



สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 ความก้าวหน้าของงานแต่ละด้าน	1-1
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1-1
1.2 ความก้าวหน้าการดำเนินงาน	1-4
บทที่ 2 ความก้าวหน้าของงานในข้อ 4.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวง	2-1
2.1 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทาง ในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง ดังนี้	2-1
2.2 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง	2-94
2.3 การจัดทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ	2-96
บทที่ 3 ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา	3-1
3.1 พื้นที่สำรวจ	3-1
3.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง	3-4
0BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexure Mean Profile Depth	3-14
3.3 การสำรวจสภาพทาง	3-29
3.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ	3-71
3.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet	3-95
3.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบ ฐานข้อมูล Roadnet ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบ ผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างน้อยดังนี้	3-107
บทที่ 4 ผลการสำรวจสภาพทางไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลเมตร	4-1
บทที่ 5 ความล่าช้าและปัญหา	5-1
5.1 รายงานความล่าช้า	5-1
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน	5-6
บทที่ 6 แผนดำเนินงาน และแผนการทำงานของบุคลากรในโครงการ	6-1
6.1 เอกสารรายงานและกำหนดการส่งมอบ	6-1

ภาคผนวก ก รายงานปัญหา อุปสรรคในการสำรวจและสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคโควิด-19



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1-1	สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน..... 1-4
ตารางที่ 1-2	ตารางแสดงแผนและผลการดำเนินการในโครงการ 1-9
ตารางที่ 2-1	ระดับความสัมพันธ์ของค่าสหสัมพันธ์ (Hinkle, 1988)..... 2-12
ตารางที่ 2-2	การแปลผลข้อมูลทางสถิติ 2-13
ตารางที่ 2-3	สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation) 2-14
ตารางที่ 2-4	สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope)..... 2-14
ตารางที่ 2-5	สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) 2-15
ตารางที่ 2-6	สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่ารัศมีโค้ง (Radius) 2-16
ตารางที่ 2-7	สรุปผลค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)..... 2-16
ตารางที่ 2-8	สรุปผลค่า RMSE 2-16
ตารางที่ 2-9	สรุปผลค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) 2-17
ตารางที่ 2-10	แสดงค่ากำหนดความเสียหายที่ตรวจสอบตามเกณฑ์ อ้างอิงจาก ASTM International, 2008 และ Federal Highway Administration, 2014 2-33
ตารางที่ 2-11	การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 4 2-35
ตารางที่ 2-12	ระดับค่าของ SFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท..... 2-53
ตารางที่ 2-13	ประเภทชั้นผิวทางคอนกรีต..... 2-61
ตารางที่ 2-14	ค่า Present Serviceability Rating (PSR) 2-65
ตารางที่ 2-15	องค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน..... 2-72
ตารางที่ 2-16	ผลการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบที่ส่งผลต่อค่า IRI (กรณีสมการที่ 2.66) 2-73
ตารางที่ 2-17	ผลการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบที่ส่งผลต่อค่า IRI (กรณีสมการที่ 2.67) 2-73
ตารางที่ 2-18	หน่วยการวัดของแสง 2-87
ตารางที่ 2-19	ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD 2-91
ตารางที่ 3-1	แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ 3-2
ตารางที่ 3-2	รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)..... 3-14



ตารางที่ 3-3	รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรีksamมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).....	3-15
ตารางที่ 3-4	รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS	3-16

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า	
ตารางที่ 3-5	รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS	3-18
ตารางที่ 3-6	รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรีksamจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).....	3-20
ตารางที่ 3-7	รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรีksamมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	3-20
ตารางที่ 3-8	รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรีksamจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	3-22
ตารางที่ 3-9	รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS.....	3-22
ตารางที่ 3-10	รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรีksamมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) ...	3-23
ตารางที่ 3-11	แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง.....	3-24
ตารางที่ 3-12	รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS).....	3-28
ตารางที่ 3-13	เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565	3-33
ตารางที่ 3-14	ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง.....	3-34
ตารางที่ 3-15	ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง).....	3-36
ตารางที่ 3-16	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ.....	3-41
ตารางที่ 3-17	ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ	3-46
ตารางที่ 3-18	ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	3-52
ตารางที่ 3-19	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละ Section	3-52
ตารางที่ 3-20	ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section	3-53
ตารางที่ 3-21	ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	3-55
ตารางที่ 3-22	ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน	3-55
ตารางที่ 3-23	เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง).....	3-56
ตารางที่ 3-24	ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 เครื่องมือ	3-57
ตารางที่ 3-25	ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	3-61
ตารางที่ 3-26	ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ในแต่ละ Section และตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section	3-61



ตารางที่ 3-27 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา	3-65
ตารางที่ 3-28 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง.....	3-75
ตารางที่ 3-29 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต	3-75

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 3-30 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง	3-84
ตารางที่ 3-31 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน	3-103
ตารางที่ 3-32 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) กระบวนการภายใน	3-109
ตารางที่ 3-33 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์.....	3-113
ตารางที่ 3-34 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต	3-117
ตารางที่ 4-1 ผลการสำรวจสภาพทางไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลเมตร	4-1
ตารางที่ 5-1 สรุปผลการดำเนินงาน และผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ อุปกรณ์ LCMS.....	5-2
ตารางที่ 5-2 สรุปผลการดำเนินงาน และผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ อุปกรณ์ Laser Profiler	5-3
ตารางที่ 5-3 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 และ QC5 อุปกรณ์ LCMS	5-4
ตารางที่ 5-4 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 และ QC5 อุปกรณ์ Laser Profiler.....	5-5
ตารางที่ 5-5 แสดงสรุปปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจ	5-6
ตารางที่ 6-1 สรุปรายการส่งมอบงาน	6-4



สารบัญญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1 ภาพรวมการดำเนินงานโครงการ	1-3
รูปที่ 2-1 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง	2-2
รูปที่ 2-2 รถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System	2-4
รูปที่ 2-3 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU).....	2-5
รูปที่ 2-4 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS	2-6
รูปที่ 2-5 ผลการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิต จากการสำรวจด้วยระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS).....	2-7
รูปที่ 2-6 The position of all three axes	2-8
รูปที่ 2-7 หลักการคำนวณค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade).....	2-8
รูปที่ 2-8 การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement).....	2-9
รูปที่ 2-9 การสร้าง Surface และ Alignment	2-10
รูปที่ 2-10 การสร้างรูปตัดตามยาว.....	2-10
รูปที่ 2-11 การสร้างรูปตัดตามขวาง.....	2-11
รูปที่ 2-12 Scatter plot แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ใน 3 ลักษณะ	2-12
รูปที่ 2-13 กราฟเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation).....	2-13
รูปที่ 2-14 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope).....	2-14
รูปที่ 2-15 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope).....	2-15
รูปที่ 2-16 กราฟเปรียบเทียบค่ารัศมีโค้ง (Radius).....	2-15
รูปที่ 2-17 ตัวอย่างแนวคิดการออกแบบการแสดงผลลัพธ์เครื่องมือทางสถิติ (Geometric).....	2-21
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟแผนภูมิจุดแบบกระจายหรือ Scatter plot และแผนที่แสดงค่าระดับของข้อมูลค่าระดับความสูง (Elevation).....	2-22
รูปที่ 2-19 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และกราฟพื้นที่ (Area Chart) และแผนที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทาง	2-23
รูปที่ 2-20 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงค่ารัศมีทางโค้ง.....	2-24
รูปที่ 2-21 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงค่าความลาดเอียง.....	2-25
รูปที่ 2-22 ภาพแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายผิวทางของรถสำรวจคันที่ 1 คันที่ 2 และคันที่ 3 ตามลำดับ	2-27



รูปที่ 2-23	ภาพแสดงตัวอย่างความถี่การจับเก็บภาพของรถสำรวจแต่ละคัน.....	2-27
-------------	--	------

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2-24	โครงสร้างการจับเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางอยู่ใน Folder “Pavement”	2-28
รูปที่ 2-25	ช่องทางการเข้าดูข้อมูลภาพถ่ายผิวทางผ่านระบบ Roadnet.....	2-28
รูปที่ 2-26	รายละเอียดการเพิ่มเติมหน้าแสดงผลภาพถ่ายผิวทางและค่าความเสียหายผิวทาง.....	2-29
รูปที่ 2-27	ผลการออกแบบการแสดงผลภาพความเสียหายของผิวทาง ผนวกกับการแสดงค่าความเสียหายทุก ๆ 25 เมตร	2-30
รูปที่ 2-28	ผลการออกแบบภาพรวมการสำรวจที่เพิ่มเติมภาพความเสียหายของผิวทาง.....	2-30
รูปที่ 2-29	ผลการออกแบบภาพรวมการสำรวจที่เพิ่มเติมข้อมูลความเสียหายของผิวทาง.....	2-3
รูปที่ 2-30	ผลการออกแบบแผนภูมิแสดงตำแหน่งและตารางข้อมูลความเสียหายผิวทาง	2-31
รูปที่ 2-31	ผลการออกแบบการค่าความเสียหายสภาพทางด้วยกระบวนการวิเคราะห์ Heat Map	2-33
รูปที่ 2-32	ภาพขยายตารางแสดงผลค่าความเสียหายสภาพทางแบบภาพรวม	2-34
รูปที่ 2-33	ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิตูมินัส.....	2-37
รูปที่ 2-34	การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากความหนาของชั้นผิวทาง.....	2-47
รูปที่ 2-35	การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกของพื้นผิว.....	2-47
รูปที่ 2-36	สรุปองค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขรุขระตามการศึกษาของ HDM 4	2-58
รูปที่ 2-37	รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : ไม่มีลูกเต๋อย.....	2-60
รูปที่ 2-38	รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : มีลูกเต๋อย	2-60
รูปที่ 2-39	รูปแบบถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว.....	2-60
รูปที่ 2-40	รูปแบบถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง	2-61
รูปที่ 2-41	ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวคอนกรีต	2-62
รูปที่ 2-42	รูปแบบการเกิด Transverse Joint Faulting	2-62
รูปที่ 2-43	รูปแบบการเกิด Transverse Joint Spalling.....	2-63
รูปที่ 2-44	รูปแบบการเกิด Transverse Cracking.....	2-64
รูปที่ 2-45	แนวทางการประยุกต์ใช้การพิจารณาองค์ประกอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผล ต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน	2-70
รูปที่ 2-46	ค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำมาพิจารณา.....	2-71
รูปที่ 2-47	กลุ่มขององค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน	2-71





รูปที่ 2-48	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทางด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ	2-74
-------------	---	------

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 2-49	เครื่องมือ Fixed Slip..... 2-76	
รูปที่ 2-50	เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)..... 2-77	
รูปที่ 2-51	ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร)..... 2-78	
รูปที่ 2-52	Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร)..... 2-79	
รูปที่ 2-53	แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider)..... 2-80	
รูปที่ 2-54	อุปกรณ์ Road Stripe Assessment at Highway Speeds..... 2-81	
รูปที่ 2-55	ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ Pavement Marking Retro Reflectivity กับยานพาหนะ..... 2-81	
รูปที่ 2-56	มาตรฐาน ASTM E1710 และ EN 1436..... 2-82	
รูปที่ 2-57	รูปแบบการตรวจวัดตามแบบจำลองการมองเห็นที่ระยะ 30 เมตร..... 2-83	
รูปที่ 2-58	ตัวอย่างการเก็บข้อมูลขณะรถเคลื่อนที่..... 2-83	
รูปที่ 2-59	ตัวอย่างการระบุค่าพิกัดในระบบ GPS ของข้อมูล..... 2-84	
รูปที่ 2-60	ตัวอย่างการแสดงผล และบันทึกผลการสำรวจ แบบ Real-time Data Acquisition and Analysis	2-84
รูปที่ 2-61	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L).....	2-85
รูปที่ 2-62	ตัวอย่างของแสงไฟที่ทำให้เกิด Disability and Discomfort Glare.....	2-86
รูปที่ 2-63	อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique.....	2-88
รูปที่ 2-64	ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์บนถนน.....	2-89
รูปที่ 2-65	ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ภายในพาหนะ.....	2-89
รูปที่ 2-66	ตัวอย่างภาพที่ได้ขณะใช้งานโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่อง	2-90
รูปที่ 2-67	ตัวอย่างรถตู้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD.....	2-90
รูปที่ 2-68	ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD.....	2-91
รูปที่ 2-69	ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต	2-92
รูปที่ 2-70	ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “ไม่มีความเสียหาย”	2-93
รูปที่ 2-71	ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “พบโพรงใต้คันทางที่ความลึก 0.3 เมตร จากผิวทาง”	2-93



รูปที่ 2-72	ร่างลำดับเนื้อหาวิธีทัศนีสื่อประชาสัมพันธ์โครงการ	2-96
รูปที่ 2-73	แผนการดำเนินงานจัดทำสื่อวิดีโอประชาสัมพันธ์	2-96
รูปที่ 3-1	ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง	3-3

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-2	ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ	3-4
รูปที่ 3-3	ตัวอย่างการจำแนกระดับชั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำและความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโปรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950.....	3-5
รูปที่ 3-4	ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	3-6
รูปที่ 3-5	เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ	3-6
รูปที่ 3-6	แสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	3-7
รูปที่ 3-7	อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS).....	3-8
รูปที่ 3-8	หลักการการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง.....	3-9
รูปที่ 3-9	หลักการการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer ติดตั้งที่ ระยะ +/- 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ	3-9
รูปที่ 3-10	การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว	3-9
รูปที่ 3-11	แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD	3-10
รูปที่ 3-12	แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD.....	3-10
รูปที่ 3-13	กราฟแสดงค่าการ bounce test	3-11
รูปที่ 3-14	หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration.....	3-11
รูปที่ 3-15	การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser.....	3-12
รูปที่ 3-16	ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความฝืดของผิวทางในระดับ Macro-texture	3-12
รูปที่ 3-17	การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E965-15	3-13
รูปที่ 3-18	การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15	3-13
รูปที่ 3-19	อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)	3-17
รูปที่ 3-20	กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง	3-19
รูปที่ 3-21	ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง	3-21
รูปที่ 3-22	เครื่องมือวัดความเร็ว	3-23
รูปที่ 3-23	รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง	3-24



รูปที่ 3-24	เครื่องวัดระยะทาง	3-25
รูปที่ 3-25	อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล	3-25
รูปที่ 3-26	แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล	3-26
รูปที่ 3-27	ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ	3-26

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3-28	ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม	3-27
รูปที่ 3-29	หลักการทำงานของการรับพิกัดและค่าแก้ DGPS.....	3-27
รูปที่ 3-30	อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU).....	3-28
รูปที่ 3-31	แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง.....	3-29
รูปที่ 3-32	เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจากระบบ Plannet	3-30
รูปที่ 3-33	เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจากระบบ MIIS.....	3-30
รูปที่ 3-34	เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ใช้ในงานซ่อมบำรุงระบบ HRIS	3-30
รูปที่ 3-35	เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง	3-31
รูปที่ 3-36	แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565.....	3-40
รูปที่ 3-37	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049	3-42
รูปที่ 3-38	Section ที่ 1 และ Section ที่ 2.....	3-42
รูปที่ 3-39	Section ที่ 3 และ Section ที่ 4.....	3-43
รูปที่ 3-40	Section ที่ 5.....	3-43
รูปที่ 3-41	Sectionที่ 6	3-44
รูปที่ 3-42	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน	3-44
รูปที่ 3-43	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ผิวทางคอนกรีต	3-45
รูปที่ 3-44	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ผิวทางลาดยาง ที่มีความเสียหายของผิวทางค่อนข้างมาก.....	3-45
รูปที่ 3-45	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง.....	3-46
รูปที่ 3-46	แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ.....	3-47
รูปที่ 3-47	แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจทั้ง 3 คัน	3-48



รูปที่ 3-48	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100	
	รถสำรวจคันที่ 1	3-48
รูปที่ 3-49	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100	
	รถสำรวจคันที่ 2	3-49
รูปที่ 3-50	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100	
	รถสำรวจคันที่ 3	3-49

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-51	แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจทั้ง 3 คัน.....	3-50
รูปที่ 3-52	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1	3-50
รูปที่ 3-53	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2	3-51
รูปที่ 3-54	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3	3-51
รูปที่ 3-55	ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4.....	3-59
รูปที่ 3-56	การเข้าพื้นที่ทดสอบผิวทางคอนกรีตพื้นที่วิ่งทดสอบใหม่	3-60
รูปที่ 3-57	ลักษณะผิวทางคอนกรีต ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึง กม. 72+500 ...	3-60
รูปที่ 3-58	กราฟแสดงค่า IRI เฉลี่ย	3-61
รูปที่ 3-59	กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI.....	3-62
รูปที่ 3-60	กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section	3-62
รูปที่ 3-61	กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา L.....	3-63
รูปที่ 3-62	กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา R.....	3-63
รูปที่ 3-63	กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา L (IRI)	3-66
รูปที่ 3-64	กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา R (IRI)	3-66
รูปที่ 3-65	แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง	3-67
รูปที่ 3-66	แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด	3-68
รูปที่ 3-67	แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน	3-68
รูปที่ 3-68	แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น	3-69
รูปที่ 3-69	แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน	3-69
รูปที่ 3-70	ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่ 2 ช่องจราจร	3-70
รูปที่ 3-71	แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้	3-70



รูปที่ 3-72	แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้.....	3-71
รูปที่ 3-73	ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง.....	3-71
รูปที่ 3-74	ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความถี่ร่องล้อบนผิวทาง	3-72
รูปที่ 3-75	ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง.....	3-72
รูปที่ 3-76	แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์.....	3-73





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-77	แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress) จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera	3-74
รูปที่ 3-78	กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง.....	3-76
รูปที่ 3-79	ภาพรวมการประมวลผลของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)	3-77
รูปที่ 3-80	ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์ สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels.....	3-83
รูปที่ 3-81	ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง.....	3-83
รูปที่ 3-82	ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process.....	3-85
รูปที่ 3-83	การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS.....	3-86
รูปที่ 3-84	ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง.....	3-86
รูปที่ 3-85	ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง บนระบบ Roadnet.....	3-87
รูปที่ 3-86	ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว บนระบบ Roadnet ได้.....	3-87
รูปที่ 3-87	ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb	3-89
รูปที่ 3-88	แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL.....	3-90
รูปที่ 3-89	ตัวอย่างข้อมูล Rutting.....	3-91
รูปที่ 3-90	ตัวอย่างข้อมูล IRI	3-91
รูปที่ 3-91	ตัวอย่างข้อมูล MPD	3-92
รูปที่ 3-92	การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณา ถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม.....	3-92
รูปที่ 3-93	แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ	3-93
รูปที่ 3-94	แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS.....	3-94





รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565





สารบัญญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-95	แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน	3-94
รูปที่ 3-96	แสดงโครงสร้างข้อมูลปริภูมิตามมาตรฐาน OGC.....	3-96
รูปที่ 3-97	การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ.....	3-96
รูปที่ 3-98	การ convert (*.csv file) to shapefile (point)	3-97
รูปที่ 3-99	การ convert points to Paths.....	3-97
รูปที่ 3-100	การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ ในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB).....	3-98
รูปที่ 3-101	การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล.....	3-98
รูปที่ 3-102	แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1	3-100
รูปที่ 3-103	แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2	3-100
รูปที่ 3-104	แสดงอุปกรณ์สำรวจข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง.....	3-102
รูปที่ 3-105	แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS).....	3-103
รูปที่ 3-106	แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin.....	3-104
รูปที่ 3-107	แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin.....	3-105
รูปที่ 3-108	เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 – 2+050 บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอนควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1.....	3-106
รูปที่ 3-109	แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet.....	3-108
รูปที่ 3-110	ตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก	3-110
รูปที่ 3-111	ตัวอย่างการตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map.....	3-110
รูปที่ 3-112	ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต	3-111
รูปที่ 3-113	ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์	3-111
รูปที่ 3-114	ตัวอย่างกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่.....	3-112
รูปที่ 3-115	ตัวอย่างการจำลองการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหาย.....	3-114
รูปที่ 3-116	ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1	3-114
รูปที่ 3-117	ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 2.....	3-115



รูปที่ 3-118 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์สำรวจ LCMS.....3-115

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3-119 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์3-116

รูปที่ 3-120 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์3-116

รูปที่ 3-121 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต.....3-117

รูปที่ 3-122 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต.....3-117

รูปที่ 3-123 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI)
และภาพถ่ายความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS)3-118

รูปที่ 3-124 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก3-119

รูปที่ 3-125 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง3-120

รูปที่ 3-126 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน3-120

รูปที่ 3-127 ตัวอย่างการแสดงผลการแสดงผลพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 4013-121

รูปที่ 3-128 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง.....3-122

รูปที่ 3-129 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC53-123

รูปที่ 3-130 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ.....3-124

รูปที่ 3-131 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS.....3-127

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

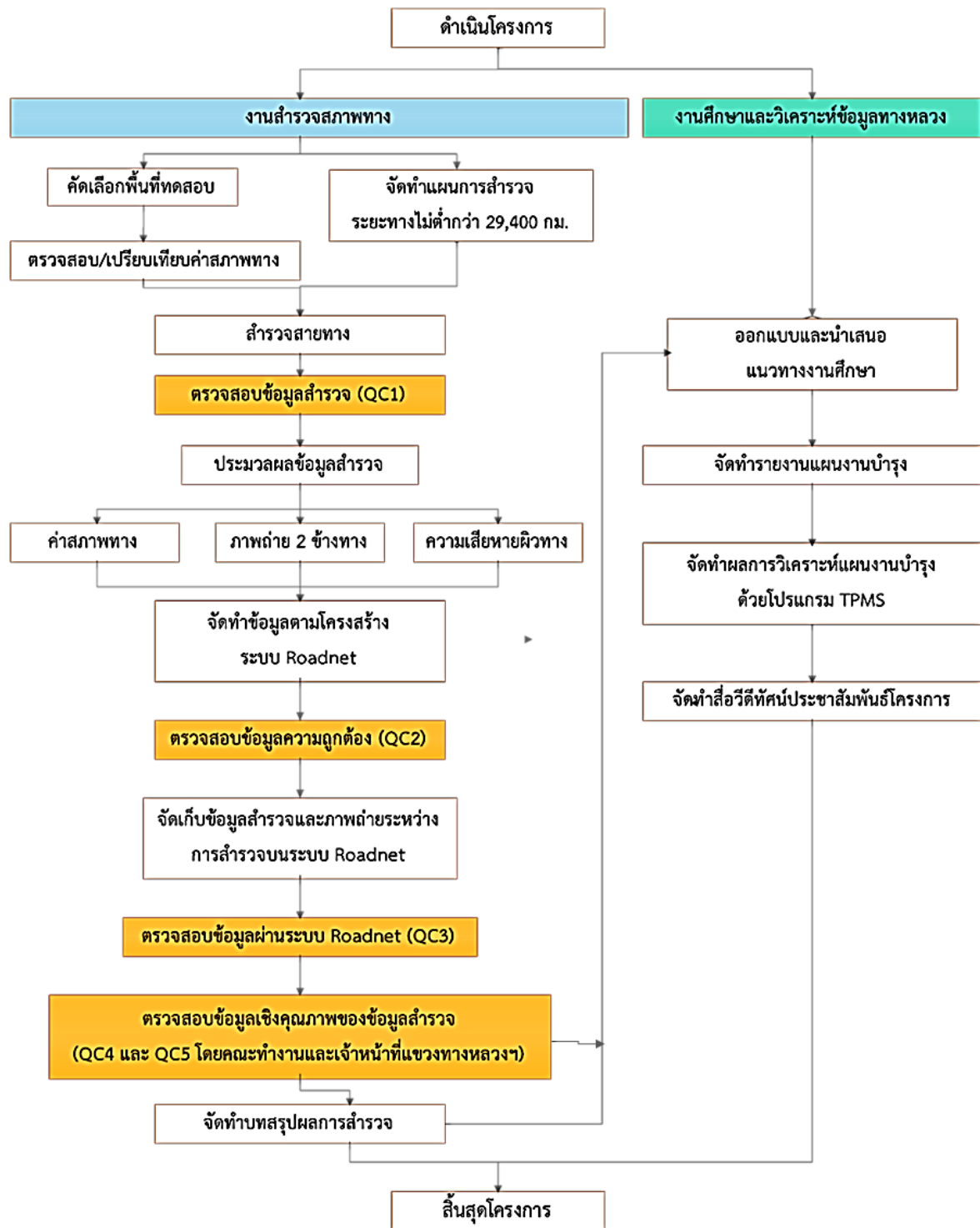
คณะที่ปรึกษาจะดำเนินงานโครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565 ตามผังการดำเนินงานสรุปได้ดังนี้

1. พื้นที่การสำรวจ โดยใช้หลักเกณฑ์ในการวางกรอบเส้นสำรวจ ภายในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงที่ 1-18 ซึ่งไม่รวมถึงพื้นที่ในจังหวัดชายแดนใต้ ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา และจังหวัดนราธิวาส รวมถึง 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภोजะนะ และอำเภอบ้านย้อย
2. จัดทำแผนการสำรวจระยะทางในการจัดทำแผนไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร และทำการส่งมอบแผนการสำรวจเป็นรายแขวงทางหลวง เพื่อรับการอนุมัติจากเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวงภายในพื้นที่ พร้อมทั้งความเห็นชอบจากสำนักงานทางหลวงและคณะกรรมการก่อนทำการเข้าสำรวจภายในพื้นที่ โดยการจัดทำแผนสำรวจด้วยอุปกรณ์ LCMS ระยะทาง 15,108.708 กิโลเมตร แผนสำรวจด้วยอุปกรณ์ Laser Profile ระยะทาง 14,470.700 กิโลเมตร
3. ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือเลเซอร์ใช้สำรวจ และชุดอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชุดอุปกรณ์ค่าความเสียหาย, ชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง, ชุดอุปกรณ์รับค่าพิกัด, ชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ โดยทำการทดสอบคุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจตลอดทั้งโครงการ
4. สำรวจสายทาง/ประมวลผล จากข้อมูลจัดทำแผนการสำรวจทำการสำรวจสายทางด้วยชุดอุปกรณ์สำรวจ เพื่อจัดเก็บค่าความเสียหาย (IRI, Rutting, MPD) ค่าพิกัดตำแหน่ง GPS และภาพถ่ายจากชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพ ทั้งภาพถ่ายสองข้างทางและภาพถ่ายความเสียหายผิวทาง
5. ตรวจสอบข้อมูลจากการสำรวจ (QC1) จากข้อมูลการสำรวจ ดำเนินการตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลค่าพิกัดตำแหน่ง GPS ค่าสภาพทาง ภาพถ่ายสองข้างทาง และภาพถ่ายความเสียหายผิวทาง เพื่อให้ผลการสำรวจตรงตามแผนงานที่วางแผนไว้ไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร
6. จัดทำข้อมูลตามโครงสร้าง Roadnet ดำเนินการจัดโครงสร้างข้อมูลจากการสำรวจ โดยนำค่าความเสียหาย (IRI, Rutting, MPD) ค่าพิกัดตำแหน่ง GPS และภาพถ่ายสองข้างทาง เพื่อเตรียมนำเข้าระบบฐานข้อมูลโครงข่ายทางหลวง (Roadnet)
7. ประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง ดำเนินการประเมินความเสียหายสภาพผิวทาง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต จากระบบประมวลผลแบบอัตโนมัติ



(Automatic Cracking Detection) และจากโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่าย โดยเพิ่มเติมการจัดเก็บพิกัดตำแหน่งความเสียหายข้อมูลผิวทางในรูปแบบ Geometry และภาพถ่ายผิวทางกล้องหลัง Pavement บนระบบ Roadnet

8. การตรวจสอบข้อมูลก่อนนำเข้าระบบ (QC2) โดยทำการตรวจสอบการซ้ำของข้อมูลภาพกล้องหน้า และกล้องหลัง เพื่อจัดเตรียมข้อมูลจากการจัดทำข้อมูลตามโครงสร้างและประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทางแล้วเสร็จ ทางเจ้าหน้าที่ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้อง เชิงตำแหน่ง และตรวจสอบข้อมูลตรงตามโครงสร้างก่อนการนำเข้าระบบ
9. จัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet นำเข้าระบบจากโครงสร้างข้อมูลจัดเตรียมไว้ พร้อมทั้งการแสดงผลของข้อมูลบนระบบ Roadnet
10. ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล (QC3) หลังจากการนำเข้าระบบฐานข้อมูล เจ้าหน้าที่ทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ผ่านหน้าระบบโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) พร้อมจัดทำบัญชีสายทางการตรวจสอบส่งมอบผลการสำรวจ
11. ตรวจสอบเชิงคุณภาพข้อมูล QC4 และ QC5 หลังจากการส่งมอบผลการสำรวจ ที่ผ่านการตรวจสอบความสมบูรณ์ของที่ปรึกษา การตรวจสอบข้อมูล QC4 ขั้นตอนการตรวจสอบดำเนินงานโดยคณะกรรมการตรวจสอบข้อมูลความสอดคล้องและความครบถ้วนของข้อมูลที่แสดงผลบนระบบโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) การตรวจสอบข้อมูล QC5 ขั้นตอนการตรวจสอบดำเนินโดยเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวงและสำนักงานทางหลวง เนื่องจากเป็นเจ้าของพื้นที่การตรวจสอบข้อมูลสำรวจจะทราบถึงตำแหน่งความถูกต้องตามสภาพความเป็นจริงของพื้นที่
12. ดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวง จากผลการสำรวจสภาพทาง โดยแบ่งการศึกษา และวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง และการกำหนดวิธีการวิเคราะห์ สัดส่วนการลงทุนที่เหมาะสม
13. จัดทำรายงานแผนบำรุงทางด้วยระบบ TPMS โดยทำการวิเคราะห์ด้วยระบบบริหารบำรุงทาง TPMS เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดแผนงานบำรุงรักษาทางหลวง ประกอบด้วย แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี และแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์



รูปที่ 1-1 ภาพรวมการดำเนินงานโครงการ



1.2 ความก้าวหน้าการดำเนินงาน

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565 มีระยะเวลาในการดำเนินโครงการทั้งสิ้น 270 วัน นับจากวันที่เริ่มต้นสัญญา ณ วันที่ 14 ธันวาคม พ.ศ. 2564 ถึงวันที่สิ้นสุดสัญญา ณ วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2565 โดยในรายงานชั้นกลาง เริ่มตั้งแต่ช่วงระหว่างเดือนเมษายน - มิถุนายน พ.ศ. 2565 โดยมีรายละเอียดแบ่งเป็น 2 ตาราง ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน

กิจกรรมที่ดำเนินงาน	รายละเอียด	ผลการดำเนินงาน
1) พื้นที่การศึกษา ทำการสำรวจเก็บข้อมูลบนผิวลาดยางและผิวคอนกรีต โดยใช้ยานพาหนะ เครื่องมือ และอุปกรณ์ของที่ปรึกษาเป็นระยะทางสำรวจไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร ภายในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงที่ 1-18 ซึ่งไม่รวมถึงพื้นที่ในจังหวัดชายแดนใต้ตาม พ.ร.บ.รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.1)	ศึกษา ทบทวนรายละเอียดและรูปแบบในการสำรวจ รวมถึงแผนในการสำรวจโดยมีระยะทางในการสำรวจที่เลือกตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนดไว้ได้ระยะทาง 29,579.408 กิโลเมตร โดยแบ่งระยะทางสำรวจชุดเครื่องมือเลเซอร์แบบ LCMS ระยะทาง 15,108.708 กิโลเมตร และชุดเครื่องมือเลเซอร์แบบ Laser Profilometer ระยะทาง 14,470.700 กิโลเมตร โดยพื้นที่ทำการสำรวจนั้นจะครอบคลุมพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 สำนักงานทั่วประเทศ ทั้งนี้การสำรวจจะไม่รวมถึงพื้นที่ใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร	ดำเนินการแล้วเสร็จ ในรายงานเบื้องต้น
2) เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง ที่ปรึกษาจะต้องจัดหาชุดอุปกรณ์สำรวจแบบติดตั้งบนยานพาหนะ เพื่อใช้ในการสำรวจและจัดทำข้อมูลในโครงการโดยมีความสามารถของอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อตรวจวัดค่าความเสียหายต่าง ๆ (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.2)	2.1 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profilometer) 2.1.1 ดัชนีความขรุขระสากล (IRI) มีเลเซอร์ที่ตรวจวัดได้อย่างน้อย 2 จุด โดยสามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ได้ และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E950	ดำเนินการแล้วเสร็จ ในรายงานเบื้องต้น



ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน (ต่อ)

กิจกรรมที่ดำเนินงาน	รายละเอียด	ผลการดำเนินงาน
	<p>2.1.2 ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (MPD หน่วยมิลลิเมตร) เป็นการตรวจวัดเพื่อใช้ประมาณค่าความผิดของผิวทางจากลักษณะของเนื้อผิวทาง จำนวนอย่างน้อย 1 ตัว และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E1845</p> <p>2.1.3 ข้อมูลค่าความสึกกร่อนล้อ (Rutting) เป็นการใช้ชุดเลเซอร์ตั้งแต่ 7 หัวขึ้นไปทำการตรวจวัดข้อมูลภาพตัดขวางผิวทางในทิศทางตั้งฉากกับแนวการสำรวจทุก ๆ ระยะทางสำรวจ 25 มิลลิเมตร และได้ตามมาตรฐาน ASTM E1703</p> <p>2.1.4 กล้องบันทึกภาพสภาพทางในเขตทาง</p> <p>2.1.5 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง สามารถบันทึกได้อย่างต่อเนื่อง และครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 1 ช่องจราจร</p> <p>2.1.6 มีชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางรอบล้อ</p> <p>2.1.7 เครื่องวัดระยะทาง (DMI) เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (Differentials Global Position System : DGPS) อย่างน้อยระดับ 1 เมตร 1 ชุด</p>	
3) การสำรวจสภาพทาง (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.3)	<p>3.1) จัดทำแผนการสำรวจและตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง</p> <p>3.2) นำเสนอแผนการสำรวจ ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร</p> <p>3.3) จัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด เช่น พื้นที่ทางโค้ง พื้นที่ทางลาดชัน เป็นต้น เพื่อดำเนินการสำรวจและประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไป</p>	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน โดยดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ครั้งที่ 2 ในบทที่ 2 รายงานชั้นกลาง ระยะทางสำรวจ 28,395.555 กิโลเมตร



ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน (ต่อ)

กิจกรรมที่ดำเนินงาน	รายละเอียด	ผลการดำเนินงาน
	3.4) ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจในพื้นที่ตัวอย่าง โดยทดสอบทั้งผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีต	
4) การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.4)	4.1) การประมวลผลข้อมูลจากชุดเครื่องมือเลเซอร์ 4.2) การประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง ประกอบด้วย การประมวลผลข้อมูล ความเสียหาย (Surface Distress) 4.3) การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนน และสองข้างทาง ที่มีความละเอียด 1,600x1,200 4.4) การประมวลผลข้อมูลสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน ระยะทางประมวลผลข้อมูล ระยะทาง 25,507.788 กิโลเมตร
5) การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.5)	5.1) ดำเนินการตรวจสอบ ปรับปรุง และทดสอบเชื่อมโยงข้อมูล 5.2) ตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม อย่างละ 2 พื้นที่ตัวอย่าง 5.3) จัดเก็บข้อมูลลงในระบบฐานข้อมูล Roadnet 5.4) การจัดเก็บข้อมูลในระบบ ต้องไม่กระทบข้อมูลเดิม	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน ระยะทางจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล ระยะทาง 25,175.568 กิโลเมตร
6) การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet (ตามTOR หัวข้อที่ 4.6)	กระบวนการตรวจสอบข้อมูล 1) QC3 กระบวนการนี้จะทำการตรวจสอบหลังจากขั้นตอนนำเข้าระบบ Roadnet 2) QC4 ตรวจสอบข้อมูลผ่านระบบโดยละเอียดทั้งความถูกต้องของค่าสภาพทาง ต่อภาพสองข้างทาง 3) QC5 เจ้าหน้าที่แขวงทางหลวงทำการตรวจสอบความถูกต้องของสายทางรวมทั้งทิศทางกริ่ง จากผู้ดูแลตามสายทางนั้นๆ โดยตรง	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน รายละเอียดภายในตารางที่ 1-2 และรายละเอียดการดำเนินงานในบทที่ 2 ฉบับรายงานชั้นกลางโดยมีระยะทางทั้งสิ้น 15,337.122กิโลเมตร จากแผนที่ทั้งหมด 29,579.408 กิโลเมตร



--	--	--

ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน (ต่อ)

กิจกรรมที่ดำเนินงาน	รายละเอียด	ผลการดำเนินงาน
7) การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวง (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.7)	<p>7.1) การศึกษาและวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงวิธีต่าง ๆ จากข้อมูลการสำรวจทั้งหมดของกรมทางหลวง อย่างน้อยประกอบด้วย งานฉาบผิวงานเสริมผิว งานบูรณะพื้นทาง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากกรมทางหลวง</p> <p>7.2) การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติ ในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius)</p> <p>7.3) การศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ให้สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลสภาพทาง เช่น ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) เป็นต้น (Automatic Detection) ให้สามารถแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าระบบได้ทุก ๆ 25 เมตร หรือตามระยะการแสดงผลค่าความขรุขระสากล (IRI) หรือการแสดงผลในภาพรวมแบบชั้นข้อมูลประเภทความเสียหาย (Layers) เป็นต้น</p>	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน รายละเอียดการดำเนินงาน ในบทที่ 2 รายงานชั้นกลาง



	<p>7.4) การศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ให้สามารถแสดงภาพความเสียหายของผิวทาง และ ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล ค่าความเสียหายของผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) ให้สามารถแสดงผล ข้อมูลผ่านหน้าระบบได้ทุก ๆ 25 เมตร</p>	
--	--	--



ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน (ต่อ)

กิจกรรมที่ดำเนินงาน	รายละเอียด	ผลการดำเนินงาน
	<p>หรือตามระยะการแสดงผลค่าความขรุขระสากล (IRI) หรือการแสดงผลในภาพรวมแบบชั้นข้อมูลประเภทความเสียหาย (Layers) เป็นต้น โดยจะต้องนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบ Roadnet ในการจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อให้ระบบ Roadnet สามารถแสดงผลข้อมูลดังกล่าวได้ในอนาคต</p> <p>7.5) การศึกษาทบทวนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS โดยอ้างอิงกับระบบการบริหารจัดการและพัฒนาด้านงานทาง (Highway Development and Management : HDM) ในปัจจุบัน</p> <p>7.6) การศึกษาการประยุกต์แบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS กับแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง</p> <p>7.7) การศึกษาเครื่องมือประเมินสมรรถนะของถนนในมิติอื่น ๆ นอกจากเครื่องมือประเมินสภาพผิวทางที่ใช้ในปัจจุบัน</p>	
8) การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.8)	8.1) แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ 8.2) แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน ในบทที่ 2 รายงานชั้นกลาง
9) การจัดทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ (ตาม TOR หัวข้อที่ 4.9)	จะต้องจัดทำวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการฯ ความยาวรวมไม่น้อยกว่า 5 นาที สามารถรองรับการรับชมได้ทางคอมพิวเตอร์แบบพกพา แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ	อยู่ระหว่างกำลังดำเนินงาน ในบทที่ 2 รายงานชั้นกลาง



Contents

บทที่ 1	1
ความก้าวหน้าของงานแต่ละด้าน	1
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
1.2 ความก้าวหน้าการดำเนินงาน	4
ตารางที่ 1-1 สรุปผลการดำเนินงานแต่ละด้าน	4
ตารางที่ 1-2 ตารางแสดงแผนและผลการดำเนินการในโครงการ	10
รูปที่ 1-1 ภาพรวมการดำเนินงานโครงการ	3



ความก้าวหน้าของงานในข้อ 4.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวง

2.1 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทางในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง ดังนี้

2.1.1 การศึกษาและวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงวิธีต่าง ๆ (Road Work Effect Model) จากข้อมูลการสำรวจทั้งหมดของกรมทางหลวงอย่างน้อยประกอบด้วย งานฉาบผิว งานเสริมผิว งานบูรณะพื้นทาง โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากกรมทางหลวง ทั้งในส่วนของการปฏิบัติการซ่อมบำรุง และข้อมูลการสำรวจดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ทั้งในส่วนของการสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังอย่างน้อย 3 ปี

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

ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูล

ที่ปรึกษาจะดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ในการนำข้อมูลมาประกอบการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง โดยข้อมูลที่ได้รับประกอบด้วย

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

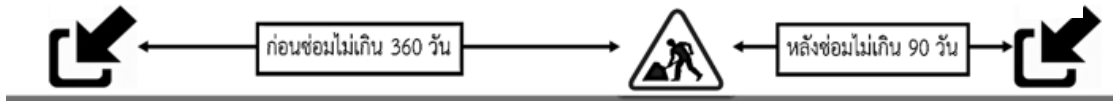


ที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจนถึงปี 2565 ซึ่งที่ปรึกษาได้รับข้อมูลมาจาก
สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง ทั้งนี้ได้รับการตรวจสอบและผ่านการอนุมัติ
จากคณะกรรมการแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกสายทาง

เมื่อดำเนินการรวบรวมข้อมูลแล้วที่ปรึกษาจะคัดเลือกสายทางที่นำข้อมูลมาวิเคราะห์
โดยมีรายละเอียดการคัดเลือก ดังนี้

- เลือกสายทางที่มีงานบำรุงต่างๆ
- เลือกเฉพาะสายทางที่มีการสำรวจค่าความเสียหายต่างๆ ในช่วงเวลาก่อนซ่อมบำรุง
ไม่เกิน 360 วัน และมีการสำรวจค่าความเสียหายต่างๆ อีกครั้งหนึ่ง ในช่วงเวลาหลังซ่อมบำรุง
ไม่เกิน 90 วัน เพื่อให้ได้สายทางที่ได้รับผลกระทบจากการซ่อมมากที่สุด



รูปที่ 2-1 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง

- ผลการสำรวจของค่าความเสียหายต่างๆ เฉลี่ยหลังซ่อมจะต้องมีค่าไม่มากกว่า
ค่าเฉลี่ยก่อนซ่อม เพื่อให้ได้สายทางที่มีการปรับปรุงอย่างแท้จริง

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบข้อมูล

เมื่อที่ปรึกษาจะดำเนินการคัดเลือกสายทางที่สามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทาง
ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงส่งข้อมูลให้ทางคณะกรรมการพิจารณาความเหมาะสม
ของสายทางอีกครั้ง ทั้งข้อมูลตำแหน่งของสายทางและประวัติงานซ่อมบำรุง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว

เมื่อที่ปรึกษาได้สายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อม
บำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงแยกการวิเคราะห์ตามพฤติกรรมและหลักการของค่าความเรียบได้
3 แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

- แบบจำลองผลกระทบหลังการฉาบผิวทางลาดยาง

ที่ปรึกษาจะนำค่าความเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์
ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูล
สายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉาบผิวลาดยาง
ในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$RI_a = RI_b - \text{MAX}\{0, \text{MIN}[a_0 \cdot (RI_b - 2.85), 0.06 \cdot Hs]\} \quad (2.1)$$



โดยที่

- RI_a = IRI หลังการฉาบผิว (ม./กม.)
- RI_b = IRI ก่อนการฉาบผิว (ม./กม.)
- Hsl = ความหนาของการฉาบผิว (มม.)
- a_0 = 1 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)

- แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิว (HDM)

ปรีกษาจะนำค่าความเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมบำรุงจากข้อมูลสายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$\Delta RI_a = \max\{0, a_0 [\min(a_1, RI_{bw}) - a_2] + a_3 \max[0, (RI_{bw} - a_1)]\} \quad (2.2)$$

$$RI_{aw} = RI_{bw} - \Delta RI_a$$

โดยที่

- a_0 = 0.9 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)
- a_1 = $\max\{4.0, 2.1 \exp[0.019 HSNEWaw]\}$
- a_2 = $1 + 0.018 \max[0, (100 - HSNEWaw)]$
- a_3 = $\min\{a_0, \max[0, (0.01 HSNEWaw - 0.15)]\}$
- ΔRI_a = การลดค่าของค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง
- RI_{bw} = ค่า IRI ก่อนการเสริมผิวทาง (m/km)
- RI_{aw} = ค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง (m/km)
- HSNEWaw = ความหนาของการเสริมผิวทาง (mm)

- แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ และงานบูรณะผิวทาง

การซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทางเป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบรีอิตั้งแต่ชั้นโครงสร้างทาง จากนั้นจึงลาดผิวทางใหม่ด้วยแอสฟัลต์ ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่าความเสียหายต่าง ๆ ภายหลังจากซ่อมด้วยวิธีนี้จะมีค่าเทียบเท่ากับถนนใหม่ ทางที่ปรึกษาจึงจะรวบรวมข้อมูลค่าความเสียหายต่างๆ ย้อนหลังเพื่อกำหนดเป็นค่าความเรียบภายหลังการซ่อมด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง



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

สำหรับค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) และค่ารัศมีโค้ง (Radius) กลุ่มที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจด้วยรถยนต์สำรวจที่ติดตั้งระบบ Laser Crack Measurement System และ Inertial Measurement Unit (IMU) ดังรูปที่ 2-3 และค่าระดับความสูง (Elevation) กลุ่มที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจด้วยอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS รูปที่ 2-4

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือสำรวจ กลุ่มที่ปรึกษาจะนำข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น และค่าระดับความสูง (Elevation) จากรถสำรวจมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มาจากแบบ As-Built โดยใช้ข้อมูลทางสถิติ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนทดลองนำขึ้นระบบ Roadnet ต่อไป



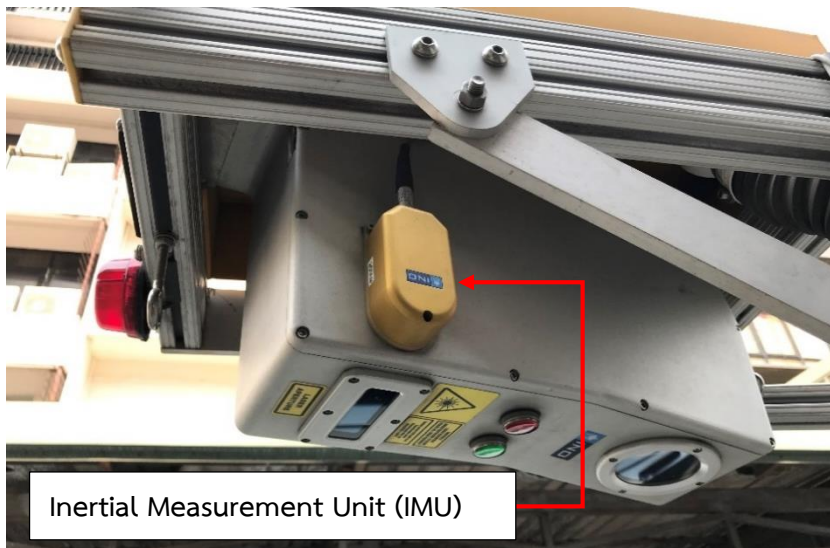
รูปที่ 2-2 รถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System



1. การสำรวจค่ารัศมีโค้ง และค่าความชันของสายทาง ด้วยระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)

ระบบ Laser Crack Measurement System เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน มีความละเอียดและแม่นยำสูงมากในการสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ซึ่งสามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์หาค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI), ค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD), ค่าความสึกกร่อนล้อ (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 2-3 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)



รูปที่ 2-4 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS

1.1 การประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation)

การประมวลผลค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) คือ ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) สามารถใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิตคำนวณออกมาเป็นค่าดังกล่าวได้โดยอัตโนมัติ (ตามรูปที่ 2-4) ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปแสดงผลบนระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ต่อไปได้

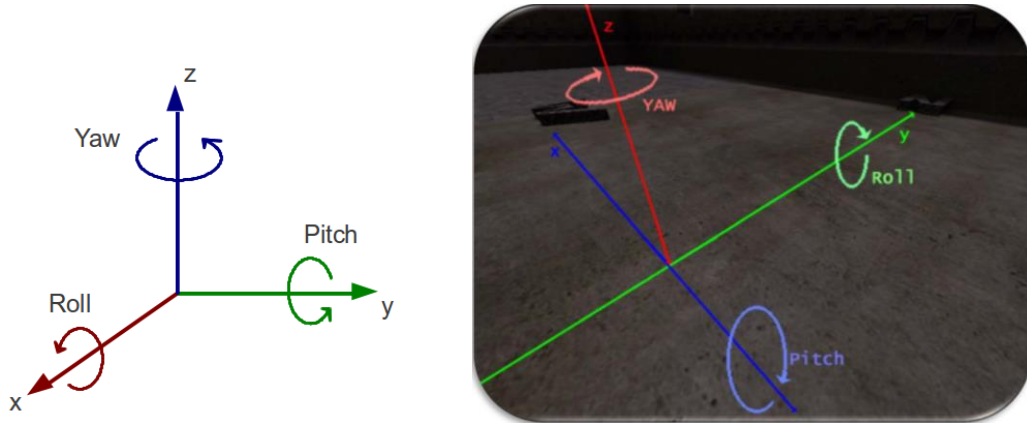


CHAINAGE	LRP_NUMBER	LRP_CHAINAGE	GRADIENT	HORIZONTAL_CURVATURE	CROSS_SLOPE	VALID	IMAGE_FILE_INDEX	ALT_MSL
0	0	0	-0.18	-20.4	1.52	☑	_000000+0.000	10.97
1	0	1	-0.75	-21.4	1.02	☑	_000000+1.000	10.12
2	0	2	-0.22	-23.6	1.24	☑	_000000+2.000	11.02
3	0	3	0.05	-38.8	1.32	☑	_000000+3.000	10.18
4	0	4	0.3	-57.1	1.4	☑	_000000+4.000	9.76
5	0	5	-0.26	-59.5	1	☑	_000001+0.000	10.29
6	0	6	-1.2	-83.5	0.45	☑	_000001+1.000	10.24
7	0	7	-0.9	-111.3	0.68	☑	_000001+2.000	10.05
8	0	8	-0.91	-155.4	0.31	☑	_000001+3.000	10.12
9	0	9	-0.53	-153.8	0.53	☑	_000001+4.000	10.18
10	0	10	-0.76	29.1	0.7	☑	_000002+0.000	10.25
11	0	11	0.11	19.4	0.65	☑	_000002+1.000	10.7
12	0	12	-0.75	104.2	0.45	☑	_000002+2.000	11.53
13	0	13	-0.35	51.3	0.36	☑	_000002+3.000	12.1
14	0	14	-0.61	46.9	0.13	☑	_000002+4.000	5.44
15	0	15	-0.94	5.1	0.05	☑	_000003+0.000	5.35
16	0	16	-0.38	43.4	0.26	☑	_000003+1.000	4.87
17	0	17	0.27	35.2	0.37	☑	_000003+2.000	5.3
18	0	18	-0.88	31.8	0.43	☑	_000003+3.000	6.07
19	0	19	-1.21	28.1	0.22	☑	_000003+4.000	5.5
20	0	20	-0.7	24.8	0.75	☑	_000004+0.000	5.5
21	0	21	-0.55	21.5	0	☑	_000004+1.000	5.39
22	0	22	-2.35	18.7	0.44	☑	_000004+2.000	4.89
23	0	23	0.33	15.5	1.01	☑	_000004+3.000	5.13
24	0	24	0.47	13.5	0.76	☑	_000004+4.000	4.49
25	0	25	0.24	12.1	0.72	☑	_000005+0.000	5.32
26	0	26	-0.03	11.6	0.44	☑	_000005+1.000	4.78
27	0	27	-0.25	11.3	-0.66	☑	_000005+2.000	4.47
28	0	28	-0.64	11.1	-0.67	☑	_000005+3.000	4.19
29	0	29	0.87	11	-0.17	☑	_000005+4.000	3.95
30	0	30	-0.1	11.1	-0.57	☑	_000006+0.000	3.97

รูปที่ 2-5 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 คือ แกน X, Y, Z และสามารถตรวจจับการหมุนตัวของรถสำรวจได้ใน 3 แกนเช่นกัน คือ Roll, Pitch, และ Yaw มีหน่วยวัดเป็น องศาเรเดียนต่อวินาที (rad/s) (ตาม รูปที่ 2-6)



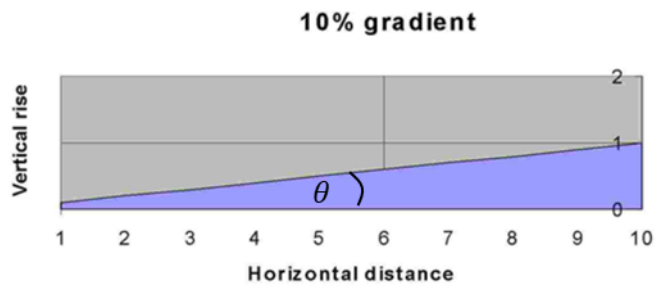
รูปที่ 2-6 The position of all three axes

- ความลาดชัน (Percent grad slope)

ความลาดชัน คือ อัตราส่วนสูงที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะทางตามแนวนอนระหว่างสองจุดใดๆ บนเส้นตามแนวยาวของถนน โดยการคำนวณค่าความลาดชัน (Percent grad slope) เป็นไปตามสมการดังนี้

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

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



รูปที่ 2-7 หลักการคำนวณค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade)

- ความลาดเอียง (Percent crown slope)





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

- **รัศมีโค้ง (Radius)**

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

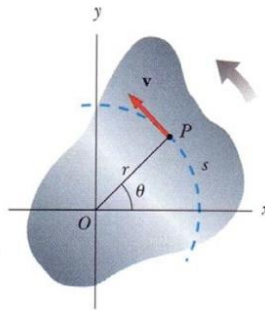
$$\theta = \frac{S}{r}$$
$$r = \frac{S}{\theta}$$

เมื่อ :

θ วัดเป็นเรเดียน (rad.)

S คือ ระยะกระจัดเชิงเส้น (ม.)

r คือ รัศมีโค้ง (ม.)



รูปที่ 2-8 การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement)

- **ค่าระดับความสูง (Elevation)**

ค่าระดับความสูง (Elevation) สำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบ GNSS ที่ติดตั้งอยู่บนรถสำรวจ (ตามรูปที่ 2-4)



2. การสำรวจลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ด้วยโดรน (Drone)

2.1 ขั้นตอนการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) ด้วยโปรแกรม Civil3D

2.1.1 สร้าง Surface จากข้อมูล DEM ที่ได้มาจากโดรน

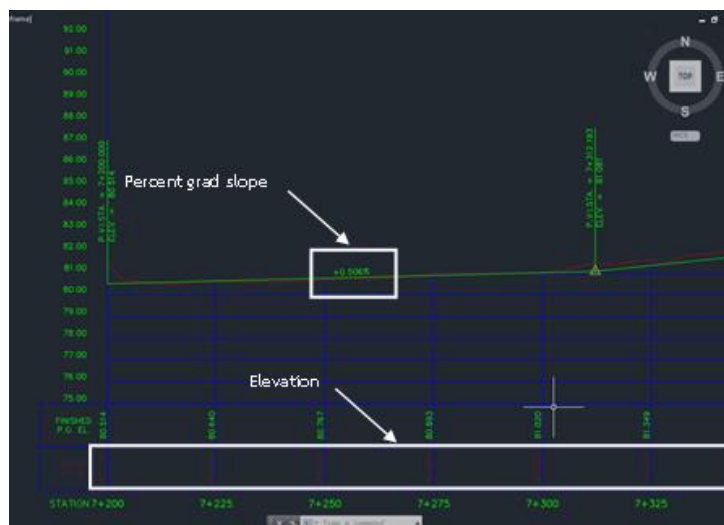
2.1.2 สร้าง Alignment แนวเส้นทางการสำรวจลงบน Surface โดยอ้างอิงพิกัดตำแหน่งจุดเริ่มต้นและแนวเส้นทางการสำรวจจากรด LCMS เพื่อให้แน่ใจว่าจะประมวลผลข้อมูลตำแหน่งเดียวกันกับรถสำรวจ



รูปที่ 2-9 การสร้าง Surface และ Alignment

2.1.3 สั่งให้โปรแกรม Civil3D ตัดรูปตัดตามยาวตลอดแนวสำรวจ โปรแกรมจะโชว์ค่าระดับความสูง (Elevation) ทุก ๆ ระยะที่ต้องการ

2.1.4 จากรูปตัดตามยาว วาดเส้น Design grade ให้ล้อยกกับเส้นพื้นผิวถนนตามรูปตัดตามยาวให้มากที่สุด โปรแกรมจะโชว์ค่าความชันของสายทาง (Percent grad slope)

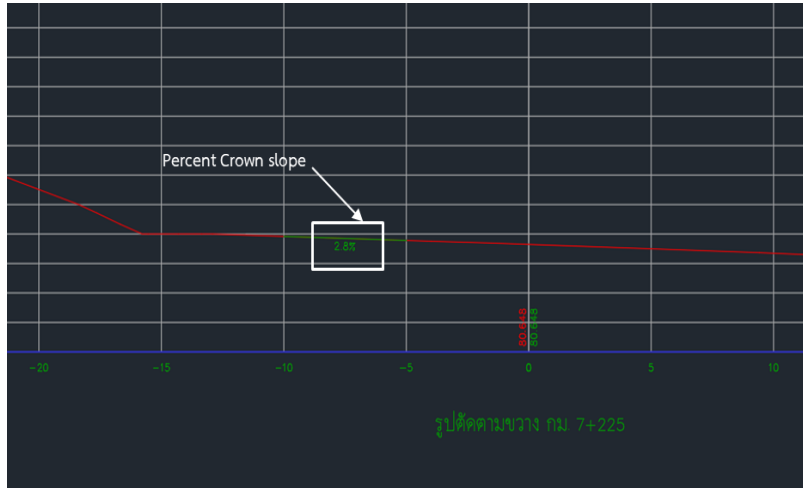


รูปที่ 2-10 การสร้างรูปตัดตามยาว



2.1.5 สั่งให้โปรแกรม Civil3D ตัดรูปตัดตามขวางทุก ๆ ระยะที่ต้องการ ตลอดแนวสำรวจ

2.1.6 จากรูปตัดตามขวางแต่ละ กม. คลิกที่จุด 2 จุดให้ครอบคลุมบริเวณที่สนใจ บนเส้นพื้นผิวถนน โปรแกรมจะโชว์ค่าความลาดเอียง (Crown slope)



รูปที่ 2-11 การสร้างรูปตัดตามขวาง

3. การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติ

การการศึกษาความแม่นยำในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารังสีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) จะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มาจากแบบ As-Built และโดรน (Drone) โดยใช้การวิเคราะห์หาค่าทางสถิติ ดังนี้

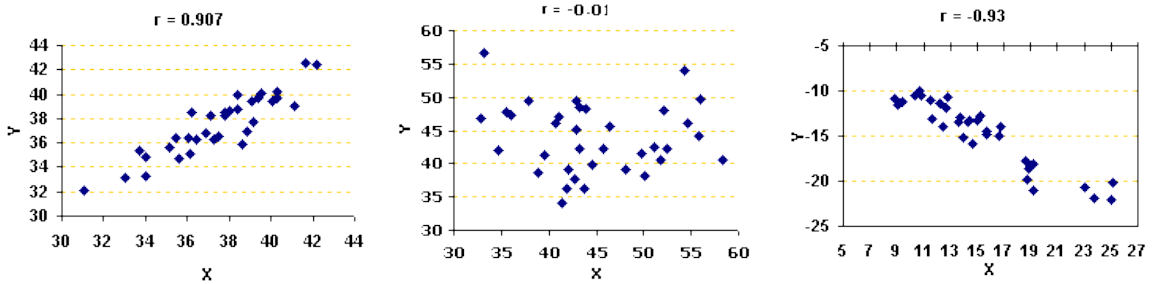
3.1 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยมี Correlation Coefficient (r) หรือค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์นี้ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 ซึ่งหากมีค่าใกล้ -1.0 นั้น หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม หากมีค่าใกล้ +1.0 นั้น หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก และหากมีค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) คำนวณได้ดังนี้

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

เมื่อ x_i, y_i คือ ค่าใดๆของแต่ละตัวแปรที่เป็นคู่กัน

\bar{x}, \bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร



รูปที่ 2-12 Scatter plot แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ใน 3 ลักษณะ

ตารางที่ 2-1 ระดับความสัมพันธ์ของค่าสหสัมพันธ์ (Hinkle, 1988)

ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	ระดับความสัมพันธ์
0.00 - 0.30	ต่ำมาก
0.31 - 0.50	ต่ำ
0.51 - 0.70	ปานกลาง
0.71 - 0.90	สูง
0.91 - 1.00	สูงมาก

3.2 RMSE

RMSE ย่อมาจาก “Root Mean Square Error” เป็นการวัดทางสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การคำนวณนั้นสามารถคำนวณหาอนุกรมของค่าใด ๆ หรือฟังก์ชันใดๆ ที่แปรผันต่อเนื่อง ทั้งนี้คำว่า root mean square ก็คือ "รากที่สองของค่าเฉลี่ย" ของค่านั้น ๆ ยกกำลังสอง ด้วยเหตุนี้เราจึงถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยยกกำลัง

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum (prediction - actual)^2}$$

ค่า RMSE ถูกใช้เพื่อหาค่า loss ระหว่าง prediction และ actual หรือนำมาใช้หาค่า error ระหว่างข้อมูลสองชนิด โดยค่า RMSE ยิ่งต่ำยิ่งดี ถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แปลว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกันมีค่าเท่ากัน 100% แต่ถ้ายังมีค่ามากแปลว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกันมีค่าต่างกันมาก ในทางปฏิบัติโอกาสที่ค่า RMSE = 0 เป็นไปได้ยากมาก



ตารางที่ 2-2 การแปลผลข้อมูลทางสถิติ

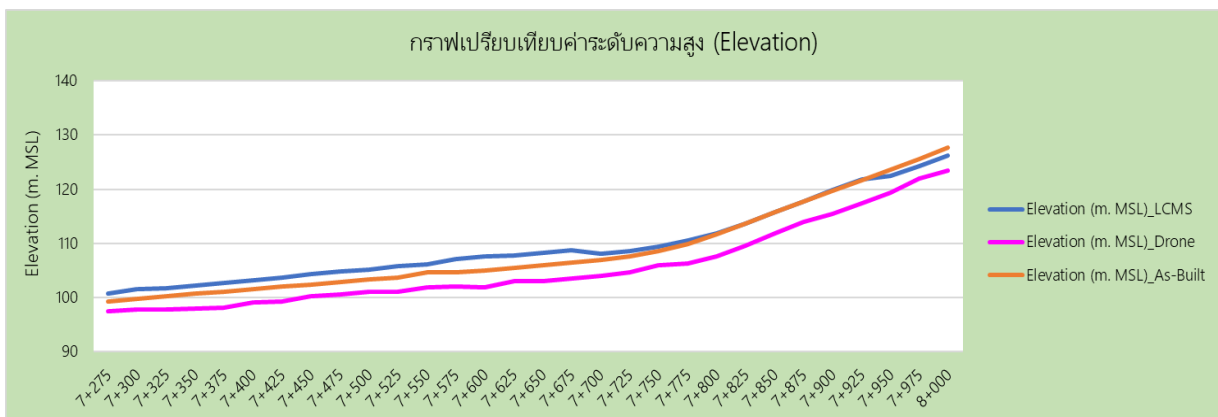
สถิติ	การแปลผลข้อมูล
RMSE	ค่าใกล้ แสดงว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกัน 0 มีค่าต่างก็น้อยมาก
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	มีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 - ค่าใกล้ -1.0 สัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม - ค่าใกล้ +1.0 สัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก - ค่าเป็น 0 ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน 0
ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย(%)	ค่าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าต่างก็น้อยมาก

4. การเปรียบเทียบผลการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ด้วยค่าทางสถิติ

ที่ปรึกษาจะนำค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) ที่ประมวลผลจากการสำรวจ LCMS มาเปรียบเทียบกับแบบ As-Built หรือข้อมูลสำรวจจากโดรน (Drone) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนที่จะทดลองนำข้อมูลขึ้นแสดงผลบนระบบ Roadnet ผลการเปรียบเทียบแสดงตามรูปที่ 2-13 ถึงรูปที่ 2-16

4.1 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ของทางหลวงหมายเลข 21 ตอนควบคุม 200 สะพานพุกแค - แยกมะนาวหวาน ช่วงกม.7+275 - กม.8+000

4.1.1 ค่าระดับความสูง (Elevation)



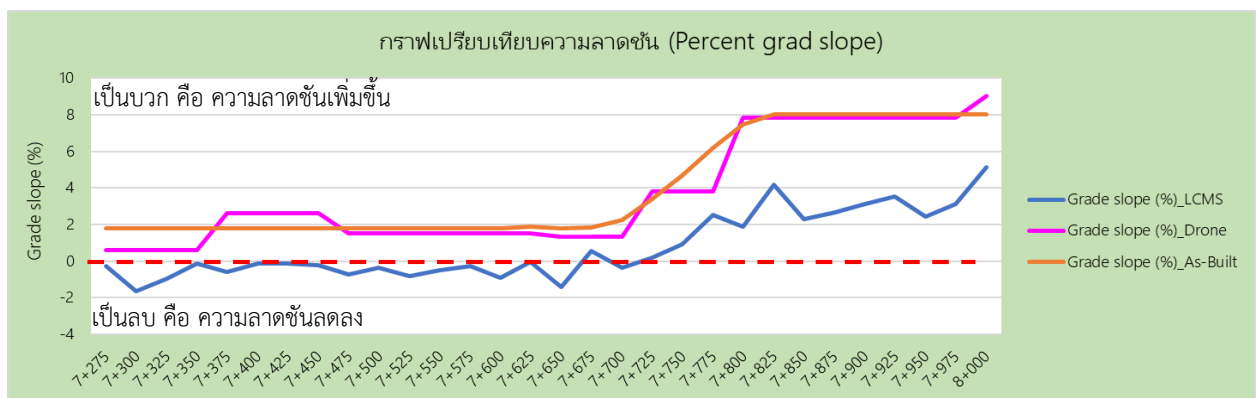
รูปที่ 2-13 กราฟเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation)



ตารางที่ 2-3 สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าระดับความสูง (Elevation)

สถิติ	ค่าทางสถิติ		
	LCMS vs Drone	LCMS vs As-Built	Drone vs As-Built
RMSE	4.22	1.56	3.14
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	0.996	0.998	0.999
ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%)	3.98	1.29	2.79

4.1.2 ค่าความลาดชัน (Percent grad slope)



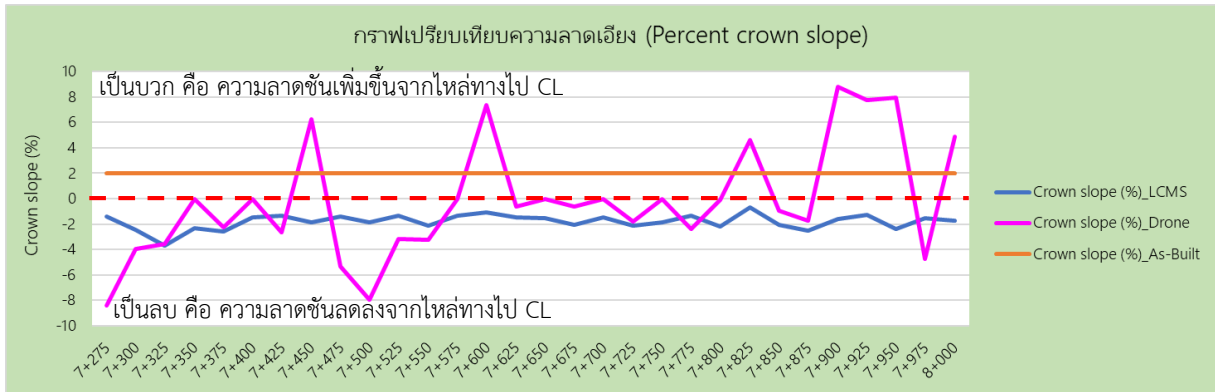
รูปที่ 2-14 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope)

ตารางที่ 2-4 สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าความลาดชัน (Percent grad slope)

สถิติ	ค่าทางสถิติ		
	LCMS vs Drone	LCMS vs As-Built	Drone vs As-Built
RMSE	3.27	3.43	0.78
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	0.922	0.934	0.969
ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%)	114.67	102.35	25.18



4.1.3 ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope)

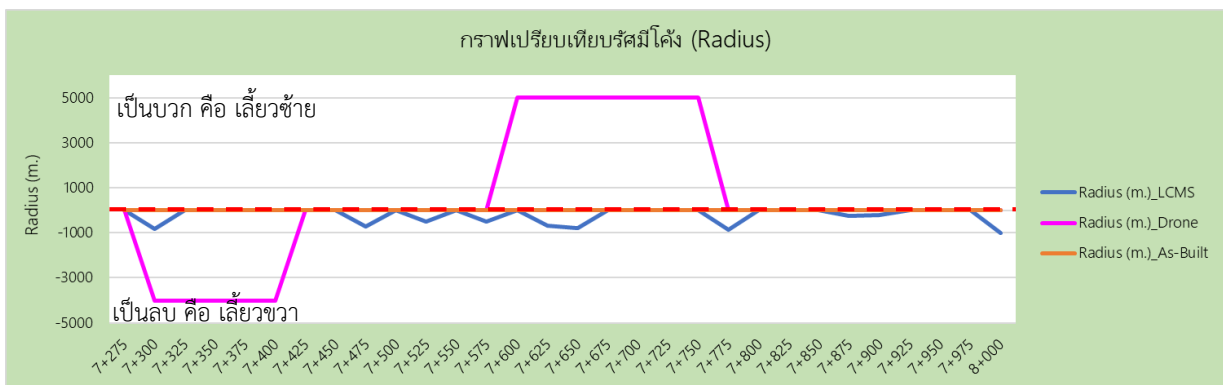


รูปที่ 2-15 กราฟเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope)

ตารางที่ 2-5 สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง (Percent crown slope)

สถิติ	ค่าทางสถิติ		
	LCMS vs Drone	LCMS vs As-Built	Drone vs As-Built
RMSE	4.67	3.84	4.97
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	0.205	-	-
ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%)	147.57	189.88	221.73

4.1.4 ค่ารัศมีโค้ง (Radius)



รูปที่ 2-16 กราฟเปรียบเทียบค่ารัศมีโค้ง (Radius)



ตารางที่ 2-6 สรุปผลค่าทางสถิติของการเปรียบเทียบค่ารัศมีโค้ง (Radius)

สถิติ	ค่าทางสถิติ		
	LCMS vs Drone	LCMS vs As-Built	Drone vs As-Built
RMSE	2,989.65	393.47	2915.48
ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)	-0.037	-	-
ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%)	63.66	33.33	40.00

4.2 สรุปผลการเปรียบเทียบข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ของทางหลวงหมายเลข 21 ตอนควบคุม 200 สะพานพุกแค - แยกมะนาวหวาน ช่วงกม.7+275 - กม.8+000

ตารางที่ 2-7 สรุปผลค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ค่าทาง สถิติ	Correlation (r)					
	LCMS vs Drone		LCMS vs As-Built		Drone vs As-Built	
	ค่า	ระดับความสัมพันธ์	ค่า	ระดับความสัมพันธ์	ค่า	ระดับความสัมพันธ์
Road Geometric						
Elevation (m. MSL)	0.996	สูงมาก	0.998	สูงมาก	0.999	สูงมาก
Grade slope (%)	0.922	สูงมาก	0.934	สูงมาก	0.969	สูงมาก
Crown slope (%)	0.205	ต่ำมาก	-	-	-	-
Radius (m.)	-0.037	ต่ำมาก	-	-	-	-

ตารางที่ 2-8 สรุปผลค่า RMSE

ค่าทาง สถิติ	RMSE		
	LCMS vs Drone	LCMS vs As-Built	Drone vs As-Built
Road Geometric			
Elevation (m. MSL)	4.22	1.56	3.14
Grade slope (%)	3.27	3.43	0.78
Crown slope (%)	4.67	3.84	4.97
Radius (m.)	2,989.65	393.47	2915.48



ตารางที่ 2-9 สรุปผลค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error)

สถิติ Road Geometric	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error)		
	LCMS vs Drone	LCMS vs As-Built	Drone vs As-Built
Elevation (m. MSL)	3.98	1.29	2.79
Grade slope (%)	114.67	102.35	25.18
Crown slope (%)	147.57	189.88	221.73
Radius (m.)	63.66	33.33	40.00

1) ผลการประเมินความสัมพันธ์ (Correlation) ของค่าระดับความสูง (Elevation) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) พบว่าระดับความสัมพันธ์เรียงลำดับจากสูงไปต่ำดังนี้ 1. Drone กับ As-Built 2. LCMS กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone ซึ่งทั้ง 3 ลำดับมีระดับความสัมพันธ์สูงมาก

2) ผลการประเมินความสัมพันธ์ (Correlation) ของค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) พบว่าระดับความสัมพันธ์เรียงลำดับจากสูงไปต่ำดังนี้ 1. Drone กับ As-Built 2. LCMS กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone ซึ่งทั้ง 3 ลำดับมีระดับความสัมพันธ์สูงมาก

3) ผลการประเมินความสัมพันธ์ (Correlation) ของค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) พบว่าระดับความสัมพันธ์ของ LCMS กับ Drone มีระดับความสัมพันธ์ต่ำมาก สำหรับข้อมูลระหว่าง LCMS กับ As-Built และ Drone กับ As-Built ไม่สามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ได้ หมายความว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

4) ผลการประเมินความสัมพันธ์ (Correlation) ของค่ารัศมีโค้ง (Radius) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) พบว่าระดับความสัมพันธ์ของ LCMS กับ Drone มีระดับความสัมพันธ์ต่ำมาก สำหรับข้อมูลระหว่าง LCMS กับ As-Built และ Drone กับ As-Built ไม่สามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) ได้ หมายความว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

5) ผลการคำนวณค่า RMSE (Root Mean Square Error) เพื่อหาค่า loss ของค่าระดับความสูง (Elevation) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง พบว่าค่า loss ของข้อมูลเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ 1. LCMS กับ As-Built 2. Drone กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone



- 6) ผลการคำนวณค่า RMSE (Root Mean Square Error) เพื่อหาค่า loss ของค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง พบว่าค่า loss ของข้อมูลเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ 1. Drone กับ As-Built 2. LCMS กับ Drone 3. LCMS กับ As-Built
- 7) ผลการคำนวณค่า RMSE (Root Mean Square Error) เพื่อหาค่า loss ของค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง พบว่าค่า loss ของข้อมูลเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ 1. LCMS กับ As-Built 2. LCMS กับ Drone 3. Drone กับ As-Built
- 8) ผลการคำนวณค่า RMSE (Root Mean Square Error) เพื่อหาค่า loss ของค่ารัศมีโค้ง (Radius) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง พบว่าค่า loss ของข้อมูลเรียงลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ 1. LCMS กับ As-Built 2. Drone กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone
- 9) ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) ของค่าระดับความสูง (Elevation) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง ซึ่งหากยิ่งเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าต่างกันน้อยมาก โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) มีค่าเข้าใกล้ 0 เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ 1. LCMS กับ As-Built 2. Drone กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone
- 10) ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) ของค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง ซึ่งหากยิ่งเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกันมีค่าต่างกันน้อยมาก โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) มีค่าเข้าใกล้ 0 เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ 1. Drone กับ As-Built 2. LCMS กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone
- 11) ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) ของค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง ซึ่งหากยิ่งเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกันมีค่าต่างกันน้อยมาก โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) มีค่าเข้าใกล้ 0 เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ 1. LCMS กับ Drone 2. LCMS กับ As-Built 3. Drone กับ As-Built
- 12) ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) ของค่ารัศมีโค้ง (Radius) ระหว่างข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่ง ซึ่งหากยิ่งเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลสองชนิดที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีค่าต่างกันน้อยมาก โดยพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) มีค่าเข้าใกล้ 0 เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ 1. LCMS กับ As-Built 2. Drone กับ As-Built 3. LCMS กับ Drone
- 13) ค่าระดับความสูง (Elevation) พบว่าเมื่อนำข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่งมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันทางสถิติมีระดับความสัมพันธ์กันสูงมาก ส่วนของค่า RMSE (Root Mean Square Error) และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) ก็มีค่าไม่มาก



