



รายงานฉบับที่ วพ.295

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง

REPORT NO. RD.295

BUREAU OF ROAD RESEARCH AND DEVELOPMENT

การประเมินค่า IRI เพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง

โดย

นवल พรหมจารีย์

ดร.กฤษณะ เพ็ญสมบูรณ์

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS, MINISTRY OF TRANSPORT

RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND

การประเมินค่า IRI เพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง

โดย

นवल พรหมจารีย์
ดร.กฤษณะ เพ็ญสมบูรณ์

รายงานฉบับที่ วพ.295

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง
กรมทางหลวง

มีนาคม 2555

ISSN 0125-8044

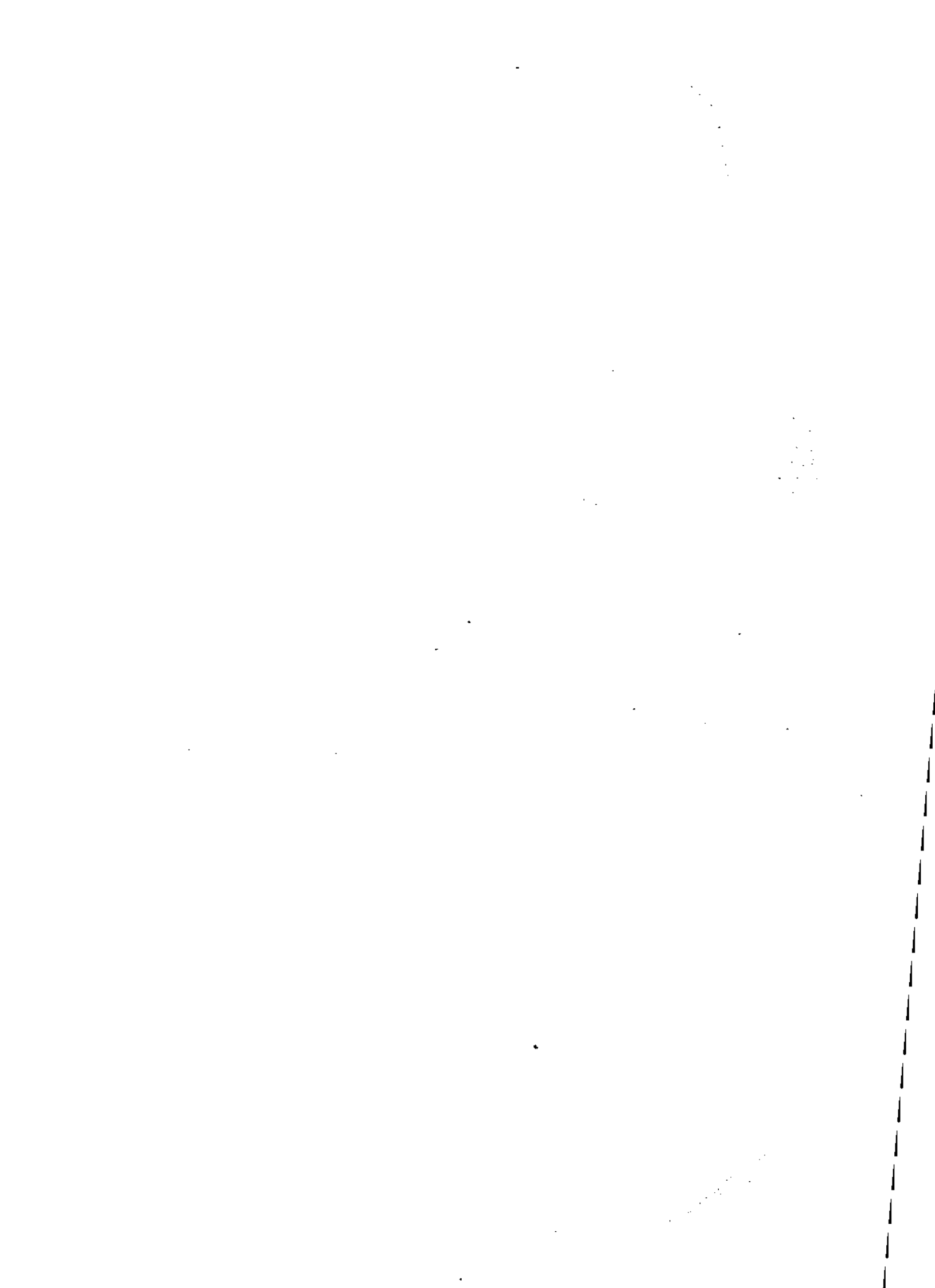
คำนำ

การประเมินสภาพของผิวทางเป็นส่วนสำคัญที่กรมทางหลวงนำมาพิจารณาในการวางแผนงานบำรุงทาง กรมทางหลวงได้ทำการประเมินสภาพความเรียบผิวทางลาดยางทั่วประเทศ ในรูปของค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) โดยการสำรวจด้วยอุปกรณ์วัดระดับเลเซอร์ (Laser Profiler) และกรมทางหลวงยังได้รวบรวมผลการสำรวจในรูปแบบฐานข้อมูลของระบบบริหารบำรุงทาง เพื่อใช้ประมวลผลสำหรับการวางแผนงบประมาณงานบำรุงรักษาโครงข่ายทางหลวงกว่า 60,000 กิโลเมตร

รายงานวิจัยนี้จะนำเสนอการศึกษาหาแนวทางประเมินค่า IRI ของผิวทางล่งหน้าโดยอาศัยวิธีทางสถิติ ที่สามารถนำไปใช้ประมวลผลการสำรวจสภาพผิวทางในฐานข้อมูลของระบบบริหารบำรุงทาง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการประเมินสภาพความเสียหายของทางในอนาคต และกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงและจัดทำแผนงานให้สอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างทันที่วงที่ภายใต้งบประมาณที่จำกัด อันจะส่งผลดีต่อความสะดวกรบายและความปลอดภัยของผู้ใช้ทางหลวงในที่สุด

(นายวันชัย ภาคทัศนีย์)

อธิบดีกรมทางหลวง



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ คุณชยันต์ เจริญพร คุณสุเชษฐ์ เอี่ยมเชย คุณวรพงษ์ ขวาทอง และ คุณธนิษฐ์ เกื้อแดง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ อนุเคราะห์ข้อมูล และทดสอบเก็บข้อมูลต่างๆ ในภาคสนาม จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัย



การประเมินค่า IRI เพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง
นवल พรหมจริย์ ดร.กฤษณะ เพ็ญสมุทรณ์

สำนักวิจัยและพัฒนาทาง
กรมทางหลวง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินสภาพของผิวทางลาดยางล่างหน้าโดยใช้ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index , IRI) เพื่อใช้ประกอบการวางแผนบำรุงรักษาทางหลวง โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดแปลงทดสอบ (Test Section) รวมทั้งสิ้น 21 แปลงทดสอบ บนทางหลวงผิวทางลาดยางที่เพิ่งทำการบำรุงบูรณะด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การปรับปรุงชั้นทางเดิม และการเสริมผิวทาง (Overlay) และติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพความเรียบของผิวทางจากการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator ในช่วงระยะ 2 ปี ของการใช้งานของแปลงทดสอบหลังจากการบูรณะแปลงทดสอบที่คัดเลือกมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันอยู่ระหว่าง 506 ถึง 31,154 คัน/วัน และมีสัดส่วนรถบรรทุกอยู่ระหว่างร้อยละ 2.5 ถึง 60.6 เพื่อให้สามารถศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ของแปลงทดสอบกับปัจจัยด้านปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกของการจราจร ผลสรุปจากงานวิจัยพบว่าระดับของความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับอายุการบริการหรือระยะเวลาการใช้งานของถนน และในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI และอายุการบริการ ผู้ทำการประเมินอาจใช้สมการความสัมพันธ์แบบเส้นตรง หรือ Exponential ได้ ซึ่งในการทดสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ดังกล่าวให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เท่ากับ 0.93 และ 0.94 ตามลำดับ คณะผู้วิจัยเชื่อมั่นว่าผลจากวิจัยนี้จะเป็นแนวทางต่อนักบริหารบำรุงทางให้สามารถนำผลการสำรวจสภาพผิวทางลาดยางมาพยากรณ์สภาพผิวทางในอนาคตในรูปแบบของค่า IRI สามารถวางแผนบำรุงรักษาทางหลวงให้อยู่ในสภาพดีภายใต้งบประมาณที่จำกัดและเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้ทางในที่สุด

สารบัญ

หน้า

คำนำ	
กิตติกรรมประกาศ	
บทคัดย่อ	
สารบัญ	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการในการซ่อมบำรุงผิวทาง	3
2.2 การบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวง	6
2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการวัดค่า IRI ในปัจจุบัน	8
2.4 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่า IRI	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 แปลงทดสอบ	16
3.2 การวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Bump Integrator	18
3.3 การทดสอบความต้านทานของดินเดิมด้วยเครื่อง Dynamic Cone Penetrometer	21
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า IRI	23
4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อ IRI	23
4.3 การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ค่า IRI	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
เอกสารอ้างอิง	37

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 หลักการซ่อมผิวทาง	8
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแปลงทดสอบ	17
ตารางที่ 4.1 ผลการสำรวจค่า IRI กับอายุการใช้งาน	24
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของดินเดิม (DCP) ในแต่ละแปลงทดสอบ	25
ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์ของสมการและค่าความสำคัญทางสถิติของตัวแปรต่างๆ	26
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าทางสถิติและการกระจายของค่าคงที่ (β_0)	28
ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบ IRI และปริมาณจราจรรถบรรทุก	30
ตารางที่ 4.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนของค่า IRI และปริมาณรถบรรทุก	31
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลสายทางที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์	32
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (AGE) และ IRI	33

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการซ่อมผิวทาง	7
รูปที่ 2.2 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profiler)	11
รูปที่ 2.3 การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick	12
รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางแสดง Integrator Unit	13
รูปที่ 2.5 ค่า PCI และ IRI	15
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. ที่วัดจากเครื่อง Bump Integrator ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กับค่า IRI ของผิวทางที่วัดจากเครื่อง Dipstick (IRI_D)	19
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. ที่วัดจากเครื่อง Bump Integrator ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กับค่า IRI ของผิวทางที่วัดจากเครื่อง Dipstick (IRI_D)	20
รูปที่ 3.3 การสำรวจแปลงทดสอบ	21
รูปที่ 4.1 การกระจายของค่าคงที่ (β_0)	28
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI ที่เปลี่ยนแปลงไปกับปริมาณรถบรรทุก	31
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างค่า IRI กับอายุผิวทาง	33
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์แบบ Exponential ระหว่างค่า IRI กับอายุผิวทาง	34

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การเสื่อมสภาพของทางหลวงมักเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหลังจากการก่อสร้าง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของทางหลวงมีหลายสาเหตุ เช่น อายุการใช้งาน ปริมาณการจราจร และน้ำหนักบรรทุก นอกจากนี้ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของทางหลวงยังขึ้นอยู่กับกระบวนการก่อสร้างให้ได้คุณภาพให้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด และการใช้เทคนิคการก่อสร้างที่เหมาะสมอีกด้วย ในการบำรุงรักษาและบูรณะทางหลวงให้คงสภาพดีภายใต้งบประมาณที่มีจำกัด กรมทางหลวงจึงต้องมีการวางแผนการบำรุงและบูรณะทางหลวงโดยคำนึงปัจจัยต่างๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

กรมทางหลวงได้พัฒนาระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาทางหลวงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ระบบ TPMS (Thailand Pavement Management System) ซึ่งเป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์ เพื่อใช้บริหารจัดการถนนที่เกิดความเสียหายตามลำดับความสำคัญตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 และได้นำระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) ประกอบการพิจารณาจัดทำแผนงานบำรุงทางของสำนักบริหารบำรุงทาง สำนักทางหลวง และแขวงการทาง ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) ได้จากการประเมินสภาพพื้นผิวทางหลวงในประเทศไทยโดยใช้ดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (International Roughness Index, IRI) ตามวิธีการของธนาคารโลก ซึ่งสามารถดำเนินงานทดสอบได้สะดวกรวดเร็ว ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความแม่นยำเชื่อถือได้ และประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินสภาพพื้นผิวทางวิธีอื่น

อย่างไรก็ตาม การประเมินสภาพพื้นผิวทางหลวงด้วยค่า IRI เพื่อใช้พิจารณาอนุมัติงบประมาณในการซ่อมบำรุง ซึ่งปัจจุบันกรมทางหลวงใช้ผลการทดสอบค่า IRI ที่สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ดำเนินการสำรวจเป็นประจำทุกปีเป็นข้อมูลประกอบการพิจารณา แต่เนื่องจากโครงข่ายทางหลวงที่ต้องทำการสำรวจทุกปีกว่า 60,000 กิโลเมตร ทำให้สำนักวิเคราะห์ฯ ไม่สามารถดำเนินการได้ทันความต้องการของหน่วยงานในภูมิภาคต่างๆ ปีได้อย่างเต็มที่ ทำให้อาจเกิดความล่าช้าในการวางแผนซ่อมบำรุงทางหลวง

ผลการศึกษาวิจัยตามโครงการศึกษาวิจัยนี้ จะสามารถใช้เป็นแนวทางประเมินค่า IRI ของผิวทางล่วงหน้าในแต่ละปี ทำให้นักบริหารบำรุงทางสามารถประเมินค่า IRI ของถนนในพื้นที่รับผิดชอบ และนำมาบริหารจัดการด้วยวิธีทางสถิติเบื้องต้นทำให้สามารถประเมินสภาพพื้นผิวทาง

