การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ
Improving Properties of Lateritic Soil with Natural Rubber Latex

สุทธิชัย เจริญกิจ
Suttichai Charoenkij

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University
2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ
Improving Properties of Lateritic Soil with Natural Rubber Latex

สุทธิชัย เจริญกิจ
Suttichai Charoenkij

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University
2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ
ผู้เขียน นายสุทธิชัย เจริญกิจ
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สราวุธ จริตงาม)

คณะกรรมการสอบ

....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. พิชัย ธานีรณานนท์)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สราวุธ จริตงาม)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดนุพล ตันนโยภาส)

....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อรกมล วังอภิสิทธิ์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

....
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ..
(รองศาสตราจารย์ ดร. สราวุธ จริตงาม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ..
(นายสุทธิชัย เจริญกิจ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ...
(นายสุทธิชัย เจริญกิจ)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ
ผู้เขียน นายสุทธิชัย เจริญกิจ
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยยางพาราธรรมชาติชนิดน้ำยางข้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังที่ผสมกับน้ำยางพารา อัตราส่วนและวิธีการผสมที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานก่อสร้างถนน และศึกษาความคุ้มค่าในการนำไปใช้งานจริงต่อไป ซึ่งน้ำยางพาราข้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีเนื้อยางพารา 60% ผสมกับน้ำและส่วนประกอบอื่นๆ 40% โดยขั้นตอนแรกจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังเพื่อทราบถึงประเภทและคุณสมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าดินตัวอย่างเป็นทรายปนตะกอนทราย (SM) จากนั้นทำการทดสอบค่าซีบีอาร์ และกำลังรับแรงอัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดสอบเป็น 2 ชุดการทดสอบคือ การทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 0 วัน และที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำยางพาราที่ 5, 10, 15 และ 20% ของน้ำหนักก้อนตัวอย่าง โดยจะมีเนื้อยางแห้งประมาณ 150, 300, 450 และ 600 กรัม ตามลำดับ ต่อก้อนตัวอย่างน้ำหนัก 5 กิโลกรัม จากผลการทดสอบพบว่า ค่าซีบีอาร์จะมีค่าสูงที่สุดเมื่อผสมน้ำยางพารา 10% โดยค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำมีค่าสูงสุดที่ 57.7 และส่วนของค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำสูงสุดที่ 86.4 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน โดยการบ่มก้อนตัวอย่างจะทำให้ค่าซีบีอาร์น้อยกว่าการทดสอบโดยไม่บ่มก้อนตัวอย่าง เนื่องจากช่องว่างอากาศของก้อนตัวอย่างที่เกิดขึ้นในระหว่างการบ่มทำให้ก้อนตัวอย่างเกิดการทรุดตัวเพิ่มขึ้นเมื่อทำการแช่น้ำ สำหรับผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดพบว่า กำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางพาราโดยค่าสูงสุดอยู่ที่ 365.84 kg/cm^2 ที่น้ำยางพารา 20% ระยะเวลาบ่ม 7 วัน และความคุ้มค่าของการใช้น้ำยางพาราในงานก่อสร้างถนนนั้นพบว่า ราคาน้ำยางพาราต้องต่ำกว่ากิโลกรัมละ 50 บาท ที่อัตราการใช้น้ำยางพารา 10%

คำหลัก : น้ำยางพาราธรรมชาติ, ดินลูกรัง, การปรับปรุงคุณสมบัติดิน, ถนนยางพารา

Thesis Title Improving Engineering Properties of Lateritic Soil with Natural Rubber Latex
Author Mr. Suttichai Charoenkij
Major Program Civil Engineering
Academic Year 2017

Abstract

This research illustrates the engineering property of lateritic soil which has been improved by natural rubber latex. The objectives of this research are to study the property of lateritic soil mixed with Natural Rubber Latex, to find out the appropriate ratio and procedure that match construction work and to study the worthiness for practical usage. The Natural Rubber Latex which has been chosen for this study consisted of solid content for 60 percent and 40 percent of liquid and other content. Firstly, the lateritic soil was tested the index to identify the classification of the sample which was found to be the Sandy silt soil Classification (SM). Then the CBR test and Unconfined Compression Strength test were done to compare strength of the soil as the ratio of the latex is change. In this study, the test is divided into two sets. The former is to test at the incubation of zero-day duration and the latter is seven-day duration. The study was test at the ratio of the latex of 5, 10, 15 and 20 percent of the sample's weight and the latex consisted of dry solid content for approximately 150, 300, 450 and 600 grams respectively per the five-kilogram sample. Study showed that CBR value was at the highest when mixing the latex at the ratio of 10 percent with the highest CBR value of 57.7 as soaked. For this test, incubating the sample before the test would cause the CBR value to be less than without incubating because the air gap occurring during the incubation causing the sample to shrink more when soaked. The highest CBR value of unsoaked was at 86.4 at the seven-day incubation. After the compression test was done, it was found that the compression strength was increase as the latex increased with the highest value of 365.84/cm^2 at the latex ratio of 20 percent for the seven-day incubation. The worthiness of latex usage for the construction work, at the moment of usage, the cost of latex should not further than 50 Baht at ten-percent ratio of usage.

Keyword: Natural Rubber Latex, Lateritic Soils, Soil Improvement, Modified Pavement

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ จริตงาม อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. พิชัย ธานีรณานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห รองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโยภาส และ ดร.อรกมล วังอภิสิทธิ์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจ ทั้งในเชิงวิชาการและกระบวนการต่าง ๆ มากขึ้น รวมถึงการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากความเอาใจใส่

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ ระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2559

ขอขอบพระคุณ คุณสุพิศ นนทะสร เจ้าหน้าที่สำนักงานประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่อำนวยความสะดวกในการจัดส่งเอกสารต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบพระคุณ คุณพลวัต คงสม เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่อำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในการทดสอบวัสดุในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.โอภาส สมใจนึก ผู้อำนวยการศูนย์วิเคราะห์วิจัย สำนักทางหลวงที่ 18 กรมทางหลวง สงขลา ที่อำนวยความสะดวกในการทดสอบวัสดุและความอนุเคราะห์วัสดุอุปกรณ์ในการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่น้องและผองเพื่อนปริญญาโททุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์และเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครูอาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ได้ให้การอบรม สั่งสอน ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถมาสู่อีกจุดสำเร็จหนึ่งของชีวิตได้

ท้ายที่สุดผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่มอบความรัก อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา ให้การช่วยเหลือด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ทำให้การศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุทธิชัย เจริญกิจ

สารบัญ

บทคัดย่อ **5**
กิตติกรรมประกาศ **7**
สารบัญ **8**
บทที่ 1 บทนำ **1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
บทที่ 2 .... **3**
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 4
2.2 มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย 15
2.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าอัตราตอบแทนต่อต้นทุน 21
2.4 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย **26**
3.1 กรอบการดำเนินงานวิจัย 26
3.2 การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น 28
3.3 การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ 28
3.4 การทดสอบ 28
บทที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติดินลูกรังปรับปรุงด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ **32**
4.1 ผลการทดสอบการหาขนาดคละแบบล้างผ่านตะแกรง 33
4.2 ผลการทดสอบขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก 34
4.3 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน 35
4.4 ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์ 36
4.5 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด 46
4.6 ผลการทดสอบการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด 50
4.7 ผลการศึกษาความคุ้มค่าในการใช้น้ำยางในงานทาง 51
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ **54**
5.1 สรุปผลการศึกษา 54
5.2 ข้อเสนอแนะ 56
บรรณานุกรม **57**
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง **59**
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก **62**
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบการบดอัดมาตรฐาน **64**
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำ **67**
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ **78**
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบการต้านทานแรงเฉือน **89**

บทความงานวิจัยเรื่องที่ 1 .... **100**
บทความงานวิจัยเรื่องที่ 2 .... **108**
ประวัติผู้เขียน... **119**

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ถนนถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญในระบบคมนาคมและเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาประเทศทั้งด้านการขนส่งคน และการขนส่งสินค้า จึงจำเป็นที่จะต้องมีความสามารถเพียงพอที่จะรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ซึ่งในการใช้งานถนนนั้นย่อมก่อให้เกิดความเสียหายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ไม่ว่าจะเป็นความเสียหายตามอายุการใช้งานหรือการใช้งานถนนเกิดขีดจำกัด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับการซ่อมแซม ปรับปรุง หรือก่อสร้างใหม่เพื่อให้ถนนมีสภาพที่พร้อมใช้งานอยู่เสมอ โดยในปัจจุบันผิวทางของถนนแบ่งเป็นสองชนิด ได้แก่ ผิวทางแบบแข็ง (Rigid Pavement) หรือผิวทางคอนกรีต เป็นผิวทางที่ใช้คอนกรีตเป็นวัสดุซึ่งมีความคงทนแต่มีราคาในการก่อสร้างที่สูง และผิวทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) หรือผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นผิวทางที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง มีราคาในการก่อสร้างที่ต่ำกว่าแต่มีความทนทานและอายุการใช้งานที่น้อยกว่าผิวทางแบบแข็ง โดยส่วนประกอบของถนนประกอบด้วยส่วนที่เป็นผิวทางตามที่ได้กล่าวมาซึ่งจะทำการก่อสร้างบนดินที่มีการออกแบบความหนาและทำการบดอัดตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง ซึ่งโครงสร้างชั้นทางจะประกอบไปด้วยชั้นดินเดิม (Subgrade) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) ชั้นพื้นทาง (Base Course) และผิวทาง (Surface Course) ซึ่งเป็นได้ทั้งผิวทางแบบยืดหยุ่นและผิวทางแบบแข็ง

ซึ่งไม่ว่าจะเป็นผิวทางประเภทใดก็ตามจำเป็นจะต้องทำการก่อสร้างบนดินชั้นพื้นทางทั้งสิ้น ดินจึงจัดเป็นวัสดุที่สำคัญอย่างมากในงานก่อสร้างทุกประเภท ในการออกแบบเพื่อนำดินมาใช้งานนั้น ดินจะถูกกำหนดคุณสมบัติด้วยค่าซีบีอาร์ *(CBR)* ซึ่งค่าการนำดินไปใช้งานนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าซีบีอาร์ดังแสดงในตารางที่ 1.1 ซึ่งดินนั้นเป็นวัสดุซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ในการก่อสร้างทางนั้นได้มีการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุตามมาตรฐานกรมทางหลวงให้มีคุณภาพเหมาะสมแก่การนำมาก่อสร้างในงานทาง แต่ถึงอย่างไรก็ตามการคัดเลือกวัสดุให้มีความเหมาะสมแก่งานในบางพื้นที่นั้นยังทำได้ยาก อาจจำเป็นต้องมีการขนส่งจากแหล่งวัสดุที่อยู่ห่างออกไปก่อให้เกิดต้นทุนการก่อสร้างที่สูงขึ้น ซึ่งการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุงานทางอาจสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้ โดยการใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นหรือพื้นที่ใกล้เคียงพื้นที่ก่อสร้างแล้วนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุผสมเพิ่มชนิดต่างๆ

ตารางที่ 1-1 ความสัมพันธ์ของค่าซีบีอาร์*(CBR)*และการใช้งานดิน

CBR	Engineering Properties	Implementations
0 – 3	Very Poor	Subgrade
3 – 7	Poor to Fair	Subgrade
7 – 20	Fair	Subbase
20 – 50	Good	Subbase, Base
50 – 80	Very	Base
> 80	Excellent	Good Base

ที่มา:มาตรฐานทดสอบวัสดุ กรมทางหลวง

ในปัจจุบันการใช้ยางพาราสำหรับงานทางนั้นได้เริ่มเข้ามามีบทบาทสำหรับการก่อสร้างงานทางทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศอย่างกว้างขวาง ได้มีการศึกษาการนำยางพาราผสมกับแอสฟัลต์เป็นพาราแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซึ่งผลที่ได้คือพาราแอสฟัลต์มีความทนทานมากขึ้น มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นทำสามารถให้ประหยัดงบประมาณที่ใช้สำหรับการซ่อมแซม อีกทั้งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางให้ดีขึ้นแล้วนั้นยังเป็นการส่งเสริมกระตุ้นการใช้ยางพาราที่เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศอีกทางหนึ่งอีกด้วย

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรมีการศึกษาการใช้ยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังในการก่อสร้างงานทาง เพื่อเป็นการปรับปรุงดินลูกรังที่สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ให้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างทางได้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนการก่อสร้างในการขนส่งวัสดุอีกทางหนึ่ง อีกทั้งยังทำให้ดินลูกรังที่นำมาใช้มีคุณภาพที่ดีขึ้นนำไปสู่การก่อสร้างทางที่มีคุณสมบัติดีขึ้น อายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมถนนอีกทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางพาราธรรมชาติมาเป็นวัสดุผสมเพิ่มสำหรับใช้ในงานก่อสร้างทาง โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 3 ข้อ ประกอบด้วย

1) เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่ใช้ผสมกับดินลูกรัง และคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติสำหรับการก่อสร้างทาง

2) เพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการนำน้ำยางพารามาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เนื่องจากมีปัจจัยหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และเป็นสมมุติฐานที่สำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งมาจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยอ้างอิงจากการทบทวนวรรณกรรมจากงานวิจัยที่ทำการนำเสนอและตีพิมพ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัย ดังนี้

1.3.1 ดินลูกรังตัวอย่างที่นำมาศึกษาเป็นดินลูกรังในเขตพื้นที่จังหวัดสงขลา

1.3.2 น้ำยางพาราที่นำมาใช้สำหรับการทดสอบจะใช้น้ำยางพาราแบบน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia : HA) โดยใช้ราคากลางของเดือน ธันวาคม 2559

1.3.3 ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราจากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.3.4 การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังผสมกับน้ำยางพารา เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการผสมน้ำยางพารา โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานการทดสอบวัสดุของกรมทางหลวง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการศึกษางานวิจัยการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำน้ำยางพาราธรรมชาติมาเป็นวัสดุผสมเพิ่มสำหรับใช้ในงานก่อสร้างทางประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1) ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่ใช้ผสมกับดินลูกรัง และคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพาราสำหรับการก่อสร้างทาง

2) ทราบถึงความคุ้มค่าในการนำน้ำยางพารามาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานทาง การใช้ยางพาราในงานทาง การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวัสดุผสมเพิ่ม และงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทาง การใช้วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดินลูกรัง ดังนี้

2.1.1. การใช้ยางพาราเป็นวัสดุทาง

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2442 เมื่อประเทศไทยเริ่มมีการปลูกยางพาราขึ้นเป็นครั้งแรกและมีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างกว้างขวางจนยางพาราจัดได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทย อีกทั้งประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตและส่งออกอันดับหนึ่งของโลก ส่งผลให้เกิดกิจกรรมอย่างต่อเนื่องถึงทั้งทางเศรษฐกิจ ภาคอุตสาหกรรม ภาคการตลาด ภาคเกษตรกร ผู้ประกอบการต่าง ๆ รวมถึงภาครัฐ ยางพาราจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อวิถีชีวิตและความเป็นอยู่ของเกษตรกรมากกว่าหนึ่งล้านครอบครัวในไทย ซึ่งเป็นเกษตรกรรายย่อย และเป็นสวนยางขนาดเล็กถึงร้อยละ 95 ของสวนยางทั้งประเทศ นอกจากการสร้างรายได้ที่เกิดจากการปลูกยางพาราแล้ว ยังถือเป็นการสร้างสวนป่าเศรษฐกิจของประเทศเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในการช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้สภาพแวดล้อมดีขึ้น อีกทั้งเกษตรกรผู้ปลูกยางพารายังมีความเสี่ยงน้อยกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นเนื่องจากยางพารามีอายุการให้ผลผลิตยาวนานสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้ถึงแม้ประเทศไทยจะเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่ แต่ยังเป็นการส่งออกในรูปแบบของวัตถุดิบสูงกว่าร้อยละ 85 ของปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมด จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพึ่งพาตลาดต่างประเทศ ทำให้ราคายางพาราขาดเสถียรภาพมีความผันผวน การใช้ยางพาราที่เกิดขึ้นในประเทศมีปริมาณไม่ถึงร้อยละ 15 ของการผลิต อยู่ในอุตสาหกรรมประเภท ยางรถจักรยานยนต์ หล่อดอก อะไหล่รถยนต์ รวมไปถึงการผลิตยางยืด ถุงมือยาง ยางรองทางรถไฟ เป็นต้น ทำให้ประเทศไทยต้องประสบปัญหาราคายางที่ตกต่ำ เนื่องมาจากปัจจัยทั้งด้านอุปสงค์และอุปทาน คือ การผลิตที่มากเกินไป อีกทั้งปัจจุบันมีคู่แข่งในการผลิตเพิ่มมากขึ้น และจากการขาดการใช้งานภายในประเทศ การแปรรูปของวัตถุดิบภายในประเทศเพียงร้อยละ 12 จึงเป็นแนวคิดในการนำยางพารามาใช้ประโยชน์ในงานทาง ไม่ว่าจะเป็นการใช้เป็นส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนยางสังเคราะห์ เพื่อเพิ่มมูลค่าการใช้ยางพาราในประเทศ

การใช้ยางพาราในงานผิวทางโดยการนำมาเป็นส่วนผสมกับแอสฟัลต์เพื่อใช้เป็นผิวทางนั้นเป็นวิธีการที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ได้โดยอาศัยคุณสมบัติบางอย่างของยางพารา เช่น ความคงตัวที่สูง (Stability) ความยืดหยุ่นที่ดี (Elasticity) และความสามารถในการทนความล้าได้ดี (Fatigue Resistance) เป็นตัวช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานถนน ซึ่งถือเป็นการช่วยประหยัดงบประมาณในส่วนของการซ่อมแซมถนนได้ อีกทั้งการใช้

ยางพาราสำหรับเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางนั้นยังเป็นการส่งเสริมและกระตุ้นการใช้ยางพาราในประเทศอีกทางหนึ่งอีกด้วย การส่งเสริมการใช้ยางพาราสำหรับงานทางที่ผ่านมา กรมทางหลวงได้มีการผลักดันให้นำไปใช้กับผิวทางแอสฟัลต์ 2 ประเภท คือ ผิวทางสเลอรี่ซิลและแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาง หรือเรียกว่า พาราแอสฟัลต์ ซึ่งในปีพ.ศ. 2557 ปริมาณการใช้ยางพาราเป็นส่วนประกอบสำหรับงานทางนั้น ในส่วนของผิวทางสเลอรี่ซิลมีการใช้งานคิดเป็นจำนวนเงินสูงถึง 1,440 ล้านบาท และการใช้งานในส่วนของพาราแอสฟัลต์อีกเป็นมูลค่า 592 ล้านบาท รวมทั้งสิ้น 2,032 ล้านบาท ซึ่งมีนำมาเทียบแล้วคิดเป็นเพียงร้อยละ 3.8 ของงบประมาณที่กรมทางหลวงได้รับ ซึ่งถือได้ว่ายังเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณงานทางที่เกิดขึ้นทั้งหมด นับเป็นแนวทางในการนำน้ำยางพารามาใช้ในงานทางจริงในอนาคตให้เกิดประโยชน์และส่งเสริมเศรษฐกิจต่อไป (มนตรี เดชาสกุลสม, 2556)

2.1.2 พาราแอสฟัลต์

การนำผลผลิตจากยางพาราธรรมชาติมาใช้ประโยชน์สำหรับงานทางในประเทศไทยนั้น กรมทางหลวงได้มีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์โดยสามารถแบ่งลักษณะการนำไปใช้งานได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 การใช้น้ำยางพาราเพื่อมาเป็นส่วนประกอบของแอสฟัลต์อิมัลชั่นสำหรับฉาบผิวทางพาราสเลอรี่ซิล ซึ่งกรมทางหลวงได้มีข้อกำหนดที่ ทล.-ก. 405/2538 “Specification for Elastomeric Modified Asphalt Emulsion” และอีกหนึ่งมาตรฐานคือมาตรฐานที่ ทล.-ม. 415/2546 “มาตรฐานวิธีการฉาบผิวทางแบบสเลอรี่ซิล” ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 3 ชนิด คือ ชนิดที่ 1 เป็นชนิดที่มีขนาดของหินที่ใช้ผสมละเอียด เหมาะสำหรับการใช้งานในการซ่อมแซมรอยแตก ปรับปรุงสภาพผิวทางให้หยาบได้เล็กน้อย และสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพของผิวทางเดิมจากการเกิดออกซิเดชัน ชนิดที่ 2 จะมีการใช้หินที่หยาบขึ้นจากชนิดที่ 1 เล็กน้อย จึงสามารถเพิ่มความฝืดให้ผิวทางเดิมได้มากขึ้น และชนิดที่ 3 จะเป็นชิดที่มีการใช้หินที่หยาบที่สุด สามารถเพิ่มความฝืดให้ผิวทางได้มากที่สุด ช่วยในการระบายน้ำผิวทางได้เร็วยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยได้เรื่องการปรับระดับได้เล็กน้อย ช่วยแก้ในเรื่องของ Crown Slope รวมถึงการนำไปใช้เพื่อฉาบปิดผิวทางเดิมที่หลุด (Raveling) คุณลักษณะพิเศษของการฉาบผิวทางแบบพาราสเลอรี่ซิลคือความรวดเร็วของการเปิดใช้งานการจราจรดังเดิมนั่นคือสามารถกลับไปเปิดใช้งานการจราจรได้ภายในเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมง อีกทั้งยังมีความทนทานต่อการใช้งานที่ยาวนาน เพิ่มความฝืดให้กับผิวทางเดิมที่ใช้งานมานานจนเกิดการลื่นไถลอาจเป็นสาเหตุของอุบัติเหตุ ช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ โดยกรมทางหลวงได้มีการใช้การฉาบผิวทางแบบพาราสเลอรี่ซิลมาแล้วเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 10 ปี

ประเภทที่ 2 การใช้น้ำยางพาราผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติ ซึ่งกรมทางหลวงได้เริ่มทำการศึกษามาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2545 ต่อมาในปีพ.ศ. 2555 รัฐบาลได้มีการประชุมแนวทางการเพิ่มอุปสงค์ของยางพาราในประเทศ กระทรวงคมนาคมจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อพิจารณาแนวทางการนำยางพารามาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง และบำรุงรักษาทางหลวง ทางหลวงพิเศษ และทางรถไฟ ต่อมาจึงได้มีการศึกษาทั้งในห้องปฏิบัติการและ

ภาคสนามเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 ปกติ กับแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพารา พบว่าการผสมน้ำยางพาราในแอสฟัลต์คอนกรีตนั้น ได้ผลการทดสอบ คือ ค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าเสถียรภาพที่สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ค่าโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิด AC 60/70 ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ค่าความต้านทานต่อการล้าของแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานการล้า หรือ จำนวนครั้งการกระทบ ที่ตัวอย่างสามารถรับได้จนกระทั่งเกิดความเสียหายมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่ผสมน้ำยางพาราปริมาณร้อยละ 5 มีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ค่าความต้านทานการเสียรูปแบบถาวรของแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่ผสมกับน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าการเสียรูปน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ค่าการเกิดร่องล้อโดยการใช้ตัวอย่างที่เตรียมจากส่วนผสมในห้องปฏิบัติการ มาทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบผิวทาง (Pavement Rutting Tester) พบว่าแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่ผสมกับน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีแนวโน้มของการเกิดร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่กล่าวมา กรมทางหลวงจึงได้จัดทำข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ” และอีกมาตรฐานคือมาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ”

2.1.3 ถนนแอสฟัลต์ผสมยางพารา

การใช้ยางพาราผสมกับยางมะตอยในงานถนนนั้นได้มีการทดลองมาเป็นระยะเวลานานทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการผสมผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติทั้งในรูปแบบยางแห้ง น้ำยาง และผงยาง แล้วนำไปทดลองราดถนนทำให้ถนนมีความทนทานมากขึ้น มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงถนน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศอีกด้วย แต่ในการผสมยางพาราธรรมชาติกับยางมะตอยจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆเพิ่ม ได้แก่ ค่ายางพารา โดยในปริมาณร้อยละ 5 ที่ใช้ในการราดถนนแบบผสมร้อนหนา 5 เซนติเมตร ถนนกว้าง 11 เมตร จะใช้ยางพารา 3,355 กิโลกรัม ต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร ค่าผลิตมาสเตอร์แบทซ์ โดยมีค่าใช้จ่าย 16 บาท ต่อ 1 ตารางเมตร และค่าผสมมาสเตอร์แบทซ์กับยางมะตอย จะขึ้นกับขนาดของถังต้มยางมะตอย ซึ่งเมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วการก่อสร้างถนนที่ผสมยางพาราธรรมชาติจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 – 20 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับราคาของยางพารา (ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, 2557)

2.1.4 ผลของยางพาราที่มีต่อแอสฟัลต์

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัย[6]และหลักฐานทางทฤษฎี พบว่าผลของยางพาราที่มีต่อแอสฟัลต์นั้นจะมีผลทางด้านกายภาพมากกว่าผลทางด้านเคมี โดยแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราจะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป คือ การไหลตัวที่อุณหภูมิต่ำ, การเปลี่ยนแปลงของค่า Penetration กับ

อุณหภูมิ และอุณหภูมิที่เกิดการเปราะจะลดต่ำลง แต่ค่าของอุณหภูมิที่เป็นจุดอ่อนตัว, การยืดหยุ่นตัว , ค่าการบิดตัว, ความต้านทานการเสียรูปภายใต้แรงกระทำ และการยืดตัวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

จากการทดสอบพบว่าเมื่อผสมยางแผ่นรมควันกับแอสฟัลต์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของของแอสฟัลต์ให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ AC60/70 ที่ไม่ได้ผสมกับยางพารา โดยที่คุณสมบัติ Softening Point ที่ทำการทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D 36 คือ มีค่ามากกว่าค่าการทดสอบของแอสฟัลต์ AC 60/70 แต่ในส่วนของร้อยละการหลุดลอกนั้นถือว่ามีคุณสมบัติที่ยังไม่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน เนื่องจากแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางแผ่นรมควันที่ที่ร้อยละ 10 15 และ 20 นั้น มีร้อยละการหลุดลอกที่ดีแต่เมื่อทำการดึงสามารถดึงออกได้โดยง่าย นั่นคือแอสฟัลต์ที่ผสมยางแผ่นรมควันในปริมาณที่สูงอาจมีความแข็งแรงที่ลดลงก็เป็นได้ ดังนั้นร้อยละของยางแผ่นรมควันที่ใช้เพื่อนปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ไม่ควรเกินกว่าร้อยละ 5

การผสมยางแผ่นรมควันลงในแอสฟัลต์ AC 60/70 นั้นทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานมีการพัฒนาขึ้น แต่จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการผสมที่เหมาะสม เนื่องจากหากใช้อุณหภูมิที่สูงมากจะทำให้ยางพาราแผ่นส่งกลิ่นไหม้ และหากใช้อุณหภูมิที่ต่ำในการผสมก็จะไม่สามารถทำให้ยางแผ่นละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ได้

2.1.5 มาตรฐานวัสดุที่ใช้ในงานทางของกรมทางหลวง

กรมทางหลวงได้มีการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุงานทางไว้เพื่อเป็นมาตรฐานในการคัดเลือกวัสดุเพื่อใช้สำหรับก่อสร้างทางในแต่ละส่วนดังแสดงในตารางที่ 2-1 ถึง 2-8

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ก.

การทดสอบ	**มาตรฐานในการทดสอบ**	**เกณฑ์มาตรฐาน**
การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517	มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 30
การทดสอบขีดจำกัดเหลว	ทล.-ท. 102/2515	ไม่เกินร้อยละ 40
การทดสอบดัชนีพลาสติก	ทล.-ท. 103/2515	ไม่เกินร้อยละ 20
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์	ทล.-ท.109/2517	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ที่ความหนาแน่นแห้งบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-2 มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ข.

การทดสอบ	มาตรฐานในการทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐาน
การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517	มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 35
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์	ทล.-ท.109/2517	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 6 ที่ความหนาแน่นแห้งบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
การขยายตัว	ทล.-ท.109/2517	ไม่เกินร้อยละ 3

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-3 มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

การทดสอบ	มาตรฐานในการทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐาน
การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517	มีขนาดคละขนาดใดขนาดหนึ่งตาม ตารางที่ 2-6
การทดสอบขีดจำกัดเหลว	ทล.-ท. 102/2515	ไม่เกินร้อยละ 35
การทดสอบดัชนีพลาสติก	ทล.-ท. 103/2515	ไม่เกินร้อยละ 11
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์	ทล.-ท.109/2517	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ความหนาแน่นแห้งบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-4 มาตรฐานชั้นหินคลุกรองถนนคอนกรีต

การทดสอบ	มาตรฐานในการทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐาน
การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517	มีขนาดคละขนาดใดขนาดหนึ่งตามที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ตารางที่ 2-7
การทดสอบขีดจำกัดเหลว	ทล.-ท. 102/2515	ไม่เกินร้อยละ 25
การทดสอบดัชนีพลาสติก	ทล.-ท. 103/2515	ไม่เกินร้อยละ 6
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์	ทล.-ท.109/2517	ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ที่ความหนาแน่นแห้งบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-5 มาตรฐานพื้นทางหินคลุก

การทดสอบ	มาตรฐานในการทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐาน
การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517	มีขนาดคละขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 2-8
การทดสอบขีดจำกัดเหลว	ทล.-ท. 102/2515	ไม่เกินร้อยละ 25
การทดสอบดัชนีพลาสติก	ทล.-ท. 103/2515	ไม่เกินร้อยละ 6
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์	ทล.-ท.109/2517	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแอสฟัลต์ ที่ความหนาแน่นแห้งบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-6 ขนาดคละของรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	เบอร์ตะแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
		A	B	C	D	E
50.0	2”	100	100	-	-	-
25.0	1”	-	-	100	100	100
9.50	3/8”	30 – 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-
2.00	10	15 – 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 – 100
0.425	40	8 – 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 – 50
0.075	200	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-7 ขนาดคละของวัสดุหินคลุกที่ใช้รองถนนคอนกรีต

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	เบอร์ตะแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล		
		A	B	C
50.0	2”	100	100	-
25.0	1”	-	75 - 100	100
9.50	3/8”	30 – 65	40 - 75	50 - 85
4.75	4	25 - 55	30 - 60	35 – 65
2.00	10	15 – 40	20 - 45	25 - 50
0.425	40	8 – 20	15 - 30	15 - 30
0.075	200	2 - 8	5 - 15	5 - 15

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

ตารางที่ 2-8 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	**เบอร์ตะแกรง**	**ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล**	
		A	B
50.0	2”	100	100
25.0	1”	-	75 – 95
9.50	3/8”	30 – 65	40 - 75
4.75	4	25 - 55	30 - 60
2.00	10	15 – 40	20 - 45
0.425	40	8 – 20	15 - 30
0.075	200	2 - 8	5 - 20

ที่มา: กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

2.2 มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

1) การทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 421-85, ASTM D 422-63 โดยใช้การทดสอบแบบเปียกตัวอย่างละหนึ่งชุดการทดสอบ

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ

2. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม และเครื่องเขย่าตะแกรง

3. ถาด ค้อนยาง และแปรงทำความสะอาดตะแกรงร่อน

4. เตาอบที่สามารถควบคุมความร้อนต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °

- วิธีการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ไปชั่งปริมาณ 1,500 กรัม แช่น้ำทิ้งไว้หนึ่งคืนแล้วนำมาล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

2. ทำความสะอาดตะแกรงทุกอันรวมทั้งถาดที่จะใช้และชั่งน้ำหนักตะแกรงทุกอัน แล้วบันทึกผล

3. เรียงตะแกรงจากช่องตะแกรงขนาดใหญ่สุดอยู่ชั้นบนและชั้นล่างสุดเป็นถาด

4. เทตัวอย่างดินผ่านชุดตะแกรง ปิดฝานำเข้าเครื่องเขย่าเป็นเวลาประมาณ 10 นาที

5. หลังเขย่าเสร็จให้ชั่งน้ำหนักของตะแกรงรวมกับดิน

6. คำนวณหาร้อยละที่ผ่าน (%Finer) แล้วทำการเขียนกราฟแสดงการกระจายขนาดของเม็ดดิน

2) การทดสอบขีดจำกัดเหลว

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4318-00 โดยทำการทดสอบตัวอย่างละสองชุดการทดสอบ โดยขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์กประกอบด้วยขัดจำกัดเหลว(Liquid Limit) และขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit)

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบพิกัดเหลว, อุปกรณ์ตัดร่อง, ตัววัดระยะตกกระทบ

2. ตาชั่ง, ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม

3. เตาอบ, ตะแกรงเบอร์ 40

4. กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

5. เครื่องมือผสมดิน เช่น ถ้วยกระเบื้อง, มีดปาดดิน, ขวดฉีดน้ำ , ถาด , ช้อน

- วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างดินที่แห้งในอากาศ ประมาณ 150 - 200 กรัม

2. ปรับระยะตกกระทบของเครื่องทดสอบให้ได้ระยะเท่ากับ 10 มม.

3. ผสมตัวอย่างดินกับน้ำ แผ่นบนกระจก ให้มีเนื้อดินเป็นเนื้อเดียวกัน

4. ตักดินพอประมาณใส่ในถ้วยทองเหลืองปาดหน้าให้เรียบ

5. หมุนเครื่องหาพิกัดเหลว 2 ครั้งต่อวินาที หยุดเมื่อดินเคลื่อนตัวมาบรรจบกันเป็นระยะยาวประมาณ 13 มม. บันทึกจำนวนครั้งที่เคาะ (N)

6. ใช้มีดผสมดินตักดินในถ้วยทองเหลืองบริเวณที่ดินชนกันประมาณ 40 กรัม ใส่ในกระป๋องเก็บตัวอย่างดินชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปหาปริมาณความชื้น

7. ทำซ้ำในข้อ 3 ถึงข้อ 4 โดยเพิ่มน้ำลงในตัวอย่างดิน จนได้ค่าของการทดสอบประมาณ 4 - 5 ค่า และจำนวนครั้งที่ตกกระทบอยู่ระหว่าง 15 - 45 ครั้ง

8. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (w_n) กับจำนวนตกกระทบ (N) บนกราฟ Semi logarithmic Scale ซึ่งก็คือค่าความชื้น ที่จำนวนตกกระทบเท่ากับ 25 ครั้ง

3) การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แผ่นกระจกสำหรับคลึงดินในการทดสอบ

2. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม

3. เตาอบ

4. ตะแกรงเบอร์ 40

5. กระป๋องอบตัวอย่างดิน

6. เครื่องมือผสมดิน เช่น ถ้วยกระเบื้อง, มีดปาดดิน, ขวดฉีดน้ำ

- วิธีการทดสอบ

1. ใช้ดินแห้งซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ที่ได้เตรียมไว้ ประมาณ 20 - 30 กรัม เติมน้ำกลั่นเล็กน้อยคลุกให้เข้ากัน แบ่งออกมาประมาณ 1.5-2 กรัม ทำการบีบนวด และขึ้นรูปดินให้มีลักษณะกลมรี

2. ปั้นคลึงดินบนแผ่นกระจกให้เป็นเส้นตลอดความยาว โดยคลึงค่อยๆ ไปมา จนกระทั่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที แต่ถ้ายังสามารถปั้นเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3 มิลลิเมตร แสดงว่าดินยังมีความชื้นอยู่

3. หักเส้นดินออกเป็นท่อนๆ ทำการปั้นคลึงใหม่ โดยจะหยุดก็ต่อเมื่อเส้นดินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 มม. และมีรอยแตกประมาณ 6-8 จุด และไม่สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3 ม.ม. ได้ สถานะความชื้นของดินนี้อยู่ในช่วงพิกัดพลาสติก

4. ให้นำดินใส่กระป๋อง ชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำเข้าเตาอบเพื่ออบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

4) การทดสอบการบดอัด

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 698-00, ASTM D 1557-00 โดยทดสอบแบบ การทดสอบ Compaction Testโดยทั่วไปมีวิธีการทดสอบ 2 แบบ คือ Standard Proctor และ Modified Proctor ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Modified Proctor ตามมาตรฐานการออกแบบทางของกรมทางหลวง

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แบบ (Mold) โดยวิธีแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) แบบจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว (101.6 มม.) สูง 4.58 นิ้ว (116.8 มม.) และต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูง 2 นิ้ว (50.8 มม.)

2. ลูกตุ้ม (Hammer) ทำด้วยโลหะ

3. เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder)

4. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม

5. เตาอบ

6. เหล็กปาด (Straight Edge)

7. ตะแกรงร่อนดินขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) และ 47.5 มม. (No.4)

8. เครื่องมืออื่น ๆ เช่น ถาด พลั่วตักดิน แผ่นเหล็ก เลื่อย ค้อน ถ้วยวัดปริมาตรน้ำ

9. กระป๋องอบตัวอย่างดิน

- วิธีการทดสอบ

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของแบบ พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของแบบ

2. ชั่งน้ำหนักของแบบ

3. ชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กก. ผสมน้ำลงไปร้อยละ 3 - 4 คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ ความชื้นของดินสม่ำเสมอกันตลอด

4. ตักดินใส่ในแบบที่ประกอบปลอก และแผ่นฐาน (base plate) แล้วกะแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 3 ชั้นเท่าๆ กัน เมื่อบดอัดเสร็จแล้ว ขั้นสุดท้ายให้เหลือพ้นส่วนบนของแบบเล็กน้อยประมาณ 1-2 ซ.ม.

5. ใช้ลูกตุ้มบดอัดดินในแบบในแต่ละชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และต้องพยายาม บดอัด ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอด ขณะบดอัด ตัวแบบจะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง

6. เมื่อบดอัดครบจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกของแบบออก ใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปากแบบออก และอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปากแบบ ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอกแบบแล้วถอดแผ่นฐานออก นำไปชั่งหาน้ำหนักดินใน แบบให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

7. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากแบบแล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่านี้อย่างน้อย 100 กรัม ไปชั่งน้ำหนักและเข้าอบในเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

8. เอาตัวอย่างที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 4 กก. แล้วผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณร้อยละ 3 คลุกเคล้ากันให้ทั่วสม่ำเสมอ แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึง 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน แบบที่ชั่งได้ครั้งสุดท้ายลดลง และอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

5) การทดสอบหาค่าซีบีอาร์

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1883-99 ใช้การทดสอบแบบวิธี Standard Proctor โดยทดสอบแบบไม่แช่น้ำ 6 ตัวอย่าง และนำมาทดสอบแบบแช่น้ำอีก 3 ตัวอย่าง โดยเตรียมตัวอย่าง

ดิน ด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quatering) จากนั้นร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และนำดินผ่านเบอร์ 3/4" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 จำนวนเท่ากันมาผสม

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แบบหล่อดิน (Mold) สำหรับเตรียมตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว (15.2 ซม.) x สูง 7 นิ้ว พร้อม วงเหล็กเสริม (Collar) สูงประมาณ 2 นิ้ว และแผ่นฐานเจาะรู โดยตัวแบบหล่อดินสามารถยึดเข้ากับแผ่นฐานได้ทั้งสองปลาย แผ่นฐานเจาะรูทั่วแผ่นแผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) แผ่นเหล็กกลมทำจากโลหะ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว x สูง 2.4 นิ้ว ด้านหนึ่งเจาะรูมีเกลียวสำหรับใช้มือสกรูดึงแผ่นออกจากแบบหล่อดิน ถ้าติด (ใช้รองเมื่อบดอัดดิน ในแบบหล่อดินซีบีอาร์)

2. ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) ขนาด 5.5 ปอนด์ ระยะตก 12 นิ้ว สำหรับการบดอัดมาตรฐานและ ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) ขนาด 10 ปอนด์ ระยะตก 18 นิ้ว สำหรับการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน

3. ขวดบีบน้ำ ขนาด 500 ซม^3

4. ถาดผสมวัสดุ

5. เหล็กปาดสันตรง

6. กระบอกตวงน้ำ

7. เครื่องดันตัวอย่างดิน

8. กระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม.

