บทที่ 2
ผลสรุปการปฏิบัติงานในช่วงที่ผ่านมา

2.1 พื้นที่สำรวจ

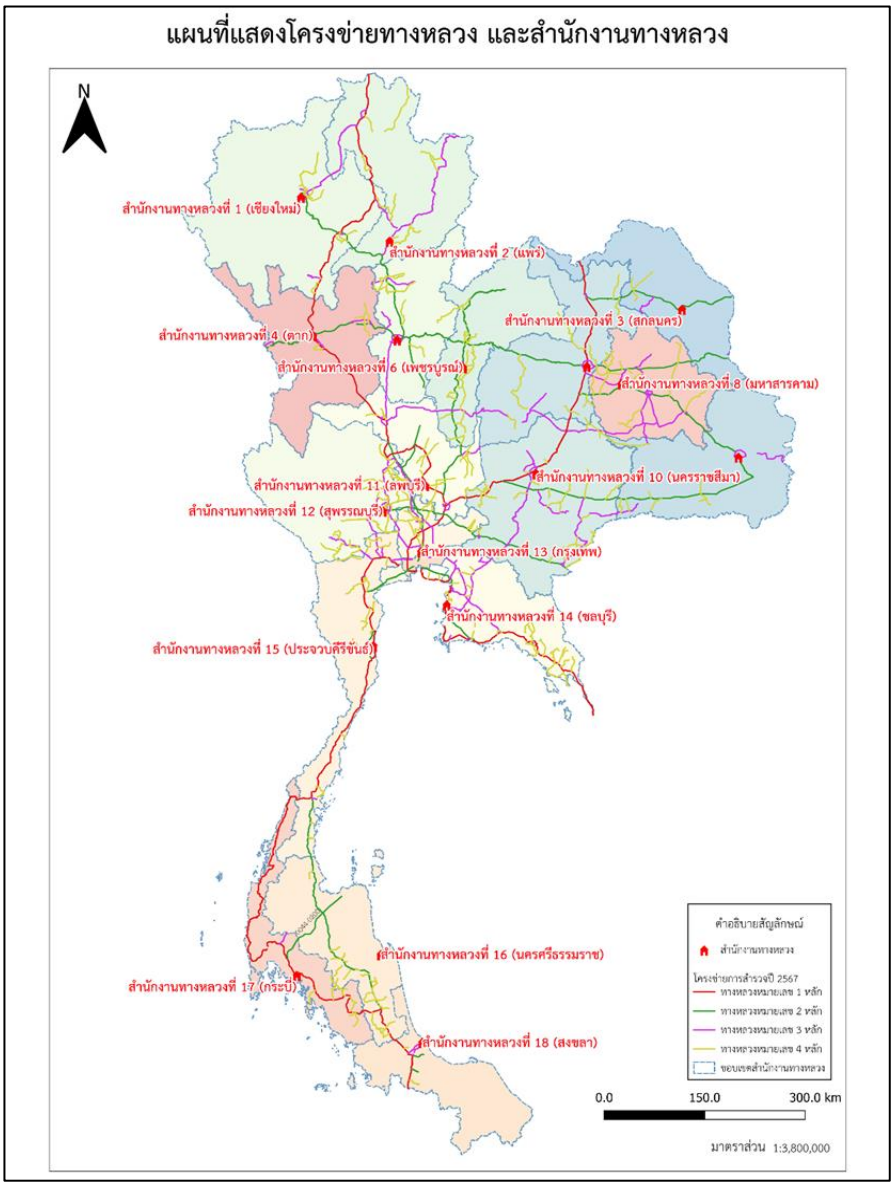
ในการสำรวจและวิเคราะห์สภาพทางชนิดผิวลาดยางและผิวคอนกรีตนั้น ข้อมูลความเสียหายของผิวทางซึ่งเป็นข้อมูลตั้งต้นในการวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนงานบำรุงทางที่เหมาะสมและมีความถูกต้องนั้น ต้องมีการวางแผนงานให้เหมาะสมและเป็นไปตามเกณฑ์ที่ทางคณะกรรมการกำหนดไว้ ดังนั้น ที่ปรึกษาจึงได้พิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการจัดเก็บและสำรวจข้อมูลความเสียหายบนถนนผิวลาดยางและผิวคอนกรีต โดยเลือกใช้ยานพาหนะพร้อมติดตั้งอุปกรณ์เลเซอร์และกล้องถ่ายภาพที่มีความคมชัด ทำการบันทึกข้อมูลในการสำรวจ พร้อมทำการประมวลผลข้อมูลความเสียหายชนิดต่าง ๆ และนำเข้าสู่ระบบจากระยะทางสำรวจทั้งหมด 75,212.293 กิโลเมตร ตามรอบการสำรวจ 3 ปี ที่ปรึกษาได้ทำการคัดเลือกสายทางที่จะดำเนินการสำรวจตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนดไว้ เป็นระยะทางสำรวจทั้งสิ้น 30,190.676 กิโลเมตร โดยพื้นที่สำรวจนั้นจะครอบคลุมพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 สำนักงานทั่วประเทศ โดยจะไม่รวมถึงพื้นที่ใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา และจังหวัดนราธิวาส รวมถึง 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย ซึ่งสามารถแบ่งพื้นที่รับผิดชอบตามอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ

สำนักงานทางหลวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	อุปกรณ์สำรวจ LCMS	อุปกรณ์สำรวจ Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	1,067.842	350.843	1,418.685
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	1,466.712	224.390	1,691.102
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	613.332	189.856	803.188
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	909.811	177.736	1,087.547
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	927.532	485.675	1,413.207
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	867.440	686.342	1,553.782
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	1,357.121	528.447	1,885.568
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	1,067.890	721.951	1,789.841
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	814.378	308.963	1,123.341
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	1,945.553	1,088.012	3,033.565
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	1,462.046	796.087	2,258.133
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	1,043.148	1,050.044	2,093.192

ตารางที่ 2-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ (ต่อ)

สำนักงานทางหลวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	อุปกรณ์สำรวจ LCMS	อุปกรณ์สำรวจ Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,341.666	583.965	1,925.631
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	1,760.668	833.361	2,594.029
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	1,590.668	444.858	2,035.526
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	1,084.035	400.439	1,484.474
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,242.130	239.152	1,481.282
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	451.191	67.392	518.583
ระยะทางสำรวจรวม (กม.)	**21,013.163**	**9,177.513**	**30,190.676**

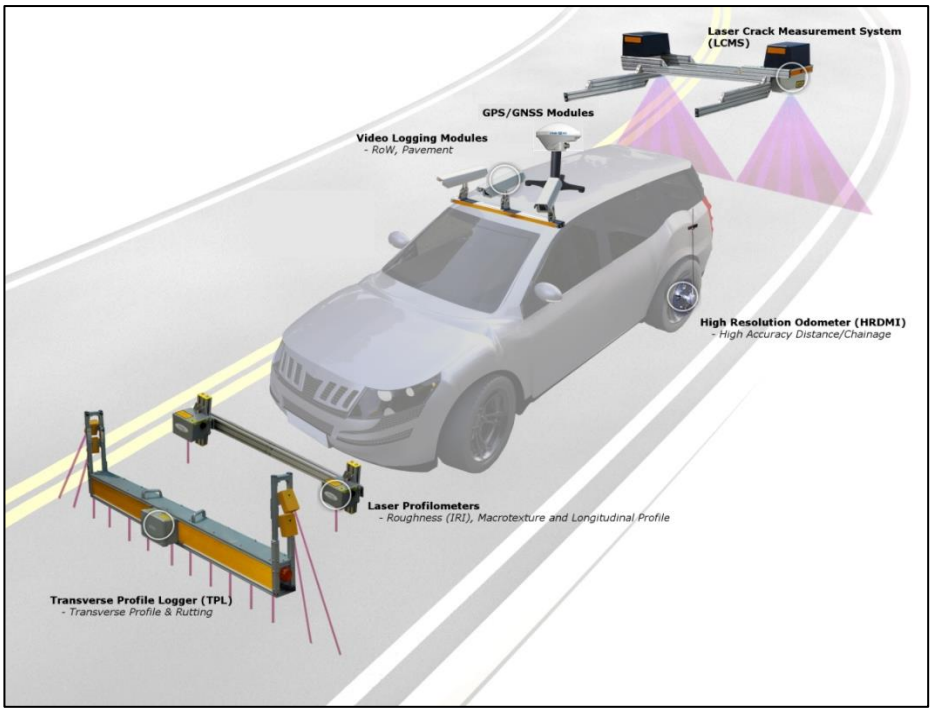


รูปที่ 2-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง

2.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง

คณะที่ปรึกษามีประสบการณ์และความชำนาญในการสำรวจและจัดทำข้อมูลบนโครงข่ายสายทางของกรมทางหลวงมากกว่า 10 ปี โดยเฉพาะการสำรวจและจัดทำข้อมูลด้วยอุปกรณ์ผลิตแผนที่แบบเคลื่อนที่ได้ (Mobile Mapping System : MMS) ซึ่งเป็นรูปแบบของการติดตั้งชุดอุปกรณ์และเซนเซอร์ต่าง ๆ บนยานพาหนะ เพื่อให้การสำรวจทำได้ด้วยความรวดเร็ว มีความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลสูง ทำให้ข้อมูลทั้งโครงข่ายของกรมทางหลวงสามารถจัดเก็บพร้อมวิเคราะห์ผลได้เสร็จสิ้นทันต่อการใช้งาน

โดยทางที่ปรึกษาได้ทำการจัดหาชุดอุปกรณ์สำรวจแบบติดตั้งบนยานพาหนะ เพื่อใช้ในการสำรวจและจัดทำข้อมูลในโครงการ สำหรับเครื่องมือเพื่อทำการสำรวจให้ข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทางนั้นจะมีการติดตั้งเลเซอร์เฉพาะที่มีความเหมาะสมในการสำรวจข้อมูล ทั้งนี้ ทางคณะที่ปรึกษาได้คัดเลือกชนิดของอุปกรณ์ที่มีการใช้งานแล้วในต่างประเทศและเป็นที่ยอมรับ ถูกต้องตามหลักมาตรฐานในการจัดเก็บข้อมูลตามหลักการสากล โดยชุดอุปกรณ์สำรวจที่ติดตั้งสามารถสำรวจข้อมูลบนถนนของผู้ว่าจ้างได้อย่างต่อเนื่องและสามารถสำรวจสภาพความเสียหายของผิวทางที่ช่วงความเร็วที่เหมาะสมตามมาตรฐาน 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) ที่เป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่กำหนดและจัดทำมาตรฐาน ซึ่งนิยมใช้และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก โดยมีความสามารถของอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อตรวจวัดค่าความเสียหายต่าง ๆ ที่มีเครื่องมืออย่างน้อย ดังนี้



รูปที่ 2-2 ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางที่ติดตั้งบนยานพาหนะ

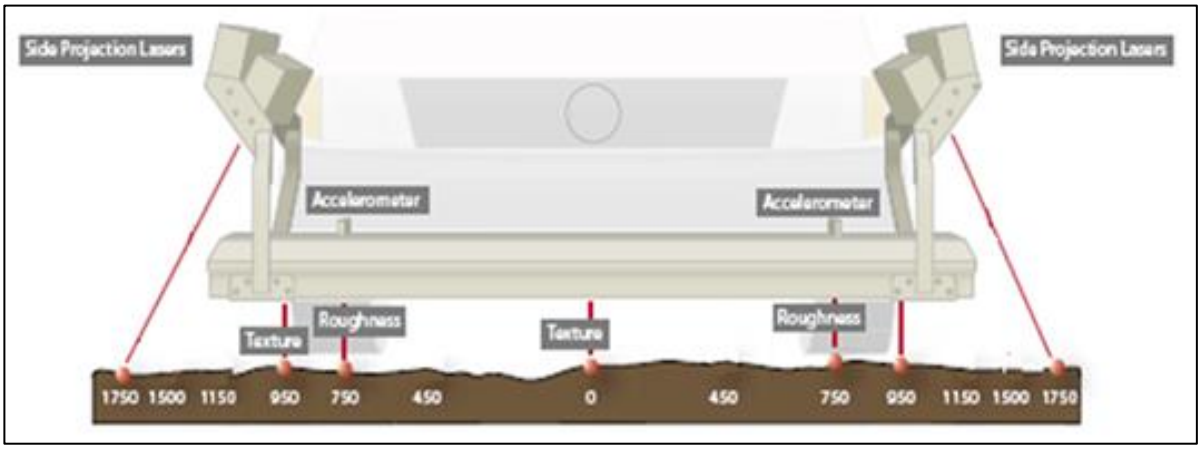
Equipment Classification	Precision (1 SD)	Bias
1	0.38 mm (0.015 in.)	1.25 mm (0.050 in.)
2	0.76 mm (0.030 in.)	2.50 mm (0.100 in.)
3	2.50 mm (0.100 in.)	6.25 mm (0.250 in.)

รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับขั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำและความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโพรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950

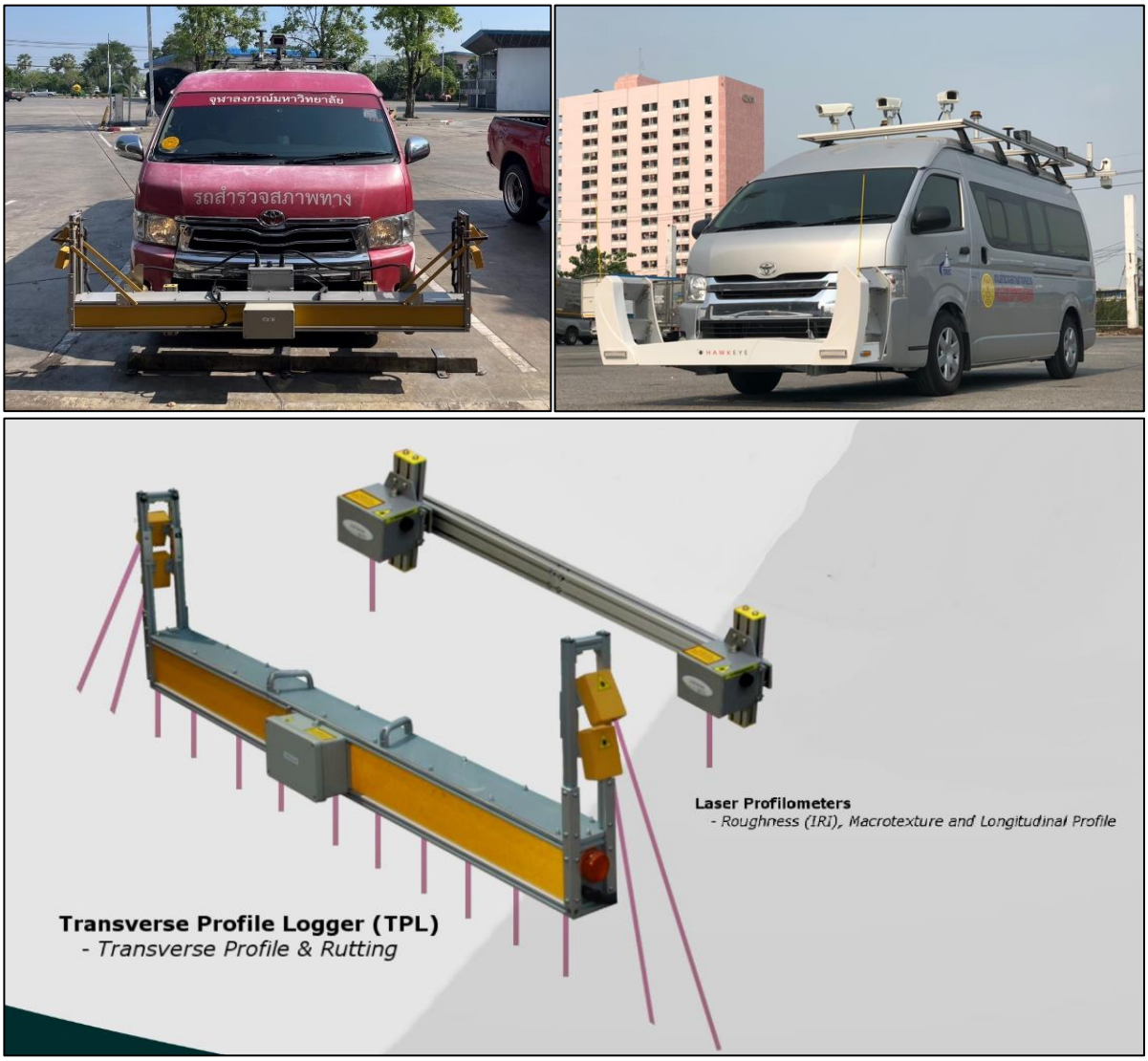
2.2.1 มีชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่สามารถตรวจวัดสภาพผิวทางได้ทุก 25 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ทำการบอกพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS (Differential Global Positioning System) ทศนิยมอย่างน้อย 6 ตำแหน่ง บนพื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84 และค่าพิกัดที่ได้สามารถนำไปคำนวณเป็นระยะทางตามสายทางได้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

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งชุดเลเซอร์เพื่อตรวจวัดความเรียบของผิวทาง ในหน่วยค่าดัชนีความขรุขระสากลตามมาตรฐาน ASTM E950 / Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer-Established Inertial Profiling Reference สามารถตรวจวัดค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) ที่สามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าความลึกในหน่วยมิลลิเมตรได้ และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E1845 (Standard Practice for Calculating Pavement Macro Texture Mean Profile Depth) และสามารถตรวจวัดข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ที่สามารถตรวจวัดและคำนวณเป็นค่าความลึกในหน่วยมิลลิเมตรได้ตามมาตรฐาน 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

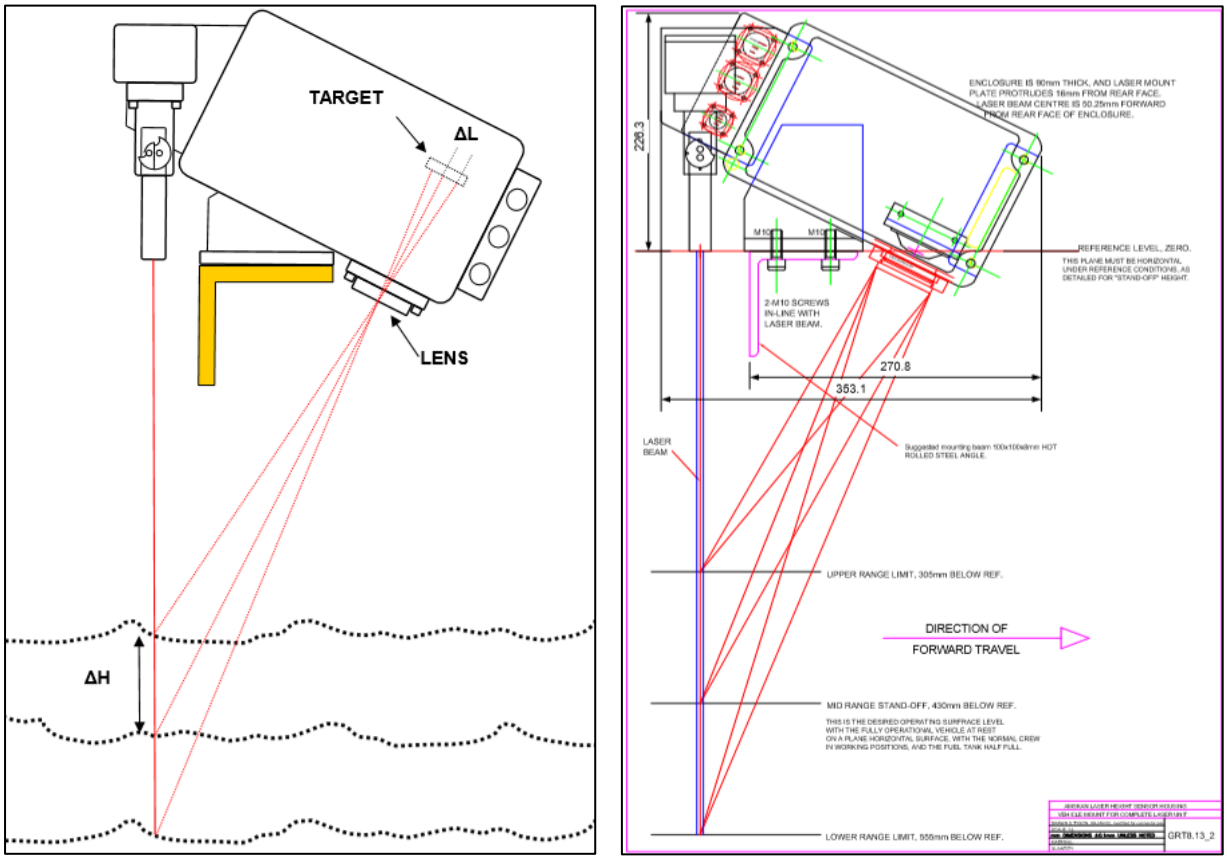
- **<u>เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profilometer)</u>** เป็นชุดเครื่องมือที่ประกอบด้วยชุดเลเซอร์หลายจำนวนประกอบไว้ด้วยกัน ทำการติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าของยานพาหนะสำรวจบนโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (Rigid) เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและมีค่าที่ตรวจวัดได้สัมพันธ์กันจากทุกอุปกรณ์เซนเซอร์ โดยมีระยะการติดตั้งเพื่อตรวจวัด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