ทั่วประเทศได้โดยง่าย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้บริหารของกรมทางหลวงในการจัดสรรงบประมาณบำรุงทางทั้งระยะสั้นและระยะยาว ได้มีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อายุการใช้งาน ปริมาณการจราจร และความแข็งแรงของดินเดิม เป็นต้น ที่มีต่อค่า IRI บนถนนลาดยางที่คัดเลือกในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ค่า IRI ของถนนลาดยางโดยอาศัยวิธีทางสถิติ ที่จะสามารถนำไปใช้ในการประมวลผลการสำรวจสภาพผิวทางในฐานะข้อมูลของระบบบริหารบำรุงทาง อันจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนบำรุงบูรณะถนนลาดยางอย่างมีประสิทธิภาพ

3. เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาการประเมินและพยากรณ์ค่า IRI ของถนนลาดยาง สำหรับใช้ในการวางแผนบำรุงบูรณะถนนลาดยางล่วงหน้าให้สอดคล้องกับการวางแผนดำเนินงานงบประมาณ และสร้างความพึงพอใจต่อผู้ใช้บริการทางหลวง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้คัดเลือกสายทางลาดยางเพียงทำการบำรุงบูรณะด้วยงบประมาณประจำปี 2549 ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย และกำหนดเป็นแปลงทดสอบรวมทั้งสิ้น 21 แปลงทดสอบ พื้นที่ที่ถูกเลือกเป็นพื้นที่ที่เกิดความเสียหายและต้องซ่อมบำรุงอยู่เสมอซึ่งมีแนวโน้มจะแสดงถึงความเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ได้อย่างชัดเจนในเวลาอันสั้น ระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาวิจัยรวม 2 ปี กำหนดเสร็จสิ้น โครงการศึกษาวิจัยในเดือนกันยายน พ.ศ. 2552

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการในการซ่อมบำรุงผิวทาง

ความเสียหายของโครงสร้างผิวทางสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ (1) ความเสียหายโดยโครงสร้าง (Structural Failure) โดยโครงสร้างทางไม่สามารถรับน้ำหนักของการจราจรได้ และ (2) ความเสียหายโดยที่ถนนไม่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ตามที่ออกแบบไว้ได้ (Functional Failure) ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบายจากการขับขี่ (Kyungwon และคณะ, 2007)

Huang (1993) ได้อธิบายหลักการในการพิจารณาการซ่อมบำรุงผิวทาง โดยใช้นิยามของ Serviceability หรือความสามารถของผิวทางในขณะนั้นที่สามารถให้บริการต่อการจราจร การประเมินค่าสภาพการให้บริการ (Serviceability) สามารถกระทำได้ 2 แนวทางคือ (1) Present Serviceability Index (PSI) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย AASHO Road Test ค่า PSI นี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวทางซึ่งมีผลมาจากระดับความเสียหายของถนนชนิดต่างๆ เช่น ร่องล้อ (Rutting) การแตกร้าว (Cracking) และรอยปะ (Patching) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการแตกร้าว และรอยปะ จะถูกรวมเป็นตัวแปรเดียวกัน การแตกร้าวจะเป็นการแสดงความยาวของรอยแตก ส่วนรอยปะ จะแสดงในรูปของพื้นที่ (2) การใช้ดัชนีความขรุขระ (Roughness Index) ซึ่งขึ้นอยู่กับความขรุขระของผิวทางเท่านั้น

2.1.1 Present Serviceability Index (PSI)

PSI คือ ค่าผลรวมทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากการวัดค่าทางกายภาพต่างๆซึ่งอยู่ในรูปของ Pavement Serviceability Rating (PSR) ในการสร้างค่า PSI นั้นจะต้องมีการสร้าง PSR ของแต่ละตัวแปรขึ้นมาก่อน โดยทั่วไปแล้วขั้นตอนในการสร้าง PSI จะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การกำหนดนิยาม (Establishment of Definition) ของตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาและต้องมีความเข้าใจตัวแปรที่จะนำมาใช้นั้นเป็นอย่างดี
- จากนั้นจะต้องทำการคัดเลือกคณะของผู้ที่จะมาทำหน้าที่ให้คะแนน (Rater) โดยทั่วไปแล้ว Rater จะถูกเลือกมาจากหลายหน่วยงานเพราะความเห็นที่ได้จะมีความครอบคลุมมากขึ้น

- การจัดฝึกอบรมต้องจัดขึ้นพร้อมทั้งมีการทำแบบฝึกหัด เพื่อให้ Rater มีความเข้าใจในตัวแปรต่างๆ ในการอบรมจะมีการสนทนาเพื่อแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในการให้คะแนนในตัวแปรนั้นๆ
- การเลือกคิวทางสำหรับการให้คะแนน ในการเลือกคิวทางนั้นต้องทำการคัดเลือกคิวทางที่มีสภาพที่แย่มากไปจนถึงสภาพที่ดีมาก และมีรูปแบบความเสียหายในหลายลักษณะที่มีผลโดยตรงต่อการให้บริการ โดยความยาวของช่วงของคิวทางนั้นไม่ควรน้อยกว่า 1200 ฟุต (366 เมตร)
- ทำการให้คะแนนในพื้นที่ที่เลือกไว้ Rater จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยเพื่อทำการให้คะแนนคิวทางที่ได้รับการคัดเลือกไว้ Rater อาจได้รับอนุญาตให้ขับรถบนคิวทางที่ต้องการให้คะแนนได้ แต่จะไม่อนุญาตให้ Rater มีการสนทนาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างที่ทำการให้คะแนน
- การทำการให้คะแนนซ้ำ หลังจากให้ Rater ให้คะแนนคิวทางที่คัดเลือกไว้แล้วเสร็จ ควรมีการจัดให้มีการให้คะแนนในคิวที่ให้คะแนนไว้แล้วอีกครั้งหนึ่งเพื่อประเมินว่าการให้คะแนนของ Rater นั้นมีความคงเส้นคงวาหรือไม่
- การวัดทางด้านกายภาพอื่น เช่น การแตกร้าว ร่องรอยการปะ ความลึกของร่องล้อ ปริมาณของการกระแทก (Bump) โดยวัดในหน่วยของการขึ้นลงในแนวตั้งต่อระยะทางในแนวราบ เป็นต้น
- การหาค่า PSI หลังจากที่มีข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรแต่ละตัว (PSR) ที่เก็บจากบริเวณคิวทางที่คัดเลือกถูกเก็บเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถที่จะกำหนดสมการ PSI เพื่อปรับแก้หาค่าตัวแปรแต่ละตัวที่เหมาะสมได้โดยการใช้สมการถดถอยในการปรับแก้ PSR บางตัวสามารถตัดออกจากสมการ PSI ได้ถ้ามีนัยสำคัญน้อย

โดยทั่วไปแล้วสมการ PSI สามารถเขียนได้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นดังต่อไปนี้

$$PSI = A_0 + (A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n) + (B_1D_1 + B_2D_2 + \dots + B_nD_n) \quad (2.1)$$

โดย R_n คือตัวแปรที่แสดงถึงความขรุขระของคิวทาง เช่น ร่องล้อ, D_n คือ ตัวแปรที่แสดงถึงค่าของการเสื่อมสภาพของคิวทาง เช่น รอยแตกและรอยปะ เป็นต้น, A_n และ B_n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร R_n และ D_n ตามลำดับ

2.1.2 ความขรุขระ (Roughness)

ความขรุขระของผิวทางสามารถวัดได้โดยทางตรงและทางอ้อมซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนของสภาพผิวถนนจากสภาพที่ควรจะเป็น ซึ่งมีผลกระทบต่อ ค่าใช้จ่าย ความปลอดภัย ความสะดวกสบาย และความเร็วของยานพาหนะที่ใช้เส้นทาง ความขรุขระของผิวทางเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของผู้ใช้เส้นทางต่อคุณภาพของถนน ความขรุขระของผิวทางยังเกี่ยวพันโดยตรงกับการเสื่อมสภาพของโครงสร้างทาง (Budras, 2001) Karamihis และคณะ (1999) ได้สรุปไว้ว่าสภาพการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลมีผลกระทบต่อความขรุขระของผิวทางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูหนาว

ในการวัดความขรุขระ โดยตรงสามารถทำได้ 2 วิธีด้วยกันซึ่งสามารถแบ่งเป็นชนิดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดสามารถแบ่งได้เป็น Class I และ Class II เทคนิคการวัดโดยใช้ อุปกรณ์ใน Class I จะเป็นการวัดแบบง่ายๆ โดยการใช้แท่งเหล็กหรือระดับในการวัด เช่น การใช้ Dipstick การวัดความขรุขระโดยการใช้เครื่องมือ Class II สามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันคือ Rolling Straightedge Profilometer, Surface Dynamic Profilometer ในการวัดความขรุขระโดยทางอ้อมนั้นสามารถวัดได้โดยปฏิกิริยาสะท้อนกลับของเครื่องมือ (Response- Type Road Roughness Meter หรือ RTRRM) ซึ่งเครื่องที่ใช้วัดความขรุขระโดยทางอ้อมนี้ถูกจัดอยู่ในอุปกรณ์ Class III (Huang, 1993)

ธนาคารโลกให้ความสำคัญถึงสภาพของถนนว่ามีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ถนน (Road User Cost) ประกอบกับสภาพของถนนยังเป็นตัวชี้วัดสภาพบริการของถนน (Road serviceability) ที่ได้กำหนดขึ้นโดยสถาบันหรือ หน่วยงานต่างๆ ทั่วโลก เพื่อให้ค่าการวัดความขรุขระของผิวทางมีความเป็นสากล ค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) จึงถูกกำหนดขึ้น โดยการให้การสนับสนุนของธนาคารโลก ซึ่งมีการจัดทำการศึกษาขึ้นที่ประเทศบราซิลในปี 1982 IRI ที่มีค่าเป็น 0 จะมีความราบเรียบเท่ากับกระจก IRI ที่มีค่าเท่ากับ 12 เป็นผิวทางที่มีความชำรุดทรุดโทรมมาก และ IRI ที่มีค่าเท่ากับ 5 แสดงว่าเป็นสภาพผิวทางที่ควรมีการเริ่มการปรับปรุง (มนัส คอวณิช, 2550)

การวัดความขรุขระของผิวทางโดยใช้ IRI ได้รับการยอมรับให้เป็นมาตรฐานของระบบ FHWA Highway Performance Monitoring System (HPMS) ค่า IRI เป็นการประมวลผลสภาพความขรุขระของพื้นผิวถนนจากข้อมูลความสูงต่ำของพื้นผิวถนนเทียบกับระยะทางที่กำหนด โดยค่า IRI มีหน่วยเป็นเมตรต่อกิโลเมตร และ IRI เป็นการรายงานลักษณะพื้นผิวตามความยาวตาม

แนวล้อ และคำนวณได้จากความสูงต่ำของพื้นผิวทาง โดยทำการคำนวณจากการสำรวจพื้นผิว (Topographic survey) หรือการใช้ Mechanical Profilometer (Huang, 1993)

2.2 การบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวง

ปัจจุบันกรมทางหลวงใช้ระบบ HDM-4 ที่พัฒนาขึ้นโดยธนาคารโลกมาเป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการบริหารบำรุงทาง และได้พัฒนาให้วิธีการเก็บข้อมูลที่ทันสมัยขึ้น เช่น การวิเคราะห์ความเสียหายด้วยภาพถ่าย ระบบ HDM-4 นี้ได้รับการพัฒนามาแทนระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) ระบบ TPMS นี้เป็นระบบที่มีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากใช้การประเมินสภาพทางโดยใช้ความเห็นของผู้ประเมิน ซึ่งเป็นระบบที่กรมทางหลวงเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้ประกอบในการพิจารณาจัดทำแผนงานงบประมาณบำรุงทางประจำปีของสำนักบริหารบำรุงทางและแขวงทางทั่วประเทศ

ในปี 2550 สำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง และคณะที่ปรึกษาฯ ได้ทำการศึกษาและพัฒนา ระบบบริหารบำรุงทางให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยทำการพัฒนาแบบจำลองต่างๆ ได้แก่ (1) แบบจำลองการเสื่อมสภาพของสายทาง (Deterioration Model), (2) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Roadwork Effect Model), (3) แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง, (4) แบบจำลองด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม, และ (5) การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านการซ่อมบำรุงและการจัดความสำคัญในการซ่อมบำรุง (สำนักบริหารบำรุงทาง, 2552)

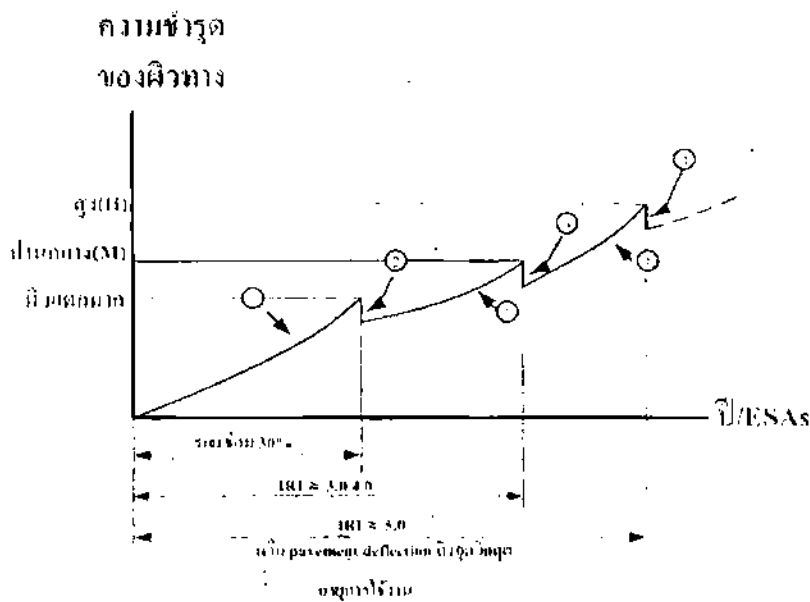
2.2.1 การกำหนดเงื่อนไขในการซ่อมบำรุงทางโดยใช้ IRI

