สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา 1-1

1.1 พื้นที่สำรวจ 1-1

1.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง 1-4

1.3 การสำรวจสภาพทาง 1-30

1.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ 1-73

1.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet 1-97

1.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างน้อยดังนี้ 1-134

1.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทางในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง 1-169

1.8 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง 1-296

1.8.1 ประเภทของงานบำรุงทาง 1-296

1.8.2 ดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ของโครงข่ายทางหลวง 1-298

1.8.3 เกณฑ์คุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวง 1-300

1.8.4 กรอบงบประมาณงานบำรุงรักษา 1-302

1.8.5 สภาพโครงข่ายทางหลวงในปัจจุบัน 1-302

1.8.6 สภาพโครงข่ายทางหลวงในปี 2567 1-303

1.8.7 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางประจำปี 1-306

1.8.8 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ 1-311

1.8.9 การวิเคราะห์ความต้องการงบประมาณงานบำรุงรักษาทางหลวงผิวลาดยางโดย TPMS 1-317

1.9 การจัดทำสื่อวีดีทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ 1-320

บทที่ 2 ความล่าช้าและปัญหา 2-1

2.1 รายงานความล่าช้า 2-1

2.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน 2-2

2.3 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 2-20

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 1-1 แสดงระยะทางแผนสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ 1-2
ตารางที่ 1-1 แสดงระยะทางแผนสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ 1-2
ตารางที่ 1-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 1-15
ตารางที่ 1-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 1-16
ตารางที่ 1-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS 1-17
ตารางที่ 1-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS 1-19
ตารางที่ 1-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 1-21
ตารางที่ 1-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 1-21
ตารางที่ 1-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 1-23
ตารางที่ 1-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS 1-23
ตารางที่ 1-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) 1-24
ตารางที่ 1-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง 1-25
ตารางที่ 1-12 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS) 1-29
ตารางที่ 1-13 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565 1-34
ตารางที่ 1-14 ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง 1-35
ตารางที่ 1-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) 1-37
ตารางที่ 1-16 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ 1-42
ตารางที่ 1-17 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ 1-47
ตารางที่ 1-18 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ 1-53
ตารางที่ 1-19 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละ Section 1-53
ตารางที่ 1-20 ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section 1-54
ตารางที่ 1-21 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ 1-56
ตารางที่ 1-22 ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน 1-57
ตารางที่ 1-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง) 1-57
ตารางที่ 1-24 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 เครื่องมือ 1-58
ตารางที่ 1-25 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ 1-62
ตารางที่ 1-26 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ในแต่ละ Section และตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section 1-62

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 1-27 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา 1-66
ตารางที่ 1-28 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง 1-77
ตารางที่ 1-29 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต 1-77
ตารางที่ 1-30 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง 1-86
ตารางที่ 1-31 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1 1-102
ตารางที่ 1-32 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง 1-105
ตารางที่ 1-33 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ LCMS 1-108
ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง 1-113
ตารางที่ 1-35 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) Laser Profiler คันที่ 2 1-119
ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง 1-122
ตารางที่ 1-37 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน 1-130
ตารางที่ 1-38 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) กระบวนการภายใน 1-136
ตารางที่ 1-39 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์ 1-140
ตารางที่ 1-40 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต 1-143
ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย 1-154
ตารางที่ 1-42 ตารางสรุปผลระยะทางสำรวจค่าสภาพทางรายสำนักงานทางหลวง 1-162
ตารางที่ 1-43 ข้อมูลระยะทางของค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) แจกแจงตามช่วงค่าของ IRI 1-164
ตารางที่ 1-44 ข้อมูลระยะทางของค่าข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) แจกแจงตามช่วงค่าของ RUT 1-166
ตารางที่ 1-45 ข้อมูลระยะทางของข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) แจกแจงตามช่วงค่าของ MPD 1-168
ตารางที่ 1-46 จำนวนสายทางที่ได้จากการคัดเลือก 1-170
ตารางที่ 1-47 ภาพรวมค่าความเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีฉาบผิว 1-171
ตารางที่ 1-48 ภาพรวมค่าความเรียบภายหลังการซ่อมด้วยวิธีการเสริมผิว 1-173
ตารางที่ 1-49 สรุปผลสำรวจค่า IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง 1-177

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 1-50 อุปกรณ์อากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน 1-189
ตารางที่ 1-51 รายละเอียดอุปกรณ์ Lidar 1-189
ตารางที่ 1-52 อุปกรณ์รังวัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม GNSS 1-191
ตารางที่ 1-53 รายละเอียดอุปกรณ์ GNSS RTK 1-191
ตารางที่ 1-54 ผลการสอบเทียบข้อมูลทางดิ่ง อุปกรณ์ GNSS RTK และ อุปกรณ์ Lidar Drone 1-198
ตารางที่ 1-55 สรุปการแปลผลข้อมูลทางสถิติ 1-203
ตารางที่ 1-56 สรุปผลค่า RMSE ของการเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation) 1-204
ตารางที่ 1-57 สรุปผลค่า RMSE ของการเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope) 1-205
ตารางที่ 1-58 สรุปผลค่า RMSE ของการเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) 1-207
ตารางที่ 1-59 สรุปผลค่า RMSE 1-209
ตารางที่ 1-60 สรุปผลค่าความแตกต่างสำหรับค่ารัศมีโค้ง (Radius) 1-210
ตารางที่ 1-61 แสดงค่ากำหนดความเสียหายที่ตรวจสอบตามเกณฑ์ อ้างอิงจาก ASTM International, 2008 และ Federal Highway Administration, 2014 1-226
ตารางที่ 1-62 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM-4 1-229
ตารางที่ 1-63 ระดับค่าของ SFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท 1-247
ตารางที่ 1-64 องค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ความสัมพันธ์ของตัวแปร ที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน 1-255
ตารางที่ 1-65 ผลการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบที่ส่งผลต่อค่า IRI (กรณีสมการที่ 1) 1-256
ตารางที่ 1-66 ผลการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบที่ส่งผลต่อค่า IRI (กรณีสมการที่ 2) 1-256
ตารางที่ 1-67 ประเภทชั้นผิวทางคอนกรีต 1-260
ตารางที่ 1-68 Present Serviceability Rating (PSR) 1-264
ตารางที่ 1-69 ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม, m 1-266
ตารางที่ 1-70 รายละเอียดหน้าตัดโครงสร้างทางและค่า SNC สำหรับประเภทชั้นทาง 1-267
ตารางที่ 1-71 รายละเอียดเบื้องต้นของสายทาง 1-270
ตารางที่ 1-72 แสดงรายละเอียดสายทางที่นำมาวิเคราะห์ 1-274
ตารางที่ 1-73 หน่วยการวัดของแสง 1-290
ตารางที่ 1-74 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD 1-294
ตารางที่ 1-75 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง) 1-299
ตารางที่ 1-76 เกณฑ์คุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวง 1-300

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 1-77 ประเภททางหลวงจำแนกตามรูปแบบทางกายภาพและระดับปริมาณการจราจร 1-301
ตารางที่ 1-78 เกณฑ์คุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวง ของกรมทางหลวง 1-301
ตารางที่ 1-79 เป้าหมายคุณภาพถนนสำหรับแต่ละประเภททางหลวง ของกรมทางหลวง 1-301
ตารางที่ 1-80 วิธีซ่อมและราคาต่อหน่วยงานบำรุงรักษา 1-302
ตารางที่ 1-81 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากข้อมูลการสำรวจปี 2565 1-303
ตารางที่ 1-82 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากข้อมูลการสำรวจในโครงการปี 2565 1-303
ตารางที่ 1-83 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากการวิเคราะห์โดย TPMS ในปี 2567 (ก่อนได้รับงบ) 1-306
ตารางที่ 1-84 สภาพโครงข่ายทางหลวงจากการวิเคราะห์โดย TPMS ในปี 2567
จำแนกตามสำนักงานทางหลวง 1-307
ตารางที่ 1-85 รายละเอียดการซ่อมบำรุงทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2567 แบบไม่จำกัดงบประมาณ 1 ปี 1-308
ตารางที่ 1-86 ค่า IRI เฉลี่ยตาม แผนและปีงบประมาณ 5 ปี 1-316
ตารางที่ 1-87 ผลการวิเคราะห์งบประมาณ ปี 2567 1-318
ตารางที่ 1-88 ตารางเนื้อหาร่างสคริปต์การจัดทำวีดีทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการ 1-321
ตารางที่ 2-1 สรุปปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจ 2-2
ตารางที่ 2-2 ตารางแสดงปัญหาจากการตรวจสอบเชิงคุณภาพและแนวทางการแก้ไข 2-11

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง 1-3
รูปที่ 1-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ 1-4
รูปที่ 1-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำ และความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950 1-5
รูปที่ 1-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 1-6
รูปที่ 1-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ 1-6
รูปที่ 1-6 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 1-7
รูปที่ 1-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS) 1-8
รูปที่ 1-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง 1-9
รูปที่ 1-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer ติดตั้งที่ ระยะ +-/ 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ 1-9
รูปที่ 1-10 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว 1-10
รูปที่ 1-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD 1-10
รูปที่ 1-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD 1-11
รูปที่ 1-13 กราฟแสดงค่าการ bounce test 1-12
รูปที่ 1-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration 1-12
รูปที่ 1-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser 1-13
รูปที่ 1-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความฝืดของผิวทางในระดับ Macro-texture 1-13
รูปที่ 1-17 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E965-15 1-14
รูปที่ 1-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15 1-14
รูปที่ 1-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) 1-18
รูปที่ 1-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง 1-20
รูปที่ 1-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง 1-22
รูปที่ 1-22 เครื่องมือวัดความเร่ง 1-24
รูปที่ 1-23 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง 1-25
รูปที่ 1-24 เครื่องวัดระยะทาง 1-26
รูปที่ 1-25 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล 1-26
รูปที่ 1-26 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล 1-27
รูปที่ 1-27 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ 1-27

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-28 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม 1-28
รูปที่ 1-29 หลักการทำงานของการรับพิกัดและค่าแก้ DGPS 1-28
รูปที่ 1-30 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) 1-29
รูปที่ 1-31 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง 1-30
รูปที่ 1-32 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจาก ระบบ Plannet 1-31
รูปที่ 1-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจาก ระบบ MIIS 1-31
รูปที่ 1-34 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ใช้ในงานซ่อมบำรุง ระบบ HRIS 1-31
รูปที่ 1-35 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง 1-32
รูปที่ 1-36 แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565 1-41
รูปที่ 1-37 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049 1-43
รูปที่ 1-38 Section ที่ 1 และ Section ที่ 2 1-43
รูปที่ 1-39 Section ที่ 3 และ Section ที่ 4 1-44
รูปที่ 1-40 Section ที่ 5 1-44
รูปที่ 1-41 Sectionที่ 6 1-45
รูปที่ 1-42 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง
มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน 1-45
รูปที่ 1-43 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ผิวทางคอนกรีต 1-46
รูปที่ 1-44 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ผิวทางลาดยาง
ที่มีความเสียหายของผิวทางค่อนข้างมาก 1-46
รูปที่ 1-45 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง 1-47
รูปที่ 1-46 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ 1-48
รูปที่ 1-47 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100
รถสำรวจทั้ง 3 คัน 1-49
รูปที่ 1-48 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 1. 1-49
รูปที่ 1-49 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 2. 1-50
รูปที่ 1-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 3. 1-50
รูปที่ 1-51 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจทั้ง 3 คัน 1-51
รูปที่ 1-52 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1 1-51
รูปที่ 1-53 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2 1-52
รูปที่ 1-54 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3 1-52

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-55 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4 1-60
รูปที่ 1-56 การเข้าพื้นที่ทดสอบผิวทางคอนกรีตพื้นที่วิ่งทดสอบใหม่ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 1-61
รูปที่ 1-57 ลักษณะผิวทางคอนกรีต ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึง กม. 72+500 ... 1-61
รูปที่ 1-58 กราฟแสดงค่า IRI เฉลี่ย 1-62
รูปที่ 1-59 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI 1-63
รูปที่ 1-60 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ 1-63
รูปที่ 1-61 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา L 1-64
รูปที่ 1-62 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา R 1-64
รูปที่ 1-63 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา L (IRI) 1-67
รูปที่ 1-64 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา R (IRI) 1-67
รูปที่ 1-65 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง 1-68
รูปที่ 1-66 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด 1-69
รูปที่ 1-67 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน 1-69
รูปที่ 1-68 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น 1-70
รูปที่ 1-69 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน 1-70
รูปที่ 1-70 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่ 2 ช่องจราจร 1-71
รูปที่ 1-71 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้ 1-71
รูปที่ 1-72 แสดงภาพเมื่อไม่สามาถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ 1-72
รูปที่ 1-73 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง 1-73
รูปที่ 1-74 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกร่องล้อบนผิวทาง 1-73
รูปที่ 1-75 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง 1-74
รูปที่ 1-76 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สรางขึ้นจากเลเซอร 1-75
รูปที่ 1-77 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress) จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera 1-76
รูปที่ 1-78 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง 1-78
รูปที่ 1-79 ภาพรวมการประมวลผลของของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) 1-79
รูปที่ 1-80 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels 1-85
รูปที่ 1-81 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง 1-85

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-82 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process 1-87
รูปที่ 1-83 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS 1-88
รูปที่ 1-84 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง 1-88
รูปที่ 1-85 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง บนระบบ Roadnet 1-89
รูปที่ 1-86 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว บนระบบ Roadnet ได้ 1-89
รูปที่ 1-87 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb 1-91
รูปที่ 1-88 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL 1-92
รูปที่ 1-89 ตัวอย่างข้อมูล Rutting 1-93
รูปที่ 1-90 ตัวอย่างข้อมูล IRI 1-93
รูปที่ 1-91 ตัวอย่างข้อมูล MPD 1-94
รูปที่ 1-92 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม .. 1-94
รูปที่ 1-93 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ 1-95
รูปที่ 1-94 แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS 1-96
รูปที่ 1-95 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน 1-96
รูปที่ 1-96 แสดงโครงสร้างข้อมูลปริภูมิตามมาตรฐาน OGC 1-98
รูปที่ 1-97 การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ 1-98
รูปที่ 1-98 การ convert (*.csv file) to shapefile (point) 1-99
รูปที่ 1-99 การ convert points to Paths 1-100
รูปที่ 1-100 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB) 1-100
รูปที่ 1-101 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล 1-101
รูปที่ 1-102 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ทั้ง 70 จุด 1-104

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-103 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ทั้ง 170 จุด 1-112
รูปที่ 1-104 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ทั้ง 131 จุด 1-121
รูปที่ 1-105 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง 1-129
รูปที่ 1-106 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS) 1-130
รูปที่ 1-107 แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin 1-131
รูปที่ 1-108 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin 1-132
รูปที่ 1-109 เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 - 2+050
บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอนควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1 1-133
รูปที่ 1-110 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet 1-135
รูปที่ 1-111 การตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก 1-137
รูปที่ 1-112 การตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map 1-137
รูปที่ 1-113 การตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต 1-138
รูปที่ 1-114 การตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์ 1-138
รูปที่ 1-115 กราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่ 1-139
รูปที่ 1-116 การจำลองการแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหาย 1-141
รูปที่ 1-117 การแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1 1-141
รูปที่ 1-118 การแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 2 1-142
รูปที่ 1-119 การแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์สำรวจ LCMS 1-142
รูปที่ 1-120 แสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์ของทางหลวงหมายเลข 2 ตอนควบคุม 101 1-143
รูปที่ 1-121 แสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์ 1-143
รูปที่ 1-122 แสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต ของทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 201 1-144
รูปที่ 1-123 แสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต 1-144
รูปที่ 1-124 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI)
และภาพถ่ายความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS) 1-145
รูปที่ 1-125 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก 1-145
รูปที่ 1-126 การแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง 1-146
รูปที่ 1-127 การตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน 1-146
รูปที่ 1-128 การแสดงพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102 1-147
รูปที่ 1-129 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง 1-148
รูปที่ 1-130 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5 1-149

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-131 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ 1-150
รูปที่ 1-132 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS 1-153
รูปที่ 1-133 ค่าเฉลี่ย IRI จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง 1-163
รูปที่ 1-134 ค่าเฉลี่ย RUT จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง 1-165
รูปที่ 1-135 ค่าเฉลี่ย MPD จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง 1-167
รูปที่ 1-136 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง 1-170
รูปที่ 1-137 ภาพรวมของค่าความเรียบก่อนและหลังการฉาบผิวในแต่ละสายทาง 1-171
รูปที่ 1-138 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมแบบฉาบผิวจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริง 1-172
รูปที่ 1-139 ภาพรวมของค่าความเรียบก่ อนและหลังการเสริมผิวในแต่ละสายทาง 1-174
รูปที่ 1-140 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างค่า IRI หลังการซ่อมแบบเสริมผิว 1-175
รูปที่ 1-141 ผลสำรวจ IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ และการบูรณะผิวทาง 1-176
รูปที่ 1-142 รถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System 1-178
รูปที่ 1-143 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) 1-178
รูปที่ 1-144 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS 1-179
รูปที่ 1-145 ผลการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิต จากการสำรวจด้วยระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) 1-180
รูปที่ 1-146 The position of all three axes 1-181
รูปที่ 1-147 หลักการคำนวณค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade) 1-181
รูปที่ 1-148 การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement) 1-182
รูปที่ 1-149 รถสำรวจระบบ Spot Laser 1-183
รูปที่ 1-150 ผลการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิต จากการสำรวจด้วยระบบ Laser 1-184
รูปที่ 1-151 ตัวอย่างค่าความสูงจากโปรแกรมสำรวจ 1-184
รูปที่ 1-152 ตัวอย่างค่าความลาดชันจากโปรแกรมสำรวจ 1-185
รูปที่ 1-153 ตัวอย่างค่าความลาดเอียงจากโปรแกรมสำรวจ 1-185
รูปที่ 1-154 การสร้าง Surface และ Alignment 1-186

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-155 แสดงค่ารัศมีโค้ง (Radius) จากโปรแกรม Civil3D 1-187
รูปที่ 1-156 การสร้างรูปตัดตามยาว 1-187
รูปที่ 1-157 การสร้างรูปตัดตามขวาง 1-188
รูปที่ 1-158 อุปกรณ์ Lidar Drone 1-190
รูปที่ 1-159 ข้อมูล Point could จากอุปกรณ์ Lidar Drone 1-190
รูปที่ 1-160 การเก็บค่าพิกัดด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบ RTK 1-192
รูปที่ 1-161 ข้อมูลจุดพิกัดที่ได้จาก อุปกรณ์รับสัญญาณ GNSS แบบ RTK 1-192
รูปที่ 1-162 การรังวัดตำแหน่งหมุดสถานีฐานชั่วคราว 1-193
รูปที่ 1-163 การรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินด้วยเครื่องวัดด้วยดาวเทียม 1-194
รูปที่ 1-164 การกำหนดตำแหน่งรังวัดค่าพิกัดโดยใช้ล้อวัดระยะ 25 เมตร 1-195
รูปที่ 1-165 แผนการบินสำรวจรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ LIDAR 1-196
รูปที่ 1-166 อากาศยานไร้คนขับพร้อมติดตั้งเครื่อง LIDAR 1-196
รูปที่ 1-167 ข้อมูล RTK GNSS เมื่อเปิดซ้อนทับกับข้อมูล Drone Lidar 1-198
รูปที่ 1-168 กราฟเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation)
ทางหลวงหมายเลข 21 ตอนควบคุม 200 1-204
รูปที่ 1-169 กราฟเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation)
ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอนควบคุม 100 1-204
รูปที่ 1-170 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope)
ทางหลวงหมายเลข 21 ตอนควบคุม 200 1-205
รูปที่1-171 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope)
ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอนควบคุม 100 1-205
รูปที่ 1-172 รูปแบบข้อมูลความลาดชัน 1-206
รูปที่ 1-173 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope)
ทางหลวงหมายเลข 21 ตอนควบคุม 200 1-206
รูปที่ 1-174 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope)
ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอนควบคุม 100 1-206
รูปที่ 1-175 รูปแบบข้อมูลความลาดชัน 1-207
รูปที่ 1-176 กราฟเปรียบเทียบค่ารัศมีโค้ง (Radius) ทางหลวงหมายเลข 21 ตอนควบคุม 200 1-208
รูปที่ 1-177 กราฟเปรียบเทียบค่ารัศมีโค้ง (Radius) ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอนควบคุม 100 1-208
รูปที่ 1-178 แสดงตัวอย่างความแตกต่างสำหรับค่ารัศมีโค้ง (Radius) 1-210

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-179 ตัวอย่างแนวคิดการออกแบบการแสดงผลลัพธ์เครื่องมือทางสถิติ (Geometric) 1-212
รูปที่ 1-180 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟแผนภูมิจุดแบบกระจัดกระจาย หรือ Scatter plot และแผนที่แสดงค่าระดับของข้อมูลค่าระดับความสูง (Elevation) 1-213
รูปที่ 1-181 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทาง (Percent grade slope) 1-214
รูปที่ 1-182 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) 1-215
รูปที่ 1-183 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) 1-216
รูปที่ 1-184 ภาพแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายผิวทางของรถสำรวจ คันที่ 1, คันที่ 2 และคันที่ 3 ตามลำดับ 1-218
รูปที่ 1-185 ภาพแสดงตัวอย่างความถี่การจัดเก็บภาพของรถสำรวจแต่ละคัน 1-218
รูปที่ 1-186 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางอยู่ใน Folder “pavement” 1-219
รูปที่ 1-187 ช่องทางการเข้าดูข้อมูลภาพถ่ายผิวทางผ่านระบบ Roadnet 1-220
รูปที่ 1-188 แสดงรายละเอียดการเพิ่มเติมหน้าแสดงผลภาพถ่ายผิวทางและค่าความเสียหายผิวทาง 1-220
รูปที่ 1-189 การแสดงผลภาพความเสียหายของผิวทางจากรถสำรวจแบบที่ 1 1-221
รูปที่ 1-190 การแสดงผลภาพความเสียหายของผิวทางจากรถสำรวจแบบที่ 2 1-222
รูปที่ 1-191 การแสดงผลภาพความเสียหายของผิวทางจากรถสำรวจแบบที่ 3 1-222
รูปที่ 1-192 ผลการออกแบบการแสดงผลภาพความเสียหายของผิวทาง ผนวกกับการแสดงค่าความเสียหายทุก ๆ 25 เมตร 1-223
รูปที่ 1-193 ผลการออกแบบภาพรวมการสำรวจที่เพิ่มเติมภาพความเสียหายของผิวทาง 1-224
รูปที่ 1-194 ผลการออกแบบภาพรวมการสำรวจที่เพิ่มเติมข้อมูลความเสียหายของผิวทาง 1-224
รูปที่ 1-195 ผลการออกแบบแผนภูมิแสดงตำแหน่งและตารางข้อมูลความเสียหายผิวทาง 1-225
รูปที่ 1-196 ผลการออกแบบค่าความเสียหายภาพรวมด้วยกระบวนการวิเคราะห์ Heat Map 1-226
รูปที่ 1-197 ผลการออกแบบค่าความเสียหายผิวทาง Icrack- รอยแตกต่อเนื่อง (ตรม.) 1-227
รูปที่ 1-198 ผลการออกแบบค่าความเสียหายผิวทาง U-crack- รอยแตกตามยาว (เมตร) 1-227
รูปที่ 1-199 ผลการออกแบบค่าความเสียหายผิวทาง Rav- ผิวหลุดร่อน (ตรม.) 1-228
รูปที่ 1-200 ผลการออกแบบค่าความเสียหายผิวทาง Patch_ac- ปะซ่อม (ตรม.) 1-228
รูปที่ 1-201 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิทูมินัส 1-230
รูปที่ 1-202 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากความหนาของชั้นผิวทาง 1-241

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-203 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกของพื้นผิว....1-241
รูปที่ 1-204 สรุปองค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขรุขระตามการศึกษาของ HDM-4....1-251
รูปที่ 1-205 แนวทางการประยุกต์ใช้การพิจารณาองค์ประกอบความสัมพันธ์ของตัวแปร
ที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน....1-253
รูปที่ 1-206 ค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำมาพิจารณา....1-254
รูปที่ 1-207 กลุ่มขององค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis)
ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน....1-254
รูปที่ 1-208 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทาง
ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ....1-257
รูปที่ 1-209 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : ไม่มีลูกเดือย....1-259
รูปที่ 1-210 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : มีลูกเดือย....1-259
รูปที่ 1-211 รูปแบบถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว....1-260
รูปที่ 1-212 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง....1-260
รูปที่ 1-213 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวคอนกรีต....1-261
รูปที่ 1-214 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Faulting....1-261
รูปที่ 1-215 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Spalling....1-262
รูปที่ 1-216 รูปแบบการเกิด Transverse Cracking....1-263
รูปที่ 1-217 Flow Chart แสดงขั้นตอนการปรับแก้ค่า Kgp....1-268
รูปที่ 1-218 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง....1-269
รูปที่ 1-219 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI จริง และ IRI จากแบบจำลอง....1-272
รูปที่ 1-220 แสดงการวิเคราะห์ Correlation จากโปรแกรม SPSS....1-276
รูปที่ 1-221 แสดงการวิเคราะห์ Regression จากโปรแกรม SPSS....1-277
รูปที่ 1-222 เครื่องมือ Fixed Slip....1-279
รูปที่ 1-223 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)....1-279
รูปที่ 1-224 ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร)....1-280
รูปที่ 1-225 Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร)....1-281
รูปที่ 1-226 แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider)....1-282
รูปที่ 1-227 อุปกรณ์ Road Stripe Assessment at Highway Speeds....1-283
รูปที่ 1-228 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ Pavement Marking Retro Reflectivity กับยานพาหนะ....1-283
รูปที่ 1-229 มาตรฐาน ASTM E1710 และ EN 1436....1-284

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 1-230 รูปแบบการตรวจวัดตามแบบจำลองการมองเห็นที่ระยะ 30 เมตร 1-285
รูปที่ 1-231 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลขณะรถเคลื่อนที่ 1-285
รูปที่ 1-232 ตัวอย่างการระบุค่าพิกัดในระบบ GPS ของข้อมูล 1-286
รูปที่ 1-233 ตัวอย่างการแสดง และบันทึกผลการสำรวจแบบ Real-time Data Acquisition and Analysis 1-286
รูปที่ 1-234 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L) 1-288
รูปที่ 1-235 ตัวอย่างของแสงไฟที่ทำให้เกิด Disability and Discomfort Glare 1-289
รูปที่ 1-236 อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique 1-291
รูปที่ 1-237 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์บนถนน 1-291
รูปที่ 1-238 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ภายในพาหนะ 1-292
รูปที่ 1-239 ตัวอย่างภาพที่ได้ขณะใช้งานโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่อง 1-292
รูปที่ 1-240 ตัวอย่างรถตู้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD 1-293
รูปที่ 1-241 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD 1-293
รูปที่ 1-242 ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต 1-294
รูปที่ 1-243 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “ไม่มีความเสียหาย” 1-295
รูปที่ 1-244 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “พบโพรงใต้คันทางที่ความลึก 0.3 เมตร จากผิวทาง” 1-295
รูปที่ 1-245 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI กับความเร็วยานพาหนะ 1-298
รูปที่ 1-246 เกณฑ์ค่า IRI ในการชี้วัดคุณภาพในการให้บริการของถนนของประเทศต่าง ๆ 1-299
รูปที่ 1-247 การทำงานของระบบบริหารงานบำรุงทาง TPMS (Thailand Pavement Management System) 1-304
รูปที่ 1-248 การคัดเลือกข้อมูลก่อนนำเข้าโปรแกรม TPMS 1-305
รูปที่ 1-249 สัดส่วนประเภทการซ่อมบำรุงตามค่าซ่อมบำรุงแบบไม่จำกัดงบ 1-309
รูปที่ 1-250 ค่าซ่อมบำรุงของแต่ละสำนักงานทางหลวง ปี พ.ศ. 2567 1-310
รูปที่ 1-251 กราฟแสดงค่า IRI ของแผนงบประมาณที่ได้รับในแต่ละปี 1-314
รูปที่ 1-252 ร้อยละของค่า IRI ที่น้อยกว่า 3.5 ในแต่ละปีงบประมาณ 1-315
รูปที่ 1-253 ความสัมพันธ์ผลประโยชน์ ผลประโยชน์สุทธิ และค่า B/C 1-319
รูปที่ 1-254 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของถนนในโครงข่ายที่ค่า IRI < 3.5 ม./กม. กับงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในปี 2566 (เฉพาะถนนลาดยาง) 1-319

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-1 อุปสรรคงานก่อสร้างสะพานระหว่างการสำรวจ 2-7
รูปที่ 2-2 อุปสรรคงานมีฝนตกระหว่างการสำรวจ 2-8
รูปที่ 2-3 อุปสรรครถยางรั่วระหว่างการสำรวจ 2-8
รูปที่ 2-4 อุปสรรคมีน้ำท่วมขังระหว่างการสำรวจ 2-9
รูปที่ 2-5 อุปสรรคมีมีสิ่งกีดขวางบนสายทางระหว่างการสำรวจ 2-9

บทที่ 1
ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา

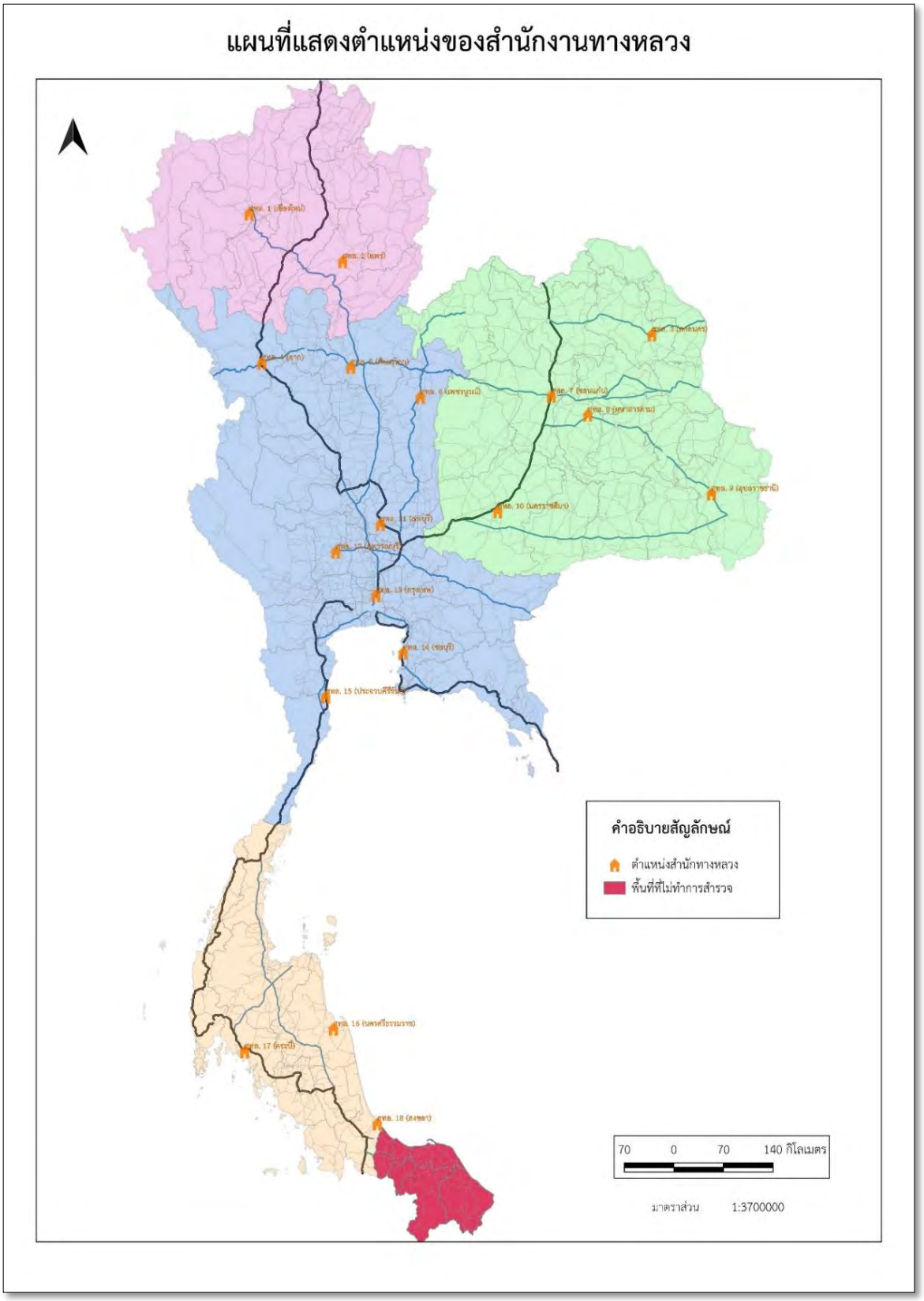
1.1 พื้นที่สำรวจ

ในการสำรวจและวิเคราะห์สภาพทางชนิดผิวลาดยางและผิวคอนกรีตนั้น ข้อมูลความเสียหายของผิวทางซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนงานบำรุงทางที่เหมาะสมและมีความถูกต้องนั้น ต้องมีการวางแผนงานให้เหมาะสมและเป็นไปตามเกณฑ์ที่ทางคณะกรรมการกำหนดไว้ ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงได้พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการจัดเก็บและสำรวจข้อมูลความเสียหายบนถนนผิวลาดยางและผิวคอนกรีต โดยเลือกใช้ยานพาหนะพร้อมติดตั้งอุปกรณ์เลเซอร์และกล้องถ่ายภาพที่มีความคมชัด ทำการบันทึกข้อมูลในการสำรวจ พร้อมทำการประมวลผลข้อมูลความเสียหายชนิดต่าง ๆ และนำเข้าสู่ระบบ จากระยะทางสำรวจทั้งหมด 67,683.479 กิโลเมตร ตามรอบการสำรวจ 3 ปี ที่ปรึกษาได้ทำการคัดเลือกสายทางที่จะทำการสำรวจตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนดไว้ เป็นระยะทางสำรวจทั้งหมด 29,579.408 กิโลเมตร โดยพื้นที่ที่ทำการสำรวจนั้นจะครอบคลุมพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 สำนักงานทั่วประเทศ ทั้งนี้การสำรวจจะไม่รวมถึงพื้นที่ใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา และจังหวัดนราธิวาส รวมถึง 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจแสดงดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 แสดงระยะทางแผนสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ

สำนักงานทางหลวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	840.012	2,406.368	3,246.38
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	1,151.728	1,383.954	2,535.682
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	1,112.786	904.869	2017.655
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	340.604	895.854	1,236.458
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,116.693	705.109	1,821.802
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	1,206.055	686.105	1,892.16
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	1,373.956	236.241	1,610.197
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	965.756	293.857	1,259.613
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,146.788	467.768	1,614.556
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	291.431	299.492	590.923
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	468.832	1,766.316	2,235.148
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	670.791	347.145	1,017.936
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	815.223	1,149.849	1,965.072
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	657.863	515.96	1,173.823
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	724.188	246.542	970.73
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	908.624	777.939	1,686.563
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	695.292	580.691	1,275.983
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	622.086	806.641	1,428.727
ระยะทางสำรวจรวม (กม.)	**15,108.708**	**14,470.700**	**29,579.408**

โดยพื้นที่สำรวจ จะไม่รวมพื้นที่ในจังหวัดชายแดนใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา และจังหวัดนราธิวาส รวมถึง 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย

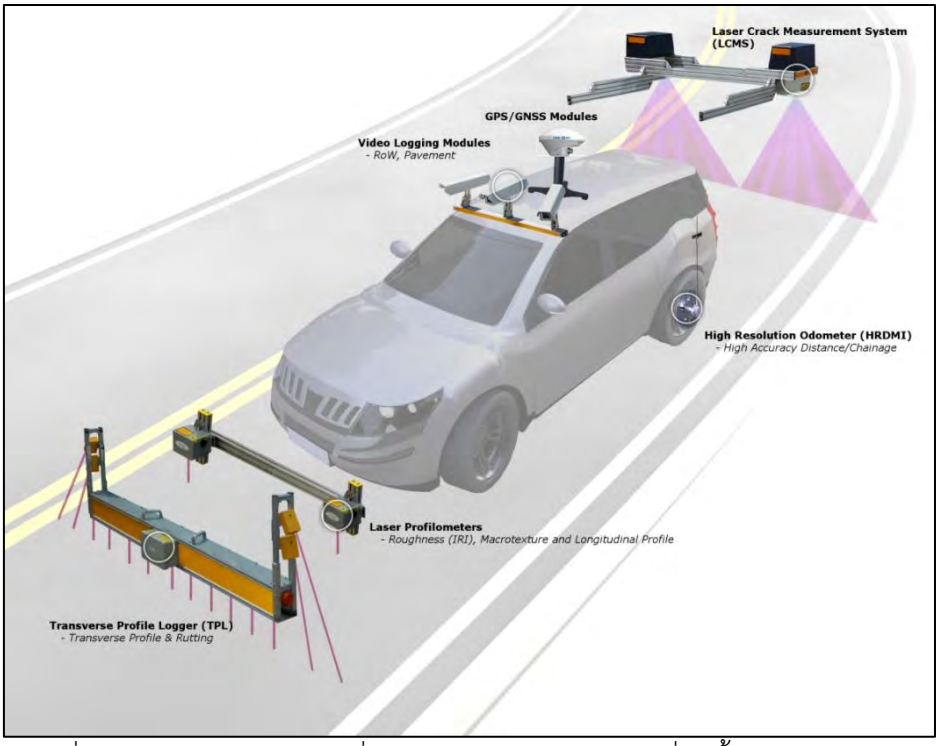


รูปที่ 1-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง

1.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง

คณะที่ปรึกษามีประสบการณ์และความชำนาญในการสำรวจและจัดทำข้อมูลบนโครงข่ายสายทางของกรมทางหลวงมากกว่า 10 ปี โดยเฉพาะการสำรวจและจัดทำข้อมูลโดยอุปกรณ์ทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ได้ (Mobile Mapping System; MMS) ซึ่งเป็นรูปแบบของการติดตั้งชุดเครื่องมือและเซนเซอร์ต่าง ๆ บนยานพาหนะเพื่อให้การสำรวจทำได้ด้วยความรวดเร็ว ทำให้ข้อมูลจากการสำรวจทั้งโครงข่ายของกรมทางหลวงสามารถจัดเก็บพร้อมวิเคราะห์ผลได้เสร็จสิ้นทันต่อการใช้งาน

โดยทางที่ปรึกษาได้ทำการจัดหาชุดอุปกรณ์สำรวจแบบติดตั้งบนยานพาหนะ เพื่อใช้ในการสำรวจและจัดทำข้อมูลในโครงการ สำหรับเครื่องมือเพื่อทำการสำรวจให้ข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทางนั้นจะมีการติดตั้งเลเซอร์เฉพาะที่มีความเหมาะสมในการสำรวจข้อมูล ทั้งนี้ทางคณะที่ปรึกษาได้คัดเลือกชนิดของอุปกรณ์ที่มีการใช้งานแล้วในต่างประเทศเป็นที่ยอมรับ และมีมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นสากล โดยชุดอุปกรณ์สำรวจที่ติดตั้งสามารถสำรวจข้อมูลบนถนนของผู้ว่าจ้างได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถสำรวจสภาพความเสียหายของผิวทางที่ช่วงความเร็วที่เหมาะสมตามตามมาตรฐาน ASTM E950 (Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference) โดย American Society for Testing and Materials (ASTM) ที่เป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่กำหนดและจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก โดยมีความสามารถของอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อตรวจวัดค่าความเสียหายต่าง ๆ ที่มีเครื่องมืออย่างน้อยดังนี้



รูปที่ 1-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

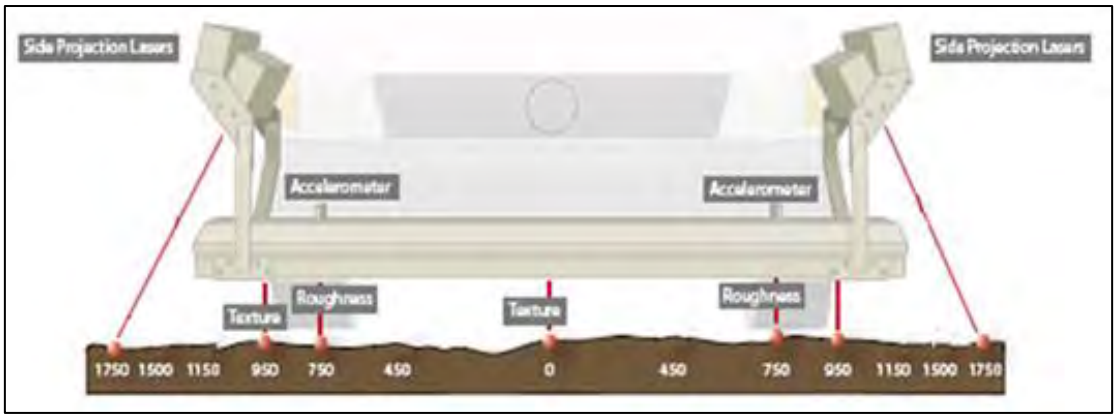
Equipment Classification	Precision (1 SD)	Bias
1	0.38 mm (0.015 in.)	1.25 mm (0.050 in.)
2	0.76 mm (0.030 in.)	2.50 mm (0.100 in.)
3	2.50 mm (0.100 in.)	6.25 mm (0.250 in.)

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำและความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950

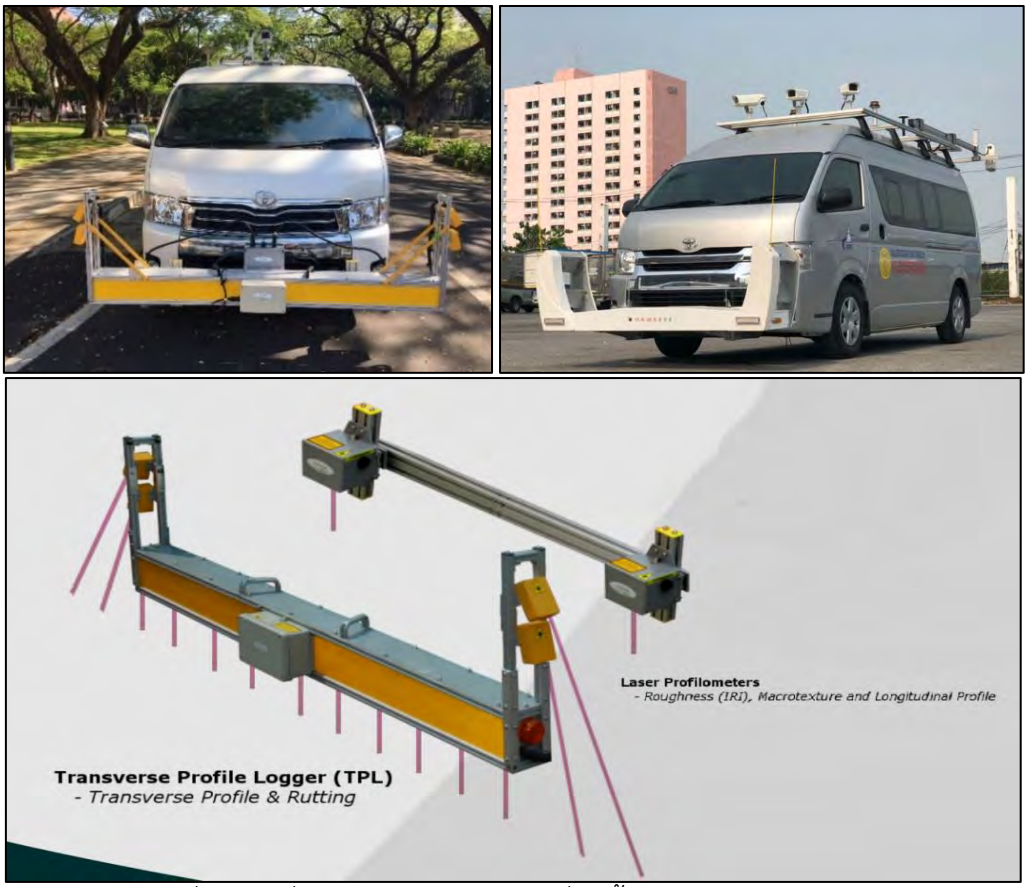
1.2.1 มีชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่สามารถตรวจวัดสภาพผิวทางได้ทุก 25 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ทำการบอกพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS (Differential Global Positioning System) ทศนิยมอย่างน้อย 6 ตำแหน่ง บนพื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84 และค่าพิกัดที่ได้สามารถนำไปคำนวณเป็นระยะทางตามสายทางได้ โดยชุดเครื่องมือเลเซอร์จะมีความสามารถในการสำรวจข้อมูลและรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งชุดเลเซอร์เพื่อตรวจวัดความเรียบของผิวทาง ในหน่วยค่าดัชนีความขรุขระสากลตามมาตรฐาน ASTM E950 / Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference สามารถตรวจวัดค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ที่สามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าความลึกในหน่วยมิลลิเมตรได้ และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E1845 (Standard Practice for Calculating Pavement Macro texture Mean Profile Depth) และสามารถตรวจวัดข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ที่สามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าความลึกในหน่วยมิลลิเมตรได้ ตามมาตรฐาน ASTM E1703 (Standard Test Method For Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using A Straightedge) เมื่อนำข้อมูลความเสียหายที่ได้จากอุปกรณ์เลเซอร์เข้าสู่กระบวนการประมวลผล จะสามารถเชื่อมโยงกับข้อมูลพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS ที่ได้จากเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ที่ติดตั้งบนยานพาหนะในรูปแบบทศนิยมอย่างน้อย 6 ตำแหน่ง บนพื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84 ที่สามารถนำไปคำนวณเป็นระยะทางได้ โดยแบ่งตามประเภทของอุปกรณ์เลเซอร์ได้ดังนี้

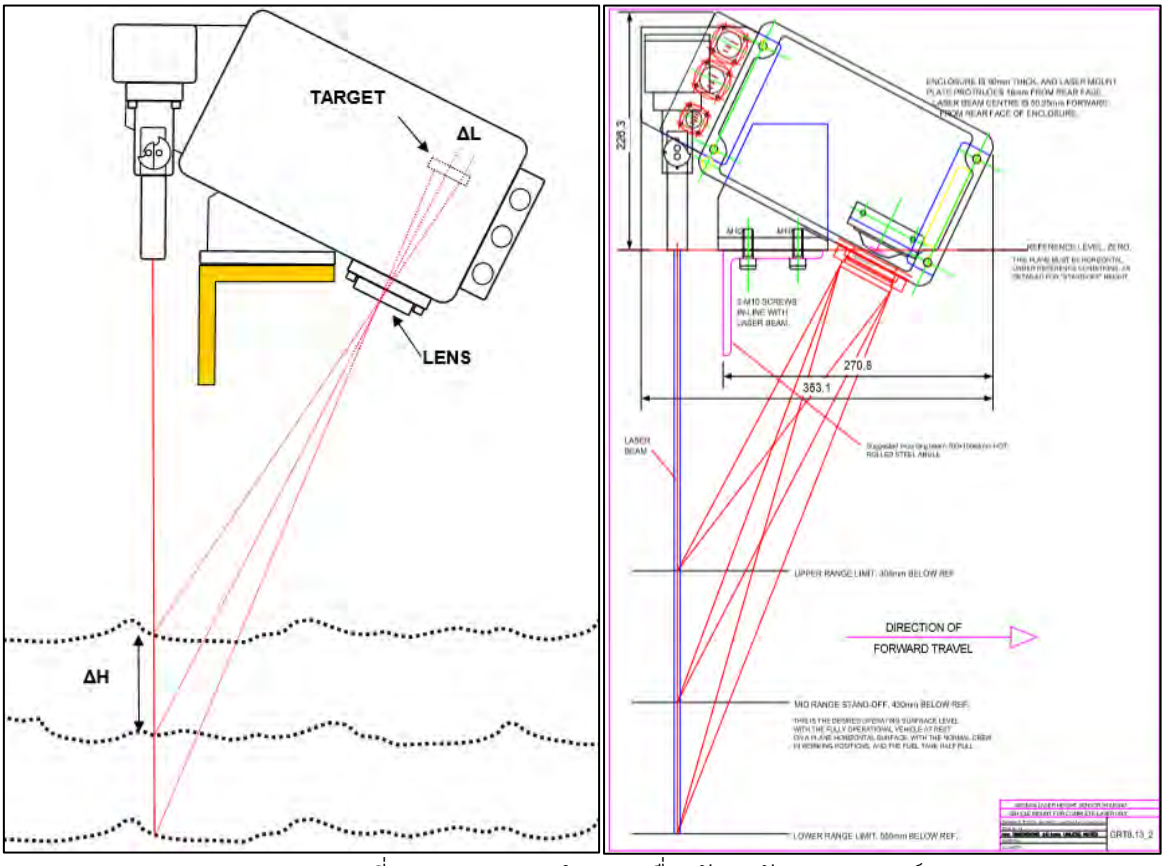
เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profilometer) เป็นชุดเครื่องมือที่ประกอบด้วยชุดเลเซอร์หลายจำนวนประกอบไว้ด้วยกัน ทำการติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าของยานพาหนะสำรวจบนโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (Rigid) เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและมีค่าที่ตรวจวัดได้สัมพันธ์กันจากทุกอุปกรณ์เซนเซอร์ โดยมีระยะการติดตั้งเพื่อตรวจวัด ณ ตำแหน่งจุดตกกระทบบนผิวทางที่ระยะ +/- 1500, 950, 750 และ 0 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของยานพาหนะหรือเทียบได้กับแนวกึ่งกลางของช่องจราจร



รูปที่ 1-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

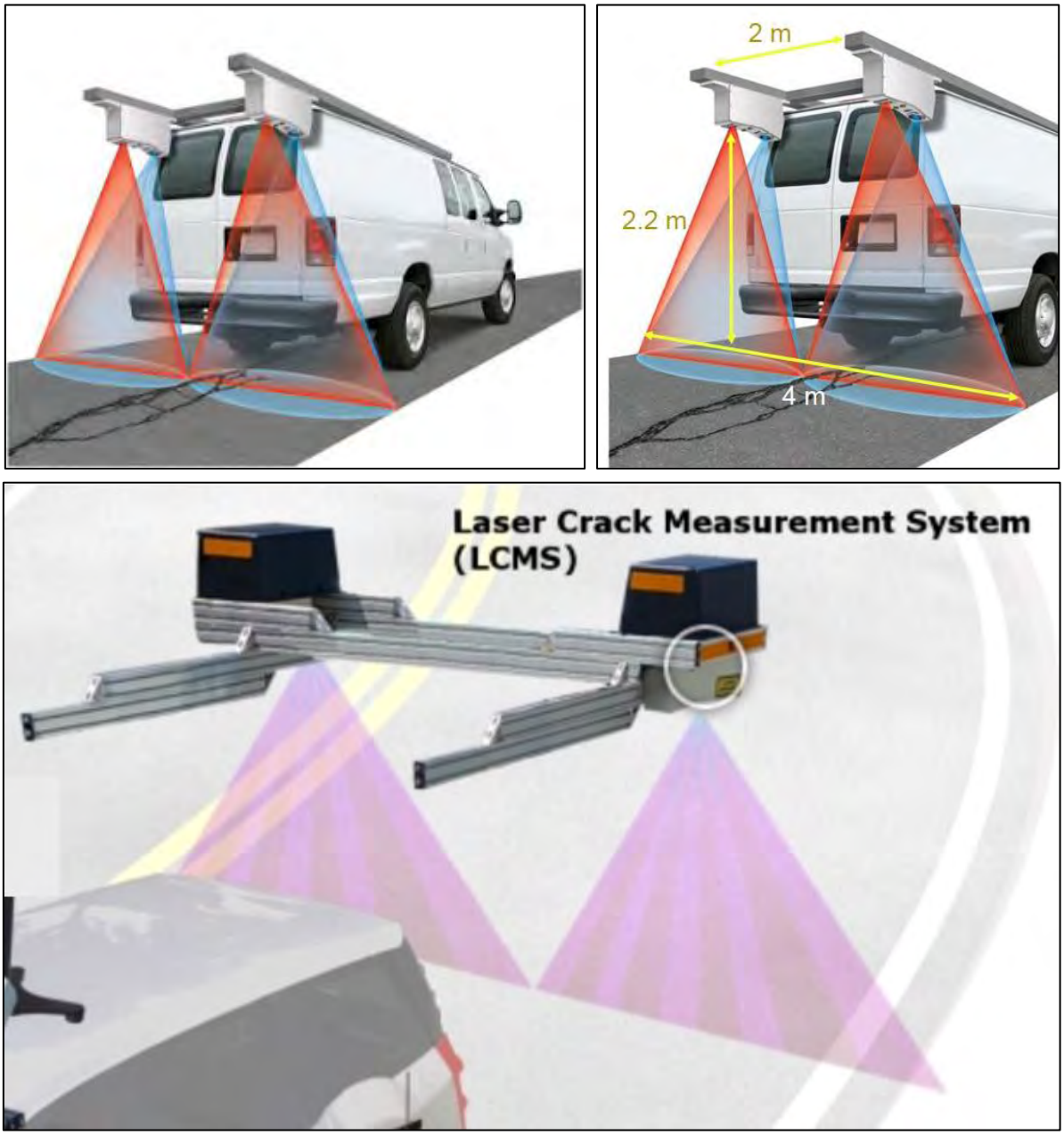


รูปที่ 1-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 1-6 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

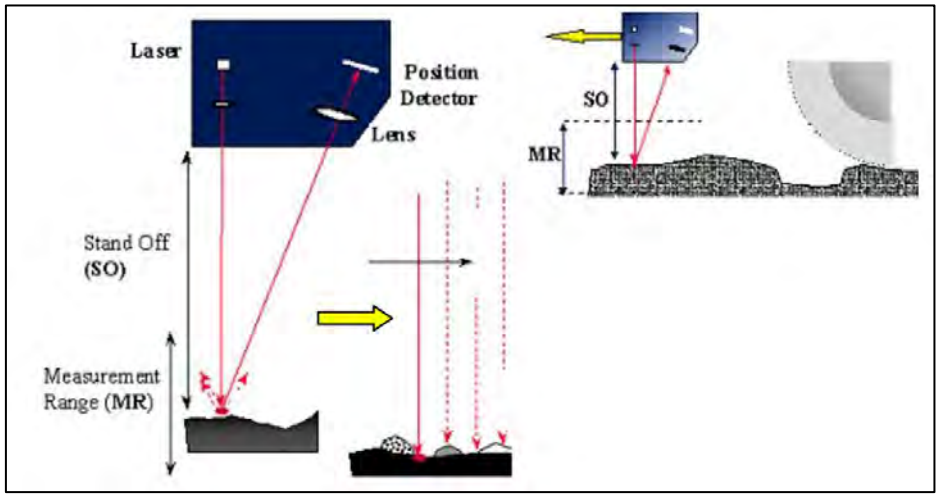
Laser Crack Measurement System (LCMS) เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีความแม่นยำสูง โดยมีเลเซอร์ที่ตรวจวัดได้ 4,096 จุด สามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ความละเอียดสูง ซึ่งสามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์หาค่าความเสียหายต่าง ๆ ของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic detection and measurement) โดยใช้ Algorithms ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือสำรวจ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบหาค่าข้อมูลสภาพทางประเภทต่าง ๆ



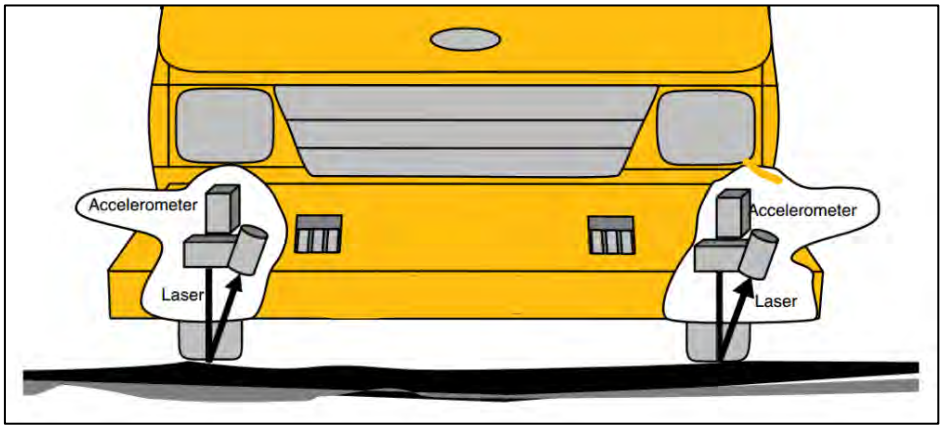
รูปที่ 1-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS)

โดยชุดเลเซอร์ทั้ง 2 ประเภทที่ได้กล่าวมา สามารถทำการตรวจวัดข้อมูลสภาพผิวทางที่สำคัญ 3 ตัว ด้วยกัน คือ

1) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI ในหน่วย เมตร/กิโลเมตร) ตรวจวัดโดยใช้เลเซอร์จำนวน 2 หัว ติดตั้ง ณ ตำแหน่งของล้อกับแนวล้อของยานพาหนะ หรือที่ +/- 750 มิลลิเมตร ทางซ้ายและขวาจากแนวกึ่งกลาง โดยทำงานและวิเคราะห์ค่าอย่างอิสระแยกกัน โดยค่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้ขั้นต้นจะเป็นค่าระยะทางจากหัววัดของเลเซอร์ไปยังผิวทางซึ่งจะถูกคำนวณค่ารวมกับค่าความเร่งตามแนวแกนดิ่งจากอุปกรณ์ Accelerometer ทำการคำนวณปรับแก้ให้เป็นค่าระยะทางที่ถูกต้อง โดยผลลัพธ์จะได้เป็นค่าโพรไฟล์ของผิวทาง และทำการสะสมอย่างต่อเนื่อง โดยทุกระยะทาง 25 มิลลิเมตร จะมีค่าการตรวจวัด 1 ค่า สะสมตลอดช่วงการสำรวจทำให้สามารถคำนวณเป็นค่าความเรียบของผิวทาง โดยข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลได้ข้อมูลจากอุปกรณ์วัดความเรียบจะมาแยกกันระหว่างเลเซอร์ทางฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จากนั้นจึงจะนำไปคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

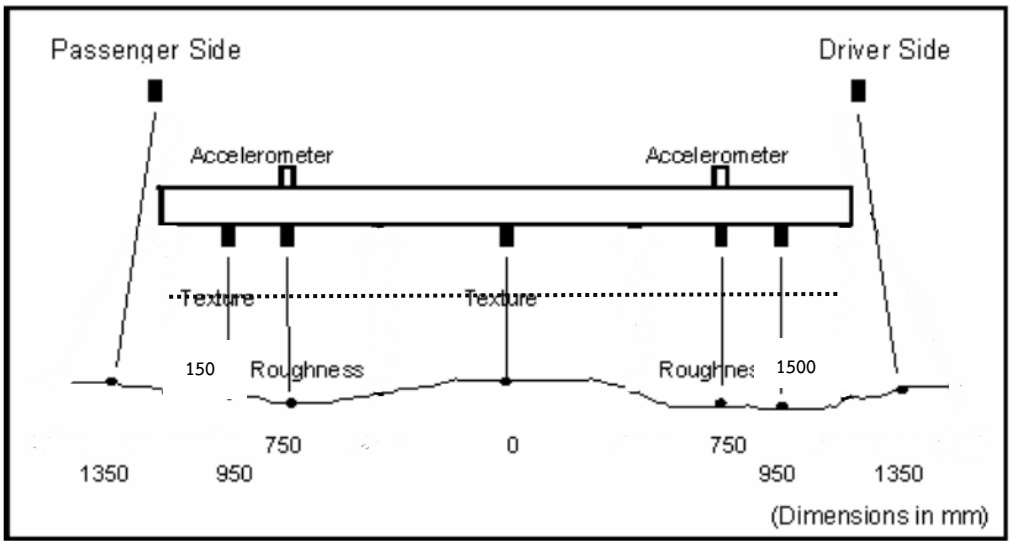


รูปที่ 1-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง



รูปที่ 1-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer ติดตั้งที่ ระยะ +-/ 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ

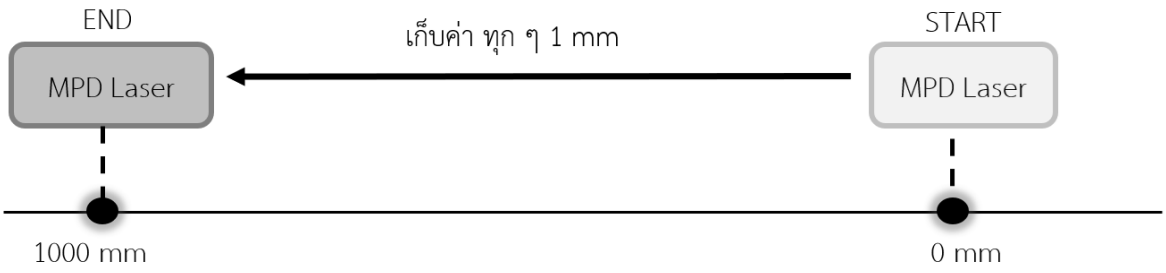
2) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) เป็นการใช้ชุดเลเซอร์ตั้งแต่ 7 หัวขึ้นไป ทำการตรวจวัดข้อมูลภาพตัดขวางผิวทางในทิศทางตั้งฉากกับแนวการสำรวจทุก ๆ ระยะทางสำรวจ 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการสร้างระนาบอ้างอิงที่เป็นระดับของผิวถนนแล้วทำการคำนวณความลึกบริเวณแนวร่องล้อแยกทั้งสองฝั่งซ้าย (Rut Left) และฝั่งขวา (Rut Right)



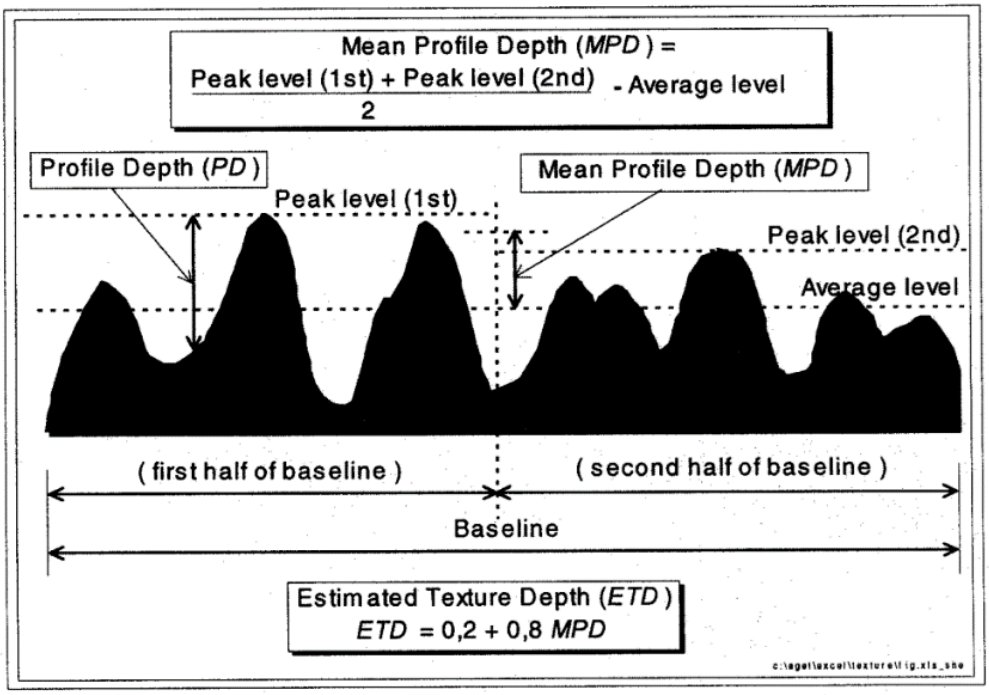
รูปที่ 1-10 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว

3) ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD หน่วยมิลลิเมตร) เป็นการตรวจวัดเพื่อใช้ประมาณค่าความฝืดของผิวทางจากลักษณะของเนื้อผิวทาง (Pavement Texture) การตรวจวัดจะใช้เลเซอร์ความถี่สูง จำนวนอย่างน้อย 1 ตัว โดยจะติดตั้งที่ตำแหน่งเดียวกันกับเลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง หรือ IRI ที่ระยะ 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ

ซึ่งวิธีการคำนวณและตรวจสอบความถูกต้องของค่า MPD นั้น โปรแกรมประมวลผลสามารถที่จะประมวลผลละเอียดสูงสุดที่ 1 เมตร ดังนั้นเมื่อเก็บค่าทุก ๆ 1 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 1 เมตร (ดังรูปที่ 1-11) โปรแกรมจะนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟ และคำนวณตามสูตรมาตรฐาน (ดังรูปที่ 1-12) ตามลำดับ ซึ่งการสำรวจในรอบการสำรวจนี้ มีการประมวลผลที่ทุก ๆ 25 เมตร คือ การนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทุก ๆ 1 เมตร มาหาค่าเฉลี่ย



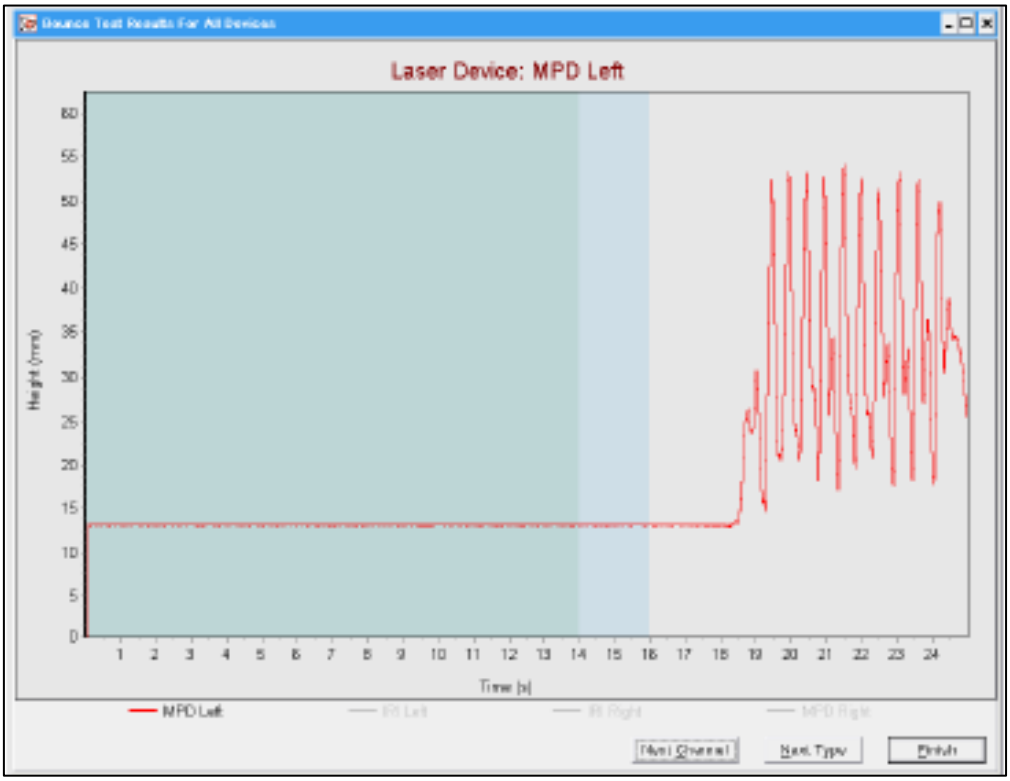
รูปที่ 1-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD



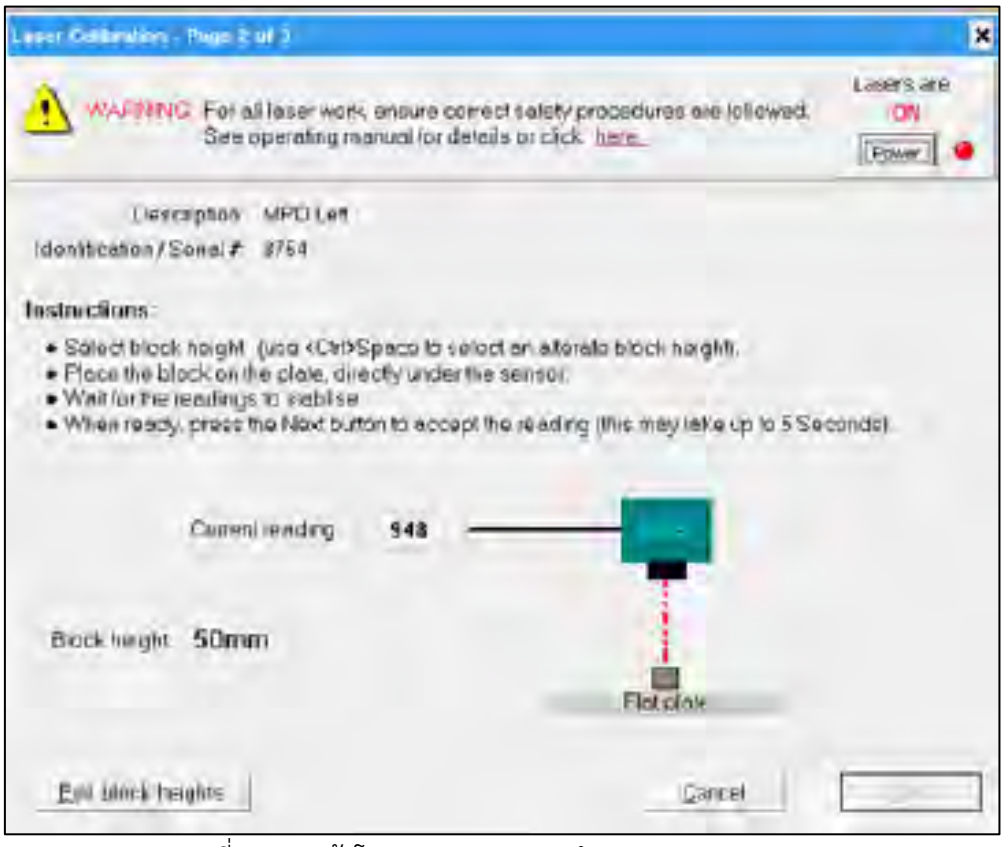
รูปที่ 1-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD

ในส่วนของการตรวจสอบว่าเครื่องมือตรวจวัดค่า Texture ทำงานเป็นปกติหรือไม่ สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทำ bounce test ซึ่งทางที่ปรึกษาพิจารณากราฟ raw laser signa ที่ได้จากเลเซอร์ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ทั้งนี้ การทำ bounce test นั้น พื้นฐานก็เพื่อที่จะตรวจสอบการทำงานในการวัดค่า IRI และ accelerometer ว่าทำงานได้ปกติหรือไม่ ซึ่งหากทำงานได้ปกติก็จะถือว่าวัดค่า texture ได้ถูกต้องเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกัน

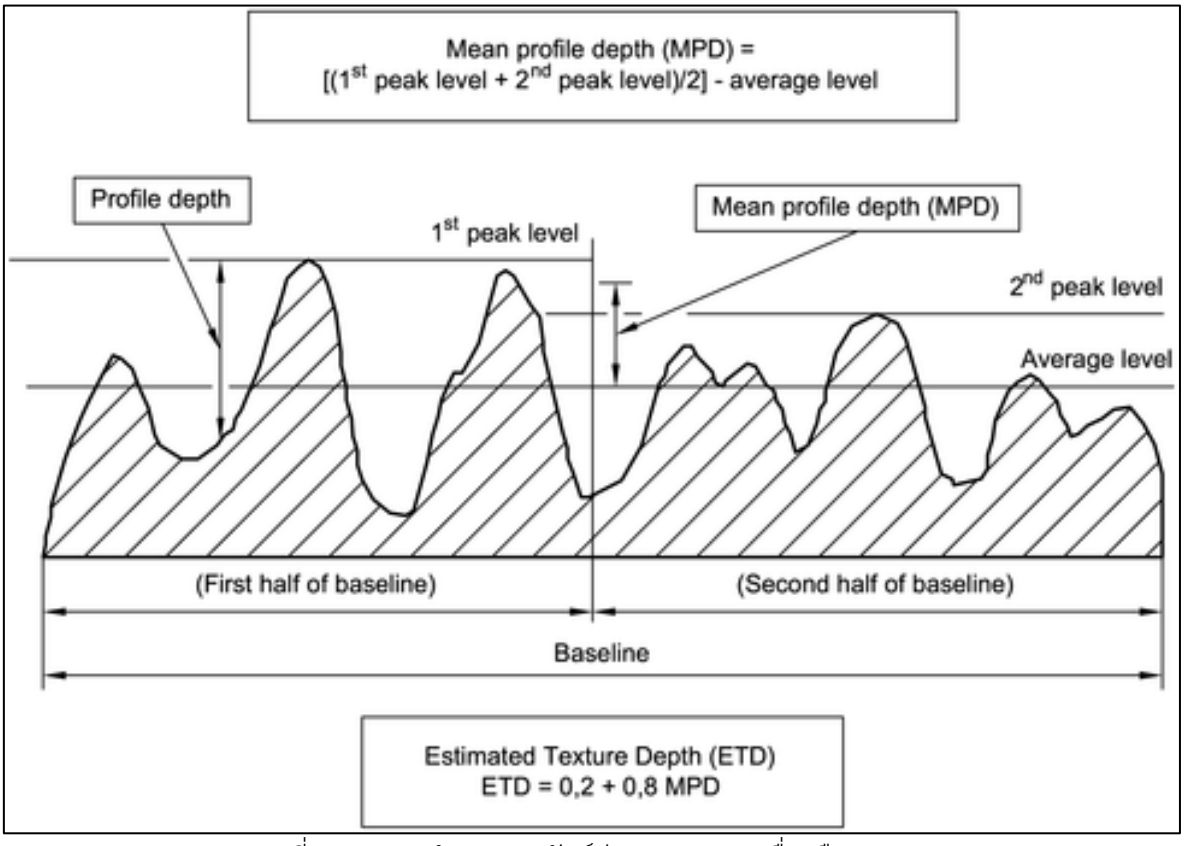
การทำ block calibration คือ การสอบเทียบการวัดค่าความสูงของเลเซอร์ให้ถูกต้อง โดยใช้ก้อนเหล็กขนาด 50 มิลลิเมตร ในการสอบเทียบ โดยการสอบเทียบวิธีนี้ควรทำเดือนละครั้ง



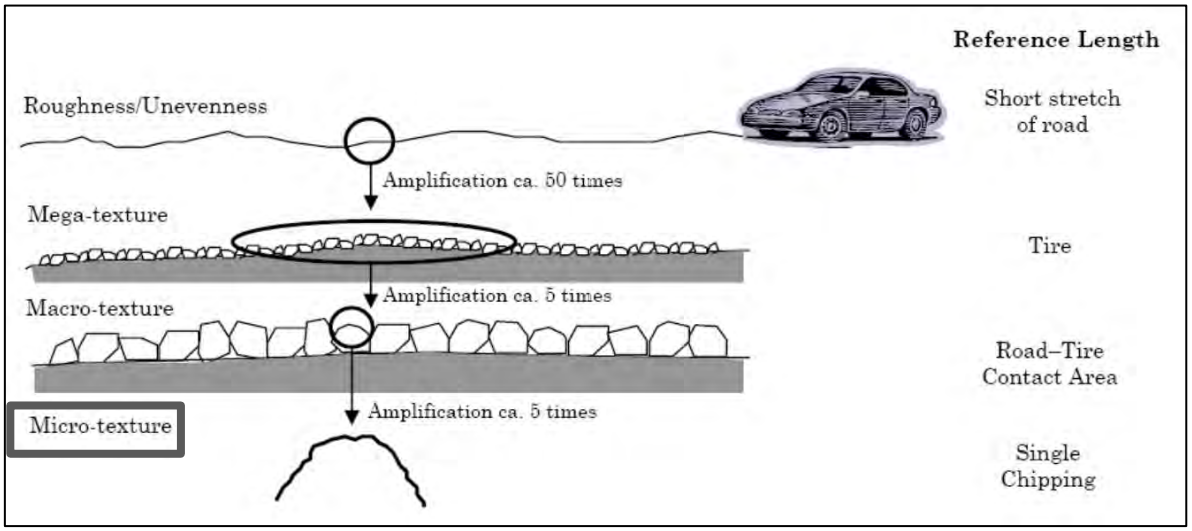
รูปที่ 1-13 กราฟแสดงค่าการ bounce test



รูปที่ 1-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration



รูปที่ 1-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser



รูปที่ 1-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความฝืดของผิวทางในระดับ Macro-texture

นอกจากนี้ยังมีในส่วนของการคำนวณค่าความหยาบเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ด้วยชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) โดยใช้ระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) ซึ่งการตรวจวัด Pavement surface texture ของแต่ละพื้นที่ผิวทาง บนพื้นฐานการใช้วิธี “Digital Sand Patch Method” ที่มีหลักการเดียวกันกับวิธีการดั้งเดิมคือ Sand Patch Test สามารถประมวลผลหาค่า air void-content volume และพื้นที่ถนนบริเวณที่กำลังตรวจวัดได้ โดยใช้วิธีการประมวลผลตามมาตรฐาน ASTM E965-15 และตามมาตรฐาน ASTM E1845-15 แสดงดังรูปที่ 1-17 และ รูปที่ 1-18 ตามลำดับ

$$MTD = \frac{4V}{\pi D^2} \quad \text{(Sand Patch Test)}$$

$$MTD = \frac{V}{A} \quad \text{(Digital Sand Patch Method)}$$

where: *Sand Patch Test*

V = sample volume, mm^3

D = average diameter of the area covered by the material, mm

Digital Sand Patch Method

V = air void-content volume, mm^3

A = road surface, mm

รูปที่ 1-17 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E965-15

$$ETD = 0.2 + 0.8MPD$$

$$MPD = \frac{ETD - 0.2}{0.8}$$

where: ETD = Estimated Texture Depth (ETD values that are close to the MTD values of the volumetric technique according to Test Method ASTM E965-15), mm

รูปที่ 1-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15

ตารางที่ 1-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	15 ชุด	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 25 มิลลิเมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิวทาง	1 มิลลิเมตร สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
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 0BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using A Straightedge	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มิลลิเมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มิลลิเมตร ถึง 100 เมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2.2 เมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	25 กิโลกรัม (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 1-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	7 ชุด	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 1 มิลลิเมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิวทาง	1 มิลลิเมตร สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานในการเก็บข้อมูล	ASTM E950 Class 1 Requirement for The Measurement of Longitudinal Profile AASHTO PP37 Provisional Standard of Quantifying Roughness of Pavement World Bank Technical Paper 46 Class 1 AustRoad Guideline 1BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using A Straightedge	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มิลลิเมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มิลลิเมตร ถึง 100 เมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2 เมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	30 กิโลกรัม (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 1-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	2 ชุด กว้าง 4 เมตรจำนวนเลเซอร์ที่วัด ได้จำนวน 4,096 จุด ตามแนวขวาง	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 5 มิลลิเมตร	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล Texture ของผิวทาง	ทุกระยะ 1 มิลลิเมตร ตามแนวขวางถนน	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	100 กิโลเมตร/ชั่วโมง	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานในการเก็บข้อมูล	ASTM E950, ASTM E965, ASTM E1703, ASTM E1845, ASTM E1926, ASTM D5340, ASTM D6433, AASHTO PP37, AASHTO PP38, AASHTO PP67, AASHTO PP68, AASHTO PP69, AASHTO PP70, AASHTO R56, AASHTO R85, AASHTO R86, AUSTROADS Guidelines (where applicable), ISO 13473, NCAT Profiler Certified (longitudinal profiler), LCPC Methode d'essai No 40, World Bank Technical Paper 46.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	ตามขวางถนน ทุก ๆ 1 มิลลิเมตร ตามยาวถนน ทุก ๆ 5 มิลลิเมตร	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ตรวจความเสียหายอัตโนมัติ	สามารถตรวจรอยแตก (Crack) ได้ระดับ 1 มิลลิเมตร	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ

1.2.2 มีระบบประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่งและขนาดของความเสียหายของผิวทาง โดยประมวลผลแบบอัตโนมัติได้ (Automatic Cracking Detection) จากข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์ หรือมีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทางสามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณพิกัดตำแหน่งของภาพและกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ โดยประมวลผลจากโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายจากภาพถ่าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

Laser Crack Measurement System (LCMS) เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีความแม่นยำสูงมาก สามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ความละเอียดสูง อุปกรณ์เลเซอร์สามารถสร้างภาพถ่ายผิวทางและมีระบบประมวลผลขนาดและชนิดของความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Cracking Detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) สามารถระบุคาพิกัดตำแหนงของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 4.0 เมตร หรือ 1 ช่องจราจร โดยมีรายละเอียดของกล้อง แสดงดังตารางที่ 1-5

รูปที่ 1-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)

ตารางที่ 1-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (HRDMI 10,000 rpm., resolution distance < 1 มิลลิเมตร)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	บันทึกภาพด้วย Laser 4,096 จุดทุก 1 มิลลิเมตร ได้ความกว้างถนนที่ 4 เมตร และบันทึกทุกระยะ 5 มิลลิเมตร ตามแนวถนน	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียดสูงสุด 4,090x10,000 Pixels	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Mono	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	JPG	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

กล้องบันทึกภาพผิวทาง เป็นกล้องบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูง สามารถเก็บภาพได้คมชัดในสภาวะแสงน้อยถึงน้อยมากได้ ใช้เพื่อบันทึกภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางครอบคลุม 1 ช่องจราจร หรือ 3.5 เมตร เพื่อเก็บรายละเอียดลักษณะความเสียหายของถนน ขนาด และประเภทของการแตกร้าว และยังสามารถนำไปประมวลผลเพิ่มเติมเพื่อทำการลบแสงและเงา ในกรณีที่เกิดจากการบดบังของวัตถุหรือตัวรถ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินความเสียหายของผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 1-20 โดยมีรายละเอียดของกล้อง แสดงดังตารางที่ 1-6 และ ตารางที่ 1-7

รูปที่ 1-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง

ตารางที่ 1-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600 x 1,200 พิกเซล (Pixels), สามารถปรับความละเอียดได้สูงสุด 3,200 x 2,200 พิกเซล (Pixels)	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Mono 8 bit	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ภาพชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 1-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet 1 Gb/sec	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 4096 x 1536 พิกเซล (Pixels), สามารถปรับความละเอียดได้สูงสุด 4096 x 2000 พิกเซล (Pixels)	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Mono 8 bit	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

1.2.3 มีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพถนนและสองข้างทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ ที่สามารถนำมาประมวลผลข้อมูลเป็นภาพเคลื่อนไหวได้

กล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทางเป็นกล้องบันทึกภาพความละเอียดสูง เพื่อบันทึกภาพสภาพภายในเขตทางที่อยู่ในระยะห่างจากขอบถนนออกไปมากกว่า 25 เมตร ประกอบด้วยกล้อง 1 ตัว ที่กึ่งกลางรถ ที่จะให้มุมมองของการเก็บภาพถ่ายในเขตทางมีความกว้างมองเห็นได้โดยทั่วบริเวณ 2 ข้างทาง บันทึกภาพสภาพภายในเขตทางด้านหน้า (Front Center View) เพื่อเก็บรายละเอียดข้อมูลถนน ครอบคลุมสภาพภายในเขตทาง เช่น จำนวนช่องจราจร ความกว้างช่องจราจร ระบบระบายน้ำ สะพานลอย สะพานข้ามแม่น้ำ ป้ายจราจร ราวกันอันตราย ไฟสัญญาณ ไฟฟ้าส่องสว่าง และอุปกรณ์อำนวยความสะดวก เป็นต้น

รูปที่ 1-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง

ตารางที่ 1-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนนในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600 x 1,200 พิกเซล (Pixels), สามารถปรับความละเอียดได้สูงสุด 3,200 x 2,200 พิกเซล (Pixels)	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 1-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ	สามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพได้	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE) หรือ USB3	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	1,600x1,200 Pixels	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม (2 - 10 เมตร)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด JPG หรือ AVI	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

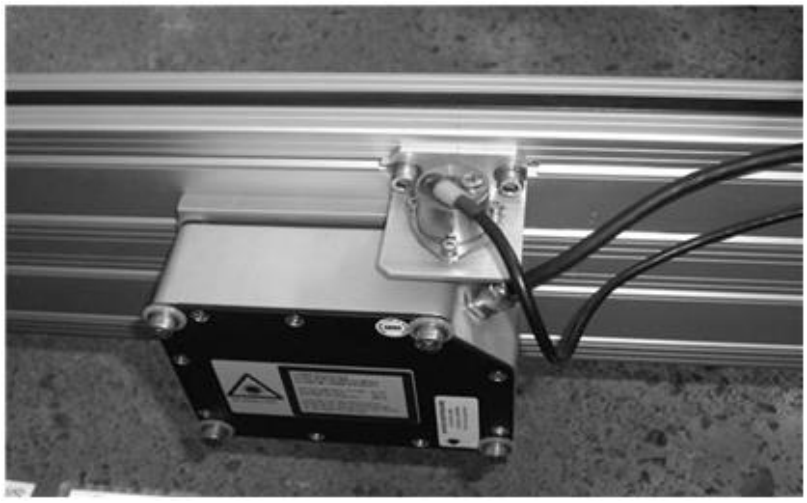
ตารางที่ 1-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนนในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet 1 Gb/sec	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600 x 1,200 พิกเซล (Pixels)	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

1.2.4 มีชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยระยะทางจากอุปกรณ์นี้จะทำงานสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ

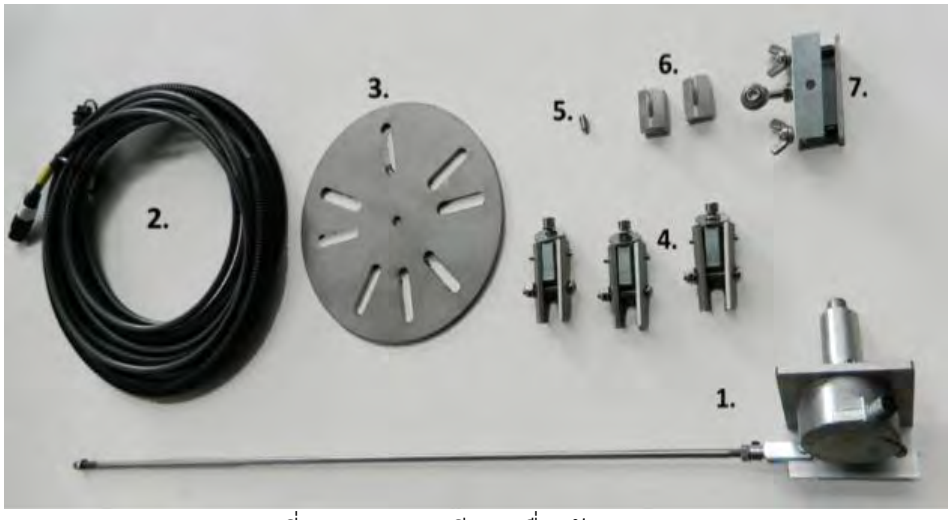
ที่ปรึกษาได้จัดชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยการวัดระยะทางจากอุปกรณ์นี้สามารถทำงานร่วมกันหรือสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระดับผิวทางแบบเลเซอร์เนื่องจากการสั่นของรถสำรวจ



รูปที่ 1-22 เครื่องมือวัดความเร่ง

- เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument : DMI) เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งกับล้อรถสำรวจเพื่อตรวจวัดระยะทางสำรวจโดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลส์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจ



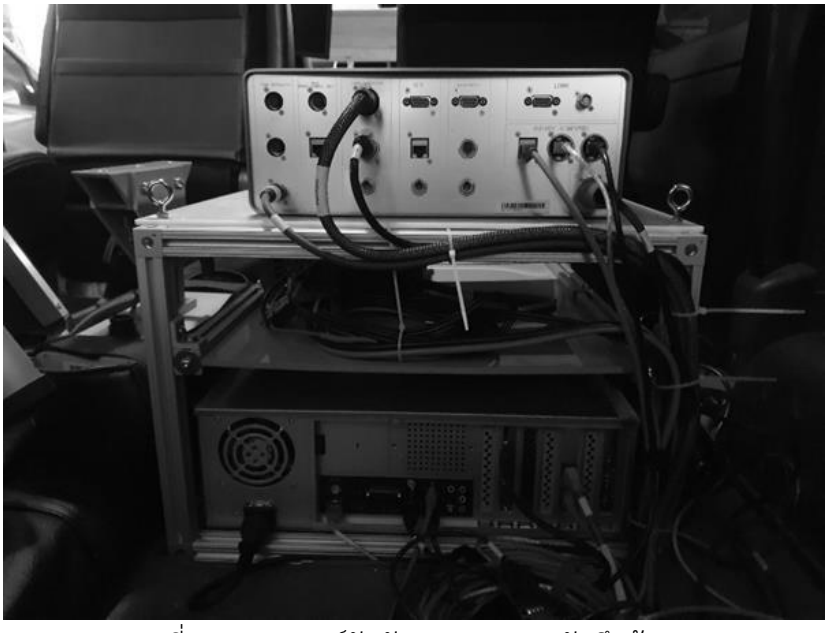
รูปที่ 1-23 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง

ตารางที่ 1-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง

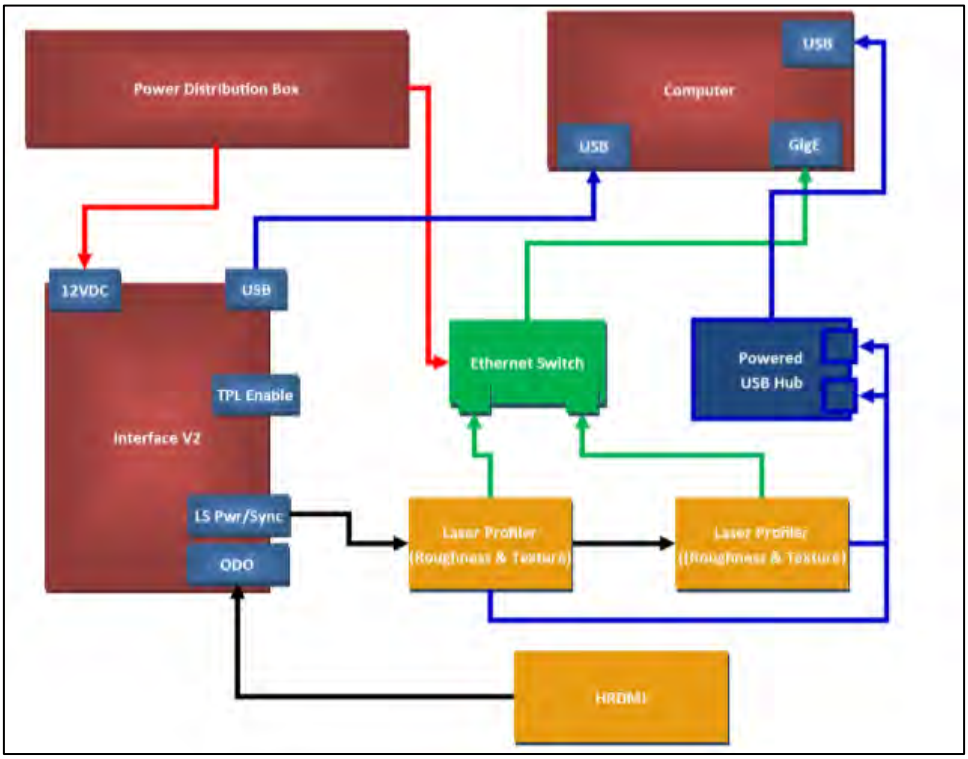
Item	Description
1	Encoder Mounted with Swivel and R
2	Encoder cable with plugs
3	Wheel plate
4	Wheel Nut Clamp
5	Shaft Collar Grub screw
6	Spaces for Wheel Nut Clamps
7	Wheel Rim Rod Mount

รูปที่ 1-24 เครื่องวัดระยะทาง

- อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส และระบบคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลสำรวจ (On board Computer) ติดตั้งในรถ ระบบคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในรถสำรวจเพื่อบันทึกข้อมูลและประมวลผลเบื้องต้นบนรถสำรวจ



รูปที่ 1-25 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 1-26 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล

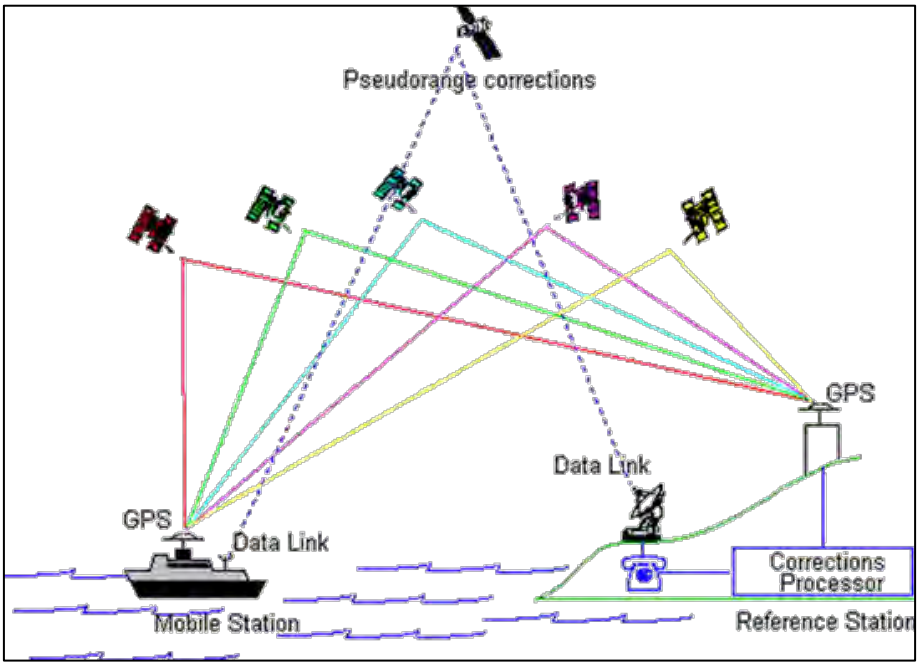
- การติดตั้งเครื่องมือ จะทำการติดตั้งเครื่องมือดังที่กล่าวมาข้างต้นเข้ากับรถสำรวจสภาพทาง (Road Condition Survey Vehicle : RCSV)

รูปที่ 1-27 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ

1.2.5 มีชุดอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS พร้อมความสามารถในการรับค่าปรับแก้เพื่อให้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งมีค่าความละเอียดอย่างน้อยในระดับ 1 เมตร จำนวน 1 ชุด

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GNSS) พร้อมรับสัญญาณค่าพิกัดปรับแก้ (Differentials Global Positioning System : DGPS) คือ เครื่องมือที่ใช้ระบุตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะที่ทำการสำรวจข้อมูล โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายในรถจะแสดงค่าสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ทำการบันทึกซึ่งได้พิกัดตำแหน่งจากอุปกรณ์ GPS/GNSS ชนิด DGPS นั่นเอง โดยสามารถแสดงพิกัดทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง โดยอ้างอิงจากสัญญาณดาวเทียม (GPS Satellite) และสัญญาณค่าแก้ Differential Correction จากผู้ให้บริการ และรายละเอียดของเครื่องมือ แสดงดังตารางที่ 1-12

รูปที่ 1-28 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม



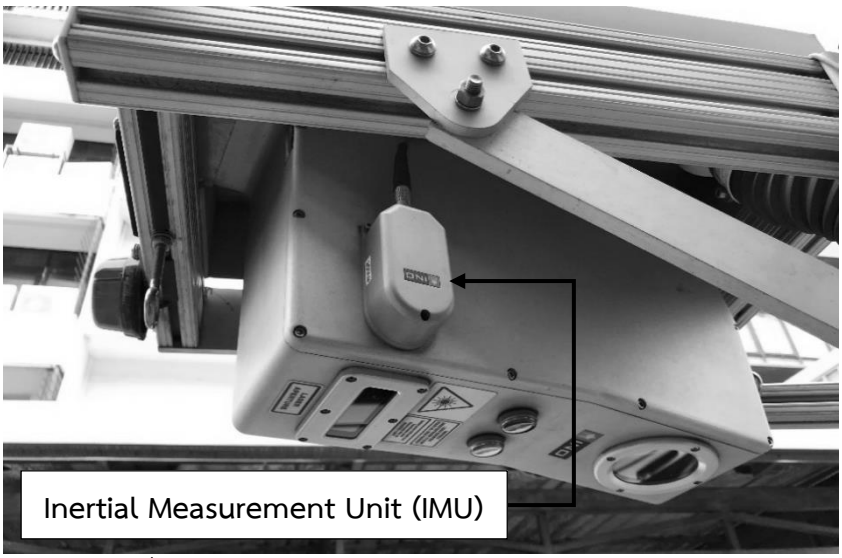
รูปที่ 1-29 หลักการทำงานของการรับพิกัดและค่าแก้ DGPS

ตารางที่ 1-12 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS)

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (DGPS)	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ชนิดดาวเทียม	GPS/GNSS	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
การติดต่อกับดาวเทียม	12 ดวงขึ้นไป และขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อุณหภูมิ	-30 ถึง 60 องศาเซลเซียส	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการอัพเดทข้อมูล	1 วินาที	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
ความแม่นยำของตำแหน่ง	1 meters RMS	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

1.2.6 มีชุดอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric)

ชุดอุปกรณที่สามารถตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Road Geometry) คือ Inertial Measurement Unit (IMU) ที่ประกอบด้วย Three Axis Accelerometers และ Gyroscopes ซึ่งจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ทำให้สามารถคำนวณและรายงานผลคาความลาดชัน (Percent grade slope) คาความลาดเอียง (Percent crown slope) คาระดับความสูง (Elevation) และคารัศมีทางโคง (Radius) ได้

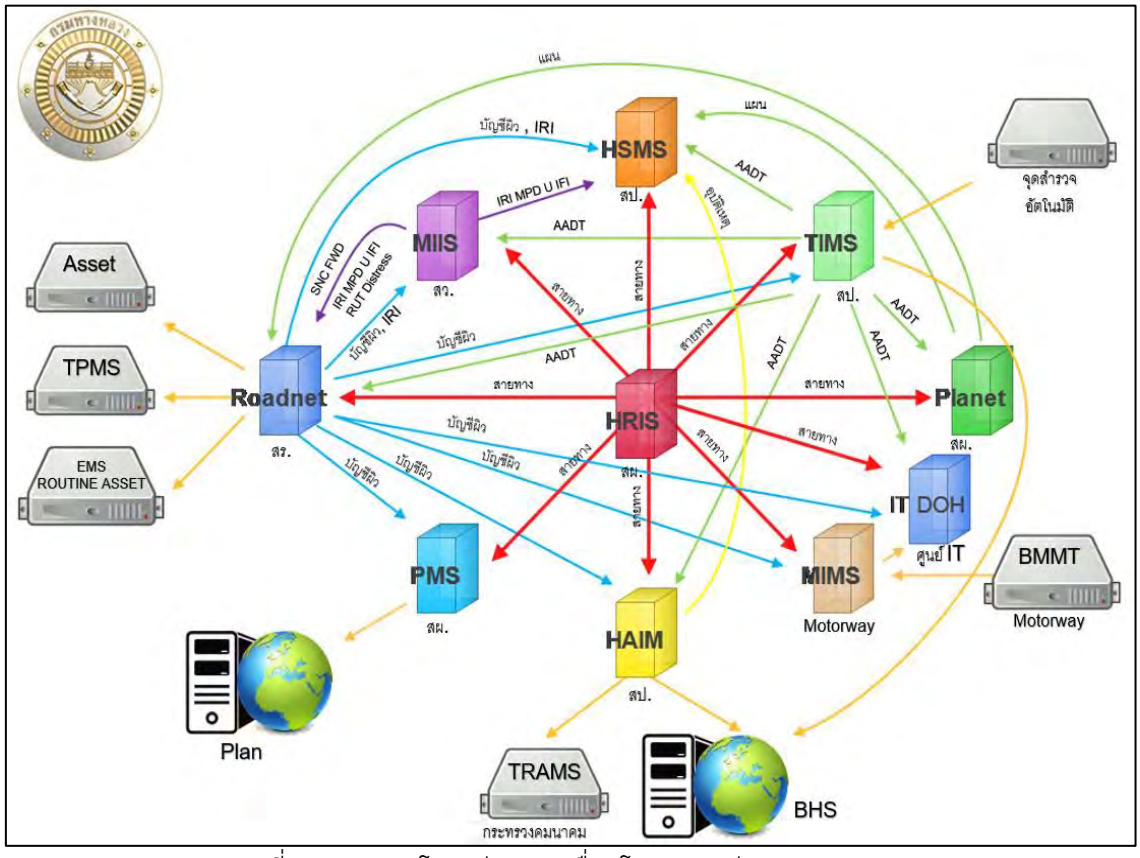


รูปที่ 1-30 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)

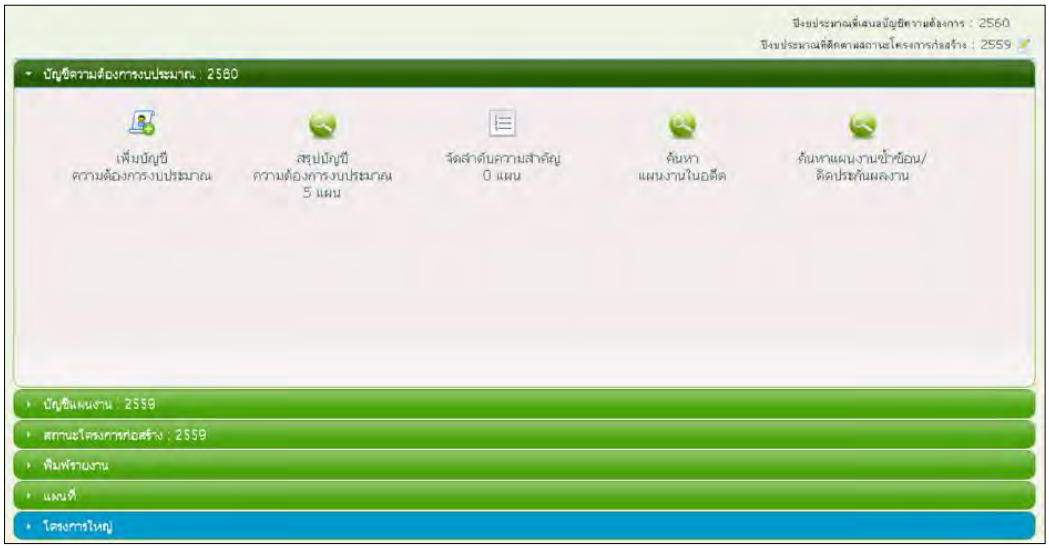
1.3 การสำรวจสภาพทาง

1.3.1 จัดทำแผนการสำรวจและตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

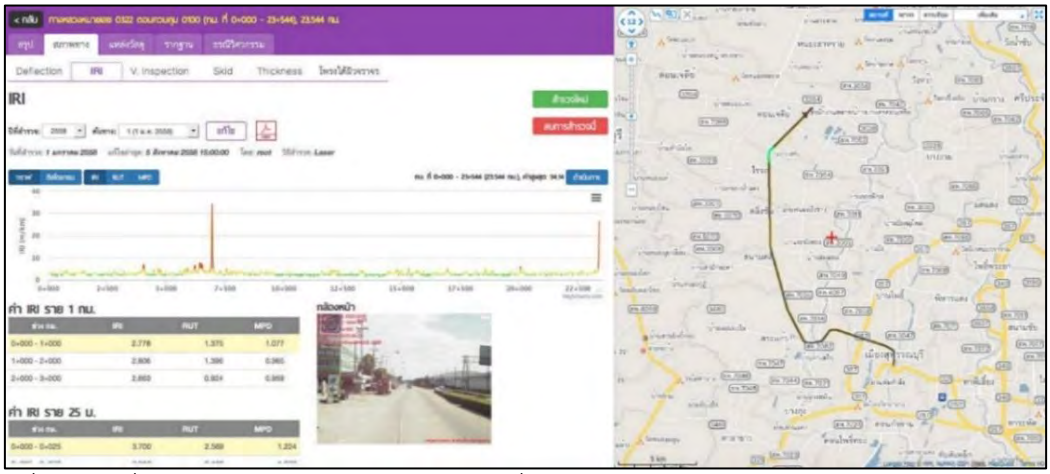
ในการจัดทำแผนการสำรวจที่ปรึกษาได้จัดทำบัญชีสายทางและผิวทางที่จะสำรวจ พร้อมแผนที่พื้นที่สำรวจรายแขวงทางหลวง โดยประมวลผลจากข้อมูล ดังนี้ ข้อมูลลักษณะผิวทางและข้อมูลกายภาพจากฐานข้อมูล Roadnet ข้อมูลแผนงานจากระบบบริหารแผนงาน (Plannet) ข้อมูลบัญชีสายทางจากระบบข้อมูลทะเบียนสายทาง (Highway Registration Systems : HRIS) จากสำนักแผนงาน ข้อมูลปริมาณจราจรล่าสุดจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (Traffic Information Management Systems : TIMS) จากสำนักอำนวยความปลอดภัย และข้อมูลการสำรวจสภาพทาง (MIIS) จากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ซึ่งทางที่ปรึกษาได้นำเสนอแผนการสำรวจเส้นทางให้คณะกรรมการตรวจรับฯ และหน่วยงานในพื้นที่เห็นชอบแล้วทั้งหมด



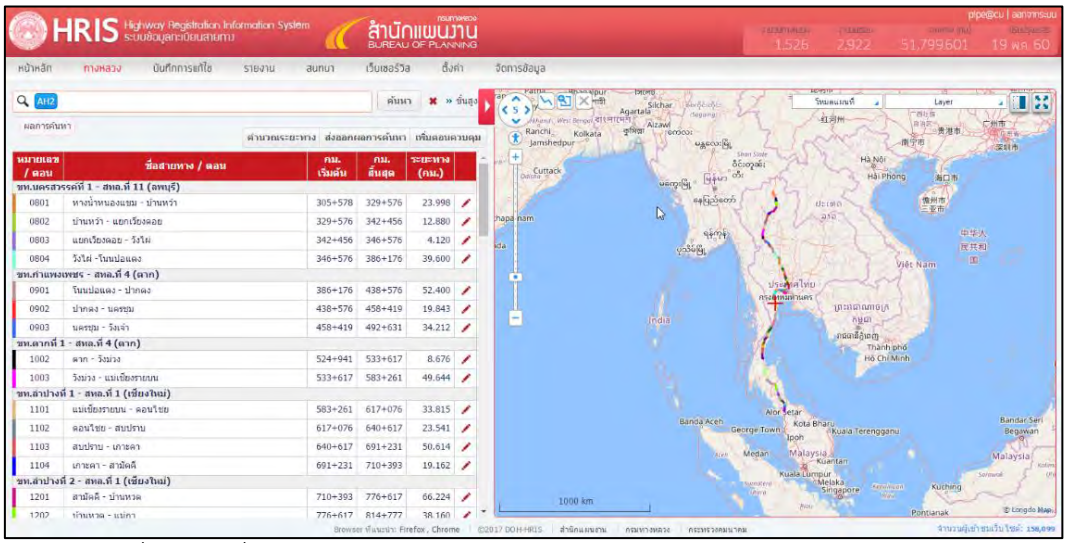
รูปที่ 1-31 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง



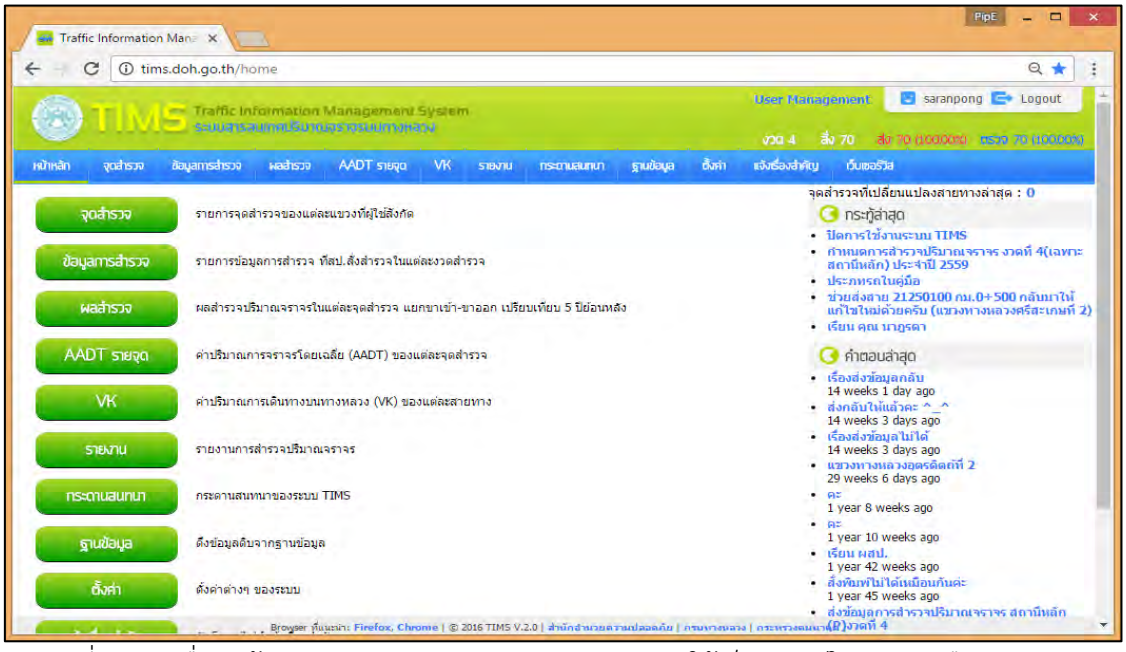
รูปที่ 1-32 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจาก ระบบ Plannet



รูปที่ 1-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจาก ระบบ MIIS



รูปที่ 1-34 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ใช้ในงานซ่อมบำรุง ระบบ HRIS



รูปที่ 1-35 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

นอกจากการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลต่าง ๆ เพื่อประกอบการคัดเลือกสายทางแล้ว ในการจัดทำแผนการสำรวจและเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทางจะต้องวางแผนและเตรียมการอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและให้การสำรวจเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ที่ปรึกษาได้วางแผนการสำรวจโดยคัดเลือกสายทางเป็นระยะทางตามขอบเขตงาน ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ทั้งผิวลาดยางและผิวคอนกรีต รวมไปถึงทางคู่ขนานของแต่ละสายทาง โดยได้นำเสนอให้คณะกรรมการตรวจรับและให้ความเห็นชอบก่อนแล้ว ซึ่งมีหลักเกณฑ์การเลือกสายทางสำรวจ ดังนี้

   - สายทางที่จะทำการสำรวจ อยู่ในพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักทางหลวงที่ 1 ถึง 18 ซึ่งไม่รวมพื้นที่ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา จังหวัดนราธิวาส และ 4 อำเภอ ในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย
   - เกณฑ์ที่ได้รับจากคณะกรรมการระยะทางสำรวจรวม ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ประกอบด้วย
     - ทางหลวงหมายเลข 1 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 2 หลัก ทำการสำรวจทั้งหมด
     - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 ทำการสำรวจทั้งหมด
     - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 2, 3 และ 4 ที่มีค่า IRI ของสายทาง มากกว่าเท่ากับ 3.00 ทำการสำรวจทั้งหมด

2. ที่ปรึกษาได้จัดบัญชีสายทางและผิวทาง เสนอต่อคณะกรรมการคณะกรรมการตรวจรับฯ และหน่วยงานในพื้นที่ เพื่อพิจารณาเห็นชอบวิธีการและความเป็นไปได้ในการสำรวจ
3. ประชุมชี้แจงและแจ้งสายทางสำรวจโดยส่งบัญชีสายทางที่อยู่ในแผนการสำรวจให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ดิจิทัล โดยการจัดทำแผนที่โครงข่ายเส้นทางสำรวจ (Layout) ขนาด A4 รายแขวงทางหลวงส่งมอบให้กรม จำนวน 104 แขวงทางหลวง ในรูปแบบไฟล์ PDF และรูปแบบไฟล์ KML (Keyhole Markup Language) เพื่อพร้อมเปิดใช้งานในรูปแบบแผนที่ โดยให้แก่เจ้าหน้าที่ สำนักงานทางหลวง และแขวงทางหลวงในพื้นที่ที่สำรวจสภาพทางเป็นผู้พิจารณา พร้อมติดต่อประสานงานสอบถามความพร้อมก่อนเข้าสำรวจพื้นที่จริง เพื่อสอบถามสายทางดังกล่าวมีการก่อสร้าง หรือขยายช่องจราจรหรือไม่

ตารางที่ 1-13 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565

digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (49,954.734)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทางสำรวจ ทั้งหมด (กม.) (67,683.479)	IRI น้อยกว่า 3.0	IRI มากกว่า เท่ากับ 3.0	ระยะทางตามเกณฑ์ สำรวจ ปี2565 (กม.) (29,400)
1 สำรวจทุกปี	2	<8,000	156.945	1	156.945			156.945
		>8,000	109.741	1	109.741			109.741
	≥4	<8,000	156.548	2	304.556			304.556
		>8,000	2751.325	2	5,190.956			5,190.956
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	4.270	4	17.080			17.080
		>8,000	152.181	4	608.724			608.724
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000		3	0.000			0.000
		>8,000	3.666	3	10.998			10.998
2 สำรวจทุกปี	2	<8,000	344.244	1	344.244			344.244
		>8,000	240.765	1	240.765			240.765
	≥4	<8,000	584.982	2	1,158.000			1,158.000
		>8,000	2941.486	2	5,668.554			5,668.554
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.812	4	23.248			23.248
		>8,000	101.621	4	406.484			406.484
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.170	3	0.510			0.510
		>8,000	5.588	3	16.764			16.764
3 หลัก สำรวจทุกปี (ลำดับชั้นทางหลวงที่ 1)	2	<8,000	363.511	1	363.511			363.511
		>8,000	376.246	1	376.246			376.246
	≥4	<8,000	279.061	2	524.864			524.864
		>8,000	2073.077	2	4,038.492			4,038.492
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	16.629	4	66.516			66.516
		>8,000	53.631	4	214.524			214.524
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0.000			0.000
		>8,000	0.200	3	0.600			0.600
4 หลัก สำรวจทุกปี (ลำดับชั้นทางหลวงที่ 1)	2	<8,000	94.932	1	94.932			94.932
		>8,000	216.793	1	216.793			216.793
	≥4	<8,000	41.059	2	82.118			82.118
		>8,000	191.494	2	382.988			382.988
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	0.000	4	0			0.000
		>8,000	0.000	4	0			0.000
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0			0.000
		>8,000	0.000	3	0			0.000
3 (ลำดับชั้นทางหลวงที่ 2, 3, 4)	2	<8,000	2296.973	1	2,296.973	1,839.624	457.349	457.349
		>8,000	1670.245	1	1,670.245	1,457.471	212.774	212.774
	≥4	<8,000	615.558	2	1,226.338	1,148.476	82.640	82.640
		>8,000	3490.539	2	6,949.294	5,970.210	1,004.458	1,004.458
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	2.054	4	8.216	4.108	0.000	0.000
		>8,000	5.739	4	22.956	8.904	5.148	5.148
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.335	3	1.005	0.335	0.000	0.000
		>8,000	10.153	3	30.459	8.235	5.754	5.754
4 (ลำดับชั้นทางหลวงที่ 2, 3, 4)	2	<8,000	21770.474	1	21,770.474	16,463.596	5,306.878	4,367.441
		>8,000	5640.504	1	5,640.504	4,579.643	1,060.861	1,060.861
	≥4	<8,000	1495.906	2	2,979.822	2,583.112	404.710	404.710
		>8,000	2208.538	2	4,388.662	3,645.344	771.732	771.732
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.995	4	23.980	8.000	7.980	7.980
		>8,000	12.777	4	51.108	25.554	0.000	0.000
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0.000	0.000	0.000	0.000
		>8,000	1.430	3	4.290	1.430	0.000	0.000
New rout								**400.000**

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิง จากระบบ Roadnet วันที่ 18 สิงหาคม 2564

ตารางที่ 1-14 ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง

digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (49,954.734)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทาง สำรวจ (กม.) (67,069.478)	ระยะทางตามเกณฑ์ สำรวจปี 2565 (กม.) (29,400)	ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 (กม.) (29,579.408)
1 สำรวจทุกปี	2	<8,000	156.945	1	156.95	156.95	156.138
		>8,000	109.741	1	109.74	109.74	86.472
	≥4	<8,000	156.548	2	304.56	304.56	306.170
		>8,000	2,751.325	2	5,190.96	5,190.96	5,192.434
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	4.270	4	17.08	17.08	-
		>8,000	152.181	4	608.72	608.72	577.416
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	-	3	-	-	12.810
		>8,000	3.666	3	11.00	11.00	343.176
2 สำรวจทุกปี	2	<8,000	344.244	1	344.24	344.24	340.179
		>8,000	240.765	1	240.77	240.77	172.388
	≥4	<8,000	584.982	2	1,158.00	1,158.00	1,173.184
		>8,000	2,941.486	2	5,668.55	5,668.55	5,402.790
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.812	4	23.25	23.25	25.644
		>8,000	101.621	4	406.48	406.48	472.076
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.170	3	0.51	0.51	11.568
		>8,000	5.588	3	16.76	16.76	372.957
3 สำรวจทุกปี	2	<8,000	363.511	1	363.51	363.51	362.454
		>8,000	376.246	1	376.25	376.25	357.554
	≥4	<8,000	279.061	2	524.86	524.86	516.958
		>8,000	2073.077	2	4,038.49	4,038.49	4,083.744
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	16.629	4	66.52	66.52	7.832
		>8,000	53.631	4	214.52	214.52	222.968
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	-	3	-	-	59.043
		>8,000	0.200	3	0.60	0.60	67.956
4 สำรวจทุกปี	2	<8,000	94.932	1	94.93	94.93	94.932
		>8,000	216.793	1	216.79	216.79	195.198
	≥4	<8,000	41.059	2	82.12	82.12	82.118
		>8,000	191.494	2	382.99	382.99	426.178
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	-	4	-	-	-
		>8,000	-	4	-	-	-
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	-	3	-	-	-
		>8,000	-	3	-	-	-
3	2	<8,000	2296.973	1	2,296.97	457.35	589.910
		>8,000	1670.245	1	1,670.25	212.77	147.532
	≥4	<8,000	615.558	2	1,226.34	82.64	182.546
		>8,000	3490.539	2	6,949.29	1,004.46	1,201.958
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	2.054	4	8.22	-	-
		>8,000	5.739	4	22.96	5.15	3.148
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.335	3	1.01	-	-
		>8,000	10.153	3	30.46	5.75	14.625
4	2	<8,000	21,770.474	1	21,770.47	4,367.44	4,699.241
		>8,000	5,640.504	1	5,640.50	1,060.86	698.217
	≥4	<8,000	1,495.906	2	2,979.82	404.71	352.410
		>8,000	2,208.538	2	4,388.66	771.73	550.140
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.995	4	23.98	7.98	5.500
		>8,000	12.777	4	51.11	-	-
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000		3	-	-	7.014
		>8,000	1.430	3	4.29	-	4.830
	New rout					400.00	
ระยะทางสำรวจรวม (กม.)						**29,400.00**	**29,579.408**

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิง จากระบบ Roadnet วันที่ 14 ธันวาคม 2564

1.3.2 นำเสนอแผนการสำรวจ ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร

ที่ปรึกษาได้นำเสนอแผนการสำรวจระยะทางสำรวจรวม 29,579.408 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ทั้งผิวลาดยาง และผิวคอนกรีต รวมไปถึงทางคู่ขนานของแต่ละสายทาง และทำการแบ่งระยะทางสำรวจตามประเภทชุดเครื่องมือเลเซอร์ โดยแบ่งออกเป็น

1. ชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง แบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) ทำการสำรวจข้อมูลสภาพทาง เป็นระยะทาง 15,108.708 กิโลเมตร โดยจะสำรวจสายทางประเภท
   - ทางหลวงหมายเลข 1 หลัก และทางหลวงหมายเลข 2 หลัก, ทั้งหมดของแผนการสำรวจระยะทางสำรวจรวม 14,645.402 กิโลเมตร
   - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 ระยะทางสำรวจรวม 463.306 กิโลเมตร
2. ชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง (Laser Profilometer) ทำการสำรวจข้อมูลสภาพทาง เป็นระยะทาง 14,470.700 กิโลเมตร โดยจะสำรวจสายทางประเภท
   - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 ระยะทางสำรวจรวม 6,013.629 กิโลเมตร
   - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 2, 3, 4 ระยะทางสำรวจรวม 8,457.071 กิโลเมตร

ตารางที่ 1-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง)

ชื่อสำนัก/แขวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	**840.012**	**2,406.368**	**3,246.380**
ขท.เชียงใหม่ที่ 1	-	625.320	625.320
ขท.เชียงใหม่ที่ 2	136.258	405.596	541.854
ขท.เชียงใหม่ที่ 3	-	430.330	430.330
ขท.แม่ฮ่องสอน	-	616.327	616.327
ขท.ลำปางที่ 1	396.808	117.657	514.465
ขท.ลำปางที่ 2	216.708	68.325	285.033
ขท.ลำพูน	90.238	142.813	233.051
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	**468.832**	**1,766.316**	**2,235.148**
ขท.เชียงรายที่ 1	218.520	298.039	516.559
ขท.เชียงรายที่ 2	-	186.717	186.717
ขท.แพร่	99.126	349.039	448.165
ขท.น่านที่ 1	-	279.085	279.085
ขท.น่านที่ 2	-	438.159	438.159
ขท.พะเยา	151.186	215.277	366.463
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	**670.791**	**347.145**	**1,017.936**
ขท.นครพนม	84.512	31.715	116.227
ขท.บึงกาฬ	-	22.786	22.786
ขท.มุกดาหาร	145.275	188.041	333.316
ขท.สกลนครที่ 1	218.352	-	218.352
ขท.สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	177.038	104.603	281.641
ขท.หนองคาย	45.614	-	45.614
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	**815.223**	**1,149.849**	**1,965.072**
ขท.กำแพงเพชร	220.200	146.116	366.316
ขท.ตากที่ 1	408.887	117.194	526.081
ขท.ตากที่ 2 (แม่สอด)	123.929	619.767	743.696
ขท.สุโขทัย	62.207	266.772	328.979
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	**657.863**	**515.960**	**1,173.823**
ขท.พิจิตร	72.388	297.466	369.854
ขท.พิษณุโลกที่ 1	90.744	140.482	231.226
ขท.พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	329.748	27.306	357.054
ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	164.983	50.706	215.689

ตารางที่ 1-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) (ต่อ)

ชื่อสำนัก/แขวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	**724.188**	**246.542**	**970.730**
ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1	341.027	31.473	372.500
ขท.เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	248.068	103.610	351.678
ขท.เลยที่ 1	29.174	-	29.174
ขท.เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	105.919	106.759	212.678
ขท.หนองบัวลำภู	-	4.700	4.700
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	**908.624**	**777.939**	**1,686.563**
ขท.ขอนแก่นที่ 1	232.948	104.940	337.888
ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	199.847	0.412	200.259
ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	187.155	150.467	337.622
ขท.ชัยภูมิ	-	449.026	449.026
ขท.อุดรธานีที่ 1	186.018	55.344	241.362
ขท.อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	102.656	17.750	120.406
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	**695.292**	**580.691**	**1,275.983**
ขท.กาฬสินธุ์	319.054	61.769	380.823
ขท.มหาสารคาม	132.442	239.593	372.035
ขท.ยโสธร	147.954	131.473	279.427
ขท.ร้อยเอ็ด	95.842	147.856	243.698
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	**622.086**	**806.641**	**1,428.727**
ขท.ศรีสะเกษที่ 1	67.310	65.865	133.175
ขท.ศรีสะเกษที่ 2	136.468	85.406	221.874
ขท.สุรินทร์	193.144	87.163	280.307
ขท.อำนาจเจริญ	-	203.393	203.393
ขท.อุบลราชธานีที่ 1	113.060	143.090	256.150
ขท.อุบลราชธานีที่ 2	112.104	221.724	333.828
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	**1,151.728**	**1,383.954**	**2,535.682**
ขท.นครราชสีมาที่ 1	205.468	186.114	391.582
ขท.นครราชสีมาที่ 2	306.536	97.898	404.434
ขท.นครราชสีมาที่ 3	170.862	238.730	409.592
ขท.บุรีรัมย์	170.882	421.690	592.572
ขท.ปราจีนบุรี	139.938	326.857	466.795
ขท.สระแก้ว (วัฒนานคร)	158.042	112.665	270.707

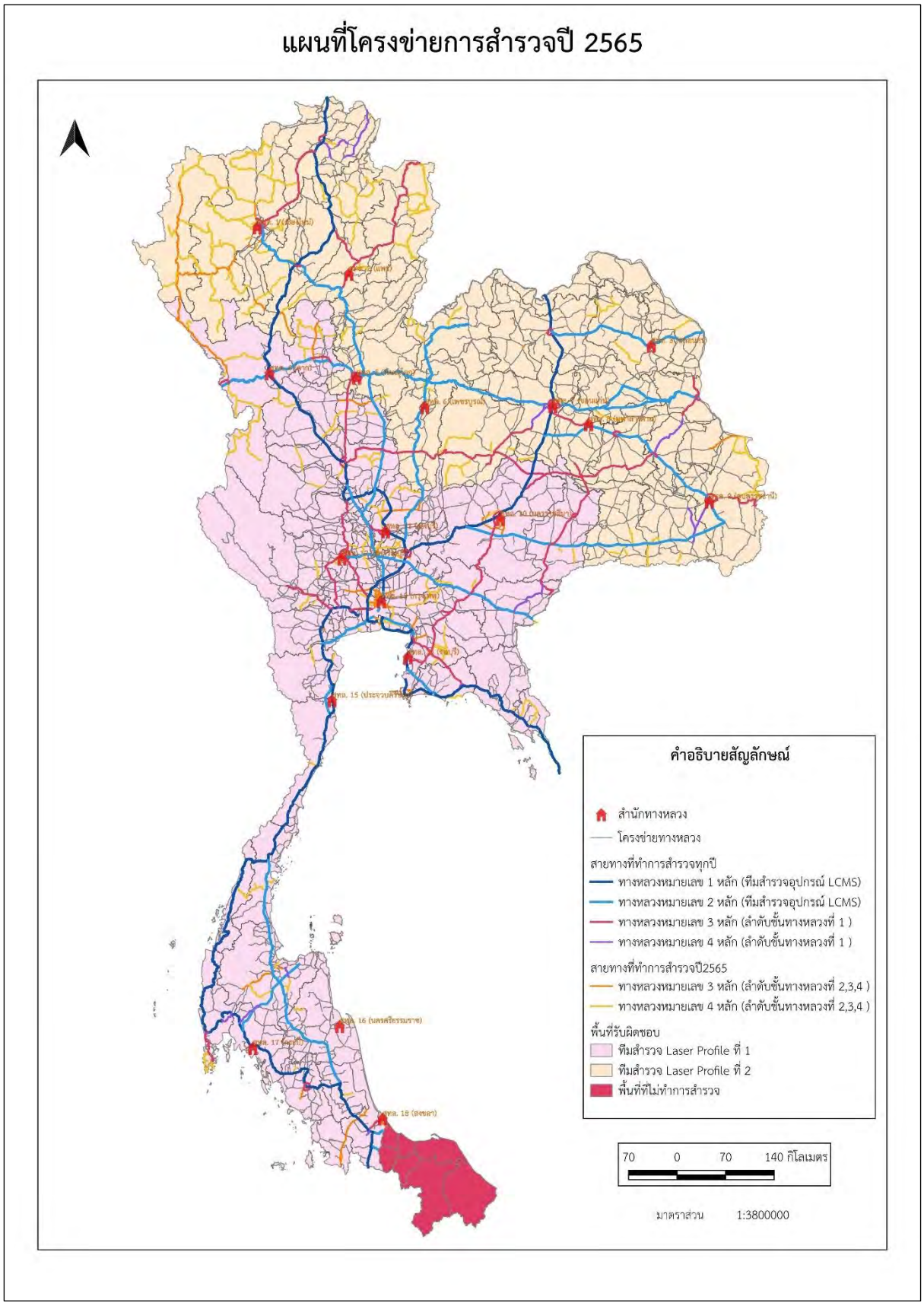
ตารางที่ 1-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) (ต่อ)

ชื่อสำนัก/แขวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	**1,112.786**	**904.869**	**2,017.655**
ขท.นครสวรรค์ที่ 1	165.176	217.814	382.990
ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	187.792	203.189	390.981
ขท.ลพบุรีที่ 1	197.468	222.415	419.883
ขท.ลพบุรีที่ 2 (ลำนารายณ์)	122.734	76.671	199.405
ขท.สระบุรี	322.596	156.698	479.294
ขท.สิงห์บุรี	117.020	28.082	145.102
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	**340.604**	**895.854**	**1,236.458**
ขท.กาญจนบุรี	-	166.470	166.470
ขท.ชัยนาท	163.344	80.416	243.760
ขท.สุพรรณบุรีที่ 1	24.692	343.988	368.680
ขท.สุพรรณบุรีที่ 2 (อู่ทอง)	-	190.522	190.522
ขท.อ่างทอง	152.568	94.009	246.577
ขท.อุทัยธานี	-	20.449	20.449
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	**1,116.693**	**705.109**	**1,821.802**
ขท.กรุงเทพ	64.040	93.380	157.420
ขท.ธนบุรี	200.250	0.704	200.954
ขท.นครนายก	76.679	32.705	109.384
ขท.นนทบุรี	58.875	238.129	297.004
ขท.ปทุมธานี	110.846	122.162	233.008
ขท.สมุทรปราการ	233.257	151.298	384.555
ขท.สมุทรสาคร	142.603	13.874	156.477
ขท.อยุธยา	230.143	52.857	283.000
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	**1,206.055**	**686.105**	**1,892.160**
ขท.จันทบุรี	130.322	-	130.322
ขท.ฉะเชิงเทรา	97.444	179.281	276.725
ขท.ชลบุรีที่ 1	186.632	231.489	418.121
ขท.ชลบุรีที่ 2	187.340	114.220	301.560
ขท.ตราด	264.453	97.880	362.333
ขท.ระยอง	339.864	63.235	403.099

ตารางที่ 1-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) (ต่อ)

ชื่อสำนัก/แขวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	**1,373.956**	**236.241**	**1,610.197**
ขท.เพชรบุรี	252.737	13.675	266.412
ขท.ชุมพร	346.737	18.617	365.354
ขท.นครปฐม	58.208	102.158	160.366
ขท.ประจวบคีรีขันธ์ (หัวหิน)	478.450	18.436	496.886
ขท.ราชบุรี	88.246	57.084	145.330
ขท.สมุทรสงคราม	149.578	26.271	175.849
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	**965.756**	**293.857**	**1,259.613**
ขท.นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง)	207.364	-	207.364
ขท.พัทลุง	239.544	22.526	262.070
ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 1	156.830	98.429	255.259
ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)	152.792	59.306	212.098
ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	209.226	113.596	322.822
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	**1,146.788**	**467.768**	**1,614.556**
ขท.กระบี่	224.436	10.500	234.936
ขท.ตรัง	136.407	86.850	223.257
ขท.พังงา	328.129	77.805	405.934
ขท.ภูเก็ต	115.843	210.691	326.534
ขท.ระนอง	341.973	81.922	423.895
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	**291.431**	**299.492**	**590.923**
ขท.สงขลาที่ 1	133.520	123.959	257.479
ขท.สงขลาที่ 2 (นาหม่อม)	157.911	-	157.911
ขท.สตูล	-	175.533	175.533
ระยะทางสำรวจ (กม.)	**15,108.708**	**14,470.700**	**29,579.408**

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิง จากระบบ Roadnet วันที่ 14 ธันวาคม 2564



รูปที่ 1-36 แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565

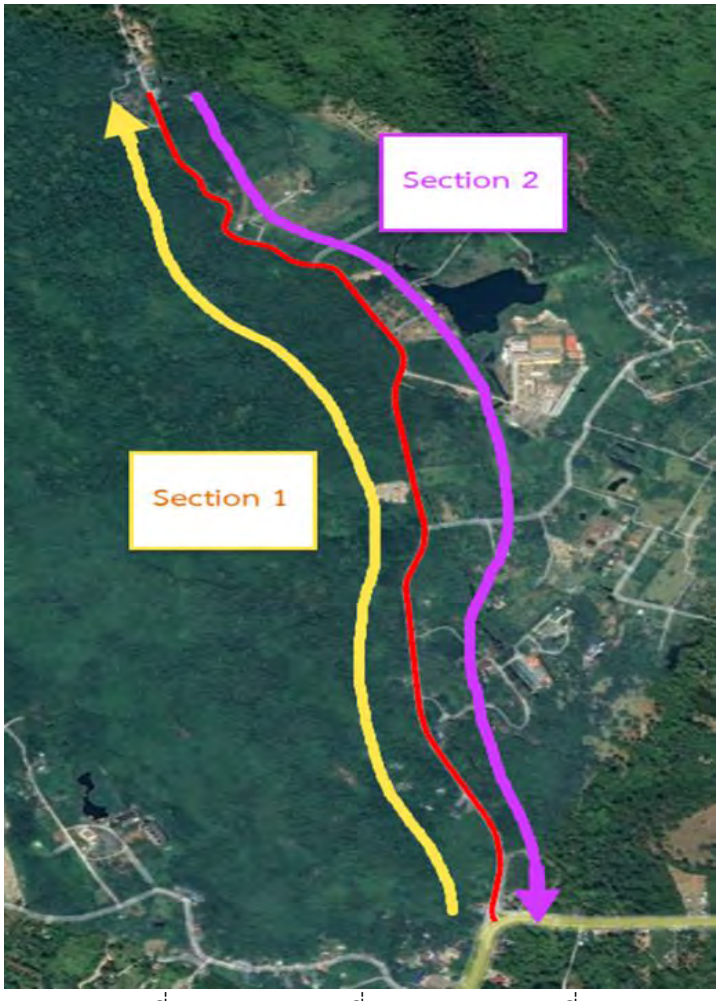
1.3.3 ที่ปรึกษาจะจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด เช่น พื้นที่ทางโค้ง พื้นที่ทางลาดชัน เป็นต้น เพื่อดำเนินการสำรวจ และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไปจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบและสอบเทียบเครื่องมือสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและถูกต้อง โดยดำเนินการตรวจสอบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เลเซอร์และอุปกรณ์ LCMS เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและมีมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือสำรวจ โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแปลงทดสอบที่ใช้ในการสอบเทียบ ประกอบไปด้วยถนนทางหลวงหมายเลข 3050 ถนนทางหลวงหมายเลข 3052 ถนนทางหลวงหมายเลข 33 ถนนทางหลวงหมายเลข 3049 แบ่งออกเป็น 6 Section โดยมีรายละเอียดของแปลงทดสอบ แสดงดังตารางที่ 1-16