รูปที่ 2-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

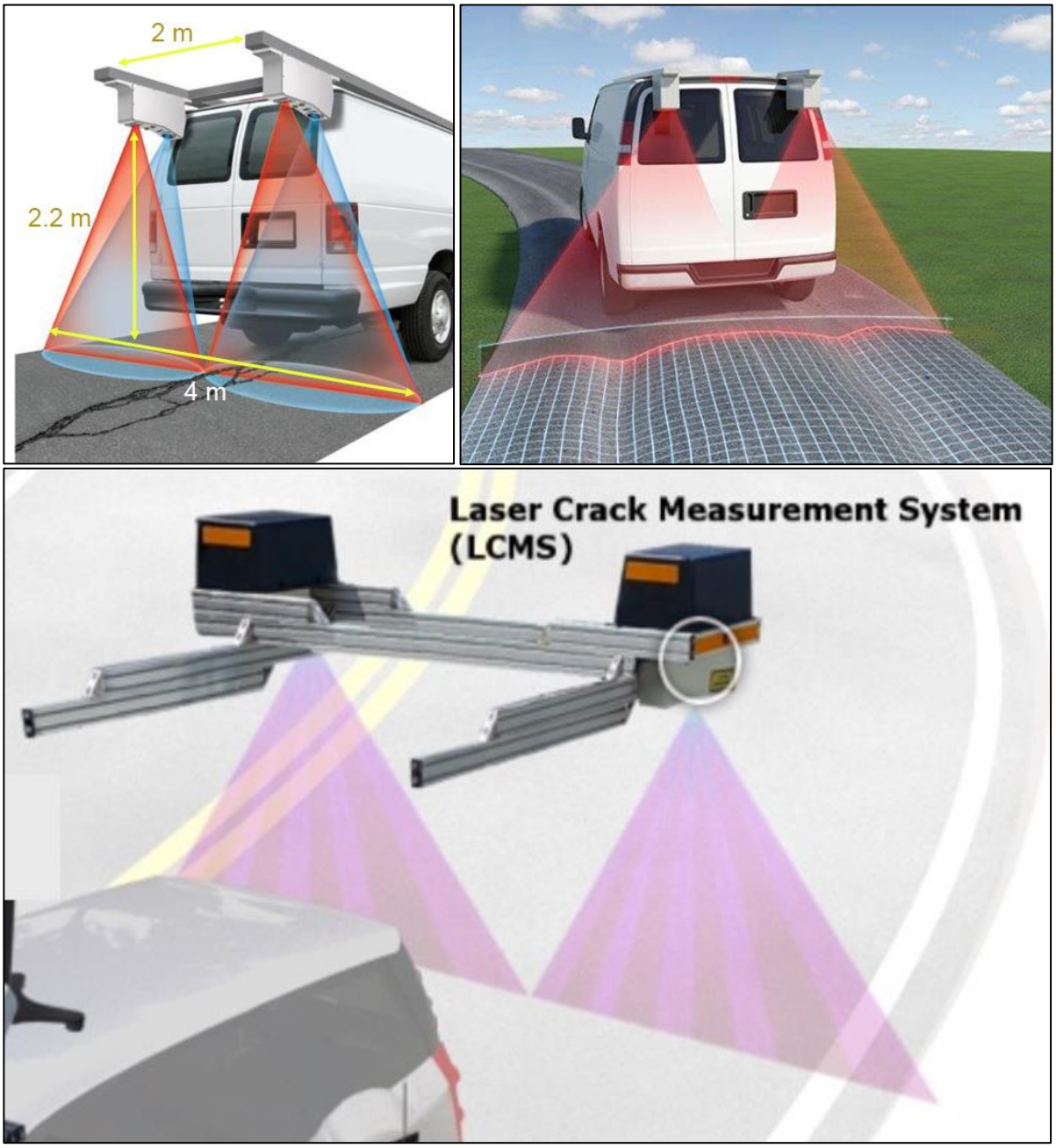


รูปที่ 2-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 2-6 แสดงการทำงานเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์

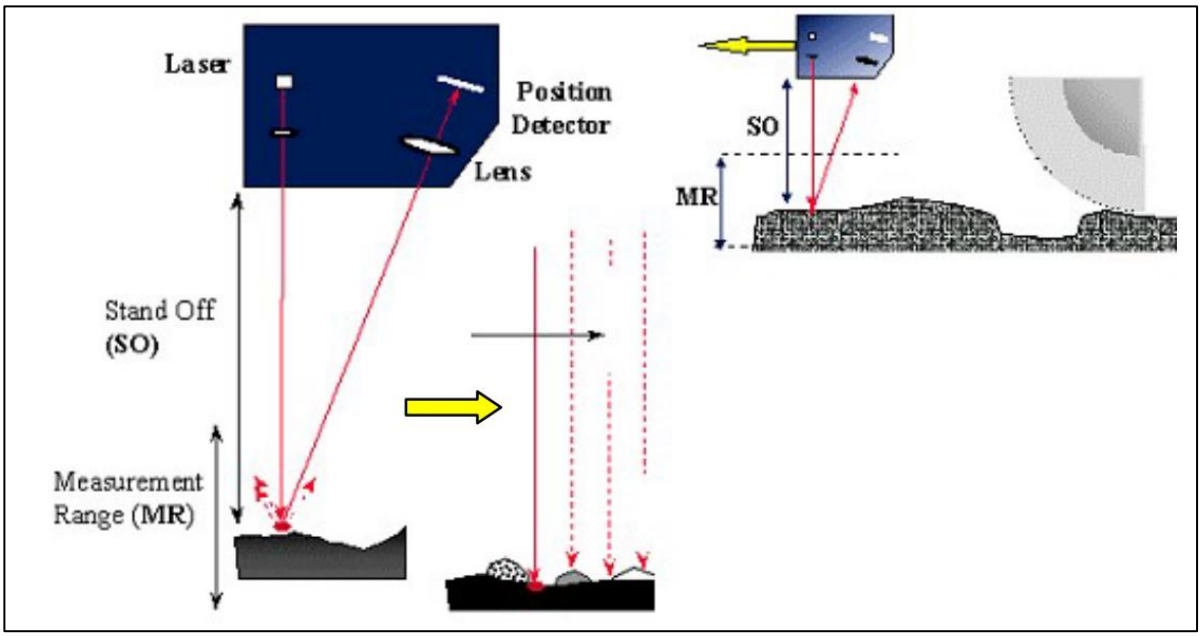
- <u>Laser Crack Measurement System (LCMS)</u> เป็นอุปกรณ์เลเซอร์สำหรับตรวจสอบสภาพผิวทางแบบอัตโนมัติที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันในปัจจุบันมีความแม่นยำสูง โดยมีเลเซอร์ที่ตรวจวัดได้ 4,096 จุด สามารถสำรวจข้อมูลสภาพผิวทางออกมาในรูปแบบของ 3D Profiles ความละเอียดสูงซึ่งสามารถนำมาคำนวณและวิเคราะห์หาค่าความเสียหายต่าง ๆ ของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Detection and Measurement) โดยใช้ Algorithms ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือสำรวจ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่กำหนดไว้สำหรับการทดสอบหาค่าข้อมูลสภาพทางประเภทต่าง ๆ



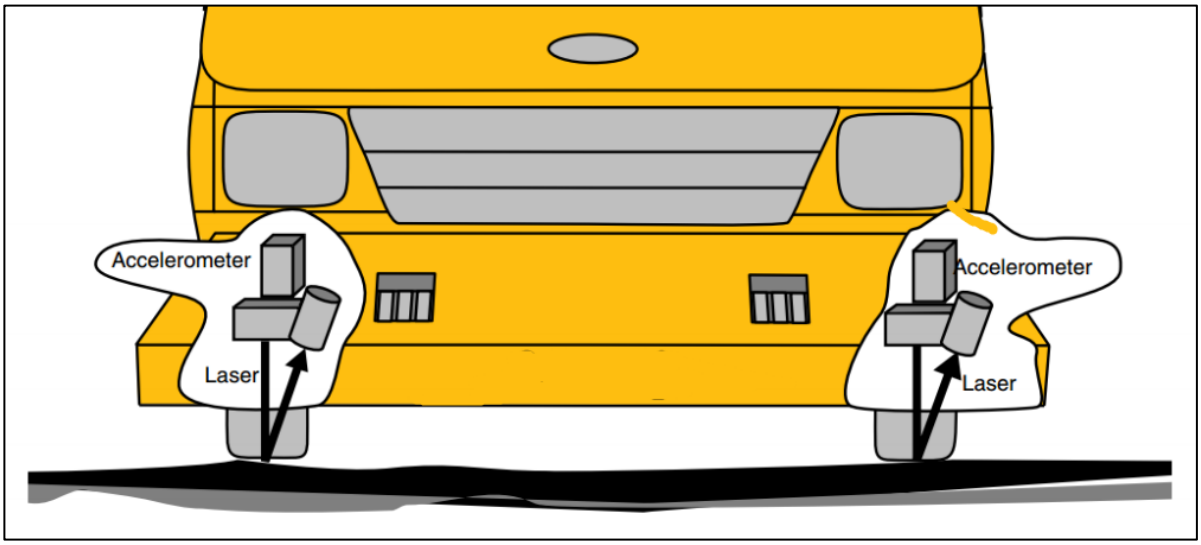
รูปที่ 2-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS)

โดยชุดเลเซอร์ทั้ง 2 ประเภทที่ได้กล่าวมา สามารถทำการตรวจวัดข้อมูลสภาพผิวทางที่สำคัญ 3 ตัว ดังนี้

1) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI ในหน่วยเมตร/กิโลเมตร) ตรวจวัดโดยใช้เลเซอร์จำนวน 2 หัว ติดตั้ง ณ ตำแหน่งของล้อกับแนวล้อของยานพาหนะ หรือที่ +/- 750 มิลลิเมตร ทางซ้ายและขวาจากแนวกึ่งกลาง โดยทำงานและวิเคราะห์ค่าอย่างอิสระแยกกัน โดยค่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้ขั้นต้นจะเป็นค่าระยะทางจากหัววัดของเลเซอร์ไปยังผิวทาง ซึ่งจะถูกคำนวณรวมกับค่าความเร่งตามแนวแกนดิ่งจากอุปกรณ์ Accelerometer ทำการคำนวณปรับแก้ให้เป็นค่าระยะทางที่ถูกต้อง โดยผลลัพธ์จะได้เป็นค่าโพรไฟล์ของผิวทางและทำการสะสมอย่างต่อเนื่อง โดยทุกระยะทาง 25 มิลลิเมตร จะมีค่าการตรวจวัด 1 ค่า สะสมตลอดช่วงการสำรวจ ทำให้สามารถคำนวณเป็นค่าความเรียบของผิวทาง โดยข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลจะได้ข้อมูลจากอุปกรณ์วัดความเรียบจะมาแยกกันระหว่างเลเซอร์ทางฝั่งซ้ายและฝั่งขวา จากนั้นจึงจะนำไปคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

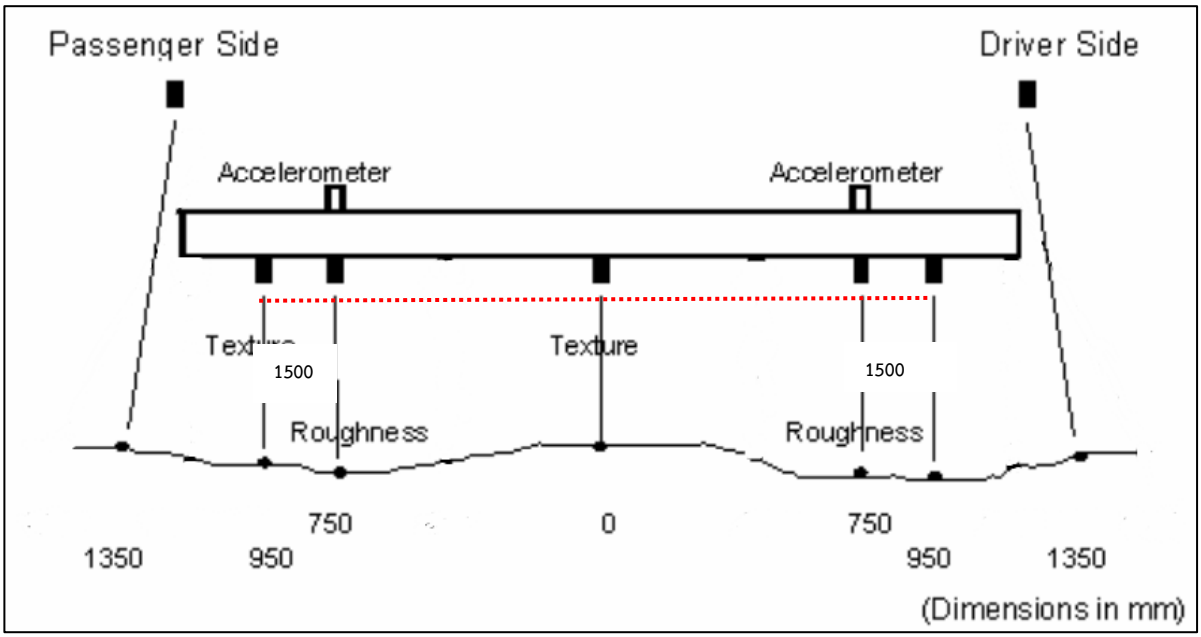


รูปที่ 2-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง



รูปที่ 2-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer
ติดตั้งที่ระยะ +-/ 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ

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

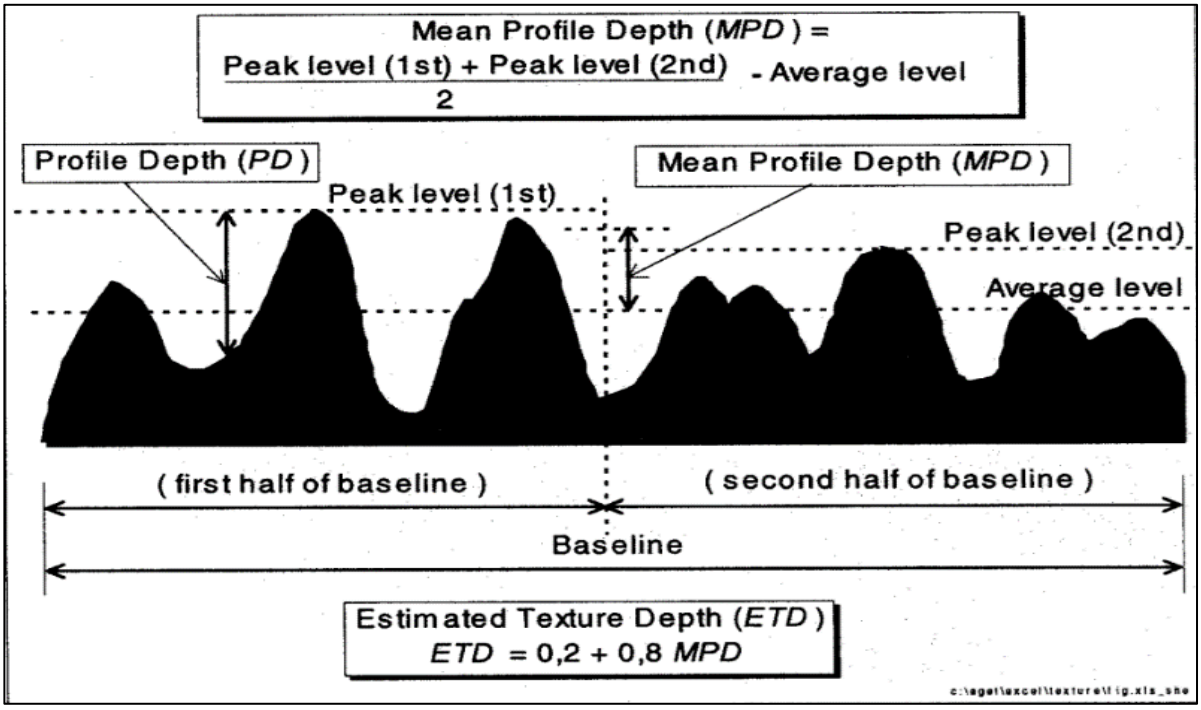


รูปที่ 2-10 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว

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

ซึ่งวิธีการคำนวณและตรวจสอบความถูกต้องของค่า MPD นั้น โปรแกรมประมวลผลสามารถที่จะประมวลผลละเอียดสูงสุดที่ 1 เมตร ดังนั้นเมื่อเก็บค่าทุก ๆ 1 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 1 เมตร (แสดงดังรูปที่ 2-11) โปรแกรมจะนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟ และคำนวณตามสูตรมาตรฐาน (แสดงดังรูปที่ 2-12) ตามลำดับ ซึ่งการสำรวจในรอบการสำรวจนี้ มีการประมวลผลที่ทุก ๆ 25 เมตร คือการนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทุก ๆ 1 เมตร มาหาค่าเฉลี่ย