กรมทางหลวงได้ใช้ดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ในการพิจารณาระดับการให้บริการของสายทางและใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการซ่อมบำรุง ค่า IRI ของถนนสร้างใหม่นั้นจะอยู่ที่ 1.2-2.5 เมตร/กิโลเมตร นอกจากนี้แต่ละประเทศก็มีมาตรฐานในการยอมรับ IRI ที่ต่างกัน เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดระดับ IRI ที่ยอมรับได้เท่ากับ 2.7 เมตร/กิโลเมตร ส่วนค่า IRI ที่ยอมรับได้ในประเทศอื่นๆ เช่น บราซิล ชิลี อูรุกวัย และ ฮอนดูรัส เท่ากับ 3.5, 4.0, 4.0, 4.6 และ

6.0 ตามลำดับ ธนาคารโลกได้กำหนดเกณฑ์การซ่อมเริ่มต้น โดยกำหนดให้ถนนลาดยางมีค่า IRI อยู่ที่ประมาณ 3.0-4.0 เมตร/กิโลเมตร

ในการบำรุงทางให้ระดับการให้บริการคงที่ตามเป้าหมาย หน่วยงานรับผิดชอบจำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุงเมื่อค่า IRI สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ การทำให้ค่า IRI ลดลงทำได้หลายวิธีกล่าวคือ การเสริมผิวทาง และการบูรณะผิวทาง ส่วนการฉาบผิวทางจะทำให้ค่า IRI ลดต่ำลงบ้างเล็กน้อย การซ่อมบำรุงปกติไม่สามารถลดค่า IRI ได้ เนื่องจากไม่ได้มุ่งเน้นในการปรับปรุงสภาพผิวทาง แต่เป็นการรักษาสภาพทางทั่วไป เช่น งานสีดีเส้นจราจร การตัดหญ้า การทำความสะอาด เป็นต้น (สำนักบริหารบำรุงทาง, 2552)

มนัส คอวนิช (2550) ได้แนะนำหลักการในการซ่อมผิวทางโดยอ้างอิงค่า IRI ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1 โดยตัวเลข 1, 2, 3 และ 4 ในรูปที่ 2.1 แทนวิธีการซ่อมดังต่อไปนี้



- 1 = ซ่อมตลอดเวลา (Heavy Patching)
- 2 = ฉาบผิวเมื่อรอยซ่อมประมาณ 30% ของผิวทาง
- 3 = Maintenance Overlay เมื่อ IRI ~ 4.0 สำหรับทางหลวงทั่วไป และ 3.0 สำหรับทางหลวงพิเศษ
- 4 = Structural Overlay เมื่อ IRI ~ 5.0 หรือ เมื่อ Pavement Deflection ถึงภาวะวิกฤต

รูปที่ 2.1 หลักการซ่อมผิวทาง

ตารางที่ 2.1 หลักการซ่อมผิวทาง

กระบวนการซ่อม	ระดับชำรุด	วิธีการซ่อม	เกณฑ์คุณภาพ
Heavy Patching (ซ่อมตลอดเวลา)	> L	พ่นหยอดแอสฟัลต์เหลว	วัดด้วยบรรทัด 3 ม. สูง ต่ำ ไม่เกิน 3 มม.
	~ L	ซ่อมปะ	
	~ M	ซ่อมลึก	
Intervention Maintenance (ซ่อมสวดแทรก)	รอยซ่อม ~ 30% ของผิวทาง	ฉาบผิว	วัสดุประสงค์ คือ อุดรอยแตก
	IRI ~ 4.0 ทางหลวงพิเศษ	maintenance overlay	วิ่งรถตรวจการ 60/90 กม./ชม. (ในเมือง/นอกเมือง) รูลึก > M (ไม่สบายใจบ้าง)
Structural Maintenance (ซ่อมโครงสร้าง)	IRI ~ 5.0 หรือ Pavement Deflection ถึงระดับวิกฤต	structural overlay	ซ่อมใหม่ IRI ไม่ควรเกิน 2.0

2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในการวัดค่า IRI ในปัจจุบัน

American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้จำแนกเครื่องมือ ออกเป็น 4 กลุ่มที่ใช้ในการตรวจวัดค่า IRI ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 ดังนี้

- เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class 1: เป็นเครื่องมือตรวจวัดค่า IRI ที่ได้ผลของการตรวจวัดมีความแม่นยำในระดับสูง สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอ้างอิงอุปกรณ์อื่น เครื่องมือที่นิยมใช้งานในปัจจุบันประกอบด้วย Laser Profiler : Non-contact Lightweight Profiling Devices and Portable Laser Profiler Manually Operated Devices ได้แก่ TRL Beam, Face Dipstick/ROMDAS Z-250 และ ARRB Walking Profiler ผู้ผลิตอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงในระดับ Class 1 ได้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ดีมีราคาต่ำออกมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานข้อมูลพื้นฐานด้านสำรวจและประเมิน

สภาพทางให้มีความถูกต้องแม่นยำและกว้างขวางมากขึ้น โดยมีแนวโน้มด้านราคาของอุปกรณ์ต่ำลง

- เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class II: เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I เครื่องมือที่นิยมใช้งานประกอบด้วย APL Profilographs, Optical Profilers และ Inertial Profilers (GMR) เนื่องจากราคาของอุปกรณ์ใน Class I มีแนวโน้มต่ำลง ความนิยมเลือกใช้งานอุปกรณ์ Class I จึงเพิ่มขึ้นมากกว่าอุปกรณ์ Class II
- เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class III: เป็นเครื่องมือตรวจวัดที่มีการคำนวณค่า IRI จากสมการปรับแก้โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่า IRI ที่มีความแม่นยำสูงก่อนการนำมาใช้งานจริง เครื่องมือที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปประกอบด้วย Roadmaster, ROMDAS, Roughometer, TRL Bump Integrator และ Rolling Straightedge อุปกรณ์ที่จัดอยู่ใน Class III ส่วนมากประยุกต์ใช้งานด้วยการติดตั้งในยานพาหนะ มีลักษณะเด่น คือ ใช้งานง่าย ราคาถูก ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือใน Class อื่น ทำให้เครื่องมือในระดับ Class III ได้รับความนิยมเลือกใช้งานสูง
- เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class IV: เป็นเครื่องมือวัดที่มีข้อจำกัดในการประมวลผล ไม่มีการปรับแก้ค่าเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นก่อนนำมาใช้งานจริง ประกอบด้วย Key Code Rating Systems, Visual Inspection และ Ride Over Section เนื่องจากความละเอียด ความแม่นยำของข้อมูลมีน้อย เครื่องมือตรวจวัด ระดับ Class IV จึงไม่ได้รับความนิยมเลือกใช้งานมากนัก

2.3.1 การวัดค่า IRI ของกรมทางหลวง

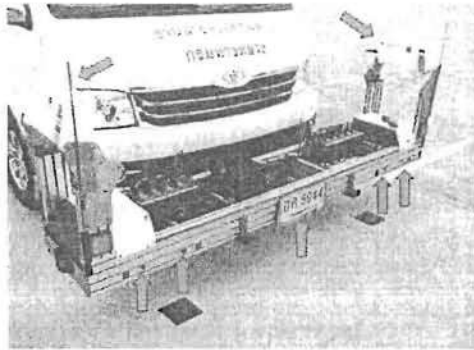
กรมทางหลวงได้ใช้เครื่องมือในการวัดค่า IRI หลายรูปแบบดังนี้

2.3.1.1 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profiler)

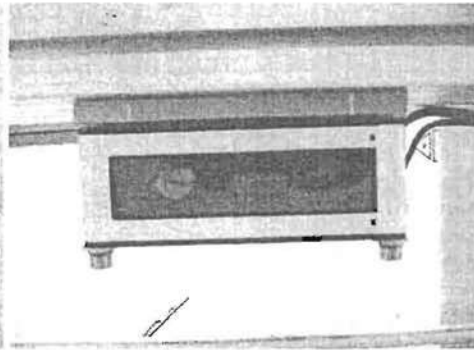
ปัจจุบันกรมทางหลวงใช้อุปกรณ์การตรวจวัดค่า IRI ที่มีความละเอียดแม่นยำสูงทั้งประเภทติดตั้งในยานพาหนะ ความแม่นยำในการสำรวจค่า IRI มีมาตรฐานระดับ Class I ซึ่งเป็นระบบเครื่องวัดที่มีความแม่นยำสูงตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 สำหรับประมวลผลค่า IRI

ทุกๆ ระยะ 100 เมตร หรือน้อยกว่าในทิศทางตามแนวยาวของเส้นทางสำรวจ อุปกรณ์ในการวัดระดับแบบเลเซอร์แสดงในรูป 2.2 ประกอบด้วย

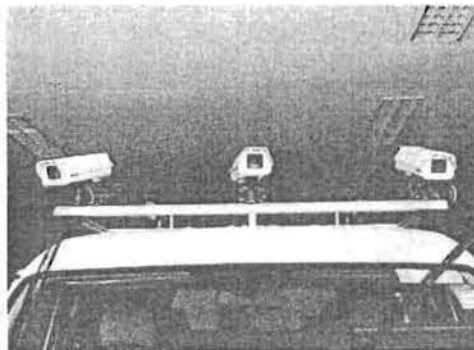
- (1) รถสำรวจ
- (2) ชุดเลเซอร์วัดความขรุขระ (Roughness Laser)
- (3) ชุดเลเซอร์วัดร่องล้อ (Rutting Laser)
- (4) ชุดเลเซอร์วัดความละเอียดของผิวทาง (Texture Laser)
- (5) กล้องบันทึกภาพ
- (6) เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียมเพื่อเชื่อมโยงตำแหน่งกับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดค่าระดับผิวทางและกล้องบันทึกภาพ
- (7) เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer): เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระดับผิวทางแบบเลเซอร์ เนื่องจากการสั่นของรถสำรวจขณะวัด
- (8) เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument: DMI): จะติดตั้งรถสำรวจเพื่อทำการตรวจวัดระยะทางการสำรวจ
- (9) อุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูล (Data Acquisition System): แปลงสัญญาณที่ได้จากการสำรวจเป็นสัญญาณข้อมูลเชิงตัวเลข เพื่อบันทึกและแสดงผลบนคอมพิวเตอร์



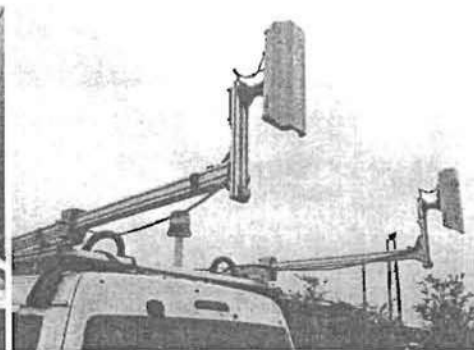
ก) ตำแหน่ง Laser Profiler ทั้ง 7 ตัว



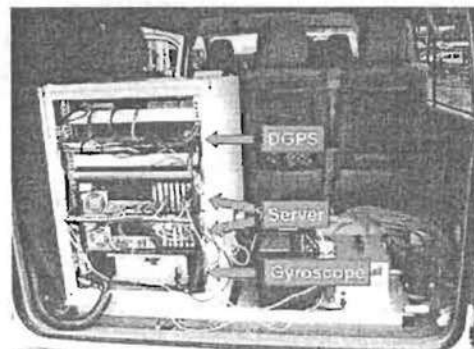
ข) Laser Profiler



ค) กล้องบันทึกภาพในเขตทาง



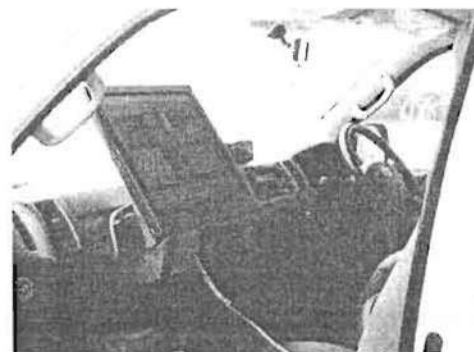
ง) กล้องบันทึกภาพผิวทาง



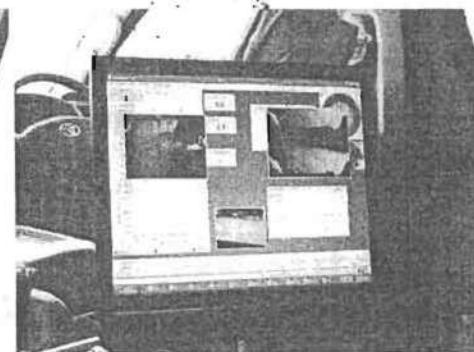
จ) อุปกรณ์ภายในรถ



ฉ) เครื่อง DMI ติดตั้งที่ล้อรถด้านหลัง



ช) ห้องควบคุมด้านหน้ารถ



ซ) ห้องควบคุมส่วนกลางรถ

รูปที่ 2.2 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profiler)

2.3.1.2 Dipstick

Dipstick เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่า IRI ที่มีความแม่นยำสูง โดยใช้หลักการตรวจวัดค่าความแตกต่างของขาทั้งสองข้างที่อยู่ห่างกัน 0.30 เมตร เครื่องมือชนิดนี้มีความถูกต้องสูงแต่ข้อบกพร่องของเครื่องมือชนิดนี้คือมีขนาดเล็กต้องทำการตรวจวัดด้วยกำลังคน จึงเหมาะสำหรับงานที่มีพื้นที่น้อย หรือพื้นที่แคบๆที่เครื่องมือประเภทอื่นไม่สามารถทำงานได้โดยสะดวก เครื่องมือ Dipstick สามารถใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่า IRI ชนิดอื่นได้ เครื่องมือชนิดนี้ยังมีความคงทน แข็งแรง อายุการใช้งานยาวนานและบำรุงรักษาง่าย อุปกรณ์ Dipstick แสดงในรูปที่ 2.3

