



การตรวจสอบประสิทธิภาพยางคอมพาวด์
สำหรับการเสริมกำลังถนน
Evaluation the Effectiveness of Rubber compound
for Road Reinforcement.

กนกพร พงษ์พรรณนา
กมลรัตน์ ศรีวิเชียร
ญานิสสา บุญเคล้า

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Evaluation the Effectiveness of Rubber compound
for Road Reinforcement.

Kanokporn Phongphanna

Kamonrat Sriwichian

Yanisa Bunkhao

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEER

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, SCHOOL OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การตรวจสอบประสิทธิภาพยางคอมพาวด์
สำหรับการเสริมกำลังถนน

A SPECIAL PROJECT TITLE Evaluation the Effectiveness of Rubber compound
for Road Reinforcement.

นักศึกษา นางสาวนภพร พงษ์พรรณา รหัสนักศึกษา 62010004
นางสาวกมลรัตน์ ศรีวิเชียร รหัสนักศึกษา 62010016
นางสาวญานิตา บุญเกล้า รหัสนักศึกษา 62010228

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ
ผศ.ดร.ชนาดล คงสมบูรณ์ (ร่วม)

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
ผศ.ดร.ชนาดล คงสมบูรณ์	
อาจารย์อุษะ ศิริแก้ว	
ดร.พิณิข ธนชัยโชคศิริกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ.2566 เวลา 9.40-10.00

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบ CV 202

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร. ชลิตา อู่ตะเภา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงวันที่.....

ชื่องานวิจัย: การตรวจสอบประสิทธิภาพของคอมพาวด์ สำหรับการเสริมกำลัง

ชื่อ-สกุล คณะวิจัย:

1. นางสาวกนกพร พงษ์พรรณนา	62010004
2. นางสาวกมลรัตน์ ศรีวิเชียร	62010016
3. นางสาวญานิสรา บุญเคล้า	62010228

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาค** วิศวกรรมโยธา

บทคัดย่อ

ในการก่อสร้างมักจะประสบปัญหาดินที่วัสดุก่อสร้างขาดเสถียรภาพ มีความสามารถ และกำลังการรับแรงที่ต่ำ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ คือ การเพิ่มหน้าที่การใช้งานแผ่นยางคอมพาวด์เพื่อทำหน้าที่เป็นตาข่ายเสริมกำลังดิน โดยเริ่มจากการออกแบบสนามทดสอบขนาดกว้าง 3.5 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 0.5 เมตร ที่มีการเสริมกำลังจำนวน 2 ชั้นที่ตำแหน่ง 0.05 เมตร และ 0.2 เมตร จากผิวดินตามลำดับ ทดสอบคุณสมบัติของดินที่ใช้ภายในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ การทดสอบหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) และการบดอัดดิน (Compaction) และทำการทดสอบด้วยการให้จำลองน้ำหนักของยานพาหนะขนาด 160 กิโลกรัม บรรทุกผ่านจำนวน 250 รอบ พร้อมกับวัดค่าการทรุดตัวและความลึกร่องล้อ จากการศึกษพบว่าแผ่นยางคอมพาวด์มีประสิทธิภาพในการเสริมกำลังและช่วยกระจายการรับแรง เนื่องจากมีค่าอัตราการทรุดตัวและค่าความลึกร่องล้อเกิดน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้เสริมกำลัง ดังนั้นแผ่นยางคอมพาวด์จึงมีประสิทธิภาพช่วยเสริมกำลังการรับแรงของคันดินในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Evaluation the Effectiveness of Rubber compound for Road Reinforcement.

Researcher: Mrs. Kanokporn Phongphanna 62010004

Mrs. Kamonrat Sriwichian 62010016

Mrs. Yanisa Bunkhao 62010228

Faculty: Engineering **Department:** Civil engineering

ABSTRACT

Construction often suffers from soil problems where construction materials are unstable, have low capacity and power. This research aims to increase the function of compounds rubber as a geogrids. Starting from field design that is 3.5 meters wide, 1 meter long and 0.5 meters tall, with a two-layer reinforcement at the position of 0.05 meters and 0.25 meters from the ground surface. Soil properties tests used in laboratories include Sieve Analysis and Compaction. And field tests by simulating the weight of a 160 kilogram vehicle with carrying through 250 cycles. The settlement and rutting depth were measured. The results showed that the Compound rubber can reinforce in road embankment due to the lower rate of Settlement and Rutting depth compared to the case without reinforcement.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและการสนับสนุนอย่างสูงสุดจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ศลิษา ไชยพุทธและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนาตล คงสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นอกจากนี้ ขอขอบคุณ นายภักคณ จรุงรัตน์ นักศึกษาระดับปริญญาโท ที่ช่วยให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยและการทดสอบในงานวิจัยนี้อย่างถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้ทั้งกำลังใจ กำลังใจกันตลอดมา นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวชื่อนามในที่นี้ได้หมด จึงขอขอบพระคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคุณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูทเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะผู้วิจัย

นางสาวกนกพร พงษ์พรรณนา 62010004

นางสาวมลรัตน์ ศรีวิเชียร 62010016

นางสาวญานิศา บุญเคล้า 62010228

พฤษภาคม 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สารบัญรูป(ต่อ).....	ฅ
สารบัญรูป(ต่อ).....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน	10
2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	18
3.1 การออกแบบสนามทดสอบ.....	19
3.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการที่เลือกใช้	20
3.3 สนามทดสอบ	24
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางคอมพาวด์	27
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	31
4.1 บทนำ.....	31
4.2 คุณสมบัติของยางคอมพาวด์.....	31
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังของคันทินด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ภายในสนาม	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
อ้างอิง.....	48
อ้างอิง(ต่อ).....	49

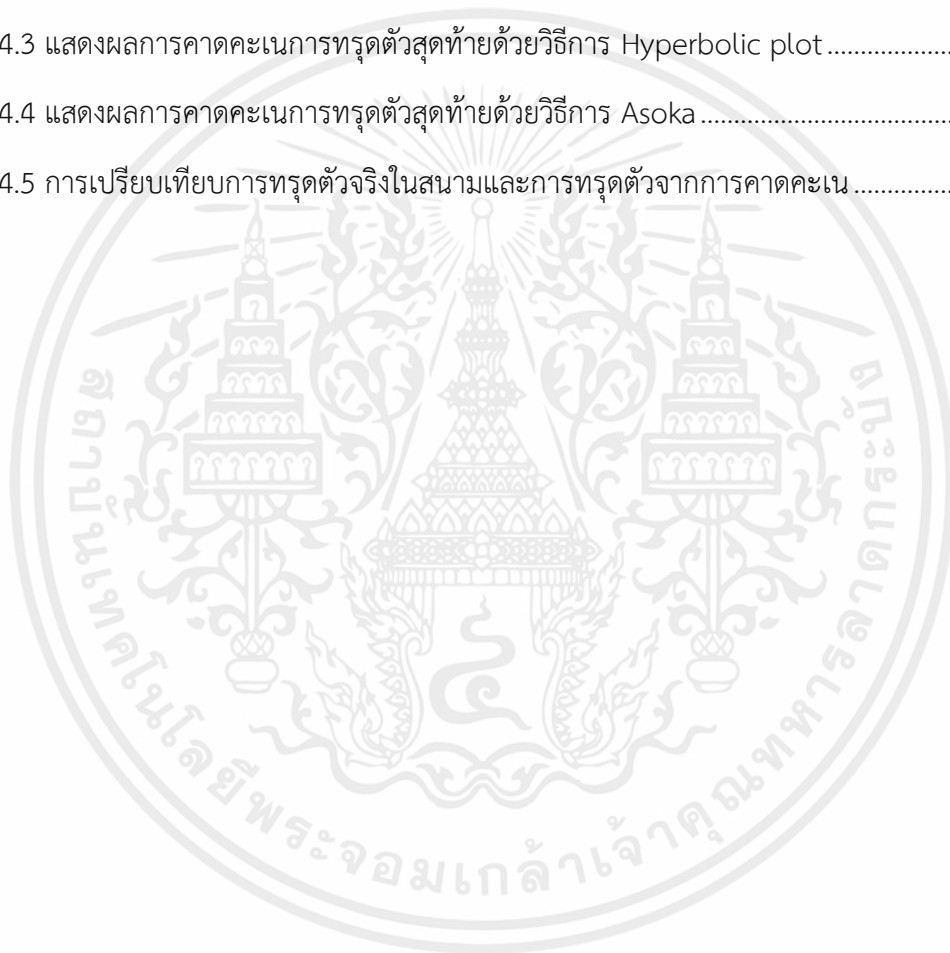


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

2.1 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน และวิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน	12
3.1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การบดดินในสนามที่วัดได้จริงกับค่าเปอร์เซ็นต์การบดดินตามมาตรฐาน DH-S 120/2532.....	25
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของยางคอมพาวด์	31
4.2 การเปรียบเทียบการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งภายในสนามทดสอบ	36
4.3 แสดงผลการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Hyperbolic plot	38
4.4 แสดงผลการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Asoka	42
4.5 การเปรียบเทียบการทรุดตัวจริงในสนามและการทรุดตัวจากการคาดคะเน	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
2.1 Woven Geogrids	4
2.2 Extruded geogrids	4
2.3 geogrids ชนิดต่างๆ ตามการรับแรง.....	5
2.4 b หน้าที่ของ Geogrid.....	6
2.4 a หน้าที่ของ Geogrid.....	6
2.4 c หน้าที่ของ Geogrid	6
2.5 แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound).....	7
2.6 วิธีการคาดคะเนแบบ Hyperbolic plot.....	8
2.7 กราฟของทฤษฎี Asaoka Method ของการทรุดตัวในแนวดิ่ง.....	8
2.8 การคำนวณหน่วยแรงในแนวดิ่งโดยวิธีประมาณ	10
2.9 เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ.....	13
2.10 เครื่องกระทิ้ง	13
2.11 เครื่องจักรขนาดใหญ่ (Heavy Soil Compaction).....	14
2.12 วิธีแทนที่ด้วยทราย (Sand Cone Method).....	15
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย	18
3.2 สนามทดสอบ (Test Section).....	19
3.3 ความสูงของชั้นต่าง ๆ ในการเสริมกำลัง	20
3.4 ชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่ละเบอร์และPan.....	21
3.5 การนำตัวอย่างดินปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า	21
3.6 การนำดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงออกทิ้งและทำความสะอาดตะแกรง	21
3.7 ค้อนบดอัดแบบมาตรฐาน หน้า 10 ปอนด์.....	22
3.8 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mold.....	23
3.9 การบดอัดดินชั้นละ 25 ครั้ง.....	24
3.10 การใช้เหล็กปาดดิน ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
3.11 ปรับระดับพื้นสนามทดสอบด้วยกรวด.....	25
3.12 การบดอัดดิน	26
3.13 เครื่องทดสอบหาความหนาแน่นในสนาม.....	26
3.14 การใส่แผ่นยางคอมพาวด์.....	26
3.15 การถมดิน	27
3.16 สนามทดสอบ.....	27
3.17 ไม้สตาฟ	28
3.18 ตำแหน่งและชั้นที่ติดตั้ง settlement plate.....	28
3.19 การวัดค่าการทรุดตัว.....	29
3.20 วัดค่าความลึกของร่องล้อ.....	30
3.21 ถ่วงน้ำหนักบนสนามทดสอบ	30
4.1 กราฟกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมพาวด์.....	32
4.2 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ตัวอย่างที่ 1	32
4.3 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ตัวอย่างที่ 2	33
4.4 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ตัวอย่างที่ 3.....	33
4.6 กราฟแสดงการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement).....	35
4.7 กราฟแสดงการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement).....	35
4.8 กราฟแสดงการทรุดตัวในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement).....	36
4.9 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Hyperbolic plot ในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน.....	37
(ground settlement)	
4.10 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Hyperbolic plot ในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร.....	37
จากผิวดิน (n1 layer settlement)	
4.11 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Hyperbolic plot ในตำแหน่งผิวดิน.....	38
(surface settlement)	
4.12 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์.....	39
ในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

4.13 กราฟแสดงการคาคคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังในตำแหน่ง.....	40
ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	
4.14 กราฟแสดงการคาคคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์.....	40
ในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	
4.15 กราฟแสดงการคาคคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังในตำแหน่ง.....	40
ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	
4.16 กราฟแสดงการคาคคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์.....	41
ในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement)	
4.17 กราฟแสดงการคาคคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง.....	41
ในตำแหน่งผิวดิน(surface settlement)	
4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามทดสอบ.....	44
4.19 การวัดค่าการทรุดตัวสุดท้ายในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์.....	44
4.20 การวัดค่าการทรุดตัวสุดท้ายในบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการก่อสร้างมักจะประสบปัญหาดินที่วัสดุก่อสร้างขาดเสถียรภาพ มีความสามารถ และกำลังการรับแรงที่ต่ำ โดยเฉพาะดินที่นำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานถนนจึงจำเป็นต้องพัฒนาปรับปรุงคุณภาพกำลังการรับแรงของดิน ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีและหนึ่งในนั้น คือ การเสริมกำลังดินด้วยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (geogrid) ซึ่งเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ผลิตจากโพลีเมอร์ที่มีกำลังรับแรงดึงที่สูง สามารถช่วยเสริมสร้างเสถียรภาพของดินได้และนิยมใช้ในงานก่อสร้างถนน เพื่อที่จะเพิ่มกำลังรับแรงอัดของดินหรือใช้ในการก่อสร้างกำแพงกันดิน ปัจจุบันมีการใช้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (geogrid) ในการก่อสร้างงานทางด้านวิศวกรรมมากขึ้น แต่วัสดุดังกล่าวจำเป็นต้องสั่งซื้อและนำเข้ามาจากต่างประเทศ ดังนั้นหากสามารถผลิตแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (geogrid) จากวัตถุดิบที่มีภายในประเทศได้ จะสามารถเพิ่มมูลค่าและส่งเสริมการใช้วัตถุดิบภายในประเทศได้อีกด้วย

โดยจากการวิจัยเกี่ยวกับแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพาราแลมควัน (Paragrid) พบว่ามีความสามารถในการเสริมกำลังของดินได้จริงแต่ตัวของแผ่นยางพาราแลมควัน (Paragrid) เองนั้นยังมีความสามารถในการรับแรงดึงที่น้อยเมื่อเทียบกับตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากโพลีเมอร์ (Geogrid) เพื่อหาวัตถุดิบที่มีความสามารถในการเสริมกำลังของดินเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาพารากรีตสังเคราะห์ที่ผลิตจากยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ซึ่งเป็นยางที่สามารถปรับปรุงคุณภาพตามที่ต้องการได้ ซึ่งปัจจุบันยางคอมพาวด์ (Rubber compound) เป็นยางชนิดหนึ่งที่มีการส่งออกมากกว่าการจัดหน่ายภายในประเทศ