9. เครื่องมือหาความชื้นของดินทั่วไป (ตู้อบดิน และกระป๋องใส่ดิน)

10. เครื่องกดทดสอบ (Loading Device) หมุนด้วยมือหรือแบบไฟฟ้า ขนาด 10,000 ปอนด์

11. เหล็กแท่งกด (Penetration Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3.0 ตารางนิ้ว ยาว 4 นิ้ว ต่อเข้ากับส่วนล่างของวงวัดแรง

12. วงแหวนวัดแรงติดกับแผ่นประกับบนของเครื่องกด อยู่ในแนวดิ่งขนาด 2,000 ปอนด์ สำหรับดินอ่อน 6,000 ปอนด์ สำหรับดินแข็ง

13. มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) สำหรับวัดค่ายุบตัว ขนาด 1.0 นิ้ว อ่านละเอียด 0.001 นิ้ว

14. ที่ยึดมาตรหน้าปัด สำหรับยึดมาตรหน้าปัด ติดกับส่วนล่างของวงแหวนวัดแรง หรือแท่งเหล็กกดการเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ

- วิธีการทดสอบ

1. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. และให้แบ่งดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัมเพื่อนำไปหาความชื้น

2. เตรียมแบบหล่อดิน 2 ชุด ชั่งน้ำหนักแบบหล่อดินไม่รวมแผ่นเหล็กฐาน (Base Plate)

3. ประกอบ แบบหล่อดินเข้ากับแผ่นเหล็กฐาน และแผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) ใส่ลงในแบบหล่อ และวางกระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ลงบนแผ่นเหล็กรอง

4. บดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของดิน (Optimum Moisture Content) ± 2%

5. หลังจากบดอัดดิน แบบสูงกว่ามาตรฐาน ครบตามจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้ว ถอดวงเหล็กเสริมออก ใช้เหล็กปาดสันตรงปาดดินให้เรียบเสมอปากแบบหล่อดิน

6. แผ่นเหล็กฐานและแผ่นเหล็กรองออกต่อมานำแบบหล่อดินไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาคาความหนาแน่นเปียก

7. เอากระดาษกรองวางบนแผ่นเหล็กฐานและพลิกแบบหล่อดิน กลับด้านบนเป็นด้านล่าง แล้ววางลงบนแผ่นเหล็กฐานยึดให้แน่น

8. วางแผ่นน้ำหนักอย่างน้อย 10 ปอนด์ลงบนตัวอย่างดินในแบบหล่อดิน

9. จัดวางแบบหล่อดินพร้อมตัวอย่างดินเข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีเหล็กแท่งกดติดอยู่ ให้ผิวหน้าของตัวอย่างดินในแบบหล่อดิน แตะสัมผัสกับเหล็กแท่งกดจากนั้นจัดมาตรหน้าปัดที่จะวัดค่าการยุบตัวให้อยู่ที่ศูนย์

10. ให้น้ำหนักในอัตรา 0.05 นิ้ว/นาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักกด สอดคล้องกับระยะยุบตัวบนตัวอย่างดิน บดอัด ที่ 0.0, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 นิ้ว

11. ถอดแบบหล่อดินออกจากเครื่องกดทดสอบ และเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม สำหรับดินเม็ดละเอียด และประมาณ 500 กรัม สำหรับดินเม็ดหยาบ นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น

6) การทดสอบหาค่าการต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2166-00 โดยทำการทดสอบ 3 ชุดการทดสอบที่อัตราส่วนต่างๆ และวิธีการผสมที่ต่างกัน ทั้งหมด 15 ตัวอย่าง

- เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบ Unconfined Compression Test

2. Dial Gauge และ Proving Ring

3. อุปกรณ์วัด และแต่งก้อนตัวอย่าง

4. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.01g

- วิธีการทดสอบ

1. แต่งก้อนตัวอย่างให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. และความสูง 100 มม. ด้วยเลื่อยตัดดิน

2. จดบันทึกขนาด ความสูง และน้ำหนักของก้อนดินตัวอย่าง จากนั้นนำเข้าเครื่องทดสอบ

3. ปรับแผ่นบนของเครื่องให้สัมผัสกับดินพอดี พร้อมติดตั้งมาตรวัดการเสียรูป

4. เพิ่มน้ำหนักด้วยอัตราร้อยละ 0.5 – 2 ต่อนาที จดบันทึกน้ำหนักจาก Proving Ring และความเครียดจนกระทั่งก้อนดินพิบัติ

5. จดบันทึกลักษณะการพิบัติ และนำตัวอย่างดินไปอบเพื่อหาปริมาณความชื้น

7) การทดสอบการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาวัสดุในระดับจุลภาคซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก โดยกำลังความสามารถของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดามีค่าต่ำ ใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จน ถึงระดับมากกว่า100000 เท่า รวมทั้งสามารถตรวจหาสิ่งผิดปกติบนชิ้นงาน วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุในวัสดุ และแสดงแผนภาพการกระจายของธาตุชนิดต่างๆ ในวัสดุ ใช้วิเคราะห์ในตัวอย่างประเภทวัสดุต่างๆ

2.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าอัตราตอบแทนต่อต้นทุน

อัตราตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio, B/C) เป็นตัวบ่งชี้ทางเศรษฐกิจตัวหนึ่งที่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลาย เพื่อใช้ประเมินความเหมาะสมแก่การลงทุนในแต่ละโครงการ ซึ่งมูลค่าของผลประโยชน์ที่ได้เมื่อหักลบแล้วควรมีค่ามากกว่ามูลค่าค่าใช้จ่ายโครงการจึงจะมีความเหมาะสมสำหรับลงทุน ทั้งนี้ในการก่อสร้างโครงการต่าง ๆ แล้ว ควรใช้ตัวบ่งชี้อื่น ๆ ร่วมด้วยสำหรับพิจารณา ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวบ่งชี้เพียงตัวเดียวเนื่องจากในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการก่อสร้างจริง จึงมีข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ที่ไม่ครบถ้วน โดยอัตราตอบแทนต้นทุนพิจารณาจากสมการต่อไปนี้

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

เมื่อ BCR = อัตราผลตอบแทนต่อต้นทุน

B_t = ผลตอบแทนในปีที่ t

C_t = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในปีที่ t

T = ปี

N = อายุโครงการ

I = อัตราส่วนลดหรือค่าเสียโอกาศ

2.4 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากที่กล่าวมาข้างต้นปัญหาการใช้ยางพาราในงานทางเป็นปัญหาที่มีการทำการศึกษาและพัฒนาอยู่ในขณะนี้อย่างต่อเนื่อง เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราซึ่งเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญและส่งผลต่อวิถีชีวิตของเกษตรกรในภาคใต้ของไทย และยังเป็นการพัฒนาวัสดุทางให้สามารถตอบสนองการใช้งานที่ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างการศึกษาที่ผ่านมาได้แก่ การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติดินลูกรังผสมด้วยปูนซีเมนต์และน้ำยางพารา (ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย, 2556) แนวทางการใช้ยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติยางมะตอย (ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, 2557) การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานที่ปรับปรุงด้วยยางพาราธรรมชาติทั้งชนิดยางแผ่นและน้ำยาง (กฤษณ์ เจ็ดวรรณ และคณะ, 2558) ซึ่งได้มีนักวิจัยนำเสนอผลการปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยวัสดุผสมเพิ่มจากธรรมชาติต่างๆ ได้แก่

Aditya Kumar Anupam และคณะ (2551) มีการศึกษาการใช้การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากโรงงานในการก่อสร้างทาง โดยจุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยคือการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากโรงงานใช้เป็นสารผสมเพิ่มกับดิน และลดจำนวนชั้นของโครงสร้างทาง โดยในงานวิจัยได้มีการใช้เถ้าลอย แกลบ ผสมกับเถ้าชานอ้อยและเถ้าฟางข้าว ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 – 35 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ผลปรากฏว่าที่อัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ, ขีดจำกัดการยืดหด, ปริมาณน้ำเหมาะสม และค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างที่บ่มไว้ 28 วัน ที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้พบว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากโรงงานนั้นสามารถใช้เป็นวัสดุสำหรับปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางได้

ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยางพารา เพื่อนำไปใช้กับการดาดผนังสระน้ำลดการรั่วซึมต้านภัยแล้ง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากับตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ น้ำและน้ำยางพารา โดยทำการผสมน้ำยางพาราร้อยละ 5, 7.5, 10 และ 12.5 โดยปริมาตรของน้ำที่ใช้ผสมกับซีเมนต์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7 และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น การดูดซึมของน้ำ และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Strength) ซึ่งหลังจากทำการทดสอบพบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5 สามารถทำให้ได้ค่าการทดสอบที่ดีที่สุดที่อายุการบ่ม 28 วัน

ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และคณะ (2557) ได้กล่าวถึงการใช้ยางพาราผสมกับยางมะตอยในงานทางว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ปรับปรุงสมบัติยางมะตอยให้ดีขึ้น โดยอาศัยสมบัติบางประการที่เป็นข้อดีของยางธรรมชาติ เช่น ความคงตัวสูง ความยืดหยุ่นดี และการทนความล้าที่ดี เพื่อเสริมคุณสมบัติให้กับยางมะตอยทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานถนนและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศอีกทางหนึ่ง ซึ่งการใช้ยางพาราผสมกับยางมะตอยที่อัตรสส่วนร้อยละ 5 ของเนื้อยางแห้งต่อน้ำหนักยางมะตอย ทำให้ค่าการคืนตัวกลับ, ความหนืด, ความเหนียว และดัชนีเพเนเทรชันที่สูงขึ้น อีกทั้งค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นก็ยังอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความปัญหาในการผสม แต่จำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือในการผสมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยได้เคยมีการทดลองใช้แอสฟัลต์พาราในการก่อสร้างถนนแปลงทดลองขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2544 และได้ทำ

การเก็บข้อมูลด้านความคงทนทุก ๆ ปีเพื่อเปรียบเทียบความคงทนกับถนนที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปกติ โดยผลการทดสอบปรากฏว่าถนนที่ใช้แอสฟัลต์พารามีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนนที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปกติ

สราวุธ จริตงาม และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างทางโดยได้ทำการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุจากค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว ซึ่งจากการศึกษาพบว่าดินลูกรังเพียงบางแห่งเท่านั้นที่สามารถนำไปใช้สำหรับเป็นวัสดุสำหรับงานก่อสร้างทางถนนตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง โดยดินตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ที่นำมาทดสอบจากจังหวัดสงขลานั้นต้องใช้ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และดินตัวอย่างจากจังหวัดขอนแก่นใช้ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 3 จึงจะได้ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวที่เหมาะสม

ปัณณวัฒน์ ปรียานนท์ และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้สารผสมเพิ่ม 2 ชนิด คือ ยางพาราและผงยางรถยนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 5 จากผลการวิจัยพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ผสมเศษยางรถยนต์มีค่ามากกว่าแอสฟัลต์ผสมยางพารา และแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางพาราให้ค่าเพเนเทรชั่นและค่าความอ่อนตัวที่มากกว่าแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ หลังจากการทดสอบ Marshall พบว่าค่า Stability ของแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางรถยนต์ ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ในส่วนของค่า Flow แอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักจะให้ค่าที่สูงกว่าแอสฟัลต์ AC 60/70 ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 5 นั้นยังคงให้ค่ากำลังรับแรงอัด ค่า E_{eq} หรือ E_v v_{eq} หรือ v_{vh} ที่สูงกว่าแอสฟัลต์ AC 60/70 ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

กฤษณ์ เจ็ดวรรณ และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติทั้งชนิดยางแผ่นรมควันและชนิดยางน้ำข้นเหลวผสมกับแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ในอัตราส่วนต่างๆ โดยการทดสอบการวัดความหนืด จุดติดไฟจุดวาบไฟ ความอ่อนตัว ความยืด ความยืดหยุ่น ความแข็งแกร่ง และการต้านทานการยุบตัวถาวร พบว่าการผสมยางแผ่นรมควันร้อยละ 3 และยางน้ำข้นเหลวร้อยละ 5 ในยางแอสฟัลต์ AC 60/70 จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานพัฒนาขึ้น คือ มีสติฟเนสมากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ AC 60/70 แต่มีคุณสมบัติที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คือ คุณสมบัติความหนืด ที่ถือว่ามีความสำคัญต่อการนำไปใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

กอบชัย เกิดจันทร์ตรง และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีการผสมร้อนซึ่งออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลล์ โดยใช้อัตราส่วนการผสมที่ร้อยละ 3 4 5 6 และ 7 ที่อุณหภูมิ 140 °C จากการทดสอบพบว่า ที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 3 - 5 มีค่าเสถียรภาพและค่าดัชนีความแข็งแรงสูงกว่ามาตรฐาน และค่าการไหลที่อยู่ในระดับมาตรฐาน โดยที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 3 จะทำให้ได้พาราแอสฟัลต์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

Ramez A. Al-Mansob และคณะ (2558) ได้ทำการศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติเพื่อให้ได้ผิวทางที่มีความทนทานสูงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลงได้ โดยได้ศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกับยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 6 9 และ12 ซึ่งจากการ

ทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยยางพาราธรรมชาติทำให้ค่าความหนืด และจุดอ่อนตัวมีค่าสูงขึ้นทำให้วัสดุเพิ่มความเป็นอิลาสติกมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น

Dina Kuttah และ Kenichi Sato (2558) ได้ทำการทบทวนการศึกษาผลกระทบของยิปซัมที่มีต่อดินที่ใช้ในชั้นรองพื้นทาง พบว่าปริมาณของยิปซัมที่เหมาะสมนั้นสามารถทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินได้โดยจะทำให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่สูงขึ้น และปริมาณน้ำเหมาะสมที่ต่ำลง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดคละของยิปซัมที่นำมาใช้อีกด้วยซึ่งหากขนาดคละของยิปซัมยิ่งใหญ่ขึ้นปริมาณเหมาะสมที่ใช้ในการผสมก็จะยิ่งมากขึ้นไปด้วย

Jeerapan Donrak และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของดินลูกรังและเศษเมลามีน โดยได้ทำการทดสอบความถ่วงจำเพาะ, คุณสมบัติการดูดซึมน้ำ, ขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก, การสึกหรอและการกระจายขนาดคละ, ค่าซีบีอาร์ และการบวมตัว ซึ่งพบว่าเศษเมลามีนสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุทางเลือกแทนดินลูกรังได้โดยเศษเมลามีนนั้นมีค่าการต้านทานการสึกหรอที่ดีกว่าดินลูกรัง อีกทั้งค่าซีบีอาร์ของดินลูกรังที่ผสมกับเศษมีลามีนนั้นยังมีค่าที่สูงกว่าค่าซีบีอาร์ที่ได้จากการทดสอบดินเพียงอย่างเดียวอีกด้วย

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่ามีวัสดุต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้สำหรับงานทางเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทาง ซึ่งยางพาราเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางได้อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการนำยางพาราที่เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศมาใช้สำหรับงานทาง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและความเป็นไปได้สำหรับการศึกษาการใช้น้ำยางพาราผสมกับดินลูกรังเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาและนำไปใช้สำหรับการก่อสร้างทางต่อไป เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีผู้วิจัยศึกษาการใช้ยางพารากับดินลูกรังจึงเหมาะที่จะศึกษาเพื่อเป็นแนวทางการใช้งานจริง

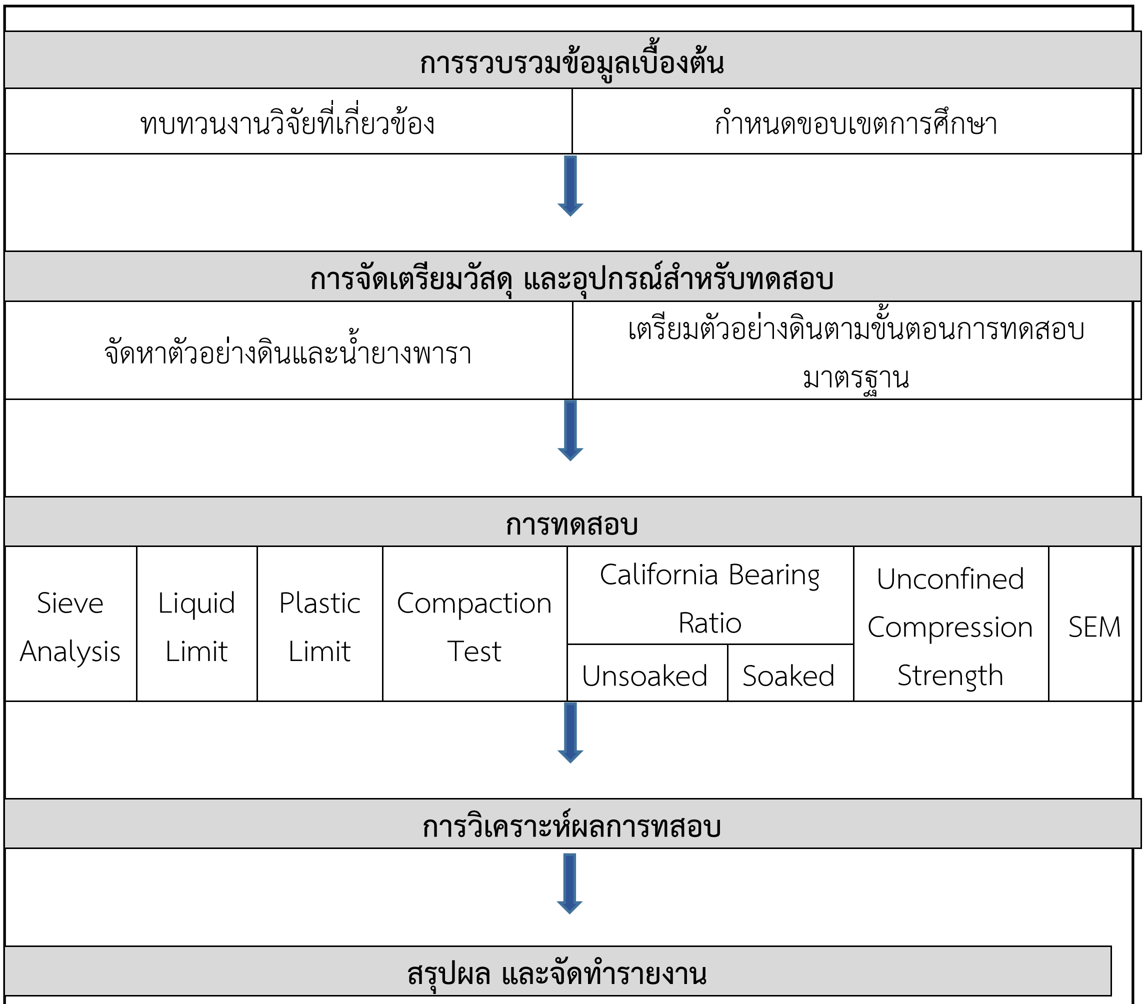
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 กรอบการดำเนินงานวิจัย

เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ผู้วิจัยจึงได้สรุปขั้นตอนของงานวิจัย โดยจำแนกออกเป็น 5 ขั้นตอนหลัก (รูปที่ 3-1) ประกอบด้วย

- การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น
- การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ
- การทดสอบ
- การการวิเคราะห์ผลการทดสอบ
- การสรุปผลและจัดทำรายงาน

โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในงานวิจัยแสดงในหัวข้อลำดับถัดไป



รูปที่ 3-1 กรอบการดำเนินงานวิจัย

3.2 การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่ผ่านมา การใช้ยางพาราธรรมชาติในงานทาง และข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานทางหลวงซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.3 การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

สำหรับในขั้นตอนของการจัดเตรียมวัสดุได้แบ่งเป็นสองส่วน คือ ในส่วนของน้ำยางพาราซึ่งจะนำมาจากสถาบันวิจัยยางสงขลา และในส่วนของดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจากศูนย์สร้างทางสงขลา กรมทางหลวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา

3.4 การทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบดินโดยเริ่มจากการนำดินตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมและผสมตามอัตราส่วนแล้วมาทำการทดสอบตามมาตรฐานการคัดเลือกวัสดุของกรมทางหลวง เริ่มด้วยการทดสอบหาขนาดคละแบบล้างผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เพื่อจำแนกขนาดคละของเม็ดดินตัวอย่าง การทดสอบขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) และการทดสอบขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เพื่อทราบถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่างและค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index) จากนั้นทำการทดสอบการบดอัดมาตรฐาน (Compaction Test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน เพื่อหาค่าปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด (Optimum Water Content) และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) แล้วจึงทำการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ (California Bearing Ratio : CBR) ทั้งแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked CBR) และแบบแช่น้ำ (Soaked CBR) เพื่อทดสอบกำลังการต้านทานแรงกดของดินและการบวมตัว จากนั้นทำการทดสอบการทดสอบการต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Strength : UCS) เพื่อทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินและทำการตรวจสอบโครงสร้างของดินที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผสมกับน้ำยางพาราจากภายถ่ายด้วยการทดสอบ SEM5800 ซึ่งเป็นการถ่ายภาพพื้นผิวภายนอกของวัสดุที่กำลังขยาย 3,000 เท่า สามารถช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดและปริมาณสารในวัสดุ และแสดงแผนภาพการกระจายตัวของสารในวัสดุได้โดยผู้วิจัยจะทำการทดสอบดินตัวอย่างที่ผสมกับน้ำยางพาราที่อัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 3-1 ซึ่งมีทั้งสิ้น 5 อัตราส่วน โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินจะทำโดยการนำดินตัวอย่างที่เก็บมาไปอบแห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำดินที่ผ่านการอบมาทำการผสมกับน้ำยางตามอัตราส่วนโดยน้ำหนักแล้วทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยแบ่งการทดสอบเป็น 3 วิธีการผสมคือ การทดสอบทันทีหลังการผสม การบ่มในอากาศ 7 วันจึงทำการทดสอบ และการอบแห้งก่อนทำการทดสอบ จากขั้นตอนการทดสอบที่กล่าวมาผู้วิจัยได้สรุปขั้นตอนการทดสอบวัสดุไว้ในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 อัตราส่วนผสมระหว่างดินและน้ำยางพาราสำหรับใช้ทดสอบ

ตัวอย่างที่	ปริมาณร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	
	ดิน	น้ำยางพารา
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20

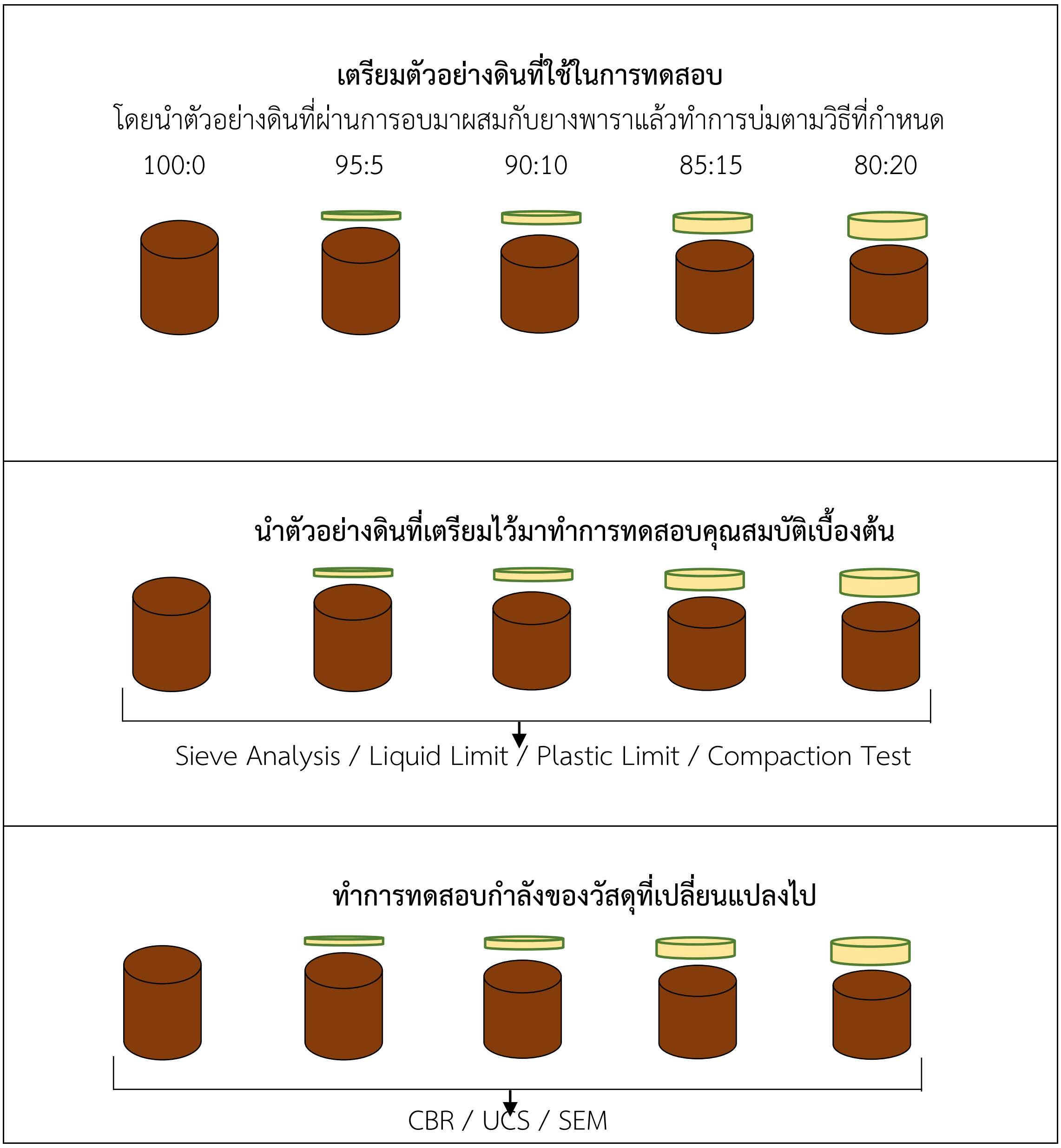
สำหรับมาตรฐานการทดสอบวัสดุผู้วิจัยได้ใช้มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวงซึ่งเทียบเท่ากับมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Material) และ AASHTO (The American Association of State Highway and Transportation Officials) ดังแสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้มีการทดสอบทั้งหมด 45 ชุดการทดสอบตามอัตราส่วนและการทดสอบที่กำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนผสมระหว่างดินและน้ำยางพาราสำหรับใช้ทดสอบ

ลำดับ	การทดสอบ	มาตรฐานในการทดสอบ
1.	การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517
2.	การทดสอบขีดจำกัดเหลว	ทล.-ท. 102/2515
3.	การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก	ทล.-ท. 103/2515
4.	การทดสอบการบดอัดแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน	ทล.-ท.108/2517
5.	การทดสอบหาค่าซีบีอาร์	ทล.-ท.109/2517

ตารางที่ 3-3 จำนวนตัวอย่างที่จะทำการทดสอบในงานวิจัย

การทดสอบ	**ร้อยละ ดิน : น้ำยางพารา (โดยน้ำหนัก)**				
	100 : 0	**95 : 5**	**90 : 10**	**85 : 15**	**80 : 20**
การทดสอบหาขนาดคละแบบล้าง	1	1	1	1	1
การทดสอบขีดจำกัดเหลว	1	1	1	1	1
การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก	1	1	1	1	1
การทดสอบการบดอัด	1	1	1	1	1
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำ	1	1	1	1	1
การทดสอบหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ	1	1	1	1	1
การทดสอบการต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด	3	3	3	3	3

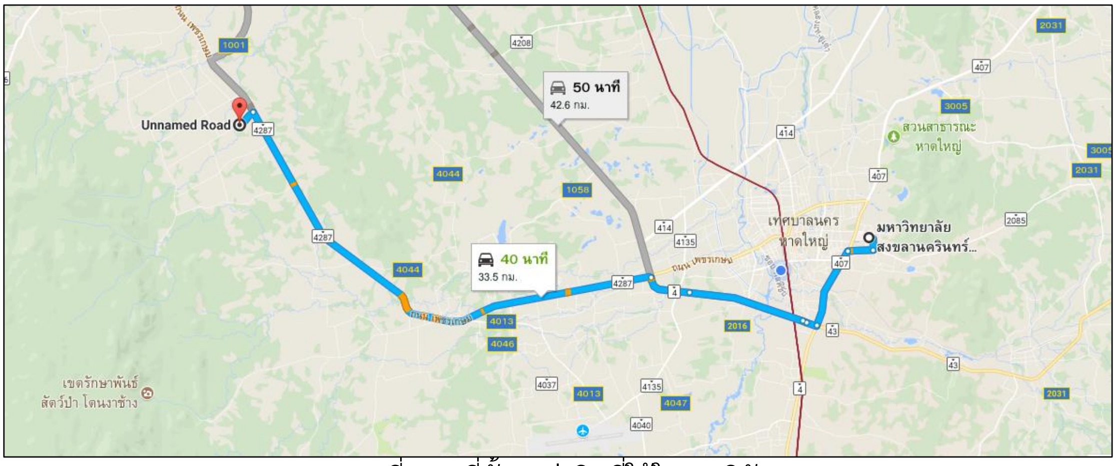


รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบในงานวิจัย

บทที่ 4
ผลการทดสอบคุณสมบัติดินลูกรังปรับปรุงด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอผลการทดสอบคุณสมบัติดินลูกรังปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน คือ ร้อยละ 5 10 15 และ 20 และใช้วิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างก่อนทำการทดสอบที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ ชุดการทดสอบที่ 1 เป็นการทดสอบแบบปกติทำการเตรียมก้อนตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบดิน ชุดการทดสอบที่ 2 เป็นการบ่มก้อนตัวอย่างในอากาศ 7 วันก่อนทำการทดสอบ เพื่อศึกษาอัตราส่วนและวิธีการใช้งานน้ำยางพาราในการก่อสร้างทางจริงต่อไป

ดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินลูกรังจากแหล่งดินห้วยโอน ตั้งอยู่บน ถนน เพชรเกษม ตำบล กำแพงเพชร อำเภอ รัตภูมิ จังหวัด สงขลา (รูปที่ 4-1) เนื่องจากเป็นแหล่งดินได้รับการคัดเลือกใช้งานในการก่อสร้างทางในจังหวัดสงขลา โดยการทดสอบการหาขนาดคละเพื่อใช้ในการคัดแยกประเภทของดินลูกรังที่นำมาทดสอบและตรวจสอบขนาดคละของเม็ดดิน

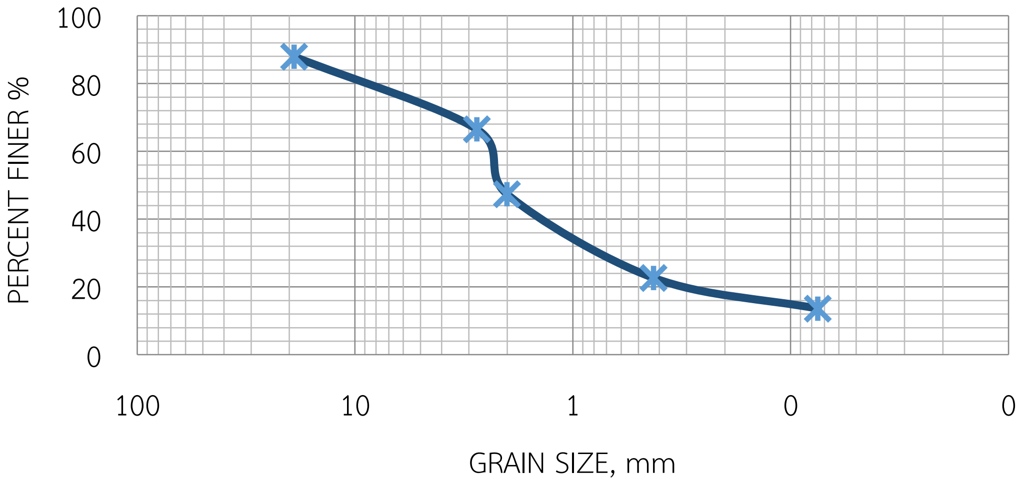


รูปที่ 4-1 ที่ตั้งแหล่งดินที่ใช้ในงานวิจัย

รูปที่ 4-2 ลักษณะดินที่ใช้ในงานวิจัย

4.1 ผลการทดสอบการหาขนาดคละแบบล้างผ่านตะแกรง

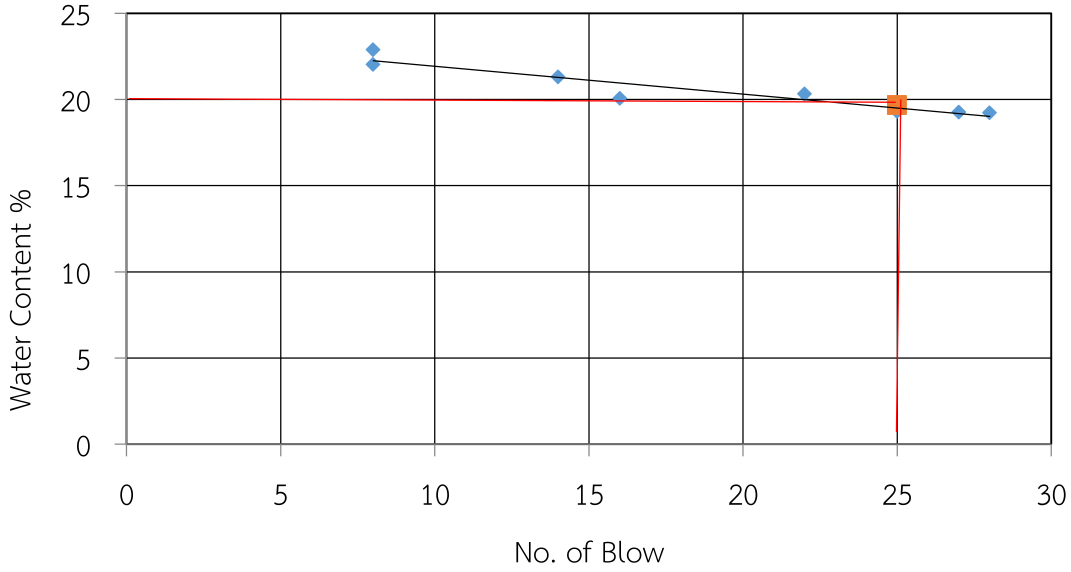
ในโดยผลการทดสอบพบว่าดินลูกรังที่ใช้มีร้อยละของกรวดเท่ากับ 33.55 ร้อยละของทรายเท่ากับ 52.83 และร้อยละของดินเม็ดละเอียดเท่ากับ 13.62 จัดอยู่ในกลุ่มดินที่มีขนาดคละดี ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ผลการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง

4.2 ผลการทดสอบขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก

เพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่ทำให้ดินแปลงสภาพจากสถานะของแข็งเป็นสถานะกึ่งของเหลว และแปรสภาพจากสถานะกึ่งของเหลวเป็นสถานะของเหลว โดยผลการทดสอบพบว่าขีดจำกัดเหลวของดินเท่ากับ ร้อยละ 19.7 ดังรูปที่ 4-3 และขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ ร้อยละ 17.8 จึงมีดัชนีพลาสติกเท่ากับ 1.92 แสดงในตารางที่ 4-1



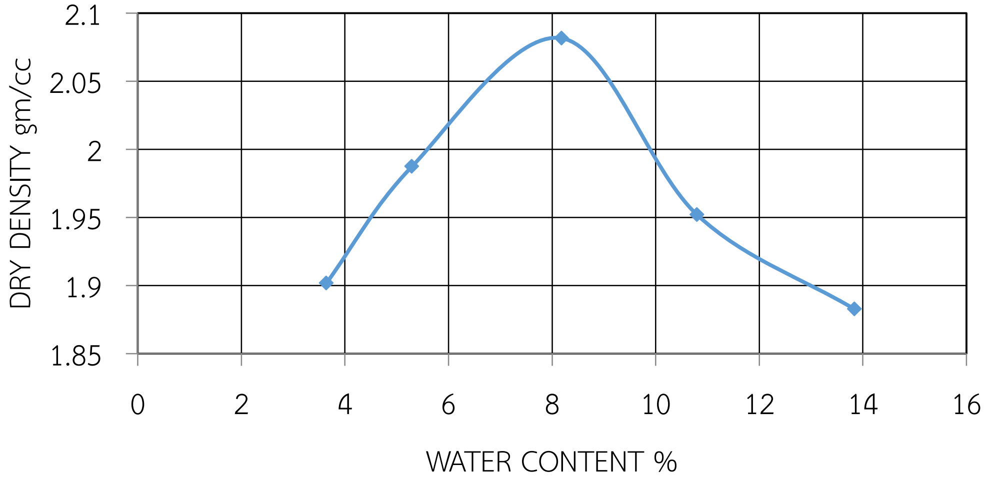
รูปที่ 4-3 ขีดจำกัดเหลวของดินที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

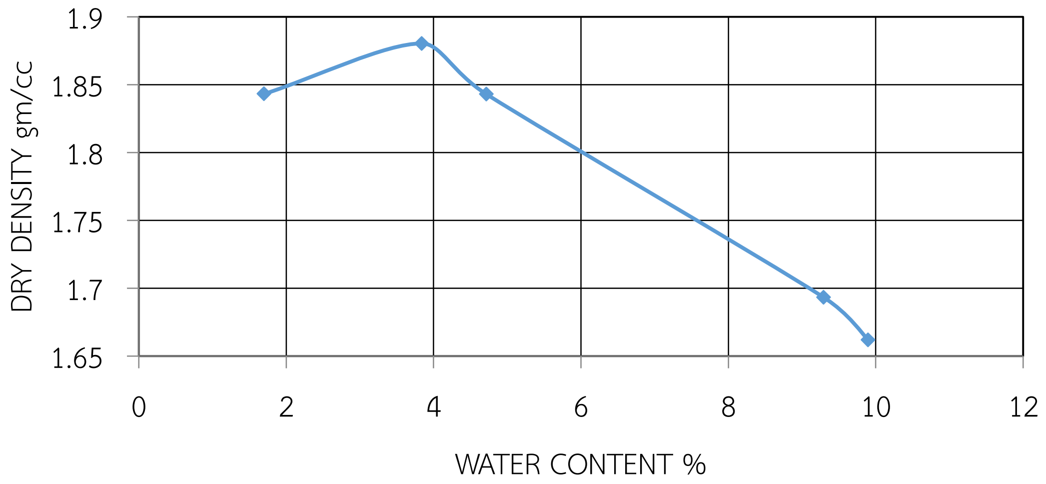
CAN NO.		1	2	3	4	หมายเหตุ
WET SOIL + CAN	gm	35.02	34.25	16.07	15.42	Plastic Limit 17.8
DRY SOIL + CAN	gm	34.89	34.19	15.78	15.27	
WT. OF CAN	gm	34.15	33.84	14.20	14.44	
WT. OF WATER	gm	0.13	0.06	0.29	0.15	
WT. OF DRY SOIL	gm	0.74	0.35	1.58	0.83	
WATER CONTENT	%	17.57	17.14	18.35	18.07	

4.3 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

การเพื่อตรวจสอบปริมาณน้ำที่ทำสามารถบดอัดดินให้มีความหนาแน่นสูงสุดซึ่งผู้วัยได้ทำการทดสอบการบดอัดโดยใช้น้ำบริสุทธิ์ และน้ำยางพาราเพื่อหาปริมาณน้ำยางพาราเหมาะสมสูงสุดที่ทำให้บดอัดดินได้หนาแน่นที่สุด โดยปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุดได้เท่ากับ ร้อยละ 8.2 และความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.028 ตันต่อลบ.ม. และปริมาณน้ำยางเหมาะสมสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 3.8 และความหนาแน่นแห้งสูงสุดได้เท่ากับ 1.880 ตันต่อลบ.ม. ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำยางที่ใช้ในการบดอัดนั้นมีค่าแตกต่างจากการใช้น้ำอยู่มาก ทั้งนี้เนื่องจากในน้ำยางพารานั้นมีเนื้อยางผสมอยู่ถึงประมาณร้อยละ 60 ทำให้ในระหว่างการบดอัด และขั้นตอนการอบแห้งนั้นปริมาณน้ำในน้ำยางพารามีความแตกต่างกันอยู่มาก ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4-4 และรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-4 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานบดอัดด้วยน้ำ



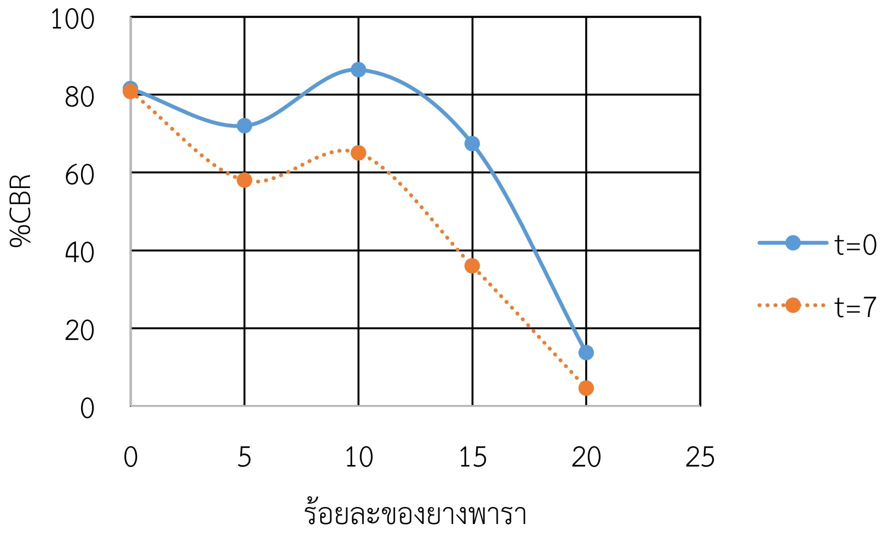
รูปที่ 4-5 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานบดอัดด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ

4.4 ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์

การทดสอบการหาค่าซีบีอาร์เพื่อให้ทราบค่าซีบีอาร์ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติการรับกำลังของดิน ซึ่งจะทำให้สามารถจำแนกประเภทการใช้งานของดินแต่ละแหล่งได้ตามมาตรฐานการก่อสร้างของแต่ละหน่อยงาน โดยในงานวิจัยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์ทั้งแบบแช่น้ำและแบบไม่แช่น้ำ

4.4.1 การทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำ

ผู้วิจัยได้แบ่งชุดการทดสอบออกเป็น 2 ชุด คือ การทดสอบชุดที่ 1 ผู้วิจัยจะทำการผสมน้ำยางพารากับดินตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ จากนั้นทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบตามปกติ(t=0) ส่วนการทดสอบชุดที่ 2 หลังจากที่ได้ทำการผสมน้ำยางพารากับดินแล้ว ผู้วัจัยจะทำการบ่มก้อนตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลา 7 วัน(t=7) เพื่อให้น้ำยางพาราอยู่ตัวก่อนทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบต่อไป ซึ่งเมื่อทำการทดสอบพบว่า การบ่มก้อนตัวอย่างเพื่อให้อย่างพาราเกิดการอยู่ตัวก่อนทำการทดสอบจะให้ค่าซีบีอาร์ที่สูงกว่าแบบไม่บ่ม ดังแสดงตารางที่ 4-2



รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำแต่ละชุดการทดสอบ

จากแนวโน้มกำลังที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนน้ำยางพาราจากรูปที่ 4-6 พบว่าการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำนั้น ค่ากำลังของก้อนตัวอย่างจะมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 และจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราไปถึงร้อยละ 20

