



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ปริญญา

วิศวกรรมโยธา

วิศวกรรมโยธา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ใช้ยางแอสฟัลต์ 3 ชนิด โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Wheel Tracker

Comparison of Rutting Resistance of Asphalt Mixtures Using 3 Types of Asphalt

Binders by Wheel Tracker

นามผู้วิจัย นายณัฐพงษ์ อังสุพันธุ์โกศล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รองศาสตราจารย์พัฒน์ สอนวงษ์, วศ.ม. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( อาจารย์ธรรณวิน สวัสดิ์สถานต์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์ก่อโชค จันทรวงกูร, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ใช้ยางแอสฟัลต์ 3 ชนิด  
โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Wheel Tracker

Comparison of Rutting Resistance of Asphalt Mixtures Using 3 Types  
of Asphalt Binder by Wheel Tracker

โดย

นายณัฐพงษ์ อังสุพันธุ์โกศล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ณัฐพงษ์ อังสุพันธุ์โกศล 2553: การเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ใช้ยางแอสฟัลต์ 3 ชนิด โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Wheel Tracker ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์พิพัฒน์ สอนวงษ์, วศ.ม. 135 หน้า

ณ ปัจจุบันถนนในประเทศไทยต้องรองรับปริมาณจราจรที่หนาแน่นทำให้ถนนต้องเผชิญกับสภาพที่ต้องรับน้ำหนักสูง ทำให้ถนนเกิดการชำรุดเสียหายเร็วกว่าที่ควร โดยปัญหาความเสียหายส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นกับถนนแอสฟัลต์คอนกรีตคือการเกิดร่องล้อ ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อโดยใช้เครื่องมือ Wheel Tracker และทำการบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Roller compactor เพื่อจำลองสภาพการเกิดร่องล้อของถนนขณะรับน้ำหนักบรรทุกจราจร โดยวัสดุรวมที่ใช้ในการศึกษานี้ คือหินปูนได้มาจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี และหินแกรนิตได้มาจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ซึ่งใช้ขนาดคละเช่นเดียวกันกับโครงการและแอสฟัลต์ซีเมนต์ได้แก่ ยาง AC 40-50, AC60-70 และ PMA

จากผลการทดสอบ พบว่า วัสดุผสมแอสฟัลต์ที่มีความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีที่สุดคือแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 42.55 % และ 79.57 % ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 90.73 % และ 95.23 % ตามลำดับ

จากผลการทดสอบในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และ PMA มีคุณสมบัติในด้านความต้านทานการเกิดร่องล้อที่ดีกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 และเนื่องจากยาง AC 40-50 มีราคาที่ถูกกว่ายาง PMA แต่มีราคาที่ใกล้เคียงกับยาง AC 60-70 ผลจากงานวิจัยนี้จึงบ่งชี้ว่าควรมีการเปลี่ยนมาใช้ยาง AC 40-50 แทนยาง AC 60-70 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nattapong Angsuphankosol 2010: Comparison of Rutting Resistance of Asphalt Mixtures Using 3 Types of Asphalt Binders by Wheel Tracker. Master of Engineering (Civil Engineering), Major Field: Civil Engineering, Department of Civil Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Piphat Sornwong, M.Eng. 135 pages.

Many pavements in Thailand are currently subjected to high volume of traffic and especially heavy trucks. As a result, those pavements deteriorate at a very fast rate. Of all the distresses, rutting was found to be the major failure mode of flexible pavements in Thailand. Rutting resistance of asphalt concrete mixes were evaluated in this study using Wheel tracker. The specimens were prepared by roller compactor. Were conducted in this research to simulate the actual rutting condition in the pavement with the vertical load from traffic. Limestones used in two construction projects; Highway No.3 Choburi By pass and Highway No.9 Bang Pa-in - Bangplee. And granite aggregates used in the Suvarnabhumi-Chonburi section 5 highway construction project. were used in this study with the same gradations as they were used in the three projects. There types of asphalt binder; AC 40-50, AC 60-70 and polymer modified asphalt (PMA) were used together with the limestones to produce asphalt concrete mixes. were used to produce asphalt concrete materials in this study.

Results of Rutting resistance test indicated that in asphalt mixtures Limestones aggregates used in Highway No.9 Bang Pa-in – Bangplee had the highest Rutting resistance. At 40 degree celcius asphalt concrete materials with AC 40-50 and asphalt concrete materials with PMA had the higher Rutting resistance than asphalt concrete materials with AC 60-70 is 42.55 % and 79.57 % At 60 degree celcius asphalt concrete materials with AC 40-50 and asphalt concrete materials with PMA had the higher Rutting resistance than asphalt concrete materials with AC 60-70 is 90.73 % and 95.23 %

Based on the test results of asphalt concrete materials in the research, it can be concluded that asphalt concrete materials with AC 40-50 and PMA have superior properties of rutting resistance are almost the same and better than asphalt concrete materials with AC 60-70. Since the costs of AC 40-50 and AC 60-70 are indifferent, it is suggested in this study that the binder type of asphalt concrete materials in Thailand should be changed from AC 60-70 to AC 40-50.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์พิพัฒน์ สอนวงษ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ชั้นวิน สวัสดิ์สานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ และคำปรึกษา อันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์ชั้นวิน สวัสดิ์สานต์ ที่ให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์ในการให้ใช้ วัสดุ สถานที่ อุปกรณ์ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ที่ให้การช่วยเหลือให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อบรมสั่งสอน อุปการะเลี้ยงดู เป็นกำลังใจ และสนับสนุนจนผู้วิจัยประสบความสำเร็จมาจนถึงทุกวันนี้

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่ บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

ณัฐพงษ์ อังสุพันธุ์โกศล

มีนาคม 2553

## สารบัญ

	หน้า	
สารบัญ	(1)	
สารบัญตาราง	(2)	
สารบัญภาพ	(12)	
คำนำ	1	
วัตถุประสงค์	2	
การตรวจเอกสาร	3	
อุปกรณ์และวิธีการ	19	
อุปกรณ์	19	
วิธีการ	21	
ผลและวิจารณ์	35	
สรุปและข้อเสนอแนะ	47	
สรุป	47	
ข้อเสนอแนะ	50	
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	51	
ภาคผนวก	54	
ภาคผนวก ก	ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์และวัสดุผสมรวม ผลการทดสอบวัสดุรวม	55
ภาคผนวก ข	ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างและ ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อ	63
ภาคผนวก ค	ขั้นตอนการบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Roller Compactor และขั้นตอนการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อ ด้วยเครื่อง Wheel Tracker	121
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	135	

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจัดขนาดคละของมวลรวมหินปูนชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีที่ใช้ในการทดสอบ	23
2	การจัดขนาดคละของมวลรวมหินปูนชั้น Bound base จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีที่ใช้ในการทดสอบ	24
3	การจัดขนาดคละของมวลรวมหินแกรนิตชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่ใช้ในการทดสอบ	25
4	ปริมาณยางที่ใช้	26
5	ค่าความหนาแน่นตามที้ออกแบบไว้	29
6	แรงดันและจำนวนรอบในการบดอัดที่ใช้	29
7	ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส	36
8	ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส	37
9	ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส	38
10	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัวของหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 5,20,35,50 และ 60 องศาเซลเซียส	44
11	ผลการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำของหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส	44

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
12	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัวของหินปูนจากจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 5, 20, 35, 50 และ 60 องศาเซลเซียส	45
13	ผลการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำของหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส	45
14	ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวของหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 5, 20, 35, 50 และ 60 องศาเซลเซียส	46
15	ผลการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำของหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส	46
16	เปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และ PMA เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้ในปัจจุบัน	49
17	เปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อเปรียบเทียบกับหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี	49
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับยาง AC 40-50	56
ก2	ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับยาง AC 60-70	56
ก3	ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับยางโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ (PMA)	57

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก4	ผลการทดสอบวัสดุหินปูนจาก โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีที่ใช้ออกแบบก้อนตัวอย่าง	58
ก5	ผลการทดสอบวัสดุปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีที่ใช้ออกแบบก้อนตัวอย่าง	59
ก6	ผลการทดสอบวัสดุหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่ใช้ออกแบบก้อนตัวอย่าง	60
ก7	ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด	61
ก8	ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบ	62
ข1	ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี	64
ข2	ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี	65
ข3	ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5	66
ข4	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	67
ข5	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	68
ข6	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	69
ข7	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	70

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข8	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	71
ข9	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	72
ข10	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	73
ข11	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	74
ข12	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	75
ข13	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	76
ข14	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	77
ข15	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	78

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข16	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	79
ข17	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	80
ข18	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	81
ข19	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	82
ข20	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	83
ข21	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	84
ข22	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	85
ข23	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลึซของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	86

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข24	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	87
ข25	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	88
ข26	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	89
ข27	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	90
ข28	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	91
ข29	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	92
ข30	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	93
ข31	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับบาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	94

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข32	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	95
ข33	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	96
ข34	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	97
ข35	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	98
ข36	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	99
ข37	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	100
ข38	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	101
ข39	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื่นของมวลรวมหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี กับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	102

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข40	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	103
ข41	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	104
ข42	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	105
ข43	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	106
ข44	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	107
ข45	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	108

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข46	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื้อของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	109
ข47	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื้อของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	110
ข48	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื้อของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	111
ข49	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื้อของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	112
ข50	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื้อของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	113
ข51	ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลื้อของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	114

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข52 ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	115
ข53 ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	116
ข54 ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	117
ข55 ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1	119
ข56 ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2	119
ข57 ตัวอย่างผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องลือของมวลรวม หินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3	120

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การจัดขนาดคละที่มีความหนาแน่นมากที่สุดสำหรับขนาดใหญ่สุด 19 มม.	6
2	ขีดจำกัดการจัดขนาดคละระบบซูเปอร์เฟฟ	7
3	แผนผังส่วนประกอบของก้อนตัวอย่างที่บดอัดแล้วของ HMA	8
4	รอยร่องล้อที่เกิดจากชั้นดินเดิมอ่อนแอ	11
5	รอยร่องล้อที่เกิดจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตอ่อนแอ	11
6	เครื่อง Roller Compactor	20
7	เครื่อง Wheel Tracker	20
8	การจัดขนาดคละของหินปูน ชั้น wearing course จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรีที่ใช้ในการทดสอบ	21
9	การจัดขนาดคละของมวลรวมหินปูนชั้น Bound base จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีที่ใช้ในการทดสอบ	22
10	การจัดขนาดคละของหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่ใช้ในการทดสอบ	22
11	การ Calibrate ก้อนตัวอย่าง	27
12	การตรวจสอบก้อนตัวอย่าง	28
13	ทิศทางและระยะการเคลื่อนที่ของล้อในงานวิจัย	31
14	รูปแบบการเก็บข้อมูล Wheel Track Test ในงานวิจัย	32
15	รูปแบบการทดสอบ Wheel Track Test ในงานวิจัย	32
16	ขั้นตอนการดำเนินงาน	33
17	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	39
18	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	39

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส	40
20	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส	40
21	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิต จากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส	41
22	แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิต จากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส	41
<b>ภาพผนวกที่</b>		
ค1	สวิตช์แรงดันลม	122
ค2	แผนควบคุมเครื่อง Roller Compactor	122
ค3	สวิตช์ปรับจำนวนรอบการบดอัด	123
ค4	แบบและหลักกรอบแบบ	124
ค5	การเคลื่อนย้ายวัสดุผสมแอสฟัลต์	124
ค6	สวิตช์ควบคุมอุณหภูมิ	125
ค7	โปรแกรมที่ใช้ทดสอบ	125
ค8	คำแนะนำในการใช้โปรแกรม	126
ค9	การบันทึกข้อมูลในโคเร็คทอรี	127
ค10	การใส่ข้อมูลในการทดสอบ	128
ค11	การตั้งค่าหัววัดระยะความลึกของร่องล้อ (LVDT)	129

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ค12	การเจาะรูเพื่อใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิก่อนตัวอย่าง	130
ค13	การวางก้อนตัวอย่างบนพื้นผิวแผ่นซีพบอร์ด	130
ค14	การใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิก่อนตัวอย่าง	131
ค15	การวางล้อยางบนก้อนตัวอย่าง	131
ค16	หัววัดระยะความลึกของร่องล้อย (LVDT)	132
ค17	ตุ้มน้ำหนัก	133
ค18	หน้าจอแสดงผล	133

## การเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ใช้ยางแอสฟัลต์ 3 ชนิดโดยใช้เครื่องมือทดสอบ Wheel Tracker

### Comparison of Rutting Resistance of Asphalt Mixtures Using 3 Types of Asphalt Binders by Wheel Tracker

#### คำนำ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยได้มีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม จึงทำให้มีการพัฒนาทางด้านคมนาคม เพื่อให้เกิดการติดต่อถึงกันมากขึ้น โดยเฉพาะในภาค การขนส่ง ส่งผลให้เกิดการก่อสร้างถนนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) การจราจรที่หนาแน่นในปัจจุบันทำให้ถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเผชิญกับ สภาพที่ต้องรับน้ำหนักสูงและเกิดการชำรุดเสียหายเร็วกว่าที่ควร โดยเฉพาะการเกิดร่องล้อ โดยการ เกิดร่องล้อนี้จะทำให้ถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตไม่ราบเรียบจนทำให้เกิดอุบัติเหตุแก่ผู้ใช้รถและ ถนนได้

ถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นผิวทางยึดหยุ่นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเนื่องจาก เป็นถนนที่สามารถรับรองปริมาณจราจรสูง มีความแข็งแรงทนทานผิวเรียบแน่นรับน้ำหนักได้สูง การบำรุงรักษาง่ายและถูกกว่าผิวทางคอนกรีต วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ผสมกับมวลรวม (Aggregate) ทำการผสมแบบชนิดร้อน (Hot Mix) จากนั้น จึงนำไปปูทำเป็นผิวทางของถนนในขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่แล้วบดทับให้แน่นและเรียบ ผิวทาง ที่ได้จะสามารถรับน้ำหนักได้ดี โดยความเสียหายของถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ การเกิดร่องล้อ (Rutting) การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Cracking) และการแตกร้าวเนื่องจากการล้า (Fatigue Cracking)

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อโดยใช้ เครื่องมือทดสอบ Wheel Tracker โดยใช้วัสดุมวลรวมสองชนิดได้แก่ หินปูนและหินแกรนิต เพื่อเป็นการเปรียบเทียบให้เห็นถึงความแตกต่างของวัสดุมวลรวมหินปูนกับหินแกรนิต และ เปรียบเทียบการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ 3 ชนิด ได้แก่ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 40-50, แอสฟัลต์ ซีเมนต์เกรด AC 60-70 และแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท PMA หรือ (Polymer Modified Asphalt)

## วัตถุประสงค์

ในการศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ใช้ยางแอสฟัลต์ 3 ชนิด โดยใช้เครื่องมือทดสอบ Wheel Tracker
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ในการก่อสร้างถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

### ขอบเขตของการศึกษา

1. มวลรวมที่ใช้ในการศึกษาใช้จาก 3 แหล่งที่ใช้ก่อสร้างจริงคือ หินปูนที่ใช้ในโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี, หินปูนที่ใช้ในโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีและหินแกรนิตที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5
2. ชนิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 40-50, แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60-70 และ โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์หรือ (PMA) แบบ Styrene Butadiene Styrene (SBS)
3. ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบการเกิดร่องล้อ โดยทำการบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Roller compactor และทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อ โดยใช้เครื่อง Wheel tracker ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส

## การตรวจเอกสาร

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึงถนนที่มีชั้นผิวทางก่อสร้างด้วยแอสฟัลต์ ประกอบไปด้วยชั้นผิวทางที่มีมวลรวมเคลือบประสานด้วยแอสฟัลต์ จากนั้นรองรับด้วยชั้นพื้นทางซึ่งใช้วัสดุหินคลุก ชั้นรองพื้นทางใช้วัสดุหินลูกรังและชั้นดินเดิมใช้ทราย ตามลำดับ แต่ละชั้นของโครงสร้างถนนต้องมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติอื่นที่จำเป็นเพื่อรักษาสภาพถนนไว้ใช้ตลอดช่วงระยะเวลาของการบริการ (Asphalt Institute, 1983)

#### 1. มวลรวมที่ใช้ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์

มวลรวม หมายถึง วัสดุแข็ง เลื่อย เป็นชิ้นส่วนเล็กๆ หรือเม็ดของส่วนประกอบแร่ ได้แก่ ทราย กรวด หินย่อย หินฝุ่นและตะกรัน ซึ่งใช้กับตัวกลางที่ทำหน้าที่เชื่อมประสาน เช่น แอสฟัลต์ ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ หรือใช้ทำชั้นพื้นทาง รองพื้นทางของถนนเพราะสามารถจับตัวเป็นก้อนแข็งได้ (Asphalt Institute, 1983)

Asphalt Institute (1998) ได้แบ่งหินตามการกำเนิดที่แตกต่างกันทางธรณีวิทยาได้ 3 จำพวก คือ

1. หินอัคนี (Igneous Rock) เกิดจากการเย็นตัวและแข็งตัวของวัสดุร้อนหลอมละลาย เรียกว่า หินหนืด (Magma) ซึ่งระเบิดพุ่งออกจากเปลือกโลก หรือขังตัวใต้เปลือกโลก ดังนั้นจึงแบ่งหินอัคนีออกเป็นหินที่เกิดจากแมกมาไหลออกมาจากเปลือกโลกแล้วแข็งตัวเมื่อเย็นตัวลง (Extrusive Rock) ส่วนมากมักเกิดจากภูเขาไฟ มีโครงสร้างใสเหมือนแก้ว เช่น แรโอไลท์ (Rhyolite) แอนดีไซต์ (Andesite) บะซอลท์ (Basalt) เป็นต้น อีกประเภทหนึ่ง คือ หินที่เย็นตัวและแข็งตัวใต้เปลือกโลก เป็นหินแทรกตัวในชั้นหินใต้เปลือกโลก ลักษณะเนื้อหินเป็นผลึก เช่น แกรนิต (Granite) ไดโอไรท์ (Diorite) แกบโบร (Gabbro) เป็นต้น เนื่องจากมีการก่อตัวภายใต้ผิวโลก ดังนั้นจะพบเห็นโพลีซีเมนมาจากผิวโลกต่อเมื่อมีการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกหรือมีการกัดเซาะเปลือกโลก

2. หินตะกอน (Sedimentary Rock) เกิดจากการทับถมสะสมรวมตัวกันของตะกอน ซึ่งเคลื่อนที่พัดพาโดยทางน้ำ ธารน้ำแข็งหรือลม เป็นเวลานานๆ จนในที่สุดแข็งตัวกลายเป็นหิน ตะกอนที่ทับถมสะสมรวมกัน อาจเป็นชั้นส่วนเล็กๆ หรืออนุภาคขนาดต่างๆ ของทรายกรวด เศษหิน ดิน โคลน ซากพืชซากสัตว์ ตลอดจนตะกอนจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือจากการระเหยของน้ำ ลักษณะหินตะกอนจะมีโครงสร้างเป็นชั้นๆ จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า หินชั้น หิน ประเภทนี้ได้แก่ หินปูน (Limestone) หินทราย (Sandstone) เป็นต้น

3. หินแปร (Metamorphosed Rock) เกิดจากการแปรสภาพของหินอัคนีและหินตะกอน เนื่องจากความกดดันสูงจากการเคลื่อนตัวอย่างรุนแรงของโลก และจากความร้อนสูงหรือสารละลาย ปริมาณมาก ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นซับซ้อนและยุ่งยากมากที่จะกำหนด รูปแบบดั้งเดิมของหินที่เปลี่ยนแปลง ลักษณะเด่นที่พบบ่อยแยกชนิดหินแปรคือ ประเภทที่แร่ประกอบหิน เรียงต่อกันเป็นระนาบขนาน การจัดเรียงตัวขนานกันนี้เรียกว่า โฟลিয়েชัน (Foliation) ซึ่งจะเป็นแนว หรือร่องรอยที่สามารถแยกเนื้อหินออกได้ง่ายกว่าแนวอื่นๆ ตัวอย่างหินประเภทนี้ได้แก่ ไนส์ (Gneisses) แปรสภาพมาจากหินอัคนี หินอ่อน (Marble) แปรสภาพมาจากหินปูน หินเขียวหนุมาน (Quartzite) แปรสภาพมาจากหินทราย เป็นต้น

หินปูนจัดเป็นหินตะกอนชนิดหนึ่ง เกิดจากการสลายตัวของหินใดๆ ก็ได้โดยทางเคมีหรือทางกายภาพจนหลุดเป็นตะกอนเป็นวัตถุที่มีลักษณะร่วนของเศษหิน ผลของการสลายตัวตะกอน อาจเกิดจากการทับถมอัดตัว และขบวนการแข็งตัว ที่อุณหภูมิและความดันธรรมดา กลายเป็น หินตะกอนสะสมอยู่กับที่ แต่ส่วนมากจะถูกแม่น้ำลำธารพัดพาไปสะสมที่อื่น แล้วจึงถูกขบวนการทางธรณีวิทยาทำให้เกิดเป็นหินตะกอน โดยหินปูนที่นำมาทดสอบได้มาจาก 2 โครงการคือ โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรีและโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี

หินแกรนิตเป็นหินอัคนีที่กำเนิดใต้พื้นผิวโลก เป็นหินที่มีเนื้อหยาบ ผลึกเกาะกันแน่น โดยทั่วไปมักจะเป็นหินสีจาง แร่ส่วนใหญ่เป็นแร่พวกเฟลด์สปาร์และควอร์ตเป็นหินที่มีความพรุนต่ำและมีค่ากำลังวัสดุสูง โดยหินแกรนิตที่นำมาทดสอบได้มาจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5

## 2. การจัดขนาดคละ

โดยงานวิจัยนี้ใช้ขนาดคละที่ใช้ก่อสร้างจริงซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ ความเป็นมาของวิธีซูเปอร์เพฟ (Super pave) ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน การออกแบบส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย กรมทางหลวงซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบดูแลงาน ออกแบบและก่อสร้างถนนสายหลักของประเทศ ได้มีมาตรฐานในการออกแบบตั้งแต่การคัดเลือก วัสดุที่นำมาใช้ คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์และวัสดุมวลรวม ซึ่งแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยทั่วไปแล้วหากไม่มีการระบุที่เป็นพิเศษจะเลือกใช้ประเภท AC 60-70 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการแบ่งประเภทแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามค่า เบนดิเรชัน สำหรับวัสดุมวลรวมนั้นต้องมีการทดสอบ คุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ และมีขนาดคละที่เหมาะสมกับงานแต่ละลักษณะแตกต่างกันไปจากนั้นวิธี ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมเพื่อหาว่าควรใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ปริมาณเท่าใดนั้นจะใช้วิธี ออกแบบส่วนผสมวิธีของมาร์แชลล์ (Marshall Mix Design) ซึ่งในอดีตเคยเป็นที่นิยมใช้กันอย่าง แพร่หลายในต่างประเทศ

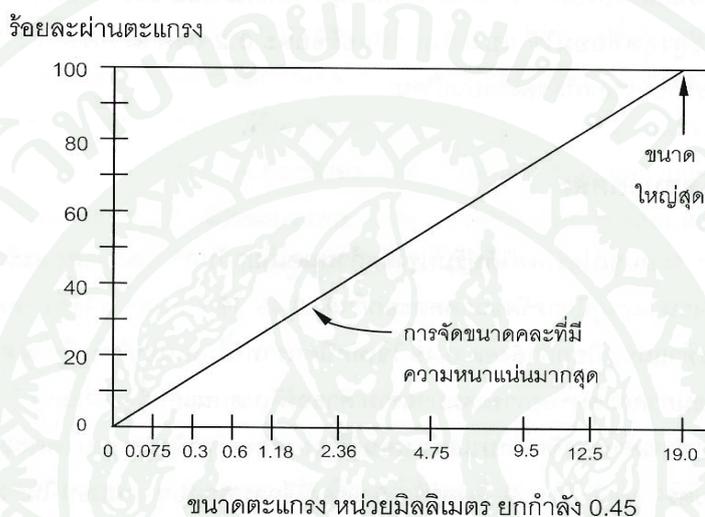
ปี ค.ศ. 1987 โครงการ SHRP (The Strategic Highway Research Program) ได้เริ่มพัฒนา ข้อกำหนดของวัสดุแอสฟัลต์ขึ้นมาใหม่ เรียกว่า ซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE ย่อมาจาก Superior Performing Asphalt Pavements) ซึ่งเป็นลักษณะของการรวบรวมข้อกำหนดการเลือกวัสดุ วิธีการ ทดสอบวัสดุ วิธีการออกแบบและควบคุมคุณภาพการก่อสร้างถนนที่มีผิวชนิดแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมุ่งเน้นคุณภาพในการใช้งานในสนามเป็นหลัก

จากภาพที่ 1 การจัดขนาดคละที่มีความหนาแน่นมากที่สุดจะแสดงการจัดขนาดคละ ซึ่งอนุภาคต่างๆ ของมวลรวมจับตัวกันพอเหมาะตามสภาพความหนาแน่นมากที่สุดที่จะเป็นไปได้ และยังแสดงแผนภูมิการจัดขนาดคละยกกำลัง 0.45 กับการจัดขนาดคละที่มีความหนาแน่นมากที่สุดสำหรับมวลรวมขนาดใหญ่ที่สุด 19.0 มม.

ลักษณะของแผนภูมิจากภาพที่ 1 นี้คือการจัดขนาดคละที่มีความหนาแน่นมากที่สุด การจัด ขนาดคละนี้จะพล็อตเป็นเส้นตรงจากขนาดมวลรวมใหญ่สุดจนถึงจุดกำเนิด ในระบบซูเปอร์เพฟ ใช้คำจำกัดความขนาดมวลรวมดังนี้

ขนาดใหญ่ที่สุด (Maximum size) คือขนาดตะแกรงใหญ่กว่าหนึ่งชั้นของขนาดใหญ่ที่สุดที่ระบุ

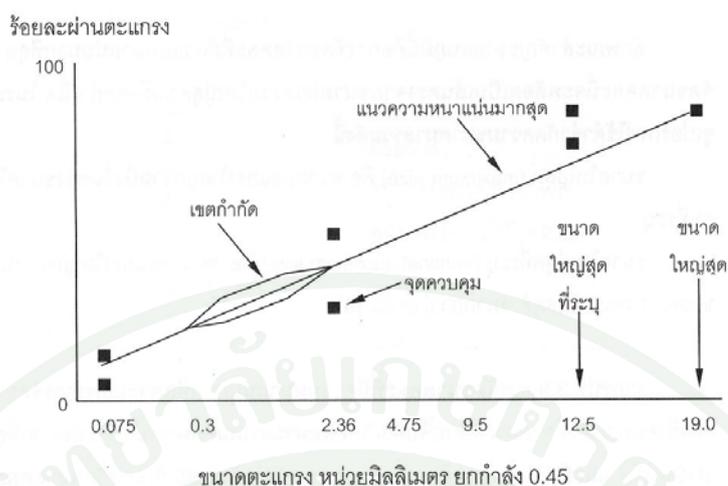
ขนาดใหญ่ที่สุดที่ระบุ (Nominal maximum size) คือ ขนาดตะแกรงใหญ่กว่าหนึ่งชั้นของตะแกรงแรกที่วัสดุค้ำมากกว่าร้อยละ 10



ภาพที่ 1 การจับขนาดคละที่มีความหนาแน่นมากที่สุดสำหรับขนาดใหญ่ที่สุด 19 มม.

ที่มา: วัชรินทร์ (2547)

เขตจำกัด (Restricted zone area) มีอาณาเขตอยู่ตามแนวการจับขนาดคละที่มีความหนาแน่นมากที่สุดระหว่างตะแกรงขนาดกลาง (2.36 มม.) และตะแกรงขนาด 0.3 มม. ภาพที่ 2 แสดงจุดควบคุมและเขตจำกัด สำหรับส่วนผสมซูเปอร์เฟล 12.5 มม. เขตจำกัดจะก่อให้เกิดแถบตลอดช่วงที่การจับขนาดคละไม่ผ่านข้อกำหนด การจับขนาดคละที่ผ่านเขตจำกัดมีชื่อเรียกว่า การจับขนาดคละแบบ Humped Gradation ในกรณีส่วนมากการจับขนาดคละแบบ Humped Gradation ซึ่งให้เห็นว่าเป็นส่วนผสมที่มีทรายมากเกินไปหรือเป็นส่วนผสมที่มีทรายละเอียดมากเกินไปเมื่อเทียบกับทรายทั้งหมด การจับขนาดคละแบบนี้มักมีผลกับส่วนผสมในแง่ที่ว่าก่อให้เกิดปัญหาในการบดอัดยุ่งยากในช่วงระหว่างการก่อสร้างและมักลดความต้านทานต่อการเสีรूपอย่างถาวรในช่วงอายุการใช้งาน ให้บริการแก่การจราจร



## ภาพที่ 2 จำกัดจำกัดการจัดขนาดคละระบบซูเปอร์เฟฟ

ที่มา: วัชรินทร์ (2547)

เขตจำกัดกีดกันการจัดขนาดคละจากการตามแนวความหนาแน่นสูงสุดในตะแกรงมวลรวมละเอียด การจัดขนาดคละที่ตามการจัดขนาดคละที่มีความหนาแน่นสูงสุดนี้ มักจะมีค่า VMA (Voids in the mineral aggregate) ไม่เพียงพอที่จะยอมให้มีแอสฟัลต์มากพอสำหรับความทนทานที่ต้องการ การจัดขนาดคละเป็นสิ่งที่ไวต่อปริมาณแอสฟัลต์ และสามารถกลายเป็นพลาสติกได้ง่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอสฟัลต์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

### 3. คุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

#### 3.1 ช่องว่างอากาศ

ช่องว่างอากาศ (Air Voids,  $V_a$ ) ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆของอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างอนุภาคทั้งหมดของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ในส่วนผสม แสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสม ดังแสดงในภาพที่ 3 ปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความทนทานของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศน้อย น้ำและอากาศมีโอกาสซึมผ่านเข้าไปทำลายการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้น้อยทำให้ผิวทางมีอายุยาวนาน อย่างไรก็ตาม ปริมาตรช่องว่างอากาศมีน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวหน้าถนนได้

### 3.2 ช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม

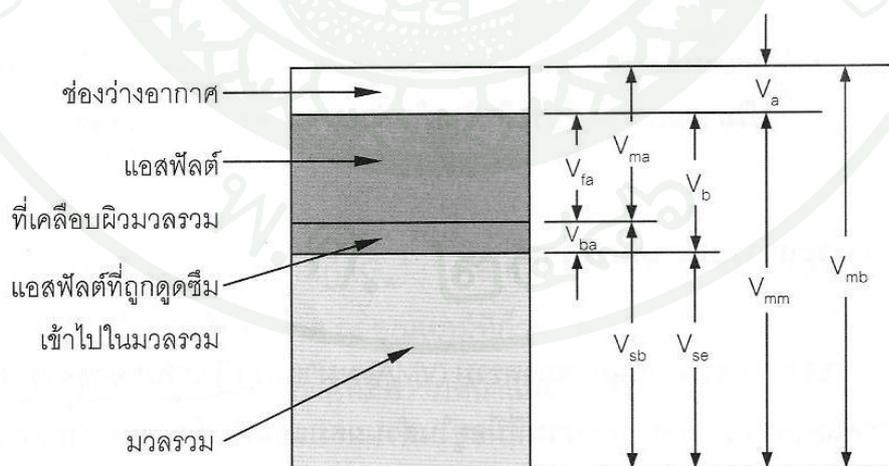
ช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม (VMA, Voids in the mineral aggregate) หมายถึง ปริมาตรของช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละอนุภาคของมวลรวมที่มีอยู่ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ซึ่งเป็นผลรวมของช่องว่างอากาศกับปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล แสดงค่าเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมดของส่วนผสม ดังแสดงในภาพที่ 3

### 3.3 ช่องว่างที่บรรจุด้วยแอสฟัลต์

ช่องว่างที่บรรจุด้วยแอสฟัลต์ (VFA, Voids filled with asphalt) หมายถึง ค่าร้อยละของปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคต่างๆ ของมวลรวมที่บรรจุด้วยปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล จึงแสดงเป็นอัตราส่วนของ  $(VMA - V_v)$  กับ VMA ดังแสดงในภาพที่ 3

### 3.4 ปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล

ปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล ( $P_{be}$ ) หมายถึง ปริมาณแอสฟัลต์ที่ได้จากผลแตกต่างระหว่างปริมาณแอสฟัลต์ทั้งหมดของส่วนผสมกับปริมาณแอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคทั้งหมดของมวลรวมในส่วนผสม ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังส่วนประกอบของก้อนตัวอย่างที่บดอัดแล้วของ HMA

ที่มา: วัชรินทร์ (2547)

$V_{ma}$	=	ปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม
$V_{mb}$	=	ปริมาตรที่กีดกันของส่วนผสมที่บดอัดแล้ว
$V_{mm}$	=	ปริมาตรปราศจากช่องว่างของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
$V_{fa}$	=	ปริมาตรของช่องว่างที่บรรจุด้วยแอสฟัลต์
$V_a$	=	ปริมาตรของช่องว่างอากาศ
$V_b$	=	ปริมาตรของแอสฟัลต์
$V_{ba}$	=	ปริมาตรของแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึม
$V_{sb}$	=	ปริมาตรของมวลรวมโดยความถ่วงจำเพาะที่กีดกัน
$V_{sc}$	=	ปริมาตรของมวลรวมโดยความถ่วงจำเพาะประสิทธิภาพ

#### 4. แอสฟัลต์ซีเมนต์

แอสฟัลต์ซีเมนต์คือผลิตภัณฑ์แอสฟัลต์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ เป็นสีดำ ในอุณหภูมิบรรยากาศปกติจะมีความเหนียวและความหนืด มีลักษณะกึ่งของแข็งเมื่อให้ความร้อนจะอ่อนตัวและจะแข็งตัวเมื่อเย็นลง การแบ่งเกรดใช้การทดสอบด้วย Penetration Test ซึ่งมีเกรดมาตรฐานอยู่ 5 เกรด คือ 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 และ 200-300 ตัวเลขของเกรดจะแสดงความอ่อนความแข็งของแอสฟัลต์ เกรดอ่อนที่สุดคือ 200-300 เกรดที่แข็งที่สุดคือ 40-50 การผลิตออกมาหลายเกรดเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน แอสฟัลต์ซีเมนต์ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน เคลือบผิววัสดุมวลรวมและจับตัวเข้าด้วยกันทำให้ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความแข็งแรง และมีความทนทาน

โพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ คือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการผสมสารโพลิเมอร์ที่มีขนาดอนุภาคขนาดเล็ก โดยใช้เครื่องผสมชนิดแรงเฉือนเพื่อให้โพลิเมอร์กระจายตัวและคงสภาพอยู่ได้ในแอสฟัลต์โพลิเมอร์ คือสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มวลโมเลกุลสูง เกิดจากการรวมตัวของสารโมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่า โมโนเมอร์จำนวนมากมาเกิดพันธะเชื่อมต่อกัน โดยทั่วไปแล้วโพลิเมอร์สามารถที่จะแยกออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) อีลาสโตเมอร์ (Elastomers) หมายถึงวัสดุที่แสดงพฤติกรรมหยุ่นตัวได้ นั่นคือที่อุณหภูมิห้องวัสดุดังกล่าวสามารถรองรับการยืดตัวได้อย่างน้อยสองเท่าของความยาวเดิมด้วยแรงกระทำที่ต่ำและสามารถปรับตัวสู่สภาพเดิมได้เองเมื่อปลดปล่อยแรงกระทำ ยังมีประเภทย่อยๆ

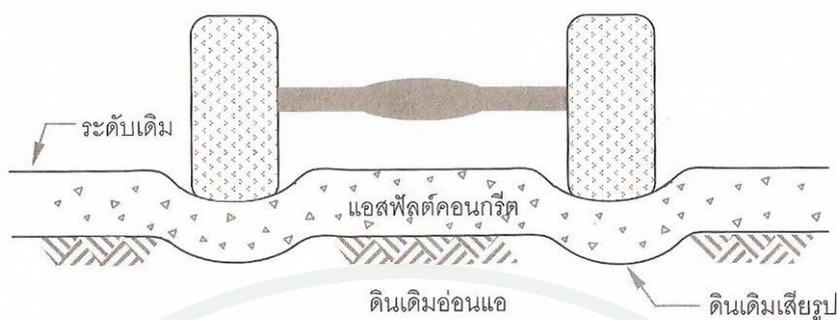
ไปอีกซึ่งรวมไปถึง Homopolymers, Random Copolymers หรือ Styrene Butadiene Rubber (SBR) และ Block Copolymers หรือ Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) ได้มาจากการก่อตัวขึ้นของกระบวนการโพลิเมอไรเซชันระหว่าง Styrene และ Butadiene โดยทั่วไป จะมี 2 ขั้นตอนเกิดในกระบวนการ โดยขั้นตอนแรก Styrene จะได้รับการโพลิเมอไรซ์เพื่อก่อตัวขึ้นเป็น Polystyrene Blocks ที่มีมวลโมเลกุลตามที่ต้องการ เช่นเดียวกับขั้นที่สอง Butadiene จะได้รับการโพลิเมอไรซ์เพื่อก่อตัวขึ้นเป็น Polybutadiene Blocks ที่มีมวลโมเลกุลตามต้องการ จากนั้นทั้งสอง blocks ได้รับการโพลิเมอไรซ์ร่วมกันอีกครั้งหนึ่ง การผลิต (SBS) หากได้รับการควบคุมองค์ประกอบต่างๆ อย่างเหมาะสมแล้วผู้ผลิตสามารถพัฒนาผลิตส่วนผสมโพลิเมอร์แอสฟัลต์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เป็นที่ต้องการคือ มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำค่อนข้างคงที่และไม่สูงเกินค่าวิกฤติที่จะเกิดการแตกร้าว (Thermal cracking) ส่วนที่อุณหภูมิสูงก็มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่สามารถป้องกันการเปลี่ยนรูปร่างถาวร (Permanent Deformation)

2) พลาสโตเมอร์ (Plastomers) เป็นวัสดุออร์แกนิกที่มีมวลโมเลกุลสูงที่สามารถได้รับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ นอกจากนี้ Plastomers ยังสามารถก่อตัวโครงสร้างสามมิติที่แข็งแรงทนทานต่อการอ่อนตัวได้และมีกำลังสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรกภายใต้การรับน้ำหนัก

โดยงานวิจัยนี้จะใช้โพลิเมอร์โอดีไฟด์แอสฟัลต์ประเภท Elastomers แบบ Styrene-Butadiene-Styrene (SBS)

## 5. การเกิดร่องล้อในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

การเกิดร่องล้อ (Rutting) ของถนนลาดยางมี 2 กรณีด้วยกันคือ กรณีที่ 1 ร่องล้อเกิดขึ้นโดยมีแรงกระทำต่อชั้นดินเดิมหรือชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางมากเกินไปดังภาพที่ 4 กรณีที่ 2 ชนิดของร่องล้อจะเกี่ยวพันกับส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือ ผลของร่องล้อเกิดจากส่วนผสมของมวลรวมที่มีกำลังเหนียวไม่มากพอ ที่จะต้านทานแรงที่มากระทำซ้ำๆ ได้ดังภาพที่ 5 โดยวิธีที่จะช่วยเพิ่มความต้านทานความเค้นเหนียวของส่วนผสมคือ ใช้วัสดุเชื่อมประสานที่มีหนืดขึ้นและมีความยืดหยุ่น ณ อุณหภูมิของผิวทางที่สูงๆ



ภาพที่ 4 รอยร่องล้อที่เกิดจากชั้นดินเดิมอ่อนแอ

ที่มา: วัชรินทร์ (2547)



ภาพที่ 5 รอยร่องล้อที่เกิดจากส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตอ่อนแอ

ที่มา: วัชรินทร์ (2547)

### การศึกษาในอดีตที่เกี่ยวข้อง

สมัคร (2539) ได้ศึกษาการนำโพลิเมอร์โมดิไฟด์แอสฟัลต์ซีเมนต์มาใช้เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โพลิเมอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงคือ SBS และ EVA จากการศึกษาโดยนำโพลิเมอร์ทั้งสองมาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ แล้วนำไปทดสอบหาคูณสมบัติตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง พบว่าที่อัตราส่วน % SBS : % EVA เป็น 6% : 1% มีคุณสมบัติในด้านความยืดหยุ่น การคืนตัวรวมทั้งความเหนียวของเนื้อวัสดุดีกว่า AC 60-70 และจากการทดสอบก่อนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีต ปรากฏว่าค่าเสถียรภาพมีค่ามากขึ้น มีความต้านทานต่อการหลุดลอกได้ดีกว่า มีความหยุ่นตัวโดยไม่เกิดการแตกร้าว

Denning and Carswell (1981) ได้ศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์โพลีเมอร์โมดิฟายด์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอทิลีนไวนิลอะซีเตตหรือ EVA ประมาณ 2 – 5% โดยน้ำหนัก ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

1. ค่าเพนิเตรชันของแอสฟัลต์ปรับปรุงคุณภาพด้วย EVA โดยใช้ปริมาณของ EVA เท่ากับ 2, 3.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าลดลง 4, 15 และ 21 ตามลำดับ
2. อุณหภูมิจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ปรับปรุงคุณภาพด้วย EVA โดยใช้ปริมาณของ EVA เท่ากับ 3, 5.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าเพิ่มขึ้น 8, 12 และ 18 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
3. การทรุดตัวเป็นร่อง (rutting) ของชั้นผิวทางโดยใช้ Rolled asphalt ปรับปรุงคุณภาพด้วย EVA ปริมาณเท่ากับ 2, 3.5 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทดสอบโดยวิธี Wheel Tracking ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส วัดการทรุดตัวเป็นร่องได้ 1.2, 0.9 และ 0.4 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ผิวทางของแอสฟัลต์ไม่ปรับปรุงคุณภาพวัดได้ 3.2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

โกสินทร์ (2545) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งใช้หินปูนผสมด้วยมัลติเกรดเปรียบเทียบกับที่ผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 โดยบดอัดวิธีมาร์แชลล์ และด้วยเครื่อง Gyrotory Compactor จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า

1. มัลติเกรดเป็นยางที่แข็ง (Penetration) กว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Penetration Index) และการคืนตัวกลับสู่สภาพยืดหยุ่นหลังจากได้รับแรงบิด (Torsional recovery) ที่ดีกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 แต่เปราะกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 โดยความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 และมัลติเกรด เท่ากับ -1.4 และ +1.05 ตามลำดับและการคืนตัวกลับสู่สภาพยืดหยุ่นหลังจากได้รับแรงบิดของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 และมัลติเกรด เท่ากับ 2 % และ 7 % ตามลำดับ
2. คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยมัลติเกรด บดอัดโดยวิธีมาร์แชลล์มีค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าเสถียรภาพต่อการไหล มากกว่าที่ผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ประมาณ 19%, 15% และ 5% ตามลำดับ

3. คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยมัลติเกรด บดอัดด้วยเครื่อง Gyrotory Compactor มีค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าเสถียรภาพต่อการไหล มากกว่าที่ผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ประมาณ 12%, 6% และ 6% ตามลำดับ

4. การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยมัลติเกรด มีค่าดัชนีของความแข็งแรง (Strength Index) น้อยกว่าที่ผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ประมาณ 3%

5. การทดลอง Tensile Properties บดอัดวิธีมาร์แชลล์ และด้วยเครื่อง Gyrotory Compactor แอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยมัลติเกรดมีค่า Tensile Strength และ Modulus of elasticity มากกว่าที่ผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 แต่ค่า Poisson's ratio น้อยกว่า

6. การทดลองการเกิดร่องล้อ (Rutting) ตามวิธี Wheel Tracking Test ที่ความลึก 140,000 เที้ยวแผ่นแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยมัลติเกรดมีความลึกเป็นร่องล้อเฉลี่ยน้อยกว่าที่ผสมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ประมาณ 32%

ชยชนวี และคณะ (2546) ได้ศึกษาการประเมินคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในงานอยู่ในประเทศไทยโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ โดยงานวิจัยได้นำวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์เพื่อใช้ในการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตจริงของกรมทางหลวง มาทำการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงปริมาตรและเชิงวิศวกรรม โดยวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งออกเป็นวัสดุผสมชั้น Binder Course จำนวน 15 สายทาง และชั้น Wearing Course จำนวน 34 สายทาง ซึ่งเมื่อนำคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละสายทางมาพิจารณาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ พบว่าวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละสายทางมีความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมและความสามารถในการใช้งานเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรที่แตกต่างกันมาก สอดคล้องกับคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งได้แก่ความต้านทานการยุบตัวถาวรที่มีความแตกต่างกันมาก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละสายทางที่ออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์และมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของมาร์แชลล์ทุกประการยังมีความแปรปรวนในเรื่องของความแข็งแรงและคุณภาพในการใช้งานอยู่มาก หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ไม่สามารถคัดแยกส่วนผสมที่ดีออกจากส่วนผสมที่ไม่ดีได้ และข้อกำหนดของมาร์แชลล์ไม่สามารถตรวจสอบความสามารถในการใช้งานของวัสดุผสม

แอสฟัลต์คอนกรีตได้ นอกจากนั้นยังได้นำผลการทดสอบคุณสมบัติทั้งเชิงปริมาณและเชิงวิศวกรรม มาพิจารณาเพื่อความสัมพันธ์เชื่อมโยงระหว่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลมีปัญหาที่ไม่สามารถแยกวัสดุผสมที่ไม่มีคุณภาพออกจากวัสดุผสมที่มีคุณภาพได้จึงเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

2. วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเชิงปริมาณผ่านข้อกำหนดของซูเปอร์เพพ ในระดับปริมาณการจราจรที่สูงกว่า จะมีความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรมากกว่า ดังนั้นจึงสามารถนำเอาข้อกำหนดของซูเปอร์เพพมาใช้ตรวจสอบคุณสมบัติเชิง ปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อใช้บ่งบอกถึงคุณภาพในการใช้งานของวัสดุรวมรวมได้

3. วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ประกอบด้วยมวลรวมที่มีขนาดละเอียดหรือขนาดละเอียดกันดี จะมีความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมมาก มีความสามารถในการรองรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรได้ดี

Federal Highway Administration (U.S.Department of Transportation) ได้ทำการทดสอบ French Pavement Rutting Tester (French PRT) เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่ถาวรของแผ่นทดสอบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้ล้อทดสอบเป็นยางมีผิวเรียบแบบเติมลมได้  $600 \pm 30$  KPa เส้นผ่าศูนย์กลาง 415 มม. และกว้าง 109 มม. แผ่นทดสอบบดอัดโดยใช้ French Plate Compater ซึ่งเป็นลักษณะล้อหมุนบดอัด แผ่นทดสอบยาว 500 มม. กว้าง 180 มม. และหนา 100 มม. โดยใช้ยาง AC-5, AC-10, AC-20 Novoplalt และ Styrelf เป็นส่วนผสมในตัวอย่างผิวทาง มีค่าช่องว่างอากาศ (Air Voids) เฉลี่ย 8.4, 7.1, 7.3, 8.1 และ 8.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ วัดความลึกร่องล้อ (Rut) ที่ 300 1,000 3,000 10,000 และ 30,000 รอบ โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 15 ตำแหน่งของแผ่นทดสอบ โดย 1 รอบ เท่ากับ 2 เทียของล้อ (ถอยหน้าและเดินหลัง) ส่วนผสม (Mixture) ที่เป็นที่ยอมรับในฝรั่งเศสต้องมีค่าเฉลี่ยของร่องล้อไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ของความหนาของแผ่นทดสอบที่ 30,000 รอบ โดยส่วนผสมต้องมีเม็ดวัสดุขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 20 มม.

Collins *et al.* (1995) ทดสอบคานเพื่อหาการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส คานทดสอบตัดมาจากแผ่นทดสอบที่บดอัดโดยรถบดอัดสันสะท้อนและรถบดล้อเหล็ก โดยคานทดสอบมีขนาดความยาว 320 มม. กว้าง 120 มม. และหนา 80 มม. โดยใช้ยาง AC-5 AC-10 AC-20 Novophalt และ Styrelf เป็นส่วนผสมในตัวอย่างผิวทาง มีค่าช่องว่างอากาศ (Air Voids) 7.0 7.5 7.1 7.2 และ 7.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยใช้ท่ออย่างทีสุดลม 0.69 MPa วางบนคานทดสอบ และมีล้อเหล็กวิ่งเดินหน้า ถอยหลังบนท่ออย่างที 8,000 รอบ เพื่อทำให้เกิดร่องล้อ (Rut) โดย 1 รอบ เท่ากับ 2 เที้ยวของล้อ เส้นผ่าศูนย์กลางของท่ออย่างทีเท่ากับ 29 มม. และน้ำหนักเฉลี่ย 700 N การเปลี่ยนแปลงรูปร่างวัดที่ 3 จุด คือ ศูนย์กลางของคาน ด้านซ้าย และขวาระยะ 51 มม. จากศูนย์กลางหากตัวอย่างเกิดร่องล้อมากกว่า 7.6 มม. จะถือว่าตัวอย่างนั้นเกิดร่องล้อได้ง่าย

Button *et al.* (1990) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของวัสดุมวลรวมที่มีต่อการเกิดร่องล้อในถนนที่ปูด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตโดยรวบรวมการเจาะก่อนตัวอย่างจากถนนที่เกิดร่องล้อ และทดสอบในห้องทดลองเพื่อแยกหาสาเหตุของการเกิดร่องล้อ พร้อมทั้งแนะนำวิธีที่จะทำให้เกิดร่องล้อน้อยที่สุด ผลการศึกษาในสนามโดยมากของส่วนผสมที่เกิดร่องล้อใช้แอสฟัลต์เกิน ใช้วัสดุมวลรวมละเอียดเกินและมีรูปร่างกลมและผิวเนื้อเรียบจากวัสดุธรรมชาติ ผลการศึกษาในห้องทดลองส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีทรายธรรมชาติ มักเสียรูปภายใต้ Static หรือ Dynamic loads มากกว่าส่วนผสมที่ใช้วัสดุที่ได้จากการผลิต หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับทางหลวงควรพิจารณาขีดจำกัดวัสดุธรรมชาติ ในส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณการจราจรสูง โดยขึ้นอยู่กับลักษณะอื่นๆ ของส่วนผสมด้วย ในการวิจัยในอดีตที่เกี่ยวกับการเกิดร่องล้อได้แนะนำดังนี้

1. ให้ใช้หินใหญ่ขนาด 1-1.5 นิ้ว ที่ได้จากการบดย่อย
2. VMA (Voids in the mineral aggregate) น้อยสุด 14-15%
3. ใช้วัสดุที่ได้จากการผลิต แทนทรายธรรมชาติทั้งหมด
4. เพิ่ม AV (Air Voids) ในห้องทดลองน้อยสุด 4%
5. จำกัดวัสดุอัดแทรกต่อแอสฟัลต์ประมาณ 1.2%

Anani *et al.* (1990) ได้ศึกษาในห้องทดลองและในสนามของถนนที่เกิดร่องล้อในซาอุดีอาระเบีย โดยหา Parameter ที่มีอิทธิพลต่อความไวในการเกิดร่องล้อระหว่างช่วงอายุของถนน โดยเลือกทางหลวง 7 สาย ทั้งที่เกิดร่องล้อและไม่เกิดร่องล้อ โดยใช้ตัวแปรต่างๆ และ Laboratory Test Program Flow Chart ผลการศึกษาทั้งหมดของผลงานวิจัยในอดีตได้สมมุติการเกิดร่องล้อโดยพื้นฐานเกิด

จากชั้นผิวทาง (Wearing Course) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นพื้นทาง (Base Course) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดร่องล้อในถนนลาดยาง การวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ T-TEST ได้แสดงให้เห็น VMA (Voids in the mineral aggregate) และ MR (Resilient Modulus) เป็นส่วนประกอบที่ใช้ปรับปรุงการต้านทานการเกิดร่องล้อในชั้นผิวทาง สำหรับชั้นพื้นทางตัวแปรที่สำคัญที่พบคือ HV (Hveem Method), MR (Resilient Modulus), MS (Marshall Method) ส่วนมากของช่วงที่ไม่เกิดร่องล้อในการศึกษาชี้ว่าสัดส่วนที่ดีใช้วัสดุมวลรวมหยาบและตรงกันข้ามกับการค้นพบในอดีต การลดปริมาณแอสฟัลต์ของส่วนผสมไม่ได้แสดงความสำคัญที่จะเป็นองค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อ การเกิดร่องล้อ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของส่วนผสมมีอิทธิพลต่อการเกิดร่องล้อมากกว่าแอสฟัลต์อย่างเดียวหรือวัสดุอย่างเดียว

Brown and Bassett (1990) ได้ศึกษาผลของขนาดวัสดุใหญ่สุดที่มีต่อการเกิดร่องล้อและคุณสมบัติอื่น ๆ ของวัสดุผสมแอสฟัลต์ และผลของขนาดก้อนตัวอย่างระหว่าง 4 นิ้ว และ 6 นิ้ว โดยใช้หินปูนจากการบดย่อย 100% มีขนาดใหญ่สุด 3/8, 1/2, 3/4, 1 และ 1.5 นิ้ว ตามลำดับใช้แอสฟัลต์ AC 20 ชนิดเดียว การบดอัดก้อนตัวอย่างใช้ Gyrotory Testing Machine (GTM) โดยใช้แรงกด 200 psi หมุนประมาณ 30 รอบ 1 องศา เพื่อให้ได้ความแน่นเท่ากับบดอัดโดย 75 blows โดยวิธี Marshall ข้อกำหนดของการกระจายตัวสำหรับทุกส่วนผสมใช้ของ Federal Highway Administration (FHWA) ปริมาณแอสฟัลต์ 4% ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าวัสดุที่ใหญ่กว่าในวัสดุผสมแอสฟัลต์จะให้ค่าการไหลซึ่งเป็นเครื่องแสดงความยืดหยุ่นที่เพิ่มขึ้นมีค่า 12-15 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงปกติของวัสดุผสมแอสฟัลต์ ค่าแรงดึงทางอ้อมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มขนาดของวัสดุใหญ่สุดโดยทั่วไปแนวโน้มของการศึกษา การเพิ่มขึ้นของขนาดวัสดุในการกระจายตัวจะเพิ่มคุณภาพของส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบผลของขนาดก้อนตัวอย่าง 4 และ 6 นิ้ว ก้อนตัวอย่าง 6 นิ้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าก้อนตัวอย่างขนาด 4 นิ้ว ข้อเสนอแนะควรควบคุมวัสดุมวลรวมละเอียดที่ผ่านตะแกรง No. 200 ในการทำวิจัยในอนาคตเพราะมีผลต่อ Performance ของส่วนผสมองค์ประกอบที่นำความเสียหายให้ส่วนผสมคือ วัสดุที่มีขนาดใหญ่สุด 3/8 นิ้ว และวัสดุที่ผ่าน No. 200 มากในส่วนผสม

กฤษณะ (2551) ได้ศึกษาการทดสอบการค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus test) โดยใช้หินแกรนิตผสมกับยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50, แอสฟัลต์ชนิด 60-70 และแอสฟัลต์ชนิด PMA พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA ที่อุณหภูมิ 5-35 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส

แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่าค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60-70 จะมีค่าโมดูลัสคืนต่ำสุด สำหรับทุกอุณหภูมิที่ทดสอบ และการทดสอบการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำ (Dynamic creep test) โดยใช้หินแกรนิต พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA มีค่าการเริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรซ้ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 และ 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การเริ่มเกิดการยุบตัวถาวรมีเพียงแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60-70 ที่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวร สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA กับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 ยังไม่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรที่จำนวนรอบของการทดสอบที่ 10,000 รอบ และเมื่อพิจารณาค่าการยุบตัวถาวรต่อรอบ (Permanent microstrain per cycle) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสจะพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 ดีกว่าเพราะมีค่าต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA

นภสรพี (2551) ได้ศึกษาการทดสอบการค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus test) โดยใช้หินปูนผสมกับยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50, แอสฟัลต์ชนิด 60-70 และแอสฟัลต์ชนิด PMA พบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA ที่อุณหภูมิ 5,20 และ 35 องศาเซลเซียส เท่ากับ 19.05 %, 30.96 % และ 4.98 % ตามลำดับ แต่ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 และ เท่ากับ 5.92%, 30.44% ตามลำดับและแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60-70 จะมีค่าโมดูลัสคืนต่ำสุด สำหรับทุกอุณหภูมิที่ทดสอบ และ การทดสอบการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำ (Dynamic creep test) โดยใช้หินปูนพบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA มีค่าการเริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรซ้ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 และ 60-70 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส การเริ่มเกิดการยุบตัวถาวรกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 60-70 และบางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 ที่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวร สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA ยังไม่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรที่จำนวนรอบของการทดสอบที่ 10,000 รอบ

ประสิทธิ์ (2539) ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิมาตรฐานของถนนของกรมทางหลวงพบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของถนนทั้ง 4 ภาคของกรมทางหลวงคือ 37.8 องศาเซลเซียส และพบว่าค่าอุณหภูมิวิกฤตหรือค่าอุณหภูมิสูงสุดของถนนในแต่ละภาคมีค่าระหว่าง 53-56 องศาเซลเซียส ดังนั้นในงานวิจัยความต้านทานการเกิดร่องล้อนี้จึงได้ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิสูงสุดของถนน

จากการศึกษาในอดีตที่เกี่ยวข้องทำให้ทราบว่า วัสดุมวลรวมมีผลต่อการเกิดร่องล้อเช่น การใช้วัสดุมวลรวมที่มีความละเอียดเกินไปหรือมีผิวเรียบเกินไปจะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดร่องล้อได้มากขึ้นกล่าวคือเมื่อน้ำหนักมากกว่า วัสดุมวลรวมละเอียดจะเคลื่อนตัวไปยังอนุภาคใกล้เคียงก็จะทำเกิดร่องล้อสูง และส่วนผสมใดมีวัสดุมวลรวมหยาบจะมีค่าร่องล้อต่ำซึ่งเกิดจากการขัดเหลี่ยมกันของวัสดุมวลรวมหยาบ อีกทั้ง การเลือกใช้ยางแอสฟัลต์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดร่องล้อ โดยยางแอสฟัลต์ที่มีความหนืดน้อยยืดหยุ่นได้ไม่ดีจะมีโอกาสเกิดร่องล้อมาก ซึ่งความหนืดเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งในสภาพร้อนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจึงมีเสถียรภาพน้อย โดยเมื่อมีแรงจากน้ำหนักของล้อมากกว่าจะไม่มีกรกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมอีก ซึ่งยาง AC 60-70 มีแนวโน้มที่จะเป็นยางที่มีความต้านทานการเกิดร่องล้อที่น้อยที่สุด ในขณะที่ยางแอสฟัลต์ที่มีพฤติกรรมที่หนืดหยุ่นได้ดีสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อมีแรงจากน้ำหนักล้อมากกว่าเช่นยาง PMA จะเป็นยางที่มีความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีที่สุด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. วัสดุ

##### 1.1 แอสฟัลต์

แอสฟัลต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็น ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50, 60-70 และ โพลีเมอร์ โมดิฟายด์แอสฟัลต์ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ตามตารางผนวกที่ ก1, ก2 และ ก3 ตามลำดับ

##### 1.2 วัสดุมวลรวม

มวลรวม (Aggregate) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นำมาจาก 3 แหล่งที่ใช้ก่อสร้างจริงคือหินปูน จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับโครงการก่อสร้างทางหลวง หมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี และหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 โดยผลการทดสอบวัสดุมวลรวมจะใช้ข้อมูลจากสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ตามตารางผนวกที่ ก4, ก5 และ ก6 โดยการตรวจสอบคุณสมบัติและขนาดผลของ มวลรวมที่ใช้เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ตามตารางผนวกที่ ก7 และ ก8

#### 2. อุปกรณ์

2.1 เครื่องบดอัดก้อนตัวอย่าง Roller compactor ดังภาพที่ 6

2.2 เครื่องทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อ Wheel Tracker ดังภาพที่ 7

ทำการควบคุมการทดสอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้คือ WTRACK



ภาพที่ 6 เครื่อง Roller Compactor



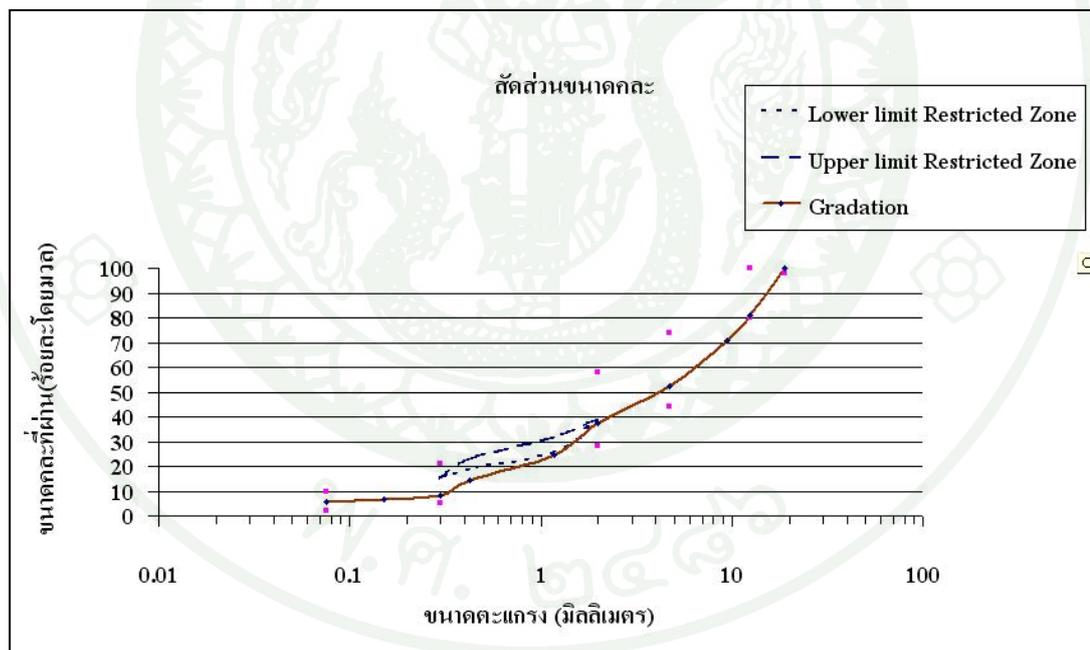
ภาพที่ 7 เครื่อง Wheel Tracker

## วิธีการ

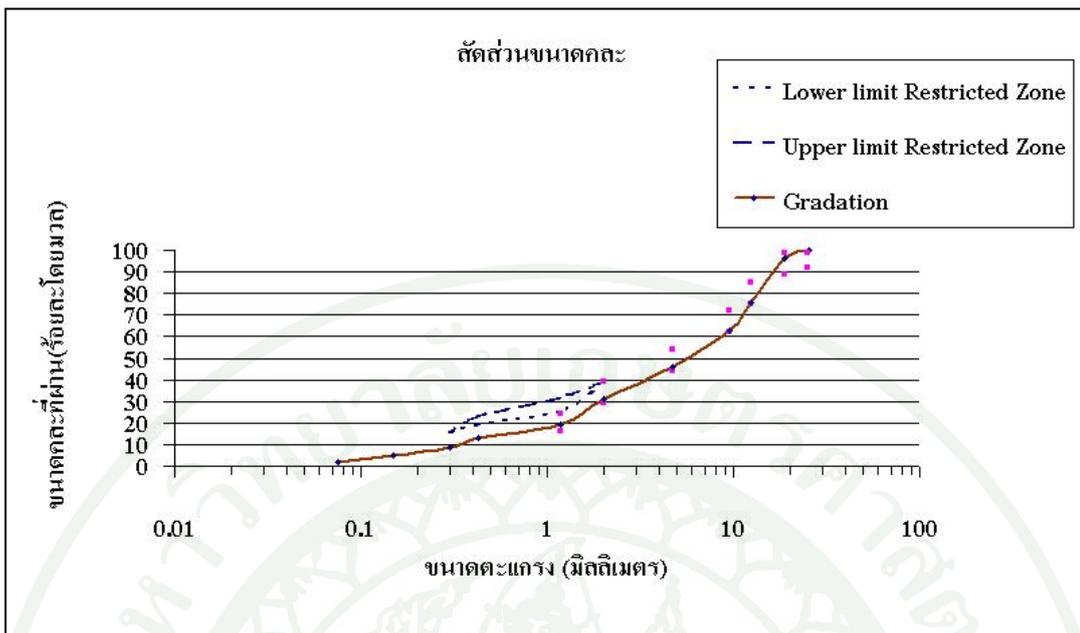
### 1. การจัดขนาดคละวัสดุมวลรวม

สำหรับการจัดขนาดคละของวัสดุมวลรวมทั้งหมดที่จะนำมาใช้ในการทดสอบนั้นได้นำข้อมูลมาจากการจัดขนาดคละที่ใช้จริงตามโครงการก่อสร้างทางหลวงและทำการตรวจสอบตามข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ

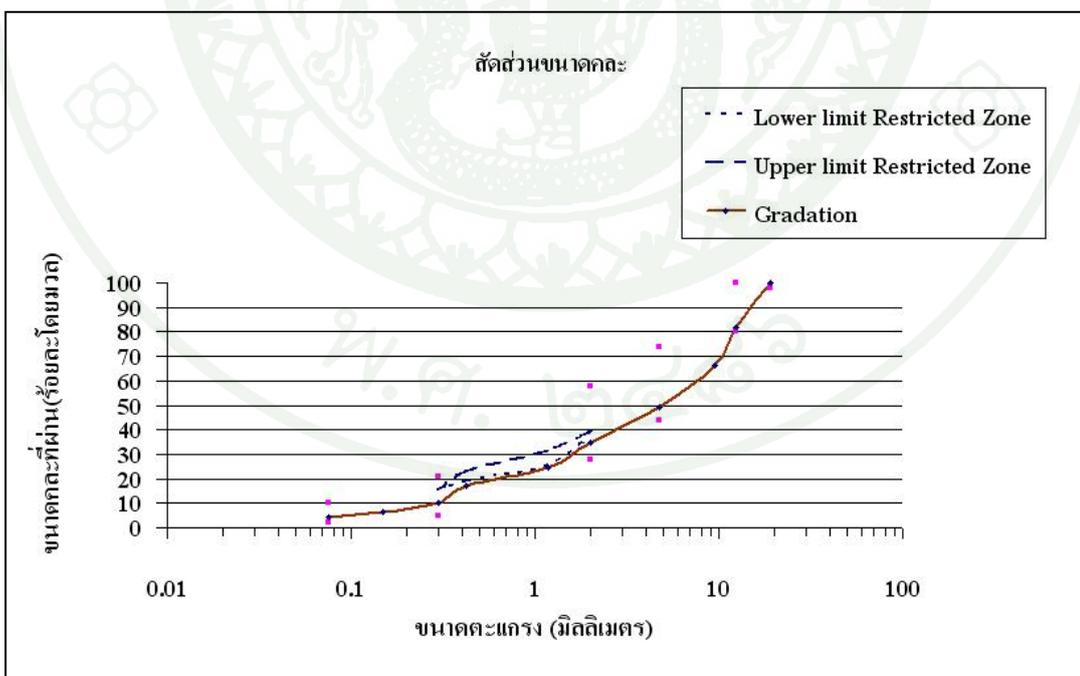
โดยการจัดขนาดคละของมวลรวมได้ทำการพิจารณาถึงเขตข้อกำหนด (Restricted Zone Boundary) ผ่านตะแกรง เพื่อไม่ให้ขนาดคละผ่านเข้าไปในช่วงเขตจำกัด (Restricted Zone Boundary) ซึ่งผลการจัดขนาดคละของมวลรวมอยู่ในข้อกำหนด ดังแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3 และ การจัดขนาดคละ ดังภาพที่ 8, 9 และ 10



ภาพที่ 8 การจัดขนาดคละของหินปูน ชั้น wearing course จากโครงการก่อสร้างทางหลวง หมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 9 การจัดขนาดคละของมวลรวมหินปูนชั้น Bound base จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีที่ใช้ในการทดสอบ



ภาพที่ 10 การจัดขนาดคละของหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 การจัดขนาดคละของมวลรวมหินปูนชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีที่ใช้ในการทดสอบ

ตะแกรงเบอร์	ร้อยละผ่านตะแกรง										ข้อกำหนด		
	Bin1 ฝุ่น *	Bin2 pan	Bin3 #200	Bin4 #50	Bin5 #30	Bin6 #16	Bin7 #8	Bin8 #4	Bin9 3/8"	Bin10 1/2"	ใช้	ของกรม ทางหลวง	มาตรฐาน
3/4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2	100	100	100	100	100	100	100	100	100		81.1	80-100	76-86
3/8	100	100	100	100	100	100	100	100			70.7	-	66-76
#4	97.5	100	100	100	100	100	100				52.4	44-74	47-57
#8	69.8	100	100	100	100	100					37.4	28-58	32-42
#16	46.9	100	100	100	100						24.6	-	21-29
#30	32.6	100	100	100							14.2	-	10-18
#50	22.8	100	100								8.6	5-21	7-12
#100	17.1	100	100								6.9	-	6-10
#200	13.4	100									5.7	2-10	5-7
Mix Proportion	30	1.7	0.1	2.6	6.1	6.0	6.7	17.5	10.4	18.9	100		

หมายเหตุ \* เนื่องจากการจัดขนาดคละของหินที่ได้มาไม่สามารถนำมาผสมตาม JMF ได้ จึงต้องใช้ หิน cold bin ใน bin 1 และ หิน ตั้งแต่ bin 2 ถึง bin 10 เป็นหิน Single size ที่ค้ำแต่ละเบอร์

ตารางที่ 2 การจัดขนาดคละของมวลรวมหินปูนชั้น Bound base จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีที่ใช้ในการทดสอบ

