

ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องลึกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต  
และคุณลักษณะอื่นของผิวทางแบบยึดหยุ่นในประเทศไทย



นายจิระศักดิ์ วิสรุตมัย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATIONSHIP BETWEEN RUTTING AND ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT  
CONCRETE AND OTHER CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE PAVEMENTS IN  
THAILAND



Mr. Jeerasak Wisaruttamai

สภามหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering  
Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องลึอกับคุณสมบัติทาง  
วิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและคุณลักษณะอื่นของผิวทางแบบ  
ซีดหุ้มในประเทศไทย

โดย

นายจิระศักดิ์ วิศรุตมัย

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

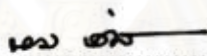
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. จิตติชัย รุ่งนกกนากู

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร. ธันวิน สวัสดิ์सानต์

คณะกรรมการศาสตราจารย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(อาจารย์ ดร. จิตติชัย รุ่งนกกนากู)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ดร. ธันวิน สวัสดิ์सानต์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

จีระศักดิ์ วิศรุตมัย: ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและคุณลักษณะอื่นของผิวทางแบบยืดหยุ่นในประเทศไทย. (RELATIONSHIP BETWEEN RUTTING AND ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE AND OTHER CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE PAVEMENTS IN THAILAND) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร. จิตติชัย รุจนกนกนาฏ, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ดร. ธันวิน สวัสดิ์สานต์, 229 หน้า.

ในปีพ.ศ. 2549 และ 2550 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวงได้สำรวจความเสียหายและประเมินสภาพผิวทางของถนนลาดยางในประเทศไทยทั้งสิ้น 273 แห่งและพบความเสียหายหลายประการ เช่น รอยแตกร้าว พิล์มยางที่ผิวทาง การแยกตัวของส่วนผสม โดยความเสียหายที่พบมากที่สุดคือความเสียหายแบบร่องล้อ นอกจากนี้ยังได้ประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่อง Falling Weight Deflectometer (FWD) และเจาะเก็บก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต 948 ก้อนจากถนนลาดยาง 61 แห่ง โดยการศึกษาได้ทำการสุ่มตัวอย่างถนนลาดยางด้วยวิธีการทางสถิติเหลือ 38 แห่งจากถนนลาดยาง 61 แห่ง เพื่อนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 337 ก้อน มาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบมาร์แชลล์ การทดสอบหาค่า โมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม การทดสอบค่าความต้านทานกับต่อการยุบตัวถาวร และการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ จากผลการทดสอบหาค่าความต้านทานกับต่อการยุบตัวถาวรแสดงให้เห็นว่าค่าการยุบตัวถาวรของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักกระทำของปริมาณจราจรมีค่าน้อยกว่าการยุบตัวของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตจริงในสนามมาก ดังนั้นความเสียหายแบบร่องล้อน่าจะมีปัจจัยอื่นๆเกี่ยวข้องเช่น การเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตและ/หรือการยุบตัวในชั้นพื้นทาง ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูล ความเสียหายแบบร่องล้อ คุณสมบัติทางวิศวกรรม ข้อมูลชั้นโครงสร้างทาง และประวัติสายทางพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายแบบร่องล้อ ได้แก่ ปริมาณรถบรรทุก อายุผิวทาง ค่า โมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส และค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบจากการทดสอบ Dynamic Creep Test ซึ่งผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการทดสอบ Dynamic Creep Test เป็นการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบหรือพยากรณ์คุณสมบัติด้านไปใช้ในการหาความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างถาวรหรือการเกิดร่องล้อของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในการใช้งานจริง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนิสิต.....  
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

## 4970758521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORDS: PAVEMENT DISTRESS / RUT / BLEEDING / RESILIENT MODULUS/ DYNAMIC CREEP TEST

JEERASAK WISARUTTAMAI: RELATIONSHIP BETWEEN RUTTING AND ENGINEERING PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE AND OTHER CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE PAVEMENTS IN THAILAND. ADVISOR: JITTICHAJ RUDJANAKANOKNAD, Ph.D., CO-ADVISOR: TUNWIN SVASDISANT, Ph.D., 229 pp.

During 2006 and 2007, Bureau of Road Research and Development, Department of Highways, Thailand conducted pavement condition survey of 273 flexible pavements in Thailand. The observed pavement distresses included cracking, bleeding, segregation, but rutting were the most common failure mode among all observations. Further, the structural evaluation of these pavements were conducted using Falling Weight Deflectometer (FWD) and 948 asphalt concrete (AC) samples were cored from 61 highways. In this study, 38 out of 61 pavements were randomly and statistically selected. Brought 337 AC samples from these pavements subjected to laboratory tests including Bulk Specific Gravity Test, Marshall Test, Indirect Tensile Resilient Modulus Test, Dynamic Creep Test, and Asphalt Binder extraction. Result of the dynamic creep test indicated that the forecasted permanent deformation of the AC layer in the field due to traffic load were much less than the actual measured rut depth. Hence the mechanism of rutting in the field must involve other factors such as movement lateral deformation of AC material (flow) and/or permanent deformation in base layer. Result of the statistically analysis of the relationship between rutting, engineering properties, road inventory and pavement maintenance. Revealed that factors relating to rutting are truck volumes, design life, resilient modulus at 50 degree celsius and average permanent microstrain per cycle of the dynamic creep test. Finally, results of this study also showed that Dynamic Creep Test is a suitable test method to evaluate the permanent deformation or rut resistance of AC material in the field.

Department: Civil Engineering  
Field of Study: Civil Engineering  
Academic Year: 2008

Student's Signature.....  
Advisor's Signature.....  
Co-Advisor's Signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

เหนือสิ่งอื่นใดขอขอบพระคุณบิดามารดา พี่ชาย และญาติพี่น้องที่ทำให้ข้าพเจ้ามีสุขภาพ และกำลังเพียงพอที่จะพัฒนาจิตใจและความรู้ และคอยอุปการะเลี้ยงดูและคอยสั่งสอนข้าพเจ้าให้เป็นเช่นปัจจุบันนี้ได้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. จิตติชัย รุจนกนกนาฏ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร. ชันวิน สวัสดิ์ ศานต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สำหรับคำชี้แนะ สั่งสอน ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่อการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล และ ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ สำหรับคำปรึกษาวิทยานิพนธ์อันมีค่ายิ่งและความกรุณาที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณคณาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมการขนส่ง ภาควิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ทั้งในการทำงานวิจัยและการประกอบอาชีพในอนาคตแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง สำหรับให้คำแนะนำ ตลอดจนการอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและอุปกรณ์ในการทดสอบของงานวิจัยครั้งนี้ ซึ่งทำให้ งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณนิสิตสาขาวิศวกรรมการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ นิสิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือรวมทั้งให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ลำดับการนำเสนอในวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การประเมินสภาพความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง.....	6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.3 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรอยแตกจากบนลงล่าง ในผิวทางแบบยึดหยุ่น.....	9
2.4 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีแรงดึงทางอ้อม.....	11
2.5 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีแรงดึงทางอ้อม.....	18
2.6 ข้อกำหนดและค่าทดสอบที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	20
2.7 แบบจำลองหาความสัมพันธ์ของร่องล้อที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา.....	25
3.1.1 การคัดเลือกถนนลาดยาง.....	25
3.1.2 การสุ่มก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากถนนลาดยาง.....	28

3.2	วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม .....	30
3.2.1	การเตรียมก่อนตัวอย่าง .....	30
3.2.2	การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ .....	32
3.2.3	การทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ .....	32
3.2.4	การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว .....	34
3.2.5	การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร .....	35
3.2.6	การทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ .....	36
3.3	แนวทางในการวิเคราะห์ .....	38
บทที่ 4	ผลการศึกษา .....	40
4.1	ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต .....	40
4.2	ผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์ .....	44
4.3	ผลทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว โดยวิธีแรงดึงทางอ้อมของก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีต .....	49
4.4	ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีต .....	52
4.4.1	การเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการกับความลึกร่องล้อเฉลี่ย ในภาคสนาม .....	56
4.5	ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต .....	64
4.6	สรุป .....	65
บทที่ 5	การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเสียหายของผิวทาง .....	67
5.1	การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความลึกร่องล้อเฉลี่ย .....	67
5.1.1	แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา .....	67
5.1.2	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	68
5.1.3	การคัดเลือกแบบจำลอง .....	72
5.1.4	การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง .....	78
5.2	การคาดการณ์ความสอดคล้องระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางที่เป็น ฟิล์มยาง .....	78
5.2.1	แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา .....	78
5.2.2	การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	81



5.2.3 การคัดเลือกแบบจำลอง.....	86
5.2.4 การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง.....	89
5.3 สรุป.....	90
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา.....	92
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	92
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	95
6.2.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย.....	95
6.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต.....	96
รายการอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก รายละเอียดข้อมูลของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำมาทดสอบ.....	103
ภาคผนวก ข การจำแนกข้อมูลสายทางตามข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลความเสียหาย.....	109
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์.....	112
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสกันตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม.....	127
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร.....	186
ภาคผนวก ฉ ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์.....	201
ภาคผนวก ช เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางวิศวกรรม.....	205
ภาคผนวก ซ ผลการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต.....	214
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	229

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สรุปลักษณะและสาเหตุของความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง.....	6
2.2 ข้อกำหนดของการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์.....	20
2.3 ค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตของงานวิจัยที่ผ่านมา.....	21
2.4 ค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตของงานวิจัยที่ผ่านมา.....	22
3.1 รายชื่อถนนลาดยางที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง.....	27
3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว.....	39
4.1 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม แนวทดสอบ.....	41
4.2 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	42
4.3 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรถบรรทุก.....	43
4.4 ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ.....	44
4.5 ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณ ความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	46
4.6 ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรถบรรทุก.....	47
4.7 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม แนวทดสอบ.....	49
4.8 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	50
4.9 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรถบรรทุก.....	51
4.10 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จำแนกตามแนวทดสอบ.....	53
4.11 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	54

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก.....	55
4.13 อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจรสำหรับโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง ของกรมทางหลวง.....	57
4.14 สัดส่วนรถบรรทุกในช่องทางการจราจรออกแบบ.....	58
4.15 Weight Factors for Vehicle Classes Suggested by the RRDC of DOH.....	58
4.16 การเปรียบเทียบความหนาชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตกับความลึกร่องล้อ.....	63
4.17 ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต.....	64
5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ.....	69
5.2 ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของถนนลาดยาง 38 แห่ง ที่ใช้ในแบบจำลอง.....	73
5.3 ตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองทำนายความสัมพันธ์ระหว่างความลึกร่องล้อ เฉลี่ยกับตัวแปรต่างๆ.....	74
5.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ของความลึกร่องล้อเฉลี่ย.....	75
5.5 ผลกระทบส่วนเพิ่มของแบบจำลอง RUT4.....	76
5.6 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทาง เป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง.....	87
5.7 ผลกระทบส่วนเพิ่มของแบบจำลอง BL5.....	88

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	4
2.1 ก้อนตัวอย่างที่เสียหายจากรอยแตกจากบนลงล่าง (Top-Down Crack).....	10
2.2 การให้น้ำหนักกระทำก้อนตัวอย่างและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่าง.....	11
2.3 ลักษณะการกระจายของ Tensile Stress และ Compression Stress ในการทดสอบแบบ Indirect Tensile Test.....	13
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load – Deformation ที่เกิดขึ้นในการทดสอบ Indirect Tensile Test แบบ Repeated Load.....	14
2.5 รูปแบบการทดสอบแบบควบคุมความเค้น (Stress-Control Test).....	15
2.6 การทดสอบแบบควบคุมความเครียด (Strain-Control Test).....	16
2.7 Nomograph for Stiffness Modulus of Mixes.....	17
2.8 การทดสอบแบบไดนามิกครีฟตามมาตรฐาน AS 2891.12.1.....	19
2.9 การทดสอบแบบไดนามิกครีฟในการวิจัยครั้งนี้.....	19
3.1 ฟังก์ชันการทดสอบด้วยเครื่อง Falling Weight Deflectometer และการเจาะเก็บก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีตของแปลงทดสอบ.....	29
3.2 การขีดเส้นทำเครื่องหมายแบ่งชั้นของก้อนตัวอย่าง.....	30
3.3 ตัวอย่างขณะติดตั้งในเครื่องตัดก้อนตัวอย่าง.....	31
3.4 ก้อนตัวอย่างเมื่อทำการตัดเรียบร้อยแล้ว.....	31
3.5 การวัดขนาดของก้อนตัวอย่าง.....	31
3.6 ลักษณะของอ่างปรับอุณหภูมิก้อนตัวอย่าง.....	33
3.7 การจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบแบบแบบมาร์แชลล์.....	33
3.8 ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบ.....	33
3.9 การจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว.....	34
3.10 การคำนวณค่าโมดูลัสคืนตัวที่ได้จากโปรแกรม UTM 16 V2.05.....	35
3.11 การจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบหาค่าการยุบตัวถาวร.....	35
3.12 การทดสอบ Dynamic Creep Test ที่ได้จากโปรแกรม UTS005 1.30 Simple Performance Flow Test.....	36
3.13 เครื่องทดสอบ Troxler NTO Asphalt Content Ignition Oven.....	36
3.14 ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตแยกตัวกัน.....	37

ภาพที่	หน้า
3.15 มวลรวมที่เหลือจากการเผา.....	37
4.1 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม แนวทดสอบ.....	41
4.2 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	42
4.3 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรบกวน.....	43
4.4 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพและการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม แนวทดสอบ.....	45
4.5 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม แนวทดสอบ.....	45
4.6 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	46
4.7 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	47
4.8 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรบกวน.....	48
4.9 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรบกวน.....	48
4.10 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม แนวทดสอบ.....	50
4.11 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	51
4.12 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรบกวน.....	52
4.13 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จำแนกตามแนวทดสอบ.....	53
4.14 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ.....	54

ภาพที่	หน้า
4.15 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก.....	55
4.16 ค่า Accumulated Microstain ที่ได้จากการทดสอบ Dynamic Creep Test.....	59
4.17 ค่า Accumulated Microstain ของทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 2802 ระหว่าง กม.739+000 ถึง กม.738+800.....	60
4.18 การเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการกับความสึกกร่อนเฉลี่ยในภาคสนามของ ทางหลวง 29 แห่ง.....	62
4.19 การเปรียบเทียบปริมาณยางแอสฟัลต์ของบริเวณที่ไม่มีผิวฟิล์มยางที่ผิวทางกับ บริเวณฟิล์มยางที่ผิวทาง.....	65
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความสึกกร่อนกับอายุผิวทาง.....	77
5.2 ความถี่ของสภาพผิวทางที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางและสภาพผิวทางที่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง.....	86
6.1 ร่องล้อที่เกิดจากชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดเคลื่อนตัวด้านข้าง.....	93
6.2 ร่องล้อที่เกิดจากวัสดุชั้นพื้นทางและ/หรือชั้นรองพื้นทางเกิดการยุบตัวและ/หรือ เกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง.....	94

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีถนนลาดยาง (Asphalt Concrete Pavement) อยู่ประมาณร้อยละ 90 และถนนคอนกรีต (Concrete Pavement) ประมาณร้อยละ 10 ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง (ทางหลวง, กรม, 2550) จากตัวเลขที่ปรากฏแสดงให้เห็นว่าโครงข่ายถนนลาดยางของกรมทางหลวงส่วนใหญ่เป็นถนนลาดยาง

ถนนลาดยาง (Asphalt Concrete Pavement) เป็นโครงสร้างทางที่มีต้นทุนในการก่อสร้างที่ต่ำกว่าถนนคอนกรีต (Concrete Pavement) และภายหลังการปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตแล้วเสร็จสามารถเปิดให้บริการได้ในทันที ซึ่งทำให้ส่วนใหญ่ประเทศไทยนิยมก่อสร้างถนนลาดยาง โดยถนนลาดยางมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วน อาทิเช่น ชั้นพื้นทาง (Base Course) และชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) แต่ส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งเป็นส่วนที่รับน้ำหนักการจราจรโดยตรง และทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงไปทำลายชั้นโครงสร้างที่อยู่ต่ำกว่าได้

อย่างไรก็ตามแนวโน้มของปริมาณจราจรและน้ำหนักรถทุกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ถนนลาดยางหลายสายของกรมทางหลวง ได้รับความเสียหายชำรุดจากการจราจรมากเกินไปจนขอบเขตที่วิธีการออกแบบไว้ ทำให้ถนนลาดยางของหลายสายเสียหายเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้ต้องใช้งบประมาณในการก่อสร้างและบำรุงรักษามากขึ้นตามไปด้วย

ในปีพ.ศ. 2549 และ 2550 ชันวิน และคณะ (2551) ได้จัดทำการศึกษาสภาพความเสียหายและหาสาเหตุของความเสียหายหลักของถนนลาดยางในประเทศไทย ได้ทำการสำรวจและประเมินสภาพผิวทางของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของถนนลาดยางในประเทศไทยทั้งสิ้น 273 แห่ง ครอบคลุมทุกภูมิภาคในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยถนนที่ไม่มี ความเสียหายจำนวน 34 แห่ง และถนนที่มีความเสียหายจำนวน 239 แห่ง ที่มีปริมาณจราจร ตั้งแต่ 970 คันต่อวัน ถึง 54,735 คันต่อวัน และมีปริมาณรถบรรทุก (ตั้งแต่ 6 ล้อขึ้นไป) ตั้งแต่ 142 คันต่อวัน ถึง 18,820 คันต่อวัน และพบความเสียหายหลายประการ เช่น รอยแตกร้าว ฟิล์มยางที่ผิวทาง การแยกตัวของส่วนผสม แต่ความเสียหายที่พบมากที่สุดคือ ความเสียหายแบบร่องล้อ จากนั้นจึงได้ประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่อง Falling Weight Deflectometer (FWD) และเจาะเก็บก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต 948 ก้อนจากถนนลาดยางจำนวน 61 แห่ง เพื่อนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม แต่ปัจจุบันยังขาดการทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

งานวิจัยนี้จึงได้สุ่มตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากที่กล่าวมาในข้างต้นด้วยวิธีการทางสถิติ มา 38 แห่งจาก 61 แห่ง เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต อันได้แก่ ค่าเสถียรภาพกับการไหล (Stability-Flow) ค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) และค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนสภาพอย่างถาวร (Permanent Deformation) หลังจากนั้นก็จะนำค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมและคุณลักษณะอื่นๆไปวิเคราะห์ทางสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อของถนนลาดยางในประเทศไทย และข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะนำมาซึ่งข้อสรุปของปัญหาและแนวทางแก้ไขความเสียหายแบบร่องล้อของถนนลาดยางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อเพิ่มความทนทานและยืดอายุการใช้งานของถนนลาดยางในประเทศไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาค่าเสถียรภาพและการไหลของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับความเสียหายในประเทศไทย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับความเสียหายในประเทศไทย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับความเสียหายในประเทศไทย
- 1.2.4 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางวิศวกรรมและคุณลักษณะอื่นๆกับความเสียหายแบบร่องล้อของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้รับความเสียหายในประเทศไทย จำนวน 38 สายทาง
- 1.3.2 ทำการทดลองเพื่อหาค่าเสถียรภาพและการไหลของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



- 1.3.3 ทำการทดลองเพื่อหาค่าโมดูลัสคีนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 5, 20, 35 และ 50 องศาเซลเซียส
- 1.3.4 ทำการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

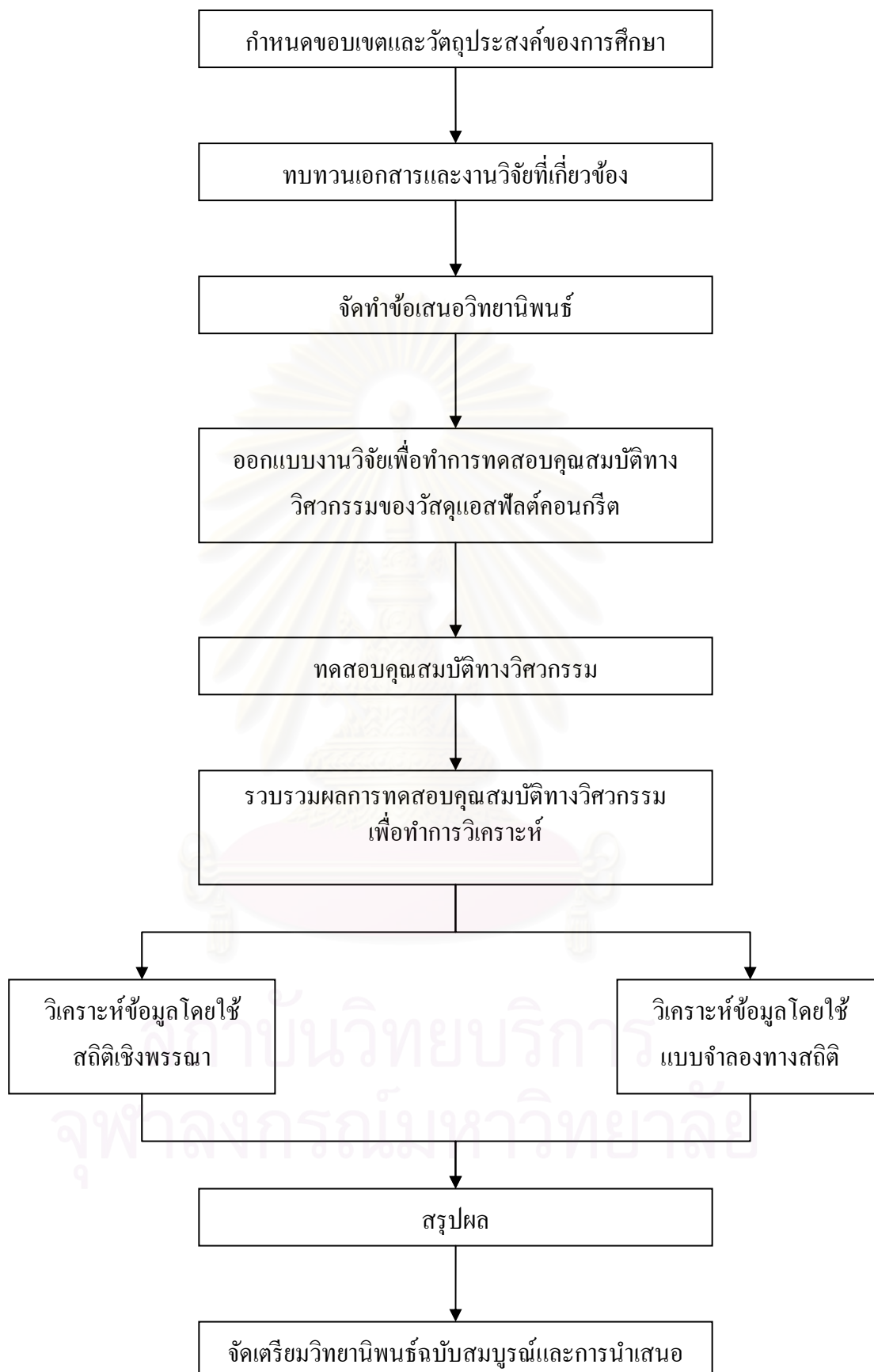
#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากถนนแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย
- 1.4.2 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตและคุณลักษณะอื่นๆของถนนลาดยางที่ได้รับความเสียหายในประเทศไทย
- 1.4.3 นำผลการศึกษาที่ได้ไปหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเสียหายแบบร่องล้อของถนนลาดยางที่ได้รับความเสียหายในประเทศไทย

#### 1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตและคุณลักษณะอื่นของผิวทางยืดหยุ่นในประเทศไทย มีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 1.1

สำนักงานวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## 1.6 ลำดับการนำเสนอในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาหลักออกเป็น 6 บท ได้แก่

บทที่ 1 บทนำซึ่งจะกล่าวถึงที่มาของงานวิจัยและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยและแนวทางการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา รวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยในการศึกษา ประกอบด้วย ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และแนวทางในการวิเคราะห์ ข้อมูล

บทที่ 4 ผลการศึกษา ซึ่งจะกล่าวถึงผลลัพธ์เบื้องต้นแสดงอยู่ในภาพสถิติเชิงพรรณา ประกอบด้วยผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ ผลการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ ผลการทดสอบ หาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานการยุบตัวถาวร และ ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์

บทที่ 5 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเสียหายผิวทาง ซึ่งเนื้อหาในบทนี้จะ กล่าวถึงจะเป็นการแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติได้แก่ การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ ความถี่ร่องล้อเฉลี่ย และการคาดการณ์สภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็น फिल्मยางที่ผิวทาง

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการวิจัยนี้เป็นการอธิบายถึงทฤษฎีการประเมินความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง ความสำคัญของความเสียหายของถนนลาดยาง การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 2.1 การประเมินสภาพความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง

ความเสียหายของถนนลาดยางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดขึ้นภายหลังการเปิดการจราจรมาได้ระยะหนึ่ง และพบว่าถนนลาดยางแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหายขึ้นเนื่องจากการใช้งานและอายุ ความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีหลายประเภท หลายชนิด แต่ละชนิดความเสียหายอาจเกิดจากสาเหตุเดียวหรือหลายสาเหตุ ซึ่งในสาเหตุเดียวนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายได้หลายชนิด โดยในตารางที่ 2.1 ได้ทำการอธิบายถึงลักษณะและสาเหตุของความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยางแอสฟัลต์คอนกรีต

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะและสาเหตุของความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง

กลุ่มของความเสียหาย	การเปลี่ยนรูปร่าง (DEFORMATION)	
ชนิดความเสียหาย	ลักษณะ	สาเหตุ
ร่องล้อ (Rutting)	เกิดการเสียรูปร่างถาวรของผิวทางหรือชั้นพื้นทางตามแนวล้อในลักษณะยุบตัวหรือการเคลื่อนตัวด้านข้าง โดยปกติจะมีสัดส่วนความยาวร่องล้อต่อความกว้างร่องล้อยมากกว่า 4 เท่า	1) ความหนาของโครงสร้างทางไม่เพียงพอ 2) ความแข็งแรงของวัสดุชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นทางไม่เพียงพอ 3) การบดอัดในชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นที่ไม่ดี
การปูดนูน (Shoving)	เกิดรอยนูนหรือรอยทรุดเป็นแอ่งเฉพาะที่ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนตัวของชั้นผิวทางเป็นแนวยาวตามทิศทางจราจร ซึ่งเกิดจากการหยุดหรือการออกตัวของยานพาหนะ ส่วนแนวขวางกับทิศทางจราจรจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเลี้ยวหรือการกลับรถ	1) ความแข็งแรงของวัสดุชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นทางไม่เพียงพอ 2) การยึดเกาะระหว่างชั้นวัสดุโครงสร้างทางที่ไม่ดี 3) โครงสร้างทางที่ไม่แข็งแรง 4) ความหนาของผิวทางไม่เพียงพอ

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะและสาเหตุของความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง (ต่อ)

กลุ่มของความเสียหาย	รอยแตก (CRACK)	
ชนิดความเสียหาย	ลักษณะ	สาเหตุ
รอยแตกตามยาว (Longitudinal crack)	เกิดรอยแตกตามแนวยาวในชั้นผิวทาง โดยรอยแตกที่เกิดขึ้นจะมีแนวเดียวหรือหลายแนวขึ้นอยู่กับความรุนแรง แต่จะไม่มีรอยแตกตามขวางมาเชื่อมระหว่างรอยแตกตามยาว	<p><b>รอยแตกตามยาวแนวเดียวอาจเกิดจาก</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) การหดตัวหรือรอยต่อของชั้นพื้นทางที่เป็นวัสดุผสมซีเมนต์หรือยางแอสฟัลต์</li> <li>2) การก่อสร้างรอยต่อที่ไม่ได้คุณภาพ</li> <li>3) การกระด้างขึ้นของยางแอสฟัลต์ (Aging หรือ Oxidation)</li> </ol> <p><b>รอยแตกตามยาวหลายแนวเกิดจาก</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) การขยายตัวของชั้นดินเดิมเนื่องจากความชื้นหรือการบดอัด</li> <li>2) ความแข็งแรงของโครงสร้างทางที่ขอบทางไม่เพียงพอ</li> <li>3) การทรุดตัวที่ต่างกันของโครงสร้างทาง</li> </ol>
รอยแตกหนังจระเข้ (Alligator cracks)	เกิดรอยแตกเชื่อมกันเป็นรูปที่มีเหลี่ยมมากกว่าสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดเล็กหรือมีรูปร่างคล้ายหนังจระเข้ โดยปกติจะเกิดขึ้นบริเวณแนวล้อและการจราจร ปกติมีขนาดไม่เกิน 0.30 เมตร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) ความหนาของโครงสร้างทางไม่เพียงพอ</li> <li>2) วัสดุชั้นพื้นทางที่มีกำลังต่ำเนื่องจากความชื้นหรือสาเหตุอื่นๆ</li> <li>3) การเสื่อมสภาพและแข็งกระด้างของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต</li> </ol>
รอยแตกตามขวาง (Transverse crack)	เกิดรอยแตกขึ้นตามแนวขวางกับทิศทางจราจร โดยรอยแตกไม่เชื่อมต่อเป็นโครงข่าย	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) การหดตัวของชั้นพื้นทางที่เป็นวัสดุผสมซีเมนต์หรือยางแอสฟัลต์</li> <li>2) เกิดจากการก่อสร้างรอยต่อที่ไม่ได้คุณภาพหรือรอยแตกจากการหดตัว (รอยแตกที่อุณหภูมิต่ำหรือยางแอสฟัลต์กระด้าง) ในชั้นผิวทาง</li> </ol>
รอยแตกโครงข่าย (Block crack)	เกิดรอยแตกเชื่อมต่อกันเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยม โดยรอยแตกจะกระจายเต็มผิวทาง มีขนาดตั้งแต่ 0.30 เมตร ถึง 3.00 เมตร	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) รอยแตกต่อเนื่องจากถนนคอนกรีตด้านล่าง</li> <li>2) การหดตัวและความล้าในชั้นพื้นทางเป็นวัสดุผสมซีเมนต์</li> <li>3) การหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต</li> <li>4) วัสดุแอสฟัลต์ชั้น Wearing Course ที่เปราะหรือไม่แข็งแรง</li> </ol>

ตารางที่ 2.1 สรุปลักษณะและสาเหตุของความเสียหายประเภทต่างๆของถนนลาดยาง (ต่อ)

กลุ่มของความเสียหาย	รอยตำหนิบนผิวทาง (SURFACE DEFECTS)	
ชนิดความเสียหาย	ลักษณะ	สาเหตุ
ผิวหลุดล่อน (Raveling)	เป็นผิวทางที่ขรุขระเนื่องจากการแยกตัวหรือส่วนผสมไม่ดีของยางแอสฟัลต์และมวลรวม	1) การเสื่อมสภาพของยางแอสฟัลต์และหิน 2) การออกแบบส่วนผสมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เหมาะสม 3) การบดอัดไม่เพียงพอ 4) การบดอัดที่อุณหภูมิต่ำเนื่องจากฝนตกหรืออากาศเย็นระหว่างการก่อสร้าง
ฟิล์มยาง (Bleeding)	เกิดเป็นฟิล์มบางๆของยางแอสฟัลต์บนผิวทาง	1) ปริมาณยางแอสฟัลต์ที่มากเกินไปและช่องว่างอากาศ (Air Void) ที่น้อยเกินไปหรืออย่างใดอย่างหนึ่ง 2) วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรงต่ำ 3) การ Prime Coat ในปริมาณมากเกินไป
กลุ่มของความเสียหาย	ความเสียหายอื่นๆ (MISCELLANEOUS DISTRESS)	
ชนิดความเสียหาย	ลักษณะ	สาเหตุ
หลุมบ่อ (Pothole)	เป็นผิวทางที่มีภาพร่างเป็นแอ่งหรือโพรงที่มีผลมาจากการหลุดล่อน รอยแตกหนึ่งจระเข้ การบวมตัว รอยข้อมปะ ซึ่งอาจเพิ่มความรุนแรงโดยขยายวงกว้างไปจนถึงชั้นที่ต่ำกว่าชั้น Wearing Course จนหลุมบ่อมีความลึกมากขึ้น	1) การหลุดล่อน การสูญเสีย วัสดุผิวทางเนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่น รอยแตกริ้วที่รุนแรงและการหลุดร่อน 2) ความเสียหายจากความชื้นที่ลงไปสู่ชั้นพื้นทางผ่านทางรอยแตกที่ผิวทาง 3) ความเสียหายของชั้นพื้นทางอันเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

ที่มา : 1. คู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง, สำนักวิศวกรรมและตรวจสอบ, ทางหลวง, กรม (2550)

2. A Guide to the Visual Assessment of Pavement Condition, Austroads (1987)

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของฉันทิน สวัสดิ์สานต์ และคณะ (2551) ในโครงการสำรวจสภาพความเสียหายและหาสาเหตุของความเสียหายหลักของถนนลาดยางในประเทศไทย ได้ทำการศึกษาหาสาเหตุหลักของความเสียหายของถนนลาดยางโดยการสำรวจทั้งสิ้น 273 แห่งครอบคลุมทุกภูมิภาคในประเทศไทย ประกอบด้วยถนนลาดยางที่ไม่มีความเสียหายจำนวน 34 แห่ง และถนนที่มีความ

1. ความเสียหายที่เป็นร่องลือ (รอยละ 67)
2. ความเสียหายที่เป็นรอยแตกตามยาว (รอยละ 53)
3. ความเสียหายที่เป็นรอยแตกเชื่อมต่อในแนวลือ (รอยละ 40)
4. ก้อนตัวอย่างที่มีรอยแตกร้าวที่เป็นรอยแตกร้าวจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง (Top-Down Cracks) จำนวน 169 ก้อนจาก 170 ก้อน

ส่วนการตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างถนนลาดยางด้วยเครื่อง FWD ทั้งหมด 61 แห่ง ซึ่งภายหลังจากการคำนวณย้อนกลับพบว่า มีสายทางที่มีค่าโมดูลัสชั้นทางที่ยอมรับได้ ทั้งหมด 32 แห่ง พบว่าค่าเฉลี่ยโมดูลัสของแต่ละชั้นทางในแนวร่องลือซ้าย มีค่าน้อยกว่าในร่องลือขวาและระหว่างร่องลือแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างทางในแนวร่องลือซ้ายมีความเสื่อมสภาพมากกว่าในร่องลือขวาและระหว่างร่องลือ ส่วนค่าเฉลี่ยโมดูลัสของทุกชั้นทางในแปลงทดสอบอย่างละเอียดยาว 200 เมตร มีค่าน้อยกว่าที่ได้จากแปลงทดสอบโดยรวมยาว 3 กิโลเมตร เนื่องจากการเลือกตำแหน่งที่ถนนมีความเสียหายให้เป็นแปลงทดสอบ 200 เมตร ซึ่งมีความเสื่อมสภาพของโครงสร้างทางมากกว่า

แต่ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้ทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม ทำให้ผลการสรุปความเสียหายของถนนลาดยางนั้นยังต้องการข้อมูลสนับสนุน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อหาข้อสรุปปัญหาที่สำคัญและแนวทางในการแก้ไขปัญหา

### 2.3 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรอยแตกจากบนลงล่างในผิวทางแบบยึดหยุ่น

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า รอยแตกร้าวที่สำรวจพบส่วนใหญ่เป็นรอยแตกจากบนลงล่าง (Top-Down Crack) โดยรอยแตกจากบนลงล่างนั้นสามารถพบได้ในลักษณะของรอยแตกตามยาว (Longitudinal Crack) หรือ รอยแตกตามขวาง (Transverse Crack) รอยแตกนั้นจะเริ่มจากผิวทางด้านบนสุดซึ่งสร้างความเสียหายเฉพาะชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเท่านั้น และขยายความรุนแรงของรอยแตกในแนวจากบนลงล่างหรือขยายรอยแตกในแนวด้านข้าง ซึ่งรอยแตกจากบนลงล่างนั้นในปัจจุบันสามารถตรวจสอบยืนยันได้จากการเจาะเก็บตัวอย่างจากภาคสนามเท่านั้น (ภาพที่ 2.1) ส่วนใหญ่ในการสำรวจความเสียหายจะพบรอยแตกตามยาวตามแนวลือที่เกิดจากรอยแตกจาก

จากบทความวิจัยในหลายประเทศได้แสดงให้เห็นว่าสำรวจพบรอยแตกจากบนลงล่างบนโครงสร้างทางแบบหืดหยุ่น (Flexible Pavement) ในประเทศญี่ปุ่น เคนยา แอฟริกาใต้ ฝรั่งเศส และเนเธอร์แลนด์ (Matsuno และ Nishizawa, 1992, Wambura และคณะ, 1999, Hugo และ Kennedy, 1985, Duzauts และ Rampal, 1987, Gerritsen และคณะ, 1987) แม้กระทั่งในหลายๆรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา อาทิเช่น รัฐฟลอริดา รัฐมิชิแกน และรัฐออซิงตัน ยังสำรวจพบรอยแตกจากบนลงล่างที่สร้างความเสียหายหลักให้แก่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Mayer, 1998, Svasdisant และคณะ, 2001, Niederquell และคณะ, 2000, Uhlmeyer, 2000)



ภาพที่ 2.1 ก้อนตัวอย่างที่เสียหายจากรอยแตกจากบนลงล่าง (Top-Down Crack)

ที่มา: ชันวิน สวัสดิ์สานต์ และคณะ (2551)

Svasdisant และคณะ (2002) ได้ทำการจัดลำดับและแบ่งระดับความเสียหายของรอยแตกจากบนลงล่างไว้เป็น 3 ระดับ ดังต่อไปนี้

- **ระดับความเสียหายของรอยแตกจากบนลงล่าง**

1. รอยแตกตามยาวหรือรอยแตกตามขวางในลักษณะของรอยแตกค่อนข้างสั้นและพบบริเวณนอกแนวล้อ
2. รอยแตกตามยาวได้ขยายความยาวของรอยแตกและเกิดรอยแตกตามยาวเพิ่มขึ้นมาในลักษณะขนานกัน



3. รอยแตกตามยาวที่ขนานกัน ได้มีรอยแตกตามขวางเกิดขึ้นมาเชื่อมต่อกับรอยแตกเดิม

● ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของรอยแตกจากบนลงล่าง

1. ความเค้นและความเครียดจากน้ำหนักที่กระทำ (Load-induced Stresses and Strains)
2. ความเค้นที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ (Thermal Stresses)
3. การแข็งกระด้างขึ้นของยางแอสฟัลต์ (Aging of the AC binder)
4. การแยกตัวของส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต (Segregation in the AC mix)

## 2.4 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาค่าโมดูลัสคั้นตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม

การทดสอบแบบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test: IDT) นั้นกระทำโดยการให้น้ำหนักทดสอบที่เป็นแรงกด (Compression load) ซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งแบบอัตราคงที่ (Static load) หรือแบบกระทำซ้ำ (Repeated load) โดยที่ให้น้ำหนักกระทำตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (ชัยรัตน์ พรหมสร และคณะ 2546)



ภาพที่ 2.2 การให้น้ำหนักกระทำก้อนตัวอย่างและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่าง  
ที่มา: ชัยรัตน์ พรหมสร และคณะ (2546)

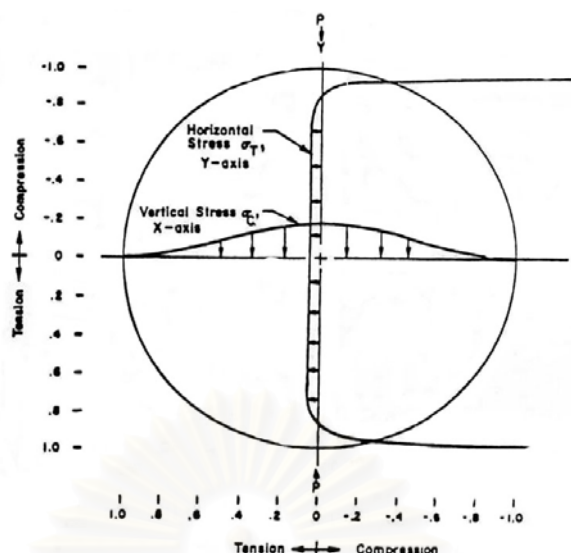
ค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมที่เกิดขึ้นกับก้อนตัวอย่างจากการทดสอบ Indirect Tensile Strength สามารถหาได้จากสมการ 2.1

$$IDT = \frac{2P}{\pi Dh} \quad (2.1)$$

โดยที่	$IDT$	คือ ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (เมกกะปาสกาล)
	$P$	คือ น้ำหนักที่กระทำต่อก้อนตัวอย่าง (นิวตัน)
	$h$	คือ ความสูงของก้อนตัวอย่างที่เริ่มทำการทดสอบ (มิลลิเมตร)
	$D$	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (มิลลิเมตร)

การให้น้ำหนักต้องกระทำผ่านแท่งคดน้ำหนัที่เป็นสแตนเลสที่มีขนาดแนะนำให้ใช้ดังนี้ สำหรับกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 100 มิลลิเมตร ควรใช้แท่งที่มีความกว้างประมาณ 13 มิลลิเมตร หรือใช้แท่งที่มีความกว้างประมาณ 19 มิลลิเมตร สำหรับกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 150 มิลลิเมตร โดยที่แท่งคดน้ำหนัดังกล่าวมีด้านสัมผัสกับผิวของก้อนตัวอย่างทดสอบเป็นส่วนโค้งที่รัศมีเท่ากับรัศมีของก้อนตัวอย่างทำให้สามารถแนบชิดกันได้พอดีเพื่อประโยชน์ในการกระจายน้ำหนักและในการรักษาพื้นที่ที่น้ำหนักกระทำให้คงที่ ซึ่งการให้น้ำหนักในลักษณะนี้จะทำให้เกิด Tensile Stress ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอกระทำตั้งฉากกับแนวของการให้น้ำหนักหรือแนวเส้นผ่าศูนย์กลางในแนวตั้ง ในที่สุดจะส่งผลให้ก้อนตัวอย่างทดสอบเกิดการแตกร้าวขึ้นมาตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลางเนื่องจากการให้ Single load หรือ Repeated load ก็ตาม โดยที่ลักษณะการกระจายของ Stress ที่เกิดขึ้นภายในก้อนตัวอย่างทดสอบทั้งในแนวราบและแนวตั้งขณะทำการทดสอบแสดงไว้ในภาพที่ 2.3 และจะสังเกตเห็นได้ว่าที่บริเวณกึ่งกลางของก้อนตัวอย่างทดสอบ Compression Stress ที่เกิดขึ้นในแนวตั้งจะมีขนาดประมาณ 3 เท่าของ Tensile Stress ที่เกิดขึ้นในแนวราบ ดังนั้นจึงทำให้แน่ใจได้ว่า ผลการทดสอบที่ได้รับเป็นคุณสมบัติที่แท้จริงของวัสดุได้มีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวิธีการทดสอบแต่อย่างใด

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.3 ลักษณะการกระจายของ Tensile Stress และ Compression Stress ในการทดสอบแบบ

#### Indirect Tensile Test

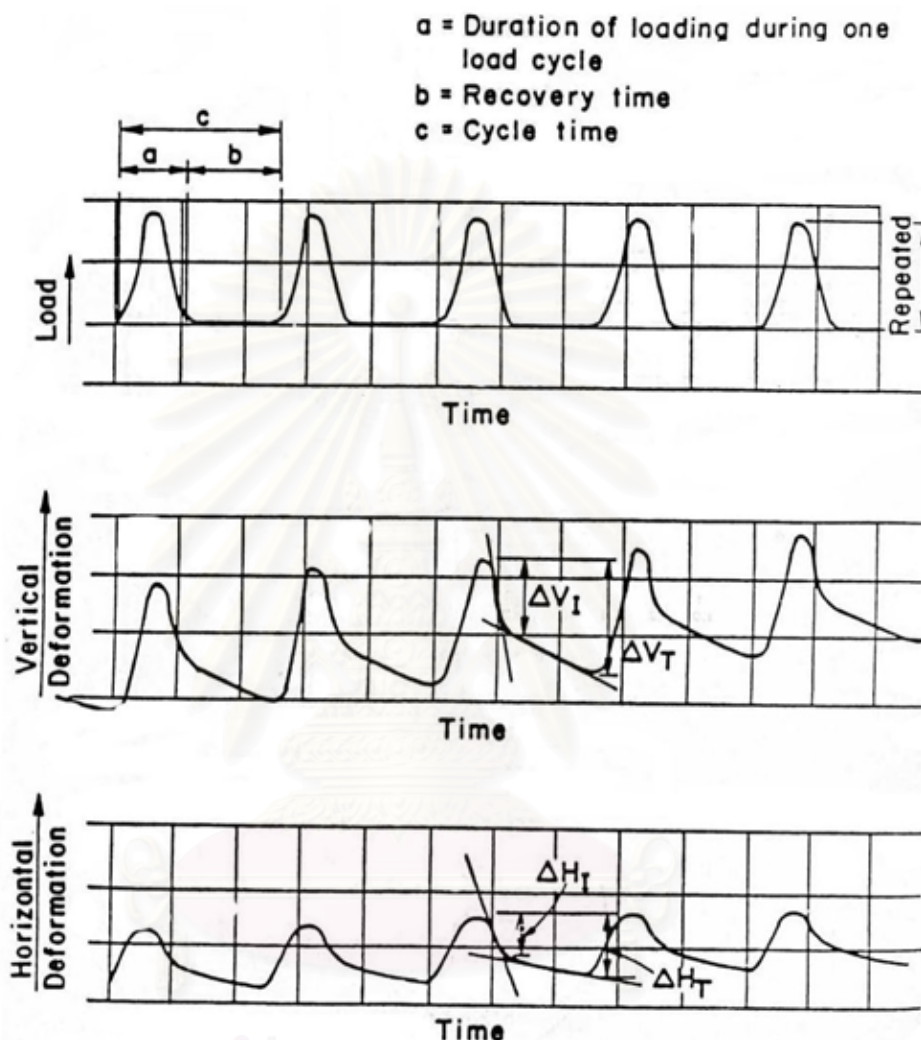
ที่มา: ชัยรัตน์ พรหมศร และคณะ (2541)

จากการศึกษาเกี่ยวกับวิธีทดสอบวัสดุแบบแรงดึงทางอ้อมสามารถสรุปถึงข้อดีของวิธีการทดสอบนี้ได้ดังต่อไปนี้ (ชัยรัตน์ พรหมศร และคณะ 2546)

1. วิธีการทดสอบมีลักษณะเรียบง่ายไม่ซับซ้อน
2. การทดสอบนี้ไม่มีผลจากสภาพผิวของวัสดุทดสอบ ทำให้แน่ใจได้ว่าผลที่ได้จากการทดสอบเป็นคุณสมบัติของวัสดุอย่างแท้จริง
3. ลักษณะการแตกร้าวของวัสดุ เกิดขึ้นที่บริเวณที่มีแรงดึงค่อนข้างสม่ำเสมอ
4. ความแปรปรวนของผลที่ได้จากการทดสอบมีค่าต่ำ

การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) เป็นรูปแบบการให้น้ำหนักแบบกระทำซ้ำ (Repeated load) กับก้อนตัวอย่างในลักษณะ Haversine ซึ่งจะมีการรักษาค่า Preload ไว้ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อรักษาสภาพในการสัมผัสที่สม่ำเสมอระหว่างแท่งคาน้ำหนักกับผิวของก้อนตัวอย่างโดยการกระทำการให้น้ำหนักสลับกับการหยุดพักน้ำหนักซ้ำไปมาโดยตรวจสอบและบันทึกค่า Deformation ทั้งแนวราบและแนวตั้ง แต่จะให้ความสนใจเฉพาะในส่วน of ค่า Recoverable Deformation ซึ่งพิจารณาได้จากสมมติฐานที่ว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Load และ Deformation มีลักษณะเป็นเส้นตรงตามที่แสดงไว้ในภาพที่ 2.4

ค่าเหล่านี้จะนำมาใช้ในการคำนวณหาค่า Resilient Modulus of Elasticity นอกจากนี้การทดสอบแบบนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่า Permanent Deformation ที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก Repeated Load ได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Load – Deformation ที่เกิดขึ้นในการทดสอบ Indirect Tensile Test แบบ Repeated Load

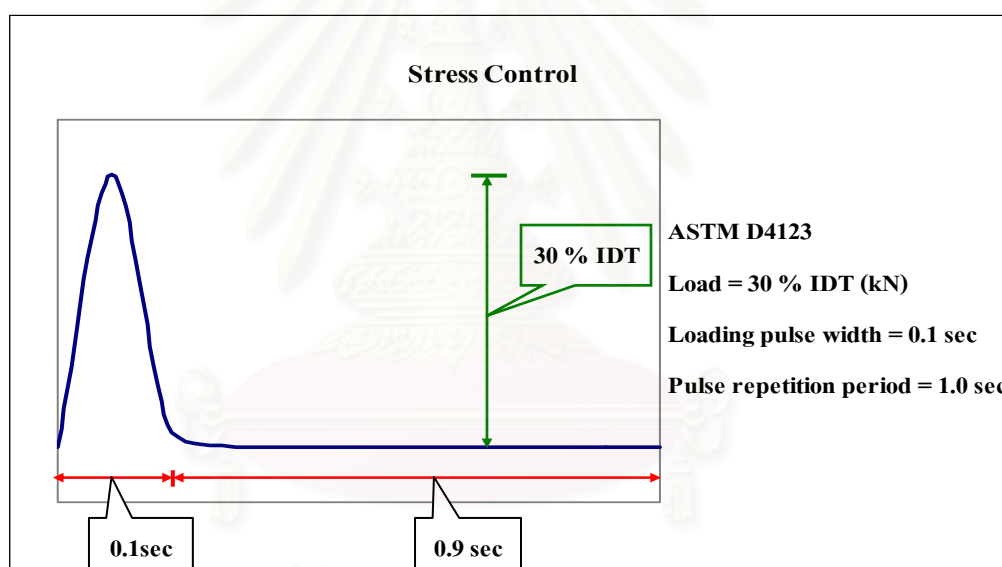
ที่มา: ชัยชนวี พรหมศร และคณะ (2541)

ซึ่งแรงกระทำแบบกระทำซ้ำยังสามารถแบ่งลักษณะแรงกระทำออกเป็น 2 วิธีคือ การทดสอบแบบควบคุมความเค้นที่กระทำต่อก่อนตัวอย่าง (Stress-Control Test) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหนา และอีกวิธีหนึ่งคือ การทดสอบแบบควบคุมความเครียดที่กระทำต่อก่อนตัวอย่าง (Strain-Control Test) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างที่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนข้างบาง (ชัยชนวี พรหมศร และคณะ 2541)

## ผลกระทบที่มีต่อค่าโมดูลัสคืนตัว

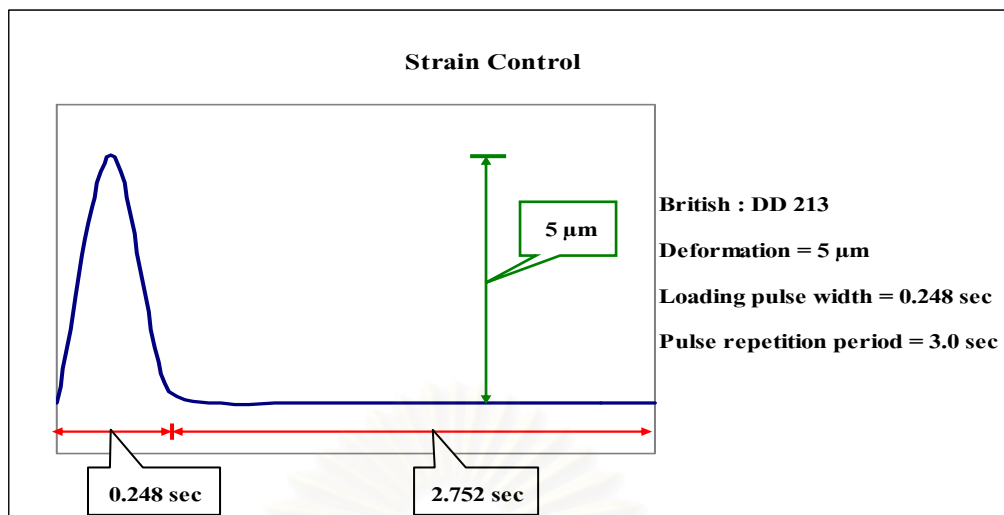
- การให้น้ำหนักกระทำ และอุณหภูมิการทดสอบ (Almudaiheem และ Al-Sugair, 1991, Akhtarhusein และคณะ, 1995)
- แนวแกนในการทดสอบ เวลาที่หยุดให้น้ำหนัก และค่าสัดส่วนปัวซอง (Kim และคณะ 1992)

มาตรฐาน ASTM D4123 มีภาพแบบการป้อนน้ำหนักจะเป็นแบบกระทำซ้ำ (Repeated Load) ในภาพแบบ Haversine Wave ทุก ๆ 1 วินาที ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่าง 0.1 วินาที และเวลาพัก 0.9 วินาทีดังแสดงในภาพที่ 2.5 โดยให้น้ำหนักกระทำเท่ากับร้อยละ 30 ของค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (IDT) ในอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ



ภาพที่ 2.5 ภาพแบบการทดสอบแบบความคุมความเค้น (Stress-Control Test)

มาตรฐาน British: DD213 มีภาพแบบการป้อนน้ำหนักจะเป็นแบบกระทำซ้ำ (Repeated Load) ในภาพแบบ Haversine Wave ทุก ๆ 3 วินาที ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่างเท่ากับ 0.248 วินาที และเวลาพักเท่ากับ 2.752 วินาทีดังแสดงในภาพที่ 2.6 โดยให้น้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดการขยายตัวในแนวราบโดยประมาณเท่ากับ 5 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ )



ภาพที่ 2.6 การทดสอบแบบควบคุมความเครียด (Strain-Control Test)

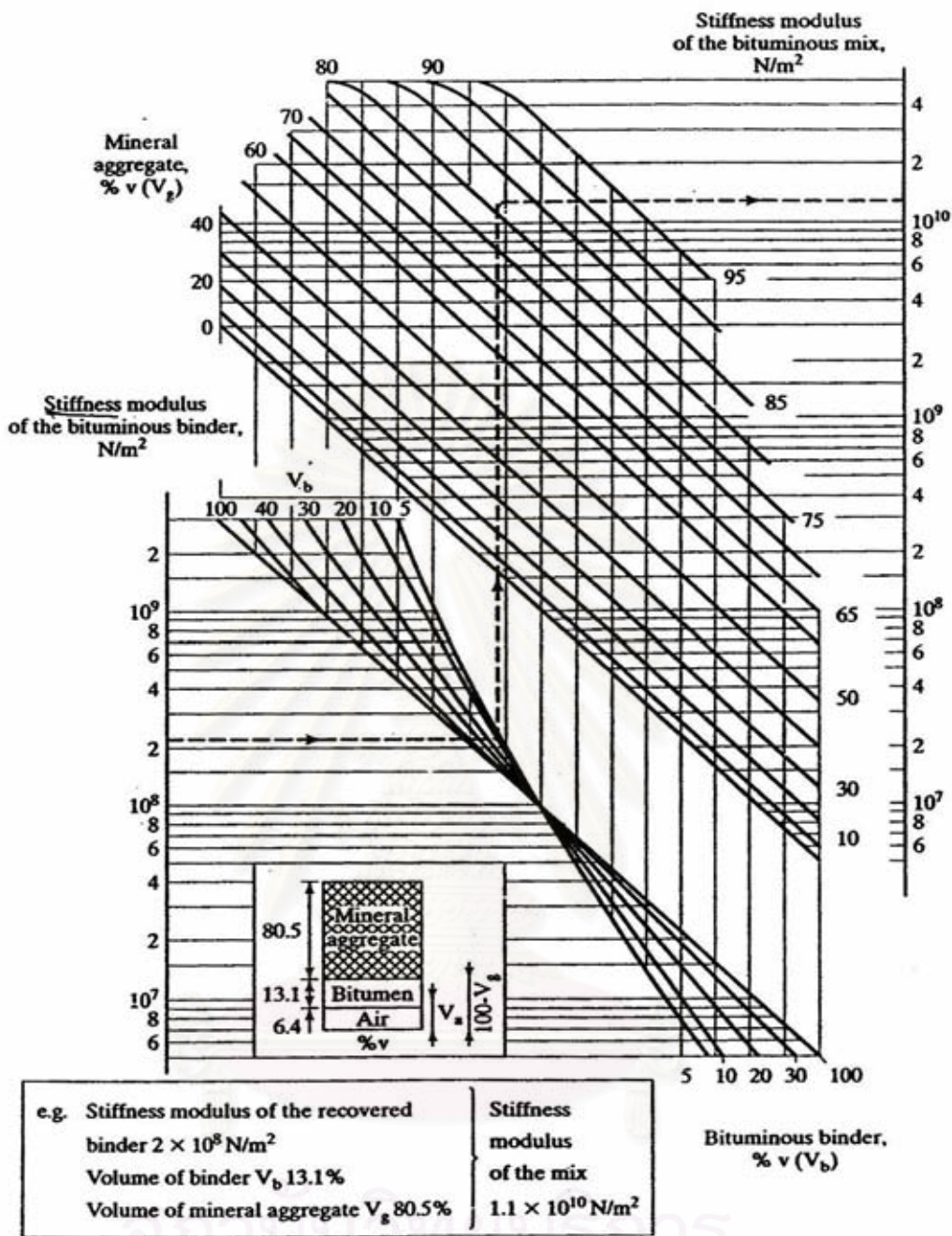
จากมาตรฐานที่ได้กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์การให้น้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดการขยายตัวในแนวราบเท่ากับ 5 ไมโครเมตร (μm) ตามมาตรฐาน British: DD213 เนื่องจากถนนลาดยางของประเทศไทยมีความหนาที่ค่อนข้างบาง แต่ได้เปลี่ยนช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 0.1 วินาที และเวลาพักเท่ากับ 0.9 วินาที ตามมาตรฐาน ASTM D4123 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สามารถจำลองความถี่ที่เกิดจากปริมาณจราจรได้ใกล้เคียงมากกว่า

ค่าโมดูลัสคั้นตัวสามารถคำนวณได้จากค่าความสัมพันธ์ของสมการ 2.2 และสมการ 2.3

$$E = \frac{P(v + 0.27)}{h_c H} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{D} \quad (2.3)$$

โดยที่	E	คือ ค่าโมดูลัสคั้นตัวโดยประมาณ (เมกะปาสกาล)
	P	คือ น้ำหนักกระทำสูงสุด (นิวตัน)
	v	คือ ค่า Poisson's Ratio โดยประมาณ
	h <sub>c</sub>	คือ ความสูงของก้อนตัวอย่างโดยเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
	H	คือ ระยะการคั้นตัวในแนวนอนทั้งหมด (มิลลิเมตร)
	D	คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (มิลลิเมตร)
	ε	คือ ค่าการคั้นตัว



ภาพที่ 2.7 Nomograph for Stiffness Modulus of Mixes

ที่มา: Huang (1993)

จาก Nomograph ในภาพที่ 2.7 เป็นกราฟแสดงการหาค่าโมดูลัสคั้นตัวส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งในการหาค่าโมดูลัสคั้นตัวอันได้พิจารณา ค่าโมดูลัสคั้นตัวของยางแอสฟัลต์ ปริมาณยางแอสฟัลต์ และปริมาตรของมวลรวม จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณยางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโมดูลัสคั้นตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าลดลง และในกรณีที่ยางแอสฟัลต์มีความแข็งตึงเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโมดูลัสคั้นตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น

## 2.5 การทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีไดนามิกครีพ

การยุบตัวถาวรเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ใช้ออกแบบโครงสร้างทางแบบยืดหยุ่น การเพิ่มปริมาณขึ้นตามน้ำหนักกระทำจากการจราจร และความดันจากลมยาง โดยโครงสร้างทางส่วนใหญ่จะเกิดการยุบตัวถาวรอยู่บนชั้นผิวทางมากกว่าชั้นโครงสร้างที่อยู่ถัดไป ส่วนการประมาณค่าความลึกร่องล้อ (Rut Depth) มีความจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลของวัสดุในแต่ละชั้นของโครงสร้างทาง

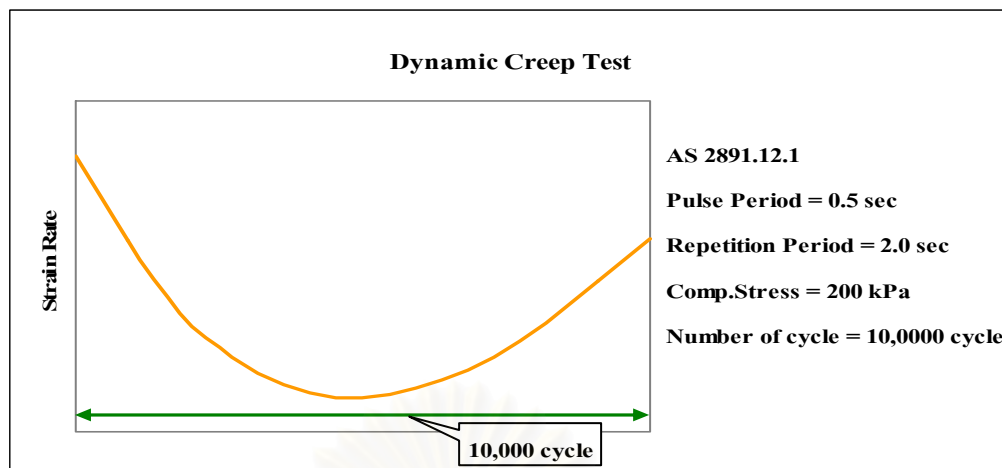
การทดสอบแบบครีพ (Creep Test) มีการให้น้ำหนักทดสอบที่เป็นหน่วยแรงกด (Compression Stress) ซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งแบบอัตราคงที่ (Static load) หรือแบบกระทำซ้ำ (Dynamic load) และให้หน่วยแรงกระทำกับโดยในแต่ละการให้น้ำหนักทดสอบนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ แบบมีแรงดันด้านข้าง (Confined Pressure) และไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Pressure) ซึ่งการให้น้ำหนักแบบมีแรงดันด้านข้างจะเป็นการจำลองสภาพผิวทางขณะใช้งาน (Huang, 1993)

### ผลกระทบที่มีต่อค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร

- คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม เช่น ขนาดของมวลรวม ความเป็นเหลี่ยมมุม และรูขรุขระของมวลรวม (Roberts และคณะ, 1996 และ Mcgahan, 2005)
- คุณสมบัติของยางแอสฟัลต์ ได้แก่ ค่าความหนืด หรือ ค่าเพนิเตอร์ชัน (Roberts และคณะ, 1996)
- การบดอัดในระหว่างก่อสร้าง (Roberts และคณะ, 1996)

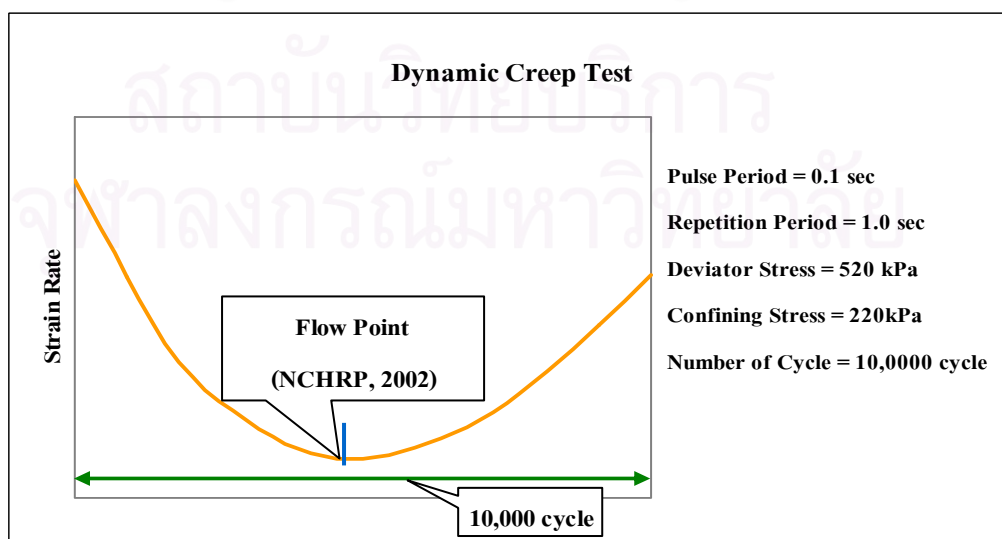
ตามมาตรฐาน AS 2891.12.1 มีข้อกำหนดคือปริมาตรช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 5 อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส มีรูปแบบการป้อนน้ำหนักเป็นแบบกระทำซ้ำ (Dynamic load) หน่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 200 กิโลปาสคาล ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่างเท่ากับ 0.5 วินาที และเวลาพักเท่ากับ 1.5 วินาที แล้วให้น้ำหนักกระทำซ้ำกับก้อนตัวอย่างไปเรื่อยๆ จนกระทั่งก้อนตัวอย่างเสียหายหรือจำนวนรอบการทดสอบครบ 10,000 รอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.8