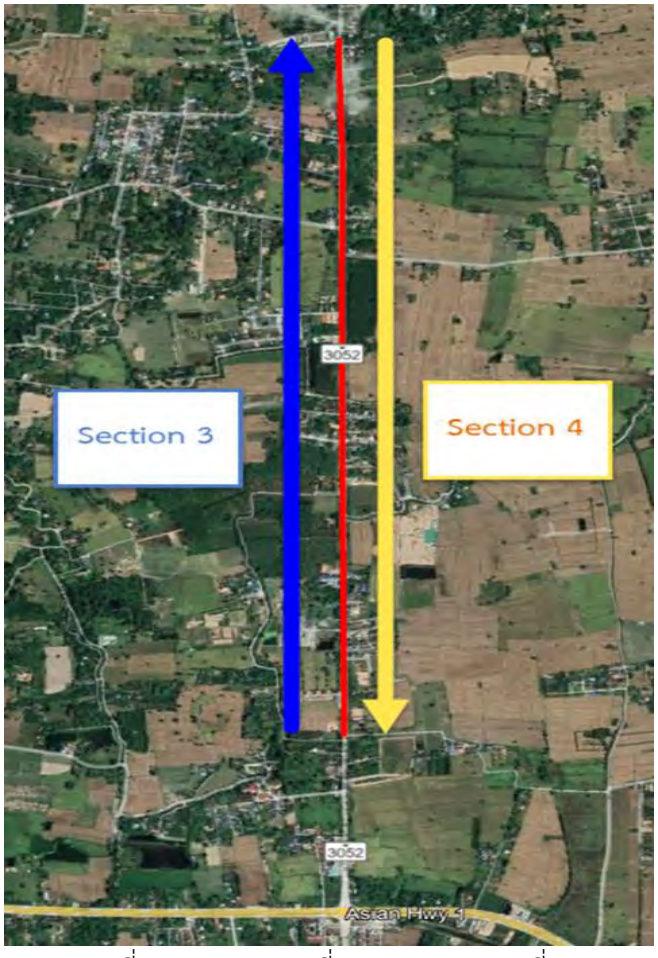
ตารางที่ 1-16 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ

	ทางหลวงหมายเลข	ตอนควบคุม	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ประเภทผิวทาง	หมายเหตุ
section_1	3050	100	0+150	2+900	2.750	L1	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยางที่มีทางโค้งและทางลาดชัน
section_2	3050	100	2+900	0+150	2.750	R1	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยางที่มีทางโค้งและทางลาดชัน
section_3	3052	100	1+000	4+000	3.000	L1	CC	พื้นที่ทดสอบผิวคอนกรีต
section_4	3052	100	4+000	1+000	3.000	R1	CC	พื้นที่ทดสอบผิวคอนกรีต
section_5	33	501	119+000	121+000	2.000	L2	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยางที่มีความเสียหายของผิวทางมาก
section_6	3049	100	11+650	12+150	0.500	L2	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยางกำหนดเส้นเล็งแนวการวิ่งของรถสำรวจ

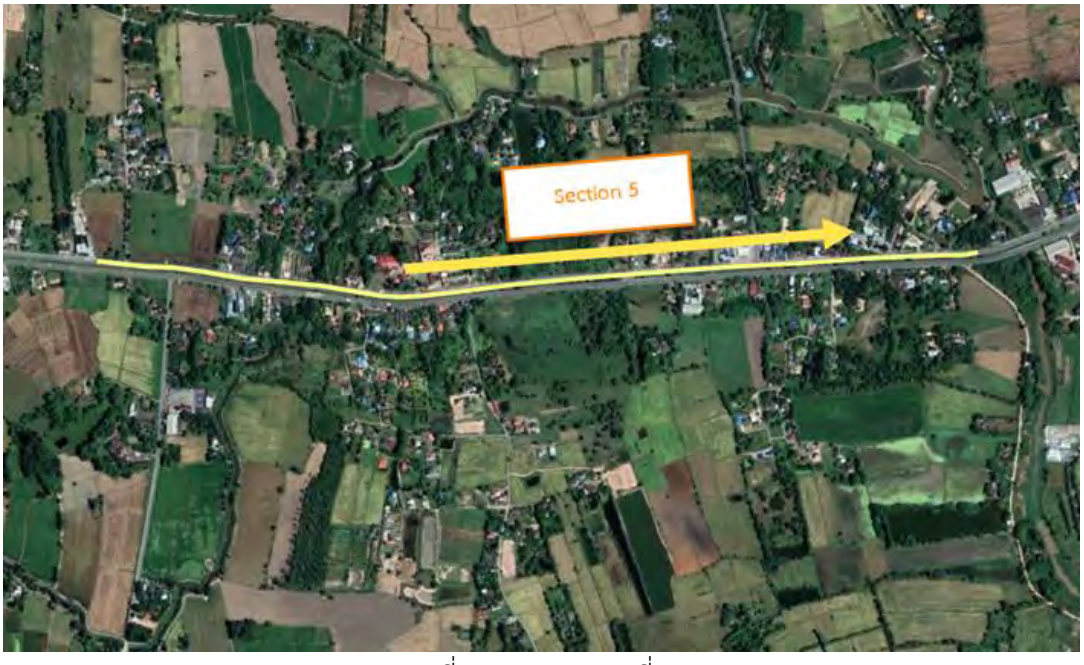
รูปที่ 1-37 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049



รูปที่ 1-38 Section ที่ 1 และ Section ที่ 2



รูปที่ 1-39 Section ที่ 3 และ Section ที่ 4



รูปที่ 1-40 Section ที่ 5

รูปที่ 1-41 Sectionที่ 6

รูปที่ 1-42 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง
มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน

รูปที่ 1-43 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ผิวทางคอนกรีต

รูปที่ 1-44 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ผิวทางลาดยาง
ที่มีความเสียหายของผิวทางค่อนข้างมาก

รูปที่ 1-45 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง
มีการกำหนดเส้นเล็งแนว เพื่อให้รถสำรวจที่ทำการทดสอบ วิ่งไปในแนวเดียวกัน

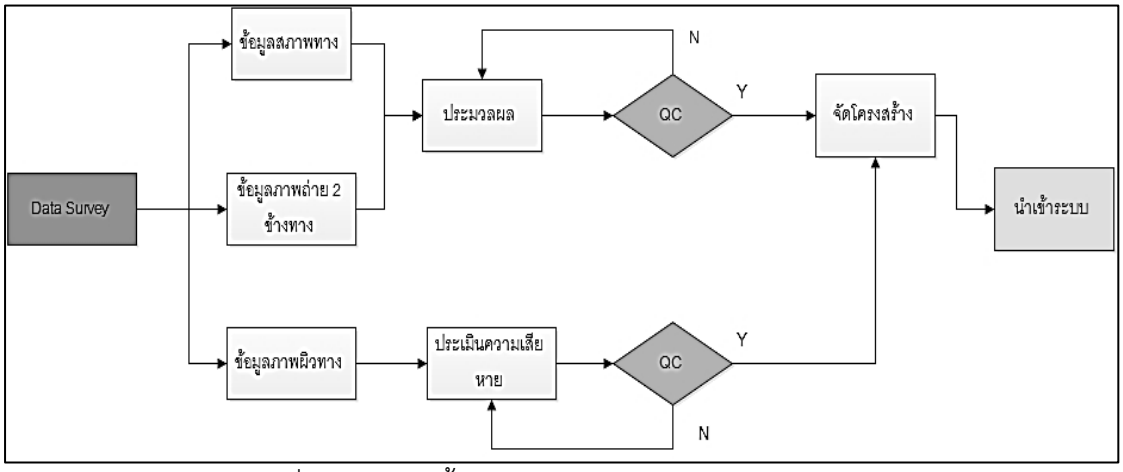
ที่ปรึกษาใช้ความเร็วที่เหมาะสมในการวิ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E950 และความเร็วที่ได้จากการวิ่งสอบเทียบมีรายละเอียด แสดงดังตารางที่ 1-17

ตารางที่ 1-17 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ

	SECTION	ความเร็วเฉลี่ย		
		LASER 1	LASER 2	LCMS
AC	1	41.98	42.49	42.08
AC	2	44.75	45.30	45.22
CC	3	49.53	49.97	46.74
CC	4	49.74	49.77	47.55
AC	5	48.29	45.98	48.38
AC	6	41.20	35.91	36.25

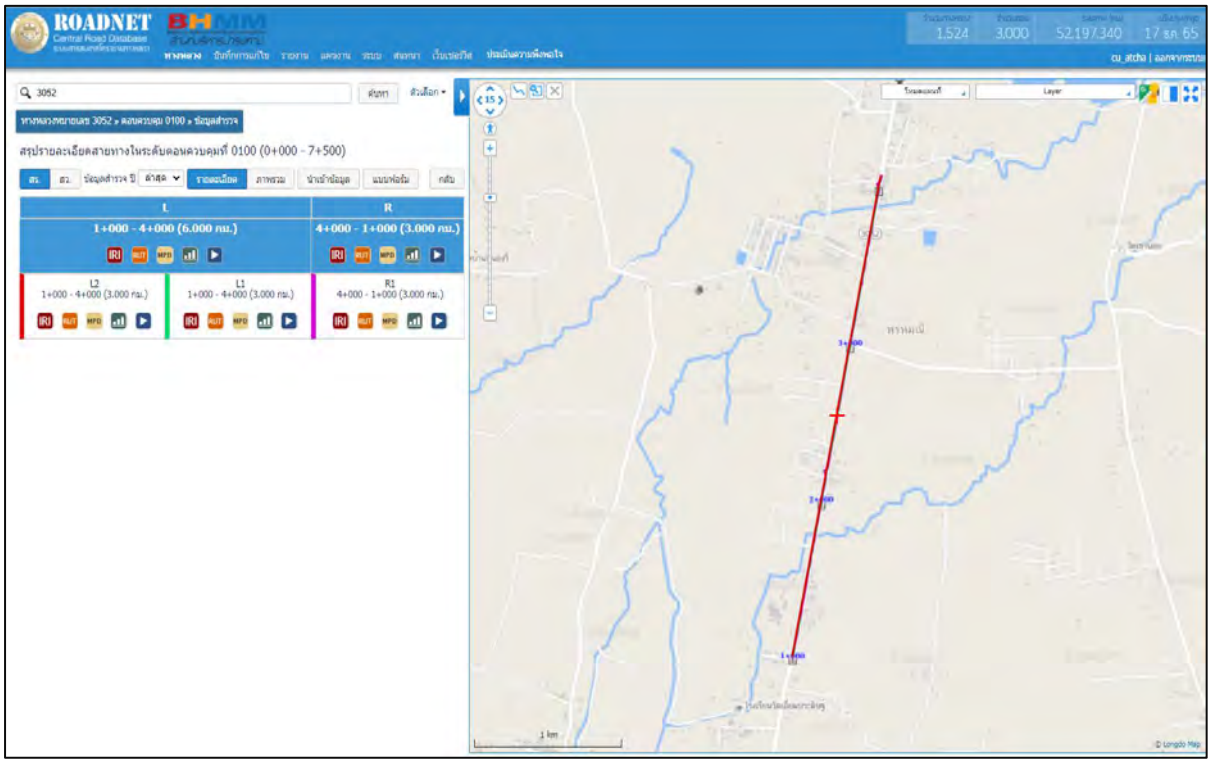
ประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet

ทั้งนี้ที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจพื้นที่ตัวอย่าง และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจ ก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไป

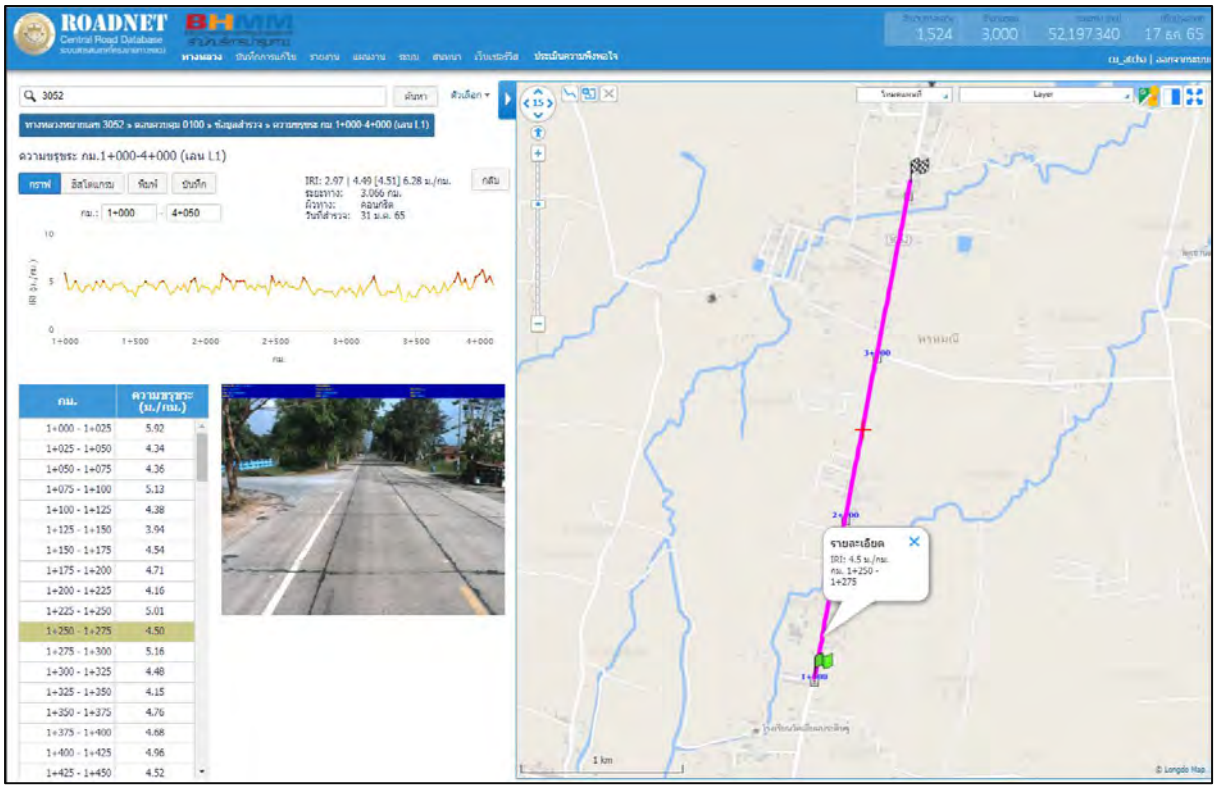


รูปที่ 1-46 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ

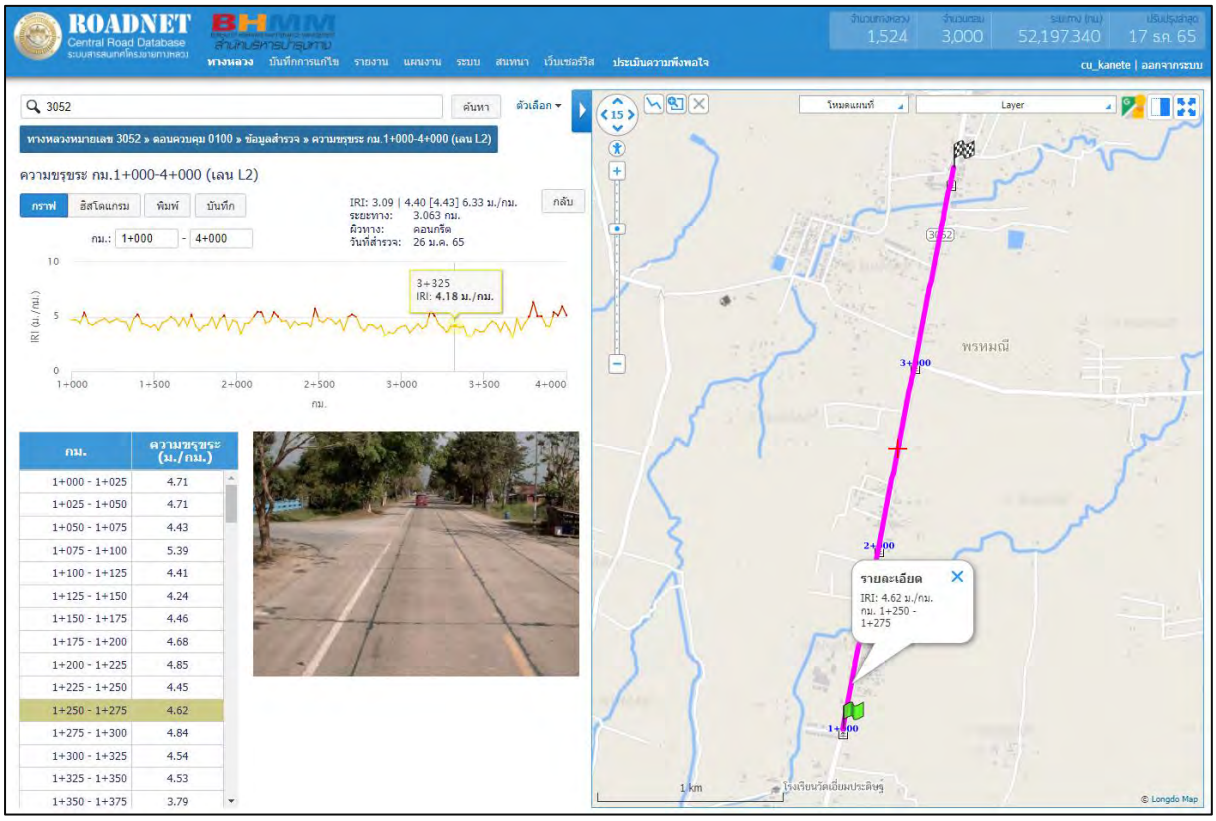
หลังจากที่ปรึกษาทำการสำรวจพื้นที่แล้วเสร็จ ที่ปรึกษาทำการประมวลผลค่าความเสียหายและนำเข้าข้อมูลสำรวจครบทั้ง 6 Section ที่ทำการทดสอบการวิ่งเพื่อเปรียบเทียบค่าสภาพทางบนระบบ Roadnet สามารถแสดงผลพื้นที่ตัวอย่างผ่านระบบ Roadnet ได้แก่ รถสำรวจด้วย Laser Profile ทั้งคันที่ 1 และ 2 และอุปกรณ์รถสำรวจ LCMS คันที่ 3 ของพื้นที่แปลงทดสอบผิวคอนกรีต Section 3-4 สายทาง 3052 ตอนควบคุม 100 แสดงดังรูปที่ 1-47 ถึง รูปที่ 1-50 และพื้นที่แปลงทดสอบผิวลาดยาง ที่มีความเสียหายของผิวทางมาก Section 5 สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 แสดงดังรูปที่ 1-51 ถึง รูปที่ 1-54



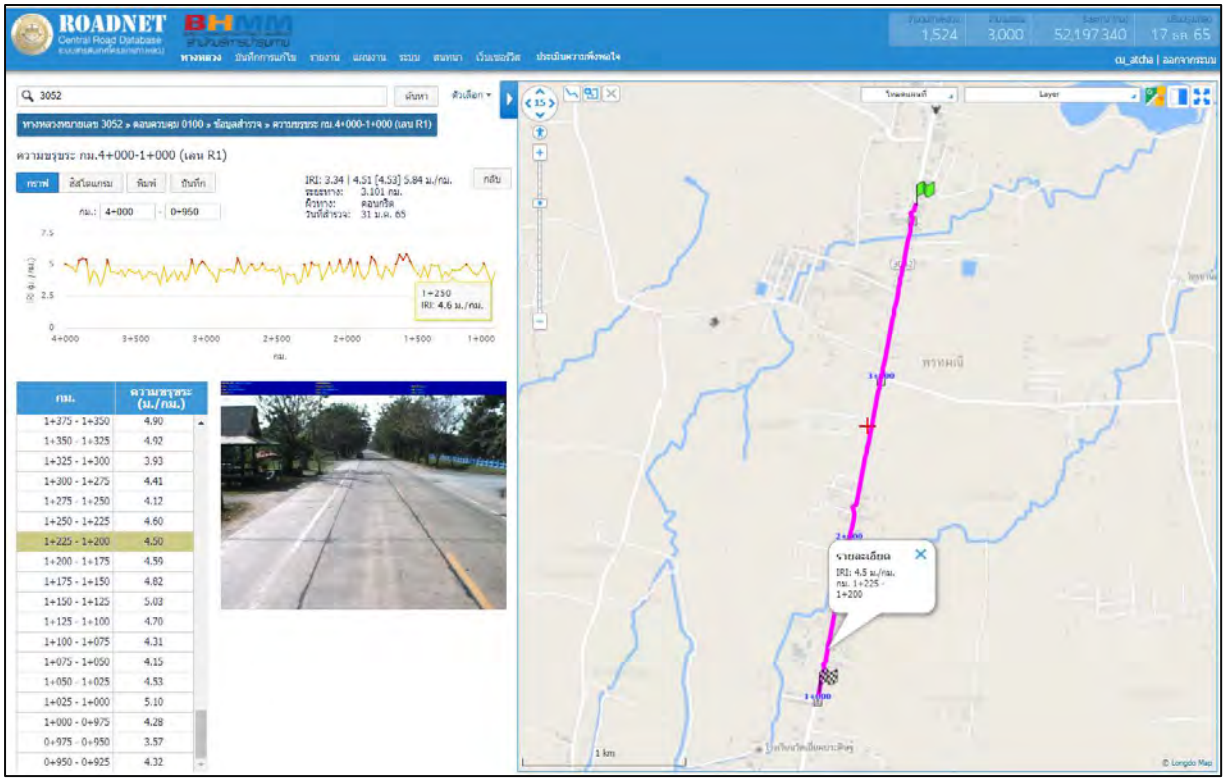
รูปที่ 1-47 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจทั้ง 3 คัน



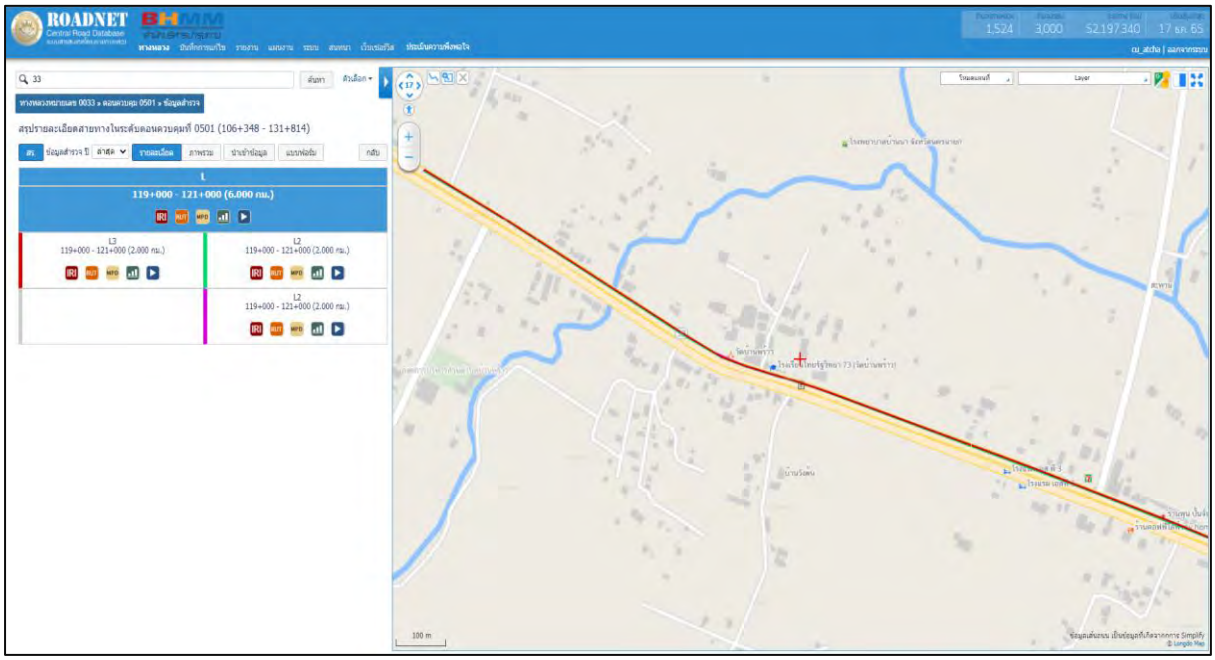
รูปที่ 1-48 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 1



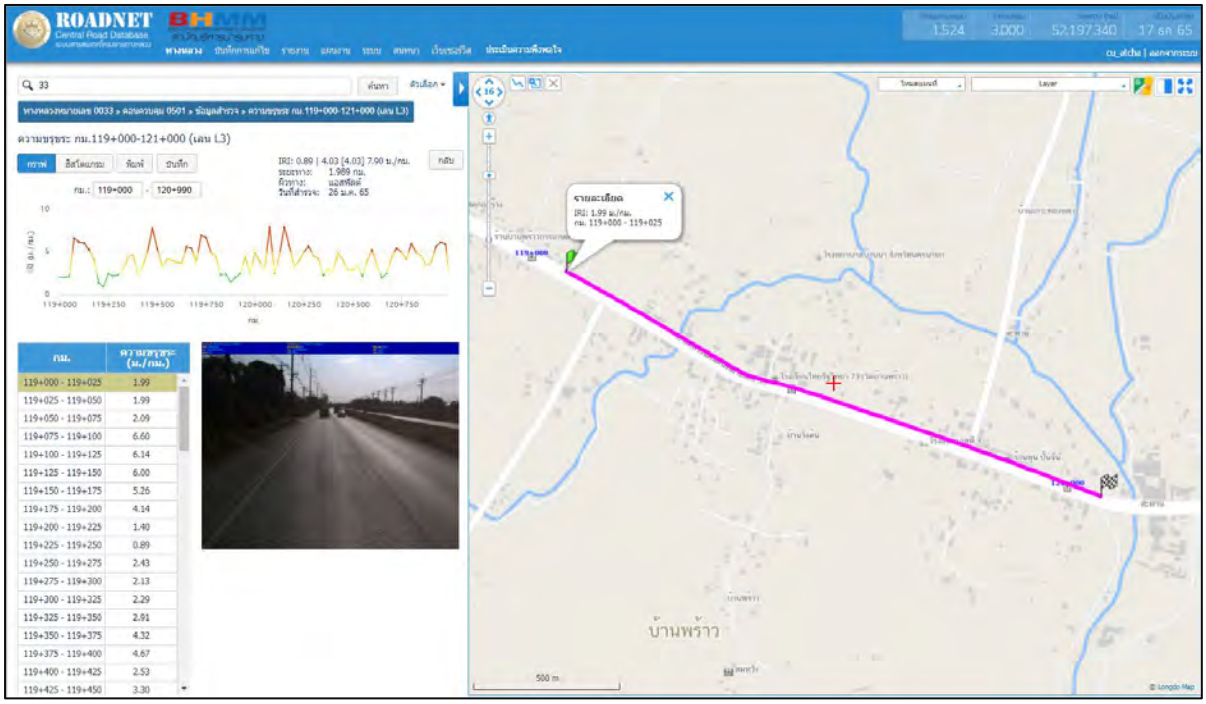
รูปที่ 1-49 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 2



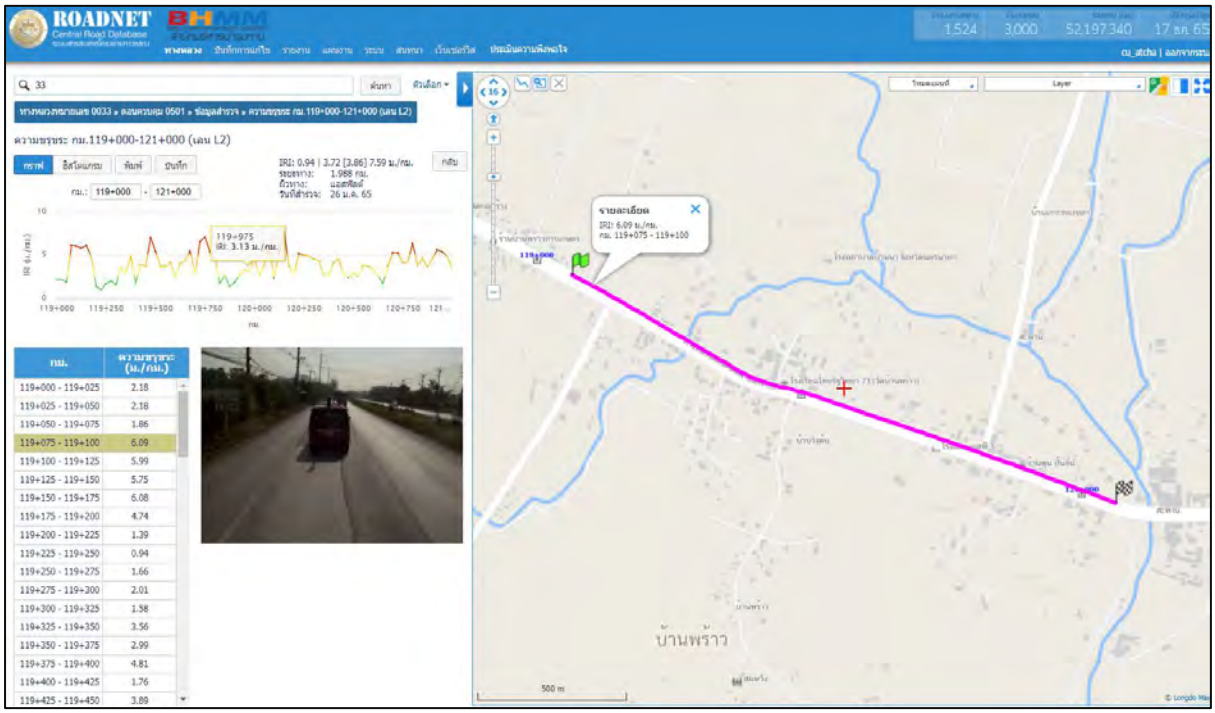
รูปที่ 1-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 3



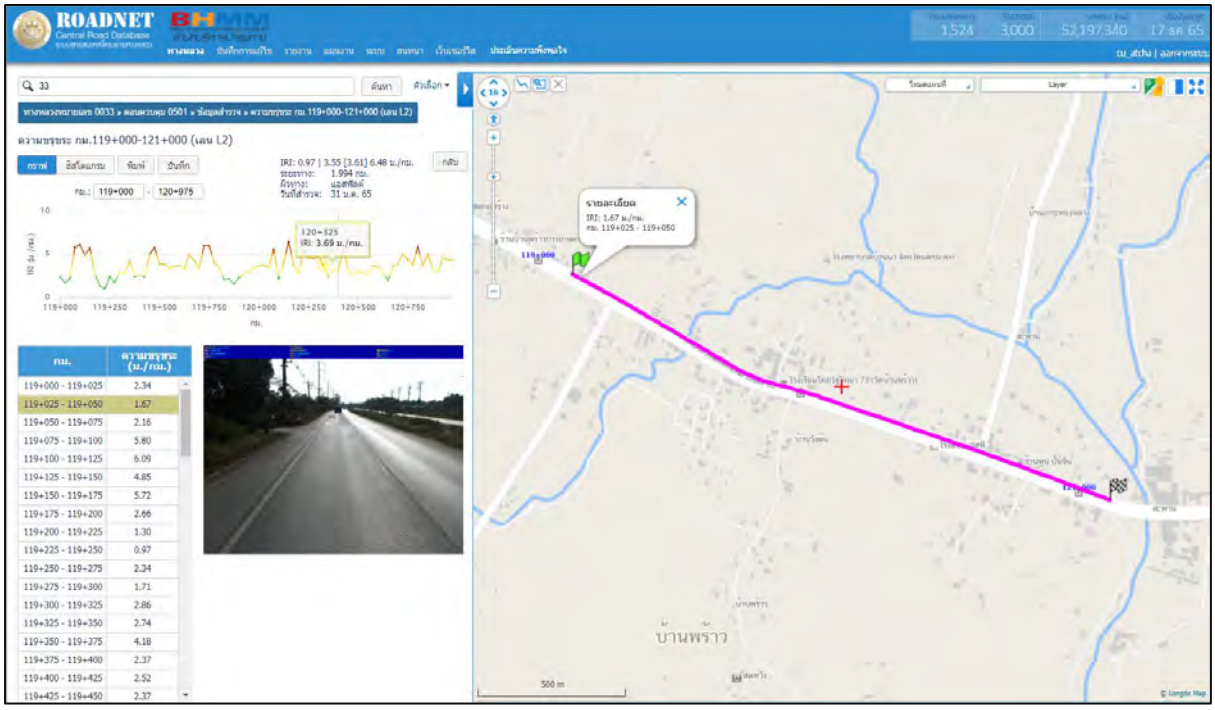
รูปที่ 1-51 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจทั้ง 3 คัน



รูปที่ 1-52 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1



รูปที่ 1-53 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2



รูปที่ 1-54 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3

1.3.4 ที่ปรึกษาจะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจในพื้นที่ตัวอย่างในข้อ 1.3.3 โดยทดสอบทั้งผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต ดำเนินการเก็บข้อมูลการสำรวจเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตรของผิวทางแต่ละประเภท ประเภทละ 3 รอบการสำรวจ ต่อ 1 ชุดเครื่องมือและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไม่น้อยกว่าข้อมูลดังนี้ ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ซึ่งค่าทางสถิติที่จะต้องวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าอย่างน้อยดังนี้ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

หลังจากทางที่ปรึกษา ได้นำอุปกรณ์สำรวจ ทั้งรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS ไปวิ่งทดสอบในแปลงทดสอบที่กำหนดในข้างต้น ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่า IRI RUT MPD ของรถสำรวจทั้ง 3 คัน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1-18 และ ตารางที่ 1-19

ตารางที่ 1-18 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

Summary Data	SECTION	AVG IRI				AVG RUT				AVG MPD		
		LASER 1	LASER 2	LCMS		LASER 1	LASER 2	LCMS		LASER 1	LASER 2	LCMS
AC	1	2.01	2.01	2.02		3.35	3.48	4.37		0.69	0.62	0.64
AC	2	1.97	1.96	2.03		2.44	2.01	2.97		0.62	0.58	0.59
CC	3	4.52	4.43	3.59		-	-	-		0.52	0.54	0.48
CC	4	4.59	4.50	3.84		-	-	-		0.52	0.54	0.45
AC	5	3.86	3.90	4.04		7.91	7.99	10.71		0.77	0.74	0.77
AC	6	2.15	2.14	2.07		5.21	4.42	3.79		0.54	0.55	0.76

ตารางที่ 1-19 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละ Section

Summary Data	SECTION	AVG SD										
		AVG SD IRI				AVG SD RUT				AVG SD MPD		
		LASER 1	LASER 2	LCMS		LASER 1	LASER2	LCMS		LASER 1	LASER 2	LCMS
AC	1	0.063	0.064	0.065		0.377	0.081	0.275		0.014	0.012	0.011
AC	2	0.100	0.051	0.069		0.279	0.224	0.232		0.014	0.012	0.011
CC	3	0.207	0.080	0.162		-	-	-		0.012	0.007	0.009
CC	4	0.138	0.092	0.179		-	-	-		0.006	0.008	0.010
AC	5	0.179	0.074	0.114		1.033	0.459	0.239		0.023	0.018	0.011
AC	6	0.071	0.051	0.123		0.676	0.077	0.495		0.016	0.009	0.013

จากตารางที่ 1-19 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 3 (ผิวทางคอนกรีต) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.207

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RUT ในการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.033

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า MPD ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเข้าใกล้ 0 มาก หรือกล่าวได้ว่า การวิ่งแต่ละรอบชุดข้อมูลแทบไม่ต่างจากกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 2 Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.018

ที่ปรึกษาได้ทำการเปรียบเทียบ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแต่ละอุปกรณ์สำรวจ ทั้งรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS โดยมีรายละเอียดของข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1-20

ตารางที่ 1-20 ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือในแต่ละ Section

Summary Data	SECTION	AVG SD LASER 1 - LASER 2			AVG SD LASER 1 - LCMS			AVG SD LASER 2 - LCMS		
		IRI	RUT	MPD	IRI	RUT	MPD	IRI	RUT	MPD
AC	1	0.1388	0.5710	0.0422	0.1549	1.0169	0.0365	0.1897	0.7960	0.0266
AC	2	0.1412	0.5270	0.0319	0.1240	0.6147	0.0324	0.1300	0.7043	0.0292
CC	3	0.2222		0.0158	0.5559		0.0297	0.5002		0.0354
CC	4	0.2109		0.0165	0.4600		0.0434	0.4195		0.0541
AC	5	0.3238	1.2381	0.0518	0.2837	1.9711	0.0739	0.3482	1.7476	0.0682
AC	6	0.1187	0.8203	0.0238	0.1717	1.1123	0.1205	0.1638	0.6383	0.1165

จากตารางที่ 1-20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LASER2 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ทุก ๆ Section มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.238 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ใน ทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LCMS พบว่าค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ใน Section 3 Section 4 ผิวทางคอนกรีต มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่า Section อื่น ๆ โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.556 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.971 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ใน ทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER2 กับ LCMS พบว่าค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ใน Section 3 Section 4 ผิวทางคอนกรีต มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่า Section อื่น ๆ โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.747 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ใน ทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

การนำหลักการและวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คัน เพื่อต้องการทราบผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ว่าข้อมูลที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คันนั้น มีผลอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยในการวิเคราะห์จะใช้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ของข้อมูล IRI RUTTING และ MPD สามารถแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการวิ่งทดสอบแสดงดังตารางที่ 1-21 และ ตารางที่ 1-22

ตารางที่ 1-21 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

ผิวทาง	ค่าสภาพทาง	SECTION	กม.สำรวจ	AVG			หน่วย
				คันที่ 1 LASER 1	คันที่ 2 LASER 2	คันที่ 3 LCMS	
AC	IRI	1	0+150 ถึง 2+900	2.01	2.01	2.02	m./km.
AC	RUTTING (มีความเสียหายไม่สูง)	2	2+900 ถึง 0+150	2.44	2.01	2.97	mm.
AC	RUTTING (มีความเสียหายสูง)	5	119+000 ถึง 121+000	7.91	7.99	10.71	mm.
AC	MPD	1	0+150 ถึง 2+900	0.69	0.62	0.64	mm.
Conc	IRI	3	1+000 ถึง 4+000	4.52	4.43	3.59	m./km.
Conc	MPD	3	1+000 ถึง 4+000	0.52	0.54	0.45	mm.
Conc	IRI	4	4+000 ถึง 1+000	4.59	4.50	3.84	m./km.
Conc	MPD	4	4+000 ถึง 1+000	0.52	0.54	0.45	mm.

ตารางที่ 1-22 ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน

ผิวทาง	ค่าสภาพทาง	SECTION	กม.สำรวจ	AVG SD	AVG SD	AVG SD
				LASER 1 - LASER 2	LASER 1 - LCMS	LASER2 - LCMS
AC	IRI	1	0+150 ถึง 2+900	0.138	0.154	0.189
AC	RUTTING (มีความเสียหายไม่สูง)	2	2+900 ถึง 0+150	0.527	0.614	0.704
AC	RUTTING (มีความเสียหายสูง)	5	119+000 ถึง 121+000	1.238	1.971	1.747
AC	MPD	1	0+150 ถึง 2+900	0.042	0.036	0.026
Conc	IRI	3	1+000 ถึง 4+000	0.222	0.555	0.500
Conc	MPD	3	1+000 ถึง 4+000	0.015	0.029	0.035
Conc	IRI	4	4+000 ถึง 1+000	0.210	0.460	0.419
Conc	MPD	4	4+000 ถึง 1+000	0.016	0.043	0.054

ตารางที่ 1-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)

ระดับความเรียบ	IRI (เมตร/กิโลเมตร)
ดีมาก	<2.5
ดี	2.5-3.5
พอใช้	3.5-4.5
ชำรุด	>4.5

ตารางที่ 1-24 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 เครื่องมือ

section	ค่า	Avg.LASER1	Avg.LASER2	Avg.LCMS	Avg.All	STD	STD/Avg.	ค่า Correlation สูงสุด	ผล Paired-test
1 (ทางโค้งทางลาดชัน)	IRI	2.01	2.01	2.02	2.01	0.0067	0.003	92%	ยอมรับสมมติฐานหลัก
	RUT	3.35	3.48	4.37	3.73	0.5590	0.149	55%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
	MPD	0.69	0.62	0.64	0.65	0.0368	0.056	93%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
2 (ทางโค้งทางลาดชัน)	IRI	1.97	1.97	2.02	1.99	0.0279	0.014	90%	ยอมรับสมมติฐานหลัก
	RUT	2.44	2.01	2.97	2.47	0.4789	0.193	62%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
	MPD	0.62	0.58	0.59	0.60	0.0241	0.040	89%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
3 (ผิวทางคอนกรีต)	IRI	4.52	4.43	3.59	4.12	0.5120	0.124	73%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก เนื่องจากมีรอยต่อตามยาว จึงนำไปสู่การทดสอบในแปลงใหม่
	MPD	0.52	0.54	0.48	0.52	0.0318	0.061	74%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
4 (ผิวทางคอนกรีต)	IRI	4.59	4.50	3.84	4.31	0.4101	0.095	81%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
	MPD	0.52	0.54	0.45	0.51	0.0507	0.100	89%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
5 (ผิวทางความเสียหายสูง)	IRI	4.06	4.08	4.18	4.11	0.0637	0.015	92%	ยอมรับสมมติฐานหลัก
	RUT	7.91	7.99	10.71	8.87	1.5908	0.179	82%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
	MPD	0.77	0.74	0.77	0.76	0.0177	0.023	94%	ยอมรับสมมติฐานหลัก
6 (วิ่งตามเส้นตีแนว)	IRI	2.15	2.14	2.07	2.12	0.0447	0.021	87%	ยอมรับสมมติฐานหลัก
	RUT	5.21	4.42	3.90	4.51	0.6619	0.146	58%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก
	MPD	0.54	0.55	0.76	0.62	0.1228	0.198	87%	ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

จากตารางตัวอย่างค่าเฉลี่ยและตารางเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ได้จากการวิ่งทดสอบ ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน จะเห็นได้ว่า จะเห็นได้ว่า บางค่าสภาพทาง มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และบางค่าสภาพทาง มีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ต่างกัน โดยเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ สามารถอธิบายสรุปได้ดังนี้

การสรุปผลค่าสภาพทางของ ผิวทางลาดยาง

ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า IRI ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำค่าผลการสำรวจจัดลงกลุ่มตามเกณฑ์มาตรฐาน IRI ของกรมทางหลวงแล้วนั้น พบว่าค่า IRI ทั้ง 3 คันอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าค่า IRI เฉลี่ย ที่ได้จากการวิ่งทดสอบจากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ค่า RUTTING ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ใน Section 2 ที่มีค่า RUTTING (มีความเสียหายไม่สูง) ค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คันจะใกล้เคียงกัน และมีผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน สามารถสรุปผลได้ว่าแปลงทดสอบที่ค่าความเสียหายไม่สูง ค่า RUTTING เฉลี่ยที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และใน Section 5 ที่ RUTTING (มีความเสียหายสูง) ค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับอุปกรณ์ LCMS จะมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างจากอุปกรณ์ Laser Profiler และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMSที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต่างกันมาก ประกอบกับปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าวคือ แนวการวิ่งของรถสำรวจและปัจจัยในพฤติกรรมคนขับรถ จากปัจจัยดังกล่าวถ้าหากมีความต่างกันกันเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลให้ค่าที่ได้มีความต่างกัน

ค่า MPD ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า MPD ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าค่า MPD เฉลี่ย ผิวทางลาดยางจากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

การสรุปผลค่าสภาพทางของ ผิวทางคอนกรีต

ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน อุปกรณ์สำรวจ LCMS ให้ค่าเฉลี่ย IRI ต่างจากอุปกรณ์สำรวจ แบบ Laser Profiler และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMS ที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องด้วยอุปกรณ์สำรวจ LCMS มีเทคโนโลยีการประมวลผลที่ต่างออกไปเนื่องด้วยการตัดความเสียหายบนรอยต่อตามยาวของผิวคอนกรีต

รูปที่ 1-55 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4

ซึ่งปกติแล้วบนช่องจราจรของผิวคอนกรีตจะไม่มีรอยต่อดังกล่าวบริเวณพื้นที่ช่องจราจร จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยมีความต่างจากค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler ทางที่ปรึกษาจึงนำค่าจากร่องล้อขวามาทำการเปรียบเทียบบริเวณที่ไม่มีรอยต่อตามยาวและเทียบค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ผลปรากฏว่าค่า IRI เฉลี่ย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และอยู่ในเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวงที่เกณฑ์เดียวกัน

ค่า MPD ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า MPD ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าค่า MPD เฉลี่ย ผิวทางคอนกรีตจากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

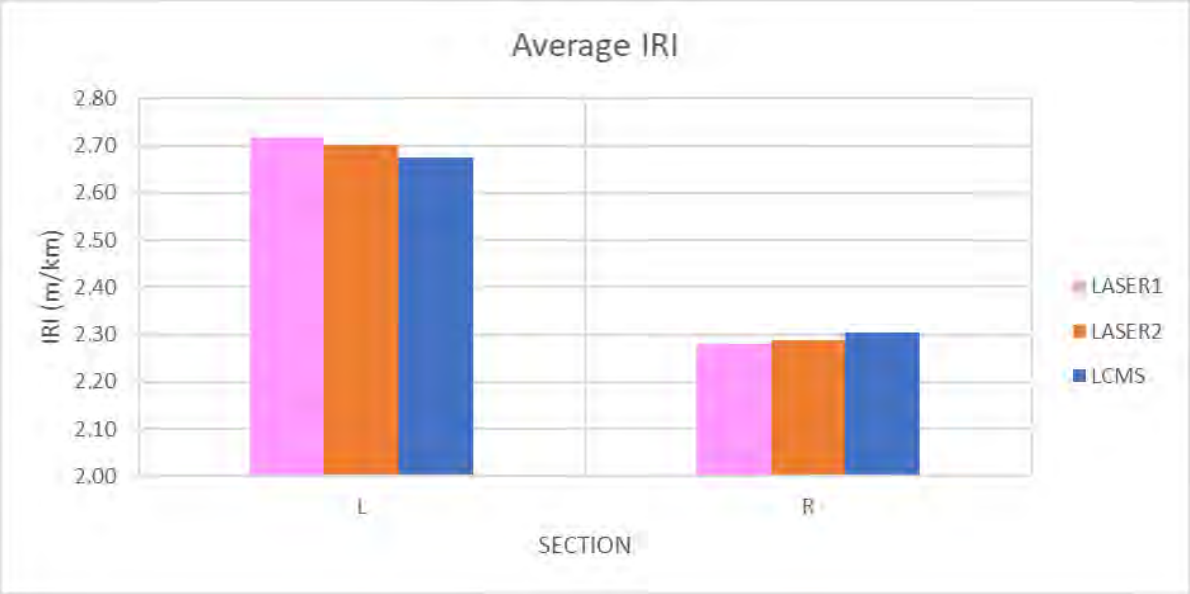
จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าสำรวจที่ได้ระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMS ของผิวทางคอนกรีต ที่ปรึกษาทำการพิสูจน์ความเชื่อมั่นในอุปกรณ์ โดยให้เลือกถนนผิวคอนกรีตที่ปกติและมีระยะทางสั้น ๆ โดยเสนอการเข้าพื้นที่ทดสอบทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึงกม. 72+500 ผิวคอนกรีต ทำการทดสอบในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2565 เวลา 10.00น. เพื่อให้ทราบว่าเมื่อวิ่งสำรวจแล้วเสร็จ ค่าจะเท่ากันตามทำการเปรียบเทียบบริเวณที่ไม่มีรอยต่อตามยาวหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 1-56

รูปที่ 1-56 การเข้าพื้นที่ทดสอบผิวทางคอนกรีตพื้นที่วิ่งทดสอบใหม่ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200

รูปที่ 1-57 ลักษณะผิวทางคอนกรีต ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึง กม. 72+500

ตารางที่ 1-25 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

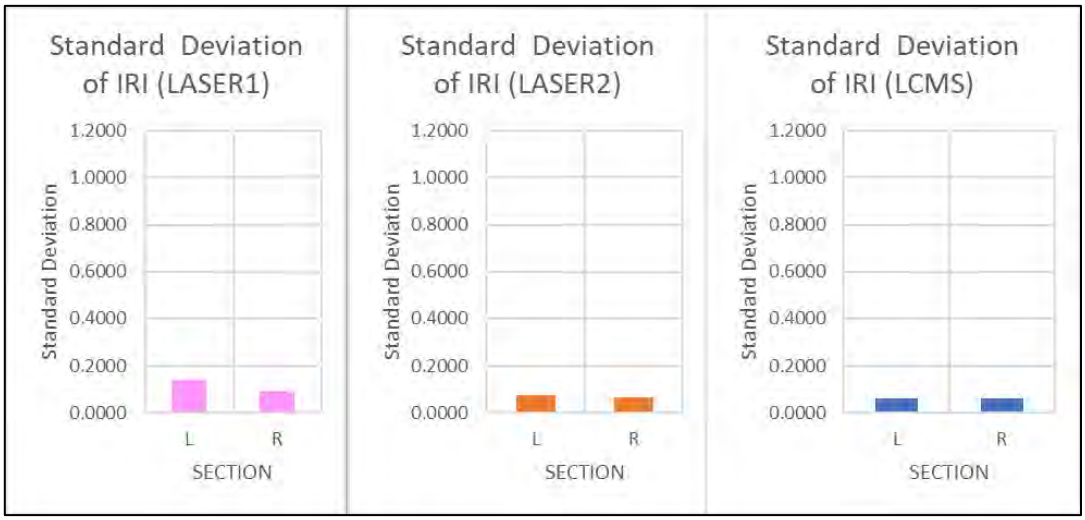
Summary Data		AVG IRI (m./km.)		
SECTION		LASER1	LASER2	LCMS
CC	L	2.72	2.70	2.68
CC	R	2.28	2.29	2.30



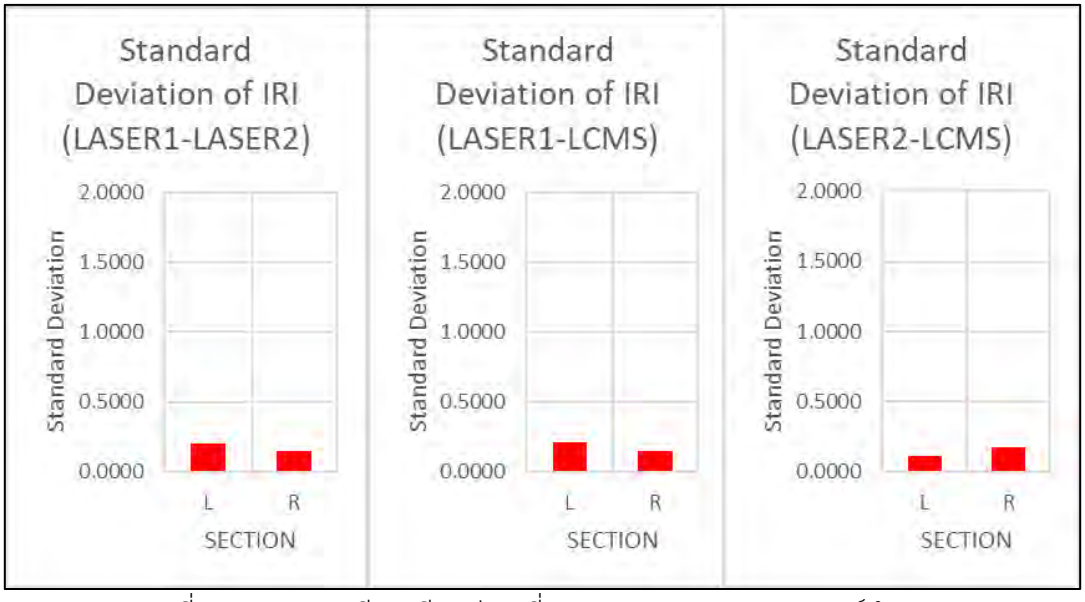
รูปที่ 1-58 กราฟแสดงค่า IRI เฉลี่ย

ตารางที่ 1-26 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ในแต่ละ Section และตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section

Summary Data		AVG SD				AVG SD		AVG SD		AVG SD
		AVG SD IRI				LASER 1 - LASER 2		LASER 1 - LCMS		LASER 2 - LCMS
SECTION		LASER 1	LASER 2	LCMS		IRI		IRI		IRI
CC	L	0.139	0.074	0.059		0.202		0.214		0.116
CC	R	0.093	0.066	0.060		0.147		0.145		0.177



รูปที่ 1-59 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI

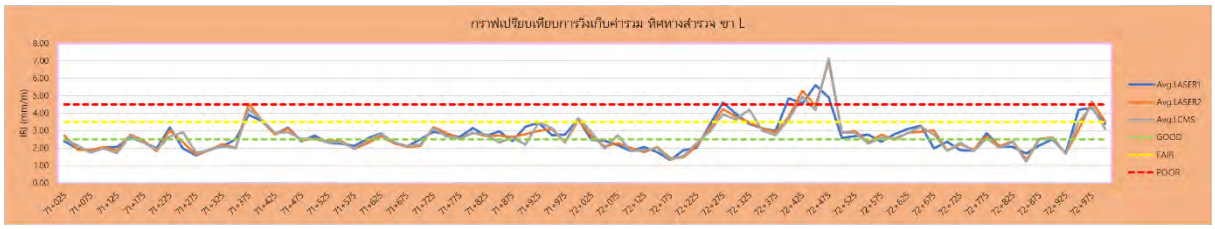


รูปที่ 1-60 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ
ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section

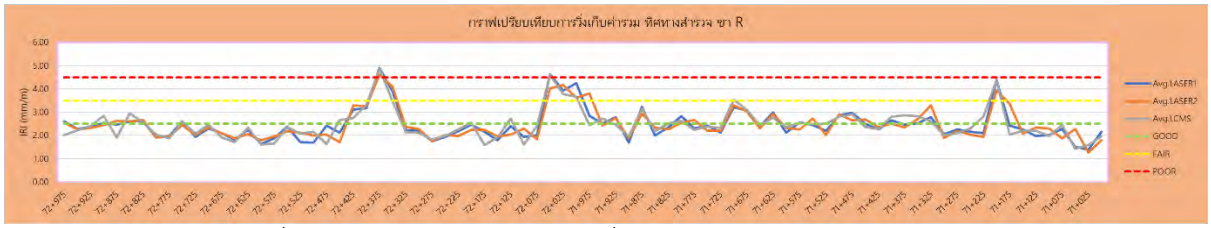
จากตารางที่ 1-25 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ และตารางที่ 1-26 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ในแต่ละ Section และตารางเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section ค่าเฉลี่ยค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์ทั้ง 3 เครื่องมือมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่สูง และเมื่อพิจารณาร่วมกับเกณฑ์ค่าความขรุขระสากล (IRI) ของกรมทางหลวง โดยมีรายละเอียดเกณฑ์ค่าดังดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ดังนี้

เกณฑ์ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI)

- น้อยกว่า 2.5 เมตร/กิโลเมตร ดีมาก
- 2.5 เมตร/กิโลเมตร - 3.5 เมตร/กิโลเมตร ดี
- 3.5 เมตร/กิโลเมตร - 4.5 เมตร/กิโลเมตร พอใช้
- มากกว่า 4.5 เมตร/กิโลเมตร ชำรุด



รูปที่ 1-61 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา L



รูปที่ 1-62 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา R

จากรูปที่ 1-61 และ รูปที่ 1-62 เป็นกราฟแสดงผลการวิ่งทดสอบผิวทางคอนกรีต ค่า IRI พล็อตเทียบกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวง ผลปรากฏว่าค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน อยู่ในเกณฑ์ค่า IRI เดียวกัน

และเพื่อเป็นการยืนยันว่าข้อมูลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทางที่ปรึกษาจึงได้นำชุดข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติม โดยได้ตั้งสมมติฐานที่ว่าเครื่องมือต่างกันมีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมต่างกันจะให้ข้อมูลที่ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ Paired Sample T-Test รูปแบบการทดสอบจะเป็นการทดสอบระหว่างอุปกรณ์ โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงในหัวข้อการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์

การวิเคราะห์ผลแบบ Paired Sample T-Test เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยที่ตัวอย่างจะทำการสุ่มทีละคู่ (Paired Sample Test) กล่าวได้ว่าในการทดสอบจะทดสอบความแตกต่างของแต่ละคู่ว่ามีความแตกต่างจากศูนย์หรือไม่

ขั้นตอนของการทดสอบ สามารถดำเนินการได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

$H_0 : \mu_d = 0$; ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$H_a : \mu_d \neq 0$; ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เป็นการตั้งสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วยสมมติฐานหลัก (Null hypothesis, H_0) และสมมติฐานรอง (Alternative hypothesis, H_a) ในการนี้ทีมที่ปรึกษาต้องการทดสอบเครื่องมือจากรถสำรวจแต่ละคัน ว่ามีผลการทดสอบใกล้เคียงกันที่ 95% หรือไม่ จึงทำการตั้งสมมติฐานรองแบบไม่มีทิศทาง ซึ่งจะทำการทดสอบแบบสองทาง (Two-tailed test) ด้วยผลการสำรวจของรถแต่ละคัน โดยจับเป็นคู่ ได้แก่

- ค่าที่ได้จากรถ Laser Profiler 1 เทียบกับ ค่าที่ได้จากรถ Laser Profiler 2
- ค่าที่ได้จากรถ Laser Profiler 2 เทียบกับ ค่าที่ได้จากรถ LCMS
- ค่าที่ได้จากรถ Laser Profiler 1 เทียบกับ ค่าที่ได้จากรถ LCMS

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ

ซึ่งเป็นการกำหนดความน่าจะเป็นที่ทีมที่ปรึกษาจะยอมให้เกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 (α) จากการปฏิเสธสมมติฐานหลักที่เป็นจริงในการทดสอบนี้ เนื่องจากต้องการทดสอบที่ค่าความมั่นใจ 95% จึงใช้ α=0.05

ขั้นที่ 3 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบค่าเฉลี่ยแบบ Paired Sample T-Test จะใช้ T-Test เป็นสถิติในการทดสอบ โดยมีสมการ ดังนี้

$$t = \frac{\bar{d} - \mu_d}{S_d/\sqrt{n}}_{df=n-1\ (n \text{ เป็นจำนวนคู่})}$$

$$\bar{d} = \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{n}$$

เราจะไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ถ้า $-t_{\frac{\alpha}{2},n-1} < t_0 < t_{\frac{\alpha}{2},n-1}$

โดย

$\bar{d}$ คือ ค่าเฉลี่ยความแตกต่างของข้อมูลระหว่างการสำรวจทั้ง 2 ทีม (คู่การทดสอบ)

d_i คือ ความแตกต่างของข้อมูลการวัดทั้ง 3 คู่ โดยการทดสอบนี้แบ่งเป็น

$d_i = X_i(\text{Laser Profiler 1}) - X_i(\text{Laser Profiler 2})$ และ

$d_i = X_i(\text{Laser Profiler 2}) - X_i(\text{LCMS})$ และ

$d_i = X_i(\text{Laser Profiler 1}) - X_i(\text{LCMS})$

S_d คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างนั้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ Paired T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับอุปกรณ์สำรวจต่างชนิดกัน และค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ Paired T-Test ประกอบไปด้วย ค่า IRI ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน รายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 1-27

ผลการวิเคราะห์การทำ Paired Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา

ตารางที่ 1-27 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา

section	ค่า	Avg. LASER1	Avg. LASER2	Avg. LCMS	Avg. All	STD	STD/Avg.	ค่า Correlation สูงสุด	ผล Paired-test
ทิศทางสำรวจ ขา L	IRI	2.71	2.70	2.67	2.69	0.02	0.007	97%	ยอมรับสมมติฐานหลัก
ทิศทางสำรวจ ขา R	IRI	2.46	2.47	2.46	2.46	0.003	0.001	91%	ยอมรับสมมติฐานหลัก

จากข้อมูลในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ถึงอุปกรณ์สำรวจต่างชนิดกัน และมีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมต่างกัน วิ่งทดสอบในแปลงทดสอบที่ผิวทางเป็นปกติ จะมีข้อมูลมีความต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ให้ผลที่ไม่ต่างกัน)

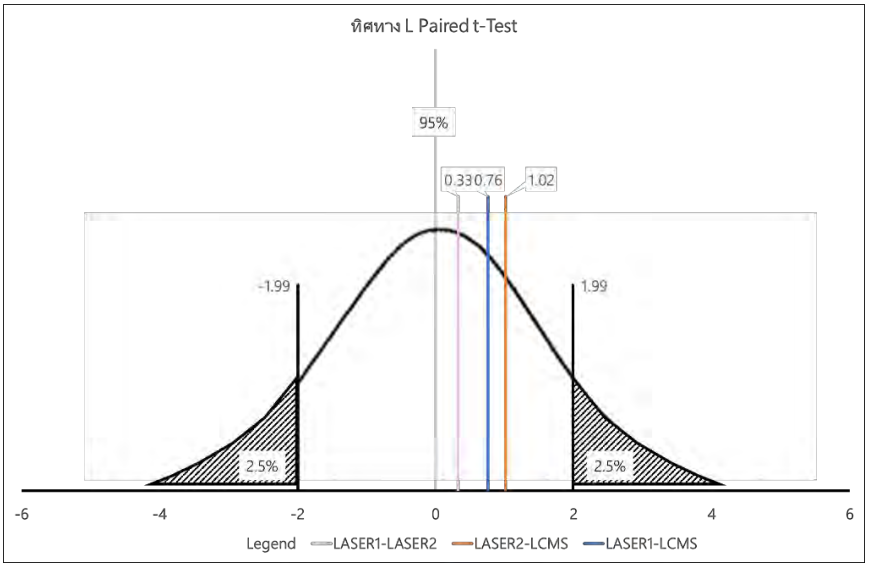
รายละเอียดของข้อมูล ที่ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test โดยมีรายละเอียดดังนี้

ทิศทางสำรวจขา L กิโลเมตรที่ 71+000 ถึง กิโลเมตรที่ 73+000

จากข้อมูลการสำรวจพบว่า $\pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = \pm t_{0.025,80}$ มีค่าประมาณ ±1.99 อธิบายได้แสดงดังรูปที่ 1-63

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

- t_0 (LASER1- LASER2) = 0.33
- t_0 (LASER2 - LCMS) = 1.02
- t_0 (LASER1- LCMS) = 0.76

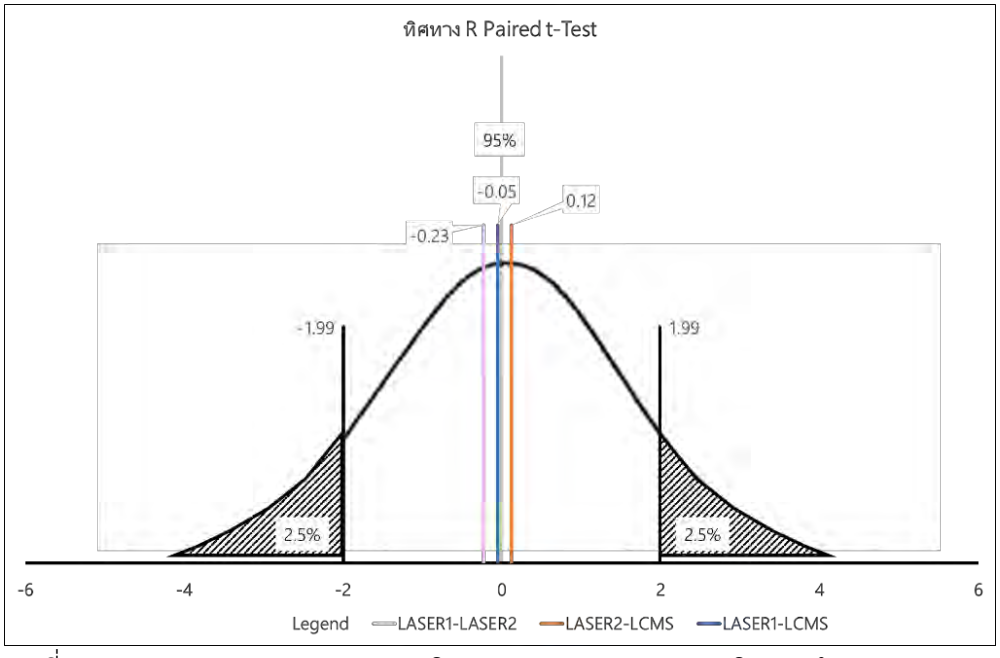


รูปที่ 1-63 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา L (IRI)
ทิศทางสำรวจขา R กิโลเมตรที่ 73+000 ถึง กิโลเมตรที่ 71+000

จากข้อมูลการสำรวจพบว่า $\pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = \pm t_{0.025,80}$ มีค่าประมาณ ±1.99 อธิบายได้แสดงดังรูปที่ 1-64

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

- t_0 (LASER1- LASER2) = -0.23
- t_0 (LASER2 - LCMS) = 0.12
- t_0 (LASER1- LCMS) = -0.05



รูปที่ 1-64 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา R (IRI)