14) ค่าความลาดชัน (Percent grad slope) พบว่าเมื่อนำข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่งมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันทางสถิติมีระดับความสัมพันธ์กันสูงมาก ค่า RMSE (Root Mean Square Error) มีค่าต่ำ แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) มีค่าสูง โดยเฉพาะเมื่อนำข้อมูลสำรวจ LCMS กับ Drone และ LCMS กับ As-Built มาเปรียบเทียบกัน เพราะค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ช่วง sta.7+725 - 7+700 ค่าจากรถ LCMS ติดลบ ซึ่งไม่สอดคล้องกับสภาพจริงที่เป็นค่าบวก

15) ความลาดเอียง (Percent crown slope) พบว่าเมื่อนำข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่งมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันทางสถิติมีระดับความสัมพันธ์กันต่ำมากหรือไม่สามารถประเมินค่าความสัมพันธ์กันได้ ค่า RMSE (Root Mean Square Error) มีค่าต่ำ แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) มีค่าค่อนข้างสูง เพราะค่าจากรถ LCMS มีค่าเป็นลบทั้งหมด ส่วนค่าจาก Drone ส่วนใหญ่ก็มีค่าเป็นลบเช่นเดียวกัน ซึ่งรูปตัดทั่วไปของถนนควรมีค่าเป็นบวกเพื่อระบายน้ำ และไม่ควรมีค่ามากกว่า 2% (ตามแบบ As-Built ยกเว้นช่วงโค้ง Superelevation) โดยเฉพาะค่าจาก Drone มีค่ามากกว่า 2% ในหลายๆ ค่า ทั้งที่สภาพพื้นที่ไม่ได้เป็นช่วงโค้ง Superelevation

16) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) พบว่าเมื่อนำข้อมูลสำรวจแต่ละแหล่งมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกันทางสถิติมีระดับความสัมพันธ์กันต่ำมากหรือไม่สามารถประเมินค่าความสัมพันธ์กันได้ ค่า RMSE (Root Mean Square Error) มีค่าสูงมาก และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ย (%Error) ก็มีค่าสูง เพราะจากภาพถ่ายทางอากาศ ถนนมีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังนั้นค่ารัศมีโค้งควรมีค่าเป็นศูนย์หรือมีค่ามากๆ แต่ข้อมูลจาก LCMS และ Drone สำรวจพบค่ารัศมีโค้งในบางจุด



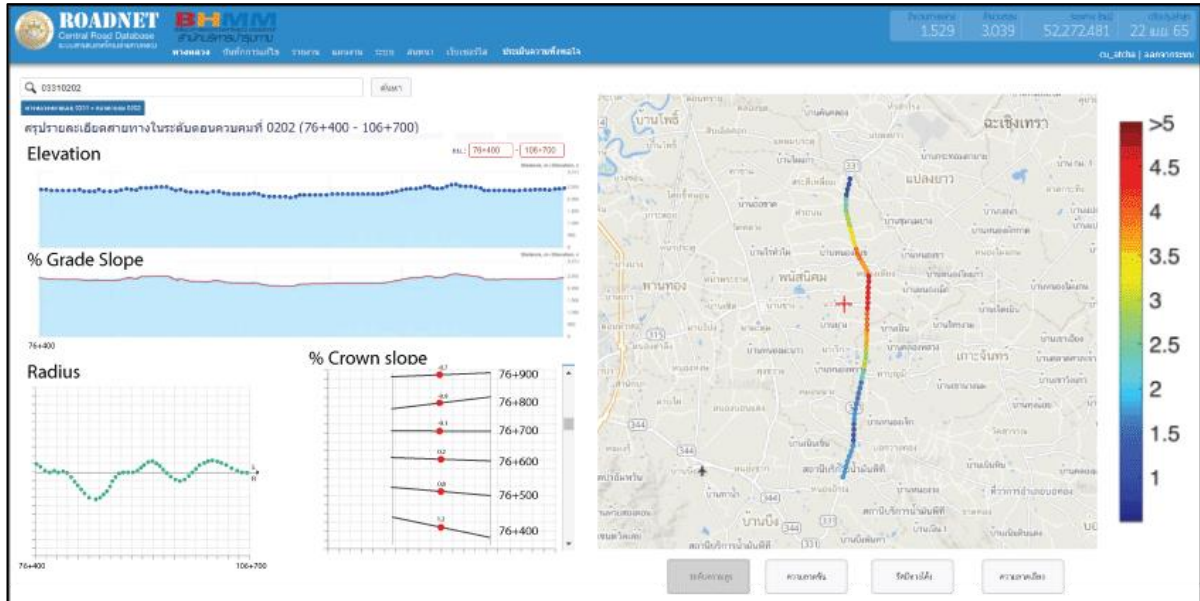
2.1.3 การศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ให้สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลสภาพทาง เช่น ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) เป็นต้น โดยจะต้องนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบ Roadnet ในการจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อให้ระบบ Roadnet สามารถแสดงผลข้อมูลดังกล่าวได้ในอนาคต

ระบบ Roadnet ได้พัฒนาขึ้นผ่านการแสดงผลข้อมูลรายละเอียดของสายทาง พร้อมทั้งการแสดงผลสภาพทางที่มีการจัดเก็บข้อมูลผ่านการวิ่งสำรวจด้วยอุปกรณ์ Laser Scan ที่สามารถจัดเก็บค่าสภาพทางทั้งค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ซึ่งนอกจากได้ค่าสภาพทางทั้ง 3 ค่าแล้ว ด้วยตัวอุปกรณ์ที่ติดบนรถสำรวจได้มีการจัดเก็บค่าตำแหน่ง Latitude (ละติจูด) และ Longitude (ลองจิจูด) เพื่อนำมาประมวลผลให้สามารถแสดงผลข้อมูลค่าสภาพทางบนระบบ Roadnet ได้อย่างในปัจจุบัน

แต่ด้วยงานวางแผนการซ่อมบำรุงสายทางที่ต้องการการวิเคราะห์ข้อมูลให้มีความหลากหลายเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ต่อการแก้ไขปัญหาทางทางให้ครอบคลุมทุกมิติของงานวางแผน ดังนั้นจึงมีการเพิ่มงานศึกษาข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) ดังกล่าว และนำมาแสดงผลร่วมกับข้อมูลค่าสภาพทางอื่น ๆ ที่ได้ทำการเก็บจากการสำรวจ พร้อมทั้งการแสดงผลข้อมูลบนระบบ Roadnet เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งและเพิ่มมุมมองการวิเคราะห์ข้อมูลได้มากขึ้น โดยภายในการศึกษาทางที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอน และวิธีการคำนวณค่าที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะจากตัวอุปกรณ์ และดำเนินการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการแสดงผลร่วมกับค่าสภาพทางที่ได้แสดงบนระบบ Roadnet ดังปัจจุบัน

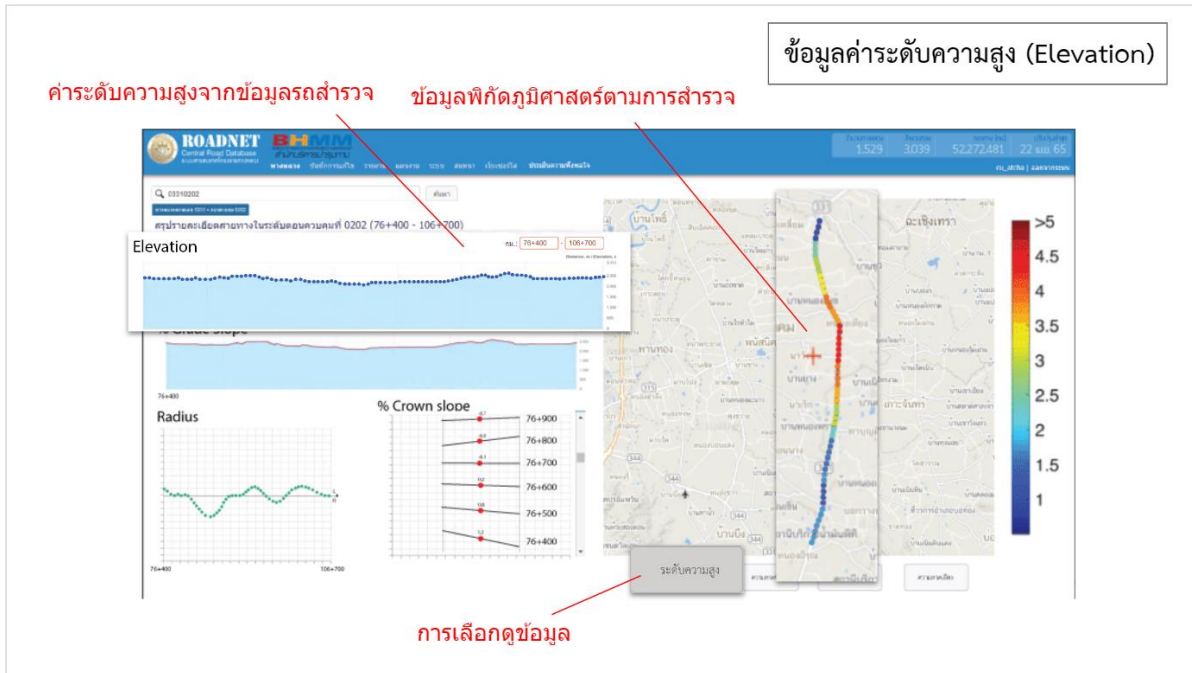
แนวคิดการออกแบบการแสดงผลลัพท์เครื่องมือทางสถิติ (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน ค่าความลาดเอียง ค่าระดับความสูง และค่ารัศมีทางโค้ง

จากการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติ (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน ค่าความลาดเอียง ค่าระดับความสูง และค่ารัศมีทางโค้งทางคณะที่ปรึกษาได้ทำการออกแบบแนวคิดการแสดงผลข้อมูลดังกล่าว เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบรายละเอียดของมูลค่าความลาดชัน ค่าความลาดเอียง ค่าระดับความสูง และค่ารัศมีทางโค้งเป็นต้น โดยจะแบ่งองค์ประกอบการแสดงผลออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ข้อมูลแสดงกราฟสรุปผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติและแผนที่แสดงตำแหน่งผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของการแบ่งค่าระดับสีตามผลลัพธ์ทางสถิติของเครื่องมือสำรวจ โดยรูปแบบการแสดงผลมีลักษณะ ดังนี้



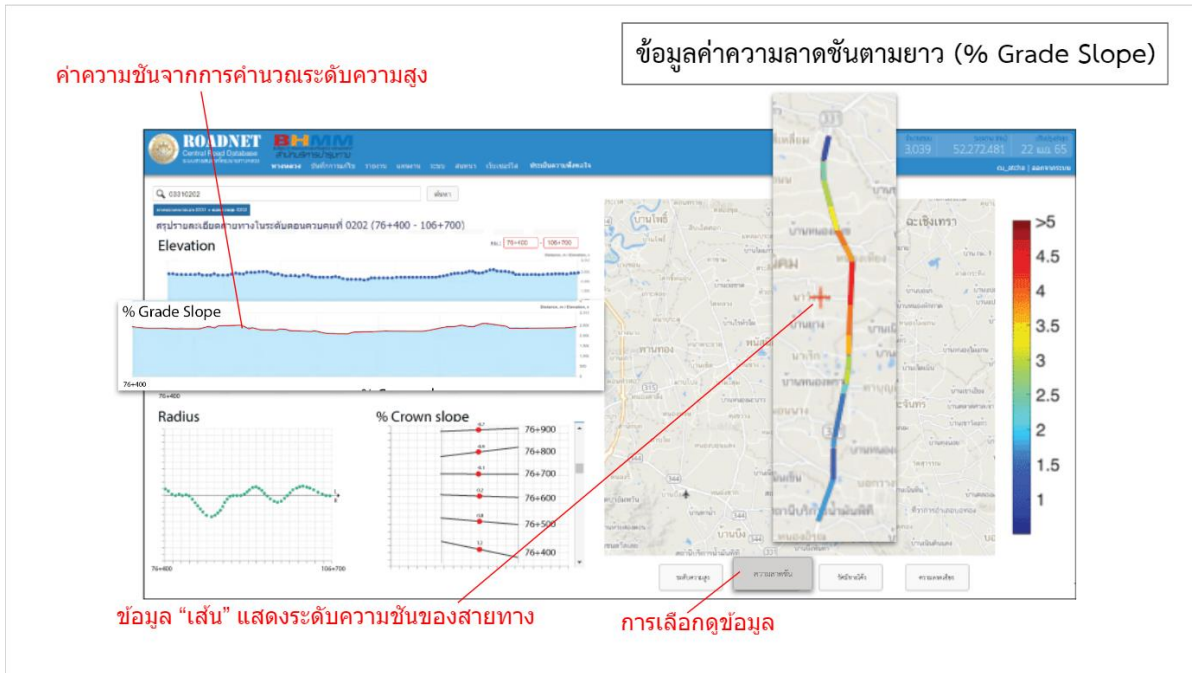
รูปที่ 2-17 ตัวอย่างแนวคิดการออกแบบการแสดงผลลัพธ์เครื่องมือทางสถิติ (Geometric)

การแสดงผลข้อมูลสรุปกราฟการประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยทางคณะที่ปรึกษาได้นำข้อมูลสำรวจมาสรุปเป็นกราฟแผนภูมิจุดแบบกระจายกระจัดกระจาย หรือ Scatter plot โดยระบุแนวแกน X ให้แสดงตำแหน่งของ กม. ในสายทางที่สามารถแสดงผลได้ทุก ๆ ช่วงระยะห่างที่ 5 เมตร หรือตามข้อสรุปตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ และระบุแนวแกน Y ให้แสดงค่าระดับความสูงที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจ เพื่อแสดงลักษณะของสายทางเบื้องต้น และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้วิเคราะห์ผลค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade) นอกจากนี้ในส่วนของแผนที่ข้อมูลค่าระดับความสูง (Elevation) จะแสดงผลในรูปแบบของจุด (Point) ที่แสดงค่าระดับสีตามปริมาณของค่าระดับความสูงในรูปแบบสีโทนร้อนที่ค่าระดับมาก และสีโทนเย็นที่ค่าระดับน้อย ดังนี้



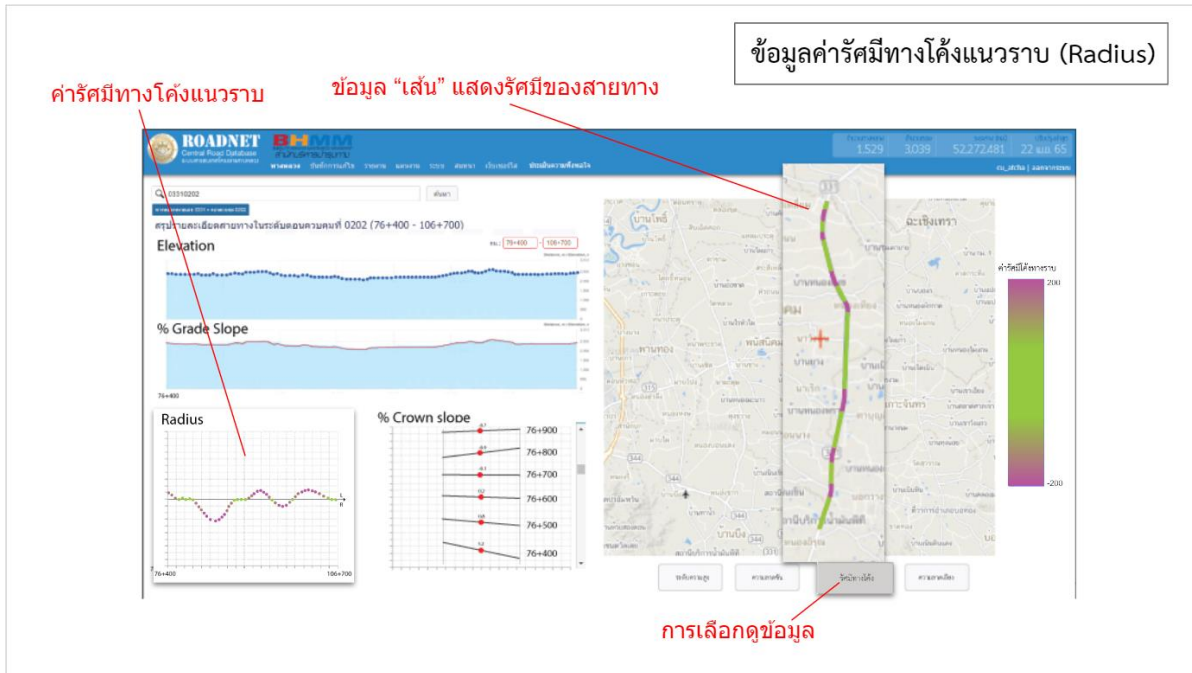
รูปที่ 2-18 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟแผนภูมิจุดแบบกระจายหรือ Scatter plot และแผนที่
แสดงค่าระดับของข้อมูลค่าระดับความสูง (Elevation)

การแสดงผลข้อมูลสรุปกราฟการประมวลผลค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade) โดยทางคณะที่ปรึกษาได้นำข้อมูลค่าระดับความสูง (Elevation) มาคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทางตามสูตรการคำนวณค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ในรูปแบบของกราฟเส้น (Line Chart) และกราฟพื้นที่ (Line Chart) เพื่อให้เห็นถึงลักษณะโครงสร้างสายทางตามแนวยาว และสามารถนำเปอร์เซ็นต์ความชัน ไปใช้สำหรับการวิเคราะห์ในงานต่าง ๆ ได้ โดยรูปแบบของกราฟพื้นที่ได้ระบุแนวแกน X ให้แสดงตำแหน่งของ กม. ในสายทางที่สามารถแสดงผลได้ทุก ๆ ช่วงระยะห่างที่ 5 เมตร หรือตามข้อสรุปตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบและระบุแนวแกน Y ให้แสดงค่า ช่วงค่าระดับเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทาง โดยสามารถปรับแต่งสีของกราฟตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงแผนที่การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชันของสายทาง ในรูปแบบของข้อมูลเส้น (Line) โดยแบ่งระดับสีตามระดับเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทาง ในรูปแบบสีโทนร้อนที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทางมาก และสีโทนเย็นที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทางน้อย ดังนี้



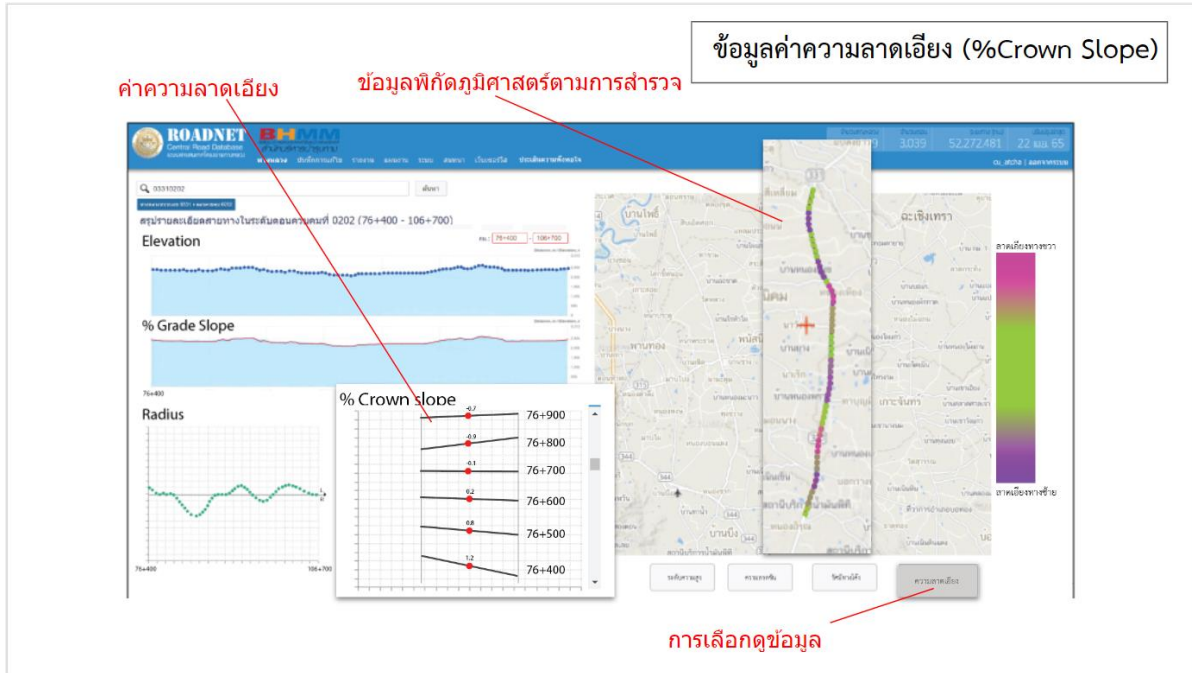
รูปที่ 2-19 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และกราฟพื้นที่ (Area Chart) และแผนที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชันของสายทาง

การแสดงผลข้อมูลสรุปกราฟการประมวลผลคาร์ซีมีโค้ง (Radius) ที่เกิดจากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีการกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement) การกระจัดสำหรับการเคลื่อนที่แบบหมุนจะอิงต่อการหมุนของอนุภาคที่หมุนในทิศทางใด กวาดเป็นมุมเท่าใด โดยแสดงกราฟแผนภูมิจุดแบบกระจายกระจาย หรือ Scatter plot โดยมีการออกแบบลักษณะของกราฟเพื่อให้สอดคล้องกับผลลัพธ์คาร์ซีมีโค้ง โดยคณะที่ปรึกษาจะกำหนดแกน X ระบุให้แสดงตำแหน่งของ กม. ในสายทางที่สามารถแสดงผลได้ทุก ๆ ช่วงระยะห่างที่ 5 เมตร หรือตามข้อสรุปตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ โดยติดตั้งแนวแกน X ให้อยู่ระหว่างค่ากลางของคาร์ซีมีโค้งเพื่อสามารถแสดงลักษณะโครงสร้างสายทางที่มีลักษณะโค้งตามข้อมูลสำรวจได้ โดยแกน Y ระบุให้แสดงคาร์ซีมีทางโค้งโดยหากมีค่ามากกว่า 0 ลักษณะของโครงสร้างทางจะระบุทิศทางโค้งซ้าย ซึ่งหากมีค่าน้อยกว่า 0 จะระบุทิศทางโค้งขวา และยิ่งคาร์ซีมีห่างจากค่ากลางมากเท่าไรระดับความเข้มของสีจะมากขึ้น โดยที่ปรึกษาได้ระบุสีเขียวตามจุดที่ห่างจากค่ากลางน้อย และสีม่วงตามจุดที่ห่างจากค่ากลางมาก หรือตามข้อสรุปตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงแผนที่การแสดงผลคาร์ซีมีทางโค้ง ในรูปแบบของข้อมูลเส้น (Line) โดยแบ่งระดับสีตามระยะห่างของคาร์ซีมีทางโค้งจากค่ากลาง ดังนี้



รูปที่ 2-20 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงคาร์ซีททางโค้ง

การแสดงผลข้อมูลสรุปกราฟการประมวลผลค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นการแสดง คือ ความลาดชันหลังทางตามแนวรูปตัดขวางของถนน สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการเดียวกันกับค่าความลาดชัน (Percent grad slope) โดยแสดงกราฟแผนภูมิแบบเส้น (Line Chart) โดยมีการกำหนดเงื่อนไขของกราฟที่แสดงผลให้คล้ายกับแนวสายทางตามรูปตัดขวางถนน โดยแกน Y ระบุให้แสดงตำแหน่งของ กม. ในสายทางที่สามารถแสดงผลได้ทุก ๆ ช่วงระยะห่างที่ 100 เมตร หรือตามข้อสรุปตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ และแกน X ระบุเส้นความชันของค่าความลาดเอียงตามแนวรูปตัดขวางของถนน หากข้อมูลมีค่ามากกว่า 0 ให้แสดงเส้นความชันที่เป็นกราฟขาขึ้น หากข้อมูลมีค่าน้อยกว่า 0 ให้แสดงเส้นความชันที่เป็นกราฟขาลง นอกจากนี้ยังสามารถแสดงแผนที่การแสดงผลค่าความลาดเอียงในรูปแบบข้อมูลจุด (point) โดยกำหนดคู่สีตามข้อมูลสำรวจโดยแบ่งเป็นค่าที่มากกว่า 0 จะระบุคู่สีที่แสดงลักษณะทางที่เอียงซ้าย หากค่าที่น้อยกว่า 0 จะระบุคู่สีที่แสดงค่าที่เอียงขวาตามข้อสรุปตามความต้องการของผู้ใช้งานระบบ ดังนี้



รูปที่ 2-21 ตัวอย่างแนวคิดการแสดงกราฟเส้น (Line Chart) และแผนที่แสดงค่าความลาดเอียง



2.1.4 การศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ให้สามารถแสดงภาพความเสียหายของผิวทาง และข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลค่าความเสียหายของผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) ให้สามารถแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าระบบได้ทุก ๆ 25 เมตร หรือตามระยะการแสดงผลค่าความขรุขระสากล (IRI) หรือการแสดงผลในภาพรวมแบบชั้นข้อมูลประเภทความเสียหาย (Layers) เป็นต้น โดยจะต้องนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบ Roadnet ในการจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อให้ระบบ Roadnet สามารถแสดงผลข้อมูลดังกล่าวได้ในอนาคต

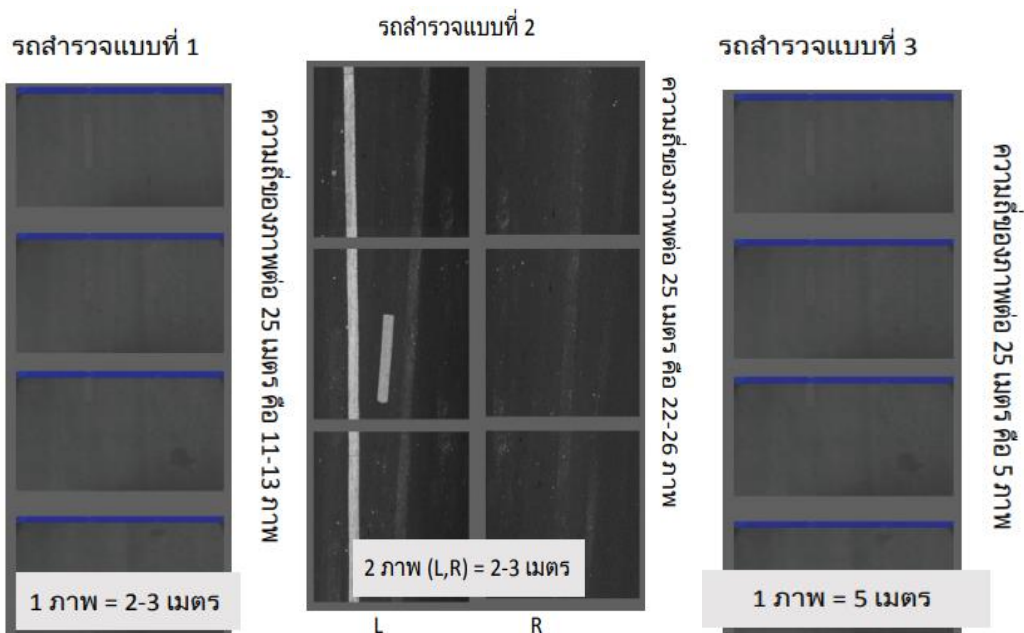
ข้อมูลสภาพทางจากการสำรวจด้วยอุปกรณ์ Laser Profile พร้อมทั้งการติดตั้งชุดอุปกรณ์กล้องถ่ายภาพบริเวณ 2 ข้างทาง เพื่อให้ได้เห็นทัศนียภาพระหว่างการสำรวจ และนำมาประมวลผลตลอดจนสามารถแสดงผลบนระบบ Roadnet ซึ่งในการแสดงผลข้อมูลสภาพทางจะสามารถแสดงผลข้อมูลทั้งค่าความขรุขระสากล (IRI) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และข้อมูลค่าความหยابเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ได้ทุก ๆ 25 เมตร ส่วนข้อมูลภาพความเสียหายของผิวทาง และข้อมูลค่าความเสียหายที่ได้จากการประมวลผลค่าความเสียหายของผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) และการประเมินจากภาพถ่ายผิวทางนั้น ได้จัดเก็บในรูปแบบภาพรวมของเส้นการสำรวจ ซึ่งจากการศึกษาและวิเคราะห์นั้นควรแสดงผลร่วมกับค่าข้อมูลสภาพทางต่างๆ ทั้งค่าความขรุขระสากล (IRI) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และข้อมูลค่าความหยابเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ที่มีการแสดงผลทุก 25 เมตร และสามารถคำนวณค่าความเสียหายผิวทางทั้งผิวลาดยางและผิวคอนกรีตแต่ละประเภทให้อยู่ทุก ๆ 25 เมตร เช่นกัน เพื่อให้การแสดงผลสามารถแสดงรายละเอียดครบถ้วน และทราบถึงสาเหตุค่าสภาพทางที่สูงภายในพื้นที่บริเวณนั้นได้อย่างเหมาะสม

เริ่มต้นจากการศึกษาการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางของรถสำรวจแต่ละประเภท โดยมีทั้งหมด 3 คัน ได้แก่ รถสำรวจด้วยอุปกรณ์ Laser Profile คันที่ 1 ที่มีการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางทุก ๆ 2-3 เมตร และเก็บจำนวน 1 ภาพครอบคลุมพื้นที่ช่องจราจรของการสำรวจ รถสำรวจด้วยอุปกรณ์ Laser Profile คันที่ 2 ที่มีการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางทุก ๆ 2-3 เมตร เช่นเดียวกันกับคันแรก แต่การเก็บภาพถ่ายผิวทางจะเป็น 2 ภาพ ซึ่งแบ่งออกฝั่งซ้ายและฝั่งขวา เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ช่องจราจรของการสำรวจ และรถคันสุดท้ายจะใช้อุปกรณ์ในการสำรวจด้วยระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในรูปแบบใหม่ที่ใช้ตัวอุปกรณ์ Laser ในการเก็บภาพถ่ายผิวทางผ่านการ Scan แต่ตัวระบบก็สามารถส่งออกข้อมูลได้ทุก ๆ 5 เมตร ก็สามารถครอบคลุมพื้นที่ช่องจราจร ในการเก็บข้อมูลภาพผิวทางของรถสำรวจทั้ง 3 คัน จะดำเนินการเก็บภาพต่อเนื่องตลอดการสำรวจ



รูปที่ 2-22 ภาพแสดงตำแหน่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บภาพถ่ายผิวทางของรถสำรวจคันที่ 1
คันที่ 2 และคันที่ 3 ตามลำดับ

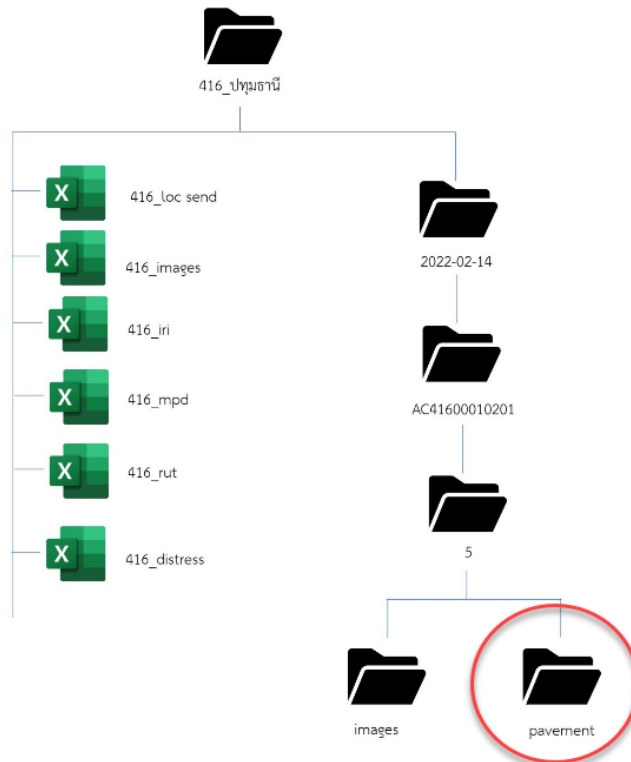
เมื่อทราบความถี่ของการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางของรถแต่ละคันแล้ว ก็สามารถทราบ
ปริมาณรูปที่จะต้องทำการจัดเก็บให้ได้ทุก 25 เมตร ดังนั้นรถสำรวจด้วยอุปกรณ์ Laser Profile คันที่ 1
จะสามารถจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางได้ประมาณ 11-13 ภาพ ส่วนรถสำรวจด้วยอุปกรณ์
Laser Profile คันที่ 2 จะสามารถจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางได้ประมาณ 22-26 ภาพ
เนื่องจากประกอบด้วยกล้องจำนวน 2 ตัวที่ติดทางด้านหลังตัวรถ คันสุดท้ายคันที่ 3 จะสามารถ
จัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางได้ประมาณ 5 ภาพ ดังรูปตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายผิวทางรูปที่ 2-23



รูปที่ 2-23 ภาพแสดงตัวอย่างความถี่การจัดเก็บภาพของรถสำรวจแต่ละคัน

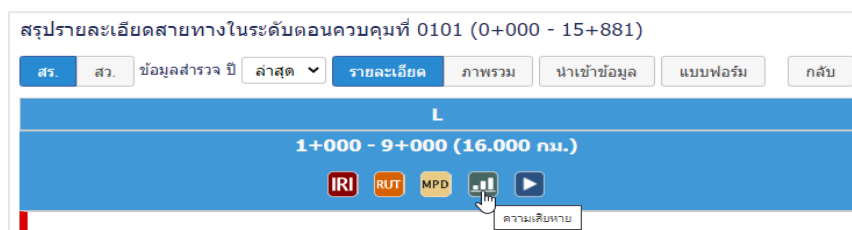


กระบวนการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางบนระบบ Roadnet ภายใต้การออกแบบทางที่ปรึกษาได้วางโครงสร้างการจัดเก็บเช่นเดียวกับการเก็บข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางไว้ในการจัดเก็บเครื่องแม่ข่ายที่ตั้งอยู่ภายในกรมทางหลวง เพื่อให้แยกเป็นสัดส่วนของการสำรวจได้อย่างเหมาะสม และสามารถค้นหาข้อมูลผ่านระบบฐานข้อมูลได้โดยง่าย รวมทั้งการเรียกขึ้นมาแสดงผลก็ไม่ซับซ้อนเช่นกัน ยังส่งผลต่อการจัดการและการดูแลได้เป็นอย่างดี ดังรูป



รูปที่ 2-24 โครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทางอยู่ใน Folder “Pavement”

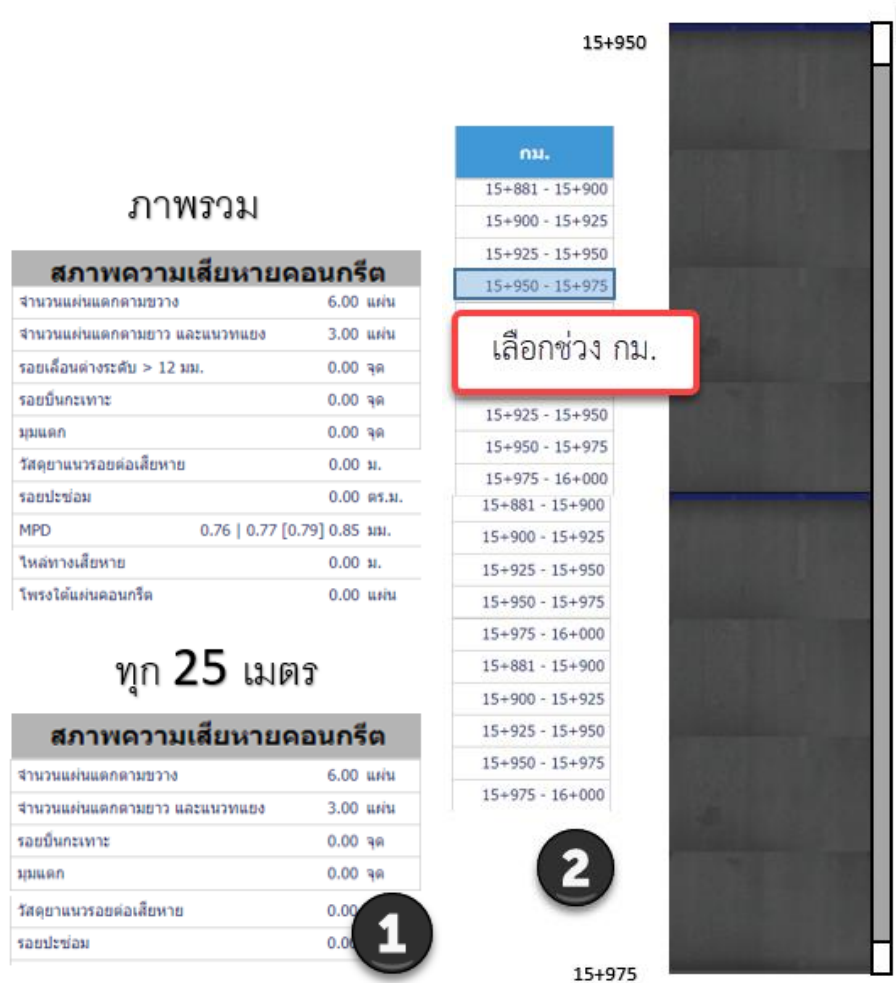
จากกระบวนการศึกษาทบทวนและการวิเคราะห์ตั้งแต่วิธีการจัดเก็บ ความถี่ของตัวข้อมูลตลอดจนวางโครงสร้างของการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายผิวทาง เพื่อหาแนวทางในการแสดงผลภาพความเสียหายของผิวทางผ่านระบบ Roadnet ที่ปรึกษาจึงได้แสดงแนวทางการออกแบบหน้าต่างการแสดงผลบนระบบ Roadnet โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงลักษณะผิวทางที่มีความเสียหายผนวกกับการแสดงค่าความเสียหายทุก ๆ 25 เมตร และสามารถดูภาพรวมของความเสียหายในสายทางนั้น ๆ ได้ ส่วนที่เหมาะสมต่อการเพิ่มเติมของการดูภาพถ่ายผิวทาง ควรอยู่ในฟังก์ชันการเข้าดูความเสียหายข้อมูลสำรวจ ดังนี้



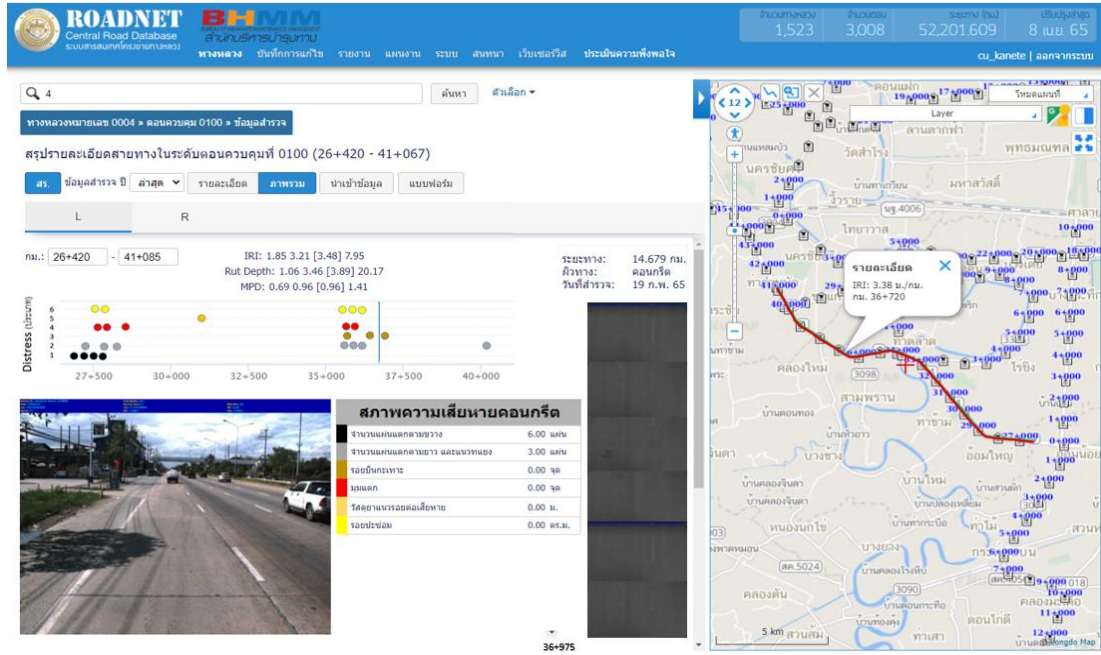
รูปที่ 2-25 ช่องทางการเข้าดูข้อมูลภาพถ่ายผิวทางผ่านระบบ Roadnet



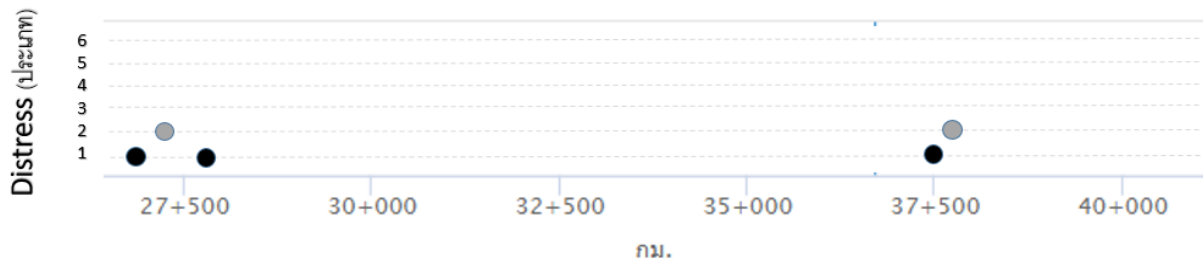
ส่วนที่ 1 จะแสดงข้อมูลค่าความเสียหายผิวทางจากการประมวลผลค่าความเสียหายของผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) และการประเมินจากภาพถ่ายผิวทางสามารถแบ่งแสดงผลได้ทั้งภาพรวมของการสำรวจจะอยู่บริเวณด้านบนและค่าความเสียหายทุก ๆ 25 เมตร จะแสดงผลบริเวณด้านล่าง ซึ่งจะแยกความเสียหายทั้ง 6 ประเภท ของผิวทางคอนกรีตและลาดยาง โดยการเลือกช่วงที่ต้องการดูค่าความเสียหายนั้นจะเชื่อมโยงกับการเลือกช่วง กม. ของส่วนที่ 2 และภาพถ่ายผิวทางจะปรับเปลี่ยนตามที่เลือกช่วง กม. ดังรูป



รูปที่ 2-26 รายละเอียดการเพิ่มเติมหน้าแสดงผลภาพถ่ายผิวทางและค่าความเสียหายผิวทาง



รูปที่ 2-29 ผลการออกแบบภาพรวมการสำรวจที่เพิ่มเติมข้อมูลความเสียหายของผิวทาง



สภาพความเสียหายคอนกรีต	
จำนวนแผ่นแตกตามขวาง	6.00 แผ่น
จำนวนแผ่นแตกตามยาว และแนวทแยง	3.00 แผ่น
รอยบิ่นกะเทาะ	0.00 จุด
มุมแตก	0.00 จุด
วัสดุยานแนวรอยต่อเสียหาย	0.00 ม.
รอยปะซ่อม	0.00 ตร.ม.

รูปที่ 2-30 ผลการออกแบบแผนภูมิแสดงตำแหน่งและตารางข้อมูลความเสียหายผิวทาง



ภายในแผนภูมิที่แสดงเป็นแผนภูมิรูปภาพที่ใช้สีในการแบ่งประเภทความเสียหายผิวทาง โดยตัวข้อมูลประเภทความเสียหายผิวทางนั้นจะอยู่ในแกน Y และมีตารางจำแนกประเภทความเสียหาย พร้อมทั้งบ่งบอกค่าข้อมูลความเสียหายตามหน่วยวัด ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะมีความถี่ทุก ๆ 25 เมตร และในการเลือกดูข้อมูลจะเลือกผ่านแผนภูมิ ส่วนข้อมูลแกน X เป็นข้อมูลระยะทางของการสำรวจมีหน่วยเป็นกิโลเมตร ซึ่งคล้ายคลึงกับแผนภูมิเส้นของค่าสภาพทาง การแสดงข้อมูลในแผนภูมิรูปภาพนั้นจะเป็นการแสดงตำแหน่งคร่าวๆ บนแกน X สามารถบ่งบอกว่าข้อมูลความเสียหายทั้ง 6 ประเภท อยู่บริเวณ กม. ไตของเส้นทางสำรวจ ดังนั้นในการอ่านแผนภูมิจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลสำรวจสภาพทางควบคู่ไปกับข้อมูลสภาพทางได้โดยง่าย ลดระยะเวลาในการเปิดดูข้อมูลหลายหน้าต่าง และเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนงานบำรุงทางต่อไป

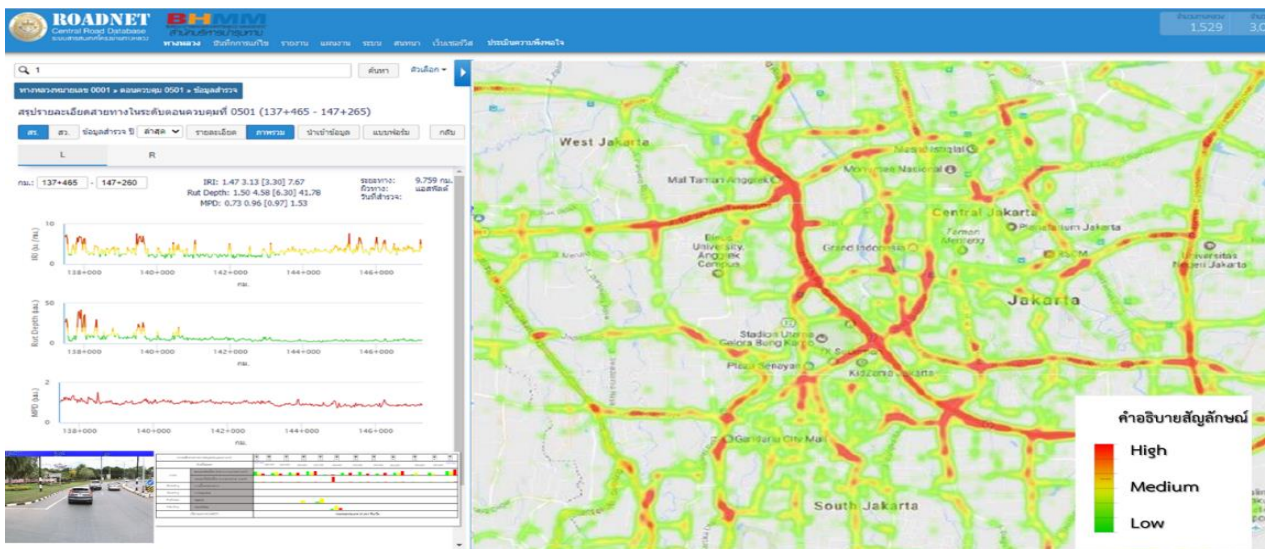
นอกจากนั้น ในการพัฒนาประสิทธิภาพของการแสดงค่าสภาพทางสามารถแสดงผลข้อมูลดังกล่าวในอนาคต ที่ปรึกษาได้ศึกษาแนวทางแสดงผลในรูปแบบภาพรวม จากข้อมูลการประเมินความเสียหายจากระบบ Auto Crack Detection ทำโดยการใช้ข้อมูล Laser Crack Measurement (LCMS) ประมวลผลผ่านโปรแกรม ROMDAS processing โดยมีการกำหนดค่าความเสียหายที่ตรวจสอบตามเกณฑ์ แสดงในตารางที่ 2-10



ตารางที่ 2-10 แสดงค่ากำหนดความเสียหายที่ตรวจสอบตามเกณฑ์ อ้างอิงจาก ASTM International, 2008 และ Federal Highway Administration, 2014

Distress Identification	Severity			unit	remark
	LOW	MEDIUM	HIGH		
Cracks_depth	0	0-100	100	mm	
Cracks_lenght (width)	<10	10-75	>75	mm	
Bleeding	BI = 0	BI = 1	BI = 2	m ²	BI = Bleeding Index วัดพื้นที่เมื่อ BI เท่ากับ 1 และ 2
Pothole_depth (diameter = 150 -750 mm)	<25	25-50	>50	mm	ลาดยาง = หลุมบ่อ คอนกรีต = รอยบิ่นกะเทาะ
Raveling (diameter <10 mm, depth<13 mm)	Raveling Index, RI >100			m ²	วัดพื้นที่เมื่อ RI มากกว่า 100
Patching				m ²	ประเมินจากสายตาด้วยโปรแกรม ROMDAS dataview
joint seal crack				m	ประเมินจากสายตาด้วยโปรแกรม ROMDAS dataview

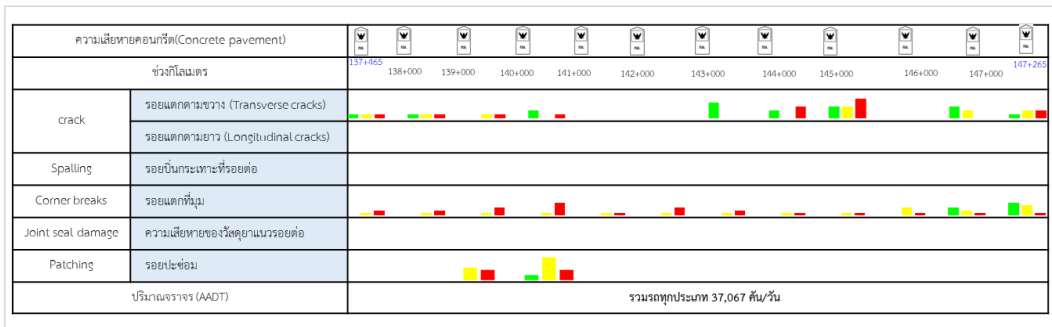
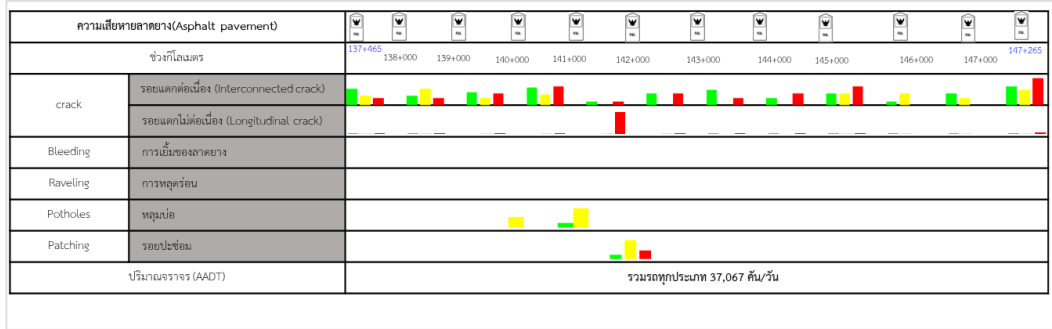
โดยทำการออกแบบการแสดงผลและรวบรวมข้อมูลจากการตรวจสอบค่าความเสียหายสภาพทาง
บางส่วนออกมาด้วยกระบวนการวิเคราะห์ Heat Map ดังรูปที่ 2-31





รูปที่ 2-31 ผลการออกแบบการค่าความเสียหายสภาพทางด้วยกระบวนการวิเคราะห์ Heat Map

จากนั้นที่ปรึกษาอ้างอิงจากการจัดเก็บการประเมินความเสียหายทั้งจากระบบ Auto Crack Detection กับการประเมินด้วยสายตา นำมาแปลผลและเปรียบเทียบกันทำการออกแบบการแสดงผลภาพรวมโดยให้เห็นปริมาณความเสียหายผิวทาง ออกมาในรูปแบบต่อไปนี้



รูปที่ 2-32 ภาพขยายตารางแสดงผลค่าความเสียหายสภาพทางแบบภาพรวม

หมายเหตุ จากการกำหนดความเสียหายที่ตรวจสอบตามเกณฑ์ที่ปรึกษาการออกแบบโดยแบ่งระดับดังนี้ LOW สีเขียว
MEDIUM สีเหลือง , HIGH สีแดง



2.1.5 การศึกษาทบทวนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS โดยอ้างอิงกับระบบการบริหารจัดการ และพัฒนาด้านงานทาง(Highway Development and Management : HDM) ในปัจจุบัน

การพิจารณาการเสื่อมสภาพผิวทางในการศึกษาของ Highway Development Management Version 4 (HDM 4) จะพิจารณาพื้นผิว 4 ชนิด ประกอบด้วย Bituminous (asphalt), Concrete, Block และ Unsealed และแบ่งตามลักษณะหมวดหมู่ของพื้นผิวเป็น 2 กลุ่ม คือ Paved (มีผิวเคลือบชั้นดิน) และ Unpaved (ถนนผิวดิน) ซึ่ง 2 ส่วนนี้จะนำไปแยกพิจารณา ประเภทพื้นผิว (Surface type) และประเภทพื้นชั้นฐาน (Base Type) ที่ประกอบด้วย Granular Base (GB), Stabilized Base (SB), Asphalt base (AB) and Asphalt pavement (AP) ซึ่งจะทำให้ได้ประเภทของพื้นผิวถนนทั้งสิ้น 26 ประเภท ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2-11

ตารางที่ 2-11 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 4

หมวดหมู่ของพื้นผิว (Surface category)	ระดับพื้นผิว (Surface class)	ประเภทผิวทาง (Pavement type)	ประเภทพื้นผิว (Surface type)	ประเภทพื้นชั้นฐาน (Base type)
Paved	Bituminous	AMGB	AM	GB
		AMAB		AB
		AMSB		SB
		AMAP		AP
		STGB	ST	GB
		STAB		AB
		STSB		SB
		STAP		AP
	Concrete	JPGB	JP	GB
		JPAB		AB
		JRSB	JR	SB
		CRGB	CR	GB
		CRAB		AB



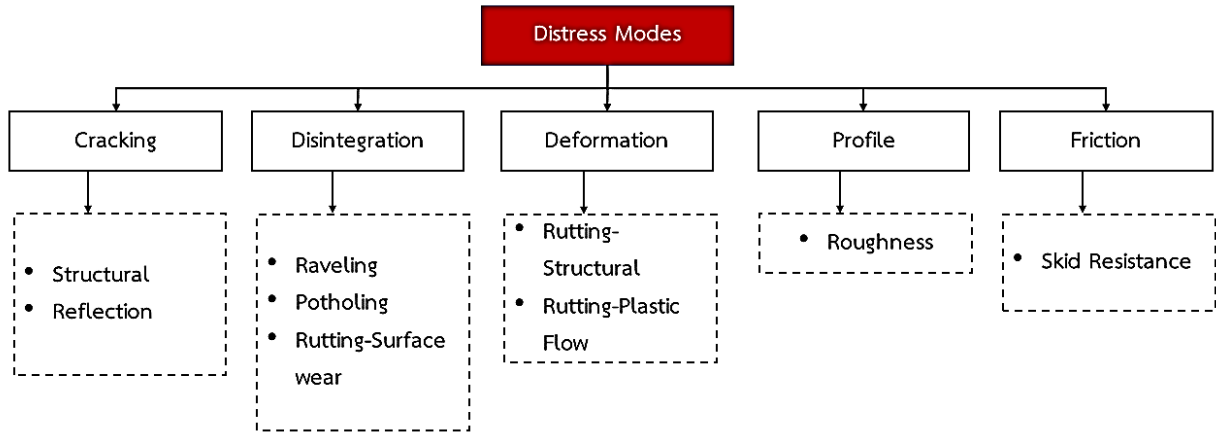
ตารางที่ 2-11 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 4 (ต่อ)

หมวดหมู่ของพื้นผิว (Surface category)	ระดับพื้นผิว (Surface class)	ประเภทผิวทาง (Pavement type)	ประเภทพื้นผิว (Surface type)	ประเภทพื้นชั้นฐาน (Base type)
	Block	CRSB		SB
		CBGB	CB	GB
		CBSB		SB
		BRGB	BR	GB
		BRSB		SB
		SSGB	SS	GB
		SSSB		SB
Unsealed	Unsealed	GRUP	GR	GR
		EAUP	EA	UP
		SAUP	SA	UP

สำหรับการศึกษาในโครงการนี้จะลงรายละเอียดการทบทวนปัจจัย ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษากรณีระดับพื้นผิวที่เป็นบิทูมินัส (Bituminous) และคอนกรีต (Concrete) โดยจะทำการศึกษาในส่วนของประเภทความเสียหาย (Deterioration) ที่เกิดขึ้นกับผิวทาง สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณและแนวทางการปรับค่าสัมประสิทธิ์ การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองตามการศึกษาของ HDM 4 มีดังต่อไปนี้

2.1.5.1 พื้นผิวบิทูมินัส (Bituminous Pavement)

สำหรับการพิจารณาความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิทูมินัส จะถูกแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ การเกิดรอยแตก (Cracking), การหลุดร่อน (Disintegration), การเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation), Profile โดยพิจารณาในลักษณะของความหยาบ และการเสียดทาน (Friction) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2-33 โดยความเสียหายแต่ละประเภทมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 2-33 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิตูมินัส

Structural Number

การพิจารณาการชำรุด (Distress) ของผิวทางบิตูมินัส ตามการศึกษาของ HDM 4 จะต้องมีการพิจารณาความเสียหายของลำดับชั้นผิวทางด้วยการพิจารณาค่า Structural Number ซึ่งการพิจารณานี้เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์ของวัสดุ และความหนาของวัสดุที่ใช้ในการทำผิวทาง

ต่อมา AASHO ได้ทำการพัฒนาการคำนวณ/ทดสอบ Structural Number โดยพิจารณาการวิเคราะห์ Single Subgrade ปรากฏว่า Structural Number ไม่สามารถอธิบายความแตกของ Subgrade ได้ เป็นผลให้การศึกษาของ Hodges ได้วิเคราะห์อัตราส่วนเพื่อวิเคราะห์ Subgrade โดยใช้ California Bearing Ratio (CBR)

ในปี 2000 Rolt and Parkman ได้ทำการวิเคราะห์ Adjust Structural Number (SNP) โดยแบ่งการวิเคราะห์ในลักษณะของฤดูกาล (Seasonal) เพื่อประเมิน Subgrade ส่วนนี้คือส่วนที่ถูกเพิ่มเติมใน HDM 4 นอกจากนี้ในการศึกษาของ HDM 4 ได้ทำการพิจารณา SNP ที่ได้รับผลกระทบตามสภาพแวดล้อม โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ผิวทางแห้ง (ฤดูหนาวและฤดูร้อนของประเทศไทย) และช่วงที่ผิวทางมีความชื้นหรือเปียก (ฤดูฝนของประเทศไทย) การพิจารณาความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Drainage) ของพื้นผิว

ทั้งนี้การศึกษาของ HDM 4 ได้ทำการวิเคราะห์ค่า SNP Ratio ซึ่งสามารถนำมาประกอบการพิจารณาความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึม (Drainage) การเกิดหลุมบ่อ (Potholing) และการเกิดรอยแตก (Cracking) ของผิวทางในแต่ละช่วงเวลาได้

HDM 4 การเกิดรอยแตก (Cracking) บนพื้นผิวบิตูมินัส

สำหรับการพิจารณาการแตกของพื้นผิวบิตูมินัส จะพิจารณาการเกิดรอยแตกใน 2 ส่วน คือ การเกิดรอยแตกของตามโครงสร้าง (Structural Cracking) และรอยแตกแบบสะท้อน (Reflection)



การเกิดรอยแตกของตามโครงสร้าง (Structural Cracking)

รอยแตกร้าวในลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากการออกแบบไม่ถูกต้อง ในการศึกษาของ HDM 4 จะพิจารณาลักษณะการแตกร้าวตามโครงสร้างออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีการแตกร้าวตามแนวกว้างของโครงสร้าง (Wide Structural Cracking) และตามแนวแตกทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนโครงสร้าง (All Structural Cracking)

ทั้งนี้การพิจารณาทั้ง 2 กรณีจะพิจารณาในส่วนของค่าเริ่มต้นของการแตก (Initiation) และการขยายตัวของรอยแตกร้าว (Progression)

สำหรับการพิจารณารอยแตกตามแนวโครงสร้าง จะเป็นการพิจารณาการเกิดรอยแตกร้าวในลักษณะแนวกว้าง (Wide Cracking) และรอยแตกทั้งโครงสร้าง (All Structural Cracking) สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้นในการแตกร้าว และคำนวณออกเป็นเวลาเริ่มต้นของรอยแตกตามแนวกว้าง (ICW) และทั้งโครงสร้าง (ICA) โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาจะประกอบด้วยตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิววิมุณิส จำนวนโครงสร้างผิวทางที่ได้รับการปรับปรุงเฉลี่ยประจำปี เป็นต้น โดยสมการที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังนี้

Stabilised base

ถ้า HSOLD = 0

$$ICA = K_{cia}\{CDS^2 a_0 \exp[a_1 HSE + a_2 \log_e(CMOD) + a_3 \log_e(DEF) + a_4 (YE4)(DEF)] + CRT\} \quad (2.3)$$

ถ้า HSOLD > 0

$$ICA = K_{cia}\{CDS^2[(0.8KA + 0.2KW)(1 + 0.1HSE) + (1 - KA)(1 - KW)a_0 \exp[a_1 HSE + a_2 \log_e(CMOD) + a_3 \log_e(DEF) + a_4 (YE4)(DEF)] + CRT\} \quad (2.4)$$

All other bases

ถ้า HSOLD = 0

$$ICA = K_{cia}\{CDS^2 a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE4}{SNP^2} \right) \right] + CRT\} \quad (2.5)$$

ถ้า HSOLD > 0

i) สำหรับผิววัสดุทั้งหมด ยกเว้น CM, SL และ CAPE

$$ICA = K_{cia}\{CDS^2 \left[\max \left(a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE4}{SNP^2} \right) \right] \max \left(1 - \frac{PCRW}{a_3}, 0 \right) a_4 HSNEW \right] + CRT\} \quad (2.6)$$

ii) สำหรับผิววัสดุ CM, SL และ CAPE

$$ICA = K_{cia}\{CDS^2 \left[\max \left(a_0 \exp \left[a_1 SNP + a_2 \left(\frac{YE4}{SNP^2} \right) \right] \max(1 - PCRA/a_3, 0), a_4 \right) \right] + CRT\} \quad (2.7)$$

โดยที่

ICA = เวลาเริ่มต้นของรอยแตกทั้งโครงสร้าง (ปี)





CDS	=	ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิววิทูมินัส
YE4	=	จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ามาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
SNP	=	การปรับ Structural Number
DEF	=	ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวจาก Benkelman beam (BB) บนร่องล้อ (มม.)
CMOD	=	โมดูลัสความยืดหยุ่นของหินซีเมนต์ (GPa) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-30 Gpa
HSNEW	=	ความหนาของพื้นผิวชั้นบนสุด (มม.)
HSOLD	=	ความหนารวมของพื้นผิวชั้นล่าง (Subgrade) ทั้งหมด (มม.)
PCRA	=	พื้นที่แตกร้าวทั้งหมดก่อนทำการปิด (%)
PCRW	=	พื้นที่แตกร้าวด้านกว้างก่อนทำการปิด (%)
KW	=	ค่าต่ำสุด [0.05 ค่าสูงสุด (PCRW - 10, 0), 1]
KA	=	ค่าต่ำสุด [0.05 ค่าสูงสุด (PCRA - 10, 0), 1]
HSE	=	ค่าต่ำสุด [100, HSNEW + (1 - KW) HSOLD]
K_{cia}	=	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการเริ่มต้นการแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมด
CRT	=	เวลาชะลอการแตกเนื่องจากการบำรุงรักษา (ปี)

สำหรับการพิจารณาการของการเกิดรอยแตกร้าวทั้งโครงสร้างและรอยแตกร้าวตามแนว
กว้าง จะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าวทั้ง 2 ประเภท ในระหว่าง
ปีที่วิเคราะห์ โดยจะต้องอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุของผิวทาง (AGE2) เข้ามาพิจารณา
โดยมีสมการดังนี้

$$dACA = K_{cpa} \left(\frac{CRP}{CDS} \right) Z_A [(Z_A a_0 a_1 \delta t_A + SCA^{a1})^{\frac{1}{a1}} - SCA] \quad (2.8)$$

ความก้าวหน้าของรอยแตกร้าวทั้งหมดเริ่มต้นเมื่อ $\delta t_A > 0$ หรือ $ACA_a > 0$

เมื่อ

$$\delta t_A = 1 \quad \text{ถ้า } ACA_a > 0, \text{ ฉะนั้น } \delta t_A = \max\{0, \min[AGE2 - ICA, 1]\}$$

$$\text{ถ้า } ACA_a \geq 50 \text{ แล้ว } Z_A = -1, \text{ ฉะนั้น } Z_A = 1$$

$$ACA_a = \max(ACA_a, 0.5)$$

$$SCA = \min[ACA_a, (100 - ACA_a)]$$

$$Y = [a_0 a_1 Z_A \delta t_A + SCA^{a1}] \quad (2.9)$$

i) ถ้า $Y < 0$ แล้ว $dACA = K_{cpa} (CRP/CDS)(100 - ACA_a)$ (2.10)

ii) ถ้า $Y > 0$ แล้ว $dACA = K_{cpa} (CRP/CDS) Z_A (Y^{1/a1} - SCA)$ (2.11)

iii) ถ้า $ACA_a \leq 50$ และ $ACA_a + dACA > 50$ แล้ว

$$dACA = K_{cpa} (CRP/CDS)(100 - C_1^{1/a1} - ACA_a) \quad (2.12)$$



เมื่อ

$$c_1 = \max\{[2(50^{a_1}) - SCA^{a_1} - a_0 a_1 \delta t_A], 0\} \quad (2.13)$$

โดยที่

dACA = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมดในระหว่างปีทีวิเคราะห์
(% ของพื้นที่ทางวิ่งทั้งหมด)

ACA_a = พื้นที่ของการแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมดเมื่อเริ่มปีทีวิเคราะห์ (%)

δt_A = เศษส่วนของปีทีวิเคราะห์ซึ่งมีการขยายตัวของ การแตกร้าวเชิงโครงสร้างทั้งหมด

AGE2 = อายุผิวทาง (ปี)

Kcpa = การสอบเทียบตัวแปรสำหรับการขยายตัวของ การแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมด

CRP = การชะลอการขยายตัวของรอยแตกเนื่องจากการรักษาเชิงป้องกัน (กำหนดให้ CRP = 1 - 0.12 CRT)

การพิจารณาการขยายตัวของ การเกิดรอยแตกร้าวตามแนวกว้าง (Progression of Wide Structural Cracking) มีสมการดังนี้

$$dACW = K_{cpw}(CDR/CDS)Z_w [(Z_w a_2 a_3 \delta t_w + SCW^{a_3})^{\frac{1}{a_3}} - SCW] \quad (2.14)$$

เมื่อ

$$dACW = \min[ACA_a + dACA - ACA_a, dACW] \quad (2.15)$$

การขยายตัวของรอยแตกร้าวตามแนวกว้างเริ่มต้นเมื่อ $\delta t_w > 0$ หรือ $ACA_w > 0$

เมื่อ $\delta t_w = 1$ ถ้า $ACA_a > 0$, ฉะนั้น $\delta t_w = \max\{0, \min[AGE2 - ICA], 1\}$

การเริ่มต้นของแตกร้าวตามแนวกว้างถูกจำกัดไม่ให้เกิดขึ้นก่อนการเริ่มต้นของพื้นที่การแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมดเกินร้อยละ 5 มีสมการดังนี้

$$\delta t_w = 0 \text{ ถ้า } ACA_a \leq 5 \text{ และ } ACW_a \leq 0.5 \text{ และ } \delta t_w > 0$$

สำหรับสถานการณ์ชั่วคราวค่าของการแตกร้าวตามแนวกว้าง ACW_{temp} ถูกกำหนดให้น้อยกว่าร้อยละ 5 ของ ACW_a

$$ACW_{temp} = ACA_a - 5 \text{ ถ้า } ACW_a \leq 1 \text{ และ } ACA_a > 11$$

dACW ถูกคำนวณในแต่ละปีการวิเคราะห์ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\text{ถ้า } ACW_a \geq 50 \text{ แล้ว } Z_w = -1, \text{ ฉะนั้น } Z_w = 1$$

$$ACW_a = \max(ACW_a, 0.5)$$

$$SCW = \min[ACW_a, (100 - ACW_a)]$$

$$Y = [a_2 a_3 Z_w \delta t_w + SCW^{a_3}] \quad (2.16)$$



i) ถ้า $Y < 0$ แล้ว $dACW = K_{cpw} (CRP/CDS) \min[(ACA_a + dACA - ACW_a), (100 - ACW_a)]$ (2.17)

ii) ถ้า $Y > 0$ แล้ว $dACW = K_{cpw} (CRP/CDS) \min[(ACA_a + dACA - ACW_a), Z_w (Y^{1/a^3} - SCW)]$ (2.18)

iii) ถ้า $ACW_a \leq 50$ และ $ACW_a + dACA > 50$ แล้ว

$$dACW = K_{cpw} (CRP/CDS) \min[(ACA_a + dACA - ACW_a), (100 - c_1^{1/a^3} - ACW_a)] \quad (2.19)$$

เมื่อ

$$c_1 = \max\{[2(50^{a^3}) - SCW^{a^3} - a_2 a_3 \delta t_w], 0\} \quad (2.20)$$

โดยที่

$dACW$ = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในบริเวณรอยแตกด้านกว้างของโครงสร้างระหว่างปีที่วิเคราะห์ (% ของพื้นที่ถนนทั้งหมด)

ACW_a = พื้นที่แตกร้าวของโครงสร้างด้านกว้างเมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์ (%)

δt_w = เศษส่วนของปีที่วิเคราะห์ซึ่งมีการแตกร้าวของโครงสร้างตามแนวกว้าง

K_{cpw} = การสอบเทียบตัวแปรสำหรับความก้าวหน้าของการแตกร้าวโครงสร้างด้านกว้างและตัวแปรอื่น ๆ ตามที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้

รอยแตกสะท้อน (Reflection Cracking) บนผิวทางบิทูมินัส

สาเหตุเกิดจากรอยแตกในชั้นโครงสร้างที่อยู่ถัดลงไป ทำให้เกิดการสะดุดของล้อยานพาหนะ ในการพิจารณาของการศึกษาของ HDM 4 จะมีขั้นตอนการพิจารณา 2 ส่วนคือ ค่าเริ่มต้นของรอยแตกสะท้อน (Initiation) และการขยายตัวของรอยแตกสะท้อน (Progression)

ในกรณีการคำนวณตามการศึกษาของ HDM 4 ในส่วนของการพิจารณาค่าเริ่มต้นของรอยแตกสะท้อน จำเป็นต้องมีการพิจารณาค่าเฉลี่ยรายวันของรถบรรทุกต่อสองช่องจราจร การแอนตัวของคาน Benkelman ความหนาของพื้นผิวบนสุด (มม.) เพื่อนำมาคำนวณค่าเวลาเริ่มต้นของการเกิดรอยแตกสะท้อน (Time to initiation of reflection cracking: ICF) โดยสมการที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังนี้

$$ICF = K_{cif} \left(\frac{a_0}{ADH} \right) (DEF)^{a_1} \left(1 - \frac{\min[HSNEW, (a_2 - 1)]}{a_2} \right)^{a_3} \quad (2.21)$$

โดยที่

ICF = เวลาเริ่มต้นของการแตกร้าวที่สะท้อนกลับ (ปี)

ADH = ค่าเฉลี่ยรายวันของรถบรรทุกต่อสองช่องจราจร

DEF = การแอนตัวของคาน Benkelman

$HSNEW$ = ความหนาของพื้นผิวบนสุด (มม.)