ภาพที่ 2.8 การทดสอบแบบไดนามิกครีพตามมาตรฐาน AS 2891.12.1

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้เพิ่มลักษณะการพิจารณาได้แก่ จุดที่ก่อนตัวอย่างเริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัว (Flow Point) ซึ่งในรายงานของ NCHRP (NCHRP, 2002) ได้อธิบายว่าเป็นจุดที่เกิด Tertiary Flow ซึ่งคือจุดที่มีค่า Strain Rate มีค่าต่ำสุดดังแสดงในภาพที่ 2.9 และเพื่อจำลองแรงที่เกิดขึ้นจริงในโครงสร้างทาง จึงใช้อุณหภูมิเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส แรงดันด้านข้าง (Confining Stress) เท่ากับ 220 กิโลปาสกาล และแรงกระทำด้านบนเพื่อสร้างความเค้นเพิ่มในแนวตั้ง (Deviator Stress) เท่ากับ 520 กิโลปาสกาล ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่างเท่ากับ 0.1 วินาที และเวลาพักเท่ากับ 1.0 วินาที โดยค่าแรงดันและความเค้นดังกล่าวได้จากการวิเคราะห์และจำลองโครงสร้างถนนลาดยางเมื่อได้รับน้ำหนักเพลาดียวมาตรฐาน (ESAL) ที่มีแรงดันสมยาง 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ChevronX ส่วนจำนวนรอบการทดสอบ (Number of cycle) ที่ 10,000 รอบหรือ 50,000 Microstrain ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การทดสอบแบบไดนามิกครีพในการวิจัยครั้งนี้

ความเครียดสะสม (Accumulated Strain:  $\varepsilon_p$ ) คือผลบวกสะสมของความเครียดที่เกิดขึ้นในวัสดุ เมื่อวัสดุชิ้นนั้นได้รับแรงกระทำซ้ำ และสามารถหาได้จากสมการ 2.4

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta h}{h_0} \quad (2.4)$$

โดยที่  $\Delta h$  คือ ระยะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรตามแนวแกนของตัวอย่างตั้งครั้งแรกที่ได้รับแรงกระทำ (มิลลิเมตร)  
 $h_0$  คือ ความสูงเริ่มต้นของตัวอย่างที่ทดสอบ (มิลลิเมตร)

## 2.6 ข้อกำหนดและค่าทดสอบที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา

การวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ การทดสอบแบบมาร์แชลล์ (Marshall Test) การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) และการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (Permanent Deformation) โดยผลที่ได้จากการทดสอบนั้นจะต้องมีการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหาความสอดคล้องกับข้อกำหนดหรือค่าทดสอบที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา

การทดสอบแบบมาร์แชลล์ในการวิจัยนี้จะได้ค่าจากการทดสอบ ได้แก่ เสถียรภาพ (Stability) และการไหล (Flow) โดยนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของกรมทางหลวงตั้งแสดงในตารางที่ 2.2 แต่ในข้อกำหนดของการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์นั้น ทางกรมทางหลวงใช้ข้อกำหนดการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ในระหว่างการก่อสร้างทางเท่านั้น ซึ่งจะตรวจสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งที่โรงผสมแอสฟัลต์คอนกรีตและห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดของการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

รายการ	ชั้นผิวทาง Wearing Course
จำนวนครั้งการบดอัดแต่ละด้านของก้อนตัวอย่าง (ครั้ง)	75
เสถียรภาพ (ปอนด์) (Stability)	>1,800
การไหล 0.25 มม. (0.01 นิ้ว) (Flow)	8-16
เสถียรภาพ/การไหล (Lbs/0.01in)	>160

ที่มา: มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต ทล. – ม. 408/2532, ทางหลวง, กรม (2517)

จากผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวเมื่อเฉลี่ยจากผลการทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง ที่อุณหภูมิ 15, 25, 35, และ 45 องศาเซลเซียส และใช้ค่าน้ำหนักร้อยละ 25, 20, 15 และ 10 ของค่า Indirect Tensile Strength Test (ITS) ตามลำดับ โดยใช้ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 222 ตัวอย่าง จากทางหลวง 74 แห่งตามภูมิภาคต่างๆ 5 ภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยให้น้ำหนักกดในลักษณะกระทำซ้ำใช้ความถี่ 1 เฮิรตซ์ สักส่วนช่วงเวลาน้ำหนัก (Load) ต่อช่วงเวลาปล่อยน้ำหนัก (Unload) เท่ากับ 1 ต่อ 9 ภาพร่างของการกดน้ำหนักจะกำหนดให้เป็นภาพ Haversine ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM D 4123 Standard Test Method for Indirect Tension for Resilient of Bituminous Mixtures และ AASHTO TP 31 Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension โดยให้น้ำหนักกระทำซ้ำ 150 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.3 (ชัยชนวี พรหมสร และคณะ 2546)

ตารางที่ 2.3 ค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตของงานวิจัยที่ผ่านมา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าโมดูลัสคืนตัว (เมกะปาสคาล)		
	ค่าน้อยที่สุด	ค่ามากที่สุด	ค่าเฉลี่ย
15	6,628	18,373	13,040
25	3,531	11,810	7,574
35	1,889	9,111	4,383
45	789	6,753	2,504

ที่มา: ชัยชนวี พรหมสร และคณะ (2546)

จากการทดสอบความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตชั้น Wearing Course จำนวน 114 ตัวอย่าง จากโครงการก่อสร้างทางหลวง 19 โครงการตามภูมิภาคต่างๆ 4 ภาค ได้แก่ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ โดยสักส่วนช่องว่างของก้อนตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 7 หน่วยแรงในการทดสอบเท่ากับ 100 กิโลปาสคาล ช่วงการให้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 0.2 วินาที และช่วงเวลาการหยุดให้น้ำหนักในรอบต่อไปเท่ากับ 0.8 วินาที ส่วนในตารางจะประกอบด้วยผลการทดสอบความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตจะแสดงในภาพของจำนวนรอบของน้ำหนักกระทำซ้ำจนกระทั่งผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างมีค่า Accumulated Strain เท่ากับร้อยละ 1 ดังแสดงในตารางที่ 2.4 (ชัยชนวี พรหมสร และคณะ 2546)

ตารางที่ 2.4 ค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตของงานวิจัยที่ผ่านมา

จำนวนรอบที่ได้จากการทดสอบ	อุณหภูมิการทดสอบ	
	40 องศาเซลเซียส	60 องศาเซลเซียส
ค่าน้อยที่สุด (Min)	1,085	106
ค่ามากที่สุด (Max)	87,872	2,327
ค่าเฉลี่ย (Average)	25,531	1,034

ที่มา: ชัยธวัช พรหมสร และคณะ (2546)

ส่วนในการวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) และการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (Permanent Deformation) ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยรายละเอียดจะกล่าวในบทถัดไป

## 2.7 แบบจำลองหาความสัมพันธ์ของร่องล้อที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา

Kandhal และ Mallick (1999) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำหินแกรนิตและหินปูนมาผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกร่องล้อกับความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต และสามารถหาแบบจำลองได้ดังสมการ 2.5

$$RD = 19.39 - 14.02 \log(D_f) \quad (2.5)$$

โดยที่  $RD$  คือ ความลึกร่องล้อ (มิลลิเมตร)  
 $D_f$  คือ ความหนาชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต (มิลลิเมตร)

โดยผลการทดสอบพบว่า ความลึกของร่องล้อมีแนวโน้มจะลดลงตามความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

Odermatt และคณะ (1999) ได้ทำการสร้างแปลงทดสอบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยการให้น้ำหนักกระทำเท่ากับ 78, 85, 89 และ 103 กิโลนิวตันตามลำดับ เพื่อหาความสัมพันธ์เกี่ยวกับความลึกร่องล้อ และจากผลการทดสอบสามารถหาความสัมพันธ์สมการได้ดังสมการ 2.6

$$\text{Average rut depth at surface} = (0.0117 \times \text{Load at surface} - 0.4816) \times \text{Number of passes}^{0.27} \quad (2.6)$$

โดยที่	Average rut depth at surface	คือ ความลึกร่องล้อเฉลี่ยที่ผิวทาง (มิลลิเมตร)
	Load at surface	คือ น้ำหนักกระทำ (กิโลนิวตัน)
	Number of passes	คือ จำนวนรอบน้ำหนักกระทำ (รอบ)

โดยผลการทดสอบพบว่าความลึกร่องล้อเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักกระทำและจำนวนรอบน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้น และยังพบว่าหลังจากจำนวนรอบน้ำหนักกระทำที่มากกว่า 40,000 รอบ จะทำให้ความลึกร่องล้อเพิ่มขึ้นในอัตราต่ำ

Tjan และ Adrian (2003) ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบการคืบ (Creep Test) ซึ่งในการทดสอบได้ใช้สัดส่วนยางแอสฟัลต์เท่ากับร้อยละ 6.3, 6.8 และ 7.3 น้ำหนักกระทำเท่ากับ 50, 100 และ 150 กิโลกรัมต่อนาที และอุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส และได้หาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ซึ่งมีตัวแปรในแบบจำลองดังสมการ 2.7

$$a = -7.47 - 0.0191RL + 0.0737T + 1.10BC \quad (2.7)$$

โดยที่	$a$	คือ	Gradient of Creep Compliance to Time of Loading (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม-วินาที)
	RL	คือ	อัตราการให้น้ำหนักกระทำ (กิโลกรัมต่อนาที)
	T	คือ	อุณหภูมิในการทดสอบ (องศาเซลเซียส)
	BC	คือ	ปริมาณยางแอสฟัลต์ (เปอร์เซ็นต์)

โดยผลการทดสอบพบว่าค่าการยุบตัวจะเพิ่มขึ้นตามของสัดส่วนของยางแอสฟัลต์ น้ำหนักกระทำและอุณหภูมิการทดสอบที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงสาเหตุของความเสียหายแบบร่องล้อ

Isa และคณะ (2005) ได้ทำการสำรวจและบันทึกข้อมูลของถนน Federal ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณจราจรและน้ำหนักรถทุก ข้อมูลสภาพและความแข็งแรงของโครงสร้าง และข้อมูลส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์กับความลึกร่องล้อ โดยสามารถสร้างแบบจำลองดังสมการ 2.8

$$Rut = 3.439 + 0.473SN + 1.046Roughness + 6.373 \times 10^{-5} AADT \quad (2.8)$$

โดยที่	<i>Rut</i>	คือ	ความลึกร่องล้อ (มิลลิเมตร)
	<i>SN</i>	คือ	ความแข็งแรงของโครงสร้างทาง
	<i>Roughness</i>	คือ	ความเรียบของผิวทาง
	<i>AADT</i>	คือ	ปริมาณจราจรเฉลี่ยทั้งปี (คันต่อวัน)

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการหาความสัมพันธ์ของความลึกร่องล้อนั้น พบว่า ความลึกร่องล้อมีความสัมพันธ์กับปัจจัยหลายประการ อันได้แก่ ความหนาของชั้นแอสฟัลต์ คอนกรีต น้ำหนักที่กระทำ จำนวนรอบของน้ำหนักกระทำ อุณหภูมิในการทดสอบ ปริมาณยาง แอสฟัลต์ ความแข็งแรงของโครงสร้าง และความเรียบของผิวทาง ซึ่งผู้วิจัยจะนำปัจจัยเหล่านี้ไป พิจารณาในการสร้างแบบจำลองความลึกร่องล้อเฉลี่ยของวิจัยครั้งนี้ต่อไป

โดยสรุปแล้วเนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงเอกสารและผลงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ซึ่งผู้วิจัยจะ นำไปเป็นพื้นฐานในการดำเนินงานวิจัย โดยเนื้อหาบทถัดไปจะเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินงานวิจัย และรายละเอียดต่างๆในการออกแบบงานวิจัย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางในการดำเนินการวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม อาทิเช่น การทดสอบมาร์แชลล์ การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม และแนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

ก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำมาศึกษาได้มาจากการเจาะเก็บก้อนตัวอย่างจากสนามในโครงการสำรวจสภาพความเสียหายและหาสาเหตุของความเสียหายหลักของถนนลาดยางในประเทศไทย โดยก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บ ประกอบไปด้วย ภาคเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ จำนวน 13, 13, 16, 10 และ 9 แห่ง ตามลำดับ โดยมีก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 948 ก้อน จากถนนลาดยางจำนวน 61 แห่ง

##### 3.1.1 การคัดเลือกถนนลาดยาง

จากถนนลาดยางจำนวน 61 แห่ง ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีสุ่มตัวอย่างถนนลาดยางโดยอาศัยความน่าจะเป็น (Probability Sampling) ประเภทการเลือกตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Sampling) โดยสามารถกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จากสมการ 3.1

$$n = \frac{NZ^2 pq}{NE^2 + Z^2 pq} \quad (3.1)$$

โดยที่	$n$	คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
	$N$	คือ ขนาดประชากรที่แน่นอน
	$Z$	คือ ค่าปกติมาตรฐานที่ได้จากตารางแจกแจงปกติ
	$p$	คือ สัดส่วนประชากร
	$q$	คือ สัดส่วนที่ได้จากตัวอย่าง
	$E$	คือ ค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณสัดส่วนประชากร

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการขนาดของกลุ่มตัวอย่างสำหรับศึกษาสัดส่วนจำนวนถนนลาดยาง ณ ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 90 สัดส่วนที่ได้จากถนนลาดยางตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 50 และสัดส่วนความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 10 จากผลการคำนวณในสมการ 3.1 พบว่าต้องใช้ถนนลาดยางตัวอย่างทั้งสิ้น 33 แห่ง เพื่อเป็นตัวแทนของถนนลาดยางจำนวน 61 แห่ง โดยได้พิจารณาข้อมูลเพิ่มเติมดังต่อไปนี้ (โดยรายละเอียดจะกล่าวในภาคผนวก ข.)

- ปริมาณจราจร โดยได้แบ่งปริมาณจราจรออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่ น้อยกว่า 3,000 คันต่อวัน ระหว่าง 3,000 ถึง 8,000 คันต่อวันระหว่าง 8,001 ถึง 16,000 คันต่อวัน และมากกว่า 16,000 คันต่อวัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงปริมาณจราจรที่มี ปริมาณจราจรน้อย ปริมาณจราจรปานกลาง ปริมาณจราจรค่อนข้างมาก และปริมาณจราจรมาก ตามลำดับ
- ความหนาของชั้นแอสฟัลต์ โดยได้แบ่งความหนาของชั้นแอสฟัลต์ออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ น้อยกว่า 6 เซนติเมตร ระหว่าง 6 ถึง 11 เซนติเมตร และมากกว่า 11 เซนติเมตร ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาบาง ความหนาปานกลาง และความหนาค่อนข้างหนา ตามลำดับ ส่วนความหนาเพิ่มขึ้นที่ 5 เซนติเมตรเนื่องจากการก่อสร้างจะปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตทีละ 5 เซนติเมตร
- อายุผิวทาง โดยได้แบ่งอายุผิวทางออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ น้อยกว่า 5 ปี ระหว่าง 6 ถึง 10 ปี และมากกว่า 10 ปี ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงอายุผิวทางที่มี อายุผิวทางน้อย อายุผิวทางปานกลาง และอายุผิวทางมาก ตามลำดับ
- ความลึกร่องล้อเฉลี่ย โดยได้แบ่งความลึกร่องล้อเฉลี่ยออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ระหว่าง 0.6 ถึง 1.2 เซนติเมตร ระหว่าง 1.2 ถึง 2.5 เซนติเมตร และมากกว่า 2.5 เซนติเมตร ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความลึกร่องล้อเฉลี่ยที่มี ความรุนแรงน้อย ความรุนแรงปานกลาง และความรุนแรงมาก
- ประเภทความเสียหายต่างๆ อาทิเช่น फिल्मยางที่ผิวทาง รอยแตกตามยาว การแยกตัวของส่วนผสม และหลุมบ่อ เป็นต้น

จากการพิจารณาข้อมูลเพิ่มเติมได้ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนของถนนลาดยางเท่ากับ 1 แห่ง และได้สุ่มตัวอย่างถนนลาดยางที่จะนำมาทดสอบมาทั้งหมด 38 แห่งจากถนนลาดยาง 61 แห่ง โดยของถนนลาดยางที่ประกอบด้วยถนนมาจากภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้จำนวน 8, 9, 8, 7 และ 6 แห่งตามลำดับ ดังแสดงรายชื่อสายทางในตารางที่



ตารางที่ 3.1 รายชื่อถนนลาดยางที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง

ลำดับ	ภาค	สาย ทาง	ก.ม.	ปริมาณ รถจราจร (คัน/วัน)	ปริมาณ รถบรรทุก (คัน/วัน)	ความหนา ชั้น AC (เซนติเมตร)	อายุ บริการ (ปี)	อายุผิว ทาง (ปี)	ความลึก ร่องล้อเฉลี่ย (เซนติเมตร)
1	ภาคเหนือ	1	313+050 - 312+850	20,429	4,848	11.5	9	9	1.3
2		1	357+000 - 357+200	22,424	6,637	11.3	7	7	2.1
3		1	439+000 - 439+200	14,054	3,988	7.4	7	1	0.6
4		1	485+000 - 485+200	10,424	4,117	6.3	7	7	0.9
5		1	739+000 - 738+800	12,639	1,550	7.1	7	7	1.8
6		11	077+000 - 077+200	26,012	5,760	17.2	6	6	1.1
7		11	094+700 - 094+500	9,775	3,343	9.9	3	3	1.1
8		101	415+500 - 415+300	3,552	550	18.4	10	10	0.4
9	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2	156+000 - 155+800	36,543	3,093	12.7	2	2	0.8
10		21	004+600 - 004+400	20,551	7,132	10.4	7	7	2.4
11		23	130+100 - 129+900	12,432	1,428	15.4	20	3	0.6
12		23	288+150 - 288+350	18,269	1,528	6.8	9	9	1.3
13		201	204+100 - 203+900	11,958	1,498	10.9	5	5	0.5
14		205	331+350 - 331+150	2,444	809	10.8	10	10	0.1
15		214	004+000 - 004+200	6,738	1,090	4.0	12	3	1.2
16		218	042+000 - 041+800	4,477	308	6.5	10	10	0.3
17		2169	015+800 - 016+000	6,637	1,874	5.3	10	10	1.0
18	ภาคกลาง	1	289+500 - 289+700	13,490	3,922	10.5	2	2	1.7
19		117	012+200 - 012+400	15,595	4,540	15.2	12	9	1.0
20		122	010+100 - 009+900	7,751	3,830	10.5	5	2	0.8
21		309	010+900 - 010+700	20,362	9,362	9.7	8	8	1.6
22		347	007+800 - 008+000	5,246	1,357	5.7	3	3	1.0
23		3001	001+700 - 001+900	13,656	1,727	11.8	10	3	0.5
24		3111	011+400 - 011+200	21,293	4,782	5.3	17	17	2.3
25		3196	092+400 - 092+600	11,687	5,316	5.3	12	12	0.3
26	ภาคตะวันออก	3	130+400 - 130+200	43,694	3,191	13.8	34	3	0.4
27		33	141+850 - 141+650	9,405	707	12.1	1	1	1.5
28		33	274+100 - 273+900	12,283	632	11.9	6	6	1.9
29		34	019+000 - 019+200	33,354	2,588	15.9	10	10	0.8
30		36	042+700 - 042+500	24,745	1,944	12.3	6	6	0.7
31		304	021+000 - 020+800	7,453	1,120	10.8	13	13	1.9
32		318	005+800 - 006+000	6,064	183	10.9	34	2	0.4
33		4	047+800 - 047+600	17,387	6,120	8.4	7	7	1.1
34	ภาคใต้	4	251+800 - 252+000	15,495	2,541	10.6	16	4	1.0
35		4	313+900 - 314+100	19,708	6,944	9.3	8	8	2.0
36		41	080+200 - 080+000	18,315	7,325	4.8	6	6	0.8
37		41	127+900 - 127+700	22,978	9,568	6.5	8	8	1.0
38		41	139+900 - 139+700	17,362	6,051	7.5	7	7	2.1
เฉลี่ย				15,702	3,508	10.0	10	6	1.1
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				9,111	2,565	3.6	7	4	0.6
ค่ามากที่สุด				43,694	9,568	18.4	34	17	2.4
ค่าน้อยสุด				2,444	183	4.0	1	1	0.1

### 3.1.2 การสุ่มก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากถนนลาดยาง

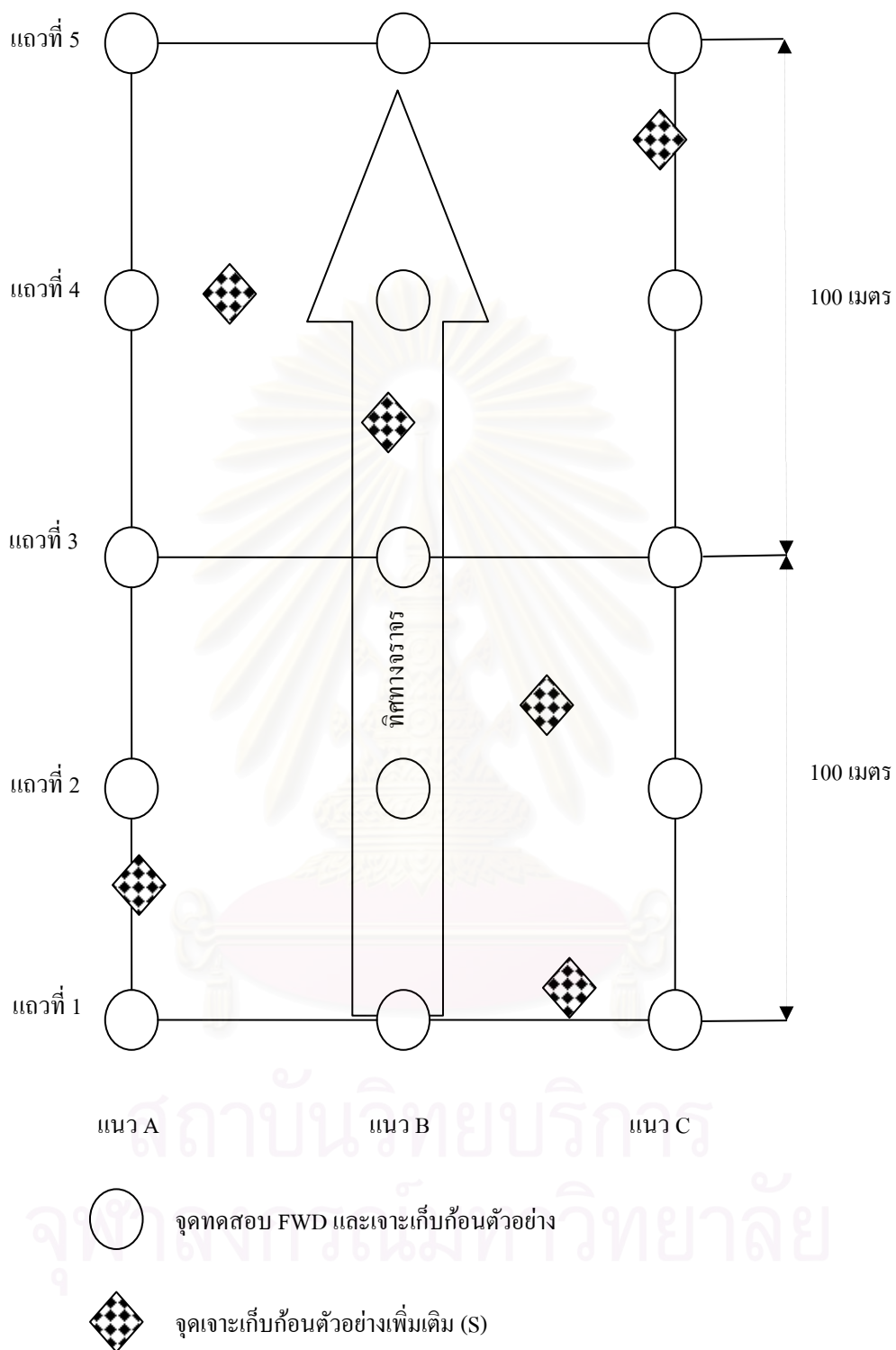
ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีสุ่มก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยอาศัยการเลือกตัวอย่างที่ไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) ประเภทการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) กล่าวคือในถนนลาดยางแต่ละแห่งจะสุ่มก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตมาถนนลาดยางแต่ละแห่ง 6 ตัวอย่าง และมีวิธีการคือให้ความถ่วงจำเพาะเป็นตัวกำหนด โดยการเรียงลำดับความถ่วงจำเพาะจากมากไปหาน้อยแล้วทำการคัดเลือกตัวอย่างเพื่อที่จะให้ความถ่วงจำเพาะโดยรวมของถนนลาดยางแต่ละแห่งมีค่าใกล้เคียงกันและแสดงดังต่อไปนี้

1. ตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต 3 ก้อนแรก นำไปทดสอบมาร์แชลล์ โดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะค่ามากที่สุด ค่ากึ่งกลาง และน้อยที่สุด
2. ตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต 3 ก้อนถัดไป นำไปทดสอบโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม และทดสอบไดนามิกครีฟ โดยใช้ค่าความถ่วงจำเพาะค่ามากที่สุด ค่ากึ่งกลาง และน้อยที่สุดของอันดับถัดจากคัดเลือกของการทดสอบมาร์แชลล์

ในก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละตัวอย่างจะมีสัญลักษณ์และหมายเลขระบุไว้แตกต่างกัน ซึ่งความหมายของสัญลักษณ์และหมายเลขของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1 คือ แฉกการเจาะก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแถวที่ 1
- หมายเลข 2 คือ แฉกการเจาะก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแถวที่ 2
- หมายเลข 3 คือ แฉกการเจาะก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแถวที่ 3
- หมายเลข 4 คือ แฉกการเจาะก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแถวที่ 4
- หมายเลข 5 คือ แฉกการเจาะก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแถวที่ 5
- อักษร A คือ แนวล้อซ้ายเคลื่อนที่ผ่าน
- อักษร B คือ แนวกลางระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา
- อักษร C คือ แนวล้อขวาเคลื่อนที่ผ่าน
- อักษร S คือ จุดเจาะเก็บก้อนตัวอย่างเพิ่มเติม

นอกจากนั้นเพื่อความเข้าใจนอกจากอธิบายความหมายของสัญลักษณ์และหมายเลขของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ผังของการทดสอบด้วยเครื่อง Falling Weight Deflectometer และการเจาะเก็บก้อนตัวอย่างได้แสดงในภาพที่ 3.1 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 ฟังการทดสอบด้วยเครื่อง Falling Weight Deflectometer และการเจาะเก็บก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีตของแปลงทดสอบ

### 3.2 วิธีการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม

#### 3.2.1 การเตรียมก้อนตัวอย่าง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดข้อมูลที่ทำให้การบันทึก และวิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

##### 3.2.1.1 รายละเอียดของก้อนตัวอย่างก่อนทำการตัด

ทำการจดบันทึกภาพลักษณะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต การแบ่งชั้นและความหนาของแต่ละชั้น ซึ่งเป็นการจดบันทึกด้วยตาเปล่า พร้อมทำการขีดเส้นแบ่งชั้นให้ชัดเจน จากนั้นทำการเขียนชื่อสายทาง ช่วงกิโลเมตร และหมายเลขก้อนตัวอย่างไว้ด้านข้างก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การขีดเส้นทำเครื่องหมายแบ่งชั้นของก้อนตัวอย่าง

##### 3.2.1.2 การตัดเตรียมก้อนตัวอย่าง

นำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการแบ่งชั้นเรียบร้อยแล้ว ติดตั้งเข้ากับเครื่องตัดตัวอย่าง (ภาพที่ 3.3) แล้วทำการตัดให้เรียบร้อยโดยลักษณะการตัดที่ดีต้องให้มีผิวหน้าที่เรียบ ไม่เกิดการหลุดหรือเว้าแหว่ง และตั้งฉากกับผิวด้านข้าง โดยก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการตัดแล้วได้แสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างขณะติดตั้งในเครื่องตัดก้อนตัวอย่าง



ภาพที่ 3.4 ก้อนตัวอย่างเมื่อทำการตัดเรียบร้อย

### 3.2.1.3 การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการทดสอบ

เมื่อทำการหาความหนาแน่นเรียบร้อยแล้ว จะนำก้อนตัวอย่างมาทำการขีดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เส้นตั้งฉากกัน แล้วจึงทำการวัดความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 2 เส้น พร้อมกับความหนาของก้อนตัวอย่าง 4 ตำแหน่ง ที่จุดปลายของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 2 เส้น ซึ่งจะได้ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย และความหนาเฉลี่ยของก้อนตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การวัดขนาดของก้อนตัวอย่าง

### 3.2.2 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

จากนั้นนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการตัดเรียบร้อยแล้ว ไปทำการทดสอบหาความความถ่วงจำเพาะ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำตามมาตรฐานวิธีทดสอบ AASHTO T 166 Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixture Using Saturated Surface-Dry Specimens

การทดสอบหาความหนาแน่น มีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

1. นำก้อนตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักในอากาศ บันทึกค่าเป็นโดยใช้หน่วยเป็นกรัม (A)
2. นำก้อนตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 5 นาที แล้วเช็ดผิวให้แห้ง ชั่งในอากาศ บันทึกค่าเป็นโดยใช้หน่วยเป็นกรัม (B)
3. นำตัวอย่างในข้อ (2) ไปชั่งในน้ำ บันทึกค่าเป็นโดยใช้หน่วยเป็นกรัม (C)
4. คำนวณหาปริมาตรรวม (D) (กรัม)

$$D = B - C \quad (3.2)$$

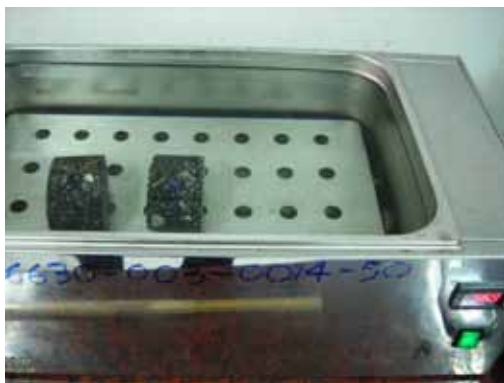
5. คำนวณหาความถ่วงจำเพาะ (E)

$$E = A / D \quad (3.3)$$

### 3.2.3 การทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์

วิธีทดสอบแบบมาร์แชลล์เป็นการทดสอบแบบ Unconfined Compression ซึ่งในสภาพความเป็นจริงของผิวจราจร จะถูกกดทับโดยยางรถยนต์ (น้ำหนักขยวดยานพาหนะ) บนชั้นผิวทางและผิวจราจรรอบข้าง ดังนั้นการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์จึงมีความสัมพันธ์กับการเสถียรภาพของผิวจราจรเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น โดยงานวิจัยนี้ได้ทำตามมาตรฐาน ทล.-ท. 604/2517 วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall หรือเทียบเท่า ASTM. D-1559

การให้แรงกระทำต่อก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้อัตราการยุบตัวของตัวอย่างคงที่เท่ากับ 50.8 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ ค่าแรงสูงสุด (นิวตันหรือปอนด์) และค่าการยุบตัวเท่ากับ 0.254 มิลลิเมตร (0.01 นิ้ว) ที่ทำให้ตัวอย่างวิบัติที่อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียสโดยการแช่ตัวอย่างในอ่างปรับอุณหภูมิดังแสดงในภาพที่ 3.6 โดยมีลักษณะการจัดวางก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในการทดสอบแบบมาร์แชลล์ดังแสดงในภาพที่ 3.7 ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบจะได้เป็นค่าเสถียรภาพและค่าการไหลของมาร์แชลล์ และผลการทดสอบของค่าเสถียรภาพและค่าการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 ตัวอย่างจะต้องมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบไม่เกินร้อยละ 15

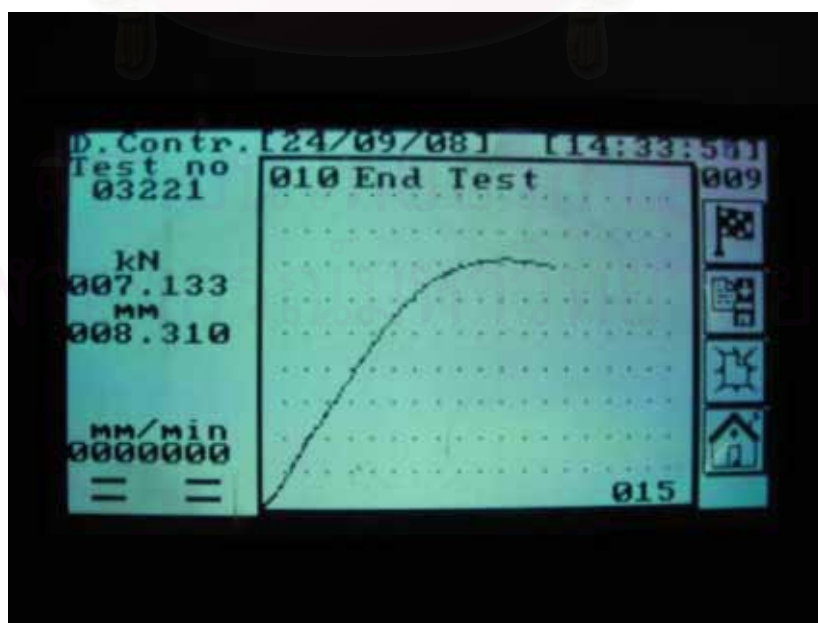


ภาพที่ 3.6 ลักษณะของอ่างปรับอุณหภูมิก้อนตัวอย่าง



ภาพที่ 3.7 การจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบแบบแบบมาร์แชลล์

ในระหว่างการทดสอบและหลังจากการทดสอบผลการทดสอบจะแสดงขึ้นในจอแสดงผลของเครื่องทดสอบดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ผลการทดสอบที่ได้จากเครื่องทดสอบ

### 3.2.4 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัว

การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัวในงานวิจัยนี้ได้ทำการประยุกต์มาตรฐานวิธีทดสอบของ British : DD213 Determination of the indirect tensile stiffness modulus of bituminous mixtures และมาตรฐานวิธีทดสอบของ ASTM D4123 Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 และมีรูปแบบการป้อนน้ำหนักจะเป็นแบบกระทำซ้ำ (Repeated Load) ซึ่งใช้ช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่างเท่ากับ 0.1 วินาที และเวลาพักเท่ากับ 0.9 วินาที โดยให้น้ำหนักกระทำที่ทำให้เกิดการขยายตัวในแนวราบโดยประมาณเท่ากับ 5 ไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) ตัวอย่างในการทดสอบ โดยมีลักษณะการจัดวางก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตดังแสดงในภาพที่ 3.9

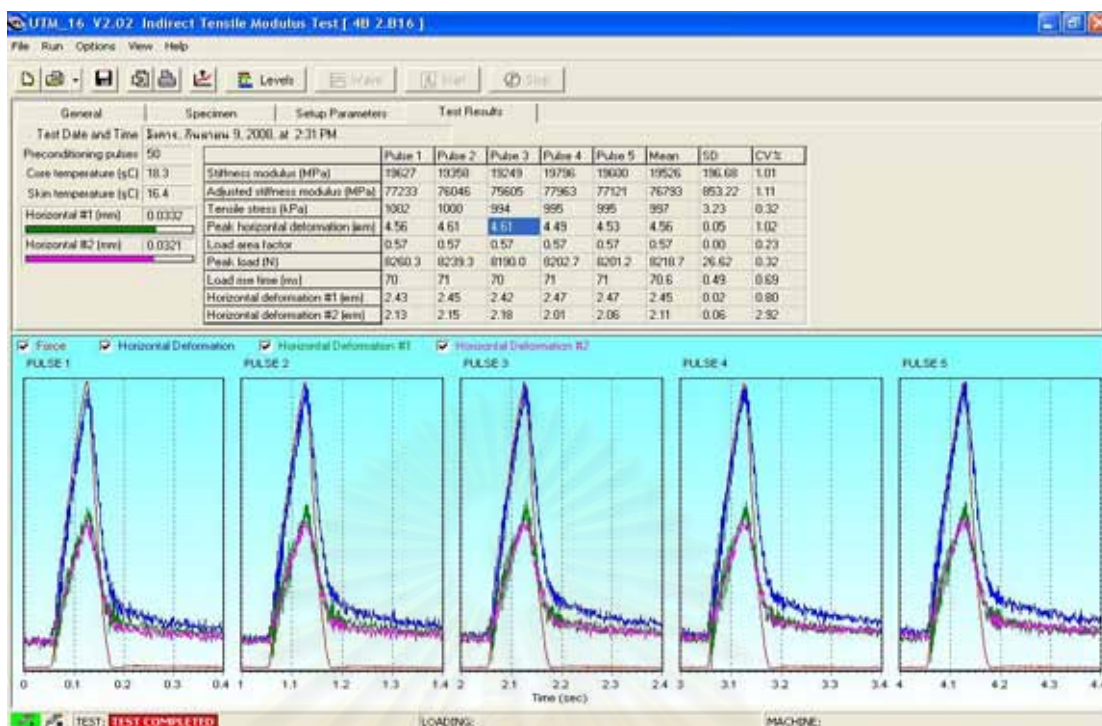


ภาพที่ 3.9 การจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืบตัว

การเก็บข้อมูลและการคำนวณค่าโมดูลัสคืบตัวจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปควบคุมการทำงานของเครื่อง UTM-5P ทำการคำนวณ โดยค่าโมดูลัสที่ใช้ในการทดสอบที่ 200 รอบก่อนแล้วทำการเก็บข้อมูลค่าเฉลี่ย 5 ค่าสุดท้ายที่มีค่าการคืบตัวคงที่ โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งในการทดสอบครั้งที่ 2 จะหมุนก้อนตัวอย่างในทิศทาง 90 องศาจากการทดสอบครั้งแรก และจะต้องมีค่าเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 3 ตัวอย่างไม่เกินร้อยละ 15

โดยการคำนวณค่าโมดูลัสคืบตัวจะต้องใช้ค่าสัดส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ช่วยในการคำนวณ ในการทดสอบครั้งนี้ใช้ค่าสัดส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30 เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 5 และ 20 องศาเซลเซียส, 0.35 เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส และ 0.40 เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และการคำนวณค่าโมดูลัสคืบตัวได้จากโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 3.10





ภาพที่ 3.10 การคำนวณค่าโมดูลัสคินตัวที่ได้จากโปรแกรม UTM 16 V2.05

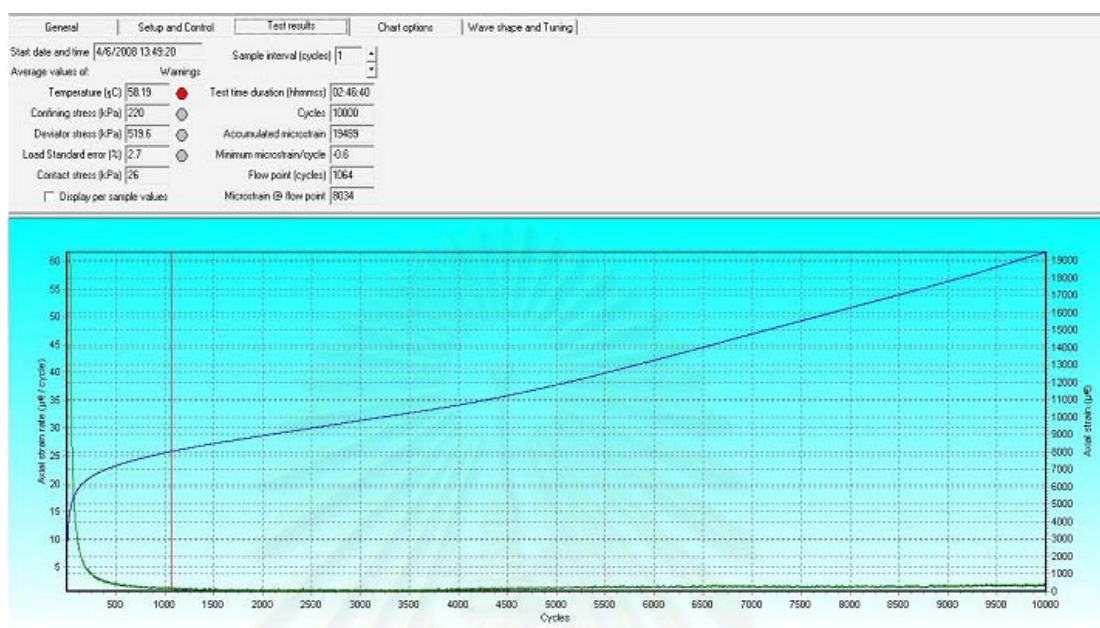
### 3.2.5 การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร

การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรโดยวิธี Dynamic Creep Test จะอ้างอิงมาตรฐานวิธีทดสอบของ AS 2891.12.1 โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส หน่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 520 กิโลปาสคาล แรงดันด้านข้าง 220 กิโลปาสคาล แบ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการกดน้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่าง 0.1 วินาที และเวลาพัก 0.9 วินาที แล้วให้น้ำหนักกระทำซ้ำกับก้อนตัวอย่างไปเรื่อยๆ จนกระทั่งก้อนตัวอย่างวิบัติหรือมีค่ายุบตัวไม่เกิน 5 มิลลิเมตร หรือจำนวนรอบการทดสอบไม่เกิน 10,000 รอบ จึงหยุดทำการทดสอบ โดยมีลักษณะการจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 การจัดวางก้อนตัวอย่างในการทดสอบหาค่าการยุบตัวถาวร

ซึ่งต้องนำข้อมูลต่างๆที่ได้ใส่ลงในโปรแกรม UTS005 1.30 Simple Performance Flow Test เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบ Dynamic Creep Test ดังแสดงในภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 การทดสอบ Dynamic Creep Test ที่ได้จากโปรแกรม UTS005 1.30 Simple Performance Flow Test

### 3.2.6 การทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์

การทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์เป็นการเผา (Incineration) ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ คอนกรีตจนกระทั่งเหลือแต่มวลรวม ซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณยางแอสฟัลต์ได้จากสมการ 3.4 โดยการทดสอบได้อ้างอิงมาตรฐานวิธีทดสอบของ ASTM D6307 Standard Test Method for Asphalt Content of Hot-Mix Asphalt by Ignition Method และเครื่องทดสอบมีลักษณะดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 เครื่องทดสอบ Troxler NTO Asphalt Content Ignition Oven

ซึ่งมีวิธีการอันแก่การนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์เข้าสู่อบที่ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตอ่อนตัวและทำให้แยกตัวออกจากกันดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตแยกตัวกัน

จากนั้นนำตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่แยกตัวกัน และนำเข้าเครื่องทดสอบ Troxler NTO Asphalt Content Ignition Oven ภายหลังจากการเผาแอสฟัลต์เสร็จสิ้น ก็จะเหลือแต่มวลรวมดังแสดงในภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 มวลรวมที่เหลือจากการเผา

และสามารถคำนวณหาปริมาณยางแอสฟัลต์ได้จากสมการ 3.4

$$\% AC = \left( \frac{M_B - M_A}{M_A} \right) \quad (3.4)$$

โดยที่	$\% AC$	คือ สัดส่วนปริมาณยางแอสฟัลต์เมื่อเทียบกับ น้ำหนักของมวลรวม (ร้อยละ)
	$M_A$	คือ น้ำหนักของมวลรวมที่เหลือจากการเผา (กรัม)
	$M_B$	คือ น้ำหนักของแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนการเผา (กรัม)

### 3.3 แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยนี้จะใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติดังนี้คือ วิธีวิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) การใช้สถิติเชิงพรรณนาจะทำให้ทราบถึง ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลประวัติ สายทาง เช่น ปริมาณจราจร ความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต และอายุบริการ เป็นต้น และค่า คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ได้จากผลการทดสอบได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าเสถียรภาพและการไหล ค่าโมดูลัสคืนตัว ค่าความต้านต่อการยุบตัวถาวร และการหาปริมาณยางแอสฟัลต์

การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ ได้ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance) ที่เป็นทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป เพื่อทดสอบตัวแปรอิสระ 1 ตัว ซึ่งแบ่งเป็น k ประเภทว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยแบ่งกลุ่มทดลองออกเป็น k กลุ่ม และในแต่ละกลุ่มมีจำนวนตัวอย่างเท่ากับ n ตัว ส่วนการกำหนดค่าของตัวอย่างที่ j ในกลุ่มที่ i ให้เป็น  $X_{ij}$  ดังนั้นตัวแปรของการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวอยู่ในรูปของ

$X_{ij}$  = ข้อมูลตัวอย่างหน่วยที่ j ที่ได้รับปัจจัยระดับที่ i โดยที่  $i = 1, 2, 3, \dots, k$  และ  $j = 1, 2, 3, \dots, n_i$

$$\text{ค่าเฉลี่ยตัวอย่างชุดที่ } i = \bar{x}_i = \frac{\sum x_{ij}}{n_i} \quad \text{ขนาดตัวอย่างทั้งหมด } n = \sum_{i=1}^k n_i$$

$$SST = SST_r + SSE$$

โดยที่  $SST$  คือ ความแปรผันทั้งหมด  
 $SSB = SST_r$  คือ ความแปรผันระหว่างกลุ่ม  
 $SSW = SSE$  คือ ความแปรผันภายในกลุ่ม

โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \quad \text{อย่างน้อย 1 คู่ โดยที่ } i \neq j$$

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

แหล่งความแปรปรวน	องศาอิสระ	ผลบวกกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง	ค่า F
ระหว่างกลุ่ม	k - 1	SSB	MSB	$\frac{MSB}{MSW}$
ภายในกลุ่ม	n - k	SSW	MSW	$MSW$
รวม	n - 1	SST		

ที่มา: กัลยา วาณิชบัญชา (2550)

ส่วนการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวกับความเสียหายของถนนลาดยางจะใช้แบบจำลองทางสถิติที่เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยและแบบจำลองทวินาม ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองการถดถอยที่จะทำให้ทราบถึงความเข้าใจและหาความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องล้อกับข้อมูลประวัติสายทางและค่าที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และใช้แบบจำลองทวินามเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเสียหายที่พบบนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น ความเสียหายแบบฟิล์มยางที่ผิวทาง และรอยแตกร้าวต่างๆ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆจะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทที่ 4 และบทที่ 5 ต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการตรวจสอบของการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำมาทำการทดสอบ ในรูปแบบของสถิติเชิงพรรณนา ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบแบบมาร์แชลล์ การทดสอบทดสอบโมดูลัสกันตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร และการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ ซึ่งแสดงผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นจะจำแนกผลการทดสอบออกเป็น 3 ประเภทดังต่อไปนี้ (ผลการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่แสดงผลการทดสอบโดยละเอียดได้แสดงไว้ในตารางภาคผนวก ค. ถึง ภาคผนวก จ.)

- จำแนกตามแนวการทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตคือ แนวล้อซ้าย แนวระหว่างล้อ แนวล้อขวา และจุดทดสอบเพิ่มเติม S
- จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตคือ ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากพื้นที่ปกติ บริเวณร่องล้อ บริเวณฟิล์มยางบนร่องล้อ บริเวณฟิล์มยางบนผิวทาง บริเวณฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม บริเวณการแยกตัวของส่วนผสม และใกล้บริเวณรอยแตก
- จำแนกตามปริมาณรถบรรทุกของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ ปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน ปริมาณรถบรรทุกระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน และปริมาณรถบรรทุกมากกว่าหรือเท่ากับ 2,001 คันต่อวัน

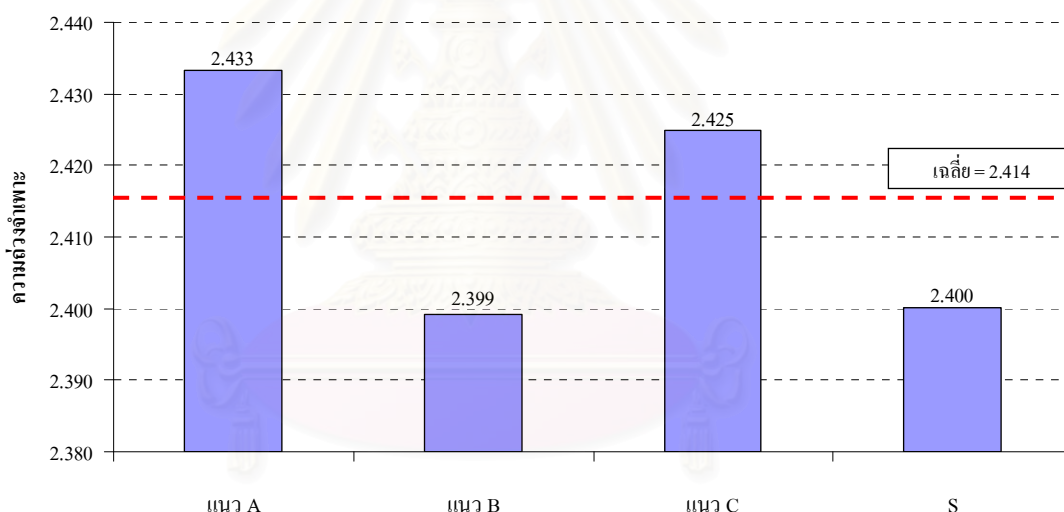
#### 4.1 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมด 337 ตัวอย่าง จากถนนลาดยาง 38 แห่ง ภายหลังจากการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะแล้ว จึงได้ทำการคัดเลือกก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมชนิดอื่นต่อไป โดยแสดงผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวการทดสอบดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

แนวการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	ความถ่วงจำเพาะ
แนวล้อซ้าย	75	2.433 (0.065)
แนวระหว่างล้อ	118	2.399 (0.081)
แนวล้อขวา	99	2.425 (0.074)
S	45	2.400 (0.062)
รวม	337	2.414 (0.074)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



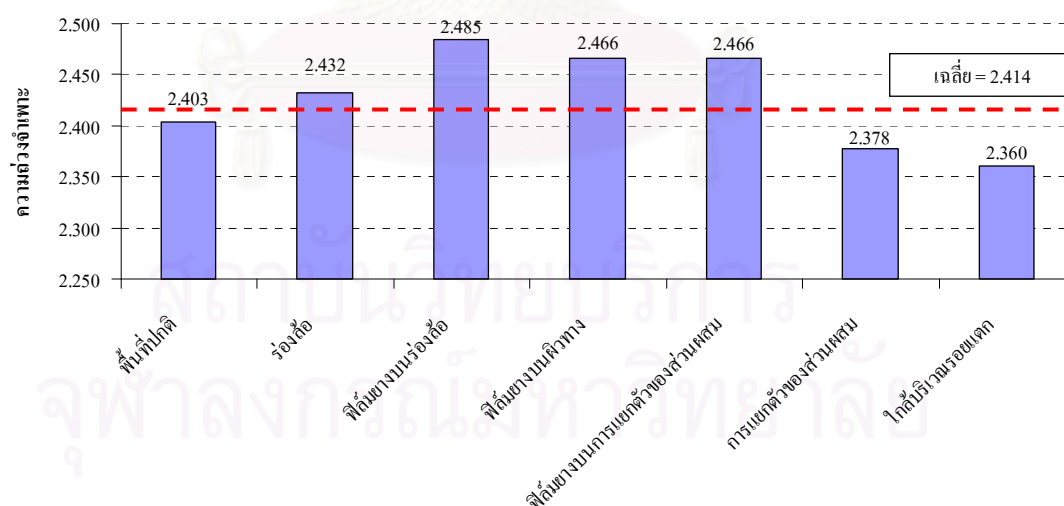
ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตตามแนวล้อซ้าย แนวระหว่างล้อ แนวล้อขวา และจุดที่เจาะเก็บเพิ่มเติม S มีค่าเท่ากับ 2.433, 2.399, 2.425 และ 2.400 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.414 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.074 และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ ๕1) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตตามแนวล้อซ้าย มีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าแนวระหว่างล้อ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากสัดส่วนช่องว่าง (Air Void)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณ	จำนวนตัวอย่าง	ความถ่วงจำเพาะ
พื้นที่ปกติ	200	2.403 (0.076)
ร่องล้อ	46	2.432 (0.059)
ฟิล์มยางบนร่องล้อ	22	2.485 (0.052)
ฟิล์มยางบนผิวทาง	24	2.465 (0.054)
ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม	4	2.466 (0.026)
การแยกตัวของส่วนผสม	35	2.378 (0.058)
ใกล้บริเวณรอยแตก	6	2.360 (0.090)
รวม	337	2.414 (0.074)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

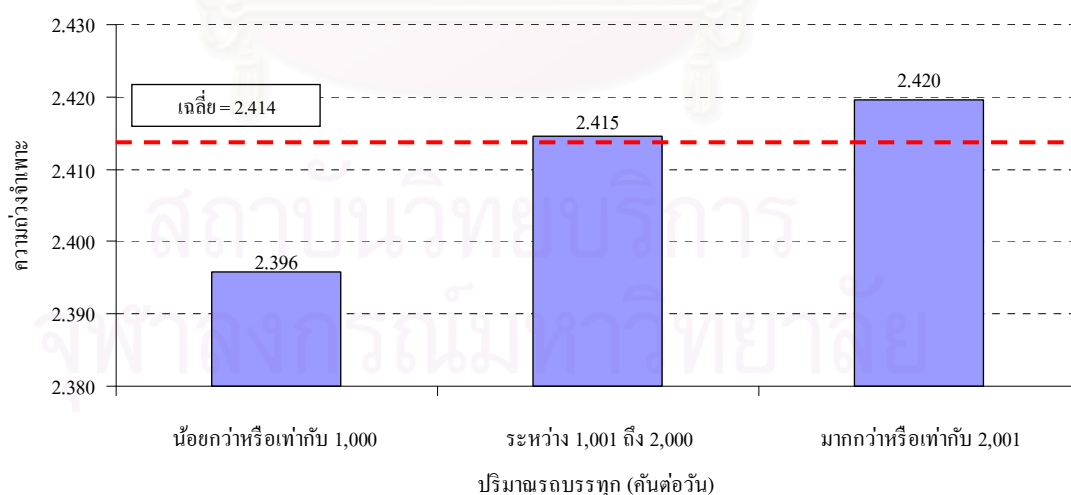


จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2 พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บ ก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากบริเวณพื้นที่ปกติ บริเวณร่องล้อ บริเวณฟิล์มยางบนร่องล้อ บริเวณฟิล์มยางบนผิวทาง บริเวณฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม บริเวณการแยกตัวของ ส่วนผสม และใกล้บริเวณรอยแตกเท่ากับ 2.403, 2.432, 2.485, 2.466, 2.466, 2.378 และ 2.360 ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ ๒) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะจากบริเวณฟิล์มยางบนร่องล้อ และ บริเวณฟิล์มยางบนผิวทางมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะจาก พื้นที่ปกติ ซึ่งน่าจะมีส่วนมาจากการที่มีปริมาณยางแอสฟัลต์ที่มากกว่าปกติ

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรถบรรทุก

ปริมาณรถบรรทุก (คันต่อวัน)	จำนวนตัวอย่าง	ความถ่วงจำเพาะ
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000	54	2.396 (0.087)
ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000	88	2.415 (0.085)
มากกว่าหรือเท่ากับ 2,001	195	2.420 (0.065)
รวม	337	2.414 (0.074)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3 พบว่า ความถ่วงจำเพาะของของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน และมากกว่าเท่ากับ 2,000 คันต่อวัน มีค่าเท่ากับ 2.396, 2.415 และ 2.420 ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ 3) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตไม่มีความแตกต่างเมื่อช่วงของปริมาณรถบรรทุกทุกเปลี่ยนแปลง

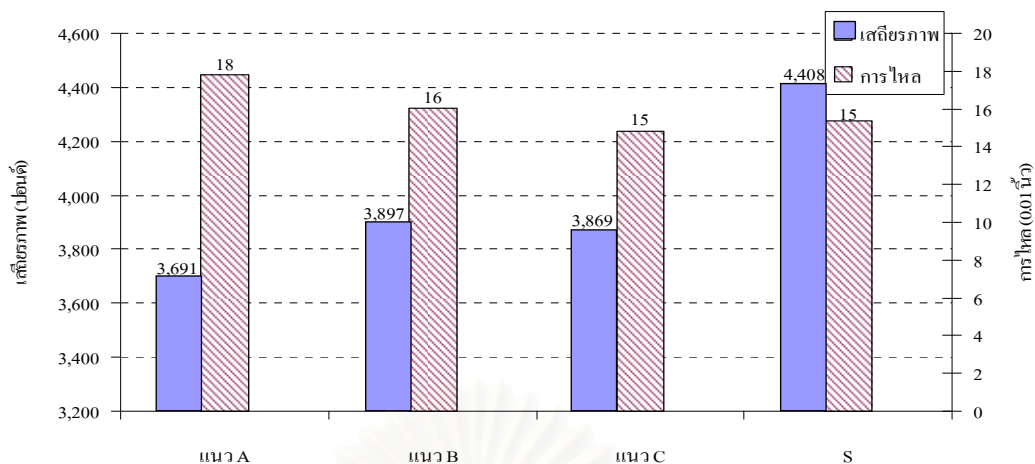
#### 4.2 ผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

การทดสอบแบบมาร์แชลล์ได้ใช้มาตรฐานการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของทางกรมทางหลวง เป็นการทดสอบหาค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล (Flow) ซึ่งทางกรมทางหลวงได้ใช้ข้อกำหนดการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในระหว่างการก่อสร้างทางและห้องปฏิบัติการเท่านั้น แต่ในการวิจัยนี้ได้ใช้ข้อกำหนดของกรมทางหลวงเพื่อเป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเท่านั้น และได้ทำการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต 114 ตัวอย่างจากถนนลาดยาง 38 แห่ง โดยได้แสดงผลการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวการทดสอบดังตารางที่ 4.4 ภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บดังตารางที่ 4.5 ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 และผลการทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุกดังตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9

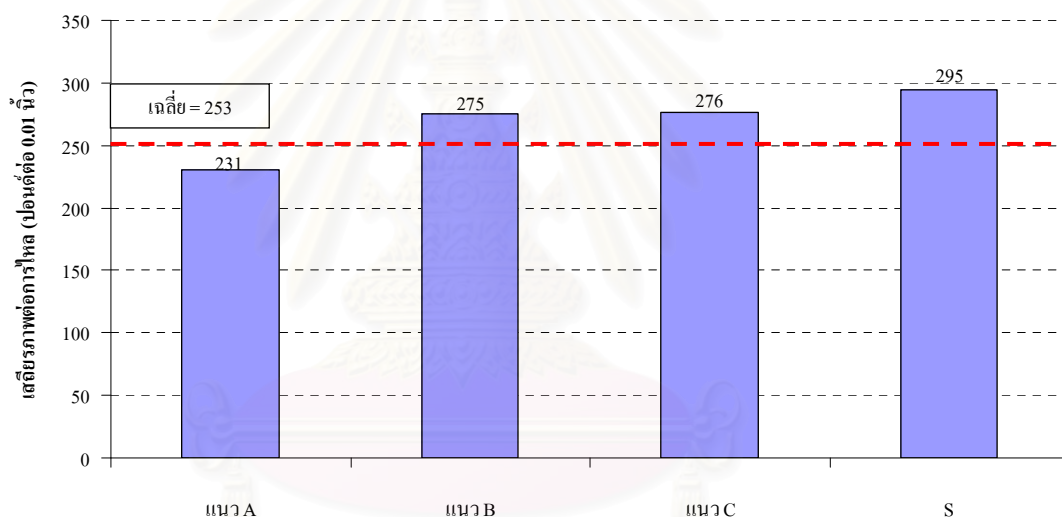
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

แนวการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	เสถียรภาพ (ปอนด์)	การไหล (0.01 นิ้ว)	เสถียรภาพต่อการไหล (ปอนด์ต่อ 0.01 นิ้ว)
แนวล้อซ้าย	30	3,691 (825)	18 (6)	231 (91)
แนวระหว่างล้อ	43	3,897 (987)	16 (5)	275 (90)
แนวล้อขวา	29	3,869 (903)	15 (6)	276 (97)
S	12	4,408 (1,134)	15 (4)	295 (65)
รวม	114	3,860 (948)	17 (5)	253 (90)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพและการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ



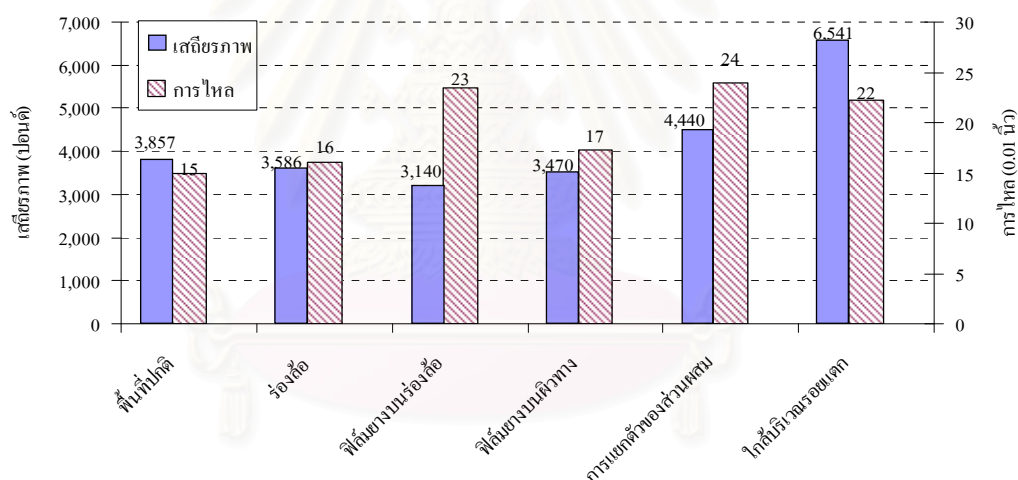
ภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

จากตารางที่ 4.4 ภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 พบว่าค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,860 ปอนด์, 17 (0.01 นิ้ว) และ 253 ปอนด์ต่อ 0.01 นิ้ว ตามลำดับ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 948 ปอนด์, 5 (0.01 นิ้ว) และ 90 ปอนด์ต่อ 0.01 นิ้ว ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ ข4 ตารางที่ ข7 และตารางที่ ข10) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าเสถียรภาพต่อการไหลไม่มีความแตกต่างกันเมื่อจำแนกตามแนวทดสอบ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

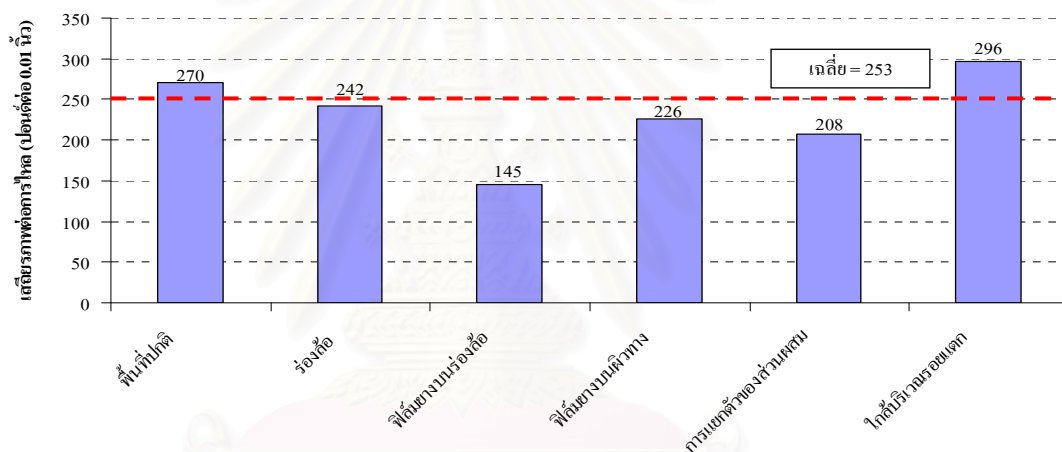
ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณ	จำนวนตัวอย่าง	เสถียรภาพ (ปอนด์)	การไหล (0.01 นิ้ว)	เสถียรภาพต่อการไหล (ปอนด์ต่อ 0.01 นิ้ว)
พื้นที่ปกติ	75	3,857 (799)	15 (4)	270 (82)
ร่องล้อ	14	3,586 (883)	16 (5)	242 (92)
ฟิล์มยางบนร่องล้อ	6	3,140 (301)	23 (6)	145 (55)
ฟิล์มยางบนผิวทาง	7	3,470 (908)	17 (5)	226 (118)
การแยกตัวของส่วนผสม	10	4,440 (1,348)	24 (7)	208 (111)
ใกล้บริเวณรอยแตก	2	6,541 (628)	22 (2)	296 (52)
รวม	114	3,860 (948)	17 (5)	253 (90)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

จากตารางที่ 4.5 ภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 พบว่าค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากพื้นที่ปกติ บริเวณร่องล้อ บริเวณฟิล์มยางบนร่องล้อ ฟิล์มยางบนผิวทางการแยกตัวของส่วนผสมและใกล้บริเวณรอยแตกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,857, 3,586, 3,140, 3,470, 4,440 และ 6,541 ปอนด์ตามลำดับ ส่วนค่าการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากพื้นที่ปกติ บริเวณร่องล้อ บริเวณฟิล์มยางบนร่องล้อ ฟิล์มยางบนผิวทางการแยกตัวของส่วนผสมและใกล้บริเวณรอยแตกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15, 16, 23, 17, 24 และ 22 (0.01 นิ้ว) ตามลำดับ และค่า