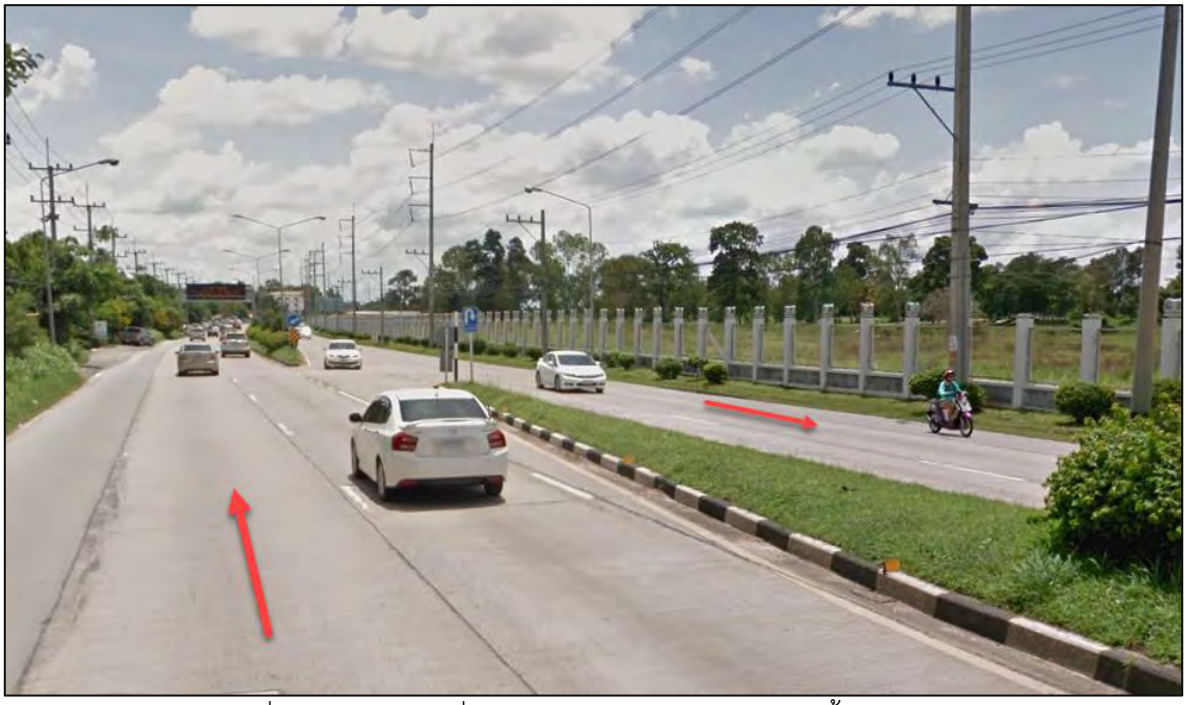
สรุปผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของผิวทางคอนกรีตรอบการวิ่งทดสอบใหม่

จากข้อสังเกตเรื่องรอยต่อตามยาวผิวทางคอนกรีต ของพื้นที่ทดสอบในครั้งแรก ที่ทำให้ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ให้ค่าที่ต่างกัน ทางที่ปรึกษาจึงได้ทำการไปวิ่งไปทดสอบใหม่ในพื้นที่ ที่ไม่มีรอยต่อตามยาว สามารถสรุปผลได้ดังนี้ ข้อมูลค่า IRI เฉลี่ย ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูง และพิจารณาประกอบกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวง ค่าที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน อยู่ในเกณฑ์เดียวกัน รวมถึงการวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติมด้วยวิธี Paired T-Test เพื่อทดสอบว่า เครื่องมือที่มีรูปแบบทางวิศวกรรมที่ต่างกัน จะให้ค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ ผลการวิเคราะห์ที่ได้ค่าที่ได้จากการวิ่งทดสอบจากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ข้อมูลไม่ต่างกัน)

ผลการวิ่งทดสอบใหม่ของผิวทางคอนกรีต จึงสามารถสรุปได้ว่า ถึงอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน จะมีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมที่ต่างกัน แต่ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน และข้อมูลต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ข้อมูลไม่ต่างกัน) รวมถึงค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน อยู่ในเกณฑ์ค่า IRI เดียวกันของกรมทางหลวง จึงสรุปได้ว่า ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

<u>วิธีการวิ่งสำรวจ</u>

- กรณีสำรวจ 2 ทิศทาง จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง

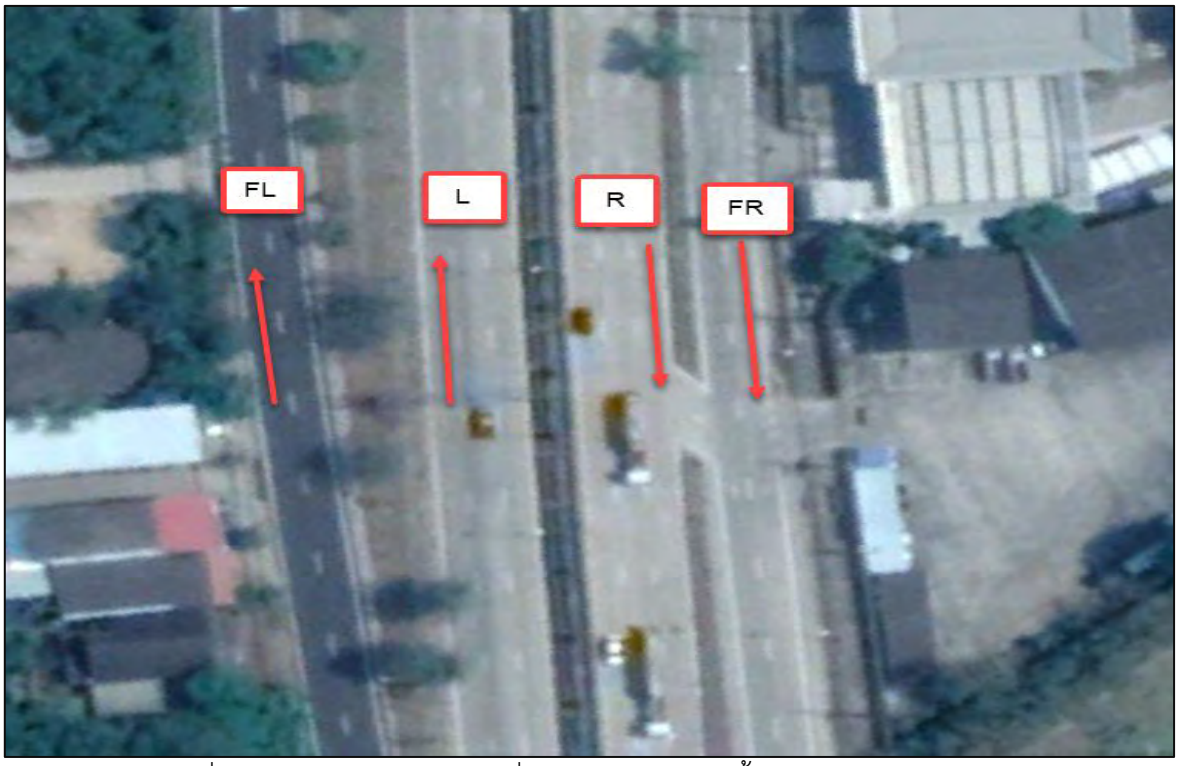


รูปที่ 1-65 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง

- กรณีสำรวจ 1 ทิศทาง จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนในทิศทางที่มีความเสียหายมากที่สุด

รูปที่ 1-66 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด

- กรณีที่มีการสำรวจ 2 ทิศทาง แล้วมีทางคู่ขนาน ให้ทำการวิ่งสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทางคู่ขนาน



รูปที่ 1-67 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน

- กรณีที่ไม่สามารถทำการสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนได้ เนื่องจากมีเหตุ จำเป็น เช่น ปิดปรับปรุงผิวจราจร ก็จะทำการสำรวจช่องจราจรที่อยู่ติดกับช่องจราจรดังกล่าวแทน

รูปที่ 1-68 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น

- กรณีที่มีการเพิ่มช่องจราจร จาก 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจรขึ้นไป ให้ทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทั้งฝั่งขา L และฝั่งขา R การจัดทำข้อมูลขึ้นระบบในกรณีนี้ ที่ปรึกษาจะทำแบ่งข้อมูลในช่วงที่มี 2 ช่องจราจร และช่วงที่ถนนมีมากกว่า 4 ช่องจราจรขึ้นไป เพื่อกำหนดการแสดงผลในระบบให้สอดคล้องกับการวิ่งสำรวจจริงในสายทาง

รูปที่ 1-69 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน

รูปที่ 1-70 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่ 2 ช่องจราจร

- กรณีที่พื้นผิวสายทางเปียกเนื่องจากฝนตก หรือมีน้ำขังในช่องจราจรที่จะทำการสำรวจ จะทำการหยุดการสำรวจในสายทางนั้นแล้วจะกลับมาสำรวจใหม่เมื่อพื้นผิวสายทางแห้งสนิท

รูปที่ 1-71 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้

- กรณีที่สายทางมีอุปสรรคในการสำรวจ เช่น มีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวางทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ หรืออยู่ในพื้นที่หวงห้ามของราชการที่ไม่อนุญาตให้เข้าพื้นที่ได้ จะไม่ทำการสำรวจ แล้วทำรายงานปัญหาและอุปสรรคเพื่อแจ้งแก่คณะกรรมการ แล้วดำเนินการสำรวจในสายทางสำรองแทน

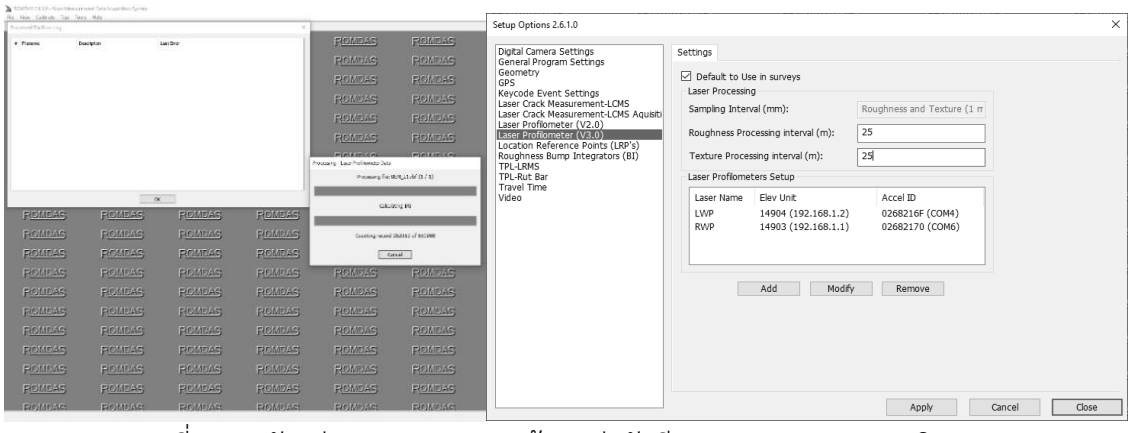
รูปที่ 1-72 แสดงภาพเมื่อไม่สามาถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้

1.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ

ที่ปรึกษาทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ อย่างน้อยตามที่มีในระบบฐานข้อมูล Roadnet

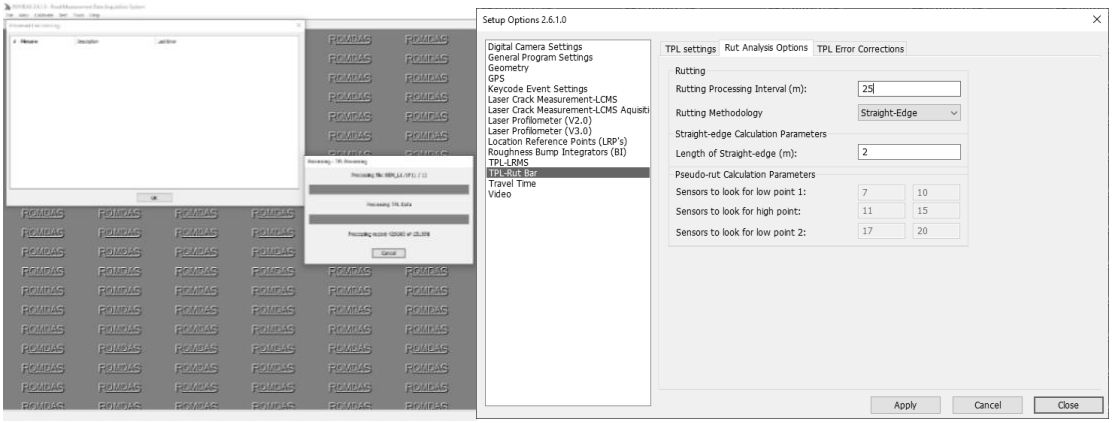
1.4.1 การประมวลผลข้อมูลจากชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- ข้อมูลค่าความลึกกร่องล้อ (Rutting) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



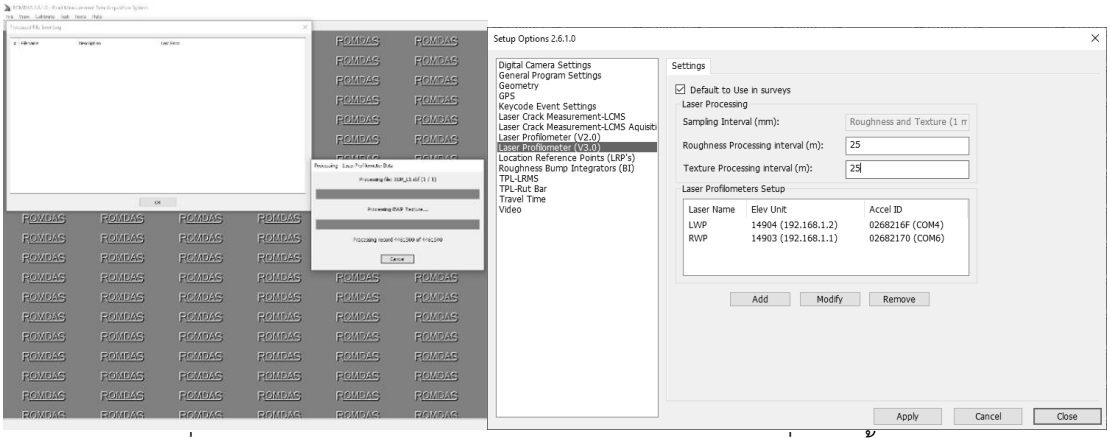
รูปที่ 1-73 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง

- ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตรหรือน้อยกว่า



รูปที่ 1-74 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกร่องล้อบนผิวทาง

- ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า

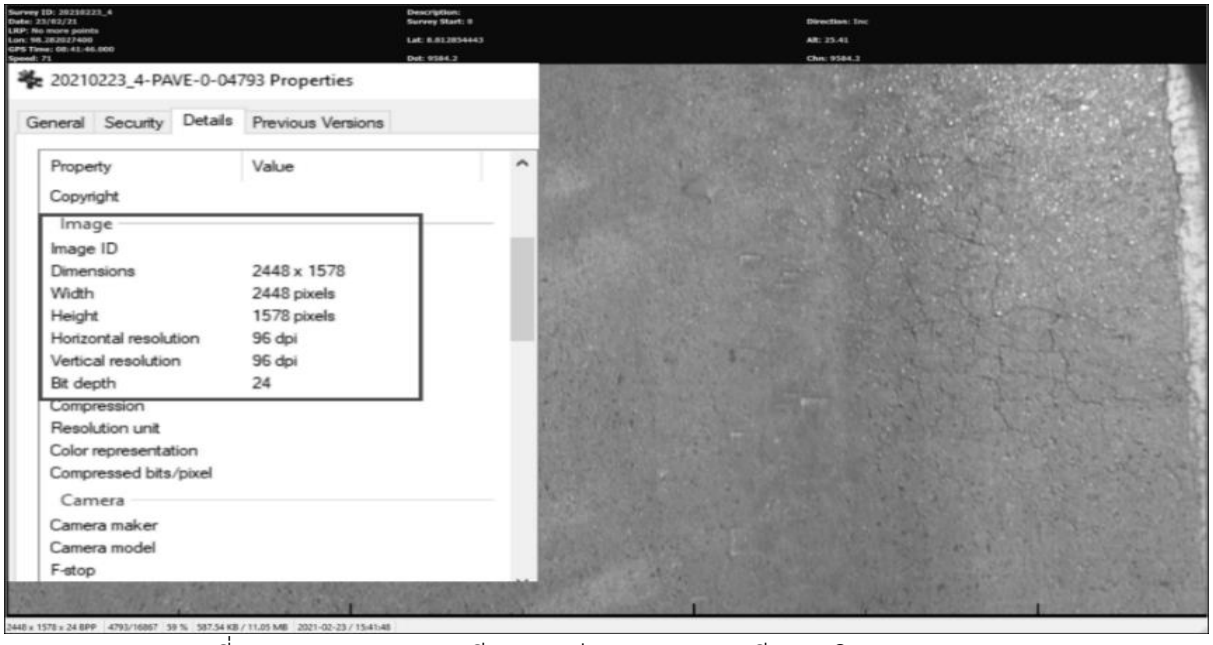


รูปที่ 1-75 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง

การประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง

ประกอบด้วยการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากข้อมูลการสำรวจที่ปรากฏบนผิวทางจากภาพถ่ายผิวทาง ที่มีความละเอียด 4,090x10,000 Pixels หรือ 2,448x1,578 Pixels แสดงดังรูปที่ 1-76 และ รูปที่ 1-77 ตามลำดับ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่ายหรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic crack detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) โดยประเภทความเสียหายต้องประกอบไปด้วย รอยแตก รอยปะ หลุมบ่อ หรือข้อมูลอย่างน้อยที่มีในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก โดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า

รูปที่ 1-76 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สรางขึ้นจากเลเซอร



รูปที่ 1-77 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress)
จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera

จากการประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง (Surface Distress) จากกล้องบันทึกภาพถ่ายภาพต่อเนื่องที่มีการเก็บข้อมูลสภาพผิวทางเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง (Surface - Distress) โดยที่ปรึกษาจะทำการแบ่งการประมวลผลออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ 1) การประมวลผลข้อมูลความเสียหายผิวทางลาดยาง และ 2) การประมวลผลข้อมูลความเสียหายผิวทางคอนกรีต ซึ่งสามารถวิเคราะห์โดยใช้บุคลากรที่ผ่านการอบรมทำการบันทึกความเสียหาย (Manual Rating) ที่ตรวจพบจากภาพถ่ายผิวทางในทุก ๆ 2 เมตร ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่าย ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประเมินความเสียหายของผิวทางร่วมกับระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic crack detection) ซึ่งการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทางต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวลาดยาง

จากการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวลาดยาง ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกและประมวลผลด้วยอุปกรณ์การสำรวจ

โดยสามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายโดยบุคลากรผู้ชำนาญการโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางสำหรับการประเมินที่สามารถส่งออกผลลัพธ์ค่าความเสียหายจากการประเมินสายทาง และค่าพิกัดตำแหน่งของภาพที่เกิดความเสียหายได้

ตารางที่ 1-28 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง

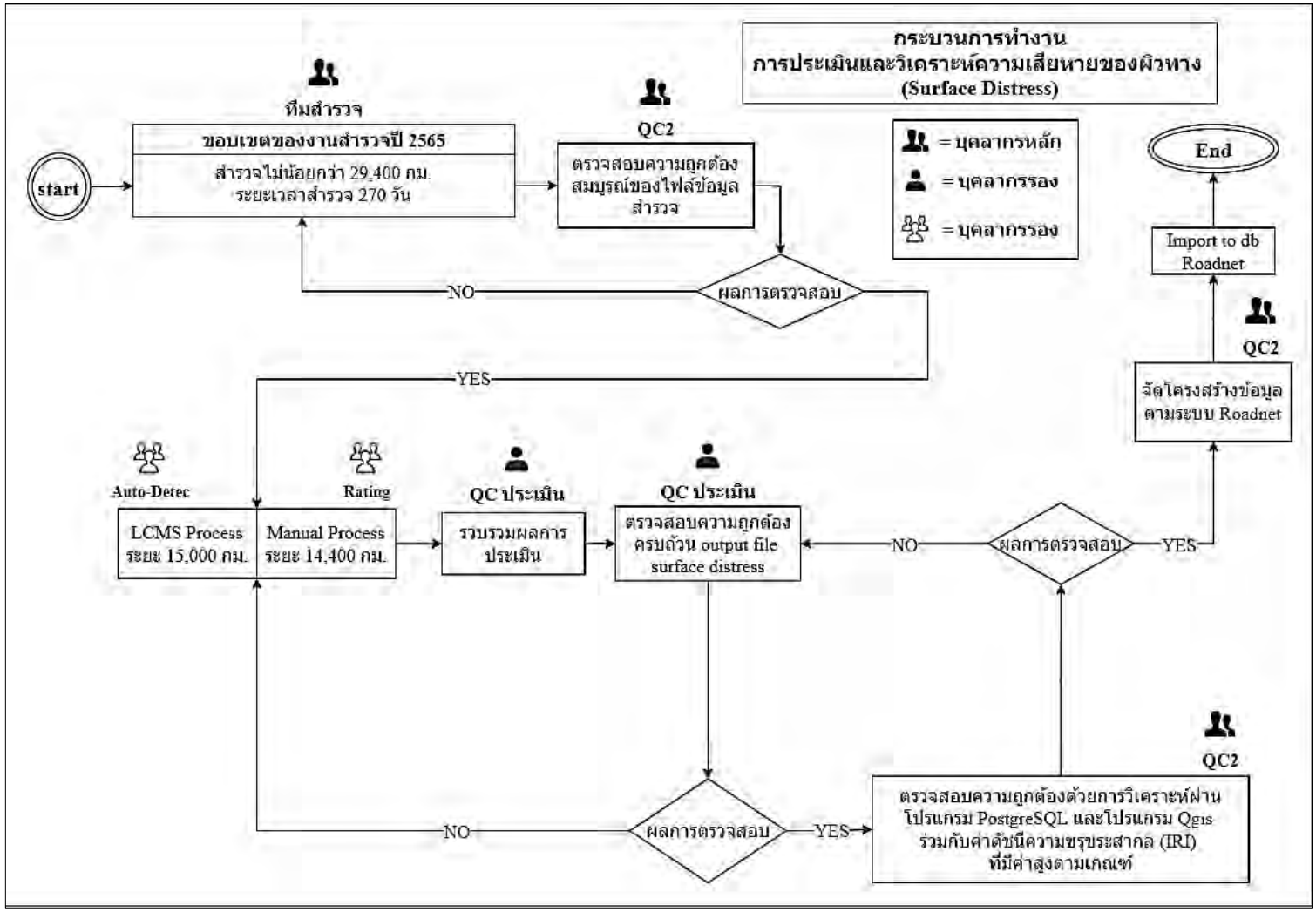
ผิวทางลาดยาง			
ลำดับที่	**ประเภทความเสียหาย**	**การวัด**	**หน่วยการวัด**
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)	พื้นที่	ตารางเมตร/กิโลเมตร
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)	ความยาว	เมตร/กิโลเมตร
3	การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)	พื้นที่	ตารางเมตร/กิโลเมตร
4	การหลุดร่อน (Raveling)	พื้นที่	ตารางเมตร/กิโลเมตร
5	หลุมบ่อ (Pot holes)	พื้นที่	ตารางเมตร/กิโลเมตร
6	รอยปะซ่อม (Patching)	พื้นที่	ตารางเมตร/กิโลเมตร

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวคอนกรีต

ที่ปรึกษาประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวคอนกรีต ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกโดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ ทำให้การประมวลผลข้อมูลความเสียหายช่วยในการประเมินด้วยผู้ชำนาญการ โดยหน่วยการวัดความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตจะแตกต่างจากหน่วยการวัดความเสียหายของถนนผิวลาดยาง เช่น รอยแตกตามขวางของถนนผิวลาดยางจะมีหน่วยการวัดเป็นความยาว (เมตร) ส่วนรอยแตกตามขวางของถนนผิวคอนกรีตจะมีหน่วยการวัดเป็นจำนวนแผ่น/กิโลเมตร เป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตที่จะวิเคราะห์ตามเกณฑ์แสดงดังตารางที่ 1-29

ตารางที่ 1-29 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

ผิวทางคอนกรีต		
ลำดับที่	**ประเภทความเสียหาย**	**หน่วยการวัด**
1	รอยแตกตามขวาง (Transverse cracks)	จำนวนแผ่น/กิโลเมตร
2	รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)	ร้อยละของการบิ่นที่รอยต่อตามขวาง
3	รอยแตกตามยาว (Longitudinal cracks)	จำนวนแผ่น/กิโลเมตร
4	รอยแตกที่มุม (Corner breaks)	จำนวน/กิโลเมตร
5	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint seal damage)	เสียหาย/ไม่เสียหาย
6	รอยปะซ่อม (Patching)	ตารางเมตร

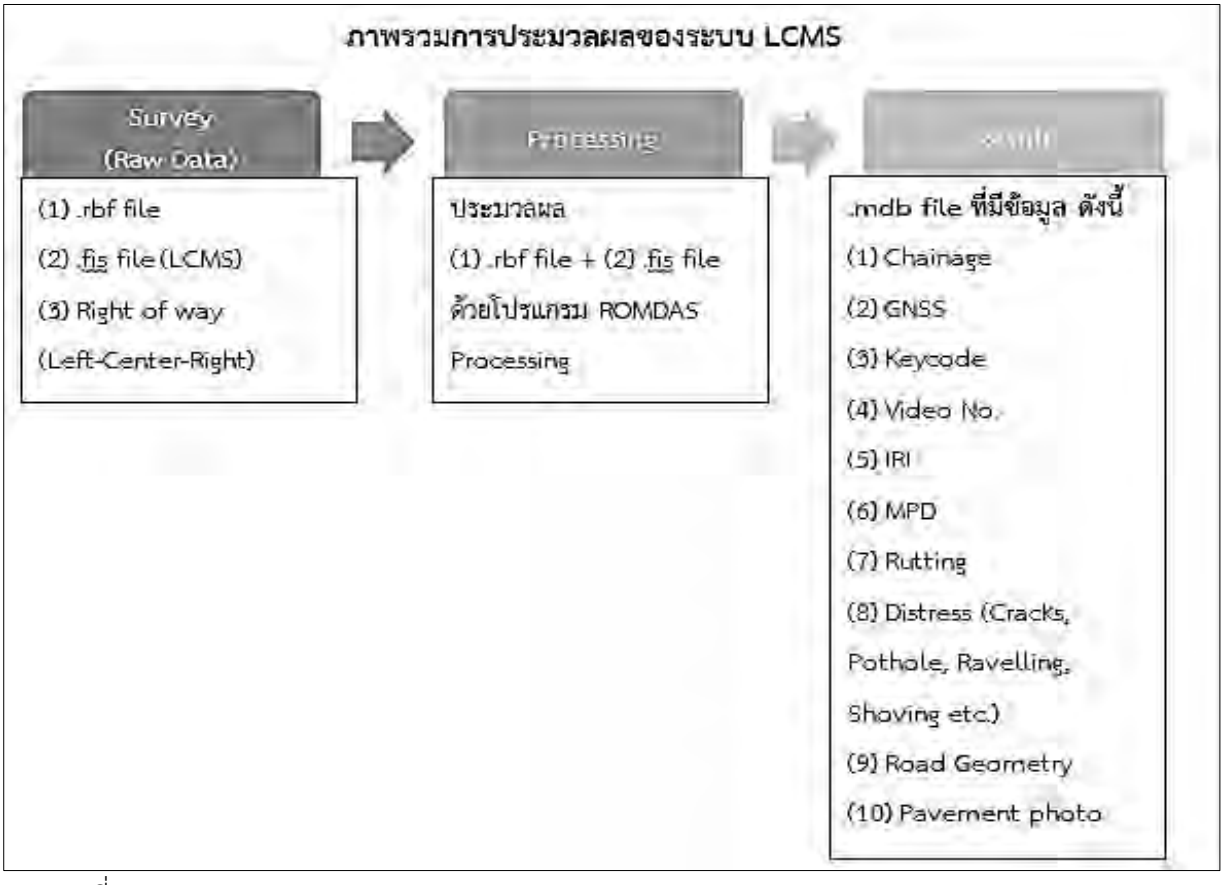


รูปที่ 1-78 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทางที่ได้จากข้อมูลการสำรวจ

จากเกณฑ์การประมวลผลข้อมูลความเสียหายทั้ง 2 ผิวทาง ได้แก่ ผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต ค่าความเสียหายที่ได้จากระบบ Auto Crack Detection ที่ได้จากอุปกรณ์ Laser ที่ทำการบันทึกข้อมูลความเสียหาย และประมวลผลเป็นค่าความเสียหายของผิวทาง ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ประเมินความเสียหาย

1) การประมวลผลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Cracking Detection) จากอุปกรณ์ LSMS

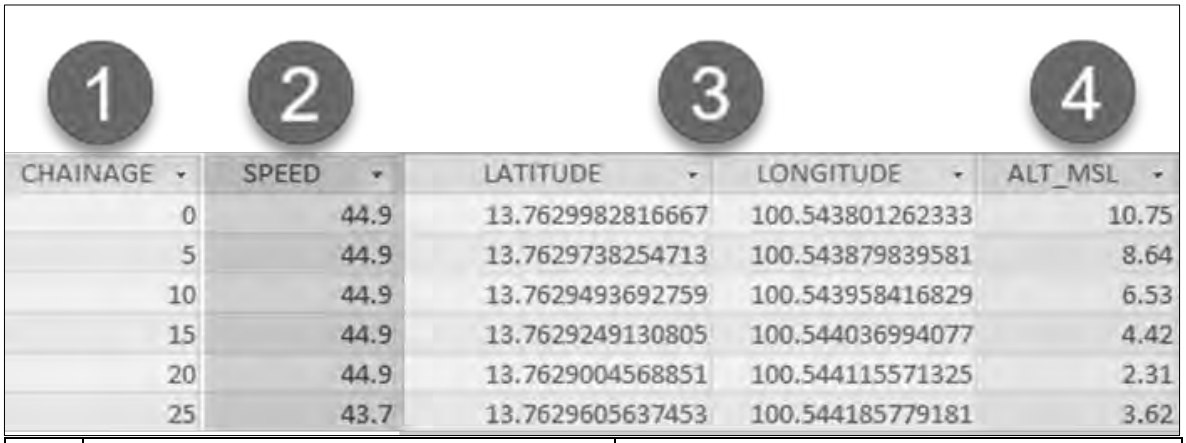


รูปที่ 1-79 ภาพรวมการประมวลผลของของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)

ทำโดยการใช้ข้อมูล Laser Crack Measurement System (LCMS) ประมวลผลผ่านโปรแกรม ROMDAS processing โดยมีการกำหนดค่าความเสียหายที่ตรวจสอบตามเกณฑ์ที่มีการศึกษาไว้ก่อนหน้า ทั้งในด้านประเภทความเสียหาย ค่าระดับความรุนแรง รวมไปถึงพื้นที่ของประเภทความเสียหายนั้น ๆ

ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลของระบบ LCMS จะถูกจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์รูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb ประกอบด้วยตารางของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

ตาราง GNSS หรือตาราง GPS_processed



CHAINAGE	SPEED	LATITUDE	LONGITUDE	ALT_MSL
0	44.9	13.7629982816667	100.543801262333	10.75
5	44.9	13.7629738254713	100.543879839581	8.64
10	44.9	13.7629493692759	100.543958416829	6.53
15	44.9	13.7629249130805	100.544036994077	4.42
20	44.9	13.7629004568851	100.544115571325	2.31
25	43.7	13.7629605637453	100.544185779181	3.62

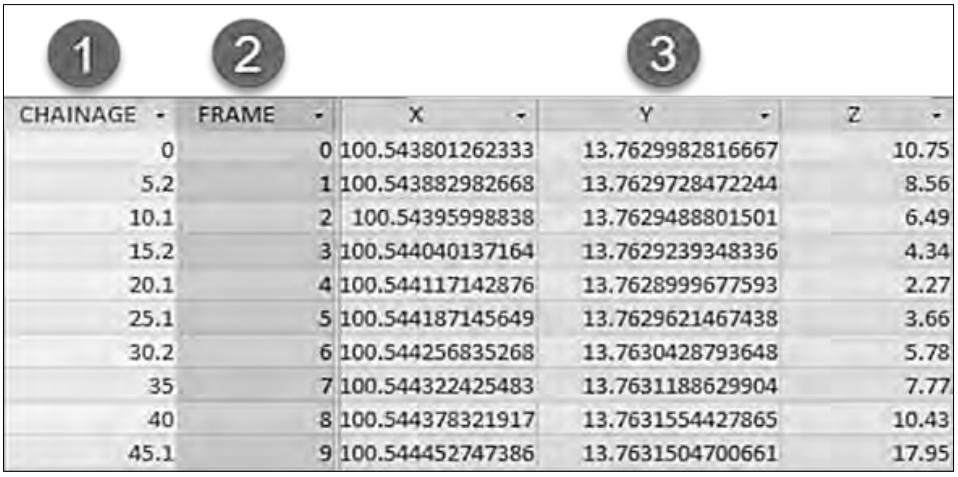
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	SPEED (km/h)	ความเร็วขณะสำรวจ
3	Latitude(deg) Longitude (deg)	พิกัด Latitude พิกัด Longitude
4	ALT_MSL (m)	ระดับความสูง

- ตาราง Keycode

CHAINAGE_S	CHAINAGE_END	EVENT	SWITCH_GR	EVENT_DESC	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
287.3	5457.9	a	pevement	Asphalt	13.7638767688935	100.546524266681	3.182133
326.5	1660.8	5	Action	Lane3	13.7639932240338	100.546863311919	3.184616
397.6	397.6	1		Start record	13.7641354341058	100.547527678679	13.10108
399.3	399.3	s		Demarcation Sign	13.7641432363333	100.547538640167	12.647
1660.8	23949.3	4	Action	Lane2	13.7741000441882	100.55317917526	3.916896
4203.1	5797.8	8		Bridge Start	13.7950785590037	100.560931946617	3.572958
4205.5	6266.6	9		Bridge End	13.7951007458788	100.560932237559	3.628844
4377.6	4377.6	0		KM	13.7966422603197	100.560793939145	3.117926
5457.9	5783.9	c	pevement	Concrete	13.8063519285926	100.559811817281	3.364444
5783.9	11548	a	pevement	Asphalt	13.8092681415963	100.559429633147	3.58764

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	EVENT	ชุด keycode
3	Latitude (deg) Longitude (deg) Altitude (m)	พิกัด Latitude พิกัด Longitude ระดับความสูง

- ตาราง Video



CHAINAGE	FRAME	X	Y	Z
0	0	100.543801262333	13.7629982816667	10.75
5.2	1	100.543882982668	13.7629728472244	8.56
10.1	2	100.54395998838	13.7629488801501	6.49
15.2	3	100.544040137164	13.7629239348336	4.34
20.1	4	100.544117142876	13.7628999677593	2.27
25.1	5	100.544187145649	13.7629621467438	3.66
30.2	6	100.544256835268	13.7630428793648	5.78
35	7	100.544322425483	13.7631188629904	7.77
40	8	100.544378321917	13.7631554427865	10.43
45.1	9	100.544452747386	13.7631504700661	17.95

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	FRAME	รูปถ่ายเขตทางที่...
3	x (deg) y (deg) z (m)	พิกัด Latitude พิกัด Longitude ระดับความสูง

- ตาราง Roughness (IRI)

CHAINAGE	LWP_IRI	RWP_IRI	LANE_IRI
0	3.62	0.68	2.15
1	2.86	0.93	1.9
2	6.14	0.76	3.45
3	4.95	3.08	4.02
4	2.27	1.74	2.01
5	1.42	1.2	1.31
6	8.42	1.16	4.79

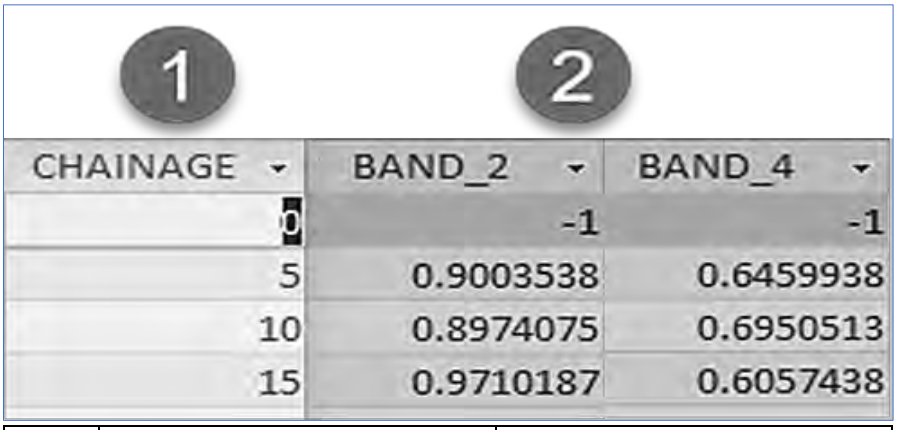
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	LWP_IRI (m/km) RWP_IRI (m/km) LANE_IRI (m/km)	ค่าความขรุขระซ้าย ค่าความขรุขระขวาค่าเฉลี่ยความขรุขระ

- ตาราง Rutting

CHAINAGE	LEFT_DEPTH	RIGHT_DEPT
0	6.9	2.2
5	6.9	1.2
10	1.6	1.1
15	3.6	3.3
20	2.1	4.6
25	2.9	3.1

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	LEFT_DEPTH (mm) RIGHT_DEPTH (mm)	ค่าความลึกร่องล้อซ้าย ค่าความลึกร่องล้อขวา

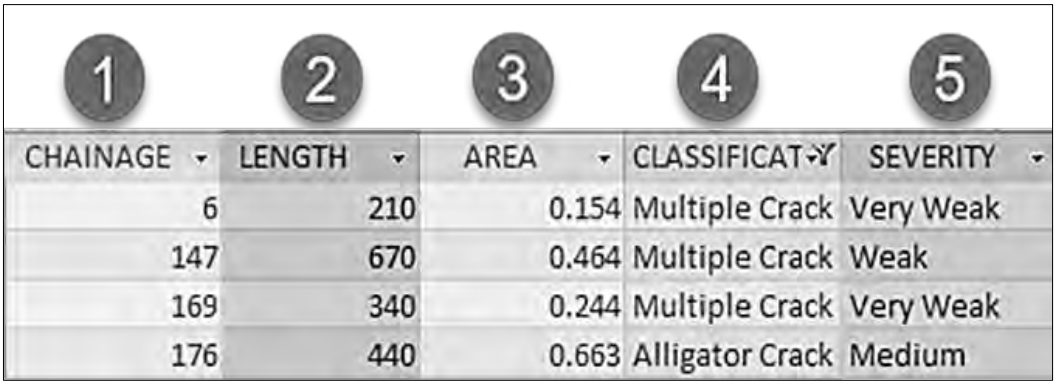
- ตาราง Mean Profile Depth (MPD)



CHAINAGE	BAND_2	BAND_4
0	-1	-1
5	0.9003538	0.6459938
10	0.8974075	0.6950513
15	0.9710187	0.6057438

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	AREA (sq.m)	พื้นที่รอยแตก
3	SEVERITY	ระดับความรุนแรง

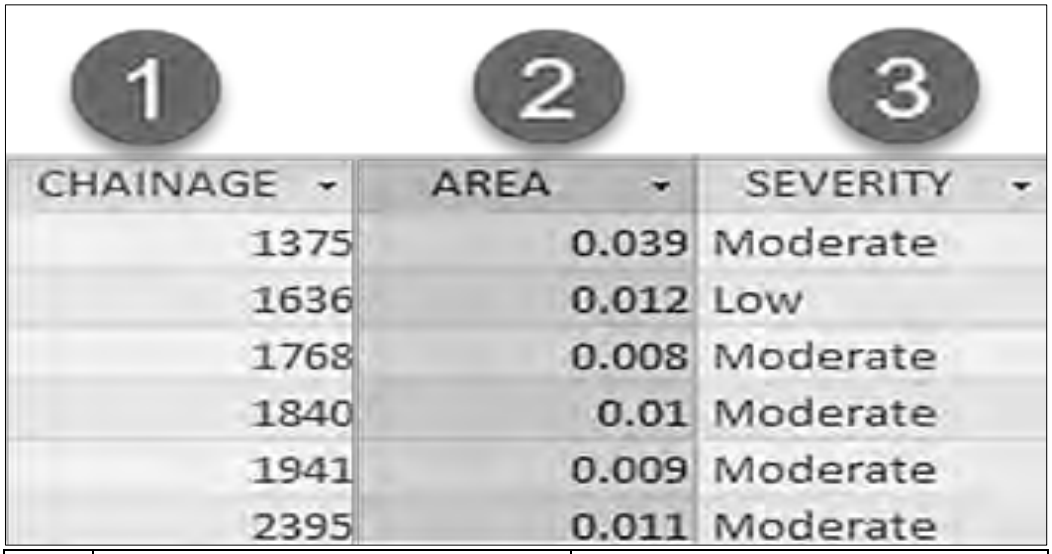
- ตาราง Cracks



1	2	3	4	5
CHAINAGE	LENGTH	AREA	CLASSIFICAT	SEVERITY
6	210	0.154	Multiple Crack	Very Weak
147	670	0.464	Multiple Crack	Weak
169	340	0.244	Multiple Crack	Very Weak
176	440	0.663	Alligator Crack	Medium

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	AREA (sq.m)	พื้นที่รอยแตก

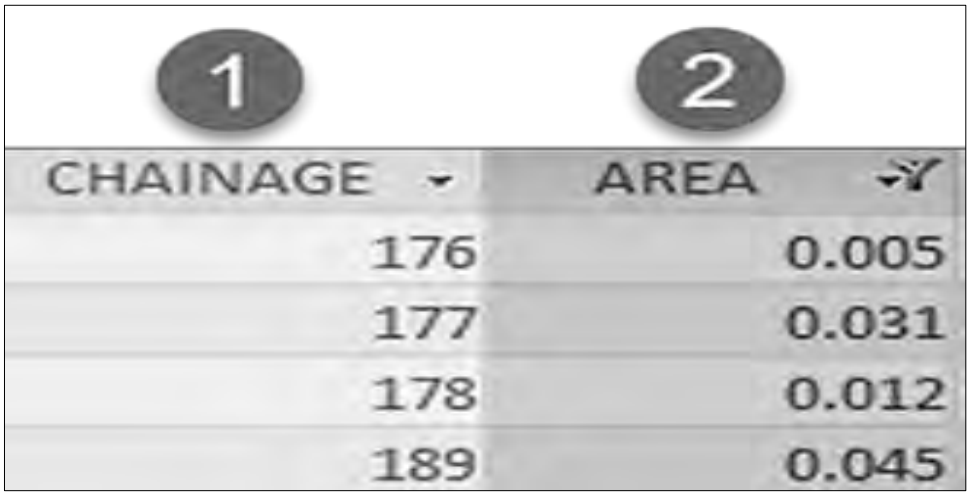
- ตาราง Pothole



1	2	3
CHAINAGE	AREA	SEVERITY
1375	0.039	Moderate
1636	0.012	Low
1768	0.008	Moderate
1840	0.01	Moderate
1941	0.009	Moderate
2395	0.011	Moderate

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	BAND_) 2mm) BAND_4 (mm)	ค่าความลึกผิวเฉลี่ยซ้าย ค่าความลึกผิวเฉลี่ยขวา

- ตาราง Ravelling



1	2
CHAINAGE	AREA
176	0.005
177	0.031
178	0.012
189	0.045

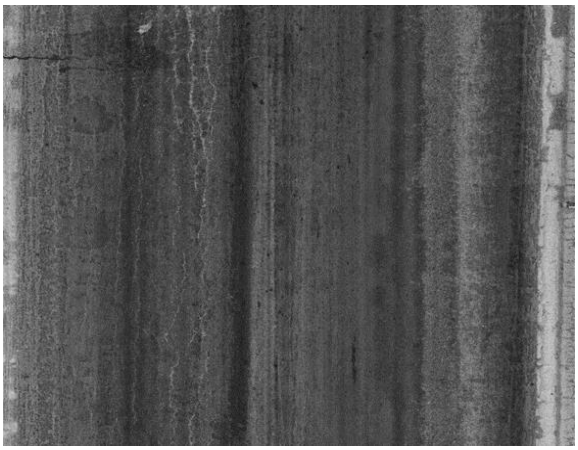
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	LENGTH (mm)	ความยาวรอยแตก
3	AREA (sq.m)	พื้นที่รอยแตก
4	CLASSIFICATION	ประเภทรอยแตก
5	SEVERITY	ระดับความรุนแรง

- ตาราง Geometry

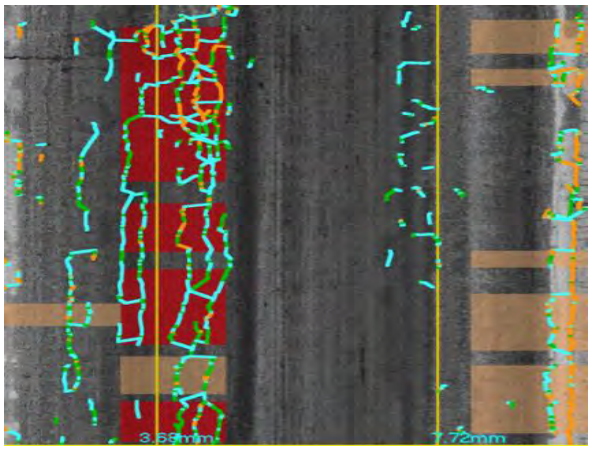
1	2	3	4
CHAINAGE	GRADIENT	HORIZONTA	CROSS_SLOF
0	-2.63	0	-1.29
1	-2.48	0	-1.26
2	-2.34	0	-1.23
3	-2.27	0	-1.16
4	-2.15	0	-1.18
5	-2.09	0	-1.15

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	GRADIENT	ค่าความลาดชัน (Percent grade slope)
3	HORIZONTAL_CURVATURE	คารัศมีทางโคง (Radius)
4	CROSS_SLOPE	คาความลาดเอียง (Percent crown slope)

- Pavement Photo (ภาพพื้นผิวถนน)



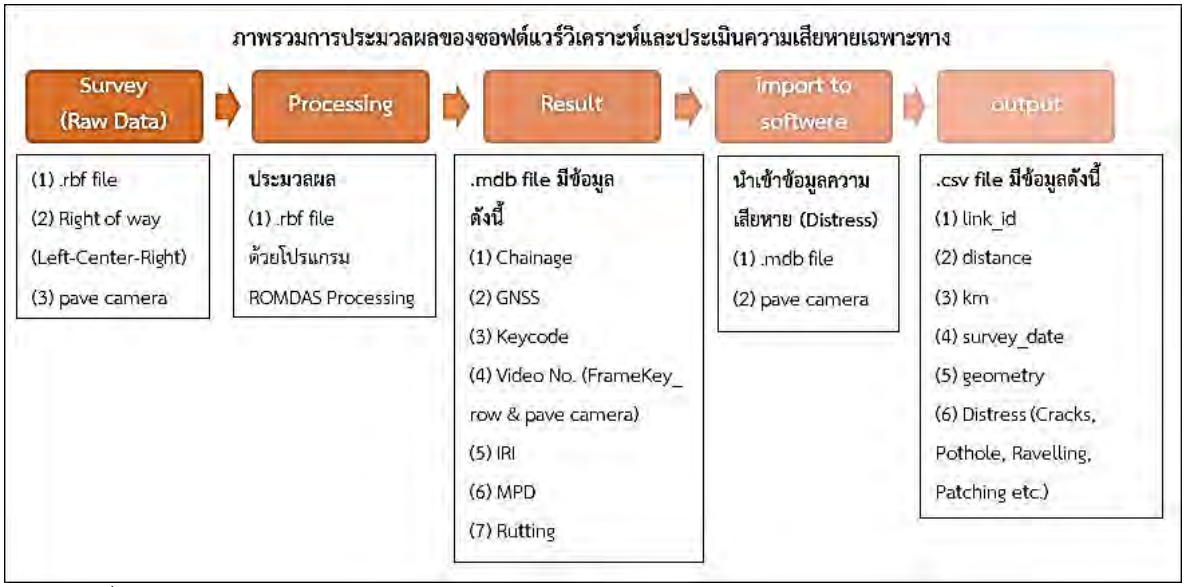
Asphalt pavement



Asphalt pavement with distress

รูปที่ 1-80 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels

2) **การประมวลผลความเสียหายของผิวทางโดยการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating)** ด้วยโปรแกรมการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายผิวทาง ในการตรวจสอบภาพถ่ายผิวถนน เพื่อระบุประเภทความเสียหายที่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์อ้างอิงดังรูปที่ 1-81



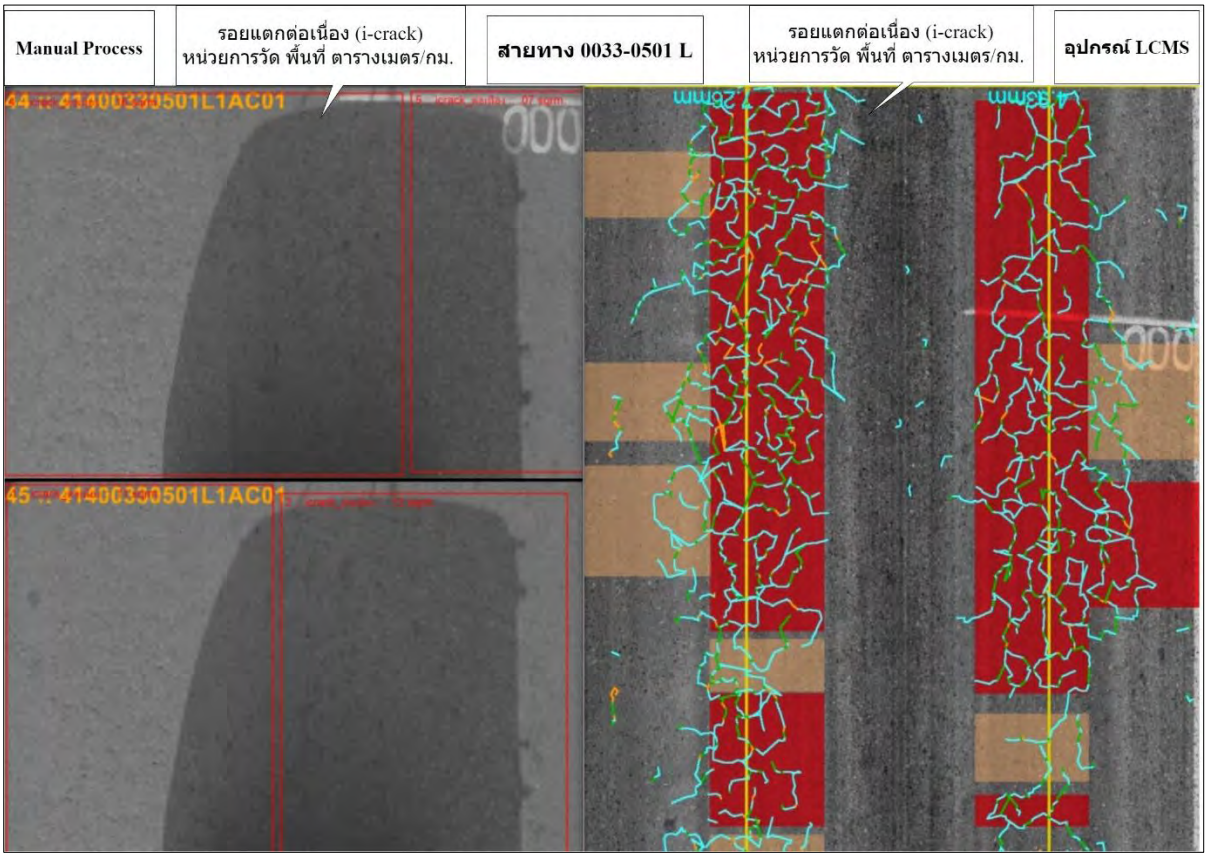
รูปที่ 1-81 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

จากการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายทั้งจากระบบ Auto Crack Detection ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง สามารถนำมาแปลผลค่าความเสียหายได้ แสดงดังตารางที่ 1-30

ตารางที่ 1-30 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

Roadnet	Types	Manual Rating	Auto Crack Detection	unit
		Method		
ลาดยาง (Asphalt pavement)				
รอยแตกต่อเนื่อง (รอยแตกหนังจระเข้)	alligator/multiple	Manual	Auto	ตร.ม
รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (รอยแตกตามยาว)	transverse/longitudinal	Manual	Auto	ม.
การหลุดร่อน	raveling	Manual	Auto	ตร.ม
การเยิ้ม	bleeding	Manual	Auto	ตร.ม
รอยปะซ่อม	patch_ac	Manual	Manual	ตร.ม
หลุมบ่อ	Pothole	Manual	Auto	ตร.ม
คอนกรีต (Concrete pavement)				
รอยปะซ่อม	patch_conc	Manual	Manual	ตร.ม
รอยบิ่นกะเทาะ	spalling	Manual	Auto	จุด
จำนวนแผ่นแตกตามขวาง	transverse_crack	Manual	Auto	แผ่น
จำนวนแผ่นแตกตามยาวและแนวทแยง	non_transverse_crack	Manual	Auto	แผ่น
วัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย	joint_seal_damage	Manual	Manual	ม.
มุมแตก	corner_break	Manual	Manual	จุด

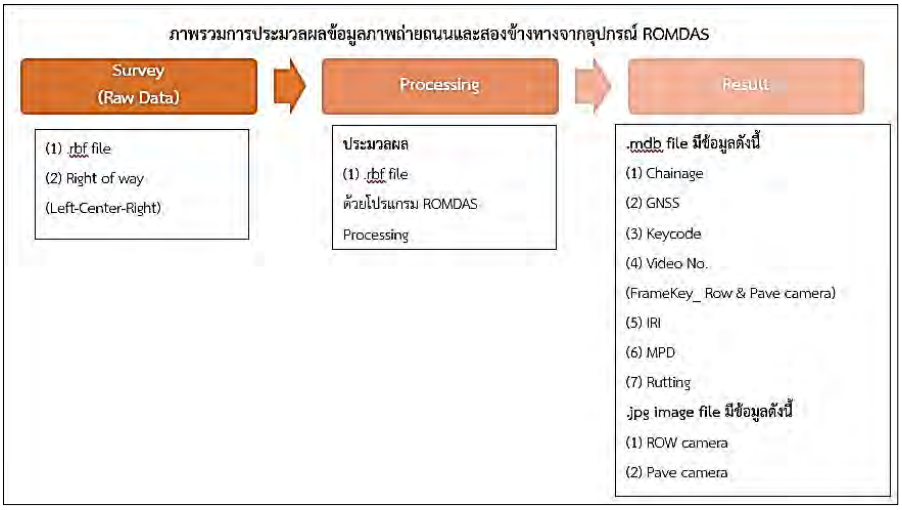
การเปรียบเทียบข้อมูลผลที่ได้จากการประเมินความเสียหายของผิวทาง ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลที่ได้ มีการประมวลผลประเภทความเสียหายที่ใกล้เคียงกันของทั้ง 2 วิธีการ โดยผลการประเมินผิวทางที่มองเห็นด้วยสายตา และ Auto detect สรุปเป็นความเสียหายประเภทรอยแตกต่อเนื่องของผิวทางลาดยาง โดยมีหน่วยวัดเป็นพื้นที่ ตารางเมตร/กิโลเมตร บนสาย ทางหลวงหมายเลข 0033-0501L



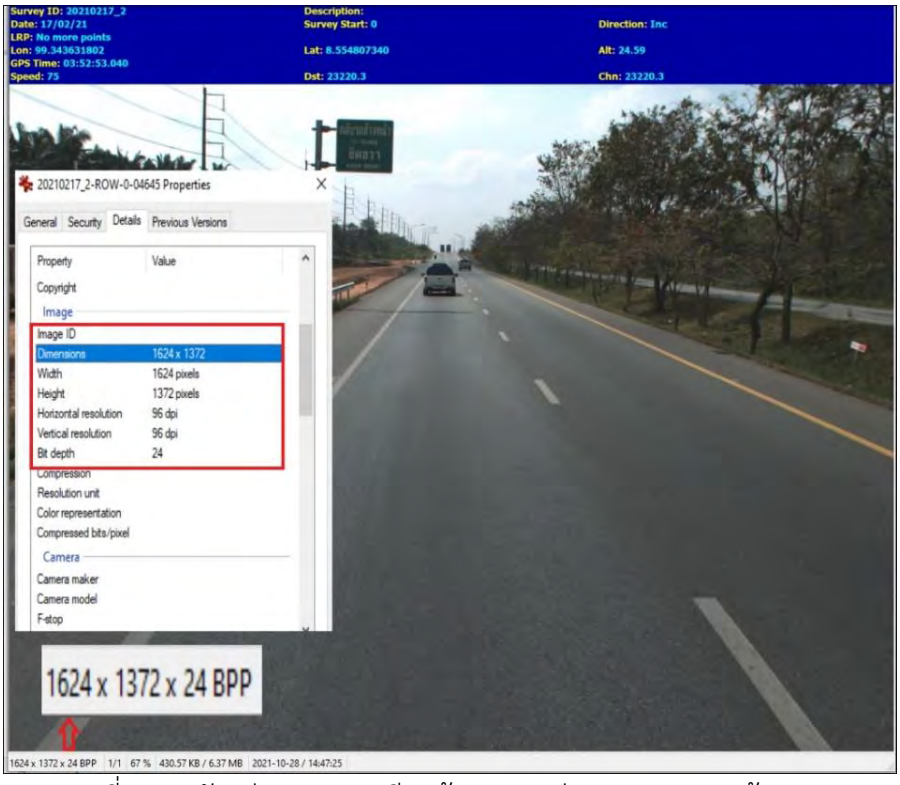
รูปที่ 1-82 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process

1.4.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางที่มีความละเอียด 1600 x 1200 ในรูปแบบไฟล์ JPEG หรือดีกว่า

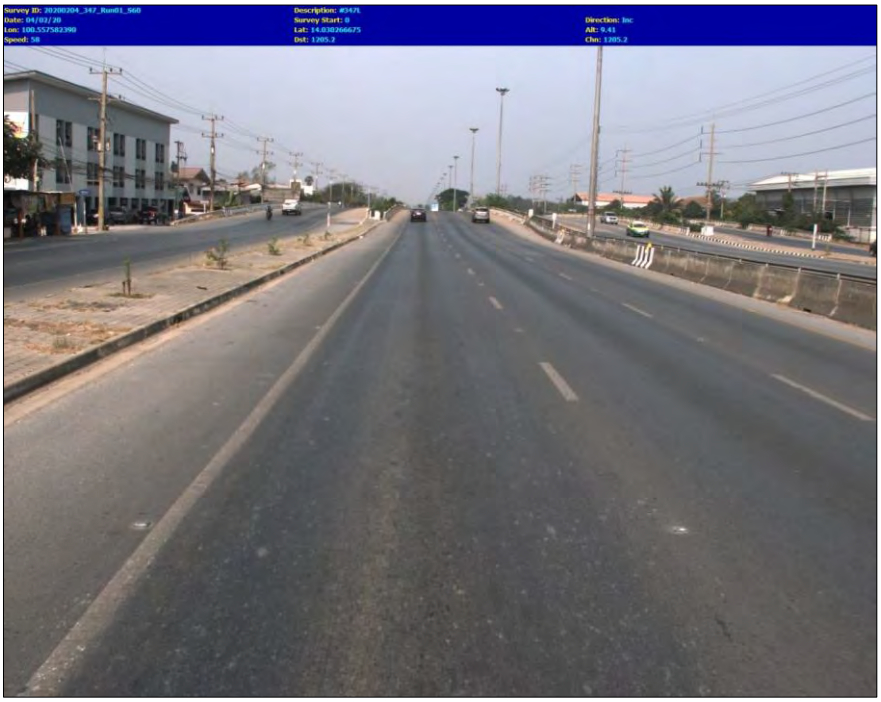
ข้อมูลภาพที่ได้จากการสำรวจสายทาง จะถูกนำมาประมวลผลที่ความละเอียดไม่ต่ำกว่า 1,600 x 1,200 pixel ในรูปแบบของไฟล์ JPEG หรือดีกว่า ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกล้องบันทึกภาพภายในเขตทาง จะประกอบด้วย ไหล่ทาง ป้ายจราจร หลักกิโลเมตร ราวกันอันตราย ไฟสัญญาณจราจร ไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยต่าง ๆ



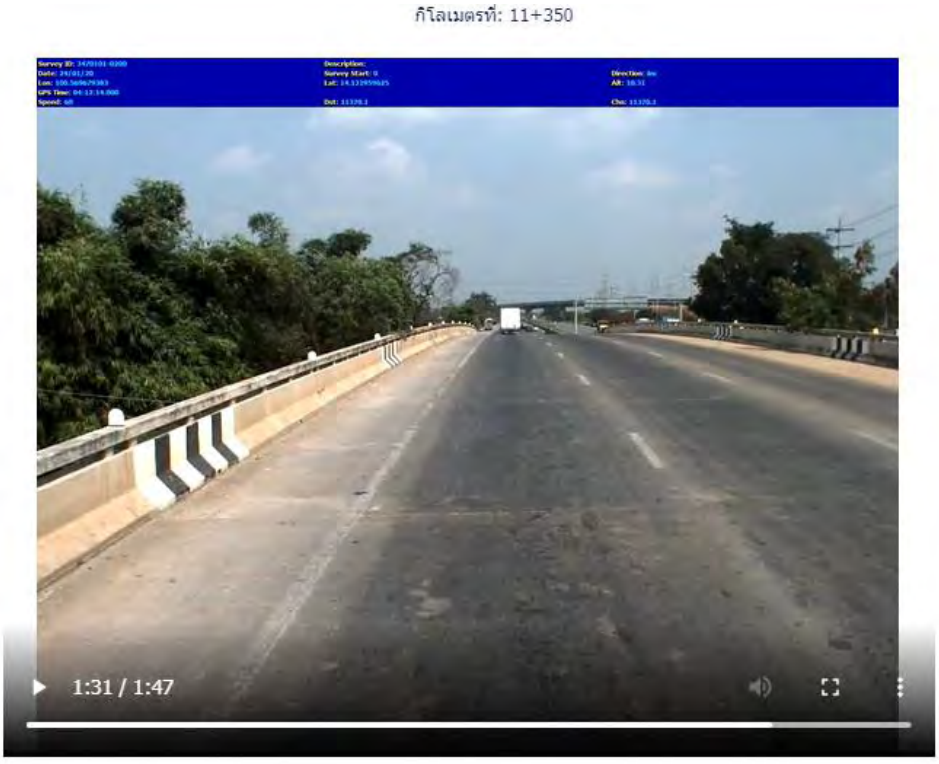
รูปที่ 1-83 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS



รูปที่ 1-84 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง



รูปที่ 1-85 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง บนระบบ Roadnet



รูปที่ 1-86 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว บนระบบ Roadnet ได้

1.4.3 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม เช่น ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) พื้นหลักฐานอ้างอิง (WGS84) หากมีหรือระบบพิกัดอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาขั้นต้นโดยสามารถระบุตำแหน่งข้อมูลการสำรวจแบบสัมพัทธ์ (Relative location) หรือแบบหลักกิโลเมตรตามระบบทะเบียนทางหลวงปัจจุบันที่ใช้อ้างอิง ขณะที่ทำการสำรวจ ที่ปรึกษาจะต้องประมวลผลชุดข้อมูลดังต่อไปนี้

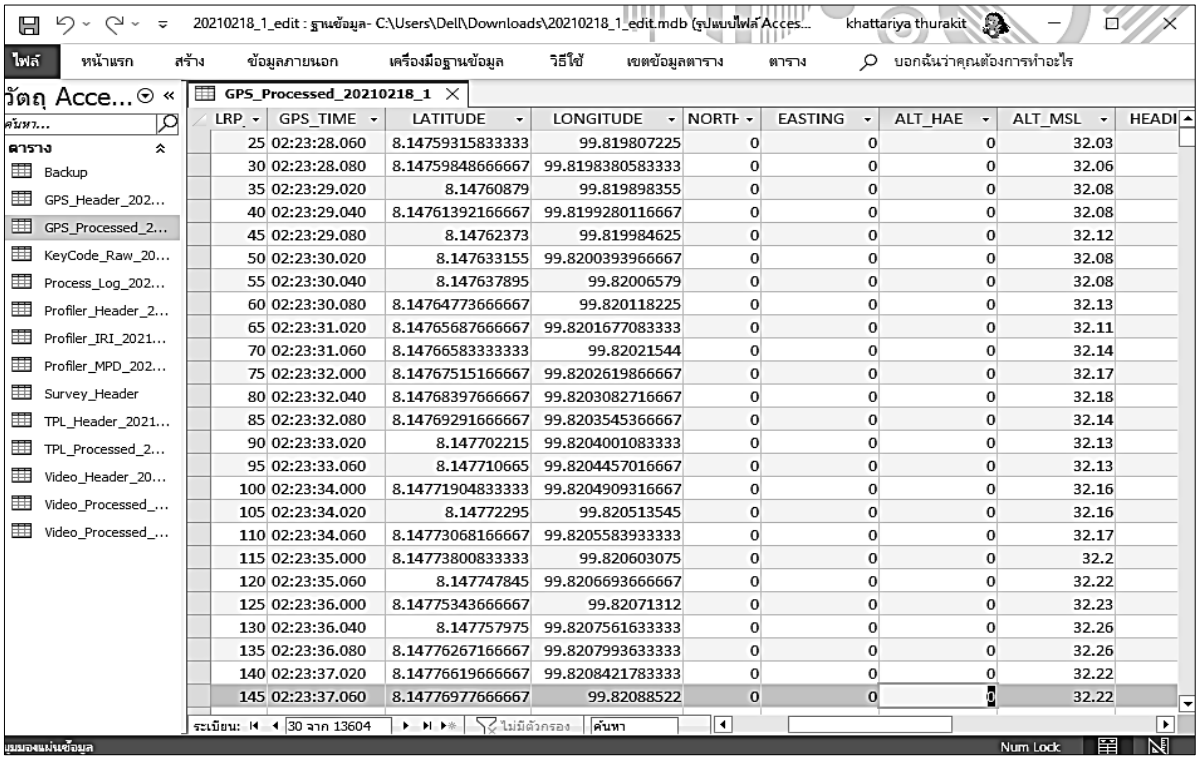
- ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting)
- ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI)
- ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD)
- ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่าย หรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

ทางที่ปรึกษาได้ทำการศึกษากระบวนการส่งออกข้อมูลผ่านอุปกรณ์ที่มีการติดตั้งบนรถสำรวจ และได้ทำการพัฒนาทั้งตัวอุปกรณ์และวิธีการจัดเก็บ โดยในปัจจุบันได้นำโปรแกรมทางด้านการจัดการฐานข้อมูล (Database Management) ที่มีขีดความสามารถสูงแต่ใช้งานง่าย ผู้ใช้สามารถใช้แอคเซสในการจัดการฐานข้อมูล ค้นหาข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงในแบบฟอร์มที่สวยงาม หรือจัดพิมพ์เป็นรายงานได้อย่างง่ายดาย โดยการนำ Microsoft Access หรือเรียกสั้น ๆ ว่าแอคเซส นำมาใช้ประกอบการทำงาน