K_{cif} = ปัจจัยการสอบเทียบของการแตกร้าวที่สะท้อนกลับเริ่มต้น



สำหรับการพิจารณาการขยายตัวของรอยแตกสะท้อน จะพิจารณาในลักษณะของค่าการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวสะท้อน (Incremental change in area of reflection cracking during analysis year) โดยพิจารณาจากพื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวสะท้อนเดิมกับพื้นที่รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นล่าสุดก่อนทำการซ่อมบำรุง โดยมีสมการดังนี้

$$dACF = K_{cpf} a_0(ADH)(DEF)^{a1} \max\left[0, \left(1 - \frac{HSNEW}{a_2}\right)\right]^{a3} \delta t_f \quad (2.22)$$

และ

$$ACF_{cpf} = \min[(ACF_a + dACF), PCRA]$$

โดยที่

- dACF = ค่าการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าวสะท้อนกลับระหว่างปีการวิเคราะห์ (% ของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
- ACFa = พื้นที่การแตกร้าวสะท้อนกลับเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ (ร้อยละของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
- ACFb = พื้นที่การแตกร้าวสะท้อนกลับเมื่อสิ้นสุดปีการวิเคราะห์ (ร้อยละของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
- PCRA = พื้นที่การแตกร้าวล่าสุดก่อนการทำการปิด (ร้อยละของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
- δt_f = เศษส่วนของปีวิเคราะห์ซึ่งมีการขยายตัวหน้าเชิงการแตกร้าวสะท้อนกลับ
- K_{cpf} = ปัจจัยการสอบเทียบสำหรับการขยายตัวของการแตกร้าวสะท้อนกลับ

การเกิดรอยแตกร้าวทั้งหมด (Cracking) บนผิวทางบิทูมินัส

จากประเภทการเกิดรอยแตกร้าวตามแนวโครงสร้างและรอยแตกสะท้อน ตามการศึกษาของ HDM 4 ในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกร้าว อันเนื่องมาจากสาเหตุการแตกร้าวในลักษณะของโครงสร้างและการแตกร้าวแบบสะท้อน โดยการพิจารณาจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ส่วนที่ 1 การพิจารณาค่าสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกร้าวในลักษณะของโครงสร้างและการเกิดการแตกร้าวสะท้อน (Total area of all structural and reflection cracking: ACAT)

$$ACAT = ACA + ACF \quad (2.23)$$

โดยที่

- dACF = พื้นที่ทั้งหมดของโครงสร้างเมื่อเกิดการแตกร้าวสะท้อนกลับ (%)
- ACA = พื้นที่ทั้งหมดของโครงสร้างที่เกิดการแตกร้าว (%)
- ACF = พื้นที่ทั้งหมดของการแตกร้าวสะท้อนกลับ (%)



- ส่วนที่ 2 การพิจารณาค่าสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกกว้างในลักษณะของการแตกกว้างตามแนวกว้าง (Wide Cracking) และการเกิดการแตกกว้างสะท้อน (Total area of wide structural and reflection cracking: ACWT)

$$ACWT = ACW + ACF \quad (2.24)$$

โดยที่

ACWT = พื้นที่ความกว้างทั้งหมดของโครงสร้างเมื่อเกิดการแตกร้างสะท้อนกลับ (%)

ACW = พื้นที่ความกว้างของโครงสร้าง (%)

- ส่วนที่ 3 การพิจารณาค่าสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกกว้าง (Total area of carriageway cracked: ACRA)

$$ACRA = ACA + ACF + ACT \quad (2.25)$$

โดยที่

ACRA = พื้นที่ทั้งหมดที่ร้าวและเกิดการแตกร้าง (%)

ACT = พื้นที่การแตกร้างตามขวาง (%)

การสึกกร่อน (Ravelling) บนผิวทางบิทูมินัส

การสึกกร่อนเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้พื้นผิวเกิดการหลุดร่อน (Disintegration) โดยสาเหตุมาจากการบดอัดชั้นผิวทางขณะก่อสร้างไม่เพียงพอ ปูผิวขณะความชื้นสูง การใช้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่เหมาะสมหรืออุณหภูมิไม่เหมาะสม และการเสื่อมสภาพของผิวทางแอสฟัลต์

สำหรับการศึกษาของ HDM 4 จะมีขั้นตอนการพิจารณาการสึกกร่อน 2 ส่วนคือ ค่าเริ่มต้นของการสึกกร่อน (Initiation) และการขยายตัวของการสึกกร่อน (Progression)

การพิจารณาค่าเริ่มต้นของการสึกกร่อนจะถูกสะท้อนออกมาในลักษณะของเวลาเริ่มต้นของการหลุดร่อน (Time to ravelling initiation : IRV) โดยมีปัจจัยที่ส่งผล เช่น จำนวนเพลลา/การลงน้ำหนักบดอัดผิวทางของเพลยานพาหนะที่สัญจรบริเวณผิวทางที่ทำการวิเคราะห์ โดยสมการที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

$$IRV = K_{vi}(CDS)^2 a_0 (RRF) \exp[a_1 (YAX)] \quad (2.26)$$

โดยที่

IRV = เวลาเริ่มต้นของการแตกหลุดเป็นชิ้น (ปี)

CDS = ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวบิทูมินัส

YAX = จำนวนเพลลาต่อปีของรถทุกประเภทในปีที่วิเคราะห์ (ล้าน/เลน)



- Kvi = การสอบเทียบตัวแปรสำหรับการเริ่มต้นการแตกหลุดเป็นชิ้น
 RRF = ปัจจัยการชะลอตัวของ การแตกหลุดเป็นชิ้น เนื่องจากการบำรุงรักษา

ในส่วนของการพิจารณาการขยายตัวของ การสึกกร่อน จะสะท้อนออกมาเป็นค่าของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้นระหว่างปีวิเคราะห์ (Change in area of ravelling during analysis year: ACX) โดยพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้ พื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้นเมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์ อายุของผิวทาง เป็นต้น โดยสมการที่ใช้แสดงดังนี้

$$dARV = \left(\frac{K_{vp}}{RRF}\right)(1/CDS^2)z[(z(a_0 + a_1 YAX)a_2 \delta t_v + SRV^{a2})^{1/a2} - SRV] \quad (2.27)$$

การขยายตัวของ การสึกกร่อนเริ่มต้น เมื่อ $\delta t_v > 0$ หรือ $ARV_a > 0$

เมื่อ $\delta t_v = 1$ ถ้า $ARV_a > 0$ ฉะนั้น $\delta t_v = \max\{0, \min[AGE2 - IRV], 1\}$

ถ้า $ACW_a \geq 50$ แล้ว $Z = -1$, ฉะนั้น $Z = 1$

$$ARV_a = \max(ARV_a, 0.5)$$

$$SRV = \min[ARV_a, (100 - ARV_a)]$$

$$YAX = \max[\min(YAX, 1), 0.1]$$

$$Y = [(a_0 + a_1 YAX) a_2 Z \delta t_v + SRV^{a2}] \quad (2.28)$$

i) ถ้า $Y < 0$ แล้ว $dARV = \left(\frac{K_{vp}}{RRF}\right)(1/CDS^2) (100 - ARV_a)$ (2.29)

ii) ถ้า $Y > 0$ แล้ว $dACV = \left(\frac{K_{vp}}{RRF}\right)(1/CDS^2) Z (Y^{1/a2} - SRV)$ (2.30)

iii) ถ้า $ACW_a \leq 50$ และ $ACW_a + dACA > 50$ แล้ว

$$dARV = \left(\frac{K_{vp}}{RRF}\right)(1/CDS^2) (100 - c_1^{1/a2} - ARV_a) \quad (2.31)$$

เมื่อ

$$c_1 = \max\{[2(50^{a2}) - SRV^{a2} - (a_0 + a_1 YAX) a_2 \delta t_v], 0\} \quad (2.32)$$

โดยที่

dARV = การเปลี่ยนแปลงพื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้นระหว่างปีวิเคราะห์ (% พื้นที่ทางพิเศษทั้งหมด)

ARVa = พื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้น เมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์ (%)

δt_f = เศษส่วนของปีที่วิเคราะห์ซึ่งมีการขยายตัวของ การแตกหลุดเป็นชิ้น

AGE2 = อายุผิวทาง (ปี)

K_{vp} = การสอบเทียบตัวแปรสำหรับการขยายตัวของ การแตกตัวของ การแตกหลุดเป็นชิ้น



การเกิดหลุมบ่อ (Potholing) บนผิวทางบิทูมินัส

การเกิดหลุมบ่อนั้นมีสาเหตุต่อเนื่องจากการเกิดรอยแตกร้าวในลักษณะต่าง ๆ ส่วนผสมของยางมะตอยไม่สม่ำเสมอหรือไม่เหมาะสมกับการใช้งาน รวมถึงความสามารถในการระบายน้ำของผิวทาง

การศึกษาของ HDM 4 จะแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ช่วงคือ คือ ค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ (Initiation) และการขยายตัวของหลุมบ่อ (Progression)

ค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ (Initiation of Potholing)

การเกิดหลุมบ่อของผิวทางมาจากการเกิดรอยแตกร้าว การศึกษาของ HDM 4 จึงได้ตั้งค่าเริ่มต้นก่อนการพิจารณาการเกิดหลุมบ่อ โดยพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดของโครงสร้างที่เกิดการแตกร้าว (ACA) มากกว่าร้อยละ 20 และสัดส่วนพื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้น (ARV) มากกว่าร้อยละ 30 นอกจากนี้ยังมีหลุมบ่อที่เกิดขึ้นก่อนช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ ดังนั้นค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อจะเป็นระยะเวลาในการเกิดรอยแตกที่มีความกว้างหรือการเกิดสีกร่อนและการเกิดหลุมบ่อ (Time between the initiation of wide cracking or ravelling and the initiation of potholes: IPT) โดยสมการที่ใช้ในการศึกษาดังนี้

$$IPT = K_{pi} C_0 \left[\frac{1 + a_1 HS}{(1 + a_2 CDB)(1 + a_3 YAX)(1 + a_4 MMP)} \right] \quad (2.33)$$

โดยที่

- IPT = ระยะเวลาในการเกิดรอยแตกตามแนวกว้างหรือการเกิดสีกร่อน (ปี)
- HS = ความหนาของชั้นผิวบิทูมินัส (มิลลิเมตร)
- CDB = ดัชนีบ่งชี้ความเสียหายในช่วงขั้นตอนการก่อสร้าง สำหรับชั้นฐาน (Subgrade)
- YAX = จำนวนเพลลาของรถทุกประเภทในปีวิเคราะห์ (ล้าน/เลน)
- MMP = ตะกอนน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน
- K_{pi} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ

การขยายตัวของหลุมบ่อ (Progression of Potholing)

การขยายตัวของหลุมบ่อจะพิจารณาจากผลกระทบจากช่วงเวลาระหว่างการเกิดหลุมและการซ่อมแซม (Patching policy factor : PEFF) นอกจากนี้การศึกษาของ HDM 4 ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายจำนวนหลุมบ่อที่เกิดตามรูปแบบความเสียหายเช่น รอยแตกตามแนวกว้าง รอยแตกสะท้อน ที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีทำการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์นี้จะต้องคำนึงช่วงเวลาในการต่อเติมหรือการสร้างผิวทางใหม่ (AGE2)



เมื่อได้จำนวนหลุมบ่อที่เกิดตามรูปแบบความเสียหาย จึงทำการพิจารณาจำนวนหลุมบ่อทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ โดยสมการที่ใช้แสดงดังนี้

$$dNPT_i = K_{pp} a_0 ADIS_i (PEFF) \left(\frac{ELANES}{2} \right) \left[\frac{(1 + a_1 CDB)(1 + a_2 YAX)(1 + a_3 MMP)}{(1 + a_4 HS)} \right] \quad (2.34)$$

การเกิดหลุมบ่อเกิดจากการแตกร้าวหรือการหลุดร่อนและขยายเป็นวงกว้าง โดยพิจารณาได้ดังนี้

1. กรณีพิจารณาปีแรกของการวิเคราะห์ กำหนดให้ $ACWa = 0$ หรือ $ARVa = 0$ แล้วการเกิดหลุมบ่อที่เกิดจากการขยายตัวของการแตกร้าวตามแนวกว้าง เมื่อ $AGE2 > ICW + IPT$ และ $ACWa > ACWpi$ หรือ $AGE2 > IRV + IPT$ และ $ARVa > ARVpi$

2. กรณีพิจารณาปีแรกของการวิเคราะห์ โดยกำหนดให้ $0 < ACWa \leq ACWpi$ หรือ $0 < ARVa \leq ARVpi$ แล้วการเกิดหลุมบ่อที่เกิดจากการขยายตัวของการแตกร้าวตามแนวกว้าง เมื่อ $ACWa > ACWpi$ หรือ $ARVa > ARVpi$

3. กรณีพิจารณาปีแรกของการวิเคราะห์ โดยกำหนดให้ $ACWa > ACWpi$ หรือ $ARVa > ARVpi$ แล้วการเกิดหลุมบ่อที่เกิดจากการขยายตัวของการแตกร้าวตามแนวกว้างโดยทันทีหรือการขยายตัวจากการหลุดร่อนโดยทันที

4. กรณีพิจารณาระหว่างปีที่วิเคราะห์ $ARVa$ กลายเป็น $< ARVpi$ เพราะพื้นที่ที่เกิดการหลุดร่อนกลับเป็นพื้นที่แตกร้าว ดังนั้นการเกิดหลุมบ่อเกิดจากการขยายตัวของการหลุดร่อนจำนวนทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นของการเกิดหลุมบ่อ หน่วยเป็นหลุมต่อกิโลเมตร ของความยาวถนน มีสมการดังนี้

$$dNPT = \sum_{i=1}^3 dNPT_i \quad (2.35)$$

โดยที่

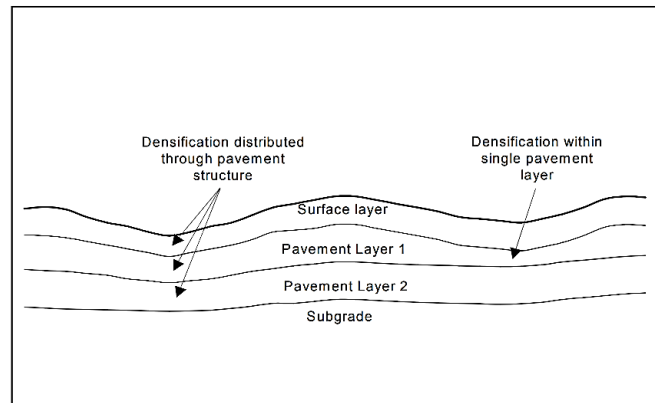
- $dNPT$ = จำนวนหลุมบ่อที่เกิดขึ้นในช่วงปีที่ทำการศึกษา
- $dNPT_i$ = จำนวนหลุมบ่อที่เกิดตามรูปแบบความเสียหายเช่น รอยแตกตามแนวกว้าง รอยแตกสะท้อน ที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่ทำการศึกษา
- $ADIS_i$ = เปอร์เซนต์พื้นที่ที่เกิดรอยแตกตามแนวกว้าง หรือเปอร์เซนต์พื้นที่ที่เกิดรอยแตกสะท้อนในช่วงปีแรกที่ทำการศึกษา
- ACW_i = ช่วงบริเวณพื้นที่ที่น้อยที่สุดที่เกิดรอยแตกร้าวก่อนจะเป็นหลุมบ่อ จากการระบุของผู้ใช้ทาง (ใช้ค่าตั้งต้นที่ 20%)
- ARV_{pi} = ช่วงบริเวณพื้นที่ที่น้อยที่สุดที่เกิดรอยแตกสะท้อนก่อนจะเป็นหลุมบ่อ จากการระบุของผู้ใช้ทาง (ใช้ค่าตั้งต้นที่ 30%)
- $ELANES$ = จำนวนช่องจราจร
- $PEFF$ = Patching policy factor ($0 < PEFF \leq 1$)
- K_{pp} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการเกิดหลุมบ่อ



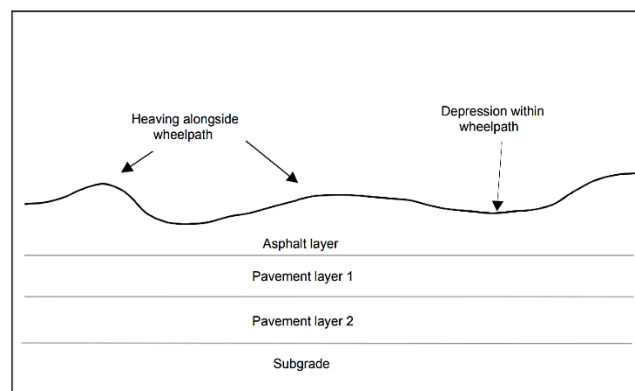
การเกิดร่องล้อ (Rutting) บนผิวทางบิทูมินัส

การเกิดร่องบนผิวทางมีสาเหตุเนื่องมาจากการบดอัดชั้นดินคันทางไม่ได้มาตรฐาน เมื่อมีน้ำหนักรถบรรทุกวิ่งผ่าน ทำให้วัสดุใต้ผิวทางเคลื่อนตัวออกด้านข้าง ซึ่งเป็นการเสียรูปอย่างถาวร หรือเกิดจากวัสดุแอสฟัลต์ผิวทางมีส่วนผสมที่ไม่คงตัว ก็ทำให้ผิวทางทรุดตัวได้ หรือเกิดจากการแบกรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำหนดกว่าชั้นโครงสร้างทางจะรับได้

การศึกษาของ HDM 4 จึงแบ่งวิธีการพิจารณาการเกิดร่องล้อออกเป็น 4 ส่วน คือ การคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification) การเสียรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) และการสึกหรอของพื้นผิว (Surface Wear) โดยมีรายละเอียดการพิจารณาดังนี้



รูปที่ 2-34 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากความหนาของชั้นผิวทาง



รูปที่ 2-35 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกของพื้นผิว

การคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification)

เป็นการคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Rutting due to initial densification: RDO) โดยจะอาศัยจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวจาก Benkelman beam บนร่องล้อ



ค่าเฉลี่ยของการปรับ Structural Number ของพื้นผิว และความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดสัมพันธ์ โดยสมการที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

$$RDO = K_{rid} [a_0 (YE4 \cdot 10^6)^{(a1+a2DEF)} SNP^{a3} COMP^{a4}] \quad (2.36)$$

โดยที่

RDO	=	ค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (มม.)
YE4	=	จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ามาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
DEF	=	ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวจาก Benkelman beam (BB) บนร่องล้อ (มม.)
SNP	=	ค่าเฉลี่ยของการปรับ Structural Number ของพื้นผิว
COMP	=	ความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดสัมพันธ์
K_{rid}	=	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการแน่นตัว

การเสียรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation)

ในส่วนนี้ ตามการศึกษาของ HDM 4 จะเป็นการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสียรูปของชั้นโครงสร้างทางในปีที่วิเคราะห์ (Total incremental increase in structural deformation in analysis: $\Delta RDST$) โดยจะอาศัยจากการพิจารณาพื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวเริ่มต้น ของปีที่ทำการวิเคราะห์ (Area of indexed cracking at the beginning of analysis year : ACXa) รวมถึงการเพิ่มขึ้นของการเสียรูปเชิงโครงสร้างที่เกิดจากการเกิดร่องหลังจากมีการเกิดหลุมบ่อก่อนหน้า ในปีที่วิเคราะห์ (Incremental rutting due to structural deformation after cracking in analysis year : $\Delta RDST_{crk}$) โดยสมการที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

โครงสร้างมีการเปลี่ยนรูปโดยไม่มีการแตกร้าว

$$\Delta RDST_{UC} = K_{rst} (a_0 SNP^{a1} YE4^{a2} COMP^{a3}) \quad (2.37)$$

โครงสร้างมีการเปลี่ยนรูปหลังการแตกร้าว

$$\Delta RDST_{crk} = K_{rst} (a_0 SNP^{a1} YE4^{a2} MMP^{a3} ACX_a^{a4}) \quad (2.38)$$

การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของโครงสร้างที่มีการเปลี่ยนรูปพิจารณาได้ดังนี้

i) ถ้า ACRA = 0
$$\Delta RDST = \Delta RDST_{uc} \quad (2.39)$$

ii) ถ้า ACRA > 0
$$\Delta RDST = \Delta RDST_{uc} + \Delta RDST_{crk} \quad (2.40)$$

โดยที่

$\Delta RDST$ = การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสียรูปของชั้นโครงสร้างทางในปีที่วิเคราะห์ (มม.)

$\Delta RDST_{uc}$ = การเพิ่มขึ้นของการเสียรูปเชิงโครงสร้างที่เกิดจากการเกิดร่องในปีที่วิเคราะห์ (มม.)



- $\Delta RDST$ = การเพิ่มขึ้นของการเสียรูปเชิงโครงสร้างที่เกิดจากการเกิดร่องหลังจากมีการเกิดหลุมบ่อก่อนหน้าในปีที่วิเคราะห์ (มม.)
- MMP = ตะกอนน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน
- ACXa = พื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวเริ่มต้น ของปีที่ทำการศึกษา (%)
- Krst = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาความเสียหายของโครงสร้าง

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกเป็นสิ่งที่สะท้อนถึงการเปลี่ยนรูปของวัสดุที่ใช้ในการประสาน โดยในการศึกษาของ HDM 4 จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ความหนืดของตัวประสานหรือตัวยึดเกาะ (Binder viscosity) โดยเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความเสถียรของส่วนผสมยางมะตอยที่อุณหภูมิถนนสูง และช่องว่างของมวลรวม (Air Voids) เป็นการพิจารณาผลต่างระหว่างปริมาตรรวมของส่วนผสมกับผลรวมของปริมาตรของมวลรวม โดยมีรายละเอียดการวิเคราะห์ ดังนี้

- การวิเคราะห์ความหนืดของตัวประสานหรือตัวยึดเกาะ (Binder viscosity) ในส่วนนี้จะถูกอธิบายจากการวิเคราะห์ค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของสารยึดเกาะในส่วนผสมเมื่อสิ้นสุดช่วงการวิเคราะห์ โดยสมการที่ใช้มีดังนี้

$$SP = SP_i + SP_m + \Delta SP \quad (2.41)$$

เมื่อ
$$\Delta SP = a_0 VIM_a PT^{a_1} \quad (2.42)$$

โดยที่

- SP = จุดอ่อนตัวของสารยึดเกาะในส่วนผสมเมื่อสิ้นสุดช่วงการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)
- SP_i = จุดอ่อนตัวเริ่มต้นของสารยึดเกาะจากการทดสอบ Ring and Ball
- SP_m = การเพิ่มขึ้นของจุดอ่อนตัวของสารยึดเกาะเนื่องจากการผสม (องศาเซลเซียส)
- ΔSP = จุดอ่อนตัวที่เพิ่มขึ้นระหว่างปีที่ทำการศึกษา (องศาเซลเซียส)
- VIM_a = เปอร์เซ็นต์ช่องว่างของส่วนผสม เมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ (%)
- PT = อุณหภูมิพื้นผิวที่ความลึก 20 มิลลิเมตร ระหว่างปีที่ทำการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)

- ช่องว่างของมวลรวม (Air Voids) จะออกมาในรูปของสัดส่วนช่องว่างของส่วนผสม (Voids in mix : VIM) โดยจะพิจารณาจากสัดส่วนปริมาณมวลรวม (Volume of aggregate : V_a) และสัดส่วนปริมาณสารยึดเกาะในส่วนผสม (volume of effective binder in mix : V_b)



$$VIM = 100 - (V_a - V_b) \quad (2.43)$$

โดยที่

- VIM = % ช่องว่างของส่วนผสม (%)
 V_a = สัดส่วนปริมาณมวลรวม (%)
 V_b = สัดส่วนปริมาณสารยึดเกาะในส่วนผสม (%)

ทั้งนี้ค่าของสัดส่วนช่องว่างของส่วนผสมจะลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง สาเหตุมาจากการบดอัดน้ำหนักเพลลาและความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุก และอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิของผิวทางและจุดอ่อนตัวของตัวประสาน การศึกษาของ HDM 4 จึงได้พัฒนาแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงช่องว่างส่วนผสมในมวลรวมที่ลดลงในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (Decrease in voids during an analysis year: ΔVIM) โดยมีสมการดังนี้

การลดลงของค่า VIM ในช่วงปีแรก ถูกกำหนดโดย

$$\Delta VIM = a_0 YE^4 Sh^{a1} \left(\frac{PT}{SP}\right)^{a2} \quad (2.44)$$

การลดลงที่น้อยกว่าของค่า VIM ถูกกำหนดโดย

$$\Delta VIM = a_2 YE^4 Sh^{a4} \left(\frac{PT}{SP}\right)^{a5} \quad (2.45)$$

โดยที่

- ΔVIM = สัดส่วนช่องว่างที่ลดลงในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (%)
 YE₄ = จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ามาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
 Sh = ความเร็วของยานพาหนะหนัก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
 PT = อุณหภูมิพื้นผิวที่ความลึก 20 มิลลิเมตร ระหว่างปีที่ทำการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)
 SP = จุดอ่อนตัวของสารยึดเกาะในส่วนผสมเมื่อสิ้นสุดช่วงการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)

นอกจากนี้การศึกษาของ HDM 4 ได้ทำการศึกษาแบบจำลองที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Incremental increase in plastic deformation in analysis: $\Delta RDPD$) โดยเป็นการนำ ความหนาของชั้นผิว การบดอัดน้ำหนักเพลลาและความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุก มีสมการดังนี้

$$\Delta RDPD = K_{rpd} a_0 CDS^{a1} YE^4 Sh^{a1} HS^{a3} \quad (2.46)$$



โดยที่

- $\Delta RDPD$ = การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
- CDS = ดัชนีบ่งชี้ความเสียหายในช่วงขั้นตอนการก่อสร้าง สำหรับพื้นผิวบิตูมินัส
- YE4 = จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ากับมาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
- Sh = ความเร็วของยานพาหนะหนัก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- HS = ความหนาของชั้นผิวบิตูมินัส (มิลลิเมตร)
- K_{rpd} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก

การสึกหรอของพื้นผิว (Surface Wear)

การศึกษาของ HDM 4 เป็นการพิจารณาความลึกของร่องล้อที่เพิ่มขึ้น ในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (Incremental increase in rut depth due to studded tyres in analysis: ΔRDW) โดยอาศัยผลกระทบที่เกิดกับสภาพผิวทาง เช่น ถนนเกลือ (Salted Road) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการละลายตัวของน้ำที่ควบแน่นจนเป็นหิมะหรือแม่คะนึ่ง โดยสมการที่ใช้มีดังนี้

$$\Delta RDW = K_{rpw} [a_0 PASS^{a1} W^{a2} S^{a3} SALT^{a4}] \quad (2.47)$$

โดยที่

- ΔRDW = ความลึกของร่องที่เพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (มม.)
- PASS = จำนวนรถที่ผ่านต่อปี โดยพิจารณาในทิศทางเดียว (1000 คัน)
- S = ความเร็วจราจรเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- SALT = ตัวแปรหุ่นที่บ่งชี้ ถนนเกลือ (Salted Road) เกิดจากการละลายตัวของน้ำที่ควบแน่นจนเป็นหิมะหรือแม่คะนึ่ง
- W = ความกว้างของถนนโดยรวมความกว้างของไหล่ทาง (มิลลิเมตร)
- K_{rpw} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการวิเคราะห์การสึกหรอของพื้นผิว



การพิจารณาการเกิดความลึกร่องล้อทั้งหมด (Total Rut Depth)

เพื่อสะท้อนภาพรวมของการเกิดความลึกของร่องล้อทั้ง 4 ประเภท การศึกษาของ HDM 4 จะอธิบายในลักษณะของความลึกของร่องเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด ในช่วงที่ทำการวิเคราะห์ (Incremental increase in total mean rut depth in both wheel paths in analysis year) โดยเป็นการนำค่าความหนาของพื้นผิวเริ่มต้น การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสียรูปเชิงโครงสร้าง ในปีทีวิเคราะห์ การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีทีวิเคราะห์ ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ ผิวทางทีเกิดร่องล้อ จะพิจารณาในช่วงเวลาสุดท้ายที่มีการซ่อมบำรุงหรือมีการก่อสร้างชั้นฐานใหม่ของผิวทาง (AGE4) โดยสมการดังนี้

$$\text{ถ้า AGE4} \leq 1 \quad \Delta RDM = RDO + \Delta RDPD + \Delta RDW \quad (2.48)$$

$$\text{ฉะนั้น} \quad \Delta RDM = \Delta RDST + \Delta RDPD + \Delta RDW \quad (2.49)$$

ความลึกของร่องล้อทั้งหมด, RDM_b ทีทุกเวลามีสมการดังนี้

$$RDM_b = \min[(RDM_a + \Delta RDM), 100] \quad (2.50)$$

โดยที

ΔRDM = ความลึกของร่องเฉลี่ยทีเพิ่มขึ้นทั้งหมด ในช่วงทีทำการวิเคราะห์ (มม.)

RDO = ความหนาของพื้นผิวเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

$\Delta RDST$ = การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสียรูปเชิงโครงสร้างในปีทีวิเคราะห์ (มม.)

$\Delta RDPD$ = การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีทีวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)

ΔRDW = ความลึกของร่องทีเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ในช่วงปีทีทำการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)

RDM_b = ความลึกของร่องเฉลี่ยทั้งหมด ในช่วงสิ้นสุดปีทีทำการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)

RDM_a = ความลึกของร่องเฉลี่ยทั้งหมด ในช่วงเริ่มต้นปีทีทำการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)

ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของพื้นผิวบิทุมินัส

การพิจารณาส่วนนี้จะเป็นรูปแบบความเสียหายในส่วนของการเสียดทาน (Friction) โดยในการศึกษาของ HDM 4 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1. การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น (Incremental change skid resistance) 2. การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีทีวิเคราะห์ (The skid resistance measured 50 km/h at the end of the analysis year) 3. การพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย (The average skid resistance value at a given annual average traffic speed)



การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถล จะพิจารณาระดับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Sideway force coefficient: SFC) ที่ความเร็ว 50 กม./ชม. สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท ในสภาพพื้นผิวทางเปียกดังแสดงในตารางที่ 2-12 ค่าดังกล่าวที่ใช้ในการพิจารณานี้ ใกล้เคียงกับที่ใช้งานของหน่วยซ่อมบำรุงทางของประเทศอังกฤษ (Giles, 1957)

ตารางที่ 2-12 ระดับค่าของ SFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท

ประเภท	ลักษณะของถนน	ในสภาพผิวทางเปียก	
		ค่า SFC ₅₀	ค่า BPTV
A	ถนนตามจุดอันตราย (Most Difficult Sites) เช่น <ul style="list-style-type: none"> • วงเวียน • ถนนโค้งที่มีรัศมีความโค้งน้อยกว่า 500 ฟุต • ทางลาดชันมากกว่า 1:2 และระยะความลาดมากกว่า 300 ฟุต • บริเวณแยกใกล้ไฟสัญญาณ 	มากกว่า 0.6	มากกว่า 65
B	ถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่ไม่ได้จัดอยู่ในประเภท A และ C (General Requirements)	มากกว่า 0.50	มากกว่า 55
C	ถนนสาธารณะในทางตรงที่มีความลาดชันน้อยรัศมีความโค้งไม่มากนัก และมีบริเวณแยกน้อย (Easy Sites)	มากกว่า 0.40	มากกว่า 55
	ถนนสาธารณะโดยทั่วไปที่มีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำกว่า 0.40 (Proved Site)		ถ้าต่ำกว่า 45 จะเกิดการลื่นไถล

ที่มา: Giles (1957)

- การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น

ตามการศึกษาของ HDM 4 ในส่วนนี้จะทำการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีทีวิเคราะห์ (Incremental change in sideway force coefficient during analysis year: ΔSFC_{50}) โดยสมการที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

$$\Delta SFC_{50} = K_{sfc} \max(0, \Delta QCV) - (-0.63 \times 10^{-4}) \quad (2.51)$$

โดยที่

ΔSFC_{50} = ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีทีวิเคราะห์ พิจารณาที่ความเร็ว 50 กม./ชม.

ΔQCV = ปริมาณรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นบนเส้นทางที่ทำการสำรวจ (คัน/เลน/วัน)

K_{sfc} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าความต้านทานการลื่นไถล



- การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีทีวิเคราะห์

ในส่วนนี้จะนำค่าที่ได้จากการพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น (ΔSFC_{50}) มาพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านในช่วงสิ้นสุดปีที่ทำการวิเคราะห์ โดยสมการที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

$$SFC_{50b} = \max[(SFC_{50a} + \Delta SFC_{50}), 0.35] \quad (2.52)$$

โดยที่

SFC_{50b} = ค่าความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีทีวิเคราะห์

SFC_{50a} = ค่าความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ ปีเริ่มต้นทีวิเคราะห์

ΔSFC_{50} = ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีทีวิเคราะห์ พิจารณาทีความเร็ว 50 กม./ชม

- การพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย

เป็นการพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น ภายใต้เงื่อนไขความเร็วจราจรในพื้นที่ทีทำการสำรวจ (Traffic speed : S) โดยสมการทีใช้ในการศึกษามีดังนี้

$$SFC_s = K_{sfcs} \left(\frac{SFC_{50av} [400 - (2 - \min(TD_{av}, 2)) (\max(50, s) - 50)]}{400} \right) \quad (2.53)$$

โดยที่

SFC_s = ค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย

S = เงื่อนไขความเร็วจราจรในพื้นที่ทีทำการสำรวจ

K_{sfcs} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย



การพิจารณาการเกิดความขรุขระ (Roughness) ของผิวทาง

การพิจารณาความขรุขระของถนน (Road Roughness) ในกรณี HDM 3 จะพิจารณา Structural Deformation, Surface Distress และ Environmental Factors โดย Paterson (1987)

ในการศึกษาของ HDM 4 ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ที่ได้รับผลกระทบจาก 5 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบด้านโครงสร้าง (Structural Component) องค์ประกอบจากการเกิดรอยแตกกร้าว (Cracking Component) องค์ประกอบจากการเกิดร่องล้อความลึก (Rutting Component) องค์ประกอบจากการเกิดหลุมบ่อ (Potholing Component) และองค์ประกอบจากสภาพแวดล้อม (Environment Component) โดยจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้ง 5 องค์ประกอบมาพิจารณาการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดของความขรุขระในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Total incremental change in roughness during analysis year : ΔRI) โดยสมการของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของค่าความขรุขระ และสมการของอีก 5 องค์ประกอบความเสียหายมีดังนี้

$$\Delta RI = \Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_p + \Delta RI_e \quad (2.54)$$

โดยที่

ΔRI = การเปลี่ยนแปลงของค่าขรุขระที่เพิ่มขึ้นโดยรวมระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

ΔRI_s = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นจากการเสื่อมสภาพของโครงสร้างระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

ΔRI_c = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นจากการแตกร้าวระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

ΔRI_r = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากร่องในระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

ΔRI_p = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดหลุมบ่อ (ม./กม. IRI)

ΔRI_e = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพแวดล้อมในระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)



- องค์ประกอบด้านโครงสร้าง (Structural Component) ใช้ค่า Adjust Structural Number (SNP) พิจารณา pavement strength indicator แทน Structural Number (SNC) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Delta RI_s = K_{gs} a_0 \exp[K_{gm}(m)(AGE3)](1 + SNP K_b)^{-5} YE4 \quad (2.55)$$

เมื่อ $SNP K_b = \max[(SNP_a - dSNPK), 1.5]$ (2.56)

$$dSNPK = K_{snpk} a_0 [\min(a_1, AXC_a) HSNEW + \max(\min(AXC_a - PACX, a_2), 0) HSOLD] \quad (2.57)$$

โดยที่

ΔRI_s = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นจากการเสื่อมสภาพของโครงสร้างระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

$dSNPK$ = การลดจำนวนโครงสร้างที่ปรับแก้ที่เกิดจากการแตกร้าว

$SNP K_b$ = การปรับจำนวนโครงสร้างเนื่องจากการแตกร้าว ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์

SNP_a = การปรับจำนวนโครงสร้างเมื่อเริ่มปีการวิเคราะห์

AXC_a = พื้นที่ของดัชนีการแตกร้าวเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ (%)

$PACX$ = พื้นที่ของดัชนีการแตกร้าวก่อนหน้าในพื้นที่ผิวเก่า (%) เท่ากับ $0.62(PCRA) + 0.39(PCRW)$

$HSNEW$ = ความหนาของพื้นผิวล่าสุด (mm)

$HSOLD$ = ความหนารวมของชั้นใต้พื้นผิว (มม.)

$AGE3$ = อายุหลังการก่อสร้างล่าสุดหรือการบำรุง (ปี)

m = ค่าสัมประสิทธิ์สิ่งแวดล้อม (จากตาราง HDM-4 B10-3)

K_{gm} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลองสำหรับค่าสัมประสิทธิ์สิ่งแวดล้อม (ค่าตั้งต้น = 1)

K_{snpk} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลองสำหรับค่า $SNPK$

K_{gs} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลองสำหรับส่วนประกอบโครงสร้างของค่าความหยวบ

- องค์ประกอบจากการเกิดรอยแตกร้าว (Cracking Component) การพิจารณาส่วนนี้จะคล้ายกับ HDM 3 แต่จะมีการเพิ่มในส่วนของ Calibration Factor (K_{gc}) เปรียบเสมือนการปรับค่าของผลกระทบจากการเกิดรอยแตกร้าวที่มีผลต่อค่า IRI ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Delta RI_c = K_{gc} a_0 \Delta ACRA \quad (2.58)$$

โดยที่

ΔRI_c = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นจากการแตกร้าวระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

$\Delta ACRA$ = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกร้าวทั้งหมดระหว่างปีที่วิเคราะห์ (%)

K_{gc} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลองสำหรับส่วนประกอบการเกิดร่องของค่าความขรุขระ



- องค์ประกอบจากการเกิดร่องล้อความลึก (Rutting Component) เพิ่มเติมในส่วนของการปรับค่า เพิ่ม Calibration Factor ภายใต้งี๋เอียง straight-edge 2.0 เมตร แต่ในกรณีการศึกษาของ HDM 3 อยู่ภายใต้งี๋เอียงของ straight-edge 1.2 เมตร ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Delta RI_r = K_{gr} a_0 \Delta RDS \quad (2.59)$$

โดยที่

ΔRI_r = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากร่องในระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

ΔRDC = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเกิดร่องระหว่างปีที่วิเคราะห์ (มม.)

K_{gr} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลองสำหรับส่วนประกอบของการเกิดร่องของค่าความขรุขระ

- องค์ประกอบจากการเกิดหลุมบ่อ (Potholing Component) ในส่วนนี้อ้างอิงตามการศึกษาของ Paterson (1987) ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของหลุมบ่อตามความแตกต่างของขนาดหลุมที่มีผลต่อค่าดัชนีความขรุขระสากล ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Delta RI_p = 6.0(V_{pot}) \quad (2.60)$$

โดยที่

ΔRI_p = ค่าความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดหลุมบ่อ (ม./กม. IRI)

V_{pot} = ปริมาตรของหลุมบ่อ (ม.³/กม)

ทั้งนี้การวิเคราะห์ Potholing Component ในการศึกษาของ HDM 4 จะทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างขนาดของหลุมบ่อและค่าดัชนีความขรุขระสากล เพื่อหาระยะการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม โดยสมการจะอ้างอิงตามการศึกษาของ Riley (1998) ซึ่งเป็นการต่อยอดจากแบบจำลอง HTR แต่มีการพิจารณาในส่วนของ TLF (Time lapses Factor) เพิ่มเข้ามา ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Delta RI_p = a_0 (a_1 - FM\{[(NPT_a)(TLF) + (\Delta NPT)(TLF/2)]^{a_2} - (NPT_a)^{a_2}\}) \quad (2.61)$$

เมื่อ

$$FM = (\max\{\min[0.25(CW - 3), 1], 0\})(\max\left[\left(1 - \frac{AADT}{5000}\right), 0\right]) \quad (2.62)$$

โดยที่

FM = เสรีภาพของการจัดทำดัชนี

NPT_a = จำนวนหลุมบ่อ/กิโลเมตรเมื่อเริ่มปีการวิเคราะห์

TLF = ปัจจัยของเวลาที่ล่วงเลย ($0 < TLF <= 1$)



ΔNPT = การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของจำนวนหลุมบ่อระหว่างปีที่วิเคราะห์ (จำนวน/กม.)

CW = ความกว้างของถนน (ม.)

AADT = ปริมาณการไหลของจราจรแบบสองทาง (คัน/วัน)

- องค์ประกอบจากสภาพแวดล้อม (Environment Component) รูปแบบการพิจารณาจะคล้ายกับการศึกษาของ HDM 3 แต่ค่าที่ใช้ในการปรับแบบจำลอง จะอ้างอิงตามค่าสัมประสิทธิ์ของสภาพแวดล้อม (Environment Coefficient) ซึ่งมีสมการดังนี้

$$\Delta RI_e = K_{gm} m RI_a \quad (2.63)$$

โดยที่

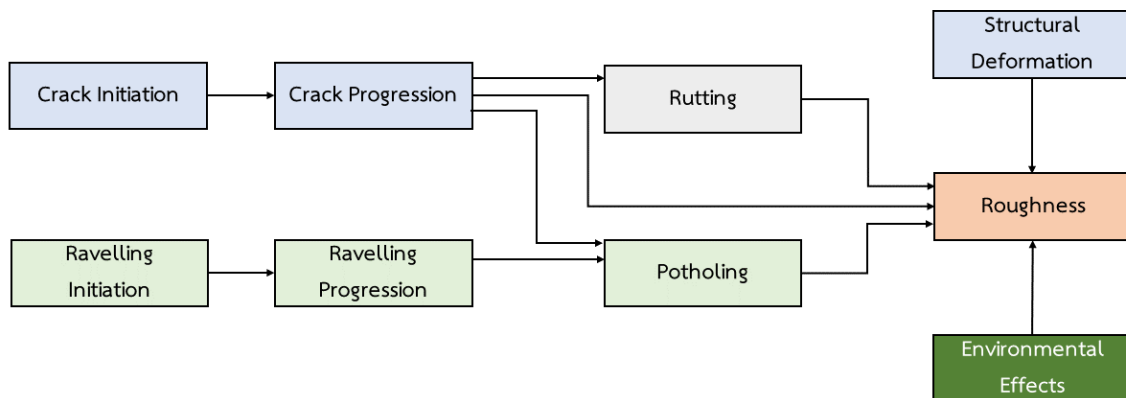
ΔRI_e = ค่าความขรุขระที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพแวดล้อมในระหว่างปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

K_{gm} = สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลองสำหรับค่าสัมประสิทธิ์สิ่งแวดล้อม (ค่าตั้งต้น = 1)

m = ค่าสัมประสิทธิ์สิ่งแวดล้อม (จากตาราง HDM-4 B10-3)

RI_a = ค่าความขรุขระเมื่อเริ่มต้นปีที่วิเคราะห์ (ม./กม. IRI)

ทั้งนี้สิ่งที่แตกต่างอย่างชัดเจนจาก HDM 3 คือ การปรับมาใช้ค่า Adjust Structural Number (SNP) พิจารณาในส่วนของ pavement strength indicator แทน Structural Number (SNC) และการปรับค่าสัมประสิทธิ์ของสภาพแวดล้อมโดยปรับค่าในช่วง 5% - 20



รูปที่ 2-36 สรุปลองค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขรุขระตามการศึกษาของ HDM 4



2.1.5.2 พื้นผิวคอนกรีต (Concrete Pavement)

การศึกษาของ HDM ในขั้นแรกได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อคำนวณการเสื่อมสภาพ (deterioration) และผลกระทบจากการใช้งาน (Work effect) ของพื้นผิวคอนกรีต โดยแบบจำลองดังกล่าวอ้างอิงจากการศึกษาของ Latin American study Team (LAST, 1996) และรายงานของ FHWA ที่จัดทำโดย ERES Consultants (ERES, 1995) ซึ่งแบบจำลองจะใช้ในการพิจารณาการเกิดการแตกร้าวตามแนวขวาง (Transverse Cracking) ของถนนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP)

เพื่อให้แบบจำลองในสามารถอธิบายการเกิดการเสื่อมสภาพได้ชัดเจนขึ้น ในรายงาน HDM 4 จึงอ้างอิงแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาแล้วของ ERES (1999) โดยในส่วนนี้ได้มีการพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นในแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถอธิบายการเสื่อมสภาพได้แม่นยำขึ้น

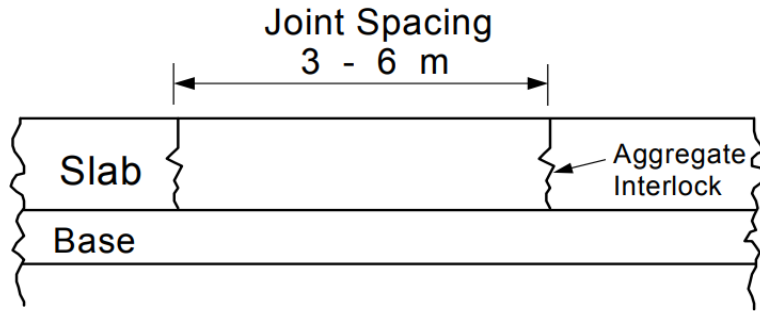
สำหรับการแบ่งประเภทพื้นผิวคอนกรีตที่ใช้ในการพิจารณาการเสื่อมสภาพในรายงาน HDM 4 จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- ถนนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP)
- ถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าวบริเวณผิวส่วนบน (Joint Reinforced Concrete Pavement: JRCP)
- ถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง (Continuously Reinforced Concrete Pavement: CRCP)

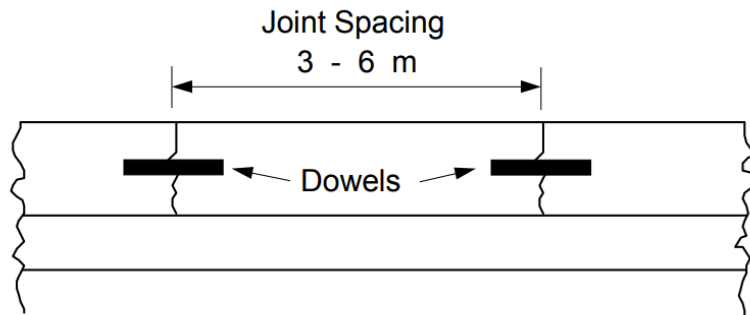
โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียด ดังนี้

ถนนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP)

ถนนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว การถ่ายแรงบริเวณรอยต่อเกิดจากการขัดกันของมวลรวมของรอยต่อได้ร่อยต่อ แต่เพื่อให้การถ่ายแรงมีประสิทธิภาพจึงมักจะติดตั้งเหล็กเดือย (Dowel) บริเวณรอยต่อ ระยะระหว่างรอยต่อถึงรอยต่อจะมีระยะไม่มาก เนื่องจากไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว โดยปกติจะมีระยะห่างไม่เกิน 3-6 เมตร



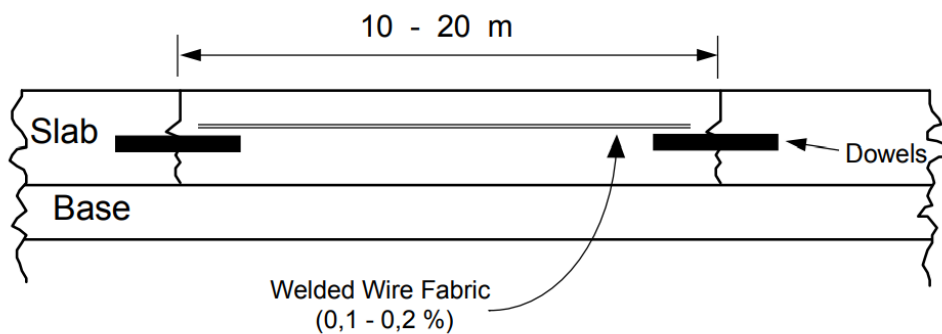
รูปที่ 2-37 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : ไม่มีลูกเต๋อ



รูปที่ 2-38 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : มีลูกเต๋อ

ถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว (Joint Reinforced Concrete Pavement : JRCP)

ถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าวบริเวณผิวส่วนบนของชั้นคอนกรีตและมีเหล็กเต๋ออยู่เพื่อการถ่ายแรงบริเวณรอยต่อ ถนนคอนกรีตประเภทนี้สามารถสร้างให้มีระยะห่างระหว่างรอยต่อได้ห่างกว่าชนิด JPCP เนื่องจากมีเหล็กเสริมกันร้าวป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตก โดยปกติถนนคอนกรีตชนิดนี้จะสามารถสร้างระยะห่างระหว่างรอยต่อได้ระหว่าง 10-20 เมตร

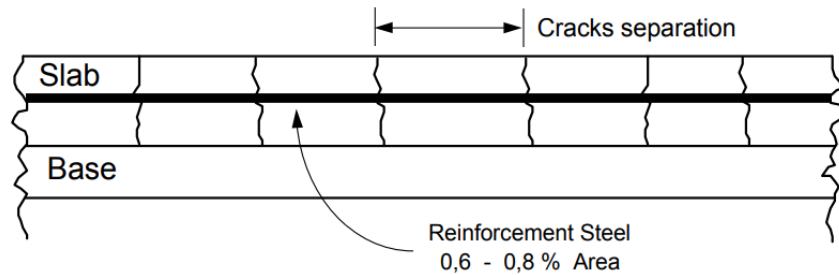


รูปที่ 2-39 รูปแบบถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว



ถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง (Continuously Reinforced Concrete Pavement: CRCP)

ถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง ทั้งนี้รอยแตกแรกจะถูกป้องกันโดยเหล็กเสริมกันร้าวที่มากกว่า JRPC โดยเหล็กเสริมกันร้าวนี้จะทำหน้าที่ยึดรอยแตกที่เกิดขึ้นเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่ถ่ายตรงบริเวณรอยแตก



รูปที่ 2-40 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง

เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการอธิบายประเภทการเสื่อมสภาพของผิวทางถนนคอนกรีตในการศึกษาของ HDM 4 จึงได้ทำการเพิ่มในส่วนของพื้นที่เทบนชั้นฐาน (Type of Slab) และชนิดของชั้นผิว (Subgrade Types) เข้าไปในแบบจำลองเพื่ออธิบายการเสื่อมสภาพผิวทางตามประเภทความเสียหาย (Distress Types) และชนิดของพื้นผิวคอนกรีต ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2-13

ตารางที่ 2-13 ประเภทชั้นผิวทางคอนกรีต

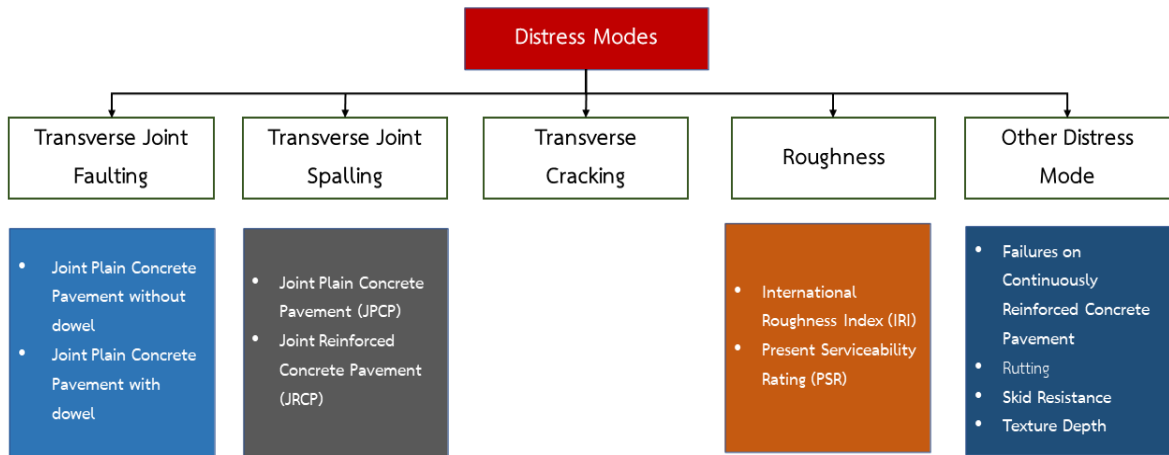
Base	Subgrade
Asphalt treated	Granular
Cement treated	Fine
Granular	
Fine	

ประเภทการเสื่อมสภาพของพื้นผิวคอนกรีต

สำหรับการพิจารณาประเภทของการเสื่อมสภาพผิวทาง (Distress mode) ในกรณีของพื้นผิวคอนกรีต ตามการศึกษาของ HDM 4 จะแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย Transverse Joint Faulting, Transverse Joint Spalling, Transverse Cracking, Roughness



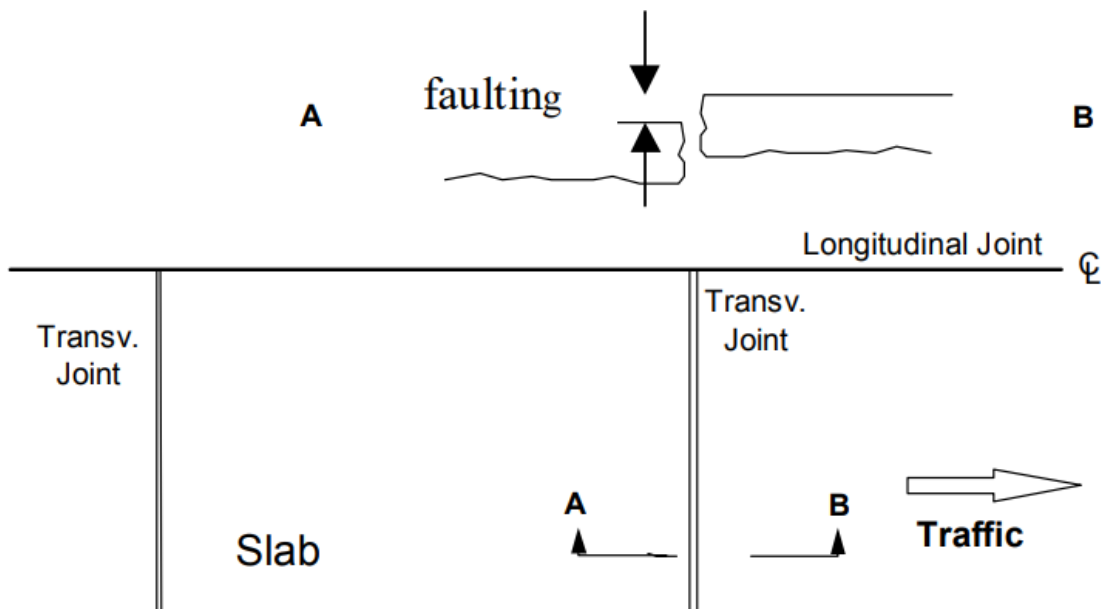
และความเสียหายประเภทอื่น ๆ (Other Distress Mode) ทั้งนี้แต่ละประเภทจะมีการพิจารณาแบบจำลองที่ใช้คำนวณตามประเภทพื้นผิวคอนกรีต โดยประเภทการเสื่อมสภาพ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2-41 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวคอนกรีต

Transverse Joint Faulting

ในกรณีนี้เป็นลักษณะความเสียหายในรูปแบบของการทรุดตัวต่างระดับ (Faulting) ซึ่งเป็นลักษณะความเสียหายที่สังเกตได้จากแผ่นพื้นที่ติดกันมีระดับแตกต่างกัน สาเหตุเกิดจากการทรุดตัวของชั้นฐานรากไม่เท่ากันหรือความคลาดเคลื่อนจากการใช้เหล็กเสริมถ่าน้ำหนัก



รูปที่ 2-42 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Faulting

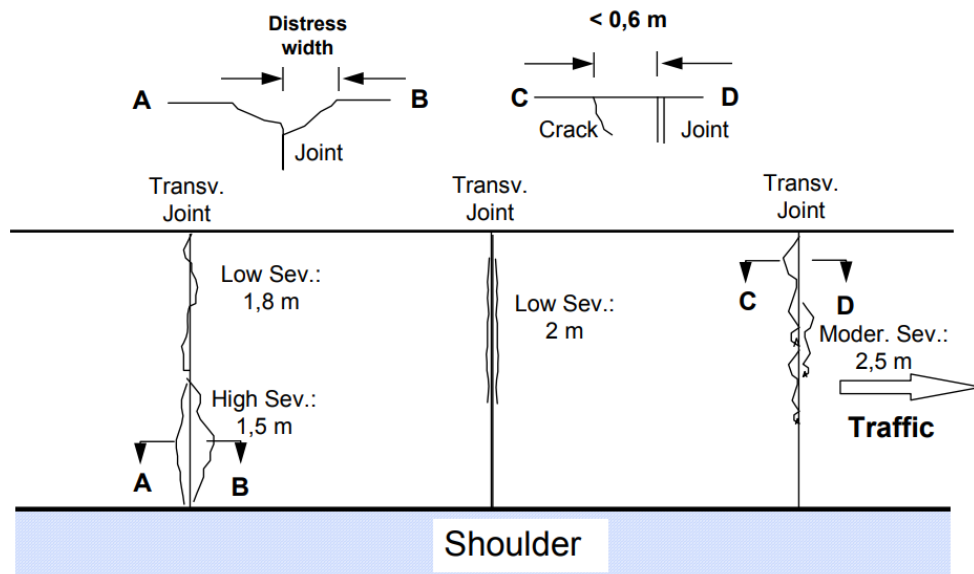


สำหรับแบบจำลองในการวิเคราะห์ Transverse Joint Faulting จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กรณีที่เกิดกับ Joint Plain Concrete Pavement without dowel (ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว) และ Joint Plain Concrete Pavement with dowel (มีการเสริมเหล็กกันร้าว)

Transverse Joint Spalling

ความเสียหายในรูปแบบของผิวทางแตกกะเทาะ (Spalling) โดยเป็นลักษณะความเสียหายที่เกิดรอยร้าวและแตกเป็นสะเก็ดตามรอยต่อและมีความลึกไม่มากนัก สาเหตุมักเกิดจากรอยต่อไม่เรียบหรือคอนกรีตที่เส้นของรอยต่อไม่แข็งแรง เมื่อมีน้ำหนักรถกดทับจึงทำให้แตกบิ่นกะเทาะ โดยระดับความเสียหายที่เกิดจากการกะเทาะในการศึกษาของ HDM 4 ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

- ความเสียหายระดับต่ำ โดยความลึกในจุดที่แตกกะเทาะบริเวณจุดเชื่อมน้อยกว่า 75 มิลลิเมตร
- ความเสียหายระดับปานกลาง โดยความลึกในจุดที่แตกกะเทาะบริเวณจุดเชื่อมอยู่ระหว่าง 75-150 มิลลิเมตร
- ความเสียหายระดับสูง โดยความลึกในจุดที่แตกกะเทาะบริเวณจุดเชื่อมมากกว่า 150 มิลลิเมตร



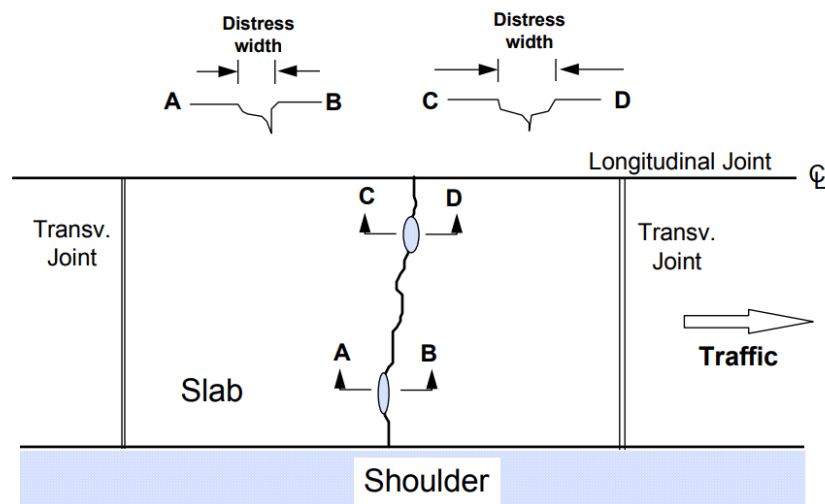
รูปที่ 2-43 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Spalling

สำหรับแบบจำลองในการวิเคราะห์ Transverse Joint Spalling จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ กรณีที่เกิดกับ Joint Plain Concrete Pavement (JPCP) และ Joint Reinforced Concrete Pavement (JRCP)

Transverse Cracking

ในกรณีนี้คือความเสียหายที่เกิดรอยแตกตามแนวขวางของแผ่นพื้น (Slab) สาเหตุเกิดจากการบิดตัวของแผ่นพื้นเนื่องจากอุณหภูมิหรือการหดตัวไม่เท่ากันของชั้นทาง ทั้งนี้ในการศึกษาของ SHRP (1993) ได้แบ่งระดับความรุนแรงของ Transverse Cracking ออกเป็น 3 ระดับ คือ

- ความเสียหายระดับต่ำ โดยความกว้างของจุดที่แตกบริเวณพื้นผิวน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร โดยไม่เกิดการหลุดตัวต่างระดับและการกะเทาะ
- ความเสียหายระดับปานกลาง โดยความกว้างของจุดที่แตกบริเวณพื้นผิวอยู่ระหว่าง 3-6 มิลลิเมตร หรือเกิดการกะเทาะที่อยู่ในความเสียหายระดับต่ำ (น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร) หรือมีการหลุดตัวที่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร
- ความเสียหายระดับสูง โดยความกว้างของจุดที่แตกบริเวณพื้นผิวอยู่มากกว่า 6 มิลลิเมตร หรือเกิดการกะเทาะที่อยู่ในความเสียหายระดับสูง (มากกว่า 75 มิลลิเมตร) หรือมีการหลุดตัวที่มากกว่า 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 2-44 รูปแบบการเกิด Transverse Cracking

การพิจารณาความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวคอนกรีต

สำหรับการพิจารณาค่า ความหยาบของผิวทาง (Roughness) ในการศึกษาของ HDM 4 สำหรับพื้นผิวของคอนกรีตจะสะท้อนออกมาเป็นค่า International Roughness Index (IRI) โดยมีหน่วยเป็น เมตรต่อกิโลเมตร ทั้งนี้ในบางแบบจำลองมีการพิจารณาคุณภาพการขับขี่ (Ride Quality) โดยสะท้อนออกมาในค่าของ Present Serviceability Rating (PSR) ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกสะท้อนออกมาในลักษณะของเกณฑ์ตั้งแต่ แย่มาก จนถึง ดีมาก ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 2-14



ตารางที่ 2-14 ค่า Present Serviceability Rating (PSR)

PSR	Condition
0 - 1	แย่มาก
1 - 2	แย่
2 - 3	ปานกลาง
3 - 4	ดี
4 - 5	ดีมาก

สำหรับการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า IRI และ PSR จะถูกพิจารณาจากสมการด้านล่างนี้ ซึ่งเป็นการพัฒนาของ Al-Omari and Darter (1994)

การพิจารณาค่า Roughness ผนวกกับค่า Present Serviceability Rating ตามการศึกษาของ HDM 4 จะใช้ในการพิจารณาพื้นผิวคอนกรีตประเภท Joint Plain Concrete Pavement, Joint Reinforced Concrete Pavement และ Continuously Reinforced Concrete Pavement

ความเสียหายประเภทอื่น ๆ (Other Distress Mode)

ความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวคอนกรีต ในส่วนนี้จะประกอบด้วยกรณีของการแตกหักของเหล็กเสริมผิวคอนกรีตในกรณีพื้นผิวประเภท Continuously Reinforced Concrete Pavement (Failures on CRP) การเกิดร่อง (Rutting) ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทาง (Skid Resistance) และความลึกของพื้นผิว (Texture Depth)

Failures on Continuously Reinforced Concrete Pavement

ความเสียหายของพื้นผิวประเภท Continuously Reinforced Concrete Pavement จะเกิดจากการคลายตัวและการแตกหักของเหล็กเสริมกันร้าว รวมถึงการกะเทาะในแนวขวางของพื้นผิว เพื่อให้สามารถอธิบายความเสียหายดังกล่าวในรูปแบบสมการได้ LAST (1996) จึงได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อคำนวณความเสียหายนี้

การเกิดร่อง (Rutting)

ความเสียหายในกรณีนี้ของพื้นผิวคอนกรีตจะไม่เหมือนกับกรณีของพื้นผิวบิทูมินัส ซึ่งความเสียหายที่จะทำให้เกิดกับพื้นผิวคอนกรีตคือการสึกหรอของยางที่ใช้เป็นตัวประสาน

สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการเกิดร่องในการศึกษาของ HDM 4 จะเป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับพื้นผิวบิทูมินัส ซึ่งไม่สามารถนำมาอธิบายกับพื้นผิวคอนกรีตได้



ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีต (Skid Resistance)

แบบจำลองที่ใช้ในการพิจารณาและพยากรณ์ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีตจะอ้างอิงตามแบบจำลองของ NDLI (1995)

ความลึกของพื้นผิว (Texture Depth)

ความเสียหายที่ส่งผลต่อความลึกของพื้นผิวคอนกรีต มีด้วยกันหลากหลายสาเหตุ ตั้งแต่การใช้พื้นผิวมาโครกับผิวทางคอนกรีตในขณะก่อสร้าง การเขาระ่องพลาสติก การขจัดคราบสกปรกโดยการแปรงลวดหรือการพ่นด้วยกรด รวมถึงสภาพแวดล้อม และปริมาณการจราจร ทั้งนี้ในการศึกษาของ HDM 4 ยังไม่ปรากฏแบบจำลองที่คาดการณ์การสูญเสียความลึกของพื้นผิว เนื่องจากการจราจรและสิ่งแวดลอม

2.1.6 การศึกษาการประยุกต์แบบจำลอง การเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS กับแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง

ทางที่ปรึกษาดำเนินการศึกษาการประยุกต์แบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS กับแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบ TPMS รวมถึงการพิจารณาตัวแปรที่ได้จากการทบทวนการศึกษาของ HDM 4 เพื่อให้แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของระบบ TPMS มีความถูกต้องและเหมาะสมในการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.6.1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS

ในระบบ TPMS ได้มีการจัดทำแบบจำลองทำนายการเสื่อมสภาพความขรุขระผิวทางลาดยาง ใช้ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เป็นดัชนีชี้วัดสภาพความขรุขระผิวทาง โดยในแบบจำลองต้นแบบของ HDM-4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความขรุขระของผิวทาง ได้แก่ ความแข็งแรงโครงสร้างทาง ปริมาณจราจร ความเสียหายผิวทาง และสภาพแวดล้อม ซึ่งระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้ปรับแก้แบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย ซึ่งไม่นำตัวแปรปริมาณความเสียหายของผิวทาง (รอยแตก ร้าว ร่องล้อ หลุมบ่อ) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความขรุขระผิวทางมารวมในสมการทำนายการเสื่อมสภาพ โดยได้นำอายุการใช้งานของผิวทางมาเป็นตัวแทนผลกระทบของความเสียหายผิวทางที่มีต่อความขรุขระผิวทาง โดยมีรายละเอียดดังนี้

$$dIRI = K_{gp}(134Exp(K_{gm} \times m \times AGE3) \times (1 + 0.75SNC)^{-5} \times YE4 + 0.0121AGE3) + (K_{gm} \times m \times RIa) \quad (2.64)$$

โดย

dIRI = การเสื่อมสภาพของค่าความขรุขระของผิวทางลาดยาง



- K_{gp} = ค่าปรับแก้อัตราการเสื่อมสภาพของความขรุขระผิวทาง
- K_{gm} = ค่าปรับแก้ของค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม โดยที่ค่าตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 1
- m = ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม (จากตาราง HDM-4 B10-3)
- AGE3 = อายุสายทางตั้งแต่มีการเสริมผิว การบูรณะ หรือการก่อสร้างใหม่ (ปี)
- SNC = ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางตั้งแต่มีการก่อสร้าง การเสริมผิว การบูรณะ หรือการก่อสร้างใหม่ครั้งล่าสุด
- YE4 = Annual Number of Equivalent Standard Axles (ล้าน ESAL/ช่องทางจราจร/ปี)
- RIa = ค่าความขรุขระสากลเมื่อต้นปีที่สนใจ (ม./กม.)

2.1.6.2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง

จากโครงการศึกษาเพื่อพัฒนาและบูรณาการระบบคลังข้อมูลงานวิจัยของกรมทางหลวงของสำนักวิจัยและพัฒนางานทางจะใช้วิธี การประมวลผลค่าดัชนีสภาพผิวทาง (Pavement Condition Index : PCI) ซึ่งการประเมินค่า PCI จะเป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ความราบเรียบของการขับขี่ซึ่งเป็นคุณลักษณะของผิวทาง โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

$$PCI = 100 - \sum_{i=1}^{N_{Type}} \sum_{j=1}^{N_{Level}} \beta_{i,j} D_{i,j} \quad (2.65)$$

โดย

- PCI = ค่าดัชนีสภาพทาง (Pavement Condition Index)
- $\beta_{i,j}$ = ค่าสัมประสิทธิ์การเสื่อมสภาพของความเสียหายประเภท i ที่ระดับความรุนแรง j โดยค่าสัมประสิทธิ์สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางคอนกรีต
- $D_{i,j}$ = ร้อยละของประเภทความเสียหายประเภท i ที่ระดับความรุนแรง j ภายพื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน โดยวิธีการคำนวณค่า $D_{i,j}$ จะแบ่งตามหน่วยนับความเสียหาย ซึ่งมี 3 รูปแบบ
- N_{Type} = จำนวนประเภทความเสียหายที่มีทั้งหมดภายในพื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน
- N_{Level} = จำนวนระดับความรุนแรงของแต่ละประเภทความเสียหาย ซึ่งมี 3 ระดับคือ เล็กน้อย ปานกลาง และสูง

รูปแบบหน่วยนับความเสียหายของค่า $D_{i,j}$

- ความเสียหายประเภทที่มีหน่วยนับเป็น ตร.ม. โดย $D_{i,j} = (\text{พื้นที่ความเสียหาย} \times 100) / \text{พื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน}$



- ความเสียหายประเภทที่มีหน่วยนับเป็น ม. โดย $D_{i,j} = (\text{ความยาวความเสียหาย} \times 0.5 \text{ ม.} \times 100) / \text{พื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน}$ โดยสมมติให้ความกว้างประสิทธิภาพของความเสียหายเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 0.5 ม.
- ค่าเฉลี่ยความลึกร่องล้อซึ่งมีหน่วยเป็น มม. วิธีการประมวลผลจะสมมติให้ความกว้างแนวล้อด้านซ้ายและแนวล้อด้านขวาที่ใช้ค่าความลึกร่องล้อของช่องจราจรนั้น ๆ มีความกว้างด้านละ 0.75 ม. ตามคำจำกัดความแถบแนวล้อ (Wheel Path Band) ของ AASHTO ทั้งนี้การแบ่งระดับความรุนแรงของความลึกร่องล้ออ้างอิงคู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทางกรมทางหลวง (2550) ดังนี้
 - ความเสียหายเล็กน้อย (Low) ร่องล้อลึกเฉลี่ย 6 มม. – 12 มม.
 - ความเสียหายปานกลาง (Medium) ร่องล้อลึกเฉลี่ย 12 มม. – 25 มม.
 - ความเสียหายรุนแรง (High) ร่องล้อลึกเฉลี่ยมากกว่า 25 มม.