โดยงานวิจัยนี้จึงศึกษาความสามารถในการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังโครงสร้างชั้นทางหรือถนน โดยตรวจสอบพฤติกรรมจากค่าการทรุดตัวของชั้นดินและความลึกร่องล้อ จากการสร้างแบบจำลองถนนเพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมระหว่างพื้นที่ที่เสริมกำลังและไม่ได้เสริมกำลัง ด้วยตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางคอมพาวด์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกำลังจากแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางคอมพาวด์ในสนามด้วยการวัดพฤติกรรมค่าการทรุดตัวและค่าความลึกร่องล้อในสนาม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1.) แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ใช้ทำมาจากแผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound)
- 2.) แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound) มีลักษณะตามที่กำหนด
 - ขนาด 80x80 เซนติเมตร
 - ตัดเป็นตาข่ายที่มีช่องว่าง 2x2 เซนติเมตรและเว้นช่องว่าง 2 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.) ไม่ศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์
- 4.) ไม่ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 5.) ใช้ทรายเป็นวัสดุก่อสร้างชั้นทางเท่านั้น
- 6.) ขนาดถนนจำลอง กว้าง 3.5 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 0.5 เมตร
- 7.) ตรวจสอบพฤติกรรมการทรุดตัวและค่าความถี่ร่งล้อในสนามเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงประสิทธิภาพในการเสริมกำลังของแผ่นยางคอมพาวด์ที่เกิดขึ้นบนสนาม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid)

Geogrid เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ใช้เสริมสร้างกำลังดิน โดยทั่วไปมักใช้ Geogrid ในงานเสริมสร้างกำแพงดิน เช่นเดียวกับงานชั้นรองผิวทาง (subbases) หรือดินชั้นล่างใต้ถนนหรือโครงสร้าง เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างดินโดยส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้แรงดึง (Tension) อันเนื่องมาจากน้ำหนักที่มากกระทำ ส่งผลให้เกิดการแยกตัว หรือแตกออกจากกันได้ ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับดินที่เสริมแรงด้วยตาข่ายสังเคราะห์ (geogrids) จะพบว่าดินจะมีความแข็งแรงมากกว่าในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีนี้ช่วยในเรื่องการกระจายแรงกำลังของดินของบริเวณที่มีการรับแรงดึงไปยังพื้นที่ขนาดใหญ่กว่าของดินได้

2.1.1.1 ประเภทและการใช้งาน

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

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ประเภทที่ 2 นั้นมีความยืดหยุ่นและมีลักษณะเหมือนแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน มากขึ้นโดยใช้เส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่เคลือบด้วยพอลิเอทิลีน และนำไปสู่การพัฒนาแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินของเส้นด้ายพอลิเอสเตอร์ที่ผลิตจากเครื่องจักรทอผ้า

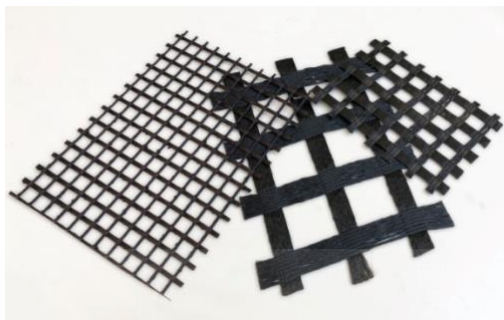
แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน ประเภทที่ 3 นั้นทำจากพอลิเอสเตอร์ และพอลิโพรพิลีนถูกยึดเข้าด้วยกันด้วยเลเซอร์ในลักษณะตาราง

แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินถูกนำมาใช้ในการออกแบบผิวทางอย่างแพร่หลาย การเสริมแรงโดยแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินใช้ในถนนลาดยางมีหน้าที่หลักสองส่วนคือ การเสริมแรงชั้นฐานทาง และเพิ่มเสถียรภาพในการเสริมแรงโดยทั่วไปแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินจะถูกวางไว้ระหว่างชั้น หรือที่ด้านล่างของชั้นฐานทางของถนนลาดยาง และปรับปรุงความสามารถในการรับน้ำหนักของถนนภายใต้การจราจรในการลดการสั่นสะเทือนของชั้นรองฐานทาง แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินถูกใช้เพื่อสร้างแพลตฟอร์มการก่อสร้างบนดินเดิมที่อ่อนแอเพื่อรับน้ำหนักอุปกรณ์ในการก่อสร้างและอำนวยความสะดวกในการก่อสร้างแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงชั้นโครงสร้างของถนน(base / subbase หรือ subgrade) ผ่านการเสริมกำลังของชั้นฐานทาง, ชั้นรองฐานทางในถนนลาดยาง และถนนไม่มีผิวทาง

โดยสามารถแบ่งประเภทของ geogrids ได้ตามลักษณะภายนอกได้ดังนี้

1. **Woven Geogrids** เป็นผ้าทอที่มีความยืดหยุ่นด้วยน้ำหนักโมเลกุลสูง ผลิตโดยเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ (PET) ที่มีการคืบน้อยความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีลักษณะเป็นเส้นด้ายมีความมั่นคงและเชื่อมต่อกันเป็น

ตารางโดยอยู่ภายใต้ความตึง ถูกเคลือบอย่างสม่ำเสมอด้วยสารปลอดสารพิษที่เป็นโพลีเมอร์เพื่อเพิ่มความต้านทานโดยรวม

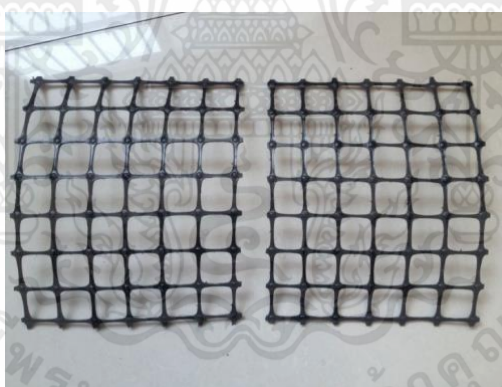


รูปที่ 2.1 Woven Geogrids

(ที่มา : Geosynthetics Australia (2017). Polyester-woven-geogrids. Geosynthetics.

<https://geosynthetics.net.au/polyester-woven-geogrids/woven-geogrid/>)

2. Extruded Geogrids เป็นแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่อัดขึ้นรูปนั้นทำจากพอลิโพรพิลีน (PP) โดยการอัดขึ้นรูปพลาสติกแผ่นแบนแล้วเจาะรู รูปแบบของหลุมจะส่งผลให้เกิดแนวของรูที่เราเรียกว่า Apertures เพื่อสร้างความต้านทานแรงดึง วัสดุจะถูกยืดออกไปทั้งแนวยาวและแนวขวาง ใช้ในงานปรับปรุงเสถียรภาพของโครงสร้างของถนนและทางรถไฟ, แพลตฟอร์มการทำงาน, ถนนชั่วคราว และพื้นผิวดินที่มีความลาดชัน



รูปที่ 2.2 Extruded geogrids

(ที่มา : Shandong Dageng Project Material Co. , Ltd(2015). Dagenggeogrid.

<http://th.dagenggeogrid.com/geogrid/plastic-geogrid/extruded-pp-geogrid>)

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินได้อีก 3 ประเภท ตามแนวการรับแรง ได้แก่

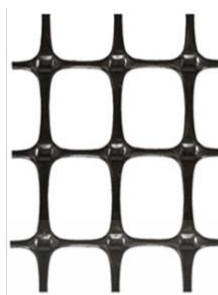
1. Uniaxial Geogrid เป็นแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่มีแนวการรับแรงเพียงเดียว นิยมใช้กับงานกำแพงกันดิน
2. Biaxial Geogrid เป็นตาข่ายเสริมกำลังดินที่มีแนวการรับแรง 2 แนว นิยมใช้ในงานโครงสร้างถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Triaxial Geogrid เป็นตาข่ายเสริมกำลังดินที่มีแนวการรับแรง 2 แนว นิยมใช้ในงานโครงสร้างถนน



Uniaxial Geogrid



Biaxial Geogrid



Triaxial Geogrid

รูปที่ 2.3 geogrids ชนิดต่างๆ ตามการรับแรง
(ที่มา : HAPPHO (2016).

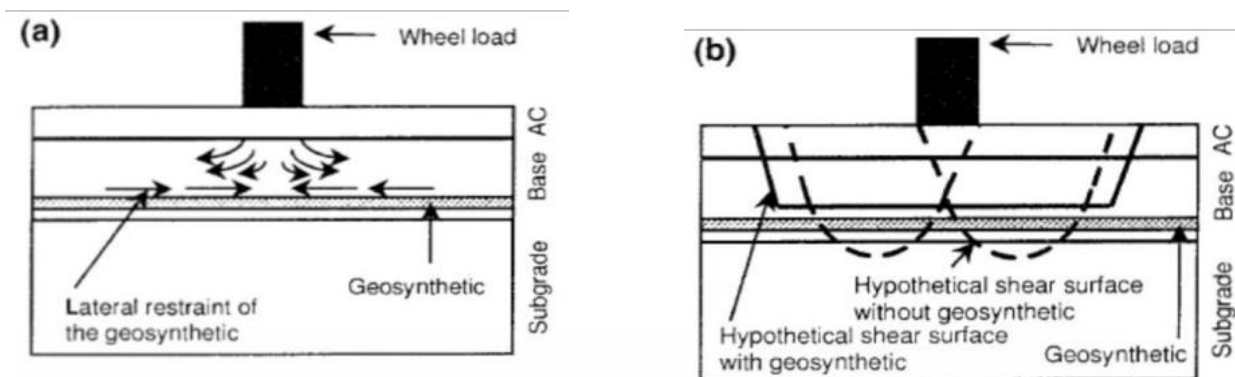
<https://happho.com/geogrids-manufacturing-process-applications-advantages.>)

2.1.2 หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานถนน

ตามที่ระบุไว้ในส่วนของการแนะนำแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินปรับปรุงประสิทธิภาพโครงสร้างถนนลาดยางหรือถนนไม่มีผิวทางผ่านการเสริมแรงซึ่งอาจมีให้ผ่านกลไกที่เป็นไปได้สามแบบ ดังนี้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

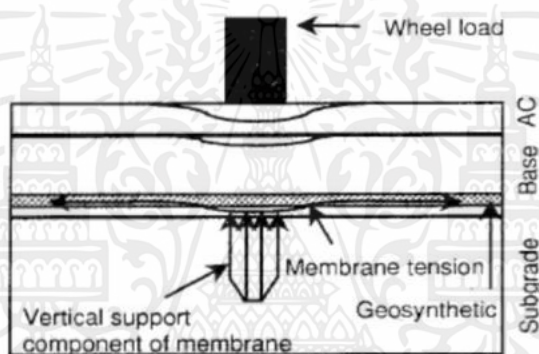


รูปที่ 2.4 a หน้าทีของ Geogrid

(ที่มา : U.S. Corps of Engineers, ETL 2003.)

รูปที่ 2.4 b หน้าทีของ Geogrid

(ที่มา : U.S. Corps of Engineers, ETL 2003.)



รูปที่ 2.4 c หน้าทีของ Geogrid

(ที่มา : U.S. Corps of Engineers, ETL 2003.)

2.1.3 แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound)

ยางคอมพาวด์ (Rubber compound) คือยางที่มีการผสมสารเคมีต่างๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่ง ปฏิกิริยา สารตัวเติม เป็นต้น พร้อมทั้งจะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นยางล้อ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรองคอสะพาน ท่อยาง ยางรัดของ ฯลฯ

การจะผลิตยางคอมพาวด์ต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการออกสูตรเคมียางและการผสมยาง เพื่อให้ได้ยางคอมพาวด์ที่นำไปขึ้นรูปและคงรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

กระบวนการผลิตแผ่นยางคอมพาวด์คือบดยางให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยผ่านขึ้นยางลงในเครื่องบดผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง ม้วนแผ่นยาง แล้วผ่านม้วนยางในแนวตั้งฉากกับเครื่องบดผสมยาง 2 ลูกกลิ้ง บดยางในลักษณะดังกล่าวจนกระทั่งยางเริ่มพันรอบลูกกลิ้ง โดยใช้ความเร็วรอบของลูกกลิ้งหน้าเท่ากับลูกกลิ้งหลัง และควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ 70 – 80 องศา (ไม่ควรให้อุณหภูมิเกิน 100 องศา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound)

จุดประสงค์หลักของการออกสูตรเคมียาง ได้แก่

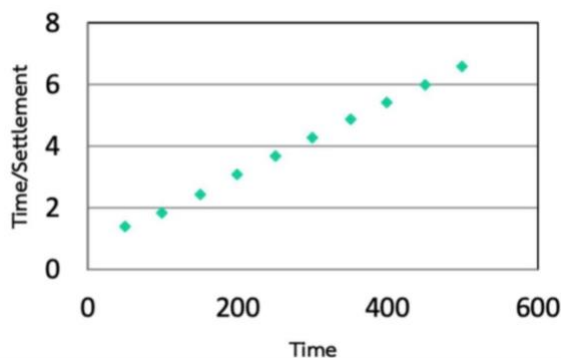
1. เพื่อให้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ (processability)
2. เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีสมบัติตามที่ต้องการ (properties)
3. เพื่อควบคุมต้นทุน/ราคาตามที่ต้องการ (price)

โดยทั่วไปส่วนประกอบต่างๆ ในสูตรเคมียาง ประกอบด้วย

1. ยาง ไม่ว่าจะเป็นยางธรรมชาติ (natural rubber; NR) ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber; SR) ยางผสม (blends) หรือยางเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic elastomer; TPE)
2. สารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent)
3. สารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator)
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยา (activator)
5. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradants)
6. สารตัวเติม (fillers)
7. สารทำให้ยางนิ่มและสารช่วยในกระบวนการผลิต (plasticizers and processing aids)
8. สารอื่นๆ เช่น สี (pigments) สารทำให้เกิดฟอง (blowing agents) และสารหน่วงการติดไฟ (flame retardants) เป็นต้น

2.1.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic method)

Tan et al. (1971) ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์การอัดตัวคายน้ำของดินด้วย วิธีไฮเพอร์โบลิก โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวเนื่องจาก การยุบตัว (Consolidation settlement, S) กับเวลา (t) ซึ่งมีลักษณะพฤติกรรมเป็นให้เป็นเส้นตรงจากความสัมพันธ์ระหว่าง t / S กับ t และมีความชัน ($1/B$) จากสมบัติของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกจะได้ว่า ส่วนกลับของความชัน ($1 / B$) ของเส้นตรงนี้ สามารถนำไปวิเคราะห์ ค่าการทรุดตัวสุดท้ายของกระบวนการอัดตัวคายน้ำได้