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำ

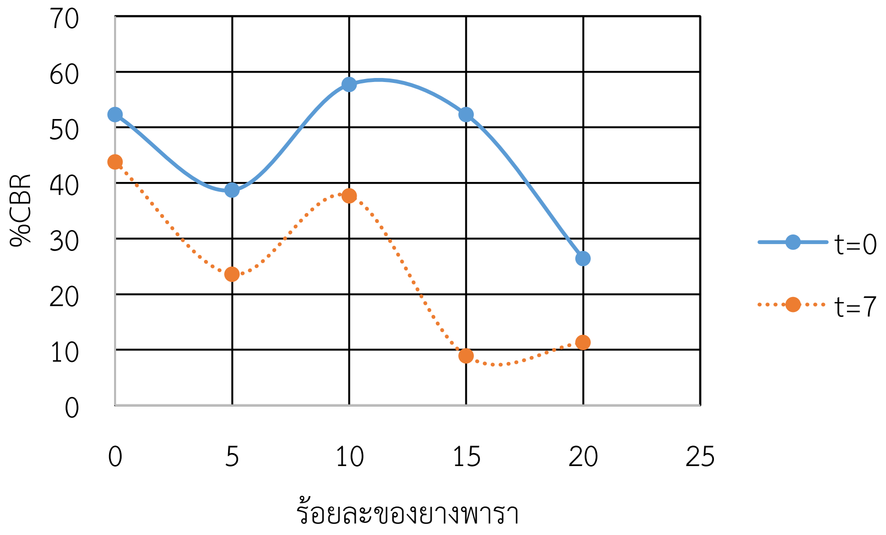
ชุดการทดสอบ	**ร้อยละยางพารา**	**%CBR**
1 t = 0	0	81.5
	5	72
	10	86.4
	15	67.4
	20	13.7
2 t = 7	0	80.8
	5	58.0
	10	65.7
	15	36.0
	20	4.6

พบว่าการบ่มก้อนตัวอย่างทำให้ค่าซีบีอาร์มีค่าลดต่ำลง จากค่าซีบีอาร์ของก้อนดินจากแหล่งตัวอย่างที่ทำการทดสอบโดยใช้น้ำแบบปกติจะอยู่ที่ ร้อยละ 81.5 เมื่อทำการผสมน้ำยางพาราที่

อัตราส่วน ร้อยละ 10 ค่าซีบีอาร์ที่เพิ่มขึ้นอยู่ที่ ร้อยละ 86.4 แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางที่ร้อยละ 15 และ 20 กลับทำให้ค่าซีบีอาร์ที่ได้ลดต่ำลงจนต่ำกว่ามาตรฐานการใช้งาน

4.4.2 การทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ

การทดสอบซีบีอาร์แบบแช่น้ำเพื่อทดสอบดินในกรณีที่มีน้ำท่วมขังถนน หรือถนนต้องสัมผัสกับน้ำ โดยผู้วิจัยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ชุดการทดสอบเช่นกัน คือ การทดสอบที่ 1 จะทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบโดยใช้น้ำยางพาราผสมตามอัตราส่วนแล้วจึงทำการแช่ก้อนตัวอย่างในน้ำเพื่อทดสอการบวมตัว แล้วจึงทำการกดด้วยเครื่องทดสอบเมื่อครบระยะเวลต่อไป ชุดการทดสอบที่ 2 ผู้วิจัยจะทำการบ่มก้อนตัวอย่างในอากาศก่อนแช่น้ำเป็นระยะเวลา 7 วันเพื่อให้น้ำยางพาราอยู่ตัว และวัดค่าการบวมตัวหรือทรุดตัวของก้อนตัวอย่าง แล้วจึงทำการแช่น้ำให้ครบระยะเวลา แล้วกดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบต่อไป ผลการทดสอบดังแสดงตารางที่ 4-3



รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำแต่ละชุดการทดสอบ

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ

ชุดการทดสอบ	**ร้อยละยางพารา**	**%CBR**
1 t = 0	0	52.3
	5	38.7
	10	57.7
	15	52.3
	20	26.4
2 t = 7	0	43.8
	5	23.6
	10	37.7
	15	8.9
	20	11.3

หลังการทดสอบพบว่าการทดสอบชุดที่ 1 ที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ทำให้ได้ค่าซีบีอาร์ที่สูงที่สุด โดยมีค่ามากกว่าการใช้น้ำบดอัดแบบปกติ และในการทดสอบชุดที่ 2 นั้น ไม่สามารถทำให้ค่าซีบีอาร์เพิ่มขึ้นได้ แต่พบว่าการทรุดตัวในอากาศของดินลูกรังที่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติมีค่ามาก

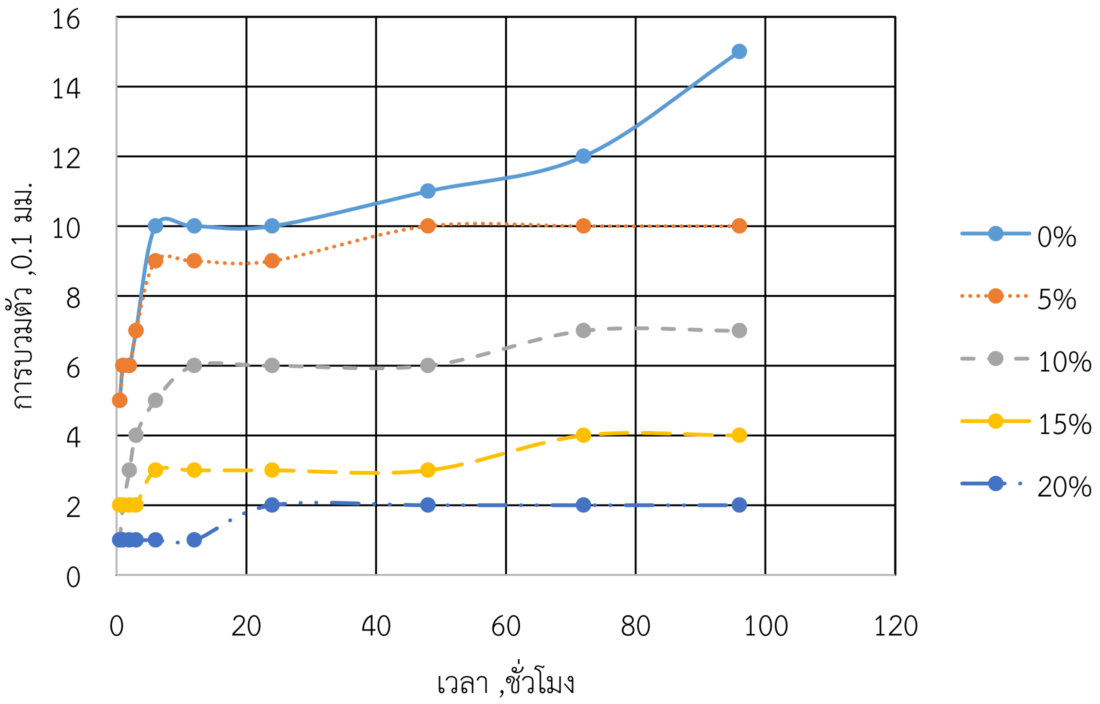
4.4.3 การทดสอบการบวมตัว

ในการทดสอบซีบีอาร์แบบแช่น้ำจะทำการจดบันทึกค่าการบวมตัวหรือทรุดตัวของก้อนตัวอย่าง โดยก้อนตัวอย่างแต่ละชุดการทดสอบมีค่าการบวมตัวหรือทรุดตัว ที่แตกต่างกัน ดังแสดงตารางที่ 4-4 ถึง 4-6 และรูปที่ 4-6 ถึง 4-8

ตารางที่ 4-4 ค่าการบวมตัวของก้อนตัวอย่างในน้ำ ที่การบดอัด 56 ครั้ง ของน้ำยางแต่ละอัตราส่วน

เวลา (ชั่วโมง)	**ค่าการบวมตัว**				
	ยางพารา 0 56 Blows	**ยางพารา 5** 56 Blows	**ยางพารา 10** 56 Blows	**ยางพารา 15** 56 Blows	**ยางพารา 20** 56 Blows
0.5	5	5	1	2	1
1	6	6	2	2	1
2	6	6	3	2	1
3	7	7	4	2	1
6	9	9	5	3	1
12	9	9	6	3	1
24	9	9	6	3	2
48	10	10	6	3	2
72	10	10	1	4	2
96	10	10	2	4	2

การบวมตัวของก้อนตัวอย่างที่ทำการแช่น้ำทันทีหลังบดอัดด้วยน้ำยางพาราตามอัตราส่วนที่ได้กำหนดไว้นั้น จะมีค่าการบวมตัวที่ลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา



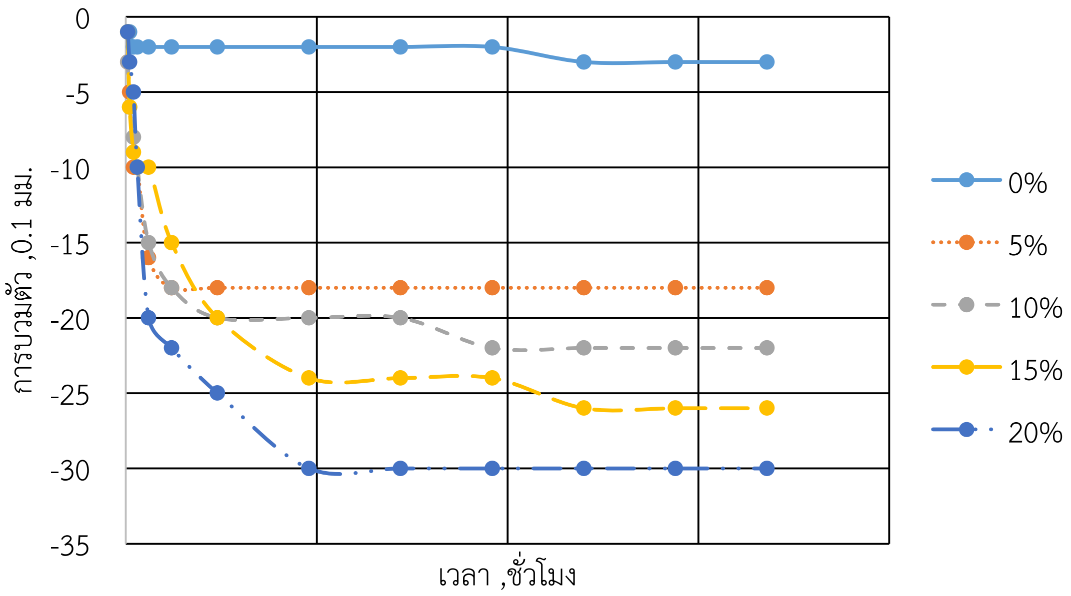
รูปที่ 4-6 เปรียบเทียบการบวมตัวในน้ำของก้อนตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนที่การบดอัด 56 ครั้ง

พบว่าที่ปริมาณน้ำยางพาราทีเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้การบวมตัวของก้อนตัวอย่างมีค่าลดต่ำลงและสิ้นสุดระยะเวลาการบวมตัวได้เร็วขึ้นนั้นคือที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 มีการบวมตัวที่น้อยที่สุดและสิ้นสุดการบวมตัวภายในเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4-5 การทรุดตัวของก้อนตัวอย่างในอากาศที่การบดอัด 56 ครั้ง ของน้ำยางแต่ละอัตราส่วน

เวลา (ชั่วโมง)	**ค่าการบวมตัว**				
	ยางพารา 0 56 Blows	**ยางพารา 5** 56 Blows	**ยางพารา 10** 56 Blows	**ยางพารา 15** 56 Blows	**ยางพารา 20** 56 Blows
0.5	-1	-3	-3	-1	-1
1	-1	-5	-6	-6	-3
2	-2	-10	-8	-9	-5
3	-2	-10	-10	-10	-10
6	-2	-16	-15	-10	-20
12	-2	-18	-18	-15	-22
24	-2	-18	-20	-20	-25
48	-2	-18	-20	-24	-30
72	-2	-18	-20	-24	-30
96	-2	-18	-22	-24	-30
120	-3	-18	-22	-26	-30
144	-3	-18	-22	-26	-30
168	-3	-18	-22	-26	-30

เมื่อบ่มก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วยน้ำยางพาราที่อัตราส่วนต่างๆที่กำหนดนั้น พบว่าก้อนตัวอย่างเกิดการทรุดตัว ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา



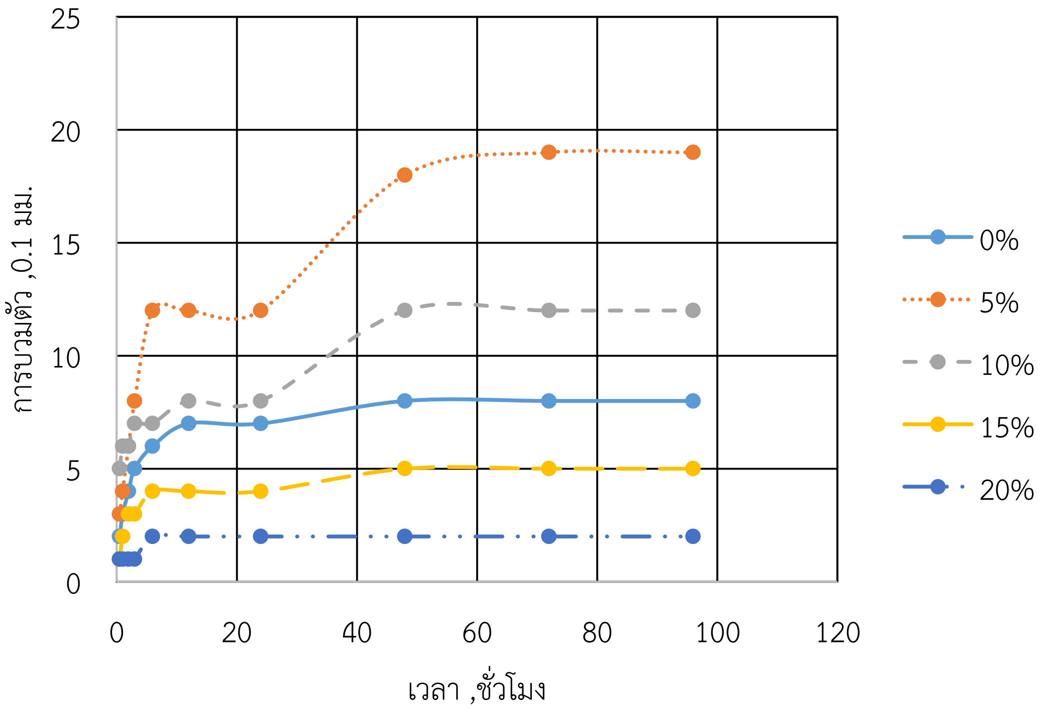
รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบการทรุดตัวของก้อนตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนที่การบดอัด 56 ครั้ง

การทรุดตัวในอากาศของก้อนตัวอย่างหลังจากบดอัดแล้วทำการบ่มในอากาศพร้อมกับการเก็บข้อมูลการทรุดตัวในอากาศพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารามากขึ้นก้อนตัวอย่างจะมีการทรุดตัวที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการบดอัดโดยใช้น้ำยางพาราทำให้ระหว่างการบดอัดก้อนตัวอย่างจะทำให้น้ำยางพาราแทรกตัวอยู่ภายในก้อนตัวอย่าง และเมื่อน้ำยางพาราระเหยออกไปแล้วก็จะยังคงเหลือเนื้อยางพาราอยู่ทำให้ก้อนตัวอย่างมีรูพรุน ทำให้เมื่อทำการวางแผ่นเหล็กเพื่อบันทึกค่าการบวมตัวนั้นช่องว่างอากาศภายในก้อนตัวอย่างที่เกิดจากน้ำยางที่ระเหยออกไปเหลือเพียงเนื้อยางเกิดการทรุดตัวที่มากกว่า

ตารางที่ 4-6 ค่าการบวมตัวของก้อนตัวอย่างในน้ำหลังบ่มในอากาศที่การบดอัด 56 ครั้ง ของน้ำยางแต่ละอัตราส่วน

เวลา (ชั่วโมง)	**ค่าการบวมตัว**				
	ยางพารา 0 56 Blows	**ยางพารา 5** 56 Blows	**ยางพารา 10** 56 Blows	**ยางพารา 15** 56 Blows	**ยางพารา 20** 56 Blows
0.5	2	3	5	1	1
1	3	4	6	2	1
2	4	6	6	3	1
3	5	8	7	3	1
6	6	12	7	4	2
12	7	12	8	4	2
24	7	12	8	4	2
48	8	18	12	5	2
72	8	19	12	5	2
96	8	19	12	5	2

การบวมตัวของก้อนตัวอย่างในน้ำหลังจากที่ปล่อยให้ทรุดตัวในอากาศนั้นจะมีค่าลดลงตามปริมาณน้ำยางพาราที่ใช้ในการบดอัดโดยเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราถึงร้อยละ 20 ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นถือว่ามีค่าต่ำมาก



รูปที่ 4-8 เปรียบเทียบการบวมตัวในน้ำหลังบ่มในอากาศ 7 วัน ของก้อนตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนที่การบดอัด 56 ครั้ง

หลักจากทำการบ่มก้อนตัวอย่างในอากาศไว้แล้วเป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อทำการแช่ก้อนตัวอย่างในน้ำเพื่อจดบันทึกค่าการบวมตัวของก้อนตัวอย่างพบว่าก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณน้ำยางพาราสูงนั้นจะทำให้การบวมตัวมีค่าน้อยลง และเมื่อทำการปล่อยให้ทรุดตัวในอากาศแล้วก็จะยิ่งลดค่าการบวมตัวเมื่อเจอน้ำได้ดียิ่งขึ้น

จากรูปที่ 4-6 ถึง 4-8 เป็นการเปรียบเทียบการบวมหรือทรุดตัวของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัด 56 ครั้ง ในแต่ละอัตราส่วนน้ำยางพาราที่วิธีการผสมและเตรียมก้อนตัวอย่างเดียวกัน พบว่าในแต่ละวิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างนั้น ทำให้แนวโน้มการทรุดตัวหลังจากเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราในแต่ละก้อนตัวอย่างนั้นมีแนวโน้มที่แตกต่างกันไป

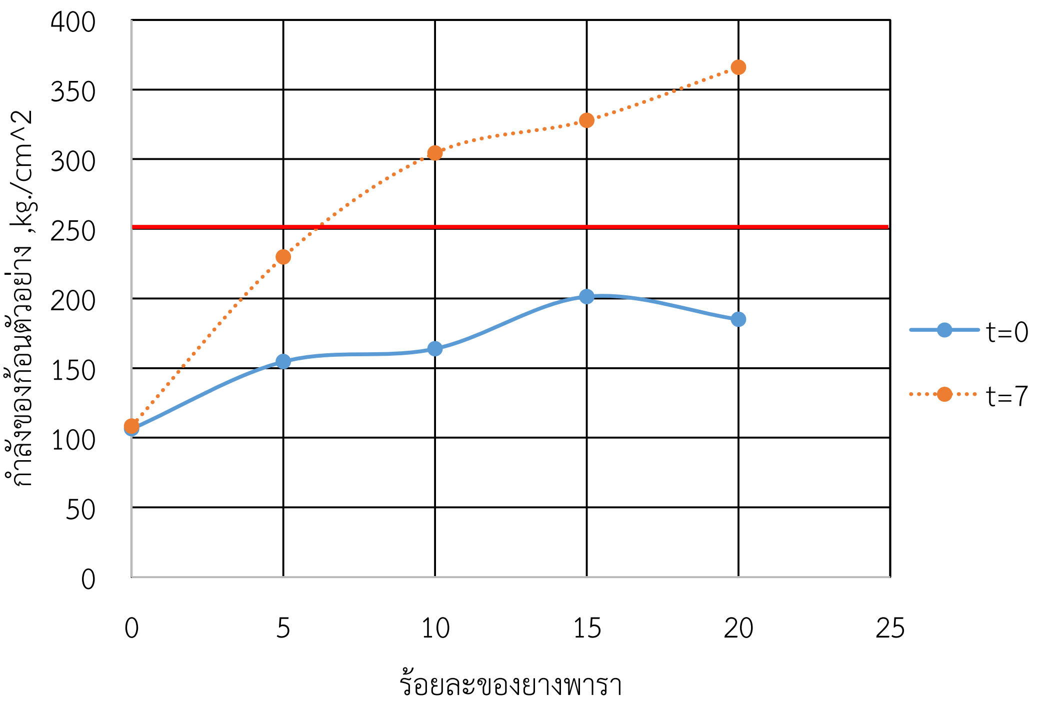
4.5 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

ในการทดสอบการต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดผู้วิจัยทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ชุดการทดสอบ โดยชุดการทดสอบที่ 1 ผู้วิจัยทำการบดอัดก้อนตัวอย่างโดยใช้น้ำยางพาราตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้แล้วทำการกดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ ชุดการทดสอบที่ 2 จะทำการบ่มก้อนตัวอย่างในอากาศไว้หลังจากบดอัดเป็นเวลา 7 วัน แล้วจึงทำการกดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบต่อไป ผลการทดสอบดังแสดงตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 เปรียบเทียบการทดสอบการต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดแต่ละชุดการทดสอบ

ชุดการทดสอบ	ร้อยละยางพารา	ความเค้น (kg./cm^2)
1 t = 0	0	106.32
	5	154.59
	10	163.86
	15	201.32
	20	184.93
2 t = 7	0	108.31
	5	229.78
	10	304.38
	15	327.75
	20	365.84

การทดสอบพบว่าการทดสอบก้อนตัวอย่างทันทีหลังจากทำการทดสอบนั้นไม่สามารถทำให้กำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดผ่านมาตรฐานการใช้งานได้ แต่หลังจากทำการบ่มก้อนตัวอย่างไว้ก่อนจะทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดเพิ่มขึ้น โดยจะมากที่สุดที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 20 โดยการบดอัดแล้วทำการบ่มก้อนตัวอย่างในอากาศเป็นเวลา 7 วัน ก่อน โดยแนวโน้มของกำลังที่เพิ่มขึ้นได้แสดงในรูปที่ 4-9



รูปที่ 4-9 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของก้อนตัวอย่าง

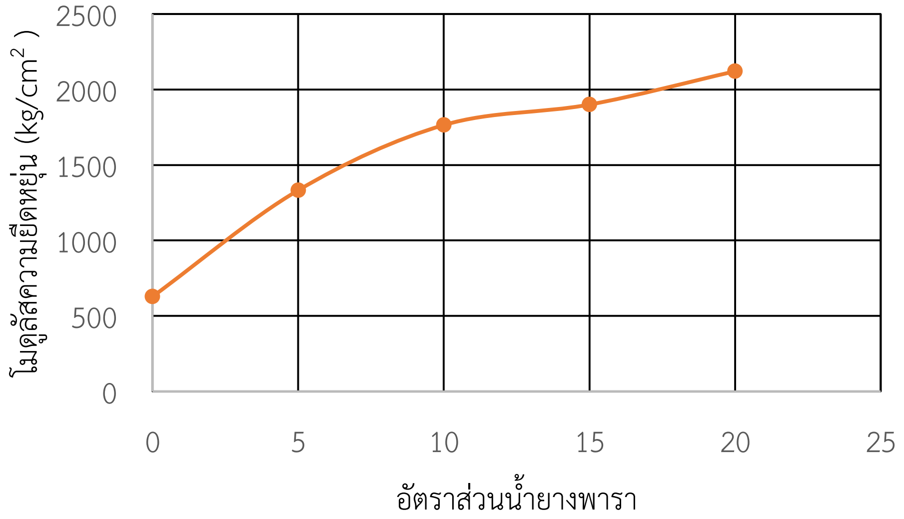
จากการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของก้อนตัวอย่างที่การบ่ม 0 วัน และ 7 วันพบว่าก้อนตัวอย่างที่บ่ม 0 วัน นั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานที่ 250 ksc แต่เมื่อได้ทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลา 7 วัน และใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราที่ร้อยละ 10 แล้ว ก้อนตัวอย่างที่ทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มสูงขึ้นและผ่านเกณฑ์การใช้งาน โดยกำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้นที่สุดที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 20 ที่กำลัง 365.84 ksc

เมื่อศึกษาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราในก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ทำให้โมดูลัสการยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างมีค่าสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันค่าโมดูลัสของก้อนตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 0 วันนั้น มีค่าที่ลดน้อยลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราที่ร้อยละ 10 15 และ 20

ตารางที่ 4-8 โมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการทดสอบการต้านทานแรงอัดแบบ

ชุดการทดสอบ	อัตราส่วนน้ำยางพารา	ความเค้น (kg./cm^2)	ความเครียด	โมดูลัสความยืดหยุ่น (kg./cm^2)
1 t = 0	0	106.32	0.1634	650.67
	5	154.59	0.1090	1418.25
	10	163.86	0.1634	1002.81
	15	201.32	0.1634	1232.06
	20	184.93	0.1634	1131.82
2 t = 7	0	108.31	0.1725	627.88
	5	229.78	0.1725	1332.06
	10	304.38	0.1725	1764.52
	15	327.75	0.1807	1900.00
	20	365.84	0.1725	2120.81

เนื่องจากในการทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบไม่ถูกจำกัดนั้น มาตรฐานในการทดสอบให้ทำการทดสอบจนกระทั่งก้อนตัวอย่างทรุดตัวที่ร้อยละ 20 ทั้งนี้ทำให้ค่าความเครียดที่บันทึกได้ไม่ใช่ความเครียดจริงของก้อนตัวอย่าง ก้อนตัวอย่างบางอัตราส่วนยังคงสามารถรับกำลังต้านทานแรงอัดได้ต่อไปแต่มาตรฐานการทดสอบไม่ได้รองรับผลการทดสอบในส่วนที่เกิดการทรุดตัวเกินร้อยละ 20

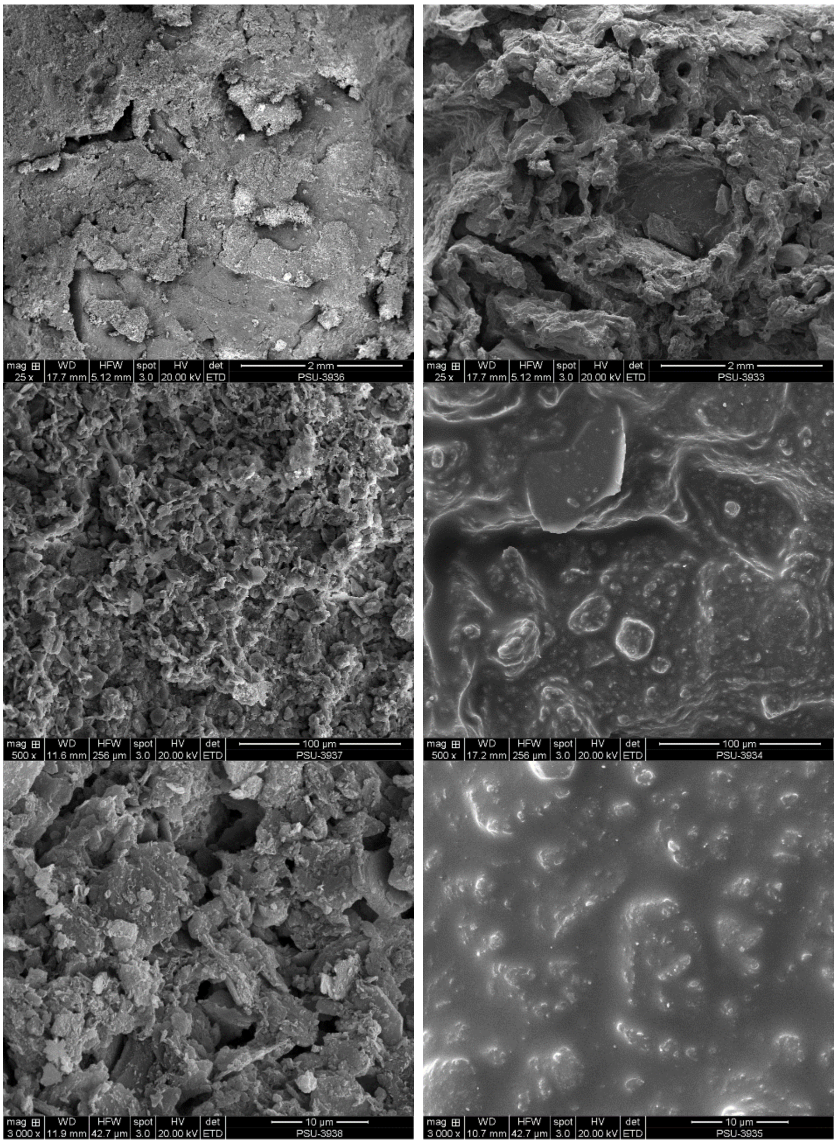


รูปที่ 4-10 แนวโน้มโมดูลัสความยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน

จากแนวโน้มของโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ได้ พบว่าเมื่อก้อนตัวอย่างมีอัตราส่วนน้ำยางพาราที่สูงขึ้นทำให้กำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จำเป็นต้องมีการบ่มก้อนตัวอย่างเพื่อให้น้ำยางพาราอยู่ตัวเสียก่อนจึงจะสามารถทำให้ก้อนตัวอย่างมีกำลังที่เพิ่มมากขึ้น

4.6 ผลการทดสอบการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

จากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 25 เท่า 500 เท่า และ 3,000 เท่า พบว่าดินลูกรังที่ทำการผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติจะมีแผ่นฟิมล์ยางพาราเคลือบอยู่ ทำให้ดินตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพารามีการต้านทานการบวมตัว ป้องกันการซึมผ่านของน้ำ และมีความยืดหยุ่นที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับดินลูกรังที่ไม่ผสมน้ำยางพารา โดยดินลูกรังที่ไม่ผสมน้ำยางพารา เม็ดดินจะแยกตัวกันและแตกตัวออกเมื่อได้รับแรงกระทำ ดังรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-11 เปรียบเทียบดินลูกรังผสมน้ำ(ซ้าย) และดินลูกรังผสมน้ำยางพารา(ขวา) ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 25, 500 และ 3,000 เท่า

4.7 ผลการศึกษาความคุ้มค่าในการใช้น้ำยางเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินเพื่อใช้ในงานทาง

จากผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดของดินและการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์ ก้อนดินตัวอย่างจะมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 นั้นค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานวัสดุของกรมทางหลวง และค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานอยู่ที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 และค่าซีบีอาร์สูงสุดที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 แบบไม่แช่น้ำ เตรียมตัวอย่างโดยการบ่มก้อนตัวอย่างในอากาศระยะเวลา 7 วัน ดังนั้นจึงเลือกใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 เพื่อเป็นอัตราส่วนพื้นฐานสำหรับการศึกษาความคุ้มค่า จากการศึกษาพบว่าการใช้ยางพาราเป็นวัสดุผสมเพิ่มในงานทางนั้นจะมีค่าดำเนินการที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 จากขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่เพิ่มขึ้น และค่าใช้จ่ายในส่วนของราคาน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับราคาของยางพาราขณะที่ทำการก่อสร้าง โดยราคากลางของยางพาราในเดือนธันวาคม 2559 อยู่ที่ 79.59 บาทต่อกิโลกรัม แต่ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้วยอัตราผลตอบแทนต่อต้นทุนนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ที่ไม่สามารถหาได้ในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงใช้สัดส่วนประสิทธิภาพด้านต้นทุนในการตรวจสอบความคุ้มค่า

ตารางที่ 4-9 ราคาน้ำยางพาราเฉลี่ยเดือนธันวาคม 2559 ถึง พฤศจิกายน 2560

เดือน พ.ศ.	ราคาเฉลี่ย
ธันวาคม 2559	79.59
มกราคม 2560	91.93
กุมภาพันธ์ 2560	96.44
มีนาคม 2560	84.11
เมษายน 2560	78.04
พฤษภาคม 2560	75.79
มิถุนายน 2560	61.36
กรกฎาคม 2560	59.27
สิงหาคม 2560	61.33
กันยายน 2560	61.66
ตุลาคม 2560	55.62
พฤศจิกายน 2560	52.31

ซึ่งจะเห็นได้ว่าราคาน้ำยางพาราในปีที่ผ่านมามีแนวโน้มลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องจากเดือนธันวาคม 2559 ที่กิโลกรัมละ 79.59 บาท และลดลงมาที่ต่ำสุด 52.31 บาทเมื่อเดือน พฤศจิกายน 2560 โดยราคายางพาราที่ผ่านมาได้มีราคาลดลงที่ต่ำสุดต่ำกว่า 20 บาท ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงราคาอย่างแตกต่างกันมาก จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำยางพาราที่มีผลต่อดินลูกรังดังตารางที่ 4-21 นั้นพบว่าการเพิ่มปริมาณยางพาราทำให้คุณสมบัติของดินลูกรังเพิ่มขึ้น และต้นทุนที่เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 4-10 ราคาต้นทุนการใช้งานยางพาราและคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลง

อัตราส่วนยางพารา	น้ำหนักน้ำยางพาราในก้อนตัวอย่าง 5 กิโลกรัม (กรัม)	ราคาก้อนตัวอย่าง (บาท)		ราคาที่เปลี่ยนไป (บาท)	กำลังรับแรงอัด	กำลังรับแรงอัดที่เปลี่ยนไป	กำลังอัดที่เพิ่มขึ้นต่อราคาที่เพิ่มขึ้น
		ราคาดิน (2 บาท/กิโลกรัม)	ราคายาง (79.59 บาท/กิโลกรัม)				
0	0	10	0	0	108.31	0	0
5	250	10	19.90	+19.90	229.78	+121.47	6.10
10	500	10	39.80	+39.80	304.38	+196.44	4.923
15	750	10	59.70	+59.70	327.75	+219.44	3.68
20	1,000	10	79.59	+79.59	365.84	+257.53	3.24

ตารางที่ 4-11 เปรียบเทียบต้นทุนถนนปกติและถนนยางพาราจากราคาบัญชีประมาณราคากลาง

ราคาต้นทุนค่าก่อสร้างถนน กว้าง 3 เมตร ความยาว 1 กิโลเมตร	ถนนปกติ	ถนนยางพารา
ค่าวัสดุ (965 ลบ.ม.)		
• ดิน (230 บาท/ลบ.ม.)	221,950	221,950
• น้ำยาง (79.59 บาท/กิโลกรัม)	0	384,021
• ค่าไฟฟ้าเครื่องจักรผสมน้ำยาง (5 บาท/ดิน 1 ลบ.ม.)	0	4,825
ค่าแรง (965 ลบ.ม.)		
• ค่าก่อสร้าง (25 บาท/ลบ.ม.)	24,125	24,125
• ค่าผสมน้ำยาง (25 บาท/ลบ.ม.)	0	24,125
ค่าก่อสร้างถนนทั่วไป (ผิวทาง, ระบบระบายน้ำ, หินคลุก อื่นๆ)	2,000,000	2,000,000
รวม	2,246,075	2,659,046

ต้นทุนค่าก่อสร้างถนนปกติจากตารางที่ 4-22 นั้นจะอยู่ที่ 2,246,075 บาท และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับถนนยางพาราที่ต้นทุนอยู่ที่ 2,659,046 บาท จะเห็นว่าราคาของถนนยางพารามีราคาที่สูงกว่าอยู่ 412,971 บาท คิดเป็นร้อยละ 15 ของราคาถนนปกติ ซึ่งค่าใช้จ่ายที่เพิ่มเติมมานั้นมาจากค่าน้ำยางพารา ค่าไฟฟ้าในการผสมน้ำยางพารากับดิน ค่าแรงในการผสมน้ำยางพารา

ตารางที่ 4-12 เปรียบเทียบความคุ้มค่าถนนผสมน้ำยางพาราและไม่ผสมน้ำยางพารา

ประเภทถนน	ต้นทุนก่อสร้าง (ล้านบาท)	ระยะเวลาใช้งานโดยไม่ต้องซ่อม (ปี)	ต้นทุนค่าก่อสร้างเฉลี่ยต่อปีการใช้งาน
ถนนปกติ	100	5	20
ถนนยางพารา	115	10	11.5

จากสัดส่วนประสิทธิภาพด้านต้นทุนพบว่าถนนที่ก่อสร้างด้วยน้ำยางพารามีสัดส่วนที่ดีกว่าถนนแบบปกติอยู่ถึงครึ่งหนึ่ง ทำให้การผสมน้ำยางพาราที่มีค่าดำเนินการในการก่อสร้างที่สูงกว่าแต่ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงในระยะยาวได้มากกว่า จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาเนื่องจากน้ำยางพารามีค่าความคงตัว และความยืดหยุ่นที่ทำให้ถนนยางพาราสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าถนนปกติโดยไม่ต้องมีการซ่อมบำรุง ซึ่งราคาของน้ำยางพาราที่คุ้มค่าต่อการนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนนนั้นควรอยู่ที่ต่ำกว่า 50 บาท/กิโลกรัม เพราะจะทำให้ต้นทุนการก่อสร้างที่เพิ่มขึ้นนั้นอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 – 12 ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการก่อสร้างที่ต่ำลงจากเดิมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำยางพาราอย่างคุ้มค่าสำหรับงานทาง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพาราชนิดน้ำยางข้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างทาง โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนน้ำยางพาราที่แตกต่างกันที่ร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบ่งเป็นสามส่วนคือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

ส่วนที่สองเป็นการทดสอบการรับกำลังของวัสดุจากค่าซีบีอาร์และกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นสามชุดตามวิธีการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบ ประกอบด้วย 1) การทดสอบโดยใช้น้ำยางพาราผสมแทนน้ำบริสุทธิ์ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้แล้วทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ 2) การทดสอบโดยใช้น้ำยางพาราตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่บดอัดเสร็จแล้วที่อุณหภูมิห้องไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน เพื่อให้น้ำยางพาราอยู่ตัว แล้วจึงทำการทดสอบด้วยเครื่องกดทดสอบตามมาตรฐาน

และส่วนที่สามเป็นการศึกษาความคุ้มค่าของการใช้น้ำยางพาราธรรมชาติผสมดินลูกรังเพื่อใช้ในการก่อสร้างทาง โดยหลังจากทำการทดสอบกำลังของวัสดุแล้ว จะทำการเปรียบเทียบกำลังของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากทำการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพารา ศึกษาความคงทนของวัสดุที่เพิ่มขึ้นจากงานการทบทวนงานวิจัยในอดีต จากนั้นทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าซึ่งขึ้นอยู่กับราคาของน้ำยางพาราในขณะที่จะทำการใช้งานน้ำยางพาราในการก่อสร้าง

ผลการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่าง การศึกษากำลังที่เปลี่ยนแปลงไปของตัวอย่างดิน และการศึกษาความคุ้มค่าของการใช้ยางพาราเป็นวัสดุผสมเพิ่มในงานก่อสร้างทาง พบว่าคุณสมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่างที่เลือกมาเป็นดินที่มีการกระจายขนาดคละดี มีค่าร้อยละของกรวดเท่ากับ 33.55 ร้อยละของทรายเท่ากับ 52.83 และร้อยละของดินเม็ดละเอียดเท่ากับ 13.62 ค่าขีดจำกัดเหลวเท่ากับ 19.7 และค่าขีดจำกัดพลาสติกเท่ากับ 17.8 จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานทำให้ทราบว่าปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.2 และค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.082 ตัน/ม^3 โดยดินตัวอย่างที่เลือกมาเป็นดินลูกรังประเภท SM ทรายมีตะกอนทรายปน และเมื่อทำการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดพบว่าดินลูกรังที่ผสมน้ำยางพาราจะมีน้ำยางพาราเคลือบเม็ดดินอยู่ทำให้ดินลูกรังที่ผสมยางพารามีความยืดหยุ่น มีความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของน้ำมากขึ้นทำให้การบวมตัวของดินลูกรังที่ผสมน้ำยางพารามีค่าต่ำลงตามปริมาณน้ำยางพาราที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษากำลังของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการผสมน้ำยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติแบ่งเป็น 2 การทดสอบคือ 1) การทดสอบการหาค่าซีบีอาร์ โดยการทดสอบแบบไม่แช่น้ำพบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราที่ร้อยละ 10 โดยใช้วิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างที่การบ่มในอากาศ 0 วัน ทำให้ได้ค่าซีบีอาร์ที่สูงที่สุดที่ 86.4 จากเดิมที่ไม่ผสมน้ำยางพาราแล้วใช้น้ำปริมาณเหมาะสมสูงสุดทำการทดสอบตามมาตรฐานอยู่ที่ 81.5 และการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 10 โดยทำการกดทดสอบทันทีหลังบดอัดด้วยน้ำยางพาราจะให้ค่าซีบีอาร์ที่สูงที่สุดในการเตรียมก้อนตัวอย่างแบบที่

ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ที่ 65.0 ส่วนการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ ในการทดสอบตามมาตรฐานโดยใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 8.2 ซึ่งเป็นปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ได้ค่าซีบีอาร์ 52.3 และเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อัตราน้ำยางพาราร้อยละ 10 ค่าซีบีอาร์อยู่ที่ 57.7 ในการเตรียมตัวอย่างแบบไม่บ่ม โดยในการเตรียมตัวอย่างแบบบ่มก้อนตัวอย่าง 7 วันก่อนทำการแช่น้ำ อัตราส่วนน้ำยางพาราที่ดีที่สุดคือร้อยละ 0 กล่าวคือการใช้น้ำยางพาราที่ทำการบ่มแล้วทำการทดสอบซีบีอาร์แบบแช่น้ำจะทำให้ค่าซีบีอาร์ลดลงตามปริมาณน้ำยางพาราที่ผสมเพิ่ม ต่ำสุดที่ 8.9 ที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 15 แล้วสูงสุดที่ 43.8 ที่ปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 0 ซึ่งหลังการทดสอบพบว่าการเพิ่มน้ำยางพาราในดินสามารถปรับปรุงค่าซีบีอาร์ให้ดีขึ้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการผสมและเตรียมตัวอย่างดินก่อนทำการทดสอบ 2) การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดพบว่าการทดสอบโดยการเตรียมตัวอย่างแบบที่ระยะเวลาบ่ม 0 วัน ไม่สามารถทำให้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้ ซึ่งข้อกำหนดของกรมทางหลวงเกี่ยวกับมาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ได้กำหนดให้ค่า Unconfined Compressive Strength ของการใช้ดินซีเมนต์จะต้องทีค่าไม่น้อยกว่า 250 ksc แต่ทว่าการทำการทดสอบโดยการเตรียมตัวอย่างที่ผ่านการบ่ม 7 วัน ให้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดสูงสุดที่ 365.84 ksc โดยการบ่มก้อนตัวอย่างเป็นระยะเวลา 7 วันจะให้กำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดสูงสุดที่ปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 20 และจะได้กำลังต้านทานแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานการใช้งานที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ที่ 304.38 ksc เมื่อทำการเตรียมตัวอย่างบ่มก้อนตัวอย่าง 7 วัน ก่อนทำการทดสอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะในเชิงวิจัย

- ควรพิจารณราประเด็นเรื่องของมาตรฐานในการทดสอบคุณสมบัติเนื่องจากมาตรฐานในการทดสอบที่ใช้อยู่นั้นเป็นการทดสอบโดยใช้น้ำบริสุทธิ์ แต่ในงานวิจัยได้มีการใช้น้ำยางพาราซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลวร้อยละ 40 และส่วนที่เป็นเนื้อยางร้อยละ 60 จึงทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด ความชื้นที่ได้ในขั้นตอนการทดสอบมีความคลาดเคลื่อน ไม่สม่ำเสมอ จึงควรพิจารณาปริมาณน้ำในน้ำยางพาราเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งด้วย
- ควรพิจารณาคุณสมบัติของน้ำยางพาราที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง เนื่องจากน้ำยางพาราเป็นวัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ มีความคลาดเคลื่อนและเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละพื้นที่ จึงควรมีการคัดเลือกน้ำยางพาราที่มีลักษณะและมาจากพื้นที่เดียวกันในแต่ละครั้งที่นำมาใช้
- ควรพิจารณาระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างที่บดอัดเสร็จ อุณหภูมิในการบ่มและอบก้อนตัวอย่างก่อนทำการทดสอบด้วย
- ควรคำนึงถึงปัจจัยด้านเวลาในขณะทำการผสมน้ำยางพารากับดินเพื่อทำการบดอัด เนื่องจากระยะเวลาในการผสมน้ำยางพาราที่น้อยเกินไปทำให้น้ำยางพาราคลุกเคล้ากับเม็ดดินได้ไม่ดี และหากระยะเวลาที่ใช้ในการผสมน้ำยางพาราที่มากเกินไปจะทำให้น้ำยางพาราที่ผสมกับเม็ดดินแห้งเหลือเพียงเนื้อยางทำให้ดินแห้งทำการบดอัด เกิดการแยกชั้นของชั้นในแต่ละชั้นที่บดอัดส่งผลให้กำลังของก้อนตัวอย่างลดลง
- ควรทำการทดสอบกับน้ำยางพาราชนิดพรีวัลคาไนซ์เพิ่มเนื่องจากเป็นน้ำยางพาราแบบสุกซึ่งมีความหนืดน้อยกว่า จับตัวเป็นก้อนได้ช้ากว่าจึงอาจจะทำให้การผสมคลุกเคล้ากับดินทำได้ดีกว่า

5.2.2 ข้อเสนอแนะในเชิงนโยบาย

- ควรพิจารณาราคาน้ำยางพาราปัจจุบันในขณะที่จะเลือกใช้น้ำยางพาราเพื่อความคุ้มค่าในการใช้งานจริงในอนาคต เนื่องจากราคาของน้ำยางพารามีความผันแปรอยู่ตลอดเวลา
- เนื่องจากน้ำยางพาราที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำยางพาราชนิดแอมโมเนียสูง ดังในการผสมน้ำยางพารากับดินในปริมาณมากจะทำให้เกิดกลิ่นแอมโมเนียฟุ้ง ผู้ทำการผสมจึงควรใช้หน้ากากอนามัยขณะทำการผสมและทำการทดสอบเพื่อป้องกันอันตรายจากสารเคมี

บรรณานุกรม

“สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร”. 2014. "สถิติการเกษตรของไทย ปี 2557". กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

จิราภรณ์ ทองศรีนุ่น. *"การปรับปรุงคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางพารา". วารสารวิจัยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง.* 16-84

ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, อดุลย์ ณ วิเชียร. *"การใช้ยางพาราผสมยางมะตอย-แนวทางการใช้ยางในประเทศ". วารสารยางไทย 2557(3).*46-50

วุฒิกรณ์ จันทะพันธ์. *"การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โครงการก่อสร้างอาคารพักอาศัยรวมข้าราชการและพนักงานของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา". ปริญญานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.* 2557.

