การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง
Use of Natural Rubber in Highway Pavement Construction

ประวิทย์ เป้าทอง
Prawit Paotong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Engineering in Civil Engineering
Prince of Songkla University
2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Use of Natural Rubber in Highway Pavement Construction

ประวิทย์ เป้าทอง

Prawit Paotong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Doctor of Engineering in Civil Engineering

Prince of Songkla University

2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง
ผู้เขียน นายประวิทย์ เป้าทอง
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

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

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห)

.....กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. พิชัย ธานีรณานนท์)

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

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

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรเมศวร์ เหลือเทพ)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมการขนส่ง)

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ ฟ้ารุ่งสาง)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเองและได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(รองศาสตราจารย์ ดร. สราวุธ จริตงาม)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....
(นายประวิทย์ เป้าทอง)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....
(นายประวิทย์ เป้าทอง)
นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

ผู้เขียน นายประวิทย์ เป้าทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมขนส่ง)

ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ระบบขนส่งถือเป็นสิ่งสำคัญที่สร้างความเจริญเติบโตให้กับประเทศ ซึ่งระบบขนส่งที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายสะดวกก็คงหนีไม่พ้นการขนส่งทางบกโดยการใช้รถใช้ถนนในการขนส่ง เมื่อมีการขนส่งเพิ่มมากขึ้นการใช้รถใช้ถนนก็เพิ่มมากขึ้นตามลำดับทำให้ผิวทางที่ใช้เกิดการชำรุดทรุดโทรมตามสภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีการนำน้ำยางพาราธรรมชาติมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำยางพาราธรรมชาติมาใช้ผสมกับยางแอสฟัลต์โดยมุ่งหวังที่จะเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ การลดปริมาณการใช้ยางแอสฟัลต์ โดยแบ่งการวิจัยเป็นสามส่วน ส่วนแรกเป็นการทดสอบน้ำยางพาราผสมกับยางแอสฟัลต์ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างยางแอสฟัลต์กับน้ำยางพาราธรรมชาติ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 ตามลำดับ แล้วนำมาทำการทดสอบเปรียบเทียบ ค่าเพนิเทรชัน ค่าจุดอ่อนตัว ค่าร้อยละการหลุดลอก ค่าอุณหภูมิจุดวาบไฟ ค่าความยืดตัว ค่าเสถียรภาพโดยวิธีมาร์แชล และค่าความต้านทานการลื่นไถล จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือ 90:10 เป็นอัตราส่วนที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ที่ให้ค่าผลการทดสอบสูงสุด ส่วนที่สองเป็นการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุน้ำยางพาราผสมผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) โดยใช้น้ำยางพารา 5% 10% และ 15% โดยน้ำหนักผสมกับปูนซีเมนต์ 3% 5% และ 7% โดยน้ำหนักของผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ นำไปทดสอบแรงอัดแกนเดียว แคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสมที่ใช้น้ำยางพาราธรรมชาติ 5% และซีเมนต์ 7% โดยน้ำหนักของผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่มีค่าแรงอัดและค่า CBR ค่าสูงสุดเท่ากับ 23.89 ksc และ 42% ตามลำดับ ส่วนที่สามการทดสอบผิวถนนแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราที่สร้างแล้วเสร็จ โดยใช้วิธีการทดสอบวิธีเพลทแบริ่งสำหรับผิวทางที่ผสมน้ำยางพารา 5% และ 10% พบว่าสามารถรับน้ำหนักได้ 20 ตันต่อตารางเมตร ทั้งอัตราส่วนผสม 5% และ10% ตามลำดับ ค่าความต้านทานการลื่นไถลและกำลังรับแรงอัดของผิวทาง โดยวิธีการเจาะเก็บตัวอย่างจากผิวทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จนั้น ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กรมทางหลวง โดยอัตราส่วนผสมที่มากที่สุดที่ยางแอสฟัลต์ผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาตินั้นอยู่ที่อัตราส่วน 90:10

Thesis Title Use of Natural Rubber in Highway Pavement Construction

Author Mr. Prawit Paotong

Major Program Civil Engineering (Transportation Engineering)

Academic Year 2019

ABSTRACT

Transportation is an important factor in the development of a country. The transport mode that is easy to access is in area transport the increasing in road usang due to increasing road traffic caused nationwide demage the highway pavement. One way of controlling pavement damage is to use Natural Rubber Latex (NRL) km,m,hhto improve the Engineering properties of Asphalt Cement (AC). This study set out to find the maximum natural rubber latex content that can be mixed with asphalt cement with the resulting enhancement of the mixed binder. This research was divided in three parts. The first part was the test of AC mixed with Natural Rubber Latex various combination ratio of AC to NRL 100:0 95:5 90:10 85:15 and 80:20 Penetration Softening Point Resistance to Stripping of Aggregates Binder Ductility Flash point Marshall Stability and Skid Resistance tests showed that the ratio AC: NRL of 90:10 gave the optimum value for these test results. The Second part tests involved the testing of Reycled Asphalt Pavement (RAP). The unaxial compressive strength testing were conducted for a mix this RAP and Natural Rubber Latex 5 10 and 15 percent by weight and Portland cement 3 5 and 7 percent by weight of RAP. Result from the laboratory test showed that the combination of 5 percent Natural Rubber Latex and 7 percent cement gave unaxial compressive strength and California Bearing Raio were hightest values of 23.89 ksc and 42%, respectively. The third part was about conducting test in-situ on the pilot highway pavement and coring of samples for laboratory testing. The tests showed that both the pavement with 5 and 10% NRL

contents could take a load of 20 ton per square meter, the skid reistance value and result of Marshall Stability test of the cored samples showed that they met the requirement of Thailand Department of Highways. The optimal ratio of AC to NRL that gave the best result was 90:10, in other word, the maximum amount of NRL that Can be added was 10 percent.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.สราวุธ จริตงาม อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. พิชัย ธานีรณานนท์อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ศาสตราจารย์ ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตร์จารย์ ดร. ดนุพล ตันนโยภาสและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรเมศวร์ เหลือเทพ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัย ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจ ทั้งในเชิงวิชาการและเทคนิคต่างๆ มากขึ้น รวมถึงการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดจากความเอาใจใส่

ขอขอบพระคุณ ดร. โอภาส สมใจนึก ผู้อำนวยการศูนย์วิเคราะห์วิจัยและพัฒนาวัสดุผิวทาง สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา) ที่ให้การช่วยเหลือในส่วนสถานที่สำหรับทำการทดสอบและคำแนะนำพร้อมด้วยเทคนิคที่ใช้ในการทดสอบจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ คุณสุพิศ นนทะสร เจ้าหน้าที่สำนักงานประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่อำนวยความสะดวกในการจัดส่งเอกสารต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา

ขอขอบคุณ พี่น้องและผองเพื่อนทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดสอบวัสดุและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครูอาจารย์ทั้งในอดีตและปัจจุบันที่ได้ให้การอบรม สั่งสอน ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถมาสู่อีกจุดสำเร็จหนึ่งของชีวิตได้

ท้ายที่สุดผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่มอบความรัก อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา ให้การช่วยเหลือด้านต่างๆ และครอบครัวเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ทำให้การศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประวิทย์ เป้าทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (5)

ABSTRACT (6)

กิตติกรรมประกาศ (8)

สารบัญ (9)

สารบัญรูป (12)

สารบัญตาราง (14)

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการศึกษา 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 6

2.1 ยางพารา 6

2.1.1 น้ำยาง 6

2.1.2 ยางแห้ง 6

2.2 แอสฟัลต์ 8

2.2.1 คัทแบคแอสฟัลต์ 9

2.2.2 แอสฟัลต์อิมัลชัน 9

2.2.3 ข้อจำกัดของยางแอสฟัลต์ 9

2.3 การใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในงานผิวทาง 10

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 19

3.1 ขั้นตอนการวิจัย 19

3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 20

3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ที่ได้จากการรื้อผิวทางเก่า ผสมน้ำยางพารา 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 การผสมน้ำยางพารากับแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ 21
3.3.2 การผสมวัสดุในห้องปฏิบัติการ 24
3.3.3 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) 24
3.3.4 การทดสอบแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช (California Bearing Ratio) 28
3.3.5 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test, UCT) 29
3.4 การทดสอบถนนยางพาราที่สร้างเสร็จแล้วในภาคสนาม 31
3.4.1 การทดสอบการรับน้ำหนักของผิวทาง 31
3.4.2 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล 32
3.4.3 การทดสอบโดยวิธี Coring 33
บทที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 34
4.1 ผลการทดสอบยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 34
4.1.1 ผลการทดสอบเพนิเทรชันของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 34
4.1.2 ผลการทดสอบการจุดวาบไฟของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 35
4.1.3 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 36
4.1.4 ผลการทดสอบการยืดตัวโดยวิธี Ductility Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 37
4.1.5 ผลการทดสอบการหลุดลอกโดยวิธี Stripping Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 38
4.1.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชล 40
4.2 ผลการทดสอบส่วนผสมของยางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับน้ำยางพารา 43
4.2.1 ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว 43
4.2.2 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช 44
4.3 ผลการทดสอบถนนยางพาราที่สร้างแล้วเสร็จในสนาม 52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ 55
5.1 สรุปผลการศึกษา 55
5.1.1 การทดสอบยางแอสฟัลต์ AC60/70 กับน้ำยางพารา 55
5.1.2 การทดสอบยางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับน้ำยางพารา 57
5.2 ข้อเสนอแนะ 59
บรรณานุกรม 60
ภาคผนวก ก การเตรียมตัวอย่างของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 64
ภาคผนวก ข การทดสอบเพนิเทรชันของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 68
ภาคผนวก ค การทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 78
ภาคผนวก ง การทดสอบจุดวาบไฟและจุดติดไฟ 88
ภาคผนวก จ การทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม 98
ภาคผนวก ฉ การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ 109
ภาคผนวก ช การทดสอบการยืดตัว 125
ภาคผนวก ซ การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก 134
ภาคผนวก ฌ การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล 144
ภาคผนวก ญ การทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยวิธีเจาะเก็บตัวอย่าง 150
ภาคผนวก ฎ บทความงานวิจัยที่ตีพิมพ์ 156
บทความงานวิจัยเรื่องที่ 1 Use of Natural Rubber Latex (NRL) in Improving Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) 157
บทความงานวิจัยเรื่องที่ 2 Developping Quality of Asphalt Concrete with Natural Rubber Latex for Highways Pavement In Thailand 168
ประวัติผู้เขียน 178

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 แผนภูมิการดำเนินงานวิจัย 19
รูปที่ 3.2 แอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ใช้ทำการทดลอง 22
รูปที่ 3.3 เติมน้ำประมาณ 2% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 25
รูปที่ 3.4 การผสมส่วนผสมให้เข้ากัน 25
รูปที่ 3.5 การตักดินใส่เบ้าโดยแบ่งเป็น 5 ชั้นความหนาแต่ละชั้นเท่ากัน 26
รูปที่ 3.6 การบดอัดดินในเบ้าด้วยค้อนบดอัด 26
รูปที่ 3.7 ถอดปลอกเบ้าออกก่อนนำไปชั่ง 27
รูปที่ 3.8 การดันตัวอย่างด้วย Hydraulic 27
รูปที่ 3.9 เก็บตัวอย่างไปอบหาความชื้น 28
รูปที่ 3.10 การจัดวางตัวอย่าง และติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือก่อนทดสอบ 29
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างที่ทำการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน 29
รูปที่ 3.12 วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และชั่งน้ำหนัก 30
รูปที่ 3.13 การประกอบตัวอย่างเข้ากับเครื่องประกอบ และติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ 30
รูปที่ 3.14 ลักษณะการแตกของตัวอย่างเมื่อผ่านจุดพิบัติ 31
รูปที่ 3.15 การทดสอบ Plate Bearing 32
รูปที่ 3.16 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล 32
รูปที่ 3.17 การ Coring ผิวทาง 33
รูปที่ 4.1 ผลเฉลี่ยซองการทดสอบการจิ้มด้วยเข็มของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 34
รูปที่ 4.2 ผลเฉลี่ยของการทดสอบจุดวาบไฟของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 36
รูปที่ 4.3 ผลเฉลี่ยของการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 37
รูปที่ 4.4 ผลเฉลี่ยการทดสอบการยืดด้วยวิธี DuctilityTest ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 38
รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการหลุดลอกด้วยวิธี StrippingTest ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 39
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบ Density Test ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 41
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 42
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบ UCS ของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์ 45
รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบ CBR ของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์ 45
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 3% โดยแปรผันน้ำยางพารา 49
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 3% โดยแปรผันน้ำยางพารา 50
รูปที่ 4.13 ผลทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 5% โดยแปรผันน้ำยางพารา 50
รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 5% โดยแปรผันน้ำยางพารา 51
รูปที่ 4.15 ผลทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 7% โดยแปรผันน้ำยางพารา 51
รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 7% โดยแปรผันน้ำยางพารา 52
รูปที่ ซ.1 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 5% 136
รูปที่ ซ.2 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ 136
รูปที่ ซ.3 ทดสอบ Plate Bearing บนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5% 136
รูปที่ ซ.4 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 10% 137
รูปที่ ซ:5 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ 137
รูปที่ ซ.6 ทดสอบ Plate Bearing บนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10% 137
รูปที่ ฌ.1 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 5% 146
รูปที่ ฌ.2 ทดสอบการต้านทานการลื่นไถลบนผิวทางที่ผสมด้วยน้ำยางพารา 5% 146
รูปที่ ฌ.3 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 10% 147
รูปที่ ฌ.4 ทดสอบการต้านทานการลื่นไถลบนผิวทางที่ผสมด้วยน้ำยางพารา 10% 147
รูปที่ ญ.1 ทดสอบ Coring ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 5% 151
รูปที่ ญ.2 ทดสอบ Coring ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 10% 152
รูปที่ ญ.3 ทดสอบหาค่ากำลังอัดของตัวอย่าง 153
รูปที่ ญ.4 ผิวทางที่ได้ทดสอบหาค่ากำลังอัด 154

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สรุปรายละเอียดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม 16
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนระหว่างยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมกับน้ำยางพารา 20
ตารางที่ 3.2 มาตรฐานการทดสอบ 21
ตารางที่ 3.3 ชุดการทดสอบที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างยางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าและปูนซีเมนต์ 22
ตารางที่ 3.4 ชุดการทดสอบที่ 2 อัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า ปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา 23
ตารางที่ 4.1 ผลเฉลี่ยของการทดสอบการจิ้มด้วยเข็มของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 34
ตารางที่ 4.2 ผลเฉลี่ยของการทดสอบการจุดวาบไฟของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 35
ตารางที่ 4.3 ผลเฉลี่ยของการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 36
ตารางที่ 4.4 ผลเฉลี่ยของการทดสอบการยืดตัวโดยวิธี Ductility Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 37
ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบการหลุดลอกโดยวิธี Stripping Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 39
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชลล์ 41
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ที่เวลาบ่ม 7 วัน 43
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ที่เวลาบ่ม 14 วัน 44
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ที่เวลาบ่ม 28 วัน 44
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์ 44
ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ และน้ำยางพาราเวลาบ่ม 7 วัน 47
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ และน้ำยางพาราเวลาบ่ม 14 วัน 48
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์ และน้ำยางพาราเวลาบ่ม 28 วัน 48
ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา 49
ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 52

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบการต้านทานการลื่นไถล 53
ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบตัวอย่างจากวิธีการ Corring 53
ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยกับงานวิจัยอื่น 54
ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนระหว่างยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมน้ำยางพารา 65

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยถือเป็น 1 ใน 3 ประเทศที่ส่งออกยางพารามากที่สุดในโลกในปี พ.ศ. 2558 มีผลผลิตยางพารา 4.5 ล้านตันคิดเป็นสัดส่วน 37.50% ของผลผลิตโลกรองลงมาได้แก่ ประเทศอินโดนิเซีย จีน อินเดีย และมาเลเซีย มีสัดส่วนการผลิตผลผลิตโลกที่ 26%, 7%, 6% และ 5.5% ตามลำดับ (วารีรัตน์ เพชรสีม่วง, 2559) การปลูกยางพาราของประเทศไทยส่วนใหญ่ปลูกในพื้นที่ภาคใต้ แต่เมื่อเศรษฐกิจโลกเติบโตความต้องการใช้ยางพาราเพิ่มขึ้น ทำให้หลายพื้นที่หันมาลงทุนปลูกยางพารากันเกือบทั่วประเทศ โดยไม่มีการจัดเป็นพื้นที่และควบคุมปริมาณให้เหมาะสม และผลผลิตที่ได้ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตเพื่อการส่งออก 3,749,456 เมตริกตันและใช้ในประเทศ 600,491 เมตริกตัน โดยไม่มีการแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า ดังนั้นเมื่ออุตสาหกรรมการแปรรูปสินค้าจากยางพาราในต่างประเทศลดการผลิต และสั่งซื้อยางพาราจากประเทศไทยน้อยลงในขณะที่การผลิตมีจำนวนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ราคาของยางพาราตกต่ำลงอย่างต่อเนื่องในฐานะที่เป็นผู้ผลิตอันดับต้นๆ การศึกษาเรื่องการใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์สำหรับงานถนนถือเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจด้านยางพาราของประเทศให้ดีขึ้น (สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2558)

ด้วยผลผลิตยางพาราของประเทศไทยที่เป็นรายใหญ่ที่สุดของโลกมีปริมาณการส่งออกเป็นหลักแต่เมื่อปริมาณความต้องการยางพาราในตลาดโลกลดลงจึงส่งผลกระทบต่อการส่งออก และเกษตรกร การส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของยางพาราสำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในประเทศเป็นสิ่งจำเป็น รัฐบาลจึงมีนโยบายการเพิ่มการใช้ยางพาราภายในประเทศโดยกำหนดแผนยุทธศาสตร์ยางพารา 20 ปี พ.ศ. 2560-2579 ตามมติที่ประชุมคณะรัฐมนตรี 3 ธันวาคม พ.ศ. 2562 (สถาบันพลาสติก, 2562) ในด้านการเพิ่มการใช้ผลิตภัณฑ์จากยางพาราภายในประเทศในปัจจุบันได้แก่ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรถยนต์ ที่นอนยางพารา สำหรับยุทธศาสตร์ในด้านการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมเป็นหนึ่งในแผนยุทธศาสตร์ซึ่งการวิจัยและพัฒนาการใช้น้ำยางพาราผสมแอสฟัลต์เพื่อพัฒนาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง และซ่อมผิวทางหลวง ในงานวิจัยนี้จึงได้ดำเนินการตามนโยบายแผนยุทธศาสตร์เพื่อสนับสนุนให้เพิ่มการใช้น้ำยางพาราภายในประเทศ โดยการนำไปผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับก่อสร้างถนน

ถนนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ได้แก่ถนนคอนกรีต และถนนลาดยาง ซึ่งถนนคอนกรีตนั้นมีความแข็งแรงคงทนมากกว่าถนนลาดยางแต่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูง อีกทั้งการบำรุงรักษาทำได้ยาก ถนนลาดยางจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่นิยมใช้กัน แม้ความแข็งแรงและอายุการใช้งานจะน้อยกว่าถนนคอนกรีตแต่ก็มีข้อดีคือการก่อสร้างนั้นทำได้ง่ายและค่าใช้จ่ายถูกกว่าถนนคอนกรีต อีกทั้งการบำรุงรักษาทำได้ง่ายกว่าถนนคอนกรีต โดยในงานก่อสร้างถนนนั้นมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง และบำรุงรักษาที่สูง เมื่อเทียบกับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น ทำให้ถนนนั้นชำรุดเสียหายบ่อยครั้งเกิดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา จึงเป็นที่มาแนวคิดที่จะปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ให้มีความคงทนมากยิ่งขึ้น ยางพาราจัดเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานวิศวกรรมการทางได้ และทำให้ถนนมีความทนทานมากยิ่งขึ้น ด้วยการนำคุณสมบัติบางประการของยางพาราเช่น ความคงตัวสูง ความยืดหยุ่น และทนความล้า เป็นต้น มาเป็นคุณสมบัติเสริมแอสฟัลต์ให้มีความคงทนมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของงานซ่อมแซมในระยะยาว และเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศอีกด้วย

ปัญหาของการสร้างถนนที่ต้องใช้วัสดุแอสฟัลต์จากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียมที่มีราคาสูงและมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคต ทำให้การผลิตแอสฟัลต์ของผู้ประกอบการในประเทศไทยมีต้นทุนที่สูง การลดต้นทุนการผลิตด้วยการด้วยการนำแอสฟัลต์คอนกรีตจากผิวถนนเดิมมาผสมใช้ใหม่จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ ในต่างประเทศได้ดำเนินการมาเป็นเวลานานแล้ว โครงการนี้จึงสนใจการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ในการสร้างถนนด้วยการผสมน้ำยางธรรมชาติเพื่อให้ผู้ประกอบการและองค์กรภาครัฐมั่นใจในคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผลิตได้ โดยทำการศึกษาทดลองนำน้ำยางสดที่สัดส่วนในช่วง 5% ถึง 15% ของยางแอสฟัลต์มาผสมกับตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ผสมซีเมนต์ 0% ถึง 7% ของยางแอสฟัลต์แล้วทำการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) และค่าแคลิฟอร์เนียร์แบ-ริ่งเรโช (California Bearing Ratio, CBR) ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวจะนำไปสู่การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของการใช้น้ำยางพารา และสัดส่วนผสมของผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อการใช้เป็นข้อมูลสำหรับการขยายการผลิตของโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับการก่อสร้างถนนในอนาคต

การก่อสร้างถนนลาดยางโดยใช้ยางพาราผสมยางแอสฟัลต์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ ประกอบด้วย แบบที่ 1 พาราเคปซีล โดยผสมยางพาราประมาณ 5% ของน้ำหนักนำไปลาดยางผิวจราจรถนนที่มีความกว้าง 6 เมตร ซึ่งต้องใช้ยางพาราผสมประมาณ 300 กิโลกรัมต่อระยะทางถนน 1 กิโลเมตร ซึ่งน้ำยางพาราที่ชาวสวนกรีดได้จะมีปริมาณยางแห้งผสมในน้ำยางพาราประมาณ 30% ถึง 35% ของน้ำยางสด ดังนั้นใน 1 กิโลเมตร จึงต้องใช้น้ำยางพาราประมาณ 1,000 กิโลกรัม แบบที่ 2

พาราแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมประมาณ 5% ของยางแอสฟัลต์นำไปลาดยางผิวจราจรถนนหนา 0.04 เมตร กว้าง 6 เมตร ที่ความยาวถนน 1 กิโลเมตรจะต้องใช้ยางพาราผสม 1,440 กิโลกรัม จึงต้องใช้น้ำยางพาราที่ชาวสวนกรีดได้น้ำนักประมาณ 4,800 กิโลกรัม (พิมพ์ใจ พิสุทธิ์จริยานันท์, 2559)

ปัญหาของการทำถนนที่ต้องใช้วัสดุแอสฟัลต์จากกระบวนการกลั่นปิโตรเลียม ที่มีราคาสูงและมีแนวโน้มที่จะขาดแคลนในอนาคต เนื่องจากปริมาณปิโตรเลียมสต๊อกที่ลดลงตามการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การผลิตแอสฟัลต์ของผู้ประกอบการในประเทศไทยมีต้นทุนที่สูง ประกอบกับการทำถนน และการปรับปรุงซ่อมแซมถนนมีเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเพื่อให้เกิดการพัฒนาการขนส่ง และเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ผู้ประกอบการ และองค์กรภาครัฐให้ความสนใจในการลดต้นทุนด้วยการลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบจากการนำแอสฟัลต์จากผิวถนนเดิมมาผสมใช้ใหม่ ซึ่งต่างประเทศได้การดำเนินการเช่นนี้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานานแล้ว สำหรับในประเทศไทยยังไม่ได้รับความนิยมและยังไม่มีการดำเนินการกันอย่างจริงจังเนื่องจากยังไม่ได้รับการยอมรับในด้านคุณภาพ และผู้ประกอบการต้องลงทุนเพิ่มในการติดตั้งเครื่องผสม

การปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ในการสร้างถนนด้วยการผสมน้ำยางธรรมชาติ จึงเป็นโอกาสหนึ่งที่จะทำให้ผู้ประกอบการและองค์กรภาครัฐมั่นใจในคุณภาพของแอสฟัลต์ที่ผลิตได้ โดยการทดสอบการผสมและวัดคุณสมบัติต่างๆ เช่น กำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) และค่าแคลิฟอร์เนียร์แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio, CBR) ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งงานวิจัยนี้นอกจากจะช่วยในการลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบแล้วยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตได้อีกด้วย ซึ่งโครงการนี้มีความเป็นไปได้สูงในการใช้ยางพาราในรูปแบบน้ำยางสดมาผสมกับแอสฟัลต์ที่ผ่านการใช้งานและนำกลับมาใช้ใหม่ในการก่อสร้างถนน เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนการใช้แอสฟัลต์ใหม่ อันจะเป็นประโยชน์ในวงการก่อสร้างถนนและการเกษตร โดยช่วยสนับสนุนให้เกิดการใช้น้ำยางพาราในประเทศ เพิ่มมูลค่าของให้กับยางพาราที่มีราคาตกต่ำ และเป็นช่องทางหนึ่งในการหาทางช่วยเหลือเกษตรกรไทย

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ในการสร้างถนนด้วยการผสมน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำน้ำยางสดที่สัดส่วนในช่วง 5% ถึง 15% ของยางแอสฟัลต์มาผสมกับผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ และปูนซีเมนต์ที่สัดส่วนการผสม 3% ถึง 7% ของยางแอสฟัลต์ทำการวัดค่า Compaction ค่า UCS และค่า CBR ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง จากผลการวิเคราะห์จะนำไปสู่การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของการใช้น้ำยางพารา และสัดส่วนผสมของผิวแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เพื่อการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับการก่อสร้างถนน

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ในการศึกษาการใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.2.1 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการน้ำยางพาราธรรมชาติมาผสมกับยางแอสฟัลต์ผสมในผิวทาง

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของถนนแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราที่ใช้แอสฟัลต์กลับมาใช้ใหม่ ปูนซีเมนต์ น้ำยางพาราและถนนดินซีเมนต์ผสมยางพารา ในห้องปฏิบัติการ

1.2.3 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำถนนโดยใช้แอสฟัลต์กลับมาใช้ใหม่ผสม ปูนซีเมนต์และผสมน้ำยางพาราสำหรับงานสร้างถนน

1.2.5 ศึกษาคุณสมบัติของถนนแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราในภาคสนาม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied Research) โดยมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากยางพาราเป็นสินค้าเกษตรที่มีราคาตกต่ำและมีปริมาณมากสมควรนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าโดยมีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 ใช้มาตรฐานอ้างอิงของกรมทางหลวง ประเทศไทย

1.3.2 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ผสมยางพารา

1.3.3 ยางแอสฟัลต์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ยางแอสฟัลต์ AC60/70

1.3.4 ยางพาราที่ใช้ในการทดสอบ คือ น้ำยางพารา จากท้องถิ่น

1.3.5 วัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ทดสอบเป็นวัสดุชั้นผิวทางและพื้นทางเดิมของถนนบริเวณแยกคลองหวะ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.3.6 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นตัวเชื่อมประสานปริมาณ 3% 5% และ 7%

1.3.7 การหาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาอ้างอิงจากมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยจะทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ได้แก่ หาขนาดส่วนคละการบดอัดค่าอัตราส่วนแบริ่งแคลิฟอร์เนีย (California Bearing Ratio, CBR) และกำลังอัด (Unconfined Compressive Strength, UCS)

1.3.8 เพื่อหาคุณสมบัติของถนนยางพาราผสมดินซีเมนต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษามีรายละเอียดดังนี้.

1.4.1 ทราบถึงข้อเปรียบเทียบทางด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมระหว่างยางแอสฟัลต์

AC60/70 และยางแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารา

1.4.2 ทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราและอัตราส่วนที่เหมาะสมการในการทำผิวทาง

1.4.3 ทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราที่ใช้แอสฟัลต์กลับมาใช้ใหม่ผสมปูนซีเมนต์และน้ำยางพารา

1.4.4 ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมของแอสฟัลต์กลับมาใช้ใหม่ผสมน้ำยางพารา

1.4.5 ช่วยส่งเสริมการใช้ยางพาราในประเทศให้เพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้น้ำยางพาราปรับปรุงคุณภาพของยางแอสฟัลต์ AC 60/70 ทดสอบหาค่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งให้ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมสูงสุด

2.1 ยางพารา

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นสายพันธ์ Hevea Brasiliensis มีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ (สำนักงานการพัฒนาการวิจัยการเกษตร, 2562) ซึ่งวัสดุที่ได้เป็นน้ำยางสดสีขาวข้นน้ำยางพาราที่เรานำมาใช้มี 2 ประเภทดังนี้

2.1.1 น้ำยาง

น้ำยางสดที่กรีดได้มีส่วนผสมของน้ำประมาณ 60% ของน้ำยางสดการนำไปใช้งานนั้นจะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งจึงลดปริมาณน้ำลงโดยการนำไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงเพื่อลดปริมาณน้ำจนได้ปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 60% ของน้ำหนักเรียกว่าน้ำยางข้น น้ำยางข้นมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายได้โดยเชื้อแบคทีเรียทำให้น้ำยางบูดมีกลิ่นเหม็นจึงมีการใช้สารแอมโมเนียเติมลงในน้ำยางสดเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางข้นไว้ได้นานการใช้ปริมาณแอมโมเนีย 0.2% เรียกว่า Low Ammonia Latex (LA latex) การใช้ปริมาณแอมโมเนีย 0.70% เรียกว่า High Ammonia Latex (HA latex) (บุญธรรม นิธิอุทัย, 25530)

2.1.2 ยางแห้ง

ยางแห้งได้จากการนำน้ำยางสดมาเติมด้วยกรดอะซีติกจะทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนแข็งแยกออกจากน้ำนำไปรีดไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางแล้วนำไปทำให้แห้งเป็นรูปแบบต่างๆ ดังนี้

1) ยางแผ่น หลังจากนำยางไปรีดไล่ความชื้นออกจากเนื้อยางแล้วการทำให้ยางแห้งโดยการนำไปตากแดดหรือผึ่งอากาศร้อนไล่ความชื้นเรียกยางที่ได้ว่า ยางแผ่นไม่รมควัน (Air Dried Sheet, ADS) และอีกวิธีการทำให้ยางแห้งโดยนำไปรมควันที่อุณหภูมิ 60 °C ถึง 70 °C ใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน ยางแห้งที่ได้เรียกว่ายางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet, RSS)

2) ยางแท่ง โดยการนำยางมาผลิตเป็นก้อนเล็ก ๆ ขนาด 2-3 mm นำไปล้างและอบให้แห้งด้วยอากาศร้อนนำไปอัดเป็นแท่งมาตรฐานขนาด 330x670x170 mm

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยมีผลผลิตยางพารา จำนวน 3,500,000 ตัน เศษต่อปี เป็นผลผลิตเพื่อการส่งออก 86% แต่ใช้ภายในประเทศเพียง 14% (สำนักข่าวอิศรา, 2555) จากปริมาณการส่งออกที่สูงจึงต้องพึ่งพาการใช้ยางพาราแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ในต่างประเทศ ซึ่งความต้องการใช้ยางพารานำไปแปรรูปในต่างประเทศลดลงจึงส่งผลกระทบต่อการส่งออกยางพารา ดังนั้นในระยะยาวจึงควรมีการส่งเสริมการใช้ผลิตภัณฑ์ยางในประเทศให้มากขึ้น เพื่อยกระดับราคาในฐานะประเทศผู้ส่งออกยางพารารายใหญ่ที่สุดของโลก และส่งเสริมการลงทุนภายในประเทศ เพื่อเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจไปพร้อมๆกันด้วย การวิจัย และศึกษาในเรื่องการสร้างถนนลาดยางพาราหรือลาดยางแอสฟัลต์ผสมยางธรรมชาติสำหรับการสร้างถนน ดังนั้นการศึกษานี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำยางพารามาใช้ในการก่อสร้างถนนในส่วนของชั้นผิวทางก็จะเป็นประโยชน์ในวงการอุตสาหกรรมก่อสร้าง และอุตสาหกรรมเกษตร และช่วยสนับสนุนให้เกิดการใช้ยางพาราในประเทศ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับยางพาราที่มีราคาตกต่ำ เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการช่วยกันหาทางช่วยเหลือเกษตรกรไทย นอกจากนี้ความรู้ที่ได้จากการพัฒนาวัสดุการทางดังกล่าว สามารถที่จะถ่ายทอดให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน โดยผ่านทาง กระทรวงการคมนาคม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เทศบาล องค์การบริหารส่วนจังหวัด และองค์การบริหารส่วนตำบล ซึ่งในระยะยาวจะส่งเสริมให้ชุมชนสามารถก่อสร้าง และบำรุงรักษาทางได้อย่างมีมาตรฐาน

จากคุณสมบัติของยางพาราเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของยางแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานทางให้ดีขึ้นจากการศึกษาเทคนิค และอัตราส่วนผสมยางพารากับยางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสมพบว่าการใช้ยางแผ่นรมควันผสมยางแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางแอสฟัลต์ ในปริมาณ 6% ของน้ำหนักแอสฟัลต์เป็นอัตราเหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าจุดอ่อนตัว ค่าการคืนกลับตัวค่า Toughness ค่า Tenacity ค่าความหนืด และค่า Penetration Index สูงขึ้นซึ่งคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าถนนมีความแข็งแรงและความทนทานเพิ่มขึ้นนอกจากนี้การใช้น้ำยางข้นสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลต์ได้ดีกว่าการใช้ยางแผ่นรมควันโดยอัตราส่วนผสมน้ำยางข้นที่เหมาะสมในการผสมแอสฟัลต์ในโรงงานผสมและใช้งานราดถนนคืออัตรา 5% ของเนื้อยางแห้งต่อน้ำหนักแอสฟัลต์ (วราภรณ์ ขจรไชยกูล, 2549) ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมมากขึ้นการคมนาคมขนส่งมีความสำคัญและมีการขยายตัวมาก โดยเฉพาะถนนเป็นปัจจัยหลักของการคมนาคม และมักพบปัญหาถนนเกิดการชำรุดเสียหายเร็วกว่าปกติ การใช้ยางพารามาผสมกับแอสฟัสต์คอนกรีตจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้ชั้นผิวทางสามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้นดังนั้นการวิจัยเพื่อนำเอายางพาราธรรมชาติซึ่งเป็นสินค้าทางการเกษตรที่ราคาตกต่ำมาใช้ประโยชน์จึงเป็นเรื่องที่น่าศึกษาเป็นอย่างยิ่ง คาดว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษาถนนพร้อมกันนี้ยังเป็นการเพิ่มปริมาณในการใช้ยางพาราภายในประเทศมากขึ้นโดยในแต่

ละปีพบว่าประเทศไทยมีปริมาณการใช้แอสฟัลต์คอนกรีตโดยเฉลี่ยประมาณ 839,400 ตัน หากมีการนำยางพาราผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตมาใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างทางและซ่อมบำรุงรักษาถนน เช่น หากนำน้ำยางพารามาใช้ผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในอัตราส่วน 5% ของยางแอสฟัลต์จะสามารถทำให้เกิดการใช้ยางพาราได้ไม่น้อยกว่าปีละประมาณ 40,000 ตัน (พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์, 2546) คิดเป็น 11.43% ของปริมาณการผลิตยางทั้งหมด

2.2 ยางแอสฟัลต์

ผิวทางเป็นผิวบนสุดของชั้นทางที่รับน้ำหนักจากล้อยานพาหนะจึงต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่แข็งแรง ทนทาน สามารถรับแรงต่างๆ ที่กระทำต่อชั้นทางได้ดี วัสดุที่ใช้ทำได้แก่ หิน ซึ่งนำมาบดอัดโดยมี ยางแอสฟัลต์เป็นตัวเชื่อมยึดระหว่างเม็ดหินและป้องกันน้ำซึมลงสู่ใต้ผิวทางก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างทางได้ แอสฟัลต์ที่ผลิตสำหรับงานทางนั้นมีหลายชนิดในการนำไปใช้ ขึ้นอยู่กับสภาพความเหมาะสมของงาน สภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ และวิธีการนำไปใช้งานโดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และแอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid Asphalt) แอสฟัลต์ซีเมนต์เป็นวัสดุที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันมีการแบ่งคุณสมบัติตามระบบการผลิตสำหรับนำไปใช้มี 5 ระบบ คือ

1) Penetration Grade การแบ่งเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันโดยตรงโดยใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบ Penetration เช่น AC 60/70

2) Viscosity Grade การแบ่งเกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยใช้ค่า Absolute Viscosity ที่อุณหภูมิ 60 °C ซึ่งมีหน่วยเป็น 100 Poises

3) AR Viscosity Grade การแบ่งเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตาม Absolute Viscosity ที่อุณหภูมิ 60 °C ของตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์หลังจากที่ผ่านกระบวนการ Rolling Thin Film Oven Test การแบ่งเกรดโดยใช้สัญลักษณ์ AR ตามด้วยค่า Absolute Viscosity ที่ 60 °C โดยมีหน่วยเป็น Poises

4) Performance Grade การแบ่งเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามระบบ SUPPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) โดยกำหนดค่าอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุดที่แอสฟัลต์ยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพตามข้อกำหนดค่า Performance Grade ของแอสฟัลต์ (วัชรินทร์ วิทยกุล, 2549)