ตะแกรงเบอร์	ร้อยละผ่านตะแกรง				ใช้	ข้อกำหนดของ กรมทางหลวง	มาตรฐาน
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4			
1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100
1"	100	100	100	100	100	90-100	92-99
3/4"	100	100	100	81.5	96	-	89-99
1/2"	100	100	85.7	12.8	76	56-80	75-85
3/8"	100	100	31.9	1.2	63	-	62-72
#4	99.8	34.6	0.3		46	29-59	44-54
#8	76.5	1.5			31	19-45	29-39
#16	47.7				19	-	16-24
#30	31.8				13	-	8-16
#50	22.3				9	5-17	6-12
#100	13.5				5	-	5-9
#200	4.1				2	1-7	4-6
Mix Proportion	40	16	20	24			

ตารางที่ 3 การจัดขนาดคละของมวลรวมหินแกรนิตชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่ใช้ในการทดสอบ

ตะแกรงเบอร์	ร้อยละผ่านตะแกรง										ใช้	ข้อกำหนดของ กรมทางหลวง	มาตรฐาน
	Bin1 ฝุ่น *	Bin2 #200	Bin3 #100	Bin4 #50	Bin5 #30	Bin6 #16	Bin7 #8	Bin8 #4	Bin9 3/8"	Bin10 1/2 "			
3/4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	82	80-100	77-87
3/8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	66.5	-	61-71
#4	94	100	100	100	100	100	100	100	100	100	49.2	44-74	44-54
#8	70.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	34.8	28-58	30-40
#16	51.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	24.4	-	22-30
#30	39.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	17	-	13-21
#50	25.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	10.4	5-21	7-15
#100	17	100	100	100	100	100	100	100	100	100	6.6	-	5-10
#200	11.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	4.1	2-10	4-6
Mix Proportion	35	0.7	0.8	1.7	3.1	3.7	6.3	15.2	15.5	18	100		

หมายเหตุ \* เนื่องจากการจัดขนาดคละของหินที่ได้มาไม่สามารถนำมาผสมตาม JMF ได้ จึงต้องใช้ หิน cold bin ใน bin 1 และ หิน ตั้งแต่ bin 2 ถึง bin 10 เป็นหิน Single size ที่ล้างแต่ละเบอร์

## 2. การเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อโดยเครื่อง Wheel tracker

การเตรียมส่วนผสม ทำโดยนำอัตราส่วนผสมของมวลรวมที่ได้จากการออกแบบส่วนผสม โดยวิธีซูเปอร์เพพมาใช้โดยหนึ่งก้อนตัวอย่างใช้มวลรวม 10,500 กรัม โดยแบ่งมวลรวมออกเป็นสามส่วนๆ ละ 3,500 กรัม เพื่อให้ง่ายต่อการผสมเนื่องจากก้อนตัวอย่างค่อนข้างใหญ่ และจะทำการผสมมวลรวมกับแอสฟัลต์ชนิด 40-50, 60-70 และโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ อุณหภูมิของมวลรวมที่ใช้ผสมคือ 180 องศาเซลเซียสและแอสฟัลต์ซีเมนต์ ที่ใช้ผสมมีอุณหภูมิ 170,160 และ 180 องศาเซลเซียสสำหรับยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50,60-70 และโพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ ตามลำดับ หลังจากนั้นจะนำมวลรวมที่ผสมกับแอสฟัลต์แล้วทั้งสามส่วนมาผสมกันเพื่อนำเข้าไปในแบบเพื่อบดอัดต่อไป สำหรับปริมาณยางที่ใช้ดังแสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณยางที่ใช้

วัสดุมวลรวมที่ใช้	ปริมาณยางที่ใช้ (ร้อยละโดยมวล)
หินปูน โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี	5.1
หินปูน โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี	4.4
หินปูน โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี	5.0

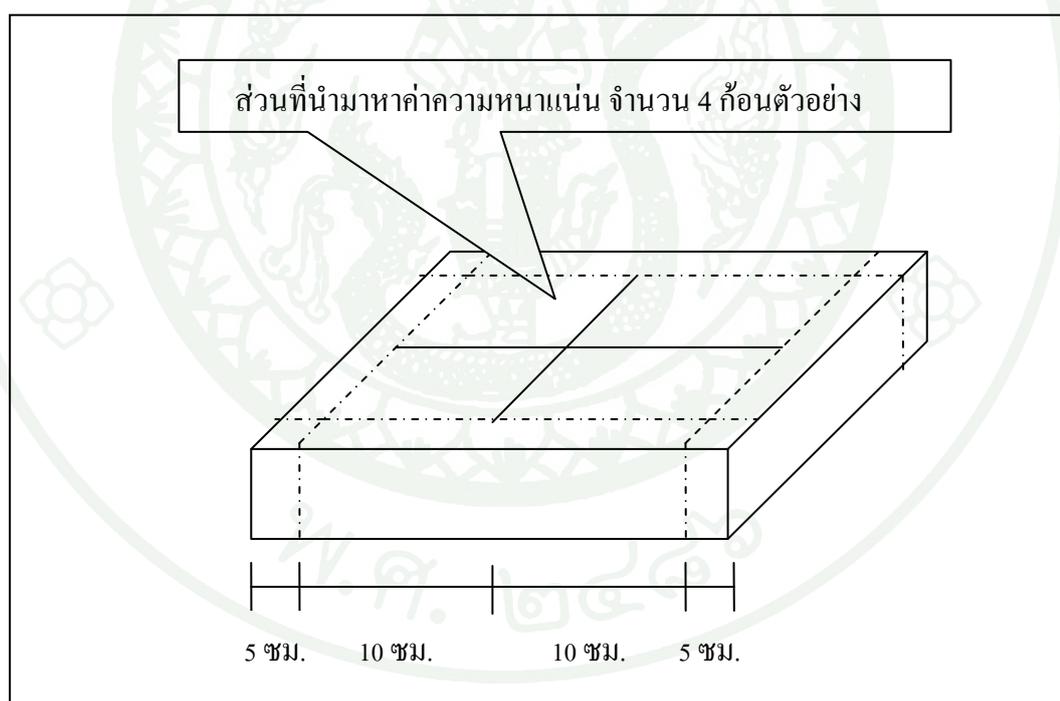
ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

การบดอัดด้วยเครื่อง Roller Compactor เพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างที่มีขนาดกว้าง 305 มม. ยาว 305 มม. สูงประมาณ 50 มม. โดยเครื่อง Roller Compactor นั้นจะสามารถปรับค่าแรงดันและจำนวนรอบในแต่ละระดับได้ โดยงานวิจัยนี้ จะใช้แรงในการบดอัด 4 ระดับคือ 200, 300, 600 และ 650 กิโลปาสกาล (kPa) ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะบดอัดจริงในห้องปฏิบัติการ โดยที่จำนวนรอบในการบดอัดหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี คือ 2,5,17,17 รอบตามระดับแรง จำนวนรอบในการบดอัดหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี คือ 2,5,17,30 รอบตามระดับแรง และจำนวนรอบในการบดอัดหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 คือ 2,5,17,20 รอบตามระดับแรง

ซึ่งจำนวนรอบที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ได้มาจากการ calibrate ก้อนตัวอย่าง จนได้ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างตรงตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งขั้นตอนการบดอัดอยู่ในภาคผนวก ก

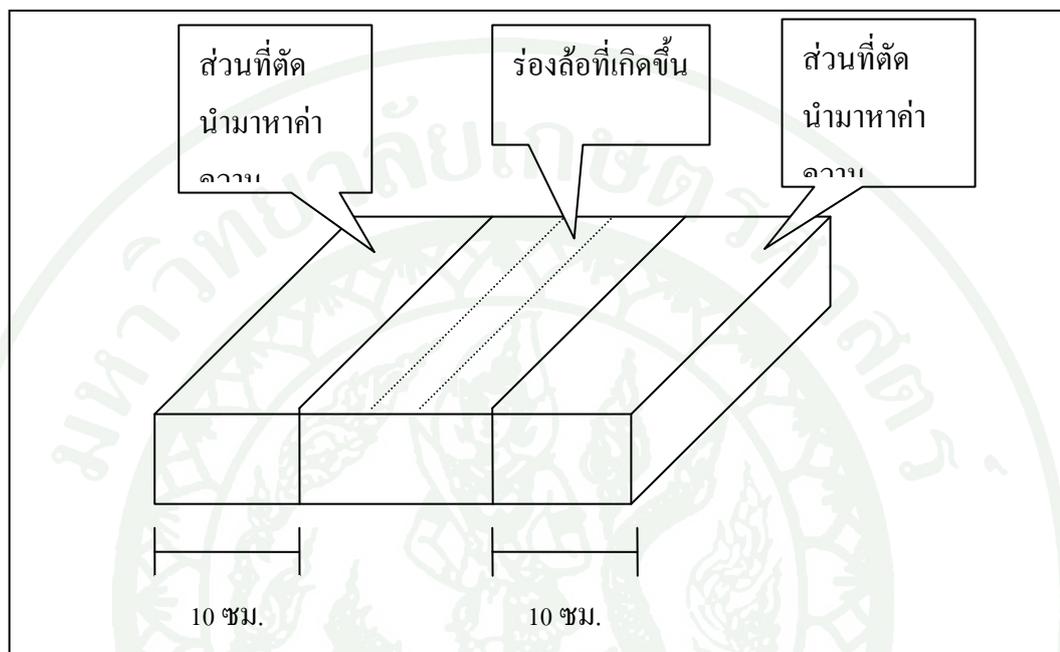
### 3. การควบคุมความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง

3.1 การ Calibrate ก้อนตัวอย่างเพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างที่มีความหนาแน่นตรงตามที่ออกแบบไว้ในตารางที่ 5 โดยจะนำก้อนตัวอย่างที่บดอัดเสร็จแล้วมาทำการตัดให้ได้ก้อนตัวอย่างขนาด กว้าง 10 ซม. ยาว 10 ซม. สูง 5 ซม. จำนวน 4 ก้อน ดังภาพที่ 11 จากนั้นนำไปหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างตามสมการที่ (1) ถ้าก้อนตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ให้ทำการเพิ่มจำนวนรอบในการบดอัดจากนั้นให้ทำการบดอัดก้อนตัวอย่างจนได้ค่าความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ โดยที่ค่าความหนาแน่นได้แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ข



ภาพที่ 11 การ Calibrate ก้อนตัวอย่าง

3.2 การตรวจสอบก้อนตัวอย่างเพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างตามที่ออกแบบไว้ โดยจะทำการตัดก้อนตัวอย่างที่ทำการทดสอบแล้วห่างจากขอบ 10 ซม. ออกเป็นสองส่วนดังภาพที่ 12 เพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างตามสมการที่ (1)



ภาพที่ 12 การตรวจสอบก้อนตัวอย่าง

การคำนวณหาความหนาแน่นทั้งหมดของก้อนตัวอย่าง (Bulk Density)

$$DB = \frac{ACa}{ACs - ACw} \quad (1)$$

เมื่อ DB = ความหนาแน่นทั้งหมดของก้อนตัวอย่าง

ACa = น้ำหนักก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ชั่งในอากาศ

ACs = น้ำหนักก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ชั่งในอากาศในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

ACw = น้ำหนักก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ชั่งในน้ำ

**ตารางที่ 5** ค่าความหนาแน่นตามที่ออกแบบไว้

ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ออกแบบไว้	gm./ml
แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สาย เลียงเมืองชลบุรี	2.391-2.406
แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สาย บางปะอิน-บางพลี	2.351-2.365
แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5	2.425-2.439

**ที่มา:** สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

**ตารางที่ 6** แรงดันและจำนวนรอบในการบดอัดที่ใช้

ระดับแรงดัน	1	2	3	4
แรงดัน (กิโลปาสกาล)	200	300	600	650
จำนวนรอบในการบดอัดหินปูนจากการ โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สาย เลียงเมืองชลบุรี	2	5	17	17
จำนวนรอบในการบดอัดหินปูนจากโครงการ ก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน- บางพลี	2	5	17	30
จำนวนรอบในการบดอัดหินแกรนิตจาก โครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน สุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5	2	5	17	20

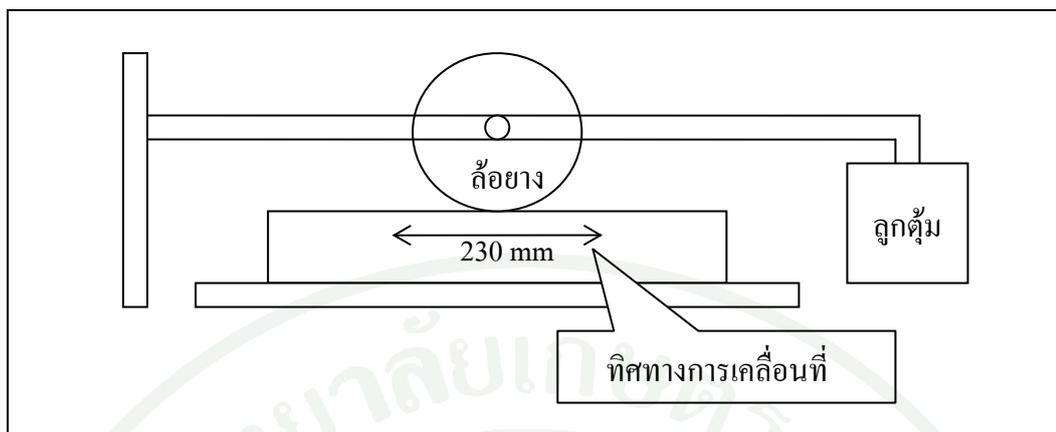
#### 4. การทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อเป็นวิธีการทดลองเพื่อจำลองพฤติกรรมของการเกิดร่องล้อของถนน โดยใช้มาตรฐานการทดสอบของอังกฤษ (BS598-Part110:1998) โดยจะแบ่งก้อนตัวอย่างแต่ละกลุ่มออกเป็น 3 ก้อน โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส นำมาทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง โดยก่อนทำการทดสอบจะต้องนำตัวอย่างเข้าไปในตู้ควบคุมอุณหภูมิอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อน โดยการทดสอบจะให้น้ำหนักลูกค้อนที่ป้อนให้ล้อยางคือ 520 นิวตัน พื้นที่สัมผัสของล้อเท่ากับ 750 มม<sup>2</sup> และแรงกระทำของล้อเท่ากับก้อนตัวอย่างเทียบเท่าแรงดันลมยาง 100 psi ความเร็วของล้อในการเคลื่อนที่ 26.5 รอบต่อนาที ส่วนจำนวนรอบการทดสอบ (Number of cycle) คือ 10,000 รอบหรือขึ้นอยู่กับความลึกของร่องล้อถ้ามากกว่า 20 มม. เครื่องทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อจะหยุดทำการทดสอบ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลของความลึกร่องล้อและจำนวนรอบ โดยที่ค่าร้อยละของความแตกต่างของผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย ต่างกันไม่เกินร้อยละ 10

อุณหภูมิสามารถทำการปรับตั้งได้ที่อุณหภูมิห้องตั้งแต่ +30 องศาเซลเซียสถึง +60 องศาเซลเซียส โดยตู้ควบคุมอุณหภูมิจะประกอบด้วยประตูกระจก 2 บานเพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถสังเกตการทดสอบได้โดยง่าย

การวัดค่าความลึกของร่องล้อ จะใช้หัววัด LVDT (Linear Variable Differential Transducer) ซึ่งพิสัยของการวัดในแนวเส้นตรงปกติที่ประมาณ 40 มม. เครื่องขยายสัญญาณของหัววัดจะช่วยให้การอ่านค่าความลึกนั้น สามารถวัดได้โดยมีความละเอียดสูงสุดถึง  $\pm 0.05$  มม.

การเคลื่อนที่ของแท่นรองรับอุปกรณ์ทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อจากล้อยาง จะอยู่ในระหว่าง  $230 \pm 5$  มม. นั้นหมายความว่า ล้อยางจะเคลื่อนที่หมุนไปตามพื้นผิวของชิ้นงาน ตัวอย่างเป็นระยะทางเท่ากับ 230 มม. ดังภาพที่ 13 ในการเคลื่อนที่จนสุดทางแต่ละครั้ง ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่พื้นผิวที่เกิดร่องล้อของชิ้นงานตัวอย่างนั้น จะต้องเรียบ เพื่อให้มีการเคลื่อนที่อย่างราบเรียบ และเพื่อยืดอายุการใช้งานของล้อยางให้ยาวนานที่สุด

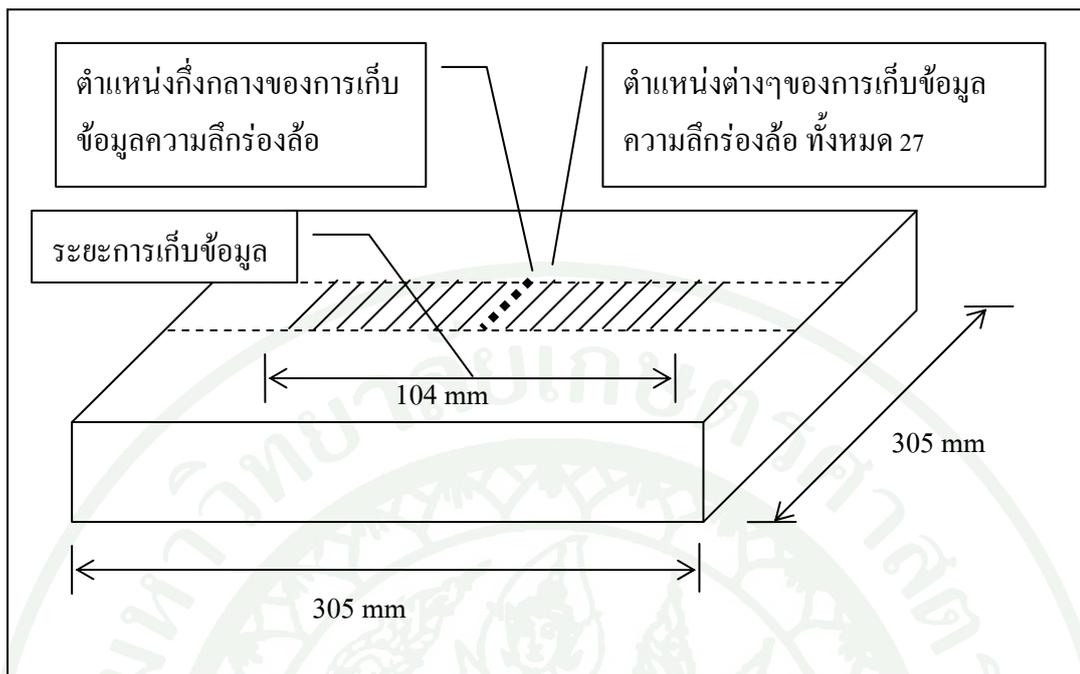


ภาพที่ 13 ทิศทางและระยะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างในงานวิจัย

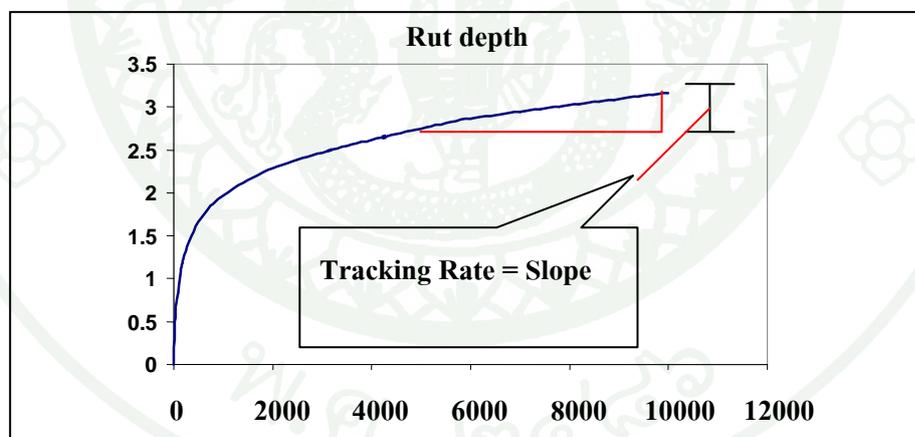
การเก็บข้อมูลในการทดสอบ เครื่องทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อจะทำการบันทึกข้อมูลตามระยะการเคลื่อนที่ของตัวอย่างเท่ากับ 27 ตำแหน่ง แต่ละตำแหน่งจะห่างกัน 4 มม. โดยตัวอย่างมีระยะการเก็บข้อมูล 104 มม. ซึ่งการเกิดร่องล้อ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางจะนำมาหาค่า Central Steady State Tracking Rate โดย Central Steady State Tracking Rate คืออัตราเกิดร่องล้ออย่างสม่ำเสมอ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของก้อนตัวอย่างดังภาพที่ 14 และ ภาพที่ 15 มีหน่วยเป็น มม./1000 รอบจะทำการคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ(3)

$$\text{Tracking Rate (TR)} = (\text{No. of passes } 10000 - \text{No. of passes } 5000) / 5000 \quad (2)$$

$$\text{Central Steady State Tracking Rate} = \text{TR} * 1000 \quad (3)$$

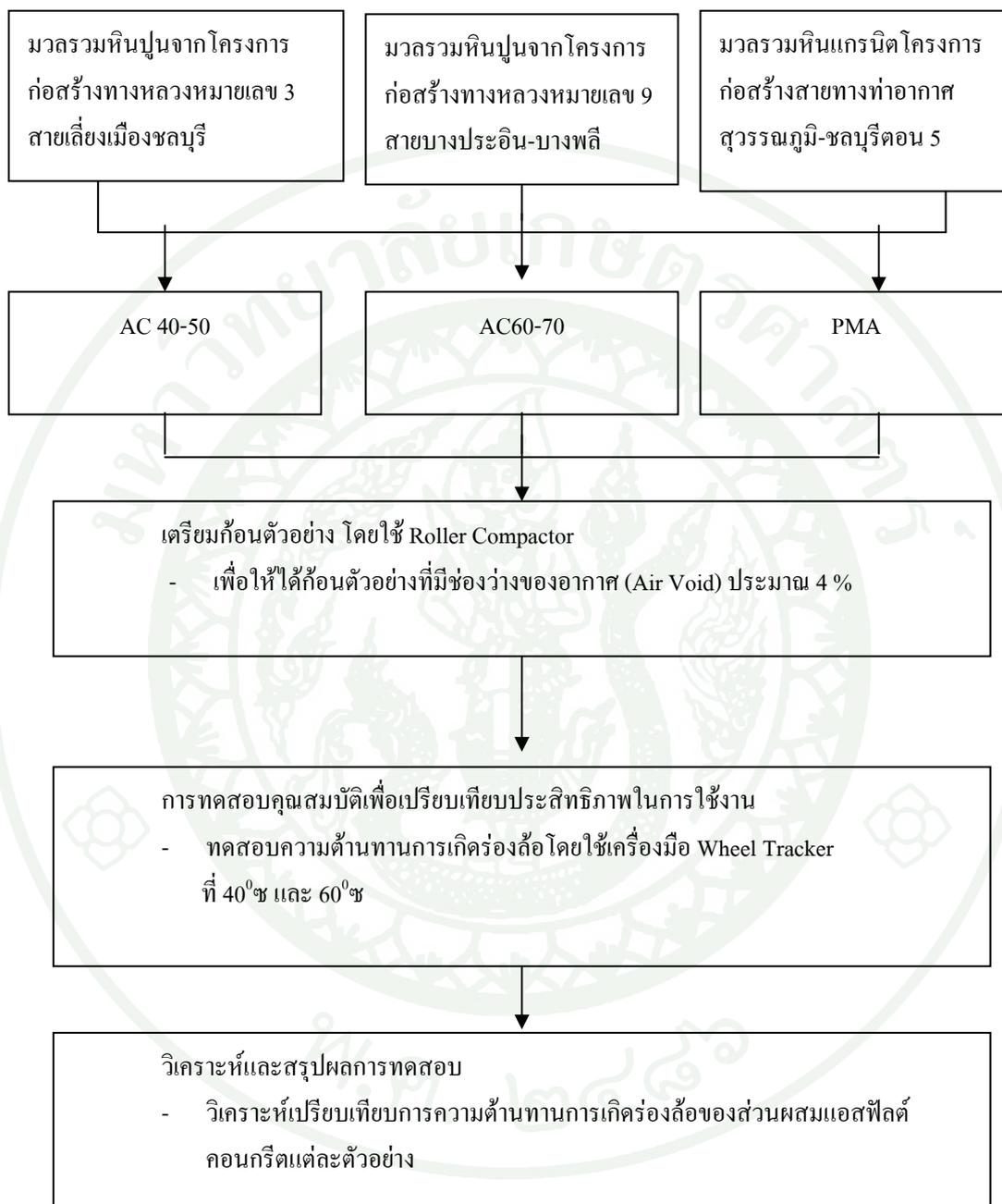


ภาพที่ 14 รูปแบบการเก็บข้อมูล Wheel Track Test ในงานวิจัย



ภาพที่ 15 รูปแบบการทดสอบ Wheel Track Test ในงานวิจัย

### ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการดำเนินงาน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อ และเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ซ่อมแซมผิวทางที่ชำรุดเสียหายได้
2. เมื่องานวิจัยเสร็จสมบูรณ์สามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงวิธีการออกแบบโครงสร้างทางของกรมทางหลวงและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและสามารถใช้ข้อมูลจากงานวิจัยไปใช้ในการเลือกใช้ออสฟัลต์ซีเมนต์เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ในการก่อสร้างได้

## แหล่งทุนสนับสนุน

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ทุนสนับสนุนส่วนตัวในการทดสอบวัสดุและทดสอบผลการวิจัยโดยใช้วัสดุและเครื่องมือในการทดสอบของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง

## ผลและวิจารณ์

### ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อ

ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส โดยการทดสอบแต่ละตัวอย่างได้ค่าร้อยละของความแตกต่างของผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยต่างกันไม่เกินร้อยละ 10 ตารางที่ 7 แสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี ตารางที่ 8 แสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี และตารางที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 และรายละเอียดผลการทดสอบอยู่ในภาคผนวก ข

ผลการทดสอบพบว่าค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี, ก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี และ ก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 มีค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อน้อยที่สุดคือมีค่าร่องลื้อเท่ากับ 5.52 , 2.35 และ 3.51 มม.ตามลำดับ รองลงมาคือ ยาง AC 40-50 มีค่าร่องลื้อเท่ากับ 3.84, 1.35 และ 2.95 มม. ตามลำดับและ PMA มีค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อมากที่สุดคือมีค่าร่องลื้อเท่ากับ 3.33, 0.48 และ 1.59 มม.ตามลำดับ เช่นเดียวกับที่ 60 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 มีค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อน้อยที่สุดคือมีค่าร่องลื้อเท่ากับ 20.15 , 20.29 และ 20.83 มม.ตามลำดับ รองลงมาคือ ยาง AC 40-50 มีค่าร่องลื้อเท่ากับ 5.15, 1.88 และ 3.87 มม.ตามลำดับและ PMA มีค่าความต้านทานการเกิดร่องลื้อมากที่สุดคือมีค่าร่องลื้อเท่ากับ 4.86, 0.96 และ 2.06 มม.ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า Central Steady State Tracking Rate จะพบว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 จะมีค่าอัตราเกิดร่องลื้ออย่างสม่ำเสมอ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางมากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด 40-50 จะมีค่าอัตราเกิดร่องลื้ออย่างสม่ำเสมอ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางมากกว่า ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA ที่ทั้งสองอุณหภูมิ

และเมื่อพิจารณาถึงมวลรวมทั้งสามแหล่งพบว่าก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับ ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อมากที่สุด รองลงมาคือ ก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 และ ก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีจะมีค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อน้อยที่สุด

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส

Temp. °C		40			60		
Type	Sample	Central Steady State Tracking Rate (mm/1000 Passes)	Number of passes	Final rut depth (mm)	Central Steady State Tracking Rate (mm/1000 Passes)	Number of passes	Final rut depth (mm)
AC 40-50	1	0.250	10,000	3.97	0.318	10,000	5.20
	2	0.142	10,000	3.90	0.318	10,000	5.08
	3	0.166	10,000	3.65	0.320	10,000	5.18
	Average	0.186	10,000	3.84	0.319	10,000	5.15
AC 60-70	1	0.31	10,000	5.54	- *	2,328	20.13
	2	0.318	10,000	5.52	- *	2,485	20.16
	3	0.318	10,000	5.49	- *	2,459	20.17
	Average	0.315	10,000	5.52	- *	2,424	20.15
PMA	1	0.082	10,000	3.16	0.246	10,000	4.86
	2	0.128	10,000	3.31	0.264	10,000	5.03
	3	0.088	10,000	3.51	0.270	10,000	4.70
	Average	0.099	10,000	3.33	0.260	10,000	4.86

\* ก้อนตัวอย่างเกิดร่องล้อมากกว่า 20 มิลลิเมตรทำให้ไม่สามารถหาค่า Central Steady State Tracking Rate ได้

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจาก  
โครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับ ที่อุณหภูมิ 40  
และ 60 องศาเซลเซียส

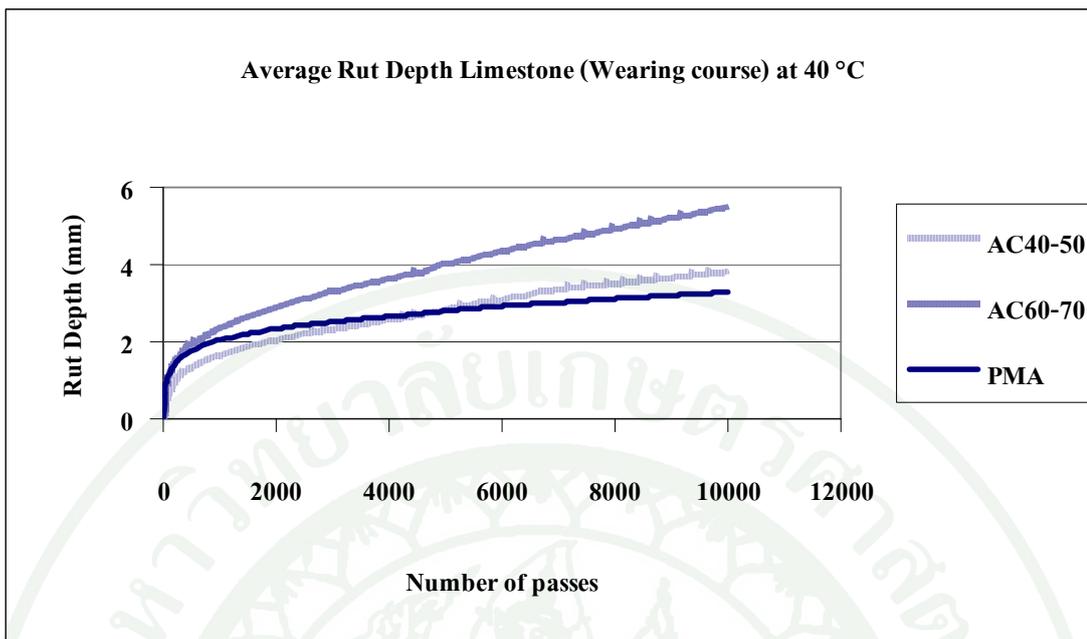
Temp. °C		40			60		
Type	Sample	Central Steady State Tracking Rate (mm/1000 Passes)	Number of passes	Final rut depth (mm)	Central Steady State Tracking Rate (mm/1000 Passes)	Number of passes	Final rut depth (mm)
AC 40-50	1	0.018	10,000	1.26	0.096	10,000	2.00
	2	0.026	10,000	1.39	0.066	10,000	1.74
	3	0.010	10,000	1.40	0.068	10,000	1.91
	Average	0.018	10,000	1.35	0.075	10,000	1.88
AC 60-70	1	0.058	10,000	2.22	- *	7,635	20.22
	2	0.126	10,000	2.56	- *	8,398	20.30
	3	0.080	10,000	2.26	- *	9,221	20.36
	Average	0.088	10,000	2.35	- *	8,418	20.29
PMA	1	0.016	10,000	0.45	0.018	10,000	0.92
	2	0.024	10,000	0.49	0.030	10,000	1.03
	3	0.028	10,000	0.50	0.010	10,000	0.93
	Average	0.023	10,000	0.48	0.019	10,000	0.96

\* ก้อนตัวอย่างเกิดร่องล้อมากกว่า 20 มิลลิเมตรทำให้ไม่สามารถหาค่า Central Steady State Tracking Rate ได้

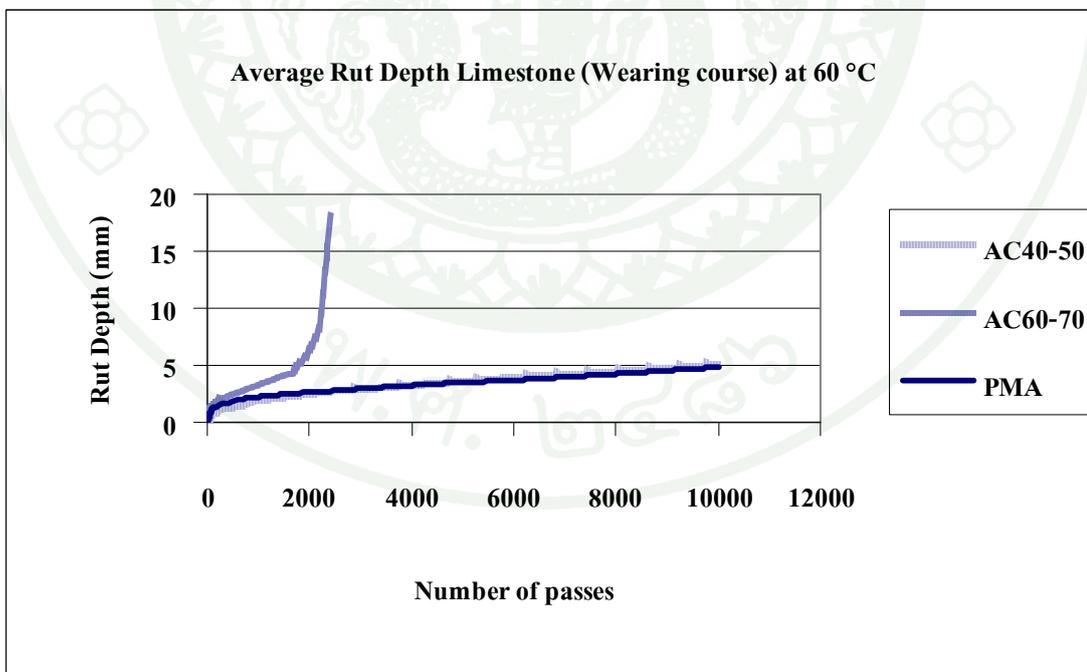
ตารางที่ 9 ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจาก  
โครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 40  
และ 60 องศาเซลเซียส

