลงไปดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (ง) น้ำในมวลดินเป็นน้ำส่วนเกิน

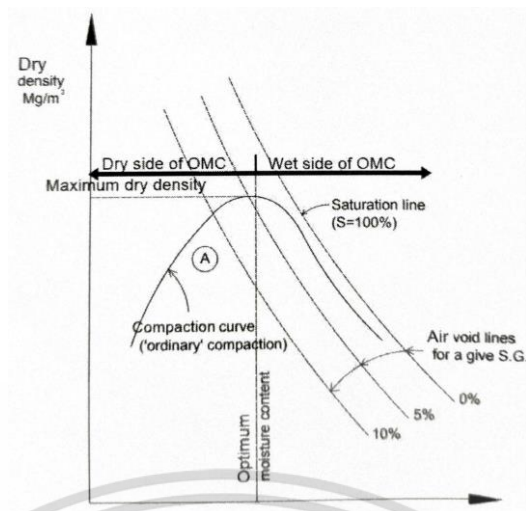
รูปที่ 2.15 เม็ดดินและปริมาณน้ำมีผลต่อพฤติกรรมดิน

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบวิธีการและเครื่องมือระหว่างวิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) กับ การทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

Using	Standard		Modified	
	Ø 4"×4.6"	Ø 6"×5"	Ø 4"×4.6"	Ø 6"×5"
Mold	Ø 4"×4.6"	Ø 6"×5"	Ø 4"×4.6"	Ø 6"×5"
Rammer (lb)	5.5	5.5	10	10
No. of Layer	3	3	5	5
No. of Blow per Layer	25	56	25	56
Rammer Fall (in)	12	12	18	18
Compaction energy (ft-lb/ft ³)	12375	12375	56250	56250

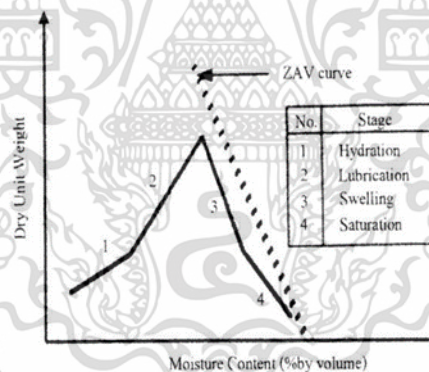
เมื่อกำหนดให้พลังงานในการบดอัดแต่ละครั้งมีค่าเท่ากัน แต่เพิ่มปริมาณน้ำในมวลดินในช่วงแรกจะทำให้ความหนาแน่นของดินมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ความหนาแน่นของดินมีค่าสูงสุด เรียกว่า ความหนาแน่นของดินสูงสุด (Maximum Dry Density) เรียกปริมาณน้ำที่ความหนาแน่นของดินสูงสุดว่า ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ทางด้านซ้ายเรียกว่าด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) ทางด้านขวาเรียกว่า ทางด้านเปียก (Wet Side of Optimum) จากจุดนี้แล้วแม้ว่าความชื้นจะมากขึ้นแต่ความหนาแน่นของดินจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 กราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง ปริมาณน้ำในมวลดิน(Moisture Content)-ปริมาตร (Dry Density)

แม้ว่าดินจะมีความหนาแน่นสูงสุดแล้ว แต่ยังคงมีช่องว่างในดินเหลืออยู่ (ปริมาณน้อย) ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้ในมวลดินปราศจากช่องว่างได้ (กราฟการบดอัดจะไม่สัมผัส Saturation=100% line)



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นนำเสนอโดย Hogentogler (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

Hogentogler นำเสนอเส้นกราฟการบดอัดที่แตกต่างกับ R.R.Proctor กล่าวคือ เขาได้นำเสนอเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) กับปริมาณความชื้นในรูปของปริมาณน้ำต่อปริมาตรรวม (Molding Moisture Content: V_w/V) โดยลักษณะของเส้นกราฟแสดงด้วยเส้นตรง 4 เส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งสาเหตุที่เขาได้นำเสนอการพล็อตเส้นกราฟแบบนี้เนื่องจากเขาพบว่าน้ำมีบทบาทอยู่ 4 ส่วน แบ่งได้เป็น 4 ช่วงที่มีผลทำให้ดินเกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุด และทำให้โครงสร้างของดินบดอัดมีความแตกต่างกันโดยมีรายละเอียดแต่ละช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Hydration Stage เขากล่าวว่าในช่วงนี้ น้ำจะถูกดูดซึมโดยอนุภาคของดินในลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ห่อหุ้มอนุภาคดินในลักษณะเดียวกับเมื่อพรมน้ำลงไปบนดินแห้งในช่วงแรกอนุภาคดินจะดูดซึมน้ำทันทีเพื่อไปห่อหุ้มอนุภาคดินก่อน โดยน้ำส่วนกลางที่จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นนั้นยังไม่มี

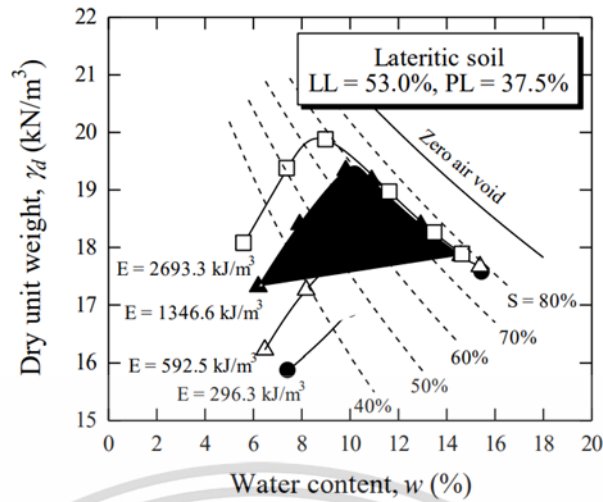
2. Lubrication Stage ในช่วงนี้ น้ำจะมีบทบาทเป็นสารหล่อลื่นเป็นผลให้ดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ในลักษณะที่มวลดินมีความแน่นขึ้น โดยยังคงมีอากาศอยู่ในมวลดินบางส่วนนั้นหมายถึงความหนาแน่นแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถึงจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content; OMC) จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงสุด (Maximum Dry Density)

3. Swelling Stage ในช่วงนี้เกิดจากการเติมน้ำที่เกินปริมาณน้ำที่เหมาะสม อากาศในส่วนที่มีอยู่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาตรของมวลดินมีค่าน้อยอยู่แล้วและอยู่ในสภาพที่แน่นซึ่งจะไม่ให้อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกมวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก มวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่

4. Saturation Stage ในช่วงนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกน้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างที่เหลืออยู่ในมวลดิน เป็นผลให้ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Void; ZAV)

2.5.3 พลังงานการบดอัดดินที่ต่างกัน

การบดอัดด้วยวิธีการทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test) มีค่าพลังงานที่ให้กับดินสูงกว่าวิธีการบดอัดมาตรฐานและมีปริมาณความชื้นน้อยกว่า ในวิธีการบดอัดเดียวกันหากเพิ่มจำนวนครั้งหรือ พลังงานในการบดอัดความหนาแน่นสูงสุดของดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นและมีปริมาณน้ำในมวลดินลดลง กราฟการบดอัดจะมีลักษณะคล้ายกันแต่จะมีการขยับขึ้นและขยับไปทางซ้ายตามพลังงานที่เพิ่มเข้าไป



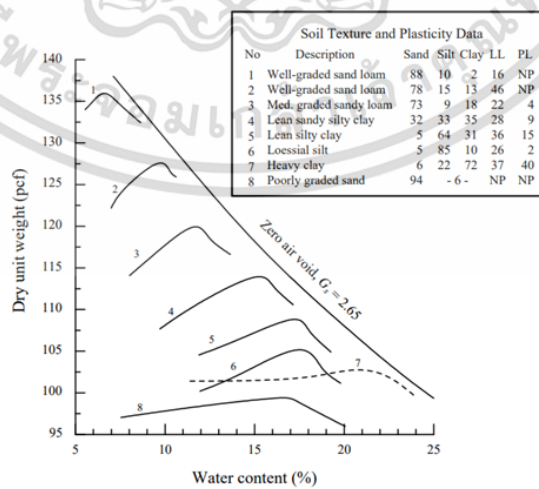
รูปที่ 2.18 อิทธิพลของพลังงานบดอัดต่อกราฟการบดอัดของดินลูกรัง (ที่มา : Horpibulsuk et al., 2004)

จากรูปที่ 2.18 เราสามารถสรุปได้ว่า

1. หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานการบดอัดที่เพิ่มขึ้น
2. ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าลดลงตามการเพิ่มของพลังงานการบดอัด

2.5.4 การบดอัดดินที่มีขนาดต่างกัน

การบดอัดดินที่มีขนาดต่างกัน ดินที่มีเม็ดหยาบ จะบดอัดแล้วมีความหนาแน่นสูงสุดน้อยกว่าดินเม็ดละเอียด เนื่องจากดินเม็ดหยาบมีพื้นที่ในการซึมซับน้ำน้อยกว่าดินเม็ดละเอียด ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมน้อยกว่า กราฟจึงขยับไปทางซ้าย

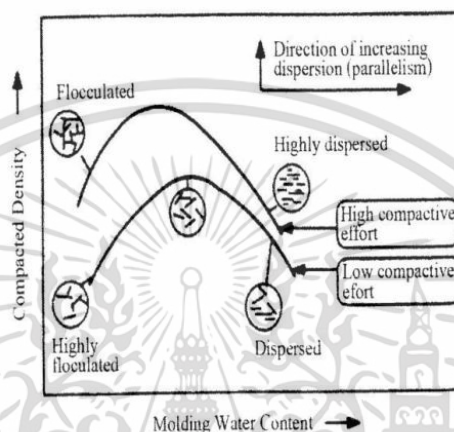


รูปที่ 2.19 อิทธิพลของชนิดดินต่อการบดอัดแบบมาตรฐาน (ที่มา : Johnson and Sallberg, 1960)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 การบดอัดต่อโครงสร้างของดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesive Soil)

การบดอัดดินเม็ดละเอียดที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว จะส่งผลต่อโครงสร้างของเม็ดดินโดยเริ่มแรกอนุภาคของเม็ดดินจะเรียงตัวแบบสะเปะสะปะ (Flocculent Structure) เมื่อปริมาณความชื้นมากขึ้น อนุภาคของเม็ดดินจะเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น (Parallel Structure) เม็ดดินเรียงตัวกันทำให้สามารถเคลื่อนที่เข้าใกล้กันได้มากขึ้นมีความหนาแน่นมากขึ้น เมื่อปริมาณน้ำมากขึ้นจะทำให้เกิดแรงผลักระหว่างเม็ดดิน พลังที่เพิ่มขึ้นก็ทำให้เม็ดดินเรียงตัวมากขึ้นเช่นกัน



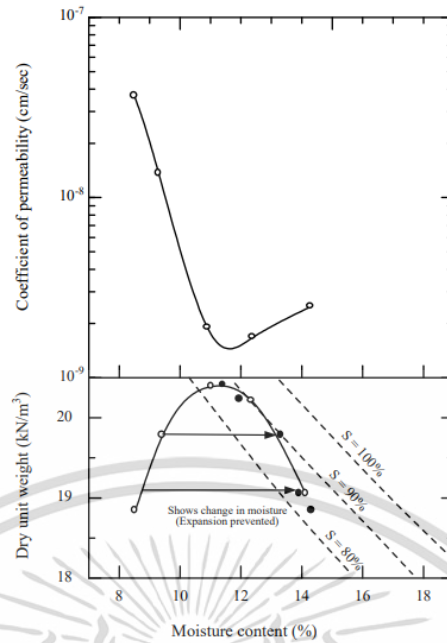
รูปที่ 2.20 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน (ที่มา : โภคินทร์ ข้าเขต, 2554)

2.5.6 ผลการบดอัดต่อกำลังของดิน

ค่ากำลังรับแรงสูงสุดของดิน ทางด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) จะมีค่ามากกว่าทางด้านเปียก (Wet Side of Optimum) และจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างน้อยกว่า (Lower Strain) จึงเกิดการวิบัติแบบเปราะ (Brittle Failure) ส่วนทางด้านเปียกจะเกิดการวิบัติแบบพลาสติก (Plastic Failure)

2.5.7 การบดอัดดินต่อการซึมผ่านของน้ำ

เมื่อปริมาณความชื้นในการบดอัดเพิ่มขึ้น การซึมผ่านของน้ำในด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) จะมีค่าลดลงจนมีค่าต่ำสุดที่ปริมาณความชื้นสูงกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเล็กน้อย และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทางด้านเปียก (Wet Side of Optimum) เนื่องจากดินถูกบดอัดทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง



รูปที่ 2.21 การทดสอบความซึมผ่านได้และการบดอัดดิน Siburua (ที่มา : Lambe, 1962)

2.5.8 การเลือกด้านการบดอัด

ในงานก่อสร้างทางวิศวกรรม ผู้ออกแบบมักจะต้องทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อย (Low Strain) ดังนั้นจึงต้องทำการบดอัดในด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) ส่วนในเขื่อนดินเหนียวหากต้องการคุณสมบัติด้านการรับกำลังก็จะเลือกให้มีการบดอัดจากทางด้านเปียก (Dry Side of Optimum) แต่ถ้าหากต้องการคุณสมบัติของดินที่บีบน้ำก็ควรทำการบดอัดจากด้านเปียก (Wet Side of Optimum) แต่ต้องระวังปัญหาเรื่องการทรุดตัว การเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากที่สุดที่ยอมให้โดยไม่เกิดรอยร้าว (Allow Larger Displacement Strains without Cracking)

สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดดินในสนามเทียบกับการบดดินในห้องปฏิบัติการได้จากสมการ

$$\text{Relative compaction, RC} = \frac{\gamma_{df}}{\gamma_{dl}} \times 100 (\%)$$

เมื่อ γ_{df} = หน่วยน้ำหนักดินในสนาม (Dry Unit Weight in Field)

γ_{dl} = หน่วยน้ำหนักดินในห้องปฏิบัติการ (Dry Unit Weight in Laboratory)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.9 ผลกระทบจากการบดอัดดินซ้ำ

ในการทดสอบจะบดอัดดินโดยเพิ่มปริมาณน้ำในดินสูงขึ้นจนกระทั่งความหนาแน่นของดินมีค่าลดลง ดินที่ผ่านการทดสอบแล้วจะมีขนาดเม็ดดินเล็กลงเนื่องจากการบดอัดทำให้ความหนาแน่นที่ได้นี้จะสูงกว่าความเป็นจริง จึงควรที่จะมีการเปลี่ยนดินใหม่ทุกครั้งที่มีการทดสอบ

2.6 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (CALIFORNIA BEARING RATIO)

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio) หรือเรียกสั้น ๆ ว่าการทดสอบ “CBR” เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (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 แต่เนื่องจากปริมาณการจราจรและน้ำหนักรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นในช่วงนั้น (ปี 1930) ทำให้วิธีการเดิมไม่เหมาะสม O.J. Porter ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการทดสอบของเขากับลักษณะจริงของดินที่ถูกบดอัดภายใต้การจราจรบนถนน และค่าที่ได้จากการทดสอบของเขาก็ได้รับการยอมรับในเวลาต่อมา

ในระยะแรกเป็นการทดสอบเพื่องานถนนเท่านั้น แต่ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีหน่วยงาน U.S. Army Corps of Engineers ได้มีการนำการทดสอบนี้มาใช้ในงานสร้างสนามบินด้วย

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ เป็นวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น ซึ่งการทดสอบหาค่าเปอร์เซ็นต์แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ สามารถทำการทดสอบได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการปกติจะทำการทดสอบตัวอย่างดินบดอัดที่จุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) โดยใช้แท่งเหล็กกลมตัน (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่ออนาที (1.25 มิลลิเมตรต่ออนาที) 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 และกำหนดให้มีค่าเป็นมาตรฐานตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (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

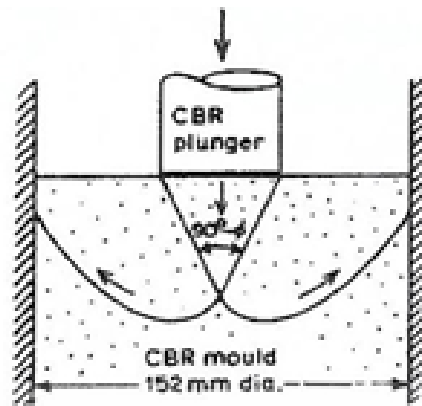
$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Stress}}{\text{Standard Unit Stress}} \times 100 \quad (\%)$$