แอสฟัลต์ชนิดเหลว (Liquid Asphalt) ได้จากการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับสารละลาย (Solvents) มีลักษณะเหลวที่อุณหภูมิปกติ สามารถแบ่งตามลักษณะของสารละลายได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 ยางคัทแบคแอสฟัลต์

เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับสารละลายที่เป็นน้ำมันชนิดต่างๆ ลักษณะข้นเหลวขึ้นอยู่กับชนิดของ Penetration Grade ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่นำมาผสม สามารถแบ่งตามประเภทตามอัตราการระเหยได้ 3 ชนิดคือ

1) ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Curing, RC) เป็นประเภทที่ระเหยไว โดยการใช้ยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมกับ Naphtha (Gasoline) ซึ่งเป็นน้ำมันที่ระเหยง่ายเหมาะสำหรับงาน Tact coat และงาน Surface Treatment

2) ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง (Medium Curing, MC) เป็นประเภทที่ใช้เวลาในการระเหยปานกลางโดยใช้ยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมกับ Kerosene ใช้งาน Prime Coat

3) ชนิดแข็งตัวช้า (Slowing Curing, SC) เป็นประเภทที่ใช้ระยะเวลาระเหยช้าโดยใช้ยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมกับน้ำมันหนัก เช่น Diesel Fuel Oil (วิสิฐ อัจฉยานนท์กิจ, 2560)

2.2.2 ยางแอสฟัลต์อิมัลชัน

เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ทีถูกทำให้แตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำที่มี Emulsifier ผสมอยู่เล็กน้อย โดยทั่วไปมีแอสฟัลต์ผสมอยู่ 60% ถึง 65% ของน้ำหนักสำหรับ Emulsified Asphalt สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

1) ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Setting, RS) มีลักษณะแข็งตัวเร็วเมื่อสัมผัสกับหิน มักใช้พ่นลงบนมวลรวมโดยไม่ต้องผสม

2) ชนิดแข็งตัวปานกลาง (Medium Setting, MS) มีลักษณะแข็งตัวช้าลง สามารถนำไปผสมมวลรวมหยาบก่อนเริ่มแข็งตัว

3) ชนิดแข็งตัวช้า (Slow Setting, SS) มีลักษณะแข็งตัวช้ามาก เหมาะที่จะใช้งานผสมกับมวลรวมละเอียด

2.2.3 ข้อจำกัดของยางแอสฟัลต์

แอสฟัลต์มีข้อจำกัดเมื่ออุณหภูมิสูงจะเกิดการอ่อนตัว และเมื่ออุณหภูมิต่ำจะเกิดการแตกร้าว สำหรับถนนที่ทำด้วยแอสฟัลต์คอนกรีต ผิวทางจะเกิดการชำรุดเร็วกว่าปกติส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงทางที่สูงขึ้น ส่วนใหญ่ลักษณะความเสียหายที่พบจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) ผิวทางแตกร้าว (Crack) เกิดจาก ผิวทางแข็งเปราะไม่มีความยืดหยุ่น เมื่อมีน้ำหนักจากยานพาหนะกระทำซ้ำๆ ผิวทางจะเกิดความล้า (Fatigue) ทำให้ผิวทางแตกร้าว

2) ผิวทางเยิ้ม (Bleeding) เกิดจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตได้รับอุณหภูมิสูงแล้วแอสฟัลต์ในผิวทางมีความหนืดต่ำไหลออกมาที่ผิวหน้าทำให้ผิวทางลื่น

3) ผิวทางหลุด (Reveling) เกิดจากการสึกกร่อนของวัสดุละเอียดที่ผิวทางเนื่องจากการตะกุยของล้อยานพาหนะวัสดุส่วนละเอียดหลุดร่อนจึงเห็นวัสดุมวลหยาบโผล่ให้เห็น

4) ผิวทางเกิดร่องล้อ (Rutting) เกิดจากผิวทางเยิ้มไม่มั่นคงแข็งแรงขาดคุณสมบัติการยืดหยุ่นเมื่อยานพาหนะวิ่งผ่านจะเกิดร่องล้อแนวที่ล้อแล่นทับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะยุบตัวเป็นร่อง

จากสภาพข้อจำกัดของแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิสูง และอุณหภูมิต่ำจึงได้มีการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งมีหลายวิธีที่นิยมใช้โดยการนำพอลิเมอร์มาผสมกับแอสฟัลต์ซึ่งเรียกว่าแอสฟัลต์ผสมกับสารพอลิเมอร์ (Polymer Modified Asphalt) หรือเรียกว่า PMA สำหรับพอลิเมอร์ที่ได้ตามธรรมชาติโดยใช้ยางพารานำมาผสมกับแอสฟัลต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ให้ดีขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความแข็งแรงทนต่อแรงดึงได้สูง มีการคืนตัว และกระดอนได้ดี สามารถยืดตัวก่อนขาดได้ ทนต่อการฉีกขาดดี และใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดี แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสีย ไม่ทนทานต่ออุณหภูมิสูง และน้ำมันปิโตรเลียม ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยการใช้ยางพาราปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของแอสฟัลต์สำหรับงานทางต่อไป

2.3 การใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในงานผิวทาง

การใช้ยางพาราผสมกับแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับงานผิวทางได้เริ่มมีการใช้ที่ประเทศเนเธอร์แลนด์เป็นชาติแรกในโลกที่นำเอายางธรรมชาติในรูปยางผสมลงในยางมะตอยสำหรับทำถนนลาดยางในประเทศเนเธอร์แลนด์เมื่อปี พ.ศ. 2492 ในประเทศอินโดนีเซียพบว่าผิวทางมีอายุการใช้งานนานขึ้นปราศจากฝุ่นละออง และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาถนนจึงได้มีการทดลองนำไปใช้ในพื้นที่อื่นด้วยสำหรับการทดสอบในประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าผิวถนนไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอากาศ และทนทานต่อการสึกกร่อนจากฝนอีกด้วยเมื่อปี พ.ศ. 2517 ประเทศอินเดีย นำโดยสถาบันวิจัยยางอินเดียได้ร่วมมือกับหน่วยงานก่อสร้างถนนของรัฐเคราลา ได้ทดลองใช้ยางมะตอยผสมกับน้ำยางสดอัตราส่วน 2% ของน้ำหนักยางมะตอย ลาดถนนระหว่างเมืองทรีวานดรัม และโคนายัม เป็นระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตรโดยทำการเปรียบเทียบกับการก่อสร้างด้วยยางมะตอยธรรมดาพบว่าถนนที่ลาดยางมะตอยธรรมดาต้องซ่อมทุกระยะเวลา 5 ปี ส่วนถนนลาดด้วยยางมะตอยผสมกับน้ำยางสดสามารถใช้งานได้นานถึง 14 ปี โดยไม่ต้องทำการซ่อมแซมถนนเลย (วิชิต สุวรรณปรีชา, 2548) สำหรับประเทศญี่ปุ่นมีการใช้ยางธรรมชาติผสมยางมะตอยทำถนนลาดยางเพื่อป้องกันผิวถนนลื่นและป้องกันการแข็งตัว ของผิวถนนในช่วงฤดูอากาศหนาวจัด สำหรับประเทศไทย ในปี

พ.ศ. 2543 ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทราใช้ยางมะตอย 700 ลิตรผสมด้วยน้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น 60% ของน้ำหนักยางมะตอยในอัตราเนื้อยางแห้ง 2.5% ของน้ำหนัก และผสมน้ำมันก๊าซ 3% ของน้ำหนักยางมะตอย เพื่อช่วยลดความหนืดขณะต้มยางมะตอยนำไปต้มให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 160 ^{o}C นำมาราดเป็นผิวทาง ในปีเดียวกันส่วนอุตสาหกรรมยาง และสถาบันวิจัยยางร่วมกับสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและกรมทางหลวงได้ทดลองผสมตัวอย่างของยางแอสฟัสต์ 60/70 กับยางพาราชนิดต่าง ๆ พบว่ายางแอสฟัลต์ที่ผสมด้วยน้ำยางพาราในอัตราส่วน 2% ถึง 6% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์สามารถปรับปรุงคุณภาพยางแอสฟัลต์ให้สูงขึ้นได้และคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารานั้นสามารถผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนดของ มอก.851-2532 โดยมีค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) สูงกว่ายางแอสฟัลต์ปกติและพบว่าการเยิ้มตัวหรือจุดอ่อนตัวของถนนสูงขึ้นแสดงให้เห็นว่าถนนมีความคงทนจึงมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น (สถาบันวิจัยยาง, 2543) ในปี 2544 องค์การสวนยางทำโครงการสาธิต การสร้างถนนด้วยยางมะตอยผสมยางพาราผิวทางกว้าง 4 เมตร ยาว 520 เมตร ก่อสร้างภายในบริเวณสำนักงานฯ ตำบลช้างกลาง กิ่งอำเภอช้างกลาง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยการขุดลอกพื้นถนนเดิมออกแล้วลงหินคลุกหนา 15 เซนติเมตร กว้าง 4.20 เมตร ราดด้วยยางมะตอยชนิดน้ำผสมยางพาราในอัตราส่วน 5.5% ของยางมะตอยแล้วทำผิวทางแบบวิธีฉาบผิวถนน 2 ชั้น (Double Surface) ระหว่างปี พ.ศ. 2548 – 2550 ได้มีการสร้างถนนยางมะตอยผสมยางพาราภายในหน่วยงานกรมวิชาการเกษตร 34 แห่งและถนนสาธารณะระยะทาง 1,200 เมตร พบว่าถนนดังกล่าวมีความคงทนต่อการเกิดร่องล้อ และมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าถนนยางมะตอยทำให้ลดค่าการซ่อมแซมบำรุงรักษาถนนได้ปีละหลายพันล้านบาท รวมทั้งเพิ่มปริมาณการใช้ยางภายในประเทศ ปีละ 40,000 ตัน (กฤษฎา โภคากร และ บารมี สิริโสภณวัฒนาม, 2557)

สุนทร อธิชาติ (2524) ได้ศึกษาเทคนิคลดแรงสะท้อนซ้ำซ้อน (Reflective Crack) ในผิวทาง AC ที่ปูทับบนผิวทางคอนกรีตจากการศึกษาพบว่าการเกิดผิวรอยแตกสัมพันธ์กับรอยแตกของรอยต่อและรอยแตกข้างล่าง มีสาเหตุจากการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งต่างกันระหว่างแผ่นคอนกรีตที่ติดกันตรงรอยต่อรอยแตก และการเคลื่อนตัวในแนวนอนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และความชื้นเมื่อทดสอบใช้แอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางธรรมชาติสามารถลดการแตกร้าวน้อยลง

วิสุทธิ์ ศุกลรัตน์ (2545) ได้กล่าวสรุปเกี่ยวกับแอสฟัลต์ผสมยางพาราที่ได้ทำการทดลองในประเทศไทยในการประชุมสัมมนาเรื่องเทคนิคการทำผิวทางโดยใช้แอสฟัลต์ผสมยางพาราโดยศูนย์วิจัยยางสงขลาร่วมกับกรมทางหลวงไว้ว่า

1. อัตราส่วนผสมยาง 2% ถึง 3 % ของยางแอสฟัลต์กับยางแอสฟัลต์โดยน้ำหนักเพียงพอที่จะเพิ่มคุณภาพยางแอสฟัลต์กล่าว คือมีจุดอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้นถึง 60°C และไม่แตกร้าวเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า -5°C มีความเหนียวยึดเกาะมวลรวมได้ดีขึ้น แต่มีความหนืดมากขึ้นจึงต้องเพิ่มความ

ร้อนมากกว่าปกติ 10°C เมื่อใช้งานการเพิ่มส่วนผสมของยางให้มากกว่า 3% เพื่อที่จะใช้ยางให้มากจะสร้างปัญหากับเครื่องจักรผสมแอสฟัลต์ และเครื่องจักรสร้างถนนเพราะความหนืดที่เพิ่มขึ้น

2. ในการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ด้วยการผสมยางพบว่ายางธรรมชาติดีกว่ายางสังเคราะห์สำหรับยางธรรมชาติที่ใช้ผสมกับแอสฟัลต์พบว่าการใช้น้ำยางสดผสมดีที่สุดรองลงมาคือยางดิบในรูปยางแห้ง และยางที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แล้วเช่น ยางจากรถยนต์หรือถุงมือตามลำดับในส่วนของน้ำยางพารานั้นพบว่าน้ำยางสดดีกว่าน้ำยางข้น ซึ่งในประเทศอินเดียได้แนะนำให้ใช้น้ำยางสดผสมกับยางแอสฟัลต์ปรากฏว่าไม่มีปัญหาในการปฏิบัติ จากการทดลองผสมโดยสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวงก็เป็นไปในทำนองเดียวกันส่วนผสมที่ได้มีสมบัติดีขึ้นกว่าใช้ยางแอสฟัลต์เพียงอย่างเดียว

3. ปัจจัยสำคัญในการผสมแอสฟัลต์กับยางพารา คือ ความร้อน และเวลาที่ใช้ในการผสมน้ำยางหรือยางดิบใช้อุณหภูมิ และเวลาในการผสมต่ำกว่ายางจากผลิตภัณฑ์การผสมไม่เพียงแต่ปะปนกัน (Blending) แต่มีการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีจึงทำให้สมบัติของแอสฟัลต์เปลี่ยนไปข้อได้เปรียบของการใช้น้ำยางสดคือไม่ต้องเพิ่มต้นทุนในการแปรรูปไปเป็นน้ำยางข้นหรือทำให้เป็นยางแผ่นถึงแม้ว่าจะต้องขนส่งน้ำยางมากขึ้นแต่ถ้าอยู่ในแหล่งผลิตยางก็ไม่มีปัญหาที่สำคัญ คือ ปริมาณที่ใช้เล็กน้อยเพียง 3% ของยางแอสฟัลต์เท่านั้น นอกจากนั้นการที่มีน้ำอยู่มากทำให้เกิดฟองมากขณะทำการผสมอาจมีส่วนช่วยให้การผสมเข้ากันดียิ่งขึ้น

จากข้อมูลการศึกษาทดลองดังกล่าวปรากฏอย่างเด่นชัดว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ และแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งมีส่วนผสมของยางพาราหรือยางธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นหลายประการเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 ปกติ โดยใช้มาตรฐานการทดลองของกรมทางหลวง และค่าต่าง ๆที่ได้นั้นอยู่ในระหว่างข้อกำหนดของแอสฟัลต์แบบปกติ ทล-ม.408/2536 และแอสฟัลต์ประยุกต์ ทล-ม. 408/2536 คุณสมบัติที่โดดเด่นของยางแอสฟัลต์ผสมยางพาราหรือยางธรรมชาติเมื่อเทียบกับยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60/70 ปกติ พบว่ามี 6 ประการได้แก่

1. มีความแข็งมากขึ้น จากผลทดสอบการจมของเข็มที่น้อยลง
2. เยิ้มหรืออ่อนตัวได้น้อยกว่าเดิม จากผลทดสอบค่าอุณหภูมิสูงขึ้น
3. มีความยืดหยุ่นดีมากจากผลทดสอบค่าความยืดตัวที่มากขึ้น
4. มีความเหนียวต่อการทะลุทะลวงของน้ำได้ดีมาก
5. มีความเหนียว (Toughness / Tenacity) ในการยืดตัวดีมาก
6. มีความเหนียวทนต่อแรงเฉือนได้ดีมาก

จากการนำยางธรรมชาติ หรือยางพารามาผสมกับยางแอสฟัลต์เกรด AC 60/70 เข้าสู่ขบวนการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้เทคนิควิธีการของศูนย์สร้างทางสงขลาที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมาทดลองปูลาดผิวทาง โดยประเมินจากการสุ่มทดสอบชิ้นตัวอย่างโดยวิธีมาร์แชล ผลปรากฏว่าแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งมีส่วนผสมของยางธรรมชาติมีค่าเสถียรภาพสูงมากในขณะที่ค่าทดสอบอื่น ๆ อยู่ในเกณฑ์ควบคุมตามมาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตเกรด 60/70 ปกติ

วรศักดิ์ กนกนุกุลชัย (2545) ได้ศึกษาการใช้เศษยางรถยนต์เก่ามาปรับปรุงคุณภาพของยางแอสฟัลต์โดยการนำล้อยางบดเป็นผงแล้วผสมกับยางแอสฟัลต์นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติขั้นพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ผสมกับยางผงกำหนดแนวทางการผสมระหว่างผงยางและยางแอสฟัลต์ ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสมตามมาตรฐานกรมทางหลวงสำหรับการใช้งานปูผิวถนนจากการทดสอบพบว่าเพิ่มคุณภาพของผิวถนน ผิวทางที่รถบรรทุกขนาดหนักวิ่งได้อย่างนิ่มนวลลดเสียงที่เกิดขึ้นและทำให้ถนนมีอายุยาวขึ้นอีกหลายเท่าตัวแต่ล้อยางเก่านั้นมีข้อจำกัดมาตรฐานแต่ละชนิดของล้อยางในการนำล้อยางมาบดเป็นผงเพื่อผสมยางแอสฟัลต์นั้นหากยางมีคุณสมบัติแต่ละชนิดของล้อไม่เหมือนกันทำให้คุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ที่ผสมกับผงยางต่างกัน

Lavansiri and Phromsorn (2005) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ด้วยน้ำยางธรรมชาติ วิธีการทดสอบโดยใช้ ยางแอสฟัลต์ AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพาราชนิดแอมโมเนียสูงตั้งแต่ 1% ถึง 13 % โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่อไปผสมกับมวลหยาบนำไปทดสอบค่า Flexibility ค่า Stability ค่าที่ได้สูงกว่าค่าที่ได้จากแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่ผสมน้ำยางพาราสำหรับปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้น้ำยางพารา 9% โดยน้ำหนักของยางแอสฟัลต์

มนตรี เดชาสกุลสม (2555) ได้ศึกษาการก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราบริเวณทางหลวง หมายเลข 305 องครักษ์ - นครนายก กม.51+750 – กม.53+750 RT แบ่งแปลงทดสอบเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 ทดสอบผิวทางแอสฟัลต์ 60/70 ผสมยางพารา 5% ส่วนที่ 2 ทดสอบผิวทางแอสฟัลต์ปกติระยะทางที่ทดสอบ 1 กิโลเมตร ทั้ง 2 แปลงและทดสอบค่าเสถียรภาพค่าโมดูลัสคืนตัวค่าความต้านทานต่อความล้าค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมในห้องปฏิบัติการจากการทดลองพบว่า ทดสอบค่าเสถียรภาพ ค่าโมดูลัสคืนตัวค่าความต้านทานต่อความล้าค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์ผสมยางพาราสูงกว่าแอสฟัลต์ปกติ ค่าความต้านทานการเสียรูปถาวรน้อยกว่ายางแอสฟัลต์ปกติและการทดลองในแปลงทดสอบในระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน กรมทางหลวงได้ทดสอบค่า ความแข็งแรง ความเรียบ ค่าความต้านทานการลื่นไถลและการเกิดร่องล้อจากการใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer เครื่อง Laser Prolometer เครื่อง Skid Resistance Tester และเครื่องทดสอบ Pavement Rutting Tester ผลจากการทดสอบพบว่า

แนวโน้มการเกิดร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราน้อยกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ

Hogentogler (1938) อธิบายว่าการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเป็นการทำให้ดินตามธรรมชาติมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีขึ้นและทนทานต่อการสึกหรอ โดยวิธีการปรับปรุงอาจเป็นการบดอัดให้แน่นหรือการใช้สารผสมเพิ่มลงในดิน

Winerkorn (1955) อธิบายการปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยการนำเอาวิธีการทางด้านฟิสิกส์ และเคมีมาใช้ผสมกับดินเพื่อปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติที่ดีสำหรับงานด้านวิศวกรรม

Kennedy and Oleson (1987) ได้ทำ Mixed In-Place Recycling โดยใช้ปูนซีเมนต์ และวัสดุอื่นเป็นสารผสมเพิ่มซึ่งเริ่มนำมาใช้งานในปี 1984 ในประเทศอังกฤษ

Vichitcholchai and Panmai (2012) ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์สำหรับการสร้างถนนตลอดอายุการใช้งานของถนน การใช้โพลิเมอร์ดัดแปลงแอสฟัลต์ (polymer modified asphalt, PMA) เป็นการปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมโพลิเมอร์ซึ่งยางธรรมชาติเป็นโพลิเมอร์ที่น่าสนใจที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยคุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติคือ มีความเสถียรยืดหยุ่น และความต้านทานต่อความล้า (Fatigue resistance) โดยในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแอสฟัลต์ และยางที่สามารถผลิตส่วนผสมได้ตามคุณสมบัติที่กำหนด ทำการวิเคราะห์คุณภาพของแอสฟัลต์ที่ได้ประกอบด้วย softening point, penetration index, ductility, torsional recovery, toughness-tenacity และ viscosity พบว่าที่ส่วนผสมของยางพาราเป็น 6% ของยางแอสฟัลต์ ให้คุณภาพของยางแอสฟัลต์ที่ดีสุดเมื่อนำไปก่อสร้างถนนที่ใช้วัสดุที่ส่วนผสมนี้ให้ความแข็งแรงสูงสำหรับค่าความหนืดของยางแอสฟัลต์ที่สูงขึ้นไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อการผสมกับส่วนประกอบของมวลรวมหยาบในการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต

Tuntiworawit and Lavansiri (2005) ทำการศึกษาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกับยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางข้น โดยเน้นในการหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการเติมน้ำยางข้นในกระบวนการผสม ที่ทำให้ได้แอสฟัลต์ยางธรรมชาติ (Natural Rubber Asphalt, NRA) จากการผสม AC 60/70 กับน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูง (High Ammonia, HA) ที่ 1% ถึง 13% โดยน้ำหนักรวมและทำการผสมกับหินปูนเพื่อผลิตเป็นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ผลการทดลองพบว่า NRA ที่ได้มีคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมที่ดี เป็นทางเลือกที่ดีที่สามารถใช้ผลิตเป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์เนื่องจากยางธรรมชาติมีอยู่มากในประเทศและเหมาะสมที่ใช้เป็นสารเติมสำหรับการทำถนนอันจะทำให้เพิ่มความยืดหยุ่น ความเสถียร และอายุการใช้งานของถนน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้พบว่าที่ 9% โดยน้ำหนักรวม น้ำยางข้นให้ผลการศึกษาที่ดีที่สุด

Xiao and Amirkhanian (2007) ศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติ Rutting resistance ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางสำหรับใช้เป็นวัสดุในการสร้างถนนที่มีการผสมแอสฟัลต์ที่ผ่านการใช้งาน (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) เป็นสิ่งสำคัญในการกระตุ้นการใช้วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยาง ในอดีตการใช้ RAP ได้ผ่านการพิสูจน์มาแล้วว่าช่วยให้ประหยัด แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม และมีผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติ Rutting resistance ของส่วนผสมแอสฟัลต์ การใช้วัสดุแอสฟัลต์ผสมยางได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาคุณสมบัติเชิงกล เช่น Rutting resistance ของส่วนผสมแอลฟัลต์กับยางโดยการทดสอบตามโปรแกรมของการปฏิบัติการด้วยการออกแบบการทดลองให้ใช้ยาง 2 ชนิด คือยางที่ผลิตจากสภาวะ Ambient และ cryogenically produced มีปริมาณส่วนผสมยาง 4 ค่า และใช้ยางย่อยเป็นชิ้น 3 ชนิดผลการทดลองพบว่า RAP และยางย่อยเป็นชิ้นใน HMA สามารถปรับปรุงคุณสมบัติ Rutting resistance ได้

ธงชัย รุ่งเรือง (2556) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์ที่ถูกขุดรื้อจากผิวทางเดิมนำกลับมาใช้งานใหม่ โดยได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมที่รื้อกลับมาใช้ใหม่ผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่นำกลับมาใช้ใหม่ด้วยปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดแกนเดียวตามต้องการโดยใช้หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ทำการศึกษานั้นมีอัตราส่วนผสม 3 อัตราส่วนได้แก่อัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 อัตราส่วนผสม 1 ต่อ 1 และอัตราส่วนผสม 1 ต่อ 3 โดยเปลี่ยนปริมาณปูนซีเมนต์ในช่วง 2% ถึง 6% ของน้ำหนักผิวทางแอสฟัลต์ จากผลการศึกษาพบว่าการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์และการใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกับปูนซีเมนต์ ให้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่กำลังรับแรงอัดแกนเดียวเท่ากันทุกประการอย่างไรก็ตามพบว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำกับปูนซีเมนต์ มีความเหมาะสมกว่าในแง่ของปริมาณตัวอย่างที่จะต้องนำมาทดสอบ และเมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ปรับปรุงแล้วพบว่า หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมเนื่องจากการพัฒนากำลังตามระยะบ่มมีค่าน้อยมาก

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการใช้ปูนซีเมนต์ในการเชื่อมประสานในปริมาณ 3% 5% และ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์และใช้ปริมาณน้ำยาง 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 3% ถึง 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ สำหรับการผสมซีเมนต์ในการทำถนนของกรมทางหลวงใช้น้ำยางพาราไม่เกิน 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์เท่านั้น และจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาเป็นวิจัยที่ศึกษาเฉพาะส่วนโครงสร้างผิวทางยังไม่มีการวิจัยที่ใช้ยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราทดสอบทั้งโครงสร้างผิวทาง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์ทดสอบทั้งโครงสร้างผิวทางซึ่งจากการศึกษาการใช้ยางแอสฟัลต์ที่รื้อจากผิวทางเก่านำมาใช้ใหม่ซึ่งมีแต่การใช้ปูนซิเมนต์ผสมเพิ่มกำลังแต่ก็ยังมีการเปราะแตกง่าย จากคุณสมบัติของยางพาราที่มีความยืดหยุ่นและเหนียวนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำมาผสมในแอสฟัลต์ที่รื้อจากผิวทางเก่าผสมปูนซีเมนต์แล้วเพื่อเพิ่มความเหนียวของวัสดุ สำหรับในเชิงพาณิชย์นั้นมีการใช้แอสฟัลต์ผสมยางพารา 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ ซึ่งเป็นปริมาณการใช้ยางพาราน้อย ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดใช้ยางพาราที่ปริมาณมากกว่าและนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมในห้องทดลองวัสดุโดยใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบที่มีคุณสมบัติดีที่สุดนำไปก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต รวมทั้งทดสอบการรับแรง การต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง และนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการนำไปใช้งานก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตต่อไป

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาได้นำมาสรุปรายละเอียดจากการทบทวนวรรณกรรมดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปรายละเอียดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัย	งานที่ได้วิจัย	ผลที่ได้
พรทิพย์ ประกายมณีวงค์ (2546)	ศึกษาการใช้ยางแผ่นรมควันผสมแอสฟัลต์	ได้อัตราส่วนผสมเหมาะสมเท่ากับ 6%
สถาบันวิจัยยาง อินเดีย (2517)	ศึกษาทดลองใช้น้ำยางสด 2% ผสมยางมะตอยราดถนนระยะทาง 1 กิโลเมตร	ใช้งานได้นาน 14 ปีโดยไม่มีการซ่อมผิวทาง
สถาบันวิจัยยางร่วมมือกับกรมทาง-หลวงและสถาบันเทคโนโลยีพระจอม-เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (2543)	ศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติ 2% ปรับปรุงคุณภาพของยางมะตอย	ผ่านมาตรฐาน มอก.851-2532

ตารางที่ 2.1 สรุปรายละเอียดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม

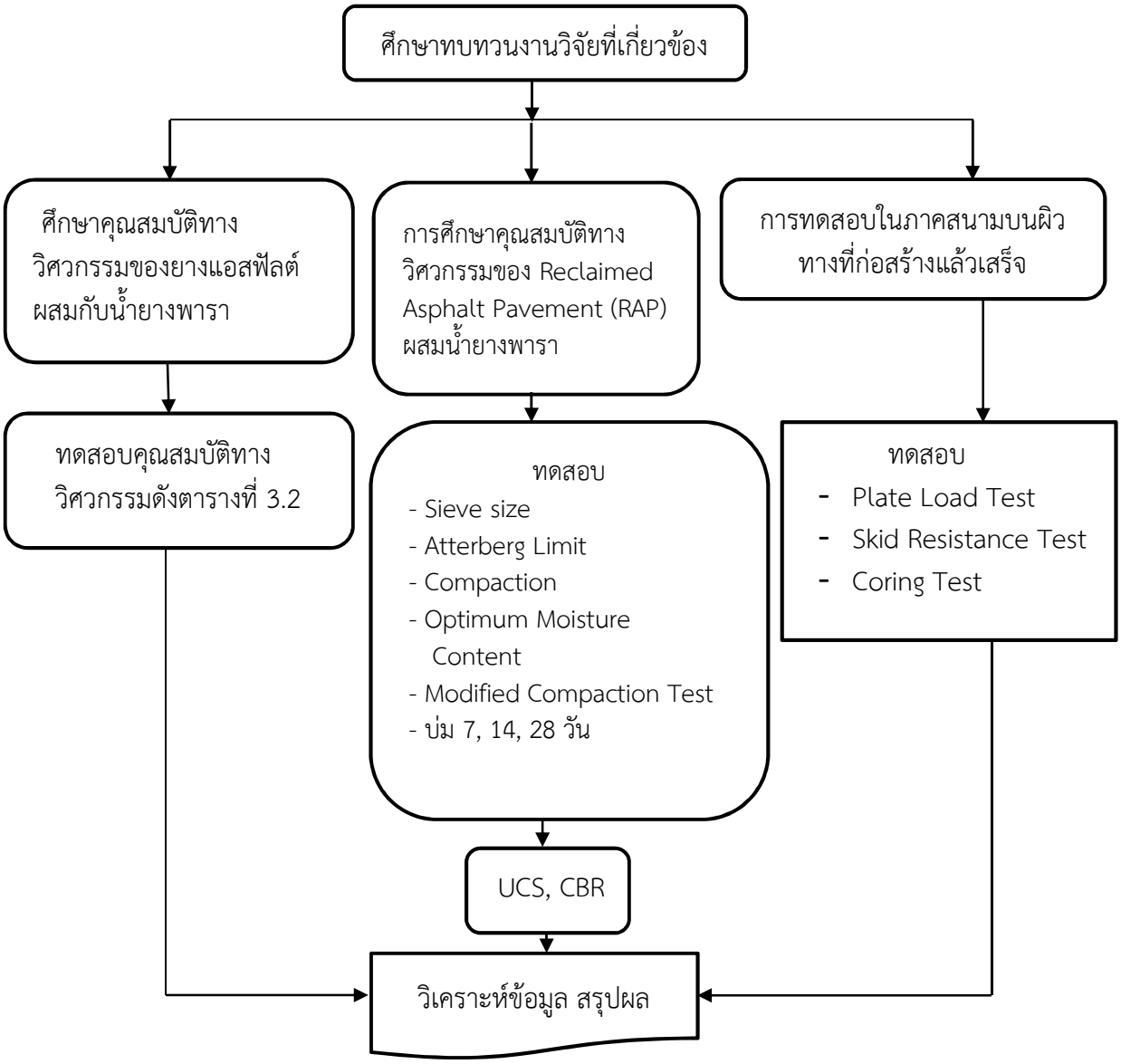
ผู้วิจัย	งานที่ได้วิจัย	ผลที่ได้
วิสุทธิ์ ศุกลรัตน์ ร่วมกับศูนย์วิจัยยางสงขลาและกรมทางหลวง (2545)	เทคนิคการทำผิวทางโดยใช้แอสฟัลต์ผสมยางพารา	ใช้ยาง 2% ถึง 3% ผสมยางแอสฟัลต์ช่วยให้จุดอ่อนตัวมีอุณหภูมิสูงขึ้น 60 °C ไม่แตกร้าวเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า -5 ยึดเกาะมวลรวมได้ดีขึ้น คุณสมบัติทางวิศวกรรมสูงขึ้น
มนตรี เดชาสกุลสม (2555)	ศึกษาการก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5% บริเวณทางหลวงสาย องครักษ์-นครนายก	ค่าเสถียรภาพ ค่าโมดูลัสคืนตัวค่าความต้านทานความล้า สูงกว่าแอสฟัลต์ปกติ และทดสอบในระยะ 3 เดือน 6 เดือน แนวโน้มการเกิดร่องล้อน้อยกว่าผิวทางแอสฟัลต์ปกติ
ธงชัย รุ่งเรือง (2556)	ศึกษาการปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์ที่ถูกรื้อจากผิวทางเดิมกลับมาใช้งานใหม่	หินคลุกผิวทางเดิมที่ผสมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตอัตราส่วน 1:3 มีการพัฒนากำลังตามระยะบ่มน้อย
Lavansiri and Phromsorn (2005)	ปรับปรุงยางแอสฟัลต์ด้วยน้ำยางธรรมชาติโดยใช้แอมโนเนียเข้มข้น 1% ถึง 13% ทดสอบหาค่า Stability	ใช้น้ำยางธรรมชาติที่ผสม 9% โดยน้ำหนักมีค่า Stabilty สูงกว่ายางแอสฟัลต์ที่ไม่ผสม
Tuntiworawit and Lavansiri (2005)	ศึกษาทดสอบคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางธรรมชาติ	ที่ส่วนผสม 9% เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด
Vichitcholchai and Panmai (2012)	ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์โดยใช้ยางพารา	ที่ส่วนผสม 6% ทำให้คุณภาพสูงขึ้น ไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อการผสมกับส่วนผสมของมวลรวมหยาบ
Xiao and Amirkhanian (2007)	ศึกษาการใช้ผิวทางเก่ามาผสมยางย่อยเป็นชิ้นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติ Rutting Resistance	สามารถเพิ่มคุณสมบัติ Rutting Resistance ได้ดี

จากตารางสรุปรายละเอียดจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติมาผสมยางแอสฟัลต์ตั้งแต่ 1% ถึง 9% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์รวมทั้งมีการศึกษาใช้ผิวทางเก่ามาผสมกับยางพาราแห้งที่ย่อยเป็นชิ้น ผสมในแอสฟัลต์ที่ร้อนก่อนแล้วไปผสมกับแอสฟัลต์ที่รื้อมาจากผิวทาง รวมทั้งยังไม่ได้มีการศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติผสมกับผิวทางเก่า ผสมปูนซีเมนต์ จากการสรุปข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าที่ยังไม่มีการศึกษาการใช้น้ำยางพาราผสมยางแอสฟัลต์ที่เพิ่มอัตราส่วนผสมที่ 10% 15% และ 20% ของยางแอสฟัลต์ผสมยางแอสฟัลต์คอนกรีตทำผิวทาง รวมทั้งยังไม่มีการใช้น้ำยางพาราผสมกับผิวทางแอสฟัลต์เก่าผสมปูนซีเมต์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์จากผิวทางเก่า งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้น้ำยางพาราผสมกับยางแอสฟัลต์และผสมน้ำยางพาราปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์จากผิวทางเก่าผสมปูนซีเมนต์ ใช้ผลจาการทดสอบที่เหมาะสมที่สุดไปก่อสร้างผิวทางแล้วทดสอบการรับน้ำหนักและการต้านทานการลื่นไถล เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปใช้งานต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

การศึกษาการนำยางพารามาผสมกับยางแอสฟัลต์สำหรับงานก่อสร้างผิวทางดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ได้แบ่งการศึกษา เป็น 3 ประเด็นสำคัญคือการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์AC60/70 ผสมกับน้ำยางพาราธรรมชาติ ประเด็นที่สองเป็นการศึกษาการใช้ผิวแอสฟัลต์ที่รื้อมาจากผิวทางเก่ามาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำยางพาราทดสอบหาคุณสมบัติการรับแรงอัด ประเด็นที่สามการทดสอบในสนามบนผิวทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

3.2 การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

การทดสอบการผสมตัวอย่างระหว่างยางแอสฟัลต์ และน้ำยางพาราโดยทำการทดลองการผสมตัวอย่างด้วยกัน 2 แบบ คือ

1) นำยางแอสฟัลต์ไปต้มให้พอเหลวก่อน แล้วค่อยๆ ผสมน้ำยางพาราที่เตรียมไว้แล้วทำการกวนผสมไปเรื่อย ๆ จนแอสฟัลต์ และน้ำยางพาราเข้ากันเป็นเนื้อเดียวแต่เมื่อทำการใส่น้ำยางพาราไปในขณะที่แอสฟัลต์เหลวนั้น จะเกิดฟองอากาศฟูกระเด็นออกจึงต้องทำการกวนเพื่อไล่ฟองอากาศอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาในการผสมประมาณ 40 นาที อุณหภูมิประมาณ 180 ℃

2) นำยางแอสฟัลต์กับน้ำยางพารามาใส่รวมกันในภาชนะโดยยังไม่ให้ความร้อนก่อน หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปต้มให้ความร้อนแล้วกวนไปเรื่อย ๆ ซึ่งช่วงแรกตัวอย่างจะจับเป็นก้อนคล้ายก้อนแป้ง แต่เมื่อปล่อยให้ความร้อนไปเรื่อยๆ ยางแอสฟัลต์และน้ำยางพาราก็จะรวมตัวเข้ากัน จากการทดลองวิธีนี้พบว่าจะเกิดฟองอากาศ แต่ไม่กระเด็นออกเหมือนตัวอย่างแรกและต้องใช้เวลาให้ความร้อนนานกว่าเดิมการเตรียมตัวอย่างตามตารางที่ 3.1 มาตรฐานการทดสอบดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนระหว่างยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมกับน้ำยางพารา

ชุดตัวอย่าง	ปริมาณร้อยละ (โดยน้ำหนัก)		สัญลักษณ์ส่วนผสม
	แอสฟัลต์ AC 60/70	น้ำยางพาราธรรมชาติ	
1	100	0	AC100/NRL0
2	95	5	AC95/NRL5
3	90	10	AC90/NRL10
4	85	15	AC85/NRL15
5	80	20	AC80/NRL20

