

การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารา
โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกัน



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารา โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เทอดเกียรติ ไชยลาภ : การศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารา โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกัน (A STUDY OF ASPHALT CONCRETE PROPERTIES USING ASPHALT CEMENT WITH VARIOUS PROPORTION OF NATURAL RUBBER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลย์สุข

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 และแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt, NRMA) โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกันซึ่งมีการเติมยางพาราร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และร้อยละ 10 ซึ่งเป็นแนวทางเพิ่มการใช้ยางพาราตามนโยบายของรัฐบาล จากการศึกษาโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยาง NRMA มีค่าสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสม AC 60/70 และมีค่าต้านทานแรงดึงสูงสุดเมื่อเติมยางพารา ร้อยละ 8 ค่าโมดูลัสกินตัวเมื่อใช้ยาง NRMA จะมีค่าสูงกว่ายาง AC 60/70 เนื่องจากมีคุณสมบัติที่กลับคืนสู่สภาพเดิมได้ดีเมื่อถูกแรงกระทำ ค่าสูงสุดเมื่อเติมยางพาราร้อยละ 8 ค่าความต้านทานการบู่ตัวถาวรเมื่อเติมยางพาราร้อยละ 8 ให้ผลที่ดีที่สุด ส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงตัวสูง มีความยืดหยุ่นดี สามารถทนความล้าจากแรงกระทำ ส่วนผสมแอสฟัลต์โดยวิธีทดลองมาร์แชล มีค่าเสถียรภาพสูงสุดเมื่อใช้ยาง NRMA ที่มีปริมาณยางพาราร้อยละ 10 และมีค่าสูงกว่ายาง AC 60/70 อย่างชัดเจน แสดงว่าการเพิ่มสัดส่วนยางพาราส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรง มีประสิทธิภาพที่ดี สามารถรองรับน้ำหนักการจราจรได้สูง ค่าการไหลแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยาง AC 60/70 มีค่าเทียบเท่ากับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยาง NRMA ร้อยละ 5 มีค่าการไหลน้อยที่สุดเมื่อเติมยางพาราร้อยละ 8 และร้อยละ 10 ส่งผลให้มีคุณสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี จะเห็นได้ว่าการเติมยางพาราในสัดส่วนที่แตกต่างกันส่งผลทางด้านวิศวกรรมต่อผิวแอสฟัลต์คอนกรีต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

THIRDKIAT CHAIYALAP : A STUDY OF ASPHALT CONCRETE
PROPERTIES USING ASPHALT CEMENT WITH VARIOUS
PROPORTION OF NATURAL RUBBER. ADVISOR : PROF. SUKSUN
HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This study is to evaluate a property of asphalt concrete mixtures using Natural Rubber Modified Asphalt (NRMA). Different percentages of NRMA (5%, 8% and 10%) were used for serving the Thai government strategy of encouragement of NRMA usage. According to the results of laboratory trial, it was found that the indirect tensile strength (IDT) of asphalt concrete with NRMA is higher than that of the typical asphalt concrete with AC 60/70 because of the better elastic recoverable property of the natural rubber. NRMA 8% provides the highest resistance of permanent deformation. Moreover, asphalt concrete with NRMA has a better capability of fatigue cracking resistance than the typical asphalt concrete. Regarding Marshall mix design criteria, when using NRMA 10%, the asphalt concrete mixtures has the highest value of stability, compared with AC 60/70. This result confirms that a usage of NRMA pledges a durable mixture, supporting high-volume traffic level. Based on a design parameter of the flow value, asphalt concrete with AC 60/70 has a competitive result as using NRMA 5%. However, the less flow value, the higher use of asphalt concrete with NRMA as 8% and 10%, respectively. In conclusion, Natural Rubber Modified Asphalt (NRMA) is highly recommended to use for asphalt concrete mixtures in order to improve pavement performances.

School of Civil Engineering
Academic Year 2016

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย

ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาของงานวิจัยจนสมบูรณ์แบบ

ดร.อิทธิกร ภูมิพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัยที่คอยติดตามการทำงานทุก ขั้นตอน พร้อมทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจทานเนื้อหาของงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

นายกิตติชัย ศรีโยธา วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ รักษาการผู้อำนวยการส่วนออกแบบ และตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ พร้อมทั้งเจ้าหน้าที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวงทุกท่านที่เอื้อเฟื้อข้อมูลงานวิจัยนี้ และช่วยเหลือ ดำเนินการด้านการทดลองวิจัย แนะนำและช่วยตรวจทานข้อมูลด้านการทดลองจนเสร็จสมบูรณ์

นายสำเริง ใจแก้ว อดีตผู้อำนวยการแขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่) ที่ช่วย สนับสนุนทุนการศึกษาจนจบหลักสูตร

คณาจารย์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ หลักสูตร การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำ

ขอขอบคุณผู้ประสานงานหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภคทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือประสานงานในด้านวิชาการ และด้านกิจกรรมต่างๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในหลักสูตรการบริหารงานก่อสร้างและ สาธารณูปโภค และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และคำปรึกษาใน โครงการวิจัยนี้

ท้ายสุดสำคัญยิ่งขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา อบรมสั่งสอนเลี้ยงดู และส่งเสริมให้มีการพัฒนาตนเอง และการศึกษาเป็นอย่างดีจนสำเร็จ การศึกษาถึงระดับนี้

เทอดเกียรติ ไชยลาภ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.2.1 ขางมะตอย.....	20
2.2.2 การผลิตขางมะตอยผสมขางธรรมชาติในเชิงพาณิชย์.....	22
2.2.3 แอสฟัลต์คอนกรีต.....	23
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อนำไปออกแบบส่วนผสม.....	30
3.1.1 วัสดุมวลรวม (Aggregates).....	30
3.1.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement).....	33
3.2 การทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต.....	34
3.2.1 วัสดุมวลรวม รายละเอียดและมาตรฐานการทดลอง.....	34
3.2.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ รายละเอียดมาตรฐาน และข้อกำหนด.....	35
3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต.....	35

3.4	การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ แอสฟัลต์คอนกรีต.....	36
3.4.1	การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength : ITS).....	37
3.4.2	การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัว (Indirect Tensile Stiffness Modulus : ITSM).....	39
3.4.3	การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการขูดตัวแบบถาวร (Dynamic Creep Test : DC).....	41
4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	45
4.1	ผลการทดลองคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต.....	45
4.1.1	วัสดุผสมรวม รายละเอียดผลการทดลอง.....	45
4.1.2	แอสฟัลต์ซีเมนต์ รายละเอียดการทดลองและผลการทดลอง.....	48
4.2	ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต.....	49
4.3	การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต.....	52
4.3.1	การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength, ITS).....	52
4.3.2	การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัว (Indirect Tensile Stiffness Modulus, ITSM).....	52
4.3.3	การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการขูดตัวแบบถาวร (Dynamic Creep Test , DC).....	53
4.3.4	การทดสอบค่าเสถียรภาพการรับกำลังและการไหล (Stability & Flow).....	53
4.4	วิเคราะห์ผลการวิจัย.....	54
4.4.1	วิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อม.....	55
4.4.2	การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืบตัว.....	56
4.4.3	การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความต้านทานการขูดตัวแบบถาวร.....	57
4.4.4	การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพและค่าการไหล.....	58
5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1	สรุปผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต.....	60
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	61

เอกสารอ้างอิง.....	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต	64
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อม	77
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการกินตัว	82
ภาคผนวก ง ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร	95
ประวัติผู้เขียน	108



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70, AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 และ พอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์.....	6
2.2 ผลการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราร้อยละ 5 ที่ใช้ในการออกแบบ Job Mix Formula.....	8
2.3 ตารางผลการออกแบบ Job Mix Formula.....	10
2.4 ผลการทดสอบการเกิดร่องล้อของตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ.....	11
2.5 ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางก่อนการก่อสร้างแปลงทดสอบ.....	12
2.6 ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางหลังการก่อสร้างแปลงทดสอบ ครั้งที่ 1.....	13
2.7 ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางหลังการก่อสร้างแปลงทดสอบ ครั้งที่ 2.....	14
2.8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการเกิดร่องล้อของตัวอย่างที่ตัดจากผิวทางของแปลง ทดสอบ.....	16
3.1 ขนาดกะของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้.....	31
3.2 ขนาดกะของวัสดุผสมแตรก.....	32
3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต.....	35
4.1 ผลการทดลองวัสดุมวลรวม.....	45
4.2 Aggregate Gradation for Cold Bin.....	46
4.3 Aggregate Gradation for Hot Bin.....	47
4.4 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม.....	47
4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ซีเมนต์.....	48
4.6 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ AC 60/70.....	50
4.7 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ NRMA 5%.....	50
4.8 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ NRMA 8%.....	51
4.9 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ NRMA 10%.....	51
4.10 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม.....	52
4.11 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสกินตัว.....	53
4.12 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานการยุบตัวถาวร.....	53
4.13 ผลการออกแบบ Stability & Flow โดยวิธี Marshall.....	54

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ.....	11
2.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบการเกิดร่องล้อ ของตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ.....	12
2.3 กราฟแสดงค่าผลการสำรวจประเมินสภาพทาง.....	15
2.4 ผลการทดสอบการเกิดร่องล้อในสนามของแปลงทดสอบ.....	16
2.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบการเกิดร่องล้อของตัวอย่างที่ตัดจากผิวทาง แปลงทดสอบ.....	17
2.6 เครื่อง Pavement Rutting Tester, และตัวอย่างทดสอบ.....	17
2.7 ขางมะตอย.....	21
2.8 ขั้นตอนการผลิตแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราแบบ Pre – blend.....	23
2.9 ช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์คอนกรีต.....	24
3.1 การเก็บตัวอย่างหิน Cold Bin ที่ Stock Pile.....	32
3.2 ตัวอย่างหิน Hot Bin.....	33
3.3 การเก็บตัวอย่างหินที่ใช้ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์.....	36
3.4 การบดอัดก้อนตัวอย่างโดยวิธี Marshall ในห้องทดลอง.....	37
3.5 ก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ITS.....	38
3.6 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม.....	38
3.7 ก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ITSM.....	40
3.8 ชุดเครื่องมือทดสอบ ITSM.....	40
3.9 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว.....	41
3.10 ก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ DC.....	42
3.11 ชุดเครื่องมือทดสอบ Dynamic Creep Test.....	43
3.12 การทดสอบ Dynamic Creep Test.....	44
4.1 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (ITS).....	55
4.2 ค่าโมดูลัสคืนตัว (ITSM).....	56
4.3 ค่าความต้านทานการยุบตัวแบบถาวร (DC).....	57
4.4 ค่าเสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์ (Stability).....	58
4.5 ค่าการไหลของส่วนผสม (Flow).....	59

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

มอก.	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
ทล.-ก.	มาตรฐานข้อกำหนดวัสดุ กรมทางหลวง
ทล.-ม.	มาตรฐานกรมทางหลวง
ทล.-ท.	มาตรฐานวิธีการทดลอง กรมทางหลวง
AC	Asphalt Cement
ASTM	American Society for Testing and Materials
DC	Dynamic Creep Test
ITS	Indirect Tensile Strength
ITSM	Indirect Tensile Stiffness Modulus
NRMA	Natural Rubber Modified Asphalt Cement
NRMAC	Natural Rubber Modified Asphalt Concrete
NRNA 5%	แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติผสมยางพาราร้อยละ 5
NRNA 8%	แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติผสมยางพาราร้อยละ 8
NRNA 10%	แอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติผสมยางพาราร้อยละ 10
RM	Resilient Modulus
UTM	Universal Testing Machine
VMA	Void in Mineral Aggregate
VFB	Void Filled With Bitumen

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันยางพารามีราคาลดลงอย่างมาก รัฐบาลมีนโยบายให้เพิ่มการใช้ยางพาราในทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง จึงได้มีการศึกษานำมาใช้ในงานก่อสร้างถนน เพราะในประเทศไทยมีการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์เป็นจำนวนมาก ผิวทางนี้เป็นการใช้ยาง AC (Asphalt Cement) เป็นส่วนผสม เมื่อนำยางพารามาเป็นส่วนประกอบกับยาง AC จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของยาง AC 60/70 ผสมยางพารา กรมทางหลวงได้มีการศึกษาการนำยางพารามาใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีตตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2545 โดยเริ่มทำการก่อสร้างแปลงทดสอบเพื่อทำการศึกษาคัดเลือกและประเมินผล จัดทำข้อกำหนดวัสดุ และมาตรฐานงานทาง ใน ปี พ.ศ. 2555 และได้ทำการก่อสร้างแปลงทดสอบเมื่อวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2556 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการใช้งานบนถนนจริง ระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (ยางพารา) ต่อมากรมทางหลวงได้จัดทำข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ” และมาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete, NRMAC)” ซึ่งหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถนำข้อกำหนดวัสดุ และมาตรฐานดังกล่าวไปใช้ได้ โดยยางชนิดนี้จะมีปริมาณยางพาราผสมประมาณร้อยละ 5 เพื่อเพิ่มการใช้ยางพาราตามนโยบายของรัฐบาล จึงมีแนวความคิดในการเพิ่มยางพาราจากเดิมร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 8 และร้อยละ 10 จึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติของยาง AC 60/70 ที่ผสมยางพาราในสัดส่วนที่เปลี่ยนไปโดยศึกษาคุณสมบัติ ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา วิธีการออกแบบ และนำส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราไปใช้ในงานก่อสร้าง ประเมินผล เปรียบเทียบคุณสมบัติส่วนผสมในห้องปฏิบัติการ การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราดังกล่าว จะทำให้ทราบถึงคุณสมบัติเมื่อผสมกับยางพาราในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 5 ,ร้อยละ 8 และร้อยละ 10) ซึ่งจะนำมาสู่การเลือกใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราในงานก่อสร้าง และบำรุงรักษาทางต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนไปของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 5 ,ร้อยละ 8 และร้อยละ 10)

- 1.2.2 เพื่อหาปริมาณส่วนผสมของยางพาราในแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณสมบัติที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทำการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง AC 60/70 และ ยาง AC ผสมยางพาราในสัดส่วนที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 5 ,ร้อยละ 8 และร้อยละ 10) เปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางธรรมชาติ กับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ และทำการตรวจสอบพฤติกรรมเชิงสมรรถนะของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ” และมาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete, NRMAC)” โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

- 1.3.1 ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางชนิดต่างๆ
- 1.3.2 ทดสอบหาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางชนิดต่างๆ ตามมาตรฐานกรมทางหลวง
- 1.3.3 ทดสอบหาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางชนิดต่างๆ เชิงสมรรถนะ
- 1.3.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางชนิดต่างๆ พร้อมสรุปผลส่วนผสมที่เหมาะสม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงในด้านต่างๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงาน
- 1.4.2 ด้วยคุณสมบัติที่ดีกว่าผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 จึงเหมาะที่จะใช้ก่อสร้างทางที่มี ปริมาณจราจรและปริมาณรถบรรทุกหนักสูง มีอุณหภูมิระหว่างใช้งานสูง มีความต้องการผิวทางที่ให้ความปลอดภัยการยึดเกาะถนนที่ดีของรถ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้ยางพาราผสมยางมะตอยราดถนนมีการทดลองมานานแล้ว ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ โดยใช้ยางพาราในรูปยางแท่ง น้ำยาง และยางผง ผสมกับยางมะตอย แล้วนำไปทดลองราดถนน โดยประเทศต่างๆ ได้มีการทดลองวิจัยเรื่องใช้ยางพาราในงานราดถนน อาทิ ประเทศมาเลเซีย และปรากฏข้อมูลว่ามีการใช้ยางธรรมชาติในงานทางอย่างกว้างขวางทั้งในเนเธอร์แลนด์ สหรัฐอเมริกา อังกฤษและออสเตรเลีย ซึ่งพบว่ามิผลทำให้ถนนมีความทนทาน มีสภาพดีและมีอายุการใช้งานนานขึ้นส่วนในทวีปเอเชีย มาเลเซีย เป็นประเทศแรกในเอเชียที่ได้มีการทดลองใช้ยางผสมแอสฟัลต์ทำถนน หลังจากประเทศเนเธอร์แลนด์ได้มีการเริ่มทดลองใช้ไปได้แล้ว 2 ปี คือในปี พ.ศ.2494 มาเลเซีย จึงทดลองใช้น้ำยางธรรมชาติผสมกับยางมะตอย ในอัตราส่วนร้อยละ 5 ราดถนนสายโกตาบารู – กัวลาลาย เป็นระยะทาง 100 หลา แต่ไม่ได้ทำการศึกษาอย่างจริงจัง ต่อมาในปี พ.ศ.2521 – 2531 สถาบันวิจัยยางของมาเลเซียได้รื้อฟื้นโครงการขึ้นมาใหม่ โดยใช้ยางที่ใช้แล้วจากถุงมือยางธรรมชาติผสมกับยางมะตอย ราดถนนจำนวน 3 สาย ผลการราดถนน ด้วยยางมะตอยผสมยางที่ใช้แล้วจากถุงมือยางในครั้งนี้ พบว่าถนนมีคุณภาพดีขึ้นกว่าเดิม

ประเทศไทยได้เริ่มทดลองผสมยางพารากับยางมะตอยตั้งแต่ปี พ.ศ.2500 โดยได้มีการทดลองผสมยางพารากับยางมะตอยด้วยอัตราส่วนร้อยละ 5 ของยางมะตอย ทดลองราดถนนสายหาดใหญ่ – สงขลา สังเกตผลการทดลองโดยประเมินด้วยสายตาพบว่ายางพาราช่วยเสริมความแข็งแรงให้ถนน มวลสารเกาะกันดี ผิวถนนไม่เยิ้มเหนียวเหมือนใช้ยางมะตอยเพียงอย่างเดียว ได้มีการทดลองซ้ำอีกครั้งในปี พ.ศ.2505 ซึ่งได้ผลการทดลองในการทำงานเดียวกับครั้งแรก และเมื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในปี พ.ศ.2510 พบว่าถนนที่ราดด้วยยางมะตอยผสมยางพารายังไม่มีการซ่อมแซม แต่ถนนที่ราดด้วยยางมะตอยปกติมีการซ่อมแซมแล้ว 1 ครั้งในปี พ.ศ.2507

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะกล่าวถึง การนำยางธรรมชาติ (ยางพารา) มาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างถนน และบำรุงรักษาถนน

Gopalakrisnan (2538) ได้รายงานผล การทดลองใช้ยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์ ผสมในยางมะตอย และพบว่ายางมะตอยผสมยางธรรมชาติให้คุณสมบัติที่ดีกว่าส่วนยางมะตอยที่ผสมยางเอสปีอาร์จะเสื่อมสภาพเมื่อสัมผัสในอุณหภูมิสูง

Zamhari (2542) จากอินโดนีเซีย รายงานการศึกษา การใช้ยางมะตอยผสมยางธรรมชาติไว้ว่า นอกจาก เพิ่มคุณภาพของถนนแล้ว ยังช่วยให้มีการบริโภคยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ร้อยละ 3 แม้ต้นทุนจะมีราคาแพงกว่ายางมะตอยธรรมดา ถึงร้อยละ 25 แต่ถนนจะทนทานต่อสภาพอากาศร้อนและการชำรุดได้ดีกว่ามากมาย

ส่วนอุตสาหกรรมยาง, สถาบันวิจัยยาง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และกรมทางหลวง (2543) ได้ทดลองผสมด้วยยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 กับยางพาราชนิดต่างๆ พบว่า การผสมยางพารากับยางมะตอย ในอัตราส่วนร้อยละ 2 – 6 สามารถปรับปรุง คุณภาพยางมะตอยได้ และคุณสมบัติของยางมะตอยที่ผสมสามารถผ่านมาตรฐาน ตามข้อกำหนดของ มอก.851-2532 โดยมีค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) สูงกว่ายางมะตอยปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของเยิ้มตัวหรือจุดอ่อนตัวของถนนสูงขึ้น ซึ่งให้เห็นว่าถนนน่าจะมีความคงทนหรือมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

องค์การสวนยาง (2544) ทำโครงการสาธิต การสร้างถนนด้วยยางมะตอยผสมยางพารา ความยาว 520 เมตร กว้าง 4 เมตร ภายในบริเวณสำนักงานฯ ตำบลช้างกลาง กิ่งอำเภอช้างกลาง จังหวัดนครศรีธรรมราช ด้วยการขุดลอกพื้นถนนเดิมออก แล้วลงหินคลุกหนา 15 เซนติเมตร กว้าง 4.20 เมตร ราคด้วยยางมะตอยชนิดน้ำผสมยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 5.5 แบบวิธีฉาบผิวถนน 2 ชั้น (Double Surface)

ณพรัตน์ วิจิตชลชัย และคณะ (2545) ได้ดำเนินการทดลองผสมยางพารากับยางมะตอยชนิด AC 60/70 ในอัตราต่าง ๆ กัน และเก็บข้อมูลสมบัติของยางมะตอยผสมยางพารา และในปี พ.ศ.2544 และ พ.ศ.2545 ได้ทดลองผสมน้ำยางขึ้นอัตราร้อยละ 5 กับยางมะตอยชนิด AC 60/70 ในโรงงานผสมและนำไปลาดถนนแบบผสมร้อน 3 แห่งคือ ปี พ.ศ.2544 ลาดถนนหน้าสถาบันวิจัยยาง ปี พ.ศ.2545 ลาดถนนหน้ามหาวิทยาลัยเกษตร และปี พ.ศ.2545 ร่วมกับกรมทางหลวงลาดถนนสายสนามชัย - ท่าตะเียบเป็นระยะทาง 200 เมตร นอกจากนี้ ปี พ.ศ.2543 กรมทางหลวง ได้ร่วมมือกับสถาบันวิจัยยาง และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทดลองใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์กับงานลาดยางผิวถนน ได้ทดลองผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 กับยางพาราชนิดต่าง ๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติสามารถผ่านมาตรฐานตามข้อกำหนด มอก.851-2532

ศูนย์วิจัยยางภาคตะวันออก (2545) ได้ร่วมกับกรมทางหลวงทดลองนำมาลาดถนนที่ใช้กันทั่วไปบริเวณหน้าศูนย์วิจัยยางภาคตะวันออก พร้อมทั้งนำไปทำถนนในหน่วยงานของกรมวิชาการเกษตร ถนนขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นบางแห่ง ปรากฏว่า ถนนที่มีส่วนผสมของยางพารา มีความทนกว่าถนนยางมะตอยทั่วไปประมาณ 3 เท่า

กรมวิชาการเกษตร (2547) ได้สร้างเครื่องต้นแบบที่ใช้ผสมยางมะตอยกับยางพาราชนิด น้ำยางขึ้นแบบเคลื่อนที่ได้ ขนาดความจุ 5 ตัน ทดลองใช้ผสมเพื่อใช้งานระดับอุตสาหกรรมโดยในปี พ.ศ.2547 – 2551 กรมวิชาการเกษตรได้สาธิตการผสมยางมะตอยกับยางพาราและราดผิวถนนเป็นโครงการนำร่องในการใช้ยางพาราผสมยางมะตอยราดถนนในพื้นที่หน่วยงานของกรมวิชาการเกษตรจำนวน 35 แห่ง คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 160,000 ตารางเมตร

กรมทางหลวง (2555) ได้แต่งตั้งคณะทำงานศึกษาการนำยางพารามาใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2555 โดยมีอำนาจหน้าที่ศึกษาคุณสมบัติของยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ศึกษาส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา กำหนดหลักเกณฑ์และข้อกำหนดพิเศษ ในการออกแบบและนำส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราไปใช้งานก่อสร้างแปลงทดสอบให้คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำโครงการนำร่องผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา และติดตาม ประเมินผล เปรียบเทียบคุณสมบัติส่วนผสมในห้วงปฏิบัติการและในภาคสนาม คณะทำงานฯ ได้ศึกษาผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพารามีคุณสมบัติดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ปกติ แต่ดีกว่า Polymer Modied Asphalt คณะทำงานมีความเห็นว่าควรศึกษาผลจากแปลงทดสอบในสนามเพื่อดูพฤติกรรมหรือ Performance ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราว่าเป็นอย่างไร และที่สำคัญเพื่อให้สามารถก่อสร้างได้จริงในสนามควรที่จะใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราในรูป Pre – Blend ซึ่งเป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราสสำเร็จรูป จะเป็นวิธีที่สะดวกไม่จำเป็นต้องปรับปรุงโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Plant) แต่อย่างไร

ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70, AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 และพอลิเมอร์ มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ พบว่า ค่า Penetration ของ AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีค่าน้อยกว่า AC 60/70 ปกติ และค่า Softening Point มีค่าสูงกว่า AC 60/70 ปกติ แต่ต่ำกว่าพอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความแข็งแรงกว่าจะสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อได้มากกว่า AC 60/70 ปกติ แต่น้อยกว่าพอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ส่วนค่า Elastic Recovery พบว่า ค่า Elastic Recovery ของ AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความยืดหยุ่นดีกว่า AC 60/70 ปกติ แต่ต่ำกว่าพอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความยืดหยุ่นดีกว่า AC 60/70 ปกติแต่น้อยกว่าพอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ ส่วนค่า Toughness/Tenacity พบว่าค่า Toughness/Tenacity ของ AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่ามากกว่า AC 60/70 ปกติ แต่ต่ำกว่าพอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มี

ความสามารถยึดเกาะกับมวลรวม (หิน) ได้ดีกว่า AC 60/70 ปกติ แต่น้อย พอลิเมอร์มอดิไฟด์ แอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งจะมีผลทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความทนทานมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติ แต่น้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ พอลิเมอร์มอดิไฟด์ แอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 2.1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70, AC60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 และ พอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ (กรมทางหลวง, 2557)