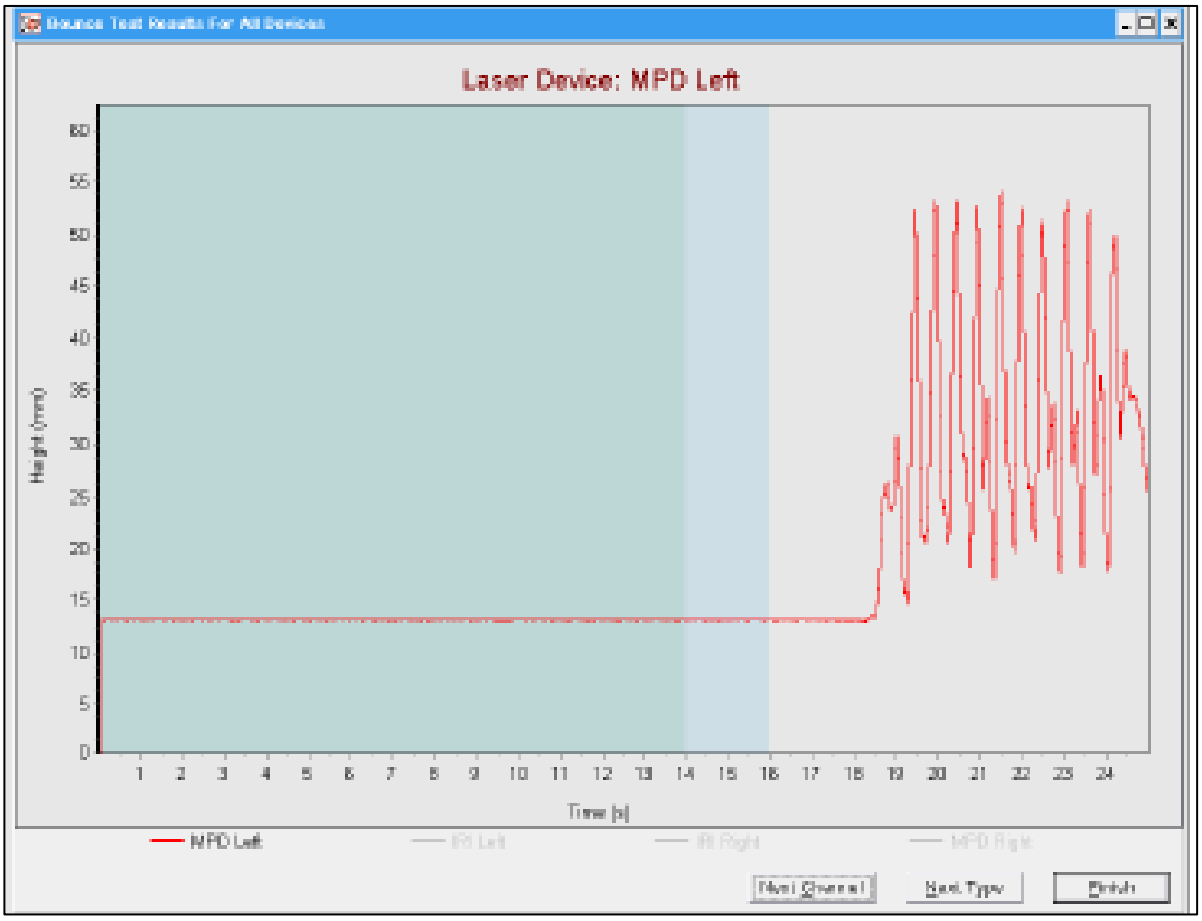
รูปที่ 2-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD



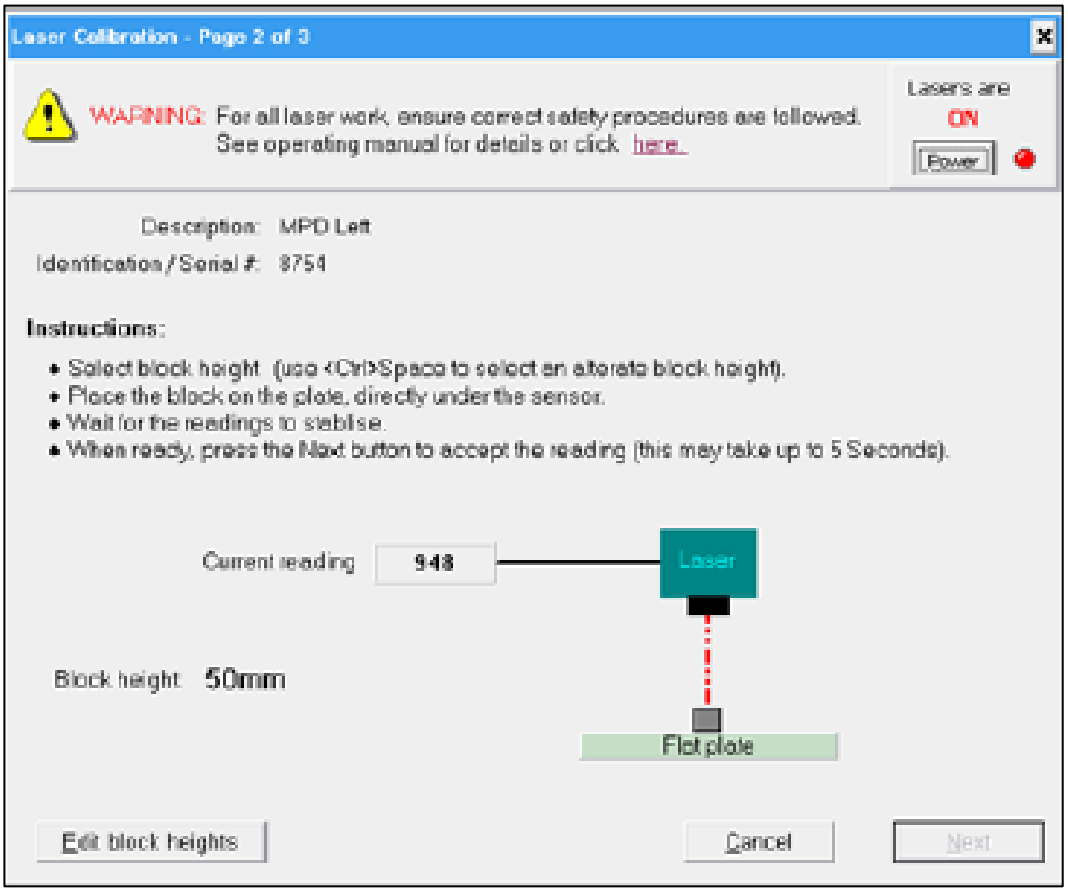
รูปที่ 2-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD

ในส่วนของการตรวจสอบว่าเครื่องมือตรวจวัดค่า Texture ทำงานเป็นปกติหรือไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทำ Bounce Test ซึ่งทางที่ปรึกษาจะพิจารณากราฟ Raw Laser Signa ที่ได้จากเลเซอร์ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ทั้งนี้ การทำ Bounce Test นั้น เพื่อจะตรวจสอบการทำงานในการวัดค่า IRI และ Accelerometer ว่าทำงานได้ปกติหรือไม่ ซึ่งหากทำงานได้ปกติก็จะถือว่าวัดค่า Texture ได้ถูกต้องเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ตัวเดียวกัน

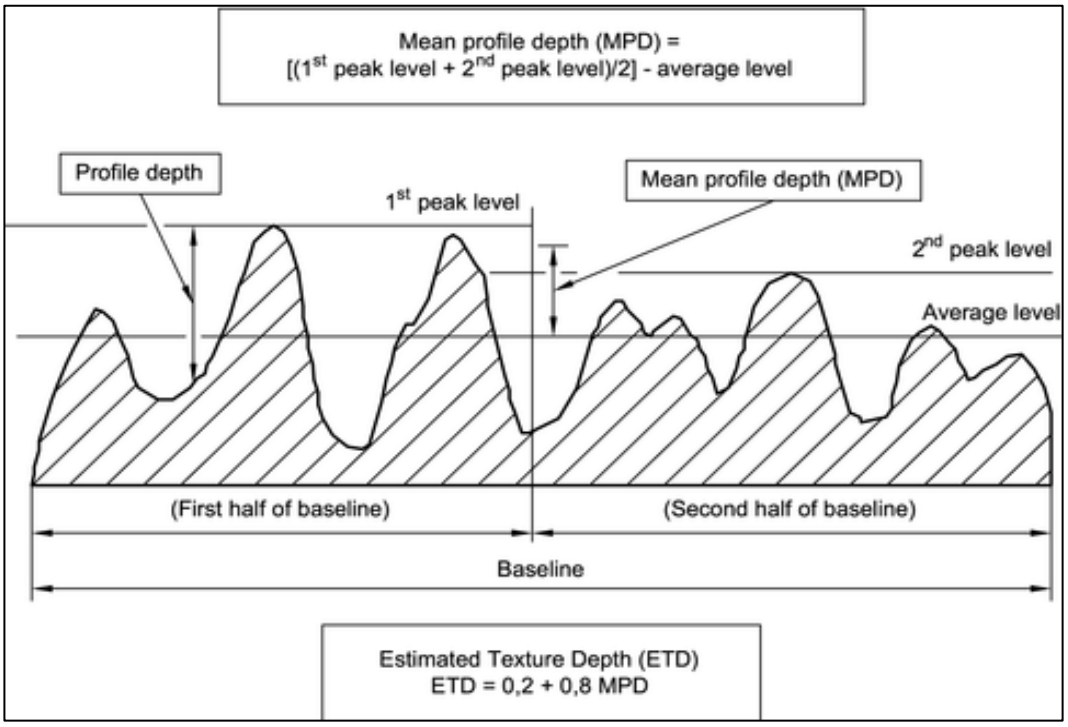
การทำ Block Calibration คือ การสอบเทียบการวัดค่าความสูงของเลเซอร์ให้ถูกต้อง โดยใช้ก้อนเหล็กขนาด 50 มิลลิเมตร ในการสอบเทียบ โดยการสอบเทียบวิธีนี้ควรทำเดือนละครั้ง



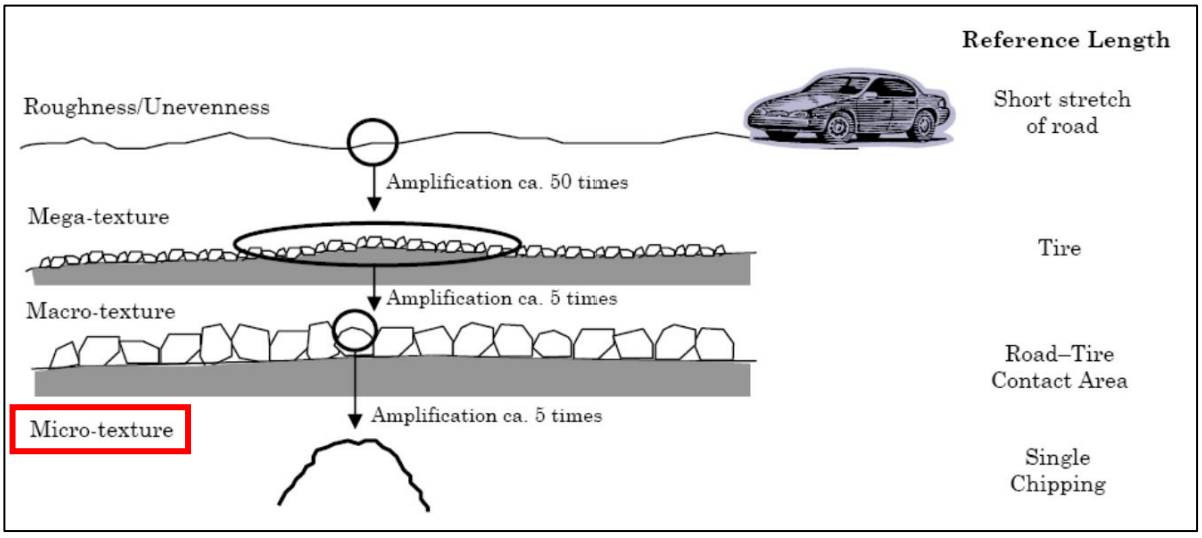
รูปที่ 2-13 กราฟแสดงค่าการ Bounce Test



รูปที่ 2-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ Block Calibration



รูปที่ 2-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser



รูปที่ 2-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความฝืดของผิวทางในระดับ Macro-Texture

นอกจากนี้ยังมีในส่วนของการคำนวณค่าความหยาบเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) ด้วยชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) โดยใช้ระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) ซึ่งการตรวจวัด Pavement Surface Texture ของแต่ละพื้นที่ผิวทางบนพื้นฐานการใช้วิธี “Digital Sand Patch Method” ที่มีหลักการเดียวกันกับวิธีการดั้งเดิม คือ Sand Patch Test สามารถประมวลผลหาค่า Air Void-Content Volume และพื้นที่ถนนบริเวณที่กำลังตรวจวัดได้ โดยใช้วิธีการประมวลผลตามมาตรฐาน ASTM E965-15 และตามมาตรฐาน ASTM E1845-15 แสดงดังรูปที่ 2-17 และรูปที่ 2-18 ตามลำดับ

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

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

where: *Sand Patch Test*

V = sample volume, mm^3

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

Digital Sand Patch Method

V = air void-content volume, mm^3

A = road surface, mm

รูปที่ 2-17 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 2-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	15 ชุด	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้ โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 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 0BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using a Straightedge	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) (ต่อ)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2.2 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	25 กก. (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	7 ชุด	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้ โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 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 1BASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept of Pavement Surface Using a Straightedge	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) (ต่อ)

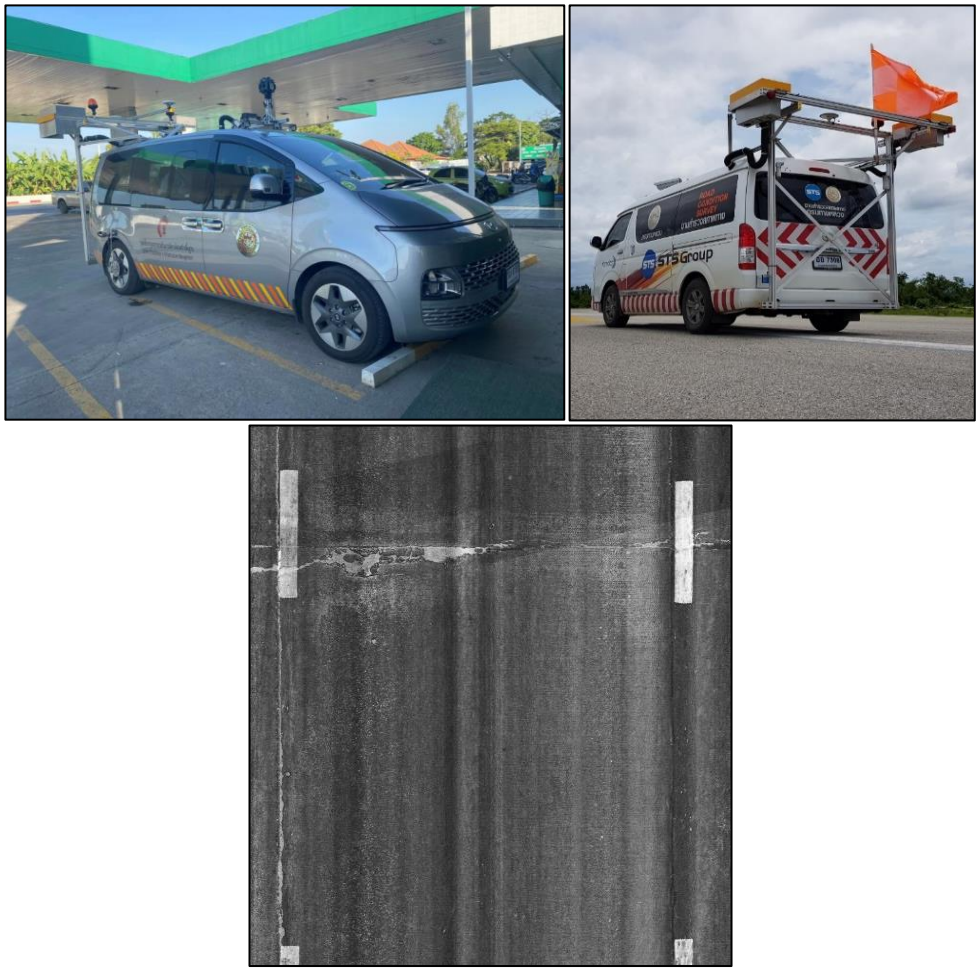
ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	30 กก. (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-4 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์แบบ LCMS

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	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, AUSTROADS Guidelines (where applicable), ISO 13473, NCAT Profiler Certified (longitudinal profiler), LCPC Methode d'essai No 40, World Bank Technical Paper 46.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	ตามขวางถนนทุก ๆ 1 มม. ตามยาวถนนทุก ๆ 5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ตรวจความเสียหายอัตโนมัติ	สามารถตรวจรอยแตก (Crack) ได้ระดับ 1 มม.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ

2.2.2 มีระบบประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่งและขนาดของความเสียหายของผิวทางโดยประมวลผลแบบอัตโนมัติได้ (Automatic Cracking Detection) จากข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์ หรือมีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ โดยประมวลผลจากโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายจากภาพถ่าย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

Laser Crack Measurement System (LCMS) คือ เครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทาง เป็นเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีความแม่นยำสูงมาก สามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D Profiles ความละเอียดสูง อุปกรณ์เลเซอร์สามารถสร้างภาพถ่ายผิวทาง และมีระบบประมวลผลขนาดและชนิดของความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Cracking Detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) สามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 4.0 เมตร หรือ 1 ช่องจราจร โดยรายละเอียดของกล้องแสดงดังตารางที่ 2-5



รูปที่ 2-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)

ตารางที่ 2-5 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 จุด ทุก 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 สามารถเก็บภาพได้คมชัดในสภาวะแสงน้อยถึงน้อยมากได้ ใช้เพื่อบันทึกภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางครอบคลุม 1 ช่องจราจร หรือ 3.5 เมตร เพื่อเก็บรายละเอียดลักษณะความเสียหายของถนน ขนาด และประเภทของการแตกร้าว และยังสามารถนำไปประมวลผลเพิ่มเติมเพื่อทำการลบแสงและเงา ในกรณีที่เกิดจากการบดบังของวัตถุหรือตัวรถ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินความเสียหายของผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 2-20 โดยมีรายละเอียดของกล้องแสดงดังตารางที่ 2-5 ตารางที่ 2-6 และตารางที่ 2-7

รูปที่ 2-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง

ตารางที่ 2-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

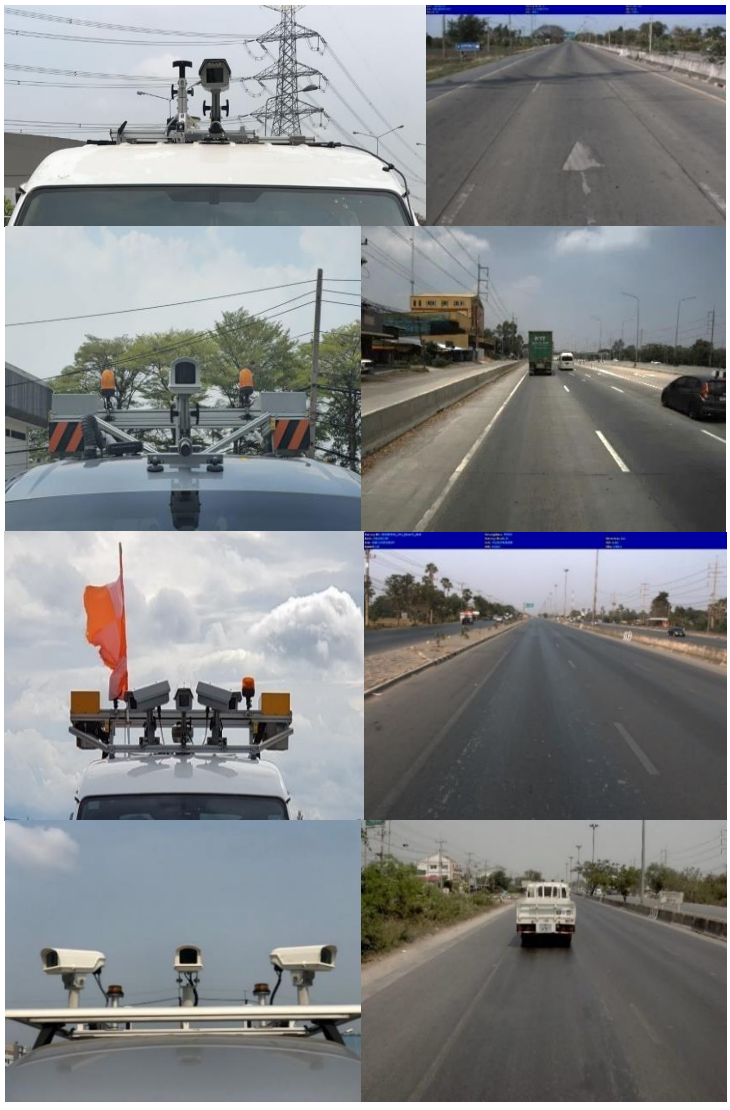
กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600x1,200 Pixels สามารถปรับความละเอียดได้สูงสุด 3,200x2,200 Pixels	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Mono 8 bit	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 80 กม./ชม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ภาพชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของภาพ	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet 1 Gb/sec	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 4,096x1,536 Pixels สามารถปรับความละเอียดได้สูงสุด 4,096x2,000 Pixels	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Mono 8 bit	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วในการเก็บข้อมูล	ไม่เกิน 100 กม./ชม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