หมายเหตุ 1. แอสฟัลต์ใช้เกรด AC 60/70 ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ประเทศไทย

2. น้ำยางพารา นำมาจากศูนย์วิจัยยางสงขลา (จากต้นยางในท้องถิ่น)

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานการทดสอบยางแอสฟัลต์

ลำดับ	วิธีทดสอบ	มาตรฐานที่ใช้ทดสอบ	ค่ามาตรฐาน
1	Penetration Test	DH -T403/1975	60-70
2	Softening Point Test	ASTM: D2398-76	45 °C
3	Ductility Test	DH -T405/1976	50 cm
4	Flash Point by Cleveland Open Cup	DH-T406/1976	232 °C
5	Resistance to Stripping of Aggregate and Binder	DH-T605/1975	20
6	Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus Density Stability Flow	DH-T604/194	2.48 g/ml 1800 lbs 7-18 mm

หมายเหตุ 1. ใช้มาตรฐานกรมทางหลวง (Department of Highways Standard, DOH Standard) ซึ่งอ้างอิงมาตรฐานของ American Standard Testing Material, (ASTM)

3.3 การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ที่ได้จากการรื้อผิวทางเก่าผสมน้ำยางพารา

3.3.1 การผสมน้ำยางพารากับแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลของการซ่อมแซมถนน ในบริเวณแยกคลองหวะ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แล้วนำค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ มีรายละเอียดสำหรับการศึกษารวบรวมข้อมูล การทดสอบตัวอย่าง และการวิเคราะห์ผล แอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ใช้ในการทดสอบ ได้รับการสนับสนุนและประสานงานจากสำนักทางหลวงที่ 18 จังหวัดสงขลา จัดเตรียมให้แอสฟัลต์ที่ได้ผ่านการย่อยแล้ว นำมาตากแดดเพื่อเตรียมสู่ขั้นตอนการบดอัดต่อไป ดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 แอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ใช้ทำการทดลอง

การทดสอบการบดอัดสำหรับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ผสมซีเมนต์ และวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ผสมซีเมนต์ และน้ำยางพารารวม 2 ชุดการทดสอบ การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ที่นำมาใช้ใหม่ด้วยการผสมน้ำยางพารามีขั้นตอนการศึกษา และวิจัยตามแผนรูปที่ 3.1 ส่วนรายละเอียดการเตรียมตัวอย่างและทำการทดสอบ UCS และ CBR ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 และ 3.2 การออกแบบส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 โดยทำการเตรียมตัวอย่างและทดสอบ UCS จำนวน 60 ตัวอย่าง และ CBR จำนวน 12 ตัวอย่าง รวม 72 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3.3 กลุ่มการทดสอบที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าและปูนซีเมนต์

ชุดการทดสอบ	ปูนซีเมนต์(%)	เวลาบ่ม (วัน)	จำนวนตัวอย่าง (ก้อน)	
			UCS	CBR
1	3	7	3	1
2	3	14	1	-
3	3	28	1	-
4	5	7	3	1
5	5	14	1	-
6	5	28	1	-
7	7	7	3	1
8	7	14	1	-
9	7	28	1	-
รวม			15	3

หมายเหตุ การทดสอบตัวอย่างที่บ่ม 14 วันและ 28 วันใช้เป็นค่าอ้างอิงเท่านั้นเนื่องจากตามข้อกำหนดกรมทางหลวงใช้ระยะการบ่มที่ 7 วันสำหรับงานก่อสร้างผิวทาง

ตารางที่ 3.4 ชุดการทดสอบที่ 2 อัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า ปูนซีเมนต์ และ ยางพารา

ชุดการทดสอบ	ปูนซีเมนต์ (%)	ยางพารา (%)	เวลาบ่ม (วัน)	จำนวนตัวอย่าง (ก้อน)	
				UCS	CBR
1	3	5	7	3	1
2	3	5	14	1	-
3	3	5	28	1	-
4	3	10	7	3	1
5	3	10	14	1	-
6	3	10	28	1	-
7	3	15	7	3	1
8	3	15	14	1	-
9	3	15	28	1	-
10	5	5	7	3	1
11	5	5	14	1	-
12	5	5	28	1	-
13	5	10	7	3	1
14	5	10	14	1	-
15	5	10	28	1	-
16	5	15	7	3	1
17	5	15	14	1	-
18	5	15	28	1	-
19	7	5	7	3	1
20	7	5	14	1	-
21	7	5	28	1	-
22	7	10	7	3	1
23	7	10	14	1	-
24	7	10	28	1	-
25	7	15	7	3	1
26	7	15	14	1	-
27	7	15	28	1	-
รวม				45	9

3.3.2 การผสมวัสดุในห้องปฏิบัติการ

การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะเป็นการเตรียมตัวอย่างจากตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ถูกย่อยละเอียดแล้วนำมาบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ASTM D 1557) โดยใช้เบ้า (Mold) บรรจุตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (30 ซม.) สูง 4 นิ้ว (10 ซม.) ใช้ค้อนหนัก 2.78 ปอนด์ (1262.10 กรัม) ระยะยก 12 นิ้ว (30 ซม.)โดยแบ่งจำนวนชั้นเป็น 5 ชั้น การกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง ซึ่งการเตรียมตัวอย่างแบบนี้จะทำให้ตัวอย่างได้รับพลังงานในการบดอัดเท่าๆกัน ตัวอย่างที่ใช้จะประกอบด้วย แอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ยางพารา และปูนซีเมนต์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 อัตราส่วนที่ใช้ คือ 3% 5% และ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมเทียบกับน้ำหนักของผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม (3000 กรัม)

โดยการผสมจะผสมแบบรวม (Total Mixing) ใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Moisture Content, OMC) ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4 และตัวอย่างที่เสร็จแล้วจะทำการห่อหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกสำหรับถนอมอาหารเพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหยออก และเก็บไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดและควบคุมความชื้นบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 7, 14 และ 28 วันตามลำดับการทดสอบโดยใช้ระยะการบ่มที่ 7 วันเป็นค่าการทดสอบที่นำไปใช้งานตามที่กรมทางหลวงใช้งานส่วนระยะเวลาการบ่ม 14 และ 28 วันเป็นค่าอ้างอิงแนวโน้มการเพิ่มกำลังรับแรงอัด

3.3.3 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

1) การทดสอบตามมาตรฐาน ทล.-ท. 108 วัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดเมื่อทำการบดอัดในเบ้า (Mold) โดยใช้ค้อน (Hammer) หนัก 2.494 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) สำหรับแบบมาตรฐานและใช้ค้อน (Hammer) หนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

รูปที่ 3.3 เติมน้ำประมาณ 2% ของน้ำหนักแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

รูปที่ 3.4 การผสมส่วนผสมให้เข้ากัน

2) ตักตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่เบ้า (Mold) ที่ประกอบเข้ากับปลอก และแผ่นรองแล้ว โดยแบ่งปริมาตรของดินที่ใส่ให้ได้จำนวนเป็น 5 ชั้น ชั้นละเท่าๆกัน แล้วใช้ค้อนบดอัดจำนวน 25 ครั้งต่อชั้น รูปที่ 3.5 และ 3.6

รูปที่ 3.5 การตักดินใส่เบ้าโดยแบ่งเป็น 5 ชั้นความหนาแต่ละชั้นเท่ากัน

รูปที่ 3.6 การบดอัดดินในเบ้าด้วยค้อนบดอัด

3) บดอัดแต่ละชั้นด้วยพลังงานที่สม่ำเสมอ

4) ถอดปลอกแบบออก แล้วใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินปากแบบหล่อ อุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอขอบ ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอกเบ้า ถอดแผ่นรองออกชั่งหาน้ำหนักดินให้ละเอียดถึง 0.1 กรัมดังรูปที่ 3.7

รูปที่ 3.7 ถอดปลอกเบ้าออกก่อนนำไปชั่ง

5) ดันตัวอย่างดินออกจากเบ้า โดยทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณบน กลาง และล่างใส่ในถ้วยเก็บตัวอย่างดินนำไปชั่งน้ำหนักให้ได้ละเอียดถึง 0.01 กรัมเพื่อนำไปหาปริมาณความชื้นของดิน โดยชั่งน้ำหนักแล้วอบที่อุณหภูมิ 100 °C จนครบ 24 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักดินแห้งอีกครั้ง

รูปที่ 3.8 การดันตัวอย่างด้วย Hydraulic

รูปที่ 3.9 เก็บตัวอย่างไปอบหาความชื้น

6) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4-7 โดยใช้ดินที่เอาออกจากเบ้าในการผสมครั้งก่อนมาผสมน้ำเพิ่มอีกประมาณ 2% ทำการบดอัดแล้วจนกระทั่งน้ำหนักดินในแบบที่ชั่งได้ลดลงประมาณ 4-5 ครั้ง

3.3.4 การทดสอบแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช (California Bearing Ratio, CBR)

ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 1883-99 ใช้การทดสอบแบบวิธี Modified Proctorโดยทดสอบแบบแช่น้ำทั้งหมด

<u>การเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ</u>

เตรียมตัวอย่างดิน ด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quatering) จากนั้นร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" และนำดินผ่านเบอร์ 3/4" แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 จำนวนเท่ากันมาผสม เพื่อทำการทดสอบรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 การจัดวางตัวอย่าง และติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือ ก่อนทดสอบ

3.3.5 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined CompressionTest, UCT)

มาตรฐาน ทล.-ท 105 และ เทียบเท่า AASHTO T208 การทดสอบ Unconfined Compression Test เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของตัวอย่าง ซึ่งนิยมกันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถปฏิบัติการได้รวดเร็วและประหยัด

<u>การเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ</u>

นำตัวอย่างที่บ่มไว้จากการบดอัด ไปแช่น้ำประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นนำขึ้นจากน้ำ วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และชั่งน้ำหนัก แล้วพักไว้ประมาณ 30 นาทีดังรูปที่ 3.11และ 3.12 แล้วทดสอบดังรูป 3.13 -3.14

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างที่ทำการบ่ม 7, 14 และ 28วัน

รูปที่ 3.12 วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 3.13 การประกอบตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

รูปที่ 3.14 ลักษณะการแตกของตัวอย่างเมื่อผ่านจุดพิบัติ

3.4 การทดสอบในภาคสนามบนผิวทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ

การทดสอบในภาคสนาม พื้นที่ผิวทางถนนทางเข้า ด้านหน้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ซึ่งปูผิวทางด้วยแอสฟัลติกคอนกรีตผสมด้วยน้ำยางพารามีถนนทางเข้า 2 ทาง เส้นทางแรกใช้แอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ปูผิวทาง และอีกเส้นทางใช้แอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ปูผิวทางเมื่อถนนทั้ง 2 เส้นทางผ่านการใช้งานมา 2 ปีจึงทำการทดสอบดังนี้

3.4.1 การทดสอบการรับน้ำหนักของผิวทาง

การทดสอบการรับน้ำหนักของผิวโดยใช้วิธี Plate Bearing โดยการใช้น้ำหนักรถแบคโฮวางคร่อมบริเวณทดสอบใช้แผ่นเหล็กขนาด 30x30 cm วางที่บริเวณทดสอบการขึ้นน้ำหนักโดยใช้แม่แรงกดแผ่นเหล็กดันแบคโฮวโดยทดสอบที่น้ำหนักทดสอบสูงสุด 40 t/m^2 บันทึกการทรุดตัวจากวัดการทรุดตัวของแผ่นเหล็กจาก Dial Gauge 4 จุดที่ติดกับ Reference Beams อ่านค่าการทรุดตัวที่ 1, 2, 5, 10 และ 15 นาที เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึงค่าสูงสุด ชั้นดินไม่เกิดการวิบัติให้ลดน้ำหนักลงถึงศูนย์ตามลำดับ

รูปที่ 3.15 การทดสอบ Plate Bearing

3.4.2 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

การทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิวทางโดยการใช้เครื่องมือ British Pendulum Tester ทดสอบโดยติดตั้งเครื่องมือตรงตำแหน่งที่ต้องการวัดของผิวทางแอสฟัลต์ที่ผสมยางพารา 5% และ 10% น้ำหนักยางแอสฟัลต์ของปรับแท่นยางที่ทดสอบได้ตำแหน่ง และวัดระยะเลื่อนแท่นยางที่ทดสอบให้มีระยะเลื่อนได้ประมาณ 10 cm ที่ต้องการวัดจัดตำแหน่งเข็มให้ตรงที่จุดศูนย์โดยล็อคกับจุดยึดของเครื่องมือราดน้ำให้ผิวทางจุดที่ทดสอบให้ชุ่มแล้วปล่อยลูกตุ้มอ่านค่าจากเข็มที่ชี้เป็นค่าความฝืดของผิวทางดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.16 การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

3.4.3 การทดสอบโดยวิธีการ Coring

การทดสอบโดยวิธีการ Coring ผิวทางเป็นการเจาะเก็บตัวอย่างผิวทางเพื่อตรวจสอบคุณภาพของผิวทางและทดสอบค่ากำลังรับแรงของวัสดุโดยการติดตั้งเครื่องมือเจาะตรงตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบยึดสกรูกับผิวทางให้แน่นดำเนินการเจาะโดยใช้น้ำหล่อเย็นจนทะลุผิวทางและเก็บตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการทดลองดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.17 การ Coring ผิวทาง

บทที่ 4
ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบยางแอสฟัลต์ผสมกับน้ำยางพารา

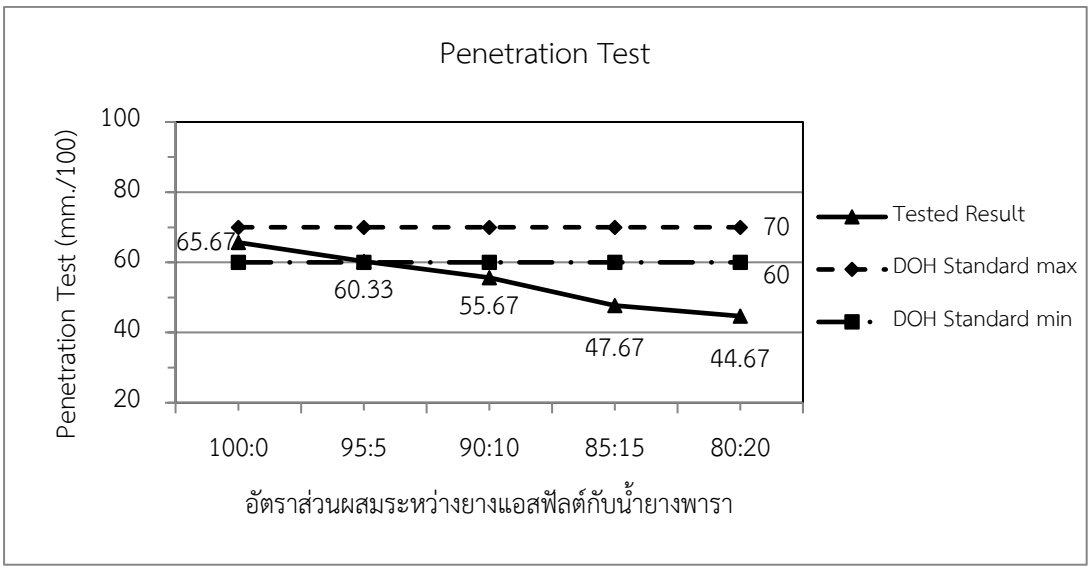
4.1.1 ผลการทดสอบเพนิเทรชันของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

จากผลการทดสอบชุดทดสอบค่าการจมของเข็มดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 พบว่ายางแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติมีค่าการจมของเข็มสูงสุดเฉลี่ย 65.67 (mm/100) เมื่อผสมด้วยน้ำยางพารา 5% 10% 15% และ 20% ของยางแอสฟัลต์ตามลำดับค่าการจมของเข็มมีค่าลดลง และค่าการจมของเข็มต่ำสุดเมื่อผสมน้ำยางพารา 20% ของยางแอสฟัลต์มีค่าการจมของเข็มต่ำสุดเฉลี่ย 44.67 (mm/100) เมื่อเทียบค่ามาตรฐานกรมทางหลวงมีค่าระหว่าง 60 ถึง 70 (mm/100) ยาง-แอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารามีค่าการจมต่ำกว่าค่ามาตรฐานกรมทางหลวงเนื่องจากยางแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารามีความแข็งแรงขึ้น จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการผสมน้ำยางธรรมชาติจะส่งผลให้ค่าการจมของเข็มลดลง

จากการทดลองพบว่าค่าการจมของเข็มนั้นเมื่อพิจารณาเทียบจากค่าอัตราส่วนผสมกับค่าเฉลี่ยการจมของเข็มนั้น พบว่าค่าการจมของเข็มที่ทดสอบยางแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพารา จะมีค่าการจมของเข็มมากกว่าค่าการจมของเข็มที่ทดสอบตัวอย่างยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 95:5 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.34 (mm/100) เมื่อเปรียบเทียบค่าการจมเสาเข็มระหว่างแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพาราตั้งแต่อัตราส่วน 95:5 ถึง 80:20 พบว่ามีค่าการจมของเข็มมีความแตกต่างกันมากสุดที่อัตราส่วน 90:10 กับค่าการจมของเข็มที่อัตราส่วน 85:15 ซึ่งมีค่าการจมของเข็มต่างกัน 8 (mm/100) แสดงว่าค่าความแข็งแรงสูงขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมน้ำยางพารา

ตารางที่ 4.1 ผลเฉลี่ยของทดสอบการจิ้มด้วยเข็มของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ชุดทดสอบ ยางแอสฟัลต์ : น้ำยางพารา	ผลการทดสอบการจิ้ม ด้วยเข็ม (mm/100)			ค่าเฉลี่ย (mm/100)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mm/100)
100:0	65.33	66.00	65.67	65.67	0.27
95:5	60.33	60.00	60.66	60.33	0.27
90:10	55.67	55.33	56.00	55.67	0.27
85:15	47.99	46.67	47.00	47.67	0.27
80:20	46.67	45.00	42.33	44.67	1.79



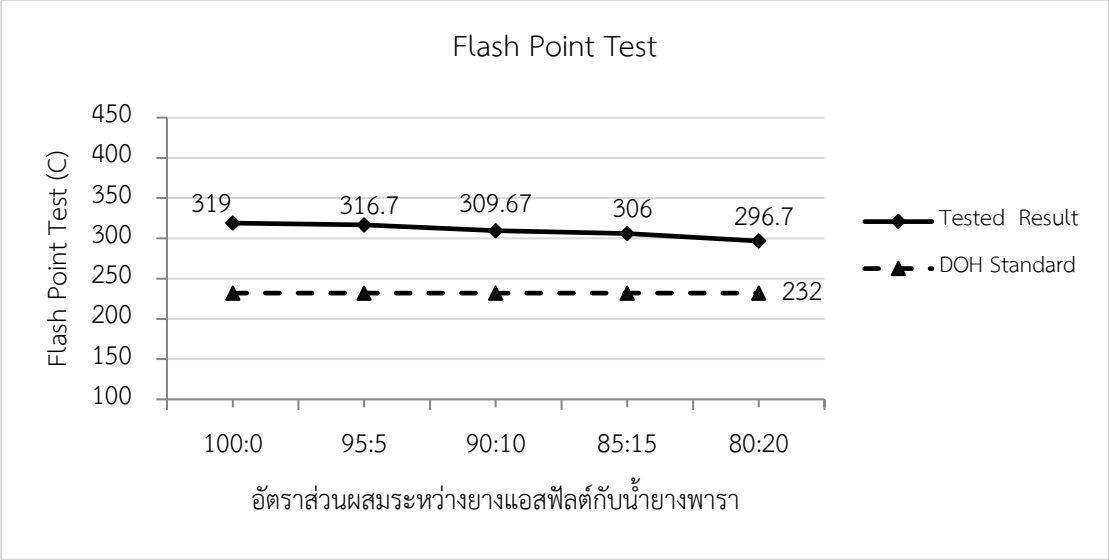
รูปที่ 4.1 ผลเฉลี่ยของการทดสอบการจิ้มด้วยเข็มของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

4.1.2 ผลการทดสอบจุดวาบไฟของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

จากผลทดสอบการจุดวาบไฟของแอสฟัลต์ผสมยางพารา ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของชุดทดสอบที่ไม่ผสมน้ำยางพารามีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 319 °C อุณหภูมิของจุดวาบไฟจะมีค่าลดลงเมื่อผสมน้ำยางธรรมชาติตั้งแต่ 5% ของยางแอสฟัลต์เท่ากับ 316.37 °C ค่าจุดวาบไฟต่ำสุดเมื่อผสมน้ำยางพารา 20% ของยางแอสฟัลต์มีค่าเท่ากับ 296.70 °C จากผลการทดสอบการจุดวาบไฟเมื่อผสมน้ำยางพาราจะทำให้อุณหภูมิการจุดวาบไฟติดไฟเร็วขึ้น แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกรมทางหลวงมีค่าเท่ากับ 232 °C ค่าผลเฉลี่ยของจุดวาบไฟที่ทดสอบผ่านมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ผลเฉลี่ยของการทดสอบการจุดวาบไฟของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ชุดทดสอบ ยางแอสฟัลต์ : น้ำยางพารา	**อุณหภูมิของตัวอย่าง (°C)**			**ค่าเฉลี่ย (°C)**	**ค่ าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (°C)**
100:0	318.00	320.00	319.00	319.00	1.00
95:5	317.00	316.00	316.00	316.37	0.55
90:10	308.00	309.00	312.00	309.67	2.08
85:15	304.00	306.00	308.00	306.00	2.00
80:20	300.00	297.00	293.10	296.70	3.46



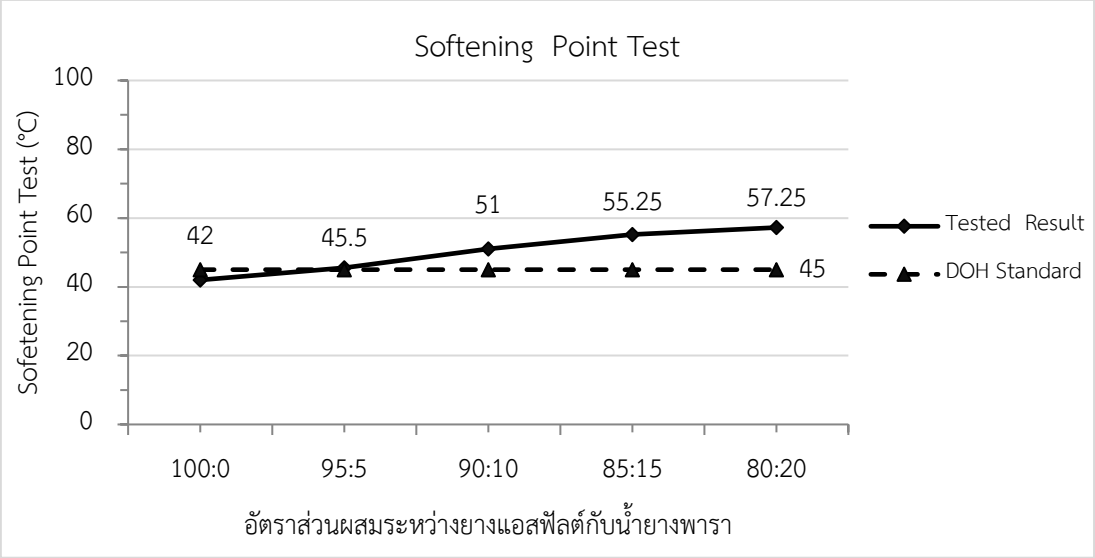
รูปที่ 4.2 ผลเฉลี่ยของการทดสอบจุดวาบไฟของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

4.1.3 ผลการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

จากการทดสอบจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพารา ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของชุดทดสอบที่ไม่ผสมน้ำยางพาราเท่ากับ 42 °C ค่าอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของชุดทดสอบที่ผสมน้ำยางพารา 5% 10% 15% และ 20% ของยางแอสฟัลต์ตามลำดับมีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 45.50 °C 51.00 °C 55.25 °C และ 57.25 °C ตามลำดับจากผลทดสอบเมื่อผสมน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของจุดอ่อนตัวสูงขึ้น เปรียบเทียบผลการทดสอบกับค่ามาตรฐานจุดวาบไฟกรมทางหลวงที่ 45 °C ผลทดสอบผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง

ตารางที่ 4.3 ผลเฉลี่ยของการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ชุดทดสอบ ยางแอสฟัลต์ : น้ำยางพารา	**อุณหภูมิของตัวอย่าง (°C)**			**ค่าเฉลี่ย (°C)**	**ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (°C)**
100:0	42.00	43.00	41.00	42.00	1.00
95:5	45.30	45.50	45.70	45.50	0.20
90:10	52.00	49.50	51.50	51.00	1.32
85:15	55.00	55.25	55.50	55.25	0.25
80:20	56.90	57.60	57.25	57.25	0.29



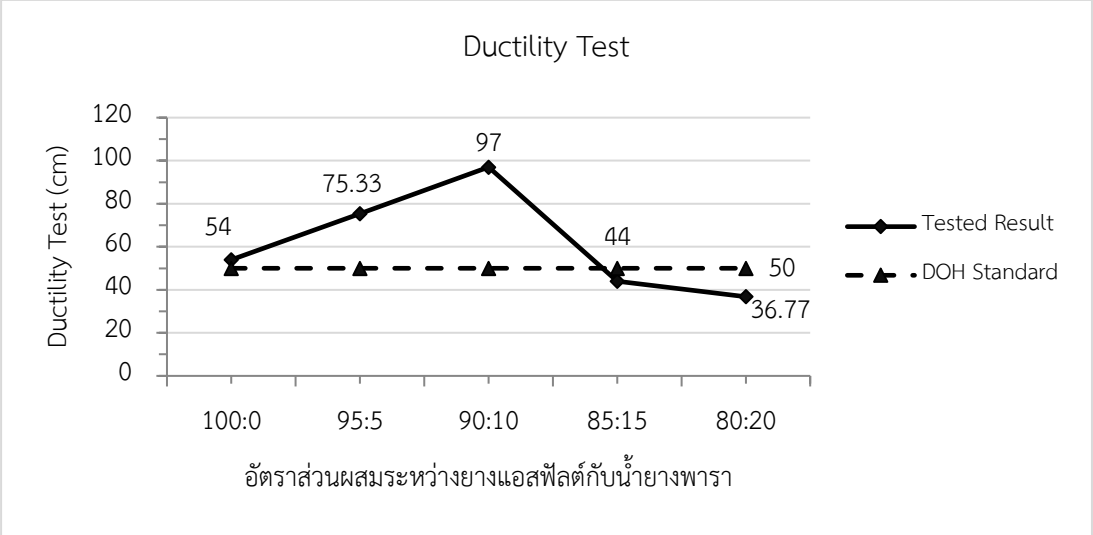
รูปที่ 4.3 ผลเฉลี่ยการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

4.1.4 ผลทดสอบการยืดตัวโดยวิธี Ductility Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

การทดสอบการยืดตัวของแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมยางพารา ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 พบว่ายางแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางธรรมชาติ มีระยะยืดตัวเท่ากับ 54 cm ระยะยืดตัวของชุดทดสอบที่ผสมน้ำยางพารา 5% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ตามลำดับมีค่าการยืดตัวเท่ากับ 75.33 cm 97.00 cm 44 cm และ 36.77 cm ตามลำดับจากผลการทดสอบชุดตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพารามีค่ายืดตัวสูงสุดเมื่อผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 90:10 ค่าทดสอบการยืดตัวลดลงเมื่อผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 85:15 และค่ายืดตัวต่ำสุดเมื่อผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 80:20 จากการเปรียบเทียบค่ามาตรฐานการยืดตัวกรมทางหลวงเท่ากับ 50 cm ชุดทดสอบที่ผสมน้ำยางพาราอัตราส่วน 95:5 และ 90:10 ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง

ตารางที่ 4.4 ผลเฉลี่ยการทดสอบการยืดตัวโดยวิธี Ductility Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ชุดทดสอบ ยางแอสฟัลต์ : น้ำยางพารา	**ระยะยืดของตัวอย่าง (cm)**			**ค่าเฉลี่ย (cm)**	**ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (cm)**
100:0	53.00	56.00	55.00	54.00	1.53
95:5	73.80	74.60	77.60	75.33	2.00
90:10	95.50	98.30	96.70	97.00	1.40
85:15	43.20	41.60	47.20	44.00	2.88
80:20	35.60	36.80	37.90	36.77	1.15



รูปที่ 4.4 ผลเฉลี่ยการทดสอบการยืดตัวโดยวิธี Ductility Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

4.1.5 ผลการทดสอบการหลุดลอกวิธี Stripping Test ของแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

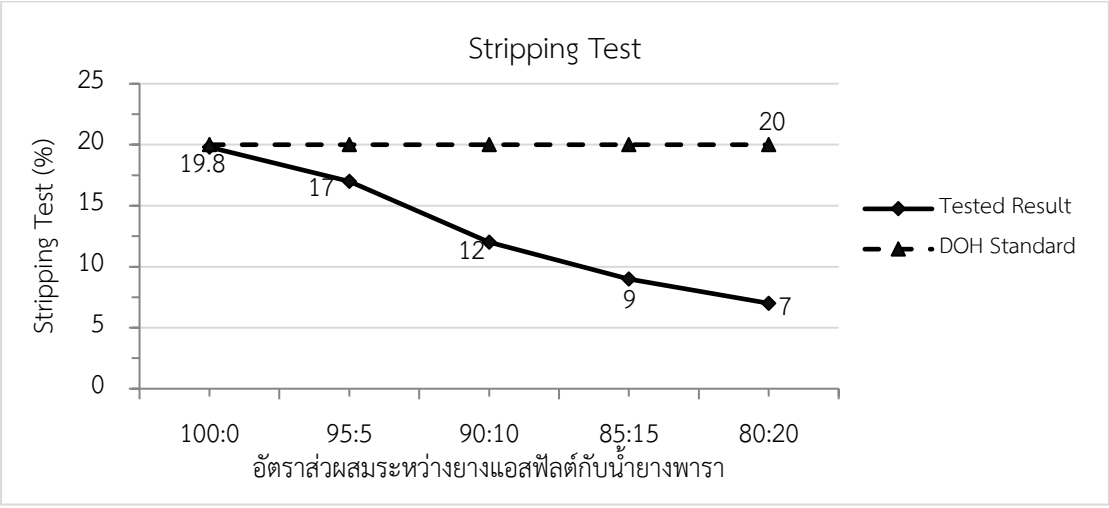
จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่ายางแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพารามีค่าการหลุดล่อนสูงสุด 19.70% โดยค่าหลุดล่อนต่ำสุด 7% เป็นตัวอย่างทดสอบที่ผสมด้วยน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 80:20 เปรียบเทียบค่ามาตรฐานกรมทางหลวง 20% ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการหลุดลอกโดยวิธี Stripping Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแอสฟัลต์กับน้ำยางพารา				
	100:0	95:5	90:10	85:15	80:20
1	0.25	0.25	0.25	-	-
2	-	-	-	-	-
3	0.25	0.25	-	0.25	0.25
4	0.25	-	0.25	-	-
5	-	-	0.25	0.25	0.5
6	0.25	0.25	-	-	-
7	0.25	0.25	0.25	0.25	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	0.25
10	0.25	0.25	-	-	-

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการหลุดลอกโดยวิธี Stripping Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแอสฟัลต์กับน้ำยางพารา				
	100:0	95:5	90:10	85:15	80:20
11	0.25	0.25	-	0.25	-
12	0.25	0.25	0.25	0.25	-
13	0.25	0.25	-	-	-
14	-	-	0.25	-	-
15	0.5	0.25	-	-	-
16	0.25	-	-	-	-
17	-	0.25	-	0.25	0.25
18	0.25	-	0.25	0.25	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	0.25	0.25	0.25	-	-
22	0.25	-	-	-	-
23	0.75	0.5	0.5	0.25	-
24	0.75	-	-	-	0.25
25	0.25	-	0.5	-	-
คะแนน	9.75	8.75	6	4.5	3
การหลุดลอก (%)	19.8	17	12	9	7



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการหลุดลอกโดยวิธี Stripping Test ของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

4.1.6 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชล

การทดสอบนี้ได้ทำการทดสอบที่ส่วนตรวจสอบ และวิเคราะห์ทางวิศวกรรม สำนักงานทางหลวงที่ 18 โดยทางสำนักงานทางหลวงที่ 18 ได้เตรียมวัสดุมวลรวม อุปกรณ์ และสถานที่ในเบื้องต้นไว้ให้และได้เตรียมตัวอย่างที่มิกซ์ทั้ง 7 ตัวอย่าง นำไปผสมก้อนตัวอย่าง และทำการทดสอบตัวอย่างภายใต้การดูแลของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง

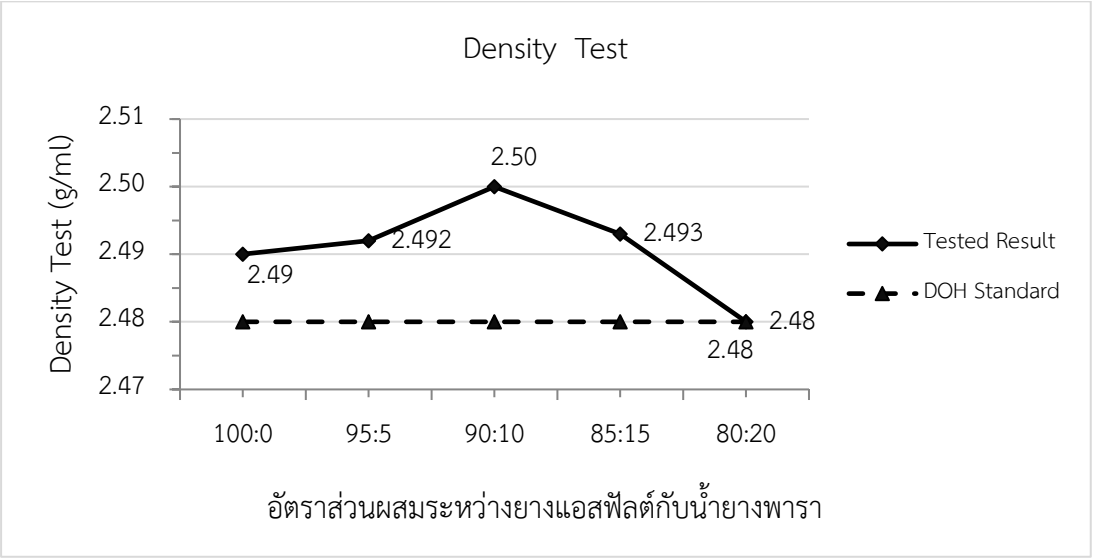
จากการศึกษา และปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ จึงได้ทำการผสมตัวอย่างในปริมาณ 5% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ (60 กรัม) ของวัสดุมวลรวม และได้เตรียมวัสดุมวลรวม 1,200 กรัมในแต่ละก้อนตัวอย่างที่จะผสม จากผลการทดสอบชุดตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6-4.8 พบว่าค่า Density ของชุดตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยางพาราธรรมชาติเท่ากับ 2.490 g/ml^3 ผลทดสอบค่า Density ของชุดตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพารา 5% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ตามลำดับเท่ากับ 2.492 g/ml^3 2.500 g/ml^3 2.493 g/ml^3 และ 2.480 g/ml^3 จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นค่าเพิ่มขึ้นจากการผสมน้ำยางธรรมชาติ 5% และได้ค่า Density เฉลี่ยสูงสุดที่ 2500 g/ml โดยชุดทดสอบที่ผสมน้ำยางพาราที่ 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารามากกว่า 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ ค่าความหนาแน่นจะลดลงจนค่าต่ำสุดเมื่อผสมน้ำยางพาราที่ 20% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์

จากผลการทดสอบชุดตัวอย่างหาค่าเสถียรภาพ แสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพารามีค่าเสถียรภาพเท่ากับ 2639.20 lbs ผลทดสอบค่าเสถียรภาพของชุดทดสอบที่ผสมน้ำยางพารา 5% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์มีค่าเท่ากับ 2584.64 lbs 2592 lbs, 2553.93 lbs และ 2593.98 lbs จากผลทดสอบค่าเสถียรภาพสูงสุดจากชุดตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยางพารา และต่ำสุดจากชุดตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพารา 15% น้ำหนักยางแอสฟัลต์

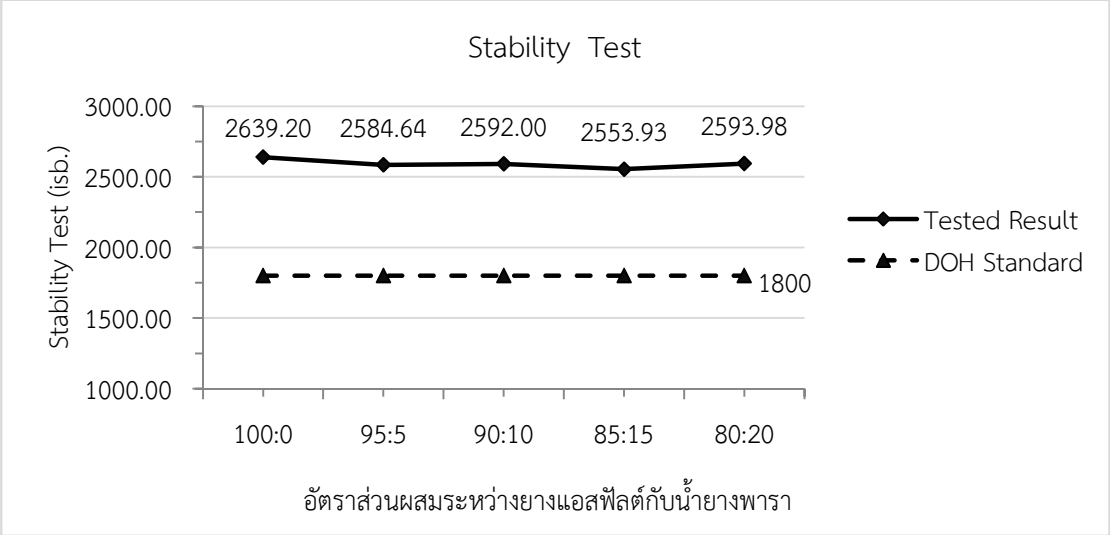
จากผลการทดสอบค่าการไหลของชุดตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยางพาราเท่ากับ 13.40 mm ชุดที่ผสมน้ำยางพารา 5% 10% 15% และ 20% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์เท่ากับ 15.61 mm 17.81 mm 19.56 mm 22.30 mm ตามลำดับ จากผลทดสอบชุดตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพาราเมื่อน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นค่าการไหลจะเพิ่มมากขึ้น จากการเปรียบเทียบมาตรฐานกรมทางหลวง ค่าความหนาแน่น 2.48 g/ml^3 ค่าเสถียรภาพเท่ากับ 1800 lbs และค่าการไหลเท่ากับ 7 mm ชุดทดสอบผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง

ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชล

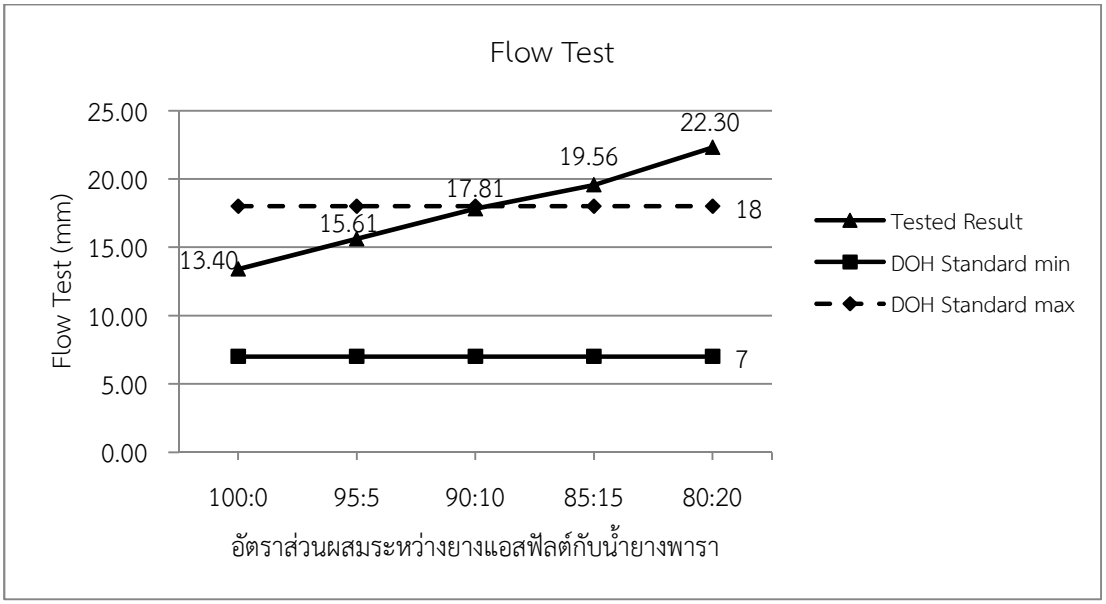
ชุดทดสอบ ยางแอสฟัลต์ : น้ำยางพารา	**Average Density (g/ml^3)**	**Stability (lbs)**	**Flow Test (mm)**
100:0	2.490	2639.20	13.40
95:5	2.492	2584.64	15.61
90:10	2.500	2592.00	17.81
85:15	2.493	2553.93	19.56
80:20	2.480	2593.98	22.30



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบ Density Test ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา

4.2 ผลการทดสอบส่วนผสมยางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับน้ำยางพารา

4.2.1 ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

จากการศึกษาการนำผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมบริเวณแยกคลองหวะ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลามาทำการทดสอบได้ผลดังนี้

ผลทดสอบ UCS ชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมปูนซีเมนต์จะใช้ผลทดสอบชุดตัวอย่างที่มีอายุบ่มคอนกรีต ที่ 7 วันเป็นค่าที่ใช้งานก่อสร้างถนนใช้ชุดตัวอย่าง 3 ขุดตัวอย่างและชุดทดสอบที่ผู้วิจัยทดสอบที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28 วันเพื่อใช้เป็นค่าที่ใช้อ้างอิงและเพื่อดูแนวโน้มการรับแรงอัด

จากผลทดสอบชุดตัวอย่างแอสฟัลต์คอยกรีตผสมปูนซีเมนต์ 3% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันมีค่าการรับแรงอัดแกนเดียวเท่ากับ 19.34 ksc ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต 5% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน เท่ากับ 45.28 ksc ผลการทดสอบแอสฟัลต์ผสมปูนซีเมนต์ 7% โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเท่ากับ 70.47 ksc

จากผลการทดสอบค่าการรับแรงอัดของชุดตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพาราที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ผลทดสอบแสดงให้เห็นค่าการรับแรงอัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 70.47 ksc เมื่อผสมซีเมนต์ 7% โดยน้ำหนักแสดงให้เห็นว่าปูนซีเมนต์ที่ผสมจะช่วยเพิ่มค่าการรับแรงอัดของชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ทดสอบสูงกว่าชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 3% และ 5% โดยน้ำหนักรายละเอียดผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าที่ระยะการบ่ม 7 วันยิ่งเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ลงไปจะส่งผลให้ ค่ากำลังอัดแกนเดียวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยิ่งระยะเวลาบ่มมากขึ้น ค่ากำลังอัดแกนเดียวจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ที่เวลาบ่ม 7 วัน

ก้อนตัวอย่าง	เวลาบ่ม (วัน)	OPC (%)	UCS (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ksc)
1	7	3	17.59	19.34	1.63
2	7	3	19.60		
3	7	3	20.82		
4	7	5	22.04	45.28	21.75
5	7	5	48.63		
6	7	5	65.17		
7	7	7	83.54	70.47	8.33
8	7	7	93.54		
9	7	7	100.08		

ผลการทดสอบ UCS ของชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 3% 5% และ 7% โดยน้ำหนักดังตารางที่ 4.7 ถึง 4.9 และรูปที่ 4.9 พบว่าค่ารับแรงอัดแกนเดียวที่ระยะเวลาบ่ม 14 วันเท่ากับ 21.75 ksc 52.48 ksc และ 93.54 ksc ตามลำดับที่ระยะเวลาบ่ม 28 วันเท่ากับ 22.40 ksc 60.23 ksc และ 100.08 ksc ตามลำดับจากผลทดสอบชุดตัวอย่างใช้เพื่ออ้างอิงแนวโน้มค่ารับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่มมากขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดของชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% โดยน้ำหนักและระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน มีค่ารับแรงอัดสูงที่สุดแสดงให้เห็นที่ระยะการบ่ม 7 วัน ยิ่งเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ลงไป จะส่งผลให้ ค่ากำลังอัดแกนเดียวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยิ่งระยะเวลาบ่มมากขึ้นค่ากำลังอัดแกนเดียวจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ที่เวลาบ่ม 14 วัน

ก้อนตัวอย่าง	เวลาบ่ม (วัน)	OPC (%)	UCS (ksc)
1	14	3	21.75
2	14	5	52.48
3	14	7	93.54

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ที่เวลาบ่ม 28 วัน

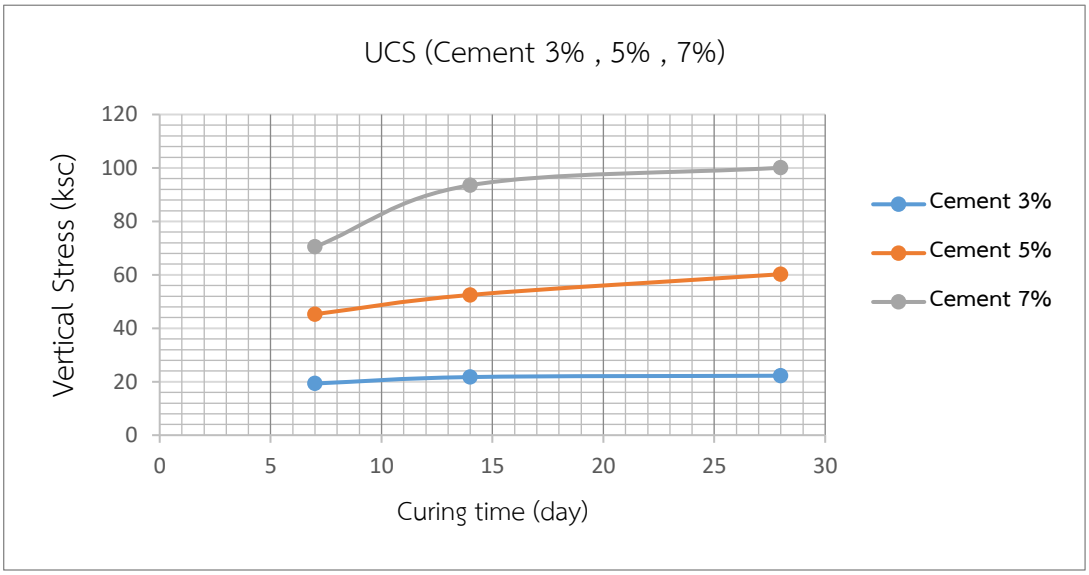
ก้อนตัวอย่าง	เวลาบ่ม (วัน)	OPC (%)	UCS (ksc)
1	28	3	22.40
2	28	5	60.23
3	28	7	100.08

4.2.2 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช

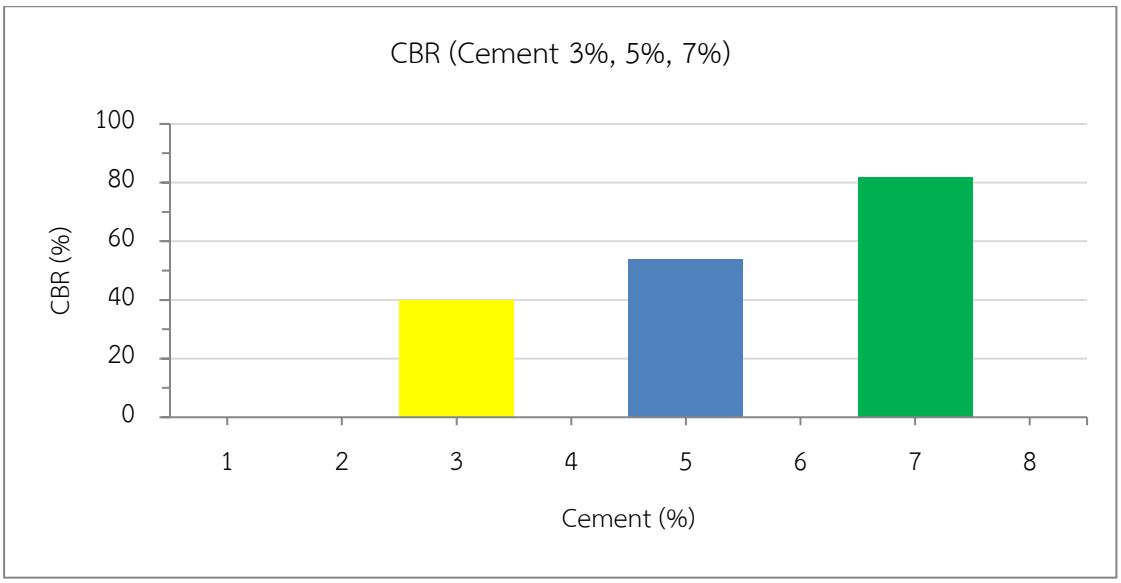
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์

อัตราส่วน	OPC (%)	UCS (ksc)			CBR (%)
		7 วัน	14 วัน	28 วัน	
1	3	19.34	21.75	22.24	40
2	5	45.28	52.48	60.23	54
3	7	70.47	93.54	100.48	82

จากผลทดสอบดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.9-4.10 พบว่าอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตกับปูนซีเมนต์พบว่า ที่ระยะการบ่ม 7 วัน ซีเมนต์ 7 % จะให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 70.47 ksc ที่ระยะการบ่ม 14 วันเท่ากับ 93.54 ksc ที่ระยะเวลา 28 วันเท่ากับ 100.48 ksc และ CBR เท่ากับ 82 เป็นที่ ค่าสูงสุดค่าดัชนีกำลังอัด



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบ UCS ของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.10 ผลการทดสอบ CBR ของอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตและปูนซีเมนต์

ผลทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา ที่เวลาบ่ม 7 วันจะใช้เป็นค่าที่นำไปใช้งานก่อสร้างทางหลวง และใช้ชุดตัวอย่างทดสอบที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วันเป็นค่าอ้างอิงแนวโน้มค่ากำลังที่เวลาบ่ม 14 และ 28 วันผลทดสอบค่ารับแรงอัดของชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมปูนซีเมนต์ 3% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ตามลำดับ ที่เวลาบ่ม 7 วันเท่ากับ 14.53 ksc 11.05 ksc 3.53 ksc ตามลำดับจากผลทดสอบแสดงให้เห็นค่าการรับแรงอัดของชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 3% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์มีค่าการรับแรงอัดสูงที่สุด ผลทดสอบค่าการรับแรงอัดของชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมปูนซีเมนต์ 5% ของแอสฟัลต์ผสมน้ำยาง 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ที่เวลาบ่ม 7 วันเท่ากับ 22.09 ksc 20.77 ksc และ 10.22 ksc ตามลำดับจากผลทดสอบแสดงให้เห็นค่าการรับแรงอัดของชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% ของแอสฟัลต์มีค่ารับแรงอัดสูงสุด และจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา ผลการทดสอบค่าการรับแรงอัดของชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ตามลำดับที่เวลาบ่ม 7 วันเท่ากับ 23.89 ksc, 21.40 ksc และ 16.46 ksc จากผลทดสอบชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางธรรมชาติ 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์มีค่าการรับแรงอัดสูงสุด

จากผลทดสอบการับน้ำหนักแกนเดียวของชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์มีค่าการรับแรงอัดสูงกว่า 3% และ 5% สำหรับชุดตัวอย่างที่ผสมน้ำยางธรรมชาติ 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ดังตารางที่ 4.11 พบว่า ค่าการรับแรงอัดแกนเดียวสูงกว่าชุดตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพารา 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์เมื่อเปรียบเทียบชุดตัวอย่างทดสอบที่ผสมปูนซีเมนต์และน้ำยางพารา ชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์จะมีค่าการรับแรงอัดแกนเดียวสูงสุด

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยผลการทดสอบ UCS แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์และน้ำยางพารา เวลาบ่ม 7 วัน

ก้อนตัวอย่าง	เวลาบ่ม (วัน)	OPC (%)	น้ำยางพารา (%)	UCS (ksc)	ค่าเฉลี่ย (ksc)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ksc)
1	7	3	5	9.36	14.53	8.33
2	7	3	5	15.73		
3	7	3	5	18.48		
4	7	3	10	11.53	11.05	1.92
5	7	3	10	8.94		
6	7	3	10	12.68		
7	7	3	15	3.26	3.56	0.45
8	7	3	15	3.35		
9	7	3	15	4.08		
10	7	5	5	22.60	22.09	0.61
11	7	5	5	22.36		
12	7	5	5	21.45		
13	7	5	10	21.34	20.77	1.70
14	7	5	10	18.85		
15	7	5	10	22.11		
16	7	5	15	10.48	10.22	1.73
17	7	5	15	11.81		
18	7	5	15	8.37		
19	7	7	5	18.48	23.89	6.35
20	7	7	5	30.88		
21	7	7	5	22.33		
22	7	7	10	21.29	21.40	1.16
23	7	7	10	20.29		
24	7	7	10	22.61		
25	7	7	15	15.17	16.46	9.14
26	7	7	15	26.18		
27	7	7	15	8.03		

ผลทดสอบการรับแรงอัดแกนเดียวของชุดตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา ที่การบ่ม 14 วันชุดตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ดังตารางที่ 4.12-4.13 ค่าการรับแรงอัดสูงที่สุดเท่ากับ 28.72 ksc ที่การบ่ม 28 วัน ตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% และ 10% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ตามลำดับ ค่าการรับแรงอัดเท่ากับ 28.42 ksc และ 28.44 ksc เป็นค่าที่ใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.12- 4.13 จะเห็นว่า ที่ระยะการบ่ม 7 วัน ยิ่งเพิ่มปริมาณซีเมนต์ลงไป จะส่งผลให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเพิ่มขึ้น และหากเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราลงไป จะทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวลดลง

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ UCS แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์และน้ำยางพาราเวลาบ่ม 14 วัน

ก้อนตัวอย่าง	เวลาบ่ม (วัน)	OPC (%)	น้ำยางพารา (%)	UCS (ksc)
1	14	3	5	19.76
2	14	3	10	16.68
3	14	3	15	5.04
4	14	5	5	25.46
5	14	5	10	24.67
6	14	5	15	13.45
7	14	7	5	28.72
8	14	7	10	24.24
9	14	7	15	19.42

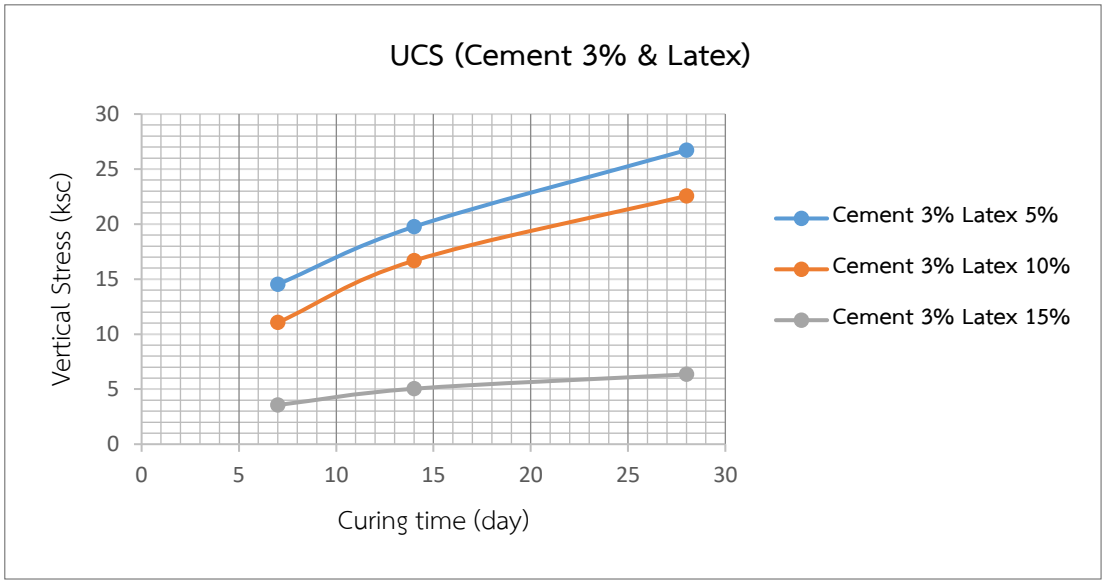
ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ UCS แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์และน้ำยางพาราเวลาบ่ม 28 วัน

ก้อนตัวอย่าง	เวลาบ่ม (วัน)	OPC (%)	น้ำยางพารา (%)	UCS (ksc)
1	28	3	5	26.72
2	28	3	10	22.56
3	28	3	15	6.34
4	28	5	5	28.42
5	28	5	10	28.44
6	28	5	15	18.24
7	28	7	5	33.52
8	28	7	10	28.31
9	28	7	15	25.65

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา

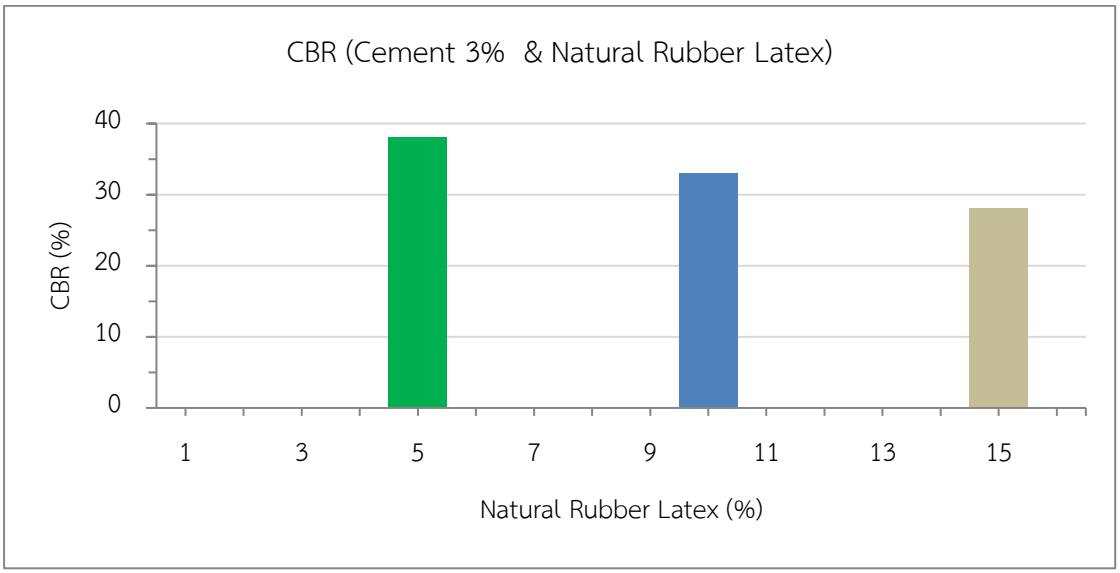
อัตราส่วน	OPC (%)	ยางพารา (%)	UCS (ksc)			CBR (%)
			7 วัน	14 วัน	28 วัน	7 วัน
1	3	5	14.53	19.76	26.72	38
2	3	10	11.05	16.68	22.56	33
3	3	15	3.56	5.04	6.34	28
4	5	5	22.09	25.46	28.42	40
5	5	10	20.77	24.67	28.44	35
6	5	15	10.22	13.45	18.24	32
7	7	5	23.89	28.72	33.52	42
8	7	10	21.40	24.24	28.31	40
9	7	15	16.46	19.42	25.65	34

จากตารางที่ 4.10 อัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา จะเห็นว่า ที่ระยะการบ่ม 7 วัน ซีเมนต์ 7% น้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์จะให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 23.89 ksc และ %CBR เท่ากับ 42 เป็นค่าสูงที่สุด

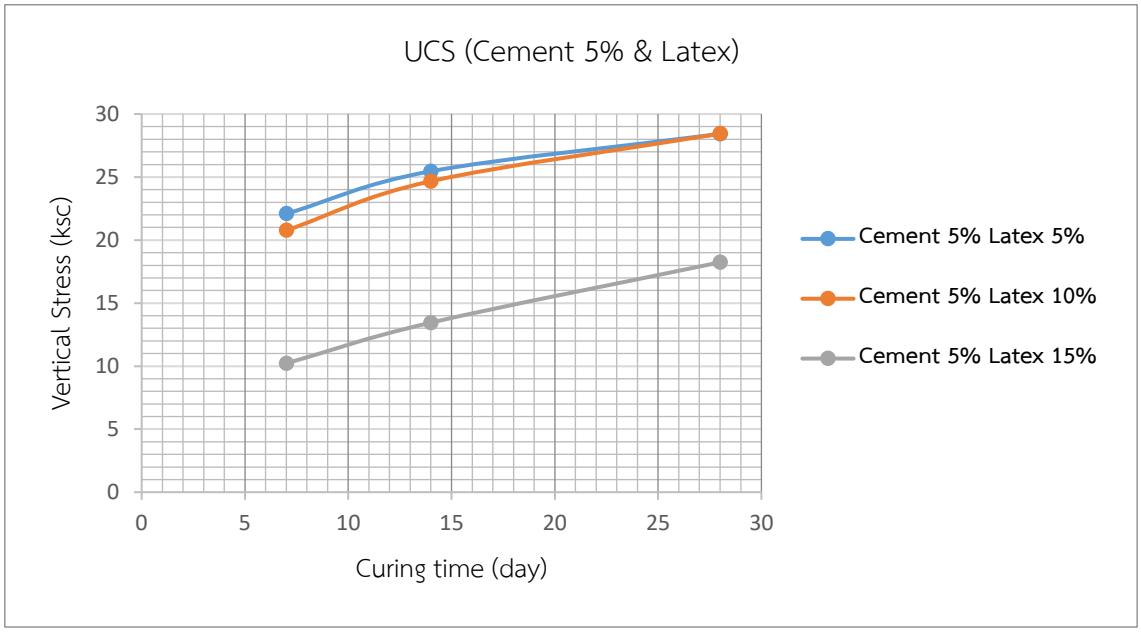


รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบ UCSของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ร้อยละ 3 โดยแปรผันน้ำยางพารา

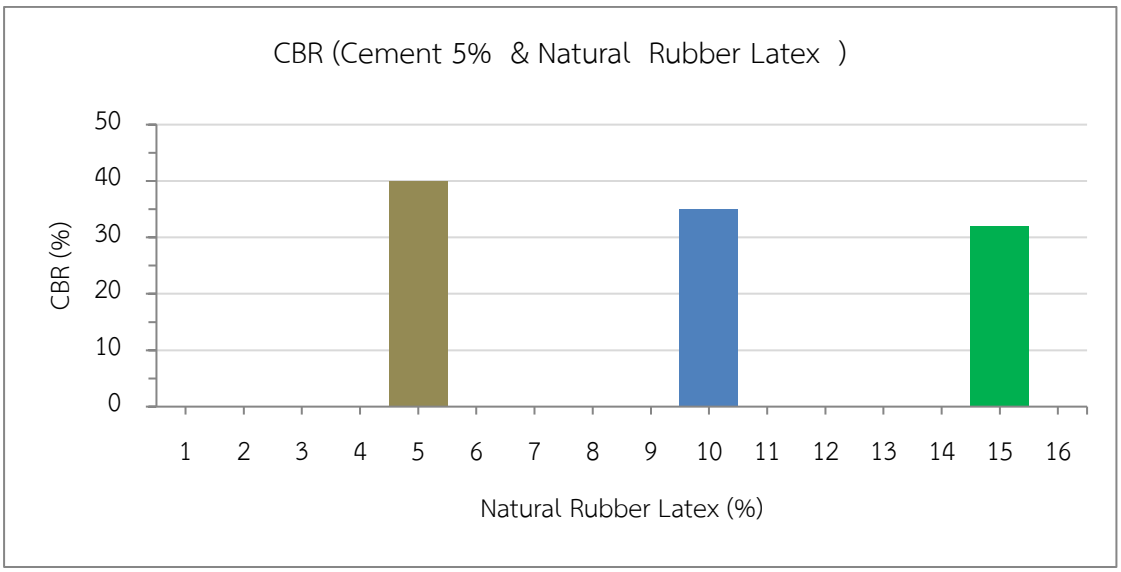
รูปที่ 4.11 ผลการทดสอบ UCS ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 3% โดยแปรผันน้ำยางพารา



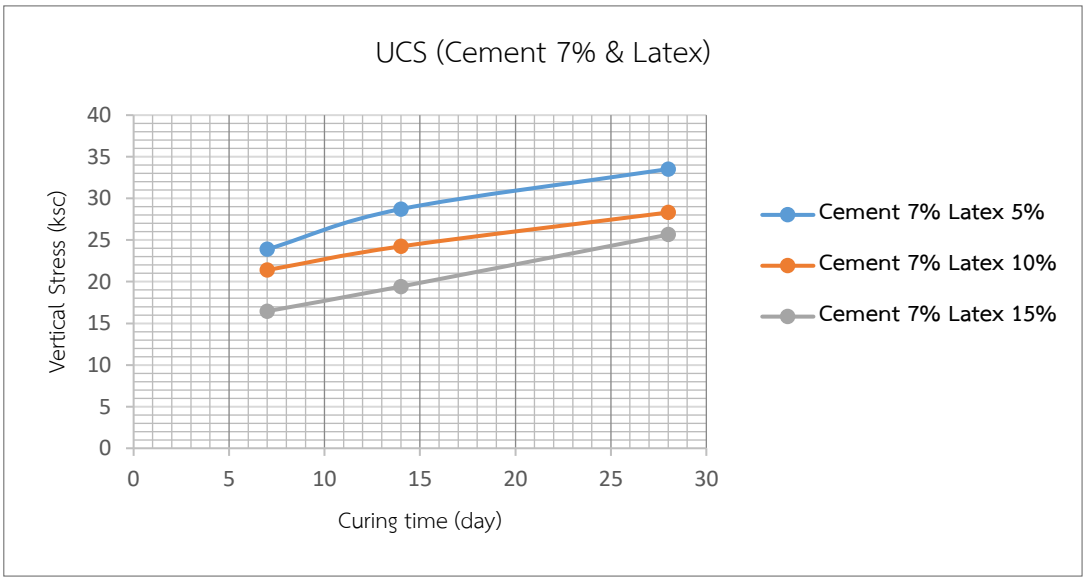
รูปที่ 4.12 ผลการทดสอบ CBR แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ 3% โดยแปรผันน้ำยางพารา



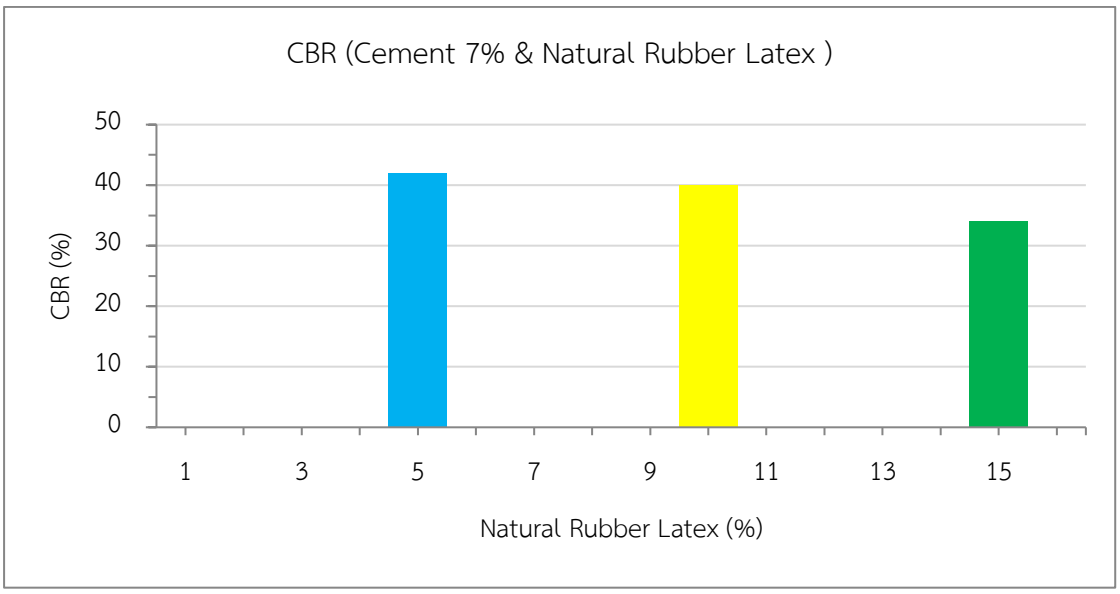
รูปที่ 4.13 ผลการทดสอบ UCS แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ 5% โดยแปรผันน้ำยางพารา



รูปที่ 4.14 ผลการทดสอบ CBR แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ 5% โดยแปรผันน้ำยางพารา



รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบ UCS แอสฟัลต์คอนกรีตผสมปูนซีเมนต์ 7% โดยแปรผันน้ำยางพารา



รูปที่ 4.16 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 7% โดยแปรผันน้ำยางพารา

4.3 ผลการทดสอบถนนยางพาราที่สร้างเสร็จแล้วในภาคสนาม

การทดสอบในภาคสนามบนผิวทางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางธรรมชาติ 5% และ 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ดังตารางที่ 4.15-4.17 พบว่าค่าผลทดสอบ Plate bearing Test รับน้ำหนักได้ 20 t/m^2 ทั้งสองอัตราส่วนผสม ค่าการทดสอบการต้านทานการลื่นไถลของผิวทางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% และ 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์ เท่ากับ 85 BPN และ 103 BPN ตามลำดับ สำหรับค่าการทดสอบโดยวิธี Coring พบว่าค่าการรับน้ำหนักของผิวทางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% และ 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์เท่ากับ 111.56 ksc และ 112.54 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 ผลทดสอบการรับน้ำหนักของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา

รายการที่ทดสอบ	**Bearing Capacity (t/m^2)**	**Sattlement (mm)**
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5%	20	1.15
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10%	20	0.735

ตารางที่ 4.16 ผลทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

รายการที่ทดสอบ	**ค่าการลื่นไถล (BPN)**
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์	85
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์	103

ตารางที่ 4.17 ผลทดสอบตัวอย่างจากวิธีการ Coring

รายการที่ทดสอบ	**ค่ากำลังรับแรงอัด ksc**
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์	111.56
ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10% ของน้ำหนักยางแอสฟัลต์	112.54

เปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับรายละเอียดผลการวิจัยที่ผ่านมาโดยจากการทบทวนวรรณกรรมดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยกับงานวิจัยอื่น

การศึกษา	**ผลที่ได้จากการศึกษา**	**ผลการศึกษาจากข้อมูลการทบทวนวรรณกรรม**	**เปรียเทียบผลการศึกษา**
1. คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมน้ำยางธรรมชาติ	1.จากการศึกษพบว่าอัตราส่วนผสมยางแอสฟัลต์กับน้ำยางธรรมชาติ 90:10 ให้ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมสูงสุด	1. จากผลการศึกษาใช้อัตราส่วนผสมยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางธรรมชาติ 91: 9 ให้ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมสูงสุด	1. ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ได้อัตราส่วนผสมที่มากกว่าจึงเป็นการลดการใช้ยางแอสฟัลต์เพิ่มการใช้น้ำยางธรรมชาติ
2. แอสฟัลต์ที่รื้อจากผิวทางเดิมกลับมาใช้ ใหม่ผสมน้ำยางพารา	2. จากการศึกษาพบว่าใช้แอสฟัลต์จากผิวทางเก่าผสมปูนซีเมนต์ 7% ผสมน้ำยางธรรมชาติ 5% ให้ค่าการรับแรงอัดสูงที่สุด	2. มีการศึกษาการใช้แอสฟัลต์จากผิวทางเก่าผสมด้วยปูนซีเมนต์ 1:1 แต่ยังไม่มีการใช้น้ำยางผสม	2. การศึกษาการใช้แอสฟัลต์จากผิวทางเก่าผสมด้วยน้ำยางพาราช่วยปรับปรุงคุณภาพทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์จากผิวทางเก่าให้สูงขึ้น

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวิจัยกับงานวิจัยอื่น

การศึกษา	ผลที่ได้จากการศึกษา	ผลการศึกษาจากข้อมูลการทบทวนวรรณกรรม	เปรียบเทียบผลการศึกษา
3. การทดสอบถนนที่ผสมน้ำยางพาราที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ	2. พบว่าค่าทดสอบ Plate Bearing 20 t/m^2 ค่า Skid Resistance 103 BPN และตัวอย่างที่เจาะ 82.82 ksc โดยผิวทางก่อสร้างแล้ว 2 ปี ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง	2. กรมทางหลวงได้ทดสอบบนถนนสายองครักษ์ -นครนายก ที่ระยะ 3 และ 6 เดือน ทดสอบหาค่าเสถียรภาพ และหาค่าSkid Resistance สูงกว่ามาตรฐานการกรมทางหลวง	3. การทดสอบผ่านมาตรฐานกรมทางหลวง โดยที่ศึกษาได้ทดสอบสอบที่ระยะเวลา 2 ปี มากกว่ากรมทางหลวงทดสอบที่ระยะ 6 เดือน แสดงถึงระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนานแต่ผิวทางยังมีความแข็งแรง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 ผลการทดสอบแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

จากผลการทดสอบเพนิเทรชั่นค่าการจมของเข็มของชุดตัวอย่างทดสอบที่อัตราส่วน 100:0 ซึ่งเป็นยางแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพาราเท่ากับ 65.67 (mm/100) เมื่อผสมเพิ่มอัตราส่วนน้ำยางพาราตั้งแต่อัตราส่วน 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 ตามลำดับค่าการจมของเข็มมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 60.33 (mm/100) 55.67 (mm/100) 47.67 (mm/100) และ 44.67 (mm/100) ตามลำดับจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นค่าการจมของเข็มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราซึ่งค่าการจมของเข็มต่ำสุดที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 80:20 ค่าการจมของเข็มเท่ากับ 44.67 (mm/100) จากผลทดสอบตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารานั้นเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราจะส่งผลให้ยางแอสฟัลต์มีความแข็งมากยิ่งขึ้น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกรมทางหลวงค่าการจมของเข็มอยู่ระหว่าง 60 (mm/100) ถึง 70 (mm/100) ค่าการจมของเข็มจากผลการทดสอบต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางหลวง เมื่อพิจารณาในด้านความแข็งแรง ชุดทดสอบที่ผสมน้ำยาพาราแข็งแรงเพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบจุดวาบไฟของตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยางพาราจุดวาบไฟที่อุณหภูมิ 319 °C จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางในอัตราส่วน 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 ตามลำดับจุดวาบไฟของวัสดุมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 316.37 °C 309.67 °C 306.00 °C ตามลำดับและต่ำสุดที่ อุณหภูมิ 296.70 °C เมื่อผสมปริมาณน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 80:20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราจะทำให้อุณหภูมิของจุดวาบไฟต่ำลง เปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมทางหลวงอุณหภูมิจุดวาบไฟที่กำนดให้ต้องไม่น้อยกว่า 232 °C จากผลการทดสอบชุดตัวอย่างผ่านมาตรฐานทั้งหมด