ลำดับ ที่	คุณลักษณะ	AC 60/70	AC + Natural Rubber	PMA	ข้อกำหนดพิเศษ	Specicati on	วิธี ทดสอบ
					Rubber Mosied Asphalt Cement	TIS 2156- 2547	
1	เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนัก กด 100 กรัม เวลา 5 วินาที (0.1 มิลลิเมตร)	67	54	63	50-70 (ASTM D 5)	55-70	มอก.1201
2	จุดอ่อนตัว ไม่น้อยกว่า (องศาเซลเซียส)	51.2	55.6	79.2	50 Min. (ASTM D 36)	70	มอก.1216
3	ความยืดดึง ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 เซนติเมตรต่อนาที ไม่น้อยกว่า (เซนติเมตร)	89	80	92	50 Min. (ASTM D 113)	55	มอก.1202
4	ความยืดหยุ่นกลับ (elastic recovery) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า (ร้อยละ)	25	65	93	50 Min. (ASTM D 6084)	70	มอก.6084
5	ความเหนียวและเทนซิตี (Toughness/Tenacity) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความเหนียว ไม่น้อยกว่า (กิโลกรัม.เซนติเมตร) เทนซิตี ไม่น้อยกว่า (กิโลกรัม.เซนติเมตร)	55 6	158 84	304 229	- -	170 100	ASTM D 5801

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ลำดับ ที่	คุณลักษณะ	AC 60/70	AC + Natural Rubber	PMA	ข้อกำหนดพิเศษ	Specicati on	วิธี ทดสอบ
					Rubber Mosied Asphalt Cement	TIS 2156- 2547	
6	ความหนืด บรูคฟิลด์ อัตรา เหือน 18.6 วินาที- 1 แกน (spindle) 21 ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส ไม่เกิน (มิลลิพาสคัล.วินาที)* ที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส ไม่เกิน (มิลลิพาสคัล.วินาที)*	650 185	1060 265	143 0 400	Viscosity at 150 C 200 – 600 cP (ASTM D 4402) *(1Cp = 1 Mp.s)	3000 1000	ASTM D 4402
7	เสถียรภาพต่อการเก็บที่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 163 องศา เซลเซียส ค่าความแตกต่างของ จุดอ่อนตัว ระหว่างบนและล่าง ของหลอดทดสอบไม่เกิน (องศาเซลเซียส)	0.5	0.5	1.0	4 Max. (ASTM D 5892)	2	ASTM D 5892 มอก.1216
8	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.03	1.01	1.00	-	1.00 – 1.05	ASTM D 70
9	จุดวาบไฟ ไม่น้อยกว่า (องศา เซลเซียส)	272	315	332	220 Min. (ASTM D 92)	220	มอก.1182 เล่ม 2
10	การละลายในทอลูอิน ไม่น้อย กว่า (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	99.9 5	99.90	99.8 0	-	99.0	ASTM D 5546
11	ความต้านทานแรงเหือนไคนา มิก จี* /ซายน์ δ ที่อุณหภูมิ 76 องศาเซลเซียส 10 rad/s ไม่น้อยกว่า (กิโลกรัมพาสคัล)	1.2	1.7	2.6	-	1.0	AASHT O TP5
12	น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ ความร้อนไม่เกิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	0.4	0.2	0.1	1.0 Max. (ASTM D 1754)	0.5	ASTM D 28721
	กากที่เหลือจากการอบ						

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ลำดับ ที่	คุณลักษณะ	AC 60/70	AC + Natural Rubber	PMA	ข้อกำหนดพิเศษ	Specicati on	วิธี ทดสอบ
					Rubber Mosied Asphalt Cement	TIS 2156- 2547	
13	เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที ไม่น้อยกว่า (ร้อยละของเพนิเทรชันเดิม)	63.0	70.9	75.9	60 Min. (ASTM D 5)	70	มอก.1201
14	จุดอ่อนตัวแตกต่างจากเดิม (องศาเซลเซียส)	+8.0	+2.9	-1.4	+6 Max. (ASTM D 36)	-4 ถึง +6	มอก.1216
15	ความยืดดึง ที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเครื่อง ดึง 5 เซนติเมตร ต่อนาที ไม่น้อยกว่า (เซนติเมตร)	8	14	76		40	มอก.1202
16	ความยืดหยุ่นกลับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า (%)	40	45	90	35 Min. (ASTM D 6084)	60	ASTM D 6084

ตารางที่ 2.2 ผลการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราร้อยละ 5 ที่ใช้ในการออกแบบ Job Mix Formula (กรมทางหลวง, 2557)

ลำดับ ที่	คุณลักษณะ	AC + Natural Rubber 5.0%	ข้อกำหนดพิเศษ
1	เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที (0.1 มิลลิเมตร)	60	50-70 (ASTM D 5)
2	จุดอ่อนตัว ไม่น้อยกว่า (องศาเซลเซียส)	53.1	50 Min.
3	ความยืดดึงที่อุณหภูมิ 13 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของ เครื่องดึง 5 เซนติเมตรต่อนาที ไม่น้อยกว่า (เซนติเมตร)	53.1	50 Min.
4	จุดวบไฟ ไม่น้อยกว่า (องศาเซลเซียส)	305	220 Min. (ASTM D 113)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

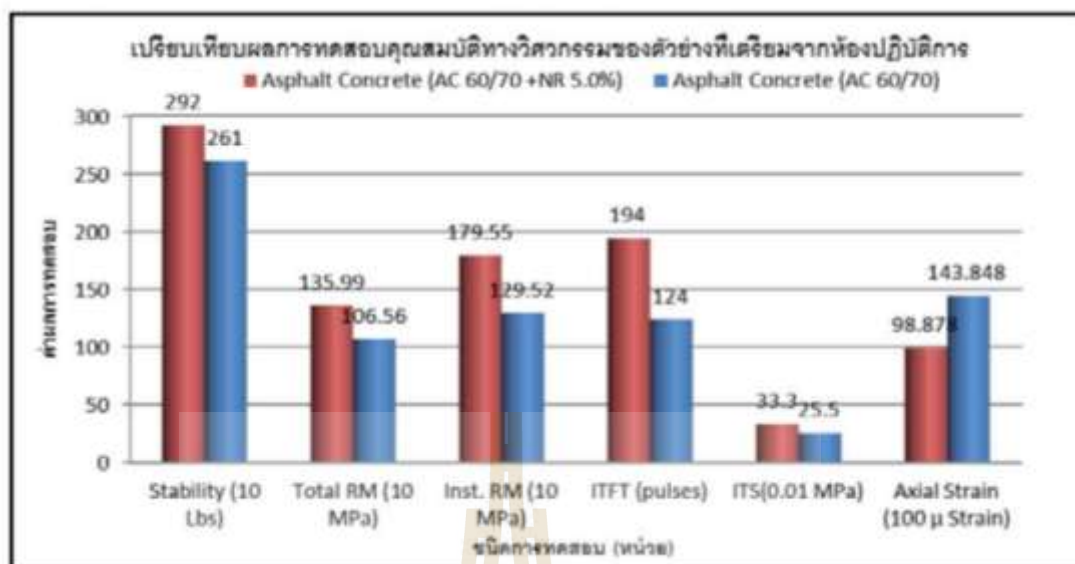
ลำดับ ที่	คุณลักษณะ	AC + Natural Rubber 5.0%	ข้อกำหนดพิเศษ
5	ความยืดหยุ่นกลับ (elastic recovery) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ระยะ 10 เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า (ร้อยละ)		
6	เสถียรภาพต่อการเก็บที่ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 163 องศาเซลเซียส ค่าความแตกต่างของจุดอ่อนตัวระหว่างบนและล่างของหลอดทดสอบ ไม่เกิน (องศาเซลเซียส)	3.9	4 Max. (ASTM D 5892)
7	ความหนืด บรูคฟิลด์ อัตราเนื่อง 18.6 วินาที- 1 แกน (spindle) 21 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (centiPoise)	500	Viscosity at 150 C 200 – 600 Cp (ASTM D 4402)
	กากที่เหลือจากการอบ		
8	น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน ไม่เกิน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)	0.06	1.0 Max. (ASTM D 1754)
9	เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที ไม่น้อยกว่า (ร้อยละของเพนิเทรชันเดิม)	86.7	60 Max. (ASTM D 5)
10	จุดอ่อนตัวแตกต่างจากเดิม (องศาเซลเซียส)	+1.7	+6 Max. (ASTM D 36)
11	ความยืดหยุ่นกลับที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า (%)	36.2	35 Max. (ASTM D 6084)

ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70, AC 60/70 ผสมยางพารา 5.0% พบว่า ค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่าสูงกว่า AC 60/70 ปกติเล็กน้อย แต่ต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้พอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์ แสดงว่า AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความแข็งแรงกว่าจะสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อได้มากกว่า AC 60/70 ปกติ แต่น้อยกว่า พอลิเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 2.3 ผลการออกแบบ Job Mix Formula (กรมทางหลวง, 2557)

คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70	แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา 5.0%
	ค่า (Tolerant Limit)	ค่า (Tolerant Limit)
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0 $\pm$ (0.3)	5.0 $\pm$ (0.3)
Marshall density (gm./ml.)	2.415 (2.403 – 2.424)	2.416 (2.408 – 2.422)
Marshall Air Voids (%)	4.0 (3.2 – 4.8)	4.0 (3.4 – 4.7)
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6 (>14)	14.5 (>14)
Voids Filled with Bitumen (%)	72.6 (67 – 77)	72.4 (67 – 77)
Marshall Stability (lbs.)	2610 (>2300)	2920 (>2600)
Marshall Flow (0.01")	11.0 (10 – 12)	11.0 (10 – 12)
Marshall Stability / Marshall Flow (lbs./0.01")	237 (>160)	265 (>200)
Strength Index (%)	87.9 (>75)	88.5 (>75)

ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้ยาง AC 60/70 กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของยาง AC 60/70 พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่า Stability ค่า Resilient Modulus จำนวน Pulses จากการทดสอบความล้าแบบ Indirect Tensile Fatigue และ ค่า Indirect Tensile Strength สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ ส่วนผลการทดสอบ Dynamic Creep พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีแนวโน้มของการเสียรูปแบบถาวรน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ ตามกราฟเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

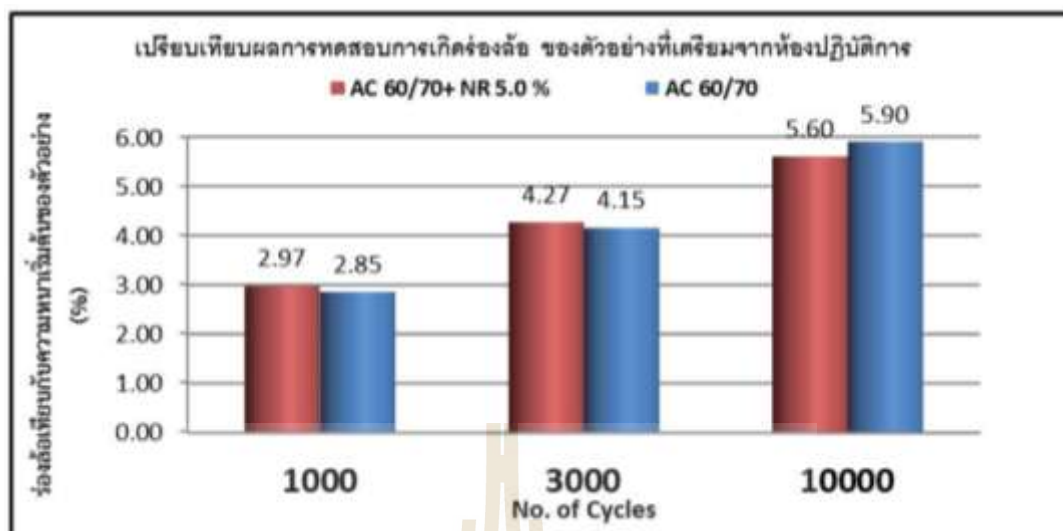


รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (กรมทางหลวง, 2557)

ผลการทดสอบเปรียบเทียบการเกิดร่องล้อระหว่างแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เตรียมในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้ยาง AC 60/70 กับ แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสม ยางพารา 5.0% โดยน้ำหนักของยาง AC 60/70 ด้วยเครื่อง Pavement Rutting Tester พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสม ยางพาราร้อยละ 5 มีแนวโน้มของการเกิดร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ ดังตารางผลการทดลอง และกราฟเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4 ผลการทดสอบการเกิดร่องล้อของตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (กรมทางหลวง, 2557)

รายการ	AC 60/70			AC 60/70 + NR 5.0%		
No. of cycle	1000	3000	10000	1000	3000	10000
ตัวอย่างที่ 1 (LT.)	2.73	4.00	6.04	2.50	4.00	4.91
ตัวอย่างที่ 2 (RT.)	2.92	4.07	5.37	2.91	4.23	5.37
ตัวอย่างที่ 3 (LT.)	3.06	4.51	6.40	3.65	4.89	6.49
ตัวอย่างที่ 4 (RT.)	2.70	4.03	5.80	2.81	3.95	5.64
Average	2.85	4.15	5.90	2.97	4.27	5.60



รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบการเกิดร่องล้อ ของตัวอย่างที่เตรียมจากห้องปฏิบัติการ (กรมทางหลวง, 2557)

การติดตามประเมินผลหลังการก่อสร้าง หลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จจะมีการติดตามและประเมินผลหลังการก่อสร้างในสนาม ที่ระยะเวลา 3 เดือน 2 ครั้ง และ 6 เดือน ของกรมทางหลวง ได้แก่ เครื่อง Falling Weight Deflectometer เครื่อง Laser Prolometer เครื่อง Skid Resistance Tester เพื่อตรวจสอบค่าความแข็งแรง ความเรียบ ความต้านทานการลื่นไถล การเกิดร่องล้อ ตลอดจนสภาพความเสียหายต่างที่เกิดขึ้นนอกจากนี้ จะทำการตัดแผ่นตัวอย่างผิวทางในแปลงทดสอบมาทำการทดสอบการเกิดร่องล้อด้วยเครื่อง Pavement Rutting Tester เปรียบเทียบระหว่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางธรรมชาติ (ยางพารา) กับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตปกติต่อไป ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางค่าแสดงในตารางที่ 2.5, ตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.5 ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางก่อนการก่อสร้างแปลงทดสอบ (กรมทางหลวง, 2557)

ROUTE No.	Control Section	Route Name	Sta.-Sta.	Type of Test	Average		Unit	Remarks
					เลนรถบรรทุก (เลนซ้าย)	เลนรถเบา (เลนขวา)		
305	0200	องค์กรชัย-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	IRI	2.33	1.80	m/km.	
				Texture Depth	0.66	0.67	cm.	
				Skid-Resistance	36	42	BPN.	
				Rutting	0.95	0.84	cm.	

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

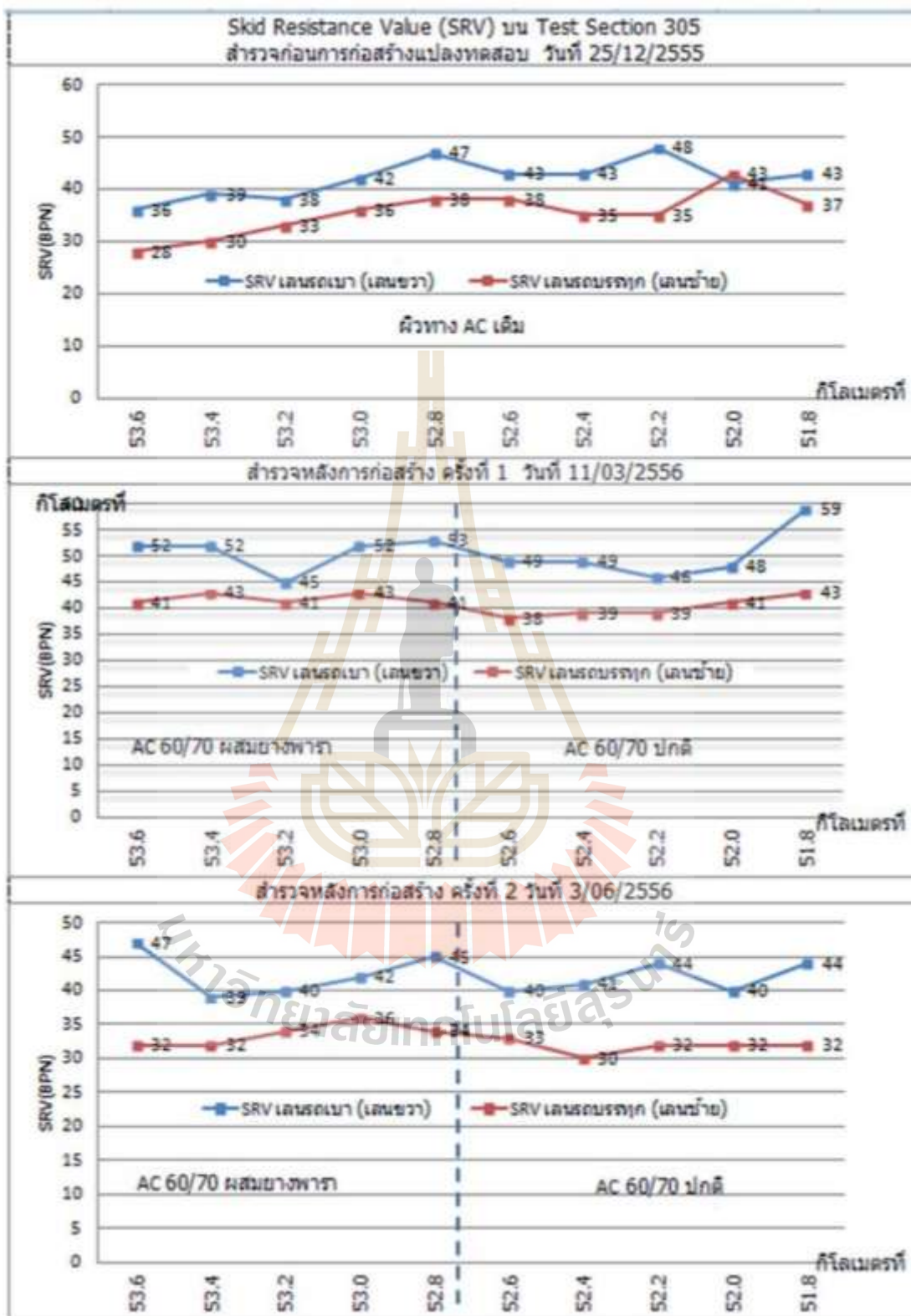
ROUTE No.	Control Section	Route Name	Sta.-Sta.	Condition Survey	Average		Unit	Remarks
					เลนรถบรรทุก (เลนซ้าย)	เลนรถเบา (เลนขวา)		
305	0200	องค์รักษ์-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	Patching	2.86	-	m ²	
				Alligator Crack	4.67	-	m ²	
				Transverse Crack	3.95	-	m	

ตารางที่ 2.6 ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางหลังการก่อสร้างแปลงทดสอบ ครั้งที่ 1 (กรมทางหลวง, 2557)

ROUTE No.	Control Section	Route Name	Sta.-Sta.	Type of Test	Average		Unit	Remarks
					เลนรถบรรทุก (เลนซ้าย)	เลนรถเบา (เลนขวา)		
305	0200	องค์รักษ์-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	IRI	1.87	1.71	m/km	
				Texture Depth	0.64	0.60	cm.	
				Skid-Resistance	40	50	BPN.	
				Rutting	1.15	1.04	cm.	
305	0200	องค์รักษ์-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	IRI	1.98	1.42	m/km	
				Texture Depth	0.52	0.60	cm.	
				Skid-Resistance	42	51	BPN.	
				Rutting	0.80	0.78	cm.	

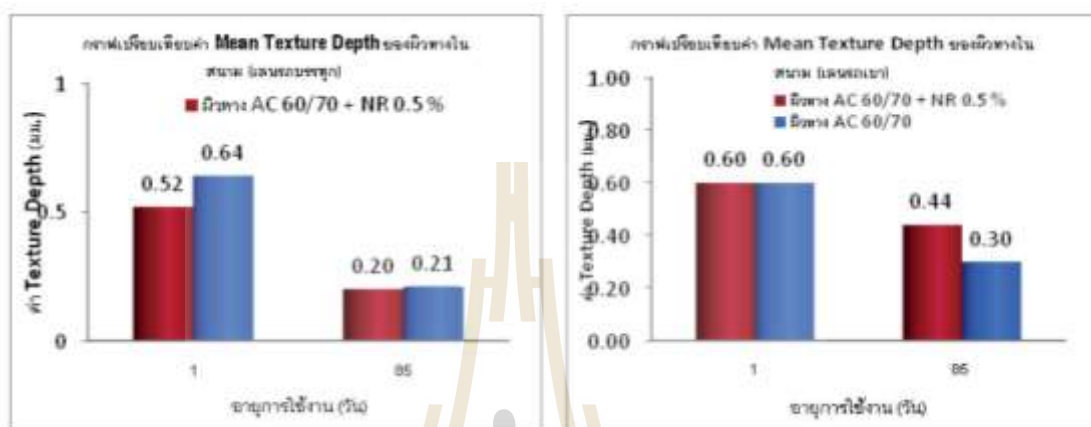
ตารางที่ 2.7 ผลการสำรวจและประเมินสภาพทางหลังการก่อสร้างแปลงทดสอบ ครั้งที่ 2 (กรมทางหลวง, 2557)

ROUTE No.	Control Section	Route Name	Sta.-Sta.	Type of Test	Average		Unit	Remarks
					เลนรถบรรทุก (เลนซ้าย)	เลนรถเบา (เลนขวา)		
305	0200	องค์กรักษ์-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	IRI	1.92	1.73	m/km	
				Texture Depth	0.21	0.30	cm.	
				Skid-Resistance	32	42	BPN.	
				Rutting	2.42	1.41	cm.	
305	0200	องค์กรักษ์-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	IRI	1.95	1.41	m/km	
				Texture Depth	0.2	0.44	cm.	
				Skid-Resistance	34	43	BPN.	
				Rutting	2.04	0.84	cm.	
ROUTE No.	Control Section	Route Name	Sta.-Sta.	Condition Survey	Sum		Unit	Remarks
					เลนรถบรรทุก (เลนซ้าย)	เลนรถเบา (เลนขวา)		
305	0200	องค์กรักษ์-นครนายก	51+700 – 53+700 RT.	Patching	1.4	-	m ²	
				Alligator Crack	-	-	m ²	
				Transverse Crack	-	-	m	



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่าผลการสำรวจประเมินสภาพทาง (กรมทางหลวง, 2557)

ผลการทดสอบการเกิดร่องล้อในสนามของแปลงทดสอบ จากการประเมินผลการเกิดร่องล้อ พบว่าช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีพื้นที่เกิดร่องล้อลึกเกิน 1.00 ซม. คิดเป็น 53.5% ของพื้นที่ ส่วนช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติมีพื้นที่ที่เกิดร่องล้อลึกเกิน 1.00 ซม. คิดเป็น 85.5% ของพื้นที่

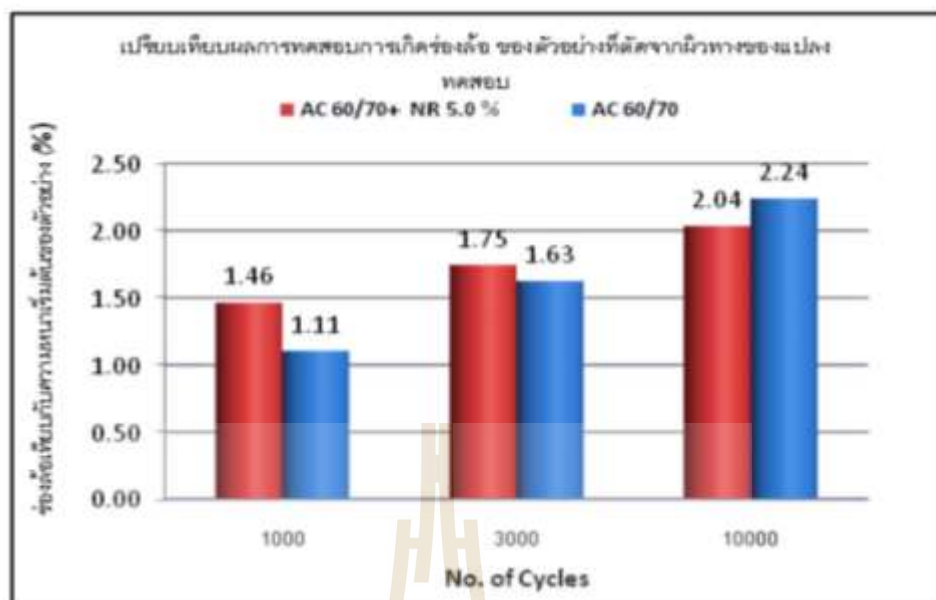


รูปที่ 2.4 ผลการทดสอบการเกิดร่องล้อในสนามของแปลงทดสอบ (กรมทางหลวง, 2557)

ผลการทดสอบเปรียบเทียบการเกิดร่องล้อระหว่างแผ่นตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ตัดจากผิวทางของแปลงทดสอบทางหลวงหมายเลข 305 สายองค์รักษ์ - นครนายก กม.51+750 – กม. 53+750 ขวาทง ที่ใช้ยาง AC 60/70 กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสม ยางพารา 5.0% โดยนำหน้าของยาง AC 60/70 ด้วยเครื่อง Pavement Rutting Tester พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีแนวโน้มของการเกิดร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติดังตารางผลการทดลองและกราฟเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบการเกิดร่องล้อของตัวอย่างที่ตัดจากผิวทางของแปลงทดสอบ (กรมทางหลวง, 2557)

รายการ	AC 60/70			AC 60/70 + NR 5.0%		
	1000	3000	10000	1000	3000	10000
ตัวอย่างที่ 1 (LT.)	1.19	1.83	2.23	1.37	1.58	1.82
ตัวอย่างที่ 2 (RT.)	1.02	1.42	2.25	1.56	1.91	2.25
Average	1.11	1.63	2.24	1.46	1.75	2.04