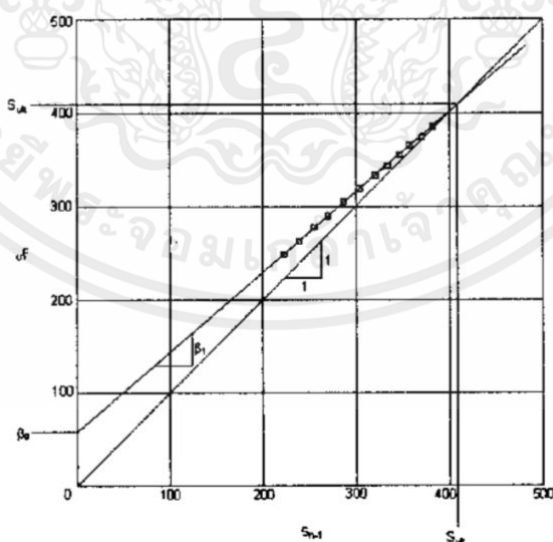


รูปที่ 2.6 วิธีการคาดคะเนแบบ Hyperbolic plot (ที่มา : ศลิษา ไชยพุทธ)

การใช้ Hyperbolic Plotting จากข้อมูลการทรุดตัวในสนาม เป็นวิธีที่ใช้สำหรับพฤติกรรมทรุดตัวแบบ Consolidation with Vertical Drains ตามทฤษฎีของ Terzaghi และ Barron ซึ่งจากทฤษฎีจะพบว่า Hyperbolic Plots จะได้เส้นตรงระหว่างจุด U_v และ U_r สำหรับ Vertical และ Radial Flow Problem ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับ Vertical Drains and Surcharge ได้โดยหลักการแล้ววิธี Hyperbolic เป็นการพล็อต Time/Settlement กับ Time ของข้อมูลการทรุดตัวในสนาม ซึ่งที่ผ่านมา Tan (1971) ได้ใช้วิธีนี้ทำนายค่า Ultimate Settlement ของการทดลอง Consolidation Tests, Footing and Raft Foundations, Friction Piles Foundation และดินทางบนดินอ่อนพบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

2.1.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีอะโซกะ (Asaoka method)

Asaoka (1978) เสนอทฤษฎีสำหรับทำนายค่าการทรุดตัวสูงสุดสำหรับกระบวนการอัดตัวคายน้ำที่สมบูรณ์โดยทำนายจากค่าวัดทรุดตัวของดินในสนาม (S) เทียบกับเวลา Asaoka method สามารถทำได้โดย Plot ค่าการทรุดตัว ครั้งที่ $n(S_n)$ กับค่าการทรุดตัวครั้งก่อนหน้า (S_{n-1}) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟของทฤษฎี Asaoka Method ของการทรุดตัวในแนวดิ่ง

(ที่มา : Asaoka Method. <https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/4755/2/appen.pdf>.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชันของกราฟ (B1) และค่าจุดตัดแกน y (Bo) ที่ได้สามารถแสดงได้ในสมการด้านล่าง

$$S_n = \beta_0 + \beta_1 \cdot S_{n-1} \quad (2.1)$$

เมื่อ $S_1, S_2, \dots, S_{n-1}, S_n$ = ค่าการทรุดตัวตามลำดับ

β_0 = จุดตัดแกน Y ของสมการเส้นตรง

β_1 = ค่าความชันของสมการเส้นตรง

เมื่อลากเส้น 45 องศาลงบนกราฟจะเกิดจุดตัดกันของเส้นกราฟการทรุดตัวและเส้นกราฟ 45 องศา ซึ่งเป็นจุดที่ดินหยุดการทรุดตัว ($S_n = S_{n-1}$) ซึ่งก็คือค่าการทรุดตัวสูงสุดนั่นเอง จุดดังกล่าวนี้สามารถหาได้จากสมการ

$$S_{ult} = \frac{\beta_0}{1-\beta_1} \quad (2.2)$$

เมื่อ S_{ult} = ค่าการทรุดตัวสูงสุด

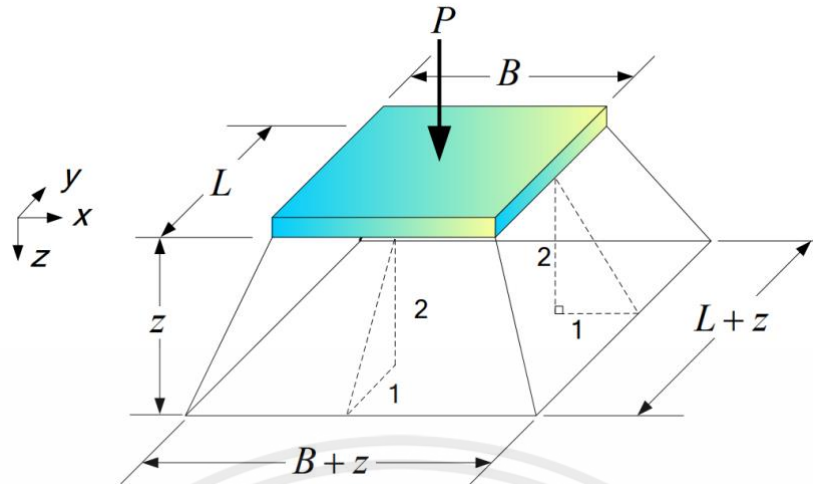
β_0 = จุดตัดแกน Y ของสมการเส้นตรง

β_1 = ค่าความชันของสมการเส้นตรง

วิธีของ Asaoka นี้สามารถประยุกต์ใช้กับ Sand Drain Problem ได้โดยสามารถใช้ได้ กับ One-way หรือ Two-way Drainage และการทำนายที่ดีโดยมากมักเกิดขึ้นหลังจาก 60% Consolidation (Magnan และ Deroy, 1980) ซึ่งในการพล็อตจากข้อมูลในสนามเป็นเรื่องปกติที่จะมีหนึ่งจุดหรือสองจุดในช่วงต้น 1 หลุดจากเส้นตรง ซึ่งเป็นผลจากระยะเวลาของการก่อสร้าง ความไม่คงที่ของ Initial Pore Pressure ตลอดความลึกของชั้นดิน ลักษณะดินไม่สม่ำเสมอและเหตุผลอื่น ๆ ซึ่งไม่น่ามาสนใจในการวิเคราะห์ทั่ว ๆ ไป

2.1.6 ทฤษฎีการคำนวณหน่วยแรงเฉลี่ยในแนวตั้งโดยวิธีการประมาณ

การหาหน่วยแรงในแนวตั้งที่เกิดจากแรงหรือน้ำหนักภายนอกที่กระทำบนระนาบของพื้นผิวดินอาจประมาณได้ว่า แรงหรือหน่วยแรงจากฐานรากกระจายออกไปรอบข้างของแต่ละข้างจากขอบเขตของฐานรากโดยทำมุมเอียงประมาณ 30 องศากับแนวตั้งดังรูปที่ 2.28 หรือให้กระจายออกไปทางข้าง 1 หน่วย ต่อความลึก 2 หน่วย (2 vertical to 1 horizontal slope) ดังนั้นจะหาหน่วยแรงเฉลี่ยในแนวตั้งที่เกิดขึ้นในมวลดินที่ระดับลึกใด ๆ โดยวิธีประมาณได้



รูปที่ 2.8 การคำนวณหน่วยแรงในแนวดิ่งโดยวิธีประมาณ (พรพจน์, 2554)

ถ้าฐานรากกว้าง $B \times L$ รับน้ำหนักแผ่เฉลี่ยเท่ากับ q_0 หากพิจารณาว่ามีการกระจายออกไปทางข้างจากขอบของฐานรากทุกด้านด้วยความชัน 2 ต่อ 1 หน่วยแรงเฉลี่ยในแนวดิ่งเท่ากับ z ($\Delta\sigma$) ดังสมการที่ 2.3 (ปิยะ, 2561)

$$\Delta\sigma = \frac{q_0 \times B \times L}{(B+z)(L+z)} \quad (2.3)$$

เมื่อ $\Delta\sigma$ = แรงเฉลี่ยในแนวดิ่ง

q_0 = น้ำหนักแผ่เฉลี่ย

B = ความกว้างของฐานราก

L = ความยาวของฐานราก

Z = ความลึกของฐานราก

2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

2.2.1 วิธีร่อนผ่านตะแกรง

วิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) เป็นการวิเคราะห์ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 สามารถหาขนาดเม็ดดินได้โดยการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ ซึ่งวางเรียงลำดับโดยให้ตะแกรงหยาบที่สุดอยู่ข้างบนและตะแกรงละเอียดที่สุดอยู่ข้างล่างแล้วหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงแต่วิธีนี้เป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้นเพราะรูปร่างขนาดเม็ดดินมีความแตกต่างกันไม่ใช่กลมหรือลูกบาศก์แต่เป็นเหลี่ยมแหลมไปตามธรรมชาติส่วนเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 จะใช้การทดสอบด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะเกี่ยวเนื่องกันเมื่อได้ผลแล้วต้องนำผลทั้ง 2 วิธีมาเขียนกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินต่อไปในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเม็ดดินโดยทั่วไปขนาดของเม็ดดินกับเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดดิน (Diameter) ที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบุหรือเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงค่าต่าง ๆ จะถูกนำมาเขียนกราฟมากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางบันทึกผล

2.2.2 การบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

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

วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิศวกรรมโยธาทั่วไป แต่ในปัจจุบันยานพาหนะได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับโครงการก่อสร้างต่าง ๆ มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลทำให้ดินที่นำมาบดอัดในโครงการก่อสร้างต่าง ๆ ต้องรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบที่เรียกว่า วิธีการทดสอบแบบดัดแปลงของพรอคเตอร์ หรือนิยมเรียกว่า วิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเพิ่มพลังงานในการบดอัดดินให้สูงขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักของยานพาหนะและโครงสร้างที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น สามารถนำไปเปรียบเทียบกับผลการบดอัดดินในสนามได้ ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบ วิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และวิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) (ศลิษา ไชยพุทธ, 2562)

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบวิธีการทดสอบแบบมาตรฐาน และวิธีการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน

วิธีการทดสอบ	วิธีการทดสอบแบบ	วิธีการทดสอบแบบ
	มาตรฐาน	สูงกว่ามาตรฐาน
น้ำหนักตัมกระแทก	5.5	10
ระยะยก (นิ้ว)	12	18
จำนวนครั้งการบดอัดดินต่อชั้น	25	25
จำนวนชั้นในการบดอัดดิน	3	5
พลังงานในการบดอัดดิน (ฟุต-ปอนด์/ลบฟุต)	12,400	56,200

ตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบดอัดดิน คือ

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

$$\text{การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการบดอัดดิน (Compaction Energy, E)} = \frac{\text{น้ำหนักตัมกระแทก} \times \text{ระยะยก} \times \text{จำนวนครั้งการบดอัดดินต่อชั้น} \times \text{จำนวนชั้นในการบดอัดดิน}}{\text{ปริมาตรของแบบใส่ตัวอย่างดิน}} \quad (2.4)$$

2.2.3. การบดอัดดินระดับตื้น (Shallow Compaction)

การบดอัดดินระดับตื้น หรือการบดอัดดินที่ผิวดิน (Shallow Compaction หรือ Surface Compaction) เป็นการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินต่าจากผิวดินลงไปประมาณ 10-30 เซนติเมตร วิธีนี้เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินที่ง่าย และราคาถูก เนื่องจากงานทางด้านวิศวกรรมโยธา เช่น งานถนน งานเชื่อม งานระบบสาธารณูปโภค และโครงสร้างพื้นฐาน จำเป็นต้องปรับระดับพื้นที่ก่อนการก่อสร้าง แทบทั้งสิ้น ทำให้ต้องควบคุมการบดอัดดินในบริเวณพื้นที่ก่อสร้างให้มีค่าความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกับผลทดสอบที่ได้ในห้องปฏิบัติการ หลายหน่วยงาน อาทิ กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท กรมโยธาธิการ และผังเมือง จำเป็น มีข้อกำหนดเพิ่มควบคุมคุณภาพของงานบดอัดดินของแต่ละโครงการ เช่น การกำหนดความหนาแน่นแห้งที่ใช้ในสนามต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดินในห้องปฏิบัติการ และปริมาณความชื้นในดินต้องมีค่าอยู่ระหว่าง ± 2 ของปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (± 2 OMC) เป็นต้น

เครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัดดินระดับตื้น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) เครื่องจักรขนาดเล็ก (Light Soil Compaction) เหมาะสำหรับบดอัดดินในบริเวณพื้นที่ ขนาดเล็ก และแคบเฉพาะจุด ได้แก่

1.1) เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ (Vibrating Plate Compactors) เป็นเครื่องจักรขนาดเล็ก ใช้แรงสั่นสะเทือนในการบดอัดดิน เหมาะกับการปรับระดับดินให้เรียบก่อนจะปูพื้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.9 เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ (ที่มา : ศลิษา ไชยพุทธ, 2565)

1.2) เครื่องกระทบ (Rammer) เป็นเครื่องจักรขนาดเล็กให้แรงโดยการกระทบ ทำให้สามารถบดอัดดินได้แน่นกว่าเครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ ใช้กับพื้นที่ที่มีขนาดเล็กมาก เหมาะกับดินประเภท กรวด และ ทราย ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.10 เครื่องกระทบ (ที่มา : ศลิษา ไชยพุทธ, 2565)

การบดอัดดินในพื้นที่เล็ก และแคบโดยใช้เครื่องจักรขนาดเล็ก ควรใช้เครื่องจักรทั้งสองประเภทควบคู่กันไป เนื่องจากแรงกระทบของเครื่องกระทบ มีประสิทธิภาพในการบดอัดดินให้มีความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามต้องการ ลดปัญหาการทรุดตัว และรอยร้าวของพื้นดินที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต หลังจากนั้นจึงปรับระดับพื้นให้เรียบด้วยเครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ บางครั้งในการก่อสร้างที่ไม่ได้คุณภาพ ตัวอย่างเช่น การซ่อมแซมถนนส่วนที่เป็นหลุมจะใช้เครื่องตบกันสะเทือนแบบเรียบเพียงประเภทเดียว ซึ่งไม่ได้รับแรงกระแทกจากเครื่องกระทุ้ง ก่อนทำการปูพื้นผิวลาดยาง ส่งผลให้ถนนลาดยางเกิดปัญหาการทรุดตัวเป็นหลุมเป็นบ่อในระยะเวลาเพียงไม่นาน

2) เครื่องจักรขนาดใหญ่ (Heavy Soil Compaction) ลักษณะการทำงานของรถบดอัดดินในสนามจะเป็นแบบนวด (Kneading) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.11 เครื่องจักรขนาดใหญ่ (Heavy Soil Compaction) (ที่มา : LIFTKAZ.com)