2.2.3 มีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพถนนและสองข้างทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ ที่สามารถนำมาประมวลผลข้อมูลเป็นภาพเคลื่อนไหวได้

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



รูปที่ 2-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง

ตารางที่ 2-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนนในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600x1,200 Pixels	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง LCMS (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนนในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet (GigE) หรือ USB3	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600x1,200 Pixels	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

ตารางที่ 2-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทางอุปกรณ์ LCMS

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

ตารางที่ 2-11 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

กล้อง	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ความคลาดเคลื่อนของถนนในภาพต่อเนื่อง	น้อยกว่า 1 เมตร ด้วยเครื่องมือวัดระยะทาง (DMI Distance Sensor)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานการส่งข้อมูลของกล้อง	Gigabit Ethernet 1 Gb/Sec	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ขนาดของภาพ	ความละเอียด 1,600x1,200 Pixels	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
สี	Color	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
การปรับอัตราการบันทึกภาพ	สามารถทำได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
รูปแบบการเก็บข้อมูล	ไฟล์ชนิด AVI และ JPG	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ

จากคุณสมบัติและประสิทธิภาพกล้องของแต่ละอุปกรณ์ดังตารางข้างต้น แสดงให้เห็นถึงขนาดความกว้าง และความยาวของภาพที่ครอบคลุมข้อมูลของพื้นผิวทาง และทรัพย์สินข้างเขตทางต่าง ๆ ความละเอียดของภาพที่ดีกว่าคุณสมบัติของข้อกำหนดของโครงการ ซึ่งสามารถบันทึกภาพได้ความละเอียดถึง 3008x2200 Pixels มุมเปิดถ่ายภาพความกว้างตามยาว หรือ Horizontal FOV ที่ 66 องศา ผนวกกับความถูกต้องแม่นยำของอุปกรณ์บันทึกค่าพิกัด GNSS ที่ติดตั้งบนยานพาหนะ ข้อมูลภาพที่ถูกบันทึกดังกล่าวสามารถพัฒนาต่อยอดไปในด้านการใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) การวัดระยะห่างระหว่างวัตถุหรือขนาดของวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในภาพ โดยอาจใช้การอ้างอิงของขนาดวัตถุที่ทราบค่า เช่น ความกว้างของช่องจราจร ขนาดของป้ายจราจรที่เป็นมาตรฐาน นำมาคำนวณตามมาตราส่วนเพื่อหาขนาดของวัตถุได้ หรืออาจใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล เช่น Pixel Counting นำมาคำนวณหาขนาดของจุดภาพ Pixel แต่ละจุดเพื่อหาขนาดของวัตถุต่อไป
2) การระบุหรือจำแนกประเภทพทรัพย์สินต้องอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) มาช่วยเพิ่มเติมประสิทธิภาพในการระบุหรือจำแนกประเภททรัพย์สินในเขตทางได้ ทั้งนี้ ต้องอาศัยกลุ่มตัวอย่างภาพเพื่อมาเรียนรู้เป็นจำนวนหลายรูปแบบ และหลายตัวอย่าง

รูปที่ 2-22 ตัวอย่างภาพถ่ายที่มีขนาดความกว้างยาวครอบคลุมผิวทาง และทรัพย์สินข้างเขตทาง

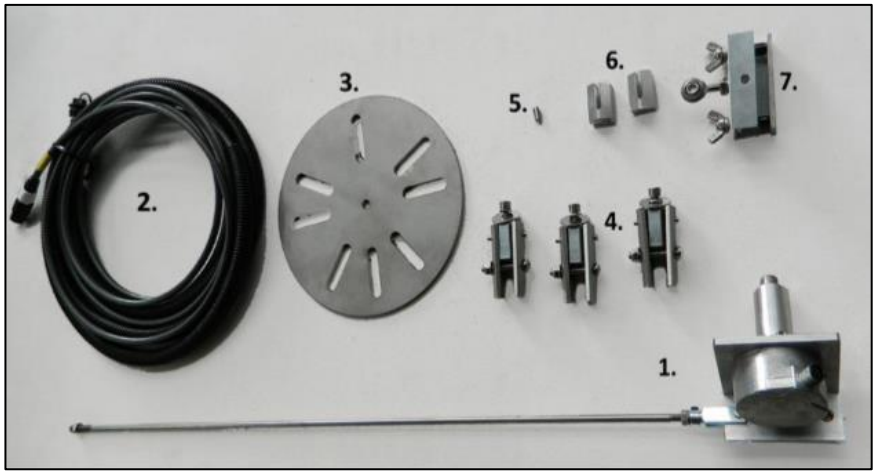
2.2.4 มีชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยระยะทางจากอุปกรณ์นี้จะทำงานสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ

ที่ปรึกษาจะจัดชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยการวัดระยะทางจากอุปกรณ์นี้สามารถทำงานร่วมกันหรือสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระดับผิวทางแบบเลเซอร์เนื่องจากการสั่นของรถสำรวจ

รูปที่ 2-23 เครื่องมือวัดความเร่ง

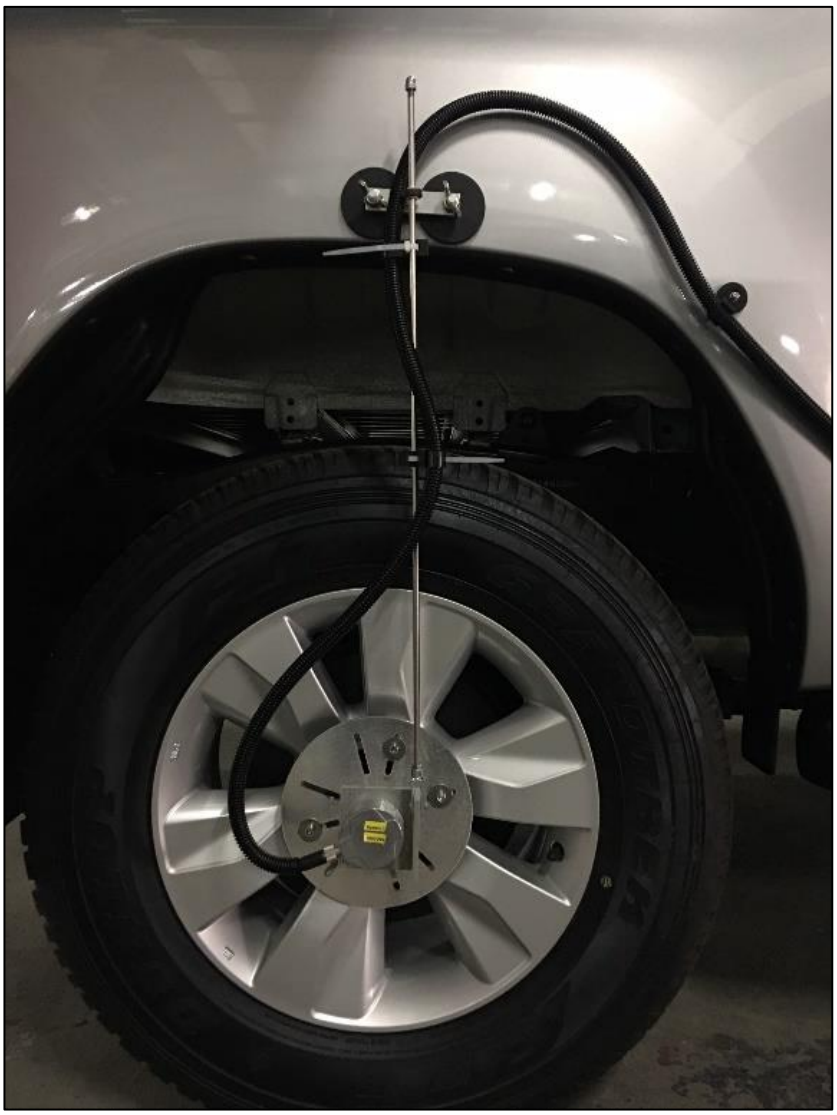
- เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument : DMI) เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งกับล้อรถสำรวจเพื่อตรวจวัดระยะทางสำรวจโดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลส์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจ



รูปที่ 2-24 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง

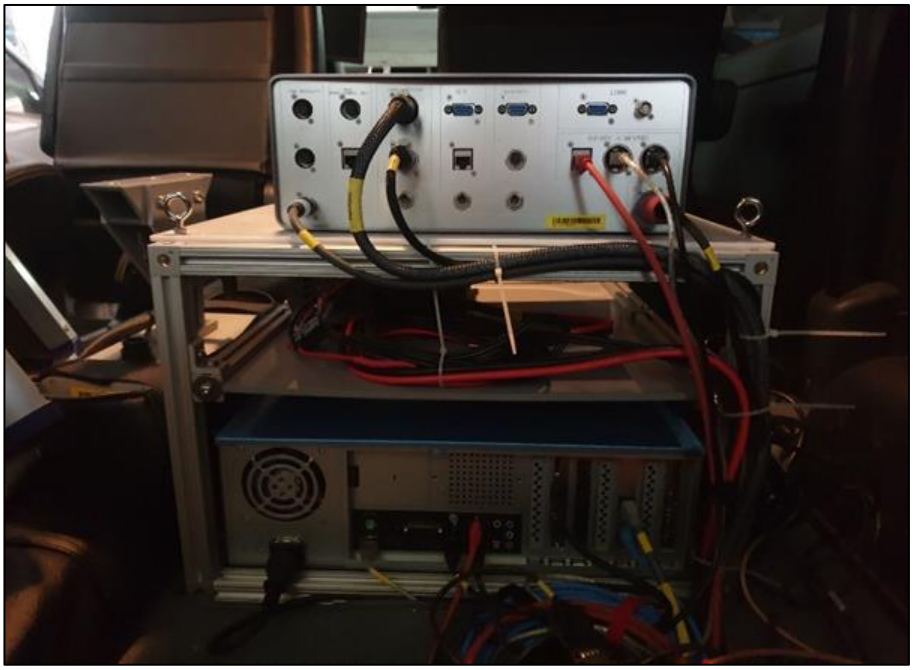
ตารางที่ 2-12 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง

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

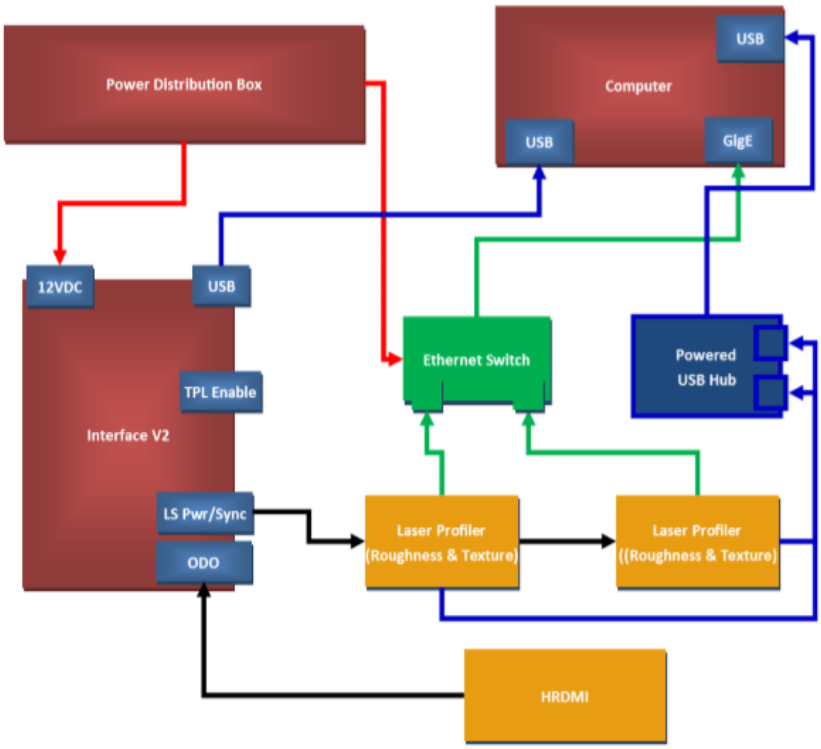


รูปที่ 2-25 เครื่องวัดระยะทาง

- อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS และระบบคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลสำรวจ (On board Computer) ติดตั้งในรถ ระบบคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในรถสำรวจเพื่อบันทึกข้อมูลและประมวลผลเบื้องต้นบนรถสำรวจ



รูปที่ 2-26 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 2-27 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล

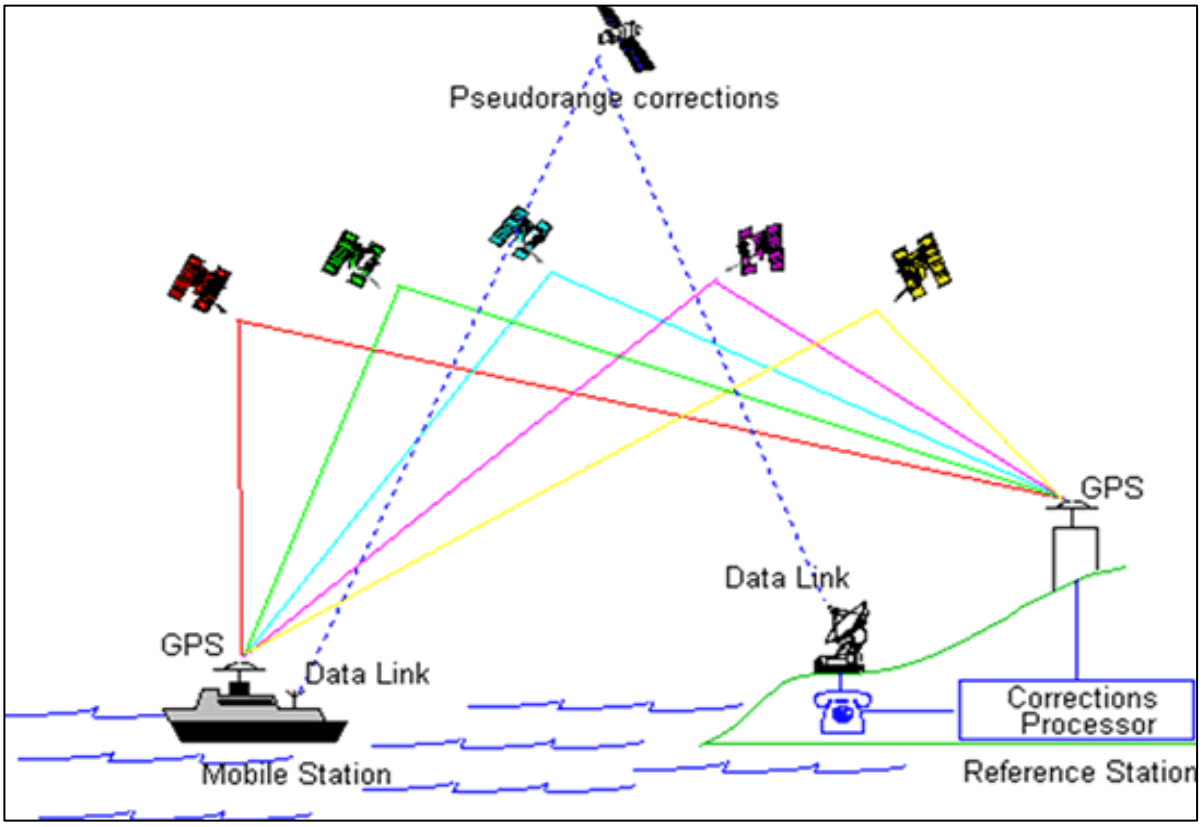
- การติดตั้งเครื่องมือ จะทำการติดตั้งเครื่องมือดังที่กล่าวมาข้างต้นเข้ากับรถสำรวจสภาพทาง (Road Condition Survey Vehicle : RCSV)

รูปที่ 2-28 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ

2.2.5 มีชุดอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS พร้อมความสามารถในการรับค่าปรับแก้เพื่อให้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งมีค่าความละเอียดอย่างน้อยในระดับ 1 เมตร จำนวน 1 ชุด

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GNSS) พร้อมรับสัญญาณค่าพิกัดปรับแก้ (Differentials Global Positioning System : DGPS) คือ เครื่องมือที่ใช้ระบุตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะที่ทำการสำรวจข้อมูล โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายในรถจะแสดงค่าสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ทำการบันทึกซึ่งได้พิกัดตำแหน่งจากอุปกรณ์ GNSS ชนิด DGPS นั่นเอง โดยสามารถแสดงพิกัดทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง โดยอ้างอิงจากสัญญาณดาวเทียม (GPS Satellite) และสัญญาณค่าแก้ Differential Correction จากผู้ให้บริการและรายละเอียดของเครื่องมือแสดงดังตารางที่ 2-13

รูปที่ 2-29 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม



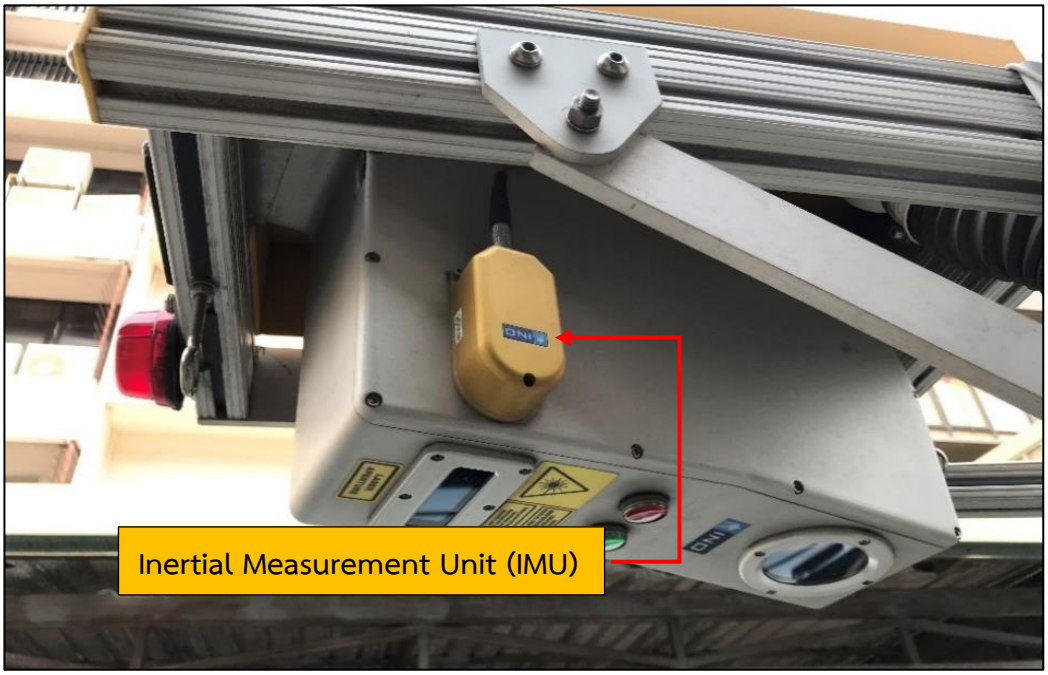
รูปที่ 2-30 หลักการทำงานของการรับพิกัดและค่าแก้ DGPS

ตารางที่ 2-13 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS)

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (DGPS)	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
ชนิดดาวเทียม	GPS/GNSS	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
การติดต่อกับดาวเทียม	12 ดวงขึ้นไปและขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อุณหภูมิ	-30 ถึง 60 องศาเซลเซียส	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการอัปเดตข้อมูล	1 วินาที	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
ความแม่นยำของตำแหน่ง	1 Meters RMS	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ

2.2.6 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

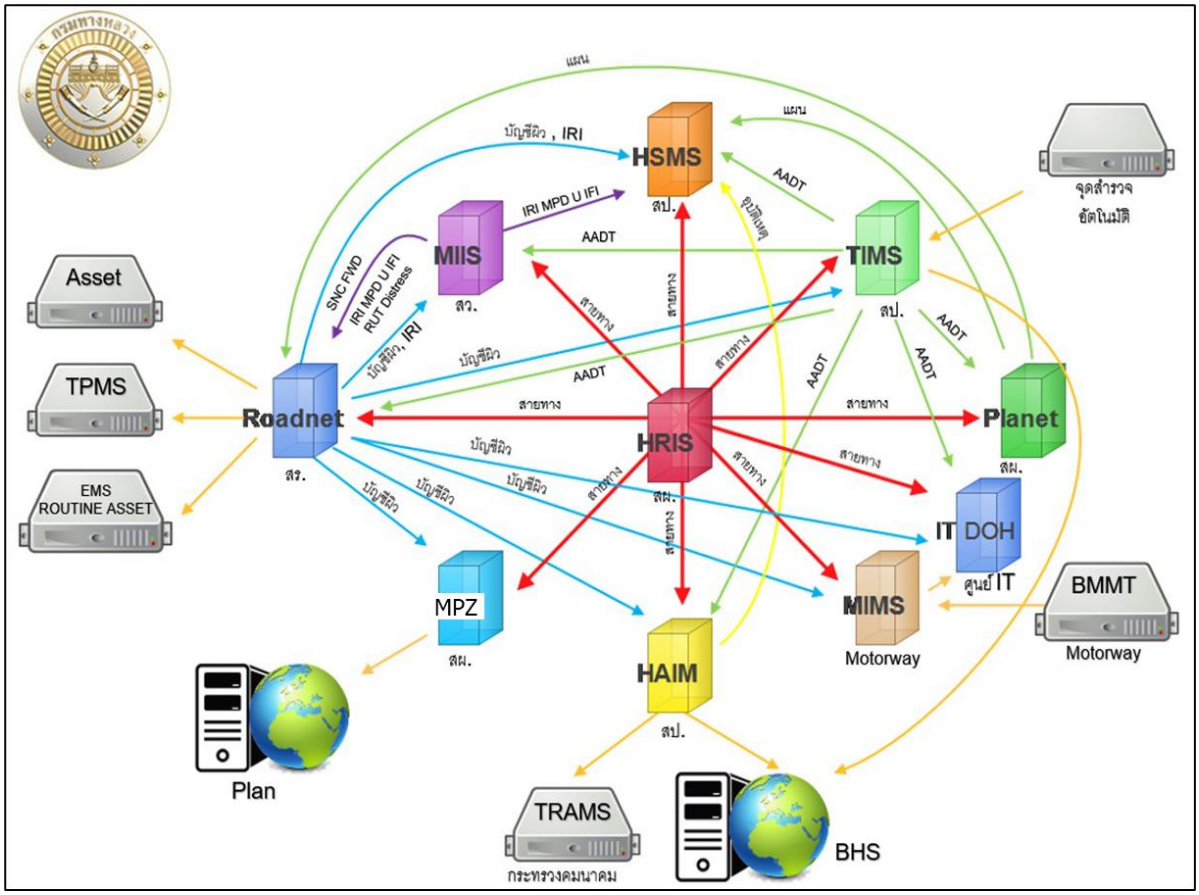


รูปที่ 2-31 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)

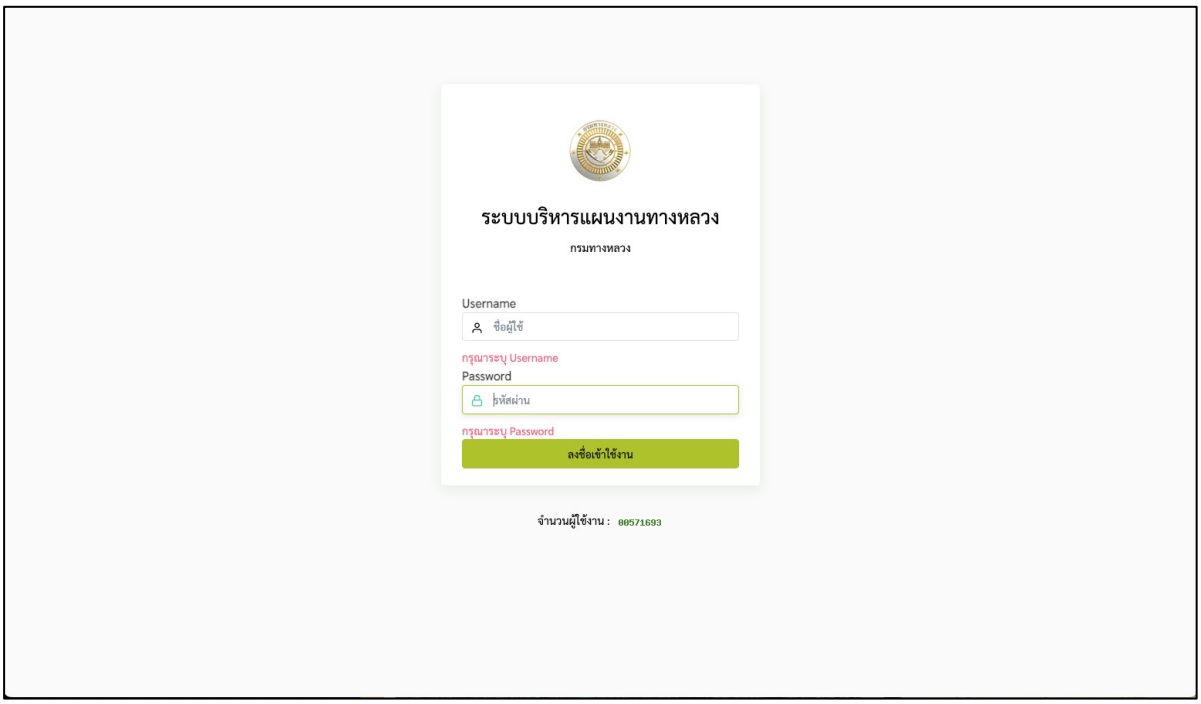
2.3 การสำรวจสภาพทาง

2.3.1 จัดทำแผนการสำรวจและตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

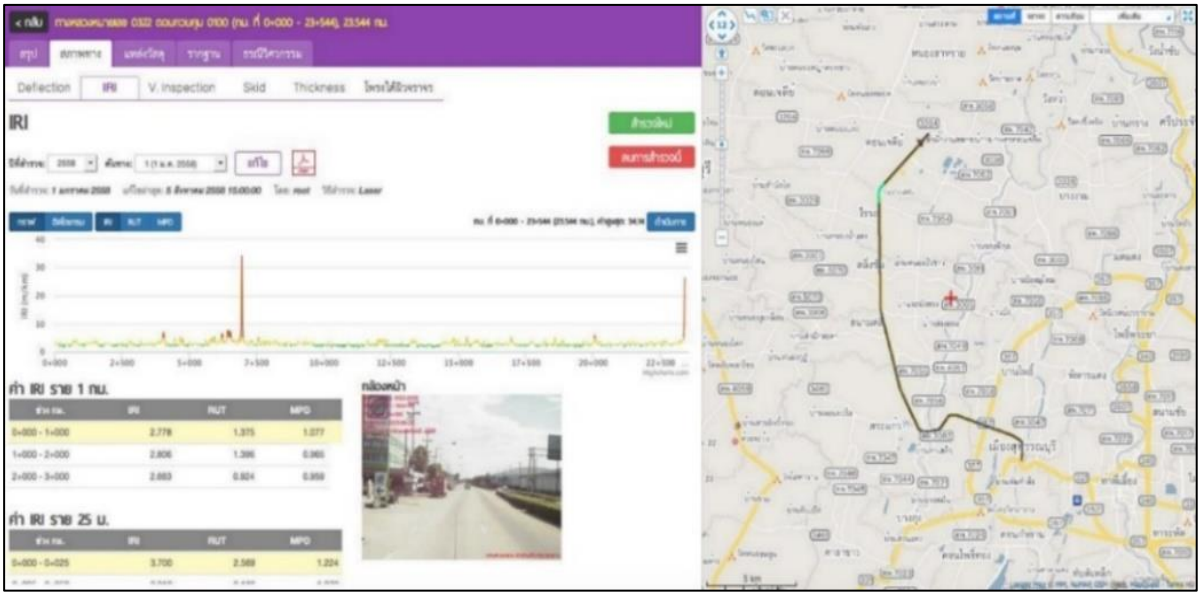
ในการจัดทำแผนการสำรวจที่ปรึกษาได้จัดทำบัญชีสายทางและผิวทางที่จะสำรวจ พร้อมแผนที่พื้นที่สำรวจรายแขวงทางหลวง โดยประมวลผลจากข้อมูล ดังนี้ ข้อมูลลักษณะผิวทางและข้อมูลกายภาพจากฐานข้อมูล Roadnet3 ข้อมูลแผนงานจากระบบบริหารแผนงาน (Plannet) ข้อมูลบัญชีสายทางจากระบบข้อมูลทะเบียนสายทาง (Highway Registration Systems : HRIS) จากสำนักแผนงาน ข้อมูลปริมาณจราจรล่าสุดจากระบบสารสนเทศปริมาณจราจรบนทางหลวง (Traffic Information Management Systems : TIMS) จากสำนักอำนวยความปลอดภัย และข้อมูลการสำรวจสภาพทาง (MIIS) จากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ ซึ่งทางที่ปรึกษาได้นำเสนอแผนการสำรวจเส้นทางให้คณะกรรมการตรวจรับฯ และหน่วยงานในพื้นที่เห็นชอบแล้วทั้งหมด



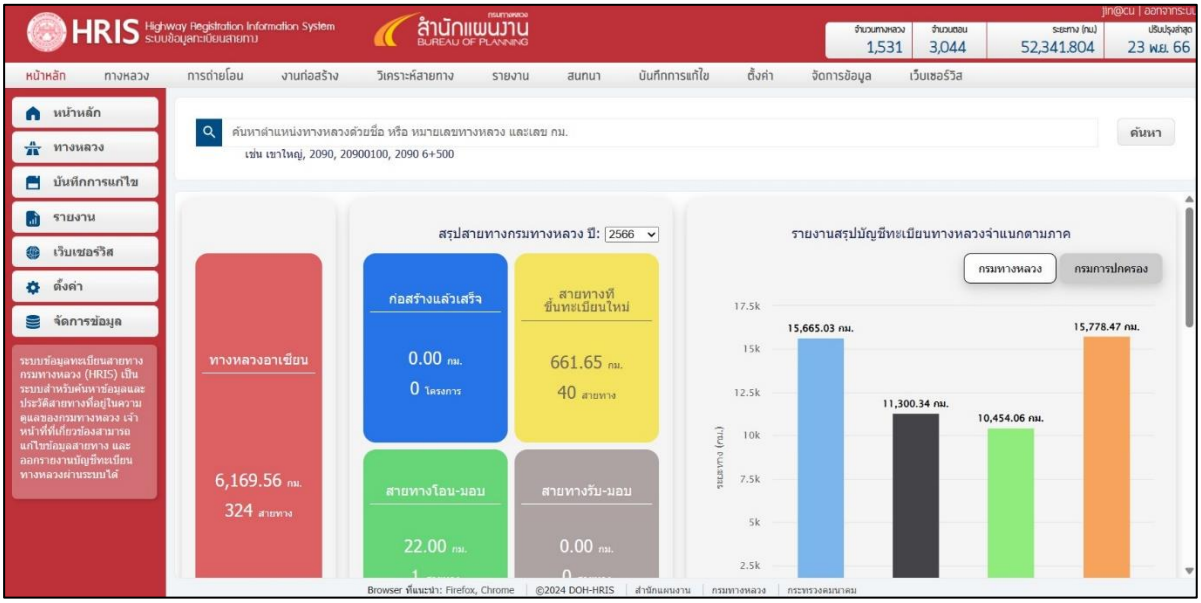
รูปที่ 2-32 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง



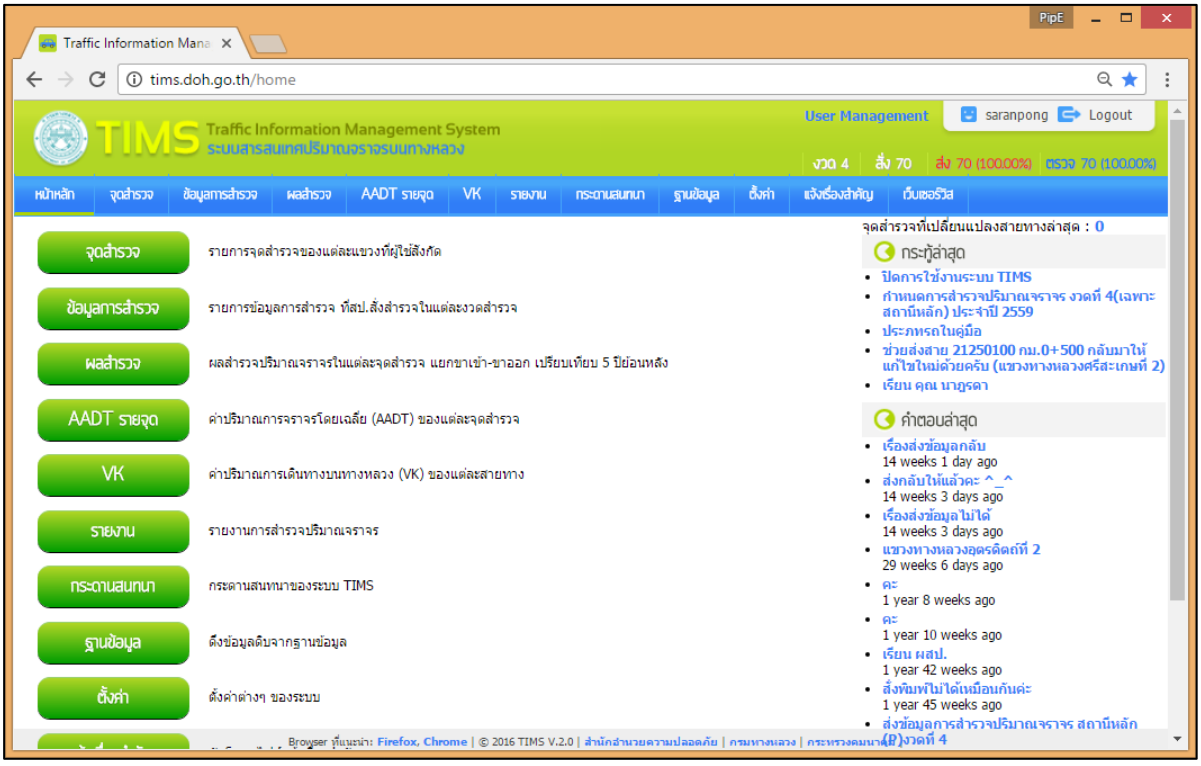
รูปที่ 2-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจากระบบ Plannet



รูปที่ 2-34 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจากระบบ MIIS



รูปที่ 2-35 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ใช้ในงานซ่อมบำรุงจากระบบ HRIS



รูปที่ 2-36 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

ในการจัดทำแผนการสำรวจและเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายของทางจะต้องวางแผนและเตรียมการอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น และให้การสำรวจเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) วางแผนสำรวจสายทางเบื้องต้น เป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ทั้งผิวลาดยาง และผิวคอนกรีต รวมไปถึงทางคู่ขนานของแต่ละสายทาง โดยเสนอให้คณะกรรมการตรวจรับและให้ความเห็นชอบก่อนดำเนินการสำรวจ ซึ่งมีหลักเกณฑ์การเลือกสายทางสำรวจ ดังนี้
   - สายทางที่จะทำการสำรวจ อยู่ในพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักทางหลวงที่ 1 ถึง 18 ซึ่งไม่รวมพื้นที่ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา จังหวัดนราธิวาส และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภอจะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย
   - เกณฑ์ที่ได้รับจากคณะกรรมการ ระยะทางสำรวจรวม ระยะทางไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ประกอบด้วย
     - ทางหลวงหมายเลข 1 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 2 หลัก ทำการสำรวจทั้งหมด
     - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 และ ชั้นทางหลวงที่ 2 ทำการสำรวจทั้งหมด
     - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ4 หลัก ที่เหลือที่ยังไม่ผ่านการสำรวจในรอบการสำรวจที่ผ่านมา ให้ดำเนินการคัดเลือกโดยอ้างอิงจากความสัมพันธ์จากเกณฑ์การคัดเลือกในข้อ 1 และ ข้อ 2 เพื่อให้ระยะทางสำรวจครบถ้วนตามข้อกำหนด
2) จัดทำบัญชีสายทางและผิวทางที่ได้เปรียบเทียบกับบัญชีงานก่อสร้าง พร้อมตัดสายทางที่มีงานก่อสร้างแล้วเสร็จน้อยกว่า 70% ออก หากสายทางที่มีงานก่อสร้างแล้วเสร็จมากกว่า 70% ให้คงไว้ เพื่อเสนอต่อคณะกรรมการโครงการฯ และหน่วยงานในพื้นที่ เพื่อพิจารณาเห็นชอบวิธีการและความเป็นไปได้ในการสำรวจ
3) ประชุมชี้แจงและแจ้งสายทางสำรวจโดยส่งบัญชีสายทางที่อยู่ในแผนการสำรวจให้อยู่ในรูปแบบดิจิตอลไฟล์ โดยการจัดทำแผนที่โครงข่ายเส้นทางสำรวจ (Layout) ขนาด A4 รายแขวงทางหลวงส่งมอบให้กรม จำนวน 104 แขวงทางหลวง ในรูปแบบไฟล์ PDF และรูปแบบไฟล์ KML (Keyhole Markup Language) เพื่อพร้อมเปิดใช้งานในรูปแบบแผนที่ โดยให้แก่เจ้าหน้าที่ สำนักงานทางหลวง และแขวงทางหลวงในพื้นที่ที่สำรวจสภาพทางเป็นผู้พิจารณา พร้อมติดต่อประสานงานสอบถามความพร้อมก่อนเข้าสำรวจพื้นที่จริง เพื่อสอบถามสายทางดังกล่าวมีการก่อสร้างหรือขยายช่องจราจรหรือไม่

ตารางที่ 2-14 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางเบื้องต้น

Digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (54,027.265)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทางสำรวจ ทั้งโครงข่าย (กม.) (77,608.218)	ระยะทางคงเหลือ จากกรอบการสำรวจ (กม.) (41,412.258)	ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2567 (กม.) (ไม่น้อยกว่า 30,000 กม.)
1 สำรวจทุกปี	2	<8,000	137.607	1	137.607	137.607	137.607
		>8,000	34.849	1	34.849	34.849	34.849
	≥4	<8,000	168.319	2	336.638	336.638	336.638
		>8,000	2,914.153	2	5,828.306	5,828.306	5,828.306
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	0.000	4	0.000	0.000	0.000
		>8,000	137.459	4	549.836	549.836	549.836
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0.000	0.000	0.000
		>8,000	123.758	3	371.274	371.274	371.274
2 สำรวจทุกปี	2	<8,000	252.013	1	252.013	252.013	252.013
		>8,000	55.712	1	55.712	55.712	55.712
	≥4	<8,000	670.887	2	1,341.774	1,341.774	1,341.774
		>8,000	2,748.460	2	5,496.920	5,496.920	5,496.920
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	7.668	4	30.672	30.672	30.672
		>8,000	152.474	4	609.896	609.896	609.896
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	10.596	3	31.788	31.788	31.788
		>8,000	131.642	3	394.926	394.926	394.926

ตารางที่ 2-14 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางเบื้องต้น (ต่อ)

Digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (54,027.265)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทางสำรวจ ทั้งโครงข่าย (กม.) (77,608.218)	ระยะทางคงเหลือ จากกรอบการสำรวจ (กม.) (41,412.258)	ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2567 (กม.) (ไม่น้อยกว่า 30,000 กม.)
3 สำรวจทุกปี (H1,H2)	2	<8,000	258.234	1	258.234	258.234	258.234
		>8,000	246.137	1	246.137	246.137	246.137
	≥4	<8,000	287.403	2	574.806	574.806	574.806
		>8,000	1,894.652	2	3,789.304	3,789.304	3,789.304
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	4.947	4	19.788	19.788	19.788
		>8,000	81.148	4	324.592	324.592	324.592
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	12.222	3	36.666	36.666	36.666
		>8,000	55.382	3	166.146	166.146	166.146
4 สำรวจทุกปี (H1,H2)	2	<8,000	126.060	1	126.060	126.060	126.060
		>8,000	147.833	1	147.833	147.833	147.833
	≥4	<8,000	3.702	2	7.404	7.404	7.404
		>8,000	107.162	2	214.324	214.324	214.324
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	0.000	4	0.000	0.000	0.000
		>8,000	0.000	4	0.000	0.000	0.000
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0.000	0.000	0.000
		>8,000	0.000	3	0.000	0.000	0.000
รวมระยะทางสำรวจทุกปี					**21,013.163**	**21,013.163**	**21,013.163**

ตารางที่ 2-14 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางเบื้องต้น (ต่อ)

Digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (54,027.265)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทางสำรวจ ทั้งโครงข่าย (กม.) (77,608.218)	ระยะทางคงเหลือจากกรอบ การสำรวจ (กม.) (41,412.258)	ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2567 (กม.) (ไม่น้อยกว่า 30,000 กม.)
3	2	<8,000	2,404.796	1	2,404.796	781.063	277.345
		>8,000	1,673.502	1	1,673.502	457.613	179.445
	≥4	<8,000	1,416.605	2	2,833.210	934.408	409.006
		>8,000	5,917.303	2	11,834.606	1,746.910	955.950
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.205	4	20.820	1.032	0.000
		>8,000	117.601	4	470.404	16.472	0.000
	≥4 ทีมีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	16.622	3	49.866	5.400	0.000
		>8,000	88.209	3	264.627	19.857	0.000
4	2	<8,000	21,464.580	1	21,464.580	9,745.652	3,816.021
		>8,000	5,141.526	1	5,141.526	2,264.890	1,091.844
	≥4	<8,000	2,155.992	2	4,311.984	1,929.516	894.424
		>8,000	2,820.661	2	5,641.322	2,074.520	1,412.266
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	0.000	4	0.000	0.000	0.000
		>8,000	10.918	4	43.672	0.000	0.000
	≥4 ทีมีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	8.211	3	24.633	15.555	0.000
		>8,000	15.055	3	45.165	35.865	0.000
รวมระยะทางสายทางคัดเลือกตามเกณฑ์					**56,224.713**	**20,028.753**	**9,177.513**

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิงจากระบบ Roadnet วันที่ 20 มีนาคม 2566 Road Hierarchy หรือลำดับชั้นของทางหลวง หมายถึง การจัดระดับหรือประเภทของทางหลวงตามความสำคัญ และปริมาณการจราจร ดังนี้

H1 หมายถึง สายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน มากกว่า 8,000

H2 หมายถึง สายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน 4,000 - 8,000

H3 หมายถึง สายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน 2,000 - 4,000

H4 หมายถึง สายทางที่มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวัน 1,000 - 2,000

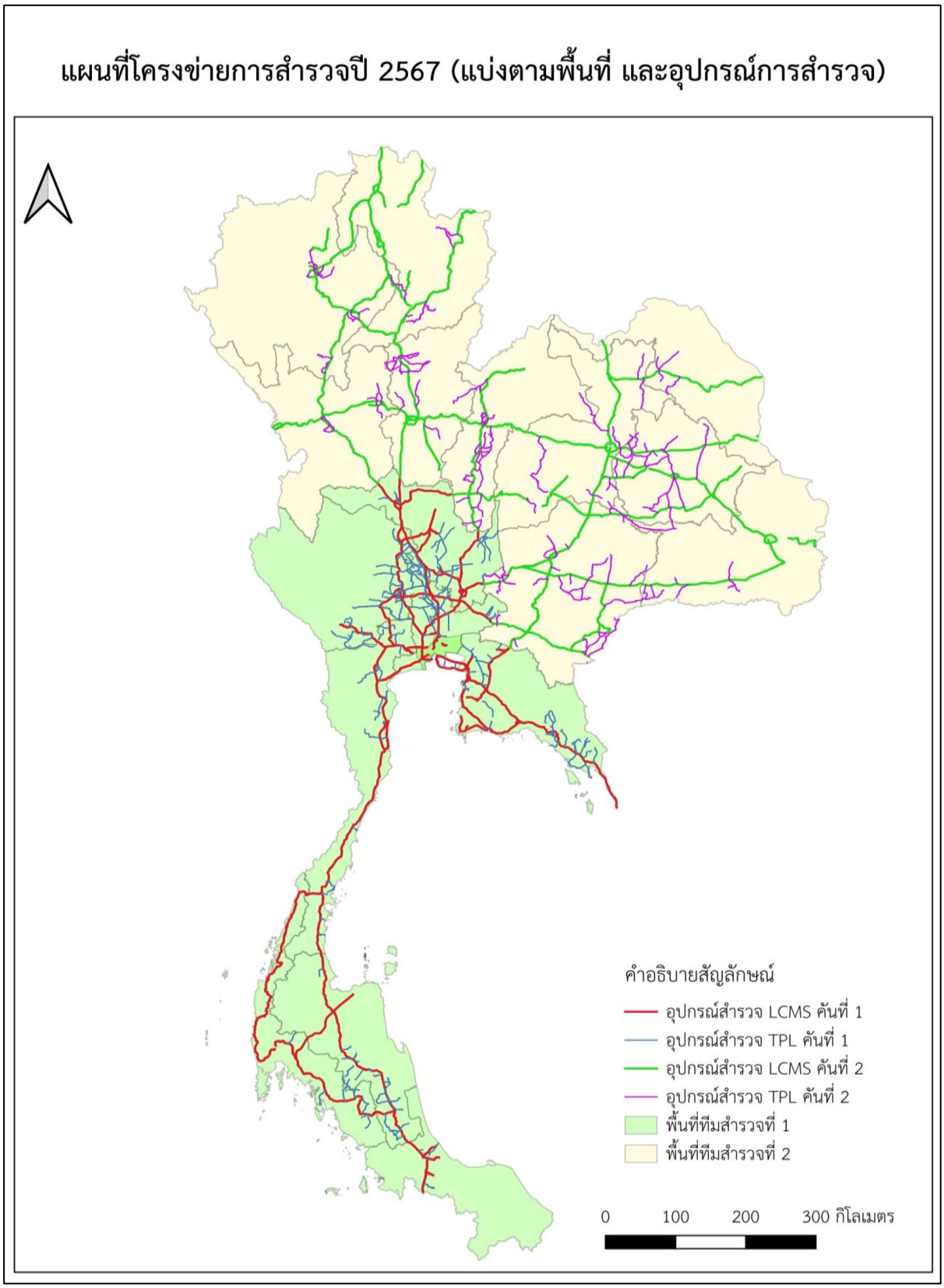
2.3.2 นำเสนอแผนการสำรวจ ระยะทางไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลมตร ในการใช้ชุดเครื่องมือเลเซอร์ประเภทใดในการสำรวจ โดยที่ปรึกษาจะต้องดำเนินการสำรวจสภาพทาง ดังนี้

ที่ปรึกษาจะนำเสนอแผนการสำรวจระยะทางสำรวจรวมไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ทั้งผิวลาดยาง และผิวคอนกรีต รวมไปถึงทางคู่ขนานของแต่ละสายทาง และทำการแบ่งระยะทางสำรวจ ตามประเภทชุดเครื่องมือเลเซอร์ ดังนี้

1) ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางแบบ LCMS (Laser Crack Measurement System) ทำการสำรวจข้อมูลสภาพทาง เป็นระยะทาง ไม่น้อยกว่า 21,000 กิโลเมตร โดยจะใช้ในการสำรวจสายทาง ดังนี้
   - ทางหลวงหมายเลข 1 หลัก และทางหลวงหมายเลข 2 หลักทั้งหมดของแผนการสำรวจระยะทางสำรวจทั้งสิ้น 15,472.211 กิโลเมตร
   - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 และ 2 ระยะทางสำรวจทั้งสิ้น 5,540.952 กิโลเมตร
2) ชุดอุปกรณ์เลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง Laser Profilometer ทำการสำรวจข้อมูลสภาพทาง เป็นระยะทาง ไม่น้อยกว่า 9,000 กิโลเมตร โดยจะสำรวจสายทาง ดังนี้
   - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ 4 หลัก ที่เหลือที่ยังไม่ผ่านการสำรวจในรอบการสำรวจที่ผ่านมา ระยะทางสำรวจทั้งสิ้น 9,177.513 กิโลเมตร

ตารางที่ 2-15 ระยะทางสำรวจแบ่งตามประเภทชุดเครื่องมือเลเซอร์

ระยะทางสำรวจ (กม.)		**ระยะทางสำรวจรวม (กม.)**
อุปกรณ์สำรวจ LCMS	**อุปกรณ์สำรวจ Laser Profilometer**	
21,013.163	9,177.513	30,190.676



รูปที่ 2-37 แผนที่แสดงแผนการสำรวจสายทางแบ่งตามประเภทของสายทาง

2.3.3 จัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด

ที่ปรึกษาได้ทำการจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามที่กรมทางหลวงกำหนด ประกอบด้วย สายทางหมายเลข 352 ตอน 100 ผิวคอนกรีต, สายทางหมายเลข 3592 ตอน 100 ผิวคอนกรีตที่มีความเสียหาย, สายทางหมายเลข 3312 ตอน 200 ผิวลาดยางที่มีความเสียหาย และสายทางหมายเลข 3050 ตอน 100 เป็นพื้นที่ที่มีทางโค้ง ทางลาด เพื่อทำการสำรวจ และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูล ในระบบ Roadnet3 สำหรับเตรียมความพร้อมในการสำรวจ ก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจมีรายละเอียด ดังนี้

<u>พื้นที่ทดสอบที่ 1</u> ทางหลวงหมายเลข 352 ตอน 100 พื้นที่รับผิดชอบของแขวงทางหลวงนครนายก สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)

	กม.เริ่มต้นการทดสอบ	กม.สิ้นสุดการทดสอบ	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ประเภทผิวทาง
Section_1	2+000	3+000	1.000	L2	คอนกรีต

<u>พื้นที่ทดสอบที่ 2</u> ทางหลวงหมายเลข 3592 ตอน 100 พื้นที่รับผิดชอบของแขวงทางหลวงนครนายก สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)

	กม.เริ่มต้นการทดสอบ	กม.สิ้นสุดการทดสอบ	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ประเภทผิวทาง
Section_2	1+869	0+000	1.869	R2	คอนกรีต, เสียหาย

<u>พื้นที่ทดสอบที่ 3</u> ทางหลวงหมายเลข 3312 ตอน 200 พื้นที่รับผิดชอบของแขวงทางหลวงนครนายก สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)

	กม.เริ่มต้นการทดสอบ	กม.สิ้นสุดการทดสอบ	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ประเภทผิวทาง
Section_3	32+000	34+000	2.000	L2	ลาดยาง, เสียหาย

<u>พื้นที่ทดสอบที่ 4</u> ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 พื้นที่รับผิดชอบของแขวงทางหลวงนครนายก สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)

	กม.เริ่มต้นการทดสอบ	กม.สิ้นสุดการทดสอบ	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ประเภทผิวทาง
Section_4	0+000	2+980	2.980	L1	ลาดยาง, โค้ง, ลาดชัน
Section_5	2+980	0+000	2.980	R1	ลาดยาง, โค้ง, ลาดชัน

รูปที่ 2-38 พื้นที่ทดสอบที่ 1 ทางหลวงหมายเลข 352 ตอน 100

รูปที่ 2-39 พื้นที่ทดสอบที่ 2 ทางหลวงหมายเลข 3592 ตอน 100

รูปที่ 2-40 พื้นที่ทดสอบที่ 3 ทางหลวงหมายเลข 3312 ตอน 200

รูปที่ 2-41 พื้นที่ทดสอบที่ 4 ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100

2.3.4 ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจ

ที่ปรึกษาจะดำเนินการสอบเทียบอุปกรณ์ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจในพื้นที่ตัวอย่างตามหัวข้อ 2.3.3 โดยทำการทดสอบทั้งผิวทางลาดยาง และคอนกรีต ดำเนินการเก็บข้อมูลการสำรวจเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตร ของผิวทางแต่ละประเภท ประเภทละ 3 รอบการสำรวจต่อ 1 ชุดอุปกรณ์ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไม่น้อยกว่าข้อมูลดังนี้ ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI), ค่าความลึกร่องล้อ (Rutting), ค่าความลึกเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) ซึ่งจะค่าดังกล่าวออกมาทุก ๆ 25 เมตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์โดยใช้หลักการดังต่อไปนี้

2.3.4.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) สำหรับวิเคราะห์ผล

สถิติเชิงพรรณนา เป็นสถิติที่ใช้สรุปลักษณะของกลุ่มข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากตัวอย่าง อาทิ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน ค่าพิสัย เป็นต้น โดยสถิติเชิงพรรณนาจะช่วยสรุปลักษณะที่สำคัญของข้อมูลซึ่งการเลือกใช้สถิติเชิงพรรณนาที่เหมาะสมจะขึ้นกับประเภทของข้อมูล (วานิชย์บัญชา, 2554) โดยการเลือกใช้สถิติเชิงพรรณนาพิจารณาถึงข้อมูล 2 กลุ่ม ดังนี้

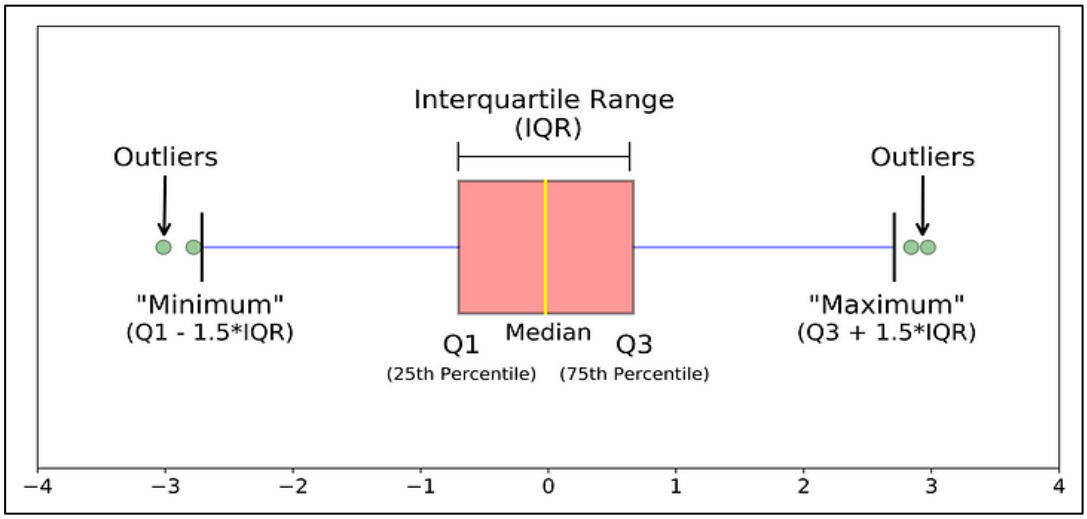
1) <u>สถิติเชิงพรรณนาสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพหรือเชิงกลุ่ม</u>

ในที่นี้หมายถึงข้อมูลสเกลแบ่งกลุ่ม (Nominal Scale) และสเกลอันดับ (Ordinal Scale) อาทิ เพศ ระดับของรายได้ หรือ อาชีพเป็นต้น โดยสถิติเชิงพรรณนาที่เหมาะสมจะใช้ได้เฉพาะความถี่หรือจำนวนร้อยละและค่าฐานนิยม (วานิชย์บัญชา, 2554) โดยที่ค่าฐานนิยม คือ ค่าที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดหรือความถี่มากที่สุด ซึ่งข้อมูล IRI, RUT และ MPD ในโครงการนี้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณแบบต่อเนื่อง (Continuous Quantitative Data) ไม่ได้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือเชิงกลุ่ม จึงไม่ควรใช้ความถี่หรือจำนวนร้อยละในการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา

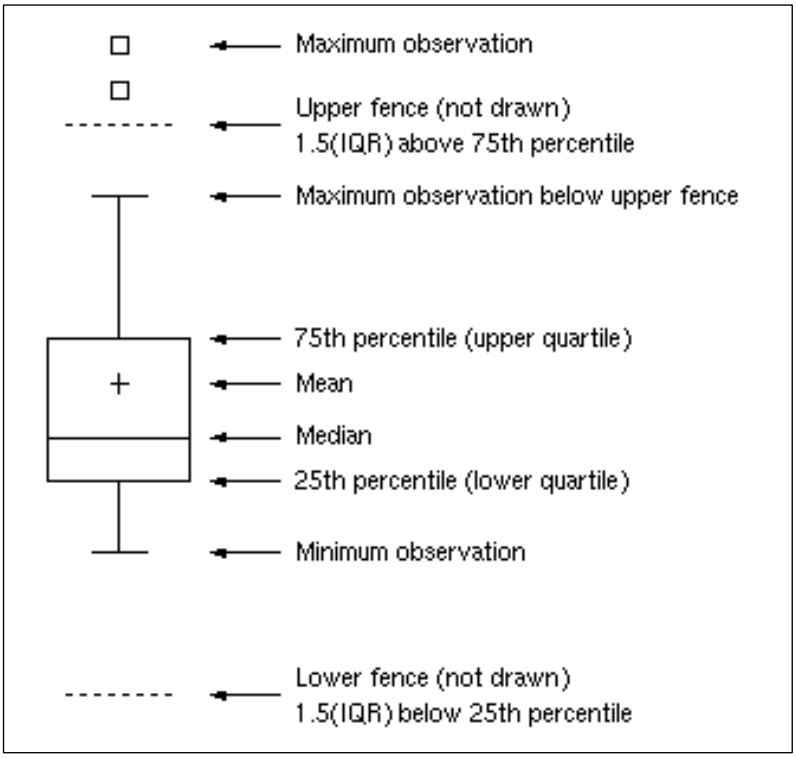
2) <u>สถิติเชิงพรรณนาสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ</u>

ข้อมูลเชิงปริมาณหมายถึงสเกลแบบช่วง (Interval Scale) และสเกลอัตราส่วน (Ratio Scale) ซึ่งเป็นข้อมูลที่จะต้องคำนวณค่าสถิติเพื่อสรุปลักษณะข้อมูลโดยจะต้องหาค่าสถิติซึ่งแสดงค่ากลางและค่าการกระจายของข้อมูล ซึ่งค่ากลางสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน ค่าฐานนิยม นอกจากนี้ค่าการกระจายของข้อมูลยังเป็นค่าที่แสดงความแตกต่างของข้อมูล ถ้าข้อมูลชุดใดมีการกระจายมาก แสดงว่าค่าข้อมูลชุดนั้นมีความแตกต่างกันมาก การคำนวณค่าการกระจายสามารถใช้ค่าสถิติต่าง ๆ อาทิ ค่าพิสัย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น