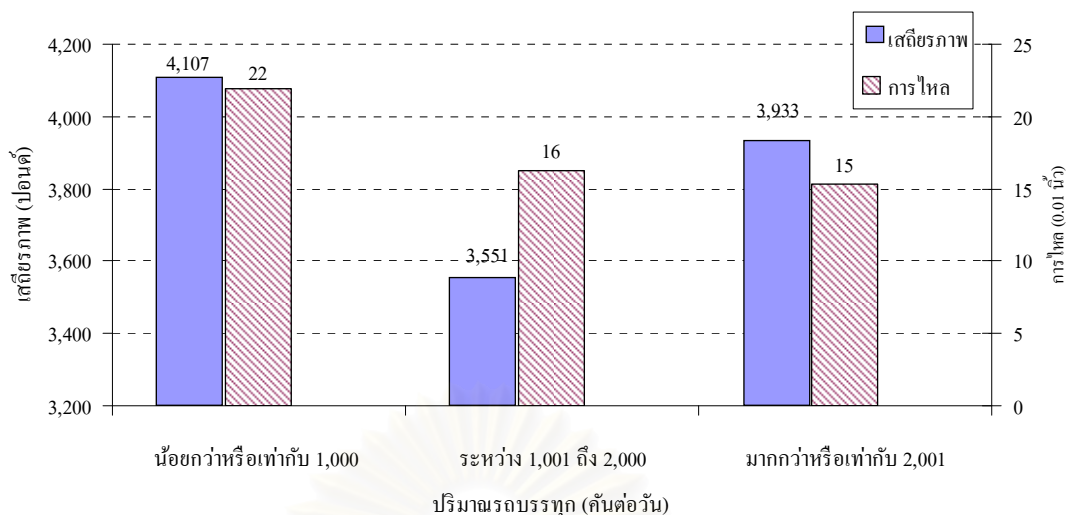


ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

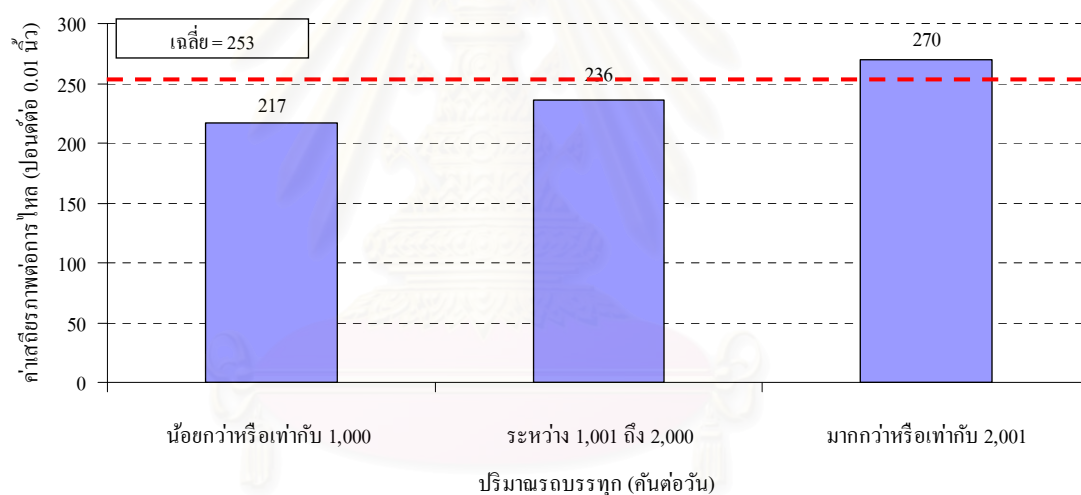
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบมาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

ปริมาณรถบรรทุก (คันต่อวัน)	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเสถียรภาพ (ปอนด์)	ค่าการไหล (0.01 นิ้ว)	ค่าเสถียรภาพต่อการไหล (ปอนด์ต่อ 0.01 นิ้ว)
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000	18	4,107 (1,336)	22 (7)	217 (118)
ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000	30	3,551 (779)	16 (5)	236 (87)
มากกว่าหรือเท่ากับ 2,001	66	3,933 (878)	15 (4)	270 (81)
รวม	114	3,860 (948)	17 (5)	253 (90)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก



ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

จากตารางที่ 4.6 ภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 พบว่าค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน ปริมาณรถบรรทุกระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน และปริมาณรถบรรทุกมากกว่าหรือเท่ากับ 2,001 คันต่อวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,107, 3,551 และ 3,933 ปอนด์ ส่วนค่าการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน ปริมาณรถบรรทุกระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน และปริมาณรถบรรทุกมากกว่าหรือเท่ากับ 2,001 คันต่อวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22, 16 และ 15 (0.01 นิ้ว) และค่าเสถียรภาพต่อการไหลของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

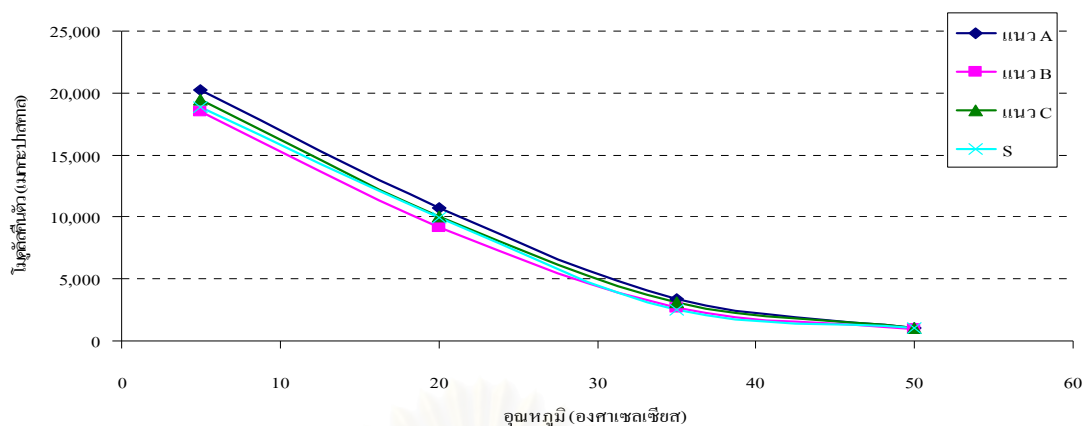
### 4.3 ผลทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวได้ทำการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 114 ตัวอย่าง จากถนนลาดยาง 38 แห่ง ซึ่งภายหลังจากทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวแล้วจะนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตไปทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรต่อไป เนื่องจากข้อจำกัดในด้านจำนวนตัวอย่างก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยแสดงผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวการทดสอบดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11 และผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุกดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

แนวการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	โมดูลัสคืนตัว (เมกะปาสกาล)			
		5 องศาเซลเซียส	20 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	50 องศาเซลเซียส
แนวล้อซ้าย	22	20,299 (3,104)	10,525 (2,230)	3,176 (1,077)	1,036 (439)
แนวระหว่างล้อ	36	18,428 (2,935)	9,159 (2,189)	2,539 (1,345)	884 (530)
แนวล้อขวา	33	19,651 (3,123)	10,056 (2,427)	2,970 (1,267)	1,035 (570)
S	23	19,471 (3,052)	10,450 (2,811)	2,973 (1,159)	1,152 (553)
รวม	114	19,354 (3,084)	9,943 (2,436)	2,873 (1,246)	997 (515)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

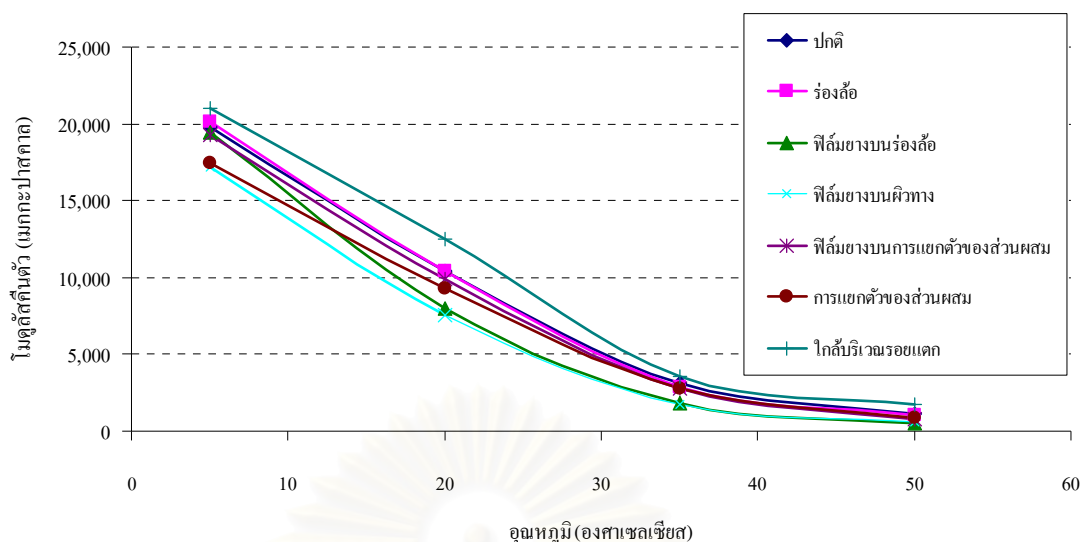
จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.10 พบว่าค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตตามแนวล้อซ้าย มีค่ามากกว่าแนวระหว่างล้อ แนวล้อขวา และจุดที่เจาะเก็บเพิ่มเติม S และผลการทดสอบดังกล่าวมีแนวโน้มคล้ายกับค่าความถ่วงจำเพาะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวการทดสอบ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการบดอัดของน้ำหนักจากยานพาหนะที่เคลื่อนผ่าน

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

ก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ เจาะเก็บจากบริเวณ	จำนวน ตัวอย่าง	โมดูลัสคืนตัว (เมกะปาสคาล)			
		5 องศาเซลเซียส	20 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	50 องศาเซลเซียส
พื้นที่ปกติ	61	19,784 (3,087)	10,388 (2,153)	3,144 (2,153)	1,104 (505)
ร่องล้อ	19	20,166 (2480)	10,411 (2,890)	2,851 (1,198)	1,048 (556)
ฟิล์มยางบนร่องล้อ	6	19,484 (2,157)	7,952 (1,265)	1,813 (388)	552 (163)
ฟิล์มยางบนผิวทาง	8	17,188 (4,612)	7,573 (3,804)	1,707 (1,526)	639 (743)
ฟิล์มยางบนการแยกตัวของ ส่วนผสม	3	19,245 (2,398)	9,938 (1,616)	2,810 (763)	768 (120)
การแยกตัวของส่วนผสม	15	17,478 (2,295)	9,258 (1,252)	2,758 (1,224)	904 (425)
ใกล้บริเวณรอยแตก	2	21,023 (3,866)	12,538 (328)	3,582 (1,420)	1,779 (501)
รวม	114	19,354 (2,891)	9,943 (2,279)	2,873 (1,050)	997 (448)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน





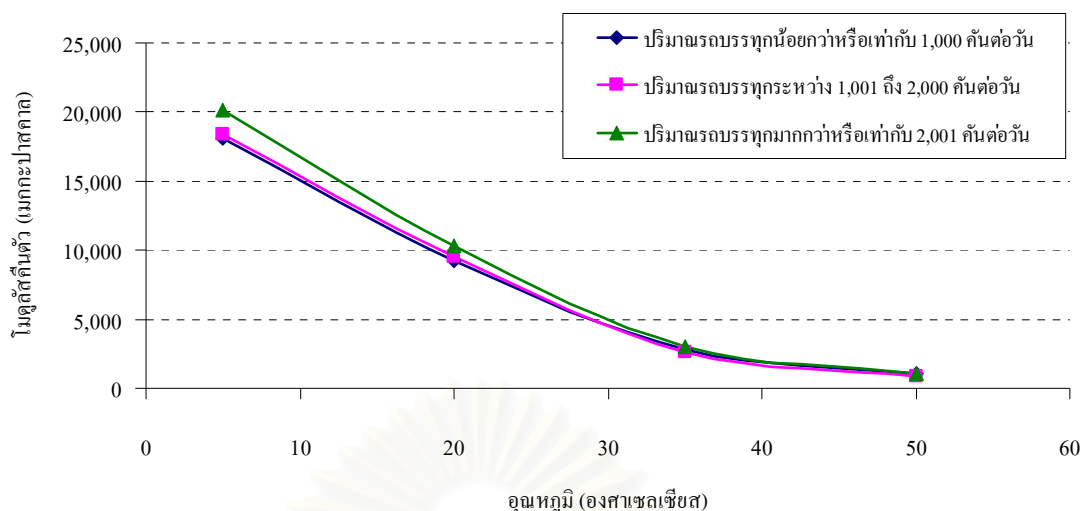
ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบหาค่าไมคูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม บริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

จากตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.11 พบว่าค่าไมคูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่เจาะเก็บจากบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางและบริเวณฟิล์มยางที่ร่องลื้อ มีค่าน้อยกว่าก้อนตัวอย่าง แอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากพื้นที่ปกติ ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณยางแอสฟัลต์ที่มากกว่า ปกติทำให้ค่าไมคูลัสคืนตัวต่ำ (Huang, 1993) แต่ความเสียหายบริเวณฟิล์มยางต้องเกิดจากปริมาณ ยางแอสฟัลต์มากกว่าปกติ และค่าไมคูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจาก ใกล้เคียงบริเวณรอยแตกมีค่ามากกว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากพื้นที่ปกติ

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบหาค่าไมคูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตาม ปริมาณรถบรรทุก

ปริมาณรถบรรทุก (คันต่อวัน)	จำนวน ตัวอย่าง	ค่าไมคูลัสคืนตัว (เมกกะปาสกาล)			
		5 องศาเซลเซียส	20 องศาเซลเซียส	35 องศาเซลเซียส	50 องศาเซลเซียส
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000	18	18,049 (2,089)	9,245 (2,183)	2,795 (946)	1,039 (615)
ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000	30	18,350 (2,662)	9,549 (2,364)	2,653 (1,113)	912 (429)
มากกว่าหรือเท่ากับ 2,001	66	20,166 (3,259)	10,313 (2,495)	2,997 (1,369)	1,025 (525)
รวม	114	19,354 (3,084)	9,943 (2,436)	2,873 (1,246)	997 (515)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณยุงกัด

จากตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.12 พบว่าค่าโมดูลัสคืนตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณยุงกัดมากกว่าหรือเท่ากับ 2,001 ครั้งต่อวัน มีค่ามากกว่าก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณยุงกัดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 ครั้งต่อวัน และปริมาณยุงกัดระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 ครั้งต่อวัน ซึ่งสังเกตได้ว่าส่วนใหญ่ค่าโมดูลัสคืนตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณยุงกัดเพิ่ม

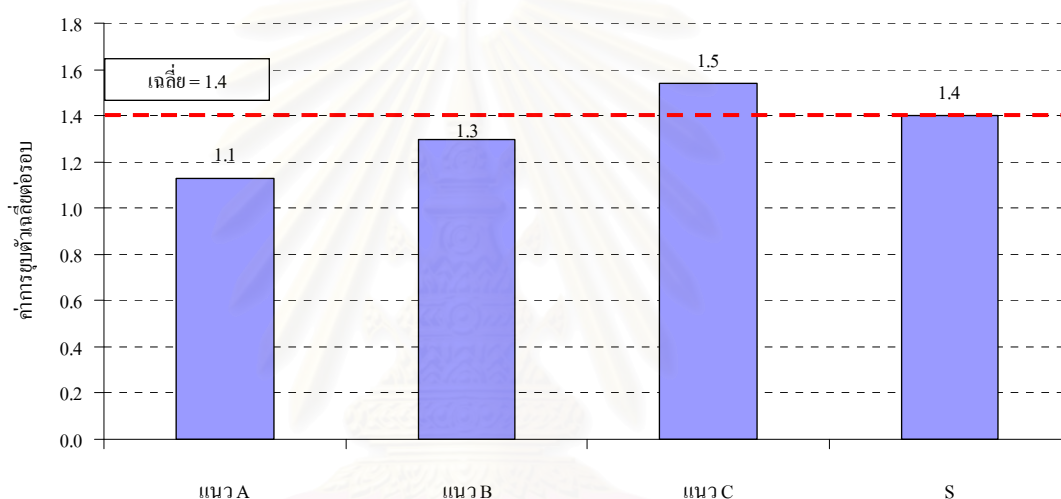
#### 4.4 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 100 ตัวอย่าง จากถนนลาดยาง 38 แห่ง เนื่องจากภายหลังการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวแล้วก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมดจำนวน 114 ตัวอย่าง ได้เกิดรอยแตกกว้างขึ้นกับตัวอย่างก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจำนวน 14 ตัวอย่าง จึงไม่สามารถนำมาทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตและไม่สามารถหาตัวอย่างมาทดแทนได้ โดยได้แสดงผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวการทดสอบดังตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.14 และผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก๊อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณยุงกัดดังตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

แนวการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบ
แนวล้อซ้าย	19	1.1 (0.7)
แนวระหว่างล้อ	30	1.3 (0.8)
แนวล้อขวา	30	1.5 (1.1)
S	21	1.4 (0.7)
รวม	100	1.4 (0.9)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



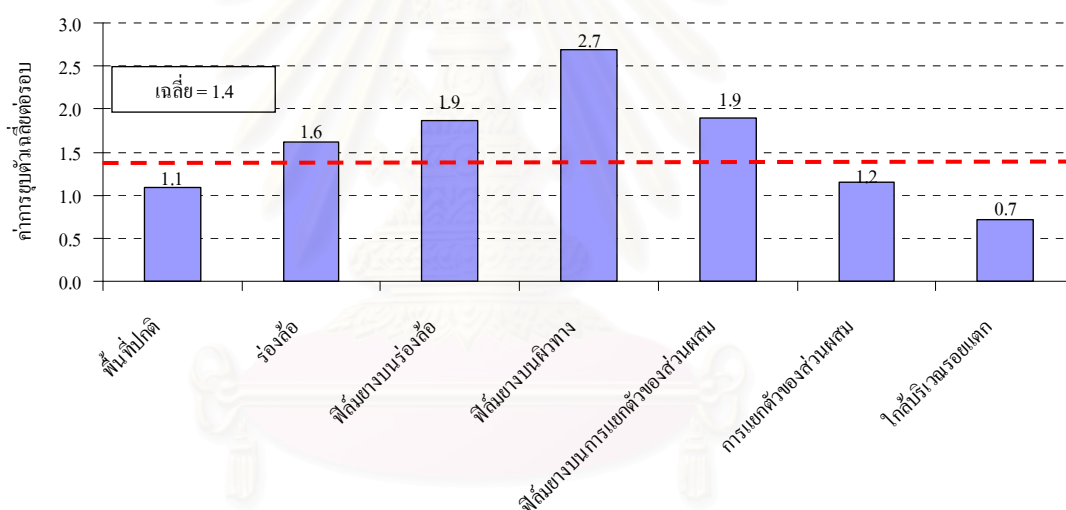
ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามแนวทดสอบ

จากตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.13 พบว่าค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตตามแนวล้อซ้าย แนวระหว่างล้อ แนวล้อขวา และจุดที่เจาะเก็บเพิ่มเติม S มีค่าเท่ากับ 1.1, 1.3, 1.5 และ 1.4 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.4 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.9 และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ ข13) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบของทั้ง 3 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการขูดถูตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณ	จำนวนตัวอย่าง	ค่าการขูดถูเฉลี่ยต่อรอบ
ปกติ	55	1.1 (0.6)
ร่องล้อ	17	1.6 (1.3)
ฟิล์มยางบนร่องล้อ	5	1.9 (0.3)
ฟิล์มยางบนผิวทาง	7	2.7 (1.0)
ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม	3	1.9 (0.4)
การแยกตัวของส่วนผสม	11	1.2 (0.5)
ใกล้บริเวณรอยแตก	2	0.7 (0.6)
รวม	100	1.4 (0.9)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



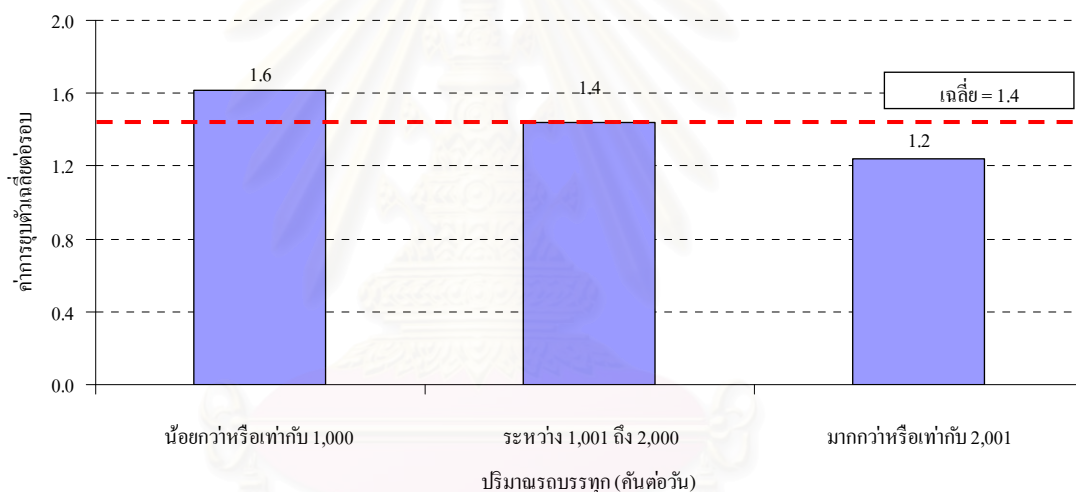
ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการขูดถูตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามบริเวณความเสียหายที่เจาะเก็บ

จากตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.14 พบว่าค่าการขูดถูเฉลี่ยต่อรอบทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณพื้นที่ปกติ บริเวณร่องล้อ ฟิล์มยางบนร่องล้อ ฟิล์มยางบนผิวทาง ฟิล์มยางที่ผิวทาง ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม การแยกตัวของส่วนผสม และใกล้บริเวณรอยแตกมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.1, 1.6, 1.9, 2.7, 1.9, 1.2 และ 0.7 ตามลำดับ และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ ข14) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยการขูดถูเฉลี่ยต่อรอบทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณ

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

ปริมาณรถบรรทุก (คันต่อวัน)	จำนวนตัวอย่าง	ค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบ
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000	16	1.6 (1.4)
ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000	27	1.4 (0.8)
มากกว่าหรือเท่ากับ 2,001	57	1.2 (0.6)
รวม	100	1.4 (0.9)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

จากตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.15 พบว่าค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน ปริมาณรถบรรทุกระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน และปริมาณรถบรรทุกมากกว่าหรือเท่ากับ 2,001 คันต่อมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.6, 1.4 และ 1.2 และจากการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ย (ตารางที่ 4.15) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบทดสอบของทั้ง 3 กลุ่ม ไม่แตกต่างกัน

#### 4.4.1 การเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการกับความลึกร่องล้อเฉลี่ยในภาคสนาม

จากผลการทดสอบ Dynamic Creep Test ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถนำค่า Accumulated Microstrain ไปพยากรณ์ค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นกับชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความลึกร่องล้อเฉลี่ยที่วัดได้จากภาคสนาม

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการที่ได้จากการพยากรณ์กับความลึกร่องล้อที่เกิดขึ้นจริงของถนนลาดยาง 29 แห่ง จากถนนลาดยาง 38 แห่ง เนื่องจากถนนลาดยางที่เหลือจำนวน 9 แห่ง นั้นได้มีการเสริมผิวทางจนไม่สามารถทราบได้ว่าชั้นผิวทางก่อนการทำการเสริมผิวทางนั้นเกิดการยุบตัวมากน้อยเพียงใด ทำให้ไม่สามารถนำถนนลาดยางดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับความลึกร่องล้อเฉลี่ยได้ โดยงานวิจัยนี้ได้แสดงตัวอย่างการคำนวณของทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 2802 ระหว่าง กม.739+000 ถึง กม.738+800 (ขวาทาง)

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลปริมาณจราจรและอายุบริการของทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 2802 ระหว่าง กม.739+000 ถึง กม.738+800 ณ วันที่สำรวจ มาคำนวณย้อนกลับเพื่อหาปริมาณจราจร ณ วันเปิดให้บริการ และสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.1 (เนื่องจากขาดข้อมูลปริมาณจราจร ณ วันเปิดให้บริการ) โดยมีปริมาณจราจร ณ วันที่สำรวจเท่ากับ 12,639 คันต่อวัน อายุบริการเท่ากับ 7 ปี และใช้อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจรเท่ากับร้อยละ 5 ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณจราจร ณ วันเปิดให้บริการได้เท่ากับ 8,982 คันต่อวัน

$$(ADT)_0 = \frac{ADT}{(1+r)^Y} \quad (4.1)$$

โดยที่	$(ADT)_0$	คือ ปริมาณจราจร ณ วันที่เปิดให้บริการ	(คันต่อวัน)
	$ADT$	คือ ปริมาณจราจร ณ วันที่สำรวจ	(คันต่อวัน)
	$r$	คือ อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจร	
	$Y$	คือ อายุผิวทาง	(ปี)

เมื่อกำหนดปริมาณจราจร ณ วันเปิดให้บริการได้เท่ากับ 8,982 คันต่อวัน ก็นำไปคำนวณหาหน้าหนักเพลาคือมาตรฐานสะสมจนถึงวันที่สำรวจในสมการ 4.2 และสมการ 4.3 โดยใช้อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจรเท่ากับร้อยละ 5 (เนื่องจากโครงการก่อสร้างทางของกรมทางหลวงส่วนใหญ่ใช้อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจรประมาณร้อยละ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4.13) สัดส่วนรถบรรทุกเท่ากับร้อยละ 12 สัดส่วนรถบรรทุกในช่องทางการจราจรออกแบบเท่ากับ 0.45 (ได้จากตารางที่ 4.14) Truck Factor เท่ากับ 1.21 (ได้จากการคำนวณโดยใช้ตารางที่ 4.15) และอายุบริการ

$$ESAL = (ADT)_0(T)(T_f)(G)(Y)(DL)(365) \quad (4.2)$$

$$(G)(Y) = \frac{(1+r)^Y - 1}{r} \quad (4.3)$$

โดยที่	$ESAL$	คือ น้ำหนักเพลาดูแลมาตรฐาน	(เพลาดู)
	$(ADT)_0$	คือ ปริมาณจราจร ณ วันที่เปิดให้บริการ	(คันต่อวัน)
	$T$	คือ สัดส่วนรถบรรทุก	
	$T_f$	คือ Truck Factor	
	$(G)(Y)$	คือ Total Growth Factor	
	$DL$	คือ สัดส่วนรถบรรทุกในช่องทางการจราจรออกแบบ	
	$r$	คือ อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจร	
	$Y$	คือ อายุผิวทาง	(ปี)

ตารางที่ 4.13 อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจรสำหรับ โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองของ กรมทางหลวง

โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง	อัตราการเพิ่มขึ้นต่อปีของการจราจร (ร้อยละ)
สายบ้านโป่ง - ปากท่อ (2544)	4.7
สายบางปะอิน - นครราชสีมา (2547)	5.5
สายสระบุรี - บางปะกง (2548)	4.8
สายหาดใหญ่ - ชายแดนมาเลเซีย (2548)	5.3

- ที่มา: 1. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบ้านโป่ง - ปากท่อ, ทางหลวง, กรม (2544)
2. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน - นครราชสีมา, ทางหลวง, กรม (2547)
3. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายสระบุรี - บางปะกง, ทางหลวง, กรม (2548)
4. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายสายหาดใหญ่ - ชายแดนมาเลเซีย, ทางหลวง, กรม (2548)



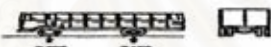


ตารางที่ 4.14 สัดส่วนรถบรรทุกในช่องทางการจราจรออกแบบ

จำนวนช่องจราจรทั้ง 2 ทิศทาง	สัดส่วนรถบรรทุกในช่องทางการจราจรออกแบบ
2	50
4	45 (35-48)*
6 หรือมากกว่า	40 (25-48)*

หมายเหตุ: \*คือค่าที่ยอมรับให้

ที่มา: Huang (1993)

ตารางที่ 4.15 Weight Factors for Vehicle Classes Suggested by the RRDC of DOH

Vehicle Class		Equivalent 8.2 tons Std. axles per vehicle
Cars, vans, mini-busses and trucks		0.001
Single Trucks > 6 tons		0.76
Ten wheel trucks		1.78
Busses		1.23
Trucks with trailer		1.75
Semi-trailers		1.44

ที่มา: ทางหลวง, กรม (2545)

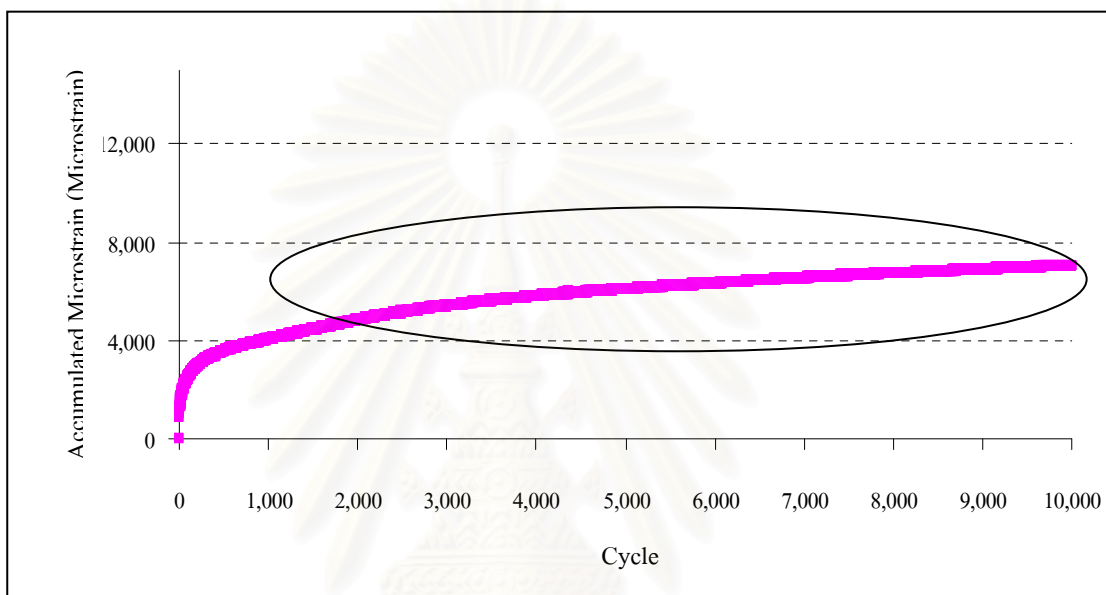
จากนั้นนำค่า ESAL สะสมไปแทนค่าของจำนวนรอบการกระทำซ้ำในสมการ 4.4 ที่ได้จากการทดสอบ Dynamic Creep Test ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 2802 ระหว่าง กม.739+000 ถึง กม.738+800 เนื่องจากการกระทำซ้ำ 1 รอบการทดสอบ เป็นการจำลองน้ำหนักกระทำเท่ากับ 1 ESAL ในโครงสร้างถนนจริง โดยได้จากผลการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 4.16

$$Y = 1098.1 \ln(X) - 3255.4 \quad (4.4)$$

โดยที่ Y คือ Accumulated Microstrain  
X คือ จำนวนรอบการกระทำซ้ำ (รอบ)



ในภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟเมื่อจำนวนรอบการทดสอบเกิน 1,000 รอบ แล้ว แนวโน้มของเส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีความชันลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ยังไม่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัว (Flow Point) และก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตส่วนใหญ่ที่ทำการทดสอบ มีลักษณะเดียวกับผลการทดสอบก่อนตัวอย่างที่แสดงในภาพที่ 4.16 ซึ่งเส้นกราฟพยากรณ์ที่ต่อจากผลการทดสอบมีแนวโน้มที่มากกว่าสภาพความเป็นจริง นั้นแสดงให้เห็นว่าการยุบตัวที่ได้พยากรณ์ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับการยุบตัวในสนามจริง



ภาพที่ 4.16

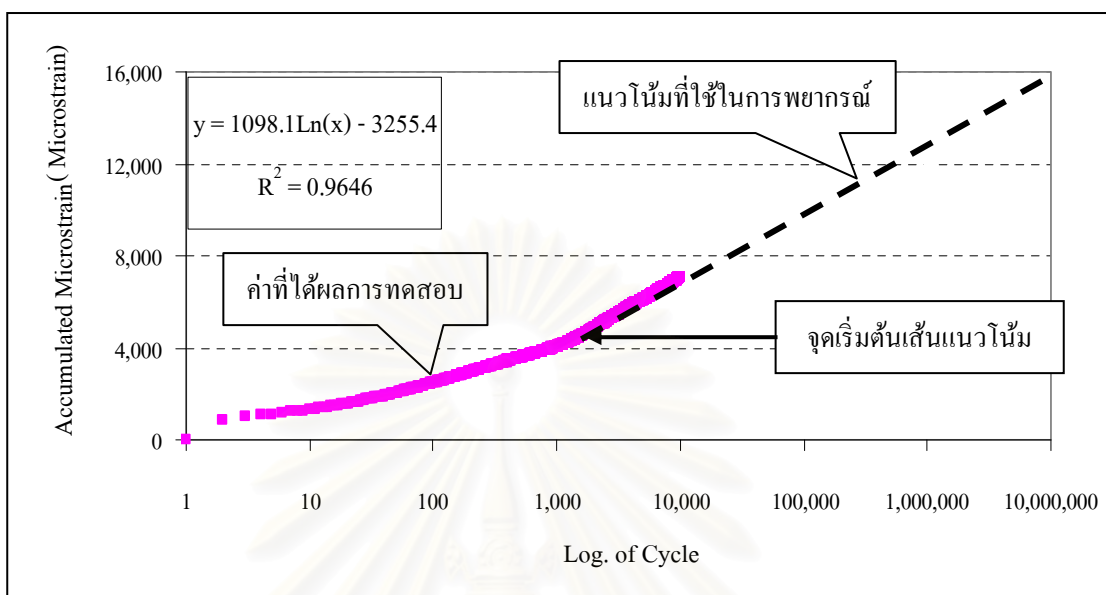
ภาพที่ 4.16 ค่า Accumulated Microstrain ที่ได้จากการทดสอบ Dynamic Creep Test

และจากการแปลงจำนวนรอบการทดสอบ (Cycle) ในภาพที่ 4.16 ให้เป็น Log. of Cycle ดังภาพที่ 4.17 จะสามารถต่อเส้นแนวโน้มจากการพยากรณ์ซึ่งอยู่ในช่วงที่ยังไม่เริ่มเกิดความเสียหายจากการยุบตัว (Flow Point) ในที่เป็นลักษณะเส้นตรง เพื่อนำไปใช้พยากรณ์หาค่าการยุบตัวของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต

หลังจากคำนวณตามสมการ 4.4 จะได้ค่า Accumulated Microstrain เท่ากับ 14,120 จากนั้นนำไปหาการยุบตัวในสมการ 4.5

$$\frac{\Delta L}{L} = Y \quad (4.5)$$

จากสมการ 4.5 ไม่สามารถคำนวณหาค่าการยุบตัวได้เนื่องจากไม่มีข้อมูลความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนเปิดให้บริการ เนื่องจากผู้วิจัยมีเฉพาะข้อมูลความหนาของชั้นแอสฟัลต์



ภาพที่ 4.17 ค่า Accumulated Microstrain ของทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 2802 ระหว่าง กม.739+000 ถึง กม.738+800

$$L = T_{AC} + \Delta L \quad (4.6)$$

และเมื่อนำสมการ 4.6 ไปแทนในสมการ 4.5 ก็สามารหาค่าการยุบตัวได้ดังสมการ 4.7

$$\Delta L = \frac{T_{AC} \times Y}{(1 - Y)} \quad (4.7)$$

โดยที่  $\Delta L$  คือ ค่าการยุบตัว (เซนติเมตร)

$L$  คือ ความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนเปิดให้บริการ (เซนติเมตร)

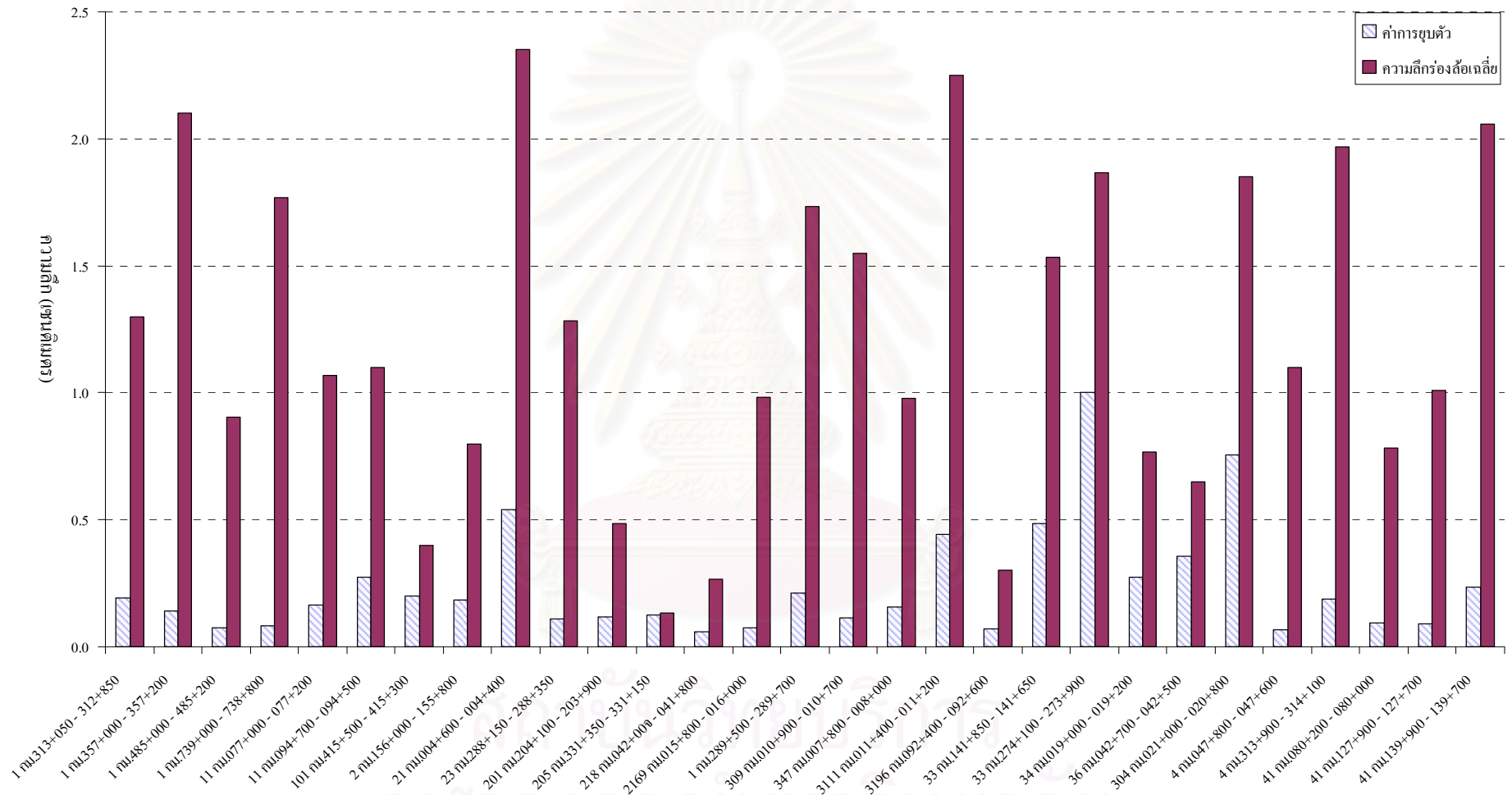
$T_{AC}$  คือ ความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ณ วันที่สำรวจ (เซนติเมตร)

เมื่อนำค่า Accumulated Microstrain เท่ากับ 14,120 และความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต ณ วันที่สำรวจเท่ากับ 7.1 เซนติเมตร ไปคำนวณหาค่าการยุบตัวในสมการ 4.7 ก็สามารหาค่าการยุบตัวได้ประมาณ 0.1 เซนติเมตร ในขณะที่ความลึกร่องล้อเฉลี่ยของทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 2802 ระหว่าง กม.739+000 ถึง กม.738+800 เท่ากับ 1.8 เซนติเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าค่ายุบตัวที่ได้จากการพยากรณ์

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการคำนวณในลักษณะเดียวกันของถนนลาดยางอีก 28 แห่งที่เหลือ โดยได้แสดงการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการที่ได้จากการพยากรณ์กับความสึกกร่อนที่เกิดขึ้นจริงของถนนลาดยาง 29 แห่ง ดังภาพที่ 4.18

จากภาพที่ 4.18 พบว่าค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการที่ได้จากการพยากรณ์กับความสึกกร่อนที่เกิดขึ้นจริงของถนนลาดยาง 29 แห่ง มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันคือ ค่าการยุบตัวของกึ่งตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตอันเนื่องมาจากน้ำหนักกระทำซ้ำมีค่าน้อยกว่าความสึกของร่องล้อเฉลี่ย ดังนั้นค่าการยุบตัวในแนวตั้งของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับความสึกร่องล้อเฉลี่ย และเป็นเพียงหนึ่งกระบวนการเกิดความเสียหายแบบร่องล้อ ส่วนองค์ประกอบอื่นที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากการยุบตัวและ/หรือการเคลื่อนตัวด้านข้าง (Flow) ของชั้นพื้นทาง (Base Course) หรือการเคลื่อนตัวด้านข้างของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต

จากตารางที่ 4.16 พบว่าโดยมากผลต่างความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตของแนวล้อและแนวระหว่างล้อนี้น้อยกว่าความสึกร่องล้อที่วัดได้มากที่สุด และมีค่ามากกว่าค่าการยุบตัวที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการยุบตัวของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นเพียงหนึ่งกระบวนการเกิดร่องล้อและน่าจะมีกระบวนการอื่นที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายแบบร่องล้อ ซึ่งจากผลข้างต้นสนับสนุนผลการเปรียบเทียบการยุบตัวที่ได้จากการพยากรณ์กับความสึกกร่อนในภาคสนาม



ภาพที่ 4.18 การเปรียบเทียบค่าการขุดตัวในห้องปฏิบัติการกับความลึกร่องล้อเฉลี่ยในภาคสนามของทางหลวง 29 แห่ง

ตารางที่ 4.16 การเปรียบเทียบความหนาแน่นแอสฟัลต์คอนกรีตกับความลึกร่องล้อ

ลำดับ	ภาค	สายทาง	หมายเลขควบคุม	ก.ม.	ค่าพยากรณ์การยุบตัว (ซม.)	ผลต่างความหนาแน่น AC (ซม.)		ความลึกร่องล้อมากที่สุด (ซม.)	
						ล้อซ้าย	ล้อขวา	ล้อซ้าย	ล้อขวา
1	ภาคเหนือ	1	1400	313+050 - 312+850	0.2	0.8	3	1.4	1.5
2		1	1600	357+000 - 357+200	0.1	3	-	3	1.6
3		1	1801	439+000 - 439+200	0.1	-	-	0.7	1.3
4		1	1901	485+000 - 485+200	0.1	0.5	1.1	0.8	2.5
5		1	2802	739+000 - 738+800	0.1	-1.4	0.9	2.9	1.8
6		11	1500	077+000 - 077+200	0.2	1.4	-3.2	1.7	2
7		11	800	094+700 - 094+500	0.3	0.7	1.1	1	1.8
8		101	301	415+500 - 415+300	0.2	-0.9	-0.9	0.7	0.4
9	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2	200	156+000 - 155+800	0.2	0.3	-0.1	2.3	0
10		21	100	004+600 - 004+400	0.5	1.7	2	2.6	2.7
11		23	402	130+100 - 129+900	0.4	-	-	0.8	0.5
12		23	802	288+150 - 288+350	0.1	1.1	-1.8	1.4	1.7
13		201	1203	204+100 - 203+900	0.1	0.8	0.6	0.7	0.8
14		205	500	331+350 - 331+150	0.1	-0.7	0.1	0.4	0
15		21	803	004+000 - 004+200	0.4	-	-	1.7	1.4
16		218	200	042+000 - 041+800	0.1	-	-	0.5	0.3
17		2169	101	015+800 - 016+000	0.1	0.7	0.2	2	0.1
18	ภาคกลาง	1	1001	289+500 - 289+700	0.2	0	0	2.9	1.4
19		117	100	012+200 - 012+400	0.2	-	-	2.2	0.4
20		122	100	010+100 - 009+900	0.1	-	-	1.5	0.7
21		309	101	010+900 - 010+700	0.1	1.5	1.1	1.9	1.7
22		347	200	007+800 - 008+000	0.2	-0.5	-0.2	2.9	0.4
23		3001	100	001+700 - 001+900	0.4	-	-	0.8	0.5
24		3111	200	011+400 - 011+200	0.4	-	1.1	3	2.8
25		3196	300	092+400 - 092+600	0.1	-	-0.3	0.5	1.3
26	ภาคตะวันออก	3	600	130+400 - 130+200	0.2	-	-	0.8	0.2
27		33	200	141+850 - 141+650	0.5	2.1	-	2.1	1.2
28		33	600	274+100 - 273+900	1.0	1.4	1.8	2.7	1.6
29		34	200	019+000 - 019+200	0.3	-	-0.4	1.1	1
30		36	201	042+700 - 042+500	0.4	2	0.9	1	0.5
31		304	402	021+000 - 020+800	0.7	-0.8	1.6	2.8	2
32		318	101	005+800 - 006+000	0.1	-	-	0.9	0.2
33	ภาคใต้	4	4000	047+800 - 047+600	0.1	0.5	0.1	1.7	0.8
34		4	900	251+800 - 252+000	0.5	-	-	0	0
35		4	1100	313+900 - 314+100	0.2	1	0.8	2.2	2
36		41	300	080+200 - 080+000	0.1	-	-	1.5	0.4
37		41	400	127+900 - 127+700	0.1	1.1	0.2	1.9	0.4
38		41	500	139+900 - 139+700	0.2	0.7	1	2.4	1.9

หมายเหตุ: - คือไม่มีก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่อยู่ในแนวเดียวกัน (โดยขีดแนวระหว่างล้อเป็นแนวเปรียบเทียบ)

เครื่องหมายเป็นบวก คือแนวระหว่างล้อมีค่ามากกว่าแนวล้อ

เครื่องหมายเป็นลบ คือแนวระหว่างล้อมีค่าน้อยกว่าแนวล้อ

#### 4.5 ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

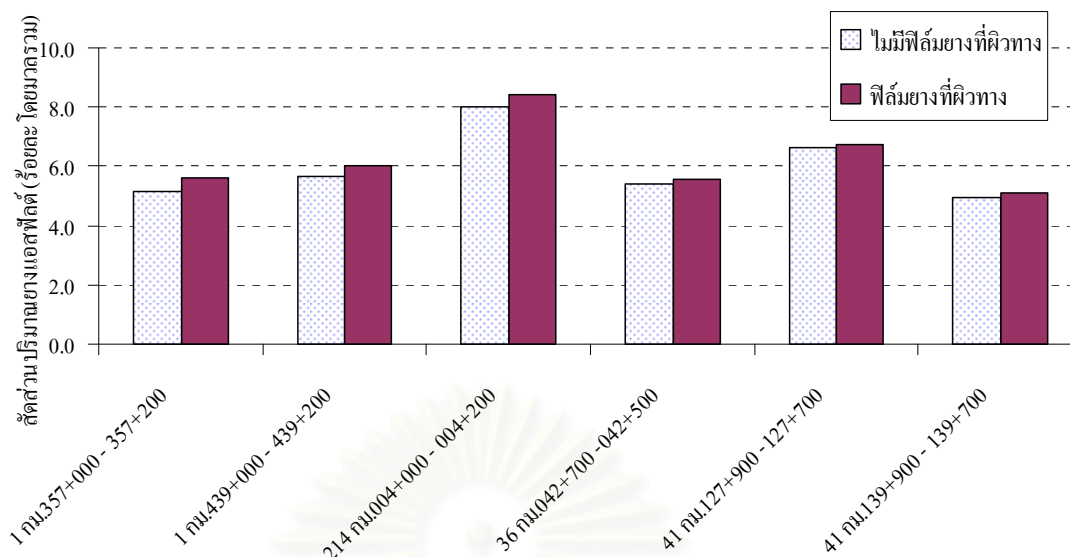
การทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ได้ทำการทดสอบก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากถนนลาดยาง 38 แห่ง ซึ่งก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำมาทดสอบได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้เจาะเก็บมาจากบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางกับตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้เจาะเก็บมาจากบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทาง จากถนนลาดยางทั้งหมดพบว่าถนนลาดยางที่มีก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีเพียง 6 แห่งเท่านั้น โดยแสดงผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ดังตารางที่ 4.17 และการเปรียบเทียบปริมาณยางแอสฟัลต์ในบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางกับบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางดังภาพที่ 4.19

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

ปริมาณรถบรรทุก	ปริมาณยางแอสฟัลต์ (%)		
	สภาพผิวทางปกติ	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	เฉลี่ย
ภาคเหนือ	5.2 (0.5)	5.8 (0.3)	5.3 (0.5)
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	6.3 (1.1)	8.4 (0.0)	6.3 (1.2)
ภาคกลาง	5.1 (0.7)	- -	5.1 (0.7)
ภาคตะวันออก	5.3 (0.1)	6.0 (0.8)	5.8 (0.7)
ภาคใต้	5.6 (0.8)	5.9 (1.1)	5.6 (0.8)
ทั่วประเทศ	5.6 (0.9)	6.1 (1.0)	5.6 (0.9)

หมายเหตุ: ค่าที่อยู่ในวงเล็บคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- คือไม่มีก้อนตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบหาค่าปริมาณยางแอสฟัลต์



ภาพที่ 4.19 การเปรียบเทียบปริมาณยางแอสฟัลต์ของบริเวณที่ไม่มีผิวฟิล์มยางที่ผิวทางกับบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทาง

จากตารางที่ 4.17 พบว่าสัดส่วนปริมาณยางแอสฟัลต์ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากถนนลาดยาง 38 แห่ง ในบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.6 และบริเวณที่มีฟิล์มยางที่ผิวทางมีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 6.1 ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณยางแอสฟัลต์ของถนนลาดยางจำนวน 6 แห่งดังภาพที่ 4.19 พบว่าบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางมีปริมาณยางแอสฟัลต์มากกว่าบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง ดังนั้นจากตารางที่ 4.17 และภาพที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าความเสียหายแบบฟิล์มยางที่ผิวทางน่าจะมีสาเหตุมาจากปริมาณยางแอสฟัลต์มาก ทำให้ช่องว่างอากาศลดน้อยลงซึ่งโอกาสที่ยางแอสฟัลต์จะทะลักขึ้นมานบนผิวทางได้ง่ายมากกว่าปกติ

#### 4.6 สรุป

โดยสรุปแล้วเนื้อหาในบทที่ 4 ได้กล่าวถึง ผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบวิธีมาร์แชลล์ การทดสอบหาค่าคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัว และการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ ซึ่งสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตของแนวล้อซ้ายมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าแนวระหว่างล้อ และค่าโมดูลัสคืนตัวแนวล้อซ้ายมากกว่าแนวระหว่างล้อและแนวล้อขวา

2. ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางมีค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบทดสอบมากกว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณพื้นที่ปกติ ส่วนค่าเสถียรภาพ ค่าเสถียรภาพต่อการไหล และค่าโมดูลัสคืนตัวมีค่าน้อยกว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณพื้นที่ปกติ
3. ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณฟิล์มยางบนร่องล้อมีค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบทดสอบมากกว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณพื้นที่ปกติ ส่วนค่าโมดูลัสคืนตัวมีค่าน้อยกว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณพื้นที่ปกติ
4. การเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการกับความลึกร่องล้อเฉลี่ยในภาคสนามพบว่าค่าการยุบตัวของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากถนนลาดยาง 29 แห่ง มีค่าน้อยกว่าความลึกร่องล้อเฉลี่ยที่วัดได้ในสนามจริง
5. การเปรียบเทียบปริมาณยางแอสฟัลต์ของก้อนตัวอย่างบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางกับบริเวณที่มีฟิล์มยางที่ผิวทางจากถนนลาดยางจำนวน 6 แห่งพบว่า บริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางมีปริมาณยางแอสฟัลต์มากกว่าบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง

จากผลลัพธ์ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้นและประวัติสายทางของถนนลาดยางที่ได้จะนำไปหาความสัมพันธ์กับความเสียหายแบบร่องล้อและความเสียหายแบบอื่นๆ ดังจะกล่าวในบทถัดไป

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเสียหายพิวทาง

เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางสถิติ ตลอดจนผลลัพธ์จากแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทั้งสิ้น 2 ประเภทคือ แบบจำลองความถดถอย (Regression Model) และแบบจำลองทวินาม (Binary Model) โดยแบบจำลองความถดถอยจะใช้เพื่อคาดการณ์ความถี่ร่องล้อเฉลี่ย ในขณะที่แบบจำลองทวินามจะใช้เพื่อคาดการณ์ความสอดคล้องระหว่างสภาพพิวทางปกติกับสภาพพิวทางที่ได้รับความเสียหาย

#### 5.1 การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความถี่ร่องล้อเฉลี่ย

##### 5.1.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

แบบจำลองการถดถอย ถ้ามีตัวแปรอิสระ  $k$  ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม  $Y$  โดยมีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้น ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $Y$  และ  $X_1, X_2, \dots, X_k$  ดังแสดงในสมการ 5.1

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + e \quad (5.1)$$

โดยที่ $Y$	คือ ความถี่ร่องล้อเฉลี่ย
$X_k$	คือ ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมและประวัติสายทาง
$e$	คือ ความคลาดเคลื่อน
$\beta_0$	คือ ส่วนตัดแกน $Y$ เมื่อ $X_1 = X_2 = \dots = X_k = 0$
$\beta_1, \dots, \beta_k$	คือ สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงส่วน

การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามที่ทำให้ ค่าผลรวมกำลังสองของความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares; OLS) คือ การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย ที่ทำให้ได้ค่าคาดหวังของตัวแปรตาม มีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงที่สำรวจมามากที่สุด

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น มีสมมติฐานด้วยกันหลายประการ โดยสมมติฐานสำคัญที่ต้องทำการตรวจสอบ คือสมมติฐานของ Gauss-Markov ซึ่งหากเป็นจริงจะทำให้ค่าประมาณการสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยที่ได้จากการประมาณด้วยวิธี OLS ( $\hat{\beta}_{OLS}$ ) เป็นสัมประสิทธิ์ที่มีลักษณะ Best Linear Unbiased Estimators (BLUE) เมื่อทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์แบบ OLS แล้วพบว่าบางเงื่อนไขไม่เป็นไปตามสมมติฐาน จะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลหรือโครงสร้างของแบบจำลองให้เหมาะสม หรือเปลี่ยนไปใช้แบบจำลองอื่นในการวิเคราะห์แทน ซึ่งสมมติฐาน Gauss-Markov ดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

1. ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคาดหวังเป็นศูนย์  $E[\varepsilon_i] = 0$
2. ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าความแปรปรวนคงที่ (Homoscedasticity)  $VAR[\varepsilon_i] = \sigma^2$
3. ค่าคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกัน (Non-autocorrelation)  
 $COV[\varepsilon_i, \varepsilon_j] = 0 \quad \text{if } i \neq j$
4. ค่าคลาดเคลื่อนและตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน  
 $COV[X_i, \varepsilon_j] = 0 \quad \text{for all } i \text{ and } j$
5. ค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

### 5.1.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

- การตรวจสอบความสมเหตุสมผลทางตรรกศาสตร์ของแบบจำลอง

การตรวจสอบว่าสมการถดถอยมีความสอดคล้องกับความเป็นจริงเพียงใดซึ่งจะต้องพิจารณาสิ่งต่างๆดังวิธีดังนี้

- การตรวจสอบเครื่องหมาย (Sign Test)

เครื่องหมายต่างๆ ของสัมประสิทธิ์จะสะท้อนถึงความความลึกร่องลือเฉลี่ยว่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงใด สัมประสิทธิ์ที่มีเครื่องหมายเป็นบวกแสดงว่าความความลึกร่องลือเฉลี่ยที่ได้รับนั้นจะสูงขึ้นตามค่าของตัวแปร ในทางตรงกันข้ามหากสัมประสิทธิ์มีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าความความลึกร่องลือเฉลี่ยที่ได้รับนั้นจะลดลงเมื่อตัวแปรดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น

- การตรวจสอบขนาดของสัมประสิทธิ์ (Magnitude Test)  
ต้องมีการตรวจสอบขนาดของสัมประสิทธิ์ว่ามีความสอดคล้องกับความเป็นจริงหรือไม่ซึ่งขนาดของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่มีลักษณะใกล้เคียงกันควรมีค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก
- การตรวจสอบตัวแปรอิสระในสมการถดถอย  
ตัวแปรอิสระที่ปรากฏในสมการถดถอยจะต้องมีความสัมพันธ์หรือสะท้อนถึงความลึกของร่องล้อเฉลี่ย
- การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของสมการถดถอยในทางสถิติ
  - การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระทุกตัวพร้อมกัน  
ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำแนกทางเดียว (1-way ANOVA) ดังสมการ 5.2 และตารางที่ 5.1

$$SST = SSR + SSE \quad (5.2)$$

โดยที่  $SST$  (Sum Square of Total) คือ ค่าแปรปรวนทั้งหมดของ  $Y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2$

$SSR$  (Sum Square of Regression) คือ ค่าความแปรปรวนของ  $Y$  เนื่องจากอิทธิพล  $X_1, \dots, X_k$

$SSE$  (Sum Square of Error) คือ ค่าความแปรปรวนของ  $Y$  เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ  
หรือค่าแปรปรวนอย่างสุ่ม  $= \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุ

แหล่งแปรปรวน (SV)	องศาอิสระ (DF)	ผลบวกกำลังสอง (SS)	ผลบวกกำลังสองเฉลี่ย (MS)	F
ความถดถอย (Regression)	k	SSR	MSR = SSR/k	MSR/MSE
ความคลาดเคลื่อน (Error or Residual)	n-k-1	SSE	MSE = SSE/(n-k-1)	
ผลรวม (Total)	n-1	SST		

โดยที่  $n$  คือ จำนวนตัวอย่าง  
 $k$  คือ จำนวนตัวแปรที่อยู่ในแบบจำลอง

- การทดสอบ Significant Test ของสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอย หรือ t-test

เป็นการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ ( $X_i$ ) มีความสัมพันธ์กับตัวแปร  $Y$  หรือไม่ โดยการหาค่าการแจกแจง  $t$  ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตของ  $t$  ที่ได้จากตารางการแจกแจง ซึ่งค่าการแจกแจงแบบ  $t$  หาได้จากสมการ 5.3

$$t = \frac{\beta_i}{S(\beta_i)} \quad (5.3)$$

โดยที่  $t$  คือ ค่าสถิติ  $t$  ที่มีค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom) =  $n-1$   
 $S(\beta_i)$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของตัวแปรที่ต้องการตรวจสอบ

โดยทั่วไปมักทำการทดสอบที่ค่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05 หรือมีค่าระดับความเชื่อมั่น ( $1 - \alpha$ ) เท่ากับ 0.95 หรือ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าสถิติ  $t$  สามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีค่าสถิติ  $t$  มากกว่า 1.96 มีอิทธิพลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีอิทธิพลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ในงานวิจัยนี้จะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90 ดังนั้นหากตัวแปรใดมีค่าสถิติ  $t$  มากกว่า 1.645 จะแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีอิทธิพลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ

- การตรวจสอบค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ

จากสมมติฐานของเทคนิค Least Square ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการทำนายจะต้องไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ถ้าพบว่าสมการที่ได้มีกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันสูงจะต้องเลือกตัวแปรเพียงตัวแปรเดียวในกลุ่มไปสร้างแบบจำลอง โดยพิจารณาเลือกตัวแปรอาจพิจารณาจากความสัมพันธ์เชิงพฤติกรรมของตัวแปรอิสระที่มีต่อความถี่ร่องรอยเฉลี่ย

- การตรวจค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ ( $R^2$ ) หมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปรอิสระ ( $X_1, X_2, \dots$  และ  $X_n$ ) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ  $Y$  จากการผันแปรของ  $X_1, X_2, \dots$  และ  $X_n$  หรือเป็นการทดสอบ Goodness of Fit ของสมการถดถอยและสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เชิงพหุคูณ ดังสมการ 5.4

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (5.4)$$

โดยที่  $R^2$  คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ  
 $SSR$  คือ ค่าความแปรปรวนของ  $Y$  เนื่องจากอิทธิพล  $X_1, \dots, X_k$   
 $SSE$  คือ ค่าความแปรปรวนของ  $Y$  เนื่องจากอิทธิพลอื่นๆ หรือค่า  
 แปรปรวนอย่างสุ่ม  $= \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2$

โดยที่มีค่าระหว่าง  $0 \leq R^2 \leq 1$  ถ้าค่า  $R^2$  ที่ใกล้หนึ่งจะหมายถึง  $X_1, X_2, \dots$  และ  $X_k$  มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  มาก แต่ในทางกลับกัน  $R^2$  ที่ใกล้ศูนย์จะหมายถึง  $X_1, X_2, \dots$  และ  $X_k$  มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  น้อย

แต่เนื่องจากค่า  $SSR$  จะเพิ่มขึ้นถ้าเพิ่มตัวแปรอิสระในแบบจำลอง ดังนั้นเมื่อเพิ่มตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยจะทำให้ค่า  $R^2$  มากขึ้นทั้งที่ตัวแปรอิสระ  $X$  ที่เพิ่มขึ้นอาจจะไม่มีความสัมพันธ์กับ  $Y$  จึงจำเป็นจะต้องมีการปรับแก้ค่า  $R^2$  ให้ถูกต้องมากขึ้น ซึ่งเรียกว่า Adjusted  $R^2$  ( $R_a^2$ ) ดังแสดงในสมการ 5.5

$$R_a^2 = 1 + \frac{(n-1)}{(n-k-1)}(R^2 - 1) \quad (5.5)$$

โดยที่  $R_a^2$  คือ ค่าการปรับแก้สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ  
 $n$  คือ จำนวนตัวอย่าง  
 $k$  คือ จำนวนตัวแปรที่อยู่ในแบบจำลอง

- การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อน

การหาค่าสัมประสิทธิ์โดยทำให้ผลบวกกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำสุด โดยเงื่อนไขนี้เป็นจริงเสมอเนื่องจากใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุดในการหาค่าสัมประสิทธิ์

- การตรวจสอบค่าแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบความคงที่ของค่าแปรปรวนจึงอาจพิจารณาจากกราฟที่พลอตระหว่าง  $X$  กับ  $e$  หรือพลอตระหว่าง  $Y$  กับ  $e$  โดยในกรณีที่เหมาะสมคือค่าค่าแปรปรวนของ  $e$  จะกระจายอยู่รอบๆ ศูนย์หรือค่า  $e$  มีค่าในช่วงแคบๆ ไม่ว่า  $X$  หรือ  $Y$  จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร ส่วนในกรณีที่ไม่เหมาะสมคือค่าแปรปรวนของ  $e$  จะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่า  $X$  หรือ  $Y$  มีค่ามากขึ้นหรือลดลง หรือความสัมพันธ์กับ  $X$  หรือ  $Y$  ไม่ได้อยู่ในเชิงเส้น

- การตรวจสอบความเป็นอิสระกันของค่าคลาดเคลื่อน

การทดสอบหาค่า  $e_i$  และ  $e_j$  เป็นอิสระกันหรือไม่ ในงานวิจัยนี้ใช้การทดสอบโดยใช้สถิติทดสอบ Durbin-Watson ซึ่งค่าที่ได้จะมีความหมายดังต่อไปนี้

- ค่า Durbin-Watson ระหว่าง 1.5 ถึง 2.5 แสดงว่า  $e_i$  และ  $e_j$  เป็นอิสระกัน
- ค่า Durbin-Watson น้อยกว่า 1.5 แสดงว่า  $e_i$  และ  $e_j$  มีความสัมพันธ์ในทิศทางบวก
- ค่า Durbin-Watson มากกว่า 2.5 แสดงว่า  $e_i$  และ  $e_j$  มีความสัมพันธ์ในทิศทางลบ

- การตรวจสอบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่

การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่มีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ในงานวิจัยนี้จะใช้การทดสอบ Shapiro-Wilk ในการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติเพราะจำนวนข้อมูลมีจำนวนน้อยกว่า 50 ข้อมูล ซึ่งค่านัยสำคัญของ Shapiro-Wilk มากกว่า 0.05 แสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในงานวิจัยนี้จะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90 ดังนั้นค่านัยสำคัญของ Shapiro-Wilk มากกว่า 0.10 จะแสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