โดยทั่วไปจะใช้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ความลึกของการกด (Penetration) 0.1 นิ้ว แต่ถ้าวัดค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ความลึก 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (ปกติค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ 0.1 นิ้วจะมีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ 0.2 นิ้ว) และหากการทดสอบใหม่ได้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ยังสัมพันธ์กับกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกด้วย (แต่ไม่ใช่แรงเฉือนโดยตรง) โดยลักษณะการวิบัติ ของดินใต้แท่งกดกลมตัน จะเป็นดังรูปที่ 2.22

สามารถกำหนดคุณสมบัติของดินจากค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ว่าเหมาะที่จะนำไปใช้ในทางถนนหรือไม่และเหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุในชั้นใดของงานทางดังแสดงในตารางที่ 2.23

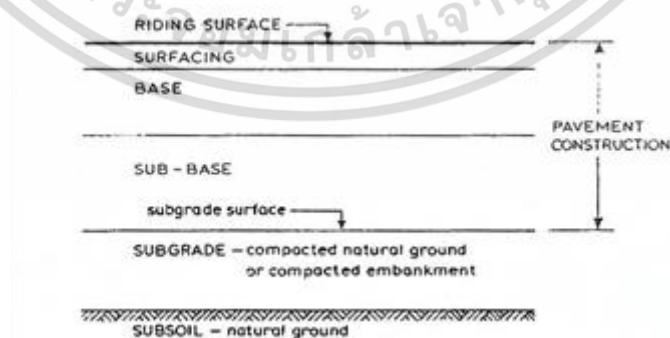
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การ Fail ของดินใต้ Piston (ที่มา : Head Vol.2 ,1988)

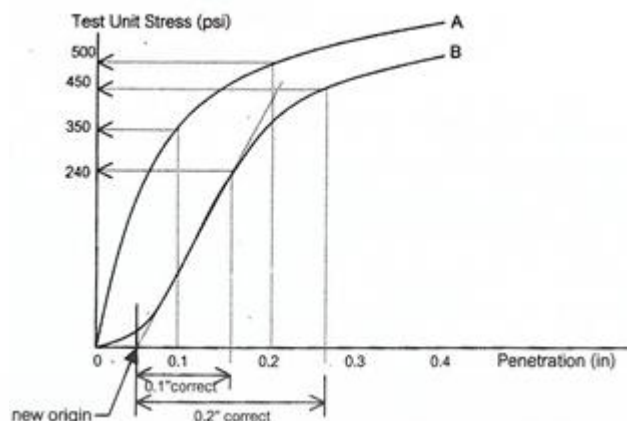
ตารางที่ 2.6 ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ที่เหมาะสมต่อชั้นทางต่าง ๆ

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



รูปที่ 2.23 แสดงลักษณะชั้นทางของงานถนน (ที่มา : Head Vol.2 ,1988)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ C.B.R. (ที่มา : Chonlatee ,2001)

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างค่าหน่วยแรงกับค่ายุบตัว กราฟจะต้องได้โค้งที่มีส่วนของเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ถ้าส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดจะต้องทำการปรับแก้ (Correct) โดยลากเส้นให้สัมผัสกับส่วนของเส้นตรงมากที่สุดมาตัดกับแกนนอนจะได้จุดเริ่มใหม่ (New Origin) ค่ายุบตัว 0.1 นิ้ว (") และ 0.2 นิ้ว (") จะต้องเริ่มวัดจากจุดนี้ดังแสดงในกราฟ B ในรูปที่ 2.24 (ส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดอาจมีสาเหตุมาจากผิวหน้าของดินบดอัดถูกรบกวน หรือได้รับการบดอัดที่ไม่ดีและอาจมีสาเหตุมาจากแท่งเหล็กกดตะแฉิวตัวอย่างไม่มั่นคงก่อนการทดสอบ) ส่วนกราฟ A ในรูป 2.24 สามารถหาค่าหน่วยแรง (Unit Load) จากค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดสอบได้เลย

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

$$\text{ค่า CB13 (กราฟ A) ที่การยุบตัว 0.1"} = \frac{350}{1000} \times 100 = 35 \quad (\%)$$

$$\text{ค่า CB13 (กราฟ A) ที่การยุบตัว 0.2"} = \frac{500}{1500} \times 100 = 33 \quad (\%)$$

ค่า CBR ที่ 0.1" มากกว่าค่า CBR ที่ 0.2" เพราะฉะนั้นไม่ต้องทดสอบตัวอย่างใหม่ ได้ค่า CBR ของดินตัวอย่าง A = 35

2.6.1 ชนิดการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ แบ่งได้ 2 แบบคือ

1. ทดสอบแบบแห้ง (Un-soaked Sample Test) โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินที่บดอัดไว้แล้วทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked Sample Test) ให้ทำการทดสอบตัวอย่างดินที่หลังจากแช่น้ำแล้ว

การทดสอบแบบแช่น้ำ จะต้องทำการแช่ตัวอย่างดินที่ผ่านการบดอัดแล้วในน้ำไม่ต่ำกว่า 96 ชั่วโมง (4 วัน) หรือกว่าดินจะหยุดการบวมตัว ซึ่งในระหว่างนี้จะต้องวัดการบวมตัว (Swell) ของดินด้วย โดยอัตราการบวมตัวของดินแช่น้ำจะเพิ่มขึ้นมากในระยะแรกและลดน้อยลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปประมาณ 1 วัน ค่าบวมตัวจะเป็นข้อกำหนดหนึ่งในการเลือกวัสดุในการสร้างถนน ดินที่มีค่าบวมตัวสูงจะไม่เหมาะสำหรับใช้ทำพื้นทางถนน

การทดสอบตัวอย่างดินแบบแช่น้ำ ก็เพื่อจำลองสภาพจริงที่อาจเกิดขึ้นได้ในถนน เช่น ในกรณีที่มีน้ำท่วมขังหรือในฤดูฝน โดยค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ของดินตัวอย่างที่แช่น้ำจะน้อยกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ทดสอบแบบแห้ง

ในการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ในช่วงที่ทำการกดทดสอบ (Penetration Test) และตอนที่แช่ตัวอย่างดินในน้ำ จะใส่แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) บนตัวอย่างดินด้วยเพื่อจำลองน้ำหนักชั้นดินที่กดทับด้านบน น้ำหนักที่ใช้กดก็ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินที่จะทดสอบว่าสภาพในสนาม ดินมีน้ำหนักกดทับประมาณเท่าไรแล้วเลือกน้ำหนักให้ใกล้เคียงกับสภาพจริง

ตารางที่ 2.7 ค่ามาตรฐานการบดอัดตัวอย่างดินในแบบอัดดินแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ

มาตรฐาน	ตุ้มบดอัด(Rammer)		จำนวนชั้นในการบดอัด	จำนวนชั้นในการปล่อยตุ้มต่อชั้น
	น้ำหนักตุ้ม	ระยะตก		
BS' ordinary	2.5 kg	300 mm	3	62
BS' heavy	4.5 kg	450 mm	5	62
ASTM' standard'	5.5 lb	12 in	3	56
'Modified AASHO'	10 lb	18 in	5	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

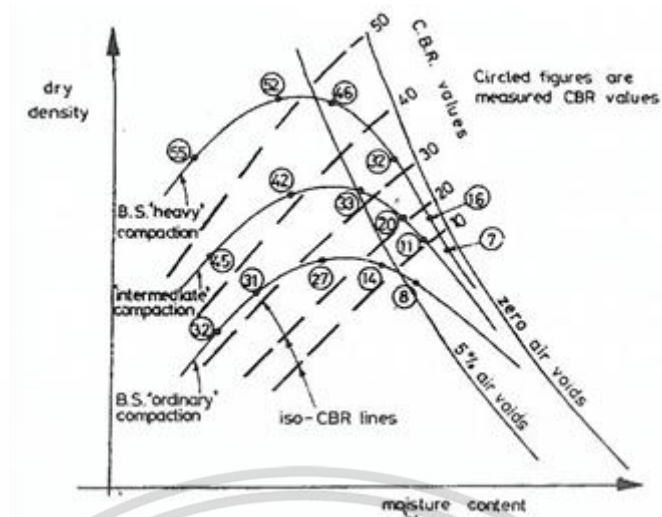
2.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ กับปริมาณความชื้นและความหนาแน่น

ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ได้จากการทดสอบจะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นในดินในกราฟรูปที่ 2.25 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินและค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ จะมีค่าสูงสุดทางด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) และจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านจุดที่มีความหนาแน่นสูงสุด (Optimum) Moisture Content) หรือลดลงอย่างมากในทางด้านเปียกนั่นเอง (Wet Side of Optimum) สังเกตกราฟ C จะมีจุดยอดสองจุดซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในการบดอัดดินเหนียวโดยเฉพาะเมื่อดินมีการบดอัดน้อย



รูปที่ 2.25 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการบดอัดและ ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ

(ที่มา: Head Vol.2 ,1988)



รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ บนกราฟการบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่างกัน (ที่มา: Head Vol.2 ,1988)

เมื่อทำการบันทึกค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ในกราฟการบดอัด (ตัวเลขในวงกลม) ในรูปที่ 2.26 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อทำการทดสอบหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่การให้พลังงานในการบดอัดและปริมาณความชื้นที่ต่างกันค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ที่ได้จากตัวอย่างทดสอบจะน้อยลงในกราฟเส้นเดียวกันและเมื่อลากเส้นประในแนวที่ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ เท่ากัน เช่น 10%, 20%, 30% จะได้เส้นระดับชั้นที่เรียกว่า “iso-CBR Lines” ซึ่งสามารถใช้ประมาณค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ในกราฟการบดอัดดินได้ ทำให้สามารถประมาณความชื้นที่ต้องใช้ได้ถ้าต้องการค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ เท่านี้จะต้องใส่น้ำประมาณเท่าใด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Shear Behavior of a Geogrid-Reinforced Coarse-Grained Soil Based on Large-Scale Triaxial Tests (Chen et al, 2014)

Shear Behavior of a Geogrid-Reinforced Coarse-Grained Soil Based on Large-Scale Triaxial Tests เป็นการทดสอบพฤติกรรมของดินจากหินโคลนในประเทศจีน ที่ถูกเสริมแรงด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน โดยแต่ละตัวอย่างจะมีจำนวนและตำแหน่งของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินต่างกัน ด้วยการทดสอบแรงอัดสามแกน (Triaxial-Test) ขนาดใหญ่ ผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการวิบัติของดิน กำลังรับแรงเฉือนของดินเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มแรงดันควบคุม (Confining pressure) และจากการทดลอง ระยะเวลาการติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ที่เหมาะสมที่สุดคือ 20 เซนติเมตรจากผิวบนของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 Geogrid Reinforcement of Granular Bases Flexible Pavements (Haas et al.)

Geogrid Reinforcement of Granular Bases Flexible Pavements เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ พฤติกรรมการถ่ายแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดินฐานทางใต้ถนนที่มีผิวทางลาดยาง ผลการศึกษาพบว่าสำหรับถนนที่มีชั้นโครงสร้างบาง ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน คือ ผ่าสัณัผัสระหว่างชั้นรองฐานทาง (Subgrade) และชั้นชั้นพื้นทาง (Base) ของถนน สำหรับถนนที่มีชั้นโครงสร้างหนาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดคือกึ่งกลางชั้นพื้นทาง (Base) ผลของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน จะน้อยมากหากติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในตำแหน่งที่มีการรับแรงกดสูงมากเช่นใต้ฐานทาง

2.7.3 Deformative Behavior of Different Geogrids Embedded in a Granular Soil Under Monotonic and Cyclic Pullout Loads (Moraci et al, 2011)

Deformative behavior of different geogrids embedded in a granular soil under monotonic and cyclic pullout loads ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการรับแรงของวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในงานดิน รูปแบบของ extruded geogrid และ woven geogrid ภายใต้การให้โหลดแรงดึงแบบวงรอบจนกระทั่งตัวอย่างเกิดการเสียหาย โดยการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของการใส่โหลดแรงดึงแบบวงรอบมีผลน้อยมาก แต่ในทางกลับกันพบว่า แอมพลิจูด มีผลต่อการตอบสนองแบบดึงออก และจากการศึกษานี้เองทำให้เห็นว่า extruded geogrid มีความแข็งแรงต่อแรงดึงกว่า woven geogrid

2.7.4 Behavior of Subgrade Soil Reinforced with Geogrid (Kamel et al, 2004)

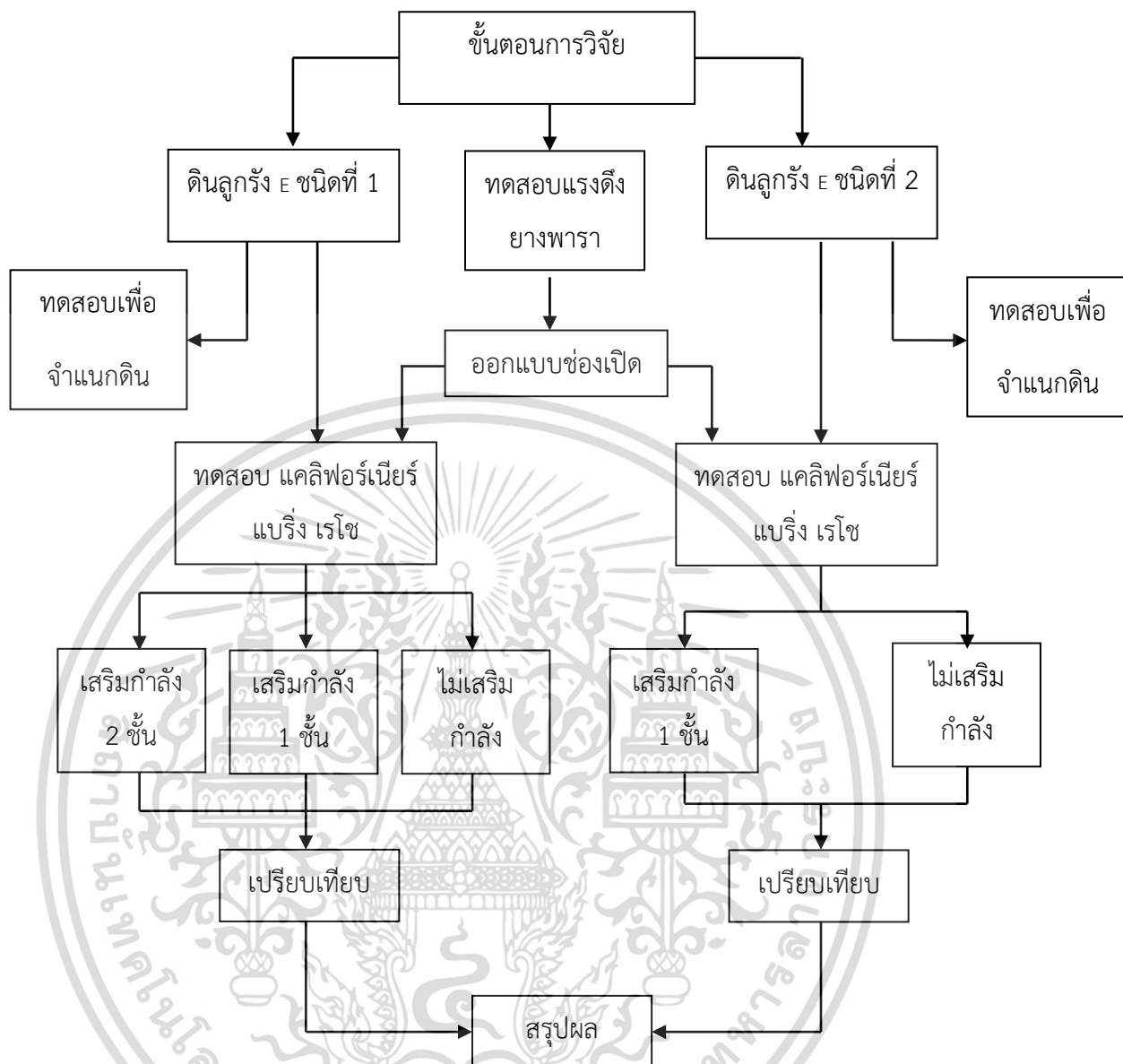
Behavior of Subgrade Soil Reinforced with Geogrid ศึกษาผลจากการเสริมแรงด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินด้วยการทดสอบสามแนวแกน (Triaxial Test) และการทดสอบค่าแคลิฟอร์เนีย แบบริง เรโซ ด้วยดินตัวอย่าง 3 ชนิด และแผ่นตาข่ายเสริมแรง 2 ชนิด ผลการวิจัยพบว่าดินที่มีค่าแคลิฟอร์เนียร์ แบบริง เรโซ ต่ำกว่าจะมีอัตราส่วนการเพิ่มเนื่องจากการเสริมแรงของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมากกว่าดินที่มีค่าแคลิฟอร์เนียร์ แบบริง เรโซ สูงอยู่แล้ว