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบการเกิดร่องล้อของตัวอย่างที่ตัดจากผิวทางแปลงทดสอบ (กรมทางหลวง, 2557)



รูปที่ 2.6 เครื่อง Pavement Rutting Tester (ซ้าย) และตัวอย่างทดสอบ (ขวาบนตัวอย่างผสมยางพารา ขวาล่างตัวอย่างไม่ผสมยางพารา) (กรมทางหลวง, 2557)

จากการก่อสร้างแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา ในทางหลวงหมายเลข 305 สายองค์รักษ์ – นครนายก ระหว่าง กม. 51+750 – กม. 53+750 ด้านขวาทาง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ กับ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของยาง AC 60/70 พอสรุปผลทั้งในด้านเศรษฐกิจด้านวิศวกรรม และด้านสมรรถนะการใช้งานจริงในสนามได้ดังนี้

- **ผลทางด้านเศรษฐกิจ** การประเมินผลทางด้านราคาของผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 โดยการใช้ยางขึ้นมาทำการผสมแบบ Pre – blend มีราคาสูงขึ้นจากแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ ประมาณร้อยละ 14 – 15 เนื่องจากค่าเครื่องจักร ค่าอุปกรณ์ในการดำเนินการและค่าสารผสมเพิ่ม แต่จะถูกกว่า PMA ซึ่งมีราคาสูงกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ ประมาณร้อยละ 20 -22

ในด้านราคาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราร้อยละ 5 ที่ได้จากการผลิตแบบ Pre – blend พบว่ามีราคาสูงขึ้นจากแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ปกติ ประมาณร้อยละ 18 - 19 เนื่องจากแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมยางพาราร้อยละ 5 มีความหนืดสูงขึ้น ต้องใช้อุณหภูมิในการผสมและการบดทับสูงขึ้น แต่ราคาจะถูกกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้ PMA ซึ่งมีราคาสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ประมาณร้อยละ 28 - 29

นอกจากนี้การนำยางพารามาใช้ในงานก่อสร้างทางหลวง จะเป็นการเพิ่มอุปสงค์ของยางพาราในประเทศให้สูงขึ้น มีผลดีในการช่วยการรักษาสถียรภาพของราคายางพาราในประเทศ จึงเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรชาวสวนยาง ซึ่งมีอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศอีกทางหนึ่ง

- **ผลทางด้านวิศวกรรม** จากผลการทดสอบทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ และการประเมินผลทดลองสมรรถนะการใช้งานจริงในแปลงทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

ผลการทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เตรียมในห้องปฏิบัติการที่ใช้ยาง AC 60/70 กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของยาง AC 60/70 พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพาราร้อยละ 5

- ค่าเสถียรภาพ (Stability) พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่าเสถียรภาพสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ

- ค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ
- ค่าความต้านทานต่อความล้า (แบบ Indirect Tensile Fatigue) พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานต่อความล้าหรือจำนวน Pulses ที่ตัวอย่างสามารถรับได้ จนกระทั่งเกิดความเสียหายมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ
- ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ
- ค่าความต้านทานการเสีรูรูปแบบถาวรจากการทดสอบ Dynamic Creep พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีค่าการเสีรูปนน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ
- ค่าการเกิดร่องล้อ โดยการใช้ตัวอย่างที่เตรียมจากส่วนผสมในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่อง Pavement Rutting Tester พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา 5.0 % มีแนวโน้มของการเกิดร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ โดยค่าร่องล้อที่ได้จากการทดสอบที่ 10,000 รอบ เท่ากับร้อยละ 5.6 ในขณะที่แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ ได้ค่าเท่ากับร้อยละ 5.9
- ค่าการเกิดร่องล้อ โดยการใช้ตัวอย่างที่ตัดมาจากผิวทางของแปลงทดสอบมาทำการทดสอบด้วยเครื่อง Pavement Rutting Tester พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 มีแนวโน้มของการเกิดร่องล้อน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ โดยค่าร่องล้อที่ได้จากการทดสอบที่ 10,000 รอบ เท่ากับร้อยละ 2.04 ในขณะที่แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ ได้ค่าเท่ากับร้อยละ 2.24
- **ผลด้านสมรรถนะการใช้งานจริงในสนาม** ผลจากการสำรวจประเมินสภาพทางในสนามเพื่อตรวจสอบสมรรถนะในการใช้งานจริง เปรียบเทียบระหว่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ผสมยางพารา ร้อยละ 5 กับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปกติ มีผลดังนี้

- ผลการทดสอบค่า Mean Texture Depth ช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีค่า Mean Texture Depth (MTD) ลดลงจากตอนที่เริ่มเปิดใช้งาน 0.32 มม. (ร้อยละ 61.5) ในเลนรถบรรทุก (เลนซ้าย) และ 0.16 มม. (ร้อยละ 28.7) ในเลนรถเบา (เลนขวา) ส่วนช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติยางพารา มีค่า Mean Texture Depth (MTD) ลดลงจากตอนที่เริ่มเปิดใช้งาน 0.43 มม. (ร้อยละ 67.2) ในเลนรถบรรทุก (เลนซ้าย) และ 0.30 มม. (ร้อยละ 50.0) ในเลนรถเบา (เลนขวา)
- ผลการตรวจสอบและประเมินผลก่อนการก่อสร้าง 1 ครั้ง และหลังการก่อสร้างแล้ว 2 ครั้ง หรือที่อายุการใช้งาน 85 วัน ปรากฏว่า ช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีค่า Skid Resistance Value (SRV) ≥ 45 จำนวน 2 จุดทดสอบ ส่วนช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติไม่มีจุดทดสอบใดเลยที่มี ค่า ≥ 45
- ผลการตรวจสอบและประเมินค่าการเกิดร่องล้อ พบว่าช่วงแปลงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ผสมยางพารา มีพื้นที่เกิดร่องล้อลึกเกิน 1.00 ซม. คิดเป็นร้อยละ 53.5 ของพื้นที่ ส่วนช่วงทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 ปกติมีพื้นที่เกิดร่องล้อเกิน 1.00 ซม. คิดเป็นร้อยละ 85.5 ของพื้นที่

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ยางมะตอย

เป็นวัสดุที่สกัดจากน้ำมันดิบ มีสีดำ มีลักษณะเหนียวและความหนืดต่ำ ยางมะตอยนิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนน โดยใช้เป็นวัสดุผิวหน้า ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของยางมะตอยทำหน้าที่ประสานระหว่างวัสดุเดิมเช่นหินและทราย เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยวัสดุที่นำมาใช้ในการเทพื้นหน้าถนนจะเรียกชื่อเต็มว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (asphalt concrete) และมักย่อว่า แอสฟัลต์



รูปที่ 2.7 ยางมะตอย (กฤษฎา โภคากร, 2560)

ยางมะตอย ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร มี 2 ชนิด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และยางมะตอยชนิดเหลว แอสฟัลต์ซีเมนต์ มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็ง ที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ การใช้งาน ต้องต้มให้เหลวโดยใช้อุณหภูมิ 200-300 องศาฟาเรนไฮต์ แบ่งได้ 3 ชนิด ตามการผลิตคือ

- Penetration Grade ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง
- Blown Grade ได้จากการนำเอา ยางมะตอยชนิดแรก ไปเป่าลมใส่ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250 - 300 องศาเซลเซียส เพื่อให้แข็งและทนความร้อนได้ดีขึ้น
- Hard Grade ได้จากการ นำเอายางมะตอย ชนิดแรก ไปกลั่น ต่อภายใต้สภาวะอากาศ ที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ยางมะตอยที่มีความแข็งมากขึ้นแอสฟัลต์ชนิดเหลว แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

Cutback Asphalt มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา หลังจาก บดอัดแล้ว ทิ้งไว้ให้ตัวทำละลายระเหยไป จะเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์ ได้จากแอสฟัลต์ซีเมนต์ ไปละลายในตัวละลายประเภทน้ำมันต่าง ๆ ที่เรียกรวมว่า Diluent หรือ Cutler Stock เช่น Naphtha Kerosine และ Diesel Oil แบ่งได้ 3 ประเภทตามชนิดตัวทำละลาย คือ ชนิดแข็งตัวเร็ว แข็งตัวปานกลาง และแข็งตัวช้า

Emulsified Asphalt ผลิตจากการนำเอา แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส โดยใช้สารเคมี ซึ่งเรียกว่า Emulsifier เติมลงไปเล็กน้อย ช่วยให้อนุภาคของยางมะตอยกระจายตัว แล้วนำไปตีด้วยเครื่อง Colloidal Mill ให้ยางมะตอยแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ

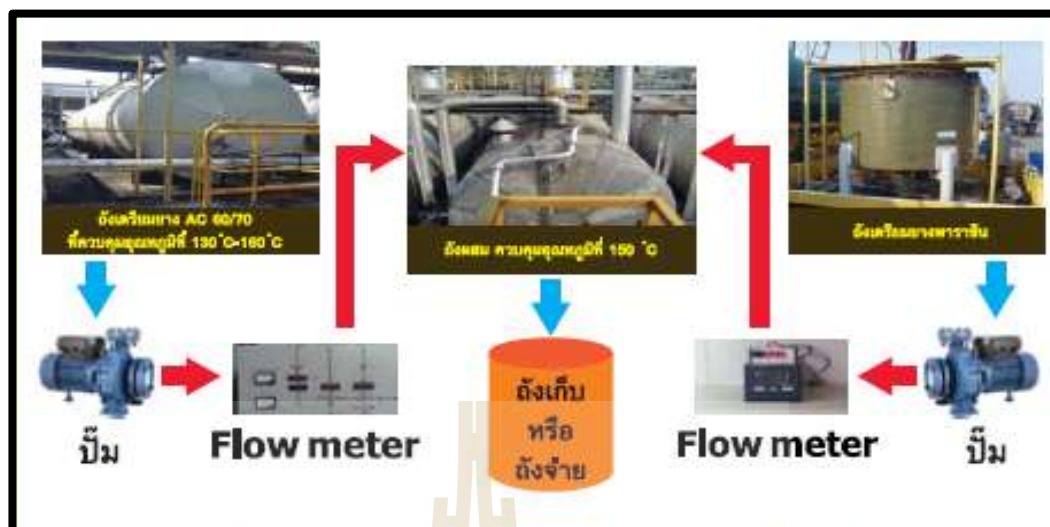
2.2.2 การผลิตยางมะตอยผสมยางธรรมชาติในเชิงพาณิชย์

สถาบันวิจัยยาง ร่วมกับบริษัท ทิปปโก้ แอสฟัลท์ จำกัดได้ร่วมกันปรับปรุงคุณภาพยางมะตอยน้ำ (Asphalt Emulsion) ด้วยน้ำยางข้น (HA) ร้อยละ 5.5 ช่วยให้คุณสมบัติ ด้านค่าความยืดหยุ่นตัว หรือพื้นก้นตัว (Asphalt Emulsion) ดีขึ้น เป็นผลให้ยางมะตอยสามารถคืนรูปได้ดีหลังถูกกดทับ จากการจราจรจึงลดการเกิดร่องล้อบนถนน ตลอดจนค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) สูงขึ้น จึงช่วยลดการเปลี่ยนแปลงผิวทางเนื่องจากอุณหภูมิได้

น้ำยางที่ปรับปรุงคุณภาพนี้ มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ที่ ทล-ก405/2535 ซึ่งเปรียบเทียบคุณลักษณะของยางมะตอยน้ำผสมน้ำยางธรรมชาติกับ มาตรฐาน CSS-1 (EMA) แต่การผสมยางพาราในรูปน้ำยางข้น กับยางมะตอย ต้องมีวิธีการที่เหมาะสม ในขั้นตอนการต้มที่โรงงานผสมก่อนการผสมกับวัสดุมวลรวม(หินและทราย) มิฉะนั้น ส่วนผสมจะเกิดฟองล้นจากถัง จนเกิดอันตรายได้ ซึ่งขณะนี้ บริษัททิปปโก้ฯ สามารถผลิตยางมะตอยน้ำผสมยางธรรมชาติ ใน เชิงพาณิชย์ได้แล้ว โดยใช้วิธีผสมยางธรรมชาติในขั้นตอนการผสมน้ำกับ ส่วนผสม (Emulsifier) ก่อนนำมาผสมกับยางมะตอยในโรงงาน

กระบวนการผลิตแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราแบบ Pre – blend มีขั้นตอนดังนี้

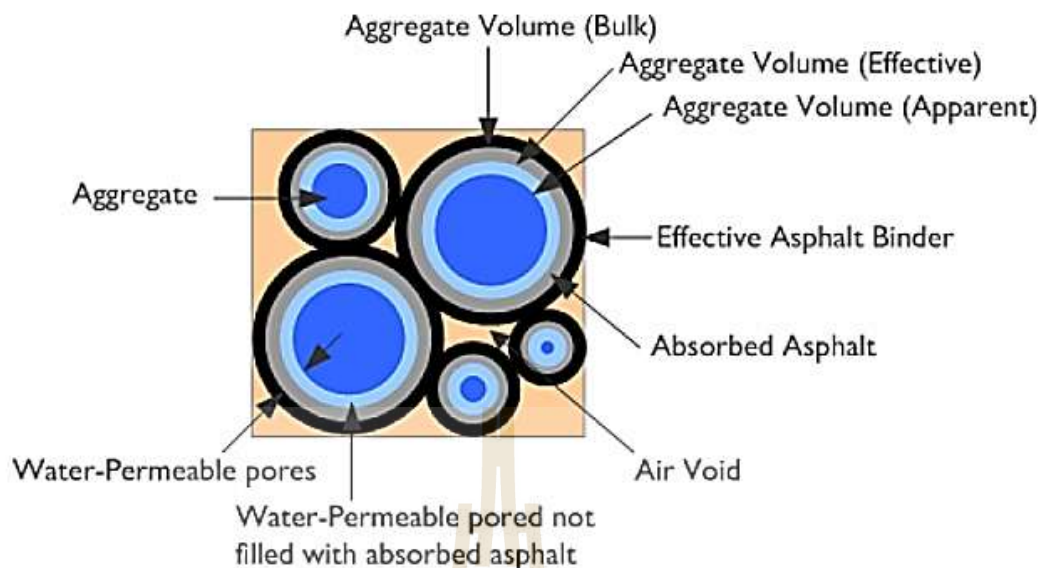
- 1.) เตรียม AC 60/70 ตามปริมาณที่ต้องการ โดยควบคุมความร้อนให้อยู่ระหว่าง 130 – 160 °C
- 2.) สูบถ่าย AC 60/70 ที่จัดเตรียมไว้ไปที่ถังผสมที่มีใบกวน
- 3.) ตรวจสอบปริมาณ AC 60/70 ที่สูบไปถึงผสมตามสัดส่วนที่ต้องการโดยอ่านค่าจาก Flowmeter
- 4.) เตรียมน้ำยางพาราข้น ในถังที่ติดตั้งใบกวนให้มีความสม่ำเสมอ
- 5.) สูบถ่ายน้ำยางพาราข้นจากถังเตรียม ผ่าน Flow meter เข้าถังผสมตามสัดส่วนการผสม



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการผลิตแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราแบบ Pre – blend (กรมทางหลวง, 2557)

2.2.3 แอสฟัลต์คอนกรีต

คือ วัสดุผสมที่ได้จากการผสมร้อนระหว่างวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ที่โรงงานผสม โดยการควบคุมอัตราส่วนผสมและอุณหภูมิตามที่กำหนด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานก่อสร้าง งานบูรณะและงานบำรุงทาง โดยการปูหรือเกลี่ยแต่งและบดทับวัสดุผสมที่ยังร้อนอยู่บนชั้นทางใดๆ ที่ได้เตรียมไว้แล้ว และผ่านการตรวจสอบแล้วให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่ได้ไว้ในแบบสัดส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ แอสฟัลต์ส่วนหนึ่งจะถูกดูดเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม (Absorbed Asphalt) ในขณะที่แอสฟัลต์ส่วนที่เหลือซึ่งเรียกว่า แอสฟัลต์ประสิทธิภาพ (Effective Asphalt) จะทำหน้าที่เคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวม รูปที่ 2.9 แสดงช่องว่างอากาศ (Air Voids) ระหว่างมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยแอสฟัลต์



รูปที่ 2.9 ช่องว่างอากาศระหว่างวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์คอนกรีต (คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยพะเยา, 2559)

2.2.3.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตมีดังต่อไปนี้

- 1.) ความหนาแน่น (Density) หมายถึง ปริมาณมวลของแอสฟัลต์คอนกรีต ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอ จะทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวและมีคุณภาพ คืออย่างไรก็ตามการบดทับโดยรถบดในสนาม จะได้ความแน่นน้อยกว่าความแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งบดทับด้วยเครื่องมือในห้องทดสอบ ดังนั้น การกำหนดความแน่นต่ำสุดที่บดทับได้ในสนาม จำต้องกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ สำหรับกรมทางหลวงกำหนดไว้ว่าต้องบดทับให้ได้ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ
- 2.) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ผิวทางแอสฟัลต์ที่บดทับแล้วจำเป็นต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศที่เพียงพอ แต่ไม่มากเกินไป ปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน (Durability) และการใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือ ปริมาตรช่องว่างอากาศยิ่งน้อยเท่าใด น้ำและอากาศจะซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์และการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้ยากเท่านั้นทำให้ผิวทางมีอายุที่ยาว แต่

อย่างไรก็ตามหากปริมาณช่องว่างอากาศน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวเกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างอากาศร้อยละ 3 – 5 ขึ้นอยู่กับปริมาณและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างอาจออกแบบให้มีปริมาณช่องว่างได้มากกว่า เช่น ร้อยละ 4 - 7

3.) ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA) คือ ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดทับแล้ว ซึ่งช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen, VFB) ด้วยโดยที่ช่องว่างระหว่างมวลรวม (VMA) คือ ปริมาณช่องว่างสำหรับปริมาณของแอสฟัลต์ประสิทธิผล ซึ่งหมายถึง ปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสมกับปริมาณแอสฟัลต์ส่วนที่ดูดซึมเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม สำหรับปริมาณช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลต์ประสิทธิผลคือ ปริมาณช่องว่างอากาศดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้น หากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาณช่องว่างเท่ากันแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความทนต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA ต่ำกว่า อธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า การที่วัสดุมวลรวมมีค่า VMA สูง ย่อมหมายถึง มีปริมาณช่องว่างสำหรับแอสฟัลต์มากทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มวัสดุมวลรวมหนาซึ่งทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความทนต่ออายุการใช้งานยืนยาว การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อยซึ่งประหยัดแต่ไม่ควรกระทำเพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความทนลดลง

4.) ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content) ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใส่ลงไปผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดสอบหรือที่โรงผสม (Mixing Plant) ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งได้แก่ ข้อกำหนดต่างๆเกี่ยวกับคุณภาพ

ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการ จะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ผสมปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตจะเป็นเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละและคุณสมบัติในการดูดซึมแอสฟัลต์ วัสดุมวลรวมซึ่งมีขนาดคละประกอบด้วยเม็ดขนาดเล็กต้องการแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่าวัสดุมวลรวมที่ประกอบด้วยเม็ดขนาดใหญ่กว่า เหตุผลก็คือ วัสดุมวลรวมเม็ดเล็กมีพื้นที่ผิวมากกว่าวัสดุมวลรวมเม็ดใหญ่ (ที่ปริมาตรเท่ากัน) จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่าเพื่อเคลือบผิวเม็ดวัสดุมวลรวมและวัสดุมวลรวมที่ดูดซึมแอสฟัลต์มากทำให้ต้องใช้แอสฟัลต์ผสมมากเพื่อชดเชยส่วนที่ถูกดูดซึมเช่นกัน

2.2.3.2 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

- 1.) เสถียรภาพ (Stability) คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดรอยลื้อ เป็นคลื่นหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ในลักษณะอื่นๆ และแรงยึดเกาะ (Cohesion) ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมความเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ได้แก่ รูปร่างของเม็ดวัสดุ ลักษณะความเรียบ หยาบ หรือ ขรุขระของผิว ส่วนแรงยึดเกาะเป็นผลมาจากคุณสมบัติของแอสฟัลต์ที่สามารถยึดเม็ดวัสดุมวลรวมให้ติดกันได้ดีเพียงใด ผลรวมของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวม จะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักรถมากระทำโดยปกติแล้ววัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบ ขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพสูง ส่วนแรงยึดเกาะจะมีมากถ้าแอสฟัลต์ที่ใช้มีความหนืดสูงหรือขณะที่แอสฟัลต์มีอุณหภูมิต่ำ การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงจุดหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวมหนาเกินไปเป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุมวลรวมลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพลดลงด้วยในการออกแบบส่วนผสมจะต้องออกแบบให้ค่าเสถียรภาพสูงพอที่จะรับน้ำหนักการจราจรได้ แต่ควรมีข้อคำนึงถึง คือ ค่าเสถียรภาพที่สูงเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่นซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ โดยเฉพาะ

แอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูลงบนพื้นทางหรือผิวทางเดิมที่มีการแอ่นตัว (Deflection) สูง สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเสถียรภาพต่ำเนื่องจาก

- ใช้แอสฟัลต์ปริมาณมากเกินไป ทำให้เกิดเป็นคลื่นลูกกระนาบ หรือเกิดร่องล้อ หรือเกิดการเยิ้มที่ผิว
- ใช้ทรายที่เม็ดขนาดกลาง (Medium Size Sand) มากเกินไป ทำให้บดทับยากขณะที่ทำการบดทับหรือแม้แต่บดทับเสร็จใหม่จะมีลักษณะเคลื่อนตัวได้ง่าย (ไม่อยู่ตัว)
- วัสดุมวลรวมมีลักษณะกลม ผิวเรียบ ขยับตัวได้ง่าย ทำให้เกิดร่องล้อ

2.) ความคงทน (Durability) หมายถึง ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอาจเป็นผลมาจากภูมิอากาศ สภาพการจราจรหรือทั้งสองอย่าง ปัจจัยเหล่านี้ที่ทำให้แอสฟัลต์ที่ใช้เสื่อมสภาพเนื่องจากขบวนการโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) และออกซิเดชัน (Oxidation) วัสดุมวลรวมเสื่อมสภาพจนเกิดการแตกตัว (Disintegration) และฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมหลุดลอก (Stripping) สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตขาดความคงทนเนื่องจาก

- ปริมาณแอสฟัลต์น้อยไป ทำให้ผิวทางมีลักษณะแห้ง หินหลุด
- ช่องว่างอากาศมากไป ซึ่งอาจเนื่องมาจากออกแบบไม่เหมาะสมหรือบดทับ ไม่พอ ทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วเป็นผลให้เกิดรอยแตกหรืออาจแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ ก็ได้
- คุณสมบัติในการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ภายใต้สภาวะเปียกน้ำไม่ดีพอทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์หลุดออกจากวัสดุมวลรวม ทำให้หินหลุดหรือหินโผล่

3.) ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability) ปริมาตรช่องว่าง อากาศเป็นตัวบ่งชี้ถึงความยากง่ายต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ แต่ที่สำคัญยิ่งกว่าปริมาตรช่องว่าง ก็คือ ลักษณะช่องว่างได้แก่ ขนาดของช่องว่าง (แต่ละช่อง) ช่องว่างทะลุติดต่อกันหรือไม่ และช่องว่างทะลุถึงผิวนอกของแอสฟัลต์คอนกรีตหรือไม่ถึงแม้ว่า ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศจะเป็น

สิ่งสำคัญที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทน แต่ในความจริงแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมด น้ำและอากาศจะสามารถซึมผ่านได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งหากมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนดแล้ว ก็ถือว่าใช้ได้ สาเหตุที่ทำให้ น้ำและ อากาศซึมผ่านผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเนื่องจาก

- ปริมาณแอสฟัลต์ที่น้อยไปทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์เสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว ทำให้หินหลุด
- การออกแบบส่วนผสมให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไป น้ำซึมผ่านได้ง่าย

4.) ความง่ายในการปูและการบดทับ (Workability) แอสฟัลต์คอนกรีตที่ปูและบดทับยากอาจแก้ไขได้โดยการออกแบบใหม่หรือเปลี่ยนวัสดุมวลรวมใหม่ หรือเปลี่ยนขนาดผลของวัสดุมวลรวมใหม่สาเหตุที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตปูและบดทับยากเนื่องจาก

- ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวมโตเกินไป ทำให้ผิวหน้าหยาบและปูยาก
- วัสดุมวลรวมมีส่วนที่หยาบมากเกินไป ทำให้บดทับยาก
- อุณหภูมิขณะผสมต่ำทำให้แอสฟัลต์เคลือบผิววัสดุมวลรวมไม่ทั่ว
- ใช้ทรายที่มีเม็ดขนาดกลางผสมมากเกินไป ทำให้ส่วนผสมไม่อยู่ตัว อ่อน ขวบยาบขณะบดทับ
- ปริมาณวัสดุผสมแทรกน้อยเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะอ่อนขบยาบ น้ำซึมผ่านได้ง่าย
- ปริมาณวัสดุผสมแทรกมากเกินไป ส่วนผสมมีลักษณะแห้งหรือเหนียวทำงานยากและไม่คงทน

5.) ความสามารถในการแอ่นตัว (Flexibility) โดยที่ผิวจราจรไม่แตกเป็นสิ่งที่ต้องการในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งนี้เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัว โดยการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกดหรือโดยการโปรงตัวขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของชั้นดินทางข้างล่างตลอดเวลา

- แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดเรียงตัวขนาดโปรง (Open-Graded) จะสามารถแอ่นตัวได้ดีกว่าชนิดเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded)

- แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้ดี มักจะมีค่าเสถียรภาพ ต่ำกว่าที่แอ่นตัวได้น้อย

