



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสม

น้ำยางพาราธรรมชาติเพื่อใช้ในการป้องกันดินถล่ม

โดย วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ และคณะ

เมษายน 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสม

น้ำยางพาราธรรมชาติเพื่อใช้ในการป้องกันดินถล่ม

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 2. ดร.หมีง จิ่ง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |
| 3. นายประชุม คำพุ่ม | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี |

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสม น้ำ ยางพาราธรรมชาติเพื่อใช้สำหรับการป้องกันดินถล่ม

(ภาษาอังกฤษ) The unconfined compressive and shear strength behavior of silty sand soil using high ammonia natural rubber mixing for landslide protection.

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์

หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ที่อยู่ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โทรศัพท์/โทรสาร 0 2549 3410/0 2549 3412 E-mail address verasaky@yahoo.com

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย ดร.หมีง จิ่ง

นายประชุม คำพุด

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กรกฎาคม 2551 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2552

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

สืบเนื่องมาจากกระทรวงเกษตรฯ หวั่นว่าในพื้นที่เสี่ยงดินถล่ม 34 จังหวัดทั่วประเทศจะเกิดผลกระทบซ้ำ โดยวิธีที่ใช้ป้องกันอยู่ในเวลานี้ของกรมพัฒนาที่ดินคือการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหญ้าแฝกในบริเวณที่ลาดเชิงเขา แต่วิธีที่ใช้เป็นวิธีทางธรรมชาติบำบัด โดยโครงการนี้จะเริ่มจากการนำเอาลักษณะเด่นของน้ำยางพาราผสมในดินซึ่งจะทำให้ดินมีลักษณะที่บ่มแน่นและจะเข้าไปเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในดินที่เป็นดินเหนียวอ่อนที่มีความหนามาก

วัตถุประสงค์

ศึกษาผลของการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว, กำลังรับแรงเฉือนและการดูดซึมน้ำ เพื่อแสดงความสามารถของดินผสมน้ำยางชันแบบแอมโมเนียสูงในการนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีดินอ่อนหรือดินที่มีลักษณะเป็นทรายปนทรายแป้ง (Silty Sand, SM-SC) ที่เป็นดินส่วนใหญ่ของพื้นที่เสี่ยงดินถล่มในประเทศไทย

ผลการดำเนินงาน

สามารถที่จะแบ่งตามหัวข้อการทดสอบได้ดังนี้

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินพบว่าลักษณะ ของดินเป็นดินที่มีลักษณะดินทรายละเอียด เมื่อทำการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) จำนวนดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับร้อยละ 16.88 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับร้อยละ 99.98 เพราะฉะนั้นดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 12 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดินชนิดนี้อยู่ในกลุ่มดิน SM, SC

ผลการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินเมื่อนำไปทำการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากดินมีลักษณะคล้ายฝุ่น เมื่อทำการทดสอบจึงทำให้ดินจำนวนหนึ่งหายไป และผลจากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์พบว่าขนาดของเม็ดดินมีขนาดเล็กที่สุดมีค่า เท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบ Compaction Test

ผลการทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) เมื่อทำการทดสอบได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ρ_{dmax}) มีค่าเท่ากับ 1.320 ตันต่อตารางเมตร ที่ความชื้น (w) เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะของดินเมื่อนำมาทำการปรับปรุงพลังงานแล้วมีลักษณะการจับตัวได้ดีและมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากลักษณะของดินเป็นเม็ดละเอียดและมีความสามารถดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ดินสามารถรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพลังงาน แต่เมื่อนำในดินระเหยออกจนหมดดินจะมีลักษณะแข็งแต่เมื่อมีแรงมากระทำก็จะทำให้เกิดการพังทลายได้โดยง่าย

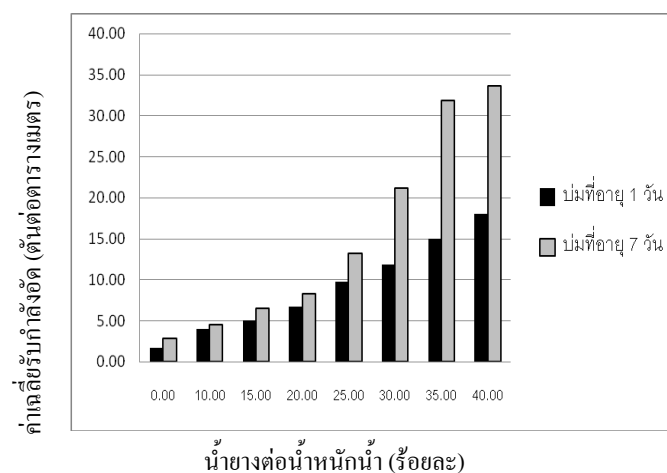
ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test

จากการทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำอย่างธรรมชาติ และไม่ปรับปรุงโดยดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมน้ำอย่างพาราธรรมชาติแบบแอมโมเนียสูง และดินที่ไม่ได้ทำการผสมน้ำอย่างธรรมชาติบ่มที่อายุ 1 วันและ 7 วันนั้น ดังแสดงการทดสอบ Unconfined Compression Test ในรูปที่ 1 นั้น และผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าการรับกำลังแปรผันตามอายุการบ่มตัวอย่างดิน และอัตราการเพิ่มขึ้นของการผสมน้ำอย่างพาราธรรมชาติ การรับกำลังอัดที่เพิ่มมากขึ้นของตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำอย่างพาราธรรมชาติ เนื่องด้วยลักษณะของเม็ดดินเป็นเม็ดละเอียดเมื่อผสมกับน้ำอย่างพาราธรรมชาติที่มีความสามารถเด่น คือมีความยืดหยุ่นและมีความเชื่อมแน่นดี



รูปที่ 1 แสดงการทดสอบ Unconfined Compression Test



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดและน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ

ผลการทดสอบ Direct Shear Test

จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ซึ่งทำเป็นแบบไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated-Undrained Test) โดยใช้อัตราความเร็วที่ 1 มม. ต่อนาที และผลการทดสอบการหาค่าการรับกำลังค่า (C , ϕ) จะเห็นได้ว่า ค่า ϕ มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80 ถึง 84 ซึ่งดินที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ นั้น กำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่ต่างกันมาก จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งได้มาจากการปรับปรุงพลังงานโดยวิธีบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และส่วนหนึ่งมาจากน้ำ ยางพาราธรรมชาติทำให้การยึดเหนี่ยวของเนื้อดินเพิ่มขึ้น และค่า ϕ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 40 เมื่ออัตราส่วนน้ำยางพาราธรรมชาติมีอัตราส่วนร้อยละ 100 ของน้ำหนักน้ำสะอาดที่ใช้ผสม เมื่อ

พิจารณาค่าความเชื่อมั่นแน่นของดิน (C) นั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดสอบให้ค่าความเชื่อมั่น (C) มากสุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ร้อยละ 40 ที่การบ่มความชื้นที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 29.11 ดันต่อตารางเมตร และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าค่ากำลังจะสูงขึ้นเมื่อค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจำลองการกดทับดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จะเห็นว่า ค่า ϕ และค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80 ถึง 84 ซึ่งดินที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาตินั้น มีกำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่ต่างกันมาก จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งได้มาจากการปรับปรุงพลังงานโดยวิธีบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และส่วนหนึ่งมาจากน้ำยางพาราธรรมชาติที่ทำให้การยึดเหนี่ยวของเนื้อดินเพิ่มขึ้น และค่า ϕ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 40 เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นของดิน (C) นั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดสอบให้ค่าความเชื่อมั่น (C) มากที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ร้อยละ 40 ที่การบ่มความชื้นที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 29.11 ดันต่อตารางเมตร และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าค่ากำลังจะสูงขึ้นเมื่อค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจำลองการกดทับดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และบางช่วงชุดข้อมูลอาจจะมีแนวโน้มไม่ไปในทิศทางเดียวกันซึ่งอาจเกิดจากการผสมกันที่ไม่เข้ากันดีของดินกับน้ำยางพาราธรรมชาติ

สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของดิน ทราชนทรายเป้ง โดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งผลที่ได้คาดว่าจะเป็แนวโน้มนเดียวกันกับดินชนิดอื่นๆด้วย ที่อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาดเท่ากับ ร้อยละ 0 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 สำหรับการทดสอบแรงดัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และร้อยละ 0 , 10 , 20 , 30 , และ 40 สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) จากนั้นทำการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) โดยทำการบ่มตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และนำมาทำการทดสอบการรับแรงดัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบหาแรงดัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) ผลการทดสอบให้ค่ากำลังของดินสูงตามอัตราส่วนของการผสมน้ำยางพารา โดยการทดสอบใช้น้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสุ่ สูงสุดเท่ากับร้อยละ 40 เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำยางพาราธรรมชาติสูงกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักน้ำนั้นไม่สามารถดึงออกจากโมลได้ และอีกประการหนึ่งคือ เมื่อทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากขึ้นทำให้การจับตัวของดินและน้ำยางเพิ่มขึ้นเนื่องจากแอมโมเนียที่รักษาคุณสมบัติของ ดินเป็นสารระเหย จึงทำให้น้ำยางพาราเมื่อถูกอากาศจึงทำให้ดินแห้งตัวเร็วและจับกันเป็นก้อน

2. ผลการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบให้ค่ามุมที่รับแรงเฉือน (ϕ) ที่ค่า 80 – 84 องศา ของผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และมีค่าการรับกำลังแรงเฉือน ซึ่งมีอัตราการรับกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด ซึ่งผลการทดสอบที่อายุการบ่มดินตัวอย่างยิ่งมากยิ่งจะทำให้ดินรับกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

ดังนั้นสรุปผลการทดลองได้ว่าอัตราส่วนผสมและระยะเวลาการบ่ม ตัวอย่างที่ดีที่สุดที่ใช้ทั้งหมดในการทดสอบครั้งนี้คือ ส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด เท่ากับร้อยละ 40 ที่ระยะเวลาการบ่มตัวที่ 7 วัน ซึ่งหากทำการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราธรรมชาติขึ้นอีกมีแนวโน้มว่ากำลังรับแรงจะดีขึ้น แต่ในแง่การผสมจะยากต่อการปฏิบัติงานจริง

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

เมื่อทำการวิจัยแล้วเสร็จสามารถที่จะแบ่งข้อเสนอแนะเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. ในการทดสอบนี้ใช้น้ำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพแบบแอมโมเนียสูง ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ใช้ส่วนผสมแอมโมเนียโซลูชันร้อยละ 25 ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ 1 : 10 ของน้ำหนักน้ำยางพาราสด หากผู้ที่จะทำการทดสอบต่อ อาจเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมแอมโมเนีย เพื่อที่สามารถปรับอัตราส่วนผสมของดินและน้ำยางพาราธรรมชาติให้สูงมากกว่าร้อยละ 40 ได้

2. ในงานวิจัยนี้หากให้เกิดความสมบูรณ์ควรทำการทดสอบเพิ่มเติม เช่น การทดสอบ C.B.R การทดสอบการซึมได้ของน้ำ (Permeability Test) การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) และการทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) เป็นต้น

3. งานวิจัยนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงดินโดยเลือกใช้น้ำยางพาราสำหรับดิน SM-SC ที่มีปัญหาในการรับกำลังของดินเท่านั้น

รวมทั้งสามารถที่จะต่อยอดงานวิจัยในส่วนของการทำการทดสอบในพื้นที่จริงเพื่อยืนยันผลการทดสอบให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง

ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

1. บทความตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการ
2. บทความการประชุมสัมมนาทางวิชาการ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพแบบแอมโมเนียอัตราร้อยละ 10 เพื่อรักษาสภาพน้ำยางมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในด้านการรับกำลังแรงอัดในแนวแกนและแรงเฉือน โดยกำหนดอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ต่อน้ำหนักน้ำสะอาด เท่ากับร้อยละ 0 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , และ 40 สำหรับการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression- Test) และ ร้อยละ 0 , 10 , 20 , 30 , และ 40 สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ตัวอย่างทดสอบโดยทำการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน และทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และขนาด 6 x 6 x 2.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างทดสอบที่อายุ 1 วัน และที่อายุ 7 วัน พบว่าเมื่อทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยคิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การรับกำลังอัดและแรงเฉือนสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าน้ำยางพาราธรรมชาติสามารถ นำไปใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติดินชนิด SM-SC และทำการปรับปรุงพลังงานเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดและแรงเฉือนของดินได้ดี

คำสำคัญ : ยางพาราธรรมชาติ, ดินทรายปนทรายแป้ง , ผสมแอมโมเนียสูง, การรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด, การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

ABSTRACT

This research aims to use the 10 % high ammonia natural rubber for improving compressive and direct shear strength of a soil. The proportions of natural rubber per the weight of clean water are 0 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , and 40 percentage for Unconfined Compression Test and 0 , 10 , 20 , 30 , and 40 percentage for Direct Shear Test. The dimension of tested samples are 10 cm in high with a 5 cm diameter for unconfined compression test and 6 x 6 x 2.5 cm for direct shear test. The curing times are 1 and 7 days. Both unconfined compression and direct shear strengths increases with the natural rubber content. Finally, it is concluded that the natural rubber can be use as a stabilizing agent of a sm-sc soil.

