การทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางพาราเสริมกำลังคันดินในสนามทดสอบ

Performance of para rubber for reinforced embankment in field test

ภัคภณ จรูญรัตน์[1], อนุพุทธ์ เลียงสุนทรสิทธิ์[2], ศลิษา ไชยพุทธ[3*], จิรัชญา อายะวรรณา[4], และ ทรงกลด แซ่อึ้ง[5]

[1,2,3,5]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร
[4]สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก, สำนักวิชาวิศวกรรมศาตร์, มหาวิยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
** Corresponding author; E-mail address: salisa.ch@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

จากสถานการณ์ราคายางพาราในประเทศไทยที่มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง ปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงนำแผ่นยางพารารมควัน ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีความยืดหยุ่น มีคุณสมบัติด้านการรับแรงดึง เช่นเดียวกับคุณสมบัติของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินมาประยุกต์ใช้ โดยการทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังของคันดินด้วยแผ่นยางพารารมควันในสนามทดสอบขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 3.5 เมตร สูง 0.5 เมตร มีการติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน จำนวน 2 ชั้น ที่ตำแหน่ง 0.05 เมตร และ 0.25 เมตร จากผิวดิน ทดสอบเปรียบเทียบกำลังการรับน้ำหนักของคันดินที่ไม่มีการเสริมกำลังและเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันด้วยการจำลองน้ำหนักของยานพาหนะขนาด 160 กิโลกรัม บรรทุกผ่านจำนวน 250 รอบ ตรวจวัดค่าการทรุดตัว (Settlement) และ ค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting depth) จากการศึกษาตรวจวัดพฤติกรรมของคันดินในสนามทดสอบพบว่า คันดินบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควัน มีค่าการทรุดตัว และ ค่าความลึกของร่องล้อ ลดลงน้อยกว่าคันดินบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันเฉลี่ยร้อยละ 32.63 และ 18.75 ตามลำดับ ดังนั้นแผ่นยางพารารมควันจึงมีประสิทธิภาพช่วยเสริมกำลังการรับแรงของคันดินในสนาม

คำสำคัญ: การเสริมกำลัง, โครงสร้างชั้นทาง, แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน, แผ่นยางพารารมควัน, ยางพารา

Abstract

From the situation of the para rubber price in Thailand that tends to decrease continuously during 2011 to present. In this research, ribbed smoked sheets, which is a natural material, is composed of the flexible and tensile properties similar to those of geogrid. The effectiveness of ribbed smoked sheets for embankment reinforcement was evaluated in the field test with dimensions of 1 meter × 3.5 meters and a height of 0.5 meters. The two layers of ribbed smoked sheets were installed at the position of 0.05 meters and 0.25 meters from the ground surface. The bearing capacity of an embankment without and with ribbed smoked sheets reinforcement were compared by simulating the weight of a 160 kilogram vehicle with carrying through 250 cycles. The settlement and rutting depth were measured. According to the measuring behavior of the embankment in the field test, it was found that the embankment with-ribbed smoked sheets reinforcement had settlement and rutting depth lower than those of the embankment without-ribbed smoked sheets reinforcement, on average 32.63 percent and 18.75 percent, respectively. Therefore, the ribbed smoked sheets have an efficiency to increase the strength of the embankment in the field test.

Keywords: Reinforcement, Pavement structure, Geogrid, Ribbed smoked sheet, Para rubber

1. บทนำ

การเสริมความแข็งแรงของถนนด้วยวัสดุเสริมกำลังซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในงานถนน คือ การใช้แผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) ในการเสริมกำลัง วัสดุเสริมกำลังสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรง ลดการทรุดตัวของโครงสร้างชั้นทางในงานถนน โดยช่วยให้ถนนมีความสามารถที่จะรับน้ำหนักได้มากขึ้น รวมถึงมีส่วนช่วยที่จะทำให้ถนนเกิดเสถียรภาพมากขึ้น และ ช่วยยืดอายุการใช้งานของถนนเพิ่มขึ้น [1]

เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศไทยกำลังตกต่ำ ส่งผลทำให้ราคาของยางพาราและผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปมาจากยางพาราที่ซื้อ-ขายในประเทศไทย มีแนวโน้มของราคาที่ลดลงอย่างมากในช่วงระหว่างปีพ.ศ. 2554 จนถึงปัจจุบัน นับเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้เกษตรกรบางส่วนมีรายได้ลดลง

จากการศึกษาก่อนหน้าของ Chaiyaput, et al. (2022) [2] ได้มีการนำผลิตภัณฑ์จากยางพารามาประยุกต์ใช้ในทางวิศวกรรม เพื่อทำเป็นวัสดุช่วยในการเสริมกำลังภายในถนนโดยนำมาประยุกต์ใช้ให้ออกมาในรูปแบบแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดิน (Geogrid) และ ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันพบว่า

ประสิทธิภาพการเสริมกำลังดินของแผ่นตาข่ายเสริมกำลังดินที่ผลิตจากแผ่นยางพารารมควันจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังของดินที่มีค่าค่าแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio, CBR) หรือกำลังรับน้ำหนักต่ำ

งานวิจัยนี้จึงได้นำแผ่นยางพารารมควันจากการศึกษาเบื้องต้นที่เป็นการทดสอบเพียงในห้องปฏิบัติการเท่านั้น และ ยังไม่มีการทดสอบภายในสนาม โดยการทดสอบของงานวิจัยนี้สร้างสนามทดสอบเพื่อการศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นยางพารารมควันที่เกิดขึ้นภายในสนามทดสอบ

2. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นยางพารารมควันและดินที่ใช้ในการสร้างสนามทดสอบในห้องปฏิบัติการ

2.1 การทดสอบการหาขนาดเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน (Sieve analysis)

การทดสอบการหาขนาดเม็ดดินวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) ผ่านมาตรฐาน ASTM D422-63 [3] ทำให้ทราบขนาดของเม็ดดินและการกระจายส่วนคละของเม็ดดิน เพื่อหาคุณสมบัติของดินที่เลือกใช้โดยในการทดสอบโดยใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรง จำนวน 3 ตัวอย่าง ผลเฉลี่ยได้จากการทดสอบได้นำมาแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 1 ค่าขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านี้จำนวนร้อยละ 10 (D_{10}) มีค่าเท่ากับ 0.76 ค่าขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านี้จำนวนร้อยละ 30 (D_{30}) มีค่าเท่ากับ 1.21 และค่าขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่านี้จำนวนร้อยละ 60 (D_{60}) มีค่าเท่ากับ 2.2 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอ (Coefficient of uniformity, C_U) และ ค่าสัมประสิทธิ์ของความโค้ง (Coefficient of curvature, C_C) เท่ากับ 2.894 และ 0.876 ตามลำดับ ในการจำแนกชนิดดินใช้ระบบ Unified soil classification ตามมาตรฐาน ASTM D2487-06 [4] ดังนั้นดินที่เลือกใช้เป็นดินทรายที่มีกรวดเม็ดละเอียดปนมีขนาดคละกันไม่ดี (Poorly graded soil)

รูปที่ 1 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

2.2 การทดสอบการบดอัดดิน (compaction)

การทดสอบการบดอัดดิน (compaction) ผ่านมาตรฐาน ASTM D1557-00 [5] เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับปริมาณความชื้นในการบดอัด ทำให้ทราบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัด ผลการทดสอบจะถูกนำไปใช้เพื่อตรวจสอบและควบคุมคุณภาพการบดอัดทรายในสนามทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้ง

จากรูปที่ 2 ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 18.30 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการบดอัดเท่ากับร้อยละ 12.33

2.3 การทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน (Wide-Width strip method)

การทดสอบการหากำลังรับแรงดึงของแผ่นยางพารารมควัน ".64 480.88 Td /F5 12 T

Ö ú Ü6× ï ø Ü é € P ø ô ß&4 ß• Ù ü î

จากรูปที่ 3 และตารางที่ 1 ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดทิศทางขนานกับแนวการรีดของแผ่นยางพารารมควันมีค่าเท่ากับ 0.298 กิโลนิวตันต่อเมตร ส่วนค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดทิศทางขนานกับแนวการรีดของแผ่นยางพารารมควันมีค่าเท่ากับ 0.246 กิโลนิวตันต่อเมตร