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

การนำวัสดุเพื่อไปใช้ในงานทางนั้น จะต้องทำการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงความสามารถของวัสดุที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดินที่ทำการบดอัด โดยในการศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างยางพาราที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุในชั้นพื้นทางโดยได้ทำการทดสอบหาค่ารับแรงดึงเพื่อคัดเลือกตัวอย่างที่มีความเหมาะสมที่สุด ทำการทดสอบหาขนาดเม็ดดิน เพื่อทำการคัดแยกขนาดของเม็ดดินเพื่อทำการผสมใหม่ให้ได้ขนาดคละของดินลูกรังที่ต้องการ โดยดินชนิดที่ต้องการใช้ทำการทดลองคือดินลูกร E ซึ่งเป็นดินชนิดที่มีขนาดคละไม่ดีที่สุด ทดสอบการบดอัดของดินเพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสม ทำการทดสอบหาค่าพิกัดของอัดตะเบิร์ก เพื่อตรวจสอบการบวมตัวของดิน และทำการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ เพื่อหาความแข็งแรงของดินเทียบกับค่ามาตรฐานที่มีความชื้นที่เหมาะสม ซึ่งในการทดลองนั้นจะทำการจัดกลุ่มตัวอย่างการทดลองเป็น 3 ประเภทเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติกัน ได้แก่ (1.) โมลด์ที่ไม่มีเสริมแรง (2.) โมลด์ที่มีตาข่ายยางพาราเสริมแรง 1 ชั้น (3.) โมลด์ที่มีตาข่ายยางพาราเสริมแรง 2 ชั้น โดยนำค่าวิเคราะห์หาแนวโน้มการเสริมแรง



3.2 เงื่อนไขการทดสอบ

3.2.1 การทดสอบแรงดึง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบแรงดึง

เงื่อนไขที่	ลักษณะเงื่อนไข
1	แผ่นยางพารารวมคว้น RSS2 แบบ 1 ชั้น
2	แผ่นยางพารารวมคว้น RSS2 แบบ 2 ชั้น
3	แผ่นยางพารารวมคว้น RSS3 แบบ 1 ชั้น
4	แผ่นยางพารารวมคว้น RSS3 แบบ 2 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

เงื่อนไขที่	ลักษณะเงื่อนไข
1	ดินชนิด E แบบที่1 ไม่ติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน
2	ดินชนิด E แบบที่2 ไม่ติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน
3	ดินชนิด E แบบที่1 ติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน 1 ชั้น
4	ดินชนิด E แบบที่1 ติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน 2 ชั้น
5	ดินชนิด E แบบที่2 ติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน 1 ชั้น

3.3 การทดสอบคุณสมบัติแผ่นยางพารารมควัน

3.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงดึง (Wide-Width Tensile Test)

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

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารา
- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารา

การทดสอบกำลังรับแรงดึง

อุปกรณ์



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดความหนา



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบยูนิเวอร์แซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การเตรียมตัวอย่าง

1. ตัดแผ่นยางพารา เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 การเตรียมตัวอย่างแผ่นยางพารา

2. ใช้ปากกาเคมีขีดเส้นบอกระยะห่างระหว่างหัวจับของเครื่องทดสอบ (Gauge Length) เท่ากับ 10 เซนติเมตร
3. ใช้เครื่องทดสอบความหนา วัดความหนาของตัวอย่างอย่างน้อย 3 ค่า แล้วจดบันทึก



รูปที่ 3.4 แสดงการวัดความหนาของแผ่นยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เทปกาวหนัวย่น ติดบริเวณที่จะถูกหนีบด้วยหัวจับ เพื่อป้องกันการวิบัติเนื่องจากแรงหนีบของหัวจับ



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างที่เตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว
การทดสอบกำลังรับแรงดึง

- นำตัวอย่างมาติดตั้งที่เครื่องทดสอบให้ระยะหัวจับห่างกัน 10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.6 แสดงการติดตั้งตัวอย่างกับเครื่องทดสอบยูนิเวอแซล

- เริ่มเดินเครื่องทดสอบ โดยให้อัตราเร็วในการดึงคือ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวเท่ากับ 15% ต่อนาที (Stain Increase rate = 15%/min) โดยความยาวเริ่มต้นของวัสดุคือ 10 เซนติเมตร ดังนั้นจึงกำหนดให้ดึงด้วยอัตราเร็ว 1.5 เซนติเมตร ต่อ นาที
- บันทึกกำลังรับแรงดึงที่ระยะต่าง ๆ หากำลังรับแรงดึงสูงสุด ทำการทดสอบซ้ำกับตัวอย่างที่มีความหนาต่างออกไป เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาและกำลังรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ลักษณะตัวอย่างเมื่อเดินเครื่องทดสอบ

3.4 คุณสมบัติของดินตัวอย่าง

ในการวิจัย จะต้องมีข้อมูลที่บ่งชี้ถึงดินที่นำมาเป็นตัวอย่างในการทดลอง โดยประกอบด้วย โค้งการกระจายขนาดเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) จากการทดสอบด้วยตะแกรง (Sieve Analysis) ค่าพิกัดเหลว และ ค่าพิกัดพลาสติก จากการทดสอบหาค่าพิกัดของอัตราตะเปร์ก (Atterberg's Limit) ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Optimum Moisture Content) จากการทดสอบการบดอัด และ ค่าแคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (California Bearing Ratio) ของดินที่ไม่มีการเสริมแรงเป็นตัวแปรต้นในการวิจัย

3.4.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน (Grain Size Analysis)

อ้างอิง : ASTM D 422

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาขนาดของเม็ดดินและความคละของเม็ดดิน
- เพื่อสร้างกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน(Grain Size Distribution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบด้วยตะแกรง (Sieve Analysis)

อุปกรณ์

1. ถาดใส่ตัวอย่างดิน (Mixing Pan)
2. ตะแกรงร่อน (Sieve)
3. เครื่องเขย่าตัวอย่างดิน (Sieve Shaker)
4. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
5. กล้องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)
6. แปรงทำความสะอาดตะแกรง (แปรงลวดสำหรับตะแกรงหยาบและแปรงขนสำหรับตะแกรงละเอียด)
7. ค้อนยาง มือตักดิน (Soil Scoop)



รูปที่ 3.8 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบหาขนาดคละของดินตัวอย่าง
วิธีการทดสอบ

ก.) การเตรียมตัวอย่างดิน

ตารางที่ 3.3 น้ำหนักดินแห้งในการร่อนผ่านตะแกรง

ขนาดเม็ดดินใหญ่สุด(นิ้ว)	3/8	3/4	1	1 1/2	2	3
น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย(กรัม)	500	1000	2000	3000	4000	5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาตารางที่ 3.3 แล้วนำตัวอย่างดินแห้งมาตามจำนวนที่กำหนดไว้ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินใหญ่สุด ถ้าเม็ดดินเกาะกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนอย่างทุบเม็ดดินให้แยกออกจากกัน นอกจากนี้ผู้ทดลองต้องคัดตัวอย่างดินมาเป็นตัวแทนที่เป็นธรรมชาติมากที่สุด ใช้วิธีแยกตัวอย่างเอา 2 ใน 4 (Quartering) กองวัสดุที่จะแยกบนผืนผ้าใบบนพื้นเรียบ เกลี่ยวัสดุให้กระจายออกจากกัน ใช้มือ หรือ พลับซีตรงแบ่งวัสดุ หรือใช้กล่องแบ่งตัวอย่างดิน



รูปที่ 3.9 แสดงน้ำหนักตัวอย่างดินที่เตรียมมาใช้ในการทดสอบ

ข.) ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการเลือกตะแกรงจากใหญ่ไปหาตะแกรงขนาดเล็กลงไปประมาณครึ่งเท่า ซึ่งอาจจะเป็น ตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 เบอร์ 10 เบอร์ 40 เบอร์ 100 เบอร์ 200 และถาดรับ-ฝาปิด ตามลำดับ
2. ใช้แปรงลวดทำความสะอาดตะแกรงขนาดหยาบ และตะแกรงขนาดละเอียดด้วยแปรงขนอ่อน เพื่อป้องกันน้ำหนักผิดพลาด นำตะแกรงแต่ละอันซึ่งน้ำหนักไว้
3. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ มีขนาดพอเพียง ควรมีความแห้งพอประมาณที่ระหว่างการทดสอบ จะได้ไม่เปลี่ยนน้ำหนัก
4. ใส่ตัวอย่างดินลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปหาละเอียด ปิดฝาด้านบน และ รอง ด้วยถาด (PAN) ด้านล่าง แล้วใช้เครื่องเขย่า (Sieve Shaker) ประมาณ 10 นาที
5. แยกตะแกรงแต่ละอันออกมาจากเครื่องเขย่าแล้วทำการชั่งจะเป็นน้ำหนัก ตะแกรง + น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
6. เพราะฉะนั้นจะได้น้ำหนักของดินที่ค้างแต่ละตะแกรง โดยนำ (น้ำหนักตะแกรง + น้ำหนัก ดินที่ค้าง)-น้ำหนักตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงน้ำหนักตะแกรงเปล่า



รูปที่ 3.11 ติดตั้งตะแกรงบนเครื่องเขย่า



รูปที่ 3.12 แสดงการชั่งน้ำหนักตะแกรงที่มีดินค้างอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณผลการทดสอบ

1. การทดสอบด้วยตะแกรง (Sieve Analysis)

$$1.1 \text{ เปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100\%$$

1.2 เปอร์เซนต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซนต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่ยากกว่า

$$1.3 \text{ เปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง, \%Finer} = 100 - \text{เปอร์เซนต์ค้างสะสม}$$

2. กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curvature)

2.1 วิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดิน ขนาดละเอียดและวิเคราะห์ลักษณะของเม็ดดิน

2.2 หาสัมประสิทธิ์การกระจายของเม็ดดิน

$$(ก) \text{ สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity) } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$(ข) \text{ สัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of Curvature) } C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

เมื่อ D_{10} , D_{30} และ D_{60} เป็นขนาดของเม็ดดิน (มิลลิเมตร) ที่เปอร์เซนต์ลอดผ่านตะแกรงที่ 10, 30 และ 60 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

3.4.2 การทดสอบหาค่าพิกัดของอัตราเบร์ก

อ้างอิง : ASTM D 4318, ASTM D 427

วัตถุประสงค์

-เพื่อหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

-เพื่อหาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

อุปกรณ์

ค่าพิกัดเหลว

1. เครื่องเคาะดิน (Liquid Limit Device)

2. มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มีดปาดดิน (Spatula)
4. ขามกระเบื้องเคลือบ
5. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

พิกัดพลาสติก

1. แผ่นกระจกรองสำหรับปั่นดิน
2. เผลาโลหะขนาด 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ไว้เปรียบเทียบกับขนาดเส้นดินที่ปั่น
3. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

การหาความชื้น (Water Content)

1. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (can)
2. ตู้อบ (Drying Oven)
3. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดสอบ

วิธีหาค่าพิกัดเหลว

(ควรทำการทดสอบจากดินแห้งไปหาเปียก)

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งมาผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม แต่ถ้าเป็นตัวอย่างดินเปียกที่มั่นใจว่าขนาดเม็ดเล็กกว่าเบอร์ 40 ก็นำมาทดสอบได้เลย โดยนำดินที่เตรียมไปใช้ทดลองพิกัดเหลว และ พิกัดพลาสติก
2. นำตัวอย่างดินผสมน้ำให้เข้ากันในถ้วยกระเบื้อง โดยเติมน้ำจากกระบอกฉีดน้ำเพียงเล็กน้อย คลุกดินให้เข้ากัน แล้วใช้มีดปาด (Spatula) ตักปาดดินลงบนกระเททองเหลือง ให้มีความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วบากด้วยมีดปาดร่องดินตรงกลาง แล้วเริ่มทำการเคาะ ไม่ควรทิ้งไว้จะทำให้ปริมาณความชื้นของดินเปลี่ยนแปลง
3. ทำการเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้งต่อวินาที จนดินเคลื่อนเข้าบรรจุกันได้ระยะ 1.3 เซนติเมตร แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งในการเคาะไว้ (การเคาะครั้งแรก ควรจะประมาณ 40-50 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปาดแต่งดินเดิมแล้วทำการบากด้วยมีดปาดร่องดินอีกครั้ง เพื่อทำการเคาะซ้ำ แล้วใช้ค่าเฉลี่ยจากการเคาะทั้งสองครั้งเป็นจำนวนครั้งในการเคาะ (N) (โดยที่จำนวนครั้งในการเคาะควรเท่ากันหรือห่างไม่เกิน 2 ครั้ง) จึงนำดินบริเวณรอยบากที่บรรจุกันประมาณ 15 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น (%w)

5. เติมน้ำในตัวอย่างดินเล็กน้อย แล้วทำตามข้อ 2-4 โดยที่ค่าจำนวนการเคาะที่ได้ควรน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง ทำเช่นนี้ซ้ำจนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 5 ค่า (จำนวนครั้งในการเคาะควรอยู่ระหว่าง 5-50 ครั้ง)

6. นำข้อมูลจำนวนการเคาะ(N) และปริมาณความชื้น (%w) ไปเขียนกราฟ โดยให้จำนวนครั้งการเคาะ(N) อยู่ในแกน X (Scale Log) ส่วนปริมาณความชื้น (%w) อยู่ในแกน y แล้วลากกราฟเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

7. จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้ง ให้ลากเส้นตรงในแนวตั้งตัดกราฟที่ได้ แล้วลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกน y (%w) ค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือ ค่า พิกัดเหลือ (W, หรือ L.L.)