KEYWORDS : Natural Rubber , Silty Sand Soil , High Ammonia Natural Rubber , Unconfined Compression , Direct Shear Test

ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มใน 34 จังหวัดทั่วประเทศไทย และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคตเนื่องจากสถานการณ์ฝนตกหนักก่อให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน น้ำล้นตลิ่ง น้ำป่าไหลหลากและพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องการตัดไม้ทำลายป่า โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง เช่น จังหวัดทางภาคเหนือประกอบไปด้วยจังหวัด แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน และ จังหวัดสุโขทัย เป็นต้น

ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับชีวิตทรัพย์สิน และพืชผลทางการเกษตร ทาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์จึงมอบหมายให้กรมพัฒนาที่ดินติดตามสถานการณ์ และประสานงานกับ หน่วยงานที่รับผิดชอบในพื้นที่แจ้งเตือนประชาชนในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อ ดินถล่มได้รับทราบ และเร่งแก้ไข ปัญหาที่เกิดขึ้นโดยการส่งเสริมเกษตรกรปลูกหญ้าแฝกในบริเวณที่ลาดเชิงเขา เพื่อชะลอความรุนแรงต่อ ปัญหาการพังทลายของหน้าดิน แต่จะป้องกันไม่ได้ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากๆ และในกรณีที่เกิดน้ำป่า ไหลหลากที่รุนแรง เพื่อลดปัญหาที่เกิ ดขึ้นจึงได้นำหลักการเชิงวิศวกรรมมาช่วยโดยการนำคุณสมบัติเด่น ของดินผสมซีเมนต์ และคุณสมบัติเด่นน้ำยางพารามาผสมเข้าด้วยกันกับดินในพื้นที่ที่เกิดปัญหา เพื่อให้ ดินมีคุณสมบัติด้านการรับกำลังสูงขึ้น มีค่าการยุบอัดตัวต่ำ ทึบน้ำและมีเสถียรภาพมากขึ้น ทั้งยังจ ะนำไป ประยุกต์ใช้งานด้านการก่อสร้างต่างๆ เช่น งานคันทางถนน คอสะพาน หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆใน กรุงเทพมหานครรวมถึงที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และพื้นที่ที่มีปัญหาทางด้านดินอ่อนด้วย

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้นำดินที่มีลักษณะเป็นทรายปนทรายแป้ง (ดินลมหอบ) มาทำการ ปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความสามารถรับกำลังได้ดีขึ้นเพื่อนำไปแก้ไขปัญหาดินถล่ม โดยดินชนิดนี้มีมากใน ภาคอีสาน เหตุผลที่นำดินชนิดนี้มาทำการปรับปรุงคุณภาพเนื่องจากปัญหาน้ำท่วมทางภาคอีสานที่สร้าง ความเสียหายทางการเกษตรกรรมอย่างมากมาย การปรับปรุงคุณภาพของดินทรายปนทรายแป้งโดยการ ผสมน้ำยางพาราทรายสภาพแบบแอมโมเนียสูงนี้ จะทำให้ดินสามารถรับกำลังได้ช่วงหนึ่ง ด้วยผลล ักษณะทางกายภาพของดินและภัยธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของดินทรายปนทรายแป้งเมื่อทำการผสมน้ำยางพาราสด ทรายสภาพ แบบแอมโมเนียสูง
2. ศึกษาอัตราส่วนดินผสมน้ำยางพาราสดทรายสภาพแบบแอมโมเนียสูงมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัด แบบไม่ถูกจำกัดและค่ากำลังรับแรงเฉือนโดยตรงในดิน
3. ศึกษาและวิเคราะห์ผลของการทดสอบการรับกำลังแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด เพื่อดูผลค่าแรงเฉือน ดินในลักษณะการเก็บแบบถูรบกวน
4. ศึกษาและวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง เพื่อหาค่า ϕ และค่า C เมื่อทำการปรับปรุง คุณภาพของดินโดยการผสมน้ำยางพาราสด

ทฤษฎีแนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ยางพาราธรรมชาติ (Natural rubber latex)

น้ำยางสด (Fresh or Field Latex) จากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอยมีความหนาแน่น เท่ากับ 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6.5 – 7.0 ความหนืด (Viscosity) ไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Constituents) ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง ระบบและวิธีการกรีดยาง และฤดูกาล เป็นต้น ตัวอย่างและสารประกอบน้ำยางธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างและส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [1]

สารประกอบ	% โดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content ; TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content ; DRC)	33
สารโปรตีน	1 – 1.5
สารเรซิน	1 – 2.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1

เมื่อกรีดน้ำยางด้วยมีดชนิดพิเศษให้เอียงจากซ้ายไปขวาประมาณ 20-30 องศา กับแนวนอน จะมีของเหลวไหลออกมา (น้ำยาง) สีขาวขุ่นคล้ายนมหรือสีครีมซึมออกมา มีกลิ่นหอมเล็กน้อย เมื่อนำน้ำยางที่กรีดได้ไปตรวจสอบจะพบว่ามียูนาขนาดต่างๆแขวนลอยหรือกระจาย (Disperse) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (Dispersion Medium) ยูนาเหล่านี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 5 ไมครอนและมีประจุเป็นลบซึ่งผลกักันตลอดเวลาจึงทำให้ยูนาเหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงและสารตัวนี้โดยทั่วไป เรียกว่า เซรัม (Serum)

น้ำยางจัดเป็นสารคอลลอยด์ (Colloidal Solution) ชนิดไฮโดรโซล (Hydrosol : สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่มีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไป คือ น้ำยางมีลักษณะกึ่งชอบน้ำ (Hydrophilic : เป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) และไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic : เป็นสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่ในลักษณะไม่ชอบน้ำจะเด่นกว่านอกจากนี้ น้ำยางยังประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และ อนุมูลของโลหะ เป็นต้น ปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง ร้อยละ 25 – 45 ขึ้นกับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล สำหรับพวงสาร

โปรตีนประมาณครึ่งหนึ่งจะละลายในส่วนที่เป็นน้ำ อีกส่วนหนึ่งในสีกูกอ นุภาคยางและที่เหลือะปะนอยุ่ในลุตอยด์

นอกจากนี้ในการกรีดยาง ถ้าลุตอยด์เกิดแตกออกจะมีผลทำให้ยางจับตัวอุดตันท่อน้ำยางทำให้น้ำยางหยุดไหลได้เช่นกัน ผลของลุตอยด์อีกประการหนึ่ง คือ เมื่อทำการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางข้นด้วยการหมუნเหวี่ยงนั้นจะต้องมีการเติมแอมโมเนียลงไปเพื่อรักษาสภาพน้ำยางซึ่งแอมโมเนียจะรวมกับลุตอยด์และเมกนีเซียมฟอสเฟตตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาลและสีขาวแยกออกจากเนื้อยางแล้วเกาะรวมอยู่ด้านล่างสุดของเครื่องหมუნเหวี่ยง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหมუნเหวี่ยงลดลงต้องคอยถอดล้างตามเหล่านี้ นอกจากสารพวกลุตอยด์แล้วยังมีอนุภาคอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า เฟรย์-วิสลิง (Frey Wyssling) ซึ่งมีลักษณะกลมสีเหลืองเข้มและมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคยางมีความหนาแน่นมากกว่าเล็กน้อยประกอบด้วยสารคาโรทีนอยด์ (Carotinoid) ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดสีเหลืองเข้มมากหรือน้อย ขึ้นกับปริมาณ สารคาโรทีนอยด์ น้ำยางข้นที่ได้จากการหมუნเหวี่ยงโดยการเติมแอมโมเนียจะไม่พบอนุภาคเฟรย์-วิสลิงอยู่ด้วยอาจเป็นเพราะอนุภาคเหล่านี้ถูกแยกออกจากยางและละลายอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

เนื้อยางแห้งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำยางประมาณร้อยละ 92 และสารที่ไม่ใช่น้ำยางประมาณร้อยละ 8 ซึ่งได้แก่โปรตีน (Protein) กลูโคไซด์ (Gluco-sides) ลิพิด (Lipids) เกลือแร่ (Mineral Salt) และเอนไซม์ (Enzymes) สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้มีเพียงเล็กน้อยแต่มีผลต่อการวัลคาไนซ์ยางและสมบัติของยางเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ น้ำยางที่ได้จากต้นยางจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลสภาพฟ้าดินอากาศ ชนิดของดิน สภาพแวดล้อมของแปลงปลูกยาง พันธุ์ยาง การกรีดยาง อายุต้นยาง ความถี่การกรีดยาง ช่วงเวลาของการกรีดยาง การใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง และปัจจัยอื่นๆ

เนื่องจากโมเลกุลของยางไม่อิ่มตัวและมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาซึ่งมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือ พันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีน (α Methylene Group) ในโพลิไอโซพรีนจะว่องไวต่อการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ส่วนข้อเสียคือ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนและโอโซนโดยมีโลหะ เช่น Mn, Fe, Cu, และ Co เป็นต้น ความร้อนแสงและความเครียดที่มีในเนื้อยางเป็นตัวเร่งให้เสื่อมสภาพเร็วขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน ดังนั้นจึงต้องใส่สารแอนติออกซิเดแคนท์ (Antioxidant) และสารแอนติโอโซนแนนท์ (Antiozonant) เข้าไปในยางเพื่อยืดอายุการใช้งานหรือการเก็บรักษาน้ำยาง

ยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวจึงสามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิไดส์ (Oxidizing Agents) เช่น เปอร์ออกไซด์ กรดเปอร์ออกซี (Peroxy Acid) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate) โอโซน คลอรีน และอื่นๆ

นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังสามารถเกิดกับไฮโดรเจนได้เป็นยางไฮโดรจิเนเตด (Hydrogenated Rubber) กับคลอรีนได้เป็นยางคลอรีเนเตด (Chlorinated Rubber) กับไฮโดรเจนคลอไรด์ ได้ยางไฮโดรคลอรีเนเตด (Hydrochlorinated Rubber) และเกิดปฏิกิริยาไซโคลเซชัน (Cyclization Reaction) ได้เป็นยางไวไซคล์ (Cyclized Rubber)

สมบัติทางกายภาพ (Physical Reaction) ของยางธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจากการที่มีสารที่ไม่ใช่ยางปะปนอยู่ และจากระดับการเกิดผลึก (Degree of Crystallinity) ซึ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้และมีผลทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนจาก 0.92 เป็นประมาณ 0.95 กรัมต่อมิลลิเมตร ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติทางกายภาพบางอย่างโดยเฉลี่ยของยางธรรมชาติ [2], [3]

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ [4]

Specific gravity (20°C)	0.934
Refractive index (20°C)	1.5215 – 1.5238
Coefficient of cubical expansion	0.00062 / °C
Specific heat (20°C)	0.502
Cohesive energy density	63.7 cal/cc
Heat of combustion at constant volume	44.16 kj/g/g
Thermal conductivity	10700 cal/g
Dielectric constant	2.37
Power factor (1,000 cycles)	0.15-0.20
Volume resistivity	10 ¹⁵ ohms/cc
Dielectric strength	1000 volts/mil

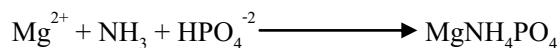
การใช้แอมโมเนียเป็นสารรักษาสภาพน้ำยาง

สารชนิดแรกที่พบว่าประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางได้ คือ แอมโมเนีย มีการจดบันทึกสิทธิบัตรโดย Johnson และโดย Norris ในปี พ.ศ.2396 จากนั้นเป็นต้นมา ก็พบว่าระบบรักษาสภาพน้ำยางสดที่สำคัญประกอบด้วยการใช้แอมโมเนียจนถึงทุกวันนี้ นอกจากแอมโมเนียยังมีสารอื่นๆที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ และ โปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์

ปริมาณแอมโมเนีย 0.20% ในน้ำยางโดยน้ำหนัก พอเพียงสำหรับรักษาสภาพน้ำยางช่วงเวลาสั้นๆ (short – term preservation) ถ้าต้องการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลา ยาวนานควนใช้ปริมาณ 0.70% โดยน้ำหนักโดยที่ไม่ต้องมีสารอื่นช่วยเสริม การปฏิบัติทั่วไปนิยมใช้กันมานานแล้วคือ จะเติมแอมโมเนียเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ทันทีที่กรีดยางเพื่อป้องกันน้ำยางเริ่มจับตัว อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวอาจให้ผลตรงข้าม เพราะอาจเป็ นการเร่งขยายการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดมากกว่าที่ไม่มีการเติมแอมโมเนียก็ได้ แอมโมเนียจัดเป็นสารที่มีสมบัติของสารรักษาสภาพน้ำยาง คือ

1. แอมโมเนียเป็นสารที่ทำลายแบคทีเรียได้ (Bactericide) โดยจะมีประสิทธิภาพทำลายแบคทีเรียได้ถ้าเติมในปริมาณ 0.35% ในน้ำยางโดยน้ำหนัก หากต้องการให้จำนวนแบคทีเรียที่ควรเติมแอมโมเนียในน้ำยางในปริมาณอย่างน้อย 0.10%

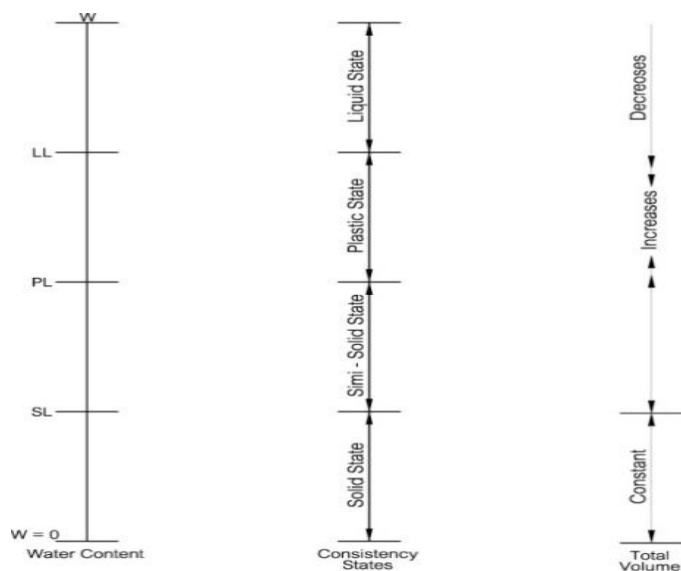
2. แอมโมเนียสามารถ de-activate อีออนโลหะหนักโดยการฟอร์มแอมมินอีออน หรือการตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ทำลายน้ำได้เล็กน้อย อนึ่งความสำคัญสำหรับความเสถียรของน้ำยางรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย คือ ปฏิกริยาระหว่างอีออนแมกนีเซียมกับแอมโมเนียและอีออนของ Orthophosphate ที่อาจมีในส่วนของ Aqueous Phase ของน้ำยาง ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของสาร Magnesium Ammonium Phosphate ที่ละลายได้เล็กน้อยตามปฏิกิริยาดังนี้



ทฤษฎีการทดสอบที่นำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินลมหอบ

1. Atterberg Limits

ปริมาณน้ำในดินที่เปลี่ยนแปลงทำให้ความชื้นเหลวของดินเปลี่ยนจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงความชื้นเหลวของดินในสถานะต่างๆของปริมาณน้ำที่ต่างกัน ดินที่มีน้ำผสมอยู่มากอาจจะไหลได้คล้ายกับของเหลวเรียกว่า Liquid State ถ้าน้ำในดินลดลงโดยเหตุใดๆก็ตามทำให้ดินสามารถปั้นเป็นแท่งได้ด้วยมือ เรียกว่า Plastic State หากน้ำแห้งลงอีกจนไม่สามารถปั้นได้ ในช่วงนี้ยังมีน้ำอยู่น้อยมาก เรียกว่า Semi – Solid State และเมื่อดินอยู่ในสถานะหนึ่งซึ่งปริมาณของมวลดินจะไม่เปลี่ยนแปลงอีก เรียกว่า Solid State ในทางวิศวกรรมมักจะศึกษาถึง Limits คือ Liquid Limit , Plastic Limit , Shrinkage Limit ซึ่งรวมเรียกว่า Atterberg Limit นั้นเอง [5] [6] [7], [8]



