การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผสมระหว่างยางมะตอยกับน้ำยางพารา

A STUDY OF INCREASING THE RHEOLOGICAL AND PERFORMANCE PROPERTIES FOR PARA - ASPHALT

ธนวัฒน์ แสงสุริโยทัย

ปิยวัฒน์ ทองอินตา

ภูมิ วรรณวิเชษฐ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF INCREASING THE RHEOLOGICAL AND PERFORMANCE PROPERTIES FOR PARA – ASPHALT

THANAWAT SANGSURIYOTHAI

PIYAWAT THONGINTA

POOM WANNAWICHATE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผสมระหว่างยางมะตอยกับน้ำยางพารา

นายธนวัฒน์ แสงสุริโยทัย รหัสนักศึกษา 59010594
นายปิยวัฒน์ ทองอินตา รหัสนักศึกษา 59010863
นายภูมิ วรรณวิเชษฐ์ รหัสนักศึกษา 59011073

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

เนื่องจากยางพารามีราคาตกต่ำลงอย่างมากในตลอดช่วงระยะเวลาที่ผ่านมารัฐบาลจึงมีนโยบายในการส่งเสริมและสนับสนุนเกษตรกรชาวสวนยางให้มีรายได้จากการขายยางเพิ่มมากขึ้น โดยการนำยางจากธรรมชาติ คือ ยางพารามาผสมกับยางมะตอยในการก่อสร้างถนน เพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศให้มากขึ้น ซึ่งการนำน้ำยางพารามาผสมกับยางมะตอยนั้นจะมีปริมาณยางพาราผสมประมาณ 5 % จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการผสมน้ำยางพารากับยางมะตอยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอายุการใช้งานและลดจำนวนการซ่อมบำรุงรักษาถนน และมีงานวิจัยในการพัฒนาคุณภาพน้ำยางพาราผสมกับยางมะตอยโดยเพิ่มส่วนผสมน้ำยางพาราให้มากกว่า 5 % ซึ่งน้ำยางพารานั้นมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วยอาจจะทำให้ประสิทธิภาพและความชื้นความเสียหายเนื่องจากน้ำในน้ำยางพาราอาจทำให้คุณสมบัติของสารยึดเกาะยางมะตอยลดลง ดังนั้นโครงงานนี้จึงศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผสมระหว่างยางมะตอยกับน้ำยางพาราโดยใช้การทดสอบปฏิบัติการแอสฟัลต์คอนกรีตตามมาตรฐานข้อกำหนดของกรมทางหลวง โดยมีวัตถุประสงค์ของการทำโครงงานคือ เพื่อศึกษาคุณสมบัติความหนืดของยางมะตอยผสมน้ำยางพารา เพื่อศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่ม และเพื่อศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งเกิดจากน้ำในน้ำยางพาราที่อาจทำให้คุณสมบัติของสารยึดเกาะยางมะตอยลดลง ซึ่งโครงงานนี้ได้ศึกษาปริมาณส่วนผสมของน้ำยางพารา 0% 5% และ 10% ใช้ยางมะตอยชนิดAC 60/70 วัสดุมวลรวมใช้เป็นชนิดหินปูน โดยจากการทดลอง พบว่าคุณสมบัติความหนืดของยางมะตอยที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำยางพารามากจะทำให้มีค่าความหนืดสูง ซึ่งค่าความหนืดที่มากเกินไปไม่เหมาะสมกับการทำงานในภาคสนามและผลของความเสียหายเนื่องจากความชื้นนั้นพบว่าน้ำในน้ำยางพารามีผลค่อยข้างน้อย ถ้าหากใส่น้ำยางพาราที่มากขึ้นอาจจะเห็นที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A study of increasing the rheological and performance properties for Para-Asphalt

Mr. Thanawat Sangsuriyothai Student ID.59010594
Mr. Piyawat Thonginta Student ID.59010863
Mr. Poom Wannawichate Student ID.59011073
Advisor: Asst. Dr. Preeda Chaturapong
Academic Year 2019

ABSTRACT

Because rubber prices have dropped dramatically during the past period, the government has a policy to promote and support rubber farmers to have more revenue from the sale of rubber by adding the natural rubber (Latex) into asphalt binder for road construction to increase the amount of natural rubber used in Thailand. The mixing of latex with asphalt contains about 5% of the amount of latex by weight. From past research, it is found that mixing latex with asphalt binder can increase the efficiency of the service life and reduce the number of road maintenance. There is a research on the development of the quality of latex mixed with asphalt binder by adding more than 5% latex in which the latex is water-based natural rubber and may cause performance damage since the water in the latex may reduce the properties of asphalt binder. Therefore, this project studied the properties of asphalt-rubber composite materials according to the requirements of the Department of Highways. The objectives of this project are to determine the viscosity properties of asphalt-latex mixtures, to study asphalt concrete with latex as an additive, and to determine the moisture damage in asphalt concrete. In this project, the amount of latex content of 0%, 5% and 10% by weight was selected with asphalt AC 60/70. It was found that the viscosity of asphalt that has a high percentage of rubber latex will cause high viscosity. The excessive viscosity (i.e. 10% latex) is not suitable for working in the field. Additionally, the water in the rubber latex has a little effect on moisture damage. However, further studies need to determine the optimum content of latex as higher latex in asphalt is likely to increase the risk of moisture damage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์การช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ปรีดา จาตุรพงศ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัทศรีตรังแอโกรอินดัสทรี จำกัด (มหาชน) และบริษัททิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) ที่เป็นผู้สนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการจัดหาวัตถุดิบยางพาราและยางมะตอยในการทดลองวิจัยนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ธนวัฒน์ แสงสุริโยทัย
ปิยวัฒน์ ทองอินตา
ภูมิ วรรณวิเชษฐ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VI

สารบัญรูป..... VII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและวามสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์..... 2

1.3 ขอบเขตของานวิจัย..... 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 3

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.2.1 ยางมะตอย(Asphalt)..... 9

2.2.2 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)..... 11

2.2.3 น้ำยางพาราข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (low ammonia; LA)..... 14

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 การเตรียมตัวอย่างยางมะตอยผสมน้ำยางพารา..... 17

3.2 ศึกษาคุณสมบัติความหนืด (Viscosity)..... 18

3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต..... 19

3.4 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต..... 25

3.5 การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม..... 26

3.6 การทดสอบความเสียหายเนื่องจากผลของความชื้น..... 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าความหนืด..... 30

4.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการออกแบบขนาดของมวลรวม..... 32

4.3 การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในการผสมเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต..... 33

4.4 การทดสอบความเสียหายเนื่องจากผลของความชื้น..... 36

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย..... 37

5.1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าความหนืด..... 37

5.1.2 ผลการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในการผสมเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต..... 37

5.1.3 ผลการทดสอบความเสียหายเนื่องจากผลของความชื้น..... 38

5.2 ข้อเสนอแนะ..... 39

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ทล.-ก. 409/2556 คุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ..... 6

ตารางที่ 2.2 ทล.-ม. 416/2556 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมต์ ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติที่ใช้..... 7

ตารางที่ 2.3 ทล.-ม. 416/2556 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก..... 8

ตารางที่ 2.4 ทล.-ม. 416/2556 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ..... 8

ตารางที่ 2.5 ทล.-ม. 416/2556 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่าง ๆ สำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน..... 8

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของน้ำยางพารา..... 15

ตารางที่ 3.1 แสดงการคำนวณหาเส้น 45 องศา..... 20

ตารางที่ 3.2 ขนาดมวลรวม 9.5 mm (3/8 inch) Nominal Size..... 21

ตารางที่ 3.3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างตารางที่ 3.1 กับตารางที่ 3.2..... 21

ตารางที่ 3.4 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้..... 22

ตารางที่ 3.5 ออกแบบขนาดคละ..... 23

ตารางที่ 3.6 คำนวณปริมาณขนาดคละของมวลรวมที่ค้างตะแกรง..... 24

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนืดของยางมะตอยชนิดต่าง ๆ..... 30

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิการผสมและอุณหภูมิการบดของอัดของยางมะตอยชนิดต่างๆ... 31

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของมวลรวมตามขนาดที่ต้องใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต..... 32

ตารางที่ 4.4 แสดงการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต... 34

ตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณหาค่า TSR 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์คอนกรีต..... 11
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 16
รูปที่ 3.2 การอบยางมะตอยในตู้อบ..... 17
รูปที่ 3.3 การผสมยางมะตอยกับน้ำยางพารา..... 17
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการทดลอง..... 17
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความหนืด (Brookfield Viscometer) และอุปรกรณ์อื่น ๆ..... 18
รูปที่ 3.6 นำตัวอย่างเทใส่หลอดทดลอง..... 19
รูปที่ 3.7 การทดสอบหาค่าความหนืด..... 19
รูปที่ 3.8 เครื่องเขย่าตะแกรง (SIEVE SHAKER)..... 25
รูปที่ 3.9 ภาชนะใส่หินแต่ละขนาด..... 25
รูปที่ 3.10 โมลสำหรับบดอัด..... 26
รูปที่ 3.11 วัสดุมวลรวมที่จัดเตรียมไว้ก่อนเข้าตู้อบ..... 27
รูปที่ 3.12 การผสมยางมะตอยกับวัสดุมวลรวม..... 27
รูปที่ 3.13 การเกลี่ยแอสฟัลต์คอนกรีต..... 28
รูปที่ 3.14 การบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีต..... 28
รูปที่ 3.15 การทดสอบหาค่า TSR โดยใช้เครื่องทดสอบแรงกด..... 29
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด..... 30
รูปที่ 4.2 แสดงสมการของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด..... 31
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการออกแบบขนาดของมวลรวม (Design Gradation)..... 33
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงผลการทดสอบในการหาค่า TSR 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยใช้ยางมะตอย หรือแอสฟัลต์ ในงานก่อสร้างผิวทางลาดยางและซ่อมบำรุงถนนทั่วประเทศ ซึ่งรัฐบาลมีโครงการก่อสร้างถนนเพื่อเพิ่มเส้นทางการจราจร และมีการซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางมะตอยตลอดทั้งปี และเนื่องจากปัจจุบันยางพารามีราคาลดลงอย่างมาก รัฐบาลจึงมีนโยบายในการสนับสนุนให้ใช้ยางจากธรรมชาติ คือยางพาราผสมกับยางมะตอยในการก่อสร้างถนน ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด คือเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศ เพื่อส่งเสริมและสนับสนุนเกษตรกรชาวสวนยางให้มีรายได้จากการขายยางมากขึ้น กรมทางหลวงได้มีการศึกษาการนำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเริ่มทำการทดสอบเพื่อศึกษาติดตาม และประเมินผล จัดทำข้อกำหนดวัสดุ และมาตรฐานงานทาง ซึ่งเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานบนถนนจริงระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ยางพารา) ต่อมาได้จัดทำข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ” และมาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete, NRMAC)” โดยยางชนิดนี้จะมีปริมาณยางพาราผสมประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากจะช่วยเกษตรกรชาวสวนยางแล้ว ประชาชนในประเทศก็ได้ใช้ถนนที่มีคุณภาพมากขึ้น ผิวจราจรมีความลื่นลดลง ช่วยลดอุบัติเหตุจากการใช้ถนน ส่วนรัฐบาลได้ประโยชน์จากการ ประหยัดงบประมาณค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาถนนในระยะยาว เนื่องจากอายุการใช้งานถนนยาวขึ้น 1-2 เท่าจากเดิม จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าการผสมน้ำยางพารากับยางมะตอยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอายุการใช้งานและลดจำนวนการบำรุงรักษาถนน ยังมีงานวิจัยและพัฒนาคุณภาพน้ำยางพาราผสมกับยางมะตอยโดยเพิ่มส่วนผสมน้ำยางพาราให้มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามยังขาดการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพของความชื้นความเสียหายเนื่องจากน้ำในน้ำยางพาราอาจทำให้คุณสมบัติของสารยึดเกาะยางมะตอยลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติความหนืด (Viscosity) ของยางมะตอยผสมน้ำยางพารา