Temp. °C		40			60		
Type	Sample	Central Steady State Tracking Rate (mm/1000 Passes)	Number of passes	Final rut depth (mm)	Central Steady State Tracking Rate (mm/1000 Passes)	Number of passes	Final rut depth (mm)
AC 40-50	1	0.090	10,000	2.99	0.316	10,000	3.88
	2	0.058	10,000	2.85	0.244	10,000	3.75
	3	0.082	10,000	3.02	0.246	10,000	3.98
	Average	0.077	10,000	2.95	0.269	10,000	3.87
AC 60-70	1	0.194	10,000	3.53	- *	7,679	20.74
	2	0.254	10,000	3.56	- *	7,565	20.97
	3	0.082	10,000	3.44	- *	7,823	20.77
	Average	0.177	10,000	3.51	- *	7,689	20.83
PMA	1	0.022	10,000	1.46	0.032	10,000	1.99
	2	0.022	10,000	1.69	0.046	10,000	2.08
	3	0.026	10,000	1.62	0.042	10,000	2.12
	Average	0.023	10,000	1.59	0.040	10,000	2.06

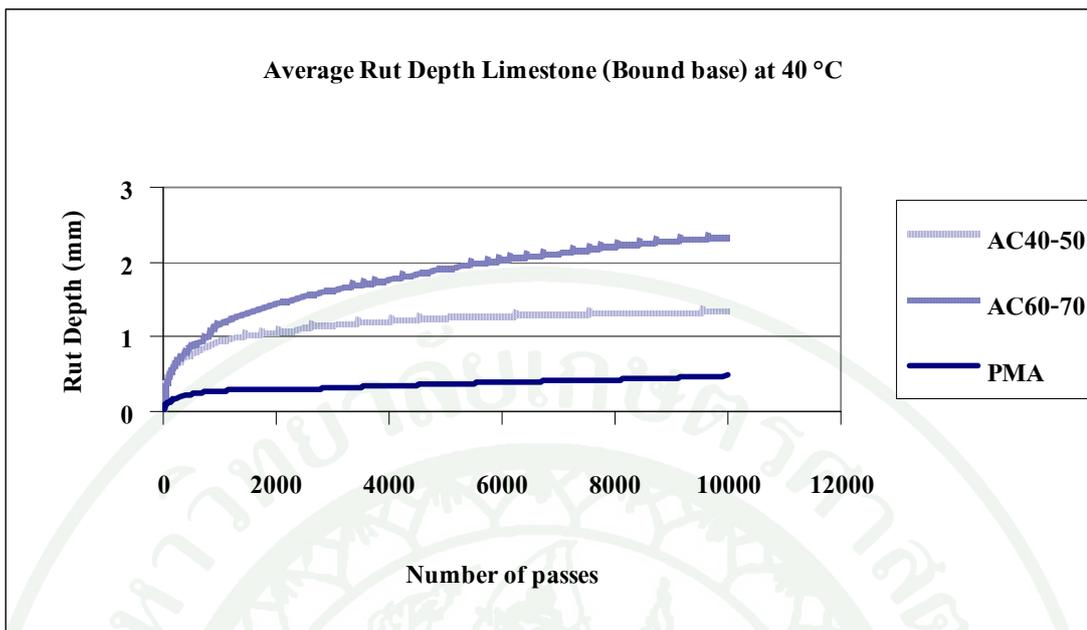
\* ก้อนตัวอย่างเกิดร่องล้อมากกว่า 20 มม. ทำให้ไม่สามารถหาค่า Central Steady State Tracking Rate ได้



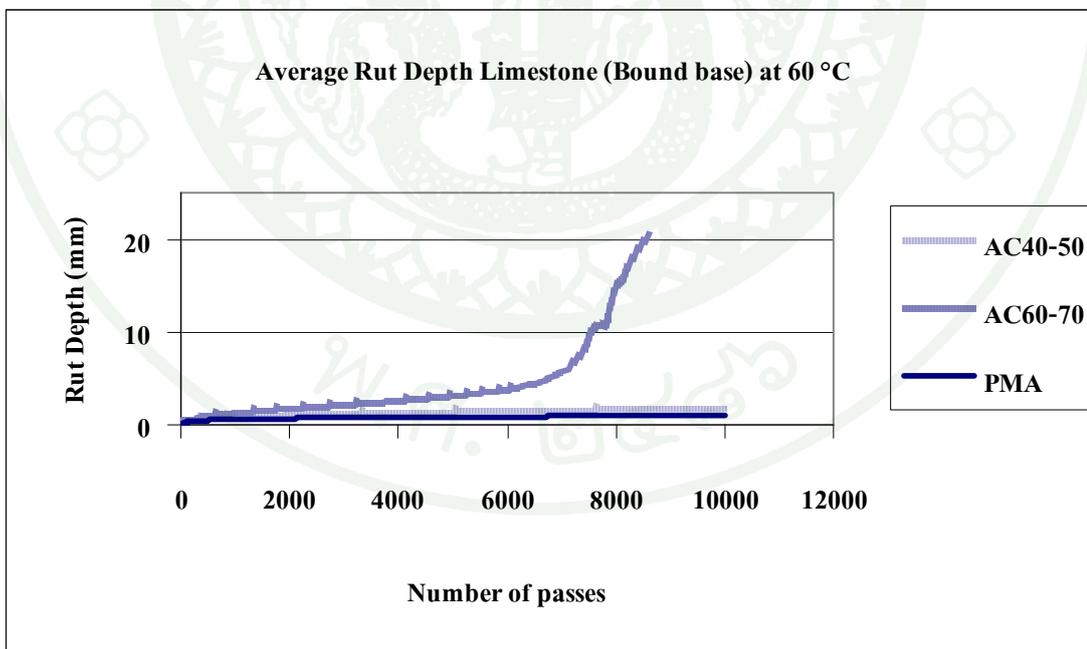
ภาพที่ 17 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



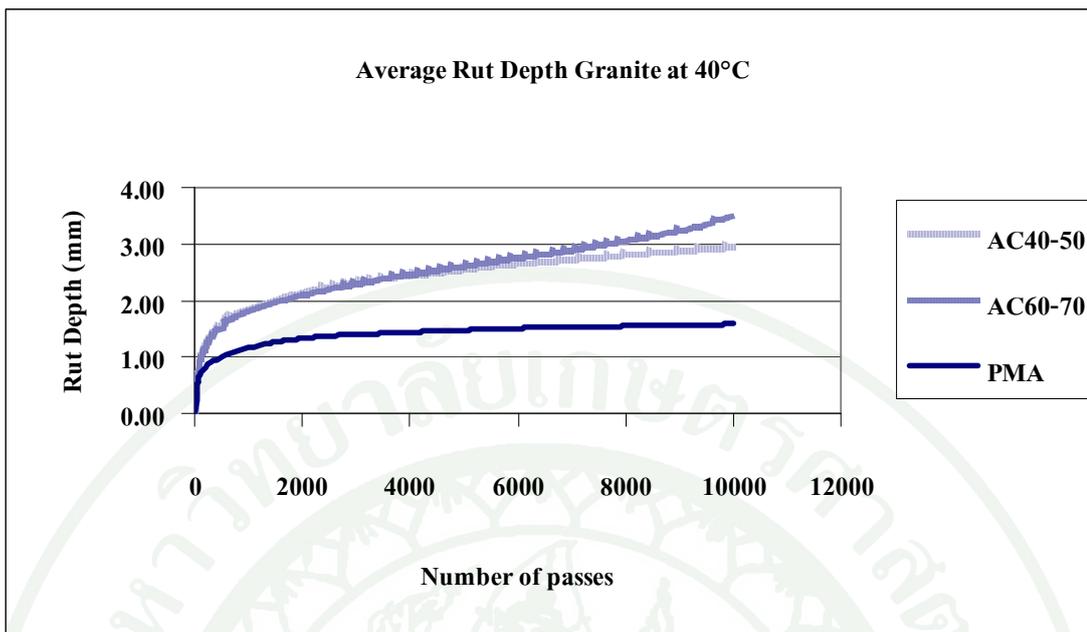
ภาพที่ 18 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



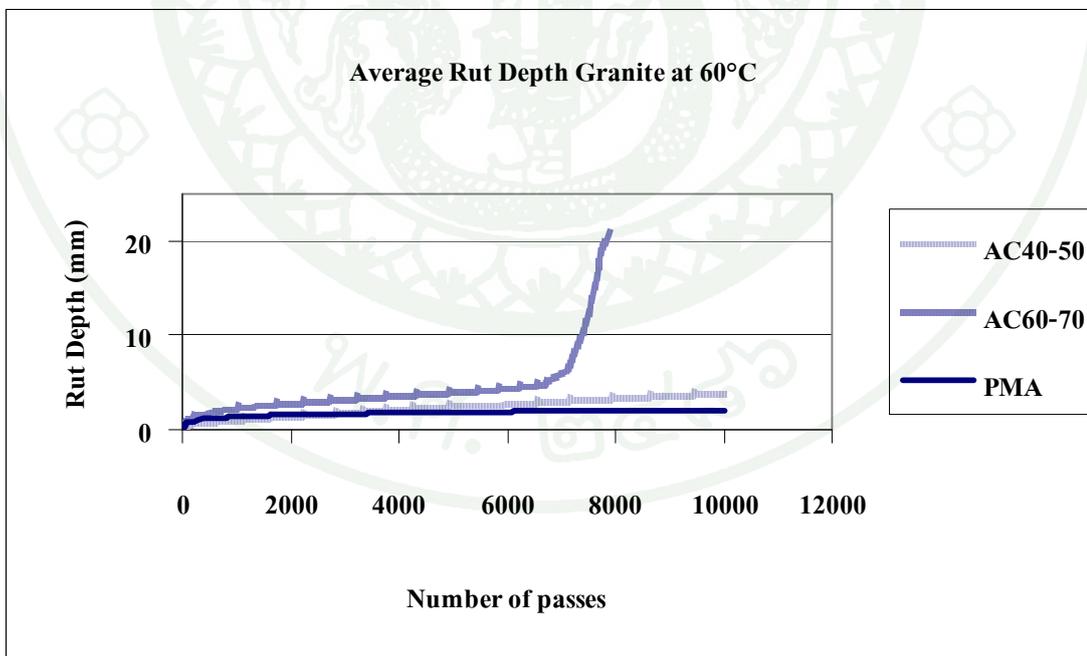
ภาพที่ 19 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 20 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 21 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 22 แสดงค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 17, 18, 19, 20, 21 และ 22 แสดงตัวอย่างกราฟผลการทดสอบค่าเฉลี่ยความต้านทานการเกิดร่องล้อ จะพบว่า

1. การเกิดร่องล้อในช่วงแรก เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 17, 19, และ 21 จะเห็นว่าเมื่อทำการบดทับตัวอย่างจะได้กราฟที่มีลักษณะเส้นตรงที่มีความชัน เนื่องจากเมื่อเกิดน้ำหนักรบดทับจะทำให้เกิดช่องว่างในก้อนตัวอย่างลดลงเป็นผลให้เกิดร่องล้อสูง โดยหลังจากนั้นการเกิดร่องล้อจะมีค่าลดลงและมีอัตราการเกิดร่องล้อที่ค่อนข้างคงที่ และภาพที่ 18, 20, และ 22 จะเห็นว่าเมื่อใช้ยางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 เท่านั้นที่มีการเกิดร่องล้อที่มากกว่า 20 มม. ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
  2. อัตราการเกิดร่องล้อ เมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟพบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความชันน้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 แสดงให้เห็นว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อที่ดีที่สุดทั้งที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส
  3. เมื่อพิจารณาถึงจำนวนรอบการบดอัดที่เท่ากันคือที่ 10000 รอบแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA จะเกิดร่องล้น้อยกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 จะเกิดร่องล้นมากกว่า 20 มม. ก่อนที่จะครบจำนวนรอบการบดอัดที่ 10000 รอบ
- เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง ซึ่งทำการทดสอบโมดูลัสคืนตัว ดังตารางที่ 10, 12 และ 14 การทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำ ดังตารางที่ 11, 13 และ 15 พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้คือในการทดสอบโมดูลัสคืนตัว ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวสูง และ แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด AC 60-70 จะมีค่าโมดูลัสคืนตัวต่ำ และการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA ยังไม่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวร และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิด PMA มีค่าการเริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัวถาวรช้ากว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และ ยาง AC 60-70

ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเกิดร่องล้อได้ง่ายขึ้นมีอยู่หลายปัจจัยคือ

1. การจัดขนาดคละของวัสดุผสม เช่นการจัดขนาดคละของหินปูนชั้น Bound baseจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีมีลักษณะมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าหินปูนชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีและหินแกรนิตชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 เมื่อมีมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าดังนั้นมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการขัดกันระหว่างอนุภาคทำให้ช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคมวลรวมเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อน้ำหนักมากระทำกับแอสฟัลต์คอนกรีต ส่งผลให้มีความต้านทานการเกิดร่องล้อได้ดีกว่าแอสฟัลต์ที่มีมวลรวมขนาดเล็กกว่า
2. ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ ถ้าใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์มากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไปเป็นผลทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมลดน้อยลง จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเกิดร่องล้อหรือเป็นคลื่นลูกระนาดและทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทะลักขึ้นมาบนผิวทางได้
3. จำนวนรอบในการบดอัด เนื่องจากหินปูนชั้น Bound baseจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีมีขนาดมวลรวมที่ใหญ่ บดอัดยากจึงจำเป็นต้องใช้จำนวนรอบที่บดอัดมากกว่า ในขณะที่หินปูนชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีและหินแกรนิตชั้น Wearing course จากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ใช้จำนวนรอบในการบดอัดที่น้อยกว่า บดอัดง่ายกว่า ทั้งนี้เพื่อให้ได้ปริมาตรช่องว่างอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีต 4 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง 3 โครงการ ซึ่งปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความทนทานของแอสฟัลต์คอนกรีต ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดร่องล้อได้มากกว่า

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัวของหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 5,20,35,50 และ 60 องศาเซลเซียส

Temp. C °	Resilient Modulus (MPa)		
	40-50	60-70	PMA
5	19,902	15,264	16,112
20	8,310	5,267	5,737
35	1,566	872	1,488
50	429	301	456
60	249	152	358

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำของหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส

Type	Sample	40		60	
		Flow point (cycle)	Permanent microstrain per cycle	Flow point (cycle)	Permanent microstrain per cycle
AC 40-50	1	-	1.72	1823	3.42
	2	-	1.52	1794	3.55
	3	-	1.82	1849	4.10
	Average	-	1.69	1822	3.69
AC 60-70	1	2321	5.42	1259	10.29
	2	2053	6.98	1196	10.31
	3	2230	5.96	1245	11.28
	Average	2201	6.12	1233	10.63
PMA	1	-	0.97	-	1.50
	2	-	1.79	-	1.74
	3	-	1.71	2971	4.97
	Average	-	1.49	-	2.74

หมายเหตุ Flow point คือจุดที่เริ่มเกิดการยุบตัวถาวร

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

**ตารางที่ 12** ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัวของหินปูนจากจากโครงการก่อสร้างทางหลวง  
หมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 5,20,35,50 และ 60 องศาเซลเซียส

Temp. C °	Resilient Modulus (MPa)		
	40-50	60-70	PMA
5	24,248	19,093	20,226
20	11,138	4,860	5,387
35	2,296	710	1,516
50	557	350	640
60	366	178	559

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

**ตารางที่ 13** ผลการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำของหินปูนจากจากโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส

Type	Sample	40		60	
		Flow point (cycle)	Permanent microstrain per cycle	Flow point (cycle)	Permanent microstrain per cycle
AC 40-50	1	1223	5.00	789	5.00
	2	1733	5.00	473	5.00
	3	1143	5.00	455	5.00
	Average	1366	5.00	572	5.00
AC 60-70	1	1440	5.00	552	5.00
	2	1199	5.00	762	5.00
	3	1128	5.00	530	5.00
	Average	1256	5.00	615	5.00
PMA	1	1152	1.58	8371	2.00
	2	2723	1.12	1601	2.04
	3	3741	1.44	3148	2.62
	Average	2539	1.38	4373	2.22

หมายเหตุ Flow point คือจุดที่เริ่มเกิดการยุบตัวถาวร

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

**ตารางที่ 14** ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวของหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทาง  
ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 5,20,35,50 และ 60 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ ° C	Resilient Modulus (MPa)		
	40/50	60/70	PMA
5	20,060	14,936	16,472
20	8,803	6,611	7,658
35	2,311	1,462	1,985
50	401	266	445
60	225	175	303

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

**ตารางที่ 15** ผลการทดสอบค่าการคืบแบบให้น้ำหนักกระทำซ้ำของหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้าง  
สายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส

Type	Sample	40		60	
		Flow point (cycle)	Permanent microstrain per cycle	Flow point (cycle)	Permanent microstrain per cycle
AC 40/50	1	-	0.86	4,116	0.99
	2	-	0.85	3,921	2.09
	3	-	0.96	3,200	6.18
	Average	-	0.89	3,746	3.09
AC 60/70	1	5560	2.04	2,693	2.01
	2	5967	1.66	2,415	1.95
	3	5676	2.32	1,693	11.71
	Average	5734	2.01	2,267	5.22
PMA	1	-	1.20	4,201	1.37
	2	-	1.71	4,461	1.41
	3	-	1.21	4,345	3.16
	Average	-	1.37	4,336	1.98

หมายเหตุ Flow point คือจุดที่เริ่มเกิดการยุบตัวถาวร

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการนำหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี, หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี และหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 มาผสมกับยาง AC 60-70, AC 40-50 และ PMA มาทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อแล้วผลที่ได้จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีพบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 30.44 % และ 39.67 % ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 74.82 % และ 76.24 % ตามลำดับ

2. ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลีพบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 42.55 % และ 79.57 % ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 90.73 % และ 95.23 % ตามลำดับ

3. ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 15.59 % และ 54.70 % ตามลำดับ

และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 อยู่ 81.42 % และ 90.11 % ตามลำดับ

4. ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์โดยเปรียบเทียบจากแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี อยู่ 54.24 % และ 64.84 % ตามลำดับ

5. ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์โดยเปรียบเทียบจากแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี อยู่ 33.05 % และ 57.43 % ตามลำดับ

6. ผลการทดสอบค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์โดยเปรียบเทียบจากแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA วัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี มีความต้านทานการเกิดร่องล้อมากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 และแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี อยู่ 69.81 % และ 85.59 % ตามลำดับ

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 และ PMA เมื่อเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 60-70 ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้ในปัจจุบัน

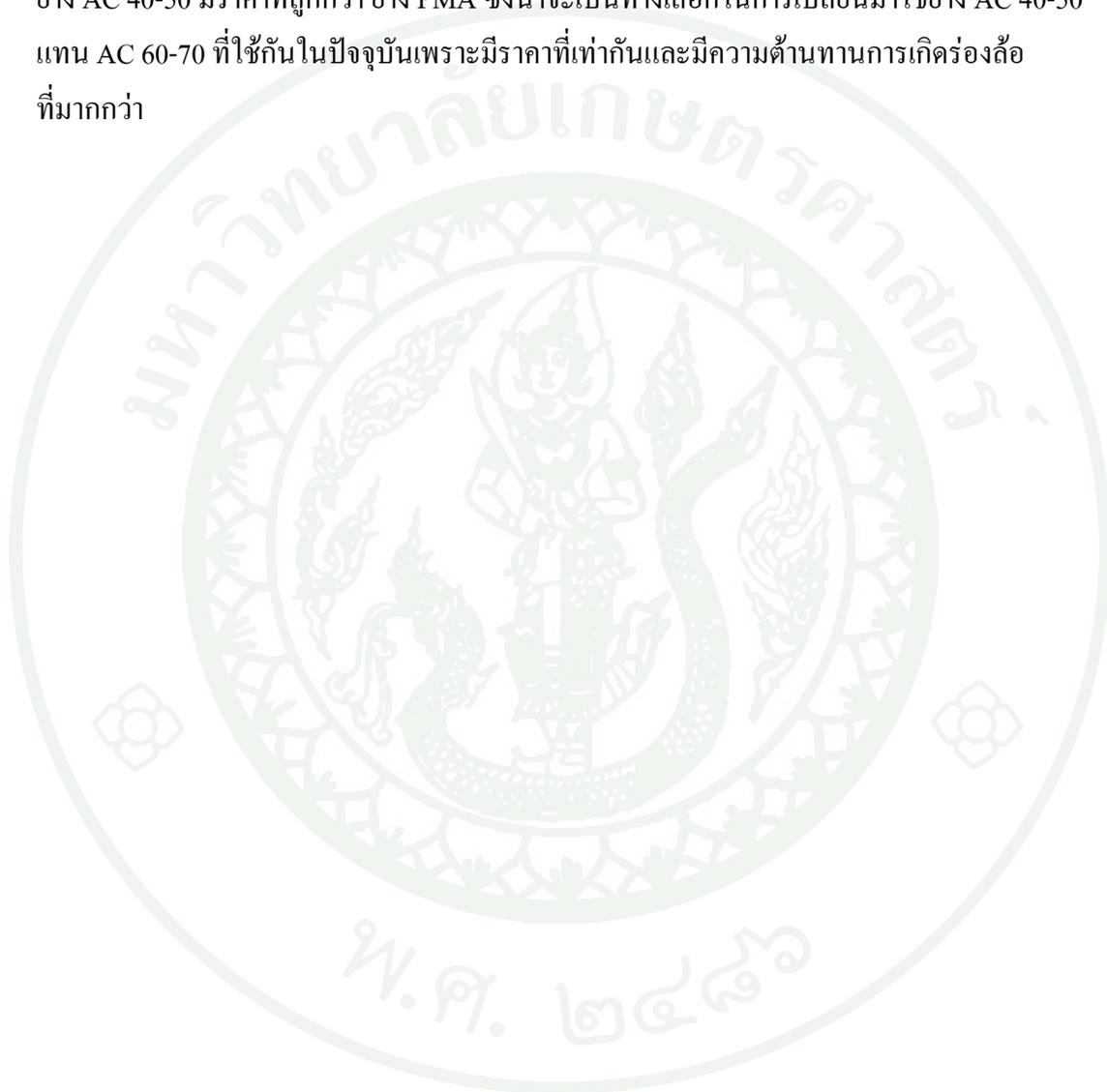
		Temperature		40		60	
		Asphalt Cement		40-50	PMA	40-50	PMA
1	หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี	42.55	79.57	90.73	95.23	%	%
	หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5	%	%	%	%	%	%
2	หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี	30.44	39.67	74.44	75.88	%	%
	หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5	%	%	%	%	%	%

ตารางที่ 17 เปรียบเทียบความต้านทานการเกิดร่องล้อของแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อเปรียบเทียบกับหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี

		Temperature		40		60			
		Asphalt Cement		40-50	60-70	PMA	40-50	60-70	PMA
หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5		54.24	33.05	69.81	51.42	2.59	53.40	%	%
หินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรี		64.84	57.43	85.89	63.50	0.78	80.25	%	%

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง AC 40-50 จะมีคุณสมบัติในด้านการต้านทานการเกิดร่องล้อที่ใกล้เคียงกับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ยาง PMA แต่เนื่องจากยาง AC 40-50 มีราคาที่ถูกกว่า ยาง PMA ซึ่งน่าจะเป็นทางเลือกในการเปลี่ยนมาใช้ยาง AC 40-50 แทน AC 60-70 ที่ใช้กันในปัจจุบันเพราะมีราคาเท่ากันและมีความต้านทานการเกิดร่องล้อที่มากกว่า



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทางหลวง. 2535. รายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวง เล่มที่ 1. กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

วัชรินทร์ วิทยกุล. 2547. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตซูเปอร์เพฟ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กฤษณะ จันทโรชิต. 2551. คุณสมบัติด้านการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุแอสฟัลต์ที่ผสมกับหินแกรนิตโดยการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โกสินทร์ เจริญานนท์. 2545. การเปรียบเทียบคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมัลติเกรดแอสฟัลต์ในแอสฟัลต์คอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชยธันธ์ พรหมสร และ กมลศักดิ์ ผดุงกิจ. 2544. รายงานฉบับที่ วพ. 186. การศึกษาผลกระทบจากการกระจายตัวของวัสดุมวลรวมที่มีต่อคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต. ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

ชยธันธ์ พรหมสร, ธนศักดิ์ ไฟกระโทก, เสกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, พรชัย ศีลารมย์ และ ณรงค์ชัย นุ่มกรรณ์. 2546. รายงานฉบับที่ วพ. 205. การประเมินคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทยโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ. สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

ธวัชชัย พิมสา. 2531. รายงานฉบับที่ วว. 113. กลสมบัติของหินบางชนิดในประเทศไทย กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

บุญพล มีไชโย. 2546. ความสัมพันธ์ระหว่างการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์กับวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประสิทธิ์ ภู่อประทุม. 2539. รายงานฉบับที่ วพ. 158. **อุณหภูมิมาตรฐานของถนนของกรมทางหลวง.** ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

พรชัย ศิลาธรรมย์. 2543. **การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการออกแบบโดยวิธีมาแชลล์และวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พริสา จันนุ้ย. 2546. **อิทธิพลของวัสดุเชื่อมประสานในสโตนมาติกแอสฟัลต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพศาล สุวรรณลักษณ์. 2543. **การศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของหินแกรนิตในประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นภสรพี อนันตชัยพงศ์. 2551. **คุณสมบัติด้านทานการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของวัสดุแอสฟัลต์ที่ผสมกับหินปูนโดยการเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมักร สันทอง. 2539. **โพลีเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สิทธิโชค ลีม่วงสวัสดิ์. 2543. **การศึกษาความเหมาะสมในการใช้กรวดจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีต.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง. 2543. **มาตรฐานวิธีทดลอง.** กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.

Asphalt Institute. 1983. **Asphalt Technology and Construction Practices, Instruvtor's Guide** : A1-D60. 2<sup>nd</sup>. ed. Series No.1 (ES-1). Maryland.

Asphalt Institute. 1995. **Superpave Level 1 Mix Design**. Superpave Series No.2 (SP-2).  
Lexington.

\_\_\_\_\_. 1998. **Construction of Hot Mix Asphalt Pavement**. 2<sup>nd</sup>. ed. Series No.22.  
Lexington.

Anani, B.A., F.A. Balghunaim and A.S. Al-Hazzaa. 1990. **Laboratory and Field Study of  
Pavement Rutting in Saudi Arabia**. Transportation Research Record, No.-1259.  
Transportation Research Board, Washington. D.C.

Brown, E.R. and C.E. Bassett. 1990. **Effect of Maximam Aggregate Size on Rutting  
Potential and Other Propoties of Asplalt-Aggregate Mixtures**. Transportation  
Research Record, No.-1259. Transportation Research Board, Washington. D.C.

Button, JW., D. Perdomo and R.L. Lytton. 1990. **Influence of Aggregate on Rutting in  
Asphalt Concrete Pavement**. Transportation Research Record, No.-1259.  
Transportation Research Board, Washington. D.C.

Collins,R., D. Watson and B. Cambell. 1995. **Development and use of Georgia loaded wheel  
tester**. Transportation Research Record, No.-1492. Transportation Research Board,  
Washington. D.C.

Federal Highway Administration. 2008. United States Department of Transportation. **French  
Pavement Rutting Tester (French PRT)**. Available Source: [http://www.tfhr.gov/  
pavement/asphalt](http://www.tfhr.gov/pavement/asphalt), 19 October 2009.





ตารางผนวกที่ ก1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับยาง AC 40-50

รายการ ที่	คุณสมบัติ	หน่วย	ข้อกำหนด	วิธีการทดสอบ
			AC 40-50	
1	เพนิตรชันที่อุณหภูมิ 25 °ซ	0.1 มม.	40 – 50	ทล.-ท.403/2518
2	การยึดตัวที่อุณหภูมิ 25 °ซ	ซม.	Min 100	ทล.-ท.405/2519
3	จุดวาบไฟ	°ซ	Min 232	ทล.-ท.406/2519
4	การละลายในไตรโคโรเอธิลีน	%	Min 99	ทล.-ท.409/2520
	การทดสอบที่เหลือจากการอบ			
5	น้ำหนักที่หายไป	%	Max 0.8	AASHTO T 179
6	ค่าเพนิตรชันที่เหลือ	%	Min 54	AASHTO T 179
7	การยึดตัวที่อุณหภูมิ 25 °ซ	ซม.	Min 0.8	AASHTO T 179

หมายเหตุ เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่ได้กำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ชนิด AC 40-50 จึงใช้ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ชนิด AC 60-70

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับยาง AC 60-70

รายการ ที่	คุณสมบัติ	หน่วย	ข้อกำหนด	วิธีการทดสอบ
			AC 60-70	
1	เพนิตรชันที่อุณหภูมิ 25 °ซ	0.1 มม.	60 – 70	ทล.-ท.403/2518
2	การยึดตัวที่อุณหภูมิ 25 °ซ	ซม.	Min 100	ทล.-ท.405/2519
3	จุดวาบไฟ	°ซ	Min 232	ทล.-ท.406/2519
4	การละลายในไตรโคโรเอธิลีน	%	Min 99	ทล.-ท.409/2520
	การทดสอบที่เหลือจากการอบ			
5	น้ำหนักที่หายไป	%	Max 0.8	AASHTO T 179
6	ค่าเพนิตรชันที่เหลือ	%	Min 54	AASHTO T 179
7	การยึดตัวที่อุณหภูมิ 25 °ซ	ซม.	Min 0.8	AASHTO T 179

ที่มา: มาตรฐานกรมทางหลวง (2531)

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับยางโพลีเมอร์โมดิฟายด์  
แอสฟัลต์ (PMA)

รายการที่	คุณสมบัติ	หน่วย	ข้อกำหนด	
			PMA	วิธีการทดสอบ
1	เพนิเตอร์ชันที่อุณหภูมิ 25 °ซ	0.1 มม.	60 – 70	DH-T 403
2	ดัชนีเพนิเตชัน	-	Min 3	NLT-181 <sup>a</sup> *
3	การยึดตัวที่อุณหภูมิ 13 °ซ	ซม.	Min 55	DH-T 405
4	จุดวาบไฟ	°ซ	Min 220	ASTM D92
5	การละลายในไตรโคโรเอธิลีน	%	Max 99	DH-T 409
6	ความหนืดที่อุณหภูมิ 135 °ซ	cP	1100	ASTM D4402
7	ความหนาแน่น	kg/l	1.00 - 1.05	ASTM D70
8	การทดสอบที่เหลือจากการอบ น้ำหนักที่หายไป	%	Max 0.5	ASTM D1754
9	ค่าเพนิเตชันที่เหลือ	%	Min 70	DH-T 403
10	การยึดตัวที่อุณหภูมิ 13 °ซ	ซม.	Min 40	DH-T 405

หมายเหตุ \* = The National Laboratory of Transportation Madrid, Spain

ที่มา: มาตรฐานกรมทางหลวง (2536)

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดสอบวัสดุหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยง  
เมืองชลบุรีที่ใช้ออกแบบก้อนตัวอย่าง

Description	Bin 1			Bin			Total
	Passing	Retained	Total	2	3	4	
Mix Proportion (%)	-		42	24	17	17	100
Bulk Specific Gravity	-	2.630	2.641	2.645	2.653	2.663	2.648
Apparent Specific Gravity	2.713	2.722	2.721	2.708	2.708	2.710	2.714
Effective Specific Gravity	-	-	-	-	-	-	2.666
Water Absorption (%)	-	1.27	-	0.87	0.78	0.66	-
เหลี่ยมมุมของมวลรวม ละเอียด		45		-	-	-	-
เหลี่ยมมุมของมวลรวมหยาบ (%) ไม่น้อยกว่า 90 %		-		100	100	100	-
ความแบนและความยาว ของอนุภาค (%) ไม่นเกิน 10		-		10	2	1	-
Flakiness Index (%)		ไม่เกิน 35 %		41	26	24	30
Elongation Index (%)		ไม่น้อยกว่า 5 %		22	21	24	22
Asphalt Absorption (%)		AC 40-50=0.328		AC 60-70=0.321		PMA=0.325	
Los Angeles Abrasion (%)		ไม่เกิน 40 %			27.2%		
Soundness (%)		ไม่เกิน 9 %					Coarse Agg 3/4" =1.2 %, Fine Agg = 4.32%
Sand Equivalent (%)		ไม่น้อยกว่า 50 %				69.9%	

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

ตารางผนวกที่ ก5 ผลการทดสอบวัสดุปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9  
สายบางปะอิน-บางพลีที่ใช้แบบก้อนตัวอย่าง

Description	Bin 1			Bin			Total
	Passing	Retained	Total	2	3	4	
Mix Proportion (%)	-		45	13	19	23	100
Bulk Specific Gravity	-	2.677	2.683	2.695	2.701	2.714	2.696
Apparent Specific Gravity	2.727	2.738	2.737	2.735	2.736	2.738	2.737
Effective Specific Gravity	-	-	-	-	-	-	2.731
Water Absorption (%)	-	0.83	-	0.55	0.47	0.33	-
เหลี่ยมมุมของมวลรวม ละเอียด		45		-	-	-	-
เหลี่ยมมุมของมวลรวมหยาบ (%) ไม่น้อยกว่า 90 %				100	100	100	-
ความแบนและความยาว ของอนุภาค (%) ไม่นเกิน 10				10	2	1	-
Flakiness Index (%)	ไม่เกิน 35 %			56	26	20	28
Elongation Index (%)	ไม่น้อยกว่า 5 %			5	29	20	22
Asphalt Absorption (%)		AC 40-50=0.328		AC 60-70=0.321		PMA=0.325	
Los Angeles Abrasion (%)	ไม่เกิน 40 %				25.1%		
Soundness (%)	ไม่เกิน 9 %						Coarse Agg 3/4" =0.7 %, Fine Agg = 4.0%
Sand Equivalent (%)	ไม่น้อยกว่า 50 %				71%		

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

ตารางผนวกที่ ก6 ผลการทดสอบวัสดุหินแกรนิตจากโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5 ที่ใช้ออกแบบก่อนตัวอย่าง

Description	Bin 1			Bin			Total
	Passing	Retained	Total	2	3	4	
Mix Proportion (%)	-		45	13	19	23	100
Bulk Specific Gravity	-	2.606	2.612	2.610	2.611	2.615	2.612
Apparent Specific Gravity	2.680	2.665	2.666	2.657	2.651	2.650	2.658
Effective Specific Gravity	-	-	-	-	-	-	-
Water Absorption (%)	-	0.80	-	0.68	0.58	0.50	-
เหลี่ยมมุมของมวลรวม ละเอียด		45		-	-	-	-
เหลี่ยมมุมของมวลรวมหยาบ (%) ไม่น้อยกว่า 90 %				100	100	100	-
ความแบนและความยาว ของอนุภาค (%) ไม่นเกิน 10				10	2	1	-
Flakiness Index (%)		ไม่เกิน 35 %		45	12	11	18
Elongation Index (%)		ไม่น้อยกว่า 5 %		5	25	27	22
Asphalt Absorption (%)		AC 40-50=0.328		AC 60-70=0.321		PMA=0.325	
Los Angeles Abrasion (%)		ไม่เกิน 40 %			23%		
Soundness (%)		ไม่เกิน 9 %		Coarse Agg 3/4" =2.05 %, Fine Agg = 3.90%			
Sand Equivalent (%)		ไม่น้อยกว่า 50 %			78%		

ที่มา: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง (ม.ป.ป.)