สัญชัย ธรรมวัฒนะ. 2003. *"การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม ของดินลูกรังและดินเหนียวผสมซีเมนต์และเศษยาง".* หน้า 5-44

มนตรี เดชาสกุลสม. *"การส่งเสริมการใช้ยางพาราเป็นวัสดุผิวทาง". วารสารวิจัย กรมทางหลวง พ.ศ. 2556.*

วัชรินทร์ วิทยกุล. *"แอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับงานถนน". สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.* 2549.

1-62.

ปัณณวัฒน์ ปรียานนท์, สมโพธิ อยู่ไว. *"คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยเศษยางผงและยางพารา". เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19.* 2014

กอบชัย เกิดจันทร์ตรง. วัชรินทร์ วิทยกุล และ วีระเกษตร สวนผกา. 2015. “การศึกษาอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีการผสมร้อน (มาสเตอร์แบท1:1)”. *การประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10 ประจำปี พ.ศ.2558*

กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ, เอกชัย สุมาสี และ วีระเทพ ชนินทรเทพ. *'การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานที่มีส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ผสมด้วยยางพาราธรรมชาติชนิดข้นเหลวและชนิดยางแผ่น". เอกสารประการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10.* 2015.

ธิติพงษ์ หล่อพิศาลชัย, อาทิตย์ ปัณณราช และ ณัฐพร เอมเจริญ 2556. *"การศึกษาคุณสมบัติทางด้าน*

กำลังของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา". ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสยาม. 2013

พิชัย ธานีรณานนท์. *"วิธีการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์". ภาควิชาวิศวกรรโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.* 7-19.

สราวุธ จริตงาม, โอภาส สมใจนึก, อรุณลูกจันทร์ และ พิชัย ธานีรณานนท์, *"การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างทาง". เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 19 ประจำปี 2557.* 2015.

S.D. Nagrale, H. Hajare, P.R. Modak. *"Utlization of Rice Husk Ash".* International Journal of Engineering Research and Application. 2(40. pp.1-5. 2012

Ramez A. Al-Mansob, Amiruddin Ismail, Nur Izzi Md. Yusoff, Shaban Ismael Albrka, Che

Husna Azhari, Mohamed Rehan Karim. 2015. “*Rheological characteristics of unaged and aged epoxidised natural rubber modified asphalt*”. ใน *Construction and Building Materials 102,part1 (January):190- 199.* สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2559.

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815305481.

F.G. Bell. *"Engineering Treatment of Soils".* 1st ed. E&FN Spon. London. UK. 1993.

Aditya Kumar Anupam, Praveen Kumar, G D Ransinchung R N. 2013. *“Use of Various Agricultural and Industrial Waste Materials in Road Construction”. 2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG). Social and Behavioral Sciences 104*. 2013. 264 – 273

Jeerapan Donrak, Runglawan Rachan, Suksun Horpibulsuk, Arul Arulrajah, Yan Jun Du. 2016. *“Improvement of marginal lateritic soil using Melamine Debris replacement for sustainable engineering fill materials”. Joumal of Cleaner Production 134.* 2016. 515 - 522.

Dina Kuttah, Kenichi Sato. 2015. *"Review on the effect of gypsum content on soil behavior". Transportation Geotechnics 4*. 2015. 28 – 37

ASTM D 638-02 a. *"Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic"*. ASTM International. PA Unites States. 2002.

ASTM D2166.*"Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive*

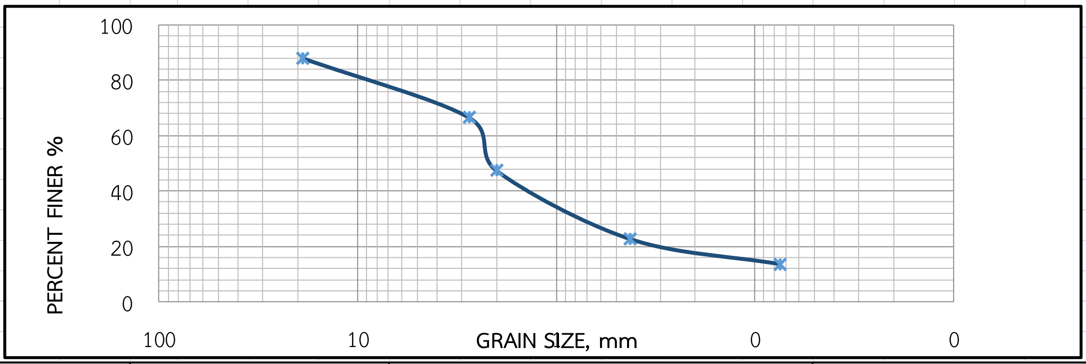
Soil". ASTM International. PA Unites States.

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University				SIEVE ANALYSIS			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยาง			SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน			SOURCE	ห้วยโอน		
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง			DATE	18/2/2560		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ			SHEET	1	OF	2
WEIGHT OF SOIL SAMPLE					Maximum Size of particle		Minimum weight of sample (gm)
PAN NO.			1				
WT. OF PAN + DRY SOIL	gm.		1984.12		NO. 10		200
WT. OF PAN	gm.		251.31		NO. 4		500
WT. OF DRY SOIL	gm.		1732.81		NO. 3/4"		1500
WT. OF SOIL AFTER CLEAN	gm.		1502.42				

SIEVE NO.	SIEVE mm.	WT. OF gm.	WT. OF SOIL gm.	WT. OF gm.	CUMULATIVE gm.	PERCENT %	PERCENT %
3/4	19.00	460.72	670	209.28	209.28	12.08	87.92
4	2.75	481.86	853.83	371.97	581.25	33.54	66.46
10	2.000	490.64	822.02	331.38	912.63	52.67	47.33
40	0.425	338.41	765.88	427.47	1340.10	77.34	22.66
200	0.075	303.20	459.83	156.63	1496.73	86.38	13.62
PAN	0.000	281.44	285.86	4.42	1501.15	86.63	0.00
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		SIEVE ANALYSIS			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยาง	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง	DATE	18/2/2017		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2



+3"	%Gravel		%Sand			%Fine	
Cobble	Coarse	Fine	Coarse	Medium	Fine	Silt	Clay
0.00	12.08	21.47	19.12	24.67	9.04	13.62	

	Diameter (mm)	Passing (%)		
D_{10} =	-	10	C_u = D_{60}/D_{10} =	-
D_{30} =	0.7800	30	C_c = $D_{30}^2/(D_{60}*D_{10})$ =	-
D_{60} =	2.3000	60		

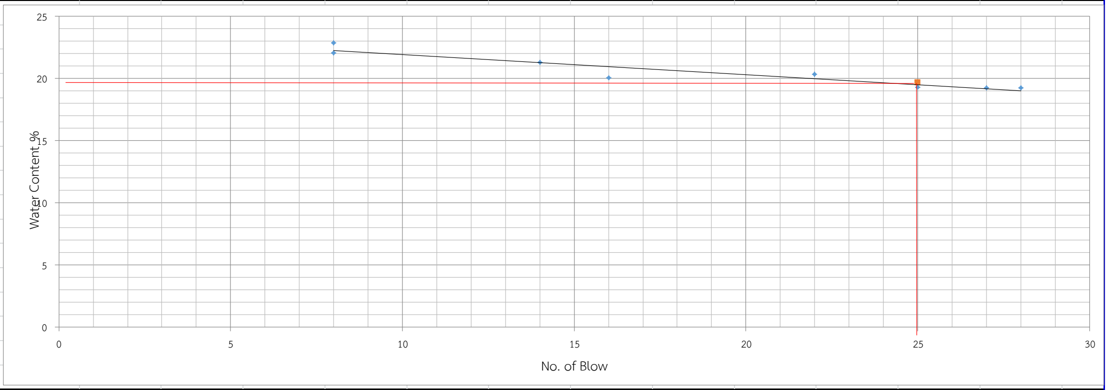
การจำแนกโดยระบบ USSC							
Liquid Limit =	20	Plastic Limit =	17.8	Plastic Index =	1.92	จัดอยู่ในประเภท	SM

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		LIQUID LIMIT AND PLASTIC LIMIT			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง	DATE	16/2/2017		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	1

LIQUID LIMIT TEST

CAN NO.		1	2	3	4	5	6	7	8	หมายเหตุ
WET SOIL + CAN	gm	41.85	41.26	40.77	39.95	40.73	41.06	40.78	41.13	
DRY SOIL + CAN	gm	40.06	40.01	39.64	38.85	39.35	39.47	39.43	40.13	
WT. OF CAN	gm	34.03	35.03	34.92	34.24	34.47	33.60	34.14	35.93	
WT. OF WATER	gm	1.79	1.25	1.13	1.10	1.38	1.59	1.35	1.00	
WT. OF DRY SOIL	gm	7.82	6.23	5.85	5.71	6.26	7.46	6.64	5.20	
WATER CONTENT	%	22.89	20.06	19.32	19.26	22.04	21.31	20.33	19.23	
NO. OF BLOW	N	8	16	25	27	8	14	22	28	



PLASTIC LIMIT TEST

CAN NO.		1	2	3	4	หมายเหตุ
WET SOIL + CAN	gm	35.02	34.25	16.07	15.42	
DRY SOIL + CAN	gm	34.89	34.19	15.78	15.27	
WT. OF CAN	gm	34.15	33.84	14.20	14.44	
WT. OF WATER	gm	0.13	0.06	0.29	0.15	
WT. OF DRY SOIL	gm	0.74	0.35	1.58	0.83	
WATER CONTENT	%	17.57	17.14	18.35	18.07	

Liquid Limit =	19.7	Plastic Limit =	17.8	Plastic Index =	LL-PL =	1.92

ภาคผนวก ค
ผลการทดสอบการบดอัดมาตรฐาน

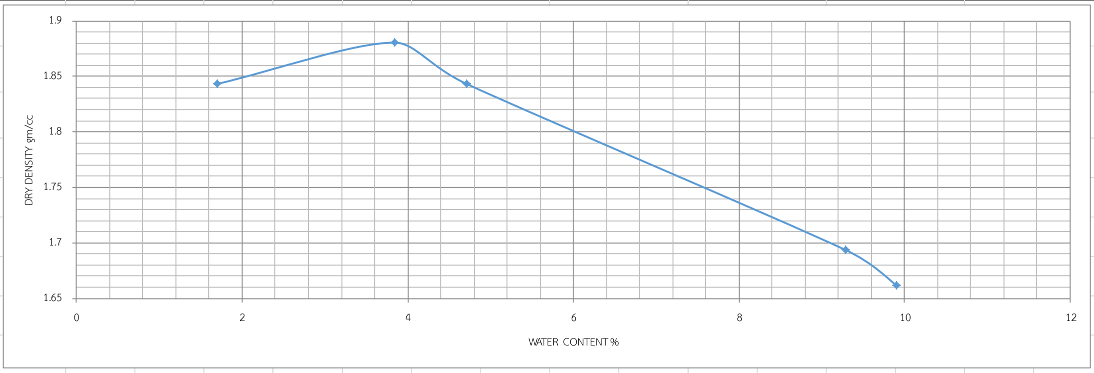
Civil Engineering Department Prince of Songkhla University				COMPACTION TEST		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา			SAMPLE NO.	1	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน			SOURCE	ห้วยโอน	
SOIL DESCRIPTION	ปริมาณน้ำยางข้นเหมาะสมสูงสุด			DATE	16/12/2559	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ			SHEET	1	OF 1
TYPE OF COMPACTION		Modified Proctor		MOLD VOLUME	952.61	cc.

WATER CONTENT DETERMINATION

SAMPLE NO.		1	2	3	4	5
WET SOIL + CAN	gm.	143.02	141.77	110.04	99.93	105.69
DRY SOIL + CAN	gm.	140.87	137.01	104	92.63	97.1
WT. OF CAN	gm.	14.27	13.04	15.91	14.07	11.53
WT. OF WATER	gm.	2.15	4.76	6.04	7.3	8.59
WT. OF DRY SOIL	gm.	126.6	123.97	88.09	78.56	85.57
WATER CONTENT	%	1.7	3.8	6.9	9.3	10.0

DENSITY DETERMINATION

WET SOIL + MOLD	gm.	5776	5850	5828.5	5753.5	5720
WT. OF MOLD	gm.	4001	4001	4001	4001	4001
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	1775	1849	1827.5	1752.5	1719
WET DENSITY	t/m^3	1.863	1.941	1.918	1.840	1.805
DRY DENSITY	t/m^3	1.832	1.869	1.795	1.683	1.640



OPTIMUM RUBBER CONTENT	3.8	%	MAXIMUM DRY DENSITY	1.88	t/m^3

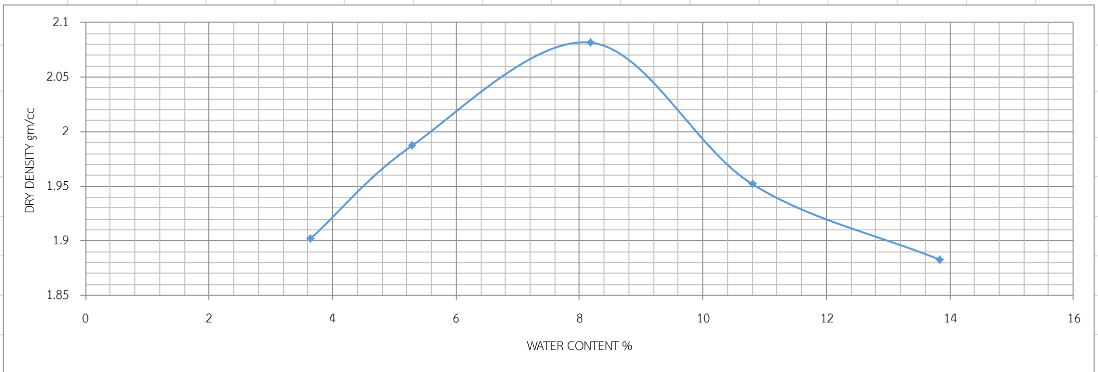
Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		COMPACTION TEST	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
SOIL DESCRIPTION	ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด	DATE	15/12/2559
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 1
TYPE OF COMPACTION	Modified Proctor	MOLD VOLUME	952.61 cc.

WATER CONTENT DETERMINATION

SAMPLE NO.		1	2	3	4	5
WET SOIL + CAN	gm.	161.85	137.57	149.21	140.61	188.83
DRY SOIL + CAN	gm.	156.66	131.44	138.95	128.47	167.53
WT. OF CAN	gm.	14.15	15.62	13.63	16.06	13.63
WT. OF WATER	gm.	5.19	6.13	10.26	12.14	21.3
WT. OF DRY SOIL	gm.	142.51	115.82	125.32	112.41	153.9
WATER CONTENT	%	3.6	5.3	8.2	10.8	13.8

DENSITY DETERMINATION

WET SOIL + MOLD	gm.	5867.5	5982.5	6133.5	6049	6030.5
WT. OF MOLD	gm.	4001	4001	4001	4001	4001
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	1866.5	1981.5	2132.5	2048	2029.5
WET DENSITY	t/m^3	1.959	2.080	2.239	2.150	2.130
DRY DENSITY	t/m^3	1.891	1.976	2.069	1.940	1.871



OPTIMUM WATER CONTENT	8.2	%	MAXIMUM DRY DENSITY	2.082	t/m^3

ภาคผนวก ง
ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำ

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด				

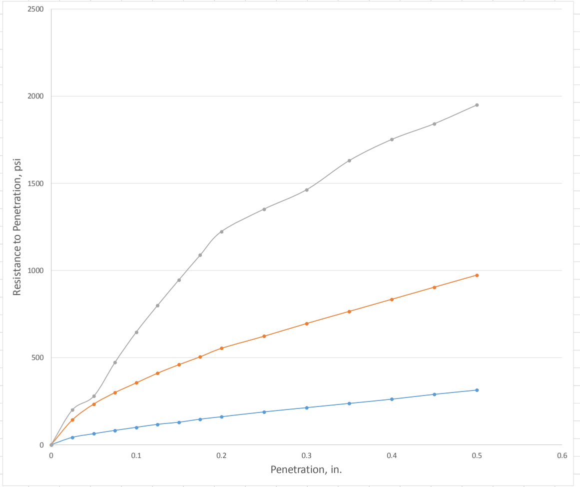
Water content determination

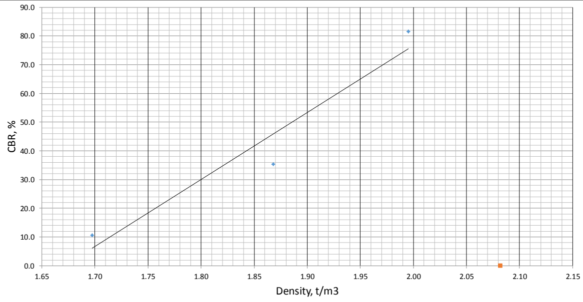
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	82.69	130.76	109.74
Wt. can + dry soil	gm.	77.58	122.47	102.53
Wt. of can	gm.	12.55	15.72	14.64
Wt. of water	gm.	5.11	8.29	7.21
Wt. of dry soil	gm.	65.03	106.75	87.89
Water content	%	7.9	7.8	8.2
Mold Volume	cc.	2119.33	2119.33	2119.33
Wt. wet soil + mold	gm.	11268.5	11655	11964
Wt. of mold	gm.	7388.5	7388.5	7388.5
Wt. of soil in mold	gm.	3880	4266.5	4575.5
Wet Density	gm.	1.83	2.01	2.16
Dry Density	gm.	1.70	1.87	2.00
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	81.5	89.72	95.83

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	12	41.7	41	142.4	57.5	199.7
0.05	18	62.5	67	232.7	80	277.9
0.075	23.5	81.6	86	298.7	136	472.4
0.1	28.5	99.0	102	354.3	186	646.0
0.125	33.5	116.4	118	409.9	230	798.9
0.15	37	128.5	132	458.5	272	944.7
0.175	42	145.9	145	503.6	313	1087.2
0.2	46	159.8	159	552.3	352	1222.6
0.25	54	187.6	179	621.7	389	1351.1
0.3	61	211.9	200	694.7	421	1462.3
0.35	68	236.2	220	764.1	469	1629.0
0.4	75	260.5	240	833.6	504	1750.6
0.45	83	288.3	260	903.1	530	1840.9
0.5	90	312.6	280	972.5	561	1948.5
% CBR at 0.1"	9.9		35.4		64.6	
% CBR at 0.2"	10.7		36.8		81.5	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	10.7	35.4	81.5
Dry Density	1.70	1.87	2.00
Water Content	7.86	7.77	8.20
Percent Compaction	81.53	89.72	95.83

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5				

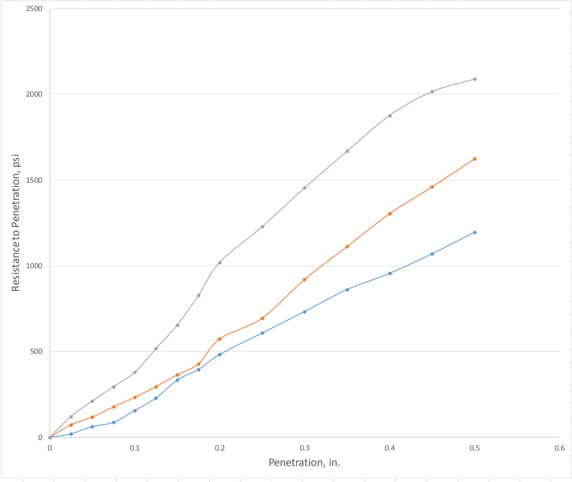
Water content determination

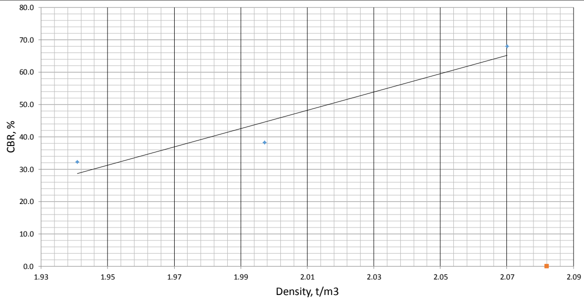
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	159.47	183.93	169.33
Wt. can + dry soil	gm.	154.21	177.25	163.39
Wt. of can	gm.	18.59	17.93	20.21
Wt. of water	gm.	5.26	6.68	5.94
Wt. of dry soil	gm.	135.62	159.32	143.18
Water content	%	3.9	4.2	4.1
Mold Volume	cc.	2130.6	2130.6	2130.6
Wt. wet soil + mold	gm.	11430	11568	11728
Wt. of mold	gm.	7134.5	7134.5	7134.5
Wt. of soil in mold	gm.	4295.5	4433.5	4593.5
Wet Density	gm.	2.02	2.08	2.16
Dry Density	gm.	1.94	2.00	2.07
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	93.2	95.92	99.43

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	6	20.8	21	72.9	35	121.6
0.05	18	62.5	34	118.1	61	211.9
0.075	25	86.8	51	177.1	85	295.2
0.1	45	156.3	67	232.7	109	378.6
0.125	66	229.2	85	295.2	149	517.5
0.15	96	333.4	105	364.7	188.5	654.7
0.175	114	396.0	123	427.2	238	826.7
0.2	139	482.8	165	573.1	293.5	1019.4
0.25	175	607.8	200	694.7	353.5	1227.8
0.3	211	732.9	265	920.4	418.5	1453.6
0.35	248	861.4	320	1111.5	480	1667.2
0.4	275	955.2	375	1302.5	540	1875.6
0.45	308	1069.8	420	1458.8	580	2014.5
0.5	344	1194.8	467	1622.0	601	2087.5
% CBR at 0.1"	15.6		23.3		37.9	
% CBR at 0.2"	32.2		38.2		68.0	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	32.2	38.2	68.0
Dry Density	1.94	2.00	2.07
Water Content	3.88	4.19	4.15
Percent Compaction	93.22	95.92	99.43

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10			

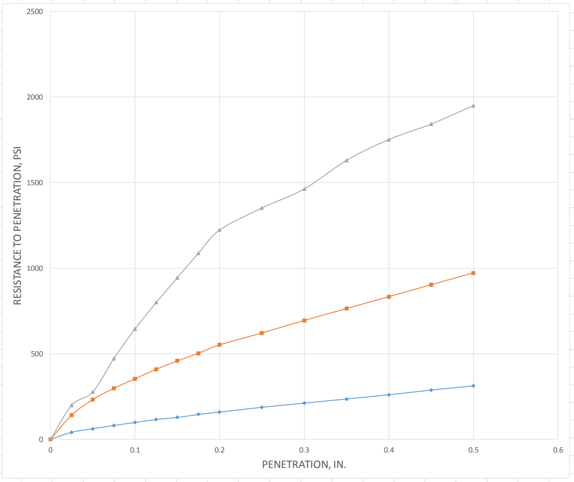
Water content determination

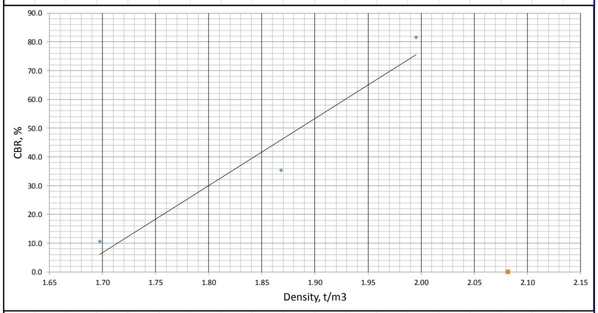
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	183.2	184.49	173.58
Wt. can + dry soil	gm.	171.03	171.95	161.88
Wt. of can	gm.	21.93	19.38	22.33
Wt. of water	gm.	12.17	12.54	11.7
Wt. of dry soil	gm.	149.1	152.57	139.55
Water content	%	8.2	8.2	8.4
Mold Volume	cc.	2130.6	2130.6	2130.6
Wt. wet soil + mold	gm.	11732	11894	12094
Wt. of mold	gm.	7243	7243	7243
Wt. of soil in mold	gm.	4489	4651	4851
Wet Density	gm.	2.11	2.18	2.28
Dry Density	gm.	1.95	2.02	2.10
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	#REF!	#REF!	#REF!

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	27	93.8	7	24.3	13	45.2
0.05	42	145.9	25	86.8	32	111.1
0.075	64	222.3	67	232.7	75	260.5
0.1	91	316.1	120	416.8	138	479.3
0.125	107	371.6	168	583.5	210	729.4
0.15	132	458.5	228	791.9	275	955.2
0.175	151	524.5	268	930.9	327	1135.8
0.2	172	597.4	318	1104.5	373	1295.6
0.25	197	684.2	388	1347.7	454	1576.9
0.3	236	819.7	432	1500.5	525	1823.5
0.35	272	944.7	476	1653.3	595	2066.6
0.4	306	1062.8	536	1861.7	658	2285.5
0.45	334	1160.1	585	2031.9	716	2486.9
0.5	378	1312.9	621	2156.9	774	2688.4
% CBR at 0.1"	31.6		41.7		47.9	
% CBR at 0.2"	39.8		73.6		86.4	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10			





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	39.8	73.6	86.4
Dry Density	1.95	2.02	2.10
Water Content	8.16	8.22	8.38
Percent Compaction	#REF!	#REF!	#REF!

Civil Engineering Department		CBR TEST (UNSOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15				

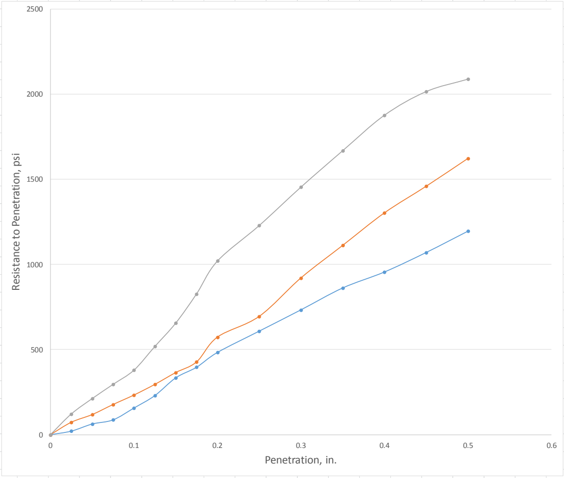
Water content determination

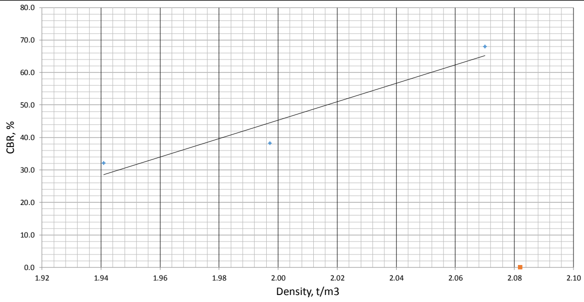
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	149.85	159.33	163.85
Wt. can + dry soil	gm.	134.85	143.32	146.68
Wt. of can	gm.	21.53	20.44	19.46
Wt. of water	gm.	15	16.01	17.17
Wt. of dry soil	gm.	113.32	122.88	127.22
Water content	%	13.2	13.0	13.5
Mold Volume	cc.	2105.65	2105.65	2105.65
Wt. wet soil + mold	gm.	11764	11948	12095
Wt. of mold	gm.	7184	7148	7153.5
Wt. of soil in mold	gm.	4580	4800	4941.5
Wet Density	gm.	2.18	2.28	2.35
Dry Density	gm.	1.92	2.02	2.07
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	92.3	96.87	99.31

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	13	45.2	4	13.9	3	10.4
0.05	19	66.0	9	31.3	8	27.8
0.075	26	90.3	16	55.6	16	55.6
0.1	35	121.6	23	79.9	25	86.8
0.125	39	135.5	30	104.2	38	132.0
0.15	45	156.3	38	132.0	48	166.7
0.175	53	184.1	47	163.2	62	215.3
0.2	62	215.3	57	198.0	75	260.5
0.25	71	246.6	78	270.9	98	340.4
0.3	80	277.9	103	357.8	125	434.2
0.35	89	309.1	123	427.2	152	527.9
0.4	101	350.8	142	493.2	179	621.7
0.45	112	389.0	162	562.7	211	732.9
0.5	125	434.2	181	628.7	247	857.9
% CBR at 0.1"	12.2		8.0		8.7	
% CBR at 0.2"	14.4		13.2		17.4	

Civil Engineering Department		CBR TEST (UNSOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	14.4	13.2	17.4
Dry Density	1.92	2.02	2.07
Water Content	13.24	13.03	13.50
Percent Compaction	92.26	96.87	99.31

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20				

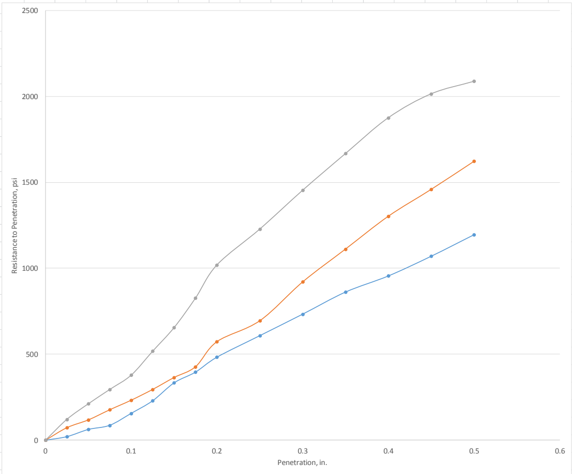
Water content determination

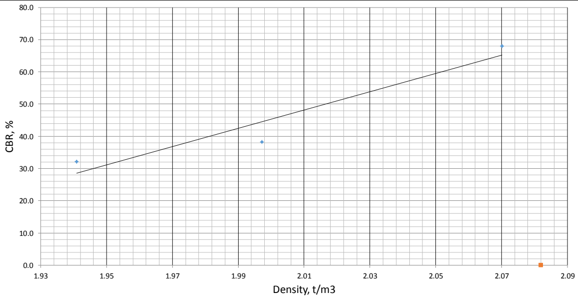
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	179.54	167.84	175.39
Wt. can + dry soil	gm.	155.45	145.4	151.55
Wt. of can	gm.	24.43	21.59	19.43
Wt. of water	gm.	24.09	22.44	23.84
Wt. of dry soil	gm.	131.02	123.81	132.12
Water content	%	18.4	18.1	18.0
Mold Volume	cc.	2194.49	2105.48	2108.83
Wt. wet soil + mold	gm.	11699	11852	12032
Wt. of mold	gm.	7249	7193	7283
Wt. of soil in mold	gm.	4450	4659	4749
Wet Density	gm.	2.03	2.21	2.25
Dry Density	gm.	1.71	1.87	1.91
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	82.3	89.97	91.63

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	1.5	5.2	8.5	29.5	11	38.2
0.05	4.5	15.6	15	52.1	22.5	78.2
0.075	6.5	22.6	20	69.5	30	104.2
0.1	8.5	29.5	24	83.4	36.5	126.8
0.125	10	34.7	27.5	95.5	43	149.4
0.15	12	41.7	30	104.2	49	170.2
0.175	13.5	46.9	33	114.6	54	187.6
0.2	14	48.6	35	121.6	59	204.9
0.25	16	55.6	39	135.5	67	232.7
0.3	18	62.5	42.5	147.6	73	253.6
0.35	19.5	67.7	45.5	158.0	78	270.9
0.4	21.5	74.7	48	166.7	83.5	290.0
0.45	23	79.9	51	177.1	88.5	307.4
0.5	24.5	85.1	54	187.6	93	323.0
% CBR at 0.1"	3.0		8.3		12.7	
% CBR at 0.2"	3.2		8.1		13.7	

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	3.2	8.3	13.7
Dry Density	1.71	1.87	1.91
Water Content	18.39	18.12	18.04
Percent Compaction	82.27	89.97	91.63

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ				

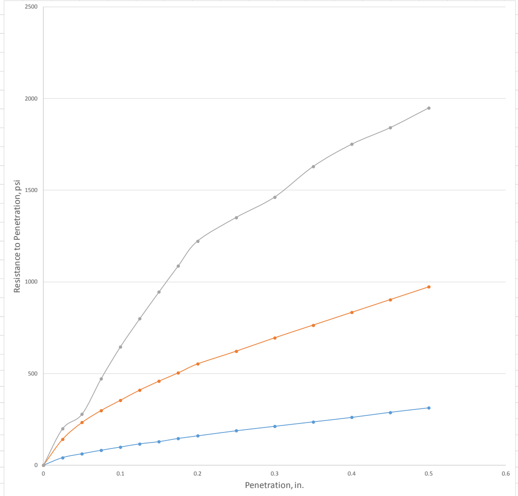
Water content determination

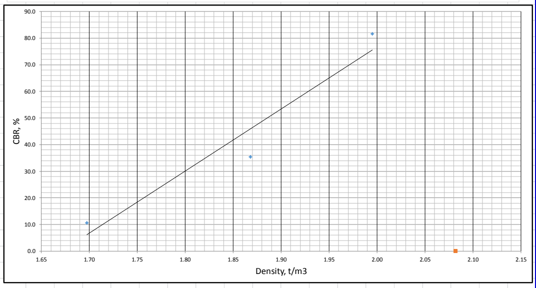
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	167.34	155.83	184.34
Wt. can + dry soil	gm.	156.31	145.89	172.03
Wt. of can	gm.	18.39	19.49	17.37
Wt. of water	gm.	11.03	9.94	12.31
Wt. of dry soil	gm.	137.92	126.4	154.66
Water content	%	8.0	7.9	8.0
Mold Volume	cc.	2154.04	2104.59	2148.76
Wt. wet soil + mold	gm.	11764	11909	12044
Wt. of mold	gm.	7204	7204	7204
Wt. of soil in mold	gm.	4560	4705	4840
Wet Density	gm.	2.12	2.24	2.25
Dry Density	gm.	1.96	2.07	2.09
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	94.1	99.55	100.21

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	13	45.2	30	104.2	59	204.9
0.05	19	66.0	60	208.4	79	274.4
0.075	23	79.9	85	295.2	134	465.4
0.1	29	100.7	100	347.3	185	642.6
0.125	32	111.1	120	416.8	225	781.5
0.15	38	132.0	130	451.5	275	955.2
0.175	41	142.4	144	500.2	311	1080.2
0.2	46	159.8	160	555.7	349	1212.2
0.25	54	187.6	180	625.2	385	1337.2
0.3	62	215.3	199	691.2	419	1455.3
0.35	70	243.1	219	760.7	466	1618.6
0.4	75	260.5	235	816.2	501	1740.1
0.45	82	284.8	254	882.2	528	1833.9
0.5	89	309.1	278	965.6	569	1976.3
% CBR at 0.1"	10.1		34.7		64.3	
% CBR at 0.2"	10.7		37.0		80.8	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	10.7	34.7	80.8
Dry Density	1.96	2.07	2.09
Water Content	8.00	7.86	7.96
Percent Compaction	94.15	99.55	100.21

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University			CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	2		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					

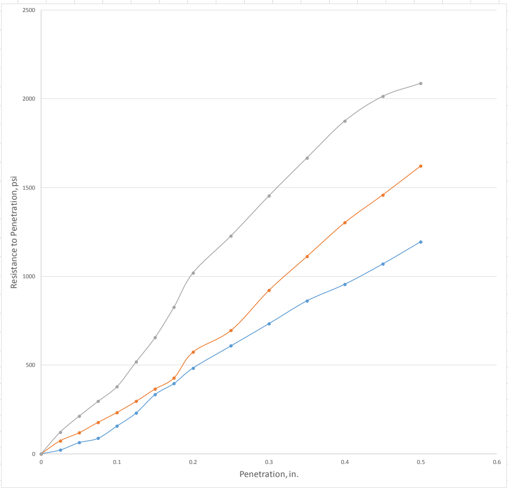
Water content determination

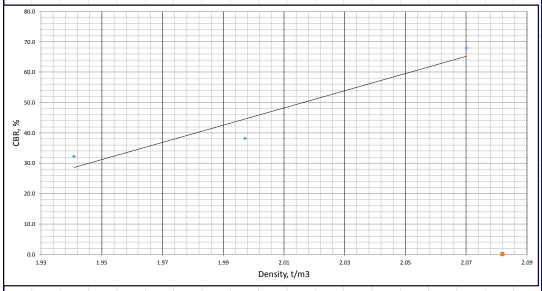
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	182.2	159.56	153.85
Wt. can + dry soil	gm.	176.9	155.01	149.85
Wt. of can	gm.	20.4	18.49	21.3
Wt. of water	gm.	5.3	4.55	4
Wt. of dry soil	gm.	156.5	136.52	128.55
Water content	%	3.4	3.3	3.1
Mold Volume	cc.	2158.653422	2158.653422	2158.653422
Wt. wet soil + mold	gm.	5340	5529	5653
Wt. of mold	gm.	556	539	555
Wt. of soil in mold	gm.	4784	4990	5098
Wet Density	gm.	2.22	2.31	2.36
Dry Density	gm.	2.14	2.24	2.29
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	103.0	107.45	110.01