รูปที่ 3 Consistency States And Atterberg Limits [8]

2. การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Soil Test)

ในงานก่อสร้างที่ใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง เช่น งานถนน เขื่อน การถมบริเวณอาคารต้องการปรับปรุงให้ดีขึ้น การปรับปรุงพลังงานของดินเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดซึ่งเป็นการบดอัดดินให้แน่นระหว่างการก่อสร้าง การบดอัดดินจะทำให้คุณสมบัติทางด้าน วิศวกรรมดีขึ้น โดยเฉพาะดินเม็ดละเอียดเป็นต้นว่า

- 1) กำลังดินสูงขึ้น สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เพิ่มมากขึ้น
- 2) ลดการหดตัว (Shrinkage)
- 3) ทำให้น้ำซึมผ่านได้ช้าลง
- 4) การทรุดตัวน้อยลง ทำให้อาคารที่ก่อสร้างบนดินไม่ทรุดตัวหรือแตกร้าว

ในขบวนการทดลองการบดอัด ขณะบดอัดดินที่มีความชื้นแน่นจะมีปฏิกิริยากับจำนวนน้ำที่ผสม เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆและทำการบดอัดดิน ดินจะมีความหนาแน่น (Density) เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดแล้วค่อยๆลดลง ในการบดอัดดินจะมีวิธีการบดอัดเพื่อให้ความหนาแน่นแข็งที่ต้องการนั้น จะต้องใช้พลังงานในการบดอัดที่เหมาะสมถ้าในการบดอัดดินชนิดเดียวกันเปลี่ยนไป จะทำให้ความหนาแน่นแข็งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเปลี่ยนแปลงไปด้วย

สาเหตุหนึ่งที่ทำให้การทดสอบการบดอัดมีความสำคัญเพราะความหนาแน่นสูงสุดที่ได้จากการทดลองการบดอัดนี้ จะเป็นค่าสำหรับใช้ควบคุมการบดอัดดินในสนามสำหรับแหล่งวัสดุแต่ละแห่งที่ใช้นำมาก่อสร้าง ซึ่งความหนาแน่นในสนามที่บดอัดจะหาด้วยวิธีหาความหนาแน่นในสนาม เช่น วิธีการทดสอบด้วยวิธีกรวยทราย (Sand Cone) หรือลูกโป่งยาง (Rubber Balloon) ค่าความหนาแน่นที่ได้จากการบดอัดในสนามนำมาเปรียบเทียบกับค่าการบดอัดสูงสุดที่ทดสอบในห้องทดลอง โดยคิดเปอร์เซ็นต์การบดอัด (Per Cent Compaction) หรือการบดอัดสัมพัทธ์ (Relative Compaction) เพื่อควบคุมคุณภาพการบดอัดของเครื่องจักรในสนาม [9]

การทดลอง การบดอัดในห้องทดลองจะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการทดลองการบดอัดในสนามด้วยเครื่องจักรซึ่งมักจะกระทำในโครงการใหญ่ๆ หรือชนิดของดินที่มีปัญหาโดยทำเป็นแปลงทดลองโดยการทดสอบใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบการบดอัดแบบพลศาสตร์ (Dynamic Compaction) โดยใช้ก้อนเหล็กปล่อยตามน้ำหนักก้อนให้ตกกระแทกดินในแบบหล่อดิน (Compaction Mould) ตามจำนวนครั้งและจำนวนชั้นที่ต้องการ วิธีนี้เป็นวิธีการทดสอบที่นิยมใช้กันทั่วไปคือ การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน และการทดสอบสูงกว่ามาตรฐาน [10]

3. การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

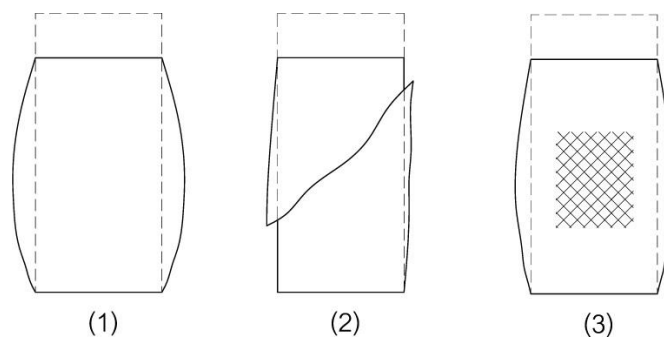
การทดสอบนี้เป็นวิธีการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดถือเป็นการทดสอบที่กระทำได้ง่ายและประหยัดเหมาะสำหรับการทดสอบหากำลังของดินเหนียวทั่วไป สำหรับดินที่นำมาทำการทดสอบนี้เป็นดินที่ทำการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และขนาดตัวอย่างที่ใช้ ทดสอบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5 เซนติเมตร และสูงเท่ากับ 10 เซนติเมตร ข้อบกพร่องของการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด เนื่องจากวิธีการทดสอบแบบง่ายทำให้ได้แรงเฉือนที่ไม่แน่นอนด้วยเหตุผล 3 ประการ คือ

1) ผลกระทบจากแรงดันด้านข้างของดินธรรมชาติจะลดหายไปเมื่อทำการเก็บตัวอย่างขึ้นมาบนผิวดินจะมีแต่ความตึงผิว (Surface Tension) ซึ่งอาจมีผลทำให้ตัวอย่างดินถูกจำกัดด้านข้าง (Confining) อยู่บ้างจะขึ้นอยู่กับสภาพความชื้นสัมพัทธ์ของห้องทดลอง

2) ไม่สามารถควบคุมสมบัติในดินได้ เช่น ความอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) แรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) ของตัวอย่างดินขณะทำการกดอัด

3) ผลกระทบจากแรงฝืดที่ปลายทั้งสองของตัวอย่าง ในทางปฏิบัติอาจใช้แผ่นกระดาษเคลือบขี้ผึ้ง (Wax Paper) รอง 1 ชั้นทั้งปลายบนและปลายล่าง

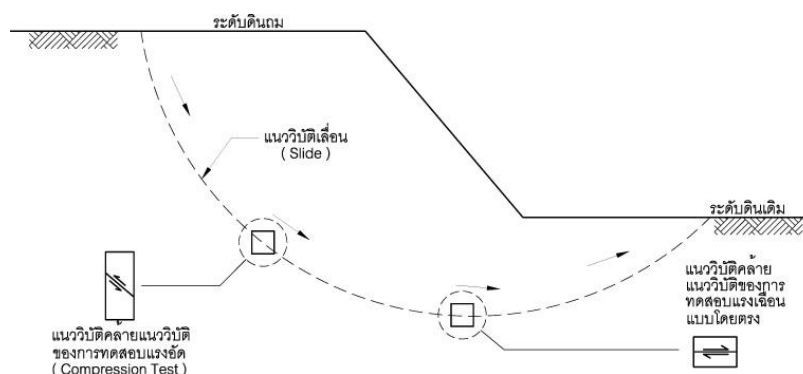
การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดนี้เป็นการทดสอบแบบเร็ว (Quick Test) ที่ไม่ปล่อยให้มีการระบายน้ำ (Undrained) ออกจากตัวอย่างหรือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เกิดขึ้น การทดสอบจึงต้องใช้อัตราการกระทำแรงเฉือนอย่างรวดเร็ว การทดสอบแบบควบคุมความเครียด (Strain - Control) ที่นิยมทำการทดสอบกว่าการทดสอบแบบควบคุมความเค้น (Stress - Control) ใช้อัตราการกระทำแรงเฉือนประมาณร้อยละ 0.5 – 2.0 ความยาวตัวอย่างต่อหน้าที่ โดยทั่วไปจะใช้อัตรา ร้อยละ 1 หรือ 2 ต่อหน้าที่ในการทดสอบดินเหนียวทั่วไป สำหรับตัวอย่างดินทั่วไปจะใช้เวลาการทดสอบ 5 – 10 นาที ตัวอย่างดินจึงวิบัติ (Fail)



รูปที่ 4 ลักษณะการวิบัติของดินเมื่อถูกกดอัด (1) วิบัติแบบพลาสติก (2) วิบัติแบบเปราะ (3) วิบัติแบบ (1)+(2) [10]

4. การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

การทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง เป็นวิธีการทดสอบหาแรงเฉือนของวัสดุทั้งทรายและดินเหนียว รวมทั้งหินผุบางชนิด วิธีการทดสอบเป็นวิธีที่ ปฏิบัติง่ายสามารถทดสอบตัวอย่างดินได้ตั้งแต่ขนาด 6 x 6 เซนติเมตร จนถึงขนาด 30 x 30 เซนติเมตร โดยตัวอย่างดินจะถูกบังคับให้วิบัติตามแนวที่กำหนดให้ โดยปกติจะเป็นแนวนอนครึ่งหนึ่งของความสูงของตัวอย่างทดสอบ ซึ่งความเป็นจริงการวิบัตินี้จะไม่เกิดขึ้น โดยทั่วไปยกเว้นในบางกรณี เช่น การวิบัติเลื่อน (Slide) ของคันดินถมในบางส่วนของแนววิบัติ ดังแสดงในรูปที่ 5 [11]



รูปที่ 5 การวิบัติเลื่อน (Slide) ของคันดินถมแสดงแนววิบัติ [15]

ลักษณะการทดสอบแรงเสียดแบบโดยตรงทำการทดสอบได้หลายลักษณะ เช่น การทดสอบด้วยการกระทำแรงเสียดตัวอย่างดินวิบัติในแนวนอน การกระทำแรงบิด (Torque) วิธีการทดสอบหลักมี 2 ชนิด คือ

แบบควบคุมความเค้น (Stress Control) เพิ่มแรงเสียดกระทำต่อตัวอย่างด้วยอัตราที่ต้องการเพิ่ม น้ำหนักกรอก วิธีนี้ปฏิบัติยากโดยเฉพาะการทดสอบที่ต้องเพิ่มอัตราแรงเสียดครั้งละน้อยๆและใช้เวลาในการทดสอบนาน จึงไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ [12]

แบบควบคุมความเครียด (Strain Control) กระทำแรงเสียดต่อตัวอย่างในอัตราความเร็วตามกำหนด แรงต้านของดินจะต้านด้วยวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) จนกระทั่งตัวอย่างดินวิบัติวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติกันทั่วไป อัตราการกระทำแรงเสียดควบคุมด้วยระบบเฟืองเกียร์จากแม่แรงแบบมือหมุนหรือชุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นแบบปรับอัตราด้วยความเร็วด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้า

ผลงานที่เกี่ยวข้อง

ล่าสุดมีงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบซอนแก่นโดยยางธรรมชาติเพื่องานการทาง (The Stabilization of loess Means of Natural Rubber) ซึ่งงานวิจัยนี้ นายวัชรินทร์ กาสลัก และ นายศิริชัย ห่วงจริง นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษการปรับปรุงคุณสมบัติดินลมหอบซอนแก่นด้วยยางพาราธรรมชาติ และ ยางมะตอยน้ำ เพื่อใช้แทนหินคลุกในชั้นทางของผิวจราจรแบบยึดหยุ่น ตัวอย่างดินที่ถูกปรับปรุงคุณสมบัติด้วยยางทั้ง 2 ชนิด จะถูกนำมาทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test) และทดสอบกำลังรับแบกทาน California Bearing Ratio Test (CBR) จากผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดทั้งตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วย NRM และ EMA กำลังดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจาก 3 วัน หลังจากทำการผสม จากการทดสอบ CBR ตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงดินด้วย NRM และ EMA มีการพัฒนากำลังไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่า %CBR จะเพิ่มขึ้นอย่างมากที่อายุ 3 ถึง 7 วัน หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ค่า CBR ร้อยละ เท่ากับ 110 - 190 สำหรับตัวอย่างดินที่ปรับปรุงด้วย NRM ร้อยละ เท่ากับ 100 - 135 สำหรับตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วย EMA เมื่อพิจารณาเทียบกับ CBR ของหินคลุกในชั้นพื้นทางตามมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า หรือร้อยละ เท่ากับ 80 จะเห็นได้ว่าสามารถใช้ดินลมหอบที่ปรับปรุงด้วย NRM และ EMA สามารถทดแทนหินคลุกได้ [12]

ต่อมา มีงานวิจัยพฤติกรรมของดินลมหอบที่ปรับปรุงคุณภาพโดยปูนผสมซีเมนต์ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบที่ได้จากการทดสอบวิธีแรงอัดสามแกน ซึ่งงานวิจัยนี้ นายปรเมศร์ สุวรรณชื่น นายณัฐวุฒิ เขมะรุณิน นายอภิชาติ โฆษิตกุลพร และ นายทรงพล อมฤตสกุล นักศึกษาคณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้วัสดุปรับปรุง คือ ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 60 และ เถ้าลอยหรือเถ้าแกลบ ร้อยละ 40 ผสมกับดินลมหอบในมหาวิทยาลัยขอนแก่น ร้อยละ 1.5 โดยนำหนักดินนำมาบดอัดโดยวิธีโมดิฟายด์พรอคเตอร์ โดยการใช้ตัวอย่างดินที่ อายุบ่ม 3 วัน เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบกำลังรับแรงเสียดของดินที่ทำการปรับปรุงโดยวิธีแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ จากการ

ทดสอบสรุปได้ว่าดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มีความต้านทานแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ค่าแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น แต่มุมเสียดทานภายในลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่มีการปรับปรุง [13]