โดยพลังงานการบดอัดดินจะแปรผันตรง กับจำนวนเที่ยวของรถบดอัดที่วิ่งในสนาม หากจำนวนเที่ยวของการบดอัดดินมาก พลังงานที่ได้รับในการบดอัดดินก็จะมากขึ้น โดยรถบดอัดดินสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในสถานที่ก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างถนน เขื่อน และกำแพงกันดินเสริมกำลัง เป็นต้น ซึ่งเครื่องจักรขนาดใหญ่ สามารถแบ่งประเภทการใช้งานตามชนิดของดินที่บดอัด คือ รถบด สำหรับดินเม็ดละเอียด เช่น รถบดตีนแกะ (Sheepsfoot Roller) และรถบดสำหรับดินเม็ดหยาบ เช่น รถบดล้อยาง (Pneumatic Tyres Roller) รถบดสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) และ รถบดล้อเหล็กผิวเรียบ (Smooth Wheeled Rollers) เป็นต้น

เนื่องจากไม่มีมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมจำนวนเที่ยวของรถบดอัด ทำให้จำนวนเที่ยวของการเดินขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ขับรถ ซึ่งจะขับรถให้มีจำนวนเที่ยวมากที่สุด เพื่อให้ได้ความหนาแน่นแห่งตามที่ต้องการ จำนวนเที่ยวของการบดอัดดินมีผลอย่างมากต่อคุณภาพ การบดอัดดิน ทั้งนี้หากจำนวนเที่ยวของรถบดอัดดินน้อยเกินไปจะทำให้ความหนาแน่นแห่งนี้ต่ำกว่าค่าที่ได้ในห้องปฏิบัติการ ในขณะที่จำนวนเที่ยวของการบดอัดดินมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลือง ไม่ว่าจะเป็นการสิ้นเปลืองเวลา ค่าจ้างแรงงาน ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อควบคุมให้การบดอัดดินในสถานที่ก่อสร้าง หรือในสนามมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องตรวจสอบความหนาแน่นของดินในสนาม ซึ่งสามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มได้ ดังนี้

1) วิธีทดสอบตัวอย่างแปลงสภาพ (Disturbed Specimen Methods) ได้แก่ วิธีแทนที่ด้วยน้ำมัน (Oil Replacement Method) วิธีบอลลู่น้ำ (Water Balloon Method) และวิธีแทนที่ด้วยทราย หรือวิธีกรวยทราย (Sand Replacement Method or Sand Cone Method) ดัง แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.12 วิธีแทนที่ด้วยทราย (Sand Cone Method) (ที่มา : lgtool.com)

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

3) วิธีนิวเคลียร์ (Nuclear Method) ด้วยการปล่อยรังสีนิวเคลียร์ (Nuclear) ลงไปบนชั้นดิน เปรียบเหมือนการหาความหนาแน่นด้วยการเอ็กซ์เรย์ (X-Ray) ชั้นดิน ภายหลังการตรวจสอบหาความหนาแน่นของดินในสนาม หากผู้ควบคุมงานพบว่าการบดอัดดิน ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของโครงการหรือค่าที่ได้ออกแบบไว้ หรือความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำในดิน ในสนามไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จำเป็นที่จะต้องบดอัดดินใหม่ให้ได้ความหนาแน่นแห้งตามที่กำหนดไว้ (ศลิษาไชยพุทธ, 2565)

2.3 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 Natural Para Rubber in Road Embankment Stabilization

งานวิจัยของ Salisa Chaiyaput (2022) ที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS ในฐานะวัสดุเสริมแรงทางธรณีวิทยาในวิศวกรรมธรณีเทคนิค แผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS ได้รับการออกแบบเป็น biaxial geogrid ช่องว่างขนาด 2 เซนติเมตร x 2 เซนติเมตรและเว้นช่องว่าง 2 เซนติเมตร และศึกษาการจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์ เอลิเมนต์ (finite element) สองมิติเพื่อกำหนดจำนวนและตำแหน่งที่เหมาะสมของชั้นเสริมแผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS ในการสร้างเสถียรภาพของถนนคันดิน ชั้นของการเสริมแผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS มีตั้งแต่หนึ่งถึงสามชั้น ภายใต้การวิเคราะห์ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไข งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า แผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS ได้รับการแนะนำให้เป็นวัสดุเสริมแรงในดินลูกรังที่มีค่า CBR (California Bearing Ratio) ต่ำสำหรับถนนคันดินและค่าปัจจัยความปลอดภัยสูงสุด ได้แก่ การเสริมแผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS 2 ชั้นที่ 0.1H ต่ำกว่าขอบถนน และ 0.4H ต่ำกว่าชั้นแผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS ชั้นแรก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการติดตั้งชั้นของการเสริมแผ่นยางพารารวมควันชนิด RSS ที่เหมาะสม

2.3.2 Geosynthetic subgrade stabilization – Field testing and design method calibration

งานวิจัยของ E.V. Cuelho (2016) ศึกษาเกี่ยวกับ Geosynthetics 12 ชนิด (10 geogrid และ 2 geotextiles) เพื่อประเมินประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไข มีการใช้การทดสอบในห้องปฏิบัติการทำการทดสอบที่ใช้ในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย wide-width tensile strength (ASTM D4595 และ ASTM D6637), cyclic tensile modulus (ASTM D7556), resilient interface shear stiffness (ASTM D7499), junction strength (ASTM D7737), และ aperture stability modulus (Kinney, 2000)

สำหรับงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะการทดสอบประสิทธิภาพของ Geosynthetics ในสนามเป็นหลัก ซึ่งงานวิจัยใช้การทดสอบหาค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting Depth) ในสนาม การวัดร่องแต่ละอันถูกปรับและเฉลี่ยเข้าด้วยกันภายในส่วนการทดสอบในสนาม ค่าแต่ละค่าของร่องที่มากกว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและห่างจากค่าเฉลี่ยไม่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ พบว่าการวิเคราะห์ค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting Depth) ถูกดำเนินการเพื่อกำหนดคุณสมบัติของ Geosynthetics มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการทดสอบในสนาม

2.3.3 Performance of geosynthetics in unpaved roads

งานวิจัยของ G. Latha (2010) ศึกษาผลของการทดสอบในสนามของถนนไม่ได้ลาดยางที่สร้างขึ้นโดยใช้การเสริมกำลังด้วย geosynthetics และศึกษาข้อได้เปรียบที่แตกต่างกันของการวางวัสดุเสริมกำลัง เช่น geotextile geogrid และ layer geocell ซึ่งศึกษาในกรณีของการเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักและการลดความลึกของร่องล้อ โดยความลึกของร่องล้อจะทำการเปรียบเทียบแตกต่างกันสามส่วน ทำการทดสอบโดยใช้รถสก็ูเตอร์น้ำหนัก 106 กิโลกรัม ขับโดยคนที่มีน้ำหนัก 55 กิโลกรัม วิ่งผ่านบนถนนด้วยความเร็ว 18 ถึง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยวิ่งเป็นเส้นตรงในทางเดียว ซึ่งผลการทดสอบจะถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาเสริมกำลังในถนน

งานวิจัยนี้สนใจในส่วนของวิธีการทดสอบความลึกร่องล้อในสนาม เพื่อนำมาอ้างอิงวิธีการทดสอบในสนามของงานวิจัยนี้มาใช้ในงานวิจัยของเรา

2.3.4 Evaluation of Interface Shear Strength Coefficient of Alternative Geogrid Made from Para Rubber Sheet

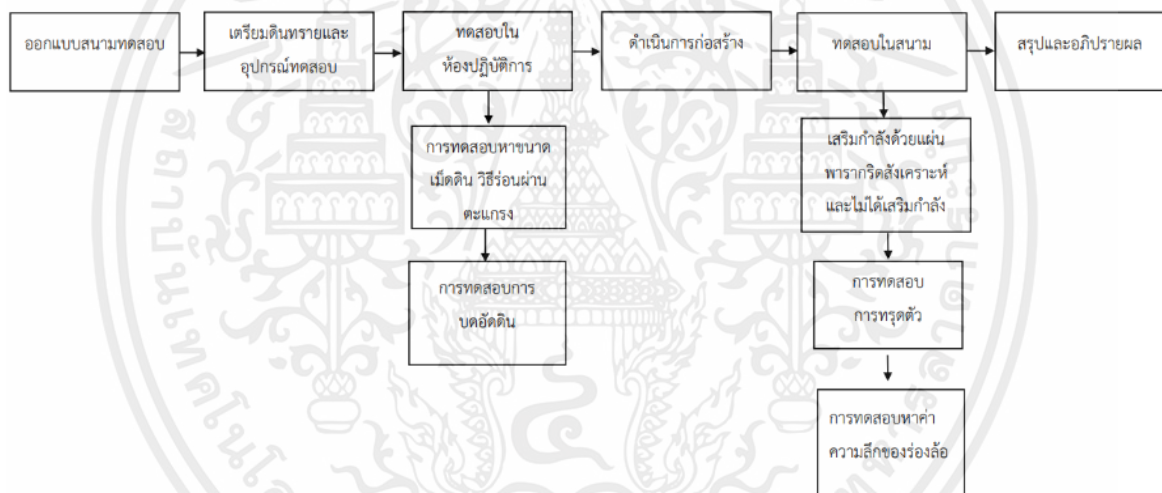
งานวิจัยของ Anubud, et al. (2023) ศึกษาเกี่ยวกับการนำแผ่นยางคอมพาวด์ (RCS) และแผ่นยางพารารวมกัน (RSS) มาใช้เป็นทางเลือกทดแทนสำหรับแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (geogrid) ในการเสริมกำลังของดิน โดยทำการตรวจสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 แบบ โดยค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงจากการทดสอบแรงเฉือนตรงขนาดใหญ่ (Large-scale direct shear) ซึ่งติดตั้งแผ่นตาข่ายเสริมกำลังแบบ RCS และ RSS อย่างอิสระในดินทราย ดินลูกรัง และดินเหนียว ค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน แบบ RCS หรือ RSS ลดลงในการเสริมกำลังในดินทราย ดินลูกรัง และดินเหนียว ตามลำดับ ค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังแบบ RCS มีค่าสูงกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังแบบ RSS

งานวิจัยข้างต้นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเบื้องต้นเป็นผลให้เลือกใช้ดินทรายในการทำสมมติทดสอบเนื่องจากค่าเฉลี่ยค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในดินทรายมีค่าสูงที่สุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การนำวัสดุเพื่อไปใช้ในงานทางนั้น จะต้องทำการทดสอบเพื่อพิจารณาถึงความสามารถของวัสดุที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงดิน โดยในการศึกษาในครั้งนี้จะทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติของดิน โดยจะทำการทดสอบ 3 การทดสอบคือการทดสอบหาขนาดเม็ดดินวิธีร่อนผ่านตะแกรง การทดสอบการบดอัดดิน และการทดสอบแคลิฟอร์เนียแปริง เรโซ และช่วงที่ 2 การทดสอบในสนามเพื่อหาความสามารถของยางคอมพาวด์ในการเสริมกำลังดิน โดยจะทำการทดสอบเปรียบเทียบกำลังของดินที่เพิ่มขึ้นเมื่อเสริมกำลังดินด้วยยางคอมพาวด์และไม่เสริมกำลัง โดยจะทำการทดสอบ 2 การทดสอบ คือการทรุดตัวและการทดสอบหาค่าความลึกของร่องล้อ โดยการทดสอบช่วงที่ 2 จะทำการทดสอบหลังจากก่อสร้างสนามทดสอบ โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังแผนผังรูปที่ 3.1

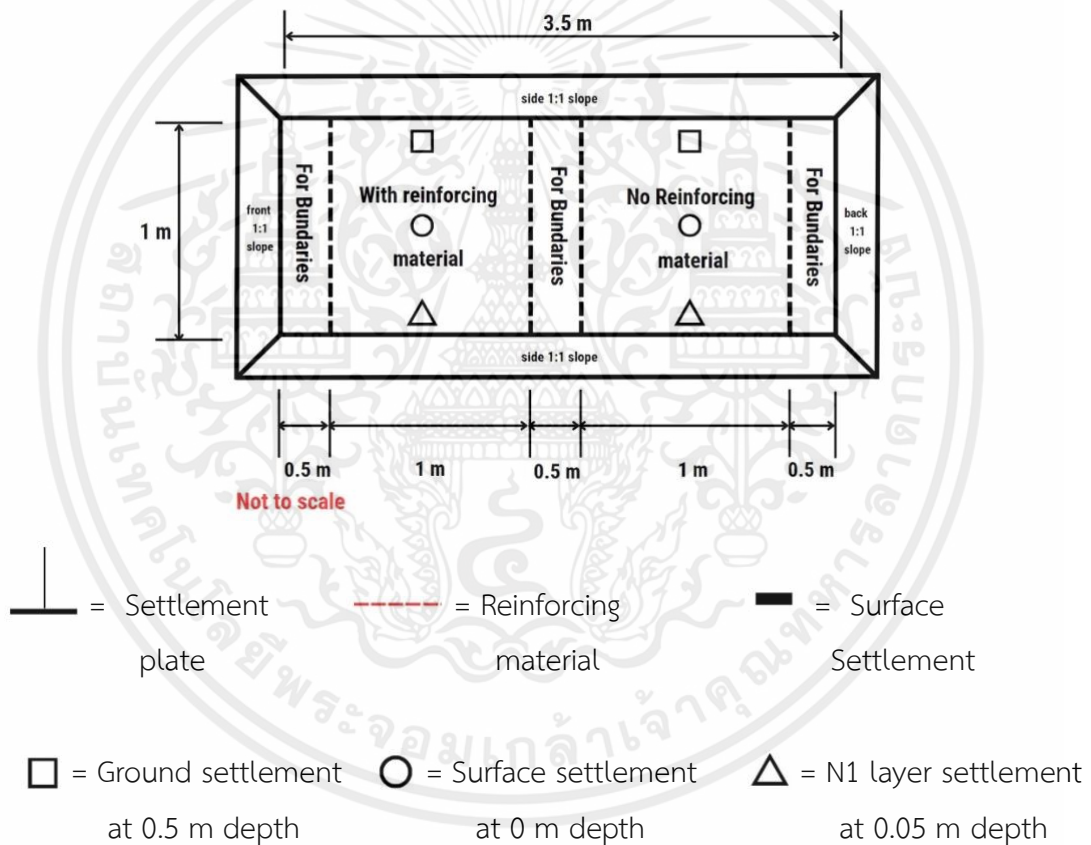


รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

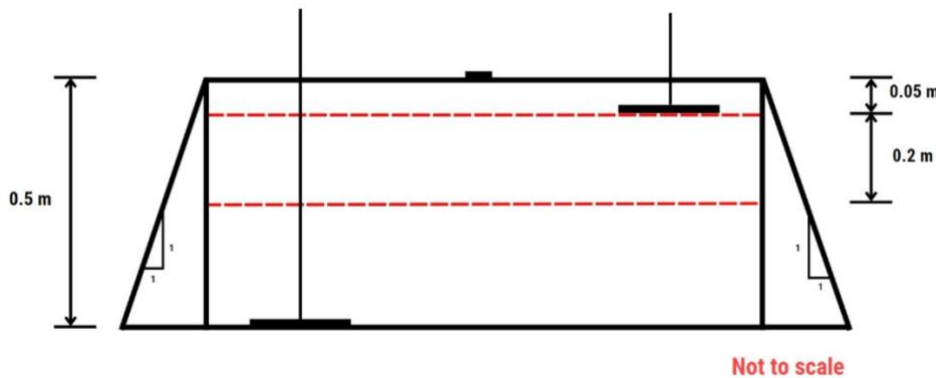
3.1 การออกแบบสนามทดสอบ

สนามทดสอบจะออกแบบดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีความยาวของสนาม 3.5 เมตร ความกว้างของเลนถนน 1 เมตรและถนนจะมีความสูง 0.5 เมตร โดยจะมีการเสริมกำลังเป็นจำนวน 2 ชั้นตำแหน่ง 0.05 เมตรและ 0.2 เมตร จากผิวดินตามลำดับ (Arwaedo et al., 2020) ซึ่งจะแสดงความสูงในการเสริมกำลังดังรูปที่ 3.2 และการออกแบบขอบเขตด้านข้าง (Boundary) ใช้ทฤษฎีการคำนวณหน่วยแรงเฉื่อยในแนวตั้ง โดยวิธีการประมาณ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเกี่ยวเนื่องกันของผลการทดสอบด้วยหากมีหน่วยแรงมากระทำที่บริเวณกึ่งกลางบนของสนามทดสอบจะมีการกระจายของแรงออกไปทางข้าง 1 หน่วย ต่อความลึก 2 หน่วย แสดงว่าสนามทดสอบที่มีความสูง 0.5 เมตร ถูกกระทำด้วยแรง ณ จุดกึ่งกลางบนสนามแสดงว่าระยะที่แรงส่งผลถึงทางด้านข้างมีค่าเท่ากับ 0.25 เมตร ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการออกแบบให้สนามทดสอบมีระยะของขอบเขตด้านของเท่ากับ 0.5 เมตร