ตารางผนวกที่ ก7 ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด

รายการ ที่	คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
1.	ขนาดคละ (Gradation)	-	ทล.-ท.205/2517 หรือ AASHTO T37-77 หรือ ASTM C136-84A
2.	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	-	ทล.-ท.209/2517 หรือ AASHTO T84-77 หรือ ASTM C128-84
3.	ความคงทน (Soundness)	ไม่เกิน 9%	ทล.-ท.213/2531
4.	ค่าทรายสมมูล (Sand Equivalent)	ไม่น้อยกว่า 50%	ทล.-ท.203/2515 หรือ AASHTO T176- 73 หรือ ASTM D2419-74
5.	ความเป็นเหลี่ยมมุมของมวลรวมละเอียด	-	AASHTO TP33

ที่มา: มาตรฐานกรมทางหลวง (2536)

ตารางผนวกที่ ก8 ข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบ

รายการ ที่	คุณสมบัติ	ข้อกำหนด	วิธีทดสอบ
1.	ขนาดคละ (Gradation)	-	ทล.-ท.204/2516 หรือ AASHTO T27-78 หรือ ASTM C136-84A
2.	ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	-	ทล.-ท.207/2517 หรือ AASHTO T85-77 หรือ ASTM C127-84
3.	ความคงทน (Soondness)	-	ทล.-ท.213/2531 หรือ AASHTO T104- 77 หรือ ASTM C88-83
4.	ดัชนีความแบน (Flakiness Index)	ไม่เกิน 30%	ทล.-ท.210/2518
5.	ดัชนีความยาว (Elongation Index)	ไม่เกิน 30%	ทล.-ท.211/2518
6.	ความสึกหรอของมวลรวมหยาบ โดย เครื่อง Los Angeles Abrasion	ไม่เกิน 40%	ทล.-ท.202/2518 หรือ AASHTO T96-77 หรือ ASTM C131-81
7.	ความเป็นเหลี่ยมมุมของมวลรวมหยาบ	-	ASTM D5821
8.	ความแบนความยาวของอนุภาค	ไม่เกิน 10%	ASTM D4791

ที่มา: มาตรฐานกรมทางหลวง (2536)



ภาคผนวก ข  
ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างและ  
ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อ

ตารางผนวกที่ ข1 ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรี

ครั้งที่	ส่วนที่	ซังใน		ซังในอากาศสภาพผิว		ความหนาแน่น
		อากาศ	ซังในน้ำ	แห้ง		
1	1	1155.3	686.3	1167.8		2.399
	2	1158.9	688.1	1170.2		2.404
	3	1157.3	687.5	1169.3		2.402
	4	1158.7	687.8	1170.0		2.403
2	1	1156.7	687.3	1168.8		2.402
	2	1157.6	685.9	1169.7		2.393
	3	1156.5	684.9	1168.1		2.393
	4	1156.6	684.7	1168.2		2.392
3	1	1154.7	683.5	1166.3		2.392
	2	1149.8	682.3	1161.1		2.401
	3	1145.4	681.4	1158.7		2.400
	4	1156.6	682.8	1168.3		2.382

ตารางผนวกที่ ข2 ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินปูนจากโครงการก่อสร้าง  
ทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลี

ครั้งที่	ส่วนที่	ซังใน		ซังในอากาศสภาพผิว		ความหนาแน่น
		อากาศ	ซังในน้ำ	แห้ง		
1	1	1155.3	676.1	1167.5		2.351
	2	1152.3	675.5	1163.5		2.361
	3	1154.3	675.2	1163.7		2.363
	4	1153.5	674.9	1164.5		2.356
2	1	1150.1	670.2	1161.3		2.342
	2	1147.2	661.1	1151.2		2.341
	3	1159.2	669.3	1162.3		2.351
	4	1100	634	1101.7		2.352
3	1	1098.3	634.1	1100.7		2.354
	2	1100.6	635.8	1101.9		2.361
	3	1097.7	635.1	1100.4		2.359
	4	1097.8	634.3	1099.3		2.361

ตารางผนวกที่ ข3 ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตจากโครงการก่อสร้าง  
สายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรีตอน 5

ครั้งที่	ส่วนที่	ชั้นใน		ชั้นในอากาศสภาพผิว		ความหนาแน่น
		อากาศ	ชั้นในน้ำ	แห้ง		
1	1	1118.3	658.6	1119.0		2.429
	2	1121.3	659.5	1122.3		2.423
	3	1117.7	658.4	1118.0		2.432
	4	1121.2	659.9	1121.4		2.429
2	1	1120.9	661.8	1123.6		2.427
	2	1120.2	660.0	1121.5		2.427
	3	1120.5	661.9	1123.4		2.428
	4	1121.8	662.7	1124.1		2.431
3	1	1121.7	662.5	1123.4		2.434
	2	1120.2	661.8	1124.2		2.423
	3	1117.7	660.1	1120.4		2.428
	4	1117.8	659.3	1119.3		2.430

ตารางผนวกที่ ข4 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.41	29.82	26.5
1000	1.4	1.61	1.61	1.61	1.58	1.55	1.54	1.53	1.5	1.47	1.41	1.33	1.2	1.11	1.04	0.98	36.07	34.18	26.49
2000	1.8	2.03	2.03	2.03	1.99	1.95	1.93	1.93	1.9	1.86	1.8	1.71	1.59	1.49	1.43	1.38	36.58	34.7	26.5
3000	2.1	2.36	2.36	2.35	2.3	2.24	2.22	2.21	2.19	2.15	2.09	2	1.87	1.77	1.72	1.69	35.68	34.78	26.46
4000	2.35	2.63	2.63	2.62	2.54	2.47	2.45	2.45	2.43	2.39	2.32	2.24	2.12	2.04	1.99	1.96	35.8	34.88	26.49
5000	2.6	2.91	2.91	2.89	2.79	2.71	2.69	2.69	2.67	2.64	2.58	2.48	2.36	2.28	2.25	2.23	35.79	34.72	26.46
6000	2.85	3.19	3.18	3.16	3.05	2.95	2.92	2.94	2.91	2.88	2.81	2.73	2.61	2.54	2.51	2.5	35.89	34.74	26.49
7000	3.1	3.47	3.45	3.42	3.29	3.18	3.15	3.16	3.14	3.1	3.04	2.97	2.86	2.8	2.78	2.77	35.7	34.67	26.5
8000	3.37	3.8	3.77	3.71	3.57	3.44	3.41	3.4	3.38	3.35	3.28	3.21	3.11	3.05	3.04	3.05	35.67	34.47	26.49
9000	3.65	4.17	4.12	4.03	3.85	3.71	3.67	3.67	3.65	3.61	3.54	3.47	3.37	3.32	3.32	3.33	35.63	34.47	26.5
10000	3.97	4.62	4.53	4.4	4.18	4.03	3.97	3.96	3.92	3.88	3.8	3.74	3.64	3.61	3.61	3.64	35.61	34.31	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.97 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.250 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.273mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข5 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.87	29.73	26.5
1000	2.05	1.96	1.99	2.01	2.02	2.03	2.05	2.07	2.1	2.12	2.12	2.08	2.07	2.08	2.06	2.02	33.45	35.17	26.48
2000	2.45	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.44	2.47	2.5	2.52	2.51	2.47	2.45	2.48	2.46	2.4	33.87	35.57	26.5
3000	2.72	2.68	2.67	2.68	2.69	2.7	2.71	2.74	2.77	2.79	2.79	2.73	2.72	2.76	2.75	2.68	34.04	35.07	26.51
4000	2.97	2.95	2.92	2.93	2.95	2.95	2.94	2.97	3.01	3.03	3.03	2.97	2.96	2.99	2.98	2.92	33.98	34.61	26.5
5000	3.17	3.17	3.14	3.15	3.16	3.16	3.15	3.18	3.21	3.24	3.23	3.17	3.14	3.2	3.19	3.12	33.8	34.15	26.5
6000	3.35	3.38	3.32	3.33	3.35	3.33	3.31	3.34	3.38	3.41	3.4	3.33	3.32	3.36	3.37	3.3	33.61	34.03	26.48
7000	3.51	3.55	3.51	3.51	3.5	3.48	3.46	3.52	3.56	3.58	3.57	3.5	3.49	3.53	3.52	3.45	33.53	34.1	26.54
8000	3.65	3.73	3.66	3.66	3.66	3.62	3.59	3.62	3.66	3.69	3.68	3.61	3.6	3.66	3.67	3.6	33.59	34.21	26.49
9000	3.78	3.9	3.81	3.8	3.8	3.75	3.72	3.75	3.79	3.82	3.81	3.74	3.73	3.78	3.8	3.73	33.72	34.34	26.5
10000	3.9	4.03	3.95	3.94	3.92	3.87	3.85	3.89	3.92	3.94	3.92	3.84	3.83	3.91	3.94	3.86	33.78	34.56	26.58

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.90 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.142 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.1473mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข6** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรีกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.94	32.09	26.5
1000	1.57	1.67	1.62	1.56	1.53	1.51	1.47	1.44	1.45	1.48	1.52	1.54	1.58	1.65	1.72	1.81	36.38	35.85	26.5
2000	1.95	2.09	2.02	1.94	1.9	1.86	1.81	1.78	1.8	1.83	1.89	1.92	1.97	2.06	2.15	2.26	36.89	36.2	26.51
3000	2.19	2.35	2.26	2.17	2.12	2.08	2.03	2	2.02	2.06	2.12	2.16	2.22	2.31	2.42	2.53	36.97	35.48	26.51
4000	2.48	2.65	2.55	2.45	2.4	2.35	2.29	2.27	2.29	2.33	2.4	2.45	2.51	2.62	2.73	2.86	36.79	34.8	26.49
5000	2.81	3	2.9	2.78	2.72	2.66	2.61	2.58	2.56	2.64	2.72	2.78	2.85	2.97	3.09	3.22	36.54	34.34	26.52
6000	3.14	3.35	3.23	3.1	3.03	2.98	2.93	2.9	2.92	2.97	3.05	3.11	3.19	3.3	3.43	3.58	36.4	34.35	26.5
7000	3.51	3.74	3.61	3.47	3.4	3.34	3.29	3.26	3.28	3.32	3.41	3.48	3.57	3.69	3.82	3.97	36.32	34.47	26.52
8000	3.58	3.81	3.68	3.53	3.45	3.4	3.35	3.32	3.34	3.38	3.47	3.54	3.63	3.76	3.9	4.06	36.31	34.71	26.5
9000	3.61	3.85	3.72	3.56	3.48	3.42	3.36	3.33	3.36	3.41	3.5	3.57	3.66	3.79	3.94	4.11	36.27	34.67	26.49
10000	3.65	3.91	3.77	3.61	3.51	3.45	3.4	3.37	3.39	3.44	3.53	3.61	3.7	3.85	4	4.17	36.29	34.62	26.51

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.65 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.166 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.1683mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข7 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรีกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)	
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.8	33.5	26.5
1000	2.3	2	2.12	2.24	2.32	2.36	2.39	2.42	2.42	2.42	2.4	2.37	2.35	2.31	2.24	2.18	37.85	34.95	26.51	
2000	2.9	2.51	2.65	2.79	2.9	2.96	3	3.04	3.06	3.05	3.03	2.99	2.96	2.93	2.84	2.75	38.51	35.43	26.53	
3000	3.35	2.9	3.06	3.23	3.34	3.41	3.46	3.5	3.52	3.52	3.5	3.47	3.44	3.38	3.28	3.17	38.25	35.04	26.49	
4000	3.73	3.23	3.4	3.58	3.71	3.78	3.84	3.9	3.92	3.93	3.91	3.88	3.85	3.79	3.66	3.52	37.68	34.45	26.5	
5000	4.06	3.51	3.7	3.89	4.03	4.12	4.18	4.25	4.27	4.3	4.26	4.23	4.2	4.14	3.98	3.82	37.15	34.03	26.49	
6000	4.39	3.8	3.99	4.2	4.36	4.45	4.52	4.61	4.63	4.64	4.62	4.58	4.55	4.48	4.3	4.11	36.81	33.76	26.51	
7000	4.69	4.07	4.27	4.49	4.66	4.75	4.83	4.92	4.95	4.96	4.93	4.89	4.85	4.77	4.58	4.37	36.68	33.71	26.49	
8000	4.96	4.32	4.52	4.76	4.94	5.04	5.12	5.21	5.24	5.25	5.22	5.17	5.13	5.04	4.84	4.61	36.69	33.86	26.49	
9000	5.24	4.56	4.78	5.03	5.22	5.31	5.4	5.5	5.54	5.55	5.53	5.48	5.42	5.32	5.1	4.85	36.69	34	26.49	
10000	5.54	4.85	5.06	5.32	5.51	5.63	5.72	5.82	5.82	5.87	5.84	5.77	5.7	5.6	5.38	5.11	36.75	34.11	26.5	

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 5.54 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.310 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.300mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข8 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.83	33.58	26.49
1000	2.52	2.47	2.41	2.53	2.53	2.54	2.56	2.49	2.51	2.53	2.63	2.49	2.47	2.59	2.48	2.53	37.88	34.98	26.5
2000	3	2.97	2.89	3.02	3.02	3.03	3.04	2.97	3	3.02	3.12	2.97	2.95	3.08	2.96	3	38.54	35.46	26.52
3000	3.3	3.29	3.2	3.31	3.32	3.32	3.33	3.27	3.3	3.32	3.42	3.27	3.26	3.39	3.27	3.31	38.28	35.07	26.48
4000	3.55	3.56	3.46	3.56	3.56	3.57	3.57	3.52	3.55	3.57	3.67	3.52	3.51	3.64	3.51	3.56	37.71	34.48	26.49
5000	4.05	3.71	3.68	3.87	4.01	4.1	4.16	4.23	4.25	4.26	4.24	4.21	4.18	4.12	3.97	3.81	37.18	34.06	26.48
6000	4.37	3.82	3.97	4.18	4.34	4.43	4.5	4.59	4.61	4.62	4.6	4.56	4.53	4.46	4.29	4.1	36.84	33.79	26.5
7000	4.67	4.05	4.25	4.47	4.64	4.73	4.81	4.9	4.93	4.94	4.91	4.87	4.83	4.75	4.57	4.36	36.71	33.74	26.48
8000	4.94	4.3	4.5	4.74	4.92	5.02	5.1	5.19	5.22	5.23	5.2	5.15	5.11	5.02	4.83	4.6	36.72	33.89	26.48
9000	5.22	4.54	4.76	5.01	5.2	5.29	5.38	5.48	5.52	5.53	5.51	5.46	5.4	5.3	5.09	4.84	36.72	34.03	26.48
10000	5.52	4.83	5.04	5.3	5.49	5.61	5.7	5.8	5.84	5.85	5.82	5.75	5.68	5.58	5.37	5.1	36.78	34.14	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 5.52 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.320 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.300mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข9** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลียงเมืองชลบุรีกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36.6	37.5	26.5
1000	2.26	1.96	2.08	2.09	2.27	2.34	2.36	2.4	2.37	2.38	2.39	2.36	2.32	2.26	2.22	2.15	38.65	38.95	26.51
2000	2.86	2.47	2.61	2.62	2.85	2.94	2.97	3.02	3.01	3.02	3.02	2.99	2.94	2.88	2.82	2.74	39.31	39.43	26.53
3000	3.30	2.86	3.02	3.03	3.29	3.39	3.43	3.48	3.47	3.48	3.49	3.47	3.42	3.33	3.26	3.16	39.05	39.04	26.49
4000	3.69	3.19	3.36	3.37	3.66	3.76	3.81	3.88	3.87	3.88	3.91	3.88	3.83	3.74	3.64	3.53	38.48	38.45	26.5
5000	4.02	3.47	3.66	3.67	3.98	4.1	4.15	4.23	4.22	4.23	4.25	4.23	4.18	4.09	3.96	3.83	37.95	38.03	26.49
6000	4.35	3.76	3.95	3.96	4.31	4.43	4.49	4.59	4.58	4.59	4.61	4.58	4.53	4.43	4.28	4.15	37.61	37.76	26.51
7000	4.64	4.03	4.23	4.24	4.61	4.73	4.8	4.9	4.9	4.91	4.93	4.89	4.83	4.72	4.56	4.42	37.48	37.71	26.49
8000	4.92	4.28	4.48	4.49	4.89	5.02	5.09	5.19	5.19	5.2	5.22	5.17	5.11	4.99	4.82	4.66	37.49	37.86	26.49
9000	5.2	4.52	4.74	4.75	5.17	5.29	5.37	5.48	5.49	5.5	5.52	5.48	5.41	5.27	5.08	4.91	37.49	38	26.49
10000	5.49	4.81	5.02	5.03	5.46	5.61	5.69	5.8	5.81	5.82	5.84	5.79	5.7	5.55	5.36	5.19	37.55	38.11	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

Central Steady State Tracking Rate = 0.320 mm/1000 Passes

FINAL RUT DEPTH = 5.49 mm

Average Steady State Tracking Rate = 0.300mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข10** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรี  
 กั๊บายาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.67	35.18	26.5
1000	1.97	1.8	1.86	1.89	1.93	1.95	1.95	1.96	1.97	2	2.03	2.03	2.01	2.03	2.07	2.08	38.32	37.54	26.52
2000	2.29	2.1	2.17	2.21	2.25	2.27	2.26	2.26	2.28	2.31	2.36	2.35	2.33	2.34	2.39	2.41	38.89	38.07	26.52
3000	2.47	2.3	2.36	2.39	2.43	2.45	2.44	2.44	2.46	2.5	2.55	2.54	2.51	2.53	2.58	2.6	39.2	38.64	26.5
4000	2.62	2.44	2.5	2.54	2.58	2.6	2.58	2.59	2.6	2.64	2.69	2.7	2.65	2.66	2.71	2.75	39.35	38.77	26.49
5000	2.74	2.56	2.62	2.66	2.7	2.73	2.71	2.71	2.73	2.77	2.83	2.82	2.78	2.78	2.83	2.86	39.1	38.76	26.51
6000	2.86	2.7	2.75	2.78	2.82	2.85	2.84	2.83	2.85	2.89	2.95	2.94	2.9	2.9	2.96	2.99	39.14	38.82	26.5
7000	2.94	2.77	2.82	2.85	2.89	2.92	2.91	2.91	2.93	2.96	3.03	3.03	2.98	2.99	3.04	3.08	39.39	39.02	26.49
8000	3.02	2.85	2.9	2.93	2.97	3	2.99	2.98	3	3.04	3.11	3.1	3.05	3.06	3.12	3.15	39.64	39.24	26.5
9000	3.09	2.92	2.97	3.01	3.05	3.08	3.05	3.05	3.07	3.11	3.19	3.19	3.13	3.13	3.18	3.23	39.67	39.37	26.5
10000	3.16	3	3.05	3.07	3.12	3.15	3.13	3.12	3.14	3.19	3.26	3.25	3.2	3.2	3.26	3.3	39.63	39.41	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

Central Steady State Tracking Rate = 0.080 mm/1000 Passes

FINAL RUT DEPTH = 3.16 mm

Average Steady State Tracking Rate = 0.080mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข11** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรีกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.68	35.19	26.5
1000	1.88	1.83	1.84	1.85	1.85	1.85	1.87	1.87	1.87	1.87	1.87	1.88	1.9	1.93	1.93	1.94	38.33	37.55	26.52
2000	2.13	2.09	2.09	2.1	2.09	2.09	2.12	2.12	2.12	2.11	2.12	2.14	2.18	2.2	2.2	2.21	38.9	38.08	26.52
3000	2.31	2.25	2.25	2.26	2.25	2.26	2.28	2.29	2.29	2.28	2.29	2.32	2.36	2.4	2.4	2.41	39.21	38.65	26.5
4000	2.46	2.38	2.38	2.39	2.38	2.39	2.42	2.44	2.43	2.43	2.45	2.48	2.53	2.58	2.58	2.59	39.36	38.78	26.49
5000	2.66	2.56	2.57	2.57	2.57	2.57	2.61	2.63	2.62	2.64	2.65	2.69	2.74	2.79	2.8	2.81	39.11	38.77	26.51
6000	2.80	2.7	2.7	2.7	2.69	2.7	2.74	2.77	2.78	2.78	2.8	2.84	2.9	2.96	2.97	2.98	39.15	38.83	26.5
7000	2.93	2.81	2.81	2.81	2.8	2.82	2.86	2.9	2.9	2.91	2.93	2.98	3.04	3.1	3.11	3.12	39.4	39.03	26.49
8000	3.07	2.96	2.95	2.95	2.94	2.95	3	3.04	3.04	3.05	3.08	3.13	3.2	3.26	3.28	3.29	39.65	39.25	26.5
9000	3.21	3.08	3.07	3.07	3.06	3.07	3.12	3.17	3.18	3.19	3.22	3.28	3.35	3.42	3.44	3.45	39.68	39.38	26.5
10000	3.31	3.17	3.16	3.15	3.14	3.15	3.21	3.26	3.26	3.28	3.31	3.37	3.45	3.53	3.55	3.56	39.64	39.42	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.31 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.126 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.130mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข12** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)	
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.68	35.19	26.5
1000	2.31	2.14	2.2	2.23	2.26	2.28	2.28	2.3	2.31	2.34	2.36	2.37	2.35	2.37	2.41	2.41	38.3	37.52	26.52	
2000	2.62	2.44	2.51	2.55	2.58	2.6	2.59	2.6	2.62	2.65	2.69	2.69	2.67	2.68	2.73	2.74	38.87	38.05	26.52	
3000	2.81	2.64	2.7	2.73	2.76	2.78	2.77	2.78	2.8	2.84	2.88	2.88	2.85	2.87	2.92	2.93	39.18	38.62	26.5	
4000	2.95	2.78	2.84	2.88	2.91	2.93	2.91	2.93	2.94	2.98	3.02	3.04	2.99	3	3.05	3.08	39.33	38.75	26.49	
5000	3.08	2.9	2.96	3	3.03	3.06	3.04	3.05	3.08	3.11	3.16	3.16	3.12	3.12	3.17	3.19	39.08	38.74	26.51	
6000	3.2	3.04	3.09	3.12	3.15	3.18	3.17	3.17	3.19	3.23	3.28	3.28	3.24	3.24	3.3	3.32	39.12	38.8	26.5	
7000	3.28	3.11	3.16	3.19	3.22	3.25	3.24	3.25	3.27	3.3	3.36	3.37	3.32	3.33	3.38	3.41	39.37	39	26.49	
8000	3.35	3.19	3.24	3.27	3.3	3.33	3.32	3.32	3.34	3.38	3.44	3.44	3.39	3.4	3.46	3.48	39.62	39.22	26.5	
9000	3.43	3.26	3.31	3.35	3.38	3.41	3.38	3.39	3.41	3.45	3.52	3.53	3.47	3.47	3.52	3.56	39.65	39.35	26.5	
10000	3.5	3.34	3.39	3.41	3.45	3.48	3.46	3.46	3.52	3.53	3.59	3.59	3.54	3.54	3.6	3.63	39.61	39.39	26.5	

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.50 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.09 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.08 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข13** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.85	56.64	26.5
1000	1.97	1.66	1.78	1.9	1.99	2.03	2.06	2.08	2.08	2.08	2.07	2.03	2.01	1.97	1.9	1.85	58.67	56.86	26.51
2000	2.56	2.17	2.31	2.45	2.57	2.63	2.67	2.7	2.72	2.71	2.7	2.65	2.62	2.59	2.5	2.42	58.67	56.86	26.53
3000	3.01	2.56	2.72	2.89	3.01	3.08	3.13	3.16	3.18	3.18	3.17	3.13	3.1	3.04	2.94	2.84	58.8	57.02	26.49
4000	3.39	2.89	3.06	3.24	3.38	3.45	3.51	3.56	3.58	3.59	3.58	3.54	3.51	3.45	3.32	3.19	58.91	57.1	26.5
5000	3.72	3.17	3.36	3.55	3.7	3.79	3.85	3.91	3.93	3.94	3.93	3.89	3.86	3.8	3.64	3.49	58.91	57.1	26.49
6000	4.05	3.46	3.65	3.86	4.03	4.12	4.19	4.27	4.29	4.3	4.29	4.24	4.21	4.14	3.96	3.78	58.85	56.91	26.51
7000	4.35	3.73	3.93	4.15	4.33	4.42	4.5	4.58	4.61	4.62	4.6	4.55	4.51	4.43	4.24	4.04	58.92	57.14	26.49
8000	4.62	3.98	4.18	4.42	4.61	4.71	4.79	4.87	4.9	4.91	4.89	4.83	4.79	4.7	4.5	4.28	58.92	57.14	26.49
9000	4.9	4.22	4.44	4.69	4.89	4.98	5.07	5.16	5.2	5.21	5.2	5.14	5.08	4.98	4.76	4.52	58.72	56.89	26.49
10000	5.2	4.51	4.72	4.98	5.18	5.3	5.39	5.48	5.52	5.53	5.51	5.43	5.36	5.26	5.04	4.78	58.75	57.06	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 5.20 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.318 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.296mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข14** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีรัมย์ยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58.88	57.05	26.5
1000	1.85	1.6	1.72	1.74	1.82	1.86	1.89	2.02	2.02	1.92	2	1.97	1.95	1.81	1.84	1.68	58.98	57.06	26.5
2000	2.44	2.11	2.25	2.29	2.4	2.46	2.5	2.64	2.66	2.55	2.63	2.59	2.56	2.43	2.44	2.25	57.74	56.99	26.51
3000	2.89	2.5	2.66	2.73	2.84	2.91	2.96	3.1	3.12	3.02	3.1	3.07	3.04	2.88	2.88	2.67	57.91	57.05	26.51
4000	3.27	2.83	3	3.08	3.21	3.28	3.34	3.5	3.52	3.43	3.51	3.48	3.45	3.29	3.26	3.02	57.91	56.99	26.49
5000	3.6	3.11	3.3	3.39	3.53	3.62	3.68	3.85	3.87	3.78	3.86	3.83	3.8	3.64	3.58	3.32	57.73	56.98	26.52
6000	3.93	3.4	3.59	3.7	3.86	3.95	4.02	4.21	4.23	4.14	4.22	4.18	4.15	3.98	3.9	3.61	57.61	56.96	26.5
7000	4.23	3.67	3.87	3.99	4.16	4.25	4.33	4.52	4.55	4.46	4.53	4.49	4.45	4.27	4.18	3.87	57.75	56.9	26.52
8000	4.5	3.92	4.12	4.26	4.44	4.54	4.62	4.81	4.84	4.75	4.82	4.77	4.73	4.54	4.44	4.11	57.9	57.21	26.5
9000	4.78	4.16	4.38	4.53	4.72	4.81	4.9	5.1	5.14	5.05	5.13	5.08	5.02	4.82	4.7	4.35	58.22	57.61	26.5
10000	5.08	4.45	4.66	4.82	5.01	5.13	5.22	5.42	5.46	5.37	5.44	5.37	5.3	5.1	4.98	4.61	58.48	57.63	26.47

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 5.08 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.318 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.296mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข15 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49.85	51.64	26.5
1000	1.96	1.65	1.78	1.75	1.97	2.05	2.07	2.06	2.03	2.08	2.1	2.07	1.98	1.96	1.93	1.86	57.53	56.77	26.52
2000	2.55	2.16	2.31	2.28	2.55	2.65	2.68	2.68	2.67	2.72	2.73	2.7	2.6	2.58	2.53	2.45	57.74	56.99	26.52
3000	3	2.55	2.72	2.69	2.99	3.1	3.14	3.14	3.13	3.18	3.2	3.18	3.08	3.03	2.97	2.87	57.91	57.05	26.5
4000	3.38	2.88	3.06	3.03	3.36	3.47	3.52	3.54	3.53	3.58	3.62	3.59	3.49	3.44	3.35	3.24	57.91	56.99	26.49
5000	3.71	3.15	3.36	3.33	3.68	3.8	3.86	3.89	3.88	3.93	3.96	3.94	3.84	3.79	3.67	3.54	57.73	56.98	26.51
6000	4.04	3.45	3.65	3.62	4.01	4.14	4.2	4.25	4.24	4.29	4.32	4.29	4.19	4.13	3.99	3.86	57.61	56.96	26.5
7000	4.34	3.72	3.93	3.9	4.31	4.44	4.51	4.56	4.56	4.61	4.64	4.6	4.49	4.42	4.27	4.13	57.75	56.9	26.49
8000	4.61	3.97	4.18	4.15	4.59	4.73	4.8	4.85	4.85	4.9	4.93	4.88	4.77	4.69	4.53	4.37	57.9	57.21	26.49
9000	4.89	4.21	4.44	4.41	4.87	5	5.08	5.14	5.15	5.2	5.23	5.19	5.07	4.97	4.79	4.62	58.22	57.61	26.49
10000	5.18	4.5	4.7	4.7	5.14	5.3	5.38	5.46	5.48	5.52	5.55	5.5	5.35	5.25	5.05	4.9	58.48	57.63	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 5.18 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.320 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.295mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข16** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	52	26.5
200	1.47	1.44	1.47	1.49	1.48	1.49	1.5	1.5	1.49	1.48	1.46	1.46	1.46	1.45	1.46	1.48	58.82	56.97	26.5
400	1.94	1.92	1.97	1.97	1.95	1.94	1.95	1.95	1.94	1.92	1.91	1.91	1.91	1.9	1.92	1.98	58.98	57.06	26.49
600	2.31	2.32	2.36	2.37	2.32	2.31	2.32	2.32	2.3	2.28	2.27	2.28	2.28	2.28	2.31	2.4	58.83	57.11	26.51
800	2.67	2.69	2.75	2.72	2.68	2.67	2.69	2.65	2.62	2.6	2.59	2.62	2.62	2.62	2.68	2.81	58.91	57.15	26.5
1000	2.99	3.03	3.09	3.06	2.99	2.98	2.99	2.95	2.92	2.9	2.9	2.93	2.94	2.97	3.04	3.18	58.75	57.06	26.49
1200	3.34	3.42	3.48	3.41	3.32	3.32	3.33	3.27	3.23	3.2	3.21	3.26	3.29	3.33	3.41	3.56	58.91	57.1	26.48
1400	3.69	3.83	3.88	3.78	3.68	3.68	3.69	3.62	3.57	3.53	3.55	3.63	3.68	3.7	3.73	3.8	58.72	56.89	26.5
1600	3.95	4.09	4.06	4.02	4.02	4.01	3.94	3.87	3.85	3.84	3.88	3.92	3.93	3.92	3.92	3.92	58.8	57.02	26.44
1800	4.78	4.93	4.88	4.8	4.68	4.59	4.56	4.59	4.61	4.63	4.63	4.61	4.65	4.88	5.18	5.57	58.85	57.01	32.56
2000	5.92	5.96	5.96	5.8	5.68	5.7	5.7	5.61	5.55	5.53	5.6	5.8	6	6.26	6.59	7.09	58.74	56.99	26.54
2200	9.1	8.51	8.42	8.29	8.31	8.38	8.35	8.29	8.32	8.4	8.69	9.18	9.68	10.33	11.12	12.24	58.88	57.05	26.5
2300	16.05	11.18	11.05	10.92	11.22	12.06	13.04	14.18	14.78	15.48	17.04	19.18	20.95	22.35	23	24.01	58.83	57.11	26.5

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 2328 PASSES

ตารางผนวกที่ ข17 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	57	27
200	1.12	1.1	1.13	1.15	1.11	1.16	1.18	1.18	1.15	1.14	1.14	1.1	1.12	1.13	1.12	1.15	58.82	56.97	26.5
400	1.6	1.58	1.63	1.63	1.58	1.61	1.63	1.63	1.6	1.58	1.59	1.55	1.57	1.58	1.58	1.65	58.98	57.06	26.49
600	1.97	1.98	2.02	2.03	1.95	1.98	2	2	1.96	1.94	1.95	1.92	1.94	1.96	1.97	2.07	58.83	57.11	26.51
800	2.35	2.35	2.41	2.38	2.31	2.34	2.37	2.33	2.28	2.26	2.27	2.26	2.28	2.3	2.34	2.48	58.92	57.14	26.5
1000	2.65	2.69	2.75	2.72	2.62	2.65	2.67	2.63	2.58	2.56	2.58	2.57	2.6	2.65	2.7	2.85	58.67	56.86	26.49
1200	3.1	3.08	3.14	3.07	2.95	2.99	3.01	2.95	2.89	2.86	2.89	2.9	2.95	3.01	3.07	3.23	58.85	56.91	26.48
1400	3.33	3.49	3.54	3.44	3.31	3.35	3.37	3.3	3.23	3.19	3.23	3.27	3.34	3.38	3.39	3.47	58.8	57.02	26.5
1600	3.61	3.75	3.72	3.68	3.65	3.68	3.62	3.55	3.51	3.5	3.56	3.56	3.59	3.6	3.58	3.59	58.82	56.97	26.44
1800	4.44	4.59	4.54	4.46	4.31	4.26	4.24	4.27	4.27	4.29	4.31	4.25	4.31	4.56	4.84	5.24	58.92	57.14	32.56
2000	5.58	5.62	5.62	5.46	5.31	5.37	5.38	5.29	5.21	5.19	5.28	5.44	5.66	5.94	6.25	6.76	58.67	56.86	26.54
2200	8.64	8.17	8.08	7.95	8.96	8.05	8.03	7.97	7.98	8.06	8.37	8.82	8.34	8.12	8.96	8.7	58.85	56.91	26.5
2400	17.49	12.62	12.49	12.36	12.69	13.49	14.46	15.6	16.22	16.92	16.42	16.64	16.39	16.77	16.44	25.44	58.8	57.02	26.5

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 2485 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข18** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.89	53.68	26.52
200	2.91	2.88	2.91	2.93	2.95	2.92	2.92	2.92	2.93	2.92	2.88	2.92	2.9	2.87	2.9	2.91	56.71	55.93	26.51
400	3.38	3.36	3.41	3.41	3.42	3.37	3.37	3.37	3.38	3.36	3.33	3.37	3.35	3.32	3.36	3.41	57.13	56.21	26.51
600	3.75	3.76	3.8	3.81	3.79	3.74	3.74	3.74	3.74	3.72	3.69	3.74	3.72	3.7	3.75	3.83	57.22	56.49	26.51
800	4.11	4.13	4.19	4.16	4.15	4.1	4.11	4.07	4.06	4.04	4.01	4.08	4.06	4.04	4.12	4.24	57.51	56.63	26.54
1000	4.43	4.47	4.53	4.5	4.46	4.41	4.41	4.37	4.36	4.34	4.32	4.39	4.38	4.39	4.48	4.61	57.58	56.76	26.49
1200	4.78	4.86	4.92	4.85	4.79	4.75	4.75	4.69	4.67	4.64	4.63	4.72	4.73	4.75	4.85	4.99	57.67	56.86	26.5
1400	5.13	5.27	5.32	5.22	5.15	5.11	5.11	5.04	5.01	4.97	4.97	5.09	5.12	5.12	5.17	5.23	57.85	56.91	26.52
1600	5.39	5.53	5.5	5.46	5.49	5.44	5.36	5.29	5.29	5.28	5.3	5.38	5.37	5.34	5.36	5.35	57.8	57.02	26.52
1800	6.22	6.37	6.32	6.24	6.15	6.02	5.98	6.01	6.05	6.07	6.05	6.07	6.09	6.3	6.62	7	57.82	56.97	26.49
2000	7.36	7.4	7.4	7.24	7.15	7.13	7.12	7.03	6.99	6.97	7.02	7.26	7.44	7.68	8.03	8.52	57.98	57.06	26.49
2200	10.54	9.95	9.86	9.73	9.78	9.81	9.77	9.71	9.76	9.84	10.11	10.64	11.12	11.75	12.56	13.67	57.83	57.11	26.52
2400	16.33	15.82	15.14	15.06	15.03	15.06	15.14	15.02	15.02	15.07	15.27	15.69	16.14	16.74	17.41	18.32	57.88	57.15	26.48