### 5.1.3 การคัดเลือกแบบจำลอง

ในการคัดเลือกแบบจำลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ของความถี่ร่องล้อเฉลี่ยนั้นผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือ ตัวแปรจากข้อมูลประวัติสายทางและตัวแปรจากข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมดังแสดงในตารางที่ 5.2 ซึ่งจะแสดงตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองได้แสดงในตารางที่ 5.3

ในการพิจารณาสร้างแบบจำลองนั้น ผู้วิจัยได้คัดเลือกแบบจำลองจากกลุ่มตัวแปรแต่ละกลุ่ม จากนั้นจึงได้นำตัวแปรทั้ง 2 กลุ่มไปวิเคราะห์ประกอบกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.4 โดยผู้วิจัยได้แสดงแบบจำลองที่ดีที่สุดของทั้ง 2 กลุ่ม ตามหลักการต่างๆที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 5.1.2 อาทิเช่น ค่าสถิติ  $t$  ของสัมประสิทธิ์ของตัวแปร สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุ และการตรวจสอบเงื่อนไขของการถดถอยเชิงพหุ เป็นต้น

โดยในแบบจำลอง I จะเป็นการพิจารณาเฉพาะตัวแปรประวัติสายทางของถนนลาดยาง ส่วนแบบจำลอง T จะเป็นการพิจารณาเฉพาะตัวแปรผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และแบบจำลอง RUT จะเป็นการพิจารณาตัวแปรทั้งหมดพร้อมกันในแบบจำลอง

ตารางที่ 5.2 ค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของถนนลาดยาง 38 แห่ง ที่ใช้ในแบบจำลอง

ลำดับ	สายทาง	ก.ม.	ความถ่วงจำเพาะ	เสถียรภาพ (ปอนด์)	การไหล (0.01 นิ้ว)	โมดูลัสคืนตัว ที่ 50 °C (เมกะปาสกาล)	ค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบ	สัดส่วนยางแอสฟัลต์ (ร้อยละ)
1	1	313+050 - 312+850	2.417	4,368	14	1,578	1.0	5.7
2	1	357+000 - 357+200	2.462	3,583	14	1,147	2.0	5.4
3	1	439+000 - 439+200	2.425	4,590	13	1,029	1.5	5.8
4	1	485+000 - 485+200	2.442	3,924	15	765	0.9	5.5
5	1	739+000 - 738+800	2.383	4,667	17	1,148	0.7	4.8
6	11	077+000 - 077+200	2.363	4,300	14	1,570	0.7	5.5
7	11	094+700 - 094+500	2.414	3,103	14	671	1.5	5.0
8	101	415+500 - 415+300	2.434	5,965	16	1,094	0.9	4.4
9	2	156+000 - 155+800	2.303	3,976	28	757	0.8	6.1
10	21	004+600 - 004+400	2.441	3,786	17	321	3.0	5.0
11	23	130+100 - 129+900	2.353	3,804	12	686	1.0	6.5
12	23	288+150 - 288+350	2.456	4,119	13	1,270	1.0	7.8
13	201	204+100 - 203+900	2.378	3,578	13	1,097	0.8	5.3
14	205	331+350 - 331+150	2.241	4,012	13	1,598	0.6	5.7
15	214	004+000 - 004+200	2.483	2,801	17	363	2.9	8.2
16	218	042+000 - 041+800	2.418	6,348	25	1,830	0.7	7.2
17	2169	015+800 - 016+000	2.404	4,554	12	1,544	1.0	5.2
18	1	289+500 - 289+700	2.368	2,739	12	788	1.4	4.6
19	117	012+200 - 012+400	2.413	3,292	13	1,188	0.9	5.1
20	122	010+100 - 009+900	2.367	2,733	16	868	1.5	4.9
21	309	010+900 - 010+700	2.433	3,730	13	600	0.6	6.2
22	347	007+800 - 008+000	2.310	2,829	13	748	1.9	4.6
23	3001	001+700 - 001+900	2.297	3,043	19	1,115	1.1	4.3
24	3111	011+400 - 011+200	2.428	3,497	14	1,376	2.7	6.2
25	3196	092+400 - 092+600	2.387	3,554	15	835	1.1	5.3
26	3	130+400 - 130+200	2.396	6,177	26	691	0.7	5.3
27	33	141+850 - 141+650	2.437	2,835	28	385	2.6	5.5
28	33	274+100 - 273+900	2.457	2,805	25	349	4.1	5.6
29	34	019+000 - 019+200	2.512	3,084	20	561	1.2	7.3
30	36	042+700 - 042+500	2.508	3,744	23	541	1.9	5.5
31	304	021+000 - 020+800	2.529	2,803	24	354	2.2	6.1
32	318	005+800 - 006+000	2.335	3,656	29	816	0.9	5.1
33	4	047+800 - 047+600	2.374	3,982	13	1,706	0.5	4.5
34	4	251+800 - 252+000	2.520	3,915	14	1,593	1.6	5.5
35	4	313+900 - 314+100	2.401	4,290	14	1,062	1.0	5.7
36	41	080+200 - 080+000	2.489	4,987	11	1,566	1.2	6.0
37	41	127+900 - 127+700	2.486	5,298	12	1,799	1.0	6.7
38	41	139+900 - 139+700	2.462	3,627	14	574	1.5	5.0
ค่าเฉลี่ย			2.414	3,897	17	1,000	1.4	5.6
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			0.065	935	5	452	0.8	0.9
ค่ามากที่สุด			2.529	6,348	29	1,830	4.1	8.2
ค่าน้อยสุด			2.241	2,733	11	321	0.5	4.3

ตารางที่ 5.3 ตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองทำนายความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ร่องล้อเฉลี่ยกับตัวแปรต่างๆ

คุณลักษณะ	ประเภทของตัวแปร	ตัวแปร
ค่าคงที่ (Constant)	ค่าคงที่	CONST
ปริมาณจราจร (1,000 คันต่อวัน) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลประวัติสายทาง	ADT
ปริมาณรถบรรทุก (1,000 คันต่อวัน) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลประวัติสายทาง	HEVY_VEH
ความหนาชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต (เซนติเมตร) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลประวัติสายทาง	THICK_AC
อายุบริการ (ปี) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลประวัติสายทาง	SER_AGE
อายุผิวทาง (ปี) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลประวัติสายทาง	SUR_AGE
ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลผลการทดสอบ	BLUK
ค่าเสถียรภาพ (1,000 ปอนด์) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลผลการทดสอบ	ST
ค่าการไหล (0.01 นิ้ว) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลผลการทดสอบ	FL
ค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส (1,000 เมกะปาสกาล) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลผลการทดสอบ	M50
ค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบ เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลผลการทดสอบ	PD
สัดส่วนยางแอสฟัลต์ (ร้อยละ) เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ	ข้อมูลผลการทดสอบ	PA



ตารางที่ 5.4 แบบจำลองความสัมพันธ์ของความถี่ร่องล้อเฉลี่ย

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	RUT1	RUT2	RUT3	RUT4	RUT5
ADT	-0.00 (0.09)						
(HEVY_VEH)×(SUR_AGE)	0.01 (3.26)		0.16 (5.92)	0.01 (6.32)	0.02 (6.81)	0.02 (7.06)	0.02 (7.02)
THICK_AC	-0.01 (0.46)						
SER_AGE	-0.01 (1.30)		-0.01 (1.10)		-0.01 (0.71)		
BULK		2.24 (1.49)	0.03 (0.03)				
ST		-0.08 (0.65)		-0.08 (1.01)	-0.09 (1.38)		-0.11 (1.60)
FL		-0.03 (1.54)	-0.00 (0.04)	-0.00 (0.08)			
M50		0.03 (0.12)	-0.24 (1.58)	-0.17 (1.02)		-0.22 (1.59)	
PD		0.37 (2.66)	0.34 (4.47)	0.38 (4.54)	0.40 (5.37)	0.40 (5.24)	0.41 (5.44)
PA		-0.05 (0.54)					
CONST	1.05 (3.38)	-3.74 (1.10)	0.42 (0.19)	0.65 (1.63)	0.56 (1.69)	0.345 (1.58)	0.54 (1.65)
N	35	35	35	35	35	35	35
R <sup>2</sup>	0.38	0.49	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76
Adjust R <sup>2</sup>	0.29	0.38	0.72	0.73	0.73	0.74	0.74

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.4 พบว่า แบบจำลอง RUT4 และ RUT5 มีค่าการปรับแก้สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุของแบบจำลองความใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าสถิติ  $t$  พบว่าตัวแปรทั้งหมดของแบบจำลองทั้งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ยกเว้นตัวแปร ST และตัวแปร M50 ที่แตกต่างกัน และยังพบว่าค่าสถิติ  $t$  ของตัวแปร ST มีค่ามากกว่าตัวแปร M50 แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้คัดเลือกแบบจำลอง RUT4 ที่มีตัวแปร M50 เนื่องจากผู้วิจัยให้ความสำคัญของตัวแปร M50 มากกว่า ตัวแปร ST เพราะตัวแปรทั้ง 2 ตัว มีลักษณะของความสามารถในการรับน้ำหนักที่คล้ายกัน แต่ตัวแปร M50 เป็นวิธีการทดสอบรูปแบบใหม่กว่าตัวแปร ST ซึ่งนิยมใช้ในปัจจุบัน จึงน่าจะมี ความใกล้เคียงกับสภาพในภาคสนามมากกว่า

แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกมาคือแบบจำลอง RUT4 ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังสมการ 5.6

$$Y = 0.35 + 0.02\left(\frac{HEVY\_VEH \times SUR\_AGE}{1,000}\right) - 0.22(M50) + 0.40(PD) \quad (5.6)$$

โดย Y คือ ความถี่ร่องล้อเฉลี่ย (เซนติเมตร)

ตัวแปรในสมการ 5.6 เป็นช่วงที่มีค่าจำกัดดังต่อไปนี้

- ปริมาณรถบรรทุก (HEVY\_VEH  $\times$  1,000) มีค่าอยู่ในช่วง 183 ถึง 9,568 คันต่อวัน
- อายุผิวทาง (SUR\_AGE) มีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 17 ปี
- ค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส (M50  $\times$  1,000) มีค่าอยู่ในช่วง 321 ถึง 1,830 เมกกะปาสคาล
- ค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบ (PD) มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 4.1

และได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect) ของแบบจำลอง RUT4 เพื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรอิสระทั้งหมดที่ใช้ในแบบจำลอง โดยจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรตามตัวใด มีผลกระทบต่อตัวแปรตามมากกว่ากัน และได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.5

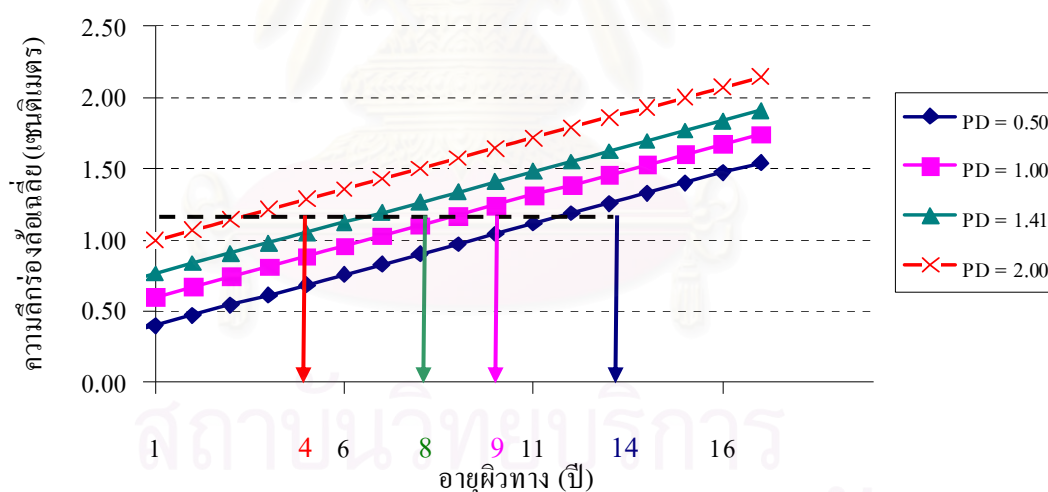
ตารางที่ 5.5 ผลกระทบส่วนเพิ่มของแบบจำลอง RUT4

ตัวแปร	dy/dx	ค่าเฉลี่ย
HEVY_VEH $\times$ SUR_AGE	8.79	23.99
M50	-4.97	1.01
PD	12.50	1.41

จากตารางที่ 5.5 เมื่อพิจารณาค่าผลกระทบส่วนเพิ่ม ( $dy/dx$ ) ของตัวแปรอิสระทั้งหมดพบว่า ตัวแปรที่มีผลกระทบกับความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้แก่ ตัวแปร PD ตัวแปร (HEVY\_VEH×SUR\_AGE) และตัวแปร M50 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่ละตัวพบว่า ตัวแปร (HEVY\_VEH×SUR\_AGE) มีค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเท่ากับ 8.79 หมายความว่า เมื่อค่าเฉลี่ยปริมาณรถบรรทุกกับอายุผิวทางเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1 จะทำให้ความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 8.79 และตัวแปร PD มีค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเท่ากับ 12.50 หมายความว่า เมื่อค่าเฉลี่ยของการขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1 จะทำให้ความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 12.5 ในขณะที่ตัวแปร M50 มีค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเท่ากับ 4.97 หมายความว่า เมื่อค่าเฉลี่ยของโมดูลัสคืนตัวของ 50 องศาเซลเซียสเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1 จะทำให้ความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยลดลงเท่ากับร้อยละ 4.97

จากการหาความสัมพันธ์ของความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยในสมการ 5.6 เมื่อนำมาสร้างกราฟระหว่างความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยและอายุบริการ โดยกำหนดให้โมดูลัสคืนตัวของ 50 องศาเซลเซียส (M50) เป็นค่าคงที่เท่ากับ 1,010 เมกกะปาสคาล (ค่าเฉลี่ย) และให้ค่าขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบ (PD) มีค่าเท่ากับ 0.50, 1.00, 1.41 (ค่าเฉลี่ย) และ 2.00 ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ร้องสื่อกับอายุผิวทาง

ในภาพที่ 5.1 ได้กำหนดให้ความถี่ร้องสื่อเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 เซนติเมตร เป็นความถี่ที่ต้องเริ่มทำการซ่อมแซมด้วยการขูดไสและเสริมผิวทาง (ทางหลวง, กรม, 2550) และแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบ (PD) เท่ากับ 2.00 จะทำให้อายุการใช้งานของถนนลาดยางเท่ากับ 4 ปี และถ้าสามารถควบคุมค่าขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบให้เท่ากับ 0.50 จะทำให้อายุการใช้งานของถนนลาดยางเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 14 ปี ซึ่งเป็น 3 เท่าของอายุการใช้งานเดิม และค่าขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบ

### 5.1.4 การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง

แบบจำลองที่คัดเลือกมาคือแบบจำลอง RUT4 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบจำลองจะพบว่า ตัวแปรทั้งหมดในแบบจำลองนี้ผ่านค่าทดสอบสถิติ  $t$  ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นตัวแปร M50 และตัวแปร CONST ผ่านค่าทดสอบสถิติ  $t$  ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 นอกจากนี้ยังมีค่าการปรับแก้สัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงพหุเท่ากับ 0.74 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองที่จะอธิบายอิทธิพลต่างๆที่เกิดขึ้น

จากสมการ 5.6 จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายประเภทที่มีความสัมพันธ์กับความถี่การร้องเรียนได้แก่ ปริมาณรถบรรทุกกับอายุผิวทาง (HEVY\_VEH×SUR\_AGE) ค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส (M50) และค่าการยุบตัวของผิวจราจร (PD)

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่แต่ละตัวจะพบว่า ตัวแปร (HEVY\_VEH×SUR\_AGE) มีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นบวก จึงแสดงได้ว่า การที่มีปริมาณรถบรรทุกกับอายุผิวทางมากขึ้นจะส่งผลทำให้ความถี่การร้องเรียนมากขึ้นตามไปด้วย และตัวแปร PD มีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นลบ จึงอธิบายได้ว่าเมื่อค่าการยุบตัวของผิวจราจรมากขึ้นจะส่งผลทำให้ความถี่การร้องเรียนลดลง ในขณะที่ตัวแปร M50 มีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นลบ จึงแสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส มากขึ้นจะส่งผลทำให้ร้องเรียนลดลง

## 5.2 การคาดการณ์สภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง

### 5.2.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ (Utility Function) จึงแบ่งเป็นสองส่วนคือส่วนที่สามารถวัดและรับรู้ได้แน่นอน (Systematic Components) และส่วนความไม่แน่นอน (Random Components) ดังสมการ 5.7 และสมการ 5.8

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (5.7)$$

$$U_{jn} = V_{jn} + \varepsilon_{jn} \quad (5.8)$$

โดยที่ $i$	แทนทางเลือกที่สายทางมีสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง
$j$	แทนทางเลือกที่สายทางมีสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง
$U_{in}$	คือ สภาพสายทาง $n$ จะมีสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง
$U_{jn}$	คือ สภาพสายทาง $n$ จะสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง
$V_{in}$	คือ ส่วนของสภาพสายทางที่วัดค่าได้ของฟังก์ชันสภาพสายทางที่มีสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง
$V_{jn}$	คือ ส่วนของสภาพสายทางที่วัดค่าได้ของฟังก์ชันสภาพสายทางที่มีสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง
$\varepsilon_{in}$ และ $\varepsilon_{jn}$	คือ ส่วนของความไม่แน่นอน

สภาพสายทางจะมีผิวทางปกติกี่ต่อเมื่อค่าสภาพสายทางของทางเลือก  $i$  มีค่ามากกว่าค่าสภาพสายทางของทางเลือก  $j$  ซึ่งแสดงได้ดังสมการ 5.9

$$U_{in} \geq U_{jn} \quad (5.9)$$

หรือสามารถเขียนได้ดังสมการ 5.10

$$V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn} \quad (5.10)$$

ส่วนความไม่แน่นอน ( $\varepsilon_{in}$  และ  $\varepsilon_{jn}$ ) ในสมการทำให้ทางเลือกแต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม ดังนั้นจึงต้องใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น (Probability) เพื่อมาอธิบายโอกาสที่จะเลือกทางเลือก  $i$  โดยสามารถแทนได้ดังสมการ 5.11

$$P_n(i) = \Pr(U_{in} \geq U_{jn}) \quad (5.11)$$

โดยที่  $P_n(i)$  คือความน่าจะเป็นในการเลือกทางเลือก  $i$  จะได้ดังสมการ 5.12 และสมการ 5.13

$$P_n(i) = \Pr(V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}) \quad (5.12)$$

$$P_n(i) = \Pr(\varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in} \leq V_{in} - V_{jn}) \quad (5.13)$$

ในการหาค่าความน่าจะเป็นข้างต้น ผู้วิจัยจะต้องทราบว่าส่วนความไม่แน่นอน ( $\varepsilon$ ) นั้นมีการกระจายตัวแบบใด ซึ่งในการศึกษานี้สมมติให้มีการกระจายตัวแบบ Gumble หรือแบบ Extreme Value Type I โดยการกระจายตัวแบบดังกล่าวมีลักษณะการกระจายตัวคล้ายกับการกระจายตัวแบบ

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-(V_{in} - V_{jn})}} \quad (5.14)$$

หรือสามารถเขียนได้ดังสมการ 5.15

$$P_n(i) = \frac{e^{V_n}}{e^{V_{in}} + e^{V_{jn}}} \quad (5.15)$$

และสมการ 5.16

$$P_n(j) = 1 - P_n(i) \quad (5.16)$$

หากพิจารณาถึงฟังก์ชันอรรถประโยชน์ในส่วนที่สามารถวัดและรับรู้ได้แน่นอน จะสามารถแสดงผลต่างของฟังก์ชันอรรถประโยชน์ได้ดังสมการ 5.17

$$V = (V_{in} - V_{jn}) = CONST + \beta_k(I, T) \quad (5.17)$$

โดยที่	$CONST$	คือ สัมประสิทธิ์ค่าคงที่ (Constant)
	$\beta_k$	คือ สัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรที่ $k$ ที่มีต่อระดับความพึงพอใจ
	$I$	คือ กลุ่มของตัวแปรข้อมูลประวัติสายทาง เช่น ปริมาณจราจร อายุบริการ และความหนาแน่นแอสฟัลต์คอนกรีต เป็นต้น
	$T$	คือ กลุ่มของตัวแปรด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรม เช่น ค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าโมดูลัสคืนตัว เป็นต้น

วิธีที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์  $\beta_k$  คือวิธี Maximum Likelihood (ML) ซึ่งมีหลักการในการวิเคราะห์คือ จากการสุ่มตัวอย่างสายทางทั้งหมด  $N$  สายทาง และในกลุ่มสายทางที่สุ่มมาได้นั้น ทำให้ทราบถึงความสอดคล้องระหว่างสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางกับสภาพผิวทางที่เป็นฟิล์มยาง หากกำหนดให้  $A_n$  เป็นการประเมินของสายทางที่  $n$  ว่าสอดคล้องสภาพผิวทางหรือไม่ ดังนั้นโอกาสที่จะสุ่มเลือกสายทางขึ้นมา  $N$  สายทางแล้วพบว่าการประเมินสภาพผิวทางจะสอดคล้องกับสภาพผิวทางนั้นซึ่งสามารถหาค่าได้ดังสมการ 5.18

$$P_1(A_1) * P_2(A_2) * P_3(A_3) * P_4(A_4) * \dots * P_n(A_n) \quad (5.18)$$

โดยจะเรียกผลคูณดังกล่าวว่าค่าของความเป็นไปได้ (Likelihood) และหากกำหนดได้ดังสมการ 5.19

$$y_n = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าสายทางมีสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง} \\ 0 & \text{ถ้าสายทางมีสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง} \end{cases} \quad (5.19)$$

ดังนั้นฟังก์ชันความเป็นไปได้จะมีรูปแบบมาตรฐานดังสมการ 5.20

$$L = \prod_{n=1}^N \prod_{i \in C_n} P_n(i)^{y_{in}} \quad (5.20)$$

แต่อย่างไรก็ดี การหาสัมประสิทธิ์จากฟังก์ชันความน่าจะเป็นโดยตรงจะทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าลอการิทึมของความเป็นไปได้  $L$  ซึ่งจะส่งผลให้ฟังก์ชันที่เดิมมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นผลคูณกลายเป็นฟังก์ชันใหม่ที่มีความสัมพันธ์เป็นผลบวก ดังสมการ 5.21

$$LL = \log(L) = \sum_{n=1}^N \sum_{i \in C_n} y_{in} \log(P_n(i)) \quad (5.21)$$

จากคุณสมบัติของลอการิทึม กลุ่มสัมประสิทธิ์ที่ทำให้ค่าความเป็นไปได้ ( $L$ ) สูงสุดย่อมจะทำให้ลอการิทึมของความเป็นไปได้ ( $LL$ ) มีค่าสูงสุดด้วยเช่นกัน

### 5.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้นสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ การตรวจสอบความน่าเชื่อถือภายใน (Internal Validation) ซึ่งเป็นการตรวจสอบโครงสร้างของแบบจำลองว่าถูกต้องตามทฤษฎีหรือไม่ และการตรวจสอบความน่าเชื่อถือภายนอก (External Validation) ซึ่งเป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้พยากรณ์ได้หรือไม่

- การตรวจสอบความน่าเชื่อถือภายใน (Internal Validation)

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือภายในของแบบจำลองนั้นสามารถดำเนินการได้หลายวิธีดังนี้

- การตรวจสอบเครื่องหมาย (Sign Test)

เครื่องหมายต่างๆ ของสัมประสิทธิ์จะสะท้อนถึงโอกาสที่จะมีทิศทางเป็นฟิล์มยงว่ามีมากขึ้นหรือน้อยลงเพียงใด สัมประสิทธิ์ที่มีเครื่องหมายเป็นบวกแสดงว่าอรรถประโยชน์ที่ได้รับนั้นจะสูงขึ้นตามค่าของตัวแปร ในทางตรงกันข้ามหากสัมประสิทธิ์มีเครื่องหมายเป็นลบแสดงว่าอรรถประโยชน์ที่ได้รับนั้นจะลดลงเมื่อตัวแปรดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น

- การตรวจสอบขนาด (Relative Magnitude)

ต้องมีการตรวจสอบขนาดของสัมประสิทธิ์ว่ามีความสอดคล้องกับความเป็นจริงหรือไม่ซึ่งขนาดของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่มีลักษณะใกล้เคียงกันควรมีค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก

- การตรวจสอบนัยสำคัญของอิทธิพลของตัวแปร (Significant t-Test)

การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ โดยใช้วิธี Maximum Likelihood นั้นจะต้องพิจารณาถึงนัยสำคัญว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้นั้นแตกต่างจากศูนย์เพียงใดในกรณีที่พิจารณาแต่ละตัวแปร ซึ่งในกรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมากจะใช้ค่าสถิติ t (t-statistics) ในการตรวจสอบดังสมการ 5.22

$$t_{N-K} = \frac{\beta_k}{\sqrt{v(\beta_k)}} \quad (5.22)$$

โดย	$t_{N-K}$	คือ ค่าสถิติ t มีค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom) = N - K
	$\beta_k$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ k ซึ่งประมาณค่าได้ด้วยวิธี Maximum Likelihood
	$v$	คือ ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ k
	$N$	คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์
	$K$	คือ จำนวนสัมประสิทธิ์ทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลอง

จากคุณสมบัติของค่าสถิติ t สามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีค่าสถิติ t สูงกว่า 1.96 มีอิทธิพลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญด้วยระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในงานวิจัยนี้จะใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90 ดังนั้นหากตัวแปรใดมีค่าสถิติ t สูงกว่า 1.645 จะแสดงว่าตัวแปรดังกล่าวมีอิทธิพลต่อแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ



- การตรวจสอบระดับของความสอดคล้อง (Goodness-of-fit)

ระดับความสอดคล้องของแบบจำลองที่ใช้อธิบายพฤติกรรมของผู้บริโภคที่สามารถวัดได้โดยใช้ดัชนีวัดความสอดคล้อง (Likelihood Ratio Index) ดังสมการ 5.23

$$\rho^2 = 1 - \frac{LL(\beta)}{LL(0)} \quad (5.23)$$

โดย  $\rho^2$  คือ ดัชนีวัดความสอดคล้อง

$LL(\beta)$  คือ ลอการิทึมของฟังก์ชันความเป็นไปได้ที่ได้จากการประมาณค่าสัมประสิทธิ์

$LL(0)$  คือ ลอการิทึมของฟังก์ชันความเป็นไปได้ในกรณีที่มีสัมประสิทธิ์ทุกตัวมีค่าเท่ากับศูนย์

แต่อย่างไรก็ดีค่า  $\rho^2$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวแปรเข้าไปในแบบจำลองมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถปรับแก้ผลดังกล่าวโดยใช้ค่า Corrected  $\rho^2$  หรือแทนด้วยสัญลักษณ์  $\bar{\rho}^2$  ดังสมการ 5.24

$$\bar{\rho}^2 = 1 - \frac{LL(\beta) - k}{LL(0)} \quad (5.24)$$

โดย  $k$  คือ จำนวนของตัวแปรที่อยู่ในสมการของแบบจำลอง

จากการพิจารณาดัชนีวัดความสอดคล้องของแบบจำลอง พบว่าจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งจะสังเกตได้ว่ามีลักษณะคล้ายกับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  $R^2$  ที่นิยมใช้วัดความสามารถในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของสมการถดถอย (Regression Equation) โดยหากดัชนีวัดความสอดคล้องมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถอธิบายสภาพผิวทางได้ถูกต้องในทางกลับกัน ถ้าดัชนีวัดความสอดคล้องมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าแบบจำลองดังกล่าวไม่สามารถอธิบายสภาพผิวทางได้

- การตรวจสอบนัยสำคัญของความแตกต่างของรูปแบบ

การนำแบบจำลองสองแบบจำลองที่มีลักษณะ โครงสร้างคล้ายกันทุกประการมาตรวจสอบค่านัยสำคัญของความแตกต่างเพื่อประเมินว่าสามารถปฏิเสธข้อจำกัดที่ต่างกันนั้นสามารถทำได้โดยพิจารณาจากค่าลอการิทึมของฟังก์ชันความเป็นไปได้ของแบบจำลองทั้งสองดังสมการ 5.25

$$-2[LL(\beta_R) - LL(\beta_U)] \quad (5.25)$$

โดย  $LL(\beta_R)$  คือ ค่าลอการิทึมของฟังก์ชันความเป็นไปได้ ที่เป็นผลจากการประมาณค่ากลุ่มสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองซึ่งมีจำนวนข้อจำกัดมากกว่า (Restricted Model)

$LL(\beta_U)$  คือ ค่าลอการิทึมของฟังก์ชันความเป็นไปได้ ที่เป็นผลจากการประมาณค่ากลุ่มสัมประสิทธิ์ในแบบจำลองซึ่งมีจำนวนข้อจำกัดน้อยกว่า (Unrestricted Model)

ค่าสถิติที่ได้จากสมการ 5.25 จะมีการกระจายตัวแบบไคสแควร์ โดยมีองศาอิสระ (Degree of Freedom) เท่ากับ  $K_U - K_R$  โดยที่  $K_U$  คือจำนวนสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในแบบจำลองที่มีจำนวนข้อจำกัดน้อยกว่า และ  $K_R$  คือจำนวนสัมประสิทธิ์ที่อยู่ในแบบจำลองที่มีจำนวนข้อจำกัดมากกว่า

$$\text{ในกรณีที่} \quad -2[LL(\beta_R) - LL(\beta_U)] > \chi^2_{K_U - K_R, \alpha/2} \quad (5.26)$$

โดย  $\chi^2_{K_U - K_R, \alpha/2}$  คือ ค่าไคสแควร์วิกฤติ (Critical Value) ที่องศาอิสระเท่ากับที่ระดับความเชื่อมั่น  $(1 - \alpha)$  จะสามารถปฏิเสธข้อจำกัดที่ต่างกัน ด้วยระดับความเชื่อมั่น  $(1 - \alpha)$

- การตรวจสอบความน่าเชื่อถือภายนอก (External Validation)

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือภายนอกเป็นการประเมินความถูกต้องและความแม่นยำในการพยากรณ์สภาพผิวทางที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ในการตรวจสอบภายนอกนั้นจะกระทำใน 2 ลักษณะ ซึ่งวิธีแรกจะทำการเปรียบเทียบผลการทำนายอัตราการเลือกทางเลือกต่างๆ จากแบบจำลอง ทั้งนี้ผลการทำนายอัตราการเลือกจะมีค่าเท่ากับ

$$\text{Estimated Share} = \sum_{n=1}^N P_n(M) \quad (5.27)$$

โดย  $P_n(M)$  คือ ความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างที่  $n$  จะเลือกทางเลือกต่างๆ

$N$  คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

อย่างไรก็ดี การเปรียบเทียบผลทำนายกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงนั้นจะแสดงอยู่ในรูปของสัดส่วนระหว่างอัตราการเลือกทางเลือกต่างๆ ตามที่ทำนายได้กับอัตราการเลือกทางเลือกต่างๆ ที่สำรวจได้ สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องและแม่นยำในอีกวิธีนั้นจะเป็นการประเมินอัตราพยากรณ์ได้อย่างถูกต้อง (Percent Correctly Estimated) โดยจะถือว่าผลการทำนายมีความถูกต้องและแม่นยำก็ต่อเมื่อ ผลการทำนายแสดงถึงความน่าจะเป็นที่สภาพพิวทางที่เลือกจะเป็นจริง มีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของทางเลือกอื่น ในกรณีที่เป็นแบบจำลองทวินามจะกำหนดให้

$$W_n = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าพบว่าสายทางที่ } n \text{ เลือกทางเลือก } i \text{ หรือ } P_n(i) > 0.5 \\ 0 & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases}$$

อัตราการพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องสามารถคำนวณได้ดังสมการ 5.28

$$\% \text{ Correct} = \frac{\sum_{n=1}^N W_n}{N} \quad (5.28)$$

โดย  $N$  คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

- ผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect)

สำหรับการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็น (Rate of Change of Probability) หรือผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect) นั้นสามารถหาได้โดยการหาอนุพันธ์ดังสมการ 5.29

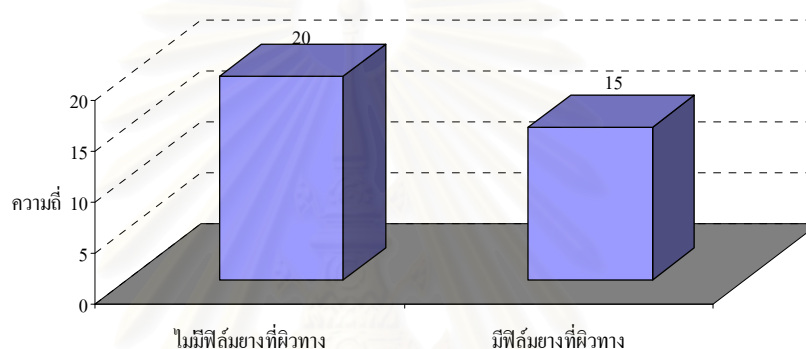
$$\frac{dP_i}{dx_{ij}} = \beta_j P_i (1 - P_i) \quad (5.29)$$

โดยที่  $i \neq j$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่าผลกระทบส่วนเพิ่มนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับ  $\beta_j$  แต่เพียงอย่างเดียวแต่ยังขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นด้วย ดังนั้นผลกระทบส่วนเพิ่มจากการที่  $x$  เปลี่ยนไป 1 หน่วยจะทำให้ผลกระทบส่วนเพิ่มที่คำนวณได้ของแต่ละตัวแปรไม่เท่ากัน

### 5.2.3 การคัดเลือกแบบจำลอง

จากการสำรวจความเสียหายของสภาพผิวทางชนิดต่าง ๆ นั้น ได้แบ่งการบันทึกข้อมูลเป็น 4 ระดับได้แก่ ผิวทางไม่มีความเสียหาย (0) ผิวทางมีความเสียหายเล็กน้อย (1) ผิวทางมีความเสียหายปานกลาง (2) และผิวทางมีความเสียหายรุนแรง (3) แต่เนื่องจากจำนวนข้อมูลมีน้อย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการแปลงข้อมูลให้เหลือเพียง ผิวทางไม่มีความเสียหาย (0) และผิวทางมีความเสียหาย (1) ส่วนความเสียหายแบบฟิล์มยางที่ผิวทางได้ทำความถี่ของสภาพผิวทางที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางและสภาพผิวทางที่มีฟิล์มยางที่ผิวทางดังแสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ความถี่ของสภาพผิวทางที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางและสภาพผิวทางที่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง

ในการคัดเลือกแบบจำลองที่ใช้ในการทำนายถึงสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางกับสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางนั้นผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มคือ ตัวแปรจากข้อมูลประวัติสายทางและตัวแปรจากข้อมูลการทดสอบ ซึ่งตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในแบบจำลองนี้ใช้ตัวแปรเหมือนกับแบบจำลองความสัมพันธ์ของความถี่ร่องล้อเฉลี่ย ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 5.2 และตารางที่ 5.3 และได้กำหนดให้ตัวแปรทั้งหมดเป็นตัวแปรเฉพาะ (Specific Variables) ในทางเลือกที่สภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง

ในการพิจารณาสร้างแบบจำลองนั้น ผู้วิจัยได้คัดเลือกแบบจำลองจากกลุ่มตัวแปรแต่ละกลุ่ม จากนั้นจึงได้นำตัวแปรทั้ง 2 กลุ่มไปวิเคราะห์ประกอบกัน ดังแสดงในตารางที่ 5.6 โดยผู้วิจัยได้แสดงแบบจำลองที่ดีที่สุดของทั้ง 2 กลุ่ม ตามหลักการต่างๆที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อ 5.2.2 อาทิเช่น ค่าสถิติ  $t$  ของสัมประสิทธิ์ของตัวแปร ค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง การตรวจสอบนัยสำคัญของแบบจำลอง และอัตราการพยากรณ์ได้อย่างถูกต้อง เป็นต้น

โดยในแบบจำลอง I จะเป็นการพิจารณาเฉพาะตัวแปรประวัติสายทางของถนนลาดยาง ส่วนแบบจำลอง T จะเป็นการพิจารณาเฉพาะตัวแปรผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม และแบบจำลอง BL จะเป็นการพิจารณาตัวแปรทั้งหมดพร้อมกันในแบบจำลอง

ตารางที่ 5.6 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5
ADT	0.05 (0.87)						
HEVY_VEH	0.17 (0.88)		0.72 (1.88)	0.97 (2.18)	1.29 (2.01)	0.79 (2.21)	1.47 (2.11)
THICK_AC	-1.43 (1.43)		-0.31 (1.32)	-0.29 (1.55)			
SER_AGE	-0.13 (1.00)		-0.01 (0.07)				
SUR_AGE	0.19 (1.31)						
BULK		27.22 (1.97)	19.78 (1.72)		9.27 (0.82)	18.84 (1.85)	
ST		0.31 (0.30)					
FL		-0.56 (2.16)	-0.12 (0.66)	-0.07 (0.53)			
M50		-4.65 (1.90)	-6.15 (2.06)	-6.82 (2.36)	-0.46 (1.48)	-4.21 (2.30)	-5.29 (1.56)
PD		2.81 (1.84)			2.74 (1.98)		3.05 (2.28)
PA		0.15 (0.22)					
CONST	0.13 (0.08)	-59.16 (2.05)	-39.73 (1.51)	6.87 (1.75)	-27.31 (0.99)	-44.77 (1.80)	-5.14 (1.72)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90
LL ( $\beta$ )	-18.39	-11.18	-9.93	-11.04	-8.39	-12.02	-8.75
$\rho^2$	0.29	0.54	0.59	0.51	0.60	0.50	0.59
Corrected $\rho^2$	0.01	0.25	0.30	0.30	0.45	0.34	0.47
% Correct	62.86	85.71	88.57	80.00	94.29	88.57	88.57

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

เมื่อพิจารณาตารางที่ 5.6 จะเห็นได้ว่า มีเพียงแบบจำลอง BL3 และ BL5 ที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องแบบปรับแก้ (Corrected  $\rho^2$ ) มากกว่า 0.4 แต่อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาถึงค่าสถิติ t พบว่า ตัวแปร CONST และตัวแปร BULK ในแบบจำลอง BL3 นั้นมีค่าต่ำ ประกอบกับแบบจำลอง BL5 มีค่าดัชนีความสอดคล้องแบบปรับแก้ที่สูงกว่า และค่าสถิติ t ของตัวแปร M50 ที่สูงกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแบบจำลอง BL5 ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางกับสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง ถึงแม้ว่าอัตราการพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องของแบบจำลอง BL3 จะสูงกว่าแบบจำลอง BL5

แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกมาคือแบบจำลอง BL5 ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังสมการ 5.30

$$V_i - V_j = -5.14 + 1.47(HEVY\_VEH) - 5.29(M50) + 3.05(PD) \quad (5.30)$$

โดย  $V_i$  คือ ฟังก์ชันอรรถประโยชน์แสดงสภาพผิวทางปกติ  
 $V_j$  คือ ฟังก์ชันอรรถประโยชน์แสดงสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง

ตัวแปรในสมการ 5.6 เป็นช่วงที่มีค่าดังต่อไปนี้

- ปริมาณรถบรรทุก (HEVY\_VEH  $\times$  1,000) มีค่าอยู่ในช่วง 183 ถึง 9,568 คันต่อวัน
- ค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส (M50  $\times$  1,000) มีค่าอยู่ในช่วง 321 ถึง 1,830 เมกกะปาสคาล
- ค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบ (PD) มีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 4.1

และได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect) ของแบบจำลอง BL5 เพื่อทำการเปรียบเทียบตัวแปรอิสระทั้งหมดที่ใช้ในแบบจำลอง โดยจะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรตามตัวใดมีผลกระทบต่อตัวแปรตามมากกว่ากัน และได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ผลกระทบส่วนเพิ่มของแบบจำลอง BL5

ตัวแปร	dy/dx	Std.Err	z	P> z	ค่าเฉลี่ย
HEVY_VEH	0.344	0.144	2.39	0.017	1.750
M50	-1.242	0.716	1.73	0.083	0.503
PD	0.716	0.310	2.31	0.021	0.706

จากตารางที่ 5.7 เมื่อพิจารณาค่าผลกระทบส่วนเพิ่ม (dy/dx) ของตัวแปรอิสระทั้งหมดพบว่า ตัวแปรที่มีผลกระทบกับความน่าจะเป็นที่สภาพผิวทางจะเกิดฟิล์มยางที่ผิวทางเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยได้แก่ ตัวแปร M50 ตัวแปร PD และตัวแปร HEVY\_VEH ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่ละตัวพบว่า ตัวแปร HEVY\_VEH มีค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเท่ากับ 0.344 หมายความว่า เมื่อค่าเฉลี่ยของปริมาณรถบรรทุกเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1 จะทำให้ความน่าจะเป็นที่สภาพผิวทางจะเกิดฟิล์มยางที่ผิวทางเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 0.344 ในทำนองเดียวกันตัวแปร PD มีค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเท่ากับ 0.719 หมายความว่า เมื่อค่าเฉลี่ยของการขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1 จะทำให้ความน่าจะเป็นที่สภาพผิวทางจะเกิดฟิล์มยางที่ผิวทางเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 0.719 ในขณะที่ตัวแปร M50 มีค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเท่ากับ 1.242 หมายความว่า เมื่อค่าเฉลี่ยของการขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 1 จะทำให้ความน่าจะเป็นที่สภาพผิวทางจะเกิดฟิล์มยางที่ผิวทางลดลงเท่ากับร้อยละ 1.242

### 5.2.3 การวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง

แบบจำลองที่คัดเลือกมาคือแบบจำลอง BL5 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบจำลองจะพบว่า ตัวแปรส่วนใหญ่ในแบบจำลองนี้ผ่านค่าทดสอบสถิติ t ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ยกเว้นตัวแปร CONST และตัวแปร M50 ผ่านค่าทดสอบสถิติ t ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 และค่าทดสอบสถิติ t ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 85 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.588 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของแบบจำลองที่จะอธิบายอิทธิพลต่างๆที่เกิดขึ้นจริง อีกทั้งยังสามารถพยากรณ์ได้ถูกต้องถึงร้อยละ 88.6

จากสมการ 5.30 จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายประเภทที่มีอิทธิพลให้สภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางได้แก่ จำนวนรถบรรทุก (HEVY\_VEH) ค่าโมดูลัสคืนตัวของ 50 องศาเซลเซียส (M50) ค่าการขูดตัวเฉลี่ยต่อรอบ (PD)

เมื่อพิจารณาตัวแปรที่ละตัวจะพบว่า ตัวแปร HEVY\_VEH มีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นบวก จึงแสดงได้ว่า การที่มีปริมาณรถบรรทุกมากขึ้นจะส่งผลทำให้สภาพผิวทางมีแนวโน้มที่จะเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางมากขึ้นตามไปด้วย และตัวแปร PD มีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นบวก จึงอธิบายได้ว่าเมื่อค่าการขูดเฉลี่ยต่อรอบมากขึ้นจะส่งผลทำให้สภาพผิวทางมีแนวโน้มที่จะเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางมากขึ้น ในขณะที่ตัวแปร M50 มีเครื่องหมายหน้าสัมประสิทธิ์เป็นลบ จึงแสดงให้เห็นว่า ค่าโมดูลัสคืนตัวของ 50 องศาเซลเซียส มากขึ้นจะส่งผลทำให้สภาพผิวทางมีแนวโน้มที่จะเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางลดลง

ส่วนการคาดการณ์สภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางที่มีความเสียหายอื่นๆ อาทิเช่น รอยแตกตามยาว รอยแตกตามขวาง ผิวทางหลุดล่อน หลุมบ่อ เป็นต้น ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองและพบว่า ค่าดัชนีความสอดคล้องแบบปรับแก้และค่าสถิติ  $t$  มีค่าต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความสามารถในการอธิบายสภาพผิวทางได้น้อยและตัวแปรมีระดับนัยสำคัญต่ำ ดังนั้นในบทที่ 5 นี้ผู้วิจัยจึงไม่ได้นำแบบจำลองที่เหลื้อมาแสดง แต่ได้แสดงผลการสร้างแบบจำลองไว้ในภาคผนวก ซ.

### 5.3 สรุป

โดยสรุปแล้วเนื้อหาในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงทฤษฎีของแบบจำลอง การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ผลการคัดเลือกแบบจำลอง ตลอดจนการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง โดยการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ของความถี่ร่องล้อเฉลี่ยพบว่าตัวแปร PD เป็นตัวแปรที่อิทธิพลกับความถี่ร่องล้อเฉลี่ยมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับเรื่องการทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Dynamic Creep Test และเป็นวิธีการทดสอบที่จำลองสภาพการเกิดการยุบตัวที่เกิดขึ้นในสนาม จากผลดังกล่าวในประเทศไทยจึงน่าจะค่ายุบตัวเฉลี่ยต่อรอบการทดสอบไปเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการทดสอบในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมีความสามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างถาวรหรือร่องล้อได้ดีขึ้น ตัวแปร HEVY\_VEH เป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับความถี่ร่องล้อเฉลี่ย ซึ่งสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงและงานศึกษาของ Odermatt และคณะ (1999) และ Tjan และ Adrian (2003) ที่พบว่า น้ำหนักที่กระทำและจำนวนรอบการกระทำซ้ำเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความถี่ร่องล้อเฉลี่ย ตัวแปร SUR\_AGE เป็นตัวแปรที่มีระดับนัยสำคัญกับความเสียหายแบบร่องล้อเฉลี่ย ซึ่งสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงเนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อผ่านการใช้งานมาระยะหนึ่งก็จะเริ่มเกิดความเสียหายขึ้นแก่ผิวทาง และตัวแปร M50 เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีนัยสำคัญกับความถี่ร่องล้อเฉลี่ย ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ ชัยชนันว์ พรหมสร และคณะ (2541) ที่พบว่าค่าโมดูลัสคืนตัวสามารถนำไปคำนวณหาค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น

จากแบบจำลองทวินามเพื่อคาดการณ์สภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางพบว่าตัวแปร M50 เป็นตัวแปรที่อิทธิพลกับความน่าจะเป็นที่สภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทางมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับ Nomograph (Huang, 1993) และผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวในหัวข้อ 4.3 ที่แสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสคืนตัวจะลดลงเมื่อปริมาณยางแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นและค่าโมดูลัสของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางมีค่าน้อยกว่าก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากพื้นที่ปกติ และตัวแปร PD เป็นตัวแปรที่มี



การวิเคราะห์ผลในบทที่ 5 ดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจะช่วยทำให้ทราบถึงปัจจัยหลายประการที่มีอิทธิพลต่อความเสียหายแบบร่องล้อและความเสียหายแบบฟิล์มยางที่ผิวทาง ส่วนเนื้อหาในบทถัดไปจะกล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย และข้อเสนอแนะที่เป็นแนวทางในงานวิจัยในอนาคต



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษา

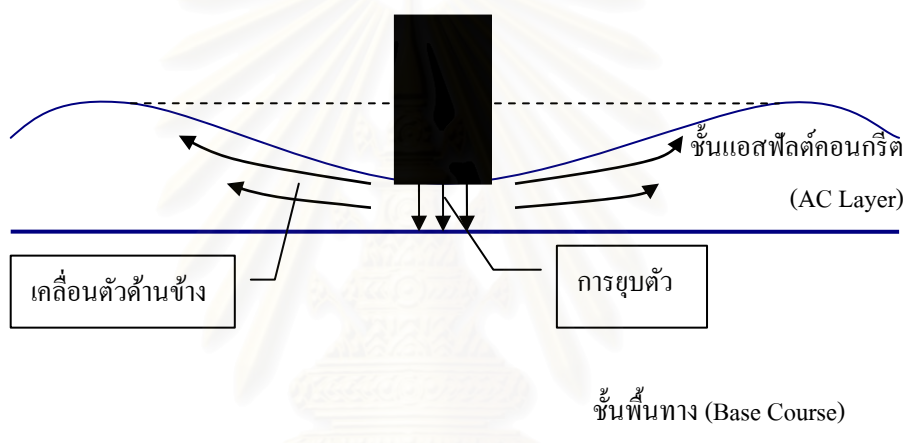
#### 6.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเสียหายแบบร่องล้อกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตและประวัติสายทาง โดยได้ดำเนินการทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตของถนนลาดยางจำนวน 38 แห่งจากถนนลาดยางจำนวน 61 แห่งที่ได้ทำการเจาะเก็บก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบมาร์แชลล์ การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม และการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์จากก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อศึกษาเกี่ยวกับความเสียหายแบบฟิล์มยางที่ผิวทางเพิ่มเติม

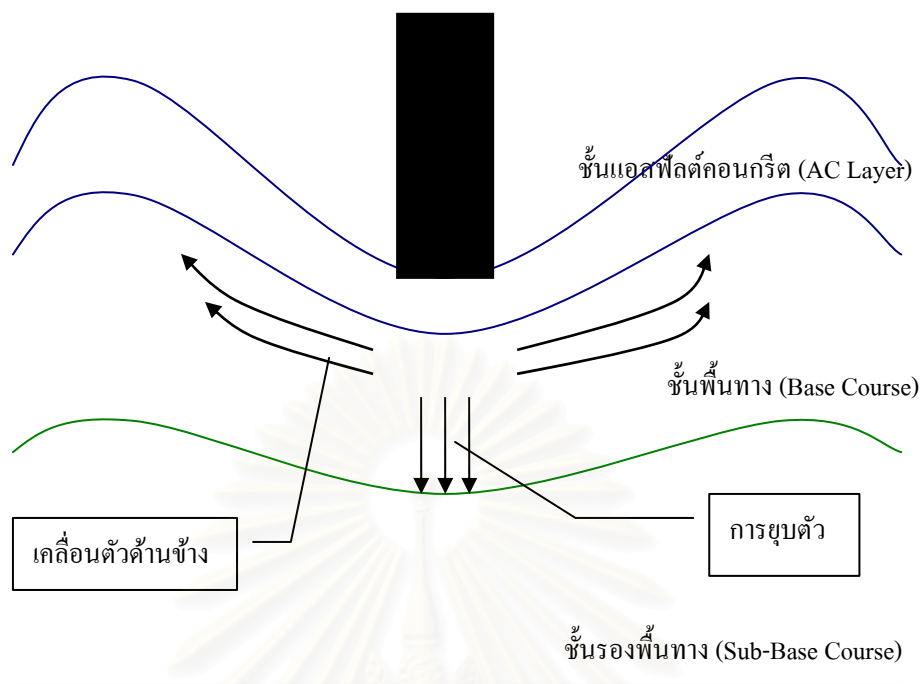
จากการศึกษาผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถสรุปข้อประเด็นสำคัญได้ดังต่อไปนี้

1. จากการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการที่ได้จากการพยากรณ์กับความสึกกร่อนล้อที่เกิดขึ้นจริงในภาคสนาม พบว่าค่าการยุบตัวของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบความสึกกร่อนล้อเฉลี่ยที่วัดได้ ดังนั้นการยุบตัวที่เกิดขึ้นกับชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นเพียงองค์ประกอบของกระบวนการเกิดความเสียหายแบบร่องล้อของถนนในประเทศไทย โดยองค์ประกอบอื่นที่สามารถก่อให้เกิดของความเสียหายแบบร่องล้อได้แก่
  - เกิดจากวัสดุชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง (Flow) ดังแสดงในภาพที่ 6.1 ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากส่วนผสมของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตมีความแข็งแรงไม่เพียงพอ (สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง, 2550)
  - เกิดจากวัสดุชั้นพื้นทางและ/หรือชั้นรองพื้นทางเกิดการยุบตัวและ/หรือเกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้างและแนวตั้ง ดังแสดงในภาพที่ 6.2 ซึ่งน่าจะมีสาเหตุมาจากการบดอัดวัสดุชั้นพื้นทางไม่แน่นพอและ/หรือความแข็งแรงของวัสดุชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นทางไม่เพียงพอ (สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง, 2550 และ Austroads, 1987)

2. จากการตรวจสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เกาะเก็บจากบริเวณฟิล์มยางส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากมีปริมาณยางแอสฟัลต์มากกว่าบริเวณที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง โดยการมีปริมาณยางแอสฟัลต์มากกว่าปกติจะส่งผลทำให้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเสถียรภาพ และค่าโมดูลัสคืนตัวน้อยกว่าบริเวณพื้นที่ปกติ (Huang, 1993) และมีค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบมากกว่าบริเวณพื้นที่ปกติ ซึ่งน่าจะเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบของกระบวนการเกิดความเสียหายแบบร่องล้อ และผลดังกล่าวสอดคล้องกับการสำรวจสภาพถนนลาดยางที่พบว่า 2 ใน 3 ของถนนลาดยางที่มีฟิล์มยางที่ผิวทางมักพบร่องล้อร่วมกัน (ฉันทิน สวัสดิ์ศานต์ และคณะ, 2551) และงานศึกษาของ (Tjan และ Adrian, 2003) ที่พบว่าปริมาณยางแอสฟัลต์เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบกับค่าการยุบตัวในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 6.1 ร่องล้อที่เกิดจากชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดเคลื่อนตัวด้านข้าง



ภาพที่ 6.2 ร่องล้อที่เกิดจากวัสดุชั้นพื้นทางและ/หรือชั้นรองพื้นทางเกิดการยุบตัวและ/หรือเกิดการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง

การศึกษาการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเสียหายแบบร่องล้อกับประวัติทางหลวงที่ได้จากการสำรวจและค่าที่ได้จากทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้แบบจำลองความถดถอยในการวิเคราะห์ข้อมูล จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความลึกร่องล้อเฉลี่ยดังสมการ 6.1

$$\text{Average Rut Depth} = 0.35 + 0.02 \left( \frac{\text{HEVY\_VEH} \times \text{SUR\_AGE}}{1,000} \right) - 0.22(\text{M50}) + 0.40(\text{PD}) \quad (6.1)$$

- ความลึกร่องล้อเฉลี่ย (Average Rut Depth: เซนติเมตร)
- ปริมาณรถบรรทุก (HEVY\_VEH: 1,000 คันต่อวัน)
- อายุบริการ (SUR\_AGE: ปี)
- ค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียส (M50: เมกกะปาสกาล)
- ค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบการทดสอบ (PD:  $\mu\epsilon$  ต่อรอบการทดสอบ)

และตัวแปรที่ได้จากแบบจำลองมีความเหมาะสม แต่อย่างไรก็ดีการวิเคราะห์ตัวแปรเหล่านี้จะต้องนำปัจจัยอื่นๆ เช่น ค่าโมดูลัสคืนตัวของชั้นพื้นทาง มาประกอบในการวิเคราะห์ด้วย เพราะจะทำให้เกิดความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งการคัดเลือกแบบจำลอง RUT4 ดังที่ได้กล่าวมาในบทที่ 5 มีความเหมาะสมมากที่สุดเนื่องจากมีค่าปรับแก้สัมประสิทธิ์เชิงพหุเท่ากับ 0.74 ฉะนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรใช้ค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบการทดสอบที่ได้จากการทดสอบ Dynamic Creep Test มาใช้ในการหาความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างถาวรหรือร่องล้อของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในการใช้งานจริง เนื่องจากผลการทดสอบ Dynamic Creep Test สามารถนำไปพยากรณ์การยุบตัวของชั้นแอสฟัลต์ได้ และมีรูปแบบการทดสอบที่ไม่ซับซ้อน อีกทั้งยังเป็นรูปแบบการทดสอบที่ต่างประเทศนิยมใช้ทดสอบหาความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรและง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อพิจารณาถึงความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตจะเห็นได้ว่า ตัวแปรปริมาณรถบรรทุกนั้นเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลกับแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ Odermatt และคณะ (1999) และ Tjan และ Adrian (2003) ที่พบว่าน้ำหนักที่กระทำและจำนวนรอบการกระทำซ้ำเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความลึกร่องล้อ ส่วนตัวแปรค่าโมดูลัสคืนตัวที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลกับแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ ชัยธวัช และคณะ (2541) ที่พบว่าค่าโมดูลัสคืนตัวสามารถนำไปคำนวณหาค่าการยุบตัวที่เกิดขึ้นได้เพียงระดับหนึ่ง และค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบการทดสอบเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลกับแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับเรื่องการทบทวนผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบหาความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Dynamic Creep Test (Kandhal และ Mallick, 1999, Odermatt และคณะ, 1999, Tjan และ Adrian, 2003 และ Isa และคณะ, 2005) เนื่องจากค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบการทดสอบเป็นผลการทดสอบของวิธีการทดสอบหาความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างถาวรหรือร่องล้อ

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษานี้ ทำให้สามารถสรุปแนวคิดเพื่อการศึกษาหาสาเหตุการเกิดร่องล้อในประเทศไทยในอนาคตได้ดังนี้

### 6.2.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1. จากการหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความลึกร่องล้อเฉลี่ยกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมและคุณลักษณะอื่นๆ และผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าวิธีการทดสอบ Dynamic Creep Test มีความเหมาะสมที่จะนำ

2. จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณรถบรรทุกเป็นปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างทาง ดั้งนั้นในการตรวจตราหน้าหนักบรรทุกจึงควรตรวจสอบด้วยความเข้มงวดและสม่ำเสมอ
3. จากการสังเกตพบว่า ถนนที่ทำการสำรวจบริเวณที่มีฟิล์มยางที่ผิวทางมักจะพบร่องล้อด้วย และจากการตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของบริเวณฟิล์มยางที่ผิวทางมีค่าเสถียรภาพค่าโมดูลัสคืนตัวต่ำ และค่าการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบสูง ซึ่งปริมาณยางแอสฟัลต์ที่มากกว่าปกติอาจเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้เกิดความเสียหายแบบร่องล้อ ดังนั้นในการตรวจสอบปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดความเสียหายแบบฟิล์มยางที่ผิวทางจะต้องมีการตรวจสอบให้ถูกต้องและสม่ำเสมอ ซึ่งเริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบส่วนผสมรวมถึงกระบวนการผลิตแอสฟัลต์คอนกรีตและการปูผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

#### 6.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1. ควรทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในสายทางอื่นเพิ่มเติม เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบและการวิเคราะห์ทางสถิติมีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น
2. งานวิจัยในอนาคตควรเจาะเก็บก่อนตัวอย่างจากชั้นพื้นทาง (Base Course) เพื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมและตรวจสอบการเกิดความเสียหายที่เกิดจากการยุบตัวอย่างถาวร เพื่อนำข้อมูลไปสรุปถึงสาเหตุและวิธีการแก้ไขของความเสียหายแบบร่องล้อต่อไป

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กัลยา วานิชบัญญัติ. 2550. สถิติสำหรับงานวิจัย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยรัตน์ พรหมสร และคณะ. 2541. การวิเคราะห์หาคณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของวัสดุงานทางโดยวิธี INDIRECT TENSILE TEST เพื่อใช้ออกแบบโครงสร้างถนนเชิงวิเคราะห์ รายงานฉบับที่ วพ. 167 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ชัยรัตน์ พรหมสร และคณะ. 2546. คุณสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมและค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย รายงานฉบับที่ วพ. 204 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ชัยรัตน์ พรหมสร และคณะ. 2546. การประเมินคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทยโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ รายงานฉบับที่ วพ. 205 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ธันวิน สวัสดิ์สานต์ และคณะ. 2551. การสำรวจสภาพความเสียหายและสาเหตุของความเสียหายหลักของถนนลาดยางในประเทศไทย รายงานฉบับที่ วพ. 261 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทางหลวง, กรม. 2545. Pavement Technology Project Final Report. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทางหลวง, กรม 2544. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบ้านโป่ง – ปากท่อ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทางหลวง, กรม 2547. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายบางปะอิน – นครราชสีมา.  
กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทางหลวง, กรม 2548. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายสระบุรี – บางปะกง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทางหลวง, กรม 2548. การศึกษาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจ วิศวกรรม และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของโครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง สายสายหาดใหญ่ – ชายแดนมาเลเซีย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

ทางหลวง, กรม. 2550. ระยะทางในความรับผิดชอบ[ออนไลน์].

แหล่งที่มา: [http://www.doh.go.th/dohweb/data/data\\_4.html](http://www.doh.go.th/dohweb/data/data_4.html) [12/12/51].

ทางหลวง, กรม. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. 2517. มาตรฐานวิธีการทดลอง (ทล.-ท.).

กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย

ทางหลวง, กรม. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ. 2532. มาตรฐานงานทาง (ทล.-ม.). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย

ทางหลวง, กรม. สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง. 2550. คู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย

วัชรินทร์ วิทยากุล. 2549. เทคโนโลยีถนนยางมะตอย. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

## ภาษาอังกฤษ

American Association of Highway and Transportation Offices. 2005. AASHTO T 166, Bulk Specific Gravity of Compacted Hot-Mix Asphalt Using Surface-Dry Specimens. Method of Sampling and Testing. Washington, D.C.: Pine Instrument Co.



- American Society for Testing and Material. 1995. ASTM D4123, Standard Test Method for Indirect Tension for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- American Society for Testing and Material. 2004. ASTM D6307, Standard Test Method for Asphalt Content of Hot-Mix Asphalt by Ignition Method. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia: ASTM International.
- Austrroads. 1987. A Guide to the Visual Assessment of Pavement Condition. Sydney: Austrroads Incorporated Level 9.
- Australian Standard. 1995. AS 2891.12.1, Determination of The Permanent Compressive Strain Characteristics of Asphalt-Dynamic Creep Test. Methods of Sampling and Testing Asphalt. Sydney: Austrroads Incorporated Level 9.
- British Standard Institution. 1993. British DD 213, Determination of The Indirect Tensile Stiffness Modulus of Bituminous Mixtures. Draft for Development. London: British Standards Institution.
- Dauzats, M., and Rampal, A. 1987. Mechanism of Surface Cracking in Wearing Courses. Proceedings of the 6th International Conference on Asphalt Pavements. 2 (1987): 232-247.
- Gerritsen, A.H., et al. 1987. Prediction and Prevention of Surface Cracking in Asphaltic Pavements. Proceedings of the 6th International Conference on Asphalt Pavements 2 : 378-391.
- Huang, Y.H., 1993. Pavement Analysis and Design. New Jersey, US: Prentice Hall.
- Hugo, F., and Kennedy, T.W. 1985. Surface Cracking of Asphalt Mixtures in Southern Africa. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists 54 : 454-501.

- Isa, A.H.M., Ma'some, D.M., and Hwa, L.T. 2005. Pavement Performance Model for Federal Roads. Proceedings of the Asia Society for Transportation Studies 5 : 428-440.
- Kandhal, P.S., and Mallick, R.B. 1999. Evaluation of Asphalt Pavement Analyzer for HMA Mix Design. National Center for Asphalt Technology Report No. 99-4[online]. Available from: [www.nmshtd.state.mn.us/upload/images/State\\_Material\\_Bureau/HMA-Asphalt/T-166.pdf](http://www.nmshtd.state.mn.us/upload/images/State_Material_Bureau/HMA-Asphalt/T-166.pdf) [28/7/51].
- Matsuno, S., and Nishizawa, T. 1992. Mechanism of Longitudinal Surface Cracking in Asphalt Pavement. Proceedings of the 7th International Conference on Asphalt Pavements Nottingham 7 : 277-291.
- Myers, L.A., Roque, R., and Ruth, B.E. 1998. Mechanisms of Surface-Initiated Longitudinal Wheel Path Cracks in High-Type Bituminous Pavements. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists 67 : 401-432.
- National Cooperative Highway Research Program. 2002. Simple Performance Test for Superpave Mix Design[online]. Available from: [www.trb.org/publications/nchrp/nchrp\\_rpt\\_465.pdf](http://www.trb.org/publications/nchrp/nchrp_rpt_465.pdf) [28/7/51].
- Niederquell, M.G., Baladi, G.Y., and Chatti, K. 2001. Rubblization of Concrete Pavements: Field Investigation. In Transportation Research Record 1730 : 150-160.
- Odermatt, N., Janoo, V., and Magnusson, R. 1999. Analysis of Permanent Deformation in Subgrade Material Using a Heavy Vehicle Simulator[online]. Available from: [www.mrr.dot.state.mn.us/research/apt/data/cs11-05.pdf](http://www.mrr.dot.state.mn.us/research/apt/data/cs11-05.pdf) [30/7/51].
- Roberts, et al. 1996. Hot Mix Asphalt Materials Mixture Design and Construction. Maryland: NAPA Education Foundation Lanham.

Svasdisant, T., and Baladi, M.G. 2002. Identify Causes for Under Performing Rubblized Concrete Pavement Projects Phase II. Research Report RC-1416. Michigan: Michigan Department of Transportation.

Tjan, A., and Adrian, D. 2003. Analysis of Creep Properties of Bituminous Mixture with constant Rate of Load Increment Method. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies 4 : 450-460.