นอกจากจะสามารถวัดการกระจายของข้อมูลด้วยค่าสถิติต่าง ๆ แล้ว ยังสามารถวัดการกระจายข้อมูลด้วยกราฟ ซึ่งกราฟที่ได้รับความนิยมได้แก่ Boxplot ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงรายละเอียดการกระจายของข้อมูล โดยสามารถเปรียบเทียบค่ากลาง และค่าการกระจายของข้อมูลหลาย ๆ ชุดได้ ซึ่งกราฟ Boxplot แสดงการกระจายข้อมูลโดยอิงจากสรุปตัวเลข 5 ตัว ได้แก่ ค่า ขั้นต่ำ, ควอร์ไทล์ที่หนึ่ง (Q1), ค่ามัธยฐาน หรือควอร์ไทล์ที่สอง (Q2), ควอร์ไทล์ที่สาม (Q3) และค่าสูงสุด



รูปที่ 2-42 ส่วนประกอบของแผนภูมิ Boxplot (Lind, 2023)



รูปที่ 2-43 ส่วนประกอบของแผนภูมิ Boxplot (สถาบันนวัตกรรมและธรรมาภิบาลข้อมูล, 2022)

- ควอร์ไทล์แรกหรือ Q1 แสดงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 25 ของข้อมูล แสดงเป็นขีดล่างของกล่อง
- ค่ามัธยฐานหรือควอร์ไทล์ที่ 2 หรือ Q2 แสดงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 50 ของข้อมูล แสดงเป็นเส้นขีดภายในกล่อง
- ควอร์ไทล์ที่สามหรือ Q3 แสดงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 75 ของข้อมูล แสดงเป็นขีดล่างของกล่อง
- ช่วงระหว่างควอไทล์ (IQR หรือ Interquartile Range) จะแสดงโดยเป็นระยะห่างระหว่างขีดบนกับขีดล่างของตัวกล่อง (ส่วนต่างระหว่าง Percentile ที่ 25 และ 75)
- Upper Fence หรือ “สูงสุด” (โดยส่วนมากอาจจะไม่แสดงในแผนภูมิ โดยเฉพาะการใช้โปรแกรมทางสถิติวาดกราฟ) เป็นเส้นสมมติที่จะกำหนดว่าถ้าข้อมูลตัวใดอยู่เหนือกว่าเส้นนี้จะนับเป็น Outlier สามารถคำนวณได้ด้วยสูตร Q3 + 1.5 *IQR
- Lower Fence หรือ “ขั้นต่ำ” (โดยส่วนมากอาจจะไม่แสดงในแผนภูมิ โดยเฉพาะการใช้โปรแกรมทางสถิติวาดกราฟ) เป็นเส้นสมมติที่จะกำหนดว่าถ้าข้อมูลตัวใดอยู่ต่ำกว่าเส้นนี้จะนับเป็น Outlier สามารถคำนวณได้ด้วยสูตร Q1 - 1.5 *IQR
- Maximum Observation เป็นข้อมูลตัวแรกที่อยู่ต่ำกว่าเส้นสมมติ Upper Fence แสดงเป็นขีดปลายสุดด้านบนของเส้นที่ออกมาจากกล่อง
- Minimum Observation เป็นข้อมูลตัวแรกที่อยู่เหนือกว่าเส้นสมมติ Lower Fence แสดงเป็นขีดปลายสุดด้านล่างของเส้นที่ออกมาจากกล่อง
- Outlier แสดงเป็นจุดของข้อมูลที่อยู่เหนือหรือต่ำกว่าเส้น Maximum และ Minimum (แสดงเป็นวงกลมสีเขียว)

ผลการวิ่งทดสอบอุปกรณ์สำรวจ

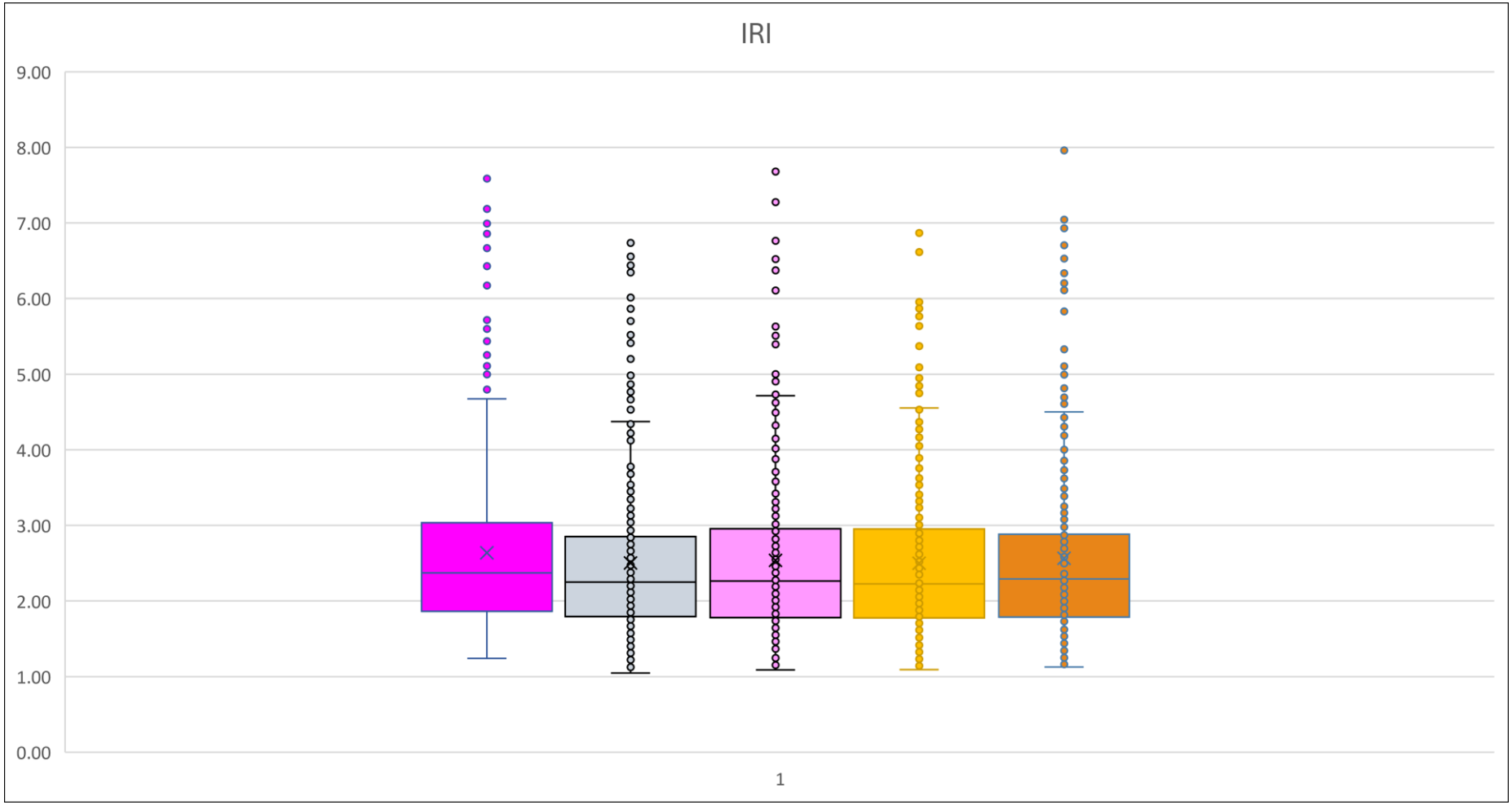
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสอบเทียบอุปกรณ์สำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและถูกต้อง โดยดำเนินการตรวจสอบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ Laser Profilometer และอุปกรณ์ LCMS เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและมีมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือสรุปได้ดังนี้

1) สถิติเชิงพรรณนาสำหรับค่า IRI

ตารางที่ 2-16 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า IRI

	สถิติเชิงพรรณนาของ IRI				
	LCMS 1 (CU)	LCMS 2 (STS)	Laser 1 (CU)	Laser 2 (TU)	Laser (DOH)
จำนวนข้อมูล	**361**	**361**	**361**	**361**	**361**
ค่าเฉลี่ย (Mean)	2.64	2.50	2.54	2.50	2.57
ความแปรปรวน (Variance)	1.33	1.20	1.32	1.13	1.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	1.15	1.10	1.15	1.06	1.17
ค่าสูงสุด	7.66	6.73	7.68	6.87	7.96
ค่าต่ำสุด	1.24	1.05	1.09	1.09	1.13
พิสัย	6.42	5.69	6.59	5.77	6.83
Q1	1.86	1.79	1.78	1.78	1.79
Q2	2.37	2.25	2.27	2.23	2.29
Q3	3.03	2.85	2.96	2.95	2.88
IQR	1.17	1.06	1.18	1.18	1.10
Upper Fence	4.79	4.44	4.72	4.71	4.53
Lower Fence	0.11	0.21	0.01	0.01	0.14

จากการประมวลผลทางสถิติเบื้องต้น คือ ค่าเฉลี่ย หรือค่า Mean จะบอกจุดศูนย์กลางของข้อมูลและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่า SD ที่วัดการกระจายของข้อมูลออกจากค่าเฉลี่ยอย่างไร โดยค่า SD ต่ำ หมายความว่า ข้อมูลส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย ส่วนกรณีที่ค่า SD สูง หมายความว่าข้อมูลมีการกระจายออกไปมากขึ้น อนึ่ง การพิจารณาว่าค่า SD ควรสูงหรือต่ำนั้น ขึ้นอยู่กับบริบทของแต่ละการศึกษา โดยการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า IRI พบว่า ค่าเฉลี่ย IRI จากรถสำรวจทั้ง 4 คัน ค่อนข้างเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ค่า มีความใกล้เคียงกัน อยู่ระหว่าง 2.50 ถึง 2.64 แสดงว่ารถสำรวจ IRI ทั้ง 5 คัน มีจุดศูนย์กลางของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้ ค่า SD และค่าต่าง ๆ ในกราฟ Boxplot ก็ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการกระจายของข้อมูล IRI จากรถสำรวจทั้ง 5 คัน เป็นไปในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน โดย Boxplot ที่แสดงการกระจายของข้อมูลแสดงดังรูปที่ 2-44 โดยจากกราฟทั้ง 5 พบว่า ข้อมูลของรถสำรวจแต่ละคันจะไม่สมมาตร โดยข้อมูลกระจายตัวในลักษณะเบ้ขวา (Right Skewed หรือ Positive Skewed)



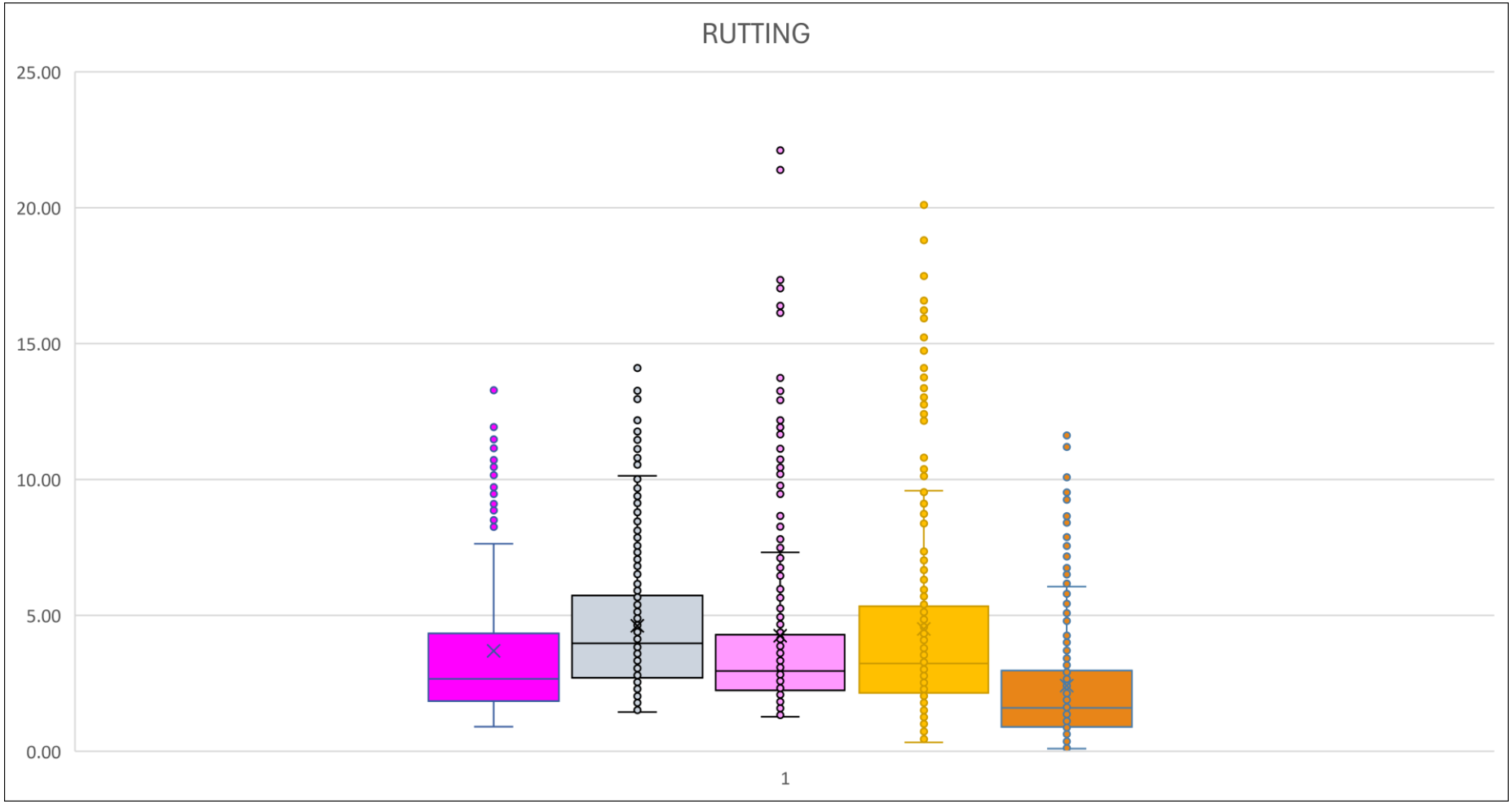
รูปที่ 2-44 Boxplots ค่า IRI ของรถสำรวจทั้ง 5 คัน

2) สถิติเชิงพรรณนาสำหรับค่า RUTTING (RUT)

ตารางที่ 2-17 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า RUTTING

	สถิติเชิงพรรณนาของ RUT				
	LCMS 1 (CU)	LCMS 2 (STS)	Laser 1 (CU)	Laser 2 (TU)	Laser (DOH)
จำนวนข้อมูล	**276**	**276**	**276**	**276**	**276**
ค่าเฉลี่ย (Mean)	3.69	4.62	4.25	4.50	4.50
ความแปรปรวน (Variance)	7.41	6.57	12.20	15.08	5.05
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	2.72	2.56	3.49	3.88	2.25
ค่าสูงสุด	13.28	14.10	22.11	20.10	11.62
ค่าต่ำสุด	0.91	1.44	1.27	0.33	0.09
พิสัย	12.37	12.66	20.83	19.77	11.53
Q1	1.85	2.70	2.24	2.15	0.89
Q2	2.67	3.97	2.95	3.23	1.60
Q3	4.34	5.73	4.29	5.33	2.97
IQR	2.49	3.02	2.05	3.19	2.08
Upper Fence	8.07	10.23	7.36	10.12	6.09
Lower Fence	-1.89	-1.83	-0.83	-2.63	-2.23

จากการประมวลผลทางสถิติเบื้องต้น คือ ค่าเฉลี่ย หรือค่า Mean และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่า SD ของค่า RUTTING พบว่า มีค่าเฉลี่ยจากรถสำรวจทั้ง 4 คัน LCMS 2 (STS), Laser 1 (CU), Laser 2 (TU), Laser (DOH) เกาะกลุ่มกันอยู่ระหว่าง 4.25 – 4.62 โดยมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 3.69 จากรถสำรวจคันที่ 1 LCMS 1 (CU) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเห็นชัดเจนว่าข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยรถสำรวจคันที่ 1 และ 2 แบบ LCMS และรถสำรวจ Laser สำนักวิเคราะห์ฯ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันมากที่ 2.72 , 2.56 และ 2.25 ตามลำดับ ส่วนรถสำรวจคันที่ 3 และ 4 แบบ Laser มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันที่ 3.49 และ 3.88 ตามลำดับ การกระจายตัวของข้อมูล RUT จาก Boxplots ของรถสำรวจทั้ง 5 คันสอดคล้องกัน มีการกระจายตัวในลักษณะเดียวกันทั้ง 5 คัน คือ ไม่สมมาตร โดยข้อมูลกระจายตัวในลักษณะเบ้ขวา (Right Skewed หรือ Positive Skewed) ซึ่งแสดงว่ามีค่า RUT ที่สูง ๆ โดยสูงกว่าค่า Upper Fence อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเรียกค่าเหล่านี้ว่าค่า Outliers



รูปที่ 2-45 Boxplots ค่า RUT ของรถสำรวจทั้ง 5 คัน

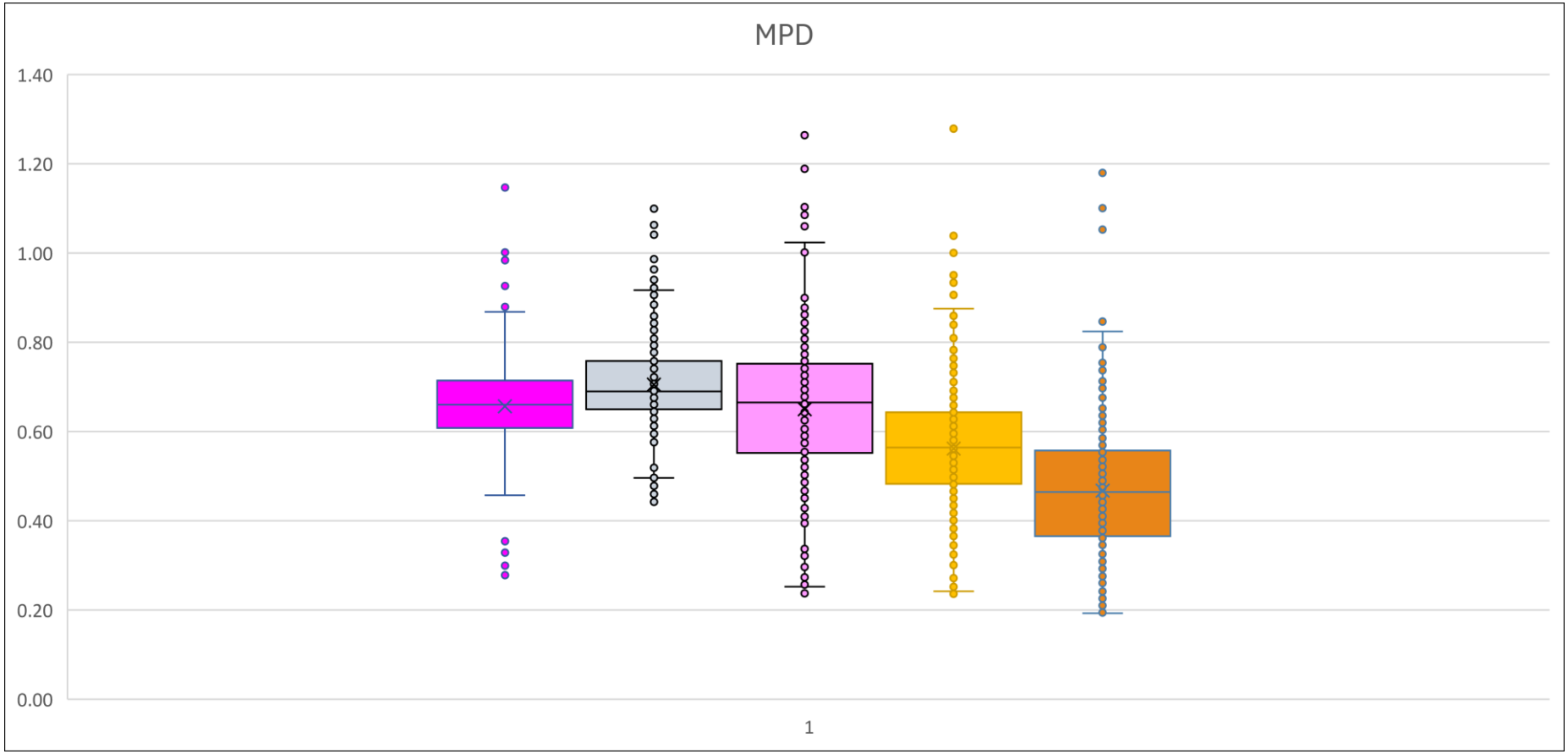
3) สถิติเชิงพรรณนาสำหรับค่า MPD

ตารางที่ 2-18 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเบื้องต้นของค่า MPD