จากผลการทดสอบจุดอ่อนตัวของตัวอย่างจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราในอัตราส่วน 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 ตามลำดับอุณหภูมิจุดอ่อนตัวของวัสดุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเท่ากับ 42 °C 45.5 °C 51 °C และ 55.25 °C สูงสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 57.25°C ตามลำดับเมื่อผสมน้ำยางจากนั้นอุณภูมิจุดอ่อนตัวจึงลดลงเมื่อผสมปริมาณน้ำยางพาราอยู่ที่อัตราส่วน 80:20 ซึ่งจากแอสฟัลต์ไม่ผสมน้ำยางพาราจะมีอุณหภูมิจุดอ่อนตัวอยู่ที่ 42 °C แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราลงไปจะทำให้อุณภูมิจุดอ่อนตัวมีค่าที่สูงขึ้น ทำให้ตัวอย่างสามารถทนความร้อนได้เพิ่มขึ้น เปรียบมาตรฐานกรมทางหลวงอุณหภูมิจุดอ่อนตัวต้องไม่น้อยกว่า 45 °C ชุดตัวอย่างทดสอบที่ผสมน้ำยางพาราผ่านมาตรฐานทั้งหมด

จากผลการทดสอบการยืดตัวของตัวอย่างเริ่มมีการยืดตัวสูงขึ้นเมื่อผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 ตามลำดับค่าเฉลี่ยการทดสอบการยืดตัวเท่ากับ 54 cm 73.5 cm 97 cm 44 cm และ 36.70 cm ตามลำดับแสดงให้เห็นค่าเฉลี่ยการยืดตัวของแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารามีแนวโน้มค่าการยืดตัวสูงขึ้นตั้งแต่อัตราส่วนผสมที่ 100:0 95:5 สูงสุดที่ 97 cm เมื่อผสมด้วยยางพาราที่อัตราส่วน 90:10 และค่าค่าการยืดตัวจะลดลงเรื่อยค่าต่ำสุดเมื่อผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 80:20 ค่าการยืดตัวเท่ากับ 36.77 cm นำมาเปรียบเทียบค่าการยืดตัวมาตรฐานกรมทางหลวงมีค่าการยืดตัวไม่น้อยกว่า 50 cm แอสฟัลต์ที่ผสมยางพาราอัตราส่วน 95:5 และ 90:10 ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงและเมื่อส่วนผสมมากกว่า 85:15 จะมีค่าการยืดตัวต่ำกว่ามาตรฐานกรมทางลวง

จากผลการทดสอบค่าการหลุดลอกของแอสฟัลต์ที่อัตราส่วน 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 ตามลำดับค่าการหลุดลอก 19.80% 17% 12% 9% และ 7% ตามลำดับแสดงให้เห็นแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพาราค่าการหลุดลอกมากที่สุด เมื่อผสมน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นค่าการหลุดลอกจะมีแนวโน้มลดลงแสดงให้เห็นว่าการผสมน้ำยางพาราจะเพิ่มประสิทธิภาพการยึดเกาะของแอสฟัลต์ซึ่งเป็นวัสดุประสานกับมวลรวมให้มีการหลุกลอกน้อยลงซึ่งค่าการหลุดลอกน้อยสุดเมื่อผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 80:20 นำมาเปรียบเทียบมาตรฐานกรมทางหลวงค่าการหลุดลอกไม่เกิน 20% ชุดตัวอย่างทดสอบผ่านมาตรฐานทั้งหมด

จากผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลตัวอย่างที่ผสมน้ำยางพาราโดยใช้อัตราส่วน 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 20 ตามลำดับค่าเสถียรภาพการรับน้ำหนักอยู่ในช่วง 2553 lbs ถึง 2639.20 lbs ตั้งแต่อัตราส่วนผสมน้ำยางพาราเท่ากับ 100:0 และมีค่าสูงสุดโดยค่าเสถียรภาพการรับน้ำหนักต่ำสุดเมื่ออัตราส่วนผสมเท่ากับ 85:15 ผลการทดสอบค่า Density ค่าการทดสอบมีแนวโน้มสูงขึ้นจากอัตราส่วน 100:0 เท่ากับ 2.49 g/ml และสูงที่สุดที่อัตราส่วนผสม 90:10 เท่ากับ 2.50 g/ml และความหนาแน่นจะลดลงตั้งแต่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 85:15 ซึ่งค่าความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ 2.48 g/ml ผลทดสอบการไหลของแอสฟัลต์ที่ผสมด้วยน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 100:0, 95:5, และ 90:10 ค่าผลทดสอบการไหลมีแนวโน้มสูงขั้นตามลำดับเท่ากับ 13.4 mm 15.6 mm 17.81 mm 19.56 mm 22.30 mm ตามลำดับจากผลทดสอบค่า ค่าความหนาแน่น, ค่าเสถียรภาพการรับน้ำหนัก, ค่าการไหล นำมาเปรียบเทียบมาตรฐานกรมทางหลวง ค่าความหนาแน่นมาตรฐานกรมทางหลวงเท่ากับ 2.48 g/ml ค่าความหนาแน่นจากผลการทดสอบผ่านมาตรฐานทั้งหมดมาตรฐานค่าเสถียรภาพการรับน้ำหนักกรมทางหลวงเท่ากับ 1800 lbs ตัวอย่างนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อีกทั้งค่าการไหลของตัวอย่างทั้ง 5 ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นตัวอย่างที่ผสมระหว่างแอสฟัลต์และน้ำยางพาราที่ใช้ในการทดสอบยังคงให้ผลจากทดลองแอสฟัลต์

คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานทางหลวงค่าเสถียรภาพไม่น้อยกว่า 1800 lbs ค่า Density ไม่น้อยกว่า 2.48 g/ml และค่าการไหลอยู่ระหว่าง 7 ถึง 18 mm มาตรฐานค่าการไหลกรมทางหลวงอยู่ในช่วง 7-18 mm ผลการทดสอบค่าการไหลผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงทั้งหมด

จากผลการทดสอบค่าเพนิเทรชั้น ค่าการจุดวาบไฟ ค่าอ่อนตัว ค่าการยืดสตัว ค่าการหลุดล่อนและการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการทดสอบของแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพารสูงกว่าแอสฟัลต์ที่ไม่ผสมน้ำยางพาราและเมื่อพิจารณาจากผลที่ได้ยังพบว่าแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 90:10 จะส่งผลให้คุณสมบัติของแอสฟัลต์มีประสิทธิภาพสูงสุดผู้วิจัยจึงใช้อัตราส่วนดังกล่าวไปใช้งานก่อสร้างผิวทางจริงต่อไป

5.1.2 ผลการทดสอบยางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับน้ำยางพารา

จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว เมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ 3% 5% และ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ตามลำดับพบว่าทุกตัวอย่างแอสฟัลต์ที่ผสมปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ที่ระยะบ่ม 7 วันมีค่าการรับแรงอัดแกนเดียวสูงสุดเท่ากับ 70.47 ksc สำหรับอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสม 3% 5% และ 7% น้ำหนักแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา 5% 10% และ 15% ของน้ำหนัดแอสฟัลต์พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราลงไปทำให้ค่ากำลังอัดที่ได้ลดลง และจากการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดกับปริมาณปูนซีเมนต์ พบว่าการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ลงไปทำให้ค่ากำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตกับปูนซีเมนต์ จากผลทดสอบค่าการรับแรงอัดสูงที่สุดที่ระยะเวลาบ่ม 7 วันเท่ากับ 23.89 ksc. โดยใช้ปูนซีเมนต์ 7% น้ำยางพารา 5% ผสมแอสฟัลต์ จากผลการทดสอบจะใช้ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน เนื่องจากเป็นค่าใช้งานก่อสร้างทางหลวง ผู้วิจัยจึงเพิ่มชุดทดสอบเพื่อไว้อ้างอิงแนวโน้มการรับแรงอัดที่ระยะเวลาบ่ม 14 และ 28วัน จากมาตรฐานกรมทางหลวง จะกำหนดให้ค่า UCS ของวัสดุที่ใช้สำหรับชั้นพื้นทางต้องมากกว่า 17.5 ksc จากผลการทดสอบพบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ และประเด็นสำคัญคือ การบดอัดและการผสมส่วนผสมต่างๆให้เข้ากัน หากกระทำในภาคสนามน่าจะทำได้ดีเพราะทำโดยเครื่องมือเครื่องจักรหนัก สำหรับประเด็นเรื่องต้นทุนการก่อสร้าง ได้เปรียบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุพื้นทางแบบเดิมคือ หิน ซึ่งได้มากจากการระเบิดภูเขา ทำลายธรรมชาติและปัจจุบันหินเริ่มขาดแคลน การนำวัสดุใช้แล้วมาใช้ใหม่โดยผสมซีเมนต์จึงเป็นทางเลือกในการลดปัญหาจากการกำจัดวัสดุ การขนย้ายวัสดุไปทิ้งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุ และการขาดแคลนวัสดุทรัพยากรธรณีในการทำถนน

จากการทดสอบ California Bearing Ratio เมื่อพิจารณาอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตกับปูนซีเมนต์ 3% 5% และ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ตามลำดับเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์

ลงไปทำให้ค่า %CBR เพิ่มขึ้นเท่ากับ 82% ที่ส่วนผสมปูนซีเมนต์ 7% สำหรับอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ และน้ำยางพารา 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์ผลการทดสอบค่า CBR สูงสุดเท่ากับ 42% ที่อัตราส่วนผสม 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์การเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราลงไปทำให้ค่า CBR ลดลงต่ำสุดที่อัตราส่วนผสม 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์และจากการวิเคราะห์ค่า CBR กับปริมาณปูนซีเมนต์ พบว่า การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จะทำให้ค่า CBR ค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับอัตราส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตกับปูนซีเมนต์

จากการศึกษาค่า CBR มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่า UCS โดยอัตราส่วนผสมที่ทดสอบได้ทั้งสองค่าสูงสุด ในชุดการทดสอบที่ 1 คือ อัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตกับปูนซีเมนต์ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์และสำหรับในชุดการทดสอบที่ 2 คือ อัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต ปูนซีเมนต์ 7% และน้ำยางพารา 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์คอนกรีต ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงมากที่จะนำยางพารามาใช้ในก่อสร้างถนนในชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางซึ่งจะสามารถทำให้มีการนำยางพารามาใช้ในปริมาณที่มาก จากผลทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนที่ผสมยางพารานั้นมีอัตราส่วนที่ผสมแล้วมีค่า CBR ใกล้เคียงได้แก่ ส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่ 5% และ 7% ของน้ำหนักแอสฟัลต์คอนกรีตนำมาผสมยางพารา 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักแอสฟัลต์คอนกรีตตามลำดับ โดยพิจารณาการใช้น้ำยางเพื่อสนับสนุนการใช้ยางพาราในประเทศให้มากขึ้นนั้น เป็นทางเลือกให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้พิจารณาต่อไป

การทดสอบในภาคสนามซึ่งได้ทดสอบบนผิวทางที่ก่อสร้างบริเวณทางเข้ามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษกร์ธานี การทดสอบในภาคสนามโดยทดสอบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพาราส่วนผสมที่ 95:5 และ 90:10 ผลทดสอบหาการรับน้ำหนักวิธี Plate bearing Test และ Coring Test พบว่าถนนยางพาราที่ผสมยางพารา 5% และ 10% ของยางแอสฟัลต์สามารถรับน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อย 20 t/m^2 ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงกำหนด ซึ่งความหนาของถนนยางพาราเป็นไปตามที่ออกแบบ 5 cm และค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (Skid Resistance) เท่ากับ 84-86 British Pendulum Number (BPN) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง.ที่ 65 BPN

เมื่อพิจารณาทุกการทดสอบแล้วสามารถสรุปได้ว่ายางแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 90:10 เป็นอัตราส่วนที่เพิ่มประสิทธิภาพของยางแอสฟัลต์มากที่สุดสามารถนำมาใช้งานได้จริงผ่านเกณฑ์ตามที่กรมทางหลวงกำหนด พิจารณาการใช้แอสฟัลต์คอนกรีตที่รื้อจากผิวทางเก่า ผสมกับปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วน 7% และผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วน 5% ของน้ำหนักแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอัตราส่วนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่รื้อจากผิวทางเดิมผสมปูนซีเมนต์และยางพารา มีประสิทธิภาพสูงสุดจากผลการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พบว่าการใช้แอสฟัลต์คอนกรีตผสมกับน้ำ

ยางพาราที่อัตราส่วน 90:10 มาใช้ก่อสร้างผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่ากว่าผิวทางที่ใช้ยางแอสฟัลต์ AC60/70 รวมทั้งงานก่อสร้างทางหลวงโดยมุ่งใช้วัสดุเก่าจากผิวทางกลับมาใช้ใหม่ โดยเฉพาะการซ่อมผิวทางส่วนใหญ่มีการใช้วัสดุจากการรื้อผิวทางเก่ามาผสมปูนซีเมนต์กลับมาใช้ก่อสร้างผิวทางใหม่ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดโดยใช้วัสดุที่รื้อจากผิวทางเก่ามาผสมปูนซีเมนต์และผสมน้ำยางพาราจากผลการทดสอบสามารถยืนยันการนำมาใช้ก่อสร้างชั้นทางและปูผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1.ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้งาน

- การปรับปรุงการผสมระหว่างยางแอสฟัลต์กับน้ำยางพาราที่ผสมต้องระมัดระวังเนื่องจากเกิดการเดือดของน้ำยางพาราเมื่อผสมเกิดอันตรายต่อผู้ที่ผสมได้จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่ป้องกัน
- ควรนำงานวิจัยไปใช้งานโดยเฉพาะท้องถิ่นที่มีน้ำยางพาราอยู่แล้วโดยการสอนวิธีการผสมและให้หน่วยงานปกครองท้องถิ่นนำไปใช้ได้ง่าย
- ควรเพิ่มปริมาณการใช้ถนนยางพาราในการก่อสร้างและงานบำรุงทางให้มากยิ่งขึ้น

5.2.2 ข้อเสนอแนะในการนำไปวิจัยในอนาคต

- ในการนำไปวิจัยต่อไปควรพิจารณาการนำไปใช้งานซ่อมผิวทาง
- การวิจัยในอนาคตควรพิจารณาการใช้วัสดุมวลรวมจากผิวทางเก่าที่รื้อมาปรับปรุงผิวทางใหม่ผสมน้ำยางพาราให้สามารถใช้งานแบบยั่งยืน

บรรณานุกรม

กตัญญู จิตตะกาญจน์. 2554. “การออกแบบและทดสอบถนนลาดยาง.” กรณีศึกษาจังหวัดสงขลา 11 มีนาคม 2554.

การยางแห่งประเทศไทย. 2554. “ผลิตภัณฑ์ยาง.” กรุงเทพมหานคร.

กรมชลประทาน. 2560 “การใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์กับงานลาดยางผิวถนน” สืบค้นเมื่อ 5 มีนาคม 2561 http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/engineer14/pararoad.pdf

กรมทางหลวง กองวิเคราะห์และวิจัย. 2559. “แอสฟัลต์คอนกรีต.”สืบค้นเมื่อ 21 เมษายน 2560 http://www.doh.go.th/spaw2/uploads/files/menu1/01/dhs408-32.pdf.

กรมทางหลวง, 2543 “การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่.”สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2558 http://www.doh.go.th/spaw2/uploads/files/menu1/01/dhs213-43.pdf.

กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยยาง. 2558. “ผลผลิตยางธรรมชาติ.”

กฤษฎา โภคากร และ บารมี สิริโสภณวัฒนา. 2557. “การใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์กับงานลาดยางผิวถนน.” กรมชลประทาน.

จิรพัฒน์ โชติกไกร. 2549. “การออกแบบทาง.” พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 362หน้า.

ชุมชนคนรักการศึกษา. 2560. “ประเภทของปูนซีเมนต์.” สืบค้นเมื่อ 16 ธันวาคม 2562 https://blog.eduzones.com/whet/3384

ธงชัย รุ่งเรือง. 2556. “การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นิรชร พึ่งแดง. 2550. “การทดสอบวัสดุการทาง Highway Materials Testing.”สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น), พิมพ์ครั้งที่ 1 กุมภาพันธ์ 2550

บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. “ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์” คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี หน้า 1-3.

พงษ์ธร แซ่อุย. 2556. “ชนิดของยางพาราและงานใช้งาน.” สืบค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2559 http://www.rubbercenter.org/files/technologys.pdf.

พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์, พลชิต บัวแก้ว, อดุลย์ ณ วิเชียร, จรัสศรี พันธุ์ไม้, ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, ปราณี บุญชัย, 2546. “เปรียบเทียบสมบัติของแอสฟัสท์ธรรมดากับแอสฟัสต์ผสมยางธรรมชาติในการสร้างถนน.รายงานผลการวิจัยยางพารา.”12 หน้า

พิชัย ธานีรณานนท์. 2531. “คู่มือทดสอบแอสฟัลต์.” สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พิมพ์ใจ พิสุทธิ์จริยานันท์. 2559. อบจ. ตรัง ทุ่มเกือบ 270 ล้าน. “สร้างถนนยางพาราด้วยยาง 115 ตัน.” พลังเกษตร. 23 กุมภาพันธ์ 2559.

มงคล ดัชนีย์. 2553**.** “กำลังอัดของถนนที่ซ่อมแซมโดยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

มนตรี เดชาสกุลสม. 2555. “โครงการวิจัยก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา.” 2555. กรมทางหลวง.

วรศักดิ์ กนกนุกุลชัย. 2545. “การพัฒนายางมะตอยผสมยางจากเศษยางรถยนต์เก่าเพื่อใช้ในงานก่อสร้างสาธารณูปโภค.” 2545. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.

วราภรณ์ ขจรไยกูล. 2549. “ยางธรรมชาติ การผลิตและการใช้งาน”สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพมหานคร.

วัชรินทร์ วิทยกุล. 2549. “เทคโนโลยีถนนยางมะตอย.” พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัชรินทร์ วิทยกุล. 2551. “แอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับงานถนน.” พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.วารีรัตน์ เพชรสีช่วง.

วิชัย โอภานุกุล. 2548. กรมวิชาการเกษตร. .วิจัยและพัฒนาเครื่องผสมแอสฟัลต์กับยางพารา ยางมะตอยแอสฟัลต์.” สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2561 http://www.siamchemi.com/%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%87%E0%B8%A1%EBB0%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A2/

วิชิต สุวรรณปรีชา. 2548. “การใช้ยางพาราผสมยางมะตอยฉาบผิวถนนเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราในการลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง.” แผนงานการใช้ยางธรรมชาติในงานทางหลวง พ.ศ.2544-2545. กรมทางหลวง

วิชิต สุวรรณปรีชา. 2548. “การใช้ยางพาราผสมยางมะตอยฉาบผิวถนนเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราในประเทศลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง.”

วิสิฐ อัจฉยานนท์กิจ. 2560. ‘ยางแอสฟัลต์.” สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2561 http://www.buildernews.in.th/page.php?a=10&n=176&cno=5233

วิสุทธิ ศุกลรัตน์. 2544. “การทดสอบยางแอสฟัลต์ผสมยางพารา.” วารสารยางพาราปี 21 ฉบับที่1. มกราคม – เมษายน.

สถาบันพลาสติก. 2562. “แผนยุทธศาสตร์ยางพารา 20 ปีตั้งแต่ พ.ศ.2560-2579.” สืบค้นเมื่อ 5 กุมภาพันธ์ 2562 https://www.ryt9.com/s/cabt/3074152

สถาบันวิจัยยาง. 2543. การปรับปรงสมบัติของแอสฟัลต์ด้วยยางธรรมชาติ.

สำนักทางหลวงที่ 2. 2557. การพัฒนาคุณภาพวัสดุแอสฟัลต์. สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2561 http://www.doh.go.th/attach/files/KM/PDF

สำนักข่าวอิศรา 2555. “เล็งสร้างถนนลาดยางแอสฟัลท์ผสมยางธรรมชาตินำร่อง 19 กม.แทนยางมะตอย.”สืบค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2561 http://www.isranews.org/about-us/191-thaireform/16469--19-.html

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์กรมหาชน) 2562. สืบค้นเมื่อ 3 ตุลาคม 2562 http:/www.arda.or.th./para/history.

สำนักทางหลวงที่ 8. 2559. “การบูรณะถนนลาดยางด้วยวิธีหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่โดยใช้โฟมแอสฟัลต์ เป็นวัสดุผสมเพิ่ม.” สืบค้นเมื่อ 15 มกราคม 2561 http://www.doh.go.th/web/hwyorg61000/InPlace%20Recycling.htm.

สุนทร อธิชาติ. 2524. “เทคนิคลดแรงสะท้อนซ้ำซ้อน (Reflective Crack) ในผิวทาง AC ที่ปูทับบนผิวทางคอนกรีต.”2524. กรมทางหลวง

Lavansiri D., Phromsorn C. and Tuntiworawit N. 2005. “The Modification of Asphalt with Natural Rubber Latex” The Eastern Asia Society for Transportation Studies 2005, Vol.5:679-694

Highway Materials Testing Laboratory Department of Civil Engineering Chulalongkorn University. 2560. http://www.civilclub.net/webboard/index.php?topic=7679.0

Hogentogler, C.A. 1938. “Engineering Properties of the Soils” New York. Mc Graw-Hill.pp. 9-18.

Kennedy,J. and Oleson, R.W. 1987.“Mix-in-place recycling with Cement”The Journal of the Institution of Highways and Transportation, vol.34, No.2, pp.5-13.

M.J. Fernando, M.J and Nadarajah, M. 1969. “Use of Natural Rubber Latex in Road Construction” Journal of the Rubber Reaearch Institute of Malaya, Volume 22, Part 5.

Vichitcholchai N., Panmai j. and Na-Ranong N. 2012. “Modification of Asphalt Cement by Natural Rubber for Pavement construction.” Rubber Thai Journal 1.32- 39: 32-39Proctor RR. 1933. Fundamental Principles of Soil Compaction.Engineering News Record. Vol111.

The Shell Company of Thailand Limited, Asphalt Technology.Seminar for Department of Civil.Engineering Faculty of Engineering Prince of Songkla University, 28 August 1992.

Tuntiworawit N, Lavansiri D. “The Modification of Asphalt with Natural Rubber Latex.” The Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 2005: 5:679-694.

Vasavi Swetha D., and K. Durga Rani. 2014. “Effect of Natural rubber on the Properties of Bitumen and Bituminous mixes”. International journal of Civil Engineering and Technology.2014, vol.5:09-21.

Winerkorn, HF.1955.The Scicence of Soil Stabilization.Highway Research Board. Bullatin108. pp.1-24.

Xiao F, Amirkhanian S, Juang CH. 2007. Rutting resistance of rubberized asphalt concrete pavements containing reclaimed aspha’lt pavement mixtures.” Journal of materials in Civil Engineering 19(6) : 475-483.

ภาคผนวก ก
การเตรียมตัวอย่างยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

การเตรียมตัวอย่างยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

อุปกรณ์ที่ใช้

1. เครื่องให้ความร้อน เช่น เครื่องต้มไฟฟ้า เตาแก๊ส
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. ภาชนะใส่วัสดุ เช่น หม้อต้ม แก้วน้ำ
4. ถุงมือยาง
5. อุปกรณ์ไว้สำหรับคนตัวอย่าง
6. เครื่องชั่ง

วัสดุที่ใช้ในการผสมตัวอย่าง

1. แอสฟัลต์ใช้เกรด AC60/70 ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ประเทศไทย
2. น้ำยางพารา (จากต้นยางในท้องถิ่น)

การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักยางแอสฟัลต์ และน้ำยางพาราโดยคิดตามอัตราส่วนตามตาราง ก.1

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนระหว่างยางแอสฟัลต์ AC60/70 ผสมกับน้ำยางพารา

ชุดตัวอย่าง	ปริมาณร้อยละ (โดยน้ำหนัก)	
	แอสฟัลต์ AC60/70	น้ำยางพารา
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20

การผสมยางแอสฟัลต์กับน้ำยางพารา

การผสมยางแอสฟัลต์กับน้ำยางพารานั้น ทำได้โดยการนำยางแอสฟัลต์ไปให้ความร้อนจนละลายเป็นของเหลวก่อน แล้วจึงทำการผสมยางพาราที่เตรียมไว้ลงในยางแอสฟัลต์โดยต้องมีการคนอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ยางแอสฟัลต์และยางพาราผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน และคนเพื่อลดการเกิดฟองฟูที่จะกระเด็นออกมาโดนผู้ทำการผสม และการผสมแอสฟัลต์กับยางพารานั้นจะต้องทำการคนจนกว่า

ฟองอากาศหายไปจนหมด หรืออาจใช้เวลาประมาณ 40-60 นาที ในการผสมที่อุณหภูมิ 180-190 °C จนกระทั่งยางแอสฟัลต์และยางพารากลายเป็นเนื้อเดียวกันแสดงรูปสำหรับขั้นตอนในการผสม

นำยางยางแอสฟัลต์มาชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักยางพาราที่จะผสม

นำน้ำยางพารามาชั่งน้ำหนักตามสัดส่วน

นำน้ำยางพาราใส่ลงในยางแอสฟัลต์และทำการการคนตัวอย่างเพื่อลดการเกิดฟองอากาศ

ตัวอย่างยางแอสฟัลต์กับน้ำยางพาราที่เตรียมเสร็จแล้ว

ภาคผนวก ข

การทดสอบเพนิเทรชันของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ตามมาตรฐาน DH-T403/1975

การทดสอบเพนิเทรชันของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา (Penetration Test)

การทดสอบเพนิเทชันเป็นวิธีการวัดความข้นเหลวของวัสดุบิทูเมน ค่าเพนิเทรชันสูงกว่าบ่งชี้ถึงความข้นเหลวที่อ่อนกว่า

การแบ่งเกรดของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามช่วงมาตรฐานของความข้นเหลว โดยวิธีการทดสอบเพนิเทรชัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 เกรดมาตรฐาน คือ AC 40-50, AC 60-70, AC 85-100, AC 120-150 และ AC 200-300 แต่การทดสอบของโครงงานนี้จะใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามมาตรฐานที่ประเทศไทยใช้แพร่หลายในปัจจุบันคือ AC 60-70 ในการทดสอบ

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบเพนิเทชันของวัสดุยางแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพกึ่งแข็ง (Semi-solid) และสภาพแข็ง (Solid) วัสดุที่มีค่าเพนิเทชันต่ำกว่า 350 สามารถทดสอบได้โดยเครื่องมือมาตรฐานและวิธีการทดสอบตามขั้นตอนที่จะกล่าวต่อไปนี้ ส่วนวัสดุที่มีค่าเพนิเทรชันระหว่าง 350 ถึง 500 จะทดสอบด้วยเครื่องมือที่พิเศษที่ดัดแปลงขึ้นมา

เครื่องมือและวัสดุ

1. เครื่องทดสอบเพนิเทชัน (Penetration Apparatus) ประกอบด้วยแกนเคลื่อนขึ้นลงได้ตามแนวดิ่งสามารถวัดความลึกได้ละเอียด 0.1 มิลลิเมตร มวลรวมเมื่อประกอบเข็มมาตรฐานเข้ากับแกนมีค่า 50±0.05 กรัม และน้ำหนักถ่วงขนาด 50±0.05กรัม รวมน้ำหนัก 100 กรัม ตามกำหนดของการทดสอบรวมกับเข็มมาตรฐาน

2. เข็มมาตรฐาน (Penetration Needle) ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมชุบแข็ง (Stainless Steel) ยาวประมาณ 50.8 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00-1.02 มิลลิเมตร และมีปลายแหลมข้างหนึ่ง มวลรวมของเข็มมาตรฐานกับตัวยึดเท่ากับ 2.50±0.05 กรัม

3. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง (Sample Container) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกก้นแบน ทำด้วยโลหะ

โดย 3.1 สำหรับวัสดุที่มีค่าเพนิเทชันต่ำกว่า 200 มีความจุ 3 ออนซ์

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 55 มิลลิเมตร

ความลึกภายใน 35 มิลลิเมตร

และ 3.2 สำหรับวัสดุที่มีค่าเพนิเทชันในช่วง 200-350 มีความจุ 6 ออนซ์

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 70 มิลลิเมตร

ความลึกภายใน 45 มิลลิเมตร

4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) เป็นอ่างน้ำที่สามารถปรับและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยค่าอุณหภูมิของน้ำคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1°C มีความจุไม่น้อยกว่า 10 ลิตรและมีความโปร่งสูงสำหรับวางตัวอย่าง และต้องให้น้ำท่วมตัวอย่างได้ไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร

5. ภาชนะย้ายตัวอย่าง (Transfer Dish) ควรเป็นภาชนะทรงกระบอกก้นแบนที่มีความจุไม่น้อยกว่า 350 มิลลิเมตร หรือความลึกเพียงพอให้น้ำคลุมท่วมภาชนะบรรจุตัวอย่าง ภาชนะนี้ที่ก้นต้องมีที่กั้นรูปร่างสามขาที่มีหน้าสัมผัส 3 จุด เพื่อป้องกันภาชนะบรรจุตัวอย่างขยับขณะทดสอบ

6. เครื่องจับเวลาที่สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 secโดยอาจจะเป็นโทรศัพท์มือถือ หรือใช้นาฬิกาจับเวลาเพื่อควบคุมการทดสอบก็ได้

7. เทอร์โมมิเตอร์ ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.1°C

8. วัสดุบิทูเมน เช่น แอสฟัลต์ซีเมนต์

9. น้ำสะอาด (น้ำกลั่น)

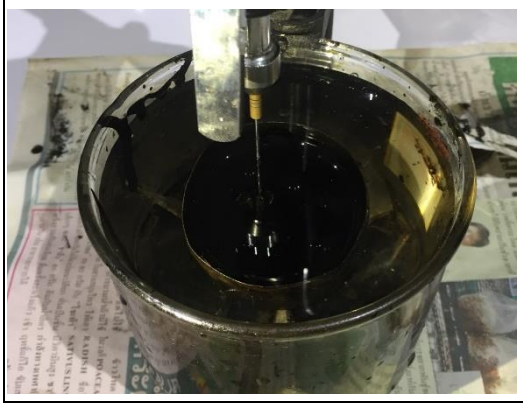
การเตรียมการทดสอบเพนิเทรชันของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

	ทำตัวอย่างให้เหลวด้วยความร้อนสม่ำเสมอ ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่า 90°C และไม่ควรให้จุดใดจุดหนึ่งร้อนมากเกินไปจนทำให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัว และให้ความร้อนต้องไม่นานเกิน 30 นาที หลีกเลี่ยงเพื่อไม่ให้เกิดฟองอากาศในตัวอย่าง
	เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างให้มีปริมาณและความลึกมากพอที่จะทำการทดสอบ แล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิระหว่าง 25–30°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

	แสดงการทิ้งก้อนตัวอย่างให้เย็นที่อุณหภูมิ 25-30°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
	แสดงการแช่ก้อนตัวอย่างในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

	ตรวจสอบเครื่องมือให้พร้อม

	นำภาชนะบรรจุตัวอย่างใส่ลงในภาชนะย้ายตัวอย่าง ซึ่งบรรจุน้ำอยู่เต็ม และทำการวางภาชนบนเครื่องมือทดสอบ
	ปรับเครื่องมือให้เข็มมาตรฐานที่น้ำหนักรวม 100 g. สัมผัสกับผิวของตัวอย่าง และตั้งหน้าปัดอ่านค่าศูนย์เมื่อปลายเข็มสัมผัสผิวตัวอย่าง
	ทำการปล่อยเข็มให้จมลงพร้อมจับเวลา 5 วินาทีต่อครั้ง และจดบันทึกผล ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง ที่ตำแหน่งห่างกันอย่างน้อย 10 มิลลิเมตร

ข้อควรระวัง

1. ในการเตรียมตัวอย่าง โดยการให้ความร้อนก่อนที่จะเทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างจะต้องให้ความร้อนสม่ำเสมอ เมื่อเทตัวอย่างแล้วต้องสังเกตดูถ้ายังมีฟองอากาศปะปนอยู่ ควรให้ความร้อนอีกเล็กน้อยแล้วคนไล่ฟองอากาศให้หมด

2. ตรวจสอบมวลของแกน เข็มและน้ำหนักถ่วงต้องรวมกันให้ได้ครบตามข้อกำหนด

3. ถ้าการทดสอบเพนิเทชันมีเข็มมาตรฐานจำนวน 1 เล่ม เมื่อจะทดสอบในจุดต่อไปก่อนดึงเข็มขึ้นควรใช้มือจับและกดภาชนะบรรจุตัวอย่างไม่ให้เคลื่อนที่ตามขณะที่เลื่อนแกนขึ้น

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	PENETRATION TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 100:0

Load : 100 g Temperature : 25°C

PENETRATION TEST

date : 28/01/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Dial Reading			Average
	division	division	division	
1	65.00	65.00	67.00	65.67
2	67.00	66.00	65.0	66.00
3	65.00	66.00	65.00	65.33

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	PENETRATION TEST

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5

Load : 100 g Temperature : 25°C

PENETRATION TEST

date : 28/01/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Dial Reading			Average
	division	division	division	
1	61.00	61.00	60.00	60.66
2	60.0	61.00	59.00	60.00
3	61.0	60.00	60.00	60.33

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	PENETRATION TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10

Load : 100 g Temperature : 25°C

PENETRATION TEST

date : 28/01/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Dial Reading			Average
	division	division	division	
1	56.00	55.00	56.00	55.67
2	57.00	55.00	56.00	56.00
3	56.00	55.00	55.00	55.33

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	PENETRATION TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 85:15

Load : 100 g Temperature : 25°C

PENETRATION TEST

date : 28/01/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Dial Reading			Average
	division	division	division	
1	47.00	46	48	47
2	46.00	47.00	47.00	46.67
3	48.00	48.00	47.00	47.99

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	PENETRATION TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 80:20

Load : 100 g Temperature : 25°C

PENETRATION TEST

date : 28/01/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Dial Reading			Average
	division	division	division	
1	47.00	47.00	46.00	46.67
2	44.00	46.00	45.00	45.00
3	42.00	43.00	42.00	42.33

Remarks :

ภาคผนวก ค

การทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ตามมาตรฐาน ASTM: D2398-76

การทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยาพารา (Softening Point Test)

ยางแอสฟัลต์เป็นวัสดุที่มีความเหนียวหนืดยืดหยุ่นได้โดยไม่จำกัดจุดหลอมเหลว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางแอสฟัลต์จะค่อย ๆ อ่อนตัวและมีความหนืดลดลง ด้วยเหตุนี้จุดอ่อนตัวจึงเป็นคุณสมบัติสำคัญในการทดสอบ โดยการใช้วงแหวนกับลูกปืนในการทดสอบจุดอ่อนตัว

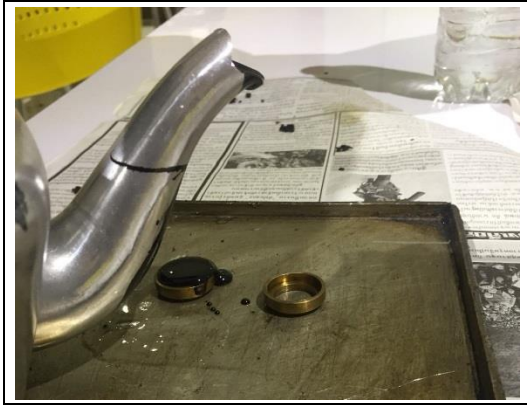
วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ในช่วง 30-157 °C โดยใช้เครื่องวงแหวนและลูกปืน แช่ในน้ำกลั่น (อุณหภูมิ30-80 °C)

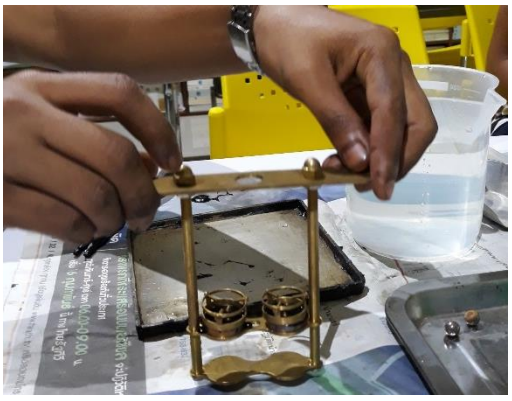
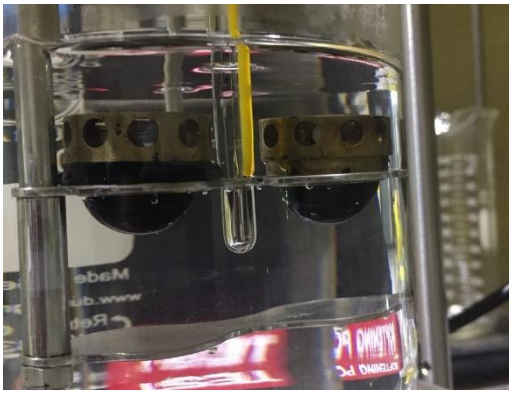
เครื่องมือและวัสดุ