ดังนั้น $D_{i,j} = (\text{ความยาวช่วงถนนที่มีความลึกร่องล้อในแต่ละระดับความรุนแรง} \times 1.50 \text{ มม.} \times 100) / \text{พื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน}$

นอกจากนี้ทางสำนักวิจัยและพัฒนาทางได้รวบรวมข้อมูลในส่วนของการสำรวจค่าความเสียหายของสภาพผิวทางต่าง ๆ รวมถึงข้อมูลปริมาณจราจรซึ่งรวบรวมอยู่ในระบบฐานข้อมูลงานสำรวจสมรรถนะทางหลวง ของสำนักงานวิจัยและพัฒนาทาง โดยข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย

- ค่าความขรุขระสากล
- ค่าความผิด
- ความแข็งแรงของโครงสร้างถนน
- ดัชนีสภาพทาง
- การโก่งตัวของชั้นโครงสร้าง
- การเกิดร่องล้อ
- ค่าความเสียหายของผิวทาง
- ค่าความลึกผิวเฉลี่ย
- ปริมาณจราจร (AADT)
- ร้อยละรถบรรทุกหนัก (%HV)
- จำนวนเที่ยวของเพลات่อปี (ESALs/year)



ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ที่ปรึกษาจะนำไปประยุกต์กับแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) กับของระบบ TPMS ต่อไป

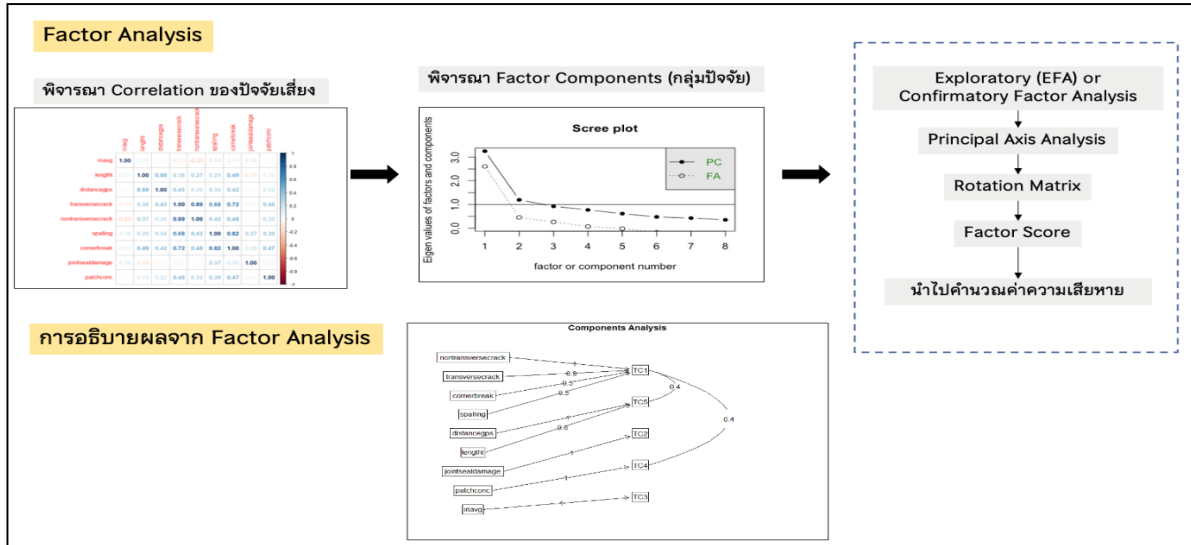
การพิจารณาองค์ประกอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน

จากการพิจารณาการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรที่มีเทียบกับการศึกษาของ HDM 4 พบว่า ยังขาดการรวบรวมข้อมูลในหลายตัวแปร ทำให้ไม่สามารถนำสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ ความเสียหายของผิวทางตามการศึกษาของ HDM 4 ได้

แต่หากพิจารณาเงื่อนไขความสัมพันธ์ของประเภทความเสียหายตามการศึกษา HDM 4 สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ (Correlation) ของประเภทความเสียหาย โดยวิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ปรึกษาจะเลือกใช้วิธีการพิจารณาองค์ประกอบ (Factor Analysis) ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน

การวิเคราะห์องค์ประกอบมีด้วยกัน 2 วิธีคือ (1) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis) เป็นการศึกษาที่ผู้วิจัยไม่ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัย และ (2) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmative Factor Analysis) เป็นการศึกษาที่ผู้วิจัยทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยว่าควรจะอยู่ในรูปแบบใด รวมทั้งทราบว่าตัวแปรใดบ้าง มีความสัมพันธ์กันมากและควรอยู่ในองค์ประกอบเดียวกัน

สำหรับการศึกษาเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis) เนื่องจากผู้วิจัยไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านคุณภาพการให้บริการประเภทต่าง ๆ ซึ่งการพิจารณาด้วย Exploratory Factor Analysis จะประกอบด้วย 2 วิธีคือ Principal Component Analysis (Measurement Model) และ Principal Axis Factoring (Common Factor) ซึ่งข้อแตกต่างของการวิเคราะห์ 2 วิธีนี้คือ การพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยวิธี Principal Axis Factoring จะพิจารณาจาก 2 ส่วนคือ ส่วนที่ตัวแปรมีความผันผวนร่วมกัน และส่วนที่เป็นอิสระต่อกันของตัวแปรเดิม และทำให้ทราบความหมายของตัวแปรแฝงที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่วัดได้ ส่วนวิธี Principal Component Analysis คือการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ โดยจะสร้างตัวแปรใหม่ขึ้นมา ซึ่งจะถูกพิจารณาจากความแปรผันหรือความแปรปรวนของตัวแปรเดิม และมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดจำนวนตัวแปร (Tinsley and Brown (2000) และ Kim and Mueller (1978)) ทั้งนี้สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยวิธี Principal Component Analysis และ Principal Axis Factoring

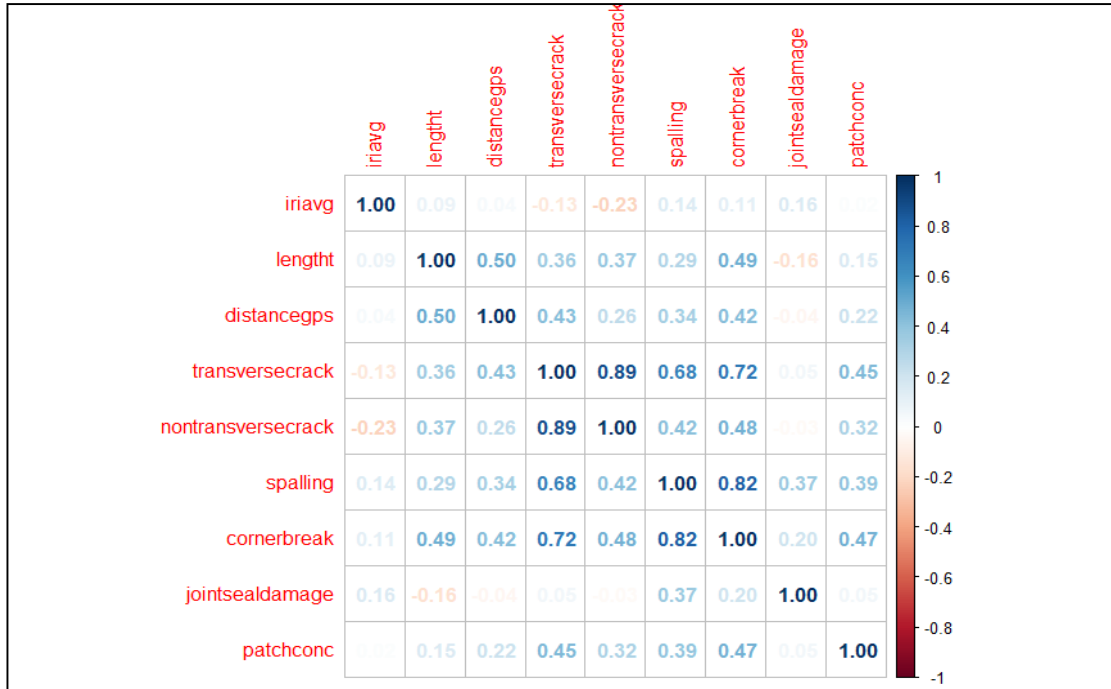


รูปที่ 2-45 แนวทางการประยุกต์ใช้การพิจารณาองค์ประกอบความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน

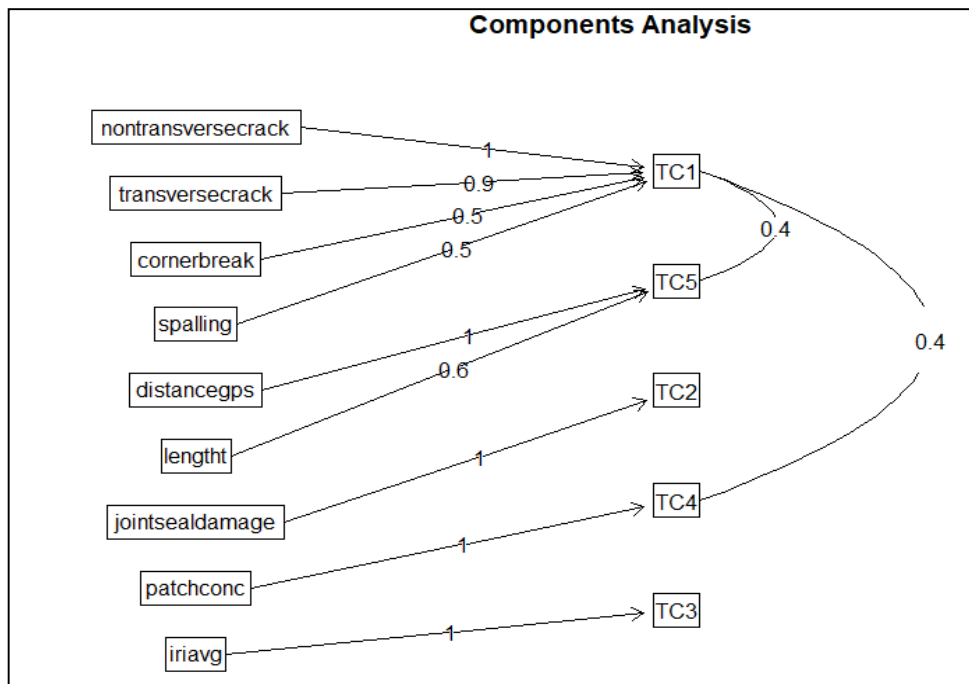
แนวทางการวิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทางด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ

ที่ปรึกษาได้เลือกใช้ข้อมูลการสำรวจค่าความเสียหายของพื้นผิวคอนกรีตของแขวงชลบุรี ในช่วงตอน บางปะกง - หนองไม้แดง, หัวไผ่ - ชลบุรี, หนองปรือ - เนินโมก, เนินโมก - แผลงยาว, บ้านสวน - หนองรีหนองรี - หนองปรือ, หนองปรือ - คลองเขต, มาบโป่ง - หัวไผ่, หนองเสือช้าง - หนองเสือช่อ หนองเสือช่อ - หนองไม้แก่น และหนองเสม็ด - บ่อทอง โดยเป็นการเก็บสำรวจค่า IRI เฉลี่ยทุก ๆ 1 กิโลเมตร

สำหรับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจครั้งนี้ นอกจากค่า IRI แล้วยังมีการพิจารณารอยปะซ่อม รอยบิ่นกะเทาะ จำนวนแผ่นแตกตามขวาง จำนวนแผ่นแตกตามยาวและแนวทแยง วัสดุยาแนว รอยต่อเสียหาย และมุมแตก ค่าที่สำรวจได้ดังกล่าวนี้ เบื้องต้นที่ปรึกษาได้นำมาพิจารณาค่าความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างตัวแปร (ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2-46) โดยพบว่า แต่ละค่าความเสียหายมีความสัมพันธ์ต่อกัน และมีแนวโน้มการมีสหสัมพันธ์กันเองระหว่างตัวแปรต้น (Multicollinearity) ทำให้ต้องมีการพิจารณาการจัดกลุ่มของปัจจัยที่สำรวจได้ โดยการวิเคราะห์กลุ่มปัจจัยพบว่า จะเกิดกลุ่มองค์ประกอบ 5 กลุ่ม ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2-47



รูปที่ 2-46 ค่าสหสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำมาพิจารณา



รูปที่ 2-47 กลุ่มขององค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน



ตารางที่ 2-15 องค์ประกอบที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ส่งผลต่อสภาพความเสียหายของผิวถนน

กลุ่มองค์ประกอบ	องค์ประกอบ
กลุ่มองค์ประกอบความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับรอยแตก (TC1)	<ul style="list-style-type: none">จำนวนแผ่นแตกตามยาวและแนวทแยง (non_transverse_crack Transverse crack)มุมแตก (corner_break)รอยบิ่นกะเทาะ spalling
กลุ่มองค์ประกอบความเสียหายบริเวณรอยต่อ (TC2)	<ul style="list-style-type: none">วัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย (joint_seal_damage)
TC3	<ul style="list-style-type: none">ค่าเฉลี่ย IRI ทุก ๆ 1 กม. (IRI avg)
กลุ่มองค์ประกอบความเสียหายจากการซ่อมบำรุง (TC4)	<ul style="list-style-type: none">รอยปะซ่อม patch_conc
กลุ่มองค์ประกอบทางกายภาพ (TC5)	<ul style="list-style-type: none">ระยะทาง (Distance)ความยาว (length)

ผลการวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทางด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ

จากรูปที่ 2-47พบว่า มีการเกิดความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ คือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่อยู่ในกลุ่มองค์ประกอบ TC1 กับ TC5 และความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มองค์ประกอบ TC1 กับ TC4 ด้วยสาเหตุนี้จำเป็นต้องเลือกองค์ประกอบใดประกอบหนึ่งจากกลุ่มดังกล่าวมาพิจารณาเพื่อให้สมการที่ได้ไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรต้น (Multicollinearity) และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroskedasticity) ด้วยเหตุนี้สมการที่ใช้ในการพิจารณาจึงแบ่งออกเป็น 2 สมการคือ

- สมการที่ 1

$$IRI_{Avg} = \beta_0 + \beta_1 TC_1 + \beta_2 TC_3 + \varepsilon \quad (2.66)$$

โดยที่ IRI_{Avg} คือ ค่าเฉลี่ย IRI ทุก ๆ 1 กิโลเมตร

TC_1 คือ ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Factor Score) ของกลุ่มองค์ประกอบความเสียหายที่เกี่ยวข้องกับรอยแตก (TC1) ประกอบด้วย จำนวนแผ่นแตกตามยาวและแนวทแยง มุมแตก และรอยบิ่นกะเทาะ

TC_3 คือ ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Factor Score) ของค่า IRI

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ (Error Term)



โดยผลการวิเคราะห์ของสมการที่ (1) แสดงให้เห็นในตารางที่ 2-16

ตารางที่ 2-16 ผลการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบที่ส่งผลต่อค่า IRI (กรณีสมการที่ 2.66)

Model~iri_avg=TC3+TC1	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.18286	0.06881	60.79	<2e-16***
TC3	0.10822	0.06975	1.552	0.125
TC1	0.9923	0.06975	14.227	<2e-16***
SSE	80.514			
RMSE	0.10682			

Residual standard error: 0.6306 on 81 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.7142,

- สมการที่ 2

$$IRI_{Avg} = \beta_0 + \beta_1 TC_1 + \beta_2 TC_2 + \beta_3 TC_5 + \varepsilon \quad (2.67)$$

โดยที่ IRI_{Avg} คือ ค่าเฉลี่ย IRI ทุก ๆ 1 กิโลเมตร

TC_1 คือ ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Factor Score) ของกลุ่มองค์ประกอบความเสียหายที่เกี่ยวข้อง
รอยแตก (TC1) ประกอบด้วย จำนวนแผ่นแตกตามยาวและแนวทแยง มุมแตก และรอยบิ่นกะเทาะ

TC_2 คือ ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Factor Score) ของกลุ่มองค์ประกอบความเสียหายบริเวณ
รอยต่อ (TC2) ประกอบด้วย วัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย

TC_5 คือ ค่าคะแนนองค์ประกอบ (Factor Score) ของกลุ่มองค์ประกอบทางกายภาพ (TC5)
ประกอบด้วย ระยะทาง และความยาวของผิวทางที่สำรวจ

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของสมการ (Error Term)

โดยผลการวิเคราะห์ของสมการที่ (2) แสดงให้เห็นในตารางที่ 2-17

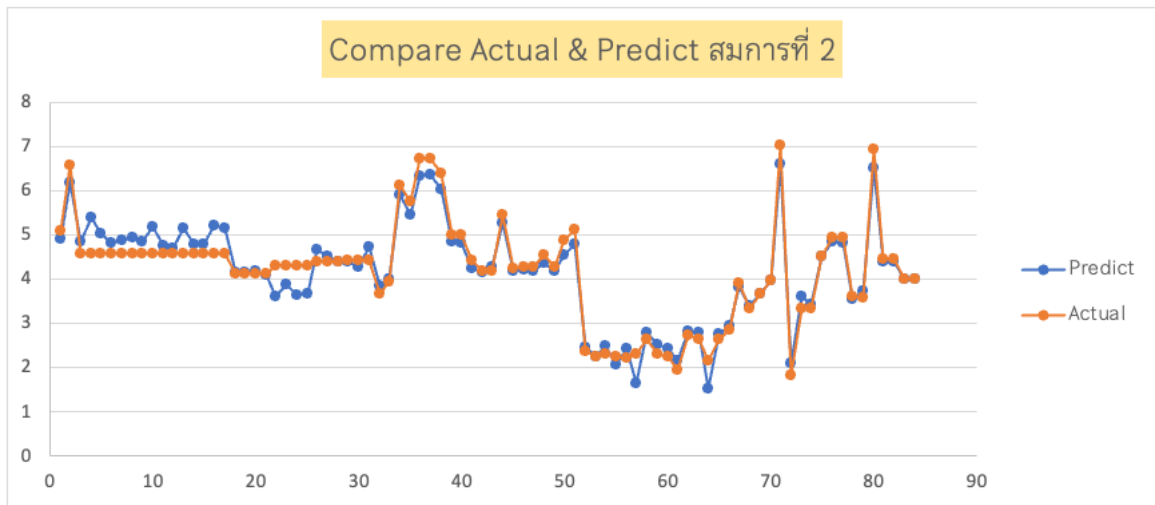
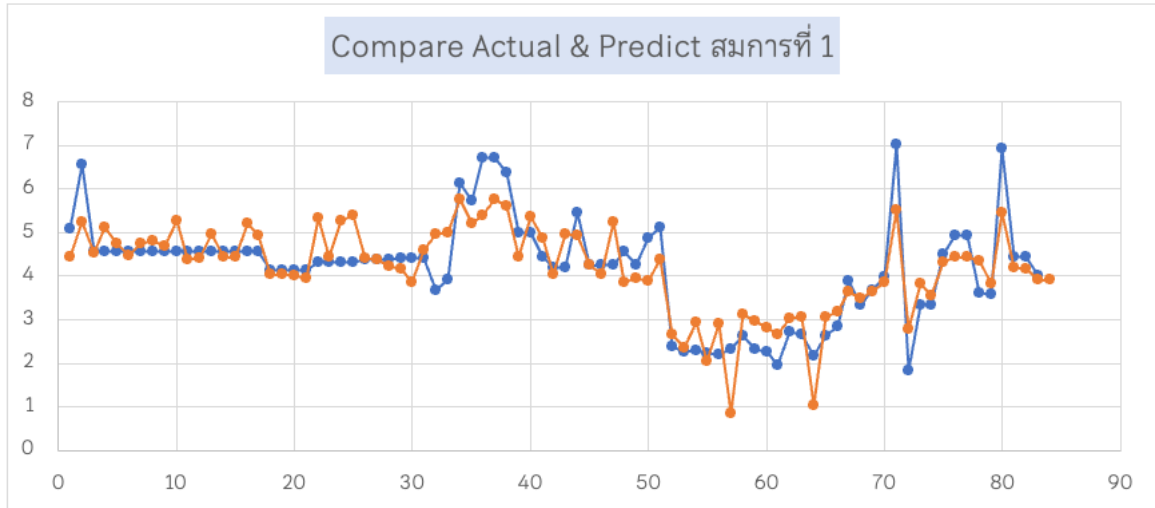
ตารางที่ 2-17 ผลการวิเคราะห์กลุ่มองค์ประกอบที่ส่งผลต่อค่า IRI (กรณีสมการที่ 2.67)

Model~iri_avg=TC3+TC1	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.18286	0.0337	124.107	< 2e-16 ***
TC1	-0.1396	0.03712	-3.761	0.000321 ***
TC2	-0.08447	0.03766	-2.243	0.027659 *
TC5	1.12236	0.03452	32.516	< 2e-16 ***
SSE	7.633424			
RMSE	0.032891			



Residual standard error: 0.3089 on 80 degrees of freedom Multiple R-squared: 0.9323,

จากผลการวิเคราะห์สมการที่ (1) และ (2) จะพบว่า สมการที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าสมการที่ (1) ดังแสดงให้เห็นในค่าของ SSE และ RMSE เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากขึ้นที่ปรึกษาจึงได้ทำการพยากรณ์ค่าที่ได้จากสมการเทียบกับค่า ของทั้ง 2 สมการ ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2-48



รูปที่ 2-48 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์วิเคราะห์ค่าความเสียหายของผิวทางด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ

ผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์ของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผิวทางจากการศึกษา HDM 4 พบว่า สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์องค์ประกอบของปัจจัยได้ ซึ่งในส่วนนี้มีความจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น เนื่องจากแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ในส่วนนี้เป็นเพียงการใช้ค่าที่ได้จากการสำรวจมาพิจารณาเท่านั้น จำเป็นต้องเพิ่มในส่วนของตัวแปรที่เป็นในลักษณะเฉพาะของผิวทางที่วิเคราะห์ เช่น ปริมาณจราจร น้ำหนักรถบรรทุก ประเภทผิวทาง ประเภทการซ่อมบำรุง เป็นต้น เพื่อพัฒนาแบบจำลองให้สามารถอธิบายพฤติกรรม



ความเสียหายที่เกิดขึ้น รวมถึงการพยากรณ์ความเสียหาย (Projection) เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาการจัดสรรงบประมาณซ่อมบำรุงต่อไป

2.1.7 การศึกษาเครื่องมือประเมินสมรรถนะของถนน ในมิติอื่นๆ นอกจากเครื่องมือประเมินสภาพผิวทาง ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ที่ปรึกษาจะทำการศึกษาเครื่องมือประเมินสมรรถนะของถนนในมิติอื่น ๆ นอกจากเครื่องมือประเมินสภาพผิวทาง โดยมีตัวอย่างการเครื่องมือที่นิยมใช้ดังต่อไปนี้

1) เครื่องมือสำรวจข้อมูลความเสียดทาน (Skid Resistance)

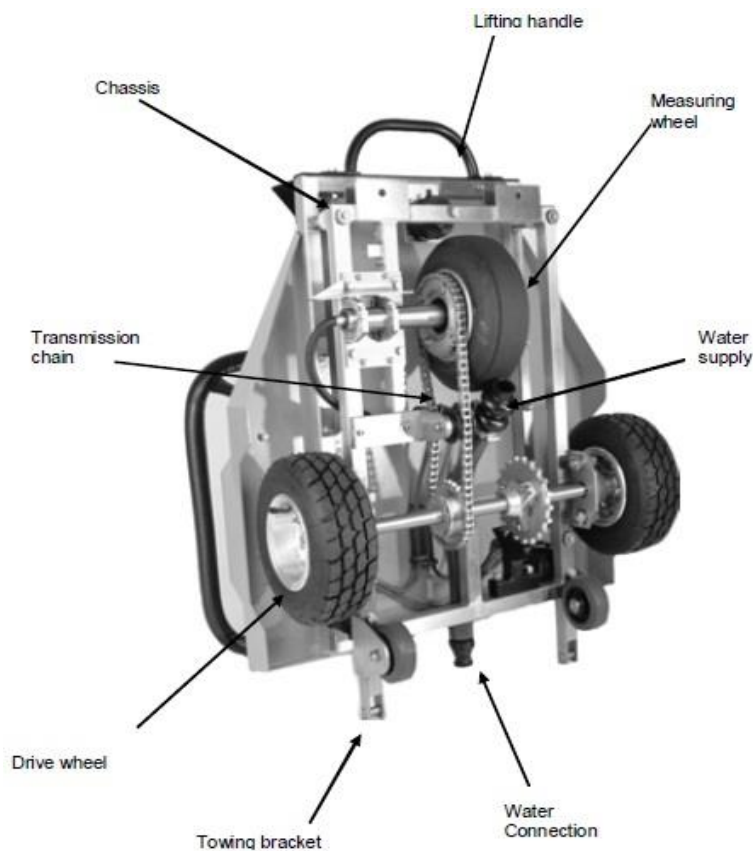
1.1 การสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment)

การสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment) ประกอบด้วยเครื่องมือหลากหลายรูปแบบ มีเครื่องมือหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย คือ เครื่องมือทดสอบแบบ Fixed-slip จะใช้วัดความต้านทานการหมุนของล้อชนิดเรียบที่ไถลที่ความเร็วค่าหนึ่งๆ ประมาณร้อยละ 12-20 ของความเร็วรถที่ทำการลาก โดยจะทำการทดสอบขณะพื้นผิวเปียกที่ความหนาของชั้นน้ำเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ที่ด้านหน้ารถต่อพ่วงที่มีเครื่องมือวัดค่าความเสียดทานจะทดสอบที่ความเร็ว 64 กม./ชม. การทดสอบการหมุนของล้อจะถูกยับยั้งล้อที่หมุน เมื่อถึงร้อยละความเร็วของรถลากที่กำหนด น้ำหนักล้อ แรงเสียดทาน จะถูกคำนวณโดยการแปลงค่าแรงดึงและโมเมนต์บิด

โดยการสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment) ในโครงการนี้จะทำการสำรวจความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือตรวจวัดค่าความเสียดทานที่ความเร็วสูงแบบ Fixed-Slip Friction Testing Device ซึ่งเป็นการทดสอบความฝืดผิวทาง โดยวิธีวัดความฝืดระหว่างผิวทางถนนกับล้อยางของรถทดสอบ ที่มีลักษณะเป็นรถทดสอบพ่วง 2 ล้อ และล้อทดสอบ 1 ล้อ ติดตั้งอยู่กับเพลลา ดังรูปที่ 2-49 และมีกลไกที่ใช้ต้านทานการเคลื่อนที่โดยเกียร์ และระบบโซ่เชื่อมกับเพลาล้อขับเคลื่อนทำให้เกิดการหมุนที่ล้อทดสอบ กำหนดน้ำหนักที่กระทำลงบนล้อทดสอบในแนวตั้ง เพื่อสามารถคำนวณแรงที่กดลงบนพื้นผิวทาง อันเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความเสียดทานที่จะทดสอบได้ ในการทดสอบจะทดสอบด้วยล้อในสภาพพื้นผิวเปียกที่ความเร็วคงที่ด้วยการวัดแรงลื่นไถล สำหรับการทดสอบผิวทางในสภาพเปียกน้ำจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ถังน้ำ ซึ่งอยู่บนรถลากต่อท่อกับวาล์วควบคุมหัวฉีดน้ำที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของล้อทดสอบ เพื่อปล่อยน้ำที่บริเวณล้อทดสอบ ควบคุมโดยชุดปั๊มที่ติดตั้งอยู่ในชุดรถทดสอบ เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ เมื่อเริ่มการวิ่งตัวรถทดสอบจะหดรอบของล้อยางรถทดสอบให้ต่ำกว่ารอบที่รถลากขณะวิ่ง จึงเป็นการจำลองการห้ามล้อแบบไม่ลือกล้อ (Anti-Brake System)



ทำให้สามารถทดสอบความเสียดทานตามยาวในลักษณะต่อเนื่องได้ (Continuous Longitudinal Friction)



รูปที่ 2-49 เครื่องมือ Fixed Slip

1.2 การสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance)

การสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance) ในโครงการนี้จะดำเนินการทดสอบด้วยเครื่อง Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยเป็นระบบโครงสร้างที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยปกติจะถูกเก็บที่ 12, 24, 36, และ 48 ไมล์/ชม. หรือ 20, 40, 60, และ 80 กม./ชม. ความเร็วนี้มีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทาน เครื่องนี้ควรติดกับตัวรถที่มีแท็งก์น้ำ

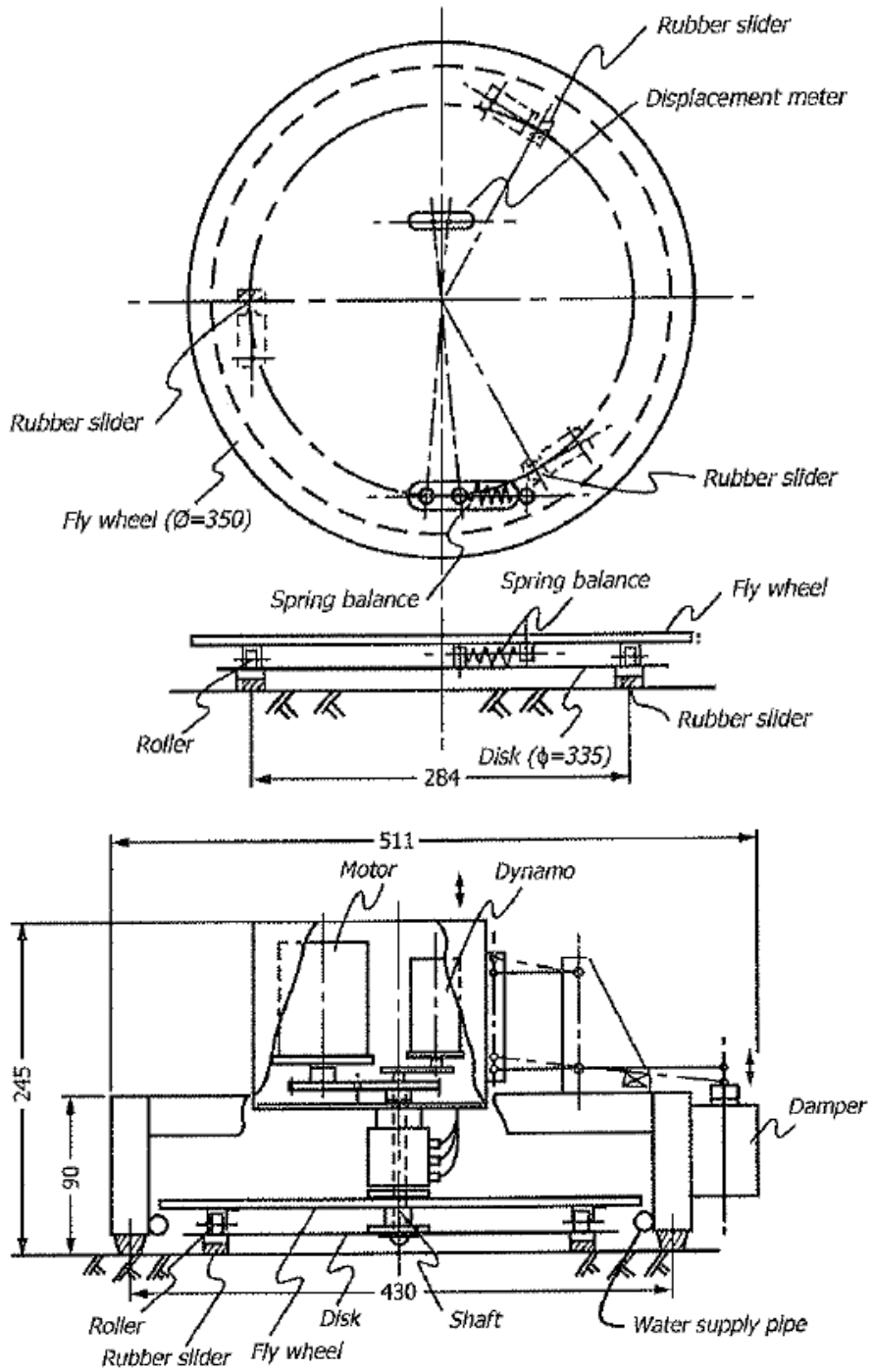


และคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1911
แสดงดังรูปที่ 2-50 เครื่องทดสอบ DFT จะมีส่วนประกอบได้แก่



รูปที่ 2-50 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)

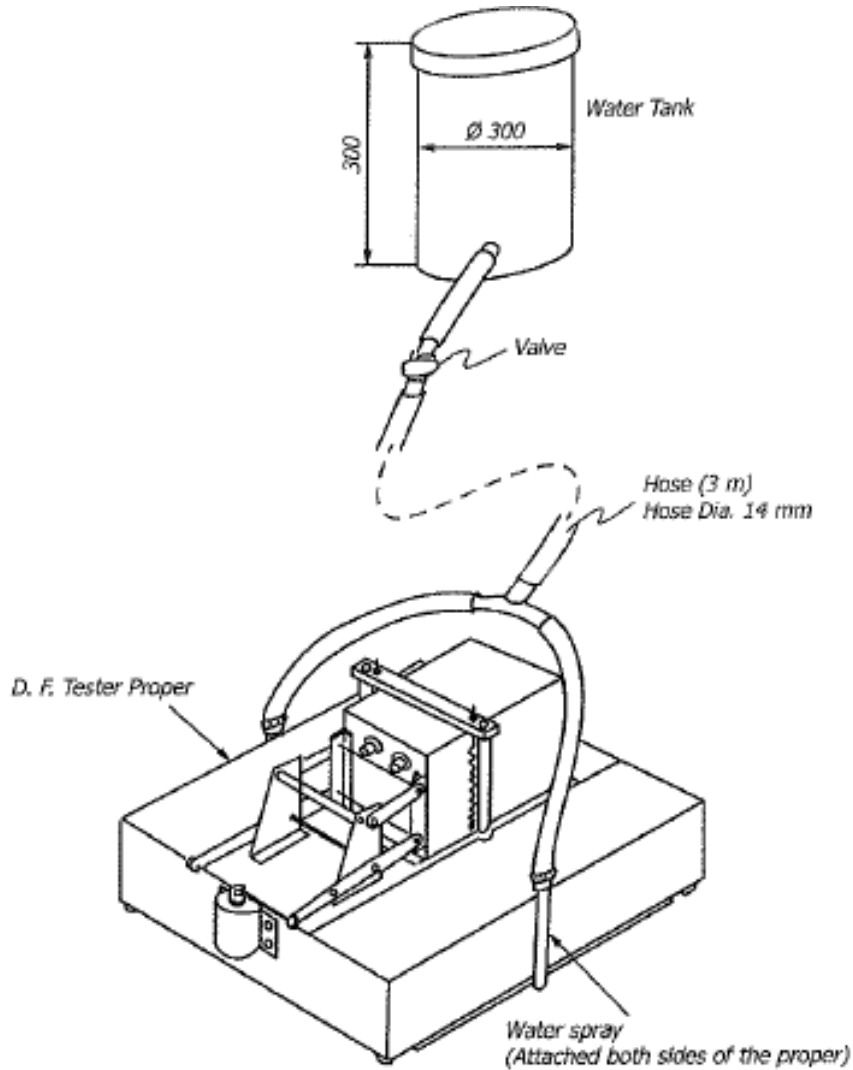
1. ตัวเครื่องทดสอบ DFT แสดงรายละเอียดตัวเครื่องทดสอบดังรูปที่ 2-51 ประกอบด้วยฐานหมุน และจานหมุน (Fly wheel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร ซึ่งจะถูกขับเคลื่อนโดยชุดมอเตอร์ แผ่นยาง (Rubber slider) 3 แผ่น ถูกติดตั้งไว้บนจานหมุนระยะห่างเท่า ๆ กัน ซึ่งแต่ละแผ่นจะรับน้ำหนักจากเครื่องทดสอบข้างละ 11.8 N Spring Balance เชื่อมระหว่างฐานหมุนและจานหมุนเข้าด้วยกัน เพื่อลดค่าการแอ่นตัวระหว่างแผ่น 2 แผ่นดังกล่าว



รูปที่ 2-51 ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร)



2. Water Supply (ถึงน้ำเลี้ยง) แสดงรูปที่ 2-52 จะปล่อยน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงพื้นผิวให้เปียกอยู่เสมอ โดยถังจะอยู่สูงกว่าเครื่องทดสอบ 0.6 เมตร อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 3.6 ลิตรต่อนาที ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร

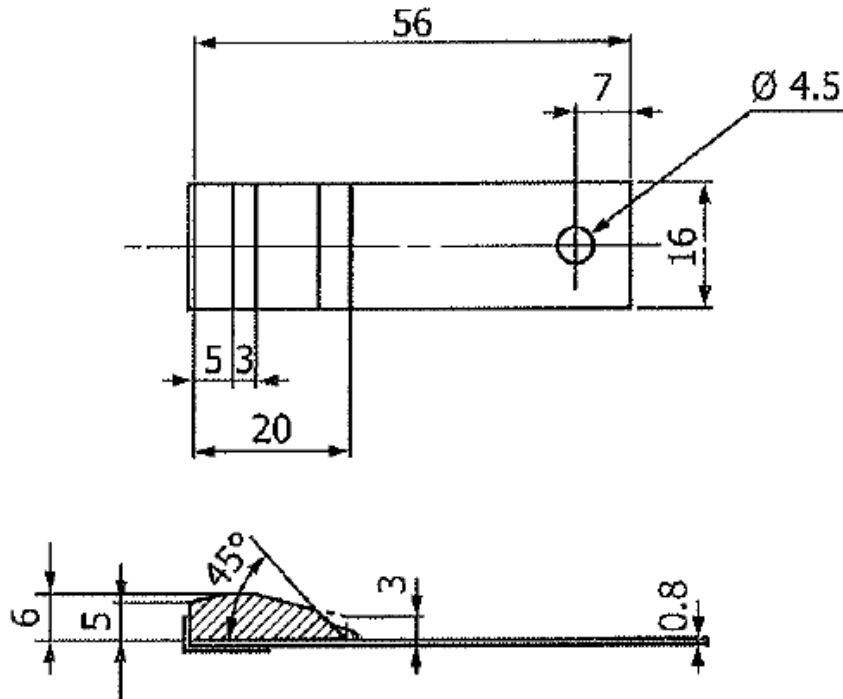


Tank must be placed 60 cms higher than road surface. The amount of spraying water at the height is 60 cc/min.

รูปที่ 2-52 Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร)



3. แผ่นยางทดสอบ (Rubber Slider) แสดงดังรูปที่ 2-53 ประกอบด้วยแผ่นเหล็ก
ขนาด 6x16x20 มิลลิเมตร ติดเข้ากับแผ่นยาง ซึ่งได้มาตรฐานความแข็งแรงของยาง
ASTM E501 โดยความแข็งแรงของยางอยู่ที่ 58 ± 2 สามารถรับแรงดันได้สูงสุด 150 kPa
แผ่นยางจะต้องเปลี่ยนทุกครั้งหลังจากการใช้งานครบ 12 รอบ



รูปที่ 2-53 แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider)

- 2) การสำรวจการสำรวจการสะท้อนของเส้นจราจร (Pavement Marking)

การประเมินการสะท้อนแสงของสีเส้นจราจร เครื่องหมายจราจรบนผิวทาง
คือ การประเมินเพื่อตรวจวัดประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของเส้น หรือเครื่องหมายจราจรบนพื้นผิวทาง
ที่แสดงให้ผู้ใช้งานมองเห็นอย่างชัดเจน โดยวัดตามค่าการสะท้อนแยกตามชนิดสี คือ สีเหลือง
และสีขาว ตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือ Road Stripe Assessment ที่ความเร็วจราจรปกติ
ซึ่งมีหน่วยเป็น $cd/lx/m^2$ ตามมาตรฐาน ASTM E1710 (Standard Test Method for
Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed
Geometry Using a Portable Retroreflectometer) และ EN 1436 (Road marking
performance for road users) ดังแสดงตัวอย่างของเครื่องมือได้



รูปที่ 2-54 อุปกรณ์ Road Stripe Assessment at Highway Speeds

โดยอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการสำรวจคือ อุปกรณ์ Road Stripe Assessment at Highway Speeds อันเป็นเทคโนโลยีที่ใช้วัดค่าการสะท้อนของสีเส้นจราจร และเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง สามารถติดตั้งบนยานพาหนะเพื่อใช้ในการสำรวจ พร้อมทั้งวัดค่าการสะท้อนแสงในเวลากลางคืนได้ ซึ่งแสดงข้อมูลแบบ Real-time ระหว่างการสำรวจ ซึ่งการเก็บข้อมูลดังกล่าวจะเป็นการเก็บค่าการสะท้อนของแสงแบบต่อเนื่อง ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการสะท้อนแสงของเส้นจราจรในเส้นทางที่สนใจได้ตลอดทั้งสายทาง ซึ่งมีคุณลักษณะของอุปกรณ์ดังนี้

- เครื่องมือสามารถวัดค่าการสะท้อนแสงของเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง (Retroreflective Road Marking) ได้บนยานพาหนะตรวจวัด



รูปที่ 2-55 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ Pavement Marking Retro Reflectivity กับยานพาหนะ



- เครื่องมือสามารถวัดค่าการสะท้อนของสีตีเส้นจราจรหรือเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง (Pavement Marking Retro Reflectivity) ตามมาตรฐาน ASTM E1710 (Standard Test Method for Measurement of Retro Reflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retro Reflectometer) และ EN 1436 (Road Marking Performance For Road Users) ซึ่งเครื่องมือ Mobile Retro reflectometer จะมีหน่วยเป็น cd/lx/m²

Designation: E 1710-97

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19380
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards, Copyright ASTM

Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer¹

This standard is issued under the fixed designation E 1710; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers measurement of the retroreflective properties of horizontal pavement marking materials containing retroreflecting beads, such as traffic stripes and surface symbols, using a portable retroreflectometer that can be placed on the road delineation to measure the retroreflection at a prescribed geometry.

Note 1—The restriction to bead based materials is for the purpose of ensuring a sufficiently gradual optical response function (from points of the source aperture to points of the receiver aperture) to allow generous sized instrument source and receiver apertures.

1.2 The entrance and observation angles of the retroreflectometer affect the readings. As specified by the European Committee for Standardization (CEN), the entrance and observation angles shall be 88.76° and 1.05°, respectively.

1.3 This test method is intended to be used for field measurement of pavement markings but may be used to measure the performance of materials on sample panels before placing the marking material in the field.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

- 2.1 ASTM Standards:
D 4061 Test Method for Retroreflectance of Horizontal Coatings²
E 284 Terminology of Appearance²
E 809 Practice for Measuring Photometric Characteristics of Retroreflectors²
- 2.2 Other Standard:
CEN EN 1436 Road Marking Materials—Road Marking

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-12 on Appearance and is the direct responsibility of Subcommittee E12.11 on Retroreflection.
Current edition approved Dec. 10, 1997. Published September 1999. Originally published as E 1710-97. Last previous edition E 1710-95a.
² Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

Performance for Road Users³

3. Terminology

3.1 The terminology used in this test method generally agrees with that used in Terminology E 214.

3.2 Definitions—The delimiting phrase “in retroreflection” applies to each of the following definitions when used outside the context of this or other retroreflection test methods:

3.2.1 coefficient of retroreflected luminance, R_r, n —the ratio of the luminance, L_r , of a projected surface to the normal illuminance, E_i , at the surface on a plane normal to the incident light, expressed in candela per square metre per lux ($\text{cd m}^{-2} \text{lx}^{-1}$).

3.2.1.1 Discussion—Because of the low luminance of pavement markings, the units used commonly are millicandela per square metre per lux ($\text{mcd m}^{-2} \text{lx}^{-1}$).

3.2.2 co-entrance angle, β_c, n —the complement of the entrance angle ($90^\circ - \beta$).

3.2.3 co-viewing angle, ν_c, n —the complement of the viewing angle ($90^\circ - \nu$).

3.2.4 entrance angle, β, n —the angle between the illumination axis and the retroreflector axis.

3.2.5 observation angle, α, n —the angle between the illumination axis and the observation axis.

3.2.6 portable retroreflectometer, n —a hand-held instrument that can be used in the field or laboratory for measurement of retroreflectance.

3.2.6.1 Discussion—In this test method, “portable retroreflectometer” refers to a hand-held instrument that can be placed over roadway delineation to measure the coefficient of retroreflected luminance with a prescribed geometry.

3.2.7 presentation angle, γ, n —the angle between the observation half-plane and the half-plane that originates on the illumination axis and that contains the retroreflector axis.

3.2.8 instrument standard, n —working standard used to standardize the portable retroreflectometer.

3.2.9 retroreflection, n —a reflection in which the reflected rays are returned preferentially in directions close to the opposite of the direction of the incident rays, this property

³ Available from European Committee for Standardization, Central Secretariat (CEN), rue de Stassart 36, B1050 Brussels, Belgium.

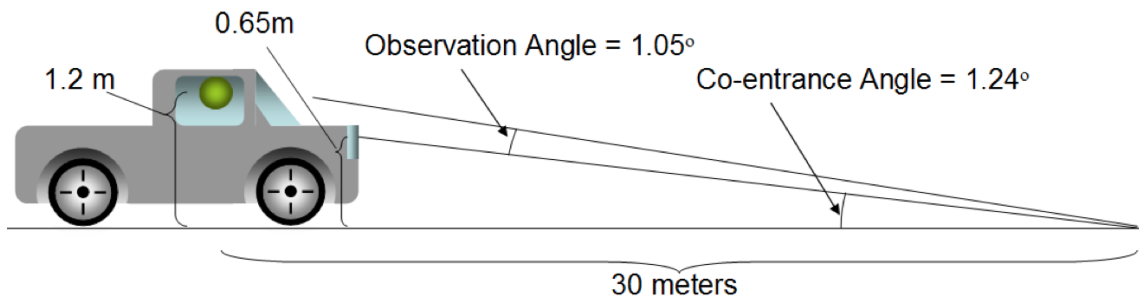
DIN EN 1436		March 2018
ICS 93.080.30		Supersedes DIN EN 1436:2009-01
<p>Road marking materials – Road marking performance for road users and test methods; English version EN 1436:2018, English translation of DIN EN 1436:2018-03</p> <p>Straßenmarkierungsmaterialien – Anforderungen an Markierungen auf Straßen und Prüfverfahren; Englische Fassung EN 1436:2018, Englische Übersetzung von DIN EN 1436:2018-03</p> <p>Produits de marquage routier – Performances des marquages appliqués sur la route; Version anglaise EN 1436:2018, Traduction anglaise de DIN EN 1436:2018-03</p>		
Document comprises 33 pages		
<p>Translation by DIN-Sprachendienst. In case of doubt, the German language original shall be considered authoritative.</p>		
<p><small>© The part of this translation may be reproduced without prior permission of DIN Deutsche Normen für Normung e. V., Berlin, South Verlag GmbH, 47723 Berlin, Germany, but the exclusive right of sale for German Standards (DIN Normen).</small></p> <p style="text-align: right;"><small>English price group 15 www.din.de www.iso.de</small></p>		

รูปที่ 2-56 มาตรฐาน ASTM E1710 และ EN 1436

- เครื่องมือสามารถวัดค่าการสะท้อนแสงในเวลากลางคืนของสีตีเส้นจราจรหรือเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง RL (Retro Reflectivity) ตามแบบจำลองการมองเห็นที่ระยะ 30 เมตร โดยที่มุมของการวัดแสง (Observation Angle) 1.05 องศา และมุมแสงตกกระทบ (Entrance Angle) 88.76 องศา



Standard 30 Meter Geometry



รูปที่ 2-57 รูปแบบการตรวจวัดตามแบบจำลองการมองเห็นที่ระยะ 30 เมตร

- เครื่องมือสามารถติดตั้งบนยานพาหนะและวิ่งได้ที่ความเร็ว 20 - 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีความกว้างที่เลเซอร์สามารถตรวจวัดได้ ขยายออกจากด้านข้างตัวอุปกรณ์ข้างละ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 2-58 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลขณะรถเคลื่อนที่

- เครื่องมือสามารถบันทึกค่าพิกัดในระบบ GPS ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่จัดเก็บได้ สำหรับสภาพถนน จะมีธงหนึ่งธงวางอยู่บนแผนที่ สภาพถนนอื่น ๆ จะมีธงขนาดใหญ่ วางไว้ที่จุดเริ่มต้นและธงเล็กๆ วางไว้ที่ส่วนท้ายด้วยเส้นสีบาง ๆ ที่เชื่อมต่อกับธงทั้งสองสีจะสอดคล้องกับการตั้งค่าเงื่อนไขด้านซ้าย

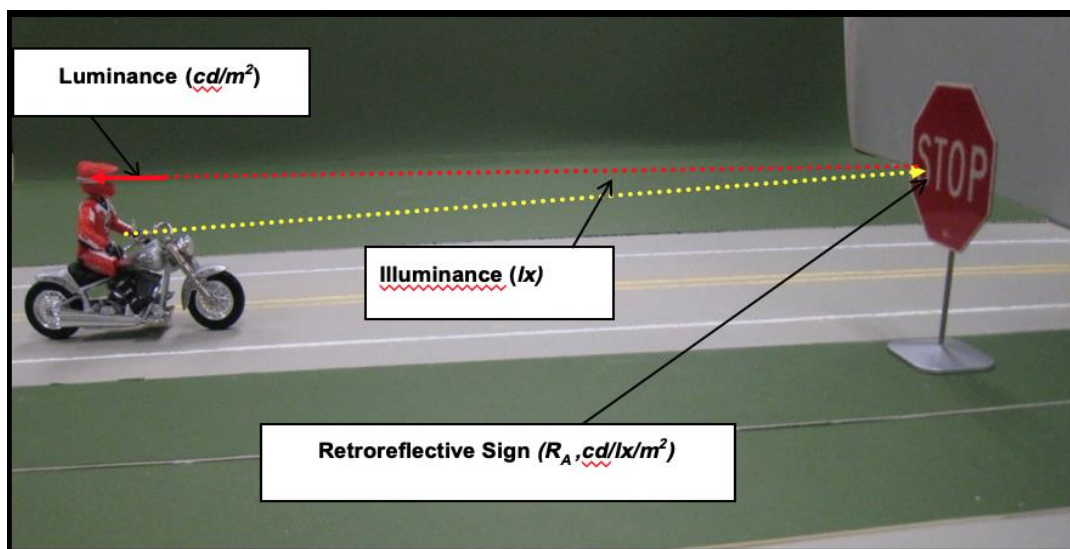


ได้ง่ายโดยการถ่ายภาพเพียงครั้งเดียว ก็สามารถนำภาพที่ได้ไปดำเนินการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ทั้งค่าความสว่าง (Luminance) ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) และค่าแสงแยงตา (Glare) ได้อีกทั้งสามารถใช้วัดแสงได้หลากหลายประเภท ทั้งแสงสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ แสงภายในอาคาร แสงภายนอกอาคาร ไปจนถึงแสงไฟบนถนน รวมไปถึงการที่อุปกรณ์มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาได้ง่าย และสามารถใช้งานได้ในแทบทุกสภาพแวดล้อม ทำให้อุปกรณ์นี้จึงเป็นเหมือนเครื่องมือที่เข้ามาช่วยพัฒนาการใช้งานเก็บข้อมูล และยกระดับเทคโนโลยีด้านไฟส่องสว่างได้ โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- **ความส่องสว่าง (Illuminance, E)** คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวต่อพื้นที่ อาจเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting Illuminance level) เพื่อบอกว่าพื้นที่นั้น ๆ ได้รับความสว่างมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (Lux, lx) ค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่สามารถดูคำแนะนำได้จากมาตรฐาน TIEA-GD 003 ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย
- **ความสว่าง (Luminance, L)** คือ ปริมาณแสงสะท้อนออกมาจากพื้นผิวใด ๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อพื้นที่ หรือเรียกว่า ความจ้า (Brightness) ซึ่งปริมาณแสงที่เท่ากัน เมื่อตกกระทบบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน ทำให้เห็นวัตถุมีความสว่างต่างกัน มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร

โดยทั้งค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L) มีความสัมพันธ์ โดยคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Retroreflectivity } (R_A, \text{cd/lx/m}^2) = \frac{\text{Luminance}(\text{cd/m}^2)}{\text{Illuminance}(\text{lx})}$$



รูปที่ 2-61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L)



- **Glare (แสงจ้า)** หรือแสงแยงตา คือ สภาวะของแสงที่สว่างมากเกินไป ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนต่อการมองเห็น โดยทั่วไปมักแบ่งเป็นสองชนิด คือ
 - Disability Glare คือ สภาวะแสงจ้าที่มากเกินไปและส่งผลต่อความสามารถในการมองเห็นโดยตรง
 - Discomfort Glare คือ สภาวะแสงจ้าที่ไม่มากเกินไป แต่ทำให้เกิดความไม่สบายตา เนื่องจากแสงที่สว่างเกินกว่าความสว่างที่สายตาปกติจะสามารถรับได้ เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งก็ยังคงรับรู้ถึงความสว่างนั้นได้อยู่

ระดับของ Discomfort Glare ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น ความสว่างและขนาดของแหล่งกำเนิดแสง ตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสงเทียบกับระดับสายตา รวมถึงความสว่างพื้นหลังของแหล่งกำเนิดแสงที่เกิดขึ้น ดังนั้น การวางแผนออกระบบแสงสว่างทุกครั้งควรคำนึงถึงความแตกต่างของระดับความสว่างระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและความสว่างของพื้นหลังด้วย โดยตัวอย่างของแสงไฟที่ทำให้เกิด Disability and Discomfort Glare



รูปที่ 2-62 ตัวอย่างของแสงไฟที่ทำให้เกิด Disability and Discomfort Glare

นอกจากนี้ในพื้นที่เปิด สำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กแต่มีความสว่างสูง มักจะทำให้เกิด Glare Effect ได้ง่าย ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีพื้นผิวมากขึ้น ก็จะช่วยเพิ่มความสามารถในการมองเห็นได้

- **Uniformity (ค่าความสม่ำเสมอของแสง)** หมายถึง ความสม่ำเสมอของระดับความสว่างในพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งส่งผลต่อการรับรู้ในการมองเห็น โดยค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ดีจะสามารถทำให้เกิดการมองเห็นได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการรบกวนเนื่องจากสภาวะที่แตกต่างกันของระดับแสงสว่างในพื้นที่นั้น ๆ



Uniformity สามารถวัดค่าได้โดย $\text{minimal illuminance} / \text{weighted average illuminance}$

$$u = E_{\min} / E_{\text{average}}$$

ยิ่งค่า Uniformity มีค่าใกล้เคียง 1 จะแสดงว่าพื้นที่นั้นมีค่าความสม่ำเสมอของแสงที่สูง ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญสำหรับการบอกถึงระดับความสว่างที่เหมาะสมของพื้นที่ทำงาน โดยทั่วไปแล้วสำหรับงานที่ต้องใช้การเพ่งมองสูง ควรมีค่าความสม่ำเสมอที่มากกว่า 0.7 และงานอื่น ๆ ไม่ควรต่ำกว่า 0.6 นอกจากนี้สำหรับการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ความสม่ำเสมอของแสงในจอคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงด้วยตัวเองและความสม่ำเสมอของแสงของพื้นที่บริเวณโดยรอบไม่ควรมีความที่แตกต่างกันมาก รวมถึงค่า Uniformity ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการมองเห็นสำหรับสิ่งแวดล้อมภายนอกโดยเฉพาะสำหรับผู้ขับขี่บนถนน โดยทั่วไปถนนควรจะมีค่าความแตกต่างของระดับแสงสว่างที่ต่ำ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงที่สูง เนื่องจากหากมีความแตกต่างระหว่างระดับแสงที่สูงแล้วจะทำให้เกิดความไม่สบายตา ความเครียด เหนื่อยล้าและอาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน เพราะสายตาของมนุษย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัวกับระดับแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้น หากต้องปรับสายตาท้อง ๆ อาจทำให้เกิดการมองเห็นที่ผิดพลาดและเกิดอุบัติเหตุได้

หน่วยการวัดของแสงต่าง ๆ รายละเอียดดังตารางที่ 2-18

ตารางที่ 2-18 หน่วยการวัดของแสง

หน่วย SI ของแสง			
ปริมาณ	หน่วย SI	ตัวย่อ	หมายเหตุ
พลังงานของการส่องสว่าง	จูล (joule)	J	
ฟลักซ์ส่องสว่าง (Luminous flux)	ลูเมน (lumen) หรือ แคนเดลา (candela)	lm	อาจเรียกว่า กำลังของความสว่าง (Luminous power)
ความเข้มของการส่องสว่าง (Luminous intensity)	แคนเดลา (candela)	cd	
ความเข้มของความสว่าง (Luminance)	แคนเดลา/ตารางเมตร (candela/square metre)	cd/m ²	อาจเรียกว่า ความหนาแน่นของ ความเข้มการส่องสว่าง
ความสว่าง (Illuminance)	ลักซ์ (lux) หรือ ลูเมน/ตารางเมตร	lx	
ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Luminous efficacy)	ลูเมน ต่อ วัตต์ (lumens per watt)	lm/W	



อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

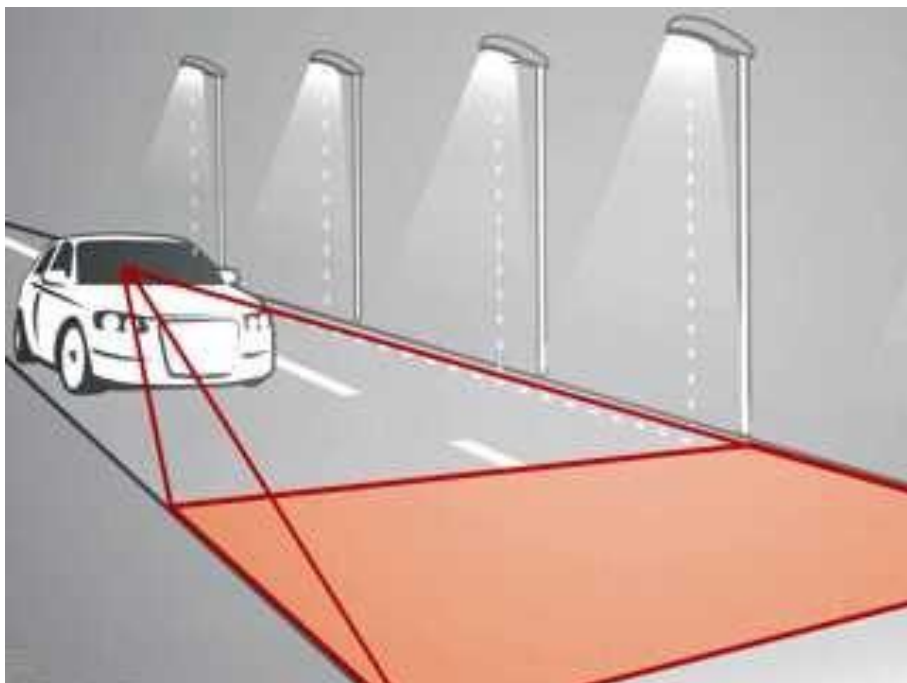
อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique จะดำเนินการเก็บข้อมูลความสว่าง โดยทำการถ่ายภาพของสภาวะแสงนั้น ๆ ดังรูปที่ 2-63 ถึงรูปที่ 2-66 จากนั้นระบุระดับความสว่างที่สะท้อนมาจากวัตถุต่าง ๆ (Luminance) โดยที่สามารถบันทึกได้ทั้งแบบเป็นภาพนิ่งและแบบภาพนิ่งต่อเนื่อง ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานในการเก็บข้อมูลขณะใช้ยานพาหนะเคลื่อนที่ เช่น การเก็บข้อมูลแสงสว่างบน ถนน ทางด่วน สะพาน และอื่น ๆ โดยวิธีนี้มีความสะดวกรวดเร็ว และให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การถ่ายภาพนิ่งต่อเนื่อง จำเป็นต้องมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม โดยมีช่วงความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบ



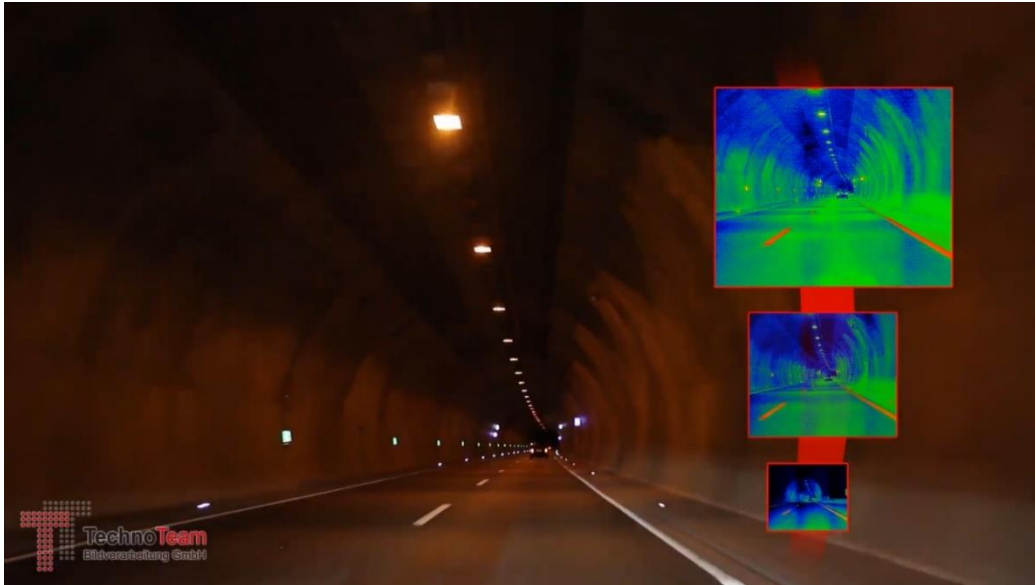
รูปที่ 2-63 อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique



รูปที่ 2-64 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์บนถนน



รูปที่ 2-65 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ภายในพาหนะ



รูปที่ 2-66 ตัวอย่างภาพที่ได้ขณะใช้งานโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่อง

4) การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทาง (Pavement Strength)

การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่องมือสำรวจ Falling Weight Deflectometer (FWD) มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระทบบนผิวทางแล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นและคำนวณย้อนกลับ โดยค่าการแอ่นตัวนั้นเพื่อหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนนและสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบการเสริมผิวทางต่อไปได้ โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือดังต่อไปนี้

4.1) รถตุ้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD



รูปที่ 2-67 ตัวอย่างรถตุ้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD

4.2) ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง ได้แก่ แผงวงจรควบคุม Geophone
แผ่น Plate ปี่มลม และแผ่นน้ำหนัก



รูปที่ 2-68 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD

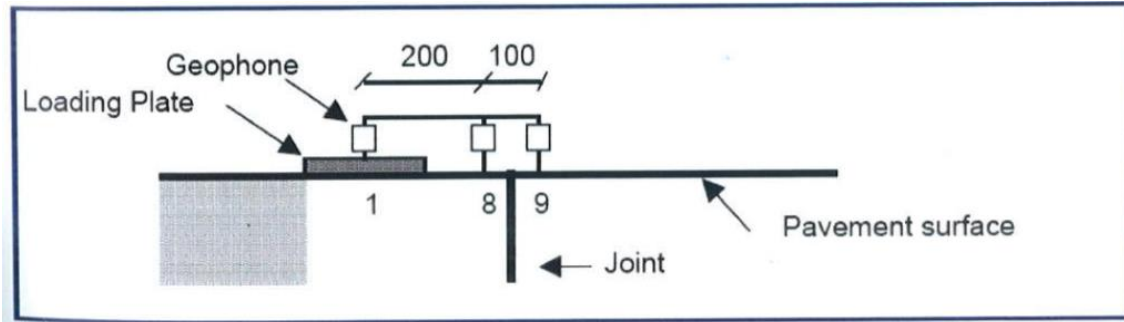
สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD การวางตำแหน่งของ Geophone ในการทดสอบ
เพื่อต้องการวัดพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงจากการให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบ โดยมีรายละเอียดของตำแหน่ง
ดังตารางที่ 2-19

ตารางที่ 2-19 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD

Geophone ตัวที่	ตำแหน่ง
1	ระยะ 0 มิลลิเมตร
2	ระยะ -200 มิลลิเมตร
3	ระยะ -300 มิลลิเมตร
4	ระยะ 450 มิลลิเมตร
5	ระยะ 600 มิลลิเมตร
6	ระยะ 900 มิลลิเมตร
7	ระยะ 1200 มิลลิเมตร
8	ระยะ 1500 มิลลิเมตร
9	ระยะ 1800 มิลลิเมตร



สำหรับกรณีของพื้นผิวทางคอนกรีต (Rigid Pavement) สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการถ่ายแรงที่ตำแหน่งรอยต่อ (Joint) ได้โดยกำหนดตำแหน่งของ Geophone ของเครื่องมือทดสอบให้คร่อมรอยต่อ (Joint) ของพื้นผิวทางคอนกรีต โดยมีตัวอย่างดังรูปที่ 2-69 มาตรฐานจะวัดแรงที่กระทำบนแผ่นเหล็กมาตรฐาน (Load Cell) ที่ติดตั้งบนแผ่นเหล็กมาตรฐานจะวัดแรงที่กระทำบนแผ่นเหล็กมาตรฐาน ในขณะที่การยุบตัว (Deformation) ของพื้นผิวที่เกิดการกระแทกข้างต้นจะถูกวัดด้วย Geophones ที่ติดตั้งบนพื้นผิวในตำแหน่งที่ห่างจากแผ่นเหล็กมาตรฐานที่ระยะต่าง ๆ



รูปที่ 2-69 ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต

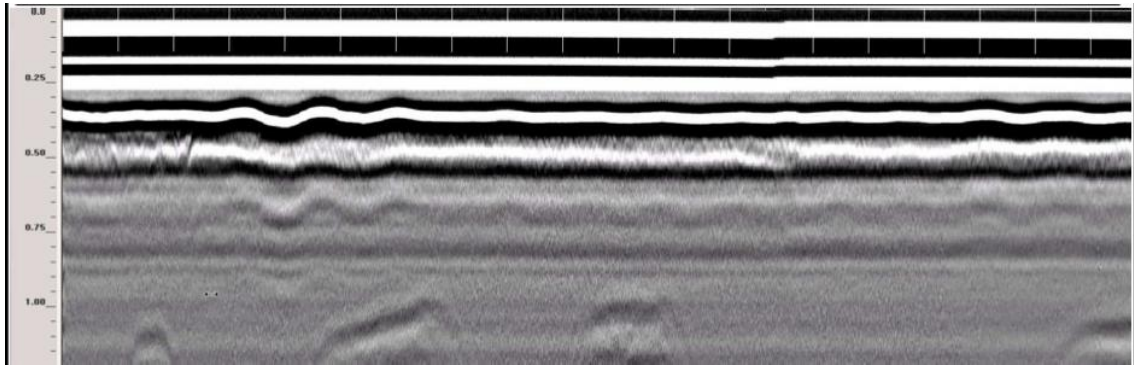
5) การตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร

การตรวจสอบความเสียหายของถนนที่มีโพรงเกิดขึ้นในชั้นโครงสร้างชั้นทางหรือความผิดปกติทางกายภาพในโครงสร้างชั้นทาง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการตรวจสอบ เช่น เครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) ซึ่งใช้หลักการทำงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจสอบโครงสร้างถนน ช่วยให้สามารถทราบตำแหน่งที่เกิดโพรงหรือความผิดปกติได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะช่วยให้สามารถบำรุงรักษาหรือแก้ไขปัญหานั้นได้ก่อนที่จะเกิดโพรงยุบตัวขนาดใหญ่ หรือจะก่อให้เกิดอันตรายในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้ทางได้

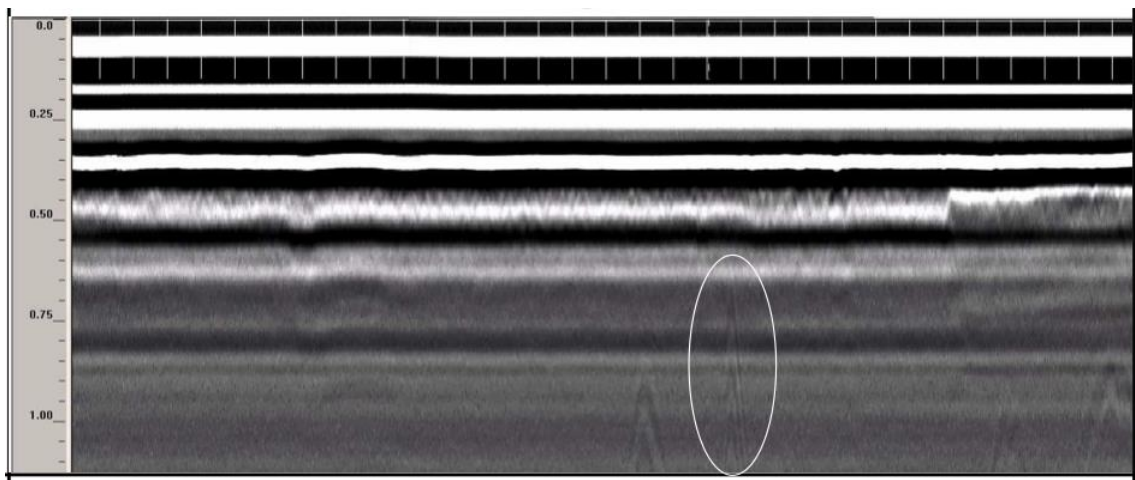
เครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) เป็นวิธีการทดสอบทางด้านวิศวกรรมธรณีฟิสิกส์โดยการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves : EM) ในการตรวจสอบสภาพใต้พื้นดินในระดับตื้นโดยให้ผลลัพธ์มีความละเอียดสูง การทดสอบด้วยเครื่องมือ GPR มีการใช้งานอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกเหนือจากนั้นเป็นวิธีการสำรวจที่เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลายวัสดุที่ทดสอบ



สำหรับการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจรจะมีตัวอย่างผลการทดสอบ



รูปที่ 2-70 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “ไม่มีความเสียหาย”



รูปที่ 2-71 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “พบโพรงใต้คันทางที่ความลึก 0.3 เมตร จากผิวทาง”



2.2 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง

ที่ปรึกษาต้องแปลผลข้อมูลจากโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System, TPMS) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำแผนงานบำรุงรักษาทางหลวง ซึ่งเหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียดประกอบด้วย

2.2.1 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายงานการจัดสรรงบประมาณบำรุงทางในระยะยาว โดยใช้ระบบ TPMS เพื่อใช้ในการวางแผนในระยะเวลา 3 ปี โดยในการวิเคราะห์ต้องประกอบด้วย การจัดสรรงบประมาณแบบไม่จำกัดงบประมาณ การจัดสรรงบประมาณแบบจำกัดงบประมาณ และแบบกำหนดดัชนีค่า IRI ไม่เกินค่าที่กำหนด โดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผลในมิติที่หลากหลาย เช่น แยกตามหน่วยงาน รหัสงาน แขนงทางหลวง เป็นต้น

แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์หรือแผนงานระยะยาวซึ่งจะใช้ Optimization Model ร่วมกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพ และแบบจำลองหลังการซ่อมเพื่อวิเคราะห์งบประมาณ (Budget) ค่าซ่อมบำรุง (Maintenance Cost) และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (Road User Cost) กรณีซ่อมบำรุงปกติและกรณีที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีอื่น ๆ ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Optimization ซึ่งจากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ จำเป็นต้องใช้แบบจำลองต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ระยะยาวเป็นผลให้ไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผิวทางประเภทคอนกรีตได้ ทั้งนี้แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์สามารถกระทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. กรณีไม่จำกัดงบประมาณ (Unlimited Budget)
 - Objective Function: Maximize Total Benefit
2. กรณีจำกัดงบประมาณในแต่ละปี (Budget Constraint)
 - Objective Function: Maximize Total Benefit เน้นการทำให้เกิดผลตอบแทนต่อผู้ใช้ทางสูงสุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เหมาะสมสำหรับกรณีที่ต้องการเน้นความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์
 - Objective Function: Minimize Average IRI เน้นการทำให้ค่าเฉลี่ย IRI ทั้งโครงข่ายของกรมทางหลวงต่ำสุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เหมาะสมสำหรับการซ่อมบำรุงถนน ทั้งสายหลักและสายรอง โดยไม่คำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
3. กรณีกำหนดค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี (IRI Constraint)
 - Objective Function: Maximize Total Benefit เน้นการคัดเลือกการซ่อมบำรุงสายทางที่ให้ผลประโยชน์ต่อผู้ใช้ทางสูงสุด
 - Objective Function: Minimize Total Cost เน้นการซ่อมบำรุงสายทาง เพื่อให้ได้ค่า IRI เฉลี่ยทั้งโครงข่ายตามเป้าหมาย และใช้งบประมาณน้อยที่สุด



2.2.2 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี

ที่ปรึกษาจะต้องแปลผลข้อมูลเพื่อจัดทำรายงาน วิธีซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางและคอนกรีต จากข้อมูลการสำรวจในโครงการนี้ และข้อมูลสภาพความเสียหายของทางหลวงในฐานข้อมูล Roadnet ด้วยโปรแกรม TPMS พร้อมจัดทำแผนงานบำรุงทางประจำปีในระดับความละเอียด ทุก 1 กิโลเมตร (แบบไม่จำกัดงบประมาณ) โดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผล ในมิติที่หลากหลาย เช่น แยกตามหน่วยงาน รหัสงาน แขวงทางหลวง เป็นต้น

ที่ปรึกษาจะต้องแปลผลข้อมูลเพื่อจัดทำรายงาน วิธีซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางและคอนกรีต จากข้อมูลการสำรวจในโครงการนี้ และข้อมูลสภาพความเสียหายของทางหลวงในฐานข้อมูล Roadnet ด้วยโปรแกรม TPMS พร้อมจัดทำแผนงานบำรุงทางประจำปีในระดับความละเอียด ทุก 1 กิโลเมตร (แบบไม่จำกัดงบประมาณ) โดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผลในมิติ ที่หลากหลาย เช่น แยกตามหน่วยงาน รหัสงาน จังหวัด เป็นต้น

ในปัจจุบันระบบ TPMS ของกรมทางหลวงได้มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการวิเคราะห์ งบประมาณ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการปรับปรุงระบบ TPMS ในการวิเคราะห์ ประจำปี มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) สามารถการเลือกข้อมูลสายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้สะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้น โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกลักษณะของสายทางที่จะทำการวิเคราะห์ คือ วิเคราะห์ ถนนลาดยาง หรือคอนกรีต กำหนดช่วงค่า IRI ของสายทางรวมถึงปริมาณจราจร เพื่อคัดกรองสายทางที่ต้องการ
- 2) สามารถกำหนดวงเงินแยกในแต่ละกิจกรรมซ่อมบำรุงตามที่กรมทางหลวงกำหนด เพื่อทำการวิเคราะห์
- 3) สามารถกำหนดวงเงินแยกในแต่ละหน่วยงาน เพื่อเป็นการกระจายงบประมาณไปยังแต่ละ หน่วยงาน ก่อนทำการวิเคราะห์
- 4) สามารถกำหนดวงเงินกรณีไม่จำกัดงบประมาณ (Unlimited Budget)
- 5) สามารถกำหนดวงเงินกรณีจำกัดงบประมาณรวมในแต่ละปี (Budget Constraint)
- 6) สามารถกำหนดกรณีกำหนดค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี (IRI Constraint)

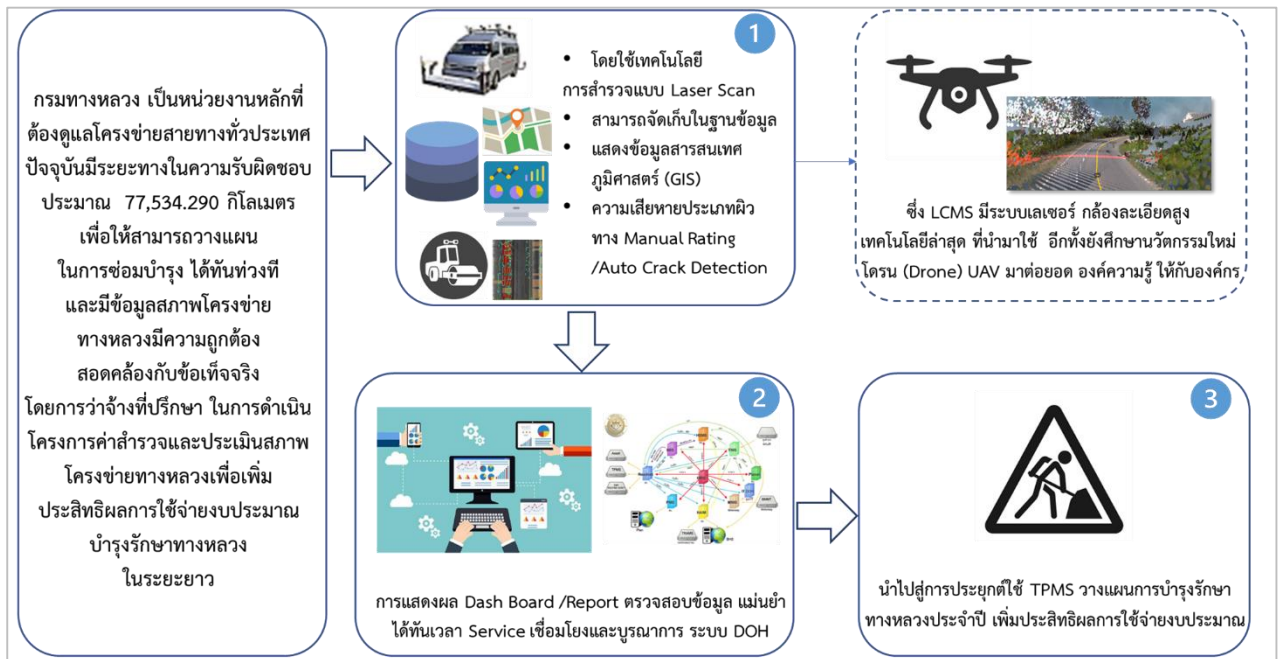
โดยที่ปรึกษาจะทำการวิเคราะห์และจัดทำจัดทำรายงานแผนบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System, TPMS) ทั้งแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี และแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ เพื่อนำส่งตามความต้องการของสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง



2.3 การจัดทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ

ที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำร่าง Story Board (ลำดับเนื้อหา) ในการจัดทำวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการฯ แสดงดังรูปที่ 2-72 โดยลำดับการนำเสนอ 3 เนื้อหา ได้แก่

1. นำเสนอเทคโนโลยีการสำรวจด้วย Laser Profile และระบบ LCMS
2. การแสดงผลข้อมูลสำรวจบนระบบ Roadnet
3. การแสดงผลการวิเคราะห์จากระบบ TPMS



รูปที่ 2-72 ร่างลำดับเนื้อหาวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการ

รายละเอียด	ม.ย.				ก.ค.				ส.ค.				ก.ย.			
	Interim				PG2				Draft				Final			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ประชุมตีกรอบร่างเนื้อหาวิดีโอ SCRIPT และรวมรวบ (ภายในทีม)																
ดำเนินการนำเสนอ ร่างเนื้อหาวิดีโอ SCRIPT ต่อฝ่ายเลขานุการโครงการ																
Footage Frame เนื้อหาวิดีโอ อุปกรณ์สำรวจ ,รายละเอียดระบบ ,SCRIPT																
นำส่ง Footage เนื้อหาวิดีโอ SCRIPT ให้ผู้สร้างวิดีโอประชาสัมพันธ์																
ดำเนินการสร้างวิดีโอประชาสัมพันธ์																
ดำเนินการนำเสนอต่อฝ่ายเลขานุการโครงการฯ																
ดำเนินอัปโหลดตามแพลตฟอร์ม Social media																

รูปที่ 2-73 แผนการดำเนินงานจัดทำสื่อวิดีโอประชาสัมพันธ์

3.1 พื้นที่สำรวจ

ในการสำรวจและวิเคราะห์สภาพทางชนิดผิวลาดยางและผิวคอนกรีตนั้น ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง ซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนงานบำรุงทางที่เหมาะสมและมีความถูกต้องนั้น ต้องมีการวางแผนงานให้เหมาะสมและเป็นไปตามเกณฑ์ที่ทางคณะกรรมการกำหนดไว้ ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงได้พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการจัดเก็บและสำรวจข้อมูลความเสียหายบนถนนผิวลาดยางและผิวคอนกรีต โดยเลือกใช้ยานพาหนะพร้อมติดตั้งอุปกรณ์เลเซอร์และกล้องถ่ายภาพที่มีความคมชัด ทำการบันทึกข้อมูลในการสำรวจ พร้อมทำการประมวลผลข้อมูลความเสียหายชนิดต่าง ๆ และนำเข้าสู่ระบบ จากระยะทางสำรวจทั้งหมด 67,683.479 กิโลเมตร ตามรอบการสำรวจ 3 ปี ที่ปรึกษาได้ทำการคัดเลือกสายทางที่จะทำการสำรวจตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนดไว้ เป็นระยะทางสำรวจทั้งหมด 29,579.408 กิโลเมตร โดยพื้นที่ทำการสำรวจนั้นจะครอบคลุมพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 สำนักงานทั่วประเทศ ทั้งนี้ การสำรวจจะไม่รวมถึงพื้นที่ใน 3 จังหวัดชายแดนใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา และจังหวัดนราธิวาส รวมถึง 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภोजะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ ตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ แสดงดังตารางที่ 3-1

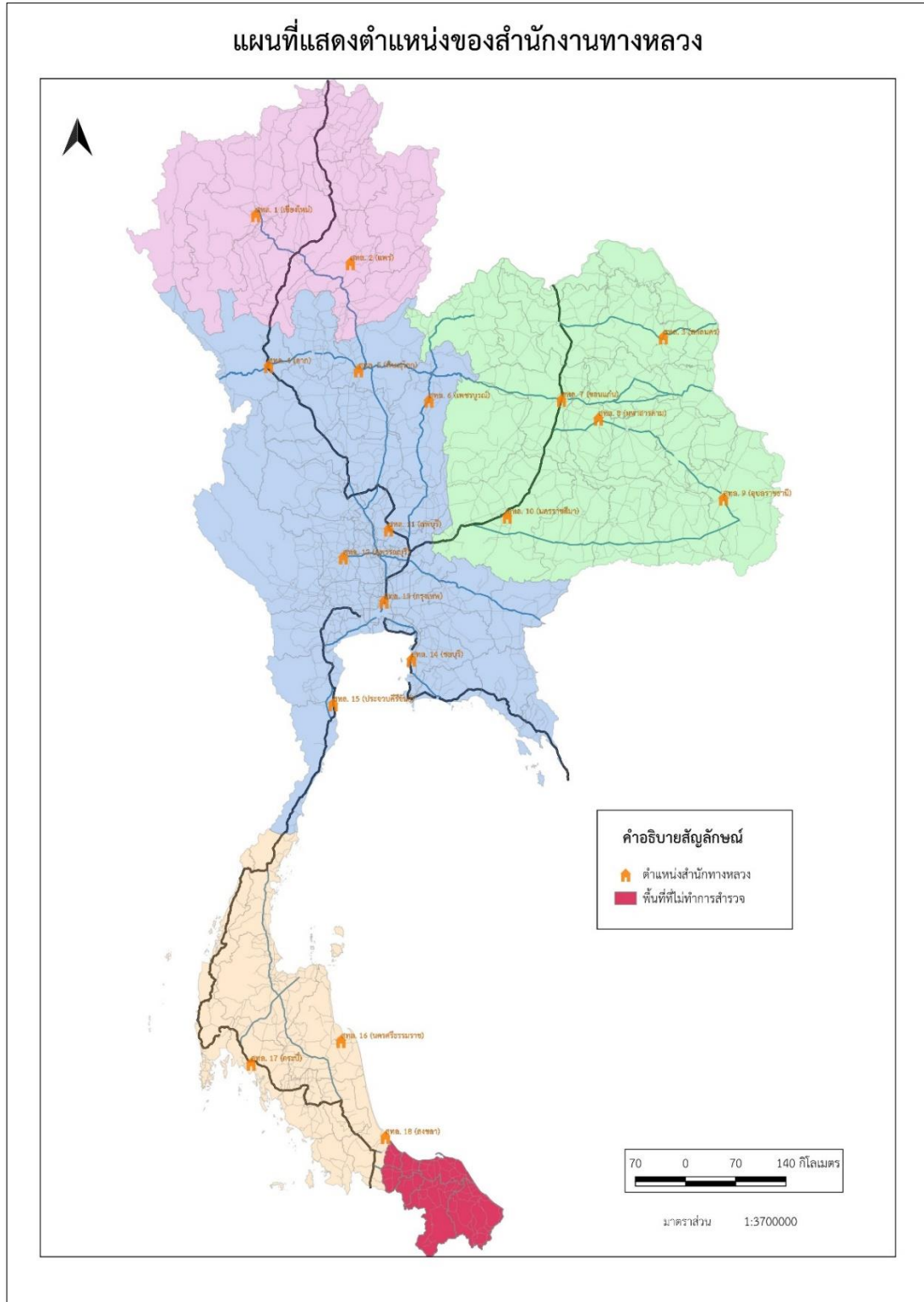


ตารางที่ 3-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ

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	2,017.655
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



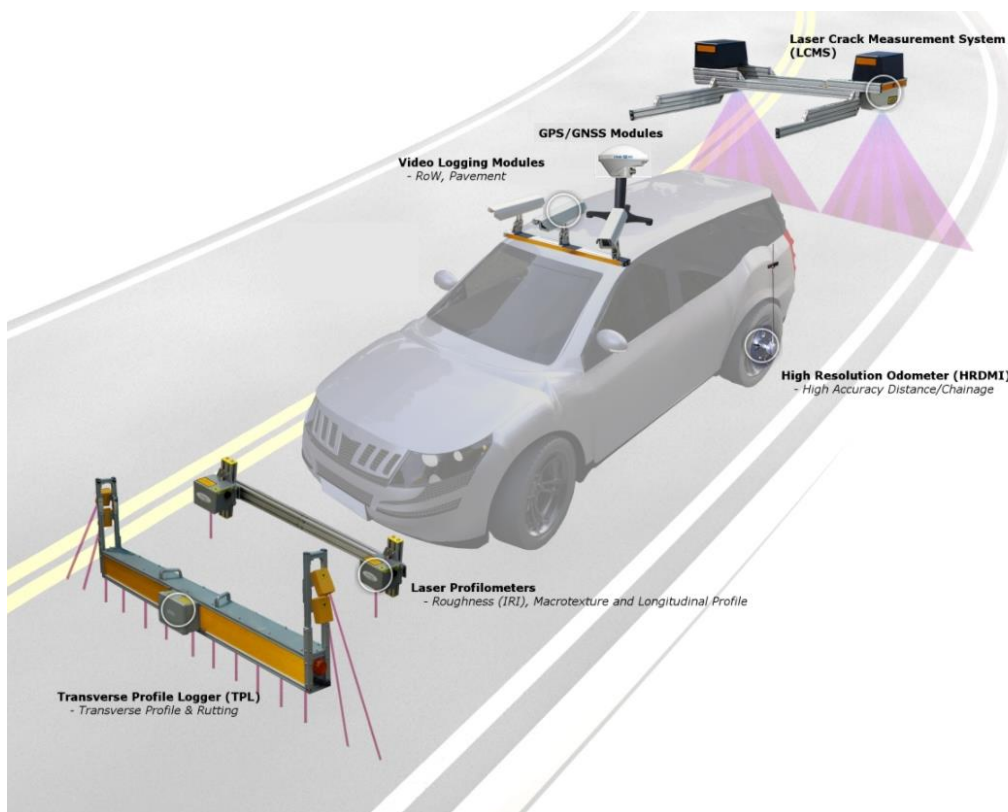
รูปที่ 3-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง



3.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง

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

โดยที่ปรึกษาได้ทำการจัดหาชุดอุปกรณ์สำรวจแบบติดตั้งบนยานพาหนะ เพื่อใช้ในการสำรวจ และจัดทำข้อมูลในโครงการ สำหรับเครื่องมือเพื่อทำการสำรวจให้ข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทางนั้นจะมีการติดตั้งเลเซอร์เฉพาะที่มีความเหมาะสมในการสำรวจข้อมูล ทั้งนี้คณะที่ปรึกษาได้คัดเลือกชนิดของอุปกรณ์ที่มีการใช้งานแล้วในต่างประเทศเป็นที่ยอมรับ และมีมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นสากล โดยชุดอุปกรณ์สำรวจที่ติดตั้งสามารถสำรวจข้อมูลบนถนนของผู้ว่าจ้างได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถสำรวจสภาพความเสียหายของผิวทางที่ช่วงความเร็วที่เหมาะสมตามมาตรฐาน 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 3-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ



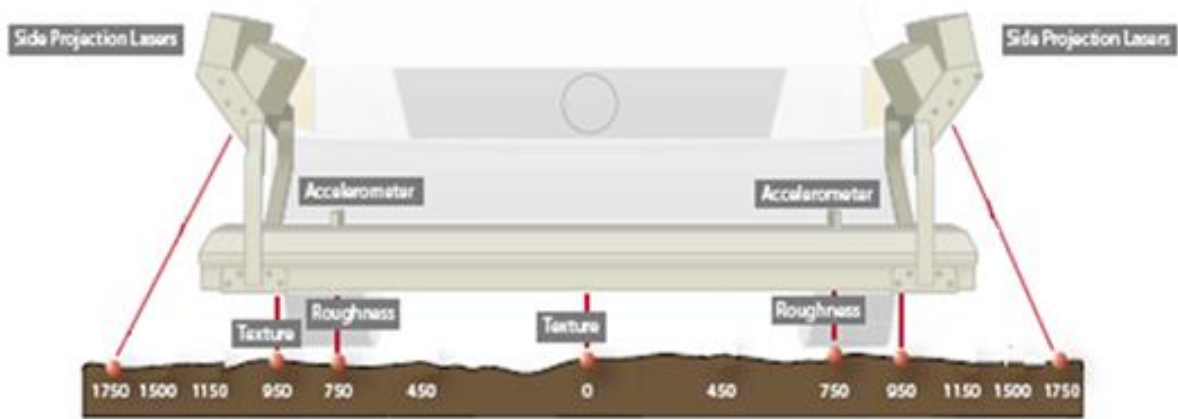
Equipment Classification	Precision (1 SD)	Bias
1	0.38 mm (0.015 in.)	1.25 mm (0.050 in.)
2	0.76 mm (0.030 in.)	2.50 mm (0.100 in.)
3	2.50 mm (0.100 in.)	6.25 mm (0.250 in.)