ระบบฐานข้อมูลแอคเซส จะใช้ระบบข้อมูลแบบสัมพันธ์ (Relational Database) โดยมองข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล (Table) ตารางข้อมูลคือกลุ่มของข้อมูลที่นำมาเก็บรวมกันจะต้องมีความเกี่ยวข้องกัน โดยระบุความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มข้อมูลและใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์นั้น ได้ประกอบด้วย

- บิต (Bit) คือ ข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุด เป็นข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและนำไปใช้งานได้ ซึ่งได้แก่ เลข 0 หรือ เลข 1 เท่านั้น
- ไบต์ (Byte) หรืออักขระ (Character) ได้แก่ ตัวเลข หรือตัวอักษร หรือสัญลักษณ์พิเศษ 1 ตัว เช่น 0, 1, ..., 9, A, B, ..., Z และเครื่องหมายต่าง ๆ ซึ่ง 1 ไบต์จะเท่ากับ 8 บิต หรือตัวอักขระ 1 ตัว เป็นต้น

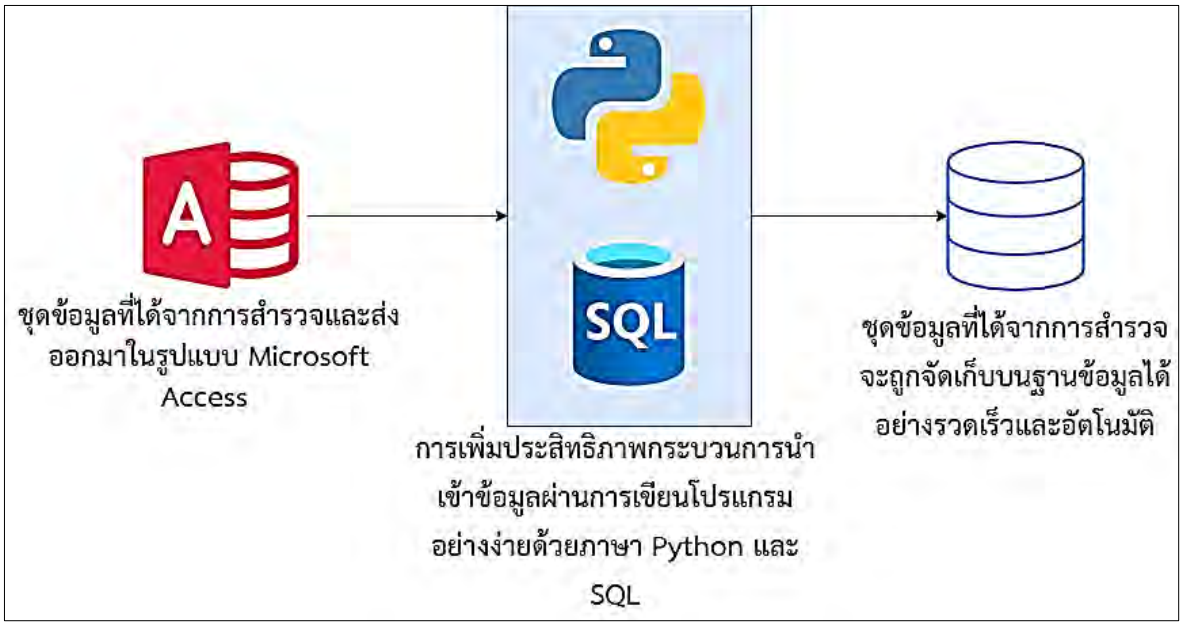
- ฟิลด์ (Field) หรือเขตข้อมูล หมายถึง หัวรายการหรือหัวเรื่องข้อมูลที่เราตั้งขึ้นมาเพื่อเก็บข้อมูลตัวอักษร ตัวเลข หรือสัญลักษณ์พิเศษ รูปภาพ โดยตั้งชื่อให้สื่อความหมายกับข้อมูลที่จะเก็บภายใต้ชื่อฟิลด์นั้น เช่น ฟิลด์ชื่อสินค้า ก็จะเก็บข้อมูลของชื่อสินค้านั้น ๆ เป็นต้น
- เรคคอร์ด (Record) ได้แก่ ฟิลด์ตั้งแต่ 1 ฟิลด์ ขึ้นไป ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องรวมกันเป็นเรคคอร์ด เช่น ชื่อ นามสกุล เลขประจำตัว ยอดขาย ข้อมูลของพนักงาน 1 คน เป็น 1 เรคคอร์ด
- ไฟล์ (Files) หรือแฟ้มข้อมูล ในฐานข้อมูลแอคเซสอาจประกอบด้วย Table, Form Report, Query, Macro และ Module จำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระบบฐานข้อมูลที่ผู้ใช้เก็บ มักจะเก็บฐานข้อมูลซึ่งเป็นเรื่องเดียวกัน เช่น ไฟล์ข้อมูลพนักงาน ไฟล์ข้อมูลลูกค้า ไฟล์ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า



รูปที่ 1-87 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล
และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb

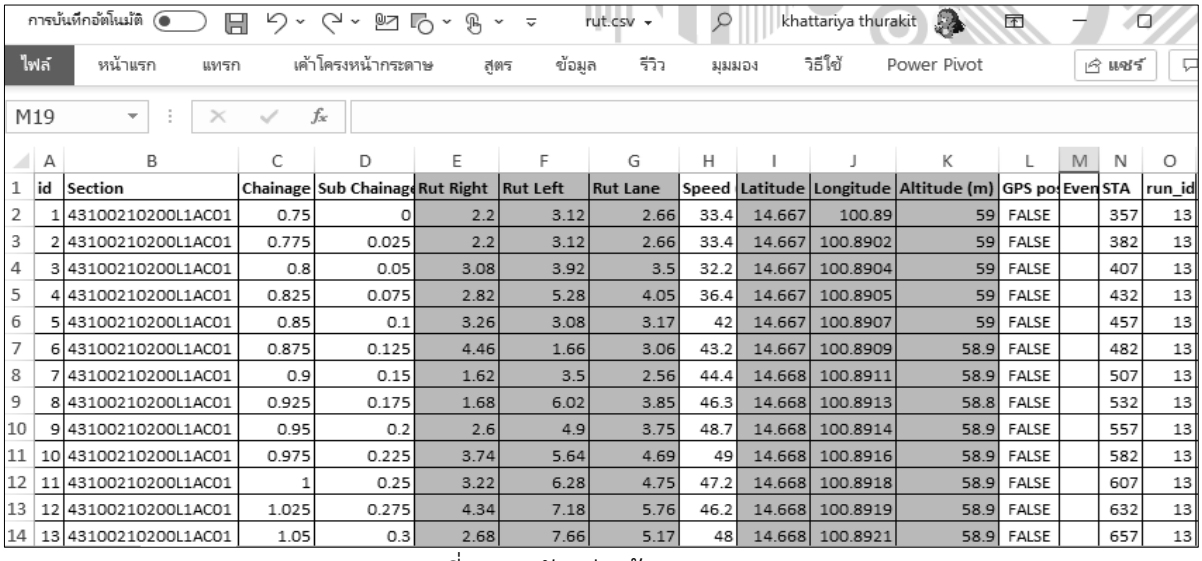
การเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูลด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

ส่วนสำคัญสำหรับการจัดเก็บข้อมูลจากชุดข้อมูลรูปแบบ Microsoft Access ที่ได้จากการสำรวจ คือ การดึงข้อมูลสำรวจในแต่ละรายการออกมาให้อยู่ในรูปแบบ CSV เพื่อตอบสนองต่อการนำเข้ารายการข้อมูลต่าง ๆ โดยทางคณะที่ปรึกษาได้ยกระดับรูปแบบกระบวนการนำเข้าข้อมูลจากข้อมูลสำรวจ โดยการสร้างโปรแกรมการนำเข้าข้อมูลสำรวจอย่างง่าย ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL ซึ่งข้อดีของกระบวนการดังกล่าวนั้นสามารถยกระดับการนำเข้าข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาการนำเข้าและใช้เวลากับการตรวจสอบข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



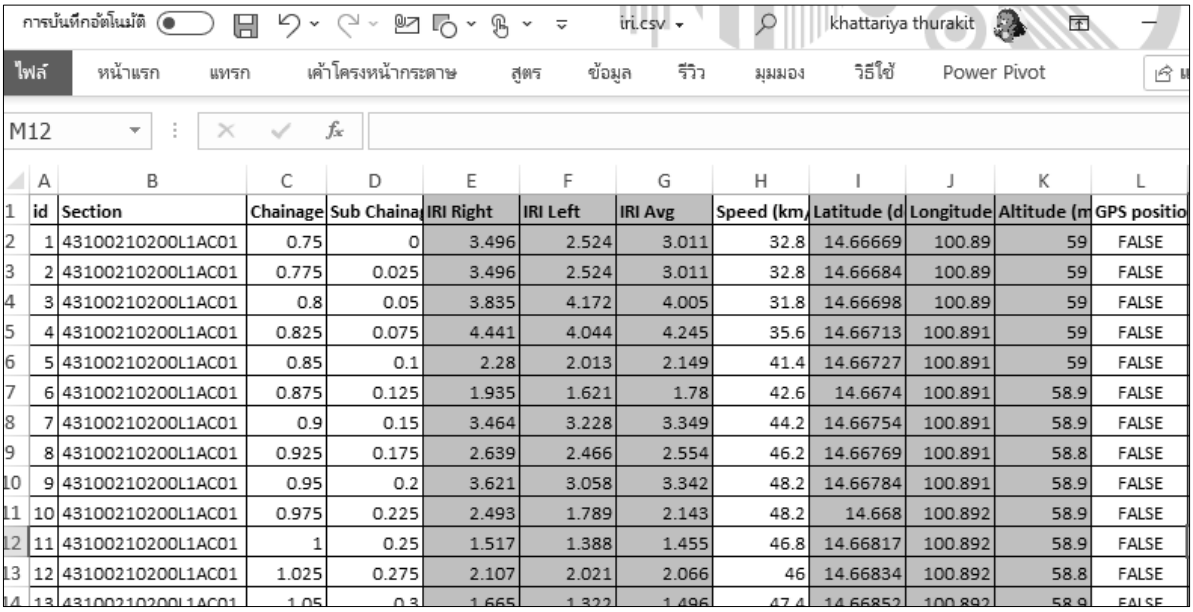
รูปที่ 1-88 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล
ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

นอกจากการเก็บข้อมูลในรูปแบบ Microsoft Access แล้วในการดึงข้อมูลสำรวจให้อยู่ในรูปแบบ CSV ก็ยังสามารถรองรับการส่งออกในรูปแบบนี้เช่นกัน ดังตัวอย่างข้อมูล Rutting, IRI และ MPD ที่ได้จากการประมวลผล แสดงดังรูปที่ 1-89 ถึง รูปที่ 1-91



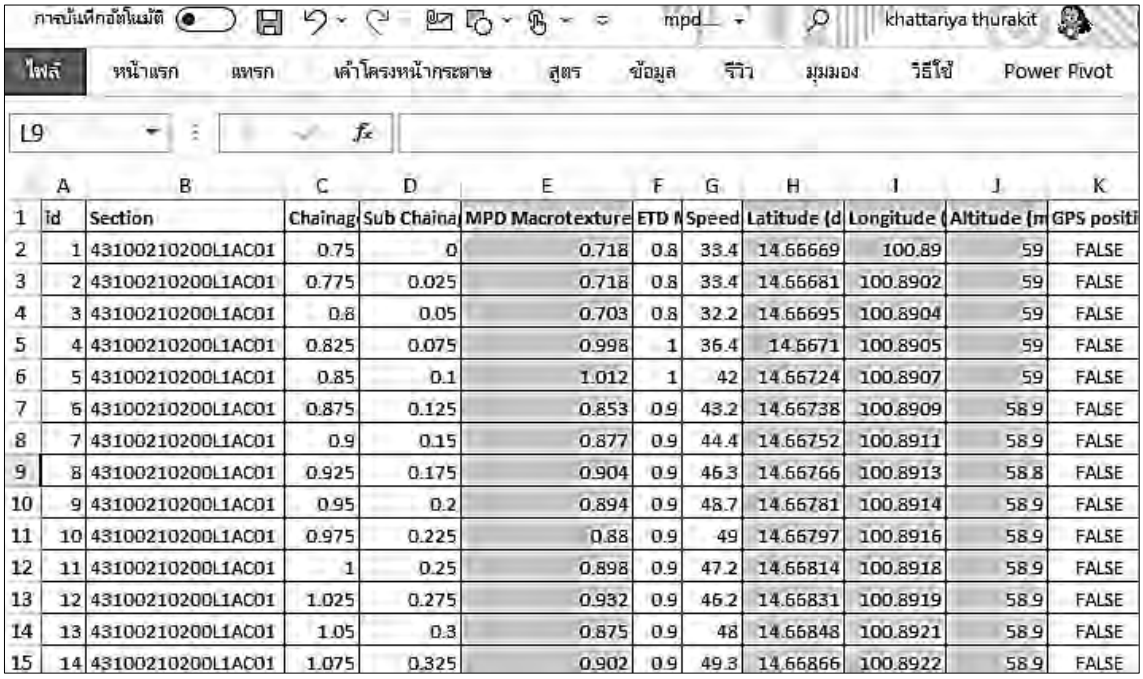
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	id	Section	Chainage	Sub Chainage	Rut Right	Rut Left	Rut Lane	Speed	Latitude	Longitude	Altitude (m)	GPS po	Even	STA	run_id
2	1	43100210200L1AC01	0.75	0	2.2	3.12	2.66	33.4	14.667	100.89	59	FALSE		357	13
3	2	43100210200L1AC01	0.775	0.025	2.2	3.12	2.66	33.4	14.667	100.8902	59	FALSE		382	13
4	3	43100210200L1AC01	0.8	0.05	3.08	3.92	3.5	32.2	14.667	100.8904	59	FALSE		407	13
5	4	43100210200L1AC01	0.825	0.075	2.82	5.28	4.05	36.4	14.667	100.8905	59	FALSE		432	13
6	5	43100210200L1AC01	0.85	0.1	3.26	3.08	3.17	42	14.667	100.8907	59	FALSE		457	13
7	6	43100210200L1AC01	0.875	0.125	4.46	1.66	3.06	43.2	14.667	100.8909	58.9	FALSE		482	13
8	7	43100210200L1AC01	0.9	0.15	1.62	3.5	2.56	44.4	14.668	100.8911	58.9	FALSE		507	13
9	8	43100210200L1AC01	0.925	0.175	1.68	6.02	3.85	46.3	14.668	100.8913	58.8	FALSE		532	13
10	9	43100210200L1AC01	0.95	0.2	2.6	4.9	3.75	48.7	14.668	100.8914	58.9	FALSE		557	13
11	10	43100210200L1AC01	0.975	0.225	3.74	5.64	4.69	49	14.668	100.8916	58.9	FALSE		582	13
12	11	43100210200L1AC01	1	0.25	3.22	6.28	4.75	47.2	14.668	100.8918	58.9	FALSE		607	13
13	12	43100210200L1AC01	1.025	0.275	4.34	7.18	5.76	46.2	14.668	100.8919	58.9	FALSE		632	13
14	13	43100210200L1AC01	1.05	0.3	2.68	7.66	5.17	48	14.668	100.8921	58.9	FALSE		657	13

รูปที่ 1-89 ตัวอย่างข้อมูล Rutting



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	id	Section	Chainage	Sub Chaina	IRI Right	IRI Left	IRI Avg	Speed (km/	Latitude (d	Longitude	Altitude (m	GPS positio
2	1	43100210200L1AC01	0.75	0	3.496	2.524	3.011	32.8	14.66669	100.89	59	FALSE
3	2	43100210200L1AC01	0.775	0.025	3.496	2.524	3.011	32.8	14.66684	100.89	59	FALSE
4	3	43100210200L1AC01	0.8	0.05	3.835	4.172	4.005	31.8	14.66698	100.89	59	FALSE
5	4	43100210200L1AC01	0.825	0.075	4.441	4.044	4.245	35.6	14.66713	100.891	59	FALSE
6	5	43100210200L1AC01	0.85	0.1	2.28	2.013	2.149	41.4	14.66727	100.891	59	FALSE
7	6	43100210200L1AC01	0.875	0.125	1.935	1.621	1.78	42.6	14.6674	100.891	58.9	FALSE
8	7	43100210200L1AC01	0.9	0.15	3.464	3.228	3.349	44.2	14.66754	100.891	58.9	FALSE
9	8	43100210200L1AC01	0.925	0.175	2.639	2.466	2.554	46.2	14.66769	100.891	58.8	FALSE
10	9	43100210200L1AC01	0.95	0.2	3.621	3.058	3.342	48.2	14.66784	100.891	58.9	FALSE
11	10	43100210200L1AC01	0.975	0.225	2.493	1.789	2.143	48.2	14.668	100.892	58.9	FALSE
12	11	43100210200L1AC01	1	0.25	1.517	1.388	1.455	46.8	14.66817	100.892	58.9	FALSE
13	12	43100210200L1AC01	1.025	0.275	2.107	2.021	2.066	46	14.66834	100.892	58.8	FALSE
14	13	43100210200L1AC01	1.05	0.3	1.665	1.322	1.496	47.4	14.66852	100.892	58.9	FALSE

รูปที่ 1-90 ตัวอย่างข้อมูล IRI



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	id	Section	Chainag	Sub Chaina	MPD Macrotexture	ETD M	Speed	Latitude (d	Longitude (	Altitude (m	GPS positi
2	1	43100210200L1AC01	0.75	0	0.718	0.8	33.4	14.66669	100.89	59	FALSE
3	2	43100210200L1AC01	0.775	0.025	0.718	0.8	33.4	14.66681	100.8902	59	FALSE
4	3	43100210200L1AC01	0.8	0.05	0.703	0.8	32.2	14.66695	100.8904	59	FALSE
5	4	43100210200L1AC01	0.825	0.075	0.998	1	36.4	14.6671	100.8905	59	FALSE
6	5	43100210200L1AC01	0.85	0.1	1.012	1	42	14.66724	100.8907	59	FALSE
7	6	43100210200L1AC01	0.875	0.125	0.853	0.9	43.2	14.66738	100.8909	58.9	FALSE
8	7	43100210200L1AC01	0.9	0.15	0.877	0.9	44.4	14.66752	100.8911	58.9	FALSE
9	8	43100210200L1AC01	0.925	0.175	0.904	0.9	46.3	14.66766	100.8913	58.8	FALSE
10	9	43100210200L1AC01	0.95	0.2	0.894	0.9	48.7	14.66781	100.8914	58.9	FALSE
11	10	43100210200L1AC01	0.975	0.225	0.88	0.9	49	14.66797	100.8916	58.9	FALSE
12	11	43100210200L1AC01	1	0.25	0.898	0.9	47.2	14.66814	100.8918	58.9	FALSE
13	12	43100210200L1AC01	1.025	0.275	0.932	0.9	46.2	14.66831	100.8919	58.9	FALSE
14	13	43100210200L1AC01	1.05	0.3	0.875	0.9	48	14.66848	100.8921	58.9	FALSE
15	14	43100210200L1AC01	1.075	0.325	0.902	0.9	49.3	14.66866	100.8922	58.9	FALSE

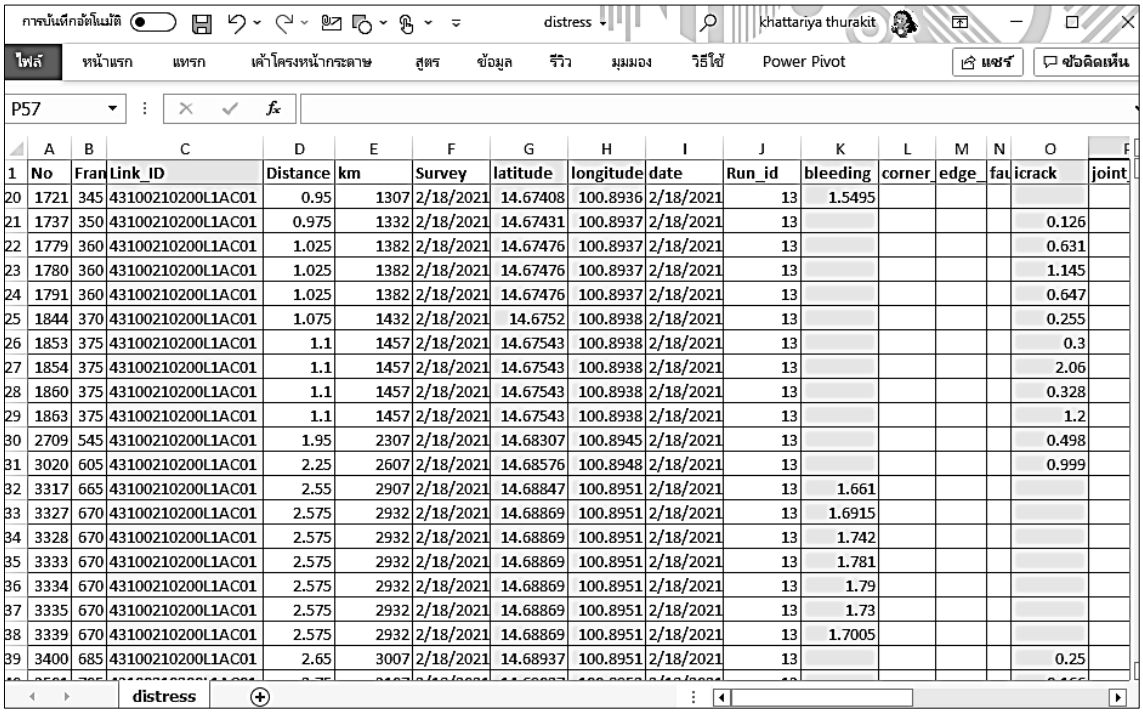
รูปที่ 1-91 ตัวอย่างข้อมูล MPD

รูปที่ 1-92 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่ (GIS)

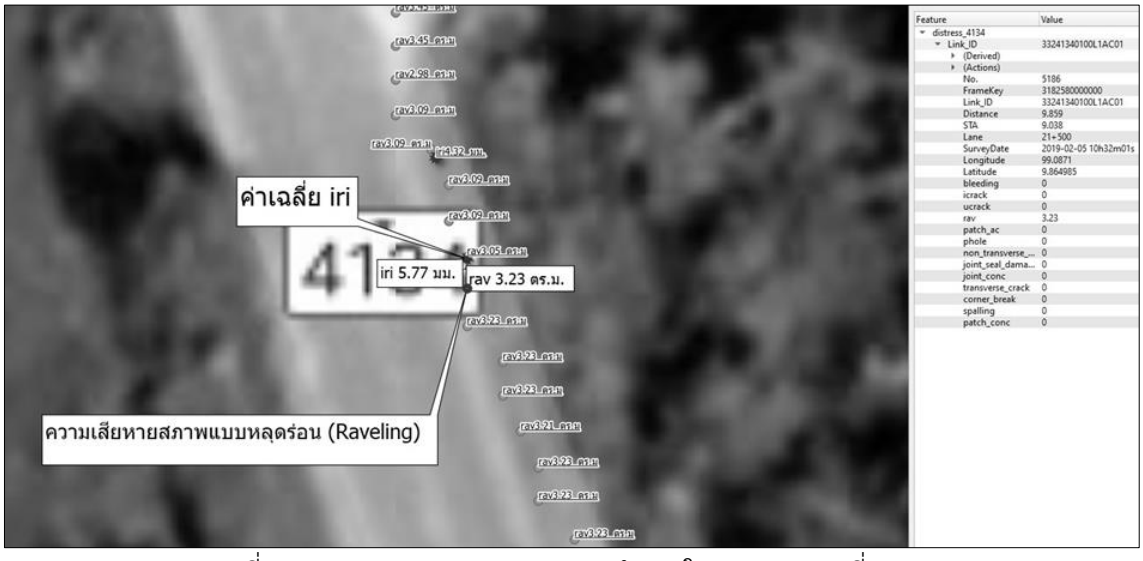
หลักเกณฑ์การตรวจสอบความเสียหายสภาพทาง โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงของข้อมูลประเมิน Distress จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทางร่วมกับการประมวลผลด้วยระบบ LCMS และค่าเฉลี่ยข้อมูลความเสียประเภท ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์บ่งชี้ว่าเกิดความเสียหาย ณ ตำแหน่งใดบนสายทางที่สำรวจ แสดงดังรูปที่ 1-93

รูปที่ 1-93 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	No	Fran	Link_ID	Distance	km	Survey	latitude	longitude	date	Run_id	bleeding	corner_	edge_	fa	icrack	joint_
20	1721	345	43100210200L1AC01	0.95	1307	2/18/2021	14.67408	100.8936	2/18/2021	13	1.5495					
21	1737	350	43100210200L1AC01	0.975	1332	2/18/2021	14.67431	100.8937	2/18/2021	13					0.126	
22	1779	360	43100210200L1AC01	1.025	1382	2/18/2021	14.67476	100.8937	2/18/2021	13					0.631	
23	1780	360	43100210200L1AC01	1.025	1382	2/18/2021	14.67476	100.8937	2/18/2021	13					1.145	
24	1791	360	43100210200L1AC01	1.025	1382	2/18/2021	14.67476	100.8937	2/18/2021	13					0.647	
25	1844	370	43100210200L1AC01	1.075	1432	2/18/2021	14.6752	100.8938	2/18/2021	13					0.255	
26	1853	375	43100210200L1AC01	1.1	1457	2/18/2021	14.67543	100.8938	2/18/2021	13					0.3	
27	1854	375	43100210200L1AC01	1.1	1457	2/18/2021	14.67543	100.8938	2/18/2021	13					2.06	
28	1860	375	43100210200L1AC01	1.1	1457	2/18/2021	14.67543	100.8938	2/18/2021	13					0.328	
29	1863	375	43100210200L1AC01	1.1	1457	2/18/2021	14.67543	100.8938	2/18/2021	13					1.2	
30	2709	545	43100210200L1AC01	1.95	2307	2/18/2021	14.68307	100.8945	2/18/2021	13					0.498	
31	3020	605	43100210200L1AC01	2.25	2607	2/18/2021	14.68576	100.8948	2/18/2021	13					0.999	
32	3317	665	43100210200L1AC01	2.55	2907	2/18/2021	14.68847	100.8951	2/18/2021	13	1.661					
33	3327	670	43100210200L1AC01	2.575	2932	2/18/2021	14.68869	100.8951	2/18/2021	13	1.6915					
34	3328	670	43100210200L1AC01	2.575	2932	2/18/2021	14.68869	100.8951	2/18/2021	13	1.742					
35	3333	670	43100210200L1AC01	2.575	2932	2/18/2021	14.68869	100.8951	2/18/2021	13	1.781					
36	3334	670	43100210200L1AC01	2.575	2932	2/18/2021	14.68869	100.8951	2/18/2021	13	1.79					
37	3335	670	43100210200L1AC01	2.575	2932	2/18/2021	14.68869	100.8951	2/18/2021	13	1.73					
38	3339	670	43100210200L1AC01	2.575	2932	2/18/2021	14.68869	100.8951	2/18/2021	13	1.7005					
39	3400	685	43100210200L1AC01	2.65	3007	2/18/2021	14.68937	100.8951	2/18/2021	13					0.25	

รูปที่ 1-94 แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์
และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS



รูปที่ 1-95 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS)
ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน

จากรูปที่ 1-95 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายผิวทางเฉพาะทางจากภาพถ่าย หรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

โดยแสดงจุดที่เกิดความเสียหายสภาพทางที่เกิดการหลุดร่อน (Raveling) ของผิวถนนลาดยาง หน่วยวัดตารางเมตร ด้วยโปรแกรมประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายเฉพาะทาง และระบบการประมวลผลของ LCMS จุดที่เกิดความเสียหายจะสัมพันธ์กับข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่มีค่าสูงตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนด

1.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet

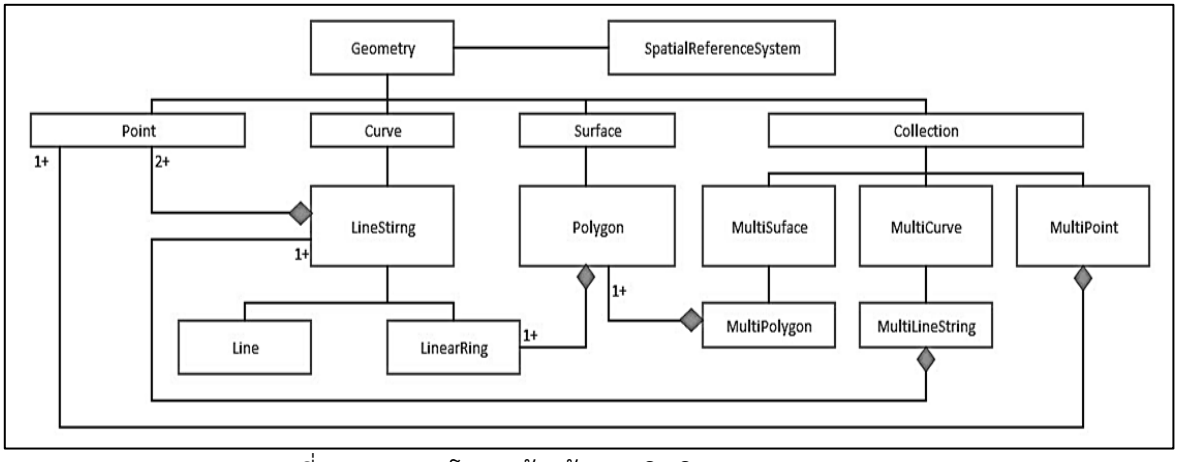
การนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทางซึ่งมีรูปแบบโครงสร้างข้อมูลตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS ได้ไม่น้อยกว่าระยะทาง 29,400 กิโลเมตร โดยที่ปรึกษาจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard disk) อย่างเป็นระบบ โดยที่ปรึกษาต้องนำเข้าไปเก็บในอุปกรณ์จัดเก็บและสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) โดยติดตั้งอยู่ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง มีขั้นตอนดังนี้

1.5.1 ดำเนินการตรวจสอบ ปรับปรุงและทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามข้อ 1.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet ให้ถูกต้องและสามารถแสดงผลในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างถูกต้อง

การออกแบบการจัดเก็บข้อมูลของฐานข้อมูล ผู้พัฒนาได้ออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานข้อมูลโดยได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับจากการสำรวจผิวทาง รวมไปถึงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยขั้นตอนอื่น ๆ และได้สร้างแบบจำลองโดยการแยกการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผิวทางออกจากข้อมูลสายทาง จากนั้นทำการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Relation) เมื่อผู้ใช้ต้องการนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ก็สามารถสืบค้นหรือเรียกดูข้อมูลได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผิวทางยังเป็นอิสระ ไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูลสายทาง ทำให้ในอนาคตถ้าข้อมูลสายทางมีการเปลี่ยนแปลง ก็จะไม่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลจากการสำรวจที่จัดเก็บในฐานข้อมูลเดียวกัน นอกจากนี้การจัดเก็บข้อมูลโดยใช้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ยังสามารถรองรับการใช้เทคนิค linear referencing ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อีกด้วย กล่าวคือ การจัดเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในฐานข้อมูลจะมีการอ้างอิงตำแหน่งแบบพิกัดสมบูรณ์ (Absolute) ซึ่งเป็นค่าพิกัดที่มีความละเอียดสูงที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง GPS แต่ระบบจะสามารถคำนวณย้อนแปลงค่าพิกัดทั้งสองแบบไปหากันได้ ทำให้วิเคราะห์ข้อมูลจากการอ้างอิงตำแหน่งบนสายทาง

ที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลสภาพผิวทางของแต่ละพื้นที่ทั่วประเทศเข้าไว้ด้วยกันภายใต้มาตรฐานโครงสร้างฐานข้อมูลเดียวกันโดย

1. จัดทำรูปแบบโครงสร้างข้อมูลลักษณะสภาพผิวทาง ข้อมูลสายทางในแบบจำลองของโครงข่ายสายทาง (Road Network Model) ให้เป็นไปตาม Open Geospatial Consortium (OGC) และมาตรฐานนานาชาติ International Standard Organization (ISO) ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลปริภูมิ เพื่อให้ข้อมูลในแต่ละพื้นที่มีความพร้อมต่อการนำเข้าระบบฐานข้อมูลกลาง



รูปที่ 1-96 แสดงโครงสร้างข้อมูลปริภูมิตามมาตรฐาน OGC

2. นำเข้าข้อมูลสู่ระบบฐานข้อมูลกลาง จากข้อมูลการสำรวจสภาพผิวทาง ทำการกำหนดโครงสร้างของตารางดังกล่าวตามรูปแบบของโครงสร้างข้อมูลที่กำหนด และตรวจสอบข้อมูลที่ผิดพลาดออกจากตาราง เช่น ตำแหน่งของข้อมูลที่ไม่มีค่าพิกัด เป็นต้น

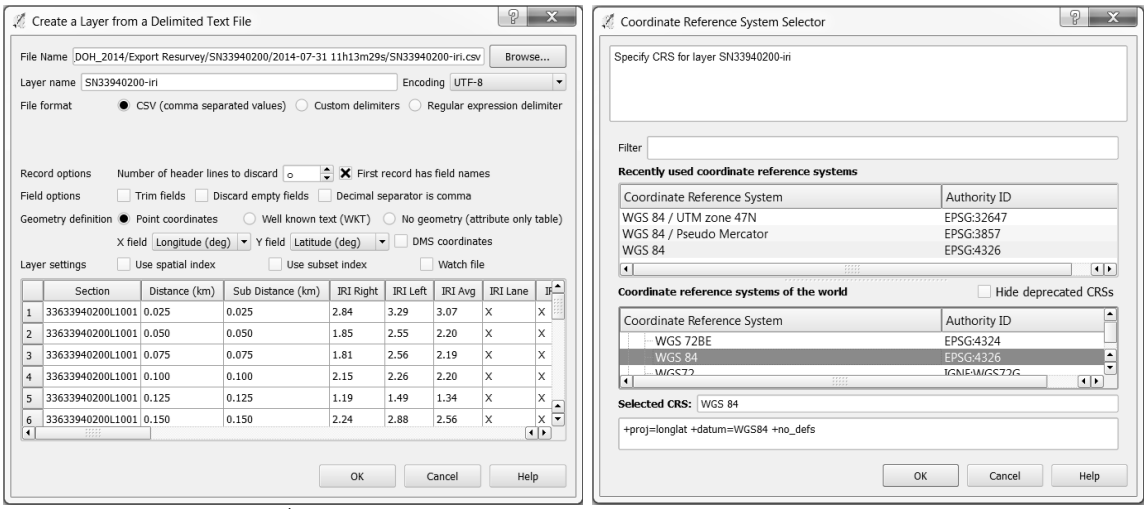
IRI_RNH251_R07-110159_AM
IRI_RNH251_R09-124341_PM
IRI_RNH251_R10-011603_PM
IRI_RNH253_R
IRI_RNH253_R
IRI_RNH253_R
IRI_RNH253_R
IRI_RNH255_R
IRI_RNH257_R
IRI_RNH258_R
IRI_RNH260_R

Field Name	Type	Description
GID	serial	ID
Link_ID	varchar(8)	like code
IRI_RIGHT	float4	IRI_RIGHT
IRI_LEFT	float4	IRI_LEFT
IRI_LAND	float4	IRI_LAND
IRI_CENTRE	float4	IRI_CENTRE
IRI_AVG	float4	IRI_AVG
SPEED	float4	Car Speed
DISTANCE	float4	
START_SUBDIST	float4	
END_SUBDIST	float4	
THE_GEOM	geometry	point geometry

INSTR_SE	IRI_RIGHT	IRI_LEFT	IRI_LANE	IRI_CENTI	IRI_AVG	SPEED	EVENT	DISTANCE	SUB_DIST	LATITUDE	LONGITUD
32530101	6.55	10.03	7.31	7.35	8.29	17	Intersectio	172.358	0.025	18.72294	98.94592
32530101	5.86	8.28	5.86	5.42	7.07	20	Box culver	172.383	0.05	18.72283	98.94612
32530101	4.91	7.31	5.77	6.08	6.11	27		172.408	0.075	18.72281	98.94635
32530101	2.22	1.55	1.68	1.94	1.89	31		172.433	0.1	18.72278	98.94659
32530101	3.88	2.42	2.63	3.2	3.15	35		172.458	0.125	18.72276	98.94682
32530101	3.42	4.86	3.53	3.53	4.14	40		172.483	0.15	18.72273	98.94705
32530101	1.63	2.48	1.38	1.75	2.05	43		172.508	0.175	18.72269	98.94729
32530101	2.93	2.21	2.11	2.06	2.57	45		172.533	0.2	18.72267	98.94752
32530101	2.25	3.7	2.59	2.36	2.97	46		172.558	0.225	18.72264	98.94776
32530101	2.58	2.3	1.58	2.15	2.44	47		172.583	0.25	18.72261	98.94799
32530101	2.16	3.2	2.28	2.89	2.68	47		172.608	0.275	18.72259	98.94823
32530101	1.27	1.71	1.19	1.71	1.49	48		172.633	0.3	18.72257	98.94846

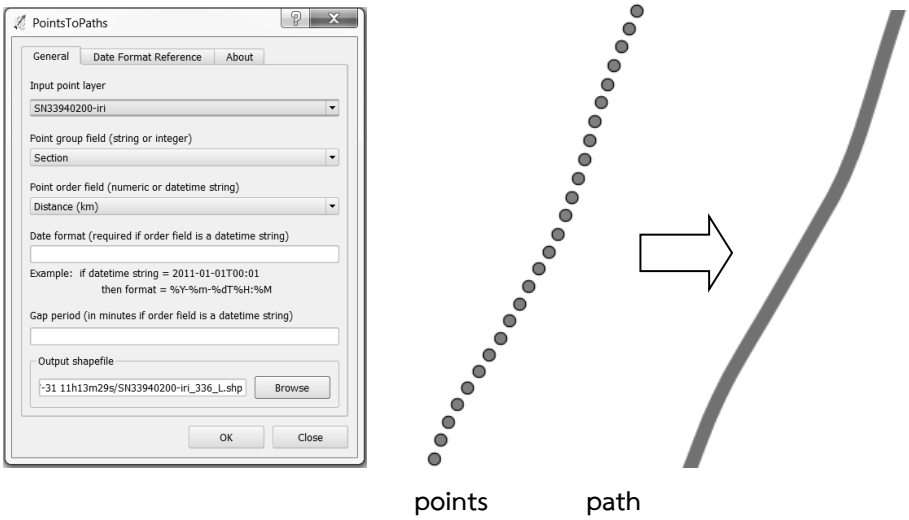
รูปที่ 1-97 การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ

3. การแปลงข้อมูลการสำรวจให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ทำการแก้ไขข้อมูลตารางโดยคัดลอก *.csv file ทั้งหมดจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Automatic HKE โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ IRI, Rutting และ MPD
   - IRI (*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด โดยการ transform จาก pointtoline และ Delete ข้อมูลที่ผิดปกติ เช่น LEADIN, LEADOUT, ค่าพิกัด Latitude, Longitude ที่มีค่าเป็น 0 และข้อมูล EVENT บริเวณสะพาน เป็นต้น
   - Rutting (*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด โดยการ Edit field name ตามโครงสร้างที่กำหนด
   - Texture-MPD (*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดโดยการ Edit field name ตามโครงสร้างที่กำหนด
4. ทำการ convert (*.csv file) to Shape file (point) ในข้อมูล IRI, Rutting และ MPD โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop และกำหนด Map project file



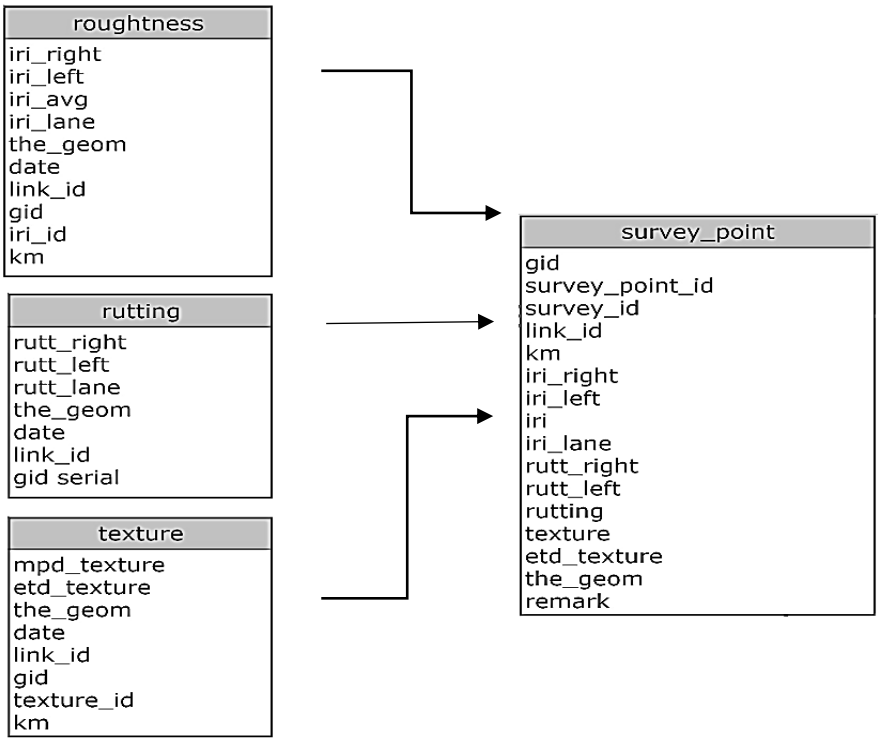
รูปที่ 1-98 การ convert (*.csv file) to shapefile (point)

5. ตรวจสอบจำนวน record ของข้อมูล IRI Rutting Texture-MPD หลังจากการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของสารสนเทศภูมิศาสตร์แล้ว ทำการ convert Points to Paths เฉพาะข้อมูล IRI โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop ที่ได้จะเป็น feature ของบัญชีสายทางหรือแนวสายทางที่สำรวจ



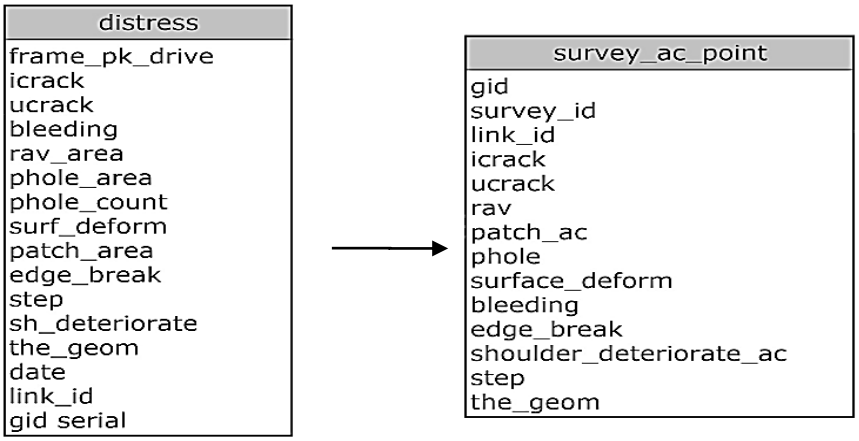
รูปที่ 1-99 การ convert points to Paths

6. ทำการนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทางที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Accuracy data) และความถูกต้องของข้อมูลอรรถาธิบาย (Attribute Data) เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับโครงสร้างข้อมูลให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจสภาพทางในฐานข้อมูล Roadnet เพื่อให้สามารถสืบค้นและแสดงผลข้อมูลผ่านโปรแกรมสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้



โครงสร้างข้อมูลสำรวจที่ได้จาก HKE โครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)

รูปที่ 1-100 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)



โครงสร้างข้อมูลสำรวจที่ได้จาก POP

โครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)

รูปที่ 1-101 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล

1.5.2 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

ที่ปรึกษาต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผ่านโปรแกรม Roadnet โดยมีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งอย่างมีระบบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล เช่น ข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลจากแขวงทางหลวง อย่างละ 2 พื้นที่ตัวอย่าง

เมื่อทำการสำรวจข้อมูลแล้วเสร็จ มีการตรวจสอบคุณภาพเชิงตำแหน่งของข้อมูล โดยใช้การเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) รวมไปถึงการตรวจสอบค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) และค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง ก่อนการนำเข้าระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงและระบบบริหารงานบำรุงทาง (TPMS) การทำเช่นนี้จะทำให้ระบบการบริหารข้อมูลมีความเป็นเอกภาพและเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างข้อมูลให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะป้อนเข้า (Input) สู่ระบบประเมินความเสียหาย โดยรายงานความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

ที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำรายงานผลการประเมินพร้อมตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งเทียบกับตำแหน่งบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทโชต (THEOS) มาตราส่วน 1 : 25,000 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) โดยจัดกลุ่มของการตรวจสอบออกเป็นกลุ่ม (Grouping Data for Validation) จุดตรวจสอบ (GCP) มีการกระจายตัว และระยะห่างที่เหมาะสมและครอบคลุมทั่วถึงทั้งพื้นที่ตามมาตรฐานและยอมให้มีความคลาดเคลื่อนจากจุดตรวจสอบอิสระบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทโชต (THEOS) ได้ไม่เกิน 2 เมตร เมื่อคิดจากรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Error : RMSE) โดยแบ่งผลการตรวจสอบข้อมูลมีรายละเอียดของการตรวจสอบแบ่งเป็นกลุ่ม

โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลดังกล่าว จะพิจารณาจากระยะทางสำรวจ และจำนวนวันทำงานที่สำรวจในพื้นที่แขวงทางหลวง อย่างน้อยแขวงละ 2 จุด (กรณีสำรวจข้อมูลสายทางในแขวงทางหลวงนั้น 2 วัน) กล่าวคือ การรายงานคุณภาพข้อมูลเชิงพื้นที่ จะทำการสุ่มตรวจสอบ เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์สำรวจที่ใช้งานในวันนั้น ๆ มีสภาพการทำงานปกติ สามารถอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS ระบบส่งค่าพิกัดเข้าสู่อุปกรณ์จัดเก็บและบันทึกข้อมูล โดยสามารถตรวจสอบได้ก่อนเริ่มงานสำรวจ 1 ครั้งต่อวัน ดังนั้นหากทำการสำรวจแขวงทางหลวง 3 วัน จะต้องใช้จุดตรวจสอบ 3 จุด เป็นต้น ในพื้นที่แขวงทางหลวงนั้น ๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ โดยมีการตรวจสอบข้อมูลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1-31 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1

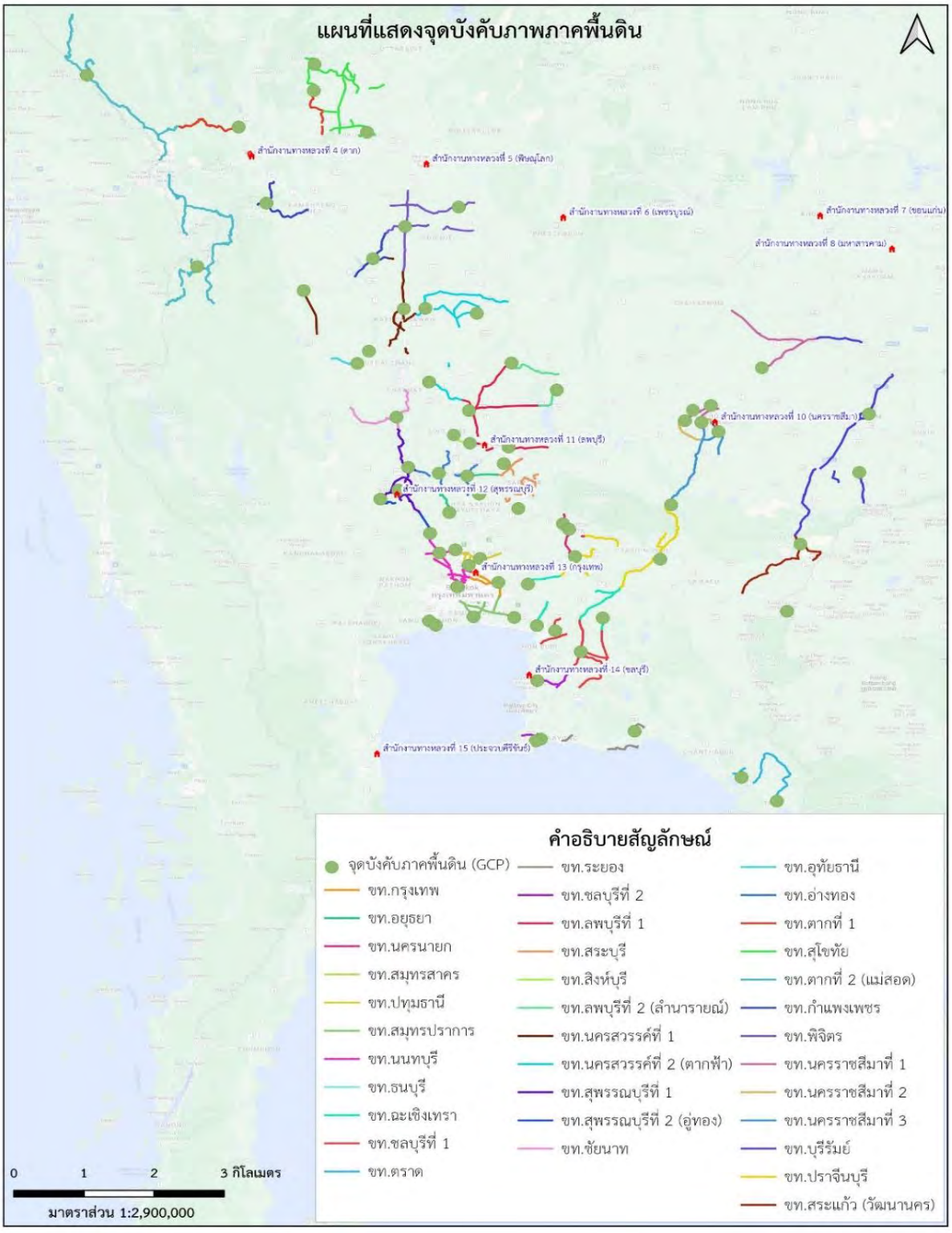
ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
1	อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1	สทล. 13 (กรุงเทพ)	411	ขท.กรุงเทพ	2
2			413	ขท.อยุธยา	2
3			414	ขท.นครนายก	2
4			415	ขท.สมุทรสาคร	2
5			416	ขท.ปทุมธานี	2
6			417	ขท.สมุทรปราการ	2
7			418	ขท.นนทบุรี	2
8			419	ขท.ธนบุรี	2
9		สทล. 14 (ชลบุรี)	421	ขท.ฉะเชิงเทรา	2
10			422	ขท.ชลบุรีที่ 1	2
11			425	ขท.ตราด	2
12			426	ขท.ระยอง	2
13			428	ขท.ชลบุรีที่ 2	2
14		สทล. 11 (ลพบุรี)	431	ขท.ลพบุรีที่ 1	2
15			432	ขท.สระบุรี	2
16			433	ขท.สิงห์บุรี	2
17			435	ขท.ลพบุรีที่ 2 (ลำนารายณ์)	2
18			437	ขท.นครสวรรค์ที่ 1	2
19			438	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	2
20	อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1	สทล. 12 (สุพรรณบุรี)	441	ขท.สุพรรณบุรีที่ 1	2
21			445	ขท.สุพรรณบุรีที่ 2 (อู่ทอง)	2
22			446	ขท.ชัยนาท	2
23			447	ขท.อุทัยธานี	2
24			448	ขท.อ่างทอง	2

ตารางที่ 1-31 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1 (ต่อ)

ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
25		สทล. 4 (ตาก)	512	ขท.ตากที่ 1	2
26			513	ขท.สุโขทัย	2
27			514	ขท.ตากที่ 2 (แม่สอด)	2
28			517	ขท.กำแพงเพชร	2
29		สทล. 5 (พิษณุโลก)	519	ขท.พิจิตร	2
30	อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1	สทล. 10 (นครราชสีมา)	611	ขท.นครราชสีมาที่ 1	2
31			612	ขท.นครราชสีมาที่ 2	2
32			614	ขท.นครราชสีมาที่ 3	2
33			617	ขท.บุรีรัมย์	2
34			618	ขท.ปราจีนบุรี	2
35			619	ขท.สระแก้ว (วัฒนานคร)	2

การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และที่ปรึกษาทำการเลือกจุดที่จะทำการตรวจสอบ ทั้งสิ้น 70 จุด กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ทั้งหมด



รูปที่ 1-102 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ทั้ง 70 จุด

2) จุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และจุดที่ทำการตรวจสอบ ทั้ง 70 จุด ต้องสามารถมองเห็นตำแหน่งจุดตัดทางแยกจากภาพถ่ายทางอากาศ (google map) ได้ชัดเจน
3) นำค่า แสดงจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ มาเปรียบเทียบคำนวณผลต่างในรูปรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) แสดงดังตารางที่ 1-32

ตารางที่ 1-32 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_01	525231.096	1123152.165	525231.628	1123149.868	-0.532	2.297	0.283	5.277
Point_02	524553.430	1101566.367	524553.039	1101570.140	0.391	-3.773	0.153	14.238
Point_03	511334.820	1087820.420	511335.543	1087823.718	-0.722	-3.298	0.522	10.880
Point_04	513780.519	1066038.667	513781.288	1066038.725	-0.769	-0.058	0.591	0.003
Point_05	516467.577	1148731.993	516468.144	1148731.381	-0.567	0.613	0.321	0.375
Point_06	517394.976	1153118.546	517395.922	1153119.385	-0.946	-0.839	0.895	0.703
Point_07	529000.137	1051190.854	528998.443	1051186.694	1.694	4.160	2.870	17.306
Point_08	529738.051	1055967.025	529738.027	1055965.714	0.023	1.311	0.001	1.718
Point_09	520789.372	1088312.617	520788.488	1088309.987	0.884	2.629	0.781	6.913
Point_10	519218.730	1070464.046	519218.287	1070459.840	0.443	4.206	0.196	17.689
Point_11	529196.727	1083446.492	529196.608	1083454.606	0.119	-8.114	0.014	65.831
Point_12	530012.255	1113008.691	530013.366	1113012.928	-1.111	-4.237	1.234	17.956
Point_13	519478.912	1058826.855	519476.181	1058825.231	2.731	1.624	7.459	2.637
Point_14	521630.379	1080035.739	521631.061	1080042.102	-0.681	-6.364	0.464	40.495
Point_15	524591.639	1071748.465	524591.341	1071756.058	0.298	-7.593	0.089	57.648
Point_16	524579.246	1072100.107	524579.338	1072097.775	-0.092	2.333	0.008	5.442
Point_17	531664.585	1177434.687	531663.241	1177431.010	1.344	3.677	1.806	13.524
Point_18	531658.603	1129522.927	531658.968	1129519.846	-0.365	3.081	0.133	9.490
Point_19	536541.260	1161320.752	536541.472	1161315.656	-0.212	5.096	0.045	25.967
Point_20	532792.861	1142765.244	532793.191	1142763.117	-0.330	2.127	0.109	4.525
Point_21	566384.136	1302999.255	566384.380	1302999.143	-0.243	0.112	0.059	0.013
Point_22	561163.647	1277436.491	561163.333	1277437.862	0.313	-1.371	0.098	1.881
Point_23	550369.919	1200001.148	550370.613	1200002.848	-0.694	-1.701	0.482	2.892
Point_24	548967.118	1131748.839	548968.488	1131754.089	-1.370	-5.250	1.878	27.566
Point_25	539993.527	1129498.687	539994.071	1129501.910	-0.545	-3.222	0.297	10.384
Point_26	549098.362	1128149.428	549098.929	1128153.454	-0.568	-4.026	0.322	16.207
Point_27	499117.922	1080542.269	499117.371	1080540.958	0.551	1.311	0.303	1.719

ตารางที่ 1-32 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_28	504527.071	1109353.013	504526.192	1109340.132	0.878	12.882	0.771	165.945
Point_29	513768.011	1116303.294	513768.447	1116310.114	-0.435	-6.819	0.190	46.501
Point_30	506981.381	1105711.773	506980.857	1105705.838	0.524	5.935	0.274	35.229
Point_31	503873.02	1081112.42	503873.23	1081116.95	-0.203	-4.536	0.041	20.575
Point_32	502650.176	1069463.636	502649.573	1069462.539	0.603	1.097	0.364	1.203
Point_33	495918.348	1144311.275	495919.407	1144306.102	-1.060	5.173	1.123	26.765
Point_34	491625.470	1293564.303	491625.746	1293562.747	-0.276	1.556	0.076	2.421
Point_35	483507.493	960155.920	483506.735	960153.881	0.759	2.039	0.575	4.158
Point_36	484918.633	1032982.886	484918.622	1032981.631	0.011	1.255	0.000	1.575
Point_37	484646.125	1048639.400	484645.963	1048632.429	0.162	6.971	0.026	48.593
Point_38	484882.813	1086072.366	484880.928	1086063.356	1.885	9.010	3.553	81.181
Point_39	510218.108	1028978.652	510217.487	1028979.453	0.621	-0.801	0.386	0.642
Point_40	507088.220	1036265.582	507088.372	1036263.576	-0.152	2.006	0.023	4.025
Point_41	516569.989	1052070.887	516570.456	1052069.950	-0.467	0.937	0.218	0.877
Point_42	511352.480	1015968.055	511351.788	1015966.413	0.692	1.642	0.479	2.696
Point_43	495083.833	1051412.877	495084.378	1051413.630	-0.545	-0.753	0.297	0.567
Point_44	500055.420	1027762.215	500055.567	1027762.260	-0.147	-0.045	0.022	0.002
Point_45	492777.991	999229.158	492778.191	999235.971	-0.200	-6.813	0.040	46.417
Point_46	491047.532	1007648.331	491047.308	1007648.265	0.224	0.067	0.050	0.004
Point_47	508602.238	1079172.914	508600.922	1079170.795	1.316	2.119	1.731	4.491
Point_48	508087.178	1058523.623	508087.340	1058523.521	-0.162	0.102	0.026	0.010
Point_49	463774.643	912320.898	463774.721	912316.747	-0.078	4.151	0.006	17.234
Point_50	457060.732	966734.605	457060.274	966733.751	0.457	0.853	0.209	0.728
Point_51	453563.266	967106.501	453563.575	967111.265	-0.309	-4.764	0.096	22.691
Point_52	461189.369	1005614.206	461188.899	1005614.185	0.470	0.021	0.221	0.000
Point_53	481783.036	882774.726	481783.707	882772.132	-0.670	2.594	0.449	6.728
Point_54	461903.336	801871.623	461903.617	801869.069	-0.281	2.554	0.079	6.524
Point_55	472764.062	932791.572	472763.612	932790.778	0.449	0.795	0.202	0.632
Point_56	478347.671	1010528.248	478347.357	1010524.528	0.315	3.720	0.099	13.840
Point_57	469686.126	1072626.150	469686.259	1072624.517	-0.133	1.633	0.018	2.666
Point_58	473397.391	1033679.579	473397.553	1033676.266	-0.161	3.313	0.026	10.976
Point_59	498920.021	1243372.837	498920.083	1243373.352	-0.062	-0.516	0.004	0.266

ตารางที่ 1-32 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m) Survey	N (m) Survey	E (m) GCP	N (m) GCP	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2 (m)	ΔN^2 (m)
Point_60	498134.839	1256495.576	498135.771	1256501.450	-0.932	-5.874	0.869	34.510
Point_61	500676.647	1237593.444	500677.094	1237589.913	-0.447	3.531	0.200	12.466
Point_62	500959.902	1249640.085	500959.014	1249640.085	0.888	-0.001	0.788	0.000
Point_63	502504.564	1262029.054	502504.454	1262029.738	0.110	-0.684	0.012	0.468
Point_64	514402.696	1227475.063	514403.000	1227480.160	-0.304	-5.097	0.093	25.975
Point_65	510026.838	1364476.852	510026.388	1364476.048	0.450	0.804	0.203	0.647
Point_66	499527.073	1371429.582	499527.404	1371431.073	-0.330	-1.491	0.109	2.224
Point_67	521661.322	1157399.821	521661.590	1157399.065	-0.269	0.755	0.072	0.571
Point_68	523142.475	1219456.758	523142.686	1219457.584	-0.212	-0.826	0.045	0.682
Point_69	533777.506	1311597.412	533776.641	1311599.350	0.865	-1.938	0.748	3.755
Point_70	522278.867	1321494.342	522279.836	1321497.365	-0.969	-3.023	0.938	9.141
						Sum	**37.166**	**1045.881**
						Mean	**0.652**	**18.349**
						RMSE(E)	**0.807**	
						RMSE(N)		**4.284**
						RMSE	**4.359**	

โดยแสดงรายละเอียดหัวตารางดังนี้

Point	หมายถึง ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบ
E และ N (Survey)	หมายถึง ค่า E และ N ของข้อมูลสำรวจ
E และ N (GCP)	หมายถึง จุดค่า E และ N ของจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน
ΔE	หมายถึง ผลต่าง E
ΔN	หมายถึง ผลต่าง N

ตารางที่ 1-33 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ LCMS

ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
1	อุปกรณ์ LCMS	สทล. 1 (เชียงใหม่)	522	ขท.เชียงใหม่ที่ 2	2
2			523	ขท.ลำปางที่ 1	2
3			524	ขท.ลำพูน	2
4			528	ขท.ลำปางที่ 2	2
5		สทล. 2 (แพร่)	531	ขท.แพร่	2
6			533	ขท.เชียงรายที่ 1	2
7			535	ขท.พะเยา	2
8		สทล. 3 (สกลนคร)	639	ขท.มุกดาหาร	2
9			641	ขท.สกลนครที่ 1	2
10			642	ขท.สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	2
11			644	ขท.นครพนม	2
12			646	ขท.หนองคาย	2
13		สทล. 4 (ตาก)	512	ขท.ตากที่ 1	2
14			513	ขท.สุโขทัย	2
15			514	ขท.ตากที่ 2 (แม่สอด)	2
16			517	ขท.กำแพงเพชร	2
17	อุปกรณ์ LCMS	สทล. 5 (พิษณุโลก)	511	ขท.พิษณุโลกที่ 1	2
18			515	ขท.พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	2
19			519	ขท.พิจิตร	2
20			557	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	2
21		สทล. 6 (เพชรบูรณ์)	551	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1	2
22			552	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	2
23			554	ขท.เลยที่ 1	2
24			555	ขท.เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	2
25		สทล. 7 (ขอนแก่น)	621	ขท.ขอนแก่นที่ 1	2
26			623	ขท.อุดรธานีที่ 1	2
27			624	ขท.อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	2
28			627	ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	2
29			628	ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	2
30		สทล. 8 (มหาสารคาม)	622	ขท.มหาสารคาม	2
31			633	ขท.ยโสธร	2
32			635	ขท.ร้อยเอ็ด	2
33			647	ขท.กาฬสินธุ์	2

ตารางที่ 1-33 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ LCMS (ต่อ)

ดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
1	อุปกรณ์ LCMS	สทล. 1 (เชียงใหม่)	522	ขท.เชียงใหม่ที่ 2	2
2			523	ขท.ลำปางที่ 1	2
3			524	ขท.ลำพูน	2
4			528	ขท.ลำปางที่ 2	2
5		สทล. 2 (แพร่)	531	ขท.แพร่	2
6			533	ขท.เชียงรายที่ 1	2
7			535	ขท.พะเยา	2
8		สทล. 3 (สกลนคร)	639	ขท.มุกดาหาร	2
9			641	ขท.สกลนครที่ 1	2
10			642	ขท.สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	2
11			644	ขท.นครพนม	2
12			646	ขท.หนองคาย	2
13		สทล. 4 (ตาก)	512	ขท.ตากที่ 1	2
14			513	ขท.สุโขทัย	2
15			514	ขท.ตากที่ 2 (แม่สอด)	2
16			517	ขท.กำแพงเพชร	2
17		สทล. 5 (พิษณุโลก)	511	ขท.พิษณุโลกที่ 1	2
18			515	ขท.พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	2
19			519	ขท.พิจิตร	2
20			557	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	2
21		สทล. 6 (เพชรบูรณ์)	551	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1	2
22			552	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	2
23			554	ขท.เลยที่ 1	2
24			555	ขท.เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	2
25		สทล. 7 (ขอนแก่น)	621	ขท.ขอนแก่นที่ 1	2
26			623	ขท.อุดรธานีที่ 1	2
27			624	ขท.อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	2
28			627	ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	2
29			628	ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	2

ตารางที่ 1-33 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ LCMS (ต่อ)