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	28	97.3	35	121.6	40	138.9
0.05	60	208.4	60	208.4	76	264.0
0.075	110	382.1	115	399.4	128	444.6
0.1	176	611.3	198	687.7	202	701.6
0.125	218	757.2	239	830.1	258	896.1
0.15	253	878.8	275	955.2	308	1069.8
0.175	287	996.8	308	1069.8	367	1274.7
0.2	318	1104.5	343	1191.4	419	1455.3
0.25	366	1271.2	380	1319.9	480	1667.2
0.3	413	1434.5	429	1490.1	537	1865.2
0.35	451	1566.5	497	1726.2	598	2077.1
0.4	484	1681.1	539	1872.1	630	2188.2
0.45	514	1785.3	548	1903.4	650	2257.7
0.5	550	1910.3	598	2077.1	678	2354.9
% CBR at 0.1"	61.1		68.8		70.2	
% CBR at 0.2"	73.6		79.4		97.0	

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University			CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	2		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	73.6	79.4	97.0
Dry Density	2.14	2.24	2.29
Water Content	3.39	3.33	3.11
Percent Compaction	102.96	107.45	110.01

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ				

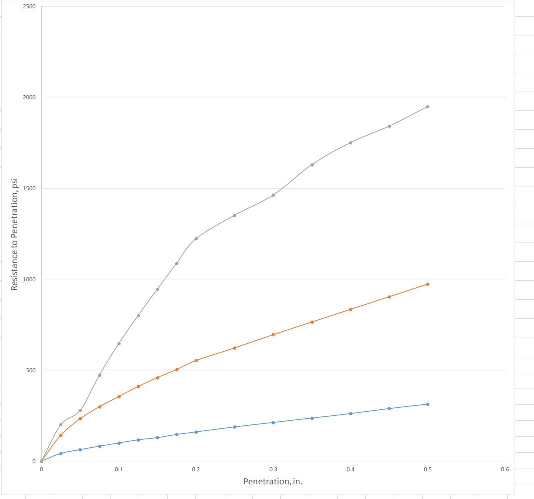
Water content determination

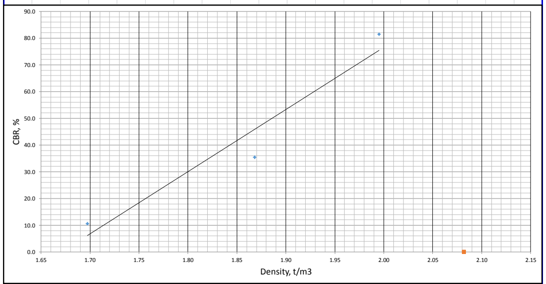
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	180.1	188.1	196.1
Wt. can + dry soil	gm.	174	181.62	189.44
Wt. of can	gm.	19.8	22	21.8
Wt. of water	gm.	6.1	6.48	6.66
Wt. of dry soil	gm.	154.2	159.62	167.64
Water content	%	4.0	4.1	4.0
Mold Volume	cc.	2158.653422	2158.653422	2158.653422
Wt. wet soil + mold	gm.	4972	5286	5314
Wt. of mold	gm.	558	556	558
Wt. of soil in mold	gm.	4414	4730	4756
Wet Density	gm.	2.04	2.19	2.20
Dry Density	gm.	1.97	2.11	2.12
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	94.5	101.14	101.78

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	15	52.1	19.5	67.7	31	107.7
0.05	28	97.3	38	132.0	56	194.5
0.075	39	135.5	55	191.0	75	260.5
0.1	51	177.1	73	253.6	97	336.9
0.125	61	211.9	89	309.1	118	409.9
0.15	72	250.1	104	361.2	140	486.3
0.175	83	288.3	120	416.8	160	555.7
0.2	93	323.0	134	465.4	180	625.2
0.25	112	389.0	163	566.2	217	753.7
0.3	129	448.1	190	659.9	253	878.8
0.35	147	510.6	214	743.3	291	1010.7
0.4	163	566.2	238	826.7	325	1128.8
0.45	178	618.3	285	989.9	358	1243.5
0.5	185	642.6	289	1003.8	390	1354.6
% CBR at 0.1"	17.7		25.4		33.7	
% CBR at 0.2"	21.5		31.0		41.7	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	21.5	31.0	41.7
Dry Density	1.97	2.11	2.12
Water Content	3.96	4.06	3.97
Percent Compaction	94.48	101.14	101.78

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University			CBR TEST (UNSOAKED)				
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	4			
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน			
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	1	OF	2	
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ						

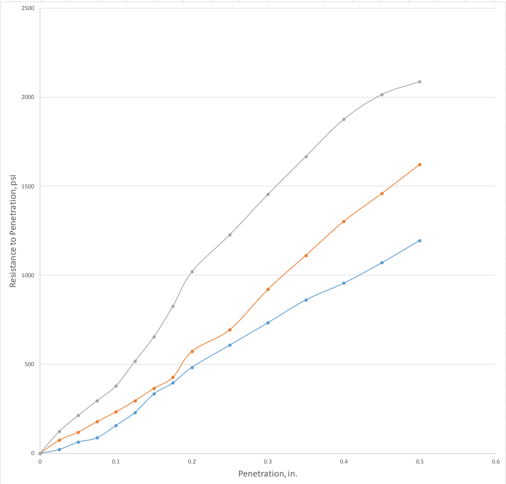
Water content determination

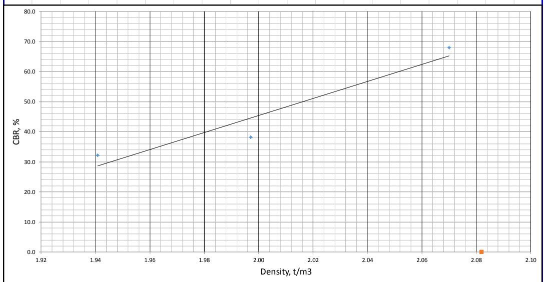
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	188.8	225.5	241.2
Wt. can + dry soil	gm.	178.12	211.51	224.8
Wt. of can	gm.	22.5	21.8	20.4
Wt. of water	gm.	10.68	13.99	16.4
Wt. of dry soil	gm.	155.62	189.71	204.4
Water content	%	6.9	7.4	8.0
Mold Volume	cc.	2158.653422	2158.653422	2158.653422
Wt. wet soil + mold	gm.	5316	5260	5450
Wt. of mold	gm.	538	544	550
Wt. of soil in mold	gm.	4778	4716	4900
Wet Density	gm.	2.21	2.18	2.27
Dry Density	gm.	2.07	2.03	2.10
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	99.5	97.73	100.93

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	7	24.3	3	10.4	4	13.9
0.05	9	31.3	4	13.9	7	24.3
0.075	11.5	39.9	5.5	19.1	10	34.7
0.1	14	48.6	7	24.3	13	45.2
0.125	16	55.6	9	31.3	16	55.6
0.15	20.5	71.2	10.5	36.5	19	66.0
0.175	23.5	81.6	12	41.7	21	72.9
0.2	26	90.3	14	48.6	23.5	81.6
0.25	32.5	112.9	18	62.5	29	100.7
0.3	38	132.0	21	72.9	46	159.8
0.35	44	152.8	25	86.8	50	173.7
0.4	52	180.6	28	97.3	58	201.5
0.45	60	208.4	32.5	112.9	65	225.8
0.5	68	236.2	38	132.0	75	260.5
% CBR at 0.1"	4.9		2.4		4.5	
% CBR at 0.2"	6.0		3.2		5.4	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University			CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	6.0	3.2	5.4
Dry Density	2.07	2.03	2.10
Water Content	6.86	7.37	8.02
Percent Compaction	99.48	97.73	100.93

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University			CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					

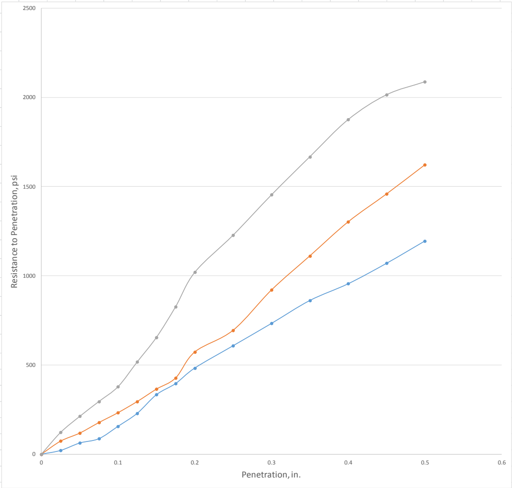
Water content determination

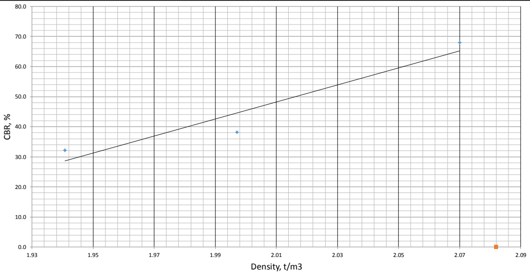
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	207	225.1	236.1
Wt. can + dry soil	gm.	195.43	211.53	221.67
Wt. of can	gm.	21.1	22.2	20.4
Wt. of water	gm.	11.57	13.57	14.43
Wt. of dry soil	gm.	174.33	189.33	201.27
Water content	%	6.6	7.2	7.2
Mold Volume	cc.	2158.653422	2158.653422	2158.653422
Wt. wet soil + mold	gm.	5350	5348	5360
Wt. of mold	gm.	554	550	552
Wt. of soil in mold	gm.	4796	4798	4808
Wet Density	gm.	2.22	2.22	2.23
Dry Density	gm.	2.08	2.07	2.08
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	100.1	99.62	99.82

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	2	6.9	3.5	12.2	3	10.4
0.05	4	13.9	6.5	22.6	5.5	19.1
0.075	6	20.8	9	31.3	8	27.8
0.1	8	27.8	12	41.7	10	34.7
0.125	10	34.7	15	52.1	13	45.2
0.15	10.5	36.5	20	69.5	15	52.1
0.175	11	38.2	23	79.9	18	62.5
0.2	12.5	43.4	28	97.3	20	69.5
0.25	16	55.6	35	121.6	26	90.3
0.3	18.5	64.3	44	152.8	32	111.1
0.35	22	76.4	53	184.1	39	135.5
0.4	26	90.3	65	225.8	46	159.8
0.45	29	100.7	69	239.7	52	180.6
0.5	34	118.1	73	253.6	61	211.9
% CBR at 0.1"	2.8		4.2		3.5	
% CBR at 0.2"	2.9		6.5		4.6	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University			CBR TEST (UNSOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	2.9	4.2	4.6
Dry Density	2.08	2.07	2.08
Water Content	6.64	7.17	7.17
Percent Compaction	100.07	99.62	99.82

ภาคผนวก จ
ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด				

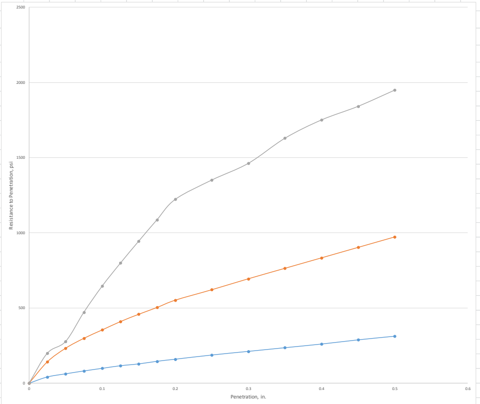
Water content determination

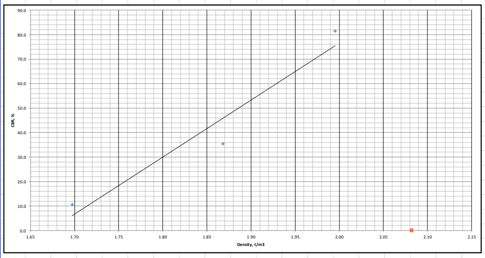
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	155.87	148.03	146.85
Wt. can + dry soil	gm.	144.94	138.10	136.78
Wt. of can	gm.	14.64	15.71	13.76
Wt. of water	gm.	10.93	9.93	10.07
Wt. of dry soil	gm.	130.3	122.39	123.02
Water content	%	8.4	8.1	8.2
Mold Volume	cc.	2119.33	2108.75	2105.65
Wt. wet soil + mold	gm.	11675.00	11795.50	11954.00
Wt. of mold	gm.	7388.50	7388.50	7388.50
Wt. of soil in mold	gm.	4286.5	4407	4565.5
Wet Density	gm.	2.02	2.09	2.17
Dry Density	gm.	1.87	1.93	2.00
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	89.6	92.84	96.26

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	5.5	19.1	12	41.7	18	62.5
0.05	12.5	43.4	21.5	74.7	30	104.2
0.075	17.5	60.8	31	107.7	70	243.1
0.1	21.5	74.7	39.5	137.2	104	361.2
0.125	25	86.8	47	163.2	123	427.2
0.15	28.5	99.0	55.5	192.8	145	503.6
0.175	31	107.7	63	218.8	175	607.8
0.2	33.5	116.4	69.5	241.4	226	785.0
0.25	38.5	133.7	84	291.8	270	937.8
0.3	43.5	151.1	100	347.3	329	1142.7
0.35	48.5	168.5	112.5	390.8	390	1354.6
0.4	54	187.6	122	423.7	450	1563.0
0.45	59	204.9	130	451.5	507	1761.0
0.5	64	222.3	139	482.8	557	1934.6
% CBR at 0.1"	7.5		13.7		36.1	
% CBR at 0.2"	7.8		16.1		52.3	

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	7.8	13.7	52.3
Dry Density	1.87	1.93	2.00
Water Content	8.39	8.11	8.19
Percent Compaction	89.63	92.84	96.26

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University				CBR TEST (SOAKED)		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา			SAMPLE NO.	2	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน			SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ			SHEET	1	OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5					

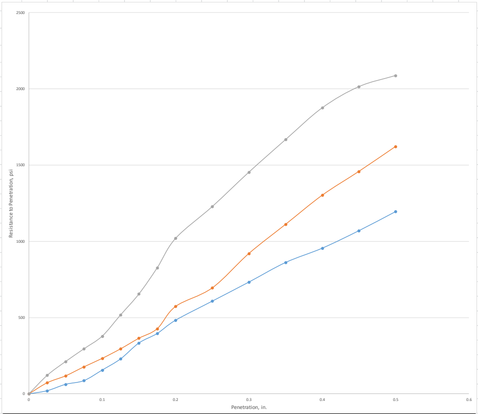
Water content determination

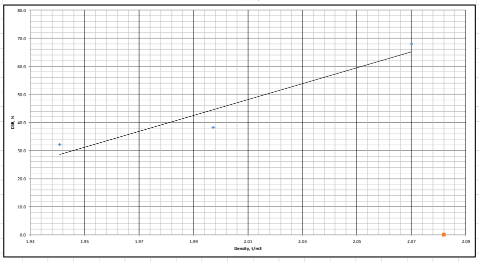
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	158.65	153.55	183.22
Wt. can + dry soil	gm.	152.34	148.32	176.85
Wt. of can	gm.	23.11	25.84	22.55
Wt. of water	gm.	6.31	5.23	6.37
Wt. of dry soil	gm.	129.23	122.48	154.3
Water content	%	4.9	4.3	4.1
Mold Volume	cc.	2158.653422	2158.653422	2158.653422
Wt. wet soil + mold	gm.	12014.5	12129.5	12290
Wt. of mold	gm.	7403	7403	7403
Wt. of soil in mold	gm.	4611.5	4726.5	4887
Wet Density	gm.	2.14	2.19	2.26
Dry Density	gm.	2.04	2.10	2.17
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	97.8	100.86	104.43

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	7	24.3	10	34.7	11	38.2
0.05	15	52.1	21	72.9	24	83.4
0.075	27	93.8	31.5	109.4	45	156.3
0.1	45	156.3	43	149.4	75.5	262.2
0.125	50	173.7	53	184.1	95.5	331.7
0.15	64	222.3	64	222.3	121	420.3
0.175	75	260.5	74	257.0	142	493.2
0.2	86	298.7	90	312.6	167	580.0
0.25	117	406.4	121	420.3	193	670.4
0.3	131	455.0	153	531.4	232	805.8
0.35	151.5	526.2	183	635.6	259	899.6
0.4	172	597.4	209	725.9	279	969.1
0.45	180	625.2	230	798.9	307.5	1068.1
0.5	194	673.8	253	878.8	328	1139.3
% CBR at 0.1"	15.6		14.9		26.2	
% CBR at 0.2"	19.9		20.8		38.7	

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University				CBR TEST (SOAKED)		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา			SAMPLE NO.	2	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน			SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ			SHEET	2	OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	19.9	20.8	38.7
Dry Density	2.04	2.10	2.17
Water Content	4.88	4.27	4.13
Percent Compaction	97.83	100.86	104.43

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)		
Prince of Songkhla University				
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10			

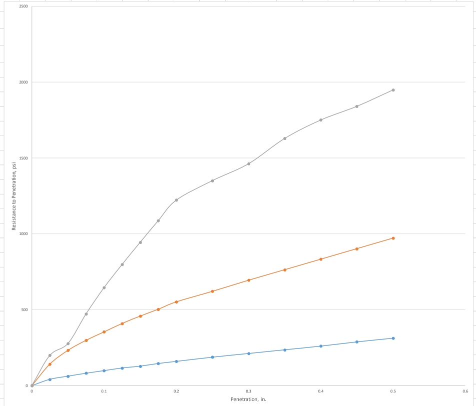
Water content determination

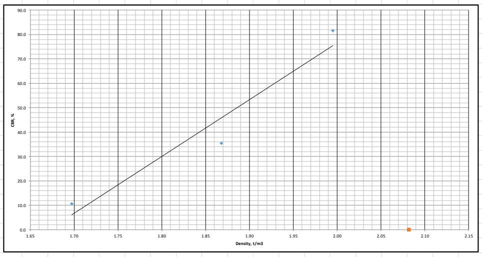
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	186.59	177.9	170.93
Wt. can + dry soil	gm.	173.93	165.27	159.21
Wt. of can	gm.	19.55	23.95	21.92
Wt. of water	gm.	12.66	12.63	11.72
Wt. of dry soil	gm.	154.38	141.32	137.29
Water content	%	8.2	8.9	8.5
Mold Volume	cc.	2158.653422	2158.653422	2158.653422
Wt. wet soil + mold	gm.	11974	12126	12306
Wt. of mold	gm.	7368	7368	7368
Wt. of soil in mold	gm.	4606	4758	4938
Wet Density	gm.	2.13	2.20	2.29
Dry Density	gm.	1.97	2.02	2.11
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	94.7	97.18	101.23

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	6	20.8	13	45.2	20	69.5
0.05	12	41.7	26	90.3	33	114.6
0.075	18	62.5	40	138.9	48	166.7
0.1	25	86.8	63.5	220.6	80	277.9
0.125	39	135.5	89	309.1	111	385.5
0.15	68	236.2	110	382.1	153.5	533.2
0.175	90	312.6	144.5	501.9	199	691.2
0.2	109.5	380.3	173	600.9	249	864.9
0.25	126	437.6	200	694.7	387	1344.2
0.3	140	486.3	219	760.7	431	1497.0
0.35	160	555.7	241	837.1	472.5	1641.2
0.4	183	635.6	260	903.1	491	1705.4
0.45	198	687.7	279	969.1	518	1799.2
0.5	217.5	755.5	301	1045.5	540.5	1877.3
% CBR at 0.1"	8.7		22.1		27.8	
% CBR at 0.2"	25.4		40.1		57.7	

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)		
Prince of Songkhla University				
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ			





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	25.4	40.1	57.7
Dry Density	1.97	2.02	2.11
Water Content	8.20	8.94	8.54
Percent Compaction	94.72	97.18	101.23

Civil Engineering Department			CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University						
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15					

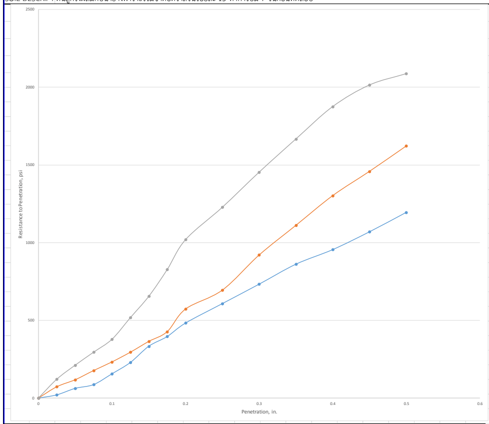
Water content determination

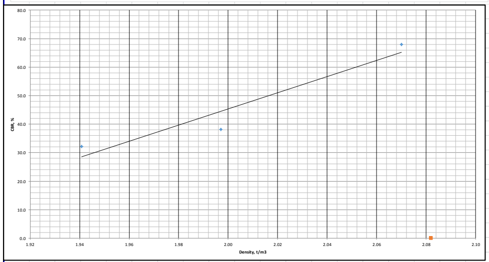
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	96.65	75.23	85.83
Wt. can + dry soil	gm.	88.65	70.41	80.73
Wt. of can	gm.	15.75	14.73	13.83
Wt. of water	gm.	8	4.82	5.1
Wt. of dry soil	gm.	72.9	55.68	66.9
Water content	%	11.0	8.7	7.6
Mold Volume	cc.	2108.75	2108.75	2108.75
Wt. wet soil + mold	gm.	11856	11943.5	12152
Wt. of mold	gm.	7388.5	7388.5	7388.5
Wt. of soil in mold	gm.	4467.5	4555	4763.5
Wet Density	gm.	2.12	2.16	2.26
Dry Density	gm.	1.91	1.99	2.10
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	91.7	95.48	100.81

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	6	20.8	19	66.0	31	107.7
0.05	12	41.7	42	145.9	55	191.0
0.075	18	62.5	65.5	227.5	92	319.5
0.1	24.5	85.1	94.5	328.2	121.5	422.0
0.125	31	107.7	120	416.8	145	503.6
0.15	38	132.0	155.5	540.1	160	555.7
0.175	45	156.3	163	566.2	175	607.8
0.2	51.5	178.9	171.5	595.7	226	785.0
0.25	55	191.0	184.5	640.8	283	983.0
0.3	61	211.9	201	698.1	331	1149.7
0.35	67	232.7	212	736.3	384.5	1335.5
0.4	71	246.6	218.5	758.9	448	1556.1
0.45	76	264.0	229	795.4	495	1719.3
0.5	79	274.4	238	826.7	502.5	1745.4
% CBR at 0.1"	8.5		32.8		42.2	
% CBR at 0.2"	11.9		39.7		52.3	

Civil Engineering Department			CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University						
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ					





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	11.9	39.7	52.3
Dry Density	1.91	1.99	2.10
Water Content	10.97	8.66	7.62
Percent Compaction	91.69	95.48	100.81

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20				

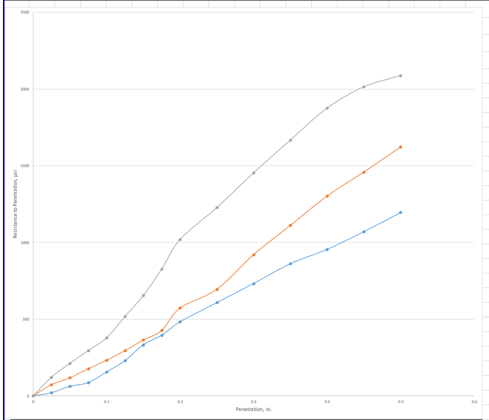
Water content determination

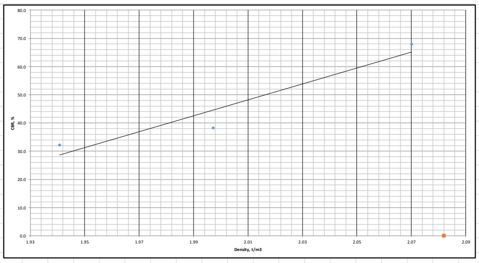
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	125.02	112.55	107.56
Wt. can + dry soil	gm.	108.52	99.14	95.18
Wt. of can	gm.	14.41	15.69	13.65
Wt. of water	gm.	16.5	13.41	12.38
Wt. of dry soil	gm.	94.11	83.45	81.53
Water content	%	17.5	16.1	15.2
Mold Volume	cc.	2105.65	2108.75	2108.75
Wt. wet soil + mold	gm.	11890	11688	11890
Wt. of mold	gm.	8080	7388.5	7388.5
Wt. of soil in mold	gm.	3810	4299.5	4501.5
Wet Density	gm.	1.81	2.04	2.13
Dry Density	gm.	1.54	1.76	1.85
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	73.9	84.37	89.01

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	7	24.3	30	104.2	24	83.4
0.05	14.5	50.4	50	173.7	45	156.3
0.075	19	66.0	65	225.8	61	211.9
0.1	22	76.4	76	264.0	72	250.1
0.125	25	86.8	86.5	300.4	82	284.8
0.15	27	93.8	92	319.5	92	319.5
0.175	28.5	99.0	98	340.4	102	354.3
0.2	33	114.6	105	364.7	112	389.0
0.25	34	118.1	111	385.5	128.5	446.3
0.3	36	125.0	121	420.3	145	503.6
0.35	38	132.0	128.5	446.3	159	552.3
0.4	40	138.9	140	486.3	170	590.5
0.45	43	149.4	142	493.2	190	659.9
0.5	47	163.2	145	503.6	210	729.4
% CBR at 0.1"	7.6		26.4		25.0	
% CBR at 0.2"	7.6		24.3		25.9	

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วันก่อนทดสอบ				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	7.6	26.4	25.9
Dry Density	1.54	1.76	1.85
Water Content	17.53	16.07	15.18
Percent Compaction	73.94	84.37	89.01

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (SOAKED)	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ		

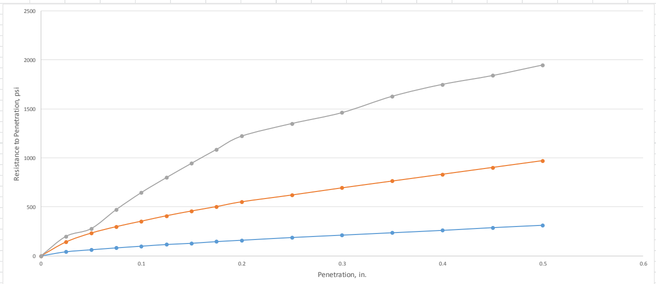
Water content determination

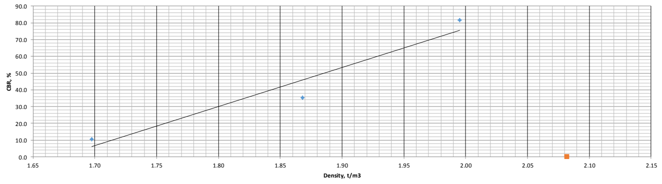
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	159.44	135.54	159.82
Wt. can + dry soil	gm.	148.74	126.15	148.71
Wt. of can	gm.	16.32	14.99	13.42
Wt. of water	gm.	10.7	9.39	11.11
Wt. of dry soil	gm.	132.42	111.16	135.29
Water content	%	8.1	8.4	8.2
Mold Volume	cc.	2119.33	2108.75	2105.65
Wt. wet soil + mold	gm.	11704	11854	12024
Wt. of mold	gm.	7387	7481.5	8080.5
Wt. of soil in mold	gm.	4317	4372.5	3943.5
Wet Density	gm.	2.04	2.07	1.87
Dry Density	gm.	1.88	1.91	1.73
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	90.5	91.83	83.13

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	5.5	19.1	11	38.2	15	52.1
0.05	12	41.7	21	72.9	29	100.7
0.075	18	62.5	32.5	112.9	62	215.3
0.1	22	76.4	41	142.4	96	333.4
0.125	26	90.3	46	159.8	114.5	397.7
0.15	29	100.7	54	187.6	135	468.9
0.175	32	111.1	64	222.3	165	573.1
0.2	35	121.6	70.5	244.9	189	656.5
0.25	37	128.5	84.5	293.5	210.5	731.1
0.3	42.5	147.6	101	350.8	246	854.4
0.35	47	163.2	111	385.5	287	996.8
0.4	54	187.6	121	420.3	321	1114.9
0.45	60.5	210.1	131	455.0	360	1250.4
0.5	63	218.8	141	489.7	398.5	1384.1
% CBR at 0.1"	7.6		14.2		33.3	
% CBR at 0.2"	8.1		16.3		43.8	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (SOAKED)	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังจากแหล่งห้วยโอนทดสอบที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ		





Mould No.	**1**	**2**	**3**
No. of Blows Per Layer	**12**	**25**	**56**
% CBR	8.1	14.2	43.8
Dry Density	1.88	1.91	1.73
Water Content	8.08	8.45	8.21
Percent Compaction	90.52	91.83	83.13

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ				

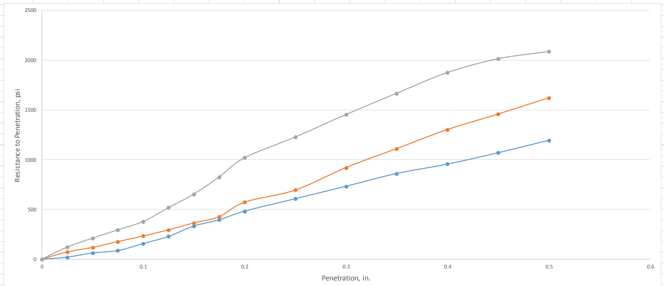
Water content determination

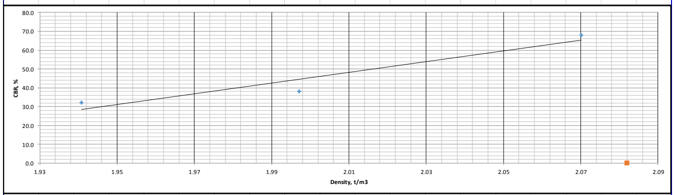
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	159.44	140.22	152.58
Wt. can + dry soil	gm.	153.78	134.99	147.20
Wt. of can	gm.	24.56	21.22	22.28
Wt. of water	gm.	5.66	5.23	5.38
Wt. of dry soil	gm.	129.22	113.77	124.92
Water content	%	4.4	4.6	4.3
Mold Volume	cc.	2158.65	2158.65	2158.65
Wt. wet soil + mold	gm.	11957	12091	12256.5
Wt. of mold	gm.	7368	7368	7368
Wt. of soil in mold	gm.	4589	4723	4888.5
Wet Density	gm.	2.13	2.19	2.26
Dry Density	gm.	2.04	2.09	2.17
Mold no		1	2	3
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	97.8	100.47	104.28

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	8	27.8	11	38.2	14	48.6
0.05	11	38.2	21	72.9	25	86.8
0.075	16	55.6	30	104.2	37.5	130.3
0.1	20	69.5	39	135.5	50	173.7
0.125	23	79.9	46	159.8	63	218.8
0.15	29.5	102.5	56	194.5	73	253.6
0.175	33.5	116.4	62	215.3	90	312.6
0.2	38	132.0	70	243.1	102	354.3
0.25	45	156.3	95	330.0	129	448.1
0.3	52	180.6	115	399.4	156	541.8
0.35	60	208.4	138	479.3	183	635.6
0.4	70	243.1	166.5	578.3	201	698.1
0.45	81	281.3	169	587.0	233	809.3
0.5	90	312.6	180	625.2	265	920.4
% CBR at 0.1"	6.9		13.5		17.4	
% CBR at 0.2"	8.8		16.2		23.6	

Civil Engineering Department		CBR TEST (SOAKED)			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ				





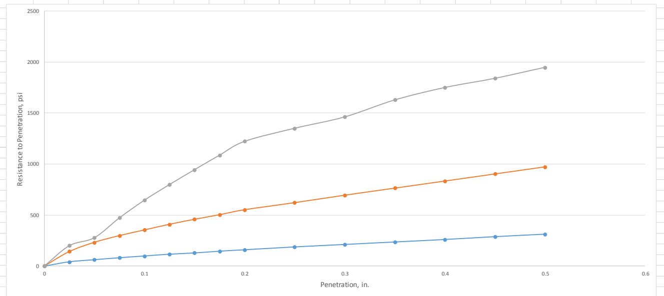
Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	8.8	16.2	23.6
Dry Density	2.04	2.09	2.17
Water Content	4.38	4.60	4.31
Percent Compaction	97.82	100.47	104.28

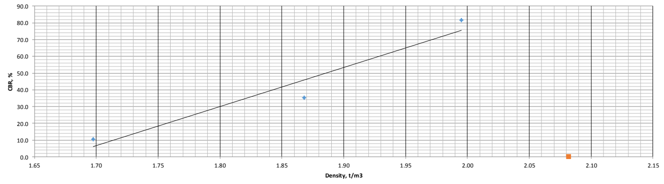
Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (SOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ				

Water content determination				
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	179.8	197.5	168.8
Wt. can + dry soil	gm.	173.2	190.9	163.4
Wt. of can	gm.	19.8	22	21.8
Wt. of water	gm.	6.6	6.6	5.4
Wt. of dry soil	gm.	153.4	168.9	141.6
Water content	%	4.3	3.9	3.8
Mold Volume	cc.	2158.65	2158.65	2158.65
Wt. wet soil + mold	gm.	5320	5270	5596
Wt. of mold	gm.	548	556	550
Wt. of soil in mold	gm.	4772	4714	5046
Wet Density	gm.	2.21	2.18	2.34
Dry Density	gm.	2.12	2.10	2.25
Mold no		**1**	**2**	**3**
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	101.8	100.94	108.15

C.B.R Load Test Data						
Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	6	20.8	10	34.7	8	27.8
0.05	16	55.6	21	72.9	23.5	81.6
0.075	28	97.3	31.5	109.4	49	170.2
0.1	40	138.9	43	149.4	74	257.0
0.125	54	187.6	60	208.4	96	333.4
0.15	65	225.8	74.5	258.8	120.5	418.5
0.175	76	264.0	83	288.3	143	496.7
0.2	87	302.2	103	357.8	163	566.2
0.25	111	385.5	122	423.7	199	691.2
0.3	131.5	456.7	153	531.4	234	812.8
0.35	152	527.9	173	600.9	260	903.1
0.4	170	590.5	190	659.9	288	1000.3
0.45	184	639.1	211	732.9	310	1076.7
0.5	218	757.2	243	844.0	338	1174.0
% CBR at 0.1"	13.9		14.9		25.7	
% CBR at 0.2"	20.1		23.9		37.7	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (SOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	20.1	23.9	37.7
Dry Density	2.12	2.10	2.25
Water Content	4.30	3.91	3.81
Percent Compaction	101.80	100.94	108.15

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University			CBR TEST (SOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ					

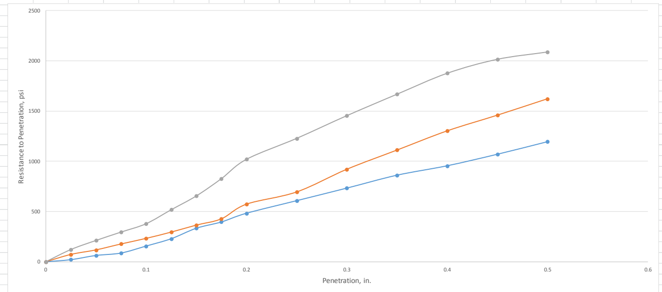
Water content determination

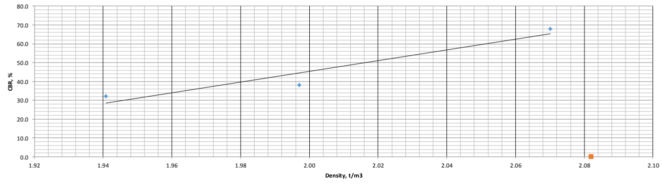
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	189.1	172.6	233.6
Wt. can + dry soil	gm.	180.3	164.4	223.3
Wt. of can	gm.	22.5	21.8	20.4
Wt. of water	gm.	8.8	8.2	10.3
Wt. of dry soil	gm.	157.8	142.6	202.9
Water content	%	5.6	5.8	5.1
Mold Volume	cc.	2158.65	2158.65	2158.65
Wt. wet soil + mold	gm.	5294	5330	5434
Wt. of mold	gm.	550	546	554
Wt. of soil in mold	gm.	4744	4784	4880
Wet Density	gm.	2.20	2.22	2.26
Dry Density	gm.	2.08	2.10	2.15
Mold no		1	2	3
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	100.0	100.66	103.34

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	3	10.4	3.5	12.2	3.5	12.2
0.05	5	17.4	7	24.3	7	24.3
0.075	11	38.2	11	38.2	11.5	39.9
0.1	16	55.6	15.5	53.8	16	55.6
0.125	21	72.9	22	76.4	21	72.9
0.15	26.5	92.0	27	93.8	27	93.8
0.175	32	111.1	32.5	112.9	32	111.1
0.2	37	128.5	38	132.0	38.5	133.7
0.25	48	166.7	50	173.7	52	180.6
0.3	59	204.9	63	218.8	68	236.2
0.35	69	239.7	76	264.0	84	291.8
0.4	77.5	269.2	88	305.7	98	340.4
0.45	90	312.6	102.5	356.0	113	392.5
0.5	101	350.8	115	399.4	130.5	453.3
% CBR at 0.1"	5.6		5.4		5.6	
% CBR at 0.2"	8.6		8.8		8.9	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University			CBR TEST (SOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา		SAMPLE NO.	4		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน		SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ		SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ					





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	8.6	8.8	8.9
Dry Density	2.08	2.10	2.15
Water Content	5.58	5.75	5.08
Percent Compaction	99.98	100.66	103.34

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (SOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ				

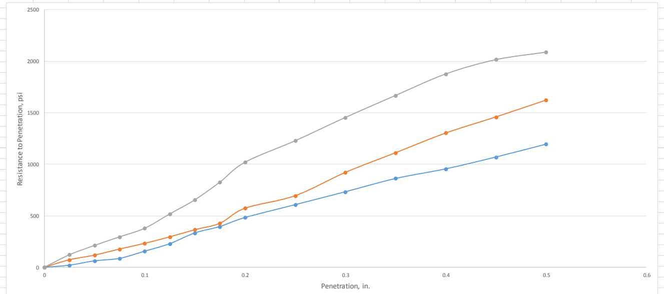
Water content determination

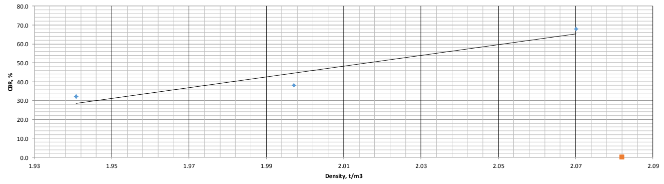
can no.		1	2	3
Wt. can + wet soil	gm.	200.5	215.8	218.5
Wt. can + dry soil	gm.	190.9	205.04	206.98
Wt. of can	gm.	21	22.3	20.4
Wt. of water	gm.	9.6	10.76	11.52
Wt. of dry soil	gm.	169.9	182.74	186.58
Water content	%	5.7	5.9	6.2
Mold Volume	cc.	2158.65	2158.65	2158.65
Wt. wet soil + mold	gm.	5196	5472	5572
Wt. of mold	gm.	556	550	550
Wt. of soil in mold	gm.	4640	4922	5022
Wet Density	gm.	2.15	2.28	2.33
Dry Density	gm.	2.03	2.15	2.19
Mold no		1	2	3
Wt. of hammer	lb.	5.5	5.5	5.5
No of Layer		3	3	3
Blows per Layer		12	25	56
Percent compaction	%	97.7	103.43	105.24

C.B.R Load Test Data

Mold No	1		2		3	
Wt. of Surcharge (lb)	10		10		10	
Penetration INCH.	Load Pressure		Load Pressure		Load Pressure	
	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)	(lb)	(PSI)
0	0	0	0	0	0	0
0.025	3.5	12.2	5.5	19.1	3	10.4
0.05	7.5	26.1	10.5	36.5	7	24.3
0.075	12	41.7	16	55.6	11.5	39.9
0.1	17	59.0	22	76.4	17	59.0
0.125	22.5	78.2	28	97.3	24	83.4
0.15	28	97.3	34	118.1	31	107.7
0.175	33	114.6	41	142.4	39	135.5
0.2	39	135.5	48	166.7	49	170.2
0.25	50	173.7	63	218.8	69	239.7
0.3	62	215.3	74.5	258.8	90.5	314.3
0.35	73	253.6	87	302.2	115.5	401.2
0.4	83	288.3	100	347.3	139	482.8
0.45	94	326.5	114	396.0	165	573.1
0.5	106	368.2	126	437.6	186	646.0
% CBR at 0.1"	5.9		7.6		5.9	
% CBR at 0.2"	9.0		11.1		11.3	

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		CBR TEST (SOAKED)			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPT	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วัน ก่อนแช่น้ำ				





Mould No.	1	2	3
No. of Blows Per Layer	12	25	56
% CBR	9.0	7.6	11.3
Dry Density	2.03	2.15	2.19
Water Content	5.65	5.89	6.17
Percent Compaction	97.72	103.43	105.24

ภาคผนวก ฉ
ผลการทดสอบการต้านทานแรงเฉือน

Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังบดอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด				