และงานวิจัยการศึกษาผลของการทรุดตัวและกำลังรับน้ำหนักของดินมหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งงานวิจัยนี้ นายภัทร หงส์มาลา และ นายภาณุ มิ บัวศรี นักศึกษาคณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษาค่าการทรุดตัวและกำลังแรงเฉือนของดินเนื่องจากปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นโดยวิธีแรงเฉือนโดยตรง การเตรียมตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบเป็นดินสภาพแห้งในอากาศโดยค่อยๆอัดเข้าแบบ ซึ่งกำหนดค่าน้ำหนักกดทับในแนวดิ่ง คือ 100 กิโลปาสกาล , 200 กิโลปาสกาล และ 400 กิโลปาสกาล การเฉือนตัวอย่างดินเมื่อตัวอย่างอยู่ในสภาพเปียกและสภาพแห้ง โดยจากการศึกษาพบว่าน้ำหนักกดทับมีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนค่าเพิ่มขึ้น ทั้งกรณีที่ดินสภาพแห้งและสภาพเปียก โดยการเฉือนในตัวอย่างดิน สภาพแห้งมักให้ค่ากำลังแรงเฉือนมากกว่าตัวอย่างในสภาพเปียกทุกกรณีของค่าน้ำหนักกดทับ ดังนั้นในการเลือกคุณสมบัติของดินประเภทนี้ควนใช้ตัวแปรทางด้านพฤติกรรม การรับแรงเฉือนที่เหมาะสมตามน้ำหนักที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกแบบต่อไป [14] [15], [16]

วิธีการ

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

- 1.1 ดินทรายปนทรายแป้ง จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
- 1.2 น้ำยางพาราสดรักษาสภาพแบบแอมโมเนีย 10% ต่อน้ำหนักน้ำยางพาราสด
- 1.3 น้ำสะอาด

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

- 2.1 อุปกรณ์ทดสอบหาค่า Atterberg Limit และ Water Content
- 2.2 เครื่องมือทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน (Sieve Analysis และ Hydrometer)
- 2.3 เครื่องมือการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Machine)
- 2.4 เครื่องมือการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Machine)
- 2.5 เครื่องมือการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Machine)

3. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

งานวิจัยการปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพแบบแอมโมเนียสูง สำหรับดินทรายปนทรายแป้ง โดยขั้นตอนเริ่มต้นทำการหาคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของดินทรายปนทรายแป้ง และการทดสอบการรับกำลังของดิน โดยวิธีที่ใช้ในการทดสอบ คือ

- 1) การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content Test)
- 2) การทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน (Sieve Analysis And Hydrometer Analysis Test)
- 3) การทดสอบหาค่าพลาสติกของดิน และ ความชื้นเหลวของดิน (Atterberg Limit Test)
- 4) การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test)
- 5) การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

6) การทดสอบแรงเฉือนโคตรง (Direct Shear Test)

ซึ่งการทดสอบการรับกำลังของดินนี้จะทำการทดสอบทั้งตัวอย่างดินธรรมชาติ โดยการนำค่าที่นำมาทำการปรับปรุง คุณภาพของดินนั้นได้มาจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test) จากนั้นนำค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) และ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) นำมาค่ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ตัวอย่างดินที่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราสดตามอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราค่อน้ำหนักน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3

4. รายการออกแบบอัตราส่วนผสม

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบอัตราส่วนได้จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) โดยค่าความชื้นที่เหมาะสมร้อยละเท่ากับ 9.767 ให้ค่าน้ำหนักน้ำเท่ากับ 480 กรัม ค่าการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

อัตราส่วนปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมในดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยปริมาณน้ำที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราสดค่อน้ำหนักน้ำ

ร้อยละ	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางพาราสด (กรัม)	ความหนาแน่นแห้ง (ตันต่อตารางเมตร)
0	480	0	1.320
10	480	48	1.320
15	480	72	1.320
20	480	96	1.320
25	480	120	1.320
30	480	144	1.320
35	480	168	1.320
40	480	192	1.320

1) ปริมาณความชื้นในดินธรรมชาติ (Water Content) ร้อยละ เท่ากับ 0.86

ความชื้นของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินร้อยละ เท่ากับ 9.767

เพราะฉะนั้นความชื้นที่ต้องการร้อยละ เท่ากับ 9.767-0.86 เท่ากับ 8.91

2) ปริมาณน้ำที่ต้องการ เท่ากับ ความชื้นที่ต้องการ x ปริมาตรของดินที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุด

เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่ใช้การผสมในการปรับปรุงคุณภาพ เท่ากับ 402.30 กรัม

การคำนวณหาปริมาณเนื้อยางพาราธรรมชาติ โดยน้ำยางพาราธรรมชาติร้อยละ 100 จะมีเนื้อยาง เท่ากับร้อยละ 33 (%DRC = 33) เพราะฉะนั้นปริมาณเนื้อยางพาราสามารถคำนวณได้ดังนี้

1. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 0 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0 = 0$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(33 \times 0)/100$ เท่ากับ 0 กรัม
2. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 10 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.10 = 48$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(48 \times 33)/100$ เท่ากับ 15.84 กรัม
3. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 15 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.15 = 72$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(72 \times 33)/100$ เท่ากับ 23.76 กรัม
4. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 20 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.20 = 96$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(96 \times 33)/100$ เท่ากับ 31.68 กรัม
5. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 25 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.25 = 120$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(120 \times 33)/100$ เท่ากับ 39.60 กรัม
6. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 30 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.30 = 144$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(144 \times 33)/100$ เท่ากับ 47.52 กรัม
7. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 35 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.35 = 168$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(168 \times 33)/100$ เท่ากับ 55.44 กรัม
8. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 40 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.40 = 192$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(192 \times 33)/100$ เท่ากับ 63.36 กรัม

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณน้ำสะอาดที่ใช้ในการทดสอบ

%น้ำยาง/น้ำหนักน้ำ	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
น้ำหนักน้ำยางพารา (กรัม)	48	72	96	120	144	168	192
น้ำหนักเนื้อยางพารา (กรัม)	15.84	23.76	31.68	39.6	47.52	55.44	63.36
น้ำหนักน้ำในเนื้อยางพารา (กรัม)	32.16	48.24	64.32	80.40	96.48	112.56	128.64
น้ำหนักดินเปียก (กรัม)	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515	4,515
น้ำหนักน้ำในดิน (กรัม)	404	404	404	404	404	404	404
น้ำหนักน้ำที่ใช้จริง (กรัม)	324	284	243	204	164	123	83

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินพบว่าลักษณะของดินเป็นดินที่มีลักษณะดินทรายละเอียด เมื่อทำการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) จำนวนดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับร้อยละ 16.88 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับร้อยละ 99.98 เพราะฉะนั้นดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 12 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดินชนิดนี้อยู่ในกลุ่มดิน SM, SC

ผลการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินเมื่อนำไปทำการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากดินมีลักษณะคล้ายฝุ่น เมื่อทำการทดสอบจึงทำให้ดินจำนวนหนึ่งหายไป และผลจากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์พบว่าขนาดของเม็ดดินมีขนาดเล็กที่สุดมีค่า เท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test)

ผลการทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) เมื่อทำการทดสอบได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ρ_{dmax}) มีค่าเท่ากับ 1.320 ตันต่อตารางเมตร ที่ความชื้น (w) เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะของดินเมื่อนำมาทำ การปรับปรุงพลังงานแล้วมีลักษณะการจับตัวได้ดีและมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากลักษณะของดินเป็นเม็ดละเอียดและมีความสามารถดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ดินสามารถรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพลังงาน แต่เมื่อนำในดินระเหยออกจนหมดดินจะมีลักษณะแข็งแต่เมื่อมีแรงมากระทำก็จะทำให้เกิดการพังทลายได้โดยง่าย

ผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

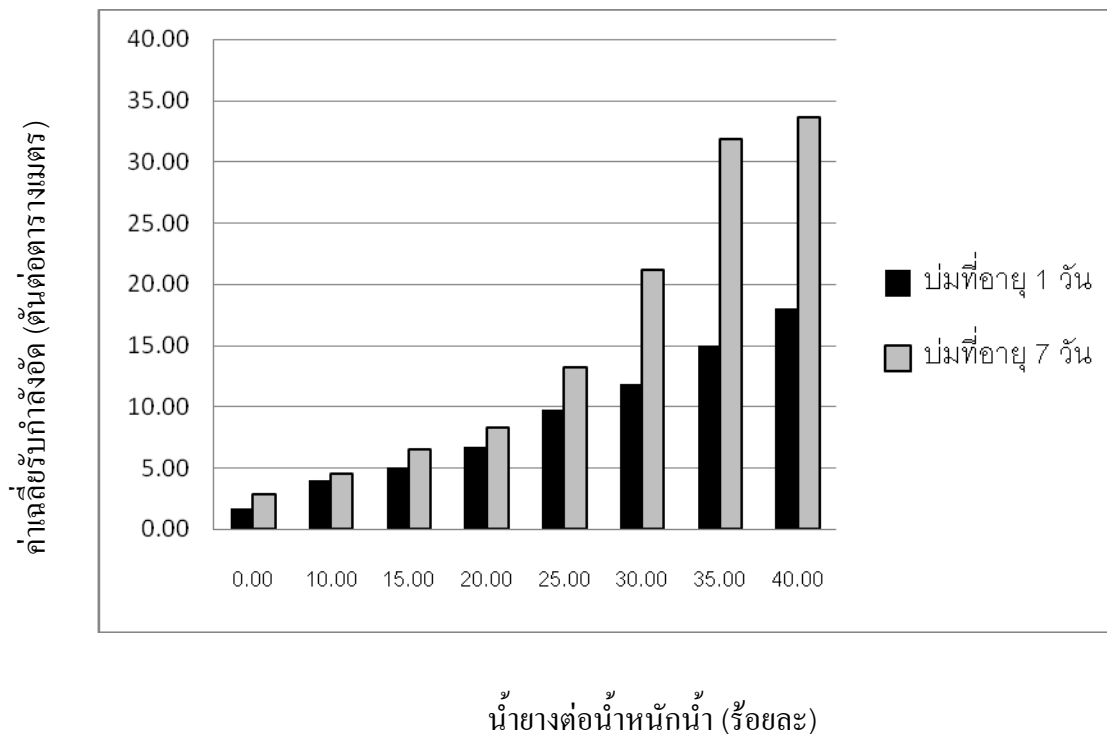
จากการทดสอบหาค่ารับกำลังของดินเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยการผสมน้ำยางธรรมชาติ และผลจากการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) นั้น โดยดินธรรมชาติ โดยดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ และดินที่ไม่ได้ทำการผสมน้ำยางนั้น ผลการทดสอบแสดงที่ตาราง 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดแบบ ไม่ถูกจำกัดของดินตัวอย่าง

น้ำยางต่อน้ำหนัก น้ำ (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำสะอาด กรัม	ปริมาณน้ำยางสด กรัม	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด (ตันต่อตารางเมตร)	
			บ่มที่อายุ 1 วัน	บ่มที่อายุ 7 วัน
0	480	0	1.665	2.797
10	480	48	4.010	4.542
15	480	72	5.030	6.529
20	480	96	6.745	8.220
25	480	120	9.739	13.228
30	480	144	11.840	21.130
35	480	168	15.009	31.839
40	480	192	18.040	33.636

จากตารางที่ 1 และ รูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าการรับกำลังแปรผันตามอายุการบ่มตัวอย่างดิน และอัตราการเพิ่มขึ้นของการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ การรับกำลังอัดที่เพิ่มมากขึ้นของตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัด

สูงกว่ามาตรฐาน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำยางพาราธรรมชาติ เนื่องด้วยลักษณะของเม็ดดินเป็นเม็ดละเอียดเมื่อผสมกับยางพาราธรรมชาติที่มีความสามารถเด่นคือมีความยืดหยุ่น และมีความเชื่อมแน่นดี เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย cis-1,4 polyisoprene เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์และมีการเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบจึงทำให้ยางมีสมบัติเด่นด้านทนทานต่อแรงดึง การฉีกขาด การตัดและการสึกห่อได้ดี [12] และทำการปรับปรุงพลังงานจึงทำให้ดินรับกำลังได้ดีเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดและน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ

ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของ ดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ โดยทดสอบนี้ใช้ค่า $\sigma_v = 0.556$ กก/ตร.ซม. , 0.833 กก/ตร.ซม. , และ 1.111 กก/ตร.ซม. ตามลำดับ ทำการหาน้ำหนักแรงกดทับนั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

เมื่อขนาดของพื้นที่ Shear Box เท่ากับ ; $6 \times 6 = 36$ ตร.ซม.

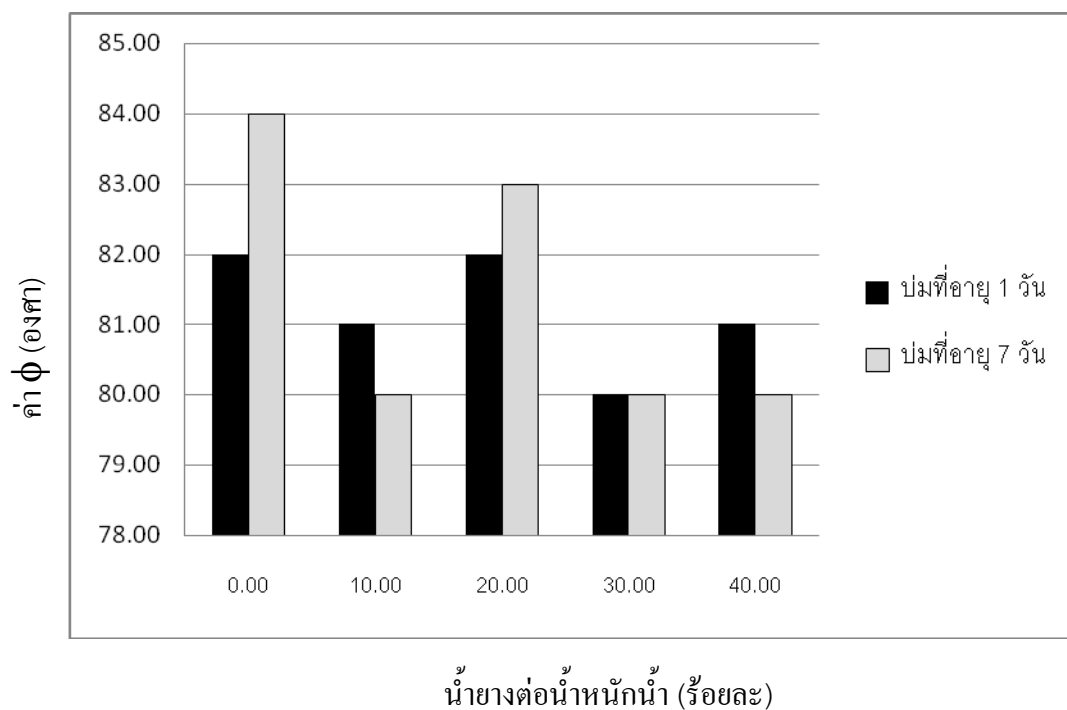
จาก $\sigma_v = P/A$; $\sigma_v = 0.556$ กก/ตร.ซม., 0.833 กก/ตร.ซม., และ 1.111 กก/ตร.ซม.ตามลำดับ