รูปที่ 3 การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึงด้วยเครื่อง UTM

3. การทดสอบในสนามทดสอบ

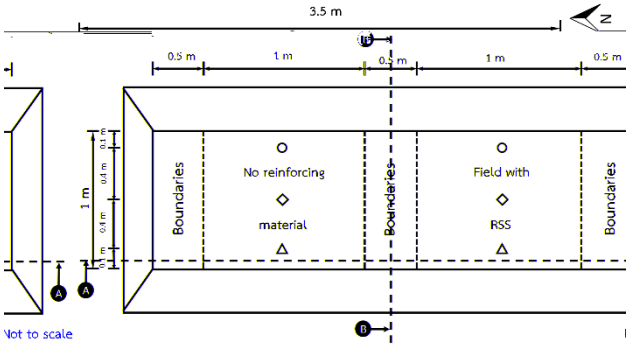
3.1 การออกแบบสนามทดสอบ

คันดินทรายจะถูกออกแบบให้เป็นสนามทดสอบเพื่อจำลองพฤติกรรมของถนนที่ไม่ปูผิวทางลาดยางและศึกษาได้แก่ค่าการทรุดตัว (Settlement) และ ค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting depth) เปรียบเทียบพฤติกรรมของถนนที่ไม่เสริมกำลังและเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารา โดยสนามทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 บริเวณที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุเสริมกำลังในคันดินเปล่า และส่วนที่ 2 บริเวณที่มีการเสริมกำลังคันดินด้วยการติดตั้งแผ่นยางพารารมควัน

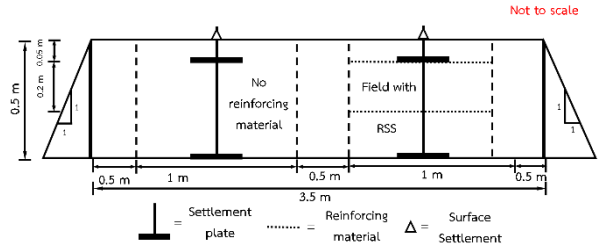
สนามทดสอบออกแบบตามงานวิจัยของ Chaiyaput, et al. (2022) [2] ซึ่งการเสริมกำลังที่เหมาะสมที่สุดคือจำนวน 2 ชั้น เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบในงานวิจัยนี้จึงได้มีการเสริมกำลังคันดินด้วยแผ่นยางพารารมควันในสนามจำนวน 2 ชั้น ที่ตำแหน่ง 0.05 เมตร และ 0.25 เมตร จากผิวดิน

สนามทดสอบถูกออกแบบให้มีความกว้างของสนาม 1 เมตร ความยาว 3.5 เมตร และความสูง 0.5 เมตร โดยภาพแผนผังการออกแบบ, ภาพตัดด้านข้าง (ด้าน A-A) และภาพตัดด้านหน้า (ด้าน B-B) ดังแสดงในรูปที่ 5-7 ตามลำดับ

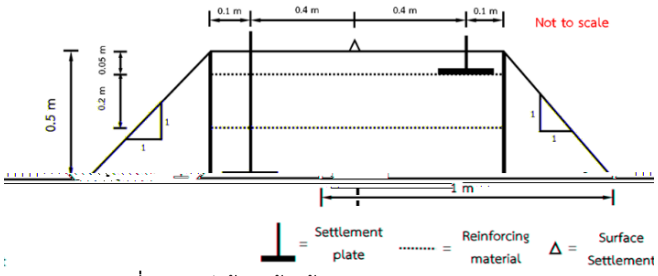
สนามทดสอบติดตั้งเครื่องมือในการวัดการทรุดตัวด้วยการใช้แผ่นทรุดตัว (Settlement plate) ติดตั้งที่ตำแหน่งความสูง 0.05 เมตร จากผิวดิน ติดตั้งเพื่อการตรวจสอบการทรุดตัวในคันดินที่มีการเสริมกำลังเสริมกำลังเพียง 1 ชั้นจากวัสดุเสริมกำลัง และที่ 0.5 เมตร จากผิวดิน ติดตั้งเพื่อเป็นการวัดการทรุดตัวที่ชั้นดินเดิมของคันดิน