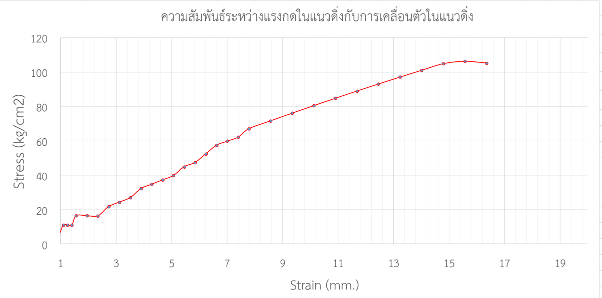
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	6284	Wt. of can + Wet Soil	gm.	283.44
Wt of Mold	gm.	3984	Wt. of can + Dry Soil	gm.	263.54
Wt. of Soil Sample	gm.	2300	Wt. of can	gm.	25.2
Height os Sample	gm.	12.493	Wt. of water	gm.	19.9
Top Diameter	cm.	10.32	Wt. of Dry Soil	gm.	238.34
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	8.3494
Bottom Diameter	cm.	10.45	Wet Density	gm./cc.	2.1735
Avg. Diameter	cm.	10.385	Dry Density	gm./cc.	2.0060
Volume	cc.	1058.20	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	84.70	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1557	82.97	5.2100	231.8023	2.7939
40	0.5	0.4	0.0031	0.3113	83.10	5.2100	231.8023	2.7895
60	0.5	0.6	0.0047	0.4670	83.23	5.2100	231.8023	2.7852
80	1	0.8	0.0062	0.6226	83.36	10.4200	463.6046	5.5617
100	1	1	0.0078	0.7783	83.49	10.4200	463.6046	5.5529
120	1	1.2	0.0093	0.9339	83.62	10.4200	463.6046	5.5442
140	2	1.4	0.0109	1.0896	83.75	20.8400	927.2091	11.0711
160	2	1.6	0.0125	1.2452	83.88	20.8400	927.2091	11.0536
180	2	1.8	0.0140	1.4009	84.02	20.8400	927.2091	11.0362
200	3	2	0.0156	1.5565	84.15	31.2600	1390.8137	16.5282
250	3	2.5	0.0195	1.9457	84.48	31.2600	1390.8137	16.4628
300	3	3	0.0233	2.3348	84.82	31.2600	1390.8137	16.3975
350	4	3.5	0.0272	2.7239	85.16	41.6800	1854.4182	21.7762
400	4.5	4	0.0311	3.1131	85.50	46.8900	2086.2205	24.4003
450	5	4.5	0.0350	3.5022	85.84	52.1000	2318.0228	27.0025
500	6	5	0.0389	3.8914	86.19	62.5200	2781.6273	32.2724
550	6.5	5.5	0.0428	4.2805	86.54	67.7300	3013.4296	34.8202
600	7	6	0.0467	4.6696	86.90	72.9400	3245.2319	37.3462
650	7.5	6.5	0.0506	5.0588	87.25	78.1500	3477.0342	39.8504
700	8.5	7	0.0545	5.4479	87.61	88.5700	3940.6387	44.9787
750	9	7.5	0.0584	5.8370	87.97	93.7800	4172.4410	47.4285
800	10	8	0.0623	6.2262	88.34	104.2000	4636.0456	52.4806
850	11	8.5	0.0662	6.6153	88.71	114.6200	5099.6501	57.4891
900	11.5	9	0.0700	7.0044	89.08	119.8300	5331.4524	59.8518
950	12	9.5	0.0739	7.3936	89.45	125.0400	5563.2547	62.1927
1000	13	10	0.0778	7.7827	89.83	135.4600	6026.8592	67.0923
1100	14	11	0.0856	8.5610	90.59	145.8800	6490.4638	71.6435
1200	15	12	0.0934	9.3392	91.37	156.3000	6954.0683	76.1075
1300	16	13	0.1012	10.1175	92.16	166.7200	7417.6729	80.4844
1400	17	14	0.1090	10.8958	92.97	177.1400	7881.2775	84.7743
1500	18	15	0.1167	11.6741	93.79	187.5600	8344.8820	88.9770
1600	19	16	0.1245	12.4523	94.62	197.9800	8808.4866	93.0926
1700	20	17	0.1323	13.2306	95.47	208.4000	9272.0911	97.1211
1800	21	18	0.1401	14.0089	96.33	218.8200	9735.6957	101.0625
1900	22	19	0.1479	14.7871	97.21	229.2400	10199.3002	104.9167
2000	22.5	20	0.1557	15.5654	98.11	234.4500	10431.1025	106.3212
2100	22.5	21	0.1634	16.3437	99.02	234.4500	10431.1025	105.3412
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังบดอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด				



Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5		

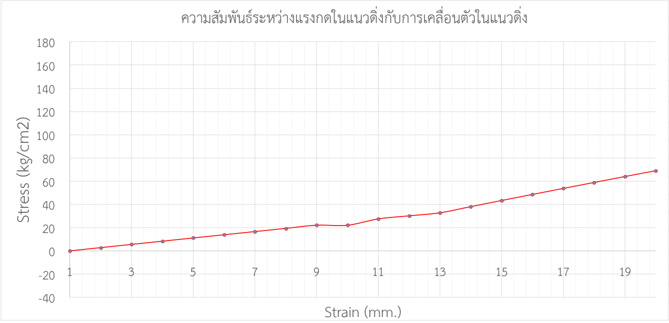
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	6104	Wt. of can + Wet Soil	gm.	203.55
Wt of Mold	gm.	3874	Wt. of can + Dry Soil	gm.	197.24
Wt. of Soil Sample	gm.	2230	Wt. of can	gm.	21.53
Height os Sample	gm.	12.183	Wt. of water	gm.	6.31
Top Diameter	cm.	11.42	Wt. of Dry Soil	gm.	175.71
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	3.5911
Bottom Diameter	cm.	10.98	Wet Density	gm./cc.	1.8579
Avg. Diameter	cm.	11.2	Dry Density	gm./cc.	1.7935
Volume	cc.	1200.27	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	98.52	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1557	82.97	5.2100	231.8023	2.7939
40	1	0.4	0.0031	0.3113	83.10	10.4200	463.6046	5.5791
60	1.5	0.6	0.0047	0.4670	83.23	15.6300	695.4068	8.3556
80	2	0.8	0.0062	0.6226	83.36	20.8400	927.2091	11.1233
100	2.5	1	0.0078	0.7783	83.49	26.0500	1159.0114	13.8824
120	3	1.2	0.0093	0.9339	83.62	31.2600	1390.8137	16.6327
140	3.5	1.4	0.0109	1.0896	83.75	36.4700	1622.6159	19.3743
160	4	1.6	0.0125	1.2452	83.88	41.6800	1854.4182	22.1073
180	4	1.8	0.0140	1.4009	84.02	41.6800	1854.4182	22.0724
200	5	2	0.0156	1.5565	84.15	52.1000	2318.0228	27.5470
250	5.5	2.5	0.0195	1.9457	84.48	57.3100	2549.8251	30.1819
300	6	3	0.0233	2.3348	84.82	62.5200	2781.6273	32.7950
350	7	3.5	0.0272	2.7239	85.16	72.9400	3245.2319	38.1084
400	8	4	0.0311	3.1131	85.50	83.3600	3708.8364	43.3783
450	9	4.5	0.0350	3.5022	85.84	93.7800	4172.4410	48.6045
500	10	5	0.0389	3.8914	86.19	104.2000	4636.0456	53.7873
550	11	5.5	0.0428	4.2805	86.54	114.6200	5099.6501	58.9264
600	12	6	0.0467	4.6696	86.90	125.0400	5563.2547	64.0220
650	13	6.5	0.0506	5.0588	87.25	135.4600	6026.8592	69.0741
700	14	7	0.0545	5.4479	87.61	145.8800	6490.4638	74.0826
750	15	7.5	0.0584	5.8370	87.97	156.3000	6954.0683	79.0475
800	16	8	0.0623	6.2262	88.34	166.7200	7417.6729	83.9689
850	17	8.5	0.0662	6.6153	88.71	177.1400	7881.2775	88.8468
900	18	9	0.0700	7.0044	89.08	187.5600	8344.8820	93.6810
950	19	9.5	0.0739	7.3936	89.45	197.9800	8808.4866	98.4718
1000	21	10	0.0778	7.7827	89.83	218.8200	9735.6957	108.3799
1100	23	11	0.0856	8.5610	90.59	239.6600	10662.9048	117.7000
1200	25	12	0.0934	9.3392	91.37	260.5000	11590.1139	126.8458
1300	29	13	0.1012	10.1175	92.16	302.1800	13444.5321	145.8781
1400	31	14	0.1090	10.8958	92.97	323.0200	14371.7412	154.5884
1500	-	-	-	-	-	-	-	-
1600	-	-	-	-	-	-	-	-
1700	-	-	-	-	-	-	-	-
1800	-	-	-	-	-	-	-	-
1900	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-
2100	-	-	-	-	-	-	-	-
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5		



Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength	
Prince of Songkhla University			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10		

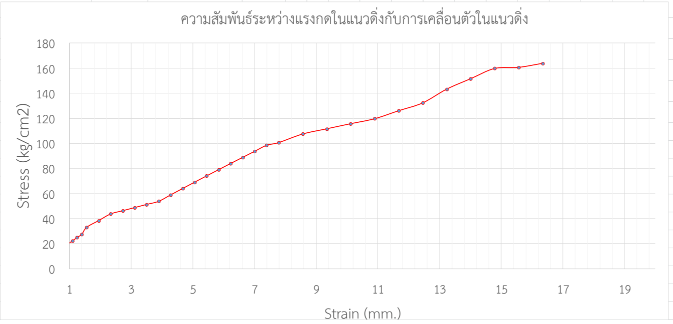
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5945	Wt. of can + Wet Soil	gm.	160.22
Wt of Mold	gm.	3897	Wt. of can + Dry Soil	gm.	151.45
Wt. of Soil Sample	gm.	2048	Wt. of can	gm.	19.5
Height os Sample	gm.	12.849	Wt. of water	gm.	8.77
Top Diameter	cm.	10.30	Wt. of Dry Soil	gm.	131.95
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	6.6465
Bottom Diameter	cm.	10.24	Wet Density	gm./cc.	1.9241
Avg. Diameter	cm.	10.27	Dry Density	gm./cc.	1.8042
Volume	cc.	1064.39	Proving Ring K		10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	82.84	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1557	82.97	5.2100	231.8023	2.7939
40	1	0.4	0.0031	0.3113	83.10	10.4200	463.6046	5.5791
60	2	0.6	0.0047	0.4670	83.23	20.8400	927.2091	11.1407
80	2.5	0.8	0.0062	0.6226	83.36	26.0500	1159.0114	13.9042
100	3	1	0.0078	0.7783	83.49	31.2600	1390.8137	16.6588
120	3.5	1.2	0.0093	0.9339	83.62	36.4700	1622.6159	19.4048
140	4	1.4	0.0109	1.0896	83.75	41.6800	1854.4182	22.1421
160	4.5	1.6	0.0125	1.2452	83.88	46.8900	2086.2205	24.8707
180	5	1.8	0.0140	1.4009	84.02	52.1000	2318.0228	27.5905
200	6	2	0.0156	1.5565	84.15	62.5200	2781.6273	33.0564
250	7	2.5	0.0195	1.9457	84.48	72.9400	3245.2319	38.4133
300	8	3	0.0233	2.3348	84.82	83.3600	3708.8364	43.7267
350	8.5	3.5	0.0272	2.7239	85.16	88.5700	3940.6387	46.2745
400	9	4	0.0311	3.1131	85.50	93.7800	4172.4410	48.8005
450	9.5	4.5	0.0350	3.5022	85.84	98.9900	4404.2433	51.3048
500	10	5	0.0389	3.8914	86.19	104.2000	4636.0456	53.7873
550	11	5.5	0.0428	4.2805	86.54	114.6200	5099.6501	58.9264
600	12	6	0.0467	4.6696	86.90	125.0400	5563.2547	64.0220
650	13	6.5	0.0506	5.0588	87.25	135.4600	6026.8592	69.0741
700	14	7	0.0545	5.4479	87.61	145.8800	6490.4638	74.0826
750	15	7.5	0.0584	5.8370	87.97	156.3000	6954.0683	79.0475
800	16	8	0.0623	6.2262	88.34	166.7200	7417.6729	83.9689
850	17	8.5	0.0662	6.6153	88.71	177.1400	7881.2775	88.8468
900	18	9	0.0700	7.0044	89.08	187.5600	8344.8820	93.6810
950	19	9.5	0.0739	7.3936	89.45	197.9800	8808.4866	98.4718
1000	19.5	10	0.0778	7.7827	89.83	203.1900	9040.2888	100.6384
1100	21	11	0.0856	8.5610	90.59	218.8200	9735.6957	107.4652
1200	22	12	0.0934	9.3392	91.37	229.2400	10199.3002	111.6243
1300	23	13	0.1012	10.1175	92.16	239.6600	10662.9048	115.6964
1400	24	14	0.1090	10.8958	92.97	250.0800	11126.5093	119.6813
1500	25.5	15	0.1167	11.6741	93.79	265.7100	11821.9162	126.0507
1600	27	16	0.1245	12.4523	94.62	281.3400	12517.3230	132.2895
1700	29.5	17	0.1323	13.2306	95.47	307.3900	13676.3344	143.2536
1800	31.5	18	0.1401	14.0089	96.33	328.2300	14603.5435	151.5937
1900	33.5	19	0.1479	14.7871	97.21	349.0700	15530.7526	159.7596
2000	34	20	0.1557	15.5654	98.11	354.2800	15762.5549	160.6631
2100	35	21	0.1634	16.3437	99.02	364.7000	16226.1595	163.8641
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength	
Prince of Songkhla University			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10		



Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	4
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15		

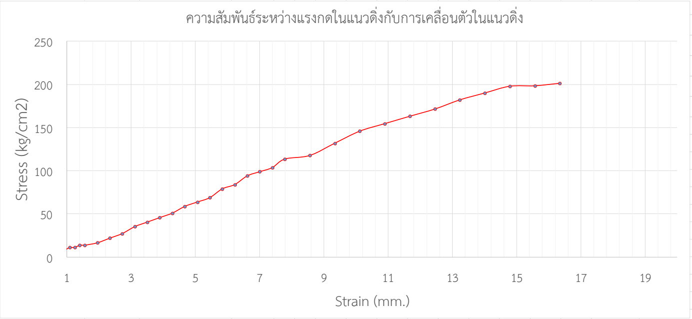
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5943	Wt. of can + Wet Soil	gm.	201.44
Wt of Mold	gm.	3876	Wt. of can + Dry Soil	gm.	187.46
Wt. of Soil Sample	gm.	2067	Wt. of can	gm.	23.95
Height os Sample	gm.	12.694	Wt. of water	gm.	13.98
Top Diameter	cm.	10.96	Wt. of Dry Soil	gm.	163.51
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	8.5499
Bottom Diameter	cm.	10.22	Wet Density	gm./cc.	1.8487
Avg. Diameter	cm.	10.59	Dry Density	gm./cc.	1.7031
Volume	cc.	1118.10	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	88.08	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1557	82.97	5.2100	231.8023	2.7939
40	0.5	0.4	0.0031	0.3113	83.10	5.2100	231.8023	2.7895
60	1	0.6	0.0047	0.4670	83.23	10.4200	463.6046	5.5704
80	1	0.8	0.0062	0.6226	83.36	10.4200	463.6046	5.5617
100	1.5	1	0.0078	0.7783	83.49	15.6300	695.4068	8.3294
120	1.5	1.2	0.0093	0.9339	83.62	15.6300	695.4068	8.3164
140	2	1.4	0.0109	1.0896	83.75	20.8400	927.2091	11.0711
160	2	1.6	0.0125	1.2452	83.88	20.8400	927.2091	11.0536
180	2.5	1.8	0.0140	1.4009	84.02	26.0500	1159.0114	13.7953
200	2.5	2	0.0156	1.5565	84.15	26.0500	1159.0114	13.7735
250	3	2.5	0.0195	1.9457	84.48	31.2600	1390.8137	16.4628
300	4	3	0.0233	2.3348	84.82	41.6800	1854.4182	21.8634
350	5	3.5	0.0272	2.7239	85.16	52.1000	2318.0228	27.2203
400	6.5	4	0.0311	3.1131	85.50	67.7300	3013.4296	35.2448
450	7.5	4.5	0.0350	3.5022	85.84	78.1500	3477.0342	40.5038
500	8.5	5	0.0389	3.8914	86.19	88.5700	3940.6387	45.7192
550	9.5	5.5	0.0428	4.2805	86.54	98.9900	4404.2433	50.8910
600	11	6	0.0467	4.6696	86.90	114.6200	5099.6501	58.6869
650	12	6.5	0.0506	5.0588	87.25	125.0400	5563.2547	63.7607
700	13	7	0.0545	5.4479	87.61	135.4600	6026.8592	68.7910
750	15	7.5	0.0584	5.8370	87.97	156.3000	6954.0683	79.0475
800	16	8	0.0623	6.2262	88.34	166.7200	7417.6729	83.9689
850	18	8.5	0.0662	6.6153	88.71	187.5600	8344.8820	94.0730
900	19	9	0.0700	7.0044	89.08	197.9800	8808.4866	98.8855
950	20	9.5	0.0739	7.3936	89.45	208.4000	9272.0911	103.6545
1000	22	10	0.0778	7.7827	89.83	229.2400	10199.3002	113.5408
1100	23	11	0.0856	8.5610	90.59	239.6600	10662.9048	117.7000
1200	26	12	0.0934	9.3392	91.37	270.9200	12053.7185	131.9197
1300	29	13	0.1012	10.1175	92.16	302.1800	13444.5321	145.8781
1400	31	14	0.1090	10.8958	92.97	323.0200	14371.7412	154.5884
1500	33	15	0.1167	11.6741	93.79	343.8600	15298.9503	163.1245
1600	35	16	0.1245	12.4523	94.62	364.7000	16226.1595	171.4864
1700	37.5	17	0.1323	13.2306	95.47	390.7500	17385.1709	182.1020
1800	39.5	18	0.1401	14.0089	96.33	411.5900	18312.3800	190.0937
1900	41.5	19	0.1479	14.7871	97.21	432.4300	19239.5891	197.9111
2000	42	20	0.1557	15.5654	98.11	437.6400	19471.3914	198.4662
2100	43	21	0.1634	16.3437	99.02	448.0600	19934.9959	201.3187
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department / Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	4
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15		



Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20		

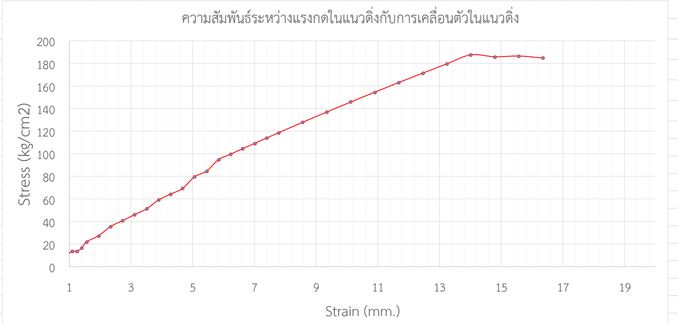
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5958	Wt. of can + Wet Soil	gm.	205.39
Wt of Mold	gm.	3929	Wt. of can + Dry Soil	gm.	188.02
Wt. of Soil Sample	gm.	2029	Wt. of can	gm.	20.54
Height os Sample	gm.	12.76	Wt. of water	gm.	17.37
Top Diameter	cm.	10.45	Wt. of Dry Soil	gm.	167.48
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	10.3714
Bottom Diameter	cm.	10.48	Wet Density	gm./cc.	1.8483
Avg. Diameter	cm.	10.466	Dry Density	gm./cc.	1.6746
Volume	cc.	1097.75	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	86.03	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1557	82.97	5.2100	231.8023	2.7939
40	1	0.4	0.0031	0.3113	83.10	10.4200	463.6046	5.5791
60	1.5	0.6	0.0047	0.4670	83.23	15.6300	695.4068	8.3556
80	1.5	0.8	0.0062	0.6226	83.36	15.6300	695.4068	8.3425
100	2	1	0.0078	0.7783	83.49	20.8400	927.2091	11.1059
120	2	1.2	0.0093	0.9339	83.62	20.8400	927.2091	11.0885
140	2.5	1.4	0.0109	1.0896	83.75	26.0500	1159.0114	13.8388
160	2.5	1.6	0.0125	1.2452	83.88	26.0500	1159.0114	13.8170
180	3	1.8	0.0140	1.4009	84.02	31.2600	1390.8137	16.5543
200	4	2	0.0156	1.5565	84.15	41.6800	1854.4182	22.0376
250	5	2.5	0.0195	1.9457	84.48	52.1000	2318.0228	27.4381
300	6.5	3	0.0233	2.3348	84.82	67.7300	3013.4296	35.5279
350	7.5	3.5	0.0272	2.7239	85.16	78.1500	3477.0342	40.8304
400	8.5	4	0.0311	3.1131	85.50	88.5700	3940.6387	46.0894
450	9.5	4.5	0.0350	3.5022	85.84	98.9900	4404.2433	51.3048
500	11	5	0.0389	3.8914	86.19	114.6200	5099.6501	59.1660
550	12	5.5	0.0428	4.2805	86.54	125.0400	5563.2547	64.2834
600	13	6	0.0467	4.6696	86.90	135.4600	6026.8592	69.3572
650	15	6.5	0.0506	5.0588	87.25	156.3000	6954.0683	79.7009
700	16	7	0.0545	5.4479	87.61	166.7200	7417.6729	84.6658
750	18	7.5	0.0584	5.8370	87.97	187.5600	8344.8820	94.8570
800	19	8	0.0623	6.2262	88.34	197.9800	8808.4866	99.7131
850	20	8.5	0.0662	6.6153	88.71	208.4000	9272.0911	104.5256
900	21	9	0.0700	7.0044	89.08	218.8200	9735.6957	109.2945
950	22	9.5	0.0739	7.3936	89.45	229.2400	10199.3002	114.0199
1000	23	10	0.0778	7.7827	89.83	239.6600	10662.9048	118.7018
1100	25	11	0.0856	8.5610	90.59	260.5000	11590.1139	127.9347
1200	27	12	0.0934	9.3392	91.37	281.3400	12517.3230	136.9935
1300	29	13	0.1012	10.1175	92.16	302.1800	13444.5321	145.8781
1400	31	14	0.1090	10.8958	92.97	323.0200	14371.7412	154.5884
1500	33	15	0.1167	11.6741	93.79	343.8600	15298.9503	163.1245
1600	35	16	0.1245	12.4523	94.62	364.7000	16226.1595	171.4864
1700	37	17	0.1323	13.2306	95.47	385.5400	17153.3686	179.6740
1800	39	18	0.1401	14.0089	96.33	406.3800	18080.5777	187.6874
1900	39	19	0.1479	14.7871	97.21	406.3800	18080.5777	185.9887
2000	39.5	20	0.1557	15.5654	98.11	411.5900	18312.3800	186.6528
2100	39.5	21	0.1634	16.3437	99.02	411.5900	18312.3800	184.9323
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20		



Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังบดอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วัน			

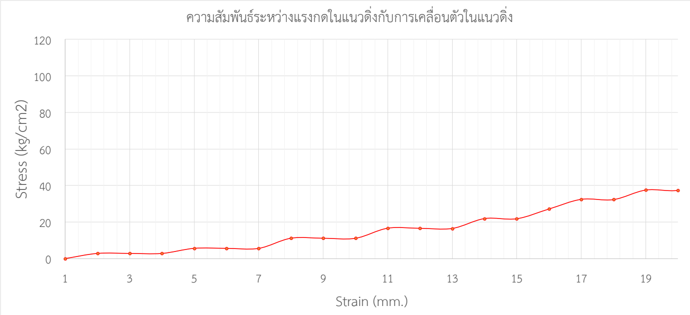
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	6134	Wt. of can + Wet Soil	gm.	248.3
Wt of Mold	gm.	3970	Wt. of can + Dry Soil	gm.	230.4
Wt. of Soil Sample	gm.	2164	Wt. of can	gm.	22.5
Height os Sample	gm.	11.785	Wt. of water	gm.	17.9
Top Diameter	cm.	10.28	Wt. of Dry Soil	gm.	207.9
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	8.6099
Bottom Diameter	cm.	10.25	Wet Density	gm./cc.	2.2188
Avg. Diameter	cm.	10.265	Dry Density	gm./cc.	2.0429
Volume	cc.	975.30	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	82.76	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1643	82.41	5.2100	231.8023	2.8128
40	0.5	0.4	0.0033	0.3285	82.55	5.2100	231.8023	2.8082
60	0.5	0.6	0.0049	0.4928	82.68	5.2100	231.8023	2.8035
80	1	0.8	0.0066	0.6571	82.82	10.4200	463.6046	5.5978
100	1	1	0.0082	0.8214	82.96	10.4200	463.6046	5.5886
120	1	1.2	0.0099	0.9856	83.09	10.4200	463.6046	5.5793
140	2	1.4	0.0115	1.1499	83.23	20.8400	927.2091	11.1401
160	2	1.6	0.0131	1.3142	83.37	20.8400	927.2091	11.1216
180	2	1.8	0.0148	1.4784	83.51	20.8400	927.2091	11.1031
200	3	2	0.0164	1.6427	83.65	31.2600	1390.8137	16.6268
250	3	2.5	0.0205	2.0534	84.00	31.2600	1390.8137	16.5574
300	3	3	0.0246	2.4641	84.35	31.2600	1390.8137	16.4880
350	4	3.5	0.0287	2.8747	84.71	41.6800	1854.4182	21.8914
400	4	4	0.0329	3.2854	85.07	41.6800	1854.4182	21.7989
450	5	4.5	0.0370	3.6961	85.43	52.1000	2318.0228	27.1329
500	6	5	0.0411	4.1068	85.80	62.5200	2781.6273	32.4206
550	6	5.5	0.0452	4.5175	86.17	62.5200	2781.6273	32.2818
600	7	6	0.0493	4.9281	86.54	72.9400	3245.2319	37.5001
650	7	6.5	0.0534	5.3388	86.91	72.9400	3245.2319	37.3381
700	8	7	0.0575	5.7495	87.29	83.3600	3708.8364	42.4870
750	9	7.5	0.0616	6.1602	87.68	93.7800	4172.4410	47.5896
800	10	8	0.0657	6.5708	88.06	104.2000	4636.0456	52.6459
850	11	8.5	0.0698	6.9815	88.45	114.6200	5099.6501	57.6559
900	11	9	0.0739	7.3922	88.84	114.6200	5099.6501	57.4014
950	12	9.5	0.0780	7.8029	89.24	125.0400	5563.2547	62.3420
1000	13	10	0.0821	8.2136	89.64	135.4600	6026.8592	67.2363
1100	14	11	0.0903	9.0349	90.45	145.8800	6490.4638	71.7604
1200	15	12	0.0986	9.8563	91.27	156.3000	6954.0683	76.1919
1300	16	13	0.1068	10.6776	92.11	166.7200	7417.6729	80.5309
1400	17	14	0.1150	11.4990	92.96	177.1400	7881.2775	84.7773
1500	18	15	0.1232	12.3203	93.84	187.5600	8344.8820	88.9311
1600	19	16	0.1314	13.1417	94.72	197.9800	8808.4866	92.9923
1700	20	17	0.1396	13.9630	95.63	208.4000	9272.0911	96.9610
1800	21	18	0.1478	14.7844	96.55	218.8200	9735.6957	100.8371
1900	22	19	0.1561	15.6057	97.49	229.2400	10199.3002	104.6207
2000	23	20	0.1643	16.4271	98.45	239.6600	10662.9048	108.3117
2100	23	21	0.1725	17.2485	99.42	239.6600	10662.9048	107.2472
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength		
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	1	
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน	
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังบดอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุด ทำการบ่ม 7 วัน			



Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วัน		

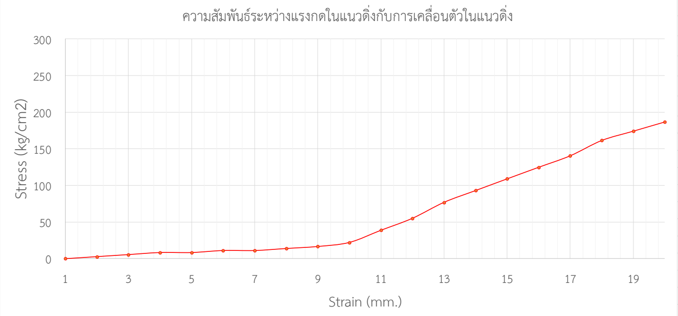
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5782	Wt. of can + Wet Soil	gm.	161.22
Wt of Mold	gm.	3898	Wt. of can + Dry Soil	gm.	158.66
Wt. of Soil Sample	gm.	1884	Wt. of can	gm.	23
Height os Sample	gm.	12.212	Wt. of water	gm.	2.56
Top Diameter	cm.	10.25	Wt. of Dry Soil	gm.	135.66
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	1.8871
Bottom Diameter	cm.	10.22	Wet Density	gm./cc.	1.8751
Avg. Diameter	cm.	10.235	Dry Density	gm./cc.	1.8404
Volume	cc.	1004.74	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	82.27	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1643	82.41	5.2100	231.8023	2.8128
40	1	0.4	0.0033	0.3285	82.55	10.4200	463.6046	5.6163
60	1.5	0.6	0.0049	0.4928	82.68	15.6300	695.4068	8.4106
80	1.5	0.8	0.0066	0.6571	82.82	15.6300	695.4068	8.3967
100	2	1	0.0082	0.8214	82.96	20.8400	927.2091	11.1771
120	2	1.2	0.0099	0.9856	83.09	20.8400	927.2091	11.1586
140	2.5	1.4	0.0115	1.1499	83.23	26.0500	1159.0114	13.9251
160	3	1.6	0.0131	1.3142	83.37	31.2600	1390.8137	16.6824
180	4	1.8	0.0148	1.4784	83.51	41.6800	1854.4182	22.2062
200	7	2	0.0164	1.6427	83.65	72.9400	3245.2319	38.7960
250	10	2.5	0.0205	2.0534	84.00	104.2000	4636.0456	55.1914
300	14	3	0.0246	2.4641	84.35	145.8800	6490.4638	76.9440
350	17	3.5	0.0287	2.8747	84.71	177.1400	7881.2775	93.0386
400	20	4	0.0329	3.2854	85.07	208.4000	9272.0911	108.9944
450	23	4.5	0.0370	3.6961	85.43	239.6600	10662.9048	124.8113
500	26	5	0.0411	4.1068	85.80	270.9200	12053.7185	140.4893
550	30	5.5	0.0452	4.5175	86.17	312.6000	13908.1367	161.4089
600	32.5	6	0.0493	4.9281	86.54	338.6500	15067.1481	174.1075
650	35	6.5	0.0534	5.3388	86.91	364.7000	16226.1595	186.6905
700	37.5	7	0.0575	5.7495	87.29	390.7500	17385.1709	199.1577
750	40	7.5	0.0616	6.1602	87.68	416.8000	18544.1822	211.5092
800	42	8	0.0657	6.5708	88.06	437.6400	19471.3914	221.1128
850	44	8.5	0.0698	6.9815	88.45	458.4800	20398.6005	230.6238
900	46	9	0.0739	7.3922	88.84	479.3200	21325.8096	240.0422
950	48	9.5	0.0780	7.8029	89.24	500.1600	22253.0187	249.3680
1000	50	10	0.0821	8.2136	89.64	521.0000	23180.2278	258.6013
1100	52	11	0.0903	9.0349	90.45	541.8400	24107.4369	266.5387
1200	53	12	0.0986	9.8563	91.27	552.2600	24571.0415	269.2115
1300	54	13	0.1068	10.6776	92.11	562.6800	25034.6460	271.7917
1400	55	14	0.1150	11.4990	92.96	573.1000	25498.2506	274.2794
1500	56	15	0.1232	12.3203	93.84	583.5200	25961.8551	276.6745
1600	57	16	0.1314	13.1417	94.72	593.9400	26425.4597	278.9770
1700	57.5	17	0.1396	13.9630	95.63	599.1500	26657.2620	278.7629
1800	58	18	0.1478	14.7844	96.55	604.3600	26889.0642	278.5026
1900	59.5	19	0.1561	15.6057	97.49	619.9900	27584.4711	282.9515
2000	59	20	0.1643	16.4271	98.45	614.7800	27352.6688	277.8431
2100	60	21	0.1725	17.2485	99.42	625.2000	27816.2734	279.7754
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	2
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 5 ทำการบ่ม 7 วัน		



Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1	OF	2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วัน				

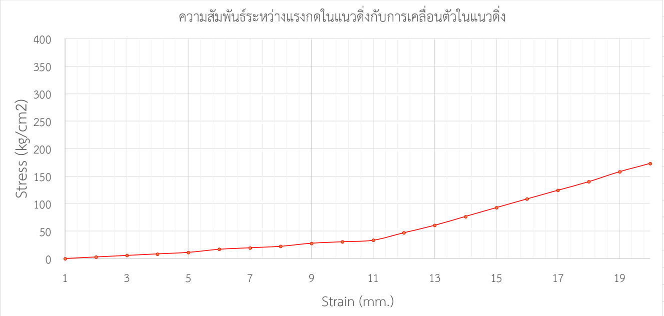
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5806	Wt. of can + Wet Soil	gm.	158
Wt of Mold	gm.	3970	Wt. of can + Dry Soil	gm.	153.7
Wt. of Soil Sample	gm.	1836	Wt. of can	gm.	21
Height os Sample	gm.	12.175	Wt. of water	gm.	4.3
Top Diameter	cm.	10.22	Wt. of Dry Soil	gm.	132.7
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	3.2404
Bottom Diameter	cm.	10.25	Wet Density	gm./cc.	1.8329
Avg. Diameter	cm.	10.235	Dry Density	gm./cc.	1.7754
Volume	cc.	1001.69	Proving Ring K		10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	82.27	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1643	82.41	5.2100	231.8023	2.8128
40	1	0.4	0.0033	0.3285	82.55	10.4200	463.6046	5.6163
60	1.5	0.6	0.0049	0.4928	82.68	15.6300	695.4068	8.4106
80	2	0.8	0.0066	0.6571	82.82	20.8400	927.2091	11.1956
100	3	1	0.0082	0.8214	82.96	31.2600	1390.8137	16.7657
120	3.5	1.2	0.0099	0.9856	83.09	36.4700	1622.6159	19.5276
140	4	1.4	0.0115	1.1499	83.23	41.6800	1854.4182	22.2802
160	5	1.6	0.0131	1.3142	83.37	52.1000	2318.0228	27.8040
180	5.5	1.8	0.0148	1.4784	83.51	57.3100	2549.8251	30.5335
200	6	2	0.0164	1.6427	83.65	62.5200	2781.6273	33.2537
250	8.5	2.5	0.0205	2.0534	84.00	88.5700	3940.6387	46.9127
300	11	3	0.0246	2.4641	84.35	114.6200	5099.6501	60.4560
350	14	3.5	0.0287	2.8747	84.71	145.8800	6490.4638	76.6200
400	17	4	0.0329	3.2854	85.07	177.1400	7881.2775	92.6452
450	20	4.5	0.0370	3.6961	85.43	208.4000	9272.0911	108.5315
500	23	5	0.0411	4.1068	85.80	239.6600	10662.9048	124.2790
550	26	5.5	0.0452	4.5175	86.17	270.9200	12053.7185	139.8877
600	29.5	6	0.0493	4.9281	86.54	307.3900	13676.3344	158.0360
650	32.5	6.5	0.0534	5.3388	86.91	338.6500	15067.1481	173.3554
700	36	7	0.0575	5.7495	87.29	375.1200	16689.7640	191.1914
750	39.5	7.5	0.0616	6.1602	87.68	411.5900	18312.3800	208.8654
800	43	8	0.0657	6.5708	88.06	448.0600	19934.9959	226.3774
850	46	8.5	0.0698	6.9815	88.45	479.3200	21325.8096	241.1067
900	49	9	0.0739	7.3922	88.84	510.5800	22716.6232	255.6971
950	52	9.5	0.0780	7.8029	89.24	541.8400	24107.4369	270.1487
1000	55	10	0.0821	8.2136	89.64	573.1000	25498.2506	284.4614
1100	60	11	0.0903	9.0349	90.45	625.2000	27816.2734	307.5446
1200	64	12	0.0986	9.8563	91.27	666.8800	29670.6916	325.0855
1300	67	13	0.1068	10.6776	92.11	698.1400	31061.5053	337.2230
1400	69.5	14	0.1150	11.4990	92.96	724.1900	32220.5166	346.5894
1500	71	15	0.1232	12.3203	93.84	739.8200	32915.9235	350.7837
1600	72	16	0.1314	13.1417	94.72	750.2400	33379.5280	352.3920
1700	73	17	0.1396	13.9630	95.63	760.6600	33843.1326	353.9077
1800	74	18	0.1478	14.7844	96.55	771.0800	34306.7371	355.3309
1900	74.5	19	0.1561	15.6057	97.49	776.2900	34538.5394	354.2838
2000	75	20	0.1643	16.4271	98.45	781.5000	34770.3417	353.1904
2100	76	21	0.1725	17.2485	99.42	791.9200	35233.9463	354.3821
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength			
Prince of Songkhla University					
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	3		
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน		
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2	OF	2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 10 ทำการบ่ม 7 วัน				



Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	4
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วัน		

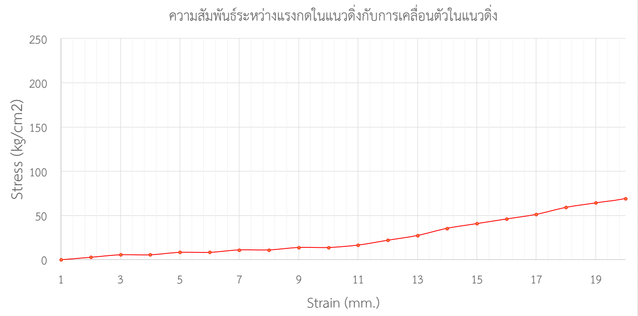
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5866	Wt. of can + Wet Soil	gm.	191.1
Wt of Mold	gm.	3970	Wt. of can + Dry Soil	gm.	183.4
Wt. of Soil Sample	gm.	1896	Wt. of can	gm.	20.4
Height os Sample	gm.	12.835	Wt. of water	gm.	7.7
Top Diameter	cm.	10.18	Wt. of Dry Soil	gm.	163
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	4.7239
Bottom Diameter	cm.	10.225	Wet Density	gm./cc.	1.8069
Avg. Diameter	cm.	10.2025	Dry Density	gm./cc.	1.7254
Volume	cc.	1049.30	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	81.75	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1643	82.41	5.2100	231.8023	2.8128
40	1	0.4	0.0033	0.3285	82.55	10.4200	463.6046	5.6163
60	1	0.6	0.0049	0.4928	82.68	10.4200	463.6046	5.6071
80	1.5	0.8	0.0066	0.6571	82.82	15.6300	695.4068	8.3967
100	1.5	1	0.0082	0.8214	82.96	15.6300	695.4068	8.3828
120	2	1.2	0.0099	0.9856	83.09	20.8400	927.2091	11.1586
140	2	1.4	0.0115	1.1499	83.23	20.8400	927.2091	11.1401
160	2.5	1.6	0.0131	1.3142	83.37	26.0500	1159.0114	13.9020
180	2.5	1.8	0.0148	1.4784	83.51	26.0500	1159.0114	13.8788
200	3	2	0.0164	1.6427	83.65	31.2600	1390.8137	16.6268
250	4	2.5	0.0205	2.0534	84.00	41.6800	1854.4182	22.0766
300	5	3	0.0246	2.4641	84.35	52.1000	2318.0228	27.4800
350	6.5	3.5	0.0287	2.8747	84.71	67.7300	3013.4296	35.5736
400	7.5	4	0.0329	3.2854	85.07	78.1500	3477.0342	40.8729
450	8.5	4.5	0.0370	3.6961	85.43	88.5700	3940.6387	46.1259
500	9.5	5	0.0411	4.1068	85.80	98.9900	4404.2433	51.3326
550	11	5.5	0.0452	4.5175	86.17	114.6200	5099.6501	59.1832
600	12	6	0.0493	4.9281	86.54	125.0400	5563.2547	64.2859
650	13	6.5	0.0534	5.3388	86.91	135.4600	6026.8592	69.3422
700	15	7	0.0575	5.7495	87.29	156.3000	6954.0683	79.6631
750	16	7.5	0.0616	6.1602	87.68	166.7200	7417.6729	84.6037
800	18	8	0.0657	6.5708	88.06	187.5600	8344.8820	94.7626
850	19	8.5	0.0698	6.9815	88.45	197.9800	8808.4866	99.5875
900	20	9	0.0739	7.3922	88.84	208.4000	9272.0911	104.3662
950	22	9.5	0.0780	7.8029	89.24	229.2400	10199.3002	114.2937
1000	23	10	0.0821	8.2136	89.64	239.6600	10662.9048	118.9566
1100	26	11	0.0903	9.0349	90.45	270.9200	12053.7185	133.2693
1200	29	12	0.0986	9.8563	91.27	302.1800	13444.5321	147.3044
1300	31	13	0.1068	10.6776	92.11	323.0200	14371.7412	156.0286
1400	33	14	0.1150	11.4990	92.96	343.8600	15298.9503	164.5676
1500	35	15	0.1232	12.3203	93.84	364.7000	16226.1595	172.9215
1600	37.5	16	0.1314	13.1417	94.72	390.7500	17385.1709	183.5375
1700	39.5	17	0.1396	13.9630	95.63	411.5900	18312.3800	191.4980
1800	41.5	18	0.1478	14.7844	96.55	432.4300	19239.5891	199.2734
1900	42	19	0.1561	15.6057	97.49	437.6400	19471.3914	199.7304
2000	43	20	0.1643	16.4271	98.45	448.0600	19934.9959	202.4958
2100	44	21	0.1725	17.2485	99.42	458.4800	20398.6005	205.1686
2200	45	22	0.1807	18.0698	100.42	468.9000	20862.2050	207.7488
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department Prince of Songkhla University		Unconfined Compressive Strength	
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	4
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 15 ทำการบ่ม 7 วัน		



Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength	
Prince of Songkhla University			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	1 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วัน		

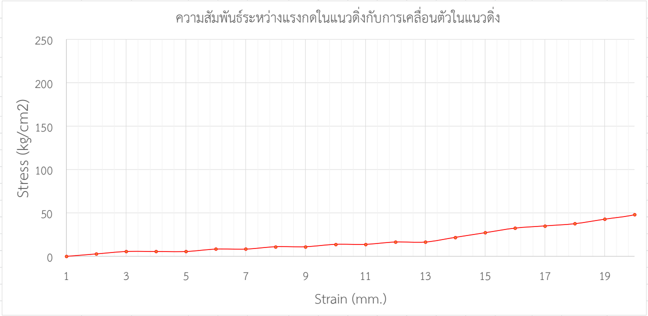
Water content determination

Wt. Mold + Soil	gm.	5798	Wt. of can + Wet Soil	gm.	198.4
Wt of Mold	gm.	3970	Wt. of can + Dry Soil	gm.	187.6
Wt. of Soil Sample	gm.	1828	Wt. of can	gm.	22
Height os Sample	gm.	12.43	Wt. of water	gm.	10.8
Top Diameter	cm.	10.13	Wt. of Dry Soil	gm.	165.6
Middle Diameter	cm.	-	Water Content	%	6.5217
Bottom Diameter	cm.	10.205	Wet Density	gm./cc.	1.8113
Avg. Diameter	cm.	10.1675	Dry Density	gm./cc.	1.7004
Volume	cc.	1009.23	Proving Ring K	lbs.	10.42