6.) ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance) คือ ความสามารถในการต้านทานการดัดโค้งแบบปริมาตรช่องว่างอากาศจะเกี่ยวกับปริมาณแอสฟัลต์และความหนืดของแอสฟัลต์ที่มีผลต่อความต้านทานจากการบดทับไม่เพียงพอจะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลง ในทำนองเดียวกันการใช้แอสฟัลต์ที่เสื่อมสภาพและแข็งตัวได้ง่ายจะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลงเช่นกัน นอกจากนี้ความหนาและความแข็งแรงของชั้นผิวทางตลอดจนความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางก็มีผลต่ออายุและความสามารถรับน้ำหนักของผิวทางโดยไม่เกิดรอยแตก กล่าวคือ ผิวทางที่หนารวมทั้งชั้นโครงสร้างที่รองรับผิวทางแข็งแรงจะทำให้ไม่เกิดการแอ่นตัวมาก จึงมีอายุรับน้ำหนักล้อซึ่งกระทำซ้ำได้นานกว่า สาเหตุที่ทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความต้านทานต่อการล้าไม่ดีเนื่องจาก

- ปริมาณแอสฟัลต์น้อยเกินไป จะทำให้เกิดรอยแตกเมื่อมีน้ำหนักกระทำซ้ำมากๆ
- ออกแบบใหม่มีช่องว่างอากาศมาก ทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพเร็ว เกิดรอยแตกได้ง่าย
- การบดทับที่ไม่เพียงพอทำให้แอสฟัลต์เสื่อมสภาพเร็ว เกิดรอยแตกได้ง่าย
- ผิวทางหนาไม่พอทำให้เกิดการแอ่นตัวมากเกินไป เมื่อมีน้ำหนักกระทำทำให้เกิดรอยแตกได้ง่าย

7.) ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance) สาเหตุที่ทำให้ผิวทางลื่นเนื่องจาก

- ปริมาณแอสฟัลต์มากเกินไป ทำให้เกิดการเยิ้มทำให้ผิวทางลื่น
- ขนาดคละและลักษณะผิวของวัสดุมวลรวมไม่เหมาะสม ทำให้ผิวทางมีลักษณะเรียบเกินไปไม่มีโอกาสท่วมเม็ดวัสดุมวลรวมทำให้ลื่น
- เม็ดวัสดุมวลรวมขัดสีทำให้ลื่นได้ง่าย

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพิ่มการใช้ยางพาราเพื่อนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนน ซึ่งกรมทางหลวงได้จัดทำข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ” และมาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Concrete, NRMAC)” ดังนั้น วิธีการดำเนินงานในทุกขั้นตอนจะอ้างอิงตามมาตรฐานและข้อกำหนดของกรมทางหลวงเป็นสำคัญ

3.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อนำไปออกแบบส่วนผสม

3.1.1 วัสดุมวลรวม (Aggregates)

วัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้ในงานแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้ โดยที่วัสดุมวลรวมจะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด และสามารถคำนวณหาอัตราส่วนผสมให้อยู่ในข้อกำหนดของแบบส่วนผสมได้ ขนาดกะ (Gradation) ของวัสดุมวลรวมให้เป็นไปตามตารางที่ 3.1

- 1) มวลรวมหยาบ หมายถึงส่วนที่ค้ำตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ต้องเป็นวัสดุที่กรมทางหลวงอนุมัติให้ใช้ได้ มีความแข็งและคงทน (Hard and Durable) สะอาดปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใดๆ ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง ในกรณีที่ไม่ได้ระบุเป็นอย่างอื่น มวลรวมหยาบต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
 - ค่าความสึกหรอ (Los Angeles Abrasion) ต้องไม่เกินร้อยละ 40
 - ค่าความคงทน (Soundness) ต้องไม่เกินร้อยละ 9
- 2) ค่า Coating and Stripping ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95
- 3) มวลรวมละเอียด หมายถึงส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ที่สะอาดปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใดๆ ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพด้อยลง ในกรณีที่ไม่ได้ระบุเป็นอย่างอื่น มวลรวมละเอียดต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
 - ค่า Sand Equivalent ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
 - ค่าความคงทน (Soundness) ต้องไม่เกินร้อยละ 9

- 4) วัสดุผสมแทรก ใช้ผสมเพิ่มในกรณีในส่วนละเอียดในมวลรวมมีไม่พอ หรือใช้ปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต อาจเป็น Stone Dust, Portland Cement, Silica Cement, Hydrated Lime หรือวัสดุอื่นใดที่กรมทางหลวง อนุมัติให้ใช้ได้ ต้องมีลักษณะแห้งไม่จับกันเป็นก้อน มีขนาดคละตาม ตารางที่ 3.2 ในกรณีที่ขนาดคละแตกต่างไปจากตารางที่ 3.2 แต่เมื่อนำมาใช้ เป็นวัสดุผสมแทรกแล้วจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นก็อาจ อนุมัติให้ใช้วัสดุนั้นเป็นวัสดุผสมแทรกได้

ตารางที่ 3.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก		มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
		(นิ้ว)	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)
สำหรับชั้นทาง			Wearing	Wearing	Binder	Base
			Course	Course	Course	Course
ความหนา		มิลลิเมตร	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง	(มิลลิเมตร)	(นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
	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
ปริมาณแอสฟัลต์ ร้อยละโดยมวลของมวลรวม			4.0 - 8.0	3.0 - 7.0	3.0 - 6.5	3.0 - 6.0

ที่มา : ทล.-ม. 408/2532 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)”

ตารางที่ 3.2 ขนาดกะละของวัสดุผสมแอสฟัลต์

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

ที่มา : ทล.-ม. 408/2532 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)”

การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมรวมเริ่มต้นจากการเก็บตัวอย่างหิน Cold Bin ที่กอง Stock Pile ไว้ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของผู้รับจ้าง บริษัท ไมล์สโตน คอนสตรัคชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่ กม.8+000 ด้านขวาทาง ในทางหลวงหมายเลข 3111 ตอน ปทุมธานี – อ.สามโคก – อ.เสนา โดยหินที่จะนำมาใช้นี้เป็นชนิดหินปูน (Lime Stone) ประกอบด้วย

- หินฝุ่น จากแหล่งโรงโม่หินศิลาเพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี
- หิน 3/8” จากแหล่งโรงโม่หินศิลาเพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี
- หิน 3/4” จากแหล่งโรงโม่หินศิลาเพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี



รูปที่ 3.1 การเก็บตัวอย่างหิน Cold Bin ที่ Stock Pile

จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างหิน Hot Bin คือหิน Cold Bin ที่ผ่านการกระบวนการให้ความร้อนและแยกขนาดด้วยตะแกรงขนาดต่างๆ จากโรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บที่ละ Bin จนครบ 4 Bin รวมทั้งวัสดุผสมแทรก โดยตัวอย่างหิน Hot Bin นี้จะนำไปทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมและใช้สำหรับการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตต่อไป



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างหิน Hot Bin

3.1.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ เพนิเทรชันเกรด 60/70 (AC 60/70) และแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ผสมยางพาราธรรมชาติ

- 1) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 คุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.851-2542 และมาตรฐานข้อกำหนดวัสดุกรมทางหลวง ที่ ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement” การเก็บตัวอย่างจะดำเนินการขณะถ่ายแอสฟัลต์ซีเมนต์จากรถบรรทุกลงถังเก็บ (Storage Tank) ที่โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีต บริษัท ถนนวงศ์บริการ จำกัด
- 2) แอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมยางพาราธรรมชาติ คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ซึ่งมีคุณสมบัติตาม มอก.851-2542 ที่ผสมกับน้ำยางพาราข้น (Concentrated Latex) ชนิดแอมโมเนียสูง ที่ได้จากการปั่นให้มีปริมาณเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 ผสมในปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์

นำส่งตัวอย่างวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อดำเนินการทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้น ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต และทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ห้องปฏิบัติการส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

3.2 การทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.1 วัสดุมวลรวม รายละเอียดและมาตรฐานการทดลอง

- 1) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 “วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” วัสดุหิน Cold Bin ความสึกหรอต้องไม่เกินร้อยละ 40
- 2) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” วัสดุหิน Cold Bin โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ต้องไม่เกินร้อยละ 9
- 3) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 203/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent” มวลรวมละเอียดต้องมีค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
- 4) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 204/2516 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง” สำหรับวัสดุหิน Cold Bin และวัสดุหิน Hot Bin ทั้งมวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด และทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” สำหรับวัสดุผสมแตรก
- 5) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 207/2517 “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ” สำหรับวัสดุหิน Hot Bin 2, Hot Bin 3 และ Hot Bin 4 ตามลำดับ ซึ่งจะทำการหาค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบด้วย และทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 209/2518 “วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด” สำหรับวัสดุหิน Hot Bin 1 จากนั้นทำการหาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวม เมื่อรวมกันแล้วให้ได้ขนาดตามต้องการ (Blending)

- 6) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 210/2518 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) สำหรับมวลรวมหยาบ ค่าดัชนีความแบนต้องไม่เกินร้อยละ 35
- 7) ทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 211/2518 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) สำหรับมวลรวมหยาบ ค่าดัชนีความยาวต้องไม่เกินร้อยละ 35

3.2.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ รายละเอียดมาตรฐาน และข้อกำหนด

- 1) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 คุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.851-2542 และมาตรฐานข้อกำหนดวัสดุ ที่ ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement”
- 2) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ผสมยางพาราธรรมชาติร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และร้อยละ 10 (Natural Rubber Modified Asphalt Cement : NRMA) ตามข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก. 409/2556 “ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ”

3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 4 ชนิด ออกแบบตามมาตรฐานวิธีการทดลองกรมทางหลวง ที่ ทล.-ท. 604/2517 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” มีข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

ชั้นทาง		Wearing Course		Binder Course	Base Course	Shoulder
		9.5 mm.	12.5 mm.			
Number of Blows (Each End)		75	75	75	75	50
Stability	N Min.	8006	8006	8006	7117	7117
	(lb) Min.	(1800)	(1800)	(1800)	(1600)	(1600)
Flow 0.25 mm.	(0.01 in.)	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16
Air Voids	(%)	3 - 5	3 - 5	3 - 6	3 - 6	3 - 5
Void in Mineral Aggregate (VMA)	(%) Min.	15	14	13	12	14
Stability / Flow	Min.					
N / 0.25 mm.		712	712	712	645	645
(lb / 0.01 in.)		(160)	(160)	(160)	(145)	(145)
Strength Index	(%) Min.	75	75	75	75	75

ที่มา : ทล.-ม. 408/2532 “มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt)”

เมื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเสร็จแล้ว จึงทำการทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 413/2544 “วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต” และทำการทดลองตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 414/2547 “วิธีการทดลองหาการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม” สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 2 ชนิดตามลำดับ

3.4 การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ใช้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 และ สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ NRMA ร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 เพื่อหาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีต รายการทดสอบได้แก่

- การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม
- การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว
- การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างหินที่ใช้ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์



รูปที่ 3.4 การบดทับก้อนตัวอย่างโดยวิธี Marshall ในห้องทดลอง

3.4.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength : ITS)

การทดสอบนี้อ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4867 “Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures” และ AASHTO T 283 “Resistance of Compacted Bituminous Mixture of Moisture Induced Damage” เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงในก้อนตัวอย่าง โดยให้แรงกระทำทางด้านข้างของตัวอย่าง ซึ่งมีการกำหนดอัตรา การป้อนน้ำหนักให้เกิดการยุบตัวลงที่จันทันตัวอย่างพังทลาย และค่าที่ได้จะนำไปใช้เป็นค่าอ้างอิง ในการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวต่อไป รายละเอียดวิธีการทดสอบ มีดังนี้

- 1) แบ่งก้อนตัวอย่างเป็น 4 ชนิดๆ ละ 3 ก้อนตัวอย่าง เพื่อนำไปทำการทดสอบที่ อุณหภูมิ 25°C, 35°C และ 55°C ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6, 3.7 และ 3.8 เนื่องจากการทดสอบวัสดุจำพวกที่มีคุณลักษณะเฉพาะที่แปรเปลี่ยนคุณสมบัติ ตามอุณหภูมินั้น การทดสอบควรกระทำที่อุณหภูมิต่างกันอย่างน้อย 3 ค่า เพื่อจะ แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความเปลี่ยนแปลงจากอุณหภูมิ ที่มีผลต่อ คุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ
- 2) นำก้อนตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด ที่จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C มาวัดขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ยของแต่ละก้อนตัวอย่าง ก่อนนำไปใส่ ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพื่อให้ก้อนตัวอย่างมี อุณหภูมิเดียวกันทั่วทั้งก้อน



รูปที่ 3.5 ก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ITS

- 3) นำก้อนตัวอย่างมาใส่ในอุปกรณ์สำหรับกดก้อนตัวอย่าง Indirect Tensile Strength Test แล้วนำเข้าเครื่อง Stability Compression Machine ดังรูปที่ 3.6 กดน้ำหนักด้วยอัตราเร็ว 50 มิลลิเมตร/นาที จนกระทั่งตัวอย่างพังทลาย บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด แล้วทำการคำนวณค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม



รูปที่ 3.6 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม

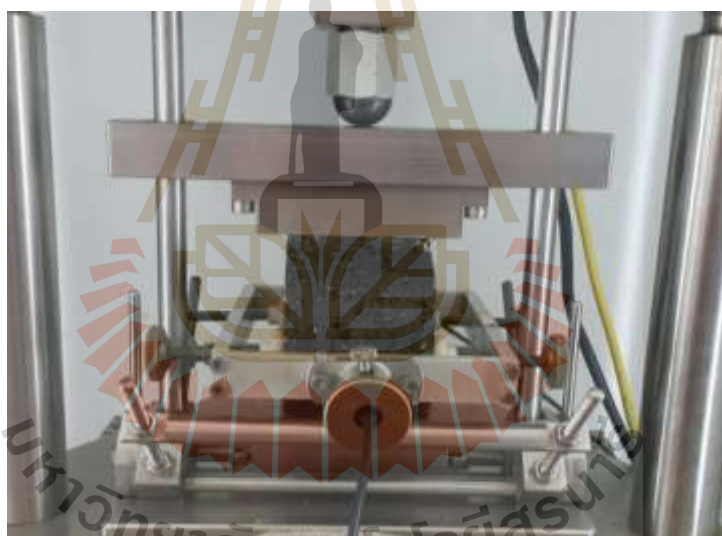
3.4.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัว (Indirect Tensile Stiffness Modulus : ITSM)

การทดสอบนี้อ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4123 “Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures” และ AASHTO TP 31 “Standard Test Method for Determining the Resistance of Bituminous Mixture by Indirect Tension” เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ โดยให้แรงกระทำทางด้านข้างของตัวอย่าง กำหนดอัตราการป้อนน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 15 ของค่า ITS การทดสอบจะกระทำน้ำหนักซ้ำอย่างต่อเนื่องไปจนกระทั่งได้ค่าการคืบตัว (Resilient Strain) คงที่ สำหรับการทดสอบนี้จะกระทำน้ำหนักซ้ำประมาณ 160 ครั้ง ซึ่งมาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4123 แนะนำให้กระทำในช่วง 50 - 200 ครั้ง การทดสอบนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานและเก็บข้อมูลผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) รายละเอียดวิธีการทดสอบ มีดังนี้

- 1) แบ่งก้อนตัวอย่างเป็น 4 ชนิดๆ ละ 3 ก้อนตัวอย่าง เพื่อนำไปทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.7 เช่นเดียวกับการทดสอบ หาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม
- 2) นำก้อนตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด ที่จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ยของแต่ละก้อนตัวอย่าง ก่อนนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพื่อให้ก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิเดียวกันทั่วทั้งก้อน
- 3) นำก้อนตัวอย่างมาประกอบเข้ากับชุดเครื่องมือทดสอบ Resilient Modulus ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C ติดตั้งอุปกรณ์ Linear Variable Differential Transducers (LVDTs) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้านข้าง ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งค่าดังกล่าวจะนำมาใช้ประกอบการคำนวณค่าโมดูลัสคืบตัวต่อไป
- 4) เปิดโปรแกรมทดสอบ ASTM 4123 กรอกรายละเอียดของก้อนตัวอย่างที่จะทำการทดสอบครั้งที่ 1 เป็นระนาบแกน X ใช้ความถี่ 1 Hz สักส่วนช่วงเวลาให้น้ำหนัก (Load) ต่อช่วงเวลาลดน้ำหนัก (Unload) เท่ากับ 1 ต่อ 9 ในเวลา 1 วินาที อัตราการป้อนน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 15 ของค่า ITS ในแต่ละชุดตัวอย่าง กำหนดจำนวนการทดสอบเท่ากับ 160 ครั้ง ปรับ Dial Gauge ของอุปกรณ์ LVDTs ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 3.8 แล้วจึงเริ่มทดสอบ



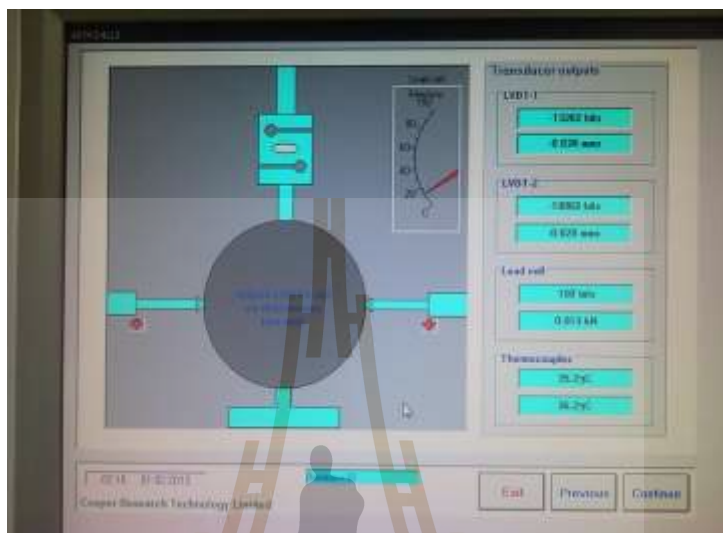
รูปที่ 3.7 ก้อนตัวอย่าง AC 60/70 ที่นำมาทดสอบ ITSM



รูปที่ 3.8 ชุดเครื่องมือทดสอบ ITSM

- 5) เมื่อทดสอบครบ 160 ครั้ง เครื่องทดสอบจะหยุดทำงาน ให้พลิกก้อนตัวอย่างตั้งฉากกับแนวระนาบเดิม เพื่อทำการทดสอบครั้งที่ 2 ในระนาบแกน Y ต่อไป โดยดำเนินการตามขั้นตอนข้อ 3) และ 4) จนเสร็จสิ้นการทดสอบ 1 ก้อนตัวอย่าง
- 6) ดำเนินการทดสอบจนครบชุดตัวอย่างที่อุณหภูมิ 35°C

- 7) ผลการทดสอบที่ได้จากโปรแกรม ASTM 4123 จะแสดงเป็นค่า Instantaneous Resilient Modulus ซึ่งค่าโมดูลัสคืนตัวที่ต้องการจะเป็นค่าเฉลี่ย 5 ค่าสุดท้ายที่มีค่าการคืนตัวคงที่ แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของโมดูลัสคืนตัวที่อุณหภูมินั้นๆ



รูปที่ 3.9 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว

3.4.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวร (Dynamic Creep Test : DC)

การทดสอบนี้อ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบ BS DD 226 : 1996 “Method for Determining Resistance to Permanent Deformation of Bituminous Mixture Subject to Unconfined Dynamic Loading” เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Permanent Deformation Resistance) ของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้การทดสอบแบบ Repeated Uniaxial Loading Strain Test (Dynamic Creep Test : DC) โดยให้แรงกระทำซ้ำตามแนวแกน (Axial Load) ของตัวอย่าง กำหนดอัตราการป้อนน้ำหนักเท่ากับ 100 kPa. ด้วยความถี่ 0.5 รอบต่อวินาที แบ่งเป็นช่วงเวลาการให้น้ำหนัก 1 วินาที และช่วงเวลาที่พัก 1 วินาที โดยก่อนที่จะป้อนน้ำหนักกระทำซ้ำ จะให้น้ำหนักคงที่ในอัตราร้อยละ 1 ของน้ำหนักกระทำซ้ำ เท่ากับ 10 kPa. เป็นระยะเวลา 30 วินาที การทดสอบจะกระทำน้ำหนักซ้ำอย่างต่อเนื่องไปจนกระทั่งครบ 1,800 ครั้ง การทดสอบนี้ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานและเก็บข้อมูลผลการทดสอบที่ได้จากเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) รายละเอียดวิธีการทดสอบ มีดังนี้

- 1) แบ่งก้อนตัวอย่างเป็น 4 ชนิดๆ ละ 3 ก้อนตัวอย่าง เพื่อนำไปทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C ดังรูปที่ 3.10 เช่นเดียวกับการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม และการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว
- 2) นำก้อนตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด ที่จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาเฉลี่ยของแต่ละก้อนตัวอย่าง ก่อนนำไปใส่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง เพื่อให้ก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิเดียวกันทั่วทั้งก้อน
- 3) นำก้อนตัวอย่างมาประกอบเข้ากับชุดเครื่องมือทดสอบ Dynamic Creep Test ในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 35°C ติดตั้งอุปกรณ์ Linear Variable Differential Transducers (LVDTs) ด้านบนของก้อนตัวอย่าง เพื่อวัดค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามแนวแกน หรือค่าการยุบตัวของก้อนตัวอย่างในทิศทางเดียวกับการกระทำ ดังรูปที่ 3.11

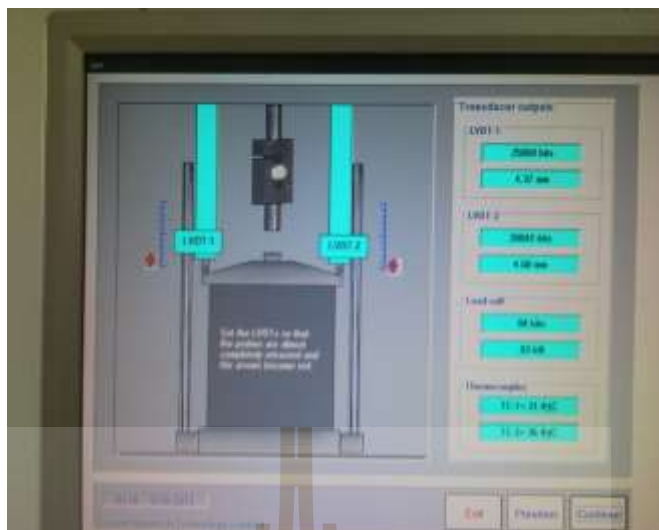


รูปที่ 3.10 ก้อนตัวอย่าง AC 60/70 ที่นำมาทดสอบ DC



รูปที่ 3.11 ชุดเครื่องมือทดสอบ Dynamic Creep Test

- 4) เปิดโปรแกรมทดสอบ Dynamic Creep Test กรอกรายละเอียดของก้อนตัวอย่างที่จะทำการทดสอบ ใช้ความถี่ 0.5 Hz สักส่วนช่วงเวลาให้น้ำหนัก (Load) ต่อช่วงเวลาปล่อยน้ำหนัก (Unload) เท่ากับ 1 ต่อ 1 คือให้น้ำหนัก 1 วินาที และปล่อย 1 วินาที อัตราการป้อนน้ำหนักกระทำซ้ำเท่ากับ 100 kPa. โดยก่อนที่จะป้อนน้ำหนักกระทำซ้ำจะให้น้ำหนักคงที่เท่ากับ 10 kPa. เป็น ระยะเวลา 30 วินาที เพื่อให้ก้อนตัวอย่างอยู่ในสภาวะสมดุล กำหนดจำนวนการทดสอบเท่ากับ 1,800 ครั้ง ปรับ Dial Gauge ของอุปกรณ์ LVDTs ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 3.12 แล้วจึงเริ่มทดสอบ
- 5) เมื่อทดสอบครบ 1,800 ครั้ง เครื่องทดสอบจะหยุดทำงาน เป็นอันเสร็จสิ้นการทดสอบ 1 ก้อนตัวอย่าง
- 6) ผลการทดสอบที่ได้จากโปรแกรม Dynamic Creep Test จะแสดงเป็นค่าการยุบตัวสะสม หรือค่าความเครียดสะสม (Accumulated Strain) ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบของการกดน้ำหนักบนก้อนตัวอย่าง ซึ่งค่าความเครียดสะสมสุดท้าย หรือครั้งที่ 1,800 เป็นค่าที่จะนำทำการหาค่าเฉลี่ยของอัตราการยุบตัวที่อุณหภูมินั้นๆ



รูปที่ 3.12 การทดสอบ Dynamic Creep Test

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ศึกษาคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 และแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt, NRMA) โดยใช้สัดส่วนยางพาราที่แตกต่างกันซึ่งมีการเติมยางพาราร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และร้อยละ 10 จากขั้นตอนวิธีการวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ได้ผลการทดสอบเป็นลำดับ ดังนี้

4.1 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

4.1.1 วัสดุมวลรวม รายละเอียดผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัสดุมวลรวม

มาตรฐานการทดลอง	ชื่อการทดลอง	เกณฑ์การพิจารณา	ผลทดลอง
ทล.-ท. 202/2515	วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion	หิน Cold Bin มวลรวมหาย < 40 %	24.4 %
ทล.-ท. 213/2531	วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม	หิน Cold Bin มวลรวมหาย < 9 % มวลรวมละเอียด < 9 %	1.0 % 3.1 %
ทล.-ท. 203/2515	วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent	มวลรวมละเอียด หิน Cold Bin > 50 % หิน Hot Bin > 50 %	55 % 62 %
ทล.-ท. 204/2516	วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง	ตามตารางที่ 3.1 สำหรับงาน Wearing Course หน้า 50 มม.	ตามตารางที่ 4.2 และ 4.3
ทล.-ท. 205/2517	วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง	ตามตารางที่ 3.2 สำหรับวัสดุผสมแตรก	ตามตารางที่ 4.2 และ 4.3
ทล.-ท. 207/2517	วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ	ไม่ระบุ	ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