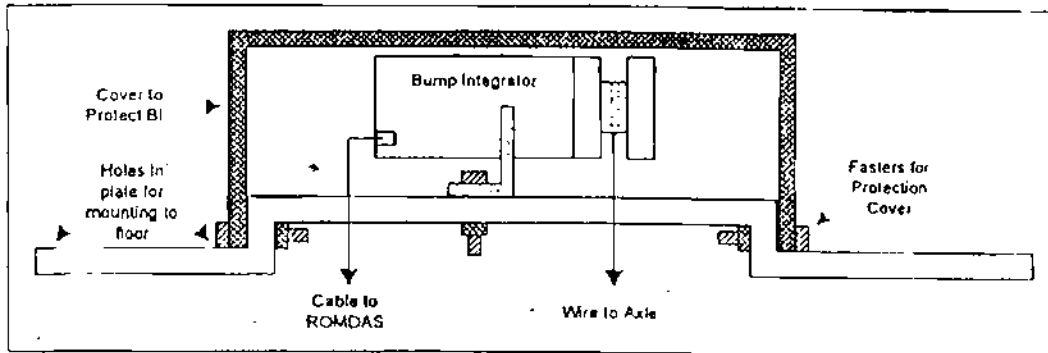


รูปที่ 2.3 การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick

2.3.1.3 เครื่อง Bump Integrator

เครื่อง Bump Integrator ใช้วัดการเคลื่อนที่ขึ้นและลงแบบสะสมของเพลาลังรถยนต์โดยเปรียบเทียบกับตัวถังรถยนต์ซึ่งติดตั้งตัวตรวจวัดการเคลื่อนที่ของเพลาลังโดยถือว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของตัวถังรถยนต์ อุปกรณ์ที่สำคัญประกอบด้วย

1. Integrator Unit ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ทำหน้าที่แสดงการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของเพลาลังโดยตรง โดยการยึดอุปกรณ์ให้ติดแน่นกับตัวถังให้ตรงกับตำแหน่งเพื่อย้ายของชุดเพลาลัง ทำการเจาะรูเพื่อติดตั้งสวดโดยเกี่ยวเข้ากับห่วงเหล็กครึ่งวงกลมซึ่งเชื่อมติดเพลาลังไว้แล้ว การเคลื่อนที่ของเพลาลังจะทำให้ลูกรอกหมุนกลับไปกลับมาตลอดเวลาที่เพลาลังเคลื่อนที่ขึ้นและลง สัญญาณการเคลื่อนที่ในทั้งสองทิศทางของ Integrator Unit จะถูกบันทึกไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางแสดง Integrator Unit

2. Romdas Hardware Interface: ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์ Integrator Unit ให้กลายเป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์แล้วเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์
3. Distance and Speed Sensor หรือมาตรวัดระยะทางและมาตรวัดความเร็ว
4. Computer Notebook

2.4 แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ค่า IRI

ความขรุขระของผิวทางจะมีความสัมพันธ์กับอายุของผิวทาง ปริมาณการจราจร และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมต่างๆก็ยังเป็นผลรวมของผลกระทบของการกัดกร่อน (Weathering) และการรับแรงกระทำซ้ำจากปริมาณการจราจร ผลทางกระบวนการทางด้านเคมี และสิ่งแวดล้อมเช่น อุณหภูมิ ฝน แสงแดด ฯลฯ น้ำหนักกระทำซ้ำคือผลรวมของผลกระทบจากยานพาหนะที่วิ่งบนผิวทางซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณของยวดยานบนผิวทางนั้น ทั้งการกัดกร่อนและน้ำหนักกระทำซ้ำจะเป็นปัจจัยที่ขึ้นโดยตรงกับเวลา เช่น อายุของผิวทาง ดังนั้นอายุของผิวทางและปริมาณของยานพาหนะ (ADT) จึงควรกำหนดเป็นตัวแปรหลัก (Jiang และ Li, 2005)

การทำนายค่า IRI โดยใช้สมการ Linear Regression เพื่อทำนายความซับซ้อนและความสัมพันธ์ที่ไม่มีความเข้าใจอย่างกระฉ่งชัดของตัวแปรต่างๆที่มีความสัมพันธ์กับค่า IRI ในการใช้ IRI เพื่อการทำนายความราบเรียบของผิวทางนั้น เริ่มต้นจากสภาพเริ่มต้นเมื่อมีการก่อสร้างแล้วเสร็จใหม่ๆ จากนั้นทำการทำนายผลหรือค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา อย่างไรก็ตามการใช้สมการทำนายในรูปแบบของสมการ Linear regression อาจมีข้อจำกัด

เนื่องจากความไม่เข้าถึงความซับซ้อนและความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่ไม่ชัดเจน ดังนั้นการใช้สมการ Regression ในการทำนายค่า IRI ควรใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ได้ (Li, 2006)

Ruotoistenmaki และคณะ (2006) ให้ความเห็นว่าในการวิเคราะห์ความขรุขระของผิวทาง โดยการใช้รถในการตรวจวัดในการจราจรปกติ ปัจจัยที่อาจกระทบโดยตรงต่อความคลาดเคลื่อนในการวัดค่า IRI อาจเกิดจากตัวแปรต่อไปนี้

- ความแม่นยำของเครื่องมือวัด
- ความแปรปรวนของอุปกรณ์ชนิดเดียวกัน
- ความแปรปรวนของตำแหน่งในแนวราบของยานพาหนะที่ทำการวัดโดยผู้วัดคนเดียวกัน
- ความแปรปรวนของตำแหน่งในแนวราบระหว่างผู้วัดค่า
- ความแปรปรวนที่เกิดจากเวลาที่ทำการวัด
- ความแตกต่างในช่วงฤดูกาลที่ทำการวัด
- ความแปรปรวนเนื่องจากการกีดกร้อน
- กิจกรรมการบำรุงทางที่ไม่ได้ทำการจดบันทึก

Park และคณะ (2007) ได้เสนอค่าสภาพผิวทาง (Pavement Condition Index, PCI) เพื่อใช้ในการทำนายสภาพผิวทางในอนาคต ค่าของ PCI ได้จากสร้างแบบจำลอง Parametric Model โดยใช่ผลจากการจำลองโดยใช้สมการ Power Regression Model ดังสมการที่ 2.2

$$PCI = K_1 IRI^{K_2} \quad (2.2)$$

โดยค่า k_1 และ k_2 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์และค่ายกกำลังของตัวแปรอิสระ ในทางกลับกัน k_1 แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ PCI ที่แปรผันกับการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI สมการ 2.2 สามารถเขียนอยู่รูปของสมการ log ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$\log PCI = \log k_1 + k_2 \log IRI \quad (2.3)$$

Park และคณะ (2007) ได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตโดยกำหนดให้ค่า IRI ประมาณ 0.727 มีค่า PCI เท่ากับ 100 และกำหนดให้กราฟตัดแกน Y ที่ 2 ดังสมการที่ 2.4

$$\log \text{PCI} = 2 + k_2 \left(\log \frac{\text{IRI}}{0.727} \right) \quad (2.4)$$

PCI	Pavement Quality	IRI
100	Excellent	0.727
85	Very Good	1.055
70	Good	1.65
55	Fair	2.87
40	Poor	5.947
25	Very Poor	17.5
10	Failed	>20
0		N/A*

* Not Applicable

รูปที่ 2.5 ค่า PCI และ IRI (Park และคณะ, 2007)

Ruotoistenmaki และคณะ (2006) ใช้สมการ Linear Regression ในการทำนายค่าของ IRI ในรูปของ Logarithm ในปีหนึ่งๆ ($\ln Y$) โดยใช้สมการรูปดังนี้

$$\ln Y = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_n + \varepsilon \quad (2.5)$$

โดย β_0 เท่ากับค่าคงที่ของ Regression, β_j คือค่าสัมประสิทธิ์ของ Independent Variable ($j = 1$ ถึง n), และ ε คือค่าความคลาดเคลื่อน (Error Term)



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แปลงทดสอบ

การออกแบบงานบูรณะทางหลวงผิวทางลาดยางหรือผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตของกรมทางหลวงนั้น กรมทางหลวงมักออกแบบให้มีอายุการใช้งานประมาณ 7 ปี แต่จากสภาพการใช้งานจริงในบางพื้นที่เมื่อเปิดใช้งานเพียง 1-2 ปี ทางหลวงผิวทางลาดยางก็มีความเสียหายเกิดขึ้น และโดยการวัดความเรียบของผิวทางด้วยดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ก็มีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนด ทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกแปลงทดสอบซึ่งเป็นทางหลวงผิวทางลาดยาง รวมทั้งสิ้น 21 แปลงทดสอบ ที่เพิ่งทำการบำรุงบูรณะด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ ทางลาดยางซึ่งบำรุงบูรณะด้วยวิธีการปรับปรุงชั้นทางเดิมและทางลาดยางซึ่งบำรุงบูรณะด้วยวิธีการเสริมผิวทาง (Overlay) เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพความเรียบของผิวทางจากการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator ในช่วงระยะเวลา 2 ปี ของการใช้งานของแปลงทดสอบ หลังจากการบูรณะ ทั้งนี้แปลงทดสอบที่คัดเลือกยังมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันอยู่ระหว่าง 506 ถึง 31,154 คัน/วัน และมีสัดส่วนรถบรรทุกอยู่ระหว่างร้อยละ 2.5 ถึง 60.6 (ข้อมูลจากรายงานการจราจรบนทางหลวง 2551 ที่สำรวจโดยสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง) เพื่อให้สามารถศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ของแปลงทดสอบกับปัจจัยด้านปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกของการจราจร

คณะผู้วิจัยได้ใช้เครื่อง Bump Integrator เป็นเครื่องมือตรวจวัดดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ของแปลงทดสอบ โดย Bump Integrator ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะจัดอยู่ใน Class III ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) ที่ให้ผลการตรวจวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำระดับปานกลาง ซึ่งมีความแม่นยำน้อยกว่าผลการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Dipstick ที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงมาก จัดอยู่ใน Class I แต่เนื่องจาก Bump Integrator มีความคล่องตัวในการทำงานสูง สามารถใช้งานได้กับทุกสภาพอากาศ ใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อย และมีความทนทานสูง จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานประเมินสภาพของผิวทางซึ่งมีพื้นที่กว้างซึ่งไม่สามารถทำได้ด้วยเครื่องมือ Dipstick ให้เสร็จสิ้นลงได้ในเวลาอันสั้น

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแปลงทดสอบ

ลำดับ	ทางหลวง หมายเลข	แขวงกิจการทาง	กม. เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ADT (คัน/วัน)	สัดส่วน รถบรรทุก (%)
1	3	ระยอง	256+060	263+000	6.940	14,036	7.0
2	7	ชลบุรีที่ 2	18+600	20+500	1.900	31,154	18.8
3	323	กาญจนบุรี	55+000	60+000	5.000	506	5.1
4	331	ชลบุรีที่ 2	121+500	125+000	3.500	7,054	8.3
5	359 (1)	ปราจีนบุรี	31+425	35+000	3.575	4,057	10.0
6	359 (2)	ปราจีนบุรี	37+000	39+000	2.000	4,057	10.0
7	359 (3)	ปราจีนบุรี	43+486	45+851	2.365	4,057	10.0
8	3030	สน.บท.สิงห์บุรี	2+000	10+000	8.000	2,348	4.5
9	3034	สระบุรี	3+000	14+444	11.444	4,615	60.6
10	3079 (1)	ปราจีนบุรี	10+000	13+000	3.000	9,107	7.6
11	3079 (2)	ปราจีนบุรี	15+000	17+000	2.000	9,107	7.6
12	3079 (3)	ปราจีนบุรี	4+375	8+175	3.800	5,197	9.9
13	3086	กาญจนบุรี	76+400	81+000	4.600	1,272	7.5
14	3179	เพชรบุรี	0+109	8+091	7.982	3,257	4.7
15	3245	กาญจนบุรี	0+000	8+000	8.000	3,327	8.8
16	3302	สระบุรี	3+162	9+000	5.838	NA	NA
17	3422	สุพรรณบุรีที่ 2	5+000	16+000	11.000	3,405	9.2
18	3454	สน.บท.อ่างทอง	33+000	36+000	3.000	2,583	8.0
19	3455	กาญจนบุรี	0+005	4+000	3.995	633	5.1
20	3483	สน.บท.อ่างทอง	0+850	4+000	3.150	1,099	2.5
21	3501	อยุธยา	18+000	23+594	5.594	1,266	17.4

หมายเหตุ NA = ไม่มีข้อมูล

3.2 การวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Bump Integrator

3.2.1 การสอบเทียบ (Calibration) เครื่อง Bump Integrator

หลักการการทำงานของเครื่องมือ Bump Integrator ต้องได้รับการปรับแก้ค่าโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่มีคามละเอียดสูงกว่า ซึ่งโดยปกติกรมทางหลวงใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมืออ้างอิงสำหรับเครื่อง Bump Integrator โดยค่าความเรียบของผิวทางที่ตรวจสอบด้วยเครื่อง Bump Integrator จะอยู่ในรูปของค่า B.I. หน่วยเป็น B.I.ต่อกิโลเมตร ซึ่งการแปลงข้อมูลนี้ให้เป็นค่า IRI ในหน่วยเมตรต่อกิโลเมตร จะทำได้โดยการสอบเทียบ (Calibrate) เครื่องมือ Bump Integrator จากการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างข้อมูล B.I. ตรวจสอบด้วยเครื่องมือ Bump Integrator กับข้อมูล IRI ตรวจสอบด้วยเครื่องมือ Dipstick ในแปลงทดสอบ

เนื่องจากทางสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวงได้จัดให้มีแปลงทดสอบเพื่อใช้ในการสอบเทียบ เครื่องมือ Bump Integrator ไว้ทั้งสิ้น 15 แปลงทดสอบ คณะผู้วิจัยจึงได้ขอความอนุเคราะห์เพื่อใช้แปลงทดสอบดังกล่าวในการสอบเทียบเครื่องมือ Bump Integrator ก่อนที่จะนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยต่อไป ซึ่งขั้นตอนทำแปลงทดสอบและการสอบเทียบเครื่องมือ Bump Integrator เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เลือกสายทางเพื่อทำเป็นแปลงทดสอบ โดยเลือกสายทางซึ่งมีลักษณะสภาพความเรียบของผิวทางแตกต่างกัน โดยสายทางที่เลือกตรวจสอบควรมีปริมาณการจราจรไม่หนาแน่นมาก เพื่อผิวทางที่ทดสอบจะไม่มีอาการเสื่อมสภาพเร็วมากนัก และเพื่อความสะดวกและปลอดภัยในปฏิบัติงานการทดสอบด้วย

2. แบ่งสายทางที่เลือกไว้ออกเป็น 15 แปลงทดสอบ โดยแต่ละแปลงทดสอบมีความยาว 300 เมตร และมีความเรียบของผิวทางที่แตกต่างกันจากมากไปหาน้อย จากนั้นทำสัญลักษณ์สีแสดงหมายเลขแต่ละตอน และแสดงทิศทางในแนวร่องล้อซ้าย-ขวา ให้ชัดเจน

3. ทำการตรวจวัดค่า IRI ของร่องล้อซ้ายและร่องล้อขวาของแต่ละตอน ด้วยเครื่อง Dipstick โดยค่าเฉลี่ยของค่า IRI ระหว่างร่องล้อซ้ายและร่องล้อขวาที่วัดได้ จะเป็นค่า IRI ของผิวทางตอนนั้นๆ

4. ทำการตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Bump Integrator ในแต่ละตอนที่กำหนดไว้ โดยควบคุมความเร็วของรถทดสอบทดสอบไว้ 2 ความเร็ว คือ

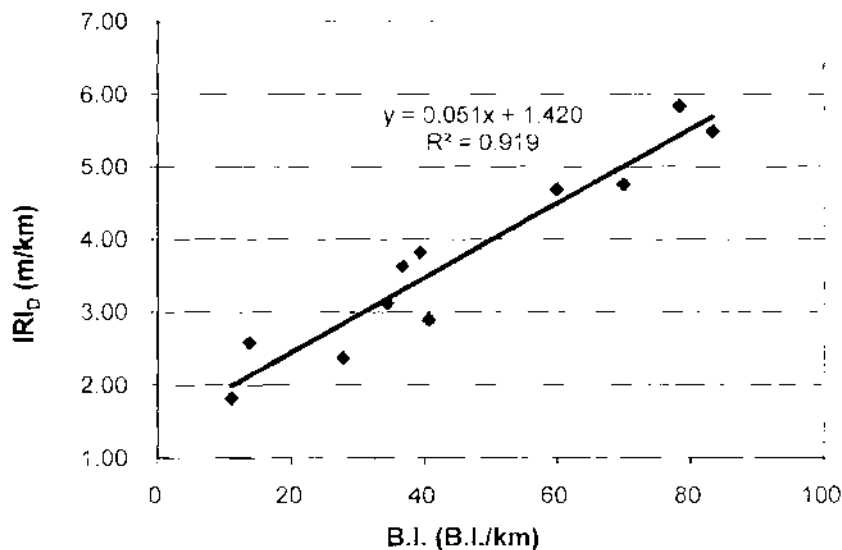
- ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อใช้เป็นความเร็วในการตรวจสอบความเรียบของผิวทางในเขตเมือง หรือพื้นที่สูงชัน ที่ไม่อาจวิ่งตรวจสอบด้วยความเร็วสูงได้
- ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อใช้เป็นความเร็วในการตรวจสอบความเรียบของผิวทางในเขตนอกเมือง หรือพื้นที่ราบ ที่สามารถวิ่งตรวจสอบด้วยความเร็ว

สูงได้ แต่ด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือกำหนดให้วิ่งด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หากความเร็วสูงกว่าที่กำหนดไว้ ค่าความเรียบของผิวทางที่ตรวจสอบได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง

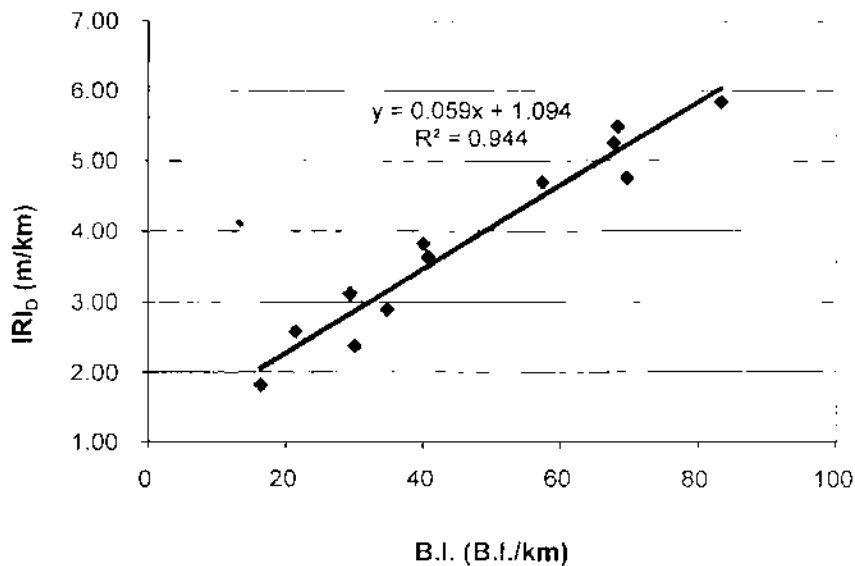
การตรวจวัดจะทำได้โดยใช้รถทดสอบวิ่งผ่านไปบนแนวที่กำหนดอย่างน้อย 3 เที้ยว ค่าเฉลี่ยของค่าความเรียบของผิวทางที่ตรวจวัดได้ในสนาม คือ ตัวแทนของค่าความเรียบของผิวทางที่ทำการตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator (B.I.) ในแต่ละตอน

5. นำค่า IRI ซึ่งตรวจวัดได้ตามวิธีการในข้อที่ 3 และค่า B.I. ที่ทำการตรวจวัดได้ตามวิธีการในข้อที่ 4 ของตอนที่ทำการตรวจวัดเดียวกัน มาหาความสัมพันธ์กันตามหลักการทางสถิติ ด้วยวิธี Regression Analysis แล้วจึงนำเอาความสัมพันธ์นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือค่า B.I. และ IRI ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1

6. ในการสอบเทียบเครื่อง Bump Integrator เพื่อแปลงค่า B.I. เป็นค่า IRI นั้น มีข้อควรระวังคือ ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการสอบเทียบตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัด เพื่อให้ผลการสอบเทียบมีความถูกต้องหรือเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. ที่วัดจากเครื่อง Bump Integrator ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กับค่า IRI ของผิวทางที่วัดจากเครื่อง Dipstick (IRI_D)



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. ที่วัดจากเครื่อง Bump Integrator ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กับค่า IRI ของผิวทางที่วัดจากเครื่อง Dipstick (IRI_D)

3.2.2 การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Bump Integrator

ขั้นตอนการตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Bump Integrator โดยสังเขปเป็นดังนี้

1. ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือ โดยการตรวจสอบความดันของลมยางทั้ง 4 ล้อ และตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกให้เข้าไปตามที่บันทึกไว้ในขั้นตอนการปรับแก้ ทั้งนี้อายุการใช้งานของช่วงล่างไม่ควรเกิน 5,000 กิโลเมตร เพื่อให้อยู่ในสภาพใหม่พร้อมใช้งานและไม่ส่งผลกระทบต่อค่าที่ตรวจวัด เนื่องจากการตรวจวัดค่าความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator มีตัวแปรที่สำคัญคือ ตัวแปรเกี่ยวกับสภาพรถยนต์ที่นำมาใช้งาน ได้แก่ สภาพของรถยนต์ อายุการใช้งานของรถยนต์ ความดันลมยาง สภาพของยาง สภาพของช่วงล่าง และน้ำหนักบรรทุกในขณะที่ทำการทดสอบ ถึงแม้จะมีผลกระทบต่อค่าที่ขึ้นลงของเพลาลังรถยนต์ให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ทั้งสิ้น จึงกำหนดให้ต้องทำการตรวจสอบปรับแก้เครื่องมือทุกระยะทางไม่เกิน 5,000 กิโลเมตร

นอกจากนี้ อุปกรณ์ส่วนที่สำคัญของเครื่อง Bump Integrator คือ Integrator Unit, Roindas Hardware Interface, Distance and Speed Sensor และ Computer Notebook ควรตรวจสอบให้พร้อมใช้งานตามข้อกำหนด โดยเฉพาะสายสัญญาณ และอุปกรณ์เชื่อมต่อที่อาจเกิดปัญหาหลุดหรือหลวม ต้องตรวจสอบและทำการแก้ไขให้อยู่ในสภาพดีก่อนการใช้งาน

2. ตำรวจแปลงทดสอบ (Test Section) และกำหนดความเร็วที่จะใช้ในการทดสอบ โดยในการวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบโดยการเก็บค่า B.I. ทุกๆ 500 เมตรของแปลงทดสอบ และกำหนดความเร็วของรถทดสอบที่ใช้ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.3 การสำรวจแปลงทดสอบ

3. นำค่าความเรียบของผิวทางที่ทำการตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator (B.I.) ในแต่ละตอน ของพื้นที่ทดสอบ ไปคำนวณหาค่า IRI โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. และ IRI ที่ได้ จากขั้นตอนการสอบเทียบเครื่อง Bump Integrator

3.3 การทดสอบความต้านทานของดินเดิมด้วยเครื่อง Dynamic Cone Penetrometer

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ของทางลาดยาง ขึ้นอยู่กับสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง อายุการใช้งาน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ยังอาจมีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของดินเดิมอีกด้วย ทั้งนี้จากการสังเกตผลในภาคสนามพบว่าสภาพทางกายภาพ เช่น สภาพภูมิประเทศที่ถนนตัดผ่านที่มีลักษณะเป็นแหล่งน้ำ ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง ภูเขา หรือหินแข็ง ล้วนมีผลกระทบต่อความเสียหายที่ปรากฏบนผิวทางทั้งสิ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเก็บข้อมูลความแข็งแรงของดินเดิมของแปลงทดสอบด้วยการทดสอบหาค่าความต้านทานกรวย (Cone Resistance) ของดินเดิมใต้ชั้นโครงสร้างทางด้วยเครื่อง Dynamic Cone Penetrometer (DCP) เพื่อศึกษาถึงผลของความแข็งแรงของดินเดิมที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ปรับปรุงวิธีการออกแบบทางลาดยางให้มีอายุการใช้งานเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง

การทดสอบหาค่าความต้านทานกรวยของดินเดิมใต้ชั้นโครงสร้างทางในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่อง Dynamic Cone Penetrometer (DCP) ยี่ห้อ Panda ซึ่งมีหัวกรวยขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง 4.0 ตารางเซนติเมตร เนื่องจากหัวกรวยขนาดนี้เมื่อใช้ทดสอบหาค่าความต้านทานกรวยในสนาม สำหรับดินเดิมที่มีความแข็งถึงแข็งมากในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยแล้วเกิดการจมตัวของหัวกรวยลงไปใ้ในเนื้อดินประมาณ 1-2 ซม.ต่อการตอก 1 ครั้ง สอดคล้องกับข้อกำหนดของการใช้เครื่องมือ DCP ในการทดสอบคุณสมบัติของดิน หัวกรวยขนาด 4.0 ตารางเซนติเมตรจึงเหมาะสมกับงานทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานกรวยของดินแกรนิตคงสภาพ

มากกว่าหัวกรวยขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง 2.0 ตารางเซนติเมตรหรือหัวกรวยขนาดพื้นที่ภาคตัดขวาง 10.0 ตารางเซนติเมตร ที่เป็นหัวกรวยมาตรฐานของเครื่อง DCP ยี่ห้อ Panda

ค่าความต้านทานกรวยที่ได้จากการทดสอบโดยการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เฉพาะของเครื่อง DCP ยี่ห้อ Panda และค่าการจมตัวของหัวกรวยจะถูกรายงานผลทุกครั้งที่ทำกรตอกผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยสามารถสั่งให้เครื่องรายงานผลทุกครั้งที่ตอกหรือรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยการจมตัวของหัวกรวยลงในชั้นดินทุกระยะ 5 เซนติเมตร หรือ 10 เซนติเมตร

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่า IRI

นักวิจัยหลายท่านดังแสดงในบทที่ 2 ได้สรุปสาเหตุที่ก่อให้เกิดความขรุขระบนผิวทางซึ่งโดยทั่วไปความขรุขระของผิวทางซึ่งแสดงในรูปของดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ อายุการใช้งาน ปริมาณจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่ถนนต้องรองรับความแข็งแรงของโครงสร้างถนน สภาพแวดล้อมของถนน เช่น อุณหภูมิและความชื้น และสภาพความเสียหายของถนนในรูปแบบต่างๆ เช่น ร่องล้อ การแตกร้าว และหลุมบ่อ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่จะนำมาพิจารณาในการศึกษานี้มีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ อายุการใช้งาน (AGE) ปริมาณจราจร (ปริมาณรถบรรทุก, ADT_{tr}) และความแข็งแรงของดินเดิมจากการทดสอบ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) จากข้อมูลข้างต้น การวิเคราะห์ IRI สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 4.1

$$IRI = f(AGE, ADT_{tr}, DCP) \quad (4.1)$$

4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อ IRI

การศึกษาค้นคว้าได้บันทึกผลการสำรวจค่า IRI ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงบนแปลงทดสอบถนนลาดยางจำนวน 21 แปลงทดสอบ โดยทำการบันทึกค่า IRI ที่อายุการใช้งานต่างๆ (AGE) ในเวลา 2, 4, 6, 8, 10, 12, 22 และ 24 เดือน ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน (DCP) และปริมาณการจราจร แสดงดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าค่า IRI ในเดือนที่ 22 และ 24 มีค่าต่ำลงในบางสายทาง เนื่องจากในช่วงดังกล่าวมีความจำเป็นต้องทำการซ่อมรถทดสอบและสอบเทียบเครื่อง Bump Integrator ใหม่ และส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่า IRI ได้ จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI และปัจจัยต่างๆ สมการที่ 4.1 สามารถเขียนในรูปสมการความถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ได้ดังแสดงในสมการที่ 4.2

$$IRI = \beta_0 + \beta_1 DCP + \beta_2 AGE + \beta_3 ADT_{tr} + \epsilon \quad (4.2)$$

โดยกำหนดให้ β_0 คือค่าคงที่ หรือ ส่วนตัดแกน Y ในขณะที่ β_1, β_2 และ β_3 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยเชิงส่วนของตัวแปร AGE, ADT_{tr} และ DCP ตามลำดับ

จากสมการที่ 4.2 ในส่วนของตัวแปรของปริมาณรถบรรทุกไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับตัวแปรอื่นได้เนื่องจากการเก็บข้อมูลของตัวแปรดังกล่าวเป็นการเก็บข้อมูลรายปี การ

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณรถบรรทุกจะแสดงใหม่ส่วนถัดไป ดังนั้นสมการความสัมพันธ์ของค่า IRI จึงใช้รูปแบบในสมการที่ 4.3

$$IRI = \beta_0 + \beta_1 DCP + \beta_2 AGE + \varepsilon \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.1 ผลการสำรวจค่า IRI กับอายุการใช้งาน

ลำดับ	สายทาง	ADTtr (คัน/วัน)	ค่าเฉลี่ยของ IRI (m/km) ที่อายุการใช้งานของถนน (เดือน)							
			2	4	6	8	10	12	22	24
1	3	983	2.51	2.62	2.75	2.89	3.05	3.22	3.45	3.42
2	7	5857	1.55	1.57	1.59	1.61	1.64	1.66	2.68	2.77
3	323	26	1.54	1.56	1.57	1.60	1.62	1.64	1.93	2.06
4	331	585	1.81	1.86	1.91	1.97	2.03	2.10	2.57	2.55
5	359 (1)	406	2.41	2.51	2.62	2.74	2.88	3.03	3.24	2.97
6	359 (2)	406	2.59	2.71	2.86	3.02	3.21	3.35	3.81	3.54
7	359 (3)	406	2.55	2.66	2.80	2.95	3.11	3.28	3.03	2.79
8	3030	106	2.05	2.12	2.21	2.30	2.41	2.52	3.06	3.13
9	3034	2797	1.78	1.82	1.87	1.92	1.98	2.04	3.64	3.50
10	3079 (1)	692	1.87	1.93	2.01	2.09	2.18	2.27	4.07	4.23
11	3079 (2)	692	1.58	1.60	1.63	1.66	1.69	1.73	3.26	3.30
12	3079 (3)	515	1.63	1.66	1.69	1.73	1.77	1.82	3.48	3.72
13	3086	95	2.03	2.10	2.18	2.27	2.37	2.48	1.89	2.37
14	3179	153	1.83	1.88	1.94	2.01	2.08	2.15	3.02	2.86
15	3245	293	1.77	1.81	1.85	1.90	1.95	2.04	3.37	3.47
16	3302	NA	1.83	1.88	1.95	2.02	2.10	2.18	2.93	2.84
17	3422	313	1.78	1.82	1.87	1.93	1.99	2.05	3.13	3.08
18	3454	207	1.56	1.58	1.60	1.63	1.66	1.69	2.87	2.89
19	3455	32	1.43	1.44	1.45	1.47	1.48	1.50	2.56	2.86
20	3483	27	1.68	1.71	1.75	1.80	1.84	1.89	3.18	3.36
21	3501	220	1.60	1.63	1.66	1.69	1.73	1.77	2.59	3.02

หมายเหตุ: NA = ไม่มีข้อมูล

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของดินเดิม (DCP) ในแต่ละแปลงทดสอบ

ลำดับ	สายทาง	ค่าเฉลี่ยของ DCP (cm) ที่อายุการใช้งานของถนน (เดือน)					
		2	4	6	8	10	12
1	3	2.63	2.67	2.66	2.71	2.69	2.74
2	7	4.5	4.35	4.41	4.62	4.32	4.36
3	323	7.4	7.7	7.64	7.95	7.89	7.84
4	331	3.58	3.63	3.6	3.66	3.63	3.6
5	359 (1)	2.9	2.93	2.91	2.95	2.93	2.96
6	359 (2)	2.07	2.1	2.09	2.12	2.11	2.09
7	359 (3)	2.54	2.58	2.57	2.62	2.61	2.6
8	3030	3.03	3.07	3.06	3.1	3.08	3.07
9	3034	3.81	3.86	3.83	3.87	3.85	3.88
10	3079 (1)	3.01	3.06	3.03	3.08	3.1	3.16
11	3079 (2)	6.26	6.35	6.32	6.41	6.37	6.33
12	3079 (3)	5.31	5.42	5.39	5.5	5.47	5.44
13	3086	4.6	4.3	3.8	3.9	4.2	4.3
14	3179	3.19	3.16	3.15	3.19	3.18	3.19
15	3245	2.25	3.2	2.81	2.16	2.24	2.21
16	3302	3.1	3.16	3.14	3.21	3.19	3.17
17	3422	3.48	3.55	3.52	3.57	3.56	3.58
18	3454	7.15	7.29	7.24	7.39	7.34	7.28
19	3455	9.08	9.35	9.28	9.56	9.48	9.4
20	3483	5.22	5.38	5.34	5.5	5.46	5.42
21	3501	5.4	5.49	5.45	5.54	5.51	5.46

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์ของสมการและค่าความสำคัญทางสถิติของตัวแปรต่างๆ

ลำดับ	สายทาง	สัมประสิทธิ์สมการถดถอย			R ²	ค่านัยสำคัญทางสถิติ (Significance)		
		β_0	β_1	β_2		Sig. β_0	Sig. β_1	Sig. β_2
1	3	2.450	-0.041	0.072	0.994	0.291	0.958	0.003
2	7	1.605	-0.018	0.011	0.997	0.000	0.211	0.000
3	323	1.460	0.008	0.010	0.989	0.002	0.719	0.003
4	331	2.303	-0.155	0.029	0.997	0.012	0.273	0.000
5	359 (1)	2.361	-0.033	0.062	0.994	0.362	0.968	0.001
6	359 (2)	3.563	-0.554	0.079	0.997	0.067	0.430	0.000
7	359 (3)	4.223	-0.726	0.078	0.997	0.035	0.207	0.000
8	3030	3.945	-0.660	0.050	0.998	0.011	0.062	0.000
9	3034	2.239	-0.137	0.027	0.996	0.071	0.569	0.000
10	3079 (1)	1.324	0.151	0.038	0.996	0.173	0.587	0.002
11	3079 (2)	2.157	-0.098	0.016	0.997	0.003	0.096	0.000
12	3079 (3)	2.108	-0.098	0.020	0.994	0.010	0.239	0.000
13	3086	1.728	0.045	0.046	0.999	0.000	0.031	0.000
14	3179	0.638	0.353	0.032	0.999	0.279	0.104	0.000
15	3245	1.722	-0.006	0.026	0.976	0.000	0.812	0.002
16	3302	2.573	-0.266	0.037	0.998	0.009	0.142	0.000
17	3422	2.275	-0.161	0.029	0.996	0.038	0.446	0.001
18	3454	1.792	-0.037	0.014	0.993	0.006	0.374	0.000
19	3455	1.477	-0.007	0.007	0.998	0.002	0.685	0.002
20	3483	1.859	-0.044	0.022	0.993	0.004	0.398	0.000
21	3501	2.023	-0.085	0.017	0.998	0.002	0.117	0.000

4.2.1 สมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อ IRI

จากการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ IRI ใช้รูปแบบความสัมพันธ์จากสมการ 4.3 ในสายทางทั้ง 21 สายโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 ค่าความถูกต้องของสมการ (R^2) ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตัวแปรและค่านัยสำคัญของสัมประสิทธิ์แสดงในตารางที่ 4.3 จากผลการวิเคราะห์แสดงว่าสมการความสัมพันธ์ของทั้ง 21 สายทางให้ค่า R^2 มากกว่า 0.98 ข้อสรุปเบื้องต้นได้ว่าทั้งสองตัวแปรสามารถอธิบายความแปรผันของค่า IRI ได้มากกว่า 98% ค่านัยสำคัญของสัมประสิทธิ์ของแต่ละตัวแปรได้ถูกตรวจสอบถึงความสำคัญ โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานทางสถิติดังนี้

- 1) การทดสอบค่าคงที่ β_0

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ และ } H_1: \beta_0 \neq 0$$

- 2) การทดสอบสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของตัวแปร DCP (β_1)

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ และ } H_1: \beta_1 \neq 0$$

- 3) การทดสอบสัมประสิทธิ์ค่าคงที่ของตัวแปร AGE (β_2)

$$H_0: \beta_2 = 0 \text{ และ } H_1: \beta_2 \neq 0$$

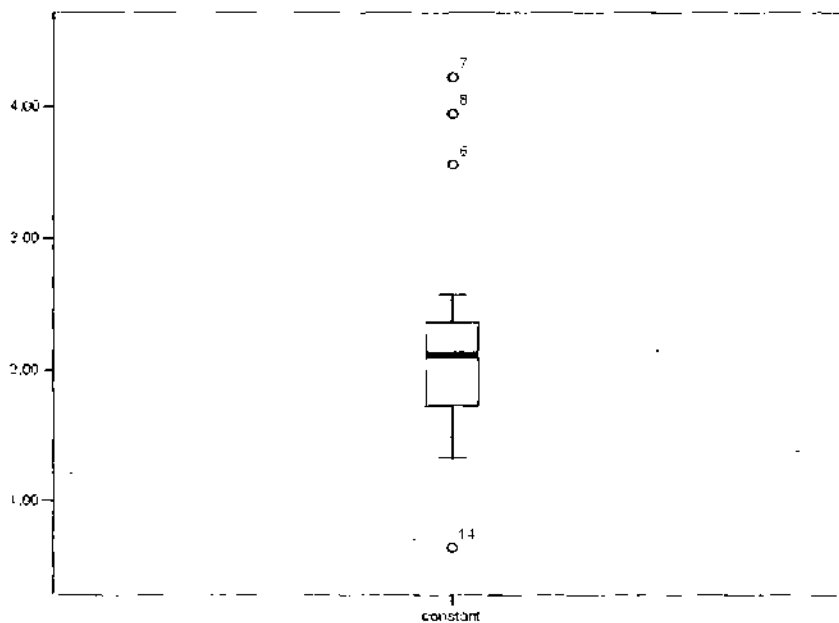
4.2.2 ความสัมพันธ์ของค่าคงที่ β_0 และ IRI

จากผลการทดสอบทางสถิติแสดงในตารางที่ 4.3 มีสายทางทั้งหมดจำนวน 5 สายทางได้แก่สายทางลำดับที่ 1, 5, 6, 10, และ 14 มีค่าระดับนัยสำคัญของค่าคงที่ (β_0) มากกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนด 0.05 ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าคงที่ (β_0) สายทางทั้ง 5 สายนี้มีค่าเท่ากับ 0 โดยการยอมรับ H_0 ซึ่งในความเป็นจริงแล้วค่าคงที่ β_0 ในแต่ละสมการความสัมพันธ์ไม่ควรจะมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากค่าคงที่ β_0 แสดงถึงค่า IRI ในเดือนที่ 0 หรือค่า IRI เริ่มต้นเมื่อมีการ Overlay หรือ ก่อสร้างเสร็จ ดังนั้นความสัมพันธ์ใน 5 สายทางข้างต้นไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงจึงไม่ควรนำข้อมูลของสายทางทั้ง 5 สายทาง มาพิจารณา

ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงการกระจายของค่าคงที่ (β_0) ของข้อมูลในสายทางที่ 6, 7, 8, 14 เป็นค่าที่มีความผิดปกติ (Outlier) ดังนั้นจึงไม่พิจารณาความสัมพันธ์ของสายทางนี้ จากข้อมูลสถิติในตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของ IRI เท่ากับ 2.18 ค่าที่ยอมรับได้ของ IRI หลังจากมีการก่อสร้างหรือการเสริมผิวแล้วเสร็จควรอยู่ในขอบเขตของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) หรือ 2.18 ± 0.85 ซึ่งโดยปกติสายทางที่มีการเสริมผิวแล้วเสร็จหรือก่อสร้างใหม่ควรมีค่า IRI ไม่เกิน 2 (มนัส คอวนิช, 2550)

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าทางสถิติและการกระจายของค่าคงที่ (β_0)

	N	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ (β_0)	21	0.64	4.22	2.18	0.85



รูปที่ 4.1 การกระจายของค่าคงที่ (β_0)

4.2.3 ผลกระทบของความแข็งแรงของดินเดิมที่มีต่อ IRI

จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของ DCP ส่วนใหญ่ (20 สายทาง) มีค่าระดับนัยสำคัญมากกว่าค่านัยสำคัญที่กำหนด 0.05 ดังนั้น จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 จึงสรุปได้ว่าค่าความแข็งแรงของดินเดิม (DCP) ของสายทางที่ทำการสำรวจ ไม่มีความสัมพันธ์กับค่า IRI อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎี ความแข็งแรงของโครงสร้างมีผลต่อความราบเรียบของสายทาง แต่ในการศึกษานี้ การเก็บข้อมูลไม่มีการแบ่งประเภทของสายทาง ซึ่งแต่ละประเภทของสายทางมีรูปแบบและมาตรฐานการก่อสร้างที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษาความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของโครงสร้างและ IRI ควรมีการแบ่งแยกประเภทสายทางและชนิดของโครงสร้างอย่างชัดเจน อีกทั้งในแต่ละพื้นที่มีวัสดุก่อสร้างที่มีความหลากหลายในเรื่องของคุณสมบัติทางวิศวกรรม อีกประการหนึ่งการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล บังคับด้าน

สภาพแวดล้อม เช่น ความชื้น อุณหภูมิ เป็นต้น รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวโดย Ruotoistenmaki และคณะ (2006) อาจทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI และ DCP คลาดเคลื่อนได้

4.2.4 ผลกระทบของอายุการใช้งานของถนนที่มีต่อ IRI

จากการทดสอบทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอายุการใช้งานของถนน (AGE) มีค่าระดับนัยสำคัญต่ำกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 0.05 ดังนั้นสมมติฐาน H_0 จึงถูกปฏิเสธ สรุปได้ว่าตัวแปร AGE สัมพันธ์กับค่า IRI

4.2.5 ผลกระทบของปริมาณจราจรรถบรรทุกที่มีต่อ IRI

การเปลี่ยนแปลงของ IRI ของผิวทางมีผลกระทบโดยตรงจากปริมาณจราจร โดยเฉพาะน้ำหนักของรถบรรทุก (ADTtr) จากข้อมูลปริมาณจราจรในปี 2550 ที่รวบรวมโดยสำนักอำนวยความปลอดภัย ในสายทางหมายเลข 3302 ไม่มีข้อมูลปริมาณจราจร การวิเคราะห์ผลกระทบของปริมาณรถบรรทุกต่อค่า IRI จึงไม่มีผลวิเคราะห์ของสายทางนี้ การเก็บข้อมูลจราจรจะทำการจัดเก็บเป็นรายปี ดังนั้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรจะเป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ IRI ในช่วง 24 เดือนที่ทำการทดสอบ เทียบกับปริมาณรถบรรทุกในปีนั้น สามารถสรุปได้ในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI ที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการเก็บข้อมูลโครงการฯ กับปริมาณรถบรรทุก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ค่า IRI ที่เปลี่ยนแปลงไปกับปริมาณรถบรรทุกแสดงให้เห็นว่า จากข้อมูลของ 20 สายทาง ปริมาณของรถบรรทุกมีอิทธิพลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ IRI น้อยมากโดยสามารถสังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0146 หรืออาจสรุปได้ว่าปริมาณของรถบรรทุกสามารถอธิบายความแปรผันของ IRI ได้เพียง 1.5% โดยประมาณ

จากความสัมพันธ์โดยใช้สมการถดถอยจากผลที่ได้สามารถตั้งสมมติฐานการทดสอบความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ดังนี้

$$IRI_{diff} = \beta_0 + \beta_1 ADT_{tr} + \epsilon \quad (4.4)$$

$$H_0: \beta_1 = 0$$

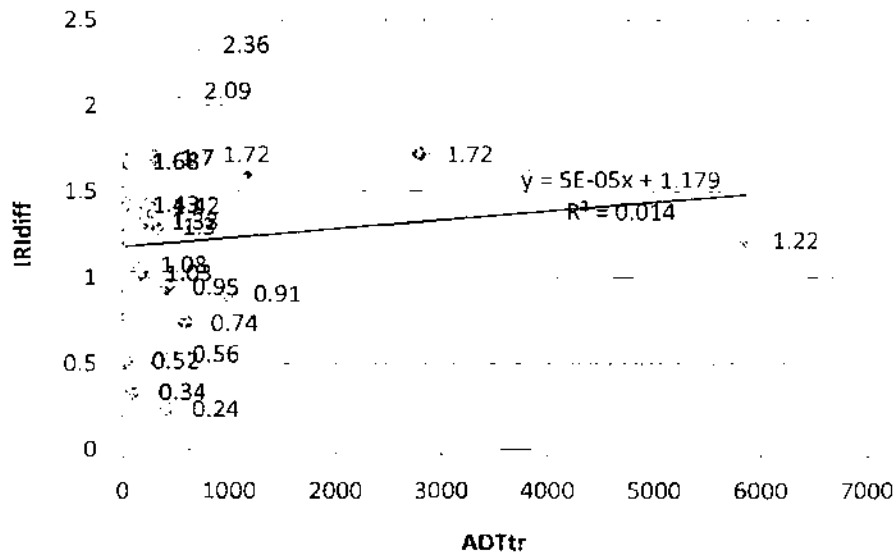
$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของทั้งสองตัวแปรในตารางที่ 4.6 ค่า $F < F_{1,18,95}$ ($0.267 < 247$) และ ค่า Significance จากตารางมากกว่าระดับนัยสำคัญจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน H_0 หรือสรุปได้ว่าตัวแปร IRI ไม่สัมพันธ์กับปริมาณรถบรรทุก

ตารางที่ 4.5 ตารางเปรียบเทียบ IRI และปริมาณจราจรรถบรรทุก

ลำดับ	สายทาง	ความแตกต่างของค่า IRI ระหว่าง เดือนที่ 2 และ เดือนที่ 24	ADTtr
1	3	0.91	983
2	7	1.22	5857
3	323	0.52	26
4	331	0.74	585
5	359 (1)	0.56	406
6	359 (2)	0.95	406
7	359 (3)	0.24	406
8	3030	1.08	106
9	3034	1.72	2797
10	3079 (1)	2.36	692
11	3079 (2)	1.72	692
12	3079 (3)	2.09	515
13	3086	0.34	95
14	3179	1.03	153
15	3245	1.70	293
16	3302	1.03	NA
17	3422	1.30	313
18	3454	1.33	207
19	3455	1.43	32
20	3483	1.68	27
21	3501	1.42	220

หมายเหตุ NA = ไม่มีข้อมูล



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI ที่เปลี่ยนแปลงไปกับปริมาณรถบรรทุก

ตารางที่ 4.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการเปลี่ยนของค่า IRI และปริมาณรถบรรทุก

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	0.091	1	0.091	0.267	0.612
Residual	6.126	18	0.340		
Total	6.216	19			

4.3 การพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ค่า IRI

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นในหัวข้อ 4.1, 4.2 และ 4.3 ข้อมูล DCP, ADTtr และ ข้อมูลสายทาง 1, 5, 6, 7, 8, 10 และ 14 ไม่ควรนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ IRI เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนและไม่มีนัยสำคัญ ข้อมูลของสายทาง 2, 3, 4, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20 และ 21 ถูกนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.7 โดยใช้รูปแบบความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

$$IRI = \beta_0 + \beta_1 AGE + \varepsilon \quad (4.5)$$

$$IRI = \beta_0 e^{\beta_1 AGE} + \varepsilon \quad (4.6)$$

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลสายทางที่นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ลำดับ	สายทาง	ค่าเฉลี่ยของ IRI (m/km) ที่อายุการใช้งานของถนน (เดือน)							
		2	4	6	8	10	12	22	24
2	7	1.55	1.57	1.59	1.61	1.64	1.66	2.68	2.77
3	323	1.54	1.56	1.57	1.60	1.62	1.64	1.93	2.06
4	331	1.81	1.86	1.91	1.97	2.03	2.10	2.57	2.55
9	3034	1.78	1.82	1.87	1.92	1.98	2.04	3.64	3.50
11	3079 (2)	1.58	1.60	1.63	1.66	1.69	1.73	3.26	3.30
12	3079 (3)	1.63	1.66	1.69	1.73	1.77	1.82	3.48	3.72
13	3086	2.03	2.10	2.18	2.27	2.37	2.48	1.89	2.37
15	3245	1.77	1.81	1.85	1.90	1.95	2.04	3.37	3.47
16	3302	1.83	1.88	1.95	2.02	2.10	2.18	2.93	2.84
17	3422	1.78	1.82	1.87	1.93	1.99	2.05	3.13	3.08
18	3454	1.56	1.58	1.60	1.63	1.66	1.69	2.87	2.89
19	3455	1.43	1.44	1.45	1.47	1.48	1.50	2.56	2.86
20	3483	1.68	1.71	1.75	1.80	1.84	1.89	3.18	3.36
21	3501	1.60	1.63	1.66	1.69	1.73	1.77	2.59	3.02
เฉลี่ย		1.68	1.72	1.75	1.80	1.85	1.90	2.86	2.99

จากข้อมูลในตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.8 รูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์แสดงว่าข้อมูลที่ได้รับการคัดเลือกให้ค่า R² มากกว่า 0.928 และมีค่านัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์ของตัวแปรค่าคงที่และ AGE น้อยกว่า 0.05 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง AGE และ IRI สามารถเขียนเป็นรูปแบบสมการเส้นตรง และ แบบ Exponential ดังแสดงในสมการที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

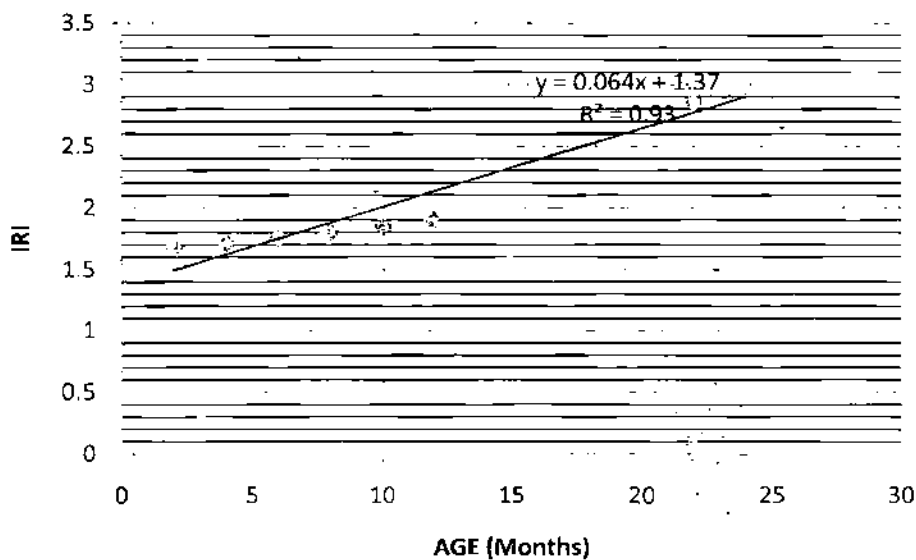
$$IRI = 1.37 + 0.064AGE \quad (4.7)$$

$$IRI = 1.481e^{0.028AGE} \quad (4.8)$$

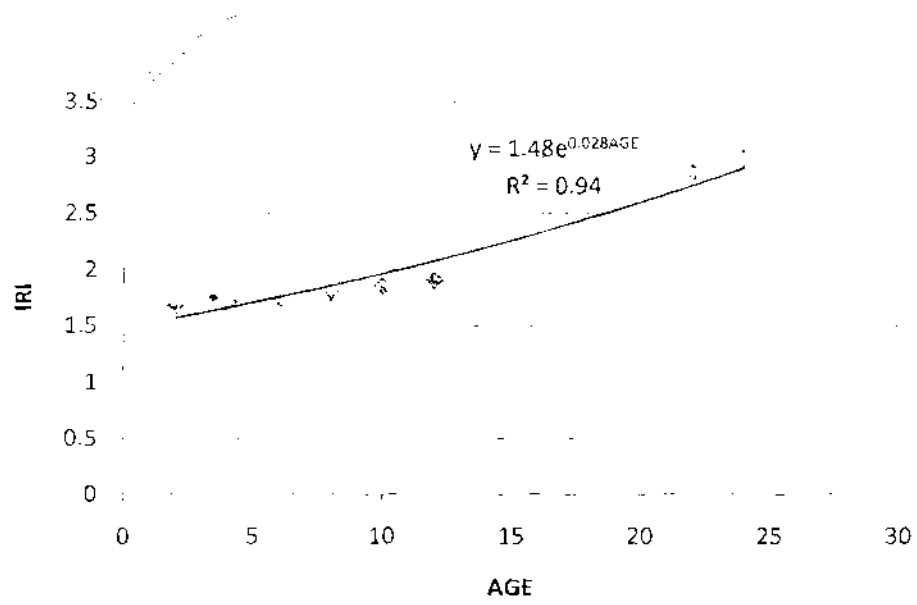
จากผลลัพธ์ข้างต้น ความสัมพันธ์ของ IRI และ AGE สามารถเขียนได้ในทั้งสองรูปแบบ คือ แบบเส้นตรง และ แบบ Exponential โดยการเชื่อมสภาพของผิวทางอาจเป็นแบบเส้นตรง (Gulen และคณะ 2001) หรืออาจเป็นแบบ Exponential (มนัส คอวนิช, 2550) โดยค่าความน่าเชื่อถือของสมการทั้งสองรูปแบบเท่ากับร้อยละ 93 และ 94 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองตัวแปร (IRI และ AGE) ต้องมีการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว เพื่อทำการปรับแก้ให้ได้ความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุ (AGE) และ IRI

รูปแบบความสัมพันธ์	สัมประสิทธิ์สมการถดถอย		R ²	ค่านัยสำคัญทางสถิติ (Significance)	
	β_0	β_1		Sig. β_0	Sig. β_1
Linear	1.368	0.064	0.93	0.000	0.000
Exponential	1.481	0.028	0.94	-	0.000



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างค่า IRI กับอายุผิวทาง



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์แบบ Exponential ระหว่างค่า IRI กับอายุผิวทาง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือเพื่อให้สามารถประเมินค่าสภาพความเสียหายของพื้นผิวทางในรูปแบบของค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ล่วงหน้าได้ ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ต้องการเสนอแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนบำรุงทางอย่างมีประสิทธิภาพ ทันทีทันที่และเหมาะสมกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นของผิวทาง

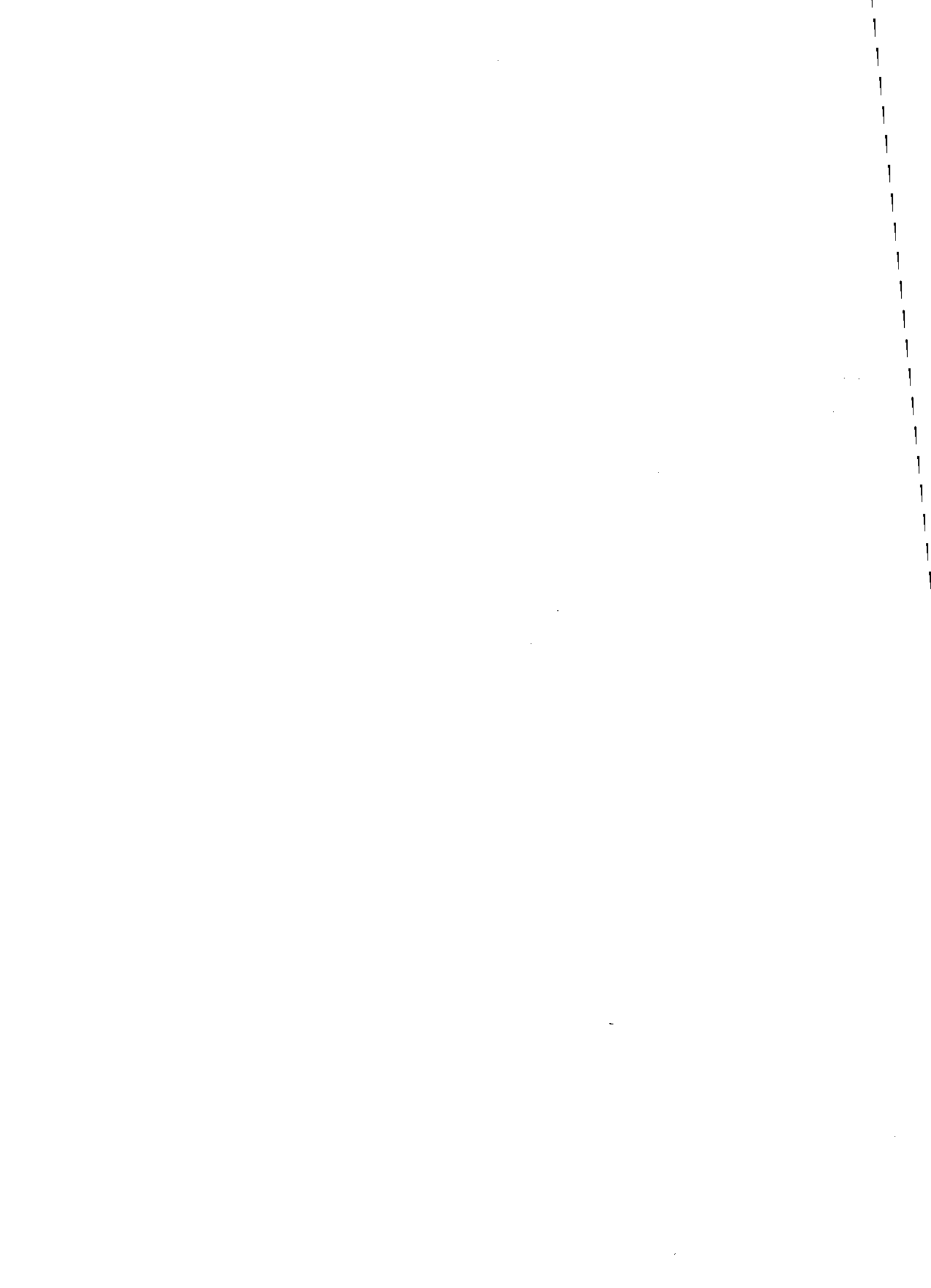
การวิจัยนี้ได้ทำการติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพความขรุขระของผิวทางจากการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator โดยกำหนดแปลงทดสอบ (Test Section) รวมทั้งสิ้น 21 แปลงทดสอบ บนทางหลวงผิวทางลาดยางในบริเวณภาคกลางของประเทศ ที่เพิ่งทำการบำรุงบูรณะด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ ทางลาดยางซึ่งบำรุงบูรณะด้วยวิธีการปรับปรุงชั้นทางเดิม และทางลาดยางซึ่งบำรุงบูรณะด้วยวิธีการเสริมผิวทาง (Overlay) รวมทั้งรวบรวมข้อมูลปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า IRI ของถนนลาดยาง ได้แก่ อายุการใช้งานของถนน ปริมาณจราจรรถบรรทุก และความแข็งแรงของดินเดิมจากการทดสอบ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) เพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยดังกล่าวที่มีต่อค่า IRI และทำการพัฒนาแบบจำลองอย่างง่าย (Prediction Model) เพื่อพยากรณ์ค่า IRI ของผิวทางลาดยางในอนาคต ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติถึงผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า IRI ของถนนลาดยาง พบว่าปัจจัยด้านอายุการใช้งานของถนนมีผลกระทบต่อค่า IRI อย่างมีนัยสำคัญ แต่ปัจจัยด้านความแข็งแรงของดินเดิมไม่มีผลกระทบต่อค่า IRI นอกจากนี้ปัจจัยด้านปริมาณจราจรรถบรรทุกก็ยังไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI อย่างไรก็ตามเนื่องจากสายทางทั้งหมดที่ทำการศึกษานั้นอาจมีความแตกต่างกันทางคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งในการวิจัยนี้ไม่ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของโครงสร้างชั้นทาง ดังนั้นหากมีการวิจัยเพิ่มเติมควรจะมีการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวและจัดประเภทของสายทางตามลักษณะ โครงสร้างชั้นทางที่จะศึกษาต่อไป
2. จากผลการพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ค่า IRI พบว่าความสัมพันธ์ของค่า IRI และอายุการใช้งานของถนน (AGE) สามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการเส้นตรง (Linear Regression) และสมการแบบ Exponential โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เท่ากับ 0.93 และ 0.94 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามี ความสัมพันธ์กันในระดับสูง

3. แบบจำลองของการพยากรณ์ดัชนีความขรุขระสากลที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นเพียงแบบจำลองอย่างง่ายที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลของถนนลาดยางที่เพิ่งทำการบูรณะในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย จึงเหมาะจะนำไปใช้สำหรับวางแผนล่วงหน้าในเบื้องต้นสำหรับการซ่อมบำรุงถนนลาดยางในลักษณะดังกล่าวเท่านั้น และเนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองนี้ค่อนข้างจำกัด ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองนี้ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะมีการรวบรวมข้อมูลในลักษณะเดียวกันเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองให้มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น และรวบรวมข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ข้อมูลปริมาณจราจร ลักษณะและคุณสมบัติของโครงสร้างชั้นทาง เป็นต้น
4. การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความขรุขระสากล กับอายุการใช้งานของถนนโดยพิจารณาสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องคือความแข็งแรงของชั้นดินเดิมเท่านั้น ปัจจัยที่บ่งชี้สภาพถนนที่สำคัญอย่างยิ่งอีกปัจจัยหนึ่งคือ ความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง ปัจจุบันกรมทางหลวงได้ใช้เครื่องมือ Falling Weight Deflectometer (FWD) ที่อาศัยผลจากการวัดค่า Deflection ของถนนภายใต้การกระทำในลักษณะการปล่อยกระแทกของน้ำหนักคงที่เพื่อประเมินสภาพความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างทาง ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างทางกับอายุการใช้งานของถนน เพื่อใช้ประเมินอายุการใช้งานของถนนที่จุดวิกฤติที่มีค่า Deflection เท่ากับหรือเกินกว่าค่าที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ จะเป็นดัชนีบ่งชี้อายุการใช้งานของถนนแต่ละสายที่สมควรศึกษาวิจัย เพื่อก่อให้เกิดองค์ความรู้อันเป็นประโยชน์ต่อการบำรุงบูรณะทางหลวง
5. เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ไม่ได้คัดเลือกแปลงทดสอบในสายทางที่มีค่าดัชนีน้ำหนักรวม ทำให้ไม่ได้นำข้อมูลด้านน้ำหนักของการจราจรมาใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลองการพยากรณ์ค่า IRI อย่างไรก็ตามในทางทฤษฎีแล้วตัวแปรด้านน้ำหนักของการจราจรจะมีผลต่อสภาพของผิวทางได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลกระทบของน้ำหนักของการจราจรที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI เพื่อช่วยพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ค่า IRI ที่ได้จากการศึกษานี้ให้มีความน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- มนัส คอวนิช (2550) แนวทางพัฒนางานบำรุงรักษาทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ, กรมทางหลวง.
- Budras, J. (2001). A Synopsis on the Current Equipment Used for Measuring Pavement Smoothness. <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/smoothness/rough.cfm>.
- Gulen, S., Zhu, K., Weaver, J., Shan, J., and Flora, W. (2001). Development of Improved Pavement Performance Prediction Models for the Indiana Pavement Management System. Joint Transportation Research Program, Paper 69, <http://docs.lib.purdue.edu/jtrp/69>.
- Huang, H. Y., (1993), Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, New Jersey, USA
- Karamihas, S. M., Gillespie, T. D., Perera, R.W., and Kohn, S. D. (1999), Guidelines for Longitudinal Pavement Profile Management, Transportation Research Board, University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan.
- Park, K., Thomas, E. N., and Lee, W. K., (2007), Applicability of International Roughness Index as a Predictor of Asphalt Pavement Condition, Journal of Transportation Engineering, 133(2) 706-709
- Qiang Li., Kelvin C.P. Wang, Robert P.Elliott, Kelvin D. Hall and Yanjun Qiu (2006), Feasibility Study for Gray Theory Based Pavement Smoothness Prediction Model, AATT 37- 42
- Ruotoistenmäki, A., Seppälä, T., and Kanto, A. (2006), Comparison of Modeling and Measurement Accuracy of Road Condition Data, Journal of Transportation Engineering, 132(9) 715-721
- Yi Jiang and Shou Li (2005) Gray System Model for Estimating the Pavement International Roughness Index, Journal of Performance of Constructed Facilities 19(1) 62-68



รายงานวิจัยฉบับที่: วพ.295 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

ผู้เขียน : นวพล พรหมจารีย์ และดร.กฤษณะ เพ็ญสมบูรณ์

ชื่อเรื่อง : การประเมินค่า IRI เพื่อการวางแผนงานบำรุงทาง

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการประเมินสภาพของผิวทางลาดยางลื่นหน้าโดยใช้ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) เพื่อใช้ประกอบการวางแผนบำรุงรักษาทางหลวง โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดแปลงทดสอบ (Test Section) รวมทั้งสิ้น 21 แปลงทดสอบ บนทางหลวงผิวทางลาดยางที่เพิ่งทำการบำรุงบูรณะด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การปรับปรุงชั้นทางเดิม และการเสริมผิวทาง (Overlay) และติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพความเรียบของผิวทางจากการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ที่ตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator ในช่วงระยะ 2 ปี ของการใช้งานของแปลงทดสอบหลังจากการบูรณะ แปลงทดสอบที่คัดเลือกมีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันอยู่ระหว่าง 506 ถึง 31,154 คัน/วัน และมีสัดส่วนรถบรรทุกอยู่ระหว่างร้อยละ 2.5 ถึง 60.6 เพื่อให้สามารถศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่า IRI ของแปลงทดสอบกับปัจจัยด้านปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกของการจราจร ผลสรุปจากงานวิจัยพบว่าระดับของความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับอายุการบริการหรือระยะเวลาการใช้งานของถนน และในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI และอายุการบริการ ผู้ทำการประเมินอาจใช้สมการความสัมพันธ์แบบเส้นตรง หรือ Exponential ได้ ซึ่งในการทดสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์ดังกล่าวให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เท่ากับ 0.93 และ 0.94 ตามลำดับ คณะผู้วิจัยเชื่อมั่นว่า ผลจากวิจัยนี้จะเป็นแนวทางต่อนักบริหารบำรุงทางให้นำผลการสำรวจสภาพผิวทางลาดยางมาพยากรณ์สภาพผิวทางในอนาคตในรูปแบบของค่า IRI สามารถวางแผนบำรุงรักษาทางหลวงให้อยู่ในสภาพดีภายใต้งบประมาณที่จำกัดและเป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้งานในที่สุด

ศัพท์เฉพาะเรื่อง : ถนนลาดยาง (Flexible Pavement), ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI), การวางแผนงานบำรุงทาง, เครื่อง Bump Integrator

ทล. วพ/ว/2555/ท.

ISSN 0125-8044