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 2459 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข19** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.89	53.68	26.52
1000	2.19	2.28	2.3	2.29	2.27	2.24	2.21	2.19	2.18	2.17	2.16	2.15	2.14	2.11	2.1	2.11	61.85	58.57	26.51
2000	2.52	2.66	2.66	2.64	2.61	2.57	2.52	2.5	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45	2.43	2.42	2.45	62.07	59.27	26.49
3000	2.8	2.98	2.97	2.94	2.91	2.86	2.8	2.77	2.76	2.75	2.74	2.73	2.73	2.7	2.69	2.74	61.02	58.39	26.5
4000	3.25	3.44	3.43	3.39	3.36	3.29	3.24	3.21	3.21	3.19	3.18	3.18	3.18	3.14	3.14	3.2	59.95	57.32	26.51
5000	3.58	3.78	3.76	3.73	3.7	3.63	3.55	3.53	3.52	3.51	3.5	3.5	3.5	3.48	3.47	3.57	58.98	56.61	26.48
6000	3.73	3.95	3.93	3.89	3.84	3.75	3.69	3.67	3.66	3.65	3.63	3.63	3.64	3.62	3.63	3.7	58.84	56.31	26.51
7000	4.09	4.32	4.3	4.26	4.2	4.11	4.05	4.03	4.02	4	3.98	3.99	4.01	3.99	4	4.09	59.03	56.49	26.51
8000	4.36	4.61	4.58	4.53	4.47	4.38	4.31	4.29	4.28	4.26	4.24	4.26	4.28	4.27	4.28	4.39	59.25	56.71	26.5
9000	4.64	4.9	4.86	4.81	4.74	4.64	4.57	4.54	4.54	4.52	4.51	4.53	4.56	4.55	4.58	4.69	59.68	56.94	26.5
10000	4.86	5.13	5.08	5.02	4.95	4.85	4.78	4.75	4.75	4.73	4.72	4.75	4.79	4.8	4.84	4.96	59.67	57.13	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

Central Steady State Tracking Rate = 0.250 mm/1000 Passes

FINAL RUT DEPTH = 4.86 mm

Average Steady State Tracking Rate = 0.260mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข20** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี่ยงเมืองชลบุรีกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51	52	27
1000	2.41	2.14	2.22	2.3	2.37	2.41	2.44	2.46	2.48	2.5	2.53	2.5	2.46	2.43	2.45	2.46	58.53	56.77	26.49
2000	2.85	2.56	2.64	2.73	2.8	2.85	2.88	2.9	2.92	2.95	2.98	2.96	2.92	2.89	2.91	2.94	58.74	56.99	26.5
3000	3.15	2.84	2.91	3.01	3.09	3.15	3.18	3.19	3.21	3.24	3.28	3.27	3.23	3.21	3.24	3.28	58.91	57.05	26.52
4000	3.39	3.04	3.12	3.21	3.3	3.37	3.4	3.41	3.43	3.47	3.52	3.52	3.48	3.46	3.52	3.59	58.91	56.99	26.48
5000	3.61	3.24	3.31	3.41	3.49	3.57	3.59	3.61	3.63	3.68	3.75	3.77	3.72	3.69	3.77	3.9	58.73	56.98	26.49
6000	3.84	3.42	3.5	3.6	3.69	3.77	3.81	3.83	3.85	3.9	3.98	4.01	3.97	3.96	4.06	4.21	58.61	56.96	26.48
7000	4.07	3.63	3.71	3.79	3.89	3.98	4.02	4.03	4.06	4.11	4.21	4.27	4.24	4.22	4.36	4.57	58.75	56.9	26.49
8000	4.35	3.84	3.93	4.01	4.11	4.22	4.27	4.29	4.32	4.37	4.49	4.58	4.57	4.56	4.71	4.98	58.9	57.21	26.52
9000	4.65	4.06	4.14	4.22	4.33	4.46	4.53	4.56	4.6	4.65	4.79	4.91	4.93	4.95	5.12	5.49	59.22	57.61	26.5
10000	5.03	4.29	4.38	4.46	4.6	4.75	4.85	4.91	4.95	5.02	5.2	5.37	5.42	5.48	5.73	6.14	59.48	57.63	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 5.03 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.260mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.2800mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข21** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3 สายเลี้ยวเมืองชลบุรีกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	52	27
1000	2.07	1.8	1.88	1.96	2.04	2.08	2.11	2.12	2.14	2.16	2.2	2.16	2.12	2.09	2.11	2.13	57.53	56.77	26.49
2000	2.52	2.22	2.3	2.39	2.47	2.52	2.55	2.56	2.58	2.61	2.65	2.62	2.58	2.55	2.57	2.61	57.74	56.99	26.5
3000	2.82	2.5	2.57	2.67	2.76	2.82	2.85	2.85	2.87	2.9	2.95	2.93	2.89	2.87	2.9	2.95	57.91	57.05	26.52
4000	3.05	2.7	2.78	2.87	2.97	3.04	3.07	3.07	3.09	3.13	3.19	3.18	3.14	3.12	3.18	3.26	57.91	56.99	26.48
5000	3.27	2.9	2.97	3.07	3.16	3.24	3.26	3.27	3.3	3.34	3.42	3.43	3.38	3.35	3.43	3.57	57.73	56.98	26.49
6000	3.5	3.08	3.16	3.26	3.36	3.44	3.48	3.49	3.51	3.56	3.65	3.67	3.63	3.62	3.72	3.88	57.61	56.96	26.48
7000	3.74	3.29	3.37	3.45	3.56	3.65	3.69	3.69	3.72	3.77	3.88	3.93	3.9	3.88	4.02	4.24	57.75	56.9	26.49
8000	4.01	3.5	3.59	3.67	3.78	3.89	3.94	3.95	3.98	4.03	4.16	4.24	4.23	4.22	4.37	4.65	57.9	57.21	26.52
9000	4.31	3.72	3.8	3.88	4	4.13	4.2	4.22	4.26	4.31	4.46	4.57	4.59	4.61	4.78	5.16	58.22	57.61	26.5
10000	4.7	3.95	4.04	4.12	4.27	4.42	4.52	4.57	4.65	4.68	4.87	5.03	5.08	5.14	5.39	5.81	58.48	57.63	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 4.70 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.27 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.28 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข22** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	51	26.5
1000	0.99	0.88	0.91	0.93	0.94	0.96	1	1.02	1.02	1.03	1.04	1.04	1.05	1.03	1.02	1.03	36.13	35.6	26.5
2000	1.08	0.96	0.99	1.01	1.02	1.04	1.09	1.11	1.12	1.12	1.13	1.13	1.15	1.13	1.12	1.13	36.49	36	26.5
3000	1.12	0.99	1.02	1.05	1.06	1.09	1.14	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.19	1.17	1.15	1.17	36.5	35.92	26.51
4000	1.15	1.01	1.06	1.08	1.09	1.11	1.17	1.19	1.2	1.2	1.21	1.21	1.22	1.2	1.19	1.2	36.29	35.75	26.5
5000	1.18	1.04	1.08	1.1	1.11	1.14	1.19	1.22	1.22	1.22	1.23	1.23	1.24	1.23	1.22	1.23	36.12	35.5	26.49
6000	1.2	1.06	1.09	1.12	1.14	1.16	1.22	1.25	1.25	1.24	1.25	1.25	1.27	1.25	1.23	1.25	36.01	35.38	26.5
7000	1.22	1.07	1.11	1.14	1.15	1.17	1.23	1.26	1.26	1.26	1.27	1.28	1.28	1.27	1.25	1.27	36.03	35.44	26.5
8000	1.23	1.09	1.13	1.15	1.16	1.19	1.25	1.28	1.28	1.28	1.29	1.29	1.3	1.28	1.27	1.29	36.09	35.55	26.5
9000	1.25	1.1	1.15	1.17	1.18	1.2	1.26	1.29	1.29	1.3	1.31	1.31	1.32	1.3	1.29	1.3	36.17	35.56	26.52
10000	1.26	1.11	1.15	1.18	1.18	1.21	1.27	1.3	1.31	1.31	1.32	1.32	1.33	1.31	1.3	1.32	36.21	35.69	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.26 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.18 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.16 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข23** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.6	35.18	26.5
1000	0.82	0.72	0.75	0.75	0.76	0.82	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.87	0.88	0.85	0.81	1.21	35.79	35.42	26.5
2000	1	0.88	0.91	0.91	0.93	0.99	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.05	1.06	1.05	1.01	1.35	35.47	35.18	26.52
3000	1.19	1.07	1.1	1.1	1.11	1.18	1.23	1.24	1.23	1.23	1.23	1.26	1.27	1.24	1.19	1.41	35.41	35.07	26.46
4000	1.24	1.12	1.14	1.14	1.16	1.22	1.27	1.28	1.28	1.28	1.28	1.31	1.33	1.29	1.23	1.47	35.51	35.24	26.49
5000	1.27	1.15	1.18	1.17	1.19	1.26	1.31	1.32	1.31	1.31	1.32	1.35	1.36	1.33	1.27	1.51	35.65	35.35	26.52
6000	1.3	1.19	1.2	1.19	1.23	1.31	1.35	1.32	1.32	1.32	1.35	1.38	1.39	1.34	1.29	1.55	35.76	35.37	26.49
7000	1.33	1.2	1.23	1.23	1.24	1.31	1.37	1.38	1.37	1.37	1.38	1.41	1.43	1.38	1.32	1.59	35.77	35.53	26.5
8000	1.35	1.22	1.25	1.24	1.26	1.33	1.39	1.4	1.39	1.39	1.4	1.43	1.45	1.41	1.35	1.61	35.9	35.64	26.5
9000	1.37	1.24	1.27	1.27	1.28	1.34	1.41	1.43	1.42	1.42	1.43	1.46	1.47	1.43	1.37	1.63	35.8	35.53	26.5
10000	1.39	1.27	1.29	1.29	1.3	1.38	1.43	1.44	1.44	1.43	1.44	1.48	1.5	1.45	1.39	1.65	35.6	35.47	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.39 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.26 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.28 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข24** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.19	34.2	26.5
1000	1.05	0.99	1	1.01	1.03	1.05	1.04	1.05	1.06	1.07	1.09	1.09	1.07	1.07	1.08	1.08	35.39	35.34	26.49
2000	1.12	1.05	1.07	1.07	1.1	1.11	1.12	1.12	1.13	1.14	1.16	1.16	1.14	1.14	1.16	1.15	35.63	35.59	26.51
3000	1.19	1.12	1.13	1.14	1.16	1.18	1.18	1.19	1.2	1.21	1.23	1.23	1.21	1.21	1.23	1.23	35.71	35.7	26.5
4000	1.25	1.17	1.19	1.19	1.22	1.24	1.25	1.25	1.27	1.28	1.29	1.28	1.27	1.28	1.3	1.29	35.61	35.53	26.5
5000	1.34	1.26	1.28	1.29	1.32	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.38	1.38	1.36	1.38	1.4	1.38	35.42	35.39	26.5
6000	1.36	1.27	1.29	1.3	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.38	1.4	1.39	1.38	1.39	1.41	1.39	35.54	35.32	26.51
7000	1.37	1.28	1.3	1.31	1.34	1.35	1.36	1.37	1.39	1.4	1.42	1.41	1.39	1.39	1.41	1.41	35.51	35.33	26.49
8000	1.38	1.29	1.31	1.32	1.35	1.36	1.37	1.38	1.4	1.41	1.43	1.42	1.4	1.41	1.43	1.42	35.5	35.45	26.44
9000	1.39	1.3	1.32	1.33	1.36	1.38	1.38	1.39	1.4	1.41	1.43	1.42	1.41	1.43	1.45	1.43	35.58	35.48	26.51
10000	1.4	1.3	1.33	1.34	1.37	1.38	1.39	1.4	1.41	1.42	1.44	1.44	1.42	1.43	1.45	1.44	35.6	35.44	26.48

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.40 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.10 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.10 mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข25 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33.29	33.86	26.5
1000	1.11	1.14	1.17	1.15	1.11	1.11	1.13	1.13	1.12	1.1	1.07	1.1	1.12	1.1	1.05	1.07	34.82	35.19	26.5
2000	1.43	1.48	1.51	1.48	1.44	1.43	1.44	1.45	1.43	1.41	1.38	1.41	1.44	1.41	1.36	1.36	35.11	35.51	26.51
3000	1.65	1.72	1.74	1.71	1.67	1.66	1.67	1.67	1.66	1.64	1.6	1.62	1.65	1.63	1.58	1.58	35.22	35.53	26.49
4000	1.83	1.92	1.94	1.9	1.85	1.84	1.85	1.85	1.83	1.8	1.77	1.8	1.83	1.81	1.76	1.75	35.26	35.48	26.49
5000	1.97	2.08	2.09	2.04	1.99	1.98	1.99	1.98	1.96	1.93	1.89	1.93	1.97	1.94	1.88	1.88	35.32	35.29	26.5
6000	2.08	2.19	2.21	2.16	2.11	2.09	2.1	2.09	2.07	2.04	2	2.04	2.08	2.06	2	1.99	35.24	35.3	26.49
7000	2.15	2.22	2.24	2.21	2.17	2.16	2.19	2.19	2.17	2.14	2.1	2.12	2.15	2.12	2.08	2.07	35.11	35.15	26.56
8000	2.2	2.23	2.26	2.25	2.22	2.21	2.24	2.24	2.23	2.2	2.16	2.17	2.19	2.18	2.15	2.11	35.03	35.03	26.5
9000	2.22	2.23	2.26	2.26	2.24	2.23	2.24	2.25	2.25	2.23	2.2	2.19	2.19	2.19	2.16	2.12	34.99	35.12	26.49
10000	2.22	2.23	2.27	2.27	2.24	2.23	2.25	2.25	2.25	2.24	2.21	2.19	2.19	2.19	2.16	2.11	34.99	35.07	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.22 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.058 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.050 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข26** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.04	34.63	26.5
1000	1.13	1.08	1.09	1.1	1.1	1.1	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.15	1.18	1.18	1.19	35.39	35.52	26.39
2000	1.38	1.34	1.34	1.35	1.34	1.34	1.37	1.37	1.37	1.36	1.37	1.39	1.43	1.45	1.45	1.46	35.36	35.37	26.5
3000	1.56	1.5	1.5	1.51	1.5	1.51	1.53	1.54	1.54	1.53	1.54	1.57	1.61	1.65	1.65	1.66	35.2	35.3	26.5
4000	1.71	1.63	1.63	1.64	1.63	1.64	1.67	1.69	1.68	1.68	1.7	1.73	1.78	1.83	1.83	1.84	35.25	35.14	26.49
5000	1.91	1.81	1.82	1.82	1.82	1.82	1.86	1.88	1.89	1.89	1.9	1.94	1.99	2.04	2.05	2.06	35.32	35.15	26.51
6000	2.05	1.95	1.95	1.95	1.94	1.95	1.99	2.02	2.03	2.03	2.05	2.09	2.15	2.21	2.22	2.23	35.2	35.15	26.51
7000	2.18	2.06	2.06	2.06	2.05	2.07	2.11	2.15	2.15	2.16	2.18	2.23	2.29	2.35	2.36	2.37	35.15	35.15	26.49
8000	2.32	2.21	2.2	2.2	2.19	2.2	2.25	2.29	2.29	2.3	2.33	2.38	2.45	2.51	2.53	2.54	35.19	35.09	26.51
9000	2.46	2.33	2.32	2.32	2.31	2.32	2.37	2.42	2.43	2.44	2.47	2.53	2.6	2.67	2.69	2.71	35.33	35.17	26.49
10000	2.56	2.42	2.41	2.4	2.39	2.4	2.46	2.51	2.52	2.53	2.56	2.62	2.71	2.79	2.81	2.82	35.44	35.34	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.56 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.126 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.130 mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข27 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)	
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.17	34.96	26.5
1000	1.28	1.23	1.25	1.28	1.29	1.3	1.31	1.33	1.33	1.34	1.33	1.32	1.29	1.26	1.22	1.18		35.51	35.29	26.5
2000	1.53	1.47	1.5	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.59	1.57	1.55	1.51	1.45	1.4		35.34	35.3	26.49
3000	1.67	1.61	1.64	1.68	1.69	1.69	1.71	1.73	1.73	1.74	1.73	1.72	1.69	1.65	1.58	1.53		35.27	35.12	26.5
4000	1.79	1.72	1.75	1.79	1.8	1.81	1.82	1.84	1.85	1.86	1.85	1.83	1.8	1.76	1.68	1.63		35.23	35.14	26.49
5000	1.88	1.82	1.85	1.89	1.89	1.89	1.92	1.95	1.95	1.96	1.95	1.94	1.91	1.85	1.77	1.71		35.28	35.17	26.5
6000	1.97	1.91	1.94	1.98	1.98	1.98	2	2.03	2.03	2.04	2.03	2.02	1.99	1.93	1.85	1.79		35.36	35.2	26.53
7000	2.05	1.98	2.02	2.05	2.06	2.06	2.08	2.12	2.13	2.13	2.12	2.1	2.07	2.01	1.92	1.85		35.39	35.26	26.5
8000	2.12	2.06	2.1	2.14	2.13	2.13	2.16	2.2	2.21	2.21	2.19	2.17	2.14	2.09	1.99	1.91		35.5	35.33	26.49
9000	2.19	2.13	2.17	2.2	2.2	2.2	2.24	2.27	2.28	2.28	2.26	2.25	2.22	2.16	2.06	1.98		35.59	35.3	26.48
10000	2.26	2.2	2.24	2.28	2.27	2.27	2.31	2.34	2.35	2.35	2.33	2.31	2.29	2.22	2.11	2.04		35.6	35.47	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.26 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.080 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.075 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข28** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32.62	33.09	26.5
1000	0.29	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.29	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.31	0.3	0.31	0.3	36.13	35.6	26.5
2000	0.31	0.29	0.29	0.3	0.29	0.29	0.3	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	36.49	36	26.5
3000	0.32	0.29	0.3	0.32	0.31	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.33	0.33	0.34	0.33	0.33	0.34	36.5	35.92	26.51
4000	0.35	0.32	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.37	36.29	35.75	26.5
5000	0.37	0.34	0.35	0.36	0.36	0.36	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	36.12	35.5	26.49
6000	0.39	0.35	0.36	0.38	0.37	0.38	0.39	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.41	0.41	36.01	35.38	26.5
7000	0.41	0.36	0.38	0.39	0.39	0.39	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	36.03	35.44	26.5
8000	0.42	0.37	0.39	0.41	0.4	0.4	0.42	0.43	0.43	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.43	0.44	36.09	35.55	26.5
9000	0.43	0.39	0.4	0.42	0.42	0.42	0.44	0.45	0.45	0.45	0.44	0.44	0.44	0.44	0.45	0.45	36.17	35.56	26.52
10000	0.45	0.4	0.42	0.44	0.43	0.43	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46	0.47	0.47	36.21	35.69	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 0.45 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.016 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.015 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข29** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.6	35.18	26.5
1000	0.29	0.27	0.27	0.26	0.23	0.26	0.29	0.31	0.3	0.3	0.3	0.32	0.33	0.3	0.28	0.29	35.79	35.42	26.5
2000	0.31	0.29	0.29	0.27	0.25	0.28	0.32	0.34	0.34	0.33	0.34	0.36	0.36	0.34	0.31	0.32	35.47	35.18	26.52
3000	0.3	0.28	0.27	0.25	0.24	0.27	0.31	0.32	0.32	0.31	0.32	0.35	0.35	0.33	0.31	0.31	35.41	35.07	26.46
4000	0.34	0.31	0.31	0.29	0.26	0.29	0.34	0.36	0.36	0.36	0.37	0.39	0.39	0.36	0.34	0.35	35.51	35.24	26.49
5000	0.37	0.35	0.33	0.31	0.29	0.32	0.37	0.39	0.39	0.38	0.38	0.41	0.42	0.41	0.38	0.38	35.65	35.35	26.52
6000	0.4	0.38	0.36	0.34	0.33	0.36	0.4	0.42	0.42	0.41	0.42	0.45	0.46	0.44	0.41	0.4	35.76	35.37	26.49
7000	0.43	0.41	0.4	0.37	0.35	0.39	0.43	0.45	0.45	0.45	0.46	0.48	0.49	0.46	0.43	0.43	35.77	35.53	26.5
8000	0.45	0.44	0.42	0.4	0.38	0.42	0.46	0.47	0.47	0.47	0.48	0.5	0.51	0.48	0.45	0.45	35.9	35.64	26.5
9000	0.48	0.46	0.45	0.42	0.39	0.42	0.47	0.51	0.51	0.51	0.51	0.54	0.54	0.5	0.46	0.47	35.8	35.53	26.5
10000	0.49	0.48	0.46	0.43	0.42	0.46	0.5	0.51	0.51	0.51	0.52	0.55	0.56	0.52	0.49	0.49	35.6	35.47	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 0.49 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.024 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.025 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข30** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.19	34.2	26.5
1000	0.24	0.22	0.23	0.24	0.25	0.25	0.26	0.25	0.24	0.24	0.24	0.23	0.22	0.23	0.25	0.25	35.39	35.34	26.49
2000	0.28	0.26	0.27	0.27	0.29	0.29	0.3	0.29	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.27	0.29	0.29	35.63	35.59	26.51
3000	0.31	0.29	0.3	0.31	0.33	0.33	0.34	0.32	0.32	0.31	0.3	0.29	0.29	0.31	0.33	0.33	35.71	35.7	26.5
4000	0.34	0.33	0.34	0.34	0.35	0.34	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.34	0.35	0.35	35.61	35.53	26.5
5000	0.36	0.35	0.36	0.37	0.37	0.36	0.37	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35	0.36	0.37	0.37	35.42	35.39	26.5
6000	0.38	0.36	0.37	0.39	0.4	0.4	0.41	0.4	0.39	0.38	0.37	0.35	0.34	0.37	0.4	0.4	35.54	35.32	26.51
7000	0.4	0.38	0.39	0.4	0.42	0.41	0.42	0.41	0.4	0.39	0.38	0.37	0.36	0.38	0.41	0.41	35.51	35.33	26.49
8000	0.41	0.39	0.41	0.42	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.41	0.4	0.38	0.38	0.4	0.43	0.43	35.5	35.45	26.44
9000	0.44	0.42	0.43	0.44	0.46	0.45	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.4	0.4	0.42	0.45	0.46	35.58	35.48	26.51
10000	0.5	0.49	0.5	0.51	0.53	0.52	0.52	0.51	0.5	0.49	0.48	0.47	0.46	0.49	0.52	0.52	35.6	35.44	26.48

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 0.50 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.028 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.028 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข31** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54.33	51.21	26.5
1000	0.68	0.64	0.65	0.65	0.66	0.67	0.68	0.69	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.69	0.68	0.68	61.85	58.57	26.51
2000	0.95	0.91	0.92	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.97	0.94	0.94	62.07	59.27	26.47
3000	1.15	1.09	1.1	1.09	1.11	1.13	1.15	1.18	1.18	1.18	1.18	1.2	1.21	1.19	1.16	1.15	61.02	58.39	26.49
4000	1.33	1.27	1.28	1.27	1.28	1.31	1.33	1.35	1.36	1.36	1.37	1.39	1.4	1.37	1.34	1.32	59.95	57.32	26.5
5000	1.55	1.49	1.5	1.48	1.5	1.52	1.56	1.58	1.59	1.6	1.6	1.61	1.62	1.59	1.56	1.54	58.98	56.61	26.49
6000	1.66	1.58	1.59	1.57	1.59	1.62	1.65	1.68	1.7	1.71	1.71	1.72	1.73	1.71	1.67	1.66	58.84	56.31	26.49
7000	1.75	1.66	1.67	1.65	1.67	1.7	1.74	1.77	1.79	1.8	1.81	1.82	1.84	1.81	1.77	1.75	59.03	56.49	26.5
8000	1.84	1.74	1.75	1.74	1.75	1.79	1.83	1.87	1.88	1.9	1.91	1.92	1.94	1.9	1.87	1.84	59.25	56.71	26.51
9000	1.92	1.82	1.83	1.81	1.82	1.86	1.9	1.95	1.97	1.98	1.99	2	2.02	1.99	1.95	1.92	59.68	56.94	26.52
10000	2	1.89	1.9	1.88	1.89	1.93	1.99	2.02	2.04	2.06	2.07	2.09	2.11	2.07	2.04	2	59.67	57.13	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.00 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.090 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.089 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข32** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.85	51.64	26.5
1000	0.98	0.94	0.96	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	58.53	56.77	26.5
2000	1.13	1.08	1.09	1.12	1.13	1.13	1.13	1.14	1.15	1.15	1.14	1.13	1.14	1.15	1.14	1.15	58.74	56.99	26.51
3000	1.25	1.18	1.21	1.24	1.24	1.25	1.25	1.25	1.26	1.27	1.26	1.25	1.27	1.28	1.27	1.28	58.91	57.05	26.49
4000	1.35	1.28	1.31	1.33	1.34	1.34	1.34	1.35	1.36	1.36	1.35	1.34	1.36	1.37	1.37	1.38	58.91	56.99	26.51
5000	1.42	1.36	1.39	1.41	1.41	1.42	1.42	1.43	1.43	1.44	1.43	1.42	1.44	1.46	1.45	1.47	58.73	56.98	26.49
6000	1.5	1.42	1.45	1.47	1.48	1.49	1.5	1.5	1.5	1.51	1.5	1.5	1.52	1.53	1.53	1.54	58.61	56.96	26.5
7000	1.56	1.48	1.51	1.54	1.54	1.55	1.56	1.56	1.57	1.57	1.56	1.56	1.58	1.6	1.6	1.61	58.75	56.9	26.49
8000	1.63	1.54	1.57	1.6	1.61	1.62	1.63	1.63	1.64	1.64	1.63	1.62	1.65	1.67	1.67	1.69	58.9	57.21	26.5
9000	1.69	1.6	1.64	1.66	1.67	1.67	1.68	1.69	1.69	1.69	1.68	1.69	1.72	1.74	1.74	1.75	59.22	57.61	26.54
10000	1.74	1.65	1.68	1.71	1.72	1.73	1.75	1.76	1.76	1.76	1.74	1.74	1.78	1.8	1.79	1.82	59.48	57.63	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.74 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.066 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.064 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข33** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.89	53.68	26.5
1000	1.16	1.11	1.13	1.15	1.15	1.16	1.16	1.16	1.17	1.17	1.16	1.15	1.17	1.17	1.16	1.17	57.58	56.76	26.5
2000	1.3	1.25	1.27	1.29	1.3	1.3	1.3	1.31	1.32	1.32	1.31	1.3	1.31	1.32	1.31	1.32	57.98	57.06	26.51
3000	1.42	1.35	1.38	1.41	1.41	1.42	1.42	1.42	1.43	1.44	1.43	1.42	1.44	1.45	1.44	1.45	57.93	57.06	26.49
4000	1.52	1.45	1.48	1.5	1.51	1.51	1.51	1.52	1.53	1.53	1.52	1.51	1.53	1.54	1.54	1.55	57.82	57	26.51
5000	1.59	1.53	1.56	1.58	1.58	1.59	1.59	1.6	1.6	1.6	1.6	1.59	1.61	1.63	1.62	1.64	57.93	56.88	26.49
6000	1.67	1.59	1.62	1.64	1.65	1.66	1.67	1.67	1.67	1.68	1.67	1.67	1.69	1.7	1.7	1.71	57.72	56.93	26.5
7000	1.73	1.65	1.68	1.71	1.71	1.72	1.73	1.73	1.74	1.74	1.73	1.73	1.75	1.77	1.77	1.78	57.54	57	26.49
8000	1.8	1.71	1.74	1.77	1.78	1.79	1.8	1.8	1.81	1.81	1.8	1.79	1.82	1.84	1.84	1.86	58.04	57.27	26.5
9000	1.86	1.77	1.81	1.83	1.84	1.84	1.85	1.86	1.86	1.86	1.85	1.86	1.89	1.91	1.91	1.92	58.35	57.63	26.54
10000	1.91	1.82	1.85	1.88	1.89	1.9	1.92	1.94	1.94	1.93	1.91	1.91	1.95	1.97	1.96	1.99	58.4	57.69	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.91 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.068 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.064 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข34** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับัง  
AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40.49	41.05	26.5
1000	1.56	1.67	1.66	1.64	1.63	1.64	1.6	1.56	1.54	1.53	1.52	1.5	1.48	1.45	1.44	1.46	41.97	43.65	26.49
2000	2.07	2.27	2.25	2.21	2.2	2.2	2.14	2.05	2.03	2.02	2.01	1.99	1.96	1.92	1.91	1.92	42.69	44.76	26.49
3000	2.51	2.82	2.75	2.7	2.68	2.66	2.57	2.48	2.44	2.42	2.41	2.39	2.36	2.31	2.28	2.3	43.53	45.65	26.51
4000	2.94	3.46	3.31	3.21	3.18	3.14	3.01	2.88	2.83	2.81	2.78	2.77	2.73	2.67	2.63	2.67	43.95	46.14	26.49
5000	3.53	4.43	4.18	3.99	3.9	3.78	3.59	3.39	3.34	3.31	3.28	3.24	3.18	3.1	3.08	3.12	44.02	46.25	26.5
6000	4.47	6.19	5.68	5.31	5.07	4.79	4.5	4.23	4.15	4.09	4.01	3.93	3.86	3.78	3.73	3.75	43.82	46.01	26.42
7000	7.72	13.13	11.86	10.56	9.47	8.65	8.01	7.28	6.93	6.68	6.13	5.78	5.55	5.45	5.28	5.02	43.86	46.11	26.53
7500	16.76	24.15	23.36	22.51	21.35	19.57	18.04	16.84	16.44	16.04	15.07	13.69	12.62	11.55	10.44	9.47	43.81	46.16	26.5
7600	19.24	25.27	24.86	23.92	23.11	22.58	21.55	20.04	19.32	18.61	17.45	16.43	15.53	14.31	13.14	12.2	43.94	46.06	26.55

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 7635 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข35 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2**

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)	
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41.62	42.38	26.5
1000	1.4	1.55	1.54	1.46	1.39	1.38	1.4	1.37	1.34	1.3	1.28	1.32	1.38	1.42	1.44	1.46	44.23	45.03	26.49	
2000	1.84	2.03	1.98	1.87	1.77	1.76	1.79	1.77	1.73	1.69	1.68	1.74	1.83	1.93	1.98	2.01	45.04	46	26.49	
3000	2.22	2.48	2.39	2.23	2.1	2.08	2.09	2.06	2.03	2.01	2.01	2.09	2.25	2.39	2.46	2.52	45.49	46.57	26.52	
4000	2.63	2.93	2.79	2.57	2.44	2.42	2.45	2.44	2.41	2.39	2.39	2.49	2.7	2.88	3.02	3.09	45.49	46.39	26.5	
5000	3.11	3.48	3.28	3	2.84	2.81	2.81	2.79	2.78	2.77	2.82	2.98	3.21	3.5	3.69	3.79	45.15	46.16	26.49	
6000	3.75	4.19	3.89	3.54	3.36	3.32	3.3	3.27	3.27	3.29	3.4	3.62	3.93	4.34	4.66	4.85	44.92	45.82	26.5	
7000	4.78	5.29	4.8	4.33	4.17	4.11	4.01	3.93	3.96	4.04	4.3	4.69	5.11	5.71	6.31	6.75	44.93	45.76	26.5	
7500	5.63	6.09	5.48	4.96	4.8	4.7	4.54	4.46	4.52	4.65	5.02	5.57	6.17	6.99	7.81	8.49	44.8	45.71	26.51	
8000	18.53	17.01	16.31	16.1	16.02	15.94	16.02	16.31	16.59	16.95	17.79	19.05	19.63	19.21	18.19	18.47	44.73	45.73	26.47	

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 8398 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข36 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3**

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42.16	42.67	26.5
1000	1.07	1.06	1.1	1.08	1.07	1.07	1.07	1.04	1.02	1	1.01	1.04	1.07	1.11	1.15	1.18	45.71	46.54	26.5
2000	1.55	1.54	1.58	1.56	1.54	1.54	1.53	1.49	1.47	1.45	1.47	1.52	1.56	1.61	1.66	1.71	45.87	46.6	26.5
3000	1.98	1.97	2.01	1.98	1.97	1.95	1.94	1.9	1.87	1.86	1.88	1.94	2	2.05	2.11	2.19	45.32	45.64	26.49
4000	2.41	2.41	2.43	2.4	2.39	2.38	2.35	2.31	2.29	2.28	2.31	2.38	2.45	2.5	2.58	2.68	44.23	44.72	26.5
5000	2.92	2.91	2.88	2.85	2.86	2.84	2.81	2.77	2.77	2.78	2.83	2.9	2.97	3.07	3.17	3.27	43.82	44.17	26.49
6000	3.55	3.53	3.45	3.41	3.44	3.43	3.39	3.36	3.37	3.39	3.47	3.54	3.63	3.76	3.91	4.04	43.71	44.12	26.52
7000	4.63	4.5	4.39	4.4	4.46	4.43	4.34	4.3	4.34	4.4	4.54	4.66	4.77	4.96	5.29	5.6	43.98	44.56	26.49
7500	5.63	5.22	5.13	5.19	5.28	5.25	5.17	5.17	5.22	5.31	5.52	5.73	5.92	6.21	6.71	7.24	44.11	44.68	26.49
8000	6.96	6.08	6.06	6.17	6.27	6.25	6.23	6.33	6.43	6.56	6.85	7.19	7.51	8.03	8.81	9.66	44.25	44.68	26.5
8500	11.14	8.05	8.21	8.51	8.83	9.1	9.37	9.82	10.09	10.41	11.13	12.1	13.06	14.41	16.15	17.9	44.23	44.84	26.52
9000	17.87	13.59	14.13	14.65	15.07	15.67	16.52	17.53	17.92	18.22	18.73	19.62	20.33	21.08	22.17	23.17	44.32	44.94	26.49