ข้อควรระวัง

- ต้องใช้กระดาษทองเหลืองให้แห้งและขูดดินออกให้หมดทุกครั้งในการเคาะครั้งต่อไป
- ต้องดูให้แน่ใจว่าตัวอย่างดินเคลื่อนมาบรรจุกันได้ระยะ 1.3 เซนติเมตรพอดี

วิธีหาพิกัดพลาสติก

(ควรทำการทดสอบจากเปียกหมาดๆ ไปหาแห้ง)

1. ทำการปั้นตัวอย่างดินที่จะทดสอบบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ โดยปั้นเป็นก้อนกลมให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ถ้าดินเปียกไปให้แผ่ดินเป็นแผ่นบาง บนแผ่นกระจกจะได้แห้งเร็วขึ้น
2. ค่อยๆ คลึงบนฝ่ามือไปมาประมาณ 80-90 ครั้งต่อนาที
3. คลึงดินให้เป็นเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ภายในระยะเวลาไม่เกินประมาณ 2 นาที ถ้ายังสามารถคลึงเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มิลลิเมตร (เปรียบเทียบกับเพลากล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว) โดยที่ดินยังไม่ร่อนแตก แสดงว่าดินยังมีความชื้นสูงกว่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปั้นดินเดิมให้เป็นก้อนอีกครั้ง แล้วคลึงจนกระทั่งเมื่อเส้นดินมีขนาดใกล้เคียง 3.2 มิลลิเมตร ดินเริ่มมีรอยแตกหรือไม่สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มิลลิเมตร ได้ที่สถานะความชื้นของดินนี้จะเรียกว่าเป็นพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

5. นำเศษดินที่ปั้นไว้ใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้น

6. แยกดินออกมาจากกองที่เตรียมไว้ ทำการทดสอบข้อ 2-5 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณผล

1. พิกัดเหลว (w_L) อ่านได้จากกราฟที่การเคาะ 25 ครั้ง หรือจากสูตร

$$w_L = w_N \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121} \quad \text{สำหรับการทดสอบแบบครึ่ง}$$

เดียว

เมื่อ N = จำนวนครั้งของการเคาะที่ทำให้ดินเคลื่อนมาบรรจบกัน 1.3 เซนติเมตร
(N ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20-30)

w_w = ค่า %Water Content (%w) ที่จำนวนการเคาะ N ครั้ง

2. พิกัดพลาสติก (w_p) คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ทำได้

3. Plasticity Index (P.I. หรือ I_p)

$$P.I. = L.L. - P.L.$$

4. Liquidity Index (L.I. หรือ I_L)

$$L.I. = \frac{w_n - P.L.}{P.I.} = \frac{w_n - P.L.}{L.L. - P.L.}$$

เมื่อ w_n = ปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของดิน (Natural Water Content)

3.4.3 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test)

อ้างอิง : ASTM D 698, ASTM D 1157

วัตถุประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่น (Moisture-Density Relations) ของดิน

-เพื่อหาความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Dry Density) ของดินเมื่อถูกบดอัด

-เพื่อหาความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ของดินเมื่อถูกบดอัด

อุปกรณ์

1. แบบอัดดิน (Compaction Mold) \varnothing 4"x 4.6" พร้อมปลอก (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plate) ต้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) \varnothing 2" หนัก 5.5 lb ระยะตก 12"
2. แบบอัดดิน (Compaction Mold) \varnothing 6"x 5" พร้อมปลอก (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plate) ต้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) \varnothing 2" หนัก 10 lb ระยะตก 18"
3. ตะแกรงขนาดเบอร์ 4 และขนาด 3/4 นิ้ว
4. ค้อนยาง แปรงอ่อนใช้บดดิน
5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
6. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge) ขนาด 30 เซนติเมตร
7. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)
8. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
9. กระจกตวงน้ำ (Graduate Cylinder)
10. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
11. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบการบดอัดดิน

การหาความชื้น

1. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (Can)
2. ตู้อบ (Drying Oven)
3. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดสอบ

ก.) การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบควรแห้งพอดี แต่ถ้าดินตัวอย่างชื้นเกินไปให้ผึ่งให้แห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140°F (60°C) จากนั้นใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันให้แยกออกหากเป็นพวกดินลูกรังหรือกรวดพยายามอย่าทุบดินจนเม็ดดินแตก ถ้าเป็นดินเหนียวควรผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ดินแตกละเอียดหรือใช้เครื่องบด

2. ใช้วิธีแยกตัวอย่างเอา 2 ใน 4 (Quartering) หรือแยกด้วยกลองแยกดินเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างดิน

3. เตรียมตัวอย่างโดยนำดินที่แห้งพอดีมาผ่านตะแกรงขนาด 4 นิ้ว ดินที่มีขนาดใหญ่กว่าให้ทิ้งไป แล้วแทนด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด $3/4$ นิ้ว แต่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ: การทดสอบทั้งสองแบบนี้จะใช้ได้กับดินที่ค้ำบนตะแกรงขนาด 4 นิ้ว (19.00 มิลลิเมตร) ไม่เกิน 30% โดยน้ำหนักเท่านั้น



รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างดินที่เตรียมพร้อมทำการทดสอบ

4. แบ่งตัวอย่างดินประมาณ 7 kg สำหรับทดสอบกับโมลด์ขนาด $\text{Ø } 6'' \times 5''$
5. ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (O.M.C.) ตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ข.) ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบแบบโมดิไฟด์ (Modified Proctor Test)

ใช้โมลด์ขนาด $\text{Ø } 6'' \times 5''$ ค่าต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามค่าในตารางที่ 3.4

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของโมลด์ด้วยเวอร์เนียแล้วนำไปค้ำปาก หาปริมาตรของ โมลด์
2. ชั่งน้ำหนักของโมลด์ให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ประกอบ โมลด์, ปลอก และ แผ่นฐาน เข้าด้วยกัน แล้วนำไปวางบนพื้นคอนกรีตที่แข็งและเรียบ
4. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กิโลกรัม มาผสมน้ำให้มีความชื้นห่างจากค่าความชื้นที่เหมาะสมที่ประมาณไว้ประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์ หรือหากไม่ได้ประมาณค่าปริมาณความชื้น ที่เหมาะสมไว้ก็ให้ผสมน้ำลงไปประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างดิน จากนั้นคลุกเคล้าให้เข้ากัน พยายามให้ทุกส่วนในดินมีปริมาณความชื้นที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการนำตัวอย่างดินมาผสมน้ำและคลุกเคล้าให้เข้ากัน

5. ใช้ช้อนตักดินตักดินใส่ในโมลต์ทีละชั้น โดยประมาณดินที่จะใส่ให้ได้จำนวน 5 ชั้น เท่ากัน แล้วใช้ตุ้มบดอัด ขนาด 10 ปอนด์ (lb) บดอัดดินแต่ละชั้น ๆ ละ 56 ครั้ง การยกตุ้มให้ยก ก้านตุ้ม ค้อนขึ้นจนตะฝาปลอกแล้วจึงปล่อยตุ้มอย่างอิสระ แต่แต่ละครั้งในการปล่อยตุ้มให้เคลื่อนตำแหน่ง ต้มวนไปทั่ว ๆ โมลต์ในชั้นสุดท้ายให้บดอัดดินเหลือพื้นส่วนบนของโมลต์เล็กน้อย (ไม่เกิน 13 มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.16 แสดงการบดอัดดิน

6. ถอดปลอกของโมลต์ออก ใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบโมลต์ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบโมลต์ใช้แปรงปัดทำความสะอาดด้านนอกโมลต์แล้วถอดแผ่นฐานออก นำโมลต์บรรจุดินไปชั่งให้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงการชั่งน้ำหนักหลังแต่งผิวและทำความสะอาด

7. ดันตัวอย่างดินออกจากโมลต์ด้วยเครื่องดันดินหรือกระทะแรงๆ ด้วยตุ้ม นำตัวอย่างดินบริเวณกลางตัวอย่างอย่างน้อย 100 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น โดยการนำไปชั่งแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบ (ถ้าเป็นไปได้ควรเก็บตัวอย่างทั้งบริเวณ บน กลาง และล่าง ไปหาปริมาณความชื้น)



รูปที่ 3.18 แสดงการหาความชื้นโดยการใช้เตาอบ

8. นำตัวอย่างดินที่เหลื่อมมาทุบให้ร่วนแล้วผสมกับตัวอย่างดินที่เหลือ แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 2-3% คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทำการทดสอบตามข้อ 3-7 จนกระทั่งน้ำหนักดินในโมลต์ที่ชั่งลดลงแล้วทำการทดสอบอีก 1-2 จุด ซึ่งจำนวนครั้งในการทดสอบทั้งหมดไม่ควรเกิน 5-6 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 การเปรียบเทียบวิธีการและเครื่องมือระหว่างวิธีแบบมาตรฐานกับวิธีแบบโมดิฟายด์

Using	Standard		Modified	
	Ø 4" x 4.6"	Ø 6" x 5"	Ø 4" x 4.6"	Ø 6" x 5"
Rammer (lb)	5.5	5.5	10	10
No. of Layer	3	3	5	5
No. of Blows per Layer	25	56	25	56
Rammer Fall (in)	12	12	18	18
Compaction Energy (ft-lb/ft ³)	12375	12375	56250	55986

การคำนวณผล

$$1. \text{ ความหนาแน่นเปียกของดิน (Wet Density)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก}}{\text{ปริมาตร Mold}} = \frac{W}{V} \quad \text{lb/ft}^3, \text{ g/cm}^3$$

$$2. \text{ ความหนาแน่นแห้งของดิน (Dry Density), } \gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad \text{lb/ft}^3, \text{ g/cm}^3$$

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

$V =$ ปริมาตรของ โมลต์ $\text{ft}^3, \text{ cm}^3$

$w =$ ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

3.4.4 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio)

อ้างอิง : ASTM D 1883

วัตถุประสงค์

-เพื่อหาค่ากำลังของดินบดอัดในค่าของ CBR

อุปกรณ์

การบดอัด (Compaction)

1. แบบอัดดินซีปอาร์ (CBR Mold) Ø 6" x 7" พร้อมปลอก (Collar) สูง 2" แผ่นฐาน (Base Plate) ปลอกตัดดิน (Cutting Collar) และแผ่นเหล็กทรง (Spacer Disc) Ø 5.94" x 2.416" ด้าน

หนึ่งเจาะรูมีเกลียวสำหรับใช้มือสกรูดึงแผ่นออกจากแบบอัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตู้มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) ขนาด \varnothing 2" หนัก 10 lb ระยะตก 18" สำหรับการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)
3. กระบอกตวงน้ำ (Graduate Cylinder) ขนาด 250-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
6. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)
7. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)
8. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
10. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)
11. กระดาษกรอง (Filter Papers) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" (150 มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.19 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

การกดทดลอง (Penetration)

1. เครื่องกดแบบมือหมุน (Mechanical) หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Motorized) มีกำลังกดอย่างต่ำ 6000 ปอนด์
2. แท่งเหล็กกดกลมตัน (Penetration Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 in^2 ยาวอย่างน้อย 4" ต่อ

เข้ากับ Proving Ring
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. มาตรฐานวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) ขนาด 1" อ่านละเอียด 0.001" หรือขนาด 25 มิลลิเมตร อ่านละเอียด 0.01 มิลลิเมตร พร้อมอุปกรณ์ยึดเข้ากับแท่งเหล็กกดกลมตัน



รูปที่ 3.20 แสดงเครื่องทดสอบการเจาะทะลุแบบอิเล็กทรอนิกส์

วิธีการทดสอบ

ก.) การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ทิ้งตัวอย่างดินให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (Air Dry) แล้วเลือกตัวแทนดินโดยการใช้กล่องแยกดินหรือ ใช้วิธีแยกตัวอย่างเอา 2 ใน 4 (Quartering) จากนั้นนำดินร้อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4" ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และนำดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 3/4" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ในจำนวนที่เท่ากันโดยน้ำหนักมาผสม

2. หาความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ตามการทดสอบการบดอัดดินด้วยวิธี Modified Proctor Test



รูปที่ 3.21 แสดงการเตรียมตัวอย่างก่อนนำมาทดสอบ

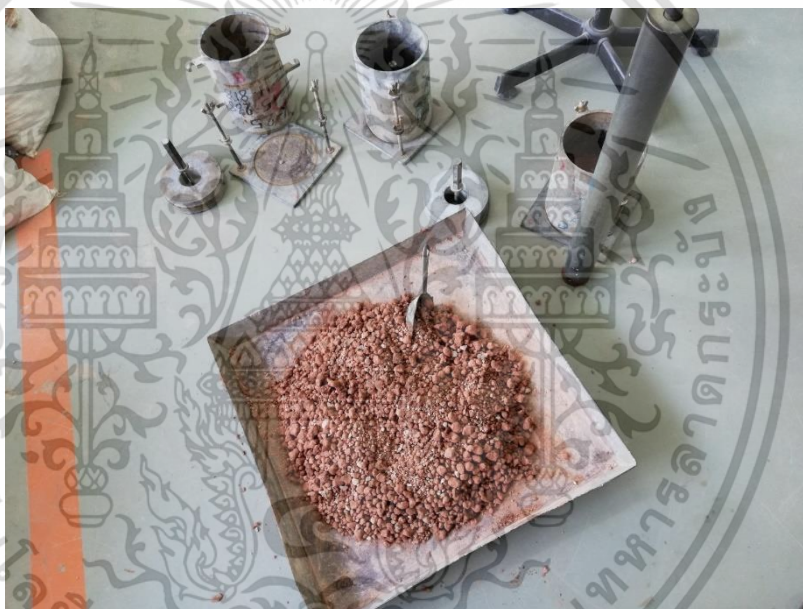
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.) การบดอัด (Compaction)

1. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาประมาณ 12 กิโลกรัม แบ่งดินสำหรับการบดอัดตัวอย่าง 2 ตัวอย่างๆละประมาณ 6 กิโลกรัม และแบ่งตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัมหรือมากกว่า ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดินก่อนทำการทดสอบ (Initial Water Content)

2. ประกอบโมลด์เข้ากับ แผ่นฐาน และ แผ่นเหล็กรอง โดยให้ด้านที่มีรูเกลียวอยู่ข้างล่าง วางแผ่นกระดาษกรองบน แผ่นเหล็กรอง เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก ตั้งชุดโมลด์บนพื้นที่ที่เรียบและแข็งแรง

3. นำน้ำปริมาณมากกว่าที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) 2% (เพื่อเผื่อการระเหยและติดภาชนะ) ผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดินโดยใช้ขวดฉีดน้ำ



รูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างดินและภาชนะบดอัดที่พร้อมทำการบดอัด

4. ทำการบดอัดดินตามวิธีการบดอัดแบบโมดิไฟด์ในวิธีการทดสอบการบดอัดดิน

- Modified Proctor Test (ASTM D 1557):

ตุ้มขนาด 10 ปอนด์ ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง



รูปที่ 3.23 แสดงการบดอัดด้วยวิธีโมดิฟายด์

5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้ว ถอดปลอก ออก ใช้ไม้บรรทัด เหล็ก ปาดดินให้สูงเสมอขอบโมลด์พร้อมซ่อมแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินให้เรียบ

6. ถอดแผ่นฐาน และ แผ่นเหล็กรองออก ในการถอดแผ่นเหล็กรอง หากแผ่นเหล็กรองติดให้ ใช้มือสกรูหมุนเข้าไปในรูใต้แผ่นเหล็กรอง แล้วดึงออกจากแบบอัดดิน หลังจากนั้นนำโมลด์และ ตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่น และนำตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัมหรือ มากกว่า ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังการบดอัด

7. นำโมลด์ที่บรรจุดินอัดแน่นประกอบเข้ากับ แผ่นฐาน โดยให้ขอบโมลด์ด้านที่มีดินเสมอ ขอบวางบน แผ่นฐาน ให้ส่วนโมลด์ที่มีช่องว่างอยู่ด้านบน



รูปที่ 3.24 แสดงแบบบดอัดดินที่ประกอบกับฐานรองพร้อมทำไปทดสอบการเจาะทะลุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.) การกดทดลอง (Penetration)

1. วางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) อย่างน้อย 10 ปอนด์ ลงบนตัวอย่างดินใน โมลต์
2. จัดวางโมลต์พร้อมตัวอย่างดินเข้ากับเครื่องทดสอบซึ่งมีแท่งเหล็กกดกลมตันขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่ โดยจัดให้ผิวหน้าของตัวอย่างดินในโมลต์แตะสัมผัสกับแท่งเหล็กกดกลมตันดังกล่าว
3. ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวเพื่อวัดการยุบตัวเข้ากับแท่งเหล็กกดกลมตัน จัดปลายมาตรวัดการยุบตัวให้ชนเสมอขอบโมลต์จากนั้นปรับมาตรหน้าปัดของมาตรวัดการยุบตัวให้เป็นศูนย์
4. เริ่มกดทดสอบโดยใส่แรงกดในอัตรา 0.05 นิวตันต่อวินาที 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 นิวตัน จึงหยุด



รูปที่ 3.25 แสดงการทดสอบการเจาะทะลุ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 แสดงตัวอย่างดินที่นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการ

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

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า หน่วยแรงแรงที่เกิดขึ้น กับค่า ระยะการกด พร้อมทำการปรับแก้กราฟตามวิธีการปรับแก้ข้างต้น

3. อ่านค่าหน่วยแรงจากกราฟที่ค่า 0.1 นิ้วและ 0.2 นิ้ว และคำนวณหา

ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

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

ค่าหน่วยแรงกดมาตรฐาน ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

ปกติค่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว ควรจะมีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ที่ระยะกด 0.2 นิ้ว ถ้าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ที่ 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว จะต้องทำการทดสอบใหม่ (Retest) หากการทดสอบใหม่ยังได้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ระยะกด 0.2 นิ้ว มากกว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว ก็ให้ใช้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