รูปที่ 5 แผนผังการออกแบบของสนามทดสอบ



รูปที่ 6 ภาพตัดด้านข้าง (ด้าน A-A) ของสนามทดสอบ



รูปที่ 7 ภาพตัดด้านหน้า (ด้าน B-B) ของสนามทดสอบ

3.2 การก่อสร้างสนามทดสอบ

สนามทดสอบนี้ทำการก่อสร้างภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ณ ภาควิศวกรรมโยธา โดยสภาพพื้นที่เป็นสนามทดสอบที่ใช้ในการหาความหนาแน่นของดินสำหรับนักศึกษาวิชาปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์

การสร้างสนามทดสอบนั้นสร้างสนามทดสอบขึ้นตามแผนผังของการออกแบบโดยทำการบดอัดด้วยเครื่องตบแบบสั่นสะเทือนแสดงดังรูปที่ 8 และทำการวัดร้อยละการบดอัดด้วยเครื่องทดสอบหาความหนาแน่นของดินภายในสนามแสดงดังรูปที่ 9 ทุกครั้งเพื่อให้ผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง (มยผ. 1918-62) [7] ซึ่งต้องมีร้อยละการบดอัด 90 % ในการสร้างสนามทดสอบด้วยชั้นทรายบดอัดแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 เครื่องตบสั่นสะเทือนแบบเรียบ



รูปที่ 9 เครื่องทดสอบหาความหนาแน่นในสนาม



รูปที่ 10 ก่อสร้างสนามทดสอบด้วยชั้นทรายบดอัด

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการเสริมกำลังภายในสนาม

3.3.1 การวัดค่าการทรุดของคันดินในสนาม

การวัดค่าการทรุดของคันดินในสนามทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล.-ม. 101/2532) [8] เพื่อหาค่าการทรุดตัวภายในสนามผ่านการวัดแผ่นทรุดตัว (Settlement plate) ที่ติดตั้งในสนามทดสอบที่ตำแหน่งความสูง 0.05 เมตร จากผิวดิน และที่ 0.5 เมตร จากผิวดิน โดยวัดค่าการทรุดตัวในช่วง 0-7 วัน, 14 วัน, 30 วัน, 60 วัน และ 90 วัน โดยแสดงการวัดค่าการทรุดตัวดังรูปที่ 11 พร้อมบันทึกผลและเปรียบเทียบผลดังกล่าว



รูปที่ 11 การวัดค่าการทรุดตัว

3.3.2 การวัดค่าความลึกของร่องล้อภายในสนาม

การวัดค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1703 / E1703M-95 [9] เพื่อหาค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามโดยจำลองพฤติกรรมของรถบนถนนแสดงดังรูปที่ 12 ทำการทดสอบโดยการนำวัตถุที่มีน้ำหนัก 160 กิโลกรัมเทียบเท่าน้ำหนักของรถจักรยานยนต์ที่ Honda all new scoopy i ปี 2018 ที่มีน้ำหนัก 98 กิโลกรัม [10] และน้ำหนักมาตรฐานของคนไทยโดยไม่ระบุเพศมีน้ำหนักประมาณ 63.2 กิโลกรัม [11] รวมกันบรรทุกผ่านบนสนามทดสอบจำนวน 250 รอบ ซึ่งการบันทึกผลในช่วง 10, 25, 50, 100 และ 250 รอบตามลำดับ



รูปที่ 12 การวิ่งผ่านของน้ำหนักเพื่อจำลองพฤติกรรมของรถบนถนน

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบการวัดค่าการทรุดตัว

ในการทดสอบการวัดค่าการทรุดตัวจะแสดงผลเปรียบเทียบของการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่ง โดยการทรุดตัววัดผ่านแผ่นทรุดตัว (Settlement plate) ที่ติดตั้งในสนามทดสอบทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน เป็นแผ่นทรุดตัว (Settlement plate) ที่ใช้ในการวัดการทรุดตัวของชั้นดินเดิมของคันดิน ตำแหน่งที่ 2 ที่ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน ที่ใช้ในการวัดการทรุดตัวของคันดินที่มีการเสริมกำลังเพียง 1 ชั้น และตำแหน่งที่ 3 คือที่ผิวดิน โดยการเปรียบเทียบแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ ซึ่งค่าการทรุดตัวในตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3 จะแสดงผลดังรูปที่ 13-15 ตามลำดับ