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 9221 PASSES

ตารางผนวกที่ ข37 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.89	53.68	26.5
1000	0.58	0.54	0.57	0.59	0.59	0.61	0.62	0.61	0.6	0.58	0.56	0.56	0.57	0.57	0.57	0.59	57.58	56.76	26.5
2000	0.69	0.63	0.67	0.69	0.7	0.72	0.74	0.72	0.71	0.69	0.67	0.67	0.67	0.67	0.68	0.7	57.98	57.06	26.5
3000	0.77	0.71	0.74	0.77	0.78	0.81	0.82	0.81	0.79	0.77	0.76	0.76	0.76	0.76	0.77	0.78	57.8	57.02	26.51
4000	0.81	0.74	0.77	0.79	0.81	0.84	0.86	0.84	0.83	0.81	0.79	0.79	0.79	0.79	0.8	0.81	57.32	56.59	26.5
5000	0.83	0.76	0.8	0.82	0.84	0.87	0.88	0.87	0.85	0.84	0.82	0.82	0.81	0.81	0.83	0.84	57.85	57.01	26.49
6000	0.85	0.78	0.82	0.84	0.86	0.89	0.91	0.89	0.88	0.86	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.86	57.98	57.06	26.5
7000	0.87	0.79	0.83	0.86	0.87	0.91	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	57.58	56.76	26.5
8000	0.89	0.81	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.88	0.89	57.72	56.89	26.5
9000	0.9	0.82	0.86	0.89	0.9	0.94	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.89	0.89	0.89	0.9	0.91	57.24	56.35	26.52
10000	0.92	0.84	0.88	0.9	0.92	0.95	0.98	0.96	0.94	0.92	0.91	0.91	0.9	0.9	0.92	0.93	57.8	57.02	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 0.92 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.018 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.017 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข38** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.13	56.21	26.5
1000	0.7	0.7	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.7	0.7	0.71	0.71	0.68	0.67	57.83	57.11	26.5
2000	0.78	0.77	0.78	0.79	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.78	0.78	0.79	0.79	0.75	0.74	57.98	57.06	26.52
3000	0.82	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	0.83	0.82	0.79	0.77	57.8	57.02	26.46
4000	0.85	0.84	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.82	0.8	57.32	56.59	26.49
5000	0.88	0.88	0.89	0.89	0.88	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.85	0.83	57.85	57.01	26.52
6000	0.93	0.94	0.95	0.95	0.94	0.95	0.94	0.93	0.93	0.93	0.92	0.92	0.93	0.93	0.9	0.88	57.98	57.06	26.49
7000	0.99	1.01	1.01	1.01	1	1.01	1	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	1	0.99	0.95	0.93	57.58	56.76	26.5
8000	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1	1	1.01	1.01	0.97	0.95	57.72	56.89	26.5
9000	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02	1.04	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.02	1.02	0.98	0.96	57.24	56.35	26.5
10000	1.03	1.04	1.05	1.05	1.04	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	1.03	1.03	0.99	0.97	57.85	56.91	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.03 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.030 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.030 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข39** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 9 สายบางปะอิน-บางพลับกับยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.95	52.68	26.5
1000	0.58	0.52	0.53	0.54	0.56	0.58	0.57	0.58	0.59	0.6	0.62	0.62	0.6	0.6	0.61	0.61	57.51	56.63	26.49
2000	0.65	0.58	0.6	0.6	0.63	0.64	0.65	0.65	0.66	0.67	0.69	0.69	0.67	0.67	0.69	0.68	57.82	56.97	26.51
3000	0.72	0.65	0.66	0.67	0.69	0.71	0.71	0.72	0.73	0.74	0.76	0.76	0.74	0.74	0.76	0.76	57.91	57.1	26.5
4000	0.78	0.7	0.72	0.72	0.75	0.77	0.78	0.78	0.8	0.81	0.82	0.81	0.8	0.81	0.83	0.82	57.83	57	26.5
5000	0.87	0.79	0.81	0.82	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.91	0.89	0.91	0.93	0.91	57.73	56.98	26.5
6000	0.89	0.8	0.82	0.83	0.86	0.87	0.88	0.89	0.9	0.91	0.93	0.92	0.91	0.92	0.94	0.92	57.69	56.87	26.51
7000	0.9	0.81	0.83	0.84	0.87	0.88	0.89	0.9	0.92	0.93	0.95	0.94	0.92	0.92	0.94	0.94	57.73	56.92	26.49
8000	0.91	0.82	0.84	0.85	0.88	0.89	0.9	0.91	0.93	0.94	0.96	0.95	0.93	0.94	0.96	0.95	57.85	57.22	26.44
9000	0.92	0.83	0.85	0.86	0.89	0.91	0.91	0.92	0.93	0.94	0.96	0.95	0.94	0.96	0.98	0.96	58.24	57.54	26.51
10000	0.93	0.83	0.86	0.87	0.9	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.97	0.97	0.95	0.96	0.98	0.97	58.4	57.69	26.48

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 0.93 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.010 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.010 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข40** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กีบ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.67	35.18	26.5
1000	1.83	1.55	1.63	1.69	1.75	1.8	1.84	1.88	1.89	1.9	1.95	1.97	1.95	1.92	1.89	1.87	38.32	37.54	26.49
2000	2.15	1.86	1.95	2.02	2.07	2.12	2.16	2.2	2.21	2.22	2.27	2.29	2.27	2.23	2.21	2.18	38.89	38.07	26.5
3000	2.32	2.03	2.12	2.19	2.23	2.29	2.34	2.37	2.38	2.39	2.44	2.46	2.43	2.4	2.37	2.34	39.2	38.64	26.49
4000	2.43	2.15	2.24	2.3	2.35	2.4	2.45	2.48	2.49	2.51	2.56	2.57	2.55	2.51	2.48	2.45	39.35	38.77	26.49
5000	2.53	2.26	2.34	2.4	2.45	2.5	2.54	2.57	2.58	2.6	2.65	2.67	2.64	2.61	2.58	2.55	39.1	38.76	26.5
6000	2.62	2.36	2.44	2.5	2.55	2.6	2.64	2.66	2.67	2.69	2.74	2.76	2.73	2.7	2.67	2.64	39.14	38.82	26.51
7000	2.72	2.45	2.52	2.58	2.64	2.69	2.73	2.75	2.76	2.78	2.83	2.85	2.83	2.78	2.75	2.74	39.39	39.02	26.5
8000	2.81	2.55	2.63	2.69	2.74	2.78	2.82	2.84	2.85	2.87	2.92	2.94	2.91	2.88	2.85	2.83	39.64	39.24	26.49
9000	2.9	2.65	2.71	2.77	2.83	2.88	2.9	2.93	2.94	2.96	3.01	3.03	3.01	2.97	2.94	2.92	39.67	39.37	26.51
10000	2.99	2.76	2.82	2.88	2.93	2.97	3	3.02	3.03	3.04	3.1	3.12	3.09	3.05	3.02	3.02	39.63	39.41	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.99 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.090 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.092 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข41** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.65	35.16	26.5
1000	1.93	1.78	1.84	1.87	1.9	1.9	1.91	1.92	1.94	1.95	1.96	1.97	1.97	2	2.03	2.07	38.3	37.52	26.48
2000	2.17	2	2.07	2.11	2.14	2.15	2.15	2.16	2.18	2.2	2.21	2.21	2.21	2.24	2.27	2.3	38.87	38.05	26.49
3000	2.33	2.16	2.23	2.27	2.29	2.3	2.31	2.32	2.34	2.36	2.37	2.36	2.36	2.39	2.41	2.45	39.18	38.62	26.51
4000	2.45	2.29	2.35	2.39	2.41	2.43	2.43	2.44	2.45	2.47	2.49	2.48	2.48	2.51	2.53	2.57	39.33	38.75	26.49
5000	2.54	2.38	2.46	2.5	2.52	2.53	2.53	2.53	2.55	2.57	2.58	2.57	2.57	2.59	2.61	2.66	39.08	38.74	26.5
6000	2.63	2.47	2.55	2.59	2.61	2.62	2.61	2.62	2.64	2.65	2.67	2.65	2.66	2.68	2.69	2.73	39.12	38.8	26.52
7000	2.7	2.55	2.63	2.67	2.68	2.69	2.69	2.69	2.7	2.72	2.73	2.71	2.71	2.74	2.76	2.79	39.37	39	26.49
8000	2.75	2.62	2.7	2.73	2.74	2.75	2.74	2.74	2.75	2.77	2.78	2.76	2.76	2.79	2.81	2.84	39.62	39.22	26.5
9000	2.8	2.68	2.75	2.79	2.8	2.8	2.79	2.79	2.8	2.81	2.82	2.81	2.81	2.84	2.86	2.9	39.65	39.35	26.5
10000	2.85	2.73	2.81	2.84	2.84	2.84	2.83	2.83	2.84	2.85	2.86	2.85	2.86	2.89	2.91	2.96	39.61	39.39	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.85 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.058 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.062 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข42** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กีบ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37.55	35.96	26.5
1000	1.83	1.66	1.71	1.76	1.78	1.81	1.81	1.82	1.82	1.85	1.89	1.89	1.86	1.89	1.92	1.93	38.89	38.07	26.49
2000	2.15	1.96	2.02	2.08	2.1	2.13	2.12	2.12	2.13	2.16	2.22	2.21	2.18	2.2	2.24	2.26	39.2	38.64	26.5
3000	2.32	2.16	2.21	2.26	2.28	2.31	2.3	2.3	2.31	2.35	2.41	2.4	2.36	2.39	2.43	2.45	39.35	38.77	26.49
4000	2.47	2.3	2.35	2.41	2.43	2.46	2.44	2.45	2.45	2.49	2.55	2.56	2.5	2.52	2.56	2.6	39.1	38.76	26.49
5000	2.6	2.42	2.47	2.53	2.55	2.59	2.57	2.57	2.58	2.62	2.69	2.68	2.63	2.64	2.68	2.71	39.14	38.82	26.5
6000	2.72	2.56	2.6	2.65	2.67	2.71	2.7	2.69	2.7	2.74	2.81	2.8	2.75	2.76	2.81	2.84	39.39	39.02	26.51
7000	2.8	2.63	2.67	2.72	2.74	2.78	2.77	2.77	2.78	2.81	2.89	2.89	2.83	2.85	2.89	2.93	39.64	39.24	26.5
8000	2.88	2.71	2.75	2.8	2.82	2.86	2.85	2.84	2.85	2.89	2.97	2.96	2.9	2.92	2.97	3	39.67	39.37	26.49
9000	2.95	2.78	2.82	2.88	2.9	2.94	2.91	2.91	2.92	2.96	3.05	3.05	2.98	2.99	3.03	3.08	39.63	39.41	26.51
10000	3.02	2.86	2.9	2.94	2.97	3.01	2.99	2.98	2.99	3.04	3.12	3.11	3.05	3.06	3.11	3.15	39.59	39.34	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

Central Steady State Tracking Rate = 0.082 mm/1000 Passes

FINAL RUT DEPTH = 3.02 mm

Average Steady State Tracking Rate = 0.084 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข43** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.87	33.45	26.5
1000	1.71	1.57	1.65	1.71	1.75	1.77	1.8	1.82	1.81	1.78	1.74	1.72	1.71	1.66	1.6	1.57	36.84	35.36	26.48
2000	2.02	1.88	1.97	2.03	2.06	2.09	2.13	2.15	2.13	2.1	2.04	2.02	2	1.94	1.87	1.84	36.98	35.57	26.5
3000	2.23	2.08	2.17	2.24	2.29	2.32	2.36	2.37	2.35	2.32	2.27	2.24	2.22	2.16	2.08	2.05	37.03	35.6	26.51
4000	2.41	2.26	2.36	2.43	2.48	2.51	2.55	2.57	2.55	2.51	2.44	2.41	2.39	2.32	2.25	2.21	37	35.51	26.49
5000	2.59	2.42	2.52	2.6	2.65	2.7	2.73	2.75	2.73	2.69	2.61	2.58	2.56	2.5	2.42	2.38	37	35.53	26.49
6000	2.75	2.55	2.66	2.74	2.81	2.85	2.9	2.93	2.91	2.87	2.79	2.74	2.73	2.67	2.6	2.57	36.92	35.45	26.5
7000	2.91	2.68	2.8	2.89	2.96	3.01	3.05	3.09	3.07	3.03	2.96	2.92	2.9	2.84	2.77	2.75	36.85	35.4	26.5
8000	3.1	2.82	2.96	3.05	3.13	3.19	3.24	3.27	3.26	3.22	3.14	3.11	3.1	3.05	2.99	2.98	36.83	35.39	26.5
9000	3.31	2.96	3.11	3.22	3.31	3.37	3.43	3.49	3.48	3.45	3.37	3.34	3.34	3.3	3.26	3.27	36.79	35.41	26.51
10000	3.53	3.07	3.24	3.37	3.47	3.56	3.63	3.7	3.7	3.68	3.6	3.58	3.62	3.61	3.58	3.65	36.76	35.42	26.45

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

Central Steady State Tracking Rate = 0.194 mm/1000 Passes

FINAL RUT DEPTH = 3.53 mm

Average Steady State Tracking Rate = 0.188 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข44** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กีบ ยาง AC 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.8	33.26	26.5
1000	1.49	1.2	1.28	1.37	1.44	1.48	1.52	1.56	1.58	1.59	1.6	1.59	1.57	1.55	1.53	1.49	37.02	35.55	26.49
2000	1.75	1.41	1.49	1.6	1.68	1.73	1.77	1.83	1.85	1.87	1.88	1.86	1.84	1.82	1.81	1.77	37.57	36.16	26.53
3000	1.94	1.56	1.64	1.76	1.85	1.9	1.94	2.01	2.04	2.06	2.08	2.07	2.05	2.04	2.04	2	37.56	36.06	26.5
4000	2.11	1.7	1.79	1.91	2	2.06	2.11	2.17	2.21	2.24	2.27	2.26	2.24	2.24	2.25	2.22	37.19	35.78	26.51
5000	2.25	1.8	1.89	2.01	2.11	2.18	2.24	2.31	2.35	2.38	2.41	2.42	2.41	2.41	2.42	2.39	36.88	35.42	26.51
6000	2.4	1.92	2.01	2.14	2.25	2.32	2.38	2.45	2.49	2.53	2.57	2.58	2.58	2.58	2.61	2.59	36.74	35.37	26.5
7000	2.57	2.05	2.15	2.28	2.4	2.48	2.54	2.62	2.67	2.71	2.76	2.78	2.77	2.78	2.82	2.79	36.78	35.41	26.48
8000	2.82	2.28	2.37	2.5	2.62	2.71	2.76	2.85	2.91	2.96	3.02	3.05	3.04	3.06	3.11	3.11	36.8	35.34	26.52
9000	3.05	2.45	2.55	2.7	2.83	2.92	2.98	3.07	3.13	3.18	3.26	3.3	3.29	3.32	3.38	3.38	36.77	35.35	26.49
10000	3.56	2.93	3.02	3.17	3.31	3.4	3.46	3.56	3.62	3.68	3.77	3.82	3.83	3.86	3.94	3.97	36.72	35.31	26.53

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.56 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.254 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.262 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข45** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กีบ ยาง AC 60-70 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35.68	35.19	26.5
1000	2.24	2.07	2.12	2.17	2.19	2.22	2.22	2.23	2.23	2.26	2.3	2.3	2.27	2.3	2.33	2.34	38.33	37.55	26.52
2000	2.56	2.37	2.43	2.49	2.51	2.54	2.53	2.53	2.54	2.57	2.63	2.62	2.59	2.61	2.65	2.67	38.9	38.08	26.52
3000	2.74	2.57	2.62	2.67	2.69	2.72	2.71	2.71	2.72	2.76	2.82	2.81	2.77	2.8	2.84	2.86	39.21	38.65	26.5
4000	2.89	2.71	2.76	2.82	2.84	2.87	2.85	2.86	2.86	2.9	2.96	2.97	2.91	2.93	2.97	3.01	39.36	38.78	26.49
5000	3.01	2.83	2.88	2.94	2.96	3	2.98	2.98	2.99	3.03	3.1	3.09	3.04	3.05	3.09	3.12	39.11	38.77	26.51
6000	3.13	2.97	3.01	3.06	3.08	3.12	3.11	3.1	3.11	3.15	3.22	3.21	3.16	3.17	3.22	3.25	39.15	38.83	26.5
7000	3.21	3.04	3.08	3.13	3.15	3.19	3.18	3.18	3.19	3.22	3.3	3.3	3.24	3.26	3.3	3.34	39.4	39.03	26.49
8000	3.29	3.12	3.16	3.21	3.23	3.27	3.26	3.25	3.26	3.3	3.38	3.37	3.31	3.33	3.38	3.41	39.65	39.25	26.5
9000	3.36	3.19	3.23	3.29	3.31	3.35	3.32	3.32	3.33	3.37	3.46	3.46	3.39	3.4	3.44	3.49	39.68	39.38	26.5
10000	3.44	3.27	3.31	3.35	3.38	3.42	3.4	3.39	3.4	3.45	3.53	3.52	3.46	3.47	3.52	3.56	39.64	39.42	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.44 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.082 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.082 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข46** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.28	32.53	26.5
1000	1.1	1.03	1.05	1.06	1.07	1.07	1.09	1.1	1.11	1.12	1.13	1.14	1.12	1.11	1.12	1.11	36.82	35.24	26.52
2000	1.21	1.14	1.16	1.18	1.18	1.19	1.2	1.22	1.22	1.23	1.25	1.25	1.24	1.24	1.24	1.22	37.1	35.51	26.5
3000	1.27	1.2	1.22	1.24	1.25	1.25	1.26	1.28	1.28	1.29	1.31	1.32	1.31	1.3	1.3	1.29	37.06	35.45	26.49
4000	1.32	1.25	1.26	1.28	1.29	1.3	1.3	1.31	1.32	1.33	1.35	1.36	1.36	1.34	1.35	1.34	36.86	35.17	26.49
5000	1.35	1.28	1.29	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35	1.35	1.37	1.39	1.4	1.39	1.37	1.38	1.37	36.65	35	26.49
6000	1.38	1.31	1.32	1.34	1.35	1.36	1.37	1.38	1.39	1.4	1.42	1.43	1.42	1.41	1.42	1.41	36.51	34.88	26.5
7000	1.4	1.34	1.34	1.36	1.37	1.38	1.39	1.4	1.41	1.42	1.44	1.45	1.44	1.42	1.44	1.43	36.57	34.99	26.49
8000	1.43	1.36	1.37	1.38	1.39	1.4	1.42	1.43	1.43	1.44	1.46	1.47	1.46	1.45	1.46	1.45	36.68	34.99	26.51
9000	1.44	1.37	1.39	1.4	1.41	1.42	1.43	1.44	1.45	1.46	1.48	1.49	1.48	1.47	1.48	1.47	36.71	35.1	26.5
10000	1.46	1.39	1.4	1.41	1.42	1.43	1.45	1.46	1.46	1.47	1.49	1.51	1.5	1.48	1.49	1.49	36.77	35.08	26.51

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.46 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.022 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.022 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข47** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.51	32.9	26.5
1000	1.16	1.09	1.1	1.1	1.11	1.14	1.15	1.16	1.16	1.15	1.18	1.2	1.2	1.21	1.21	1.2	36.69	35.12	26.51
2000	1.43	1.35	1.35	1.37	1.38	1.4	1.42	1.43	1.43	1.42	1.46	1.48	1.48	1.48	1.49	1.48	36.91	35.2	26.5
3000	1.5	1.43	1.43	1.44	1.45	1.47	1.49	1.5	1.5	1.5	1.53	1.55	1.55	1.56	1.57	1.56	36.93	35.3	26.5
4000	1.55	1.48	1.48	1.49	1.5	1.52	1.54	1.55	1.55	1.55	1.58	1.6	1.6	1.61	1.61	1.6	36.9	35.24	26.49
5000	1.59	1.51	1.51	1.52	1.54	1.56	1.58	1.58	1.58	1.58	1.62	1.63	1.63	1.64	1.65	1.64	36.85	35.27	26.49
6000	1.61	1.54	1.53	1.54	1.56	1.59	1.6	1.61	1.61	1.61	1.64	1.66	1.66	1.67	1.68	1.66	36.9	35.18	26.49
7000	1.64	1.56	1.56	1.57	1.59	1.61	1.63	1.63	1.63	1.63	1.66	1.68	1.68	1.69	1.7	1.69	36.84	35.22	26.51
8000	1.66	1.58	1.57	1.58	1.6	1.63	1.65	1.66	1.66	1.65	1.69	1.7	1.7	1.72	1.73	1.71	36.85	35.13	26.5
9000	1.67	1.59	1.59	1.6	1.62	1.64	1.66	1.67	1.67	1.67	1.7	1.72	1.72	1.73	1.74	1.73	36.89	35.2	26.5
10000	1.69	1.61	1.6	1.61	1.64	1.66	1.68	1.69	1.69	1.68	1.72	1.74	1.74	1.75	1.76	1.75	36.83	35.19	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.69 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.022 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.020 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข48** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34.51	32.9	26.5
1000	1.24	1.17	1.19	1.2	1.21	1.21	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.26	1.25	1.26	1.25	36.69	35.12	26.51
2000	1.35	1.28	1.3	1.32	1.32	1.33	1.34	1.36	1.36	1.37	1.39	1.39	1.38	1.38	1.38	1.36	36.91	35.2	26.5
3000	1.41	1.34	1.36	1.38	1.39	1.39	1.4	1.42	1.42	1.43	1.45	1.46	1.45	1.44	1.44	1.43	36.93	35.3	26.5
4000	1.46	1.39	1.4	1.42	1.43	1.44	1.44	1.45	1.46	1.47	1.49	1.5	1.5	1.48	1.49	1.48	36.9	35.24	26.49
5000	1.49	1.42	1.43	1.45	1.46	1.47	1.48	1.49	1.49	1.51	1.53	1.54	1.53	1.51	1.52	1.51	36.85	35.27	26.49
6000	1.52	1.45	1.46	1.48	1.49	1.5	1.51	1.52	1.53	1.54	1.56	1.57	1.56	1.55	1.56	1.55	36.9	35.18	26.49
7000	1.54	1.48	1.48	1.5	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.58	1.59	1.58	1.56	1.58	1.57	36.84	35.22	26.51
8000	1.57	1.5	1.51	1.52	1.53	1.54	1.56	1.57	1.57	1.58	1.6	1.61	1.6	1.59	1.6	1.59	36.85	35.13	26.5
9000	1.58	1.51	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.6	1.62	1.63	1.62	1.61	1.62	1.61	36.89	35.2	26.5
10000	1.62	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.61	1.62	1.62	1.63	1.65	1.67	1.66	1.64	1.65	1.65	36.83	35.19	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.62 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.026 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.026 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข49** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.85	56.64	26.5
1000	0.75	0.45	0.57	0.69	0.78	0.82	0.84	0.86	0.87	0.86	0.86	0.82	0.8	0.76	0.69	0.64	58.67	56.86	26.51
2000	1.24	0.85	0.99	1.13	1.25	1.31	1.35	1.38	1.4	1.39	1.38	1.33	1.3	1.27	1.18	1.1	58.67	56.86	26.53
3000	1.69	1.24	1.4	1.57	1.69	1.76	1.81	1.84	1.86	1.86	1.85	1.81	1.78	1.72	1.62	1.52	58.8	57.02	26.49
4000	2.07	1.57	1.74	1.92	2.06	2.13	2.19	2.24	2.26	2.27	2.26	2.22	2.19	2.13	2	1.87	58.91	57.1	26.5
5000	2.4	1.85	2.04	2.23	2.38	2.47	2.53	2.59	2.61	2.62	2.61	2.57	2.54	2.48	2.32	2.17	58.91	57.1	26.49
6000	2.73	2.14	2.33	2.54	2.71	2.8	2.87	2.95	2.97	2.98	2.97	2.92	2.89	2.82	2.64	2.46	58.85	56.91	26.51
7000	3.03	2.41	2.61	2.83	3.01	3.1	3.18	3.26	3.29	3.3	3.28	3.23	3.19	3.11	2.92	2.72	58.92	57.14	26.49
8000	3.3	2.66	2.86	3.1	3.29	3.39	3.47	3.55	3.58	3.59	3.57	3.51	3.47	3.38	3.18	2.96	58.92	57.14	26.49
9000	3.58	2.9	3.12	3.37	3.57	3.66	3.75	3.84	3.88	3.89	3.88	3.82	3.76	3.66	3.44	3.2	58.72	56.89	26.49
10000	3.88	3.19	3.4	3.66	3.86	3.98	4.07	4.16	4.19	4.19	4.19	4.11	4.04	3.94	3.72	3.46	58.75	57.06	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.88 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.316 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.296 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข50** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	53	27
1000	1.08	1.17	1.19	1.18	1.16	1.13	1.1	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1	0.99	1	61.85	58.57	26.51
2000	1.41	1.55	1.55	1.53	1.5	1.46	1.41	1.39	1.38	1.37	1.36	1.35	1.34	1.32	1.31	1.34	62.07	59.27	26.49
3000	1.69	1.87	1.86	1.83	1.8	1.75	1.69	1.66	1.65	1.64	1.63	1.62	1.62	1.59	1.58	1.63	61.02	58.39	26.5
4000	2.14	2.33	2.32	2.28	2.25	2.18	2.13	2.1	2.1	2.08	2.07	2.07	2.07	2.03	2.03	2.09	59.95	57.32	26.51
5000	2.47	2.67	2.65	2.62	2.59	2.52	2.44	2.42	2.41	2.4	2.39	2.39	2.39	2.37	2.36	2.46	58.98	56.61	26.48
6000	2.62	2.84	2.82	2.78	2.73	2.64	2.58	2.56	2.55	2.54	2.52	2.52	2.53	2.51	2.52	2.59	58.84	56.31	26.51
7000	2.98	3.21	3.19	3.15	3.09	3	2.94	2.92	2.91	2.89	2.87	2.88	2.9	2.88	2.89	2.98	59.03	56.49	26.51
8000	3.25	3.5	3.47	3.42	3.36	3.27	3.2	3.18	3.17	3.15	3.13	3.15	3.17	3.16	3.17	3.28	59.25	56.71	26.5
9000	3.53	3.79	3.75	3.7	3.63	3.53	3.46	3.43	3.43	3.41	3.4	3.42	3.45	3.44	3.47	3.58	59.68	56.94	26.5
10000	3.75	4.02	3.97	3.91	3.84	3.74	3.67	3.64	3.63	3.62	3.61	3.64	3.68	3.69	3.73	3.85	59.67	57.13	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.75 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.244 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.255 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข51** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC 40-50 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56.83	57.58	26.48
1000	1.31	1.4	1.42	1.41	1.39	1.36	1.33	1.31	1.3	1.29	1.28	1.27	1.26	1.23	1.22	1.23	58.88	58.98	26.51
2000	1.64	1.78	1.78	1.76	1.73	1.69	1.64	1.62	1.61	1.6	1.59	1.58	1.57	1.55	1.54	1.57	59.54	59.46	26.49
3000	1.92	2.1	2.09	2.06	2.03	1.98	1.92	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85	1.85	1.82	1.81	1.86	59.28	59.07	26.5
4000	2.37	2.56	2.55	2.51	2.48	2.41	2.36	2.33	2.33	2.31	2.3	2.3	2.3	2.26	2.26	2.32	58.71	58.48	26.51
5000	2.7	2.9	2.88	2.85	2.82	2.75	2.67	2.65	2.64	2.63	2.62	2.62	2.62	2.6	2.59	2.69	58.18	58.06	26.48
6000	2.85	3.07	3.05	3.01	2.96	2.87	2.81	2.79	2.78	2.77	2.75	2.75	2.76	2.74	2.75	2.82	57.84	57.79	26.51
7000	3.21	3.44	3.42	3.38	3.32	3.23	3.17	3.15	3.14	3.12	3.1	3.11	3.13	3.11	3.12	3.21	57.71	57.74	26.51
8000	3.46	3.71	3.68	3.63	3.57	3.48	3.41	3.39	3.38	3.36	3.34	3.36	3.38	3.37	3.38	3.49	57.72	57.89	26.5
9000	3.76	4.02	3.98	3.93	3.86	3.76	3.69	3.66	3.66	3.64	3.63	3.65	3.68	3.67	3.7	3.81	57.72	58.03	26.5
10000	3.98	4.25	4.2	4.14	4.07	3.97	3.9	3.87	3.87	3.85	3.84	3.87	3.91	3.92	3.96	4.08	57.77	58.1	26.49

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 3.98 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.246 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.255 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข52** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)	
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)				
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56.83	57.58	26.49
1000	2.25	1.94	2.06	2.18	2.27	2.31	2.34	2.36	2.36	2.36	2.35	2.31	2.29	2.25	2.18	2.13	58.88	58.98	26.5	
2000	2.84	2.45	2.59	2.73	2.85	2.91	2.95	2.98	3	2.99	2.98	2.93	2.9	2.87	2.78	2.7	59.54	59.46	26.52	
3000	3.29	2.84	3	3.17	3.29	3.36	3.41	3.44	3.46	3.46	3.45	3.41	3.38	3.32	3.22	3.12	59.28	59.07	26.48	
4000	3.67	3.17	3.34	3.52	3.66	3.73	3.79	3.84	3.86	3.87	3.86	3.82	3.79	3.73	3.6	3.47	58.71	58.48	26.49	
5000	4	3.45	3.64	3.83	3.98	4.07	4.13	4.19	4.21	4.22	4.21	4.17	4.14	4.08	3.92	3.77	58.18	58.06	26.48	
6000	4.33	3.74	3.93	4.14	4.31	4.4	4.47	4.55	4.57	4.58	4.57	4.52	4.49	4.42	4.24	4.06	57.84	57.79	26.5	
7000	6.6	10.06	9.11	8.43	7.93	7.44	7	6.5	6.28	6.08	5.81	5.57	5.25	4.83	4.49	4.25	57.71	57.74	26.48	
7500	9.55	17.3	16.45	14.63	12.98	11.54	10.35	9.1	8.53	8.03	7.11	6.32	5.95	5.48	4.74	4.15	59.43	59.42	26.49	
7600	10.9	19.18	17.57	15.88	14.3	12.81	11.61	10.43	9.93	9.59	8.72	7.97	7.19	6.58	6.05	5.54	59.47	59.4	26.49	

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 7679 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข53** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.09	57.58	26.5
1000	2.03	1.85	1.91	1.96	2.03	2.08	2.13	2.15	2.16	2.17	2.16	2.12	2.06	1.99	1.92	1.84	58.88	58.98	26.51
2000	2.45	2.32	2.37	2.41	2.46	2.51	2.55	2.57	2.57	2.58	2.57	2.53	2.45	2.38	2.29	2.2	59.54	59.46	26.49
3000	2.78	2.71	2.74	2.77	2.81	2.86	2.9	2.9	2.9	2.91	2.9	2.85	2.76	2.67	2.58	2.48	59.28	59.07	26.51
4000	3.12	3.14	3.15	3.16	3.19	3.23	3.25	3.24	3.24	3.25	3.24	3.17	3.07	2.96	2.85	2.75	58.71	58.48	26.49
5000	3.46	3.63	3.59	3.57	3.59	3.6	3.61	3.58	3.57	3.57	3.55	3.47	3.34	3.22	3.09	2.98	58.18	58.06	26.54
6000	4.06	4.67	4.52	4.42	4.37	4.3	4.24	4.16	4.13	4.11	4.06	3.93	3.75	3.58	3.42	3.27	57.84	57.79	26.49
7000	6.32	9.78	8.83	8.15	7.65	7.16	6.72	6.22	6	5.8	5.53	5.29	4.97	4.55	4.21	3.97	57.71	57.74	26.5
7500	16.92	25.22	24.68	23.94	22.47	20.49	18.96	17.56	16.84	16.07	14.67	13.21	11.9	10.37	9.04	8.06	59.43	59.42	26.52

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 7565 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข54** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กีบ ยาง AC60-70 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.43	57.78	26.5
1000	2.57	2.4	2.49	2.53	2.58	2.6	2.6	2.59	2.6	2.6	2.6	2.61	2.59	2.6	2.61	2.61	59.35	59.32	26.51
2000	3.19	3.07	3.14	3.17	3.22	3.23	3.2	3.18	3.18	3.18	3.2	3.21	3.19	3.22	3.25	3.27	59.47	59.4	26.5
3000	3.64	3.58	3.6	3.61	3.66	3.66	3.62	3.6	3.59	3.59	3.62	3.64	3.65	3.67	3.72	3.78	59.06	58.81	26.5
4000	4.02	3.99	3.98	3.98	4.02	4.01	3.96	3.94	3.93	3.94	3.98	4.02	4.05	4.1	4.16	4.24	58.51	58.27	26.28
5000	4.4	4.42	4.39	4.37	4.39	4.35	4.3	4.26	4.26	4.27	4.31	4.37	4.41	4.5	4.61	4.72	58.04	57.9	26.51
6000	4.77	4.82	4.8	4.78	4.79	4.72	4.66	4.63	4.64	4.66	4.7	4.77	4.81	4.85	4.9	5	57.79	57.74	26.49
7000	5.11	4.98	5.04	5.08	5.13	5.12	5.1	5.11	5.12	5.14	5.17	5.18	5.12	5.1	5.15	5.16	58.06	57.98	26.5
7500	10.52	10.21	10.35	10.46	10.53	10.57	10.62	10.67	10.68	10.68	10.65	10.59	10.54	10.5	10.45	10.39	57.92	57.74	26.51
7800	19.76	19.59	19.68	19.72	19.77	19.79	19.79	19.78	19.79	19.79	19.79	19.8	19.78	19.79	19.8	19.8	57.93	57.86	26.51

MAXIMUM RUT DEPTH OF 20 mm EXCEEDED AT 7823 PASSES

**ตารางผนวกที่ ข55** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 1

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	53.89	53.68	26.5
1000	1.42	1.29	1.32	1.37	1.4	1.43	1.45	1.46	1.46	1.47	1.47	1.47	1.45	1.43	1.43	1.42	57.58	56.76	26.5
2000	1.58	1.44	1.48	1.52	1.56	1.58	1.6	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.62	1.6	1.61	1.61	57.98	57.06	26.5
3000	1.68	1.53	1.57	1.61	1.65	1.68	1.7	1.71	1.71	1.72	1.73	1.74	1.72	1.71	1.71	1.72	57.8	57.02	26.5
4000	1.75	1.6	1.64	1.68	1.72	1.75	1.76	1.77	1.78	1.79	1.81	1.82	1.79	1.78	1.8	1.8	57.32	56.59	26.51
5000	1.81	1.65	1.7	1.74	1.78	1.81	1.82	1.83	1.84	1.84	1.86	1.87	1.86	1.85	1.87	1.89	57.85	57.01	26.5
6000	1.86	1.69	1.73	1.77	1.81	1.84	1.86	1.87	1.88	1.88	1.9	1.92	1.91	1.91	1.93	1.96	57.98	57.06	26.49
7000	1.9	1.73	1.77	1.81	1.85	1.88	1.89	1.9	1.91	1.92	1.94	1.96	1.94	1.95	1.99	2.01	57.58	56.76	26.51
8000	1.93	1.77	1.8	1.84	1.88	1.91	1.92	1.94	1.94	1.95	1.97	1.99	1.98	1.99	2.03	2.05	57.72	56.89	26.5
9000	1.96	1.79	1.83	1.87	1.91	1.94	1.96	1.97	1.98	1.98	2	2.02	2.01	2.04	2.07	2.09	57.24	56.35	26.5
10000	1.99	1.81	1.86	1.9	1.94	1.97	1.98	2	2	2.01	2.02	2.04	2.04	2.07	2.1	2.14	57.8	57.02	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 1.99 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.032 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.035 mm/1000 Passes

**ตารางผนวกที่ ข56** ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กับ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก้อนที่ 2