มาตรฐานการ ทดลอง	ชื่อการทดลอง	เกณฑ์การพิจารณา	ผลทดลอง
ทล.-ท. 209/2518	วิธีการทดลองหาค่าความ ถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของ Aggregate เมื่อดลเยียด	ไม่ระบุ	ตามตาราง ที่ 4.4
ทล.-ท. 210/2518	วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)	มวลรวมหายาบ < 35 %	29 %
ทล.-ท. 211/2518	วิธีการทดลองหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)	มวลรวมหายาบ < 35 %	28 %

ตารางที่ 4.2 Aggregate Gradation for Cold Bin

Cold Bin						
Sieve Size	Passing (%)				Combined	Desired
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4		
1"						
3/4"			100		100	100
1/2"			37.5		83.1	80 - 100
3/8"	100	100	4.8		74.3	-
# 4	96.8	45.8	1.3		56.7	44 - 74
# 8	74.2	13.1			37.1	28 - 58
# 16	49.8	6.9			24.3	-
# 30	33.3	4.4			16.2	-
# 50	23.5				10.6	5 - 21
# 100	17.6				7.9	-
# 200	14.3				6.4	2 - 10
Mix Proportion	45	28	27			

ตารางที่ 4.3 Aggregate Gradation for Hot Bin

Hot Bin								
Sieve Size	Passing (%)					Combined	Desired	Tolerant Limit
	Filler	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4			
3/4"				100	100	100	100	100
1/2"				80.3	7.3	79.8	80 - 100	75 - 85
3/8"			100	31.8	0.7	69.9	-	65 - 75
# 4		100	46.3	1.4		52.5	44 - 74	48 - 58
# 8		81.3	6.7	1.0		35.8	28 - 58	31 - 41
# 16		51.6	4.8			22.7	-	19 - 27
# 30		31.9				13.4	-	9 - 17
# 50		21.0				8.8	5 - 21	6 - 13
# 100		15.4				6.5	-	5 - 10
# 200		12.8				5.4	2 - 10	4 - 6
Mix Proportion		42	22	18	18			

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุผสมรวม

Description	Filler	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing	Retained	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
		# 200	# 200					
Mix Proportion (%)	-	-	-	42	22	18	18	100
Bulk Specification Gravity	-	-	2.662	2.671	2.687	2.696	2.699	2.684
Apparent Specification Gravity	-	2.731	2.730	2.728	2.729	2.729	2.729	2.729
Effective Specification Gravity	-	-	-	-	-	-	-	2.472
Water Absorption (%)	-	-	0.92	-	0.56	0.45	0.41	-
Flakiness Index (%)					56	21	20	29
Elongation Index (%)					18	29	33	28

4.1.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ รายละเอียดการทดลองและผลการทดลอง เป็นดังนี้

- 1.) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 คุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.851-2542 และมาตรฐานข้อกำหนดวัสดุ ที่ ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement”
- 2.) แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ผสมยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Cement, NRMA) ที่ผสมยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 5, 8 และ 10 ตามคุณสมบัติข้อกำหนดวัสดุที่ ทล.-ก.409/2556 ข้อกำหนดแอสฟัลต์ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ (Specification for Natural Rubber Modified Asphalt Cement)

ผลการทดลอง รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ลำดับ	คุณลักษณะ	AC 60/70	NRMA			ข้อกำหนด พิเศษ NRMA
			5%	8%	10%	
1	เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25 °C น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที (0.1 มิลลิเมตร)	61	55	56	50	50 - 70 (ASTM D 5)
2	จุดอ่อนตัว ไม่น้อยกว่า (องศาเซลเซียส)	53.9	58.4	60.3	60.5	50 Min. (ASTM D 36)
3	ความยืดดึง ที่อุณหภูมิ 13 °C อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 เซนติเมตรต่อวินาที ไม่น้อยกว่า (เซนติเมตร)	99.86	-	-	-	50 Min. (ASTM D 113)
4	จุดวาบไฟ ไม่น้อยกว่า (องศาเซลเซียส)	278	318	295	318	220 Min. (ASTM D 92)
5	ความยืดหยุ่นกลับ (Elastic Recovery) ที่อุณหภูมิ 25 °C ระยะ 10 เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า (ร้อยละ)	25.0	50.0	57.5	57.5	50 Min. (ASTM D 6084)
6	เสถียรภาพต่อการเก็บที่ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 163 °C ค่าความแตกต่างของจุดอ่อนตัวระหว่างบนและล่างของหลอดทดสอบ ไม่เกิน (องศาเซลเซียส)	0.27	0.70	2.0 (175 °C)	1.8 (175 °C)	4 Max. (ASTM D 5892)

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

ลำดับ	คุณลักษณะ	AC 60/70	NRMA			ข้อกำหนด พิเศษ NRMA
			5%	8%	10%	
7	ความหนืดบรูคฟิลด์อัตราเฉือน 18.6 วินาที ⁻¹ แกน (spindle) 21 ที่อุณหภูมิ 150 °C ไมเกิน (centiPoise)	-	598	468 (180 °C)	660 (180 °C)	200 - 600 cP. (ASTM D 4402)
ภาคที่เหลืจากการอบ						
8	น้ำหนักที่สูญเสียไปเมื่อให้ความร้อน ไมเกิน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	-	0.151	0.166	0.03	1.0 Max. (ASTM D 1754)
9	เพนิเทรชันที่อุณหภูมิ 25 °C น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที ไม่น้อยกว่า (ร้อยละของเพนิเทรชันเดิม)	-	94.4	95.2	95.4	60 Min. (ASTM D 5)
10	จุดอ่อนตัวแตกต่างจากเดิม(องศาเซลเซียส)	-	-0.7	+0.9	-3.4	+6 Max. (ASTM D 36)
11	ความยืดหยุ่นกลับที่อุณหภูมิ 25 °C ไม่น้อยกว่า (ร้อยละ)	-	32.5	50	42.5	35 Min. (ASTM D 6084)

ที่มา : ผลการทดสอบ AC 60-70 อันดับการทดลองที่ A-394/2560, NRMA 5% อันดับทดลองที่ A-664/2560, NRMA 8% อันดับทดลองที่ A-616/2560 และ NRMA 10% อันดับทดลองที่ A-635/2559

4.2 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 4 ชนิด ออกแบบตามมาตรฐานวิธีการทดลองกรมทางหลวง ที่ ทล.-ท. 604/2517 “วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” โดยใช้วัสดุมวลรวมหิน Hot Bin ที่ผ่านการทดลองหาคุณสมบัติตามข้อ 4.1.1 แล้วใช้ Mix Proportion ตามตารางที่ 4.3 ในการจัดสัดส่วนหินแต่ละ Bin เตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติ 4 ชุด สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60/70, สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต NRMA 5% , สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต NRMA 8% , สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต NRMA 10% ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3

ผลการทดลอง ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 4 ชนิด รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก สรุปดังตารางที่ 4.6 – 4.9 โดยผลการทดลองถูกต้องตามเกณฑ์ข้อกำหนด และมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ดำเนินการก่อสร้างจริงที่แปลงทดสอบรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.6 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ AC 60/70

Properties of Asphalt Concrete	By AC 60/70	
	Result	Tolerant Limit
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3
Marshall Density (gm./ml.)	2.407	2.400 - 2.413
Marshall Air Voids (%)	4.0	3.4 - 4.6
Void in Mineral Aggregate (%)	14.6	> 14
Void Filled with Bitumen (%)	72.6	68 - 77
Marshall Stability (lb.)	2110	> 2000
Marshall Flow (0.01")	11	10 - 12
Marshall Stability / Marshall Flow (lb./0.01")	192	> 160
Strength Index (%)	78.5	> 75
Asphalt Absorption (%)	0.27	-

ตารางที่ 4.7 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ NRMA 5%

Properties of Asphalt Concrete	By NRMA 5%	
	Result	Tolerant Limit
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3
Marshall Density (gm./ml.)	2.405	2.395 - 2.414
Marshall Air Voids (%)	4.0	3.2 - 4.8
Void in Mineral Aggregate (%)	14.7	≥ 14
Void Filled with Bitumen (%)	72.8	68 - 78
Marshall Stability (lb.)	2420	≥ 2300

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

Properties of Asphalt Concrete	By NRMA 5%	
	Result	Tolerant Limit
Marshall Flow (0.01")	11	10 - 12
Marshall Stability / Marshall Flow (lb./0.01")	220	≥ 160
Strength Index (%)	77.7	≥ 75
Asphalt Absorption (%)	0.25	-

ตารางที่ 4.8 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ NAMR 8%

Properties of Asphalt Concrete	By NRMA 8%	
	Result	Tolerant Limit
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3
Marshall Density (gm./ml.)	2.410	2.401 - 2.418
Marshall Air Voids (%)	4.0	3.3 - 4.7
Void in Mineral Aggregate (%)	14.5	≥ 14
Void Filled with Bitumen (%)	72.4	68 - 76
Marshall Stability (lb.)	2710	≥ 2600
Marshall Flow (0.01")	10	9 - 11
Marshall Stability / Marshall Flow (lb./0.01")	271	≥ 160
Strength Index (%)	80.5	≥ 75
Asphalt Absorption (%)	0.24	-

ตารางที่ 4.9 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ NAMR 10%

Properties of Asphalt Concrete	By NRMA 10%	
	Result	Tolerant Limit
Asphalt Content (% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3
Marshall Density (gm./ml.)	2.410	2.401 - 2.417

ตารางที่ 4.9 (ต่อ)

Properties of Asphalt Concrete	By NRMA 10%	
	Result	Tolerant Limit
Marshall Air Voids (%)	4.0	3.3 - 4.7
Void in Mineral Aggregate (%)	14.5	≥ 14
Void Filled with Bitumen (%)	72.4	68 – 77
Marshall Stability (lb.)	2810	≥ 2700
Marshall Flow (0.01")	10	9 - 11
Marshall Stability / Marshall Flow (lb./0.01")	281	≥ 160
Strength Index (%)	76.1	≥ 75
Asphalt Absorption (%)	0.24	-

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต

การพิจารณาจัดกลุ่มก้อนตัวอย่างทดสอบ เพื่อให้มีความเหมาะสมของก้อนตัวอย่างที่จะนำไปใช้ในแต่ละการทดสอบ จึงได้จัดกลุ่มก้อนตัวอย่างให้มีค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น (Density) และอัตราช่องว่างอากาศ (Air Void) ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาคผนวก ข

4.3.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength, ITS)

ผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.10 รายละเอียดตามภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม

อุณหภูมิ (°C)	AC 60/70 (kPa)	NRMA 5% (kPa)	NRMA 8% (kPa)	NRMA 10% (kPa)
35	111.1	130.8	290.4	271.0

4.3.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคั่นตัว (Indirect Tensile Stiffness Modulus, ITSM)

ผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.11 รายละเอียดตามภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว

อุณหภูมิ (°C)	AC 60/70 (MPa)			NRMA 5% (MPa)			NRMA 8% (MPa)			NRMA 10% (MPa)		
35	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	1,661	1,618	1,717	1,911	1,919	1,911	3,295	3,123	3,037	2,928	2,764	2,675
	AVG			AVG			AVG			AVG		
	1,665			1,914			3,152			2,789		

4.3.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยวบตัวแบบถาวร (Dynamic Creep Test , DC)

ผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.12 รายละเอียดตาม
ภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการยวบตัวถาวร

อุณหภูมิ (°C)	AC 60/70 (μ Strain)			NRMA 5% (μ Strain)			NRMA 8% (μ Strain)			NRMA 10% (μ Strain)		
35	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	0.4584	0.2137	0.2336	0.2883	0.1895	0.3308	0.2397	0.091	0.0850	0.2303	0.1910	0.1855
	AVG			AVG			AVG			AVG		
	0.3019			0.2695			0.1386			0.2023		

4.3.4 การทดสอบค่าเสถียรภาพการรับกำลังและค่าการไหล (Stability & Flow)

ผลการทดสอบ สรุปผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.13 รายละเอียดตาม
ภาคผนวก ข

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ Stability & Flow โดยวิธี Marshall

Test Item		Type of asphalt			
		AC 60/70	NRMA		
สัดส่วนยางพารา	(%)	-	5.0	8.0	10.0
Asphalt Content	(%)	5.0	5.0	5.0	5.0
Density	(g/cm ³)	2.407	2.405	2.410	2.410
Air Void	(%)	4.0	4.0	4.0	4.0
Marshall Stability	(lbs.)	2,110	2,420	2,710	2,810
Flow Value	(1/100")	11	11	10	10

4.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 และ NRMA ที่มีปริมาณยางธรรมชาติผสมในสัดส่วนร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 ทั้งการทดสอบหาคุณสมบัติตามมาตรฐานการทดลองโดยวิธีมาร์แชล การทดสอบเชิงสมรรถนะในห้องปฏิบัติการสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวิจัยได้ดังนี้

จากผลการทดลองออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ NRMA ในปริมาณร้อยละ 5, 8 และ 10 ตาม ทล.-ท.604/2517 “วิธีทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall” ดังตารางที่ 3.8 ซึ่งมีเงื่อนไขการออกแบบปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Content) ที่ใช้ร้อยละ 5 ของมวลวัสดุรวม และ ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ที่ร้อยละ 4 เท่ากันนั้น NRMA จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า AC 60/70 เล็กน้อย จึงส่งผลให้ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFB) และ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวล (VMA) ของ NRMA ต่ำกว่า AC 60/70 เล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากวัสดุเชื่อมประสานทั้ง 2 ชนิดช่วยให้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีความหนาแน่นมากขึ้น ช่องว่างดังกล่าวจึงลดลง ซึ่งทั้ง 3 ค่าที่กล่าวมามีความแตกต่างกันน้อย นับได้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ทำให้มีค่าการไหล (Flow) เท่ากัน ค่าเสถียรภาพของ NRMA สูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 10 หมายถึงขณะที่ก้อนตัวอย่างต้องรับแรงกดสูงสุดจนเกิดการเสียรูปนั้น NRMA มีความสามารถในการต้านทานแรงกดได้มากกว่า AC 60/70 เนื่องจาก NRMA มีการยึดเกาะตัวระหว่างอนุภาคมวลรวมดีกว่าจึงช่วยให้แข็งแรงมากกว่า ในขณะเดียวกันค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ที่ได้จากการทดสอบเพื่อหาความแข็งแรงที่เหลืออยู่ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ภายหลังการจำลองสภาพความเสียหายเนื่องจากความชื้น โดย NRMA มี

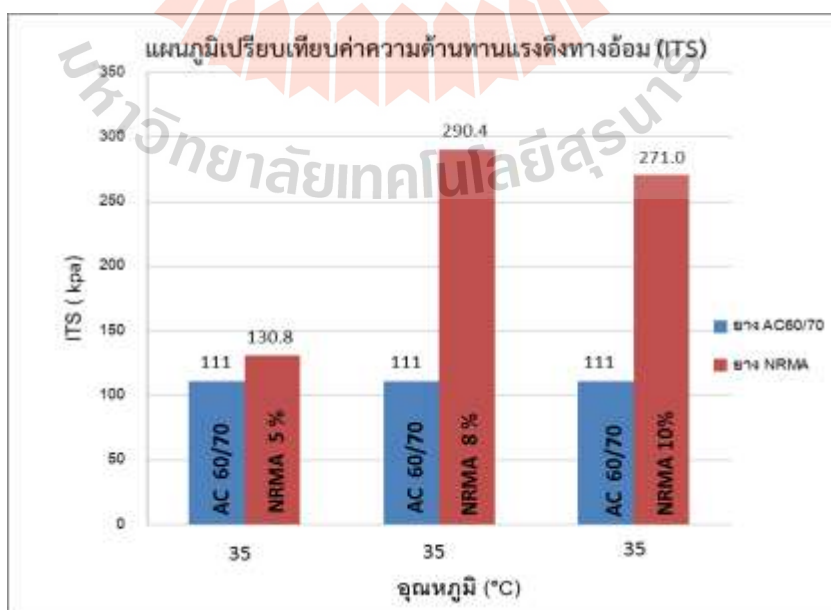
ค่าดัชนีความแข็งแรงสูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 0.7 หมายถึง NRMA สามารถทนทานต่อสภาวะดังกล่าวได้ดีกว่า AC 60/70

สำหรับอัตราการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม (Asphalt Absorption) NRMA มีค่าน้อยกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 14.3 เนื่องจากเส้นใยของยางพาราจะยึดเกาะอยู่ที่ผิวมวลรวมมากกว่าจะถูกดูดซึมเข้าไป ดังนั้นในปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เท่ากัน NRMA สามารถเคลือบผิวและยึดเกาะระหว่างอนุภาคมวลรวมได้ในปริมาณที่มากกว่า จึงช่วยประหยัดแอสฟัลต์ซีเมนต์ลงได้

4.4.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อม

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60/70 ผสมยางแอสฟัลต์ที่ปริมาณร้อยละ 5.0 ทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมเท่ากับ 111.10 kPa และ NRMA ผสมยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมต่ำเท่ากับ 130.80 kPa, 290.40 kPa และ 271.0 kPa ตามลำดับเมื่อนำมาเทียบกับมีรายละเอียด ดังนี้

- NRMA ปริมาณยางร้อยละ 5 มีค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมสูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 19.70
- NRMA ปริมาณยางร้อยละ 8 มีค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมสูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 161.03
- NRMA ปริมาณยางร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมสูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 143.92



รูปที่ 4.1 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (ITS)

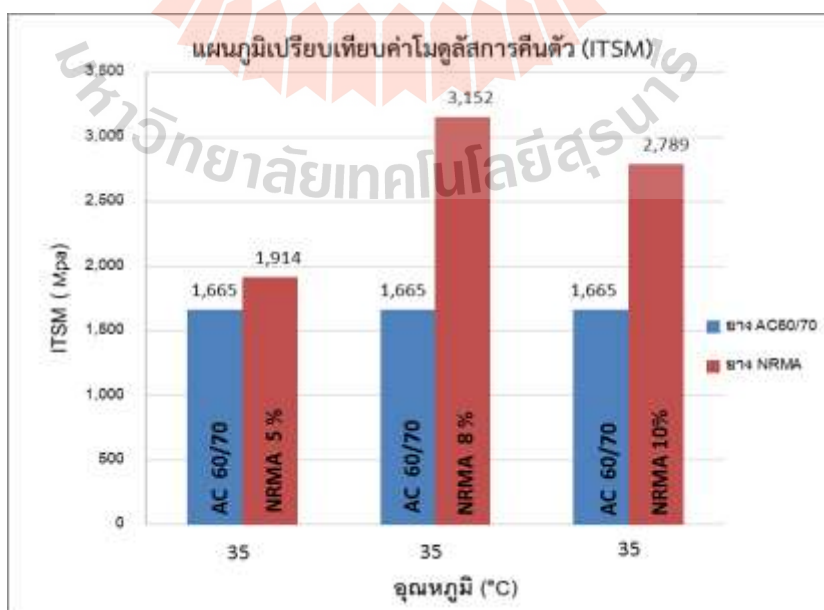
จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่ายางแอสฟัลต์ NRMA สามารถรับแรงดึงได้มากกว่า AC 60/70 เนื่องจากการยึดเหนี่ยวกันระหว่างอนุภาคมวลรวมดีกว่า

4.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60/70 ผสมยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5 ทดสอบที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าโมดูลัสคืนตัวเท่ากับ 1,665 kPa และ NRMA ผสมยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าโมดูลัสคืนตัวเฉลี่ยเท่ากับ 1,914 kPa , 3,152 kPa และ 2,789 kPa ตามลำดับ เมื่อนำมาเทียบกันมีรายละเอียดดังนี้

- NRMA ปริมาณยางร้อยละ 5 มีค่าโมดูลัสคืนตัวมากกว่า AC 60/70 ประมาณ ร้อยละ 14.95
- NRMA ปริมาณยางร้อยละ 8 มีค่าโมดูลัสคืนตัวมากกว่า AC 60/70 ประมาณ ร้อยละ 89.31
- NRMA ปริมาณยางร้อยละ 10 มีค่าโมดูลัสคืนตัวมากกว่า AC 60/70 ประมาณ ร้อยละ 67.51

จากข้อมูลแสดงให้เห็นว่า NRMA เมื่อถูกน้ำหนักระทำสามารถรับน้ำหนักแล้วคืนสู่สภาพเดิมได้ดี โดยจะมีค่าสูงมากในยาง NRMA ที่ปริมาณร้อยละ 8 และจะลดลงที่ปริมาณร้อยละ 10 แสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการผสมยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 แล้วช่วยให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น

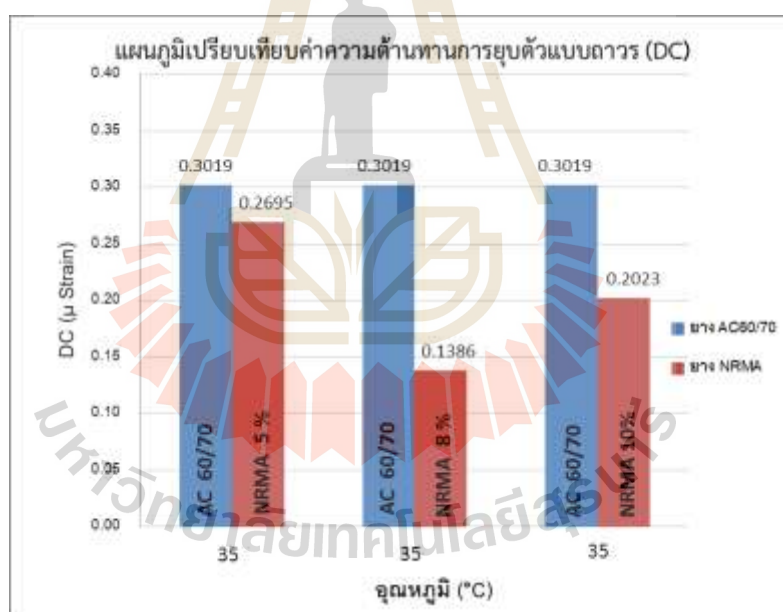


รูปที่ 4.2 ค่าโมดูลัสคืนตัว (ITSM)

4.4.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าความต้านทานการยุบตัวแบบถาวร

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60/70 ผสมยางแอสฟัลต์ที่ปริมาณร้อยละ 5 มีค่าการยุบตัวแบบถาวร จากการทดสอบ Dynamic Creep Test เท่ากับ 0.3019 และ NRMA ผสมยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าการยุบตัวแบบถาวรเฉลี่ยเท่ากับ 0.2695, 0.1386 และ 0.2023 ตามลำดับ เมื่อนำมาเทียบกับมีรายละเอียด ดังนี้

- NRMA ปริมาณยางพาราร้อยละ 5 มีค่าการยุบตัวแบบถาวรต่ำกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 10.73
- NRMA ปริมาณยางพาราร้อยละ 8 มีค่าการยุบตัวแบบถาวรต่ำกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 54.09
- NRMA ปริมาณยางพาราร้อยละ 10 มีค่าการยุบตัวแบบถาวรต่ำกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 32.99



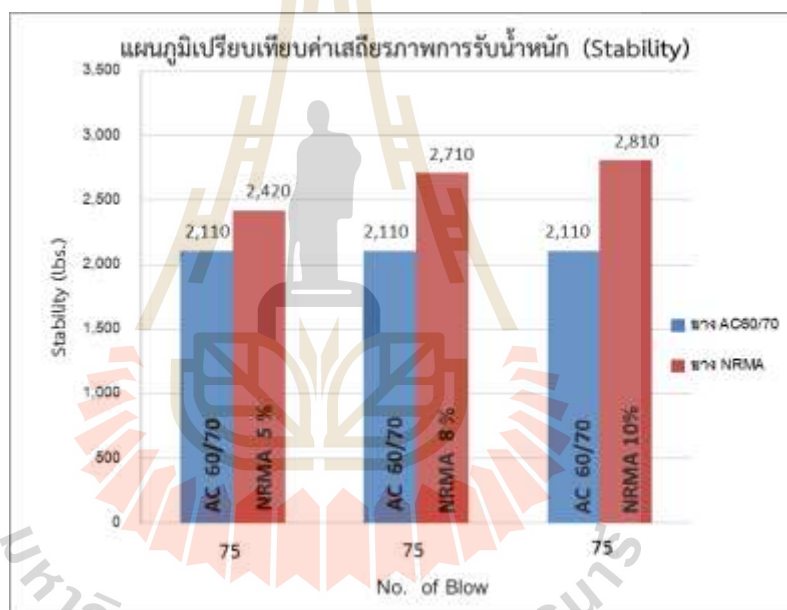
รูปที่ 4.3 ค่าความต้านทานการยุบตัวแบบถาวร (DC)

จากผลการทดสอบ จะเห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทดสอบ Dynamic Creep Test อุณหภูมิ 35 °C โดยใช้ยาง NRMA ผสมยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 8 มีค่าความต้านทานการยุบตัวแบบถาวรสูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 54.09 ส่วนยาง NRMA ปริมาณร้อยละ 5 และ ร้อยละ 10 มีค่าการยุบตัวแบบถาวรสูงกว่า AC 60/70 ประมาณร้อยละ 10.73 และ 32.99 ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ NRMA เมื่อถูกน้ำหนักกระทำซ้ำๆ ตามแนวแกนของก้อนตัวอย่างแล้ว ส่วนผสมสามารถรับน้ำหนักและมีค่าการยุบตัวสะสมในทิศทางเดียวกับน้ำหนักกระทำ หรือค่าความเครียดสะสมน้อยกว่า AC 60/70 ส่งผลให้ส่วนผสมที่ใส่ยาง NRMA มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น คือ มีความคงตัวสูง มีความยืดหยุ่นดี และทนความล้าจากแรงกระทำซ้ำๆ