1.2.2 เพื่อศึกษาแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphaltic Concrete) ที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสมเพิ่ม

1.2.3 เพื่อศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีต (Moisture damage in asphalt mixtures) ซึ่งเกิดจากน้ำในน้ำยางพาราที่อาจทำให้คุณสมบัติของสารยึดเกาะยางมะตอยลดลง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติความหนืด (Viscosity)ของยางมะตอยผสมน้ำยางพารา โดยทดสอบความหนืดใน 3 อุณหภูมิได้แก่ 135, 150 และ 165 องศาเซลเซียส

1.3.2 ศึกษาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล .ม.408/2532 สำหรับชั้นทาง Wearing Course ขนาด 3/8”

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้ยางมะตอยชนิด AC 60/70 น้ำยางพาราชนิด Latex concentrated 60% DRC (LA) โดยใช้เปอร์เซ็นต์น้ำยางพารา 0% ,5% และ 10% และวัสดุมวลรวมใช้เป็นชนิดหินปูน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบคุณสมบัติความหนืดของยางมะตอยผสมน้ำยางพาราที่ใส่น้ำยางพารา 0%,5%,10%

1.4.2 ได้รู้ผลความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม

1.4.3 เป็นแนวทางในการศึกษาต่อ สำหรับผู้ที่สนใจ และให้ข้อมูลกับหน่วยงานหรือผู้เกี่ยวข้องในการก่อสร้างผิวทางทั้งภาครัฐและเอกชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้ยางธรรมชาติในงานทางโดยผสมยางพารากับยางมะตอยลาดผิวถนน เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถใช้ปรับปรุงสมบัติยางมะตอยให้ดีขึ้น โดยอาศัยสมบัติบางประการที่เป็นข้อดีของยางธรรมชาติ เช่น ความคงตัวสูง (Stability) ความยืดหยุ่นดี (Elasticity) และทนความล้าดี (Fatigue resistance) เป็นตัวเสริมสมบัติยางมะตอย ทำให้สามารถยืดอายุใช้งานถนนเป็นการช่วยประหยัดงบประมาณในซ่อมบำรุงถนนด้วย อีกทั้งถ้าใช้ยางพาราผสมยางมะตอยลาดถนนจะเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราภายในประเทศอีกทางหนึ่ง การใช้ยางพาราผสมยางมะตอยลาดถนนมีการทดลองมานานแล้วทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยใช้ยางพาราในรูปยางแห้ง น้ำยาง และยางผง (รีเคลมจากผลิตภัณฑ์ยาง) ผสมกับยางมะตอยแล้วนำไปทดลองลาดถนน

จากรายงานของสถาบันวิจัยยางมาเลเซีย (1993) ในงานราดถนนตั้งแต่ปี 2493 โดยใช้น้ำยางผสมยาง มะตอยอัตรา 5% ลาดถนนระหว่างเมือง Kata Bharu และ KualKrai เป็นระยะทาง 100 หลา พบว่าถนนมีสภาพดีและมีอายุการใช้งานนานขึ้นและจากรายงานของ Sansuri (1996) ได้ทดลองใช้ยางรีเคลมจากถุงมือยางและยางรถยนต์ผสมยางมะตอยลาดถนนที่ Sungai Bulohเป็นระยะทาง 3 กิโลเมตร และที่ Putrajaya เป็นระยะทาง 15 กิโลเมตรทำให้ถนนทนทานมากขึ้น

รายงานของ INRO (1999) พบว่า มีการใช้ยางธรรมชาติในงานทางอย่างกว้างขวางทั้งในเนเธอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ และออสเตรเลีย ซึ่งมีผลทำให้ถนนมีความทนทานมากขึ้น การนำยางรถยนต์เก่ามาหมุนเวียนใช้ในงานทำพื้นถนนมีตัวอย่างหลายแห่งในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น รัฐ Ontario ประเทศแคนนาดา ปี พ.ศ. 2555 ใช้ยางรถยนต์เก่าตัด เป็นชิ้นเล็กๆ 3,000 ตัน เท่ากับยางรถยนต์นั่ง 4 แสนคัน นำมาบดเสริมสะพานที่เมือง Cornwall รัฐ Ontario อีกตัวอย่างหนึ่ง กระทรวงคมนาคมรัฐ Alberta แคนนาดา นำยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว 3,600 ตัน บดเป็นเม็ดผสมทำทางด่วน Alberta highway ระยะทาง 20 ไมล์ โครงการ Leadership Energy and Environmental Design (LEED) ในรัฐบาลประเทศแคนนาดากล่าวว่า การใช้ยางเก่าหมุนเวียนกลับมาใช้ในงานก่อสร้างเป็นการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพและลดโลกร้อน (Low carbon foot print) เป็นมิตร กับสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในประเทศไทยได้เริ่มทดลองผสมยางพารากับยางมะตอยตั้งแต่ปี พ.ศ.2500 โดย ชิตและคณะ ได้ทดลองผสมยางพารากับยางมะตอยด้วยอัตราส่วน 5% ของยางมะตอย ถนนสายหาดใหญ่-สงขลา ผลการทดลองโดยประเมินด้วยสายตาพบว่ายางพารา ช่วยเสริมความแข็งแรงให้ถนนมวลสารเกาะกันดี ผิวถนนไม่เยิ้มเหนียวเหมือนใช้ยางมะตอยเพียงอย่างเดียว ได้มีการทดลองซ้ำอีกครั้งในปี พ.ศ. 2505 ซึ่ง ได้ผลการทดลองในทำนองเดียวกับครั้งแรก และเมื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในปี 2510 พบว่า ถนนที่ลาดด้วยยางมะตอยผสมยางพารายังไม่มีการซ่อมแซม แต่ถนนที่ลาดด้วยยางมะตอยปกติมีการซ่อมแซมแล้ว 1 ครั้ง ต่อมามีการปรับปรุงและขยายถนนตลอดทั้งสายจึงไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ นอกจากนี้ยังไม่ได้เก็บข้อมูลสมบัติยางมะตอยที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากผสมด้วยยางพารา

ดังนั้น ในปี 2543 สถาบันวิจัยยาง (ณพรัตน์ และคณะ) ได้ดำเนินการทดลองผสมยางพารากับยางมะตอยชนิด AC 60/70 อัตราต่างๆ และเก็บข้อมูลสมบัติยางมะตอยผสมยางพารา พบว่า การใช้ยางแผ่นรมควันผสมยางมะตอย อัตรา 6% ทำให้สมบัติของจุดอ่อนตัว (Softening point) ของยางมะตอยสูงขึ้น ค่าเพนิเทรชัน(Penetration) ต่ำลง คือ ยางมะตอยมีความแข็งขึ้น และ ค่าการคืนตัวกลับ (Torsional Recovery) สูงกว่ายางมะตอยปกติ ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ถนนที่ลาดด้วยยางมะตอยผสมยางพารา แบบผสมร้อน(Hot Mix) มีความทนทานมากขึ้น แต่เมื่อทำการผสมจริงก่อนนำไปลาดถนนแบบผสมร้อน พบว่า มีปัญหาอุปสรรคในการผสมยางพารา เนื่องจากถ้าใช้ยางพาราที่เป็นยางแผ่นรมควันหรือเป็นประเภทยางแห้ง จะต้องใช้เครื่องผสมที่มีแรงเฉือนสูง เพราะยางพาราแห้งละลายในยางมะตอยได้ยาก หรือถ้าใช้อุณหภูมิในการผสมสูงเกินไปทำให้ยางมะตอยเสียสภาพหรือสมบัติบางส่วนเสียไป แต่ถ้าใช้ยางพาราประเภทน้ำยางซึ่งได้แก่น้ำยางข้นหรือน้ำยางสด ก็จะเกิดปัญหาเรื่องฟองและแรงดันมากขึ้นในขณะผสม อย่างไรก็ตาม ในปี พ.ศ. 2544 และ 2545 ได้ทดลอง ผสมน้ำยางข้นอัตราร้อยละ 5 กับยางมะตอยชนิด AC 60/70 ในโรงงานผสม และนำไปลาดถนนแบบผสมร้อน 3 แห่งคือ 1) ในปี พ.ศ. 2544 ลาดถนนหน้าสถาบันวิจัยยาง 2) ในปี พ.ศ. 2545 ลาดถนนหน้ากรมวิชาการเกษตร 3) ในปี พ.ศ. 2545 ร่วมกับกรมทางหลวงลาดถนนสายสนามชัย-ท่าตะเกียบเป็นระยะทาง 200 เมตร ผลการทดสอบค่าความลึกร่องล้อในห้องปฏิบัติ การกรมทางหลวง พบว่า ถนนที่ลาดด้วยยางมะตอยผสมยางพารามีความทนทานมากกว่าถนนที่ลาดด้วยยางมะตอยปกติผลการตรวจสอบในปี พ.ศ. 2552 ถนนที่ทดลองลาดด้วยยางพาราผสมยางมะตอยทั้ง 3 แห่งยังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดีและยังไม่มีการซ่อมแซมเลย ดังนั้น การใช้ยางมะตอยผสมยางพาราลาดถนนทำให้ถนนมีความทนทานมากขึ้น มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรมทางหลวง ได้แต่งตั้งคณะทำงานศึกษาการนำยางพารามาใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2555 โดยมีอำนาจหน้าที่ศึกษาคุณสมบัติของยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ศึกษาส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา กำหนดหลักเกณฑ์และข้อกำหนดพิเศษ ในการออกแบบและนำส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราไปใช้ในงานก่อสร้างให้ค้าปรึกษาแนะนำในการจัดทำโครงการนำร่องผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ผสมยางพารา และติดตาม ประเมินผล เปรียบเทียบคุณสมบัติส่วนผสมในห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม คณะทำงานฯได้ศึกษาผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารามีคุณสมบัติดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ปกติ แต่ด้อยกว่า Polymer Modied Asphalt คณะทำงานมีความเห็นว่าควรศึกษาผลจากทดสอบในสนามเพื่อดูพฤติกรรมหรือ Performance ของ แอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราว่าเป็นอย่างไร และที่สำคัญเพื่อให้สามารถก่อสร้างได้จริงในสนามควรที่จะใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราในรูป Pre – Blend ซึ่งเป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราสำเร็จรูป จะเป็นวิธีที่สะดวกไม่จำเป็นต้องปรับปรุงจากโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Plant) แต่อย่างใด

ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ คุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70, AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ5 และพอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ พบว่า ค่า Penetration ของ AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ5 มีค่าน้อยกว่า AC 60/70 ปกติ และค่า Softening Point มีค่าสูงกว่า AC 60/70 ปกติ แต่ต่ำกว่าพอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความแข็งกว่า จะสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อได้มากกว่า AC 60/70 ปกติ แต่น้อยกว่าพอลิเมอร์มอดิฟายด์ แอสฟัลต์ซีเมนต์ส่วนค่า Elastic Recovery พบว่า ค่า Elastic Recovery ของ AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความยืดหยุ่นดีกว่า AC 60/70 ปกติ แต่ต่ำกว่าพอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความยืดหยุ่นดีกว่า AC 60/70 ปกติแต่น้อยกว่าพอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ส่วนค่า Toughness/Tenacity พบว่าค่า Toughness/Tenacity ของ AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีค่ามากกว่า AC 60/70 ปกติ แต่ต่ำกว่าพอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความสามารถยึดเกาะกับมวลรวม (หิน) ได้ดีกว่า AC 60/70 ปกติ แต่น้อยกว่าพอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งจะมีผลทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความทนทานมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ แต่น้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ

ลำดับที่	คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบตาม
แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ				
1	เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 นาที	-	50 ถึง 70	มอก. 1201
2	จุดอ่อนตัว ไม่น้อยกว่า	องศาเซลเซียส	50	มอก.1216
3	จุดวาบไฟ ไม่น้อยกว่า	องศาเซลเซียส	220	มอก.1182 2
4	ความยืดหยุ่นกลับ (Elastic recovery) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	ร้อยละ	40	ASTM D 6084
5	เสถียรภาพต่อการเก็บที่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 163 องศาเซลเซียส ค่าความต่างของจุดอ่อนตัวระหว่างตัวบนและล่างของหลอดทดสอบ ไม่เกิน	องศาเซลเซียส	4	IS 15462 และ มอก.1216
6	ความหนืดบรูคฟิลด์ อัตราเฉือน 18.6 วินาที$^{-1}$ แกน((spindle) 21 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	มิลลิพาสคัล วินาที	200 ถึง 600	ASTM D 4402
7	ความต้านแรงเฉือนไดนามิก G*/sinδ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 10 rad/s ไม่น้อยกว่า	กิโลพาสคัล	1.0	AASHTO T 315
8	ปริมาณเนื้อยางธรรมชาติ (Rubber content) ไม่น้อยกว่า	ร้อยละโดยน้ำหนัก	5.0	Certificate
กากที่เหลือจากการอบ (Test on Residue from Thin Film Oven Test)				
9	น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน ไม่เกิน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	1.0	มอก.1223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10	เพนิเทรชั่น ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที ไม่น้อยกว่า	ร้อยละของเพนิเทรชันเดิม	60	มอก.1201
11	จุดอ่อนตัวแตกต่างจากเดิม ไม่เกิน	องศาเซลเซียส	+ 6	มอก.1216
12	ความหยืดหยุ่นกลับ (Elastic recovery) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	ร้อยละ	25	ASTM D 6084

หมายเหตุ มาตรฐานวิธีการทดสอบตาม มอก. ASTM AASHTO และ IS ให้ใช้เป็นปีล่าสุด

มาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยาง”

ตารางที่ 2.2 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติที่ใช้

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course	Base Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	นิ้ว	3/8	1/2	3/4	1
ความหนา	(มิลลิเมตร)	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
มิลลิเมตร	นิ้ว				
37.5	1 1/2				100
25.0	1			100	90 - 100
19.0	3/4		100	90 - 100	-
12.5	1/2	100	80 - 100	-	56 - 80
9.5	3/8	90 - 100	-	56 - 80	-
4.75	เบอร์ 4	55 - 85	44 - 74	35 - 65	29 - 59
2.36	เบอร์ 8	32 - 67	28 - 58	23 - 49	19 - 45
1.18	เบอร์ 16	-	-	-	-
0.600	เบอร์ 30	-	-	-	-
0.300	เบอร์ 50	7 - 23	5 - 21	5 - 19	5 - 17
0.150	เบอร์ 100	-	-	-	-
0.075	เบอร์ 200	2 - 10	2 - 10	2 - 8	1 -7
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ร้อยละโดยมวลรวมของมวลรวม)		4.0 - 8.0	3.0 - 7.0	3.0 - 6.5	3.0 - 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
0.600 (เบอร์ 30)	100
0.300 (เบอร์ 50)	75 - 100
0.075 (เบอร์ 200)	55 - 100

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course	Base Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	(นิ้ว)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)
ความหนา	มิลลิเมตร	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
Number of Blows (Each End)		75	75	75	75
Stability	N Min.	9 786	9 786	9 786	9 786
	(Ib) Min.	(2 200)	(2 200)	(2 200)	(2 200)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)		9 - 17	9 - 17	9 - 17	9 - 17
Percent Air Voids		3 - 5	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.		15	14	13	12
Stability / Flow Min.					
N / 0.25 mm		750	750	750	750
(Ib / 0.01 in.)		170	170	170	170
Percent Strength Index Min.		75	75	75	75

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของวัสดุต่างๆสำหรับสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน

วัสดุ	เปอร์เซ็นต์
1. มวลรวม	
1.1 ผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8) และขนาดใหญ่กว่า	± 5
1.2 ผ่านตะแกรงขนาด 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16) 0.600มิลลิเมตร	± 4
(เบอร์ 30) และ 0.300 มิลลิเมตร (เบอร์ 50)	
1.3 ผ่านตะแกรงขนาด 0.150 มิลลิเมตร (เบอร์ 100)	± 3
1.4 ผ่านตะแกรงจนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200)	± 2
2. แอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	
2.2 ปริมาณแอสฟลัต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	± 0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ยางมะตอย (Asphalt)

คือ ผลิตภัณฑ์ส่วนที่หนักที่สุดที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมโดยเป็นมีลักษณะสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ มีลักษณะกึ่งของแข็งและของเหลว ซึ่งมีความเหนียว มีสถานะเป็นของเหลวเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งก่อนจะนำมาใช้ต้องผ่านความร้อนประมาณ 140-150 องศาเซลเซียสก่อน เมื่อแห้งแล้วจะกลายเป็นของแข็งทำให้เป็นวัสดุประสาน น้ำไม่สามารถผ่านและ ยึดเกาะวัสดุต่างๆได้จึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญของการทำงานทาง หรือ ถนน Asphalt Cement เรียกย่อ ๆ ได้ว่า AC โดยในประเทศไทยได้แบ่งประเภทตามความแข็ง โดยการวัดเป็นค่า Penetration ซึ่งตรวจสอบได้โดยเอาตัวอย่าง AC ใส่ลงในถ้วยทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 ซม. สูง 3-5 ซม.ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แล้วใช้เข็มที่ติดตั้งบนแท่นกดน้ำหนักกด 100 g.เป็นเวลา 5 วินาทีลงบนผิวยางในช่วงเวลาหนึ่ง เข็มจมลงไปเท่าไรก็จะกลายเป็นค่า penetration ของตัวอย่าง AC นั้น โดยจะมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 350 หากได้ค่ายิ่งน้อยแปลว่าเข็มลงไปน้อยแสดงให้เห็นว่ายางมะตอยนั้นมีความแข็ง มากจะหลอมละลายด้วยความร้อนได้ช้ากว่า ซึ่งเวลาใช้งานทำผิวทางต้องนำไปให้ความร้อนเพื่อหลอมละลายเป็นของเหลว เราจึงใช้ตัวนี้เป็นการพิจารณาว่ายางมะตอยในระดับใดที่เหมาะสมกับงานแต่ละชนิด หลัก ๆ กำหนดเป็น 5 ระดับ คือ AC 40/50, AC 60/70 , AC 80/100 , AC 120/150 , AC 200/300 โดยยางมะตอยในระดับที่มีค่าตัวเลขมากจะแสดงถึงความอ่อนของยางมะตอยที่มากกว่าด้วย ซึ่งระดับ AC 200/300 จะอ่อนที่สุด โดยที่อุณหภูมิห้องเพียงใช้นิ้วกดเบาๆจะเกิดรอยบุ๋มได้ง่าย ในขณะที่ระดับ AC 40/50 นั้นแข็งที่สุด ต้องใช้แรงกดเพิ่มขึ้นจึงจะทำให้เกิดรอย ซึ่งในประเทศไทยใช้ AC 60/70 เนื่องจากเหมาะกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย ยางมะตอยที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร มี 2 ชนิด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และยางมะตอยชนิดเหลว แอสฟัลต์ซีเมนต์มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิปกติและมีสีดำหรือสีน้ำตาลปนดำ การใช้งานต้องต้มให้เหลวก่อนนำมาใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) แบ่ง ได้ 3 ชนิด ตามการผลิตคือ

- Penetration Grade ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง

- Blown Grade ได้จากการนำเอายางมะตอยชนิดแรกไปเป่าลมใส่ที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 250 ถึง 300 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้แข็งและทนความร้อนได้ดีขึ้น

- Hard Grade ได้จากการนำเอายางมะตอย ชนิดแรกไปกลั่นต่อภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิสูง เพื่อทำให้ได้ยางมะตอยที่มีความแข็งมากขึ้น

แอสฟัลต์ชนิดเหลว แบ่งได้ 3 ชนิด คือ

- Cutback Asphalt มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา หลังจากบดอัดแล้วทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหยไปจะเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์ ได้จากแอสฟัลต์ซีเมนต์ไปละลายในตัวละลายประเภทน้ำมันต่าง ๆ ที่เรียกรวมว่า Dituent หรือ Culter Stock เช่น Neptha Kerosine และ Diesel Oil แบ่งได้ 3 ประเภทตามชนิดตัวทำละลาย คือ ชนิดแข็งตัวเร็ว แข็งตัวปานกลาง และแข็งตัวช้า