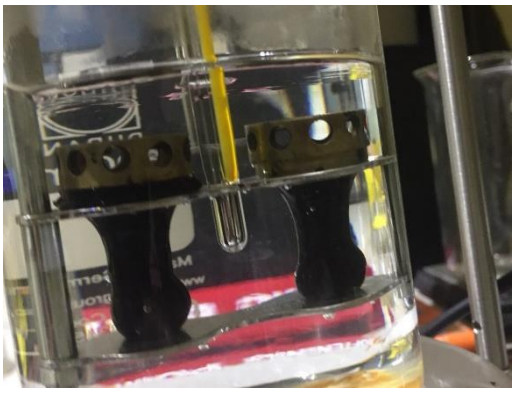
1. วงแหวน (Rings) เป็นวงแหวนทองเหลือง มีบ่าในตั้งฉาก จำนวน 2 วง
2. แผ่นรอง (Pouring Plate) เป็นแผ่นราบเรียบ สำหรับรองวงแหวนขณะเตรียมตัวอย่าง
3. ลูกปืน (Balls) เป็นเหล็กกล้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตรจำนวน 2 ลูก
4. ตัวนำศูนย์ (Ball Centering Guides) ทำด้วยทองเหลือง ใช้สำหรับบังคับลูกปืนให้วางอยู่ตรงศูนย์กลางวงแหวนในขณะที่ทำการทดลอง
5. กระบอกแก้ว (Bath) ทำด้วยแก้วทนความร้อนสูงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 85 มิลลิเมตร และลึกไม่น้อยกว่า 120มิลลิเมตร หรืออาจใช้แก้วทนความร้อนขนาด 800 มิลลิเมตร ก็ได้
6. ชุดวางวงแหวน (Ring Holder and Assembly) ทำด้วยทองเหลืองใช้รองรับวงแหวนให้วางอยู่ในแนวราบ
7. เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิในขณะทำการทดลอง
8. เครื่องให้ความร้อน โดยเพิ่มอัตราการให้ความร้อนได้ตามต้องการ
9. ตัวอย่างแอสฟัลต์ AC 60/70 ที่ผสมยางพาราแล้ว
10. น้ำกลั่น

การเตรียมการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

	ให้ความร้อนแกตัวอย่างแอสฟัลต์
	ให้ความร้อนวงแหวนทองเหลืองทั้งสองวง จนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับของตัวอย่าง
	นำไปวางบนแผ่นรองที่เคลือบสารกันติดไว้
	เทแอสฟัลต์ที่เหลวลงไปในวงแหวนจนล้น แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 30 นาที และเมื่อเย็นลงแล้วให้ทำการปาดส่วนเกินออกโดยทำการใช้มีดที่ทำให้ร้อนไปปาดที่ปากวงแหวน

วิธีการทดสอบการทดสอบจุดอ่อนตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

	จัดวงแหวนที่เตรียมตัวอย่างไว้แล้วทั้งสอง โดยการนำวงแหวนไปใส่ชุดตั้งวงแหวนแล้วทำการติดตั้งตัวนำศูนย์ พร้อมวางลูกปืน 2 ลูก เข้าตำแหน่งของชุดวางวงแหวน
	นำชุดแหวนที่เตรียมไว้ไปใส่ในกระบอกแก้ว แล้วติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์แล้วทำการเติมน้ำกลั่นลงในกระบอกแก้ว
	จากนั้นนำไปวางบนเครื่องให้ความร้อน โดยเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 5 °C (9°F) ต่อนาที
	แสดงการอ่อนตัวขณะทำการทดสอบ

	อ่านอุณหภูมิทันทีเมื่อเห็นตัวอย่างย้อยลงสัมผัสกับแผ่นรองรับ และอุณหภูมิต้องไม่ต่างกันจนเกิน 1 องศา

จุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุน้ำจะมีค่าต่ำกว่าจุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุกลีเซอรีน ในการแปลงค่าของจุดอ่อนตัวซึ่งหาในน้ำและมีค่าสูงกว่า 80°C เล็กน้อย เป็นค่าจุดอ่อนตัวในกลีเซอรีน ให้ใช้ค่าปรับแก้ +4.2 °C สำหรับแอสฟัลต์

การพิจารณาความถูกต้องของผลการทดสอบ

กรณีใช้น้ำ ; การทดสอบโดยผู้ทดสอบเดียวกัน ผลการทดสอบแตกต่างกันได้ไม่เกิน 1.2 °C

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		SOFTENING POINT TEST	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 100:0			
SOFTENING POINT TEST			
date : 10/02/2017 Tested by : Prawit Paotong			
Sample No.	Softening Point (°C)		Average
	Trial 1	Trial 2	
1	43.00	41.00	42
2	42.00	44.00	43
3	40.00	42.00	41
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		SOFTENING POINT TEST	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5			
SOFTENING POINT TEST			
date : 10/02/2017 Tested by : Prawit Paotong			
Sample No.	Softening Point (°C)		Average
	Trial 1	Trial 2	
1	45.00	45.60	45.30
2	45.00	46.00	45.50
3	45.40	46.00	45.70
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		SOFTENING POINT TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10		
SOFTENING POINT TEST		
date : 10/02/2017 Tested by : Prawit Paotong		

Sample No.	Softening Point (°C)		Average
	Trial 1	Trial 2	
1	50.00	49.00	49.50
2	52.00	51.00	51.50
3	51.00	53.00	52.00

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	SOFTENING POINT TEST

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 85:15

SOFTENING POINT TEST

date : 10/02/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Softening Point (°C)		Average
	Trial 1	Trial 2	
1	56.00	54.00	55.00
2	55.00	55.60	55.50
3	55.00	55.50	55.25

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	SOFTENING POINT TEST

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 80:20

SOFTENING POINT TEST

date : 10/02/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	Softening Point (°C)		Average
	Trial 1	Trial 2	
1	57.20	58.00	57.60
2	57.00	56.80	56.90
3	67.00	68.00	57.25

Remarks :

ภาคผนวก ง
การทดสอบจุดวาบและจุดติดไฟ
ตามมาตรฐาน DH-T406/1976

การทดสอบจุดวาบและจุดติดไฟ (Flash and Fire point test)

จุดวาบไฟเป็นจุดที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่ให้ความร้อนกับแอสฟัลต์ได้อย่างปลอดภัยโดยไม่ลุกติดไฟ และเมื่อมีเปลวไฟมาสัมผัสใกล้ ๆ ทำให้ลุกเป็นไฟ เรียกว่า จุดติดไฟ

วัตถุประสงค์

แอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงมากๆ จะทำให้เปลี่ยนสถานะจากแอสฟัลต์ที่แข็งๆ ก็กลายเป็นไอและระเหยออกมา และเมื่อไอที่ระเหยออกมาสัมผัสกับเปลวไฟ จะทำให้เกิดประกายไฟขึ้นมาได้ และถือว่าเป็นสิ่งที่อันตราย ดังนั้นการทดสอบจุดวาบไฟของแอสฟัลต์จึงมีความสำคัญ เพื่อที่จะสามารถหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้ไม่เกิดจุดวาบไฟในขณะที่ทำการให้ความร้อนแอสฟัลต์เวลาผสม

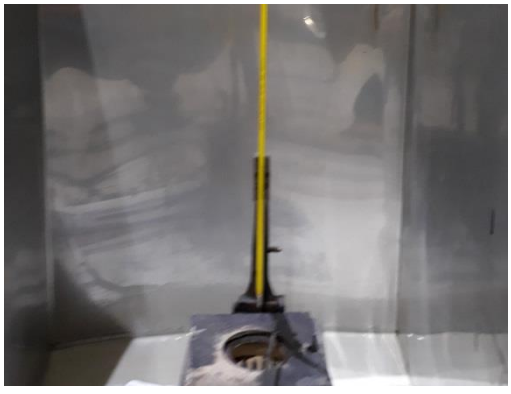
เครื่องมือและวัสดุ

1. อุปกรณ์ Cleveland Open Cup ซึ่งในอุปกรณ์นี้ จะประกอบไปด้วย

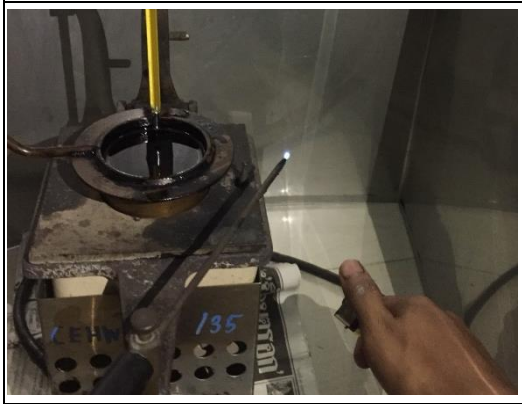
- ถ้วยทดสอบ(Test cup) ที่ทำด้วยทองเหลือง หรือโลหะอื่นที่ไม่เป็นสนิมและเป็นตัวนำความร้อนได้เทียบเท่าทองเหลือง อาจมีด้ามจับหรือไม่มีก็ได้
- แผ่นโลหะให้ความร้อนอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือวงกลมก็ได้
- ที่จุดเปลวไฟทดสอบ (Test Flame Applicator) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร มีปลายงอนขึ้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.6 มิลลิเมตร
- เครื่องให้ความร้อน (Heater) เป็นเครื่องที่สามารถควบคุมการให้ความร้อนได้ โดเครื่องให้ความร้อนต้องอยู่ตรงกึ่งกลางก้นถ้วยทดสอบ หากใช้เครื่องให้ความร้อนที่มีเปลวไฟควรมีที่บังลมเพื่อไม่ให้เกิดการแผ่รังสีความร้อน
- อุปกรณ์ยึดเทอร์โมมิเตอร์และเทอร์โมมิเตอร์สามารถยึดเทอร์โมมิเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการได้ในขณะทำการทดสอบ และสามารถถอดเทอร์โมมิเตอร์ออกจากถ้วยทดสอบได้โดยง่าย

2. ที่บังลม (Shield) ใช้สำหรับบังแสงและลม ใช้บังสามด้านเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ส่วนบนและหน้าเปิดไว้
3. เครื่องจับเวลา ชนิดที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 วินาที
4. เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิขณะทำการทดสอบ

การเตรียมการทดสอบจุดวาบและจุดติดไฟ

	ให้ความร้อนแกตัวอย่างแอสฟัลต์
	ตั้งเครื่องทดสอบในที่ราบที่ไม่มีลมมารบกวน
	ล้างถ้วยทดสอบด้วยน้ำมันเบนซินเพื่อขจัดสิ่งที่ติดอยู่ให้ออกหมด แล้วล้างด้วยน้ำที่เย็นและทำให้แห้งเป็นเวลา 2-3 นาที โดยการลนไฟหรือวางบนเครื่องให้ความร้อน
	ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับที่ยึด

วิธีการทดสอบการทดสอบจุดวาบและจุดติดไฟ

	ทำการเทตัวอย่างใส่ถ้วย ให้พอดีกับถ้วยและทำการกำจัดฟองอากาศบริเวณผิวหน้าของตัวอย่าง
	ทำการจุดไฟที่ท่อจุดไฟและปรับขนาดของเปลวไฟให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2-4.8 มิลลิเมตร
	ให้ความร้อนกับตัวอย่างในอัตรา 14-17 องศาเซลเซียสต่อนาทีแล้วเมื่ออุณหภูมิใกล้จุดวาบไฟให้ลดลงมาเหลือ 5-6 องศาเซลเซียสต่อวินาที
	เมื่อใกล้ถึงจุดวาบไฟให้ใช้เปลวไฟผ่านถ้วยทดสอบทุกๆ 2 องศาเซลเซียสโดยให้ผ่านจุดศูนย์กลางของถ้วยทดสอบ และก้านของเปลวไฟต้องอยู่ในแนวราบเสมอ และระยะเวลาที่เปลวไฟผ่านถ้วยทดสอบประมาณ 1 วินาที

	อ่านค่าอุณหภูมิเมื่อเกิดประกายไฟขึ้นมา
	ให้ความร้อนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งตัวอย่างติดไฟ และเกิดลุกเป็นไฟอย่างน้อยๆ 5 วินาที และทำการบันทึกค่าเป็นจุดติดไฟ

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		FLASH & FIRE POINT TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 100:0		
FLASH & FIRE POINT TEST		
date : 03/03/2017 Tested by : Prawit Paotong		
Sample No.	Flash Point Test(°C)	FIRE Point Test (°C)
1	275	318
2	274	320
3	277	321
Average	275.33	319
Remarks :		

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		FLASH & FIRE POINT TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5		
FLASH & FIRE POINT TEST		
date : 03/03/2017 Tested by : Prawit Paotong		
Sample No.	Flash Point (°C)	FIRE Point(°C)
1	268.00	317.00
2	270.00	316.00
3	273.00	316.00
Average	270.33	316.37
Remarks :		

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		FLASH & FIRE POINT TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10		
FLASH & FIRE POINT TEST		
date : 03/03/2017 Tested by : Prawit Paotong		
Sample No.	Flash Point (°C)	FIRE Point(°C)
1	263.00	308.00
2	265.00	309.00
3	263.00	312.00
Average	263.67	309.67
Remarks :		

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	FLASH & FIRE POINT TEST	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 85:15		
FLASH & FIRE POINT TEST		
date : 03/03/2017 Tested by : Prawit Paotong		
Sample No.	Flash Point (°C)	FIRE Point(°C)
1	261.00	304
2	258.00	306
3	259.00	308
Average	259.33	306
Remarks :		

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		FLASH & FIRE POINT TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 80:20		
FLASH & FIRE POINT TEST		
date : 03/03/2017 Tested by : Prawit Paotong		
Sample No.	Flash Point (°C)	FIRE Point(°C)
1	262.00	300.00
2	257.00	297.00
3	255.00	295.00
Average	258.00	296.67
Remarks :		

ภาคผนวก จ

การทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม

ตามมาตรฐาน DH-T605/1975

การทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม (Stripping Test)

การหลุดลอกของมวลรวมจากแอสฟัลต์นั้นเกิดขึ้นได้หลายกรณี เช่น ฝนตก ถนนชำรุด การจราจรมากเกินไป การเสื่อมสภาพของแอสฟัลต์หรือแม้แต่วัสดุมวลรวมเอง ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบเพื่อหาร้อยละของมวลรวมหยาบที่หลุดออกจากยาง หรือแอสฟัลต์ ก่อนที่จะนำมาใช้จริงโดยใช้ข้อกำหนด ทล.-ท.605/2518 เป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหาประมาณร้อยละของมวลรวมที่หลุดลอกออกไป ก่อนที่จะนำออกไปใช้จริงหน้างาน

เครื่องมือและวัสดุ

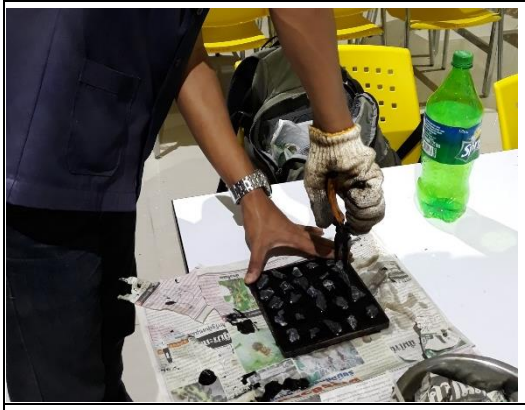
1. ถาดสำหรับทำการทดสอบโดยมีขอบถาดไม่ต่ำกว่า 20 มิลลิเมตร โดยประมาณ
2. เตาอบสำหรับอบถาดตัวอย่าง
3. อ่างน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิได้
4. คีมคีบปากแหลม

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม

	ทำการเตรียมมวลรวมแห้ง ไม่ให้มีฝุ่นมาก จนเกินไป จำนวน25 ก้อน
	ให้ความร้อนแก่แอสฟัลต์ แล้วนำไปเทในถาด ให้หนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร
	นำหินที่เตรียมไว้มาวางในถาดที่มีแอสฟัลต์ อยู่ เพื่อที่จะนำไปทำการทดลองต่อไป

วิธีการทดสอบการทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม

	ภายหลังจากที่วางมวลรวมบนแอสฟัลต์แล้ว ให้นำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

	นำตัวอย่างที่ผ่านการอบมาแล้ว 24 ชั่วโมง ไปแช่น้ำในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสต่อเป็นเวลา 4 วัน
	ภายหลังจากการแช่น้ำเป็นเวลา 4 วันแล้วให้นำตัวอย่างไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสต่อเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
	หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างออกมาแล้วทำการดึงตัวอย่างทีละก้อนโดยใช้แรงดึงที่เท่าๆกัน
	พิจารณาว่ามวลรวมแต่ละก้อนนั้นติดแอสฟัลต์มามากน้อยเพียงใด โดยจะมีเกณฑ์การให้คะแนนตามมาตรฐานขงกรมทางหลวงประเทศไทย

ตารางเกณฑ์การให้คะแนนแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวหน้า

ลักษณะที่แอสฟัลต์เคลือบผิวหน้า	คะแนน
ไม่มีแอสฟัลต์เคลือบ	1.00
แอสฟัลต์เคลือบน้อยกว่าครึ่งหน้า	0.75
แอสฟัลต์เคลือบครึ่งหน้า	0.50
แอสฟัลต์เคลือบมากกว่าครึ่งหน้า	0.25
แอสฟัลต์เคลือบเต็มหน้า	0.00

ที่มา : ทล.-ท.605/2518

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	STRIPPING TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 100:0

STRIPPING TEST

Date : 20/02/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	คะแนนการหลุดลอก	Sample No.	คะแนนการหลุดลอก
1	0.25	14	0.00
2	0	15	0.00
3	0	16	0.25
4	0.5	17	0.25
5	0.75	18	0.75
6	0	19	0.00
7	0	20	0.00
8	0	21	0.25
9	0	22	0.25
10	0.25	23	0.00
11	0.25	24	0.25
12	0	25	0.00
13	0.25		

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	STRIPPING TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5

STRIPPING TEST

Date : 20/02/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	คะแนนการหลุดลอก	Sample No.	คะแนนการหลุดลอก
1	0	14	0.00
2	0.75	15	0.25
3	0.25	16	0.00
4	0	17	0.00
5	0.25	18	0.00
6	0.25	19	0.5
7	0	20	0.00
8	0.75	21	0.00
9	0.25	22	0.00
10	0	23	0.25
11	0.25	24	0.00
12	0	25	0.00
13	0.25		

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	STRIPPING TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10

STRIPPING TEST

Date : 20/02/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	คะแนนการหลุดลอก	Sample No.	คะแนนการหลุดลอก
1	0.75	14	0.00
2	0	15	0.75
3	0	16	0.00
4	0.25	17	0.25
5	0.25	18	0.00
6	0	19	0.00
7	0	20	0.00
8	0.75	21	0.0
9	0	22	0.00
10	0	23	0.00
11	0.5	24	0.00
12	0	25	0.00
13	0		

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	STRIPPING TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 85:15

STRIPPING TEST

Date : 02/03/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	คะแนนการหลุดลอก	Sample No.	คะแนนการหลุดลอก
1	0	14	0.00
2	0	15	0.00
3	0.75	16	0.00
4	0.25	17	0.00
5	0	18	0.25
6	0	19	0.00
7	0	20	0.00
8	0	21	0.00
9	0	22	0.00
10	0	23	0.25
11	0.25	24	0.25
12	0	25	0.00
13	0		

Remarks :

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT	STRIPPING TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	

Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง

Material (AC 60/70 : NRL) : 80:20

STRIPPING TEST

Date : 02/03/2017 Tested by : Prawit Paotong

Sample No.	คะแนนการหลุดลอก	Sample No.	คะแนนการหลุดลอก
1	0	14	0.25
2	0	15	0.00
3	0	16	0.25
4	0	17	0.00
5	0	18	0.25
6	0	19	0.00
7	0	20	0.25
8	0	21	0.00
9	0.25	22	0.00
10	0	23	0.00
11	0	24	0.00
12	0	25	0.00
13	0		

Remarks :

ภาคผนวก ฉ

การทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชล

ตามมาตรฐาน DH-T604/194

การทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Test for Asphaltic Concrete by Marshall's Method)

การทดสอบเสถียรภาพกับการไหล (Stability Flow Test) และวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างภายในส่วนผสม (Density Voids Analysis) ของส่วนผสมคอนกรีตซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต รวมทั้งวิธีมาร์แชลล์

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบเสถียรภาพกับการไหล (Stability Flow Test)และวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างภายในส่วนผสม (Density Voids Analysis) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

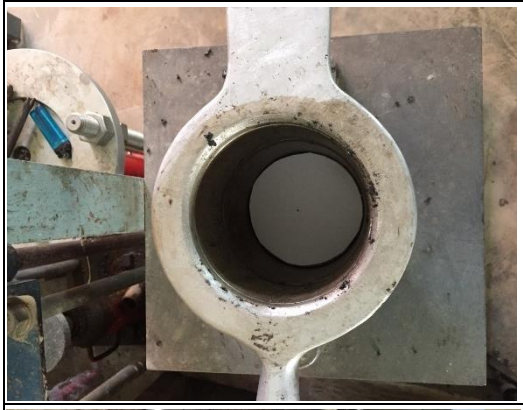
เครื่องมือและวัสดุ

1. เครื่องมือทดสอบของมาร์แชลล์ (Marshall Testing Machine) เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบการอัดด้วย โดยการถ่ายผ่านแรงลงไปสู่ตัวอย่างโดยผ่านทางหัวทดสอบรูปครึ่งวงกลมด้วยอัตราการกดคงที่ 50.8 มิลลิเมตรต่อนาที
2. Flow Meter ใช้หาค่าการไหลของตัวอย่าง อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร และ 0.01 มิลลิเมตร
3. เครื่องดันตัวอย่าง (Marshall Sample Ejector) ใช้ดันก้อนตัวอย่างออกจากแบบหล่อ
4. ถาดโลหะก้นแบน สำหรับใส่มวลร้อน
5. ถาดโลหะก้นกลม มีความจุประมาณ 4 ลิตร ใช้สำหรับผสมแอสฟัลต์กับมวลรวม
6. เตาอบและแผ่นร้อน ใช้ในการให้ความร้อนแก่มวลรวม แอสฟัลต์หรืออื่นๆ
8. ภาชนะบรรจุแอสฟัลต์ เพื่อนำไปใช้ในขณะอบ
9. เทอร์โมมิเตอร์ ที่วัดค่าได้ตั้งแต่ 10 – 232 องศาเซลเซียส
10. เครื่องชั่งน้ำหนักที่อ่านค่าละเอียดถึง 0.1 กรัม
11. ช้อนผสมหรือเกรียงโลหะ
12. ถุงมือหนัง สำหรับหยิบจับเครื่องมือที่มีอุณหภูมิสูง
13. เครื่องผสม (Mechanical Mixer) ความจุไม่ต่ำกว่า 4 ลิตร
14. อ่างควบคุมอุณหภูมิน้ำ
15. แท่นรองสำหรับบดอัด (Compaction Pedestal)
16. แบบหล่อสำหรับบดอัดขึ้นรูป (Compaction Mold)
17. ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) มีตุ้มน้ำหนัก 4.5 กิโลกรัม ระยะตก 457 มิลลิเมตร

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชล

	เตรียมมวลรวม ทำมวลรวมให้แห้งเพื่อให้น้ำหนักคงที่ โดยอบที่อุณหภูมิ 105-110°C
	แยกมวลรวมออกเป็นขนาดต่างๆโดยร่อนผ่านตะแกรงให้ได้ตามสัดส่วนขนาดที่ต้องการ
	เลือกยางที่ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพอากาศ สำหรับประเทศไทยใช้ AC 60/70 (การทดสอบสำหรับในทางหลวงจะใช้ปริมาณยางระหว่างร้อยละ 4–6)

	นำยางที่จะใช้ไปให้ความร้อน
	นำมวลรวมที่ทำการช่างตามอัตราส่วนที่เตรียมไว้เรียบร้อยแล้วไปอบในเตาอบ ณ อุณหภูมิที่สูงกว่าของอุณหภูมิที่ให้ความร้อนแก่ยางไม่น้อยกว่า 28°C
	เทมวลรวมลงในภาชนะผสม จากนั้นก่อมวลรวมและส่วนผสมให้พูนสูงและมีเบ้าตรงกลาง
	เทยางแอสฟัลต์ร้อนที่ชั่งน้ำหนักเตรียมพร้อมแล้วลงในเบ้ามวลรวม

	แล้วผสมแอสฟัลต์กับมวลรวมอย่างรวดเร็วจนกระทั่งแอสฟัลต์เคลือบผิวมวลรวมอย่างทั่วถึง
	เตรียมแบบหล่อและค้อนบดอัด แบบหล่อตัวอย่างทดสอบและผิวของค้อนบดอัดจะต้องสะอาด นำไปทำให้ร้อนโดยการอบหรือวางบนแผ่นร้อนจนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 93-149°C ก่อนเทส่วนผสมลงในแบบหล่อ
	ให้วางกระดาษชุบไขที่ตัดได้ขนาดลงที่ก้นแบบหล่อ อาจใช้กระดาษกรองแทนได้
	เทส่วนผสมทั้งหมดลงในแบบหล่อ ใช้พายหรือเกรียนร้อน ขุดแซะส่วนผสมอย่างรวดเร็ว 15 ครั้ง รอบ ๆแบบหล่อบริเวณขอบของแบบหล่อและตรงกลางภายในอีก 10 ครั้ง นำปลอกต่อด้านบนออก ปรับแต่งผิวให้มีลักษณะโค้งมนเล็กน้อย

	สวมปลอกต่อเข้ากับแบบอย่างเดิม จากนั้นนำแบบหล่อไปวางลงบนแท่นรองการบดอัด ทำการบดอัดด้วยค้อนบดอัดที่มีน้ำหนัก 4.5 kg ระยะตกกระทบ 45 cm จำนวนครั้งบดอัดขึ้นอยู่กับกับปริมาณจราจรของผิวทาง (ปริมาณจราจรมาก 75 ครั้ง)
	หลังจากทำการบดอัด ให้ถอดฐานรองและปลอกต่อออก จากนั้นประกอบแบบหล่อเข้าไปใหม่โดบกลับแบบเอาด้านล่างขึ้นมา แล้วบดอัดแท่งตัวอย่างจำนวนครั้งที่เท่ากัน
	ถอดฐานรองและปลอกต่อออกแล้วปล่อยให้ตัวอย่างทดสอบให้เย็นลงในอากาศเป็นเวลา 16 ชั่วโมง
	เอาตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่ออย่างระมัดระวัง โดยใช้เครื่องดันก้อนตัวอย่าง

	นำไปวางบนผิวที่เรียบและได้ระดับ ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการทดสอบการทดสอบแอสฟัลต์ติกคอนกรีตผสมน้ำยางพาราโดยวิธีมาร์แชล

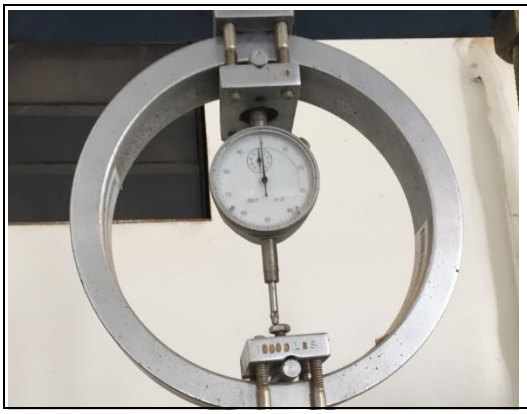
1. การหาปริมาตรและความหนาแน่นรวมของก้อนตัวอย่างมีขั้นตอนดังนี้

	ภายหลังจากการบดอัดตัวอย่างแล้วเสร็จ โดยทิ้งตัวอย่างให้เย็นภายใต้อุณหภูมิห้อง 25 °C จากนั้นให้ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักแห้ง (Weight of Sample in Air)
	นำตัวอย่างไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 4 นาที จากนั้นให้ชั่งน้ำหนักภายในน้ำ น้ำหนักที่ได้จะเป็นน้ำหนักที่ชั่งในน้ำ (Weight of Sample in Water)

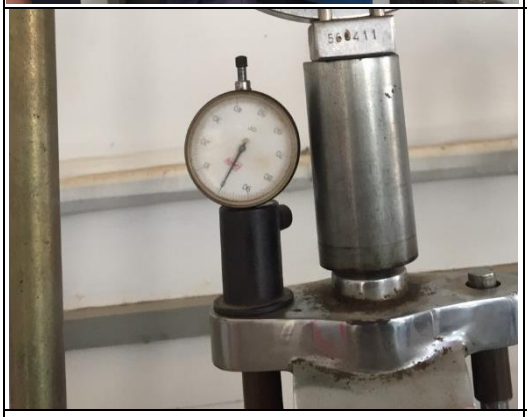
	นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้งอย่างรวดเร็ว แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักผิวแห้งของตัวอย่าง (Weight of Saturated Sample and Dry Surface)

2. การทดสอบเสถียรภาพและการทดสอบการไหล

	ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการไหลให้อ่านค่าศูนย์ โดยสอดโลหะทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว(101.6 มิลลิเมตร) เข้าไปในหัวทดสอบ นำอุปกรณ์วัดค่าการไหลติดตั้งเหนือ Guide Rod แล้วจึงปรับค่าให้อ่านค่าเป็นศูนย์
	แช่ตัวอย่างในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30-40 นาที ก่อนที่จะนำตัวอย่างไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

	ทำความสะอาดผิวด้านในของหัวทดสอบให้ทั่ว หยอดน้ำมันหล่อลื่นทาง Guide Rod ให้น้ำมันไหลอย่างอิสระเป็นฟิล์มบางๆ หากใช้ Proving Ring ในการวัดแรงให้ตรวจสอบว่าเข็มชี้ที่หน้าปัดนิ่ง และอ่านค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีแรงกระทำ

	เมื่อเครื่องมือพร้อมให้นำตัวอย่างทดสอบขึ้นจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ เช็ดผิวให้แห้ง
	วางตัวอย่างทดสอบในหัวทดสอบอันล่าง
	เลื่อนหัวทดสอบอันบนลงมาประกอบกันให้สมบูรณ์ เป็นชุดเครื่องมือที่ให้แรงกระทำ
	ติดตั้งเครื่องวัดค่าการไหลบนก้านนำเหนือตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้

	ให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบโดยควบคุมอัตราการยุบตัวของตัวอย่างคงที่เท่ากับ 2 นิ้ว (50.8มิลลิเมตร) ต่อนาที จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ
	ระหว่างทดสอบเสถียรภาพจะต้องยึดอุปกรณ์วัดค่าการไหลให้มั่นคงในตำแหน่งเหนือ Guide Rod และยกออกเมื่อแรงเริ่มลดลงให้อ่านและบันทึกค่า ค่าที่อ่านได้นี้เป็น ค่าการไหล (Flow Rate) สำหรับตัวอย่างทดสอบ
	ทั้งการทดสอบเสถียรภาพและทดสอบการไหลจะต้องทำให้เสร็จสิ้นภายใน 30 นาที นับตั้งแต่เริ่มนำตัวอย่างทดสอบออกจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT		TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE	
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		BY MARSHALL'S METHOD	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 100:0			
MARSHALL TEST			
Tested date 12/12/60	Tested by	Prawit Paotong	
Sample No.	1	2	3
Density			
Weight of Air,	1250.80	1249.20	1252.70
Weight Sat. Surface Dry,	1258.20	1255.60	1260.90
Weight in Water	730.10	725.00	731.90
Bulk Volume of Sample	528.10	530.60	529.00
Bulk Density of Sample	2.368	2.354	2.368
Average Density	2.363		
Stability Test			
Reading Dial Gauge	192	215	203
Measurement	2406.96	2697.45	2545.89
Average Stability	2550.10		
Flow Test	10	11	11
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT		TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE	
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		BY MARSHALL'S METHOD	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5			
MARSHALL TEST			
Tested date 12/12/60	Tested by Prawit Paotong		
Sample No.	1	2	3
Density			
Weight of Air,	1250.40	1239.10	1245.20
Weight Sat. Surface Dry,	1255.30	1251.50	1253.40
Weight in Water	733.20	720.70	725.60
Bulk Volume of Sample	522.10	530.80	527.80
Bulk Density of Sample	2.395	2.334	2.359
Average Density	2.363		
Stability Test			
Reading Dial Gauge	224	184	205
Measurement	2811.12	2305.92	2571.15
Average Stability	2562.73		
Flow Test	12	9	10
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT		TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE	
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		BY MARSHALL'S METHOD	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10			
MARSHALL TEST			
Tested date 12/12/60	Tested by	Prawit Paotong	
Sample No.	1	2	3
Density			
Weight of Air,	1248.10	1248.30	1250.40
Weight Sat. Surface Dry,	1256.60	1256.60	1258.10
Weight in Water	731	726	734.5
Bulk Volume of Sample	525.6	530.6	523.6
Bulk Density of Sample	2.375	2.353	2.388
Average Density	2.372		
Stability Test			
Reading Dial Gauge	212	193	198
Measurement	2659.56	2419.59	2482.74
Average Stability	2520.63		
Flow Test	15	15	14
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT		TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE	
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		BY MARSHALL'S METHOD	
Project : การศึกษาคุณสมบัติของถนนที่ใช้ยางพาราปริมาณสูง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 85:15			
Date : 18/04/2561			
Test by : Adisorn&Teerachai			
Sample No.	1	2	3
Density			
Weight of Air,	1250.80	1254.00	1252.60
Weight Sat. Surface Dry,	1259.70	1264.70	1262.30
Weight in Water	730.70	733.30	731.20
Bulk Volume of Sample	529.00	531.40	531.10
Bulk Density of Sample	2.364	2.36	2.359
Average Density	2.361		
Stability Test			
Reading Dial Gauge	195	230	190
Measurement	2444.85	2886.90	2381.70
Average Stability	2571.15		
Flow Test	16	17	14
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT		TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE	
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		BY MARSHALL'S METHOD	
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 80:20			
Date : 18/04/2561			
Test by : Adisorn&Teerachai			
Sample No.	1	2	3
Density			
Weight of Air,	1247.60	1251.40	1252.00
Weight Sat. Surface Dry,	1254.00	1258.10	1255.80
Weight in Water	723.60	724.80	729.00
Bulk Volume of Sample	530.40	533.30	526.80
Bulk Density of Sample	2.352	2.347	2.377
Average Density	2.359		
Stability Test			
Reading Dial Gauge	212	216	195
Measurement	2659.56	2710.08	2444.85
Average Stability	2604.83		
Flow Test	17	18	15
Remarks :			

ภาคผนวก ช

การทดสอบการยืดตัวของแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

ตามมาตรฐาน DH-T405/1976

การทดสอบการยืดตัวของยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา (Ductility Test)

การทดสอบความยืดตัวของแอสฟัลต์เป็นการทดสอบหาค่าความต้านทานการเปลี่ยนสภาพของแอสฟัลต์จากสภาพพลาสติกไปเป็นสภาพแข็ง โดยวัดได้จากระยะที่แอสฟัลต์ยืดตัวได้ก่อนที่จะขาดออกจากกันโดยปลายของตัวอย่างถูกยึดทั้งสองด้านถูกดึงด้วยเครื่องทดสอบด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาค่าการยืดตัวของแอสฟัลต์ โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Ductility Test แช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

1. เบ้า (Mold) ทำด้วยทองเหลืองจำนวน 1 ชุด
2. อ่างน้ำ (water bath) จุน้ำไม่น้อยกว่า 10 ลิตร และควบคุมอุณหภูมิช่วงทดสอบได้
3. อุปกรณ์ทดสอบ สำหรับดึงก้อนตัวอย่างที่ทดสอบออกจากกัน
4. เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิขณะทำการทดลอง
5. ตัวอย่างแอสฟัลต์ AC 60/70ที่ผสมน้ำยางพาราแล้ว
6. น้ำที่เติมในอ่างน้ำที่ใช้ทดสอบ
7. สเปทูล่า
8. ชุดเตาแก๊ส
9. หม้อต้มยางแอสฟัลต์แอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา
10. อุปกรณ์ตักและกวนยางขณะต้มยางแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา
11. น้ำที่ใช้เติมในอ่างน้ำอย่าน้อย 10 ลิตร
12. นาฬิกาจับเวลา

การเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

	นำยางแอสฟัลต์ที่ผสมน้ำยางพาราแล้วไปต้มให้ร้อนจนเหลวนำไปเทลงในเบ้าที่เตรียมไว้โดยเบ้าต้องสะอาดโดยเทสลับไปมาจากปลายอีกด้านไปยังปลายอีกด้านจนเต็มเบ้า
	ตั้งตัวอย่างไว้ให้เบ้าเย็นลงที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 ถึง 40 นาที
	ปาดตัวอย่างที่ล้นออกด้วยโดยใช้สเปทูล่าที่เผาไฟให้ร้อนให้ตัวอย่างเต็มพอดีเบ้านำตัวอย่างไปแช่ไว้ในอ่างน้ำ ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสแช่ไว้ 95 นาที แยกก้อนตัวอย่างออกจากเบ้าถอดด้านข้างทั้งสองของเบ้าออก

การทดสอบตัวอย่างแอสฟัลต์ผสมน้ำยางพารา

	เกี่ยวห่วงที่ปลายทั้งสองข้างของตัวยึดกับเดือยดึงตัวอย่างที่เครื่องดึงทดสอบ
	ดึงตัวอย่างออกจากกันอย่างสม่ำเสมอที่ความเร็ว 5 เซ็นติเมตรต่อนาทีจนกระทั่งขาดออกจากกันขณะทำการดึงตัวอย่างต้องจมน้ำมีน้ำสูงกว่าและต่ำกว่าตัวอย่าง ไม่น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตรควบคุมอุณหภูมิตามที่กำหนด
	วัดระยะทางที่ตัวยึดทั้งสองออกจากกันโดยการทดสอบตัวอย่างละ 3 ครั้ง

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	DUCTILITY TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง	
Material (AC 60/70 : NRL) : 100:0 Speed : 5 cm/s	
DUCTILITY TEST	
date : 23/03/2017 Tested by : Prawit Paotong	
Sample No.	Ductility Test (cm)
1	53.00
2	56.00
3	55.00
Average	54.00
Remarks :	

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	DUCTILITY TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง	
Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5 Speed : 5 cm/s	
DUCTILITY TEST	
date : 23/03/2017 Tested by : Prawit Paotong	
Sample No.	Ductility (cm)
1	73.80
2	74.60
3	77.60
Average	75.33
Remarks :	

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	DUCTILITY TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง	
Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10 Speed : 5 cm/s	
DUCTILITY TEST	
date : 23/03/2017 Tested by : Prawit Paotong	
Sample No.	Ductility (cm)
1	95.50
2	98.30
3	96.70
Average	97.00
Remarks :	

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	DUCTILITY TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง	
Material (AC 60/70 : NRL) : 85:15 Speed : 5 m/s	
DUCTILITY TEST	
date : 23/03/2017 Tested by : Prawit Paotong	
Sample No.	Ductility (cm)
1	43.20
2	41.60
3	47.20
Average	44.00
Remarks :	

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY	DUCTILITY TEST
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง	
Material (AC 60/70 : NRL) : 80:20 Speed : 5 cm/s	
DUCTILITY TEST	
date : 23/03/2017 Tested by : Prawit Paotong	
Sample No.	Ductility (cm)
1	35.60
2	36.80
3	37.90
Average	36.77
Remarks :	

ภาคผนวก ซ

การทดสอบรับน้ำหนักบรรทุก

ตามมาตรฐาน ASTM D3689-83

การทดสอบค่ารับน้ำหนักของชั้นดินโดยวิธี Plate Load Test หรือ Plate Bearing Test บริเวณถนนต้นแบบยางพาราผสมในยางมะตอย ในปริมาณ 5% และ10% โดยน้ำหนัก ที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบว่า ชั้นดินในบริเวณที่จะก่อสร้างสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของดินสูงสุดได้ 25 ตันต่อตารางเมตร จะให้ค่ารับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 20 และ 40 ตันต่อตารางเมตร โดยมีอัตราส่วนปลอดภัย 2.5

การเตรียมการทดสอบ

การทดสอบกระทำในบริเวณสถานที่จะก่อสร้าง ดังรูป จากนั้นก็ใช้น้ำหนักวางคร่อมบริเวณทดสอบ แล้วใช้แผ่นเหล็กขนาดประมาณ 30x30 เซนติเมตร วางที่ก้นหลุม โดยใช้น้ำหนักของรถแม็คโคร เป็น Dead weight การขึ้นน้ำหนักจะทำโดยใช้แม่แรงกดแผ่นเหล็กโดยยันกับรถแม็คโคร และวัดการทรุดตัวของแผ่นเหล็กจาก Dial Gauges 4 ตัว ซึ่งติดกับ Reference Beams

การทดสอบ

การทดสอบค่ารับน้ำหนักของชั้นดินโดยวิธี Plate Load Test บริเวณที่จะก่อสร้าง มีรายละเอียดดังนี้

1. ใช้น้ำหนักทดสอบสูงสุดเป็น 20 ตันต่อตารางเมตร
2. เพิ่มน้ำหนักทดสอบประมาณ 10 ขั้นตอน จนถึงค่ารับน้ำหนักสูงสุด
3. แต่ละขั้นตอนให้รักษาไว้อย่างน้อย 15 นาที และอ่านค่าการทรุดตัวที่ 1, 2, 5, 10 และ 15 นาที ตามลำดับ
4. เมื่อเพิ่มน้ำหนักถึงค่ารับน้ำหนักสูงสุด และชั้นดินไม่เกิดการพิบัติ ให้ลดน้ำหนักลงถึงศูนย์ ใน 4 ขั้นตอน แต่ละขั้นตอนให้แช่น้ำหนักไว้ 15 นาที
5. ทดสอบใช้น้ำหนักทดสอบสูงสุดเป็น 40 ตันต่อตารางเมตร แล้วบันทึกค่าการทรุดตัว

รูปที่ ซ.1 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 5%

รูปที่ ซ.2 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

รูปที่ ซ.3 ทดสอบ Plate Bearing บนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยาง 5%

รูปที่ ซ.4 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 10%

รูปที่ ซ.5 ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

รูปที่ ช.6 ทดสอบ Plate Bearing บนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10%

RECORD OF PLATE BEARING TEST

โครงการ : ถนนต้นแบบผสมยางพารา 5% สถานที่ก่อสร้าง : ม.อ.สุราษฎร์ธานี

ขนาดแผ่นเหล็ก : 0.30x0.30 ม. ระดับหลุมทดสอบ : 0.00 ม.