เพราะฉะนั้น $P = \sigma_v \times A$ จะได้น้ำหนักเท่ากับ 20 กก. , 30 กก. , และ 40 กก. ตามลำดับ

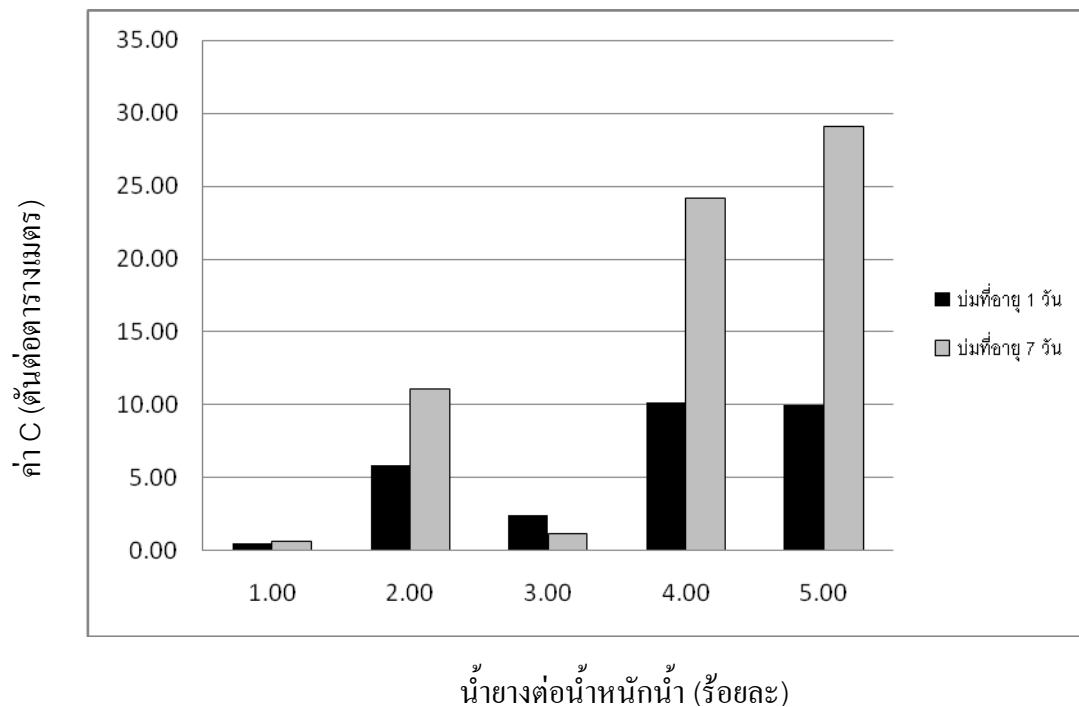
จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบการหาค่าการรับกำลัง ค่า (C, ϕ) แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

น้ำยางต่อ น้ำหนักน้ำ (ร้อยละ)	ปริมาณ น้ำสะอาด กรัม	ปริมาณ น้ำยางพารา กรัม	ค่า ϕ (องศา)		ค่า c (ตันต่อตารางเมตร)	
			บ่มที่อายุ 1 วัน	บ่มที่อายุ 7 วัน	บ่มที่อายุ 1 วัน	บ่มที่อายุ 7 วัน
0	480	0	82	84	0.396	0.6
10	480	48	81	80	5.78	11.11
20	480	96	82	83	2.38	1.11
30	480	144	80	80	10.12	24.2
40	480	192	81	80	9.98	29.11



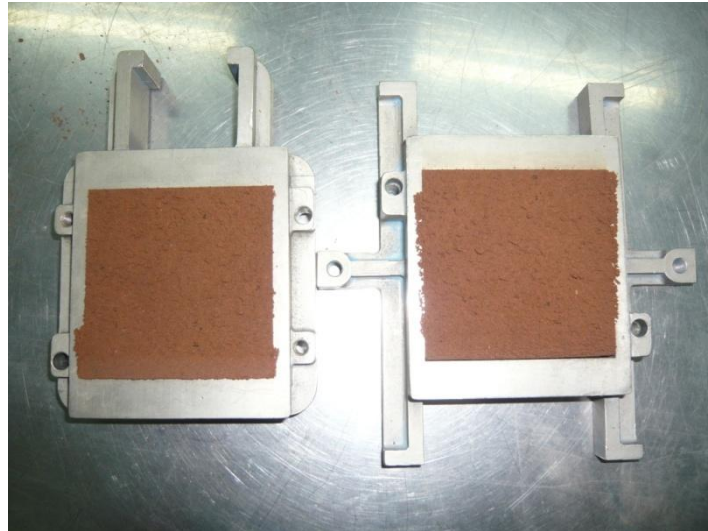
รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า(ϕ)และน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า(C) และค่าน้ำยางต่อน้ำหนักน้ำ

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ค่า ϕ และค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80 ถึง 84 ซึ่งดินที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ นั้น มีกำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่ต่างกันมาก จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งได้มาจากการปรับปรุงพลังงานโดย วิธีบดอัดสูงกว่ามาตรฐานและส่วนหนึ่งมาจากน้ำ ยางพาราธรรมชาติที่ทำให้การยึดเหนี่ยวของเนื้อดินเพิ่มขึ้น และค่า ϕ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 40 และอาจจะรับได้ถึงค่า ϕ เท่ากับ 90 องศา เมื่ออัตราส่วนน้ำยางพาราธรรมชาติมีอัตราส่วนร้อยละ 100 ของน้ำหนักน้ำสะอาดที่ใช้ผสม

เมื่อพิจารณาค่าความเชื่อมั่นของดิน (C) นั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดสอบให้ค่าความเชื่อมั่น (C) มากสุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ร้อยละ 40 ที่การบ่มความชื้นที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 29.11 ดันต่อตารางเมตร และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าค่ากำลังจะสูงขึ้นเมื่อค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจำลองการกดทับดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 9 การวัดค่าของดินตัวอย่างทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

วิจารณ์ผล

จากการทดสอบสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากลักษณะทางกายภาพของดินทรายปนทรายแป้งมีลักษณะเป็นเนื้อละเอียด เมื่อนำมาทำการผสมน้ำยางพาราจึงทำให้น้ำยางสามารถแทรกซึมและผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี และความสามารถเด่นของยางพาราธรรมชาติคือมีความยืดหยุ่นและมีความเชื่อมแน่นดี เนื่องจากยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วย cis-1,4 polyisoprene เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ และมีการเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบจึงทำให้ยางมีสมบัติเด่นด้านทนทานต่อแรงดึง การฉีกขาด การตัดและการ สึกหรือได้ดี [12] และคุณสมบัติของดินทรายปนทรายแป้ง คือ เมื่อทำการบดอัดปรับปรุงพลังงานจะเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้สูงขึ้น และเมื่อนำมารวมกันจึงทำให้ดินมีการรับกำลังเพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถเด่นของดินทรายปนทรายแป้ง และน้ำยางพาราสด ดังที่กล่าวมา ผลการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัดแสดงที่กราฟที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้ว

สรุปผล

จากการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของดิน ทรายปนทรายแป้ง โดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งผลที่ได้จะมีแนวโน้มเดียวกันกับดินชนิดอื่นๆด้วย ที่อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาดเท่ากับ ร้อยละ 0 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , และ 40 สำหรับการทดสอบแรงดัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และร้อยละ 0 , 10 , 20 , 30 , และ 40 สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) จากนั้นทำการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) โดยทำการบ่มตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และนำมาทำการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบหาแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) ผลการทดสอบให้ค่ากำลังของดินสูงตามอัตราส่วนของการผสมน้ำยางพารา โดยการทดสอบใช้น้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนัก

น้ำสูงสุดเท่ากับร้อยละ 40 เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำยางพาราธรรมชาติสูงกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักน้ำ นั้นไม่สามารถดึงออกจากโมลได้ และอีกประการหนึ่งคือ เมื่อทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากขึ้นทำให้การจับตัวของดินและน้ำยางเพิ่มขึ้นเนื่องจากแอมโมเนียที่รักษาคุณสมบัติของดินเป็นสารระเหย จึงทำให้น้ำยางพาราเมื่อถูกอากาศจึงทำให้ดินแห้งตัวเร็วและจับกันเป็นก้อน

2. ผลการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบให้ค่ามุมที่รับแรงเฉือน (ϕ) ที่ค่า 80 – 84 องศา ของผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และมีค่าการรับกำลังแรงเฉือน ซึ่งมีอัตราการรับกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด ซึ่งผลการทดสอบที่อายุการบ่มดินตัวอย่างยิ่งมากยิ่งขึ้นจะทำให้ดินรับกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

ดังนั้นสรุปผลการทดลองได้ว่าอัตราส่วนผสมและระยะเวลาการบ่มตัวอย่างที่ดีที่สุดคือ ส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด เท่ากับร้อยละ 40 ที่ระยะเวลาการบ่มตัวที่ 7 วัน ซึ่งหากทำการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราธรรมชาติขึ้นอีกต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายของน้ำยางพาราธรรมชาติด้วย รวมทั้งการผสมที่ยากลำบากมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบนี้ใช้น้ำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพแบบแอมโมเนียสูง ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ใช้ส่วนผสมแอมโมเนียโซลูชันร้อยละ 25 ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ 1 : 10 ของน้ำหนักน้ำยางพาราสด หากผู้ที่จะทำการทดสอบต่อ อาจเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมแอมโมเนีย เพื่อที่สามารถปรับอัตราส่วนผสมของดินและน้ำยางพาราธรรมชาติให้สูงมากกว่าร้อยละ 40 ได้

2. ในงานวิจัยนี้หากให้เกิดความสมบูรณ์ควรทำการทดสอบเพิ่มเติม เช่น การทดสอบ C.B.R การทดสอบการซึมได้ของน้ำ (Permeability Test) การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) และการทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) เป็นต้น

3. งานวิจัยนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงดินโดยเลือกใช้สำหรับดิน SM-SC ที่มีปัญหาในการรับกำลังของดินเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] วราภรณ์ ขจรไชยกุล . 2551. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ -อบไอน้ำ วิจัยยางพารา เล่ม 3 โครงการงานวิจัยแห่งชาติ : ยางพาราอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.)
- [2] ผ.ศ.ดร.พงศกร พรหมรัตนศิลป์ . 2549. งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบเพื่องานวิศวกรรม การทาง ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [3] วราภรณ์ ขจรไชยกุล. 2549. ทฤษฎียางพาราธรรมชาติ ยางพาราธรรมชาติ การผลิตและการใช้งาน
- [4] เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร . 2548. เทคโนโลยีของยาง ภาควิชาวัสดุศาสตร์ . คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ

- [5] นายบรรชา เงินวง , นายพงษ์สยาม โสมาบุตร , นายพรชนก วิรัตน์ธรรม , และ นายมานิตย์ จันทนา . 2550. การปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเหนียวด้วยน้ำยางธรรมชาติ . ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [6] นายโชค สันติสวัสดิ์ , นายศรัณย์ ทิพวงศ์ , และนายสุภชัย เอื้อวชัยพิชิตกุล 2545. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวด้วยปูนสำหรับงานพื้นทาง (กรณีศึกษา ถนนสาย 3117 บริเวณคลองด่าน – บางบ่อ จ.สมุทรปราการ) ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [7] นายกิตติภูมิ ลิมนวัศ , นายวิชาญ คงสุวรรณกร , และนายยุทธพงษ์ จินดาสวัสดิ์ 2544. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวด้วยปูนซีเมนต์สำหรับงานพื้นทาง ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [8] นายวัฒนา มกรโรจน์ฤทธิ์ 2546. การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยเสาเข็มสำหรับดินเหนียวและทรายปนดินเหนียว วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [9] นายสมชาย นาคะผดุงรัตน์ , นายปองศักดิ์ พงษ์ประยูร , นายมนตรี ชูวงศ์. 2551. คุณสมบัติพื้นฐานของดิน ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [10] วาสนา ศรีวิสัย . 2542. วิศวกรรมปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [11] สถาพร คูวิจิตรจากร . 2541. ทดลองปฐพีกลศาสตร์ (Soil Laboratory Testing)
- [12] นายวัชรินทร์ กาสลัก , และนายศิริชัย ห่วงจริง. 2548. งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบขอนแก่นโดยยางธรรมชาติเพื่อการใช้งานทาง (The Stabilization of Loess by Means of Natural Rubber) ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [13] นายปรเมศร์ สุวรรณชื่น , นายรัฐภูมิ เหมะรุธิ์ , นายอภิชาติ โกษิตกุลพร , และนายทรงพล อมฤตสกุล 2547. พฤติกรรมของดินลมหอบที่ปรับปรุงคุณภาพโดยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบที่ได้จากการทดสอบวิธีแรงอัดสามแกน ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [14] นายเกษมศักดิ์ พิณิจกรม , นายนภดล วันอุด , นายสมพล รินชมพู่ , และนายสมภพ รินชมพู่ 2547. การหาค่าตัวประกอบรับแรงเฉือนและค่าตัวประกอบความดันโพรงของดินทรายปนตะกอน โดยวิธีแรงอัดสามแกน แบบลดแรงดันด้านข้าง ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [15] นายรัชชัย โพธิ์ศรี , นายศิริวิทย์ นະະຍສ , และนายศิริศักดิ์ จินดาพล 2547. การหาค่าตัวประกอบรับแรงเฉือนและค่าตัวประกอบความดันโพรงของดินทรายปนตะกอน โดยวิธีอัดแรงสามแกน แบบเพิ่มแรงในแนวดิ่ง ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [16] นายภัทร หงส์มาลา , และนายภาคภูมิ บัวศรี 2551. การศึกษาผลของการทุบตัวและกำลังรับน้ำหนักของดินมหาวิทยาลัยขอนแก่นในเครื่องทดสอบแรงเฉือนตรง ปรินิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ภาคผนวก ก

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการและการชี้แจงโดยนักวิจัย

สรุปข้อคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิต่อโครงการ

"พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมน้ำยาฟอสฟอรัสเพื่อใช้สำหรับการป้องกันดินถล่ม"