ที่ระยะกด 0.2 นิ้ว

$$4. \text{ คำนวณหาค่าความหนาแน่นดินแห้ง (Dry Density), } \gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad \text{lb/ft}^3,$$

g/cm³

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

V = ปริมาตรของ โมลด์ ft³, cm³

w = ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

ตารางที่ 3.5 ค่า Standard Unit Stress ที่ Penetration ต่าง ๆ

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

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของดินและวัสดุเสริมแรง

สำหรับการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินที่ถูกเสริมแรงด้วย วัสดุจากยางพารารมควัน สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบ ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ของตัวอย่างดินที่ไม่มีการเสริมแรงและ ตัวอย่างดินที่มีการติดตั้งวัสดุเสริมแรงจากยางพารารมควัน โดยขั้นตอนการทดสอบนั้นจะคล้ายคลึงกับการทดสอบ แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ แต่จะมีการติดตั้ง วัสดุเสริมแรงจากยางพาราไว้บนชั้นที่ 3 ของการบดอัดดิน

3.5.1 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio Test)

วัตถุประสงค์

-เพื่อกำหนดค่าของดินบดอัดในค่าของ CBR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์

1. แบบอัดดินซีบีอาร์ (CBR Mold) \varnothing 6" x 7" พร้อมปลอก (Collar) สูง 2" แผ่นฐาน (Base Plate) ปลอกตัดดิน (Cutting Collar) และแผ่นเหล็กทรง (Spacer Disc) \varnothing 5.94" x 2.416" ด้านหนึ่งเจาะรูมีเกลียวสำหรับใช้มือสกรูดึงแผ่นออกจากแบบอัดดิน
2. ตุ่มบดอัด (Drop Rammer หรือ Compaction Hammer) ขนาด \varnothing 2" หนัก 10 lb ระยะตก 18" สำหรับการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)
3. กระบอกตวงน้ำ (Graduate Cylinder) ขนาด 250-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
4. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
6. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)
7. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)
8. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
10. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)
11. กระดาษกรอง (Filter Papers) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6" (150 มิลลิเมตร)

การกดทดลอง (Penetration)

1. เครื่องกดแบบมือหมุน (Mechanical) หรือแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Motorized) มีกำลังกดอย่างต่ำ 6000 ปอนด์
2. แท่งเหล็กกดกลมตัน (Penetration Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 in² 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 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

ก.) การเตรียมวัสดุเสริมแรงจากยางพารา

1. ตัดยางพาราให้มีช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 20 x 20 มิลลิเมตร โดยแต่ละช่องเปิดห่างกัน 20 มิลลิเมตร ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง
2. ตัดแผ่นยางที่มีช่องเปิดแล้วเป็นรูปวงกลมขนาดเท่ากับโมลด์ เพื่อติดตั้งในการทดสอบ



รูปที่ 3.27 วัสดุเสริมแรงจากยางพารารวมคั้นที่พร้อมทดสอบ

ข.) การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ทิ้งตัวอย่างดินให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (Air Dry) แล้วเลือกตัวแทนดินโดยใช้กลองแยกดินหรือ ใช้วิธีแยกตัวอย่างเอา 2 ใน 4 (Quartering) จากนั้นนำดินร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4” ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และนำดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 3/4” แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ในจำนวนที่เท่ากันโดยน้ำหนักมาผสม

2. หาความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ตามการทดสอบการบดอัดดินด้วยวิธี Modified Proctor Test

ค.) การบดอัด (Compaction)

1. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้มาประมาณ 12 กิโลกรัม แบ่งดินสำหรับการบดอัดตัวอย่าง 2 ตัวอย่างๆละประมาณ 6 กิโลกรัม และแบ่งตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัมหรือมากกว่า ไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของตัวอย่างดินก่อนทำการทดสอบ (Initial Water Content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประกอบโมลด์เข้ากับ แผ่นฐาน และ แผ่นเหล็กรอง โดยให้ด้านที่มีรูเกลียวอยู่ข้างล่าง วาง แผ่นกระดาษกรองบน แผ่นเหล็กรอง เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก ตั้งชุดโมลด์บนพื้นที่ที่ เรียบและแข็งแรง

3. นำน้ำปริมาณมากกว่าที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) 2% (เพื่อเผื่อการระเหยและติดภาชนะ) ผสมคลุกเคล้ากับตัวอย่างดินโดยใช้ขวดฉีดน้ำ

4. ทำการบดอัดดินตามวิธีการบดอัดแบบโมดิไฟยด์ในวิธีการทดสอบการบดอัดดิน

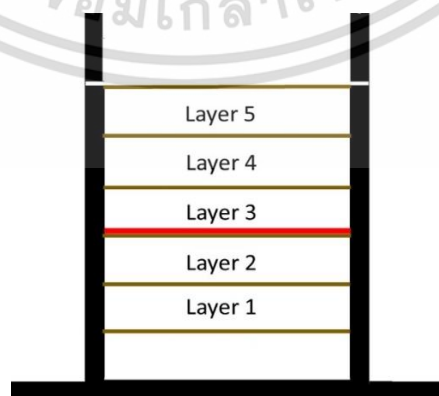
- Modified Proctor Test (ASTM D 1557):

ตุ้มขนาด 10 ปอนด์ ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง โดยเมื่อทำการบดอัด ถึงชั้นที่ 2 เสร็จเรียบร้อย ให้ติดตั้งวัสดุเสริมแรงจากยางพารา ก่อนบดอัดดินชั้นถัดไป



รูปที่ 3.28 การติดตั้งวัสดุเสริมแรงจากยางพารารวมควัน

5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออก แล้วใช้ไม้บรรทัด เหล็กปาดดินให้สูงเสมอขอบโมลด์พร้อมซ่อมแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินให้เรียบ



รูปที่ 3.29 แบบจำลองการติดตั้งวัสดุเสริมแรงจากยางพารารวมควัน

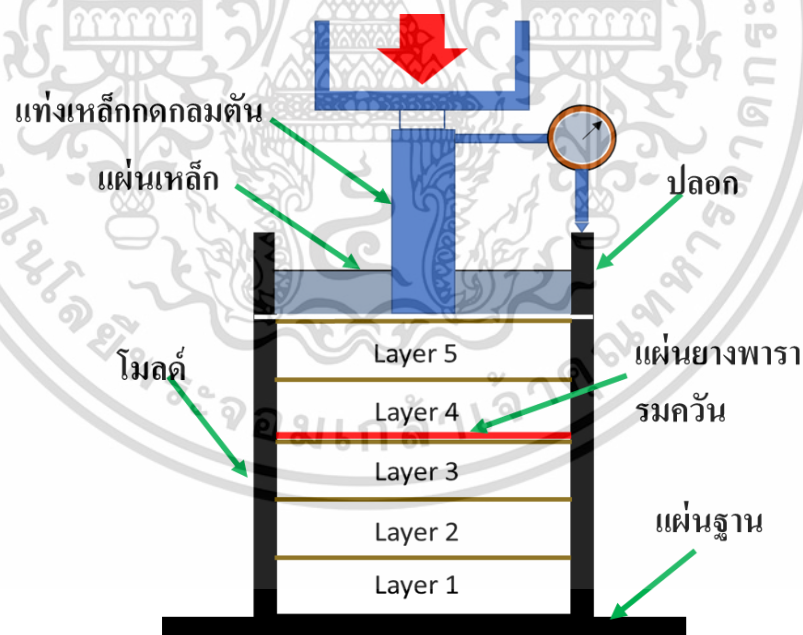
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ถอดแผ่นฐาน และ แผ่นเหล็กรองออก ในการถอดแผ่นเหล็กรอง หากแผ่นเหล็กรองติดให้ใช้มือสกรูหมุนเข้าไปในรูใต้แผ่นเหล็กรอง แล้วดึงออกจากแบบอัดดิน หลังจากนั้นนำโมลด์และตัวอย่างดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อหาค่าความหนาแน่น และนำตัวอย่างดินประมาณ 100 กรัมหรือมากกว่า ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังการบดอัด

7. นำโมลด์ที่บรรจุดินอัดแน่นประกอบเข้ากับ แผ่นฐาน โดยให้ขอบโมลด์ด้านที่มีดินเสมอขอบวางบน แผ่นฐาน ให้ส่วนโมลด์ที่มีช่องว่างอยู่ด้านบน

ง.) การกดทดลอง (Penetration)

1. วางแผ่นเหล็ก (Surcharge Weight) อย่างน้อย 10 ปอนด์ ลงบนตัวอย่างดินใน โมลด์
2. จัดวางโมลด์พร้อมตัวอย่างดินเข้ากับเครื่องทดสอบซึ่งมีแท่งเหล็กกดกลมตันขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่ โดยจัดให้ผิวหน้าของตัวอย่างดินในโมลด์แตะสัมผัสกับแท่งเหล็กกดกลมตันดังกล่าว
3. ติดตั้งมาตรวัดการยุบตัวเพื่อวัดการยุบตัวเข้ากับแท่งเหล็กกดกลมตัน จัดปลายมาตรวัดการยุบตัวให้ชนเสมอขอบโมลด์จากนั้นปรับมาตรหน้าปิดของมาตรวัดการยุบตัวให้เป็นศูนย์



รูปที่ 3.30 แสดงแบบจำลองการทดลองการกด

4. เริ่มกดทดสอบโดยใส่แรงกดในอัตรา 0.05 นิวตันาที 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 นิวตัน จึงหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกดจากสมการ

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

2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า หน่วยแรงแรงที่เกิดขึ้น กับค่า ระยะการกด พร้อมทำการปรับแก้กราฟตามวิธีการปรับแก้ข้างต้น

3. อ่านค่าหน่วยแรงจากกราฟที่ค่า 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว และคำนวณหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ

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

ค่าหน่วยแรงกดมาตรฐาน ที่ระยะกด 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว แสดงไว้ในตารางที่ 3.5

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

ที่ระยะกด 0.2 นิ้ว

$$4. \text{ คำนวณหาค่าความหนาแน่นดินแห้ง (Dry Density), } \gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad \text{lb/ft}^3,$$

g/cm³

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

$V =$ ปริมาตรของ โมลต์ ft³, cm³

$w =$ ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

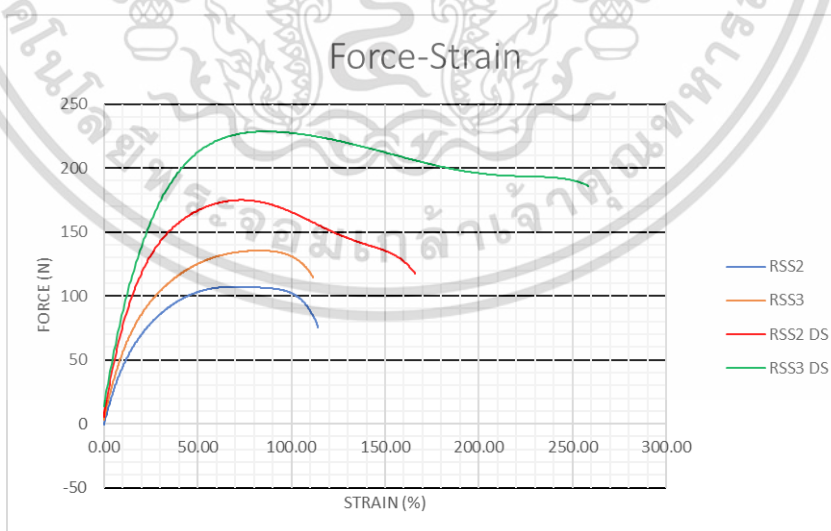
ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมของการเสริมแรงของแผ่นยางพารารมควันประเภทที่ 3 ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับความหนาของแผ่นยางที่ติดตั้ง ความแข็งแรงของดินที่ดินก่อนติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน ก่อนที่นำดินมาทดสอบจะต้องทดสอบคุณสมบัติเพื่อคัดแยกดินโดยการทดสอบหาขนาดคละ การทดสอบขีดจำกัดของออตเตอร์เบิร์ก และการทดสอบการบดอัด

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับแรงของแผ่นยางพารารมควัน

ในงานวิจัยนี้ทดสอบคุณสมบัติของยางพารารมควันเฉพาะความสามารถในการรับแรงดึง (Wide-Width Tensile Test) โดยการทดสอบนี้จะทำให้ทราบค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) เนื่องจากต้องการศึกษาความสัมพันธ์ของแรงดึงกับความหนาของแผ่นยางด้วยแต่ตัวอย่างแผ่นยางรควันโดยทั่วไปมีความหนาประมาณ 2.5-4 มม. และแผ่นยางเป็นวัสดุที่มีเนื้อเดียว จึงใช้วิธีการประกบแผ่นยาง 2 แผ่น (Double Sheet) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของแผ่นยางที่มีความหนา มากกว่า 4 มม. ในการทดสอบ ดังนั้นจึงมีการทดสอบทั้งหมด 4 ตัวอย่าง แบ่งเป็น แผ่นยางพาราชนิด RSS 2 จำนวน 1 แผ่น และ ยางพาราชนิด RSS 3 จำนวน 1 แผ่น แผ่นประกบ RSS 2 จำนวน 1 แผ่น แผ่นประกบ RSS 3 จำนวน 1 แผ่น ผลที่ได้เป็นดังตารางที่ 4.1 และนำข้อมูลมาพล็อตได้กราฟ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดตัวของแผ่นยางพารา (DS = Double Sheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

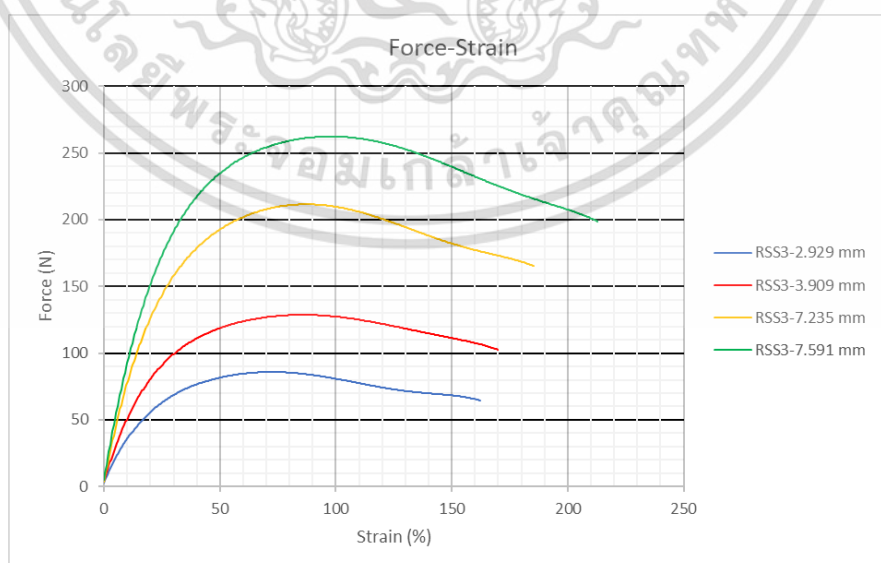
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบแรงดึง (Width-Width Tensile Test)

เงื่อนไข	ตัวอย่าง	ความหนา (มม.)	แรงดึงสูงสุด (N)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (N/m)
1	RSS2	3.44	107.94	539.70
2	RSS3	3.79	135.89	679.45
3	Double Sheet RSS2	5.46	174.88	874.40
4	Double Sheet RSS3	6.87	230.50	1152.50

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าค่าแรงดึงของยางพาราทั้ง 2 ชนิด มีค่าต่างกันเล็กน้อย แต่จะแปรผันกับความหนาของแผ่นยางที่ทดสอบสอดคล้องกับมาตรฐานการตัดแยกประเภทยางที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 ที่จะคักแยกโดยการใช้ลักษณะภายนอก และ ความสะอาดเป็นหลัก ไม่ได้กำหนดคุณสมบัติเชิงกลของยาง

จึงสามารถสรุปได้ว่า ความสามารถในการรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควันนั้น จะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของแผ่นยาง แต่จะขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นยางที่นำมาทดสอบนั้น

เนื่องจากแผ่นยางที่ได้รับความอนุเคราะห์หานั้น RSS 3 เป็นแผ่นยางที่มีความหนาเฉลี่ยสูงที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาโดยใช้ แผ่นยางรมควันชนิด RSS 3 เป็นหลัก และจากการทดสอบแรงดึงของแผ่นยางพารารมควันชนิด RSS 3 เพิ่มเติมทำให้ได้ข้อมูลดังตารางที่ 4.2 และพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางได้ดังรูปที่ 4.2