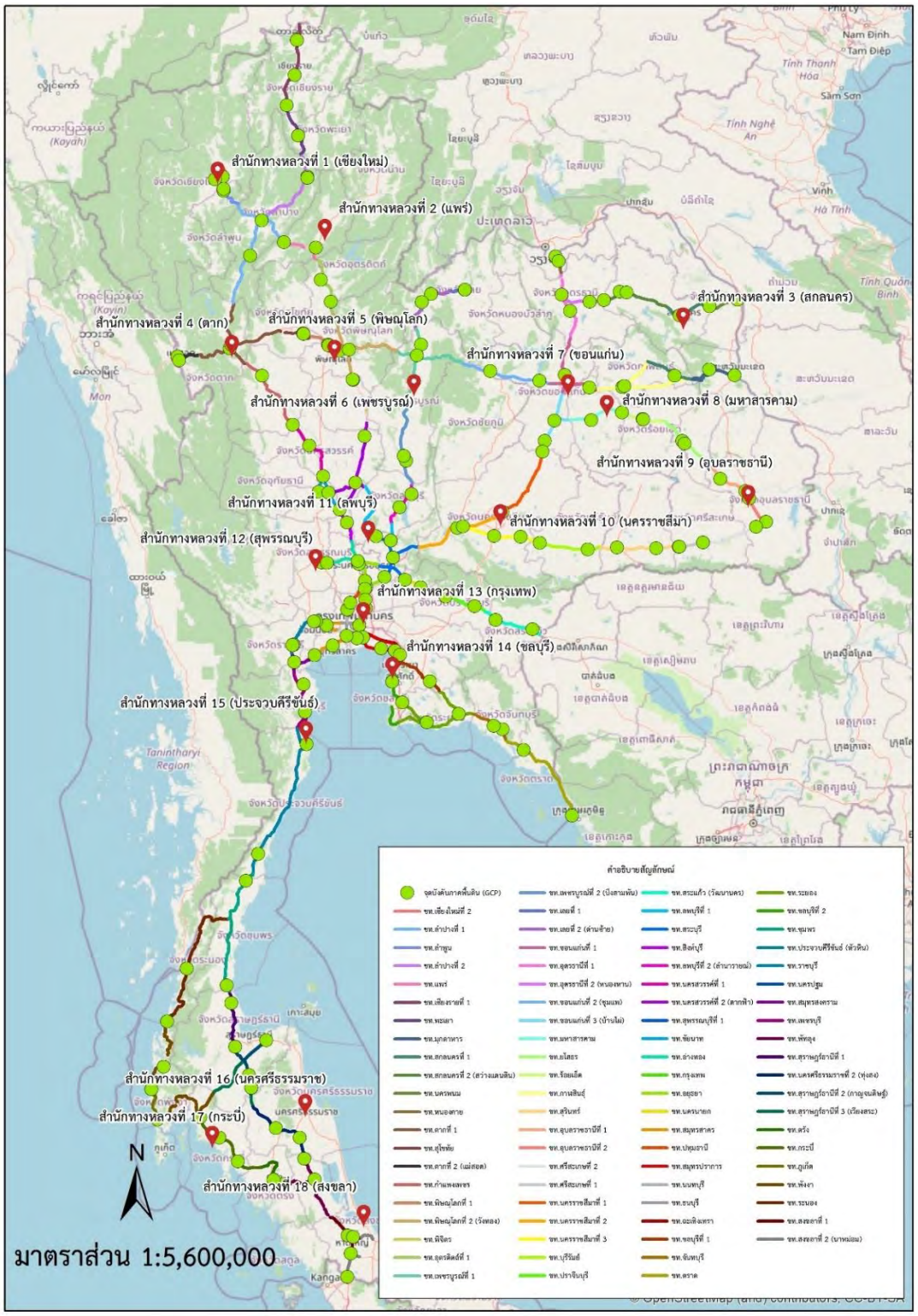
ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
30	อุปกรณ์ LCMS	สทล. 8 (มหาสารคาม)	622	ขท.มหาสารคาม	2
31			633	ขท.ยโสธร	2
32			635	ขท.ร้อยเอ็ด	2
33			647	ขท.กาฬสินธุ์	2
34		สทล. 9 (อุบลราชธานี)	615	ขท.สุรินทร์	2
35			631	ขท.อุบลราชธานีที่ 1	2
36			632	ขท.อุบลราชธานีที่ 2	2
37			636	ขท.ศรีสะเกษที่ 2	2
38			638	ขท.ศรีสะเกษที่ 1	2
39		สทล. 10 (นครราชสีมา)	611	ขท.นครราชสีมาที่ 1	2
40			612	ขท.นครราชสีมาที่ 2	2
41			614	ขท.นครราชสีมาที่ 3	2
42			617	ขท.บุรีรัมย์	2
43			618	ขท.ปราจีนบุรี	2
44			619	ขท.สระแก้ว (วัฒนานคร)	2
45		สทล. 11 (ลพบุรี)	431	ขท.ลพบุรีที่ 1	2
46			432	ขท.สระบุรี	2
47			433	ขท.สิงห์บุรี	2
48			435	ขท.ลพบุรีที่ 2 (ลำนารายณ์)	2
49			437	ขท.นครสวรรค์ที่ 1	2
50			438	ขท.นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	2
51		สทล. 12 (สุพรรณบุรี)	441	ขท.สุพรรณบุรีที่ 1	2
52			446	ขท.ชัยนาท	2
53			448	ขท.อ่างทอง	2
54		สทล. 13 (กรุงเทพ)	411	ขท.กรุงเทพ	2
55		สทล. 13 (กรุงเทพ)	413	ขท.อยุธยา	2

ตารางที่ 1-33 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) อุปกรณ์ LCMS (ต่อ)

ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
56	อุปกรณ์ LCMS	สทล. 13 (กรุงเทพ)	414	ขท.นครนายก	2
57			415	ขท.สมุทรสาคร	2
58			416	ขท.ปทุมธานี	2
59			417	ขท.สมุทรปราการ	2
60			418	ขท.นนทบุรี	2
61			419	ขท.ธนบุรี	2
62		สทล. 14 (ชลบุรี)	421	ขท.ฉะเชิงเทรา	2
63			422	ขท.ชลบุรีที่ 1	2
64			423	ขท.จันทบุรี	2
65			425	ขท.ตราด	2
66			426	ขท.ระยอง	2
67			428	ขท.ชลบุรีที่ 2	2
68		สทล. 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	332	ขท.ชุมพร	2
69			333	ขท.ประจวบคีรีขันธ์ (หัวหิน)	2
70			335	ขท.ราชบุรี	2
71			336	ขท.นครปฐม	2
72			337	ขท.สมุทรสงคราม	2
74		สทล. 16 (นครศรีธรรมราช)	314	ขท.พัทลุง	2
75			325	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 1	2
76			326	ขท.นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง)	2
77			328	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)	2
78			329	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	2
79		สทล. 17 (กระบี่)	322	ขท.ตรัง	2
80			323	ขท.กระบี่	2
81			324	ขท.ภูเก็ต	2
82			327	ขท.พังงา	2
83		สทล. 17 (กระบี่)	331	ขท.ระนอง	2
84		สทล. 18 (สงขลา)	311	ขท.สงขลาที่ 1	2
85			319	ขท.สงขลาที่ 2 (นาหม่อม)	2

การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และที่ปรึกษาทำการเลือกจุดที่จะทำการตรวจสอบ ทั้งสิ้น 170 จุด กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 1-103



รูปที่ 1-103 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ทั้ง 170 จุด

2) จุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และจุดที่ทำการตรวจสอบ ทั้ง 170 จุด ต้องสามารถมองเห็นตำแหน่งจุดตัดทางแยกจากภาพถ่ายทางอากาศ (google map) ได้ชัดเจน
3) นำค่าแสดงจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ มาเปรียบเทียบคำนวณผลต่างในรูปรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) แสดงดังตารางที่ 1-34

ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m2)	(m2)
Point_01	503516.96	2073088.51	503515.59	2073087.34	1.37	1.17	1.8769	1.3689
Point_02	494271.19	2070150.18	494268.50	2070150.37	2.69	-0.19	7.2361	0.0361
Point_03	549349.28	2019413.98	549355.05	2019422.48	-5.77	-8.50	33.2929	72.2500
Point_04	535702.10	1976054.90	535702.21	1976057.11	-0.11	-2.21	0.0121	4.8841
Point_05	504455.37	2055608.37	504455.24	2055612.78	0.13	-4.41	0.0169	19.4481
Point_06	504803.66	2058302.38	504804.22	2058304.04	-0.56	-1.66	0.3136	2.7556
Point_07	602400.57	2073522.69	602400.25	2073523.92	0.32	-1.23	0.1024	1.5129
Point_08	602660.86	2072093.54	602659.10	2072089.25	1.76	4.29	3.0976	18.4041
Point_09	613010.69	1986216.40	613010.14	1986214.73	0.55	1.67	0.3025	2.7889
Point_10	575390.69	1992771.14	575390.50	1992771.24	0.19	-0.10	0.0361	0.0100
Point_11	587265.69	2198402.42	587265.30	2198400.25	0.39	2.17	0.1521	4.7089
Point_12	589686.98	2241212.03	589686.21	2241211.25	0.77	0.78	0.5929	0.6084
Point_13	577820.01	2160922.18	577821.27	2160929.48	-1.26	-7.30	1.5876	53.2900
Point_14	591611.45	2123868.79	591611.20	2123868.29	0.25	0.50	0.0625	0.2500
Point_15	439422.64	1836112.76	439423.89	1836112.55	-1.25	0.21	1.5625	0.0441
Point_16	469024.81	1828923.46	469027.23	1828921.05	-2.42	2.41	5.8564	5.8081
Point_17	398196.04	1828847.48	398198.98	1828846.19	-2.94	1.29	8.6436	1.6641
Point_18	404377.08	1902563.24	404377.46	1902563.88	-0.38	-0.64	0.1444	0.4096
Point_19	334094.32	1932324.59	334093.64	1932323.42	0.68	1.17	0.4624	1.3689
Point_20	342274.98	1931399.54	342270.30	1931400.35	4.68	-0.81	21.9024	0.6561
Point_21	439938.40	1914075.18	439938.91	1914075.28	-0.51	-0.10	0.2601	0.0100
Point_22	473070.19	1921938.84	473076.50	1921939.46	-6.31	-0.62	39.8161	0.3844
Point_23	259025.79	1976455.48	259025.80	1976456.04	-0.01	-0.56	0.0001	0.3136
Point_24	262499.62	1970861.57	262499.85	1970860.33	-0.23	1.24	0.0529	1.5376
Point_25	511897.60	1861911.00	511897.20	1861910.54	0.40	0.46	0.1600	0.2116
Point_26	513553.18	1866861.09	513556.60	1866860.01	-3.42	1.08	11.6964	1.1664
Point_27	598696.04	1880676.00	598695.21	1880676.41	0.83	-0.41	0.6889	0.1681

ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m2)	(m2)
Point_28	599172.16	1880335.16	599173.85	1880331.61	-1.69	3.55	2.8561	12.6025
Point_29	451883.13	1847347.03	451883.37	1847347.03	-0.24	0.00	0.0576	0.0000
Point_30	449982.12	1852080.80	449981.33	1852080.80	0.79	0.00	0.6241	0.0000
Point_31	586959.17	1768202.22	586958.77	1768202.22	0.40	0.00	0.1600	0.0000
Point_32	550090.18	1828383.80	550090.45	1828381.96	-0.27	1.84	0.0729	3.3856
Point_33	628119.21	1867101.44	628119.21	1867100.84	0.00	0.60	0.0000	0.3600
Point_34	628500.71	1866399.68	628500.98	1866399.41	-0.27	0.27	0.0729	0.0729
Point_35	641295.56	1859855.51	641295.56	1859855.51	0.00	0.00	0.0000	0.0000
Point_36	652538.07	1861090.22	652539.16	1861093.07	-1.09	-2.85	1.1881	8.1225
Point_37	657798.87	1823878.75	657799.45	1823877.99	-0.58	0.76	0.3364	0.5776
Point_38	657578.65	1824310.48	657578.66	1824309.60	-0.01	0.88	0.0001	0.7744
Point_39	631003.21	1920005.61	631004.51	1920004.34	-1.30	1.27	1.6900	1.6129
Point_40	619187.55	1946964.72	619188.52	1946966.35	-0.97	-1.63	0.9409	2.6569
Point_41	733221.36	1854715.35	733221.96	1854714.49	-0.60	0.86	0.3600	0.7396
Point_42	737981.05	1868070.65	737981.05	1868070.30	0.00	0.35	0.0000	0.1225
Point_43	721775.45	1724786.28	721776.22	1724784.05	-0.77	2.23	0.5929	4.9729
Point_44	718955.60	1730918.68	718957.33	1730918.39	-1.73	0.29	2.9929	0.0841
Point_45	788669.13	1936383.39	788667.46	1936383.51	1.67	-0.12	2.7889	0.0144
Point_46	788660.78	1936405.60	788661.47	1936405.61	-0.69	-0.01	0.4761	0.0001
Point_47	748971.98	1930643.63	748975.20	1930642.76	-3.22	0.87	10.3684	0.7569
Point_48	738521.14	1920433.96	738521.91	1920437.01	-0.77	-3.05	0.5929	9.3025
Point_49	268263.99	1830515.19	268264.44	1830515.41	-0.45	-0.22	0.2025	0.0484
Point_50	297123.57	1815120.93	297123.18	1815120.55	0.39	0.38	0.1521	0.1444
Point_51	275348.67	1909468.87	275342.33	1909473.85	6.34	-4.98	40.1956	24.8004
Point_52	265507.27	1929429.49	265507.51	1929429.25	-0.24	0.24	0.0576	0.0576
Point_53	298723.13	1920337.51	298722.50	1920337.83	0.63	-0.32	0.3969	0.1024
Point_54	315397.26	1922161.23	315399.53	1922162.33	-2.27	-1.10	5.1529	1.2100
Point_55	179867.92	1836436.26	179867.28	1836436.90	0.64	-0.64	0.4096	0.4096
Point_56	238094.07	1824194.00	238093.93	1824193.86	0.14	0.14	0.0196	0.0196
Point_57	243729.57	1750059.14	243728.87	1750058.91	0.70	0.23	0.4900	0.0529
Point_58	255464.59	1774899.41	255469.10	1774900.36	-4.51	-0.95	20.3401	0.9025
Point_59	299311.05	1774834.70	299311.97	1774834.70	-0.92	0.00	0.8464	0.0000

ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m2)	(m2)
Point_60	335812.32	1783973.82	335813.43	1783972.25	-1.11	1.57	1.2321	2.4649
Point_61	406953.34	1748509.42	406952.70	1748508.57	0.64	0.85	0.4096	0.7225
Point_62	409572.18	1745184.81	409567.05	1745189.23	5.13	-4.42	26.3169	19.5364
Point_63	360240.52	1775552.69	360241.19	1775552.65	-0.67	0.04	0.4489	0.0016
Point_64	360618.70	1775453.45	360618.63	1775452.89	0.07	0.56	0.0049	0.3136
Point_65	336378.71	1815044.90	336375.62	1815043.51	3.09	1.39	9.5481	1.9321
Point_66	338633.38	1816649.86	338632.02	1816650.13	1.36	-0.27	1.8496	0.0729
Point_67	328456.98	1618043.30	328457.60	1618043.91	-0.62	-0.61	0.3844	0.3721
Point_68	375437.24	1616764.19	375433.22	1616764.22	4.02	-0.03	16.1604	0.0009
Point_69	451973.13	1701933.27	451970.70	1701938.12	2.43	-4.85	5.9049	23.5225
Point_70	482016.75	1686740.48	482015.47	1686740.67	1.28	-0.19	1.6384	0.0361
Point_71	506479.90	1648833.64	506483.68	1648840.48	-3.78	-6.84	14.2884	46.7856
Point_72	486285.79	1677736.36	486286.24	1677735.47	-0.45	0.89	0.2025	0.7921
Point_73	431327.00	1623678.41	431327.48	1623677.54	-0.48	0.87	0.2304	0.7569
Point_74	494456.95	1642674.49	494456.72	1642673.82	0.23	0.67	0.0529	0.4489
Point_75	402606.18	1618683.44	402603.02	1618683.99	3.16	-0.55	9.9856	0.3025
Point_76	403031.06	1618639.01	403030.62	1618639.67	0.44	-0.66	0.1936	0.4356
Point_77	191985.26	1662975.58	191987.68	1662978.06	-2.42	-2.48	5.8564	6.1504
Point_78	240816.13	1736661.54	240816.69	1736662.88	-0.56	-1.34	0.3136	1.7956
Point_79	783587.07	1643085.98	783590.27	1643087.52	-3.20	-1.54	10.2400	2.3716
Point_80	790470.79	1644884.80	790471.58	1644884.97	-0.79	-0.17	0.6241	0.0289
Point_81	181569.96	1633640.33	181561.10	1633642.41	8.86	-2.08	78.4996	4.3264
Point_82	213434.18	1632409.72	213434.44	1632408.65	-0.26	1.07	0.0676	1.1449
Point_83	236387.35	1624447.14	236385.02	1624448.41	2.33	-1.27	5.4289	1.6129
Point_84	293574.93	1616002.20	293573.01	1616003.38	1.92	-1.18	3.6864	1.3924
Point_85	770692.61	1558450.91	770692.52	1558451.41	0.09	-0.50	0.0081	0.2500
Point_86	805280.63	1547031.42	805282.56	1547030.38	-1.93	1.04	3.7249	1.0816
Point_87	182403.17	1530471.48	182403.31	1530471.88	-0.14	-0.40	0.0196	0.1600
Point_88	226160.74	1518346.52	226160.30	1518346.20	0.44	0.32	0.1936	0.1024
Point_89	686723.65	1631975.43	686723.65	1631975.56	0.00	-0.13	0.0000	0.0169
Point_90	704473.77	1626839.79	704473.27	1626838.78	0.50	1.01	0.2500	1.0201

ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m2)	(m2)
Point_91	697264.55	1582073.95	697263.38	1582072.17	1.17	1.78	1.3689	3.1684
Point_92	707137.18	1606160.71	707136.51	1606160.71	0.67	0.00	0.4489	0.0000
Point_93	651793.87	1648293.88	651795.50	1648292.37	-1.63	1.51	2.6569	2.2801
Point_94	642823.21	1664377.98	642822.75	1664377.98	0.46	0.00	0.2116	0.0000
Point_95	714453.65	1667813.61	714454.07	1667813.89	-0.42	-0.28	0.1764	0.0784
Point_96	728543.64	1683784.64	728543.62	1683787.01	0.02	-2.37	0.0004	5.6169
Point_97	622980.71	1705290.53	622980.32	1705290.24	0.39	0.29	0.1521	0.0841
Point_98	606259.78	1743025.64	606261.15	1743023.63	-1.37	2.01	1.8769	4.0401
Point_99	661458.15	1697393.13	661457.49	1697394.04	0.66	-0.91	0.4356	0.8281
Point_100	671975.98	1754764.78	671976.52	1754765.15	-0.54	-0.37	0.2916	0.1369
Point_101	621973.52	1599420.04	621973.53	1599419.52	-0.01	0.52	0.0001	0.2704
Point_102	628246.77	1599048.42	628247.27	1599048.42	-0.50	0.00	0.2500	0.0000
Point_103	618057.44	1686086.40	618057.44	1686086.01	0.00	0.39	0.0000	0.1521
Point_104	629546.98	1685072.00	629547.98	1685069.22	-1.00	2.78	1.0000	7.7284
Point_105	666189.85	1597644.28	666189.69	1597643.08	0.16	1.20	0.0256	1.4400
Point_106	664796.92	1601659.02	664796.54	1601659.02	0.38	0.00	0.1444	0.0000
Point_107	667309.02	1522185.79	667309.96	1522186.42	-0.94	-0.63	0.8836	0.3969
Point_108	675074.93	1543624.86	675075.07	1543624.41	-0.14	0.45	0.0196	0.2025
Point_109	675173.20	1568494.92	675172.38	1568493.69	0.82	1.23	0.6724	1.5129
Point_110	674081.17	1577009.65	674081.05	1577009.41	0.12	0.24	0.0144	0.0576
Point_111	721867.00	1578956.28	721867.57	1578955.72	-0.57	0.56	0.3249	0.3136
Point_112	740745.82	1569636.65	740745.03	1569636.33	0.79	0.32	0.6241	0.1024
Point_113	635582.98	1497658.82	635582.99	1497658.58	-0.01	0.24	0.0001	0.0576
Point_114	628190.11	1521850.97	628190.27	1521851.29	-0.16	-0.32	0.0256	0.1024
Point_115	674557.19	1554063.07	674557.95	1554061.87	-0.76	1.20	0.5776	1.4400
Point_116	674143.37	1567106.66	674143.59	1567107.02	-0.22	-0.36	0.0484	0.1296
Point_117	671972.16	1507551.26	671972.62	1507551.12	-0.46	0.14	0.2116	0.0196
Point_118	693861.69	1494494.86	693860.98	1494493.59	0.71	1.27	0.5041	1.6129
Point_119	653150.50	1541415.40	653150.30	1541415.30	0.20	0.10	0.0400	0.0100
Point_120	656805.42	1550024.73	656805.29	1550025.70	0.13	-0.97	0.0169	0.9409
Point_121	664720.87	1506754.28	664721.12	1506754.28	-0.25	0.00	0.0625	0.0000
Point_122	652152.12	1509372.92	652152.89	1509371.42	-0.77	1.50	0.5929	2.2500

ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m2)	(m2)
Point_123	710557.08	1491808.82	710556.61	1491808.11	0.47	0.71	0.2209	0.5041
Point_124	710550.08	1491829.83	710549.85	1491829.36	0.23	0.47	0.0529	0.2209
Point_125	716527.64	1486880.11	716527.40	1486880.47	0.24	-0.36	0.0576	0.1296
Point_126	752869.50	1454611.54	752870.25	1454610.56	-0.75	0.98	0.5625	0.9604
Point_127	178425.02	1400290.20	178423.81	1400290.61	1.21	-0.41	1.4641	0.1681
Point_128	189085.03	1396104.99	189087.35	1396107.44	-2.32	-2.45	5.3824	6.0025
Point_129	214144.57	1370639.62	214145.67	1370637.15	-1.10	2.47	1.2100	6.1009
Point_130	271859.57	1289462.20	271859.35	1289462.99	0.22	-0.79	0.0484	0.6241
Point_131	749447.66	1403861.33	749448.52	1403861.05	-0.86	0.28	0.7396	0.0784
Point_132	787797.09	1414608.99	787796.93	1414609.31	0.16	-0.32	0.0256	0.1024
Point_133	707616.97	1453851.93	707615.80	1453849.41	1.17	2.52	1.3689	6.3504
Point_134	719561.02	1428518.08	719560.94	1428517.42	0.08	0.66	0.0064	0.4356
Point_135	531634.44	1208127.32	531634.44	1208127.60	0.00	-0.28	0.0000	0.0784
Point_136	508701.69	1079502.30	508701.69	1079501.55	0.00	0.75	0.0000	0.5625
Point_137	604565.16	1376317.57	604564.66	1376315.38	0.50	2.19	0.2500	4.7961
Point_138	546498.93	1241225.76	546498.81	1241226.48	0.12	-0.72	0.0144	0.5184
Point_139	588829.06	1498230.10	588828.44	1498230.31	0.62	-0.21	0.3844	0.0441
Point_140	587084.40	1497571.57	587083.82	1497570.84	0.58	0.73	0.3364	0.5329
Point_141	615634.20	1527097.27	615636.81	1527097.80	-2.61	-0.53	6.8121	0.2809
Point_142	612807.41	1526482.57	612809.58	1526482.79	-2.17	-0.22	4.7089	0.0484
Point_143	589440.38	1476929.69	589439.73	1476928.88	0.65	0.81	0.4225	0.6561
Point_144	614191.96	1485497.08	614183.84	1485498.14	8.12	-1.06	65.9344	1.1236
Point_145	602912.05	1415985.80	602913.11	1415984.50	-1.06	1.30	1.1236	1.6900
Point_146	600881.61	1449869.90	600879.69	1449877.06	1.92	-7.16	3.6864	51.2656
Point_147	603569.20	866769.18	603570.81	866767.98	-1.61	1.20	2.5921	1.4400
Point_148	616175.02	841438.76	616175.60	841437.61	-0.58	1.15	0.3364	1.3225
Point_149	514262.19	1057777.91	514261.92	1057778.86	0.27	-0.95	0.0729	0.9025
Point_150	518764.94	1004213.91	518765.21	1004213.10	-0.27	0.81	0.0729	0.6561
Point_151	568481.41	904356.33	568480.90	904355.56	0.51	0.77	0.2601	0.5929
Point_152	598012.58	892560.53	598011.19	892564.49	1.39	-3.96	1.9321	15.6816
Point_153	535581.70	969645.46	535581.46	969645.46	0.24	0.00	0.0576	0.0000
Point_154	556655.40	1012348.55	556657.68	1012347.26	-2.28	1.29	5.1984	1.6641

ตารางที่ 1-34 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m2)	(m2)
Point_155	538688.64	954065.53	538688.64	954065.98	0.00	-0.45	0.0000	0.2025
Point_156	538749.26	954081.93	538749.26	954082.68	0.00	-0.75	0.0000	0.5625
Point_157	566066.34	840813.95	566065.72	840816.12	0.62	-2.17	0.3844	4.7089
Point_158	577917.80	835905.34	577925.64	835903.91	-7.84	1.43	61.4656	2.0449
Point_159	499503.89	892463.06	499504.01	892463.17	-0.12	-0.11	0.0144	0.0121
Point_160	522097.07	863233.25	522096.12	863233.53	0.95	-0.28	0.9025	0.0784
Point_161	416735.18	952010.56	416737.82	952005.18	-2.64	5.38	6.9696	28.9444
Point_162	424115.89	915021.66	424121.07	915022.38	-5.18	-0.72	26.8324	0.5184
Point_163	431726.94	979957.79	431722.86	979954.02	4.08	3.77	16.6464	14.2129
Point_164	476116.89	917768.95	476121.00	917768.94	-4.11	0.01	16.8921	0.0001
Point_165	459958.25	1100283.88	459958.48	1100285.25	-0.23	-1.37	0.0529	1.8769
Point_166	436091.36	1035428.16	436100.87	1035434.16	-9.51	-6.00	90.4401	36.0000
Point_167	657025.78	772620.27	657026.10	772619.33	-0.32	0.94	0.1024	0.8836
Point_168	663320.00	770958.19	663320.00	770957.80	0.00	0.39	0.0000	0.1521
Point_169	656740.60	721978.78	656740.61	721975.25	-0.01	3.53	0.0001	12.4609
Point_170	660590.07	750633.72	660590.62	750633.18	-0.55	0.54	0.3025	0.2916
						Sum	**772.1257**	**633.3731**
						mean	**4.5419**	**3.7257**
						RMSE-E	**2.1312**	
						RMSE-N		**1.9302**
						RMSE	**2.8754**	

โดยแสดงรายละเอียดหัวตารางดังนี้

Point หมายถึง ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบ

E และ N (Survey) หมายถึง ค่า E และ N ของข้อมูลสำรวจ

E และ N (GCP) หมายถึง จุดค่า E และ N ของจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน

ΔE หมายถึง ผลต่าง E

ΔN หมายถึง ผลต่าง N

ตารางที่ 1-35 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) Laser Profiler คันที่ 2

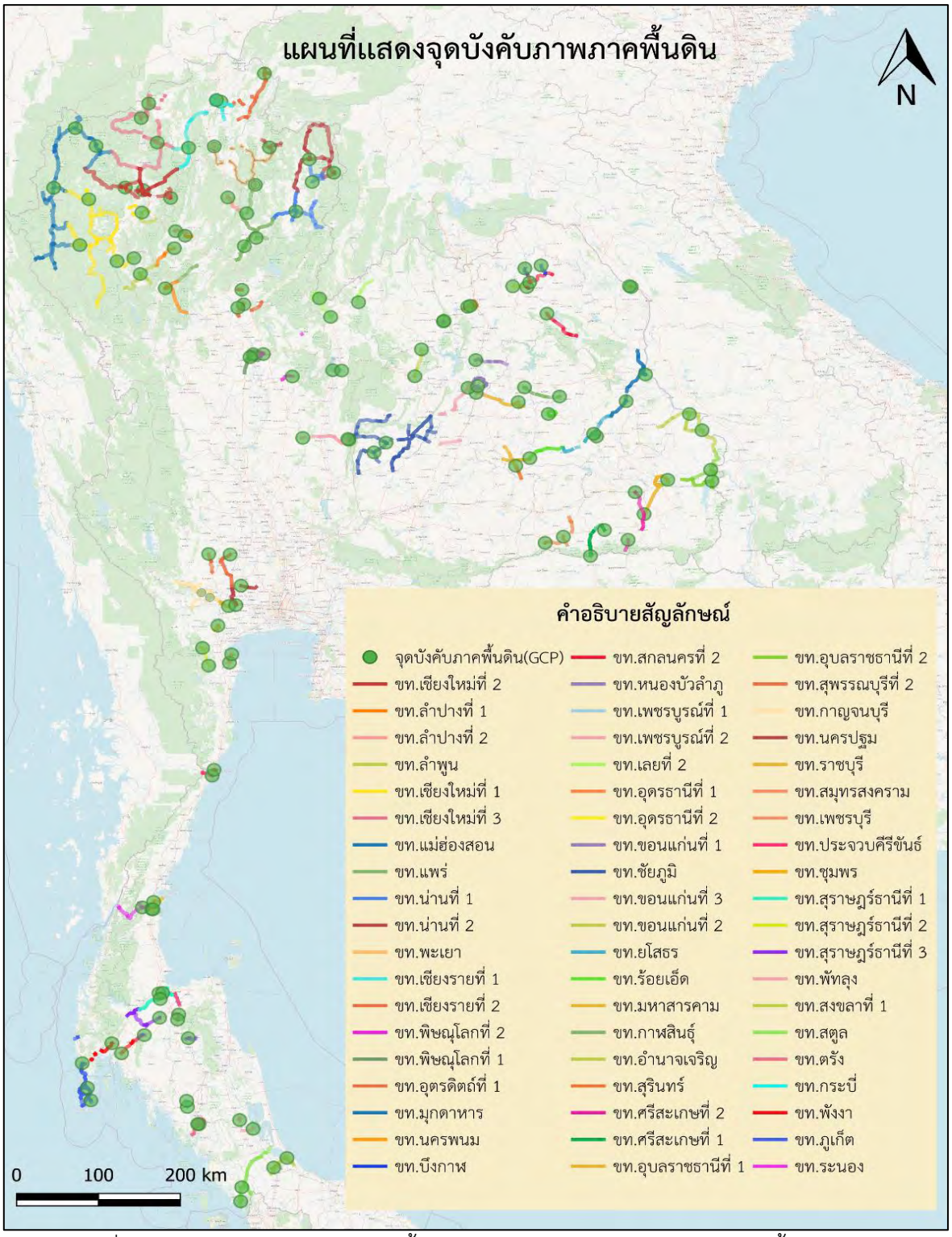
ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
1	Laser Profiler คันที่ 2	สทล. 1 (เชียงใหม่)	522	ขท.เชียงใหม่ที่ 2	3
2			523	ขท.ลำปางที่ 1	3
3			528	ขท.ลำปางที่ 2	2
4			524	ขท.ลำปางที่ 2	3
5			521	ขท.เชียงใหม่ที่ 1	3
6			527	ขท.เชียงใหม่ที่ 3	3
7			526	ขท.แม่ฮ่องสอน	3
8		สทล. 2 (แพร่)	531	ขท.แพร่	3
9			536	ขท.น่านที่ 1	2
10			539	ขท.น่านที่ 2	3
11			535	ขท.พะเยา	2
12			533	ขท.เชียงรายที่ 1	2
13			537	ขท.เชียงรายที่ 2	2
14		สทล. 5 (พิษณุโลก)	515	ขท.พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	2
15			511	ขท.พิษณุโลกที่ 1	2
16			557	ขท.อุตรดิตถ์ที่ 1	3
17		สทล. 3 (สกลนคร)	639	ขท.มุกดาหาร	2
18			644	ขท.นครพนม	2
19			643	ขท.บึงกาฬ	2
20	Laser Profiler คันที่ 2	สทล. 3 (สกลนคร)	642	ขท.สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	2
21		สทล. 6 (เพชรบูรณ์)	629	ขท.หนองบัวลำภู	2
22			551	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 1	2
23			552	ขท.เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	2
24			555	ขท.เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	3
25		สทล. 7 (ขอนแก่น)	623	ขท.อุดรธานีที่ 1	2
26			624	ขท.อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	2
27			621	ขท.ขอนแก่นที่ 1	2
28		สทล. 7 (ขอนแก่น)	626	ขท.ชัยภูมิ	3
29			628	ขท.ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	2
30			627	ขท.ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	2

ตารางที่ 1-35 แสดงรายชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE) Laser Profiler คันที่ 2 (ต่อ)

ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
31		สทล. 8 (มหาสารคาม)	622	ขท.มหาสารคาม	2
32			633	ขท.ยโสธร	2
33			635	ขท.ร้อยเอ็ด	2
34			647	ขท.กาฬสินธุ์	2
35		สทล. 9 (อุบลราชธานี)	634	ขท.อำนาจเจริญ	2
36			615	ขท.สุรินทร์	2
37			631	ขท.อุบลราชธานีที่ 1	2
38		สทล. 9 (อุบลราชธานี)	632	ขท.อุบลราชธานีที่ 2	2
39			636	ขท.ศรีสะเกษที่ 2	2
40			638	ขท.ศรีสะเกษที่ 1	2
41		สทล. 12 (สุพรรณบุรี)	445	ขท.สุพรรณบุรีที่ 2 (อู่ทอง)	2
42			444	ขท.กาญจนบุรี	2
43	Laser Profiler คันที่ 2	สทล. 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	336	ขท.นครปฐม	2
44			335	ขท.ราชบุรี	2
45			337	ขท.สมุทรสงคราม	2
46			338	ขท.เพชรบุรี	2
47			333	ขท.ประจวบคีรีขันธ์ (หัวหิน)	2
48			332	ขท.ชุมพร	2
49		สทล. 16 (นครศรีธรรมราช)	325	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 1	3
50			328	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)	2
51			329	ขท.สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	3
52			314	ขท.พัทลุง	2
53		สทล. 18 (สงขลา)	311	ขท.สงขลาที่ 1	2
54			318	ขท.สตูล	2
55	Laser Profiler คันที่ 2	สทล. 17 (กระบี่)	322	ขท.ตรัง	2
56			323	ขท.กระบี่	2
57			327	ขท.พังงา	2
58			324	ขท.ภูเก็ต	3
59			331	ขท.ระนอง	2

การตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งมีขั้นตอนดังนี้

1) กำหนดจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และที่ปรึกษาทำการเลือกจุดที่จะทำการตรวจสอบ ทั้งสิ้น 131 จุด กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในพื้นที่ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 1-104



รูปที่ 1-104 แสดงจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) ทั้ง 131 จุด

2) จุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และจุดที่ทำการตรวจสอบ ทั้ง 131 จุด ต้องสามารถมองเห็นตำแหน่งจุดตัดทางแยกจากภาพถ่ายทางอากาศ (google map) ได้ชัดเจน
3) นำค่า แสดงจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ มาเปรียบเทียบคำนวณผลต่างในรูปรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) แสดงดังตารางที่ 1-36

ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_01	476157.000	2083710.100	476153.400	2083706.900	3.600	3.200	12.960	10.240
Point_02	498308.500	2080044.700	498311.000	2080041.100	-2.500	3.600	6.250	12.960
Point_03	531842.600	2069812.400	531846.300	2069813.300	-3.700	-0.900	13.690	0.810
Point_04	549468.800	2019438.800	549466.100	2019451.000	2.700	-12.200	7.290	148.840
Point_05	536384.100	2002771.500	536383.300	2002774.800	0.800	-3.300	0.640	10.890
Point_06	525307.600	1949259.100	525313.600	1949256.200	-6.000	2.900	36.000	8.410
Point_07	601967.000	2070494.000	601962.100	2070496.700	4.900	-2.700	24.010	7.290
Point_08	537947.230	2025439.590	537945.960	2025439.300	1.270	0.290	1.613	0.084
Point_09	496700.000	2050369.900	496694.400	2050367.600	5.600	2.300	31.360	5.290
Point_10	486857.100	1989445.100	486862.100	1989444.900	-5.000	0.200	25.000	0.040
Point_11	494646.290	1968336.880	494645.170	1968338.460	1.120	-1.580	1.254	2.496
Point_12	431608.600	2068055.700	431610.800	2068061.700	-2.200	-6.000	4.840	36.000
Point_13	466141.000	1985404.000	466145.900	1985404.400	-4.900	-0.400	24.010	0.160
Point_14	420592.100	2006904.700	420593.900	2006898.800	-1.800	5.900	3.240	34.810
Point_15	504979.300	2195858.700	504973.400	2195862.300	5.900	-3.600	34.810	12.960
Point_16	495735.300	2176467.100	495740.000	2176461.800	-4.700	5.300	22.090	28.090
Point_17	515470.300	2143680.600	515471.800	2143677.200	-1.500	3.400	2.250	11.560
Point_18	440466.400	2139208.600	440466.700	2139206.000	-0.300	2.600	0.090	6.760
Point_19	415110.900	2162885.400	415114.500	2162882.400	-3.600	3.000	12.960	9.000

ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_20	388564.600	2083351.600	388558.000	2083349.600	6.600	2.000	43.560	4.000
Point_21	624943.700	2049379.700	624940.600	2049379.400	3.100	0.300	9.610	0.090
Point_22	636512.400	2016495.300	636515.300	2016492.000	-2.900	3.300	8.410	10.890
Point_23	622067.800	2005473.200	622074.700	2005467.100	-6.900	6.100	47.610	37.210
Point_24	705241.200	2091194.000	705242.400	2091191.900	-1.200	2.100	1.440	4.410
Point_25	685331.100	2051907.800	685327.800	2051904.200	3.300	3.600	10.890	12.960
Point_26	652842.600	2137241.600	652848.100	2137249.900	-5.500	-8.300	30.250	68.890
Point_27	701543.500	2121418.800	701538.400	2121411.100	5.100	7.700	26.010	59.290
Point_28	731661.400	2103492.400	731666.200	2103493.400	-4.800	-1.000	23.040	1.000
Point_29	585269.900	2138590.200	585269.600	2138593.100	0.300	-2.900	0.090	8.410
Point_30	635533.800	2087265.700	635527.000	2087271.900	6.800	-6.200	46.240	38.440
Point_31	587855.300	2200437.400	587854.200	2200437.200	1.100	0.200	1.210	0.040
Point_32	553860.300	2136823.300	553860.300	2136831.300	0.000	-8.000	0.000	64.000
Point_33	646734.200	2235951.900	646728.600	2235953.400	5.600	-1.500	31.360	2.250
Point_34	593379.000	2198330.200	593378.300	2198327.500	0.700	2.700	0.490	7.290
Point_35	680894.730	1831522.240	680896.100	1831522.070	-1.370	0.170	1.877	0.029
Point_36	645403.300	1861526.700	645407.900	1861531.300	-4.600	-4.600	21.160	21.160
Point_37	633036.300	1861278.100	633033.300	1861280.600	3.000	-2.500	9.000	6.250
Point_38	629045.000	1857250.100	629042.500	1857248.300	2.500	1.800	6.250	3.240
Point_39	621362.600	1927736.000	621361.500	1927737.000	1.100	-1.000	1.210	1.000
Point_40	619147.140	1947215.870	619151.900	1947215.600	-4.760	0.270	22.658	0.073
Point_41	614105.900	1923302.200	614109.100	1923303.000	-3.200	-0.800	10.240	0.640
Point_42	472269.800	1825457.400	472271.800	1825455.300	-2.000	2.100	4.000	4.410

ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_43	447656.200	1790740.600	447653.500	1790740.300	2.700	0.300	7.290	0.090
Point_44	458468.200	1942064.500	458468.000	1942062.600	0.200	1.900	0.040	3.610
Point_45	456490.700	1943429.800	456488.800	1943428.700	1.900	1.100	3.610	1.210
Point_46	349399.200	1974382.500	349402.500	1974381.000	-3.300	1.500	10.890	2.250
Point_47	329545.700	1971058.000	329539.900	1971062.500	5.800	-4.500	33.640	20.250
Point_48	354645.700	1909990.600	354648.500	1909996.200	-2.800	-5.600	7.840	31.360
Point_49	334812.800	1952238.100	334818.200	1952238.700	-5.400	-0.600	29.160	0.360
Point_50	227805.800	1903488.600	227808.200	1903490.700	-2.400	-2.100	5.760	4.410
Point_51	228356.800	1904361.500	228359.900	1904363.600	-3.100	-2.100	9.610	4.410
Point_52	730463.000	1839847.000	730472.000	1839852.000	-9.000	-5.000	81.000	25.000
Point_53	741389.300	1839434.800	741383.500	1839433.600	5.800	1.200	33.640	1.440
Point_54	693703.900	1749647.300	693720.000	1749646.000	-16.100	1.300	259.210	1.690
Point_55	749047.900	1748170.500	749050.200	1748169.100	-2.300	1.400	5.290	1.960
Point_56	714149.500	1935758.200	714147.900	1935758.200	1.600	0.000	2.560	0.000
Point_57	762017.500	1930624.900	762018.300	1930621.700	-0.800	3.200	0.640	10.240
Point_58	727824.200	1910955.400	727828.900	1910951.900	-4.700	3.500	22.090	12.250
Point_59	258052.600	1922072.500	258052.700	1922072.500	-0.100	0.000	0.010	0.000
Point_60	261133.120	1923281.050	261134.510	1923281.510	-1.390	-0.460	1.932	0.212
Point_61	313982.700	1947692.200	313979.900	1947692.900	2.800	-0.700	7.840	0.490
Point_62	331207.200	1946093.300	331209.100	1946092.400	-1.900	0.900	3.610	0.810
Point_63	265728.600	1850889.700	265724.400	1850888.300	4.200	1.400	17.640	1.960
Point_64	267031.600	1816069.700	267034.400	1816072.500	-2.800	-2.800	7.840	7.840
Point_65	795558.000	1743146.200	795558.000	1743149.700	0.000	-3.500	0.000	12.250

ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_66	780918.200	1730300.000	780918.800	1730304.600	-0.600	-4.600	0.360	21.160
Point_67	750249.600	1746995.800	750251.100	1746991.400	-1.500	4.400	2.250	19.360
Point_68	264923.600	1807072.700	264920.600	1807072.700	3.000	0.000	9.000	0.000
Point_69	255194.900	1814252.300	255195.900	1814254.000	-1.000	-1.700	1.000	2.890
Point_70	190509.940	1831455.320	190509.430	1831454.550	0.510	0.770	0.260	0.593
Point_71	199731.500	1867158.200	199735.500	1867159.800	-4.000	-1.600	16.000	2.560
Point_72	410238.700	1744855.000	410241.900	1744856.100	-3.200	-1.100	10.240	1.210
Point_73	406950.200	1748491.600	406952.100	1748491.900	-1.900	-0.300	3.610	0.090
Point_74	327957.600	1718349.300	327954.300	1718352.600	3.300	-3.300	10.890	10.890
Point_75	352250.000	1776481.700	352253.700	1776482.000	-3.700	-0.300	13.690	0.090
Point_76	316014.600	1793457.500	316017.200	1793457.100	-2.600	0.400	6.760	0.160
Point_77	310464.900	1708695.100	310465.600	1708695.800	-0.700	-0.700	0.490	0.490
Point_78	324198.900	1812697.700	324200.200	1812699.000	-1.300	-1.300	1.690	1.690
Point_79	366603.600	1799319.600	366603.600	1799324.000	0.000	-4.400	0.000	19.360
Point_80	524332.000	1771474.500	524329.900	1771475.100	2.100	-0.600	4.410	0.360
Point_81	539087.700	1749479.600	539090.500	1749480.500	-2.800	-0.900	7.840	0.810
Point_82	343611.000	1605119.100	343613.100	1605114.800	-2.100	4.300	4.410	18.490
Point_83	366122.800	1612695.100	366126.000	1612699.200	-3.200	-4.100	10.240	16.810
Point_84	455420.700	1669444.300	455419.900	1669447.900	0.800	-3.600	0.640	12.960
Point_85	445004.500	1606594.300	445000.100	1606595.600	4.400	-1.300	19.360	1.690
Point_86	416412.500	1620260.500	416412.100	1620259.700	0.400	0.800	0.160	0.640
Point_87	398469.700	1586182.800	398467.400	1586178.200	2.300	4.600	5.290	21.160
Point_88	465367.100	1640174.600	465369.200	1640173.600	-2.100	1.000	4.410	1.000

ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2	ΔN^2
	Survey	Survey	GCP	GCP			(m)	(m)
Point_89	495391.000	1684797.900	495392.500	1684796.100	-1.500	1.800	2.250	3.240
Point_90	549201.400	1681787.100	549201.000	1681785.400	0.400	1.700	0.160	2.890
Point_91	548175.250	1696726.170	548174.400	1696726.450	0.850	-0.280	0.722	0.078
Point_92	604707.400	1593830.300	604708.200	1593831.800	-0.800	-1.500	0.640	2.250
Point_93	578443.600	1594619.600	578443.600	1594622.100	0.000	-2.500	0.000	6.250
Point_94	579919.800	1536575.100	579919.000	1536575.900	0.800	-0.800	0.640	0.640
Point_95	569611.000	1542948.300	569612.100	1542948.700	-1.100	-0.400	1.210	0.160
Point_96	611710.900	1526363.300	611708.500	1526362.400	2.400	0.900	5.760	0.810
Point_97	617999.700	1552326.300	617996.700	1552323.900	3.000	2.400	9.000	5.760
Point_98	602670.500	1525010.000	602669.700	1525006.600	0.800	3.400	0.640	11.560
Point_99	589766.600	1499032.800	589766.200	1499033.900	0.400	-1.100	0.160	1.210
Point_100	570975.600	1469351.500	570975.400	1469350.700	0.200	0.800	0.040	0.640
Point_101	578361.600	1445622.600	578357.300	1445618.300	4.300	4.300	18.490	18.490
Point_102	603853.700	1449476.500	603854.900	1449475.900	-1.200	0.600	1.440	0.360
Point_103	606599.400	1460650.700	606599.700	1460652.400	-0.300	-1.700	0.090	2.890
Point_104	584982.000	1306604.800	584983.200	1306599.400	-1.200	5.400	1.440	29.160
Point_105	510948.000	1130300.700	510948.800	1130303.000	-0.800	-2.300	0.640	5.290
Point_106	510190.100	1120420.500	510192.400	1120419.700	-2.300	0.800	5.290	0.640
Point_107	517585.800	1008363.900	517587.500	1008364.200	-1.700	-0.300	2.890	0.090
Point_108	522038.890	1008778.770	522044.920	1008787.300	-6.030	-8.530	36.361	72.761
Point_109	519053.400	1000669.600	519059.900	1000673.300	-6.500	-3.700	42.250	13.690
Point_110	541676.500	980009.600	541677.400	980010.600	-0.900	-1.000	0.810	1.000
Point_111	540329.800	973194.200	540329.300	973190.300	0.500	3.900	0.250	15.210

ตารางที่ 1-36 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2 (m)	ΔN^2 (m)
	Survey	Survey	GCP	GCP				
Point_112	499573.400	952552.200	499576.800	952547.800	-3.400	4.400	11.560	19.360
Point_113	518382.300	975630.300	518380.700	975628.800	1.600	1.500	2.560	2.250
Point_114	553429.300	948456.100	553429.600	948454.800	-0.300	1.300	0.090	1.690
Point_115	616363.900	839150.300	616358.200	839149.900	5.700	0.400	32.490	0.160
Point_116	632852.300	827358.800	632849.500	827358.800	2.800	0.000	7.840	0.000
Point_117	658106.400	775815.600	658104.500	775814.200	1.900	1.400	3.610	1.960
Point_118	674356.400	788568.000	674357.500	788568.000	-1.100	0.000	1.210	0.000
Point_119	619015.400	749508.000	619010.900	749509.600	4.500	-1.600	20.250	2.560
Point_120	617643.600	730588.400	617646.800	730589.600	-3.200	-1.200	10.240	1.440
Point_121	565047.700	833865.300	565051.900	833865.300	-4.200	0.000	17.640	0.000
Point_122	566610.400	833555.200	566608.100	833556.100	2.300	-0.900	5.290	0.810
Point_123	552358.200	856647.600	552358.700	856645.000	-0.500	2.600	0.250	6.760
Point_124	551390.200	864899.200	551391.200	864897.900	-1.000	1.300	1.000	1.690
Point_125	471706.000	928193.300	471703.600	928191.700	2.400	1.600	5.760	2.560
Point_126	459981.900	941697.100	459983.700	941696.800	-1.800	0.300	3.240	0.090
Point_127	423528.200	915084.900	423527.200	915086.400	1.000	-1.500	1.000	2.250
Point_128	434088.500	865469.400	434088.100	865469.400	0.400	0.000	0.160	0.000
Point_129	429877.000	882218.200	429880.000	882223.500	-3.000	-5.300	9.000	28.090
Point_130	497148.100	1122968.600	497151.500	1122969.200	-3.400	-0.600	11.560	0.360
Point_131	508732.500	1120497.600	508732.500	1120499.400	0.000	-1.800	0.000	3.240
						Sum	**1581.027**	**1271.556**
						Mean	**13.399**	**10.776**
						RMSE(E)	**3.660**	
						RMSE(N)		**3.283**
						RMSE	**4.917**	

โดยแสดงรายละเอียดหัวตารางดังนี้

Point หมายถึง ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบ

E และ N (Survey) หมายถึง ค่า E และ N ของข้อมูลสำรวจ

E และ N (GCP) หมายถึง จุดค่า E และ N ของจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน

ΔE หมายถึง ผลต่าง E

ΔN หมายถึง ผลต่าง N

ในการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ (Horizontal positional accuracy) ของแผนที่ ทางที่ปรึกษาได้เลือกใช้มาตรฐานของ Federal Geographic Data Committee (FGDC) สหรัฐอเมริกา อันเป็นหน่วยงานมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับในวงการภูมิสารสนเทศสากล และมาตรฐานดังกล่าวปรากฏใน Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3 : National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) โดยมีสาระสำคัญคือ ในการประเมินความละเอียดถูกต้องของแผนที่ใด ๆ ให้ทำการเลือกจุดตรวจสอบ (GCP) ไปเปรียบเทียบกับจุด ๆ เดียวกันที่ปรากฏบนแผนที่ทำขึ้นอิสระ (Independent) ข้อมูลแผนที่อิสระที่จะนำมาเปรียบเทียบควรอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่กำหนด เช่น แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทโซต (THEOS) มาตราส่วน 1 : 25,000 ความละเอียดจุดภาพ 2 เมตร

นอกจากการตรวจสอบแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทโซต (THEOS) ในประเด็นความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งทางราบแล้ว ยังจะมีการตรวจสอบคุณภาพในประเด็นอื่น ๆ ซึ่งที่ปรึกษาได้วางแผนดำเนินการเพื่อให้ผลการปฏิบัติงานมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอันเป็นสากล เช่น การตรวจสอบอัตราการบีบอัดภาพที่ยังทำให้ภาพดูคล้ายคลึงต้นฉบับ อันเนื่องมาจากกระบวนการ Lossy compression (JPG/PNG) ให้อยู่ในเกณฑ์ความละเอียดจุดภาพ 800 x 600 กล่าวคือ การบีบอัดข้อมูล (Compression) คือ กระบวนการเข้ารหัสข้อมูลที่เลือกเอาเฉพาะบิตที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ และสามารถรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยกระบวนการ Lossy Compression จะตัดข้อมูลบางส่วนออกไปเพื่อลดขนาดของไฟล์ โดยข้อมูลที่ซ้ำซ้อนจะถูกตัดทิ้งอย่างถาวร ข้อดีคือขนาดข้อมูลจะลดลงมาก แต่ข้อเสียคือข้อมูลจะไม่ละเอียดเหมือนต้นฉบับ แต่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์งานทาง และแสดงผลในระบบสารสนเทศ Roadnet

โดยที่ปรึกษาใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) ในการวัดค่าความแม่นยำจากวิธีการหากยิ่งมีค่าน้อยแสดงว่าโมเดลที่ได้จะมีความแม่นยำมากแสดงรายละเอียดสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{(a_1 - y_1)^2 + \ldots + (a_n - y_n)^2}{n}}$$

เมื่อ :

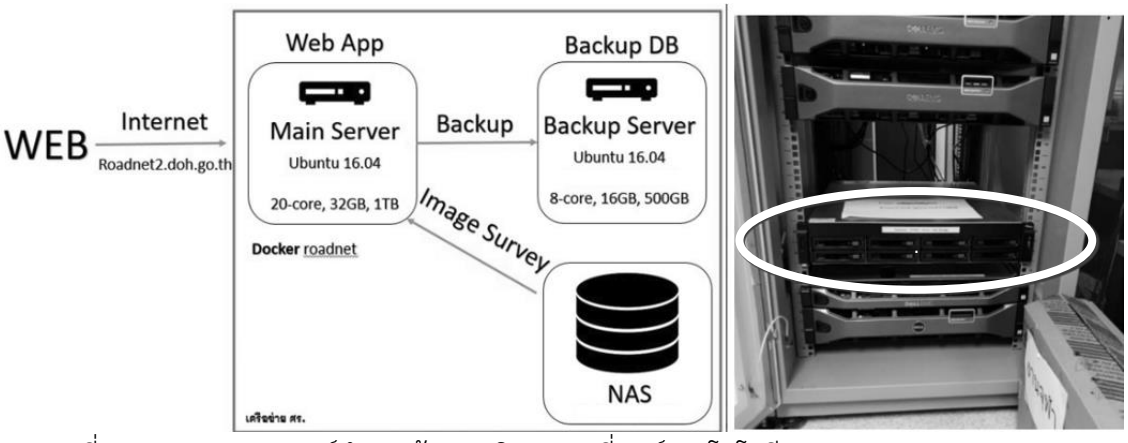
ตัวแปร a คือ ค่าข้อมูลที่แท้จริง

ตัวแปร y คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์

ตัวแปร n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

1.5.3 ที่ปรึกษาต้องทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้ จากข้อ 2.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard disk) และสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) อย่างเป็นระบบของผู้ว่าจ้าง โดยติดตั้งที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

ที่ปรึกษาทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจสภาพทางในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS โดยจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard disk) และสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) อย่างเป็นระบบ โดยติดตั้งที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

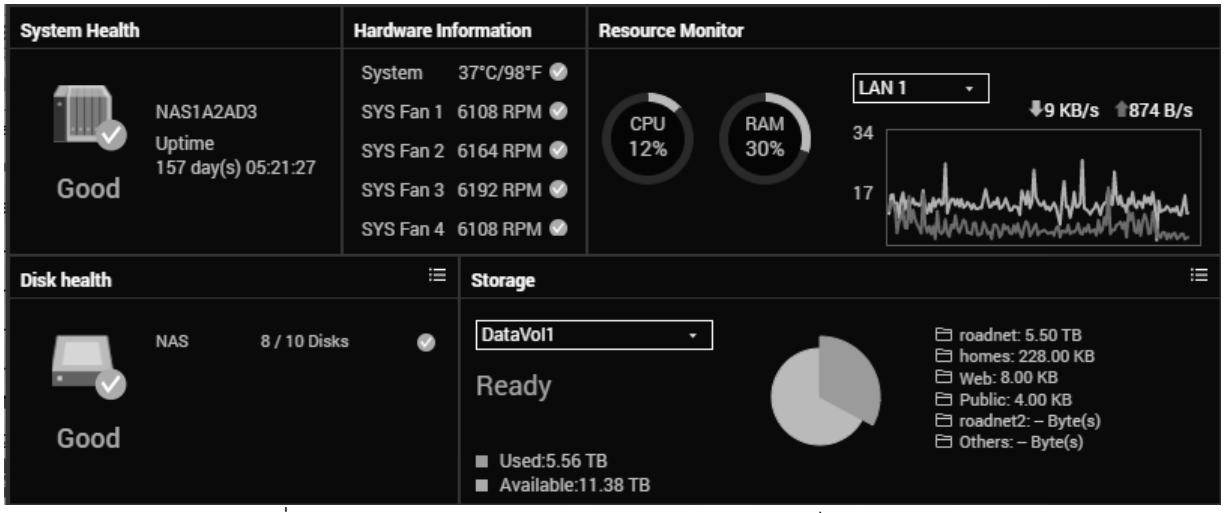


รูปที่ 1-105 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

ปัจจุบันระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้ให้บริการตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน คือ การจัดเก็บข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลลักษณะผิวทาง ข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ ข้อมูลสำรวจสภาพทางต่าง ๆ ที่ได้มีการสำรวจโดยสำนักบริหารบำรุงทาง อันประกอบด้วย ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ข้อมูลความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Mean Profile Depth : MPD) และค่าความเสียดทานผิว (Skidding : μ) ตลอดจนข้อมูลสภาพความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ได้จากการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลบนภาพถ่ายผิวทาง และมีการแสดงผลข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทาง (Road Asset View) ในรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่ ทำให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสภาพทางมีความชัดเจนเพิ่มมากขึ้น โดยแสดงภาพถ่าย 2 ข้างทาง ข้อมูลค่าความเสียหาย และตำแหน่งบนระบบแผนที่ควบคู่หรือสัมพันธ์กัน รวมถึงข้อมูลตำแหน่งของสะพาน ท่อลอด และข้อมูลหลักกิโลเมตร ซึ่งสามารถแสดงผลข้อมูลบนแผนที่บนระบบเครือข่ายได้ รวมทั้งการเชื่อมโยงข้อมูลต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องต่อการวิเคราะห์งานบริหารและบำรุงทาง

ตารางที่ 1-37 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน

order	use	type	detial	ใช้ไป / Max
1	Database		Dell PowerEdge R430	RAM : 4 slots / 12 slots HDD : 4 Bay / 4 Bay
		CPU	1xInel Xeon 8-Core/16T E5-2620v4 2.1GHz, 20MB Cache, (85W) 2133M	
		RAM	16GB RDIMM,2400MT/s Dual Rank	
		HARD Drive	3 x 600 GB 10K RPM SAS 12 Gbps 2.5 in Hot-plug Hard Drive	
2	Web Base Application		DELL PowerEdge R730 Rack 2 U	RAM : 4 slots / 24 slots HDD : 6 Bay / 8 Bay
		CPU	Intel Xeon E5-2640 V4 (Processor Base Frequency : 2.4GHz , CPU Core : 10 Core, TPD : 90W , Support instructions 64 bit, Cache : 25 MB Smart Cache) x 2 Processor	
		RAM	Memory Size : 32 GB, Memory Type : ECC DDR4 Bus 2133 Mhz	
		HARD Drive	4x600GB 10K RPM SAS 12Gbps 2.5in Hotplug Hard Drive	
3	NAS		Qnap TS -EC880U - E3-R2	RAM : 2 slots / 4 slots HDD : 8 Bay / 8 Bay
		CPU	Intel Xeon E3-1246 V3 Family 3.5 GHz Quad Core Processor	
		RAM	4 GB DDR3 ECC RAM (pre-installed 2 GB x 2) (Ex32GB) and Flash Memory 512MB DOM	
		HARD Drive	HDD : 8 x 4TB SATA-III Western Red (64 MB) 5400 RPM	

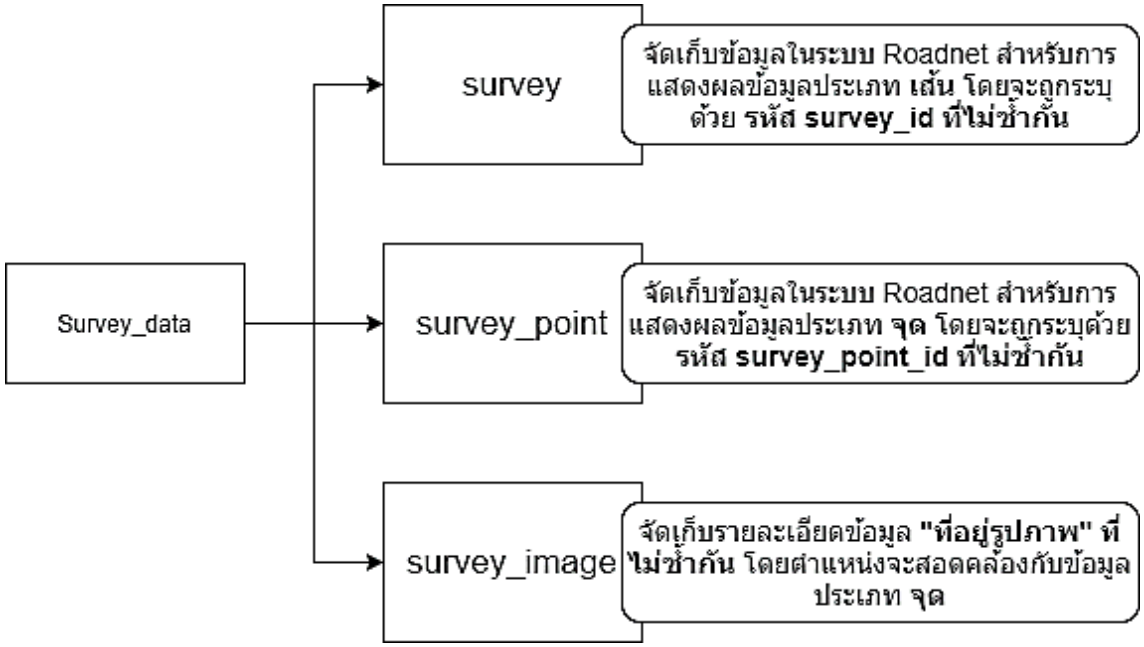


รูปที่ 1-106 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS)

จากภาพเป็นการแสดงผลการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล NAS ซึ่งมีการใช้การจัดเก็บข้อมูลอยู่ประมาณ 5.56 TB หลังจากดำเนินงานสำรวจครบรอบตลอด 3 ปี ที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 จน 2564 มีระยะทางสำรวจทั้งสิ้นไม่น้อยกว่า 92,432.670 กิโลเมตร ซึ่งมีขนาดการจัดเก็บที่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อีก 11.38 TB สามารถรองรับการจัดเก็บข้อมูลการสำรวจในรอบต่อไปได้

1.5.4 การจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet จะต้องไม่มีผลกระทบกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในระบบ และรูปแบบจะต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ

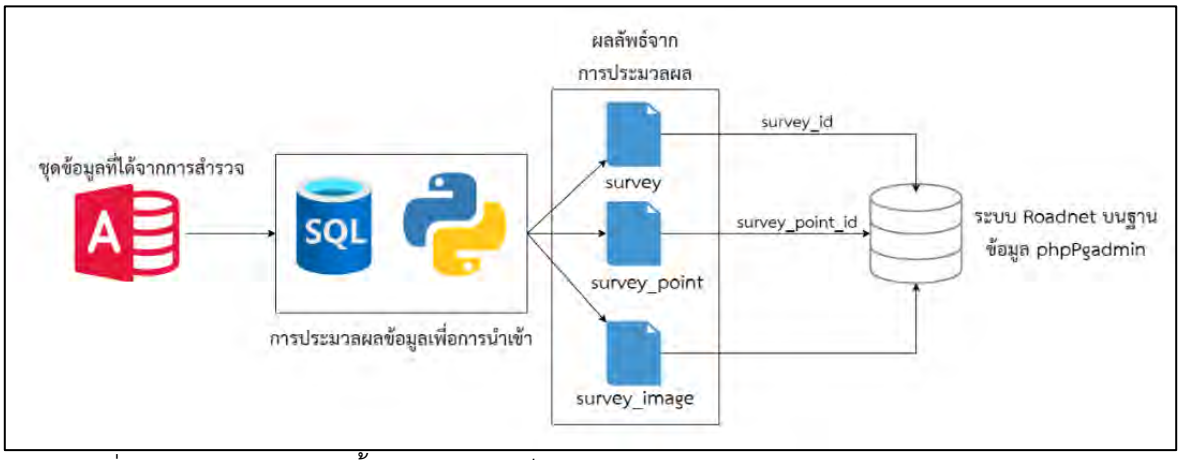
การจัดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะมีโครงสร้างตามข้อ 1.5.1 โดยมีการออกแบบโครงสร้างเพื่อยกระดับกระบวนการนำเข้าข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบ โดยมีแบ่งกลุ่มข้อมูลสำรวจที่ถูกประมวลผลพร้อมนำเข้าระบบไว้แสดงดังรูปที่ 1-107



รูปที่ 1-107 แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

จากแผนผังการแสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของข้อมูลมี 3 ส่วน คือ 1.ข้อมูลกลุ่ม survey ที่ระบุตำแหน่งเส้นถนนบนทางหลวงของแต่ละตอนควบคุมบนระบบ โดยมีการกำหนดรหัสข้อมูล survey_id ที่ระบุชุดข้อมูลต่าง ๆ เพื่อป้องกันผลกระทบระหว่างการนำเข้าข้อมูลในแต่ละรอบ 2.ข้อมูลกลุ่ม survey_point ที่ระบุตำแหน่งจุดสำรวจที่ระยะห่างทุก ๆ 25 เมตร โดยมีการกำหนดรหัสข้อมูล survey_point_id ซึ่งเป็น Primary Key ที่กำหนดเป็นคีย์หลักจากฟิลด์ในตารางที่ไม่มีค่าข้อมูลซ้ำซ้อน เพื่อป้องกันผลกระทบระหว่างการนำเข้าข้อมูลในแต่ละรอบ 3.ข้อมูลกลุ่ม survey_image ที่ระบุรายละเอียดที่อยู่รูปภาพ เพื่อให้ระบบสามารถดึงข้อมูลรูปภาพจากฐานข้อมูลการจัดเก็บรูปภาพ (NAZ) โดยตำแหน่งรูปภาพจะสอดคล้องกับตำแหน่งจุดสำรวจ

สำหรับขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpaPgdmin สามารถอธิบายกระบวนการการนำเข้าได้ ดังนี้



รูปที่ 1-108 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

1.5.5 ที่ปรึกษาต้องจัดเก็บข้อมูลการสำรวจ ที่สำรวจโดยเครื่องชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางแบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) และประมวลผลโดยระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) และนำเสนอให้คณะกรรมการตรวจสอบได้เพื่อรองรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ต่อไป

ในการสำรวจภายในปี 2565 ในครั้งนี้มีระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 29,400 กม. และสามารถแบ่งการสำรวจด้วย 2 อุปกรณ์ ได้แก่ อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS (Laser Crack Measurement System) ที่ต้องวิ่งระยะทางไม่ต่ำกว่า 15,000 กม. และอีกอุปกรณ์คือชุดอุปกรณ์สำรวจด้วยระบบ Laser Scan ระยะทางรวมไม่ต่ำกว่า 14,400 กม. ซึ่งภายในการสำรวจในปี 2565 นี้ ทางทีมที่ปรึกษาดำเนินการศึกษาผลลัพธ์การสำรวจที่ได้จากตัวอุปกรณ์ LCMS ทั้งค่าสภาพทาง และประมวลผลโดยระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) เพื่อทำการจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบโครงสร้างของระบบ Roadnet และสามารถแสดงผลภาพรวมการสำรวจพร้อมทั้งส่งออกข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม TPMS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนั้นทางทีมที่ปรึกษาดำเนินการตรวจสอบค่าความเสียหายจากระบบ Auto Crack Detection เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการตรวจสอบได้เพื่อรองรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ดังรูปตัวอย่างการตรวจสอบจากระบบ Auto Crack Detection

STA	รายการความเสียหาย			ค่าความเสียหาย		ผลต่าง
	POP	ROMDAS	Roadnet	POP	ROMDAS	
2+025 - 2+050	icrack	transverse/longitudinal	รอยแตกต่อเนื่อง (ม.)	0.00	0.00	0.00
	ucrack	alligator/multiple	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (ตร.ม.)	0.00	0.66	0.66
	rav	raveling	การหลุดร่อน (ตร.ม.)	0.00	0.17	0.17
	bleeding	bleeding	การเยิ้ม (ตร.ม.)	0.00	0.00	0.00
	patch_ac	patch_ac	รอยปะซ่อม (ตร.ม.)	0.00	0.00	0.00
	phole	pothole	หลุมบ่อ (ตร.ม.)	0.33	0.25	0.08