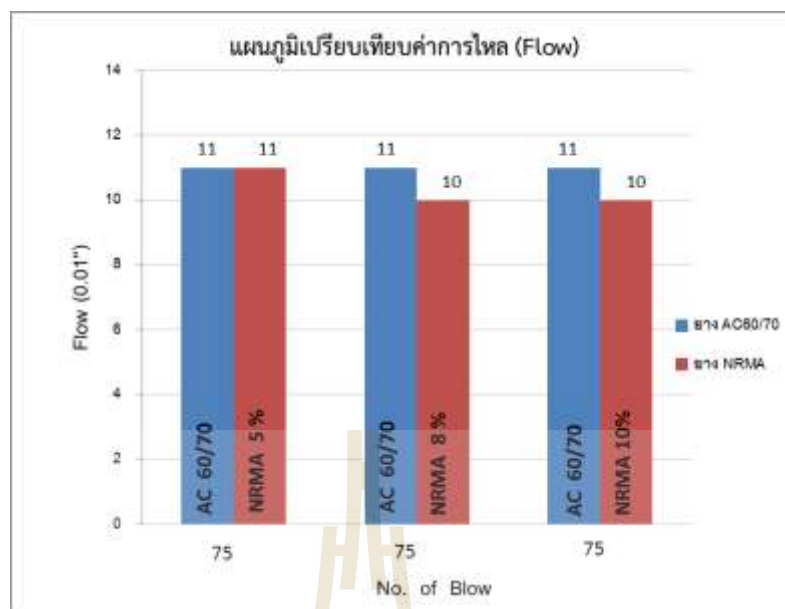
4.4.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพและค่าการไหล

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.13 รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 ผลการศึกษาพบว่า ค่า Density, Air void, Marshall Stability และค่า Flow ของยาง NRMA และ AC 60/70 มีค่าเป็นไปตามที่กรมทางหลวงได้ออกแบบ โดยเมื่อนำผลของค่าเสถียรภาพการ (Stability) มาเทียบกัน แสดงให้เห็นว่ายาง NRMA มีค่าเสถียรภาพที่ดีกว่ายาง AC 60/70



รูปที่ 4.4 ค่าเสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์ (Stability)

จากข้อมูลกราฟเสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์ ทดสอบโดยวิธีมาร์แชล พบว่า NRMA ที่ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าเสถียรภาพที่มากกว่ายาง AC 60/70 ประมาณร้อยละ 14.69 , 28.44 และ 33.18 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้ยาง NRMA ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของแอสฟัลต์ให้ดีขึ้นและมีเสถียรภาพสูงเพียงพอในการรับน้ำหนักการจราจร



รูปที่ 4.5 ค่าการไหลของส่วนผสม (Flow)

จากข้อมูลกราฟ พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีต NRMA ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 5 มีค่าการไหลเทียบเท่ากับแอสฟัลต์คอนกรีต ยาง AC 60/70 ส่วนแอสฟัลต์คอนกรีต ยาง NRMA ผสมยางพาราที่ปริมาณร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าการไหลน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต ยาง AC 60/70 ประมาณร้อยละ 10 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมที่ใช้ยาง NRMA ที่ผสมยางพาราร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 ทำให้มีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้ยาง AC 60/70

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 และส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60/70 ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Modified Asphalt Cement, NRMA) โดยการทดสอบสมรรถนะในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- 1) แอสฟัลต์คอนกรีต NRMA ที่ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมยาง AC 60/70 ประมาณร้อยละ 19.70, 161.03 และ 143.92 ตามลำดับ ซึ่งค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมนี้ สืบถึงความสามารถต้านทานการแตกร้าว (Fatigue crack) ของส่วนผสม แสดงให้เห็นว่ายาง NRMA ช่วยปรับปรุงให้ส่วนผสมแอสฟัลต์มีประสิทธิภาพที่ดี
- 2) แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดยาง NRMA ที่ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตยาง AC 60/70 ประมาณร้อยละ 14.95, 89.31 และ 67.51 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ปริมาณยางพาราที่นำมาใส่ในส่วนผสม NRMA ส่งผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
- 3) แอสฟัลต์คอนกรีตชนิดยาง NRMA ที่ผสมยางพาราร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 ผลทดสอบ Dynamic Creep Test ที่อุณหภูมิ 35°C มีค่าการยุบตัวถาวรน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60/70 ประมาณร้อยละ 10.73, 54.09 และ 32.99 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการผสมยางพาราช่วยให้ส่วนผสมแอสฟัลต์มีความยืดหยุ่นตัวที่ดีขึ้น เมื่อถูกแรงกระทำสามารถคืนตัวกลับสู่สภาพเดิมได้ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ AC 60/70 แบบทั่วไป ส่วนแอสฟัลต์คอนกรีต NRMA ที่ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 8 ให้ผลที่ดีที่สุด
- 4) การทดสอบเพื่อดูเสถียรภาพ (Stability) ของส่วนผสมแอสฟัลต์ โดยวิธีมาร์แชล พบว่ายาง NRMA ที่ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 5, ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 10 มีค่าเสถียรภาพที่มากกว่ายาง AC 60/70 ประมาณร้อยละ 14.69, ร้อยละ 28.44 และ ร้อยละ 33.18 ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการใช้ยาง NRMA ส่งผลให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพที่ดี

- 5) แอสฟัลต์คอนกรีต NRMA ผสมยางพาราในปริมาณร้อยละ 5 มีค่าการไหลเทียบเท่ากับ แอสฟัลต์คอนกรีตยาง AC 60/70 ส่วนแอสฟัลต์คอนกรีตยาง NRMA ผสมยางพาราที่ ปริมาณร้อยละ 8 และ 10 มีค่าการไหลน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตยาง AC 60/70 ประมาณร้อยละ 10 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมที่ใช้ยาง NRMA เมื่อรับกำลัง แล้วมีคุณสมบัติในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ อันเป็นการช่วยลดปัญหา การเกิดร่องล้อ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าส่วนผสมที่ใช้ยาง NRMA มีคุณสมบัติที่ดีกว่า การใช้ยาง AC 60/70

5.2 ข้อเสนอแนะ

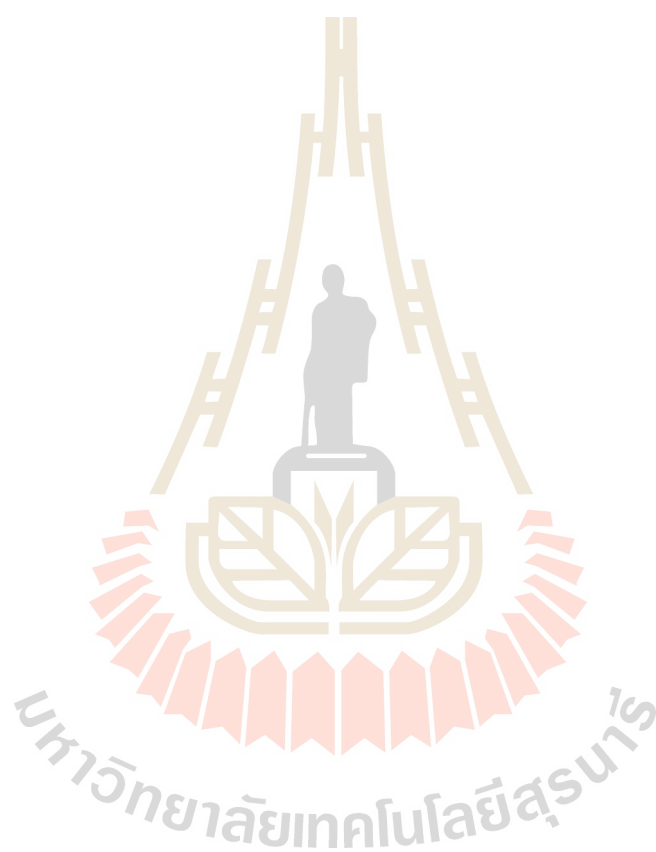
เพื่อให้การศึกษาวิจัยนี้เป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานและการวิจัยที่เกี่ยวข้องในโอกาสต่อไปให้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงขอเสนอประเด็นการวิจัยและข้อเสนอแนะงานแอสฟัลต์คอนกรีต ดังนี้

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้วัสดุมวลรวมชนิดเดียว คือ หินปูน หรือ Lime Stone ซึ่งในประเทศไทยมีหินหลายชนิดที่มีการนำมาใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น หินแกรนิต และ หินบะซอลต์ เป็นต้น ซึ่งหินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น ความแข็งแรง และ อัตราการดูดซึม แอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมทุกประเภทของหินที่มีใช้งานในประเทศไทยควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเลือกใช้วัสดุหินทุกชนิด

เมื่อเปรียบเทียบราคา แอสฟัลต์คอนกรีต NRMA มีราคาสูงกว่า AC 60/70 แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติที่ดีกว่าในหลายๆ ด้าน โดยเฉพาะด้านความคงทนแข็งแรงและรักษาสภาพการให้บริการของผิวทางได้ดีขึ้นก็จะช่วยลดภาระในการบูรณะซ่อมบำรุงทางลงได้ รวมถึงด้านความสะดวกปลอดภัยของผู้ใช้ทาง ซึ่งถนนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่อยู่ในองค์ประกอบของการเกิดอุบัติเหตุ เมื่อผิวถนนมีความปลอดภัยมากขึ้น ความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูญเสียก็ลดลงด้วย ทั้งนี้ยังช่วยให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะลดภาระค่าใช้จ่ายในการดูแลบำรุงรักษายานพาหนะ และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงอีกด้วย

ปัจจุบันมีอัตราการบริโภคยางพาราภายในประเทศอยู่ที่ร้อยละ 14 และส่งออกถึงร้อยละ 86 หากจะดำเนินการเพิ่มอุปสงค์ภายในประเทศตามเป้าหมายของรัฐบาลที่ร้อยละ 40 หรือประมาณ 1.7 ล้านตันต่อปี นับว่าเป็นปริมาณที่มหาศาลมาก ในขณะที่ยานบำรุงรักษาทางหลวงขนาดความกว้าง 2 ช่องจราจร พื้นที่ประมาณ 9,000 ตารางเมตร ด้วยการปูผิวจราจรแอสฟัลต์คอนกรีต NRMA ความหนา 5 เซนติเมตร จะใช้ยางพาราประมาณ 54 ตันต่อกิโลเมตร ดังนั้นการส่งเสริมการนำยางพารามาใช้ประโยชน์ในงานทางจึงเป็นอีกทางที่จะช่วยเพิ่มปริมาณการบริโภคยางพารา

ภายในประเทศได้ระดับหนึ่ง และยังช่วยเพิ่มสมรรถนะของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีความ
แข็งแรงทนทานขึ้นอีกด้วย



เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง. (2547). **คู่มือวิธีการปฏิบัติงานออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์**. ส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทาง. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ.
- กรมทางหลวง. (2550). **คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 2 การควบคุมงานก่อสร้างทาง**.
- กรมทางหลวง. (2550). **คู่มือการควบคุมงานก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 4 การควบคุมคุณภาพวัสดุ**.
- กรมทางหลวง. (2556). **มาตรฐานงานทาง**. สำนักมาตรฐานและประเมินผล.
- รายงานสรุปผู้บริหาร โครงการวิจัยก่อสร้างแปลงทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตผสมยางพารา [ออนไลน์]. 13 ตุลาคม 2557. ได้จาก :
<http://download.yotathai.com/2014/10/para-asphalt.html> [3 ธันวาคม 2559]
- เอกสารประกอบ การใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์กับงานลาดยางผิวถนน สำนักงานชลประทาน ที่ 4 [ออนไลน์]. ธันวาคม 2557. ได้จาก :
http://irrigation.rid.go.th/rid4/km4/_data/58/1sheet.pdf [4 ธันวาคม 2559]
- ยางมะตอย ผสม ยางพารา ต้อง ทิปปิ้งแอสฟัลท์ [ออนไลน์]. 25 กันยายน 2558. ได้จาก :
<https://www.palangkaset.com/ยางเสริมลูกรัง/ยางมะตอย-ผสม-ยางพารา/> [10 ธันวาคม 2559]
- การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์โดยวิธีมาร์แชล [ออนไลน์]. 29 มกราคม 2559. ได้จาก :
<http://engineeringmaterialsproject.blogspot.com/2015/12/12.html> [11 ธันวาคม 2559]
- ถนนผสมยางพารา ทางออก ทางเลือก ธุรกิจยางพาราไทย [ออนไลน์]. 29 กุมภาพันธ์ 2559. ได้จาก :
<http://www.dailynews.co.th/agriculture/382546> [12 ธันวาคม 2559]
- ถนนสายใหม่"ยางพาราผสมยางมะตอย" [ออนไลน์]. 12 พฤศจิกายน 2559. ได้จาก :
<http://www.nicaonline.com/webboard/index.php?topic=27200.0;wap2> [7 มกราคม 2560]
- รายงานการศึกษาเชิงลึก การผลักดัน “การใช้ยางพาราในการสร้างและซ่อมถนน” [ออนไลน์]. กรกฎาคม 2559. ได้จาก :
<http://rubber.oie.go.th/box/Article/46746/เชิงลึกถนนยาง%202559.pdf> [8 มกราคม 2560]
- การใช้ยางพาราผสมแอสฟัลต์กับงานลาดยางผิวถนน [ออนไลน์]. 10 มกราคม 2560. ได้จาก :
<http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/engineer14/pararoad.pdf> [4 กุมภาพันธ์ 2560]
- มาตรฐานที่ ทล.-ม. 416/2556 [ออนไลน์]. 7 กุมภาพันธ์ 2560. ได้จาก :
<http://www.ooh5.go.th/LB/ak53.pdf> [5 กุมภาพันธ์ 2560]



ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง AC60/70

ว.8-03

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO. AC - - ชั้น Wearing Course

PROJECT ทดสอบ HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TESTED BY - TESTED DATE - ตัวอย่างวันที่ -

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 42 : 22 : 18 : 18 (By Mass) Pen. Grade AC 60/70
 Avg. Sp.Gr.of Agg.And Filler (Gag.) = 2.684 Sp. Gr. of AC (Gac) : 1.02
 Compaction , number of blows each end : 75 BLOW Asphalt Absorption (x) 0.27 %

		Lab. Samples						
No. of Specimen		1	2	3				
% AC by Mass of Agg.	(a)	5.00						
% AC by Mass of Mix	(b)	4.76						
% Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b \cdot x(100-b)/100$	4.50						
Specimen Height	mm. (d)	63.5	63.5	63.5				
DENSITY								
Mass in Air	gm. (e)	1247.3	1245.7	1249.0				
Mass Sat. Surface Dry	gm. (f)	1247.8	1246.4	1249.2				
Mass in Water	gm. (g)	729.4	728.7	730.5				
Bulk Volume	ml. (h) = f-g	518.4	517.7	518.7				
Bulk Density	gm./ml. (i) = e/h	2.406	2.406	2.408				
Average Density		2.407						
VOIDS ANALYSIS								
Volume AC	% Total (j) = $c \cdot i / Gac$	10.6						
Volume Agg.	% Total (k) = $(100-b) \cdot i / Gag$	85.4						
VMA	% (l) = $100-k$	14.6						
Air Voids	% (m) = $l-j$	4.0						
VFB	% (n) = $100 \cdot j / l$	72.6						
STABILITY								
Meas	lbs.	2170	2030	2130				
Adjust	lbs.	2170	2030	2130				
Average Stability		2110						
FLOW								
Meas	1/100"	12	11	11				
Average Flows		11						

REMARKS

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ AC 60-70

แหล่งวัสดุ โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของผู้รับจ้าง บริษัท ไมล์สโตน คอนสตรัคชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่กม.8+000 ด้านขวา
ทาง ในทางหลวงหมายเลข 3111 ตอน ปทุมธานี – อ.สามโคก – อ.เสนา วัสดุหินจากแหล่งโรงโม่สหศิลา
เพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

Description	Cement	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)		-	-	42	22	18	18	100
Bulk Specific Gravity		-	2.662	2.671	2.687	2.696	2.699	2.684
Apparent Specific Gravity		2.731	2.730	2.730	2.728	2.729	2.729	2.729
Effective Specific Gravity		-	-	-	-	-	-	2.472
Water Absorption (%)		-	0.92	-	0.56	0.45	0.41	-
Flakiness Index (%)					56	21	20	29
Elongation Index (%)					18	29	33	28
Asphalt Absorption (%)								0.27
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4" =	24.4						
Soundness	Aggregate 3/4" =	1.0 , Fine Aggregate = 3.1						
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate =	55 , Sand = - , Hot Bin 1 = 62						

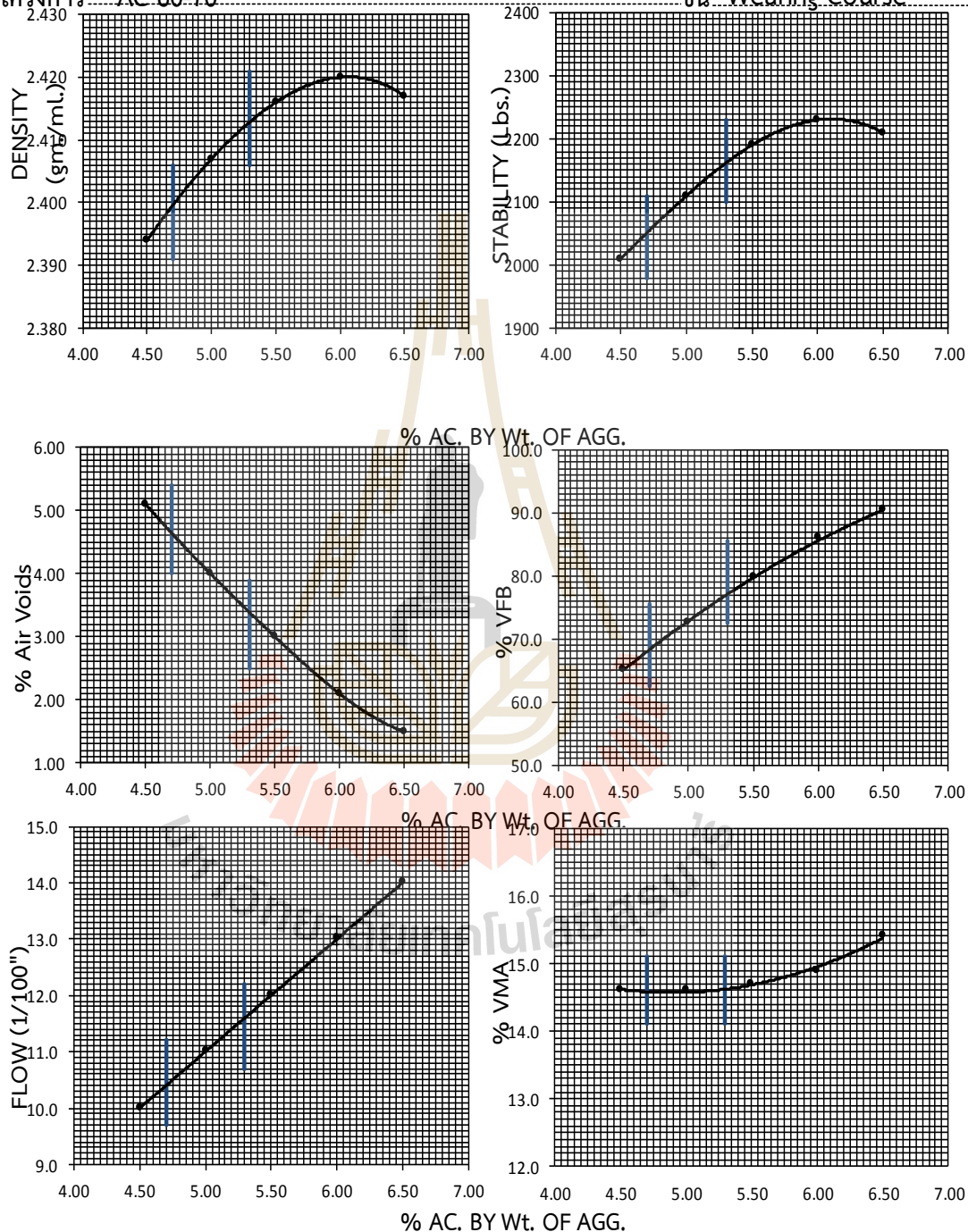
Asphalt Content (AC 60/70) (% by Mass of Aggregate)		MIXTURE	TOLERANT LIMIT
		5.0	± 0.3 %
Marshall Density	g/ml.	2.407	2.400 - 2.413
Marshall Air Voids	%	4.0	3.4 - 4.6
Voids in Mineral Aggregate	%	14.6	≥ 14
Voids Filled with Bitumen	%	72.6	68 - 77
Marshall Stability	lbs.	2110	≥ 2000
Marshall Flow	0.01"	11	10 - 12
Marshall Stability/Marshall Flow	lbs./0.01"	192	≥ 160
Strength Index	%	78.5	≥ 75
Percent Compaction ≥ 98 % of Daily Compaction Density			

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง AC60/70

MARSHALL METHOD TEST

โครงการ AC 60-70

ชั้น Wearing Course



ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 5%

1.8-03

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO. NRMA 5% - ชั้น Wearing Course

PROJECT ทดสอบ HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TESTED BY - TESTED DATE - ตัวอย่างวันที่ -

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 42 : 22 : 18 : 18 (By Mass) Pen. Grade NRMA 5%
 Avg. Sp.Gr.of Agg.And Filler (Gag) = 2.684 Sp. Gr. of AC (Gac) : 1.02
 Compaction , number of blows each end : 75 BLOW Asphalt Absorption (x) 0.25 %

		Lab. Samples						
No. of Specimen		1	2	3				
% AC by Mass of Agg.	(a)	5.00						
% AC by Mass of Mix	(b)	4.76						
% Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b \cdot x(100-b)/100$	4.52						
Specimen Height	mm. (d)	63.5	63.5	63.5				
DENSITY								
Mass in Air	gm. (e)	1247.3	1242.3	1243.5				
Mass Sat. Surface Dry	gm. (f)	1248.4	1243.5	1244.8				
Mass in Water	gm. (g)	729.8	727.0	728.0				
Bulk Volume	ml. (h) = f-g	518.6	516.5	516.8				
Bulk Density	gm./ml. (i) = e/h	2.405	2.405	2.406				
Average Density		2.405						
VOIDS ANALYSIS								
Volume AC	% Total (j) = $c \cdot i / Gac$	10.7						
Volume Agg.	% Total (k) = $(100-b) \cdot i / Gag$	85.3						
VMA	% (L) = $100-k$	14.7						
Air Voids	% (m) = $L-j$	4.0						
VFB	% (n) = $100 \cdot j / L$	72.8						
STABILITY								
Meas	lbs.	2420	2450	2390				
Adjust	lbs.	2420	2450	2390				
Average Stability		2420						
FLOW								
Meas	1/100"	11	10	11				
Average Flows		11						

REMARKS

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ NRMA 5%

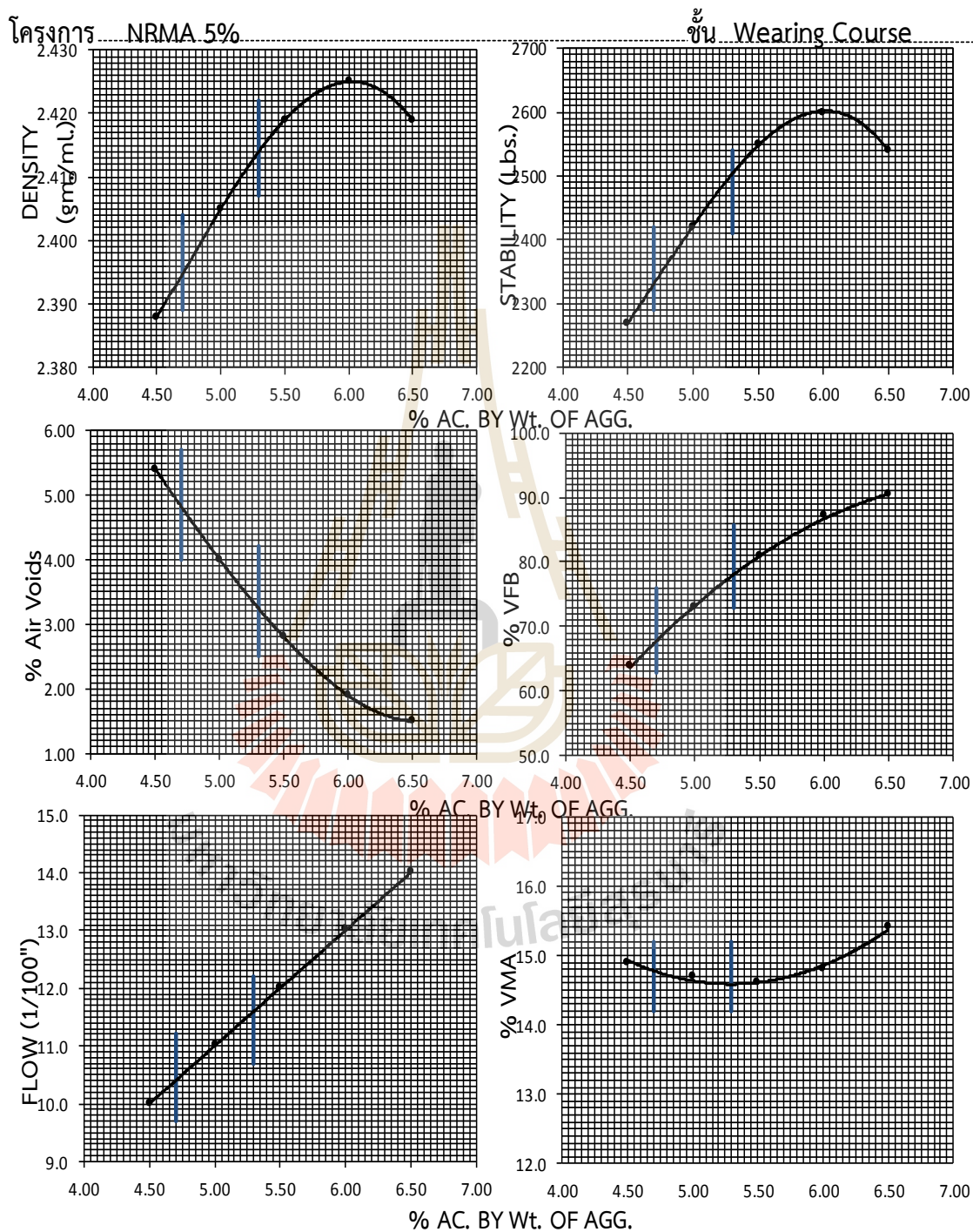
แหล่งวัสดุ โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของผู้รับจ้าง บริษัท ไมล์สโตน คอนสตรัคชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่กม.8+000 ด้านขวา
ทาง ในทางหลวงหมายเลข 3111 ตอน ปทุมธานี - อ.สามโคก - อ.เสนา วัสดุหินจากแหล่งโรงโม่สหศิลา
เพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