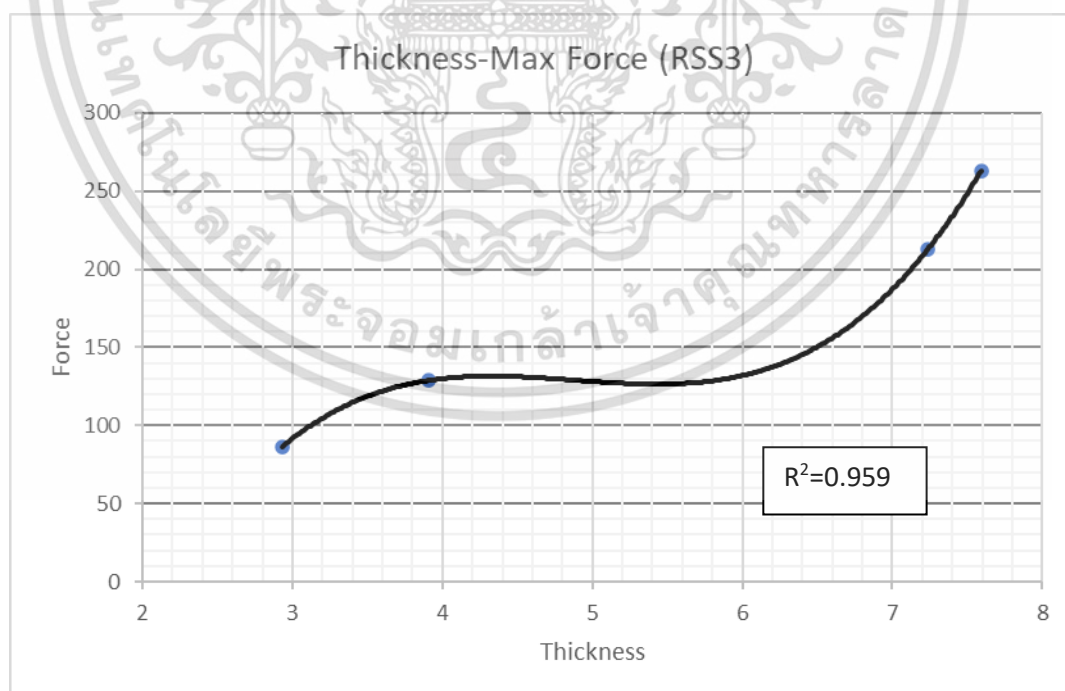
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและระยะยืดตัวของแผ่นยางพาราประเภทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดสอบแรง (Wide-Width Tensile Test) ของแผ่นยางพาราชนิด RSS 3

ตัวอย่าง	ความหนา (มม.)	แรงดึงสูงสุด (N)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (N/m)
RSS3-01	2.929	86.23	431.15
RSS3-02	3.909	128.80	644.00
Double Sheet RSS3-01	7.235	212.60	1063.00
Double Sheet RSS3-02	7.591	262.63	1313.15

จากข้อมูลดังกล่าวสามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและแรงดึงสูงสุดของยางพาราชนิดที่ 3 ได้ดังรูปที่ 4.3 กราฟแสดงการแปรผันระหว่างแรงสูงสุดที่ยางพาราสามารถรับได้และความหนาของแผ่นยางพารานั้น สามารถเขียนสมการของกราฟดังได้คือ $y = 7.628x^3 - 111.59x^2 + 537.12x - 721.39$ มีค่า $R^2=0.959$ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาสร้างกราฟนี้มีเพียงสี่ตัวอย่างเท่านั้นทำให้สามารถใช้ในการหาความสัมพันธ์ได้แม่นยำระดับหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางประเภทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E แบบที่1 และ แบบที่2 ที่ใช้ในการศึกษา

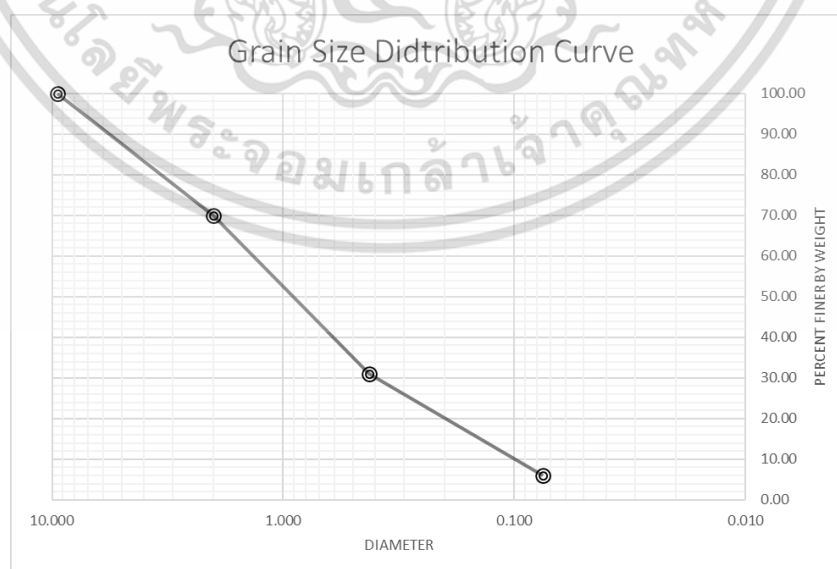
เนื่องด้วย ดินประเภท E ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงนั้น เป็นดินของประเภทที่ต่ำที่สุดใน การนำมาใช้ในงานถนน เราจึงเลือกดินประเภทนี้นำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

4.3.1 คุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E แบบที่1

(1.) การทดสอบขนาดผละของดินลูกรังชนิด E แบบที่1

ตารางที่ 4.3 แสดงการกระจายขนาดผละของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่1

ขนาด ตะแกรง	ขนาด ช่องเปิด (มม.)	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก ตะแกรง+ ดิน (กรัม)	น้ำหนัก ดินที่ค้าง (กรัม)	น้ำหนักดิน ค้างสะสม (กรัม)	น้ำหนักดิน ค้างสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ของดินที่ ผ่าน ตะแกรง (%)
3/8"	9.500	521.99	521.99	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2.000	481.21	781.21	300.00	300.00	30.00	70.00
40	0.425	375.59	765.59	390.00	690.00	69.00	31.00
200	0.075	319.92	569.92	250.00	940.00	94.00	6.00
Pan	-	360.77	420.77	60	1000	100	0



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการกระจายขนาดผละของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่1

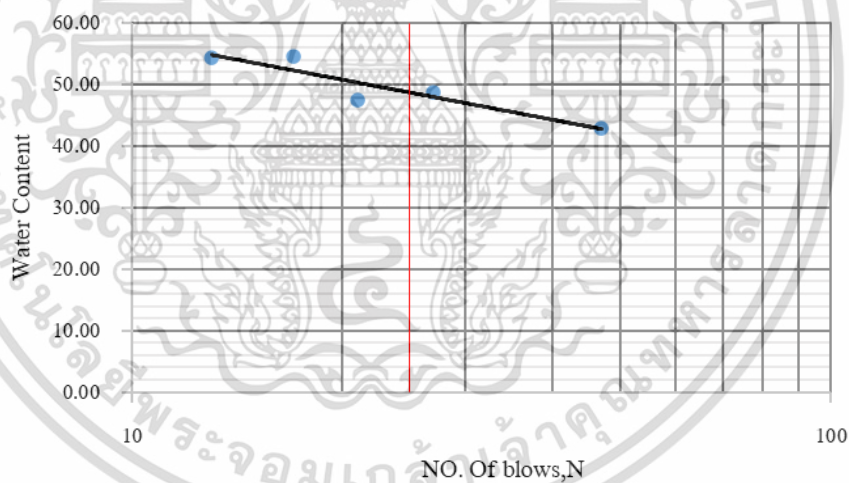
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.) การทดสอบขีดจำกัดของแอตเตอร์เบิร์ก (Atterberg Limit) ของดินลูกรังชนิด E แบบที่ 1

จากการทดสอบหาค่าขีดจำกัดของแอตเตอร์เบิร์ก ได้ผลการทดสอบเป็นดังตาราง

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบขีดจำกัดเหลวดินลูกรัง E แบบที่ 1

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5
จำนวนครั้ง	47	21	27	17	13
หมายเลขกระป๋อง	1	2	3	4	5
น้ำหนักดินเปียก+กระป๋อง, กรัม	263.74	270.37	272.19	273.37	260.61
น้ำหนักดินแห้ง+กระป๋อง, กรัม	255.51	259.57	264.15	264.00	250.66
น้ำหนักกระป๋อง, กรัม	236.31	236.87	247.66	246.82	232.38
น้ำหนักน้ำ, กรัม	8.23	10.80	8.04	9.37	9.95
น้ำหนักดินแห้ง, กรัม	19.20	22.70	16.49	17.18	18.28
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	42.86	47.58	48.76	54.54	54.43



รูปที่ 4.5 กราฟระหว่างจำนวนครั้งในการเคาะกับปริมาณความชื้นดินลูกรัง E แบบที่ 1

จากผลการทดสอบได้ว่าขีดจำกัดเหลวของดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 48.00 %

และจากการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

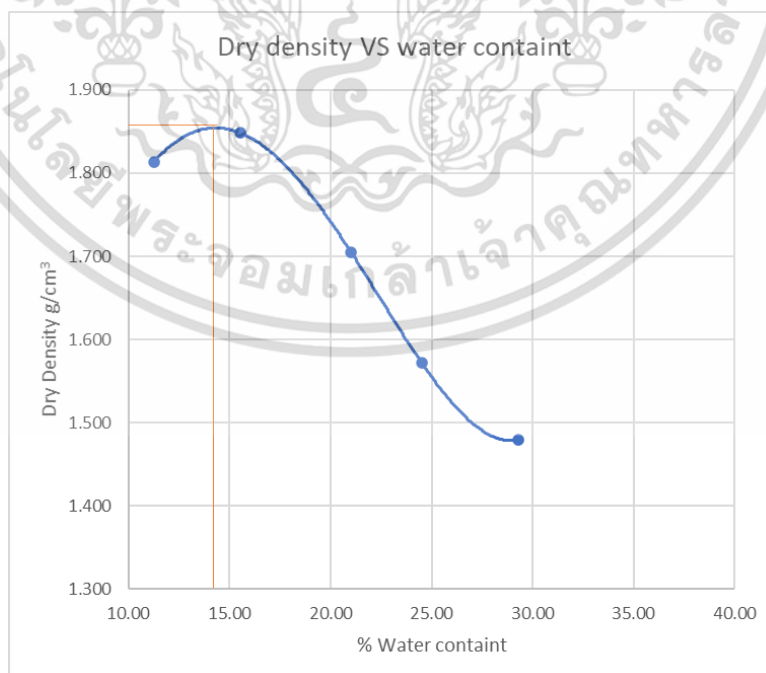
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกดินลูกรัง E แบบที่ 1

ตัวอย่างที่	1	2	3
หมายเลขกระป๋อง	M-258	M-42-4	M-246
น้ำหนักดินเปียก+กระป๋อง, กรัม	247.22	245.44	255.45
น้ำหนักดินแห้ง+กระป๋อง, กรัม	245.26	243.99	254.16
น้ำหนักกระป๋อง, กรัม	236.27	237.00	248.32
น้ำหนักดินแห้ง, กรัม	8.99	6.99	5.84
น้ำหนักน้ำ, กรัม	1.96	1.45	1.29
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	21.80	20.74	22.09
เฉลี่ย	21.54		

จากตารางดังกล่าวจะได้ค่าพิกัดพลาสติกเท่ากับ 21.54 % และดินชนิดที่ 1 นี้มีค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index) เท่ากับ 26.46 %

(3.) การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction) ของดินลูกรังชนิด E แบบที่1

การทดสอบการบดอัดได้กราฟความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแสดความหนาแน่นแห้งกับเปอร์เซ็นต์น้ำในดินลูกรังชนิด E แบบที่1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการบดอัดดินชนิด E แบบที่1

ความชื้นที่เหมาะสม, (%)	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด
14.00%	1.86

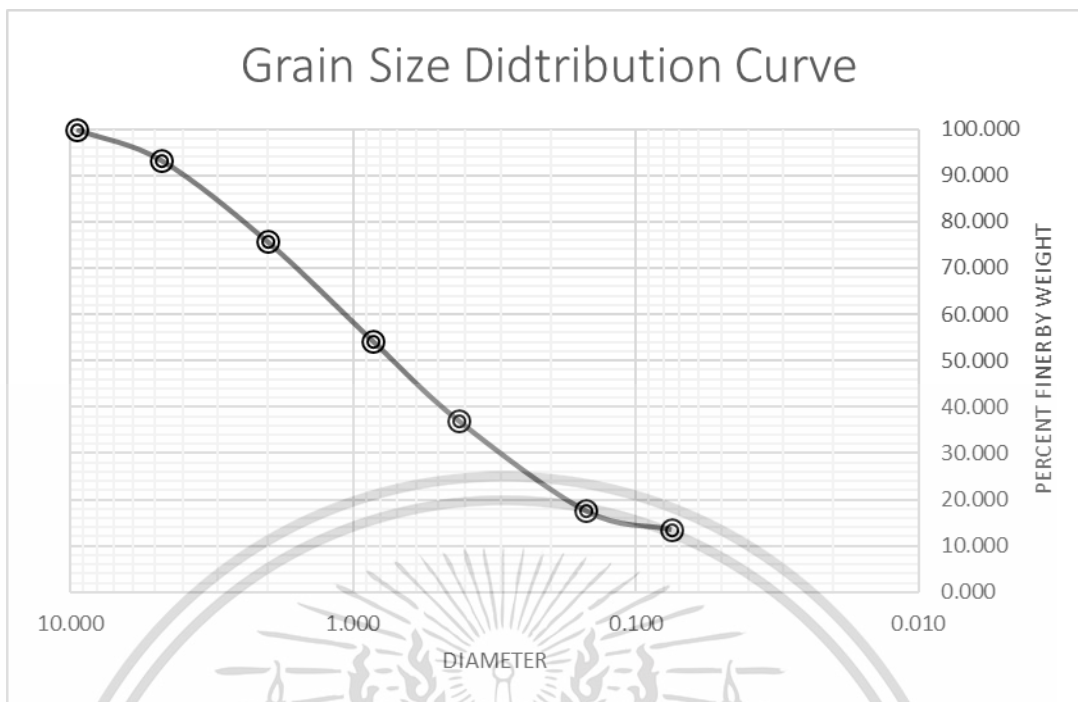
4.3.2 ดินลูกรังชนิด E แบบที่2

(1.) การทดสอบขนาดผลของของดินลูกรังชนิด E แบบที่2

ตารางที่ 4.7 แสดงการกระจายขนาดผลของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่2

ขนาด ตะแกรง	ขนาด ช่องเปิด (มม.)	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก ตะแกรง+ ดิน (กรัม)	น้ำหนัก ดินที่ค้าง (กรัม)	น้ำหนักดิน ค้างสะสม (กรัม)	น้ำหนักดิน ค้างสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ของดินที่ ผ่าน ตะแกรง (%)
3/8"	9.50	521.99	524.24	2.25	0.00	0.00	100.00
4.000	4.75	484.81	531.44	46.63	48.89	6.72	93.28
10.000	2.00	481.21	609.25	128.04	176.92	24.33	75.67
20.000	0.85	396.84	553.07	156.23	333.15	45.81	54.19
40.000	0.43	375.59	499.89	124.30	457.45	62.90	37.10
100.000	0.15	322.77	465.04	142.27	599.71	82.46	17.54
200.000	0.08	319.92	349.20	29.28	628.99	86.49	13.51
Pan	-	360.77	459.05	98.28	727.26	100.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการกระจายขนาดผลของเม็ดดินลูกรังชนิด E แบบที่ 2