รูปภาพรถ HAWKEYE

รูปภาพรถ ROMDAS

รูปภาพกล้องหน้ารถ

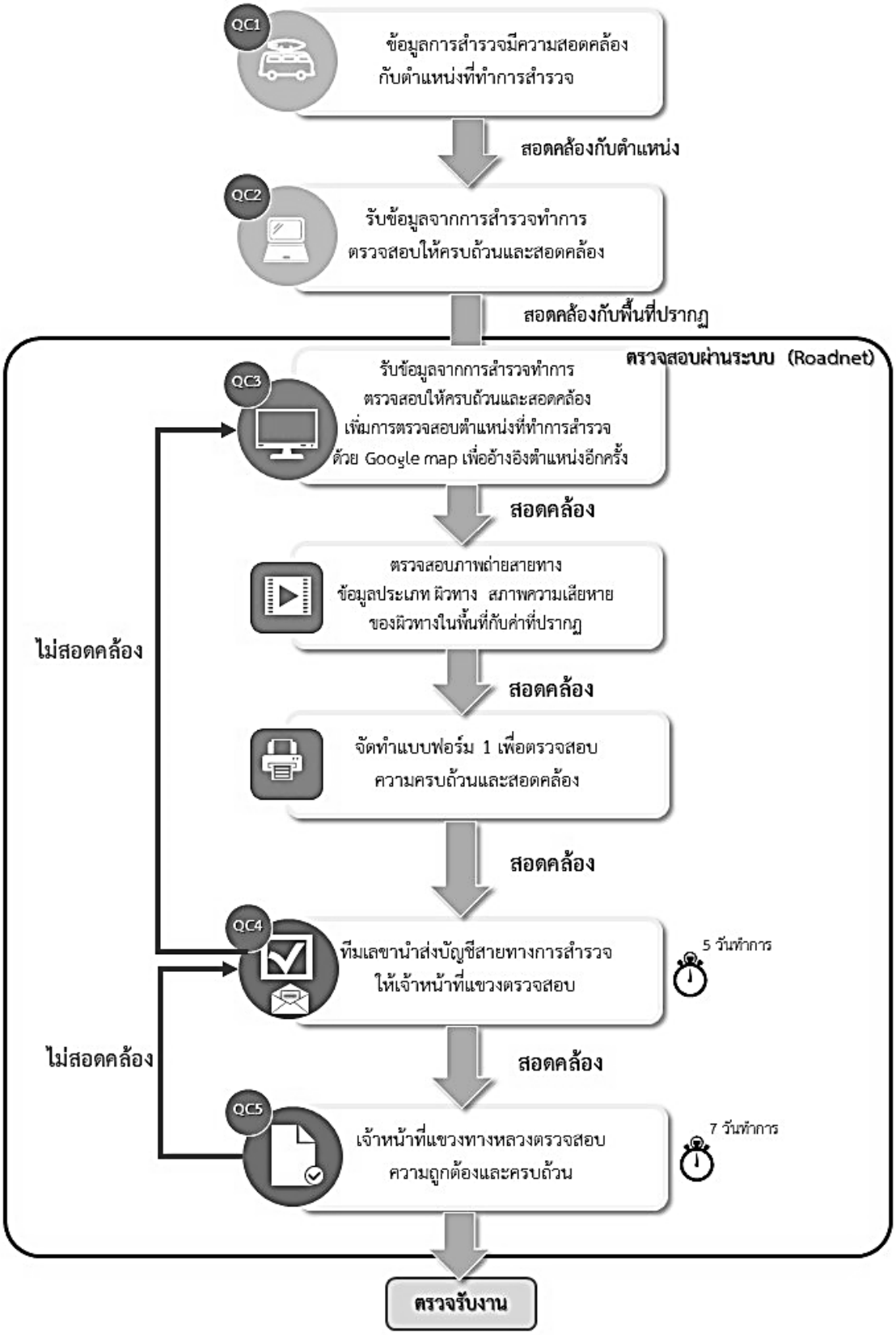
รูปที่ 1-109 เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 - 2+050
บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอนควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1

1.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างน้อยดังนี้

1.6.1 การแสดงผลข้อมูลสภาพทาง ได้แก่ ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) และข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ต้องดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องดังนี้

- ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ
- ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง
- ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

การตรวจสอบข้อมูลสำรวจ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจ จนมาถึงขั้นตอนการรับข้อมูลสำรวจตลอดจนการนำเข้าระบบ Roadnet ซึ่งจะทำการตรวจสอบทั้งแต่รายละเอียดภายในสายทาง รวมทั้งความครบถ้วนของข้อมูลสำรวจ ความสอดคล้องและสัมพันธ์กับภาพถ่าย 2 ข้างทาง โดยมีกระบวนการและรายละเอียดตามภาพดังนี้



รูปที่ 1-110 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet

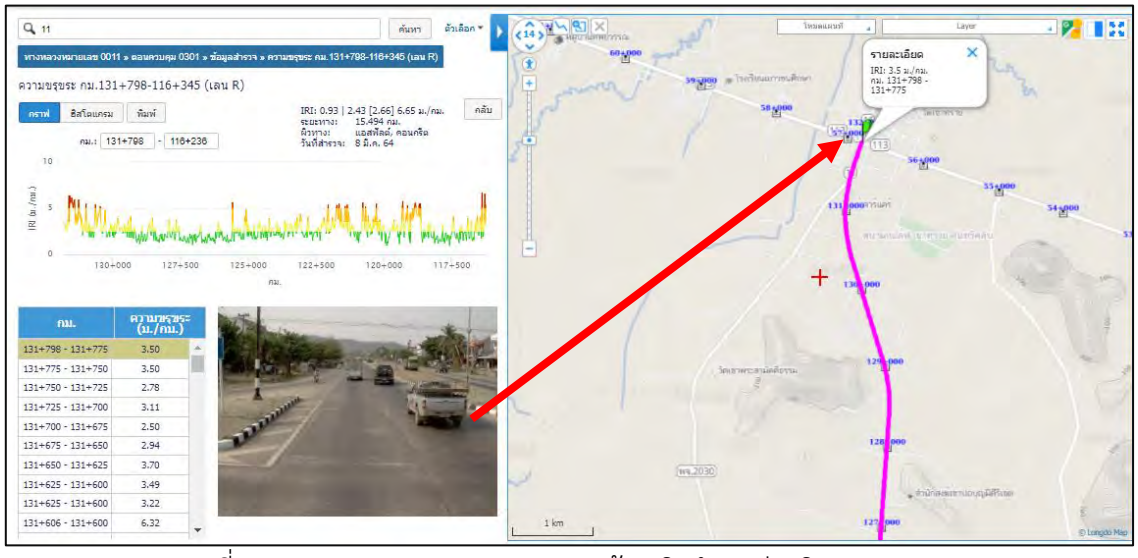
ในขั้นตอนการตรวจสอบการแสดงผลหน้าข้อมูลสำรวจผ่านระบบ Roadnet ทางทีมมีการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) ทางด้านคุณภาพของข้อมูล ได้กำหนดเงื่อนไขการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วน ความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม แผนการสำรวจ และผิวการสำรวจ มีความสอดคล้องทุกกระบวนการ โดยทำการตรวจสอบตามเงื่อนไขต่อไปนี้

ตารางที่ 1-38 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) กระบวนการภายใน

ลำดับ	รายละเอียดการตรวจสอบ	สอดคล้อง	ไม่สอดคล้อง
1	ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) มีความต่อเนื่อง (ไม่เป็น 0)		
2	ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) มีความต่อเนื่อง (ไม่เป็น 0)		
3	ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (MPD) มีความต่อเนื่อง (ไม่เป็น 0)		
4	ปรากฏภาพถ่าย 2 ข้างทาง ขึ้นครบตามจุดค่า IRI และไม่ซ้ำ		
5	ภาพถ่ายไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังทัศนวิสัย		
6	ข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางของการสำรวจสอดคล้องกับโครงข่ายทางหลวง (HRIS)		
7	ภาพถ่ายสายทางสอดคล้องกับตำแหน่ง GPS ของเส้นทางสำรวจ		
8	ประเภทผิวทางมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง (แอสฟัลต์ / คอนกรีต)		
9	ตำแหน่ง GPS เส้นทางสำรวจสัมพันธ์กับโครงข่ายทางหลวง (HRIS)		
10	ปรากฏตารางข้อมูลค่าความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress)		
11	ภาพเคลื่อนไหว (VDO) ไม่ซ้ำกันมีความต่อเนื่องจนถึงจุดสิ้นสุด		

- **ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ**

การแสดงผลภาพถ่ายสองข้าง (LT/RT) เช่น ทางด้านซ้ายทางแสดงผลกิโลเมตรสำรวจจากน้อยไปมากจะต้องสอดคล้องกับสายทางที่สำรวจในพื้นที่ โดยการแสดงภาพสองข้างทางผ่านระบบ Roadnet2 แสดงผลทุก 25 เมตร ตามที่กำหนดไว้อย่างต่อเนื่องกันไปตลอดสายทาง สังเกตจากการแสดงพิกัดสายทางเส้นทางบนแผนที่ควบคู่กันไป



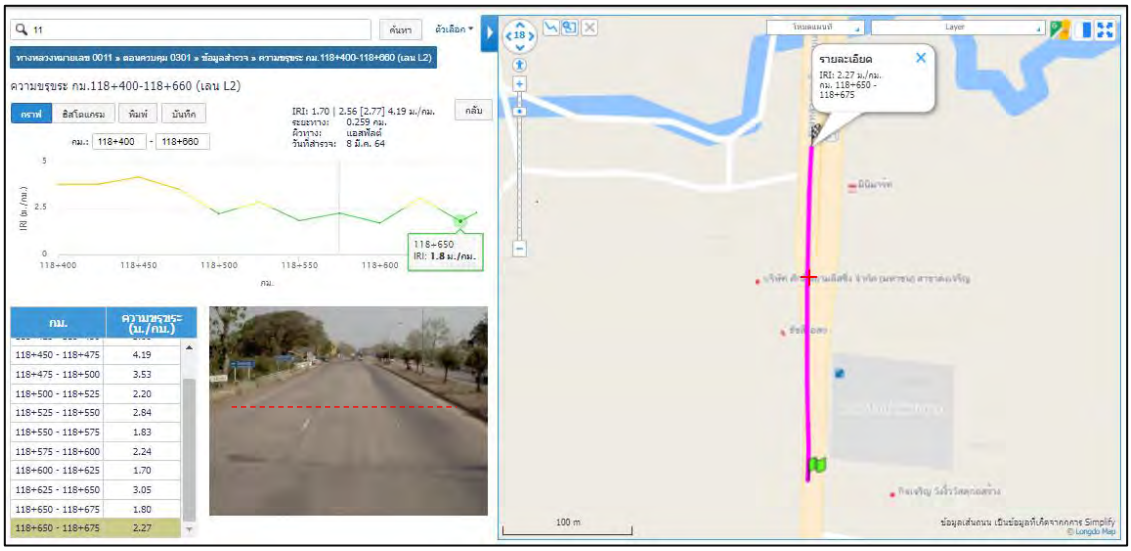
รูปที่ 1-111 การตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก

จากภาพถ่ายจุดเริ่มต้นความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจที่ปรึกษาทำการตรวจสอบเพิ่ม 1 ขั้นตอนโดยเทียบภาพถ่ายสายทางและภาพจาก Google Map เพื่ออ้างอิงความสอดคล้องของตำแหน่งสายทางที่ทำการสำรวจ

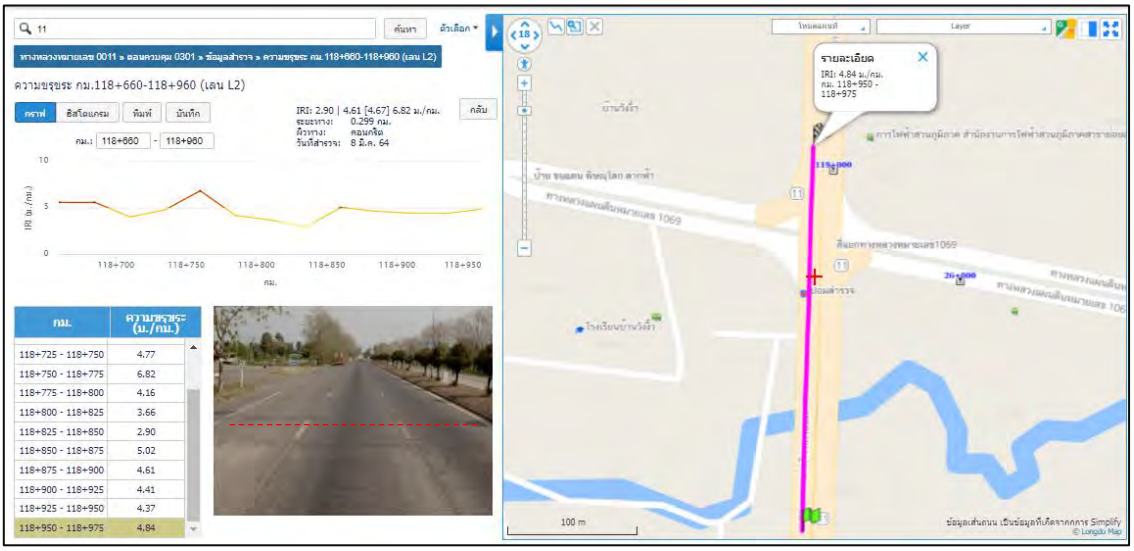
รูปที่ 1-112 การตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map

- **ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง**

ประเภทผิวทางผ่านระบบและผิวทางพื้นที่จริงต้องมีความสอดคล้องกัน โดยแสดงผลผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต ซึ่งในบางสายทางอาจมีผิวทางมากกว่า 1 ผิวทาง



รูปที่ 1-113 การตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต



รูปที่ 1-114 การตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์

- **ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ**

วิธีการตรวจสอบการแสดงผลหน้าข้อมูลสำรวจเบื้องต้นจากการนำเข้าระบบข้อมูลสภาพทาง จะทำการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet โดยทำการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วนและความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจในแต่ละสายทาง ยกตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องของสภาพความเสียหายของข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เนื่องจากข้อมูลกราฟแสดงค่าความขรุขระสากล (IRI) มากกว่าที่กำหนด จึงต้องตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างค่าความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่าย 2 ข้างทาง นอกจากนั้นการตรวจสอบการแสดงผลกราฟต้องเป็นไปตามปกติ ค่าของกราฟจะต้องไม่เท่ากับ 0 หรือการแสดงผลกราฟผิดเพี้ยนไป เมื่อพบข้อผิดพลาดดังกล่าวจะดำเนินการส่งข้อมูลกลับไปแก้ไข เพื่อความครบถ้วน และความสอดคล้องของข้อมูลจึงจำเป็นต้องตรวจสอบอย่างละเอียดดังนี้

รูปที่ 1-115 กราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่

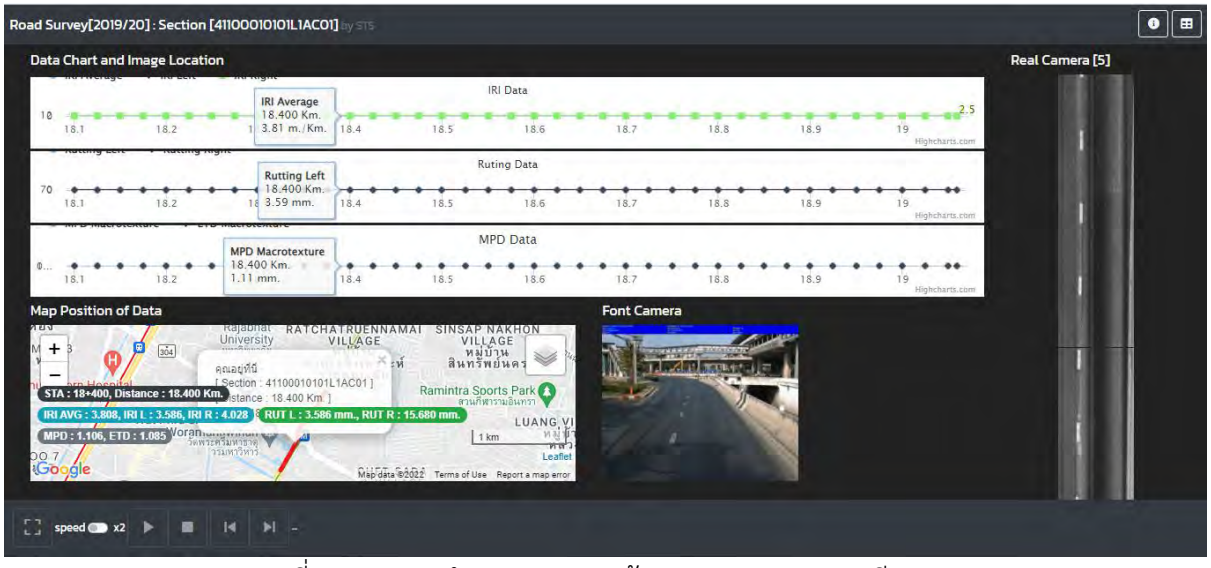
1.6.2 การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จะต้องมีความถูกต้องครบถ้วน ตามแต่ละประเภทผิวทางทั้งผิวลาดยางและผิวคอนกรีต และแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายที่ได้จากการสำรวจ โดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet หรือตรวจสอบผ่านระบบอื่น ๆ ได้

การตรวจสอบข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากการประเมินความเสียหายผิวทางทั้งผิวทางแอสฟัลต์ และคอนกรีต มีกระบวนการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนนำเข้าระบบโดยมีกระบวนการตรวจสอบตามข้อ 1.4.2 ซึ่งเป็นกระบวนการก่อนนำข้อมูลเข้าระบบ Roadnet การตรวจสอบดังกล่าว สามารถทำการตรวจสอบตำแหน่งของข้อมูลเทียบกับสายทางที่มีค่าสภาพทางสูงเพียงเท่านั้น จนนำข้อมูลเข้าระบบ Roadnet จึงทำการตรวจสอบข้อมูลทางด้านความสอดคล้องและครบถ้วนกับภาพถ่าย 2 ข้างทาง และตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวอีกครั้ง เพื่อให้แน่ใจตารางสภาพความเสียหายนำเข้าระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ โดยมีรายการของประเภทความเสียหายของผิวทาง แสดงดังตารางที่ 1-39

ตารางที่ 1-39 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์

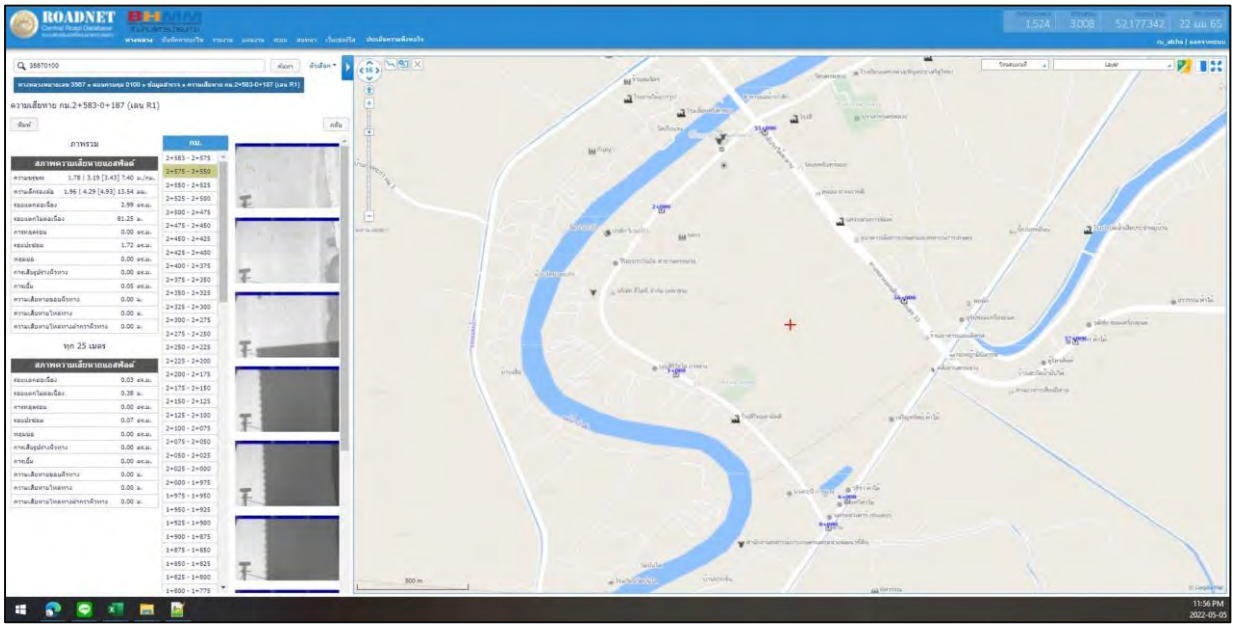
ลำดับที่	ประเภทความเสียหายของทางผิวลาดยาง
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnecting Crack)
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (U-Crack)
3	การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)
4	การหลุดร่อน (Raveling)
5	หลุมบ่อ (Pot Holes)
6	รอยปะซ่อม (Patching)

การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ปรึกษาการจำลองการแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายที่ได้จากการสำรวจ โดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบเว็บไซต์อื่นจากที่จำลองเบื้องต้น

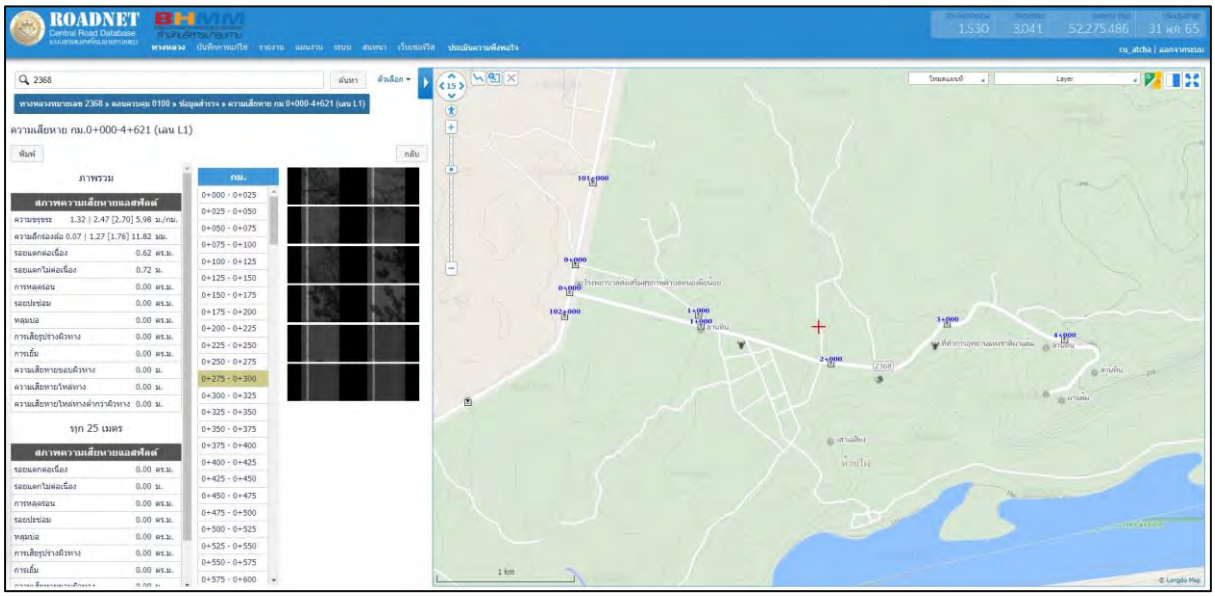


รูปที่ 1-116 การจำลองการแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหาย

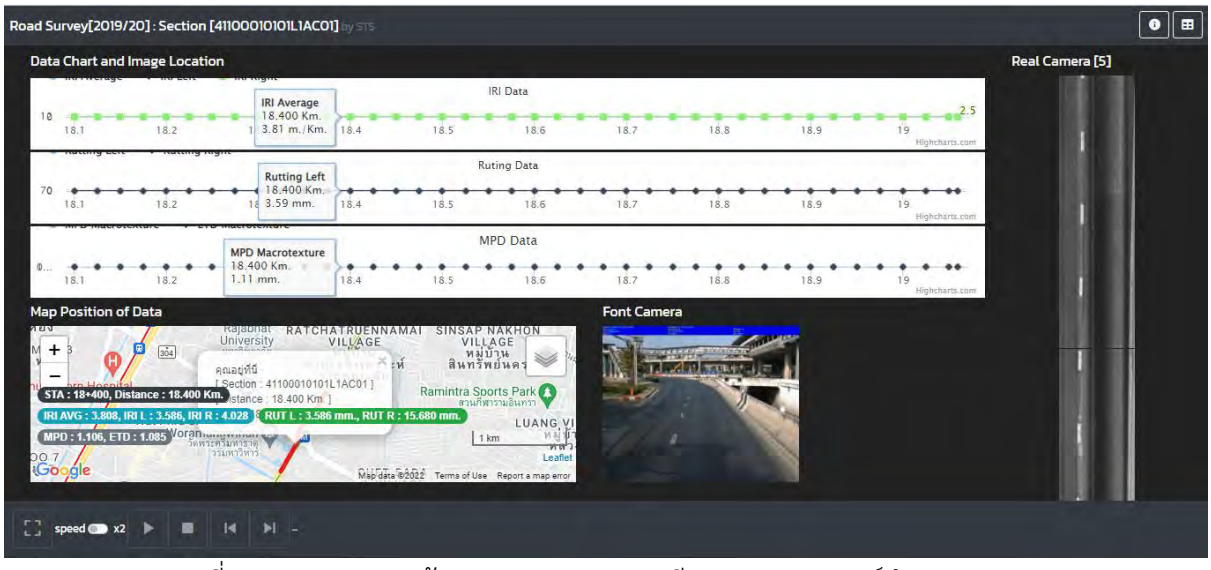
การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ปรึกษาทดลองนำข้อมูลตัวอย่างนำขึ้นระบบ Roadnet โดยสามารถตรวจสอบสายทางที่นำขึ้นระบบ แสดงดังรูปที่ 1-117 และ รูปที่ 1-118



รูปที่ 1-117 การแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1

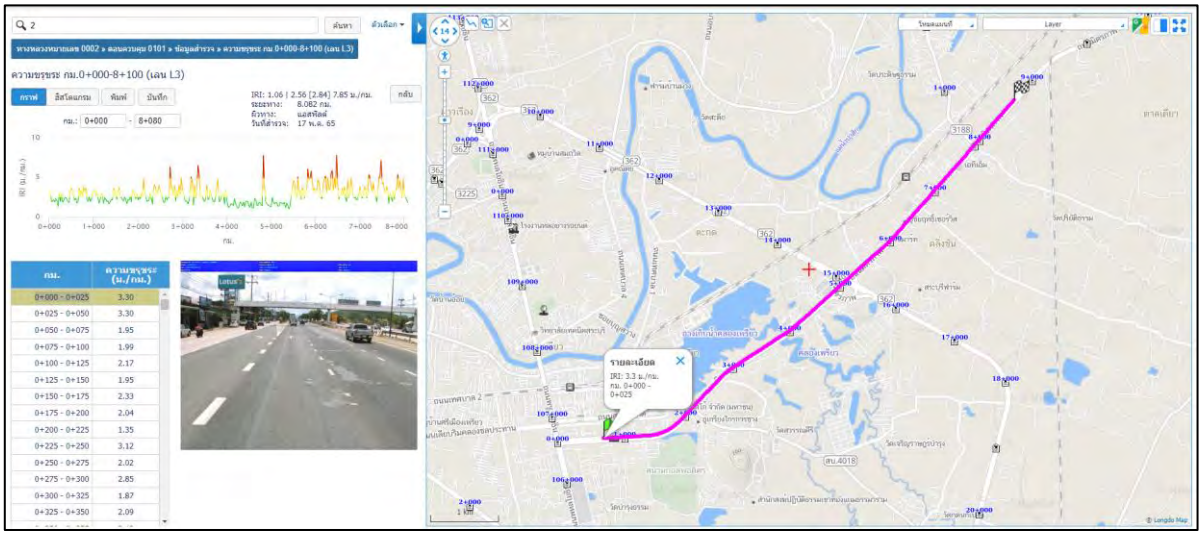


รูปที่ 1-118 การแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 2

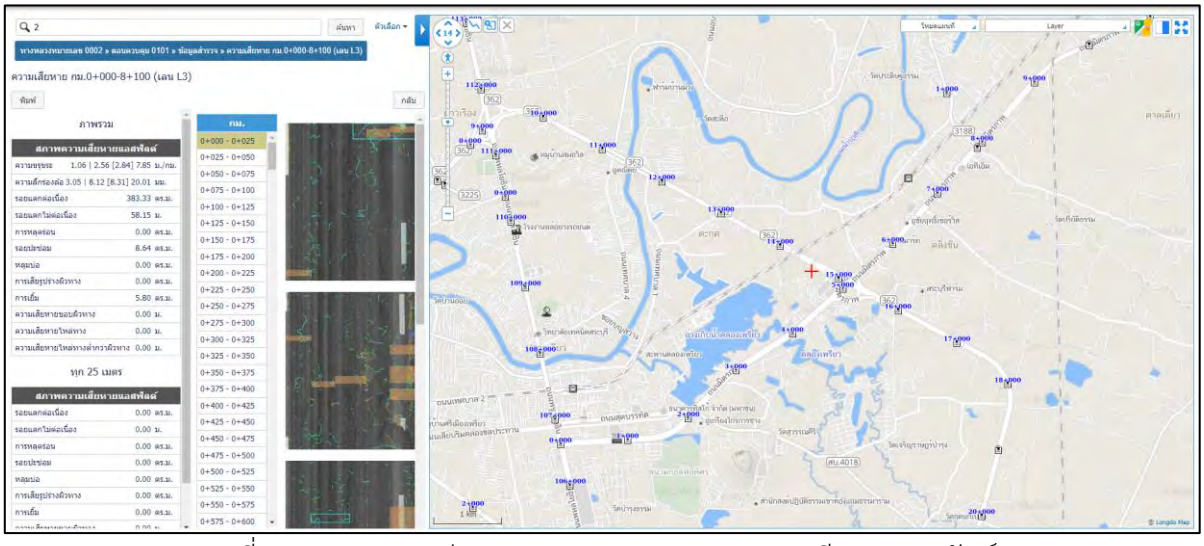


รูปที่ 1-119 การแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์สำรวจ LCMS

จากผลการนำเข้าข้อมูลความเสียหายผิวทางแอสฟัลต์ จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางควบคู่กันไป ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1-120 และ รูปที่ 1-121



รูปที่ 1-120 แสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์ของทางหลวงหมายเลข 2 ตอนควบคุม 101

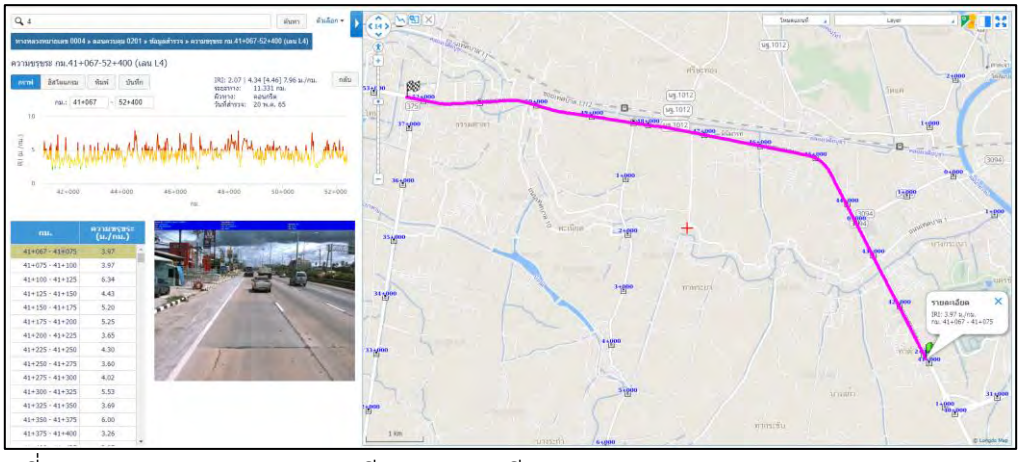


รูปที่ 1-121 แสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์
ของทางหลวงหมายเลข 2 ตอนควบคุม 101

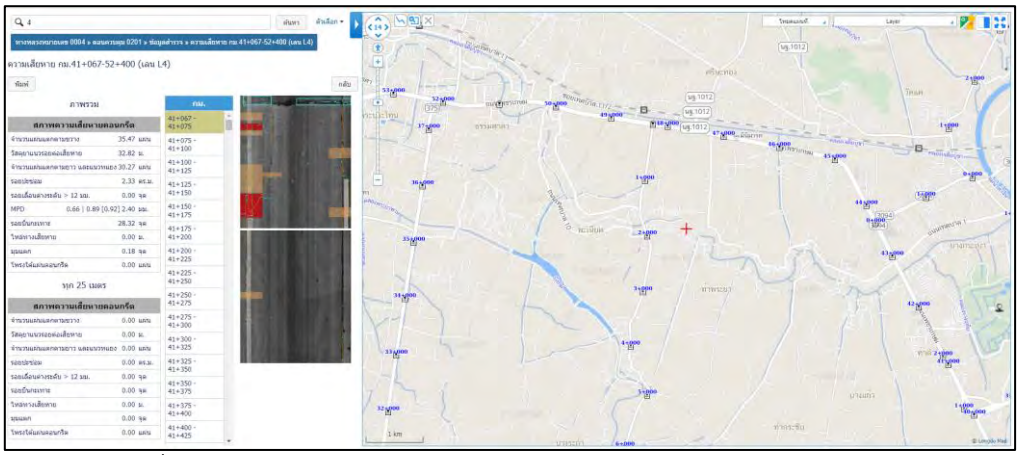
ตารางที่ 1-40 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต

ลำดับที่	ประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต
1	รอยแตกตามขวาง (Transverse cracks)
2	รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)
3	รอยแตกตามยาว (Longitudinal cracks)
4	รอยแตกที่มุม (Corner breaks)
5	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint seal damage)
6	รอยปะซ่อม (Patching)

จากผลการนำเข้าข้อมูลความเสียหายผิวทางคอนกรีต จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางควบคู่กันไป ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1-122 และ รูปที่ 1-123



รูปที่ 1-122 แสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต ของทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 201



รูปที่ 1-123 แสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต
ของทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 201

นอกจากนี้ ทางทีมที่ปรึกษาจะดำเนินการหารูปแบบในการแสดงผลค่าความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS) อ้างอิงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) บนพื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984) ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับว่ามีความเป็นสากลและถูกต้องแม่นยำ โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลยังสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย พร้อมทั้งแสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่เกิดความเสียหาย ณ ช่วงสายทางนั้น ๆ ได้ ดังแสดงเป็นจุดสามเหลี่ยมสีน้ำเงินที่ระยะห่างระหว่างจุดในทุก ๆ 2 เมตร ซึ่งค่าความเสียที่ได้จากการประเมินและวิเคราะห์ทั้งจากผู้เชี่ยวชาญและจากระบบ LCMS นั้น จะสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) (วงกลมสีส้ม) ที่ระยะห่างระหว่างจุดในทุก ๆ 25 เมตร ที่มีค่าสูงตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนด แสดงดังรูปที่ 1-124

รูปที่ 1-124 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่ายความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS)

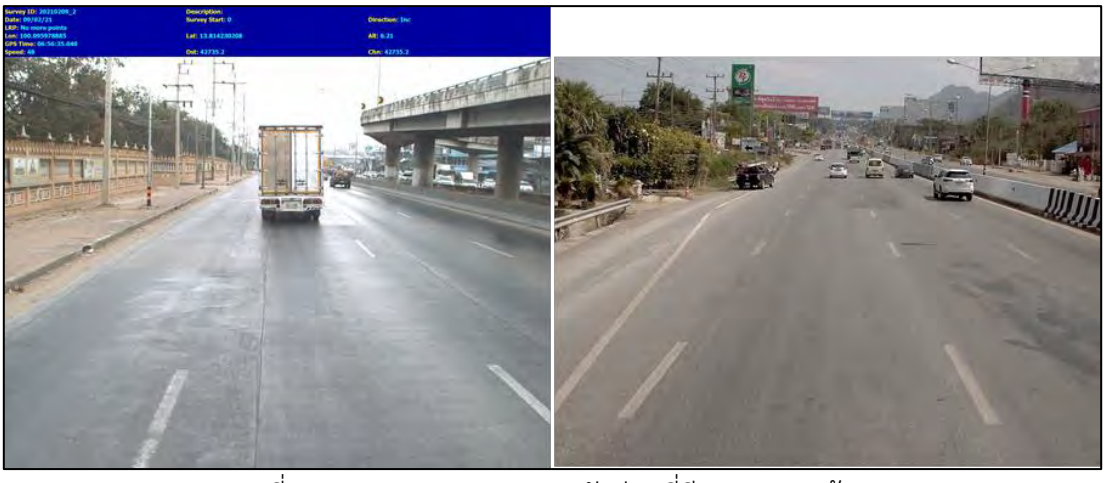
1.6.3 ภาพถ่ายและภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของถนนและสองข้างทาง ต้องมีความสมบูรณ์ของภาพดังนี้

ภาพถ่ายจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังความชัดเจนอันแสดงถึงสภาพของผิวทางหรือทรัพย์สินต่าง ๆ ที่ติดตั้งในบริเวณเขตทางหลวง เช่น คราบหยดน้ำ หรือเงาสะท้อนจากกระจกรถ เป็นต้น

ภาพถ่ายสองข้างทาง จากการนำภาพถ่าย 2 ข้างทางที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องภายในห้องโดยสารของรถสำรวจ (DVR) นำมาเรียงลำดับภาพทุก ๆ 25 เมตร จนออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหว (VDO) จากการตรวจสอบภาพถ่ายต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น เงาสะท้อนจากกระจก คราบหยดน้ำ คราบมูลนกหรืออื่น ๆ เป็นต้น ที่บดบังทัศนวิสัยในการแสดงผลบนหน้าระบบ Roadnet ตัวอย่างภาพที่เกิดปัญหาแสดงดังรูปที่ 1-125

รูปที่ 1-125 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก

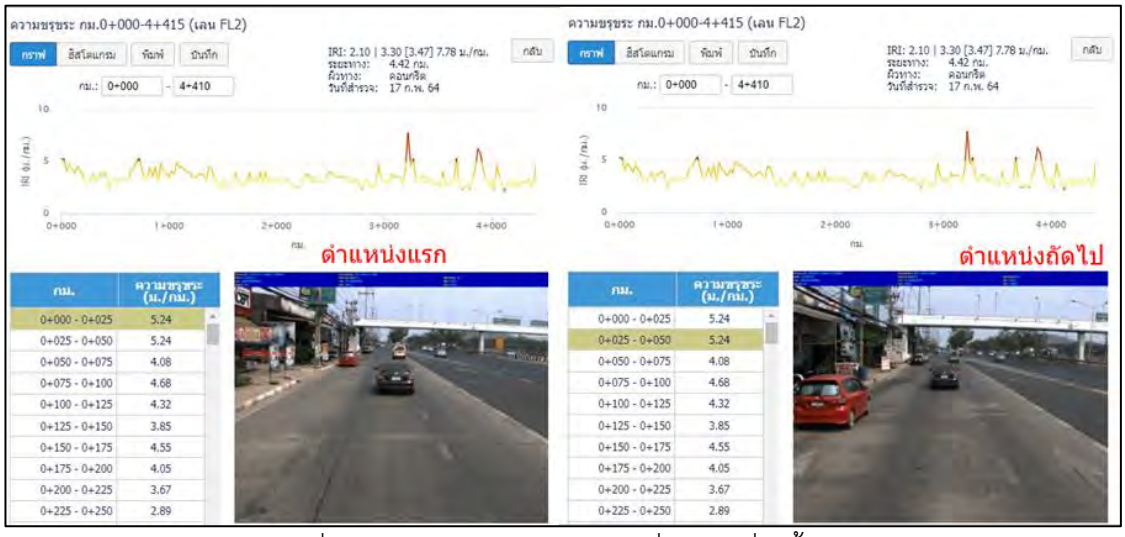
สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทาง คิดเป็นร้อยละของภาพทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ที่ปรึกษาทำการตรวจสอบโดยวิธีดูภาพถ่ายสองข้างทาง และภาพเคลื่อนไหว (VDO) โดยภาพที่สอดคล้องดังตัวอย่างนี้



รูปที่ 1-126 การแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง

ความครบถ้วนของภาพจะต้องแสดงผลสอดคล้องตามระยะและทิศทาง (LT/RT) ของการแสดงผลข้อมูลสภาพทาง (ทุกระยะ 25 เมตรหรือน้อยกว่า) โดยภาพในแต่ละระยะจะต้องไม่มีความซ้ำซ้อนหรือสลับกัน

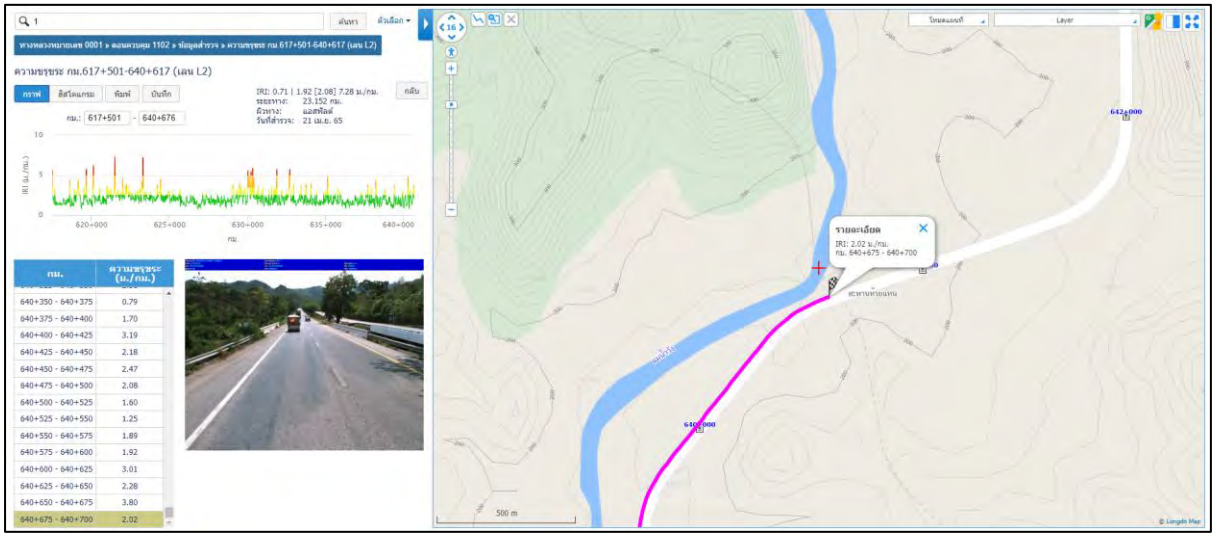
ภาพถ่ายต้องไม่กระตุกไม่ซ้ำกันสลับซับซ้อน โดยการตรวจสอบจำเป็นต้องทำการตรวจสอบผ่านการดูภาพถ่ายสองข้างทาง เช่นจากกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล IRI ภาพที่เปลี่ยนทุก ๆ 25 เมตร มีความสอดคล้องหรือไม่ และตรวจสอบจากฟังก์ชันการดูภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของสายทางบนระบบ Roadnet



รูปที่ 1-127 การตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน

1.6.4 การแสดงพิกัดสายทาง (Coordinates) จะต้องมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายสายทางและสภาพพื้นที่

การแสดงพิกัดสายทางเส้นทาง (Coordinates) สายทางที่สำรวจและหน้าแผนที่ Base map ของข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน ตำแหน่งหลักกิโลเมตรของจุดสำรวจสภาพทาง เรียงตามจุด Layer หลักกิโลเมตรของสายทาง ไม่สลับซับซ้อน ข้อมูลภาพถ่ายสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงที่ปรากฏจุดสังเกต เช่น ทางแยก สะพาน รวมทั้งทิศทางของสายทางที่ต้องต่อเนื่องจนถึงจุดสิ้นสุดของสายทาง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1-128



รูปที่ 1-128 การแสดงพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102

1.6.5 เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลผู้ว่าจ้างสามารถแต่งตั้งคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค เพื่อตรวจสอบ ความครบถ้วนสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

ที่ปรึกษาได้ทำการนำข้อมูลสำรวจขึ้นระบบ Roadnet แล้วเสร็จ จึงเริ่มทำการตรวจสอบความครบถ้วนและความสอดคล้องของข้อมูล โดยที่ปรึกษาจัดรูปแบบในการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลโดยละเอียด และเมื่อผ่านการตรวจสอบดังกล่าวจึงจะจัดทำบัญชีสรุปผลการสำรวจเป็นรายแขวงทางหลวง โดยจะสรุปบัญชีสายทางส่งเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลความครบถ้วนของข้อมูล จากสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง เป็นบัญชีตรวจสอบรอบที่ 4 (QC4) และที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางส่งไปยังหน่วยงานภายในพื้นที่แขวงทางหลวงให้แก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคเพื่อตรวจสอบ ซึ่งจะทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งว่าตั้งอยู่ภายในพื้นที่ดังกล่าวหรือไม่ โดยขั้นตอนการตรวจสอบนี้จะเป็นการตรวจสอบรอบที่ 5 (QC5) มีรายละเอียดตัวอย่างแสดง โดยกระบวนการทั้งสิ้นที่ปรึกษาได้จัดทำรายละเอียดขั้นตอนการตรวจสอบ

ผลการสำรวจ โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิผลการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

สำรวจระหว่างวันที่.....ถึงวันที่.....

แขวงทางหลวงที่ .....

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	แผนการสำรวจ				ผลการสำรวจ									หมายเหตุ
		กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทางจริง	ระยะทางสำรวจ ต่อ 2 ช่องจราจร	วันที่สำรวจ เริ่ม	วันที่สำรวจ สิ้นสุด	กม.เริ่มต้นการสำรวจ	กม.สิ้นสุดการสำรวจ	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	จำนวนช่องจราจร	ผิวทาง	สถานะการวิ่งสำรวจ	
		แผนสำรวจ			0.000	**กิโลเมตร**		**ผลการสำรวจ**		0.000	**กิโลเมตร**				
		หมายเหตุ N/A หมายถึง Not Available ไม่นำค่ามาคำนวณหรือใช้ในการวิเคราะห์													

รูปที่ 1-129 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง

แขวงทางหลวงที่ .....

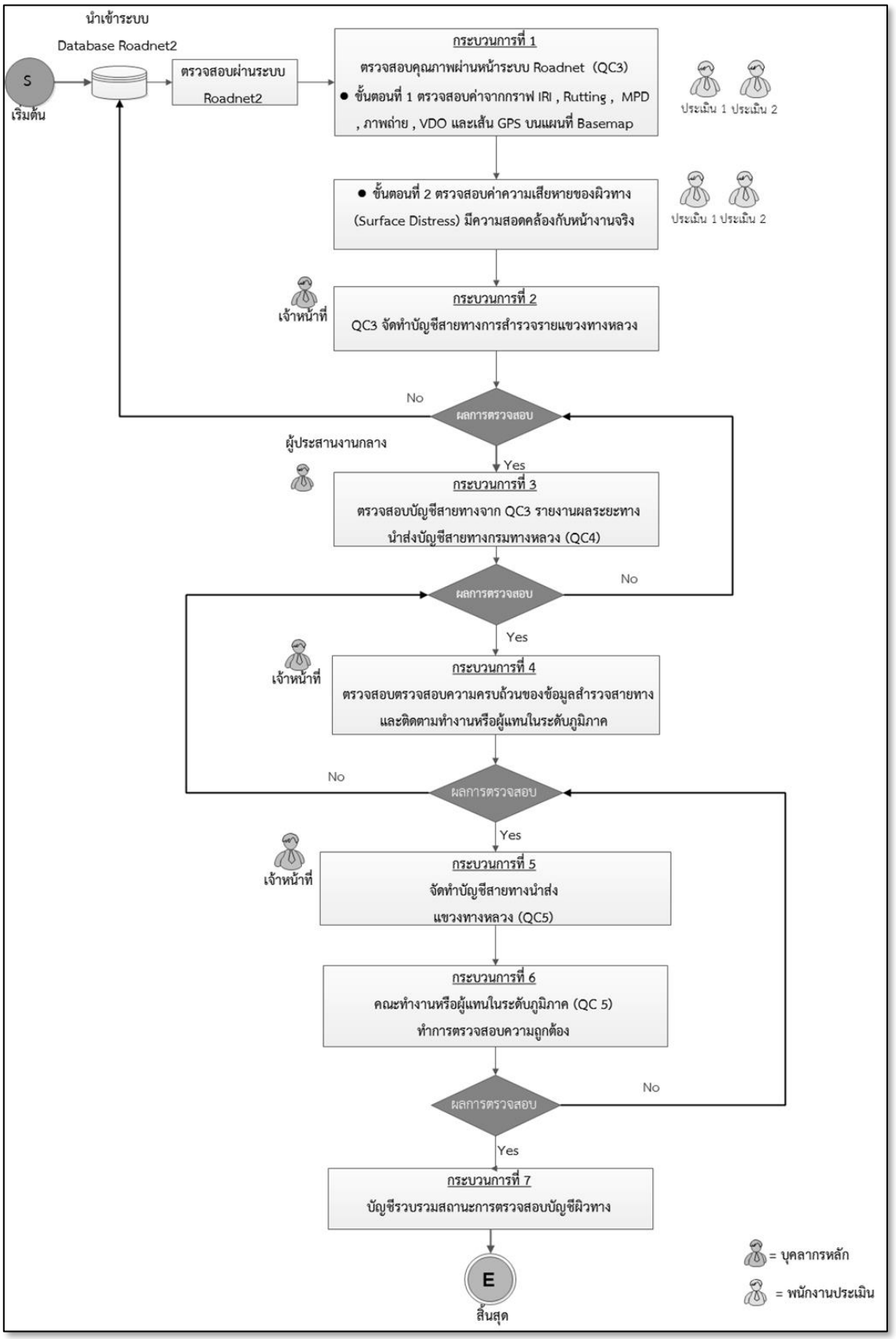
หมายเหตุ : การตรวจสอบให้ตรวจสอบในแถวที่ระบุ ระยะทาง (กม.) เท่านั้น

กรณีส่งตรวจครั้งที่ 1 แถวที่ไม่ระบุ ระยะทาง (กม.) หมายถึง จะส่งตรวจในครั้งที่ 2

กรณีส่งตรวจครั้งที่ 2 แถวที่ไม่ระบุ ระยะทาง (กม.) หมายถึง ท่านได้ตรวจสอบไปในครั้งที่ 1 แล้ว

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อสายทาง	เริ่มต้น	สิ้นสุด	ช่องจราจร	ผลการนำเข้าข้อมูล			ประเภททาง	/ สอดคล้อง X ไม่สอดคล้อง	ข้อสังเกต
						กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทางจริง (กม.)			
รวมระยะทาง								0.000			
									ลงชื่อ	.....	
										(.....)	
										ผู้ประสานงาน ตรวจสอบข้อมูล	

รูปที่ 1-130 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5



รูปที่ 1-131 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ

อ้างอิงจากรูปที่ 1-131 รายละเอียดขยายความกระบวนการตรวจสอบ ผ่านหน้าระบบ Roadnet มีกระบวนการทั้งสิ้น 7 กระบวนการดังนี้

<u>กระบวนการที่ 1</u>

ขั้นที่ 1 ตรวจสอบค่า IRI, Rutting, MPD, ภาพถ่าย และภาพเคลื่อนไหว

1) ตรวจสอบการแสดงผลผ่านกราฟ ได้แก่
   - (IRI) มีความต่อเนื่อง ตรวจสอบค่ามีความสอดคล้องกับสภาพทาง
   - (Rutting) มีความต่อเนื่อง ตรวจสอบค่ามีความสอดคล้องกับสภาพทาง
   - (MPD) มีความต่อเนื่อง ตรวจสอบค่ามีความสอดคล้องกับสภาพทาง
2) ปรากฏภาพถ่าย 2 ข้างทาง ขึ้นครบตามช่วง และภาพไม่ซ้ำ
3) ภาพถ่ายไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังทัศนวิสัย
4) ข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางสอดคล้องกับโครงข่ายทางหลวง (HRIS)
5) ประเภทผิวทางกล้องหน้าสอดคล้องกับข้อมูลแสดงผลบนระบบ Roadnet
6) ภาพเคลื่อนไหว (VDO) มีความต่อเนื่องไม่สะดุด
7) พิกัดเส้นสำรวจสอดคล้องกับ GPS บนแผนที่ Basemap

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบค่าความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) มีความสอดคล้องกับความเสียหายหน้างานจริง ได้แก่ ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ตรวจสอบความเสียหายที่มีค่าสูงประกอบกับภาพกล้องหน้าอย่างละเอียด

<u>กระบวนการที่ 2</u>

เจ้าหน้าที่ QC3 จัดทำบัญชีสายทางการสำรวจรายแขวงทางหลวงดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางส่งไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แก่คณะทำงาน ดังตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง แสดงดังรูปที่ 1-131

<u>กระบวนการที่ 3</u>

เจ้าหน้าที่ผู้ประสานงานกลาง ดำเนินบันทึกผล รายงานผลระยะทางความก้าวหน้า วันที่รับ - ส่งข้อมูลและดำเนินการประสานงานไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แจกจ่ายบัญชีสายทางแก่คณะทำงานตรวจสอบ

กระบวนการที่ 4

เจ้าหน้าที่ QC4 ตรวจสอบความครบถ้วนความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม และแผนการสำรวจและผิวการสำรวจ ต้องสอดคล้องทุกกระบวนการ และติดตามคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC5

กระบวนการที่ 5

เจ้าหน้าที่ QC4 จัดทำบัญชีสายทางการสำรวจรายแขวงทางหลวงดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางนำส่งแก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC5

กระบวนการที่ 6

เจ้าหน้าที่ QC5 ตรวจสอบ ความถูกต้องของสายทาง ความครบถ้วนความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม และแผนการสำรวจและผิวทางการสำรวจ ต้องสอดคล้องทุกกระบวนการ และติดตามคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC5

กระบวนการที่ 7

เจ้าหน้าที่ QC3 จัดทำสรุปบัญชีรวบรวมสถานการณ์ตรวจสอบบัญชีผิวทาง และติดตามระยะทางการผ่านการตรวจสอบ พร้อมทั้งรายงานผลเป็นประจำรายสัปดาห์

เมื่อพบข้อมูลไม่ตรงกับบัญชีผิวทาง ที่ปรึกษาสามารถหมายเหตุข้อมูลการสำรวจ เป็นจุดสังเกต เพื่อให้เจ้าหน้าที่จากสำนักบริหารบำรุงทาง และเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวง ทำการตรวจสอบบัญชีของตนเองผ่านระบบ Roadnet อีกครั้ง โดยมีรายละเอียดของหมายเหตุดังนี้

1.ระยะทางสำรวจไม่ตรงกับบัญชี คือ เมื่อทำการสำรวจ กม.เริ่มต้น - กม.สิ้นสุด ระยะสำรวจไม่สอดคล้องกับระยะทางในบัญชีลักษณะผิวทาง

2. ข้อมูลจำนวนช่องจราจรไม่ตรงกับบัญชี คือ เมื่อดำเนินการสำรวจพบว่าสภาพจริงเป็น 4 ช่องจราจร แต่บัญชีลักษณะผิวทางระบุ 2 ช่องจราจร หรือ สภาพจริงเป็น 2 ช่องจราจรแต่บัญชีลักษณะผิวทางเป็น 4 ช่องจราจร ควรแจ้งให้งานสถิติ ตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลในระบบ Roadnet ให้เป็นปัจจุบัน

3. ข้อมูลทางขนานไม่ตรงกับบัญชี, ข้อมูลอุโมงค์ทางลอดไม่ตรงกับบัญชี, ข้อมูลสะพานข้ามแยกไม่ตรงกับบัญชี คือ เมื่อดำเนินการสำรวจพบว่าสภาพจริงพบข้อมูลข้อมูลทางขนาน, อุโมงค์ทางลอดและสะพานข้ามแยก แต่บัญชีลักษณะผิวทาง ไม่ระบุ ข้อมูลทางขนาน, อุโมงค์ทางลอด และสะพานข้ามแยก ที่ปรึกษาจึงได้สำรวจเพิ่มจากบัญชีลักษณะผิวทาง ควรแจ้งให้งานสถิติตรวจสอบ และปรับปรุงข้อมูลในระบบ Roadnet ให้เป็นปัจจุบัน

4. ข้อมูลประเภทผิวทางไม่ตรงกับบัญชี เช่น เมื่อดำเนินการสำรวจพบว่าประเภทผิวทางตามสภาพจริงไม่ตรงตามบัญชีลักษณะผิวทาง ควรแจ้งให้งานสถิติ ตรวจสอบ และปรับปรุงข้อมูลในระบบ Roadnet ให้ เป็นปัจจุบัน

5. รอนำส่งข้อมูลครั้งที่ 2 คือ ไม่สามารถนำส่งได้ในรอบนี้ ทำให้สายทางช่วงนี้ไม่ต้องตรวจสอบ และจะมีการส่งข้อมูลให้ตรวจสอบ 2 ครั้ง

6. ตรวจสอบแล้วเสร็จ, อยู่ระหว่างตรวจสอบของแขวงฯ (เฉพาะบัญชี QC5) อยู่ระหว่างตรวจสอบของกรมฯ (เฉพาะบัญชี QC4) คือ สายทางในช่วงดังกล่าว ท่านได้เคยตรวจสอบและยืนยันผลการตรวจสอบแล้ว หรืออยู่ระหว่างการตรวจสอบของแขวงฯ ในการส่งตรวจครั้งที่ 1 (เฉพาะบัญชี QC5) หรืออยู่ระหว่างการ ตรวจสอบของกรมฯ ในการส่งตรวจครั้งที่ 1 (เฉพาะบัญชี QC4)

7. ไม่สามารถสำรวจได้ คือ มีการก่อสร้างระหว่างที่ที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจ ซึ่งช่วง กม. ดังกล่าวจะไม่มีข้อมูลการสำรวจ หรือโอนให้หน่วยงานอื่น

สำหรับบัญชี QC4

8.สายทางทีสำรวจเพิ่มเติม คือ ในกรณีที่นำสายทางแผนสำรอง (PlanB) นำมาสำรวจเพิ่มเติมเมื่อระยะทางไม่ครบถ้วนจากแผนหลักที่ได้รับมอบหมาย *ระบุในช่องสถานะการวิ่งสำรวจ* และหากมีข้อมูลไม่ตรงตามสถิติ เช่น ระยะทางสำรวจไม่ตรงกับบัญชี *ให้ระบุข้อสังเกตเพิ่มในช่องหมายเหตุ*

9. ในกรณีหลักกิโลเมตรแสดงผลบนระบบ Roadnet ไม่ตรงกับกิโลเมตรข้อมูลสำรวจที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำเอกสารในการแจ้งผล โดยระบุหมายเลขสายทางหลวง ตอนควบคุม และข้อมูลช่วงหลักกิโลเมตร เพื่อแจ้งเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวง โดยแจ้งในกลุ่ม LINE Open Chat ดังนี้

รูปที่ 1-132 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS

สรุประยะทางบัญชีสายทางที่ทำการสำรวจ

ที่ปรึกษาได้สำรวจและประมวลผล การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล และสามารถตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet ซึ่งข้อมูลผ่านการตรวจสอบจากแขวงทางหลวง (QC5) ในรายงานขั้นสุดท้าย ระยะทางทั้งสิ้น 30,342.376 กิโลเมตร โดยที่ปรึกษาได้แยกข้อมูลตามพื้นที่สำนักงานทางหลวงและแขวงทางหลวง นำส่งรายงวดงานแสดงดังตารางที่ 1-41

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	643	บึงกาฬ	22.786	22.886	0	22.886
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	629	หนองบัวลำภู	4.700	4.700	0	4.700
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	624	อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	17.750	17.675	0	17.675
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	635	ร้อยเอ็ด	147.856	153.995	0	153.995
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	622	มหาสารคาม	239.593	245.863	0	245.863
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	647	กาฬสินธุ์	61.769	64.421	0	64.421
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	631	อุบลราชธานีที่ 1	143.090	147.626	0	147.626
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	632	อุบลราชธานีที่ 2	221.724	222.266	0	222.266
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	615	สุรินทร์	280.307	89.127	195.979	285.106
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	638	ศรีสะเกษที่ 1	133.175	75.929	67.740	143.669
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	636	ศรีสะเกษที่ 2	221.874	81.813	139.148	220.961
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	634	อำนาจเจริญ	203.393	203.903	0	203.903
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	614	นครราชสีมาที่ 3	238.730	172.697	0	172.697
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	618	ปราจีนบุรี	139.938	139.338	0	139.338
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	619	สระแก้ว (วัฒนานคร)	158.052	160.657	0	160.657

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	611	นครราชสีมาที่ 1	391.582	233.909	213.307	447.216
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	413	อยุธยา	283.000	52.686	248.070	300.756
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	411	กรุงเทพ	64.040	99.005	0	99.005
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	418	นนทบุรี	58.875	56.538	0	56.538
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	416	ปทุมธานี	233.008	156.901	124.319	281.220
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	417	สมุทรปราการ	233.257	231.382	0	231.382
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	415	สมุทรสาคร	13.874	13.097	0	13.097
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	419	ธนบุรี	200.954	0.704	200.716	201.420
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	414	นครนายก	109.384	76.904	32.764	109.668
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	421	ฉะเชิงเทรา	276.725	97.244	198.322	295.566
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	422	ชลบุรีที่ 1	418.121	458.206	0	458.206
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	425	ตราด	362.333	280.857	98.380	379.237
Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	426	ระยอง	403.099	36.243	0	36.243
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	428	ชลบุรีที่ 2	114.22	123.469	0	123.469
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	617	บุรีรัมย์	421.69	0	426.057	426.057
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	513	สุโขทัย	266.772	263.346	0	263.346
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	517	กำแพงเพชร	146.116	149.52	0	149.520
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	437	นครสวรรค์ที่ 1	217.814	221.506	0	221.506
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	438	นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	203.189	176.347	0	176.347
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	435	ลพบุรีที่ 2 (ลำนารายณ์)	76.671	78.883	0	78.883
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	431	ลพบุรีที่ 1	222.415	230.449	0	230.449
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	433	สิงห์บุรี	28.082	28.082	0	28.082
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	446	ชัยนาท	80.416	142.178	0	142.178

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	448	อ่างทอง	94.009	101.052	0	101.052
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	441	สุพรรณบุรีที่ 1	343.988	354.544	0	354.544
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	639	มุกดาหาร	188.041	202.349	0	202.349
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	644	นครพนม	31.715	30.660	0	30.66
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	642	สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	104.603	103.267	0	103.267
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	623	อุดรธานีที่ 1	55.344	0	78.618	78.618
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	628	ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	150.467	131.415	0	131.415
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	627	ขอนแก่นที่ 2 (ซุมแพ)	0.412	0	43.179	43.179
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	633	ยโสธร	131.473	103.183	0	103.183
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	551	เพชรบูรณ์ที่ 1	31.473	30.848	0	30.848
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	552	เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	103.61	94.269	0	94.269
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	555	เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	106.759	107.304	0	107.304
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	515	พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	27.306	31.036	0	31.036
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	536	น่านที่ 1	279.085	310.691	0	310.691
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	535	พะเยา	215.277	209.719	0	209.719
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	528	ลำปางที่ 2	68.325	0	70.027	70.027
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	524	ลำพูน	90.238	90.428	0	90.428
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	522	เชียงใหม่ที่ 2	136.258	143.167	0	143.167
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	523	ลำปางที่ 1	117.657	118.530	0	118.530
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	524	ลำพูน	142.813	0	145.563	145.563
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	528	ลำปางที่ 2	216.708	214.814	0	214.814
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	531	แพร่	99.126	80.789	0	80.789
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	533	เชียงรายที่ 1	218.52	218.414	0	218.414

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	535	พะเยา	151.186	152.156	0	152.156
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	639	มุกดาหาร	145.275	0	160.771	160.771
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	641	สกลนครที่ 1	218.352	218.427	0	218.427
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	642	สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	177.038	176.739	0	176.739
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	644	นครพนม	84.512	0	91.117	91.117
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	646	หนองคาย	45.614	40.073	0	40.073
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	513	สุโขทัย	62.207	0	60.437	60.437
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	557	อุตรดิตถ์ที่ 1	164.983	164.056	0	164.056
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	557	อุตรดิตถ์ที่ 1	50.706	0	49.491	49.491
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	552	เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	248.068	0	255.108	255.108
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	554	เลยที่ 1	29.174	29.174	0	29.174
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	555	เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	105.919	0	115.019	115.019
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	621	ขอนแก่นที่ 1	232.948	229.101	0	229.101
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	621	ขอนแก่นที่ 1	104.940	0	149.556	149.556
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	623	อุดรธานีที่ 1	186.018	179.051	0	179.051
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	624	อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	102.656	0	103.381	103.381
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	627	ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	199.847	226.597	0	226.597
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	628	ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	187.155	0	188.199	188.199
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	622	มหาสารคาม	132.442	0	128.987	128.987
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	633	ยโสธร	147.954	0	148.704	148.704
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	635	ร้อยเอ็ด	95.842	0	97.207	97.207
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	647	กาฬสินธุ์	319.054	0	327.037	327.037
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	631	อุบลราชธานีที่ 1	113.06	0	116.321	116.321

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	632	อุบลราชธานีที่ 2	112.104	0	111.202	111.202
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	614	นครราชสีมาที่ 3	238.730	0	241.783	241.783
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	617	บุรีรัมย์	170.882	164.181	0	164.181
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	618	ปราจีนบุรี	326.857	0	328.35	328.35
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	438	นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	187.792	0	186.586	186.586
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	448	อ่างทอง	152.568	0	158.617	158.617
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	423	จันทบุรี	130.322	127.690	0	127.690
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	426	ระยอง	339.864	0	402.459	402.459
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	428	ชลบุรีที่ 2	187.34	0	174.788	174.788
Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	336	นครปฐม	58.208	65.314	0	65.314
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	521	เชียงใหม่ที่ 1	625.320	590.166	0	590.166
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	522	เชียงใหม่ที่ 2	405.596	0	411.629	411.629
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	526	แม่ฮ่องสอน	616.327	615.110	0	615.110
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	523	ลำปางที่ 1	396.808	0	444.798	444.798
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	533	เชียงรายที่ 1	298.039	0	288.288	288.288
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	537	เชียงรายที่ 2	186.717	170.446	0	170.446
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	539	น่านที่ 2	438.159	448.022	0	448.022
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	531	แพร่	349.039	0	355.372	355.372
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	512	ตากที่ 1	408.887	409.973	0	409.973
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	512	ตากที่ 1	117.194	0	112.985	112.985
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	517	กำแพงเพชร	220.200	0	224.702	224.702
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	511	พิษณุโลกที่ 1	231.226	235.391	0	235.391
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	519	พิจิตร	369.854	303.664	0	303.664

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	515	พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	329.748	0	336.018	336.018
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	551	เพชรบูรณ์ที่ 1	341.027	0	341.362	341.362
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	626	ชัยภูมิ	449.026	538.334	0	538.334
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	619	สระแก้ว (วัฒนานคร)	112.665	0	121.447	121.447
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	612	นครราชสีมาที่ 2	404.434	422.521	0	422.521
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	435	ลพบุรีที่ 2 (ลำนารายณ์)	122.734	0	122.734	122.734
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	431	ลพบุรีที่ 1	197.468	0	200.557	200.557
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	437	นครสวรรค์ที่ 1	165.176	0	166.711	166.711
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	432	สระบุรี	156.698	162.160	0	162.160
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	432	สระบุรี	322.596	0	345.857	345.857
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	433	สิงห์บุรี	117.020	0	121.648	121.648
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	446	ชัยนาท	163.344	0	165.534	165.534
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	447	อุทัยธานี	20.449	20.644	0	20.644
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	441	สุพรรณบุรีที่ 1	24.692	0	25.602	25.602
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	445	สุพรรณบุรีที่ 2 (อู่ทอง)	190.522	192.339	0	192.339
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	411	กรุงเทพ	93.380	0	94.204	94.204
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	418	นนทบุรี	238.129	0	264.650	264.650
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	415	สมุทรสาคร	142.603	0	229.731	229.731
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	417	สมุทรปราการ	151.298	0	157.305	157.305
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	337	สมุทรสงคราม	149.578	159.830	0	159.830
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	337	สมุทรสงคราม	26.271	0	26.475	26.475
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	336	นครปฐม	102.158	0	102.309	102.309
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	335	ราชบุรี	88.246	98.110	0	98.110