Description	Cement	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)		-	-	42	22	18	18	100
Bulk Specific Gravity		-	2.662	2.671	2.687	2.696	2.699	2.684
Apparent Specific Gravity		2.731	2.730	2.730	2.728	2.729	2.729	2.729
Effective Specific Gravity		-	-	-	-	-	-	2.471
Water Absorption (%)		-	0.92	-	0.56	0.45	0.41	-
Flakiness Index (%)					56	21	20	29
Elongation Index (%)					18	54	33	37
Asphalt Absorption (%)								0.25
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4" =	24.4						
Soundness	Aggregate 3/4" =	1.0		, Fine Aggregate = 3.1				
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate =	55		, Sand = -		, Hot Bin 1 = 62		

	MIXTURE	TOLERANT LIMIT
Asphalt Content (NRMA 5%) (% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3 %
Marshall Density g/ml.	2.405	2.395 - 2.414
Marshall Air Voids %	4.0	3.2 - 4.8
Voids in Mineral Aggregate %	14.7	≥ 14
Voids Filled with Bitumen %	72.8	68 - 78
Marshall Stability lbs.	2420	≥ 2300
Marshall Flow 0.01"	11.0	10 - 12
Marshall Stability/Marshall Flow lbs./0.01"	220	≥ 160
Strength Index %	77.7	≥ 75
Percent Compaction ≥ 98 % of Daily Compaction Density		

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 5%

MARSHALL METHOD TEST



ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 8%

๖.8-03

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO. NRMA 8% - **ชั้น** Wearing Course

PROJECT ทดสอบ HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TESTED BY - TESTED DATE - ตัวอย่างวันที่ -

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 42 : 22 : 18 : 18 (By Mass) **Pen. Grade NRMA 8%**
 Avg. Sp.Gr.of Agg.And Filler (Gag.) = 2.684 Sp. Gr. of AC (Gac) : 1.04
 Compaction , number of blows each end : 75 BLOW Asphalt Absorption (x) 0.24 %

		Lab. Samples						
No. of Specimen		1	2	3				
% AC by Mass of Agg. (a)		5.00						
% AC by Mass of Mix (b)		4.76						
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b \cdot x(100-b)/100$		4.53						
Specimen Height mm. (d)		63.5	63.5	63.5				
DENSITY								
Mass in Air gm. (e)		1246.1	1244.9	1244.9				
Mass Sat. Surface Dry gm. (f)		1247.6	1246.7	1246.9				
Mass in Water gm. (g)		730.5	730.1	730.1				
Bulk Volume ml. (h) = $f-g$		517.1	516.6	516.8				
Bulk Density gm./ml. (i) = e/h		2.410	2.410	2.409				
Average Density		2.410						
VOIDS ANALYSIS								
Volume AC % Total (j) = $c \cdot i / Gac$		10.5						
Volume Agg. % Total (k) = $(100-b) \cdot i / Gag$		85.5						
VMA % (l) = $100-k$		14.5						
Air Voids % (m) = $l-j$		4.0						
VFB % (n) = $100 \cdot j / l$		72.4						
STABILITY								
Meas lbs.		2760	2700	2680				
Adjust lbs.		2760	2700	2680				
Average Stability		2710						
FLOW								
Meas 1/100"		10	10	11				
Average Flows		10						

REMARKS

.....

.....

.....

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 8%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ NRMA 8%

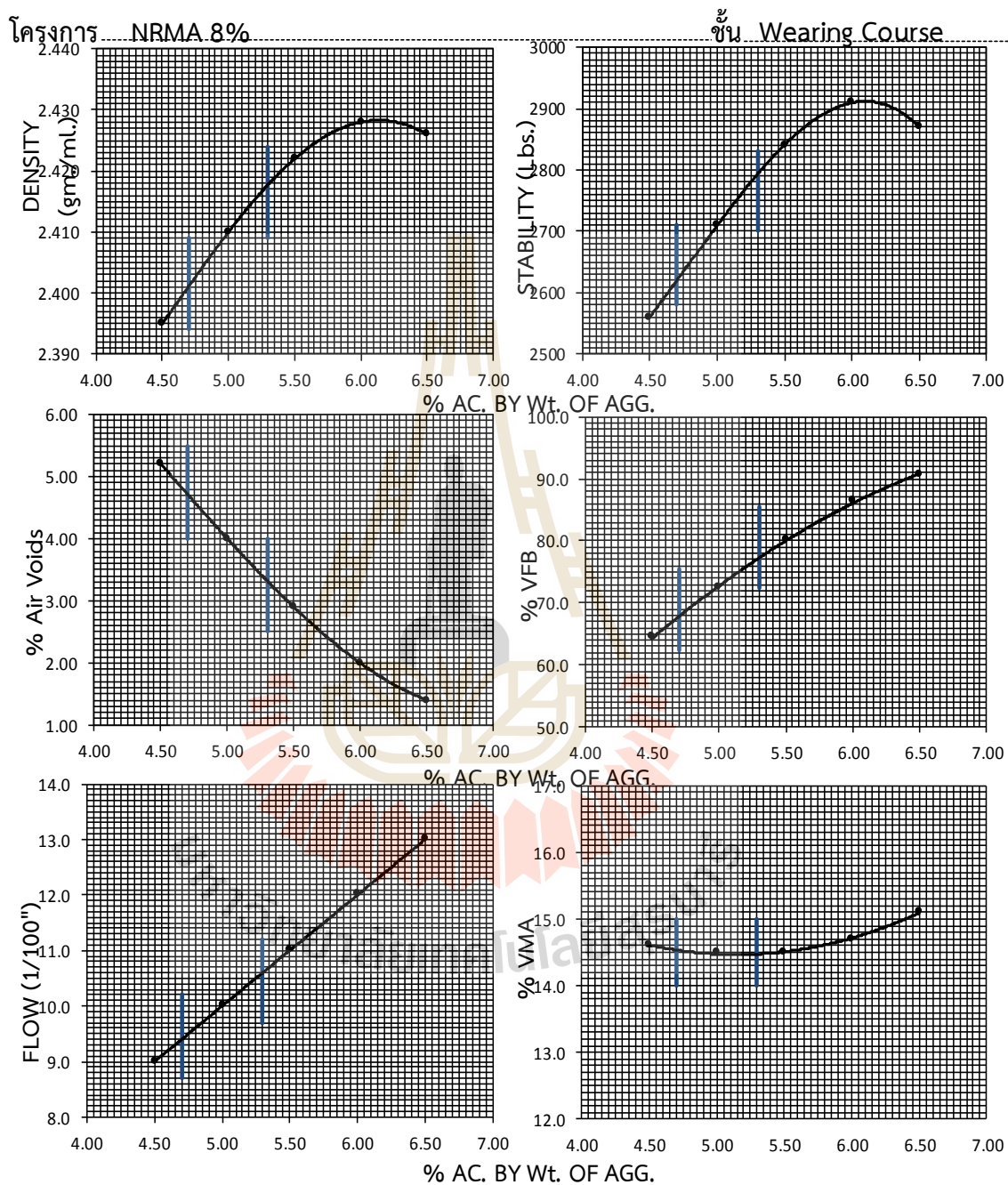
แหล่งวัสดุ โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของผู้รับจ้าง บริษัท ไมล์สโตน คอนสตรัคชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่กม.8+000 ด้านขวา
ทาง ในทางหลวงหมายเลข 3111 ตอน ปทุมธานี - อ.สามโคก - อ.เสนา วัสดุหินจากแหล่งโรงโม่สหศิลา
เพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

Description	Cement	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)		-	-	42	22	18	18	100
Bulk Specific Gravity		-	2.662	2.671	2.687	2.696	2.699	2.684
Apparent Specific Gravity		2.731	2.730	2.730	2.728	2.729	2.729	2.729
Effective Specific Gravity		-	-	-	-	-	-	2.477
Water Absorption (%)		-	0.92	-	0.56	0.45	0.41	-
Flakiness Index (%)					56	21	20	29
Elongation Index (%)					18	54	33	37
Asphalt Absorption (%)								0.24
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4" =	24.4						
Soundness	Aggregate 3/4" =	1.0		, Fine Aggregate = 3.1				
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate =	55		, Sand = -		, Hot Bin 1 = 62		

		MIXTURE	TOLERANT LIMIT
Asphalt Content (NRMA 8%)	(% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3 %
Marshall Density	g/ml.	2.410	2.401 - 2.418
Marshall Air Voids	%	4.0	3.3 - 4.7
Voids in Mineral Aggregate	%	14.5	≥ 14
Voids Filled with Bitumen	%	72.4	68 - 77
Marshall Stability	lbs.	2710	≥ 2600
Marshall Flow	0.01"	10.0	9 - 11
Marshall Stability/Marshall Flow	lbs./0.01"	271	≥ 160
Strength Index	%	80.5	≥ 75
Percent Compaction ≥ 98 % of Daily Compaction Density			

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 8%

MARSHALL METHOD TEST



ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 10%

ว.8-03

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO. NRMA 10% - ชั้น Wearing Course

PROJECT ทดสอบ HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TESTED BY - TESTED DATE - ตัวอย่างวันที่ -

Mix Proportion of Hot Bin 1:2:3:4 = 42 : 22 : 18 : 18 (By Mass) Pen. Grade NRMA 10%

Avg. Sp.Gr.of Agg.And Filler (Gag) = 2.684 Sp. Gr. of AC (Gac) : 1.04

Compaction , number of blows each end : 75 BLOW Asphalt Absorption (x) 0.24 %

		Lab. Samples						
No. of Specimen		1	2	3				
% AC by Mass of Agg. (a)		5.00						
% AC by Mass of Mix (b)		4.76						
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b \times (100-b)/100$		4.53						
Specimen Height mm. (d)		63.5	63.5	63.5				
DENSITY								
Mass in Air gm. (e)		1246.1	1244.9	1244.9				
Mass Sat. Surface Dry gm. (f)		1247.6	1246.7	1246.9				
Mass in Water gm. (g)		730.5	730.1	730.1				
Bulk Volume ml. (h) = f-g		517.1	516.6	516.8				
Bulk Density gm./ml. (i) = e/h		2.410	2.410	2.409				
Average Density		2.410						
VOIDS ANALYSIS								
Volume AC % Total (j) = $c \times i / Gac$		10.5						
Volume Agg. % Total (k) = $(100-b) \times i / Gag$		85.5						
VMA % (l) = $100-k$		14.5						
Air Voids % (m) = $l-j$		4.0						
VFB % (n) = $100 \times j / l$		72.4						
STABILITY								
Meas lbs.		2850	2750	2820				
Adjust lbs.		2850	2750	2820				
Average Stability		2810						
FLOW								
Meas 1/100"		10	10	11				
Average Flows		10						

REMARKS

.....

.....

.....

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 10%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ NRMA 10%

แหล่งวัสดุ โรงงานผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของผู้รับจ้าง บริษัท ไมล์สโตน คอนสตรัคชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่กม.8+000 ด้านขวา
ทาง ในทางหลวงหมายเลข 3111 ตอน ปทุมธานี – อ.สามโคก – อ.เสนา วัสดุหินจากแหล่งโรงโม่สหศิลา
เพิ่มพูน ตั้งอยู่ที่ ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

Description	Cement	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)		-	-	42	22	18	18	100
Bulk Specific Gravity		-	2.662	2.671	2.687	2.696	2.699	2.684
Apparent Specific Gravity		2.731	2.730	2.730	2.728	2.729	2.729	2.729
Effective Specific Gravity		-	-	-	-	-	-	2.477
Water Absorption (%)		-	0.92	-	0.56	0.45	0.41	-
Flakiness Index (%)					56	21	20	29
Elongation Index (%)					18	54	33	37
Asphalt Absorption (%)								0.24
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4" =	24.4						
Soundness	Aggregate 3/4" =	1.0 , Fine Aggregate = 3.1						
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate =	55 , Sand = - , Hot Bin 1 = 62						

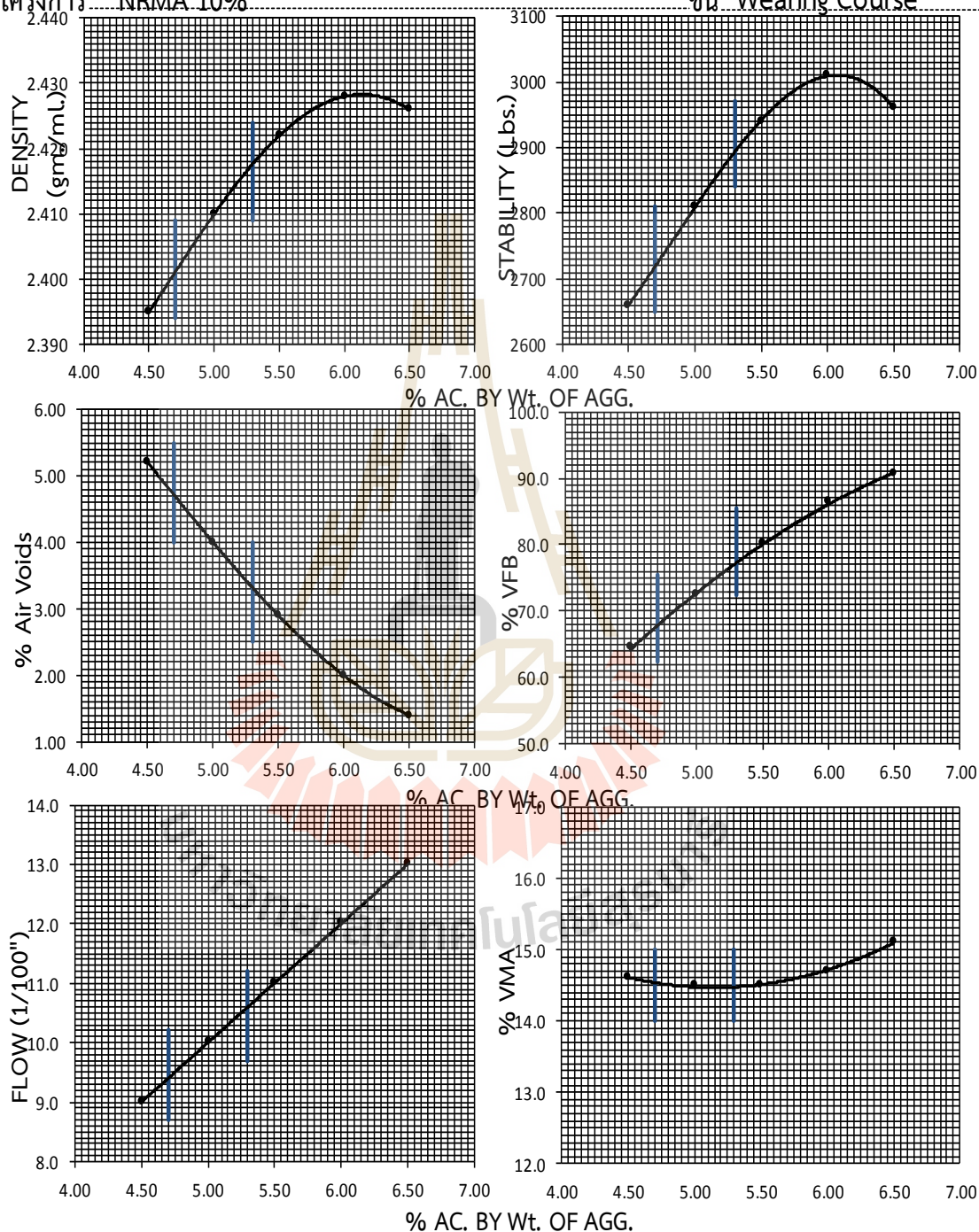
		MIXTURE	TOLERANT LIMIT
Asphalt Content (NRMA 10%)	(% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3 %
Marshall Density	g/mL	2.410	2.401 - 2.417
Marshall Air Voids	%	4.0	3.3 - 4.7
Voids in Mineral Aggregate	%	14.5	≥ 14
Voids Filled with Bitumen	%	72.4	68 - 77
Marshall Stability	lbs.	2810	≥ 2700
Marshall Flow	0.01"	10.0	9 - 11
Marshall Stability/Marshall Flow	lbs./0.01"	281	≥ 160
Strength Index	%	76.1	≥ 75
Percent Compaction ≥ 98 % of Daily Compaction Density			

ผลการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ยาง NRMA 10%

MARSHALL METHOD TEST

โครงการ NRMA 10%

ชั้น Wearing Course





ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมโดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่-..... ชั้นผิวทาง.....-.....

เจ้าของตัวอย่าง-.....

หนังสือที่- ล.ว.-..... วันที่รับหนังสือ-.....

โครงการ ทดสอบ Indirect Tensile Strength

แหล่งวัสดุ-..... Type of Asphalt Cement AC 60-70

Determining of Indirect Tensile Strength of Bituminous Mixtures

ASTM D 6931

Specimen Details



Marshall Compactor



Gyratory Compactor



Field Specimens

75 No. of Blows / End

No. of Gyration

Life of Surface (year)

Specimen Condition



Soaked



Unsoaked

Specimen Number		1	2	3			Remarks
Specimen Diameter , D (mm)	D1	101.5	101.6	101.9			
	D2	102.0	101.8	101.8			
	D _{avg.}	101.8	101.7	101.9			
Specimen Height , H (mm)	H1	66.4	65.2	65.4			
	H2	66.0	66.1	65.1			
	H3	65.3	65.1	65.3			
	H4	65.7	65.6	65.0			
	H _{avg.}	65.9	65.5	65.2			
Dial Reading	div.	25	28	26			
Load , P	kN	1.108	1.234	1.150			
Indirect Tensile Strength (ITS)	kPa	105.1	117.9	110.2			
Temperature	°C	25	25	25			
Average ITS (kPa)		111.1					

Remarks : roving ring No. 470239 Capacity = 15000 lb A = 9.439 C = +13

Load = $(A * (\text{Dial Reading}) + C) * 9.81 / 2204.6$ kN

ITS = $2 * P / 3.14 * H_{avg} * D_{avg} * 1000000$ kPa

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมโดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ ชั้นผิวทาง.....

เจ้าของตัวอย่าง -

หนังสือที่ - ล.ว. - วันที่รับหนังสือ..... -

โครงการ ทดสอบ Indirect Tensile Strength

แหล่งวัสดุ Type of Asphalt Cement **NRMA 5%**

Determining of Indirect Tensile Strength of Bituminous Mixtures

ASTM D 6931

Specimen Details



Marshall Compactor



Gyratory Compactor



Field Specimens

75 No. of Blows / End

No. of Gyrations

Life of Surface (year)

Specimen Condition



Soaked



Unsoaked

Specimen Number		1	2	3			Remarks
Specimen Diameter , D (mm)	D1	103.0	101.7	102.3			
	D2	102.9	101.7	102.1			
	D _{avg.}	103.0	101.7	102.2			
Specimen Height , H (mm)	H1	63.5	65.0	65.8			
	H2	63.5	64.9	65.5			
	H3	63.8	65.7	65.0			
	H4	64.0	65.4	64.9			
	H _{avg.}	63.7	65.3	65.3			
Dial Reading	div.	35	31	27			
Load , P	kN	1.528	1.360	1.192			
Indirect Tensile Strength (ITS)	kPa	148.3	130.4	113.7			
Temperature	°C	25	25	25			
Average ITS (kPa)		130.8					

Remarks : roving ring No. 470239 Capacity = 15000 lb A = 9.439 C = +13

Load = (A*(Dial Reading) + C)*9.81/2204.6 kN

ITS = $2 * P / 3.14 * H_{avg} * D_{avg} * 1000000$ kPa

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมโดยใช้ยาง NRMA 8%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ - ชั้นผิวทาง -

เจ้าของตัวอย่าง -

หนังสือที่ - ล.ว. - วันที่รับหนังสือ -

โครงการ ทดสอบ Indirect Tensile Strength

แหล่งวัสดุ - Type of Asphalt Cement **NRMA 8%**

Determining of Indirect Tensile Strength of Bituminous Mixtures

ASTM D 6931

Specimen Details

☒ Marshall Compactor ☐ Gyrotory Compactor ☐ Field Specimens
75 No. of Blows / End No. of Gyrations Life of Surface (year)

Specimen Condition

☐ Soaked ☒ Unsoaked

Specimen Number		1	2	3			Remarks
Specimen Diameter , D (mm)	D1	102.2	101.8	101.8			
	D2	102.0	102.0	101.6			
	D _{avg.}	102.1	101.9	101.7			
Specimen Height , H (mm)	H1	65.4	66.0	66.2			
	H2	65.8	65.6	65.8			
	H3	65.6	66.0	66.0			
	H4	66.0	65.7	65.9			
	H _{avg.}	65.7	65.8	66.0			
Dial Reading	div.	30	30	23			
Load , P	kN	3.325	3.325	2.529			
Indirect Tensile Strength (ITS)	kPa	315.6	315.7	239.9			
Temperature	°C	35	35	35			
Average ITS (kPa)		290.4					

Remarks : roving ring No. 470239 Capacity = 15000 lb A = 25.54 C = -19
Load = (A*(Dial Reading) + C)*9.81/2204.6 kN
ITS = $2 \cdot P / 3.14 \cdot H_{avg} \cdot D_{avg} \cdot 1000000$ kPa

ผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมโดยใช้ยาง NRMA 10%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ - ชั้นผิวทาง -
 เจ้าของตัวอย่าง -
 หนังสือที่ - ล.ว. - วันที่รับหนังสือ -
 โครงการ ทดสอบ Indirect Tensile Strength
 แหล่งวัสดุ - Type of Asphalt Cement NRMA 10%

Determining of Indirect Tensile Strength of Bituminous Mixtures

ASTM D 6931

Specimen Details

☒ Marshall Compactor ☐ Gyrotory Compactor ☐ Field Specimens
 75 No. of Blows / End No. of Gyrations Life of Surface (year)

Specimen Condition

☐ Soaked ☒ Unsoaked

Specimen Number		1	2	3			Remarks
Specimen Diameter , D (mm)	D1	102.4	102.2	103.0			
	D2	102.4	102.2	102.8			
	D _{avg.}	102.4	102.2	102.9			
Specimen Height , H (mm)	H1	64.1	64.7	63.3			
	H2	63.9	64.9	64.4			
	H3	63.8	64.4	64.0			
	H4	63.6	64.2	63.0			
	H _{avg.}	63.9	64.6	63.7			
Dial Reading	div.	28	24	24			
Load , P	kN	3.098	2.643	2.643			
Indirect Tensile Strength (ITS)	kPa	301.4	254.9	256.7			
Temperature	°C	35	35	35			
Average ITS (kPa)		271.0					

Remarks : roving ring No. 470239 Capacity = 15000 lb A = 25.54 C = -19
 $Load = (A * (Dial Reading) + C) * 9.81 / 2204.6$ kN
 $ITS = 2 * P / 3.14 * H_{avg} * D_{avg} * 1000000$ kPa



ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการคืนตัวโดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ AC - - ชั้นผิวทาง Wearing Course
 เจ้าของตัวอย่าง - วันที่รับตัวอย่าง -
 หนังสือที่ - ลว. - วันที่รับหนังสือ -
 โครงการฯ ทอสอบ AC 60/70
 เจ้าหน้าที่ทดลอง กิตติชัย ศรีโยธา วันที่ทดลอง

Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures

Specimen Preparation

☒ Marshall Compactor ☐ Gyrotory Compactor ☐ Field Specimens
 No. of Blows / End 75 No. of Gyration Life of Surface (year)
 Type of Asphalt Cement

Specimen Details and Test Parameters

Specimen's Name S-2 Test Temperature 35 °C
 Specimen Bulk Densi 2.382 g/cm³ Poisson's Ratio 0.35
 Specimen Diameter 102.2 mm Test Period 5 pulses/test plane
 Specimen Thickness 65.4 mm Target Risetime 124 ms
 Specimen Condition Soaked
 Target Horizontal Deformation : 5 µm (for 4 " Approx. dia. specimen)
 7 µm (for 6 " Approx. dia. specimen)

Test Plane	Force (kN)	Horizontal Stress (kPa)	Risetime (millisec.)	Horizontal Deformation (µm)	Load -area Factor	Stiffness Modulus (MPa)	Adjusted Stiffness (MPa)
1	0.5	46.2	123	5.2	0.68	1695	1622
2	0.5	46.4	123	5.2	0.68	1689	1613

Average Adjusted Stiffness Modulus = 1618 MPa

Remarks :

.....

.....

.....