สัญญาเลขที่ RDG5150045

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ	ชี้แจงโดยนักวิจัย
ความเห็นด้านการพิมพ์ (Editorial) 1. ควรใส่หมายเลขหน้าและเพิ่มเต็มสารบัญด้วย 2. ในบทสรุปผู้บริหาร หัวข้อ ผลการทดสอบ Direct Shear Test นักวิจัยระบุผลการทดสอบดังตารางที่ 2 แต่ไม่มีตารางที่ 2 แสดง 3. ตรวจสอบการพิมพ์หัวข้อทฤษฎีการทดสอบที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบวิธีการทดสอบด้วยทราย (sand cone) คืออะไร	ชี้แจงโดยนักวิจัย 1. ได้ทำการเพิ่มเติมในส่วนของเลขหน้าแล้ว แต่ในส่วนของสารบัญไม่ได้อยู่ในแบบฟอร์มการจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ ผู้วิจัยเลยไม่ได้ใส่เพิ่มเติมเข้าไป 2. ผู้วิจัยได้ทำการจัดการระบุผลการทดสอบดังตารางที่ 2 ออกแล้วและได้แสดงผลการทดสอบในรูปแบบการเขียนบรรยายแทนตาราง (หน้า ค) 3. ได้ทำการแก้ไขเป็นการทดสอบแบบกรวยทรายแล้ว (หน้าที่ 7)
ความเห็นด้านวิชาการ (Technical) 1. ผลการทดลอง ควรอธิบายด้วยค่า DRC ของน้ำยางสด แทนการผสมน้ำยางสดกับน้ำ 2. การปรับปรุงพลังงานของดินคืออะไร ควรอธิบายด้วยว่าทำอะไร 3. ปริมาณยางมีผลต่อการรับกำลังอัดเฉพาะดินชนิดเดียวหรือดินทุกชนิด ควรอธิบายไว้ด้วย ถ้าเป็นดินชนิดเดียว ทำไมจึงเลือกดินชนิดดังกล่าวมาทดสอบ	ชี้แจงโดยนักวิจัย 1. ได้อธิบาย %DRC ของน้ำยางสดที่ใช้แล้วคือ 33% (หน้าที่ 12) แต่ในส่วนของการทำการผสมลงไปนั้นไม่สามารถมาคิดรวมกันได้ตามหลักการปรับปรุงคุณภาพดิน 2. ได้อธิบายและยกตัวอย่างประกอบรวมทั้งแสดงเอกสารอ้างอิงเพื่อการอ่านเพิ่มเติมแล้วในหน้าที่ 7 3. ปริมาณยางมีผลต่อการรับกำลังอัดของดินทุกชนิด ซึ่งได้กล่าวเพิ่มเติมแล้วในหน้า 18 และหน้าที่ 18 แต่ที่นำเอาดินลมหอบมาใช้ในการทดสอบเพราะดินลมหอบมีคุณลักษณะที่เยื่อใยที่สุดในส่วนของของการรับกำลัง หรือเสี่ยงต่อการดินถล่มมากที่สุด

ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ (ต่อ)	ชี้แจงโดยนักวิจัย (ต่อ)
4. ทำไม่แรงเฉือน (ค่า ϕ) จึงไม่ขึ้นกับปริมาณเนื้อยาง และค่าไม่ค่า C ที่นำยาง 2% จึงมีค่ามากกว่า 3% 5. การอธิบายผลการทดลองที่ได้นี้ มาจากข้อมูลการทำซ้ำกี่ครั้ง	4. กำลังรับแรงเฉือนจะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับการจัดแนของปริมาณเนื้อดินและเนื้อยางมากกว่า และในส่วนขอค่า C นั้น มีผลบางส่วนซึ่งที่เกิดปัญหาในการผสมดินกับน้ำยางพาราที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ผลการทดสอบส่วนใหญ่บอกแนวโน้มในการเพิ่มขึ้นขอค่า C เมื่อมีน้ำยางมากขึ้น 5. ทุกๆอัตราส่วนผสม ผ่านการทำซ้ำถึง 3 ครั้ง

ภาคผนวก ข

โปสเตอร์



พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ เพื่อใช้ในการป้องกันดินถล่ม

The unconfined compressive and shear strength behavior of silty sand soil using
high ammonia natural rubber mixing for landslide protection.

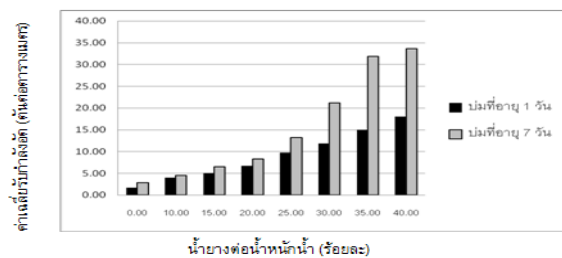


ดร.วีระศักดิ์ ละองงจันทร์*

(ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.))

ผลการทดลอง

จากการทดสอบหาค่ารับกำลังของดิน เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ โดยดินธรรมชาติและดินที่ไม่ได้ทำการผสมน้ำยางนั้นซึ่งแสดงผลการทดสอบในกราฟแท่ง



จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบการหาค่าการรับกำลัง ค่า (C , ϕ) แสดงดังในตารางทางด้านล่างนี้

น้ำยางพารา (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำยางพารา (กรัม)	ปริมาณน้ำยางพารา (กรัม)	ค่า ϕ (องศา)		ค่า c (ตันต่อตารางเมตร)	
			1 วัน	7 วัน	1 วัน	7 วัน
0	480	0	82	84	0.396	0.6
10	480	48	81	80	5.78	11.11
20	480	96	82	83	2.38	1.11
30	480	144	80	80	10.12	24.2
40	480	192	81	80	9.98	29.11

วิจารณ์ผลการทดลอง

1. ผลการทดสอบหา Unconfined Compression Test ให้ค่ากำลังของดินสูงตามอัตราส่วนของการผสมน้ำยางพารา โดยการทดสอบใช้น้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสูงสุดเท่ากับร้อยละ 40

2. ผลการทดสอบ Direct Shear Test ให้ค่ามุมที่รับแรงเฉือนที่ค่า 80 – 84 องศา ของผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 โดยผลการทดสอบที่อายุการบ่มดินตัวอย่างยิ่งมากยิ่งจะทำให้ดินรับกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

ในการทดสอบงานวิจัยนี้ใช้น้ำยางพาราธรรมชาติปริมาณ 1 : 10 ของน้ำหนักน้ำยางพาราสด หากผู้ที่จะทำการทดสอบต่อ อาจเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราเพื่อที่จะสามารถปรับอัตราส่วนผสมของดินและน้ำยางพาราธรรมชาติให้สูงมากกว่าร้อยละ 40 ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรากรณ์ ขจรไชยกุล. 2551. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและปฏิกิริยาความชื้นของ คอนกรีตเม็ดฟองอากาศ (สกว.).
- [2] ผ.ศ.ดร.พงศกร พรรณรัตน์ศิลป์. 2549. งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบเพื่องานวิศวกรรมทาง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำ น้ำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพ แบบแอมโมเนียอัตราร้อยละ10 เพื่อรักษาสภาพน้ำยางมาใช้เป็นสารผสมเพิ่ม ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในด้านการรับกำลังแรงอัดในแนวแกนและแรงเฉือน โดยกำหนดอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาดเท่ากับร้อยละ 0 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 , และ 40 สำหรับการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และร้อยละ 0 , 10 , 20 , 30 , และ 40 สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง สำหรับการทดสอบโดยการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน และทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และขนาด 6 x 6 x 2.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง จากนั้นทำการ บ่มตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และที่อายุ 7 วัน พบว่าเมื่อทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติโดยคิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้การรับกำลังอัดและแรงเฉือนสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ดังนั้นจึงพบว่าน้ำยางพาราธรรมชาติสามารถนำไปใช้ในการผสมดินชนิด SM-SC และทำการปรับปรุงพลังงานเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดและแรงเฉือนของดินได้ดี

คำนำ

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้นำดินที่มีลักษณะเป็นทรายปนทรายแฉะ มาทำการปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความสามารถรับกำลังได้ดีขึ้น เพื่อนำไปแก้ไขปัญหาดินถล่ม โดยดินชนิดนี้มีมากในภาคอีสาน เหตุผลที่นำดินชนิดนี้มาทำการปรับปรุงคุณภาพเนื่องจากปัญหาน้ำท่วมทางภาคอีสาน ที่สร้างความเสียหายทางการเกษตรกรรมอย่างมากมาย การปรับปรุงคุณภาพของดินทรายปนทรายแฉะโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติแบบแอมโมเนียสูงนี้ จะทำให้ดินสามารถรับกำลังได้ช่วงหนึ่ง ด้วยเหตุผลลักษณะทางกายภาพของดินและภัยธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ [1], [2]

วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ จะทำการหาคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของดินทรายปนทรายแฉะ และการทดสอบการรับกำลังของดิน โดยค่าที่นำมาทำการปรับปรุงคุณภาพของดินนั้น ได้มาจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test) จากนั้นนำค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) และ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) นำค่ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินดังแสดงในตาราง

ร้อยละ	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางพาราสด (กรัม)	ความหนาแน่นแห้ง (ตันต่อตารางเมตร)
0	480	0	1.320
10	480	48	1.320
15	480	72	1.320
20	480	96	1.320
25	480	120	1.320
30	480	144	1.320
35	480	168	1.320
40	480	192	1.320

ภาคผนวก ค

แบบสรุปโครงการวิจัย

แบบสรุปโครงการวิจัย

สัญญาเลขที่ RDG5150045 **ชื่อโครงการ** พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติเพื่อใช้ในการป้องกันดินถล่ม
หัวหน้าโครงการ ดร.วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ **สถาบัน** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
โทรศัพท์ 025493410 **โทรสาร** 015493412 **E-mail** : werasaky@yahoo.com

ความสำคัญ/ความเป็นมา

สืบเนื่องมาจากกระทรวงเกษตรฯ หวั่นว่าในพื้นที่เสี่ยงดินถล่ม 34 จังหวัดทั่วประเทศจะเกิดผลกระทบซ้ำ จากสถานการณ์ฝนตกหนักที่อาจจะเกิดขึ้นอีกในอนาคต อันอาจจะก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน น้ำล้นตลิ่ง น้ำป่าไหลหลากและดินถล่มบริเวณพื้นที่เสี่ยงภัยขึ้นอีกครั้ง โดยวิธีที่ใช้ป้องกันอยู่ในเวลานี้ของกรมพัฒนาที่ดินคือการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกหญ้าแฝกในบริเวณที่ลาดเชิงเขา แต่วิธีที่ใช้นี้เป็นวิธีทางธรรมชาติบำบัด โดยโครงการนี้จะเริ่มจากการนำเอาลักษณะเด่นของน้ำยางพาราผสมในดินซึ่งจะทำให้ดินมีลักษณะที่บ่มแน่น และจะเข้าไปเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนในดินที่เป็นดินเหนียวอ่อนที่มีความหนาชั้นดินมาก

วัตถุประสงค์โครงการ

ศึกษาผลของการทดสอบกำลังรับแรงอัดทิศทางเดียว, กำลังรับแรงเฉือนและการดูดซึมน้ำ เพื่อแสดงความสามารถของดินผสมน้ำยางชันแบบแอมโมเนียสูงในการนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ที่มีดินอ่อนหรือดินที่มีลักษณะเป็นทรายปนทรายแป้ง (Silty Sand, SM-SC) ที่เป็นดินส่วนใหญ่ของพื้นที่เสี่ยงดินถล่มในประเทศไทย

ผลที่ได้รับ	บรรลุวัตถุประสงค์	โดยทำให้
ได้ดินทรายปนทรายแป้งที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยน้ำยางชันแบบแอมโมเนียสูงซึ่งสามารถไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่เสี่ยงดินถล่มได้	ผลการทดสอบที่ได้บรรลุวัตถุประสงค์ในแง่ของกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงเฉือนที่สูงขึ้นและการดูดซึมน้ำที่ต่ำลง	1. ผลการทดสอบหา Unconfined Compression Test ให้ค่ากำลังของดินสูงตามอัตราส่วนของการผสมน้ำยางพารา โดยการทดสอบใช้น้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสูงสุดเท่ากับร้อยละ 40 2. ผลการทดสอบ Direct Shear Test ให้ค่าทดสอบที่อายุการบ่มดินตัวอย่างยิ่งมากยิ่งขึ้นจะทำให้ดินรับกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- 1.ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทดสอบในสถานที่จริงเพื่อป้องกันดินถล่มเพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้มาว่าจะนำไปใช้งานได้จริงในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อดินถล่ม
- 2.ใช้เป็นแนวคิดในการพัฒนาการคาดการณ์ความเสี่ยงน้ำอันเนื่องมาจากการทดสอบยืนยันได้ว่าดินปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีคุณสมบัติที่บ่งชี้และเพิ่มกำลังให้แก่ดินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

การประชาสัมพันธ์

- 1.นำเสนอผลงานในการประชุมทางวิชาการ ปี 2552 สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ร่วมกับมหาวิทยาลัยขอนแก่น “การพัฒนาชนบทที่ยั่งยืน” 29-30 มกราคม 2552 ณ โรงแรมโกลเด้น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

ภาคผนวก ง

บทความวิชาการ

พฤติกรรมกำลังรับแรงอัดและแรงเฉือนของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติเพื่อใช้ในการป้องกันดินถล่ม

The unconfined compressive and shear strength behavior of silty sand soil using high ammonia natural rubber mixing for landslide protection.

วีระศักดิ์ ละอองจันทร์ (Werasak Raongjant)*

*อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: werasaky@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพแบบแอมโมเนียอัตราร้อยละ 10 เพื่อรักษาสภาพน้ำยางมาใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินในด้านการรับกำลังแรงอัดในแนวแกน และแรงเฉือน โดยกำหนดอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด เท่ากับร้อยละ 0, 15, 20, 25, 30, 35, และ 40 สำหรับการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression- Test) และ ร้อยละ 0, 10, 20, 30, และ 40 สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ตัวอย่างทดสอบโดยทำการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน และทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และขนาด 6 x 6 x 2.5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างทดสอบที่อายุ 1 วัน และที่อายุ 7 วัน พบว่าเมื่อทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติโดยคิดเป็นปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การรับกำลังอัดและแรงเฉือนสูงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าน้ำยางพาราธรรมชาติสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติดินชนิด SM-SC และทำการปรับปรุงพลังงานเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดและแรงเฉือนของดินได้ดี

คำสำคัญ : ยางพาราธรรมชาติ, ดินทรายปนทรายแป้ง, ผสมแอมโมเนียสูง, การรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด, การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

ABSTRACT

This research aims to use the 10 % high ammonia natural rubber for improving compressive and direct shear strength of a soil. The proportions of natural rubber per the weight of clean water are 0, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 percentage for Unconfined Compression Test and 0, 10, 20, 30, and 40 percentage for Direct Shear Test. The dimension of tested samples

are 10 cm in high with a 5 cm diameter for unconfined compression test and 6 x 6 x 2.5 cm for direct shear test. The curing times are 1 and 7 days. Both unconfined compression and direct shear strengths increases with the natural rubber content. Finally, it is concluded that the natural rubber can be use as a stabilizing agent of a sm-sc soil.