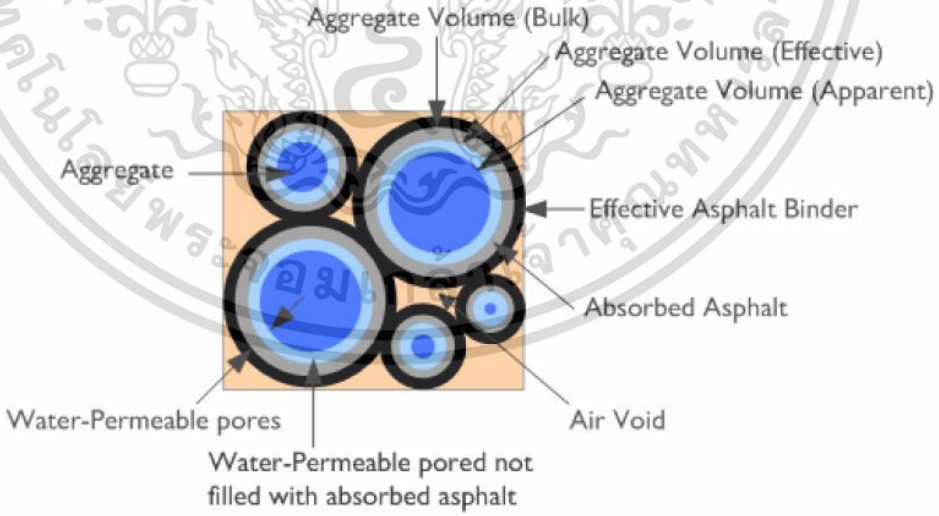
- Emulsified Asphalt ผลิตจากการนำเอาแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส โดยใช้สารเคมีซึ่งเรียกว่า Emulsifier เติมลงไปเล็กน้อย ช่วยให้อนุภาคของยางมะตอยกระจายตัว แล้วนำไปตีด้วยเครื่อง Colloidal Mill ให้ยางมะตอยแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ

- Polymer Modified Asphalt โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ คือ ยางแอสฟัลต์เกรดพิเศษ ที่ได้จากการผสม ระหว่างโพลีเมอร์ (POLYMER) กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (ASPHALT CEMENT) ภายใต้กระบวนการผสมที่ดำเนินการในโรงงานผลิต โดยใช้เครื่องผสมที่ออกแบบ โดยเฉพาะสารโพลีเมอร์ที่ใช้ผสม ได้แก่ SBS (STYRENE BUTADIENE STYRENE), EVA (ETHYLENE VINYL ACETATE) หรือสารโพลีเมอร์อื่น ซึ่งเมื่อนำมาผสมเป็นผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน (Hot Mix Asphalt) ให้คุณสมบัติที่เหนือกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

คือ วัสดุผสมที่ได้จากการผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) กับวัสดุมวลรวม (Aggregate) เพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างถนน พฤติกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นแบบ Viscoelastic โดยค่าความแข็ง (Stiffness) แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิโดย ช่วงเวลาที่น้ำหนักกระทำระยะเวลาอันสั้นวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์จะมีพฤติกรรมเป็นโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Material) แต่เมื่อได้รับน้ำหนักกระทำเป็นระยะเวลานาน แอสฟัลต์คอนกรีตจะเปลี่ยนพฤติกรรมเป็น Viscous Material (Poel, 1954) วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม โดยการควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะและงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับวัสดุผสมที่ยังร้อนอยู่บนชั้นทางใดๆ ที่ได้เตรียมไว้แล้ว และผ่านการตรวจสอบแล้วให้ถูกต้อง ตามแนว ระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่ได้ไว้ในแบบสัดส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ แอสฟัลต์ส่วนหนึ่งจะถูกดูดเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม (Absorbed Asphalt) ในขณะที่แอสฟัลต์ส่วนที่เหลือซึ่งเรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิผล (Effective Asphalt) จะทำหน้าที่เคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวม รูปที่ 2. แสดงช่องว่าง อากาศ (Air Voids) ระหว่างมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์



รูปที่ 2.1 ช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์คอนกรีต

(คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา, 2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต

- ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) คือตัวแปรที่สำคัญเป็นอย่างมากที่สุดในการกำหนดคุณสมบัติของผิวทางแบบยืดหยุ่น ซึ่งปริมาณแอสฟัลต์ต้องมีค่าถูกต้องและแน่นอน ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมต่อแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวมได้แก่ ขนาดคละ (Gradation) ลักษณะความเหลี่ยมมน (Angularity)
- ช่องว่างอากาศ (Air voids) คือช่องว่างระหว่างมวลรวม และถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์ ช่องว่างอากาศ ถูกออกแบบเพื่อรองการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เป็นการป้องกันการเกิดร่องล้อ
- ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Void in Mineral Aggregate, VMA) คือปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่อยู่ระหว่างมวลรวม ในแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งช่องว่างระหว่างมวลรวมบางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมสูง จะมีค่าความทนทานต่อการใช้งานต่ำ
- ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต (Density) หมายถึง ปริมาณมวลรวมของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ต้องออกแบบให้มีความหนาแน่นไม่ต่ำกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ได้จากห้องทดสอบ

คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่พิจารณาสำหรับการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

- ความคงทน (Durability) ผิวทางยืดหยุ่นต้องมีความสามารถในการต้านทานการเสื่อมสภาพ (Disintegration) ของถนน อันเป็นผลมาจากสภาพการจราจร และการแปรผัน ของฤดูกาล ตลอดอายุการใช้งาน
- เสถียรภาพ (Stability) ผิวทางยืดหยุ่นต้องมีความสามารถในการรองรับน้ำหนักจากการจราจรโดยไม่มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) และการมีแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของมวลรวม หากผิวของมวลรวมหยาบและความขรุขระจะส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตนั้นมีเสถียรภาพที่ดีรวมถึงมีการยึดเกาะกันที่ดีกับแอสฟัลต์ในอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปกติอีกด้วย ดังนั้นควรออกแบบให้มีปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมที่เหมาะสม หากมีปริมาณแอสฟัลต์สูงกว่าที่ควร จะส่งผลให้ความเสียดทานระหว่างมวลรวมลดลง

- ความง่ายในการบดอัดและก่อสร้าง (Workability) ตัวแปรที่กำหนด Workabilityคือขนาดคละของมวลรวม ส่วนมากการเลือกใช้ขนาดคละที่มีขนาดที่ใหญ่เกินไป หรือการใช้มวล รวมที่มีขนาดคละไม่ดี เช่น การใช้อนุภาคมวลรวมขนาดกลางมากเกินไป รวมถึงการใช้ อุณหภูมิในการผสมที่ต่ำเกินไป ส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตไม่สามารถเคลือบผิวมวลรวม ได้ดี

- ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance) ต่อแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมา (Cyclic Loading) จากการที่น้ำหนักสัญจรบนผิวทาง หากบดอัดผิวทางไม่ดี (ปริมาณช่องว่างอากาศมีมากหรือน้อยเกินไป) หรือการเลือกใช้แอสฟัลต์ที่มีคุณภาพต่ำจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์เกิดการล้าได้ง่าย

- ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจำเป็นต้องมีความต้านทานมากพอที่จะป้องกันหรือลดอัตราการเกิดอุบัติเหตุเนื่องมาจากการลื่นไถลในสภาวะที่ไม่ปกติได้ เช่น ฝนตก หมอกหนา ฯลฯ การออกแบบที่มีการใช้แอสฟัลต์ ซีเมนต์ ในปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลให้เกิดการเยิ้ม (Bleeding) หรือการใช้มวลรวมที่มีผิวเรียบ จึงทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ยึดเกาะผิวมวลรวมได้ไม่ดี นอกจากนั้นการออกแบบที่มีการใช้ ขนาดคละที่ไม่เหมาะสมก็ยังมีผลต่อคุณสมบัติต้านทานต่อการลื่นไถลอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 น้ำยางพาราข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (low ammonia; LA)

ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้แอมโมเนียเพียง ร้อยละ 0.2 รวมกับสาร SPs มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป สาร SPs ที่ใช้ในน้ำยางข้นชนิด LA ได้แก่

1. โซเดียมเพนทาคลอโรฟีเนต (sodium pentachlorophenate; SPP)
2. กรดบอริกร่วมกับกรดลอริก (boric acid with lauric acid)
3. ซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (zinc diethyldithiocarbamate; ZDC) ร่วมกับกรดลอริก
4. ซิงก์ออกไซด์และเททระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (tetramethylthiuram disulfide; TMTD)

โดยมากน้ำยางข้นชนิด LA ที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ ชนิด LA-TZ ซึ่งน้ำยางจะถูกรักษาโดย

1. เททระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก และซิงก์ออกไซด์ร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก
2. กรดลอริกร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก
3. แอมโมเนียร้อยละ 0.20 โดยน้ำหนัก

น้ำยางข้นชนิด LA ที่รักษาสภาพด้วยกรดบอริก ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ร่วมกับกรดลอริกร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักและแอมโมเนียร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก นิยมใช้เพียงแค่เฉพาะกลุ่มเท่านั้น (ตลาดขนาดเล็ก) น้ำยางข้นชนิด LA-ZDC ที่ใช้แอมโมเนียร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก ซิงก์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาร์เมต ร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก และกรดลอริกร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ก็เป็นน้ำยางอีกชนิดหนึ่งที่พบว่ามีใช้อยู่จำกัดในกลุ่มผู้บริโภคเพียงบางกลุ่มเท่านั้น นอกจากน้ำยางข้นชนิด LA แล้วยังมีน้ำยางข้นชนิด MA (medium ammonia; MA) ด้วย โดยน้ำยางข้นชนิด MA ปกติจะใช้แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.3-0.6 ร่วมกับการใช้สาร SPs มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป แต่ตลาดส่วนแบ่งของน้ำยางข้นชนิด MA มีน้อยมาก ในปัจจุบันและไม่นิยมทั้งในการผลิตและการตลาดในหลายๆ ประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของน้ำยางพารา

Proof has been furnished that the requirements

According to DIN EN ISO 9001 are fulfilled.

BATCH NO : 5011 DATE: 13/09/2019

BUYER : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

TYPE OF LATEX : Latex Concentrated 60% DRC (LA)

DATE OF PRODUCTION : 04/08/2019

DATE OF TEST : 12/09/2019

Test / parameter	Unit	Specification	Results	Method / in-house method
TOTAL SOLIDS CONTENT	%	61.50 min	61.59	ISO 124
DRY RUBBER CONTENT	%	60.00 min	60.19	ISO 126
NON-RUBBER SOLIDS	%	1.70 max	1.40	TSC-DRC
AMMONIA CONTENT (On total Weight)	%	0.29 max	0.25	ISO 125
PH Value	-	N/A	9.90	ISO 127
KOH NUMBER	-	N/A	0.5809	ISO 127
VOLATILE FATTY ACID NUMBER (VFA No.)	-	0.040 max	0.0211	ISO 506
MECHANICAL STABILITY TIME @55%TSC	Second	900-1200	1,210	ISO 35
MATURATION	day	28-63	40	-

CONTRACT No.

LOGISTICS ORDER NO.