รูปที่ 3-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับชั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำและความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโปรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950

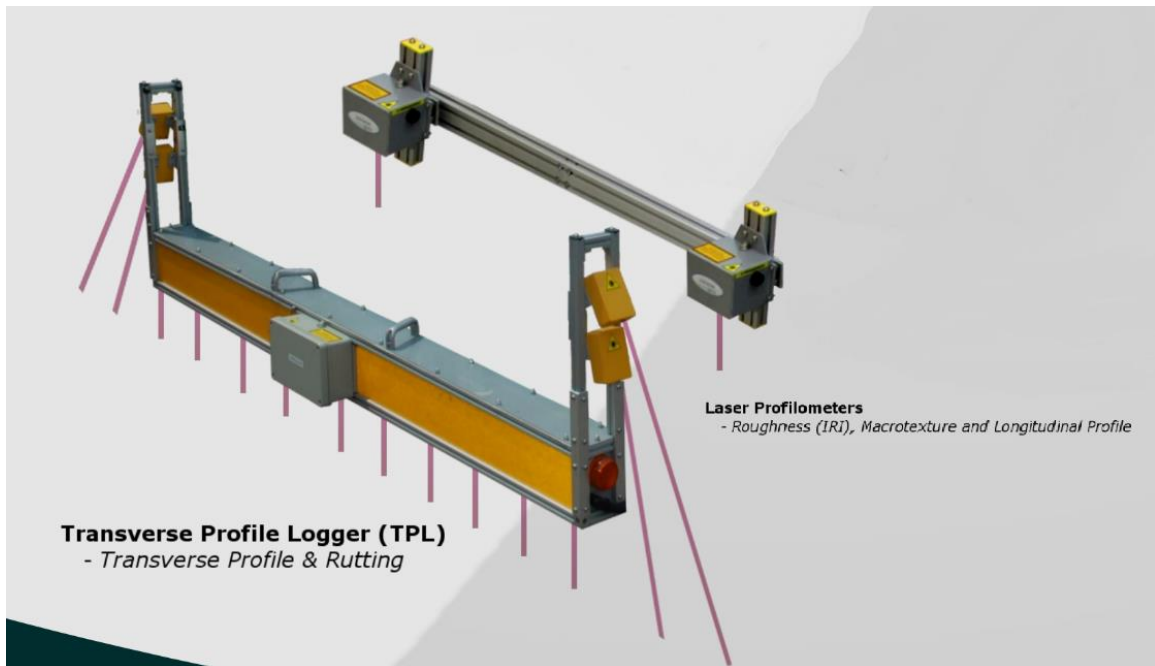
3.2.1 มีชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่สามารถตรวจวัดสภาพผิวทางได้ทุก 25 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ทำการบอกพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS (Differential Global Positioning System) ทศนิยมอย่างน้อย 6 ตำแหน่ง บนพื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84 และค่าพิกัดที่ได้สามารถนำไปคำนวณเป็นระยะทางตามสายทางได้ 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) และ สามารถตรวจวัดข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (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

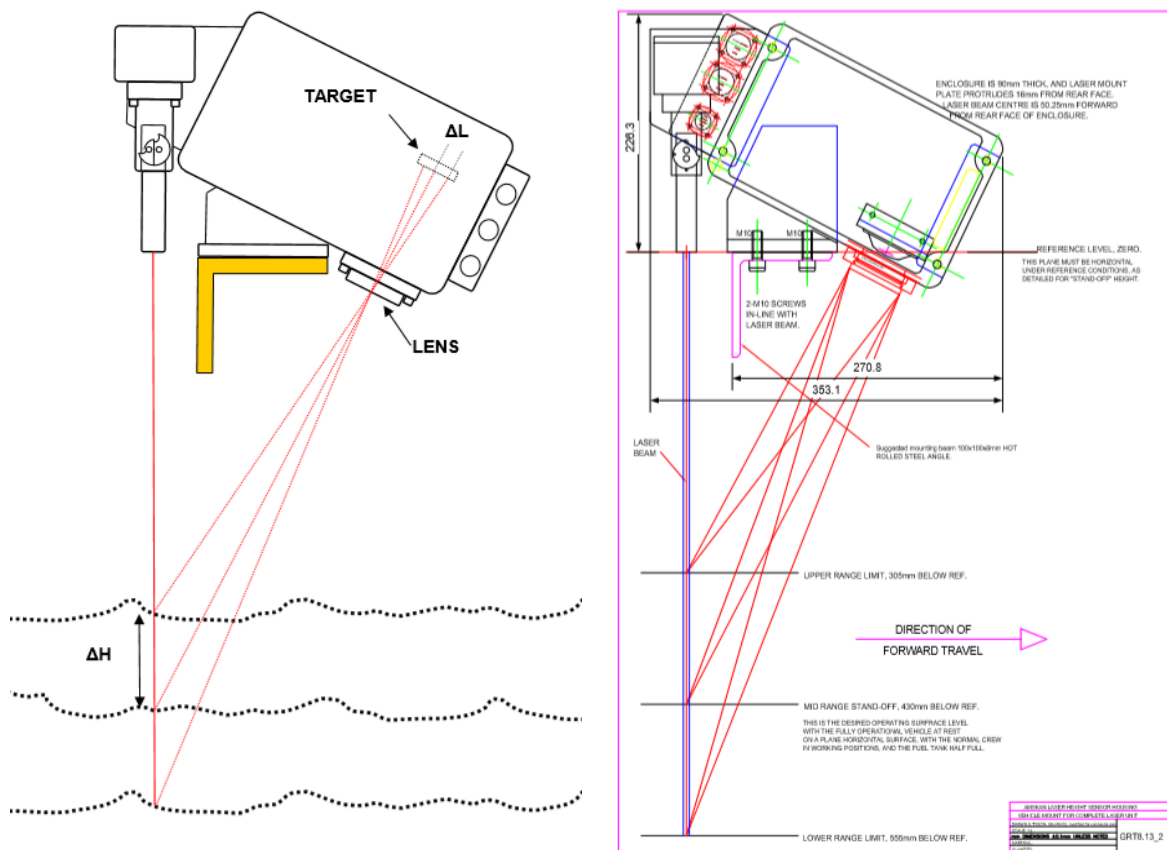
เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profilometer) เป็นชุดเครื่องมือที่ประกอบด้วยชุดเลเซอร์หลายจำนวนประกอบไว้ด้วยกัน ทำการติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าของยานพาหนะสำรวจบนโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (Rigid) เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและมีค่าที่ตรวจวัดได้สัมพันธ์กันจากทุกอุปกรณ์เซนเซอร์ โดยมีระยะการติดตั้งเพื่อตรวจวัด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



รูปที่ 3-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

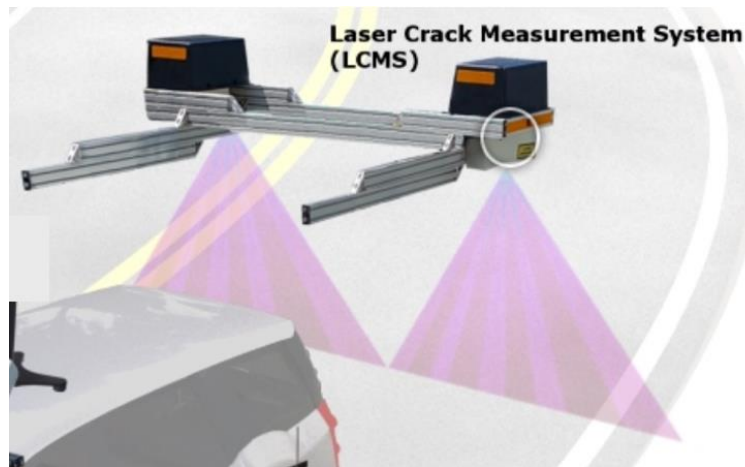
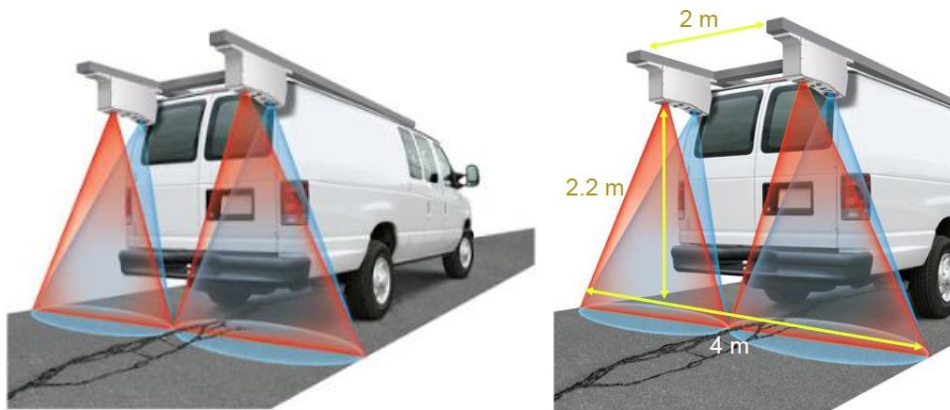


รูปที่ 3-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 3-6 แสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

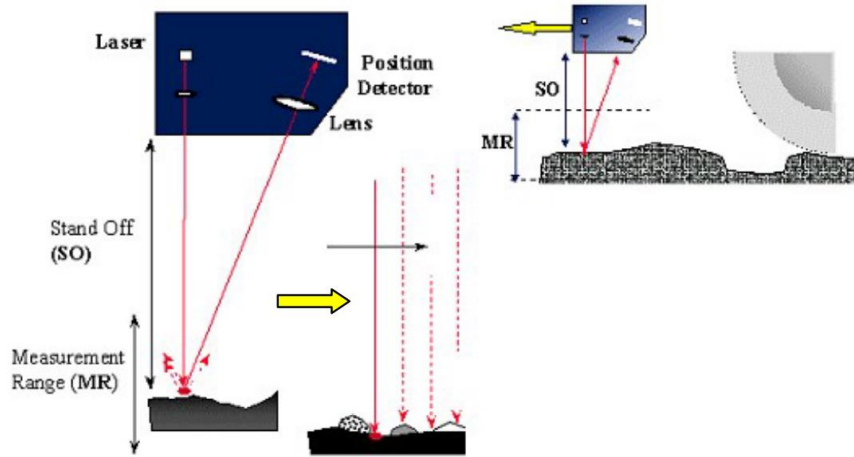
Laser Crack Measurement System (LCMS) เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีความแม่นยำสูง โดยมีเลเซอร์ที่ตรวจวัดได้ 4,096 จุดสามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ความละเอียดสูง ซึ่งสามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์หาค่าความเสียหายต่าง ๆ ของผิวทาง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



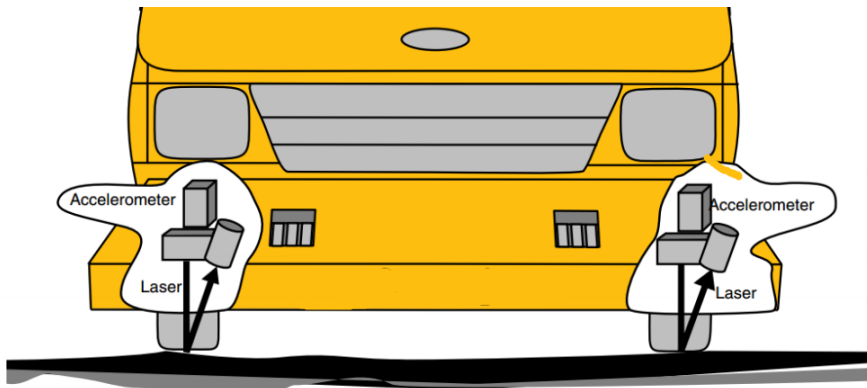
รูปที่ 3-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS)

โดยชุดเลเซอร์ทั้ง 2 ประเภทที่ได้กล่าวมา สามารถทำการตรวจวัดข้อมูลสภาพผิวทางที่สำคัญ 3 ตัว ด้วยกันคือ

1) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI ในหน่วย เมตร/กิโลเมตร) ตรวจวัดโดยใช้เลเซอร์จำนวน 2 หัว ติดตั้ง ณ ตำแหน่งของล้อกับแนวล้อของ ยานพาหนะ หรือที่ +/- 750 มิลลิเมตร ทางซ้ายและขวาจากแนวกึ่งกลาง โดยทำงานและวิเคราะห์ ค่าอย่างอิสระแยกกัน โดยค่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้ขึ้นต้นจะเป็นค่าระยะทางจากหัววัดของเลเซอร์ไปยัง ผิวทางซึ่งจะถูกคำนวณค่ารวมกับค่าความเร่งตามแนวแกนตั้งจากอุปกรณ์ Accelerometer ทำการ คำนวณปรับแก้ให้เป็นค่าระยะทางที่ถูกต้อง โดยผลลัพธ์จะได้เป็นค่าโพรไฟล์ของผิวทาง และทำการ สะสมอย่างต่อเนื่อง โดยทุกระยะทาง 25 มิลลิเมตร จะมีค่าการตรวจวัด 1 ค่า สะสมตลอดช่วงการ สำรวจทำให้สามารถคำนวณเป็นค่าความเรียบของผิวทาง โดยข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล ได้ข้อมูลจากอุปกรณ์วัดความเรียบจะมาแยกกันระหว่างเลเซอร์ทางฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จากนั้นจึงจะ นำไปคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

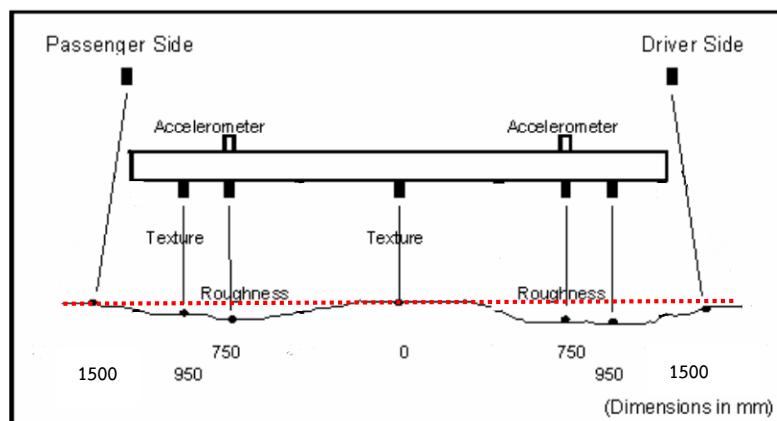


รูปที่ 3-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง



รูปที่ 3-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer
ติดตั้งที่ ระยะ +/- 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ

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

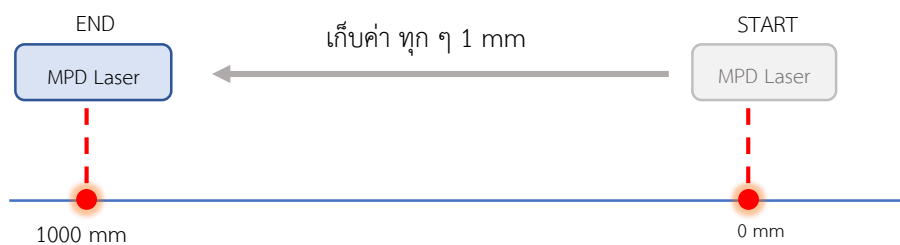


รูปที่ 3-10 การตรวจวัดความสึกกร่อนด้วยเลเซอร์ 7 หัว

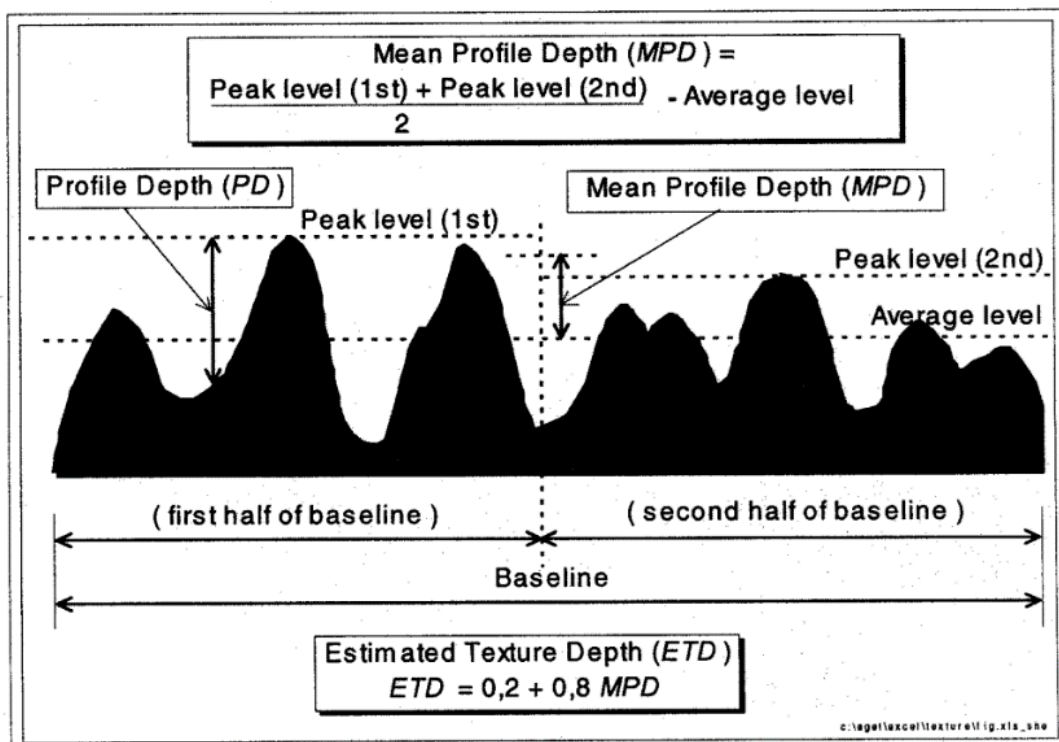


3) ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD หน่วยมิลลิเมตร) เป็นการตรวจวัดเพื่อใช้ประมาณค่าความผิดของผิวทางจากลักษณะของเนื้อผิวทาง (Pavement Texture) การตรวจวัดจะใช้เลเซอร์ความถี่สูง จำนวนอย่างน้อย 1 ตัว โดยจะติดตั้งที่ตำแหน่งเดียวกันกับเลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง หรือ IRI ที่ระยะ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

ซึ่งวิธีการคำนวณและตรวจสอบความถูกต้องของค่า MPD นั้น โปรแกรมประมวลผลสามารถที่จะประมวลผลละเอียดสูงสุดที่ 1 เมตร ดังนั้นเมื่อเก็บค่าทุก ๆ 1 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 1 เมตร ดังรูปที่ 3-11 โปรแกรมจะนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟ และคำนวณตามสูตรมาตรฐาน ดังรูปที่ 3-12 ตามลำดับ ซึ่งการสำรวจในรอบการสำรวจนี้ มีการประมวลผลที่ทุก ๆ 25 เมตร คือ การนำข้อมูลทีวิเคราะห์ได้ ทุก ๆ 1 เมตร มาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD

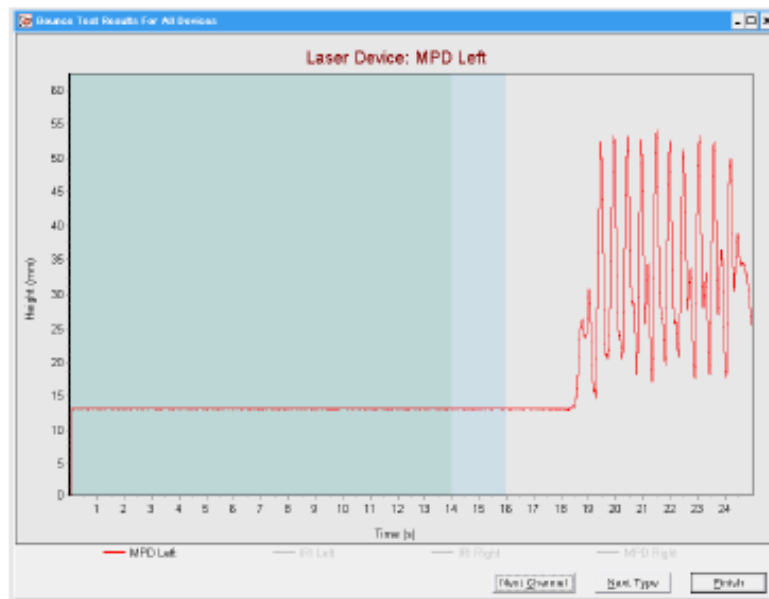


รูปที่ 3-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD

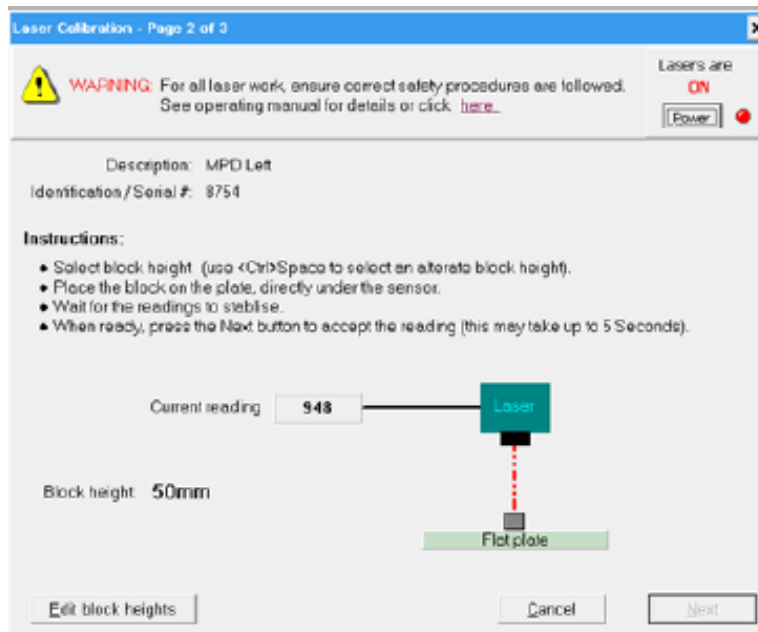


ในส่วนของการตรวจสอบว่าเครื่องมือตรวจวัดค่า Texture ทำงานเป็นปกติหรือไม่ สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทำ bounce test ซึ่งทางที่ปรึกษาจะพิจารณารูป raw laser signal ที่ได้จากเลเซอร์ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ทั้งนี้ การทำ bounce test นั้น พื้นฐานก็เพื่อที่จะตรวจสอบการทำงานในการวัดค่า IRI และ accelerometer ว่าทำงานได้ปกติหรือไม่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

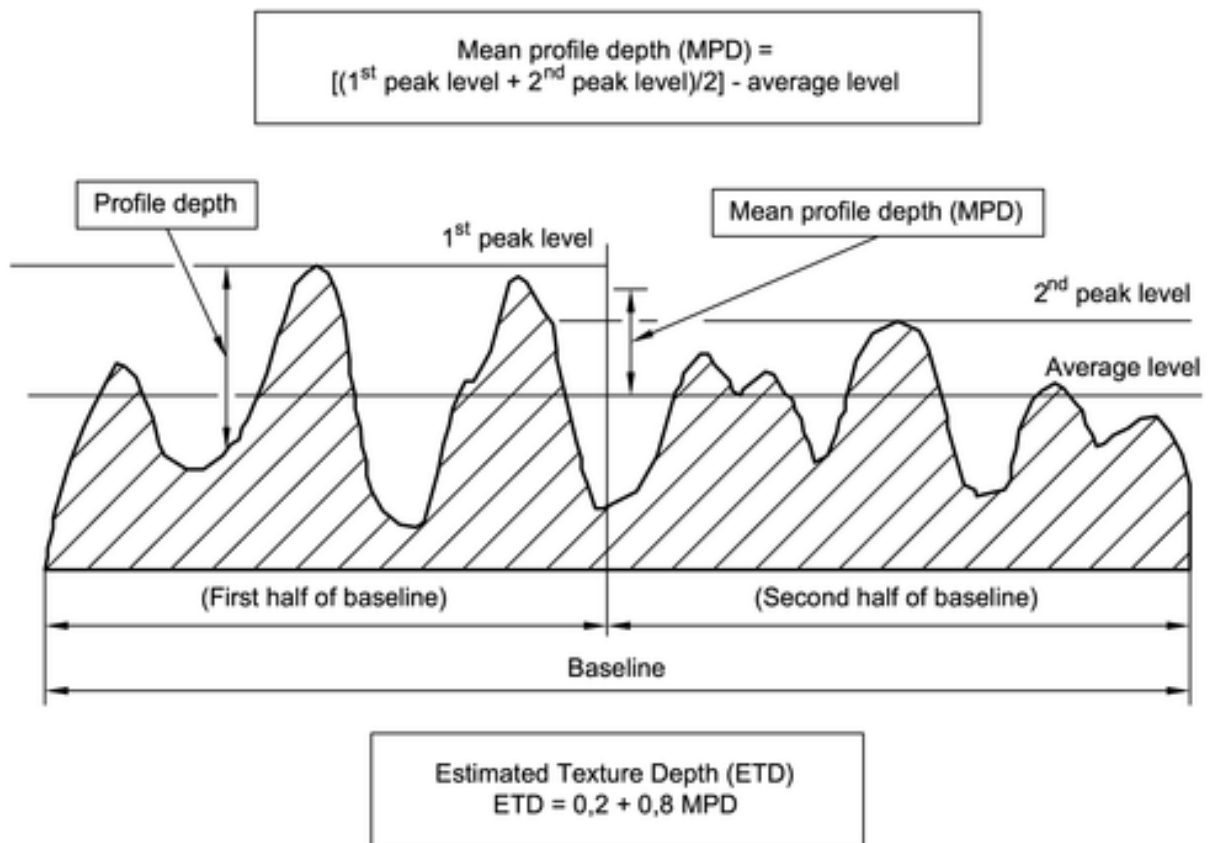
การทำ block calibration คือ การสอบเทียบการวัดค่าความสูงของเลเซอร์ให้ถูกต้อง โดยใช้ก้อนเหล็กขนาด 50 มิลลิเมตร ในการสอบเทียบ โดยการสอบเทียบวิธีนี้ควรทำเดือนละครั้ง



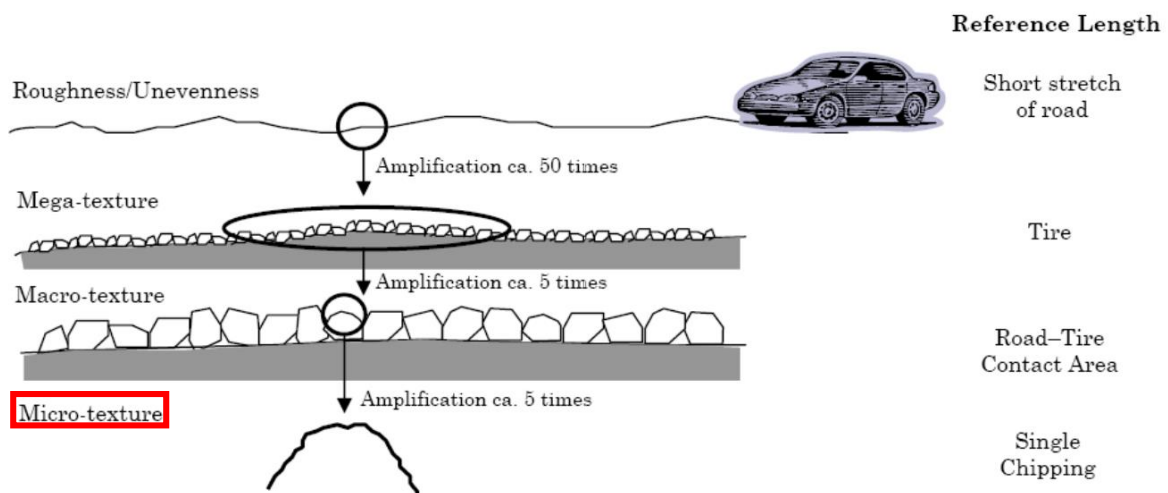
รูปที่ 3-13 กราฟแสดงค่าการ bounce test



รูปที่ 3-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration



รูปที่ 3-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser



รูปที่ 3-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความผิดของผิวทางในระดับ 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 ดังรูปที่ 3-17 และ รูปที่ 3-18 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, mm³

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

|
Digital Sand Patch Method

V = air void-content volume, mm³

A = road surface, mm

รูปที่ 3-17 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 3-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15



ตารางที่ 3-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	15 ชุด	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 25 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิวทาง	1 มม. สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 100 กม./ชม.	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 ASTM 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 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2.2 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	25 กก. (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ



ตารางที่ 3-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	7 ชุด	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 1 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิวทาง	1 มม. สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 100 กม./ชม.	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 ASTM 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 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	30 กก. (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ



ตารางที่ 3-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนจุดเลเซอร์	2 ชุด กว้าง 4 เมตรจำนวนเลเซอร์ที่วัดได้จำนวน 4,096 จุด ตามแนวขวาง	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 5 มม.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล Texture ของผิวทาง	ทุกระยะ 1 มม. ตามแนวขวางถนน	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	100 กม/ชม.	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, AUSTRROADS 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 มม. ตามยาวถนน ทุก ๆ 5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ตรวจความเสียหายอัตโนมัติ	สามารถตรวจรอยแตก (Crack) ได้ระดับ 1 มม.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ



3.2.2 มีระบบประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่งและขนาดของความเสียหายของผิวทาง โดยประมวลผลแบบอัตโนมัติได้ (Automatic Cracking Detection) จากข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์ หรือ มีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ โดยประมวลผลจากโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายจากภาพถ่าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

Laser Crack Measurement System (LCMS) เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีความแม่นยำสูงมาก สามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ความละเอียดสูง อุปกรณ์เลเซอร์สามารถสร้างภาพถ่ายผิวทาง และมีระบบประมวลผลขนาดและชนิดของความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Cracking Detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) สามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 4.0 เมตร หรือ 1 ช่องจราจร โดยมีรายละเอียดของกล้องแสดงดังตารางที่ 3-5



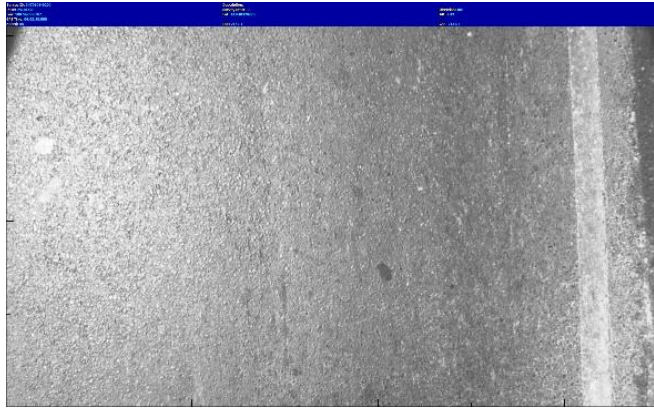
รูปที่ 3-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)



ตารางที่ 3-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS

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

กล้องบันทึกภาพผิวทาง เป็นกล้องบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูง สามารถเก็บภาพได้คมชัด ในสภาวะแสงน้อยถึงน้อยมากได้ ใช้เพื่อบันทึกภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางครอบคลุม 1 ช่องจราจร หรือ 3.5 เมตร เพื่อเก็บรายละเอียดลักษณะความเสียหายของถนน ขนาด และประเภทของการแตกร้าว และยังสามารถนำไปประมวลผลเพิ่มเติมเพื่อทำการลบแสงและเงา ในกรณีที่เกิดจากการบดบังของวัตถุหรือตัวรถ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินความเสียหายของผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 3-20 โดยมีรายละเอียดของกล้อง ดังตารางที่ 3-6 และ ตารางที่ 3-7



รูปที่ 3-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง



ตารางที่ 3-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง 1 (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 8bit	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน .ชม./กม 80	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ภาพชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 3-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง 1 (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 8bit	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 100 กม.ชม./	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ



3.2.3 มีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพถนนและสองข้างทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ ที่สามารถนำมาประมวลผลข้อมูลเป็นภาพเคลื่อนไหวได้

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



รูปที่ 3-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง



ตารางที่ 3-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนน ในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า เมตร ด้วยเครื่องมือวัด 1) ระยะทางDMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE)	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600 x 1,200 พิกเซล)Pixels), สามารถปรับความละเอียดได้ สูงสุด 3,200 x 2,200 พิกเซล)Pixels)	คุณสมบัติดีกว่า ข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 3-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ	สามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพได้	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของ โครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE) หรือ USB3	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
ขนาดของภาพ	1,600x1,200 Pixels	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของ โครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม (2 – 10 ม.)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด JPG หรือ AVI	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของ โครงการ



ตารางที่ 3-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนน ในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า เมตร ด้วยเครื่องมือวัด 1) ระยะทางDMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet 1 Gb/sec	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600 x 1,200 พิกเซล)Pixels)	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของ โครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของ โครงการ

3.2.4 มีชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากระบบล้อ โดยระยะทางจากอุปกรณ์นี้จะทำงานสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ

ทางที่ปรึกษาจะจัดชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากระบบล้อ โดยการวัดระยะทางจากอุปกรณ์นี้สามารถทำงานร่วมกันหรือสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังนี้

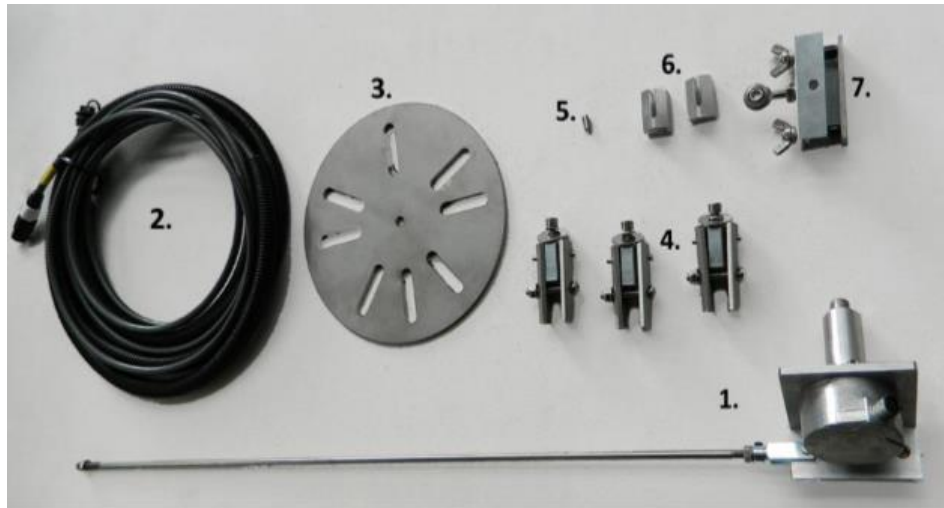
- เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระดับผิวทางแบบเลเซอร์เนื่องจากการสั่นของรถสำรวจ



รูปที่ 3-22 เครื่องมือวัดความเร่ง



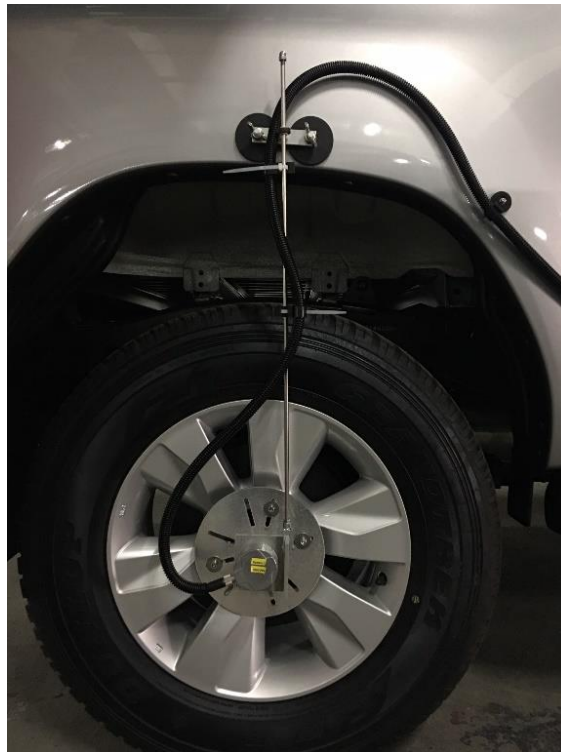
- เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument : DMI) เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งกับล้อรถสำรวจเพื่อตรวจวัดระยะทางสำรวจโดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลส์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจ



รูปที่ 3-23 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง

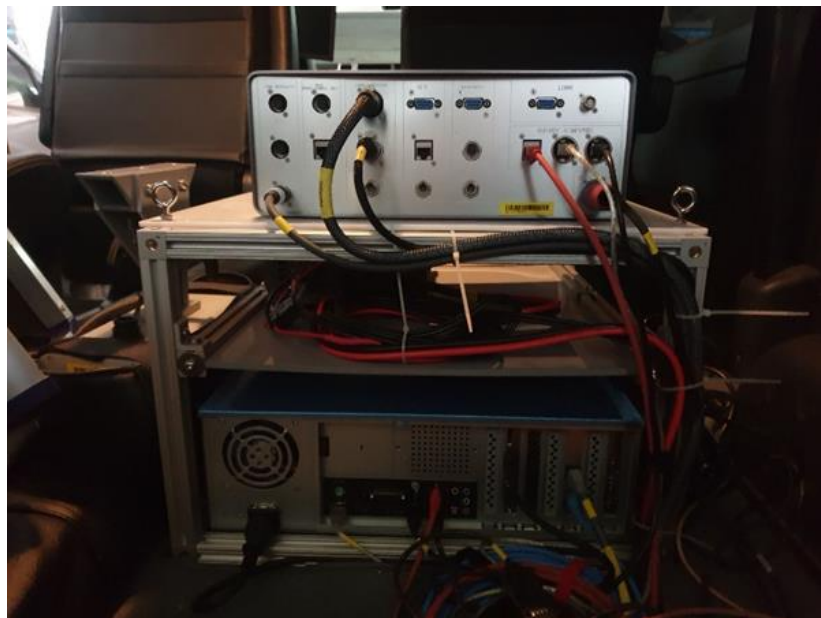
ตารางที่ 3-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง

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

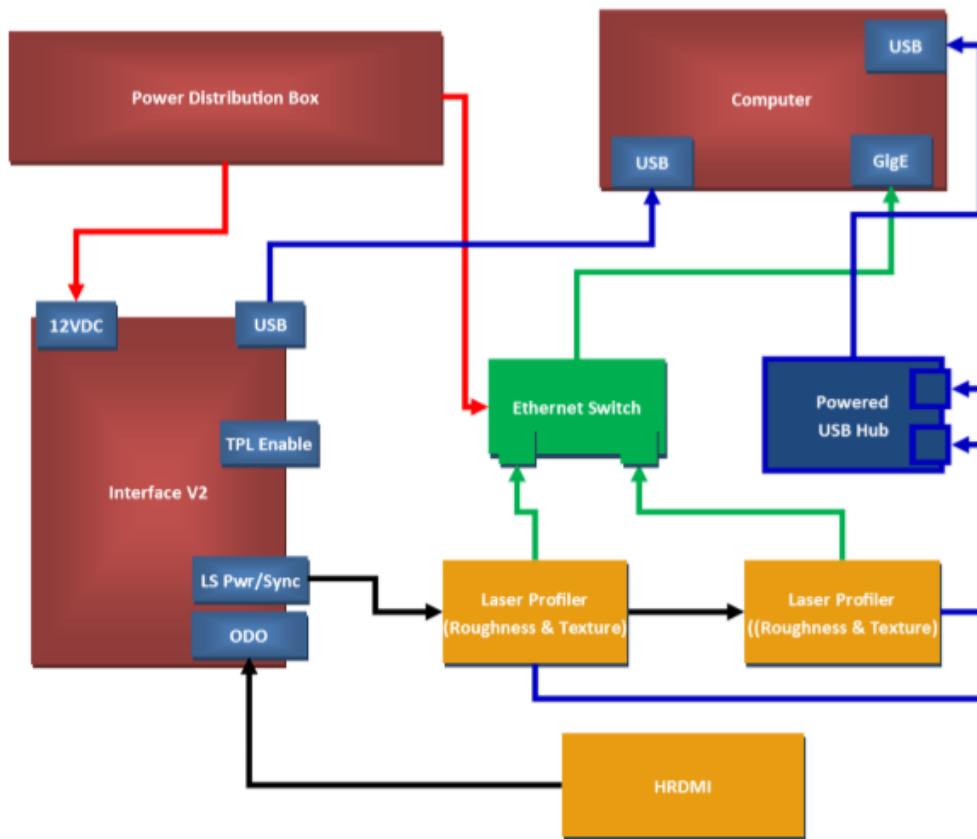


รูปที่ 3-24 เครื่องวัดระยะทาง

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



รูปที่ 3-25 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3-26 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล

- การติดตั้งเครื่องมือ จะทำการติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวมาข้างต้นเข้ากับรถสำรวจสภาพทาง (Road Condition Survey Vehicle : RCSV)



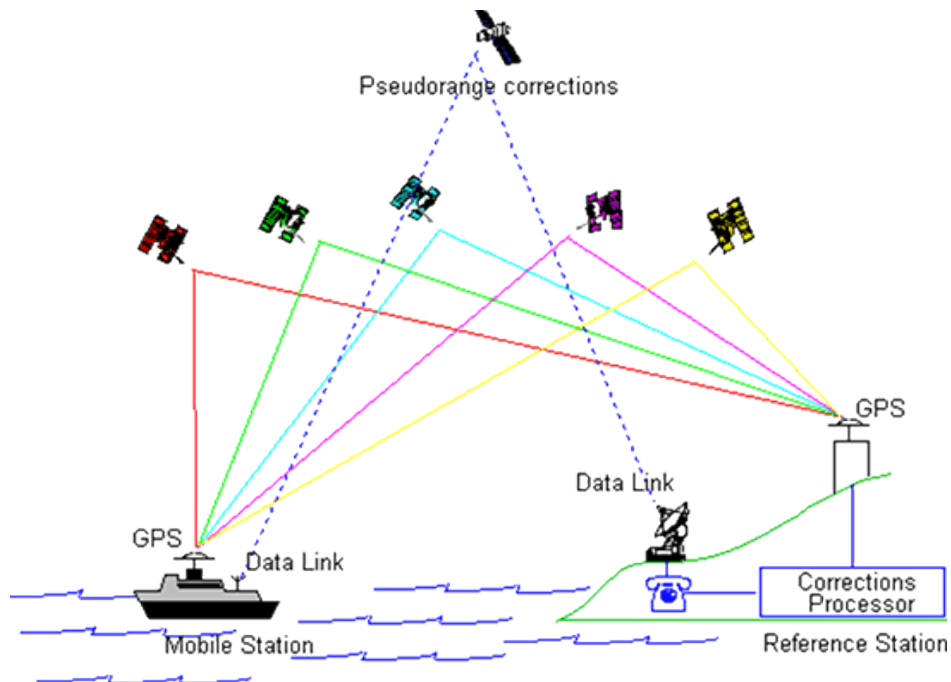
รูปที่ 3-27 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ

3.2.5 มีชุดอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS พร้อมความสามารถในการรับค่าปรับแก้เพื่อให้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งมีค่าความละเอียดอย่างน้อยในระดับ 1 เมตร จำนวน 1 ชุด

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GNSS) พร้อมรับสัญญาณค่าพิกัดปรับแก้ (Differentials Global Positioning System : DGPS) คือ เครื่องมือที่ใช้ระบุตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะ ที่ทำการสำรวจข้อมูล โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายในรถจะแสดงค่าสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ทำการบันทึกซึ่งได้พิกัดตำแหน่งจากอุปกรณ์ GPS/GNSS ชนิด DGPS นั้นเอง โดยสามารถแสดงพิกัดทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง โดยอ้างอิงจากสัญญาณดาวเทียม (GPS Satellite) และสัญญาณค่าแก้ Differential Correction จากผู้ให้บริการ และรายละเอียดของเครื่องมือ ดังตารางที่ 3-12



รูปที่ 3-28 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม



รูปที่ 3-29 หลักการทำงานของารับพิกัดและค่าแก้ DGPS

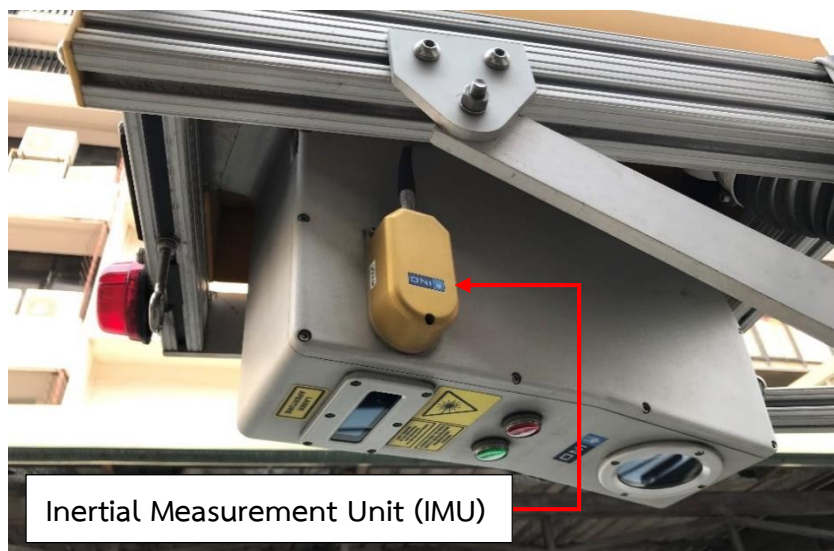


ตารางที่ 3-12 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS)

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

3.2.6 มีชุดอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric)

ชุดอุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Road Geometry) คือ Inertial Measurement Unit (IMU) ที่ประกอบด้วย Three Axis Accelerometers และ Gyroscopes ซึ่งจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ทำให้สามารถคำนวณและรายงานผลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) ได้



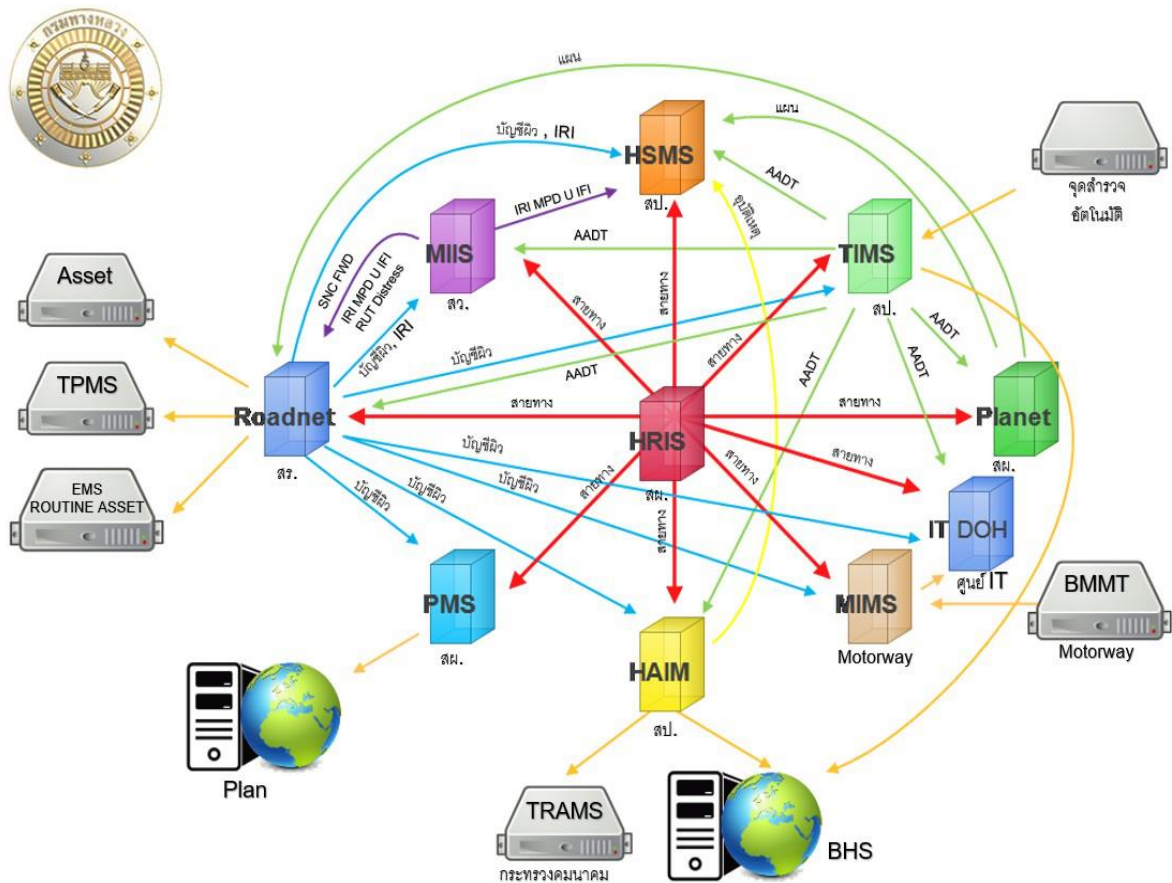
รูปที่ 3-30 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)



3.3 การสำรวจสภาพทาง

3.3.1 จัดทำแผนการสำรวจและตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

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



รูปที่ 3-31 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง



ปีงบประมาณที่เสนอไว้มีความต้องการ : 2560
ปีงบประมาณที่คิดตามผลการโครงการก่อสร้าง : 2559

ปัญหาความต้องการงบประมาณ : 2580

- เพิ่มบัญชี ความต้องการงบประมาณ
- สรุปบัญชี ความต้องการงบประมาณ 5 แผน
- จัดลำดับความสำคัญ 0 แผน
- ค้นหา แผนงานในอดีต
- ค้นหาแผนงานเข้าชื่อ/ติดประทับผลงาน

> บัญชีแผนงาน : 2559
 > สถานะโครงการก่อสร้าง : 2559
 > พิมพ์รายงาน
 > แผนที่
 > โครงการใหญ่

รูปที่ 3-32 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจากระบบ Plannet

Deflection IRI V. Inspection Skid Thickness โหลดได้ร้อยละ

IRI

ปีงบประมาณ : 2008 - ปีงบประมาณ : 1 ต.ค. 2008 - สถิติ

สถานี : 1 กม. 2008 สถานี : 6 สถานี 2008 15.0000 กม. road 1000m Laser

ค่า IRI 5 ม. 1 ม.

สถานี	IRI	RUT	MPD
0+000 - 0+100	2.778	1.375	1.077
1+000 - 2+000	2.856	1.386	0.965
2+000 - 3+000	2.863	0.924	0.888

ค่า IRI 5 ม. 25 ม.

สถานี	IRI	RUT	MPD
0+000 - 0+205	3.700	2.988	1.204

รูปที่ 3-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจากระบบ MIIS

HRIS Highway Registration Information System

สำนักแผนงาน BUREAU OF PLANNING

จำนวนถนน 1,526 กิโลเมตร 2,922 กิโลเมตร 51,799,601 กิโลเมตร 19 พ.ค. 60

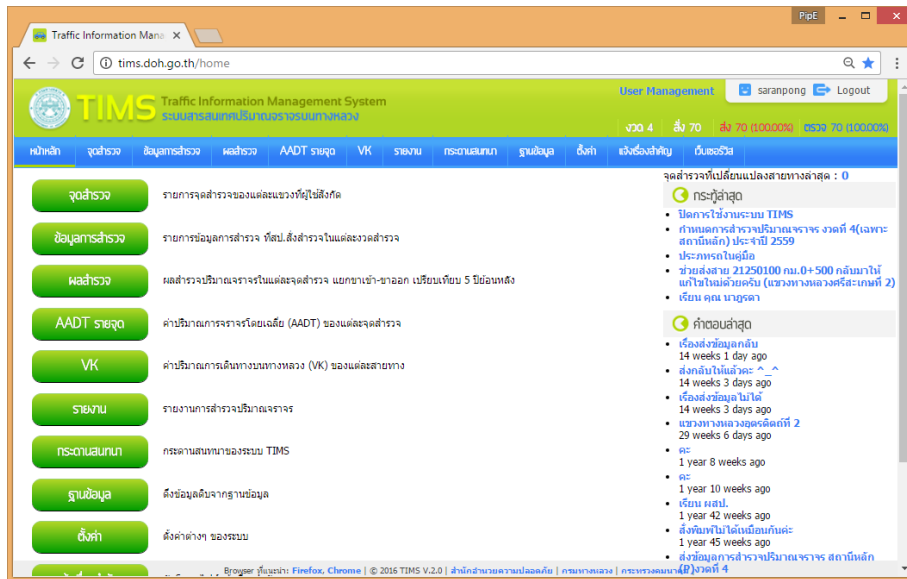
ค้นหาหลัก ทางหลวง อินเทอร์เน็ต รายงาน แผนที่ เว็บไซต์ ติดต่อ จัดการข้อมูล

ค้นหาด้วย

ค้นหา

หมายเลข / ตอน	ชื่อสายทาง / ตอน	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)
ถนนสายหลัก - สท.ที่ 11 (สายคู่)				
0801	ท่าช้างหนองเขม - บ้านพร้าว	305+578	329+576	23.998
0802	บ้านพร้าว - เขาค้อวังค้อ	329+576	342+456	12.880
0803	เขาค้อวังค้อ - วังไผ่	342+456	346+576	4.120
0804	วังไผ่ - บ้านเขาน้อย	346+576	386+176	39.600
ถนนสายรอง - สท.ที่ 4 (สาย)				
0901	บ้านเขาน้อย - บ้านดง	386+176	438+576	52.400
0902	บ้านดง - นนทบุรี	438+576	458+419	19.843
0903	นนทบุรี - วังเจ้า	458+419	492+631	34.212
ถนนสายที่ 1 - สท.ที่ 4 (สาย)				
1002	ตาก - วัฒนาราม	524+941	533+617	8.676
1003	วัฒนาราม - แม่ฮ่องสอน	533+617	583+261	49.644
ถนนสายที่ 1 - สท.ที่ 1 (เชิงไข่ม)				
1101	แม่ฮ่องสอน - คอนโง	583+261	617+076	33.815
1102	คอนโง - สบปราบ	617+076	640+617	23.541
1103	สบปราบ - เกาะคา	640+617	691+231	50.614
1104	เกาะคา - สดอด้	691+231	710+393	19.162
ถนนสายที่ 2 - สท.ที่ 1 (เชิงไข่ม)				
1201	สดอด้ - บ้านหวด	710+393	776+617	66.224
1202	บ้านหวด - เขาค้อ	776+617	814+777	38.160

รูปที่ 3-34 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงระบบ HRIS



รูปที่ 3-35 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

นอกจากการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลต่าง ๆ เพื่อประกอบการคัดเลือกสายทางแล้ว ในการจัดทำแผนการสำรวจและเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทางจะต้องวางแผนและเตรียมการอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและให้การสำรวจเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ที่ปรึกษาได้ทำการวางแผนการสำรวจโดยคัดเลือกสายทางเป็นระยะทางตามขอบเขตงานเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 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 อำเภोजะนะ และอำเภอบึงนาราง
 - 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 และแขวงทางหลวงในพื้นที่ที่สำรวจสภาพทางเป็น ผู้พิจารณา พร้อมติดต่อประสานงานสอบถามความพร้อมก่อนเข้าสำรวจพื้นที่จริง เพื่อสอบถามสายทางดังกล่าวมีการก่อสร้าง หรือขยายช่องจราจรหรือไม่



ตารางที่ 3-13 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565

digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (49,954.734)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทางสำรวจทั้งหมด (กม.) (67,683.479)	IRI น้อยกว่า 3.0	IRI มากกว่า เท่ากับ 3.0	ระยะทางตามเกณฑ์สำรวจปี2565 (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 (ลำดับชั้นทางหลวง ที่ 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 (ลำดับชั้นทางหลวง ที่ 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 (ลำดับชั้นทาง หลวงที่ 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 (ลำดับชั้นทาง หลวงที่ 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 3-14 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	2,073.077	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



3.3.2 นำเสนอแผนการสำรวจ ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร

ที่ปรึกษาได้ทำการนำเสนอแผนการสำรวจระยะทางสำรวจรวม 29,579.408 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ทั้งผิวลาดยาง และผิวคอนกรีต รวมไปถึงทางคู่ขนานของแต่ละสายทาง และจะทำการแบ่งระยะทางสำรวจตามประเภทชุดเครื่องมือเลเซอร์ โดยแบ่งออกเป็น

1. ชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง แบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) ทำการสำรวจข้อมูลสภาพทาง เป็นระยะทาง 15,108.708 กิโลเมตร โดยจะสำรวจสายทางประเภท

- ทางหลวงหมายเลข 1 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 2 หลัก, ทั้งหมดของแผนการสำรวจ ระยะทางสำรวจรวม 14,645.402 กิโลเมตร
- ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 ระยะทางสำรวจรวม 463.306 กิโลเมตร

2. ชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง (Laser Profilometer) ทำการสำรวจข้อมูลสภาพทาง เป็นระยะทาง 14,470.700 กิโลเมตร โดยจะสำรวจสายทางประเภท

- ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 ระยะทางสำรวจรวม 6,013.629 กิโลเมตร
- ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 2,3,4 ระยะทางสำรวจรวม 8,457.071 กิโลเมตร



ตารางที่ 3-15 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 3-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแนวทางหลวง) (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 3-15 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 (ลำน้ำราชมณี)	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 (อุทอง)	-	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



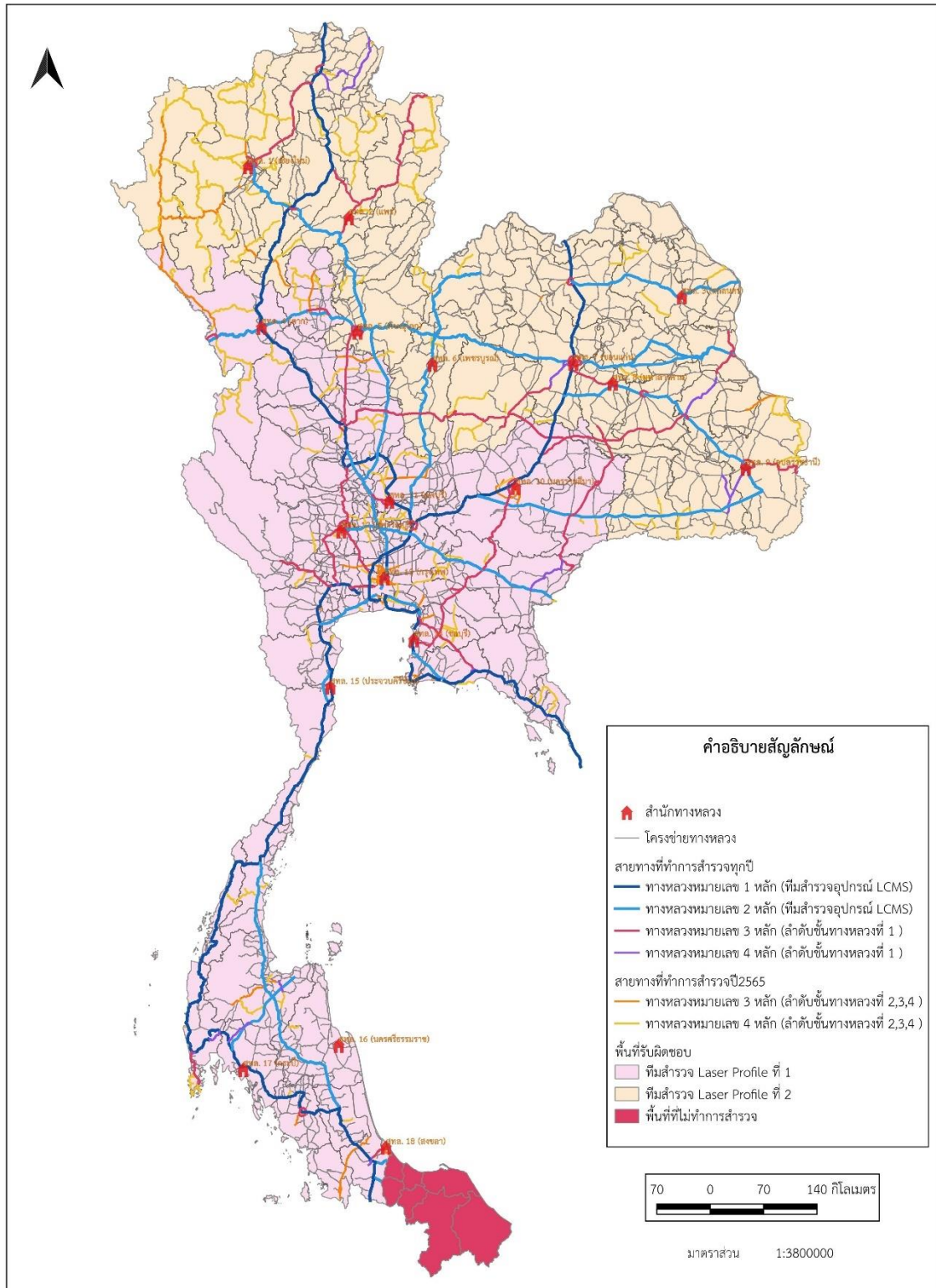
ตารางที่ 3-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแนวทางหลวง) (ต่อ)

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 : ข้อมูลระยะทางอ้างอิงจากระบบ Roadnet วันที่ 14 ธันวาคม 2564



แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565



รูปที่ 3-36 แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565



3.3.3 ที่ปรึกษาจะจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด เช่น พื้นที่ทางโค้ง พื้นที่ทางลาดชัน เป็นต้น เพื่อดำเนินการสำรวจ และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจ ก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไป

จัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด

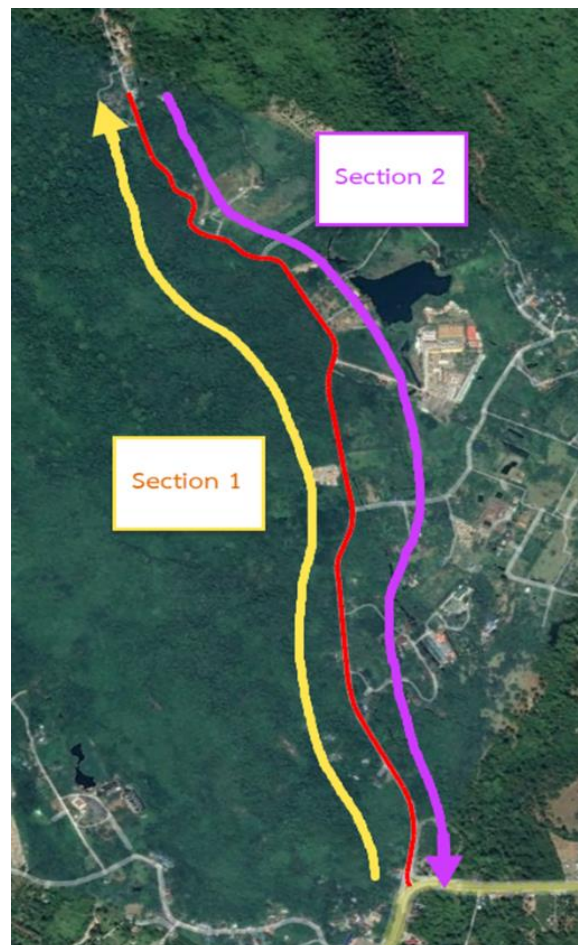
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบและสอบเทียบเครื่องมือสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูล ที่มีคุณภาพและถูกต้อง โดยดำเนินการตรวจสอบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เลเซอร์และอุปกรณ์ LCMS เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและมีมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือสำรวจ โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแปลงทดสอบที่ใช้ในการสอบเทียบ ประกอบไปด้วยถนนทางหลวงหมายเลข 3050 ถนนทางหลวง หมายเลข 3052 ถนนทางหลวงหมายเลข 33 ถนนทางหลวงหมายเลข 3049 แบ่งออกเป็น 6 Section โดยมีรายละเอียดของแปลงทดสอบ ดังตารางที่ 3-16

ตารางที่ 3-16 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ

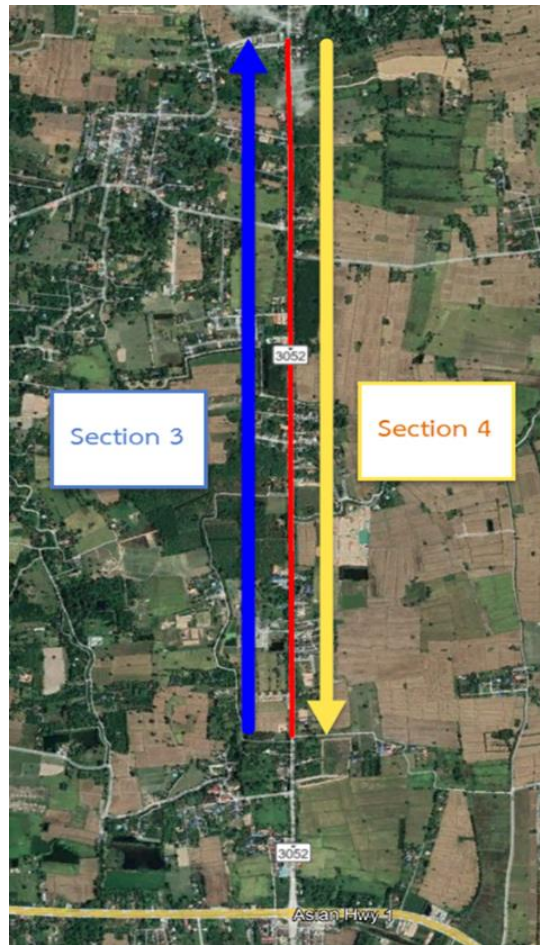
	ทางหลวง หมายเลข	ตอน ควบคุม	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่อง จราจร	ประเภท ผิวทาง	หมายเหตุ
section_1	3050	100	0+150	2+900	2.750	L1	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง ที่มีทางโค้งและทางลาดชัน
section_2	3050	100	2+900	0+150	2.750	R1	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง ที่มีทางโค้งและทางลาดชัน
section_3	3052	100	1+000	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	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง ที่มีความเสียหายของ ผิวทางมาก
section_6	3049	100	11+650	12+150	0.500	L2	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง กำหนดเส้นโค้งแนวการวิ่ง ของรถสำรวจ



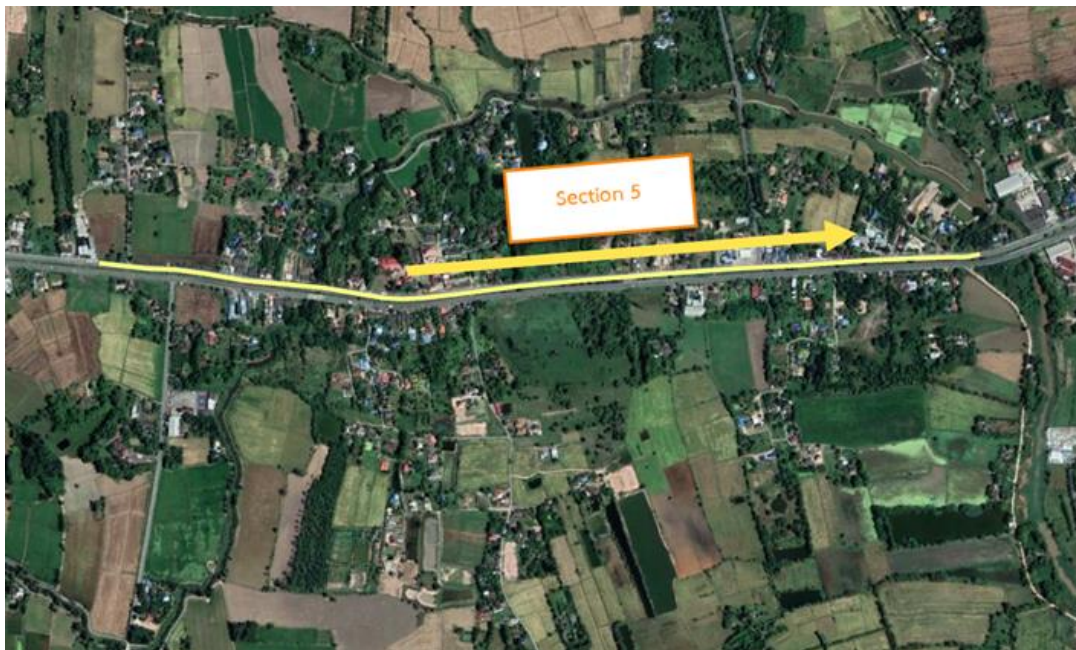
รูปที่ 3-37 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049



รูปที่ 3-38 Section ที่ 1 และ Section ที่ 2



รูปที่ 3-39 Section ที่ 3 และ Section ที่ 4



รูปที่ 3-40 Section ที่ 5



รูปที่ 3-41 Section ที่ 6



รูปที่ 3-42 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 กิโลเมตรทางลาดยาง
มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน



รูปที่ 3-43 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ฝิวทางคอนกรีต



รูปที่ 3-44 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ฝิวทางลาดยาง
ที่มีความเสียหายของฝิวทางค่อนข้างมาก



รูปที่ 3-45 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง
มีการกำหนดเส้นเล็งแนว เพื่อให้รถสำรวจที่ทำการทดสอบ วิ่งไปในแนวเดียวกัน

ที่ปรึกษาใช้ความเร็วที่เหมาะสมในการวิ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E950 และความเร็วที่ได้จากการ
วิ่งสอบเทียบมีรายละเอียด ดังตารางที่ 3-17

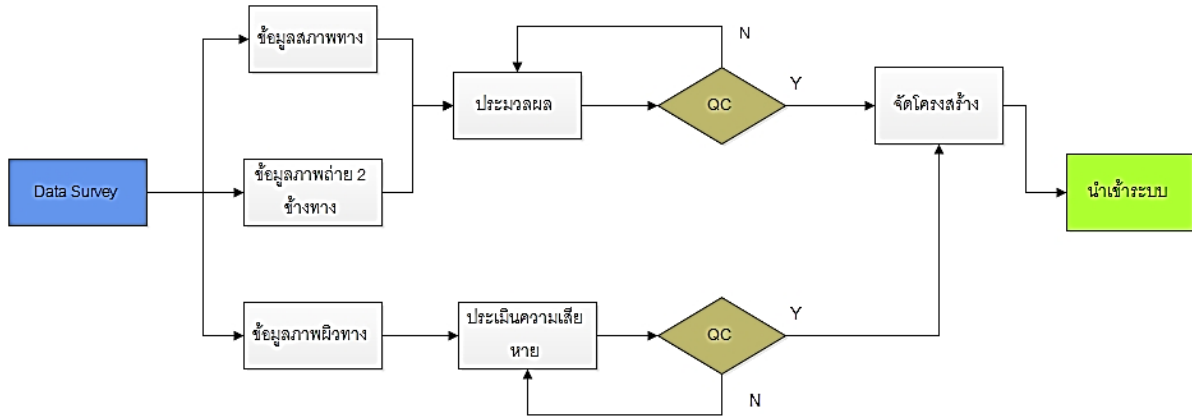
ตารางที่ 3-17 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ

	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

ทั้งนี้ที่ปรึกษาจะต้องดำเนินการสำรวจพื้นที่ตัวอย่าง และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจ ก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไป

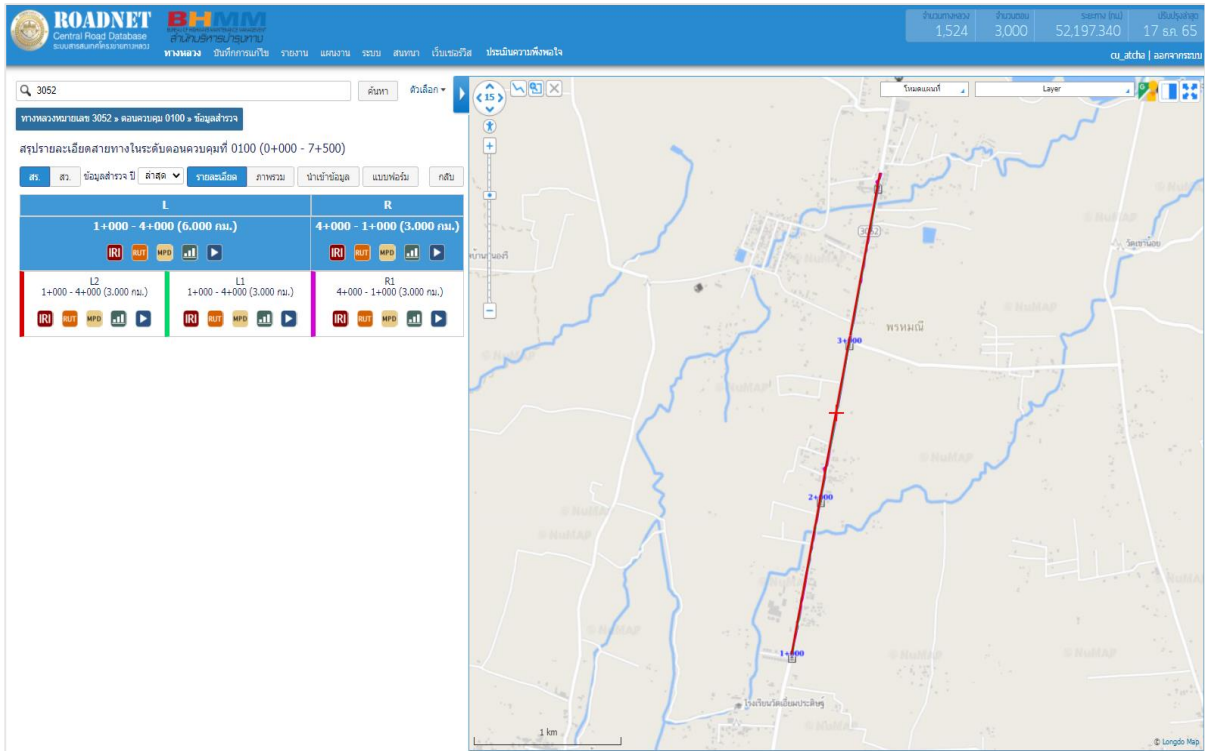


รูปที่ 3-46 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ

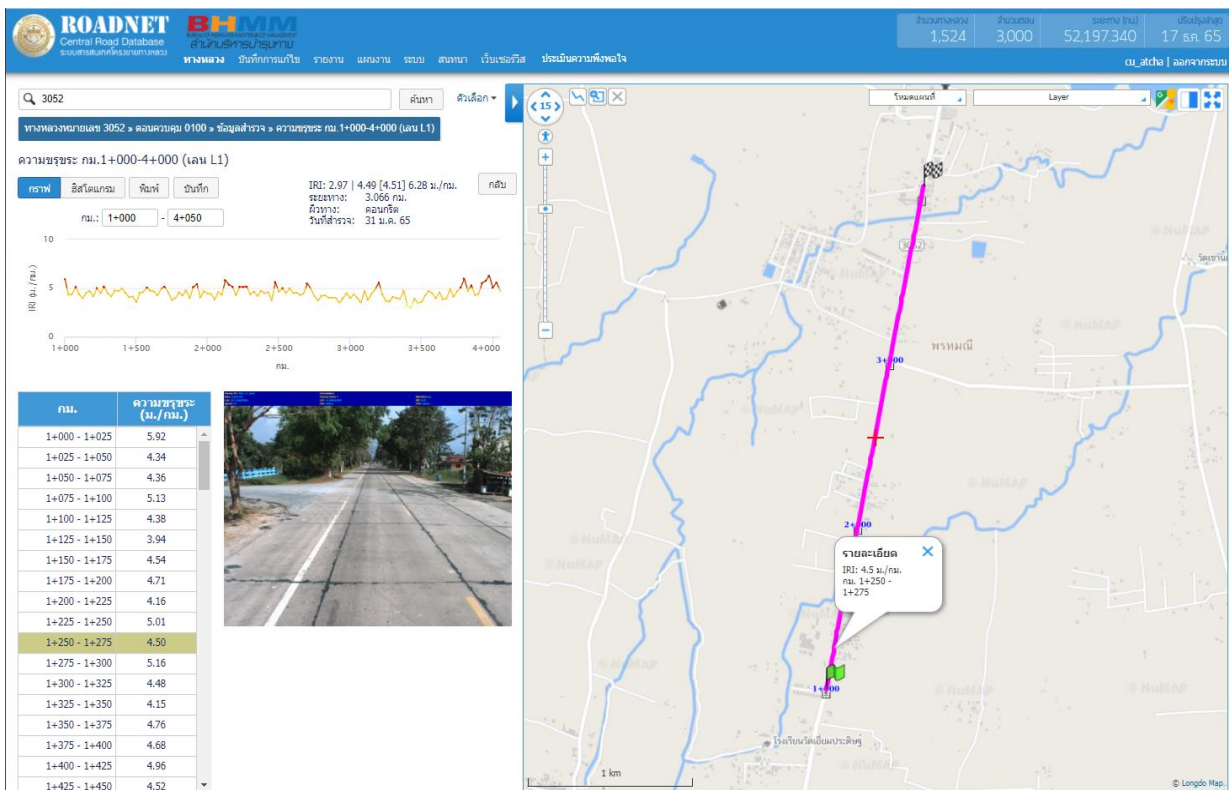
หลังจากที่ปรึกษาทำการสำรวจพื้นที่แล้วเสร็จ ที่ปรึกษาทำการประมวลผลค่าความเสียหาย และนำเข้าข้อมูลสำรวจครบทั้ง 6 Section ที่ทำการทดสอบการวิ่งเพื่อเปรียบเทียบค่าสภาพทางบนระบบ Roadnet สามารถแสดงผลพื้นที่ตัวอย่างผ่านระบบ Roadnet ได้แก่ รถสำรวจด้วย Laser Profile ทั้งคันที่ 1 และ 2 และอุปกรณ์รถสำรวจ LCMS คันที่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



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 3-47 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควมคม 0100 รถสำรวจทั้ง 3 คัน

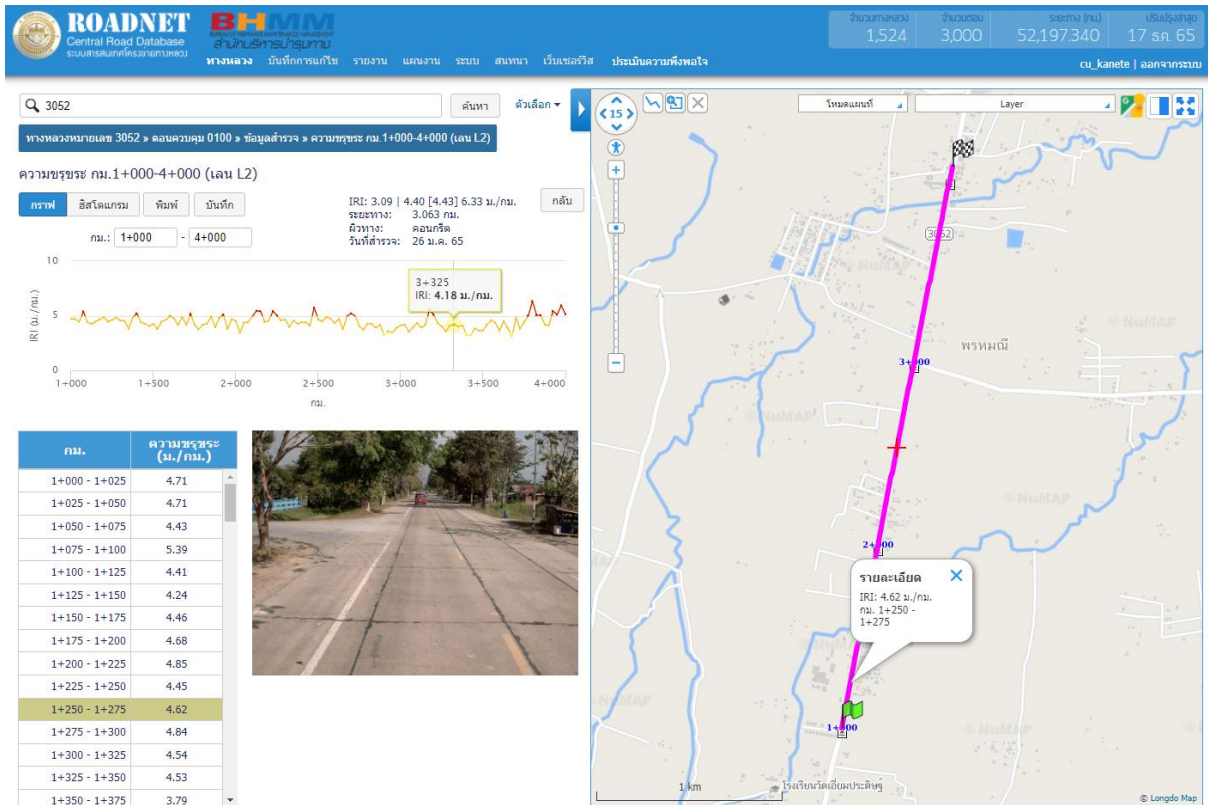


รูปที่ 3-48 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควมคม 0100 รถสำรวจคันที่ 1

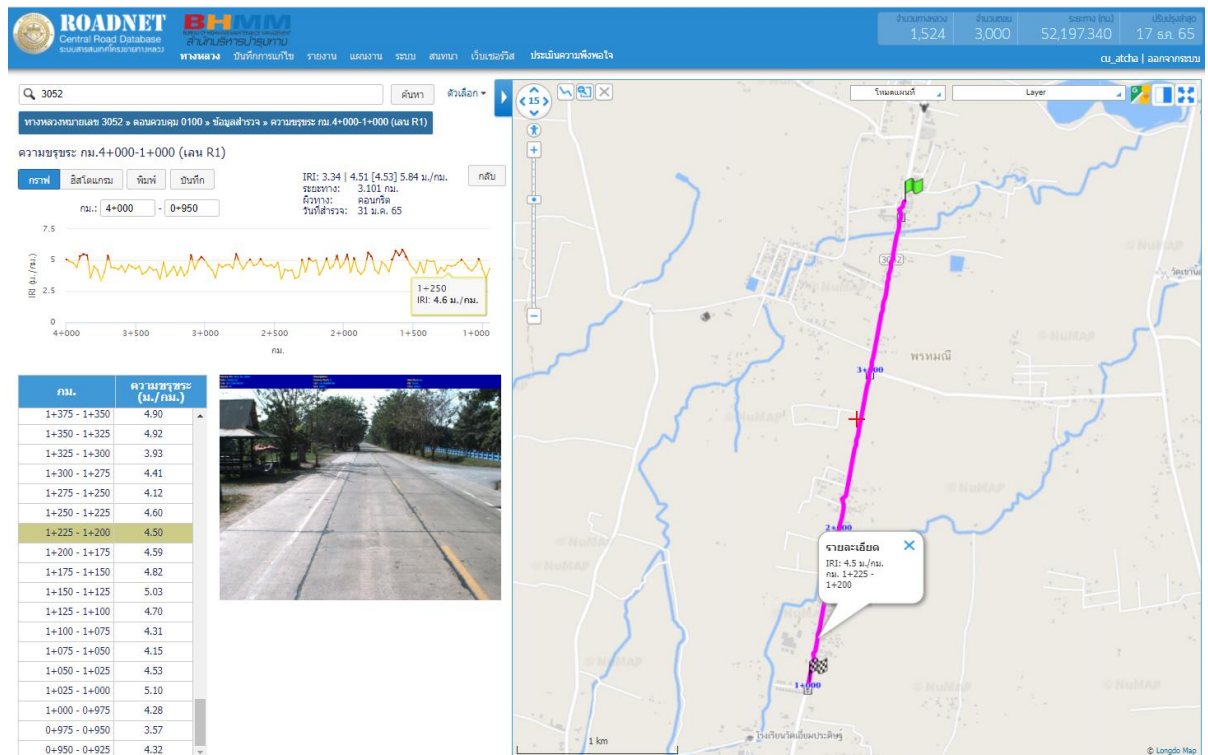


รายงานชั้นกลาง (Interim Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



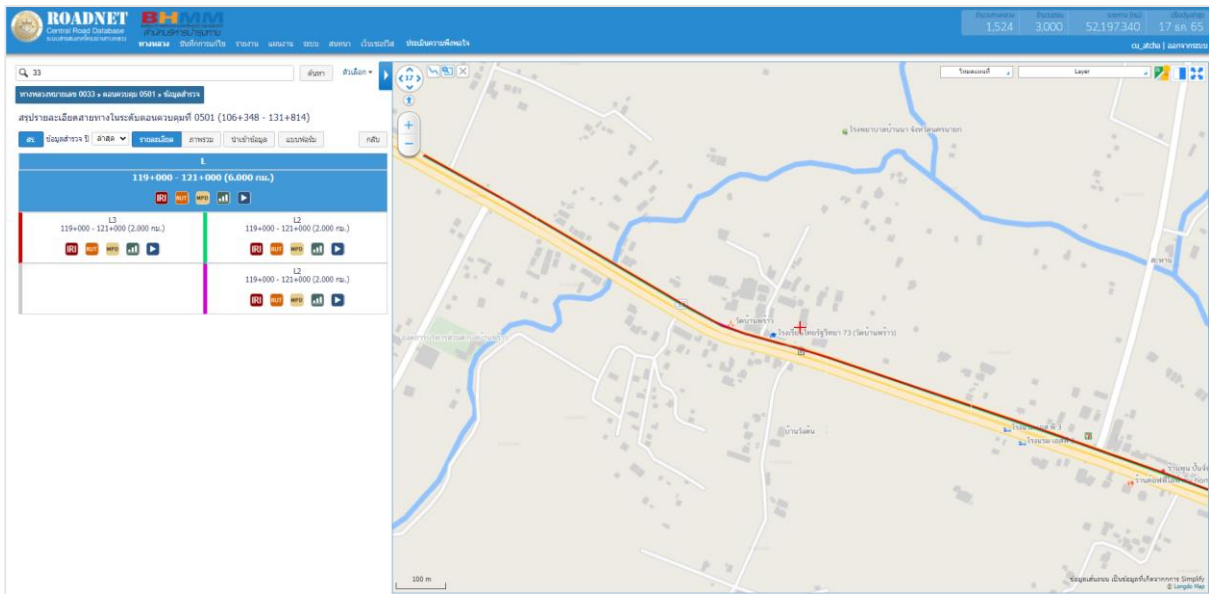
รูปที่ 3-49 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 2



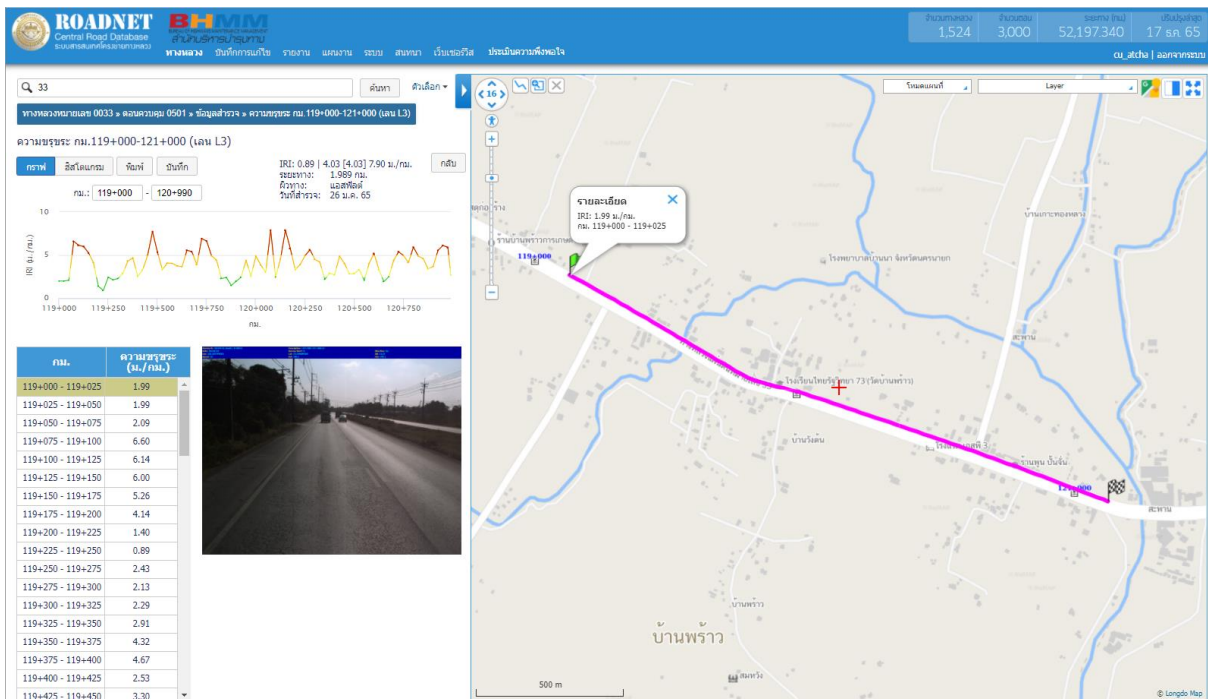
รูปที่ 3-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 3



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



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

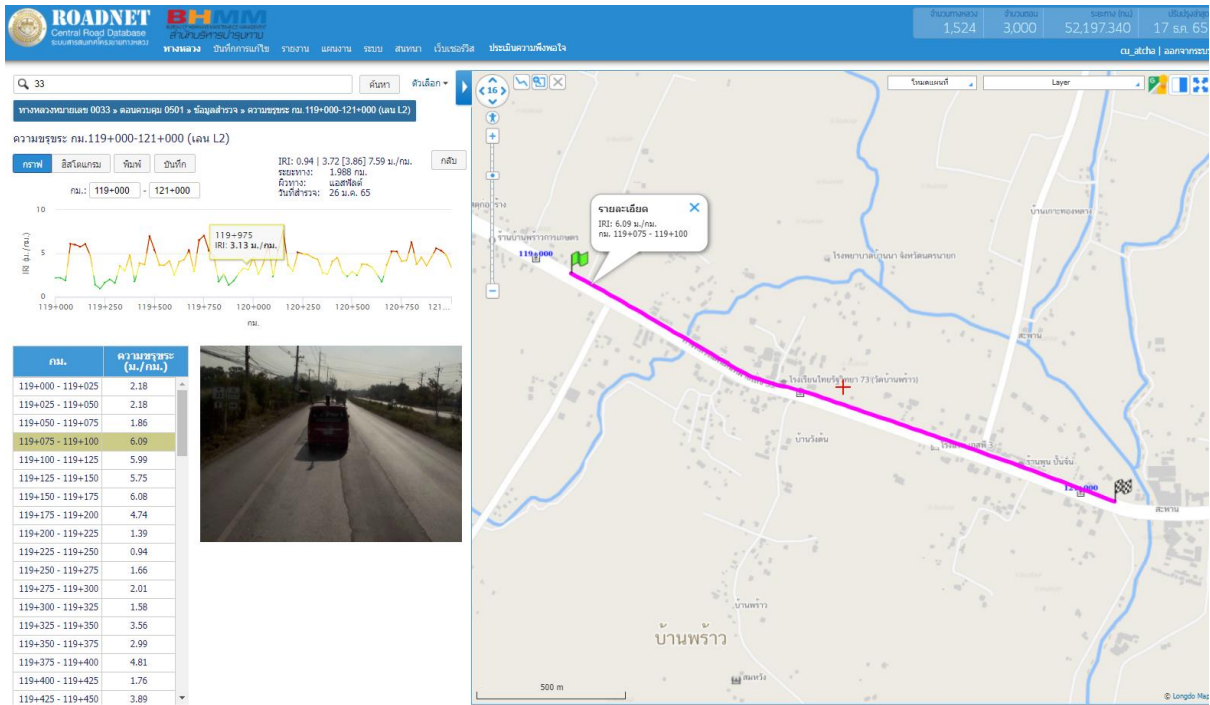


รูปที่ 3-52 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1

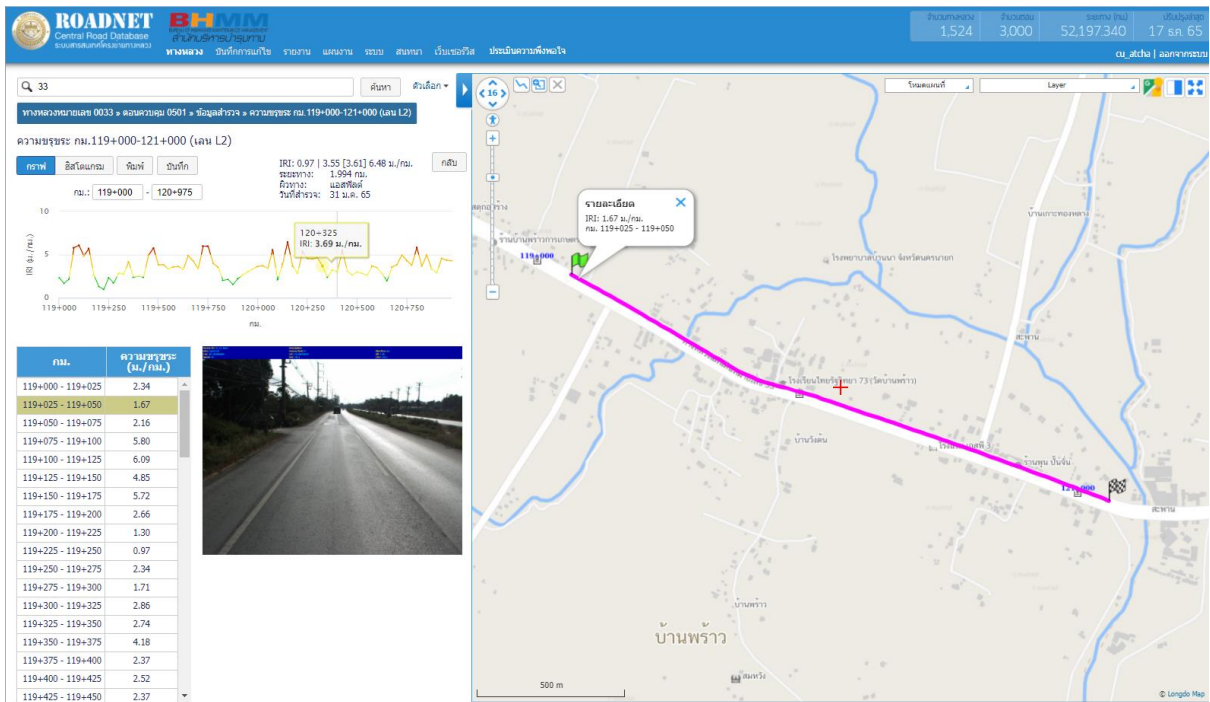


รายงานชั้นกลาง (Interim Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 3-53 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2



รูปที่ 3-54 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3



3.3.4 ที่ปรึกษาจะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจในพื้นที่ตัวอย่างในข้อ 3.3.3 โดยทดสอบทั้งผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต ดำเนินการเก็บข้อมูลการสำรวจเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตรของผิวทางแต่ละประเภท ประเภทละ 3 รอบการสำรวจ ต่อ 1 ชุดเครื่องมือและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไม่น้อยกว่า ข้อมูลดังนี้ ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ซึ่งค่าทางสถิติที่จะต้องวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าอย่างน้อยดังนี้ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

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

ตารางที่ 3-18 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 3-19 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละ Section

Summary Data	SECTION	AVG SD								
		AVG SD IRI			AVG SD RUT			AVG SD MPD		
		LASER 1	LASER 2	LCMS	LASER 1	LASER 2	STS	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 3-19 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 3 (ผิวทางคอนกรีต) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดอยู่ที่ 0.207

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RUT ในการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดอยู่ที่ 1.033

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

ที่ปรึกษาได้ทำการเปรียบเทียบ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแต่ละอุปกรณ์สำรวจ ทั้งรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังตารางที่ 3-20

ตารางที่ 3-20 ตารางเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section

Summary Data	SECTION	AVG SD			AVG SD			AVG SD		
		LASER 1 – LASER 2			LASER 1 - LCMS			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 3-20 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 เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด 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 เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.747 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ใน ทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน



สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

การนำหลักการและวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากตรวจสอบทั้ง 3 คัน เพื่อต้องการทราบผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ว่าข้อมูลที่ได้จากตรวจสอบทั้ง 3 คันนั้น มีผลอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยในการวิเคราะห์จะใช้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ของข้อมูล IRI RUTTING และ MPD สามารถแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการวิ่งทดสอบ ดังตารางที่ 3-21 ถึง ตารางที่ 3-22

ตารางที่ 3-21 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

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

ตารางที่ 3-22 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 to 2+900	0.138	0.154	0.189
AC	RUTTING (มีความเสียหายไม่สูง)	2	2+900 to 0+150	0.527	0.614	0.704
AC	RUTTING (มีความเสียหายสูง)	5	119+000 to 121+000	1.238	1.971	1.747
AC	MPD	1	0+150 to 2+900	0.042	0.036	0.026
Conc	IRI	3	1+000 to 4+000	0.222	0.555	0.500
Conc	MPD	3	1+000 to 4+000	0.015	0.029	0.035
Conc	IRI	4	4+000 to 1+000	0.210	0.460	0.419
Conc	MPD	4	4+000 to 1+000	0.016	0.043	0.054



ตารางที่ 3-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)

ระดับความเรียบ	IRI (ม./กม.)
ดีมาก	<2.5
ดี	2.5-3.5
พอใช้	3.5-4.5
ชำรุด	>4.5



ตารางที่ 3-24 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
	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



จากตารางที่ 3-24 ตัวอย่างค่าเฉลี่ยและตารางเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ได้จากการวิ่งทดสอบ ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน จะเห็นได้ว่าบางค่าสภาพทางมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และบางค่าสภาพทางมีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ต่างกัน โดยเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ สามารถอธิบายสรุปได้ดังนี้

การสรุปผลค่าสภาพทางของผิวทางลาดยาง

ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า IRI ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำค่าผลการสำรวจจัดลงกลุ่มตามเกณฑ์มาตรฐาน IRI ของกรมทางหลวงแล้วนั้น (ตารางที่ 3-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)) พบว่าค่า IRI ทั้ง 3 คันอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน สามารถสรุปได้ว่าค่า 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 LCMS ที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต่างกันมาก ประกอบกับปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าวคือ แนวการวิ่งของรถสำรวจ และปัจจัยในพฤติกรรมคนขับรถ จากปัจจัยดังกล่าวถ้าหากมีความต่างกันเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลให้ค่าที่ได้มีความต่างกัน

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 เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน อุปกรณ์สำรวจ LCMS ให้ค่าเฉลี่ย IRI ต่างจากอุปกรณ์สำรวจ แบบ Laser Profiler และมีค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMS ที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องด้วยอุปกรณ์สำรวจ LCMS มีเทคโนโลยีการประมวลผลที่ต่างออกไปเนื่องด้วยการตัดความเสียหายบนรอยต่อตามยาวของผิวคอนกรีต



รูปที่ 3-55 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4

ซึ่งปกติแล้วบนช่องจราจรของผิวคอนกรีตจะไม่มีรอยต่อดังกล่าวบริเวณพื้นที่ช่องจราจร จึงส่งผลให้ ค่าเฉลี่ยมีความต่างจากค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler ทางที่ปรึกษาจึงนำค่าจากร่องล้อขามาทำการเปรียบเทียบบริเวณที่ไม่มีรอยต่อตามยาวและเทียบค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ผลปรากฏว่าค่า IRI เฉลี่ย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และอยู่ในเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวงที่เกณฑ์เดียวกัน (ตารางที่ 3-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง))

ค่า MPD ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า MPD ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ที่ใกล้เคียงกัน จึงสรุปได้ว่าค่า MPD เฉลี่ย ผิวทางคอนกรีตจากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน



จากการพิจารณาเปรียบเทียบค่าสำรวจที่ได้ระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMS ของผิวทางคอนกรีต ที่ปรึกษาทำการพิสูจน์ความเชื่อมั่นในอุปกรณ์ โดยให้เลือกถนนผิวคอนกรีตที่ปกติ และมีระยะทางสั้นๆ โดยเสนอการเข้าพื้นที่ทดสอบทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึง กม. 72+500 ผิวคอนกรีต ทำการทดสอบในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2565 เวลา 10.00น. เพื่อให้ทราบว่าเมื่อวิ่งสำรวจแล้วเสร็จ ค่าจะเท่ากันตามทำการเปรียบเทียบบริเวณที่ไม่มีรอยต่อตามยาวหรือไม่ ดังรูปที่ 3-56



รูปที่ 3-56 การเข้าพื้นที่ทดสอบผิวทางคอนกรีตพื้นที่วิ่งทดสอบใหม่

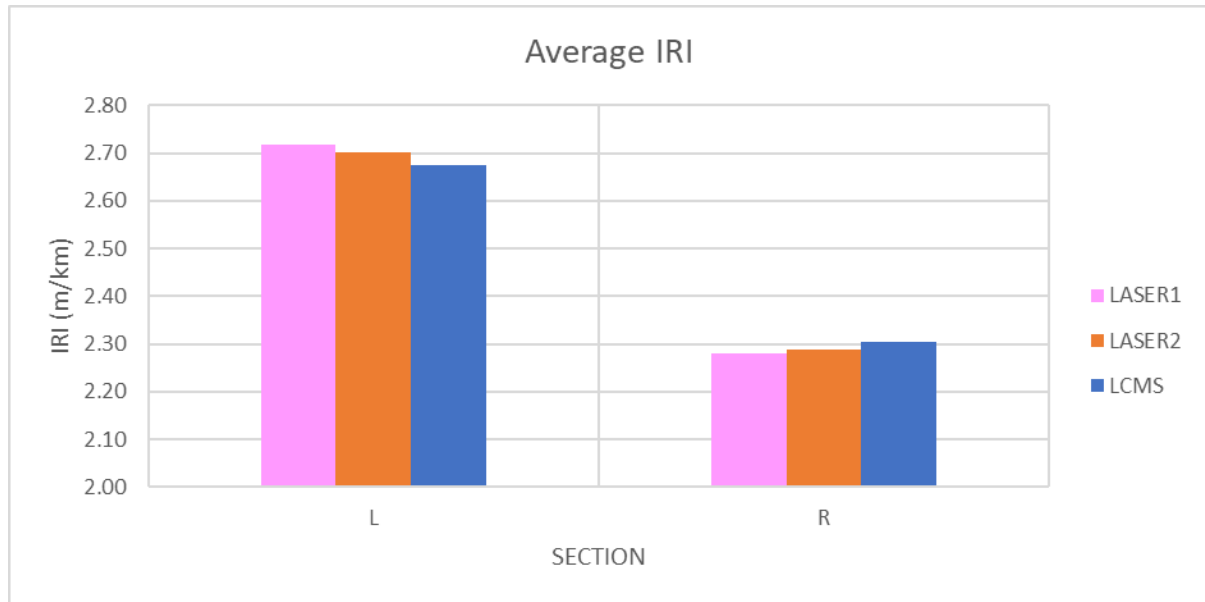


รูปที่ 3-57 ลักษณะผิวทางคอนกรีต ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึง กม. 72+500



ตารางที่ 3-25 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

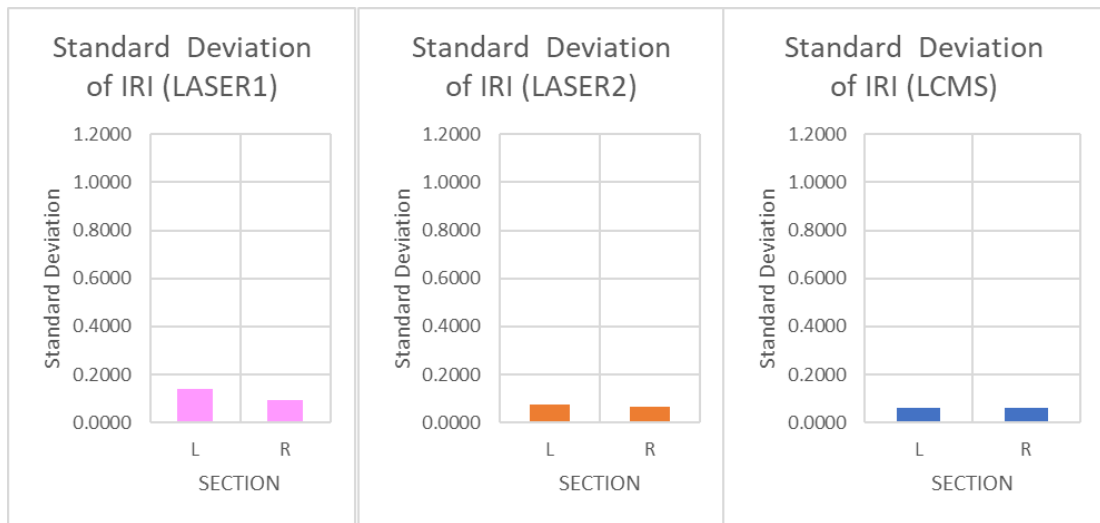
Summary Data		AVG IRI (m./km.)		
SECTION		LASER1	LASER2	LCMS
CC	L	2.72	2.70	2.68
CC	R	2.28	2.29	2.30



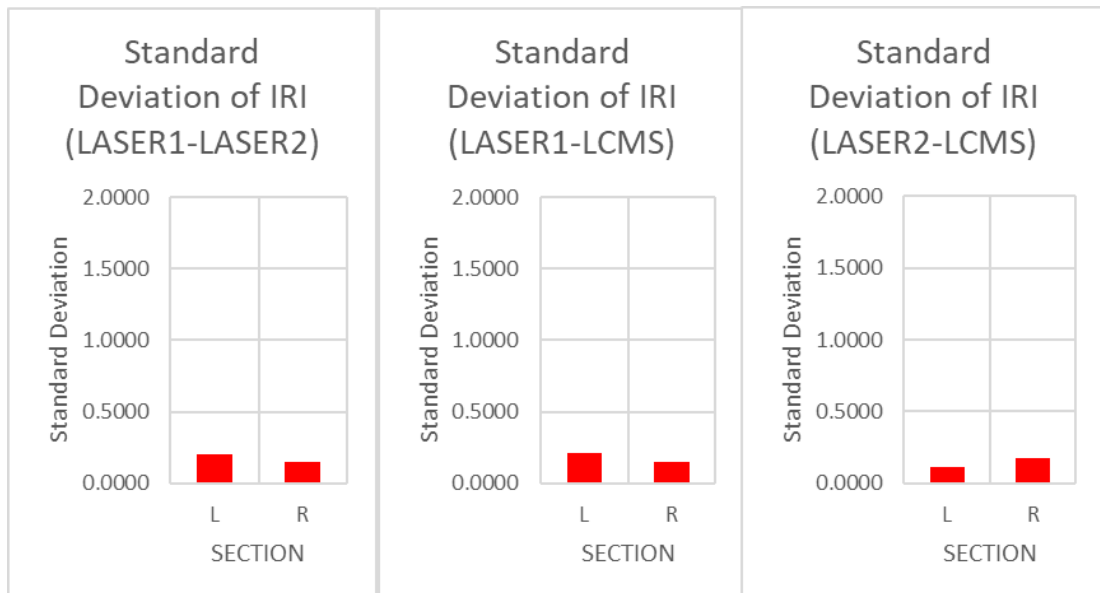
รูปที่ 3-58 กราฟแสดงค่า IRI เฉลี่ย

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

Summary Data		AVG SD			AVG SD LASER1 - LASER2	AVG SD LASER1 - LCMS	AVG SD LASER2 - LCMS
		AVG SD IRI					
SECTION		LASER1	LASER2	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 3-59 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI



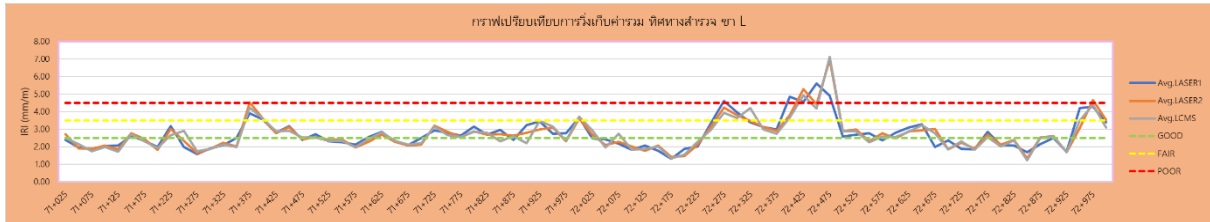
รูปที่ 3-60 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section

จากตารางที่ 3-25 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ และตารางที่ 3-26 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ในแต่ละ Section และตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section ค่าเฉลี่ยค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์ทั้ง 3 เครื่องมือมีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่สูง และเมื่อพิจารณาพร้อมกับเกณฑ์ค่าความขรุขระสากล (IRI) ของกรมทางหลวง โดยมีรายละเอียดโดยมีรายละเอียดเกณฑ์ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ดังนี้

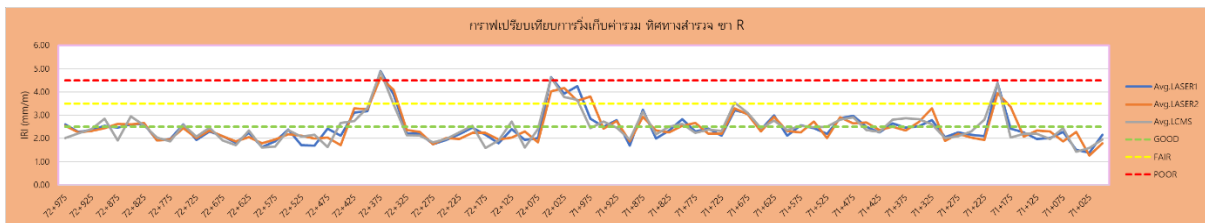


เกณฑ์ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI)

- น้อยกว่า 2.5 ม./กม. ดีมาก
- 2.5ม./กม.-3.5 ม./กม. ดี
- 3.5 ม./กม. – 4.5 ม./กม. พอใช้
- มากกว่า 4.5 ม./กม. ชำรุด



รูปที่ 3-61 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา L



รูปที่ 3-62 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ขา R

จากรูปที่ 3-61 และ รูปที่ 3-62 กราฟแสดงผลการวิ่งทดสอบผิวทางคอนกรีต ค่า IRI พลัดเทียบกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวง ผลปรากฏว่าค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน อยู่ในเกณฑ์ค่า IRI อยู่ในเกณฑ์ค่า IRI เดียวกัน

และเพื่อเป็นการยืนยันว่าข้อมูลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ที่ปรึกษาจึงได้นำชุดข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติม โดยได้ตั้งสมมติฐานที่ว่าเครื่องมือต่างก็มีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมต่างกันจะให้ข้อมูลที่ต่างกันอย่างไม่มีความสำคัญทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ Paired Sample T-Test รูปแบบการทดสอบจะเป็นการทดสอบระหว่างอุปกรณ์ โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงในหัวข้อ การวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์



การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์

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

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) ในการนี้ทีมที่ปรึกษาต้องการทดสอบเครื่องมือจากรถสำรวจแต่ละคันว่ามีผลการทดสอบใกล้เคียงกันที่ 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 $\alpha=0.05$

ขั้นที่ 3 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

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

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

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

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 รายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3-27

ผลการวิเคราะห์การทำ Paired Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา

ตารางที่ 3-27 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 ینگทดสอบในแปลงทดสอบที่ผิวทางเป็นปกติ จะมีข้อมูลมีความต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ให้ผลที่ไม่ต่างกัน)

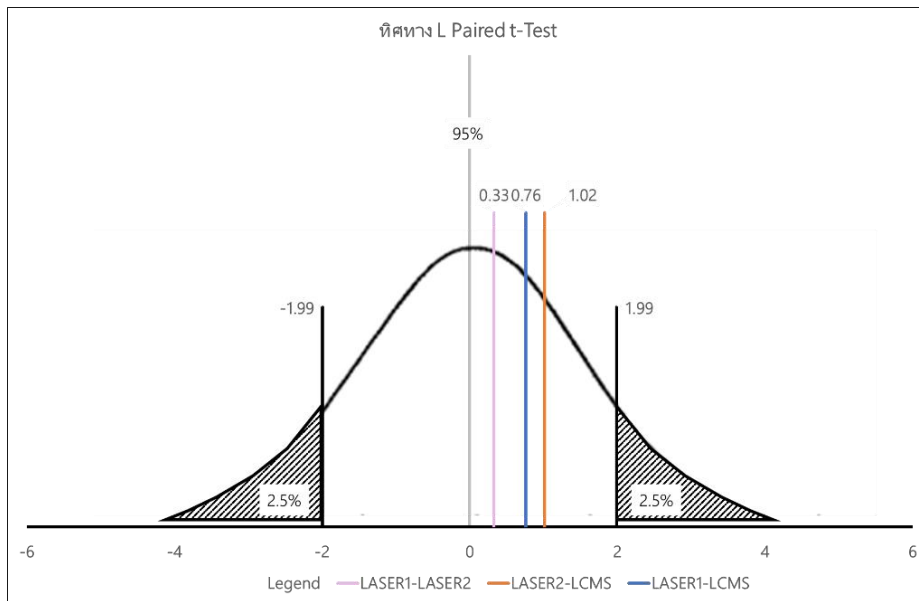
รายละเอียดของข้อมูล ที่ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test โดยมีรายละเอียดดังนี้

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 อธิบายได้ดังรูปที่ 3-63

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

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



รูปที่ 3-63 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา L (IRI)

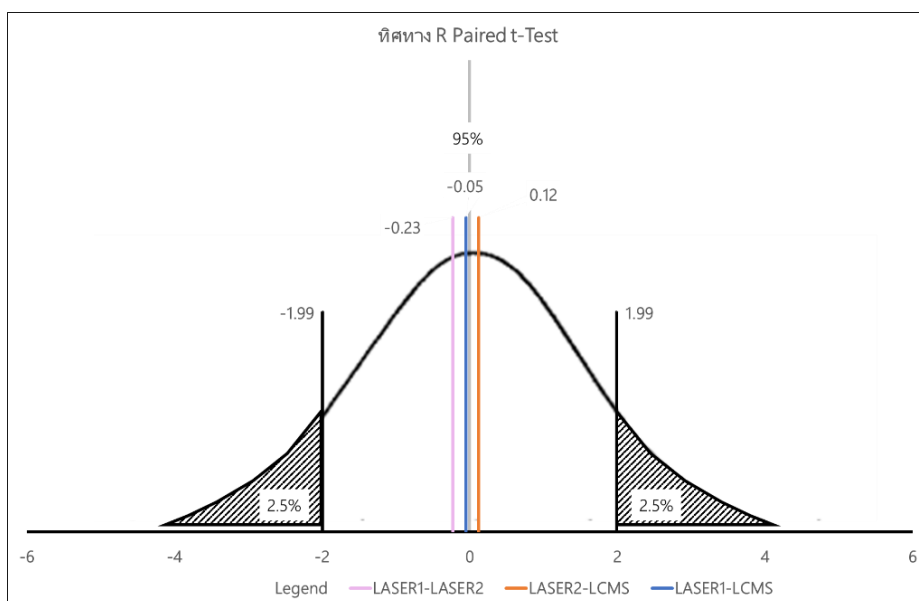
ทิศทางสำรวจขา R กิโลเมตรที่ 73+000 ถึง กิโลเมตรที่ 71+000

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

ดังรูปที่ 3-64

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

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



รูปที่ 3-64 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจขา R (IRI)



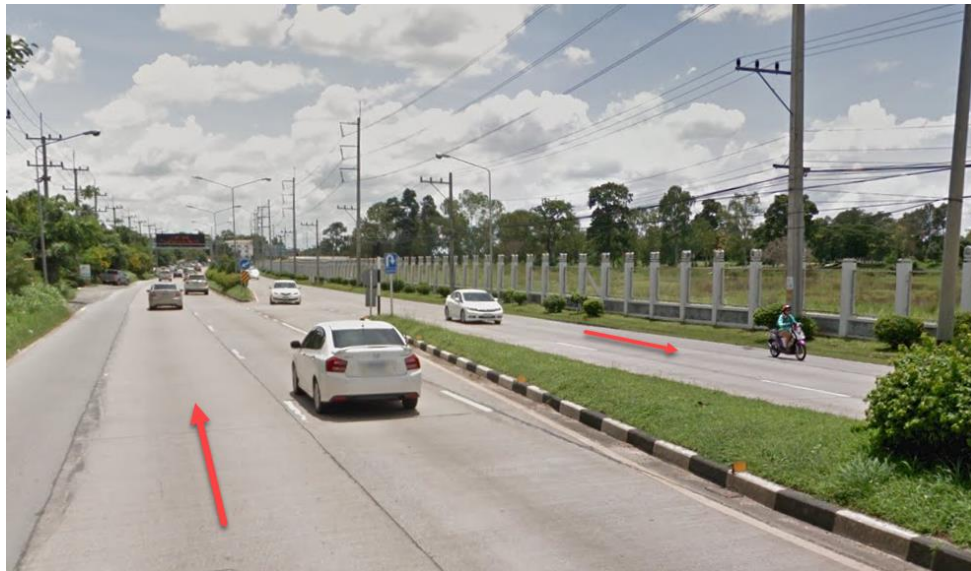
สรุปผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของผิวทางคอนกรีตรอบการวิ่งทดสอบใหม่

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)

ผลการวิ่งทดสอบใหม่ ผิวทางคอนกรีต 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

วิธีการวิ่งสำรวจ

- กรณีสำรวจ 2 ทิศทาง จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง



รูปที่ 3-65 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง



- กรณีสำรวจ 1 ทิศทาง จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนในทิศทางที่มีความเสียหายมากที่สุด



รูปที่ 3-66 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด

- กรณีที่มีการสำรวจ 2 ทิศทาง แล้วมีทางคู่ขนาน ให้ทำการวิ่งสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทางคู่ขนาน



รูปที่ 3-67 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน



- กรณีที่ไม่สามารถทำการสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น เช่น ปิดปรับปรุงผิวจราจร ก็จะทำให้การสำรวจช่องจราจรที่อยู่ติดกับช่องจราจรดังกล่าวแทน



รูปที่ 3-68 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น

- กรณีที่มีการเพิ่มช่องจราจร จาก 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจรขึ้นไป ให้ทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทั้งฝั่งขา L และ ฝั่งขา R การจัดทำข้อมูลขึ้นระบบในกรณีนี้ ที่ปรึกษาจะทำแบ่งข้อมูล ในช่วง ที่มี 2 ช่องจราจร และ ช่วงที่ถนนมีมากกว่า 4 ช่องจราจรขึ้นไป เพื่อกำหนดการแสดงผลในระบบให้สอดคล้องกับการวิ่งสำรวจจริงในสายทาง



รูปที่ 3-69 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน



รูปที่ 3-70 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่ 2 ช่องจราจร

- กรณีที่พื้นผิวสายทางเปียกเนื่องจากฝนตก หรือมีน้ำขัง ในช่องจราจรที่จะทำการสำรวจ จะทำการหยุดการสำรวจในสายทางนั้นแล้วจะกลับมาสำรวจใหม่เมื่อพื้นผิวสายทางแห้งสนิท



รูปที่ 3-71 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้



- กรณีที่สายทางมีอุปสรรคในการสำรวจเช่น มีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวางทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ หรือ อยู่ในพื้นที่หวงห้ามของราชการที่ไม่อนุญาตให้เข้าพื้นที่ได้ จะไม่ทำการสำรวจ แล้วทำการรายงานปัญหาและอุปสรรคเพื่อแจ้งแก่คณะกรรมการ แล้วดำเนินการสำรวจในสายทางสำรองแทน



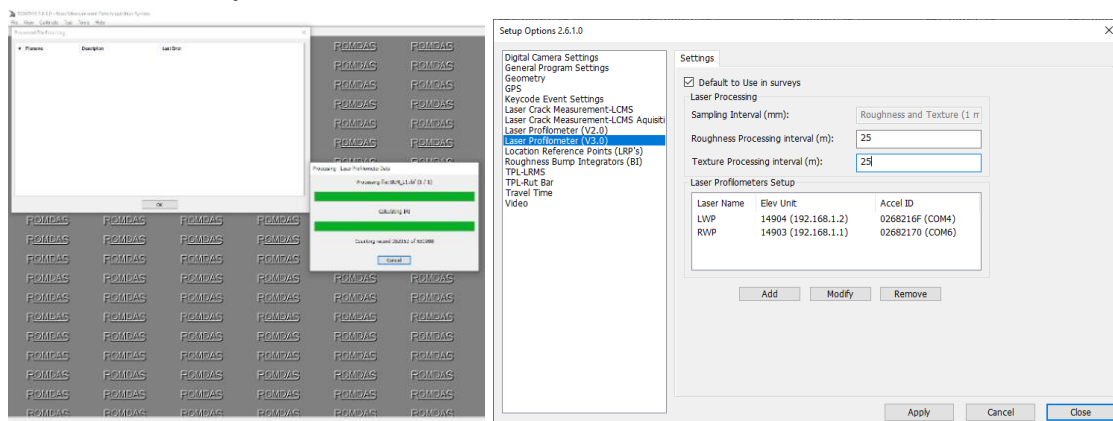
รูปที่ 3-72 แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง
ทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้

3.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ

ที่ปรึกษาจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ อย่างน้อยตามที่มีในระบบฐานข้อมูล Roadnet

3.4.1 การประมวลผลข้อมูลจากชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

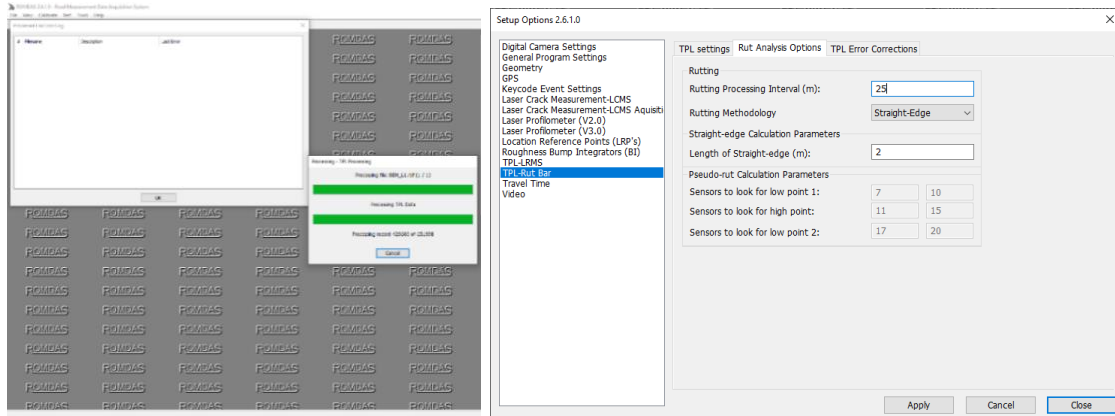
- ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



รูปที่ 3-73 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง

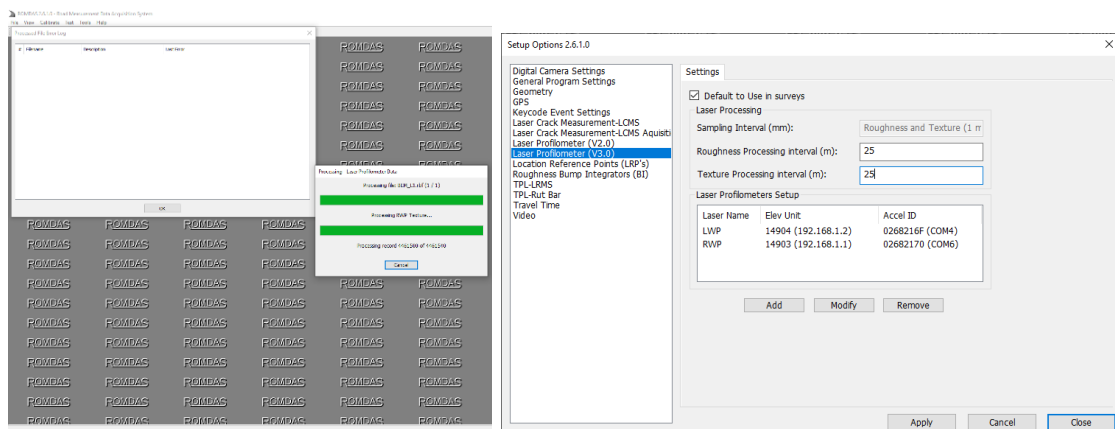


- ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ทำการคำนวณ
ทุกระยะ 25 เมตรหรือน้อยกว่า



รูปที่ 3-74 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความสึกกร่อนล้อบนผิวทาง

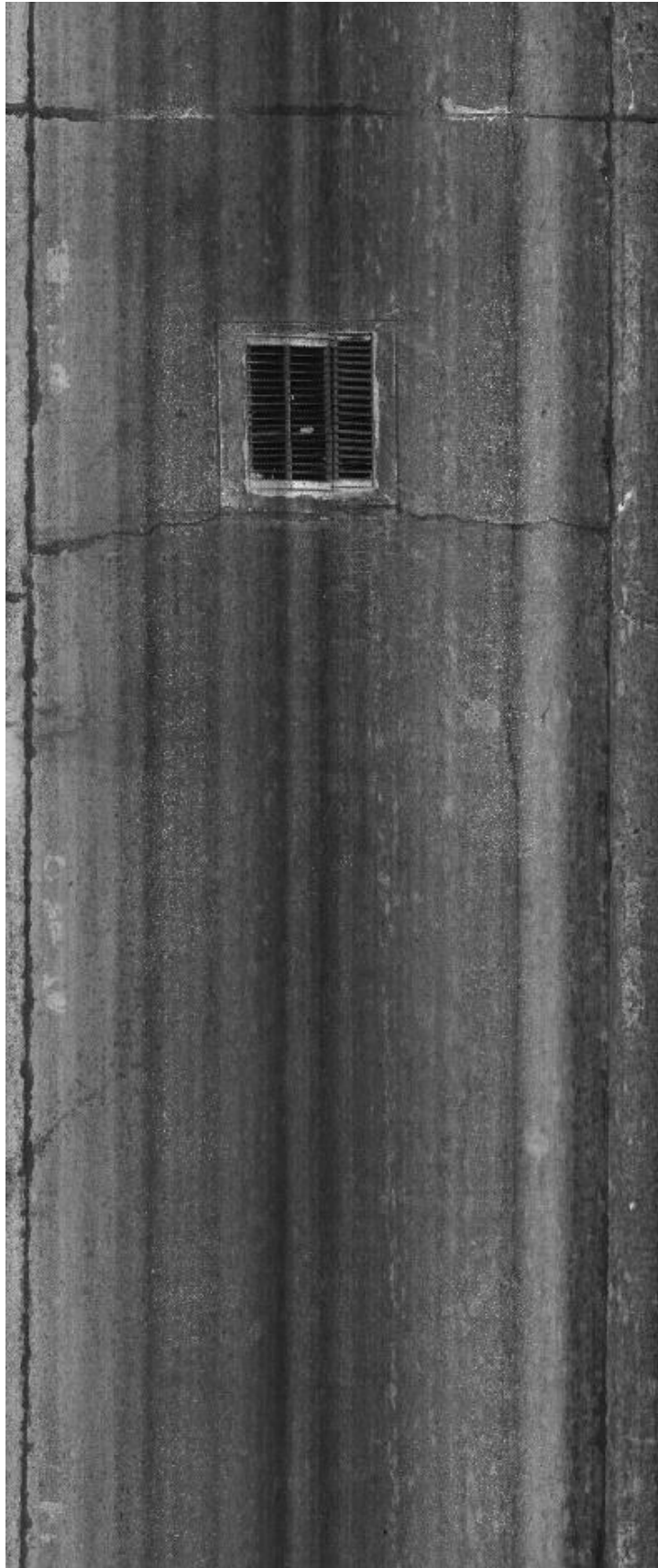
- ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) ทำการคำนวณ
ทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



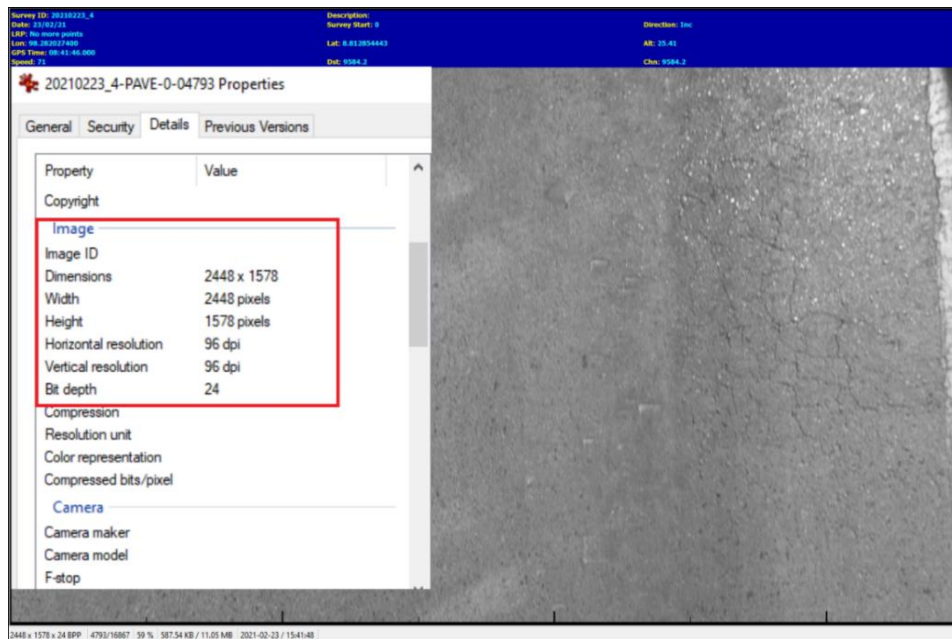
รูปที่ 3-75 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง

การประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง

ประกอบด้วย การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากข้อมูลการสำรวจที่ปรากฏบนผิวทางจากภาพถ่ายผิวทาง ที่มีความละเอียด 4,090x10,000 Pixels หรือ 2,448x1,578 Pixels ดังรูปที่ 3-76 และ รูปที่ 3-77 ตามลำดับ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่ายหรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic crack detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) โดยประเภทความเสียหายต้องประกอบไปด้วย รอยแตก รอยปะ หลุมบ่อ หรือข้อมูลอย่างน้อยที่มีในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก โดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



รูปที่ 3-76 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์



รูปที่ 3-77 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress)
จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera

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

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวลาดยาง

จากการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวลาดยาง ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก และประมวลผลด้วยอุปกรณ์การสำรวจจากตารางที่ 3-28 โดยสามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายโดยบุคลากรผู้ชำนาญการโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางสำหรับการประเมิน ที่สามารถส่งออกผลลัพธ์ค่าความเสียหายจากการประเมินสายทาง และค่าพิกัดตำแหน่งของภาพที่เกิดความเสียหายได้



ตารางที่ 3-28 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง

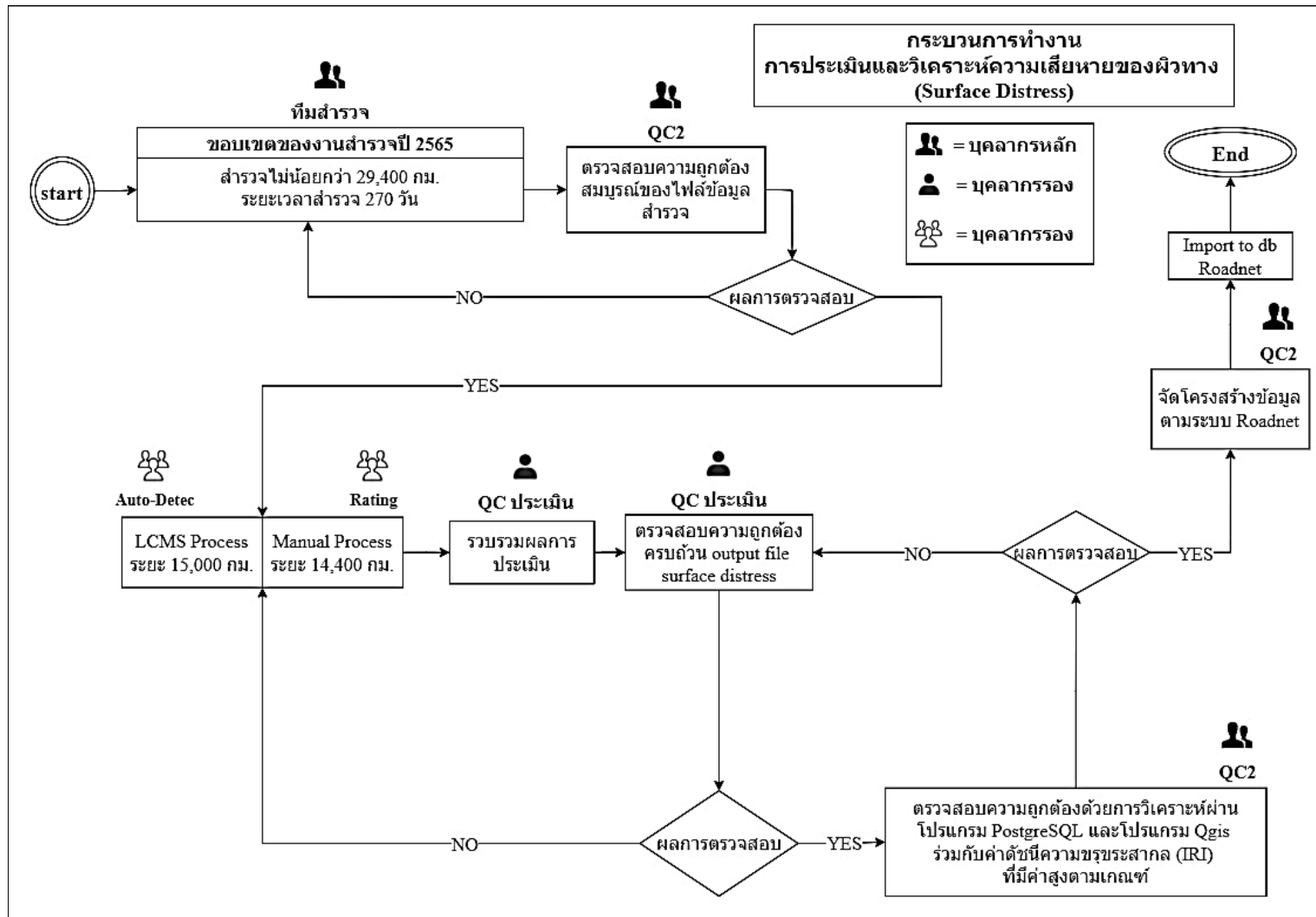
ผิวทางลาดยาง			
ลำดับที่	ประเภทความเสียหาย	การวัด	หน่วยการวัด
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)	พื้นที่	ตารางเมตร/กม.
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)	ความยาว	เมตร/กม.
3	การเฝิมของลาดยาง (Bleeding)	พื้นที่	ตารางเมตร/กม.
4	การหลุดร่อน (Raveling)	พื้นที่	ตารางเมตร/กม.
5	หลุมบ่อ (Pot holes)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

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวคอนกรีต

ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวคอนกรีต ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกโดยอ้างอิงกับพิภคทางภูมิศาสตร์ ทำให้การประมวลผลข้อมูลความเสียหายช่วยในการประเมินด้วยผู้ชำนาญการ โดยหน่วยการวัดความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตจะแตกต่างจากหน่วยการวัดความเสียหายของถนนผิวลาดยาง เช่น รอยแตกตามขวางของถนนผิวลาดยางจะมีหน่วยการวัดเป็นความยาว (เมตร) ส่วนรอยแตกตามขวางของถนนผิวคอนกรีตจะมีหน่วยการวัดเป็นจำนวนแผ่น/กิโลเมตร เป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตที่จะวิเคราะห์ตามเกณฑ์ ดังตารางที่ 3-29

ตารางที่ 3-29 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

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



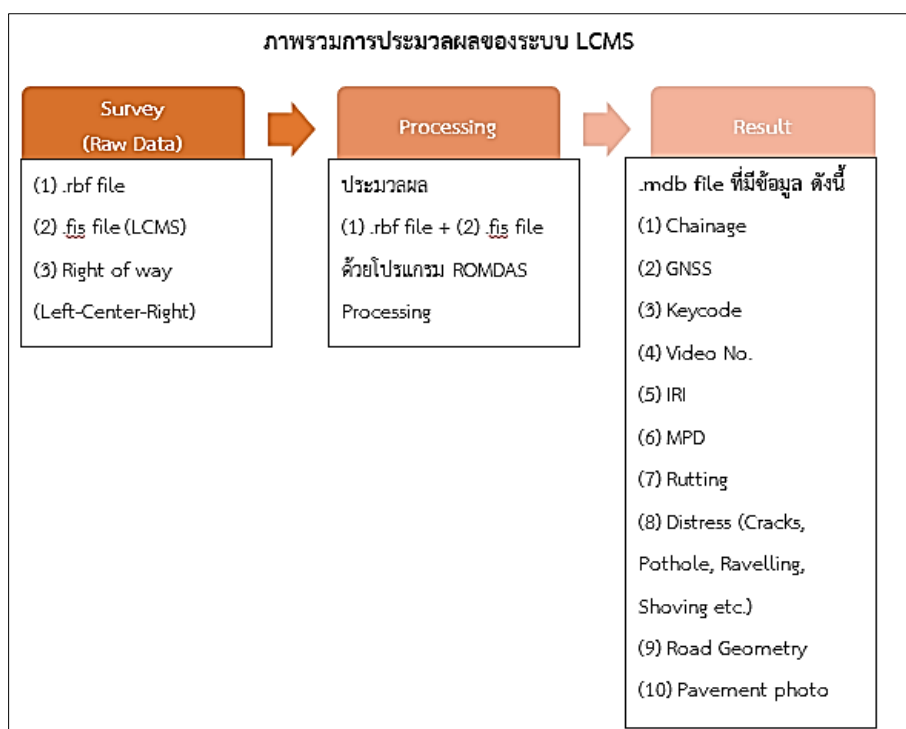
รูปที่ 3-78 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง



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 3-79 ภาพรวมการประมวลผลของระบบ 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

1	2	3	4	
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

1	2	3						
CHAINAGE	CHAINAGE_END	EVENT	SWITCH_GRI	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

1		2		3	
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)

1		2		
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 ค่าความขรุขระขวา ค่าเฉลี่ยความขรุขระ



• ตาราง Rutting

1		2	
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)

1		2	
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	CLASSIFICATION	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_2 (mm)	ค่าความลึกผิวเฉลี่ยซ้าย
	BAND_4 (mm)	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

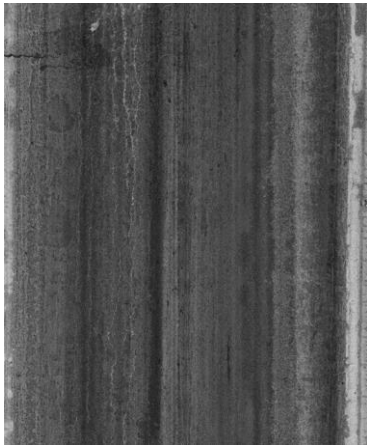
● ตาราง Geometry

1	2	3	4
CHAINAGE ▾	GRADIENT ▾	HORIZONTALA ▾	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

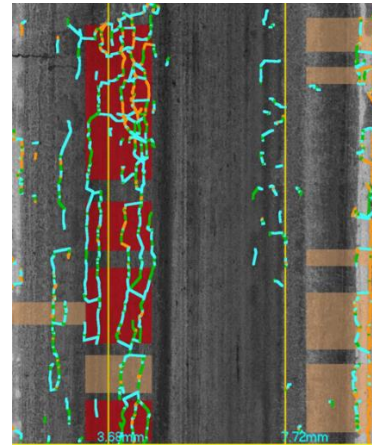
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	GRADIENT	ค่าความลาดชัน (Percent grade slope)
3	HORIZONTAL_CURVATURE	คาร์ตมีทางโค้ง (Radius)
4	CROSS_SLOPE	คาความลาดเอียง (Percent crown slope)



● Pavement Photo (ภาพพื้นผิวถนน)



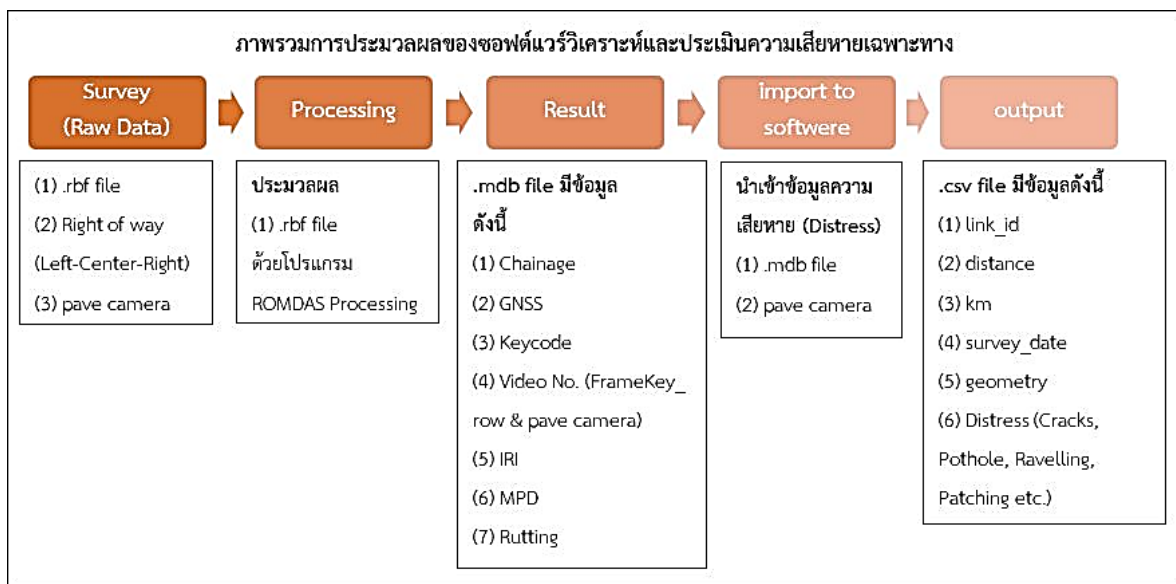
Asphalt pavement



Asphalt pavement with distress

รูปที่ 3-80 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels

2) การประมวลผลความเสียหายของผิวทางโดยการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ด้วยโปรแกรมการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายผิวทาง ในการตรวจสอบภาพถ่ายพื้นผิวถนน เพื่อระบุประเภทความเสียหายที่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์ ดังรูปที่ 3-81



รูปที่ 3-81 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง



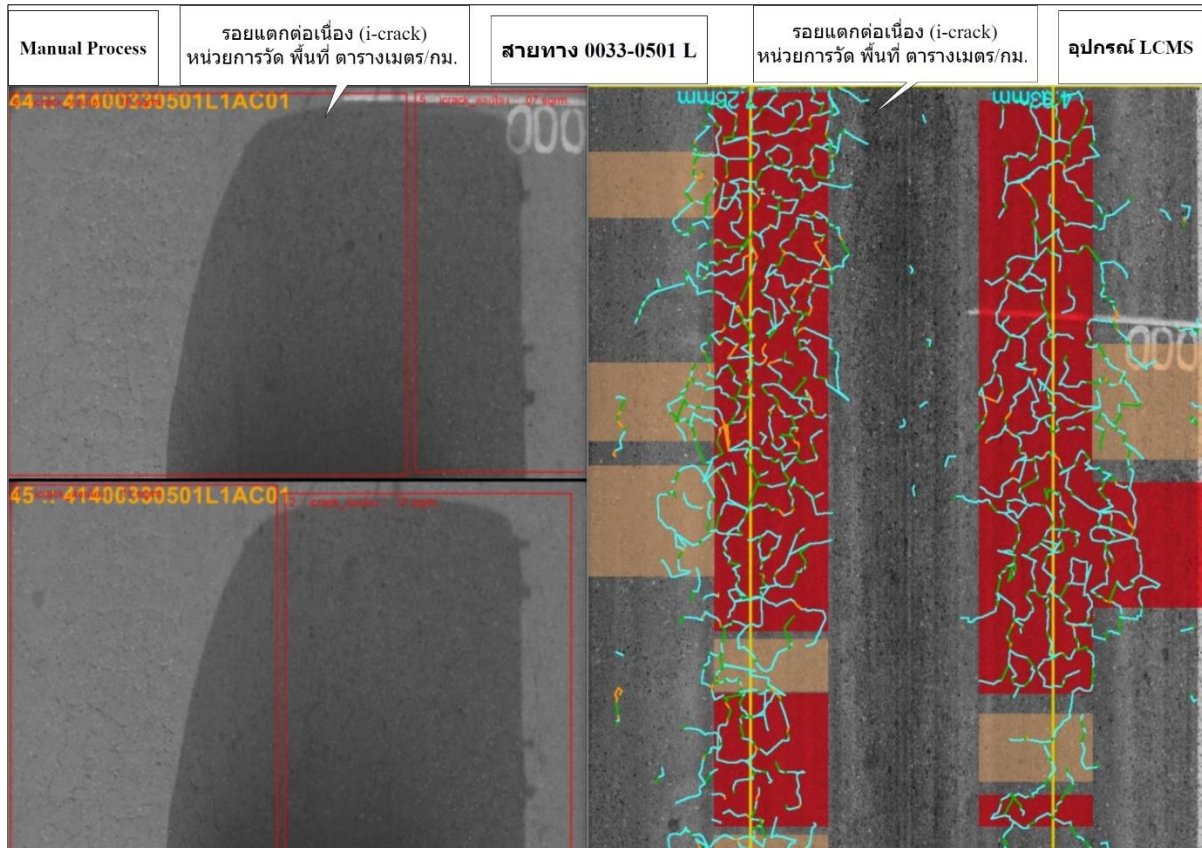
จากการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายทั้งจากระบบ Auto Crack Detection ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง สามารถนำมาแปลผลค่าความเสียหายได้ ดังตารางที่ 3-30

ตารางที่ 3-30 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

Roadnet	Types	Manual Rating	Auto Crack Detection	unit
		Method		
ลาดยาง (Asphalt pavement)				
รอยแตกต่อเนื่อง (รอยแตกหนึ่งจระเข้)	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 บนสายทางหลวงหมายเลข 0033-0501L

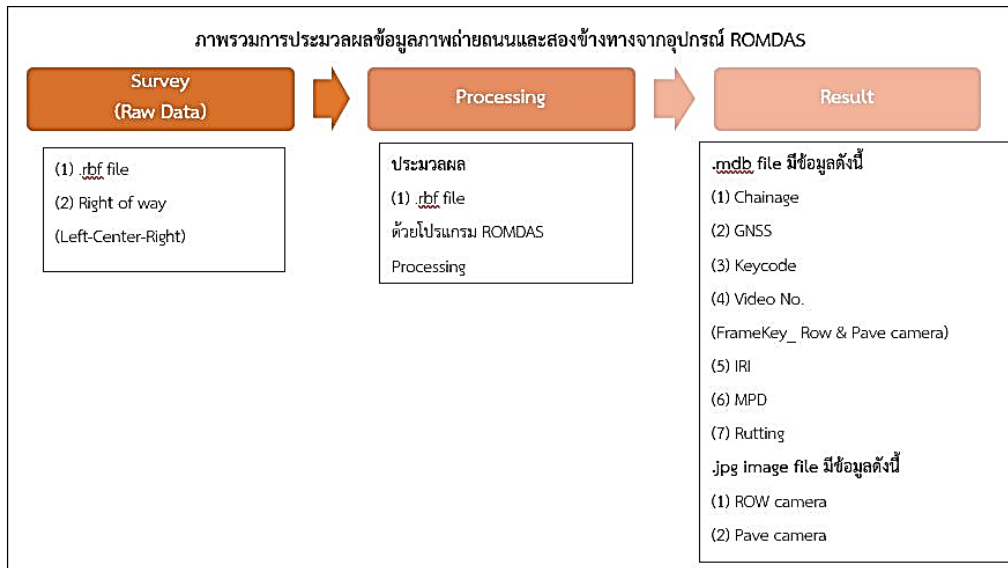


รูปที่ 3-82 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process
ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process

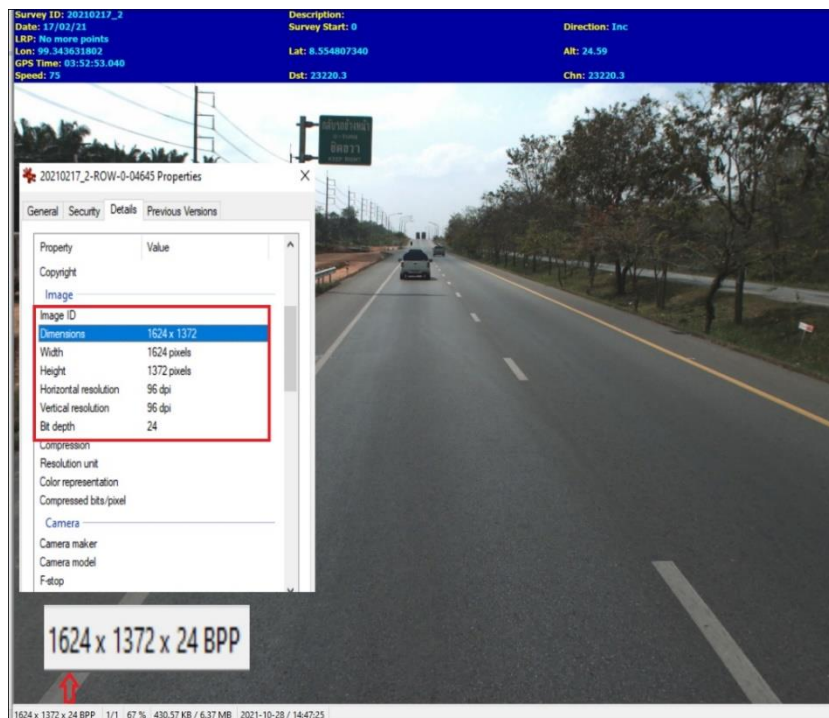


3.4.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางที่มีความละเอียด 1600 x 1200 ในรูปแบบไฟล์ JPEG หรือดีกว่า