KEYWORDS : Natural Rubber , Silty Sand Soil , High Ammonia Natural Rubber , Unconfined Compression , Direct Shear

คำนำ

ดินในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าเป็นดินซึ่งเกิดจากการพัดพาโดยลมนิยมเรียกว่า ดินลมหอบ (Loess) ดินลมหอบเป็นฝุ่นขนาดเล็กที่ถูกลมพัดพามาทับถมในบริเวณใกล้เคียง มีสีดินเป็นสีเหลือง เนื้อละเอียดและค่อนข้างอุดมสมบูรณ์ ดินลมหอบโดยทั่วไปจะเป็นดินร่วนละเอียดอุดมไปด้วยแคลเซียมจับเกาะกันแน่นมาก และยอมให้น้ำซึมผ่านได้สะดวก น้ำจะซึมลงสู่เบื้องล่างอย่างรวดเร็ว บริเวณที่พบดินลมหอบมีพื้นที่กว้างขวาง เช่น ทางตอนเหนือของประเทศจีนครอบคลุมพื้นที่หลายตารางกิโลเมตร มีความหนาประมาณ 30 เมตร แต่บางแห่งมีความหนาถึง 90 เมตร และเนื่องจากโครงสร้างของดินลมหอบมีการรวมตัวทับถมกันในแนวดิ่ง จึงทำให้มนุษย์เข้าไปสร้างอุโมงค์ ขุดเจาะเนื่องจากมีความมั่นคงมาก จึงใช้เป็นที่อยู่อาศัยได้เป็นอย่างดี เช่น ในแถบมองโกเลีย ซึ่งมีความแข็งแรงใช้เป็นสถานที่อยู่อาศัยได้ ดินชนิดนี้จะปลูกเป็นบริเวณกว้างในเกือบทุกจังหวัดในภาคอีสานความหนาเฉลี่ยประมาณ 5-6 เมตรจากระดับผิวน้ำดิน ดินลมหอบส่วนใหญ่จะมีสีแดงซึ่งพบมากในตอนบนของภาค เช่น ในจังหวัดขอนแก่น ส่วนในตอนล่างของภาคอีสานดินส่วนใหญ่จะมีสีเหลืองหากมาจำแนกทางวิศวกรรมแล้วดินจะประกอบไปด้วยทรายละเอียดปนทรายแป้ง (Silty Sand) จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าแรงยึดเหนี่ยวมีค่าน้อยมาก ความแข็งแรงจะสูงมากในสภาพแห้งแต่จะพังทลายได้ง่าย (Collapse) เมื่อมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น

ความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มใน 34 จังหวัดทั่วประเทศ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคตเนื่องจากสถานการณ์ฝนตกหนักก่อให้เกิดน้ำท่วมฉับพลัน น้ำล้นตลิ่ง น้ำป่าไหลหลากและพื้นที่ที่มีปัญหาเรื่องการตัดไม้ทำลาย ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้นำหลักการเชิงวิศวกรรมมาช่วยโดยการนำคุณสมบัติเด่นของดินผสมซีเมนต์ และคุณสมบัติเด่นน้ำยางพารามาผสมเข้าด้วยกันกับดินในพื้นที่ที่เกิดปัญหา เพื่อให้ดินมีคุณสมบัติด้านการรับกำลังสูงขึ้น มีค่าการยุบอัดตัวต่ำ ีบน้ำและมีเสถียรภาพมากขึ้น ทั้งยังจะนำไปประยุกต์ใช้งานด้าน

การก่อสร้างต่างๆ เช่น งานคันทางถนน คอสะพาน หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ในกรุงเทพมหานครรวมถึงที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และพื้นที่ที่มีปัญหาทางด้านดินอ่อนด้วย

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ได้นำดินที่มีลักษณะเป็นทรายปนทรายแป้ง มาทำการปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความสามารถรับกำลังได้ดีขึ้นเพื่อนำไปแก้ไขปัญหาดินถล่ม โดยดินชนิดนี้มีมากในภาคอีสาน เหตุผลที่นำดินชนิดนี้มาทำการปรับปรุงคุณภาพเนื่องจากปัญหาน้ำท่วมทางภาคอีสานที่สร้างความเสียหายทางการเกษตรกรรมอย่างมากมาย การปรับปรุงคุณภาพของดินทรายปนทรายแป้งโดยการผสมน้ำยางสดรักษาสภาพแบบแอมโมเนียสูงนี้ จะทำให้ดินสามารถรับกำลังได้ช่วงหนึ่ง ด้วยเหตุผลลักษณะทางกายภาพของดินและภัยธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ [1], [2]

บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยการปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐดินเหนียวด้วยน้ำยางพาราซึ่งงานวิจัยนี้ บรรชาเงินยวง และคณะ [3] ได้มีการศึกษาพัฒนาการนำน้ำยางพารามาเป็นสารผสมในการปรับปรุงคุณสมบัติและการป้องกันน้ำ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมของดิน : แกลบ : ทราย : น้ำ เท่ากับ 6 , 0.72 , 2 , 2 เทียบเป็นน้ำหนัก โดยใช้น้ำยางพาราสดโดยคิดเป็นปริมาณเนื้อยาง เท่ากับ 0 , 0.05 , 0.10 , 0.15 , 0.20 , และ 0.25 กก. โดยการนำมาผสมกันและเทลงในแบบหล่อไม้ขนาด 4 x 7 x 14 ลูกบาศก์นิ้วแล้วนำไปผึ่งแดด จากนั้นได้ทำการทดสอบค่ากำลังอัดและกำลังดัดตามมาตรฐาน ASTM ที่อายุ 21 วัน และ 28 วัน จากการทดสอบพบว่าเมื่อทำการผสมน้ำยางพาราโดยคิดเป็นปริมาณเนื้อยางในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังอัด และกำลังดัดมีค่าสูงเพิ่มขึ้น และจากการทดสอบการชะล้างตามมาตรฐานออสเตรเลีย พบว่าเมื่อทำการผสมน้ำยางพาราเพิ่มมากขึ้น จะทำให้น้ำหนักที่สูญเสียของก้อนอิฐลดลง จากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าน้ำยางพาราสดสามารถนำไปใช้เป็นสารผสมเพิ่มในการผลิตอิฐดินเหนียวได้ [3]

งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบซอนแก่นโดยยางธรรมชาติเพื่องานการทาง (The Stabilization of loess Means of Natural Rubber) ซึ่งงานวิจัยนี้วัชรินทร์ และคณะ [4] ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษากา ปรับปรุงคุณสมบัติดินลมหอบซอนแก่นด้วยยางพาราธรรมชาติ และ ยางมะตอยน้ำเพื่อใช้แทนหินคลุกในชั้นทางของผิวจราจรแบบยึดหยุ่น ตัวอย่างดินที่ถูกปรับปรุงคุณสมบัติด้วยยางทั้ง 2 ชนิด จะถูกนำมาทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test) และทดสอบกำลังรับ แบททาน California Bearing Ratio Test (CBR) จากผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดทั้งตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วย NRM และ EMA กำลังดินจะเพิ่มขึ้นอย่างมากหลังจาก 3 วัน หลังจากทำการผสม จากการทดสอบ CBR ตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงดินด้วย NRM และ EMA มีการพัฒนากำลังไปในทิศทางเดียวกันคือ ค่า %CBR จะเพิ่มขึ้นอย่างมากที่อายุ 3 ถึง 7 วัน หลังจากนั้นจะค่อนข้างคงที่ค่า CBR ร้อยละ เท่ากับ 110 - 190 สำหรับตัวอย่างดินที่ปรับปรุงด้วย NRM ร้อยละ เท่ากับ 100 - 135 สำหรับตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วย EMA เมื่อพิจารณาเทียบกับ CBR ของหิน

คลุกในชั้นพื้นทางตามมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับร้อยละ 80 จะเห็นได้ว่า ดินลมหอบที่ปรับปรุงด้วย NRM และ EMA สามารถทดแทนหินคลุกได้

งานวิจัยพฤติกรรมของดินลมหอบที่ปรับปรุงคุณภาพโดยปูนผสมซีเมนต์ผสมเถ้าลอยและเถ้า แกลบที่ได้จากการทดสอบวิธีแ รงอัดสามแกน ซึ่งงานวิจัยนี้ ปรเมศร์ และคณะ [5] นักศึกษาคณะ วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยใช้ วัสดุปรับปรุง คือ ปูนซีเมนต์ ร้อยละ 60 และ เถ้าลอยหรือเถ้าแกลบ ร้อยละ 40 ผสมกับดินลมหอบใน มหาวิทยาลัยขอนแก่น ร้อยละ 1.5 โดยนำหน้าดินนำมาบดด้วยวิธีโมดิฟายด์ พรอคเตอร์ โดยการใส่ ตัวอย่างดินที่อายุบ่ม 3 วัน เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างดินมาทำการทดสอบหากล้างรับแรงเฉือนของดินที่ ทำการปรับปรุงโดยวิธีแรงอัดสามแกนแบบอัดตัวคายน้ำ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินที่ไม่ มี การปรับปรุงคุณภาพ จากการทดสอบสรุปได้ว่าดินที่ทำ การปรับปรุงคุณภาพมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น มี ความต้านทานแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ค่าแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มขึ้น แต่มุมเสียดทานภายในลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ ดินที่ไม่มีการปรับปรุง

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

ขั้นตอนการเตรียมงานนั้น ได้ทำการเก็บตัวอย่าง ดินที่จะนำมาทำการทดสอบเป็นดินที่มีลักษณะ แบบทรายปนทรายแป้ง (Silty Sand) ซึ่งตัวอย่างดินที่นำมาทำการทดสอบนั้นได้นำมาจาก มหาวิทยาลัยขอนแก่น จากนั้นได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกประมาณ 1.50 เมตร และเป็นการ เก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน หลังจากนั้นนำตัวอย่าง ดินมาทำให้แห้งเพื่อให้ความชื้นในดินเนื่องจากน้ำให้ ระบายจนเกือบหมด แล้วจากนั้นจึงมาทำการหาคุณสมบัติเบื้องต้นของดิน

จากนั้นนำมาทำการปรับปรุงคุณภาพตามอัตราส่วนน้ำยางพาราสดต่อน้ำหนักน้ำที่แตกต่างกัน ตลอดจนทำการทดสอบการรับกำลังของดินโดยวิธี การทดสอบการบดอัดแบบ สูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และ การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

1. ดินทรายปนทรายแป้ง จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
2. น้ำยางพาราสดรักษาสภาพแบบแอมโมเนีย 10% ต่อน้ำหนักน้ำยางพาราสด
3. น้ำสะอาด

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. อุปกรณ์ทดสอบหาค่า Atterberg Limit และ Water Content
2. เครื่องมือทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเม็ดดิน (Sieve Analysis และ Hydrometer)

3. เครื่องมือทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Machine)
4. เครื่องมือทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Machine)
5. เครื่องมือทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Machine)

ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการเตรียมงานนั้น ได้ทำการเก็บตัวอย่างดินที่จะนำมาทำการทดสอบเป็นดินจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ระดับความลึกประมาณ 1.50 เมตร โดยการเก็บตัวอย่างดินแบบรบกวน หลังจากนั้นนำตัวอย่างดินมาทำให้แห้งเพื่อให้ความชื้นในดินระเหยจนเกือบหมด ขั้นตอนเริ่มต้นทำการหาคุณสมบัติและลักษณะทางกายภาพของดินทรายปนทรายแป้ง และการทดสอบการรับกำลังของดิน โดยวิธีที่ใช้ในการทดสอบ คือ

- การทดสอบหาปริมาณความชื้น (Water Content Test)
- การทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน (Sieve Analysis And Hydrometer Analysis Test)
- การทดสอบหาค่าพลาสติกของดิน และ ความชื้นเหลวของดิน (Atterberg Limit Test)
- การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test)
- การทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)
- การทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test)

ซึ่งการทดสอบการรับกำลังของดินนี้จะทำการทดสอบที่ตัวอย่างดินธรรมชาติก่อน โดยค่าที่ได้จะมาจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compression Test) ซึ่งนำค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Water Content) และ ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางพาราสดตามอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราต่อน้ำหนักน้ำ [6], [7], [8] ดังแสดงในตารางที่ 1

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบอัตราส่วนผสมได้จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) โดยค่าความชื้นที่เหมาะสมร้อยละเท่ากับ 9.767 ให้ค่าน้ำหนักน้ำเท่ากับ 480 กรัม ดูค่าการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานที่

อัตราส่วนผสมปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมในดินที่ทำการปรับ รุ่งคุณภาพดิน โดยปริมาณน้ำที่ใช้สามารถคำนวณได้ดังนี้

- 1) ปริมาณความชื้นในดินธรรมชาติ (Water Content) ร้อยละ เท่ากับ 0.86

ความชื้นของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินร้อยละ เท่ากับ 9.767

เพราะฉะนั้นความชื้นที่ต้องการร้อยละ เท่ากับ $9.767 - 0.86$ เท่ากับ 8.91

- 2) ปริมาณน้ำที่ต้องการ เท่ากับ ความชื้นที่ต้องการ $\times$ ปริมาตรของดินที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุด

เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่ใช้การผสมในการปรับปรุงคุณภาพ เท่ากับ 402.30 กรัม

การคำนวณหาปริมาณเนื้อยางพาราธรรมชาติ โดยน้ำยางพาราธรรมชาติร้อยละ 100 จะมีเนื้อยาง เท่ากับ ร้อยละ 33 เพราะฉะนั้นปริมาณเนื้อยางพาราสามารถคำนวณได้ดังนี้

1. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 0 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0 = 0$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(33 \times 0)/100$ เท่ากับ 0 กรัม
2. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 10 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.10 = 48$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(48 \times 33)/100$ เท่ากับ 15.84 กรัม
3. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 15 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.15 = 72$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(72 \times 33)/100$ เท่ากับ 23.76 กรัม
4. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 20 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.20 = 96$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(96 \times 33)/100$ เท่ากับ 31.68 กรัม
5. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 25 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.25 = 120$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(120 \times 33)/100$ เท่ากับ 39.60 กรัม
6. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 30 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.30 = 144$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(144 \times 33)/100$ เท่ากับ 47.52 กรัม
7. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 35 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.35 = 168$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(168 \times 33)/100$ เท่ากับ 55.44 กรัม
8. ปริมาณน้ำยางพาราสด ร้อยละ 40 ต่อปริมาณน้ำสะอาด เท่ากับ $480 \times 0.40 = 192$ กรัม
ปริมาณเนื้อยางพารา เท่ากับ $(192 \times 33)/100$ เท่ากับ 63.36 กรัม

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราสดต่อน้ำหนักน้ำ 480 กรัม

ร้อยละ	น้ำหนักน้ำ (กรัม)	น้ำหนักน้ำยางพาราสด (กรัม)	ความหนาแน่นแห้ง (ตันต่อตารางเมตร)
0	480	0	1.320
10	480	48	1.320
15	480	72	1.320
20	480	96	1.320
25	480	120	1.320
30	480	144	1.320
35	480	168	1.320
40	480	192	1.320

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน

ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินพบว่าลักษณะของดินเป็นดินที่มีลักษณะดินทรายละเอียด เมื่อทำการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) จำนวนดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับร้อยละ 16.88 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับร้อยละ 99.98 เพราะฉะนั้นดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าร้อยละ 12 และผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 50 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดินชนิดนี้อยู่ในกลุ่มดิน SM, SC

ผลการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดินเมื่อนำไปทำการทดสอบพบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบ มีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเนื่องจากดินมีลักษณะคล้ายฝุ่น เมื่อทำการทดสอบจึงทำให้ดินจำนวนหนึ่งหายไป และผลจากการทดสอบไฮโดรมิเตอร์พบว่าขนาดของเม็ดดินมีขนาดเล็กที่สุดมีค่า เท่ากับ 0.001 มิลลิเมตร

ผลการทดสอบ Compaction Test

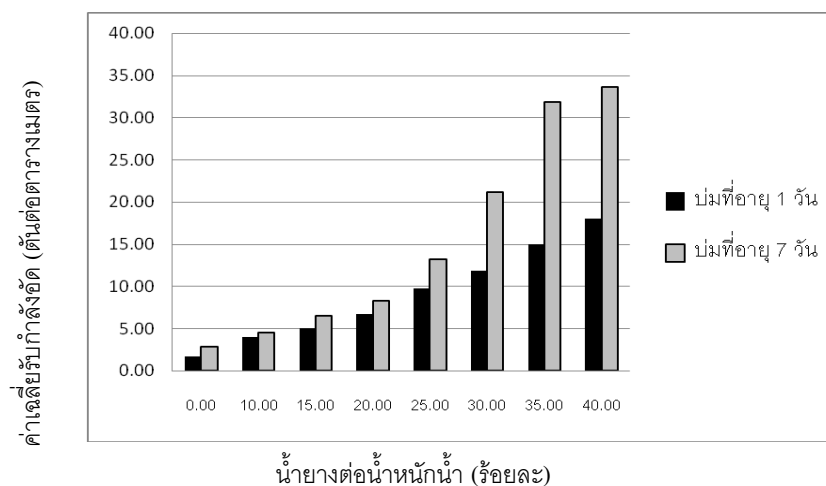
ผลการทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) เมื่อทำการทดสอบได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ρ_{dmax}) มีค่าเท่ากับ 1.320 ตันต่อตารางเมตร ที่ความชื้น (w) เท่ากับ 9.79 เปอร์เซ็นต์ โดยลักษณะของดินเมื่อนำมาทำการปรับปรุงพลังงานแล้วมีลักษณะการจับตัวได้ดีและมีความแข็งแรงสูง เนื่องจากลักษณะของดินเป็นเม็ดละเอียดและมีความสามารถดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ดินสามารถรับกำลังได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับดินชนิดเดียวกันที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพลังงาน แต่เมื่อนำในดินระเหยออกจนหมดดินจะมีลักษณะแข็งแต่เมื่อมีแรงมากกระทำก็จะทำให้เกิดการพังทลายได้โดยง่าย

ผลการทดสอบ Unconfined Compression Test

จากการทดสอบหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินเมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมน้ำยางธรรมชาติ และไม่ปรับปรุงโดยดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติแบบแอมโมเนียสูง และดินที่ไม่ได้ทำการผสมน้ำยางธรรมชาติ บ่มที่อายุ 1 วันและ 7 วันนั้น ผลจากการทดสอบ Unconfined Compression Test ในรูปที่ 1 และรูปที่ 2 นั้น



รูปที่ 1 แสดงการทดสอบ Unconfined Compression Test



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดและน้ำยาง ต่อน้ำหนักน้ำ

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพจะมีค่าการรับกำลังแปรผันตามอายุการบ่ม ตัวอย่างดิน และอัตราการเพิ่มขึ้นของการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ การรับกำลังอัดที่เพิ่มมากขึ้นของ ตัวอย่างดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการปรับปรุงพลังงานโดย การบดอัดสูงกว่า มาตรฐาน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำยางพาราธรรมชาติ เนื่องด้วยลักษณะของเม็ดดินเป็นเม็ดละเอียด เมื่อผสมกับยางพาราธรรมชาติที่มีความสามารถเด่น คือมีความยืดหยุ่นและมีความเชื่อมแน่นดี

ผลการทดสอบ Direct Shear Test

จากผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) ในรูปที่ 3 ซึ่งทำเป็นแบบไม่ระบายน้ำ (Unconsolidated-Undrained Test) โดยใช้อัตราความเร็วที่ 1 มม. ต่อนาที และผลการทดสอบการหาค่าการรับกำลังค่า (C , ϕ) แสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่า ϕ มีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80 ถึง 84 ซึ่งดินที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาตินั้น กำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่ต่างกันมาก จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งได้มาจากการปรับปรุงพลังงานโดยวิธีบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และส่วนหนึ่งมาจากน้ำ ยางพาราธรรมชาติทำให้การยึดเหนี่ยวของเนื้อดินเพิ่มขึ้น และค่า ϕ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 40 เมื่ออัตราส่วนน้ำยางพาราธรรมชาติมีอัตราส่วนร้อยละ 100 ของน้ำหนักน้ำสะอาดที่ใช้ผสม

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงของดิน (C) นั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นตาม อัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดสอบให้ค่าความแข็งแรง (C) มากสุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติร้อยละ 40 ที่การบ่มความชื้นที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 29.11 ตันต่อตารางเมตร และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าค่ากำลังจะสูงขึ้นเมื่อค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจำลองการกดทับดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จะเห็นได้ว่า ค่า ϕ และค่าเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 80 ถึง 84 ซึ่งดินที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ นั้น มีกำลังรับแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่ต่างกันมาก จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งได้มาจากการปรับปรุงพลังงานโดยวิธีบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน และส่วนหนึ่งมาจากน้ำยางพาราธรรมชาติที่ทำให้การยึดเหนี่ยวของเนื้อดินเพิ่มขึ้น และค่า ϕ จะมีค่าเพิ่มขึ้นสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากกว่าร้อยละ 40

เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงของดิน (C) นั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดสอบให้ค่าความแข็งแรง (C) มากสุดที่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติร้อยละ 40 ที่การบ่มความชื้นที่ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 29.11 ตันต่อตารางเมตร และจากการทดสอบจะสังเกตได้ว่าค่ากำลังจะสูงขึ้นเมื่อค่าน้ำหนักที่ใช้ในการจำลองการกดทับดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

อภิปรายผลและวิจารณ์

จากการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพของดินโดยการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ ที่อัตราส่วนของน้ำยางธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด เท่ากับ ร้อยละ 0 , 10 , 15 , 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 สำหรับการทดสอบแรงดัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และร้อยละ 0 , 10 , 20 , 30 , และ 40 สำหรับการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (Direct Shear Test) จากนั้นทำการปรับปรุงพลังงานโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) โดยทำการบ่มตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และนำมาทำการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) และการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 3 แสดงวิธีการทำการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแรงเฉือนโดยตรง

ร้อยละ	ค่า ϕ (องศา)		ค่า c (ตันต่อตารางเมตร)	
	บ่มที่ 1 วัน	บ่มที่ 7 วัน	บ่มที่ 1 วัน	บ่มที่ 7 วัน
0	82	84	0.396	0.6
10	81	80	5.78	11.11
20	82	83	2.38	1.11
30	80	80	10.12	24.2
40	81	80	9.98	29.11

1. จากผลการทดสอบหาแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราธรรมชาติก็จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 40 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มากที่สุดในการทำการทดสอบ ซึ่งในการวิจัยในอนาคตสามารถที่จะเพิ่มส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติได้แต่ต้องคำนึงถึงวิธีการผสมด้วยและปริมาณยางพาราที่ใช้เพิ่มมากขึ้น

2. ผลการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบให้ค่ามุมที่รับแรงเฉือน (ϕ) ที่ค่า 80 – 84 องศา ของผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และมีค่าการรับกำลังแรงเฉือน ซึ่งมีอัตราการรับกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด ซึ่งผลการทดสอบที่อายุการบ่มดินตัวอย่างยิ่งมากยิ่งขึ้นจะทำให้ดินรับกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

สรุป (Conclusion)

1. สำหรับผลการทดสอบหาแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราธรรมชาติก็จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นจนถึงร้อยละ 40 แต่เนื่องจากอัตราส่วนของน้ำยางพาราธรรมชาติ ที่สูงกว่าร้อยละ 40 ของน้ำหนักน้ำนั้นไม่สามารถดึงออกจากโมลได้ และอีกประการหนึ่งคือ เมื่อทำการผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมากขึ้นทำให้การจับตัวของดินและน้ำยางเพิ่มขึ้น เนื่องจากแอมโมเนียที่รักษาคุณสมบัติของดินเป็นสารระเหย จึงทำให้น้ำยางพาราเมื่อถูกอากาศจึงทำให้ดินแห้งตัวเร็วและจับกันเป็นก้อน

2. ผลการทดสอบแรงเฉือนแบบโดยตรง (Direct Shear Test) ผลการทดสอบให้ค่ามุมที่รับแรงเฉือน (ϕ) ที่ค่า 80 – 84 องศา ของผลการทดสอบตัวอย่างดินที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน และมีค่าการรับกำลังแรงเฉือน ซึ่งมีอัตราการรับกำลังเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสม น้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด ซึ่งผลการทดสอบที่อายุการบ่มดินตัวอย่างยิ่งมากยิ่งขึ้นจะทำให้ดินรับกำลังแรงเฉือนเพิ่มขึ้นด้วย

ดังนั้นสรุปผลการทดลอง ที่ได้ทำทั้งหมดนี้ได้ว่าอัตราส่วนผสมและระยะเวลาการบ่มตัวอย่างที่ดีที่สุด และสามารถนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดินได้ ในสภาพความเป็นจริง คือ ส่วนผสมน้ำยางพาราธรรมชาติต่อน้ำหนักน้ำสะอาด เท่ากับร้อยละ 40 ที่ระยะเวลาการบ่มตัวที่ 7 วัน

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบนี้ใช้น้ำยางพาราธรรมชาติรักษาสภาพแบบแอมโมเนียสูง ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ใช้ส่วนผสมแอมโมเนียโซลูชันร้อยละ 25 ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติ 1 : 10 ของน้ำหนักน้ำยางพาราสด หากผู้ที่จะทำการทดสอบต่อ อาจเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมแอมโมเนีย เพื่อที่สามารถปรับอัตราส่วนผสมของดินและน้ำยางพาราธรรมชาติให้สูงมากกว่าร้อยละ 40 ได้

2. ในงานวิจัยนี้หากให้เกิดความสมบูรณ์ควรทำการทดสอบเพิ่มเติม เช่น การทดสอบ C.B.R การทดสอบการซึมได้ของน้ำ (Permeability Test) การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) และการทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test) เป็นต้น

3. งานวิจัยนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการปรับปรุงดินโดยเลือกใช้สำหรับดิน SM-SC ที่มีปัญหาในการรับกำลังของดินเท่านั้น

คำขอบคุณ (Acknowledgements)

ขอขอบคุณ สกว . ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา (SPR) ประจำปี 2551 สำหรับเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัยทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2551. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติ ด้านการรับกำลังและเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ -อบไอน้ำ วิทยายางพารา เล่ม 3 โครงการงานวิจัยแห่งชาติ : ยางพาราอุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.)
- [2] พงศกร พรพรรณรัตนศิลป์. 2549. งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบเพื่องานวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [3] นายบรรชา เงินวง, นายพงษ์สยาม ไสมาบุตร, นายพรชนก วิรัตน์ธรรม, และ นายมานิตย์ จันนาคา.2550. การปรับปรุงสมบัติของอิฐดินเหนียวด้วยน้ำยางธรรมชาติ . ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [4] นายวัชรินทร์ กาสลัก, และนายศิริชัย ห่วงจริง. 2548. งานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบขอนแก่นโดยยางธรรมชาติ เพื่องานการทาง (The Stabilization of Loess by Means of NaturalRubber) ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [5] นายปรเมศร์ สุวรรณ ชื่น, นายรัฐภูมิ เหมะธูลิน ,นายอภิชาติ โกษิตกุลพร และนายทรงพล อมฤตสกุล 2547. พฤติกรรมของดินลมหอบที่ปรับปรุงคุณภาพโดยปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยและเถ้าแกลบที่ได้จากการทดสอบวิธีแรงอัดสามแกน ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [6] นายโชคก สันติสวัสดิ์ , นายศรัณย์ ทิพวงศ์ , และนายศุภชัย เอี้ยวชัยพิชิตกุล 2545. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวด้วยปูนสำหรับงานพื้นทาง (กรณีศึกษา ถนนสาย 3117 บริเวณคลองด่าน – บางบ่อ จ.สมุทรปราการ) ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [7] นายกิตติภฏ ลิมนวัสส์ , นายวิชาญ คงสุวรรณกร , และนายยุทธพงษ์จินดาสวัสดิ์ 2544. การปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวด้วยปูนซีเมนต์สำหรับงานพื้นทาง ปรินูญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [8] นายวัฒนา มกรโรจน์ฤทธิ์ 2546. การปรับปรุงคุณภาพดินด้ายเสา ดินซีเมนต์สำหรับดินเหนียวและทรายปนดินเหนียว วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่