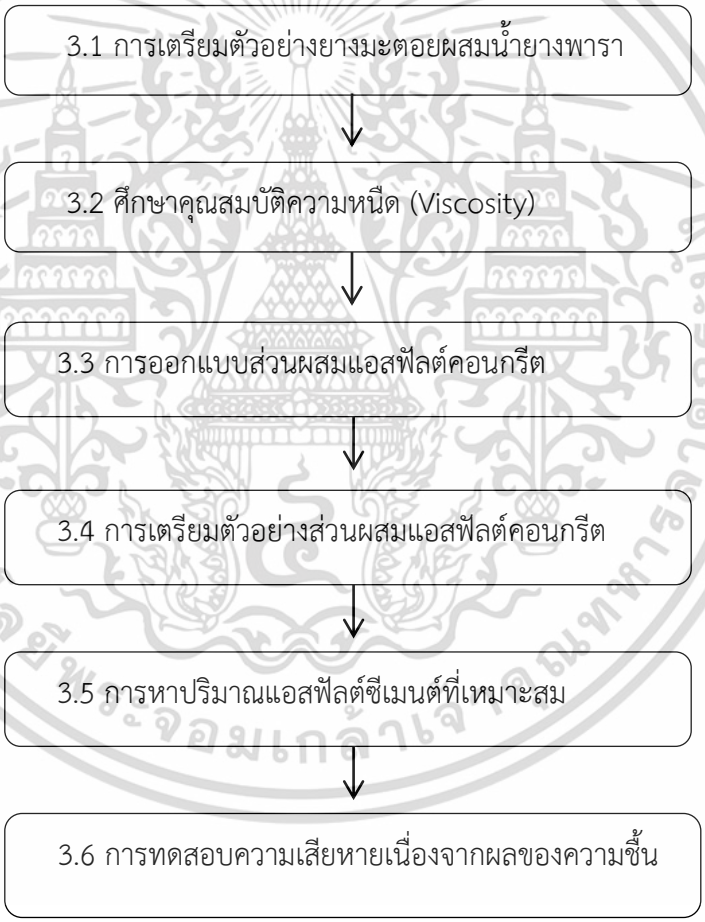
REMARK: 4.8 kg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงงาน

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราเมื่อนำไปผสมกับยางมะตอย มีผลต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานชั้นทางที่ ทล .ม.408/2532 สามารถสรุปขั้นตอนการดำเนินการดังนี้



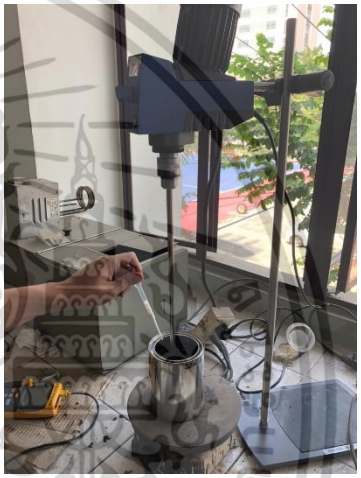
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การเตรียมตัวอย่างยางมะตอยผสมน้ำยางพารา

1. แบ่งยางมะตอย ชนิด AC60/70 ใส่กระป๋อง 3 ใบ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักให้ได้น้ำหนักเท่ากัน
2. นำกระป๋องที่บรรจุยางมะตอยไปเข้าตู้อบเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 150 ℃
3. เตรียมเครื่องปั่นตั้งค่าหัวปั่นให้หมุน 1000 รอบ/นาที และเตาให้ความร้อน (hot plate)
4. นำกระป๋องยางมะตอยที่อบเสร็จแล้วมาตั้งบนเตาให้ความร้อน ใช้เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลวัดอุณหภูมิยางมะตอยให้ได้ 160 ℃ จากนั้นค่อยๆหยดน้ำยางพาราลงไป 5% ของน้ำหนักยางมะตอย หลังจากใส่น้ำยางพาราเสร็จรออีก 120 นาทีเพื่อปั่นผสมให้น้ำยางพาราเข้ากับยางมะตอย

รูปที่ 3.2 การอบยางมะตอยในตู้อบ



รูปที่ 3.3 การผสมยางมะตอยกับน้ำยางพารา

5. ทำตามขั้นตอนที่ 4 โดยใส่น้ำยางพาราเป็น 10% ของน้ำหนักยางมะตอย
6. จากนั้นจะได้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง คือ ยางมะตอยที่ไม่ผสมยางพารา ยางมะตอยที่ผสมน้ำยางพารา 5% ,10%

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ศึกษาคุณสมบัติความหนืด (Viscosity)

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความหนืด (Viscosity of asphalt binders) แบบ the rotational viscosity

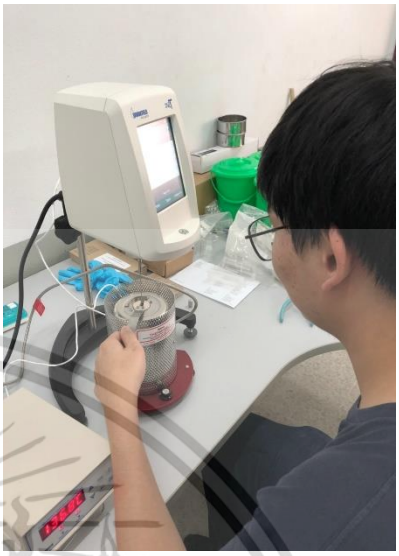
1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วใน 3.1 ไปเข้าตู้อบเป็นเวลา 90 นาที ที่อุณหภูมิ 150 °C
2. เตรียมเครื่องทดสอบความหนืด(Brookfield Viscometer) ตั้ง temperature controller ที่อุณหภูมิ 165°C ใช้ spindles 21 กับตัวอย่างที่เป็นยางมะตอยผสมน้ำยางพารา และใช้ spindles 27 กับตัวอย่างที่เป็นยางมะตอยไม่ผสมน้ำยางพารา , ตั้ง speed 20 RPM , .ใช้เวลาในการทดสอบ 3 นาที

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความหนืด (Brookfield Viscometer) และอุปรกรณ์อื่นๆ

3. นำตัวอย่างที่อบแล้วมาเทใส่หลอดทดลอง ในปริมาณ 10 กรัม จากนั้นนำหลอดทดลองไปใส่ที่เครื่องทดสอบความหนืด ทิ้งไว้อย่างน้อย 10 นาทีก่อนเริ่มทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 นำตัวอย่างเทใส่หลอดทดลอง



รูปที่ 3.7 การทดสอบหาค่าความหนืด

4. ทำตามขั้นตอนที่ 2 และ 3 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 150 °C 135°C ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละอุณหภูมิจะทดสอบ 3 ตัวอย่าง และตัวอย่างละ 3 ค่าแล้วหาค่าเฉลี่ย
5. นำค่า Viscosity ที่ได้มาวาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง temperature กับ Viscosity

3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบขนาดของมวลรวม (Design Gradation)

วัสดุมวลรวม สำหรับใช้ทำแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ประกอบด้วย

1. วัสดุมวลหยาบ (Coarse Aggregates) หมายถึง วัสดุที่มีขนาดค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ขึ้นไป ได้แก่ หินย่อย (Crushed Rock)
2. วัสดุมวลละเอียด (Fine Aggregates) หมายถึง วัสดุที่มีขนาดผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ลงมา ได้แก่ วัสดุหินฝุ่น ทราย
3. วัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) หมายถึง วัสดุที่มีขนาดผ่านตะแกรงขนาด 0.600 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) ลงมา ได้แก่ วัสดุหินฝุ่น ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ซิลิกาซีเมนต์ หรือวัสดุอื่นใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณเส้น 0.45 Power Maximum Density Curve จะใช้สูตร

$$P = (d / D)^{n}$$

เมื่อ P = % finder than the sieve

d = aggregate size being considered

D = maximum aggregate size to be used

n = parameter which adjusts curve for fineness or coarseness

ในการออกแบบขนาดของมวลรวม (Design Gradation) นี้จะคำนวณขนาดหิน 12.5 mm (1/2 inch) เป้น maximum aggregate size ดังนั้น n = 0.45 เพื่อหาเส้น 45 องศา

ตารางที่ 3.1 แสดงการคำนวณหาเส้น 45 องศา

	sieve size (mm)	%passing X	% Y
เบอร์ตะแกรง	12.5	1	100
3/8	9.5	0.883825	88.38247
4	4.75	0.646998	64.69975
8	2.36	0.472281	47.22815
16	1.18	0.34573	34.57303
30	0.6	0.255011	25.50108
50	0.3	0.186679	18.66788
100	0.15	0.136657	13.66569
200	0.075	0.100039	10.00387

ตัวอย่างการคำนวณ เบอร์ตะแกรง 3/8 $P = (9.5/12.5)^{0.45}$ = 0.883825 (%passing)

0.883825 x 100 = 88.38247 (%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ขนาดมวลรวม 9.5 mm (3/8 inch) Nominal Size

Sieve Size		Restricted Zone		Control Point	
(mm)	(U.S.)	Lower	Upper	Lower	Upper
12.5	1/2 inch	100		-	-
9.5	3/8 inch	90	100	-	-
4.75	No.4	-	90	-	-
2.36	No.8	32	67	47.2	47.2
1.18	No.16	-	-	31.6	37.6
0.60	No.30	-	-	23.5	27.5
0.30	No.50	-	-	18.7	18.7
0.15	No.100	-	-	-	-
0.075	No.200	2	10	-	-

นำค่าที่ได้จากตารางที่ 3.1 มาจับคู่กับค่า Lower , Upper ของ Restricted Zone และ Control Point ของตารางที่ 3.2 จะได้ค่าความสัมพันธ์ดังตารางที่ 3.3 ดังนี้

เบอร์ตะแกรง	Restricted X	Restricted Y	เบอร์ตะแกรง	Control X	Control Y
1/2	1	100	No.8	0.472281	47.2
3/8	0.883825	100	No.16	0.34573	37.6
	0.883825	90		0.34573	31.6
No.4	0.646998	90	No.30	0.255011	27.5
No.8	0.472281	67		0.255011	23.5
	0.472281	32	No.50	0.186679	18.7
No.200	0.100039	10			
	0.100039	2			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ (มาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556)

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course	Base Course
ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	นิ้ว	3/8	1/2	3/4	1
ความหนา (มิลลิเมตร)		25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
มิลลิเมตร	นิ้ว				
37.5	1 ½				100
25.0	1			100	90 – 100
19.0	3/4		100	90 – 100	-
12.5	1/2	100	80 – 100	-	56 – 80
9.5	3/8	90 – 100	-	56 – 80	-
4.75	No.4	55 – 85	44 – 74	35 – 65	29 – 59
2.36	No.8	32 – 67	28 – 58	23 – 49	19 – 45
1.18	No.16	-	-	-	-
0.600	No.30	-	-	-	-
0.300	No.50	7 – 23	5 – 21	5 – 19	5 – 17
0.150	No.100	-	-	-	-
0.075	No.200	2 - 10	2 - 10	2 - 8	1 - 7
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (ร้อยละโดยมวลรวม)		4.0 – 8.0	3.0 – 7.0	3.0 – 6.5	3.0 – 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบขนาดคละของมวลรวมจะใช้ ตารางที่ 3.4 มาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งจะใช้ชั้นทาง Wearing Course ขนาดที่ใช้เรียก 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) เพื่อกำหนดปริมาณมวลรวมที่ผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล แสดงตารางที่ 3.5 ดังนี้

ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
มิลลิเมตร	นิ้ว	
12.5	1/2	100
9.5	3/8	93
4.75	No.4	70
2.36	No.8	40
1.18	No.16	27
0.600	No.30	20
0.300	No.50	14
0.150	No.100	9
0.075	No.200	5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณปริมาณขนาดคละของมวลรวมที่ค้างตะแกรง โดยใช้ตารางที่ 3.5 เพื่อหาน้ำหนักขนาดคละของมวลรวมมาใช้ในการทดลอง แสดงตารางที่ 3.6 ดังนี้

ขนาดตะแกรง		ปริมาณค้างตะแกรง ร้อยละโดยมวล	น้ำหนัก กรัม
มิลลิเมตร	นิ้ว		
9.5	3/8	7	84
4.75	4	23	276
2.36	8	30	360
1.18	16	13	156
0.600	30	7	84
0.300	50	6	72
0.150	100	5	60
0.075	200	3.7	44.4
ฝุ่น		5.3	63.6
รวม		100	1200

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณค้างตะแกรง ร้อยละโดยมวล

ปริมาณค้างตะแกรงเบอร์ที่ต้องการหา = ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ที่อยู่ด้านบนของตะแกรงเบอร์ที่ต้องการหา - ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ที่ต้องการหา

ปริมาณค้างขนาดตะแกรงเบอร์ 3/8 = ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ 1/2 - ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8

= 100 – 93 = 7 %

ตัวอย่างการคำนวณหาน้ำหนักมวลรวม (กรัม)

น้ำหนักมวลรวมตะแกรงเบอร์นั้น ๆ (กรัม) = (ปริมาณค้างตะแกรงเบอร์นั้น ๆ / 100) x 1200

น้ำหนักมวลรวมขนาด 3/8 = (7/100) x 1200 = 84 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การเตรียมตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

หลังจากรู้แล้วว่าจะใช้น้ำหนักของขนาดคละมวลรวมอย่างละกี่กรัมตามที่ออกแบบไว้ จึงทำการร่อนมวลรวมซึ่งเป็นหินปูนผ่านตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieve) เป็นตะแกรงชั่งมีตาเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ตะแกรงที่ใช้วัดขนาดของหินเริ่มจากเบอร์ 1/2” , 3/8” สำหรับตะแกรงคัดขนาดทรายมีขนาดเรียงกันคือเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 100 และ 200 ตัวเลขเบอร์บอกถึงจำนวนตาของตะแกรงต่อความยาว 1 นิ้ว เช่น ตะแกรงเบอร์ 30 หมายความว่า 1 นิ้ว แบ่งออกเป็น 30 ช่อง ดังนั้นใน 1 ตารางนิ้วจะมีจำนวนช่องทั้งสิ้น 900 ช่อง

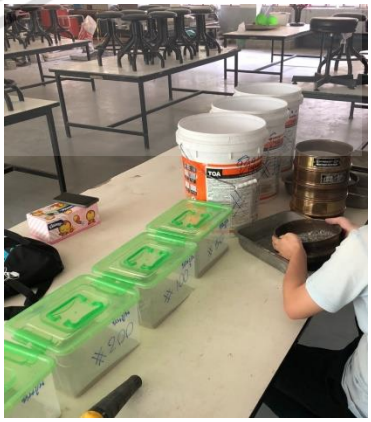
วัสดุอุปกรณ์

1. หินปูน (Limestone)
2. ตะแกรงเบอร์ 1/2” , 3/8”, 4, 8, 16, 30, 50 100 และ 200
3. เครื่องเขย่าตะแกรง (SIEVE SHAKER)
4. ภาชนะไว้ใส่หินแต่ละขนาด
5. แปรงและเครื่องเป่าลมเพื่อทำความสะอาดตะแกรง

วิธีทำ

1. จัดวางตะแกรงดังนี้ 1/2”, 3/8”, 4, 8, 16, 30, 50 100 200 และ pan โดยวางตะแกรงจากบนไปล่างตามลำดับ
2. นำหินปูนที่เตรียมไว้ไปใส่ในตะแกรงบนสุดจากนั้นก็นำตะแกรงไปวางบนเครื่องเขย่าตะแกรง
3. เปิดเครื่องเขย่าตะแกรง แล้วตั้งเวลาเขย่า 15 นาที
4. หลังจากเครื่องเขย่าเสร็จแล้ว นำหินที่ค้างแต่ละตะแกรงไปใส่ภาชนะเพื่อแยกหินแต่ละขนาด
5. ทำตามขั้นตอนที่ 2 3 4 เรื่อย ๆเพื่อให้ได้ปริมาณหินพอต่อการทดลอง

รูปที่ 3.8 เครื่องเขย่าตะแกรง (SIEVE SHAKER)



รูปที่ 3.9 ภาชนะใส่หินแต่ละขนาด

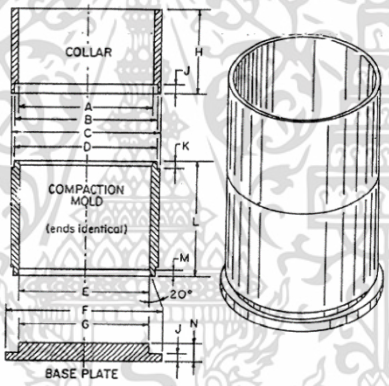
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

ในการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม คือ จะต้องทำให้ค่า ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ หรือคลาดเคลื่อนได้ +-0.2 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด

วัสดุและอุปกรณ์

1. หินปูนที่เตรียมไว้แล้วจากการคัดขนาด
2. ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ ที่เตรียมไว้แล้ว คือ ยางมะตอยAC60/70 ยางมะตอยผสมน้ำยางพารา 5% 10%
3. แบบสำหรับบดอัด (Compaction mold) ประกอบด้วย แผ่นฐาน (Base Plate) แบบ (Mold) และแบบปลอก (collar extension mold)



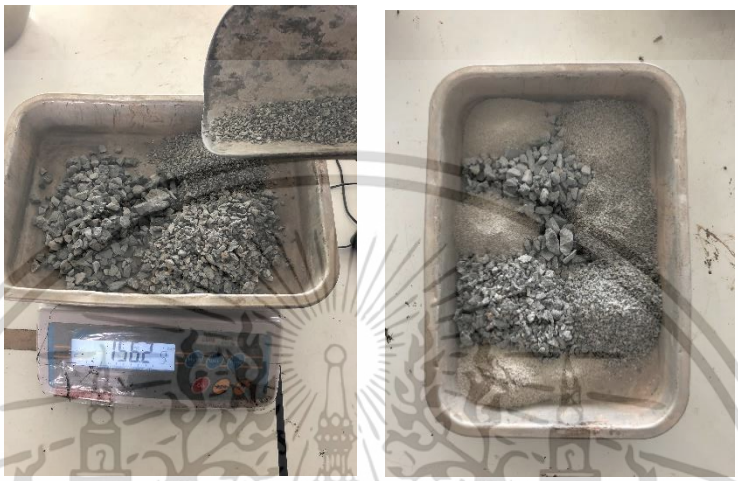
รูปที่ 3.10 โมลสำหรับบดอัด

4. ค้อนบดอัด (Compaction Hammer) ที่ใช้เป็นแบบยึดด้ามปล่อยด้วยมือ ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.84 เซนติเมตร ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีเหล็กหนัก 4.54 กิโลกรัม (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลมในขณะทำการบดทับให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 เซนติเมตร (18 นิ้ว)
5. แท่นรองรับการบัดอัด (Compaction Pedestal) และที่จับแบบ (Mold Holder)
6. เตาอบ และอ่างน้ำร้อน (water bath)
7. ชุดเครื่องผสม
8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบชั่งปกติ และชั่งน้ำหนักวัตถุในน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ

1. นำยางมะตอยชนิด AC60/70 และวัสดุมวลรวมที่จัดเตรียมไว้แล้วไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิผสม (mixing temperature) เป็นเวลา 90 นาที



รูปที่ 3.11 วัสดุมวลรวมที่จัดเตรียมไว้ก่อนเข้าตู้อบ

2. หลังจากอบเสร็จแล้วนำวัสดุมวลรวมมาชั่งหาน้ำหนัก จากนั้นทำการใส่ยางมะตอยโดยลองใส่ 5 %ของน้ำหนักวัสดุมวลรวม
3. ทำการผสมหรือคลุกให้ยางมะตอยเคลือบวัสดุมวลรวม ซึ่งจะเรียกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต

รูปที่ 3.12 การผสมยางมะตอยกับวัสดุมวลรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อทำการผสมหรือคลุกให้ยางมะตอยเคลือบวัสดุมวลรวมจนเข้าทีแล้ว นำไปเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 147 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการบดอัด (compaction temperature) เป็นเวลา 90 นาที
5. หลังจากอบเสร็จแล้วนำแอสฟัลต์คอนกรีตมาเกลี่ยใส่บนกระดาษหนังสือพิมพ์ โดยทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิลดลง และนำแอสฟัลต์คอนกรีตไปใส่โมลเพื่อทำการบดอัดโดยใช้การตอกจำนวน 75 ครั้ง

รูปที่ 3.13 การเกลี่ยแอสฟัลต์คอนกรีต

รูปที่ 3.14 การบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีต

6. เมื่อทำการบดอัดเสร็จแล้วปล่อยให้อุณหภูมิของแอสฟัลต์คอนกรีตลดลง โดยทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง ถึงจะนำก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากตัวโมลได้
7. แบ่งแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกลี่ยใส่บนกระดาษหนังสือพิมพ์ออกเป็น 4 ส่วน จากนั้นให้นำ 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันมารวมกัน แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศ และชั่งน้ำหนักในน้ำเพื่อนำมาหาค่า G_{mm}
8. นำก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตมาชั่งหาน้ำหนัก โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศ ชั่งน้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง และชั่งน้ำหนักในน้ำ เพื่อนำมาหาค่า G_{mb}
9. นำค่า G_{mm} และ G_{mb} มาหาค่าปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)
10. ทำตามขั้นตอนตั้งแต่ต้น เพื่อเพิ่มหรือลดปริมาณเปอร์เซ็นต์ยางมะตอยที่ใส่ลงไปผสมกับวัสดุมวลรวม กรณีที่ค่าปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) ยังไม่ได้ 4 % และทำการทดลองโดยใช้ยางมะตอยผสมน้ำยางพารา 5 % และ 10 % ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่า ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)

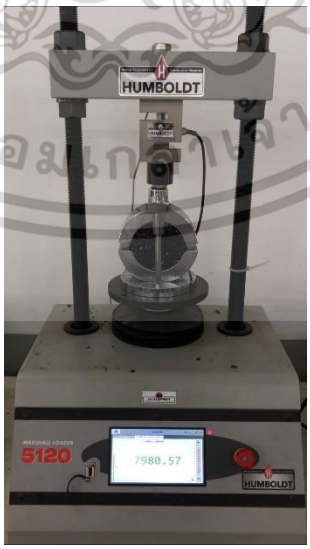
$$G_{mm} = \frac{\text{น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ}} \qquad G_{mb} = \frac{\text{น้ำหนักที่ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง} - \text{น้ำหนักที่ชั่งในน้ำ}}$$

$$\text{Percent air voids} = \frac{\mathbf{Gmm - Gmb}}{\mathbf{Gmm}} \times 100$$