ทดสอบโดย: ประวิทย์ เป้าทอง วันที่ทดสอบ : 22 ตุลาคม 2561

LOAD-SETTLEMENT DATA									
DATE	TIME	ELAPSED TIME (min)	BEARING PRESSURE (ton/m2)	SETTLEMENT READING x 0.01 mm.					
				GAUGE #1	GAUGE #2	GAUGE #3	GAUGE #4	AVERAGE	REMARK
22/10/61	9.00	0	0	0	0	0	0	0	
		1	2.0	39	24	28	38	32.25	
		2	"	44	28	31	41	36.00	
		5	"	51	35	36	46	42.00	
		10	"	54	40	40	49	45.75	
	9.15	15	"	55	42	42	50	47.25	
		1	4.0	57	44	44	54	49.75	
		2	"	59	44	45	54	50.50	
		5	"	60	49	48	56	53.25	
		10	"	62	51	51	58	55.50	
	9.30	15	"	63	52	51	58	56.00	
		1	6.0	66	53	55	62	59.00	
		2	"	68	53	55	62	59.50	
		5	"	70	56	55	62	60.75	
		10	"	72	56	55	62	61.25	
	9.45	15	"	73	56	59	68	64.00	
		1	8.0	76	60	61	70	66.75	
		2	"	77	60	61	70	67.00	
		5	"	81	63	65	74	70.75	
		10	"	81	63	65	74	70.75	
	10.00	15	"	82	63	67	78	72.50	
		1	10.0	87	65	67	79	74.50	

sheet 2 of 3

LOAD-SETTLEMENT DATA									
DATE	TIME	ELAPSED TIME (min)	BEARING PRESSURE (Ton/m^2)	SETTLEMENT READING x 0.01 mm.					
				GAUGE #1	GAUGE #2	GAUGE #3	GAUGE #4	AVERAGE	REMARK
22/10/61	10.02	2	10.0	90	67	71	85	78.25	
		5	"	91	67	71	85	78.50	
		10	"	93	67	74	87	80.25	
	10.15	15	"	94	70	75	88	81.75	
		1	12.0	96	70	75	88	82.25	
		2	"	96	70	76	90	83.00	
		5	"	98	73	77	91	84.75	
		10	"	98	73	78	92	85.25	
	10.30	15	"	98	73	78	92	85.25	
		1	14.0	103	75	82	99	89.75	
		2	"	105	77	84	101	91.75	
		5	"	106	78	84	103	92.75	
		10	"	109	78	86	104	94.25	
	10.45	15	"	109	78	87	105	94.75	
		1	16.0	112	83	90	109	98.50	
		2	"	114	83	91	110	99.50	
		5	"	116	85	92	112	101.25	
		10	"	118	86	92	112	102.00	
	11.00	15	"	119	87	93	114	103.25	
		1	18.0	120	88	95	116	104.75	
		2	"	121	88	95	117	105.25	
		5	"	123	91	98	120	108.00	
		10	"	125	93	98	121	109.25	
	11.15	15	"	126	93	98	121	109.50	
		1	20.0	128	94	100	124	111.50	
		2	"	129	94	100	125	112.00	
		5	"	130	94	100	126	112.50	
		10	"	131	94	103	129	114.25	

LOAD-SETTLEMENT DATA									
DATE	TIME	ELAPSED TIME (min)	BEARING PRESSURE (Ton/m^2)	SETTLEMENT READING x 0.01 mm.					
				GAUGE #1	GAUGE #2	GAUGE #3	GAUGE #4	AVERAGE	REMARK
22/10/61	11.30	15	20.0	133	98	105	130	116.50	
		1	16.0	134	98	105	132	117.25	
		2	"	134	98	105	132	117.25	
		5	"	134	98	105	132	117.25	
		10	"	134	98	105	132	117.25	
	11.45	15	"	134	98	105	132	117.25	
		1	12.0	134	98	105	132	117.25	
		2	"	134	98	105	132	117.25	
		5	"	134	98	105	132	117.25	
		10	"	134	98	105	132	117.25	
	12.00	15	"	134	98	105	132	117.25	
		1	8.0	131	98	105	132	116.50	
		2	"	131	98	105	132	116.50	
		5	"	130	98	105	132	116.25	
		10	"	130	98	105	132	116.25	
	12.15	15	"	130	98	105	132	116.25	
		1	4.0	126	98	105	130	114.75	
		2	"	126	98	105	130	114.75	
		5	"	125	98	105	130	114.50	
		10	"	125	98	105	130	114.50	
	12.30	15	"	125	98	105	130	114.50	
		1	0.0	91	71	75	94	82.75	
		2	"	90	71	74	92	81.75	
		5	"	88	71	73	91	80.75	
		10	"	87	71	71	89	79.50	
	12.45	15	"	85	65	70	88	77.00	
					END OF TESTING				
	12.50		40	276	217	232	287	253.00	

RECORD OF PLATE BEARING TEST

โครงการ : ถนนต้นแบบผสมยางพารา 10% สถานที่ก่อสร้าง : ม.อ.สุราษฎร์ธานี

ขนาดแผ่นเหล็ก : 0.30x0.30 ม. ระดับหลุมทดสอบ : 0.00 ม.

ทดสอบโดย: ประวิทย์ เป้าทอง วันที่ทดสอบ : 22 ตุลาคม 2561

LOAD-SETTLEMENT DATA									
DATE	TIME	ELAPSED	BEARING	SETTLEMENT READING x 0.01 mm.					
		TIME	PRESSURE	GAUGE	GAUGE	GAUGE	GAUGE	AVERAGE	REMARK
		(min)	(ton/m2)	#1	#2	#3	#4		
22/10/61	13.00	0	0	0	0	0	0	0	
		1	2.0	58	30	25	34	36.75	
		2	"	62	30	25	34	37.75	
		5	"	62	30	25	34	37.75	
		10	"	62	30	25	34	37.75	
	13.15	15	"	62	30	25	34	37.75	
		1	4.0	65	32	28	36	40.25	
		2	"	67	35	30	37	42.25	
		5	"	67	35	30	37	42.25	
		10	"	68	35	30	37	42.50	
	13.30	15	"	68	35	30	37	42.50	
		1	6.0	71	38	33	40	45.50	
		2	"	72	39	33	41	46.25	
		5	"	72	39	33	41	46.25	
		10	"	72	39	33	41	46.25	
	13.45	15	"	72	39	33	41	46.25	
		1	8.0	75	42	36	44	49.25	
		2	"	76	45	37	47	51.25	
		5	"	78	45	37	47	51.75	
		10	"	78	45	37	47	51.75	
	14.00	15	"	79	45	37	47	52.00	
		1	10.0	81	47	39	50	54.25	

sheet 2 of 3

LOAD-SETTLEMENT DATA									
DATE	TIME	ELAPSED TIME (min)	BEARING PRESSURE (Ton/m^2)	SETTLEMENT READING x 0.01 mm.					
				GAUGE #1	GAUGE #2	GAUGE #3	GAUGE #4	AVERAGE	REMARK
22/10/61	14.02	2	10.0	82	47	39	50	54.50	
		5	"	84	50	39	50	55.75	
		10	"	84	50	39	50	55.75	
	14.15	15	"	84	50	39	50	55.75	
		1	12.0	95	54	42	56	61.75	
		2	"	97	58	44	58	64.25	
		5	"	101	61	44	60	66.50	
		10	"	103	61	46	61	67.75	
	14.30	15	"	103	61	46	61	67.75	
		1	14.0	105	63	52	67	71.75	
		2	"	105	63	52	67	71.75	
		5	"	105	63	52	68	72.00	
		10	"	106	64	54	69	73.25	
	14.45	15	"	106	64	54	69	73.25	
		1	16.0	107	64	54	69	73.50	
		2	"	107	64	54	69	73.50	
		5	"	107	64	54	69	73.50	
		10	"	107	64	54	69	73.50	
	15.00	15	"	107	64	54	69	73.50	
		1	18.0	107	64	54	69	73.50	
		2	"	107	64	54	69	73.50	
		5	"	107	64	54	69	73.50	
		10	"	107	64	54	69	73.50	
	15.15	15	"	107	64	54	69	73.50	
		1	20.0	107	64	54	69	73.50	
		2	"	107	64	54	69	73.50	
		5	"	107	64	54	69	73.50	
		10	"	107	64	54	69	73.50	

sheet 3 of 3

LOAD-SETTLEMENT DATA									
DATE	TIME	ELAPSED TIME (min)	BEARING PRESSURE (Ton/m^2)	SETTLEMENT READING x 0.01 mm.					
				GAUGE #1	GAUGE #2	GAUGE #3	GAUGE #4	AVERAGE	REMARK
22/10/61	15.30	15	20.0	107	64	54	69	73.50	
		1	16.0	106	63	54	69	73.00	
		2	"	106	63	54	69	73.00	
		5	"	106	63	54	69	73.00	
		10	"	106	63	54	69	73.00	
	15.45	15	"	106	63	54	69	73.00	
		1	12.0	106	63	54	69	73.00	
		2	"	106	63	54	69	73.00	
		5	"	106	63	54	69	73.00	
		10	"	106	63	54	69	73.00	
	16.00	15	"	106	63	54	69	73.00	
		1	8.0	106	63	54	69	73.00	
		2	"	106	63	54	69	73.00	
		5	"	106	63	54	69	73.00	
		10	"	106	63	54	69	73.00	
	16.15	15	"	106	63	54	69	73.00	
		1	4.0	104	63	54	69	72.50	
		2	"	104	63	54	69	72.50	
		5	"	104	63	54	69	72.50	
		10	"	104	63	54	69	72.50	
	16.30	15	"	104	63	54	69	72.50	
		1	0.0	71	52	52	53	57.00	
		2	"	66	50	51	50	54.25	
		5	"	65	50	51	50	54.00	
		10	"	63	50	50	47	52.50	
	16.45	15	"	62	50	50	47	52.25	
					END OF TESTING				
	16.50		40	138	186	187	103	153.50	

ภาคผนวก ฌ

การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล

ตามมาตรฐาน ASTM E303

การทดสอบการต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance Test) เป็นการทดสอบหาค่าความเสียดทานทำได้โดยใช้เครื่องมือ Portable Skid Resistance Tester สำหรับวัดค่า British Pendulum Number (BPN) ซึ่งเป็นตัวบอกค่าความเสียดทาน (friction) ระหว่างยางรถยนต์และผิวถนนขณะที่ผิวถนนมีสภาพเปียก โดยวิธีการทดสอบดังกล่าวจะอ้างอิงถึงมาตรฐาน AASHTO T279-96 หรือ Standard Test Method for Accelerated Polishing of Aggregates Using the British Wheel ลักษณะของการทดสอบจะเป็นการใช้ แขนของตัว Pendulum ซึ่งมีตัวสปริงและแผ่นยางทดสอบติดอยู่ เมื่อนำเครื่องทดสอบไปวางอยู่บนผิวถนนที่จะทำการทดสอบ ตัว Pendulum จะถูกปล่อยจากอิสระจากระดับ จนกระทั่งแผ่นยางทดสอบสัมผัสกับผิวถนน ขณะที่แผ่นยางทดสอบสัมผัสกับผิวถนนในบริเวณพื้นที่ทดสอบ ถ้าผิวทางมีค่าความเสียดทานสูง ตำแหน่งของตัว Pendulum จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่สูงที่สุดของ Pendulum Arc ที่อยู่ทางด้านซ้ายของรูปประกอบ จากนั้นค่า British Pendulum Number จะถูกบันทึก ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-150 ดังนั้นตัวเลข British Pendulum Number ที่อ่านได้จากเครื่องมือทดสอบ จะเป็นค่าที่ใช้แสดงค่าความเสียดทานของผิวทดสอบ ในการทดสอบหาค่าความเสียดทาน ในแต่ละครั้ง ควรจะทำการทดสอบที่ตำแหน่งเดียวกันอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อให้แน่ใจว่า ตัวเลข British Pendulum Number ที่อ่านได้จากการทดสอบเป็นค่า British Pendulum Number ของผิวทดสอบนั้นๆ ดังรูปแสดงการทดสอบหาค่าความเสียดทางบนถนนยางพารา

จากการทดสอบหาค่าความเสียดทานในบริเวณทั้งสองพบว่า สภาพผิวทางขณะปัจจุบันของถนนยางพารา 5% มีค่าความเสียดทานอยู่ที่ค่า BPN เท่ากับ 84-86 ซึ่งจัดได้ว่ามีค่าที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเสียดทานมาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้สำหรับถนนประเภทเดียวกัน โดยคณะผู้วิจัยได้อ้างอิงจากมาตรฐานของค่าความเสียดทานที่เหมาะสมของถนนสายหลักที่ประเทศออสเตรเลีย ที่ได้กำหนดไว้ว่า ค่าความเสียดทานของถนนประเภทดังกล่าว ควรมีค่า BPN ไม่ต่ำกว่า 45 และจากประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งได้กำหนดไว้ที่ค่าไม่ต่ำกว่า 65 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเสียดทานที่ถนนยางพารา 10% จะเห็นว่า ค่าความเสียดทานขณะปัจจุบันของถนน พบว่าค่าความเสียดทานที่ทดสอบได้นั้น มีค่า BPN สูงถึง 103-106 ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าผิวทางที่ก่อสร้างใหม่โดยทั่วไป จะมีค่าความเสียดทานอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับความปลอดภัยของผิวทาง

รูปที่ ณ.1 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 5%

รูปที่ ณ.2 ทดสอบการต้านทางการลื่นไถลบนผิวทาง ที่ผสมน้ำยางพารา 5%

รูปที่ ณ.3 ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมน้ำยางพารา 10%

รูปที่ ณ.4 ทดสอบการต้านทางการลื่นไถลบนผิวทาง ที่ผสมน้ำยาง 10%

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT			TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY			Skid Resistance Test
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5			
Date : 4/04/2562 Tested by Prawit Paotong			
Temp : 37°c			
Skid Resistance Test			
Sample No.	Dial Reading		
1	84	85	85
2	85	84	85
3	85	85	85
Remarks :			

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT			TEST FOR ASPHALTIC CONCRETE
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY			Skid Resistance Test
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง			
Material (AC 60/70 : NRL) : 90:10			
Date : 4/04/2562 Tested by Prawit Paotong			
Temp : 37°c			
Skid Resistance Test			
Sample No.	Dial Reading		
1	104	102	103
2	104	103	103
3	103	103	103
Remarks :			

ภาคผนวก ญ

การทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยวิธีการเจาะเก็บตัวอย่าง

รูปที่ ญ.1 ทดสอบ Coring ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 5%

รูปที่ ญ.2 ทดสอบ Coring ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมน้ำยางพารา 10%

รูปที่ ญ.3 ทดสอบหาค่ากำลังอัดของตัวอย่าง

รูปที่ ญ.4 ผิวทางที่ได้ทดสอบหาค่ากำลังอัด

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT		CORING TEST
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY		
Project : การใช้ยางพาราในงานก่อสร้างผิวทางหลวง		
Material (AC 60/70 : NRL) : 95:5 และ 90:10		
CORING TEST		
Tested date 12/12/62	tested by Prawit Paotong	
Sample	5%	10%
น้ำหนัก (g)	740	820
dia. (cm)	9.39	9.39
หนา (cm)	5.00	5.40
กำลังอัด (kN)	75.73	76.40
กำลังอัด (ksc)	111.56	112.54
Remarks :		

ภาคผนวก ฎ

บทความตีพิมพ์

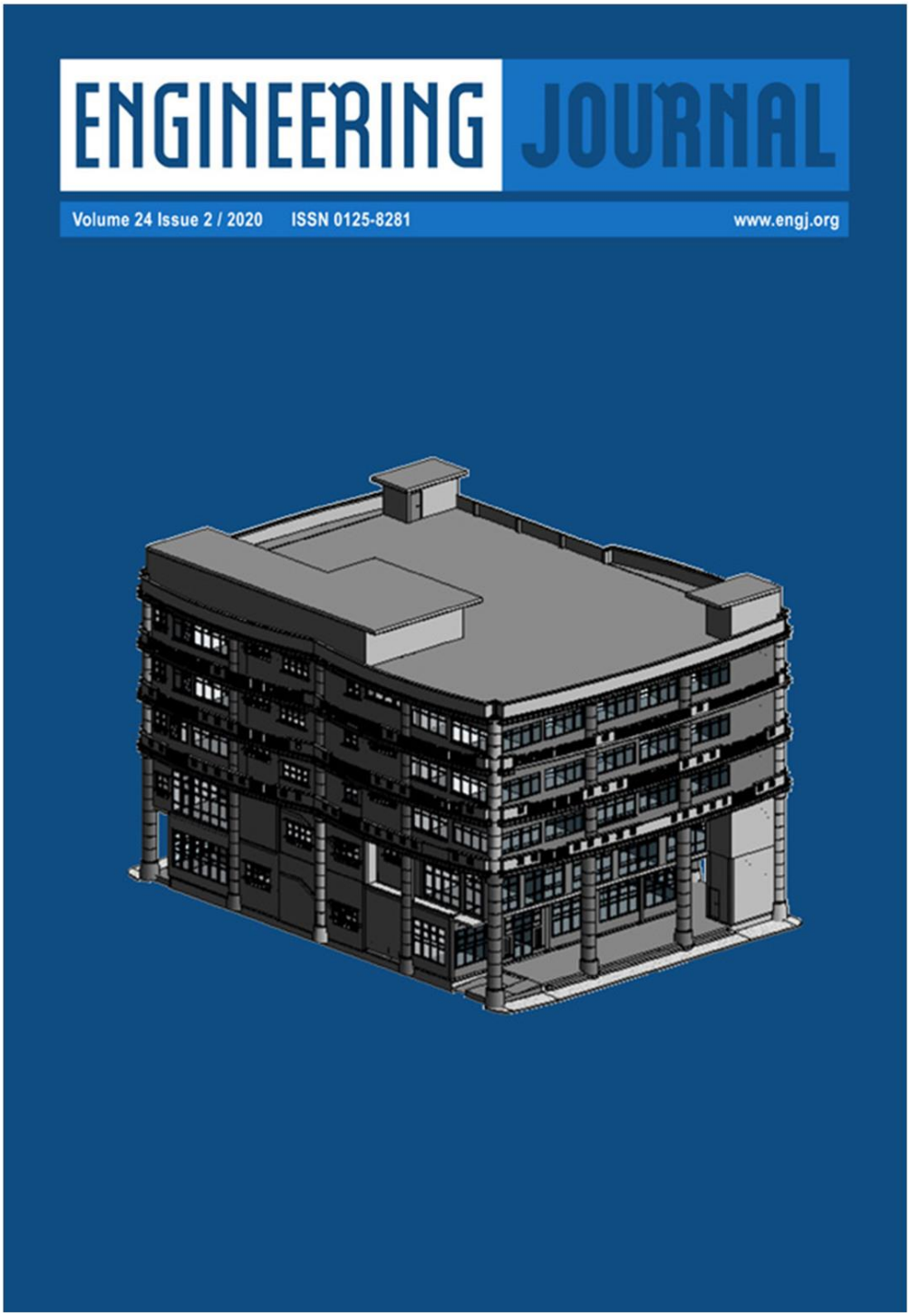
1. บทความที่ตีพิมพ์

   Use of Natural Rubber Latex (NRL) in improving properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

2. บทความที่นำเสนอ

   Developing Quality of Asphalt Concrete with Natural Rubber Latex for Highways Pavement in Thailand

1. บทความที่ตีพิมพ์ในวารสาร Enginering Journal. March 2020,Vol.24, Issue:2Page 53-62



Engineering Journal issn: 0125-8281

Article

Use of Natural Rubber Latex (NRL) in Improving Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Prawit Paotong, Saravut Jaritngam*, and Pichai Taneerananon

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai, Songkhla, Thailand
*E-mail: jaritngam@gmail.com (Corresponding author)

Abstract. Many issues, especially cost, need to be looked at when a new asphalt materials are considered for road construction. One major factor that impacts the cost is the volatility in oil price and stock availability. Consequently, this factor affects both road construction and maintenance by creating uncertainty and financial challenge for Thai manufacturers. Furthermore, all economies, either national or local, depend on adequate road infrastructure and their sound maintenance for growth and development. One strategy for reducing the overall cost of road construction is through reclamation of existing pavement surfaces that are being repaired or replaced. A process of recycling asphaltic concrete pavement known as Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) has been employed in many countries. However, one drawback associated with this practice is the costly investment in the mixing equipment which mechanically rejuvenates the old asphalt pavement by blending it with new asphalt binder. In addition to the high cost of investment, the required quality of the RAP has not been assured due to the lack of enough evidence. The addition of Natural Rubber Latex (NRL) to the process of the recycling asphalt pavement with the aim of reducing production costs and improving the quality of the RAP, offers a promising solution. This paper describes the results of an investigation into the properties of reclaimed asphaltic concrete mix with added NRL. The properties investigated include the Unconfined Compressive Strength (UCS) and California Bearing Ratio (CBR). The results show that properties of the NRL modified RAP mix meet the required engineering specifications. The results show that mixing NRL content of 5-15% by weight with RAP and cement content of 3-7% produced a mixture that meet the specification of Thailand Department of Highways in terms of UCS and CBR value for use in layers of pavement. Apart from the positive environmental impact of using recycle material of RAP, the economic and financial benefits to Thailand and rubber farmers make it worthwhile to use this NRL modified RAP for road construction and maintenance.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement, natural rubber latex, road construction.

ENGINEERING JOURNAL Volume 24 Issue 2
Received 8 July 2019
Accepted 9 January 2020
Published 31 March 2020
Online at https://engj.org/
DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

1. Introduction

Thailand is the largest rubber producer in the world. According to the figures from 2015 of the total global production, Thailand produced 35.7% followed by Indonesia (26%), China (7%), India (6%), and Malaysia (5.5%) [1]. Currently the market is experiencing low pricing because global demand is decreasing while inventory is increasing. New avenues for utilization of rubber are required to sustain the market and the rubber farmers. The previously expressed proportion of composition with regards to NRL and RAP needs to be analyzed and field tested in Thailand for proof that the process would be both effective and economically sound.

At present, the major usage of rubber domestically is in commercial products such as rubber gloves, condoms, and cars. This demand does not use up the stock sufficiently enough to maintain a viable market. Farmers are being forced to sell at prices below production cost due to a reduced demand and glut of inventory collectively.

The production and usage of rubber with regards to road construction is divided into two main categories:

1) Para Cape Seal Type which uses 5 percent of rubber in asphalt emulsion. From the proportion of current paved road surface which is 6 meters wide, it requires about 300 kilograms of rubber per 1 kilometer of pavement. Thus, 1 kilometer of road length requires 1,000 kilograms of rubber latex.
2) Para-Asphaltic Concrete which uses about 5% of rubber as a component of asphalt binder. From the proportion of paved road surface which is 0.04 meter thick, 6 meters wide, and 1 kilometer long, it requires 1,440 kilograms of rubber [2].

2. Literature Review

2.1. Pavement Materials

Hongentogler (1938), explained that the improvement of soil properties is to make the natural soil have the ability to better bear weight and withstand erosion. The improvement method may be from either compaction or use of admixtures.

Winerkorn (1955), explained the improvement of soil properties by bringing physical and chemical methods to mix with the soil to improve engineering properties.

Kennedy and Oleson (1987), have made Mixed In-Place Recycling by using cement and other materials as admixtures since 1984 in England.

Vichit cholchai et al., (2012), studied the improved longevity of asphalt quality for road construction throughout the lifespan of the road. They used Polymer Modified Asphalt (PMA) mixing of additive polymers to improve its quality. Natural rubber has the propensity as an additive polymer to improve stability, elasticity, and fatigue resistance. The research studied the proper ratio of asphalt cement and rubber required to obtain the desired properties. Their analysis of asphalt cement quality included softening point, penetration index, ductility, torsional recovery, toughness-tenacity, and viscosity. In the research, the appropriate proportion of asphalt and rubber were determined to produce components according to the specified properties and viscosity. It was found that the mixture of rubber at 6% gave the best quality of asphalt binder. Pavement that used this mixture demonstrated high tensile strength. Additionally, the higher viscosity of asphalt did not cause problems in mixing with aggregate components in the asphaltic concrete production.

Tuntiworawit et al., (2005), studied and tested the engineering properties of asphalt cement and asphalt concrete mixed with natural rubber in the form of rubber latex by focusing on finding out the appropriate proportion of rubber latex required in the mixing process. To achieve Natural Rubber Asphalt (NRA) from mixing it requires AC 60/70 with high concentrations of ammonia (HA) rubber latex at a content of 1-13% by total weight while being mixed with limestone to produce asphaltic concrete samples. The experiment results showed that the NRA had sound engineering properties. This is a good choice to produce asphalt cement because the natural rubber is abundantly available in the country and suitable for use as admixtures which increase the flexibility, stability and lifetime of the road. This research found that a mixture of 9% latex concentrate provided the best results.

Xiao et al., (2007), studied the improvement of the Rutting resistance properties of asphaltic concrete mixed with rubber for use as road building materials for RAP which was important in stimulating the use of asphalt concrete. In the past, the use of RAP was proven to help save money and reduce environmental problems while increasing the mechanical properties of rutting resistance of asphalt-rubber mixtures. The experiment was designed to use two rubber types including the rubber produced in ambient and cryogenically conditions while having four distinct values and three kinds of sub-rubbers. The experimental results demonstrated that RAP and sub-rubbers in the HMA can improve Rutting resistance properties.

Thongchai Rungrueng (2013), studied the improvement of the asphaltic surface dismantled from the original layer for reuse by studying the improvement of the quality of the cement modified crushed rock material of the original base mixed with the asphalt concrete surface added with cement to gain unconfined compression as required. The cement modified crushed rock base of the recycling base mixed with the reclaimed asphalt concrete with cement consisted of three mixture proportions; 3:1, 1:1, and 1:3 by changing cement quantity within the range of 2 -6 %. The study results indicated that the use of cement and the ratio between weight and cement provided the cement volume at equal unconfined compression in all respects. However, it was found that the ratio use between water weight and cement was more appropriate in terms of the number of samples to be tested. Additionally, when considering the development of unconfined compressive strength of the original stone mixed with cement and the

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

original modified asphalt concrete, the mixture at the ratio of 1 to 3, was not suitable to be used as aggregate material, since the development of strength under the curing phases produced reduced values.

From the literature review, it was found that the cement percentage in bonding was 3%, 5% and 7% and the latex was 5%, 10% and 15%. The overall optimal considerations for road work layers were determined to support a ratio of 3-5% of cement in combination with 5% latex [2, 3, 4, 5, 6].

2.2. Pavement Test Methods

2.2.1. Pavement Structure

Pavement structure (Fig. 1) consists of layers of materials that support traffic loads. The top layer serves to carry the load and distributes the impact down to the lower layers, spreading out into the subbase layer, and to existing soil. Pavement strength depends on the properties of the weight- bearing of materials of each layer in conjunction with a high-quality surface covering on the topmost layer. This top layer must be classified as strong and resistant to the abrasion of vehicle wheel friction while dispersing energy through the lower adjacent material layers and finally into the embankment layer.

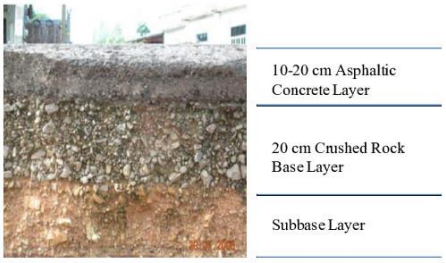


Fig. 1. Material Layers of Pavement Structure.

The material layers of pavement structure as shown in Fig. 1 possess distinct defined functions:

1. The Surface or Wearing Course must be strong and able to directly with stand abrasion and the wheels of the vehicles. It must possess stability when under a traffic load while being non-porous enough to prevent water from disrupting the properties of lower layers. Some commonly used surfaces are as follows:
   1.1. Treated Surface refers to the "wearing course" or the "shoulder surface" paved with asphalt that is sporadically covered with the sub-gravel or gravel sub-materials in a single layer or multiple layers. This also includes the base course or other areas which have already been layered with Prime Coat to prevent flaking and water seeping into the embankment layer. It does not increase the capacity for weight bearing.
   1.2. Asphalt Concrete Surface is a composite material derived by mixing the aggregate mass and the asphalt cement through a mixing process in conjunction with additive heat. The specific temperatures from the heating process accompanied by mixture ratios control the properties of the final product. The mixture is then applied at specified temperature ranges to ensure quality. The mixtures are then paved on the base course that have already been layered with Prime Coat or Tack Coat. Immediately after the paving equipment extrudes the layer it is compacted while it is still hot so as to achieve the required density. For asphalt concrete pavements, the strength quality correlates directly with the weight-bearing properties. Asphalt concrete is a flexible pavement of which the basic concept of its design is the combined thickness of the surface, the base course, and the subbase course (if any) which must be sufficient to reduce the force units occurring from the vehicle wheels. This dispersal of force should be uniform and not result in transferring excessive force to the embankment layer or trigger deformation in the existing soil. In other words, it can not transfer force from one layer that exceeds the capacity of proceeding layers [8, 9].
   1.3. Portland Cement Concrete Surface is the Rigid Pavement which possesses a combination of qualities that includes; strength, copious load-bearing capacity, and long service life. Portland Cement Concrete Surface functions primarily to distribute the load weight from the vehicle wheels and transfer it through to the base course, and then the subbase course. Nevertheless, since the concrete is considered strong with a very high flexibility rating, it disperses the wheel loads onto the pavement in a wide area. Therefore, the ability to bear weight is originated by the concrete itself [12].
2. Base Course is characterized as a stable and very robust layer. Its function is in distributing the force units caused by the wheel loads acting on the surface. It passes these force units into the subbase in a manner so as not to exceed the weight-bearing capacities of subsequent layers. The Base Course is comprised of materials such as crushed rocks, sub-gravels or quality improvement materials. They are described as follows:
   2.1. Crushed Rock Base-This is crushed rock material generated by specified millstone grades that are durable, clean, and contaminate free.
   2.2. Cement Modified Crushed Rock Base-This refers to crushed rock that has been modified through a process of homogeneously mixing cement and water and then subsequently crushing it thoroughly to ensure maximum firmness for the base course.

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

2.3. Soil Cement Base-This is the material obtained through material quality improvement which is done by directly mixing cement into the soil aggregate in order to create better engineering properties. This method is used for the road construction when the site is located far from available rock resources or in locations where there is a shortage of crushed rocks. Therefore, the base course with cement soil is employed to overcome such a situation. It possesses a high compressive strength and is considered a good material for base course layers. The material used for soil cement is usually low-quality laterite with a CBR value not in accordance with the subbase course standard.

2.4. Recycling Base-This is created by the introduction of the reclaimed materials and/or layers to be stabilized by mixing cement lime or asphalt according to the specification of the designing engineer then simultaneously paving it back and tightly compressing it to use as a Recycling Base before paving the new surface layer on it. This method is sometimes referred to as Deep Recycling which the Department of Highways utilizes for restoring asphalt surfaces in situations where the highways are seriously damaged from the surface layer through the base course requiring increased strength throughout the pavement structure.

3. Subbase Course is underneath the base course, functioning so as to distribute the force out of the base course and into the lower layers while reducing stress in the subsequent layers. Soil Aggregate is the preferred material for this. Though it is of lower quality, it is cheaper and more cost effective. The aggregate materials that are most commonly used are hard and durable with a mixture of good binding materials. They must be well graded while free from clay and weeds and limited to lumps no larger than 50 mm.

4. Selected Material-This is the material that can be found within the immediate construction area. It is of inferior quality in comparison to the Subbase Course material but possesses better quality than what can be found in the embankment layer. It can be used to separate between the subbase courses and Embankment Layer. It can be employed to help reduce the density of the subbase course while reducing construction costs.

5. Rubber-This is an important national economic crop and it is a kind of polymer that can be used to improve the properties of asphalt when used for road construction. According to a study [7] about techniques and the ratio of rubber mixture with suitable asphalt concrete, it was found that the use of Smoked Rubber sheets mixed with asphalt improved the properties of asphalt cement. It was determined that the ratio of 6% latex in regards to total weight is the most suitable proportion due to higher; softening point values, return values, toughness values, tenacity values, viscosity and Penetration Index values. These increased engineering properties demonstrated that the addition of Rubber Latex increased the strength and durability of the road. In addition, it was found that it can be homogenously mixed with asphalt better than that of Smoked Rubber sheets. The suitable mixture ratio of latex for mixing with asphalt cement for road construction in a mixing plant is 5% dried rubber in regards to total asphalt weight.

Fig. 2. Latex at the Rubber Research Center, Hat Yai District, Songkhla Province.

Latex from the rubber tree (Fig. 2) is a white or creamy liquid with rubber particles suspended in a water medium [11]. Rubber particles in round or pear shape are 0.05-5 microns in size, with a density of 0.975-0.980 grams per milliliter and a pH range of about 6.5-7.0. Generally, the amount of rubber found in natural rubber latex is approximately 25-45% and it has the following components:

Table 1. The amount of rubber within latex and the various additional components [4].

Components	Average % (by weight)
All solid substances	36
Protein group substances	1-1.5
Resin substances	1-2.5
Ash	1
Sugar	1
Water	The total amount including other substances is 100

The current production value of latex when rubber is processed is about 33 percent of volume. This percentage is not adequate for adding to the asphalt cement production process. Asphalt cement requires the latex to be at a level of at least 60 percent with relation to rubber volume while maintaining consistent quality throughout the material volume. In order to achieve this desired

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

percentage, the rubber must undergo a reducing type process. There are four methods of concentration that can be employed to generate this; water evaporation, creaming, electrical separation, and spinning. Most manufacturers in Thailand rely on a high-speed spinning method to separate out water and other undesired substances.