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	335	ราชบุรี	57.084	0	57.151	57.151
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	332	ชุมพร	346.737	342.144	0	342.144
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	332	ชุมพร	18.617	0	18.695	18.695
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	325	สุราษฎร์ธานีที่ 1	98.429	96.608	0	96.608
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	328	สุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)	59.306	40.622	0	40.622
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	329	สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	209.226	209.774	0	209.774
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	329	สุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)	113.596	0	133.556	133.556
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	326	นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง)	207.364	205.143	0	205.143
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	314	พัทลุง	22.526	21.669	0	21.669
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	324	ภูเก็ต	115.843	125.071	0	125.071
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	311	สงขลาที่ 1	138.73	138.730	0	138.730
Progress 2	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	318	สตูล	175.533	204.559	0	204.559
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	527	เชียงใหม่ที่ 3	430.330	424.318	0	424.318
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	514	ตากที่ 2	743.696	725.017	0	725.017
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	444	กาญจนบุรี	166.470	183.385	0	183.385
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	333	ประจวบคีรีขันธ์ (หัวหิน)	496.886	501.955	0	501.955
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	338	เพชรบุรี	252.737	252.111	0	252.111
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	338	เพชรบุรี	13.675	0	13.507	13.507
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	325	สุราษฎร์ธานีที่ 1	156.830	0	153.530	153.530
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	328	สุราษฎร์ธานีที่ 2(กาญจนดิษฐ์)	152.792	0	152.792	152.792
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	314	พัทลุง	239.544	0	222.830	222.830

ตารางที่ 1-41 ตารางสรุประยะทางส่งมอบในรายงานขั้นสุดท้าย (ต่อ)

งวดงาน	รายชื่อสำนักงานทางหลวง	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตามแผนการสำรวจ (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทางครั้งที่ 2 (กม.)	สรุประยะทาง (กม.)
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	322	ตรัง	223.257	228.513	0	228.513
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	323	กระบี่	234.936	234.761	0	234.761
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	324	ภูเก็ต	210.691	0	209.753	209.753
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	327	พังงา	77.805	76.931	0	76.931
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	327	พังงา	328.129	0	330.651	330.651
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	331	ระนอง	341.973	342.651	0	342.651
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	331	ระนอง	81.922	0	80.656	80.656
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	311	สงขลาที่ 1	123.959	0	124.422	124.422
Draft Final	สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	319	สงขลาที่ 2 (นาหม่อม)	157.911	127.549	0	127.549
รวมระยะทางรายงานขั้นสุดท้าย (Final Report)					**18,307.611**	**12,034.765**	**30,342.376**

หมายเหตุ : ระยะทางครั้งที่ 1 และระยะทางครั้งที่ 2 หมายถึง ที่ปรึกษาจัดทำบัญชีตรวจสอบบัญชีผิวทาง ให้ทางแก่คณะทำงานตรวจสอบ โดยสามารถนำส่งข้อมูลให้ตรวจสอบ 2 ครั้ง

สรุปผลการดำเนินงานจากข้อมูลสำรวจ

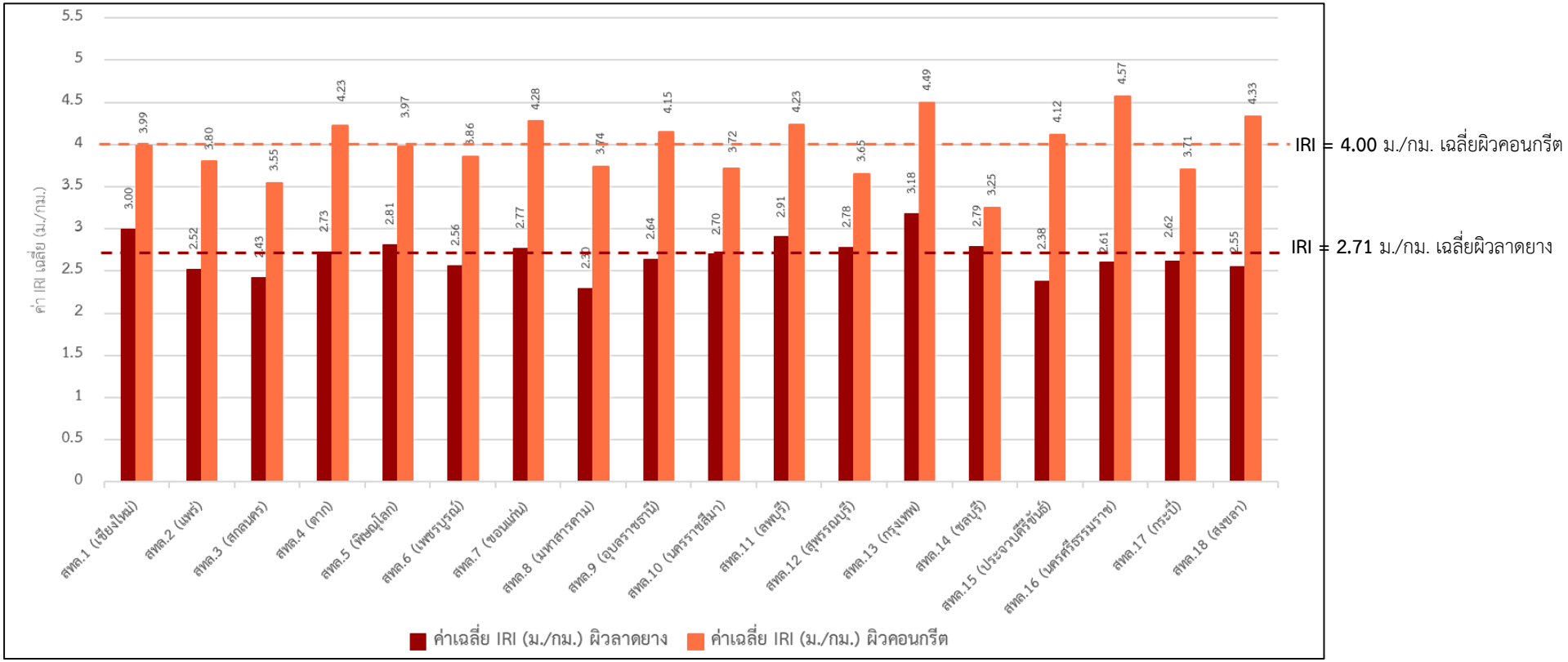
หลังจากการสำรวจ จึงดำเนินการตรวจสอบและจัดเก็บข้อมูลลงในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์ และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS โดยผลจากการดำเนินงานจากการสำรวจมีระยะทางทั้งสิ้น 30,342.376 กิโลเมตร แบ่งออกเป็นประเภทผิวลาดยาง 26,335.230 กิโลเมตร และประเภทผิวคอนกรีต 4,007.146 กิโลเมตร มีรายละเอียดดังตารางสรุปผลและแสดงผลด้วยแผนภูมิดังนี้

ตารางแสดงรายละเอียดระยะทางรายสำนักงานทางหลวง โดยที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจ ทั้งหมด 18 สำนักงานทางหลวง ซึ่งแบ่งระยะทางแยกตามชนิดผิวทาง ประกอบด้วยผิวทางลาดยางและคอนกรีต รวมทั้งรายละเอียดค่าเฉลี่ยข้อมูลสภาพทาง ได้แก่ ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ซึ่งแยกตามประเภทผิวทาง แสดงดังตารางที่ 1-42

ตารางที่ 1-42 ตารางสรุปผลระยะทางสำรวจค่าสภาพทางรายสำนักงานทางหลวง

สำนักงานทางหลวง	ระยะทาง (กม.)		ระยะทางรวมทั้งสิ้น (กม.)	ค่าเฉลี่ย							
				IRI (ม./กม.)			RUT (มม.)		MPD (มม.)		
	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ระยะรวม	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ค่าเฉลี่ยรวม	ผิวลาดยาง	ค่าเฉลี่ยรวม	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ค่าเฉลี่ยรวม
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	2,817.569	450.981	3,268.550	3.00	3.99	3.14	4.93	3.62	4.75	0.78	0.70
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	2,203.360	420.882	2,624.242	2.52	3.80	2.72	5.67	3.28	5.28	0.30	0.52
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	1,793.442	248.078	2,041.520	2.43	3.55	2.56	5.34	3.83	5.16	0.86	0.60
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	719.693	624.202	1,343.895	2.73	4.23	3.42	5.79	4.10	5.00	0.95	0.74
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	1,452.381	586.595	2,038.976	2.81	3.97	3.14	6.73	3.43	5.78	0.91	0.56
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	1,503.522	494.136	1,997.658	2.56	3.86	2.88	5.35	3.89	4.99	0.86	0.65
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	1,452.308	185.293	1,637.601	2.77	4.28	2.94	7.00	5.35	6.81	0.85	0.65
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	1,203.868	32.656	1,236.524	2.30	3.74	2.33	5.80	3.04	5.72	0.76	0.47
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	1,549.293	79.694	1,628.987	2.64	4.15	2.71	6.07	3.10	5.92	0.77	0.53
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	552.825	42.435	595.260	2.70	3.72	2.77	6.79	4.39	6.62	0.88	0.64
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	2,081.265	152.632	2,233.897	2.91	4.23	3.00	7.31	4.71	7.13	0.99	0.73
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	1,017.543	28.746	1,046.289	2.78	3.65	2.80	5.91	4.03	5.86	0.71	0.52
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,790.987	154.993	1,945.980	3.18	4.49	3.29	7.28	5.50	7.14	0.99	0.67
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	920.834	198.822	1,119.656	2.79	3.25	2.87	5.70	3.95	5.39	0.97	0.57
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	932.906	44.878	977.784	2.38	4.12	2.46	5.52	4.13	5.45	1.04	0.71
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	1,670.836	214.270	1,885.106	2.61	4.57	2.83	6.08	3.90	5.83	0.98	0.74
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,246.237	23.160	1,269.397	2.62	3.71	2.64	5.13	2.81	5.09	0.98	0.51
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	1,426.361	24.693	1,451.054	2.55	4.33	2.58	5.31	3.68	5.28	0.84	0.68
ผลรวมทั้งหมด	**26,335.230**	**4,007.146**	**30,342.376**	**2.71**	**4.00**	**2.88**	**5.96**	**3.90**	**5.69**	**0.84**	**0.64**

จากค่าการสำรวจสภาพทางแสดงรายละเอียดระยะทางรายสำนักงานทางหลวง โดยที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจทั้งหมด 18 สำนักงานทางหลวง แสดงดังตารางที่ 1-42 ได้ทำการจัดข้อมูลแสดงในแผนภูมิแท่ง โดยแสดงข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) จำแนกตามพื้นที่การดูแลสำนักงานทางหลวง ซึ่งแยกตามประเภทผิวทาง แสดงดังรูปที่ 1-133 และ สรุปในรูปแบบตารางที่ 1-43

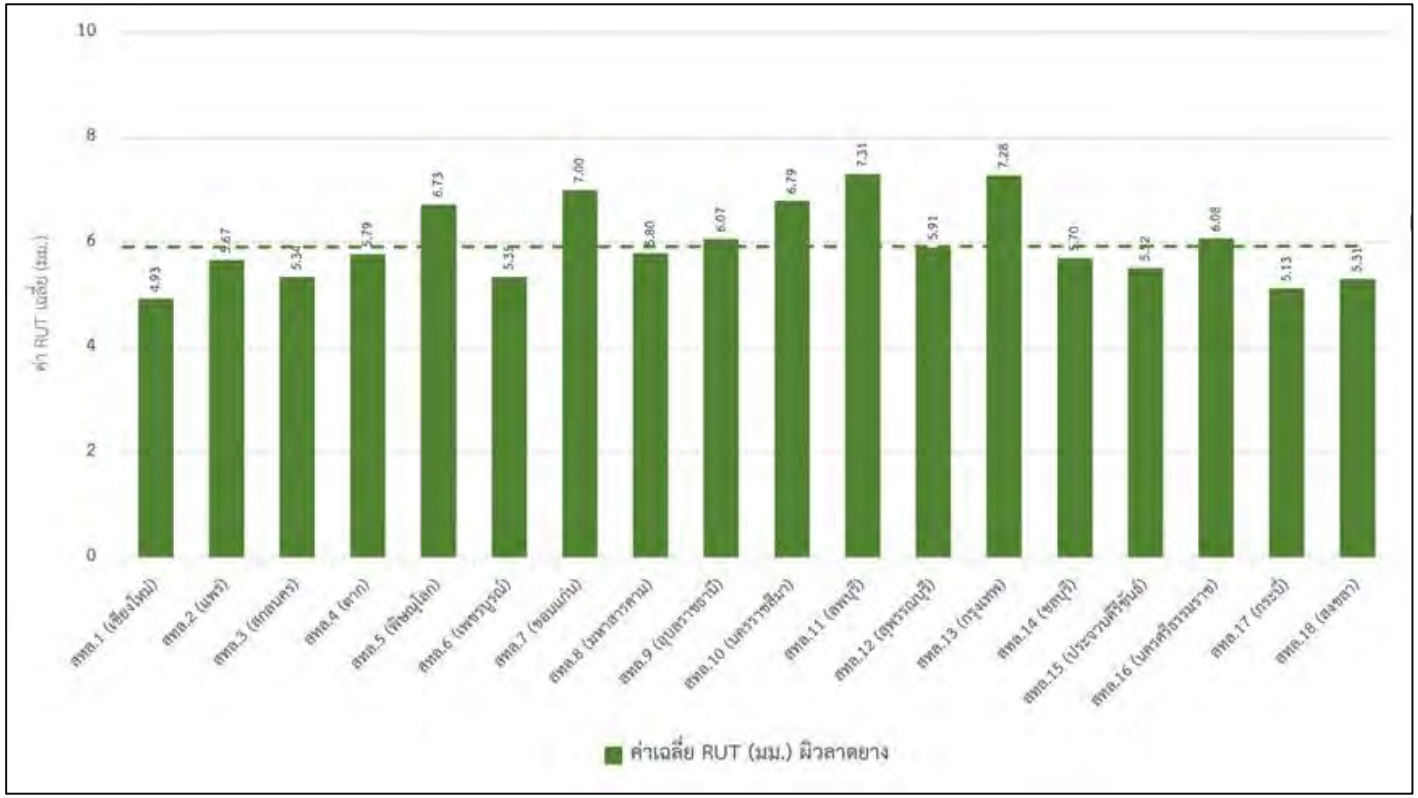


รูปที่ 1-133 ค่าเฉลี่ย IRI จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง

ตารางที่ 1-43 ข้อมูลระยะทางของค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) แจกแจงตามช่วงค่าของ IRI

สำนักงานทางหลวง	ระยะทาง (กม.)		ค่าเฉลี่ย IRI (ม./กม.)		ระยะทาง (กม.)							
					IRI < 2.5		2.5 ≤ IRI < 3.5		3.5 ≤ IRI < 4.5		IRI ≥ 4.5	
	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	2,817.569	450.981	3.01	4.00	1,142.410	10.458	1,008.140	197.833	513.235	205.233	153.785	37.458
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	2,203.360	420.882	2.55	3.78	1,414.871	90.489	562.921	117.714	144.746	117.214	80.821	95.464
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	1,793.442	248.078	2.48	3.53	952.986	63.751	426.936	64.276	219.761	57.501	193.761	62.551
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	719.693	624.202	2.73	4.23	532.680	117.044	36.439	161.594	100.175	206.319	50.400	139.244
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	1,452.381	586.595	2.81	3.97	708.058	97.199	415.758	171.199	191.358	200.449	137.208	117.749
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	1,503.522	494.136	2.56	3.86	721.724	125.022	452.599	127.722	182.749	125.797	146.449	115.597
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	1,452.308	185.293	2.77	4.28	700.179	14.592	632.452	44.342	101.002	69.592	18.675	56.767
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	1,203.868	32.656	2.30	3.74	886.597	0	276.098	9.044	36.673	15.419	4.500	8.194
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	1,549.293	79.694	2.64	4.15	915.542	2.875	440.367	23.306	140.992	26.231	52.392	27.281
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	552.825	42.435	2.69	3.72	308.150	0	50.500	50.443	154.200	46.846	39.975	-54.854
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	2,081.265	152.632	2.91	4.23	874.541	28.914	803.116	12.839	286.516	81.939	117.091	28.939
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	1,017.543	28.746	2.18	3.65	606.261	13.700	243.911	15.046	90.961	0	76.411	0
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,790.987	154.993	3.18	4.48	642.547	40.075	670.397	114.918	339.872	0	138.172	0
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	920.834	198.822	2.79	3.25	503.617	130.568	257.467	9.111	138.350	25.493	21.400	33.650
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	932.906	44.878	2.38	4.12	729.822	1.950	152.409	2.030	48.225	34.550	2.450	6.348
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	1,670.836	214.270	2.61	4.57	899.578	45.743	485.228	51.468	166.028	58.643	120.003	58.418
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,246.237	23.160	2.62	3.71	803.329	0.750	372.208	14.490	60.250	1.095	10.450	6.825
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	1,426.361	24.693	2.55	4.33	603.728	0	372.003	8.534	232.778	10.355	217.853	5.805
รวม	26,335.230	4,007.146	2.71	4.00	13,946.618	783.129	7,658.948	1,195.908	3,147.870	1,282.675	1581.795	745.435

จากค่าการสำรวจสภาพทางแสดงรายละเอียดระยะทางรายสำนักงานทางหลวง โดยที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจทั้งหมด 18 สำนักงานทางหลวง แสดงดังตารางที่ 1-44 ได้ทำการจัดข้อมูลแสดงในแผนภูมิแท่ง โดยแสดงข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) จำแนกตามพื้นที่การดูแลสำนักงานทางหลวง ซึ่งแยกตามประเภทผิวทาง แสดงดังรูปที่ 1-134 และ สรุปในรูปแบบตารางที่ 1-44



RUT = 5.96 มม. เฉลี่ยผิวลาดยาง

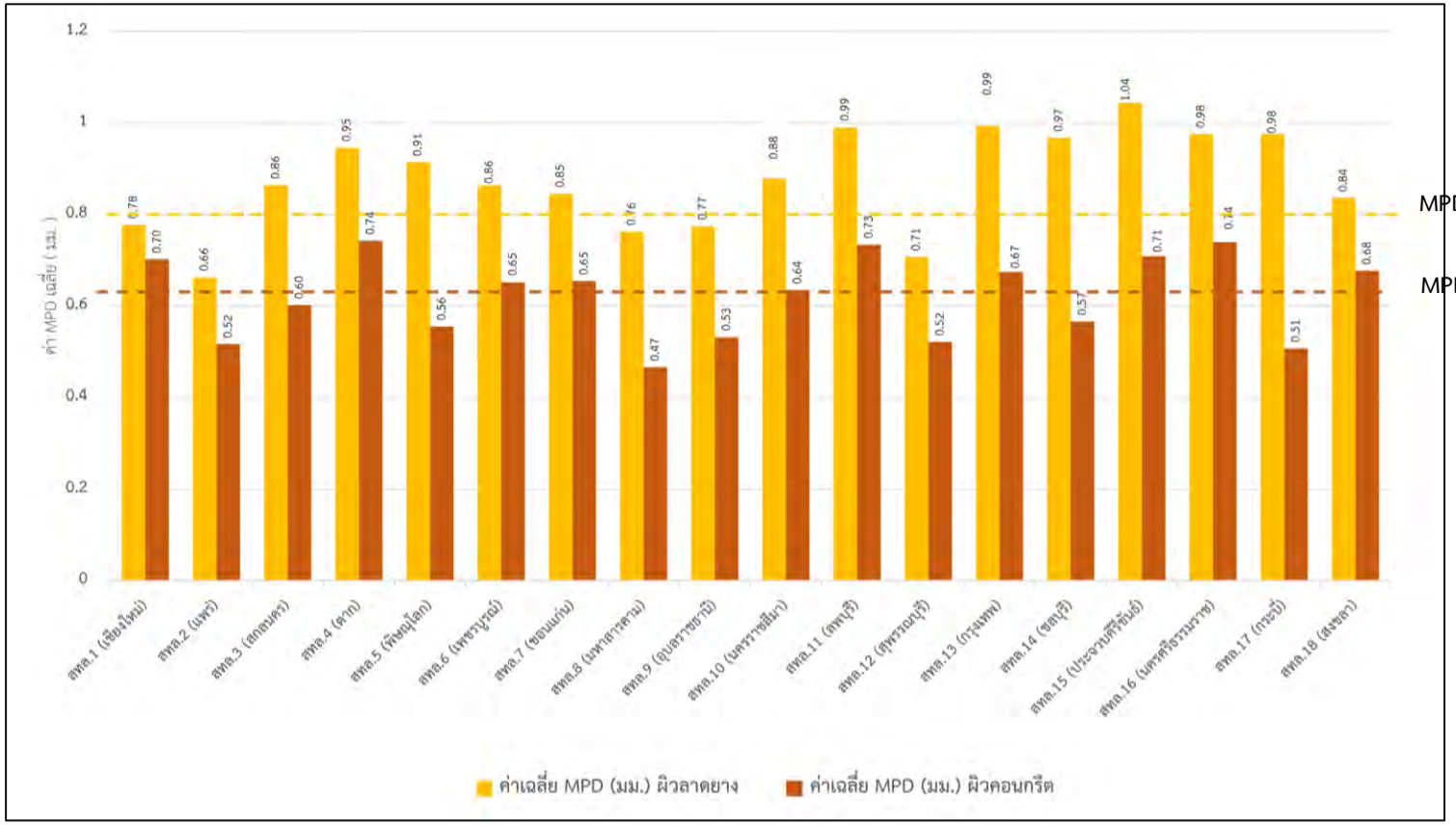
หมายเหตุ : ค่าความลึกร่องล้อของผิวคอนกรีต ไม่สามารถวัดค่าให้เห็นถึงความแตกต่างได้ แต่ด้วยความสามารถของอุปกรณ์สำรวจที่สามารถเก็บค่าความลึกร่องล้อทั้งผิวลาดยางและผิวคอนกรีตไว้ขณะทำการสำรวจด้วย ดังนั้นค่าความลึกล่องล้อของผิวคอนกรีตจะไม่นำไปประมวลผลงานซ่อมบำรุงแต่อย่างใด

รูปที่ 1-134 ค่าเฉลี่ย RUT จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง

ตารางที่ 1-44 ข้อมูลระยะทางของค่าข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) แจกแจงตามช่วงค่าของ RUT

สำนักงานทางหลวง	ระยะทาง (กม.)		ค่าเฉลี่ย RUT (มม.)	ระยะทาง (กม.)			
				RUT < 10	10 ≤ RUT< 15	15 ≤ RUT < 20	RUT ≥ 20
	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวลาดยาง	ผิวลาดยาง	ผิวลาดยาง	ผิวลาดยาง
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	2,817.569	450.981	4.93	2,739.322	75.597	1.400	1.250
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	2,203.360	420.882	5.67	1,984.893	207.293	11.150	0.025
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	1,793.442	248.078	5.34	1,321.171	461.571	9.650	1.050
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	719.693	624.202	5.79	606.793	94.000	17.900	1.000
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	1,452.381	586.595	6.73	1,055.066	374.866	21.275	1.175
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	1,503.522	494.136	5.35	1,085.974	406.424	9.125	2.000
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	1,452.308	185.293	7.00	1,293.054	109.329	36.050	13.875
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	1,203.868	32.656	5.80	1,083.869	104.999	11.000	4.000
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	1,549.293	79.694	6.07	1,348.634	172.184	21.900	6.575
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	552.825	42.435	6.79	223.900	284.025	37.200	7.700
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	2,081.265	152.632	7.31	1,569.260	445.130	53.175	13.700
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	1,017.543	28.746	5.91	763.772	243.847	8.925	1.000
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,790.987	154.993	7.28	1,436.194	306.944	33.500	14.350
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	920.834	198.822	5.70	859.909	46.700	8.250	5.975
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	932.906	44.878	5.52	837.181	85.875	8.675	1.175
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	1,670.836	214.270	6.08	1,287.556	344.156	28.075	11.050
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,246.237	23.160	5.13	1,206.137	36.975	2.125	1.000
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	1,426.361	24.693	5.31	1,402.211	23.825	0	0.325
รวม	26,335.230	4,007.146	5.96	22,104.893	3,823.737	319.375	87.225

จากค่าการสำรวจสภาพทางแสดงรายละเอียดระยะทางรายสำนักงานทางหลวง โดยที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจทั้งหมด 18 สำนักงานทางหลวง แสดงดังตารางที่ 1-45 ได้ทำการจัดข้อมูลแสดงในแผนภูมิแท่ง โดยแสดงข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) จำแนกตามพื้นที่การดูแลสำนักงานทางหลวง ซึ่งแยกตามประเภทผิวทาง แสดงดังรูปที่ 1-135 และสรุปในรูปแบบตารางที่ 1-45



MPD = 0.84 มม. เฉลี่ยผิวลาดยาง

MPD = 0.64 มม. เฉลี่ยผิวคอนกรีต

รูปที่ 1-135 ค่าเฉลี่ย MPD จำแนกตามสำนักงานทางหลวงและชนิดผิวทาง

ตารางที่ 1-45 ข้อมูลระยะทางของข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) แจกแจงตามช่วงค่าของ MPD

สำนักงานทางหลวง	ระยะทาง (กม.)		ค่าเฉลี่ย MPD (มม.)		ระยะทาง (กม.)					
					MPD < 0.25		0.25 ≤ MPD < 0.5		MPD ≥ 0.5	
	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต	ผิวลาดยาง	ผิวคอนกรีต
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	2,876.835	390.896	0.78	0.70	4.125	1.000	545.250	118.425	2,268.194	331.556
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	2,138.922	94.975	0.66	0.52	27.025	10.950	666.675	67.725	1,509.660	342.207
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	1,018.968	27.321	0.86	0.60	9.175	0.500	166.400	229.803	1,617.867	17.775
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	1,790.987	154.993	0.95	0.74	1.000	0	118.350	13.125	600.343	611.077
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	920.834	198.822	0.91	0.56	1.800	0.900	109.050	478.545	1,341.531	107.150
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	932.906	44.878	0.86	0.65	0	21.200	65.550	451.661	1,437.972	21.275
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	1,670.836	214.270	0.85	0.65	8.100	4.675	324.600	35.300	1,119.608	145.318
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	1,246.237	23.160	0.76	0.47	17.175	6.475	256.350	12.425	930.343	13.756
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	1,426.361	24.693	0.77	0.53	4.000	4.275	262.775	65.369	1,282.518	10.050
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	2,203.754	420.488	0.88	0.64	0.050	3.175	295.050	39.260	257.725	0
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	1,793.446	248.074	0.99	0.73	0	0	89.100	54.050	1,992.165	98.582
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	719.693	624.202	0.71	0.52	5.225	0	167.675	28.746	844.643	0
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,453.494	585.910	0.99	0.67	0.750	0	96.100	154.993	1,694.137	0
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	1,503.522	494.136	0.97	0.57	0	9.400	68.875	179.750	851.959	9.672
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	1,454.748	182.853	1.04	0.71	2.950	0.125	38.125	44.753	891.831	0
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	1,203.868	32.656	0.98	0.74	0.775	0.125	33.025	9.025	1,637.036	205.120
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,549.293	79.694	0.98	0.51	0	2.300	108.350	20.860	1,137.887	0
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	552.825	42.435	0.84	0.68	0	0	57.600	16.500	1,368.761	8.193
รวม	26,457.529	3,884.456	0.87	0.64	82.150	65.100	3,468.900	2,020.315	22,784.180	1,921.731

1.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทางในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง ดังนี้

1.7.1 การศึกษาและวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงวิธีต่าง ๆ (Road Work Effect Model) จากข้อมูลการสำรวจทั้งหมดของกรมทางหลวงอย่างน้อย ประกอบด้วย งานฉาบผิว งานเสริมผิว งานบูรณะพื้นทาง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากกรมทางหลวง ทั้งในส่วนของประวัติการซ่อมบำรุง และข้อมูลการสำรวจดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ทั้งในส่วนของสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังอย่างน้อย 3 ปี

การวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) คือ แบบจำลองที่คำนวณค่าความเสียหายหลังจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีต่าง ๆ หรือแบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) โดยที่ปรึกษาจะใช้ข้อมูลค่าค่าความเสียหายจากการสำรวจในโครงการร่วมกับข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุง อันประกอบด้วย งานฉาบผิว งานเสริมผิว งานบูรณะพื้นทาง และงานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่ และงานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ โดยใช้ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงและข้อมูลการสำรวจ ของสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ เพื่อนำมาวิเคราะห์และสอบเทียบแบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง ให้เป็นไปตามสภาพความเป็นจริงสายทางของกรมทางหลวงมากที่สุด ที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมและวิเคราะห์ผลตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูล

ที่ปรึกษาดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ในการนำข้อมูลมาประกอบการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง โดยข้อมูลที่ได้รับประกอบด้วย

- ชื่อสายทาง
- ตอนควบคุม
- ประเภทการซ่อมบำรุง
- ตำแหน่ง กม.
- ตำแหน่งช่องจราจร
- วันที่สำรวจค่าความเสียหาย
- ผู้ทำการสำรวจ (สำนักบริหารบำรุงทาง หรือสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ)
- ผลการสำรวจค่าความเสียหาย

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจนถึงปี 2565 ซึ่งที่ปรึกษาได้รับข้อมูลมาจากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง ทั้งนี้ได้รับการตรวจสอบและผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกสายทาง

เมื่อดำเนินการรวบรวมข้อมูลแล้วที่ปรึกษาคัดเลือกสายทางที่นำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดการคัดเลือก ดังนี้

- เลือกสายทางที่มีงานบำรุงต่าง ๆ
- เลือกเฉพาะสายทางที่มีการสำรวจค่าความเสียหายต่างๆ ในช่วงเวลาก่อนซ่อมบำรุงไม่เกิน 360 วัน และมีการสำรวจค่าความเสียหายต่างๆ อีกครั้งหนึ่ง ในช่วงเวลาหลังซ่อมบำรุงไม่เกิน 90 วัน เพื่อให้ได้สายทางที่ได้รับผลกระทบจากการซ่อมมากที่สุด

รูปที่ 1-136 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง

- ผลการสำรวจของค่าความเสียหายต่าง ๆ เฉลี่ยหลังซ่อมจะต้องมีค่าไม่มากกว่าค่าเฉลี่ยก่อนซ่อม เพื่อให้ได้สายทางที่มีการปรับปรุงอย่างแท้จริง

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบข้อมูล

เมื่อที่ปรึกษาดำเนินการคัดเลือกสายทางที่สามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงส่งข้อมูลให้ทางคณะกรรมการพิจารณาความเหมาะสมของสายทางอีกครั้ง ทั้งข้อมูลตำแหน่งของสายทางและประวัติงานซ่อมบำรุง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด

ตารางที่ 1-46 จำนวนสายทางที่ได้จากการคัดเลือก

รหัสงาน	จำนวนสายทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
งานฉาบผิวแอสฟัลต์	3	34.5
งานเสริมผิวแอสฟัลต์	54	227.8
งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่	44	186.4
งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์	33	54.1

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว

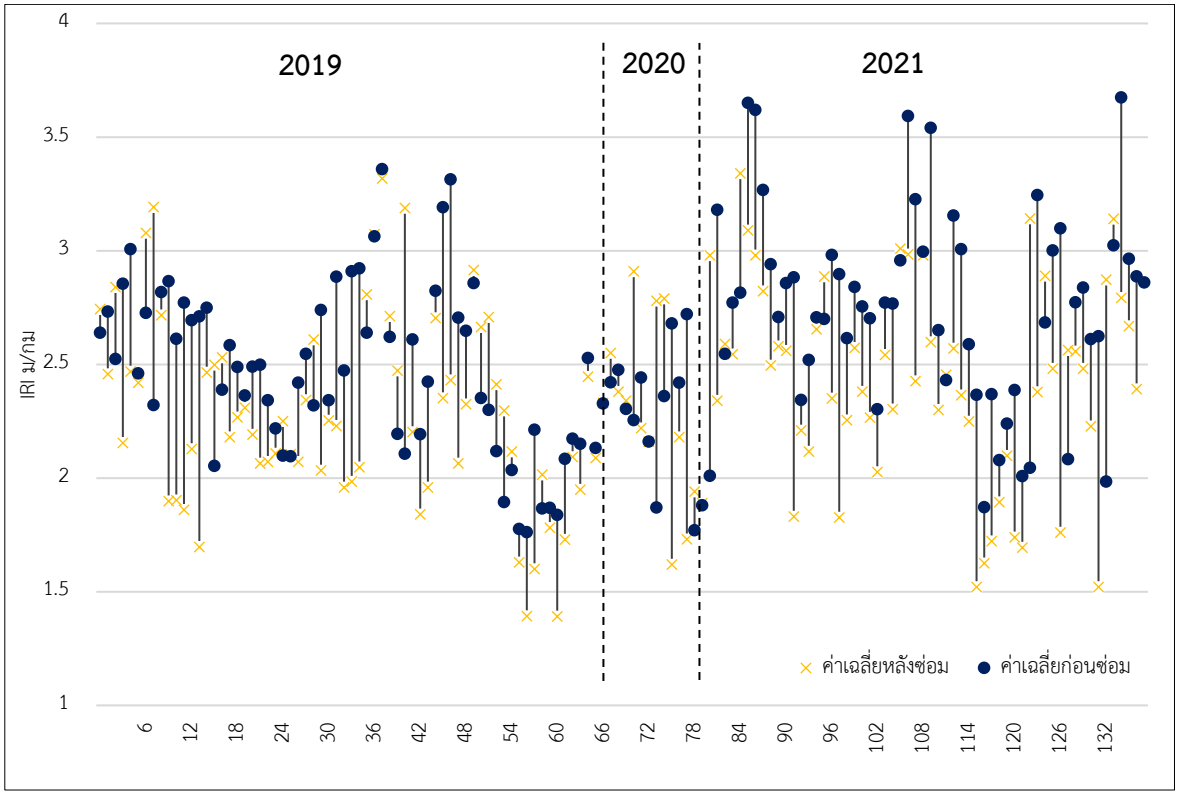
เมื่อที่ปรึกษาได้สายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงแยกการวิเคราะห์ตามพฤติกรรมและหลักการของค่าความเรียบได้ 3 แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

- แบบจำลองผลกระทบหลังการฉาบผิวทางลาดยาง

เนื่องจากในปีงบประมาณ 2564 มีงานฉาบผิวจำนวนน้อยที่ปรึกษาจึงใช้แบบจำลองผลกระทบหลังการฉาบผิวทางลาดยางเดิม โดยจะนำค่าความราบเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริง

ตารางที่ 1-47 ภาพรวมค่าความเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีฉาบผิว

	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	SD
ก่อนซ่อม	2.58	3.67	1.76	0.42
หลังซ่อม	2.34	3.34	1.39	0.43



รูปที่ 1-137 ภาพรวมของค่าความเรียบก่อนและหลังการฉาบผิวในแต่ละสายทาง

ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉาบผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$RI_a = RI_b - MAX\{0, MIN[a_0*(RI_b - 2.85), 0.06 * Hsl]\} \quad (1.1)$$

โดยที่

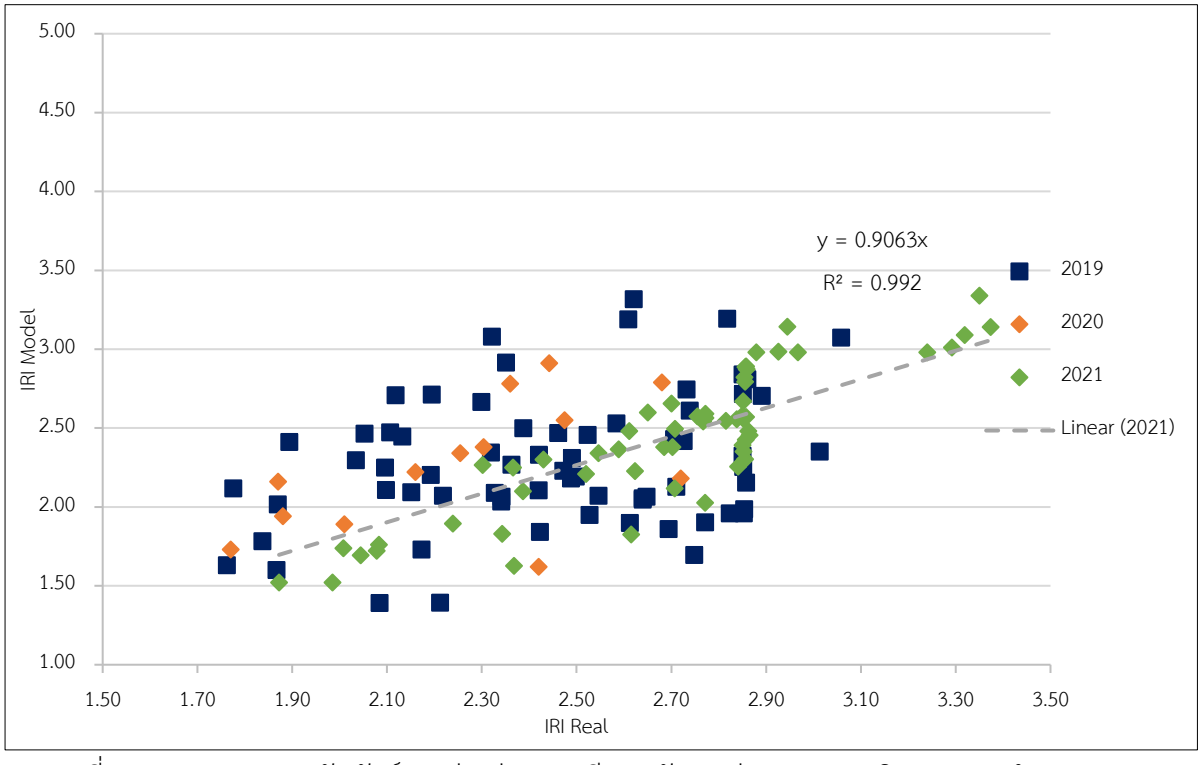
RI_a = IRI หลังการฉาบผิว (ม./กม.)

RI_b = IRI ก่อนการฉาบผิว (ม./กม.)

Hsl = ความหนาของการฉาบผิว (มม.)

a_0 = 1 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)

เมื่อที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมแบบฉาบผิวจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริงพบว่าทั้ง 2 ข้อมูล มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังนี้



รูปที่ 1-138 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมแบบฉาบผิวจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริง

จากรูปที่ 1-138 จะแสดงให้เห็นว่าค่าความเรียบจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริงพบว่ามีค่าR-square อยู่ที่ 0.992 และมีค่าสัมประสิทธิ์เข้าใกล้ 1 หมายถึง ค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และ ค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริงมีความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 เป็นเส้นตรง หมายความว่า ค่าความเรียบที่ได้จากแบบจำลองแบบฉาบผิวมีความแนบสนิทกับค่าความเรียบจริง หรืออาจจะกล่าวได้ว่าแบบจำลอง TPMS นั้นมีความถูกต้องแม่นยำเหมาะสำหรับนำไปใช้งาน

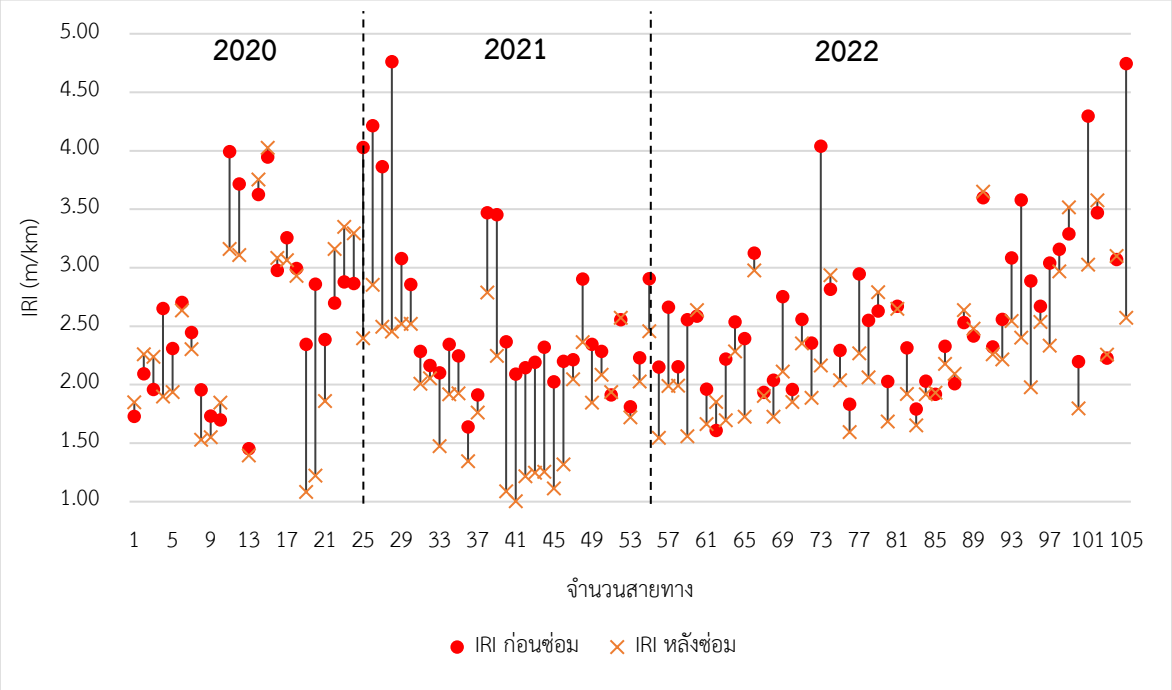
แต่ทั้งนี้หากพิจารณาจากภาพรวมของค่า IRI ที่เปลี่ยนแปลงไปของวิธีการฉาบผิวจะพบว่าสามารถลดค่า IRI ได้น้อย ประมาณ 0.1 - 0.2 เมตรต่อกิโลเมตร ซึ่งสอดคล้องกันทั้งข้อมูลจากสายทางจริงและสมการในแบบจำลอง

- แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิว (HDM)

จากข้อมูลที่ที่ปรึกษาได้รวบรวม สามารถแสดงค่าความราบเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิว ซึ่งข้อมูลจะแสดงรายละเอียดแต่ละสายทาง เป็นระยะทางต่อ 1 กิโลเมตร โดยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 1-48 ภาพรวมค่าความเรียบภายหลังการซ่อมด้วยวิธีการเสริมผิว

	ค่าเฉลี่ย	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	SD
ก่อนซ่อม	2.59	4.74	1.61	0.64
หลังซ่อม	2.26	3.65	1.55	0.52



รูปที่ 1-139 ภาพรวมของค่าความเรียบก่ อนและหลังการเสริมผิวในแต่ละสายทาง

ที่ปรึกษาจะนำค่าความราบเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมบำรุงจากข้อมูลสายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$\Delta RIa = \max\{0 , a_0 [\min(a_1,RIbw)- a_2]+ a_3\max[0,(RIbw - a_1)]\} \quad (1.2)$$

$$RIaw = RIbw - \Delta RIa$$

โดยที่

a_0 = 0.9 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)

a_1 = $\max\{4.0 , 2.1\exp[0.019HSNEWaw]\}$

a_2 = $1 + 0.018\max[0 , (100-HSNEWaw)]$

a_3 = $\min\{a0 , \max[0 , (0.01HSNEWaw- 0.15)]\}$

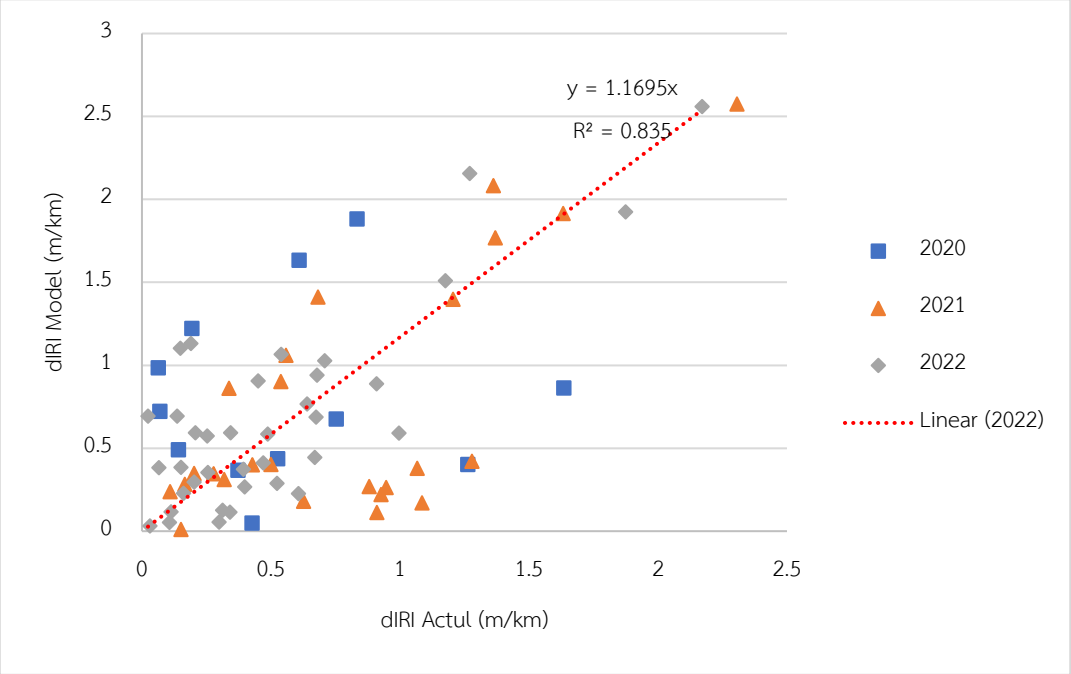
ΔRIa = การลดค่าของค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง

RIbw = ค่า IRI ก่อนการเสริมผิวทาง (m/km)

RIaw = ค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง (m/km)

HSNEWaw = ความหนาของการเสริมผิวทาง (mm)

เมื่อที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมแบบเสริมผิวจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริงพบว่าทั้ง 2 ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้



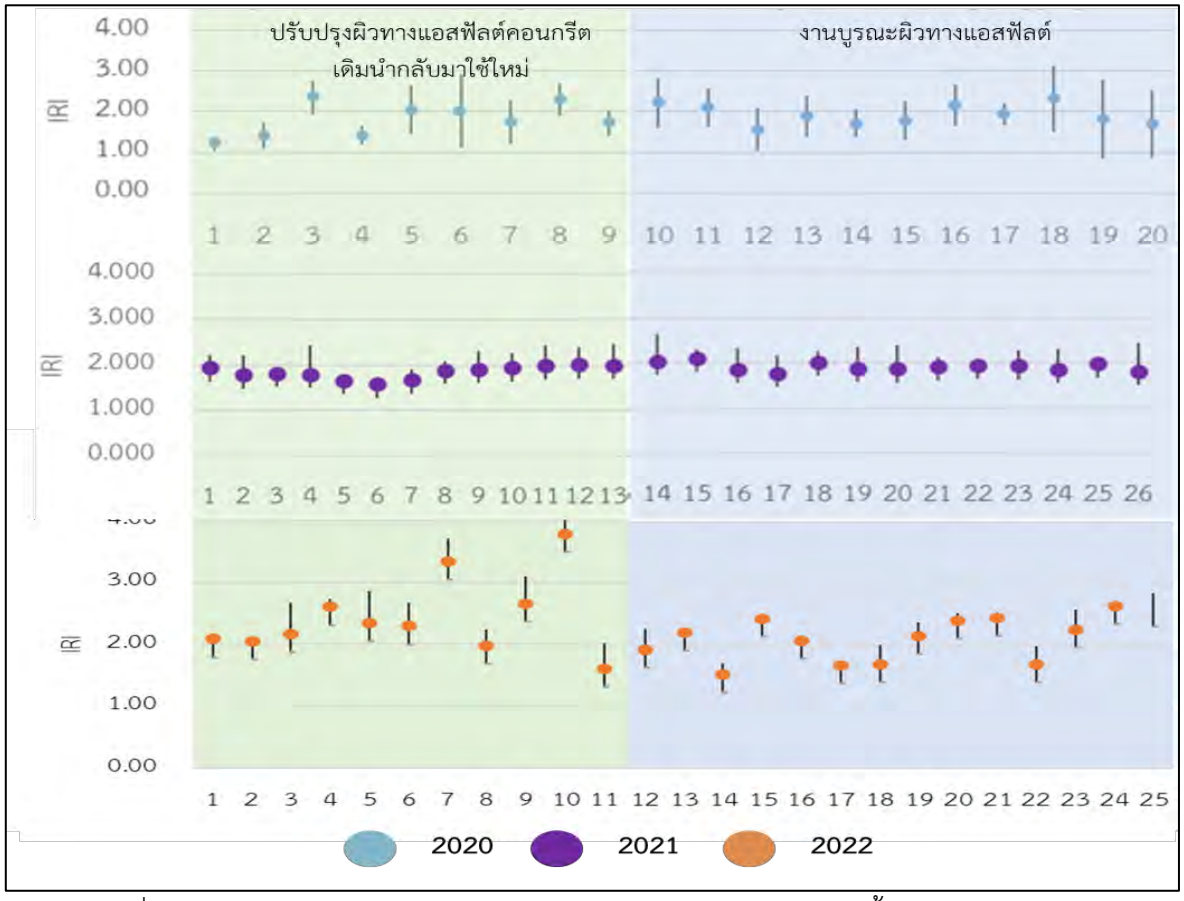
รูปที่ 1-140 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างค่า IRI หลังการซ่อมแบบเสริมผิว

โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าผลต่างค่า IRI จากทั้ง 2 ที่มา มีค่า R-square อยู่ที่ 0.835 และมีค่าสัมประสิทธิ์ประมาณ 1.169 ซึ่งหมายถึง ค่าความเรียบหลังการซ่อมแบบเสริมผิวจากแบบจำลอง TPMS มีประมาณครึ่งนึงของค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริง (ค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าค่าความเรียบจริง) หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ค่าความเรียบที่ทำนายจากแบบจำลองให้ค่า IRI หลังซ่อมได้ดีกว่าค่า IRI ที่เกิดจากการซ่อมแบบเสริมผิวบนสายทางจริง

- แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และงานบูรณะผิวทาง

การซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ เป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบรื้อผิวทางเก่า จากนั้นจึงลาดผิวทางใหม่ด้วยแอสฟัลต์และการบูรณะผิวทาง เป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบรื้อตั้งแต่ชั้นโครงสร้างทาง จากนั้นจึงลาดผิวทางใหม่ด้วยแอสฟัลต์ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่า IRI ภายหลังการซ่อมด้วยวิธีนี้จะมีค่าเทียบเท่ากับถนนใหม่ จากผลการศึกษาแบบจำลองจากระบบ TPMS ก่อนหน้านี้ พบว่าข้อมูลค่า IRI ของกรมทางหลวง สำหรับสายทางที่มีอายุการใช้งานน้อยกว่าประมาณ 1 ปี จะมีค่า IRI อยู่ที่ประมาณ 1.5 - 2.1 ม./กม.ดังนั้นการกำหนดค่า IRI หลังการซ่อมด้วยวิธีบูรณะผิวทางจึงกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2.0 ม./กม.

จากข้อมูลที่ที่ปรึกษาได้รวบรวม สามารถแสดงค่าความราบเรียบภายหลังการซ่อมด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง รายละเอียดดังนี้



รูปที่ 1-141 ผลสำรวจ IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง

ตารางที่ 1-49 สรุปผลสำรวจค่า IRI หลังการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง

วิธีการซ่อม	จำนวนสายทาง	S.D.	IRI_{new}
ปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่	25	0.21	1.75
งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์	25	0.15	1.92

จากการศึกษาพบว่า สายทางที่มีอายุการใช้งานมาแล้วประมาณ 1 ปี จะมีค่า IRI อยู่ที่ประมาณ 1.0 - 2.3 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.7 - 1.9 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.2 ซึ่งไม่มากนัก โดยวิธีการซ่อมแบบงานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ จะสามารถลดค่า IRI ได้ประมาณ 1.37 เมตรต่อกิโลเมตร ส่วนวิธีการซ่อมแบบปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่จะสามารถลดค่า IRI ได้ 0.83 เมตรต่อกิโลเมตร ดังนั้น ทางที่ปรึกษาจึงเสนอแนะการกำหนดค่า IRI หลังการซ่อมด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และวิธีบูรณะผิวทาง กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2.0 m/km และใช้ค่า IRI เท่ากับ 2.0 นี้ เป็นขอบเขตล่างของค่า IRI ภายหลังการซ่อมบำรุงทุกวิธี

1.7.2 การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติ ในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius)

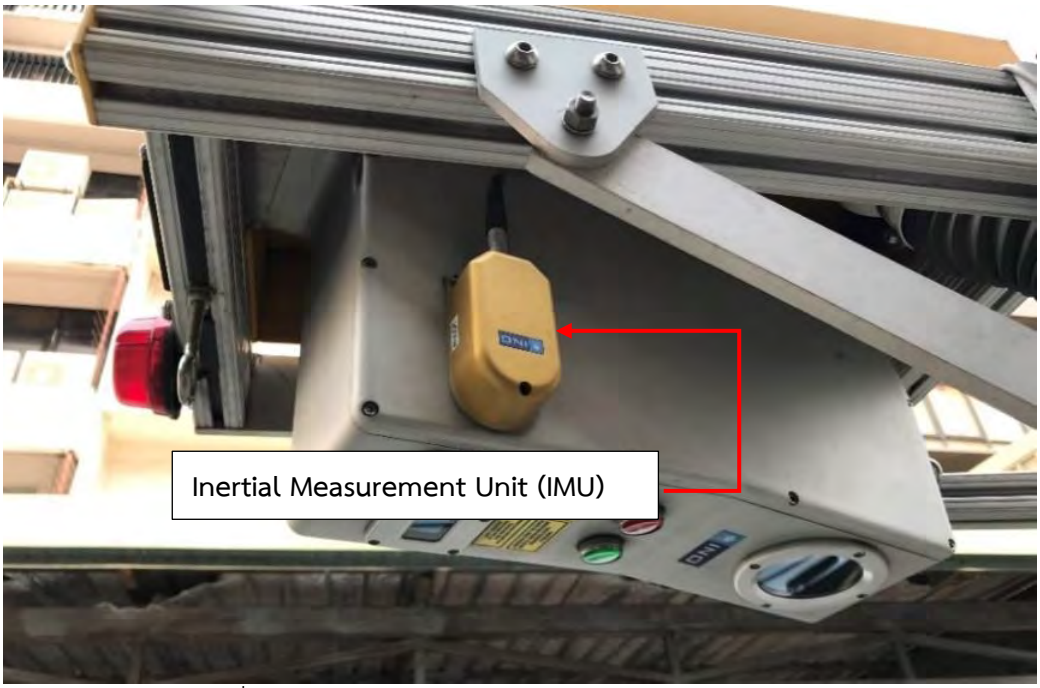
เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือสำรวจ บริษัทที่ปรึกษานำข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น และค่าระดับความสูง (Elevation) ที่ผ่านการประมวลผลจากรถสำรวจแต่ละคันมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มาจากแบบ As-Built, โดรน (Drone) หรือการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematics, RTK) โดยใช้ข้อมูลทางสถิติ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนทดลองนำขึ้นระบบ Roadnet ต่อไป

1. **การสำรวจลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ด้วยรถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)**

   ระบบ Laser Crack Measurement System เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีความละเอียดและแม่นยำสูงมากในการสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ซึ่งสามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์หาค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI), ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD), ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และความเสียหายต่าง ๆ ของผิวทาง (Surface Distress) โดยใช้ Algorithms ของบริษัทผู้ผลิต ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบหาค่าข้อมูลสภาพทางต่าง ๆ

สำหรับการวิ่งสำรวจในรอบเดียวกันนี้ นอกจากข้อมูลสภาพทางต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) ยังมีอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS และ Inertial Measurement Unit (IMU) ที่ประกอบด้วย Three Axis Accelerometers และ Gyroscopes ติดตั้ง built-in มาด้วย ทำให้สามารถคำนวณและรายงานผลค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) คือ ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) ได้

รูปที่ 1-142 รถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System

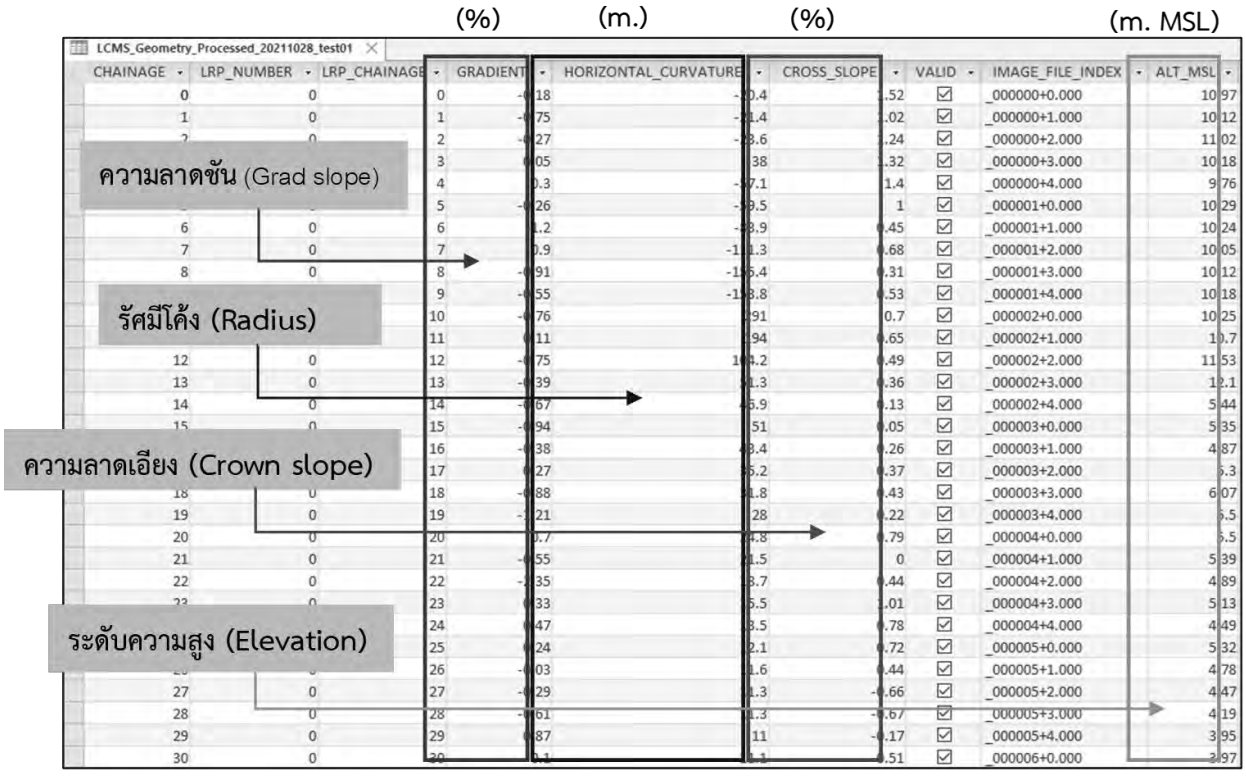


รูปที่ 1-143 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)

รูปที่ 1-144 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS

1.1 การประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation)

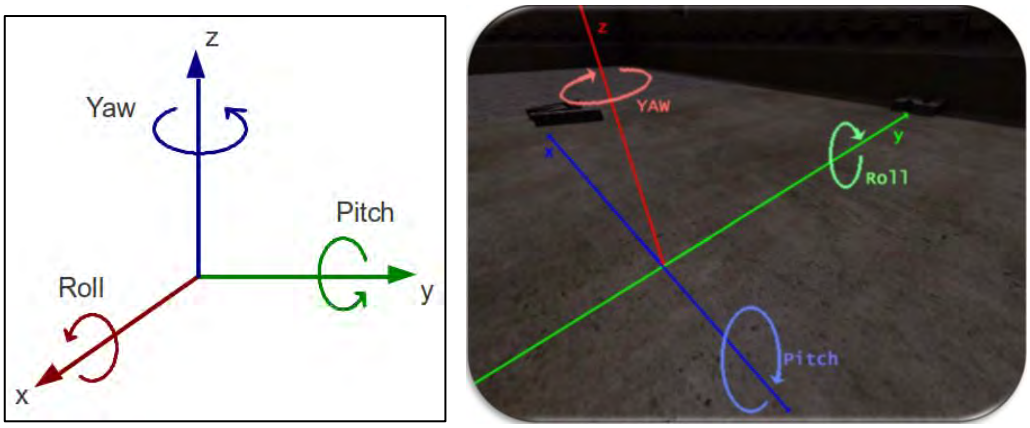
การประมวลผลค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) คือ ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) สามารถใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิตคำนวณออกมาเป็นค่าดังกล่าวได้โดยอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 1-145 ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปแสดงผลบนระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ต่อไปได้



รูปที่ 1-145 ผลการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิต จากการสำรวจด้วยระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)

1.1.1 หลักการประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) จากอุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) และอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS

อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) ประกอบด้วย Accelerometers และ Gyroscopes ที่สามารถตรวจจับท่าทางของรถสำรวจได้ใน 3 แกน คือแกน X, Y, Z และสามารถตรวจจับการหมุนตัวของรถสำรวจได้ใน 3 แกนเช่นกัน คือ Roll, Pitch และ Yaw มีหน่วยวัดเป็นองศาเรเดียนต่อวินาที (rad/s) แสดงดังรูปที่ 1-146



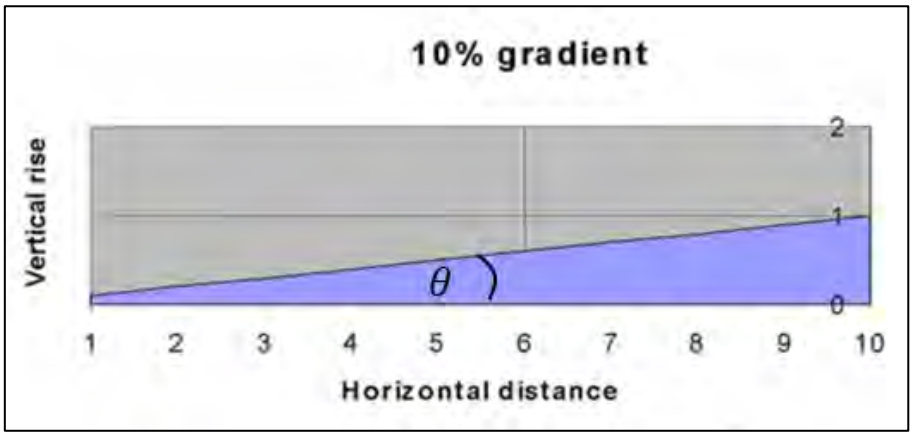
รูปที่ 1-146 The position of all three axes

- **ความลาดชัน (Percent grad slope)**

ความลาดชัน คือ อัตราส่วนสูงที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะทางตามแนวนอนระหว่างสองจุดใด ๆ บนเส้นตามแนวยาวของถนน โดยการคำนวณค่าความลาดชัน (Percent grad slope) เป็นไปตามสมการดังนี้

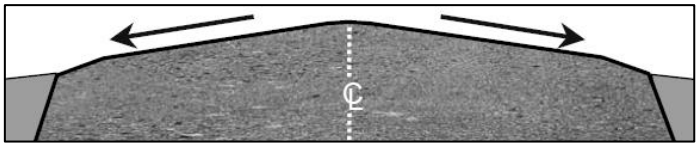
$$\%Grade = \frac{rise}{run} \times 100$$

$$\%Grade = \tan\theta \times 100$$



รูปที่ 1-147 หลักการคำนวณค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade)

- **ความลาดเอียง (Percent crown slope)**



ความลาดเอียง (Percent crown slope) คือ ความลาดชันหลังทางตามแนวรูปตัดขวางของถนน สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการเดียวกันกับค่าความลาดชัน (Percent grad slope) แต่ต้องใช้มุมการหมุนตัวของรถสำรวจอีกแกนมาคำนวณ

- **รัศมีโค้ง (Radius)**

การคำนวณค่ารัศมีโค้งใช้ทฤษฎีการกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement) การกระจัดสำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุนจะอิงต่อการหมุนของอนุภาคว่าหมุนในทิศทางใด กวาดเป็นมุมเท่าใด โดยสามารถคำนวณค่ารัศมีโค้ง (Radius) ตามสมการดังนี้

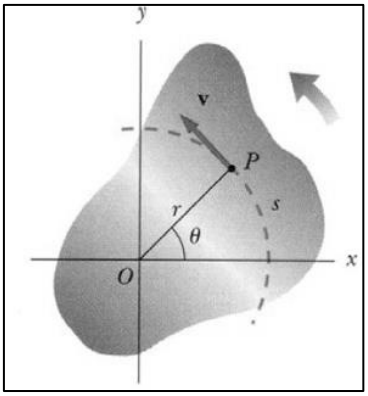
$$\theta = \frac{S}{r}$$
$$r = \frac{S}{\theta}$$

เมื่อ :

θ วัดเป็นเรเดียน (rad.)

S คือ ระยะกระจัดเชิงเส้น (ม.)

r คือ รัศมีโค้ง (ม.)



รูปที่ 1-148 การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement)

- **ค่าระดับความสูง (Elevation)**

ค่าระดับความสูง (Elevation) สำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบ GNSS ที่ติดตั้งอยู่บนรถสำรวจ แสดงดังรูปที่ 1-144

2. สำรวจลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ด้วยรถสำรวจระบบ Spot Laser

ระบบ Laser เป็นเครื่องมือสำหรับสำรวจสภาพทางประกอบไปด้วยค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI), ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD), ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบหาค่าข้อมูลสภาพทางต่าง ๆ

สำหรับการวิ่งสำรวจในรอบเดียวกันนี้ นอกจากข้อมูลสภาพทางต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ระบบ Laser ยังมีอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียม และ Gipsitrac ทำให้สามารถคำนวณและรายงานผลค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) คือ ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) ได้

รูปที่ 1-149 รถสำรวจระบบ Spot Laser

2.1 การประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation)

การประมวลผลค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) คือ ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) สามารถใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิตคำนวณออกมาเป็นค่าดังกล่าวได้ แสดงดังรูปที่ 1-150