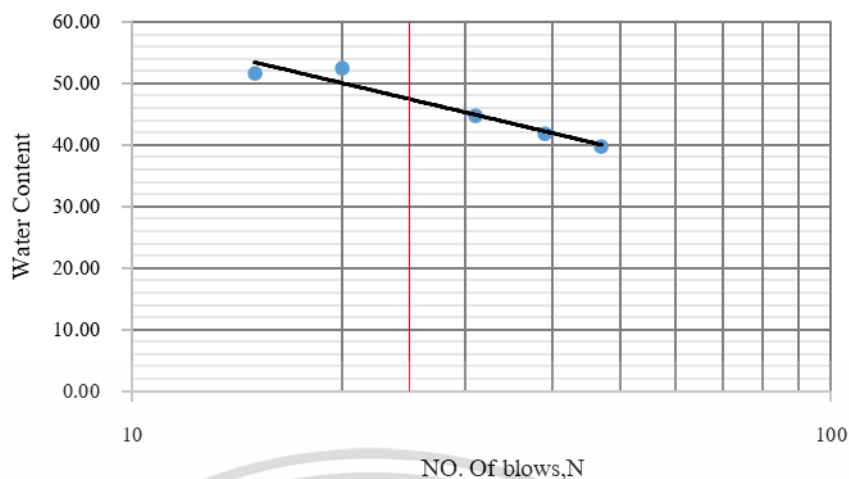
(2.) การทดสอบขีดจำกัดของอัตราเปอร์เซ็นต์ (Atterberg Limit) ของดินลูกรังชนิด E แบบที่ 2

จากการทดสอบหาค่าขีดจำกัดของอัตราเปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดสอบเป็นดังตาราง

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบขีดจำกัดเหลวดินลูกรัง E แบบที่ 2

ตัวอย่างที่	1	2	3	4	5
จำนวนครั้ง	47	39	31	20	15
หมายเลขกระป๋อง	1	2	3	4	5
น้ำหนักดินเปียก+กระป๋อง, กรัม	262.52	271.80	279.40	280.34	260.73
น้ำหนักดินแห้ง+กระป๋อง, กรัม	255.09	261.63	269.82	269.07	251.24
น้ำหนักกระป๋อง, กรัม	236.41	237.36	248.44	247.60	232.89
น้ำหนักน้ำ, กรัม	7.43	10.17	9.58	11.27	9.49
น้ำหนักดินแห้ง, กรัม	18.68	24.27	21.38	21.47	18.35
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	39.78	41.90	44.81	52.49	51.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟระหว่างจำนวนครั้งในการเคาะกับปริมาณความชื้นดินลูกรัง E แบบที่ 2

จากผลการทดสอบได้ว่าขีดจำกัดเหลวของดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 มีค่าเท่ากับ 48.00 %

และจากการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบขีดจำกัดพลาสติกดินลูกรัง E แบบที่ 2

ตัวอย่างที่	1	2	3
หมายเลขกระป๋อง	1	2	3
น้ำหนักดินเปียก+กระป๋อง, กรัม	255.25	247.09	246.08
น้ำหนักดินแห้ง+กระป๋อง, กรัม	253.68	245.07	244.22
น้ำหนักกระป๋อง, กรัม	246.23	236.23	237.00
น้ำหนักดินแห้ง, กรัม	7.45	8.84	7.22
น้ำหนักน้ำ, กรัม	1.57	2.02	1.86
เปอร์เซ็นต์ความชื้น	21.07	22.85	25.76
เฉลี่ย	23.23		

จากตารางดังกล่าวจะได้ค่าพิกัดพลาสติกเท่ากับ 23.23 % และดินชนิดที่ 2 นี้มีค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index) เท่ากับ 24.77 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.)

จากเงื่อนไขการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ในตารางที่ 3.2 การทดสอบมีผลดังนี้

4.4.1 การทดสอบหาค่า แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) กรณีไม่เสริมกำลัง

เงื่อนไขที่ 1: ดินลูกรังแบบที่ 1 กรณีไม่เสริมกำลัง

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่1 ไม่มีการเสริมกำลัง

ตัวอย่างที่	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ
1	62.732
2	66.330
ค่าเฉลี่ย	64.531

เงื่อนไขที่ 2: ดินลูกรังแบบที่ 2 กรณีไม่เสริมกำลัง

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่2 ไม่มีการเสริมกำลัง

ตัวอย่างที่	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ
1	44.920
2	36.200
ค่าเฉลี่ย	40.560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดสอบหาค่า แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) กรณีติดตั้งแผ่นยางพารารวมควัน
เงื่อนไขที่ 3: ดินลูกรังแบบที่ 1 ติดตั้งยางพารารวมควัน 1 ชั้น

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่1 เสริมกำลัง 1
ชั้น

ตัวอย่างที่	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ
1	59.735
2	68.878
ค่าเฉลี่ย	64.307

เงื่อนไขที่ 4: ดินลูกรังแบบที่ 1 ติดตั้งยางพารารวมควัน 2 ชั้น

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่1 เสริมกำลัง 2
ชั้น

ตัวอย่างที่	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ
1	39.123
2	45.563
3	42.423
ค่าเฉลี่ย	42.370

เงื่อนไขที่ 5: ดินลูกรังแบบที่ 2 ติดตั้งยางพารารวมควัน 1 ชั้น

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (C.B.R.) ชนิด E แบบที่2 เสริมกำลัง 1
ชั้น

ตัวอย่างที่	ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ
1	49.091
2	50.816
ค่าเฉลี่ย	49.954

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 เปรียบเทียบความแข็งแรงดิน (C.B.R.) ในกรณีมีการเสริมแรงและไม่เสริมแรง

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบผลการทดสอบดินที่เสริมแรงและไม่เสริมแรง

กรณีการเสริมกำลัง	ตัวอย่างที่	C.B.R.	C.B.R. เฉลี่ย	C.B.R. เฉลี่ย กรณีไม่เสริมแรง	ผลการเปรียบเทียบ
ดิน E แบบที่ 1 เสริมกำลัง 1 ชั้น	1	59.735	64.307	64.531	ลดลง 0.35 %
	2	68.878			
ดิน E แบบที่ 1 เสริมกำลัง 2 ชั้น	1	39.123	42.370		ลดลง 34.34 %
	2	45.563			
	3	42.423			
ดิน E แบบที่ 2 เสริมกำลัง 1 ชั้น	1	49.091	49.954	40.560	เพิ่มขึ้น 23.16 %

จากผลการทดสอบพบว่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ดินแบบที่ 1 เมื่อติดตั้งยางพารา 1 ชั้น C.B.R. มีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อติดตั้งยางพารารวมควัน 2 ชั้น C.B.R. มีค่าลดลง 34.34 % ส่วนดินแบบที่ 2 เมื่อติดตั้งยางพารารวมควันมีค่าเพิ่มขึ้น 23.16 % ซึ่งดินแบบที่ 2 มีค่า C.B.R. ที่ไม่เสริมกำลังน้อยกว่าดินแบบที่ 1 จึงสามารถสรุปได้ว่า ยางพารารวมควันสามารถ เสริมกำลังดินได้ และอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของกำลังดินจะลดลง เมื่อค่า C.B.R. ของดินที่ไม่เสริมกำลังเพิ่มขึ้นจนถึงค่า C.B.R. ค่าหนึ่งการติดตั้งแผ่นยางพารารวมควันจะลดความแข็งแรงของดิน

จากผลการทดสอบปัจจัยเกี่ยวกับความหนาของแผ่นยางรวมควันที่ติดตั้ง พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นยางทำให้ ค่า C.B.R. มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากยางพาราเป็นวัสดุที่มีการให้ตัวสูง เมื่อมีความหนามากขึ้นทำให้เกิดชั้นที่มีการให้ตัวอยู่กลางชั้นดินที่แข็งแรงกว่า ส่งผลให้ดินมีค่ากำลังรับแรงน้อยลง จึงสรุปได้ว่ายางพารารวมควันจะสามารถเสริมกำลังดินได้จะต้องมีความหนาของแผ่นยางที่เหมาะสมค่าหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 บทนำ

การวิจัยนี้ทำการศึกษาคณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควันชนิด 3 (RSS3) ด้วยการทดสอบแรงดึง (Wide-Width Tensile Test) พฤติกรรมการเสริมแรงดินของแผ่นยางพารารมควันชนิดที่ 3 ผ่านการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio) มีการแบ่งกลุ่มการทดลองเป็นดิน 2 ชนิดที่มีค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ต่างกัน และความหนาของแผ่นยางพาราที่ต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบเนื่องจากความหนาของแผ่นยางพารา ได้ผลการทดลองดังนี้

5.2 ผลการทดลอง

จากการศึกษาเราได้ดึงตัวอย่างยางพาราโดยทำการดึงยางพาราชนิดที่ 2 และ 3 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การรับแรงของยางพาราตัวอย่างไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของยางพาราเนื่องจากรับแรงไม่ต่างกันมาก ว่า กำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพาราเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของแผ่นยางเพิ่มขึ้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของแผ่นยาง ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับมาตรฐานในการคัดแยกประเภทของแผ่นยางที่คัดแยกจากความสะอาดและลักษณะภายนอกของยาง โดยองค์ประกอบภายในนั้นยังคงเหมือนกันอยู่ ทำให้การศึกษาต่อจากนี้สามารถใช้แผ่นยางรควันในการทำเป็นวัสดุเสริมแรงได้ทั้ง 2 ชนิดแต่ ทางผู้ศึกษาเลือกใช้แผ่นยางรควันชนิดที่ 3

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงและความหนาของแผ่นยางพารารมควัน ได้สามารถเขียนสมการของกราฟดังได้คือ $y = 7.628x^3 - 111.59x^2 + 537.12x - 721.39$ และดังแสดงในรูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและแรงดึงสูงสุดของแผ่นยางประเภทที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาเพิ่มขึ้นการรับแรงก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

หลังจากได้ชนิดของแผ่นยางพารารมควันแล้ว เราทำการออกแบบโดยตัดเป็นแผ่นขนาด 20 ซม. คูณ 20 ซม. และจะเจาะช่องเปิดให้แผ่นยางพารามีขนาด 2 คูณ 2 ซม. ห่างกัน 2 ซม. ทั้งแนวตั้งและแนวนอน ซึ่งเป็นขนาดช่องเปิดที่ใกล้เคียงกับแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ใช้กันทั่วไป และจะให้ขนาดรูปร่างของแผ่นยางพารารมควันเป็นตัวแปรควบคุมที่จะใช้เหมือนกันในทุกตัวอย่างการทดลองจากนี้

การทดสอบการเสริมกำลังดินของแผ่นยางพารารมควันด้วยการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ด้วยดินที่ทดสอบ 2 ชนิดเป็นดินชนิด E ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงทั้ง 2 ชนิดแต่มีขนาดคละต่างกันเล็กน้อยโดยจะเรียกว่า ดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 และ ดินลูกรัง E ชนิดที่ 2 ดินลูกรัง E ชนิดที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีขนาดคละละเอียดกว่า ค่าพิกัดของอัตราเตอร์เบอร์ก ของดินทั้ง 2 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นดินที่มีองค์ประกอบเดียวกันต่างกันเพียงขนาดคละ ดินชนิดที่ 1 มีค่าพิกัดเหลว 48.00% ค่าพิกัดพลาสติก 21.54% ได้ค่าดัชนีพลาสติก 26.46% ดินลูกรัง E ชนิดที่ 2 มีค่าพิกัดเหลวเท่ากับชนิดที่ 1 คือ 48.00% มีค่าพิกัดพลาสติกเท่ากับ 23.23% ในการทดสอบการบดอัดดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 มีความชื้นที่เหมาะสมคือ 14.00% มีความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.869 กรัม/ลบซม. ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ของดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 และดินลูกรัง E ชนิดที่ 2 เท่ากับ 64.531% และ 40.560% ตามลำดับ เมื่อติดตั้งแผ่นยางพารารมควันที่เจาะช่องเปิดและทำการทดสอบอีกครั้ง ได้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ เท่ากับ 64.307% และ 49.954% ตามลำดับ และ การทดสอบติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน 2 ชั้น กับดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 ได้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ เท่ากับ 42.37% จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่า ดินลูกรัง E ชนิดที่ 1 เมื่อติดตั้งแผ่นยางพารา 1 ชั้น ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ จะลดลงเล็กน้อยหรือเท่ากัน ส่วนการติดตั้งแผ่นยางพารา 2 ชั้นส่งผลให้ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ ลดลง ส่วนดินลูกรัง E ชนิดที่ 2 ค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซ เพิ่มขึ้นถึง 23.16% จึงสามารถสรุปได้ว่า แผ่นยางพารารมควัน ที่มีความหนาเหมาะสมค่าหนึ่งสามารถเพิ่มกำลังให้ดินที่มีความแข็งแรงไม่สูงมากนักโดยเมื่อดินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อัตราส่วนในการเพิ่มขึ้นของกำลังดินเนื่องจากการติดตั้งแผ่นยางพารารมควันจะลดลงจนไม่เพิ่มกำลังดินและลดกำลังรับแรงของดินในที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาหาช่วงของค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโซที่เหมาะสมในการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันและจุดที่ แผ่นยางจะไปลดกำลังของดิน
2. ศึกษาความหนาที่เหมาะสมที่ทำให้แผ่นยางพารารมควันสามารถเสริมแรงให้กับดินได้มากที่สุด
3. ศึกษาผลกระทบเนื่องจากลักษณะทางเลขาคณิตของช่องเปิดแผ่นยางพารา
4. ศึกษาตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Robert M. Koerner, **Designing with Geosynthetics**, Fifth Edition. USA: Pearson Education, Inc. 2005
- [2] การยางแห่งประเทศไทย, **ข้อมูลวิชาการยางพาราปี 2561**, สืบค้นจาก https://www.rubber.co.th/download/technical_data_of_rubber_61.pdf
- [3] กรมทางหลวง. (2532). **มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม**. สืบค้นจาก <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs205-32.pdf>
- [4] ผศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ. (2562). **ปฐพีกลศาสตร์: ทฤษฎี และการทดลองในห้องปฏิบัติการ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มิน เซอร์วิส ซัพพลาย.
- [5] Xiaobin Chen, Jiasheng Zhang, Zhiyong Li. **Shear Behavior of Geogrid-Reinforced Coarse-Grained Soil Based on Large-Scale Triaxial**. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266114414000417>
- [6] Ralph Haas, Jamie Walls and R. G. Carroll. **Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements**. Retrieved from <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/>
- [7] Nicola Moraci, Giuseppe Cardile. (2011). **Deformation Behaviour of Different Geogrids Embedded in a Granular Soil Under Monotonic and Cyclic Pullout Loads**. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266114411001245>
- [8] MOUSTAFA AHMED KAMEL, SATISH CHANDRA and PRAVEEN KUMAR. (2004). **Behaviour of Subgrade Soil Reinforced with Geogrid**. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1029843042000327122>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 2+1RSS Test By โอ้อัครพรรณี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	15		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE cm	15.26		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.63		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2125.98		
WT. OF MOLD .g	4748.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL .g	9240.00		
WT.WET SOIL .g	4492.00		
WT DRY SOIL .g	3876.76		
WET DENSITY .T/m ³	2.11		
WATER CONTENR ,%	15.87		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.82		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		DATE
	TYPE	Unsoak	
			20/12/62
	REAL READING (GPN)	LOAD (GN)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	127.41	
0.050	-	295.30	
0.075	-	428.71	
0.100	-	508.16	
0.150	-	613.09	
0.200	-	685.03	
0.250	-	741.25	
0.300	-	789.96	
0.400	-	873.16	
0.500	-	933.86	
0.600	-	971.34	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR **Req. No :** -
Location : - **Date of Request :** -
Sample From : - **Date of Testing :** 20 ธันวาคม 2562
Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 2+1RSS **Test By** โอจักรพรรดี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	14		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE cm	15.15		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.64		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2096.34		
WT. OF MOLD .g	4380.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL .g	8861.00		
WT.WET SOIL .g	4481.00		
WT DRY SOIL .g	3828.61		
WET DENSITY .T/m ³	2.14		
WATER CONTENR ,%	17.04		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.83		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	SOIL READING (mm)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	125.91	
0.050	-	201.61	
0.075	-	257.82	
0.100	-	301.32	
0.150	-	366.53	
0.200	-	415.22	
0.250	-	451.96	
0.300	-	482.67	
0.400	-	527.64	
0.500	-	553.12	
0.600	-	565.86	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR **Req. No :** -
Location : - **Date of Request :** -
Sample From : - **Date of Testing :** 20 ธันวาคม 2562
Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 2+1RSS **Test By** โอ้อัครพรรณี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	13		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE cm	15.18		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.62		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2101.38		
WT. OF MOLD ,g	4259.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	8710.00		
WT.WET SOIL ,g	4451.00		
WT DRY SOIL ,g	3856.02		
WET DENSITY ,T/m ³	2.12		
WATER CONIENR ,%	15.43		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.83		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	DATE BEARING (mm)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	170.88	
0.050	-	308.79	
0.075	-	413.72	
0.100	-	490.91	
0.150	-	594.34	
0.200	-	662.54	
0.250	-	715.76	
0.300	-	758.48	
0.400	-	832.70	
0.500	-	896.39	
0.600	-	945.11	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง ย ตัวอย่างที่ 2 Test By โอจักรพรรดี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	12		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE ,cm	15.26		
HIGHT OF SAMPLE ,cm	11.63		
VOLUME OF SSAMPLE ,cm	2125.98		
WT. OF MOLD ,g	4748.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	9315.00		
WT.WET SOIL ,g	4567.00		
WT DRY SOIL ,g	3900.09		
WET DENSITY ,T/m ³	2.15		
WATER CONTENR ,%	17.10		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.83		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	TYPE	MOLD NO.	
		Unsoak	
		DATE	20/12/62
		DATE OF TEST (mm/dd/yyyy)	12/20/2019
0.000	-		0.00
0.025	-		83.19
0.050	-		141.66
0.075	-		190.39
0.100	-		231.60
0.150	-		293.80
0.200	-		347.02
0.250	-		393.48
0.300	-		433.21
0.400	-		496.92
0.500	-		544.14
0.600	-		576.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
Location : - Date of Request : -
Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 2 Test By : โอจักรพรรดิ