รูปที่ 13 กราฟการทรุดตัวตำแหน่งที่ 1 ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน

จากรูปที่ 13 เห็นได้ว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางรมควันในตำแหน่งที่ 1 ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 8.15 มิลลิเมตรส่วนบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 12.76 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวลดลงร้อยละ 36.13

รูปที่ 14 กราฟการทรุดตัวตำแหน่งที่ 2 ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน

จากรูปที่ 14 เห็นได้ว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางรมควันตัวในตำแหน่งที่ 2 ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 12.40 มิลลิเมตร ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 17.86 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวลดลงร้อยละ 30.57

รูปที่ 15 กราฟการทรุดตัวตำแหน่งที่ 3 ที่ผิวดิน

จากรูปที่ 15 เห็นได้ว่าบริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางรมควันตัวในตำแหน่งที่ 3 ที่ผิวดิน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 12.25 มิลลิเมตร ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะมีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 17.80 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวลดลงร้อยละ 31.18

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งภายในสนามทดสอบ

ตำแหน่งภายในสนามทดสอบ	การทรุดตัวในสนามที่ไม่มีการเสริมกำลัง (mm)	การทรุดตัวในสนามที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควัน (mm)	การเปลี่ยนแปลงของค่าการทรุดตัวจากการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควัน
ตำแหน่งที่ 1 (ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน)	12.76	8.15	ลดลงร้อยละ 36.13
ตำแหน่งที่ 2 (ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน)	17.86	12.40	ลดลงร้อยละ 30.57
ตำแหน่งที่ 3 (ที่ผิวดิน)	17.80	12.25	ลดลงร้อยละ 31.18

4.2 ผลการวัดค่าความลึกของร่องล้อภายในสนาม

การทดสอบการวัดค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามด้วยการวิ่งผ่านด้วยวัตถุจำลองจำนวน 250 รอบ โดยวัตถุจำลองอ้างอิงจากรถจักรยานยนต์ยี่ห้อ Honda รุ่น all new scoopy i ปี 2018 ที่มีน้ำหนัก 98 กิโลกรัม [11] และอ้างอิงน้ำหนักมาตรฐานของคนไทยโดยไม่ระบุเพศโดยประมาณ 63.2 กิโลกรัม [12] เมื่อรวมกันจะมีน้ำหนักอยู่ที่ 161.2 กิโลกัรม วัตถุจำลองสร้างโดยการใช้รถเข็นปูนล้อเดียวน้ำหนักประมาณ 20 กิโลกรัมพร้อมใส่น้ำหนักถ่วงอีกประมาณ 140 กิโลกรัม รวมมีน้ำหนักประมาณ 160 กิโลกรัม พร้อมแสดงผลในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 16

รูปที่ 16 กราฟการเปรียบเทียบค่าความลึกของร่องล้อภาส

800 มิลลิเมตร เมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันจะมีค่าความลึกสูงสุดลดลงร้อยละ 18.75

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการทรุดตัวในแต่ละตำแหน่งภายในสนามทดสอบ

การทรุดตัวในสนามที่ไม่มีการเสริมกำลัง (mm)	การทรุดตัวในสนามที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควัน (mm)	การเปลี่ยนแปลงของค่าการทรุดตัวจากการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควัน
800	650	ลดลงร้อยละ 18.75

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางพาราเสริมกำลังคันดินในสนาม เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบภายในสนามทดสอบในบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันและบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังจะได้ผลสรุปดังนี้