Wambura, J.H.G., Maina, J., and Smith, H.R. 1999. Kenya Bituminous Materials Study. In Transportation Research Record 1681 : 129-137.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

รายละเอียดข้อมูลของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำมาทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สัญลักษณ์

### ชั้นโครงสร้างทาง

AC หมายถึง แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete)

CR หมายถึง หินคลุก (Crushed Rock)

CCR หมายถึง หินคลุกปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock)

SA หมายถึง ลูกรัง (Soil Aggregate)

### ลักษณะความเสียหาย

LC หมายถึง รอยแตกตามยาว (Longitudinal/Alligator crack)

TC หมายถึง รอยแตกตามขวาง (Transverse crack)

CC หมายถึง รอยแตกต่อเชื่อมในแนวล้อ (Connected cracks)

BC หมายถึง รอยแตกโครงข่าย (Block cracking)

RA หมายถึง ผิวหลุดร่อน (Reveling)

PO หมายถึง หลุมบ่อ (Potholes)

RO หมายถึง การทุดตัว (Rolling)

SE หมายถึง การแยกตัวของส่วนผสม (Segregation)

BL หมายถึง ฟิซึมยางที่ผิวทาง (Bleeding)

RL หมายถึง ร่องล้อซ้าย (Rut in left wheel path, ซม.)

RR หมายถึง ร่องล้อขวา (Rut in right wheel path, ซม.)

### ระดับความเสียหาย

0 หมายถึง ไม่มีความเสียหาย

1 หมายถึง ความเสียหายเล็กน้อย

2 หมายถึง ความเสียหายปานกลาง

3 หมายถึง ความเสียหายรุนแรง

ตารางที่ ก1 ข้อมูลสายทางและรายละเอียดโครงสร้างทาง

ลำดับ	ภาค	สายทาง	ก.ม.	ตอน
1	เหนือ	1	313+050 - 312+850	แยกขามูร์ลักยบุรี - แยกเข้าคลองขลุง (ขาเข้า)
2		1	357+000 - 357+200	แยกเข้ากำแพงเพชร - กม.367+000 (ขาออก)
3		1	439+000 - 439+200	ตาก - ทางแยกเข้าเขื่อนภูมิพล (ขาออก)
4		1	485+000 - 485+200	ทางแยกไปเขื่อนภูมิพล - จุดเริ่มทางเลี้ยวเมืองคอนชัย (ขาออก)
5		1	739+000 - 738+800	ทางเลี้ยวเมืองพะเยา (ขาเข้า)
6		11	077+000 - 077+200	สามแยกคอยดี - ต่อแขวงฯเชียงใหม่ 2 (ขาออก)
7		11	094+700 - 094+500	ห้วยน้ำข่า - ปากกล้วย (ขาเข้า)
8		101	415+500 - 415+300	สิริมาศ-สุโขทัย (ขาเข้า)
9	ตะวันออกถึงเหนือ	2	156+000 - 155+800	มวกเหล็ก - แยก ไปเขาใหญ่ (ขาเข้า)
10		021	004+600 - 004+400	แยกทางหลวงหมายเลข 1 - คอสะพานลำห้วยพุด (ขาเข้า)
11		23	130+100 - 129+900	แยกสาย 232 ด้านทิศตะวันออก- ทางแยกไปโพนทอง (ขาเข้า)
12		23	288+150 - 288+350	กม.254+000- ต่อเขตเทศบาลนครอุบลราชธานีควบคุม (ขาออก)
13		201	204+100 - 203+900	สุดเลี้ยวเมืองวังสะพุง - สามแยกหน้าแขวงฯเลย (ขาเข้า)
14		205	331+350 - 331+150	สามแยกลำสนธิ - ทางแยกไปบ้านหนึ่งจรรย์ (ขาเข้า)
15		214	004+000 - 004+200	ทางเลี้ยวเมืองสุรินทร์(ใหม่) (ขาออก)
16		218	042+00 - 041+800	หนองสองห้อง - บรรจบทางหลวงหมายเลข 24 (ขาเข้า)
17		2169	015+800 - 016+000	ต่อเขตเทศบาลยโสธรควบคุม - กม.34+000 (ขาออก)
18	กลาง	1	289+500 - 289+700	สี่แยกเข้าชัยนาท - กม.292+000 (ขาออก)
19		117	012+200 - 012+400	นครสวรรค์ - คอสะพานคลองบ้านพลังทางด้านใต้ (ขาออก)
20		122	010+100 - 009+900	ทางเลี้ยวเมืองนครสวรรค์ด้านตะวันตก (ขาเข้า)
21		309	010+900 - 010+700	สี่แยกวังน้อย - เทศบาลพระนครศรีอยุธยา (ขาเข้า)
22		347	007+800 - 008+000	แยกทางหลวงหมายเลข 32 - บรรจบทางหลวงหมายเลข 3267 (ขาออก)
23		3001	001+700 - 001+900	ค่ายทหาร - สถานีรถไฟนครสวรรค์ (ขาออก)
24		3111	011+400 - 011+200	สาม โลก(ต่อเขตแขวงฯ ปทุมธานี) - เสนา (ขาเข้า)
25		3196	092+400 - 092+600	แยกทางหลวงหมายเลข 311 - บรรจบทางหลวงหมายเลข 3267 (ขาออก)
26		ตะวันออก	3	130+400 - 130+200
27	33		141+850 - 141+650	นครนายก - น้ำตกนางรอง (ขาเข้า)
28	33		274+100 - 273+900	ทางแยกไปวัฒนานคร - เขตแดน(อรัญประเทศ) (ขาเข้า)
29	34		019+000 - 019+200	บ้านบึง - กม.62+600 ต่อเขตแขวงฯระยองควบคุม (ขาออก)
30	36		042+700 - 042+500	กม.21+592 - บรรจบทางเลี้ยวเมืองระยอง (ขาเข้า)
31	304		021+000 - 020+800	ทางเลี้ยวเมืองพนมสารคาม (ขาเข้า)
32	318	005+800 - 006+000	แยกทางหลวงหมายเลข 3- สะพานหินฝั่งตะวันตก (ขาออก)	
33	ใต้	4	047+800 - 047+600	ทางแยกไปปากพะยูน - สามแยกท่ามิหรำ (ขาเข้า)
34		4	251+800 - 252+000	จุดสิ้นสุดสะพานข้ามทางรถไฟที่หัวหิน - สี่แยกเข้าปราณบุรี (ขาออก)
35		4	313+900 - 314+100	ทางแยกเข้ากุยบุรี - ทางแยกเข้าประจวบคีรีขันธ์ (ขาออก)
36		41	080+200 - 080+000	ทางแยกเข้าหลังสวน - ต่อเขตแขวงฯ สุราษฎร์ธานี (ขาเข้า)
37		41	127+900 - 127+700	ละแม (ต่อเขตแขวงฯ ระนอง) - ไชยา (ขาเข้า)
38	41	139+900 - 139+700	ไชยา - ทางหลวงหมายเลข 401(ทูนพิน) (ขาเข้า)	

ตารางที่ ก1 ข้อมูลสายทางและรายละเอียดโครงสร้างทาง (ต่อ)

ลำดับ	สาย ทาง	ปริมาณรถจราจร (คัน/วัน)	ปริมาณรถบรรทุก (คัน/วัน)	ความหนาชั้น AC (เซนติเมตร)	อายุบริการ (ปี)	อายุผิวทาง (ปี)
1	1	20,429	4,848	11.5	9	9
2	1	22,424	6,637	11.3	7	7
3	1	14,054	3,988	7.4	7	1
4	1	10,424	4,117	6.3	7	7
5	1	12639	1550	7.1	7	5
6	11	26,012	5,760	17.2	6	6
7	11	9,775	3,343	9.9	3	3
8	101	3,552	550	18.4	10	10
9	2	36,543	3,093	12.7	2	2
10	021	20,551	7,132	10.4	7	7
11	23	12,432	1,428	15.4	23	23
12	23	18,269	1,528	6.8	9	9
13	201	11,958	1,498	10.9	5	5
14	205	2,444	809	10.8	37	-
15	214	6738	1090	21.8	3	3
16	218	4,477	308	6.5	10	10
17	2169	6,637	1,874	5.3	10	10
18	1	13,490	3,922	10.5	2	2
19	117	15,595	4,540	15.2	12	9
20	122	7,751	3,830	10.5	5	2
21	309	20,362	9,362	9.7	8	8
22	347	5246	1357	5.7	3	3
23	3001	13,656	1,727	11.8	10	3
24	3111	21293	4782	5.3	17	17
25	3196	11687	5316	5.3	12	12
26	3	43,694	3,191	13.8	34	3
27	33	9,405	707	12.1	1	1
28	33	12,283	632	11.9	3	3
29	34	33,354	2,588	15.9	10	10
30	36	24,745	1,944	12.3	6	6
31	304	7,453	1,120	10.8	13	13
32	318	6,064	183	10.9	34	2
33	4	17,387	6,120	8.4	7	7
34	4	15495	2541	10.6	16	16
35	4	19,708	6,944	9.3	8	8
36	41	18,315	7,325	4.8	6	6
37	41	22,978	9,568	6.5	8	8
38	41	17,362	6,051	7.5	7	7

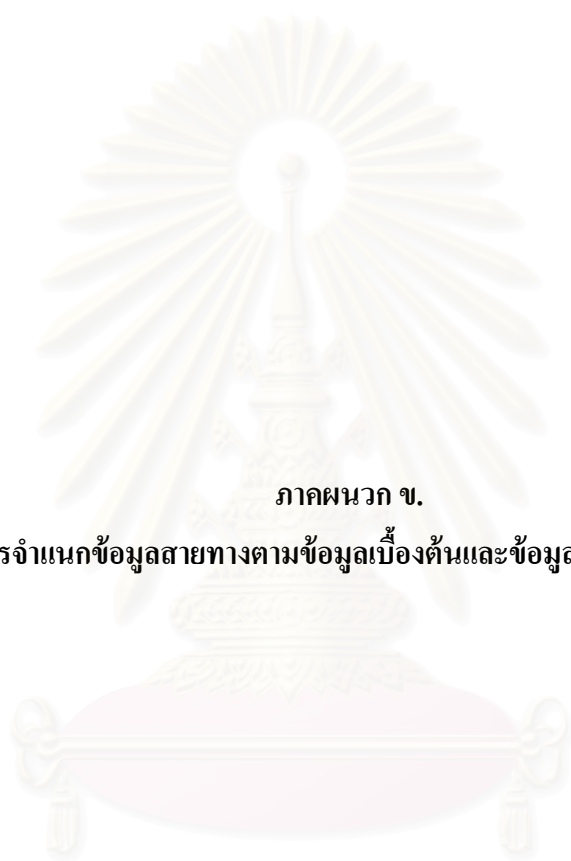


ตารางที่ ก2 ข้อมูลระดับความเสียหายของสายทาง

ลำดับ	สาย ทาง	RL (ชม.)		RR (ชม.)		ระดับความเสียหาย								
		ลึก	ยาว	ลึก	ยาว	LC/ALC	TC	CC	BC	RA	PO	RO	SE	BL
1	1	1.4	130.0	1.2	131.7	2	3	3	3	0	0	2	2	0
2	1	2.8	160.0	1.4	140.0	1	0	0	0	1	0	0	1	2
3	1	0.6	115.0	0.7	121.7	1	3	3	0	0	0	0	0	0
4	1	0.5	121.3	1.3	101.7	0	1	2	0	0	0	0	0	0
5	1	2.3	157.0	1.3	113.3	0	3	3	3	0	0	0	0	0
6	11	0.7	93.3	1.4	133.3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
7	11	0.9	145.0	1.3	143.3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	101	0.0	0.0	0.0	0.0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	2	1.6	130.0	0.0	0.0	3	0	3	3	2	0	1	3	0
10	021	2.3	125.0	2.4	152.0	0	0	2	0	0	0	3	2	2
11	23	0.7	121.7	0.4	100.0	0	0	0	3	3	0	2	2	0
12	23	1.1	98.3	1.4	141.7	1	0	1	1	0	0	2	1	0
13	201	0.5	130.0	0.5	146.7	2	0	1	1	0	0	0	1	0
14	205	0.3	70.0	0.0	0.0	3	0	2	2	0	0	1	0	0
15	214	1.3	80.0	1.2	107.5	0	2	0	0	1	0	1	0	1
16	218	0.3	76.7	0.2	72.5	3	0	2	2	0	0	0	0	0
17	2169	1.9	136.7	0.1	55.0	2	0	2	2	0	0	0	0	0
18	1	2.3	159.0	1.2	140.0	3	0	1	0	0	1	1	2	0
19	117	1.6	135.0	0.3	76.7	3	1	3	3	0	0	0	1	0
20	122	1.0	113.3	0.5	115.0	0	3	2	0	0	0	2	0	0
21	309	1.7	150.0	1.4	143.3	2	2	3	1	0	2	0	0	2
22	347	1.6	120.0	0.3	106.7	2	0	0	0	0	0	2	0	1
23	3001	0.7	135.0	0.4	70.0	3	3	2	0	1	0	0	3	0
24	3111	2.2	137.0	2.3	163.3	3	2	2	0	0	0	2	1	1
25	3196	0.3	90.0	0.3	100.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	3	0.6	123.3	0.1	40.0	2	2	2	2	2	0	0	0	0
27	33	2.1	113.3	1.0	95.0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
28	33	2.3	155.0	1.4	140.0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
29	34	0.9	103.3	0.7	85.0	2	2	2	2	2	2	0	0	2
30	36	0.9	126.7	0.4	90.0	1	1	2	2	0	0	1	0	1
31	304	2.0	123.3	1.7	95.0	1	0	1	1	0	0	2	0	3
32	318	0.6	90.0	0.1	65.0	2	2	2	2	0	0	2	0	0
33	4	1.5	148.3	0.7	0.0	3	0	3	3	3	3	1	0	0
34	4	0.0	0.0	0.0	0.0	2	1	3	3	0	0	0	1	0
35	4	1.9	0.0	2.0	0.0	0	3	3	3	2	0	1	0	1
36	41	1.2	143.3	0.4	80.0	3	2	3	3	3	0	1	1	1
37	41	1.8	163.3	0.3	55.0	0	3	3	3	0	3	0	0	3
38	41	2.3	158.3	1.9	125.0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

ตารางที่ ก3 ข้อมูลเพิ่มเติม

ลำดับ	สาย ทาง	วันที่สำรวจ	พื้นที่สำรวจโดยรวม	พื้นที่สำรวจโดยละเอียด	GPS
1	1	4/1/2007	314+200-311+200	313+050-312+850	47Q0575531 1791487
2	1	5/1/2007	355+000-358+000	357+000-357+200	47Q0551463 1824058
3	1	6/1/2007	438+000-440+000	439+000-439+200	47Q0510005 1882552
4	1	6/1/2007	483+000-486+000	485+000-485+200	47Q0515839 1923461
5	1	16/1/2007	739+000-736+900	739+000-738+800	47Q0593145 2122127
6	11	8/1/2007	075+000-078+000	077+000-077+200	47Q0505506 2063130
7	11	17/1/2007	095+000-092+000	094+700-094+500	47Q0623680 1941801
8	101	19/1/2007	417+000-414+000	415+500-415+300	47Q0584591 1864138
9	2	5/7/2007	156+000-153+000	156+000-155+800	47P0749374 1621327
10	21	19/3/2007	004+600-001+600	004+600-004+400	47P0704313 1626381
11	23	28/3/2007	131+000-128+000	130+100-129+900	48Q0364288 1774015
12	23	27/3/2007	287+100-289+300	288+100-288+300	48P0482705 1686165
13	201	21/3/2007	205+000-202+000	204+100-203+900	47Q0789759 1932640
14	205	31/3/2007	333+000-330+000	331+350-331+150	47P0797317 17111185
15	214	6/7/2007	003+000-006+000	004+00-004+200	48P0338637 1640733
16	218	7/7/2007	042+500-039+500	042+00-041+800	48P0272314 1625340
17	2169	28/3/2007	015+000-018+000	015+800-016+000	48P0414248 1760825
18	1	17/10/2006	288+000-290+000	289+500-289+700	47P0617470 1687173
19	117	10/10/2006	011+000-014+000	012+200-012+400	47P0620144 1747842
20	122	16/10/2006	011+000-009+000	010+100-009+900	47P0613209 1733809
21	309	22/11/2006	010+800-007+800	010+800-010+600	47P0677948 1582025
22	347	21/11/2006	006+000-009+000	7+800-8+000	47P0665935 1606012
23	3001	16/10/2006	สามแยกหน้าค่ายจิระประวัติ	อยู่หน้าป้ายอบต.หนองปลิง	47P0622338 1732375
24	3111	22/11/2006	14+000-11+000	011+400-011+200	47P0660277 1566482
25	3196	18/10/2006	090+000-093+000	092+000-092+200	47P0672110 1623201
26	3	14/7/2007	132+000-129+000	130+400-130+200	47P0708750 1444886
27	33	16/7/2007	142+000-139+000	141+850-141+650	47P0742097 1568577
28	33	9/7/2007	276+000-273+000	274+100-273+900	48P0207836 1522020
29	34	14/7/2007	018+000-021+000	019+000-019+200	47P0732358 1471469
30	36	12/7/2007	043+000-040+000	042+700-042+500	47P0738731 1409977
31	304	15/7/2007	022+000-019+000	021+000-020+800	47P0752702 1509250
32	318	11/7/2007	005+000-007+800	005+800-006+000	48P0234441 1355960
33	4	27/4/2006	047+600-050+600	047+600-047+800	E0618358 N0826348
34	4	18/4/2006	251+300 - 253+300	251+800 - 252+000	E0600579 N1372624
35	4	18/4/2006	314+100 - 318+000	313+900 - 314+100	E0586602 N1315702
36	41	1/5/2006	080+000-077+000	080+000-080+200	E0506624 N1086068
37	41	1/5/2006	127+900-125+000	127+900-127+700	E0517374 N1040816
38	41	1/5/2006	140+000-137+000	140+000-139+800	E0516237 N1030539



ภาคผนวก ข.

การจำแนกข้อมูลสายทางตามข้อมูลเบื้องต้นและข้อมูลความเสียหาย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภายหลังการคัดเลือกทางหลวงตัวอย่างนั้นได้นำลักษณะของทางหลวงมาพิจารณาเพิ่มเติม เพื่อให้สอดคล้องกับการกำหนดหลังเกณฑ์ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 และได้นำข้อมูลทางหลวงมาพิจารณาตามข้อมูลเบื้องต้นเช่น ปริมาณจราจร ปริมาณรถบรรทุก อายุผิวทาง และความเสียหายของสายทางซึ่งแต่ละปัจจัยจะใช้เกณฑ์ร้อยละ 50 จาก 61 แห่ง ความคลาดเคลื่อน  $\pm 1$  แห่ง แต่มีในบางสายทางที่คัดเลือกแล้วแต่กลับมีก่อนตัวอย่างไม่เพียงพอจำเป็นต้องคัดเลือกทางหลวงมาใหม่ โดยได้แสดงการจำแนกข้อมูลต่างๆดังตารางที่ ข1 และตารางที่ ข2

ตารางที่ ข1 จำแนกข้อมูลตามข้อมูลเบื้องต้นของสายทางจำนวน 38 แห่ง

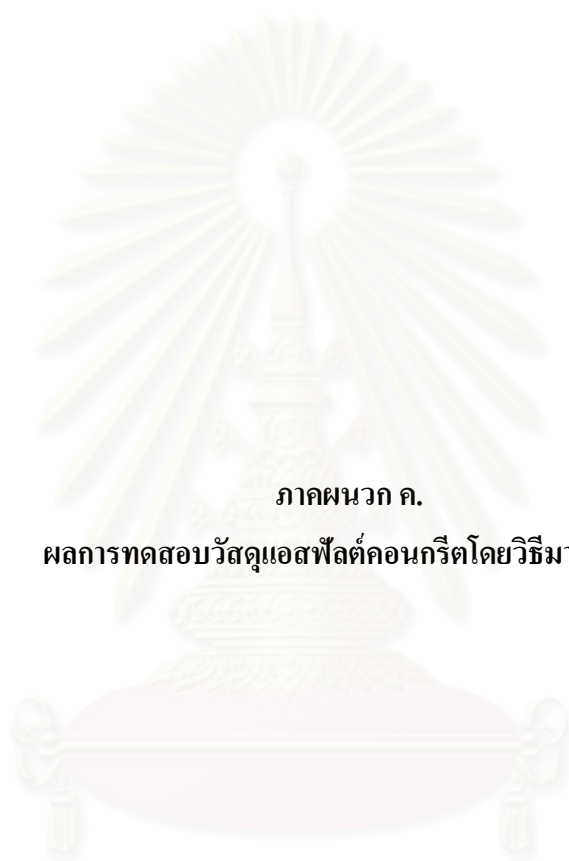
		ภาค	เหนือ	อีสาน	กลาง	ตะวันออก	ใต้	ทั่วประเทศ
ปริมาณ จราจร (คันต่อวัน)	< 3,000	จำนวน	0	1	0	0	0	1
		ทางหลวง	(0)	(1)	(0)	(0)	(0)	(1)
	3,000 - 8,000	จำนวน	1	3	2	2	0	8
		ทางหลวง	(3)	(4)	(4)	(2)	(0)	(13)
	8,001 - 16,000	จำนวน	4	2	4	2	1	13
		ทางหลวง	(5)	(5)	(6)	(4)	(2)	(22)
	> 16,000	จำนวน	3	3	2	3	5	16
		ทางหลวง	(5)	(6)	(3)	(4)	(6)	(24)
ความหนาชั้น แอสฟัลต์ คอนกรีต (เซนติเมตร)	< 6	จำนวน	0	1	3	0	1	5
		ทางหลวง	(0)	(1)	(4)	(0)	(2)	(7)
6 - 11	จำนวน	4	5	3	2	5	19	
	ทางหลวง	(8)	(8)	(5)	(4)	(6)	(31)	
> 11	จำนวน	4	3	2	5	0	14	
	ทางหลวง	(5)	(7)	(4)	(6)	(0)	(22)	
อายุผิวทาง (ปี)	0 - 5	จำนวน	2	3	4	4	0	13
		ทางหลวง	(3)	(6)	(4)	(4)	(0)	(17)
	6 - 10	จำนวน	6	4	2	2	5	19
		ทางหลวง	(8)	(8)	(4)	(4)	(7)	(31)
	> 10	จำนวน	0	1	2	0	1	4
		ทางหลวง	(1)	(1)	(5)	(1)	(1)	(9)

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือจำนวนทางหลวงทั้งหมด 61 แห่ง

ตารางที่ ข2 จำแนกข้อมูลตามข้อมูลความเสียหายของสายทางจำนวน 38 สายทาง

ภาค		เหนือ	อีสาน	กลาง	ตะวันออก	ใต้	ทั่วประเทศ	
ร่องล้อซ้าย (เซนติเมตร)	0.6 - 1.2	จำนวน	2	2	2	3	1	10
		ทางหลวง	(4)	(5)	(3)	(4)	(1)	(17)
	1.2 - 2.5	จำนวน	2	4	5	3	4	18
		ทางหลวง	(2)	(7)	(7)	(3)	(5)	(24)
	> 2.5	จำนวน	1	0	0	0	0	1
		ทางหลวง	(1)	(0)	(0)	(0)	(1)	(2)
ร่องล้อขวา (เซนติเมตร)	0.6 - 1.2	จำนวน	1	1	1	2	1	6
		ทางหลวง	(3)	(3)	(3)	(2)	(2)	(13)
	1.2 - 2.5	จำนวน	6	3	2	2	2	15
		ทางหลวง	(6)	(3)	(3)	(2)	(2)	(16)
	รอยแตกตามยาว	จำนวน	5	6	6	5	3	25
		ทางหลวง	(9)	(10)	(8)	(8)	(5)	(40)
รอยแตกตามขวาง	จำนวน	4	1	5	4	4	18	
	ทางหลวง	(6)	(3)	(7)	(5)	(4)	(25)	
รอยแตกต่อเชื่อมในแนวล้อ	จำนวน	4	7	6	6	5	28	
	ทางหลวง	(7)	(7)	(6)	(7)	(7)	(34)	
รอยแตกโครงข่าย	จำนวน	2	7	2	6	5	22	
	ทางหลวง	(3)	(7)	(2)	(7)	(7)	(26)	
ผิวหลุดร่อน	จำนวน	1	3	1	2	3	10	
	ทางหลวง	(2)	(5)	(1)	(3)	(5)	(16)	
หลุมบ่อ	จำนวน	0	0	2	1	2	5	
	ทางหลวง	(0)	(0)	(2)	(1)	(2)	(5)	
การทรุดตัว	จำนวน	1	6	4	5	4	20	
	ทางหลวง	(1)	(10)	(5)	(7)	(5)	(28)	
การแยกตัวของส่วนผสม	จำนวน	2	5	4	0	2	13	
	ทางหลวง	(2)	(7)	(4)	(0)	(2)	(15)	
ฟิล์มยางที่ผิวทาง	จำนวน	2	2	3	4	4	15	
	ทางหลวง	(2)	(4)	(5)	(7)	(6)	(24)	

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือจำนวนทางหลวงทั้งหมด 61 แห่ง



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์

การติดตั้งค่าในการทดสอบ	
วิธีทดสอบตามมาตรฐาน	ทล.-ท. 604/2517
อัตราการยุบตัวของตัวอย่างคงที่ (มิลลิเมตรต่อนาที)	50.8
อุณหภูมิในการทดสอบ (องศาเซลเซียส)	60

### หมายเหตุ

- <sup>N/A</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหายเนื่องจากเกิดการแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย
- <sup>1+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากร่องล้อ จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>1-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากร่องล้อ จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>2+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากฟิล์มยางที่ผิวทาง จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>2-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากฟิล์มยางที่ผิวทาง จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>3+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากการแยกตัวของส่วนผสม จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>3-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากการแยกตัวของส่วนผสม จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>4+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายใก้รอยแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>4-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายใก้รอยแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>5+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าปกติ เนื่องจากขนาดคละมีขนาดใหญ่กว่าปกติ
- <sup>5-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าปกติ เนื่องจากขนาดคละมีขนาดเล็กกว่าปกติ
- <sup>6-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าปกติ
- <sup>6+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าปกติ
- <sup>7</sup> คือ เครื่องทดสอบเกิดขัดข้องในระหว่างการทดสอบ

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

สถานที่			1 กม. 313+050 -312+850			1 กม. 357+000 - 357+200			1 กม. 439+000 - 439+200		
หมายเลขตัวอย่าง			1B	2A	2B	4A	5B	S1	1A	4B	5C
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	964.9	958.6	970.2	919.3	1055.3	1024.0	987.9	1034.6	1047.9
น้ำหนักกึ่งตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	965.5	959.6	971.0	920.6	1055.6	1024.3	989.7	1035.5	1048.6
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	571.5	555.2	556.7	527.6	636.4	610.1	565.8	607.7	615.6
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	394.0	404.4	414.3	393.0	419.2	414.2	423.9	427.8	433.0
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.449	2.370	2.342	2.339	2.517	2.472	2.331	2.418	2.420
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.387			2.443			2.390		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		2,484	3,132	3,124	2,734	2,014	2,464	3,220	3,392	3,469
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,875	4,886	4,343	3,801	3,103	3,844	4,475	4,715	4,579
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		4,368			3,583			4,590		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		14	15	13	14	16	13	14	14	13
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		14			14			13		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01นิ้ว		286	331	334	276	189	306	318	347	365
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01นิ้ว		317			257			343		



ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			1 กม. 485+000 - 485+200			1 กม. 739+000 - 738+800			11 กม. 077+000 - 0077+200		
หมายเลขตัวอย่าง			1A	1C	3B	3A	4B	5B	1C	3B	5B
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	1042.5	998.7	997.1	909.4	928.0	994.6	1035.9	949.1	983.7
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	1043.2	999.7	997.9	909.6	928.7	995.2	1036.5	950.6	985.6
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	612.8	584.4	582.3	533.0	533.2	576.7	613.6	549.0	556.3
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	430.4	415.3	415.6	376.6	395.5	418.5	422.9	401.6	429.3
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.422	2.405	2.399	2.415	2.346	2.377	2.450	2.363	2.291
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.409			2.379			2.368		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		3,220	2,771	2,346	2,673	3,344	3,388	2,663	3,096	3,521
ค่าปรับแก้	ปอนด์		4,250	4,073	3,448	4,413	5,028	4,560	3,701	4,551	4,648
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,924			4,667			4,300		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		14	15	15	17	18	15	15	14	14
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		15			17			14		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		302	264	224	260	275	311	241	317	338
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		264			282			299		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			11 กม. 094+700 - 738+800			101 กม. 415+500 - 415+300			2 กม. 156+000 - 155+800		
หมายเลขตัวอย่าง			1C	4A	5B	2B <sup>3</sup>	2C	3A	1C	3A	3B
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	951.5	975.6	980.3	994.4	1015.9	1038.4	820.0	833.6	796.2
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	952.3	976.2	980.5	994.9	1016.8	1039.0	822.6	836.7	806.8
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	551.9	570.4	572.4	583.9	601.8	613.4	465.5	497.3	449.6
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	400.4	405.8	408.1	411.0	415.0	425.6	357.1	339.4	357.2
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.376	2.404	2.402	2.419	2.448	2.440	2.296	2.456	2.229
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.394			2.436			2.327		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		1,982	2,063	2,167	3,736	4,033	4,317	2,152	2,302	2,210
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,092	3,032	3,186	5,492	5,929	6,001	3,852	4,121	3,955
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,103			5,965			3,976		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		14	14	14	12	16	16	27	28	29
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		14			16			28		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		227	210	226	458	375	374	141	147	135
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		221			402			141		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			21 กม. 004+600 - 004+400			23 กม. 130+100 - 129+900			23 กม. 288+150 - 288+350		
หมายเลขตัวอย่าง			1C	3A	5B	3B <sup>5-</sup>	3C	S1	1B	4A	4B
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	1046.1	1062.2	1009.1	978.1	987.5	959.0	1063.1	940.0	927.4
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	1047.0	1063.4	1010.0	985.4	991.5	960.1	1063.6	941.4	928.0
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	618.8	628.8	584.3	563.5	579.6	546.5	643.5	548.6	549.4
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	428.2	434.6	425.7	421.9	411.9	413.6	420.1	392.8	378.6
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.443	2.444	2.370	2.318	2.397	2.319	2.531	2.393	2.450
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.419			2.345			2.458		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		2,996	2,664	2,644	1,895	2,658	2,815	2,818	2,820	3,051
ค่าปรับแก้	ปอนด์		4,165	3,517	3,675	2,502	3,694	3,913	3,917	4,145	4,294
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,786			3,804			4,119		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		16	18	17	13	13	12	13	13	13
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		17			12			13		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		254	191	221	192	295	325	311	309	326
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		222			271			316		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			201 กม. 204+100 - 203+900			205 กม. 331+350 - 331+150			214 กม. 004+000 - 004+200		
หมายเลขตัวอย่าง			1C	2B	3C	1B	3B	4C	3B	4B	5A
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	992.8	995.6	995.9	855.6	928.8	921.4	618.0	622.2	669.9
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	993.4	997.2	996.5	857.9	931.5	923.0	618.1	622.5	670.3
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	583.0	575.7	572.6	476.9	511.1	516.8	367.1	370.3	400.4
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	410.4	421.5	423.9	381.0	420.4	406.2	251.0	252.2	269.9
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.419	2.362	2.349	2.246	2.209	2.268	2.462	2.467	2.482
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.377			2.241			2.470		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		2,654	2,475	3,440	2,407	2,953	2,801	805	799	877
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,902	3,440	3,391	4,019	3,898	4,118	2,832	2,809	2,763
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,578			4,012			2,801		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		13	13	14	12	14	13	14	17	19
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		13			13			17		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		301	271	237	337	286	318	196	167	147
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		270			313			170		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			218 กม. 042+000 - 041+800			2169 กม. 015+800 - 016+000			1 กม. 289+500 - 289+700		
หมายเลขตัวอย่าง			1A <sup>5</sup>	4B	S3	2A	2B	4B	3B	4A	4C <sup>3+</sup>
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	847.0	801.4	828.3	861.5	807.2	977.0	913.8	945.9	1019.5
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	848.0	805.6	829.4	862.0	808.4	977.6	918.1	948.5	1020.0
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	505.4	464.5	489.9	503.8	464.4	583.5	529.0	535.4	604.4
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	342.6	341.1	339.5	358.2	344.0	394.1	389.1	413.1	415.6
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.472	2.349	2.440	2.405	2.347	2.479	2.348	2.290	2.453
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.420			2.410			2.364		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		1,871	3,173	2,931	2,564	2,486	2,245	1,594	1,576	2,810
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,893	6,600	6,097	4,589	4,773	4,301	2,192	2,169	3,855
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		6,348			4,554			2,739		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		17	27	23	12	11	13	11	14	12
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		25			12			12		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		229	248	260	382	442	339	196	159	321
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		245			388			225		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			117 กม. 012+200 - 012+400			122 กม. 010+100 - 009+900			309 กม. 010+900 - 010+700		
หมายเลขตัวอย่าง			1C	2B	S7	2C	4A	5A	1B	1C	2B
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	946.8	971.7	980.9	988.8	965.3	962.7	974.0	990.3	898.5
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	947.7	973.9	981.5	992.4	966.3	963.4	974.6	991.1	889.1
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	554.7	562.8	582.5	568.9	557.2	560.5	567.4	585.1	527.0
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	393.0	411.1	399.0	423.5	409.1	402.9	407.2	406.0	362.1
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.409	2.364	2.458	2.335	2.360	2.389	2.392	2.439	2.481
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.410			2.361			2.437		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		2,160	2,354	2,180	1,973	1,941	1,857	2,734	2,578	2,084
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,311	3,283	3,282	2,602	2,746	2,851	3,908	3,715	3,567
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,292			2,733			3,730		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		13	14	13	15	16	17	14	13	12
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		13			16			13		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		261	229	248	179	175	163	288	279	294
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		246			173			287		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			347 กม. 007+800 - 008+000			3001 กม. 001+700 - 001+900			3111 กม. 011+400 - 011+200		
หมายเลขตัวอย่าง			2B	4C	5B	2B	4C	S2	1A	2B	S4
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	936.5	842.5	808.1	874.2	975.1	922.8	870.9	919.8	962.3
น้ำหนักกึ่งตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	937.1	843.5	809.0	878.6	975.6	929.1	871.0	919.9	962.5
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	536.4	473.0	451.1	489.6	563.4	526.1	512.5	546.2	566.5
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	400.7	370.5	357.9	389.0	412.2	403.0	358.5	373.7	396.0
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.337	2.274	2.258	2.247	2.366	2.290	2.429	2.461	2.430
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.290			2.301			2.440		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		1,702	1,953	1,538	1,613	2,659	2,071	1,858	2,087	2,720
ค่าปรับแก้	ปอนด์		2,500	3,207	2,781	2,617	3,469	3,044	3,219	3,381	3,891
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		2,829			3,043			3,497		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		14	13	12	18	19	20	13	15	14
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		13			19			14		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		173	246	238	147	186	151	240	220	274
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		219			161			245		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			3196 กม. 092+400 - 092+600			3 กม. 130+400 - 130+200			33 กม. 141+850 - 141+650		
หมายเลขตัวอย่าง			1A	2A	5C	4C	5B	S4 <sup>3+</sup>	4A	5A	5B
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	931.6	999.0	818.3	868.3	833.4	836.2	901.2	940.1	903.0
น้ำหนักกึ่งตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	931.8	999.1	818.6	869.0	835.9	838.2	902.2	940.9	903.6
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	547.5	573.8	474.1	512.2	484.3	489.4	532.3	563.2	530.0
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	384.3	425.3	344.5	356.8	351.6	348.8	369.9	377.7	373.6
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.424	2.349	2.375	2.434	2.370	2.397	2.436	2.489	2.417
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.383			2.400			2.447		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		2,216	2,395	1,978	3,087	3,135	3,638	1,567	1,952	1,603
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,439	3,461	3,763	5,526	6,020	6,985	2,747	3,094	2,664
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,554			6,177			2,835		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		16	15	13	31	26	21	28	29	26
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		15			26			28		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		215	231	280	179	232	333	97	105	102
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		242			248			101		



ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			33 กม. 274+100 - 273+900			34 กม. 019+000 - 019+200			36 กม. 042+700 -042+500		
หมายเลขตัวอย่าง			2C	3A	4A	1B	2B	2C	1C	3B	5A <sup>3</sup>
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	870.1	853.5	898.9	885.4	869.8	933.7	912.4	896.0	913.5
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	870.5	854.5	889.7	886.1	870.3	934.2	913.1	897.7	914.1
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	515.9	502.6	534.8	518.7	516.5	570.6	541.3	536.5	542.4
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	354.6	351.9	354.9	367.4	353.8	363.6	371.8	361.2	371.7
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.454	2.425	2.533	2.410	2.458	2.568	2.454	2.481	2.458
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.471			2.479			2.464		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		1,269	1,624	1,597	1,717	1,768	1,555	2,245	2,250	1,616
ค่าปรับแก้	ปอนด์		2,436	3,118	2,859	3,074	3,395	2,784	4,019	4,320	2,893
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		2,805			3,084			3,744		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		22	28	24	21	19	19	23	19	26
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		25			20			23		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01นิ้ว		111	110	118	149	175	143	171	227	111
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01นิ้ว		113			155			170		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

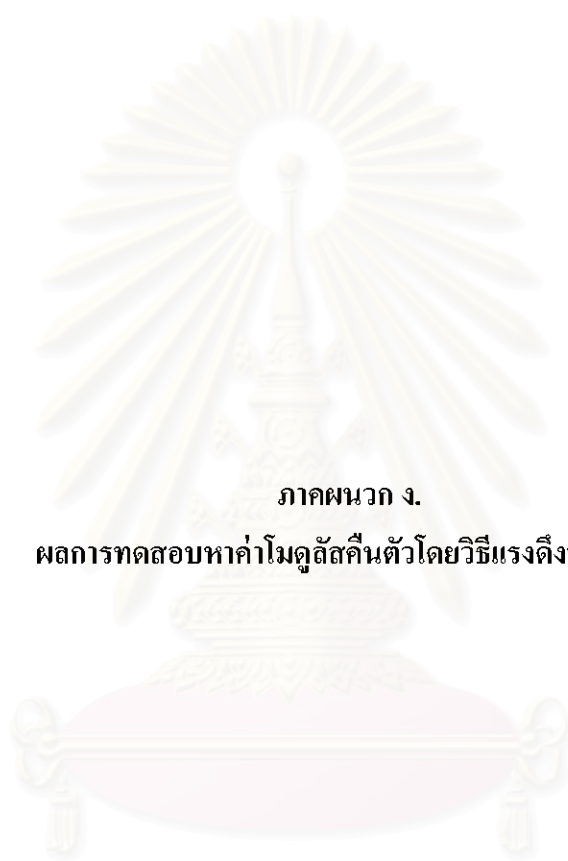
สถานที่			304 กม. 021+000 - 020+800			318 กม. 005+800 - 006+000			4 กม. 047+800 - 047+600		
หมายเลขตัวอย่าง			1B	2C	5C	1C	4A	4B	3A	4B	S6
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	944.8	915.0	891.8	871.9	818.9	768.0	962.6	929.2	993.1
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	945.2	915.7	892.9	872.4	821.3	778.0	964.9	932.1	993.7
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	577.0	554.6	532.1	515.3	467.8	438.4	560.6	535.2	582.4
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	368.2	361.1	360.8	357.1	353.5	339.6	404.3	396.9	411.3
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.566	2.534	2.472	2.442	2.317	2.261	2.381	2.341	2.415
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.524			2.340			2.379		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		1,820	1,238	1,762	1,659	1,956	1,936	2,277	3,171	2,916
ค่าปรับแก้	ปอนด์		3,040	2,216	3,155	3,185	3,756	4,027	3,390	4,544	4,013
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		2,803			3,656			3,982		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		26	21	26	28	30	29	13	13	14
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		24			29			13		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01นิ้ว		119	106	122	115	127	138	265	355	295
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01นิ้ว		116			127			305		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			4 กม. 251+800 - 252+000			4 กม. 313+900 - 314+100			41 กม. 080+200 - 080+000		
หมายเลขตัวอย่าง			2A	4C	5A	S1	S4	S15	3C	5A	S2
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	1047.1	983.9	999.6	1014.2	1051.8	980.4	1051.5	969.1	1064.4
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	1047.4	984.4	999.9	1014.8	1052.1	980.7	1052.1	970.2	1065.3
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	636.8	588.9	603.8	585.3	619.9	572.1	628.0	582.2	637.4
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	410.6	395.5	396.1	429.5	432.2	408.6	424.1	388.0	427.9
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.550	2.488	2.524	2.361	2.434	2.399	2.479	2.498	2.487
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.521			2.398			2.488		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		3,109	2,265	2,921	3,324	3,438	2,766	4,018	3,015	3,802
ค่าปรับแก้	ปอนด์		4,104	3,348	4,294	4,522	4,412	3,935	5,284	4,720	4,959
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		3,915			4,290			4,987		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		15	13	13	15	13	14	11	11	12
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		14			14			11		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01 นิ้ว		279	252	336	307	329	280	476	414	428
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01 นิ้ว		289			305			439		

ตารางที่ ค1 ผลการทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (ต่อ)

สถานที่			41 กม. 127+900 -127+700			41 กม. 139+900 - 139+700			-		
หมายเลขตัวอย่าง			3B	5B	5C	1A	2C	5B	-	-	-
<b>ความหนาแน่น</b>											
น้ำหนักในอากาศ	กรัม	(a)	1008.5	1000.2	1008.2	1002.7	949.5	983.1	-	-	-
น้ำหนักก้อนตัวผิวแห้ง	กรัม	(b)	1009.8	1001.2	1009.1	1003.0	950.0	983.7	-	-	-
น้ำหนักในน้ำ	กรัม	(c)	598.2	596.1	607.5	601.3	556.9	585.0	-	-	-
ปริมาตรรวม	มล.	(d) = b-c	411.6	405.1	401.6	401.7	393.1	398.7	-	-	-
ความหนาแน่นรวม	กรัม/มล.	(e) = a/d	2.450	2.469	2.510	2.496	2.415	2.466	-	-	-
ความหนาแน่นเฉลี่ย	กรัม/มล.		2.477			2.459			-		
<b>เสถียรภาพ</b>											
ค่าจากการวัด	ปอนด์		3,745	3,671	3,694	2,665	1,930	2,460	-	-	-
ค่าปรับแก้	ปอนด์		5,214	5,294	5,386	3,989	3,127	3,764	-	-	-
เสถียรภาพเฉลี่ย	ปอนด์		5,298			3,627			-		
<b>การไหล</b>											
ค่าจากการวัด	0.01 นิ้ว		12	13	11	14	15	12	-	-	-
การไหลเฉลี่ย	0.01 นิ้ว		12			14			-		
<b>เสถียรภาพต่อการไหล</b>											
ค่าจากสมการ	ปอนด์/0.01นิ้ว		433	421	471	294	208	310	-	-	-
เสถียรภาพต่อการไหลเฉลี่ย	ปอนด์/0.01นิ้ว		442			271			-		



ภาคผนวก ง.

ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีทดสอบหาค่าโมดูลัสกันตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม

การติดตั้งค่าในการทดสอบ

วิธีทดสอบปรับปรุงมาจากมาตรฐาน	British: DD 213 : 1993 and ASTM D4123			
รูปแบบการป้อนน้ำหนัก	Haversine			
ช่วงเวลาการกดน้ำหนัก (วินาที)	0.1			
รอบเวลากระทำซ้ำ(วินาที)	1			
จำนวนรอบการเตรียมการทดสอบ (รอบ)	200			
จำนวนรอบการทดสอบ (รอบ)	5			
การขยายตัวในแนวราบ (ไมโครเมตร)	5			
อุณหภูมิในการทดสอบ (องศาเซลเซียส)	5	20	35	50
สัดส่วนบัวซอง	0.30	0.30	0.35	0.40

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### หมายเหตุ

- <sup>N/A</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดความเสียหายเนื่องจากเกิดการแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ
- <sup>1+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากร่องล้อ จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>1-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากร่องล้อ จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>2+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากฟิล์มยางที่ผิวทาง จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>2-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากฟิล์มยางที่ผิวทาง จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>3+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากการแยกตัวของส่วนผสม จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>3-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากการแยกตัวของส่วนผสม จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>4+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายใกล้รอยแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>4-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายใกล้รอยแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการคำนวณ เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>5+</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าปกติ เนื่องจากขนาดผลละมีขนาดใหญ่กว่าปกติ
- <sup>5-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าปกติ เนื่องจากขนาดผลละมีขนาดเล็กกว่าปกติ
- <sup>6-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าปกติ
- <sup>6-</sup> คือ วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าปกติ
- <sup>7</sup> คือ เครื่องทดสอบเกิดขัดข้องในระหว่างการทดสอบ

ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคลื่นตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส

Specimen	Location	1 กม.313+050 -312+850						1 กม.357+000 - 357+200						1 กม.439+000 - 439+200					
	Samples	1C		3B		3C		4B		S3 <sup>3</sup>		S5 <sup>3</sup>		1B <sup>2</sup>		4A		5B <sup>2</sup>	
Diameter (mm)	1	99.55	99.60	99.44	98.54	98.60	98.98	99.67	99.71	99.88	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.41	99.57
	2	99.54	99.67	99.46	98.47	98.64	98.62	99.68	99.41	99.57	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.41	99.57
Average diameter	(mm)	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.56	99.73	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.56	99.73
Height (mm)	1	53.90	55.09	55.39	52.10	53.25	51.18	56.04	54.17	53.51	53.90	55.09	55.39	52.10	53.25	51.18	56.04	54.17	53.51
	2	54.17	54.61	56.00	51.55	53.49	52.20	55.95	54.06	54.61	54.17	54.61	56.00	51.55	53.49	52.20	55.95	54.06	54.61
	3	54.25	54.35	54.74	51.90	54.59	52.25	56.07	54.82	53.33	54.25	54.35	54.74	51.90	54.59	52.25	56.07	54.82	53.33
	4	53.83	54.50	54.25	52.58	54.27	50.93	56.91	55.12	52.79	53.83	54.50	54.25	52.58	54.27	50.93	56.91	55.12	52.79
Average Height	(mm.)	54.04	54.64	55.10	52.03	53.90	51.64	56.24	54.54	53.56	54.04	54.64	55.10	52.03	53.90	51.64	56.24	54.54	53.56
Bulk Specific Gravity		2.450	2.434	2.448	2.413	2.448	2.503	2.422	2.454	2.440	2.450	2.434	2.448	2.413	2.448	2.503	2.422	2.454	2.440
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	23,606	25,025	22,827	20,623	24,586	21,634	23,076	21,230	18,541	17,969	18,512	17,075	13,054	14,441	24,497	25,043	19,440	18,636
Pulse 2	(MPa)	24,256	24,561	22,357	20,250	24,650	22,319	23,822	20,900	18,406	17,647	18,494	17,087	12,814	14,167	24,768	24,953	19,868	18,420
Pulse 3	(MPa)	23,797	25,454	22,632	20,256	24,902	21,722	23,464	20,734	18,185	17,960	18,062	17,126	12,613	14,220	24,421	24,994	19,290	18,310
Pulse 4	(MPa)	23,575	24,485	22,514	20,585	25,150	22,059	23,477	20,592	18,110	17,294	18,422	17,380	12,549	13,963	23,918	25,296	19,451	18,793
Pulse 5	(MPa)	23,639	24,471	22,594	20,629	24,721	22,227	23,555	20,607	17,864	17,847	18,238	17,015	12,649	13,871	24,664	24,655	20,027	18,552
Mean	(MPa)	23,775	24,799	22,585	20,469	24,802	21,992	23,479	20,812	18,221	17,744	18,346	17,137	12,736	14,132	24,454	24,988	19,615	18,542
CV	(%)	2.11		4.92		6.01		6.02		1.33		3.41		5.20		1.08		2.81	
Resilient Modulus	(MPa)	24,287		21,527		23,397		22,146		17,983		17,742		13,434		24,721		19,079	
Average Resilient Modulus	(MPa)	23,070						22,146						24,721					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	5.27		6.69		1.42		0.00		18.80		19.89		45.66		0.00		22.82	

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	1 กม.485+000 - 485+200						1 กม.739+000 - 738+800						11 กม.077+000 - 077+200					
	Samples	1C		3A <sup>N/A</sup>		4B		1C		3A <sup>N/A</sup>		4B		1C		3A <sup>N/A</sup>		4B	
Diameter (mm)	1	99.55		99.40		99.39		99.55		99.40		99.39		99.55		99.40		99.39	
	2	99.38		99.48		99.66		99.38		99.48		99.66		99.38		99.48		99.66	
Average diameter	(mm)	99.47		99.44		99.53		99.47		99.44		99.53		99.47		99.44		99.53	
Height (mm)	1	55.36		52.52		52.39		55.36		52.52		52.39		55.36		52.52		52.39	
	2	55.72		52.85		52.57		55.72		52.85		52.57		55.72		52.85		52.57	
	3	56.37		53.44		54.52		56.37		53.44		54.52		56.37		53.44		54.52	
	4	56.14		53.31		53.37		56.14		53.31		53.37		56.14		53.31		53.37	
Average Height	(mm.)	55.90		53.03		53.21		55.90		53.03		53.21		55.90		53.03		53.21	
Bulk Specific Gravity		2.466		2.465		2.449		2.466		2.465		2.449		2.466		2.465		2.449	
No. of Test		1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1
Pulse 1	(MPa)	22,926	21,849	25,406	22,926	21,849	25,406	22,926	21,849	25,406	22,926	21,849	25,406	22,926	21,849	25,406	22,926	21,849	25,406
Pulse 2	(MPa)	22,645	22,134	25,611	22,645	22,134	25,611	22,645	22,134	25,611	22,645	22,134	25,611	22,645	22,134	25,611	22,645	22,134	25,611
Pulse 3	(MPa)	22,174	21,850	24,979	22,174	21,850	24,979	22,174	21,850	24,979	22,174	21,850	24,979	22,174	21,850	24,979	22,174	21,850	24,979
Pulse 4	(MPa)	22,420	21,405	25,278	22,420	21,405	25,278	22,420	21,405	25,278	22,420	21,405	25,278	22,420	21,405	25,278	22,420	21,405	25,278
Pulse 5	(MPa)	22,278	20,990	25,316	22,278	20,990	25,316	22,278	20,990	25,316	22,278	20,990	25,316	22,278	20,990	25,316	22,278	20,990	25,316
Mean	(MPa)	22,489	21,646	25,318	22,489	21,646	25,318	22,489	21,646	25,318	22,489	21,646	25,318	22,489	21,646	25,318	22,489	21,646	25,318
CV	(%)	1.91		3.13		1.25		1.91		3.13		1.25		1.91		3.13		1.25	
Resilient Modulus	(MPa)	22,067		24,549		23,259		22,067		24,549		23,259		22,067		24,549		23,259	
Average Resilient Modulus	(MPa)	22,663						20,528						21,021					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	2.63		8.32		2.63		2.63		8.32		2.63		2.63		8.32		2.63	

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	11 กม.094+700 - 738+800						101 กม.415+500 - 415+300						2 กม.156+000 - 155+800					
	Samples	1B		4B		5A		1B		4B		5A		1B		4B		5A	
Diameter (mm)	1	99.17		99.02		99.03		99.17		99.02		99.03		99.17		99.02		99.03	
	2	98.75		99.55		99.15		98.75		99.55		99.15		98.75		99.55		99.15	
Average diameter	(mm)	98.96		99.29		99.09		98.96		99.29		99.09		98.96		99.29		99.09	
Height (mm)	1	52.23		51.65		54.92		52.23		51.65		54.92		52.23		51.65		54.92	
	2	51.91		51.84		55.57		51.91		51.84		55.57		51.91		51.84		55.57	
	3	50.79		52.60		55.48		50.79		52.60		55.48		50.79		52.60		55.48	
	4	51.21		51.69		55.36		51.21		51.69		55.36		51.21		51.69		55.36	
Average Height	(mm.)	51.54		51.95		55.33		51.54		51.95		55.33		51.54		51.95		55.33	
Bulk Specific Gravity		2.413		2.410		2.429		2.413		2.410		2.429		2.413		2.410		2.429	
No. of Test		1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1
Pulse 1	(MPa)	18,690	18,841	21,287	18,690	18,841	21,287	18,690	18,841	21,287	18,690	18,841	21,287	18,690	18,841	21,287	18,690	18,841	21,287
Pulse 2	(MPa)	18,718	18,531	20,846	18,718	18,531	20,846	18,718	18,531	20,846	18,718	18,531	20,846	18,718	18,531	20,846	18,718	18,531	20,846
Pulse 3	(MPa)	18,563	18,070	21,178	18,563	18,070	21,178	18,563	18,070	21,178	18,563	18,070	21,178	18,563	18,070	21,178	18,563	18,070	21,178
Pulse 4	(MPa)	18,842	18,013	21,482	18,842	18,013	21,482	18,842	18,013	21,482	18,842	18,013	21,482	18,842	18,013	21,482	18,842	18,013	21,482
Pulse 5	(MPa)	18,786	18,212	21,517	18,786	18,212	21,517	18,786	18,212	21,517	18,786	18,212	21,517	18,786	18,212	21,517	18,786	18,212	21,517
Mean	(MPa)	18,720	18,333	21,262	18,720	18,333	21,262	18,720	18,333	21,262	18,720	18,333	21,262	18,720	18,333	21,262	18,720	18,333	21,262
CV	(%)	1.04		4.20		6.39		1.04		4.20		6.39		1.04		4.20		6.39	
Resilient Modulus	(MPa)	18,527		20,405		22,033		18,527		20,405		22,033		18,527		20,405		22,033	
Average Resilient Modulus	(MPa)	20,321						21,565						12,558					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	8.83		0.41		8.42		8.83		0.41		8.42		8.83		0.41		8.42	

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	21 กม.004+600 - 004+400						23 กม.130+100 - 129+900						23 กม.288+150 - 288+350					
	Samples	2B <sup>N/A</sup>		3B		4C		2B <sup>N/A</sup>		3B		4C		2B <sup>N/A</sup>		3B		4C	
Diameter (mm)	1	100.32		99.87		99.53		100.32		99.87		99.53		100.32		99.87		99.53	
	2	99.81		99.76		99.83		99.81		99.76		99.83		99.81		99.76		99.83	
Average diameter	(mm)	100.07		99.82		99.68		100.07		99.82		99.68		100.07		99.82		99.68	
Height (mm)	1	56.23		56.61		53.74		56.23		56.61		53.74		56.23		56.61		53.74	
	2	55.96		55.37		53.76		55.96		55.37		53.76		55.96		55.37		53.76	
	3	55.80		54.70		54.74		55.80		54.70		54.74		55.80		54.70		54.74	
	4	56.27		55.58		54.59		56.27		55.58		54.59		56.27		55.58		54.59	
Average Height	(mm.)	56.07		55.57		54.21		56.07		55.57		54.21		56.07		55.57		54.21	
Bulk Specific Gravity		2.443		2.434		2.473		2.443		2.434		2.473		2.443		2.434		2.473	
No. of Test		1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1
Pulse 1	(MPa)	18,775	17,545	20,058	18,775	17,545	20,058	18,775	17,545	20,058	18,775	17,545	20,058	18,775	17,545	20,058	18,775	17,545	20,058
Pulse 2	(MPa)	18,709	17,872	20,821	18,709	17,872	20,821	18,709	17,872	20,821	18,709	17,872	20,821	18,709	17,872	20,821	18,709	17,872	20,821
Pulse 3	(MPa)	19,204	17,725	20,837	19,204	17,725	20,837	19,204	17,725	20,837	19,204	17,725	20,837	19,204	17,725	20,837	19,204	17,725	20,837
Pulse 4	(MPa)	19,511	17,926	20,785	19,511	17,926	20,785	19,511	17,926	20,785	19,511	17,926	20,785	19,511	17,926	20,785	19,511	17,926	20,785
Pulse 5	(MPa)	18,706	17,865	20,820	18,706	17,865	20,820	18,706	17,865	20,820	18,706	17,865	20,820	18,706	17,865	20,820	18,706	17,865	20,820
Mean	(MPa)	18,981	17,787	20,664	18,981	17,787	20,664	18,981	17,787	20,664	18,981	17,787	20,664	18,981	17,787	20,664	18,981	17,787	20,664
CV	(%)	3.25		5.26		3.64		3.25		5.26		3.64		3.25		5.26		3.64	
Resilient Modulus	(MPa)	18,384		19,632		18,903		18,384		19,632		18,903		18,384		19,632		18,903	
Average Resilient Modulus	(MPa)	19,267						13,711						17,975					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	4.58		1.89		1.89		4.58		1.89		1.89		4.58		1.89		1.89	

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	201 กม.204+100 - 203+900						205 กม.331+350 - 331+150						214กม. 004+000 - 004+200					
	Samples	2A		3A		4B <sup>3-</sup>		1A		4B		S2 <sup>4+</sup>		5B		S6		S9	
Diameter (mm)	1	99.60	99.78	99.78	99.78	99.74	100.25	100.09	94.24	93.50	95.08								
	2	99.81	99.70	99.64	99.94	100.10	99.95	93.71	93.91	94.05									
Average diameter	(mm)	99.71	99.74	99.71	99.84	100.18	100.02	93.98	93.71	94.57									
Height (mm)	1	54.98	55.56	54.48	51.68	51.50	55.99	40.78	41.01	43.82									
	2	54.21	54.29	54.48	51.73	50.76	55.13	40.23	40.72	42.62									
	3	53.52	53.20	54.79	51.21	51.13	54.74	40.53	41.62	42.76									
	4	54.52	54.07	54.91	51.30	51.63	54.37	40.65	41.43	42.90									
Average Height	(mm.)	54.31	54.28	54.67	51.48	51.26	55.06	40.55	41.20	43.03									
Bulk Specific Gravity		2.398	2.394	2.379	2.244	2.250	2.215	2.470	2.422	2.445									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1
Pulse 1	(MPa)	21,807	20,231	21,891	21,807	20,231	21,891	16,996	16,701	18,885	17,609	18,187	17,979	18,112	16,820	15,437	14,677	13,174	14,875
Pulse 2	(MPa)	21,622	19,948	21,490	21,622	19,948	21,490	17,092	16,314	18,632	17,888	19,082	18,023	18,628	17,430	15,511	14,492	13,758	14,883
Pulse 3	(MPa)	22,033	19,489	22,069	22,033	19,489	22,069	16,924	16,334	18,884	17,663	18,525	17,739	18,439	16,862	15,548	14,206	13,458	15,071
Pulse 4	(MPa)	22,126	20,131	21,539	22,126	20,131	21,539	16,989	16,305	18,877	17,725	19,006	18,131	18,441	17,025	15,486	14,377	13,346	14,649
Pulse 5	(MPa)	21,790	20,119	21,283	21,790	20,119	21,283	16,795	16,402	18,877	17,590	18,779	17,442	18,519	16,899	15,459	14,365	13,192	14,847
Mean	(MPa)	21,876	19,984	21,654	21,876	19,984	21,654	16,959	16,411	18,831	17,695	18,716	17,863	18,428	17,007	15,488	14,423	13,386	14,865
CV	(%)	4.52	2.69	2.51	1.64	3.11	2.33	4.01	3.56	5.24									
Resilient Modulus	(MPa)	20,930	21,087	17,401	16,685	18,263	18,290	17,717	14,956	14,125									
Average Resilient Modulus	(MPa)	21,009						17,474						15,599					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.39	0.37	17.17	4.51	4.51	4.67	13.58	4.13	9.45									

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	218 กม.042+000 - 041+800						2169 กม.015+800 - 016+000						1 กม.289+500 - 289+700					
	Samples	1B	1C <sup>N/A</sup>	3B	1C	4B	5B <sup>N/A</sup>	2A	2C	S3 <sup>N/A</sup>									
Diameter (mm)	1	93.44	93.58	93.49	99.57	99.78	99.67	99.12	99.44	98.95									
	2	92.84	93.25	93.56	99.65	99.71	100.01	99.17	99.09	99.00									
Average diameter	(mm)	93.14	93.42	93.53	99.61	99.75	99.84	99.15	99.27	98.98									
Height (mm)	1	41.75	49.69	41.93	48.82	46.61	44.63	53.75	53.71	53.94									
	2	41.95	49.44	41.95	48.55	46.35	43.16	52.75	54.31	52.85									
	3	42.44	49.66	43.98	48.59	45.85	43.33	53.80	54.06	53.05									
	4	41.99	50.42	42.98	49.03	46.41	44.26	54.73	53.46	51.71									
Average Height	(mm.)	42.03	49.80	42.71	48.75	46.31	43.85	53.76	53.89	52.89									
Bulk Specific Gravity		2.370	2.459	2.378	2.441	2.396	2.358	2.400	2.380	2.348									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Pulse 1	(MPa)	15,770	15,269	17,872	16,770	16,962	16,071	21,957	19,348	20,210	19,529	21,961	19,568	17,028	16,536	20,046	18,186	15,890	13,285
Pulse 2	(MPa)	15,897	15,348	17,720	16,817	17,256	16,147	22,370	18,900	19,851	19,273	21,387	19,870	16,915	16,701	20,738	18,038	15,720	13,320
Pulse 3	(MPa)	15,655	15,508	17,806	16,730	16,801	15,956	22,747	18,834	20,435	19,692	21,789	19,716	16,881	16,547	20,639	17,778	15,664	13,575
Pulse 4	(MPa)	15,978	15,114	17,425	16,544	16,881	16,234	22,574	19,262	20,583	19,389	22,082	19,685	16,766	16,767	20,031	18,095	15,394	13,336
Pulse 5	(MPa)	15,869	15,394	17,516	16,592	16,836	16,170	22,290	19,195	19,994	19,600	21,346	19,539	16,900	16,588	20,241	17,962	15,717	13,342
Mean	(MPa)	15,834	15,327	17,668	16,691	16,947	16,116	22,388	19,108	20,215	19,497	21,713	19,676	16,898	16,628	20,339	18,012	15,677	13,372
CV	(%)	1.63	2.84	2.51	7.90	1.81	4.92	0.81	6.07	7.93									
Resilient Modulus	(MPa)	15,581	17,180	16,532	20,748	19,856	20,695	16,763	19,176	14,525									
Average Resilient Modulus	(MPa)	16,056						20,302						17,969					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	2.96	7.00	2.96	2.20	2.20	1.93	6.71	6.71	19.17									

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	117 กม.012+200 - 012+400						122 กม.010+100 - 009+900						309 กม.010+900 - 010+700					
	Samples	1B		2A <sup>1+</sup>		3C <sup>1+</sup>		1C		3C		S5		3A		4B <sup>N/A</sup>		5C	
Diameter (mm)	1	99.64	99.43	99.25	99.21	99.33	99.45	99.11	99.92	98.82									
	2	99.38	99.25	99.63	99.26	99.02	99.67	98.99	99.33	99.14									
Average diameter	(mm)	99.51	99.34	99.44	99.24	99.18	99.56	99.05	99.63	98.98									
Height (mm)	1	50.01	53.11	54.01	52.40	52.96	50.86	53.80	53.03	53.00									
	2	50.69	53.93	54.22	52.29	53.22	50.88	54.13	52.17	53.75									
	3	52.01	54.90	54.52	53.74	52.96	53.94	54.92	52.43	53.96									
	4	50.95	53.84	54.00	54.21	52.44	53.57	55.16	53.00	53.25									
Average Height	(mm.)	50.92	53.95	54.19	53.16	52.90	52.31	54.50	53.06	53.49									
Bulk Specific Gravity		2.404	2.404	2.412	2.368	2.347	2.351	2.402	2.452	2.419									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	21,305	21,806	24,865	22,936	26,208	22,317	20,904	19,472	18,348	16,499	19,491	17,075	23,332	22,039	20,722	19,627	24,154	23,406
Pulse 2	(MPa)	21,229	21,510	25,229	22,949	26,347	21,670	20,593	19,236	18,454	16,478	19,416	17,087	23,050	22,026	21,703	19,358	24,061	23,132
Pulse 3	(MPa)	21,435	22,142	24,888	22,130	26,421	22,357	20,430	19,456	18,585	16,398	19,394	17,126	23,261	21,914	20,895	19,249	24,813	23,040
Pulse 4	(MPa)	21,361	22,626	24,504	22,450	25,827	21,728	20,636	19,418	18,128	16,571	18,954	17,380	23,390	21,426	21,047	19,796	24,531	23,605
Pulse 5	(MPa)	21,077	21,586	24,696	22,663	26,094	22,258	21,149	19,638	18,377	16,553	19,500	17,015	22,769	22,209	21,260	19,600	23,759	23,281
Mean	(MPa)	21,281	21,934	24,836	22,626	26,180	22,066	20,742	19,444	18,379	16,500	19,351	17,137	23,160	21,923	21,125	19,526	24,264	23,293
CV	(%)	1.51		4.66		8.53		3.23		5.39		6.07		2.74		3.93		2.04	
Resilient Modulus	(MPa)	21,608		23,731		24,123		20,093		17,440		18,244		22,542		20,326		23,778	
Average Resilient Modulus	(MPa)	21,608						18,592						23,160					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00		9.83		11.64		8.07		6.20		1.87		2.67		12.24		2.67	