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	11		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE ,cm	15.15		
HIGHT OF SAMPLE ,cm	11.64		
VOLUME OF SSAMPLE ,cm	2096.34		
WT. OF MOLD ,g	4380.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	8953.00		
WT.WET SOIL ,g	4573.00		
WT DRY SOIL ,g	3907.21		
WET DENSITY ,T/m ³	2.18		
WATER CONTENR ,%	17.04		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.86		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	REAL READING (kN)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	132.30	
0.050	-	230.09	
0.075	-	304.30	
0.100	-	362.00	
0.150	-	454.19	
0.200	-	522.39	
0.250	-	577.86	
0.300	-	622.08	
0.400	-	692.53	
0.500	-	748.74	
0.600	-	789.96	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR **Req. No :** -
Location : - **Date of Request :** -
Sample From : - **Date of Testing :** 20 ธันวาคม 2562
Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 2 **Test By** โอจักรพรรดิ

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	10		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE ,cm	15.18		
HIGHT OF SAMPLE ,cm	11.62		
VOLUME OF SSAMPLE ,cm	2101.94		
WT. OF MOLD ,g	4259.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	8808.00		
WT.WET SOIL ,g	4549.00		
WT DRY SOIL ,g	3929.00		
WET DENSITY ,T/m ³	2.16		
WATER CONTENR ,%	15.78		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.87		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	SOIL READING (kN)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	179.88	
0.050	-	299.04	
0.075	-	379.99	
0.100	-	439.20	
0.150	-	526.14	
0.200	-	590.59	
0.250	-	647.56	
0.300	-	695.52	
0.400	-	771.23	
0.500	-	836.43	
0.600	-	880.65	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 1+2RSS Test By โอจักรพรรดี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	9		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE ,cm	15.58		
HIGHT OF SAMPLE ,cm	11.68		
VOLUME OF SSAMPLE ,cm	2225.60		
WT. OF MOLD ,g	4750.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	9170.00		
WT.WET SOIL ,g	4420.00		
WT DRY SOIL ,g	4420.00		
WET DENSITY ,T/m ³	1.99		
WATER CONTENR ,%	0.00		
DRY DENSITY ,T/m ³	1.99		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	DIAL READING (mm)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	139.51	
0.050	-	268.36	
0.075	-	359.04	
0.100	-	424.23	
0.150	-	514.90	
0.200	-	579.36	
0.250	-	631.08	
0.300	-	674.55	
0.400	-	745.75	
0.500	-	799.71	
0.600	-	834.94	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 1+2RSS Test By โอจักรพรรดี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	8		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE cm	15.20		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.65		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2112.00		
WT. OF MOLD ,g	4660.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	9070.00		
WT.WET SOIL ,g	4410.00		
WT DRY SOIL ,g	4410.00		
WET DENSITY ,T/m ³	2.09		
WATER CONTENR ,%	0.00		
DRY DENSITY ,T/m ³	2.09		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	DEAL READING (DR)	LOAD (gn)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	242.09	
0.050	-	380.00	
0.075	-	476.68	
0.100	-	545.63	
0.150	-	649.06	
0.200	-	715.02	
0.250	-	772.73	
0.300	-	822.94	
0.400	-	903.89	
0.500	-	962.34	
0.600	-	1005.82	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 1+2RSS Test By โอจักรพรรดิ

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	7		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE cm	15.26		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.66		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2131.65		
WT. OF MOLD ,g	4540.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	8890.00		
WT.WET SOIL ,g	4350.00		
WT DRY SOIL ,g	4350.00		
WET DENSITY ,T/m ³	2.04		
WATER CONTENR ,%	0.00		
DRY DENSITY ,T/m ³	2.04		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	DIAT READING (mm)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	155.85	
0.050	-	255.57	
0.075	-	332.02	
0.100	-	391.23	
0.150	-	466.20	
0.200	-	523.89	
0.250	-	572.61	
0.300	-	616.08	
0.400	-	691.03	
0.500	-	740.50	
0.600	-	777.97	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 1+IRSS Test By โอจักรพรรดิ

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	6		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE .cm	15.24		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.63		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2119.85		
WT. OF MOLD .g	4380.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL .g	8810.00		
WT.WET SOIL .g	4430.00		
WT DRY SOIL .g	4430.00		
WET DENSITY .T/m ³	2.09		
WATER CONTENR .%	0.00		
DRY DENSITY .T/m ³	2.09		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	DEAL READING (DIV)	LOAD (g)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	249.58	
0.050	-	449.70	
0.075	-	592.09	
0.100	-	688.78	
0.150	-	817.69	
0.200	-	913.63	
0.250	-	983.33	
0.300	-	1044.04	
0.400	-	1140.73	
0.500	-	1212.02	
0.600	-	1259.14	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 1+1RSS Test By โอจักรพรรดิ

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	5		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE cm	15.25		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.61		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2120.27		
WT. OF MOLD ,g	4550.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	9010.00		
WT.WET SOIL ,g	4460.00		
WT DRY SOIL ,g	4460.00		
WET DENSITY ,T/m ³	2.10		
WATER CONTENR ,%	0.00		
DRY DENSITY ,T/m ³	2.10		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		DATE
	TYPE	U _{soak}	
			20/12/62
		LOAD (psi)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	298.30	
0.050	-	439.96	
0.075	-	529.14	
0.100	-	597.35	
0.150	-	703.03	
0.200	-	787.72	
0.250	-	862.67	
0.300	-	930.12	
0.400	-	1042.55	
0.500	-	1124.24	
0.600	-	1179.71	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Project : ทดสอบ CBR Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : - Date of Testing : 20 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E ตัวอย่างที่ 1+IRSS Test By โอจักรพรรดี

COMPACTION BEFORE SOAKING :			
MOLD NO.	4		
COMPACTION TYPE	Modified		
DIAMETER OF SAMPLE .cm	15.23		
HIGHT OF SAMPLE .cm	11.64		
VOLUME OF SSAMPLE .cm	2119.08		
WT. OF MOLD .g	4440.00		
WT. OF MOLD + WET SOIL .g	8680.00		
WT.WET SOIL .g	4240.00		
WT DRY SOIL .g	4240.00		
WET DENSITY ,T/m ³	2.00		
WATER CONTENR .%	0.00		
DRY DENSITY ,T/m ³	2.00		
CBR LOAD TEST DATA :			
PENETRATION ,in	MOLD NO.		
	TYPE	Unsoak	
	DATE	20/12/62	
	DIAL READINGS (mm)	LOAD (kg)	
0.000	-	0.00	
0.025	-	165.79	
0.050	-	322.30	
0.075	-	429.56	
0.100	-	512.67	
0.150	-	626.62	
0.200	-	706.03	
0.250	-	765.23	
0.300	-	810.95	
0.400	-	882.90	
0.500	-	941.36	
0.600	-	978.84	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

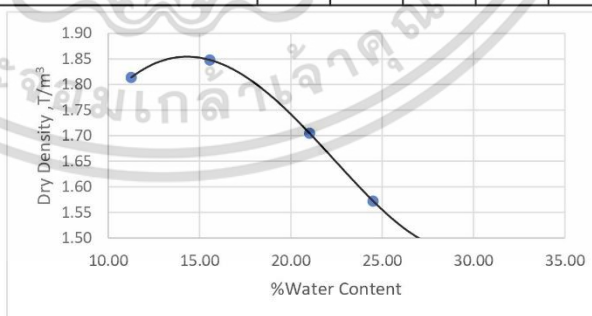


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

Project : ทดสอบ Compaction Req. No : -
 Location : - Date of Request : -
 Sample From : ปรายจีนบุรี Date of Testing : 17 ธันวาคม 2562
 Sample Description : ดินลูกรัง E Test By โอจักรพรรดี

TYPE OF COMPACTION:							
MOLD SIZE	6"x5"	MOLD VOLUME cm ³			2138,91		
TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6	
WT. OF SOIL + MOLD ,g	7057.00	7309.00	7154.00	6928.00	6831.00		
WT. OF MOLD ,g	2741.00	2741.00	2741.00	2741.00	2741.00		
WT. OF SOIL IN MOLD ,g	4316.00	4568.00	4413.00	4187.00	4090.00		
WET DENSITY ,g	2.02	2.14	2.06	1.96	1.91		
DRY DENSITY ,g	1.81	1.85	1.70	1.57	1.48		
WATER CONTENT:							
WET SOIL + CONTAINER ,g	138.41	129.83	132.45	148.1	137.08		
DRY SOIL + CONTAINER ,g	125.84	114.42	112.28	122.01	109.56		
WT. OF CONTAINER ,g	14.24	15.40	16.33	15.55	15.56		
WT. OF WATER ,g	12.57	15.41	20.17	26.09	27.52		
WT. DRY SOIL ,g	111.60	99.02	95.95	106.46	94.00		
WATER CONTENT ,%	11.26	15.56	21.02	24.51	29.28		



OPTIMUM MOISTURE CONTENT (O.M.C.)	14.00	MAXIMUM DRY DENSITY	1.86
-----------------------------------	-------	---------------------	------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

SIEVE ANALYSIS

Project : ออกแบบดินลูกรัง Req. No : -
Location : ปราจีนบุรี Date of Request : -
Sample From : - Date of Testing : 17 ธันวาคม 2562
Sample Description : ดินลูกรังชนิด E ตัวอย่างที่ 2 Test By : โอจักรพรรดิ สุขชัยสิทธิ์

Specific Gravity of Soil, G _s		REMARK:					
Tray No.							
Weight of Tray ,g							
Weight of Tray + Dry Soil ,g							
Weight Dry Soil ,g							
Sieves Standard							
Sieve No.	Sieve Opening mm	Weight of Sieve ,g	Weight of Sieve+Soil,g	Weight of Sieve Retained,g	Cumulative Retained ,g	Cumulative Retained ,%	Percent Finer ,%
3/8"	9.5	521.99	524.24	2.253	0	0.00	100.00
4	4.75	484.81	531.44	46.632	48.885	6.72	93.28
10	2	481.21	609.25	128.037	176.922	24.33	75.67
20	0.85	396.84	553.07	156.229	333.151	45.81	54.19
40	0.425	375.59	499.89	124.296	457.447	62.90	37.10
100	0.15	322.77	465.04	142.266	599.713	82.46	17.54
200	0.075	319.92	349.20	29.275	628.988	86.49	13.51
PAN	-	360.77	459.05	98.276	727.264	100.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

SIEVE ANALYSIS

Project : ออกแบบดินลูกรัง Req. No : -
Location : ปราจีนบุรี Date of Request : -
Sample From : - Date of Testing : 17 ธันวาคม 2562
Sample Description : ดินลูกรังชนิด E ตัวอย่างที่ 1 Test By โอจักรพรรดิ สุขช้อยสิทธิ์

Specific Gravity of Soil, G _s						REMARK:	
Tray No.							
Weight of Tray .g							
Weight of Tray + Dry Soil .g							
Weight Dry Soil .g							
Sieves Standard							
Sieve No.	Sieve Opening mm	Weight of Sieve .g	Weight of Sieve+Soil.g	Weight of Sieve Retained.g	Cumulative Retained .g	Cumulative Retained .%	Percent Finer .%
3/8"	9.5			0	0	0	100
10	2			300	300	30	70
40	0.425			390	690	69	31
200	0.075			250	940	94	6
PAN	-			60	1000	100	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
ภาพการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



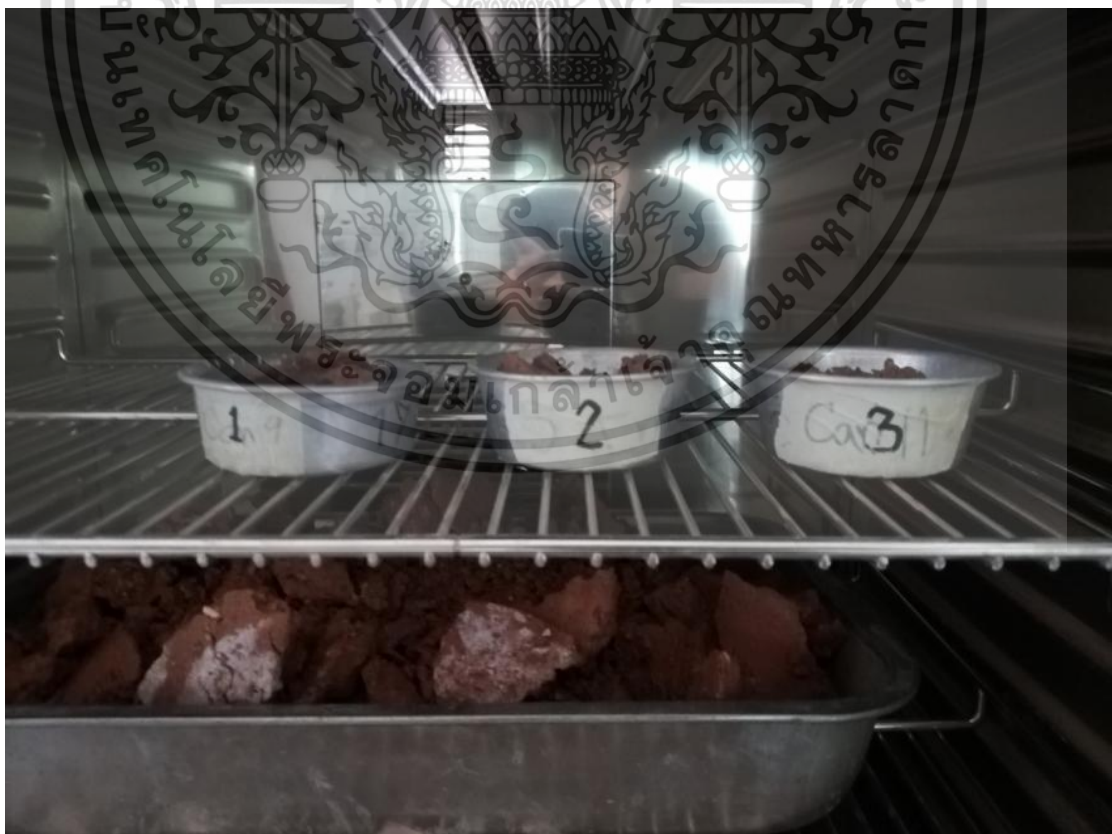
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย กันตินันท์ เอื้อพัทธยากร

เกิดเมื่อวันที่ 12 กันยายน พ.ศ.2540 ภูมิลำเนา จังหวัดราชบุรี

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียน เบญจมาชูทิศ ราชบุรี

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย สหสวรรษเดีวทิพย์สุคนธ์

เกิดเมื่อวันที่ 18 กันยายน พ.ศ.2540 ภูมิลำเนา จังหวัดภูเก็ต

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียน จุฬาราชวิทยาลัยตั้ง

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นาย โอจักรพรรดิ สุขชัยสิทธิ์

เกิดเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ.2540 ภูมิลำเนา

จังหวัดนครราชสีมา

ศึกษาระดับมัธยมศึกษา โรงเรียน มารีย์วิทยา

ศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้