1) ค่าการวัดค่าการทรุดตัวได้แบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่ง ได้ผลสรุปดังนี้ ในตำแหน่งที่ 1 ความลึก 0.5 เมตร จากผิวดิน บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางรมควัน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 8.15 มิลลิเมตรเมื่อทำการเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 12.76 มิลลิเมตร พบว่าค่าการทรุดตัวลดลงไปถึงร้อยละ 36.13 ส่วนในตำแหน่งที่ 2 ความลึก 0.05 เมตร จากผิวดิน บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางรมควัน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 12.40 มิลลิเมตรเมื่อทำการเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 17.86 มิลลิเมตร พบว่าค่าการทรุดตัวลดลงไปถึงร้อยละ 30.57 และในตำแหน่งที่ 3 ที่ผิวดิน บริเวณที่มีการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางรมควัน มีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 12.25 มิลลิเมตรเมื่อทำการเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังมีค่าการทรุดตัวสูงสุดเท่ากับ 17.80 มิลลิเมตร พบว่าค่าการทรุดตัวลดลงไปถึงร้อยละ 31.18

2) ค่าความลึกของร่องล้อภายในสนามบริเวณที่เสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันเกิดค่าความลึกร่องล้อสูงสุดเท่ากับ 650 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ไม่มีการเสริมกำลังภายในสนามที่มีค่าความลึกร่องล้อสูงสุดเท่ากับ 800 มิลลิเมตร พบว่าค่าความลึกร่องล้อลดลงไปถึงร้อยละ 18.75

จากการทดสอบการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นยางพาราเสริมกำลังคันดินในสนามสามารถสังเกตได้ว่าการเสริมกำลังด้วยแผ่นยางพารารมควันช่วยในการกระจายแรงในคันดินที่ใช้ทดสอบได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าแผ่นยางพารารมควันมีประสิทธิภาพในการช่วยเสริมกำลังคันดินภายในสนามทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเสริมกำลังในคันดินในกรณีการทรุดตัวได้ร้อยละ 30-40 และค่าความลึกขอความลึกร่องล้อร้อยละ 18.75

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับสนามทดสอบที่ได้ก่อสร้างและทดสอบขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ นายอนุพุทธ์ เลียงสุนทรสิทธิ์ นางสาวกนกพร พงษ์พรรณนา นางสาวกมลรัตน์ ศรีวิเชียร นางสาวญานิศา บุญเคล้า นางสาวฐิติรัตน์ โชติทรัพย์ชลัท และนายอาดิ๊ล ณรงค์อัสดร

เอกสารอ้างอิง

[1] Hufenus R., Rueegger R., Banjac R., Mayor P., Springman S.M. Bronnimann R. (2006). “Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade”. *Geotext Geomembr*, 24(1): 21–37.

[2] Chaiyaput, S., Arwaedo, N., Jamsawang, P., Ayawanna, J. Natural Para Rubber in Road Embankment Stabilization. *Appl. Sci*. 2022, 12, 1394.

[3] ASTM D422. 2007. “Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils” *ASTM International*. West Conshohocken, PA.

[4] ASTM D2487. 2006. “Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)” *ASTM International*. West Conshohocken, PA.

[5] ASTM D1557. 2000. “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft^3 (2,700 kN-m/m^3)).” *ASTM International*. West Conshohocken, PA.

[6] ASTM D4595. 2009. “Standard Test Method for Tensile properties of Geotextiles by Wide-Width Strip Method” *ASTM International*. West Conshohocken, PA.

[7] กรมโยธาและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. 2562. “มาตรฐานการถมดินและการบดอัด (มยผ.1918-62)”

[8] กรมทางหลวง. 2532. “มาตรฐานการติดตั้งแผ่นการทรุดตัว”

[9] ASTM E1703. 2000. “Standard Test Method for Measuring Rut-Depth of Pavement Surfaces Using a Straightedge” *ASTM International*. West Conshohocken, PA.

[10] บริษัท ไทยฮอนด้า จำกัด. 2018. “Scoopy i 2018”. สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 จาก www.thaihonda.co.th

[11] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2551. “Size Thailand”. สืบค้น 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2566 จาก www.nstda.or.th

[12] กรมโยธาและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. 2562. “มาตรฐานการถมดินและการบดอัด (มยผ.1918-62)”