3.6 การทดสอบความเสียหายเนื่องจากผลของความชื้น

(Moisture damage in asphalt mixtures)

1. เมื่อทำการบดอัดจนได้เป็นก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 2 ก้อนตัวอย่างแล้ว ทิ้งไว้ 16 ชั่วโมง เพื่อให้อุณหภูมิของแอสฟัลต์คอนกรีตลดลง
2. นำก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากตัวโมล แล้วก็ทิ้งก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ก้อนไว้อีก 24 ชั่วโมง
3. นำก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต 1 ก้อน(Dry)มาทำการทดสอบหาค่า TSR โดยใช้เครื่องทดสอบแรงกด
4. นำก้อนแอสฟัลต์คอนกรีตอีก 1 ก้อนไปแช่น้ำในอ่างน้ำร้อน (water bath) ที่อุณหภูมิ 60 องศา องศาเซลเซียส เป็นเวลา24ชั่วโมงจากนั้นนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องอีก2ชั่วโมง(Wet)จึงนำไปทดสอบหาค่า TSR
5. ทำการทดสอบโดยใช้ยางมะตอยที่ชนิดAC60/70และยางมะตอยAC60/70ผสมน้ำยางพารา 5% สูตรคำนวณค่า $\mathbf{TSR = \frac{Wet}{Dry} \times 100}$



รูปที่ 3.15 การทดสอบหาค่า TSR โดยใช้เครื่องทดสอบแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

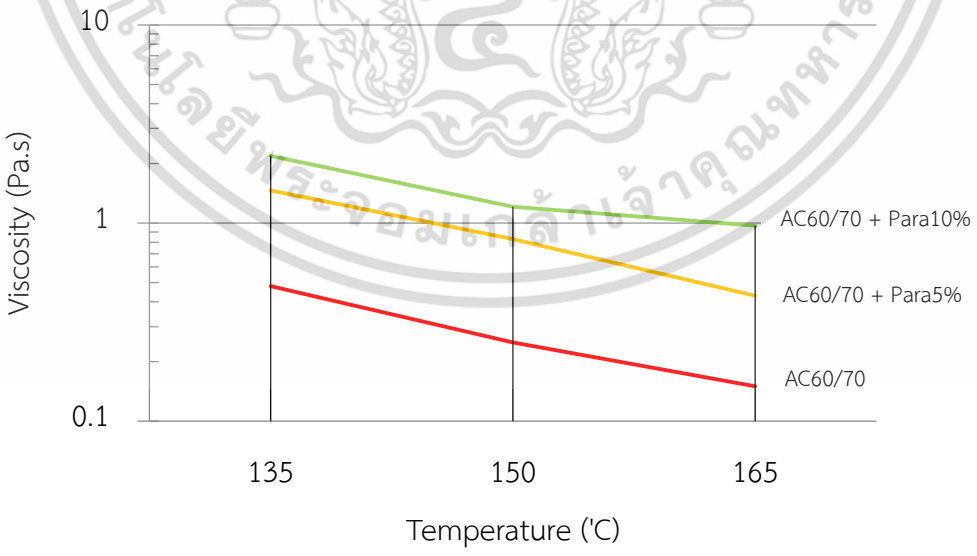
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการศึกษาคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าความหนืด (Viscosity of asphalt binders) ของยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified) และยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพารา โดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% และ10% ได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าความหนืด (Viscosity of asphalt binders)

Viscosity (Pa. s)			
Temperature (° C)	135	150	165
AC60/70	0.48	0.25	0.15
AC60/70 + Para5%	1.46	0.83	0.43
AC60/70 + Para10%	2.18	1.21	0.97

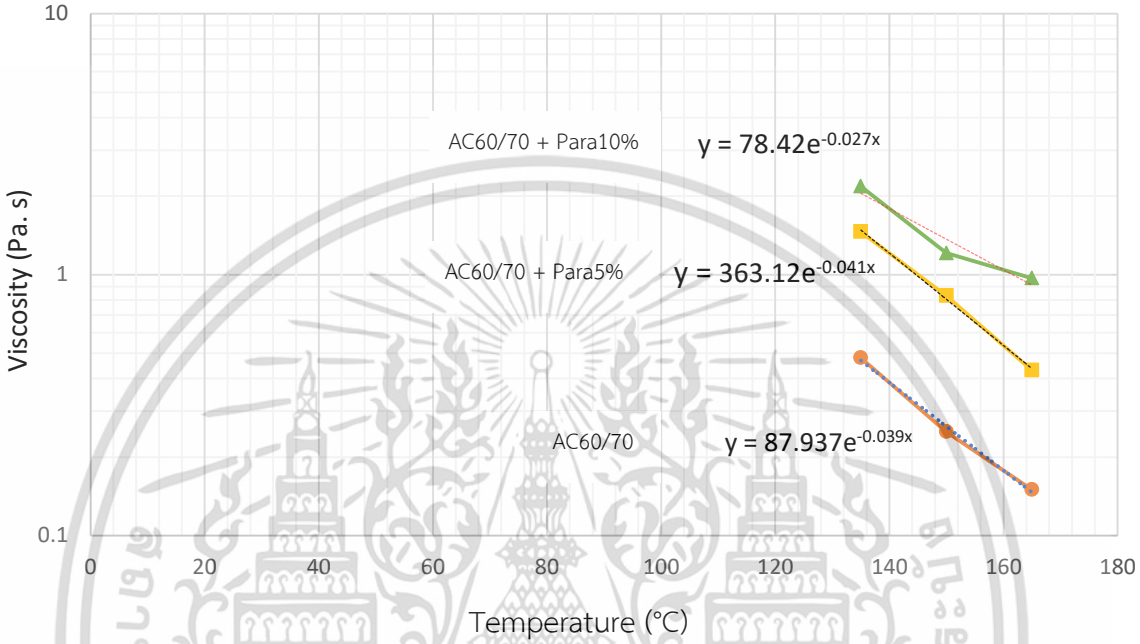
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความหนืดของยางมะตอยชนิดต่างๆ



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความหนืดของยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified) และยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพารา โดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% และ10%



รูปที่ 4.2 แสดงสมการของความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความหนืด

จากสมาการที่ได้มา เพื่อมาหาค่าอุณหภูมิผสม (mixing temperature) ซึ่งให้ Y = 0.17 และอุณหภูมิในการบดอัด (compaction temperature) ให้ Y = 0.28 โดยแก้สมการหาค่า X ซึ่งเป็นยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified) และยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพารา โดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% และ10%

	Mixing Temperature (°C)	Compaction Temperature (°C)
AC60/70	160	147
AC60/70 + Para5%	187	175
AC60/70 + Para10%	227	209

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิในการผสมและอุณหภูมิในการบดของอัดของยางมะตอยชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยออกแบบขนาดของมวลรวม(Design Gradation)

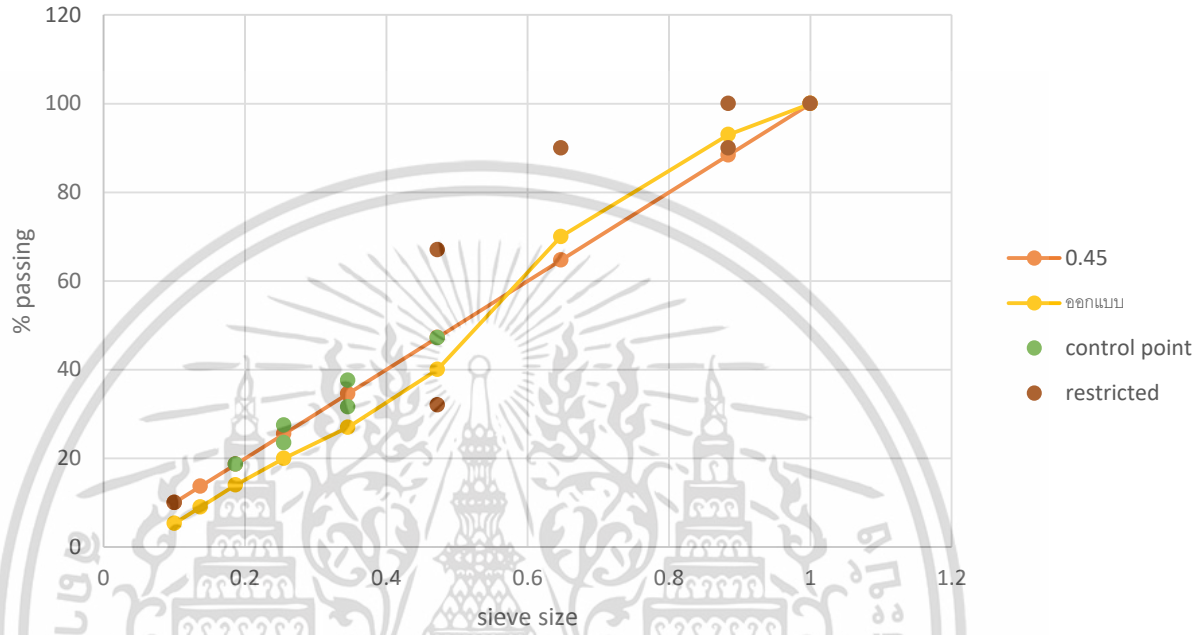
จะได้น้ำหนักของมวลรวมตามขนาดที่ต้องใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตดังนี้

ขนาดตะแกรง		ปริมาณค้างตะแกรง ร้อยละโดยมวล	น้ำหนัก กรัม
มิลลิเมตร	นิ้ว		
9.5	3/8	7	84
4.75	4	23	276
2.36	8	30	360
1.18	16	13	156
0.600	30	7	84
0.300	50	6	72
0.150	100	5	60
0.075	200	3.7	44.4
ฝุ่น		5.3	63.6
รวม		100	1200

ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักของมวลรวมตามขนาดที่ต้องใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้แนวโน้มเส้นกราฟการออกแบบขนาดของมวลรวม (Design Gradation) ดังนี้เพื่อใช้ในการทำแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการออกแบบขนาดของมวลรวม (Design Gradation)

จากกราฟเส้น 0.45 ได้จากตารางที่ 3.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง %passing (แกนX) กับ % (แกนY) Restricted และ Control ได้จากตารางที่ 3.3 และเส้นการออกแบบได้จากค่าความสัมพันธ์ระหว่าง %passing (แกนX) จากตารางที่ 3.1กับปริมาณผ่านตะแกรงร้อยละโดยมวล (แกน Y) จากตารางที่ 3.5

4.3 ผลการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในการผสมเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต

ในการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม คือ จะต้องทำให้ค่า ปริมาณช่องว่างของอากาศเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ หรือคลาดเคลื่อนได้ +-0.2 เปอร์เซ็นต์ตามที่มาตรฐานของกรมทางหลวงกำหนด จากการทดลองโดยลองใส่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ดังตารางต่อไปนี้ เพื่อตรวจสอบปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) ว่าจะผ่านเกณฑ์กำหนดหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified)		
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	664.2	589
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	377	336
G_{mm}	2.313	2.328
$G_{mm\ เฉลี่ย}$	2.321	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1239.4	1237.5
น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	1264	1260
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	707	704
G_{mb}	2.225	2.226
$G_{mb\ เฉลี่ย}$	2.226	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	4.09	
ยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมน้ำยางพารา 5 %		
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	627	624
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	361	361
G_{mm}	2.357	2.373
$G_{mm\ เฉลี่ย}$	2.365	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1241	1245
น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	1262	1266
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	720	722
G_{mb}	2.29	2.29
$G_{mb\ เฉลี่ย}$	2.29	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	3.17	

ตารางที่ 4.4 ก. แสดงการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมน้ำยางพารา 5 %		
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 4.5 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	630	630
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	360	360
G_{mm}	2.33	2.33
$G_{mm\ เฉลี่ย}$	2.33	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1238	1240
น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	1250	1257
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	700	703
G_{mb}	2.251	2.24
$G_{mb\ เฉลี่ย}$	2.246	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	3.61	
ยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมน้ำยางพารา 5 %		
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 4.1 % ของน้ำหนักมวลรวม		
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	622	624
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	363	365
G_{mm}	2.402	2.409
$G_{mm\ เฉลี่ย}$	2.406	
น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	1236	1237
น้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)	1251	1253
น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	716	717
G_{mb}	2.31	2.308
$G_{mb\ เฉลี่ย}$	2.309	
ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids)	4.03	

ตารางที่ 4.4 ข. แสดงการคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

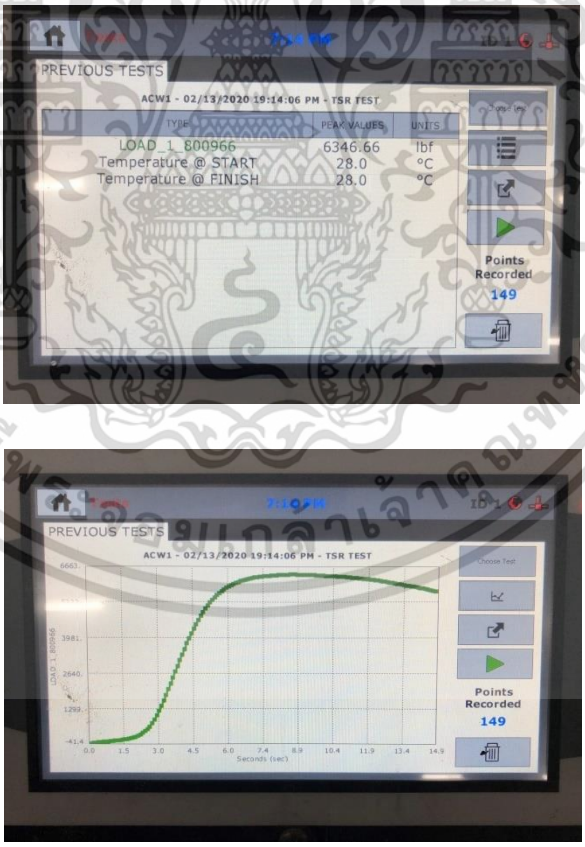
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบความเสียหายเนื่องจากผลของความชื้น

(Moisture damage in asphalt mixtures)

ตารางที่ 4.5 แสดงการคำนวณหาค่า TSR

Aggregate หินปูน (Lime stone)							
Type	Dry (lbf)			Wet (lbf)			%TSR
	Sample 1	Sample 2	Avg	Sample 1	Sample 2	Avg	
AC 60/70	6967.78	6848.99	6908.39	6346.66	6330.28	6338.47	91.75
AC 60/70 +Para 5%	7960.88	7557.9	7759.39	6577.58	6444.56	6511.07	83.91



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงผลการทดสอบในการหาค่า TSR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการศึกษาตามขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษาคุณสมบัติของยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified) และยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพารา โดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% และ10%

5.1.1 สรุปผลการศึกษาคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าความหนืด (Viscosity of asphalt binders)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติความหนืดที่ใช้ยางมะตอย AC 60/70 (unmodified) และยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพารา โดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% และ10% โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้ พบว่ายางมะตอยที่มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพารามากจะทำให้มีค่าความหนืดสูงขึ้น และถ้าทดสอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดนั้นลดลง แต่สัดส่วนที่ใช้น้ำยางพาราผสม 10% นั้นค่าความหนืดมากเกินไปไม่เหมาะกับการทำงานในภาคสนาม workability ต่ำ ถ้าจะทำ 10% การใช้ additive เพื่อลดค่า viscosity ควรจะใส่ไปด้วย

จากนั้นนำผลการทดสอบความหนืดที่ได้นี้ไปออกแบบอุณหภูมิการผสมและอุณหภูมิการบดอัดของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่ายางมะตอยที่มีค่าความหนืดสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิการผสมและอุณหภูมิการบดอัดของแอสฟัลต์คอนกรีตสูงขึ้นตามไปด้วย

5.1.2 สรุปผลการหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในการผสมเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต

จากการทดลองโดยลองใส่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อตรวจสอบปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) ซึ่งจะต้องได้ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) 4% ถึงจะผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด พบว่า

- ยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified) เมื่อใส่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 5% ของน้ำหนักมวลรวม จึงทำให้ได้ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) 4.09% ดังนั้นยางมะตอยชนิด AC 60/70 (unmodified) จึงใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 5% ในการผสมเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพาราโดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% เมื่อใส่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 5% ได้ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) 3.17% ซึ่งไม่ผ่านตาม

  ข้อกำหนด เพื่อเพิ่มปริมาณช่องว่างของอากาศจึงลดปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เหลือ 4.5% และทำให้ได้ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) 3.61% ซึ่งก็ยังไม่ผ่านตามข้อกำหนด จึงลองใส่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เป็น 4.1% ถึงจะได้ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) 4.03%

  ดังนั้นยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพาราโดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% จึงใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 4.1% ในการผสมเป็นแอสฟัลต์คอนกรีต
- ยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพาราโดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 10% ไม่สามารถนำมาเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตได้ เนื่องจากมีความหนืดสูงและจะต้องใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่น้อยกว่า 4.1% ถึงจะทำให้ได้ปริมาณช่องว่างของอากาศ (Percent air voids) ผ่านตามข้อกำหนด และเมื่อลองใส่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่น้อยกว่า 4.1% ผสมกับวัสดุมวลรวม ปรากฏว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใส่ลงไปไม่สามารถที่จะคลุกเข้ากับวัสดุมวลรวมได้หมด

5.1.3 ผลการทดสอบความเสียหายเนื่องจากผลของความชื้น (Moisture damage in asphalt mixtures)

จากผลการทดสอบในการหาค่า TSR เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลของความเสียหายเนื่องจากความชื้น (Moisture damage in asphalt mixtures) พบว่า ยางมะตอย AC 60/70 (unmodified) มีค่าการกดโดยเครื่องทดสอบแรงกดดังนี้ ตัวอย่าง Dry) 6967.78 , 6848.99 เฉลี่ย 6908.39 lbf Wet) 6346.66 6330.28 เฉลี่ย 6338.47 lbf ได้ค่า TSR 91.75% ส่วนยางมะตอยชนิด AC 60/70 ผสมกับน้ำยางพาราโดยใช้สัดส่วนของน้ำยางพารา 5% มีค่าการกดโดยเครื่องทดสอบแรงกดดังนี้ ตัวอย่าง Dry) 7960.88 7557.9 เฉลี่ย 7759.39 lbf Wet) 6577.58 , 6444.56 เฉลี่ย 6511.07 lbf ได้ค่า TSR 83.91% เมื่อปรียบเทียบค่า TSR จะเห็นได้ว่าผลของน้ำยางพาราที่จะทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้นนั้นค่อยข้างมีผลน้อย ซึ่งถ้าหากใส่น้ำยางพาราที่มากขึ้นอาจจะส่งผลต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัยตามการทดลองขั้นตอนต่างๆตั้งแต่ต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้ายของการทำการวิจัย ทางคณะผู้ทำการวิจัยพบเจอปัณหา และอยากจะเสนอแนะแนวทางการแก้ไขให้กับผู้ที่สนใจและนำไปต่อยอดในการทำการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อให้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังนี้

- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างยางมะตอยผสมน้ำยางพาราในการใส่น้ำยางพาราลงไปขณะผสมกับยางมะตอยจะเกิดปัญหาเรื่องฟองและแรงดันขึ้นมา ดังนั้นควรที่จะค่อยๆใส่น้ำยางพาราทีละน้อยๆเพื่อลดการเกิดฟองและแรงดันในขณะทำการผสม

- ก่อนจะนำยางมะตอยผสมน้ำยางพาราที่ผ่านการอบแล้วไปใช้ในการทดลองต่างๆ ควรที่จะคนยางมะตอยผสมน้ำยางพาราให้ทั่ว เนื่องจากอาจจะมีการจับตัวกันเป็นก้อน

- .ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้วัสดุมวลรวมชนิดเดียว คือ หินปูน (Lime Stone) ซึ่งในประเทศไทยมีหินหลายชนิดที่มีการนำมาใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น หินแกรนิต เป็นต้น ซึ่งหินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น ความแข็งแกร่ง และ อัตราการดูดซึมแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

- ในการวิจัยนี้ได้ศึกษายางมะตอยชนิด AC60/70 น้ำยางพาราชนิด Latex concentrated 60% (LA) โดยใช้เปอร์เซ็นต์น้ำยางพารา 0% , 5% และ 10% ถ้าหากเพิ่มการทดลองโดยใช้เปอร์เซ็นต์น้ำยางพารามากกว่านี้อาจจะได้ผลการทดลองที่มีความชัดเจนครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง. (2547). คู่มือวิธีการปฏิบัติงานออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์.ส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทาง. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ.

กรมทางหลวง. (2556). มาตรฐานงานทาง. สำนักมาตรฐานและประเมินผล.

วารสารยางพรา การใช้ยางพาราผสมยางมะตอย สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร [ออนไลน์]. 5 สิงหาคม 2562. ได้จาก : https://km.raot.co.th/uploads/dip/userfiles/intra

การทดสอบค่าความหนืด [ออนไลน์]. 19 สิงหาคม 2562. ได้จาก https://pavementinteractive.org/reference-desk/testing/binder-tests/ viscometer/

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต [ออนไลน์]. 18 พฤศจิกายน 2562. ได้จาก : https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/mix-design/gradation/

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรง [ออนไลน์]. 2 ธันวาคม 2562. ได้จาก : http://civil.eng.cmu.ac.th/courses/materials-testing/c2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้