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52.95	52.68	26.5
1000	1.27	1.25	1.28	1.31	1.3	1.29	1.3	1.32	1.31	1.3	1.27	1.26	1.26	1.25	1.21	1.2	57.51	56.63	26.49
2000	1.5	1.47	1.51	1.54	1.53	1.52	1.53	1.54	1.53	1.51	1.48	1.48	1.48	1.47	1.44	1.42	57.82	56.97	26.49
3000	1.62	1.6	1.64	1.66	1.64	1.63	1.65	1.66	1.65	1.64	1.6	1.59	1.6	1.59	1.56	1.54	57.91	57.1	26.49
4000	1.72	1.72	1.75	1.77	1.74	1.72	1.74	1.75	1.75	1.73	1.7	1.69	1.7	1.7	1.67	1.65	57.83	57	26.52
5000	1.82	1.83	1.86	1.87	1.84	1.82	1.83	1.85	1.85	1.83	1.8	1.78	1.8	1.81	1.79	1.77	57.73	56.98	26.5
6000	1.9	1.93	1.94	1.95	1.91	1.89	1.91	1.93	1.93	1.91	1.88	1.86	1.88	1.9	1.88	1.86	57.69	56.87	26.51
7000	1.96	2.01	2.01	2	1.97	1.94	1.96	1.98	1.98	1.97	1.93	1.91	1.95	1.97	1.95	1.93	57.73	56.92	26.49
8000	2.02	2.07	2.07	2.05	2.02	1.99	2.01	2.03	2.03	2.02	1.99	1.97	2	2.03	2.02	2	57.85	57.22	26.49
9000	2.04	2.1	2.09	2.08	2.04	2.01	2.02	2.04	2.05	2.04	2.01	1.99	2.03	2.07	2.06	2.05	58.24	57.54	26.51
10000	2.08	2.15	2.13	2.11	2.07	2.04	2.05	2.08	2.08	2.07	2.04	2.02	2.08	2.12	2.11	2.1	58.4	57.69	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.08 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.046 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.052 mm/1000 Passes

ตารางผนวกที่ ข57 ผลการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อของมวลรวมหินแกรนิตซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในโครงการก่อสร้างสายทางท่าอากาศยาน  
สุวรรณภูมิ-ชลบุรี ตอน 5 กีบ ยาง PMA ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ก่อนที่ 3

Pass No.	Rut Depth (mm)	Positions of measurements															RTD 1 Deg.C.	RTD 2 Deg.C.	Speed (RPM)
		-52 (mm)	-44 (mm)	-36 (mm)	-28 (mm)	-20 (mm)	-12 (mm)	-4 (mm)	0 (mm)	4 (mm)	12 (mm)	20 (mm)	28 (mm)	36 (mm)	44 (mm)	52 (mm)			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57.13	56.21	26.5
1000	1.40	1.32	1.35	1.40	1.41	1.42	1.43	1.45	1.44	1.44	1.43	1.42	1.41	1.40	1.38	1.36	57.83	57.11	26.49
2000	1.60	1.52	1.56	1.59	1.61	1.61	1.63	1.64	1.64	1.63	1.62	1.62	1.61	1.60	1.59	1.58	57.98	57.06	26.5
3000	1.72	1.63	1.67	1.70	1.71	1.72	1.74	1.76	1.75	1.75	1.73	1.73	1.73	1.72	1.70	1.70	57.8	57.02	26.5
4000	1.81	1.73	1.77	1.80	1.80	1.81	1.82	1.83	1.84	1.83	1.83	1.83	1.82	1.81	1.81	1.80	57.32	56.59	26.51
5000	1.89	1.81	1.85	1.88	1.89	1.89	1.90	1.92	1.92	1.91	1.91	1.90	1.91	1.91	1.91	1.91	57.85	57.01	26.5
6000	1.96	1.89	1.91	1.94	1.94	1.94	1.96	1.98	1.98	1.97	1.97	1.97	1.97	1.98	1.98	1.99	57.98	57.06	26.49
7000	2.01	1.95	1.97	1.98	1.99	1.99	2.01	2.02	2.03	2.03	2.02	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	57.58	56.76	26.51
8000	2.06	2.00	2.02	2.03	2.03	2.03	2.05	2.07	2.07	2.07	2.06	2.06	2.07	2.09	2.11	2.11	57.72	56.89	26.5
9000	2.08	2.03	2.04	2.06	2.06	2.06	2.07	2.09	2.10	2.09	2.09	2.09	2.10	2.14	2.15	2.16	57.24	56.35	26.5
10000	2.12	2.06	2.08	2.09	2.09	2.09	2.10	2.13	2.13	2.13	2.11	2.11	2.15	2.18	2.19	2.21	57.85	56.91	26.5

TEST FINISHED AT 10000 PASSES

FINAL RUT DEPTH = 2.12 mm

Central Steady State Tracking Rate = 0.042 mm/1000 Passes

Average Steady State Tracking Rate = 0.045 mm/1000 Passes



ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Roller Compactor  
และขั้นตอนการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยเครื่อง Wheel Tracker

### ขั้นตอนการบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Roller Compactor

1. ให้เปิดวาล์วลมด้านบนเหนือเครื่องบดอัด
2. หมุนสวิตช์แรงดันลมทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้แรงดันลมเข้าเครื่องบดอัด



ภาพผนวกที่ ค1 สวิตช์แรงดันลม

3. จากนั้นเปิดที่ปุ่มสวิตช์ไฟ จนกระทั่งไฟแสดงสถานะการทำงานติดขึ้นมา



ภาพผนวกที่ ค2 แผงควบคุมเครื่อง Roller Compactor

4. จากนั้นให้กดที่ปุ่ม Reset เครื่อง PLC (Programmable Logic Controller) จะต้องแสดงคำว่า “cooper research” ออกมาทางจอแสดงผล ถ้าไม่มี ให้ตรวจสอบที่ประตูนิรภัยว่ามีการปิดอย่างสนิทแล้วหรือไม่

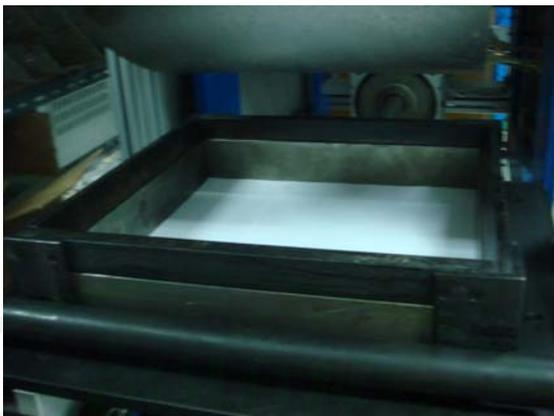
5. จากนั้นให้กดที่เป็นลูกศรชี้ลงหรือไปข้างหน้าสองครั้ง ระดับแรงดันค่าที่ 1 (P1) จะต้อง ถูกแสดงออกมา ใช้ปุ่มเขียวหรือปุ่มแดงบนเครื่อง PLC เพื่อทำการเพิ่มหรือลดจำนวนรอบการเคลื่อนที่ จากนั้นให้กดที่เป็นลูกศรชี้ลงหรือไปข้างหน้า เพื่อเลื่อนไปยังการตั้งค่าระดับของแรงดันค่าที่ 2



ภาพผนวกที่ ค3 สวิตซ์ปรับจำนวนรอบการบดอัด

6. ตั้งค่าจำนวนรอบเคลื่อนที่ให้กับระดับแรงดันที่ต้องการ สำหรับ P1 P2 P3 และ P4 ตามลำดับ

7. ทำการวางแบบลงบนเครื่องบดอัดและนำเหล็กครอบแบบมาใส่ด้านบนแบบและประกอปก้านยึดแบบเข้าไปดังภาพผนวกที่ ค4 และนำกระดาษวางในแบบเพื่อป้องกันวัสดุผสมแอสฟัลต์ติดกับแบบเวลานำก้อนตัวอย่างที่บดอัดแล้วเสร็จ



ภาพผนวกที่ ค4 แบบและเหล็กกรอบแบบ

8. นำวัสดุผสมแอสฟัลต์ที่ทำการผสมให้เข้ากันแล้ว มาเทลงในแบบจากนั้นทำการกระทุ้งวัสดุผสมแอสฟัลต์ประมาณ 30 ครั้งและเกลี่ยวัสดุผสมแอสฟัลต์ให้ทั่วแบบ และนำกระดาษมาวางบนแบบเพื่อป้องกันวัสดุผสมแอสฟัลต์ติดลูกกลิ้งบดอัดดังภาพผนวกที่ ค5



ภาพผนวกที่ ค5 การเกลี่ยวัสดุผสมแอสฟัลต์

9. กดที่ปุ่มเขียว ที่อยู่ด้านขวาบนสุดของกล่องควบคุม เพื่อเริ่มต้นการทำงาน เมื่อเสร็จสิ้นการบดอัดตามจำนวนรอบของการเคลื่อนที่ตั้งไว้แล้ว ลูกกลิ้งบดอัดจะเลื่อนขึ้นมาและลูกกลิ้งบดอัดจะเลื่อนกลับมาหยุดนิ่งในตำแหน่งเดิม

10. กดปุ่ม Emergency และเปิดประตูเพื่อนำแบบออกจากเครื่องบดอัด

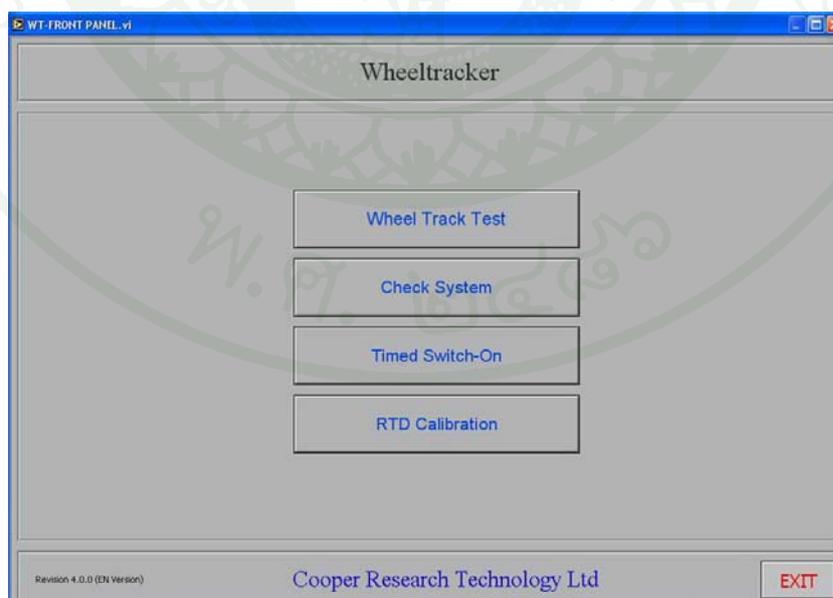
### ขั้นตอนการทดสอบความต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยเครื่อง Wheel Tracker

1. เปิดเครื่อง โดยกดปุ่มสีเขียวและตั้งอุณหภูมิตามที่ต้องการทดสอบ โดยที่ก่อนทำการทดสอบควรบ่มก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง



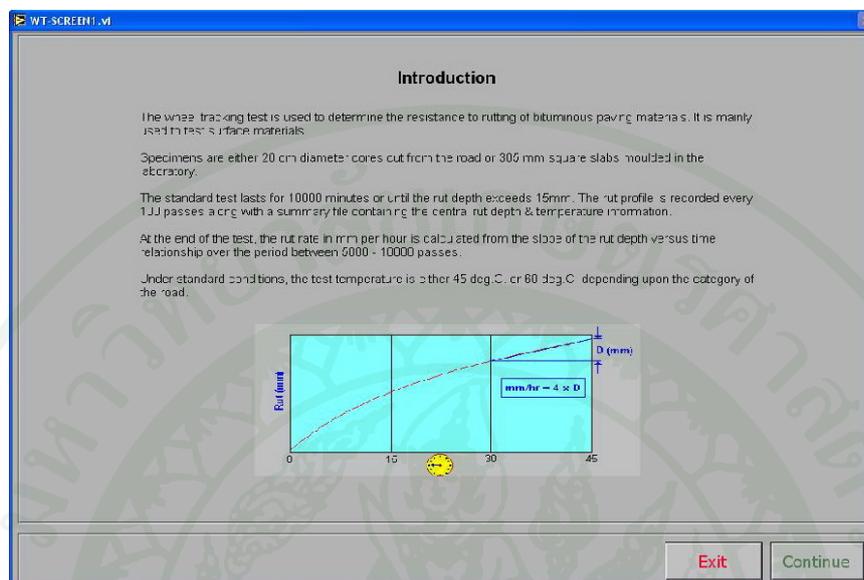
ภาพผนวกที่ ๑๖ สวิตช์ควบคุมอุณหภูมิ

2. เปิดโปรแกรม WTRACK เพื่อเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม ซึ่งจอภาพจะแสดงเมนู ขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ๑๗



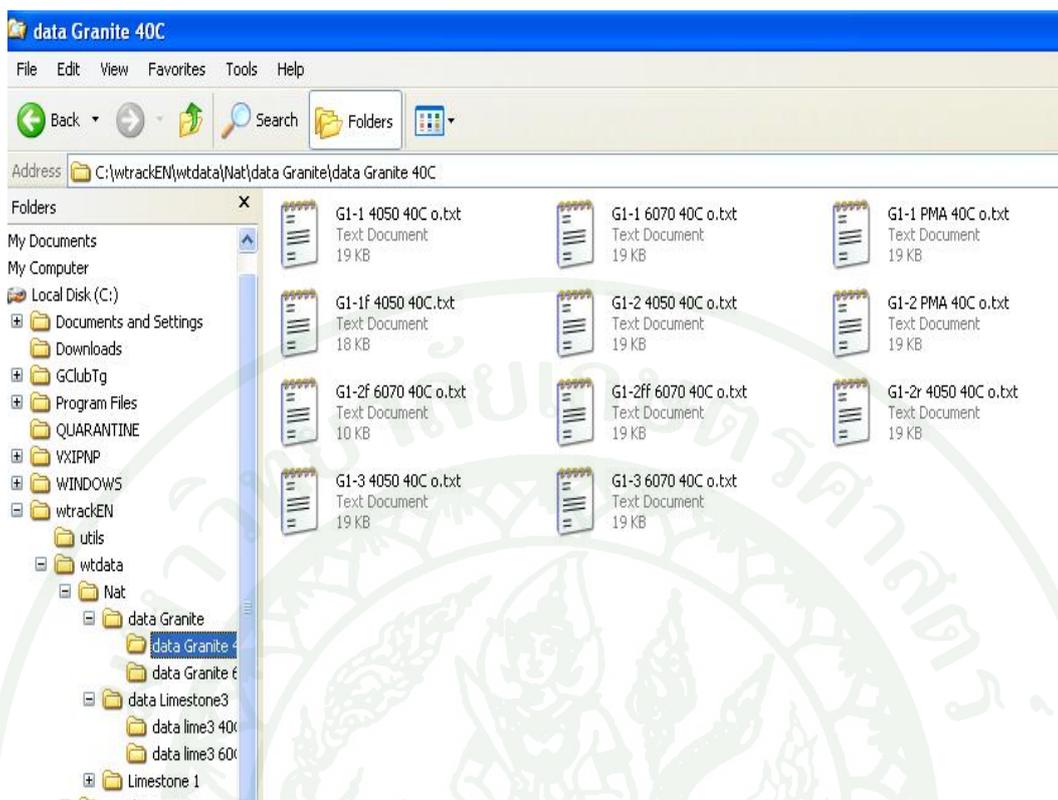
ภาพผนวกที่ ๑๗ โปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

### 3. กดเลือก Wheel Track Test เพื่อเริ่มต้นการทดสอบ และจะพบหน้าจอภาพดังภาพผนวกที่ ค8



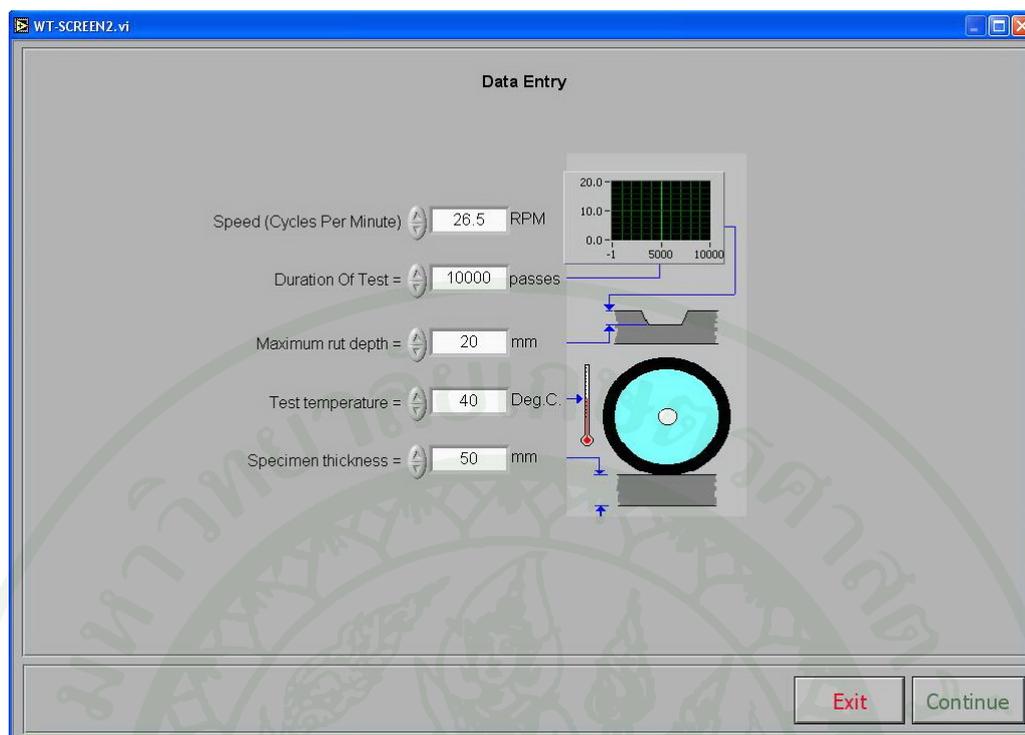
#### ภาพผนวกที่ ค8 คำแนะนำในการใช้โปรแกรม

4. คลิกที่ปุ่ม CONTINUE แล้วจะปรากฏกล่องข้อความเพื่อให้บันทึกข้อมูลแสดงขึ้นมา หลังจากที่ได้ทำการเลือกแหล่งสำหรับเก็บข้อมูลบนดิสก์แล้ว หน้าต่างได้ตอบตามด้านบนจะปรากฏขึ้นมา ไฟล์ข้อมูลจะถูกเก็บบันทึกไว้โดยมีนามสกุลเป็น “.PRN” ไฟล์ข้อมูล จะเก็บบันทึกไว้ไดเรกทอรีชื่อ “WTDATA” ซึ่งเป็นไดเรกทอรีย่อยของ “WTRACK” ให้พิมพ์ชื่อที่ต้องการลงไป ดังภาพผนวกที่ ค9



### ภาพผนวกที่ ๑๑ การบันทึกข้อมูลในไดเรกทอรี

5. คลิกที่ปุ่ม OK และ CONTINUE จากนั้น จอภาพที่แสดงถัดมาจะเป็นกล่องสำหรับป้อนข้อมูล ให้ใช้เมาส์ และคลิกที่ปุ่มเลื่อนตัวเลข เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าตามที่เราต้องการดังภาพผนวกที่ ๑10



ภาพผนวกที่ ค10 การใส่ข้อมูลในการทดสอบ

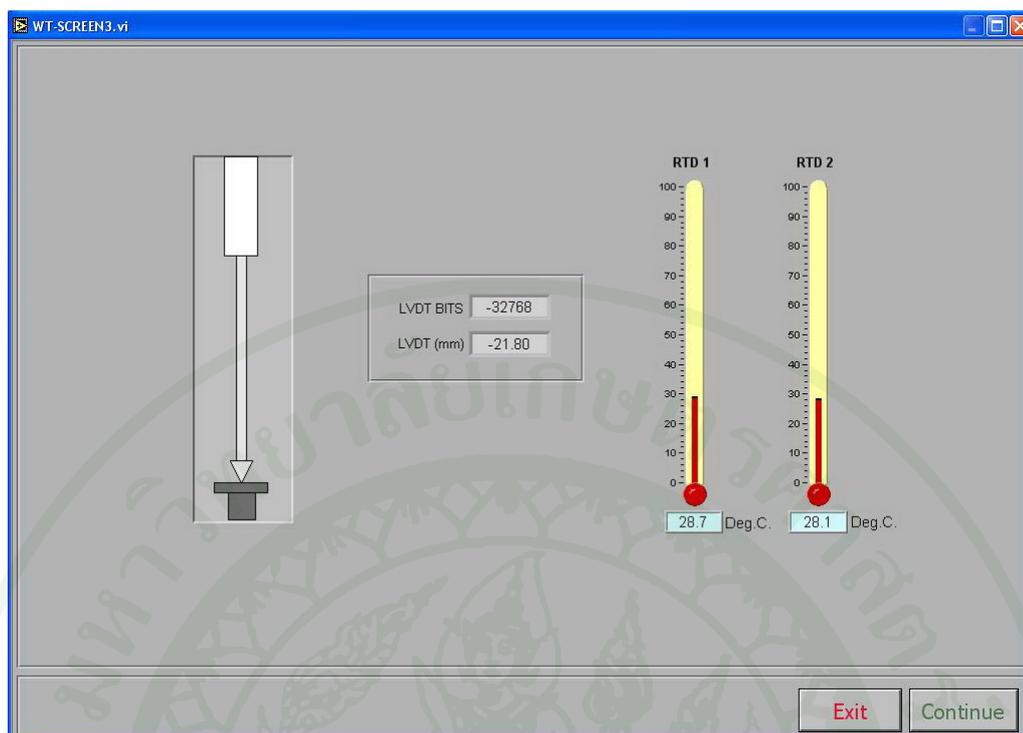
6. เมื่อเสร็จแล้ว ให้คลิกที่ปุ่ม CONTINUE จากนั้นหน้าจอของการตั้งค่าหัววัดระยะความลึกของร่องล้อ จะปรากฏขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ค11 โดยที่

- LVDT (Linear Variable Differential Transformer) คือหัววัดระยะความลึกของร่องล้อมีหน่วยเป็น มม.

- LVDT BITS คือหัววัดระยะความลึกของร่องล้อซึ่งแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล โดยเป็นการควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับอุปกรณ์ทดสอบมีหน่วยเป็น บิต

- RTD (Radial Differential Temperature) 1 คือ อุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิก่อนตัวอย่าง

- RTD (Radial Differential Temperature) 2 คือ อุณหภูมิที่วัดจากเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบ



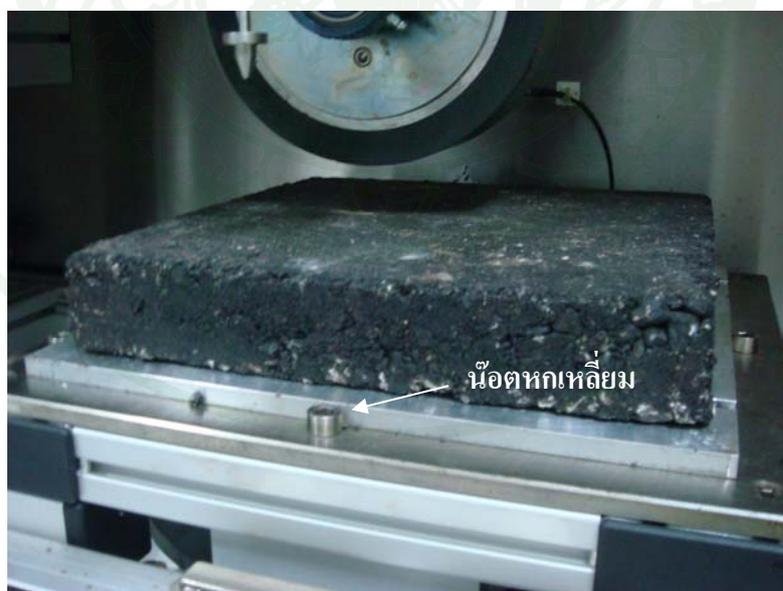
ภาพผนวกที่ ค11 การตั้งค่าหัววัดระยะความลึกของร่องล้อ (LVDT)

7. นำก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดมาทำการเจาะรู โดยให้ใช้สว่านเจาะห่างจากขอบก้อนตัวอย่างประมาณ 5 เซนติเมตร ให้ได้รูลึกประมาณ 3 เซนติเมตร จากนั้นใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ดังภาพผนวกที่ ค12 แล้วใช้เทปกาวเพื่อยึดเทอร์โมคัปเปิ้ลกับก้อนตัวอย่าง ไม่ให้หลุดออกจากกัน ในขณะที่ทำการวัดอุณหภูมิก้อนตัวอย่างขณะทำการทดสอบ



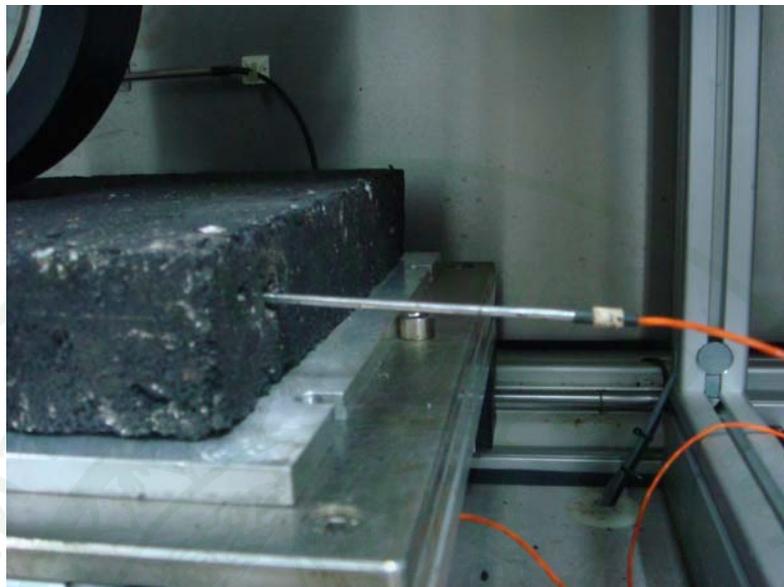
ภาพผนวกที่ ค12 การเจาะรูเพื่อใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิก่อนตัวอย่าง

8. นำก้อนตัวอย่าง ซึ่งวางอยู่บนพื้นผิวแผ่นซีพบอร์ดสีเหลี่ยมจัตุรัสขนาด 350 มม.และเคลือบผิวด้วยเมลามีน มาวางให้ยู่ได้สี่อย่าง โดยแผ่นซีพบอร์ดจะถูกยึดด้วยน็อตหกเหลี่ยมทั้ง 4 ด้านดังภาพผนวกที่ ค13



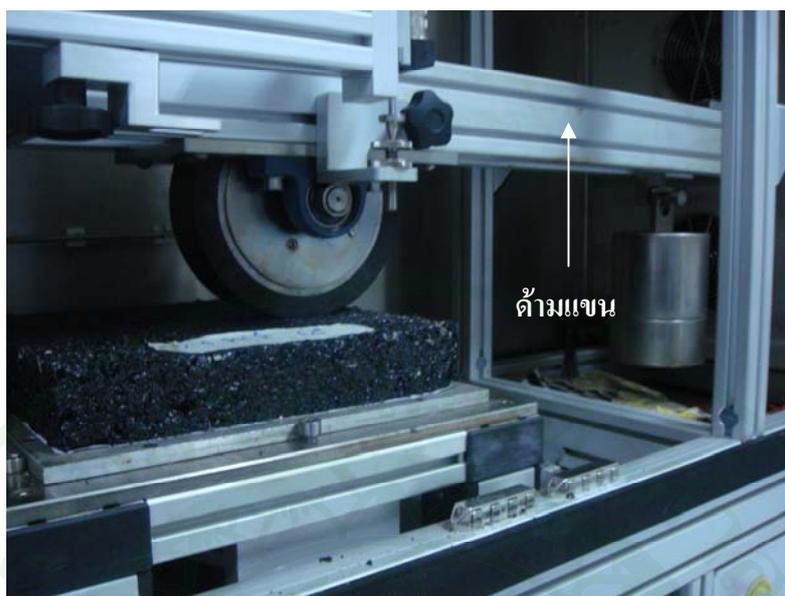
ภาพผนวกที่ ค13 การวางก้อนตัวอย่างบนพื้นผิวแผ่นซีพบอร์ด

9. ใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิก่อนตัวอย่างขณะทำการทดสอบ



ภาพผนวกที่ ค14 การใส่เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิก่อนตัวอย่าง

10. ลดระดับของด้ามแขนลงมา เพื่อให้ล้อยางอยู่บนชิ้นงานทดสอบ เลื่อนชุดหัววัดระยะความลึกของร่องล้อ (LVDT) สีดำ ตรงไปตามแขน จนกระทั่งสลักเกลียวนั้นอยู่ใต้หัววัด LVDT โดยตรงดังภาพผนวกที่ ค15



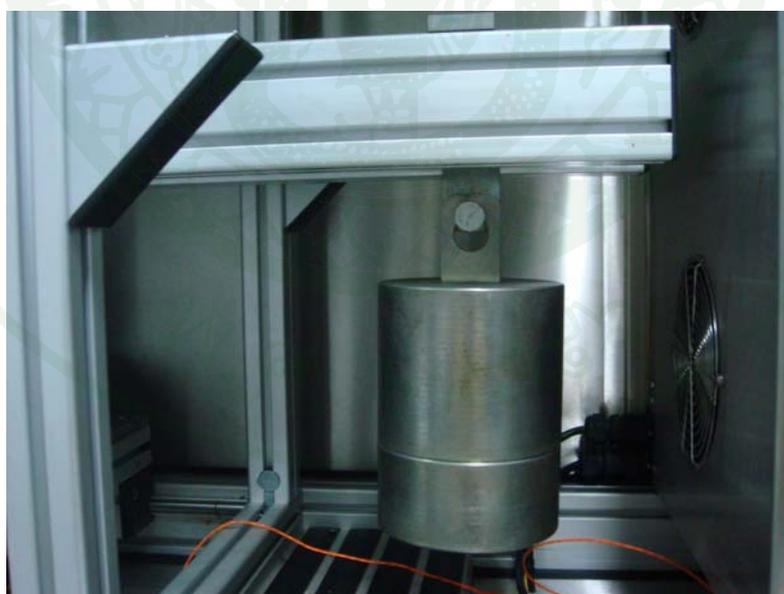
ภาพผนวกที่ ค15 การวางตัวอย่างบนก้อนตัวอย่าง

11. ปลดลอคหัววัด LVDT โดยการถอนแผ่นก้ำยัดออกมา หัววัด LVDT จะต้องตกลงมาจนอยู่บนหัวสลักเกลียวที่ราบเรียบ ดังภาพผนวกที่ ค16
12. ล็อคหัวเป็นสแตนเลสที่อยู่ด้านล่างเข้ากับฐานรอง ค่าผลลัพธ์ตัวเลขที่ได้จะแสดงผ่านผลลัพธ์ของหัววัดทั้งในหน่วย มม. และAD บิท (AD คือตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งเป็นการควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมโยงกับอุปกรณ์ทดสอบ)



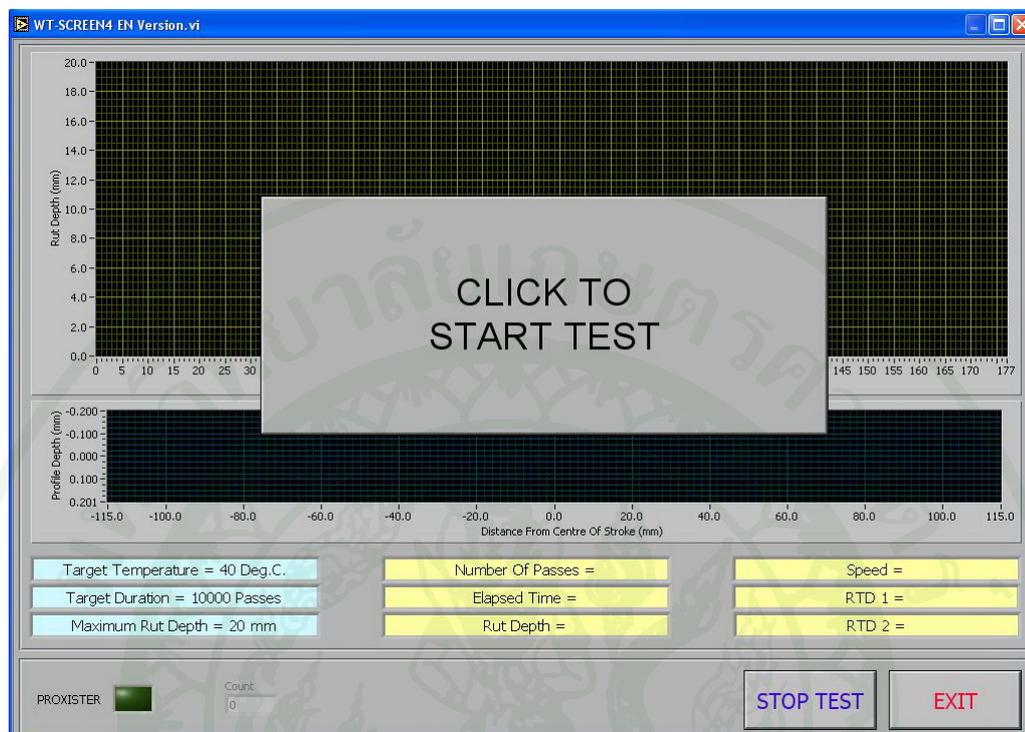
ภาพผนวกที่ ค16 หัววัดระยะความลึกของร่องล้อ (LVDT)

13. จากนั้นนำตุ้มน้ำหนักถ่วงไว้อยู่บนด้ามแขนโดยไม่มีสิ่งกีดขวางใดระหว่างทางการเคลื่อนไหวในแนวตั้ง ดังภาพผนวกที่ ค17



ภาพผนวกที่ ค17 ตุ้มน้ำหนัก

#### 14. คลิกไปที่ปุ่ม START TEST ดังภาพผนวกที่ ค18



#### ภาพผนวกที่ ค18 หน้าจอแสดงผล

การทดสอบจะเริ่มต้นขึ้นและจะต่อเนื่องไปเรื่อยๆ จนกระทั่งระยะเวลาของการทดสอบที่ต้องการนั้นได้ครบกำหนดที่ 10,000 รอบ หรือระยะความลึกของร่องล้อได้ถึงค่าที่กำหนดคือ 20 มม. ในช่วงระหว่างการทดสอบ ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ไปและความลึกของร่องการเดินทาง จะถูกบันทึกและพล็อตค่าไว้บนจอภาพ ข้อมูลการทดสอบก็จะถูกบันทึกค่าไว้ในคอมพิวเตอร์ ถ้าได้มีการเลือกตัวเลือกให้ทำการบันทึกไว้ด้วย เมื่อทดสอบเสร็จนำค่าที่ได้มาพล็อตค่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบกับร่องล้อที่เกิดขึ้น

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายณัฐพงษ์ อังสุพันธุ์โกศล
เกิดวันที่	16 ตุลาคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-