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	347 กม. 007+800 - 008+000						3001 กม.001+700 - 001+900						3111 กม.011+400 - 011+200					
	Samples	1C		S1 <sup>3</sup>		S2 <sup>3</sup>		1B		2C		3B		1C <sup>5</sup>		4A <sup>N/A</sup>		S5	
Diameter (mm)	1	99.12		99.25		99.71		99.47		99.39		99.31		98.91		99.01		99.01	
	2	99.15		99.34		99.54		99.46		99.55		99.52		98.92		99.15		99.17	
Average diameter	(mm)	99.14		99.30		99.63		99.47		99.47		99.42		98.92		99.08		99.09	
Height (mm)	1	51.94		51.30		53.51		54.84		53.88		55.04		53.00		54.51		44.92	
	2	51.66		51.08		52.17		55.34		54.29		53.95		52.75		54.19		46.19	
	3	51.79		51.88		52.68		55.33		55.01		53.66		51.65		54.33		46.56	
	4	51.92		52.83		52.89		55.25		54.75		54.91		52.01		54.62		45.02	
Average Height	(mm.)	51.83		51.77		52.81		55.19		54.48		54.39		52.35		54.41		45.67	
Bulk Specific Gravity		2.309		2.360		2.329		2.266		2.318		2.274		2.427		2.407		2.405	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	18,794	16,864	21,444	19,287	21,442	19,859	17,267	16,689	20,345	18,395	17,105	15,089	17,670	17,370	24,757	24,734	20,678	19,414
Pulse 2	(MPa)	18,550	16,922	21,882	19,694	21,309	20,213	17,297	16,513	20,460	18,407	17,234	15,165	17,561	17,332	24,636	25,161	21,426	19,184
Pulse 3	(MPa)	18,013	16,869	21,488	19,958	21,259	20,001	17,373	16,433	20,310	17,939	16,783	15,213	17,352	16,901	24,071	25,414	20,635	19,528
Pulse 4	(MPa)	18,336	16,893	21,469	19,696	21,118	20,102	17,425	16,206	20,041	18,346	17,017	15,099	17,443	17,033	25,082	24,652	21,245	19,646
Pulse 5	(MPa)	18,226	16,723	21,132	19,753	21,404	19,627	17,122	16,278	20,044	18,404	17,137	14,911	17,091	17,302	24,943	25,023	20,486	19,508
Mean	(MPa)	18,384	16,854	21,483	19,678	21,307	19,960	17,297	16,424	20,240	18,298	17,055	15,095	17,423	17,188	24,698	24,997	20,894	19,456
CV	(%)	4.34		4.39		3.26		2.59		5.04		6.10		0.68		0.60		3.56	
Resilient Modulus	(MPa)	17,619		20,581		20,634		16,861		19,269		16,075		17,306		24,848		20,175	
Average Resilient Modulus	(MPa)	17,619						17,402						20,175					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00		16.81		17.11		3.11		10.73		7.62		14.22		23.16		0.00	



ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	3196 กม.092+400 - 092+600						3 กม.130+400 - 130+200						33 กม.141+850 - 141+650						
	Samples	1C		4B		S4		2B <sup>N/A</sup>		3B <sup>4+</sup>		4B		1A <sup>N/A</sup>		1B		4C <sup>1+</sup>		
Diameter (mm)	1	99.37	99.24	99.82	99.82	99.82	99.82	93.41	93.95	93.86	93.86	93.86	93.86	94.42	94.16	94.34	94.34	94.34	94.34	
	2	<b>98.68</b>	99.12	99.31	99.31	99.31	99.31	94.21	93.99	93.79	93.79	93.79	93.79	94.17	94.38	94.10	94.10	94.10	94.10	
Average diameter	(mm)	99.03	99.18	99.57	99.57	99.57	99.57	93.81	93.97	93.83	93.83	93.83	93.83	94.30	94.27	94.22	94.22	94.22	94.22	
Height (mm)	1	51.58	53.39	46.24	46.24	46.24	46.24	54.22	51.36	51.57	51.57	51.57	51.57	56.39	53.74	55.23	55.23	55.23	55.23	
	2	51.80	54.02	45.34	45.34	45.34	45.34	53.86	51.91	52.26	52.26	52.26	52.26	56.39	53.70	55.23	55.23	55.23	55.23	
	3	52.76	53.61	46.32	46.32	46.32	46.32	52.97	52.65	53.27	53.27	53.27	53.27	56.46	54.90	54.29	54.29	54.29	54.29	
	4	51.41	53.87	46.42	46.42	46.42	46.42	53.61	51.82	51.88	51.88	51.88	51.88	56.36	55.11	54.50	54.50	54.50	54.50	
Average Height	(mm.)	51.89	53.72	46.08	46.08	46.08	46.08	53.67	51.94	52.25	52.25	52.25	52.25	56.40	54.36	54.81	54.81	54.81	54.81	
Bulk Specific Gravity		2.398	2.370	2.406	2.406	2.406	2.406	2.404	2.381	2.404	2.404	2.404	2.404	2.463	2.466	2.463	2.463	2.463	2.463	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	19,257	16,499	19,458	19,294	18,366	15,661	14,883	13,719	19,168	17,095	15,891	14,644	16,845	15,556	18,186	15,521	19,783	17,798	
Pulse 2	(MPa)	19,583	16,792	19,611	19,298	18,338	16,063	15,007	13,866	18,450	16,874	15,846	14,514	16,638	15,501	18,026	15,325	19,920	17,624	
Pulse 3	(MPa)	20,104	16,342	18,580	18,853	18,320	15,287	14,962	13,889	19,383	16,657	15,964	14,687	16,524	15,491	18,127	15,527	19,939	17,744	
Pulse 4	(MPa)	19,547	16,824	18,879	18,893	18,332	15,594	15,162	13,780	19,090	16,932	15,882	14,426	16,935	15,503	18,060	15,377	20,200	17,972	
Pulse 5	(MPa)	19,531	16,470	19,179	19,242	18,474	15,404	15,036	13,905	19,129	17,109	15,922	14,448	17,019	15,287	17,718	15,676	20,217	17,925	
Mean	(MPa)	19,604	16,585	19,142	19,116	18,366	15,602	15,010	13,832	19,044	16,933	15,901	14,544	16,792	15,468	18,023	15,485	20,012	17,813	
CV	(%)	8.34	0.07	8.14	4.08	5.87	4.46	4.10	7.57	5.81	4.46	4.10	7.57	5.81	4.46	4.10	7.57	5.81	4.46	
Resilient Modulus	(MPa)	18,095	19,129	16,984	14,421	17,989	15,223	16,130	16,754	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913	18,913
Average Resilient Modulus	(MPa)	18,069						15,223						16,754						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.14	5.87	6.01	5.27	18.17	0.00	3.72	0.00	12.88	3.72	0.00	12.88	3.72	0.00	12.88	3.72	0.00	12.88	3.72

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	33 กม.274+100 - 273+900						34 กม.019+000 - 019+200						36 กม.042+700 -042+500					
	Samples	3A		3C		4C		4A		4B		5C		2C <sup>N/A</sup>		3C		4C	
Diameter (mm)	1	94.24	94.11	94.19	93.81	93.86	94.00	93.47	93.67	93.18									
	2	94.80	93.25	94.08	93.89	93.37	94.02	93.86	93.74	93.98									
Average diameter	(mm)	94.52	93.68	94.14	93.85	93.62	94.01	93.67	93.71	93.58									
Height (mm)	1	52.20	52.22	51.19	53.98	54.10	54.61	56.70	54.46	55.03									
	2	51.71	52.33	51.38	54.73	53.93	54.03	56.81	55.23	54.56									
	3	51.35	53.15	52.48	51.07	54.07	53.64	56.60	53.88	54.63									
	4	51.82	53.04	51.80	53.48	54.72	53.96	56.18	54.24	54.87									
Average Height	(mm.)	51.77	52.69	51.71	53.32	54.21	54.06	56.57	54.45	54.77									
Bulk Specific Gravity		2.425	2.450	2.445	2.558	2.534	2.544	2.535	2.535	2.450									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	19,307	16,897	19,994	17,029	17,217	17,724	22,004	19,419	17,599	15,263	21,300	18,314	19,174	17,273	20,593	18,214	20,799	18,438
Pulse 2	(MPa)	19,268	16,539	19,661	16,649	17,268	17,384	22,948	19,125	17,921	15,319	21,581	18,370	19,042	17,036	20,384	18,093	21,345	18,423
Pulse 3	(MPa)	19,355	16,910	20,011	17,031	17,281	17,493	22,112	19,378	17,883	15,442	21,073	18,511	19,143	16,931	20,641	18,943	21,022	18,198
Pulse 4	(MPa)	19,512	16,949	20,130	16,910	17,034	17,540	22,333	19,145	17,798	15,332	21,482	18,279	19,182	17,052	20,688	18,828	20,820	18,292
Pulse 5	(MPa)	19,303	16,763	19,630	16,940	17,014	17,310	22,852	19,173	18,240	15,295	21,476	18,292	18,839	17,067	20,753	18,680	20,786	18,721
Mean	(MPa)	19,349	16,812	19,885	16,912	17,163	17,490	22,450	19,248	17,888	15,330	21,383	18,353	19,076	17,072	20,612	18,552	20,954	18,414
CV	(%)	7.02	8.08	0.94	7.68	7.70	7.63	5.54	5.26	6.45									
Resilient Modulus	(MPa)	18,081	18,399	17,327	20,849	16,609	19,868	18,074	19,582	19,684									
Average Resilient Modulus	(MPa)	17,935						19,109						19,633					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.81	2.58	3.39	9.11	13.08	3.97	7.94	0.26	0.26									

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	304 กม.021+000 - 020+800						318 กม.005+800 - 006+000						4 กม.047+800 - 047+600					
	Samples	1A <sup>1+</sup>		1C <sup>1+</sup>		3B		3A		3B		S1 <sup>N/A</sup>		1C		3C <sup>N/A</sup>		S5 <sup>3-</sup>	
Diameter (mm)	1	94.76		93.96		94.23		93.36		93.25		93.24		98.94		98.80		98.86	
	2	94.44		94.09		94.30		93.48		93.32		93.08		98.98		99.23		98.95	
Average diameter	(mm)	94.60		94.03		94.27		93.42		93.29		93.16		98.96		99.02		98.91	
Height (mm)	1	57.56		57.26		56.64		53.28		53.55		50.59		55.64		55.34		58.59	
	2	57.02		57.08		55.85		53.44		54.11		51.20		55.15		54.55		59.18	
	3	56.20		57.54		56.10		53.42		54.46		51.29		54.79		55.32		58.84	
	4	56.91		56.95		56.61		53.43		53.87		50.96		55.13		56.89		57.44	
Average Height	(mm.)	56.92		57.21		56.30		53.39		54.00		51.01		55.18		55.53		58.51	
Bulk Specific Gravity		2.532		2.538		2.538		2.360		2.270		2.280		2.378		2.381		2.367	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	20,716	18,878	23,321	21,915	14,315	12,947	20,896	20,339	15,568	14,877	16,733	15,685	20,541	20,816	24,488	20,883	22,503	20,033
Pulse 2	(MPa)	20,814	18,757	24,189	22,349	13,876	12,991	21,683	20,256	15,647	14,823	16,281	15,960	20,874	20,173	23,427	20,587	23,067	20,032
Pulse 3	(MPa)	20,715	18,697	23,053	22,255	14,423	12,700	21,254	19,684	15,585	14,900	16,539	16,250	20,779	20,523	24,256	20,455	22,864	20,871
Pulse 4	(MPa)	20,620	18,662	23,836	21,971	14,230	12,813	21,355	19,405	15,695	14,889	16,336	16,056	20,946	20,567	23,776	20,817	22,297	20,878
Pulse 5	(MPa)	20,574	18,658	23,773	22,220	13,855	12,805	20,945	20,132	15,570	14,818	16,291	16,067	20,758	20,934	23,784	20,169	22,545	20,202
Mean	(MPa)	20,688	18,730	23,634	22,142	14,140	12,851	21,226	19,963	15,613	14,861	16,436	16,003	20,780	20,603	23,946	20,582	22,655	20,403
CV	(%)	4.97		3.26		4.78		3.07		2.47		1.33		0.43		7.55		5.23	
Resilient Modulus	(MPa)	19,709		22,888		13,496		20,595		15,237		16,220		20,692		22,264		21,529	
Average Resilient Modulus	(MPa)			13,496				17,916						20,692					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	46.04		69.60		0.00		14.95		14.95		9.47		0.00		7.60		4.05	

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	4 กม.251+800 - 252+000						4 กม.313+900 - 314+100						41 กม.080+200 - 080+000					
	Samples	1B <sup>N/A</sup>		4A		S4		S3		S8		S12		4C		S1 <sup>N/A</sup>		S3 <sup>4</sup>	
Diameter (mm)	1	99.24		98.85		98.90		98.90		99.09		99.09		98.65		99.80		99.24	
	2	99.20		98.66		98.77		99.53		98.94		99.37		98.95		98.99		99.01	
Average diameter	(mm)	99.22		98.76		98.84		99.22		99.02		99.23		98.80		99.40		99.13	
Height (mm)	1	51.48		52.10		55.92		55.85		57.52		56.72		54.07		55.60		53.06	
	2	52.40		52.39		55.01		55.75		57.31		55.53		52.44		54.88		53.59	
	3	51.50		53.73		54.77		56.68		57.85		54.99		52.64		54.26		52.94	
	4	51.53		53.54		55.13		56.64		57.15		56.95		53.45		55.79		52.77	
Average Height	(mm.)	51.73		52.94		55.21		56.23		57.46		56.05		53.15		55.13		53.09	
Bulk Specific Gravity		2.530		2.505		2.493		2.401		2.411		2.394		2.493		2.482		2.493	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	22,989	20,856	26,635	24,856	21,622	19,264	20,920	19,700	19,311	19,710	21,691	20,371	23,879	20,704	20,148	17,125	24,597	22,903
Pulse 2	(MPa)	22,114	20,083	26,705	24,968	21,662	19,278	20,751	19,455	19,453	20,046	21,719	20,271	24,286	20,529	20,208	17,595	24,325	23,769
Pulse 3	(MPa)	22,023	20,893	25,883	23,940	22,093	19,676	20,670	19,081	19,375	19,502	22,045	20,128	24,197	20,819	19,999	17,062	23,895	22,774
Pulse 4	(MPa)	22,137	20,963	26,183	24,699	21,417	19,259	20,207	19,176	19,201	19,827	22,077	20,242	24,411	20,363	20,061	17,307	24,676	22,759
Pulse 5	(MPa)	22,214	20,649	26,704	24,520	21,620	19,516	20,797	19,963	19,275	19,951	22,189	20,295	25,197	20,326	20,302	17,007	24,712	23,156
Mean	(MPa)	22,295	20,689	26,422	24,597	21,683	19,398	20,669	19,475	19,323	19,807	21,944	20,261	24,394	20,548	20,143	17,219	24,441	23,072
CV	(%)	3.74		3.58		5.56		2.97		1.24		3.99		8.56		7.83		2.88	
Resilient Modulus	(MPa)	21,492		25,509		20,541		20,072		19,565		21,103		22,471		18,681		23,757	
Average Resilient Modulus	(MPa)	23,025						20,247						22,471					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	6.66		10.79		10.79		0.86		3.37		4.23		0.00		16.87		5.72	

ตารางที่ ง1 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	41 กม.127+900 - 127+700						41 กม.139+900 - 139+700						-						
	Samples	1C		4C		S4 <sup>2+</sup>		1B		3B		4C <sup>2+</sup>		-		-		-		
Diameter (mm)	1	99.10	98.59	98.90	99.25	98.98	98.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	98.87	99.54	99.05	99.25	99.00	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Average diameter	(mm)	98.99	99.07	98.98	99.25	98.99	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Height (mm)	1	52.39	53.78	55.69	52.40	54.05	52.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	52.08	54.92	56.78	52.86	53.33	53.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	52.03	53.89	57.07	53.26	53.66	54.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4	52.52	54.30	56.72	52.65	54.55	53.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Average Height	(mm.)	52.26	54.22	56.57	52.79	53.90	53.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bulk Specific Gravity		2.487	2.497	2.481	2.447	2.470	2.464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	21,375	21,561	24,721	20,559	27,848	26,640	20,603	19,075	23,958	23,196	24,013	20,571	-	-	-	-	-	-	-
Pulse 2	(MPa)	20,433	21,832	24,902	20,466	27,626	27,029	20,878	19,535	23,760	22,547	23,443	20,547	-	-	-	-	-	-	-
Pulse 3	(MPa)	20,737	21,158	24,763	20,546	28,053	26,642	21,106	19,918	23,969	22,817	23,869	20,453	-	-	-	-	-	-	-
Pulse 4	(MPa)	21,264	21,331	24,275	20,402	28,335	26,017	20,418	19,962	23,526	22,294	23,407	19,963	-	-	-	-	-	-	-
Pulse 5	(MPa)	21,326	21,942	24,917	20,101	27,604	26,866	20,534	19,570	24,157	22,982	23,380	20,450	-	-	-	-	-	-	-
Mean	(MPa)	21,027	21,565	24,716	20,415	27,893	26,639	20,708	19,612	23,874	22,767	23,622	20,397	-	-	-	-	-	-	-
CV	(%)	1.26		9.53		2.30		2.72		2.37		7.33		-		-		-		
Resilient Modulus	(MPa)	21,296		22,565		27,266		20,160		23,321		22,010		-		-		-		
Average Resilient Modulus	(MPa)	21,931						21,740						-						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	2.89		2.89		24.33		7.27		7.27		1.24		-		-		-		

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

Specimen	Location	1 กม.313+050 - 312+850						1 กม.357+000 - 357+200						1 กม.439+000 - 439+200					
	Samples	1C		3B		3C		4B		S3 <sup>3</sup>		S5 <sup>3</sup>		1B <sup>2</sup>		4A		5B <sup>2</sup>	
Diameter (mm)	1	99.55		99.60		99.44		98.54		98.60		98.98		99.67		99.71		99.88	
	2	99.54		99.67		99.46		98.47		98.64		98.62		99.68		99.41		99.57	
Average diameter	(mm)	99.55		99.64		99.45		98.51		98.62		98.80		99.68		99.56		99.73	
Height (mm)	1	53.90		55.09		55.39		52.10		53.25		51.18		56.04		54.17		53.51	
	2	54.17		54.61		56.00		51.55		53.49		52.20		55.95		54.06		54.61	
	3	54.25		54.35		54.74		51.90		54.59		52.25		56.07		54.82		53.33	
	4	53.83		54.50		54.25		52.58		54.27		50.93		56.91		55.12		52.79	
Average Height	(mm.)	54.04		54.64		55.10		52.03		53.90		51.64		56.24		54.54		53.56	
Bulk Specific Gravity		2.450		2.434		2.448		2.413		2.448		2.503		2.422		2.454		2.440	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	11,873	12,428	12,056	12,074	11,909	12,467	12,587	12,580	9,560	9,645	8,458	8,505	5,298	6,189	13,257	13,480	8,347	8,920
Pulse 2	(MPa)	12,349	12,757	12,002	11,846	11,972	12,365	12,471	12,438	9,651	9,716	8,498	8,408	5,371	6,126	13,257	13,618	8,306	8,685
Pulse 3	(MPa)	11,833	12,661	11,856	11,557	12,003	12,237	12,519	12,718	9,503	9,718	8,495	8,397	5,395	6,070	13,238	13,019	8,110	8,805
Pulse 4	(MPa)	12,121	12,597	11,907	11,756	11,837	12,126	12,690	12,628	9,785	9,619	8,489	8,390	5,399	6,050	13,219	13,158	8,191	8,593
Pulse 5	(MPa)	11,935	12,620	11,914	11,827	12,011	12,299	12,726	12,562	9,742	9,845	8,542	8,496	5,392	6,045	13,189	13,028	7,958	8,971
Mean	(MPa)	12,022	12,613	11,947	11,812	11,946	12,299	12,599	12,585	9,648	9,709	8,496	8,439	5,371	6,096	13,232	13,261	8,182	8,794
CV	(%)	2.40		0.57		1.46		0.06		0.32		0.34		6.32		0.11		3.61	
Resilient Modulus	(MPa)	12,318		11,880		12,123		12,592		9,679		8,468		5,734		13,247		8,488	
Average Resilient Modulus	(MPa)	12,107						12,592						13,247					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	1.74		1.88		0.13		0.00		23.14		32.75		56.72		0.00		35.92	

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	1 กม.485+000 - 485+200						1 กม.739+000 - 738+800						11 กม.077+000 - 077+200					
	Samples	1C		3A <sup>N/A</sup>		4B		2B		4A		S5 <sup>1+</sup>		3A		S3		S4	
Diameter (mm)	1	99.55		99.40		99.39		98.67		99.43		99.27		99.75		99.59		99.35	
	2	99.38		99.48		99.66		98.94		99.68		99.22		99.33		99.59		99.41	
Average diameter	(mm)	99.47		99.44		99.53		98.81		99.56		99.25		99.54		99.59		99.38	
Height (mm)	1	55.36		52.52		52.39		51.56		52.89		56.22		54.41		55.06		56.77	
	2	55.72		52.85		52.57		51.41		51.79		56.48		54.62		54.70		56.18	
	3	56.37		53.44		54.52		51.62		51.85		57.57		53.58		53.31		56.31	
	4	56.14		53.31		53.37		51.79		53.84		56.98		53.43		53.91		57.22	
Average Height	(mm.)	55.90		53.03		53.21		51.60		52.59		56.81		54.01		54.25		56.62	
Bulk Specific Gravity		2.466		2.465		2.449		2.366		2.367		2.402		2.360		2.388		2.367	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	10,340	11,075	12,387	11,311	10,814	10,964	12,853	12,459	13,230	13,385	15,952	15,891	11,687	11,395	14,635	14,607	13,852	13,004
Pulse 2	(MPa)	10,404	10,985	12,363	11,327	10,772	10,852	12,839	12,398	13,375	13,348	15,734	16,039	11,805	11,254	14,683	14,107	13,983	13,220
Pulse 3	(MPa)	10,425	10,849	12,185	11,265	10,671	10,980	13,043	12,610	13,453	13,669	15,475	15,827	11,639	11,311	14,664	13,839	14,025	13,360
Pulse 4	(MPa)	10,478	11,088	12,093	11,209	10,931	10,943	12,879	12,474	13,359	13,499	15,471	16,064	11,604	11,280	14,313	13,994	14,031	13,370
Pulse 5	(MPa)	10,402	10,809	12,265	11,276	10,701	10,853	12,734	12,532	13,330	13,268	15,891	16,019	11,620	11,480	14,757	14,027	13,988	13,252
Mean	(MPa)	10,410	10,961	12,259	11,278	10,778	10,918	12,869	12,495	13,349	13,434	15,705	15,968	11,671	11,344	14,610	14,115	13,976	13,241
CV	(%)	2.58		4.17		0.65		1.47		0.32		0.83		1.42		1.72		2.70	
Resilient Modulus	(MPa)	10,686		11,769		10,848		12,682		13,392		15,837		11,508		14,363		13,609	
Average Resilient Modulus	(MPa)	10,767						13,037						13,160					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.75		9.30		0.75		2.72		2.72		21.48		12.55		9.14		3.41	



ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	11 กม.094+700 - 738+800						101 กม.415+500 - 415+300						2 กม.156+000 - 155+800					
	Samples	1B		4B		5A		3B		5B		5C		3C		4C		5C	
Diameter (mm)	1	99.17	99.02	99.03	98.13	98.83	98.61	93.39	93.47	93.51	99.17	99.02	99.03	98.13	98.83	98.61	93.39	93.47	93.51
	2	98.75	99.55	99.15	98.44	98.45	98.58	93.27	94.18	93.60	98.75	99.55	99.15	98.44	98.45	98.58	93.27	94.18	93.60
Average diameter	(mm)	98.96	99.29	99.09	98.29	98.64	98.60	93.33	93.83	93.56	98.96	99.29	99.09	98.29	98.64	98.60	93.33	93.83	93.56
Height (mm)	1	52.23	51.65	54.92	55.60	53.07	55.13	52.46	53.09	55.94	52.23	51.65	54.92	55.60	53.07	55.13	52.46	53.09	55.94
	2	51.91	51.84	55.57	55.78	53.14	55.21	52.50	53.92	56.22	51.91	51.84	55.57	55.78	53.14	55.21	52.50	53.92	56.22
	3	50.79	52.60	55.48	55.23	53.95	55.73	52.33	54.77	56.46	50.79	52.60	55.48	55.23	53.95	55.73	52.33	54.77	56.46
	4	51.21	51.69	55.36	55.28	54.54	55.21	52.35	52.91	55.88	51.21	51.69	55.36	55.28	54.54	55.21	52.35	52.91	55.88
Average Height	(mm.)	51.54	51.95	55.33	55.47	53.68	55.32	52.41	53.67	56.13	51.54	51.95	55.33	55.47	53.68	55.32	52.41	53.67	56.13
Bulk Specific Gravity		2.413	2.410	2.429	2.482	2.475	2.508	2.290	2.300	2.308	2.413	2.410	2.429	2.482	2.475	2.508	2.290	2.300	2.308
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	8,253	8,995	7,425	6,794	8,335	9,856	11,311	11,359	11,451	11,322	10,956	10,116	8,629	8,080	6,861	6,844	7,364	7,176
Pulse 2	(MPa)	8,378	9,056	7,406	6,836	8,612	9,835	11,165	11,462	11,300	11,860	11,193	9,981	8,655	8,208	6,887	6,846	7,618	7,164
Pulse 3	(MPa)	8,292	9,192	7,365	6,767	8,479	9,818	11,176	11,338	11,408	11,479	10,946	9,919	8,647	8,303	6,877	6,842	7,399	7,106
Pulse 4	(MPa)	8,262	9,256	7,345	6,811	8,481	9,918	11,356	11,334	11,646	11,592	11,029	9,954	8,560	8,046	6,914	6,898	7,436	7,280
Pulse 5	(MPa)	8,278	9,199	7,419	6,700	8,454	9,738	11,192	11,317	11,511	11,792	11,254	10,109	8,695	8,324	6,927	6,905	7,567	7,230
Mean	(MPa)	8,293	9,140	7,392	6,782	8,472	9,833	11,240	11,362	11,463	11,609	11,076	10,016	8,637	8,192	6,893	6,867	7,477	7,191
CV	(%)	4.86	4.30	7.44	0.54	0.63	5.03	2.64	0.19	1.95	4.86	4.30	7.44	0.54	0.63	5.03	2.64	0.19	1.95
Resilient Modulus	(MPa)	8,717	7,087	9,153	11,301	11,536	10,546	8,415	6,880	7,334	8,717	7,087	9,153	11,301	11,536	10,546	8,415	6,880	7,334
Average Resilient Modulus	(MPa)	8,319						11,128						7,543					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	4.78	14.81	10.02	1.56	3.67	5.23	11.56	8.79	2.77	4.78	14.81	10.02	1.56	3.67	5.23	11.56	8.79	2.77

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	21 กม.004+600 - 004+400						23 กม.130+100 - 129+900						23 กม.288+150 - 288+350					
	Samples	2B <sup>N/A</sup>		3B		4C		1B		3A <sup>1+</sup>		3B		2A <sup>3-</sup>		3A		5A	
Diameter (mm)	1	100.32		99.87		99.53		100.13		99.90		99.98		99.97		99.86		100.11	
	2	99.81		99.76		99.83		99.93		99.89		100.04		99.82		99.65		99.84	
Average diameter	(mm)	100.07		99.82		99.68		100.03		99.90		100.01		99.90		99.76		99.98	
Height (mm)	1	56.23		56.61		53.74		53.33		54.90		53.24		50.62		53.85		53.53	
	2	55.96		55.37		53.76		53.41		54.27		53.67		51.52		53.09		54.41	
	3	55.80		54.70		54.74		52.44		54.54		54.48		49.49		53.32		54.31	
	4	56.27		55.58		54.59		51.87		55.07		53.84		49.25		53.81		53.56	
Average Height	(mm.)	56.07		55.57		54.21		52.76		54.70		53.81		50.22		53.52		53.95	
Bulk Specific Gravity		2.443		2.434		2.473		2.331		2.383		2.369		2.463		2.461		2.434	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	6,881	7,263	6,265	6,771	6,221	6,713	6,880	7,341	11,039	11,607	8,581	7,805	8,436	8,820	10,003	9,290	9,926	10,033
Pulse 2	(MPa)	6,859	7,238	6,251	6,522	6,177	6,686	7,061	7,633	11,284	11,820	8,636	7,847	8,273	8,858	10,082	9,187	10,029	9,977
Pulse 3	(MPa)	6,965	7,220	6,337	6,398	6,187	6,803	7,009	7,473	11,327	12,072	8,446	7,895	8,217	8,897	10,154	9,291	10,121	10,053
Pulse 4	(MPa)	6,795	7,216	6,348	6,623	6,174	6,608	7,016	7,570	11,296	11,832	8,640	7,872	8,290	8,805	9,839	9,129	10,125	10,180
Pulse 5	(MPa)	6,876	7,231	6,323	6,569	6,232	6,635	7,142	7,692	11,379	11,918	8,598	7,787	8,210	8,914	9,943	9,254	9,868	9,990
Mean	(MPa)	6,875	7,234	6,305	6,576	6,198	6,689	7,022	7,542	11,265	11,850	8,580	7,841	8,285	8,859	10,004	9,230	10,014	10,047
CV	(%)	2.54		2.10		3.81		3.57		2.53		4.50		3.35		4.02		0.16	
Resilient Modulus	(MPa)	7,055		6,441		6,444		7,282		11,558		8,211		8,572		9,617		10,031	
Average Resilient Modulus	(MPa)			6,442						7,746						9,824			
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	9.51		0.02		0.02		5.99		49.20		5.99		12.74		2.10		2.10	

ตารางที่ ง2 ผลการทดสอบหาค่า โมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	201 กม.204+100 - 203+900						205 กม.331+350 - 331+150						214กม. 004+000 - 004+200					
	Samples	2A		3A		4B <sup>3-</sup>		1A		4B		S2 <sup>4+</sup>		5B		S6		S9	
Diameter (mm)	1	99.60		99.78		99.78		99.74		100.25		100.09		94.24		93.50		95.08	
	2	99.81		99.70		99.64		99.94		100.10		99.95		93.71		93.91		94.05	
Average diameter	(mm)	99.71		99.74		99.71		99.84		100.18		100.02		93.98		93.71		94.57	
Height (mm)	1	54.98		55.56		54.48		51.68		51.50		55.99		40.78		41.01		43.82	
	2	54.21		54.29		54.48		51.73		50.76		55.13		40.23		40.72		42.62	
	3	53.52		53.20		54.79		51.21		51.13		54.74		40.53		41.62		42.76	
	4	54.52		54.07		54.91		51.30		51.63		54.37		40.65		41.43		42.90	
Average Height	(mm.)	54.31		54.28		54.67		51.48		51.26		55.06		40.55		41.20		43.03	
Bulk Specific Gravity		2.398		2.394		2.379		2.244		2.250		2.215		2.470		2.422		2.445	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	11,148	10,768	10,767	10,858	9,157	10,255	10,436	11,366	10,961	10,693	12,656	11,981	6,889	6,534	7,440	5,958	5,727	6,774
Pulse 2	(MPa)	11,071	11,300	10,527	10,696	9,190	10,502	10,338	11,234	11,018	10,612	12,671	12,293	6,740	6,527	7,289	5,930	5,683	6,915
Pulse 3	(MPa)	11,100	11,272	10,668	10,930	9,113	10,342	10,417	10,813	11,004	10,686	12,541	11,887	6,906	6,573	7,332	5,910	5,666	6,865
Pulse 4	(MPa)	11,161	11,267	10,724	10,772	9,050	10,283	10,492	11,142	11,155	10,878	12,409	11,893	6,728	6,408	7,337	5,914	5,658	6,857
Pulse 5	(MPa)	11,127	11,213	10,698	10,704	8,985	10,297	10,358	10,852	10,982	10,609	12,679	12,050	7,046	6,518	7,243	5,914	5,684	6,806
Mean	(MPa)	11,121	11,164	10,677	10,792	9,099	10,336	10,408	11,081	11,024	10,696	12,591	12,021	6,862	6,512	7,328	5,925	5,684	6,843
CV	(%)	0.19		0.54		6.36		3.13		1.51		2.32		2.62		10.59		9.25	
Resilient Modulus	(MPa)	11,143		10,735		9,718		10,745		10,860		12,306		6,687		6,627		6,264	
Average Resilient Modulus	(MPa)	10,939						10,802						6,526					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	1.86		1.86		11.16		0.53		0.53		13.92		2.47		1.55		4.02	

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	218 กม.042+000 - 041+800						2169 กม.015+800 - 016+000						1 กม.289+500 - 289+700					
	Samples	1B		1C <sup>N/A</sup>		3B		1C		4B		5B <sup>N/A</sup>		2A		2C		S3 <sup>N/A</sup>	
Diameter (mm)	1	93.44		93.58		93.49		99.57		99.78		99.67		99.12		99.44		98.95	
	2	92.84		93.25		93.56		99.65		99.71		100.01		99.17		99.09		99.00	
Average diameter	(mm)	93.14		93.42		93.53		99.61		99.75		99.84		99.15		99.27		98.98	
Height (mm)	1	41.75		49.69		41.93		48.82		46.61		44.63		53.75		53.71		53.94	
	2	41.95		49.44		41.95		48.55		46.35		43.16		52.75		54.31		52.85	
	3	42.44		49.66		43.98		48.59		45.85		43.33		53.80		54.06		53.05	
	4	41.99		50.42		42.98		49.03		46.41		44.26		54.73		53.46		51.71	
Average Height	(mm.)	42.03		49.80		42.71		48.75		46.31		43.85		53.76		53.89		52.89	
Bulk Specific Gravity		2.370		2.459		2.378		2.441		2.396		2.358		2.400		2.380		2.348	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	10,611	9,993	10,063	10,989	10,791	10,345	11,748	11,080	11,030	10,706	13,060	13,560	8,531	8,405	10,611	10,299	9,698	9,605
Pulse 2	(MPa)	10,414	10,041	10,080	10,644	10,789	10,288	12,041	11,404	11,215	10,900	13,127	13,446	8,648	8,232	10,322	10,120	9,723	9,583
Pulse 3	(MPa)	10,488	9,981	10,154	10,933	10,785	10,367	11,650	11,247	11,053	10,719	13,039	13,549	8,406	8,413	10,397	9,997	9,658	9,738
Pulse 4	(MPa)	10,428	10,139	10,096	10,764	10,686	10,377	11,857	11,124	10,988	10,580	13,041	13,371	8,711	8,283	10,029	10,286	9,913	9,544
Pulse 5	(MPa)	10,426	10,009	10,180	10,537	10,800	10,230	11,746	11,342	10,959	10,741	13,071	13,577	8,428	8,271	10,274	10,378	9,865	9,647
Mean	(MPa)	10,474	10,033	10,115	10,773	10,770	10,321	11,809	11,240	11,049	10,729	13,068	13,501	8,545	8,321	10,326	10,216	9,771	9,623
CV	(%)	2.15		3.15		2.13		2.47		1.47		1.63		1.33		0.54		0.76	
Resilient Modulus	(MPa)	10,254		10,444		10,546		11,525		10,889		13,285		8,433		10,271		9,697	
Average Resilient Modulus	(MPa)	10,400						11,207						9,352					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	1.40		0.43		1.40		2.84		2.84		18.54		9.83		9.83		3.69	

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	117 กม.012+200 - 012+400						122 กม.010+100 - 009+900						309 กม.010+900 - 010+700					
	Samples	1B		2A <sup>1+</sup>		3C <sup>1+</sup>		1C		3C		S5		3A		4B <sup>N/A</sup>		5C	
Diameter (mm)	1	99.64		99.43		99.25		99.21		99.33		99.45		99.11		99.92		98.82	
	2	99.38		99.25		99.63		99.26		99.02		99.67		98.99		99.33		99.14	
Average diameter	(mm)	99.51		99.34		99.44		99.24		99.18		99.56		99.05		99.63		98.98	
Height (mm)	1	50.01		53.11		54.01		52.40		52.96		50.86		53.80		53.03		53.00	
	2	50.69		53.93		54.22		52.29		53.22		50.88		54.13		52.17		53.75	
	3	52.01		54.90		54.52		53.74		52.96		53.94		54.92		52.43		53.96	
	4	50.95		53.84		54.00		54.21		52.44		53.57		55.16		53.00		53.25	
Average Height	(mm.)	50.92		53.95		54.19		53.16		52.90		52.31		54.50		53.06		53.49	
Bulk Specific Gravity		2.404		2.404		2.412		2.368		2.347		2.351		2.402		2.452		2.419	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	10,757	9,379	11,627	12,590	10,990	11,320	9,912	10,552	8,345	9,554	8,622	8,694	12,227	11,657	8,458	7,717	13,342	13,675
Pulse 2	(MPa)	10,538	9,342	11,804	12,537	11,131	11,539	9,815	10,644	8,585	9,246	8,437	8,457	12,088	11,560	8,671	7,752	13,678	13,722
Pulse 3	(MPa)	10,516	9,345	11,423	12,555	10,997	11,774	9,600	10,587	8,505	9,202	8,425	8,420	11,911	11,651	8,424	7,890	13,614	13,353
Pulse 4	(MPa)	10,502	9,399	11,439	12,452	11,075	11,466	9,557	10,488	8,319	9,435	8,373	8,364	11,808	11,534	8,347	7,901	13,583	13,915
Pulse 5	(MPa)	10,460	9,390	11,627	12,328	11,067	11,606	9,495	10,463	8,509	9,369	8,530	8,282	11,996	11,368	8,417	7,860	13,546	13,762
Mean	(MPa)	10,554	9,371	11,584	12,493	11,052	11,541	9,676	10,547	8,453	9,361	8,477	8,443	12,006	11,554	8,464	7,824	13,553	13,686
CV	(%)	5.94		3.78		2.16		4.31		5.10		0.20		1.92		3.93		0.49	
Resilient Modulus	(MPa)	9,963		12,039		11,297		10,112		8,907		8,460		11,780		8,144		13,620	
Average Resilient Modulus	(MPa)	9,963						9,160						12,700					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00		20.84		13.39		10.39		2.76		7.64		7.24		35.87		7.24	

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	347 กม. 007+800 - 008+000						3001 กม.001+700 - 001+900						3111 กม.011+400 - 011+200					
	Samples	1C		S1 <sup>3</sup>		S2 <sup>3</sup>		1B		2C		3B		1C <sup>5</sup>		4A <sup>N/A</sup>		S5	
Diameter (mm)	1	99.12		99.25		99.71		99.47		99.39		99.31		98.91		99.01		99.01	
	2	99.15		99.34		99.54		99.46		99.55		99.52		98.92		99.15		99.17	
Average diameter	(mm)	99.14		99.30		99.63		99.47		99.47		99.42		98.92		99.08		99.09	
Height (mm)	1	51.94		51.30		53.51		54.84		53.88		55.04		53.00		54.51		44.92	
	2	51.66		51.08		52.17		55.34		54.29		53.95		52.75		54.19		46.19	
	3	51.79		51.88		52.68		55.33		55.01		53.66		51.65		54.33		46.56	
	4	51.92		52.83		52.89		55.25		54.75		54.91		52.01		54.62		45.02	
Average Height	(mm.)	51.83		51.77		52.81		55.19		54.48		54.39		52.35		54.41		45.67	
Bulk Specific Gravity		2.309		2.360		2.329		2.266		2.318		2.274		2.427		2.407		2.405	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	10,498	10,077	8,946	9,652	8,582	9,736	8,845	8,068	9,328	8,126	8,501	8,914	7,031	6,570	14,943	15,195	11,686	11,657
Pulse 2	(MPa)	10,314	10,148	9,079	9,385	8,598	9,426	8,724	8,257	9,131	8,235	8,528	8,906	7,178	6,526	15,341	14,904	12,228	11,450
Pulse 3	(MPa)	10,349	9,889	9,003	9,606	8,645	9,308	8,685	8,115	9,046	8,235	8,524	8,963	7,092	6,559	14,503	15,102	11,243	11,330
Pulse 4	(MPa)	10,352	10,201	9,018	9,555	8,553	9,283	8,793	8,237	9,038	8,308	8,473	8,944	7,262	6,558	14,679	15,063	11,855	11,437
Pulse 5	(MPa)	10,354	10,337	8,956	9,528	8,611	9,268	8,715	8,088	9,066	8,436	8,400	8,639	7,228	6,550	13,888	14,771	11,611	11,348
Mean	(MPa)	10,373	10,131	9,000	9,545	8,598	9,404	8,752	8,153	9,122	8,268	8,485	8,873	7,158	6,553	14,671	15,007	11,725	11,445
CV	(%)	1.18		2.94		4.48		3.54		4.91		2.24		4.41		1.13		1.21	
Resilient Modulus	(MPa)	10,252		9,273		9,001		8,453		8,695		8,679		6,856		14,839		11,585	
Average Resilient Modulus	(MPa)	10,252						8,609						11,585					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00		9.55		12.20		1.82		1.00		0.82		40.82		28.09		0.00	

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	3196 กม.092+400 - 092+600						3 กม.130+400 - 130+200						33 กม.141+850 - 141+650					
	Samples	1C		4A		S4		2B <sup>N/A</sup>		3B <sup>4+</sup>		4B		1A <sup>N/A</sup>		1B		4C <sup>1+</sup>	
Diameter (mm)	1	99.37	99.24	99.82	93.41	93.95	93.86	94.42	94.16	94.34									
	2	98.68	99.12	99.31	94.21	93.99	93.79	94.17	94.38	94.10									
Average diameter	(mm)	99.03	99.18	99.57	93.81	93.97	93.83	94.30	94.27	94.22									
Height (mm)	1	51.58	53.39	46.24	54.22	51.36	51.57	56.39	53.74	55.23									
	2	51.80	54.02	45.34	53.86	51.91	52.26	56.39	53.70	55.23									
	3	52.76	53.61	46.32	52.97	52.65	53.27	56.46	54.90	54.29									
	4	51.41	53.87	46.42	53.61	51.82	51.88	56.36	55.11	54.50									
Average Height	(mm.)	51.89	53.72	46.08	53.67	51.94	52.25	56.40	54.36	54.81									
Bulk Specific Gravity		2.424	2.349	2.375	2.404	2.381	2.404	2.463	2.466	2.463									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	9,210	10,454	9,853	9,937	7,590	8,221	8,945	8,887	10,029	11,885	7,738	8,984	5,516	6,028	5,136	6,057	7,585	7,509
Pulse 2	(MPa)	9,069	10,429	9,838	9,895	7,621	8,074	9,042	8,658	10,021	11,755	7,846	9,380	5,685	6,155	5,222	6,305	7,611	7,580
Pulse 3	(MPa)	9,144	10,362	9,870	10,015	7,584	8,012	8,945	9,001	10,185	11,749	8,042	9,287	5,642	6,113	5,227	6,267	7,552	7,579
Pulse 4	(MPa)	9,171	10,326	9,921	9,677	7,567	8,115	8,901	8,893	10,014	11,872	7,922	9,325	5,711	6,263	5,177	6,071	7,630	7,547
Pulse 5	(MPa)	9,079	10,160	9,796	9,752	7,634	8,137	8,834	8,738	9,999	11,584	7,908	9,055	5,786	6,120	5,134	6,170	7,669	7,635
Mean	(MPa)	9,135	10,346	9,856	9,855	7,599	8,112	8,933	8,835	10,050	11,769	7,891	9,206	5,668	6,136	5,179	6,174	7,609	7,570
CV	(%)	6.22	0.01	3.27	0.55	7.88	7.69	3.96	8.76	0.26									
Resilient Modulus	(MPa)	9,741	9,856	7,856	8,884	10,910	8,549	5,902	5,677	7,590									
Average Resilient Modulus	(MPa)	9,151						8,549						5,677					
ส่วนเบี่ยงเบนของกลุ่ม	(%)	6.45	7.70	14.15	3.92	27.62	0.00	3.97	0.00	33.70									

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่า โมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	33 กม.274+100 - 273+900						34 กม.019+000 - 019+200						36 กม.042+700 -042+500					
	Samples	3A		3C		4C		4A		4B		5C		2C <sup>N/A</sup>		3C		4C	
Diameter (mm)	1	94.24	94.11	94.19	93.81	93.86	94.00	93.47	93.67	93.18	94.24	94.11	94.19	93.81	93.86	94.00	93.47	93.67	93.18
	2	94.80	93.25	94.08	93.89	93.37	94.02	93.86	93.74	93.98	94.80	93.25	94.08	93.89	93.37	94.02	93.86	93.74	93.98
Average diameter	(mm)	94.52	93.68	94.14	93.85	93.62	94.01	93.67	93.71	93.58	94.52	93.68	94.14	93.85	93.62	94.01	93.67	93.71	93.58
Height (mm)	1	52.20	52.22	51.19	53.98	54.10	54.61	56.70	54.46	55.03	52.20	52.22	51.19	53.98	54.10	54.61	56.70	54.46	55.03
	2	51.71	52.33	51.38	54.73	53.93	54.03	56.81	55.23	54.56	51.71	52.33	51.38	54.73	53.93	54.03	56.81	55.23	54.56
	3	51.35	53.15	52.48	51.07	54.07	53.64	56.60	53.88	54.63	51.35	53.15	52.48	51.07	54.07	53.64	56.60	53.88	54.63
	4	51.82	53.04	51.80	53.48	54.72	53.96	56.18	54.24	54.87	51.82	53.04	51.80	53.48	54.72	53.96	56.18	54.24	54.87
Average Height	(mm.)	51.77	52.69	51.71	53.32	54.21	54.06	56.57	54.45	54.77	51.77	52.69	51.71	53.32	54.21	54.06	56.57	54.45	54.77
Bulk Specific Gravity		2.425	2.450	2.445	2.558	2.534	2.544	2.535	2.535	2.450	2.425	2.450	2.445	2.558	2.534	2.544	2.535	2.535	2.450
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	6,487	7,997	7,448	6,110	7,457	6,659	8,200	8,463	5,313	5,308	7,552	8,159	9,516	9,034	9,113	8,255	8,280	8,093
Pulse 2	(MPa)	6,423	7,941	7,100	6,090	7,445	6,626	8,317	8,177	5,221	5,149	7,292	7,956	9,590	9,117	9,032	8,109	8,328	8,144
Pulse 3	(MPa)	6,390	7,835	7,232	6,125	7,335	6,639	8,235	8,212	5,210	5,085	7,515	8,117	9,491	9,116	9,202	8,171	8,280	8,065
Pulse 4	(MPa)	6,452	8,138	7,204	6,107	7,451	6,662	8,213	8,363	5,201	5,116	7,500	8,007	9,524	9,002	8,946	8,330	8,269	8,030
Pulse 5	(MPa)	6,435	8,044	7,159	6,131	7,403	6,658	8,307	8,300	5,349	5,316	7,474	7,883	9,513	9,124	9,195	8,281	8,293	8,035
Mean	(MPa)	6,437	7,991	7,229	6,112	7,418	6,649	8,254	8,303	5,259	5,195	7,467	8,024	9,527	9,079	9,098	8,229	8,290	8,074
CV	(%)	10.77	8.37	5.47	0.30	0.61	3.60	2.41	5.02	1.32	10.77	8.37	5.47	0.30	0.61	3.60	2.41	5.02	1.32
Resilient Modulus	(MPa)	7,214	6,670	7,034	8,279	5,227	7,746	9,303	8,664	8,182	7,214	6,670	7,034	8,279	5,227	7,746	9,303	8,664	8,182
Average Resilient Modulus	(MPa)	6,973						7,084						8,423					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	3.46	4.34	0.87	16.87	26.21	9.34	10.45	2.86	2.86	3.46	4.34	0.87	16.87	26.21	9.34	10.45	2.86	2.86



ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)


Specimen	Location	304 กม.021+000 - 020+800						318 กม.005+800 - 006+000						4 กม.047+800 - 047+600					
	Samples	1A <sup>1+</sup>		1C <sup>1+</sup>		3B		3A		3B		S2 <sup>N/A</sup>		1C		3C <sup>N/A</sup>		S5 <sup>3+</sup>	
Diameter (mm)	1	94.76	93.96	94.23	93.36	93.25	93.24	98.94	98.80	98.86									
	2	94.44	94.09	94.30	93.48	93.32	93.08	98.98	99.23	98.95									
Average diameter	(mm)	94.60	94.03	94.27	93.42	93.29	93.16	98.96	99.02	98.91									
Height (mm)	1	57.56	57.26	56.64	53.28	53.55	50.59	55.64	55.34	58.59									
	2	57.02	57.08	55.85	53.44	54.11	51.20	55.15	54.55	59.18									
	3	56.20	57.54	56.10	53.42	54.46	51.29	54.79	55.32	58.84									
	4	56.91	56.95	56.61	53.43	53.87	50.96	55.13	56.89	57.44									
Average Height	(mm.)	56.92	57.21	56.30	53.39	54.00	51.01	55.18	55.53	58.51									
Bulk Specific Gravity		2.532	2.538	2.538	2.360	2.270	2.280	2.378	2.381	2.367									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	7,523	7,778	9,389	9,818	4,714	4,425	11,207	10,995	9,644	10,242	6,868	6,949	13,920	14,430	14,916	15,581	12,396	12,390
Pulse 2	(MPa)	7,529	7,806	9,563	9,977	4,683	4,395	11,051	10,970	9,421	10,219	6,871	6,988	13,563	14,559	14,917	15,553	12,378	12,161
Pulse 3	(MPa)	7,482	7,966	9,501	9,945	4,628	4,525	11,065	11,129	9,388	10,047	6,831	6,964	13,677	14,147	15,198	15,550	12,479	12,296
Pulse 4	(MPa)	7,512	7,784	9,442	9,883	4,657	4,428	11,189	10,904	9,497	10,052	6,903	6,900	14,007	14,481	14,771	15,536	12,553	12,156
Pulse 5	(MPa)	7,529	7,891	9,513	9,897	4,648	4,461	11,267	11,083	9,481	9,933	6,828	6,946	13,973	14,426	14,979	15,355	12,256	12,013
Mean	(MPa)	7,515	7,845	9,481	9,904	4,666	4,447	11,156	11,016	9,486	10,099	6,860	6,949	13,828	14,409	14,956	15,515	12,412	12,203
CV	(%)	2.15	2.18	2.40	0.63	3.13	0.64	2.06	1.83	0.85									
Resilient Modulus	(MPa)	7,680	9,693	4,557	11,086	9,793	6,905	14,119	15,236	12,308									
Average Resilient Modulus	(MPa)	4,557						10,439						14,119					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	68.55	112.72	0.00	6.20	6.20	33.86	0.00	7.91	12.83									

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	4 กม.251+800 - 252+000						4 กม.313+900 - 314+100						41 กม.080+200 - 080+000					
	Samples	1B <sup>N/A</sup>		4A		S4		S3		S8		S12		4C		S1 <sup>N/A</sup>		S3 <sup>4</sup>	
Diameter (mm)	1	99.24		98.85		98.90		98.90		99.09		99.09		98.65		99.80		99.24	
	2	99.20		98.66		98.77		99.53		98.94		99.37		98.95		98.99		99.01	
Average diameter	(mm)	99.22		98.76		98.84		99.22		99.02		99.23		98.80		99.40		99.13	
Height (mm)	1	51.48		52.10		55.92		55.85		57.52		56.72		54.07		55.60		53.06	
	2	52.40		52.39		55.01		55.75		57.31		55.53		52.44		54.88		53.59	
	3	51.50		53.73		54.77		56.68		57.85		54.99		52.64		54.26		52.94	
	4	51.53		53.54		55.13		56.64		57.15		56.95		53.45		55.79		52.77	
Average Height	(mm.)	51.73		52.94		55.21		56.23		57.46		56.05		53.15		55.13		53.09	
Bulk Specific Gravity		2.530		2.505		2.493		2.401		2.411		2.394		2.493		2.482		2.493	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	8,077	9,367	13,302	12,406	10,067	9,029	10,370	10,234	10,234	9,632	9,909	10,945	11,516	12,627	8,218	8,864	13,506	12,325
Pulse 2	(MPa)	8,155	9,348	13,498	12,314	10,905	8,839	10,339	10,071	10,173	9,734	9,853	11,141	11,659	12,878	8,197	8,892	13,536	12,211
Pulse 3	(MPa)	8,112	9,395	13,327	12,286	10,058	8,946	10,273	10,066	10,177	9,621	9,963	11,012	11,590	12,926	8,291	8,978	13,277	12,058
Pulse 4	(MPa)	8,135	9,433	13,321	12,351	10,126	8,841	10,345	9,997	10,065	9,594	9,913	11,119	11,558	12,864	8,156	9,044	13,321	12,139
Pulse 5	(MPa)	8,147	9,424	13,276	12,329	10,282	9,026	10,247	10,085	10,186	9,666	9,943	10,992	11,541	12,671	8,167	9,051	13,253	12,065
Mean	(MPa)	8,125	9,393	13,344	12,337	10,288	8,936	10,315	10,091	10,167	9,649	9,916	11,042	11,573	12,793	8,206	8,966	13,379	12,160
CV	(%)	7.24		3.92		7.03		1.10		2.61		5.37		5.01		4.43		4.77	
Resilient Modulus	(MPa)	8,759		12,841		9,612		10,203		9,908		10,479		12,183		8,586		12,770	
Average Resilient Modulus	(MPa)	11,226						10,197						12,183					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	21.98		14.38		14.38		0.06		2.83		2.77		0.00		29.52		4.81	

ตารางที่ ๖2 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	41 กม.127+900 -127+700						41 กม.139+900 - 139+700						-				
	Samples	1C		4C		S4 <sup>2+</sup>		1B		3B		4C <sup>2+</sup>		-		-		
Diameter (mm)	1	99.10	98.59	98.90	99.25	98.98	98.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	98.87	99.54	99.05	99.25	99.00	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Average diameter	(mm)	98.99	99.07	98.98	99.25	98.99	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Height (mm)	1	52.39	53.78	55.69	52.40	54.05	52.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	52.08	54.92	56.78	52.86	53.33	53.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	52.03	53.89	57.07	53.26	53.66	54.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4	52.52	54.30	56.72	52.65	54.55	53.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Average Height	(mm.)	52.26	54.22	56.57	52.79	53.90	53.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bulk Specific Gravity		2.487	2.497	2.481	2.447	2.470	2.464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	12,837	15,113	13,148	12,937	16,769	16,520	9,815	10,067	10,392	10,195	11,353	11,967	-	-	-	-	-
Pulse 2	(MPa)	13,300	15,257	12,931	12,983	16,749	16,470	10,260	9,838	10,247	10,181	11,508	11,873	-	-	-	-	-
Pulse 3	(MPa)	13,109	15,344	13,106	13,103	16,656	16,624	9,975	9,956	10,257	10,517	11,317	12,058	-	-	-	-	-
Pulse 4	(MPa)	13,096	15,407	13,189	13,002	16,524	16,234	9,979	9,844	10,264	10,415	11,538	11,745	-	-	-	-	-
Pulse 5	(MPa)	13,292	15,415	13,538	12,948	16,658	16,491	9,949	9,584	10,131	10,200	11,351	11,977	-	-	-	-	-
Mean	(MPa)	13,127	15,307	13,182	12,995	16,671	16,468	9,996	9,858	10,258	10,301	11,413	11,924	-	-	-	-	-
CV	(%)	7.67	0.71	0.61	0.70	0.21	2.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Resilient Modulus	(MPa)	14,217	13,089	16,570	9,927	10,280	11,669	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Average Resilient Modulus	(MPa)	13,653						10,103						-				
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	4.13	4.13	21.36	1.74	1.74	15.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

Specimen	Location	1 กม.313+050 -312+850						1 กม.357+000 - 357+200						1 กม.439+000 - 439+200						
	Samples	1C		3B		3C		4B		S3 <sup>3</sup>		S5 <sup>3</sup>		1B <sup>2</sup>		4A		SB <sup>2</sup>		
Diameter (mm)	1	99.55	99.60	99.44	98.54	98.60	98.98	99.67	99.71	99.88	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	99.54	99.67	99.46	98.47	98.64	98.62	99.68	99.41	99.57	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Average diameter	(mm)	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.56	99.73	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Height (mm)	1	53.90	55.09	55.39	52.10	53.25	51.18	56.04	54.17	53.51	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	54.17	54.61	56.00	51.55	53.49	52.20	55.95	54.06	54.61	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	3	54.25	54.35	54.74	51.90	54.59	52.25	56.07	54.82	53.33	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	4	53.83	54.50	54.25	52.58	54.27	50.93	56.91	55.12	52.79	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Average Height	(mm.)	54.04	54.64	55.10	52.03	53.90	51.64	56.24	54.54	53.56	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Bulk Specific Gravity		2.450	2.434	2.448	2.413	2.448	2.503	2.422	2.454	2.440	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	3,988	4,170	4,057	4,505	4,449	4,300	4,827	5,117	3,539	3,713	2,068	1,973	1,049	1,086	3,058	2,851	1,582	1,454	
Pulse 2	(MPa)	4,027	4,189	4,028	4,532	4,376	4,322	4,879	5,156	3,500	3,655	2,156	2,001	1,056	1,076	3,099	2,831	1,631	1,441	
Pulse 3	(MPa)	4,061	4,237	3,946	4,519	4,433	4,393	4,860	5,194	3,461	3,621	2,113	1,997	1,044	1,084	3,091	2,828	1,649	1,479	
Pulse 4	(MPa)	4,021	4,199	4,011	4,483	4,417	4,348	4,876	5,180	3,525	3,677	2,128	2,037	1,082	1,095	3,091	2,823	1,658	1,462	
Pulse 5	(MPa)	4,043	4,213	4,094	4,550	4,463	4,415	4,889	5,155	3,535	3,682	2,135	2,050	1,079	1,103	3,097	2,807	1,656	1,438	
Mean	(MPa)	4,028	4,202	4,027	4,518	4,428	4,356	4,866	5,161	3,512	3,670	2,120	2,012	1,062	1,089	3,087	2,828	1,635	1,455	
CV	(%)	2.11	5.75	0.82	2.94	2.20	2.61	1.25	4.38	5.83	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Resilient Modulus	(MPa)	4,115	4,273	4,392	5,014	3,591	2,066	1,075	2,958	1,545	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Average Resilient Modulus	(MPa)	4,260						5,014						2,958						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	3.40	0.30	3.10	0.00	28.37	58.79	63.64	0.00	47.76	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	1 กม.485+000 - 485+200						1 กม.739+000 - 738+800						11 กม.077+000 - 077+200					
	Samples	1C		3A <sup>N/A</sup>		4B		2B		4A		S5 <sup>1+</sup>		3A		S3		S4	
Diameter (mm)	1	99.55		99.40		99.39		98.67		99.43		99.27		99.75		99.59		99.35	
	2	99.38		99.48		99.66		98.94		99.68		99.22		99.33		99.59		99.41	
Average diameter	(mm)	99.47		99.44		99.53		98.81		99.56		99.25		99.54		99.59		99.38	
Height (mm)	1	55.36		52.52		52.39		51.56		52.89		56.22		54.41		55.06		56.77	
	2	55.72		52.85		52.57		51.41		51.79		56.48		54.62		54.70		56.18	
	3	56.37		53.44		54.52		51.62		51.85		57.57		53.58		53.31		56.31	
	4	56.14		53.31		53.37		51.79		53.84		56.98		53.43		53.91		57.22	
Average Height	(mm.)	55.90		53.03		53.21		51.60		52.59		56.81		54.01		54.25		56.62	
Bulk Specific Gravity		2.466		2.465		2.449		2.366		2.367		2.402		2.360		2.388		2.367	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	2,243	1,846	2,630	2,846	2,233	2,279	4,028	3,978	4,286	3,826	4,816	4,962	3,366	3,020	4,229	3,085	2,934	3,519
Pulse 2	(MPa)	2,255	1,943	2,678	2,872	2,302	2,288	4,113	3,978	4,222	3,719	4,827	4,876	3,369	2,970	4,201	3,097	2,961	3,502
Pulse 3	(MPa)	2,268	1,964	2,688	2,947	2,303	2,317	4,057	4,046	4,247	3,809	4,817	4,914	3,327	2,982	4,252	3,126	2,972	3,508
Pulse 4	(MPa)	2,288	1,946	2,660	2,897	2,315	2,374	3,971	3,959	4,290	3,857	4,844	4,919	3,340	2,997	4,266	3,128	2,966	3,480
Pulse 5	(MPa)	2,298	1,938	2,646	2,900	2,301	2,325	4,124	3,977	4,254	3,873	4,883	4,992	3,322	2,984	4,246	3,099	2,927	3,563
Mean	(MPa)	2,270	1,927	2,660	2,892	2,291	2,316	4,059	3,988	4,260	3,817	4,837	4,933	3,345	2,990	4,239	3,107	2,952	3,514
CV	(%)	8.17		4.18		0.54		0.88		5.48		0.98		5.60		15.41		8.69	
Resilient Modulus	(MPa)	2,099		2,776		2,304		4,024		4,039		4,885		3,168		3,673		3,233	
Average Resilient Modulus	(MPa)	2,201						4,031						3,358					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	4.66		26.12		4.66		0.19		0.19		21.19		5.67		9.39		3.72	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	11 กม.094+700 - 738+800						101 กม.415+500 - 415+300						2 กม.156+000 - 155+800					
	Samples	1B		4B		5A		3B		5B		5C		3C		4C		5C	
Diameter (mm)	1	99.17		99.02		99.03		98.13		98.83		98.61		93.39		93.47		93.51	
	2	98.75		99.55		99.15		98.44		98.45		98.58		93.27		94.18		93.60	
Average diameter	(mm)	98.96		99.29		99.09		98.29		98.64		98.60		93.33		93.83		93.56	
Height (mm)	1	52.23		51.65		54.92		55.60		53.07		55.13		52.46		53.09		55.94	
	2	51.91		51.84		55.57		55.78		53.14		55.21		52.50		53.92		56.22	
	3	50.79		52.60		55.48		55.23		53.95		55.73		52.33		54.77		56.46	
	4	51.21		51.69		55.36		55.28		54.54		55.21		52.35		52.91		55.88	
Average Height	(mm.)	51.54		51.95		55.33		55.47		53.68		55.32		52.41		53.67		56.13	
Bulk Specific Gravity		2.413		2.410		2.429		2.482		2.475		2.508		2.290		2.300		2.308	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	3,288	3,019	3,117	3,008	3,913	3,531	3,320	3,499	3,829	3,973	3,212	2,724	2,550	2,394	2,050	1,716	2,177	1,983
Pulse 2	(MPa)	3,317	3,097	3,173	2,996	3,806	3,633	3,340	3,541	3,890	3,942	3,189	2,808	2,594	2,314	2,073	1,754	2,192	2,056
Pulse 3	(MPa)	3,326	3,091	3,162	3,057	3,908	3,640	3,386	3,545	3,908	4,031	3,215	2,804	2,580	2,316	2,041	1,743	2,174	2,076
Pulse 4	(MPa)	3,396	3,120	3,164	3,027	3,926	3,558	3,387	3,532	3,932	3,969	3,238	2,839	2,575	2,328	2,085	1,728	2,226	2,070
Pulse 5	(MPa)	3,341	3,103	3,160	3,032	3,889	3,667	3,371	3,532	3,976	4,008	3,248	2,836	2,583	2,312	2,061	1,746	2,225	2,081
Mean	(MPa)	3,334	3,086	3,155	3,024	3,889	3,606	3,361	3,530	3,907	3,985	3,220	2,802	2,576	2,333	2,062	1,737	2,199	2,053
CV	(%)	3.86		2.12		3.78		2.45		0.99		6.94		4.95		8.55		3.43	
Resilient Modulus	(MPa)	3,210		3,090		3,748		3,446		3,946		3,011		2,455		1,900		2,126	
Average Resilient Modulus	(MPa)	3,349						3,468						2,160					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	4.15		7.75		11.90		0.63		13.80		13.17		13.63		12.06		1.57	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	21 กม.004+600 - 004+400						23 กม.130+100 - 129+900						23 กม.288+150 - 288+350					
	Samples	2B <sup>N/A</sup>		3B		4C		1B		3A <sup>1+</sup>		3B		2A <sup>3+</sup>		3A		5A	
Diameter (mm)	1	100.32		99.87		99.53		100.13		99.90		99.98		99.97		99.86		100.11	
	2	99.81		99.76		99.83		99.93		99.89		100.04		99.82		99.65		99.84	
Average diameter	(mm)	100.07		99.82		99.68		100.03		99.90		100.01		99.90		99.76		99.98	
Height (mm)	1	56.23		56.61		53.74		53.33		54.90		53.24		50.62		53.85		53.53	
	2	55.96		55.37		53.76		53.41		54.27		53.67		51.52		53.09		54.41	
	3	55.80		54.70		54.74		52.44		54.54		54.48		49.49		53.32		54.31	
	4	56.27		55.58		54.59		51.87		55.07		53.84		49.25		53.81		53.56	
Average Height	(mm.)	56.07		55.57		54.21		52.76		54.70		53.81		50.22		53.52		53.95	
Bulk Specific Gravity		2.443		2.434		2.473		2.331		2.383		2.369		2.463		2.461		2.434	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	1,636	1,582	1,925	1,671	1,796	1,781	1,271	1,532	3,251	3,710	1,765	1,741	2,368	2,328	3,322	4,109	3,613	4,346
Pulse 2	(MPa)	1,631	1,610	1,997	1,701	1,868	1,796	1,324	1,549	3,302	3,727	1,772	1,773	2,374	2,322	3,356	4,078	3,617	4,404
Pulse 3	(MPa)	1,659	1,646	1,964	1,654	1,879	1,847	1,318	1,516	3,276	3,768	1,769	1,780	2,365	2,324	3,350	4,073	3,645	4,444
Pulse 4	(MPa)	1,641	1,657	2,014	1,702	1,872	1,829	1,338	1,582	3,282	3,724	1,787	1,795	2,369	2,332	3,351	4,052	3,634	4,466
Pulse 5	(MPa)	1,637	1,636	1,987	1,690	1,896	1,781	1,343	1,570	3,276	3,717	1,787	1,774	2,366	2,320	3,330	4,025	3,622	4,384
Mean	(MPa)	1,641	1,626	1,977	1,684	1,862	1,807	1,319	1,550	3,277	3,729	1,776	1,773	2,368	2,325	3,342	4,067	3,626	4,409
CV	(%)	0.46		8.00		1.50		8.05		6.45		0.08		0.92		9.79		9.74	
Resilient Modulus	(MPa)	1,634		1,831		1,835		1,435		3,503		1,775		2,347		3,705		4,018	
Average Resilient Modulus	(MPa)			1,833						1,605						3,861			
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	10.86		0.11		0.11		10.60		118.33		10.60		39.23		4.05		4.05	



ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	201 กม.204+100 - 203+900						205 กม.331+350 - 331+150						214กม. 004+000 - 004+200					
	Samples	2A		3A		4B <sup>3</sup>		1A		4B		S2 <sup>4+</sup>		5B		S6		S9	
Diameter (mm)	1	99.60	99.78	99.78	99.78	99.74	100.25	100.09	94.24	93.50	95.08								
	2	99.81	99.70	99.64	99.94	100.10	99.95	93.71	93.91	94.05									
Average diameter	(mm)	99.71	99.74	99.71	99.84	100.18	100.02	93.98	93.71	94.57									
Height (mm)	1	54.98	55.56	54.48	51.68	51.50	55.99	40.78	41.01	43.82									
	2	54.21	54.29	54.48	51.73	50.76	55.13	40.23	40.72	42.62									
	3	53.52	53.20	54.79	51.21	51.13	54.74	40.53	41.62	42.76									
	4	54.52	54.07	54.91	51.30	51.63	54.37	40.65	41.43	42.90									
Average Height	(mm.)	54.31	54.28	54.67	51.48	51.26	55.06	40.55	41.20	43.03									
Bulk Specific Gravity		2.398	2.394	2.379	2.244	2.250	2.215	2.470	2.422	2.445									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	3,019	3,034	3,683	4,137	2,515	2,549	3,164	3,538	3,116	3,645	4,336	4,840	935	812	900	1,094	850	740
Pulse 2	(MPa)	3,029	3,055	3,705	4,148	2,501	2,628	3,153	3,612	3,118	3,719	4,340	4,878	937	838	926	1,086	839	766
Pulse 3	(MPa)	2,983	2,992	3,745	4,102	2,513	2,585	3,080	3,632	3,110	3,680	4,287	4,864	944	827	950	1,138	819	749
Pulse 4	(MPa)	3,108	3,094	3,720	4,162	2,512	2,545	3,120	3,608	3,091	3,661	4,357	4,809	982	822	919	1,115	814	746
Pulse 5	(MPa)	3,029	3,017	3,733	4,079	2,522	2,517	3,114	3,587	3,081	3,645	4,351	4,796	943	818	975	1,095	813	752
Mean	(MPa)	3,034	3,038	3,717	4,126	2,513	2,565	3,126	3,595	3,103	3,670	4,334	4,838	948	823	934	1,106	827	751
CV	(%)	0.07	5.21	1.02	6.98	8.37	5.49	7.03	8.43	4.84									
Resilient Modulus	(MPa)	3,036	3,922	2,539	3,361	3,387	4,586	886	1,020	789									
Average Resilient Modulus	(MPa)	3,479						3,374						898					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	12.73	12.73	27.02	0.39	0.39	35.94	1.39	13.56	12.18									

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	218 กม.042+000 - 041+800						2169 กม.015+800 - 016+000						1 กม.289+500 - 289+700					
	Samples	1B		1C <sup>N/A</sup>		3B		1C		4B		5B <sup>N/A</sup>		2A		2C		S3 <sup>N/A</sup>	
Diameter (mm)	1	93.44		93.58		93.49		99.57		99.78		99.67		99.12		99.44		98.95	
	2	92.84		93.25		93.56		99.65		99.71		100.01		99.17		99.09		99.00	
Average diameter	(mm)	93.14		93.42		93.53		99.61		99.75		99.84		99.15		99.27		98.98	
Height (mm)	1	41.75		49.69		41.93		48.82		46.61		44.63		53.75		53.71		53.94	
	2	41.95		49.44		41.95		48.55		46.35		43.16		52.75		54.31		52.85	
	3	42.44		49.66		43.98		48.59		45.85		43.33		53.80		54.06		53.05	
	4	41.99		50.42		42.98		49.03		46.41		44.26		54.73		53.46		51.71	
Average Height	(mm.)	42.03		49.80		42.71		48.75		46.31		43.85		53.76		53.89		52.89	
Bulk Specific Gravity		2.370		2.459		2.378		2.441		2.396		2.358		2.400		2.380		2.348	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	2,688	3,305	3,361	3,084	3,686	4,013	2,714	2,599	3,059	3,634	2,106	2,015	2,493	2,402	2,678	2,704	-	-
Pulse 2	(MPa)	2,711	3,241	3,352	3,096	3,713	4,042	2,761	2,610	3,096	3,567	2,016	2,012	2,582	2,464	2,751	2,725	-	-
Pulse 3	(MPa)	2,732	3,239	3,378	3,099	3,693	4,066	2,761	2,627	3,064	3,519	2,029	1,988	2,500	2,489	2,746	2,660	-	-
Pulse 4	(MPa)	2,742	3,238	3,399	3,087	3,681	4,081	2,761	2,613	3,076	3,570	2,002	1,992	2,501	2,449	2,748	2,696	-	-
Pulse 5	(MPa)	2,749	3,248	3,396	3,116	3,695	4,027	2,762	2,576	3,097	3,599	2,016	2,007	2,602	2,462	2,759	2,673	-	-
Mean	(MPa)	2,724	3,254	3,377	3,096	3,694	4,046	2,752	2,605	3,078	3,578	2,034	2,003	2,536	2,453	2,737	2,692	-	-
CV	(%)	8.87		4.34		4.55		2.74		7.51		0.76		1.66		0.83		-	
Resilient Modulus	(MPa)	2,989		3,237		3,870		2,679		3,328		2,018		2,495		2,715		-	
Average Resilient Modulus	(MPa)	3,429						3,003						2,605					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	12.84		5.63		12.84		10.81		10.81		32.79		4.22		4.22		-	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	117 กม.012+200 - 012+400						122 กม.010+100 - 009+900						309 กม.010+900 - 010+700					
	Samples	1B		2A <sup>1+</sup>		3C <sup>1+</sup>		1C		3C		S5		3A		4B <sup>N/A</sup>		5C	
Diameter (mm)	1	99.64		99.43		99.25		99.21		99.33		99.45		99.11		99.92		98.82	
	2	99.38		99.25		99.63		99.26		99.02		99.67		98.99		99.33		99.14	
Average diameter	(mm)	99.51		99.34		99.44		99.24		99.18		99.56		99.05		99.63		98.98	
Height (mm)	1	50.01		53.11		54.01		52.40		52.96		50.86		53.80		53.03		53.00	
	2	50.69		53.93		54.22		52.29		53.22		50.88		54.13		52.17		53.75	
	3	52.01		54.90		54.52		53.74		52.96		53.94		54.92		52.43		53.96	
	4	50.95		53.84		54.00		54.21		52.44		53.57		55.16		53.00		53.25	
Average Height	(mm.)	50.92		53.95		54.19		53.16		52.90		52.31		54.50		53.06		53.49	
Bulk Specific Gravity		2.404		2.404		2.412		2.368		2.347		2.351		2.402		2.452		2.419	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	2,704	2,848	4,163	4,662	4,955	4,559	3,707	3,667	3,172	2,910	2,855	2,874	5,643	5,045	797	652	6,839	6,189
Pulse 2	(MPa)	2,758	2,906	4,111	4,621	5,069	4,566	3,711	3,696	3,172	2,884	2,911	2,891	5,492	4,994	797	662	6,533	6,378
Pulse 3	(MPa)	2,783	2,919	4,119	4,707	4,952	4,591	3,706	3,634	3,202	2,897	2,959	2,832	5,683	4,991	797	669	6,618	6,453
Pulse 4	(MPa)	2,746	2,897	4,130	4,673	5,030	4,663	3,731	3,682	3,191	2,916	2,949	2,867	5,540	5,064	800	655	6,741	6,453
Pulse 5	(MPa)	2,759	2,933	4,131	4,708	5,033	4,656	3,723	3,672	3,163	2,952	2,949	2,885	5,598	5,033	807	656	6,505	6,483
Mean	(MPa)	2,750	2,901	4,131	4,674	5,008	4,607	3,716	3,670	3,180	2,912	2,925	2,870	5,591	5,026	800	659	6,647	6,391
CV	(%)	2.67		6.17		4.17		0.61		4.40		0.95		5.32		9.68		1.96	
Resilient Modulus	(MPa)	2,826		4,402		4,807		3,693		3,046		2,897		5,309		729		6,519	
Average Resilient Modulus	(MPa)	2,826						3,212						5,914					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00		55.81		70.14		14.97		5.17		9.80		10.23		87.67		10.23	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	347 กม. 007+800 - 008+000						3001 กม.001+700 - 001+900						3111 กม.011+400 - 011+200					
	Samples	1C		S1 <sup>3-</sup>		S2 <sup>3-</sup>		1B		2C		3B		1C <sup>5-</sup>		4A <sup>N/A</sup>		S5	
Diameter (mm)	1	99.12		99.25		99.71		99.47		99.39		99.31		98.91		99.01		99.01	
	2	99.15		99.34		99.54		99.46		99.55		99.52		98.92		99.15		99.17	
Average diameter	(mm)	99.14		99.30		99.63		99.47		99.47		99.42		98.92		99.08		99.09	
Height (mm)	1	51.94		51.30		53.51		54.84		53.88		55.04		53.00		54.51		44.92	
	2	51.66		51.08		52.17		55.34		54.29		53.95		52.75		54.19		46.19	
	3	51.79		51.88		52.68		55.33		55.01		53.66		51.65		54.33		46.56	
	4	51.92		52.83		52.89		55.25		54.75		54.91		52.01		54.62		45.02	
Average Height	(mm.)	51.83		51.77		52.81		55.19		54.48		54.39		52.35		54.41		45.67	
Bulk Specific Gravity		2.309		2.360		2.329		2.266		2.318		2.274		2.427		2.407		2.405	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	3,250	2,871	2,735	2,410	2,669	2,197	3,178	3,055	3,202	3,520	4,281	3,776	1,411	1,200	4,724	4,318	3,028	2,887
Pulse 2	(MPa)	3,378	2,915	2,740	2,499	2,743	2,266	3,148	2,992	3,290	3,521	4,249	3,868	1,400	1,258	4,594	4,243	2,992	2,883
Pulse 3	(MPa)	3,259	2,869	2,802	2,493	2,674	2,228	3,157	2,961	3,327	3,608	4,332	3,877	1,398	1,235	4,542	4,286	2,970	2,819
Pulse 4	(MPa)	3,323	2,872	2,742	2,537	2,776	2,266	3,148	2,968	3,330	3,614	4,215	3,870	1,413	1,246	4,587	4,387	2,931	2,932
Pulse 5	(MPa)	3,351	2,877	2,787	2,516	2,799	2,280	3,139	2,999	3,321	3,595	4,122	3,796	1,414	1,270	4,549	4,283	2,972	2,852
Mean	(MPa)	3,312	2,881	2,761	2,491	2,732	2,247	3,154	2,995	3,294	3,572	4,240	3,838	1,407	1,242	4,599	4,303	2,979	2,875
CV	(%)	6.96		5.14		9.74		2.59		4.05		4.98		6.23		3.32		1.78	
Resilient Modulus	(MPa)	3,097		2,626		2,490		3,075		3,433		4,039		1,325		4,451		2,927	
Average Resilient Modulus	(MPa)	3,097						3,516						2,927					
ส่วนเบี่ยงเบนของกลุ่ม	(%)	0.00		15.19		19.60		12.54		2.35		14.89		54.75		52.08		0.00	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	3196 กม.092+400 - 092+600						3 กม.130+400 - 130+200						33 กม.141+850 - 141+650					
	Samples	1C		4A		S4		2B <sup>N/A</sup>		3B <sup>4+</sup>		4B		1A <sup>N/A</sup>		1B		4C <sup>1+</sup>	
Diameter (mm)	1	99.37	99.24	99.82	93.41	93.95	93.86	94.42	94.16	94.34									
	2	98.68	99.12	99.31	94.21	93.99	93.79	94.17	94.38	94.10									
Average diameter	(mm)	99.03	99.18	99.57	93.81	93.97	93.83	94.30	94.27	94.22									
Height (mm)	1	51.58	53.39	46.24	54.22	51.36	51.57	56.39	53.74	55.23									
	2	51.80	54.02	45.34	53.86	51.91	52.26	56.39	53.70	55.23									
	3	52.76	53.61	46.32	52.97	52.65	53.27	56.46	54.90	54.29									
	4	51.41	53.87	46.42	53.61	51.82	51.88	56.36	55.11	54.50									
Average Height	(mm.)	51.89	53.72	46.08	53.67	51.94	52.25	56.40	54.36	54.81									
Bulk Specific Gravity		2.424	2.349	2.375	2.404	2.381	2.404	2.463	2.466	2.463									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	2,425	2,215	2,169	1,984	1,884	1,767	1,708	1,706	6,950	6,596	2,005	2,027	1,215	1,116	1,541	1,556	2,031	2,064
Pulse 2	(MPa)	2,383	2,270	2,164	2,004	1,938	1,765	1,718	1,729	6,935	6,708	2,034	2,036	1,228	1,128	1,541	1,551	2,093	2,009
Pulse 3	(MPa)	2,456	2,242	2,202	2,015	1,903	1,765	1,736	1,728	6,980	6,706	2,022	2,044	1,246	1,125	1,493	1,596	2,089	2,021
Pulse 4	(MPa)	2,431	2,305	2,190	2,031	1,900	1,840	1,720	1,697	6,802	6,389	2,025	2,048	1,270	1,148	1,534	1,572	2,072	2,007
Pulse 5	(MPa)	2,432	2,285	2,204	2,017	1,918	1,803	1,728	1,719	6,913	6,574	2,017	2,050	1,266	1,127	1,502	1,569	2,031	2,005
Mean	(MPa)	2,425	2,264	2,186	2,010	1,909	1,788	1,722	1,716	6,916	6,595	2,021	2,041	1,245	1,129	1,522	1,569	2,063	2,021
CV	(%)	3.43	4.19	3.27	0.17	2.38	0.49	4.89	1.51	1.03									
Resilient Modulus	(MPa)	2,345	2,098	1,849	1,719	6,756	2,031	1,187	1,546	2,042									
Average Resilient Modulus	(MPa)	2,097						2,031						1,546					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	11.80	0.05	11.85	15.36	232.62	0.00	23.20	0.00	32.14									

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	33 กม.274+100 - 273+900						34 กม.019+000 - 019+200						36 กม.042+700 -042+500					
	Samples	3A		3C		4C		4A		4B		5C		2C <sup>N/A</sup>		3C		4C	
Diameter (mm)	1	94.24	94.11	94.19	93.81	93.86	94.00	93.47	93.67	93.18									
	2	94.80	93.25	94.08	93.89	93.37	94.02	93.86	93.74	93.98									
Average diameter	(mm)	94.52	93.68	94.14	93.85	93.62	94.01	93.67	93.71	93.58									
Height (mm)	1	52.20	52.22	51.19	53.98	54.10	54.61	56.70	54.46	55.03									
	2	51.71	52.33	51.38	54.73	53.93	54.03	56.81	55.23	54.56									
	3	51.35	53.15	52.48	51.07	54.07	53.64	56.60	53.88	54.63									
	4	51.82	53.04	51.80	53.48	54.72	53.96	56.18	54.24	54.87									
Average Height	(mm.)	51.77	52.69	51.71	53.32	54.21	54.06	56.57	54.45	54.77									
Bulk Specific Gravity		2.425		2.450		2.445		2.558		2.534		2.544		2.535		2.535		2.450	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	1,560	1,684	1,687	1,598	1,915	2,026	1,194	970	843	714	1,381	1,171	2,679	2,367	1,698	1,439	1,835	1,635
Pulse 2	(MPa)	1,582	1,714	1,653	1,557	1,994	2,018	1,187	992	846	747	1,405	1,200	2,668	2,389	1,658	1,447	1,898	1,609
Pulse 3	(MPa)	1,559	1,674	1,669	1,554	1,999	2,001	1,184	997	850	741	1,445	1,201	2,745	2,415	1,697	1,489	1,881	1,621
Pulse 4	(MPa)	1,574	1,735	1,643	1,518	1,970	2,035	1,201	1,001	866	739	1,413	1,208	2,699	2,375	1,626	1,502	1,858	1,639
Pulse 5	(MPa)	1,595	1,756	1,625	1,548	1,950	2,018	1,192	996	837	726	1,398	1,214	2,717	2,370	1,668	1,474	1,873	1,641
Mean	(MPa)	1,574	1,712	1,655	1,555	1,966	2,020	1,191	991	849	733	1,408	1,199	2,702	2,383	1,669	1,470	1,869	1,629
CV	(%)	4.20		3.13		1.36		9.17		7.31		8.02		6.27		6.35		6.86	
Resilient Modulus	(MPa)	1,643		1,605		1,993		1,091		791		1,304		2,543		1,570		1,749	
Average Resilient Modulus	(MPa)	1,747						1,062						1,659					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	5.95		8.11		14.06		2.74		25.49		22.75		53.22		5.40		5.40	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	304 กม.021+000 - 020+800						318 กม.005+800 - 006+000						4 กม.047+800 - 047+600					
	Samples	1A <sup>1+</sup>		1C <sup>1+</sup>		3B		3A		3B		S2 <sup>N/A</sup>		1C		3C <sup>N/A</sup>		S5 <sup>3-</sup>	
Diameter (mm)	1	94.76	93.96	94.23	93.36	93.25	93.24	98.94	98.80	98.86									
	2	94.44	94.09	94.30	93.48	93.32	93.08	98.98	99.23	98.95									
Average diameter	(mm)	94.60	94.03	94.27	93.42	93.29	93.16	98.96	99.02	98.91									
Height (mm)	1	57.56	57.26	56.64	53.28	53.55	50.59	55.64	55.34	58.59									
	2	57.02	57.08	55.85	53.44	54.11	51.20	55.15	54.55	59.18									
	3	56.20	57.54	56.10	53.42	54.46	51.29	54.79	55.32	58.84									
	4	56.91	56.95	56.61	53.43	53.87	50.96	55.13	56.89	57.44									
Average Height	(mm.)	56.92	57.21	56.30	53.39	54.00	51.01	55.18	55.53	58.51									
Bulk Specific Gravity		2.532	2.538	2.538	2.360	2.270	2.280	2.378	2.381	2.367									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	2,149	2,093	2,235	1,994	624	757	2,721	2,490	2,932	3,018	2,813	2,811	5,580	6,213	5,007	4,044	2,133	2,518
Pulse 2	(MPa)	2,214	2,146	2,316	2,041	620	761	2,789	2,497	2,933	3,081	2,744	2,823	5,638	6,324	4,921	4,142	2,193	2,581
Pulse 3	(MPa)	2,228	2,143	2,288	2,044	637	770	2,809	2,497	2,958	3,093	2,809	2,835	5,457	6,368	4,839	4,018	2,111	2,598
Pulse 4	(MPa)	2,201	2,080	2,301	2,079	631	766	2,815	2,516	2,967	3,081	2,823	2,857	5,622	6,316	4,862	4,123	2,112	2,605
Pulse 5	(MPa)	2,237	2,107	2,332	2,053	628	768	2,796	2,496	2,938	3,009	2,814	2,863	5,592	6,210	4,795	4,006	2,096	2,553
Mean	(MPa)	2,206	2,114	2,294	2,042	628	764	2,786	2,499	2,946	3,056	2,801	2,838	5,578	6,286	4,885	4,067	2,129	2,571
CV	(%)	2.13	5.81	9.80	5.43	1.83	0.66	5.97	9.14	9.40									
Resilient Modulus	(MPa)	2,160	2,168	696	2,643	3,001	2,819	5,932	4,476	2,350									
Average Resilient Modulus	(MPa)	696						2,822						5,932					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	210.26	211.40	0.00	6.35	6.35	0.09	0.00	24.55	60.38									

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	4 กม.251+800 - 252+000						4 กม.313+900 - 314+100						41 กม.080+200 - 080+000					
	Samples	1B <sup>N/A</sup>	4A	S4	S3	S8	S12	4C	S1 <sup>N/A</sup>	S3 <sup>4</sup>									
Diameter (mm)	1	99.24	98.85	98.90	98.90	99.09	99.09	98.65	99.80	99.24									
	2	99.20	98.66	98.77	99.53	98.94	99.37	98.95	98.99	99.01									
Average diameter	(mm)	99.22	98.76	98.84	99.22	99.02	99.23	98.80	99.40	99.13									
Height (mm)	1	51.48	52.10	55.92	55.85	57.52	56.72	54.07	55.60	53.06									
	2	52.40	52.39	55.01	55.75	57.31	55.53	52.44	54.88	53.59									
	3	51.50	53.73	54.77	56.68	57.85	54.99	52.64	54.26	52.94									
	4	51.53	53.54	55.13	56.64	57.15	56.95	53.45	55.79	52.77									
Average Height	(mm.)	51.73	52.94	55.21	56.23	57.46	56.05	53.15	55.13	53.09									
Bulk Specific Gravity		2.530	2.505	2.493	2.401	2.411	2.394	2.493	2.482	2.493									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	1,302	1,178	3,854	3,944	4,270	4,825	3,136	3,140	3,111	3,194	2,582	2,827	3,068	3,208	1,822	2,094	2,347	2,735
Pulse 2	(MPa)	1,351	1,222	3,886	3,949	4,323	4,841	3,197	3,214	3,157	3,184	2,646	2,823	3,158	3,299	1,874	2,065	2,373	2,752
Pulse 3	(MPa)	1,391	1,238	3,872	3,984	4,238	4,781	3,231	3,220	3,137	3,231	2,674	2,882	3,166	3,329	1,871	2,066	2,446	2,796
Pulse 4	(MPa)	1,449	1,221	3,878	4,020	4,263	4,749	3,216	3,183	3,148	3,230	2,687	2,856	3,180	3,343	1,848	2,120	2,387	2,819
Pulse 5	(MPa)	1,411	1,214	3,901	3,934	4,279	4,864	3,259	3,202	3,165	3,204	2,681	2,849	3,174	3,349	1,830	2,134	2,331	2,795
Mean	(MPa)	1,381	1,215	3,878	3,966	4,275	4,812	3,208	3,192	3,143	3,209	2,654	2,848	3,149	3,306	1,849	2,096	2,377	2,779
CV	(%)	6.39	1.12	5.91	0.25	1.04	3.53	2.43	6.26	7.80									
Resilient Modulus	(MPa)	1,298	3,922	4,544	3,200	3,176	2,751	3,228	1,972	2,578									
Average Resilient Modulus	(MPa)	4,233						3,042						3,228					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	69.33	7.34	7.34	5.18	4.39	9.58	0.00	38.89	20.13									




ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	41 กม.127+900 -127+700						41 กม.139+900 - 139+700						-					
	Samples	1C		4C		S4 <sup>2+</sup>		1B		3B		4C <sup>2+</sup>		-		-		-	
Diameter (mm)	1	99.10	98.59	98.90	99.25	98.98	98.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	98.87	99.54	99.05	99.25	99.00	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average diameter	(mm)	98.99	99.07	98.98	99.25	98.99	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Height (mm)	1	52.39	53.78	55.69	52.40	54.05	52.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	52.08	54.92	56.78	52.86	53.33	53.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	52.03	53.89	57.07	53.26	53.66	54.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	52.52	54.30	56.72	52.65	54.55	53.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average Height	(mm.)	52.26	54.22	56.57	52.79	53.90	53.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bulk Specific Gravity		2.487	2.497	2.481	2.447	2.470	2.464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	3,521	3,486	3,955	4,306	4,889	5,716	1,564	1,361	1,681	1,658	2,818	2,671	-	-	-	-	-	-
Pulse 2	(MPa)	3,664	3,507	4,059	4,336	4,967	5,799	1,607	1,365	1,742	1,683	2,869	2,674	-	-	-	-	-	-
Pulse 3	(MPa)	3,700	3,549	4,097	4,282	4,993	5,886	1,627	1,351	1,758	1,687	2,873	2,708	-	-	-	-	-	-
Pulse 4	(MPa)	3,691	3,572	4,116	4,335	4,981	5,806	1,602	1,369	1,781	1,691	2,895	2,639	-	-	-	-	-	-
Pulse 5	(MPa)	3,676	3,590	4,103	4,383	4,950	5,838	1,586	1,388	1,769	1,699	2,878	2,696	-	-	-	-	-	-
Mean	(MPa)	3,650	3,541	4,066	4,328	4,956	5,809	1,597	1,366	1,746	1,684	2,867	2,677	-	-	-	-	-	-
CV	(%)	1.52	3.12	7.92	7.80	1.81	3.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resilient Modulus	(MPa)	3,595	4,197	5,383	1,482	1,715	2,772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average Resilient Modulus	(MPa)	3,896						1,598						-					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	7.72	7.72	38.15	7.30	7.30	73.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	41 กม.127+900 -127+700						41 กม.139+900 - 139+700						-					
	Samples	1C		4C		S4 <sup>2+</sup>		1B		3B		4C <sup>2+</sup>		-		-		-	
Diameter (mm)	1	99.10	98.59	98.90	99.25	98.98	98.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	98.87	99.54	99.05	99.25	99.00	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average diameter	(mm)	98.99	99.07	98.98	99.25	98.99	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Height (mm)	1	52.39	53.78	55.69	52.40	54.05	52.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	52.08	54.92	56.78	52.86	53.33	53.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	52.03	53.89	57.07	53.26	53.66	54.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	52.52	54.30	56.72	52.65	54.55	53.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average Height	(mm.)	52.26	54.22	56.57	52.79	53.90	53.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bulk Specific Gravity		2.487	2.497	2.481	2.447	2.470	2.464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	3,521	3,486	3,955	4,306	4,889	5,716	1,564	1,361	1,681	1,658	2,818	2,671	-	-	-	-	-	-
Pulse 2	(MPa)	3,664	3,507	4,059	4,336	4,967	5,799	1,607	1,365	1,742	1,683	2,869	2,674	-	-	-	-	-	-
Pulse 3	(MPa)	3,700	3,549	4,097	4,282	4,993	5,886	1,627	1,351	1,758	1,687	2,873	2,708	-	-	-	-	-	-
Pulse 4	(MPa)	3,691	3,572	4,116	4,335	4,981	5,806	1,602	1,369	1,781	1,691	2,895	2,639	-	-	-	-	-	-
Pulse 5	(MPa)	3,676	3,590	4,103	4,383	4,950	5,838	1,586	1,388	1,769	1,699	2,878	2,696	-	-	-	-	-	-
Mean	(MPa)	3,650	3,541	4,066	4,328	4,956	5,809	1,597	1,366	1,746	1,684	2,867	2,677	-	-	-	-	-	-
CV	(%)	1.52	3.12	7.92	7.80	1.81	3.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resilient Modulus	(MPa)	3,595	4,197	5,383	1,482	1,715	2,772	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average Resilient Modulus	(MPa)	3,896						1,598						-					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	7.72	7.72	38.15	7.30	7.30	73.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคลื่นตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Specimen	Location	1 กม.313+050 -312+850						1 กม.357+000 - 357+200						1 กม.439+000 - 439+200						
	Samples	1C		3B		3C		4B		S3 <sup>3</sup>		S5 <sup>3</sup>		1B <sup>2</sup>		4A		SB <sup>2</sup>		
Diameter (mm)	1	99.55	99.60	99.44	98.54	98.60	98.98	99.67	99.71	99.88	99.54	99.67	99.46	98.47	98.64	98.62	99.68	99.41	99.57	
	2	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.56	99.73	(mm)	99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.56	99.73
Average diameter	1	53.90	55.09	55.39	52.10	53.25	51.18	56.04	54.17	53.51	1	53.90	55.09	55.39	52.10	53.25	51.18	56.04	54.17	53.51
	2	54.17	54.61	56.00	51.55	53.49	52.20	55.95	54.06	54.61	2	54.17	54.61	56.00	51.55	53.49	52.20	55.95	54.06	54.61
	3	54.25	54.35	54.74	51.90	54.59	52.25	56.07	54.82	53.33	3	54.25	54.35	54.74	51.90	54.59	52.25	56.07	54.82	53.33
	4	53.83	54.50	54.25	52.58	54.27	50.93	56.91	55.12	52.79	4	53.83	54.50	54.25	52.58	54.27	50.93	56.91	55.12	52.79
Average Height	(mm.)	54.04	54.64	55.10	52.03	53.90	51.64	56.24	54.54	53.56	(mm.)	54.04	54.64	55.10	52.03	53.90	51.64	56.24	54.54	53.56
Bulk Specific Gravity		2.450	2.434	2.448	2.413	2.448	2.503	2.422	2.454	2.440		2.450	2.434	2.448	2.413	2.448	2.503	2.422	2.454	2.440
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	1,254	1,550	1,575	1,459	1,877	1,526	1,800	1,726	736	633	738	620	292	288	1,122	920	564	522	
Pulse 2	(MPa)	1,293	1,591	1,620	1,516	1,881	1,568	1,829	1,764	729	650	759	647	292	293	1,142	930	580	532	
Pulse 3	(MPa)	1,309	1,595	1,615	1,516	1,893	1,596	1,859	1,740	741	658	771	647	298	290	1,149	917	582	531	
Pulse 4	(MPa)	1,326	1,609	1,595	1,515	1,940	1,579	1,856	1,776	741	648	774	650	291	292	1,112	937	593	529	
Pulse 5	(MPa)	1,319	1,631	1,576	1,506	1,923	1,574	1,847	1,726	747	657	776	651	295	294	1,121	935	589	543	
Mean	(MPa)	1,300	1,595	1,596	1,502	1,903	1,569	1,838	1,746	739	649	763	643	294	292	1,129	928	582	531	
CV	(%)	10.19	3.03	9.62	2.57	6.46	8.53	0.34	9.77	4.58	(%)	10.19	3.03	9.62	2.57	6.46	8.53	0.34	9.77	4.58
Resilient Modulus	(MPa)	1,448	1,549	1,736	1,792	694	703	293	1,029	557	(MPa)	1,448	1,549	1,736	1,792	694	703	293	1,029	557
Average Resilient Modulus	(MPa)	1,578						1,792						1,029						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	8.24	1.81	10.05	0.00	61.27	60.77	71.51	0.00	45.89	(%)	8.24	1.81	10.05	0.00	61.27	60.77	71.51	0.00	45.89

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	1 กม.485+000 - 485+200						1 กม.739+000 - 738+800						11 กม.077+000 - 077+200						
	Samples	1C		3A <sup>N/A</sup>		4B		2B		4A		S5 <sup>1+</sup>		3A		S3		S4		
Diameter (mm)	1	99.55	99.40	99.39	98.67	99.43	99.27	99.75	99.59	99.35	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	99.38	99.48	99.66	98.94	99.68	99.22	99.33	99.59	99.41										
Average diameter	(mm)	99.47	99.44	99.53	98.81	99.56	99.25	99.54	99.59	99.38										
Height (mm)	1	55.36	52.52	52.39	51.56	52.89	56.22	54.41	55.06	56.77										
	2	55.72	52.85	52.57	51.41	51.79	56.48	54.62	54.70	56.18										
	3	56.37	53.44	54.52	51.62	51.85	57.57	53.58	53.31	56.31										
	4	56.14	53.31	53.37	51.79	53.84	56.98	53.43	53.91	57.22										
Average Height	(mm.)	55.90	53.03	53.21	51.60	52.59	56.81	54.01	54.25	56.62										
Bulk Specific Gravity		2.466	2.465	2.449	2.366	2.367	2.402	2.360	2.388	2.367										
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	762	694	-	-	809	720	1,133	986	1,230	1,178	2,024	1,716	1,493	1,469	1,620	1,547	1,623	1,567	
Pulse 2	(MPa)	781	749	-	-	840	745	1,165	993	1,275	1,184	2,040	1,738	1,516	1,483	1,606	1,593	1,651	1,557	
Pulse 3	(MPa)	793	710	-	-	842	723	1,159	1,016	1,234	1,171	1,983	1,715	1,537	1,504	1,575	1,597	1,691	1,521	
Pulse 4	(MPa)	789	696	-	-	847	730	1,172	1,020	1,247	1,170	1,997	1,744	1,552	1,479	1,578	1,602	1,685	1,520	
Pulse 5	(MPa)	793	687	-	-	848	747	1,197	997	1,277	1,161	1,981	1,703	1,557	1,538	1,642	1,587	1,668	1,552	
Mean	(MPa)	784	707	-	-	837	733	1,165	1,002	1,253	1,173	2,005	1,723	1,531	1,495	1,604	1,585	1,663	1,543	
CV	(%)	7.28	-	6.62	7.51	3.31	7.56	1.19	0.60	3.73										
Resilient Modulus	(MPa)	746	-	785	1,084	1,213	1,864	1,513	1,595	1,603										
Average Resilient Modulus	(MPa)	765						1,148						1,570						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	2.57	-	2.57	5.62	5.62	62.32	3.64	1.55	2.10										

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	11 กม.094+700 - 738+800						101 กม.415+500 - 415+300						2 กม.156+000 - 155+800					
	Samples	1B		4B		5A		3B		5B		5C		3C		4C		5C	
Diameter (mm)	1	99.17		99.02		99.03		98.13		98.83		98.61		93.39		93.47		93.51	
	2	98.75		99.55		99.15		98.44		98.45		98.58		93.27		94.18		93.60	
Average diameter	(mm)	98.96		99.29		99.09		98.29		98.64		98.60		93.33		93.83		93.56	
Height (mm)	1	52.23		51.65		54.92		55.60		53.07		55.13		52.46		53.09		55.94	
	2	51.91		51.84		55.57		55.78		53.14		55.21		52.50		53.92		56.22	
	3	50.79		52.60		55.48		55.23		53.95		55.73		52.33		54.77		56.46	
	4	51.21		51.69		55.36		55.28		54.54		55.21		52.35		52.91		55.88	
Average Height	(mm.)	51.54		51.95		55.33		55.47		53.68		55.32		52.41		53.67		56.13	
Bulk Specific Gravity		2.413		2.410		2.429		2.482		2.475		2.508		2.290		2.300		2.308	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	742	617	577	619	659	789	963	1,172	1,315	1,186	1,019	862	787	840	761	610	763	687
Pulse 2	(MPa)	721	633	596	625	669	759	990	1,114	1,359	1,145	1,039	879	775	872	778	623	781	702
Pulse 3	(MPa)	710	640	595	627	670	771	994	1,138	1,374	1,154	1,042	886	777	884	755	629	797	720
Pulse 4	(MPa)	731	634	604	646	689	774	991	1,133	1,368	1,123	1,048	903	794	884	764	636	797	717
Pulse 5	(MPa)	739	634	600	634	670	753	1,019	1,154	1,367	1,142	1,051	879	769	886	774	635	794	718
Mean	(MPa)	729	632	595	630	671	769	991	1,142	1,357	1,150	1,040	882	780	873	766	627	786	709
CV	(%)	7.13		2.87		6.78		7.07		8.24		8.23		5.60		10.00		5.19	
Resilient Modulus	(MPa)	680		613		720		1,067		1,253		961		827		697		748	
Average Resilient Modulus	(MPa)			671						1,094						757			
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	1.36		8.70		7.34		2.46		14.60		12.14		9.21		7.97		1.24	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	21 กม.004+600 - 004+400						23 กม.130+100 - 129+900						23 กม.288+150 - 288+350					
	Samples	2B <sup>N/A</sup>		3B		4C		1B		3A <sup>1+</sup>		3B		2A <sup>3+</sup>		3A		5A	
Diameter (mm)	1	100.32	99.87	99.53	100.13	99.90	99.98	99.97	99.86	100.11	1	2	1	2	1	2	1	2	
	2	99.81	99.76	99.83	99.93	99.89	100.04	99.82	99.65	99.84	1	2	1	2	1	2	1	2	
Average diameter	(mm)	100.07	99.82	99.68	100.03	99.90	100.01	99.90	99.76	99.98	1	2	1	2	1	2	1	2	
Height (mm)	1	56.23	56.61	53.74	53.33	54.90	53.24	50.62	53.85	53.53	1	2	1	2	1	2	1	2	
	2	55.96	55.37	53.76	53.41	54.27	53.67	51.52	53.09	54.41	1	2	1	2	1	2	1	2	
	3	55.80	54.70	54.74	52.44	54.54	54.48	49.49	53.32	54.31	1	2	1	2	1	2	1	2	
	4	56.27	55.58	54.59	51.87	55.07	53.84	49.25	53.81	53.56	1	2	1	2	1	2	1	2	
Average Height	(mm.)	56.07	55.57	54.21	52.76	54.70	53.81	50.22	53.52	53.95	1	2	1	2	1	2	1	2	
Bulk Specific Gravity		2.443	2.434	2.473	2.331	2.383	2.369	2.463	2.461	2.434	1	2	1	2	1	2	1	2	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Pulse 1	(MPa)	275	258	347	293	342	284	598	589	1,810	1,923	775	762	584	593	1,275	1,123	1,371	1,236
Pulse 2	(MPa)	263	259	351	293	356	288	585	578	1,836	1,959	796	796	579	586	1,326	1,097	1,378	1,251
Pulse 3	(MPa)	258	252	361	299	348	289	582	587	1,839	1,904	781	771	598	601	1,339	1,151	1,389	1,268
Pulse 4	(MPa)	258	258	346	306	349	287	603	591	1,856	1,941	777	780	593	613	1,320	1,106	1,387	1,244
Pulse 5	(MPa)	266	250	350	295	356	284	605	604	1,846	1,946	780	770	579	598	1,331	1,121	1,407	1,265
Mean	(MPa)	264	255	351	297	350	286	595	590	1,837	1,935	782	776	587	598	1,318	1,120	1,387	1,253
CV	(%)	1.66	8.30	10.02	0.41	2.60	0.39	0.98	8.12	5.08	1	2	1	2	1	2	1	2	
Resilient Modulus	(MPa)	260	324	318	592	1,886	779	592	1,219	1,320	1	2	1	2	1	2	1	2	
Average Resilient Modulus	(MPa)	321						686						1,270					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	19.15	0.90	0.90	13.61	175.13	13.61	53.34	3.98	3.98	1	2	1	2	1	2	1	2	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	201 กม.204+100 - 203+900						205 กม.331+350 - 331+150						214กม. 004+000 - 004+200								
	Samples	2A		3A		4B <sup>3</sup>		1A		4B		S2 <sup>4+</sup>		5B		S6		S9				
Diameter (mm)	1	99.60	99.78	99.78	99.78	99.74	100.25	100.09	94.24	93.50	95.08	99.81	99.70	99.64	99.94	100.10	99.95	93.71	93.91	94.05		
	2	99.71	99.74	99.71	99.84	100.18	100.02	93.98	93.71	94.57	(mm)	99.71	99.74	99.71	99.84	100.18	100.02	93.98	93.71	94.57		
Average diameter	(mm)	99.71	99.74	99.71	99.84	100.18	100.02	93.98	93.71	94.57	1	54.98	55.56	54.48	51.68	51.50	55.99	40.78	41.01	43.82		
Height (mm)	1	54.98	55.56	54.48	51.68	51.50	55.99	40.78	41.01	43.82	2	54.21	54.29	54.48	51.73	50.76	55.13	40.23	40.72	42.62		
	2	54.21	54.29	54.48	51.73	50.76	55.13	40.23	40.72	42.62	3	53.52	53.20	54.79	51.21	51.13	54.74	40.53	41.62	42.76		
	3	53.52	53.20	54.79	51.21	51.13	54.74	40.53	41.62	42.76	4	54.52	54.07	54.91	51.30	51.63	54.37	40.65	41.43	42.90		
	4	54.52	54.07	54.91	51.30	51.63	54.37	40.65	41.43	42.90	Average Height	(mm.)	54.31	54.28	54.67	51.48	51.26	55.06	40.55	41.20	43.03	
Bulk Specific Gravity		2.398	2.394	2.379	2.244	2.250	2.215	2.470	2.422	2.445	No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	1,094	896	1,254	1,070	746	630	1,504	1,426	1,798	1,549	2,262	1,976	363	318	398	403	369	329			
Pulse 2	(MPa)	1,087	925	1,253	1,092	768	612	1,557	1,397	1,836	1,634	2,298	1,980	350	319	409	407	374	319			
Pulse 3	(MPa)	1,139	925	1,282	1,106	768	626	1,538	1,407	1,862	1,605	2,266	1,997	357	312	401	403	367	324			
Pulse 4	(MPa)	1,100	935	1,288	1,068	771	634	1,547	1,429	1,864	1,569	2,272	1,948	365	318	404	408	377	328			
Pulse 5	(MPa)	1,104	937	1,278	1,098	770	627	1,553	1,415	1,867	1,594	2,349	1,979	364	312	399	408	365	315			
Mean	(MPa)	1,105	924	1,271	1,087	765	626	1,540	1,415	1,845	1,590	2,290	1,976	360	316	402	406	370	323			
CV	(%)	8.93	7.80	9.98	4.23	7.42	7.36	6.51	0.47	6.84	Resilient Modulus	(MPa)	1,014	1,179	695	1,478	1,718	2,133	338	404	347	
Average Resilient Modulus	(MPa)	1,097	1,598	363	ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	7.51	7.51	36.60	7.51	7.51	33.52	6.89	11.33	4.44							



ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	218 กม.042+000 - 041+800						2169 กม.015+800 - 016+000						1 กม.289+500 - 289+700					
	Samples	1B		1C <sup>N/A</sup>		3B		1C		4B		5B <sup>N/A</sup>		2A		2C		S3 <sup>N/A</sup>	
Diameter (mm)	1	93.44		93.58		93.49		99.57		99.78		99.67		99.12		99.44		98.95	
	2	92.84		93.25		93.56		99.65		99.71		100.01		99.17		99.09		99.00	
Average diameter	(mm)	93.14		93.42		93.53		99.61		99.75		99.84		99.15		99.27		98.98	
Height (mm)	1	41.75		49.69		41.93		48.82		46.61		44.63		53.75		53.71		53.94	
	2	41.95		49.44		41.95		48.55		46.35		43.16		52.75		54.31		52.85	
	3	42.44		49.66		43.98		48.59		45.85		43.33		53.80		54.06		53.05	
	4	41.99		50.42		42.98		49.03		46.41		44.26		54.73		53.46		51.71	
Average Height	(mm.)	42.03		49.80		42.71		48.75		46.31		43.85		53.76		53.89		52.89	
Bulk Specific Gravity		2.370		2.459		2.378		2.441		2.396		2.358		2.400		2.380		2.348	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	1,960	1,579	1,636	1,673	1,731	2,054	1,691	1,438	1,507	1,433	665	590	799	698	776	866	-	-
Pulse 2	(MPa)	1,957	1,589	1,664	1,698	1,753	2,023	1,712	1,468	1,537	1,436	680	577	800	681	783	849	-	-
Pulse 3	(MPa)	1,950	1,601	1,631	1,709	1,746	2,013	1,702	1,484	1,547	1,448	678	576	830	681	815	857	-	-
Pulse 4	(MPa)	1,936	1,609	1,631	1,715	1,767	1,989	1,726	1,502	1,558	1,453	679	578	831	672	806	877	-	-
Pulse 5	(MPa)	1,945	1,613	1,635	1,713	1,792	2,004	1,727	1,496	1,568	1,449	677	560	810	685	794	855	-	-
Mean	(MPa)	1,950	1,598	1,639	1,702	1,758	2,016	1,712	1,478	1,543	1,444	676	576	814	683	795	861	-	-
CV	(%)	9.91		1.89		6.84		7.34		3.31		7.96		8.75		3.97		-	
Resilient Modulus	(MPa)	1,774		1,671		1,887		1,595		1,494		626		749		828		-	
Average Resilient Modulus	(MPa)	1,830						1,544						788					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	3.09		8.74		3.09		3.29		3.29		59.46		5.04		5.04		-	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	117 กม.012+200 - 012+400						122 กม.010+100 - 009+900						309 กม.010+900 - 010+700					
	Samples	1B		2A <sup>1+</sup>		3C <sup>1+</sup>		1C		3C		S5		3A		4B <sup>N/A</sup>		5C	
Diameter (mm)	1	99.64		99.43		99.25		99.21		99.33		99.45		99.11		99.92		98.82	
	2	99.38		99.25		99.63		99.26		99.02		99.67		98.99		99.33		99.14	
Average diameter	(mm)	99.51		99.34		99.44		99.24		99.18		99.56		99.05		99.63		98.98	
Height (mm)	1	50.01		53.11		54.01		52.40		52.96		50.86		53.80		53.03		53.00	
	2	50.69		53.93		54.22		52.29		53.22		50.88		54.13		52.17		53.75	
	3	52.01		54.90		54.52		53.74		52.96		53.94		54.92		52.43		53.96	
	4	50.95		53.84		54.00		54.21		52.44		53.57		55.16		53.00		53.25	
Average Height	(mm.)	50.92		53.95		54.19		53.16		52.90		52.31		54.50		53.06		53.49	
Bulk Specific Gravity		2.404		2.404		2.412		2.368		2.347		2.351		2.402		2.452		2.419	
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	1,241	1,090	1,514	1,420	1,834	1,896	971	797	930	785	760	883	799	925	306	277	616	657
Pulse 2	(MPa)	1,287	1,087	1,571	1,430	1,872	1,863	993	820	930	750	780	903	780	932	311	273	638	642
Pulse 3	(MPa)	1,280	1,113	1,585	1,442	1,889	1,885	1,014	826	953	754	789	886	803	937	304	275	638	637
Pulse 4	(MPa)	1,289	1,131	1,593	1,437	1,858	1,892	1,030	834	909	775	796	923	813	931	302	280	655	656
Pulse 5	(MPa)	1,283	1,081	1,566	1,458	1,864	1,868	1,010	833	922	763	800	916	803	927	315	277	646	647
Mean	(MPa)	1,276	1,100	1,566	1,437	1,863	1,881	1,004	822	929	765	785	902	800	930	308	276	639	648
CV	(%)	7.39		4.30		0.48		9.97		9.66		6.95		7.56		5.34		0.68	
Resilient Modulus	(MPa)	1,188		1,502		1,872		913		847		844		865		292		643	
Average Resilient Modulus	(MPa)	1,188						868						754					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00		26.37		57.55		5.19		2.39		2.80		14.69		61.28		14.69	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	347 กม. 007+800 - 008+000						3001 กม.001+700 - 001+900						3111 กม.011+400 - 011+200						
	Samples	1C		S1 <sup>3-</sup>		S2 <sup>3-</sup>		1B		2C		3B		1C <sup>5-</sup>		4A <sup>N/A</sup>		S5		
Diameter (mm)	1	99.12	99.25	99.71	99.47	99.39	99.31	98.91	99.01	99.01	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	99.15	99.34	99.54	99.46	99.55	99.52	98.92	99.15	99.17	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Average diameter	(mm)	99.14	99.30	99.63	99.47	99.47	99.42	98.92	99.08	99.09	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Height (mm)	1	51.94	51.30	53.51	54.84	53.88	55.04	53.00	54.51	44.92	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	51.66	51.08	52.17	55.34	54.29	53.95	52.75	54.19	46.19	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	3	51.79	51.88	52.68	55.33	55.01	53.66	51.65	54.33	46.56	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	4	51.92	52.83	52.89	55.25	54.75	54.91	52.01	54.62	45.02	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Average Height	(mm.)	51.83	51.77	52.81	55.19	54.48	54.39	52.35	54.41	45.67	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Bulk Specific Gravity		2.309	2.360	2.329	2.266	2.318	2.274	2.427	2.407	2.405	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	739	744	672	577	884	742	1,177	992	953	1,155	1,280	1,082	520	436	N/A	N/A	1,512	1,213	
Pulse 2	(MPa)	755	738	685	584	895	753	1,205	984	969	1,136	1,304	1,050	518	428	N/A	N/A	1,527	1,247	
Pulse 3	(MPa)	753	746	668	572	891	743	1,213	976	990	1,132	1,303	1,074	531	432	N/A	N/A	1,515	1,243	
Pulse 4	(MPa)	722	769	693	588	880	774	1,211	985	972	1,143	1,317	1,103	524	442	N/A	N/A	1,503	1,235	
Pulse 5	(MPa)	737	773	683	559	897	730	1,196	984	976	1,190	1,320	1,063	515	443	N/A	N/A	1,505	1,259	
Mean	(MPa)	741	754	680	576	889	748	1,200	984	972	1,151	1,305	1,075	522	436	N/A	N/A	1,512	1,239	
CV	(%)	0.87	8.29	8.64	9.88	8.44	9.66	8.92	N/A	9.94	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Resilient Modulus	(MPa)	748	628	819	1,092	1,062	1,190	479	N/A	1,376	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Average Resilient Modulus	(MPa)	748						1,115						1,376						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	0.00	15.97	9.53	2.01	4.75	6.76	65.19	N/A	0.00	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	3196 กม.092+400 - 092+600						3 กม.130+400 - 130+200						33 กม.141+850 - 141+650						
	Samples	1C		4A		S4		2B <sup>N/A</sup>		3B <sup>4+</sup>		4B		1A <sup>N/A</sup>		1B		4C <sup>1+</sup>		
Diameter (mm)	1	99.37	99.24	99.82	93.41	93.95	93.86	94.42	94.16	94.34	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	98.68	99.12	99.31	94.21	93.99	93.79	94.17	94.38	94.10										
Average diameter	(mm)	99.03	99.18	99.57	93.81	93.97	93.83	94.30	94.27	94.22										
Height (mm)	1	51.58	53.39	46.24	54.22	51.36	51.57	56.39	53.74	55.23										
	2	51.80	54.02	45.34	53.86	51.91	52.26	56.39	53.70	55.23										
	3	52.76	53.61	46.32	52.97	52.65	53.27	56.46	54.90	54.29										
	4	51.41	53.87	46.42	53.61	51.82	51.88	56.36	55.11	54.50										
Average Height	(mm.)	51.89	53.72	46.08	53.67	51.94	52.25	56.40	54.36	54.81										
Bulk Specific Gravity		2.424	2.349	2.375	2.404	2.381	2.404	2.463	2.466	2.463										
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Pulse 1	(MPa)	806	753	876	943	827	711	732	664	2,359	2,038	642	747	312	268	402	341	539	436	
Pulse 2	(MPa)	810	773	887	955	836	727	746	665	2,402	2,080	622	728	319	262	406	334	535	449	
Pulse 3	(MPa)	836	764	896	967	835	750	752	671	2,440	2,077	637	738	315	262	410	333	534	451	
Pulse 4	(MPa)	808	792	886	998	836	721	748	674	2,364	2,006	640	758	315	257	415	331	541	461	
Pulse 5	(MPa)	825	777	876	961	871	740	747	670	2,388	2,076	633	758	320	264	409	337	538	454	
Mean	(MPa)	817	772	884	965	841	730	745	669	2,390	2,055	635	746	316	263	408	335	537	450	
CV	(%)	2.84	4.37	7.07	5.39	7.54	8.04	9.26	9.87	8.85										
Resilient Modulus	(MPa)	794	925	786	707	2,223	691	289	372	494										
Average Resilient Modulus	(MPa)	835						691						372						
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	4.84	10.75	5.91	2.38	221.87	0.00	22.14	0.00	32.82										

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	33 กม.274+100 - 273+900						34 กม.019+000 - 019+200						36 กม.042+700 -042+500					
	Samples	3A		3C		4C		4A		4B		5C		2C <sup>N/A</sup>		3C		4C	
Diameter (mm)	1	94.24	94.11	94.19	93.81	93.86	94.00	93.47	93.67	93.18									
	2	94.80	93.25	94.08	93.89	93.37	94.02	93.86	93.74	93.98									
Average diameter	(mm)	94.52	93.68	94.14	93.85	93.62	94.01	93.67	93.71	93.58									
Height (mm)	1	52.20	52.22	51.19	53.98	54.10	54.61	56.70	54.46	55.03									
	2	51.71	52.33	51.38	54.73	53.93	54.03	56.81	55.23	54.56									
	3	51.35	53.15	52.48	51.07	54.07	53.64	56.60	53.88	54.63									
	4	51.82	53.04	51.80	53.48	54.72	53.96	56.18	54.24	54.87									
Average Height	(mm.)	51.77	52.69	51.71	53.32	54.21	54.06	56.57	54.45	54.77									
Bulk Specific Gravity		2.425	2.450	2.445	2.558	2.534	2.544	2.535	2.535	2.450									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	324	334	344	293	356	436	628	552	337	279	816	717	747	640	601	525	576	481
Pulse 2	(MPa)	336	334	349	290	363	433	640	565	335	271	827	726	767	654	594	523	561	474
Pulse 3	(MPa)	321	336	350	284	361	441	641	560	338	279	801	731	746	656	595	540	559	457
Pulse 4	(MPa)	327	331	347	284	368	438	640	561	337	283	849	734	762	661	603	524	560	471
Pulse 5	(MPa)	320	329	349	281	371	429	649	562	334	279	822	727	776	658	608	528	571	473
Mean	(MPa)	326	333	348	286	364	435	640	560	336	278	823	727	760	654	600	528	566	471
CV	(%)	1.09		9.68		8.96		6.67		9.44		6.19		7.51		6.40		9.14	
Resilient Modulus	(MPa)	329		317		400		600		307		775		707		564		519	
Average Resilient Modulus	(MPa)	349						561						541					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	5.57		9.04		14.62		7.00		45.21		38.21		30.58		4.20		4.20	

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	304 กม.021+000 - 020+800						318 กม.005+800 - 006+000						4 กม.047+800 - 047+600					
	Samples	1A <sup>1+</sup>		1C <sup>1+</sup>		3B		3A		3B		S2 <sup>N/A</sup>		1C		3C <sup>N/A</sup>		SS <sup>3+</sup>	
Diameter (mm)	1	94.76	93.96	94.23	93.36	93.25	93.24	98.94	98.80	98.86									
	2	94.44	94.09	94.30	93.48	93.32	93.08	98.98	99.23	98.95									
Average diameter	(mm)	94.60	94.03	94.27	93.42	93.29	93.16	98.96	99.02	98.91									
Height (mm)	1	57.56	57.26	56.64	53.28	53.55	50.59	55.64	55.34	58.59									
	2	57.02	57.08	55.85	53.44	54.11	51.20	55.15	54.55	59.18									
	3	56.20	57.54	56.10	53.42	54.46	51.29	54.79	55.32	58.84									
	4	56.91	56.95	56.61	53.43	53.87	50.96	55.13	56.89	57.44									
Average Height	(mm.)	56.92	57.21	56.30	53.39	54.00	51.01	55.18	55.53	58.51									
Bulk Specific Gravity		2.532	2.538	2.538	2.360	2.270	2.280	2.378	2.381	2.367									
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	739	663	812	679	385	323	876	895	741	689	966	891	2,465	1,963	1,565	1,765	1,343	1,092
Pulse 2	(MPa)	746	649	828	686	388	323	904	891	729	700	972	893	2,461	1,918	1,573	1,773	1,389	1,129
Pulse 3	(MPa)	729	656	823	686	379	320	926	919	748	710	1,007	899	2,509	1,956	1,577	1,777	1,378	1,133
Pulse 4	(MPa)	733	646	818	685	397	324	910	919	745	704	987	889	2,450	1,944	1,583	1,783	1,375	1,134
Pulse 5	(MPa)	711	650	836	678	379	322	906	926	767	718	967	893	2,412	1,882	1,577	1,777	1,363	1,140
Mean	(MPa)	731	653	823	683	386	322	905	910	746	704	980	893	2,459	1,933	1,575	1,775	1,370	1,126
CV	(%)	5.65	9.31	8.98	0.28	2.88	4.64	11.98	5.97	9.78									
Resilient Modulus	(MPa)	692	753	354	908	725	937	2,196	1,675	1,248									
Average Resilient Modulus	(MPa)	354						816						2,196					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	95.34	112.56	0.00	11.17	11.17	14.72	0.00	23.72	43.17									

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	4 กม.251+800 - 252+000						4 กม.313+900 - 314+100						41 กม.080+200 - 080+000					
	Samples	1B <sup>N/A</sup>	4A	S4		S3		S8		S12		4C	S1 <sup>N/A</sup>		S3 <sup>4-</sup>				
Diameter (mm)	1	99.24	98.85	98.90		98.90		99.09		99.09		98.65	99.80		99.24				
	2	99.20	98.66	98.77		99.53		98.94		99.37		98.95	98.99		99.01				
Average diameter	(mm)	99.22	98.76	98.84		99.22		99.02		99.23		98.80	99.40		99.13				
Height (mm)	1	51.48	52.10	55.92		55.85		57.52		56.72		54.07	55.60		53.06				
	2	52.40	52.39	55.01		55.75		57.31		55.53		52.44	54.88		53.59				
	3	51.50	53.73	54.77		56.68		57.85		54.99		52.64	54.26		52.94				
	4	51.53	53.54	55.13		56.64		57.15		56.95		53.45	55.79		52.77				
Average Height	(mm.)	51.73	52.94	55.21		56.23		57.46		56.05		53.15	55.13		53.09				
Bulk Specific Gravity		2.530	2.505	2.493		2.401		2.411		2.394		2.493	2.482		2.493				
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Pulse 1	(MPa)	496	426	1,757	1,431	1,682	1,432	1,076	1,076	975	857	1,241	1,086	1,646	1,450	646	798	1,554	1,276
Pulse 2	(MPa)	483	442	1,798	1,446	1,679	1,428	1,050	1,076	1,002	838	1,250	1,118	1,692	1,449	662	780	1,560	1,289
Pulse 3	(MPa)	503	429	1,782	1,485	1,692	1,426	1,097	1,082	1,027	821	1,257	1,120	1,661	1,456	667	794	1,572	1,281
Pulse 4	(MPa)	503	433	1,797	1,473	1,712	1,443	1,088	1,086	984	837	1,271	1,114	1,676	1,471	672	801	1,582	1,291
Pulse 5	(MPa)	505	425	1,794	1,466	1,711	1,433	1,111	1,086	1,006	852	1,251	1,138	1,692	1,461	673	801	1,552	1,292
Mean	(MPa)	498	431	1,786	1,460	1,695	1,432	1,084	1,081	999	841	1,254	1,115	1,674	1,458	664	795	1,564	1,286
CV	(%)	7.21	10.03	8.40		0.14		8.59		5.86		6.90	8.97		9.76				
Resilient Modulus	(MPa)	465	1,623	1,564		1,083		920		1,185		1,566	729		1,425				
Average Resilient Modulus	(MPa)	1,593						1,062						1,566					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	70.85	1.85	1.85		1.90		13.40		11.51		0.00	53.42		9.01				

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (ต่อ)

Specimen	Location	41 กม.127+900 -127+700						41 กม.139+900 - 139+700						-					
	Samples	1C		4C		S4 <sup>2+</sup>		1B		3B		4C <sup>2+</sup>		-		-		-	
Diameter (mm)	1	99.10	98.59	98.90	99.25	98.98	98.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	98.87	99.54	99.05	99.25	99.00	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average diameter	(mm)	98.99	99.07	98.98	99.25	98.99	98.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Height (mm)	1	52.39	53.78	55.69	52.40	54.05	52.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	52.08	54.92	56.78	52.86	53.33	53.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	52.03	53.89	57.07	53.26	53.66	54.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	52.52	54.30	56.72	52.65	54.55	53.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average Height	(mm.)	52.26	54.22	56.57	52.79	53.90	53.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bulk Specific Gravity		2.487	2.497	2.481	2.447	2.470	2.464	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
No. of Test		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Pulse 1	(MPa)	2,037	1,708	2,409	2,326	2,341	2,533	606	506	618	534	936	829	-	-	-	-	-	-
Pulse 2	(MPa)	2,012	1,783	2,590	2,328	2,353	2,611	620	518	636	529	952	847	-	-	-	-	-	-
Pulse 3	(MPa)	2,043	1,707	2,562	2,372	2,346	2,577	637	512	641	517	979	854	-	-	-	-	-	-
Pulse 4	(MPa)	2,048	1,740	2,609	2,391	2,361	2,583	614	516	648	521	963	867	-	-	-	-	-	-
Pulse 5	(MPa)	2,053	1,718	2,616	2,443	2,341	2,634	628	509	647	514	966	861	-	-	-	-	-	-
Mean	(MPa)	2,039	1,731	2,557	2,372	2,348	2,588	621	512	638	523	959	852	-	-	-	-	-	-
CV	(%)	8.15	3.76	4.86	9.60	9.91	5.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resilient Modulus	(MPa)	1,885	2,465	2,468	567	581	906	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average Resilient Modulus	(MPa)	2,175						574						-					
ส่วนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ย	(%)	13.33	13.33	13.48	1.21	1.21	57.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-





ภาคผนวก จ.

ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยวบตัวถาวร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## วิธีทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร

### การติดตั้งค่าในการทดสอบ

วิธีทดสอบตามมาตรฐาน	AS 2891.12.1
หน่วยแรงการทดสอบ (กิโลปาสกาล)	520
หน่วยแรงคั้นค้ำข้าง (กิโลปาสกาล)	220
ช่วงเวลาการกดน้ำหนัก (วินาที)	0.1
รอบเวลากระทำซ้ำ(วินาที)	1
จำนวนรอบการทดสอบ (รอบ)	10,000
อุณหภูมิในการทดสอบ (องศาเซลเซียส)	40

### หมายเหตุ

- <sup>N/A</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหายเนื่องจากเกิดการแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย
- <sup>1+</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากร่องล้อ จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>1-</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากร่องล้อ จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>2+</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากฟิล์มยางที่ผิวทาง จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>2-</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากฟิล์มยางที่ผิวทาง จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>3+</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากการแยกตัวของส่วนผสม จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>3-</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายจากการแยกตัวของส่วนผสม จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>4+</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายใก้รอยแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่ามากกว่าปกติ
- <sup>4-</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตที่เจาะเก็บจากสนามอยู่บริเวณที่มีความเสียหายใก้รอยแตกร้าว จึงไม่นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาทำการค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีค่าน้อยกว่าปกติ
- <sup>5+</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าปกติ เนื่องจากขนาดผลมะมีขนาดใหญ่กว่าปกติ
- <sup>5-</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าปกติ เนื่องจากขนาดผลมะมีขนาดเล็กกว่าปกติ
- <sup>6-</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบมากกว่าปกติ
- <sup>6+</sup> คือ วัสดุเอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่าปกติ
- <sup>7</sup> คือ เครื่องทดสอบเกิดขัดข้องในระหว่างการทดสอบ

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร

Specimen	Location	1 กม.313+050 -312+850			1 กม.357+000 - 357+200			1 กม.439+000 - 439+200		
	Samples	1C	3B	3C	4B	S3	S5	1B <sup>N/A</sup>	4A	5B
Diameter (mm.)	1	99.55	99.60	99.44	98.54	98.60	98.98	99.67	99.71	99.88
	2	99.54	99.67	99.46	98.47	98.64	98.62	99.68	99.41	99.57
Average diameter (mm.)		99.55	99.64	99.45	98.51	98.62	98.80	99.68	99.56	99.73
Height (mm.)	1	53.90	55.09	55.39	52.10	53.25	51.18	56.04	54.17	53.51
	2	54.17	54.61	56.00	51.55	53.49	52.20	55.95	54.06	54.61
	3	54.25	54.35	54.74	51.90	54.59	52.25	56.07	54.82	53.33
	4	53.83	54.50	54.25	52.58	54.27	50.93	56.91	55.12	52.79
Average height (mm.)		54.04	54.64	55.10	52.03	53.90	51.64	56.24	54.54	53.56
Bulk Specific Gravity		2.450	2.434	2.448	2.413	2.448	2.503	2.422	2.454	2.440
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	10,000	10,000
Accumulated microstrain		12,804	9,550	7,295	7,627	19,717	22,072	-	17,712	11,562
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		1.3	1.0	0.7	0.8	2.0	2.2	-	1.8	1.2
		1			2			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	1 กม.485+000 - 485+200			1 กม.739+000 - 738+800			11 กม.077+000 - 077+200		
	Samples	1C	3A <sup>N/A</sup>	4B	2B	4A	S5	3A	S3	S4
Diameter (mm.)	1	99.55	99.40	99.39	98.67	99.43	99.27	99.75	99.59	99.35
	2	99.38	99.48	99.66	98.94	99.68	99.22	99.33	99.59	99.41
Average diameter (mm.)		99.47	99.44	99.53	98.81	99.56	99.25	99.54	99.59	99.38
Height (mm.)	1	55.36	52.52	52.39	51.56	52.89	56.22	54.41	55.06	56.77
	2	55.72	52.85	52.57	51.41	51.79	56.48	54.62	54.70	56.18
	3	56.37	53.44	54.52	51.62	51.85	57.57	53.58	53.31	56.31
	4	56.14	53.31	53.37	51.79	53.84	56.98	53.43	53.91	57.22
Average height (mm.)		55.90	53.03	53.21	51.60	52.59	56.81	54.01	54.25	56.62
Bulk Specific Gravity		2.466	2.465	2.449	2.366	2.367	2.402	2.360	2.388	2.367
Termination cycle		10,000	-	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Accumulated microstrain		9,347	-	7,866	7,048	6,176	7,238	6,724	6,798	7,689
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		0.9	-	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
		1			1			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	11 กม.094+700 - 738+800			101 กม.415+500 - 415+300			2 กม.156+000 - 155+800		
	Samples	1B	4B	5A	3B	5B	5C	3C	4C	5C
Diameter (mm.)	1	99.17	99.02	99.03	98.13	98.83	98.61	93.39	93.47	93.51
	2	98.75	99.55	99.15	98.44	98.45	98.58	93.27	94.18	93.60
Average diameter (mm.)		98.96	99.29	99.09	98.29	98.64	98.60	93.33	93.83	93.56
Height (mm.)	1	52.23	51.65	54.92	55.60	53.07	55.13	52.46	53.09	55.94
	2	51.91	51.84	55.57	55.78	53.14	55.21	52.50	53.92	56.22
	3	50.79	52.60	55.48	55.23	53.95	55.73	52.33	54.77	56.46
	4	51.21	51.69	55.36	55.28	54.54	55.21	52.35	52.91	55.88
Average height (mm.)		51.54	51.95	55.33	55.47	53.68	55.32	52.41	53.67	56.13
Bulk Specific Gravity		2.413	2.410	2.429	2.482	2.475	2.508	2.290	2.300	2.308
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Accumulated microstrain		18,046	15,603	12,850	7,972	6,332	11,498	9,250	7,171	8,584
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		1.8	1.6	1.3	0.8	0.6	1.1	0.9	0.7	0.9
		2			1			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	21 กม.004+600 - 004+400			23 กม.130+100 - 129+900			23 กม.288+150 - 288+350			
	Samples	2B <sup>N/A</sup>	3B	4C	1B	3A	3B	2A	3A	5A	
Diameter (mm.)	1	100.32	99.87	99.53	100.13	99.90	99.98	99.97	99.86	100.11	
	2	99.81	99.76	99.83	99.93	99.89	100.04	99.82	99.65	99.84	
Average diameter (mm.)		100.07	99.82	99.68	100.03	99.90	100.01	99.90	99.76	99.98	
Height (mm.)	1	56.23	56.61	53.74	53.33	54.90	53.24	50.62	53.85	53.53	
	2	55.96	55.37	53.76	53.41	54.27	53.67	51.52	53.09	54.41	
	3	55.80	54.70	54.74	52.44	54.54	54.48	49.49	53.32	54.31	
	4	56.27	55.58	54.59	51.87	55.07	53.84	49.25	53.81	53.56	
Average height (mm.)		56.07	55.57	54.21	52.76	54.70	53.81	50.22	53.52	53.95	
Bulk Specific Gravity		2.443	2.434	2.473	2.331	2.383	2.369	2.463	2.461	2.434	
Termination cycle		-	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	
Accumulated microstrain		-	26,012	24,419	14,071	7,243	8,135	8,534	11,471	4,229	
Flow point (cycle)		-	5,064	-	-	-	-	-	-	-	
Microstrain @ flow point		-	17,684	-	-	-	-	-	-	-	
Average permanent microstrain per cycle		-	2.6	2.4	1.4	0.7	0.8	0.9	1.1	0.4	
			3			1			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	201 กม.204+100 - 203+900			205 กม.331+350 - 331+150			214 กม. 004+000 - 004+200		
	Samples	2A	3A	4B	1A	4B	S2	5B	S6	S9
Diameter (mm.)	1	99.60	99.78	99.78	99.74	100.25	100.09	94.24	93.5	95.08
	2	99.81	99.70	99.64	99.94	100.10	99.95	93.71	93.91	94.05
Average diameter (mm.)		99.71	99.74	99.71	99.84	100.18	100.02	93.98	93.71	94.57
Height (mm.)	1	54.98	55.56	54.48	51.68	51.50	55.99	40.78	41.01	43.82
	2	54.21	54.29	54.48	51.73	50.76	55.13	40.23	40.72	42.62
	3	53.52	53.20	54.79	51.21	51.13	54.74	40.53	41.62	42.76
	4	54.52	54.07	54.91	51.30	51.63	54.37	40.65	41.43	42.90
Average height (mm.)		54.31	54.28	54.67	51.48	51.26	55.06	40.55	41.20	43.03
Bulk Specific Gravity		2.398	2.394	2.379	2.244	2.250	2.215	2.470	2.422	2.445
Termination cycle		10,000	10,000	-	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Accumulated microstrain		6,931	5,138	-	7,148	7,751	3,105	50,001	29,792	47,501
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		0.7	0.5	-	0.7	0.8	0.3	5.0	3.0	4.8
		1			1			4		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	218 กม.042+000 - 041+800			2169กม.015+800 - 016+000			1 กม.289+500 - 289+700		
	Samples	1B	1C <sup>N/A</sup>	3B	1C	4B	5B <sup>N/A</sup>	2A	2C	S3 <sup>N/A</sup>
Diameter (mm.)	1	93.44	93.58	93.49	99.57	99.78	99.67	99.12	99.44	98.95
	2	92.84	93.25	93.56	99.65	99.71	100.01	99.17	99.09	99.00
Average diameter (mm.)		93.14	93.42	93.53	99.61	99.75	99.84	99.15	99.27	98.98
Height (mm.)	1	41.75	49.69	41.93	48.82	46.61	44.63	53.75	53.71	53.94
	2	41.95	49.44	41.95	48.55	46.35	43.16	52.75	54.31	52.85
	3	42.44	49.66	43.98	48.59	45.85	43.33	53.80	54.06	53.05
	4	41.99	50.42	42.98	49.03	46.41	44.26	54.73	53.46	51.71
Average height (mm.)		42.03	49.80	42.71	48.75	46.31	43.85	53.76	53.89	52.89
Bulk Specific Gravity		2.370	2.459	2.378	2.441	2.396	2.358	2.400	2.380	2.348
Termination cycle		10,000	-	10,000	10,000	10,000	-	10,000	10,000	-
Accumulated microstrain		6,520	-	7,497	11,044	8,947	-	15,344	12,084	-
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		0.65	-	0.7	1.1	0.9	-	1.5	1.2	-
		1			1			1		



ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	117 กม.012+200 - 012+400			122 กม.010+100 - 009+900			309 กม.010+900 - 010+700		
	Samples	1B	2A	3C	1C <sup>7</sup>	3C <sup>7</sup>	S5	3A	5A <sup>N/A</sup>	5C
Diameter (mm.)	1	99.64	99.43	99.25	99.21	99.33	99.45	99.11	99.32	98.82
	2	99.38	99.25	99.63	99.26	99.02	99.67	98.99	99.76	99.14
Average diameter (mm.)		99.51	99.34	99.44	99.24	99.18	99.56	99.05	99.54	98.98
Height (mm.)	1	50.01	53.11	54.01	52.40	52.96	50.86	53.80	53.75	53.00
	2	50.69	53.93	54.22	52.29	53.22	50.88	54.13	53.75	53.75
	3	52.01	54.90	54.52	53.74	52.96	53.94	54.92	53.34	53.96
	4	50.95	53.84	54.00	54.21	52.44	53.57	55.16	52.10	53.25
Average height (mm.)		50.92	53.95	54.19	53.16	52.90	52.31	54.50	53.24	53.49
Bulk Specific Gravity		2.404	2.404	2.412	2.368	2.347	2.351	2.402	2.425	2.419
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	8650	3,850	10,000	10,000	-	10,000
Accumulated microstrain		7,326	10,730	7,486	8,546	9,903	8,016	5,006	-	7,694
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		0.7	1.1	0.7	1.0	2.6	0.8	0.5	-	0.8
		1			1			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	347 กม. 007+800 - 008+000			3001กม.001+700 - 001+900			3111กม.011+400 - 011+200		
	Samples	1C	S1	S2	1B	2C	3B	1C	4A	S5
Diameter (mm.)	1	99.12	99.25	99.71	99.47	99.39	99.31	98.91	99.01	99.01
	2	99.15	99.34	99.54	99.46	99.55	99.52	98.92	99.15	99.17
Average diameter (mm.)		99.14	99.30	99.63	99.47	99.47	99.42	98.92	99.08	99.09
Height (mm.)	1	51.94	51.30	53.51	54.84	53.88	55.04	53.00	54.51	44.92
	2	51.66	51.08	52.17	55.34	54.29	53.95	52.75	54.19	46.19
	3	51.79	51.88	52.68	55.33	55.01	53.66	51.65	54.33	46.56
	4	51.92	52.83	52.89	55.25	54.75	54.91	52.01	54.62	45.02
Average height (mm.)		51.83	51.77	52.81	55.19	54.48	54.39	52.35	54.41	45.67
Bulk Specific Gravity		2.309	2.360	2.329	2.266	2.318	2.274	2.427	2.407	2.405
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	10,000
Accumulated microstrain		17,498	21,574	17,393	17,568	11,353	5,126	38,228	-	16,061
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		1.7	2.2	1.7	1.8	1.1	0.5	3.8	-	1.6
		2			1			3		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	3196 กม.092+400 - 092+600			3 กม.130+400 - 130+200			33 กม.141+850 - 141+650		
	Samples	1C	4B	S4	2B <sup>N/A</sup>	3B	4B	1A <sup>N/A</sup>	1B	4C
Diameter (mm.)	1	99.37	99.24	99.82	93.41	93.95	93.86	94.42	94.16	94.34
	2	98.68	99.12	99.31	94.21	93.99	93.79	94.17	94.38	94.10
Average diameter (mm.)		99.03	99.18	99.57	93.81	93.97	93.83	94.30	94.27	94.22
Height (mm.)	1	51.58	53.39	46.24	54.22	51.36	51.57	56.39	53.74	55.23
	2	51.80	54.02	45.34	53.86	51.91	52.26	56.39	53.70	55.23
	3	52.76	53.61	46.32	52.97	52.65	53.27	56.46	54.90	54.29
	4	51.41	53.87	46.42	53.61	51.82	51.88	56.36	55.11	54.50
Average height (mm.)		51.89	53.72	46.08	53.67	51.94	52.25	56.40	54.36	54.81
Bulk Specific Gravity		2.398	2.370	2.406	2.404	2.381	2.404	2.463	2.466	2.463
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	-	10,000	10,000	-	10,000	10,000
Accumulated microstrain		11,239	7,743	14,550	-	6,546	7,849	-	29,571	22,963
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	7,045	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	24,881	-
Average permanent microstrain per cycle		1.1	0.8	1.5	-	0.7	0.8	-	3.0	2.3
		1			1			3		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	33 กม.274+100 - 273+900			34 กม.019+000 - 019+200			36 กม.042+700 -042+500		
	Samples	3A	3C	4C	4A	4B	5C	2C <sup>N/A</sup>	3C	4C
Diameter (mm.)	1	93.92	94.11	94.19	93.81	93.86	94.00	93.47	93.67	93.18
	2	92.95	93.25	94.08	93.89	93.37	94.02	93.86	93.74	93.98
Average diameter (mm.)		93.44	93.68	94.14	93.85	93.62	94.01	93.67	93.71	93.58
Height (mm.)	1	52.20	52.22	51.19	53.98	54.10	54.61	56.70	54.46	55.03
	2	51.38	52.33	51.38	54.73	53.93	54.03	56.81	55.23	54.56
	3	52.12	53.15	52.48	51.07	54.07	53.64	56.60	53.88	54.63
	4	53.22	53.04	51.80	53.48	54.72	53.96	56.18	54.24	54.87
Average height (mm.)		52.23	52.69	51.71	53.32	54.21	54.06	56.57	54.45	54.77
Bulk Specific Gravity		2.456	2.450	2.445	2.558	2.534	2.544	2.535	2.535	2.450
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	10,000	10,000
Accumulated microstrain		35,093	38,856	47,859	15,695	10,182	10,081	-	17,810	20,149
Flow point (cycle)		6,202	3,963	5,070	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		34,366	18,372	32,772	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		3.5	3.9	4.8	1.6	1.0	1.0	-	1.8	2.0
		4			1			2		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	304 กม.021+000 - 020+800			318 กม.005+800 - 006+000			4 กม.047+800 - 047+600		
	Samples	1A	1C	3B	3A	3B	S1	1C	3C	S5
Diameter (mm.)	1	94.76	93.96	94.23	93.36	93.25	93.24	98.94	98.80	98.86
	2	94.44	94.09	94.30	93.48	93.32	93.08	98.98	99.23	98.95
Average diameter (mm.)		94.60	94.03	94.27	93.42	93.29	93.16	98.96	99.02	98.91
Height (mm.)	1	57.56	57.26	56.64	53.28	53.55	50.59	55.64	55.34	58.59
	2	57.02	57.08	55.85	53.44	54.11	51.20	55.15	54.55	59.18
	3	56.20	57.54	56.10	53.42	54.46	51.29	54.79	55.32	58.84
	4	56.91	56.95	56.61	53.43	53.87	50.96	55.13	56.89	57.44
Average height (mm.)		56.92	57.21	56.30	53.39	54.00	51.01	55.18	55.53	58.51
Bulk Specific Gravity		2.532	2.538	2.538	2.360	2.270	2.280	2.378	2.381	2.367
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	10,000
Accumulated microstrain		15,977	16,682	34,266	9,226	6,638	10,819	5,025	-	5,894
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		1.6	1.7	3.4	0.9	0.7	1.1	0.5	-	0.6
		2			1			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	4 กม.251+800 - 252+000			4 กม.313+900 - 314+100			41 กม.080+200 - 080+000		
	Samples	1B	4A	5C	1C	3B	4C	4C	S1N <sup>A</sup>	S3
Diameter (mm.)	1	99.24	98.85	98.90	98.90	99.09	99.09	98.65	99.80	99.24
	2	99.20	98.66	98.77	99.53	98.94	99.37	98.95	98.99	99.01
Average diameter (mm.)		99.22	98.76	98.84	99.22	99.02	99.23	98.80	99.40	99.13
Height (mm.)	1	51.48	52.10	55.92	55.85	57.52	56.72	54.07	55.60	53.06
	2	52.40	52.39	55.01	55.75	57.31	55.53	52.44	54.88	53.59
	3	51.50	53.73	54.77	56.68	57.85	54.99	52.64	54.26	52.94
	4	51.53	53.54	55.13	56.64	57.15	56.95	53.45	55.79	52.77
Average height (mm.)		51.73	52.94	55.21	56.23	57.46	56.05	53.15	55.13	53.09
Bulk Specific Gravity		2.530	2.505	2.493	2.401	2.411	2.394	2.493	2.482	2.493
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	10,000
Accumulated microstrain		25,750	13,542	9,283	8,171	11,538	10,754	12,745	-	11,303
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		2.6	1.4	0.9	0.8	1.2	1.1	1.3	-	1.1
		2			1			1		

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร (ต่อ)

Specimen	Location	41 กม.127+900 -127+700			41 กม.139+900 - 139+700			-		
	Samples	1C	4C	S4	1B	3B	4C	-	-	-
Diameter (mm.)	1	99.10	98.59	98.90	99.25	98.98	98.59	-	-	-
	2	98.87	99.54	99.05	99.25	99.00	98.60	-	-	-
Average diameter (mm.)		98.99	99.07	98.98	99.25	98.99	98.60	-	-	-
Height (mm.)	1	52.39	53.78	55.69	52.40	54.05	52.64	-	-	-
	2	52.08	54.92	56.78	52.86	53.33	53.41	-	-	-
	3	52.03	53.89	57.07	53.26	53.66	54.55	-	-	-
	4	52.52	54.30	56.72	52.65	54.55	53.80	-	-	-
Average height (mm.)		52.26	54.22	56.57	52.79	53.90	53.60	-	-	-
Bulk Specific Gravity		2.487	2.497	2.481	2.447	2.470	2.464	-	-	-
Termination cycle		10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	-	-
Accumulated microstrain		7,605	5,154	16,621	13,268	17,057	15,163	-	-	-
Flow point (cycle)		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Microstrain @ flow point		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Average permanent microstrain per cycle		0.8	0.5	1.7	1.3	1.7	1.5	-	-	-
		1			2			-		



ภาคผนวก ฉ.  
ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์

Location	Condition	Mass of (gm.)			% Asphalt by Weight
		Mixer	Aggretgate	Asphalt	
1 กม.313+050 - 312+850	Non Bleeding	2255.3	2134	121.3	5.7
	Bleeding	-	-	-	-
1 กม.357+000 - 357+200	Non Bleeding	1850.6	1759.7	90.9	5.2
	Bleeding	1941.3	1838.5	102.8	5.6
1 กม.439+000 - 439+200	Non Bleeding	1011.5	957.1	54.4	5.7
	Bleeding	1999.7	1886.4	113.3	6.0
1 กม.485+000 - 485+200	Non Bleeding	2351.4	2228.5	122.9	5.5
	Bleeding	-	-	-	-
1 กม.739+000 - 738+800	Non Bleeding	1764.2	1683.5	80.7	4.8
	Bleeding	-	-	-	-
11 กม.077+000 - 077+200	Non Bleeding	1716.2	1626.1	90.1	5.5
	Bleeding	-	-	-	-
11 กม.094+700 - 094+500	Non Bleeding	2489.7	2370.9	118.8	5.0
	Bleeding	-	-	-	-
101 กม.415+500 - 415+300	Non Bleeding	2573.9	2464.4	109.5	4.4
	Bleeding	-	-	-	-
2 กม.156+000 - 155+800	Non Bleeding	2408.7	2270	138.7	6.1
	Bleeding	-	-	-	-
21 กม.004+600 - 004+400	Non Bleeding	2541	2419.4	121.6	5.0
	Bleeding	-	-	-	-
23 กม.130+100 - 129+900	Non Bleeding	2285.7	2147.2	138.5	6.5
	Bleeding	-	-	-	-
23 กม.288+150 - 288+350	Non Bleeding	2410.6	2235.9	174.7	7.8
	Bleeding	-	-	-	-
201 กม.204+100 - 203+900	Non Bleeding	2374.6	2254.8	119.8	5.3
	Bleeding	-	-	-	-

ตารางที่ ๑1 ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ (ต่อ)

Location	Condition	Mass of (gm.)			% Asphalt by Weight
		Mixer	Aggretgate	Asphalt	
205 กม.331+350 -331+150	Non Bleeding	2304.9	2180.6	124.3	5.7
	Bleeding	-	-	-	-
214 กม.004+000 - 004+200	Non Bleeding	1396.6	1292.8	103.8	8.0
	Bleeding	1289	1189	100	8.4
218 กม.042+000 - 041+800	Non Bleeding	2126.0	1982.7	143.3	7.2
	Bleeding	-	-	-	-
2169 กม.015+800 - 016+000	Non Bleeding	2530.7	2404.8	125.9	5.2
	Bleeding	-	-	-	-
1 กม.289+500 - 289+700	Non Bleeding	1538.8	1471.6	67.2	4.6
	Bleeding	-	-	-	-
117 กม.012+200 - 012+400	Non Bleeding	2876.7	2738.2	138.5	5.1
	Bleeding	966.8	917.9	48.9	5.3
122 กม.010+100 - 009+900	Non Bleeding	2406.4	2295	111.4	4.9
	Bleeding	-	-	-	-
309 กม.010+900 - 010+700	Non Bleeding	2482.7	2338.6	144.1	6.2
	Bleeding	-	-	-	-
347 กม.007+800 - 008+000	Non Bleeding	2196.2	2100.6	95.6	4.6
	Bleeding	-	-	-	-
3001 กม.001+700 - 001+900	Non Bleeding	2082	1996.5	85.5	4.3
	Bleeding	-	-	-	-
3111 กม.011+400 - 011+200	Non Bleeding	1760.9	1658.7	102.2	6.2
	Bleeding	-	-	-	-
3196 กม.092+400 - 092+600	Non Bleeding	1951.5	1852.9	98.6	5.3
	Bleeding	-	-	-	-
3 กม.130+400 - 130+200	Non Bleeding	2536.1	2407.7	128.4	5.3
	Bleeding	-	-	-	-

ตารางที่ ๑๑ ผลการทดสอบหาปริมาณยางแอสฟัลต์ (ต่อ)

Location	Condition	Mass of (gm.)			% Asphalt by Weight
		Mixer	Aggretgate	Asphalt	
33 กม.141+850 -141+650	Non Bleeding	-	-	-	-
	Bleeding	2317.4	2196.1	121.3	5.5
33 กม.274+100 - 273+900	Non Bleeding	-	-	-	-
	Bleeding	2297.7	2175.4	122.3	5.6
34 กม.019+000 - 019+200	Non Bleeding	1818.0	1694.1	123.9	7.3
	Bleeding	-	-	-	-
36 กม.042+700 - 042+500	Non Bleeding	1879.8	1783.3	96.5	5.4
	Bleeding	1852.6	1754.9	97.7	5.6
304 กม.021+000 - 020+800	Non Bleeding	-	-	-	-
	Bleeding	2293.1	2161.4	131.7	6.1
318 กม.005+800 - 006+000	Non Bleeding	1704.0	1620.8	83.2	5.1
	Bleeding	-	-	-	-
4 กม.047+800 - 047+600	Non Bleeding	1803.3	1726.3	77	4.5
	Bleeding	-	-	-	-
4 กม.251+800 - 252+000	Non Bleeding	2374.5	2249.7	124.8	5.5
	Bleeding	-	-	-	-
4 กม.313+900 - 314+100	Non Bleeding	2053.1	1941.5	111.6	5.7
	Bleeding	-	-	-	-
41 กม.080+200 - 080+000	Non Bleeding	2135	2013.4	121.6	6.0
	Bleeding	-	-	-	-
41 กม.127+900 - 127+700	Non Bleeding	1933.8	1813.4	120.4	6.6
	Bleeding	1050.7	984.5	66.2	6.7
41 กม.139+900 - 139+700	Non Bleeding	1974.1	1881.4	92.7	4.9
	Bleeding	1989.7	1893	96.7	5.1
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-



ภาคผนวก ช.

เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางวิศวกรรม

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ได้จากการทดสอบก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งได้ใช้สถิติในการทดสอบคือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และการทดสอบนี้ ได้ใช้ระดับนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 95

ตารางที่ ๗1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่จำแนกตามแนวการทดสอบ

เปรียบเทียบแนวการทดสอบ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
A B	0.032	0.019	A มากกว่า B
A C	0.008	0.964	A ไม่แตกต่างจาก C
A S	0.033	0.037	A มากกว่า S
B C	-0.024	0.154	B ไม่แตกต่างจาก C
B S	0.001	1.000	B ไม่แตกต่างจาก S
C S	0.025	0.209	C ไม่แตกต่างจาก S

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๗2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่างที่เจาะเก็บจากบริเวณ	ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย	
พื้นที่ปกติ	ร่องล้อ	-0.029	0.124	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากร่องล้อ
	ฟิล์มยางบนร่องล้อ	-0.081	0.000	พื้นที่ปกติน้อยกว่าฟิล์มยางบนร่องล้อ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-0.062	0.000	พื้นที่ปกติน้อยกว่าฟิล์มยางที่ผิวทาง
	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม	-0.062	0.095	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม
	การแยกตัวของส่วนผสม	0.025	0.430	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากการแยกตัวของส่วนผสม
	ไถล้อยแตก	0.043	0.972	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากไถล้อยแตก
	ร่องล้อ	ฟิล์มยางบนร่องล้อ	-0.053	0.010
ฟิล์มยางที่ผิวทาง		-0.033	0.339	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิวทาง
ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม		-0.034	0.559	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม
การแยกตัวของส่วนผสม		0.054	0.002	ร่องล้อมากกว่าการแยกตัวของส่วนผสม
ไถล้อยแตก		0.072	0.692	ร่องล้อไม่แตกต่างจากไถล้อยแตก

ตารางที่ ข2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง(ต่อ)

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่าง ที่เจาะเก็บจากบริเวณ		ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
ฟิล์มยางบน ร่องล้อ	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	0.019	0.990	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์ม ยางที่ผิวทาง
	ฟิล์มยางบนการแยกตัว ของส่วนผสม	0.019	0.988	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์ม ยางบนการแยกตัวของส่วนผสม
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	0.106	0.000	ฟิล์มยางบนร่องล้อมากกว่าการแยกตัว ของส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	0.125	0.185	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากโกสั รรอยแตก
ฟิล์มยางที่ผิว ทาง	ฟิล์มยางบนการแยกตัว ของส่วนผสม	0.000	1.000	ฟิล์มยางที่ผิวทางไม่แตกต่างจากฟิล์ม ยางบนการแยกตัวของส่วนผสม
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	0.087	0.000	ฟิล์มยางที่ผิวทางมากกว่าการแยกตัว ของส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	0.105	0.316	ฟิล์มยางที่ผิวทางไม่แตกต่างจากโกสั รรอยแตก
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	0.087	0.013	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม มากกว่าการแยกตัวของส่วนผสม
ฟิล์มยางบน การแยกตัว ของส่วนผสม	โกสัรรอยแตก	0.106	0.322	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสมไม่ แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
	การแยกตัว ของส่วนผสม	0.018	1.000	การแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่างจาก โกสัรรอยแตก

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ข3 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

การทดสอบ	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Welch	0.180	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ข4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพที่จำแนกตามแนวการทดสอบ

การทดสอบ	F	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Between Groups	1.818	0.148	ค่าเฉลี่ยของแนวการทดสอบทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. และค่า F มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๕5 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่าง ที่เจาะเก็บจากบริเวณ		ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
พื้นที่ปกติ	ร่องลือ	270.314	0.986	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากร่องลือ
	ฟิล์มยางบนร่องลือ	716.933	0.007	พื้นที่ปกติมากกว่าฟิล์มยางบนร่องลือ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	386.029	0.972	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิวทาง
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-583.200	0.914	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากการแยกตัว ของส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-2,684.400	0.249	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
ร่องลือ	ฟิล์มยางบนร่องลือ	446.619	0.754	ร่องลือไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนร่องลือ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	115.714	1.000	ร่องลือไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิวทาง
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-853.514	0.705	ร่องลือไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-2,954.714	0.158	ร่องลือไม่แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
ฟิล์มยางบน ร่องลือ	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-330.905	0.993	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจาก ฟิล์มยางที่ผิวทาง
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-1,300.133	0.153	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากการ แยกตัวของส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-3,401.333	0.183	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจาก โกสัรรอยแตก
ฟิล์มยางที่ผิว ทาง	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-969.229	0.692	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม ไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-3,070.429	0.104	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม ไม่แตกต่างจาก โกสัรรอยแตก
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-2,101.200	0.210	การแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่าง จากโกสัรรอยแตก

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๕6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

การทดสอบ	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Welch	0.079	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๗7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลที่จำแนกตามแนวการทดสอบ

การทดสอบ	F	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Between Groups	0.873	0.458	ค่าเฉลี่ยของแนวการทดสอบทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. และค่า F มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๗8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่าง ที่เจาะเก็บจากบริเวณ		ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
พื้นที่ปกติ	ร่องลือ	-1.084	0.999	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากร่องลือ
	ฟิล์มยางบนร่องลือ	-8.513	0.137	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างฟิล์มยางบนจาก ร่องลือ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-2.156	0.973	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิว ทาง
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-9.113	0.031	พื้นที่ปกติน้อยกว่าการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-7.013	0.173	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
ร่องลือ	ฟิล์มยางบนร่องลือ	-7.428	0.249	ร่องลือไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนร่อง ลือ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-1.071	1.000	ร่องลือไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิวทาง
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-8.028	0.090	ร่องลือไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-5.928	0.103	ร่องลือไม่แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
ฟิล์มยางบน ร่องลือ	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	6.357	0.532	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากฟิล์ม ยางที่ผิวทาง
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-0.600	1.000	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากการ แยกตัวของส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	1.500	1.000	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากโกสั รรอยแตก
ฟิล์มยางที่ผิว ทาง	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-6.957	0.337	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม ไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-4.857	0.463	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสม ไม่แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
การแยกตัวของ ส่วนผสม	โกสัรรอยแตก	2.100	0.997	การแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่าง จากโกสัรรอยแตก

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน



ตารางที่ ๙9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการไหลที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่างที่เจาะเก็บจากบริเวณ		ผลต่าง ค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
ปริมาณรถบรรทุก น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน	ปริมาณรถบรรทุก ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน	5.556	0.013	ปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน มากกว่าปริมาณรถบรรทุก ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน
ปริมาณรถบรรทุก ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน	ปริมาณรถบรรทุก ระหว่างมากกว่าหรือ เท่ากับ 2,000 คันต่อวัน	6.570	0.002	ปริมาณรถบรรทุกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,000 คันต่อวัน มากกว่าปริมาณรถบรรทุก ระหว่างมากกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คันต่อ วัน
ปริมาณรถบรรทุก ระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน	ปริมาณรถบรรทุก ระหว่างมากกว่าหรือ เท่ากับ 2,000 คันต่อวัน	1.015	0.658	ปริมาณรถบรรทุกระหว่าง 1,001 ถึง 2,000 คันต่อวัน ไม่แตกต่างจากปริมาณ รถบรรทุกระหว่างมากกว่าหรือเท่ากับ 2,000 คันต่อวัน

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๙10 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพต่อการไหลที่จำแนกตามแนวการทดสอบ

การทดสอบ	F	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Between Groups	1.655	0.181	ค่าเฉลี่ยของแนวการทดสอบทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. และค่า F มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๙11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพต่อการไหลที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่าง ที่เจาะเก็บจากบริเวณ		ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
พื้นที่ปกติ	ร่องล้อ	27.944	0.986	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากร่องล้อ
	ฟิล์มยางบนร่องล้อ	125.040	0.014	พื้นที่ปกติมากกว่าฟิล์มยางบนร่องล้อ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	44.659	0.977	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิว ทาง
	การแยกตัวของส่วนผสม	62.373	0.726	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากการแยกตัว ของส่วนผสม
	ไถลรอยแตก	-26.126	0.990	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากไถลรอยแตก
ร่องล้อ	ฟิล์มยางบนร่องล้อ	97.095	0.119	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนร่อง ล้อ
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	16.714	1.000	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิวทาง

ตารางที่ ข11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพต่อการไหลที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง (ต่อ)

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่าง ที่เจาะเก็บจากบริเวณ		ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
ร่องลือ	การแยกตัวของส่วนผสม	34.428	0.999	ร่องลือไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-54.071	0.899	ร่องลือไม่แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
ฟิล์มยางบนร่อง ลือ	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-80.380	0.726	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากฟิล์ม ยางที่ผิวทาง
	การแยกตัวของส่วนผสม	-62.667	0.849	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากการ แยกตัวของส่วนผสม
	โกสัรรอยแตก	-151.167	0.307	ฟิล์มยางบนร่องลือไม่แตกต่างจากโกสั รรอยแตก
	การแยกตัวของส่วนผสม	17.714	1.000	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสมไม่ แตกต่างจากการแยกตัวของส่วนผสม
ฟิล์มยางที่ผิว ทาง	โกสัรรอยแตก	-70.785	0.905	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสมไม่ แตกต่างจากโกสัรรอยแตก
	การแยกตัวของ ส่วนผสม	-88.500	0.708	การแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่างจาก โกสัรรอยแตก

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ข12 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเสถียรภาพต่อการไหลที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

การทดสอบ	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Welch	0.082	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ข13 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการยุบตัวของตัวอย่างที่จำแนกตามแนวการทดสอบ

การทดสอบ	F	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Between Groups	0.895	0.447	ค่าเฉลี่ยของแนวการทดสอบทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. และค่า F มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบที่จำแนกตามบริเวณที่เจาะเก็บตัวอย่าง

เปรียบเทียบก่อนตัวอย่าง ที่จะเก็บจากบริเวณ		ผลต่างค่าเฉลี่ย	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย	
พื้นที่ปกติ	ร่องล้อ	-0.524	0.848	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากร่องล้อ	
	ฟิล์มยางบนร่องล้อ	-0.792	0.011	พื้นที่ปกติน้อยกว่าฟิล์มยางบนร่องล้อ	
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-1.627	0.045	พื้นที่ปกติน้อยกว่าฟิล์มยางที่ผิวทาง	
	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของ ส่วนผสม	-0.812	0.252	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนการ แยกตัวของส่วนผสม	
	การแยกตัวของส่วนผสม	-0.085	1.000	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม	
	โกดังรอยแตก	0.387	0.965	พื้นที่ปกติไม่แตกต่างจากโกดังรอยแตก	
ร่องล้อ	ฟิล์มยางบนร่องล้อ	-0.268	1.000	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนร่องล้อ	
	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-1.102	0.412	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิวทาง	
	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของ ส่วนผสม	-0.288	1.000	ร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบนการแยกตัว ของส่วนผสม	
	การแยกตัวของส่วนผสม	0.439	0.979	ร่องล้อไม่แตกต่างจากการแยกตัวของส่วนผสม	
	โกดังรอยแตก	0.911	0.738	ร่องล้อไม่แตกต่างจากโกดังรอยแตก	
	ฟิล์มยางบนร่อง ล้อ	ฟิล์มยางที่ผิวทาง	-0.834	0.529	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางที่ผิว ทาง
ฟิล์มยางบนการแยกตัวของ ส่วนผสม		-0.020	1.000	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบน การแยกตัวของส่วนผสม	
การแยกตัวของส่วนผสม		0.707	0.052	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากการแยกตัว ของส่วนผสม	
โกดังรอยแตก		1.180	0.527	ฟิล์มยางบนร่องล้อไม่แตกต่างจากโกดังรอยแตก	
ฟิล์มยางที่ผิวทาง		ฟิล์มยางบนการแยกตัวของ ส่วนผสม	0.814	0.658	ฟิล์มยางที่ผิวทางไม่แตกต่างจากฟิล์มยางบน การแยกตัวของส่วนผสม
		การแยกตัวของส่วนผสม	1.541	0.056	ฟิล์มยางที่ผิวทางไม่แตกต่างจากการแยกตัวของ ส่วนผสม
	โกดังรอยแตก	2.014	0.217	ฟิล์มยางที่ผิวทางไม่แตกต่างจากโกดังรอยแตก	
ฟิล์มยางบนการ แยกตัวของ ส่วนผสม	การแยกตัวของส่วนผสม	0.727	0.330	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่าง จากการแยกตัวของส่วนผสม	
	โกดังรอยแตก	1.200	0.519	ฟิล์มยางบนการแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่าง จากโกดังรอยแตก	
การแยกตัวของ ส่วนผสม	โกดังรอยแตก	0.472	0.941	การแยกตัวของส่วนผสมไม่แตกต่างจากโกดัง รอยแตก	

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ ๑๕ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการยุบตัวเฉลี่ยต่อรอบที่จำแนกตามปริมาณรถบรรทุก

การทดสอบ	Sig.	สรุปการทดสอบค่าเฉลี่ย
Welch	0.397	ค่าเฉลี่ยของปริมาณจราจรทั้ง 3 กลุ่มไม่มีความแตกต่าง

หมายเหตุ: ค่า sig. มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

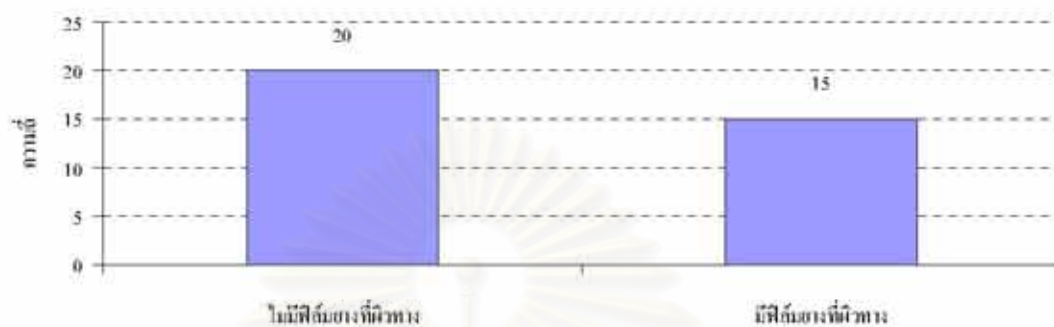


ภาคผนวก ซ.

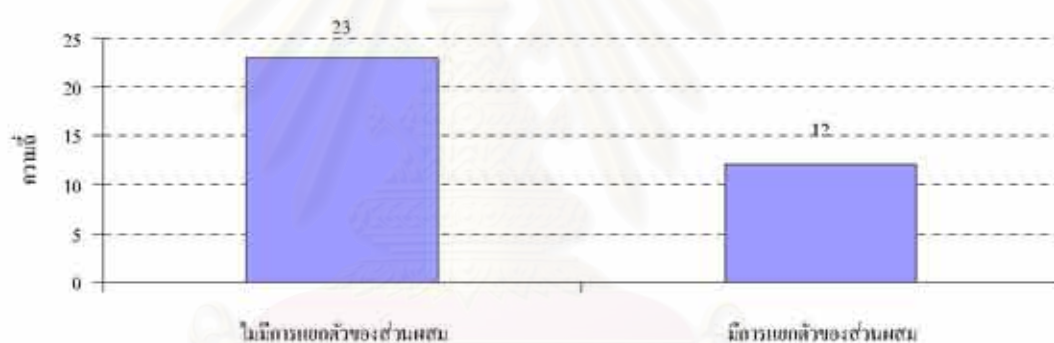
ผลการสร้างแบบจำลองความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

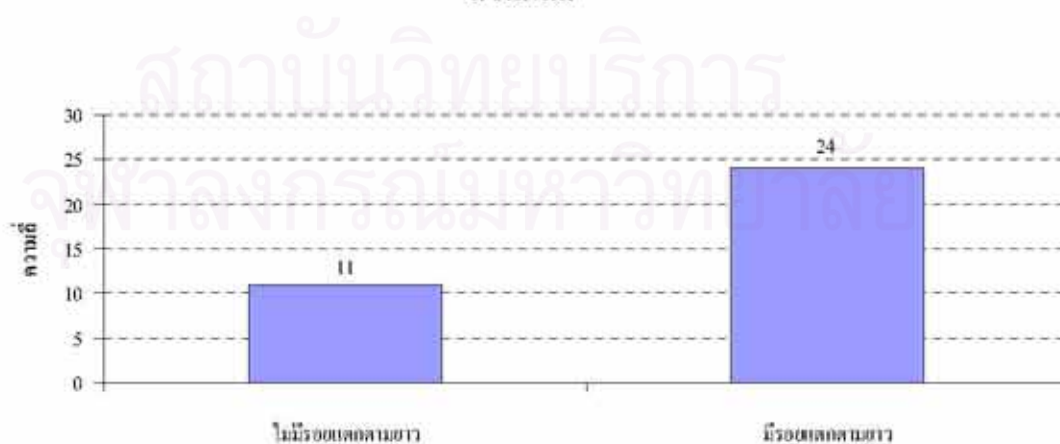
จากที่ได้กล่าวมาในบทที่ 5 ได้ทำการแปลงข้อมูลความเสียหายให้เหลือเพียงผิวทางไม่มี ความเสียหาย (0) และผิวทางมีความเสียหาย (1) และได้ทำการสร้างความถี่ของความเสียหายต่างๆ ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ ๗1 ถึงรูปที่ ๗9



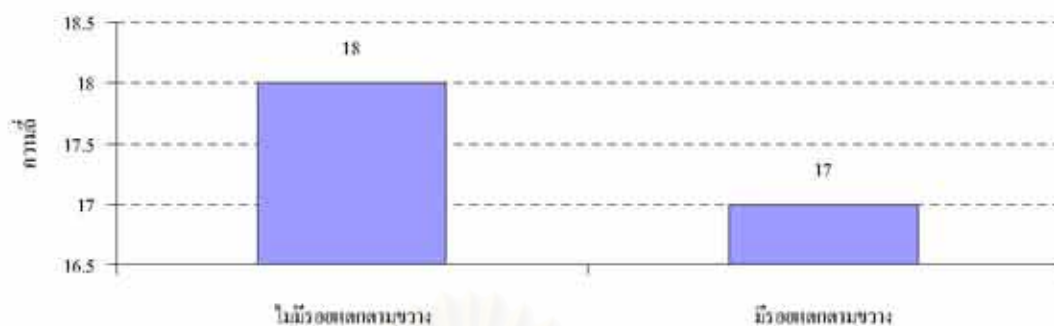
รูปที่ ๗1 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีฟิล์มยางที่ผิวทางและสภาพผิวทางที่มีฟิล์มยางที่ผิวทาง



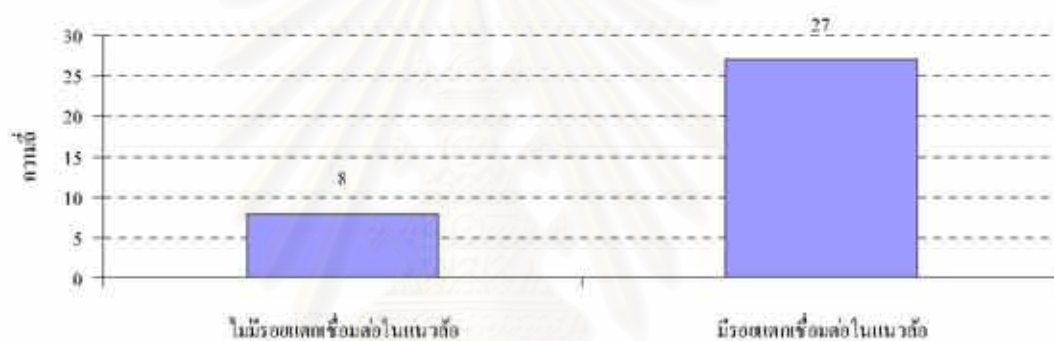
รูปที่ ๗2 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีการแยกตัวของส่วนผสมและสภาพผิวทางที่มีการแยกตัวของ ส่วนผสม



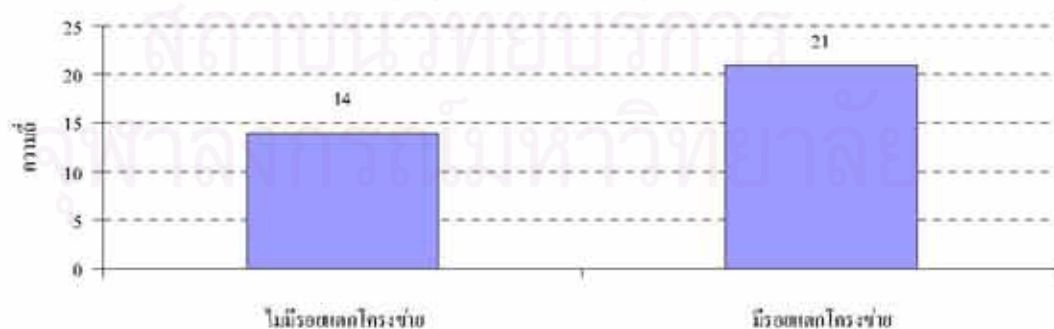
รูปที่ ๗3 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีรอยแตกตามยาวและสภาพผิวทางที่มีรอยแตกตามยาว



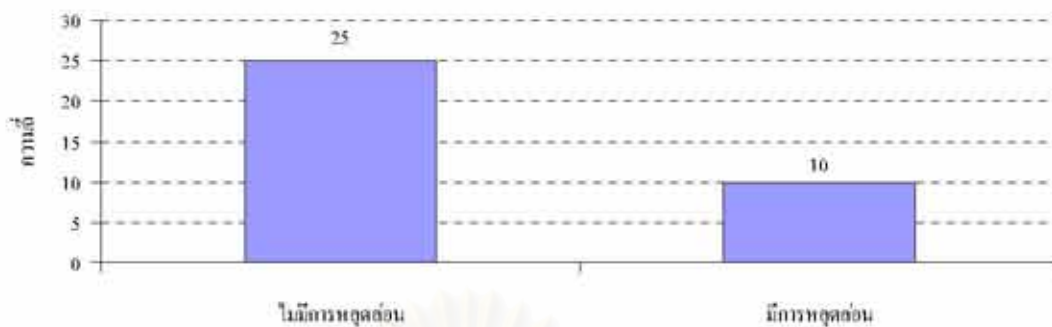
รูปที่ ๔4 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีรอยแตกตามขวางและสภาพผิวทางที่มีรอยแตกตามขวาง



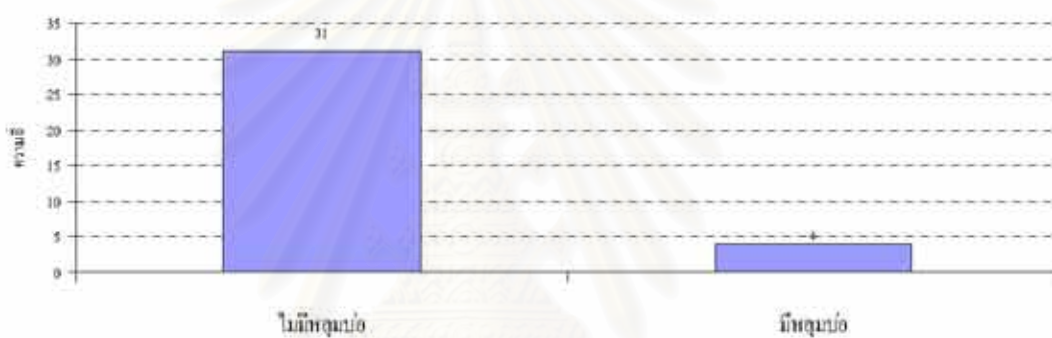
รูปที่ ๔5 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีรอยแตกเชื่อมต่อนในแนวตั้งและสภาพผิวทางที่มีรอยแตกเชื่อมต่อนในแนวตั้ง



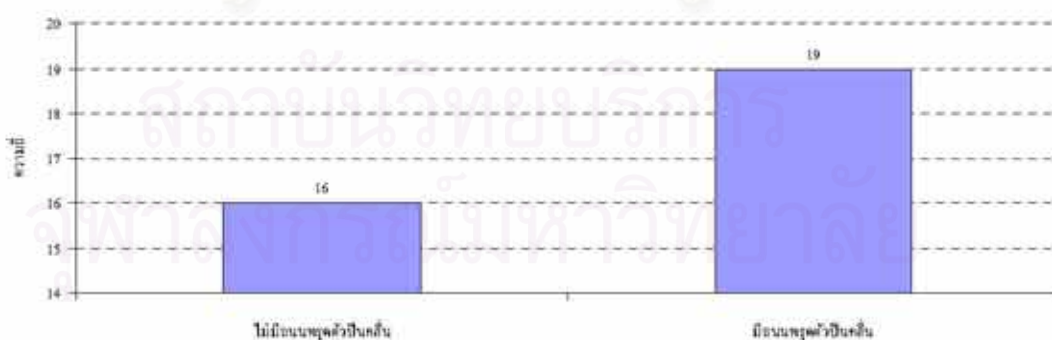
รูปที่ ๔6 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีรอยแตกโครงข่ายและสภาพผิวทางที่มีรอยแตกโครงข่าย



รูปที่ ๗7 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีกรวดหลุมและสภาพผิวทางที่มีกรวดหลุม



รูปที่ ๗8 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีหลุมบ่อและสภาพผิวทางที่มีหลุมบ่อ



รูปที่ ๗9 ความถี่สภาพผิวทางที่ไม่มีถนนทรุดตัวเป็นคลื่นและสภาพผิวทางที่มีถนนทรุดตัวเป็นคลื่น



ตารางที่ ๗1 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Matrix)

ตัวแปร	ADT	HEVY_VEH	THICK_AC	SER_AGE	SUR_AGE	BULK	ST	FI	MS0	PD	PA
ADT	1										
HEVY_VEH	0.45	1									
THICK_AC	0.27	-0.17	1								
SER_AGE	0.14	-0.21	0.151	1							
SUR_AGE	0.00	0.17	-0.10	-0.01	1						
BULK	0.16	0.21	-0.15	-0.07	0.29	1					
ST	0.21	0.15	0.01	0.27	0.18	0.02	1				
FI	0.15	-0.48	0.27	0.28	-0.25	-0.01	-0.04	1			
MS0	-0.05	0.22	-0.19	-0.00	0.32	-0.18	0.54	-0.45	1		
PD	-0.14	-0.15	-0.17	-0.17	-0.01	0.39	-0.51	0.25	0.53	1	
PA	0.14	-0.05	-0.27	0.06	0.22	0.38	0.08	0.05	0.00	0.08	1

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข2 แบบจำลองความสัมพันธ์ของความถี่ร่องล้อเฉลี่ย

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	RUT1	RUT2	RUT3	RUT4	RUT5
ADT	-0.00 (0.09)						
(HEVY_VEH)×(SUR_AGE)	0.01 (3.26)		0.16 (5.92)	0.01 (6.32)	0.02 (6.81)	0.02 (7.06)	0.02 (7.02)
THICK_AC	-0.01 (0.46)						
SER_AGE	-0.01 (1.30)		-0.01 (1.10)		-0.01 (0.71)		
BULK		2.24 (1.49)	0.03 (0.03)				
ST		-0.08 (0.65)		-0.08 (1.01)	-0.09 (1.38)		-0.11 (1.60)
FL		-0.03 (1.54)	-0.00 (0.04)	-0.00 (0.08)			
M50		0.03 (0.12)	-0.24 (1.58)	-0.17 (1.02)		-0.22 (1.59)	
PD		0.37 (2.66)	0.34 (4.47)	0.38 (4.54)	0.40 (5.37)	0.40 (5.24)	0.41 (5.44)
PA		-0.05 (0.54)					
CONST	1.05 (3.38)	-3.74 (1.10)	0.42 (0.19)	0.65 (1.63)	0.56 (1.69)	0.345 (1.58)	0.54 (1.65)
N	35	35	35	35	35	35	35
R <sup>2</sup>	0.38	0.49	0.77	0.77	0.76	0.76	0.76
Adjust R <sup>2</sup>	0.29	0.38	0.72	0.73	0.73	0.74	0.74

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๗3 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นฟิล์มยางที่ผิวทาง

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5
ADT	0.05 (0.87)						
HEVY_VEH	0.17 (0.88)		0.72 (1.88)	0.97 (2.18)	1.29 (2.01)	0.79 (2.21)	1.47 (2.11)
THICK_AC	-1.43 (1.43)		-0.31 (1.32)	-0.29 (1.55)			
SER_AGE	-0.13 (1.00)		-0.01 (0.07)				
SUR_AGE	0.19 (1.31)						
BULK		27.22 (1.97)	19.78 (1.72)		9.27 (0.82)	18.84 (1.85)	
ST		0.31 (0.30)					
FL		-0.56 (2.16)	-0.12 (0.66)	-0.07 (0.53)			
M50		-4.65 (1.90)	-6.15 (2.06)	-6.82 (2.36)	-0.46 (1.48)	-4.21 (2.30)	-5.29 (1.56)
PD			2.81 (1.84)		2.74 (1.98)		3.05 (2.28)
PA			0.15 (0.22)				
CONST	0.13 (0.08)	-59.16 (2.05)	-39.73 (1.51)	6.87 (1.75)	-27.31 (0.99)	-44.77 (1.80)	-5.14 (1.72)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90	-23.90
LL( $\beta$ )	-18.39	-11.18	-9.93	-11.04	-8.39	-12.02	-8.75
$\rho^2$	0.29	0.54	0.59	0.51	0.60	0.50	0.59
Corrected $\rho^2$	0.01	0.25	0.30	0.30	0.45	0.34	0.47
% Correct	62.86	85.71	88.57	80.00	94.29	88.57	88.57

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๗4 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทาง  
เป็นการแยกตัวของส่วนผสม

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	SEG1	SEG2	SEG3	SEG4	SEG5
ADT	0.05 (1.03)		0.08 (1.63)	0.08 (1.64)	0.08 (1.67)	0.10 (1.80)	
HEVY_VEH	0.01 (0.04)						
THICK_AC	0.01 (0.09)						
SER_AGE	-0.01 (0.14)						
SUR_AGE	0.05 (0.43)						
BULK		-1.91 (0.27)					
ST		-0.60 (0.85)					-0.74 (1.27)
FL		0.07 (0.74)	-0.13 (1.21)	-0.16 (1.59)	-0.16 (1.60)	-0.20 (1.76)	
M50		1.69 (1.31)	0.57 (0.58)				1.83 (1.72)
PD		0.41 (0.62)				0.53 (0.95)	
PA		0.22 (0.48)		-0.03 (0.07)			
CONST	-1.85 (1.15)	3.82 (0.24)	-0.43 (0.19)	0.75 (0.26)	0.58 (0.41)	0.12 (0.08)	0.31 (0.18)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-22.50	-22.50	-22.50	-22.50	-22.50	-22.50	-22.50
LL ( $\beta$ )	-21.49	-20.20	-19.71	-19.88	-19.88	-19.42	-20.74
$\rho^2$	0.11	0.17	0.23	0.18	0.18	0.20	0.15
Corrected $\rho^2$	-0.13	-0.12	0.02	0.02	0.06	0.04	0.02
% Correct	62.86	68.57	71.43	62.86	62.86	68.57	68.57

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๕๕ แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นรอยแตกตามยาว

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5
ADT	0.15 (1.42)		0.02 (0.40)			0.03 (0.61)	
HEVY_VEH	-0.44 (1.63)				-0.39 (1.78)		
THICK_AC	-0.04 (0.27)						0.22 (1.41)
SER_AGE	0.06 (0.84)						
SUR_AGE	0.29 (1.76)		0.21 (1.64)	0.22 (1.75)	0.25 (1.58)	0.14 (1.19)	0.12 (0.97)
BULK		2.86 (0.32)					
ST		-0.41 (0.59)			1.32 (1.72)	0.58 (1.07)	
FL		0.20 (1.70)	0.11 (1.12)	0.12 (1.21)			
M50		3.41 (2.08)					2.70 (2.26)
PD		-1.10 (1.41)	-1.40 (2.24)	-1.43 (2.33)			
PA		0.15 (0.25)					
CONST	-1.68 (0.96)	-8.62 (0.43)	-0.61 (0.31)	-0.36 (0.20)	-4.14 (1.60)	-2.74 (1.39)	-4.60 (1.98)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-21.79	-21.79	-21.79	-21.79	-21.79	-21.79	-21.79
LL( $\beta$ )	-17.08	-15.54	-16.54	-16.62	-17.47	-19.27	-16.55
$\rho^2$	0.30	0.36	0.32	0.32	0.28	0.21	0.32
Corrected $\rho^2$	0.05	0.07	0.11	0.15	0.12	0.04	0.15
% Correct	65.71	80.00	77.14	74.29	71.43	71.43	82.86

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๖ แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทาง  
เป็นรอยแตกตามขวาง

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	TC1	TC2	TC3	TC4	TC5
ADT	0.08 (1.22)					0.08 (1.60)	0.12 (1.96)
HEVY_VEH	0.26 (1.33)		0.45 (2.09)	0.36 (2.12)			
THICK_AC	-0.18 (1.26)						-0.21 (1.60)
SER_AGE	0.26 (1.97)		0.26 (1.83)	0.18 (1.92)	0.14 (1.80)	0.16 (1.69)	0.20 (1.86)
SUR_AGE	-0.17 (1.16)		-0.15 (1.12)				
BULK		11.59 (1.60)			8.85 (1.41)		
ST		-0.39 (0.74)			-0.16 (0.39)		
FL		0.02 (0.31)	0.06 (0.58)				
M50		0.31 (0.28)		-0.24 (0.28)			
PD		-0.83 (1.24)				-0.07 (0.15)	
PA		0.11 (0.25)					
CONST	-1.76 (0.96)	-26.69 (1.62)	-4.05 (1.40)	-2.82 (2.03)	-22.12 (1.45)	-2.66 (1.76)	-1.56 (1.02)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-24.25	-24.25	-24.25	-24.25	-24.25	-24.25	-24.25
LL ( $\beta$ )	-17.50	-22.22	-18.46	19.21	-20.76	-20.49	-18.99
$\rho^2$	0.28	0.08	0.24	0.21	0.14	0.16	0.22
Corrected $\rho^2$	0.03	-0.20	0.03	0.04	-0.02	-0.01	0.05
% Correct	65.71	57.14	68.57	65.71	62.86	68.57	62.86

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๗7 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นรอยแตกต่อเชื่อมในแนวล้อ

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5
ADT	0.10 (1.31)		0.08 (0.90)			0.05 (0.91)	
HEVY_VEH	-0.10 (0.44)						
THICK_AC	-0.20 (1.50)		-0.50 (2.24)	-0.45 (2.20)	-0.36 (2.31)		-0.20 (1.53)
SER_AGE	0.07 (0.91)						
SUR_AGE	0.15 (1.06)		0.16 (0.79)			0.10 (0.89)	
BULK		8.22 (0.83)					
ST		-0.63 (0.82)					
FL		0.30 (1.91)	0.63 (2.02)	0.65 (2.09)	0.42 (1.92)		0.29 (2.02)
M50		2.82 (1.79)	2.28 (1.14)	2.98 (1.70)			3.28 (2.21)
PD		-1.37 (1.71)	-2.37 (2.00)	-2.33 (2.14)	-2.33 (2.49)	-0.76 (1.52)	
PA		0.30 (0.51)					
CONST	0.62 (0.36)	-23.55 (1.05)	-4.08 (0.98)	-3.66 (0.94)	1.78 (0.74)	0.85 (0.64)	-4.51 (1.53)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-19.95	-19.95	-19.95	-19.95	-19.95	-19.95	-19.95
LL( $\beta$ )	-17.11	-14.54	-10.72	-11.86	-13.69	-17.44	-15.24
$\rho^2$	0.29	0.40	0.56	0.51	0.44	0.28	0.40
Corrected $\rho^2$	0.05	0.11	0.27	0.31	0.27	0.12	0.21
% Correct	74.29	77.14	88.57	85.71	80.00	80.00	77.14

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๗8 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นรอยแตกเป็น โครงข่าย

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5
ADT	0.09 (1.34)				0.06 (1.23)		
HEVY_VEH	-0.16 (-0.87)						
THICK_AC	-0.03 (-0.26)		-0.01 (-0.04)				
SER_AGE	0.10 (1.18)				0.10 (1.29)	0.09 (1.33)	0.09 (1.17)
SUR_AGE	0.09 (0.70)						
BULK		19.18 (1.59)	19.10 (1.56)	13.99 (1.77)			
ST		-1.09 (1.06)	-1.08 (-1.04)				0.60 (1.26)
FL		0.58 (2.25)	5.81 (2.23)	0.31 (2.08)			
M50		3.92 (1.70)	3.89 (1.60)	1.66 (1.16)	1.25 (1.49)	1.21 (1.47)	
PD		-4.88 (2.43)	-4.89 (-2.38)	-2.53 (-2.24)			
PA		2.36 (2.14)	2.35 (2.09)				
CONST	-1.49 (-0.93)	-61.42 (2.06)	-61.11 (-1.98)	-36.53 (-1.88)	-2.66 (-1.90)	-1.66 (1.58)	-2.73 (-1.44)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-23.56	-23.56	-23.56	-23.56	-23.56	-23.56	-23.56
LL( $\beta$ )	-20.85	-10.36	-10.36	-14.69	-20.21	-21.03	-21.27
$\rho^2$	0.14	0.57	0.57	0.39	0.17	0.13	0.12
Corrected $\rho^2$	-0.11	0.29	0.24	0.19	0.00	0.01	0.00
% Correct	62.86	91.43	91.43	82.86	77.14	65.71	62.86

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t



ตารางที่ ๗๑ แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นผิวทางหลุคล่อน

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	RAV1	RAV2	RAV3	RAV4	RAV5
ADT	0.21 (1.89)		0.18 (1.76)	0.17 (2.01)	0.12 (2.23)	0.16 (2.18)	0.14 (2.10)
HEVY_VEH	-0.03 (0.14)		-0.12 (0.69)				
THICK_AC	-0.16 (0.91)		0.05 (0.65)	-0.11 (0.75)			
SER_AGE	0.07 (0.89)		-0.30 (1.48)				
SUR_AGE	-0.29 (1.50)		-0.55 (1.51)	-0.27 (1.44)		-0.29 (1.51)	-0.24 (1.39)
BULK		-4.84 (0.66)					
ST		0.07 (0.12)					
FL		0.00 (0.03)			-0.02 (0.23)	-0.09 (0.80)	
M50		-0.98 (0.78)	-0.08 (0.07)				0.22 (0.22)
PD		-0.57 (0.77)	-0.27 (0.34)				
PA		0.56 (1.24)	0.36 (0.68)				
CONST	-1.64 (0.83)	8.94 (0.54)	-3.07 (0.70)	-1.13 (0.70)	-2.63 (1.67)	-0.53 (0.46)	-2.17 (1.55)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-20.94	-20.94	-20.94	-20.94	-20.94	-20.94	-20.94
LL( $\beta$ )	-15.51	-19.38	-15.24	-15.96	-17.51	-15.89	-16.23
$\rho^2$	0.36	0.20	0.37	0.34	0.28	0.35	0.33
Corrected $\rho^2$	0.11	-0.09	0.04	0.18	0.16	0.18	0.17
% Correct	71.43	74.29	74.29	74.29	77.14	74.29	74.29

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ข10 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพผิวทางเป็นหลุมบ่อ

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	POT1	POT2	POT3	POT4	POT5
ADT	0.23 (1.16)				0.11 (1.27)	0.16 (1.33)	0.15 (1.33)
HEVY_VEH	0.79 (1.61)		0.92 (1.59)	0.71 (1.75)	0.67 (1.97)	0.72 (1.78)	0.66 (1.86)
THICK_AC	0.07 (0.30)						
SER_AGE	-4.34 (0.23)						-0.66 (0.58)
SUR_AGE	4.57 (1.00)					0.23 (1.11)	
BULK							
ST		-0.90 (0.68)	-1.89 (1.07)				
FL		-0.09 (0.57)					
M50		0.32 (0.15)					
PD		-4.60 (1.47)	-3.43 (1.46)	-5.25 (1.20)			
PA		1.18 (1.45)		1.66 (1.36)			
CONST	-13.86 (1.67)	-3.86 (0.35)	4.55 (0.75)	-10.07 (1.44)	-7.91 (2.15)	-11.13 (1.89)	-8.07 (1.97)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-12.44	-12.44	-12.44	-12.44	-12.44	-12.44	-12.44
LL( $\beta$ )	-6.56	-8.84	-6.20	-5.81	-7.84	-7.25	-7.67
$\rho^2$	0.73	0.66	0.74	0.76	0.68	0.70	0.68
Corrected $\rho^2$	0.48	0.31	0.58	0.60	0.55	0.54	0.52
% Correct	94.29	88.57	94.29	94.29	94.29	94.29	94.29

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

ตารางที่ ๗11 แบบจำลองที่ใช้ในการทำนายสภาพผิวทางระหว่างสภาพผิวทางปกติกับสภาพถนนทรุดตัวเป็นคลื่น

ตัวแปร	แบบจำลอง						
	I	T	ROL1	ROL2	ROL3	ROL4	ROL5
ADT	0.01 (0.25)						
HEVY_VEH	-0.17 (0.96)						-0.05 (0.36)
THICK_AC	-0.15 (1.33)		-0.19 (1.29)	-0.13 (1.03)		-0.16 (1.35)	
SER_AGE	-0.02 (0.30)						
SUR_AGE	-0.01 (0.10)						
BULK		-15.22 (1.81)					
ST		-0.34 (0.52)	-0.81 (1.26)	-0.66 (1.16)	-0.58 (1.11)	-1.01 (1.95)	-0.48 (0.98)
FL		0.03 (0.32)	0.10 (1.14)				
M50		0.09 (0.07)	0.17 (0.14)				
PD		2.03 (1.76)	0.66 (0.86)	0.82 (1.18)	0.97 (1.38)		1.00 (1.43)
PA		0.74 (1.29)			0.31 (0.65)		
CONST	2.37 (1.51)	30.67 (1.68)	2.45 (0.68)	2.97 (0.88)	-0.59 (0.18)	5.82 (2.15)	0.95 (0.38)
N	70	70	70	70	70	70	70
LL(0)	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26	-24.26
LL(C)	-24.13	-24.13	-24.13	-24.13	-24.13	-24.13	-24.13
LL( $\beta$ )	-22.77	-17.91	-19.12	-19.89	-20.25	-20.73	-20.41
$\rho^2$	0.08	0.26	0.21	0.18	0.17	0.15	0.16
Corrected $\rho^2$	-0.19	-0.03	-0.04	0.02	0.00	0.02	-0.01
% Correct	65.71	71.43	68.57	60.00	62.86	60.00	60.00

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บคือค่าสถิติทดสอบ t

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิระศักดิ์ วิสุตมัย เป็นบุตรของนายชาญณรงค์-นางอุณา อาจวิชัย และเป็นบุตรบุญธรรมของนายสมศักดิ์-นางวนิดา วิสุตมัย มีพี่น้อง 3 คน เป็นบุตรชายคนสุดท้อง เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2526 จังหวัดมุกดาหาร ได้สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลักสูตร 3 ปีจากโรงเรียนมุกดาหาร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมการขนส่ง) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคปลาย ปีการศึกษา 2549

ขณะศึกษาอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทความของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ถูกตีพิมพ์ในเอกสารรวมการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14 ดังนี้

จิระศักดิ์ วิสุตมัย, จิตติชัย รุจนกนกนาถ, ชันวิน สวัสดิ์สานต์. 2552. ความสัมพันธ์ระหว่างความเสียหายแบบร่องลึกกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตของถนนลาดยางในประเทศไทย. เอกสารรวมการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14. นครราชสีมา.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย