รายงานฉบับที่ วพ.253 **สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง**

REPORT NO. RD.253 Bureau of Road Research and Development

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนเมื่อทดสอบในสนามด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และ Bump Integrator ในประเทศไทย

โดย

พิชิต จำนงพิพัฒน์กุล

ประเสริฐ บุญธรักษา

ทินกร โพธิ์ศรี

สุเชษฐ์ เอี่ยมเชย

ชยันต์ เจริญพร

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

DEPARTMENT OF HIGHWAYS , MINISTRY OF TRANSPORT AND COMMUNICATIONS

RATCHATHEWI, BANGKOK 10400, THAILAND

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนเมื่อทดสอบในสนามด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และ Bump Integratorในประเทศไทย

โดย

พิชิต จำนงพิพัฒน์กุล

ประเสริฐ บุญธรักษา

สุเชษฐ์ เอี่ยมเชย

ทินกร โพธิ์ศรี

ชยันต์ เจริญพร

รายงานฉบับที่ วพ.253

สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง

กรมทางหลวง

มิถุนายน 2551

รายงานนี้เป็นแนวความคิดของผู้เขียนเท่านั้น กรมทางหลวงไม่มีส่วนผูกพันแต่อย่างใด

คำนำ

กรมทางหลวงได้พัฒนางานด้านวิชาการให้ก้าวหน้าและทันสมัยอยู่เสมอ จึงได้ทำการศึกษาและนำเอาเทคโนโลยี Laser Profiler มาใช้ในการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากล ซึ่งธนาคารโลก(World Bank) ได้ใช้เป็นตัวแปรหลักสำหรับบ่งชี้สภาพพื้นผิวทางจนเป็นที่ยอมรับในระดับสากล การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนน เมื่อทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกันในประเทศไทย นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าที่ได้ทำการตรวจวัดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน อันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาให้เกิดความเจริญก้าวหน้าไปในทิศทางเดียวกันแล้ว ยังสามารถใช้งานทดแทนกันในกรณีที่เครื่องมือเกิดการชำรุดไม่สามารถใช้งานได้ ถือเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการพัฒนางานด้านบำรุงทางให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อความพึงพอใจและความปลอดภัยของผู้ใช้บริการทางหลวงอันเป็นเป้าหมายหลักของกรมทางหลวงในที่สุด

.....

(นายนิกร บุญศรี)

อธิบดีกรมทางหลวง

สารบาญ

	หน้า
สารบาญ	(ก)
สารบาญตาราง	(ข)
สารบาญรูป	(ง)
บทคัดย่อ	1
บทที่ 1 บทนำ	2
บทที่ 2 การสำรวจ การวิเคราะห์ การบริหารจัดการสภาพความเสียหายของถนน	7
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	57
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์	87
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	129
เอกสารอ้างอิง	132
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์และตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และBump Integrator	ก-1
ภาคผนวก ข ผลการตรวจวัดค่าIRI ด้วยเครื่อง Dipstick	ข-1

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน ผิวทางAsphaltic Concrete หนา 5 ซ.ม.	18
2	ค่าคะแนนประเมินของสภาพผิวทาง	21
3	ค่าประเมิน Traffic Rating ตามอัตราส่วนของปริมาณการจราจร (V/C)	22
4	ความสามารถสูงสุดในการรับปริมาณจราจรต่อช่องจราจร	23
5	แสดง Treatment matrix สำหรับผิวทาง Asphaltic Concrete, Medium Strength	30
6	การประยุกต์ใช้ HDM-4 กับการบริหารจัดการสายทาง	32
7	เกณฑ์การวัดระดับคุณภาพการขับขี่ในผิวทางลาดยาง	51
8	เกณฑ์การให้ค่าสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยาง	52
9	เกณฑ์ให้ค่าสภาพความเสียหายของเนื้อผิวทางลาดยางแบบเซอร์เฟตทรีตเมนต์ (ST)	52
10	เกณฑ์การให้ค่าสภาพความเสียหายของเนื้อผิวทางลาดแบบแอสฟัลติกมิกซ์ (AM)	52
11	รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	58
12	รายละเอียดเครื่องมือของ DGPS	59
13	ระดับของการตรวจวัดค่า IRI ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94)	64
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับสภาพของพื้นผิวทาง	86
15	การพัฒนา ROAD ROUGHNESS DATA ซึ่งพื้นฐานเดิมใช้โปรแกรม ROMDAS ร่วมกับโปรแกรม EXCEL	86
16	ผลสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI ตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และเครื่อง Bump Integrator	128

สารบาญรูป

รูปที่		หน้า
1	ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index ,IRI) ของพื้นผิวทาง	8
2	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลสภาพทาง	11
3	การวัดความลึกร่องล้อโดยใช้รถสำรวจ	12
4	โปรแกรมการวิเคราะห์ภาพผิวทาง Hawkeye Processing Toolkit	14
5	การเริ่มต้นเกิดความเสียหายและอัตราเพิ่มขึ้นของความเสียหาย	38
6	การเริ่มเกิดรอยแตกร้าวและอัตราการเกิดรอยแตกร้าวของถนนลาดยาง (Peterson ,1987)	40
7	ผลรวมของการวัดรอยแตกร้าวทุกประเภทใน HDM-4	41
8	ลักษณะของการเกิดร่องล้อบนพื้นผิวทางลาดยางใน HDM-4	42
9	แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของถนนลาดยางใน HDM-4	42
10	พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องล้อใน HDM-4	43
11	ร้อยละของพื้นที่การหลุดร่อนของพื้นผิวทาง & Time ที่ค่า Kvp = 0.8-2.0 ใน HDM-4	44
12	เวลาของการเกิดหลุมบ่อที่ความหนาของผิวทางและปริมาณการจราจรแตกต่างกันใน HDM-4	45
13	เวลาของการเกิดแยกชั้นที่ความหนาของผิวทางและปริมาณการจราจรแตกต่างกันใน HDM-4	46
14	แบบจำลองความเสียหายประเภทหลุมบ่อใน HDM-4	46
15	แบบจำลองความเสียหายประเภทแยกชั้นใน HDM-4	47
16	แบบจำลองความเสียหายประเภทการแตกของขอบทางใน HDM-4	47
17	ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงทางต่อสภาพพื้นผิวทางใน HDM-4	49
18	ผลกระทบจากการเสริมผิวทางลาดยางต่อสภาพพื้นผิวทางใน HDM-4	50
19	ผลกระทบจากการฉาบผิวทางลาดยางต่อสภาพพื้นผิวทางใน HDM-4	50
20	แสดงเครื่องมือวัดระยะทาง ติดตั้งไว้ในล้อรถยนต์	60
21	แบบจำลองการวัดค่า IRI ที่ใช้เป็นพื้นฐานในระยะเริ่มต้น	63
22	แบบจำลองการวัดค่า IRI ด้วยเครื่องเลเซอร์	63
23	การปรับเทียบอุปกรณ์ Laser Profiler	66
24	การปรับเทียบอุปกรณ์ Accelerometer	67
25	การปรับเทียบอุปกรณ์ Gyroscope	68
26	การปรับเทียบกล้องบันทึกภาพเขตทาง	70
27	การปรับเทียบอุปกรณ์ Distance Measurement Instrument	71

สารบาญรูป

รูปที่		หน้า
28	การปรับเทียบอุปกรณ์ Distance Measuring Instrument	72
29	การสอบค่า Profiler Straight Edge	72
30(ก)	การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick Class1 ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94	76
30(ข)	Integrator Unit	78
30(ค)	ภาพตัดขวางแสดง Integrator Unit	78
30(ง)	ห่วงเหล็กเชื่อมติดกับชุดเพลาหลังของยานพาหนะ	78
31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (60 Km./hr.)	84
32	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6284 (ความเร็ว35Kph.)	92
33	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6284 (ความเร็ว60Kph.)	94
34	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6285 (ความเร็ว35Kph.)	96
35	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6285 (ความเร็ว60Kph.)	98
36	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6286 (ความเร็ว35Kph.)	100
37	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6286 (ความเร็ว60Kph.)	102
38	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6287 (ความเร็ว35Kph.)	104
39	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_D & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6287 (ความเร็ว60Kph.)	106
40	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6284 (ความเร็ว35Kph.)	108
41	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6284 (ความเร็ว60Kph.)	110
42	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6285 (ความเร็ว35Kph.)	112
43	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6285 (ความเร็ว60Kph.)	114
44	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6286 (ความเร็ว35Kph.)	116
45	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6286 (ความเร็ว60Kph.)	118
46	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6287 (ความเร็ว35Kph.)	120
47	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & BI รถยนต์เลขทะเบียน ฮข 6287 (ความเร็ว60Kph.)	122
48	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & IRI_D	124
49	ความสัมพันธ์ระหว่าง IRI_L & IRI_D	126
50	ภาพการใช้เครื่อง Dipstick และเครื่อง Walking Profiler	129

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนเมื่อทดสอบในสนามด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และ Bump Integratorในประเทศไทย

****

บทคัดย่อ

การประเมินสภาพของผิวทางและความแข็งแรงของโครงสร้างถนนเป็นส่วนสำคัญที่นักวางแผนจะต้องนำมาพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบในการจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงทาง

ธนาคารโลกได้นำเสนอและพัฒนาดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนน เพื่อการประเมินลักษณะและสภาพของผิวทางซึ่งตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกันตามมาตรฐานที่สร้างขึ้นในแต่ละประเทศ ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อใช้งานในประเทศสมาชิก โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนในพื้นที่เดียวกันด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน สร้างมาตรฐานในการตรวจวัดความเรียบของถนนด้วยวิธีการใหม่ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล กรมทางหลวงได้นำเอาหลักการตรวจวัดความเรียบของถนนในรูปแบบของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนด้วยเครื่อง Dipstick ตามแบบของธนาคารโลก เป็นมาตรฐานของการปรับแก้เครื่องมือตรวจวัดความเรียบของถนนในประเทศไทย การก่อสร้างพื้นที่มาตรฐานสำหรับทดสอบดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนในประเทศไทย สามารถปรับแก้เครื่องมือทุกชนิดก่อนการใช้งาน แก้ไขข้อมูลที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ และสามารถพัฒนางานดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนในประเทศไทย ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันได้อย่างดี โดยเฉพาะกรณีที่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของงานศึกษาวิจัยนี้คือ ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนเมื่อทำการทดสอบด้วยเครื่อง Bump Integrator(BI) , เครื่อง Dipstick(IRI_D) และเครื่อง Laser Profiler(IRI_L) ในแปลงทดสอบเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่ายพบว่ารูปแบบของความสัมพันธ์เป็นดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_D(IRI.โดยใช้ Dipstick)และBump Integrator(BI.) Speed 35 , 60 Km./hr.

$$IRI_D = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8104 \ , R^2 (Max.) = 0.9516$$

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_L(IRI.โดยใช้Laser Profiler)และBump Integrator(BI.) Speed35,60Km./hr.

$$IRI_L = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8360 \ , R^2 (Max.) = 0.9850$$

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_L(IRI.โดยใช้Laser Profiler)และ IRI_D(IRI.โดยใช้ Dipstick)

$$IRI_L = 1.2938*(IRI_D) - 0.3514 \quad , R^2 = 0.9826$$

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับอายุการใช้งานของถนน และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงถนนผิวแอสฟัลต์ที่มีสาเหตุมาจากการบรรทุกหนักเกินพิกัด เพื่อพิจารณาความเหมาะสมในการจัดตั้งด่านชั่งถาวรของกรมทางหลวงทั่วประเทศ พบว่างานบำรุงบูรณะผิวทางต้องมีการพัฒนาข้อกำหนดในการใช้จัดเรียงระดับความสำคัญของปัญหา เพื่อให้เกิดความประหยัดและใช้จ่ายเงินที่มีอยู่อย่างจำกัดได้อย่างถูกต้องเหมาะสมมากที่สุด พฤติกรรมของถนนที่ก่อให้เกิดภาวะวิกฤติในการซ่อมบำรุงถนนคือ Critical Cracking และ Critical Roughness สำหรับภาวะวิกฤติของ Cracking นั้นเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นบนถนนอย่างชัดเจน และเป็นตัวแปรหลักที่ไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบอื่นมากนัก แต่ค่า Critical Roughness เป็นภาวะวิกฤติด้านความสะดวกสบายต่อการขับขี่ที่รู้สึกได้โดยผู้ขับขี่ยานพาหนะ ต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นประกอบด้วยจึงจะเห็นถึงความสำคัญเช่น องค์ประกอบด้านเวลาในการเดินทาง องค์ประกอบด้านความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นแก่ยานพาหนะ และที่สำคัญคือความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้บริการเนื่องจากอุบัติเหตุ ในต่างประเทศพบว่า Critical Roughness เป็นสาเหตุของความสูญเสียของผู้ใช้บริการและยานพาหนะเป็นจำนวนมาก จึงได้พิจารณาถึงตัวแปร Critical Roughness เป็นตัวแปรหลักที่สำคัญอย่างยิ่งในการบำรุงบูรณะทางหลวง เพื่อให้เกิดความสะดวกสบาย และปลอดภัยแก่ชีวิตทรัพย์สินของผู้ใช้บริการเป็นหลัก สภาวะการจราจรในปัจจุบันของประเทศไทยกำลังเจริญขึ้นอย่างรวดเร็วและดำเนินเข้าสู่มาตรฐานเดียวกันกับต่างประเทศ จึงสมควรพิจารณาความสำคัญแก่ค่า Critical Roughness อันเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ก่อให้เกิดความสะดวก สบาย และความปลอดภัยแก่ผู้ใช้บริการทางหลวงในที่สุด

ภายหลังจากการก่อสร้างทางหลวงแล้วเสร็จ และเปิดให้ประชาชนใช้บริการไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง ทางหลวงจะเสื่อมสภาพลงตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร และระยะเวลาการใช้งาน ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานในทุกด้านของทางหลวงมีค่าลดลงด้วย มาตรการในการบำรุงรักษาและบูรณะทางหลวงให้คงสภาพดี สามารถรองรับปริมาณการจราจรได้ตามวัตถุประสงค์ ด้วยงบประมาณที่ประหยัดคือแนวทางที่นักบริหารบำรุงทาง ต้องพิจารณานำมาใช้วางแผนบำรุงบูรณะทางหลวงในพื้นที่ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบ ให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวมคือประเทศชาติอย่างสูงสุด

ปกติประเทศที่พัฒนาแล้วมักก่อสร้างและบำรุงรักษาผิวทาง ให้มีความราบเรียบอยู่เสมอเนื่องจากเส้นทางคมนาคมมีปริมาณการจราจรสูง ยานพาหนะที่ใช้บริการมีความเร็วสูง มาตรฐานของถนนที่จะรองรับพฤติกรรมการจราจรดังกล่าวได้ดี ต้องกำหนดให้มีมาตรฐานความสะดวกสบายของการขับขี่สูง หมายถึงพื้นผิวถนนต้องมีความราบเรียบเหมาะสมแก่การใช้งานอย่างสะดวกสบาย จึงจะสามารถรองรับ

การจราจรที่มีปริมาณมาก ความเร็วสูงได้อย่างคุ้มค่าและปลอดภัย เมื่อคำนึงถึงความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นทั้งด้านทรัพย์สินสาธารณะ ยานพาหนะ อุบัติเหตุ และเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ทางหลวงหลายสายในประเทศไทยจำเป็นต้องใช้มาตรฐานกำหนดความราบเรียบของผิวทางที่ดี พร้อมกับการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ เพื่อรองรับรูปแบบของการจราจรปัจจุบันที่กำลังเปลี่ยนไปเป็นแบบปริมาณการจราจรและความเร็วของยานพาหนะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ใกล้เคียงกับรูปแบบการจราจรในประเทศพัฒนาแล้ว

แนวทางการวิเคราะห์สภาพทางหลวงด้านวิศวกรรม ที่จะนำมาใช้งานประเมินสภาพของผิวทางเพื่อให้ทราบถึงรายละเอียด สภาวะ และลักษณะของทางหลวงแต่ละกิโลเมตรด้วยมาตรฐาน วิธีการเดียวกัน แล้วใช้เป็นหลักในการตั้งงบประมาณบำรุงบูรณะทางหลวงเป็นประจำทุกปี เมื่อได้ทราบผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบภาวะวิกฤติของสภาพผิวทางในแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีความจำเป็นต้องบำรุงบูรณะอย่างเร่งด่วน นักบริหารบำรุงทางต้องจัดการเรียงลำดับความสำคัญในการบำรุงบูรณะโดยใช้ผลจากการวิเคราะห์เป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ โดยทั่วไปหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์สภาพพื้นผิวทางหลวงมีอยู่ 2 แนวทางคือ แนวทางที่หนึ่งวิเคราะห์โดยใช้สภาพความแข็งแรงของโครงสร้างทางเป็นหลัก และแนวทางที่สอง วิเคราะห์โดยใช้ความราบเรียบของพื้นผิวทางอันเป็นพื้นฐานของความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้ใช้บริการเป็นหลัก แนวทางการวิเคราะห์ทั้งสองทางจำเป็นต้องใช้งานร่วมกันเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่เกิดประโยชน์ต่อภาคปฏิบัติสูงที่สุด ประเทศที่พัฒนาแล้วได้ศึกษารายละเอียดสภาวะ และลักษณะของถนนในความควบคุมเพื่อพิจารณาประกอบการตั้งงบประมาณบำรุงบูรณะทางหลวง โดยการใช้องค์ประกอบแต่ละรายการ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความสามารถในการรับปริมาณการจราจรของทางหลวงในรูปของค่าคงที่ ด้วยวิธีการทดสอบเฉพาะในแต่ละสภาพของพื้นผิวทางแล้วใช้ผลรวมค่าคงที่แต่ละองค์ประกอบเป็นตัวบ่งชี้สภาวะวิกฤติของงานบำรุงบูรณะทางหลวง องค์ประกอบที่นิยมใช้ครอบคลุมทั้งด้านสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างทาง และความราบเรียบของผิวทางอันเป็นพื้นฐานของความสะดวกสบายความปลอดภัยของผู้ใช้บริการดังนี้คือ Deflecting Rating , Surface Rating , Traffic Rating , Pavement Rating และ Skidding Resistance

กรมทางหลวงได้ทำการพัฒนา ระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาทางหลวง ที่อยู่ในความรับผิดชอบให้ทันสมัยอยู่เสมอ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยเงินต้นทุนต่ำที่สุด เหมาะสมกับงบประมาณที่ได้รับการจัดสรรในแต่ละปี

ช่วงแรกเริ่มยังไม่มีการนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ในงานด้านสำรวจและประเมินสภาพทาง งานสำรวจสภาพความเสียหายของถนน ตลอดจนการตัดสินแบ่งแยกระดับความเสียหายที่เกิดขึ้น จึงต้องใช้การวินิจฉัยด้วยสายตาของกลุ่มคนเป็นหลัก ซึ่งแต่ละคนย่อมมีมาตรฐานการวินิจฉัยที่แตกต่างกัน เป็นสาเหตุให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ง่าย เพื่อให้เกิดมาตรฐานในการประเมินสภาพทางเป็นแบบเดียวกันจึงได้ตั้งคณะกรรมการพิจารณาแนวทางในการบำรุงบูรณะทางหลวงในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2519

ต่อมาได้นำเอาระบบบริหารงานจากต่างประเทศมาใช้คือระบบTPMS (Thailand Pavement Management System) ซึ่งเป็นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์ เพื่อ

ใช้บริหารจัดการถนนที่เกิดความเสียหายตามลำดับความสำคัญตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 นักบริหารบำรุงทางได้นำระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) ประกอบการพิจารณาจัดทำแผนงานบำรุงทางของสำนักบริหารบำรุงทาง สำนักงานทางหลวง และแขวงการทาง ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) เกิดขึ้นได้โดยใช้เจ้าหน้าที่จากหมวดการทางที่ผ่านการฝึกอบรมแล้ว เป็นผู้ทำการสำรวจสภาพความเสียหายของผิวทางด้วยสายตา(Visual Inspection) หรือใช้เครื่องมือตรวจวัดอย่างง่ายประกอบการสำรวจและประเมินข้อมูลภาคสนาม โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อน และความแตกต่างกันระหว่างผู้ประเมินมีสูง เนื่องจากการประเมินสภาพความเสียหายขึ้นอยู่กับความคิดเห็นของผู้ดำเนินการสำรวจ ส่งผลให้การกำหนดวิธีการซ่อมบำรุงและการจัดทำแผนงานบำรุงทาง ไม่สอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ทำให้เกิดความสูญเสียขึ้น หากมีระบบบริหารงานบำรุงทางที่ดีประกอบกับการสำรวจข้อมูลภาคสนามที่มีประสิทธิภาพ สามารถจัดทำแผนงานบริหารบำรุงทางได้อย่างเหมาะสม เกิดประโยชน์สอดคล้องกับสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงในสนาม คุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจ อาจลดงบประมาณบางส่วนลงได้จากการบริหารจัดการที่ดีประกอบกับข้อมูลภาคสนามที่ถูกต้องแม่นยำ

ปัจจุบันเครื่องมือในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลสภาพพื้นผิวทางในภาคสนาม ได้มีการพัฒนาให้เกิดความก้าวหน้าอย่างมาก มีการนำเอาเทคโนโลยี และนวัตกรรมใหม่ๆมาใช้เสริมประสิทธิภาพให้เกิดความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลสูงมากยิ่งขึ้น สำนักบริหารบำรุงทางได้เล็งเห็นความสำคัญในส่วนนี้ จึงได้วางแผนพัฒนาระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงให้ทันสมัยสอดคล้องกับสภาพสังคม สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีทั้งในปัจจุบันและอนาคต เพื่อให้การวางแผนงานบำรุงรักษาทางหลวงเป็นไปอย่างมีระบบ มีมาตรฐานระดับสากล ด้วยการนำเอาเทคโนโลยีตลอดจนอุปกรณ์ใหม่ๆมาใช้ในการสำรวจตรวจสอบศึกษาวิเคราะห์และประเมินสภาพความเสียหายของทางหลวง ทดแทนวิธีการประเมินสภาพความเสียหายของทางหลวงด้วยสายตาแบบเดิม ซึ่งจะช่วยให้การบริหารและวางแผนงานซ่อมบำรุงทางหลวงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การประเมินสภาพพื้นผิวทางหลวงสายหลักในประเทศไทยโดยการใช้ค่า IRI เป็นตัวดัชนีบ่งชี้ค่า Roughness ของพื้นผิวทางตามวิธีการของธนาคารโลก สามารถดำเนินงานทดสอบได้สะดวกรวดเร็ว ค่าที่ได้จากการทดสอบมีความแม่นยำเที่ยงตรงเชื่อถือได้ และประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินสภาพพื้นผิวทางวิธีอื่น การใช้ค่า IRI เป็นตัวแปรหลักในการบำรุงบูรณะทางหลวงที่มีการจราจรปริมาณมาก ความเร็วสูง มีความเหมาะสมทั้งด้านเศรษฐกิจและด้านวิศวกรรมสำหรับประเทศไทยในปัจจุบัน โดยเฉพาะถนนที่สามารถเก็บค่าธรรมเนียมผ่านทางได้สมควรตอบแทนผู้ใช้บริการทางหลวงด้วยการปรับพื้นผิวทางให้ราบเรียบ เกิดความสะดวกสบายความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้บริการ นอกจากนี้ยังเป็นการหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุระหว่างการทดสอบภาคสนามได้เป็นอย่างดี ถึงแม้จะเสี่ยงต่ออันตรายเนื่องจากการควบคุมความเร็วขณะทำการทดสอบ เนื่องจากยานพาหนะที่ใช้ทดสอบวิ่งด้วยความเร็วคงที่ไม่ต้องหยุดทำการทดสอบ

ผลเนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าทำให้เกิดสิ่งประดิษฐ์ที่มีความเหมาะสม สำหรับการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) เกิดขึ้นจำนวนมากด้วยมาตรฐานแตกต่างกัน เพื่อให้เกิดความสะดวกและเกิดความเข้าใจในการเลือกใช้เครื่องมือตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ได้อย่างถูกต้องจึงได้จำแนกประเภทของเครื่องมือที่ใช้สำหรับงานตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ออกเป็น 4 กลุ่ม ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) เครื่อง Laser Profiler และเครื่อง Dipstick ที่เลือกใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือเครื่องมือวัดค่า IRI สองแบบซึ่งให้ความละเอียดระดับสูงสุดหรือ Class I ใช้สำหรับวัดและวิเคราะห์ดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางได้โดยตรง ไม่ต้องปรับแก้หรือเปรียบเทียบกับเครื่องมือชนิดอื่นก่อนนำมาใช้งาน ส่วนเครื่อง Bump Integrator จัดอยู่ใน Class 3 ไม่สามารถนำไปตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางได้โดยตรง จำเป็นต้องปรับแก้ด้วยการเปรียบเทียบ อ้างอิง กับเครื่องมือในระดับ Class I ก่อนการใช้งาน

ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการตรวจวัดค่าIRIคือ ลักษณะทางกายภาพของถนนแตกต่างกันไม่อาจควบคุมหรือแบ่งแยก ถึงแม้จะทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือประเภทเดียวกัน เครื่องเดียวกัน ในพื้นที่เดียวกัน ค่าที่วัดได้แต่ละครั้งไม่อาจทำให้ได้ค่าที่คงที่เท่ากันทุกครั้ง ทางหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น สามารถทำได้โดยการปรับแก้เครื่องมือด้วยการทดสอบในพื้นที่เดียวกันก่อนนำออกไปใช้งาน ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ที่ทำการตรวจวัดในพื้นที่ทดสอบมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือตรวจวัดแต่ละเครื่อง สามารถสร้างความสัมพันธ์กับเครื่องมือประเภทอื่น เพื่อประโยชน์ในการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเป็นฐานข้อมูลอื่น หรือใช้งานทดแทนกันได้ในคราวจำเป็น การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการแก้ไขปัญหางานตรวจวัดค่าความเรียบของถนนด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกันให้สามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูลระหว่างกันได้ ด้วยวิธีการสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบพื้นฐาน หรือใช้งานทดแทนกันได้ โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ตามมาตรฐานการตรวจวัดที่แตกต่างกันได้ กล่าวคือสามารถใช้เครื่อง Bump Integrator สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์กับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profiler , สามารถใช้เครื่อง Bump Integrator สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์กับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และสามารถใช้เครื่องมือทั้งสามชนิดทดแทนกันได้ โดยนำเสนอข้อมูลได้หลายรูปแบบด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์พื้นฐานที่ทดสอบได้ในแปลงทดลองมาตรฐาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ ต้องการใช้ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ตามวิธีการประเมินสภาพผิวทางของธนาคารโลก สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางในประเทศไทย ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Dipstick , Laser Profiler และBump Integrator

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังที่จะศึกษา ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ในประเทศไทย โดยเลือกสภาพพื้นผิวทางที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ค่า ดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) มีค่าแตกต่างกันหลายค่า รวมทั้งสิ้น 15 แปลงทดสอบ ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี

เมื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายแล้ว ทำการทดสอบค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Dipstick , Laser Profiler และ Bump Integrator เพื่อทำการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ของข้อมูล ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางครั้งละ 2 ตัวแปร โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation Analysis)

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาวิจัย เป็นประโยชน์ต่อการแปลงข้อมูลที่ตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางด้วยเครื่องมือชนิดหนึ่งเป็นผลการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางด้วยเครื่องมือชนิดหนึ่งได้ ประโยชน์ที่ได้รับอย่างชัดเจนคือ

1. สามารถใช้เครื่องมือตรวจวัดดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางทดแทนกันได้

2. สามารถแปลงข้อมูลระหว่างกันเครื่องมือที่แตกต่างกันได้

3. พิจารณาเลือกใช้เครื่องมือตรวจวัดได้อย่างคุ้มค่าและเหมาะสมกับสภาพพื้นผิวทางและปริมาณงาน กล่าวคือ ในพื้นที่ซึ่งมีค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางสูงควรตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่มีราคาถูก ใช้งานง่าย ซ่อมบำรุงรักษาง่าย ส่วนพื้นที่ซึ่งมีปริมาณการจราจรสูงถึงสูงมาก ต้องการมาตรฐานของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางสูง ควรพิจารณาเลือกใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง ทำงานได้รวดเร็วเป็นต้น

4. ใช้เป็นเครื่องเตือนให้ทราบถึงความบกพร่อง หรือเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องมือในขั้นตอนการปรับแก้เครื่องมือก่อนการทดสอบจริง

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัย

2.1 การนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในงานสำรวจและประเมินสภาพทาง

เพื่อให้งานด้านบริหารบำรุงทางเป็นไปด้วยมาตรฐานอันเดียวกันทั้งประเทศ กรมทางหลวงได้ตั้งคณะกรรมการงานวิจัยทางด้านบำรุงทางขึ้น เพื่อกำหนดแนวทาง และวิธีการ ในการพิจารณาบำรุงบูรณะทางหลวง ให้สอดคล้องกับงบประมาณและเทคโนโลยีที่มีอยู่ โดยได้เริ่มทำการประเมินสภาพทางในปี พ.ศ. 2519 เพื่อวางมาตรการในงานบำรุงทาง โดยพิจารณาจากองค์ประกอบหลายด้านคือ องค์ประกอบด้านโครงสร้างทางจากความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน โดยใช้ผลของการตรวจวัดค่า Deflection , ด้านความสะดวกสบายในการขับขี่โดยการประเมินสภาพของผิวทาง (Surface Condition) ด้วยสายตา รวมถึงด้านความปลอดภัยได้พิจารณาถึงความเสียดทานของผิวทาง (Skidding Resistance) เพื่อสร้างสูตรสำเร็จสำหรับการประเมินสภาพทาง และจัดลำดับงานบริหารบำรุงทางให้เหมาะสมกับงบประมาณและเทคโนโลยีที่มีอยู่

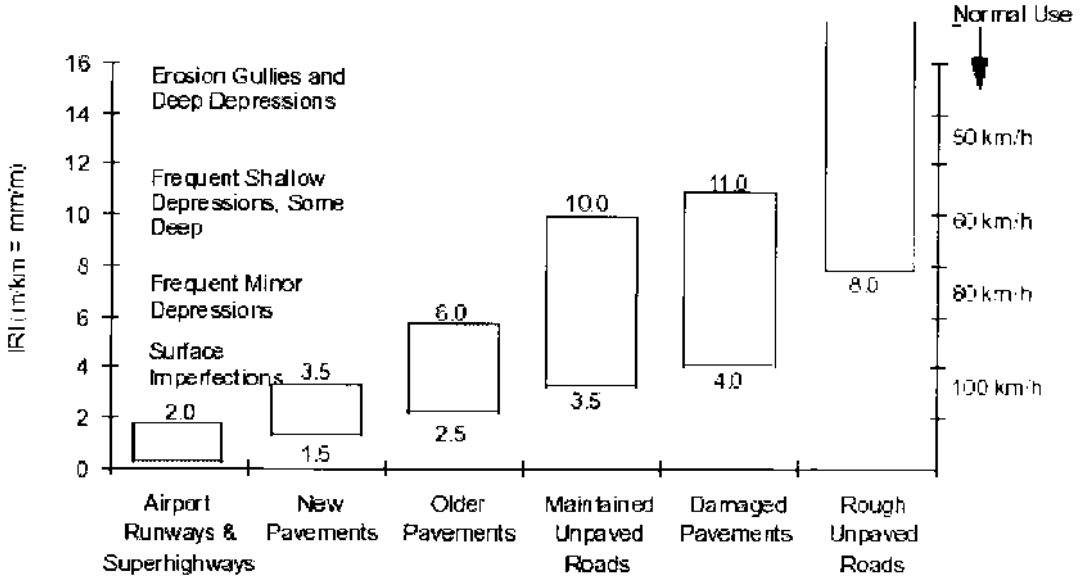
กรมทางหลวงได้นำระบบบริหารงานบำรุงทางTPMS(Thailand Pavement Management System) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์มาใช้งานตั้งแต่ ปี 2530 เพื่อประกอบการพิจารณาจัดทำแผนงานบำรุงทางของสำนักงานทางหลวง และแขวงการทางทั่วประเทศ ระบบดังกล่าวทำการสำรวจสภาพทาง โดยใช้เจ้าหน้าที่หมวดการทางที่ผ่านการฝึกอบรมเป็นผู้ทำการสำรวจความชำรุดเสียหายของผิวทางด้วยสายตา(Visual Inspection) ข้อมูลที่ได้จึงมีโอกาสคลาดเคลื่อนและมีความแตกต่างกันเนื่องจากความคิดเห็นของผู้ทำการสำรวจที่แตกต่าง ส่งผลให้การกำหนดวิธีซ่อมบำรุงทางและการจัดทำแผนงานบำรุงทาง ไม่สอดคล้องกับสภาพความเสียหายของทางที่เกิดขึ้นจริงในสนาม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความไม่คุ้มค่าในการลงทุน ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้ามาใช้งานร่วมกับระบบบริหารงานบำรุงทางที่ดี ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น ซึ่งนอกจากสามารถช่วยลดงบประมาณการบำรุงบูรณะทางหลวงแล้ว ยังสามารถลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้บริการทางหลวงลงได้

ระบบการตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพผิวทางได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว โดยได้มีการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่มาใช้ในงานสำรวจอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ระบบบริหารงานบำรุงทางของกรมทางหลวงได้รับการพัฒนาให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับสภาพแวดล้อม ตลอดจนเทคโนโลยีทั้งในปัจจุบันและอนาคต เป็นแนวทางในการวางแผนงานบำรุงรักษาทางหลวงอย่างเป็นระบบ มีมาตรฐานระดับสากล กรมทางหลวงจึงมีนโยบายที่จะปรับปรุงและพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์สภาพความเสียหายของทางหลวง โดยการนำเครื่องมืออุปกรณ์ ตลอดจนเทคโนโลยีมาใช้ในการสำรวจตรวจสอบและศึกษาวิเคราะห์สภาพความชำรุดเสียหายของทาง แทนวิธีการสำรวจด้วยสายตา (Visual Inspection) ซึ่งจะช่วยให้การบริหารและวางแผนงานซ่อมบำรุงทางมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดย

เริ่มโครงการจ้างเหมาที่ปรึกษา ดำเนินการสำรวจและประเมินสภาพทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงในปีงบประมาณ 2549

2.1.1 การวัดค่าความขรุขระหรือความเรียบของพื้นผิวทาง

ความขรุขระของพื้นผิวทางคือ ค่าความแปรปรวนของพื้นผิวถนน ซึ่งสามารถระบุในลักษณะของค่าดัชนีบ่งชี้ที่แตกต่างกันตามมาตรฐานที่กำหนดขึ้นมาใช้งานในแต่ละประเทศ ปัจจุบันค่าดัชนีความขรุขระของพื้นผิวถนนอันเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมการทางคือ ค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากล (International Roughness Index , IRI) ซึ่งเป็นดัชนีที่ใช้ระบุระดับความขรุขระของพื้นผิวทางที่มีผลทำให้ยานพาหนะมีการสั่นสะเทือน ค่า IRI ถูกกำหนดขึ้นโดยธนาคารโลก (World Bank) ในปี พ.ศ. 2529 สามารถคำนวณได้จากการรวมผลการวัดค่าระดับของผิวทางไปตามทิศทางที่รถวิ่ง จากนั้นนำค่าผลรวมที่ได้มาหารด้วยระยะทางตามแนวราบตามทิศทางที่ทำการตรวจวัดค่า IRI โดยค่า IRI มีหน่วยเป็นเมตรต่อกิโลเมตร รูปที่1 แสดงมาตรฐานการใช้ค่า IRI สำหรับพื้นผิวทางชนิดต่างๆ



รูปที่ 1 ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index ,IRI) ของพื้นผิวทาง

ปัจจุบัน ASTM ได้จัดแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดค่า IRI ออกเป็น Class ตามระดับประสิทธิภาพของเครื่องมือ โดยได้จำแนกเครื่องมือออกเป็น 4 กลุ่ม ตามมาตรฐานASTM E 950-94 ดังนี้

1. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I

เครื่องมือตรวจวัดค่า IRI ที่ได้ผลของการตรวจวัดมีความแม่นยำในระดับสูง สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอ้างอิงอุปกรณ์อื่น เครื่องมือที่นิยมใช้งานในปัจจุบันประกอบด้วย

Laser Profiler : Non-contact lightweight Profilling devices and portable Laser Profiler Manually operated devices : e.g. TRL beam , Face Dipstick/ROMDAS Z-250 , ARRB Walking Profiler

ผู้ผลิตอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงในระดับClass I ได้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ดี มีราคาต่ำ ออกมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานข้อมูลพื้นฐาน ด้านสำรวจและประเมินสภาพทางให้มีความถูกต้องแม่นยำและกว้างขวางมากขึ้น โดยมีแนวโน้มด้านราคาของอุปกรณ์ต่ำลง

2. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class II

เครื่องวัดที่มีวิธีการวัดค่าความขรุขระ ที่มีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I เครื่องมือที่นิยมใช้งานประกอบด้วย APL Profilographs , Optical Profilers และ Inertial Profilers (GMR) เนื่องจากราคาของอุปกรณ์ใน Class I มีแนวโน้มต่ำลง ความนิยมเลือกใช้งานอุปกรณ์ Class I จึงเพิ่มขึ้นมากกว่าอุปกรณ์ Class II

3. เครื่องมือตรวจวัดระดับClass III

เครื่องมือตรวจวัดที่มีการคำนวณค่า IRI จากสมการปรับแก้ โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่า IRI ที่มีความแม่นยำสูงก่อนการนำมาใช้งานจริง เครื่องมือที่นิยมใช้งานประกอบด้วยRoadmaster , ROMDAS , Roughometer, TRL Bump Integrator และ Rolling Straightedge

อุปกรณ์ที่จัดอยู่ใน Class III ส่วนมากประยุกต์ใช้งานด้วยการติดตั้งในยานพาหนะ มีลักษณะเด่นคือใช้งานง่าย ราคาถูก ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือใน Class อื่น ทำให้เครื่องมือในระดับClass III ได้รับความนิยมเลือกใช้งานสูง

4. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class IV

เครื่องวัดที่มีข้อจำกัดในการประมวลผล ไม่มีการปรับแก้ค่าเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นก่อนนำมาใช้งานจริง ประกอบด้วย Key Code Rating Systems , Visual Inspection และ Ride Over Section

เนื่องจากความละเอียด ความแม่นยำของข้อมูลมีน้อย เครื่องมือตรวจวัด ระดับ Class IV จึงไม่ได้รับความนิยมเลือกใช้งานมากนัก

ปัจจุบันได้พัฒนาอุปกรณ์การตรวจวัดค่า IRI ที่มีความละเอียดแม่นยำสูงทั้งประเภทติดตั้งในยานพาหนะ และประเภทเดินตามซึ่งมีอุปกรณ์ Laser Profiler ที่ใช้ในการสำรวจทางมีมาตรฐานระดับ Class I ซึ่งเป็นระบบเครื่องวัดที่มีความแม่นยำสูงตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 สำหรับประมวลผลค่า IRI ทุก ๆ ระยะ 100 เมตร หรือน้อยกว่า ในทิศทางตามแนวยาวของเส้นทางสำรวจ โดยการวัดแต่ละครั้งจะมีการวัดค่าพารามิเตอร์พร้อม ๆ กัน 3 ค่า คือ

1. ระยะทางของลำแสงจาก Laser Profiler ถึงผิวหน้าถนน ซึ่งวัดโดยตัวเซ็นเซอร์

2. ค่าการเคลื่อนไหวในแนวดิ่งของลำแสงจาก Laser Profiler ซึ่งวัดโดยตัว Accelerometer

3. ระยะห่างระหว่างการวัดในแต่ละครั้ง ซึ่งวัดโดยเครื่อง Distance Measuring Instrument (DMI)

สำหรับการประมวลผลค่าที่วัดได้จาก Laser Profiler นั้น เกิดจากการนำค่าระยะห่างระหว่างผิวทางถึงตัว Laser Profiler มาปรับแก้ด้วยค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ได้จากตัว Accelerometer

2.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจสภาพทางประกอบด้วย

1. ยานพาหนะที่ใช้เก็บข้อมูล เป็นรถยนต์โดยสารแบบตู้ สามารถบรรทุกเจ้าหน้าที่สำรวจและจัดวางเครื่องมือสำรวจ เพื่อการปฏิบัติงานภาคสนามได้

2. เครื่องมือ Laser Profiler จำนวน 7 ตัว สำหรับตรวจวัด ร่องล้อ และความเรียบของผิวทาง (Rutting and Roughness) ได้ มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E950 หรือมาตรฐานเทียบเท่าและผลิตโดยผู้ผลิตที่มีความน่าเชื่อถือ มีความละเอียดในการวัดตามแนวยาว และตามแนวขวางอยู่ที่ $\pm$0.5 มม. เมื่อทำการติดตั้งบนรถสำรวจสามารถทำงานได้ที่ความเร็วขณะรถวิ่งสูงสุดที่ 90 กิโลเมตร/ชม. โดยอุปกรณ์เลเซอร์นี้ทำการวัด แล้วแสดงผลได้ทันทีผ่านซอฟต์แวร์เฉพาะซึ่งมีมาพร้อมกับอุปกรณ์

ชุด Laser Profiler ประกอบด้วยตัวเซ็นเซอร์ทั้งสิ้น 7 ตัว ซึ่งใช้เก็บค่าความขรุขระของทาง (IRI) และความลึกของร่องล้อ (Rutting) ดังแสดงตำแหน่งการติดตั้งไว้ในรูปที่ 2(ก) และรูปที่ 2(ข)

3. กล้องถ่ายสภาพผิวทาง (Pavement View Viceo) จำนวน 2 กล้อง(ติดตั้งด้านหลังรถ) มีความละเอียดของภาพถ่ายที่ 1280 x 960 พิกเซล ที่อัตราแสดงผล 15 เฟรมต่อวินาที ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จะถูกบีบอัดโดยอัตโนมัติโดยเลือกรูปแบบของการบีบอัดภาพที่ต้องการได้ สามารถถ่ายภาพผิวทางความกว้างสูงสุดถึง 3.2 เมตรต่อกล้อง 1 ตัว เมื่อติดตั้งจำนวน 2 ตัวทำให้สามารถบันทึกภาพผิวทางได้ครอบคลุมตลอดความกว้างของช่องจราจร สามารถทำงานได้ที่ความเร็วขณะรถวิ่งสูงสุด90 กิโลเมตร/ชม. เมื่อทำการบันทึกทุกๆช่วง 3 เมตร

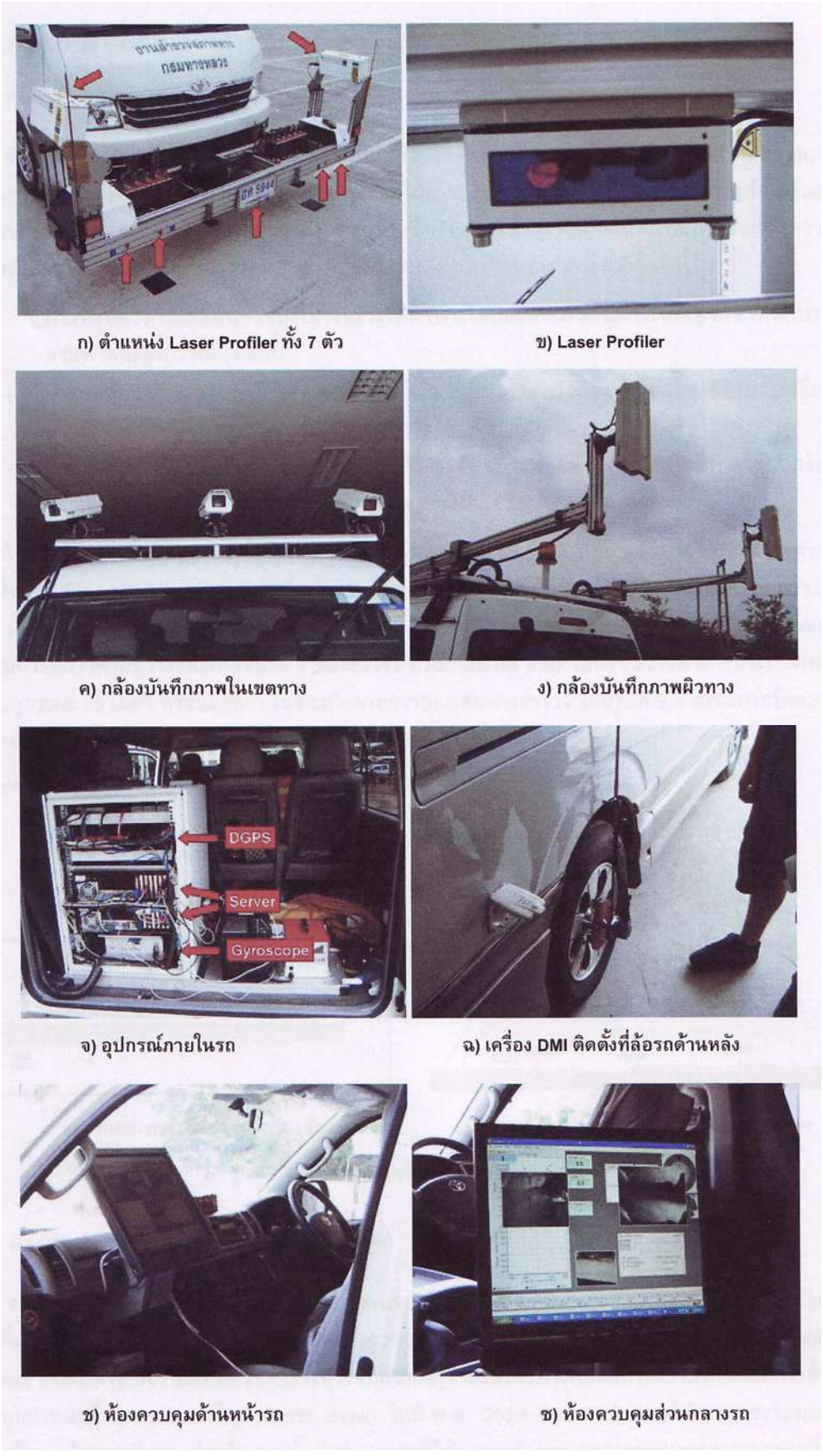
กล้องถ่ายภาพภายในเขตทาง (Asset View Camera) ซึ่งใช้เก็บรูปเขตทางด้านหน้า (Right of Way หรือ Asser View) ดังแสดงในรูปที่ 2(ค)

4. กล้องถ่ายสภาพภายในเขตทาง (Asset View Video) จำนวน 3 กล้อง (ติดตั้งด้านหน้ารถ) มีความละเอียดของภาพถ่ายที่ 1280 x 960 พิกเซล ที่อัตราแสดงผล 7.5 เฟรมต่อวินาที ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จะถูกบีบอัดโดยอัตโนมัติโดยเลือกรูปแบบของภาพที่ต้องการได้ สามารถปรับขยายภาพโดยเลนส์จากกล้องบันทึกภาพได้ถึง 6 เท่า และสามารถทำงานได้ที่ความเร็วขณะรถวิ่งสูงสุดที่ 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง เมื่อทำการบันทึกทุกๆ ช่วง 5 เมตร

กล้องถ่ายภาพผิวทาง(Pavement View Camera) ใช้เก็บสภาพของผิวทางด้านหลัง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่กว้าง 1 ช่องจราจร ดังแสดงในรูปที่ 2(ง)

5. อุปกรณ์ DGPS (Differential Global Positioning System) ประกอบด้วยเครื่องรับที่ สถานีฐาน (Base recever) และเครื่องรับบนยานพาหนะ (Vehicle receiver or Rover)

เครื่องจับพิกัดระบบ DGPS (Differential Global Positioning System) ซึ่งใช้ในการจับพิกัดในระหว่างการวิ่งของรถสำรวจพร้อมอุปกรณ์เสริม Gyroscope ซึ่งใช้ในการวัดความลาดเอียง หรือรูปร่างทางเรขาคณิตของทางที่รถสำรวจวิ่งผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2(จ)



ก) ตำแหน่ง Laser Profiler ทั้ง 7 ตัว

ข) Laser Profiler

ค) กล้องบันทึกภาพในเขตทาง

ง) กล้องบันทึกภาพผิวทาง

จ) อุปกรณ์ภายในรถ

ฉ) เครื่อง DMI ติดตั้งที่ล้อรถด้านหลัง

ช) ห้องควบคุมด้านหน้ารถ

ซ) ห้องควบคุมส่วนกลางรถ

รูปที่2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจข้อมูลสภาพทาง

6. อุปกรณ์สนับสนุนอื่นๆเช่นซอฟแวร์ประมวลผลข้อมูลในรถสำรวจ Real-time Invehicle , Data Acquisition Software

เครื่อง Distance Measuring Instrument (DMI) ใช้วัดระยะทางที่รถสำรวจวิ่งดังแสดงในรูปที่ 2(ฉ) อุปกรณ์ควบคุมผ่านจอคอมพิวเตอร์ที่ด้านหน้าและส่วนกลางของรถสำรวจ (Operators) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2(ช) และรูปที่ 2(ซ) พร้อมเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ (Server) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2(จ)

2.1.3 การเก็บข้อมูลในการสำรวจ

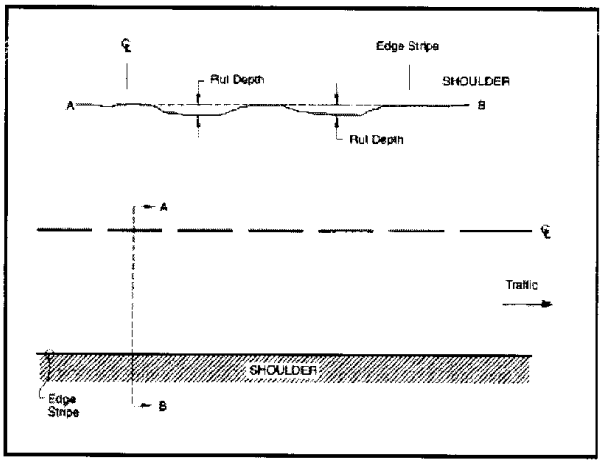
ความลึกร่องล้อ (Wheel Truck Rutting)

ร่องล้อ (Rut Depth) คือ ระยะลึกบนพื้นผิวถนนดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งในการวัดหาค่าความลึกของร่องล้อวิธีดั้งเดิมโดยอุปกรณ์ภาคสนาม สามารถกระทำได้โดยการใช้ไม้บรรทัดเหล็กยาว 2 เมตร พาดขวางร่องล้อ แล้วสอดลิ่มวัดความลึกของร่องล้อตรงที่ลึกที่สุดโดยจะบันทึกค่าความลึกร่องล้อไว้ ความลึกร่องล้อที่มีค่าเกินกว่าความลึก 25 มิลลเมตร เป็นความลึกที่ต้องได้รับการซ่อมบำรุง ความลึกร่องล้ออาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

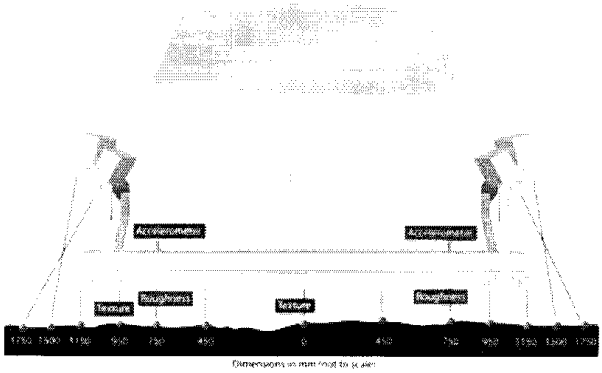
การทรุดตัวหรือเคลื่อนตัวของโครงสร้างใต้ผิวทางโดยเฉพาะดินคันทางเนื่องจาก น้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะสูงกว่าที่ออกแบบ

การบดอัดชั้นดินคันทางที่ไม่ได้มาตรฐาน เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกวิ่งผ่าน ทำให้วัสดุใต้ผิวทางเคลื่อนตัวออกด้านข้าง ซึ่งจัดเป็นการเสียรูปอย่างถาวร

วัสดุแอสฟัลต์ผิวทางมีส่วนผสมที่ไม่คงตัว ก็ทำให้ผิวทางทรุดตัวได้ หรือเกิดจากการแบกรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำหนดเกินกว่าชั้นโครงสร้างทางจะรับได้



ก) ลักษณะการเกิดความลึกร่องล้อ



ข) การวัดความลึกร่องล้อด้วย Laser Profiler

รูปที่ 3 การวัดความลึกร่องล้อโดยใช้รถสำรวจ

การวัดค่าความลึกของร่องล้อ รถสำรวจใช้อุปกรณ์ Laser Profiler ที่มีตัวเซ็นเซอร์จำนวน 7 ตัว ติดตั้งอยู่บนคานที่ด้านหน้าของรถสำรวจทำการบันทึกค่าความลึกของร่องล้อตามแนวขวางของถนน โดยความกว้างด้านหน้าของรถซึ่งติดตั้งอุปกรณ์แล้วมีความยาวประมาณ 2.60 เมตร ซึ่งจะสามารถทำการบันทึกค่าความลึกของร่องล้อครอบคลุมความยาวตามขวางของทางขนาด 1 ช่องจราจร หรือประมาณ 3.50 เมตร และจะทำการประมวลผลค่าความลึกร่องล้อทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า ในทิศทางตามยาวของเส้นทางสำรวจ โดยรูปที่ 3 แสดงการวัดความลึกร่องล้อโดยรถยนต์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ Laser Profiler

ความขรุขระหรือความเรียบของผิวทาง (IRI)

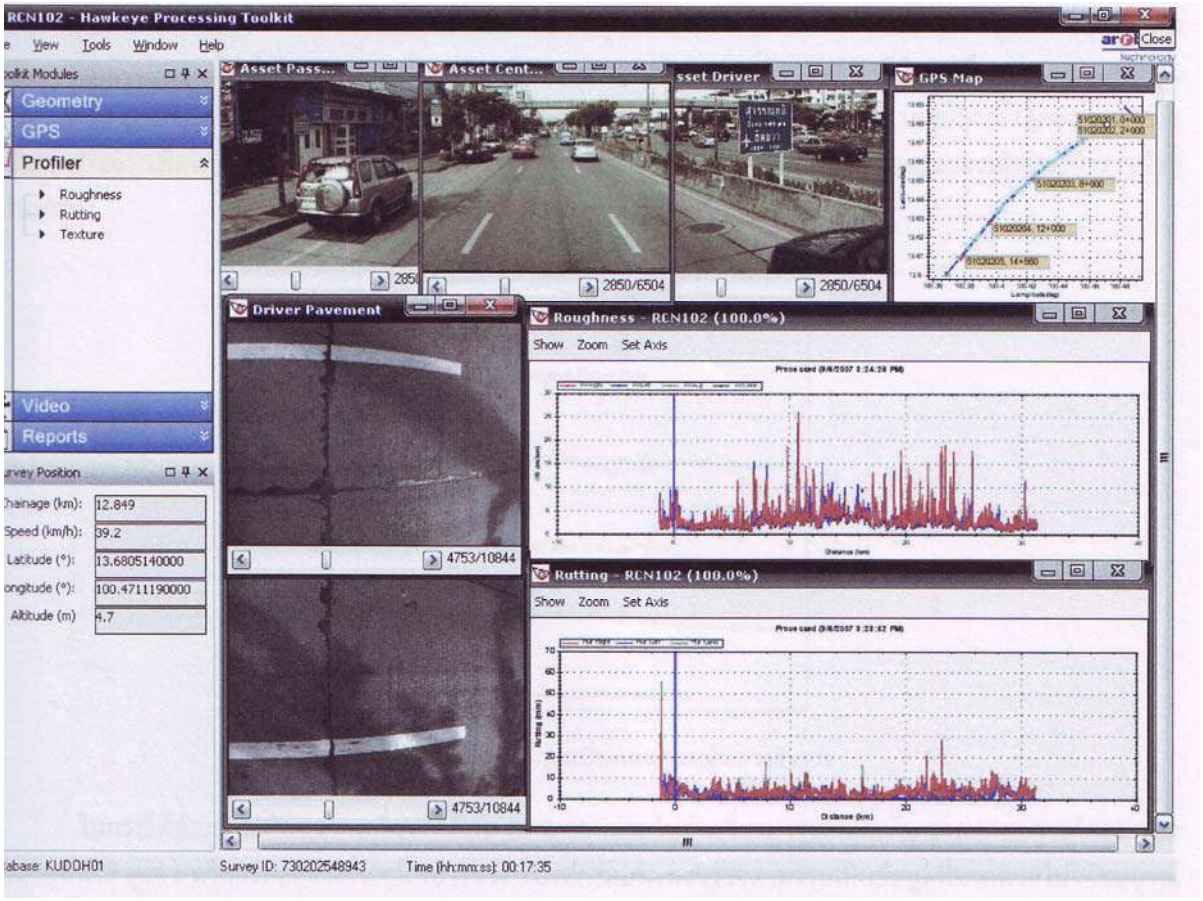
ความเรียบของผิวทางมีความสำคัญโดยตรงและส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ทั้งด้านความสะดวกสบายและด้านความปลอดภัย จากผลการศึกษาของ AASHO Road Test พบว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของการให้บริการด้านงานทางมีความเกี่ยวข้องและขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวทาง ค่าความเรียบของผิวทางจะเป็นตัวบอกถึงสภาพทาง , ความสะดวกสบายของผู้ใช้ทาง และคุณภาพของการขับขี่ ซึ่งค่าความเรียบของพื้นผิวทางมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล

อุปกรณ์ Laser Profiler ที่ใช้ในการสำรวจทางมีมาตรฐานระดับ Class I ซึ่งเป็นระบบเครื่องวัดที่มีความแม่นยำสูงตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 สำหรับประมวลผลค่า IRI ทุก ๆ ระยะ 100 เมตร หรือน้อยกว่า การประมวลผลค่าที่วัดได้จาก Laser Profiler นั้น เกิดจากการนำค่าระยะห่างระหว่างผิวทางถึงตัว Laser Profiler มาปรับแก้ด้วยค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งที่ได้จากตัว Accelerometer หลังการปรับแก้แล้ว ค่าที่ได้คือค่าความขรุขระของผิวทางตามแนวขวางของรถสำรวจ

ความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress)

เพื่อการวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง การบันทึกภาพผิวทางใช้กล้องดิจิตอลที่มีความละเอียดของภาพเท่ากับ 1280x960 พิกเซล การบันทึกภาพของผิวทางจะใช้กล้องจำนวน 2 ตัว ที่ส่องตั้งฉากกับผิวทางซึ่งจะติดตั้งอยู่ด้านหลังของรถสำรวจ โดยการบันทึกจะครอบคลุมพื้นที่ขนาด 1 ช่องจราจรซึ่งมีความกว้างประมาณ 3.50 เมตร โดยจะบันทึกเป็นภาพสีเดียวแบบ Mono 8 และเก็บบันทึกในรูปแบบไฟล์ AVI ภาพต่าง ๆ ที่ถูกบันทึกในรูปแบบไฟล์ AVI นี้ สามารถนำมาแสดงผลในโปรแกรมมัลติมีเดียพื้นฐานทั่วไปได้ เช่น โปรแกรม Windows Media Player ภาพที่ถูกบันทึกไว้สามารถแสดงค่าพิกัดระยะทาง เวลาในการบันทึก ซึ่งให้ความสะดวกสำหรับการสืบค้นข้อมูลในภายหลัง

หลังจากการติดตั้งกล้องบนตัวรถสำรวจ จำต้องมีการปรับเทียบค่าตำแหน่งและระยะทางของจุดต่าง ๆ ที่ปรากฏบนจอภาพให้สอดคล้องกับตำแหน่งและระยะทางของจุดเดียวกันในสนามจริง เพื่อให้การวัดระยะในขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทางเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำ ด้วยโปรแกรม Hawkeye Processing Toolkit ซึ่งใช้ในการวัดความยาวและพื้นที่ของรอยแตกร้าวที่ปรากฏบนผิวทางจากภาพที่บันทึกได้อย่างแม่นยำ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 4 โปรแกรมการวิเคราะห์ภาพผิวทาง Hawkeye Processing Toolkit

ภาพในเขตทาง (Right of Way หรือ Asset View)

เพื่อการเก็บรายละเอียดของสิ่งต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่ในเขตทางเป็นไปอย่างสมบูรณ์ กล้องดิจิตอลที่มีความละเอียดเท่ากับ 1280x960 พิกเซลแบบสี่สีเต็มรูปแบบ (Full Color Non-Compressed YUV 4:2:2) จำนวน 3 ตัว ใช้ในการบันทึกภาพในเขตทาง เพื่อเก็บภาพการจราจรและลักษณะสภาพแวดล้อมของไหล่ทาง ป้ายสัญลักษณ์ สัญญาณจราจร เสาไฟส่องสว่าง หรืออุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยอื่น ๆ กล้องทั้งสามถูกติดตั้งอยู่ด้านหน้าของรถสำรวจ เพื่อเก็บภาพในด้านหน้าซ้าย ตรงกลาง และด้านหน้าขวาของตัวรถสำรวจทำให้ได้รายละเอียดต่าง ๆ ของภาพในเขตทางจากหน้ารถสำรวจออกไปเป็นระยะทางประมาณ 20 เมตร โดยจะทำการบันทึกภาพทุก ๆ ระยะ 5 เมตร พร้อมทั้งเก็บบันทึกภาพในรูปแบบไฟล์ AVI ข้อมูลจะถูกบันทึกไปพร้อมกับข้อมูลแสดงตำแหน่งอ้างอิง เช่น ค่าพิกัด ระยะทางเวลาที่ทำการบันทึก ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสืบค้นตำแหน่งของเส้นทางบนฐานข้อมูล พร้อมทั้งสามารถนำข้อมูลไปจัดทำแผนที่ GIS ได้อย่างถูกต้องอีกด้วย เช่นเดียวกันกับการติดตั้งกล้องบันทึกภาพผิวทาง หลังจากเสร็จ

สิ้นการติดตั้งกล้องถ่ายภาพในเขตทางบนตัวรถสำรวจ จำต้องมีการปรับเทียบค่าตำแหน่งและระยะทางของจุดต่าง ๆ ที่ปรากฏบนจอภาพให้สอดคล้องกับตำแหน่งและระยะทางจริงที่ปรากฏในสนาม

ข้อมูลพิกัด GPS

การเก็บข้อมูลพิกัดของเส้นทางสำรวจ ที่ปรึกษาใช้อุปกรณ์จับพิกัด GPS แบบเคลื่อนที่ โดยในระหว่างการสำรวจ หากมีอุปสรรคที่ทำให้รถสำรวจจำต้องหลบหลีกออกจากแนวเส้นทางเดิม ค่าพิกัดที่มีการเบี่ยงเบนออกนอกแนวเส้นทางหลัก ถูกปรับแก้ด้วยโปรแกรมบนรถสำรวจโดยอัตโนมัติโดยการใช้ข้อมูลที่อ่านได้จากอุปกรณ์ Gyroscope หรือ GIPSI Trac เพื่อให้ความต่อเนื่องของข้อมูลพิกัด

ในกรณีที่ข้อมูลค่าพิกัดจากเครื่องวัดพิกัด GPS ขาดหายไปอันเนื่องมาจากคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมถูกบดบังด้วยต้นไม้ ภูเขา หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ ในบางช่วง โปรแกรมบนรถสำรวจสามารถเติมข้อมูลที่ขาดหายไปให้สมบูรณ์ได้โดยการดึงข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ Gyroscope มาคำนวณค่าพิกัดแนวเส้นทางการเดินรถที่ขาดหายไปโดยการประมาณ

ข้อมูลระยะทางโดย Distance Measuring Instrument (DMI)

อุปกรณ์ Distance Measuring Instrument หรือ DMI ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลระยะทางในแต่ละช่วงของการสำรวจ ซึ่งให้ค่าความถูกต้องที่ระดับ $\pm$1 เมตรต่อความยาว 1 กิโลเมตร ซึ่งก่อนการสำรวจในแต่ละวัน จำต้องมีการปรับเทียบเครื่อง DMI ก่อนเสมอ

2.2 การศึกษาสภาพถนนสำหรับงานบำรุงทางระยะเริ่มต้นของกรมทางหลวง

ถนนเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศกำลังพัฒนาจำเป็นต้องอาศัยถนนกระจายความเจริญไปสู่ส่วนต่างๆ ทั่วประเทศ โดยการนำผลิตผลจากแหล่งผลิตไปสู่ตลาด และจำเป็นที่จะต้องขยายโครงข่ายของถนนที่มีอยู่เดิมให้สมบูรณ์ด้วยราคาค่าก่อสร้างและบำรุงรักษาต่ำ ทางหลวงส่วนใหญ่ในประเทศไทยเลือกใช้แบบ Flexible Pavement โดยออกแบบให้มีอายุการใช้งานประมาณ 7-10 ปี ซึ่งสามารถลดเงินต้นทุนในการก่อสร้างและดอกเบี้ยได้ตามความเหมาะสมกับเงินงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปีเมื่อเปรียบเทียบกับเงินต้นทุนในการก่อสร้างถนนแบบอื่น ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความยาวของทางหลวงตามเป้าหมายที่ต้องการ

หลังจากเปิดใช้งาน ถนนจะเกิดเสื่อมสภาพลงเรื่อยๆ ตามปริมาณการจราจร และระยะเวลาในการใช้งาน ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานทั้งด้าน ความปลอดภัย ความสะดวกสบายในการขับขี่ และความสามารถในการขนส่งต่างๆ ของทางหลวงลดลง เมื่อเกิดความเสื่อมสภาพหรือความเสียหายของทางหลวงขึ้น จำเป็นจะต้องมีการดำเนินการซ่อมบำรุงปกติ เสริมความแข็งแรง บูรณะปรับปรุง บูรณะลาดยาง หรือก่อสร้างใหม่ เพื่อรักษาให้ทางหลวงคงสภาพสามารถใช้งานได้ดีตามวัตถุประสงค์ เพื่อให้งานด้านบริหารบำรุงทางเป็นไปด้วยมาตรฐานอันเดียวกันทั้งประเทศ กรมทางหลวงได้ตั้งคณะกรรมการงานวิจัย

ทางด้านบำรุงทางขึ้น เพื่อกำหนดแนวทาง และวิธีการ ในการพิจารณาบำรุงบูรณะทางหลวง ให้สอดคล้องกับงบประมาณและเทคโนโลยีที่มีอยู่ โดยได้เริ่มทำการประเมินสภาพทางในปี พ.ศ. 2519 เพื่อวางมาตรการในงานบำรุงทาง ซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบให้อยู่ในสภาพใช้งานได้ดีด้วยงบประมาณจำกัด

คณะกรรมการงานวิจัยด้านบำรุงทางได้ทำการศึกษาวิจัย ตลอดจนวางมาตรการในการบำรุงทางเพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปัญหาต่างๆ ทั้งด้านวิชาการและด้านปฏิบัติ ซึ่งมีอิทธิพลต่องานบำรุงทางในภูมิภาคแถบนี้ โดยการศึกษาสภาพทาง สภาวะแวดล้อม , หาแนวโน้มของประสิทธิภาพในการใช้งาน , ออกแบบแนะนำปรับปรุงโครงสร้าง รวมถึงแนะนำการบำรุงทางอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยการติดตามประเมินผลและแก้ไขปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอ

จากการวิเคราะห์สถิติและข้อมูลเพื่อหาความเหมาะสมและความจำเป็นด้านความต้องการของงานบำรุงทางบนเส้นทางหลายสาย ซึ่งต้องจัดสรรเงินงบประมาณเป็นจำนวนมากในการดำเนินงานตามความต้องการที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละเส้นทาง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงทางให้มีอายุการใช้งานยืนยาว คณะกรรมการจึงได้พิจารณาหาจุดร่วมที่เหมาะสมในการจัดลำดับความต้องการเร่งด่วนในงานบำรุงทางของถนนแต่ละสายทั่วประเทศ ให้สอดคล้องกับงบประมาณที่ได้รับ โดยพิจารณาจากองค์ประกอบหลายด้านคือ องค์ประกอบด้านโครงสร้างทางจากความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน โดยใช้ผลของการตรวจวัดค่า Deflection , ด้านความสะดวกสบายในการขับขี่โดยการประเมินสภาพของผิวทาง (Surface Condition)ด้วยสายตา และด้านความปลอดภัยโดยพิจารณาถึงความเสียดทานของผิวทาง (Skidding Resistance) ทั้งนี้เพื่อใช้สร้างสูตรสำเร็จประกอบการพิจารณาสำหรับการประเมินสภาพทาง และจัดลำดับในงานบริหารบำรุงทางให้เหมาะสมกับงบประมาณและเทคโนโลยีที่มีอยู่

ค่า Pavement Rating และค่าองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องคือค่า Deflection Rating , ค่า Surface Rating , ค่า Traffic Rating และค่า Skidding Resistance รวมถึงค่า Measured Deflection ในสนาม คือตัวแปรที่มีความสำคัญเร่งด่วนเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาสำหรับนักบริหารบำรุงทาง เพื่อบริหารงานบำรุงทางอย่างมีเหตุผล เหมาะสม สอดคล้องกับเทคโนโลยีที่มีอยู่และงบประมาณที่กรมทางหลวงได้รับในแต่ละปี เพื่อใช้จ่ายงบประมาณให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยวงเงินจำกัด

2.2.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของทางและDeflection Rating

กรมทางหลวงได้ออกแบบทางหลวงพื้นผิวทางลาดยางที่ก่อสร้างใหม่ โดยใช้หลักการนับจำนวนเที่ยวสะสมของปริมาณการจราจร ซึ่งคาดว่าจะมีในช่วง 7-10 ปีแรก หลังจากการก่อสร้างเสร็จตามวิธีการของ The Asphalt Institute California Bearing Ratio และวิธีการของ The California Overlay Deflection สำหรับชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นล่างลงไปได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ 20 ปี การควบคุมและตรวจสอบความแข็งแรงของทางทั่วประเทศ จึงมีความจำเป็นเพื่อหาความต้องการต่ำสุดในการบำรุงทางเพื่อเสริมความแข็งแรงให้สามารถใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้ หากปล่อยให้เกิดความเสียหายขึ้นโดยไม่ได้บำรุงรักษา อาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายขนาดใหญ่ขึ้นได้

การตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างทางในสภาวะปัจจุบัน พิจารณาจากชนิดและความเสียหายบางชนิดที่ปรากฏให้เห็นบนพื้นผิวทาง เช่น รอยแรงเฉือนที่ร่องล้อ รอยแตกตามยาวหรือ รอยแตกแบบหนังจระเข้ ซึ่งมีผลเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของโครงสร้างทาง การตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้างทางอาจทำได้โดยวิธีการ Pavement Layer Analysis ซึ่งเป็นวิธีการหาค่า Strength แต่ละชั้นของวัสดุที่ใช้งานเป็นโครงสร้างทาง สำหรับวิธีการที่นิยมใช้กันทั่วไปคือวิธี Monolithic Pavement Analysis ซึ่งใช้การวัด Deflection บนถนน เพื่อหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักในพื้นที่จริง (In – place Load Carrying Capability) วิธีพื้นฐานนี้ใช้วิเคราะห์สภาพของทางสำหรับงานบำรุงทางได้ทั้งความต้องการในปัจจุบัน และคาดการณ์ความต้องการในอนาคต

Deflection หมายถึงขนาดการยุบตัวของทางเมื่อรับน้ำหนัก และส่วนที่ยุบตัวของทางจะคืนกลับสู่สภาพเดิม เมื่อน้ำหนักที่มากระทำผ่านพ้นไป ภายใต้รูปแบบของทางชนิดเดียวกันและน้ำหนักกดที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ค่า Deflection สูงหมายถึงความแข็งแรงของถนนต่ำและในทางกลับกัน ค่า Deflection ต่ำแสดงถึงความแข็งแรงของถนนสูง วิธีการวัดค่า Deflection ของกรมทางหลวงในปัจจุบันใช้เครื่องมือ Benkelman Beam

Zube and Forsyth , HRB Record No.129 ได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ Deflection และจำนวนเที่ยวของการจราจร พบว่า Deflection ของทางที่ก่อสร้างเสร็จใหม่จะมีค่าอยู่ระดับหนึ่ง และจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความล้าตัวของวัสดุสร้างทางภายหลังเปิดรับการจราจรจนกระทั่งถึงจุดวิกฤติที่ถนนไม่สามารถต้านทานน้ำหนักจากการจราจรได้อีกต่อไป หากเปิดการใช้งานต่อไปก็จะเกิดความเสียหายขึ้น เมื่อนำ Stress – Strain Curve สำหรับถนนซึ่งใช้ผิว Asphaltic Concrete หนา 5 ซม. ของทางหลวงในประเทศไทย เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ Deflection และจำนวนเที่ยวของการจราจร พบว่าเมื่อเกิดการล้าของวัสดุโครงสร้างทาง อัตรา การเพิ่มขึ้นของกราฟมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการเพิ่มขึ้นตามปกติของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Deflection และจำนวนเที่ยวของการจราจร ประเมินความสามารถในการรองรับการจราจรได้เพิ่มขึ้นเพียง 1 ล้านเที่ยว เทียบกับน้ำหนักล้อมาตรฐาน 5,000 ปอนด์(5,000 lb.HNL) จึงได้กำหนดให้โครงสร้างทางที่ทำการสำรวจค่า Deflection ได้มากกว่า 0.048 นิ้ว อยู่ในสภาพของโครงสร้างทางที่เกิดความล้า จัดความสามารถรับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรอยู่ในระดับที่จำเป็นต้องปรับปรุงหรือชั้นต่ำสุด กำหนดคะแนนเป็น 0 คะแนน จากคะแนนที่กำหนดไว้สูงสุด 10 คะแนน การแบ่งความสามารถในการรับน้ำหนักได้แบ่งจากเลวมากหรือจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง ถึงดีมากตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 สำหรับผิวทางชนิดอื่นๆ ใช้หลักการในการจัดลำดับคะแนนเพื่อแสดงความสามารถในการรับน้ำหนักของทางด้วยวิธีการเดียวกัน

0-2 คะแนน ต้องรีบเสริมความแข็งแรงของทางโดยทันที หรือบูรณะก่อสร้างใหม่

2-4 คะแนน ต้องเพิ่มความหนาหรือปรับปรุงด้านความแข็งแรงของช่องทางและผิวทาง

4-6 คะแนน ให้บำรุงปกติ บำรุงพิเศษ หรือบูรณะเสริมความแข็งแรง แล้วแต่กรณี

6-8 คะแนน บำรุงปกติ หรือบำรุงพิเศษ 8-10 คะแนน ซ่อมเฉพาะจุด

ตารางที่1 ประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน ผิวทางAsphaltic Concrete หนา 5 ซ.ม.

สภาพทางที่ประเมิน	Deflection Rating	Deflection (0.001)
จำเป็นต้องปรับปรุง	0-2	34-48
ต้องปรับปรุง	2-4	27-34
พอใช้ได้	4-6	22-27
ดี	6-8	20-22
ดีมาก	8-10	18-20

2.2.2 สภาพพื้นผิวทาง(Surface Condition) และ Surface Evaluation Rating

ความเสียหายหรือความเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏให้เห็นบนผิวทางบางชนิดเกิดจากความแข็งแรงของโครงสร้างทางไม่เพียงพอ ทำให้น้ำหนักรถทำลายโครงสร้างของทางให้เสียหายได้ ซึ่งจะต้องแก้ไขโดยการเสริมความแข็งแรงขึ้นอีก ความเสียหายบางชนิดไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของถนน แต่ความเสียหายของทางที่ปรากฏขึ้นบนผิวทางทุกชนิดจะเป็นผลต่อความสะดวกสบายและความปลอดภัยในการขับขี่ยวดยาน โดยอาจจะเป็นผลโดยทางตรง หรือโดยทางอ้อมได้ เช่นการเกิดคลื่นตามขวาง เป็นผลต่อความสะดวกสบายในการขับขี่โดยที่ความแข็งแรงของโครงสร้างทางอาจยังมีเพียงพอ แต่อาจเป็นสาเหตุทำลายโครงสร้างของทางภายหลังได้ ดังนั้นสภาพผิวทาง (Surface Condition) จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาบำรุงบูรณะทางหลวงให้อยู่ในสภาพดีพร้อมสำหรับรองรับการจราจรอยู่เสมอ

ความเสียหายที่ปรากฏบนพื้นผิวทาง เป็นผลต่อความสะดวกสบายในการขับขี่ยวดยาน เงื่อนไข สาเหตุ ชนิด และขนาดของความเสียหายสามารถเกิดขึ้นหลายลักษณะ เมื่อแบ่งความเสียหายตามลักษณะที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวทาง สามารถแบ่งได้ 4 ประเภทดังนี้

ประเภทที่1 Cracking คือ รอยแตกที่ผิวทางเป็นไปได้หลายรูปแบบ เนื่องมาจากสาเหตุต่างกัน ลักษณะของรอยแตกเป็นดังนี้

Alligator Cracks คือรอยแตกแบบหนังจระเข้ แตกเป็นตารางเล็กๆ เหมือนลวดตาข่าย สาเหตุเกิดจากผิวทางทนต่อการทรุดตัวต่อไปไม่ได้ , เปอร์เซ็นต์ของน้ำในดินสูง , ความไม่มั่นคงของคันทาง หรือเกิดจากปริมาณการจราจรวิ่งซ้ำไปมามากเกินความสามารถที่ผิวทางจะรับได้

Shrinkage Cracks คือรอยแตกเชื่อมโยงต่อกันเป็นตารางใหญ่ เกิดจากการเปลี่ยนปริมาตรของวัสดุ และน้ำในมวลของวัสดุลดลง

Edge Cracks คือรอยแตกตามแนวขอบ ระยะห่างจากขอบประมาณ 30 ซม. เกิดจากไหล่ทางไม่แข็งแรงพอ , น้ำใต้ไหล่ทางทำให้ดินลดกำลังลง , วัชพืชเต็มขอบทาง หรือเกิดจากการทรุดตัวของไหล่ทางเนื่องจากรถวิ่งคร่อมระหว่างไหล่ทางและผิวทาง

Reflection Cracks คือรอยแตกตามรอยเดิมของผิวทางเดิม เกิดจากการเคลื่อนตัวของผิวทางเดิมที่แตก หรือการเคลื่อนตัวของวัสดุใต้ผิว เนื่องจากเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือ เปอร์เซ็นต์น้ำใต้ดินคันทางมากเกินไป

Slippage Cracks คือรอยแตกที่มีลักษณะของผิวทางไม่สามารถทนต่อการผลักดันของแรงเสียดทานของล้อรถได้ เนื่องจากแรงยึดระหว่างชั้นผิวหน้าและชั้นล่างไม่ดีพอ , ส่วนผสมของผิวทางที่ไม่ดีหรือการบดทับไม่ถูกต้อง รอยแตกจะเป็นรูปโค้งเป็นวงตามแนวแรงดันไถลของล้อรถบนพื้นถนน

Lane joint Cracks คือรอยแตกเกิดขึ้นในแนวรอยต่อแบ่งช่องจราจรตามยาวของถนน เกิดขึ้นเนื่องจากความแข็งแรงของรอยต่อไม่มากพอด้วยความบกพร่องขณะทำการก่อสร้าง

Widening Cracks คือรอยแตกตามยาวในการขยายพื้นผิวการจราจร เนื่องจากเกิดการทรุดตัวไม่เท่ากันระหว่างพื้นถนนเก่ากับพื้นถนนใหม่

Hair Cracks คือรอยแตกขนาดเล็ก เป็นสาเหตุของการแตกรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งในอนาคต เกิดจาก Flexibility ของผิวทางไม่ดีพอ หรือน้ำหนักรถบรรทุกมากเกินกำหนด

Logitudinal Cracks คือรอยแตกตามแนวยาวของถนน เกิดจากไหล่ทางไม่แข็งแรงพอ , น้ำหนักรถบรรทุกมากเกินกำหนด หรือความแข็งแรงของ Pavement ไม่เพียงพอ

Transverse Cracks คือรอยแตกตามขวางของถนนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุ , ความแข็งแรงของคันทาง , รถบรรทุกหนักเกิดกำหนดหรือเกิดจากสภาพแวดล้อม

ประเภทที่2 Deformation คือการเปลี่ยนแปลงจากปริมาตรเดิม ทำให้พื้นผิวทางเกิดการบิดเบี้ยวหรือเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม เกิดขึ้นได้หลายลักษณะดังนี้

Ruts and Channels คือลักษณะความเสียหายยุบตัวเป็นร่องล้อบนพื้นผิวทาง เนื่องจากเกิดจากการลดปริมาตร , การยุบตัวแบบ Consolidation , เกิด Lateral and Elastic Movement เนื่องจากวัสดุรับน้ำหนักไม่ได้ หรือมีการทับบดไม่เพียงพอในขั้นตอนการก่อสร้าง

Corrugation คือความเสียหายที่มีลักษณะเป็นคลื่นลูกระนาด เกิดจากน้ำผ่านใต้คันทางหรือการเคลื่อนตัวเพื่อปรับสภาพของเม็ดวัสดุชั้นล่าง

Shoving คือลักษณะการทรุดตัวเฉพาะแห่ง ผิวทางทรุดเป็นแอ่งและปูดขึ้นโดยรอบ เนื่องจากจากน้ำใต้โครงสร้างทางมากเกินไป , น้ำซึมผ่านชั้นผิวทางทำให้โครงสร้างทางบวมตัว หรือชั้นผิวทางไม่แข็งแรงเพียงพอไม่สามารถรับน้ำหนักการจราจรได้

Upheaval คือลักษณะของการบวมของวัสดุใต้ผิวทาง เนื่องจากวัสดุใต้ผิวทางได้รับความชื้นมากเกินไปทำให้เกิดการบวมตัวดันผิวทางให้สูงขึ้น

Grade Depression คือบริเวณที่เป็นแอ่งมีระดับต่ำกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจจะมีรอยแตกปรากฏหรือไม่ก็ได้ อาจเกิดได้จากน้ำหนักรถบรรทุกเกินกำหนดมาก , การทรุดตัวของพื้นชั้นล่าง , การก่อสร้างไม่ดีพอ หรือเป็นบริเวณที่ขุดเพื่อทำประโยชน์อย่างอื่น เช่น ฝังท่อประปา หรือขุดเพื่อซ่อมแซมสิ่งก่อสร้างที่อยู่ใต้พื้นถนนใหม่ แล้วทำการบดอัดไม่ดีเพียงพอทำให้วัสดุชั้นล่างยุบตัวเป็นแอ่ง

Patching คือความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากรอยปะซ่อมถนน

ประเภทที่3 Disintegration คือ การหลุดร่อน เริ่มจากการเกิดรอยแตกร้าวบนถนน เมื่อขนาดและความลึกเพิ่มขึ้น วัสดุโครงสร้างทางขาดการเกาะยึดจึงเกิดการหลุดร่อนขึ้น มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

Pot holes คือความเสียหายที่เกิดขึ้นในลักษณะของหลุมหลายขนาด เนื่องจากพื้นผิวทางมีความแข็งแรงต่ำไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจากการจราจรได้

Raveling คือความเสียหายในลักษณะการแยกตัวของวัสดุผิวทางเริ่มจากขอบผิวทางไปสู่ส่วนกลาง ส่วนมากเกิดจากการก่อสร้างชั้นผิวทางไม่ดี เนื่องจากการบดทับไม่แน่น , ก่อสร้างในขณะอากาศชื้นหรือฝนตก , มีวัสดุสกปรกเจือปน หรือ Asphalt เสื่อมคุณภาพ

ประเภทที่4 Skid Hazard ส่วนใหญ่พื้นผิวทางจะลื่นเมื่อผิวถนนเปียกเนื่องจากมีชั้นน้ำบางๆ คั่นระหว่างผิวสัมผัสของยางล้อรถและผิวทาง นอกจากนี้ผิวทางที่มี Asphalt ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้า หรือวัสดุ Aggregate ถูกขัดสีจนเป็นมัน เป็นสาเหตุของถนนลื่นได้ ความเสียหายเนื่องจากถนนลื่นเกิดได้หลายสาเหตุดังนี้คือ

Bleeding or Flushing คือความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจาก Asphalt แยกตัวจากส่วนผสมลอยขึ้นสู่พื้นผิวทาง สาเหตุอาจเกิดจากปริมาณของยาง Asphalt ในส่วนผสมมากเกินไป หรืออาจมาจากสาเหตุอื่น

Lose of Cover Aggregate ผิวทางแบบ Surface Treatment ซึ่งเกิดการหลุดของหินออกจาก Asphalt จนเหลือแต่ยาง Asphalt เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผิวทางลื่น

Polished Aggregate คือความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุ Aggregate ที่ใช้ทำผิวทางถูกขัดสีจากการจราจรจนเรียบเป็นมันทำให้ผิวลื่น โดยเฉพาะเมื่อเกิดฝนตกหรือพื้นผิวทางเปียกการลื่นของผิวทางจะเพิ่มมากขึ้น อาจเกิดจากหินที่ใช้มีคุณสมบัติในการถูกขัดสีให้เรียบได้ง่าย โดยมีค่า PSV. (Polished Stone Value) ต่ำ หรือนำวัสดุจำพวกกรวดซึ่งไม่ได้ผ่านการโม่มาใช้ทำพื้นผิวจราจร

การประเมินค่าสภาพผิวทาง (Surface Evaluation Rating) ใช้หลักวิธีการประเมินจากความเสียหายของถนนที่สามารถมองเห็นบนพื้นผิวทาง(Visual Evaluation) โดยการจัดน้ำหนักคะแนน 0-10 คะแนน ตามสภาพผิวทางที่เลวมากไปจนถึงดีมากดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ค่าคะแนนระหว่าง 0-2 หมายถึงสภาพถนนซึ่งเลวมาก จนทำให้การขับขี่ยานพาหนะผ่านไปมาได้ด้วยความเร็วต่ำมาก ต้องใช้ความระมัดระวัง ความเสียหายปรากฏให้เห็นเป็นจำนวนมากได้แก่ รอยแตกแบบต่างๆ การเสียรูปถนนปรากฏอย่างชัดเจน การแตกร้าวและหลุดร่อนมีอยู่เป็นจำนวนมากจนเป็นอุปสรรคต่อการขับขี่ยานพาหนะ ความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อพื้นผิวทางทั้งหมดมากกว่าร้อยละ50

ตารางที่ 2 ค่าคะแนนประเมินของสภาพผิวทาง

Surface Evaluation Rating	สภาพผิวทาง
0 – 2	เลวมาก
2 - 4	เลว
4 - 6	พอใช้
6 - 8	ดี
8 – 10	ดีมาก

0-2 คะแนน จะต้องรื้อถนนเก่าออกแล้วสร้างใหม่ทันที

2-4 คะแนน บำรุงพิเศษ ปรับระดับผิวทางใหม่

4-6 คะแนน บำรุงปกติ , บำรุงพิเศษ หรือปรับระดับ

6-8 คะแนน บำรุงปกติ 8-10 คะแนน ซ่อมเฉพาะจุด

ค่าคะแนนระหว่าง 2-4 หมายถึงสภาพถนนที่เลว ผิวทางเป็นหลุมเป็นบ่อ ประเภท Pot holes , raveling , depression , rutting and corrugation , shoving and bleeding มีรอยซ่อมซึ่งไม่เรียบร้อยอยู่ทั่วไป เกิดความเสียหายต่างๆ รวมกันอยู่ระหว่างร้อยละ20-50 ของพื้นที่ผิวทางทั้งหมด ทำให้การจราจรผ่านไปด้วยความเร็วจำกัด ช้ากว่าที่ควรจะขับขี่ได้

ค่าคะแนนระหว่าง 4-6 หมายถึงสภาพที่พอใช้ได้หรือผิวทางที่มีสภาพดีพอสมควร ลักษณะความเสียหายแบบ Distortion และ Disintegration จำนวนน้อย สภาพผิวทางค่อนข้างดี ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปกติ สภาพของความเสียหายเกิดขึ้นร้อยละ5-20 ของพื้นที่ผิวทางทั้งหมด

ค่าคะแนนระหว่าง 6-8 หมายถึงสภาพที่ผิวทางดีมีสภาพเรียบ มีความเสียหายประเภท Corrugation and Rutting น้อยมาก ผู้ขับขี่ยานพาหนะไม่สามารถมองเห็นได้ ไม่มีความเสียหายจำพวก Pot holes , Raveling , Shoving , Alligator Cracks ไม่มีอุปสรรคต่อการใช้ความเร็วในการจราจรของยานพาหนะ

ค่าคะแนนระหว่าง 8-10 หมายถึงสภาพผิวทางดีเยี่ยม ไม่มีความเสียหายที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ความเร็วตามที่ออกแบบไว้ ถ้ามีรอยซ่อมแซมก็เป็นรอยซ่อมแซมที่ดีมาก การจราจรสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ขณะที่เกิดความสะดวกสบาย และปลอดภัยในการจราจร

การประเมินค่าสภาพพื้นผิวทางด้วยตาเปล่านี้ใช้วิศวกร 4 คน แต่ละคนประเมินค่าอย่างอิสระแล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าที่เหมาะสมทางสถิติ คะแนนที่ได้แสดงถึงสภาพถนนในช่วงต่างๆ ในลักษณะของสภาพดี – เลวของถนน

การตรวจสอบสภาพผิวทางด้วยสายตาได้คำนึงถึงความสะดวกสบายการจราจร ความเสียหายและความบกพร่องของผิวทางซึ่งมีผลต่อความรู้สึกของผู้ขับขี่ยวดยาน เช่น ในสภาพที่เลวมาก ผิวทาง

ขรุขระทำให้การจราจรเป็นไปอย่างล่าช้า ผิวทางมีการเสื่อมสภาพหลุดร่อน และเกิดหลุมบ่อทั่วไป แม้ว่าโครงสร้างจะมีความแข็งแรงเพียงพอเพียงใดก็จะต้องจัดให้อยู่ในลำดับความสำคัญสูง

2.2.3 ปริมาณการจราจร(Traffic Volume)และTraffic Rating

ปริมาณการจราจรคือส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ โครงสร้างของทาง , จำนวนช่องการจราจร รวมถึงความกว้างของช่องจราจรและความกว้างของไหล่ทาง นอกจากนี้ขนาดของน้ำหนักบรรทุกยังส่งผลกระทบโดยตรงต่อการทำลายโครงสร้างของทาง ยานพาหนะที่มีน้ำหนักมากย่อมทำให้เกิดความเสียหายได้มากกว่ายานพาหนะน้ำหนักน้อย จากข้อมูลทางสถิติพบว่าปริมาณรถบรรทุกหนัก(Heavy Vehicle) โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 40 ของปริมาณการจราจรทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงขึ้นทุกปี องค์ประกอบดังกล่าวเป็นดัชนีบ่งชี้ให้ทราบถึงความต้องการบำรุงทางในอนาคตมีปริมาณเพิ่มขึ้นเสมอ

การประเมินค่าเพื่อจัดลำดับ และปรับความเร่งด่วนในงานบำรุงทาง พิจาณาจากอัตราส่วนของปริมาณการจราจรปัจจุบัน (Traffic Volume) ต่อความสามารถในการรับปริมาณการจราจรได้สูงสุด (Capacity) ของทางหลวงแต่ละเส้นทาง โดยเปรียบเทียบปริมาณการจราจรในรูปของ PCU (Passenger Car Unit) ในที่นี้กำหนดให้รถบรรทุก 1 คัน มีค่าเท่ากับ 2.5 PCU บนถนนที่ออกแบบสำหรับความเร็วเฉลี่ย 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประเมิน (Traffic Rating) และอัตราส่วนของปริมาณการจราจร (V/C) ดังได้แสดงไว้ในตารางที่3

การประเมินค่า Traffic Rating หมายถึง ระดับความหนาแน่น และคล่องตัวของการจราจร เช่น สภาพเลวมาก แสดงถึงการจราจรที่เป็นไปโดยอัตราความเร็วไม่แน่นอน ความคล่องตัวน้อยมาก ในขณะที่สภาพดีมากจะมีความคล่องตัวของการจราจรสูงมากและเป็นไปโดยอิสระด้วยความเร็วเฉลี่ยไม่น้อยกว่าที่ออกแบบไว้ กรณีของ Traffic Rating 0-2 คะแนน หมายถึง ความหนาแน่นของปริมาณการจราจรมีมาก , ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความล่าช้าของการจราจรสูง , ไม่มีความคล่องตัวในการจราจร , ความสะดวกสบายในการขับขี่น้อยมาก , อุบัติเหตุเกิดขึ้นได้ง่าย และสิ่งสำคัญคือถนนจะถูกทำลายด้วยอัตราความเร่งที่สูงมาก ควรพิจารณาขยายหรือเพิ่มช่องจราจรขึ้นอีก หรือปรับชั้นประเภทของทางให้สูงขึ้นแล้วแต่ความเหมาะสม

ตารางที่ 3 ค่าประเมิน Traffic Rating ตามอัตราส่วนของปริมาณการจราจร (V/C)

สภาพที่ประเมิน	ค่าประเมิน	อัตราส่วนของปริมาณการจราจร(V/C)
เลวมาก	0-2	0.88-1.00
เลว	2-4	0.67-0.88
พอใช้	4-6	0.52-0.67
ดี	6-8	0.36-0.52
ดีมาก	8-10	0.20-0.36

0-2 คะแนน พิจารณาขยาย หรือเพิ่มช่องจราจร

2-4 คะแนน วางแผนขยายทาง และเน้นหนักในงานบำรุงทาง

4-6 คะแนน บำรุงปกติ และวางแผนระยะยาว

6-8 คะแนน บำรุงปกติ 8-10 คะแนน ซ่อมเฉพาะจุด

ความสามารถในการรับปริมาณการจราจรสูงสุด (Traffic capacity) ของทางหลวงแต่ละประเภทขึ้นอยู่กับจำนวนและความกว้างของช่องจราจร ซึ่งได้กำหนดไว้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยที่ความสามารถสูงสุดในการรับปริมาณการจราจรขึ้นอยู่กับความกว้างของช่องจราจร ดังนั้นกรณีที่ปริมาณการจราจรต่อช่องจราจรเกิน 4, 000 คัน ให้พิจารณาเพิ่มช่องจราจร

ตารางที่4 ความสามารถสูงสุดในการรับปริมาณจราจรต่อช่องจราจร

ความสามารถสูงสุดในการรับปริมาณ จราจร ต่อช่องจราจร		**ความกว้างของ ช่องจราจร(เมตร)**
A.D.T.	**P.C.U.**	
4,000	6,400	3.50
2,000	3,200	3.25
1,000	1,600	3.00
500	800	2.75

2.2.4 ความฝืดของผิวทาง (Skidding Resistance)

ความฝืดของผิวทางเป็นส่วนสำคัญที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการจราจรบนทางหลวง บนเส้นทางที่มีความลื่นมาก อาจเกิดอันตรายจากอุบัติเหตุได้ง่ายควรมีการปรับปรุงผิวทางให้ดีขึ้นหรือจัดลำดับความสำคัญในงานบำรุงทางโดยเร่งด่วนสำหรับเส้นทางที่ต้องการเสริมความแข็งแรงเพิ่มขึ้นหรือต้องการปรับระดับความเรียบ โดยการเพิ่มความหนาของผิวทางใหม่จะเป็นผลทำให้ความลื่นของถนนลดลงด้วย ความฝืดของผิวทางในการประเมินค่า (Rating Factor) ใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาตัดสินใจหรือปรับปรุงสภาพผิวทางเป็นกรณีพิเศษ เนื่องจากในปัจจุบันการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุคือสาเหตุการตายแบบฉับพลันและมีจำนวนสูงมาก เพียงวันเดียวอาจเป็นสาเหตุของการตายสูงกว่าสาเหตุการตายอย่างอื่นรวมกันทั้งปี ดังนั้นการจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงบูรณะทางหลวงให้เหมาะสมสอดคล้องกับความจริง โดยเน้นถึงความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนเป็นหลักคือจัดให้ค่าความฝืดของผิวทางเป็นเงื่อนไขกรณีพิเศษ หากตรวจวัดได้ค่าความฝืดต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดต้องทำการปรับปรุงแก้ไขทันที เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและป้องกันการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้บริการทางหลวง

เครื่องมือ Portable Skid Resistance Tester ตามมาตรฐานของ TRRL และ MU- meter คือ เครื่องมือตรวจวัดค่าของความต้านทานต่อการลื่นไถลของผิวทางซึ่งกรมทางหลวงนำมาใช้งาน สำหรับค่ามาตรฐานของการลื่นไถลบนผิวทางที่เปียกได้กำหนดค่าไว้อย่างต่ำ ต้องไม่น้อยกว่า 45 BNP (British Portable Number) สภาพผิวที่มีค่าต่ำกว่านี้นับว่าไม่ปลอดภัยสำหรับการจราจรที่มีความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ต้องทำการปรับปรุงผิวทางทันทีโดยการทำ Seal Coat โดยคำนึงถึงการเกิดอุบัติเหตุร่วมด้วย

หากเส้นทางใดมีค่าน้ำหนักประเมินรวมต่ำ หรือมีลำดับความสำคัญสูง และจำเป็นที่จะต้องทำการก่อสร้างผิวทางใหม่ ความฝืดของผิวทางก็จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบอื่นด้วย แต่ถ้าหากทางหลวงนั้นมีค่าน้ำหนักประเมินรวมสูงหรือลำดับความสำคัญต่ำ ต้องนำค่าความฝืดของพื้นผิวทางมาพิจารณาเพื่อทำการปรับปรุงผิวทางในด้านความฝืดเท่านั้น

การวัดค่าความต้านทานในการลื่นไถลของผิวทางบนถนนเปียก หากค่าที่วัดได้น้อยกว่า 45 BPN.(British Portable Number) ซึ่งถือเป็นภาวะวิกฤต (Critical Deficiency) จะต้องพิจารณาแก้ไขอย่างหนึ่งอย่างใดโดยทันทีคือ

ถ้าความแข็งแรงของโครงสร้างทางอยู่ในสภาพดี สภาพผิวทางดี ให้ทำ Seal Coat หรือปรับปรุง Friction ของผิวทางด้วยวิธีการที่เหมาะสม

ถ้าความแข็งแรงของโครงสร้างทางอยู่ในสภาพดี สภาพผิวทางเลว ให้ทำการปรับระดับ

ถ้าความแข็งแรงของโครงสร้างทางอยู่ในสภาพเลว สภาพผิวทางเลวหรือดี ให้ทำการเสริมความแข็งแรง ด้วยความหนาต่ำสุดตามข้อเสนอแนะ

การทำผิวทางใหม่ใช้วัสดุ Lime Stone จะมีอายุต่อการต้านทานการลื่นไถลประมาณ 3-4 ปี หรือประมาณ 2.5 ล้านเที่ยวขึ้นกับปริมาณการจราจร

2.2.5 ค่า Measured Deflection

ค่า Measured Deflection คือค่าการยุบตัวของถนนที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือ Benkelman Beam ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงในการหาค่า Deflection Rating ค่า Measured Deflection จะเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการใช้งานของถนนและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จำเป็นต้องทำการทดลองและรวบรวมข้อมูลสถิติตามระยะเวลา เพื่อศึกษาปรับปรุงค่า Deflection Rating ที่จะนำมาใช้งาน นอกจากสามารถนำค่า Measured Deflection มาใช้งานในการประเมินสภาพความแข็งแรงของถนนในปัจจุบันแล้ว ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อประเมินอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ และประเมินงบประมาณในการซ่อมบำรุงในอนาคตของถนนได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ลักษณะเด่นของค่า Measured Deflection คือสามารถทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Benkelman Beam ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีความคงทน ใช้งานง่าย ไม่มีเทคโนโลยีซับซ้อนยุ่งยาก สามารถซ่อมบำรุงได้โดยเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานในภาคสนาม อุปกรณ์ที่ใช้งานส่วนมากสามารถหาได้ภายในประเทศ

2.2.6 วิธีการจัดลำดับในการบำรุงทาง (Rating Method)

การพิจารณาจัดลำดับความเร่งด่วนในงานบำรุงทางขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ Deflection Rating , Surface Evaluation Rating และ Traffic Rating การวางแผนงานบำรุงทาง ต้องพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ร่วมกันตามระดับความสำคัญของตัวแปรทั้ง 3 ชนิด

2.2.6.1 Deflection Rating

ค่า Deflection เป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณา เนื่องจากความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจร ส่วนใหญ่แล้วขึ้นอยู่กับโครงสร้างของทางเมื่อค่า Deflection สูงมากกว่ามาตรฐานกำหนด แสดงว่าโครงสร้างทางไม่อยู่ในสภาพที่จะรับน้ำหนักจากการจราจรได้ ต้องเสริมความแข็งแรง และจัดความสำคัญในการบำรุงทางเป็นลำดับต้น ในทางตรงข้ามถ้าค่า Deflection ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด แสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างทางอยู่ในสภาพดี ไม่จำเป็นต้องเสริมความแข็งแรง ควรจัดลำดับความสำคัญของทางหลวงนั้นอยู่ในลำดับหลัง ค่า Deflection จึงถือเป็นดัชนีบ่งชี้สำหรับแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการปรับปรุงทางหลวงว่าควรอยู่ในระดับใด น้ำหนักของค่า Deflection Rating มีค่าเท่ากับ 0.40 เมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น

2.2.6.2 Surface Evaluation Rating

การตรวจสอบสภาพผิวทางด้วยสายตาโดยคำนึงถึงความสะดวกสบายสำหรับการจราจร , ความเสียหายและความบกพร่องของผิวทาง ซึ่งมีผลต่อความรู้สึกของผู้ขับขี่ยวดยาน กรณีสภาพพื้นผิวทางที่เป็นหลุมบ่อ ขรุขระทำให้การจราจรเป็นไปอย่างล่าช้า ผิวทางมีการเสื่อมสภาพหลุดร่อน ต้องจัดลำดับความสำคัญในการบำรุงทางเป็นลำดับต้น ในทางตรงข้ามหากผิวทางราบเรียบความเสียหายเกิดขึ้นน้อย การขับขี่ยานพาหนะเป็นไปด้วยความสะดวกสบาย รวดเร็ว และปลอดภัย ควรจัดลำดับความสำคัญของทางหลวงนั้นอยู่ในลำดับหลัง ค่า Surface Evaluation Rating จึงถือเป็นดัชนีบ่งชี้สำหรับแสดงให้เห็นถึงความสำคัญในการปรับปรุงทางหลวงว่าควรอยู่ในระดับสูงเทียบเท่ากับค่า Deflection Rating น้ำหนักของค่า Evaluation Rating มีค่าเท่ากับ 0.40

2.2.6.3 Traffic Rating

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อถนนคือปริมาณรถบรรทุกหนัก การประมาณจำนวนรถบรรทุกไว้เป็นประมาณร้อยละ 40 ของการจราจรเฉลี่ยบนทางหลวงทั่วประเทศ ทำให้จำนวนรถบรรทุกหนักเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการจราจรที่สูงขึ้น ปริมาณการจราจรที่สูงขึ้นจะเป็นตัวเร่งให้ถนนเกิดความเสียหายได้เร็วขึ้น Traffic Rating จึงถือเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งในการจัดการบริหารงานบำรุงทาง และกำหนดให้ Traffic Rating มีค่าเท่ากับ 0.20

การพิจารณาหาสูตรหรือสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นจุดร่วมองค์ประกอบของตัวแปรทั้งสามชนิดคือ Deflection Rating , Surface Evaluation Rating และ Traffic Rating โดยการให้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของทางและสภาพผิวทางมีน้ำหนักเท่ากันคือเท่ากับ 0.40 เนื่องจากความสำคัญขององค์ประกอบทั้งสองชนิดแสดงให้เห็นถึงความต้องการที่ต้องมีการปรับปรุง และมีระดับความสำคัญสูง ในขณะที่ปริมาณการจราจรเป็นตัวแปรที่มีลำดับความสำคัญและมีน้ำหนักน้อยกว่า มีค่าเท่ากับ 0.20

สูตรที่เหมาะสมในการจัดลำดับความสำคัญในงานบำรุงทางของกรมทางหลวงเป็นดังนี้

$$\mathbf{R_P = 0.4\,R_d + 0.4\,R_s + 0.2\,R_t}$$

เมื่อกำหนดให้ R_P = Pavement Rating Value

R_d = Deflection Rating

R_s = Surface Evaluation Rating

R_t = Traffic Rating

2.3 การซ่อมบำรุงทางตามระบบ TPMS โดยสังเขป

ระบบบริหารบำรุงทาง TPMS เป็นระบบบริหารบำรุงทางที่กรมทางหลวงได้นำมาใช้งาน เพื่อพัฒนาระบบงานบำรุงทางให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดของงบประมาณที่ได้รับ สายทางที่ต้องวางแผนงาน ตลอดจนปริมาณจราจรเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบ TPMS ของกรมทางหลวง ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานครั้งแรกในปีพ.ศ. 2526 โดยบริษัท John Borrow and Partners ของประเทศอังกฤษ ได้ทำการปรับปรุงจากระบบบริหารบำรุงทางBSM(Burrow and Snaith Maintenance System) ของประเทศอังกฤษ ให้สามารถใช้ได้กับลักษณะของถนนในประเทศไทย ระบบบริหารทาง TPMS จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นและทำการทดลองใช้ในการวางแผนงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2527 เมื่อได้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้วจึงนำมาใช้วางแผนงานจริงทั่วประเทศในปี พ.ศ. 2530

ระบบ TPMS ที่พัฒนาจากระบบ BSM แนะนำวิธีการซ่อมบำรุงทางและจัดลำดับความเสียหายโดยพิจารณาจากปริมาณความเสียหาย ลักษณะความเสียหาย และปริมาณการจราจร ขณะเดียวกันสามารถพิจารณาจากความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ได้ด้วย เพื่อทำการปรับปรุงวิธีการกำหนดแผนงานให้ได้วงเงินที่เหมาะสมสำหรับงานบำรุงบูรณะ กรมทางหลวงจึงได้ว่าจ้างบริษัท N.DLEA INTERNATIONAL LTD. จากประเทศแคนาดา เพื่อทำการปรับปรุงแนะนำหลักและวิธีการเพิ่มเติมในปี พ.ศ. 2534 โดยการช่วยเหลือด้านการเงินจากธนาคารพัฒนาแห่งเอเชีย (ADB) เพื่อพัฒนาปรับปรุงระบบ TPMS ในส่วนของเกณฑ์มาตรฐาน (Intervention Lexel) ให้ได้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์สูงสุด และจัดทำ Program Budgeting Module เพื่อนำข้อมูล TPMS ไปวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจวางแผนการ

ซ่อมบำรุงทาง โดยพิจารณาจากผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ได้ ซึ่งกองบำรุงได้นำระบบนี้มาใช้ในทุกสำนักทางหลวงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน

ระบบบริหารงานบำรุงทางในประเทศไทย หรือระบบ TPMS (Thailand Pavement Management System)เป็นระบบการบริหารงานบำรุงทางซึ่งกรมทางหลวงได้นำมาใช้ เพื่อช่วยในการจัดทำแผนงานบำรุงรักษาทางหลวงในประเภทของงานบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา และงานบำรุงพิเศษบางประเภท โดยมีองค์ประกอบดังนี้

การสำรวจเพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของทางตามระบบTPMS วิธีการสำรวจตามระบบTPMS ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. การสำรวจเบื้องต้นโดยใช้เครื่องมือง่ายๆ และการสำรวจด้วยตาเปล่า โดยหน่วยสำรวจสนาม หรือ FST (Field Survey Team) ซึ่งดำเนินการโดยเจ้าหน้าของหน่วยการทางแต่ละหมวดดำเนินการสำรวจเส้นทางที่อยู่ในความรับผิดชอบของตน จากนั้นส่งข้อมูลสภาพทางที่สำรวจได้ให้แขวงการทางรวบรวมและตรวจสอบความถูกต้องในขั้นต้นตอนแรกก่อน แล้วส่งต่อให้เขตการทางนำข้อมูลดังกล่าวเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล วิเคราะห์ข้อมูลแนะนำวิธีการซ่อมบำรุงสำหรับช่วงย่อยที่เสียหายเกินระดับมาตรฐานที่ตั้งไว้ พร้อมทั้งประมาณราคาซ่อมบำรุงและให้คะแนนความสำคัญของแต่ละช่วงย่อยที่ทำการสำรวจเพื่อใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในขั้นต่อไป

2. การสำรวจด้วยวิธีการละเอียดโดยใช้เครื่องมือเข้าไปทำการสำรวจซ้ำ หลังจากได้รับผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากหน่วย FST แล้ว โดยจะทำการสำรวจซ้ำช่วงที่มีความเสียหายมาก เพื่อให้แน่ใจอีกครั้งหนึ่ง ก่อนจะดำเนินการซ่อมบำรุง การสำรวจซ้ำในส่วนนี้จะดำเนินการโดยหน่วยประเมินผลงานภาคสนามหรือFEU (Field Evaluation Unit) ซึ่งจะสำรวจซ้ำโดยใช้วิธีการเดิมเช่นเดียวกับ FST แต่จะใช้เครื่องมือต่างๆ วัดความเสียหายอย่างละเอียด

ข้อมูลการสำรวจที่ได้จากหน่วย FEU จะถูกป้อนเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ผลอีกครั้งหนึ่ง ผลที่ได้นี้จะนำเอาไปใช้ประกอบการพิจารณาจัดทำแผนงานบำรุงรักษา และดำเนินการซ่อมบำรุงช่วงย่อยที่เสียหายต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามระบบ TPMS

ข้อมูลลักษณะทาง (Road Inventory)

เป็นข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางด้านวิศวกรรม ของช่วงย่อยที่ทำการสำรวจได้แก่ ความกว้างของผิวจราจร ความกว้างของไหล่ทาง ความยาวของช่วงย่อย ชนิดของวัสดุสร้างทางชนิดผิวทาง เป็นต้น ข้อมูลลักษณะทางจะถูกจัดเก็บใน Road Database ของกรมทางหลวงและได้จากการออกไปสำรวจโดยหน่วยสำรวจสนาม(Field Evaluation Team , FST) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด

ข้อมูลสภาพทาง (Road Condition)

ข้อมูลความเสียหายชนิดต่างๆ ที่ได้กำหนดขึ้น รวมถึงข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจอย่างละเอียดโดยใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ทำการบันทึกผลการสำรวจตามแบบฟอร์มที่กำหนด เพื่อใช้ประกอบกันในการวิเคราะห์สภาพความเสียหายของทางประกอบกันกับข้อมูลของหน่วยสำรวจภาคสนาม(FST)

ข้อมูลสภาพทางสามารถแบ่งออกได้ 6 ประเภทหลักดังนี้

1. ความเสียหายหนัก (Major Carriageway Deterioration)

    1.1 Alligator Crack 1.2 Corrugation 1.3 Depression

    1.4 Potholes 1.5 Bad Patching

2. ความเสียหายเบา (Minor Carriageway Deterioration)

    2.1 Longitudinal crack (wheel path) 2.2 Longitudinal crack (edge)

    2.3 Longitudinal crack (center of lane/carriageway)

    2.4 Transverse Crack

    2.5 Ravelling 2.6 Bleeding

3. ความเสียหายร่องล้อ (Wheel Truck Rutting)

4. ความเสียหายของขอบผิวทาง (Edge Carriageway Deterioration)

5. ความเสียหายไหล่ทาง (Shoulder Deterioration)

6. ความเสียหายไหล่ต่ำกว่าผิวทาง (Shoulder Edge Step)

การวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายของทางตามระบบ TPMS

การวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายของทางตามระบบ TPMS เป็นการรวมชนิดความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ซึ่งอยู่ในรูปของความเสียหายหลัก และความเสียหายรองมาทำการวิเคราะห์เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับค่าความขรุขระที่ได้จากค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล(International Roughness Index , IRI) และข้อมูลลักษณะทาง(Road Inventory) ทำให้สามารถวิเคราะห์และวางแผนการบำรุงทางได้

การรวมรวมข้อมูล (Data Collection)

ในการวิเคราะห์ลักษณะความเสียหายเพื่อจัดทำแผนการบำรุงทางตามระบบ TPMS Budgeting Module นั้นประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญคือ ข้อมูลลักษณะทาง (Road Inventory) และข้อมูลสภาพทาง (Road Condition) ซึ่งมีตัวแปรที่สำคัญดังนี้คือ

1. Condition Distress

ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง เช่น ผิวแตก(Cracking) ,หลุมบ่อ(Potnoies)และร่องล้อ(Rutting) เป็นต้น โดยในอดีตข้อมูลดังกล่าวนี้ใช้การสำรวจด้วยสายตาเป็นหลัก การวิเคราะห์สภาพความเสียหายของทางตามแนวทางระบบบริหารงานซ่อมบำรุงทางของกรมทางหลวง ที่กำลังดำเนินการนำเทคโนโลยี

มาใช้ในการตรวจวัดจะใช้เครื่องมือแทนการสำรวจด้วยสายตาคน โดยจะนำเอา Laser Profiler และเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายมาใช้ในการสำรวจข้อมูลความเสียหายของพื้นผิวทาง

2. Performance Condition

ตัวแปรที่นำมาใช้คือ ค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระหรือความเรียบสากลหรือค่า IRI (International Roughness Index) ซึ่งเป็นตัวแปรสะท้อนถึงคุณภาพของถนนที่มีผลต่อผู้ใช้รถ ทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายในการขับขี่ ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเดินทางและบำรุงรักษารถยนต์เนื่องจากการเสื่อมสภาพของรถยนต์ลดลง ข้อมูลแสดงสภาพของถนนที่มีผลต่อผู้ใช้รถนี้สามารถทำการตรวจวัดได้โดยใช้เครื่องมือ Laser Profilometer

3. Structural Condition

เครื่องมือซึ่งมีความก้าวหน้า เป็นที่ยอมรับ และนิยมใช้ในการตรวจวัดความสามารถในการรับน้ำหนักของถนนคือเครื่อง Falling Weight Deflectometer (FWD) โดยใช้หลักการคำนวณย้อนกลับจากผลการโก่งตัวของโครงสร้างทางที่ทำให้เกิดขึ้นด้วยแรงกระทำคงที่

4. Skidding Condition

เครื่องมือ Portable Skid Resistance Tester ตามมาตรฐานของ TRRL และ MU- meter คือเครื่องมือตรวจวัดค่าของความต้านทานต่อการลื่นไถลของผิวทาง สำหรับค่ามาตรฐานของการลื่นไถลบนผิวทางที่เปียกได้กำหนดค่าไว้อย่างต่ำ ต้องไม่น้อยกว่า 45 BNP (British Portable Number) สภาพผิวที่มีค่าต่ำกว่านี้นับว่าไม่ปลอดภัยสำหรับการจราจรที่มีความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

การวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุง (Treatment Determination)

การวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุงตามระบบ TPMS Budgeting Module นั้นจะทำการแนะนำวิธีการซ่อมบำรุงในแต่ละช่วงย่อยทุกๆ 200 เมตร วิธีการวิเคราะห์เพื่อหาวิธีซ่อมบำรุงที่ให้ผลทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด โดยมีหลักการคือ การหาค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการเดินทาง (Total Transportation Cost) ในเส้นทางที่วิเคราะห์ช่วงเวลาหนึ่งซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ค่าก่อสร้าง(Construction Cost) , ค่าบำรุงทาง(Maintenance Cost) และค่าใช้จ่ายในการใช้รถ(Vehicle Operating Cost)

1. ค่าก่อสร้าง (Construction Cost) หมายถึงค่าเวนคืนที่ดิน รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการก่อสร้างถนนทั้งหมด

2. ค่าบำรุงทาง (Maintenance Cost) หมายถึงค่าบำรุงทางทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่วิเคราะห์โครงการ โดยประกอบไปด้วยงานบำรุง 2 ส่วนคือ

2.1 งานบำรุงที่ต้องดำเนินการในทันที เพื่อซ่อมบำรุงทางที่ชำรุดเสียหายให้สามารถใช้งานได้ตามสภาพปกติ

2.2 งานบำรุงทางที่ต้องดำเนินตลอดช่วงที่วิเคราะห์โครงการ เพื่อรักษาสภาพทางให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ เช่นงาน Overlay เมื่อถนนมีค่า Roughness ตามเกณฑ์กำหนด

3. ค่าใช้จ่ายในการใช้รถ (Vehicle Operating Cost) ประกอบด้วย ค่าน้ำมัน ค่ายางรถ ค่าบำรุงรักษารถ ค่าเวลาในการเดินทาง และค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้รถยนต์

จากหลักการเลือกวิธีการซ่อมบำรุง ที่ทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายทั้งหมด(Total Transportation Cost) ทั้ง3 ส่วน มีมูลค่าต่ำที่สุด หรือยึดหลักผลตอบแทนทางเศรษฐกิจซึ่งเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับและสอดคล้องกับข้อจำกัดในด้านงบประมาณในการซ่อมบำรุง จึงมีการพัฒนาระบบการวิเคราะห์เพื่อการ

ตารางที่ 5 แสดง Treatment matrix สำหรับผิวทาง Asphaltic Concrete, Medium Strength

Roughness	**Deterioration**		**Traffic Range-AADT**							
Range IRI (m./Km.)	**Minor**	**Major**	**<200**	**201 -500**	**501 - 1,000**	**1,001 - 2,000**	**2,001 - 4,000**	**4,001 - 6,000**	**5,001 - 10,000**	**>10,000**
<3	<30%	<10%	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM	RM
	>30%	<10%	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal	Seal
		>10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-50
3-4	<30%	<10%	RM	RM	RM	RM	OL-50	OL-50	OL-50	OL-60
	>30%	<10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	OL-60
		>10%	Seal	Seal	Seal	Seal	OL-50	OL-50	OL-50	REH-AC
4-5	<30%	<10%	RM	RM	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	OL-60	REH-AC
	>30%	<10%	Seal	Seal	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	OL-60	REH-AC
		>10%	Seal	Seal	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	REH-AC	REH-AC
5-6			OL-50	OL-50	OL-60	OL-60	OL-60	OL-80	REH-AC	REH-AC
6-8			OL-50	OL-50	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
8-10			REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC
>10			REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-ST	REH-AC	REH-AC	REH-AC	REH-AC

REH-AC - Rehabilitation with Granular Base and 50 mm. Asphaltic Concrete

RM - Routine Maintenance

Seal - Slurry Seal or Surface Treatment

OL-50 - 50 mm. Asphaltic Concrete Overlay

OL-60 - 60 mm. Asphaltic Concrete Overlay

OL-80 - 80 mm. Asphaltic Concrete Overlay

REH-ST - Rehabilitation with Granular Base and DBST

ตัดสินใจวางแผนการซ่อมบำรุงทาง โดยพิจารณาจากผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ได้คือ ระบบ TPMS Budgeting Module โดยการปรับแก้การวิเคราะห์ความเสียหายของถนนตามระบบ HDM-lll ให้เป็นไปตามสภาพของถนนในประเทศไทย และได้จัดทำเป็นตารางในการคัดเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมที่สุด (Optimum Treatment Matrix) เพื่อใช้สำหรับ TPMS Budgeting Module ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5

การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization)

ระบบ TPMS Budgeting Module แนะนำวิธีการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมที่สุด (Optimum treatment) โดยแสดงค่า Benefit to Cost Ratio (B/C) และค่า Net Present Value (NPV) ของแต่ละช่วงย่อยขณะเดียวกันก็แนะนำวิธีการซ่อมบำรุงวิธีอื่นๆ ซึ่งให้ผลการตอบแทนน้อยกว่า ลดหลั่นกันลงไปอีก 2 ถึง 4 วิธี ผู้ดูแลรับผิดชอบในการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงสามารถเลือกวิธีการซ่อมบำรุงที่ให้ผลดีที่สุดและเหมาะสมกับการปฏิบัติงานในแต่ละท้องถิ่นได้

แนวทางในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ TPMS Budgeting Module ด้านคุณสมบัติและฟังก์ชั่นการใช้งานของโปรแกรม ระยะเริ่มต้นโปรแกรม TPMS Budgeting Module ถูกต้องพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ร่วมกับการสำรวจและวิเคราะห์สภาพทางตามระบบTPMS ต่อมาได้นำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ช่วยตัดสินเลือกวิธีและสายทางในการซ่อมบำรุง และวางแผนงานด้านบริหารงานซ่อมบำรุงในลักษณะคู่ขนานกัน เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4 การซ่อมบำรุงทางตามระบบ HDM-4 โดยสังเขป

ธนาคารโลกได้ทำการพัฒนาระบบบริหารงานบำรุงทาง HDM-lll (Highway Design and Maintenance Standards Model) ขึ้นโดยการรวบรวมวิธีการประเมินทางด้านวิศวกรรม และด้านเศรษฐศาสตร์เข้าด้วยกัน เพื่อใช้วางแผนงานบำรุงรักษาทาง รวมถึงระดับโครงข่ายสายทางทั้งหมด และได้ปรับปรุงรูปแบบให้ระบบบริหารงานบำรุงทางตอบสนองและเหมาะสมต่อผู้ใช้มากขึ้น จึงได้เปลี่ยนชื่อ HDM-lll(Highway Design and Maintenance Standards Model) เป็น HDM-4 (Highway Development and Management Tool) โดยได้ทำการขยายขอบเขตของระบบให้มีความสามารถในการวิเคราะห์แผนงานบริหารจัดการสายทาง และทางเลือกของโครงการซ่อมบำรุงที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีกว่า HDM-lll (Highway Design and Maintenance Standards Model)

บทบาทของระบบ HDM-4 ในงานบริหารจัดการสายทาง

การใช้ระบบบริหารงานบำรุงทางHDM-4 เพื่อการบริหารจัดการสายทางจะต้องทำการพิจารณาแต่ละขั้นตอนของกระบวนการบริหารจัดการสายทาง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรการบริหารจัดการ (Management Cycle) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ขั้นตอนการวางแผน (Planning)
- ขั้นตอนการกำหนดแผนงาน (Programming)
- ขั้นตอนการเตรียมการดำเนินงาน (Preparation)
- ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Operations)

การนำเครื่องมือ HDM-4 มาใช้เพื่อช่วยตัดสินใจแต่ละขั้นตอนของระบบงานบริหารจัดการดังกล่าวไว้ข้างต้นนั้นมีแนวทางการประยุกต์ใช้งานดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การประยุกต์ใช้ HDM-4 กับการบริหารจัดการสายทาง

ขั้นตอนการบริหารจัดการ	รายละเอียดทั่วไป	HDM-4
การวางแผน	ระบบวิเคราะห์ยุทธศาสตร์ ระบบวางแผนระดับโครงข่าย ระบบบริหารงานบำรุงทาง	HDM-4: Strategy Analysis
การกำหนดแผนงาน	ระบบการวิเคราะห์วิธีการซ่อมบำรุง ระบบบริหารงานบำรุงผิวทาง ระบบจัดสรรงบประมาณ	HDM-4: Program Analysis
การเตรียมการดำเนินงาน	ระบบวิเคราะห์โครงการ ระบบบริหารงานบำรุงผิวทาง ระบบบริหารงานบำรุงสะพาน ระบบการออกแบบผิวทาง ระบบการจัดซื้อจัดจ้าง	HDM-4: Project Analysis
การปฏิบัติงาน	ระบบบริหารจัดการโครงการ ระบบบริหารงานบำรุงทาง ระบบบริหารจัดการเครื่องจักรอุปกรณ์ ระบบการจัดการด้านการเงินและบัญชี	

รูปแบบการวิเคราะห์ของ HDM-4

รูปแบบการวิเคราะห์ของ HDM-4 อยู่บนหลักการของการวิเคราะห์สภาพผิวทางตลอดอายุการใช้งานของผิวทาง ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนคือ

1. การเสื่อมสภาพของทาง (Road Deterioration)
2. ผลจากการซ่อมบำรุงทาง (Road Work Effects)
3. ผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง (Road User Effects)

4. ผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม (Socio-Economic and Environmental Effets)

การเสื่อมสภาพของผิวทางอาจเกิดจากปัจจัยบางประการ ได้แก่ปริมาณการจราจร , สิ่งแวดล้อมของสายทาง และผลกระทบจากความไม่เพียงพอของระบบระบายน้ำ

อัตราการเสื่อมสภาพของผิวทางขึ้นอยู่กับลักษณะความเสียหายของผิวทาง เช่น รอยแตกร้าว ร่องล้อ และหลุมบ่อ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับนโยบายการซ่อมบำรุงที่ได้กำหนดในปีก่อน การเสื่อมสภาพของผิวทางเมื่อถนนเปิดใช้งานหรือมีการจราจรเกิดขึ้นในระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วสภาพผิวทางจะแสดงด้วยดัชนีแสดงระดับสภาพทาง ซึ่งดัชนีที่นิยมใช้เรียกว่าดัชนีความเรียบสากล (International Roughness Index.IRI)

สภาพผิวทางจะส่งผลต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางและสิ่งแวดล้อม โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ (Vehicle Operating Costs) , ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (Costs of Travel Time) และค่าใช้จ่ายของการเกิดอุบัติเหตุ (Costs to the Economy of Road Accidents)

ผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยสิ่งที่ปล่อยจากยานพาหนะ การใช้พลังงาน มลภาวะทางเสียง และประโยชน์ที่เกิดแก่สังคมเนื่องมาจากถนน ซึ่งประเมินค่าเป็นจำนวนเงินได้ยาก HDM-4 จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ปัจจัยอื่นที่ส่งผลทางอ้อมในการประเมิน เช่น ผลกระทบของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางประเภทต่างๆ เป็นต้น

การประยุกต์ใช้งาน HDM-4

1. การวิเคราะห์ยุทธศาสตร์ (Strategy Analysis)

หลักการของการวิเคราะห์ยุทธศาสตร์การซ่อมบำรุง เป็นการวางแผนงบประมาณที่ต้องการระยะยาวของแต่ละกลุ่มสายทาง ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือสภาพผิวทางและค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง โดยการจำแนกโครงข่ายสายทางออกเป็นกลุ่มสามารถแบ่งตามปัจจัยต่างๆดังนี้ คือ ปริมาณจราจร , ชนิดผิวทาง , สภาพผิวทาง , สภาพภูมิอากาศ และการใช้ประโยชน์ของสายทาง

การวิเคราะห์ยุทธศาสตร์ อาจสามารถใช้วิเคราะห์งบประมาณที่ต้องการในการซ่อมบำรุงของแต่ละสายทางภายใต้กรอบงบประมาณที่กำหนด โดยการประยุกต์ใช้รูปแบบการวิเคราะห์ดังนี้คือ วิเคราะห์งบประมาณที่ต้องการเพื่อให้สภาพทางเป็นไปตามมาตรฐาน และวิเคราะห์สภาพผิวทางภายใต้กรอบของงบประมาณที่แตกต่างกัน และจัดสรรงบประมาณตามกรอบงบประมาณที่ได้รับ

2. การวิเคราะห์แผนงาน (Program Analysis)

การจัดลำดับความสำคัญของสายทางที่จะนำมาวางแผนงานบำรุงรักษาแบบปีต่อปี หรือต่อเนื่องหลายปีภายใต้กรอบของงบประมาณที่กำหนด อาจเป็นการกำหนดแผนงานของสายทางหนึ่งแยกออกเป็นกิจกรรมซ่อมบำรุงของแต่ละช่วงสายทาง ภายหลังจากที่นำข้อมูลของแต่ละโครงการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์ด้วย HDM-4 จะทำให้สามารถเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตลอดอายุใช้งานของแต่ละแนวทางได้

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างการวิเคราะห์ยุทธศาสตร์กับการวิเคราะห์แผนงาน คือการวิเคราะห์แผนงานทำการกำหนดวิธีการบำรุงรักษาผิวทางของกลุ่มสายทางที่ได้จำแนกไว้ ส่วนการวิเคราะห์ยุทธศาสตร์ทำการวางแผนงานซ่อมบำรุงและงบประมาณในระยะยาว โดยมีวัตถุประสงค์ของการซ่อมบำรุงเหมือนกัน คือ การเลือกแผนงานซ่อมบำรุงที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดภายใต้เงื่อนไขค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางทั้งหมดต้องไม่มากกว่ากรอบงบประมาณที่กำหนด

การใช้ HDM-4 ช่วยในการวิเคราะห์แผนงาน อาจเป็นการวิเคราะห์แผนงานแบบต่อเนื่องหลายปีตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยใช้หลักการในการจัดลำดับความสำคัญตามค่าของผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C ratio) ซึ่งให้ค่าสัดส่วนมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่อค่าใช้จ่าย (NPV/C ratio) เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ทำให้เกิดค่าผลประโยชน์สูงสุดต่อค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการเรียงลำดับ

3. การวิเคราะห์โครงการ (Project Analysis)

การวิเคราะห์โครงการเกี่ยวข้องกับการประเมินค่าโครงการบำรุงทางของแต่ละทางเลือก ซึ่งอาศัยการประมาณการมูลค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ และทางด้านวิศวกรรมของถนนตามประเด็นต่างๆดังนี้คือ สภาพโครงสร้างทาง , การทำนายการเสื่อมสภาพและค่าใช้จ่ายตลอดอายุใช้งาน , ค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ของผู้ใช้ทาง และการเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ของแต่ละโครงการ

4. แบบจำลองย่อยของ HDM-4

โครงสร้างของ HDM-4 ประกอบด้วยแบบจำลองย่อยหลายแบบจำลองโดยได้รับข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์จากระบบจัดการข้อมูล (Data Managers) ดังนี้คือ กำหนดโครงข่ายถนน (Road Network) , กำหนดพฤติกรรมการสัญจรของยวดยาน (Vehicle Fleet) , กำหนดการซ่อมบำรุง (Road Works) และกำหนดการตั้งค่าของ HDM (HDM Configuration)

HDM-4 สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความถูกต้องหรือเหมาะสม สำหรับแบบจำลองการวิเคราะห์ในเชิงเทคนิคประกอบด้วยแบบจำลองย่อย 4 แบบดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง(Road Deterioration , RD)คือการทำนายการเสื่อมสภาพสำหรับถนนลาดยาง คอนกรีต หรือลูกรัง

2. แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Work Effects , WE) เป็นการสมมติผลจากการซ่อมบำรุงทางที่มีต่อสภาพทาง และค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

3. แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง(Road User Effects , RUE) ได้แก่ค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ (Vehicle Operating Costs , VOC) , ค่าใช้จ่ายของการเกิดอุบัติเหตุ (Road Accident Cost) และค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (Travel Time Costs , TTC)

4. แบบจำลองผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม (Social and Environmental Effects , SEE) คือผลกระทบจากมลภาวะที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะและการใช้พลังงานที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม

แบบจำลองจะสมมติแผนงานสำหรับทุกช่วงสายทางแบบปีต่อปี สภาพผิวทาง และทรัพยากรที่ต้องการในการซ่อมบำรุงภายใต้แต่ละแผนงาน หลังจากที่ได้ทำการหาปริมาณงาน การซ่อมบำรุง การใช้

ยานพาหนะและค่าใช้จ่ายอื่นแล้ว ต้องทำการวิเคราะห์ด้วยมุมมองทางด้านการเงินและด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินผลประโยชน์ของแต่ละทางเลือกภายใต้วิธีการมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทน

แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทางและสิ่งแวดล้อมในHDM-4

(Modeling Road User and Environmental Effect In HDM-4)

HDM-4 ได้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อช่วยในการเปรียบเทียบการประมาณค่าใช้จ่ายและประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกที่หลากหลายในการบริหารจัดการสายทาง ทำให้เกิดผลประโยชน์สูงสุดทั้งต่อผู้ลงทุนหรือกรมทางหลวง และผู้ใช้ทาง รวมถึงสภาพแวดล้อมของถนน

การประเมินคุณค่าทางเศรษฐศาสตร์ของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง

การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากต่อประเทศกำลังพัฒนา เนื่องจากในรอบ 30 ปีที่ผ่านมา ทางธนาคารโลกได้กำหนดเกณฑ์การขอรับการสนับสนุนทางด้านการเงิน เพื่อใช้ในการลงทุนต้องมีการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบการพิจารณา

การประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ต้องคำนวณผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้น จากการลงทุนของโครงการ โดยพิจารณาจากการลดค่าใช้จ่ายในการคมนาคมขนส่ง ได้แก่

1. ค่าใช้จ่ายของยายพาหนะ (Vehicle Operating Costs , VOC) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการคมนาคมขนส่งทางถนน ได้แก่ ค่าเชื้อเพลิง ค่าน้ำมัน ค่าอะไหล่ ค่าแรง ค่าน้ำมันหล่อลื่น และค่าใช้จ่ายอื่นๆ นอกจากนี้อาจรวมถึงมูลค่าของเวลาในการเดินทางและค่าพนักงานประจำรถ

2. ผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง (Road User Effects , RUE) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ แต่จะพิจารณาถึงมูลค่าที่ยากต่อการประเมินคือ ความปลอดภัย และค่าใช้จ่ายทางสังคม

3. ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (Road User Costs , RUC) คือมูลค่ารวมของทั้งค่าใช้จ่ายของยานพาหนะ และผลกระทบต่อผู้ใช้ทาง

4. ผลกระทบจากการเสื่อมสภาพของผิวทางและการบำรุงรักษา (Road Deterioration and Work Effects , RDWE)

ผลกระทบต่อผู้ใช้ทางในแบบจำลอง HDM-4

แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทางใน HDM-4 ได้มีการปรับปรุงจาก HDM-lll ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้มีการเพิ่มเติมผลของปริมาณจราจรซึ่ง HDM-lll ไม่ได้คำนึงถึงผลของการจราจรติดขัด แต่จะคิดเฉพาะสภาพที่การจราจรเคลื่อนตัวได้อย่างอิสระ (Free-Flowing Trafflc) ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของการใช้ยานพาหนะคืออัตราการสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายอื่นคลาดเคลื่อนไปมาก

แบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทางใน HDM-4 จึงได้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมจาก HDM-lll ได้แก่

ผลของการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของยานพาหนะ , การพิจารณาผลกระทบจากการจราจรติดขัด , ปรับปรุงแบบจำลองการคิดค่าแรง และค่าอะไหล่จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยี , การปรับปรุงการคิดค่าเสื่อมราคา ดอกเบี้ย และค่าใช้จ่ายส่วนกลาง , การพิจารณาถึงผลของความปลอดภัย , การพิจารณาผลของความล่าช้าค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางที่เพิ่มขึ้นระหว่างทำการปรับปรุงหรือซ่อมแซมถนน , เพิ่มเติมแบบจำลองอัตราเร็วและผลกระทบจากมลภาวะทางเสียง และการกำหนดตัวแทนของยานพาหนะ

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแบบจำลองผลกระทบต่อผู้ใช้ทางและสิ่งแวดล้อม

1. แรงต้านการเคลื่อนที่ (Force Opposing Motion) การประมาณค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทางคำนวณจากแบบจำลองทางกลศาสตร์โดยใช้การคำนวณแรงต้านทานการเคลื่อนที่รวม ได้ แก่ แรงต้านทานอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic Drag Resistance , Fa) , แรงการหมุนของล้อ (Rolling Resistance ,Fr) , แรงต้านหรือแรงเสริมการเคลื่อนที่เนื่องจากความชันของทาง(Gradient Resistance , Fg) , แรงต้านทานการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลาง (Curvature Fesistance , Fc) , และแรงเฉื่อย (Inertial Resistance , Fi) โดยอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ของแรงรวม (Total Force , Ft)

$$Ft = Fa + Fr + Fg + Fc + Fi$$

2. อัตราเร็วอิสระ (Free Speeds) ประโยชน์ที่สำคัญในการประเมินมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์คือการประหยัดเวลาในการเดินทาง ซึ่งเป็นผลจากการเดินทางด้วยอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น โดยตัวแปรที่มีผลต่ออัตราเร็วของการขับขี่ได้แก่ สภาพถนน , ผู้ขับขี่ยานพาหนะ , ยานพาหนะ , สภาพการจราจร , สภาพแวดล้อมของสายทาง และสภาพอากาศ ตลอดจนข้อจำกัดในการขับขี่อื่น

ตัวแปรที่สำคัญและมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราเร็วในการขับขี่คือสภาพของถนนได้แก่ การขึ้นเนิน, ลงเนิน , การเลี้ยวโค้ง , ความขรุขระของผิวทาง ,ระยะมองเห็นและขนาดความกว้างของถนนเป็นต้น

แบบจำลองความเร็วอิสระใน HDM-4 ประกอบด้วย

2.1 ข้อจำกัดของความเร็วเนื่องจากการขับขี่(VDRIVE)ขึ้นกับแรงต้านทานอากาศพลศาสตร์ , แรงการหมุนของล้อ และแรงต้านหรือแรงเสริมการเคลื่อนที่เนื่องจากความชันของทาง

2.2 ข้อจำกัดของความเร็วเนื่องจากพลังงานในการหยุดรถ(VBRAKE) ขึ้นอยู่กับความลาดชันของถนนและความเร็วของการขับขี่

2.3 ข้อจำกัดของความเร็วเนื่องจากความโค้ง(VCURVE) ขึ้นกับรัศมีความโค้งของถนน

2.4 ข้อจำกัดของความเร็วเนื่องจากความขรุขระ (VROUGH) ขึ้นกับความขรุขระของผิวทาง

2.5 ข้อจำกัดของความต้องการความเร็ว (VDESIR) ขึ้นกับความกว้างของช่องจราจรจำนวนช่องจราจร , แรงเสียดทานของถนน , การสัญจรของยานพาหนะที่ไม่มีเครื่องยนต์ และการจำกัดความเร็ว

3. ผลกระทบเนื่องจากปริมาณจราจร จะมีผลต่อการลดลงของอัตราเร็วอิสระ ซึ่งจะเป็นผลให้ค่าเชื้อเพลิง , ค่ายาง และเวลาในการเดินทางเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้เกิดจากความจำกัดของความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของถนนแต่ละสาย

การประมาณค่าความจุของถนนในแบบจำลอง HDM-4 จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่1 ความเร็วคงที่ของยานพาหนะ (Nominal Speed) และรูปแบบที่2 ความเร็วสูงสุดของยานพาหนะ (Ultimate Capacity) นอกจากนี้ปริมาณจราจรยังมีผลต่อความเร็ว ซึ่งจะก่อให้เกิดมลภาวะทางเสียงต่อสภาพแวดล้อม

4. การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง เกิดจากตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ ความชัน , ความขรุขระของผิวทาง , ลักษณะของเนื้อผิวทาง และรัศมีความโค้ง

5. การสิ้นเปลืองของยาง เกิดจากตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ สภาพผิวทาง แนวของเส้นทาง , สภาพการจราจร , น้ำหนักบรรทุก , สภาพอากาศ และคุณสมบัติของยาง

6. ค่าบำรุงรักษาซ่อมแซมยานพาหนะ
7. อายุการใช้งาน
8. ค่าโสหุ้ย
9. ค่าน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์
10. ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง
11. ความปลอดภัย

ผลกระทบในรูปของมลภาวะต่างๆ มลภาวะจากยานพาหนะได้แก่ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ตะกั่ว และฝุ่นละอองอื่นๆ ที่เกิดจากยานพาหนะ

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทางและผลกระทบจากการบำรุงรักษาทางใน HDM-4

แบบจำลองการเสื่อมสภาพของผิวทาง และผลกระทบการบำรุงรักษาทาง แสดงความสัมพันธ์ของการเสื่อมสภาพและผลกระทบจากการซ่อมบำรุงทางในลักษณะของพฤติกรรมของผิวทาง การจราจร และสภาพแวดล้อม HDM-4 ทำการแบ่งประเภทของผิวทางอย่างเป็นระบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

การจำแนกประเภทผิวทาง (Surface Category) แบ่งผิวทางออกเป็น 2 แบบ คือมีผิวทาง และไม่มีผิวทาง

การจำแนกชั้นของผิวทาง (Surface Class) ทำการแบ่งชั้นของผิวทางออกเป็น , ผิวทางคอนกรีต ผิวทางลาดยาง , ผิวทางที่ปูด้วยก้อนคอนกรีตและผิวทางที่ไม่มีการยึดประสาน

การจำแนกชนิดของผิวทาง (Pavement Type) แบ่งชนิดของผิวออกเป็นผิวทางลาดยาง 10 ชนิด ผิวทางคอนกรีต 4 ชนิด ผิวทางที่ปูด้วยก้อนคอนกรีต 4 ชนิด และผิวทางที่ไม่มีการยึดประสาน 4 ชนิด

การจำแนกประเภทของพื้นผิว (Surface Type) แบ่งเป็นพื้นผิวลาดยาง 2 กลุ่มคือ แอสฟัลติกมิกซ์และเซอร์เฟตทรีตเมนต์ พื้นผิวคอนกรีตแบ่งเป็น 4 ประเภทคือพื้นผิวที่ปูด้วยก้อนคอนกรีต 2 ประเภท และพื้นผิวที่ไม่มีการยึดประสาน 2 ประเภท

การจำแนกประเภทของวัสดุพื้นผิว (Sutface Material) ขึ้นกับการกำหนดของผู้ใช้

การจำแนกประเภทของชั้นพื้นทาง (Base Type) ทำการจำแนกออกเป็น 8 ประเภท

การจำแนกประเภทวัสดุชั้นพื้นทาง (Base Material) ขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้ใช้

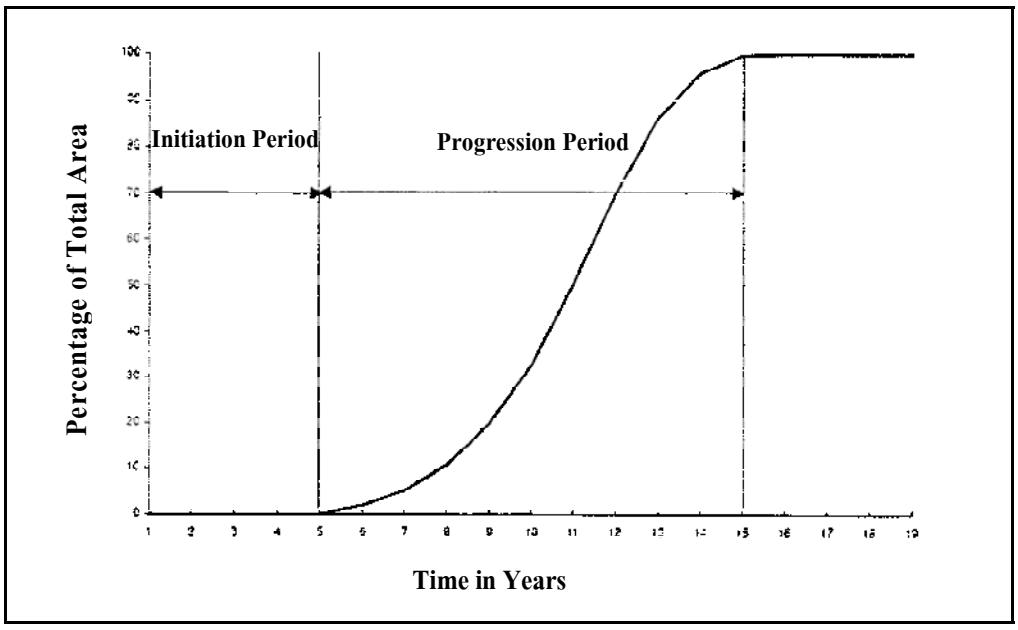
รูปแบบของแบบจำลอง

วิธีการพัฒนาแบบจำลองใน HDM-4 มีหลายวิธีการ แต่วิธีการที่นิยมใช้มีดังนี้

1. แบบจำลอง Structural Empirical เป็นวิธีการที่ค่อนข้างแม่นยำและเฉพาะเจาะจงในแต่ละกรณีเนื่องจากพัฒนาจากข้อมูลทางสถิติจำนวนมากซึ่งอ้างอิงตามหลักทฤษฎี

2. แบบจำลอง Incremental เป็นแบบจำลองที่ทำนายสภาพที่เปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ โดยแบบจำลองนี้จะทำนายการเปลี่ยนแปลงของความแข็งแรงของทางตามระยะเวลาต่างๆ หรือปริมาณการจราจรที่แตกต่างกัน

แบบจำลองความเสียหายของผิวทาง (Pavement Distress) โดยการเสื่อมสภาพของผิวทาง สามารถอธิบายความเสียหายของผิวทาง และการเพิ่มขึ้นของความเสียหายดังได้แสดงไว้ในรูปที่5 ซึ่งแบบจำลองย่อยใน HDM นี้จะสามารถจำแนกอย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้ การเริ่มต้นเกิดรอยแตกร้าว และการ



รูปที่5 การเริ่มต้นเกิดความเสียหายและอัตราเพิ่มขึ้นของความเสียหาย

เพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าว , การเริ่มต้นเกิดร่องล้อ และการเพิ่มขึ้นของร่องล้อ , การยุบตัวเป็นแอ่ง , การเริ่มต้นเกิดหลุมบ่อ และการเพิ่มขึ้นของหลุมบ่อ ตลอดจนการเพิ่มขึ้นของความขรุขระ

พฤติกรรมของโครงสร้างทาง สภาพแวดล้อมของสายทาง และปริมาณการจราจร

การเสื่อมสภาพของพื้นผิวทางลาดยาง เกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายประการ สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและความเสียหายต่อพื้นผิวทางลาดยาง แบ่งออกเป็น 2 ประการคือ เกิดจากผลกระทบของโครงสร้างทางเนื่องจากลักษณะของสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม และเกิดจากผลกระทบของการจราจร

โครงสร้างทาง (Pavement Structure) ลักษณะของโครงสร้างทางที่ใช้ในแบบจำลอง HDM-4 ประกอบด้วยความแข็งแรงของชั้นผิวทาง , ลักษณะของชั้นผิวทาง , การเลือกวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุโครงสร้างทาง

1. ความแข็งแรงของโครงสร้าง สามารถวัดได้โดย Modified Structural Number (SNC) ซึ่งเป็นผลรวมของความแข็งแรงของโครงสร้างทางแต่ละชั้น โดยตัวแปรที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างทางแต่ละชั้น ได้แก่ ชนิดของวัสดุ , ความหนาของโครงสร้างทาง และการระบายน้ำ

2. คุณสมบัติของชั้นทาง (Layer Properties) ประกอบด้วยความหนาของชั้นทางและดัชนีการบดอัดผิวทาง (Compaction Index of Pavement , COMP)

3. คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม และปริมาณของวัสดุยึดประสาน

4. ชนิดของผิวทาง

5. ชนิดของวัสดุพื้นทาง

6. คุณภาพของการก่อสร้าง

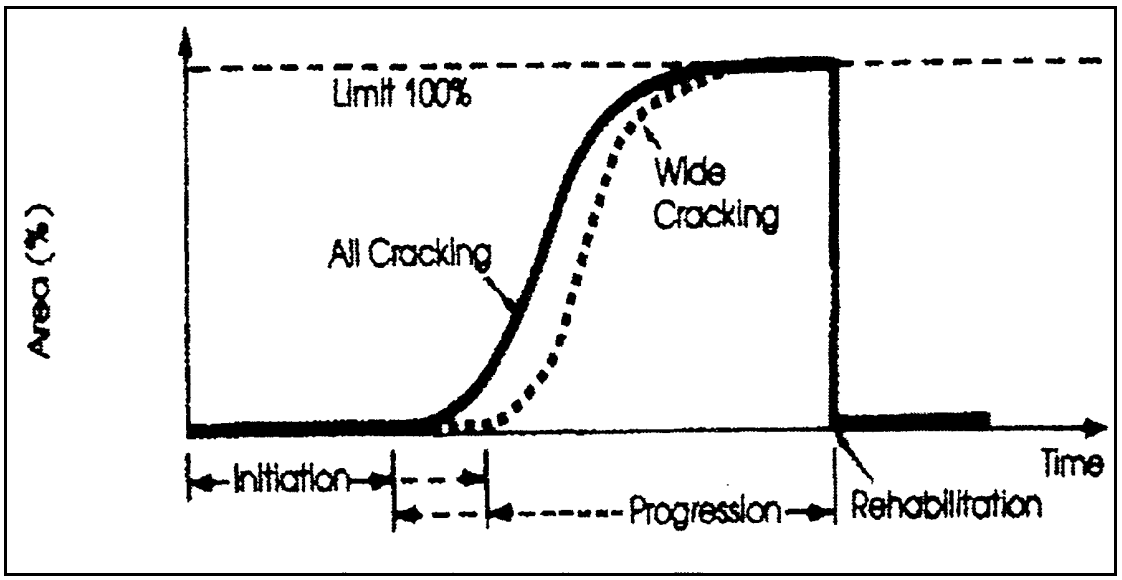
7. ประวัติของผิวทาง

ผลกระทบจากสภาพอากาศ และสภาวะแวดล้อม(Climatic and Environmental Effects) ส่งผลต่อความเสียหายของพื้นผิวทางได้โดยทางตรงและทางอ้อม เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการเกิดรอยแตกร้าว , ร่องล้อ , การแยกตัวของวัสดุเชื่อมประสาน , การอ่อนตัวของวัสดุเชื่อมประสานทำให้กำลังของชั้นผิวทางลดลง รวมถึงการกัดเซาะชั้นพื้นผิวทางให้สึกกร่อนและสูญเสียความแข็งแรงเป็นต้น

ลักษณะของการจราจร (Traffic Characterization) การจราจรซึ่งส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของพื้นผิวทางด้วยปัจจัยและระดับของความเสียหายที่แตกต่างกันคือ ชนิดของยานพาหนะ น้ำหนักของยานพาหนะจำนวนเพลา และลักษณะการติดตั้งยางเป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าทุกครั้งที่มีการวิ่งผ่านของยานพาหนะจะส่งผลให้ผิวทางเสื่อมสภาพลง แต่ระดับของการเสื่อมสภาพยากต่อการวิเคราะห์เนื่องจากลักษณะของยานพาหนะแต่ละคันแตกต่างกัน จึงได้นำวิธีการจำแนกประเภทของยานพาหนะและประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากยานพาหนะแต่ละประเภท โดยอาศัยหลักการของน้ำหนักเพลามาตรฐาน (Equivalent Standard Axie , ESA)

การแตกร้าวของผิวทางลาดยาง (Cracking in Bituminous Pavement)

การเกิดรอยแตกร้าวของผิวทางเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ถนนเกิดความเสียหาย เนื่องจากเมื่อเกิดรอยแตกร้าวแล้วจะทำให้ความชื้น สามารถผ่านเข้าไปยังโครงสร้างทาง ส่งผลให้ความแข็งแรงของถนนลดลง การจำแนกประเภทตามลักษณะของรอยแตกร้าวสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทคือ รอยแตกหนังจระเข้ รอยแตกตามยาว และรอยแตกตามขวาง เป็นต้น การเกิดรอยแตกร้าวของพื้นผิวทางส่วนมากเกิดขึ้นเมื่อเปิดการใช้งานแล้วเป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือมีปริมาณการจราจรเกิดขึ้น เมื่อความเสียหายเกิดขึ้นจนไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไป จำเป็นต้องทำการซ่อมบำรุงให้พื้นผิวทางอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานได้เป็นปกติ สภาพของพื้นผิวทางจะกลับมาใช้งานได้ดีตามปกติ แบบจำลองพฤติกรรมของพื้นผิวทางที่เกิดความเสียหายและได้รับการบำรุงรักษาอย่างดีจนใช้งานได้ตามปกติ แสดงไว้ในรูปที่ 6



รูปที่6 การเริ่มเกิดรอยแตกร้าวและอัตราการเกิดรอยแตกร้าวของถนนลาดยาง (Peterson ,1987)

แบบจำลองรอยแตกร้าวของถนนลาดยางใน HDM-4

กลไกสำคัญที่ทำให้เกิดรอยแตกร้าวแต่ละประเภทเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองรอยแตกร้าวจึงต้องสัมพันธ์กับสาเหตุของรอยแตกร้าว กลไกการเกิดรอยแตกร้าวที่สำคัญคือ รอยแตกร้าวที่เกิดจากโครงสร้างพื้นผิวทาง , รอยแตกร้าวที่เกิดจากอุณหภูมิ และรอยแตกร้าวจากการสะท้อนกลับซึ่งมีรายละเอียดของแบบจำลองรอยแตกร้าวตามแนวทางการศึกษาวิจัย และมาตรฐานของ HDM-4 ดังต่อไปนี้

1. รอยแตกร้าวโครงสร้างชั้นผิวทาง (Pavement Structural Cracking)

รอยแตกร้าวโครงสร้างชั้นผิวทางที่เกิดจากน้ำหนักยานพาหนะกระทำ สามารถทำการตรวจวัดรอยแตกร้าวประเภทนี้ได้โดยตรวจวัดเป็นร้อยละของพื้นที่ เรียกว่าเลขรอยแตกร้าว (Crack Numeric , ACX) โดยจำแนกเป็นระยะเวลาที่เริ่มเกิดรอยแตกร้าว (Structural Crack Initiation , ICX) ซึ่งจะแสดงระยะเวลาที่ผิวทางเริ่มเกิดรอยแตกร้าวหลังจากที่เปิดใช้งาน และปริมาณการเกิดรอยแตกร้าว (Structural Crack Progression , ACX) เป็นการคำนวณหาปริมาณรอยแตกร้าวที่เวลาใดๆ โดยใช้ CRX เป็นตัวแทนของปริมาณรอยแตกร้าว

2. รอยแตกร้าวตามยาว (Longitudinal Cracking)

ลักษณะของรอยแตกร้าวจำแนกได้ยาก เนื่องจากถูกจัดเข้าประเภทของรอยแตกร้าวโครงสร้างทาง ส่วนใหญ่จะเกิดที่ขอบผิวทางหรือตามรอยร่องล้อ และอาจเป็นสาเหตุของการเริ่มต้นเกิดรอยแตกร้าวแบบหนังจระเข้ได้ นอกจากนี้สาเหตุของการเกิดรอยแตกร้าวตามยาวนี้มีหลายประการ ทำให้การทำนายลักษณะของรอยแตกร้าวประเภทนี้ไม่สามารถใช้ใน HDM-4 ได้

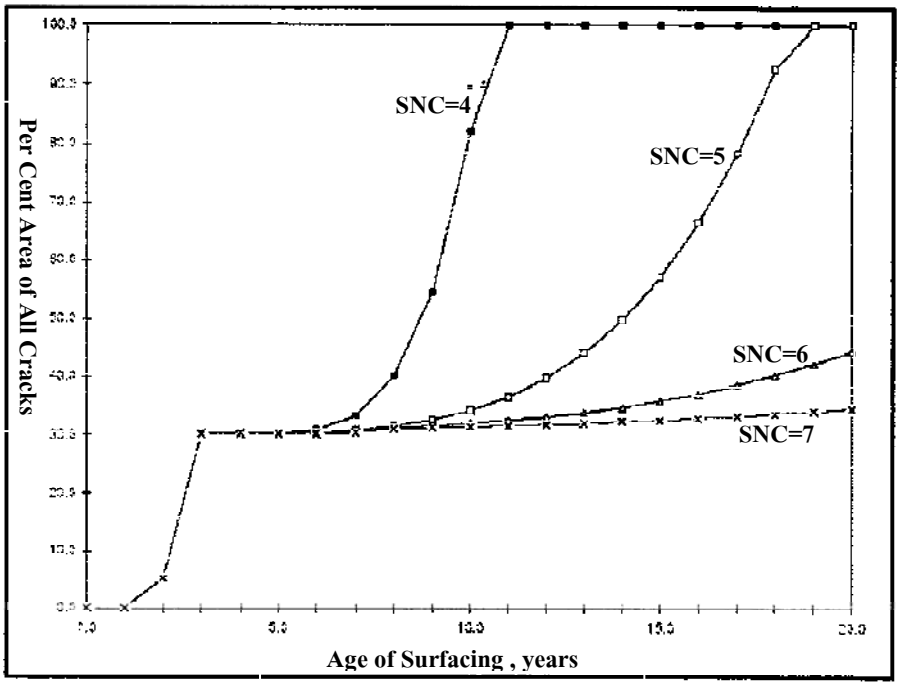
3. รอยแตกร้าวตามขวาง (Transverse Cracking)

รอยแตกร้าวตามขวางหรือรอยแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal Cracking) เกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการได้แก่ การหดตัวของผิวทางเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ และการแยกตัวของชั้นทาง การวัดปริมาณรอยแตกร้าวประเภทนี้ ตรวจวัดเป็นความยาวของรอยแตกร้าวต่อกิโลเมตรของช่วงสายทาง แบบจำลองของรอยแตกร้าวตามขวาง(Modeling Transverse Thermal Cracks , ACT) เป็นความสัมพันธ์กับสัดส่วนระหว่างความกว้างถนนกับระยะห่างระหว่างรอยแตกร้าว(Crack Spacing , CRKSPACE)

4. รอยแตกร้าวตามรอยแตกเดิมของผิวทางชั้นล่าง(Reflection Cracking)

สาเหตุของรอยแตกร้าวเกิดจากการแยกตัวของโครงสร้างใต้ชั้นผิวทาง หรือจากการหดตัวของโครงสร้างใต้ชั้นผิวทาง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น การคำนวณหาระยะเวลาที่เริ่มเกิดรอยแตกร้าวประเภทนี้แทนด้วยค่า ICR การเปลี่ยนแปลงของร้อยละของรอยแตกร้าวในช่วงเวลาหนึ่งแทนด้วย Δ ACR โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้สามารถใช้กับผิวทางบางประเภทเท่านั้น

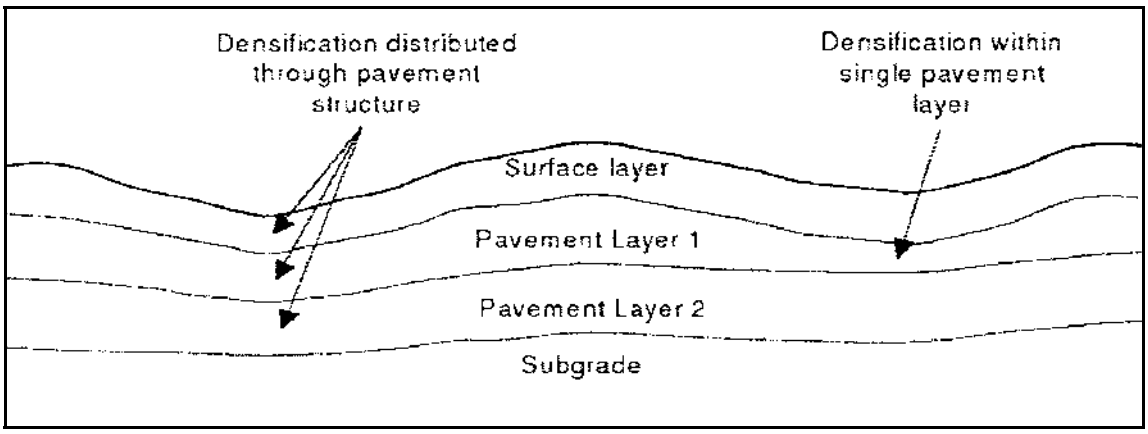
5. การวัดรอยแตกร้าวรวมทุกประเภท (Combining Crack Measure) พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างทำให้เกิดรอยแตกร้าวรวมทุกประเภทหรือACA ของถนนลาดยางเปลี่ยนแปลงไปตามอายุการใช้งานของถนน และความแข็งแรงของโครงสร้างทาง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่7 ผลรวมของการวัดรอยแตกร้าวทุกประเภทใน HDM-4

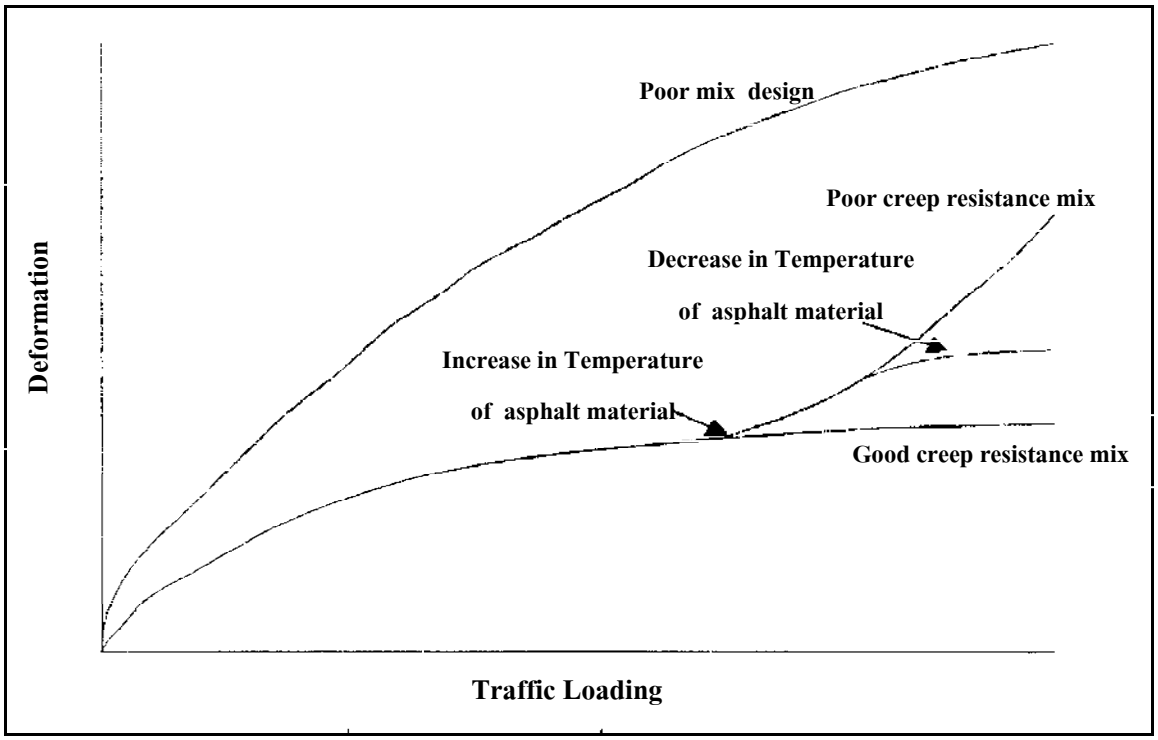
แบบจำลองความลึกของร่องล้อใน HDM-4 (Rut Depth Model for HDM-4)

การเกิดของร่องล้อเป็นความเสียหายของพื้นผิวทางที่เกิดขึ้นอย่างถาวร ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนตัวของวัสดุใต้ชั้นผิวทาง อันเป็นผลมาจากการบดอัดระหว่างการก่อสร้างไม่เพียงพอ หรือโครงสร้างทางเกิดการเคลื่อนตัวแบบพลาสติก ทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ ดังแสดงในรูปที่8



รูปที่8 ลักษณะของการเกิดร่องล้อบนพื้นผิวทางลาดยางใน HDM-4

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดร่องล้อในถนนลาดยาง ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้นเมื่อมีน้ำหนักเนื่องจากการจราจรมากระทำ พฤติกรรมการเปลี่ยนรูปร่างของถนนลาดยางมักขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้คือ อัตราส่วนผสมของตัวเชื่อมประสาน , ปริมาณของโพรงอากาศ , ชนิดและปริมาณของมวลรวม และอุณหภูมิ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนรูปร่างกับการเปลี่ยนรูปร่างของถนนลาดยางได้แสดงไว้ในรูปที่ 9

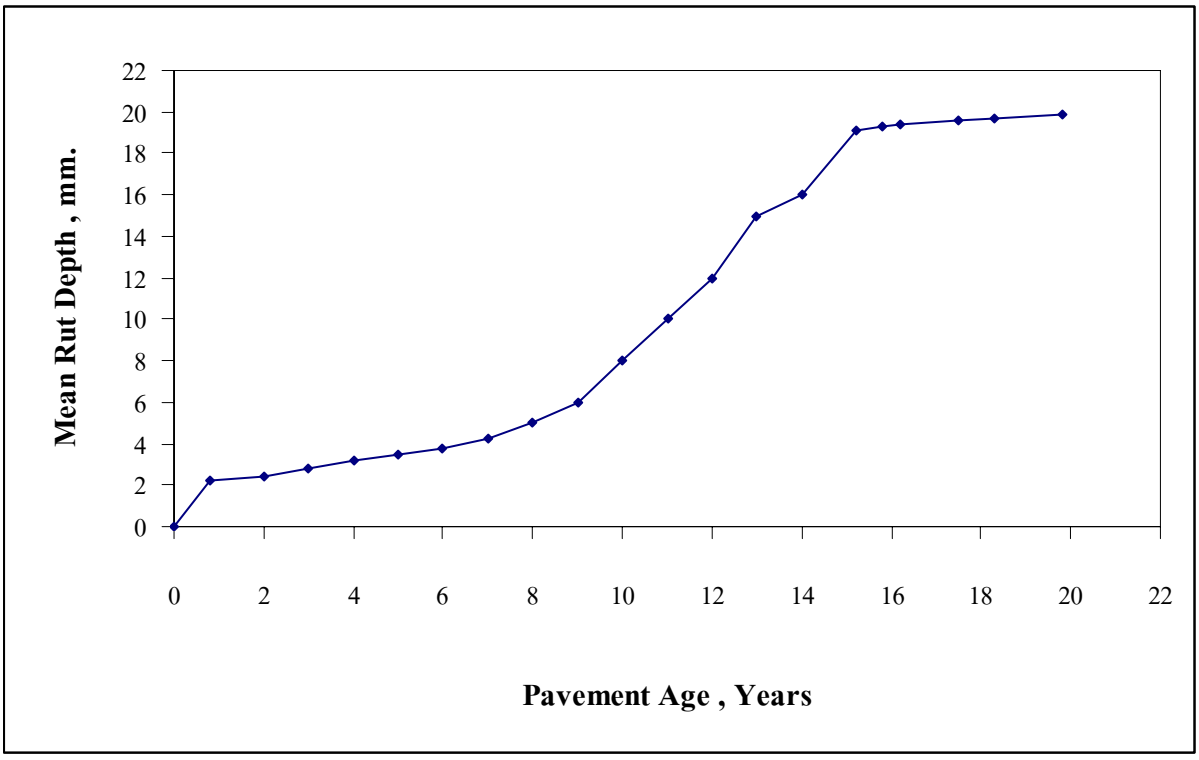


รูปที่9 แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของถนนลาดยางใน HDM-4

แบบจำลองลักษณะการเกิดขึ้นของความลึกของร่องล้อ แบ่งตามพฤติกรรมของโครงสร้างทาง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ความหนาแน่นและแรงเฉือนที่เกิดขึ้น , การเคลื่อนที่แบบพลาสติกของโครงสร้างทาง และการกดทับพื้นผิวทางเนื่องจากน้ำหนักจากการจราจร

เมื่อแบ่งการเกิดขึ้นของร่องล้อตามระยะเวลา สามารถแบ่งช่วงระยะเวลาการเกิดของร่องล้อในผิวทางลาดยางแบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะการเริ่มถูกบีบอัดของชั้นผิวทางใหม่เนื่องจากการจราจร , ระยะเสถียร ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของความลึกร่องล้อไม่มากเมื่อเทียบกับช่วงระยะเวลาเริ่มต้น และระยะสุดท้ายเกิดความลึกของร่องล้อเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เริ่มเกิดรอยแตกร้าวที่ผิวทางทำให้น้ำสามารถซึมผ่านไปยังโครงสร้างทางได้ ความลึกของร่องล้อที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแสดงไว้ในรูปที่ 10

ลักษณะของร่องล้อที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวทางลาดยางแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ หรือแบ่งตามค่าความลึกของร่องล้อ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 ความลึกที่สถานะเริ่มต้น (Initial Densification Rut Depth , RDO) , ประเภทที่ 2 การเสื่อมสภาพของโครงสร้าง (Structural Deterioration , RDST) เป็นการคำนวณหาความลึกของร่องล้อที่เกิดกับชั้นวัสดุพื้นทาง และประเภทที่ 3 การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกของผิวทาง (Plastic Deformation In Asphalts Layer , RDPD) เป็นการหาความลึกของร่องล้อบนชั้นผิวทาง นอกจากนี้ยังมีการเกิดของร่องล้อเนื่องจากการบดทับของดอกยางล้อรถยนต์(Surface Wear , RDW)



รูปที่10 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องล้อใน HDM-4

การหลุดร่อนของผิวทาง(Raveling of Bituminus Pavements)

การหลุดร่อนของผิวทางจะส่งผลต่อโครงสร้างทางโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อชั้นผิวทางมีความหนาไม่มาก และอาจทำให้ความเสียหายขยายลุกลามกลายเป็นหลุมบ่อได้ สาเหตุของความเสียหายจนเกิดการหลุดร่อนของชั้นพื้นผิวทาง อาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุคือ อาจเกิดจากการยึดเกาะระหว่างมวลรวมกับวัสดุเชื่อมประสานไม่ดีพอ , มวลรวมสกปรก , มีส่วนผสมของวัสดุเชื่อมประสานน้อยเกินไป การบดอัดไม่เพียงพอ และมีความชื้นสูงเกินไประหว่างดำเนินการก่อสร้าง

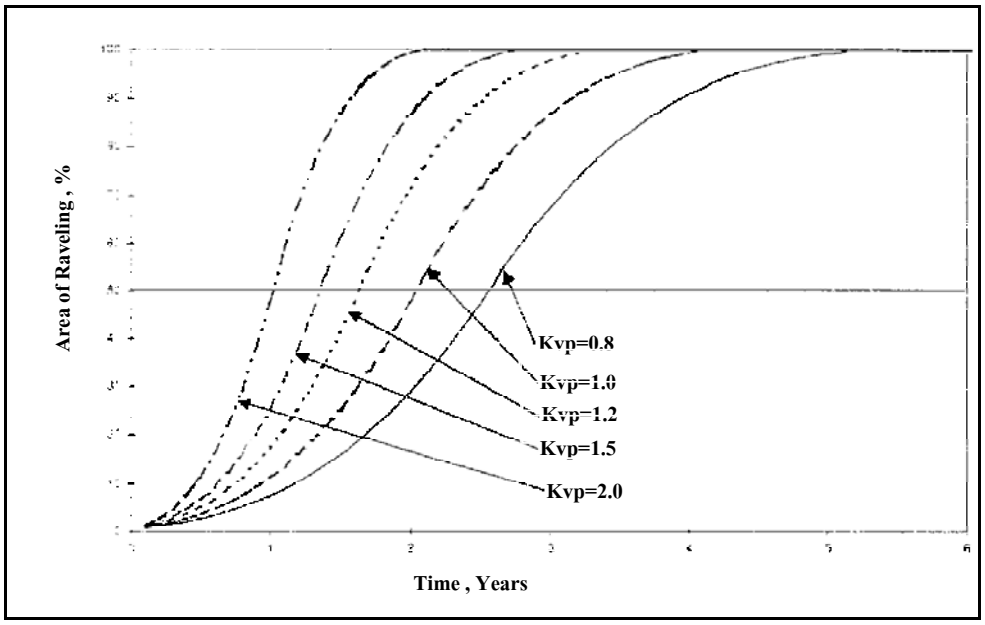
แบบจำลองการหลุดร่อนของผิวทางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ แบบจำลองการเริ่มต้นเกิดการหลุดร่อนของผิวทาง และแบบจำลองการหลุดร่อนของผิวทาง (Raveling Progression Model)

1. แบบจำลองการเริ่มต้นเกิดการหลุดร่อนของผิวทาง

การเริ่มต้นเกิดการหลุดร่อนของผิวทางขึ้นอยู่กับคุณภาพของการก่อสร้าง(Construction Quality) สามารถแสดงด้วยค่า Construction Defects Factor for Raveling (CDR) โดยตัวแปรที่มีผลต่อค่า CDR ประกอบด้วยการบดอัด , ความสะอาดของมวลรวม , ความแข็งแรงของมวลรวม , การเตรียมส่วนผสม , การเปลี่ยนแปลงของวัสดุเชื่อมประสาน , วิธีการก่อสร้าง , ความหนาแน่นของส่วนผสม , ความเข้มของแสงแดด , สภาพอากาศระหว่างการก่อสร้าง และความหนาของโครงสร้างทาง

2. แบบจำลองการหลุดร่อนของผิวทาง (Raveling Progression Model)

ส่วนประกอบที่สำคัญของแบบจำลองนี้คือ แบบจำลองนี้จะแสดงการหลุดร่อนของผิวทางในมิติของเวลาเท่านั้น เกินกว่าครึ่งหนึ่งของสายทางที่เกิดความเสียหายชนิดนี้จะได้รับการซ่อมแซมหลังเปิดการใช้งานแล้วประมาณ 2 ปี ร้อยละของพื้นที่ซึ่งเกิดความเสียหายประเภทนี้ขึ้นอยู่กับค่า Raveling Progression Factor (Kvp) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11

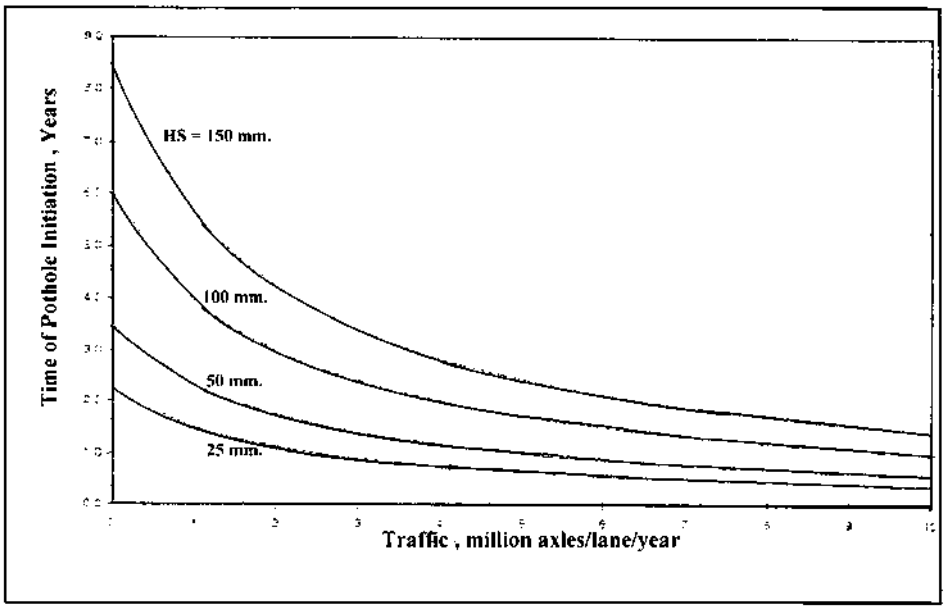


รูปที่11 ร้อยละของพื้นที่การหลุดร่อนของพื้นผิวทาง & Time ที่ค่า Kvp = 0.8-2.0 ใน HDM-4

หลุมบ่อ การแยกชั้น และการแตกของขอบทาง(Potholing Delaminating and Edge Break)

การเกิดความเสียหายแบบหลุมบ่อ การแยกชั้น และการแตกของขอบทางนั้นพัฒนามาจากความเสียหายประเภทรอยแตกร้าวขนาดเล็กแล้วขยายใหญ่ขึ้นจนเกิดการแยกชั้นของผิวทาง หากไม่ได้รับการบำรุงบูรณะความเสียหายอาจจะขยายลุกลามจนเกิดเป็นหลุมบ่อ การวัดความเสียหายประเภทหลุมบ่อและการแยกชั้นของผิวทางจะทำการวัดเป็นพื้นที่ต่อความยาวของสายทาง ส่วนการวัดความเสียหายประเภทการแตกของขอบทางจะทำการวัดเป็นปริมาตรของความเสียหาย โดยลักษณะของแบบจำลองประเภทความเสียหายดังกล่าวเป็นดังนี้

การเริ่มเกิดความเสียหายแบบหลุมบ่อและการแยกชั้น เป็นช่วงเวลาที่มีการเกิดรอยแตกร้าวหรือการหลุดร่อน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดหลุมบ่อ ดังแสดงในรูปที่12 ซึ่งแสดงถึงช่วงเวลาเกิดหลุมบ่อที่ความหนาผิวทางแตกต่างกัน

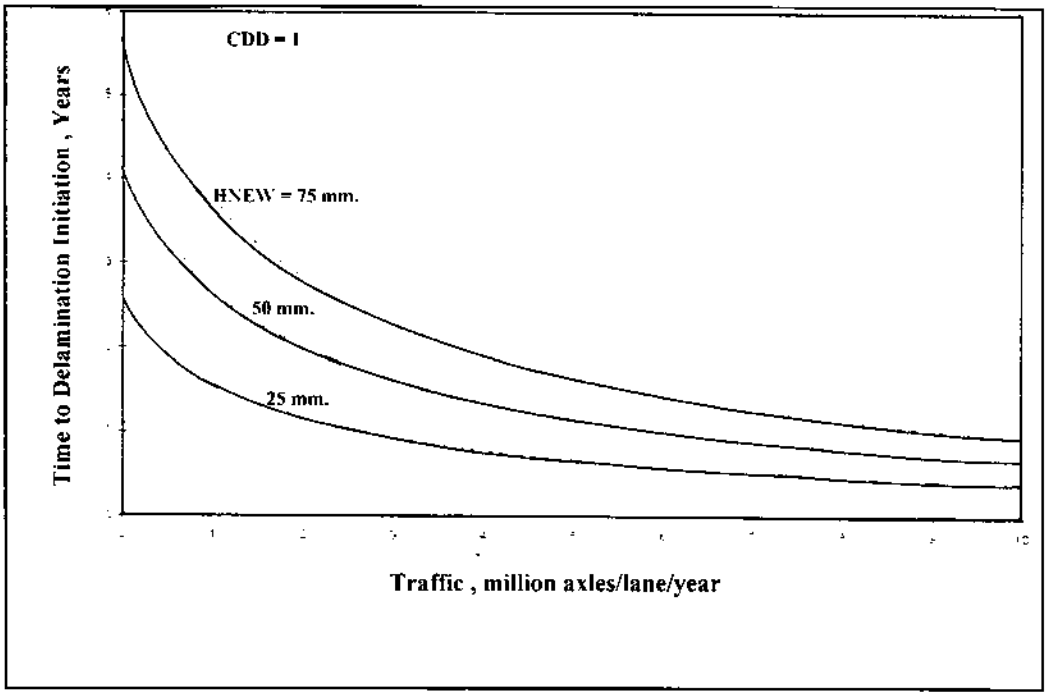


รูปที่12 เวลาของการเกิดหลุมบ่อที่ความหนาของผิวทางและปริมาณการจราจรแตกต่างกันใน HDM-4

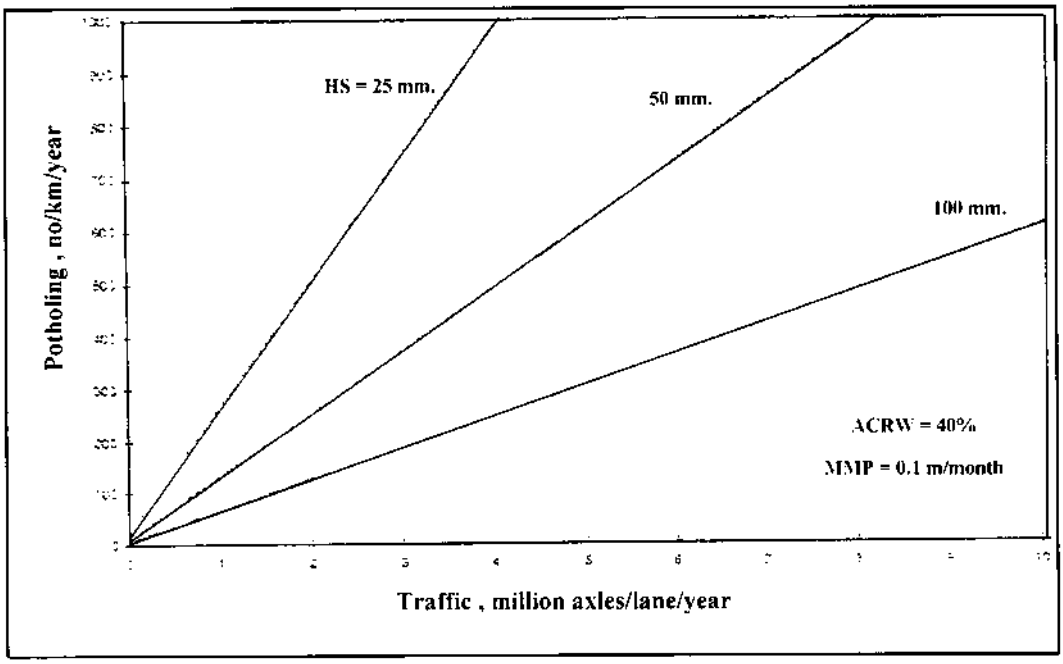
ความเสียหายแบบการแยกชั้นมีรูปแบบการเริ่มต้นเกิดความเสียหาย คล้ายคลึงกับการเกิดหลุมบ่อ แต่มีบางส่วนที่แตกต่างกัน คือระยะเวลาที่เริ่มเกิดการหลุดร่อนของผิวทาง ความเสียหายแบบการแยกชั้นมีระยะเวลาสั้นกว่าความเสียหายแบบหลุมบ่อ ความแตกต่างกันของช่วงเวลาตลอดจนลักษณะการเริ่มเกิดความเสียหายทั้งสองแบบใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงไว้ในรูปที่13

ความเสียหายแบบหลุมบ่อและการแยกชั้น ขึ้นอยู่กับพื้นที่ของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้น แบบจำลองความเสียหายของพื้นผิวทางแบบหลุมบ่อ และแบบจำลองความเสียหายของพื้นผิวทางแบบแยกชั้น ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก จึงสามารถประยุกต์ใช้ได้กับพื้นผิวทางบางประเภทเท่านั้น โดยได้แสดงแบบจำลองความเสียหายทั้งสองแบบไว้ในรูปที่14 และรูปที่15

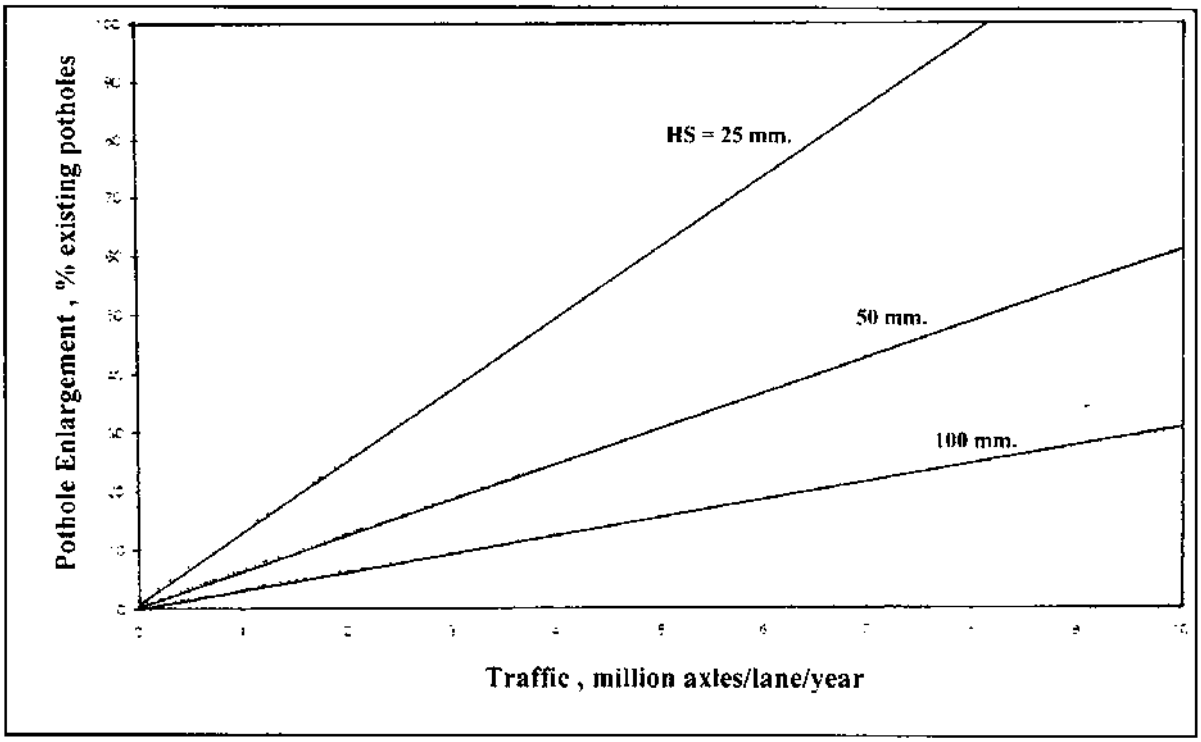
แบบจำลองการแตกขอบทาง(Edge Break Model) ขึ้นอยู่กับปริมาณจราจร , ไหล่ทางที่เสียหายไปในแต่ละปี , ผลต่างระหว่างระดับผิวทางกับไหล่ทาง และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อเดือน แสดงไว้ในรูปที่16



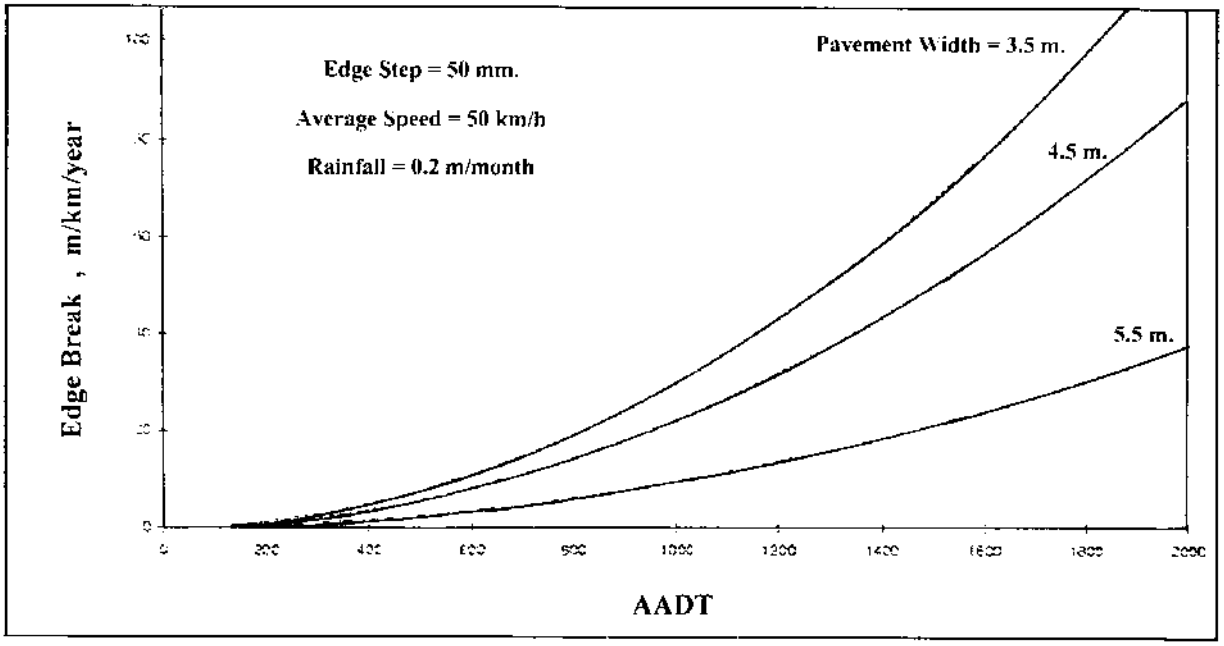
รูปที่13 เวลาของการเกิดแยกชั้นที่ความหนาของผิวทางและปริมาณการจราจรแตกต่างกันใน HDM-4



รูปที่14 แบบจำลองความเสียหายประเภทหลุมบ่อใน HDM-4



รูปที่15 แบบจำลองความเสียหายประเภทแยกชั้นใน HDM-4



รูปที่16 แบบจำลองความเสียหายประเภทการแตกของขอบทางใน HDM-4

ความขรุขระ(Roughness)

ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 โดยธนาคารโลก (World Bank) ได้รับความร่วมมือจากประเทศอังกฤษ ฝรั่งเศส สหรัฐเมริกา และบราซิล ทดลองวัดค่าความเรียบของทางโดยใช้เครื่องมือหลายชนิดทั่วโลกบนทางหลวงทั่วประเทศบราซิล ภายใต้โครงการ International Road Roughness Experiment (IRRE) เพื่อที่จะรวบรวมแนวทางในการวัดค่าความเรียบของทาง ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาความสัมพันธ์ของค่าความเรียบของทางที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือแตกต่างกัน หลังจากนั้นจึงได้ตั้งค่ามาตรฐานความเรียบเป็นสากลขึ้นเรียกว่า ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล (International Roughness Index , IRI) มีหน่วยเป็น ม./กม. หรือ มม./ม.

แบบจำลองสภาพความขรุขระใน HDM-4 แบ่งออกเป็นหลายกรณีดังนี้คือ

1. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากโครงสร้างชั้นผิวทาง ซึ่งขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวของโครงสร้างชั้นผิวทางเป็นร้อยละของพื้นที่

2. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากรอยแตกร้าว ซึ่งขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวเป็นร้อยละของพื้นที่

3. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากการแตกแยกจากการกดไถ ซึ่งขึ้นอยู่กับการเพิ่มขึ้นของรอยแตกร้าวเป็นร้อยละของพื้นที่

4. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากร่องล้อ ซึ่งขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความลึกของร่องล้อ

5. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากหลุมบ่อ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาตรของหลุมบ่อต่อกิโลเมตร

6. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากการหลุดร่อนของผิวทาง ขึ้นอยู่กับความหนาของผิวทาง และขนาดมาตรฐานของการหลุดร่อนของผิวทาง

7. การเพิ่มขึ้นของค่าIRI เนื่องจากการปะซ่อมขึ้นอยู่กับการเพิ่มขนาดมาตรฐานของรอยปะซ่อม

8. การเพิ่มขึ้นของค่า IRI เนื่องจากสภาวะแวดล้อม

การบำรุงรักษาและการบูรณะผิวทางลาดยาง

เมื่อพิจารณาจัดแบ่งวิธีการซ่อมบำรุงพื้นผิวทาง ตามผลกระทบของการซ่อมบำรุงแต่ละวิธีต่อสภาพพื้นผิวทาง สามารถแบ่งวิธีการซ่อมบำรุงพื้นผิวทางได้เป็น 6 ประเภทได้แก่

1. การซ่อมบำรุงปกติ (Routine Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงเชิงแก้ไข เช่น การปะหลุมบ่อ การอุดรอยแตกร้าว และการซ่อมแซมไหล่ทาง เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายของผิวทางลุกลามไปมากกว่าเดิม

2. การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) คือการบำรุงรักษาผิวทางเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

3. การเสริมผิวบาง (Thin Surfacings) เป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับการเสริมผิวลาดยาง ที่มีความหนาไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

4. การเสริมผิวลาดยาง (Overlays) เป็นการลาดยางทับผิวทางลาดยางเดิม โดยความหนาต่ำสุดที่ทำการเสริมผิวทางต้องไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

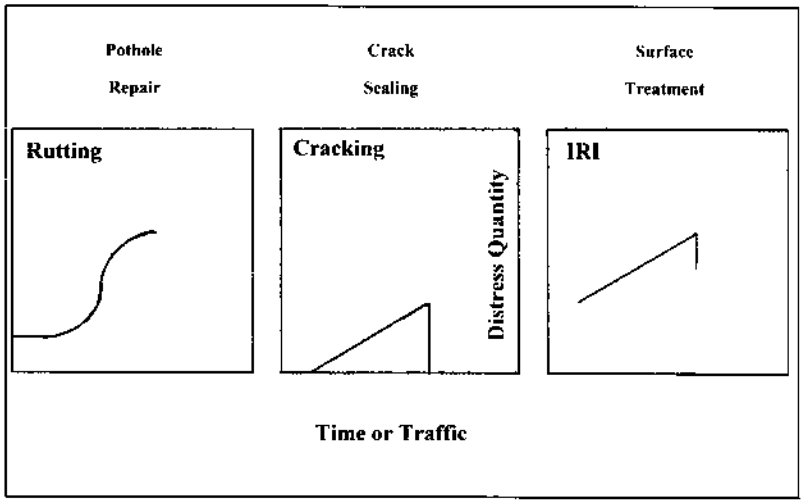
5. การบูรณะผิวทาง (Rehabilitations)

6. การก่อสร้างใหม่ (Reconstruction)

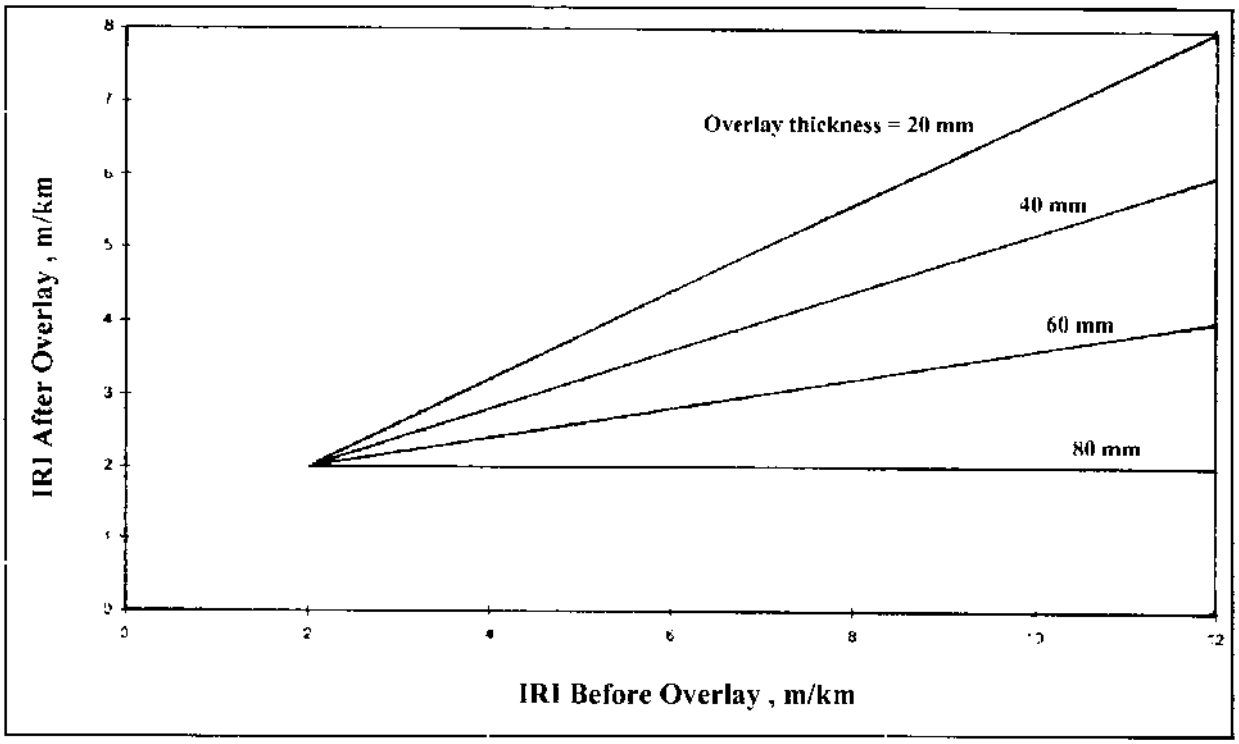
เมื่อถนนก่อสร้างเสร็จและเปิดให้บริการแล้วช่วงเวลาหนึ่ง สภาพพื้นผิวทางจะเกิดความเสียหาย จำเป็นต้องบำรุงบูรณะให้อยู่ในสภาพดี สามารถใช้งานได้ตามปกติ โดยใช้วิธีการซ่อมบำรุงที่แตกต่างกันออกไปตามสาเหตุและลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวทาง โดยหลักการทั่วไปแล้ว สภาพพื้นผิวทางที่ได้รับการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลกระทบต่อพื้นผิวทางแตกต่างกัน แบบจำลองผลกระทบของวิธีการซ่อมบำรุงต่อสภาพของพื้นผิวทางแสดงในรูปที่17 , รูปที่18 และรูปที่19

แบบจำลองผลกระทบของงานบำรุงรักษาพื้นผิวทางแต่ละวิธีที่มีใน HDM-4 แบ่งออกเป็นกรณีดังนี้ การซ่อมบำรุงจะไม่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง ยกเว้นการซ่อมหลุมบ่อหรือการปรับระดับร่องล้อ , การซ่อมบำรุงจะทำให้ความเสียหายหมดไปในบางกรณี และการซ่อมบำรุงอาจลดภาพความเสียหายลงภายหลังการบำรุงรักษาทาง

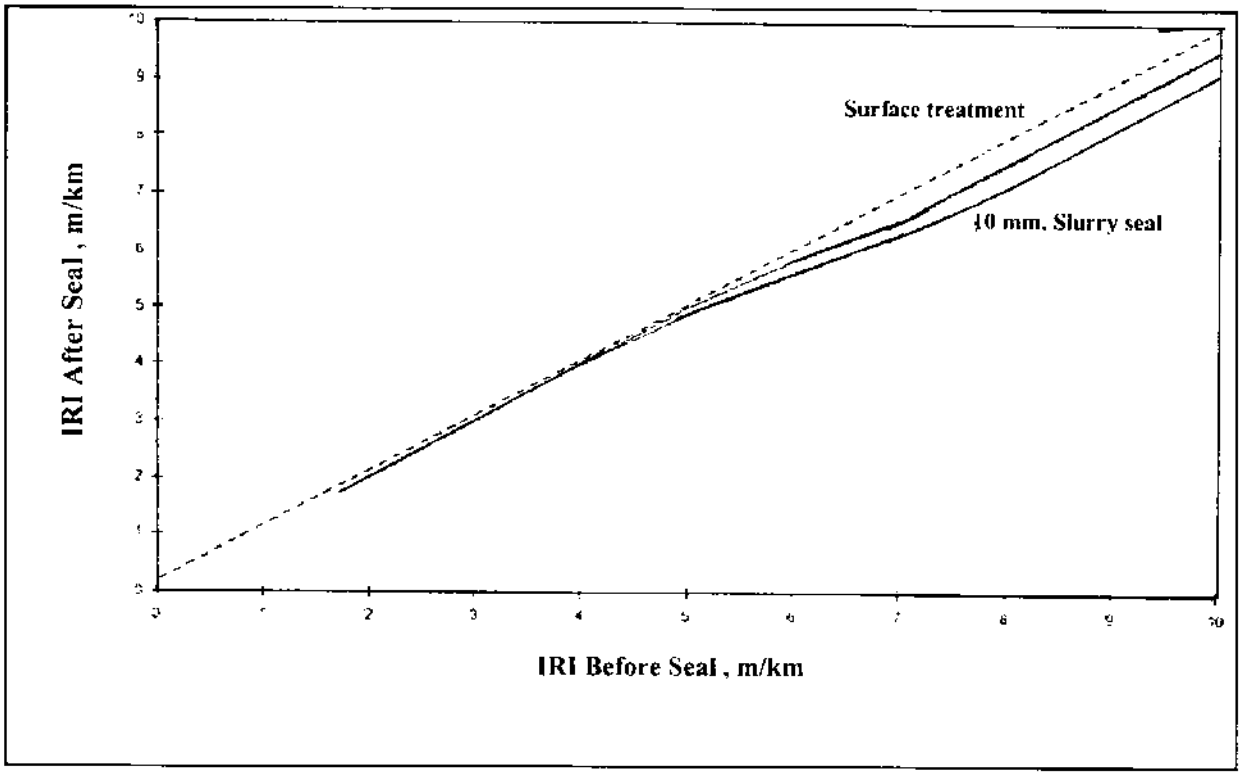
ผลกระทบจากความขรุขระ โดยทั่วไปแล้วถนนสร้างใหม่จะมีค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลอยู่ระหว่าง 1.0 ม./กม. ถึง 2.5 ม./กม. ขึ้นกับวัสดุและวิธีการก่อสร้างส่วนการเสริมผิวลาดยางนั้นค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลจะขึ้นกับความหนาของการเสริมผิวดังรูปที่14 ผลกระทบจากการบำรุงรักษาทางด้วยวิธีการอื่นแบ่งเป็นหลายกรณี ซึ่งมีอยู่ใน HDM-4 เช่น แบบจำลองผลกระทบจากการบำรุงรักษาผิวทางและบูรณะผิวทางที่มีต่อโครงสร้างทาง และแบบจำลองผลกระทบที่มีต่อประวัติการซ่อมบำรุง เป็นต้น



รูปที่17 ผลกระทบจากการซ่อมบำรุงทางต่อสภาพพื้นผิวทางใน HDM-4



รูปที่18 ผลกระทบจากการเสริมผิวทางลาดยางต่อสภาพพื้นผิวทางใน HDM-4



รูปที่19 ผลกระทบจากการฉาบผิวทางลาดยางต่อสภาพพื้นผิวทางใน HDM-4

การวิเคราะห์สภาพความเสียหายของทางตามระบบ HDM-4 โดยสังเขป

การวิเคราะห์สภาพความเสียหายของทางตามระบบ HDM-4 สามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้ดังนี้คือ คุณภาพการขับขี่ (Ride Quality) , ความเสียหายของพื้นผิว (Surface Distress) และสภาพของเนื้อผิวทาง (Surface Texture)

คุณภาพการขับขี่ (Ride Quality)

คุณภาพของการขับขี่(Ride Quality) สามารถวัดได้จากดัชนีบอกถึงความขรุขระหรือความเรียบของพื้นผิวทางสากล หรือค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล (International Roughness Index , IRI) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการบอกสภาพถนนและความต้องการในการซ่อมบำรุง นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวแปรในการประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อผู้ใช้บริการทางหลวง ในรูปแบบของการเสื่อมราคาได้อีกด้วย คุณภาพการขับขี่จะวัดในเชิงคุณภาพ คือ Good , Fair , Poor และ Bad เป็นต้น คุณภาพการขับขี่เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล(International Roughness Index , IRI) และมาตรฐานชั้นทาง ของทางสายนั้น ดังแสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เกณฑ์การวัดระดับคุณภาพการขับขี่ในผิวทางลาดยาง

Road Class	Ride Quality (m./km. , IRI)			
	Good	Fair	Poor	Bad
Primary or Trunk	2	4	6	8
Secondary or Main	3	5	7	9
Tertiary or Local	4	6	8	10

สภาพพื้นผิว (Surface Condition)

สภาพพื้นผิว (Surface Condition)วัดจากลักษณะของความเสียหายประเภทต่างๆ เช่น รอยแตกผิวทางหลุดร่อน หลุมบ่อ ความเสียหายบริเวณขอบทาง และการทรุดตัวบริเวณร่องล้อ เป็นต้น โดยประเมินสภาพผิวทางร่วมในเชิงคุณภาพ ซึ่งใช้ระบุถึงสภาพความเสียหายในลักษณะแตกต่างคือ สภาพใหม่ สภาพดี สภาพพอใช้ สภาพแย่ และสภาพแย่มาก เป็นต้น สำหรับการกำหนดระดับของความเสียหายของทาง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8

สภาพของเนื้อผิวทาง (Surface Texture)

สภาพของเนื้อผิวทาง(Surface Texture) มุ่งเน้นถึงสภาพของเนื้อวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างเป็นพื้นผิวการจราจร มีเนื้อหยาบ เนื้อละเอียดอย่างไร รวมถึงการบ่งบอกถึงลักษณะและสภาพของวัสดุผิว

ทางมวลรวม และวัสดุเชื่อมประสานเป็นต้น โดยถือเอาความต้านทานต่อการลื่นไถลที่ความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นดัชนีบ่งบอกสภาพของเนื้อผิวทาง(Surface Texture) สามารถจำแนกสภาพของเนื้อผิวทาง(Surface Texture)ได้ในเชิงคุณภาพเป็น ดี ปานกลาง และลื่นไถล

สภาพเนื้อวัสดุที่หยาบต้านทานต่อการลื่นไถลได้ดี มีสภาพของเนื้อผิวทาง(Surface Texture) จัดอยู่ในระดับของสภาพของเนื้อผิวทาง(Surface Texture)ดีเป็นต้น ระดับของสภาพของเนื้อผิวทาง(Surface Texture)แสดงไว้ในตารางที่ 9 และ ตารางที่10 ทั้งนี้ต้องตรวจสอบความคงทนสามารถต้านทานการขัดสีของการจราจรได้ดีประกอบกันจึงจะสามารถใช้เป็นวัสดุพื้นผิวทางที่ดีได้

ตารางที่ 8 เกณฑ์การให้ค่าสภาพความเสียหายของผิวทางลาดยาง

Distress mode	Surface condition				
	New	Good	Fair	Poor	Bad
Cracking (%)	0	0	5	15	25
Ravelling (%)	0	1	10	20	30
Number of pot-holes per km	0	0	0	5	50
Edge break (m^2 per km)	0	0	10	100	300
Mean rut depth (mm)	0	2	5	15	25

ตารางที่9 เกณฑ์ให้ค่าสภาพความเสียหายของเนื้อผิวทางลาดยางแบบเซอร์เฟตทรีตเมนต์ (ST)

Distress mode	Surface texture		
	Good	Fair	Slippery
Texture depth sand patch. (mm)	1.50	0.70	0.80
Skid resistance SCRIM at 50 km/h	0.60	0.45	0.80

ตารางที่ 10 เกณฑ์การให้ค่าสภาพความเสียหายของเนื้อผิวทางลาดแบบแอสฟัลติกมิกซ์ (AM)

Distress mode	Surface texture		
	Good	Fair	Slippery
Texture depth sand patch. (mm)	0.70	0.50	0.80
Skid resistance SCRIM at 50 km/h	0.50	0.40	0.80

การวิเคราะห์สภาพความเสียหายของทางโดยใช้เทคโนโลยี Image Processing

การวิเคราะห์สภาพความเสียหายของพื้นผิวทางโดยใช้เทคโนโลยี Image Processing มีแผนการปฏิบัติงาน ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาเทคนิคและวิธีการตรวจสอบสภาพความเสียหายของสายทางจากรอยแตกแยก และหลุมบ่อโดยคอมพิวเตอร์ เพื่อนำเอาเทคนิคที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการหารอยแตกแยกและหลุมบนพื้นผิวถนน เทคนิคที่จะใช้เน้นประเภทไม่สัมผัส(non-contact) เช่น การประมวลผลภาพถ่ายดิจิตอล โดยอาจใช้การกรอง (filter) การหาขอบ (Edge Detection) การไดเลต (Dilation) หรือกระบวนการอื่นๆ ที่เหมาะสมประกอบกัน

1.1 ออกแบบ Graphical User Interface (GUI)

เป็นการออกแบบหน้าจอเพื่อให้มีฟังก์ชั่นการใช้งานในการถ่ายภาพ , การกำหนดจุดเริ่มต้นของการสำรวจ , จุดสิ้นสุดการสำรวจและการตั้งค่าตัวแปรในการถ่ายภาพเป็นต้น โดยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้ในลักษณะ Graphic

1.2 พัฒนาโปรแกรมโดยจัดทำไฟล์ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ใช้งานโดยคอมพิวเตอร์ประจำสถานี เป็นการพัฒนาโปรแกรม เพื่อจัดรูปแบบและเตรียมข้อมูลส่งผ่านสื่อพกพาได้ โดยให้มีข้อมูลเป็นไปตามความต้องการที่เครื่องคอมพิวเตอร์ประจำสถานีจะนำไปใช้ในการประมวลผล และตรวจหาความเสียหายของผิวทางที่เป็นรอยแตกและหลุมบ่อ

2. พัฒนาโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ภาพผิวทางที่ได้จากการสำรวจ

2.1 พัฒนาโปรแกรมตรวจหารอยแตกแยกและหลุมจากภาพทดสอบ

การพัฒนาและสร้างโปรแกรมการประมวลผลข้อมูลภาพเพื่อหารอยแตกและหลุมบ่อ โดยใช้ฟังก์ชั่นทางการประมวลผลหลายอย่างประกอบกันคือ การทำไดเลชัน , การหาขอบและการลบสัญญาณรบกวน การประมวลผลเหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งซึ่งต้องประกอบกับการประมวลผลของส่วนอื่นที่จะต้องพัฒนาขึ้นมาใช้งาน

2.2 ทดสอบโปรแกรมกับภาพถนนที่ถ่ายจากกล้องความเร็วสูงประจำรถสำรวจ

เมื่อได้โปรแกรมเบื้องต้นแล้ว นำไปทดสอบกับสภาพการใช้งานจริง ซึ่งมีปริมาณภาพมากขึ้น ทำการปรับปรุงการประมวลผลภาพ และเพิ่มเติมเทคนิคเพื่อแก้ปัญหาที่พบให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

2.3 ลักษณะข้อมูลเบื้องต้นประกอบด้วย หมายเลขเฉพาะประจำสายทาง , ทิศทาง , ระยะทาง , วันเวลา ที่ สำรวจ , ตำแหน่ง ประเภท ของความเสียหาย และสรุปปริมาณความเสียหายแยกตามประเภทในสายทางที่ตรวจสอบ

2.4 พัฒนาโปรแกรมตรวจสอบข้อมูลสำรวจ ณ. สถานีภาคสนาม

ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมเพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนามในแต่ละวัน เพื่อตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูล หากเกิดความบกพร่องขึ้นสามารถทำการสำรวจซ้ำก่อนที่สถานีสำรวจภาคสนามหรือรถสำรวจจะย้ายไปสำรวจในพื้นที่อื่น

3.. พัฒนาโปรแกรมประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง

3.1 ศึกษาเทคนิคและวิธีการสำรวจรอยแตก(Cracks) บนผิวทางโดยใช้คอมพิวเตอร์

3.2 ศึกษาวิธีการประมวลผลภาพเพื่อหารอยแตกบนพื้นผิวทางแอสฟัลต์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลให้เหมาะต่อความต้องการใช้งานในประเทศไทย

3.3 โปรแกรมและเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสำรวจรอยแตก(Cracks)

การตรวจจับรอยแตก และการหาหลุมบ่อของพื้นผิวทางแอสฟัลต์ ทำได้โดยการนำภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล ซึ่งได้จากรถสำรวจที่ติดตั้งอุปกรณ์ถ่ายภาพเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ต้องการสำรวจสภาพพื้นผิวทาง หลังจากนั้นนำภาพที่ได้มาประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นจากพื้นฐานองค์ความรู้ด้านการประมวลผลภาพดิจิตอล และการประยุกต์ใช้องค์ความรู้ในการตรวจหารอยแตกของวัตถุเพื่อใช้ช่วยในการตรวจจับรอยแตกของพื้นผิวทาง

ข้อมูลพิกัด และระยะทางจากจุดเริ่มต้นของสายทาง จะถูกนำไปประกอบกับข้อมูลภาพถนนที่เก็บไว้ในสื่อบันทึกข้อมูล เพื่อประมวลผลให้เกิดความสะดวกต่อการใช้งาน โดยข้อมูลทั้งหมดสามารถถ่ายโอนจากรถสำรวจมาที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลางหรือสถานีภาคสนาม เพื่อการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนที่จะส่งไปวิเคราะห์และประมวลผลของความเสียหายบนพื้นผิวทางต่อไป

4. พัฒนาวิธีการเชื่อมโยงเข้าสู่โปรแกรม HDM-4

ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมและส่วนที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าสู่ HDM-4 ซึ่งระบบ HDM-4 เป็นระบบที่ใช้ในการวางแผนบริหารงานอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการบริหารจัดการผ่านทางระบบ HDM-4 โดยดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องในขั้นตอนการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าสู่ระบบ HDM-4

2.5 สหสัมพันธ์และการถดถอย(Correlation and Regression)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากตัวแปรเชิงคุณภาพทำได้โดยการทดสอบไคสแควร์ สำหรับข้อมูลที่ได้จากตัวแปรเชิงปริมาณวิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรคือ วิธีการวิเคราะห์ตัวแปรแบบสหสัมพันธ์(Correlation Analysis) ซึ่งสามารถบอกระดับความสัมพันธ์ของตัวแปร ในกรณีที่ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์แสดงความสัมพันธ์ต่อกัน กรณีที่ต้องการหารูปแบบของความสัมพันธ์ เพื่อทำนายหรือคาดคะเนตัวแปรหนึ่งโดยอาศัยผลกระทบจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง สามารถทำนายหรือคาดคะเนได้ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรแบบถดถอย(Regression Analysis) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation Analysis)และการวิเคราะห์การถดถอย(Regression Analysis) อาจมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องสองตัวแปรหรือมากกว่า กรณีที่ตัวแปรมากกว่าสองตัวมีวิธีการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน ปัจจุบันมีการนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้อำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์ จำนวนตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีเพียง 2 ตัวแปรคือค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องมือตรวจวัดในสนามที่แตกต่างกันครั้งละ 2 ชนิด

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation Analysis)

การวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีตัวแปร 2 ตัวแปรหรือ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย(Simple Correlation Analysis) มุ่งเน้นวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ถ้ามีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร ความสัมพันธ์อยู่ในระดับมากน้อยเพียงใด

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient)

ตัวเลขที่ใช้ในการวัดระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรเรียกว่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัวแปร ขั้นต้นคือการนำเอาค่าของข้อมูลเชิงปริมาณไปลงจุดบนระนาบ เพื่อดูการกระจายของจุดบนระนาบ จากแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ของจุดบนระนาบ จะปรากฏรูปแบบทิศทางและระดับความสัมพันธ์โดยสังเขประหว่างตัวแปรเชิงปริมาณที่ทำการวิเคราะห์ รูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรอาจไม่อยู่ในลักษณะของเส้นตรงเสมอไป ปัจจุบันโปรแกรมพื้นฐานสามารถแสดงผลความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงปริมาณได้ถึง 6 รูปแบบคือ เชิงเส้น(Linear Model) , พาราโบลิค(Parabolic Model) , ยกกำลัง(Power Model) , เอ็กซโพเนนเชียล(Exponential Model) , ลอการิทึม(Logarithmic Model) , ไฮเปอร์โบลิค(Hyperbolic Model) และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่(Linear(var.) Model) ตัวเลขที่ใช้สำหรับบอกระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรคือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) ใช้สัญลักษณ์ r สูตรคำนวณค่า r สำหรับความสัมพันธ์เชิงเส้นเรียกว่า Pearson product moment correlation coefficient

$$r = [SUM(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})] / [SUM(X_i - \overline{X})^2 SUM(Y_i - \overline{Y})^2]^{1/2}$$

โดยที่ $SUM(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})$ คือความแปรผันร่วมระหว่างตัวแปร X และ Y

$SUM(X_i - \overline{X})^2$ คือความแปรผันในตัวแปร X

$SUM(Y_i - \overline{Y})^2$ คือความแปรผันในตัวแปร Y

ค่า r มีค่าบวก เมื่อค่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกหรือแปรผันตรงต่อกัน กล่าวคือค่า X มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ค่า Y ก็จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย เมื่อค่า X มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ค่า Y ก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยด้วย

ค่า r มีค่าลบ เมื่อค่า X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบหรือแปรผกผันต่อกัน กล่าวคือค่า X มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ค่า Y ก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย เมื่อค่า X มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ย ค่า Y ก็จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยด้วย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ขึ้นอยู่กับระดับของความสัมพันธ์ของข้อมูล ค่า r เท่ากับ 0 แสดงถึงตัวแปรทั้งสองตัวที่นำมาวิเคราะห์ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ระดับของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r มีความหมายแสดงถึงระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรดังนี้

ค่า r มีค่ามากกว่า 0.80 แสดงถึงตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันระดับสูง

ค่า r มีค่าระหว่าง 0.50-0.70 แสดงถึงตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันระดับปานกลาง

ค่า r มีค่าระหว่าง 0.20-0.40 แสดงถึงตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันระดับต่ำ

ค่า r มีค่าน้อยกว่า 0.20 แสดงถึงตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์มีความสัมพันธ์กันระดับต่ำมาก

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination)

กำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) , (r^2) ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนความแปรผันในตัวแปรหนึ่งที่สามารถอธิบายหรือกำหนดได้ด้วยความผันแปรของตัวแปรที่เหลือ ใช้เป็นตัวบอกระดับความสัมพันธ์ที่แท้จริงของตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 ค่าที่ได้จะบ่งชี้ถึงเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ของตัวแปร

การวิเคราะห์การถดถอย(Regression Analysis)

เมื่อต้องการทราบรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต่อเนื่องจำนวนสองตัวแปร โดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการทำนายค่าของตัวแปร การวิเคราะห์การถดถอย(Regression Analysis) คือวิธีการที่เกี่ยวข้องกับการหากฎเกณฑ์ หรือสมการทางพีชคณิตเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เพื่อนำมาใช้ในการคาดหมายหรือทำนายค่าของตัวแปรที่ต้องการศึกษา โดยตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์อาจมีสองตัวหรือมากกว่า สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีจำนวนตัวแปร 2 ตัว เหมาะสมกับวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) โดยมีหลักการคือการหาเส้นแสดงความสัมพันธ์ที่ทำให้ผลรวมของกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าที่สังเกตได้ กับค่าที่ประมาณขึ้นมามีค่าน้อยที่สุด

ค่าที่ได้จากการทำนายด้วยสมการถดถอย(Regression Equation) มีอยู่ 2 แบบคือการทำนายเป็นค่าเดี่ยว และการทำนายค่าเฉลี่ย ซึ่งการประมาณค่าเดี่ยวไม่สามารถทำนายได้กว้างขวางเท่าการทำนายค่าเฉลี่ย ช่วงของการทำนายค่าเฉลี่ยเรียกว่าขอบเขตที่เชื่อมั่นได้(Confidence Interval) ปัจจุบันสามารถใช้โปรแกรมพื้นฐานคือ Microsoft Excel Chart Wizard วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการถดถอยอย่างง่ายหรือการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ประโยชน์ในการประเมินสภาพทาง

ถนนถือเป็นโครงสร้างพื้นฐาน ของระบบขนส่งที่สำคัญต่อการพัฒนาประเทศเกือบทุกด้าน รวมถึงด้านการติดต่อสื่อสาร , การคมนาคมขนส่ง และการพัฒนาเศรษฐกิจ จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการพัฒนาระบบบริหารจัดการถนนให้มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับความต้องการปัจจุบันของประเทศ ระบบบริหารจัดการที่ดีจะช่วยให้สามารถวางแผนตัดสินใจเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการบริหารจัดการ รวมถึงวิธีการซ่อมบำรุงอย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบบริหารงานบำรุงทางTPMS (Thailand Pavement Management System) เป็นระบบที่กรมทางหลวงเริ่มใช้มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 และพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นระบบ HDM-4 ในปัจจุบัน เพื่อช่วยในการบันทึกและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทางแอสฟัลต์ในสายทางต่างๆทั่วประเทศ ผลการวิเคราะห์จะถูกนำไปใช้ประกอบการพิจารณาจัดทำแผนงานบำรุงทางประจำปีของสำนักบริหารบำรุงทางและแขวงการทางทั่วประเทศ ผลจากการพัฒนาทางด้านเทคโลยีของวิธีการซ่อมบำรุงทางอย่างต่อเนื่องจนเกิดความก้าวหน้าไปเป็นอันมากในปัจจุบัน ทำให้ระบบบริหารงานบำรุงทางที่ใช้งานอยู่อาจจะไม่เกิดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐกิจ หรือไม่สามารถพัฒนาร่วมกับระบบที่เป็นสากลได้อย่างสอดคล้องเหมาะสมอีกต่อไป เนื่องจากการตรวจสอบสภาพความเสียหายของทางในระบบเดิมเน้นใช้การตรวจสอบด้วยสายตาเป็นหลัก ทำให้ต้องใช้ระยะเวลาและเจ้าหน้าที่จำนวนมากในการตรวจสอบ อีกทั้งข้อมูลที่ได้อาจคลาดเคลื่อนและไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน

การตรวจสอบสภาพทาง (Road Condition) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือการตรวจสอบสภาพทางด้วยระบบตรวจสอบอัตโนมัติ(Autormated Road Monitoring) ซึ่งประกอบด้วยชุดเครื่องมือวัดระดับแบบเลเซอร์(Laser Profiler) , กล้องบันทึกภาพการเคลื่อนไหว(video) และชุดเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม(Global Positioning System , GPS) ทำการติดตั้งบนรถสำรวจสภาพทาง (Road Condition Vehicle , RCV) ทำให้การตรวจสอบสภาพทางเป็นไปอย่างรวดเร็ว ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นมาตรฐานสากล มีความละเอียดแม่นยำ รวมถึงมีระบบการบันทึกและแสดงผลที่สามารถสืบค้นได้อย่างรวดเร็ว สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการซ่อมบำรุงถนนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถพัฒนาร่วมกับระบบงานอันเป็นสากลได้เป็นอย่างดี

ข้อบกพร่องของเทคโนโลยีด้านการตรวจวัดที่ก้าวหน้าคือ ไม่สามารถผลิตขึ้นมาใช้งานได้ภายในประเทศไทย ทำให้ต้องนำเข้าทั้งเครื่องมือและเจ้าหน้าที่จากต่างประเทศ ซึ่งต้องสิ้นเปลืองงบประมาณเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเทคโนโลยีและผลการปฏิบัติงานยังเป็นเรื่องใหม่ จึงไม่อาจประเมินความคุ้มค่าทั้งด้านผลงาน และการบำรุงรักษาในระยะยาวได้ Australian Road Research Board

(ARRB) เป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีความเชี่ยวชาญในงานด้านการสำรวจและวิเคราะห์สภาพถนนในประเทศออสเตรเลีย โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปเป็นดังนี้

เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์(Laser Profiler)

เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ประกอบด้วยชุดเลเซอร์วัดความขรุขระ (Roughness Laser) , ชุดเลเซอร์วัดค่าร่องล้อ(Rutting Laser) และชุดเลเซอร์วัดความละเอียดของผิวทาง(Texture Laser) ประกอบเข้าด้วยกันเพื่อทำการติดตั้งบนรถสำรวจ โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือดังแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่11 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

ข้อมูล	รายละเอียด
จำนวนชุดเซนเซอร์	7 ชุด
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับผิวทาง (Profile Sampling Rate)	สามารถกำหนดได้ โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 25 มม. หรือน้อยกว่า
อัตราการเก็บข้อมูลความละเอียดผิวทาง (Texture Sampling Rate)	1 มม. สำหรับ Mean Prfile Dept Measurement (MPD) 7 มม. สำหรับ Sensor Measured Texture Dept Measurement (SMTD)
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	0 ถึง 110 กม./ชม.
มาตรฐานในการเก็บข้อมูล	**ASTM E950 Class 1 requirement for the measurement of longitudinal profile** AASHTO PP37 provisional standard of quantifying roughness of pavement **World Bank Technical Report 42 Class 1** AustRoad Guideline (Where Applicable) ASTM E1845 calculation pavement macro texture mean profile ISO 13473 Determination of mean profile dept AASHTO PP38 Determining maximum rut dept in asphalt pavement
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มม.
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.
ความกว้างของชุดเซนเซอร์	2.6 ม.
น้ำหนักของชุดเซนเซอร์	20 กก. (โดยประมาณ)

Differentials Global Positioning System (DGPS)

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS) คือ เครื่องมือที่ใช้ระบุตำแหน่งในปัจจุบันของผู้ใช้งาน สามารถแสดงพิกัดทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง โดยจะอ้างอิงจากสัญญาณดาวเทียม (GPS Satellite) หรือ NAVSTAR เป็นโครงข่ายประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวงเคลื่อนที่รอบโลก 6 ระนาบ ระนาบละ 4 ดวง ซึ่งการระบุพิกัดจำเป็นต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกพิกัดตำแหน่งทั้งแนวราบและแนวดิ่ง

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียมที่ใช้จะทำการติดตั้งบนรถสำรวจ เชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องวัดค่าระดับผิวทาง และกล้องบันทึกภาพ เพื่อระบุตำแหน่งของข้อมูลสภาพทางสำหรับใช้ในการประมวลผลและการวิเคราะห์ผล ที่ถูกต้องแม่นยำ โดยอ้างอิงและแสดงภาพของตำแหน่งที่ทำการตรวจวัดได้ในคราวเดียวกัน

การเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่ง GPS ขณะสำรวจใช้ระบบ Differential Global Positioning Syster หรือ DGPS ซึ่งผลิตโดยบริษัท Trimble Navigation Limited อุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นรุ่น GPS Pathfinder Power ซึ่งต้องปรับแต่งให้ทำงานได้อย่างดีกับรถที่ใช้ในการสำรวจและซอฟแวร์ Hawkeye Processing Toolkit ก่อนการนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 12 รายละเอียดเครื่องมือของ DGPS

ข้อมูล	รายละเอียด
การติดต่อกับดาวเทียม	สูงสุด 12 ดวง ขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า
อุณหภูมิ	-30 ถึง 85 องศาเซลเซียส
อัตราการอัพเดทข้อมูล	1 วินาที
ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล	15 วินาที (Warm) 45 วินาที (Cold, all data know) 5 นาที (Search the sky, no data know)
ความแม่นยำของตำแหน่ง	Differential GPS (WAAS) : 5 meters RMS (Subject)
รูปแบบของข้อมูล	NMEA 0183 Version 2.0 ASCII

เครื่องวัดความเร่ง

เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระดับผิวทางแบบเลเซอร์ เนื่องจากขณะทำการสำรวจสภาพผิวทางด้วยรถสำรวจ ความคลาดเคลื่อนจะเกิดขึ้นในการวัดเนื่องจากการสั่นของรถสำรวจ โดยเครื่องมือวัดความเร่งจะทำการปรับแก้ค่าที่

ผิดพลาดโดยการนำค่าระดับที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ ลบด้วยระยะทางตามแนวดิ่งที่วัดได้จากเครื่องวัดความเร่ง

เครื่องวัดระยะทาง

เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument: DMI) เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งกับล้อรถสำรวจเพื่อทำการตรวจวัดระยะทางการสำรวจ โดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลล์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจและแปลงข้อมูลเป็นระยะทางที่รถสำรวจเคลื่อนที่ไปได้ ติดตั้งไว้ในวงล้อหลังของรถยนต์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 20

รูปที่20 แสดงเครื่องมือวัดระยะทาง ติดตั้งไว้ในล้อรถยนต์

อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล

อุปกรณ์รับสัญญาณข้อมูล(Data Acquistions System) จากเครื่องเลเซอร์และแปลงสัญญาณที่ได้จากการสำรวจเป็นสัญญาณข้อมูลเชิงตัวเลข เพื่อบันทึกและแสดงผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์

การสำรวจสภาพถนนลาดยาง

หลังจากที่ทำการศึกษาและเตรียมความพร้อมของชุดเครื่องมือในการสำรวจสภาพทาง ทำการสำรวจสภาพทางในถนนลาดยางด้วยรถสำรวจสภาพทาง ทุกสายทางตามเป้าหมาย ซึ่งได้กำหนดแผนงานไว้แล้ว โดยทำการสำรวจสภาพทางแบบ 2 ทิศทาง (ขาไปและกลับ) ในกรณีที่ถนนมีมากกว่า 2 ช่องจราจร กรณีที่ถนนมี 2 ช่องจราจร ทำการสำรวจอย่างน้อย 1 ทิศทาง

การสำรวจสภาพภายในเขตทางด้วยกล้องบันทึกภาพ

การสำรวจสภาพภายในเขตทาง ทำได้โดยใช้กล้องบันทึกภาพ จำนวน 3 ตัว ทำการบันทึกสภาพภายในเขตทาง ภาพที่ได้จากกล้องบันทึกภาพทั้ง 3 ตัว ได้ แก่ ผิวจราจร , ไหล่ทาง , ป้ายจราจร , ราวกันอันตราย , ไฟสัญญาณจราจร , ไฟฟ้าส่องสว่าง และอุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยอื่นๆ โดยที่กล้องบันทึกภาพจะบันทึกภาพภายในเขตทางได้อย่างคมชัดภายในระยะไม่น้อยกว่า 20 เมตร และภาพภายในเขตทางที่ได้จากการสำรวจจะเป็นภาพต่อเนื่องในรูปแบบของ AVI file ซึ่งมีความละเอียดในการเก็บภาพผิวทางทุกระยะ 5 เมตร หรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับความเร็วของรถสำรวจ

การสำรวจความเสียหายของผิวทางด้วยกล้องบันทึกภาพ

ความเสียหายของผิวทางสามารถตรวจวัดได้โดยใช้กล้องบันทึกภาพ ขณะที่รถสำรวจวิ่งทำการสำรวจ กล้องจะทำการบันทึกภาพความเสียหายของผิวทาง ซึ่งประกอบไปด้วย

1. รอยแตกประเภทต่างๆ (Cracking)
2. หลุมบ่อ (Pothole)
3. รอยปะซ่อม (Patching)
4. การแยกตัวของยางขึ้นสู่พื้นผิวจราจร(Bleeding)
5. การหลุดร่อนของผิวทาง (Raveling)

ภาพความเสียหายของผิวทางที่ได้จากการสำรวจจะเป็นภาพต่อเนื่องในรูปแบบของ AVI file ซึ่งมีความละเอียดในการเก็บภาพผิวทางทุกระยะ 3 เมตร หรือน้อยกว่าขึ้นอยู่กับความเร็วของรถสำรวจ

ร่องล้อ (Wheel Track Rutting)

ร่องล้อ (Rutting) คือ ความเสียหายของถนนโดยมีรูปแบบการเกิดร่องล้อ บนผิวทางอันเกิดจากน้ำหนักของรถและความบกพร่องของโครงสร้างทาง ลักษณะความเสียหายแบบร่องล้อมี 2 ประเภท คือ

1. ร่องล้อชนิดร่องกว้าง (Wide Rutting) ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวจราจรมีลักษณะการเกิดร่องล้อเป็นแนวกว้างตามแนวล้อรถ ซึ่งการเกิดร่องล้อแบบนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากชั้นโครงสร้างทางที่รองรับผิวทางไม่มีความสมบูรณ์ รวมถึงเกิดความล้าของโครงสร้างทางขณะการใช้งานเนื่องจากมีปริมาณการจราจรจำนวนมาก

2. ร่องล้อชนิดร่องแคบ (Narrow Rutting) ความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวจราจรมีลักษณะการเกิดร่องล้อเป็นแนวแคบตามแนวล้อรถ การเกิดร่องล้อประเภทนี้สาเหตุเนื่องมาจากกระบวนการก่อสร้างไม่ถูกวิธี ทำให้ได้ผลงานที่ต่ำกว่ามาตรฐาน เช่น การผสมยางแอสฟัลต์กับวัสดุมวลรวมในชั้นผิวทางที่มากเกินไปทำให้ส่วนผสมมีความเหลวมากเกินไป ทำให้ไม่มีเสถียรภาพเพียงพอที่จะต้านทานต่อหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการจราจรได้ และการบดอัดโครงสร้างทางไม่ได้มาตรฐานเป็นต้น

การวัดร่องล้อในอดีต สามารถวัดได้โดยการใช้ไม้บรรทัดเหล็กวางพาดร่องล้อที่เกิดขึ้น และวัดความลึกของร่องล้อบริเวณที่เกิดความลึกสูงสุด หากค่าความลึกของร่องล้อเกินกว่ามาตรฐานกำหนดคือ 25 มิลลิเมตร ต้องทำการซ่อมบำรุงตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

การสำรวจความเสียหายที่เกิดขึ้นในลักษณะร่องล้อ ด้วยเทคโนโลยีใหม่ ทำได้โดยการสำรวจด้วยเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์(Laser Profiler) ซึ่งใช้แสงเลเซอร์จากเครื่อง Laser Profiler จำนวน 7 ตัว ทำการจำลองแนวเส้นตรงพาดผ่านถนน และคำนวณค่าความลึกของร่องล้อที่เกิดขึ้น ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำสูงมาก แต่เครื่อง Laser Profiler จะไม่สามารถจำแนกประเภทของร่องล้อได้ ค่าที่ได้จากการตรวจวัดแสดงผลอยู่ในรูปค่าต่างๆ ดังนี้

1. Rut Right แสดงค่า Rutting ด้านขวาของช่องจราจร
2. Rut Left แสดงค่า Rutting ด้านซ้ายของช่องจราจร
3. Rut Lane แสดงค่า Rutting ช่วงกลางของช่องจราจร

การประมวลค่าร่องล้อที่ได้จากการตรวจวัดจะทำการประมวลผลทุกระยะ 25.0 เมตร หรือน้อยกว่า เพื่อนำค่าที่ได้จากการประมวลผล วิเคราะห์วิธีและแผนงานซ่อมบำรุงที่เหมาะสมต่อไป

ค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบของผิวทางสากล (International Roughness Index: IRI)

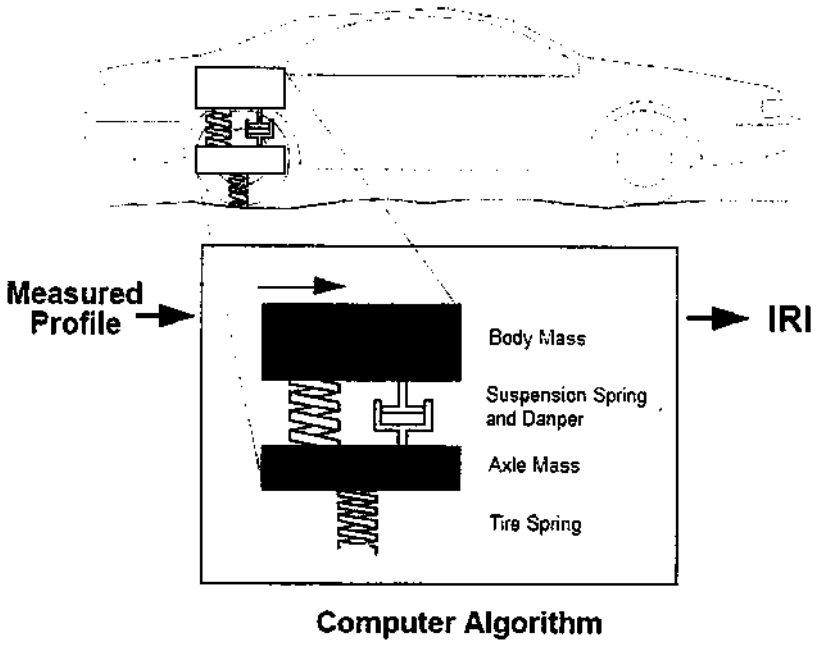
ความขรุขระ (Roughness) ของผิวทางคือ ค่าความต่างในระนาบของผิวทาง ทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายต่อผู้ขับขี่ยานยนต์บนถนน อีกทั้งยังมีผลต่อการระบายน้ำบนผิวถนน และการกระจายน้ำหนักบรรทุกของยานยนต์ลงบนผิวทาง ดังนั้นความขรุขระของผิวทางจึงเป็นดัชนีชี้วัดซึ่งสามารถบอกถึงสภาพความเสียหายของผิวทางโดยรวมได้ และเป็นที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

ดัชนีบ่งชี้ค่าความขรุขระสากลของถนน ได้มีการนำเสนอหลายวิธีตามมาตรฐานอันเป็นที่ยอมรับ เช่น Present Serviceability Rating (PSR) , Present Serviceability Index (PSI) แต่ค่าความขรุขระที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกคือ ค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากล (International Roughness Index , IRI)

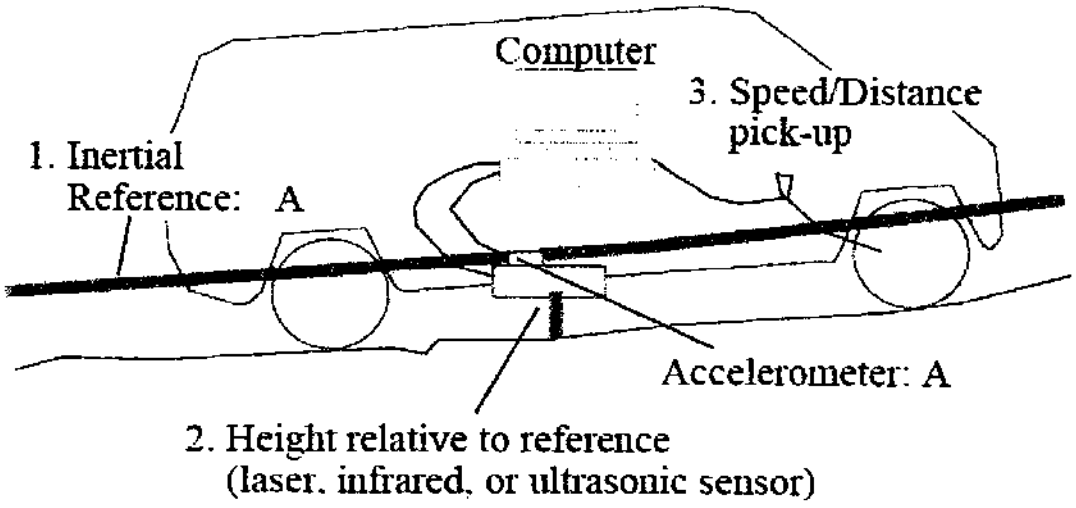
ค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากล (International Roughness Index , IRI) ซึ่งเริ่มใช้ครั้งแรกในโครงการวิจัยภายใต้หน่วยงาน National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) ในปี 1986 โดยได้รับการสนับสนุนจากธนาคารโลก (World Bank)

ในช่วงเริ่มต้นการพัฒนามาตรฐานของการวัดค่า IRI ทำโดยการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของQuarter Car ที่วิ่งบนถนนด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่21

ความก้าวหน้าของเครื่องมืออิเล็คทรอนิคในปัจจุบัน ทำให้การวัดค่าIRI สามารถตรวจวัดได้จากชุดเครื่องมือตรวจวัดค่าระดับผิวถนน ซึ่งใช้เทคโนโลยีของเซนเซอร์ชนิดเลเซอร์ และเครื่องมือวัดการสั่น (Accelerometer) เพื่อทำการตรวจวัดค่า IRI ดังแสดงในรูปที่ 22



รูปที่21 แบบจำลองการวัดค่า IRI ที่ใช้เป็นพื้นฐานในระยะเริ่มต้น



รูปที่22 แบบจำลองการวัดค่า IRI ด้วยเครื่องเลเซอร์

ค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบสากลของพื้นผิวทาง

(International Roughness Index , IRI)

ค่าความขรุขระของผิวทาง คือ ค่าความแปรปรวนของสภาพผิวถนนจากสภาพที่ควรจะเป็น ซึ่งมีผลกระทบต่อ ค่าใช้จ่าย , ความปลอดภัย , ความสะดวกสบาย และความเร็วของยานพาหนะที่ใช้เส้นทาง

จากการวิจัยของ Budras (2001) พบว่าความขรุขระของผิวทาง เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อความเชื่อถือของผู้ใช้เส้นทางต่อคุณภาพของถนน

จากการศึกษาของ FHWA (1991) พบว่าความขรุขระของผิวทางมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเสื่อมสภาพของโครงสร้างทาง

ดัชนี(Index) ที่ใช้ในการตรวจสอบและหาค่าของความขรุขระของผิวทาง มีดังนี้ Present Serviceability Index (PSI), และ International Roughness Index (IRI) ปัจจุบันค่าดัชนี (Index) ที่นิยมและเป็นที่ยอมรับในระดับมาตรฐานสากล คือค่า International Roughness Index (IRI) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่าจำลอง (Simulation) ของ ¼ ของรถยนต์ (Quarter – Car) วิ่งเคลื่อนที่บนผิวทางที่ทดสอบด้วยความเร็วระดับหนึ่ง (โดยทั่วไปใช้ที่ 50 กม/ชม)

ASTM ตั้งระบบมาตรฐาน (ASTM E 950-94) แจกแจงชนิดของเครื่องวัด IRI เป็น 4 กลุ่ม ตามความละเอียดของเครื่องและวิธีที่ใช้ในการหาค่า IRI แสดงไว้ในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ระดับของการตรวจวัดค่า IRI ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94)

CLASS	EQUIPMENT
Class I Precision profiles	Laser Profiler : Non-contact lightweight Profilling devices and portable Laser Profiler Manually operated devices : e.g. TRL beam, **Face Dipstick**/ROMDAS Z-250, ARRB Walking Profiler
Class II Other profilometer methods	APL profilometer, profilographs (e.g., Californis, Rainhart), optical profilers and inertial profilers (GMR)
Class III IRI estimates from correlation equations	Roadmaster, ROMDAS, Roughometer, TRL **Bump Integrator**, rolling Straightedge.
Class IV Subjective ratings/uncalibrated measures	Key code rating systems, visual inspection, Ride over section

เครื่องมือวัดค่า IRI ซึ่งให้ความละเอียดระดับสูงสุดในปัจจุบัน ทำได้ด้วยเครื่อง Laser Profiler จัดอยู่ใน Class I ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้ค่าละเอียดและถูกต้องมากที่สุด การวัดค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบของผิวทางสากล (International Roughness Index , IRI) โดย

ใช้เครื่อง Laser Profiler สามารถทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์พร้อมๆ กัน 3 ตัวทุกระยะ 50 มิลลิเมตร ตามแนวยาวของถนน พารามิเตอร์ดังกล่าวคือ

1. ระยะห่างระหว่าง Profiler Beam กับผิวหน้าถนน วัดโดย Laser Sensor
2. ค่าการเคลื่อนไหวในแนวดิ่งของ Profiler Beam วัดโดย Accelerometer
3. ระยะห่างระหว่างการวัดแต่ละครั้ง วัดโดย Distance Measuring Instrument

เมื่อนำเอาค่าระยะห่างของผิวทางที่วัดได้ มาทำการปรับแก้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง อันเกิดจากการยุบตัวของช่วงล่างของรถสำรวจ โดยการเอาค่าระยะที่วัดได้จาก Laser ลบด้วยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ซึ่งวัดจาก Accelerometer ทำให้ได้เส้นรูปของผิวถนนตามแนวการวิ่งของรถสำรวจ ซึ่งนำมาใช้คำนวณค่าดัชนีความขรุขระ หรือความเรียบของผิวทางสากล(IRI)ได้ ค่า Average IRI ได้จากการวัดค่าในบริเวณร่องล้อ(Wheel Path) ทั้งสองข้าง และใช้ค่าเฉลี่ยของเส้นรูปถนนจากร่องล้อทั้งสองข้างมาคำนวณหาค่า IRI ทุกระยะทาง 100 เมตร หรือตามที่กำหนด ผลการคำนวณที่ได้คือค่า Average IRI

การเตรียมเครื่องมือ

การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ อาทิ เครื่อง Laser Profiler กล้องบันทึกภาพ เครื่อง DMI เครื่องจับพิกัด GPS และอุปกรณ์ Gyroscope ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานนั้น นับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะหากอุปกรณ์ดังกล่าวทำงานได้ไม่ถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ข้อมูลที่ได้มาจากการสำรวจครั้งนั้น ๆ ก็จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ ทำให้สูญเสียเวลาและทรัพยากรไปโดยเปล่าประโยชน์ การเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์สำรวจมีขั้นตอนดังนี้

การปรับเทียบเครื่องมือ (Calibration)

หลังจากการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์สำรวจ จำต้องมีการปรับเทียบเครื่องมือต่าง ๆ ทุกครั้งก่อนออกสำรวจในแต่ละวัน หรือเมื่อมีเหตุสุดวิสัยที่ต้องถอดและติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ เช่น การถอดอุปกรณ์เพื่อนำไปซ่อมแซม เป็นต้น โดยเครื่องมือที่ต้องทำการสอบเทียบมีดังนี้

1) อุปกรณ์ Laser Profiler

อุปกรณ์ Laser Profiler ประกอบด้วยตัวเซ็นเซอร์ทั้งสิ้น 7 ตัว ใช้ในการวัดระยะจากตัวเซ็นเซอร์เองไปถึงผิวทาง และตัว Accelerometer จำนวน 2 ตัว ซึ่งใช้วัดค่าความเร่ง (หน่วยเป็นเท่าของค่า G Force) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของตัวรถ สำหรับการปรับเทียบอุปกรณ์ Laser Profiler สามารถกระทำได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

ทำการปรับเทียบตัวเซ็นเซอร์แต่ละตัว โดยการใช้แผ่นอลูมิเนียมผิวเรียบและแท่งสำหรับปรับเทียบที่มีความสูง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 23(ก)

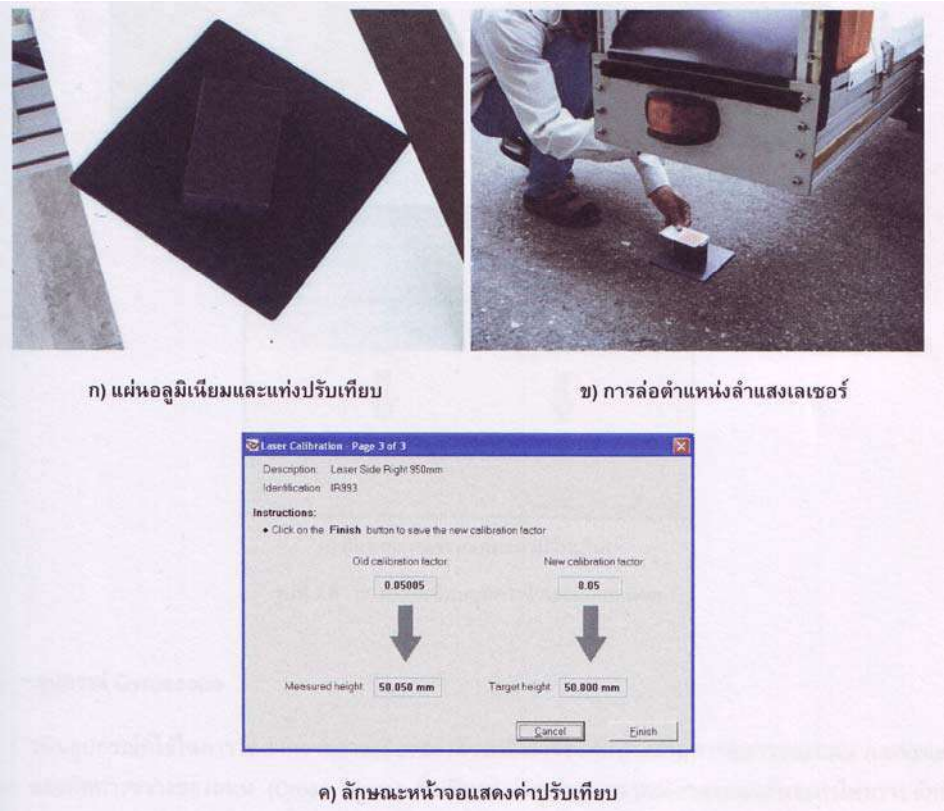
ก่อนทำการวัดระยะจากแผ่นอลูมิเนียม ต้องทำการตรวจสอบตำแหน่งของเลเซอร์โดยใช้แผ่นล่อแสงดังแสดงในรูปที่ 23(ข)

หลังจากที่ได้ตำแหน่งของลำแสงเลเซอร์แน่นอน จึงทำการวางแผ่นอลูมิเนียมก่อน หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมบันทึกค่าความยาวของลำแสงเลเซอร์ที่วัดได้

นำแท่งสำหรับปรับเทียบวางไว้ ณ ตำแหน่งของลำแสงเลเซอร์ แล้วสั่งให้โปรแกรมบันทึกค่าความยาวของลำแสงเลเซอร์ที่วัดได้อีกครั้ง

เมื่อได้ค่าระยะลำแสงทั้งสองค่าแล้ว จึงสั่งให้โปรแกรมประมวลผลการปรับเทียบ ค่าที่ได้ควรมีค่าต่างจากความสูงของแท่งอลูมิเนียม (50 มิลลิเมตร) ไม่เกิน $\pm$0.50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 23(ค)

ทำการปรับเทียบเซ็นเซอร์ตัวอื่น ๆ ต่อไปจนครบทั้ง 7 ตัว



รูปที่23 การปรับเทียบอุปกรณ์ Laser Profiler

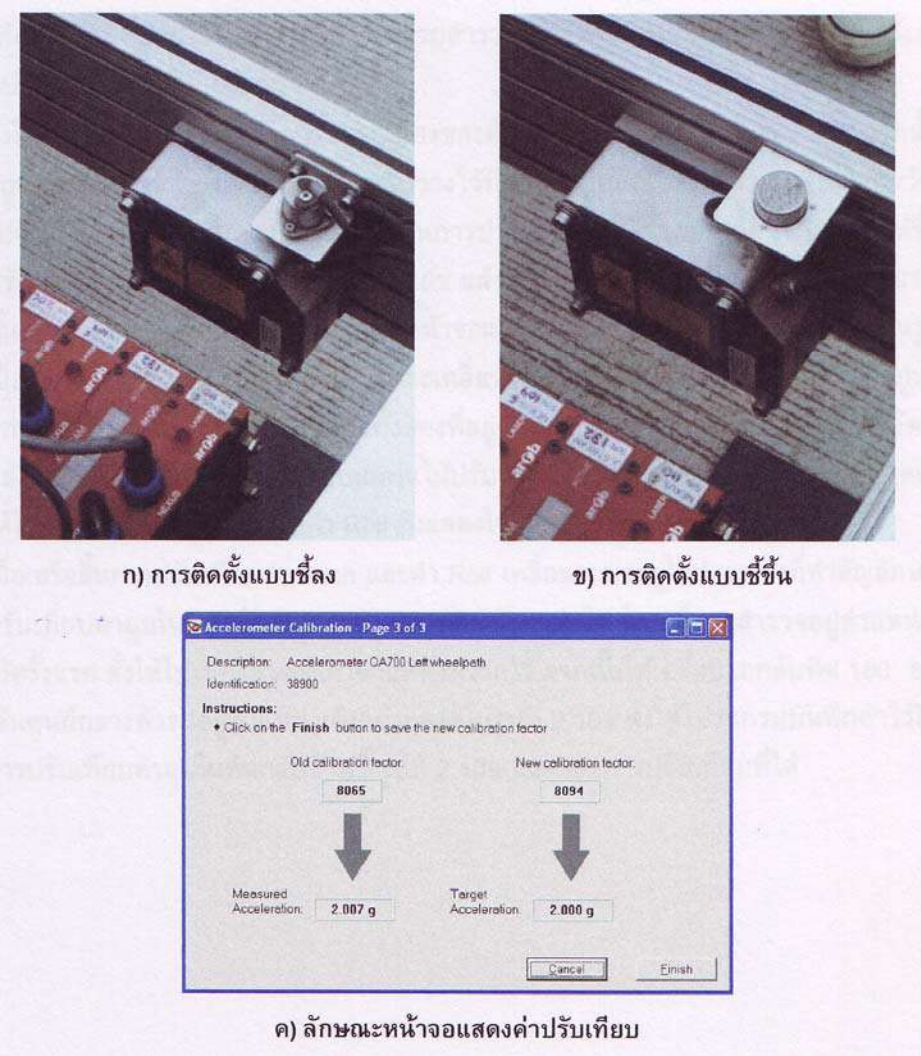
การปรับเทียบอุปกรณ์ Accelerometer

การปรับเทียบตัว Accelerometer มีขั้นตอนปฏิบัติดังนี้

ปกติตัว Accelerometer จะถูกติดตั้งให้มีทิศทางชี้ลงด้านล่างดังแสดงในรูปที่ 24(ก) จึงจำเป็นต้องถอดตัว Accelerometer ออกมาติดตั้งใหม่ให้มีทิศทางกลับหัวจากเดิม คือ มีทิศชี้ขึ้นดังแสดงในรูปที่ 24(ข) และสั่งให้โปรแกรมบันทึกค่าที่อ่านได้ซึ่งมีค่าเท่ากับ +1G

ถอดเปลี่ยนการติดตั้งตัว Accelerometer ใหม่อีกครั้งให้อยู่ในลักษณะกลับหัวลงเหมือนครั้งแรกสุด สั่งให้โปรแกรมบันทึกค่าที่อ่านได้ ซึ่งคราวนี้ ค่าที่อ่านได้จะเท่ากับ-1G

สั่งให้โปรแกรมทำการปรับเทียบค่าที่อ่านได้จาก 2 ขั้นตอนแรก ซึ่งค่าที่ปรับเทียบแล้วจะมีค่าประมาณ 2G ความคลาดเคลื่อนของการวัดต้องไม่มากกว่า $\pm$0.012G ดังแสดงในรูปที่ 24(ค)

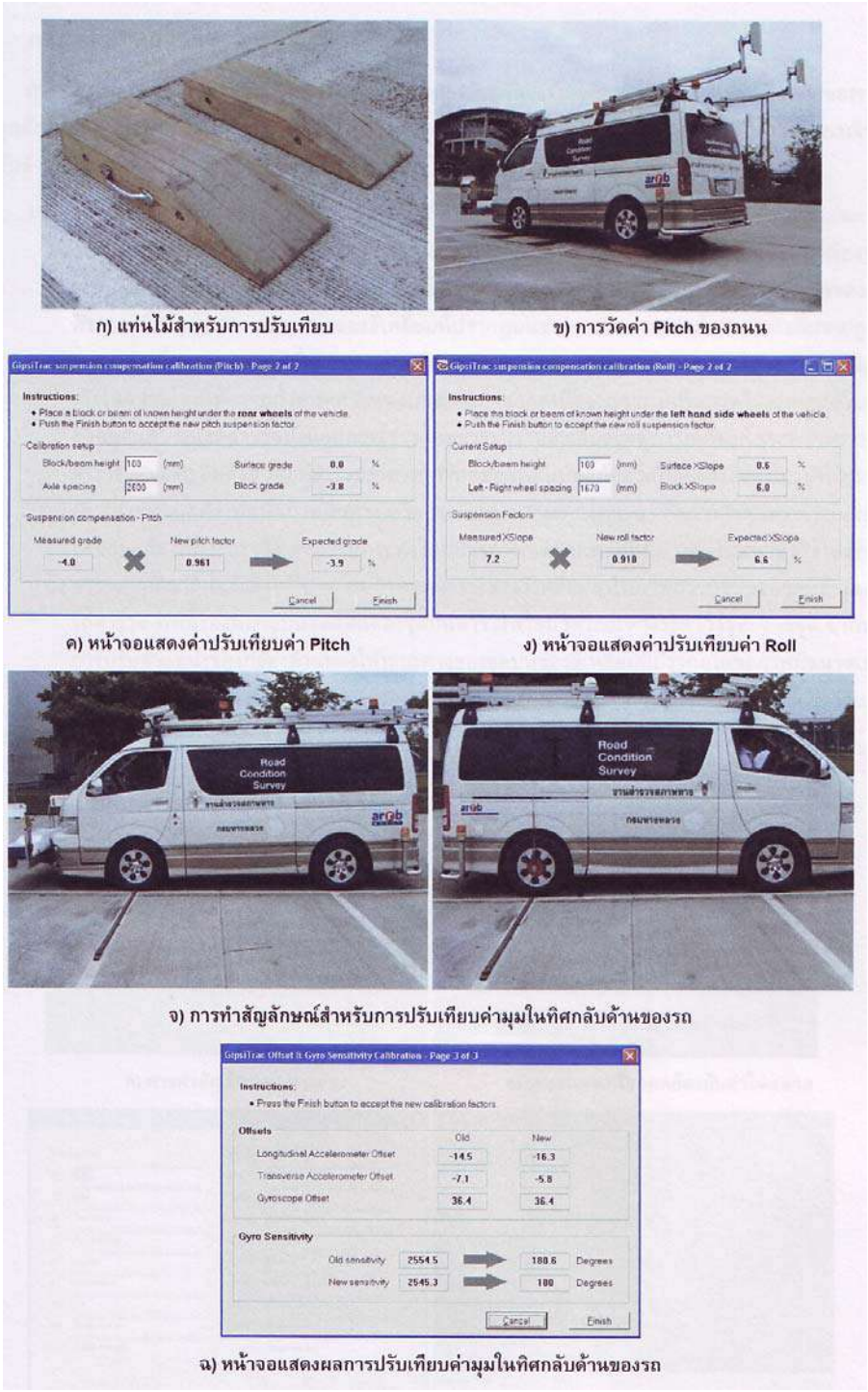


รูปที่24 การปรับเทียบอุปกรณ์ Accelerometer

2) อุปกรณ์ Gyroscope

Gyroscope เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความลาดเอียงของตัวรถสำรวจในทิศทางตามความยาวของถนน (Longitudinal Profile) และทิศทางขวางของถนน (Cross Slope) ซึ่งเป็นการวัดรูปทรงเรขาคณิตของถนนอันจะทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพของถนนว่าเป็นแบบโค้งราบและโค้งดิ่ง ในการปรับเทียบอุปกรณ์ Gyroscope จะทำการปรับเทียบ 3 รูปแบบคือ

1. การวัดค่าความลาดเอียงในทิศทางตามยาวของถนน (Pitch)



รูปที่25 การปรับเทียบอุปกรณ์ Gyroscope

2. การวัดค่าความลาดเอียงในทิศทางตามขวางของถนน (Roll)

3. การวัดค่ามุมในทิศกลับด้าน 180 องศาของตัวรถ

การทดสอบในแต่ละครั้ง ต้องมีจำนวนคนบนรถสำรวจเท่ากับจำนวนคนในขณะปฏิบัติงานจริง ในการวัดค่า Pitch และ Roll จะใช้อุปกรณ์ช่วย คือ แท่นไม้ปรับเทียบที่มีความสูง 10 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 25(ก) จำนวน 2 อัน โดยมีขั้นตอนการปรับเทียบดังนี้

เจ้าหน้าที่ที่ประจำรถสำรวจขึ้นไปบนรถสำรวจ โดยให้มีจำนวนและตำแหน่งการนั่งภายในรถสำรวจเหมือนสภาวะการปฏิบัติงานจริง

สั่งให้โปรแกรมทำการวัดค่าความลาดเอียงของตัวรถในขณะที่รถอยู่ในแนวระนาบ จากนั้นให้เจ้าหน้าที่ที่อยู่นอกรถสำรวจนำแท่นไม้ปรับเทียบไปวางไว้ที่หน้าล้อคู่หลังของรถสำรวจเพื่อทำการวัดค่า Pitch โดยรูปที่ 25(ก) แสดงภาพของแท่นไม้ที่ใช้ในการปรับเทียบ หลังจากที่เคลื่อนรถสำรวจให้ขึ้นไปบนแท่นไม้ปรับเทียบเช่นเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 25(ข) แล้ว จึงสั่งให้โปรแกรมวัดค่าความลาดเอียงอีกครั้ง หลังจากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมคำนวณปรับเทียบ หน้าจอแสดงผลการปรับเทียบค่า Pitch แสดงในรูปที่ 25(ค)

เมื่อเสร็จสิ้นการปรับเทียบค่า Pitch และเคลื่อนรถลงสู่ตำแหน่งเดิม ให้เจ้าหน้าที่ที่อยู่นอกรถสำรวจนำแท่นไม้ปรับเทียบไปวางไว้ที่หน้าล้อทั้งสองที่อยู่ด้านซ้ายมือของรถสำรวจเพื่อทำการวัดค่า Roll ต่อไปหลังจากเคลื่อนรถสำรวจให้ขึ้นไปบนแท่นไม้ปรับเทียบ จึงสั่งให้โปรแกรมวัดค่าความลาดเอียงอีกครั้ง และให้โปรแกรมคำนวณปรับเทียบค่า Roll ดังแสดงในรูปที่ 25(ง)

เมื่อเสร็จสิ้นการปรับเทียบค่า Pitch และค่า Roll เคลื่อนรถมาอยู่ในตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ไว้สำหรับการปรับเทียบค่ามุมในทิศกลับด้าน 180 องศาของตัวรถต่อไป โดยเมื่อรถสำรวจอยู่ตำแหน่งที่ทำสัญลักษณ์ไว้ครั้งแรก สั่งให้โปรแกรมจดจำค่าตำแหน่งตัวรถไว้ จากนั้นให้เคลื่อนรถกลับทิศ 180 องศา โดยให้แนวเส้นศูนย์กลางตัวรถอยู่ตำแหน่งเดิม ดังแสดงในรูปที่ 25(จ) สั่งให้โปรแกรมบันทึกค่าไว้อีกครั้งแล้วจึงทำการปรับเทียบค่ามุมในทิศกลับด้านนี้ รูปที่ 25(ฉ) แสดงผลการปรับเทียบที่ได้

ภาพดิจิตอลจากกล้อง

การปรับเทียบกล้องให้สามารถบันทึกภาพที่มีขนาดถูกต้องเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ภาพความเสียหายของทางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยกล้องทุกตัวจะต้องถูกปรับเทียบทุกครั้งที่มีการปรับตำแหน่งหรือมุมกล้อง หากในกรณีที่ไม่มีการขยับตำแหน่งของกล้องก็ไม่จำเป็นต้องทำการปรับเทียบใหม่ ซึ่งการปรับเทียบกล้องมี 2 ขั้นตอน คือ

1. การปรับเทียบกล้องบันทึกภาพในเขตทาง หรือ Asset View Camera ซึ่งจะทำการปรับเทียบเฉพาะกับกล้องตัวกลาง โดยการสั่งให้โปรแกรมกำหนดตารางช่องสี่เหลี่ยมลงบนภาพ จากนั้นจึงทำเครื่องหมายจุดตัดแต่ละจุดลงบนตาราง ทำการวัดระยะระหว่างจุดแต่ละจุด จากนั้น ทำการปรับตำแหน่งของกล้องตัวกลาง ให้ระยะห่างของจุดบนช่องสี่เหลี่ยมที่ปรากฏบนจอภาพมีขนาดเท่ากับระยะจริงที่ปรากฏอยู่ในสนาม รูปที่ 26(ข) แสดงการปรับเทียบกล้องถ่ายภาพในเขตทางให้สอดคล้องกับระยะจริงในสนามโดยให้กรวยกำหนดตำแหน่งบนสนาม นอกเหนือจากการบันทึกภาพในเขตทางด้วยกล้องดิจิตอลแล้ว บนรถสำรวจยังมีอุปกรณ์ช่วยในการระบุรายละเอียดเหตุการณ์ที่พบในระหว่างการวิ่งรถสำรวจ (Event) อีกด้วย โดยผู้สำรวจสามารถกำหนดการระบุบนคีย์บอร์ดได้เองดังแสดงในรูปที่ 26(ค)

2. การปรับเทียบกล้องบันทึกภาพผิวทาง หรือ Pavement View Camera เพื่อการกำหนดระยะบนจอภาพให้สอดคล้องกับระยะจริง สามารถกระทำโดยการกำหนดตำแหน่งบนผิวทางในสนามจริงในลักษณะตารางก่อน จากนั้นจึงสั่งให้โปรแกรมกำหนดตารางช่องสี่เหลี่ยมลงในภาพผิวทางบนจอคอมพิวเตอร์บนรถสำรวจ ทำเครื่องหมายบนจุดตัดแต่ละจุดบนตารางพร้อมวัดระยะห่างระหว่างจุดแต่ละจุด จากนั้นทำการปรับตำแหน่งของกล้องด้านหลังให้ระยะห่างของจุดบนช่องสี่เหลี่ยมที่ปรากฏในจอภาพมีขนาดเท่ากับระยะห่างจริงของจุดบนผิวทางในสนาม รูปที่26(ง)แสดงภาพที่ปรากฏบนจอในช่วงของการปรับเทียบกล้องถ่ายภาพบนผิวทาง

รูปที่26 การปรับเทียบกล้องบันทึกภาพเขตทาง

เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument , DMI)

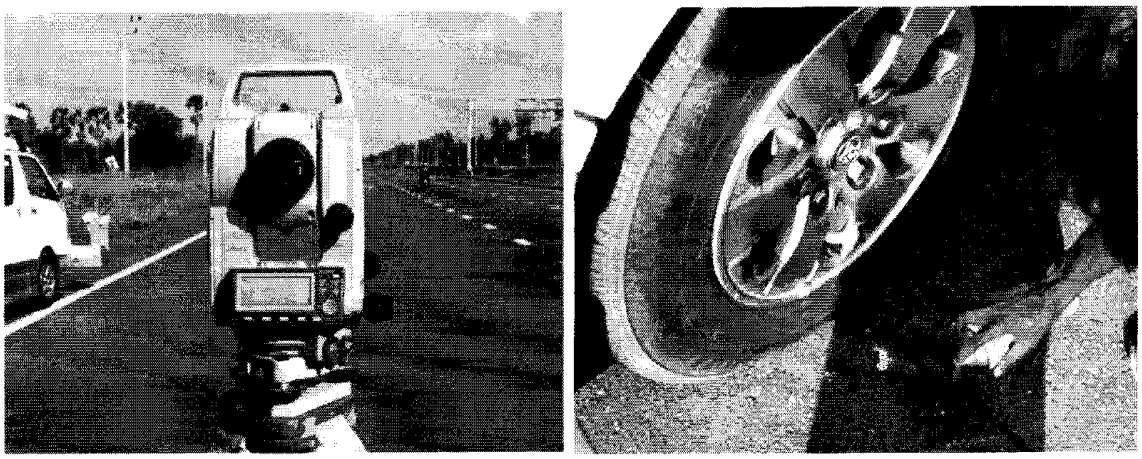
การปรับเทียบอุปกรณ์วัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument ,DMI) สามารถกระทำได้โดยการวิ่งรถสำรวจไปบนพื้นราบที่กำหนดระยะทางไว้แล้วประมาณ 1 กิโลเมตร หรือ 1,000 เมตร ขั้นตอนในการปรับเทียบเป็นดังนี้

กำหนดระยะทางบนพื้นราบด้วยกล้องสำรวจภาคสนามที่มีความแม่นยำสูง เป็นระยะทางยาว 1,000 เมตร เพื่อให้รถสำรวจวิ่งไปบนเส้นทางที่กำหนดไว้

นำรถสำรวจวิ่งบนเส้นทางที่รู้ระยะทางแน่นอน จากจุดเริ่มต้นที่กำหนดไว้ไปยังจุดปลายทาง โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทำงานในโหมดปรับเทียบ DMI Calibration

บันทึกระยะทางที่รถวิ่ง และแสดงผลเป็นระยะทาง เพื่อเปรียบเทียบระยะทางที่รถวิ่งได้กับระยะทางจริงที่ตรวจวัดไว้แล้ว

ทำการปรับเทียบอุปกรณ์วัดระยะทาง 5 ถึง 7 รอบ ก่อนการวิ่งสำรวจจริงในแต่ละวัน เพื่อปรับเทียบเครื่องมือที่อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ รวมถึงความดันลมยาง น้ำหนักบรรทุกและการสึกหรอของยางที่อาจส่งผลกระทบต่อระยะทางที่ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดระยะทาง ดังแสดงไว้ในรูปที่27



ก) การกำหนดระยะด้วยกล้องสำรวจ **ข) การทำสัญลักษณ์สำหรับระยะทาง 1000 เมตร**

รูปที่27 การปรับเทียบอุปกรณ์ Distance Measurement Instrument

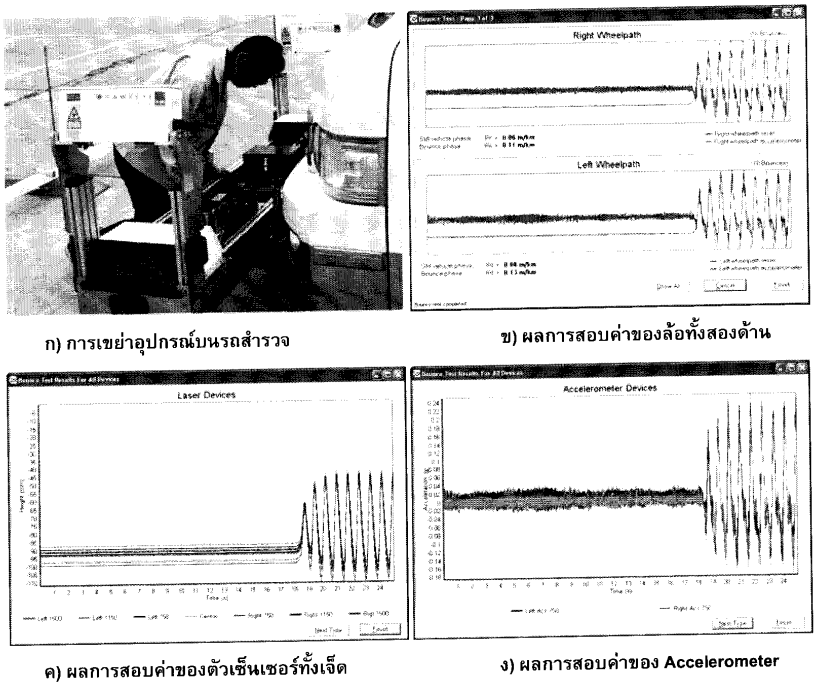
การเตรียมความพร้อมก่อนการสำรวจรายวัน

การเตรียมเครื่องมือเพื่อให้พร้อมต่อการสำรวจทาง ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) การสอบค่า Still และ Bounce

การสอบค่า Still และ Bounce เป็นการตรวจสอบอุปกรณ์ Laser Profiler และ Accelerometer ว่าสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวในแนวดิ่งของรถสำรวจได้ถูกต้องหรือไม่ มีวิธีปฏิบัติคือ

เมื่อเริ่มทำการสอบค่า Still และ Bounce หลังจากที่สั่งให้โปรแกรมเริ่มทำการสอบค่า เจ้าหน้าที่จะต้องเขย่า ณ ตำแหน่งคานด้านหน้ารถสำรวจที่ติดตั้งอุปกรณ์ Laser Profiler และ Accelerometer โดยทำการเขย่าเป็นเวลาประมาณ 10 วินาที หลังจากรถสำรวจหยุดนิ่ง โปรแกรมจะทำการแสดงผลการจับสัญญาณการเขย่าของตัวรถ และปรากฏออกมาในรูปของคลื่นดังแสดงในรูปที่ 28(ก) ถึง รูปที่ 28(ง) ค่าที่ได้จากการสอบค่า Still และ Bounce ไม่ควรมีค่าเกินกว่า 0.10 และ 0.20 เมตร/กิโลเมตร ตามลำดับหากผลที่ได้แสดงสัญญาณการเปลี่ยนแปลงระดับของคลื่นได้สอดคล้องกัน แสดงว่าการจับสัญญาณการเคลื่อนไหวในทางดิ่งของตัวเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัวและตัว Accelerometer ทำงานได้ปกติ



ก) การเขย่าอุปกรณ์บนรถสำรวจ

ข) ผลการสอบค่าของล้อทั้งสองด้าน

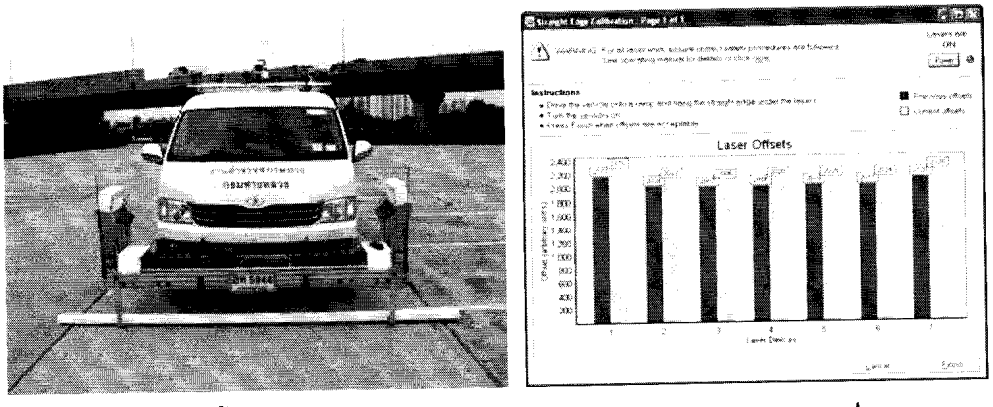
ค) ผลการสอบค่าของตัวเซ็นเซอร์ทั้งเจ็ด

ง) ผลการสอบค่าของ Accelerometer

รูปที่ 28 การปรับเทียบอุปกรณ์ Distance Measuring Instrument

2) การสอบค่า Profiler Straight Edge

การสอบค่า Profiler Straight Edge เป็นการตรวจสอบว่าการติดตั้งเครื่อง Laser Profiler ทั้ง 7 ตัว ที่อยู่บนคานหน้ารถสำรวจอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันหรือไม่ ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยในการสอบค่า ได้แก่ คานอลูมิเนียมพร้อมชุดติดตั้งซึ่งเป็นขาจับยึดอีก 2 ตัว ซึ่งจะยึดติดเข้าไปที่ตัวคานหน้ารถสำรวจซึ่งเป็นส่วนที่ตัวเซ็นเซอร์ Laser Profiler ติดตั้งอยู่ รูปที่ 29(ก) แสดงการติดตั้งชุดอุปกรณ์เพื่อสอบค่า Profiler Straight Edge การสอบค่าจะให้ผลเป็นค่าความยาวของลำแสงเลเซอร์จากตัวเซ็นเซอร์ทั้ง 7 ตัว โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าที่ได้จากการสอบครั้งที่แล้วดังแสดงในรูปที่ 29(ข) หากมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน แสดงว่าตัวเซ็นเซอร์มีการเปลี่ยนตำแหน่งไป ซึ่งจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความผิดปกติต่อไป



ก) การติดตั้งอุปกรณ์

ข) ผลการสอบค่า

รูปที่ 29 การสอบค่า Profiler Straight Edge

3) การปรับเทียบอุปกรณ์ Gyroscope

การเตรียมความพร้อมก่อนการออกสำรวจทุกครั้ง จำเป็นต้องมีการปรับเทียบอุปกรณ์ Gyroscope ซึ่งเป็นการปรับเทียบค่าความชันของตัวรถในทิศทางตามยาวและตามขวางของถนน แรงดันลมของล้อรถสำรวจจึงมีผลต่อค่าความชันของตัวรถที่วัดได้เสมอ เพราะความถูกต้องของข้อมูลที่บันทึกโดยอุปกรณ์ Gyroscope จึงจำเป็นต้องมีการปรับเทียบอุปกรณ์ Gyroscope ทุกครั้งก่อนการวิ่งรถสำรวจ

4) การตรวจสภาพรถสำรวจ

จำเป็นต้องทำการตรวจสภาพรถสำรวจก่อนออกปฏิบัติงานทุกครั้ง เพื่อให้มีความพร้อมที่จะใช้งาน อุปกรณ์ประจำรถที่จำเป็นต้องตรวจสอบอยู่เสมอได้แก่ ตรวจสอบสภาพของยางรถยนต์ ปริมาณน้ำมันเครื่อง น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเบรก น้ำมันครัช น้ำหล่อเย็น และอุปกรณ์รถยนต์ที่สำคัญอื่น

การวางแผนการสำรวจ

เมื่อได้รับทราบขอบเขตของงานที่ต้องทำการสำรวจ จำเป็นต้องทำการศึกษารายละเอียดของเส้นทางและวางแผนการเก็บรวมรวมข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม เพื่อนำไปประมวลผลและจัดเก็บในระบบ GIS ต่อไป ข้อมูลที่จะต้องจัดเก็บในภาคสนามมีดังนี้

ค่าพิกัด GPS

ระยะทางของแต่ละสายทางจากเครื่องวัดระยะทาง DMI

ภาพในเขตทางด้านหน้ารถสำรวจจากกล้องเก็บภาพในเขตทาง

ภาพถ่ายของผิวทาง

ค่าความลึกของร่องล้อ (Rutting) และค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากล (IRI)

แผนงานการสำรวจในแต่ละวันจะอ้างอิงจากบัญชีสายทางตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ การวางแผนเพื่อกำหนดเส้นทางสำรวจล่วงหน้ามีขั้นตอนดังนี้

1) รับมอบข้อมูลบัญชีสายทางที่ต้องทำการสำรวจ และตรวจสอบข้อมูลให้สอดคล้องกับปริมาณงานในความรับผิดชอบ
2) จัดการปรับเปลี่ยนข้อมูลสายทางให้อยู่ในรูปฐานข้อมูลที่เหมาะสม สามารถดำเนินงานได้โดยสะดวก
3) จัดเตรียมเอกสารการสำรวจ ใบสั่งงาน และไฟล์บันทึกการสำรวจ (Survey Location File หรือ Loc File)
4) เลือกสายทางจากแผนที่หรือจากบัญชีสายทางเพื่อการกำหนดจุดเริ่มต้น จุดอ้างอิงที่ต้องบันทึก ทิศทางของการเดินรถสำรวจ และจุดสิ้นสุดการเก็บข้อมูล

นอกจากนี้ การวางแผนการสำรวจยังต้องคำนึงถึงความสะดวกในการปฏิบัติงานอีกด้วย เช่น ระยะทางจากที่พักแรมของเจ้าหน้าที่สำรวจ ความหนาแน่นของการจราจรในวันที่จะทำการสำรวจ

ระยะทางที่คาดว่าจะสำรวจได้ในแต่ละวัน จำนวนช่วงของการสำรวจ สภาพของผิวทาง และทิศทางการเดินรถสำรวจเป็นต้น ซึ่งการวางแผนงานบริหารจัดการองค์ประกอบได้ดีจะทำให้ผลงานการสำรวจเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ราบรื่น และเกิดผลสำเร็จตามแผนงานที่วางไว้

ขั้นตอนการดำเนินการสำรวจ

ขั้นตอนการทำงานเพื่อการสำรวจภาคสนาม สามารถสรุปได้ดังนี้

1) การรวบรวมข้อมูลสายทาง

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวางแผนการสำรวจมีดังนี้

บัญชีสายทางที่ระบุเลขทาง ตอนควบคุม ช่องจราจร ชนิดผิวทาง และหลักกิโลเมตรอ้างอิง

แผนที่แสดงสายทางในความรับผิดชอบของแต่ละแขวงในรูปแบบของเอกสาร

การจัดการข้อมูลสายทางให้อยู่ในรูปแบบของฐานข้อมูลที่สามารถ สืบค้นได้ง่าย

ข้อมูลสายทางในรูปไฟล์ดิจิตอลที่สามารถใช้แสดงผลในโปรแกรมบนรถสำรวจได้

2) การกำหนดเป้าหมายงานสำรวจต่อวัน

เพื่อให้การดำเนินงานสำรวจเป็นไปตามแผนงานที่วางไว้ ที่ปรึกษาจำเป็นต้องทำการสำรวจระยะทางไม่น้อยกว่า 200 กิโลเมตรในแต่ละวัน ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของเส้นทางที่ทำการสำรวจ

3) การแบ่งเส้นทาง พื้นที่ และกำหนดจุดพักรถสำรวจ

การเลือกระยะทางบนเส้นทางที่ต้องสำรวจแต่ละเส้น จะเลือกให้สามารถทำการสำรวจให้แล้วเสร็จ เป็นจังหวัดหรือเป็นแขวง โดยจะเลือกที่พักสำหรับทีมงานและรถ ให้อยู่ภายในบริเวณเดียวกันในแต่ละพื้นที่ที่ทำการสำรวจเพื่อให้การสำรวจเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การสำรวจในแต่ละรอบจะใช้เวลาอย่างต่ำประมาณ 3 วัน โดยจำนวนระยะทางที่สำรวจได้ในรอบนั้น ๆ มีระยะทางประมาณ 600 ถึง 1,000 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ และปัจจัยอื่น ๆ ที่เอื้อต่อการวิ่งรถสำรวจ

4) การจัดทำใบสั่งงานและ Loc File

หลังจากที่ได้เลือกเส้นทางสำรวจ ที่ปรึกษาทำการสร้าง Survey Location File หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Loc File เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดหมายเลขรหัสอ้างอิงสำหรับข้อมูลที่สำรวจได้ โดย Loc File ดังกล่าวถูกใช้ในการกำหนดเส้นทางและรายละเอียดการสำรวจสำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์บนรถสำรวจ ดังนั้น ในแต่ละครั้งที่ทำการสำรวจ ข้อมูล Loc File ทั้งหมดที่สำหรับเส้นทางที่วางแผนสำรวจในวันนั้น ๆ พร้อมเอกสารอื่น ๆ ที่จำเป็นจะถูกส่งให้คณะสำรวจล่วงหน้าก่อนการเดินทางออกสำรวจในแต่ละครั้ง ขั้นตอนการจัดทำข้อมูล Loc File สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

นำบัญชีสายทางตามแผนงานที่วางไว้ พิจารณาเพื่อกำหนดรูปแบบการบันทึกข้อมูลและตั้งชื่อสายทาง กรณีของทางหลวงหมายเลข 0033 จะมีตอนควบคุมอยู่ 3 ตอน คือ 0102 0103 0200 ซึ่งระยะทางของแต่ละตอนจะต่อเนื่องกัน ซึ่งสามารถตั้งชื่อให้เป็นสายทางเดียวกันได้

นำบัญชีสายทางมาจัดรูปแบบใหม่เพื่อให้มีความกระชับ ดูรายละเอียดได้ง่าย โดยเพิ่มตารางสำหรับการกำหนดตำแหน่งช่องจราจร พิมพ์เอกสารจากบัญชีสายทางที่ถูกจัดรูปแบบใหม่ นำมาใส่ลงใน

ฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลหลัก โดยตั้งชื่อสายทางกำกับ RCN191 โดยเลือกสายทางที่มีระยะทางต่อเนื่องกัน เช่นทางหลวงหมายเลข 0033 ตอนควบคุมที่ 0102 0103 0200 จะมีความต่อเนื่องกันของเส้นทาง สามารถใช้ชื่อสายทางเดียวกันได้

รหัสสายทาง 414-0033-0102-01 มีความหมายดังนี้คือ หมายเลข 414 หมายถึง รหัสของแต่ละแขวงการทาง หมายเลข 0033 หมายถึง หมายเลขสายทาง หมายเลข 0102 หมายถึง รหัสตอนควบคุม และหมายเลข 01 หมายถึง ลำดับของตอนควบคุม

สร้าง Loc File โดยตั้งชื่อเส้นทางสำรวจที่สร้างไว้แล้วคือ RCN191 ซึ่งจะได้เลขรหัสการสำรวจ 519101 สำหรับการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรมบนรถสำรวจ โดยหมายเลข 5 คือ เลขรหัสซึ่งใช้สำหรับพื้นที่ภาคกลาง หมายเลข 191 ที่อยู่ถัดไปคือรหัสเส้นทางสำรวจซึ่งตรงกับหมายเลขของชื่อสายทาง และหมายเลข 01 ที่อยู่ด้านท้ายสุดคือลำดับที่ของ Loc File ซึ่งประกอบอยู่ในเส้นทาง RCN191 เมื่อมี Loc File อื่นในเส้นทางก็จะถูกตั้งชื่อให้เป็น 519102 519103 ตามลำดับ

จัดพิมพ์ Loc File ออกมาในรูปเอกสารเพื่อใช้เป็นข้อมูลตรวจสอบขณะปฏิบัติงาน และข้อมูล Loc File ในรูปดิจิตอลเพื่อใช้สำหรับการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรมบนรถสำรวจ

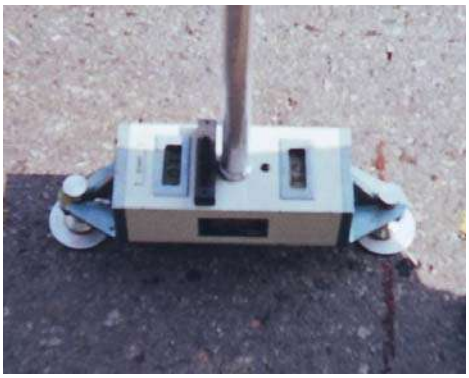
3.2 การวัดค่าดัชนีความเรียบหรือความขรุขระของผิวทางสากลในปัจจุบันของกรมทางหลวง โดยใช้เครื่อง Bump Integrator

กรมทางหลวงได้พัฒนา และเลือกวิธีการตรวจวัดค่าความเรียบหรือความขรุขระของผิวทางสากล (International Roughness Index ,IRI) หลายวิธีเพื่อเลือกอุปกรณ์ที่มีความคงทน ใช้งานง่าย ราคาถูก และที่สำคัญคือต้องสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย หากสามารถบำรุงรักษาได้เองโดยเจ้าหน้าที่ผู้ใช้เครื่องมือถือเป็นทางเลือกสำคัญที่ควรพิจารณาเป็นพิเศษ เครื่องมือวัดค่า IRI ที่เคยนำมาใช้งานแต่ไม่ประสบผลสำเร็จตามเป้าหมายคือ

1. Abay Beam ข้อบกพร่องของเครื่องมือชนิดนี้คือมีขนาดใหญ่ ไม่สะดวกในขั้นตอนการขนย้ายตลอดจนเป็นอุปสรรคในการตรวจวัดภาคสนาม

2. Dipstick เครื่องมือตรวจวัดค่า IRI ชนิดนี้ให้ความแม่นยำสูงมาก จัดอยู่ในระดับชั้นที่1 ตามวิธีการแบ่งชั้นเครื่องมือตรวจวัดค่า IRI มาตรฐานASTM (ASTM E 950-94) Class I ดังแสดงไว้ในรูปที่ 30 ใช้หลักการตรวจวัดค่าความแตกต่างของขาทั้งสองข้างที่อยู่ห่างกัน 0.30 เมตร แม้เครื่องมือชนิดนี้จะให้ความละเอียดในการตรวจวัดสูงมากจัดอยู่ในระดับชั้นของความละเอียดเดียวกันกับ Laser Profiler ตามมาตรฐานASTM (ASTM E 950-94) แต่ข้อบกพร่องของเครื่องมือชนิดนี้คือมีขนาดเล็ก ต้องใช้วิธีการเดินตรวจวัดด้วยกำลังคน จึงทำให้ปฏิบัติงานภาคสนามล่าช้าไม่เหมาะสมกับปริมาณงานกว้างขวางครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งประเทศ

การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick มีประโยชน์อย่างมาก สำหรับงานที่มีพื้นที่น้อยในลักษณะของงานวิจัย หรือการตรวจวัดบริเวณจำกัด พื้นที่แคบเครื่องมือประเภทอื่นไม่สามารถทำงานได้โดยสะดวก ประโยชน์สำคัญอย่างยิ่งของเครื่องมือชนิดนี้ซึ่งมีใช้งานอยู่เพียงเครื่องเดียวในประเทศไทย คือใช้เป็นมาตรฐานในการปรับแก้ค่า IRI ของเครื่องมือชนิดอื่น หรือใช้ข้อมูลการตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสอบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือชนิดอื่น คุณสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่มีอยู่ในเครื่องมือชนิดนี้คือ ทำด้วยวัสดุที่มีความคงทน แข็งแรง ไม่เป็นสนิม อายุการใช้งานยาวนานและบำรุงรักษาง่าย



รูปที่30(ก) การตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick Class1 ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94

เครื่องมือ Dipstick ถึงแม้จะมีความถูกต้องแม่นยำสูง จัดอยู่มาตรฐานASTM (ASTM E 950-94) Class I แต่มีขนาดเล็ก ทำงานได้ช้าเนื่องจากขาทั้งสองข้างห่างกันเพียง 0.30 เมตร ถึงแม้รุ่นใหม่จะมีระยะห่างของขา 0.25 เมตร แต่ยังใช้หลักการทำงานแบบเดิม ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับงานปริมาณมาก เครื่องมือตรวจสอบดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลประเภทนี้ ถูกแทนที่ด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง จัดอยู่มาตรฐานASTM (ASTM E 950-94) Class I คือ Laser Profiler ปัจจุบันผลิตออกมาใช้งานทั้งแบบติดตั้งบนรถยนต์ และแบบเดินตาม ทำให้ปฏิบัติงานในสนามได้สะดวกสบายประมวลผลได้รวดเร็ว สามารถปรับเปลี่ยนระยะของจุดสำรวจข้อมูลในสนามได้ซึ่งคุณสมบัติด้านนี้เครื่อง Dipstick ไม่สามารถทำได้ ที่สำคัญคือราคาถูกกว่า การนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในงานสำรวจและประเมินสภาพทางคือ แนวทางการพัฒนางานด้านสำรวจและประเมินสภาพทางครั้งสำคัญของกรมทางหลวง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำด้วยความรวดเร็ว เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการงานบำรุงทางให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในอนาคต

ปัจจุบันกรมทางหลวงได้ใช้เครื่อง Bump Integrator เป็นเครื่องมือตรวจวัดค่าความเรียบของถนนทั่วประเทศไทย โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบทำหน้าที่ดำเนินการตรวจวัดข้อมูลภาคสนามพร้อมทำการวิเคราะห์ แล้วส่งผลการตรวจวัดและผลการวิเคราะห์ข้อมูล ให้สำนักบริหารบำรุงทางใช้ประกอบการ

พิจารณาจัดลำดับ เพื่อจัดสรรงบประมาณบำรุงทางประจำปีให้เกิดความถูกต้องเหมาะสม ตามลำดับความจำเป็นเร่งด่วนของแต่ละพื้นที่

กรมทางหลวง ได้พยายามเลือกวิธีการตรวจวัดสภาพพื้นผิวทางด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีความรวดเร็ว ความถูกต้องแม่นยำสูงมาใช้งาน เพื่อพัฒนาให้ได้วิธีการที่รวดเร็ว ถูกต้อง คุ้มค่า และสามารถสื่อสารเป็นสากลได้ เพื่อเปิดโอกาสให้เกิดการพัฒนาร่วมกับสากลได้อย่างต่อเนื่อง จึงได้นำเอาระบบงานตรวจวัดด้วย Laser รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลและการประเมินผลที่ทันสมัยคือระบบงานบริหารบำรุงทาง HDM-4 มาทดลองใช้งานในปีงบประมาณ 2549 หลังจากจบสิ้นโครงการและประเมินผลความคุ้มค่าของโครงการแล้ว อาจจะได้นำระบบบริหารงานบำรุงทางตลอดจนเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีอันทันสมัยมาใช้ประเมินสภาพทางของกรมทางหลวงในอนาคตอันใกล้

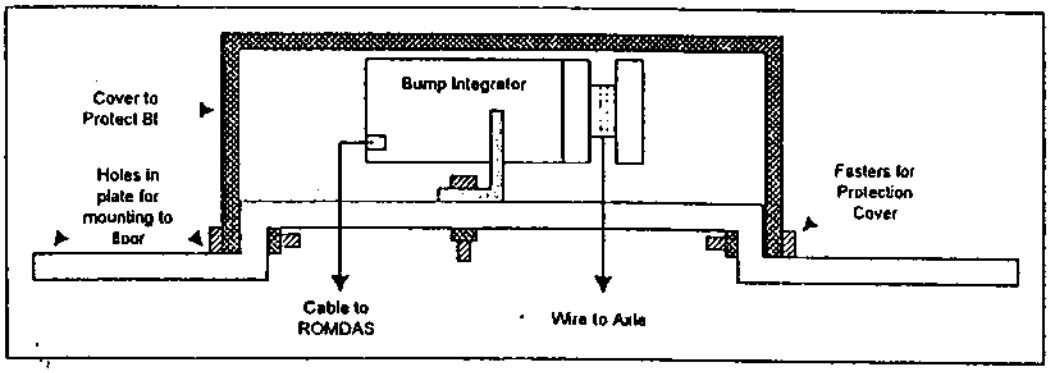
ส่วนประกอบของเครื่อง Bump Integrator

เครื่อง Bump Integrator คือเครื่องมือตรวจวัดค่าความเรียบของถนนประเภทหนึ่ง สามารถติดตั้งไว้ในรถยนต์เกือบทุกชนิด มีความคล่องตัวในการทำงานสูง , การใช้งานง่าย , อายุการใช้งานยาวนาน , บำรุงรักษาง่าย , ไม่รบกวนการทำงานของยานพาหนะที่ติดตั้งเครื่องมือ , ใช้เวลาในการปฏิบัติงานน้อย และมีความทนทานสูงสามารถใช้งานติดต่อกันได้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานประเมินสภาพของพื้นผิวทางทั่วประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่กว้างขวางให้เสร็จสิ้นลงได้ในเวลาอันสั้น

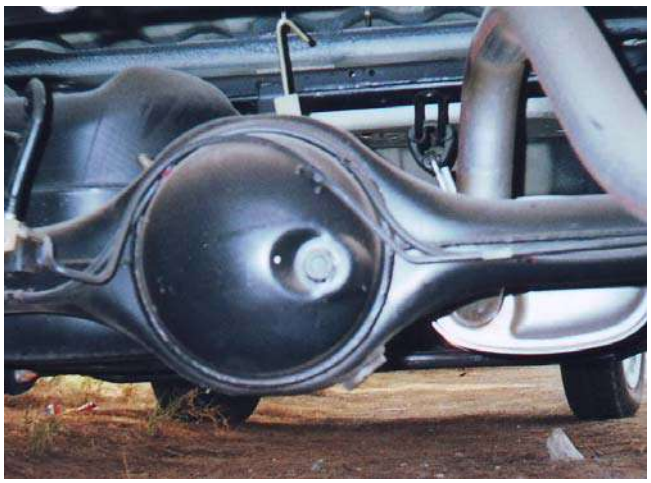
หลักการทำงานของเครื่อง Bump Integrator โดยสังเขปคือ ใช้วัดการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง แบบสะสมของเพลาหลังรถยนต์ เปรียบเทียบกับตัวถังรถยนต์ซึ่งติดตั้งตัวตรวจวัดการเคลื่อนที่ของเพลาหลังโดยถือว่าไม่มีการเคลื่อนที่ของตัวถังรถยนต์ อุปกรณ์ที่มีความสำคัญประกอบด้วย

1. Integrator Unit อุปกรณ์ส่วนนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญทำหน้าที่แสดงการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของเพลาหลังโดยตรง โดยการติดตั้งชิ้นส่วนหลักของอุปกรณ์ไว้กับตัวถังรถยนต์แล้วยึดอุปกรณ์ให้ติดแน่นกับตัวถัง เจาะรูบนพื้นรถยนต์ในตำแหน่งตรงกับเฟืองท้ายของชุดเพลาหลัง เพื่อใช้สำหรับหย่อนสายสลิงผ่านรูนี้ เกี่ยวเข้ากับห่วงเหล็กครึ่งวงกลมซึ่งเชื่อมติดเพลาหลังไว้แล้ว ขณะทำงานอุปกรณ์คล้ายลูกรอกที่ติดตั้งไว้บนพื้นรถยนต์ต้องตึงตัวตลอดเวลาด้วยกำลังของสปริงที่อยู่ภายในลูกรอก ทำให้ลูกรอกหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา สลับกับตามเข็มนาฬิกา ตลอดเวลาที่เพลาหลังเคลื่อนที่ขึ้นและลง สัญญาณการเคลื่อนที่ในทั้งสองทิศทางของ Integrator Unit จะถูกส่งผ่านสายไฟที่ต่อเชื่อมไว้กับ Romdas Hardware Interface เพื่อแปลงเป็นสัญญาณที่สามารถสื่อสารต่อเชื่อมกับสัญญาณของระบบคอมพิวเตอร์ได้ในอุปกรณ์ Romdas Hardware Interface แล้วจึงจะทำการจัดส่งสัญญาณไปบันทึกไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง ดังแสดงรายละเอียดของ Integrator Unit และการติดตั้งในรถยนต์ไว้ในรูปที่ 28 , รูปที่29 และรูปที่30

รูปที่30(ข) Integrator Unit พร้อมสายสัญญาณต่อไปยัง Romdas Hardware Interface ประมวลผลเป็น BI. Count. Unit



รูปที่30(ค) ภาพตัดขวางแสดง Integrator Unit



รูปที่30(ง) ห่วงเหล็กเชื่อมติดกับชุดเพลาหลังของยานพาหนะ

ข้อควรระวังในระหว่างการทำงานคืออุปกรณ์ส่วนที่เป็นลวดสลิง เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะเกิดความล้า เนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพหรือเป็นสนิมขึ้นภายในเส้นลวด ทำให้เกิดการยึดหดร่วมกับการเคลื่อนที่ขึ้นลงของเพลาหลัง ลักษณะความล้าและการเสื่อมสภาพดังกล่าวทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนได้ จึงควรมีชิ้นส่วนสลิงสำรองไว้ใช้งานเสมอ เมื่อเกิดสภาพของสนิม หรือเกิดการบิดงอแตกปริของสลิงบางส่วนให้เปลี่ยนไปใช้ชิ้นส่วนที่สำรองไว้

ข้อควรระวังประการสำคัญคือ การตกหลุมอย่างแรง จะทำให้เพลาหลังเคลื่อนที่ขึ้นและลงอย่างรุนแรงแบบฉับพลัน สาเหตุนี้เป็นเรื่องสำคัญที่ต้องหลีกเลี่ยงด้วยการถอดสลิงทุกครั้งเมื่อหยุดใช้งาน การปล่อยสลิงให้อยู่ในตำแหน่งพร้อมใช้งานอยู่เสมอ อาจทำให้สลิงขาด , เกิดความล้า หรือเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากเกิดแรงดึงกระตุกอย่างรุนแรงขณะล้อรถยนต์ตกหลุมแบบฉับพลัน

ข้อบกพร่องของห่วงเหล็กซึ่งเชื่อมติดกับเพลาหลังคือมีส่วนเปิดอ้าออกมาก เมื่อตกหลุมหรือเกิดการกระแทกของล้อรถยนต์ส่วนปลายสลิงที่เป็นห่วงมักหลุดออกจากห่วงเหล็ก จึงควรปรับปรุงให้ปลายห่วงเป็นแบบห่วงปิด มีที่สำหรับปิดและเปิดเมื่อต้องการเกี่ยวปลายสลิง เพื่อป้องกันปลายสลิงหลุดออกจากห่วงเหล็กระหว่างการปฏิบัติงาน

2. Romdas Hardware Interface อุปกรณ์ Romdas Hardware Interface ทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ส่งมาจากอุปกรณ์ Integrator Unit ซึ่งอยู่ในลักษณะสัญญาณเชิงกลคือระยะการเคลื่อนที่ขึ้นและลงสะสมของเพลาหลังยานพาหนะ ให้กลายเป็นสัญญาณที่สามารถสื่อสารกับระบบงานของคอมพิวเตอร์ได้ แล้วส่งสัญญาณดังกล่าวเข้าไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ Notebook กล่องแปลงสัญญาณหรือ Romdas Hardware Interface พร้อมคอมพิวเตอร์ Notebook จะเก็บไว้ในห้องโดยสารของยานพาหนะ ทำให้เกิดความสะดวกในระหว่างการปฏิบัติงานภาคสนามไม่จำเป็นต้องปรับแต่งหรือติดตั้งอุปกรณ์ใดในระบบเพิ่มเติม เพียงคอยตรวจสอบการทำงานไม่ให้เกิดความบกพร่องขึ้นระหว่างการตรวจวัด

3. Distance and Speed Sensor มาตรวัดระยะทางและมาตรวัดความเร็ว เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมาก จำเป็นต้องเชื่อมโยงมาตรวัดความเร็วและมาตรวัดระยะทางซึ่งเชื่อมต่อไว้กับ Sensor เป็นอย่างดีแล้วจึงเชื่อมโยงเพื่อส่งผ่านข้อมูลของความเร็วและระยะทางไปยังอุปกรณ์ Romdas Hardware Interface เพื่อแสดงค่าของระยะทางและความเร็วที่ใช้ในการตรวจวัดความเรียบของผิวทางผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ Notebook กล่องอุปกรณ์ Distance and Speed Sensor ติดตั้งไว้ในห้องโดยสาร

มาตรวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument , DMI) โดยทั่วไปติดตั้งกับล้อหลังรถสำรวจเพื่อทำการตรวจวัดระยะทางการสำรวจ โดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลส์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจและแปลงข้อมูลเป็นระยะทางที่รถสำรวจเคลื่อนที่ไปได้ บางรุ่นต่อเชื่อมไว้กับมาตรวัดความเร็วที่กระปุกเกียร์ของรถยนต์ แล้วเชื่อมโยงกับ Distance Sensor และ Romdas Hardware Interface เพื่อแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์ Notebook

มาตรวัดความเร็ว ส่วนมากต่อเชื่อมสัญญาณจากมาตรวัดความเร็วซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่มีอยู่ในยานพาหนะเข้าสู่ Speed Sensor และ Romdas Hardware Interface เพื่อแสดงผลผ่านทางคอมพิวเตอร์

Distance and Speed Sensor เป็นอุปกรณ์เฉพาะทาง ผู้ผลิตสามารถผลิตและกำหนดหน้าที่การใช้งาน วิธีการใช้งาน ตลอดจนตำแหน่งติดตั้งที่แตกต่างกันออกไป เมื่อนำมาใช้งานควรระมัดระวังเรื่องความชื้นและความร้อนที่สูงเกินไปอาจทำให้อุปกรณ์เสียหายหรือเสื่อมสภาพได้

4. Computer Notebook เป็นอุปกรณ์มาตรฐานของระบบ ทำหน้าที่ประมวลผล วิเคราะห์ผล และแสดงผลผ่านหน้าจอ โดยมีโปรแกรม ROMDAS เป็นเครื่องมือสำคัญในการวิเคราะห์ และประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดความเรียบของพื้นผิวทาง , ขั้นตอน , วิธีการ และเทคนิคในการใช้งานโปรแกรม ROMDAS จำเป็นต้องศึกษาเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติงานจริงในสนาม

การเตรียมเครื่อง Bump Integrator ก่อนใช้งาน

ค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบสากลของพื้นผิวทาง(International Roughness Index , IRI) สามารถทำการตรวจวัดและนำเสนอได้หลายค่า โดยใช้เครื่องมือที่แตกต่างกันสามารถแบ่งระดับของการตรวจวัดค่า ดัชนีความขรุขระหรือความเรียบสากลของพื้นผิวทาง(International Roughness Index , IRI) ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) ได้ถึง 4 ระดับ Bump Integrator จัดอยู่ใน Class III

หลักการทำงานของเครื่องมือตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) Class III คือก่อนการใช้งานเครื่องมือใน Class III ต้องได้รับการปรับแก้ค่าโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงกว่า ปกติกรมทางหลวงใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งจัดอยู่ในมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) Class I เป็นเครื่องมืออ้างอิงสำหรับเครื่อง Bump Integrator โดยจัดให้มีการปรับแก้ในแปลงทดสอบที่คัดเลือกไว้จำนวน 15 แปลง เป็นประจำทุกปี ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลที่ทดสอบได้ในสนามโดยใช้เครื่อง Bump Integrator จึงอยู่ในรูปของสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลโดยการทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าผลรวมการเคลื่อนที่ขึ้นลงของเพลาหลังของรถในรูปของค่า B.I. ซึ่งทดสอบด้วยเครื่อง Bump Integrator กล่าวคือเครื่อง Bump Integrator ไม่ได้ใช้สำหรับวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนโดยตรง ความแม่นยำที่ได้มีน้อยกว่าเครื่องมือใน Class I แต่มีความแม่นยำเพียงพอสำหรับการตรวจวัดที่ไม่ต้องการความละเอียดในระดับสูงถึงสูงมาก

การนำเสนอค่าความเรียบของพื้นผิวทางเมื่อทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Bump Integrator อยู่ในรูปของค่า B.I. หน่วยเป็น BI. Count. Unit ต่อกิโลเมตร การแปลงข้อมูลของการตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางเมื่อทำการตรวจสอบด้วยเครื่อง Bump Integrator ให้เป็นค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบสากลของพื้นผิวทาง(International Roughness Index , IRI) หน่วยเป็น เมตรต่อกิโลเมตร ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่ให้ความละเอียดแม่นยำสูงคือเครื่องมือ Dipstick สามารถทำได้โดยการสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของชุด ข้อมูล B.I. หน่วยเป็น BI. Count. Unit ต่อกิโลเมตร ตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Bump Integrator กับข้อมูล IRI หน่วยเป็น เมตรต่อกิโลเมตร ตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Dipstick ทั้งนี้เพื่อนำเสนอค่า B.I. ซึ่งตรวจวัดในสนาม ในรูปแบบของค่า IRI กระบวนการปรับแก้หรือการสร้าง

ความสัมพันธ์ดังกล่าวคือ การ Calibrate เครื่องมือ Bump Integrator ก่อนนำไปใช้งานตรวจวัดความเรียบของพื้นผิวทาง

เนื่องจากการตรวจวัดค่าความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator มีตัวแปรที่สำคัญคือตัวแปรเกี่ยวกับสภาพรถยนต์ที่นำมาใช้งาน ซึ่งล้วนแต่มีผลกระทบต่อการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ของเพลาหลังรถยนต์ให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ทั้งสิ้นคือ สภาพของรถยนต์ , อายุการใช้งานของรถยนต์ , ความดันลมยาง , สภาพของยาง , สภาพของช่วงล่าง และน้ำหนักบรรทุกในขณะทำการทดสอบ สิ่งเหล่านี้ต้องอยู่ในสภาพดี พร้อมใช้งาน มีค่าคงที่เท่ากับขณะทำการปรับแก้เสมอ จึงกำหนดให้ต้องทำการตรวจสอบปรับแก้เครื่องมือทุกระยะทางไม่เกิน 5,000 กิโลเมตร

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI เพื่อใช้ปรับแก้ค่า B.I. โดยสังเขป

ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) กำหนดให้ค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบสากลของพื้นผิวทาง(International Roughness Index , IRI) ซึ่งทำการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Dipstick เป็นผลการตรวจวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงมาก จัดอยู่ใน Class 1 ส่วนการตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางด้วยเครื่อง Bump Integrator เป็นผลการตรวจวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำระดับปานกลาง จัดอยู่ใน Class 3 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI เพื่อนำเสนอค่า B.I. ในรูปแบบของค่า IRI โดยใช้สมการแสดงความสัมพันธ์ของค่า B.I. กับค่า IRI จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้ ที่สำคัญคือการทดสอบค่าความเรียบของพื้นผิวทางปริมาณมากไม่สามารถทำได้ด้วยเครื่องมือ Dipstick จึงเป็นการง่ายและคุ้มค่ากว่ามากหากสามารถใช้เครื่องมือ Bump Integrator ตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางปริมาณมาก แล้วนำเสนอค่าความเรียบของพื้นผิวทางที่วัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator ในรูปแบบของค่า IRI ขั้นตอนของการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI เพื่อใช้ปรับแก้ค่า B.I. ให้เป็นค่า IRI และนำค่า B.I. นำเสนอในรูปแบบของค่า IRI เป็นดังนี้

1. วางแผนเลือกสายทางซึ่งมีลักษณะของพื้นผิวทางแตกต่างกันโดยสายทางที่เลือกตรวจวัดควรมีปริมาณการจราจรไม่หนาแน่นมาก ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ ซึ่งต้องปฏิบัติงานบนพื้นผิวจราจรกลางแจ้งติดต่อกันเป็นเวลานาน

2. แบ่งสายทางที่เลือกไว้ออกเป็นตอนรวมทั้งสิ้นไม่น้อยกว่า 15 ตอน โดยหนึ่งสายทางอาจแบ่งเป็นหลายตอน ระยะทางแต่ละตอนคือ 300 เมตร ทำการตรวจสอบระยะทางด้วยเทปวัดระยะที่ให้ความแม่นยำสูง ใช้สีแสดงหมายเลขแต่ละตอน และแสดงทิศทางในแนวร่องล้อซ้าย-ขวา ของแต่ละตอนให้ชัดเจน

3. ทำการตรวจวัด ค่าดัชนีความเรียบหรือความขรุขระสากลของพื้นผิวทาง(International Roughness Index , IRI) ของร่องล้อซ้าย และร่องล้อขวาของแต่ละตอน ด้วยเครื่อง Dipstick ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีความเรียบหรือความขรุขระสากลของพื้นผิวทางระหว่างร่องล้อซ้าย และร่องล้อขวาของแต่ละตอน คือค่าดัชนีความเรียบหรือความขรุขระสากลของพื้นผิวทางแต่ละตอน

ปริมาณข้อมูลเมื่อทำการวัดค่าดัชนีความเรียบหรือความขรุขระสากลของพื้นผิวทาง(International Roughness Index , IRI) ด้วยเครื่อง Dipstick ซึ่งมีระยะห่างของขาหน้าและหลัง 0.30 เมตร เมื่อวัดครบระยะทาง 300 เมตร เท่ากับ 1,000 ข้อมูล รวม 2 ร่องล้อ เท่ากับ 2,000 ข้อมูล ตอนทดสอบที่เลือกไว้ 15 ตอน ข้อมูลทั้งสิ้นเท่ากับ 30,000 ข้อมูล การทดสอบค่า IRI ด้วยวิธีการนี้นอกจากจะมีปริมาณข้อมูลมากแล้ว การวิเคราะห์ข้อมูลยังยุ่งยากและสลับซับซ้อน ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก

4. ทำการตรวจสอบความพร้อมเบื้องต้นของเครื่อง Bump Integrator เช่นขั้วและจุดเชื่อมต่อสายส่งสัญญาณ ความดันลมยางทั้ง 4 ล้อ น้ำหนักบรรทุกขณะทำการทดสอบ บันทึกเวลาและเลขไมล์ยานพาหนะขณะทำการทดสอบ เพื่อเป็นหลักฐานในการซ่อมบำรุงยานพาหนะ หรือปรับแก้เครื่องมือทุกระยะทาง 5,000 กิโลเมตร ตามมาตรฐานกำหนด ตลอดจนใช้เป็นหลักฐานในการเตรียมเครื่องมือให้พร้อมก่อนการตรวจวัดในสนาม โดยสภาพทุกอย่างเช่นความดันลมยาง น้ำหนักบรรทุกต้องมีค่าเท่ากันกับค่าที่ใช้ขณะทำการปรับแก้ค่า

5. ทำการตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางด้วยเครื่อง Bump Integrator ในแต่ละตอนที่กำหนดไว้ โดยควบคุมความเร็วในการทดสอบไว้ 2 ระดับคือ

ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อใช้เป็นความเร็วในการตรวจสอบความเรียบของพื้นผิวทางในเขตเมือง หรือพื้นที่สูงชัน ที่ไม่อาจวิ่งตรวจสอบด้วยความเร็วสูงได้

ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อใช้เป็นความเร็วในการตรวจสอบความเรียบของพื้นผิวทางในเขตนอกเมือง หรือพื้นที่ราบ ที่สามารถวิ่งตรวจสอบด้วยความเร็วสูงได้ แต่ด้วยขีดจำกัดของเครื่องมือกำหนดให้วิ่งด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หากความเร็วสูงกว่าที่กำหนดไว้ ค่าความเรียบของพื้นผิวทางที่ตรวจสอบได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง

ค่าความเรียบของพื้นผิวทางที่ตรวจวัดได้ในสนามของแต่ละตอน คือค่าความเรียบของพื้นผิวทางซึ่งแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้ประมวลผลการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของเพลาหลังอันเป็นผลสะท้อนมาจากการเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อที่วิ่งผ่านไปบนร่องล้อของแต่ละตอนที่กำหนดไว้โดยใช้การทาสีและพยายามให้ยานพาหนะวิ่งผ่านไปในแนวที่กำหนดอย่างน้อย 3 เที่ยว ค่าเฉลี่ยของค่าความเรียบของพื้นผิวทางที่ตรวจวัดได้ในสนาม คือตัวแทนของค่าความเรียบของพื้นผิวทางที่ทำการตรวจวัดได้ด้วยเครื่อง Bump Integrator ในแต่ละตอน หน่วยของค่าความเรียบคือ BI. Count. Unit

6. นำค่า IRI ซึ่งตรวจวัดได้ตามวิธีการในข้อที่3 และค่า B.I. ที่ทำการตรวจวัดได้ตามวิธีการในข้อที่5 ของตอนที่ทำการตรวจวัดเดียวกัน เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองค่า แล้วใช้หลักการทางสถิติทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองตัวทีละตอน โดยวิธี Regression Analysis ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อคำนวณหาสมการถดถอย (Regression Equation) รวม 7 รูปแบบคือ 1. Linear Model 2. Parabolic Model 3. Power Model 4. Exponential Model 5. Logarithmic Model 6. Hyperbolic Model และ7. Linear (var.)Model พร้อมทั้งหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination , R^2) ของสมการแต่ละรูปแบบ ทั้ง 7 รูปแบบ โดยใช้ค่า R^2 สูงที่สุดในการ

ตัดสินใจ เพื่อหาแนวโน้มของกลุ่มข้อมูลที่กำลังวิเคราะห์แสดงผลสอดคล้องกับสมการรูปแบบใดมากที่สุดจากสมการถดถอย (Regression Equation)ทั้ง7รูปแบบ แล้วจึงนำเอาความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการพร้อมค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination , R^2)สูงที่สุด ไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือค่าB.I.และIRI ดังแสดงไว้ในรูปที่ 31

การตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางด้วยเครื่อง Bump Integrator โดยสังเขป

การใช้งานเครื่อง Bump Integrator เมื่อเทียบกับเครื่องDipstick แล้วมีความง่ายกว่า , รวดเร็วกว่า , ซับซ้อนน้อยกว่าทั้งในขั้นตอนการปฏิบัติงานภาคสนาม และขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล อีกทั้งเครื่อง Bump Integrator ยังมีความคงทน , ถาวร , อายุการใช้งานยาวนานและบำรุงรักษาง่าย แม้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะจัดอยู่ในระดับชั้นที่3 แต่อาจจะคุ้มค่ากว่าเครื่องมือที่มีเทคโนโลยีทันสมัย หากคำนึงถึงราคาต้นทุนในระยะเริ่มต้น , ราคาค่าบำรุงรักษา รวมถึงการดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ซึ่งจำเป็นต้องมีความชำนาญเฉพาะด้านทั้งการวิเคราะห์และประมวลผล สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นผู้ใช้และนำเข้าเทคโนโลยีทั้งหมด จึงควรศึกษาและใช้งานเครื่องมือที่มีอยู่เดิมพร้อมกับเปิดโอกาสให้เจ้าหน้าที่ส่วนหนึ่งได้รับเอาเทคโนโลยีที่สูงกว่าเข้ามาใช้งาน เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งจึงประเมินผลความคุ้มค่าที่ได้รับทุกด้านและเลือกวิธีที่ให้ผลคุ้มค่าสูงสุด ขั้นตอนของการตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางด้วยเครื่อง Bump Integrator โดยสังเขปเป็นดังนี้

1. ตรวจสอบความพร้อมของเครื่องมือ ตรวจสอบความดันของลมยางทั้ง 4 ล้อ และตรวจสอบน้ำหนักบรรทุกให้เป็นไปตามที่บันทึกไว้ในขั้นตอนการปรับแก้อย่างเคร่งครัด น้ำหนักส่วนที่เกินให้เอาออกเช่นน้ำมันสำรอง อุปกรณ์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานและ พขร. ควรเป็นน้ำหนักเดียวกันกับขั้นตอนการทดสอบ ความดันลมยางที่ขาดหรือเกิน ควรปรับแก้ไขให้ตรงตามที่บันทึกไว้ในขั้นตอนการปรับแก้เครื่องมือก่อนการทดสอบภาคสนาม ทั้งนี้อายุการใช้งานของช่วงล่างไม่ควรเกิน 5,000 กิโลเมตร เพื่อให้อยู่ในสภาพใหม่พร้อมใช้งานและไม่ส่งผลกระทบต่อค่าที่ตรวจวัด

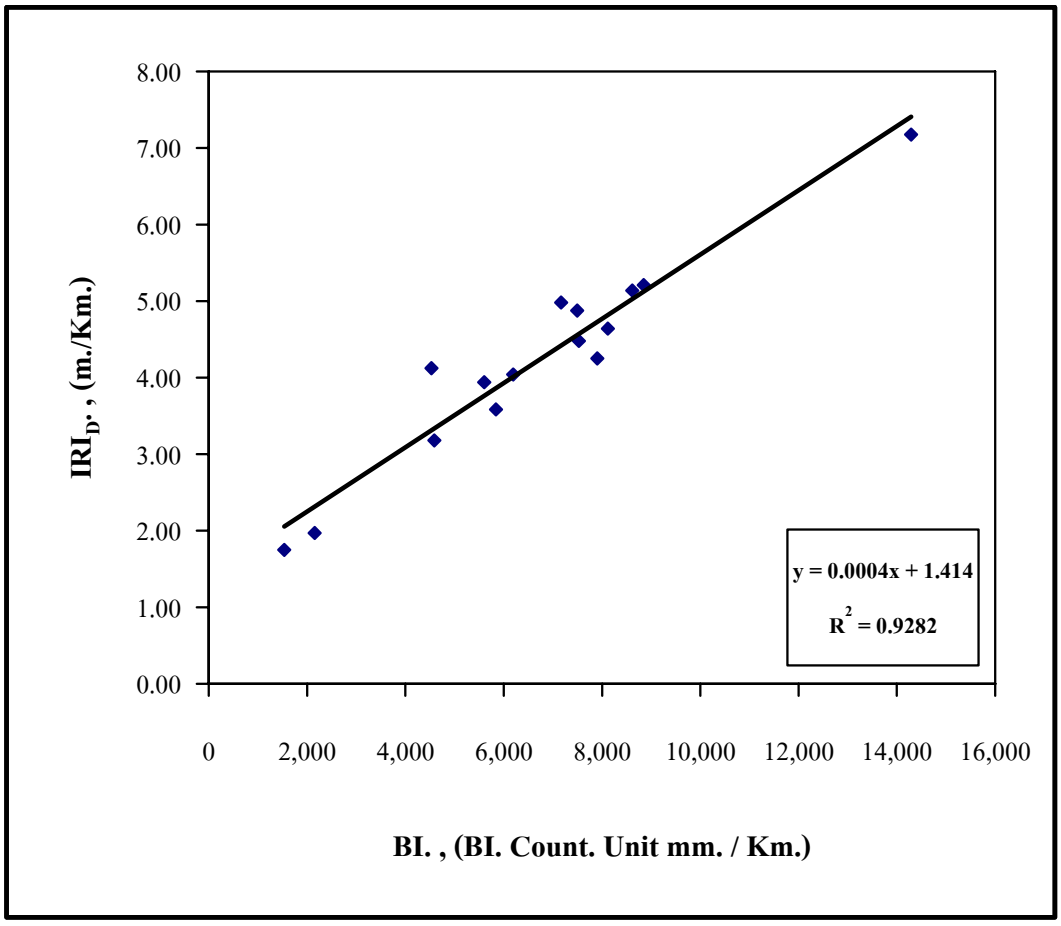
อุปกรณ์ส่วนที่สำคัญของเครื่อง Bump Integrator คือ Integrator Unit , Romdas Hardware Interface , Distance and Speed Sensor และ Computer Notebook ควรตรวจสอบให้พร้อมใช้งานตามข้อกำหนด โดยเฉพาะสายสัญญาณ และอุปกรณ์เชื่อมต่อ ที่อาจเกิดปัญหาหลุดหรือหลวม ต้องตรวจสอบและทำการแก้ไขให้อยู่ในสภาพดีก่อนการใช้งาน

2. เปิดเครื่อง Computer Notebook และทดลองเรียกโปรแกรม ROMDAS ขึ้นมาใช้งาน เพื่อทดสอบความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้กับเครื่อง Computer Notebook

3. วางแผนงานทดสอบ และวิ่งสำรวจพื้นที่ทำการทดสอบ พร้อมกำหนดพื้นที่เป้าหมายกำหนดความเร็วที่จะใช้ในการทดสอบ และป้อนข้อมูลพื้นฐานเข้าเครื่อง Computer Notebook แล้วสำรวจความพร้อมของอุปกรณ์ตามข้อ1 และข้อ2 อีกครั้งหนึ่ง

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส
เลขทะเบียน ฮข-6287
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (60 Km./hr.)

4. เริ่มทำการทดสอบโดยการรักษาระดับความเร็วที่เลือกใช้ในการทดสอบคือ 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ก่อนที่จะถึงเป้าหมายเริ่มต้น

เมื่อรถยนต์วิ่งมาถึงเป้าหมายเริ่มต้น กดแป้น SPACE BAR เป็นการสั่งให้เครื่องเริ่มทำการตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทาง หรือเป็นการ START การทำงานตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของชุดเพลาหลังของรถยนต์

เมื่อรถยนต์วิ่งผ่านจุดสิ้นสุดการทดสอบที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการสำรวจ ให้ทำการกดแป้น INSERT เพื่อเก็บข้อมูลที่ผ่านการตรวจวัดตั้งแต่ค่าเริ่มต้นจนถึงจุดที่กดแป้น INSERT หลังจากกดแป้น INSERT แล้ว การทำงานของเครื่องยังคงดำเนินการตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทางต่อไป เพียงเป็นการหยุดเพื่อบันทึกข้อมูลเป็นช่วงๆเท่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดความสับสน และเกิดความรวดเร็ว อาจป้อนข้อมูลเป็นสัญลักษณ์หรือกิโลเมตรที่กำลังดำเนินการทดสอบทุกครั้งภายหลังการกดแป้น INSERT

ถ้าต้องการหยุดการทำงานของเครื่องให้กดแป้น F10 เครื่องจะหยุดรายงานผลการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงสะสมของเพลาหลัง สามารถเริ่มการทำงานใหม่ตามวิธีการเดิมคือกดแป้น SPACE BAR

5. ค่าความเรียบของพื้นผิวทางที่ตรวจวัดได้ในสนามยังคงเป็นค่า B.I. (Bump Integrator) หน่วยเป็น BI. Count. Unit ต่อกิโลเมตร ต้องปรับแก้ค่า B.I. ให้เป็นค่า IRI โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI ซึ่งจำเป็นต้องสร้างความสัมพันธ์ของเครื่องมือที่จะใช้งานทุกปี หรือทุกระยะทาง 5,000 กิโลเมตร ขั้นตอนการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI เพื่อใช้ปรับแก้ค่า B.I. คือขั้นตอนที่มีความสำคัญ เกิดผลกระทบต่อค่าความเรียบของถนนที่สำรวจจริงในสนามได้สูง การเปลี่ยนช่วงล่างรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ การบรรทุกน้ำหนักที่แตกต่างจากสภาวะที่ทำการปรับแก้ในแปลงทดสอบ สภาพยาง ความดันลมยาง ล้วนแต่มีผลกระทบต่อค่าความเรียบของถนนที่สำรวจจริงในสนามทั้งสิ้น

แนวทางในการปรับปรุงการปฏิบัติงานให้ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำเชื่อถือได้มากยิ่งขึ้นคือการสร้างแปลงทดสอบกลาง ซึ่งตรวจวัดค่าความเรียบของแปลงทดสอบและประมวลผลเป็นประจำ เพื่อใช้เป็นแปลงทดสอบกลาง สำหรับงานตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนสำหรับประเทศไทย เพื่อใช้ปรับแก้เครื่องมือทุกระยะ 5,000 กิโลเมตร เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือเนื่องจากการเสื่อมสภาพ และเพื่อปรับแก้เครื่องมือในกรณีของการบำรุงรักษาช่วงล่างรถยนต์

เครื่อง Bump Integrator ใช้สำหรับตรวจวัดค่าความเรียบของพื้นผิวทาง และนำเสนอในหน่วย BI. Count. Unit ต่อกิโลเมตร ค่า Count. ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวเลขแสดงปริมาณที่ไม่มีหน่วย ดังนั้นเมื่อต้องการนำเสนอค่า Count. ที่วิเคราะห์ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ ให้เป็นมาตรฐานอันเป็นที่ยอมรับทั่วไปต้องทำการปรับแก้ โดยการเปรียบเทียบด้วยการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับค่า IRI ก่อนเสมอ การใช้เครื่อง Bump Integrator ดังกล่าวข้างต้น เป็นข้อกำหนดเฉพาะสำหรับเครื่องแต่ละรุ่น รุ่นที่กล่าวถึงการใช้งานนี้ผ่านการใช้งานมาแล้วไม่ต่ำกว่า 10 ปี และยังไม่สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ที่นิยมใช้งานในปัจจุบันได้ ต้องใช้การสำเนาข้อมูลเพื่อพัฒนาการใช้งานแต่ละคราวไป ปัจจุบัน Bump Integrator สามารถประมวลผลผ่านโปรแกรมประยุกต์ที่นิยมใช้งานโดยทั่วไป ทั้งยัง

สามารถต่อพ่วงกับอุปกรณ์เสริมแบบอื่นได้อย่างหลากหลาย รวมถึงภาพถ่ายสภาพพื้นผิวทางและสภาพทางโดยรอบ ทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อการใช้งานขึ้นมาก โดยยังคงนำเสนอมาตรฐานของค่า B.I. ที่เหมาะสมกับสภาพของพื้นผิวทางแต่ละแบบไว้ดังแสดงในตารางที่ 14 การประมวลผลด้วยเครื่อง Bump Integrator รุ่นก่อน เพื่อนำเสนอร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ที่นิยมใช้งาน แสดงไว้ในตารางที่ 15

ตารางที่14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า B.I. กับสภาพของพื้นผิวทาง

สภาพของพื้นผิวทาง	**ค่า B.I.ผิวทางลาดยาง** (BI. Count. Unit. / Km.)	**ค่า B.I.ผิวทางลูกรัง** (BI. Count. Unit. / Km.)
ดี	1,000-2,000	2,000-4,000
ปานกลาง	2,000-4,000	4,000-6,000
พอใช้	4,000-5,500	6,000-10,000
ต้องแก้ไข	> 5,500	> 10,000

ตารางที่15 การพัฒนา ROAD ROUGHNESS DATA ซึ่งพื้นฐานเดิมใช้โปรแกรม ROMDAS ร่วมกับโปรแกรม EXCEL

District ทางหลวงหมายเลข 1020 แขวงการทางแพร่ **Date of Survey 17/06/2007**

Control Section Sta.31+500-32+000 **Speed** 60 Km./hr.

No.	**Km.**		**Length**	**BI.**		**IRI**	**Remarks**
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	(m.)	(BI. Count. Unit/100m.)	(BI. Count. Unit/Km.)	(m./Km.)	
1	31.500	31.600	100	160.0	1,600	3.85	
2	31.600	31.700	100	180.0	1,800	4.17	**Avg. IRI**
3	31.700	31.800	100	170.0	1,700	4.01	**3.88 m./Km.**
4	31.800	31.900	100	120.0	1,200	3.20	
5	31.900	32.000	100	180.0	1,800	4.17	

บทที่ 4
ผลการทดสอบและวิจารณ์

ความเรียบของผิวทางมีความสำคัญโดยตรงและส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ทั้งด้านความสะดวกสบายและด้านความปลอดภัย จากผลการศึกษาของ AASHO Road Test พบว่า 95 เปอร์เซ็นต์ของการให้บริการด้านงานทางมีความเกี่ยวข้องและขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวทาง ค่าความเรียบของผิวทางจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงสภาพทาง , ความสะดวกสบายของผู้ใช้ทาง รวมถึงคุณภาพของการขับขี่ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล

ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล ถูกนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 โดยธนาคารโลก (World Bank) ได้รับความร่วมมือจากประเทศอังกฤษ ฝรั่งเศส สหรัฐอเมริกา และบราซิล ทดลองวัดค่าความเรียบของทางโดยใช้เครื่องมือหลายชนิดที่นิยมนำมาใช้งานวัดค่าความเรียบของทาง บนทางหลวงทั่วประเทศบราซิล ภายใต้โครงการ International Road Roughness Experiment (IRRE) เพื่อที่จะรวบรวมแนวทางในการวัดค่าความเรียบของทาง ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศแตกต่างกันในแต่ละประเทศ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบของทาง ที่ทำการวัดโดยใช้เครื่องมือแตกต่างกัน หลังจากนั้นจึงได้ตั้งค่ามาตรฐานความเรียบของทางเป็นสากลขึ้นเรียกว่า ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล (International Roughness Index , IRI) มีหน่วยเป็น ม./กม. หรือ มม./ม.

ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลหรือค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากล(International Roughness Index , IRI) เริ่มใช้ครั้งแรกในโครงการวิจัยภายใต้หน่วยงาน National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) ในปี 1986 โดยได้รับการสนับสนุนจากธนาคารโลก (World Bank) ในช่วงเริ่มต้นการพัฒนามาตรฐานของการวัดค่า IRI ทำโดยการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของQuarter Car ที่วิ่งบนถนนด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความก้าวหน้าของเครื่องมืออิเล็คทรอนิคในปัจจุบัน ทำให้การวัดค่าIRI สามารถตรวจวัดได้จากชุดเครื่องมือตรวจวัดค่าระดับผิวถนน ซึ่งใช้เทคโนโลยีของเซนเซอร์ชนิดเลเซอร์ และเครื่องมือวัดการสั่น (Accelerometer) เพื่อทำการตรวจวัดค่า IRI

ความขรุขระ (Roughness) ของผิวทางคือ ค่าความต่างในระนาบของผิวทาง ทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายต่อผู้ขับขี่ยานยนต์บนถนน อีกทั้งยังมีผลต่อการระบายน้ำบนผิวถนน และการกระจายน้ำหนักบรรทุกของยานยนต์ลงบนผิวทาง ดังนั้นความขรุขระของผิวทางจึงเป็นดัชนีชี้วัดซึ่งสามารถบอกถึงสภาพความเสียหายของผิวทางโดยรวมได้ และเป็นที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

จากการศึกษาของ FHWA (1991) พบว่าความขรุขระของผิวทางมีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเสื่อมสภาพของโครงสร้างทาง

จากการวิจัยของ Budras (2001) พบว่าความขรุขระของผิวทาง เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อความเชื่อถือของผู้ใช้เส้นทางต่อคุณภาพของถนน

ดัชนีบ่งชี้ค่าความขรุขระสากลหรือดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนน ได้มีการนำเสนอหลายวิธีตามมาตรฐานอันเป็นที่ยอมรับเช่น Present Serviceability Rating (PSR) , Present Serviceability Index (PSI) แต่ค่าความขรุขระที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลกคือ ค่าดัชนีบ่งชี้ความขรุขระสากลหรือดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนน (International Roughness Index , IRI) ซึ่งนำเสนอโดยธนาคารโลก

ASTM ได้ใช้มาตรฐาน ASTM E 950-94 กำหนดแนวทางที่ใช้ในการแจกแจงชนิดของเครื่องวัดค่าIRI ตามระดับความละเอียดถูกต้องแม่นยำ และวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดหาค่า IRI ของเครื่องมือออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

1. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I

เครื่องมือตรวจวัดค่า IRI ที่ได้ผลของการตรวจวัดมีความแม่นยำในระดับสูง สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องอ้างอิงอุปกรณ์อื่น เครื่องมือที่นิยมใช้งานในปัจจุบันประกอบด้วย Laser Profiler : Non-contact lightweight Profilling devices and portable Laser Profiler Manually operated devices : e.g. TRL beam , Face Dipstick/ROMDAS Z-250 , ARRB Walking Profiler ผู้ผลิตอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงในระดับ Class I ได้ผลิตอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ดี ราคาต่ำออกมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อย เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาข้อมูลด้านสำรวจและประเมินสภาพทางให้มีความถูกต้องแม่นยำและกว้างขวางมากขึ้น

2. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class II

เครื่องวัดที่มีวิธีการวัดค่าความขรุขระ ที่มีความแม่นยำน้อยกว่าเครื่องมือตรวจวัดระดับ Class I เครื่องมือที่นิยมใช้งานประกอบด้วย APL profilometer , profilographs (e.g., Californis, Rainhart) , optical profilers and inertial profilers (GMR)

3. เครื่องมือตรวจวัดระดับClass III

เครื่องมือตรวจวัดที่มีการคำนวณค่า IRI จากสมการปรับแก้ โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดค่า IRI ที่มีความแม่นยำสูงก่อนการนำมาใช้งานจริง เครื่องมือที่นิยมใช้งานประกอบด้วยRoadmaster , ROMDAS , Roughometer , TRL Bump Integrator and rolling Straightedge

อุปกรณ์ที่จัดอยู่ใน Class III ส่วนมากประยุกต์ใช้งานด้วยการติดตั้งในยานพาหนะ มีลักษณะเด่นคือใช้งานง่าย ราคาถูก ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย

4. เครื่องมือตรวจวัดระดับ Class IV

เครื่องวัดที่มีข้อจำกัดในการประมวลผล ไม่มีการปรับแก้ค่าเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ชนิดอื่นก่อนนำมาใช้งานจริง ประกอบด้วย Key Code Rating Systems , Visual Inspection และ Ride Over Section

เครื่องมือวัดค่า IRI ซึ่งให้ความละเอียดระดับสูงสุดในปัจจุบัน ทำได้โดยใช้เครื่อง Laser Profiler ติดตั้งในรถยนต์สามารถทำงานได้ขณะที่รถยนต์วิ่งอยู่ในระดับความเร็วไม่เกิน 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ผลิต ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ให้ค่าละเอียดและถูกต้องมากที่สุด จัดอยู่ใน Class I ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM E 950-94) การวัดค่าดัชนีความขรุขระหรือความเรียบของผิวทาง

สากล (International Roughness Index , IRI) โดยใช้เครื่อง Laser Profiler สามารถทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์พร้อมๆ กัน 3 ตัวทุกระยะ 50 มิลลิเมตร ตามแนวยาวของถนน พารามิเตอร์ดังกล่าวคือ

1. ระยะห่างระหว่าง Profiler Beam กับผิวหน้าถนน วัดโดย Laser Sensor
2. ค่าการเคลื่อนไหวในแนวดิ่งของ Profiler Beam วัดโดย Accelerometer
3. ระยะห่างระหว่างการวัดแต่ละครั้ง วัดโดย Distance Measuring Instrument

เมื่อนำเอาค่าระยะห่างของผิวทางที่วัดได้ มาทำการปรับแก้ค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง อันเกิดจากการยุบตัวของช่วงล่างของรถสำรวจ โดยการเอาค่าระยะที่วัดได้จาก Laser ลบด้วยการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง ซึ่งวัดจาก Accelerometer ทำให้ได้เส้นรูปของผิวถนนตามแนวการวิ่งของรถสำรวจ ซึ่งนำมาใช้คำนวณค่าดัชนีความขรุขระ หรือความเรียบของผิวทางสากล(IRI)ได้ ค่า Average IRI ได้จากการวัดค่าในบริเวณร่องล้อ(Wheel Path) ทั้งสองข้าง และใช้ค่าเฉลี่ยของเส้นรูปถนนจากร่องล้อทั้งสองข้างมาคำนวณหาค่า IRI ทุกระยะทาง 100 เมตร หรือตามที่กำหนด ผลการคำนวณที่ได้คือค่า Average IRI

กรมทางหลวงเริ่มนำเอาเครื่องมือชนิดนี้เข้ามาใช้งานในประเทศไทยในปี พ.ศ.2549-50 โดยการว่าจ้างที่ปรึกษาดำเนินการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนน , ประเมินสภาพความเสียหายของทางโดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์ และเก็บรายละเอียดสภาพทางโดยรวมบนถนนทุกสายที่อยู่ความรับผิดชอบของกรมทางหลวงทั่วประเทศไทย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างดี จากภาคเอกชนและราชการคือบริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด จัดส่งชุดเครื่องมือ Laser Profiler ติดตั้งในรถยนต์ และส่วนสำรวจและประเมินสภาพทาง สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบจัดส่งเครื่องมือ Bump Integrator จำนวน 5 ชุด พร้อมกับเครื่องมือ Dipstick จำนวน 1 ชุด ดำเนินการตรวจวัดดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางในแปลงทดสอบรวมทั้งสิ้น 15 ตอน ทำให้แผนงานศึกษาวิจัยสำเร็จลงด้วยดีเกิดประโยชน์ตรงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยทุกประการคือ สามารถใช้ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ตามวิธีการประเมินสภาพผิวทางของธนาคารโลก สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางในประเทศไทย ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Dipstick , Laser Profiler และBump Integrator โดยมีขอบเขตของการศึกษาวิจัยโดยสังเขปคือ เลือกสภาพพื้นผิวทางที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ค่า ดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) มีค่าแตกต่างกันหลายค่า รวมทั้งสิ้น 15 แปลงทดสอบในพื้นที่จังหวัดสระบุรี เมื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายแล้ว ทำการทดสอบค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Dipstick , Laser Profiler และBump Integrator นำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ของข้อมูล ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางครั้งละ 2 ตัวแปร ตามแนวทางการวิเคราะห์สหสัมพันธ์อย่างง่าย(Simple Correlation Analysis) หลักวิธีทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรคือวิธี Regression Analysis การวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ทำโดยใช้โปรแกรม

คอมพิวเตอร์ คำนวณหาสมการถดถอย (Regression Equation) รวมทั้งสิ้น 7 รูปแบบคือ 1. Linear Model 2. Parabolic Model 3. Power Model 4. Exponential Model 5. Logarithmic Model 6. Hyperbolic Model และ7. Linear(var.) Model พร้อมทั้งหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination , R^2) ของสมการแต่ละรูปแบบ ค่า R^2 สูงที่สุดคือดัชนีบ่งชี้แนวโน้มความสัมพันธ์สูงที่สุดของตัวแปร และใช้ค่า R^2 ในการตัดสินใจ เพื่อหาแนวโน้มของกลุ่มข้อมูลแสดงผลสอดคล้องกับสมการรูปแบบใดมากที่สุด ถือเอาสมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่ให้ค่า R^2 สูงที่สุด คือตัวแทนความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลที่ทำการศึกษาวิจัย แล้วจึงนำเอาความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการพร้อมค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination , R^2)สูงที่สุด ไปใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ต้องการศึกษา เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ทางวิศวกรรมที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาคุณภาพงานก่อสร้างทางอย่างมีเหตุผล ดังแสดงรายละเอียดของการทดสอบและผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยสรุปแสดงไว้ในภาคผนวก - ก และ ภาคผนวก - ข

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาวิจัย เป็นประโยชน์ต่อการแปลงข้อมูลที่ตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางด้วยเครื่องมือชนิดหนึ่งเป็นผลการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางด้วยเครื่องมือชนิดหนึ่งได้ ประโยชน์ที่ได้รับอย่างชัดเจนคือ สามารถใช้เครื่องมือตรวจวัดดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางทดแทนกันได้ , เปลี่ยนแปลงข้อมูลระหว่างกันเครื่องมือที่แตกต่างกันได้ , เลือกใช้เครื่องมือตรวจวัดได้อย่างคุ้มค่าและเหมาะสมกับสภาพพื้นผิวทางและปริมาณงาน พื้นที่ซึ่งมีค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางสูงควรตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่มีราคาถูก ใช้งานง่าย ซ่อมบำรุงรักษาง่าย ส่วนพื้นที่ซึ่งมีปริมาณการจราจรสูงถึงสูงมาก ต้องการมาตรฐานของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางสูง ควรพิจารณาเลือกใช้การตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง ทำงานได้รวดเร็ว รวมถึงใช้ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยเป็นเครื่องเตือนให้ทราบถึงความบกพร่อง หรือเสื่อมประสิทธิภาพของเครื่องมือในขั้นตอนการปรับแก้เครื่องมือก่อนการทดสอบจริง รายละเอียดของการศึกษาวิจัย และผลการวิเคราะห์ข้อมูลแต่ละด้านเป็นดังนี้

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator

4.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ความเร็ว 35 Km./hr.

ผลจากการทดสอบความเรียบของพื้นผิวทางในแปลงทดสอบที่กำหนดขึ้นรวมทั้งสิ้น 15 แปลง โดยใช้เครื่องมือทดสอบความเรียบของพื้นผิวทางที่มีหลักการทำงานแตกต่างกันรวมทั้งสิ้น 3 ชนิดคือ ชุดเครื่องมือ Laser Profiler จำนวน 1 ชุด , ชุดเครื่องมือ Dipstick จำนวน 1 ชุด และ ชุดเครื่องมือ Bump

Integrator จำนวน 5 ชุด คือ รถยนต์ หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 , ฮข-6285 , ฮข-6286 และ ฮข-6287 พบว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นดังนี้

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 32 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

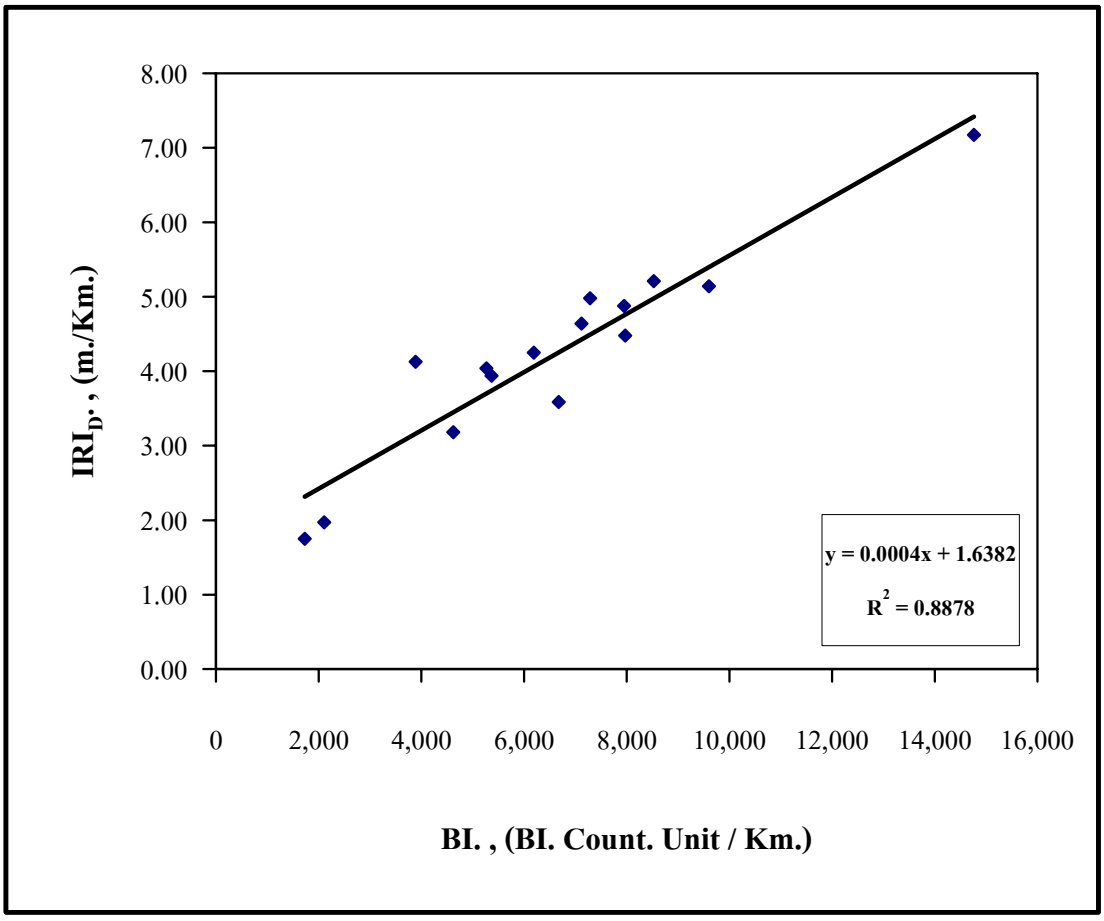
$$IRI_D = 0.0004*(BI.) + 1.6382$$

$$R^2 = 0.8878$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.8878 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง88.78ส่วน ที่เหลือ11.22ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูง เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อยและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 32

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย วีระศักดิ์ นาเมือง
เลขทะเบียน ฮข-6284
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6284) , (35 Km./hr.)

4.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 33 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

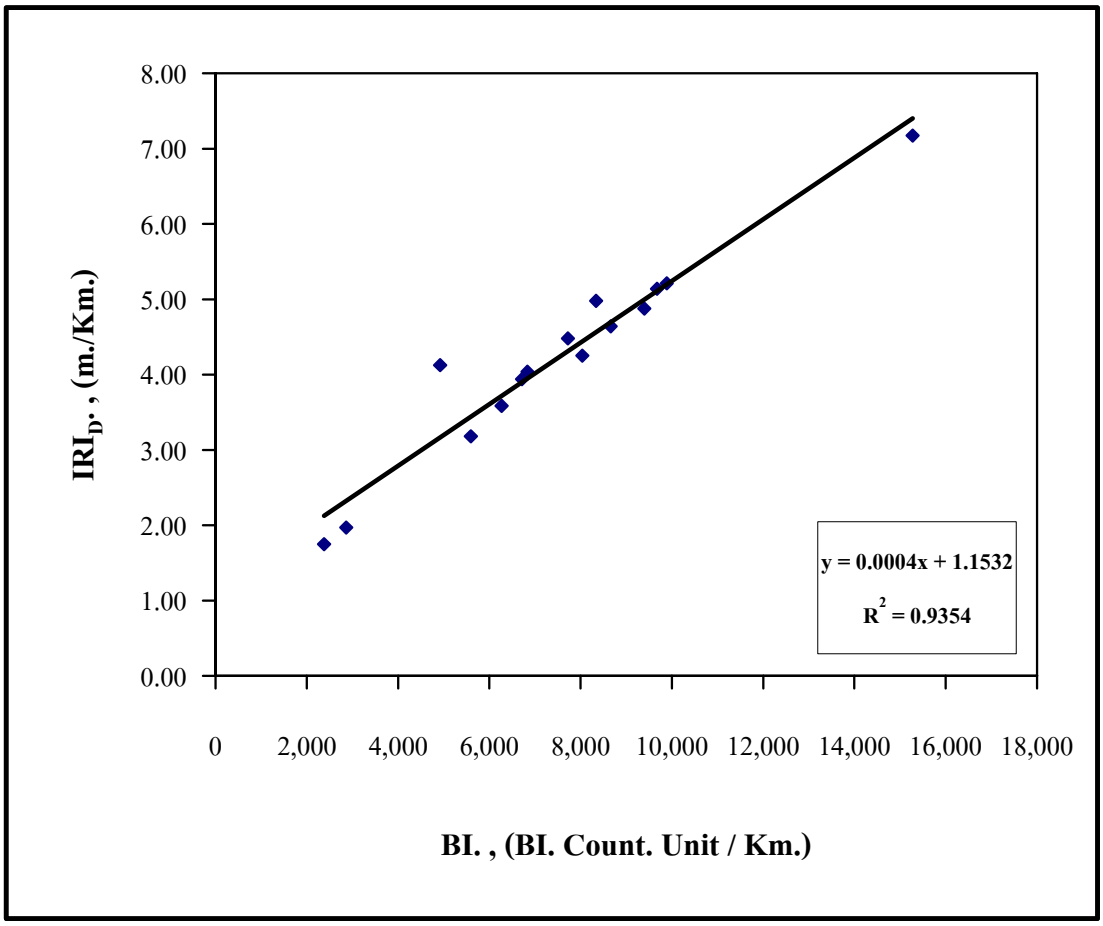
$$IRI_D = 0.0004*(BI.) + 1.1532$$

$$R^2 = 0.9354$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9354 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง93.54ส่วน ที่เหลือ6.46ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 33

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย วีระศักดิ์ นาเมือง
เลขทะเบียน ฮข-6284
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6284) , (60 Km./hr.)

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 34 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

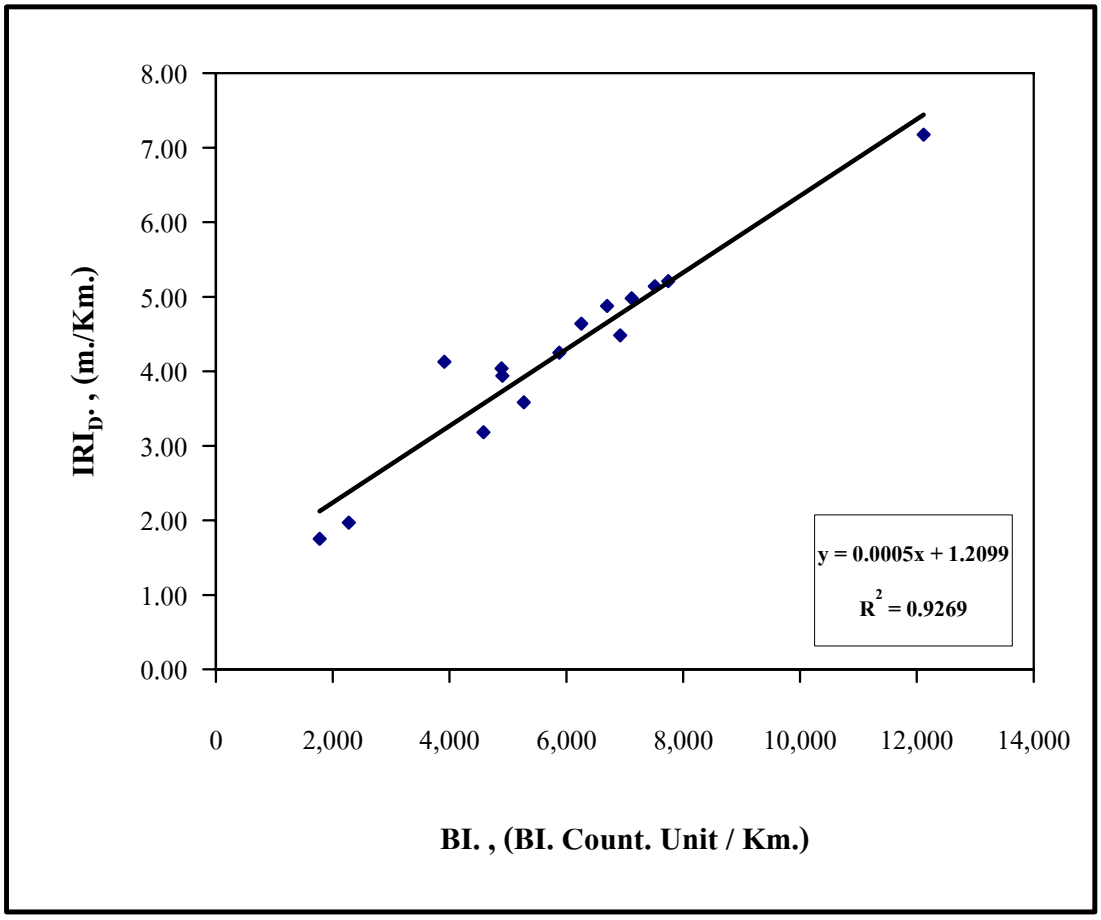
$$IRI_D = 0.0005*(BI.) + 1.2099$$

$$R^2 = 0.9269$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9269 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง92.69ส่วน ที่เหลือ7.31ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 34

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธนินทร์ เครือแดง
เลขทะเบียน ฮข-6285
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6285) , (35 Km./hr.)

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 35 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

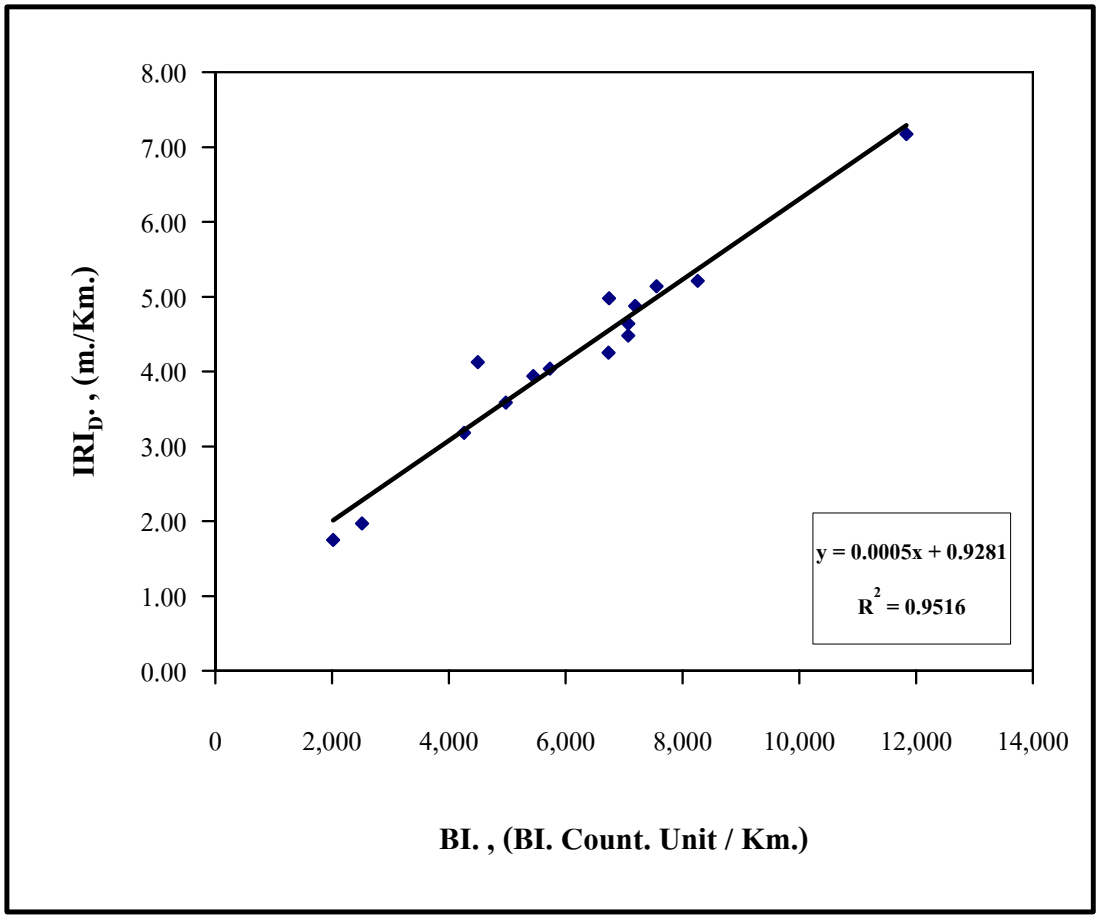
$$IRI_D = 0.0005*(BI.) + 0.9281$$

$$R^2 = 0.9516$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9516 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง95.16ส่วน ที่เหลือ4.84ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 35

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธนินทร์ เครือแดง
เลขทะเบียน ฮข-6285
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6285) , (60 Km./hr.)

4.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 36 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

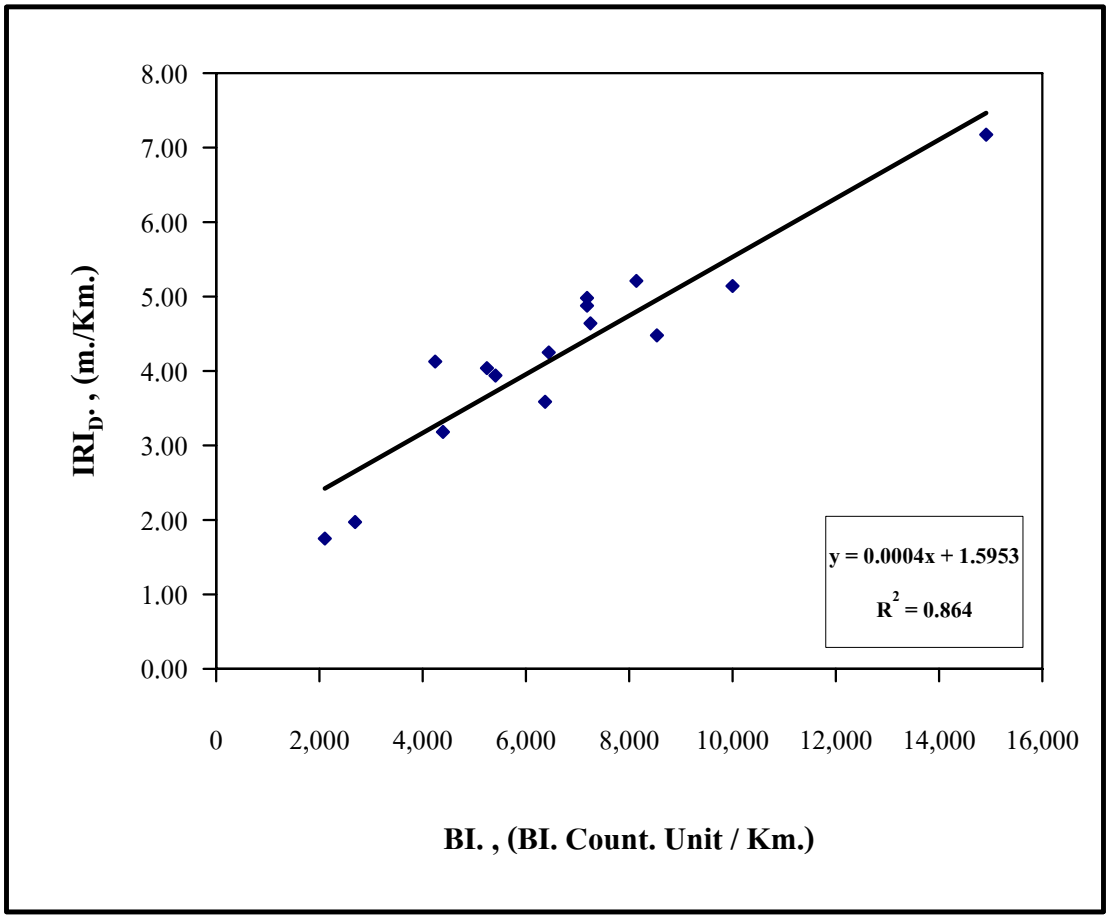
$$IRI_D = 0.0004*(BI.) + 1.5953$$

$$R^2 = 0.8640$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.8640 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง86.40ส่วน ที่เหลือ13.60ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูง เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 36

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธีระวุฒิ พงษ์การุณ
เลขทะเบียน ฮข-6286
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6286) , (35 Km./hr.)

4.1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 37 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

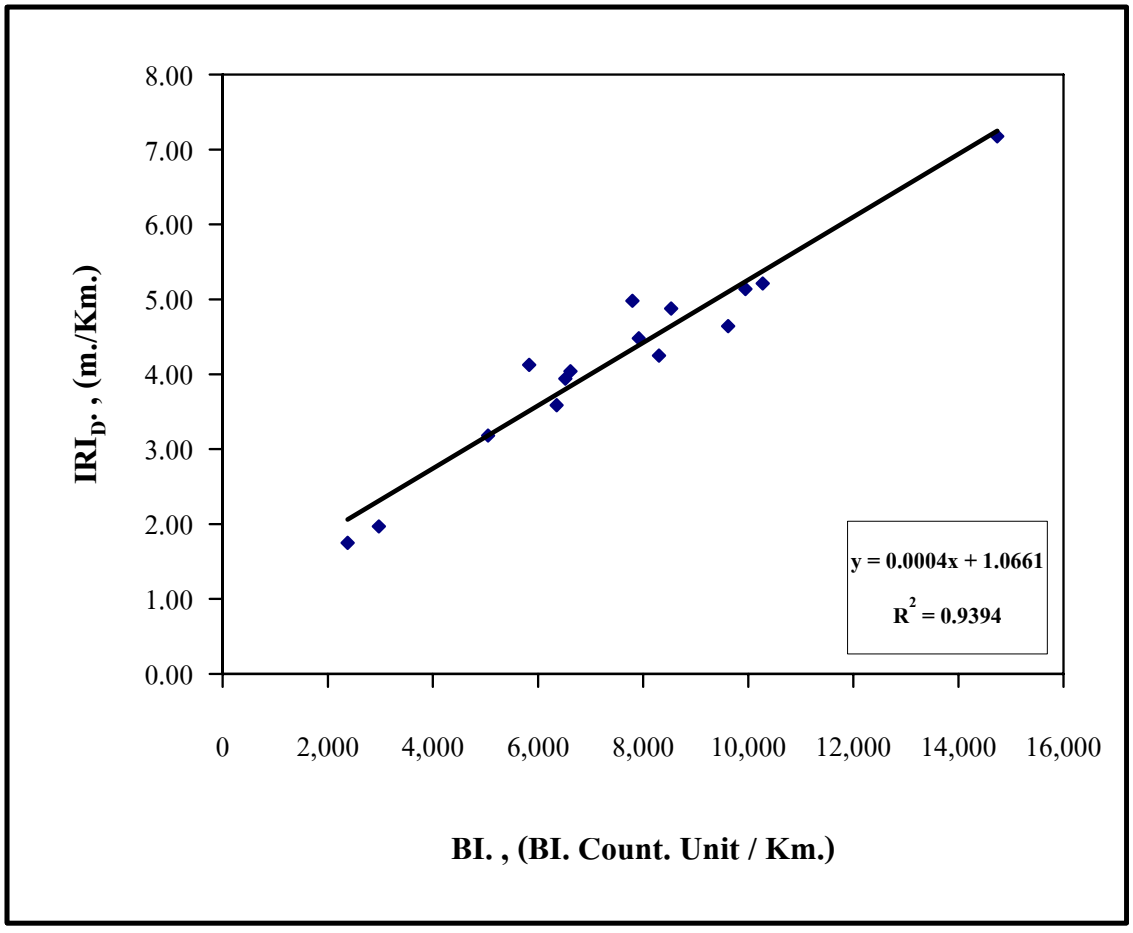
$$IRI_D = 0.0004*(BI.) + 1.0661$$

$$R^2 = 0.9394$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9394 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง93.94ส่วน ที่เหลือ6.06ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 37

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธีระวุฒิ พงษ์การุณ
เลขทะเบียน ฮข-6286
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6286) , (60 Km./hr.)

4.1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 38 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

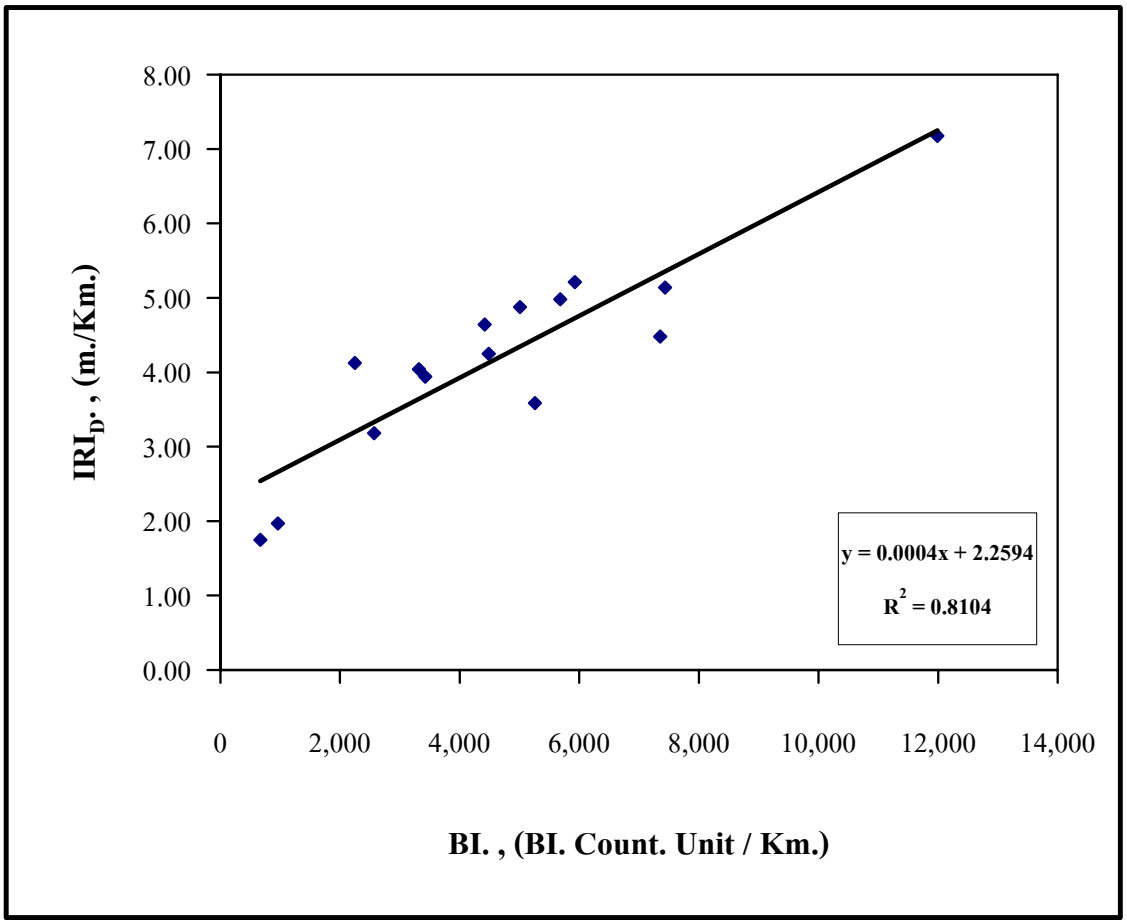
$$IRI_D = 0.0004*(BI.) + 2.2594$$

$$R^2 = 0.8104$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.8104 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง81.04ส่วน ที่เหลือ18.96ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูง เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 38

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง
ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
เลขทะเบียน ฮข-6287
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (35 Km./hr.)

4.1.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 39 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

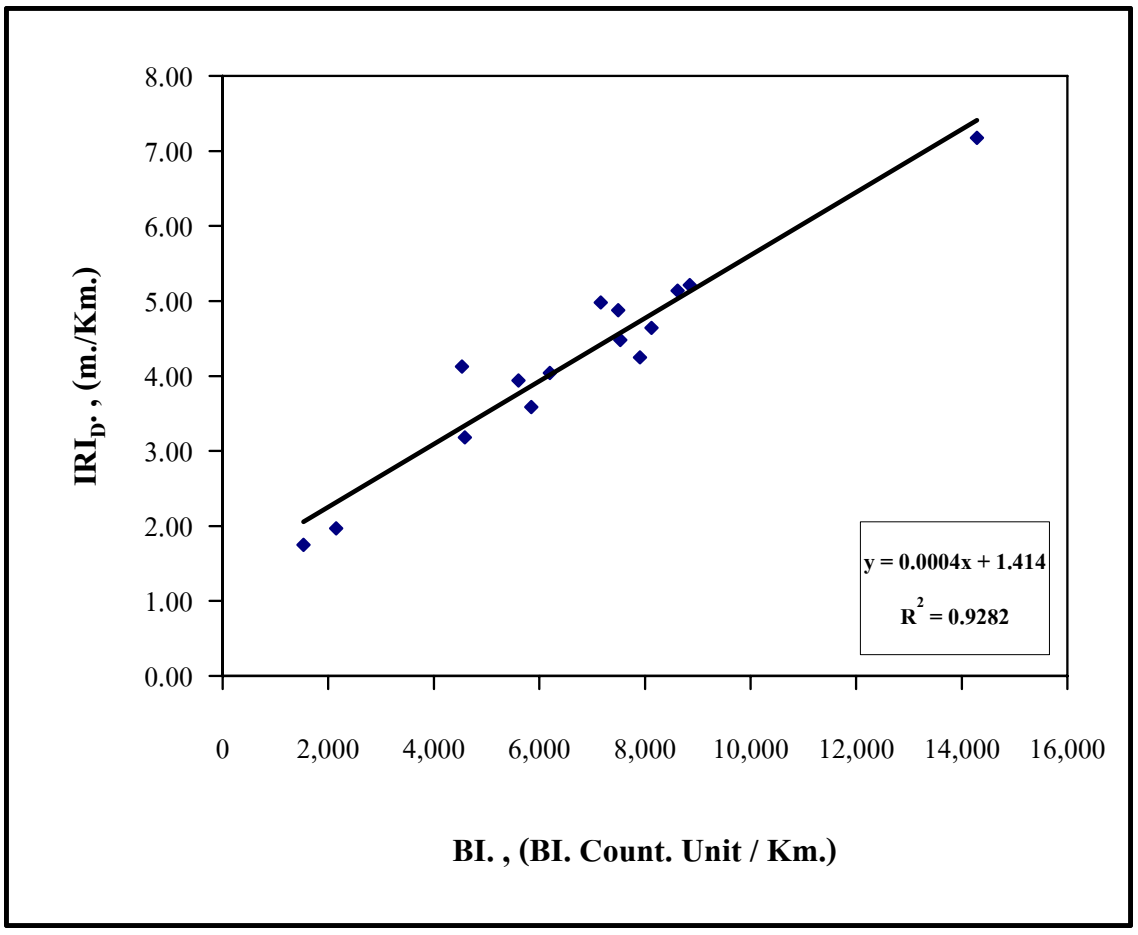
$$IRI_D = 0.0004*(BI.) + 1.4140$$

$$R^2 = 0.9282$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9282 แสดงถึงกรณีที่ข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง92.82ส่วน ที่เหลือ7.18ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความสัมพันธ์ของข้อมูลกระจัดกระจายน้อยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่องDipstick(IRI_D) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 39

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
เลขทะเบียน ฮข-6287
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (60 Km./hr.)

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 40 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

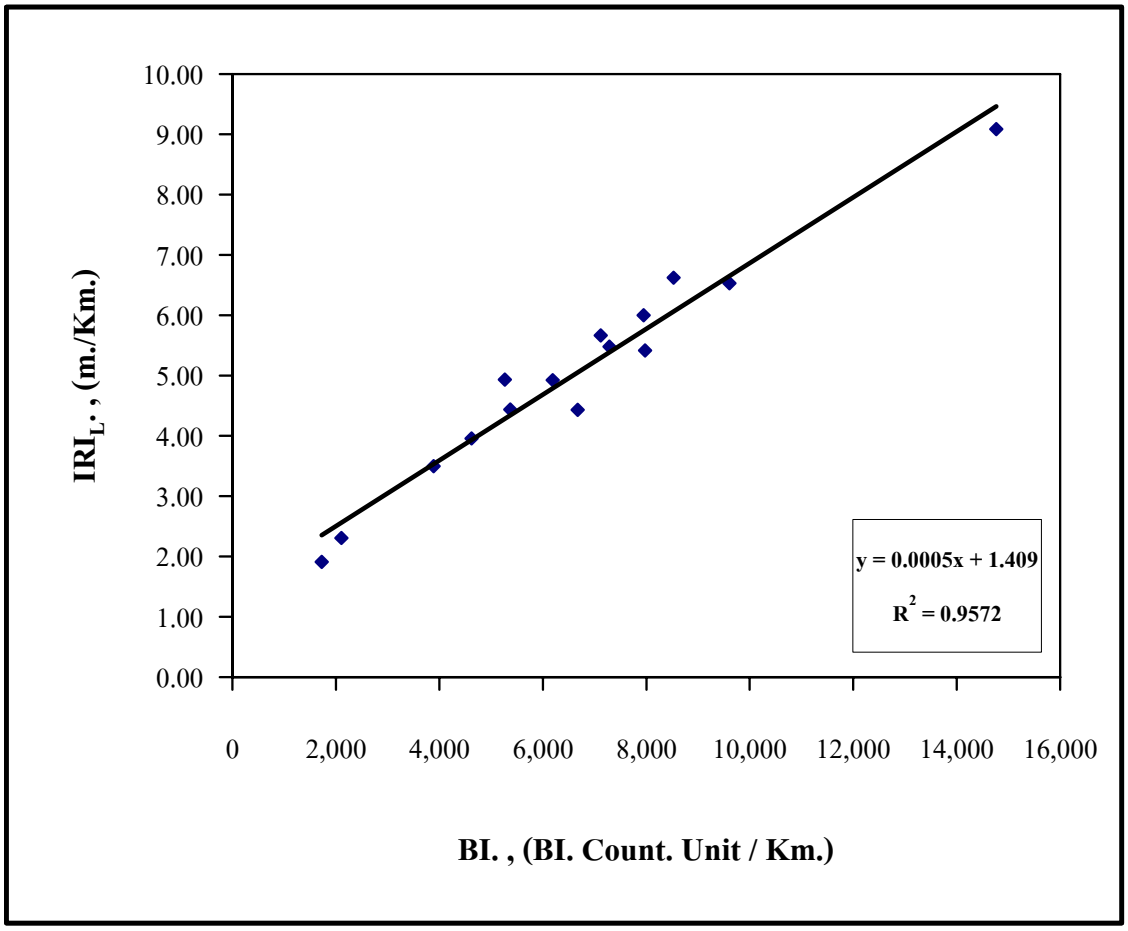
$$IRI_D = 0.0005*(BI.) + 1.4090$$

$$R^2 = 0.9572$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9572 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง95.72ส่วน ที่เหลือ4.28ส่วนไม่สามารถอธิบายได้ ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด เกิดความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 40

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย วีระศักดิ์ นาเมือง
เลขทะเบียน ฮข-6284
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6284) , (35 Km./hr.)

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 41 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0006*(BI.) + 0.7833$$

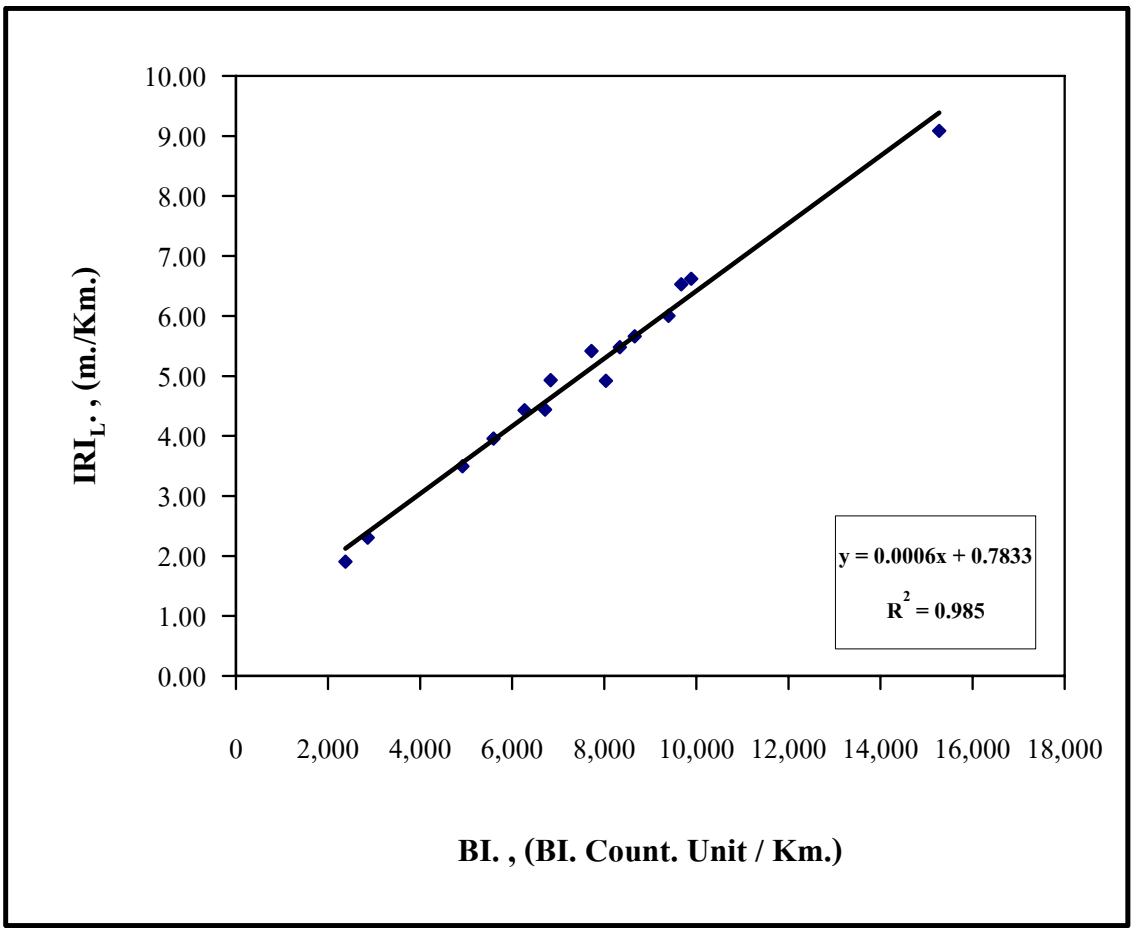
$$R^2 = 0.9850$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6284 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9850 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง98.50ส่วน ที่เหลือ1.50ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 41

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย วีระศักดิ์ นาเมือง
เลขทะเบียน ฮข-6284
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6284) , (60 Km./hr.)

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 42 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0007*(BI.) + 0.8796$$

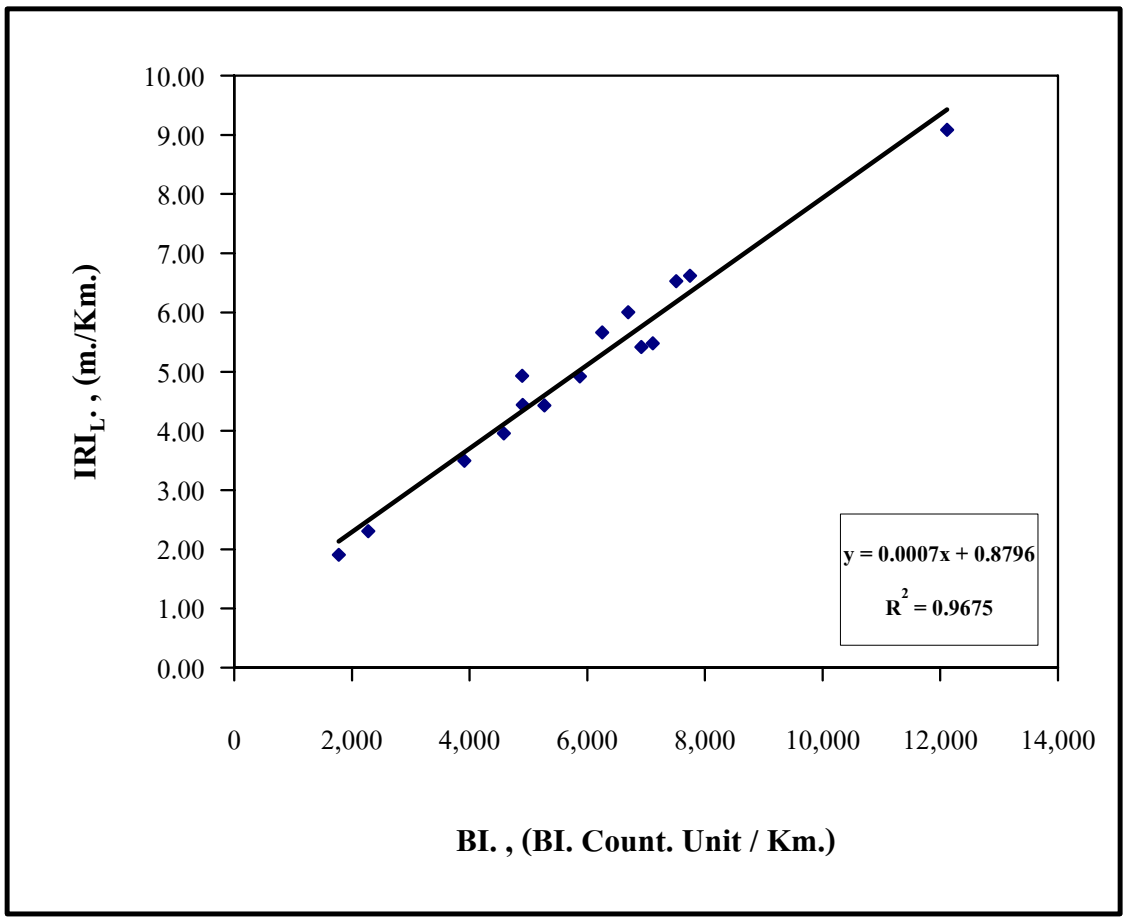
$$R^2 = 0.9675$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9675 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง96.75ส่วน ที่เหลือ3.25ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 42

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธนินทร์ เครือแดง
เลขทะเบียน ฮข-6285
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6285) , (35 Km./hr.)

4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 43 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0007*(BI.) + 0.5280$$

$$R^2 = 0.9779$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6285 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9779 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง97.79ส่วน ที่เหลือ2.21ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 43

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี

โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ

Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง

Equipment 2 Bump Integrator

ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว

ดำเนินการทดสอบโดย ธนินทร์ เครือแดง

ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ

Date of Survey มกราคม 2551

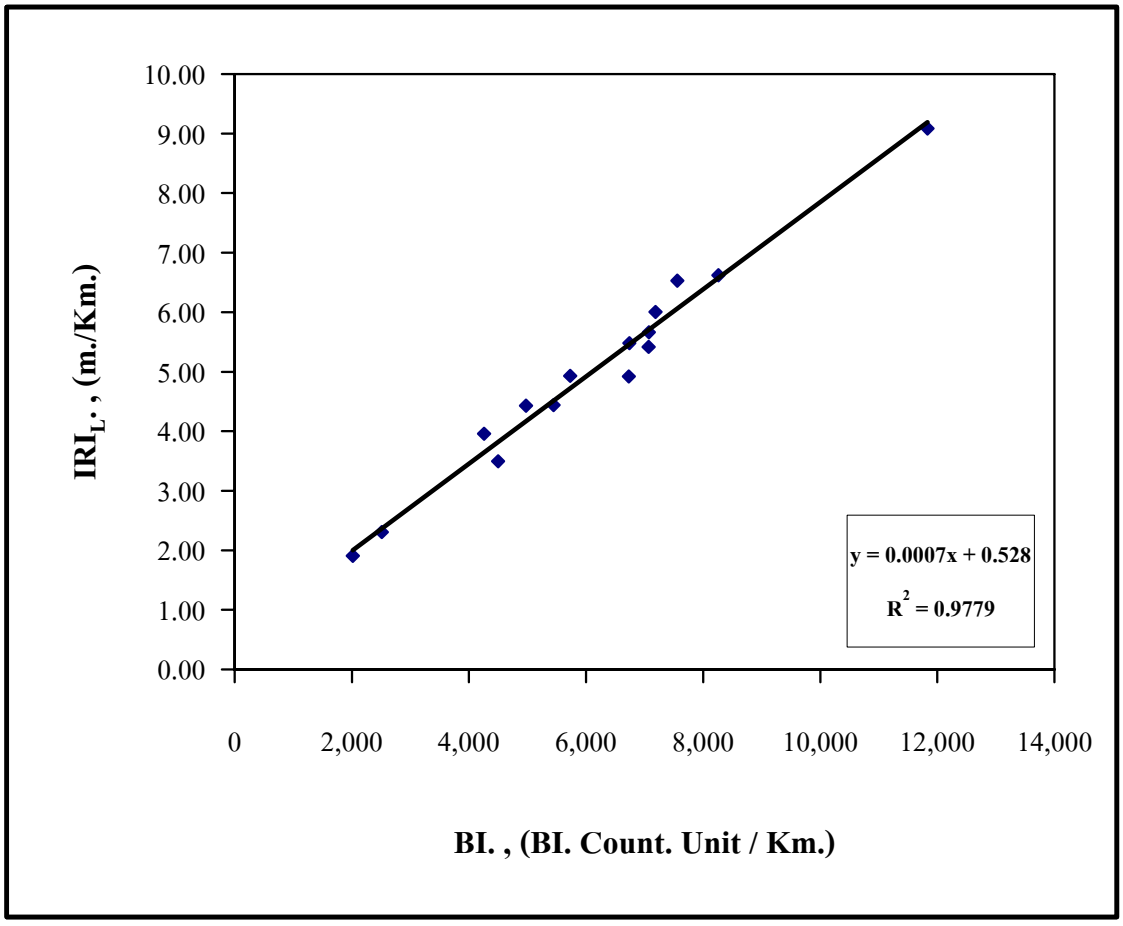
Equipment 1 Laser Profilers

ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ

ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet

เลขทะเบียน ฮข-6285

น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6285) , (60 Km./hr.)

4.2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 44 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0005*(BI.) + 1.3638$$

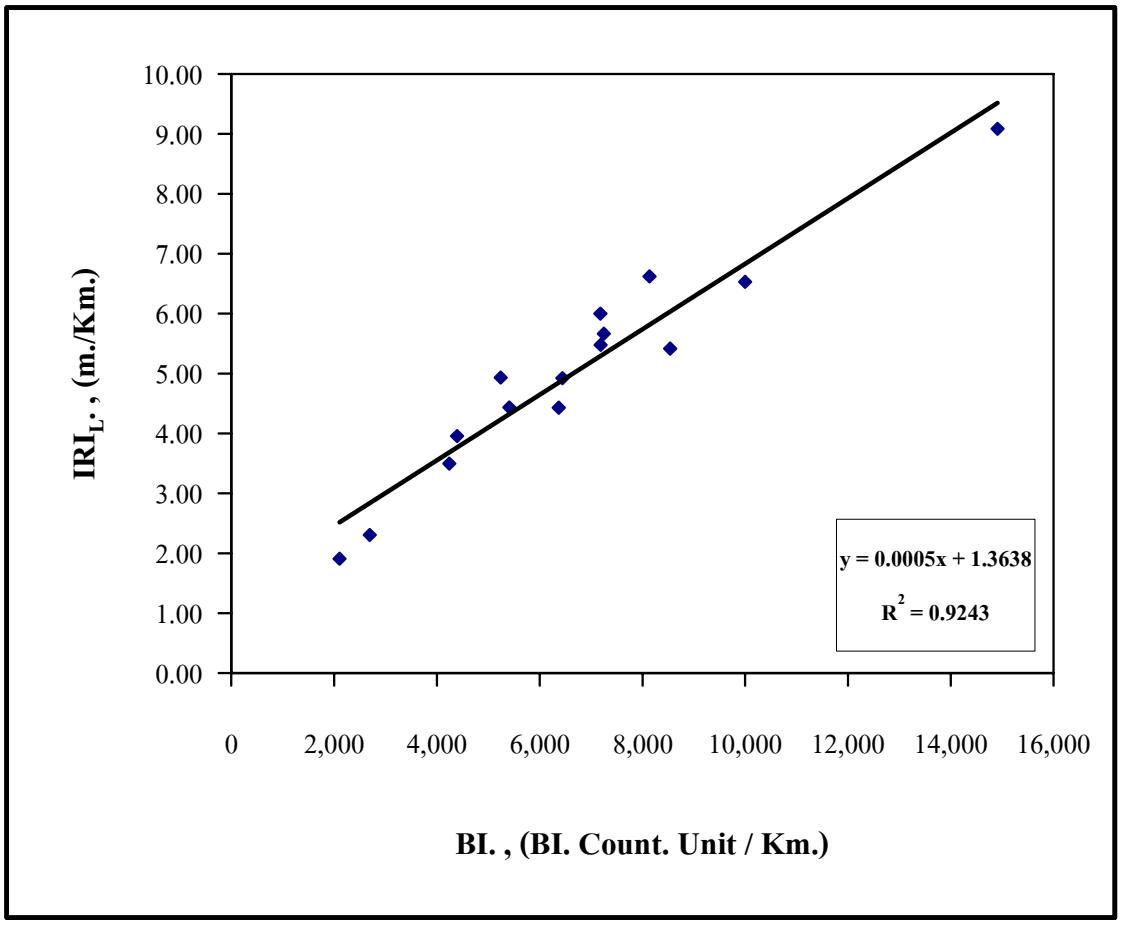
$$R^2 = 0.9243$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9243 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง92.43ส่วน ที่เหลือ7.53ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 44

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธีระวุฒิ พงษ์การุณ
เลขทะเบียน ฮข-6286
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6286) , (35 Km./hr.)

4.2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 45 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0006*(BI.) + 0.7175$$

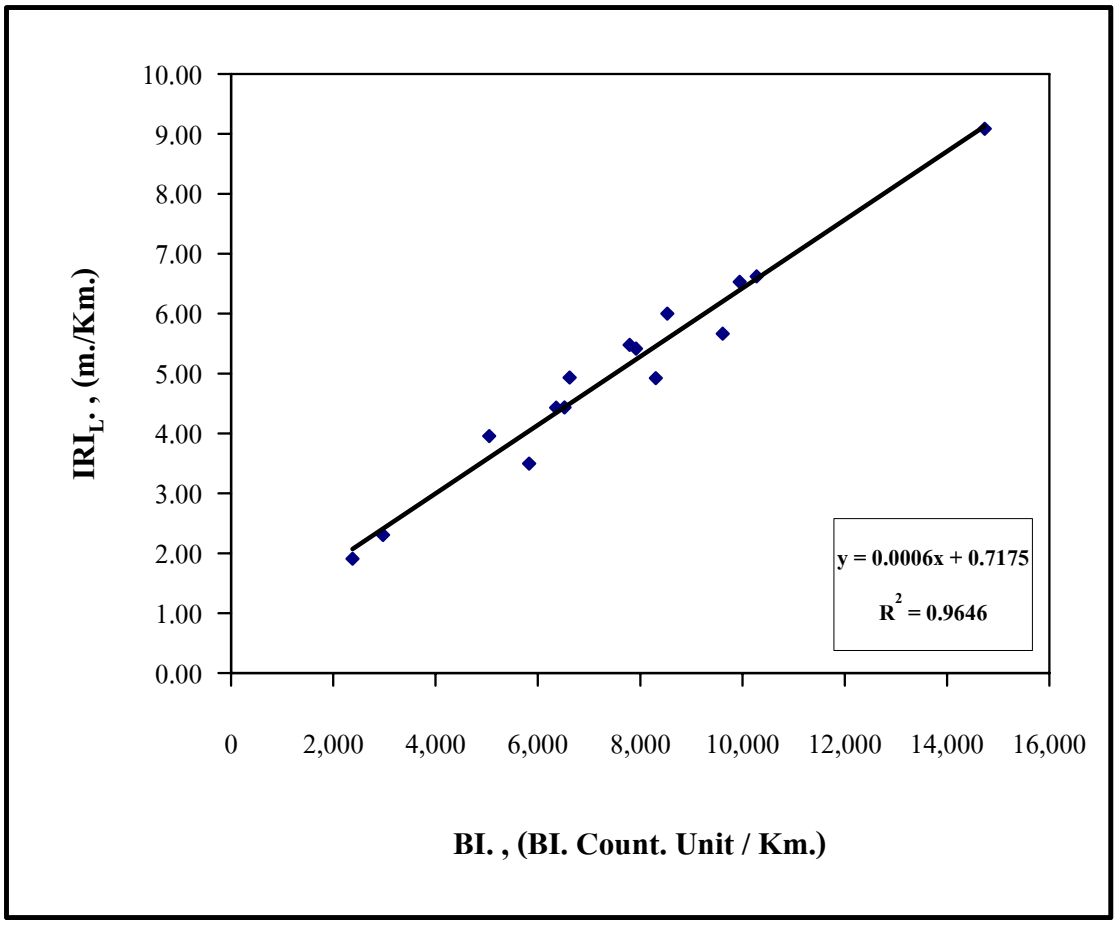
$$R^2 = 0.9646$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6286 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9646 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง96.46ส่วน ที่เหลือ3.54ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 45

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย ธีระวุฒิ พงษ์การุณ
เลขทะเบียน ฮข-6286
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6286) , (60 Km./hr.)

4.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ความเร็ว 35 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 46 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0006*(BI.) + 2.4964$$

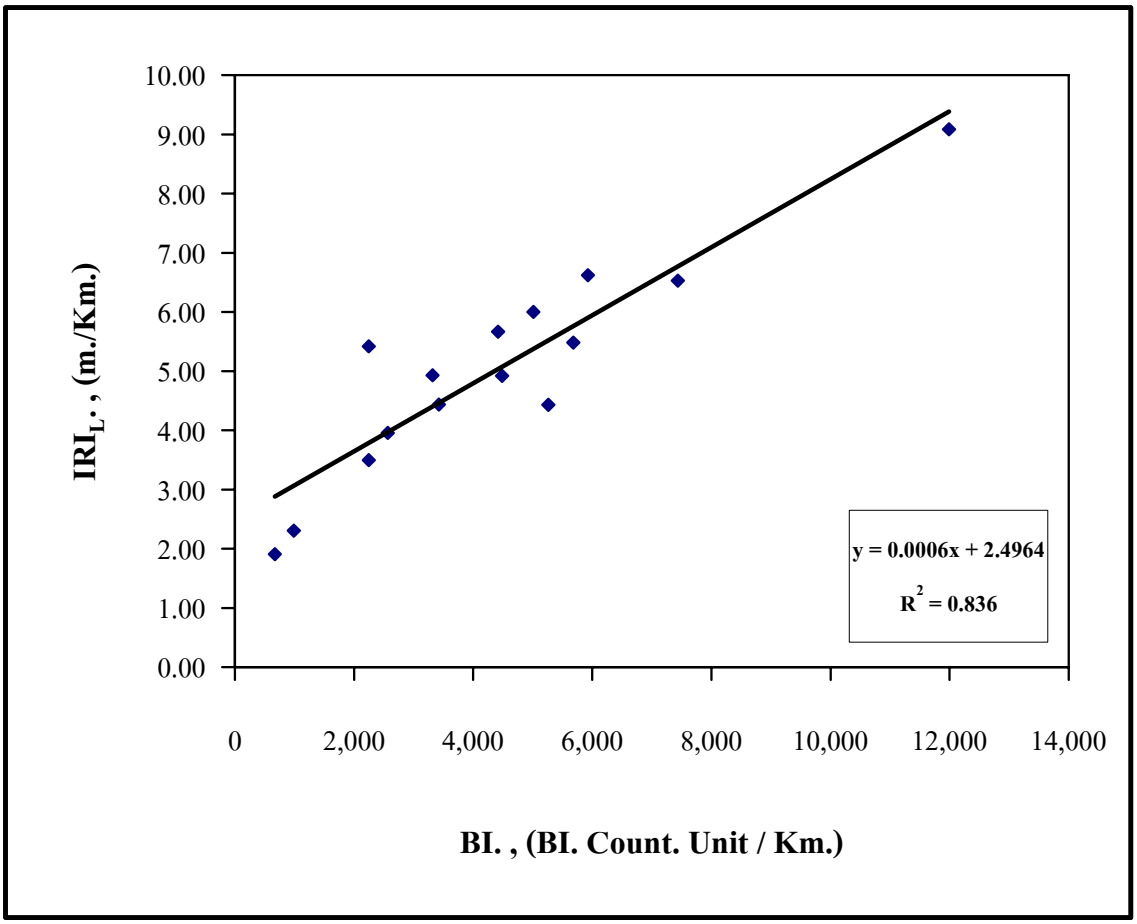
$$R^2 = 0.8360$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.8360 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง83.60ส่วน ที่เหลือ16.40ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูง เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 46

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
เลขทะเบียน ฮข-6287
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (35 Km./hr.)

4.2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ความเร็ว 60 Km./hr.

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง(IRI , International Roughness Index) ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่3 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว(Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 47 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_D = 0.0006*(BI.) + 1.1667$$

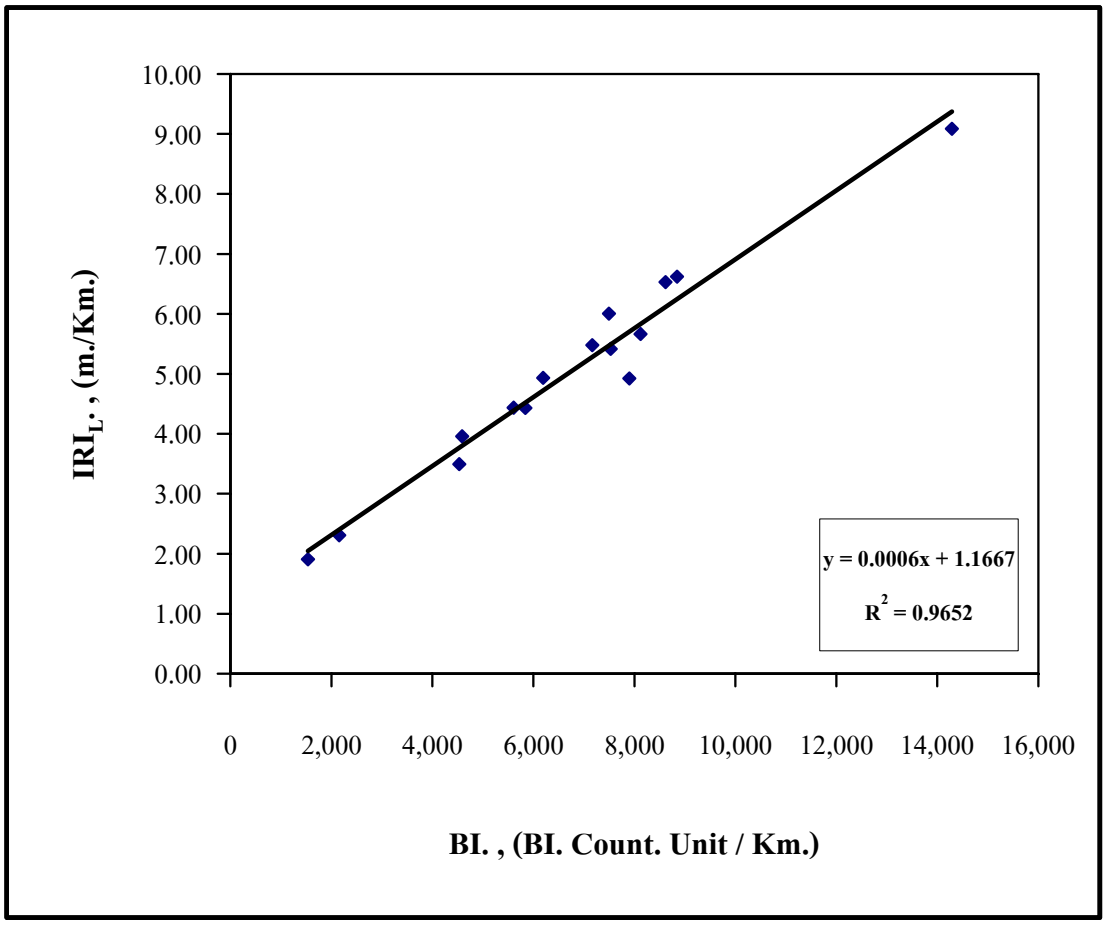
$$R^2 = 0.9652$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) โดยใช้รถยนต์หมายเลขทะเบียน ฮข-6287 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9652 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง96.52ส่วน ที่เหลือ3.48ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกันและแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 47

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Laser Profilers
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
เลขทะเบียน ฮข-6287
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Laser Profilers และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (60 Km./hr.)

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว (Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 48 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_L = 1.2997*(IRI_D) - 0.4757$$

$$R^2 = 0.9369$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9369 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง93.69ส่วน ที่เหลือ6.31 ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 48

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Laser Profilers

District แขวงการทางสระบุรี

Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง

Equipment 1 Dipstick

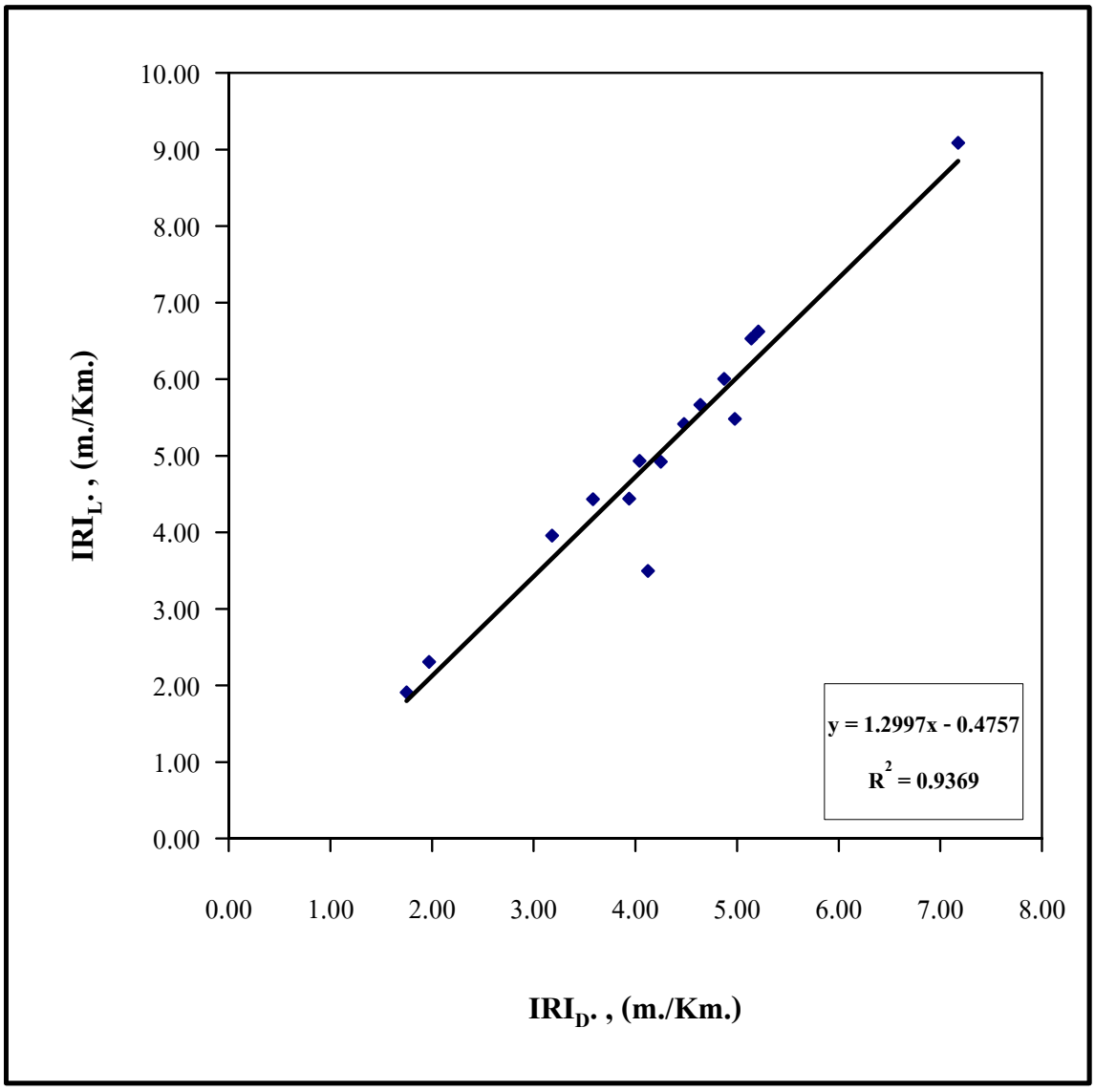
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ

Date of Survey มกราคม 2551

Equipment 2 Laser Profilers

ทดสอบโดย บริษัท STS.



รูปที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Laser Profilers

ผลจากการติดตามงานตรวจวัดค่าความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Laser Profiler พบว่าแปลงทดสอบที่ F120 ถนนสาย สบ.1022 บ้านประดู่-บ้านกลับ กิโลเมตรที่ 1+700 ถึง 2+000 รถไม่สามารถวิ่งทับบนแนวร่องล้อที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากมีกิ่งไม้ยื่นออกมากีดขวางการจราจร อาจเกิดความเสียหายต่อกล้องสำรวจสภาพพื้นผิวทางที่ตอดตั้งบนหลังคารถยนต์ได้ จึงเบี่ยงออกนอกแนวร่องล้อที่กำหนด เมื่อทำการตัดข้อมูลในตอนที่ F120 ออกไป แล้ววิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เหลือพบว่า

เมื่อนำค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กับ ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบความเรียบของถนน ประเภทที่1 ตามมาตรฐานการจัดแบ่งเครื่องมือของ ASTM E 950-94 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่าย ด้วยหลักวิธีการถดถอยเชิงเดี่ยว (Simple Regression) โดยใช้วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด(The Least Squares Method) เพื่อให้ได้ค่ากำลังสองของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) หรือ สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) สูงที่สุด พบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) มีรูปแบบของสมการถดถอย(Regression Equation) ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 49 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$IRI_L = 1.2938*(IRI_D) - 0.3514$$

$$R^2 = 0.9826$$

จากสมการถดถอย(Regression Equation) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) สูงที่สุด เท่ากับ 0.9826 แสดงถึงกรณีมีข้อมูล100ส่วนเปลี่ยนแปลงไปสามารถอธิบายด้วยสมการแสดงความสัมพันธ์ถึง98.26ส่วน ที่เหลือ1.74 ส่วนไม่สามารถอธิบายได้

ความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันเป็นไปในแนวทางที่แน่นอน เด่นชัด ความกระจัดกระจายน้อย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่อค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L) มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าของดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D) จะมีค่าเพิ่มขึ้น ตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model ดังแสดงไว้ในรูปที่ 49

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Laser Profilers

District แขวงการทางสระบุรี

โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ

Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง

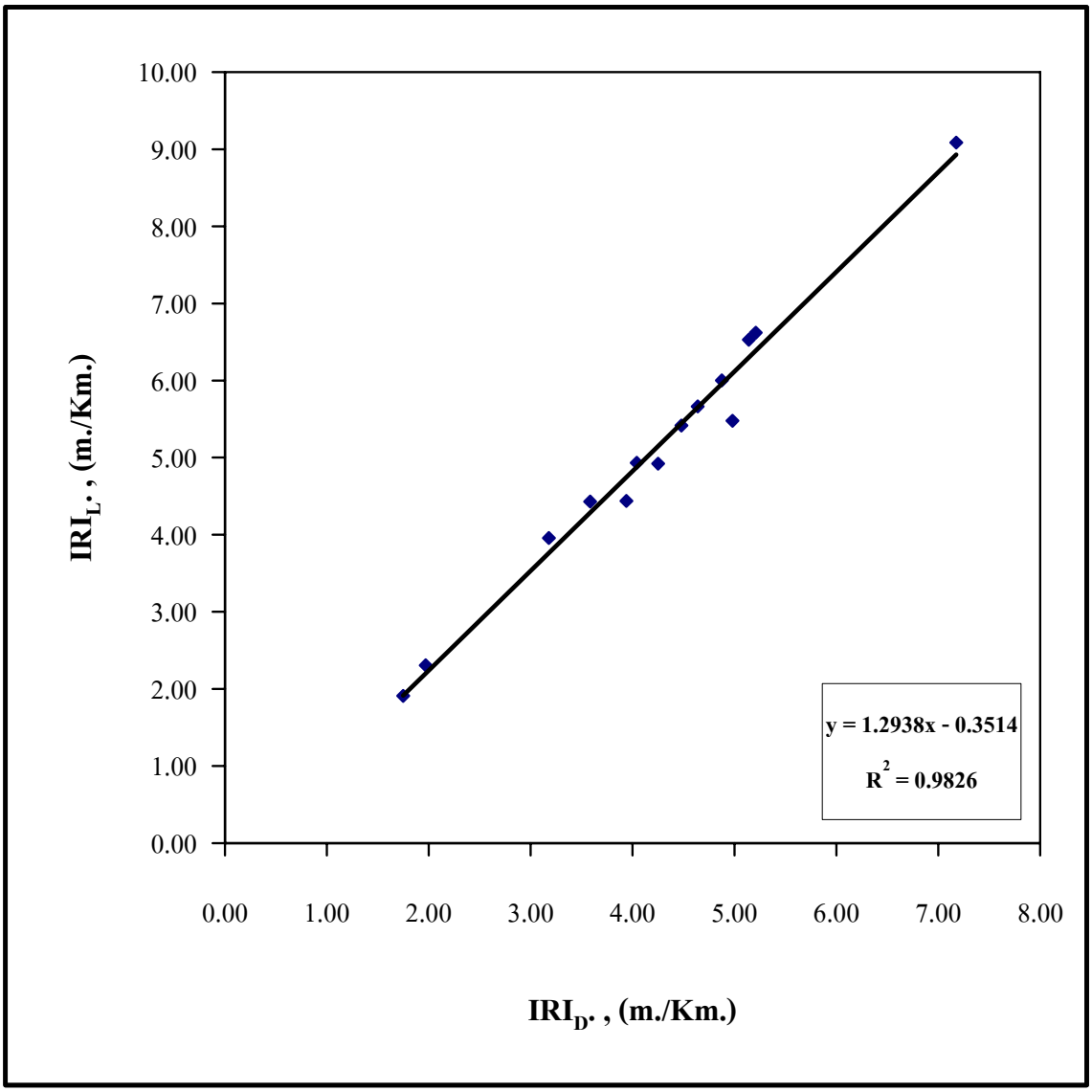
Date of Survey มกราคม 2551

Equipment 1 Dipstick

Equipment 2 Laser Profilers

ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

ทดสอบโดย บริษัท STS.



รูปที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Laser Profilers

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสามกรณีคือความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าความเรียบของถนนจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator , ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าความเรียบของถนนจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator และความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler ดังแสดงในตารางที่ 16

พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าความเรียบของถนนจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ Class3 คือ Bump Integrator กับเครื่องมือ Class 1 คือ Dipstick ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 มีค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) ต่ำที่สุดคือ 0.9054

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler กับค่าความเรียบของถนนจากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Bump Integrator เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ Class3 คือ Bump Integrator กับเครื่องมือ Class 1 คือ Laser Profiler ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 มีค่าเฉลี่ยของค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) คือ 0.9472

หมายถึงการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ Class 1 ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 กับเครื่องมือ Class3 คือ Bump Integrator เครื่องมือ Class 1 ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการปรับแก้ค่าเพื่อให้ได้ผลการทดสอบภาคสนามด้วยเครื่อง Bump Integrator มีความแน่นอนแม่นยำสูงขึ้น เมื่อพิจารณาระหว่าง Dipstick กับ Laser Profiler โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ที่สูงกว่า ควรพิจารณาเลือกใช้งาน Laser Profiler ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) คือ 0.9472

ปัจจุบันกรมทางหลวงใช้เครื่อง Dipstick ซึ่งมีระยะห่างของขาทั้งสองข้างเท่ากับ 0.30 เมตร ไม่สามารถประมวลผลให้มากหรือน้อยกว่าระยะของขาทั้งสองข้างได้ แม้ในปัจจุบันจะพัฒนาเครื่อง Dipstick ให้ประมวลได้รวดเร็ว และใช้งานง่ายขึ้น ระยะห่างระหว่างขาทั้งสองข้างน้อยลงเหลือ 0.25 เมตร แต่เมื่อเทียบกับเครื่อง Laser Profiler ที่พัฒนาอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันผู้ผลิตได้ผลิตเครื่อง Laser Profiler ที่สามารถประมวลผลได้ถึง 0.05 เมตร มีทั้งแบบเดินตาม และแบบติดตั้งในรถยนต์ อีกทั้งราคาของเครื่อง Laser Profiler รุ่นใหม่ที่มีประสิทธิภาพดีกว่ายังมีราคาถูกกว่าเครื่อง Dipstick บางรุ่น การพิจารณานำเอาเครื่อง Walking Profiler มาใช้ในงานของกรมทางหลวง คือแนวทางการพัฒนาระดับความถูกต้องแม่นยำให้แก่เครื่อง Bump Integrator ให้ดียิ่งขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Dipstick กับค่าIRI จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler ซึ่งเป็นเครื่องมือ Class 1 ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 พบว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) อยู่ในระดับสูงมากคือ 0.9826

ตารางที่16 ผลสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI ตรวจวัดด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

ลำดับ	รายการ	สมการ แสดงความสัมพันธ์	R^2	Avg. R^2
1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6284 (35Km./hr.)	IRI_D=0.0004*(BI.)+1.6382	0.8878	0.9054
2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6284 (60Km./hr.)	IRI_D=0.0004*(BI.)+1.1532	0.9354	
3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6285 (35Km./hr.)	IRI_D=0.0005*(BI.)+1.2099	0.9269	
4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6285 (60Km./hr.)	IRI_D=0.0005*(BI.)+0.9281	0.9516	
5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6286 (35Km./hr.)	IRI_D=0.0004*(BI.)+1.5953	0.8640	
6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6286 (60Km./hr.)	IRI_D=0.0004*(BI.)+1.0661	0.9394	
7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6287 (35Km./hr.)	IRI_D=0.0004*(BI.)+2.2594	0.8104	
8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Dกับค่าBI ฮข-6287 (60Km./hr.)	IRI_D=0.0004*(BI.)+1.4140	0.9282	
9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6284 (35Km./hr.)	IRI_L=0.0005*(BI.)+1.4090	0.9572	0.9472
10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6284 (60Km./hr.)	IRI_L=0.0006*(BI.)+0.7833	0.9850	
11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6285 (35Km./hr.)	IRI_L=0.0007*(BI.)+0.8796	0.9675	
12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-625 (60Km./hr.)	IRI_L=0.0007*(BI.)+0.5280	0.9779	
13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6286 (35Km./hr.)	IRI_L=0.0005*(BI.)+1.3638	0.9243	
14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6286 (60Km./hr.)	IRI_L=0.0006*(BI.)+0.7175	0.9646	
15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6287 (35Km./hr.)	IRI_L=0.0006*(BI.)+2.4964	0.8360	
16	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าBI ฮข-6287 (60Km./hr.)	IRI_L=0.0006*(BI.)+1.1667	0.9652	
17	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าIRI_Lกับค่าIRI_D	IRI_L=1.2938*(IRI_D)-0.3514	0.9826	0.9826

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ ต้องการใช้ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ตามวิธีการประเมินสภาพผิวทางของธนาคารโลก สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางในประเทศไทย ซึ่งตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Dipstick , Laser Profiler และBump Integrator โดยเลือกสภาพพื้นผิวทางที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ค่า ดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) มีค่าแตกต่างกันหลายค่า รวมทั้งสิ้น 15 แปลงทดสอบ ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี เมื่อกำหนดพื้นที่เป้าหมายแล้ว ทำการทดสอบค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง (IRI , International Roughness Index) ด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ Dipstick , Laser Profiler และBump Integrator เพื่อทำการวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ของข้อมูล ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทางครั้งละ 2 ตัวแปร โดยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation Analysis) ผลสรุปที่ได้จากการศึกษาวิจัยเป็นดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เฉลี่ย 0.8722 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เฉลี่ย 0.9386 แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงถึงสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ ในแนวทางที่แน่นอนเป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างเด่นชัด เกิดการกระจัดกระจายของข้อมูลน้อย และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_D(IRI.โดยใช้ Dipstick)และBump Integrator(BI.) Speed 35 , 60 Km./hr.

$$IRI_D = a_n*(BI.) + b_m \quad , \; R^2 \text{ (Min.)} = 0.8104 \; , \; R^2 \text{ (Max.)} = 0.9516$$

2. ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ที่ความเร็ว 35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) เฉลี่ย 0.9212 ที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เฉลี่ย 0.9731 แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ ในแนวทางที่แน่นอนเป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างเด่นชัด เกิดการกระจัดกระจายของข้อมูลน้อย และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_L(IRI.โดยใช้Laser Profiler)และBump Integrator(BI.) Speed35,60Km./hr.

$$IRI_L = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8360 \ , R^2 (Max.) = 0.9850$$

3. ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทาง ทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9826 แสดงถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลอยู่ในระดับสูงมาก เชื่อถือได้ เป็นกลุ่มข้อมูลซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ ในแนวทางที่แน่นอนเป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างเด่นชัด เกิดการกระจัดกระจายของข้อมูลน้อย และแสดงความสัมพันธ์โดยตรงต่อกันตามลักษณะความสัมพันธ์ของสมการถดถอย(Regression Equation) ในรูปแบบของ Linear Model

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_L(IRI.โดยใช้Laser Profiler)และ IRI_D(IRI.โดยใช้ Dipstick)

$$IRI_L = 1.2938*(IRI_D) - 0.3514 \quad , R^2 = 0.9826$$

4. ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9472 สูงกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เฉลี่ยของความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Bump Integrator (BI.) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9054 แสดงถึงการใช้อุปกรณ์ Class1 ตามมาตรฐาน ASTM E 950-94 ซึ่งมีความละเอียดต่างกัน ได้ผลของความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน โดยที่เครื่องมือ Laser Profiler แสดงความสัมพันธ์กับ Bump Integrator ได้ดีกว่า มีระดับความเชื่อถือได้สูงกว่าการใช้ Dipstick

ปัจจุบันกรมทางหลวงใช้เครื่อง Dipstick เป็นหลักในการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากล (IRI_D , International Roughness Index) การปรับแก้ข้อมูลงานทดสอบค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลโดยใช้เครื่อง Bump Integrator ให้เกิดความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น สามารถทำได้โดยการเลือกใช้ Walking Profiler ซึ่งทำงานง่าย ประมวลผลได้รวดเร็ว และมีระยะประมวลผลได้ถึง 5 เซนติเมตร ขณะที่ Dipstick รุ่นที่นิยมใช้ประมวลผลได้เพียง 25 เซนติเมตร และมีราคาสูงกว่า Walking Profiler การจัดหาเครื่อง Walking Profiler มาใช้ในการปรับแก้เครื่องมือประจำปีของกรมทางหลวง นอกจากเป็นแนวทางการพัฒนาความละเอียดถูกต้องแม่นยำของงานสำรวจและประเมินสภาพทางที่เหมาะสมแล้ว ยังสามารถใช้ทดแทนเครื่อง Dipstick ซึ่งมีอายุการใช้งานมากแล้ว

5. ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9369

เมื่อตัดข้อมูลซึ่งชุดเครื่องมือ Laser Profiler วิ่งไม่ตรงกับแนวร่องล้อที่กำหนดไว้ในแปลงทดสอบตอนที่ F120 พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Laser Profiler (IRI_L , International Roughness Index) กับค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางทดสอบโดยใช้เครื่อง Dipstick (IRI_D , International Roughness Index) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(Coefficient of Determination) เท่ากับ 0.9826

ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลคือค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากล ซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลของร่องล้อซ้ายและร่องล้อขวา เกิดขึ้นได้เพียงรถยนต์ที่ใช้ในการตรวจวัดวิ่งไม่ตรงร่องล้อ สาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถวิ่งตรงแนวร่องล้อได้คือ ชุดเครื่องมือ Laser Profiler มีอุปกรณ์ถ่ายภาพติดตั้งบนหลังคา ต้องหลบหลีกกิ่งไม้ที่กีดขวางการจราจร หรือกรณีที่มีหลุมบ่อในแนวร่องล้อมากเกินไป แรงสั่นสะเทือนอาจทำให้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ซับซ้อนชำรุดเสียหายได้ ชุดอุปกรณ์ Laser Profiler ประกอบด้วยเครื่องมือที่ทันสมัย สามารถประมวลผลได้ละเอียดในระดับสูงถึงสูงมาก เหมาะสมกับการใช้ตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำเป็นพิเศษคือทางหลวงสายหลัก หรือถนนที่มีการเก็บค่าผ่านทาง ที่มีปริมาณการจราจรและความเร็วของยานพาหนะในระดับสูง มากกว่าทางหลวงสายรอง

6. ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเนื่องจากความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่แปลงทดสอบ

แปลงทดสอบทั้ง 15 แปลง อยู่ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี คัดเลือกจากพื้นที่ถนนที่เปิดใช้งานปกติ โดยเลือกสภาพของพื้นผิวทางที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลหลายค่า เนื่องจากแปลงทดสอบเปิดให้รถยนต์วิ่งตามปกติ ทำให้สีกำหนดแนวร่องล้อหลุดร่อน เศษวัสดุที่ร่วงหล่นจากยานพาหนะ และผิวทางชำรุดหลุดร่อน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล แนวทางแก้ไขปัญหาคือการสร้างพื้นที่แปลงทดสอบมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลโดยเฉพาะ ทำการตรวจวัดค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลด้วยเครื่องมือ Laser Profiler และ Dipstick ทุกระยะ 3 เดือน เพื่อใช้เป็นประโยชน์ในการปรับแก้ และเปรียบเทียบเครื่องมือทั้งก่อนและหลังการใช้งาน รวมถึงปรับเทียบการเสื่อมสภาพจากการใช้งานของเครื่องมือซึ่งปกติกำหนดให้เครื่อง Bump Integrator ปรับเทียบทุกระยะไม่เกิน 5,000 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังเป็นประโยชน์สำหรับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากล เมื่อตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกันได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานบริหารบำรุงทางของกรมทางหลวงและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

7. ชุดเครื่องมือ Bump Integrator มีคุณสมบัติเด่นคืออายุการใช้งานยาวนาน บำรุงรักษาง่าย ราคาไม่แพง ใช้งานง่าย ประมวลผลด้วยวิธีที่ไม่ซับซ้อนได้รับผลรวดเร็ว เหมาะสมกับการทดสอบค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนทุกระดับมาตรฐาน โดยเฉพาะถนนที่มีค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของพื้นผิวทางสากลที่มีค่าสูง เหมาะสมสำหรับถนนสายรองซึ่งไม่ต้องการความละเอียดแม่นยำในระดับสูงมาก

เอกสารอ้างอิง

THE ASPHALT INSTITUTE . (1981) , THICKNESS DESIGN – ASPHALT PAVEMENTS FOR HIGHWAYS AND STREETS .

WILLIAM D.O. PATERSON . (1987) , Road Deterioration and Maintenance Effects , World Bank Publication.

YODER AND WITCZAK . (1975) , Principles of Pavement Design , Second Edition , John Willey and Sons , Inc. , New York , U.S.A.

สว่าง รังสีสุริยชัย , (2525) , การออกแบบและพฤติภาพของทางหลวงในประเทศไทย ศึกษาเฉพาะกรณีทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2 สายสระบุรี – หนองคาย , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต , แผนกวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักบริหารบำรุงทาง , (2514) , การใช้แอสฟัลท์ในการบำรุงรักษาทางผิวแอสฟัลท์และผิวคอนกรีต , เอกสารวิชาการ หมายเลข 003 , สำนักบริหารบำรุงทาง , กรมทางหลวง.

สำนักบริหารบำรุงทาง , (2550) , โครงการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะสภาพความเสียหายของทางพื้นที่ภาคกลาง , รายงานขั้นสุดท้าย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , สำนักบริหารบำรุงทาง , กรมทางหลวง.

มนัส คอวนิช , (2542) , แนวทางการกำหนดแผนงานซ่อมบำรุงผิวทางแอสฟัลท์ตามวาระวิกฤติ , รายงานพิเศษ ,โครงการจัดตั้งด่านชั่งน้ำหนักถาวรบนทางหลวงทั่วประเทศ ,กรมทางหลวง.

มนัส คอวนิช , (2543) , ข้อพิจารณาในการซ่อมบำรุงผิวทางแอสฟัลท์ , ABLE CONSULTANT CO. LTD.

นิพนธ์ รณะนันทน์ , (2526) , การบำรุงรักษาทางหลวง , เอกสารทางวิชาการ , วิทยาลัยป้องกันราชอาณาจักร , กรุงเทพมหานคร.

นิตย์ จิตสาตรา , (2521) , การศึกษาสภาพถนนสำหรับงานบำรุงทาง , รายงานฉบับที่ วว.37 , สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง , กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม , กรุงเทพมหานคร.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ , (2538) , การออกแบบโครงสร้างทางลาดยาง (FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN) , เอกสารวิชาการ , สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง , กรมทางหลวง.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ พรพรหม จันทร์เจริญ , (2543) , การหาความสัมพันธ์ระหว่าง DCP กับ Unsoaked CBR ของดินและวัสดุมวลรวมบดอัดในห้องปฏิบัติการ รายงานฉบับที่ วว.180 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง , กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม , กรุงเทพมหานคร.

ครรชิต คุชตะสิน , (2539), การนำ Dynamic Cone มาใช้ในงานทาง ,วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อำพล วรรณะวัลย์ , (2531) , ผลของการบรรทุกน้ำหนักเกินกว่ากำหนดของรถยนต์บรรทุกหนักต่อผลอายุการใช้งานของถนนชนิดเฟลกซิเบิล , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต , แผนกวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .

รายงานฉบับที่ : วพ.253 สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

ผู้เขียน : พิชิต จำนงพิพัฒน์กุล , ประเสริฐ บุญธรักษา , สุเชษฐ์ เอี่ยมเชย , ทินกร โพธิ์ศรี และชยันต์ เจริญพร

ชื่อเรื่อง : ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนเมื่อทดสอบในสนามด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และเครื่อง Bump Integrator ในประเทศไทย

บทคัดย่อ :

การประเมินสภาพของผิวทางและความแข็งแรงของโครงสร้างถนนเป็นส่วนสำคัญที่นักวางแผนจะต้องนำมาพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบในการจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงทาง

ธนาคารโลกได้นำเสนอและพัฒนาดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนน เพื่อการประเมินลักษณะและสภาพของผิวทางซึ่งตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกันตามมาตรฐานที่สร้างขึ้นในแต่ละประเทศ ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อใช้งานในประเทศสมาชิก โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนในพื้นที่เดียวกันด้วยเครื่องมือที่แตกต่างกัน สร้างมาตรฐานในการตรวจวัดความเรียบของถนนด้วยวิธีการใหม่ เป็นที่ยอมรับในระดับสากล กรมทางหลวงได้นำเอาหลักการตรวจวัดความเรียบของถนนในรูปแบบของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนด้วยเครื่อง Dipstick ตามแบบของธนาคารโลกเป็นมาตรฐานของการปรับแก้เครื่องมือตรวจวัดความเรียบของถนนในประเทศไทย การก่อสร้างพื้นที่มาตรฐานสำหรับทดสอบดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนในประเทศไทย สามารถปรับแก้เครื่องมือทุกชนิดก่อนการใช้งาน แก้ไขข้อมูลที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ และสามารถพัฒนางานดัชนีบ่งชี้ความเรียบของถนนในประเทศไทย ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันได้อย่างดี โดยเฉพาะกรณีที่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์ของงานศึกษาวิจัยนี้คือ ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของถนนเมื่อทำการทดสอบด้วยเครื่อง Bump Integrator(BI.) , เครื่อง Dipstick(IRI_D) และเครื่อง Laser Profiler(IRI_L) ในแปลงทดสอบเดียวกัน ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลแบบสหสัมพันธ์อย่างง่ายพบว่ารูปแบบของความสัมพันธ์เป็นดังนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_D(IRI. โดยใช้ Dipstick)และBump Integrator(BI.) Speed 35 , 60 Km./hr.

$$IRI_D = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8104 \ , R^2 (Max.) = 0.9516$$

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_L(IRI. โดยใช้Laser Profiler)และBump Integrator(BI.) Speed35,60Km./hr.

$$IRI_L = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8360 \ , R^2 (Max.) = 0.9850$$

ความสัมพันธ์ระหว่างIRI_L(IRI. โดยใช้Laser Profiler)และ IRI_D(IRI. โดยใช้ Dipstick)

$$IRI_L = 1.2938*(IRI_D) - 0.3514 \quad , R^2 = 0.9826$$

ศัพท์เฉพาะเรื่อง : ประเมินสภาพผิวทาง , ดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากล

Report No. : RD.253 Bureau of Road Research and Development , Department of Highways

Authors : Pichit Jamnongpipatkul , Prasert Boontharaksa , Suchet Aeimchoey ,Tinakorn Phosri and Chayan Charoenporn

Title : Correlation of In-situ International Roughness Index by Using Laser Profiler , Dipstick and Bump Integrator in Thailand .

Abstract :

Both pavement surface and structural adequacy rating serve as important tool for the planner in set up the road maintenance priority.

World Bank solved and developed road roughness index by changing many suitable different standards of surface condition into one standard and recommendation of simple techniques to the member countries. Using of correlation between road roughness indexs have been tested by different methods on the same Test Section can get an acceptable new method and define road roughness in term of International Roughness Index (IRI). The Department of Highways at the present time use International Roughness Index measured by dipstick to calibration roughness equipments before evaluate surface condition in Thailand. The International Road Ronghness Index Test Section in Thailand can calibrate equipments ,correct data and this is the best way to develop road ronghness work by different equipment.

The propose of this research is to study correlation between International Roughness Index (IRI) measured in the same test section by Bump Integrator(BI) , Dipstick(IRI_D) and Laser Profiler(IRI_L). Correlation between Bump Integrator(BI) , Dipstick(IRI_D) and Laser Profiler(IRI_L) by using simple correlation analysis as shown below.

Correlation between IRI_D(IRI. by Dipstick) & Bump Integrator(BI.) Speed 35 , 60 Km./hr.

$$IRI_D = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8104 \ , R^2 (Max.) = 0.9516$$

Correlation between IRI_L(IRI. by Laser Profiler) & Bump Integrator(BI.) Speed35 , 60 Km./hr.

$$IRI_L = a_n*(BI.) + b_m \quad , R^2 (Min.) = 0.8360 \ , R^2 (Max.) = 0.9850$$

Correlation between IRI_L(IRI. by Laser Profiler) & IRI_D(IRI. by Dipstick)

$$IRI_L = 1.2938*(IRI_D) - 0.3514 \quad , R^2 = 0.9826$$

Keywords : Surface Evaluation , International Roughness Index (IRI)

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์และตรวจวัดค่า IRI
ด้วยเครื่อง Laser Profiler , Dipstick และBump Integrator

ตารางที่ ผ-1 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
Equipment Bump Integrator
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ

ดำเนินการทดสอบโดย วีระศักดิ์ นาเมือง
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
เลขทะเบียน ฮข-6284

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300 m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	505	532	519	-	-	-	519	1,729
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	642	623	632	-	-	-	632	2,108
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	1,600	1,617	1,617	-	-	-	1,611	5,371
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,405	1,380	1,374	-	-	-	1,386	4,621
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	1,541	1,582	1,617	-	-	-	1,580	5,267
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,225	2,162	2,170	-	-	-	2,186	7,286
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	1,913	1,828	1,830	-	-	-	1,857	6,190
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,902	1,934	2,101	2,073	-	-	2,003	6,675
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,186	1,151	1,164	-	-	-	1,167	3,890
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,409	2,365	2,402	-	-	-	2,392	7,973
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,481	2,334	2,339	-	-	-	2,385	7,949
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	2,113	2,132	2,162	-	-	-	2,136	7,119
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	2,516	2,495	2,684	2,536	-	-	2,558	8,526
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	4,338	4,429	4,523	-	-	-	4,430	14,767
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,844	2,890	2,910	-	-	-	2,881	9,604

ตารางที่ ผ-2 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
Equipment Bump Integrator
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ

ดำเนินการทดสอบโดย ธนินทร์ เครือแดง
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
เลขทะเบียน ฮข-6285

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	529	535	535	-	-	-	533	1,777
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	664	712	674	-	-	-	683	2,278
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	1,390	1,531	1,448	1,514	-	-	1,471	4,903
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,336	1,374	1,413	-	-	-	1,374	4,581
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	1,548	1,501	1,471	1,350	-	-	1,468	4,892
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,196	2,116	2,150	2,305	1,907	-	2,135	7,116
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	1,814	1,706	1,814	1,859	1,623	-	1,763	5,877
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,537	1,568	1,491	1,622	1,692	-	1,582	5,273
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,165	1,274	1,163	1,165	1,098	-	1,173	3,910
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,180	2,006	2,079	1,947	2,167	-	2,076	6,919
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,062	2,011	1,972	2,026	1,981	2,000	2,009	6,696
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	1,944	2,000	1,902	1,699	1,838	-	1,877	6,255
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	2,306	2,218	2,353	2,418	2,321	-	2,323	7,744
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	3,602	3,623	3,625	3,686	3,634	-	3,634	12,113
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,292	2,241	2,181	2,304	-	-	2,255	7,515

ตารางที่ ผ-3 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
Equipment Bump Integrator
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ

ดำเนินการทดสอบโดย ธีระวุฒิ พงษ์การุณ
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
เลขทะเบียน ฮข-6286

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	650	606	639	-	-	-	632	2,106
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	803	811	809	-	-	-	808	2,692
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	1,634	1,605	1,629	-	-	-	1,623	5,409
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,301	1,310	1,342	-	-	-	1,318	4,392
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	1,714	1,541	1,517	1,520	-	-	1,573	5,243
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,246	2,129	2,122	2,125	-	-	2,156	7,185
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	1,906	1,930	1,964	-	-	-	1,933	6,444
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,914	1,889	1,916	1,920	1,918	-	1,911	6,371
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,259	1,260	1,322	1,249	-	-	1,273	4,242
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,635	2,493	2,582	2,536	2,560	-	2,561	8,537
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,229	2,132	2,125	2,139	2,151	-	2,155	7,184
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	2,175	2,150	2,181	2,186	2,179	-	2,174	7,247
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	2,475	2,403	2,461	2,450	2,419	-	2,442	8,139
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	4,483	4,443	4,476	4,491	-	-	4,473	14,911
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,990	3,094	2,936	2,981	2,999	-	3,000	10,000

ตารางที่ ผ-4 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
Equipment Bump Integrator
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ

ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
เลขทะเบียน ฮข-6287

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	189	212	195	196	211	-	201	669
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	292	279	289	320	305	244	288	961
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	951	1,098	1,018	1,044	-	-	1,028	3,426
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	754	812	807	691	787	-	770	2,567
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	922	928	985	1,110	1,035	-	996	3,320
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	1,728	1,711	1,694	1,683	-	-	1,704	5,680
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	1,325	1,318	1,401	1,338	-	-	1,346	4,485
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,677	1,541	1,530	1,563	-	-	1,578	5,259
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	621	719	671	686	-	-	674	2,248
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,072	2,265	2,308	2,179	-	-	2,206	7,353
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	1,438	1,563	1,546	1,559	1,409	-	1,503	5,010
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	1,269	1,318	1,242	1,405	1,394	-	1,326	4,419
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	1,706	1,850	1,767	1,791	-	-	1,779	5,928
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	3,694	3,793	3,725	3,394	3,375	-	3,596	11,987
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,220	2,279	2,193	-	-	-	2,231	7,436

ตารางที่ ผ-5 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง

Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
Equipment Bump Integrator
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ

ดำเนินการทดสอบโดย วีระศักดิ์ นาเมือง
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
เลขทะเบียน ฮข-6284

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	710	714	717	-	-	-	714	2,379
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	883	870	846	834	-	-	858	2,861
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	2,050	2,036	1,960	-	-	-	2,015	6,718
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,664	1,702	1,669	-	-	-	1,678	5,594
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	2,039	2,105	2,009	-	-	-	2,051	6,837
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,455	2,554	2,497	-	-	-	2,502	8,340
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	2,394	2,396	2,443	-	-	-	2,411	8,037
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,846	1,928	1,866	-	-	-	1,880	6,267
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,332	1,507	1,376	1,599	1,570	-	1,477	4,923
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,339	2,246	2,363	-	-	-	2,316	7,720
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,858	2,853	2,747	-	-	-	2,819	9,398
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	2,464	2,619	2,698	2,612	-	-	2,598	8,661
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	2,962	2,975	2,961	-	-	-	2,966	9,887
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	4,582	4,521	4,643	-	-	-	4,582	15,273
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,780	2,985	2,939	-	-	-	2,901	9,671

ตารางที่ ผ-6 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
ดำเนินการทดสอบโดย ธนินทร์ เครือแดง
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ
เลขทะเบียน ฮข-6285

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	589	621	605	-	-	-	605	2,017
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	756	755	750	-	-	-	754	2,512
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	1,623	1,645	1,631	-	-	-	1,633	5,443
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,312	1,251	1,271	-	-	-	1,278	4,260
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	1,714	1,701	1,741	-	-	-	1,719	5,729
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,055	2,017	1,995	-	-	-	2,022	6,741
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	1,987	2,027	2,044	-	-	-	2,019	6,731
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,467	1,533	1,423	1,603	1,438	-	1,493	4,976
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,381	1,382	1,343	1,365	1,275	-	1,349	4,497
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,239	2,132	2,026	2,059	2,147	-	2,121	7,069
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,237	2,096	2,239	2,052	-	-	2,156	7,187
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	2,121	1,940	2,175	2,252	-	-	2,122	7,073
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	2,480	2,430	2,524	2,477	-	-	2,478	8,259
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	3,514	3,648	3,504	3,534	-	-	3,550	11,833
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,210	2,322	2,280	2,257	-	-	2,267	7,558

ตารางที่ ผ-7 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
ดำเนินการทดสอบโดย ธีระวุฒิ พงษ์การุณ
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ
เลขทะเบียน ฮข-6286

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	728	720	719	682	-	-	712	2,374
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	880	883	899	905	-	-	892	2,973
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	1,928	1,947	1,992	-	-	-	1,956	6,519
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,556	1,557	1,442	1,503	-	-	1,515	5,048
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	1,956	1,975	2,028	-	-	-	1,986	6,621
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,336	2,391	2,290	-	-	-	2,339	7,797
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	2,441	2,548	2,484	-	-	-	2,491	8,303
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,860	1,929	1,887	1,927	1,932	-	1,907	6,357
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,823	1,664	1,767	1,722	1,770	-	1,749	5,831
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,357	2,369	2,374	2,380	2,395	-	2,375	7,917
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,562	2,555	2,532	2,591	-	-	2,560	8,533
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	2,876	2,879	2,890	2,900	2,881	-	2,885	9,617
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	3,090	3,180	3,008	3,041	3,100	-	3,084	10,279
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	4,278	4,408	4,563	4,439	4,419	-	4,421	14,738
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,979	2,843	3,096	2,990	3,012	-	2,984	9,947

ตารางที่ ผ-8 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ความเร็วขณะทดสอบ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
โครงการ ปรับเทียบเครื่องมือทดสอบ
เลขทะเบียน ฮข-6287

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	BI , BI Count Unit / 300m.						Avg. BI (Count./300 m.)	BI (Count./Km.)
						1	2	3	4	5	6		
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	470	461	449	-	-	-	460	1,533
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	635	653	663	633	-	-	646	2,153
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	1,691	1,667	1,752	1,618	-	-	1,682	5,607
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	1,390	1,413	1,327	-	-	-	1,377	4,589
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	1,913	1,850	1,813	-	-	-	1,859	6,196
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	2,137	2,161	2,151	-	-	-	2,150	7,166
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	2,398	2,396	2,318	-	-	-	2,371	7,902
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	1,786	1,742	1,731	-	-	-	1,753	5,843
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	1,351	1,383	1,344	-	-	-	1,359	4,531
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	2,277	2,252	2,247	-	-	-	2,259	7,529
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	2,212	2,220	2,281	2,280	-	-	2,248	7,494
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	2,385	2,350	2,592	2,419	-	-	2,437	8,122
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	2,647	2,645	2,670	-	-	-	2,654	8,847
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	4,191	4,379	4,291	-	-	-	4,287	14,290
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	2,624	2,600	2,531	-	-	-	2,585	8,617

ตารางที่ ผ-9 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Laser Profilers

District แขวงการทางสระบุรี

ทดสอบโดย บริษัท STS

โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ

Date of Survey กุมภาพันธ์ 2551

Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง

Equipment Laser Profilers

No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	IRI(m./Km.)		Avg. IRI (m./Km.)
						ร่องล้อซ้าย	ร่องล้อขวา	
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	1.88	1.94	1.91
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	2.57	2.04	2.31
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	5.32	3.56	4.44
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	4.33	3.59	3.96
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	5.43	4.44	4.93
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	5.64	5.32	5.48
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	5.41	4.43	4.92
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	5.94	2.92	4.43
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	3.85	3.15	3.50
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	5.97	4.86	5.42
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	6.75	5.26	6.00
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	7.05	4.28	5.66
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	8.22	5.02	6.62
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	9.63	8.54	9.09
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	7.26	5.80	6.53

หมายเหตุ แปลงทดสอบหมายเลข F120 เครื่อง Laser Profiler ไม่สามารถวิ่งบนร่องล้อปกติที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากแนวกิ่งไม้ยื่นปกคลุมเข้ามาใขพื้นผิวจราจร กีดขวางการเดินรถ อาจสร้างความเสียหายต่อกล้องบันทึกภาพที่ติดตั้งบนหลังคาได้ ทำให้ข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ ผ-10 ผลการทดสอบความเรียบของถนนด้วยเครื่อง Dipstick

District แขวงการทางสระบุรี

ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ

โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ

Date of Survey มกราคม 2551

Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง

Equipment Dipstick

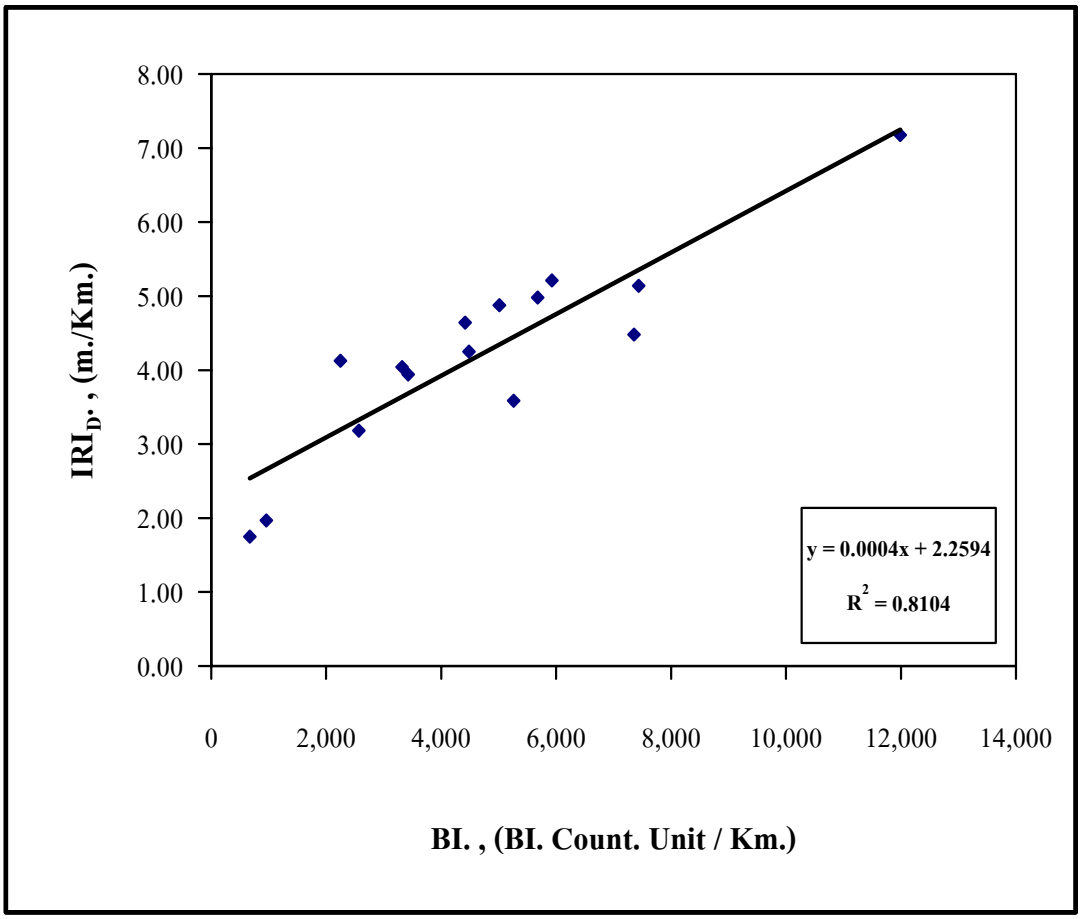
No.	หมายเลขแปลงทดสอบ	Route No.	Route Name	ช่วงทดสอบ (Km.)	ระยะทาง (m.)	IRI(m./Km.)		Avg. IRI (m./Km.)
						ร่องล้อซ้าย	ร่องล้อขวา	
1	F100	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+000 - 3+300	300	1.83	1.67	1.75
2	F102	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	3+900 - 3+600	300	2.14	1.80	1.97
3	F103	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+000 - 5+300	300	4.78	3.10	3.94
4	F104	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	5+300 - 5+000	300	3.29	3.07	3.18
5	F105	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+300 - 6+600	300	4.35	3.73	4.04
6	F106	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+600 - 6+300	300	5.32	4.64	4.98
7	F107	3020	แยก ทล. 3022(พระพุทธบาท) - หนองโดน	6+900 - 6+600	300	4.61	3.89	4.25
8	F119	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	0+600 - 0+900	300	4.53	2.64	3.59
9	F120	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	1+700 - 2+000	300	4.97	3.28	4.13
10	F127	สบ.1022	บ้านประดู่ - บ้านกลับ	5+400 - 5+100	300	4.72	4.24	4.48
11	F129	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	3+000 - 2+700	300	5.52	4.23	4.88
12	F130	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 2+400	300	6.14	3.14	4.64
13	F131	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	2+700 - 3+000	300	6.40	4.02	5.21
14	F132	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+900 - 6+600	300	7.80	6.55	7.18
15	F133	สบ.1019	แยก ทล. 1 - บ้านหนองโดนน้อย	6+600 - 6+300	300	5.37	4.91	5.14

ภาคผนวก ข

ผลการตรวจวัดค่า IRI ด้วยเครื่อง Dipstick

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง
ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี
ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ
โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ
Date of Survey มกราคม 2551
Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง
Equipment 1 Dipstick
Equipment 2 Bump Integrator
ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ
ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว
ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet
ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ
เลขทะเบียน ฮข-6287
ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง
น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 00 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง
เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (35 Km./hr.)

ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง
ทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator

District แขวงการทางสระบุรี

โครงการ ปรับแก้เครื่องมือทดสอบ

Control Section แปลงทดสอบภาคสนามรวม 15 แปลง

Equipment 2 Bump Integrator

ความดันลมยาง 36 ปอนด์/ตารางนิ้ว

ดำเนินการทดสอบโดย จำรัส สมุทรไชยกิจ

ความเร็วขณะทดสอบ 35 กิโลเมตร/ชั่วโมง

ทดสอบโดย สำนักวิเคราะห์ฯ

Date of Survey มกราคม 2551

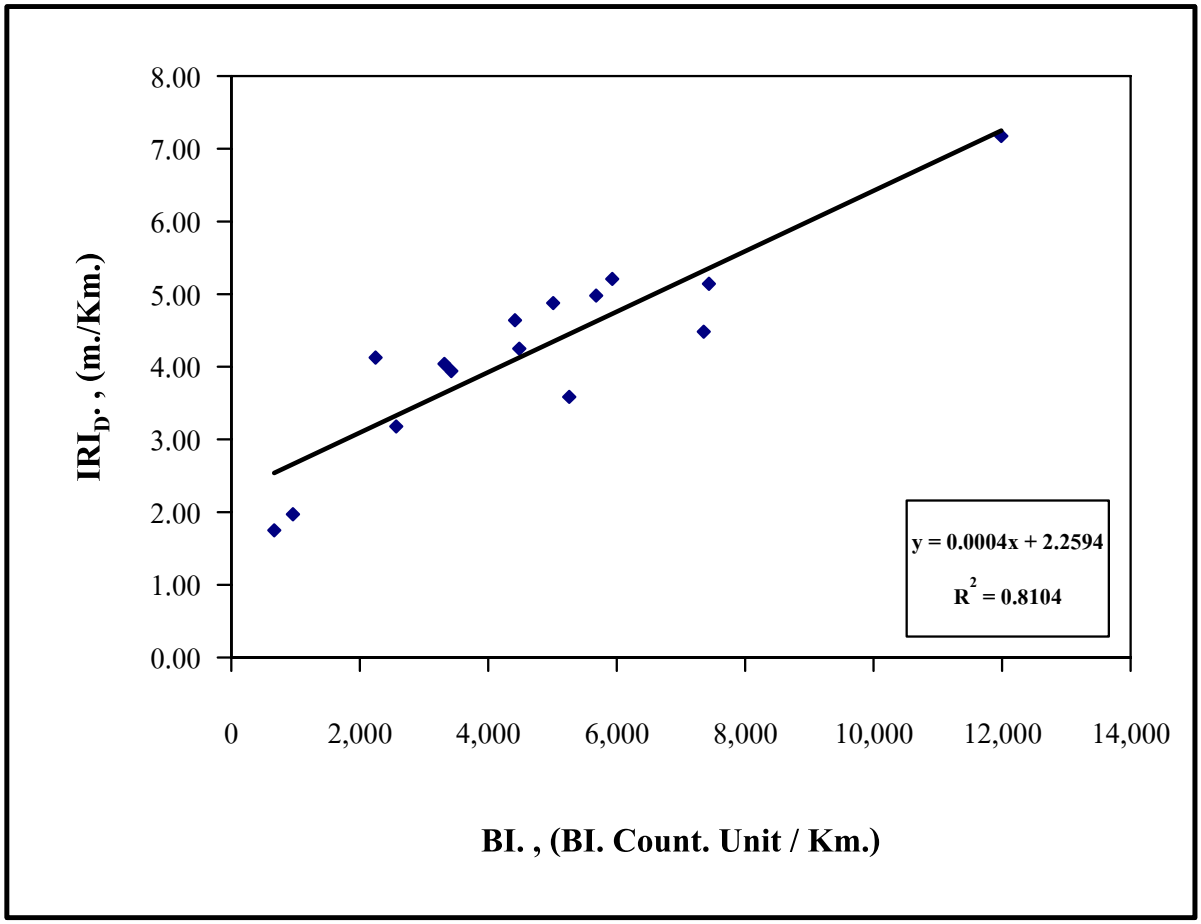
Equipment 1 Dipstick

ประเภทรถยนต์ รถยนต์ปิคอัพ

ยี่ห้อรถยนต์ Chevrolet

เลขทะเบียน ฮข-6287

น้ำหนักบรรทุก 120 กิโลกรัม



รูปที่ 00 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้ความเรียบสากลของพื้นผิวทาง
เมื่อทดสอบด้วยเครื่อง Dipstick และเครื่อง Bump Integrator , (ฮข-6287) , (35 Km./hr.)