ข้อมูลภาพที่ได้จากการสำรวจสายทาง จะถูกนำมาประมวลผลที่มีความละเอียดไม่ต่ำกว่า 1,600 x 1,200 pixel ในรูปแบบของไฟล์ JPEG หรือดีกว่า ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกล้องบันทึกภาพภายในเขตทาง จะประกอบด้วย ไหล่ทาง ป้ายจราจร หลักิโลเมตร ราวกันอันตราย ไฟสัญญาณจราจร ไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่าง ๆ



รูปที่ 3-83 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS

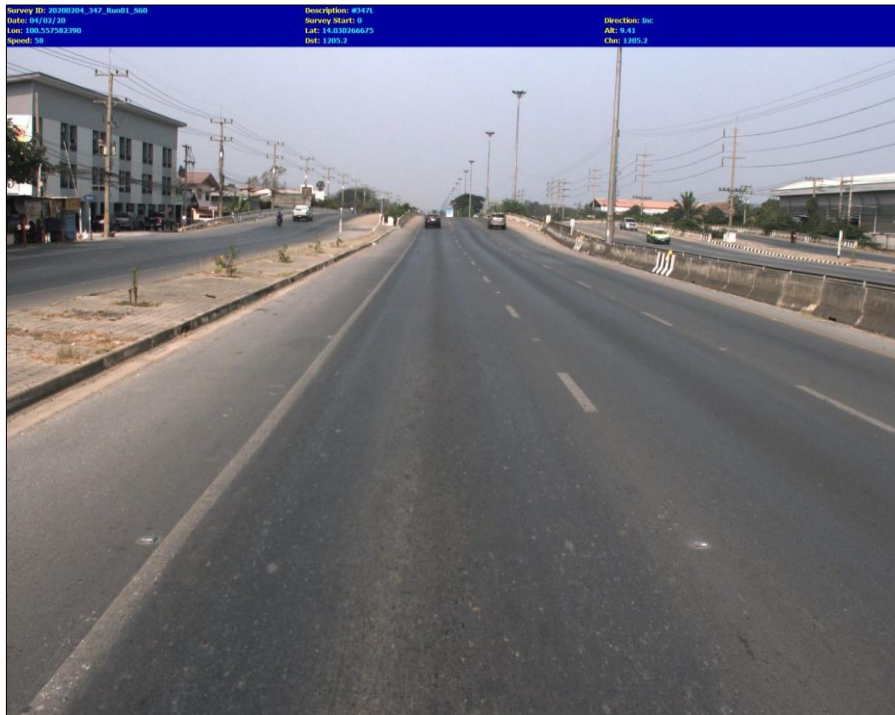


รูปที่ 3-84 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 3-85 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง
บนระบบ Roadnet



รูปที่ 3-86 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว
บนระบบ Roadnet ได้



3.4.3 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม เช่น ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) พื้นหลักฐานอ้างอิง (WGS84) หากมีหรือระบบพิกัดอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น โดยสามารถระบุตำแหน่งข้อมูลการสำรวจแบบสัมพัทธ์ (Relative location) หรือแบบหลักกิโลเมตรตามระบบทะเบียนทางหลวงปัจจุบันที่ใช้อ้างอิง ขณะที่ทำการสำรวจที่ปรึกษาจะต้องโดยต้องประมวลผลชุดข้อมูลดังต่อไปนี้

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

ที่ปรึกษาได้ทำการศึกษาระบบการส่งออกข้อมูลผ่านอุปกรณ์ที่มีการติดตั้งบนรถสำรวจ และได้ทำการพัฒนาทั้งตัวอุปกรณ์และวิธีการจัดเก็บ โดยในปัจจุบันได้นำโปรแกรมทางด้านการจัดการฐานข้อมูล (Database Management) ที่มีขีดความสามารถสูงแต่ใช้งานง่าย ผู้ใช้สามารถใช้แอสเซสในการจัดการฐานข้อมูล ค้นหาข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมาแสดงในรูปแบบฟอร์มที่สวยงาม หรือจัดพิมพ์เป็นรายงานได้อย่างง่ายดาย โดยการนำ Microsoft Access หรือเรียกสั้น ๆ ว่าแอสเซส นำมาใช้ประกอบการทำงาน

ระบบฐานข้อมูลแอสเซส จะใช้ระบบข้อมูลแบบสัมพันธ์ (Relational Database) โดยมองข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล (Table) ตารางข้อมูลคือกลุ่มของข้อมูลที่นำมาเก็บรวมกันจะต้องมีความเกี่ยวข้องกัน โดยระบุความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มข้อมูลและใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์นั้นได้ประกอบด้วย

- บิต (Bit) คือ ข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุด เป็นข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจ และนำไปใช้งานได้ ซึ่งได้แก่ เลข 0 หรือ เลข 1 เท่านั้น
- ไบต์ (Byte) หรือ อักขระ (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) หรือ เขตข้อมูล หมายถึง หัวรายการหรือหัวเรื่องข้อมูลที่เราตั้งขึ้นมาเพื่อเก็บข้อมูลตัวอักษร ตัวเลข หรือสัญลักษณ์พิเศษ รูปภาพ โดยตั้งชื่อให้สื่อความหมายกับข้อมูลที่จะเก็บภายใต้ชื่อฟิลด์นั้น เช่น ฟิลด์ชื่อสินค้า ก็จะเก็บข้อมูลของชื้อสินค้านั้น ๆ เป็นต้น
- เรคคอร์ด (Record) ได้แก่ ฟิลด์ตั้งแต่ 1 ฟิลด์ ขึ้นไป ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องรวมกันเป็นเรคคอร์ด เช่น ชื้อ นามสกุล เลขประจำตัว ยอดขาย ข้อมูลของพนักงาน 1 คน เป็น 1 เรคคอร์ด
- ไฟล์ (Files) หรือแฟ้มข้อมูล ในฐานะข้อมูลแอสเซสอาจประกอบด้วย Table, Form Report, Query, Macro และ Module จำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระบบฐานข้อมูลที่ใช้เก็บ มักจะเก็บฐานข้อมูลซึ่งเป็นเรื่องเดียวกัน เช่น ไฟล์ข้อมูลพนักงาน ไฟล์ข้อมูลลูกค้าไฟล์ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า

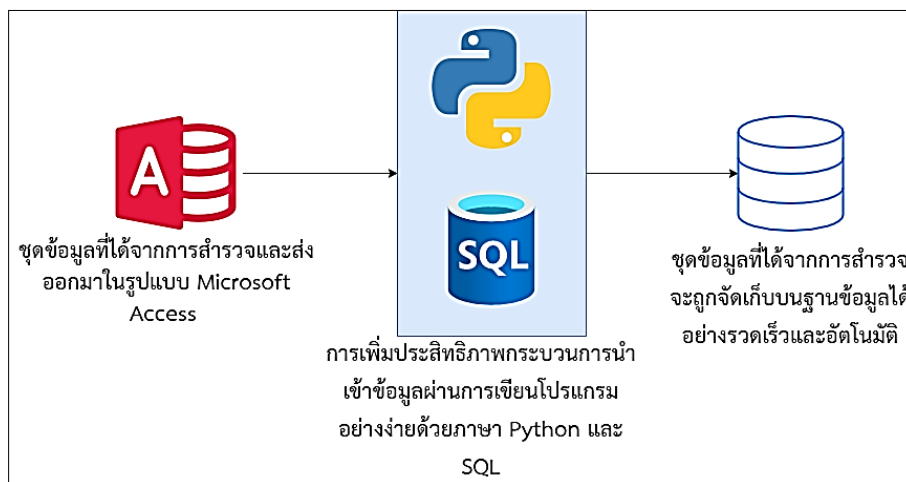
LRP	GPS_TIME	LATITUDE	LONGITUDE	NORTH	EASTING	ALT_HAE	ALT_MSL	HEADI
25	02:23:28.060	8.14759315833333	99.819807225	0	0	0	32.03	
30	02:23:28.080	8.14759848666667	99.8198380583333	0	0	0	32.06	
35	02:23:29.020	8.14760879	99.819898355	0	0	0	32.08	
40	02:23:29.040	8.14761392166667	99.8199280116667	0	0	0	32.08	
45	02:23:29.080	8.14762373	99.819984625	0	0	0	32.12	
50	02:23:30.020	8.147633155	99.8200393966667	0	0	0	32.08	
55	02:23:30.040	8.147637895	99.82006579	0	0	0	32.08	
60	02:23:30.080	8.14764773666667	99.820118225	0	0	0	32.13	
65	02:23:31.020	8.14765687666667	99.8201677083333	0	0	0	32.11	
70	02:23:31.060	8.14766583333333	99.82021544	0	0	0	32.14	
75	02:23:32.000	8.14767515166667	99.8202619866667	0	0	0	32.17	
80	02:23:32.040	8.14768397666667	99.8203082716667	0	0	0	32.18	
85	02:23:32.080	8.14769291666667	99.8203545366667	0	0	0	32.14	
90	02:23:33.020	8.147702215	99.8204001083333	0	0	0	32.13	
95	02:23:33.060	8.147710665	99.8204457016667	0	0	0	32.13	
100	02:23:34.000	8.14771904833333	99.8204909316667	0	0	0	32.16	
105	02:23:34.020	8.14772295	99.820513545	0	0	0	32.16	
110	02:23:34.060	8.14773068166667	99.8205583933333	0	0	0	32.17	
115	02:23:35.000	8.14773800833333	99.820603075	0	0	0	32.2	
120	02:23:35.060	8.147747845	99.8206693666667	0	0	0	32.22	
125	02:23:36.000	8.14775343666667	99.82071312	0	0	0	32.23	
130	02:23:36.040	8.147757975	99.8207561633333	0	0	0	32.26	
135	02:23:36.080	8.14776267166667	99.8207993633333	0	0	0	32.26	
140	02:23:37.020	8.14776619666667	99.8208421783333	0	0	0	32.22	
145	02:23:37.060	8.14776977666667	99.82088522	0	0	0	32.22	

รูปที่ 3-87 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล
และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb



การเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูลด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

ส่วนสำคัญสำหรับการจัดเก็บข้อมูลจากชุดข้อมูลรูปแบบ Microsoft Access ที่ได้จากการสำรวจ คือ การดึงข้อมูลสำรวจในแต่ละรายการออกมาให้อยู่ในรูปแบบ CSV เพื่อตอบสนองต่อการนำเข้ารายการข้อมูลต่าง ๆ โดยทางคณะที่ปรึกษาได้ยกระดับรูปแบบกระบวนการการนำเข้าข้อมูล จากข้อมูลสำรวจ โดยการสร้างโปรแกรมการนำเข้าข้อมูลสำรวจอย่างง่าย ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL ซึ่งข้อดีของกระบวนการดังกล่าวนี้สามารถยกระดับการนำเข้าข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาการนำเข้าและใช้เวลากับการตรวจสอบข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 3-88 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล
ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

นอกจากการเก็บข้อมูลในรูปแบบ Microsoft Access แล้วในการดึงข้อมูลสำรวจให้อยู่ในรูปแบบ CSV ก็ยังสามารถรองรับการส่งออกในรูปแบบนี้เช่นกัน ตัวอย่างข้อมูล Rutting, IRI และ MPD ที่ได้จากการประมวลผล ดังรูปที่ 3-89 ถึง รูปที่ 3-91



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

	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 position	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 3-89 ตัวอย่างข้อมูล Rutting

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	id	Section	Chainage	Sub Chainage	IRI Right	IRI Left	IRI Avg	Speed (km/h)	Latitude (d)	Longitude	Altitude (m)	GPS position
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 3-90 ตัวอย่างข้อมูล IRI



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

รูปที่ 3-91 ตัวอย่างข้อมูล MPD

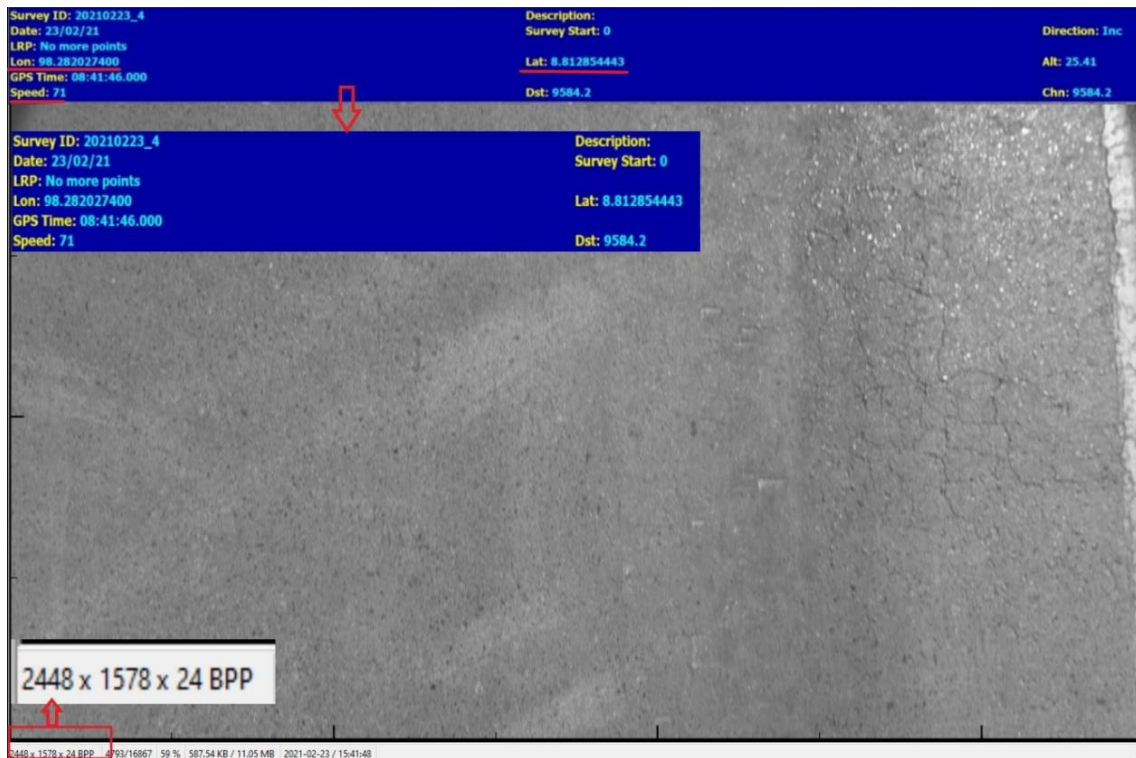


รูปที่ 3-92 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม



ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง
และระบบ LCMS ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่ (GIS)

หลักเกณฑ์การตรวจสอบความเสียหายสภาพทาง โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงของข้อมูลประเมิน Distress จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง ร่วมกับการประมวลผลด้วยระบบ LCMS และค่าเฉลี่ยข้อมูลความเสียหายประเภท ค่าความสึกกร่อน (Rutting) และค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์บ่งชี้ว่าเกิดความเสียหาย ตำแหน่งใดบนสายทางที่สำรวจ ดังรูปที่ 3-93 ถึง รูปที่ 3-95



รูปที่ 3-93 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ



No	Fran	Link ID	Distance km	Survey	latitude	longitude	date	Run_id	bleeding	corner	edge	faulcrack	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 3-94 แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS



รูปที่ 3-95 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน

จากรูปที่ 3-95 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายผิวทางเฉพาะทางจากภาพถ่ายหรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

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



3.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet

การนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทางซึ่งมีรูปแบบโครงสร้างข้อมูลตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS ได้ ไม่น้อยกว่าระยะทาง 29,400 กิโลเมตร โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard disk) อย่างเป็นระบบ และต้องนำเข้าไปเก็บในอุปกรณ์จัดเก็บและสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) โดยติดตั้งอยู่ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง มีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ดำเนินการตรวจสอบ ปรับปรุงและทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามข้อ 3.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet ให้ถูกต้องและสามารถแสดงผลในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างถูกต้อง

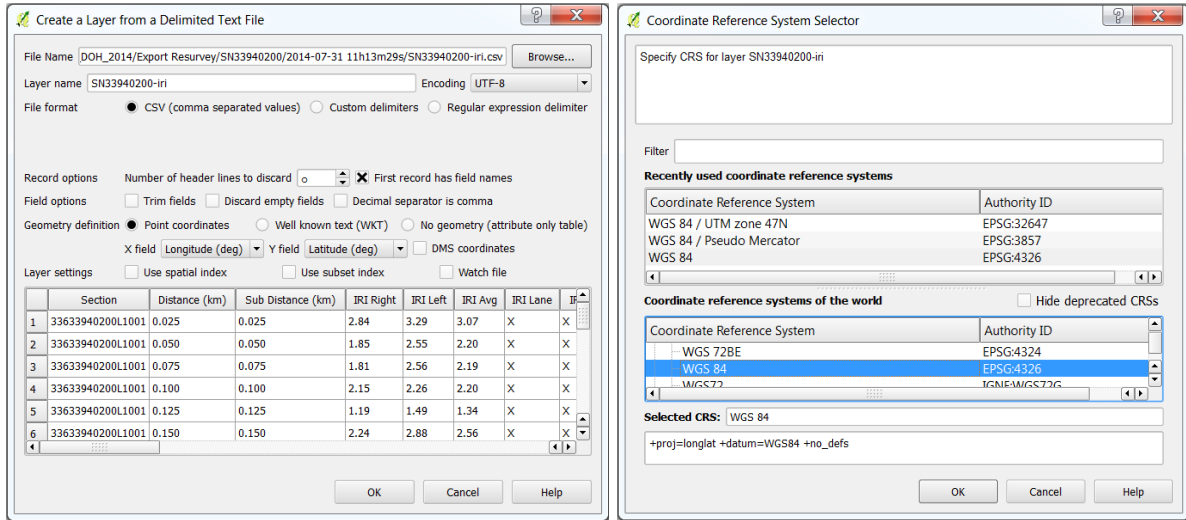
การออกแบบการจัดเก็บข้อมูลของฐานข้อมูล ผู้พัฒนาได้ออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานข้อมูลโดยได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับจากการสำรวจผิวทาง รวมไปถึงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยขั้นตอนอื่น ๆ และได้สร้างแบบจำลองโดยการแยกการจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผิวทางออกจากข้อมูลสายทาง จากนั้นทำการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วยความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (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 เพื่อให้ข้อมูลในแต่ละพื้นที่มีความพร้อมต่อการนำเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลกลาง

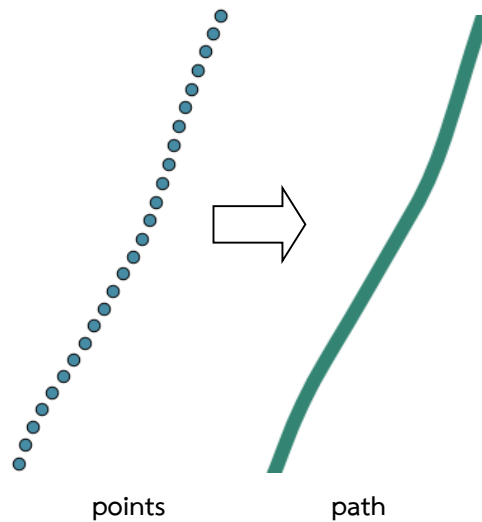
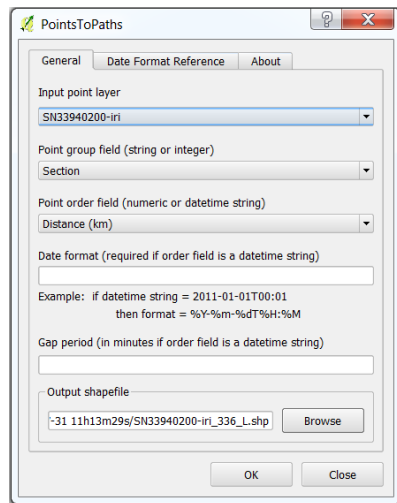


4. ทำการ convert (*.csv file) to Shape file (point) ในข้อมูล IRI, Rutting และ MPD โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop และกำหนด Map project file



รูปที่ 3-98 การ convert (*.csv file) to shapefile (point)

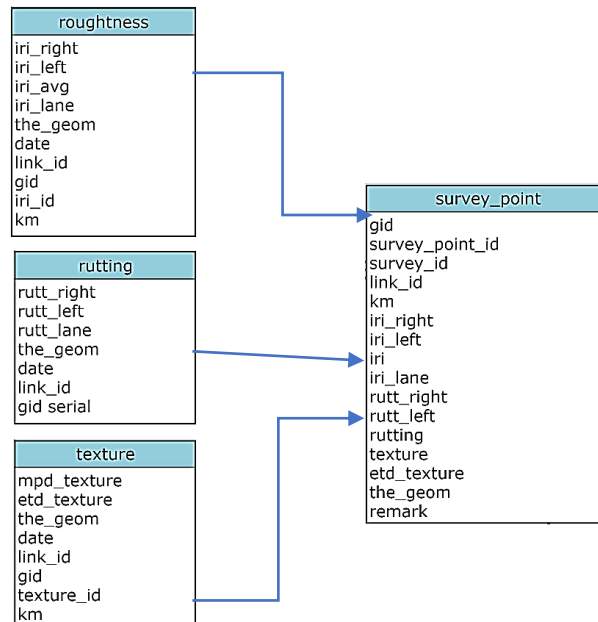
5. ตรวจสอบจำนวน record ของข้อมูล IRI Rutting Texture-MPD หลังจากการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของสารสนเทศภูมิศาสตร์แล้ว ทำการ convert Points to Paths เฉพาะข้อมูล IRI โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop ที่ได้จะเป็น feature ของบัญชีสายทาง หรือแนวสายทางที่สำรวจ



รูปที่ 3-99 การ convert points to Paths



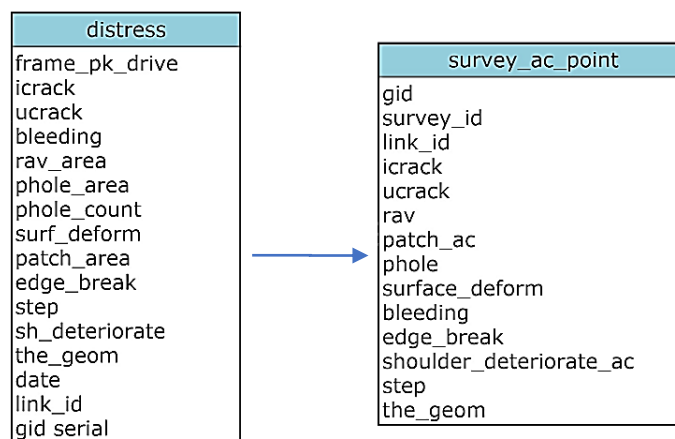
6. ทำการนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทางที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Accuracy data) และความถูกต้องของข้อมูลอรรถาธิบาย (Attribute Data) เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับโครงสร้างข้อมูลให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจสภาพทางในฐานข้อมูล Roadnet เพื่อให้สามารถสืบค้นและแสดงผลข้อมูลผ่านโปรแกรมสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง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



โครงสร้างข้อมูลสำรวจที่ได้จาก HKE

โครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)

รูปที่ 3-100 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ
ในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)



โครงสร้างข้อมูลสำรวจที่ได้จาก POP

โครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงาน
บำรุงทาง (CRDB)

รูปที่ 3-101 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล



3.5.2 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ที่ปรึกษาต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ผ่านโปรแกรม Roadnet โดยมีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งอย่างมีระบบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) โดยทำการสุ่มตรวจ ข้อมูลจากแขวงทางหลวง อย่างละ 2 พื้นที่ตัวอย่าง

เมื่อทำการสำรวจข้อมูลแล้วเสร็จ มีการตรวจสอบคุณภาพเชิงตำแหน่งของข้อมูล โดยใช้การเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) รวมไปถึงการตรวจสอบค่าความสึกกร่อน (Rutting) ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) และค่าความหยابเฉลี่ยของพื้นผิวทาง ก่อนการนำเข้าสู่ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงและระบบบริหารงานบำรุงทาง (TPMS) การทำเช่นนี้จะทำให้ระบบการบริหารข้อมูลมีความเป็นเอกภาพ และเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างข้อมูลให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะป้อนเข้า (Input) สู่อุปกรณ์ประเมินความเสียหาย โดยรายงานความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

ที่ปรึกษาจะดำเนินการจัดทำรายงานผลการประเมินพร้อมตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งเทียบกับตำแหน่งบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (THEOS) มาตรฐาน 1 : 25,000 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) โดยจัดกลุ่มของการตรวจสอบ ออกเป็นกลุ่ม (Grouping Data for Validation) จุดตรวจสอบ (GCP) มีการกระจายตัว และระยะห่างที่เหมาะสมและครอบคลุมทั่วถึงทั้งพื้นที่ตามมาตรฐานและยอมให้มีความคลาดเคลื่อนจากจุดตรวจสอบอิสระบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (THEOS) ได้ไม่เกิน 2 เมตร เมื่อคิดจากรากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Error : RMSE) โดยแบ่งผลการตรวจสอบข้อมูลมีรายละเอียดของการตรวจสอบแบ่งเป็นกลุ่ม

โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลดังกล่าว จะพิจารณาจากระยะทางสำรวจ และจำนวนวันทำงานที่สำรวจในพื้นที่แขวงทางหลวง อย่างน้อยแขวงละ 2 จุด (กรณีสำรวจข้อมูลสายทางในแขวงทางหลวง นั้น 2 วัน) กล่าวคือ การรายงานคุณภาพข้อมูลเชิงพื้นที่ จะทำการสุ่มตรวจสอบ เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์สำรวจที่ใช้งานในวันนั้น ๆ มีสภาพการทำงานปกติ สามารถอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัด อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS ระบบส่งค่าพิกัดเข้าสู่อุปกรณ์จัดเก็บและบันทึกข้อมูล โดยสามารถตรวจสอบได้ก่อนเริ่มงานสำรวจ 1 ครั้งต่อวัน ดังนั้นหากทำการสำรวจแขวงทางหลวง 3 วัน จะต้องใช้จุดตรวจสอบ 3 จุด เป็นต้น ในพื้นที่แขวงทางหลวงนั้น ๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ



จุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และจุดที่ทำการตรวจสอบ
ทั้ง 34 จุด ต้องสามารถมองเห็นตำแหน่งจุดตัดทางแยกจากภาพถ่ายดาวเทียมโทโซต (THEOS)
หรือเทียบเท่าได้ชัดเจน ดังรูปที่ 3-102 และ รูปที่ 3-103



รูปที่ 3-102 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 3-103 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2



ในการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ (Horizontal positional accuracy) ของแผนที่ ที่ปรึกษาได้เลือกใช้มาตรฐานของ 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 แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมโทโซต (THEOS) มาตรฐาน 1 : 25,000 ความละเอียดจุดภาพ 2 เมตร

นอกจากการตรวจสอบแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมโทโซต (THEOS) ในประเด็นความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งทางราบแล้ว ยังจะมีการตรวจสอบคุณภาพในประเด็นอื่น ๆ ซึ่งที่ปรึกษาจะได้ออกวางแผนดำเนินการ เพื่อให้ผลการปฏิบัติงานมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอันเป็นสากล เช่น การตรวจสอบอัตราการบีบอัดภาพที่ยังทำให้ภาพดูคล้ายคลึงต้นฉบับ อันเนื่องมาจากกระบวนการ Lossy compression (JPG/PNG) ให้อยู่ในเกณฑ์ความละเอียดจุดภาพ 800 x 600 กล่าวคือ การบีบอัดข้อมูล (Compression) คือ กระบวนการเข้ารหัสข้อมูล que เลือกเอาเฉพาะบิตที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ และสามารถรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยกระบวนการ Lossy Compression จะตัดข้อมูลบางส่วนออกไปเพื่อลดขนาดของไฟล์ โดยข้อมูลที่ซ้ำซ้อนจะถูกตัดทิ้งอย่างถาวร ข้อดีคือขนาดข้อมูลจะลดลงมาก แต่ข้อเสียคือข้อมูลจะไม่ละเอียดเหมือนต้นฉบับ แต่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์งานทาง และแสดงผลในระบบสารสนเทศ Roadnet

โดยที่ปรึกษาใช้เกณฑ์รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (root mean square error, RMSE) ในการวัดค่าความแม่นยำจากวิธีการหากยังมีค่าน้อยแสดงว่าโมเดลที่ได้จะมีความแม่นยำมาก แสดงรายละเอียดสมการดังนี้

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

เมื่อ :

ตัวแปร a คือ ค่าข้อมูลที่แท้จริง

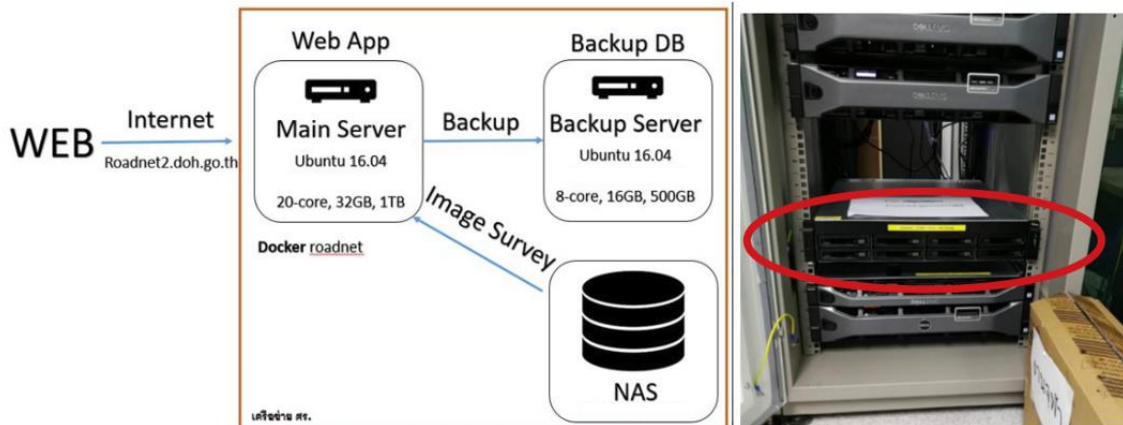
ตัวแปร y คือ ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการพยากรณ์

ตัวแปร n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด



3.5.3 ที่ปรึกษาต้องทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้ จากข้อ 3.4 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



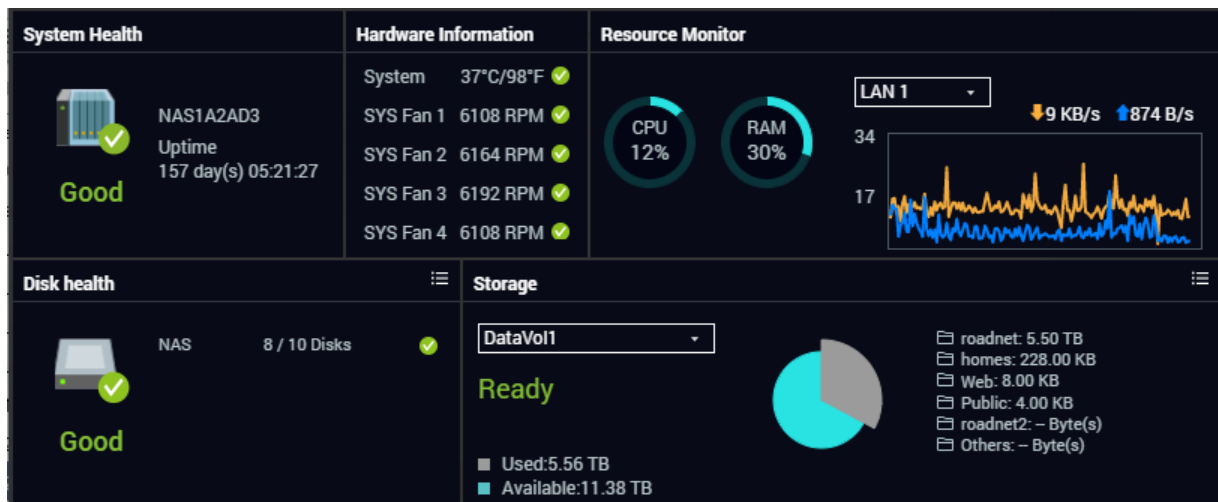
รูปที่ 3-104 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

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



ตารางที่ 3-31 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน

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



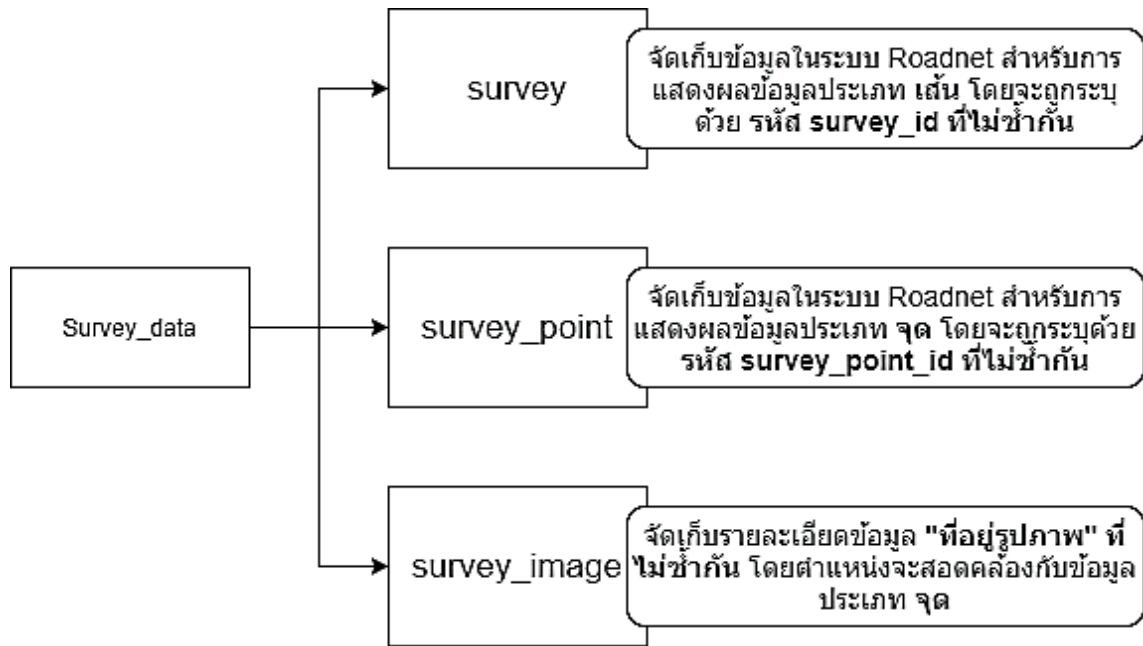
รูปที่ 3-105 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS)

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



3.5.4 การจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet จะต้องไม่มีผลกระทบกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในระบบ และรูปแบบจะต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ

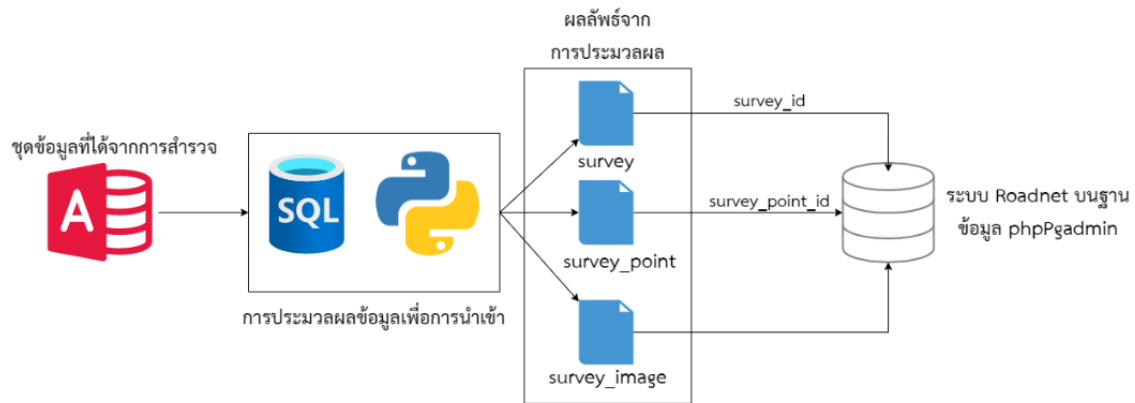
การจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะมีโครงสร้างตามข้อ 3.5.1 โดยมีการออกแบบโครงสร้างเพื่อยกระดับกระบวนการการนำเข้าข้อมูล เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบ โดยมีแบ่งกลุ่มข้อมูลสำรวจที่ถูกประมวลผลพร้อมนำเข้าระบบไว้ ดังรูปที่ 3-106



รูปที่ 3-106 แสดงการเชื่อมโยงในระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

จากแผนผังการแสดงการเชื่อมโยงในระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของข้อมูลมี 3 ส่วน คือ 1.ข้อมูลกลุ่ม survey ที่ระบุตำแหน่งเส้นถนนบนทางหลวงของแต่ละตอนควบคุมในระบบ 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 phpPgadmin สามารถอธิบายกระบวนการการนำเข้าได้ ดังนี้



รูปที่ 3-107 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

3.5.5 ที่ปรึกษาต้องจัดเก็บข้อมูลการสำรวจ ที่สำรวจโดยเครื่องชุดเครื่องมือเลเซอร์ เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางแบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) และประมวลผลโดยระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) และนำเสนอให้คณะกรรมการตรวจสอบได้เพื่อรองรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ต่อไป

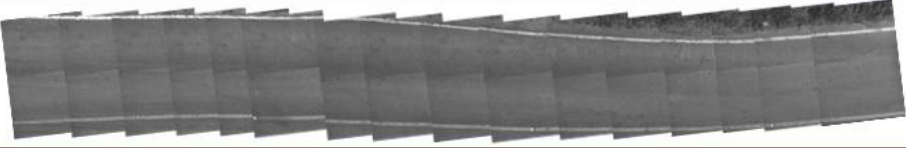
ในการสำรวจภายในปี 2565 ในครั้งนี้มีระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 29,400 กม. และสามารถแบ่งการสำรวจด้วย 2 อุปกรณ์ ได้แก่ อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS (Laser Crack Measurement System) ที่ต้องวิ่งระยะทางไม่ต่ำกว่า 15,000 กม. และอีกอุปกรณ์คือชุดอุปกรณ์สำรวจด้วยระบบ Laser Scan ระยะทางรวมไม่ต่ำกว่า 14,400 กม. ซึ่งภายในการสำรวจในปี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



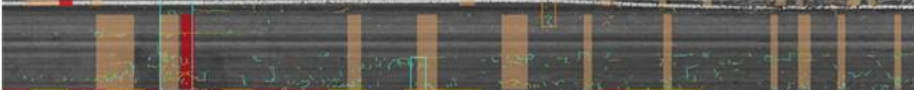
นอกจากนี้ที่ปรึกษาจะดำเนินการการตรวจสอบค่าความเสียหายจากระบบ Auto Crack Detection เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการตรวจสอบได้เพื่อรองรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ดังรูปที่ 3-108 ตัวอย่างการตรวจสอบจากระบบ Auto Crack Detection

STA	รายการความเสียหาย			ค่าความเสียหาย		ผลต่าง
	POP	ROMDAS	Roadnet	POP	ROMDAS	
2+025	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
2+050	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 3-108 เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 – 2+050
บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอนควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1

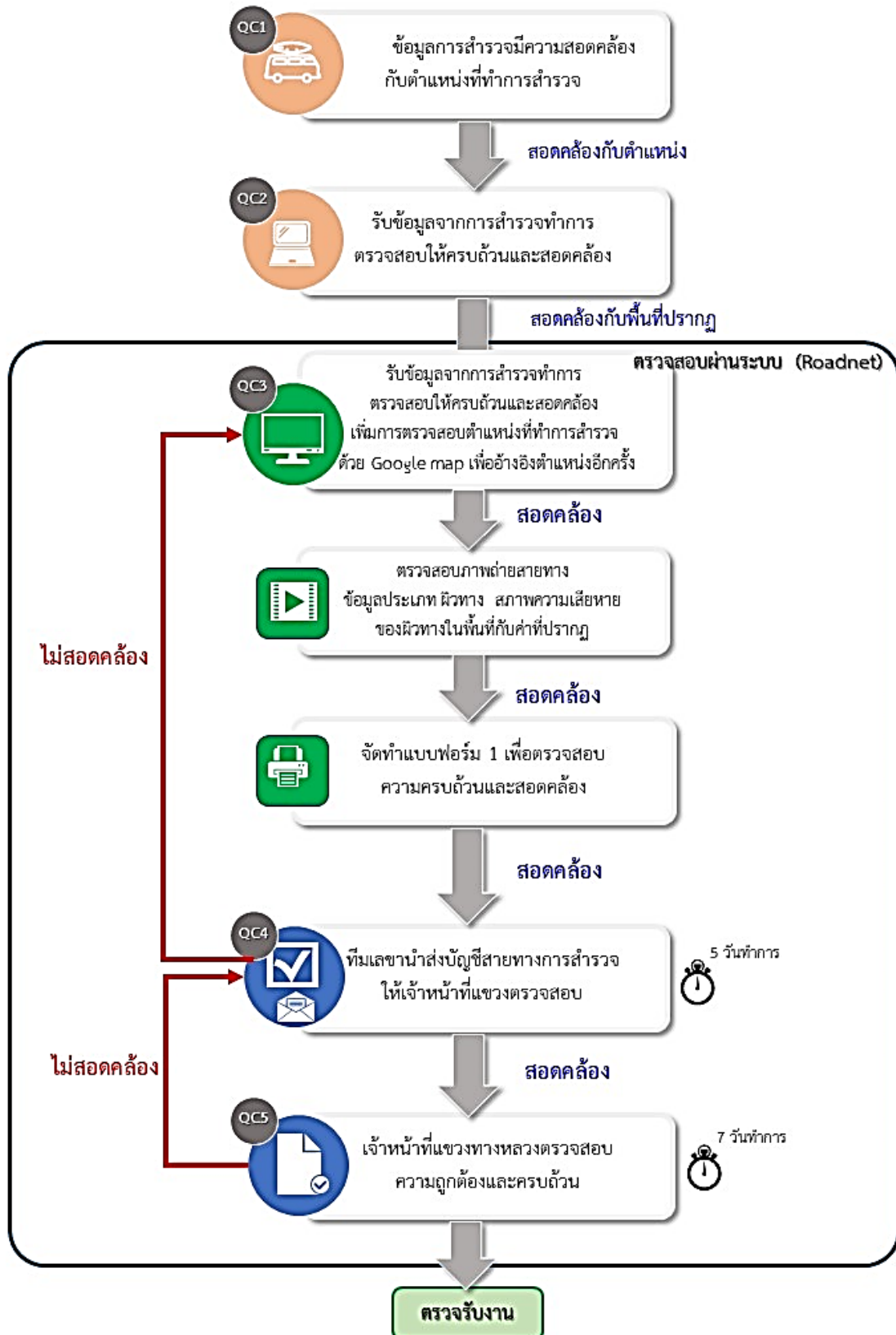


3.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างน้อยดังนี้

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

- ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ
- ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง
- ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

การตรวจสอบข้อมูลสำรวจ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจ จนมาถึงขั้นตอนการรับข้อมูลสำรวจตลอดจนการนำเข้าระบบ Roadnet ซึ่งจะทำการตรวจสอบตั้งแต่รายละเอียดภายในสายทางรวมทั้งความครบถ้วนของข้อมูลสำรวจ ความสอดคล้องและสัมพันธ์กับภาพถ่าย 2 ข้างทางโดยมีกระบวนการและรายละเอียด ดังรูปที่ 3-109



รูปที่ 3-109 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet



ในขั้นตอนการตรวจสอบการแสดงผลหน้าข้อมูลสำรวจผ่านระบบ Roadnet ทางทีมมีการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) ทางด้านคุณภาพของข้อมูล ได้กำหนดเงื่อนไขการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วน ความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม แผนการสำรวจ และผิวการสำรวจ มีความสอดคล้องทุกกระบวนการ โดยทำการตรวจสอบตามเงื่อนไขต่อไปนี้

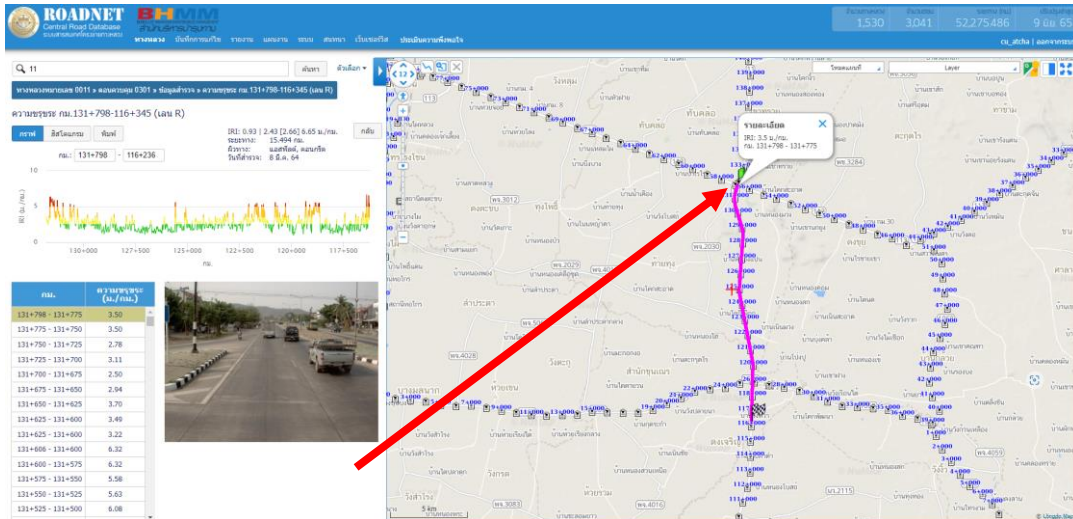
ตารางที่ 3-32 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) กระบวนการภายใน

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



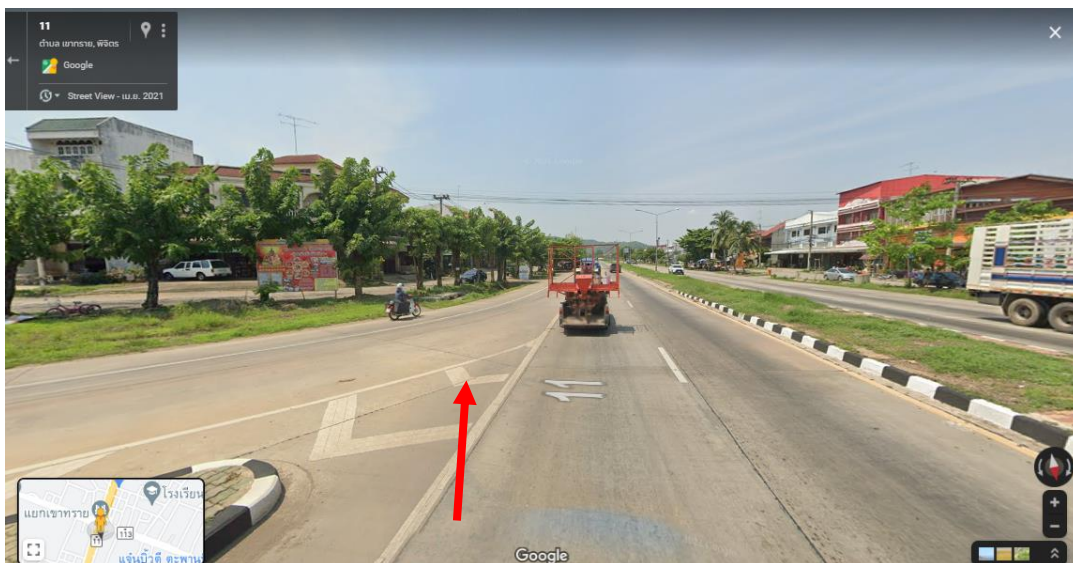
● ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ

การแสดงผลภาพถ่ายสองข้าง (LT/RT) เช่น ทางด้านซ้ายทางแสดงผลกิโลเมตรสำรวจ
จากน้อยไปมากจะต้องสอดคล้องกับสายทางที่สำรวจในพื้นที่ โดยการแสดงผลสองข้างทาง
ผ่านระบบ Roadnet2 แสดงผลทุก 25 เมตร ตามที่กำหนดไว้อย่างต่อเนื่องกันไปตลอดสายทาง
สังเกตจากการแสดงพิกัดสายทางเส้นทางบนแผนที่ควบคู่กันไป



รูปที่ 3-110 ตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก

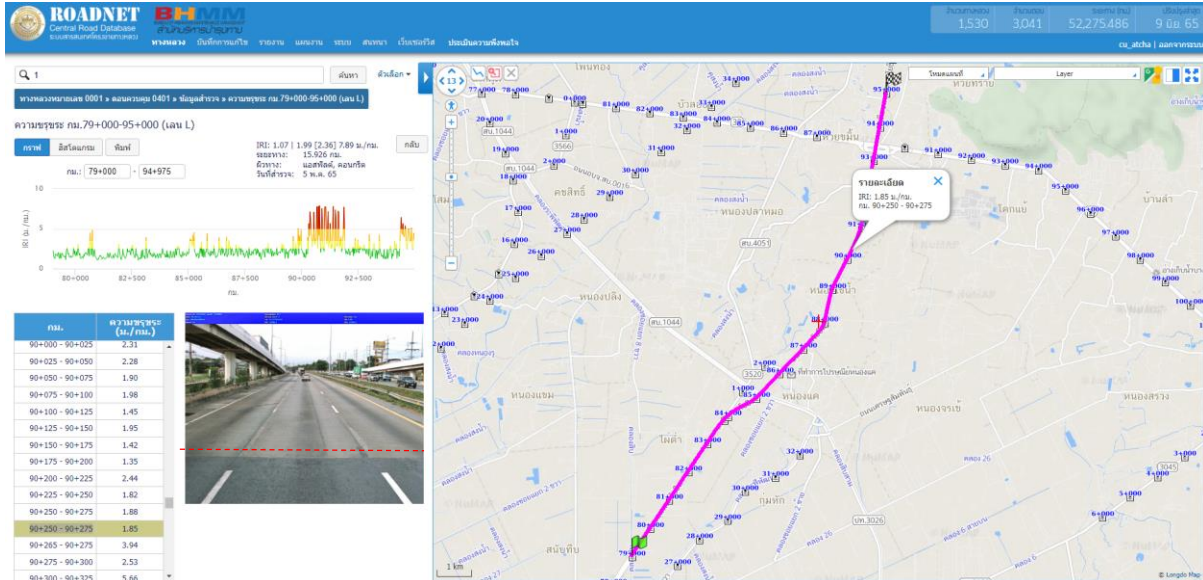
จากภาพถ่ายจุดเริ่มต้นความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจที่ปรึกษา
ทำการตรวจสอบเพิ่ม 1 ขั้นตอนโดยเทียบภาพถ่ายสายทางและภาพจาก Google Map เพื่ออ้างอิง
ความสอดคล้องของตำแหน่งสายทางที่ทำการสำรวจ



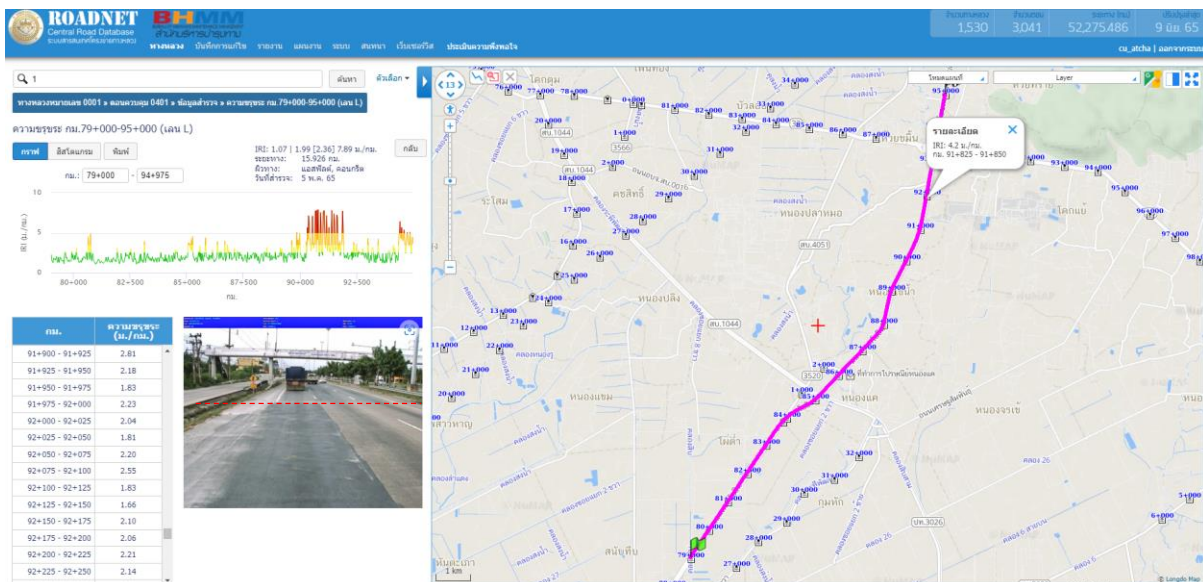
รูปที่ 3-111 ตัวอย่างการตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map



- ข้อมูลประเภท ผิวนทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง
ประเภทผิวนทางผ่านระบบและผิวนทางพื้นที่จริงต้องมีความสอดคล้องกัน โดยแสดงผล
ผิวนทางแอสฟัลต์และผิวนทางคอนกรีต ซึ่งในบางสายทางอาจมีผิวนทางมากกว่า 1 ผิวนทาง



รูปที่ 3-112 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต



รูปที่ 3-113 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์



● ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

วิธีการตรวจสอบการแสดงผลหน้าข้อมูลสำรวจเบื้องต้นจากการนำเข้าระบบข้อมูลสภาพทาง จะทำการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet โดยทำการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วน และความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจในแต่ละสายทาง ยกตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องของสภาพความเสียหายของข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เนื่องจากข้อมูลกราฟแสดงค่าความขรุขระสากล (IRI) มากกว่าที่กำหนด จึงต้องตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างค่าความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่าย 2 ข้างทาง นอกจากนี้การตรวจสอบการแสดงผลกราฟต้องเป็นไปตามปกติ ค่าของกราฟจะต้องไม่เท่ากับ 0 หรือการแสดงผลกราฟผิดเพี้ยนไป เมื่อพบข้อผิดพลาดดังกล่าว จะดำเนินการส่งข้อมูลกลับไปแก้ไข เพื่อความครบถ้วน และความสอดคล้องของข้อมูล จึงจำเป็นต้องตรวจสอบอย่างละเอียดดังนี้



รูปที่ 3-114 ตัวอย่างกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่



3.6.2 การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จะต้องมีความถูกต้องครบถ้วน ตามแต่ละประเภทผิวทางทั้งผิวลาดยางและผิวคอนกรีต และแสดงข้อมูลตามสภาพความเสียหายที่ได้จากการสำรวจ โดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet หรือตรวจสอบผ่านระบบอื่นๆ ได้

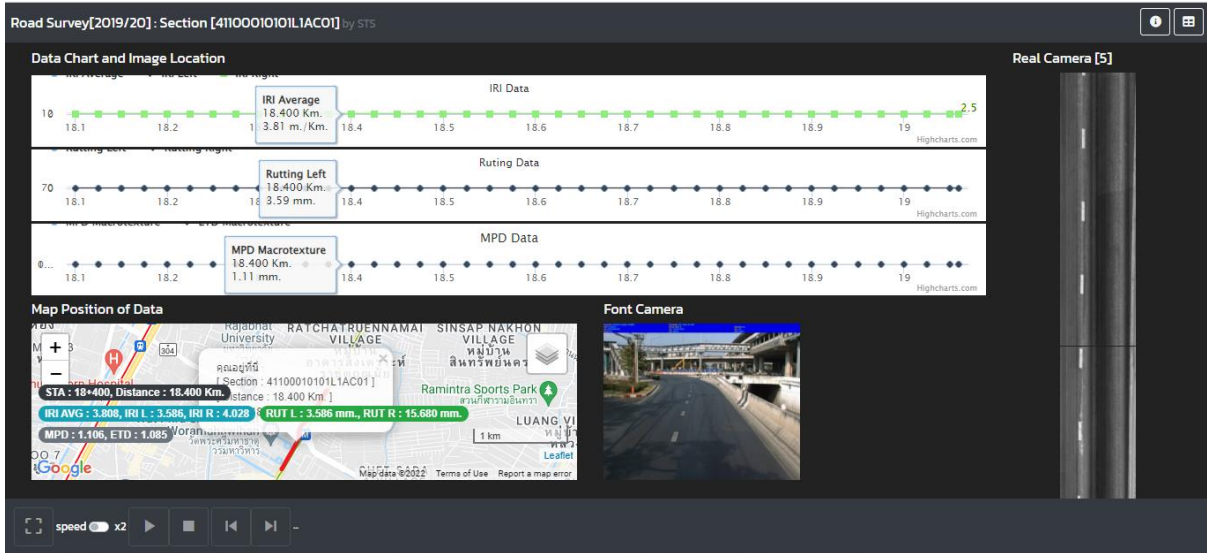
การตรวจสอบข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากการประเมินความเสียหายผิวทางทั้งผิวทางแอสฟัลต์ และคอนกรีต มีกระบวนการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนนำเข้าสู่ระบบโดยมีกระบวนการตรวจสอบตามข้อ 3.4.2 ซึ่งเป็นกระบวนการก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet การตรวจสอบดังกล่าว สามารถทำการตรวจสอบตำแหน่งของข้อมูลเทียบกับสายทางที่มีค่าสภาพทางสูงเพียงเท่านั้น จนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet จึงทำการตรวจสอบข้อมูลทางด้านความสอดคล้องและครบถ้วนกับภาพถ่าย 2 ข้างทาง และตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจ ตารางสภาพความเสียหายนำเข้าสู่ระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ โดยมีรายการของประเภทความเสียหายของผิวทาง ดังตารางที่ 3-33

ตารางที่ 3-33 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์

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

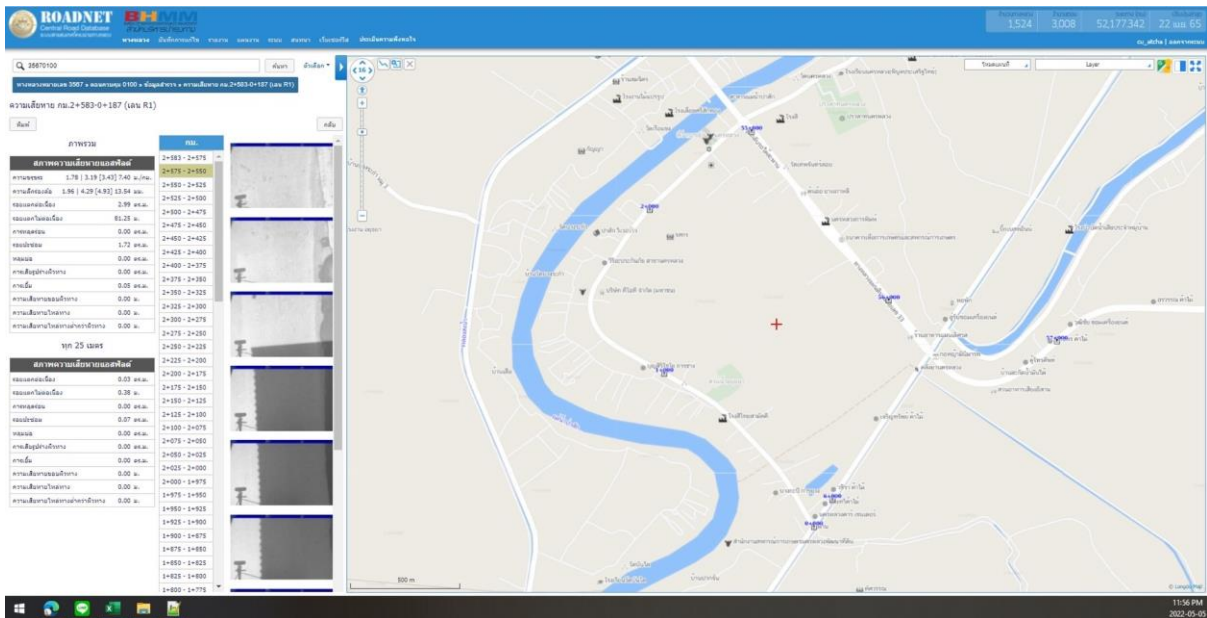


การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ปรึกษาการจำลองการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายที่ได้จากการสำรวจ โดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบเว็บไซต์อื่นจากที่จำลองเบื้องต้น



รูปที่ 3-115 ตัวอย่างการจำลองการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหาย

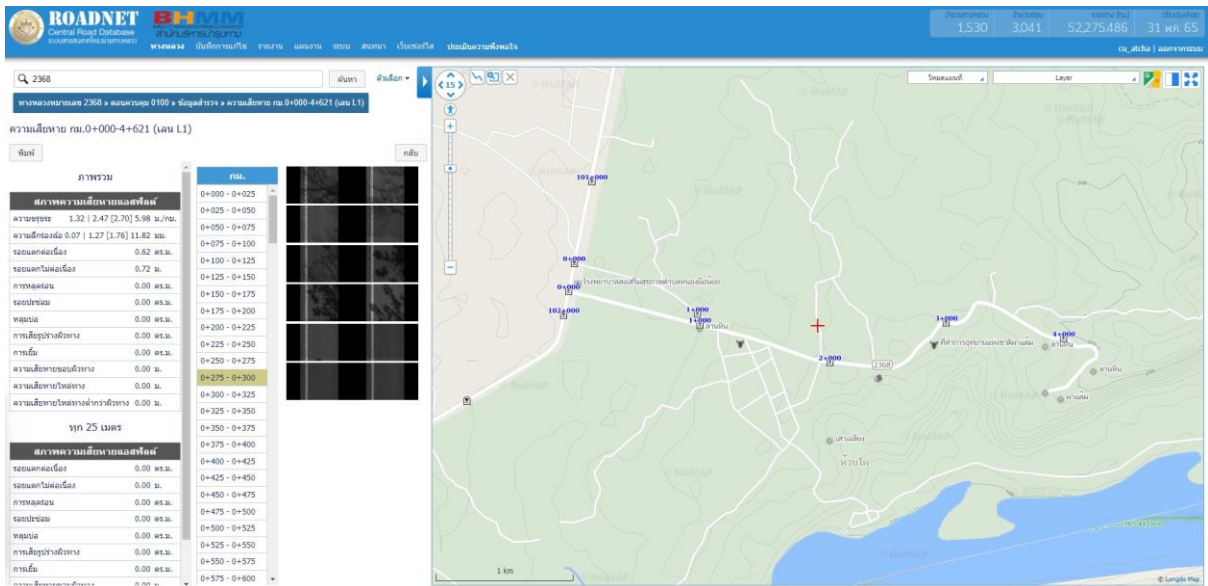
การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ปรึกษาทดลองนำข้อมูลตัวอย่างนำขึ้นระบบ Roadnet โดยสามารถตรวจสอบสายทางที่นำขึ้นระบบ ตัวอย่างดังรูปที่ 3-116 ถึง รูปที่ 3-118



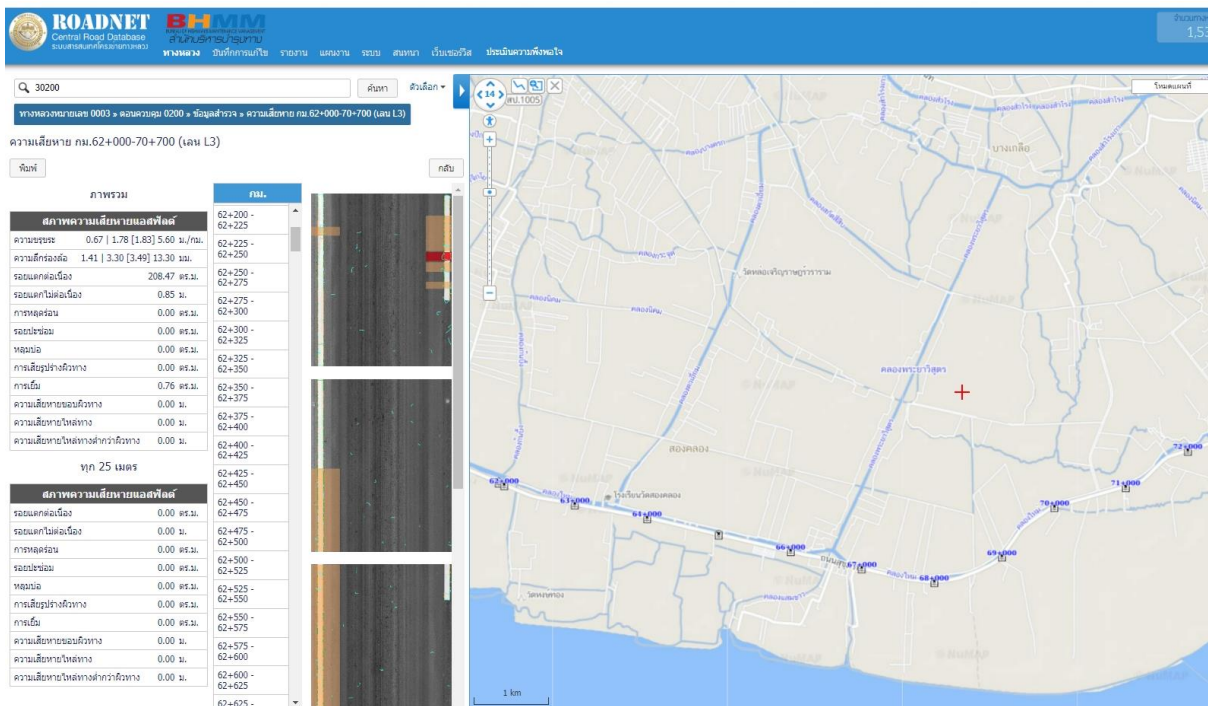
รูปที่ 3-116 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



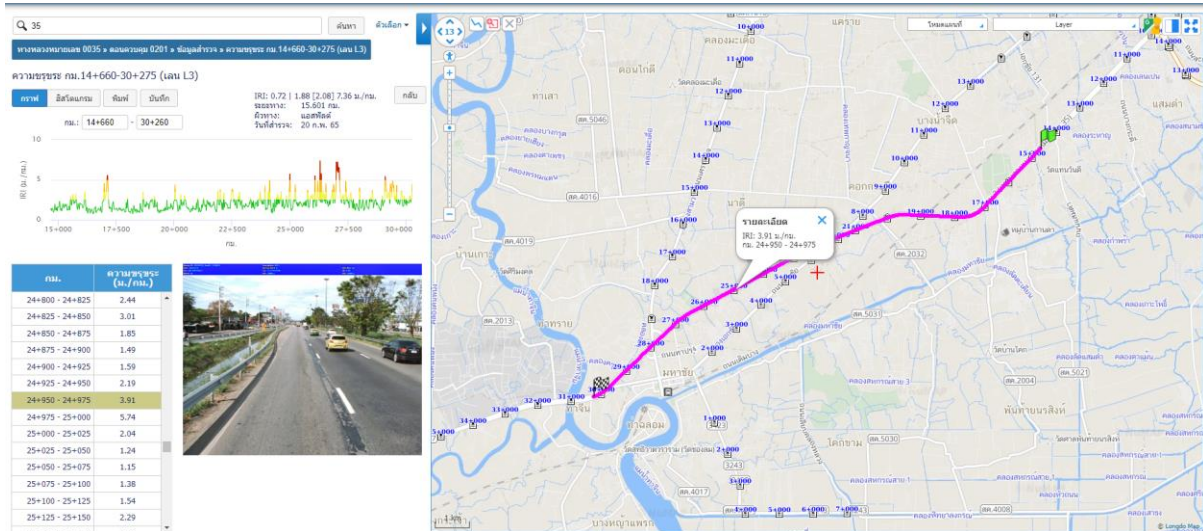
รูปที่ 3-117 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 2



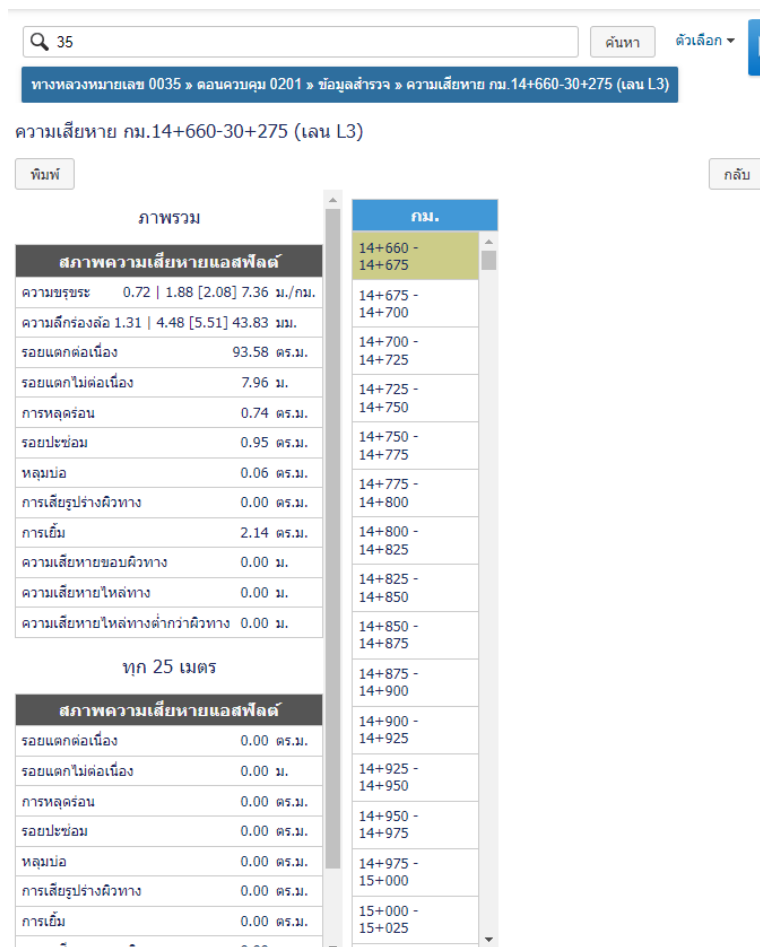
รูปที่ 3-118 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์สำรวจ LCMS



จากผลการนำเข้าข้อมูลความเสียหายผิวทางแอสฟัลต์ จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟ
ของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางควบคู่กันไป ตัวอย่างดังรูปที่ 3-119
และ รูปที่ 3-120



รูปที่ 3-119 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์



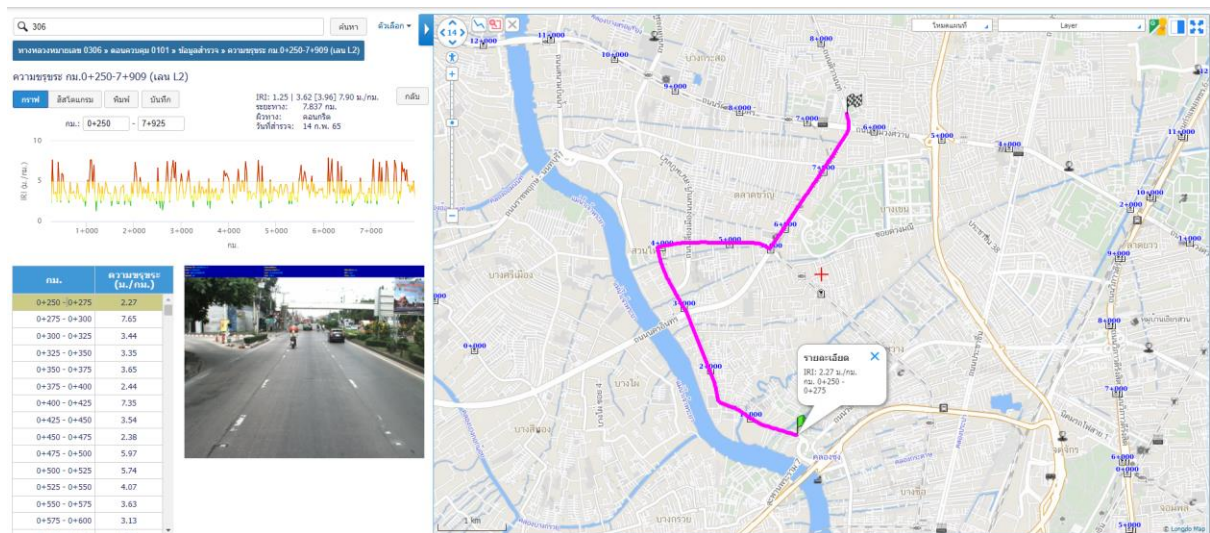
รูปที่ 3-120 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์



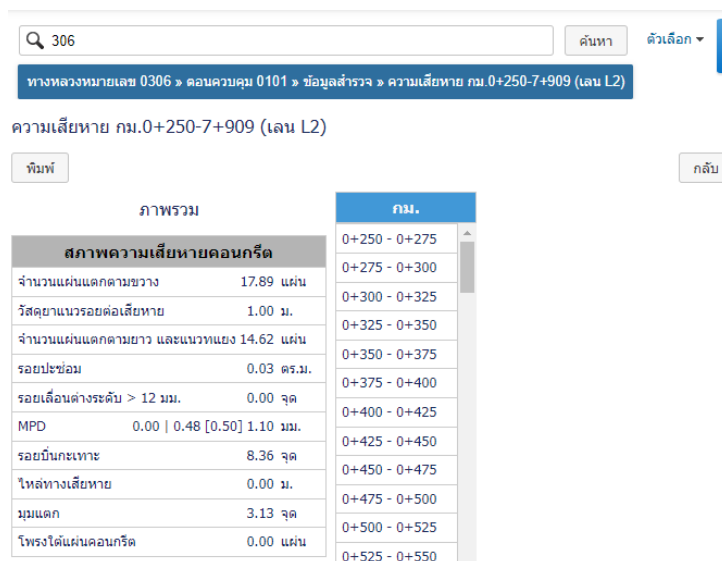
ตารางที่ 3-34 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต

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 ช่องทางควบคู่กันไป ตัวอย่างดังรูปที่ 3-121



รูปที่ 3-121 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต



รูปที่ 3-122 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต



นอกจากนี้ ทางทีมที่ปรึกษาจะดำเนินการหารูปแบบในการแสดงผลค่าความเสียหายผิวทาง ในรูปแบบแผนที่ (GIS) อ้างอิงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) บนพื้น หลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984) ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับว่า มีความเป็นสากลและถูกต้องแม่นยำ โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลยังสามารถระบุตำแหน่งที่เกิด ความเสียหาย พร้อมทั้งแสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่เกิดความเสียหาย ณ ช่วงสายทางนั้น ๆ ได้ ดังแสดง เป็นจุดสามเหลี่ยมสีน้ำเงินที่ระยะห่างระหว่างจุดในทุก ๆ 2 เมตร ซึ่งค่าความเสียหายที่ได้จากการประเมิน และวิเคราะห์ทั้งจากผู้เชี่ยวชาญและจากระบบ LCMS นั้น จะสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) (วงกลมสี่เหลี่ยม) ที่ระยะห่างระหว่างจุดในทุก ๆ 25 เมตร ที่มีค่าสูงตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการ กำหนด ดังรูปที่ 3-123



รูปที่ 3-123 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่ายความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS)



3.6.3 ภาพถ่ายและภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของถนนและสองข้างทาง ต้องมีความสมบูรณ์ของภาพ ดังนี้

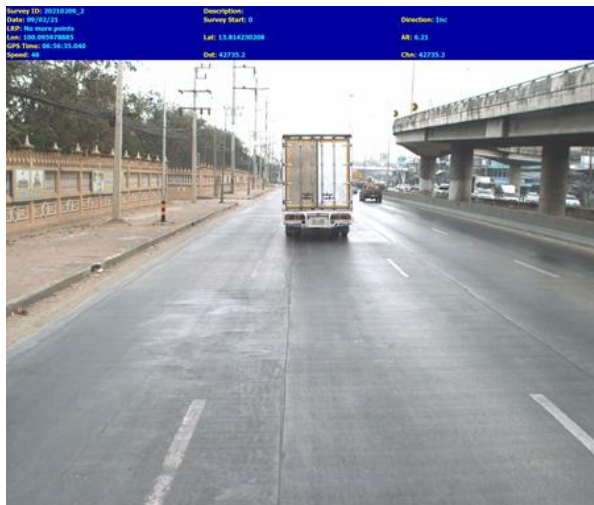
- ภาพถ่ายจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังความชัดเจนอันแสดงถึงสภาพของผิวทางหรือทรัพย์สินต่าง ๆ ที่ติดตั้งในบริเวณเขตทางหลวง เช่น คราบหยดน้ำ หรือเงาสะท้อนจากกระจก เป็นต้น