รูปที่ 3.2 สนามทดสอบ (Test Section)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ความสูงของชั้นต่าง ๆ ในการเสริมกำลัง

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินในห้องปฏิบัติการที่เลือกใช้

3.2.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดดินวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

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

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาขนาดของเม็ดดินและการกระจายส่วนคละของเม็ดดินโดยใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เฉพาะ

1.1 ตะแกรงที่ใช้ร่อนตัวอย่างพร้อมภาตรอง และเครื่องเขย่าตะแกรง

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทั่วไป

2.1 ภาตใส่ตัวอย่าง

2.2 ค้อนยาง

2.3 เครื่องชั่งขนาด 2 กิโลกรัม อ่านละเอียด 0.1 กรัม

2.4 แปรงทำความสะอาดตะแกรง

2.5 ตู้อบ (Dryjing Oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 : 5 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

เอาดินตัวอย่างที่เตรียมไว้อบหรือตากแดดให้แห้ง หากยังจับตัวกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบให้แตก นำตัวอย่างมาคลุกเคล้าให้เข้ากันบนผ้าใบหรือบนพื้นเรียบแล้วเกลี่ยดินให้กระจายและแยกด้วยวิธีแบ่งสี่ หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างดินโดยเอา 2 ใน 4 ส่วน

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดตะแกรงทั้งหมดด้วยแปรงทำความสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่ละเบอร์และPan แล้วทำการบันทึกค่า



รูปที่ 3.4 ชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่ละเบอร์และPan

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

3. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้เทใส่ลงบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า ใช้เวลาในการเขย่าอย่างน้อย 10 นาที แล้วนำตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรงรวมกับดินที่ค้างบนตะแกรง นำดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงออกทิ้งแล้วทำความสะอาดตะแกรงให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.5 การนำตัวอย่างดินปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า



รูปที่ 3.6 การนำดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงออกทิ้งและทำความสะอาดตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction)

อ้างอิง : ASTM D698-07 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12, 400 ft- lb / ft (600 KN-m/m)), ASTM D1557-00 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft- lb/ft(2,700 KN-m/ m³))

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นในการบดอัด (Moisture Density Relative)

- เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ของดินตัวอย่าง

- เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด (Optimum Moisture Content, OMC)

อุปกรณ์และเครื่องมือ

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

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



รูปที่ 3.7 ค้อนบดอัดแบบมาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์

3. แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold

4. เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 ซม.

5. ตะแกรงร่อนดินขนาด เบอร์ 4 (Sieve)

6. เครื่องชั่งขนาด ตั้งแต่ 1.0 กรัม - 10 กิโลกรัม

7. ขวดฉีดน้ำ

8. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)

9. ที่ตักดิน (Scoop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินแปลงสภาพร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หนักประมาณ 3 – 5 กิโลกรัมแล้วผึ่งให้แห้งโดยอากาศหรือดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในสนาม

1. นำตัวอย่างดินที่ได้จัดเตรียมไว้มาเทลงในภาตผสมดิน ใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะอยู่ออกจากกัน ถ้าตัวอย่างเป็นดินเหนียว ผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ละเอียดหรืออาจใช้เครื่องบด

2. พิจารณาตัวอย่างของเม็ดดิน เพื่อเลือกใช้ Mold ให้เหมาะสมกับขนาดของเม็ดดิน ถ้าตัวอย่าง เป็นดินเม็ดเล็ก ให้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 105 มม. ถ้าเม็ดดินมีขนาดใหญ่ กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ให้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว (19.05 มม.) ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มม. โดยส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว ให้แทนที่ด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว และค้างตะแกรงเบอร์ 4 ใน ปริมาณที่เท่ากัน

3. ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold จากนั้น ประกอบ Mold และ Base plate พร้อมชั่งน้ำหนัก (ไม่ต้องชั่ง Collar)



รูปที่ 3.8 วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Mold

2. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้อย่างน้อย 3 กิโลกรัมสำหรับทดสอบแบบมาตรฐานและ 5 กิโลกรัม สำหรับการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเริ่มผสมน้ำให้มีความชื้น ตามค่าที่ได้จาก ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3. ตักดินใส่ Mold ที่ประกอบไว้แล้ว โดยยกให้ความสูงในแต่ละชั้นเท่า ๆ กันโดยมีจำนวน 3 ชั้นสำหรับ Standard และ 5 ชั้นสำหรับ Modified เมื่อบดอัดครบจำนวนชั้นแล้วให้ดินพื้น ขอบ Mold ขึ้นไปประมาณ 1-2 ซม.

4. ใช้ค้อนหนัก 5.5 ปอนด์ สำหรับบดอัดแบบมาตรฐานและ 10 ปอนด์สำหรับบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานบดอัดดินใน Mold แต่ละชั้นให้ทั่วทั้ง Mold บดอัดชั้นละ 25 ครั้ง สำหรับ Mold ขนาด 105 มม. และ 56 ครั้ง สำหรับ Mold ขนาด 152.4 มม. โดยให้ Mold วางอยู่บนพื้นคอนกรีตเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 การบดอัดดินชั้นละ 25 ครั้ง

5. ถอดปลอก (Collar) ออกแล้วใช้เหล็กปาดดิน (Straight Edge) ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก และแต่งผิวดินให้เรียบใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษดินที่ค้างอยู่รอบให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 3.10 การใช้เหล็กปาดดิน ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก

6. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก Mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเพื่อเก็บตัวอย่างตามแนวผ่า ประมาณ 100 กรัม ไปอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

7. ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน แล้วผสมน้ำเพิ่มอีก 2 - 3 % คลุกเคล้าให้เข้ากันทั่วแล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 4 - 6 จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลงแล้วทดลองเพิ่มอีกครั้ง เพื่อให้ได้กราฟทาง ด้านเปียกจำนวนครั้งในการทดสอบไม่ควรเกิน 5 - 6 ครั้ง

3.3 สนามทดสอบ

การสร้างสนามทดสอบนั้นจะสร้างสนามทดสอบขึ้นมาตามที่ได้ออกแบบไว้โดยจะทำการบดอัดด้วยเครื่องตบแบบสันสะท้อนและทำการวัดการบดอัดด้วยเครื่องทดสอบหาความหนาแน่นของดินภายในสนามทุกครั้งเพื่อให้ผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง ในการสร้างสนามทดสอบขึ้นมาโดยมีขั้นตอนการสร้างสนามทดสอบดังนี้

ขั้นตอนการสร้างสนามทดสอบ

1. เริ่มต้นด้วยการปรับระดับพื้นสนามที่ทำการทดสอบให้เท่ากันด้วยกรวดและทรายหยาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ปรับระดับพื้นสนามทดสอบด้วยกรวด

2. ติดตั้ง settlement plate หลังจากปรับระดับเสร็จสิ้นและถมดินให้ถึงระดับที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ชั้นที่ 2
3. บดอัดดินให้ได้เปอร์เซ็นต์ค่าการบดอัดตามมาตรฐาน DH-S 120/2532 ที่เปอร์เซ็นต์มากกว่า 95 %

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การบดอัดดินในสนามที่วัดได้จริงกับค่าเปอร์เซ็นต์การบดอัดดินตามมาตรฐาน DH-S 120/2532

สนามทดสอบ	ค่าเปอร์เซ็นต์การบดอัดดินตามมาตรฐาน DH-S 120/2532	ค่าเปอร์เซ็นต์การบดอัดดินในสนามที่วัดได้จริง
ไม่เสริมกำลัง ชั้นที่ 1	95 %	96.8 %
ไม่เสริมกำลัง ชั้นที่ 2	95 %	102.2 %
ไม่เสริมกำลัง ชั้นที่ 3	95 %	96.9 %
เสริมด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ชั้นที่ 1	95 %	98.6 %
เสริมด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ชั้นที่ 2	95 %	100.9 %
เสริมด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ชั้นที่ 3	95 %	106.2 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การบดอัดดิน



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบหาความหนาแน่นในสนาม

4. ใส่แผ่นยางคอมพาวด์ลงไปบนสนามทดสอบฝั่งที่ต้องการเสริมกำลัง ห่างจากขอบ 0.1 เมตร



รูปที่ 3.14 การใส่แผ่นยางคอมพาวด์

5. ถมดินให้ได้ถึงระดับที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ชั้นที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การถมดิน

6. บดอัดดินให้ได้เปอร์เซ็นต์ค่าการบดอัดมากกว่า 95 %
7. ใส่แผ่นยางคอมพาวด์ลงไปบนสนามทดสอบฝั่งที่ต้องการเสริมกำลัง
8. ถมดินให้ถึงระดับที่ผิวของสนามทดสอบ 0.5 เมตร
9. บดอัดดินให้ได้เปอร์เซ็นต์ค่าการบดอัดมากกว่า 95 %และปรับระดับผิวหน้าของสนาม

ทดสอบ



รูปที่ 3.16 สนามทดสอบ

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางคอมพาวด์

3.4.1 การทดสอบหาค่าการทรุดตัว (Settlement)

อ้างอิง : DH-S 101/1989

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าการทรุดตัว

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. แผ่นวัดการทรุดตัว
2. กล้องวัดระดับ
3. ขาตั้งกล้องวัดระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไม้สตาฟ



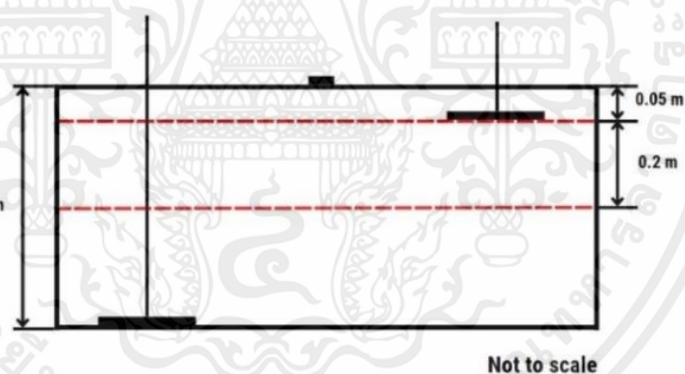
รูปที่ 3.17 ไม้สตาฟ

5. ตลับเมตร

6. หมุด

ขั้นตอนการทดสอบ

1. ติดตั้ง settlement plate ที่ชั้นด้านล่างสุดของสนาม และชั้นที่เสริมด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ชั้นที่ 1 ความลึก 0.25 จากผิวดิน



รูปที่ 3.18 ตำแหน่งและชั้นที่ติดตั้ง settlement plate

2. เลือกจุดตั้งกล้องและจุดอ้างอิงเพื่อใช้วัดค่าระดับ
3. ตั้งกล้องวัดระดับและวางไม้สตาฟในจุดอ้างอิง พร้อมบันทึกค่า
4. วางไม้สตาฟในตำแหน่งของ settlement plate และหมุดที่ติดตั้งไว้
5. อ่านค่าระดับและบันทึกผลในช่วง 0-7 วัน, 14 วัน, 30 วัน, 60 วัน และ 90 วัน
6. นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบการทรุดตัวของสนามทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การวัดค่าการทรุดตัว

3.4.2 การทดสอบหาค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting Depth)

อ้างอิง : ASTM E 1703

วัตถุประสงค์

- เพื่อหาค่าความลึกของร่องล้อ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. รถเข็นปูนล้อเดียวถ่วงด้วยน้ำหนักลูกปูน รวมน้ำหนักทั้งหมด 160 กิโลกรัม (ที่มา : รถจักรยานยนต์ที่ Honda all new scoopy i ปี 2018 ที่มีน้ำหนัก 98 กิโลกรัม (thaihonda.co.th) และน้ำหนักมาตรฐานของคนไทยโดยไม่ระบุเพศจะอยู่ที่ประมาณ 63.2 กิโลกรัม (nstda.or.th))
2. ไม้บรรทัด
3. ตลับเมตร
4. เชือก
5. เครื่องชั่ง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. การจัดวางขอบตรง
 - 1.1 วางขอบตรงข้ามร่อง ปล่อยให้ขอบตรงพักบนทางเท้าที่พื้นที่สัมผัสสองพื้นที่ เช่น การเลื่อนขอบตรงตามความยาวทั้งสองทิศทางจะไม่เปลี่ยนพื้นที่สัมผัสบนทางเท้า หลีกเลี่ยงตำแหน่งพื้นที่ติดต่อกับหยุดทำงานที่กว้างกว่าด้านล่างขอบตรง
 - 1.2 วางขอบตรงในระนาบตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของจราจร พื้นผิวด้านล่างของขอบตรงจะต้องขนานกับความชันตามยาวของทางเท้า อย่าวางขอบตรงบนการหยุดทำงานใดๆ บนพื้นผิวทางเท้า เช่น หลุมหรือเศษซากที่หลุดออกมา
 - 1.3 ช่วงยวาระหว่างการจัดวางขอบตรงต่อเนื่องควรเกี่ยวข้องกับความแม่นยำที่จำเป็นสำหรับการใช้ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวางเกจ

วางเกจระหว่างพื้นที่สัมผัสสองพื้นที่ต่อเพนติคูลาร์กับระนาบอ้างอิงที่สร้างขึ้น โดยด้านล่างของขอบตรงและตั้งฉากกับความชันตามยาวของทางเท้า ด้านล่างของเกจจะต้องสัมผัสกับทางเท้าในเวลาของการวัด อย่าวางเกจบนการหยุดทำงานใด ๆ บนพื้นผิวทางเท้า เช่น หลุมหรือเศษซากที่หลวม

3. การวัดความลึกของร่องล้อ

3.1 วัดระยะทางระหว่างพื้นผิวด้านล่างของขอบตรงและทางเท้าหลังจากเกจได้วางตามที่อธิบายไว้ในข้อ 1. และข้อ 2.