2.2.2. Test methods

Compaction Test

Soil compaction refers to the compression of a through process of directly applying mechanical energy. This process improves the physical soil properties and affects the moisture capacity. The tighter or more compact the soil is the more suitable it is for road construction. Loose soil is unstable and the porousness allows for greater water transference or moisture content. Soil can be tightened or compacted by means of applied mechanical vibration and weight. The compaction can be evaluated and tested using the industry standard of Proctor's method. The density of compacted soil depends on not only the amount of water used for compaction, but the compaction method and energy utilized when compacting. For compaction of the same kind of soil using the same quantity of water but different energy in compaction, the density obtained will be different. For the relationship between dry density- water quantity- energy, when the compaction energy is increased, dry density will be higher. When the unsuitable moisture is reduced, dry density will increase on both the dry side and wet side.

Unconfined Compression Test

The evaluation of the strength or power of soil is generally determined through two methods; (1) The soil without induction force which is caused by the electrical-chemical attraction between the soil grains and (2) The friction caused by the abrasion between the soil granules and the stiffness between the surface of the soil grains. Testing is accomplished by utilizing a special ground rod that is forced into the soil and it cores a sample while encapsulating it when retracted. This coring is then placed in a machine that is designed and calibrated for specific tests. A commonly accepted methodology for determining the shear strength of soil centers on using Mohr's formula which is based on tested math. The shear strength refers to the bond between soil grains in induced soil. The symbol representing this is (c). The induced soil may include clay. When the soil is compressed, it will cause stresses at the contact surfaces. If the soil is in a loose condition, it will cause the soil grains to hold together tightly and reduce the gaps between the soil grains. But if there is an accumulation of forces such that there are no gaps left in the soil, or the force of action increases so quickly that the contact surfaces between the grains cannot increase, it will result in a potential force within the soil mass. The soil is then considered to be in an unbalanced condition causing the soil mass to be potentially catastrophic in relation to failure. The plane of the catastrophe is called the plane of soil shear strength. This represents the maximum shear strength unit that the soil can stand. It consists of the cohesion force naturally occurring between the soil grains based on both electrical charges and chemical reactions. This soil property is called cohesion. The friction to resist the movement between the soil grains is called internal friction. This will depend on the compressive force the soil mass is exposed to. It can be measured by the ϕ angle of Internal Friction.

Unconfined Compression Test is a non-consolidation test which is commonly used with shear strength testing of saturated clay in the surrounding pressure being zero, with the vertical force acting on the sample soils quickly. This experiment is an easy way to determine the non-dehydrated shear forces without having to consider the change in water quantity in the soil mass during the experiment. In this kind of experiment, the angle of internal Friction (ϕ) can not be figured out because this experiment will be quickly conducted before the water has the opportunity to drain out. The shear strength is equal to half of the ultimate compaction unit which is 2SU when SU is UCS compression strength and sometimes use the symbol (c) as $c = qu/2$ when qu is the ultimate compressive strength of the unlimited soil [10].

California Bearing Ratio Test

In 1992, the California Division of Highway determined a method for classifying soil properties for use in the selection of suitable materials for road construction. During World War II, it needed to develop an airport that could bear the weapon load of the Air Force. The United States Army Corps of Engineers Unit then successfully adopted the CBR qualification testing method to design the airport runways. The purpose of soil compaction is to increase the capacity of the soil strength. This also affects the seepage of water through the soil mass and corresponding collapsing and swelling due to water retention. This method eventually became an accepted evaluation tool with respect for the embankment layer, subbase course, and base course. In a general construction plan, the density of a soil layer will be determined so that each layer for compaction is as a % of CBR. The % of CBR is scaled so that the higher the number directly corresponds to higher compaction. CBR is then employed to find the shear strength of soils or crushed rocks which have already been compacted. The values obtained from the test are in the form of resistance units of the tested soil compacted per standard weight unit of crushed rocks compacted respectively in the depth or the penetration piston, which is equal in a comparison percentage. CBR testing can be done immediately after soil compaction. If the soil mass has a water quantity lower than that found in the soil causing the optimum moisture content (OMC), the result CBR value will be higher than the compacted soil mass with water content in the soil higher than the OMC value. If the compacted soil is taken after saturation in water for 4 days, the CBR value close to OMC will result

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

in an ultimate CBR value, swelling the soil when immersed in water before the CBR experiment.

Standard or modified soil compaction experiments will obtain the highest dry density and water content reflecting the soil being the most cohesive. Each soil sample has unequal highest cohesion values. The experiment to find CBR values is to find the load capacity of each soil with the highest dry density. If the density is high, the CBR will be accordingly high as well. The soil properties suitable for transportation engineering work are determined by cumulative soil CBR values. The CBR test is a method of finding the weight bearing of the compacted soil by using a piston with 3 square inches of cross-sectional area to press on the soil sample. If the greater % of CBR is determined, that layer must be accordingly more compacted and subsequent CBR testing which is calculated to figure out soil shear strength values and compare them in percentage.

Table 2. CBR relationship standard and suitability for use [13].

%CBR	Rating	Uses
0-3	very poor	subgrade
3-7	poor to fair	subgrade
7-20	fair	subbase
20-50	good	subbase, base
>50	excellent	base

CBR Test is a method for comparing the shear strength of compacted soil samples by using the water quantity at OMC in order to obtain the ultimate dry density and then compare them to the standard soil materials that have already been tested. The standard used for testing is ASTM D 1883-99. For CBR Test Method, the compaction strength %CBR generally uses compact strength at the ratio of 0.1-inch depth [14, 15].

3. Research Methodology

The information of reclaimed asphaltic concrete used in testing was obtained from the Department of Highways, Songkhla Province. The asphalt passing the digestion was brought to be exposed to the sun to prepare for the further compaction process, as shown in Fig. 3.

Fig. 3. Reclaimed asphalt concrete used for testing.

The compositions were determined by testing reclaimed asphalt pavement materials, and reclaimed asphalt pavement materials mixed with cement and rubber were designed to conduct the experiment by preparing and testing 24 UCS samples and 8 CBR samples totaling 32 samples. The procedures of research study were conducted according to the plan as shown in Fig. 4.

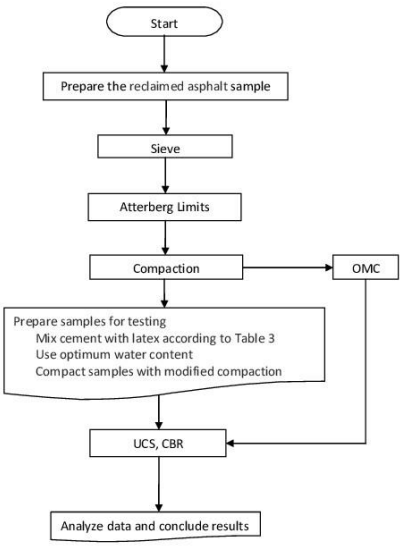


Fig. 4. Flow chart of experiment to find optimum amount of added NRL and cement.

3.1. Road Material Mixing in the Laboratory

Sample preparation for testing was be conducted using the reclaimed asphalt concrete samples that had been finely crushed and modified through compaction by ASTM D 1557 using a 2 inch diameter (30 cm), 4 inch (10 cm) height mold, and a 2.78 pound hammer (1262.10 g) with a12 inch (30 cm) lifting distance. The samples were divided into 5 layers which were compacted 25 times each. Under equal power in compaction, the samples received equal compact energy. The samples used comprised reclaimed asphalt concrete, rubber and cement: Portland cement type 1, of 3%, 5% and 7%, by the weight of reclaimed asphalt concrete (3000 g) was used. The total mixing was done under the Optimum Moisture Content, OMC. The finished samples were wrapped with a plastic sheet for preservation to prevent moisture from evaporating and stored in a container with a lid for moisture control. The samples were cured for 7, 14 and 28 days respectively with regards to the mixture rate and the number of samples.

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

3.2. Modified Proctor Compaction Test

Test Number DH-T 108/1974 Standard and AASHTO T 180 were used to find the relationship between soil density and the amount of water used for modified compaction when grinding in a mold using a hammer weighing 4.537 kg (10.0 lb). The falling distance of the hammer was 457.2 mm (18 inches) as shown in Fig. 5.

Fig. 5. Sample preparation features before testing.

3.3. California Bearing Ratio (CBR)

This test had been conducted according to ASTM D 1883-99 (Fig. 6) using the Modified Proctor method to test all soaked samples. To prepare the samples, the equipment consisted of; a 6-inch (15.2 cm) diameter, 7-inch tall mold, a 2-inch tall collar, and a punched base plate which the mold could be attached at both ends, a perforated base plate, a spacer disc, and a metal round steel sheet measuring 5 inches in diameter with a height of 2.4 inches placed on its one side with a drilled hole with a hand screw for easier removal in case it gets stuck in the mold. A compaction hammer weighing 5.5 pounds with a falling distance 12-inches for standard compaction, and a 10-pound compaction hammer with 18-inch falling distance for modified compaction was used (Fig. 7).

Fig. 6. California Bearing Ratio Test (CBR).

Fig. 7. Sample Placement and Various Sets of Composition Equipment before testing.

3.4. Unconfined Compression Test

According to STANDARD TESTING (105 DH.-T) and AASHTO T208 equivalent, Unconfined Compression Test (Fig. 8) is a testing method routinely employed for determining shear strength of a sample due to both being economical and easy to use. The cured compacted samples soaked in water for about 2 hours and were then removed. After removing the samples, they are weighed and measurements taken of diameter and height. The process of measuring is repeated after curing time lapses of 7, 14, and 28 days.

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

Fig. 8. Unconfined Compression Test.

4. Results and Discussion

Based on the studied sample of the reclaimed asphalt concrete surface at Khlong Wa intersection, Hat Yai district, Songkhla province, the results were as follows:

4.1. Unconfined Compression Test

From Table 3 as an example, it can be observed at the end of the 7-day curing period that increasing the amount of cement results in increasing unconfined compressive strength. It is found that at the end of a 7-day curing period, 7% cement content acquires unconfined compressive strength of 70.47 ksc.

Table 3. UCS Test Results of the mixture for different percentage of cement content.

Test no.	% Cement	Average UCS (ksc)		
		7 days	14 days	28 days
1	3	19.34	21.75	22.24
2	5	45.28	52.48	60.23
3	7	70.47	93.54	100.48

4.2. California Bearing Ratio Test

Table 4. CBR test results of the mixture for different percentage of cement content at 7 days.

Test no.	% Cement	%CBR
1	3	40
2	5	54
3	7	82

Table 4 shows the CBR test results of the mixture for various cement after a 7-day curing period. The mixture achieved a maximum CBR value of 82 at 7% cement composition.

Table 5. Test Results of the mixture for various Cement and NRL contents.

Test no.	% Cement	%NRL	Average UCS (ksc)			%CBR
			7 days	14 days	28 days	7 days
1	3	5	14.53	19.76	26.72	38
2	3	10	11.05	16.68	22.56	33
3	3	15	3.56	5.04	6.34	28
4	5	5	22.09	25.46	28.42	40
5	5	10	20.77	24.67	28.44	35
6	5	15	10.22	13.45	18.24	32
7	7	5	23.89	28.72	33.52	42
8	7	10	21.40	24.24	28.31	40
9	7	15	16.46	19.42	25.65	34

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

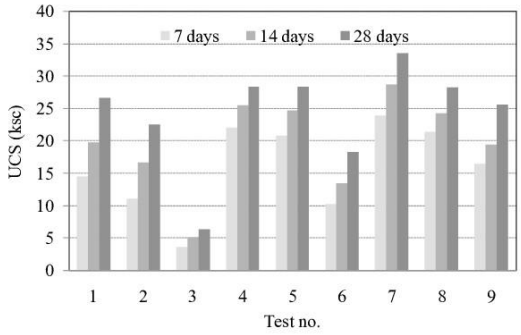


Fig. 9. UCS test results of the mixture for various Cement and NRL contents.

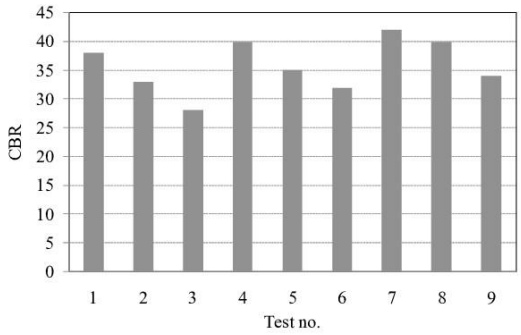


Fig. 10. CBR test results of the mixture for various Cement and NRL contents.

From Table 5 and Fig. 9, the mixture with NRL and cement shows that at 7 days curing period, 5% NRL and 7% cement (Test no. 7) gives the maximum CBR value of 23.89. From the analysis of %CBR and the amount of cement, it was found that the increasing cement content would increase %CBR value. From %CBR results, it was found that it is a good criterion which has tendency in the same direction as UCS value with the tested mixture exhibited two maximum values (see Fig. 10). In the set 1 test, it is the mixture of Asphalt concrete and 7% cement (Table 4). For the set 2 test, it is the mixture of Asphalt concrete mixed with 7% cement, and 5% NRL. Thus, it can be seen that NRL has great potential to be used for road construction in base course layer, and subbase course layer which consume a large quantity of NRL.

5. Conclusions

From the test results of various combinations of the mixture of reclaimed asphaltic concrete and cement, it was found that the value of Unconfined Compression Strength increases with increase in cement content. Test results for combinations of mixture of reclaimed asphaltic concrete, cement and NRL (Fig. 9) showed that increasing the amount of NRL beyond a certain value resulted in reduced compressive strength. Analysis of effect of cement content on compressive strength showed that an increase in cement content results in corresponding increase in compressive strength. Additionally, the mixture of asphaltic concrete and cement as specified in a DOH Standard governing the value of UCS materials used for base course, must have a UCS value greater than 17.5 ksc. From our results, it was possible to use the NRL added mixture in commercial applications. However, a significant issue was whether that Compaction and Mixing of the materials could meet specified standard, which could be determined by the availability of heavy machine needed to do the job. In terms of construction cost and environmental issues, the use of NRL added RAP is more advantageous when compared with conventional materials because stone aggregates or lateritic soil are obtained through demolishing of mountains which are becoming scarce and facing opposition from the locals. Thus, onsite recycling of pavement materials by adding NRL and cement is aviable alternative way to reduce the problem of getting rid of old pavement material and shortage of rocks.

DOI:10.4186/ej.2020.24.2.53

The result of California Bearing Ratio tests showed that when cement content increased, the value of CBR also increased. For the mixture of reclaimed asphaltic concrete, cement and NRL, the results showed that as the amount of NRL increased, the value of %CBR decreased. The effect of cement content on %CBR was such that increasing amount of cement resulted in corresponding increase in the %CBR value. From CBR test results, a positive correlation between UCS value and mixture combinations was observed with the tested mixture exhibited two maximum values. In the set 1 test, it was the mixture of RAP and 7% cement. For the set 2 test, it was the mixture of RAP with 7% cement, and 5% NRL. Thus, it can be concluded that NRL has great potential to be used in road construction in both the base course and subbase course

In terms of cost, when compared with using the conventional road building materials such as crushed rocks, the NRL modified RAP is viable. The results of this research show that the cost reduction comes in the form of significant saving of resources by using renewable materials, reducing environmental impact from rock quarrying, and reducing the accident risks from trucks transporting waste materials away. However, for the cost comparison between (1) reclaimed asphaltic pavement mixed with cement and (2) reclaimed asphaltic pavement mixed with cement and NRL, the issue of long term durability needs to be further investigated as the cost of pavement would depend on the cost of rubber. However, the economic and financial benefits to Thailand and rubber farmers make it worthwhile to use this NRL modified RAP for road construction and maintenance.

References

[1] V. Petchsai, "Rubber industry business/industry trends 2016-61," *Krungsri Research*, 2016. [Online]. Available: https://www.krungsri.com/bank/getmedia/4b7f69d2-dc4d-4565-af75-e85d57d48157/IO_Rubber_2016_TH.aspx.

[2] P. Phisutjariyanan, "Trang Provincial Administrative Organization Spent nearly 270 million to build "rubber road" with 115 tons of rubber," Agricultural Power, 2016.

[3] M. Dutchanee, "Compressive strength of repaired road by recycling technique of pavement materials," Master of Engineering thesis, Civil Engineering, Suranaree University of Technology, 2010.

[4] W. Phattanakun, "Natural rubber and synthetic rubber," Rubber Industry Group, Rubber Research Institute, 2011.

[5] Department of Highways, *Pavement Recycling*. 2000. [Online]. Available: http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs213-43.pdf

[6] T. Rungrueng, "Pavement remediation using soil – cement base admixed with recycled asphalt concrete stabilization," Civil Engineering, Suranaree University of Technology, 2013.

[7] Royal Irrigation Department. (2014). *Using Asphalt Rubber Mixed with Road Surface Pavement Work* [Online]. Available: http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/engineer14/pararoad.pdf

[8] Department of Highways. (1989). *Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt* [Online]. Available: http://winti.pte.co.th/e_attachment/attachment/document/18_2_1308193368029.pdf

[9] Highway Bureau 2. (n.d.). *Development of Asphalt Material Quality* [Online]. Available: http://www.doh.go.th/attach/files/KM/PDF

[10] S. Jaritngam, W. O. Yandell and P. Taneerananon, "Development of strength model of lateritic soil-cement," *Engineering Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 69-77, 2013.

[11] P. Sae-ui. (2015). *Types of Rubber and Work* [Online]. Available: http://www.rubbercenter.org/files/technologys.pdf

[12] Education Lover Community. (2014). *Cement Types*. [Online]. Available: https://blog.eduzones.com/whet/3384

[13] B. M. Das and K. Sobhan, *Principles of Geotechnical Engineering, SI Edition*, 8th ed. Boston: Cengage Learning, 2014.

[14] H. F. Winterkorn and H. Y. Fang, *Foundation Engineering Handbook*, 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

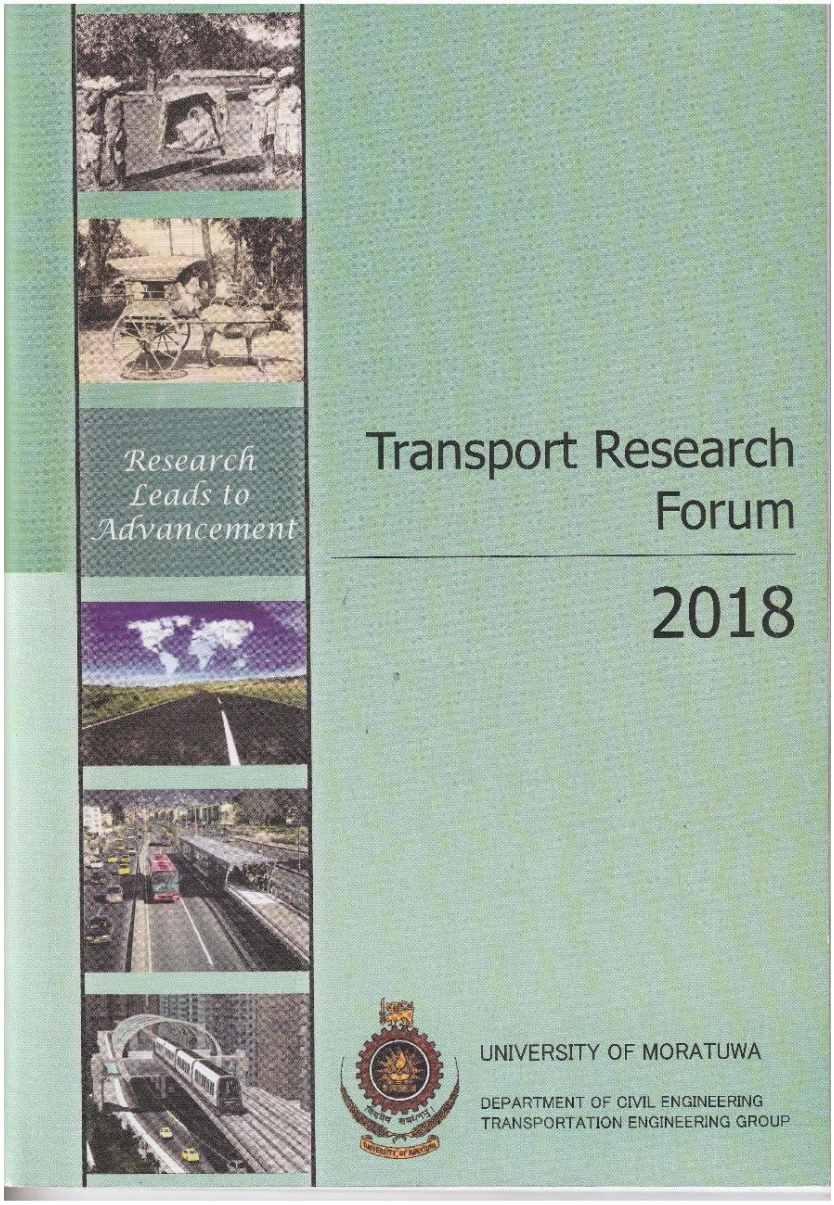
[15] T. Ruenkrairergsa, "Development of soil cement road in Thailand," in *Proc. 11th IRF World Meeting*, 1989.

Prawit Paotong, photograph and biography not available at the time of publication.

Saravut Jaritngam, photograph and biography not available at the time of publication.

Pichai Taneerananon, photograph and biography not available at the time of publication.

1. บทความงานวิจัยที่นำเสนอผลงานในงาน Transport Research Forum 4th ณ University of Muratuwa Srilankla วันที่ 5 สิงหาคม 2561



Developing Quality of Asphalt Concrete with Natural Rubber Latex for Highways Pavement in Thailand

Prawit Paotong[1], Assoc.Dr. Saravut Jatitngarm[2], Prof.Dr. Pichai Thaneerananon[3]

Abstract

Among transportation in Thailand, Highways transport has been most used. Actually, there are two types of pavements including concrete pavement and asphalt concrete pavement but more than 90% of pavements use asphalt concrete pavement. Nevertheless, Asphalt Concrete Pavement has short Lifespan; increasing traffic volume reduces the lifetimes and increase maintenance budget. As asphalt concrete pavements come from Petroleum crude oil, higher petroleum prices have impacted onasphalt concrete pavement construction. Department of Highways (DOH) and researchers have developed innovation toimprove engineering properties of Pavement Material using asphalt concrete mixed with Natural Rubber latex (NRL) which is another way to improve the properties of asphalt concrete. This research used Asphalt Cement AC 60/70 mixed NRL 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 and 80:20. The engineering Properties of samples were tested by Penetration Test, Flash Point Test, Softening Point Test, Ductility Test, Stripping of Aggregate and Binder Test, For Resistance to Plastic Flow of Bituminous mixture, MarshallApparatus test was used. The test results showed that the asphalt AC60/70 mixed with natural latex at 90:10 had the best engineering properties according to the Department of Highways Standard. The development of natural latex can successfully improve the quality of asphalt concrete. The Department of Highways has been subsequently used it for Highways pavement construction.

Keywords: Asphalt Pavement, Natural Rubber Latex, Flexible Pavement

[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Email: prawit_pt@hotmail.com
[2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Email: Jaritngarm @gmail.com
[3]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
Email: breathislife@yahoo.com

1. Introduction

Transportation in Thailand by Highways transport is the easiest way for traveling by every means of transportation: car, bus, and truck. Due to the increasing traffic impact on Highways, Asphalt concrete Pavement is more damaged than concrete Pavement. Actually, there are two pavements types including Concrete Pavement, and Asphalt Concrete Pavement of which the lifespan is short. As a result of the increasing traffic volume, the asphalt concrete pavements have been damaged fast and subsequently required increasing maintenance budget. As Asphalt concrete use Asphalt obtained from the Petroleum, higher petroleum prices have impacted on pavement construction. Department of Highways and Road Researchers have developed the invention by using NRL mixed with Asphalt concrete to improve engineering properties of Asphalt concrete. This is another way of its improvement due to the use of high elasticity materials which are easily available because Thailand produces its own rubber. This leads to the increase in NRL consumption in Domestic and responds to the government policy. This study has 2 objectives which are to testthe engineering properties of asphalt cement mixed with NRL at 5-20% by Weight, and to find the optimal of latex when mixed with asphalt cement.

2. Literature

Nopparat et al. (2012) have studied on the asphalt cement properties improvement [2] by using Rubber latex for pavement construction at 2, 4, 6, 8 and 10% by weight. After being tested for Penetration, Softening Point, Ductility, Torsional Recovery, Tonnage-Tenacity and Viscosity, It was found that mixing natural rubber 6% is the most effective. From the experience on the use of asphalt cement on roads in the Netherlands for the first time in 1949, it has been used for a long time, reducing road maintenance costs. [1] In 1951, Malaysia used 5% natural rubber latex with Asphalt Cement Road, Kota Maru - Goa to find out better quality roads.

Chit thasanakul et al. [3] have used asphalt cement mixed with natural rubber to pave a road at Hat Yai, Songkhla. The road lasts a longer period of use.

Krit Jetwanna et al. [4] have improved the properties of asphalt rubber AC60/70 with latex and smoked sheet rubber at the rate of 3, 5, 7, 9%. For testing engineering properties of strength, viscosity, softness, flash point, elongation, elasticity and permanent abrasion resistance. The test found that using 5% NRL, and 3% rubber sheets mixed in AC60/70 gives the best properties. It was also found that the use of natural latex is better than rubber sheet.

Direk Lawansiri et al. [5] have studied the improvement of the quality of asphalt with NRL using asphalt AC60/70 blended with high ammonia latex. The Flexibility and Stability values were found higher than untreated asphalt. The quantity used is 9% by weight.

Wisut [6] has studied rubber research reports in India using 2% fresh latex mixed with asphalt to pave the 1 km road between Trivandrum and Kottayam. When compared to the ordinary asphalt road, it was found that ordinary asphalt roads needs to be repaired in 5 years and 10 years while the asphalt mixed with NRL can last longer, and it will be repairing in 14 years.

3. Experimental Works

3.1 Materials Used

For preparation of equipment and materials to test engineering properties in the laboratory, the tested samples are asphalt AC60/70 mixed with rubber latex at percentage shown in Table 1. Material Standard and testing Requirement are shown in Table 2.

3.2 Steps and Methods of Sample Mixing

The method of mixing asphalt grade AC60/70 with NRL was done by preparing a container for boiling, a heating equipment. Next, use Asphalt Cement grade AC60/70 and mix it with NRL 0, 5, 10, 15, 20 %. Then, mix two components of each percentage level of NRL mixture homogeneously in container and continuously heat them while testing.

3.3 Testing

Engineering properties of asphalt AC60/70 and asphalt AC60/70 mixed with NRL at 0, 5, 10, 15 and 20% were tested by using Penetration test, Flash Point test, Softening point test, Ductility test, Stripping of Aggregates and Binder test, and Resistance to Plastic Flow of Bituminous mixture was tested by using Marshall Apparatus Test.

3.4 Data Analysis and Test Results in engineering.

Analysis of data and test results for engineering properties of AC60/70 and AC60/70 mixed with NRL results were compared to the engineering Properties of asphalt according to DOH Standard.

4. Results and Discussions

4.1 Penetration Test

The highest value was 65.67 when Asphalt not mixed and Mixed 5% of Natural Rubber Latex 20%. The Penetration test valued lower than DOH standard 47.67. The results showed that adding NRL made material viscosity higher as shown in figure 1.

4.2 Flash Point Test

The test result of Flash Point value of asphalt standard Cement without natural latex was at 232 ^{o}C and at the ratio of natural latex 20 % the test value was 296.7 ^{o}C higher than the DOH standard.

4.3 Softening Point Test

The test results of the Softening Point of the Asphalt standard was 45 ^{o}C, the highest test result of Asphalt mixed with NRL 20 % was 57.25 ^{o}C which was highest test value and asphalt was 42 ^{o}C lower than the standard for Figure 3.

4.4 Ductility Test

According to the elongation test, it was found that Asphalt without NRL mixture was 54 cm, compared to Asphalt with 20 % NRL, it was found thatThe elongation value was 36.77 cm. From the

study results, it was found that the elongation value ofasphalt mixed NRL at 10% had the maximum elongation value at 97 cm as shown in Figure 4.

4.5 Resistance to Stripping of Aggregates and Binder Test

As a result, the Asphalt was 19.80%, and the asphalt with 5% NRL mixed was 17% and the Asphalt mixed with NRL 20% was the lowest at 7% as shown in Figure 5.

4.6 Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture using Marshall Apparatus Test

The test results of mixedAsphalt concrete by Marshall Method.The result of the non-natural latex test showed that the Density value was 2.49 g/ml. The Stability value was 2632 Ibs. The flow was 14.44 mm. When The NRL mixed was 5, 10, 15, 20%, density equaled 2.492, 2.5, 2.493 and 2.48 g/ml. Stability values were 4.2584.64, 2592, 2553.93, 2593.98 lbs. Flow values were 15.6, 17.80, 19.50 and 22.3 as shown in Figure 6, 7 and 8 respectively.

4.7 Base materials test

Base Material used Laterite soil which is Local Material and used for DOH specification. The significant tests of base materials were UCS and CBR.

It was used for Highways Construction in Prince of Songkla Univerity, Suratanee Campus. The samples from site construction were tested by Marshall test, Skid Resistance, Plate test, and Deflection test by Benkelman test respectively.

5. Conclusions

From the results of the penetration test, asphalt mixed with natural latex had penetration value. The value of unprocessed asphalt mixed at 20% was the lowest at 44.67, Softening Point at 57.2 ^{o}C. The Asphalt Concrete gave the highest flash point at 319 ^{o}C. The highest elongation by Ductility test at NRL at 10% was 97 cm. The results of the asphalt test with latex; Asphalt Concrete Mixed was tested by Marshall Test. The maximum density when using 10% natural latex, which is 2.50 g/ml, the stability value was 2592 lbs. It was concluded that the Asphalt concrete properties improvement by using 10% NRL is the most acceptable ratio and the properties are still in the DOH standard.

6. References

[1] Wichit Suwanpricha, "The use of rubber asphalt mixed with road surface to Increase the use of rubber to reduce. Maintenance costs “the plan to use natural rubber in the Highway. 2001-2005

[2] Nopparat Vichitcholchai, Jarasri Punpan, Nuchanat Na Ranong, "Improvement of Asphalt Cement Properties with Natural Rubber for Road Construction", Journal of Thai Rubber, pp. 32-39, 2012.

[3] Chit Thasanakul, "Development and Reform of Rubber Production," 8thKasetsart University Annual Conference, Kasetsart University.3-6 February 1969. Bangkok:442 pages.

[4] Krish Chetwanna, Ekachai Sumalee and Veerachon Chanintrade, "Study of Binder Material Properties of Asphalt Compound Type AC60/70 / 70 mixed with Liquid Naturalrubber sheet. "Journal of the National Transport Conference No. 10, 2015, page 1-11.

[5] Direk Lawansiri, Narachai Tantivorawit and Chaitharn Promsorn, “Improving properties of asphalt with natural latex", East Asian Transport Engineering Society, 2014. Vol. 5: pp. 32-39.

[6] Wisut Sakulrat, "Asphalt Admixture with Natural Latex", Journal of Rubber, Vol. 21, January 1, 2000.

[7] Vatcharin Witthikool, Asphalt Concrete for Road Works, 1st Edition. Bangkok: of Printing, Kasetsart University. 2008

Table 1. Composition of asphalt grade AC60/70 with natural Rubber latex

Item	Percentage	
	AC60/70	NRL
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20

Table 2. Material Standard and testing Requirement

Item	Properties Specification		Value
1	Penetration Test	DH-T403/1975, ASTM: D5-75	60-70
2	Softening Point Test	ASTM: D2398-76	45 °C
3	Ductility Test	DH-T405/1976, ASTM: D113-69	50 cm
4	Flash Point by Cleveland Open Cup	DH-T406/1976, ASTM: D92-77	232 °C
5	Resistance to Stripping of Aggregate and Binder	DH-T605/1975	20
6	Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus Density Stability Flow	DH-T604/194, ASTM: D1559-76	 2.48g/ml 1800 lbs 7-18 mm

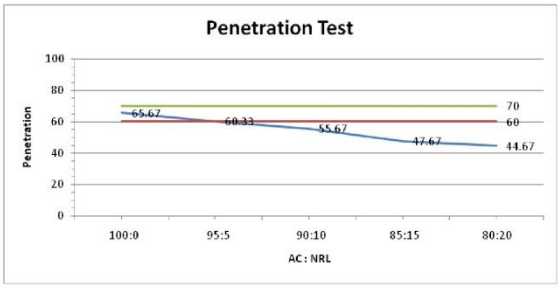


Figure 1. Graph of Penetration Test Result

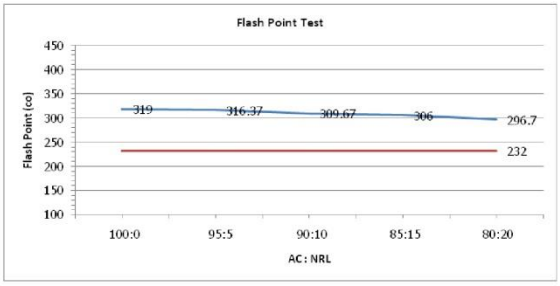


Figure 2. Graph of Flash Point Test Result

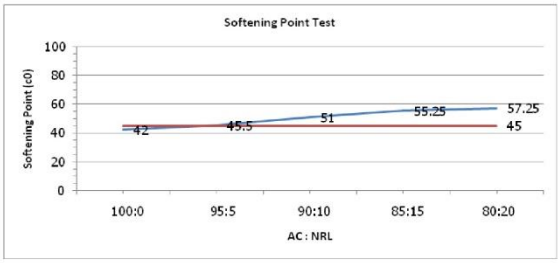


Figure 3. Softening Point Test Result

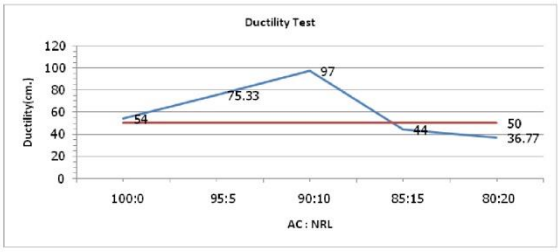


Figure 4. Ductility Test Result

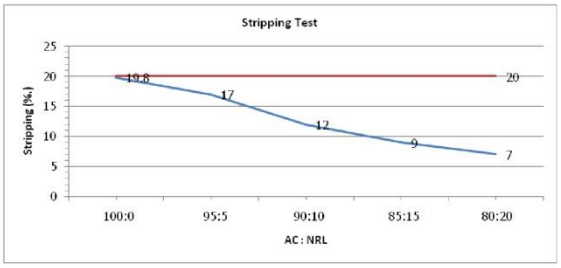


Figure 5. Stripping Test Result

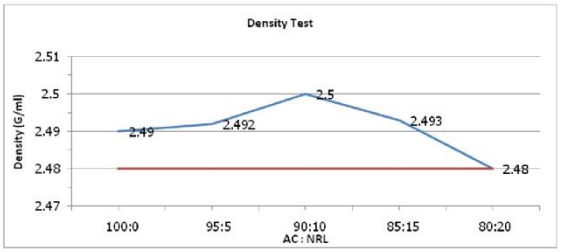


Figure 6. Density Test Result

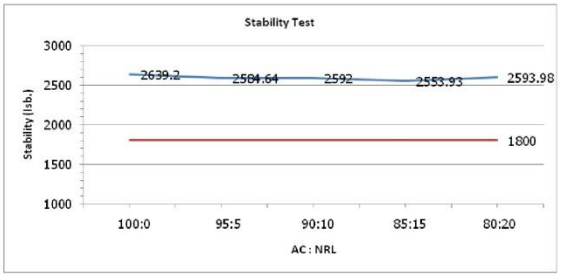


Figure 7. Stability Test Result

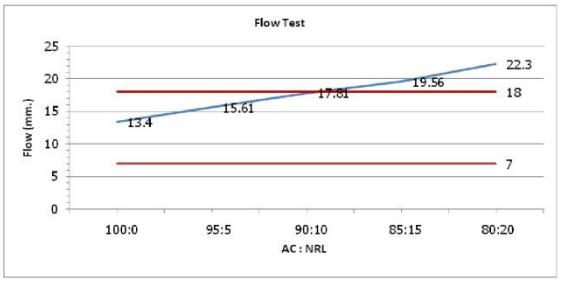


Figure 8. Flow Test Result

Certificate of Participation

This is to certify that

Prawit Paotong

Presented a paper at

Transport Research Forum (TRF) 2018

Organized by the Transportation Engineering Group

Department of Civil Engineering

University of Moratuwa

Prof. W. K. Mampearachchi
Conference Chair
TRF 2018

Dr. H. R. Pasindu
Conference Secretary
TRF 2018

Date: 4th of August 2018

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายประวิทย์ เป้าทอง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5710130016

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	มหาวิทยาลัยรังสิต	2537
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2554

ตำแน่งและสถานที่ทำงาน

ตำแน่งวิศวกรโยธาและระบบราง บริษัทเอ็ม เอ เอ คอนซัลแตนท์ จำกัด
ประจำโครงการ รถไฟทางคู่ นครปฐม – ชุมพร ตั้งแต่ 2561

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

Prawit Paotong.Saravut Jaritngam.Pichai Taneerananon. 2018. *"Developing Quality of Asphalt Concrete with Natural Rubber Latex for Highways Pavement In Thailand"* Graduate Students Colloquium on Transport Research University of Moratuwa Srilanka. Transport Research Forum (TRF) 3-9 August 2018.

Prawit Paotong.Saravut Jaritngam.Pichai Taneerananon. 2020. *"Use of Natural Rubber Latex (NRL) in improving properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)"Engineering Journal Vol.24,No.2. March 2020*