UCS Load Test Data

Penetration Reading	Dial Guage	Penetration mm.	Strain	%Strain	Area Correction cm3	Load lbs.	Load kN.	Stress kg/cm2
0	0	0	0.0000	0.0000	81.19	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.5	0.2	0.0016	0.1643	82.41	5.2100	231.8023	2.8128
40	1	0.4	0.0033	0.3285	82.55	10.4200	463.6046	5.6163
60	1	0.6	0.0049	0.4928	82.68	10.4200	463.6046	5.6071
80	1	0.8	0.0066	0.6571	82.82	10.4200	463.6046	5.5978
100	1.5	1	0.0082	0.8214	82.96	15.6300	695.4068	8.3828
120	1.5	1.2	0.0099	0.9856	83.09	15.6300	695.4068	8.3690
140	2	1.4	0.0115	1.1499	83.23	20.8400	927.2091	11.1401
160	2	1.6	0.0131	1.3142	83.37	20.8400	927.2091	11.1216
180	2.5	1.8	0.0148	1.4784	83.51	26.0500	1159.0114	13.8788
200	2.5	2	0.0164	1.6427	83.65	26.0500	1159.0114	13.8557
250	3	2.5	0.0205	2.0534	84.00	31.2600	1390.8137	16.5574
300	3	3	0.0246	2.4641	84.35	31.2600	1390.8137	16.4880
350	4	3.5	0.0287	2.8747	84.71	41.6800	1854.4182	21.8914
400	5	4	0.0329	3.2854	85.07	52.1000	2318.0228	27.2486
450	6	4.5	0.0370	3.6961	85.43	62.5200	2781.6273	32.5595
500	6.5	5	0.0411	4.1068	85.80	67.7300	3013.4296	35.1223
550	7	5.5	0.0452	4.5175	86.17	72.9400	3245.2319	37.6621
600	8	6	0.0493	4.9281	86.54	83.3600	3708.8364	42.8572
650	9	6.5	0.0534	5.3388	86.91	93.7800	4172.4410	48.0061
700	11	7	0.0575	5.7495	87.29	114.6200	5099.6501	58.4196
750	13	7.5	0.0616	6.1602	87.68	135.4600	6026.8592	68.7405
800	16	8	0.0657	6.5708	88.06	166.7200	7417.6729	84.2334
850	18	8.5	0.0698	6.9815	88.45	187.5600	8344.8820	94.3461
900	20	9	0.0739	7.3922	88.84	208.4000	9272.0911	104.3662
950	22	9.5	0.0780	7.8029	89.24	229.2400	10199.3002	114.2937
1000	24	10	0.0821	8.2136	89.64	250.0800	11126.5093	124.1286
1100	26	11	0.0903	9.0349	90.45	270.9200	12053.7185	133.2693
1200	28	12	0.0986	9.8563	91.27	291.7600	12980.9276	142.2249
1300	29	13	0.1068	10.6776	92.11	302.1800	13444.5321	145.9622
1400	30	14	0.1150	11.4990	92.96	312.6000	13908.1367	149.6069
1500	32	15	0.1232	12.3203	93.84	333.4400	14835.3458	158.0997
1600	35	16	0.1314	13.1417	94.72	364.7000	16226.1595	171.3017
1700	36	17	0.1396	13.9630	95.63	375.1200	16689.7640	174.5298
1800	38	18	0.1478	14.7844	96.55	395.9600	17616.9731	182.4672
1900	39	19	0.1561	15.6057	97.49	406.3800	18080.5777	185.4640
2000	40	20	0.1643	16.4271	98.45	416.8000	18544.1822	188.3682
2100	42	21	0.1725	17.2485	99.42	437.6400	19471.3914	195.8427
2200	-	-	-	-	-	-	-	-
2300	-	-	-	-	-	-	-	-

Civil Engineering Department		Unconfined Compressive Strength	
Prince of Songkhla University			
PROJECT	การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา	SAMPLE NO.	5
LOCATION	ห้องปฏิบัติการทดสอบดิน	SOURCE	ห้วยโอน
TEST BY	นายสุทธิชัย เจริญกิจ	SHEET	2 OF 2
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรังผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติอัตราส่วนร้อยละ 20 ทำการบ่ม 7 วัน		



บทความงานวิจัยเรื่องที่ 1

ได้นำเสนอและตีพิมพ์บทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมด้วยยางแผ่นรมควัน
Engineering Properties of asphalt concrete mixtures with Ribbed Smoked Sheet

สุทธิชัย เจริญกิจ[1*], สราวุธ จริตงาม[2] และ โอภาส สมใจนึก[3]
[1,2] *ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ.สงขลา*
[3] *สำนักทางหลวงที่ 15 อ.เมือง จ.สงขลา*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเนื่องจากปัญหาราคายางพาราธรรมชาติ (Natural Para Rubber หรือ NPR) มีราคาลดลงมาก ดังนั้นการวิจัยเพื่อนำยางพาราธรรมชาติมาใช้ประโยชน์จึงมีความจำเป็นอย่างมาก บทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดเกรด AC60/70 ผสมยางพาราธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet หรือ RSS) เพื่อให้ได้ปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมของยางแผ่นรมควันในการผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อให้ได้พาราแอสฟัลต์คอนกรีต (Para Asphalt Concrete หรือ PAC) โดยจะทำการศึกษาหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ผสมยางแผ่นรมควันในอัตราส่วนผสมตั้งแต่ 5%-20% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่า คุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแผ่นรมควันผสมแอสฟัลต์มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง และมีความเป็นไปได้ที่จะนำยางพาราธรรมชาติมานำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ: แอสฟัลต์, พาราแอสฟัลต์คอนกรีต, ยางแผ่นรมควัน

Abstract

Due to the current cost of Natural Para Rubber prices have dropped considerably. Therefore, the research of Natural Para Rubber (NPR) used so greatly necessary. This paper is to study the engineering properties of asphalt cement grade 60/70 in form of Ribbed Smoked Sheet (RSS). It also emphasizes on determining the appropriate proportion of RSS to be used in the mixing process at the content of 5-20% by weight. The objective is to compare the engineering properties and select the best ratio of the binder to mixing Para Asphalt Concrete (PAC). The study found that engineering properties of RSS mixed with asphalt meet the specific requirements of Department of Highways, and there is a possibility to be used Natural Para Rubber in commercial.

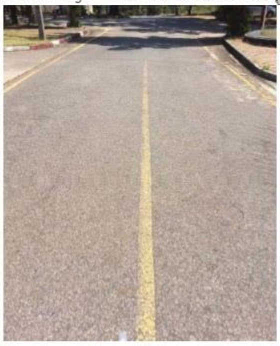
Keywords: Asphalt, Para Asphalt Concrete, Ribbed Smoked Sheet

1. ที่มาและความสำคัญ

ถนนถือได้ว่าเป็นปัจจัยสำคัญในระบบคมนาคมและเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาประเทศทั้งด้านการขนส่งคน และการขนส่งสินค้า จึงจำเป็นที่จะต้องสามารถรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ ซึ่งในการใช้งานถนนนั้นย่อมก่อให้เกิดความเสียหายตามอายุการใช้งาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการซ่อมแซม ปรับปรุง หรือก่อสร้างใหม่จากหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ถนนมีสภาพที่พร้อมใช้งานอยู่เสมอ ซึ่งในปัจจุบันผิวทางของถนนแบ่งเป็นสองชนิด ได้แก่ Rigid Pavement เป็นผิวทางที่ใช้คอนกรีตเป็นวัสดุซึ่งมีความคงทนแต่มีราคาในการก่อสร้างที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ผิวทาง Rigid Pavement

Flexible Pavement เป็นผิวทางที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นหลักในการก่อสร้าง มีราคาในการก่อสร้างที่ต่ำกว่าแต่มีความทนทานเ อายุการใช้งานที่น้อยกว่า Rigid Pavement ดังตัวอย่างในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ผิวทาง Flexible Pavement

* ผู้เขียนผู้รับผิดชอบบทความ (Corresponding author)
E-mail address: suttichai.charoenkij.sc@gmail.com

โดยส่วนประกอบหลักในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อใช้ปูผิวทางในปัจจุบันคือ Bitumen ซึ่งเป็นผลผลิตจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลี่ยม โดย Bitumen มีหน้าที่ในการเพิ่มการเกาะของวัสดุมวลรวม และเป็นตัวช่วยในการประสานสำหรับใช้ในการก่อสร้างถนน แต่ได้มีการรายงานจาก Peak – Oil Report[1] ว่ามีการคาดการณ์ว่าปริมาณน้ำมันในโลกจะมีการลดลงหลังจากช่วง พ.ศ. 2553 จนกระทั่งปริมาณน้ำมันดิบในโลกจะหมดลงไปในปี พ.ศ. 2593

ดังนั้นในมุมมองของการพัฒนาวัสดุ และระบบต่างๆอย่างยั่งยืนนั้นจำเป็นที่จะต้องพัฒนาหาทางเลือกอื่นเพื่อลดสัดส่วนการใช้วัสดุ Bitumen เป็นส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาของกรมทางหลวง[2] กรมทางหลวงชนบท ได้มีการนำผลผลิตจากยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber) เข้ามาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดอัตราส่วนการใช้วัสดุ Bitumen ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยใช้ยางพาราชนิดข้นเหลวผสมกับแอสฟัลต์ทำให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสำหรับการนำมาใช้ในงานปูผิวถนนดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางมะตอยที่ปรับปรุงด้วยยางพารา

สมบัติ	อัตราส่วนยางพารา	
	0%	5%
Softening point (°C)	46.0	55.3
Penetration Index	-1.50	+0.41
Torsional recovery (%)	2.8	21.1
Toughness (Km.cm.)	88.77	117.96
Tenacity (Km.cm.)	37.55	54.38

(ที่มา : มนตรี เดชาสกุลสม, พ.ศ.2556)

แต่พบว่าในขั้นตอนการผสมนั้นจะเกิดฟองพวยพุ่งซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ เนื่องจากในยางพาราชนิดข้นเหลวนั้นมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มากกว่าร้อยละ 50 และยังมีแอมโมเนียเข้มข้นเป็นส่วนผสมทำให้เกิดปฏิกิริยาเมื่อได้รับความร้อน และจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ[3] (ปี พ.ศ.2558) ได้มีการนำยางพาราชนิดแผ่นที่มีอยู่ในท้องตลาดมาปั่นและผสมรวมกับแอสฟัลต์ทำให้สามารถลดผลกระทบในขั้นตอนการผลิต ทางคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นถึงประโยชน์และคุณสมบัติของยางพาราชนิดยางแผ่นในการนำมาผสมกับแอสฟัลต์ โดยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานที่ผสมกับยางพาราชนิดแผ่นที่ร้อยละ 5 – 20 เพื่อหาอัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์กับยางพาราชนิดแผ่นที่เหมาะสมในการใช้งานปูผิวทางในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

1) เพื่อให้ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมยางพาราธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควันกับแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70เพื่อให้ได้พาราแอสฟัลต์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน
2) เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่ผสมกับยางพาราธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควันที่อัตราส่วนต่างๆ

3. ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางพาราธรรมชาติชนิดยางแผ่นรมควันที่สัดส่วนส่วนผสมต่างๆ คือ ร้อยละ 5 10 15 และ20 เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆ โดยทำการทดสอบหาการการจิ้มด้วยเข็ม การทดสอบจุดอ่อนตัว และการทดสอบการหลุดลอก โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM จากนั้นจึงนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบเพื่อหาสัดส่วนส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปเป็นส่วนผสมสำหรับงานปูผิวทางต่อไป

4. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

4.1. แอสฟัลต์คอนกรีต

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งจัดเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติกมีอำนาจการยึดสูง ในอุณหภูมิปกติจะมีลักษณะกึ่งแข็ง เหนียวหนืด เป็นสีดำ และเมื่อได้รับความร้อนสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของไหลหรืออ่อนตัว มีคุณสมบัติในการทดกรดและด่างอ่อนๆจึงทำให้สามารถนำมาใช้งานได้อย่างหลากหลาย เหมาะแก่การนำมาใช้เป็นตัวประสานหรือยึดเกาะวัสดุในงานทางได้ดี[4] สามารถกำหนดประสิทธิภาพเชิงกายภาพของวัสดุเชื่อมประสานได้ตามมาตรฐานที่เป็นสากล[5] โดยในบทความนี้ได้ทำการทดสอบ 3 การทดสอบดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายละเอียดการทดสอบวัสดุเชื่อมประสานตามมาตรฐาน

การทดสอบ	รายละเอียด
การทดสอบหาการจิ้ม	เป็นสำหรับทดสอบความคงตัวของวัสดุบิทูเมน
การทดสอบจุดอ่อนตัว	เป็นสำหรับหาความต้านทานของบิทูเมนเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
การทดสอบการหลุดออก	เป็นการทดสอบเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การหลุดลอกระหว่างวัสดุบิทูเมนกับมวลรวม

4.2. ยางแผ่นรมควัน

ยางแผ่นรมควันเป็นผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรม โดยแบ่งระดับของยางแผ่นรมควันออกเป็น 5 ระดับ โดยแบ่งออกเป็น RSS 1 ถึง RSS 5 (Ribbed Smoked Sheet) ซึ่งจะแยกระดับของยางแผ่นรมควันจากสิ่งแปลกปลอมที่ปนเปื้อนอยู่ในยางแผ่น ความสม่ำเสมอของสี และการใช้น้ำหรือน้ำกรดอย่างเหมาะสม โดยในประเทศไทยจะใช้ระดับ RSS3 เป็นมาตรฐาน โดยผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางแผ่นรมควันในการผลิต เช่น ยางล้อรถยนต์ สายพานต่างๆ รองเท้าและพื้นรองเท้า เป็นต้น ซึ่งถือว่ายังมีการใช้งานอยู่ในวงจำกัดเมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตยางพาราธรรมชาติจึงเหมาะที่จะเพิ่มปริมาณการใช้งานผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติชนิดแผ่นในงานถนนนั่นเอง

4.3. ผลของยางพาราที่มีต่อแอสฟัลต์

จากการศึกษาทบทวนงานวิจัย[6]และหลักฐานทางทฤษฎี พบว่าผลของยางพาราที่มีต่อแอสฟัลต์นั้นจะมีผลทางด้านกายภาพมากกว่าผลทางด้านเคมี โดยแอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราจะมีคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป คือ การไหลตัวที่อุณหภูมิต่ำ, การเปลี่ยนแปลงของค่า Penetration กับอุณหภูมิ และอุณหภูมิที่เกิดการเปราะจะลดต่ำลง แต่ค่าของอุณหภูมิที่เป็นจุดอ่อนตัว, การยืดหยุ่นตัว, ค่าการบิดตัว, ความต้านทานการเสียรูปภายใต้แรงกระทำ และการยืดตัวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

4.4. ถนนแอสฟัลต์ผสมยางพารา

การใช้ยางพาราผสมกับยางมะตอยในงานถนนนั้นได้มีการทดลองมาเป็นระยะเวลานานทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการผสมผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติทั้งในรูปแบบยางแห้ง น้ำยาง และผงยาง แล้วนำไปทดลองราดถนนทำให้ถนนมีความทนทานมากขึ้น มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุง

ถนน อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศอีกด้วย แต่ในการผสมยางพาราธรรมชาติกับยางมะตอยจำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆเพิ่ม ได้แก่ ค่ายางพารา โดยในปริมาณร้อยละ 5 ที่ใช้ในการราดถนนแบบผสมร้อนหนา 5 เซนติเมตร ถนนกว้าง 11 เมตร จะใช้ยางพารา 3,355 กิโลกรัม ต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร ค่าผลิตมาสเตอร์แบทซ์ โดยมีค่าใช้จ่าย 16 บาท ต่อ 1 ตารางเมตร และค่าผสมมาสเตอร์แบทซ์กับยางมะตอย จะขึ้นกับขนาดของถังต้มยางมะตอย ซึ่งเมื่อรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วการก่อสร้างถนนที่ผสมยางพาราธรรมชาติจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 – 20 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับราคาของยางพารา[7]

5. ทบทวนวรรณกรรม

กฤษณ์ เจ็ดวรรณ และคณะ[8] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติทั้งชนิดยางแผ่นรมควันและชนิดยางน้ำข้นเหลวผสมกับแอสฟัลต์ชนิด AC60/70 ในอัตราส่วนต่างๆ โดยการทดสอบการวัดความหนืด จุดติดไฟจุดวาบไฟ ความอ่อนตัว ความยืด ความยืดหยุ่น ความแข็งแกร่ง และการต้านทานการยุบตัวถาวร พบว่าการผสมยางแผ่นรมควันร้อยละ 3 และยางน้ำข้นเหลวร้อยละ 5 ในยางแอสฟัลต์ AC60/70 จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานพัฒนาขึ้น คือ มีสติฟเนสมากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ AC60/70 แต่มีคุณสมบัติที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คือ คุณสมบัติความหนืด ที่ถือว่ามีความสำคัญต่อการนำไปใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อให้มวลยึดเกาะติดกัน หากไม่ผ่านเกณฑ์จะส่งผลให้อาจเกิดปัญหาในขั้นตอนการผสม

ปัณณวัฒน์ ปรียานนท์ และคณะ[9] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกับยางพาราและเศษยางรถยนต์ผงที่อัตราส่วนร้อยละ 5 พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเศษยางรถยนต์ผงมีค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดอ่อนตัวมากกว่าแอสฟัลต์ที่ผสมยางพารา และแอสฟัลต์ที่ผสมยางพารามีค่าจุดอ่อนตัว และการยืดตัว ที่มากกว่าแอสฟัลต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ผง ซึ่งจะเห็นว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ด้วยยางพาราและเศษยางรถยนต์ผงนั้นสามารถปรับปรุงคุณวมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ในด้านต่างๆที่แตกต่างกัน

กอบชัย เกิดจันทร์ตรง และคณะ[10] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีการผสมร้อนซึ่งออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลล์ โดยใช้อัตราส่วนการผสมที่ร้อยละ 3 4 5 6 และ 7 ที่อุณหภูมิ 140 °C จากการทดสอบพบว่า ที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 3-5 มีค่าเสถียรภาพและค่าดัชนีความแข็งแรงสูงกว่ามาตราฐาน และค่าการไหลที่อยู่ในระดับมาตรฐาน โดยที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 3 จะทำให้ได้พาราแอสฟัลต์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

Ramez A. Al-Mansob และคณะ[11] ได้ทำการศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติเพื่อให้ได้ผิวทางที่มีความทนทานสูงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลงได้ โดยได้ศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกับยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 6 9 และ 12 ซึ่งจากการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยยางพาราธรรมชาติทำให้ค่าความหนืด และจุดอ่อนตัว มีค่าสูงขึ้นทำให้วัสดุเพิ่มความเป็นอิลาสติกมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ด้วยผลผลิตจากยางพาราธรรมชาติสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตให้ดีขึ้นและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา เนื่องจากการผสมผลผลิตจากยางพาราธรรมชาติสามารถยืดอายุการใช้งานของถนนได้นั่นเอง

6. วิธีการทดสอบ

ในบทความนี้ได้ทำการทดสอบ 3 การทดสอบ ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบในแต่ละการทดสอบ ดังนี้

6.1. การทดสอบหาการจิ้มด้วยเข็ม

เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาความหนืดของวัสดุบิทูเมนชนิดแข็งและกึ่งแข็ง และเป็นการกำหนดค่า Penetration ของวัสดุบิทูเมนอีกด้วย สามารถทำการทดสอบได้ดังนี้

1) ต้มยางมะตอยให้เหลวด้วยอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวประมาณ 80 - 90°C จากนั้นนำเทใส่ภาชนะสำหรับทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร สูง 35 มิลลิเมตร แต่ถ้าตัวอย่างที่จะทดสอบมีค่า Penetration สูงกว่า 200 ให้ใช้ภาชนะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร และสูง 45 มิลลิเมตร
2) ทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องให้เย็นตัวลงประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่ในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิ 25°C อีกประมาณ 1 ชั่วโมงครึ่ง
3) เตรียมเครื่องมือทดสอบ Penetration (รูปที่ 3) จากนั้นนำภาชนะที่บรรจุตัวอย่างเพื่อทดสอบมาวางใต้แท่น แล้วจึงเลื่อนเข็มลงมาให้แตะกับผิวของตัวอย่างที่จะทดสอบพอดี โดยสังเกตได้จากเงาสะท้อน

รูปที่ 3 ชุดเครื่องมือทดสอบ Penetration

4) ปรับค่าบน Dial Gauge ให้อยู่ที่ 0 แล้วจากนั้นจึงปล่อยเข็มให้ผ่านตัวอย่างเป็นเวลา 5 วินาที อ่านค่าจาก Dial Gauge แล้วบันทึกค่า
5) ยกเข็มขึ้นแล้วใช้สารจำพวก Solvent เช็ดทำความสะอาด ทำการทดลองซ้ำในขั้นตอนที่ 3) จนกระทั่งค่าที่อ่านได้ 3 ครั้งมีความแตกต่างกันไม่เกินค่าที่ ASTM ระบุไว้ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยในการทดลองแต่ละครั้งตำแหน่งที่วางเข็มจะต้องห่างจากตำแหน่งเดิมและขอบภาชนะอย่างน้อย 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 ตารางมาตรฐานค่าความแตกต่าง

ค่า Penetration	0-49	50-149	150-250	250ขึ้นไป
ค่าแตกต่างที่ไม่ควรเกิน	2	4	6	8

ในการทดสอบหาค่า Penetration โดยทั่วไปจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C น้ำหนักเข็มมาตรฐาน 100 g และระยะเวลาการปล่อยเข็มทะลวง 5 วินาที

6.2. การทดสอบหาจุดอ่อนตัว

เป็นทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมนในช่วง 30°C - 157°C และใช้เครื่อง Ring and Ball ในการทดสอบโดยจุ่มในน้ำกลั่นสำหรับตัวอย่างทดสอบที่มีจุดอ่อนตัวระหว่าง 30 - 80°C และ Glycerin สำหรับตัวอย่างที่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่า 80°C ซึ่งค่าจุดอ่อนตัวนี้จะมีประโยชน์ในการใช้เพื่อแบ่งชนิดของวัสดุบิทูเมน มีวิธีการทดสอบดังนี้

1) เลือกของเหลวที่ใช้เพื่อทดสอบและเทอร์โมมิเตอร์ที่เหมาะสมกับจุดอ่อนตัวของวัสดุที่จะทดสอบ นำของเหลวเติมในอ่างแก้วให้มีความลึก 105±3 มิลลิเมตร และให้ความร้อนตามอุณหภูมิเริ่มต้นของของเหลวที่เติม
2) ประกอบชุดทดสอบ(รูปที่ 4)
3) จากนั้นนำลูกบอลเหล็กวางไว้ก้นอ่างเพื่อให้ลูกบอลมีอุณหภูมิเท่ากับของเหลวที่เติมในอ่าง
4) ใช้ที่คีบนำลูกบอลจากก้นอ่างใส่ไว้ใน Ball centering guide ทั้งสองลูก
5) เริ่มให้ความร้อนแก่ภาชนะแก้ว โดยปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นในอัตรา 5°C ต่อนาที ถ้าอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในการทดสอบครั้งไม่เป็นไปตามที่กำหนดถือว่าการทดสอบครั้งนั้นใช้ไม่ได้ให้ทำการทดสอบใหม่ โดยหลังจากการทดสอบผ่านไป 3 นาที ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ±0.5°C
6) รอจนกระทั่งลูกบอลถ่วงตัวอย่างในวงแหวนทองเหลืองยืดตัวลงมากระทบก้นภาชนะ ทำการบันทึกอุณหภูมิขณะนั้นไว้เป็นจุดอ่อนตัวของตัวอย่างทดสอบนั้น

รูปที่ 4 ชุดเครื่องมือทดสอบหาจุดอ่อนตัว

6.3. การทดสอบการหลุดออก

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่เรียกว่า Plate Test ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อหาร้อยละการหลุดลอยระหว่างบิทูเมนกับวัสดุมวลรวม ซึ่งวิธีการทดสอบแบบนี้จะไม่ใช้กับวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 9.5 มิลลิเมตร มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1) ให้ความร้อนแก่วัสดุบิทูเมนที่จะทดสอบโดยใช้เตาไฟฟ้าจะกระทั่งหลอมเหลว
2) นำถาดสังกะสีวางลงบนตาชั่งแล้วเทวัสดุบิทูเมนที่เหลวแล้วลงประมาณ 30 – 35 กรัม แล้วนำถาดไปให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อให้ความหนาของวัสดุบิทูเมนเท่ากันทั้งถาด
3) นำมวลรวมจำนวน 50 ก้อน กดลงบนวัสดุบิทูเมนแต่ละถาด แล้วนำไปวางในเตาอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4) เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำถาดไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 4 วัน หลังครบ 4 วัน ให้ลดอุณหภูมิน้ำเป็น 25°C และแช่ต่ออีก 1 ชั่วโมง
5) นำมวลรวมขึ้นจากน้ำและใช้คีมดึงมวลรวมออกทีละก้อน (รูปที่ 5) โดยพิจารณาคะแนนของมวลรวมแต่ละก้อนดังนี้
   1. Completely Stripped ผิวหน้าของมวลรวมไม่มีวัสดุบิทูเมนเหลืออยู่ ให้ 1 คะแนน
   2. Partly Stripped ผิวหน้าของมวลรวมมีวัสดุบิทูเมนเคลือบอยู่ครึ่งหน้า ให้ 0.5 คะแนน
   3. Not Stripped ผิวหน้าของมวลรวมมีวัสดุบิทูเมนเคลือบอยู่เต็มหน้า ให้ 0 คะแนน

รูปที่ 5 การดึงวัสดุมวลรวมออกจากถาดในการทดสอบการหลุดออก

โดยที่ ร้อยละการหลุดออก = ผลบวกของคะแนน × 100 / จำนวนก้อนวัสดุมวลรวม แล้วนำค่าของทั้งสองถาดมาเฉลี่ยเพื่อเป็นร้อยละการหลุดออกของตัวอย่างที่ทดสอบนั้นซึ่งร้อยละการหลุดออกแบ่งเป็นประเภทได้ดังนี้

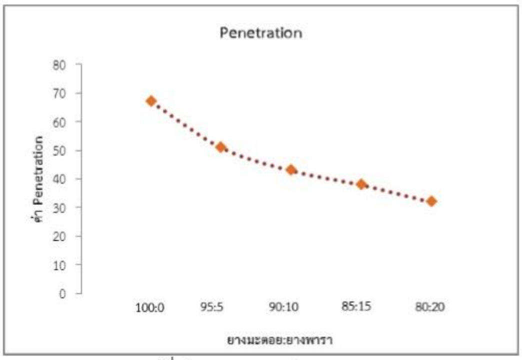
1. High resistance ร้อยละการหลุดออกน้อยกว่า 10
2. Moderate resistance ร้อยละการหลุดออกอยู่ระหว่าง 10 - 20
3. Poor resistance ร้อยละการหลุดออกมากกว่า 20

7. ผลการทดสอบ

เมื่อนำแอสฟัลต์ผสมกับยางแผ่นรมควันในอัตราส่วนต่างๆที่ต้องการโดยการให้ความร้อนแก่แอสฟัลต์ที่อุณหภูมิประมาณ 170-180°C จากนั้นจึงนำยางแผ่นรมควันที่ตัดเป็นชิ้นเล็กผสมลงไป คอยคนส่วนผสมเป็นระยะเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำไปทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์

7.1. ผลการทดสอบหาการจิ้มด้วยเข็ม

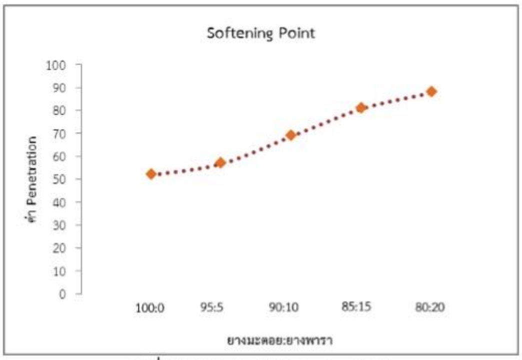
เมื่อทำการทดสอบค่า Penetration ของแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางแผ่นรมควันในอัตราส่วนต่างๆกัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของยางแผ่นรมควันจะทำให้ค่า Penetration ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการทดสอบ Penetration

7.2. ผลการทดสอบหาจุดอ่อนตัว

เมื่อทำการทดสอบค่า Softening Point ของแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางแผ่นรมควัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของยางแผ่นรมควันจะทำให้ค่า Softening Point เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการทดสอบ Softening Point

7.3. ผลการทดสอบการหลุดออก

เมื่อทำการทดสอบค่า Plate Test ด้วยแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางแผ่นรมควัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนของยางแผ่นรมควันที่ผสมกับแอสฟัลต์จะทำให้ค่าค่าร้อยละของการหลุดออกลดน้อยลงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ Plate Test

อัตราส่วนวัสดุ (แอสฟัลต์:ยางแผ่นรมควัน)	ร้อยละการหลุดลอก	หมายเหตุ
100 : 0	22	Poor resistance
95 : 5	19	Moderate resistance
90 : 10	11	Moderate resistance
85 : 15	8	High resistance
80 : 20	3	High resistance

8. สรุป

จากการทดสอบพบว่าเมื่อผสมยางแผ่นรมควันกับแอสฟัลต์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของของแอสฟัลต์ให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแอสฟัลต์ AC60/70 ที่ไม่ได้ผสมกับยางพารา

โดยที่คุณสมบัติ Softening Point ที่ทำการทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D 36 คือ มีค่ามากกว่าค่าการทดสอบของแอสฟัลต์ AC 60/70 แต่ในส่วนของร้อยละการหลุดลอกนั้นถือว่ามีคุณสมบัติที่ยังไม่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน เนื่องจากแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางแผ่นรมควันที่ที่ร้อยละ 10 15 และ 20 นั้น มีร้อยละการหลุดลอกที่ดีแต่เมื่อทำการดึงสามารถดึงออกได้โดยง่าย นั่นคือแอสฟัลต์ที่ผสมยางแผ่นรมควันในปริมาณที่สูงอาจมีความแข็งแรงที่ลดลงก็เป็นได้ ดังนั้นร้อยละของยางแผ่นรมควันที่ใช้เพื่อนปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ไม่ควรเกินกว่าร้อยละ 5

การผสมยางแผ่นรมควันลงในแอสฟัลต์ AC 60/70 นั้นทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานมีการพัฒนาขึ้น แต่จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในการผสมที่เหมาะสม เนื่องจากหากใช้อุณหภูมิที่สูงมากจะทำให้ยางพาราแผ่นส่งกลิ่นไหม้ และหากใช้อุณหภูมิที่ต่ำในการผสมก็จะไม่สามารถทำให้ยางแผ่นละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ได้

9. ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนของการผสมยางแผ่นรมควันกับแอสฟัลต์นั้นควรมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมเนื่องจากที่อัตราส่วนยางพาราที่ร้อยละ 15 และ 20 เมื่อยางแผ่นมรมควันผสมเข้ากับแอสฟัลต์แล้วจะเกิดฟองพวยพุ่งจำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่ผู้ผสม และการผสมยางแผ่นรมควันกับแอสฟัลต์นั้นอาจทำให้เกิดกลิ่นไม่พึ่งประสงค์จากการเผาไหม้ของยางแผ่นจึงควรทำการผสมในพื้นที่โล่ง อากาศถ่ายเทสะดวก

บทความนี้เป็นเพียงการศึกษาคุณสมบัติบางประการของแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วยยางแผ่นรมควัน เพื่อเป็นการทดสอบคุณสมบัติเปรียบเทียบหาอัตราส่วนผสมของยางแผ่นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการผสมกับแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติ ซึ่งในปัจจุบันยังมีการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ด้วยยางแผ่นอยู่น้อย ทั้งนี้เพื่อเป็นการพัฒนาการใช้ยางแผ่นในงานทางต่อไปในอนาคต

ควรมีการพัฒนาการใช้ยางแผ่นให้มีความเหมาะสมในงานทางทั้งด้านเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใช้ในการปฏิบัติงาน เพื่อให้การใช้พาราแอสฟัลต์ในการก่อสร้างถนนในประเทศนั้นเป็นไปได้โดยง่าย ทำให้สามารถพัฒนาทั้งด้านงานทาง และเศรษฐกิจของประเทศควบคู่ไปได้

10. เอกสารอ้างอิง

[1] Hubbert, Marion King, Peak Oil Definition from Financial Times Lexicon. Financial Times Lexicon, 2552.

[2] มนตรี เดชาสกุลสม, *"การส่งเสริมการใช้ยางพาราเป็นวัสดุผิวทาง"*, *วารสารวิจัย กรมทางหลวง*, พ.ศ.2556

[3] นายกฤษณ์ เจ็ดวรรณะ, นายเอกชัย สุมาลี และ นายวีระเทพ ชนินทรเทพ, "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder) ที่มีส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ผสมด้วยยางพาราธรรมชาติชนิดข้นเหลวและชนิดยางแผ่น", *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10*, พ.ศ.2558

[4] วัชรินทร์ วิทยกุล, *แอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับงานถนน*, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พ.ศ.2549, หน้า 1-62.

[5] พิชัย ธานีรณานนท์, *วิธีการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์*, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[6] จิราภรณ์ ทองศรีนุ่น, *"การปรับปรุงสมบัติของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยยางพารา"*, *วารสารวิจัย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง*

[7] ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และอดุลย์ ณ วิเชียร. การใช้ยางพาราผสมยางมะตอย-แนวทางการใช้ยางในประเทศ. ยางไทย 2557(3): 46-50

[8] นายกฤษณ์ เจ็ดวรรณะ, นายเอกชัย สุมาลี และ นายวีระเทพ ชนินทรเทพ, *"การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder) ที่มีส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70*

ผสมด้วยยางพาราธรรมชาติชนิดข้นเหลวและชนิดยางแผ่น", *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10*, พ.ศ.2558

[9] ปัณณวัฒน์ ปรียานนท์, สมโพธิ อยู่ไว, *"คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยเศษยางผงและยางพารา"*, *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19*, พ.ศ.2557

[10] กอบชัย เกิดจันทร์ตรง, วัชรินทร์ วิทยกุล และ วีระเกษตร สวนผกา, *"การศึกษาอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีการผสมร้อน (มาสเตอร์แบท1:1)"*, *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10*, พ.ศ.2558

[11] Ramez A. Al-Mansob, Amiruddin Ismail, Nur Izzi Md. Yusoff, Shaban Ismael Albrka, Che Husna Azhari และMohamed Rehan Karim. 2015. *"Rheological characteristics of unaged and aged epoxidised natural rubber modified asphalt"*. Construction and Building Materials 102,part1 (January):190-199. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815305481

The 21st National Convention on Civil Engineering

This is to certify that

Suttichai Charoenkij

has successfully participated in the 21st NCCE for the paper titled

Engineering Properties of Asphalt Concrete Mixtures with Ribbed Smoked Sheet

BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand

June 28-30, 2016

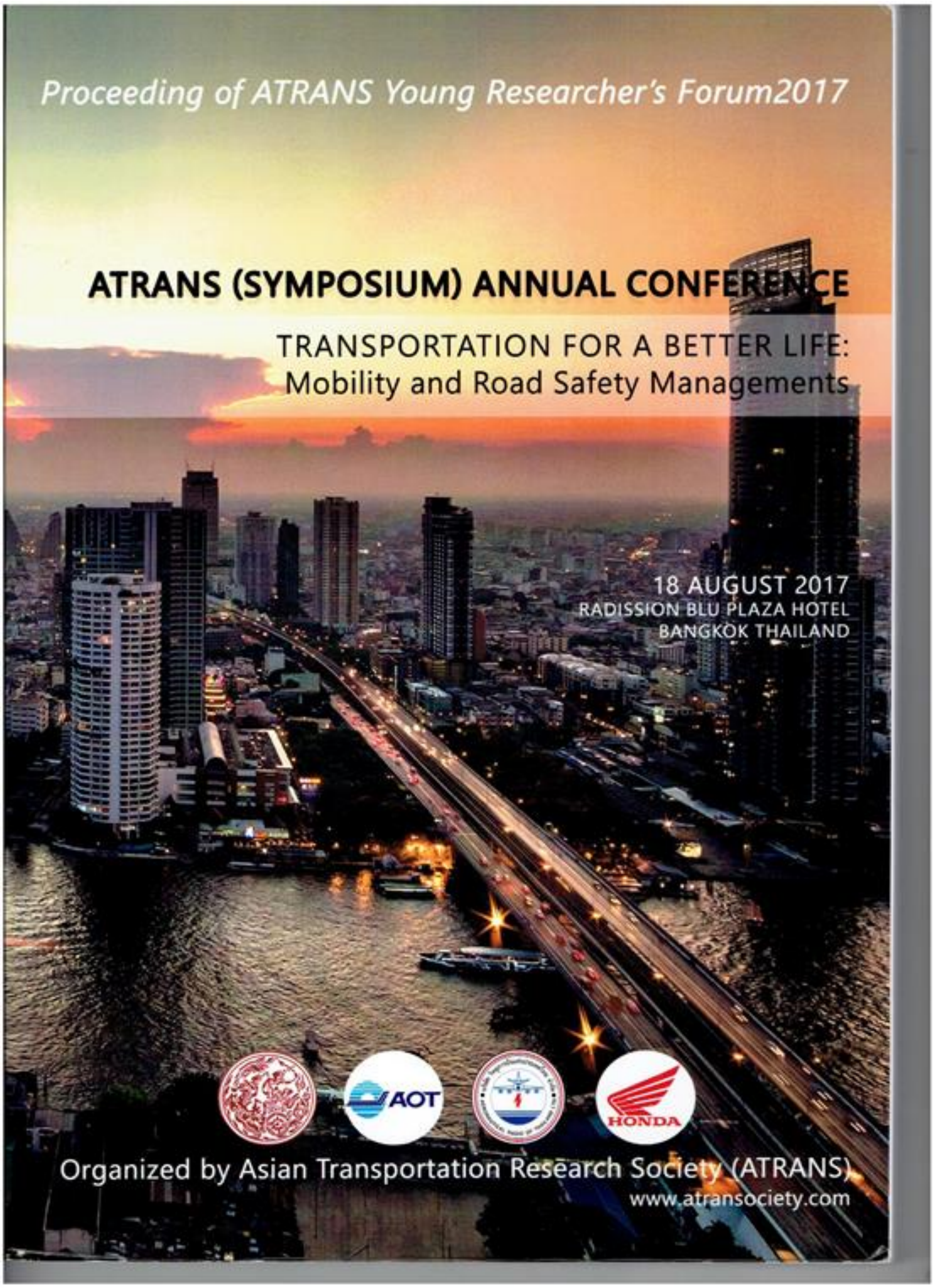
Prof.Dr.Suchatvee Suwansawat
President of EIT

Assoc. Prof. Charoon Charoenmatkul
Dean of Engineering Faculty, RMUTSV

Assist. Prof. Pornarai Boonrasi
Chairperson of 21st NCCE Committee

บทความงานวิจัยเรื่องที่ 2

ได้นำเสนอและตีพิมพ์บทความ ATRANS ANNUAL CONFERENCE PROCEEDING OF YOUNG RESEARCHER'S FORUM 2017



ATRANS ANNUAL CONFERENCE 2017
PROCEEDING OF YOUNG RESEARCHER'S FORUM

Transportation for a Better Life:
Mobility and Road Safety Managements
18 August 2017
Bangkok, Thailand

การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา

Improving Properties of Lateritic Soil with Natural Rubber Latex

หมายเลขบทความ: [illegible]

สุทธิชัย เจริญกิจ[1], สราวุธ จริตงาม[2], โอภาส สมใจนึก[3], ประเมษฐ์ หอมหวล[4]

SutichaiCharoenkij, SaravutJaritngam, OpasSomjainuk, ParametHomhual

[1,2,4]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
โทรศัพท์. 0-7428-7015-6 โทรสาร 0-7445-9396
E-mail: [illegible]

[3]สำนักทางหลวงที่ 15 ศูนย์สร้างทางสงขลา
โทรศัพท์ 0-7431-1900-505

บทคัดย่อ

[illegible]

ศัพท์สำคัญ: ดินลูกรัง, ยางพารา, น้ำยางข้น, กำลังอัด, วัสดุผิวทาง

Abstract

This paper presents the engineering properties of Lateritic Soils mixed with Natural Rubber Latex (NRL) in different ratios and mixing methods. The purpose of this study was to investigate the engineering properties of Lateritic Soils mixed with Natural Rubber Latex to determine suitable ratios and mixing methods for road construction. By testing the index properties of Lateritic soils will know the type and basic properties of the soil samples. Then, the Unconfined Compression Strength, CBR and Swelling test was performed to compare strength of the samples. From the study, the ratio of NRL, 5, 10, 10 and 20 percent by weight of soil, it was found that the ratio of NRL was increased with the strength. The ratio of NRL at 5% gave the maximum strength in case of non-drying material. Swelling was decreased with more NRL.