3.2 ควรทำการวัดเพื่อจบเกจที่ใกล้ที่สุด จำนวนการวัดที่เพียงพอควรดำเนินการตามขอบตรงเพื่อกำหนดระยะทางที่มากที่สุดระหว่างขอบตรงและทางเท้า



รูปที่ 3.20 วัดค่าความลึกของร่องล้อ



รูปที่ 3.21 ถ่วงน้ำหนักบนสนามทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกำลังจากยางคอมพาวด์ในสนามด้วยการวัดคุณสมบัติดังนี้ ค่าการทรุดตัว และค่าความลึกร่องล้อในสนาม

4.2 คุณสมบัติของยางคอมพาวด์

4.2.1 ส่วนประกอบของยางคอมพาวด์

ประกอบด้วย ยางพารา 100 ส่วน(โดยน้ำหนัก) Zinc oxide(ZnO) 3 ส่วน(โดยน้ำหนัก) กรดสเตียริก(Stearic acid) 1 ส่วน(โดยน้ำหนัก) สารต้านอนุมูลอิสระของยางพารา(Rubber antioxidant,6PPD) 1 ส่วน(โดยน้ำหนัก) CaCO₃-HI-CAL CC 50 ส่วน(โดยน้ำหนัก) ผงเขม่าดำ(Carbon black N330) 50 ส่วน(โดยน้ำหนัก) ซิลิกา(Silica) 5 ส่วน(โดยน้ำหนัก) โพลีเอทิลีน ไกลคอล 400(Polyethylene glycol, PEG 400) 1 ส่วน(โดยน้ำหนัก) น้ำมันก๊าด(Paraffin oil) 30 ส่วน(โดยน้ำหนัก) กำมะถัน(Sulfur) 2 ส่วน(โดยน้ำหนัก) สารเร่งปฏิกิริยาของยาง(Rubber accelerator) 1.5 ส่วน(โดยน้ำหนัก)

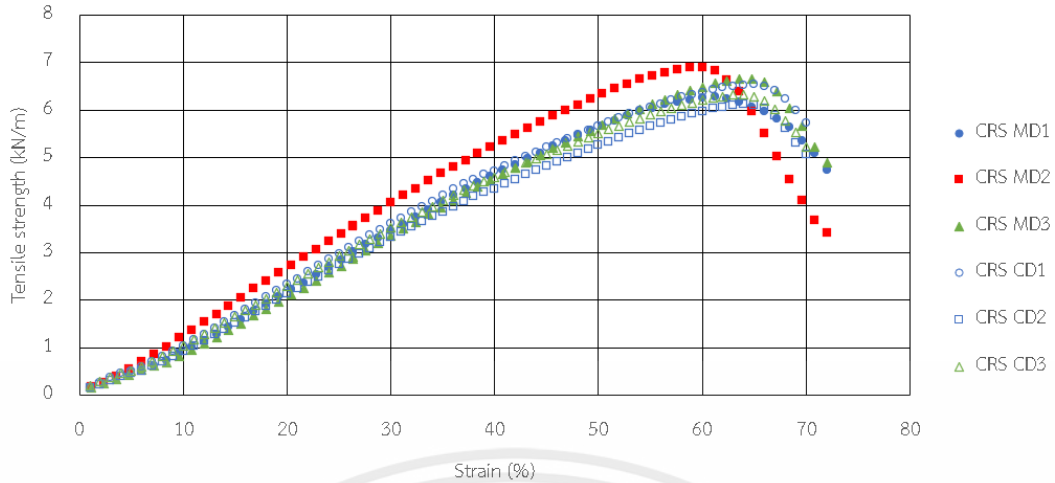
4.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของยางคอมพาวด์

ยางคอมพาวด์มีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของยางคอมพาวด์

คุณสมบัติ	ยางคอมพาวด์
ขนาดรูเจาะ (mm)	20 x 20
พื้นที่รูเจาะ (mm ²)	400
ความหนา (mm)	2.51
ค่าความต้านทานแรงดึงที่ความเครียด 2% MD (Tensile strength at 2% strain MD) (kN/m)	6.614
ค่าความต้านทานแรงดึงที่ความเครียด 2% CD (Tensile strength at 2% strain CD) (kN/m)	6.327
ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด MD (Ultimate tensile strength MD) (kN/m)	0.251
ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด CD (Ultimate tensile strength CD) (kN/m)	0.269

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

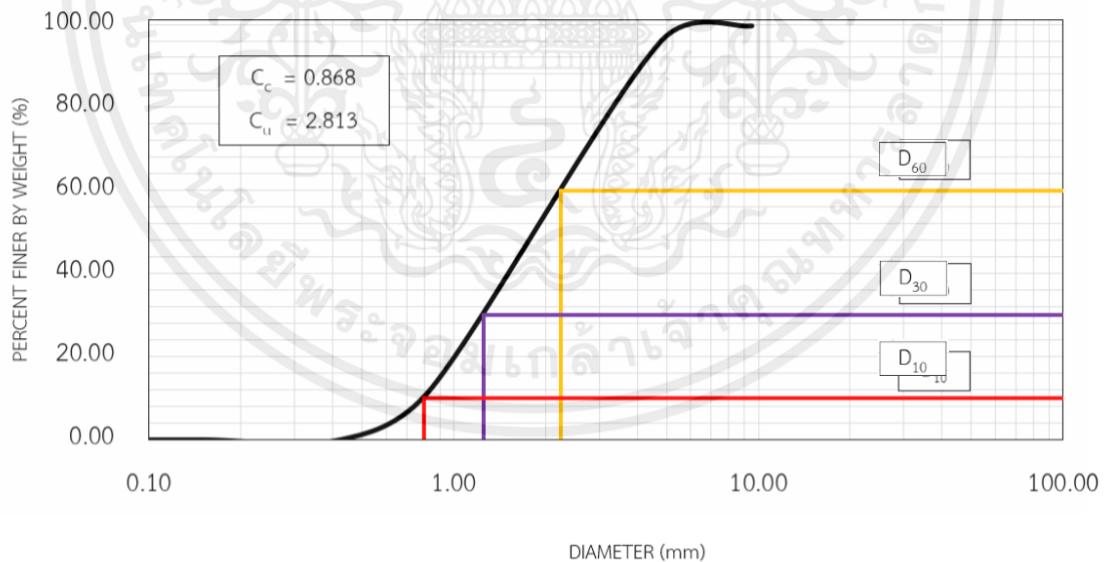


รูปที่ 4.1 กราฟกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางคอมพาวด์

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้

4.3.1 ผลการทดสอบการหาขนาดเม็ดดินวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis)

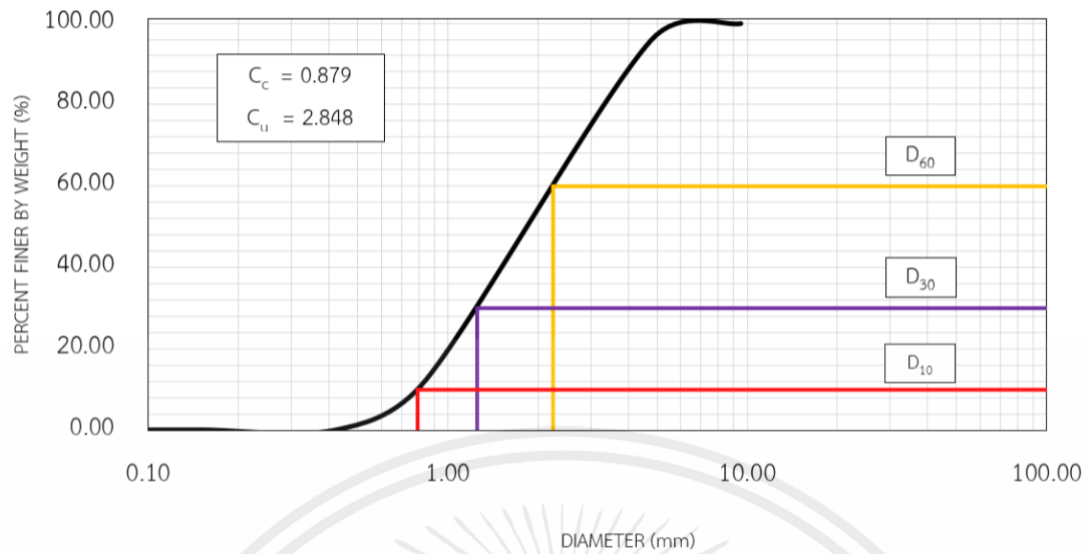
ในการทดสอบการหาขนาดเม็ดดินวิธีร่อนผ่านตะแกรง(Sieve analysis) ทำให้ทราบขนาดของเม็ดดินและการกระจายส่วนคละของเม็ดดิน เพื่อหาคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้โดยในการทดสอบโดยใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรง จำนวน 3 ตัวอย่าง ผลที่ได้นำมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.1 แสดงต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ตัวอย่างที่ 1

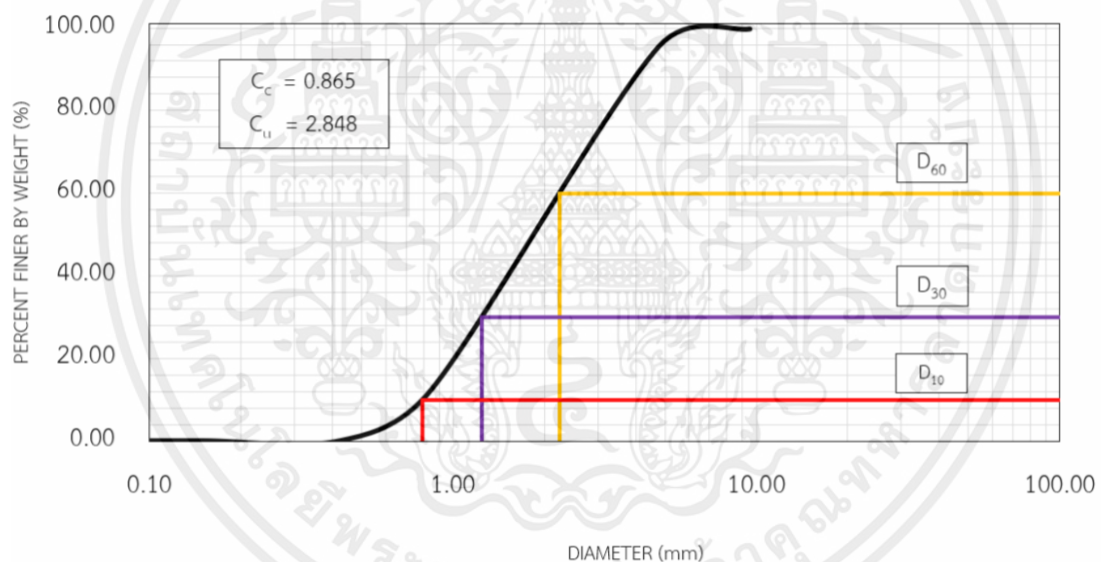
จากรูปที่ 4.2 พบว่ามีค่า $D_{60} = 2.25$ มิลลิเมตร $D_{30} = 1.25$ มิลลิเมตร $D_{10} = 0.80$ มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ตัวอย่างที่ 2

จากรูปที่ 4.3 พบว่ามีค่า $D_{60} = 2.25$ มิลลิเมตร $D_{30} = 1.25$ มิลลิเมตร $D_{10} = 0.75$ มิลลิเมตร



รูปที่ 4.4 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน ตัวอย่างที่ 3

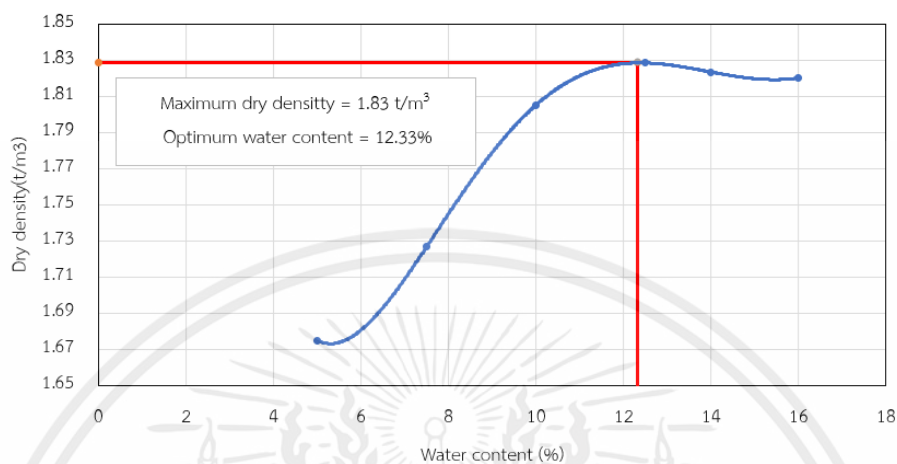
จากรูปที่ 4.4 พบว่ามีค่า $D_{60} = 2.25$ มิลลิเมตร $D_{30} = 1.24$ มิลลิเมตร $D_{10} = 0.75$ มิลลิเมตร

จากกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน 3 ตัวอย่าง พบว่าดินที่เลือกใช้เป็นดินทรายที่มีกรวดเม็ดละเอียดปน มีขนาดคละกันไม่ดี สามารถจำแนกได้เป็นดินประเภท SP (Poorly Graded Soil, SP) จากมาตรฐาน ASTM D2487

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดสอบการบดอัดดิน (compaction)

ในการทดสอบการบดอัดดิน (compaction) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นในการบดอัด ทำให้ทราบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด โดยผลที่ได้นำมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.2 แสดงต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้ง

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 1.8284 และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด เท่ากับ 12.33%

4.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังของคันดินด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ภายในสนาม