ภาพถ่ายสองข้างทาง จากการกรณำภาพถ่าย 2 ข้างทางที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องภายในห้องโดยสารของรถสำรวจ (DVR) นำมาเรียงลำดับภาพทุก ๆ 25 เมตร จนออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหว (VDO) จากการตรวจสอบภาพถ่ายต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น เงาสะท้อนจากกระจก คราบหยดน้ำ คราบมูลนกหรืออื่น ๆ เป็นต้น ที่บดบังทัศนวิสัยในการแสดงผลบนหน้าระบบ Roadnet มีตัวอย่างภาพที่เกิดปัญหาดังรูปที่ 3-124



รูปที่ 3-124 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก

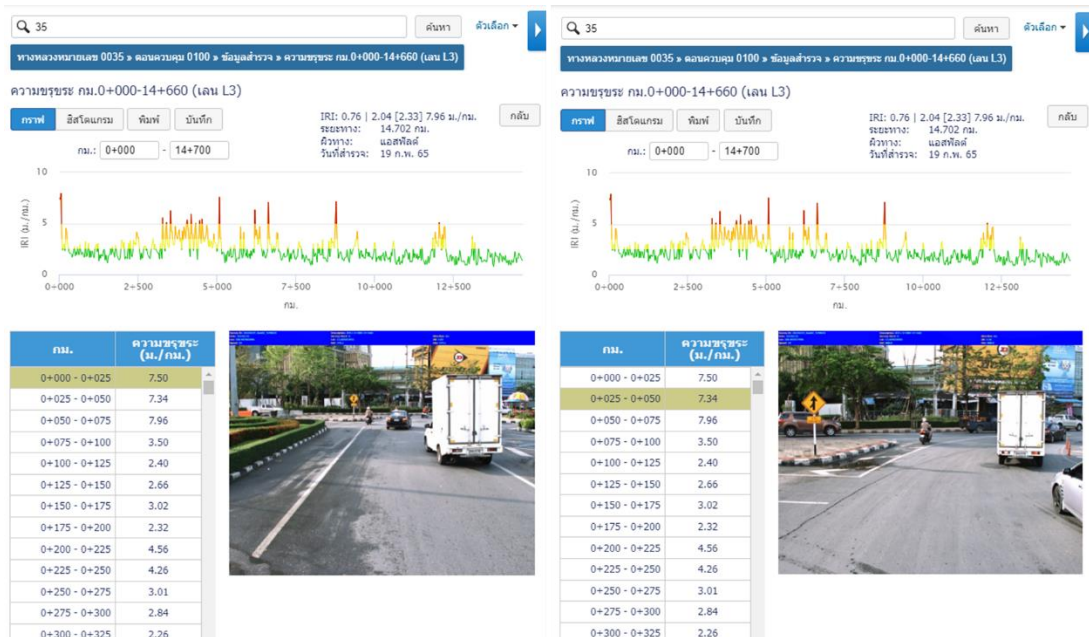
- สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทางไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ภาพ
- สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทาง คิดเป็นร้อยละของภาพทั้งหมด ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ที่ปรึกษาทำการตรวจสอบโดยวิธีดูภาพถ่ายสองข้างทาง และภาพเคลื่อนไหว (VDO) โดยภาพที่สอดคล้องตัวอย่างดังรูปที่ 3-125



รูปที่ 3-125 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง

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

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

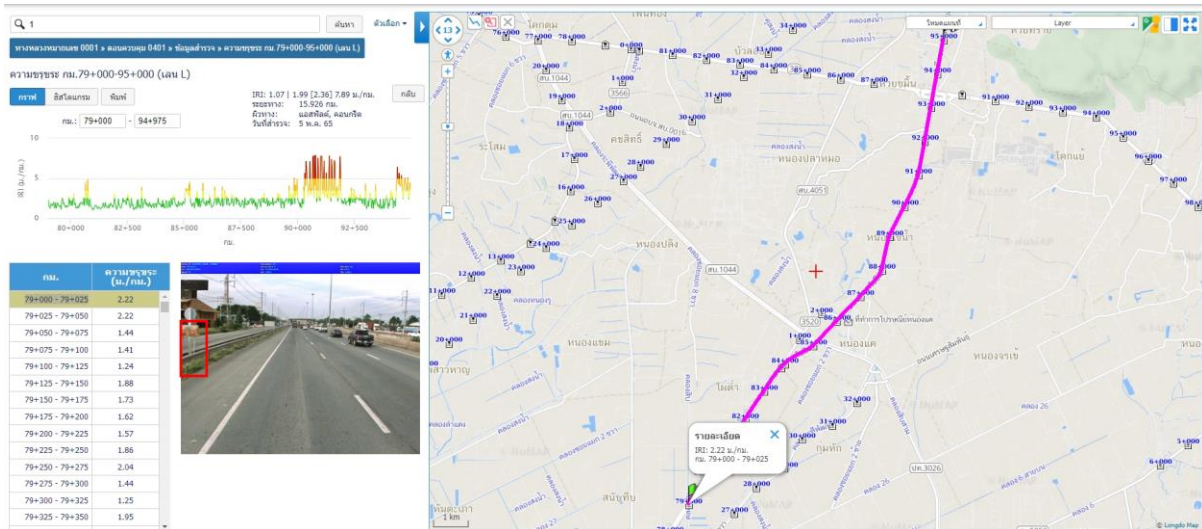


รูปที่ 3-126 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน



3.6.4 การแสดงพิกัดสายทาง (Coordinates) จะต้องมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายสายทางและสภาพพื้นที่

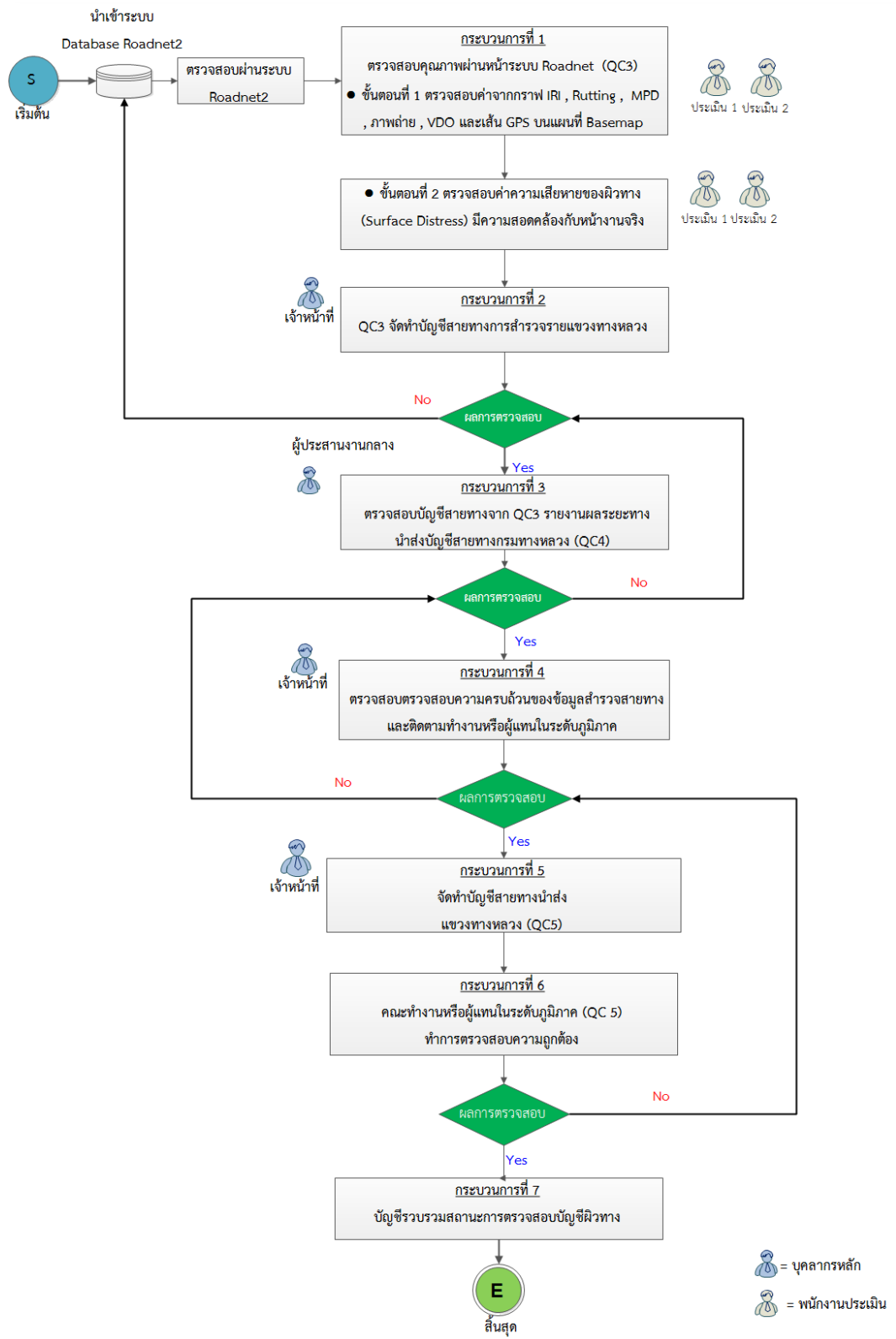
การแสดงพิกัดสายทางเส้นทาง (Coordinates) สายทางที่สำรวจและหน้าแผนที่ Base map ของข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน ตำแหน่งหลักกิโลเมตรของจุดสำรวจสภาพทาง เรียงตามจุด Layer หลักกิโลเมตรของสายทาง ไม่สลับซับซ้อน ข้อมูลภาพถ่ายสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงที่ปรากฏจุดสังเกต เช่น ทางแยก สะพาน รวมทั้งทิศทางของสายทางที่ต้องต่อเนื่องจนถึงจุดสิ้นสุดของสายทาง ตัวอย่างดังรูปที่ 3-127



รูปที่ 3-127 ตัวอย่างการแสดงผลการแสดงผลพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 401

3.6.5 เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลผู้ว่าจ้างสามารถแต่งตั้งคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค เพื่อตรวจสอบ ความครบถ้วนสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

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



รูปที่ 3-130 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ที่ตรวจสอบคุณภาพ



อ้างอิงจากรูปที่ 3-130 รายละเอียดขยายความกระบวนการตรวจสอบ ผ่านหน้าระบบ Roadnet มีกระบวนการทั้งสิ้น 7 กระบวนการดังนี้

กระบวนการที่ 1

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 ข้อมูลค่าความถี่ร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ตรวจสอบความเสียหายที่มีค่าสูงประกอบกับภาพกล้องหน้าอย่างละเอียด

กระบวนการที่ 2

เจ้าหน้าที่ QC3 จัดทำบัญชีสายทางการสำรวจรายแขวงทางหลวงดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางส่งไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แก่คณะทำงาน ดังตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง ดังรูปที่ 3-130

กระบวนการที่ 3

เจ้าหน้าที่ผู้ประสานงานกลาง ดำเนินบันทึกผล รายงานผลระยะทางความก้าวหน้า วันที่รับ – ส่งข้อมูลและดำเนินการประสานงานไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แจกจ่ายบัญชีสายทางแก่คณะทำงานตรวจสอบ

กระบวนการที่ 4

เจ้าหน้าที่ QC 4 ตรวจสอบความครบถ้วนความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม และแผนการสำรวจและผิวการสำรวจ ต้องสอดคล้องทุกกระบวนการ และติดตามคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC 5



กระบวนการที่ 5

เจ้าหน้าที่ QC 4 จัดทำบัญชีสายทางการสำรวจรายแขวงทางหลวงดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางนำเสนอแก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC 5

กระบวนการที่ 6

เจ้าหน้าที่ QC 5 ตรวจสอบ ความถูกต้องของสายทาง ความครบถ้วนความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม และแผนการสำรวจและผิวทางการสำรวจ ต้องสอดคล้องทุกกระบวนการ และติดตามคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC 5

กระบวนการที่ 7

เจ้าหน้าที่ QC 3 จัดทำสรุปบัญชีรวบรวมสถานการณ์ตรวจสอบบัญชีผิวทาง และติดตามระยะทางการผ่านการตรวจสอบ พร้อมทั้งรายงานผลเป็นประจำรายสัปดาห์

เมื่อพบข้อมูลไม่ตรงกับบัญชีผิวทาง ที่ปรึกษาสามารถหมายเหตุข้อมูลการสำรวจ เป็นจุดสังเกตเพื่อให้เจ้าหน้าที่จากสำนักบริหารบำรุงทาง 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, อุโมงค์ทางลอด และสะพานข้ามแยก 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. สายทางที่สำรวจเพิ่มเติม คือ ในกรณีที่นำสายทางแผนสำรอง (PlanB) นำมาสำรวจเพิ่มเติมเมื่อระยะทางไม่ครบถ้วนจากแผนหลักที่ได้รับมอบหมาย ระบุในช่องสถานะการวิ่งสำรวจ และหากมีข้อมูลไม่ตรงตามสถิติ เช่น ระยะทางสำรวจไม่ตรงกับบัญชี ให้ระบุข้อสังเกตเพิ่มในช่องหมายเหตุ

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



รูปที่ 3-131 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS



บทที่ 3 ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา.....	1
3.1 พื้นที่สำรวจ	1
3.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง	4
0BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth.....	14
1BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth.....	15
3.3 การสำรวจสภาพทาง	29
3.3.1 จัดทำแผนการสำรวจและตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง	29
3.3.2 นำเสนอแผนการสำรวจ ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร	35
3.3.3 ที่ปรึกษาจะจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด เช่น พื้นที่ทางโค้ง พื้นที่ทางลาดชัน เป็นต้น เพื่อดำเนินการสำรวจ และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจ ก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไป.....	41
3.3.4 ที่ปรึกษาจะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจในพื้นที่ตัวอย่างในข้อ 3.3.3 โดยทดสอบทั้งผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต ดำเนินการเก็บข้อมูลการสำรวจเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตรของผิวทางแต่ละประเภท ประเภทละ 3 รอบการสำรวจ ต่อ 1 ชุดเครื่องมือและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไม่น้อยกว่าข้อมูลดังนี้ ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ค่าความสึกกร่อนล้อ (Rutting) ซึ่งค่าทางสถิติที่จะต้องวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าอย่างน้อยดังนี้ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)	52
3.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ.....	71
3.4.1 การประมวลผลข้อมูลจากชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้.....	71
3.4.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางที่มีความละเอียด 1600 x 1200 ในรูปแบบไฟล์ JPEG หรือดีกว่า	86
3.4.3 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม เช่น ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) พื้นหลักฐานอ้างอิง (WGS84) หากมีหรือระบบพิกัดอื่น ๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้นโดยสามารถระบุตำแหน่งข้อมูลการสำรวจแบบสัมพัทธ์ (Relative location) หรือแบบหลักกิโลเมตรตามระบบทะเบียนทางหลวงปัจจุบันที่ใช้อ้างอิง ขณะที่ทำการสำรวจที่ปรึกษาจะต้องโดยต้องประมวลผลชุดข้อมูลดังต่อไปนี้.....	88



3.5	การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet	95
3.5.1	ดำเนินการตรวจสอบ ปรับปรุงและทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามข้อ 3.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet ให้ถูกต้องและสามารถแสดงผลในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างถูกต้อง.....	95
3.5.2	การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ที่ปรึกษาต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ผ่านโปรแกรม Roadnet โดยมีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งอย่างมีระบบ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลจากแนวทางหลวง อย่างละ 2 พื้นที่ตัวอย่าง.....	99
3.5.3	ที่ปรึกษาต้องทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้ จากข้อ 3.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard disk) และสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) อย่างเป็นระบบของผู้ว่าจ้าง โดยติดตั้ง ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง	102
3.5.4	การจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet จะต้องไม่มีผลกระทบกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในระบบและรูปแบบจะต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ	104
3.5.5	ที่ปรึกษาต้องจัดเก็บข้อมูลการสำรวจ ที่สำรวจโดยเครื่องชุดเครื่องมือเลเซอร์ เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางแบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) และประมวลผลโดยระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) และนำเสนอให้คณะกรรมการตรวจสอบได้เพื่อรองรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ต่อไป.....	105
3.6	การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างน้อยดังนี้	107
3.6.1	การแสดงผลข้อมูลสภาพทาง ได้แก่ ข้อมูลค่าความสึกกร่อนล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index, IRI) และข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth, MPD) ต้องดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องดังนี้.....	107
3.6.2	การแสดงผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จะต้องมีข้อมูลถูกต้องครบถ้วนตามแต่ละประเภทผิวทางทั้งผิวลาดยางและผิวคอนกรีต และแสดงข้อมูล ตามสภาพความเสียหายที่ได้จากการสำรวจ โดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet หรือตรวจสอบผ่านระบบอื่นๆ ได้	113
3.6.3	ภาพถ่ายและภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของถนนและสองข้างทาง ต้องมีความสมบูรณ์ของภาพดังนี้... ..	119
3.6.4	การแสดงผลพิกัดสายทาง (Coordinates) จะต้องมีข้อมูลสอดคล้องกับภาพถ่ายสายทางและสภาพพื้นที่	121



3.6.5 เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลผู้ว่าจ้างสามารถแต่งตั้งคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค เพื่อตรวจสอบ ความครบถ้วนสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ	121
ตารางที่ 3-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ	2
ตารางที่ 3-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	14
ตารางที่ 3-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	15
ตารางที่ 3-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS	16
ตารางที่ 3-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS	18
ตารางที่ 3-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	20
ตารางที่ 3-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	20
ตารางที่ 3-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)	22
ตารางที่ 3-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS	22
ตารางที่ 3-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)	23
ตารางที่ 3-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง	24
ตารางที่ 3-12 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS)	28
ตารางที่ 3-13 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565	33
ตารางที่ 3-14 ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง	34
ตารางที่ 3-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแนวทางหลวง)	36
ตารางที่ 3-16 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ	41
ตารางที่ 3-17 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ	46
ตารางที่ 3-18 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	52
ตารางที่ 3-19 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละ Section	52
ตารางที่ 3-20 ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section	53
ตารางที่ 3-21 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	55
ตารางที่ 3-22 ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน	55
ตารางที่ 3-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)	56
ตารางที่ 3-24 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 เครื่องมือ	57
ตารางที่ 3-25 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ	61
ตารางที่ 3-26 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์ ในแต่ละ Section และตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section	61



ตารางที่ 3-27 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา	65
ตารางที่ 3-28 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง.....	75
ตารางที่ 3-29 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต	75
ตารางที่ 3-30 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง	84
ตารางที่ 3-31 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน.....	103
ตารางที่ 3-32 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) กระบวนการภายใน.....	109
ตารางที่ 3-33 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์.....	113
ตารางที่ 3-34 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต	117
รูปที่ 3-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง	3
รูปที่ 3-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ	4
รูปที่ 3-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับชั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำ และความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโปรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950.....	5
รูปที่ 3-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	6
รูปที่ 3-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ	6
รูปที่ 3-6 แสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์	7
รูปที่ 3-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS).....	8
รูปที่ 3-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง	9
รูปที่ 3-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer ติดตั้งที่ ระยะ +/- 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ	9
รูปที่ 3-10 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว.....	9
รูปที่ 3-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD	10
รูปที่ 3-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD	10
รูปที่ 3-13 กราฟแสดงค่าการ bounce test.....	11
รูปที่ 3-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration	11
รูปที่ 3-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser.....	12
รูปที่ 3-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความผิดของผิวทางในระดับ Macro-texture	12
รูปที่ 3-17 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E965-15	13
รูปที่ 3-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15	13
รูปที่ 3-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS).....	17



รูปที่ 3-20	กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง.....	19
รูปที่ 3-21	ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง.....	21
รูปที่ 3-22	เครื่องมือวัดความเร่ง.....	23
รูปที่ 3-23	รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง.....	24
รูปที่ 3-24	เครื่องวัดระยะทาง.....	25
รูปที่ 3-25	อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล.....	25
รูปที่ 3-26	แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล.....	26
รูปที่ 3-27	ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ.....	26
รูปที่ 3-28	ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม.....	27
รูปที่ 3-29	หลักการการทำงานของเครื่องรับพิกัดและค่าแก้ DGPS.....	27
รูปที่ 3-30	อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU).....	28
รูปที่ 3-31	แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง.....	29
รูปที่ 3-32	เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจากระบบ Plannet.....	30
รูปที่ 3-33	เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจากระบบ MIIS.....	30
รูปที่ 3-34	เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ที่ใช้ในงานซ่อมบำรุงระบบ HRIS.....	30
รูปที่ 3-35	เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง.....	31
รูปที่ 3-36	แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565.....	40
รูปที่ 3-37	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049.....	42
รูปที่ 3-38	Section ที่ 1 และ Section ที่ 2.....	42
รูปที่ 3-39	Section ที่ 3 และ Section ที่ 4.....	43
รูปที่ 3-40	Section ที่ 5.....	43
รูปที่ 3-41	Section ที่ 6.....	44
รูปที่ 3-42	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน.....	44
รูปที่ 3-43	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ผิวทางคอนกรีต.....	45
รูปที่ 3-44	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ผิวทางลาดยาง ที่มีความเสียหายของผิวทางค่อนข้างมาก.....	45
รูปที่ 3-45	พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง.....	46
รูปที่ 3-46	แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ.....	47
รูปที่ 3-47	แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจทั้ง 3 คัน.....	48
รูปที่ 3-48	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 1.....	48
รูปที่ 3-49	ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 2.....	49



รูปที่ 3-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 3.....	49
รูปที่ 3-51 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจทั้ง 3 คัน.....	50
รูปที่ 3-52 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1	50
รูปที่ 3-53 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2	51
รูปที่ 3-54 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3	51
รูปที่ 3-55 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4	59
รูปที่ 3-56 การเข้าพื้นที่ทดสอบผิวทางคอนกรีตพื้นที่วิ่งทดสอบใหม่	60
รูปที่ 3-57 ลักษณะผิวทางคอนกรีต ทางหลวงหมายเลข 3 ตอน 200 กม. 70+500 ถึง กม. 72+500	60
รูปที่ 3-58 กราฟแสดงค่า IRI เฉลี่ย	61
รูปที่ 3-59 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI	62
รูปที่ 3-60 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section.	62
รูปที่ 3-61 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ซา L	63
รูปที่ 3-62 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม ทิศทางสำรวจ ซา R	63
รูปที่ 3-63 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจซา L (IRI)	66
รูปที่ 3-64 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ทิศทางสำรวจซา R (IRI)	66
รูปที่ 3-65 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง	67
รูปที่ 3-66 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด	68
รูปที่ 3-67 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน	68
รูปที่ 3-68 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น	69
รูปที่ 3-69 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน	69
รูปที่ 3-70 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่ 2 ช่องจราจร	70
รูปที่ 3-71 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้	70
รูปที่ 3-72 แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวาง ทำให้รถไม่สามารถเข้า สำรวจได้	71
รูปที่ 3-73 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง	71
รูปที่ 3-74 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกร่องล้อบนผิวทาง	72
รูปที่ 3-75 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง	72
รูปที่ 3-76 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์	73
รูปที่ 3-77 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress) จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera	74
รูปที่ 3-78 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง	76
รูปที่ 3-79 ภาพรวมการประมวลผลของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)	77



รูปที่ 3-80 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels....	83
รูปที่ 3-81 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง	83
รูปที่ 3-82 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมิน เฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process.....	85
รูปที่ 3-83 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS	86
รูปที่ 3-84 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง.....	86
รูปที่ 3-85 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง บนระบบ Roadnet.....	87
รูปที่ 3-86 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว บนระบบ Roadnet ได้	87
รูปที่ 3-87 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb.....	89
รูปที่ 3-88 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL.....	90
รูปที่ 3-89 ตัวอย่างข้อมูล Rutting.....	91
รูปที่ 3-90 ตัวอย่างข้อมูล IRI	91
รูปที่ 3-91 ตัวอย่างข้อมูล MPD.....	92
รูปที่ 3-92 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็น มาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม	92
รูปที่ 3-93 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ	93
รูปที่ 3-94 แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ และประเมิน ความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS.....	94
รูปที่ 3-95 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับ ค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน	94
รูปที่ 3-96 แสดงโครงสร้างข้อมูลปริภูมิตามมาตรฐาน OGC	96
รูปที่ 3-97 การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ.....	96
รูปที่ 3-98 การ convert (*.csv file) to shapefile (point).....	97
รูปที่ 3-99 การ convert points to Paths	97
รูปที่ 3-100 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ ในฐานข้อมูลกลาง งานบำรุงทาง (CRDB).....	98
รูปที่ 3-101 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล	98
รูปที่ 3-102 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1.....	100



รูปที่ 3-103 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2.....	100
รูปที่ 3-104 แสดงอุปกรณ์สำรวจข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง.....	102
รูปที่ 3-105 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS).....	103
รูปที่ 3-106 แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin.....	104
รูปที่ 3-107 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin.....	105
รูปที่ 3-108 เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 – 2+050 บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอน ควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1.....	106
รูปที่ 3-109 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet.....	108
รูปที่ 3-110 ตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก.....	110
รูปที่ 3-111 ตัวอย่างการตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map.....	110
รูปที่ 3-112 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต.....	111
รูปที่ 3-113 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์.....	111
รูปที่ 3-114 ตัวอย่างกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่ ..	112
รูปที่ 3-115 ตัวอย่างการจำลองการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหาย.....	114
รูปที่ 3-116 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1.....	114
รูปที่ 3-117 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 2.....	115
รูปที่ 3-118 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลตามสภาพความเสียหายของอุปกรณ์สำรวจ LCMS.....	115
รูปที่ 3-119 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์.....	116
รูปที่ 3-120 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์.....	116
รูปที่ 3-121 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต.....	117
รูปที่ 3-122 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต.....	117
รูปที่ 3-123 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่ายความ เสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS).....	118
รูปที่ 3-124 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก.....	119
รูปที่ 3-125 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง.....	120
รูปที่ 3-126 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน.....	120
รูปที่ 3-127 ตัวอย่างการแสดงผลการแสดงผลพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 401.....	121
รูปที่ 3-128 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง.....	122
รูปที่ 3-129 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5.....	123
รูปที่ 3-130 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ.....	124
รูปที่ 3-131 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS.....	127

ผลการสำรวจสภาพทางไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลเมตร

ที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจและประมวลผล นำเข้าระบบ Roadnet ทำการรวบรวมข้อมูลผ่านการตรวจสอบจากแนวทางหลวง (QC5) โดยในรายงานชั้นกลาง นำส่งข้อมูลระยะทางทั้งสิ้น 15,337.122 กิโลเมตร โดยที่ปรึกษาได้แยกข้อมูลตามพื้นที่สำนักงานทางหลวงและแนวทางหลวง ดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงตารางสรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet ในรายงานชั้นกลาง

ลำดับ	งวดงาน	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแนวทางหลวง	ระยะทางตาม แผนการ สำรวจ (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 2 (กม.)	สรุป ระยะทาง (กม.)
1	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	643	บึงกาฬ	22.786	22.886	0	22.886
2	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	629	หนองบัวลำภู	4.700	4.700	0	4.700
3	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	624	อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	17.750	17.675	0	17.675
4	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	635	ร้อยเอ็ด	147.856	153.995	0	153.995
5	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	622	มหาสารคาม	239.593	245.863	0	245.863
6	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	647	กาฬสินธุ์	61.769	64.421	0	64.421
7	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	631	อุบลราชธานีที่ 1	143.090	147.626	0	147.626
8	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	632	อุบลราชธานีที่ 2	221.724	222.266	0	222.266
9	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	615	สุรินทร์	280.307	89.127	195.979	285.106
10	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	638	ศรีสะเกษที่ 1	133.175	75.929	67.740	143.669
11	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	636	ศรีสะเกษที่ 2	221.874	81.813	139.148	220.961
12	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	634	อำนาจเจริญ	203.393	203.903	0	203.903
13	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	614	นครราชสีมาที่ 3	238.730	172.697	0	172.697
14	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	618	ปราจีนบุรี	139.938	139.338	0	139.338
15	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	619	สระแก้ว (วัฒนานคร)	158.052	160.657	0	160.657
16	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	611	นครราชสีมาที่ 1	391.582	233.909	213.307	447.216



ตารางที่ 4-1 แสดงตารางสรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet ในรายงานชั้นกลาง (ต่อ)

ลำดับ	งวดงาน	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตาม แผนการ สำรวจ (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 2 (กม.)	สรุป ระยะทาง (กม.)
17	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	413	อยุธยา	283.000	52.686	248.070	300.756
18	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	411	กรุงเทพ	64.040	99.005	0	99.005
19	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	418	นนทบุรี	58.875	56.538	0	56.538
20	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	416	ปทุมธานี	233.008	156.901	124.319	281.220
21	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	417	สมุทรปราการ	233.257	231.382	0	231.382
22	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	415	สมุทรสาคร	13.874	13.525	0	13.525
23	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	419	ธนบุรี	200.954	0.704	200.716	201.420
24	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	414	นครนายก	109.384	76.904	32.764	109.668
25	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	421	ฉะเชิงเทรา	276.725	97.244	198.322	295.566
26	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	422	ชลบุรีที่ 1	418.121	458.206	0	458.206
27	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	425	ตราด	362.333	280.857	98.380	379.237
28	Progress 1	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	426	ระยอง	403.099	36.243	0	36.243
29	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	428	ชลบุรีที่ 2	114.22	123.469	0	123.469
30	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	617	บุรีรัมย์	421.69	0	426.057	426.057
31	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	513	สุโขทัย	266.772	263.346	0	263.346
32	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	517	กำแพงเพชร	146.116	149.52	0	149.520
33	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	437	นครสวรรค์ที่ 1	217.814	221.506	0	221.506
34	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	438	นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	203.189	176.347	0	176.347
35	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	435	ลพบุรีที่ 2 (ลำานรายณ์)	76.671	78.883	0	78.883
36	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	431	ลพบุรีที่ 1	222.415	230.449	0	230.449
37	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	433	สิงห์บุรี	28.082	28.082	0	28.082
38	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	446	ชัยนาท	80.416	142.178	0	142.178



ตารางที่ 4-1 แสดงตารางสรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet ในรายงานชั้นกลาง (ต่อ)

ลำดับ	งวดงาน	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตาม แผนการ สำรวจ (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 2 (กม.)	สรุป ระยะทาง (กม.)
39	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	448	อ่างทอง	94.009	101.052	0	101.052
40	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	441	สุพรรณบุรีที่ 1	343.988	354.544	0	354.544
41	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	639	มุกดาหาร	188.041	202.349	0	202.349
42	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	644	นครพนม	31.715	30.660	0	30.66
43	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	642	สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	104.603	103.267	0	103.267
44	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	623	อุดรธานีที่ 1	55.344	0	78.618	78.618
45	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	628	ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	150.467	131.415	0	131.415
46	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	627	ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	0.412	0	43.179	43.179
47	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	633	ยโสธร	131.473	103.183	0	103.183
48	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	551	เพชรบูรณ์ที่ 1	31.473	30.848	0	30.848
49	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	552	เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	103.61	94.269	0	94.269
50	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	555	เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	106.759	107.304	0	107.304
51	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	515	พิษณุโลกที่ 2 (วังทอง)	27.306	31.036	0	31.036
52	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	536	น่านที่ 1	279.085	310.691	0	310.691
53	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	535	พะเยา	215.277	209.719	0	209.719
54	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	528	ลำปางที่ 2	68.325	0	70.027	70.027
55	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	524	ลำพูน	90.238	90.428	0	90.428
56	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	522	เชียงใหม่ที่ 2	136.258	143.167	0	143.167
57	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	523	ลำปางที่ 1	117.657	118.530	0	118.530
58	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	524	ลำพูน	142.813	0	145.563	145.563
59	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	528	ลำปางที่ 2	216.708	214.814	0	214.814
60	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	531	แพร่	99.126	80.789	0	80.789



ตารางที่ 4-1 แสดงตารางสรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet ในรายงานชั้นกลาง (ต่อ)

ลำดับ	งวดงาน	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตาม แผนการ สำรวจ (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 2 (กม.)	สรุป ระยะทาง (กม.)
61	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	533	เชียงรายได้ 1	218.52	218.414	0	218.414
62	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	535	พะเยา	151.186	152.156	0	152.156
63	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	639	มุกดาหาร	145.275	0	160.771	160.771
64	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	641	สกลนครที่ 1	218.352	218.427	0	218.427
65	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	642	สกลนครที่ 2 (สว่างแดนดิน)	177.038	176.739	0	176.739
66	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	644	นครพนม	84.512	0	91.117	91.117
67	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	646	หนองคาย	45.614	40.073	0	40.073
68	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	513	สุโขทัย	62.207	0	60.437	60.437
69	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	557	อุดรดิตถ์ที่ 1	164.983	164.056	0	164.056
70	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	557	อุดรดิตถ์ที่ 1	50.706	0	49.491	49.491
71	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	552	เพชรบูรณ์ที่ 2 (บึงสามพัน)	248.068	0	255.108	255.108
72	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	554	เลยที่ 1	29.174	29.174	0	29.174
73	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	555	เลยที่ 2 (ด่านซ้าย)	105.919	0	115.019	115.019
74	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	621	ขอนแก่นที่ 1	232.948	229.101	0	229.101
75	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	621	ขอนแก่นที่ 1	104.940	0	149.556	149.556
76	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	623	อุดรธานีที่ 1	186.018	179.051	0	179.051
77	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	624	อุดรธานีที่ 2 (หนองหาน)	102.656	0	103.381	103.381
78	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	627	ขอนแก่นที่ 2 (ชุมแพ)	199.847	226.597	0	226.597
79	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	628	ขอนแก่นที่ 3 (บ้านไผ่)	187.155	0	188.199	188.199
80	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	622	มหาสารคาม	132.442	0	128.987	128.987
81	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	633	ยโสธร	147.954	0	148.704	148.704
82	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	635	ร้อยเอ็ด	95.842	0	97.207	97.207



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ตารางที่ 4-1 แสดงตารางสรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet ในรายงานชั้นกลาง (ต่อ)

ลำดับ	งวดงาน	รายชื่อสำนัก	รหัส แขวง	รายชื่อแขวงทางหลวง	ระยะทางตาม แผนการ สำรวจ (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 1 (กม.)	ระยะทาง ครั้งที่ 2 (กม.)	สรุป ระยะทาง (กม.)
83	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	647	กาฬสินธุ์	319.054	0	327.037	327.037
84	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	631	อุบลราชธานีที่ 1	113.06	0	116.321	116.321
85	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	632	อุบลราชธานีที่ 2	112.104	0	111.202	111.202
86	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	614	นครราชสีมาที่ 3	238.730	0	241.783	241.783
87	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	617	บุรีรัมย์	170.882	164.181	0	164.181
88	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	618	ปราจีนบุรี	326.857	0	328.35	328.35
89	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	438	นครสวรรค์ที่ 2 (ตากฟ้า)	187.792	0	186.586	186.586
90	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	448	อ่างทอง	152.568	0	158.617	158.617
91	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	423	จันทบุรี	130.322	127.690	0	127.690
92	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	426	ระยอง	339.864	0	402.459	402.459
93	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	428	ชลบุรีที่ 2	187.34	0	174.788	174.788
94	Interim	สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	336	นครปฐม	58.208	65.314	0	65.314
รวมระยะทางรายงานชั้นกลาง (Interim Report)					13,308.946	9,394.504	5,877.304	15,337.122





บทที่ 4 ผลการสำรวจสภาพทางไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลเมตร 1

ตารางที่ 4-1 แสดงตารางสรุประยะทางส่งมอบจากในระบบ Roadnet ในรายงานชั้นกลาง..... 1

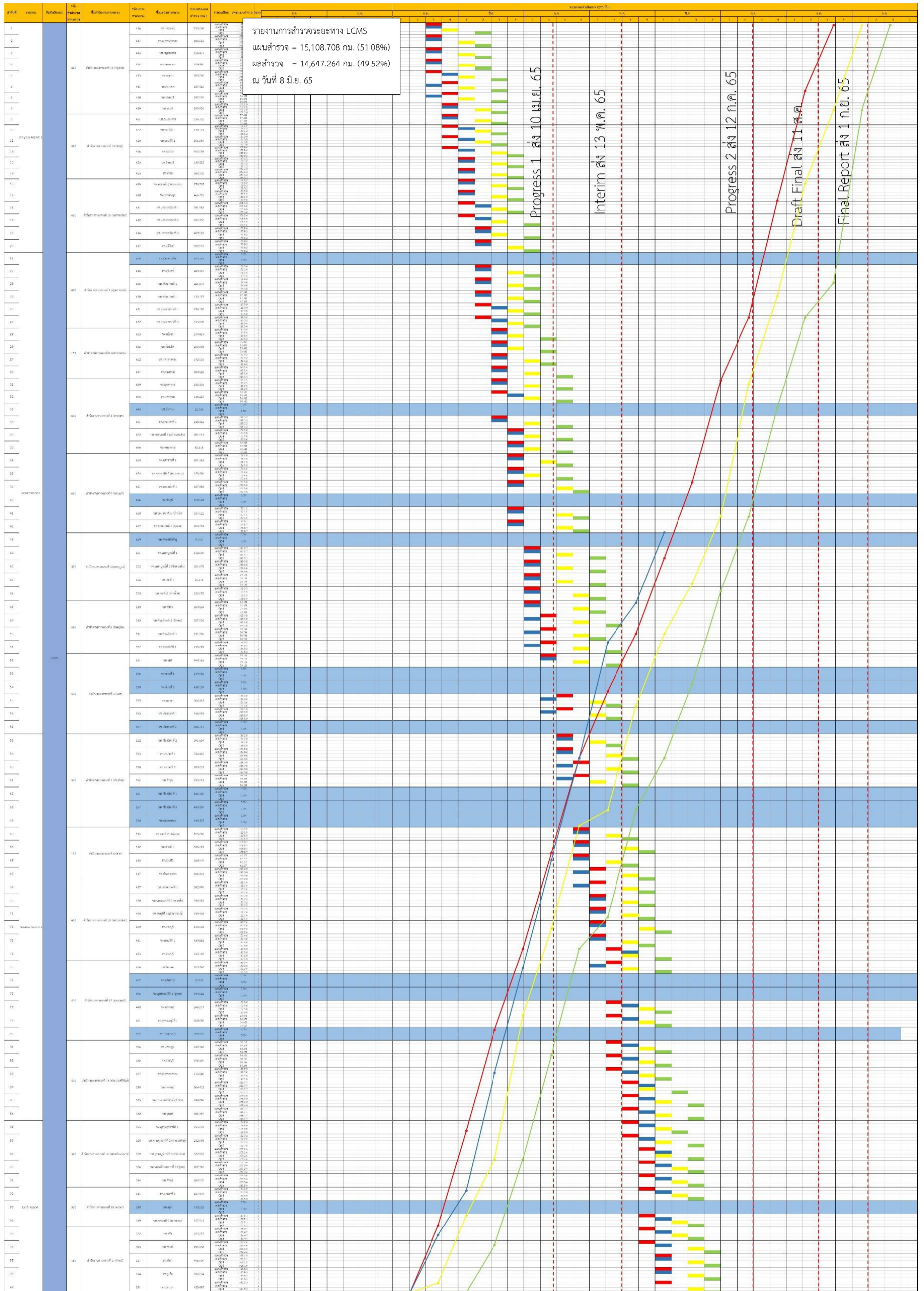
5.1 รายงานความล่าช้า

ในการสำรวจภายในโครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565 ได้เริ่มทำการสำรวจตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ.2565 ทางที่ปรึกษาทำการนำเสนอข้อมูลผลการดำเนินงานพร้อมระบุปัญหาและอุปสรรคที่ส่งผลกระทบต่องาน โดยมีการส่งแบบฟอร์มรายงานสรุปปัญหาและอุปสรรครายสัปดาห์

ที่ปรึกษาได้ทำการส่งสรุปปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานสำรวจ พร้อมตรวจสอบข้อมูลสำรวจและนำเข้าระบบ ตลอดจนการแสดงผลข้อมูลบนระบบ Roadnet ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานพร้อมกับร้อยละที่ดำเนินการล่าช้ากว่าแผนดังตารางที่ 5-1 และตารางที่ 5-2 ปัจจุบันอยู่ระหว่างรายงานขั้นกลาง (Interim) ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2565 ซึ่งตามกระบวนการดังกล่าวอยู่ระหว่างการนำเข้าช่วงสุดท้าย และกระบวนการหลักอยู่ระหว่างตรวจสอบข้อมูลการตรวจสอบรอบที่ 4 และการตรวจสอบรอบที่ 5 ความคืบหน้าดังกล่าวมีแผนการนำส่งตลอดจนผลการตรวจสอบดังตารางที่ 5-3 และตารางที่ 5-4

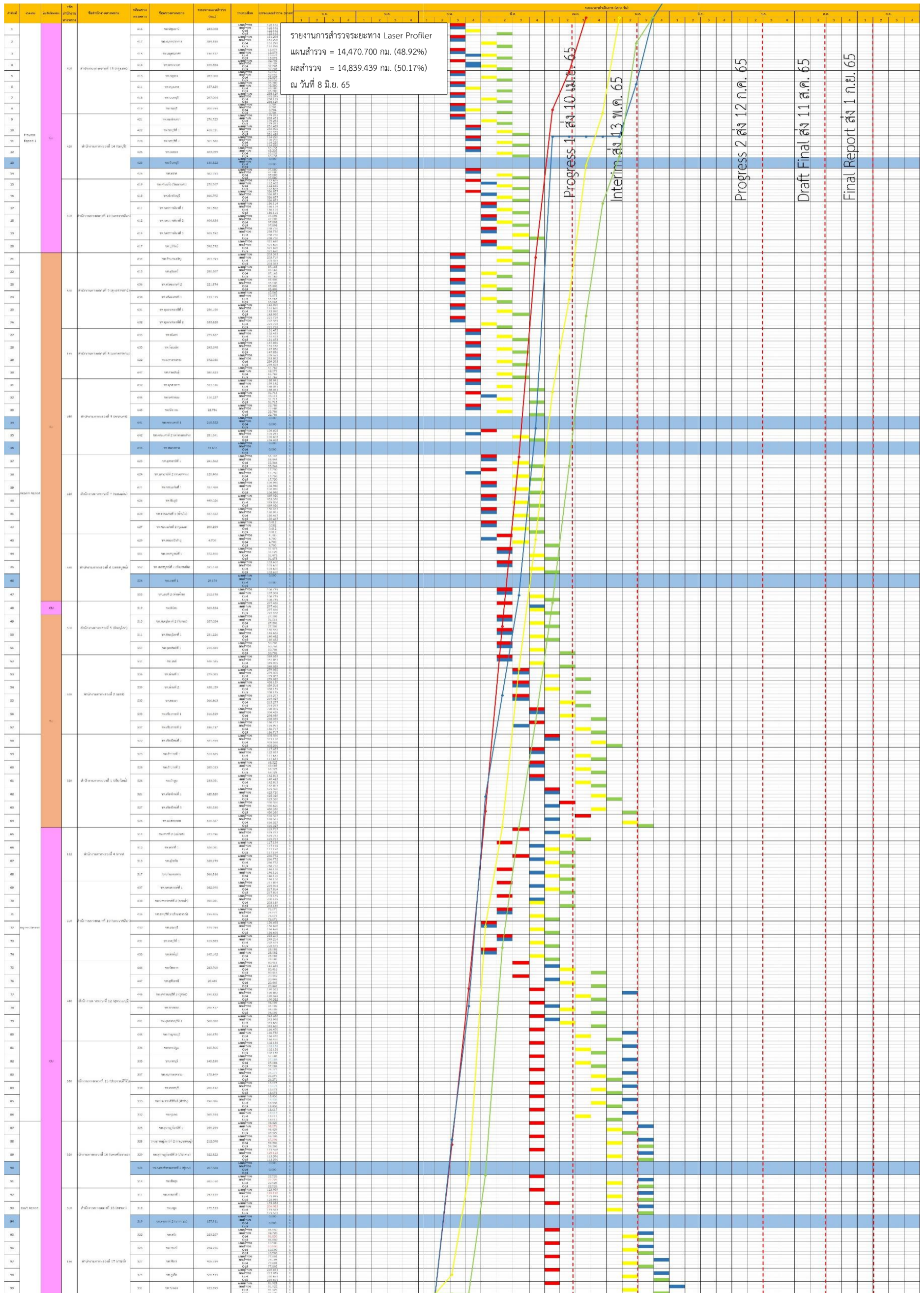


ตารางที่ 5-1 สรุปผลการดำเนินงาน และผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ อุปกรณ์ LCMS



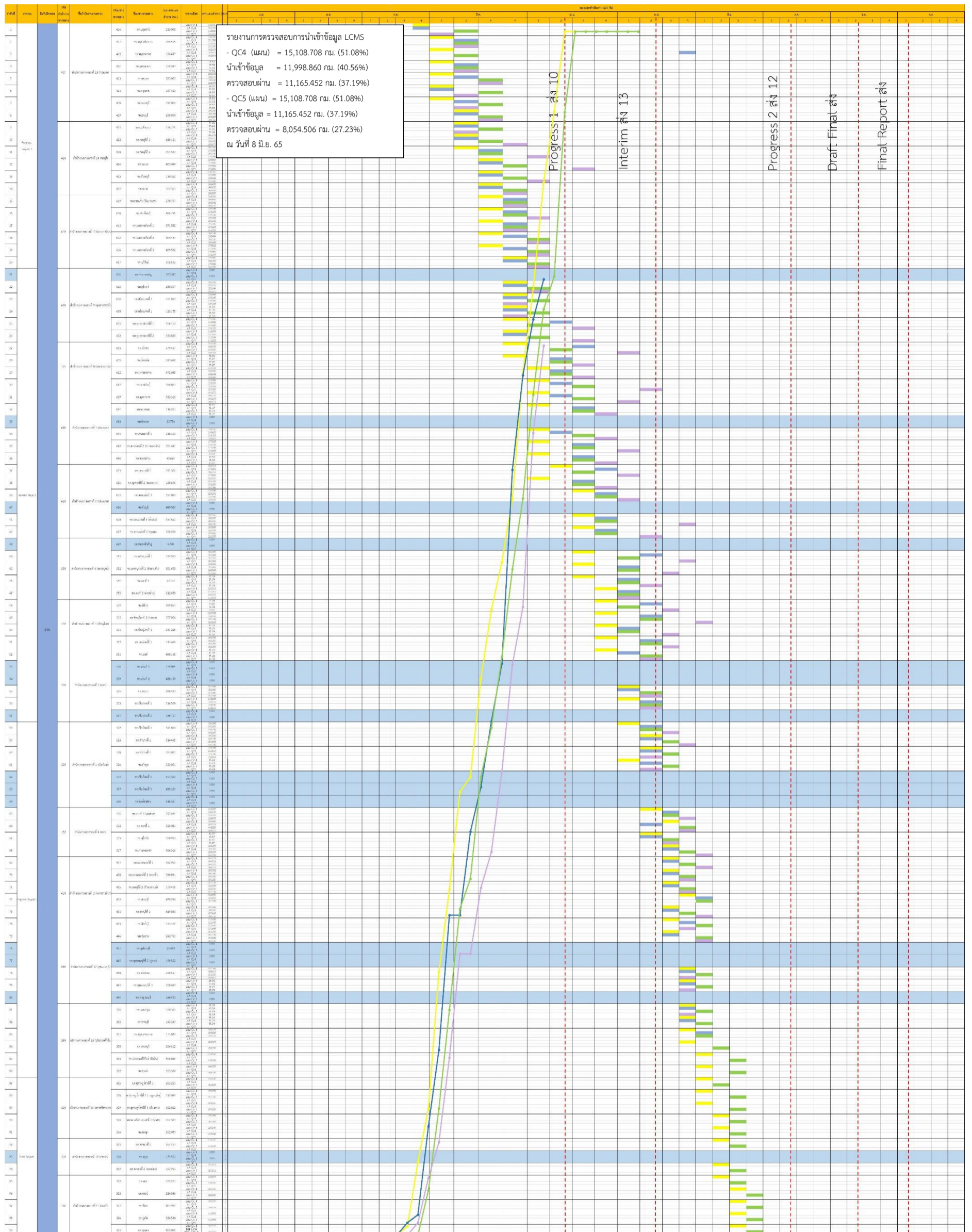


ตารางที่ 5-2 สรุปผลการดำเนินงาน และผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ อุปกรณ์ Laser Profiler



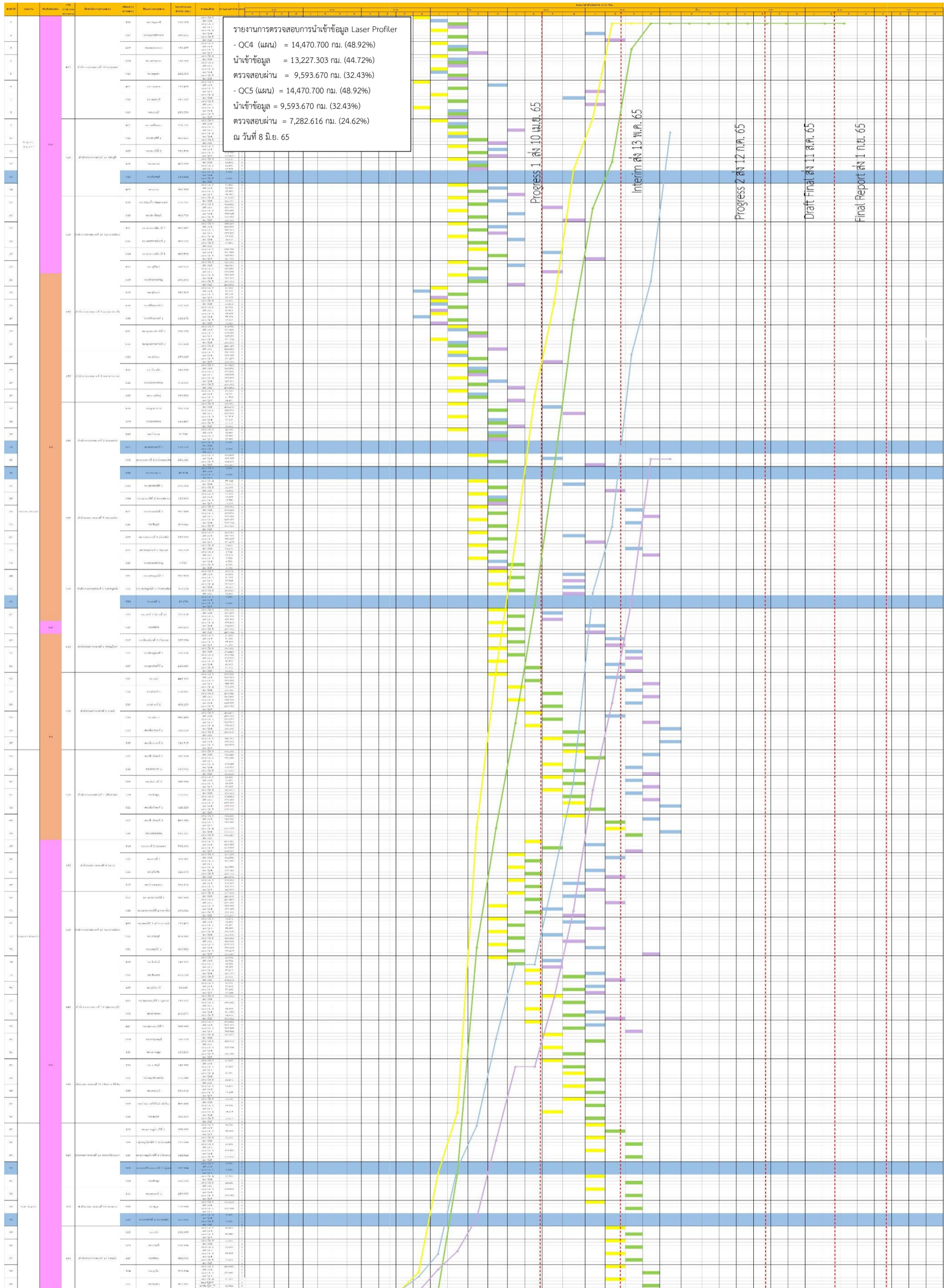


ตารางที่ 5-3 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 และ QC5 อุปกรณ์ LCMS





ตารางที่ 5-4 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 และ QC5 อุปกรณ์ Laser Profiler





5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน

รายงานสรุปปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินงานภายในโครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565 ระหว่างเดือนเมษายนจนถึงเดือนมิถุนายน ปี 2565 มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 รายงานปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจภายในโครงการ

ที่ปรึกษาทำการสรุปปัญหาที่พบระหว่างการสำรวจสภาพทางโดยสรุปปัญหาและอุปสรรคดังตารางที่ 5-5 รายละเอียดข้อมูลปัญหาอุปสรรคในการสำรวจ แสดงดังภาคผนวก ก

ตารางที่ 5-5 แสดงสรุปปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจ

สรุปปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจ			
ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	แนวทางการแก้ไข	จำนวน
1	ฝนตก	หยุดสำรวจชั่วคราว และดำเนินการสำรวจต่อเมื่อฝนหยุดตก	20 วัน
2	มีงานก่อสร้าง เช่น ก่อสร้างผิวถนน	ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก	35.526 กม.
3	รถเข้าศูนย์ตรวจเช็คระยะ	ประสานงานกับทางเจ้าหน้าที่แขวงในพื้นที่ที่จะทำการสำรวจให้รับทราบ	1 วัน
4	มีสิ่งกีดขวางบนสายทาง	ไม่ทำการสำรวจ	1 วัน

5.2.2 รายงานปัญหาและอุปสรรคสถานการณ์แพร่ระบาดโรคโควิด

ปัญหาอุปสรรคสถานการณ์แพร่ระบาดโรคโควิด-19 ที่ส่งผลกระทบต่องานสำรวจโครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565 และแนวทางแก้ไขระหว่างเจ้าหน้าที่รักษาตัว ที่ปรึกษาได้เพิ่มบุคลากรในการจัดทำข้อมูลและวางแผนงานไม่ให้เกิดกระทบกับระยะเวลาของแผนการสำรวจที่ได้ตั้งไว้ โดยรายละเอียดดังภาคผนวก ก



Contents

บทที่ 5.....	1
ความล่าช้าและปัญหา	1
5.1 รายงานความล่าช้า.....	1
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงาน.....	6
5.2.1 รายงานปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจภายในโครงการ.....	6
5.2.2 รายงานปัญหาและอุปสรรคสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคโควิด	6
ตารางที่ 5-1 สรุปผลการดำเนินงาน และผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ อุปกรณ์ LCMS.....	2
ตารางที่ 5-2 สรุปผลการดำเนินงาน และผลการล่าช้าคิดเป็นร้อยละ อุปกรณ์ Laser Profiler	3
ตารางที่ 5-3 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 และ QC5 อุปกรณ์ LCMS.....	4
ตารางที่ 5-4 สรุปผลการดำเนินงานตามกำหนดแผนการนำส่ง QC4 และ QC5 อุปกรณ์ Laser Profiler	5
ตารางที่ 5-5 แสดงสรุปปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจ.....	6



6.1 เอกสารรายงานและกำหนดการส่งมอบ

ที่ปรึกษาจะจัดทำรายงานและเอกสารต่าง ๆ โดยรูปแบบและเนื้อหาจะต้องได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการกำกับโครงการดังต่อไปนี้

6.1.1 รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานเบื้องต้นพร้อมแผนการปฏิบัติงาน จำนวน 16 ฉบับ ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 30 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา โดยรายงานเบื้องต้นต้องประกอบด้วย

- ความเป็นมาของโครงการ และวัตถุประสงค์ของโครงการ
- ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน
- ขอบเขตของงาน
- แนวทางและวิธีการศึกษาตามขอบเขตของงานที่กำหนด
- แผนการดำเนินงาน และแผนการทำงานของบุคลากรในโครงการ
- งานในข้อ 4.3 แล้วเสร็จ
- แผนการสำรวจสภาพทางและบัญชีสายทาง ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร

6.1.2 รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 (Progress Report I)

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 จำนวน 16 ฉบับ ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 90 วัน โดยรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 ต้องประกอบด้วย

- ความก้าวหน้าของงานแต่ละด้าน
- ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา
- บัญชีสายทางที่ทำการสำรวจ (ผลการสำรวจรวมไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลเมตร) พร้อมจัดเก็บข้อมูลและสามารถตรวจสอบในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงได้
- รายงานเกี่ยวกับความล่าช้าและปัญหา (ถ้ามี) ตลอดจนวิธีแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ โดยละเอียด



6.1.3 รายงานชั้นกลาง (Interim Report)

ที่ปรึกษาต้องจัดส่งรายงานชั้นกลาง จำนวน 16 ฉบับ ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 150 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา โดยรายงานชั้นกลางต้องประกอบด้วย

- ความก้าวหน้าของงานแต่ละด้าน
- ความก้าวหน้าของงานในข้อ 4.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวง
- ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา
- บัญชีสายทางที่ทำการสำรวจ (ผลการสำรวจรวมไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลเมตร) พร้อมจัดเก็บข้อมูลและสามารถตรวจสอบในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงได้
- รายงานเกี่ยวกับความล่าช้าและปัญหา (ถ้ามี) ตลอดจนวิธีแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ โดยละเอียด

6.1.4 รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 (Progress Report II)

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 จำนวน 16 ฉบับ ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 210 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา โดยรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 ต้องประกอบด้วย

- ความก้าวหน้าของงานแต่ละด้าน
- ความก้าวหน้าของงานในข้อ 4.8 และ 4.9
- ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา
- บัญชีสายทางที่ทำการสำรวจ (ผลการสำรวจรวมไม่น้อยกว่า 25,000 กิโลเมตร) พร้อมจัดเก็บข้อมูลและสามารถตรวจสอบในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงได้
- รายงานเกี่ยวกับความล่าช้าและปัญหา (ถ้ามี) ตลอดจนวิธีการแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ โดยละเอียด

6.1.5 ร่างรายงานขั้นสุดท้าย (Draft Final Report)

ที่ปรึกษาจะจัดส่งร่างรายงานขั้นสุดท้าย จำนวน 16 ฉบับ ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 240 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา โดยร่างรายงานขั้นสุดท้าย ต้องประกอบด้วย

- ความก้าวหน้าของงานแต่ละด้าน
- ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา
- บัญชีสายทางที่ทำการสำรวจ (ผลการสำรวจรวมไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร) พร้อมจัดเก็บข้อมูลและสามารถตรวจสอบในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงได้
- งานในข้อ 4.3 - 4.9 แล้วเสร็จ
- รายงานเกี่ยวกับความล่าช้าและปัญหา (ถ้ามี) ตลอดจนวิธีการแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ โดยละเอียด



6.1.6 รายงานสรุปผลการสำรวจสภาพทาง

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานสรุปผลการสำรวจสภาพทาง จำนวน 28 ชุด พร้อมให้ผู้ว่าจ้างภายใน 240 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา

6.1.7 รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report)

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานขั้นสุดท้าย จำนวน 35 ชุด ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 270 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา โดยรายงานขั้นสุดท้าย ต้องประกอบด้วย

- ผลสรุปการปฏิบัติงานทั้งโครงการ
- รวมทั้งรายงานเกี่ยวกับความล่าช้าและปัญหา (ถ้ามี) ตลอดจนวิธีแก้ไขอุปสรรคต่าง ๆ โดยละเอียด

6.1.8 รายงานย่อสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary Report)

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานย่อสำหรับผู้บริหาร จำนวน 35 ชุด ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 270 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา

6.1.9 รายงานผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางด้วยโปรแกรม TPMS

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานการจัดทำแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ และแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปีในหัวข้อ 4.8 จำนวน 35 ชุด ให้ผู้ว่าจ้างภายใน 270 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา

6.1.10 สื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ (ความยาวไม่น้อยกว่า 5 นาที) จำนวน 1 ชุด

6.1.11 การจัดทำข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลไฟล์ในรูปแบบไฟล์ต้นฉบับ (.doc .ppt .exe) และไฟล์ .pdf

ของงานนำเสนอรายงานและเอกสารในโครงการทั้งหมด เช่น รายงานฉบับต่าง ๆ รายงานสรุปผลการสำรวจ สภาพทาง รายงานผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางด้วยโปรแกรม TPMS รายงานขั้นสุดท้าย รายงานย่อสำหรับผู้บริหาร เป็นต้น พร้อม thumb drive จำนวน 2 ชุด



ตารางที่ 6-1 สรุปรายการส่งมอบงาน

ที่	รายงาน	กำหนดส่งมอบ	จำนวน (ฉบับ)	กำหนดส่งมอบ รายงาน ตามสัญญา	ส่งมอบ รายงาน
1.	รายงานเบื้องต้น (Inception Report)	ภายใน 30 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา	16 ชุด	13 ม.ค. 65	10 มี.ค.65
2.	รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 (Progress Report I)	ภายใน 90 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา และระยะทางไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลเมตร	16 ชุด	14 มี.ค. 65	18 เม.ย.65
3.	รายงานชั้นกลาง (Interim Report)	ภายใน 150 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา และระยะทางไม่น้อยกว่า 15,000 กิโลเมตร	16 ชุด	13 พ.ค. 65	13 มิ.ย.65
4.	รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 (Progress Report II)	ภายใน 210 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา และระยะทางไม่น้อยกว่า 25,000 กิโลเมตร	16 ชุด	12 ก.ค. 65	-
5.	ร่างรายงานขั้นสุดท้าย (Draft Final Report)	ภายใน 240 วัน นับถัดจากวันลงนามในสัญญา	16 ชุด	11 ส.ค. 65	-
6.	รายงานสรุปผลการสำรวจสภาพทาง	และระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร	28 ชุด	11 ส.ค. 65	-
7.	รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report)		35 ชุด	1 ก.ย. 65	-
8.	รายงานผลการวิเคราะห์แผนงานบำรุงทางด้วยโปรแกรม TPMS	ภายใน 270 วัน	35 ชุด	1 ก.ย. 65	-
9.	รายงานย่อสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary Report)	นับถัดจากวันลงนามในสัญญา	35 ชุด	1 ก.ย. 65	-
10.	สื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ (ความยาวไม่น้อยกว่า 5 นาที)		1 ชุด	1 ก.ย. 65	-

ภาคผนวก ก

รายงานปัญหา อุปสรรคในการสำรวจ
และสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคโควิด-19





รายงานปัญหาและอุปสรรคในการสำรวจภายในโครงการ

ที่ปรึกษาได้สรุปปัญหาที่พบระหว่างการสำรวจสภาพทาง โดยสรุปปัญหาและอุปสรรคอ้างอิงบทที่ 4 ดังตารางที่ 4-5 มีรายละเอียดดังนี้

รถสำรวจคันที่ 2 (Laser Profiler) ระหว่างวันที่ 15 เมษายน 2565 – 2 มิถุนายน 2565



วันที่ 10 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม. - แขวงทางหลวงกาญจนบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 11:00 น.- 13:00 น.</p> <p>แนวทางแก้ไข - รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ</p>
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 367 ตอนควบคุม 100 กม. 0+000-0+400 แขวงทางหลวงกาญจนบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีงานก่อสร้างผิวถนน</p> <p>แนวทางแก้ไข - ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก</p>



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 11 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 323 ตอนควบคุม 201 กม. 32+200-31+350 แขวงทางหลวงกาญจนบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงนครปฐม</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 14:20 น.- 16:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ





รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 12 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงเพชรบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 13:10 น.- 15:00 น.</p> <p>แนวทางแก้ไข - รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ</p>
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 3178 ตอนควบคุม 100 กม. 3+000-3+100, 12+400-12+480 แขวงทางหลวงเพชรบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีงานก่อสร้างผิวถนน</p> <p>แนวทางแก้ไข - ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก</p>



วันที่ 17 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 14:10 น.- 15:20 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 401 ตอนควบคุม 200 กม. 80+992-80+562 แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 3 (เวียงสระ)</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก




รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 17 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี) (ต่อ)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.3		<p>ทางหลวงหมายเลข 401 ตอนควบคุม 301 กม. 106+542-108+342 แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก

วันที่ 18 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 15:00 น.- 17:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 18 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี) (ต่อ)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 4009 ตอนควบคุม102 กม. 33+800-33+150 แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 2 (กาญจนดิษฐ์)</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก

วันที่ 19 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข 4291 ตอนควบคุม100 กม.- แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีสิ่งกีดขวางบนสายทางทำให้ ไม่สามารถสำรวจได้ <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ไม่ทำการสำรวจ






รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 22 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงสตูล</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 09:00 น.- 14:40 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ



วันที่ 24 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงกระบี่</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- เข้าศูนย์ตรวจเช็คระยะ <p>แนวทางแก้ไข</p>






วันที่ 25 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงพังงา</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 08:30 น.- 10:40 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข4311 ตอนควบคุม100 กม. 12+000-13+500 14+800-15+400 แขวงทางหลวงพังงา</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



วันที่ 26 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 13:30 น.- 15:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 4030 ตอนควบคุม 100 กม. 0+350-1+350 1+350-0+500 แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 27 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 10:00 น.- 12:00 น. และช่วงเวลา 15:00 น.- 16:40 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข402 ตอนควบคุม101 กม. 2+250-1+750 แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้างผิวถนน <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก




รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 28 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 09:40 น.- 11:30 น. และช่วงเวลา 14:00 น.- 16:20 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอกนกว่าฝนจะหยุด หรือ เปลี่ยน เส้นทางสำรวจ

วันที่ 29 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 08:00 น.- 16:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอกนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ




รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้งานงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 30 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 08:00 น.- 17:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ

วันที่ 31 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 08:00 น.- 11:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 1 มิถุนายน 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข - ตอนควบคุม - กม.- แขวงทางหลวงภูเก็ต</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตกในหลายพื้นที่จังหวัด เวลา 09:00 น.- 16:00 น. <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- รอจนกว่าฝนจะหยุด หรือเปลี่ยนเส้นทางสำรวจ

รถสำรวจคันที่ 3 (LCMS) ระหว่างวันที่ 15 เมษายน 2565 – 2 มิถุนายน 2565



วันที่ 20 เมษายน 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 1103 กม. - แขวงทางหลวงลำปางที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตก <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- หยุดสำรวจชั่วคราว



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 1 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 11 ตอนควบคุม 201 กม.14+600-27+250 แขวงทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก
2.		<p>ทางหลวงหมายเลข 11 ตอนควบคุม 202 กม.50+000 - 50+180 แขวงทางหลวงนครสวรรค์ที่ 2</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 3 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 502 กม.159+450-159+100 แขวงทางหลวงลพบุรีที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก

วันที่ 6 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 1 ตอนควบคุม 402, 403 กม. - แขวงทางหลวงสระบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตก <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- หยุดการสำรวจชั่วคราว





วันที่ 6 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี) (ต่อ)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
2.		<p>ทางหลวงหมายเลข 2 ตอนควบคุม 101 กม. - แขวงทางหลวงสระบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดการสำรวจชั่วคราว</p>

วันที่ 17 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 2 ตอนควบคุม 102, 303 กม. - แขวงทางหลวงสระบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 18 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)



ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 32 ตอนควบคุม 301, 302, 303 กม. - แขวงทางหลวงสิงห์บุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- ฝนตก <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- หยุดสำรวจชั่วคราว

วันที่ 19 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 11 ตอนควบคุม 100 กม. 14+250 -14+600 แขวงทางหลวงสิงห์บุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวนถนนออก





วันที่ 19 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี) (ต่อ)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
2.		<p>ทางหลวงหมายเลข 32 ตอนควบคุม 201, 202 กม. 46+600 - 46+500, 62+400 - 62+300, 61+100 - 58+900 แขวงทางหลวงอ่างทอง</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ไม่สามารถสำรวจช่วงนี้ได้
3.		<p>ทางหลวงหมายเลข 33 ตอนควบคุม 201, 202 กม. - แขวงทางหลวงอ่างทอง</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีฝนตก <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- หยุดสำรวจชั่วคราว



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 20 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 302 กม. - แขวงทางหลวงราชบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 303 กม. 100+000 - 101+400 แขวงทางหลวงราชบุรี</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีงานก่อสร้าง</p> <p>แนวทางแก้ไข - ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก</p>



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 21 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค
1.	 <p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 401 - 402 กม. - แขวงทางหลวงสมุทรสงคราม</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>

วันที่ 22 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค
1.	 <p>ทางหลวงหมายเลข 35 ตอนควบคุม 301 กม. - แขวงทางหลวงสมุทรสงคราม</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 24 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 503 กม. - แขวงทางหลวงสมุทรสงคราม</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>

วันที่ 26 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 603, 604 กม. - แขวงทางหลวงประจวบคีรีขันธ์</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>



วันที่ 27 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 605 กม. - แขวงทางหลวงประจวบคีรีขันธ์</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>

วันที่ 28 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 4 ตอนควบคุม 703 กม. - แขวงทางหลวงชุมพร</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>




รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 28 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี) (ต่อ)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 101 กม. - แขวงทางหลวงชุมพร</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>

วันที่ 29 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.	 	<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 101, 102, 103 กม. - แขวงทางหลวงชุมพร</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>





วันที่ 30 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 102 กม. 54+300-50+000 แขวงทางหลวงชุมพร</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีงานก่อสร้าง</p> <p>แนวทางแก้ไข - ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก</p>
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 202 กม. - แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีฝนตก</p> <p>แนวทางแก้ไข - หยุดสำรวจชั่วคราว</p>
.3		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 203 กม. - แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา - มีงานก่อสร้าง</p> <p>แนวทางแก้ไข - ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก</p>



รายงานชั้นกลาง (Interim Report)
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

วันที่ 31 พฤษภาคม 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.1		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 203, 204 กม. 161+500 - 160+900 แขวงทางหลวงสุราษฎร์ธานีที่ 1</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก

วันที่ 2 มิถุนายน 2565 (วัน เดือน ปี)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
1.		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 503 กม. 320+800 - 317+800 แขวงทางหลวงนครศรีธรรมราช</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก



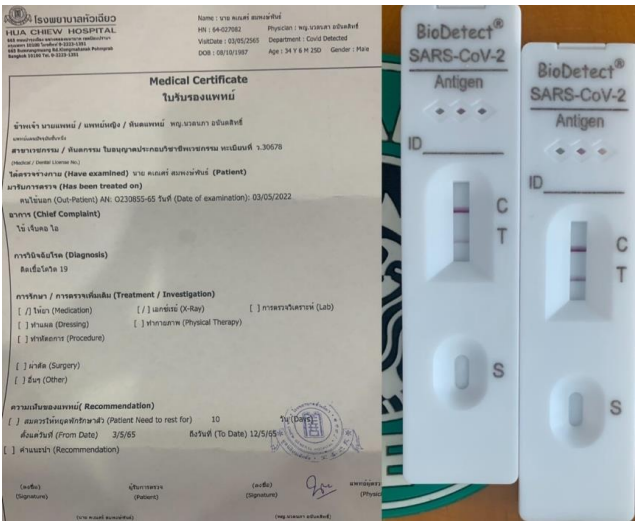
วันที่ 2 มิถุนายน 2565 (วัน เดือน ปี) (ต่อ)

ลำดับ	ปัญหาและอุปสรรค	
.2		<p>ทางหลวงหมายเลข 41 ตอนควบคุม 601 กม. 363+050 - 360+700 แขวงทางหลวงนครศรีธรรมราช</p> <p>ลักษณะปัญหา</p> <ul style="list-style-type: none">- มีงานก่อสร้าง <p>แนวทางแก้ไข</p> <ul style="list-style-type: none">- ตัดช่วงที่มีการก่อสร้างผิวถนนออก



รายงานปัญหาและอุปสรรคสถานการณ์แพร่ระบาดโรคโควิด-19

ปัญหาอุปสรรคสถานการณ์แพร่ระบาดโรคโควิด-19 ที่ส่งผลกระทบต่องานสำรวจโครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565 ที่ปรึกษาได้ทำการรวบรวมสรุปและรายงานผลแก่สำนักบริหารบำรุงทาง ทุกวันที่ 1 และวันที่ 15 ของทุกเดือน พร้อมทั้งแจ้งแนวทางแก้ไขดังกล่าวดังนี้

ปัญหาอุปสรรค	แนวทางแก้ไข
<p>1. วันที่ 03-05-2565 รถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 ทีมบริหารโครงการได้รับเชื้อโควิด-19</p> 	<p>- จากปัญหาอุปสรรค จึงทำให้ส่งผลกระทบต่อในการดูแลภาพรวมโครงการ ซึ่งยังอยู่ในระยะเวลาของการดำเนินงาน จากแนวทางการแก้ปัญหา ทีมได้มีการประชุมย่อยบ่อยครั้ง และติดตามส่วนงานศึกษาอัปเดตอย่างต่อเนื่อง จัดแบ่งให้ทีมเจ้าหน้าที่ Qc3 กระจายงานให้ทีมช่วยดูรายละเอียดระยะทางการนำส่ง รายงานแผนผลประจำวัน และรายงานความก้าวหน้าโครงการประจำสัปดาห์ ทุกวันพฤหัสบดี</p>


***หมายเหตุ นายแพทย์ สมพงษ์พันธ์ ตำแหน่งทีมบริหารโครงการ ได้รับเชื้อโควิด-19 และเข้ารับกักตัวตั้งแต่วันที่ 03-05-2565 ถึงวันที่ 12-05-2565 และกลับมาปฏิบัติงานอีกครั้งในวันที่ 17-05-2565 ซึ่งปัจจุบันเลื่อนประชุมติดตามความก้าวหน้าในงานชั้นกลางออกไปและส่งเอกสารความก้าวหน้าให้ทางเลขาโครงการตรวจสอบเบื้องต้น




รายงานชั้นกลาง (Interim Report)

โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ปัญหาอุปสรรค	แนวทางแก้ไข
<p>1.วันที่ 04-05-2565 รถสำรวจคันที่ 3 (LCMS) มีพนักงานสำรวจภาคสนามได้รับเชื้อโควิด-19 จำนวน 1 คน</p> 	<p>1.วันที่ 04-05-2565 ส่งพนักงานสำรวจที่ได้รับเชื้อเข้ารับการรักษาและกักตัวที่ห้องพัก กทม. แจ้งผู้ประสานงาน ขท.สระบุรี ว่าต้องหยุดสำรวจชั่วคราวในวันนี้ และจะกลับมาสำรวจต่อในวันที่ 05-05-2565 พร้อมทั้งทำความสะอาดฆ่าเชื้อรถสำรวจคันที่ 3 (LCMS)</p> <p>2.วันที่ 05-05-2565 พนักงานสำรวจอีก 2 คน ที่ตรวจไม่พบเชื้อจะกลับไปสำรวจ ขท.สระบุรี ต่อ</p>

***หมายเหตุ แผนการสำรวจ แขวงทางหลวงสระบุรี วันที่ 05-05-65 ถึง 06-05-65 ระยะทาง 322.596 กิโลเมตร ซึ่งปัจจุบันรถสำรวจคันที่ 3 (LCMS) เริ่มสำรวจพื้นที่ของแขวงทางหลวงสระบุรีไปแล้ว 28.152 กิโลเมตร และจะกลับมาสำรวจอีกครั้งในวันที่ 05-05-2565 ซึ่งยังอยู่ในระยะเวลาของแผนการสำรวจ

ปัญหาอุปสรรค	แนวทางแก้ไข
<p>2. วันที่ 07-05-2565 รถสำรวจคันที่ 3 (LCMS) มีพนักงานสำรวจภาคสนามได้รับเชื้อโควิด-19 จำนวน 1 คน</p> 	<p>1.วันที่ 07-05-2565 ส่งพนักงานสำรวจที่ได้รับเชื้อเข้ารับการรักษาและกักตัวที่ห้องพัก กทม. แจ้ง วท.ทล. และผู้ประสานงาน ขท.สระบุรี ว่าต้องหยุดสำรวจและจะกลับมาสำรวจต่อในวันที่ 15-05-2565 พร้อมทั้งทำความสะอาดฆ่าเชื้อรถสำรวจคันที่ 3 (LCMS)</p> <p>2.วันที่ 07-05-2565 พนักงานขับรถสำรวจอีก 1 คน ที่ตรวจไม่พบเชื้อให้กักตัวดูอาการที่ห้องพักใน กทม. เป็นเวลา 3 วัน</p>

***หมายเหตุ แผนการสำรวจแขวงทางหลวงสระบุรี วันที่ 05-05-65 ถึง 06-05-65 ระยะทาง 322.596 กิโลเมตรซึ่งปัจจุบัน รถสำรวจคันที่ 3 (LCMS) เริ่มสำรวจพื้นที่ของแขวงทางหลวงสระบุรีไปแล้ว 221.602 กิโลเมตร และจะกลับมาสำรวจอีกครั้งในวันที่ 15-05-2565 ซึ่งจะต้องปรับแผนการสำรวจแขวงอื่นๆ ที่เหลือออกไป