Keywords: Lateritic Soil, Natural Rubber Latex, Pavement

1. บทนำ

[illegible]

ที่ต่ำกว่าแต่มีความทนทานและอายุการใช้งานที่น้อยกว่าผิวทางแบบแข็ง โดยส่วนประกอบของถนนประกอบด้วยส่วนที่เป็นผิวทางตามที่ได้กล่าวมาซึ่งจะทำการก่อสร้างบนดินที่มีการออกแบบความหนาและทำการบดอัดตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างซึ่งโครงสร้างชั้นทางจะประกอบไปด้วย ชั้นดินเดิม (Subgrade) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) ชั้นพื้นทาง (Base Course) และผิวทาง (Surface Course) ซึ่งเป็นได้ทั้งผิวทางแบบยืดหยุ่นและผิวทางแบบแข็ง

ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะเป็นผิวทางประเภทใดก็ตามจำเป็นจะต้องทำการก่อสร้างบนดินชั้นพื้นทางทั้งสิ้นดินจึงจัดเป็นวัสดุที่สำคัญอย่างมากในงานก่อสร้างทุกประเภท ในการออกแบบเพื่อนำดินมาใช้งานนั้นดินจะถูกกำหนดคุณสมบัติด้วยค่าซีบีอาร์ (CBR) ซึ่งค่าการนำดินไปใช้งานนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าซีบีอาร์ตามมาตรฐานการก่อสร้างทางดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งดินนั้นเป็นวัสดุซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่ทั้งนี้ในการก่อสร้างทางนั้นได้มีการกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกวัสดุตามมาตรฐานกรมทางหลวงให้มีคุณภาพเหมาะสมแก่การนำมาก่อสร้างในงานทางแต่อย่างไรก็ตามการคัดเลือกวัสดุให้มีความเหมาะสมแก่งานในบางพื้นที่นั้นยังทำได้ยากอาจจำเป็นต้องมีการขนส่งจากแหล่งวัสดุที่อยู่ห่างออกไปก่อให้เกิดต้นทุนการก่อสร้างที่สูงขึ้นซึ่งสามารถลดต้นทุนในการก่อสร้างได้โดยการใช้วัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นหรือพื้นที่ใกล้เคียงพื้นที่ก่อสร้างแล้วนำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุผสมเพิ่ม

ในปัจจุบันการใช้ยางพาราสำหรับงานทางนั้นได้เริ่มเข้ามามีบทบาทสำหรับการก่อสร้างงานทางทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศอย่างกว้างขวางได้มีการศึกษาการนำยางพาราผสมกับแอสฟัลต์เป็นพาราแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซึ่งพบว่าได้พาราแอสฟัลต์มีความทนทานมากขึ้นมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นทำสามารถให้ประหยัดงบประมาณที่ใช้สำหรับการซ่อมแซมผิวถนนอีกทั้งนอกจากจะเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางให้ดีขึ้นแล้วนั้นยังเป็นการส่งเสริมกระตุ้นการใช้ยางพาราที่เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรมีการศึกษาการใช้ยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังในการก่อสร้างงานทางเพื่อเป็นการปรับปรุงดินลูกรังที่สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ให้มีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างทางได้เป็นการลดต้นทุนการก่อสร้างในการขนส่งวัสดุอีกทางหนึ่งอีกทั้งยังทำให้ดินลูกรังที่นำมาใช้มีคุณภาพที่ดีขึ้นนำไปสู่การก่อสร้างทางที่มีคุณสมบัติดีขึ้นอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมถนนอีกทาง

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่าซีบีอาร์และการใช้งานดิน

CBR	Engineering Properties	Implementations
0 - 3	Very Poor	Subgrade
3 – 7	Poor to Fair	Subgrade
7 – 20	Fair	Subgrade
20 – 50	Good	Subgrade, Base
50 – 80	Very Good	Base
>80	Excellent	Base

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพาราเพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาวัสดุสำหรับการก่อสร้างทางต่อไป

2.2 เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่ใช้ผสมกับดินลูกรังในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินลูกรังสำหรับการก่อสร้างทาง

3. ทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานทางการใช้ยางพาราในงานทางการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวัสดุผสมเพิ่มและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้ยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางการใช้วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติดินลูกรังดังนี้

3.1 การใช้ยางพาราในงานทาง

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 เมื่อประเทศไทยเริ่มมีการปลูกยางพาราขึ้นเป็นครั้งแรกและมีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างกว้างขวางจนยางพาราจัดได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างยิ่งของประเทศไทยอีกทั้งประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตและส่งออกอันดับหนึ่งของโลกส่งผลให้เกิดผลกระทบอย่างต่อเนื่องถึงทั้งทางเศรษฐกิจภาคอุตสาหกรรมภาคการตลาดภาคเกษตรกรผู้ประกอบการต่างๆรวมถึงภาครัฐยางพาราจึงมีบทบาทที่สำคัญต่อวิถีชีวิตและความเป็นอยู่ของเกษตรกรมากกว่าหนึ่งล้านครอบครัวในไทยซึ่งเป็นเกษตรกรรายย่อยและเป็นส่วนรายขนาดเล็กถึงร้อยละ 95 ของส่วนยางทั้งประเทศนอกจากการสร้างรายได้ที่เกิดจากการปลูกยางพาราแล้วยังถือเป็นการสร้างสวนป่าเศรษฐกิจของประเทศเป็นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในการช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ส่งผลให้สภาพแวดล้อมดีขึ้นอีกทั้งเกษตรกรผู้ปลูกยางพารายังมีความเสี่ยงน้อยกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นเนื่องจากยางพารามีอายุการให้ผลผลิตยาวนานสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้อย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้ถึงแม้ประเทศจะเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพารารายใหญ่แต่ยังเป็นการส่งออกในรูปแบบของวัตถุดิบสูงกว่าร้อยละ 85 ของ

ปริมาณที่ผลิตได้ทั้งหมดจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพึ่งพาตลาดต่างประเทศทำให้ราคายางพาราขาดเสถียรภาพมีความผันผวนการใช้ยางพาราที่เกิดขึ้นในประเทศมีปริมาณไม่ถึงร้อยละ 15 ของการผลิตอยู่ในอุตสาหกรรมประเภทยางรถจักรยานยนต์ท่อลดและอะไหล่รถยนต์รวมไปถึงการผลิตยางยืดถุงมือยางยางรองเท้า เป็นต้นทำให้ประเทศไทยต้องประสบปัญหาราคายางที่ตกต่ำเนื่องมาจากปัจจัยทั้งด้านอุปสงค์และอุปทานคือการผลิตที่มากเกินไปอีกทั้งปัจจุบันมีคู่แข่งในการผลิตเพิ่มมากขึ้นและอาจเกิดจากการขาดการใช้งานภายในประเทศการแปรรูปของวัตถุดิบภายในประเทศเพียงร้อยละ 12 จึงเป็นแนวคิดในการนำยางพารามาใช้ประโยชน์ในงานทางไม่ว่าจะเป็นการใช้เป็นส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหรือการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อทดแทนยางสังเคราะห์เพื่อเพิ่มมูลค่าการใช้ยางพาราการใช้ยางพาราในงานผิวทางโดยการนำมาเป็นส่วนผสมกับแอสฟัลต์เพื่อใช้เป็นผิวทางนั้นเป็นวิธีการที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ได้โดยอาศัยคุณสมบัติบางอย่างของยางพาราเช่นความคงตัวที่สูง (Stability) ความยืดหยุ่นที่ดี (Elasticity) และความสามารถในการทนความล้าได้ดี (Fatigue Resistance) เป็นตัวช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานถนนซึ่งถือเป็นการช่วยประหยัดงบประมาณในส่วนของการซ่อมแซมถนนได้อีกทั้งการใช้ยางพาราสำหรับเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางนั้นยังเป็นการส่งเสริมและกระตุ้นการใช้ยางพาราในประเทศอีกทางหนึ่งอีกด้วยการส่งเสริมการใช้ยางพาราสำหรับงานทางที่ผ่านมากรมทางหลวงได้มีการผลักดันให้นำไปใช้กับผิวทางแอสฟัลต์ 2 ประเภทคือผิวทางสเลอรี่ซีลและแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางหรือเรียกว่าพาราแอสฟัลต์ซึ่งในปีพ.ศ. 2557 ปริมาณการใช้ยางพาราเป็นส่วนประกอบสำหรับงานทางนั้นในส่วนของผิวทางสเลอรี่ซีลมีการใช้งานคิดเป็นจำนวนเงินสูงถึง 1,440 ล้านบาทและการใช้งานในส่วนของพาราแอสฟัลต์คิดเป็นมูลค่า 592 ล้านบาทรวมทั้งสิ้น 2,032 ล้านบาทซึ่งเมื่อนำมาเทียบแล้วคิดเป็นเพียงร้อยละ 5.5 ของงบประมาณที่กรมทางหลวงได้รับซึ่งถือได้ว่ายังเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณงานทางที่เกิดขึ้นทั้งหมดคือเป็นแนวทางในการนำน้ำยางพารามาใช้ในงานทางต่อไป (นนศรีเดชายุคุชม, 2556)

5.2 พาราแอสฟัลต์

การนำผลผลิตจากยางพาราธรรมชาติมาใช้ประโยชน์สำหรับงานทางในประเทศไทยนั้นกรมทางหลวงได้มีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์โดยสามารถแบ่งลักษณะการนำไปใช้งานได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 การใช้น้ำยางพาราเพื่อมาเป็นส่วนประกอบของแอสฟัลต์อิมัลชันสำหรับฉาบผิวทางพาราสเลอรี่ซีลซึ่งกรมทางหลวงได้มีข้อกำหนดที่ทล.-ก. 405/2556 "Specification for Elastomeric Modified Asphalt Emulsion" และอีกหนึ่งมาตรฐานคือมาตรฐานที่ทล.-ม. 415/2546 "มาตรฐานวิธีการฉาบผิวทางแบบสเลอรี่ซีล" ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 3 ชนิดคือชนิดที่ 1 เป็นชนิดที่มีขนาดของหินที่ใช้ผสมละเอียดเหมาะสำหรับการใช้งานในการซ่อมแซมรอยแตกปรับปรุงสภาพผิวทางให้หยาบได้เล็กน้อยและสามารถป้องกันการเสื่อมสภาพของผิวทางเดิมจากการเกิดออกซิเดชั่นชนิดที่ 2 จะมีการใช้หินที่หยาบขึ้นจากชนิดที่ 1 เล็กน้อยจึงสามารถเพิ่มความฝืดให้ผิวทางเดิมได้มากขึ้นและชนิดที่ 3 จะเป็นชนิดที่มีการใช้หินที่หยาบที่สุดสามารถเพิ่มความฝืดให้ผิวทางได้มากที่สุดช่วยในการระบายน้ำผิวทางได้เร็วยิ่งขึ้นอีกทั้งสามารถสามารถช่วยได้เรื่องการปรับระดับได้เล็กน้อยช่วยแก้ไขเรื่องของCrown Slope รวมถึงการนำไปใช้เพื่อฉาบปิดผิวทางเดิมที่หลุด (Raveling) คุณลักษณะพิเศษของการฉาบผิวทางแบบพาราสเลอรี่ซีลนั้นคือความรวดเร็วของการเปิดใช้งานการจราจรดังเดิมนั่นคือสามารถกลับไปเปิดใช้งานการจราจรได้ภายในเวลาไม่เกิน 2 ชั่วโมงอีกทั้งยังมีความทนทานต่อการใช้งานที่ยาวนานเพิ่มความฝืดให้กับผิวทางเดิมที่ใช้งานมานานจนเกิดการลื่นไถลเป็นสาเหตุของอุบัติเหตุช่วยเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่โดยกรมทางหลวงได้มีการใช้การฉาบผิวทางแบบพาราสเลอรี่ซีลมาแล้วเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 10 ปี

ประเภทที่ 2 การใช้น้ำยางพาราผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์หรือที่เรียกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติซึ่งกรมทางหลวงได้เริ่มทำการศึกษามาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2545 ต่อมาในปีพ.ศ. 2555 รัฐบาลได้มีการประชุมแนวทางการเพิ่มอุปสงค์ของยางพาราในประเทศกระทรวงคมนาคมจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อพิจารณาแนวทางการนำยางพารามาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวงทางหลวงท้องถิ่นและทางรองต่อมาจึงได้มีการศึกษาทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนามเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดAC 60/70 ปกติกับแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดAC 60/70 ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพาราพบว่าการผสมน้ำยางพาราในแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นได้ผลการทดสอบคือค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าเสถียรภาพที่สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ปกติค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดAC 60/70 ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ปกติค่าความต้านทานต่อการล้าของแอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ที่ผสมน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานการล้าหรือจำนวนPulses ที่ตัวอย่างสามารถรับได้จนกระทั่งเกิดความเสียหายมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ปกติค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ที่ผสมน้ำยางพาราปริมาณร้อยละ 5 มีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ปกติค่าความต้านทานการเสียรูปแบบถาวรของแอสฟัลต์ชนิดAC 60/70 ที่ผสมกับน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าการเสียรูปน้อยกว่า

แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติค่าการเกิดร่องล้อ โดยการใช้ตัวอย่างที่เตรียมจากส่วนผสมในห้องปฏิบัติการมาทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบ Pavement Rutting Tester พบว่าแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ที่ผสมกับน้ำยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 มีแนวโน้มของการเกิดร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ปกติ ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่กล่าวมากรมทางหลวงจึงได้จัดทำข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 "ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ" และจัดมาตรฐานคือมาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 "มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ"

5.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีการศึกษาการใช้การใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากโรงงานในการก่อสร้างทาง โดย Aditya Kumar Anupam และคณะ (2551) จุดมุ่งหมายหลักของการวิจัยคือการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากโรงงานใช้เป็นสารผสมเพิ่มกับดิน และลดจำนวนชั้นของโครงสร้างทาง โดยในงานวิจัยได้มีการใช้เถ้าลอย แกลบ ผสมกับเถ้าชานอ้อยและเถ้าฟางข้าว ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 – 35 เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ผลปรากฏว่าที่อัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพให้ค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ, ขีดจำกัดการอัดตัว, ปริมาณน้ำเหมาะสม และค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างที่บ่มไว้ 28 ที่สูงขึ้น ซึ่งทำให้พบว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและของเสียจากโรงงานนั้นสามารถใช้เป็นวัสดุสำหรับปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางได้

จิติพงษ์ หล่อพิลาลชัย และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยางพารา เพื่อนำไปใช้กับการดาดหน้าเขื่อนเพื่อลดการรั่วซึมด้านท้ายเขื่อน ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากับตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยางพารา โดยทำการผสมน้ำยางพาราร้อยละ 5, 7.5, 10 และ 12.5 โดยปริมาตรของน้ำที่ใช้ผสมกับซีเมนต์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 5, 7 และ 28 วัน จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น การดูดซึมของน้ำ และทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Strength) ซึ่งหลังจากทำการทดสอบพบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5 สามารถทำให้ได้ค่าการทดสอบที่ดีที่สุดที่อายุการบ่ม 28 วัน

ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และคณะ (2557) ได้กล่าวถึงการใช้ยางพาราผสมกับยางมะตอยในงานทางว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ปรับปรุงสมบัติยางมะตอยให้ดีขึ้น โดยอาศัยสมบัติบางประการที่เป็นข้อดีของยางธรรมชาติ เช่น ความยืดตัวสูง ความยืดหยุ่นดี และการทนความล้าที่ดี เพื่อเสริมคุณสมบัติให้กับยางมะตอยทำให้สามารถยืดอายุการใช้งานถนนและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศอีกทางหนึ่ง ซึ่งการใช้ยางพาราผสมกับยางมะตอยที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ของเนื้อยางแห้งต่อน้ำหนักยางมะตอย ทำให้ค่าการคืนตัวกลับ, ความหนืด, ความเหนียว และดัชนีเพเนเทรชันที่สูงขึ้น อีกทั้งค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นก็ยังอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดความปัญหาในการผสม แต่จำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือในการผสมที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยได้เคยมีการทดลองใช้แอสฟัลต์ยางพาราในการก่อสร้างถนนแปลงทดลองขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2544 และได้ทำการเก็บข้อมูลด้านความคงทนทุกๆปีเพื่อเปรียบเทียบความคงทนกับถนนที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปกติ โดยผลการทดสอบปรากฏว่าถนนที่ใช้แอสฟัลต์ยางพารามีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าถนนที่ใช้แอสฟัลต์คอนกรีตปกติ

สราวุธ จริตงาม และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างทางโดยได้ทำการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความแข็งแรงของวัสดุจากค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว ซึ่งจากการศึกษาพบว่าดินลูกรังเพียงบางแห่งเท่านั้นที่สามารถนำไปใช้สำหรับเป็นวัสดุสำหรับงานก่อสร้างทางถนนตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง โดยดินตัวอย่างที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ที่นำมาทดสอบจากจังหวัดสงขลานั้นต้องใช้ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 5 และดินตัวอย่างจากจังหวัดขอนแก่นใช้ซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 5 จึงจะได้ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียวที่เหมาะสม

ปัณณรัตน์ ปริยานนท์ และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้สารผสมเพิ่ม 2 ชนิด คือ ยางพาราและผงยางรถยนต์ ในอัตราส่วนร้อยละ 5 จากผลการวิจัยพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะ และจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ผสมผงยางรถยนต์มีค่ามากกว่าแอสฟัลต์ผสมยางพารา และแอสฟัลต์ที่ผสมกับยางพาราให้ค่าเพเนเทรชันและค่าความอ่อนตัวที่มากกว่าแอสฟัลต์ที่ผสมผงยางรถยนต์ หลังจากการทดสอบ Marshall พบว่าค่า Stability ของแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางรถยนต์ ที่อัตราส่วนร้อยละ5 โดยน้ำหนัก ในส่วนของค่า Flow แอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักจะให้ค่าที่สูงกว่าแอสฟัลต์ AC 60/70 ที่ผสมผงยางรถยนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซึ่งแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 5 นั้นยังคงให้ค่ากำลังรับแรงอัดค่า Eeq หรือ Eavq หรือ [illegible] ที่สูงกว่าแอสฟัลต์ AC 60/70 ที่ผสมผงยางรถยนต์ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

กฤษณ์ เล็กวรรณ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยผลิตภัณฑ์จากยางพาราธรรมชาติทั้งชนิดยางแผ่นรมควันและชนิดยางน้ำข้นเหลวผสมกับแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ในอัตราส่วนต่างๆ โดยการทดสอบค่าการวัดความหนืด จุดติดไฟจุดวาบไฟ ความอ่อนตัว ความยืด ความยืดหยุ่น ความแข็งแกร่ง และการต้านทานการยุบตัวถาวร พบว่าการผสมยางแผ่นรมควันร้อยละ 5 และยางน้ำข้นเหลวร้อยละ 5 ในยางแอสฟัลต์ AC 60/70 จะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสานพัฒนาขึ้น คือ มีสติฟเน

ขนาดขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์ AC 60/70 แต่มีคุณสมบัติที่ไม่ผ่านเกณฑ์ คือ คุณสมบัติความหนืด ที่อาจจะมีความสำคัญต่อการนำไปใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ดอนชัย เกิดอินทร์ครอง และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีการผสมร้อนซึ่งออกแบบส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชลล์ โดยใช้อัตราส่วนการผสมที่ร้อยละ 3 4 5 6 และ 7 ที่อุณหภูมิ 140 °C จากการทดสอบพบว่า ที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 3 - 5 มีค่าเสถียรภาพและค่าดัชนีความแข็งแรงสูงกว่ามาตรฐาน และค่าการไหลที่อยู่ในระดับมาตรฐาน โดยที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 5 จะทำให้ได้พาราแอสฟัลต์ที่มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

Ramez A. Al-Mansob และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติเพื่อให้ได้ผิวทางที่มีความทนทานสูงทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลงได้ โดยได้ศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกับยางพาราธรรมชาติที่ร้อยละ 3 6 9 และ 12 ซึ่งจากการทดสอบพบว่าแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยยางพาราธรรมชาติทำให้ค่าความหนืด และจุดอ่อนตัว มีค่าสูงขึ้นทำให้วัสดุมีความเป็นอิลาสติกมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น

Dino Kumalasari Kenichi Sato (2558) ได้ทำการทบทวนการศึกษาผลกระทบของอิปซัมที่มีต่อดินที่ใช้ในชั้นรองพื้นทาง พบว่าปริมาณของยิปซัมที่เหมาะสมนั้นสามารถทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินได้โดยจะทำให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่สูงขึ้น และปริมาณน้ำเหมาะสมที่ต่ำลง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของยิปซัมที่นำมาใช้ด้วย ซึ่งหากขนาดของยิปซัมยิ่งใหญ่ขึ้นปริมาณเหมาะสมที่ใช้ในการผสมก็จะมีมากขึ้นไปด้วย

JeerapanDoorsiri และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของดินลูกรังและเอนเมอร์มิน โดยได้ทำการทดสอบความถ่วงจำเพาะ, คุณสมบัติการดูดซึมน้ำ, ขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก, การสึกหรอและการกระจายขนาดคละ, ค่าซีบีอาร์ และการบวมตัว ซึ่งพบว่าเอนเมอร์มินสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุทางเลือกแทนดินลูกรังได้โดยเอนเมอร์มินนั้นมีค่าการต้านทานการสึกหรอที่ดีกว่าดินลูกรัง อีกทั้งค่าซีบีอาร์ของดินลูกรังที่ผสมกับเอนเมอร์มินนั้นยังมีค่าที่สูงกว่าค่าซีบีอาร์ที่ได้จากการทดสอบดินเพียงอย่างเดียวอีกด้วย

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่ามีวัสดุต่างๆที่สามารถนำมาใช้สำหรับงานทางเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทาง ซึ่งยางพาราเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุทางได้อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการนำยางพาราที่เป็นทรัพยากรภูมิของประเทศมาใช้สำหรับงานทาง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและความเป็นไปได้สำหรับการศึกษาการใช้น้ำยางพาราผสมกับดินลูกรังเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้ดีขึ้นเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการศึกษาและนำไปใช้สำหรับการก่อสร้างทางต่อไป

4. ขั้นตอนการวิจัย

เริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างดินจากบริเวณที่ต้องการศึกษา จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติดัชนีเพื่อจำแนกและศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินตัวอย่างจึงทำการทดสอบค่าซีบีอาร์ของดินตัวอย่างโดยทำการทดสอบดินที่ผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติในการวิจัยครั้งนี้เลือกใช้น้ำยางพาราธรรมชาติชนิดน้ำยางข้นแอมโมเนียสูงเนื่องจากน้ำยางข้นนั้นจะมีปริมาณเนื้อยางสูงกว่าน้ำยางดิบ โดยน้ำยางข้นจะมีปริมาณเนื้อยางอยู่ที่ร้อยละ 60 ซึ่งในส่วนของน้ำยางดิบจะมีปริมาณเนื้อยางอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 เพื่อให้ง่ายต่อการผสมและบดอัดไม่ต้องให้เกิดการเย็นและเหลวเกินไปในขั้นตอนการผสมน้ำยางกับดินทำให้ไม่สามารถบดอัดดินได้โดยจะทำการผสมน้ำยางพารากับดินที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 แล้วจึงทำการทดสอบเพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปศึกษาคุณสมบัติหาอัตราส่วนยางพาราที่เหมาะสมและสรุปผลในขั้นต่อไป

4.1 การเก็บตัวอย่างดินและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

ขั้นตอนแรกเป็นการนำตัวอย่างดินที่เก็บจากบ่อดินมาทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานโดยทำการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) ขีดจำกัดอัตเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limit) เพื่อทราบถึงประเภทและคุณสมบัติของดินลูกรังจากนั้นทำการทดสอบการบดอัดมาตรฐาน (Compaction Test) เพื่อทราบปริมาณน้ำเหมาะสมสูงสุดและความหนาแน่นแห้งสูงสุดโดยทำการทดสอบโดยใช้น้ำตามมาตรฐานการทดสอบและผู้วิจัยได้เพิ่มการทดสอบการบดอัดมาตรฐานที่ใช้น้ำยางพาราแทนการใช้น้ำเพื่อเปรียบเทียบปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งที่ได้

4.2 การทดสอบหาค่าซีบีอาร์

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบค่าซีบีอาร์ของดินตัวอย่างโดยการนำดินตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการชั่งน้ำหนักแล้วผสมกับน้ำยางพาราตามอัตราส่วนที่เตรียมไว้โดยทำการทดสอบทั้งแบบแช่น้ำ และไม่แช่น้ำโดยการทดสอบแบบแช่น้ำนั้นผู้วิจัยจะทำการบดอัดดินกับน้ำยางพาราตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้วทิ้งก้อนตัวอย่างไว้ในอากาศเป็นเวลา 7 วันก่อนการนำไปแช่น้ำเพื่อจดบันทึกค่าการบวมตัว(Swelling) แล้วจึงทำการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ตามมาตรฐานการทดสอบต่อไป และในส่วนของการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ จะแบ่งเป็น 2 ชุดการทดสอบ คือ ชุดที่หนึ่งจะทำการทดสอบทันทีหลังการบดอัดน้ำยางพารา และอีกหนึ่งชุดการทดสอบจะทำการทิ้งก้อนตัวอย่างที่บดอัดแล้วเป็นเวลา 7 วัน ก่อนทำการกดทดสอบเพื่อหาค่าซีบีอาร์ เพื่อศึกษากำลังของวัสดุที่เปลี่ยนไปเนื่องจากอัตราส่วนน้ำยางพารา และระยะเวลาการบ่มน้ำยางพารา

จากนั้นนำผลการทดสอบทั้งสามชุดการทดสอบ คือ การทดสอบแบบแช่น้ำ การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ และการทดสอบแบบไม่แช่น้ำที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน มาทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป หาอัตราส่วนน้ำยางพาราที่ดีที่สุด และสรุปผล

5. ผลการทดสอบ

ผู้วิจัยได้แบ่งผลการทดสอบออกเป็นผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไป ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์ และผลการทดสอบการบวมตัว ดังนี้

5.1 คุณสมบัติทั่วไป

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของดินทั้งค่าพิกัดอัตเตอร์เบิร์กการร่อนผ่านตะแกรงและการทดสอบการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความหนาแน่นของดิน (Compaction Test) โดยได้แสดงไว้ดังรายละเอียดในตารางที่2 และตารางที่3

ตารางที่ 2 คุณสมบัติดัชนีของดินตัวอย่าง

คำอธิบายทั่วไป	พิกัดอัตเตอร์เบิร์ก		การทดสอบการบดอัด		การทดสอบการจัดจำแนก
	ขีดจำกัดสภาพเหลว	ดัชนีสภาพพลาสติก	ความชื้นเหมาะสมสูงสุด	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด	
หินผุสีน้ำตาล	<35	<11	8.4	2.020	55.7%

ตารางที่ 3 ค่าร้อยละผ่านตะแกรงของดิน

2"	1"	3/4"	3/8"	#4	#10	#40	#200
100	96.5	91.2	70.1	41.5	24.5	17.5	8.9

จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นทำให้ทราบได้ว่าดินตัวอย่างจากแหล่งดินที่ออโลนอำเภอประเภทด้วยวิธีUnified Soil Classification ได้เป็นGW หมายถึงดินจำพวกกรวดมีขนาดคละที่ดีและจำแนกด้วยวิธีAASHTO ได้เป็นA-1 หมายถึงหินกรวดและทรายที่มีขนาดคละกันดีปริมาณความชื้นเหมาะสมสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 8.4 ความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.020 โดยจัดอยู่ในชั้นวัสดุรองพื้นทาง ตามมาตรฐานการก่อสร้างทางของกรมทางหลวง

5.2 ผลการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์

ในการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์ของดินตัวอย่างในครั้งนี้ ผู้วิจัยทำการทดสอบโดยใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราที่แตกต่างกันทั้งสิ้น 5 อัตราส่วนคือน้ำยางพาราที่ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 1883-99 โดยทำการทดสอบแบบ Modified ทดสอบที่ระยะจม 0.10 in และ 0.20 in หน่วยแรงกดมาตรฐาน 1,000 psi และ 1,500 psi ตามลำดับ ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4 ถึง ตารางที่ 6และผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าซีบีอาร์กับดินตัวอย่างโดยใช้ปริมาณน้ำที่ความชื้นเหมาะสมสูงสุดตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อใช้เปรียบเทียบ ผลการทดสอบดังรูปที่ 1

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าซีบีอาร์แบบไม่แช่น้ำไม่บ่ม

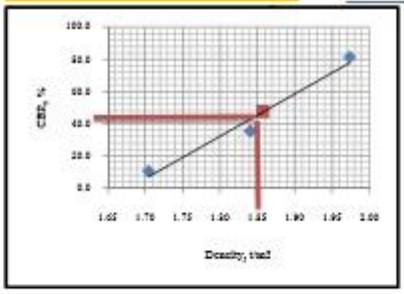
อัตราส่วนน้ำยางพารา	CBR @95%Compaction	Dry Density (t/m^3)
5	50.5	1.8215
10	42.6	1.8921
15	29.3	1.8121
20	20.8	1.7822

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำระยะเวลาบ่ม 7 วัน

อัตราส่วนน้ำยางพารา	CBR @95%Compaction	Dry Density (t/m^3)
5	59.3	1.9583
10	42.3	1.8514
15	33.7	1.7992
20	30.1	1.7824

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ

อัตราส่วนน้ำยางพารา	CBR @95%Compaction	Dry Density (t/m^3)
5	44.8	1.9023
10	34.7	1.8515
15	29.4	1.8012
20	25.3	1.7992



รูปที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าซีบีอาร์ของดินตามมาตรฐานการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่าค่าซีบีอาร์ของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพารานั้นมีค่าแตกต่างกันไปที่อัตราส่วนน้ำยางพาราแตกต่างกัน และระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกันไป

5.5 ผลการทดสอบการบวมตัว

ผู้วิจัยได้ทำการจดบันทึกค่าการบวมตัวของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบการหาค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ โดยทำการจดบันทึกค่าการบวมตัวทั้งในอากาศและในน้ำ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าก้อนตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันระหว่างในอากาศและในน้ำ ผลการทดสอบดังตารางที่ 7 และตารางที่ 10

ตารางที่ 7 การบวมตัวในน้ำของดินปกติ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการบวมตัว		
	Mold No.1 12 Blows	Mold No.2 25 Blows	Mold No.3 56 Blows
0.5	14	8	5
1	16	10	6
2	18	15	6
3	20	17	7
6	25	20	9
12	27	20	9
24	27	22	9
48	27	25	10
72	26	25	10
96	26	25	10

ตารางที่ 8 การบวมตัวในอากาศที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 5

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการบวมตัว		
	Mold No.1 12 Blows	Mold No.2 25 Blows	Mold No.3 56 Blows
0.5	0	0	-1
1	-3	-3	-3
2	-4	-4	-5
3	-5	-6	-10
6	-7	-10	-20
12	-10	-17	-22
24	-15	-20	-25
48	-15	-25	-30
72	-15	-25	-30
96	-15	-25	-30
120	-15	-25	-30
144	-15	-25	
165	-15	-25	-30

ตารางที่ 9 การบวมตัวในน้ำที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 5

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการบวมตัว		
	Mold No.1 12 Blows	Mold No.2 25 Blows	Mold No.3 56 Blows
0.5	4	6	4
1	8	8	5
2	10	13	6
3	15	15	6
6	18	18	6
12	20	18	7
24	25	18	7
48	25	17	8
72	25	16	7
96	25	16	7

ตารางที่ 10 การบวมตัวในน้ำที่อัตราส่วนยางพาราร้อยละ 5

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าการบวมตัว		
	Mold No.1 12 Blows	Mold No.2 25 Blows	Mold No.3 56 Blows
0.5	2	2	1
1	5	5	3
2	8	10	3
3	12	10	3
6	16	11	3
12	18	11	3
24	18	11	3
48	18	11	3
72	18	11	3
96	18	11	3

พบว่าการบวมตัวของก้อนตัวอย่างที่ในอากาศจะเป็นค่าลบ นั่นคือก้อนตัวอย่างมีการหดตัวเกิดขึ้น และการบวมตัวของก้อนตัวอย่างในน้ำเป็นค่าบวกกล่าวคือก้อนตัวอย่างเมื่อสัมผัสกับน้ำจะมีการบวมตัว

จากผลการทดสอบทั้งหมดผู้วิจัยได้รวบรวมและทำการสรุปผลต่อไป

6. บทสรุป

จากผลการทดสอบพบว่าน้ำยางพาราชนิดจะให้คุณสมบัติของดินลูกรังที่ผสมกับน้ำยางเปลี่ยนแปลงไป โดยขึ้นกับทั้งอัตราส่วนน้ำยางพารา และระยะเวลาในการบ่ม การผสมน้ำยาง โดยจากการทดสอบค่าซีบีอาร์นั้น ดินลูกรังตัวอย่างที่ทำการทดสอบแบบปกติค่าซีบีอาร์จะอยู่ที่ 47.5 ซึ่งจากตารางที่ 1 วัสดุอัดอยู่ในการชั้นงานชั้นรองพื้นทาง และเมื่อทำการทดสอบดินลูกรังที่ผสมกับน้ำยางพาราที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเมื่อทำการทดสอบซีบีอาร์โดยใช้น้ำยางพาราแทนน้ำในการบดอัด อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 10 ให้ค่าซีบีอาร์สูงที่สุด 42.6 และลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา ซึ่งมีค่าซีบีอาร์ต่ำกว่าการทดสอบแบบปกติ จากนั้นทำการทดสอบค่าซีบีอาร์แบบบ่มทิ้งไว้ในอากาศ 7 วัน พบว่าที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 5 ให้ค่าซีบีอาร์ที่สูงที่สุดอยู่ที่ 59.5 ซึ่งเมื่อเทียบกับตารางที่ 1 พบว่าวัสดุเลื่อนชั้นการใช้งานอยู่ในส่วนของชั้นพื้นทาง ซึ่งให้ค่ามากกว่าการทดสอบซีบีอาร์แบบปกติ จากนั้นทำการทดสอบซีบีอาร์แบบแช่น้ำ พบว่าค่าซีบีอาร์ที่มากที่สุดอยู่ที่ 44.8 ที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 5 ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบซีบีอาร์แบบปกติ อีกทั้งในส่วนของการบวมตัวในน้ำเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราก้อนตัวอย่างเมื่อสัมผัสกับน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อเทียบกับก้อนดินตัวอย่างที่ทำการบดอัดโดยใช้น้ำแบบปกติ กล่าวคือเมื่อทำการผสมดินกับน้ำยางพาราจะทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านก้อนตัวอย่างเข้าไปได้ หรือเข้าไปได้น้อยมาก อีกทั้งเม็ดดินที่ผสมกับยางพาราจะไม่ทำการดูดซึมน้ำอีกด้วย จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ยางพาราในปริมาณที่เหมาะสม และระยะเวลาบ่มที่เพียงพอ จะทำให้ดินสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านกำลังให้สูงขึ้น และมีการดูดซึมน้ำซึ่งเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดการเสียหายกับโครงสร้างดินให้ลดลงได้นั่นเอง

7. ข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่พบนั้นในขั้นตอนการผสมน้ำยางเข้ากับดินนั้นเวลาที่ใช้ในการคลุกเคล้าเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อกำลังของดินลูกรังที่ผสมกับน้ำยางพาราเป็นอย่างยิ่งโดยหากใช้เวลาในการคลุกเคล้าที่มากเกินไปจะทำให้น้ำยางพาราเกิดการขึ้นรูปแข็งตัวก่อนการทำการบดอัดลงในโมลด์ก็จะทำให้กำลังที่ดินรับได้ลดลงและหากใช้เวลาในการผสมที่น้อยเกินไปก็จะทำให้น้ำยางพาราซึ่งมีความหนืดค่อนข้างมากไม่สามารถคลุกเคล้ากับเม็ดดินได้ทั่วกำลังที่ได้ก็จะลดลงเช่นกันทำให้เมื่อบดอัดแล้วก้อนตัวอย่างจะไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันดังรูปที่ 2 ทั้งนี้ในขณะที่ทำการผสมกลิ่นของแอมโมเนียที่ผสมอยู่ในน้ำยางนั้นจะฟุ้งกระจายจึงควรทำการผสมและบดอัดในที่อากาศถ่ายเทสะดวกและสวมหน้ากากอนามัยในระหว่างการทำการทดสอบเพื่อป้องกันการวิงเวียนจากการสูดดมแอมโมเนียในปริมาณมากด้วย และอีกปัญหาที่พบนั้นคือยางพาราเป็นวัสดุที่ได้จากผลผลิตจากธรรมชาติจึงทำให้การควบคุมคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานยังเป็นไปได้ยากยางพาราที่นำมาใช้จากที่ที่ต่างกันอาจจะส่งผลให้กำลังของดินลูกรังที่นำไปใช้ผสมยังไม่คงที่มีความคลาดเคลื่อนไป

รูปที่ 2 ก้อนตัวอย่างที่แตกชิ้นกันจากการใช้ระยะเวลาผสมน้ำยางพาราที่ไม่เหมาะสม

8. กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทการยางอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัดสำหรับความอนุเคราะห์วัสดุสำหรับการทำการวิจัย

สำนักทางหลวงที่ 12 ศูนย์สร้างทาง จ.สงขลา สำหรับความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์วัสดุและสถานที่สำหรับทำการทดสอบวัสดุในงานวิจัยครั้งนี้

และขอขอบคุณทุนสนับสนุนสำหรับงานวิจัยจากโครงการวิจัยทางการร่วมกับภาคเอกชนประจำปีงบประมาณ 2559 สถาบันวิจัยและพัฒนานวัตกรรมยางพารา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

[1] กอบชัย เกิดจันทร์ตรง, รัชรินทร์ จิทอคุ และวิรัชนิกนตร สวนคดา (2555). "การศึกษาอัตราส่วนการผสมยางพาราธรรมชาติด้วยวิธีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพาราแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีการผสมเปียก(มาสเตอร์แบทช-1)". เอกสารประกอบการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่ 10

[2] คณุพล เจิ้ดวรรณะ, นายเอกชัย สุมาลี และ นายวิระพัฒ ชนินทรเทพ(2555). "การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุเชื่อมประสาน (Binder) ที่มีส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ชนิด AC 60/70 ผสมด้วยยางพาราธรรมชาติชนิดน้ำยางข้นและชนิดยางแผ่น", เอกสารประกอบการประชุมวิชาการขนส่งแห่งชาติ ครั้งที่10

[3] ณรงค์ ริจิตรธรรมชัย และวิจุลย์ ณ นิเชียร. การใช้ยางพาราผสมยางมะตอย-แนวทางการใช้ยางในประเทศ. ยางไทย 2557(5): 46-50

[4] ธีรพงศ์ หล่อพิทยาชัย, อาทิตย์ ปัณณราช, ณัฐพร เฉลิมสิทธิ์. 2556. การศึกษาคุณสมบัติทางด้านกำลังของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

[5] ปัณณวัฒน์ ปริยานนท์และยงโชติ อยู่ใจ(2557). "คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยเศษยางแห้งและยางพารา", เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่19

[6] นนศรี เศรษฐกุลอม(2556). การส่งเสริมการใช้ยางพาราเป็นวัสดุผิวทาง. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง.

[7] ธนารุจ อริคาม, โสภาค สนใจนึก, อรุณ ลูกจันทร์และพิชัย ธานีรณานนท์(2557). "การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างทาง", เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่19

[8] Aditya Kumar Anupam, Praveen Kumar, G D Ransinchung R.N. 2013. "*Use of Various Agricultural and Industrial Waste Materials in Road Construction*".2nd Conference of Transportation Research Group of India (2nd CTRG). Social and Behavioral Sciences 104 (2013) 264 – 273

[9] Dian Kattab, Koeichi Sato. 2015. Review on the effect of gypsum content on soil behavior. Transportation Geotechnics 4 (2015) 28 – 37

[10] JeeraponDoorak, KunglaweeRachan, SukreeHorpibulsuk, Arul Arulrajah, Yan Jun Du. 2016. "*Improvement of marginal lateritic soil using Melamine Debris replacement for sustainable engineering fill materials*".Journal of Cleaner Production 134 (2016) 515 - 522.

[11] Ramez A. Al-Mansob, Amiruddin Ismail, Nur Izzi Md. Yusoff, Shaban Ismael Albrka, Che HusnaAzhariBintiMohamed Rehan Karim. 2015. *Rheological characteristics of unaged and aged epoxidised natural rubber modified asphalt*. Construction and Building Materials102, part1 (January):190-199.

ASIAN TRANSPORTATION RESEARCH SOCIETY

Presents this

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

To

SUTTICHAI CHAROENKIJ

For Participating and Making Presentation Entitled

"การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา"

(Improving Properties of Lateritic Soil with Natural Rubber Latex)

At the 10th ATRANS (SYMPOSIUM) ANNUAL CONFERENCE: YOUNG RESEARCHER'S FURUM

Given on the 18th day of August 2017

Mr.Chamroon Tangpaisalkit
ATRANS - Chairperson

Dr. Tuenjai Fukuda
ATRANS Secretary - General

ATRANS YOUNG RESEARCHER'S FORUM 2017

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายสุทธิชัย เจริญกิจ
รหัสประจำตัวนักศึกษา 5810120086
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2558

ทุนการศึกษา

ทุนศิษย์ก้นกุฏิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีการศึกษา 2558
ทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2558

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

สุทธิชัย เจริญกิจ. สราวุธ จริตงาม. และโอภาส สมใจนึก. 2559. "*คุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมด้วยยางแผ่นรมควัน*" การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21 วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559 ณ บีพี สมิหลา บีช จังหวัดสงขลา.

สุทธิชัย เจริญกิจ. สราวุธ จริตงาม. และโอภาส สมใจนึก. ปรเมษฐ หอมหวล. 2560. "การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพารา" ATRANS ANNUAL CONFERENCE PROCEEDING OF YOUNG RESEARCHER’S FORUM 2017 วันที่ 18 สิงหาคม 2560 จังหวัดกรุงเทพมหานคร