4.4.1 ผลการวัดค่าการทรุดตัว

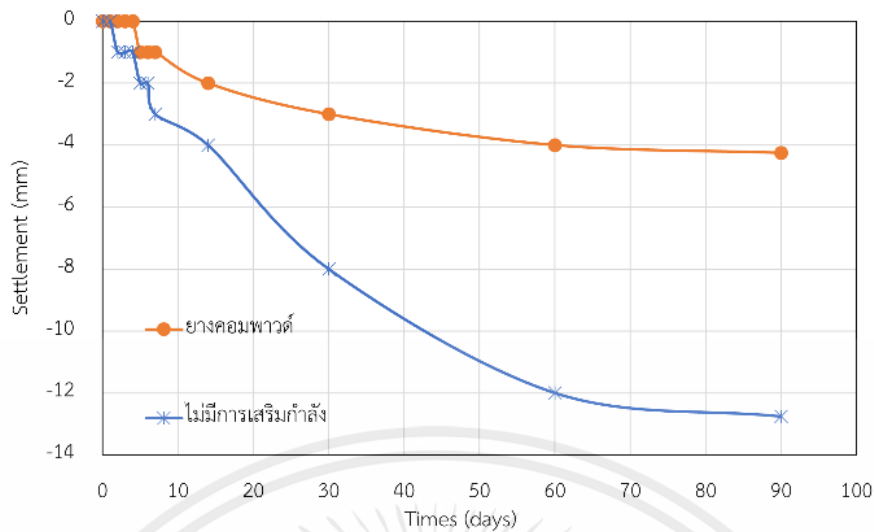
ในการทดสอบการวัดค่าการทรุดตัว ซึ่งได้ทำการติดตั้งแผ่นวัดการทรุดตัว (settlement plate) ทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ

ตำแหน่งที่ 1 ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน ที่ใช้ในการวัดการทรุดตัวของชั้นดินเดิมของคันดิน

ตำแหน่งที่ 2 ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน ที่ใช้ในการวัดการทรุดตัวของคันดินที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ชั้นแรก

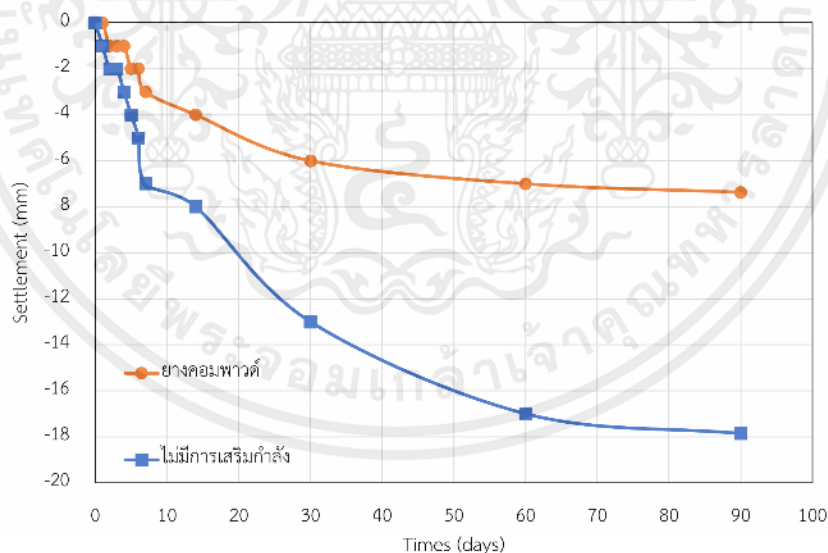
ตำแหน่งที่ 3 ที่ผิวดิน

โดยค่าการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) และตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) จะแสดงในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 4.25 มิลลิเมตร และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 12.76 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 33.31 โดยค่าการทรุดตัวของบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีการทรุดตัวร้อยละ 100

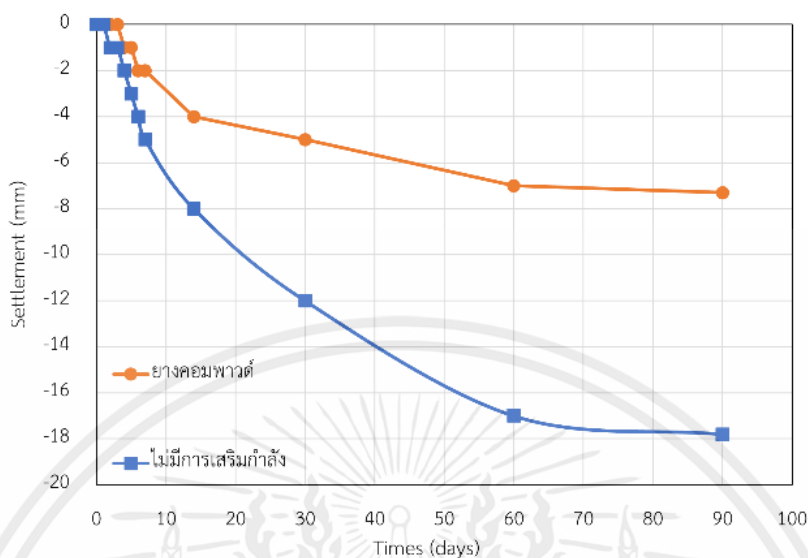


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการทรุดตัวในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 7.37 มิลลิเมตร และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 17.86 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 41.27 โดยค่าการทรุดตัวของบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีการทรุดตัวร้อยละ 100



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการทรุดตัวในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement)

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าการทรุดตัวในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 7.30 มิลลิเมตร และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 17.80 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 41.01 โดยค่าการทรุดตัวของบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีการทรุดตัวร้อยละ 100

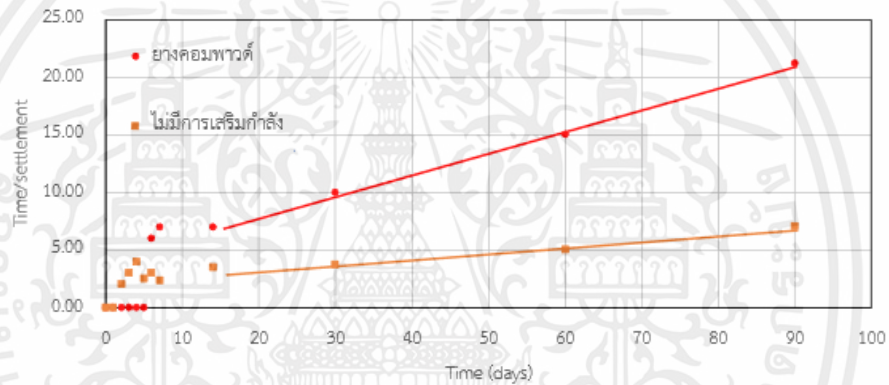
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งภายในสนามทดสอบ

ตำแหน่งภายในสนามทดสอบ	การทรุดตัวในสนามที่ไม่มีการเสริมกำลัง (mm)	การทรุดตัวในสนามที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์(mm)	ร้อยละของค่าการทรุดตัว (เมื่อร้อยละของบริเวณไม่มีการเสริมกำลังเท่ากับ100)
ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	12.76	4.25	33.31
ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	17.86	7.37	41.27
ผิวดิน (surface settlement)	17.80	7.30	41.01

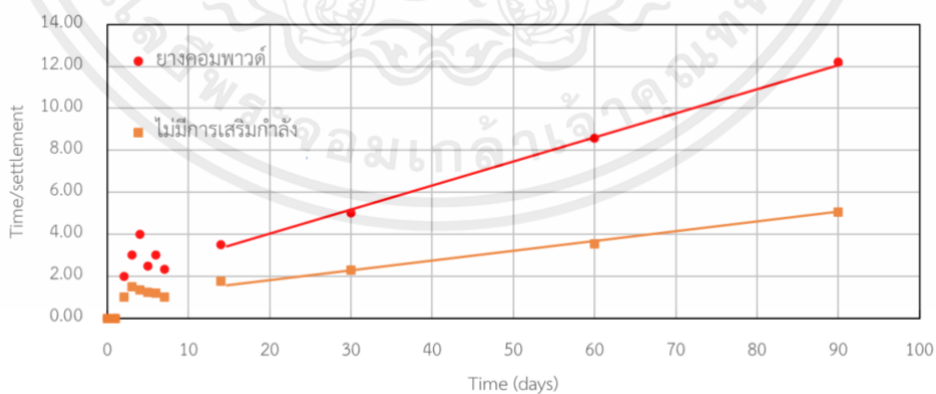
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ที่มีค่าการทรุดตัวต่ำสุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 4.25 มิลลิเมตร และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังที่มีค่าการทรุดตัวต่ำสุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 12.76 มิลลิเมตร และเมื่อนำทั้งสองบริเวณมาเปรียบเทียบจะเห็นว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์มีค่าต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของงานวิจัยของ Anubud Liangsunthonsit(2023) ที่กล่าวว่า การใช้ geogrid แบบ ยางพาราคอมพาวด์(RCS) สามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนได้ดีในดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทราย และดินลูกรัง

ทางผู้วิจัยได้ทำการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Hyperbolic plot โดยผลของตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) และตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ดังรูปที่ 4.9 4.10 และ 4.11 ตามลำดับและตารางที่ 4.3

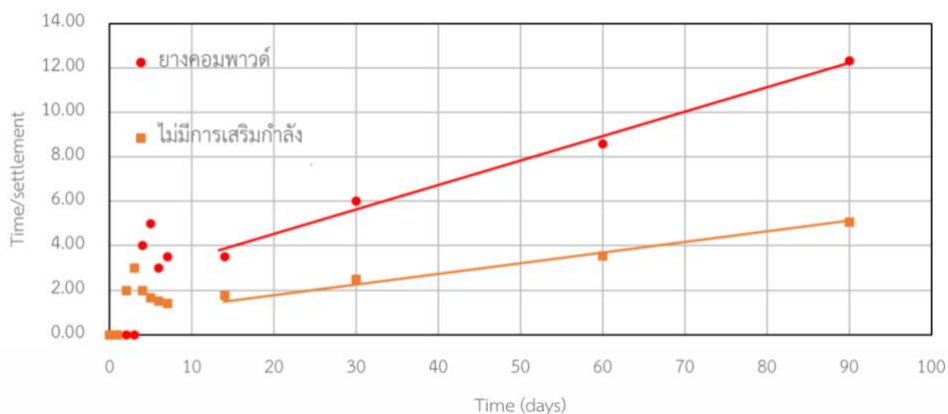


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Hyperbolic plot ในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Hyperbolic plot ในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Hyperbolic plot ในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Hyperbolic plot

วัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลัง	ตำแหน่ง Settlement plate	การทรุดตัวสุดท้ายของคันดิน(1/slope) (มิลลิเมตร)
แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound)	ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	3.401
	ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	3.333
	ผิวดิน (surface settlement)	3.333
ไม่มีการเสริมกำลัง (Non-reinforcement)	ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	5.079
	ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	5.263
	ผิวดิน (surface settlement)	5.263

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการทรุดตัวสุดท้ายของคันดินในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวร้อยละ

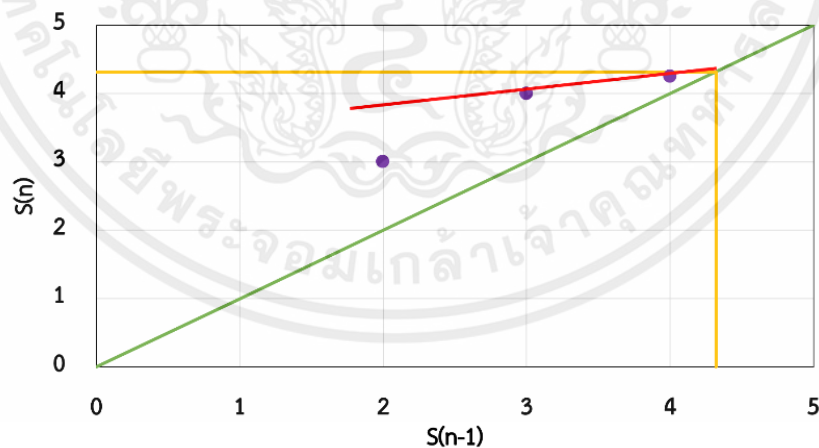
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

66.96 การทรุดตัวสุดท้ายของคันดินในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง

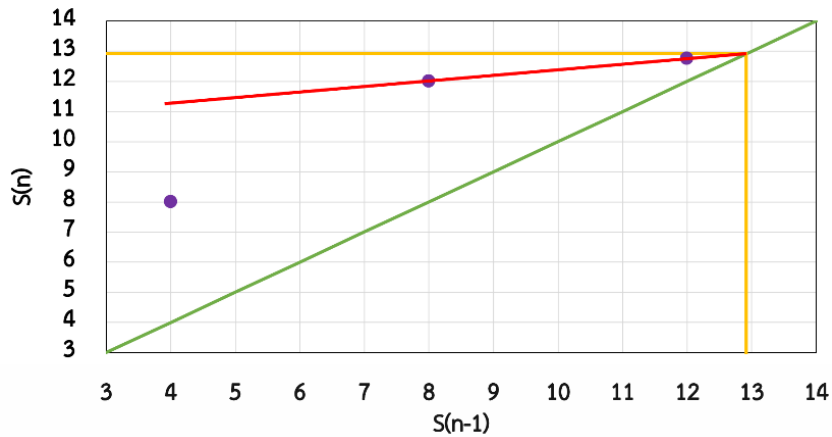
เมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 63.33 การทรุดตัวสุดท้ายของคันดินในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 63.33 โดยทั้งสามตำแหน่งบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมค่าการทรุดตัวร้อยละ 100

จะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ที่มีค่าการทรุดตัวสุดท้ายต่ำสุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) และตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ซึ่งมีค่าการทรุดตัวอยู่ที่ 3.333 มิลลิเมตร และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังที่มีค่าการทรุดตัวสุดท้ายต่ำสุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 5.079 มิลลิเมตร

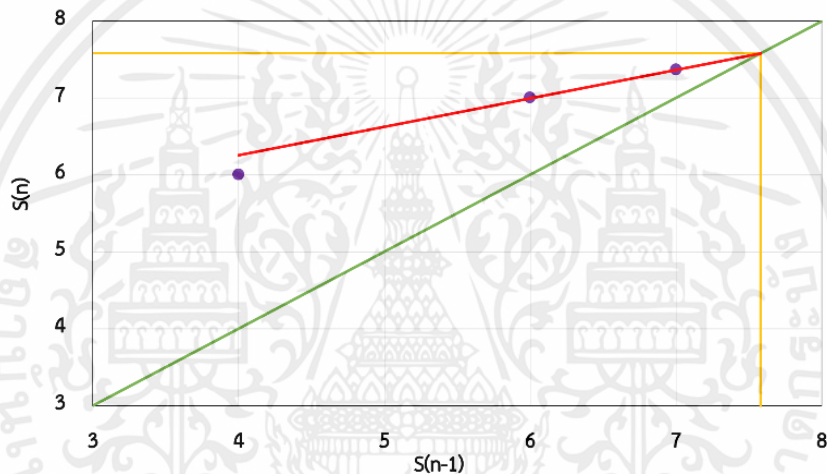
และทางผู้วิจัยได้ทำการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Asoka โดยผลของบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง ตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) และตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ดังรูปที่ 4.12 4.13 4.14 4.15 4.16 และ 4.17 ตามลำดับและตารางที่ 4.4