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการคืนตัวโดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่	AC - -	ชั้นผิวทาง	Wearing Course
เจ้าของตัวอย่าง	-	วันที่รับตัวอย่าง	-
หนังสือที่	- ลว. -	วันที่รับหนังสือ	-
โครงการฯ	ทดสอบ AC 60/70		
เจ้าหน้าที่ทดลอง	กิตติชัย ศรีโยธา	วันที่ทดลอง	

Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures

Specimen Preparation

☒ Marshall Compactor
 ☐ Gyrotory Compactor
 ☐ Field Specimens
 No. of Blows / End 75
 No. of Gyration
 Life of Surface (year)
 Type of Asphalt Cement

Specimen Details and Test Parameters

Specimen's Name	S-3	Test Temperature	35 °C
Specimen Bulk Densi	2.382 g/cm ³	Poisson's Ratio	0.35
Specimen Diameter	102.2 mm	Test Period	5 pulses/test plane
Specimen Thickness	65.4 mm	Target Risetime	124 ms
Specimen Condition	Soaked		
Target Horizontal Deformation :	5 μm (for 4 " Approx. dia. specimen)		
	7 μm (for 6 " Approx. dia. specimen)		

Test Plane	Force (kN)	Horizontal Stress (kPa)	Risetime (millisec.)	Horizontal Deformation (μm)	Load -area Factor	Stiffness Modulus (MPa)	Adjusted Stiffness (MPa)
1	0.5	46.8	123	5.2	0.68	1688	1817
2	0.5	46.3	125	5.2	0.69	1870	1617

Average Adjusted Stiffness Modulus = 1717 MPa

Remarks : _____

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการคืนตัวโดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ AC - - ชั้นผิวทาง Wearing Course
 เจ้าของตัวอย่าง วันที่รับตัวอย่าง -
 หนังสือที่ - ลว. - วันที่รับหนังสือ -
 โครงการฯ ทดสอบ NRMA 5%
 เจ้าหน้าที่ทดลอง กิตติชัย ศรีโยธา วันที่ทดลอง

Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures

Specimen Preparation

☒ Marshall Compactor ☐ Gyrotory Compactor ☐ Field Specimens
 No. of Blows / End 75 No. of Gyration Life of Surface (year)
 Type of Asphalt Cement

Specimen Details and Test Parameters

Specimen's Name S-1 Test Temperature 35 °C
 Specimen Bulk Densi 2.382 g/cm³ Poisson's Ratio 0.35
 Specimen Diameter 102.2 mm Test Period 5 pulses/test plane
 Specimen Thickness 65.4 mm Target Risetime 124 ms
 Specimen Condition Soaked
 Target Horizontal Deformation : 5 µm (for 4 " Approx. dia. specimen)
 7 µm (for 6 " Approx. dia. specimen)

Test Plane	Force (kN)	Horizontal Stress (kPa)	Risetime (millisec.)	Horizontal Deformation (µm)	Load -area Factor	Stiffness Modulus (MPa)	Adjusted Stiffness (MPa)
1	0.5	43.1	132	5	0.69	1862	1891
2	0.5	46.2	122	5.1	0.69	1902	1931

Average Adjusted Stiffness Modulus = 1911 MPa

Remarks :

.....

.....

.....

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการคืนตัวโดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ AC - -
 เจ้าของตัวอย่าง -
 หนังสือที่ - ลว. -
 โครงการฯ ทดสอบ NRMA 5%
 เจ้าหน้าที่ทดลอง กิตติชัย ศรีโยธา
 วันที่ทดลอง

Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures

Specimen Preparation

☒ Marshall Compactor
 No. of Blows / End 75
☐ Gyrotory Compactor
 No. of Gyrations
☐ Field Specimens
 Life of Surface (year)
 Type of Asphalt Cement

Specimen Details and Test Parameters

Specimen's Name S-2
 Specimen Bulk Densi 2.382 g/cm³
 Specimen Diameter 102.2 mm
 Specimen Thickness 65.4 mm
 Specimen Condition Soaked
 Test Temperature 35 °C
 Poisson's Ratio 0.35
 Test Period 5 pulses/test plane
 Target Risetime 124 ms
 Target Horizontal Deformation : 5 µm (for 4 " Approx. dia. specimen)
 7 µm (for 6 " Approx. dia. specimen)

Test Plane	Force (kN)	Horizontal Stress (kPa)	Risetime (millisec.)	Horizontal Deformation (µm)	Load -area Factor	Stiffness Modulus (MPa)	Adjusted Stiffness (MPa)
1	0.5	46.4	123	5.2	0.68	1895	1922
2	0.5	46.7	121	5.2	0.68	1889	1915

Average Adjusted Stiffness Modulus = 1919 MPa

Remarks :

.....

.....

.....

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการคืนตัวโดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่	AC - -	ชั้นผิวทาง	Wearing Course
เจ้าของตัวอย่าง	-	วันที่รับตัวอย่าง	-
หนังสือที่	- ลว. -	วันที่รับหนังสือ	-
โครงการฯ	ทดสอบ NRMA 5%		
เจ้าหน้าที่ทดลอง	กิตติชัย ศรีโยธา	วันที่ทดลอง	

Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures

Specimen Preparation

☒ Marshall Compactor
 ☐ Gyrotory Compactor
 ☐ Field Specimens
 No. of Blows / End 75
 No. of Gyration
 Life of Surface (year)
 Type of Asphalt Cement

Specimen Details and Test Parameters

Specimen's Name	S-3	Test Temperature	35 °C
Specimen Bulk Densi	2.382 g/cm ³	Poisson's Ratio	0.35
Specimen Diameter	102.2 mm	Test Period	5 pulses/test plane
Specimen Thickness	65.4 mm	Target Risetime	124 ms
Specimen Condition	Soaked		
Target Horizontal Deformation :	5 μm (for 4 " Approx. dia. specimen)		
	7 μm (for 6 " Approx. dia. specimen)		

Test Plane	Force (kN)	Horizontal Stress (kPa)	Risetime (millisec.)	Horizontal Deformation (μm)	Load -area Factor	Stiffness Modulus (MPa)	Adjusted Stiffness (MPa)
1	0.5	46.8	123	5.2	0.68	1887	1914
2	0.5	46.3	125	5.2	0.69	1880	1908

Average Adjusted Stiffness Modulus = 1911 MPa

Remarks : _____

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสการคืนตัวโดยใช้ยาง NRMA 8%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับการทดลองที่ AC - - ชั้นผิวทาง Wearing Course
 เจ้าของตัวอย่าง - วันที่รับตัวอย่าง -
 หนังสือที่ - ลว. - วันที่รับหนังสือ -
 โครงการฯ ทดสอบ NRMA 8%
 เจ้าหน้าที่ทดลอง กิตติชัย ศรีโยธา วันที่ทดลอง

Determination of the Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures

Specimen Preparation

☒ Marshall Compactor ☐ Gyrotory Compactor ☐ Field Specimens
 No. of Blows / End 75 No. of Gyration Life of Surface (year)
 Type of Asphalt Cement

Specimen Details and Test Parameters

Specimen's Name S-1 Test Temperature 35 °C
 Specimen Bulk Densi 2.382 g/cm³ Poisson's Ratio 0.35
 Specimen Diameter 102.2 mm Test Period 5 pulses/test plane
 Specimen Thickness 65.4 mm Target Risetime 124 ms
 Specimen Condition Soaked
 Target Horizontal Deformation : 5 µm (for 4 " Approx. dia. specimen)
 7 µm (for 6 " Approx. dia. specimen)

Test Plane	Force (kN)	Horizontal Stress (kPa)	Risetime (millisec.)	Horizontal Deformation (µm)	Load -area Factor	Stiffness Modulus (MPa)	Adjusted Stiffness (MPa)
1	1.8	170.3	123	5.2	0.65	3275	3364
2	1.7	159.5	126	5.1	0.65	3140	3225

Average Adjusted Stiffness Modulus = 3295 MPa

Remarks :

Remarks : _____



ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการ ฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง AC 60-70

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 1	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	119.7	0.4836	35.7	33.3	
20	120.8	0.5128	35.6	33.6	
30	119.5	0.5371	35.7	33.8	
40	120.1	0.5567	35.6	34.2	
50	119.9	0.5696	35.6	34.4	
60	120.1	0.5831	35.7	34.7	
70	120.0	0.5969	35.6	34.9	
80	119.5	0.6068	35.6	35.1	
100	119.8	0.6146	35.5	35.4	
200	120.0	0.6744	35.5	36.6	
300	119.9	0.7053	35.6	36.6	
400	120.2	0.7284	35.6	35.9	
500	120.3	0.7483	35.8	35.3	
600	119.6	0.7635	35.8	34.9	
700	120.7	0.7765	35.8	34.6	
800	120.1	0.7887	35.8	34.6	
900	120.6	0.7985	35.7	34.9	
1000	119.9	0.8076	35.7	35.1	
1100	120.1	0.8155	35.7	35.3	
1200	120.9	0.8227	35.6	35.2	
1300	119.9	0.8290	35.7	35.2	
1400	119.7	0.8360	35.6	35.3	
1500	120.1	0.8414	35.6	35.4	
1600	119.4	0.8476	35.7	35.2	
1700	119.9	0.8526	35.8	35.2	
1800	119.7	0.8561	35.7	35.2	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.4584

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการ ฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง AC 60-70

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 2	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	64 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.2	0.5571	35.7	33.6	
20	120.1	0.5956	35.8	33.8	
30	119.1	0.6248	35.8	34.0	
40	120.2	0.6472	35.8	34.3	
50	119.4	0.6650	35.7	34.5	
60	119.7	0.6801	35.7	34.7	
70	119.8	0.6952	35.7	34.9	
80	119.6	0.7062	35.7	35.2	
100	119.9	0.7175	35.7	35.4	
200	120.7	0.7909	35.6	36.3	
300	119.7	0.8342	35.6	36.4	
400	120.0	0.8637	35.8	35.9	
500	119.7	0.8877	35.8	35.3	
600	119.5	0.9048	35.9	34.9	
700	120.6	0.9199	35.8	34.7	
800	119.9	0.9329	35.9	34.8	
900	119.3	0.9432	35.8	35.0	
1000	120.4	0.9530	35.8	35.1	
1100	119.6	0.9623	35.7	35.1	
1200	119.7	0.9689	35.7	35.1	
1300	119.3	0.9767	35.7	35.1	
1400	120.1	0.9832	35.7	35.2	
1500	120.2	0.9885	35.7	35.2	
1600	119.7	0.9945	35.7	35.2	
1700	119.7	0.9989	35.8	35.2	
1800	119.2	1.0057	35.8	35.1	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.2137

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง AC60/70

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง AC 60-70

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 2	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	64 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.3	0.5560	35.6	33.6	
20	120.2	0.5968	35.7	33.7	
30	118.7	0.6236	35.8	33.9	
40	120.2	0.6466	35.8	34.3	
50	118.9	0.6663	35.8	34.4	
60	119.9	0.6815	35.8	34.6	
70	120.3	0.6952	35.6	34.8	
80	119.6	0.7048	35.6	35.2	
100	120.3	0.7161	35.6	35.4	
200	120.3	0.7909	35.5	36.3	
300	119.6	0.8342	35.5	36.3	
400	120.0	0.8646	35.9	36.0	
500	120.1	0.8877	35.9	35.2	
600	119.7	0.9030	35.8	34.9	
700	121.0	0.9181	35.8	34.7	
800	119.5	0.9338	35.9	34.8	
900	119.4	0.9432	35.8	35.1	
1000	120.0	0.9540	35.8	35.2	
1100	120.1	0.9613	35.6	35.1	
1200	119.7	0.9708	35.8	35.2	
1300	119.3	0.9757	35.7	35.0	
1400	120.2	0.9832	35.6	35.1	
1500	120.3	0.9895	35.7	35.3	
1600	119.8	0.9965	35.7	35.3	
1700	119.8	1.0009	35.7	35.1	
1800	119.6	1.0057	35.7	35.2	
1800	200.4	1.2819	44.1	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.2336

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 5%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 1	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	119.8	0.5422	35.7	34.9	
20	120.0	0.5840	35.6	35.0	
30	119.7	0.6147	35.7	35.2	
40	120.4	0.6378	35.6	35.4	
50	120.0	0.6579	35.6	35.6	
60	120.5	0.6735	35.7	35.7	
70	119.8	0.6868	35.6	36.0	
80	120.0	0.7013	35.6	36.0	
100	119.8	0.7122	35.6	36.1	
200	120.6	0.7886	35.6	36.5	
300	119.9	0.8266	35.7	36.2	
400	120.1	0.8545	35.9	35.5	
500	120.1	0.8726	35.9	35.1	
600	120.7	0.8888	36.0	34.7	
700	119.8	0.9010	35.9	34.8	
800	120.3	0.9121	35.9	35.0	
900	121.1	0.9193	35.8	35.2	
1000	119.3	0.9277	35.8	35.4	
1100	120.1	0.9324	35.7	35.4	
1200	120.3	0.9402	35.8	35.4	
1300	120.2	0.9440	35.9	35.3	
1400	120.0	0.9484	35.8	35.2	
1500	120.5	0.9543	35.8	35.2	
1600	119.7	0.9582	35.8	35.2	
1700	119.2	0.9617	35.7	35.1	
1800	119.6	0.9667	35.8	35.2	
1800	198.1	1.3307	43.7	40.6	

Strain During Conditioning Period (%) 0.2883

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 5%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 2	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.5	0.5034	36.4	33.7	
20	119.9	0.5380	36.3	33.7	
30	120.0	0.5628	36.4	33.7	
40	119.9	0.5811	36.4	33.7	
50	120.2	0.5958	36.5	33.7	
60	120.9	0.6088	36.4	33.6	
70	120.2	0.6182	36.4	33.6	
80	120.2	0.6275	36.5	33.6	
100	120.1	0.6360	36.4	33.4	
200	119.2	0.6874	36.3	33.5	
300	120.3	0.7148	36.0	34.0	
400	120.0	0.7315	35.9	34.5	
500	119.3	0.7432	35.8	35.0	
600	120.2	0.7531	35.6	35.3	
700	120.5	0.7615	35.6	35.3	
800	120.0	0.7676	35.6	35.3	
900	120.0	0.7745	35.6	35.1	
1000	120.7	0.7784	35.6	35.0	
1100	119.8	0.7828	35.6	34.9	
1200	120.0	0.7872	35.6	34.9	
1300	120.1	0.7905	35.6	34.9	
1400	119.5	0.7918	35.6	34.9	
1500	119.9	0.7949	35.5	34.9	
1600	120.1	0.7955	35.5	35.0	
1700	120.4	0.7994	35.5	34.9	
1800	120.0	0.8008	35.5	35.0	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.1895

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 5%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 5%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 3	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	119.8	0.9194	35.6	33.9	
20	120.5	0.9679	35.6	34.1	
30	119.5	1.0028	35.6	34.4	
40	120.7	1.0303	35.6	34.6	
50	120.4	1.0517	35.6	34.6	
60	119.8	1.0697	35.6	34.9	
70	120.9	1.0829	35.5	35.1	
80	119.9	1.0970	35.6	35.2	
100	119.9	1.1091	35.6	35.4	
200	119.8	1.1816	35.6	36.2	
300	119.7	1.2207	35.6	36.2	
400	119.9	1.2441	35.7	35.7	
500	120.1	1.2630	35.7	35.2	
600	119.9	1.2788	35.8	34.9	
700	120.6	1.2913	35.8	34.8	
800	119.6	1.2998	35.7	34.7	
900	119.7	1.3086	35.7	34.9	
1000	120.5	1.3148	35.7	35.2	
1100	120.3	1.3210	35.6	35.3	
1200	120.2	1.3282	35.7	35.2	
1300	120.5	1.3327	35.7	35.3	
1400	119.2	1.3375	35.7	35.2	
1500	120.3	1.3427	35.7	35.2	
1600	120.4	1.3465	35.6	35.3	
1700	119.9	1.3500	35.8	35.2	
1800	120.7	1.3551	35.7	35.2	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.3308

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 8%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการ ฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 8%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 1	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	66 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.2	0.5101	35.7	32.9	
20	120.1	0.5265	35.7	33.2	
30	119.9	0.5408	35.7	33.6	
40	119.7	0.5498	35.7	34.0	
50	120.5	0.5597	35.6	34.3	
60	119.5	0.5666	35.6	34.6	
70	120.2	0.5738	35.6	34.8	
80	118.9	0.5779	35.6	35.2	
100	120.4	0.5848	35.5	35.5	
200	120.1	0.6240	35.5	37.2	
300	119.3	0.6506	35.6	37.4	
400	120.0	0.6691	35.6	36.5	
500	119.5	0.6892	35.9	35.6	
600	119.7	0.7043	35.9	34.8	
700	120.3	0.7179	36.1	34.5	
800	120.0	0.7286	35.9	34.5	
900	119.8	0.7398	35.8	34.8	
1000	119.5	0.7473	35.7	35.0	
1100	119.9	0.7573	35.7	35.3	
1200	119.9	0.7633	35.7	35.4	
1300	120.7	0.7700	35.7	35.4	
1400	119.5	0.7757	35.6	35.4	
1500	119.4	0.7822	35.7	35.4	
1600	119.8	0.7870	35.7	35.2	
1700	120.0	0.7925	35.7	35.1	
1800	119.8	0.7962	35.7	35.0	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.2397

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 8%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 8%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 2	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	121.3	0.6553	35.6	30.6	
20	120.0	0.6827	35.6	31.2	
30	119.7	0.7009	35.6	31.8	
40	120.5	0.7159	35.6	32.3	
50	119.3	0.7265	35.4	32.9	
60	119.3	0.7373	35.5	33.4	
70	119.7	0.7475	35.4	33.9	
80	120.7	0.7541	35.4	34.3	
100	120.0	0.7609	35.3	34.7	
200	120.3	0.8089	35.1	37.5	
300	120.7	0.8366	35.1	38.0	
400	120.4	0.8575	35.2	37.4	
500	120.1	0.8733	35.5	36.0	
600	120.9	0.8869	35.7	34.8	
700	120.7	0.8995	35.7	34.3	
800	120.6	0.9097	35.9	34.3	
900	120.3	0.9188	35.7	34.5	
1000	119.8	0.9251	35.7	34.9	
1100	119.8	0.9338	35.5	35.3	
1200	119.5	0.9398	35.6	35.5	
1300	119.6	0.9447	35.6	35.5	
1400	120.7	0.9496	35.6	35.3	
1500	119.9	0.9568	35.7	35.3	
1600	120.3	0.9615	35.6	35.1	
1700	120.3	0.9643	35.7	35.1	
1800	119.9	0.9700	35.7	35.2	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.0910

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 8%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 8%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 3	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	119.5	0.2886	38.5	34.8	
20	120.1	0.3104	38.6	34.8	
30	121.0	0.3270	38.6	34.7	
40	119.6	0.3412	38.6	34.6	
50	119.3	0.3531	38.6	34.6	
60	119.5	0.3600	38.6	34.6	
70	120.5	0.3688	38.6	34.5	
80	120.9	0.3776	38.6	34.5	
100	120.1	0.3842	38.5	34.5	
200	120.6	0.4270	38.3	34.1	
300	120.2	0.4518	38.0	34.0	
400	120.0	0.4703	37.6	34.2	
500	120.7	0.4831	37.3	34.5	
600	120.2	0.4935	37.1	35.0	
700	119.8	0.5018	36.9	35.2	
800	120.1	0.5080	36.8	35.2	
900	120.3	0.5144	36.7	35.2	
1000	120.6	0.5189	36.6	35.1	
1100	119.9	0.5232	36.4	35.0	
1200	119.8	0.5276	36.3	34.9	
1300	120.5	0.5323	36.3	34.8	
1400	119.9	0.5367	36.2	34.9	
1500	119.6	0.5396	36.1	34.9	
1600	119.5	0.5428	36.0	34.9	
1700	119.9	0.5450	36.0	34.9	
1800	119.5	0.5476	35.9	34.8	
1800	200.0	1.2832	43.9	40.8	

Strain During Conditioning Period (%) 0.085

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 10%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 10%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 1	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	66 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.4	0.5098	35.9	32.8	
20	119.9	0.5265	35.8	33.0	
30	119.9	0.5407	35.6	33.4	
40	119.7	0.5496	35.9	34.0	
50	120.7	0.5593	35.4	34.2	
60	119.4	0.5664	35.6	34.5	
70	120.2	0.5736	35.5	34.6	
80	118.8	0.5784	35.4	35.1	
100	120.3	0.5852	35.3	35.7	
200	120.2	0.6238	35.4	37.0	
300	119.5	0.6501	35.6	37.3	
400	119.9	0.6692	35.5	36.7	
500	119.4	0.6888	36.1	35.6	
600	119.7	0.7041	35.9	34.6	
700	120.4	0.7177	35.9	34.5	
800	120.2	0.7290	35.9	34.4	
900	119.8	0.7396	35.9	35.0	
1000	119.5	0.7469	35.9	35.2	
1100	119.6	0.7570	35.9	35.2	
1200	120.0	0.7637	35.9	35.6	
1300	120.4	0.7698	35.5	35.5	
1400	119.5	0.7760	35.4	35.6	
1500	119.7	0.7823	35.6	35.6	
1600	119.8	0.7873	35.6	35.3	
1700	119.8	0.7920	35.7	35.1	
1800	119.9	0.7964	35.6	35.1	
1800	199.7	1.2829	43.9	41.0	

Strain During Conditioning Period (%) 0.2303

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 10%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 10%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 2	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.5	0.5096	35.9	32.7	
20	120.0	0.5269	36.0	33.1	
30	119.7	0.5405	35.6	33.6	
40	119.5	0.5498	35.7	34.2	
50	120.8	0.5591	35.2	34.0	
60	119.4	0.5659	35.4	34.4	
70	120.5	0.5731	35.7	34.5	
80	118.7	0.5785	35.6	35.3	
100	120.3	0.5851	35.3	35.9	
200	120.2	0.6234	35.5	36.8	
300	119.4	0.6502	35.7	37.3	
400	120.1	0.6687	35.4	36.5	
500	119.6	0.6885	36.3	35.6	
600	119.4	0.7038	35.9	34.8	
700	120.6	0.7176	36.0	34.5	
800	120.1	0.7292	35.8	34.4	
900	119.5	0.7401	35.8	35.0	
1000	119.2	0.7469	35.9	35.4	
1100	119.5	0.7566	36.1	35.3	
1200	119.9	0.7636	36.1	35.6	
1300	120.4	0.7701	35.3	35.4	
1400	119.3	0.7762	35.3	35.7	
1500	119.8	0.7822	35.6	35.6	
1600	119.8	0.7869	35.7	35.3	
1700	120.1	0.7917	35.5	34.9	
1800	119.9	0.7969	35.6	35.0	
1800	199.9	1.2827	43.7	40.9	

Strain During Conditioning Period (%) 0.191

Remarks :

ผลการออกแบบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร โดยใช้ยาง NRMA 10%

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

อันดับทดลองที่ AC - วันที่ทดลอง -

โครงการฯ ทดสอบ REPEATED LOAD AXIAL TEST

หนังสือที่ - วันที่รับหนังสือ -

เจ้าของตัวอย่าง - ชนิดยาง NRMA 10%

REPEATED LOAD AXIAL TEST			
Specimen Name	No. 3	Test Temperature	35 deg.C
Specimen Bulk Density	2.382 gm/ml	Conditioning Stress	30 kPa
Specimen Diameter	102 mm	Conditioning Period	30 seconds
Specimen Thickness	65 mm	Test Stress	120 kPa
		Test Period	1800 pulses

Pulse No.	Stress (kPa)	Strain (%)	Temp.1	Temp.2	Remarks
10	120.6	0.5095	35.8	32.9	
20	120.0	0.5264	35.7	32.8	
30	119.9	0.5404	35.4	33.4	
40	119.5	0.5498	35.8	33.9	
50	120.7	0.5590	35.6	34.1	
60	119.4	0.5663	35.7	34.7	
70	120.5	0.5737	35.3	34.5	
80	118.8	0.5783	35.2	35.1	
100	120.1	0.5852	35.5	35.9	
200	120.0	0.6241	35.3	37.0	
300	119.7	0.6498	35.8	37.4	
400	120.1	0.6687	35.4	36.5	
500	119.2	0.6891	36.3	35.4	
600	119.8	0.7036	35.8	34.6	
700	120.1	0.7172	35.9	34.7	
800	120.2	0.7287	35.7	34.4	
900	119.8	0.7398	36.1	35.1	
1000	119.2	0.7473	36.0	35.2	
1100	119.5	0.7567	35.8	35.4	
1200	120.0	0.7641	36.1	35.7	
1300	120.1	0.7699	35.6	35.5	
1400	119.2	0.7761	35.3	35.5	
1500	119.4	0.7828	35.6	35.6	
1600	119.9	0.7877	35.7	35.4	
1700	119.9	0.7924	35.9	34.9	
1800	120.1	0.7962	35.7	35.1	
1800	199.8	1.2832	43.7	41.1	

Strain During Conditioning Period (%) 0.1855

Remarks :

ประวัติผู้เขียน

นายเทอดเกียรติ ไชยลาภ เกิดวันที่ 9 มิถุนายน 2521 ที่จังหวัดร้อยเอ็ด ที่อยู่ บ้านเลขที่ 26 หมู่ที่ 1 ถ.เทวภิบาล ต.เหนือเมือง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด บิดาชื่อ นายไพบูลย์ ไชยลาภ มารดาชื่อนาง ดาวเรือง ไชยลาภ สำเร็จการศึกษาระดับระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขา วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น ในปีการศึกษา 2545 และสำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ ในปีการศึกษา 2552 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้ารับราชการในตำแหน่ง นายช่างโยธา แขวงทางหลวงกาฬสินธุ์ เมื่อปี พ.ศ.2545 ปัจจุบันรับราชการตำแหน่ง วิศวกรโยธา แขวงทางหลวงขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่) สำนักงานทางหลวงที่ 7 กรมทางหลวง มีประสบการณ์ ทำงานในด้านการบำรุงรักษาทางหลวง การควบคุมงานก่อสร้างถนนและสะพานมาประมาณ 15 ปี มีความสนใจ ด้านการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ซึ่งต้องใช้หลักการบริหารงาน และ หลักวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ จึงเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรการบริหารงาน ก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2558