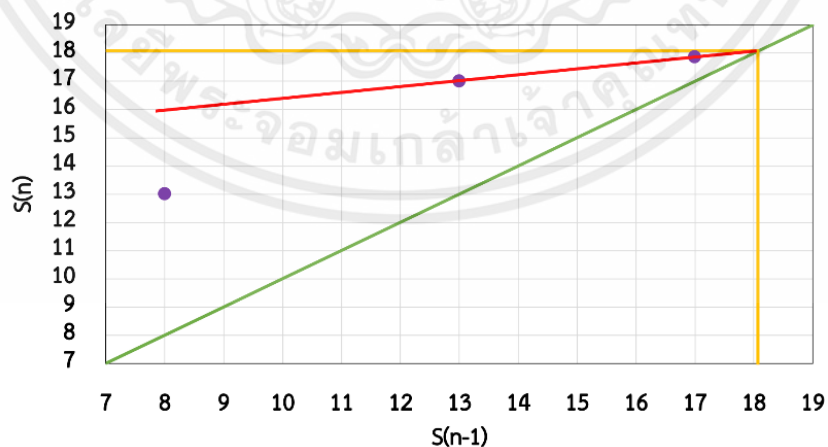
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)

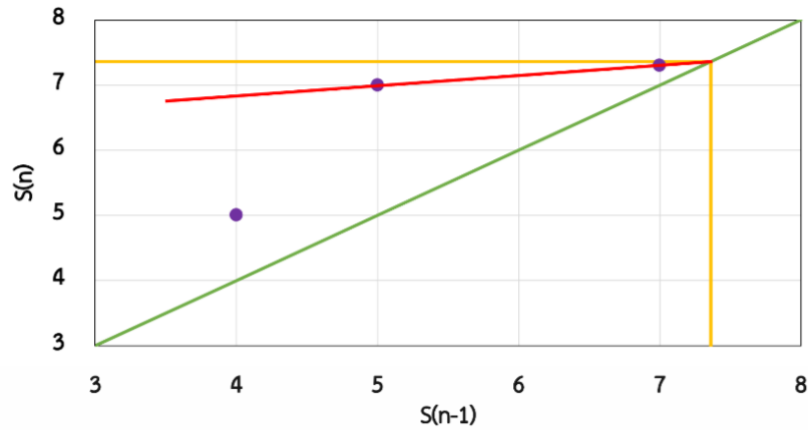


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)

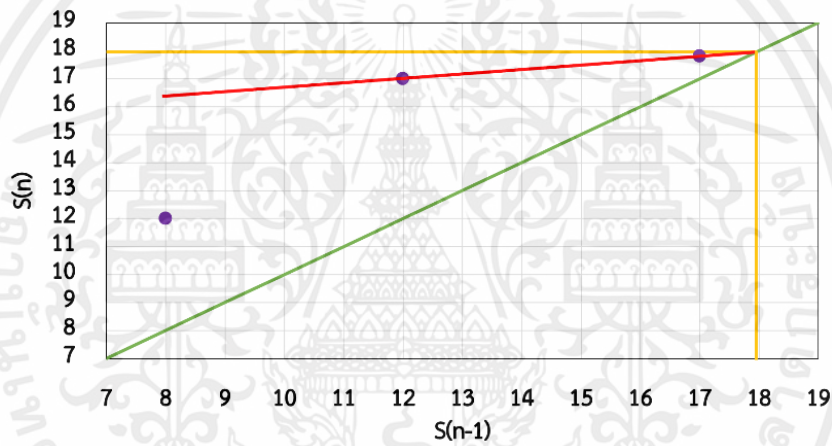


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์
ในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement)



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการคาดคะเนด้วยวิธี Asoka บริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังในตำแหน่งผิวดิน
(surface settlement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Asoka

วัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลัง	ตำแหน่ง Settlement plate	การทรุดตัวสุดท้ายของคันทัน (มิลลิเมตร)
แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound)	ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	4.32
	ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	7.58
	ผิวดิน (surface settlement)	7.36
ไม่มีการเสริมกำลัง (Non-reinforcement)	ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	12.92
	ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	18.07
	ผิวดิน (surface settlement)	17.95

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการทรุดตัวสุดท้ายของคันทันในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ซึ่งมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 33.44 การทรุดตัวสุดท้ายของคันทันในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ซึ่งมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 41.95 การทรุดตัวสุดท้ายของคันทันในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ซึ่งบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง เมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ซึ่งมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 41.00 โดยทั้งสามตำแหน่งบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 100

และจะเห็นได้ว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ที่มีค่าการทรุดตัวสุดท้ายต่ำสุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งมีค่าการทรุดตัวอยู่ที่ 4.32 มิลลิเมตร และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังที่มีค่าการทรุดตัวสุดท้ายต่ำสุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement) ซึ่งมีค่าการทรุดตัวสูงสุดอยู่ที่ 12.92 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

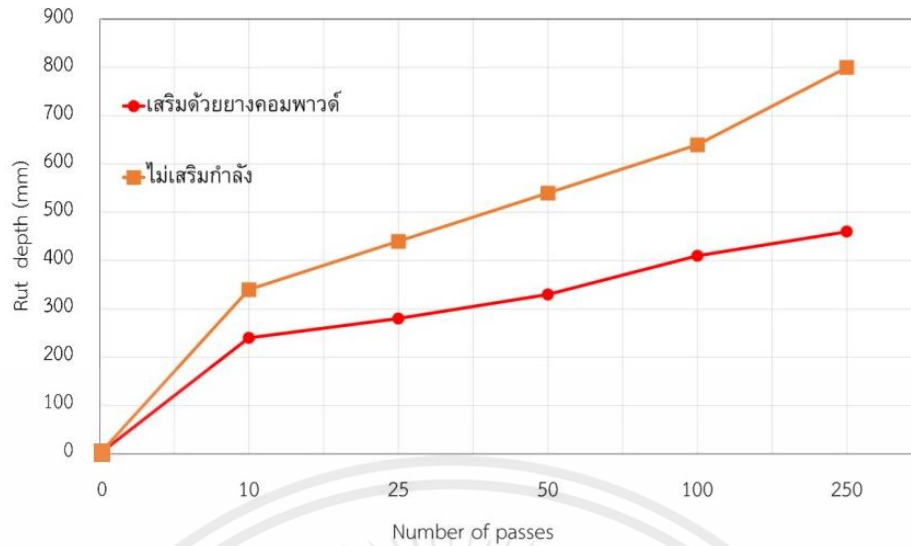
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบการทรุดตัวจริงในสนามและการทรุดตัวจากการคาดคะเน

วัสดุที่ใช้ในการเสริมกำลัง	ตำแหน่ง Settlement plate	วิธีการ Hyperbolic plot	วิธีการ Asoka	ทดสอบในสนาม
		การทรุดตัวสุดท้ายของคันดิน(1/slope) (มิลลิเมตร)	การทรุดตัวสุดท้ายของคันดิน (มิลลิเมตร)	การทรุดตัวสุดท้ายในสนามทดสอบ (มิลลิเมตร)
แผ่นยางคอมพาวด์ (Rubber compound)	ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	3.401	4.32	4.25
	ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	3.333	7.58	7.37
	ผิวดิน (surface settlement)	3.333	7.36	7.30
ไม่มีการเสริมกำลัง (Non-reinforcement)	ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน (ground settlement)	5.079	12.92	12.76
	ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement)	5.263	18.07	17.86
	ผิวดิน (surface settlement)	5.263	17.95	17.80

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าการคาดคะเนการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธีการ Asaoka มีค่าใกล้เคียงกับค่าการทรุดตัวจริงที่เกิดขึ้นในสนาม เนื่องจากสนามทดสอบสร้างจากดินทราย วิธีการ Asoka สามารถประยุกต์ใช้กับ Sand Drain Problem ได้โดยสามารถใช้ได้กับ One-way หรือ Two-way Drainage และวิธีการ Hyperbolic plot เหมาะสำหรับการคาดคะเนในดินอ่อน ที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2.1.4 และ 2.1.5 (ดูบทที่ 2.1.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิกของ Tan et al. 1971 และ 2.1.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฮโซกะของ Asaoka 1978)

4.4.2 ผลการวัดค่าความลึกของร่องล้อภายในสนาม

ในการทดสอบการวัดค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามด้วยการวิ่งผ่านด้วยวัตถุจำลองจำนวน 250 รอบ โดยวัตถุจำลองมีน้ำหนักประมาณ 160 กิโลกรัม (ที่มา : รถจักรยานยนต์ที่ Honda all new scoopy i ปี 2018 ที่มีน้ำหนัก 98 กิโลกรัม (thaihonda.co.th) และน้ำหนักมาตรฐานของคนไทยโดยไม่ระบุเพศจะอยู่ที่ประมาณ 63.2 กิโลกรัม (nstda.or.th)) พร้อมแสดงผลในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามทดสอบ



รูปที่ 4.19 การวัดค่าการทรุดตัวสุดท้ายในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 การวัดค่าการทรุดตัวสุดท้ายในบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าค่าความลึกของร่องล้อบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะมีค่าความลึกสูงสุดร่องล้ออยู่ที่ 460 มิลลิเมตร และค่าความลึกของร่องล้อบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าความลึกสูงสุดอยู่ที่ 800 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบจะพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์ ซึ่งมีค่าความลึกของร่องล้อร้อยละ 57.5 โดยบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าความลึกของร่องล้อร้อยละ 100 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่า แผ่นยางคอมพาวด์ช่วยเสริมแรงดึงที่เกิดบนพื้นผิวทำให้มีค่าความลึกของร่องล้อลดลงซึ่งเป็นคุณสมบัติที่คล้ายกับแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2.1.2 (ดูบทที่ 2.1.2 หน้าที่ของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินในงานถนนของ U.S. Corps of Engineers, ETL 2003.)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางคอมพาวด์กำลังคั่นดินในสนาม เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบภายในสนามทดสอบในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะได้ผลสรุปดังนี้

ในส่วนของค่าการวัดค่าการทรุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน(ground settlement) ในสนามบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังภายในสนามโดยเกิดการทรุดตัว 4.25 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 33.31 ตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ในสนามบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังภายในสนามโดยเกิดการทรุดตัว 7.37 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าการทรุดตัวร้อยละ 41.27 และตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ในสนามบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังภายในสนามโดยเกิดการทรุดตัว 7.30 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าการทรุดตัวลดลงร้อยละ 41.01 ในส่วนของการคาดคะเนค่าการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธี Hyperbolic plot โดยค่าการทรุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน(ground settlement) ของในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 3.401 มิลลิเมตร และ 5.079 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าการทรุดในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ของในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 3.333 มิลลิเมตร และ 5.263 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าการทรุดในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ของในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 3.333 มิลลิเมตร และ 5.263 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในส่วนของการคาดคะเนค่าการทรุดตัวสุดท้ายด้วยวิธี Asoka โดยค่าการทรุดในตำแหน่งความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน(ground settlement) ของในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 4.32 มิลลิเมตร และ 12.92 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าการทรุดในตำแหน่งความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน (n1 layer settlement) ของในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 7.58 มิลลิเมตร และ 18.07 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าการทรุดในตำแหน่งผิวดิน (surface settlement) ของในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์และบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลัง จะมีค่าเท่ากับ 7.36 มิลลิเมตร และ 17.95 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ในส่วน of ค่าความลึกของร่องล้อยู่ภายในสนามบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางคอมพาวด์จะทำให้เกิดค่าความลึกของร่องล้อย่น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังภายในสนามโดยเกิดค่า

ความถี่ร่องล้อยู่สูงอยู่ที่ 460 มิลลิเมตร และมีค่าความลึกของร่องล้อย้อยละ 57.5 โดยบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าความลึกของร่องล้อย้อยละ 100

สุดท้ายนี้จากการทดสอบการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นคอมพาวด์เสริมกำลังคั่นดินในสนามสามารถสรุปได้ว่าแผ่นยางคอมพาวด์มีประสิทธิภาพในการช่วยเสริมกำลังและกระจายการรับแรงในคั่นดินภายในสนามทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลังในคั่นดิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาต่อในอนาคต

1. งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดสอบภายในสนามที่มีพื้นที่จำกัด ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยการสร้างสนามทดสอบที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น
2. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับดินหลากชนิดเพื่อให้ได้ผลที่ต่างกันและหลากหลายมากขึ้น
3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์

อ้างอิง

- ASTM D698. 2007. "Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12, 400 ft- lbf/ ft³ (600 kN-m/m³))." ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM D1557. 2007. "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))." ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM D1883. 1999. "Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils" ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM D22. 2007. "Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils" ASTM International. West Conshohocken, PA.
- Christopher, B.R. 2010. "Geogrids in Roadway and Pavement Systems." NAUE GmbH & Co. KG, and Global Synthetics Pty Ltd. 23 Nov. – 1 Dec., 2010.
- Giroud, J.P., Ah-Line, C., and Bonaparte, R. 1984. "Design of Unpaved Roads and Trafficked Areas with Geogrids." Proceedings of the symposium on Polymer Grid Reinforcement in Civil Engineering. Institute of Civil Engineers. 116-127.
- Haliburton, T.A., Lawmaster, J.D. and McGuffey, V.C. 1981. "Use of Engineering Fabrics in Transportation Related Applications." Federal Highway Administration, FHWA DTFH61-80-C-00094.
- Holtz, R.D, Christopher, B.R. and Berg, R.R. 1998. "Geosynthetic design and construction guidelines." Federal Highway Administration, Washington, DC, FHWA-HI-98-038, 460 p.
- Koerner, R. M. 1997. "Designing with Geosynthetics, 5th Edition." Geosynthetic Institute Emeritus Professor of Drexel University. Pearson Education, Inc. United States of America.
- Proctor, R.R (1933). "Fundamental Principles of Soil Compaction", Engineering News-Record, I. Aug 31, 1933, pp. 245-248; I Sept. 7, 1933, pp. 286-289; . Sept. 21, 1933, pp. 348-355; M. Sept 28, 1933, pp. 372-376
- ศลิษา ไชยพุทธ และ แหลมทอง เหล่าคงถาวร. (2562). "ปฐพีกลศาสตร์ : ทฤษฎีและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ" ตำราและเทคโนโลยีการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
- ศลิษา ไชยพุทธ. 2565. "เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน (Ground Improvement Techniques) ฉบับปรับปรุง." ศูนย์จำหน่ายตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อ้างอิง(ต่อ)

ดร.ยงยุทธ แต่ศิริ และ ไพฑูรย์ พงษ์สวัสดิ. (2541). “การทฤษฎีของคันทงที่ปรับปรุงคุณภาพดินด้วยแผ่น
ใยสังเคราะห์กรองน้ำ.” ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้