	สถิติเชิงพรรณนาของ MPD				
	LCMS 1 (CU)	LCMS 2 (STS)	Laser 1 (CU)	Laser 2 (TU)	Laser (DOH)
จำนวนข้อมูล	**361**	**361**	**361**	**361**	**361**
ค่าเฉลี่ย (Mean)	0.66	0.71	0.65	0.56	0.47
ความแปรปรวน (Variance)	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	0.12	0.10	0.17	0.14	0.15
ค่าสูงสุด	1.15	1.11	1.26	1.28	1.18
ค่าต่ำสุด	0.28	0.44	0.24	0.24	0.19
พิสัย	0.87	0.66	1.03	1.04	0.99
Q1	0.61	0.65	0.55	0.48	0.37
Q2	0.66	0.69	0.67	0.56	0.46
Q3	0.71	0.76	0.75	0.64	0.56
IQR	0.11	0.11	0.20	0.16	0.19
Upper Fence	0.87	0.92	1.05	0.88	0.84
Lower Fence	0.45	0.49	0.25	0.24	0.08

จากการประมวลผลทางสถิติเบื้องต้นของค่า MPD พบว่า ค่าเฉลี่ย MPD จากรถสำรวจทั้ง 4 คัน ค่อนข้างเกาะกลุ่มกัน เนื่องจากค่าเฉลี่ยทั้ง 5 ค่า มีความใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 0.47 ถึง 0.71 และค่า SD ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงว่ารถสำรวจ MPD ทั้ง 5 คัน มีจุดศูนย์กลางของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และการกระจายของข้อมูลก็เป็นไปในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

การกระจายตัวของข้อมูล MPD จาก Boxplots ของรถสำรวจทั้ง 5 คันสอดคล้องกัน มีการกระจายตัวในลักษณะเดียวกันทั้ง 5 คัน คือ เกือบสมมาตร (Approximately Normal) โดยข้อมูลกระจายตัวในลักษณะเบ้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีค่า Outliers กระจายอยู่ทั้งในส่วนที่สูงกว่า ค่า Upper Fence และมีบางส่วนอยู่ที่ต่ำกว่าค่า Lower Fence



รูปที่ 2-46 Boxplots ค่า MPD ของรถสำรวจทั้ง 5 คัน

โดยสรุปผลการวิเคราะห์ค่าสถิติเชิงพรรณนาของรถสำรวจทั้ง 5 คัน พบว่า มีจุดศูนย์กลางของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ค่าที่ได้มีการกระจายตัวในลักษณะใกล้เคียงกันและมีความสอดคล้องกันทั้ง 5 คัน

2.3.4.2 การตรวจสอบความเชื่อถือได้ (Reliability Test)

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลที่แสดงความจริง เครื่องมือในการเก็บข้อมูลที่มีความเชื่อถือได้เป็นสิ่งจำเป็น โดยถ้าเครื่องมือในการเก็บข้อมูลไม่มีความเที่ยงตรงและเชื่อถือได้ ย่อมส่งผลให้การวิเคราะห์ข้อมูลดีไม่มีคุณภาพ ดังนั้น การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูล คือ การตรวจสอบความเชื่อถือ หรือความเชื่อมั่น (Reliability Test) ซึ่งความเชื่อถือได้ของเครื่องมือ หมายถึง การนำเครื่องมือมาวัดหลาย ๆ ครั้ง ผลการวัดต้องเหมือนกันซึ่งหมายถึงความคงเส้นคงวา หรือมีความสอดคล้องกัน (วานิชย์บัญชา, 2554) นอกจากนี้ พิชิต ฤทธิ์จรูญ (2556:137) ได้ให้ความหมายของความเชื่อมั่น (Reliability) หมายถึง คุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่แสดงให้ทราบว่าเครื่องมือนั้น ๆ ให้ผลการวัดที่คงที่ไม่ว่าจะใช้วัดกี่ครั้งกับกลุ่มเดิมซึ่งสอดคล้องกับที่ วรรณี แกมเกตุ (2555:220) ได้ให้ความหมายของความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (Reliability) หมายถึง คุณสมบัติของเครื่องมือที่ให้ผลการวัดที่คงที่หรือคงเส้นคงวา เมื่อทำการวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้งด้วยเครื่องมือที่วัดสิ่งเดียวกัน เช่นเดียวกับ สุวิมล ติรกานันท์ (2551:152) ที่ได้ให้ความหมายของความเชื่อมั่น หมายถึง ความคงที่ของผลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือชุดเดียวกันกับคนกลุ่มเดียวกันในเวลาที่ต่างกัน จากความหมายของความเชื่อมั่นที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ความเชื่อมั่น หมายถึง คุณสมบัติของเครื่องมือวิจัยที่มีความคงเส้นคงวาในการวัดสิ่งเดียวกันในเวลาที่ต่างกัน นั่นคือไม่ว่าจะนำเครื่องมือวิจัยนั้นไปวัดกี่ครั้งค่าที่ได้จากการวัดจะมีค่าไม่ต่างกัน

การวัดความเชื่อถือได้มีหลายประเภทแต่ในที่นี้จะศึกษาความเชื่อถือได้ที่วัดความสอดคล้องภายในชุดเดียวกัน (Internal Consistency) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา (Cronbach's Alpha Coefficient) การตรวจสอบความเชื่อถือได้ (Reliability Test) หรือความสอดคล้องภายในด้วยสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา Cronbach's Alpha คือ การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวขึ้นไป ว่ามีความสัมพันธ์หรือไม่ หากมีความสัมพันธ์กันแสดงว่าอยู่ในเรื่องราวเดียวกันได้ (กลุ่มเดียวกัน) ตัวอย่างเช่น การทดสอบการวิ่งรถสำรวจ ประกอบด้วย รถสำรวจ 4 คัน เมื่อทำการทดสอบ Cronbach's Alpha จึงเป็นการตรวจสอบว่าเครื่องมือสำรวจทั้ง 4 คัน มีความสัมพันธ์กันหรือไม่และเหมาะที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันหรือไม่ ดังนั้น ค่า Cronbach's Alpha ที่จะได้นั้นจะมีเพียงค่าเดียวต่อการทดสอบ 1 กลุ่ม

สำหรับเกณฑ์การพิจารณาว่าเท่าไรถึงจะเรียกว่า Cronbach's Alpha ผ่านเกณฑ์ อาจจะมีหลายการอ้างอิง แต่ตัวเลขที่มักเป็นสากลก็คือ 0.7 หมายความว่า ค่า Cronbach's Alpha ควรมีค่ามากกว่า 0.7 ขึ้นไป ถึงจะเรียกว่าผ่านเกณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2-47

Cronbach's alpha	Internal consistency
$\alpha \geq 0.9$	Excellent
$0.9 > \alpha \geq 0.8$	Good
$0.8 > \alpha \geq 0.7$	Acceptable
$0.7 > \alpha \geq 0.6$	Questionable
$0.6 > \alpha \geq 0.5$	Poor
$0.5 > \alpha$	Unacceptable

รูปที่ 2-47 ที่มา : Lavrakas (2008)

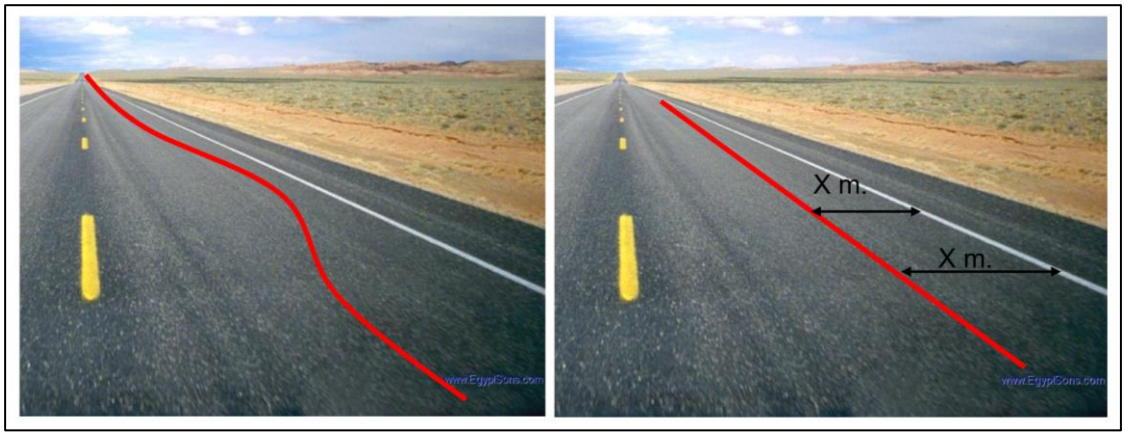
ผลการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ (Reliability Test) Cronbach's Alpha

- ค่า IRI จากรถสำรวจทั้ง 5 คัน
  - ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา = 0.966 ซึ่งมีค่ามาก เข้าใกล้ 1 แสดงความเชื่อถือได้ของเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากรถสำรวจทั้ง 5 คันว่ามีมาก (ความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัด IRI อยู่ในระดับดีมาก)
- ค่า RUTTING จากรถสำรวจทั้ง 5 คัน
  - ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา = 0.946 ซึ่งมีค่ามาก เข้าใกล้ 1 แสดงความเชื่อถือได้ของเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากรถสำรวจทั้ง 5 คันว่ามีมาก (ความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัด RUTTING หรือ RUT อยู่ในระดับดีมาก)
- ค่า MPD จากรถสำรวจทั้ง 5 คัน
  - ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา = 0.90 ซึ่งมีค่ามาก เข้าใกล้ 1 แสดงความเชื่อถือได้ของเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากรถสำรวจทั้ง 5 คันว่ามีมาก (ความเชื่อถือได้ของเครื่องมือวัด MPD อยู่ในระดับดีมาก)

<u>สรุปผลทางสถิติของข้อมูลจากการวิ่งสอบเทียบ</u>

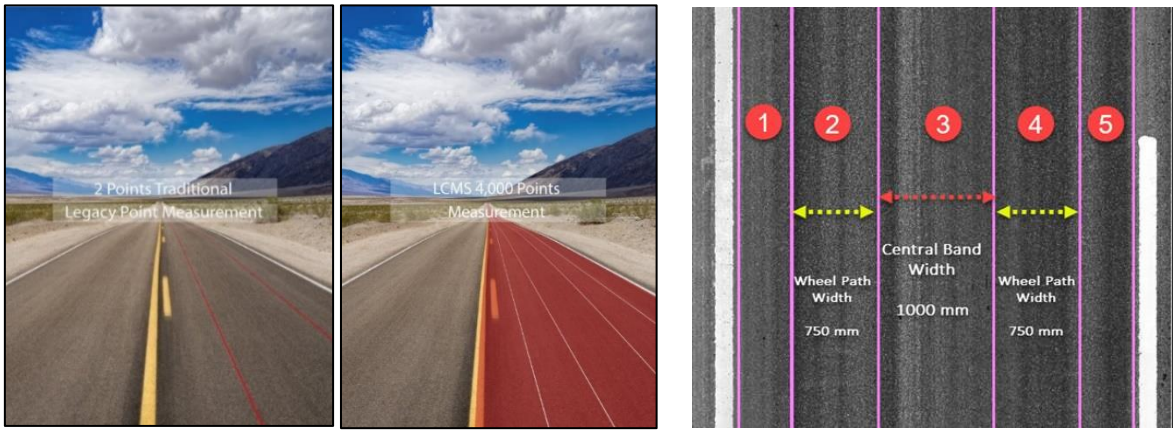
1) การเปรียบเทียบข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI)

ค่าดัชนี IRI จากอุปกรณ์ทั้ง 5 คัน มีหลักการวัดและคำนวณที่เหมือนกัน โดยเป็นวิเคราะห์จากจุดข้อมูลค่าความสูงที่จากเซนเซอร์หัวติดตั้งที่ระยะ 750 มิลลิเมตรจากกึ่งกลางตัวรถ บันทึกค่ามาทุก ๆ ระยะ 25 มิลลิเมตร ตามทิศทางการสำรวจและปรับแก้ด้วยอุปกรณ์วัดความเร่งในแนวแกน (Accelerometer) จากนั้นนำค่าระยะจากการสำรวจ (Longitudinal Profile) มาคำนวณเป็นค่าดัชนี IRI โดยเป็นรูปแบบเดียวกันทั้ง 5 คันและเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM E950 และ LCMS มีระบบ Lane-Tracking แก้ไขกรณีรถวิ่งไม่ตรงแนวเลนสำรวจ จึงทำให้แนวสำรวจตามร่องล้อของรถสำรวจแตกต่างกันได้ ถ้ารถสำรวจ LASER PROFILER วิ่งไม่ตรงแนวเลนสำรวจ



(ก.) แนวการสำรวจตามที่คนขับรถขับไม่ตรงตามแนวเลนสำรวจ (ข.) ระบบ Automated lane-tracking แก้ไขแนวการวิ่งสำรวจของรถให้สอดคล้องกับเลนสำรวจ

รูปที่ 2-48 LCMS คำนวณค่า IRI มาจากค่าเฉลี่ยจุดเลเซอร์ทั้งหมดในร่องล้อ (Wheel Path กว้าง 750 mm) จำนวน 750 จุด ทำให้มีข้อมูลสำรวจสำหรับคำนวณค่า IRI จำนวนมากกว่า



(ก.) (ข.) (ค.)

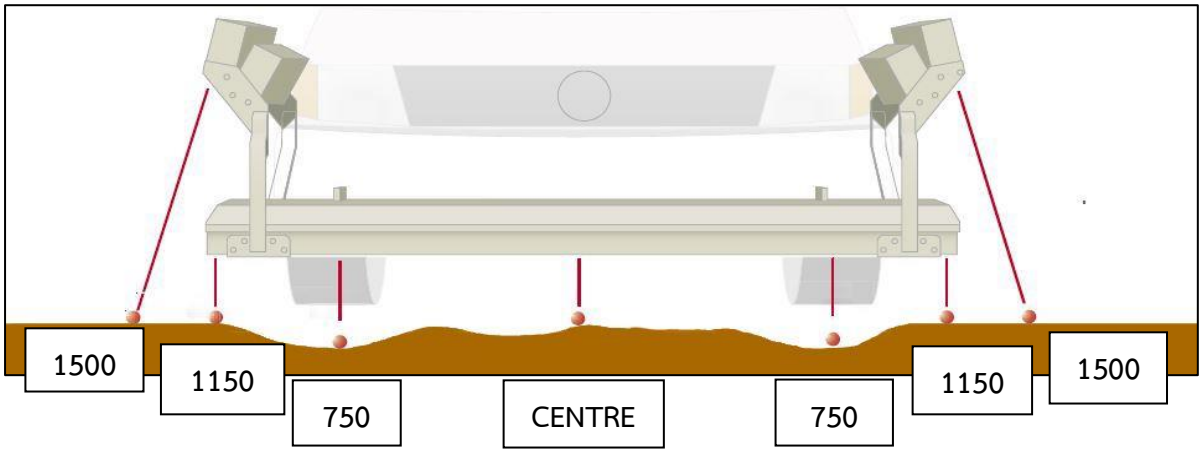
รูปที่ 2-49 (ก) LASER PROFILER ใช้ข้อมูลจากเลเซอร์ 2 จุด บริเวณกึ่งกลางร่องล้อ (ข.) LCMS มีจำนวนเลเซอร์ทั้งสิ้น 4,096 จุด เก็บข้อมูลได้กว้าง 4.0 ม. (ค.) การแบ่งพื้นที่ร่องล้อสำหรับคำนวณค่า IRI ของ LCMS

LCMS มีฟิลเตอร์อัตโนมัติสำหรับตัดข้อมูลสำรวจบริเวณที่เป็นหลุมบ่อและความเสียหายประเภทอื่น ๆ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับ IRI และอาจบิดเบือนค่า IRI ออกไป ซึ่งจะทำให้ค่า IRI จาก LCMS ต่ำกว่า Laser Profiler กรณีที่ถนนที่สำรวจมีความเสียหายประเภทอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับ IRI อยู่ในปริมาณมาก

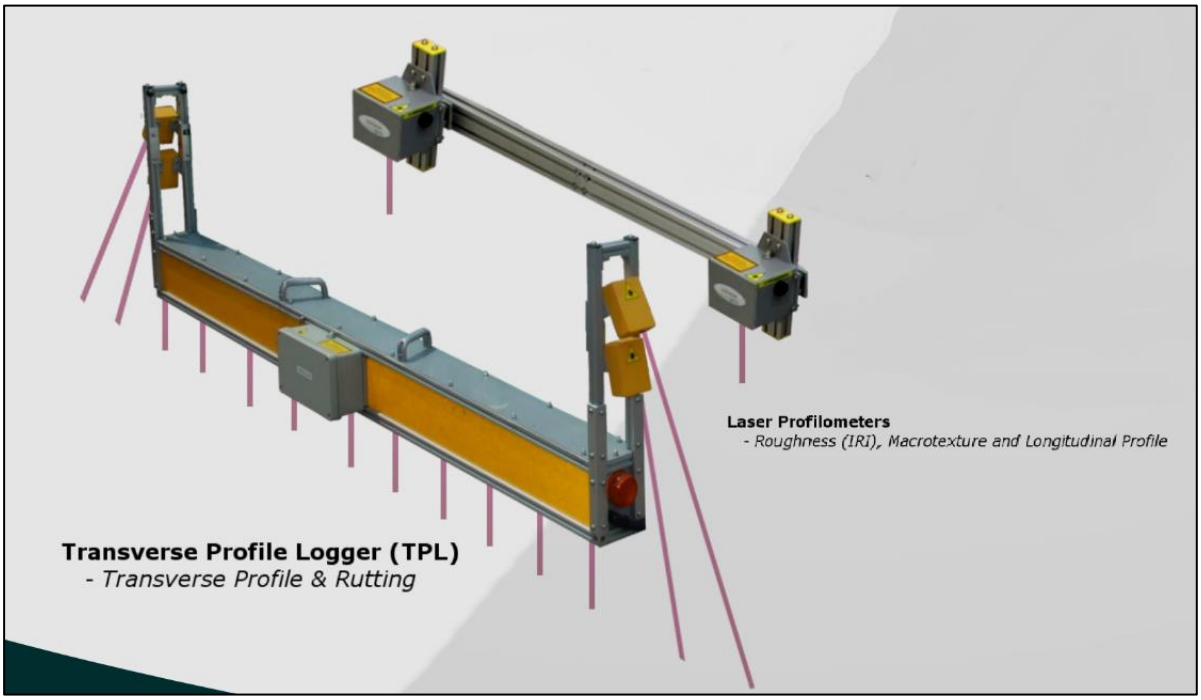
2) การเปรียบเทียบข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting)

ค่าความเสียหายร่องล้อเป็นการตรวจวัดโดยเซนเซอร์หลายหัวเพื่อสร้างรูปตัดขวางของผิวทางแล้วทำการประมวลผลหาสูงสุดที่มีลักษณะเป็นแอ่งหรือหลุม ณ ตำแหน่งร่องล้อ โดยแยกออกเป็นการวิเคราะห์ร้องล้อซ้ายและร่องล้อขวา ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าข้อมูลจากเครื่องมือทั้ง 5 ระบบนั้นแตกต่างกันโดยแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

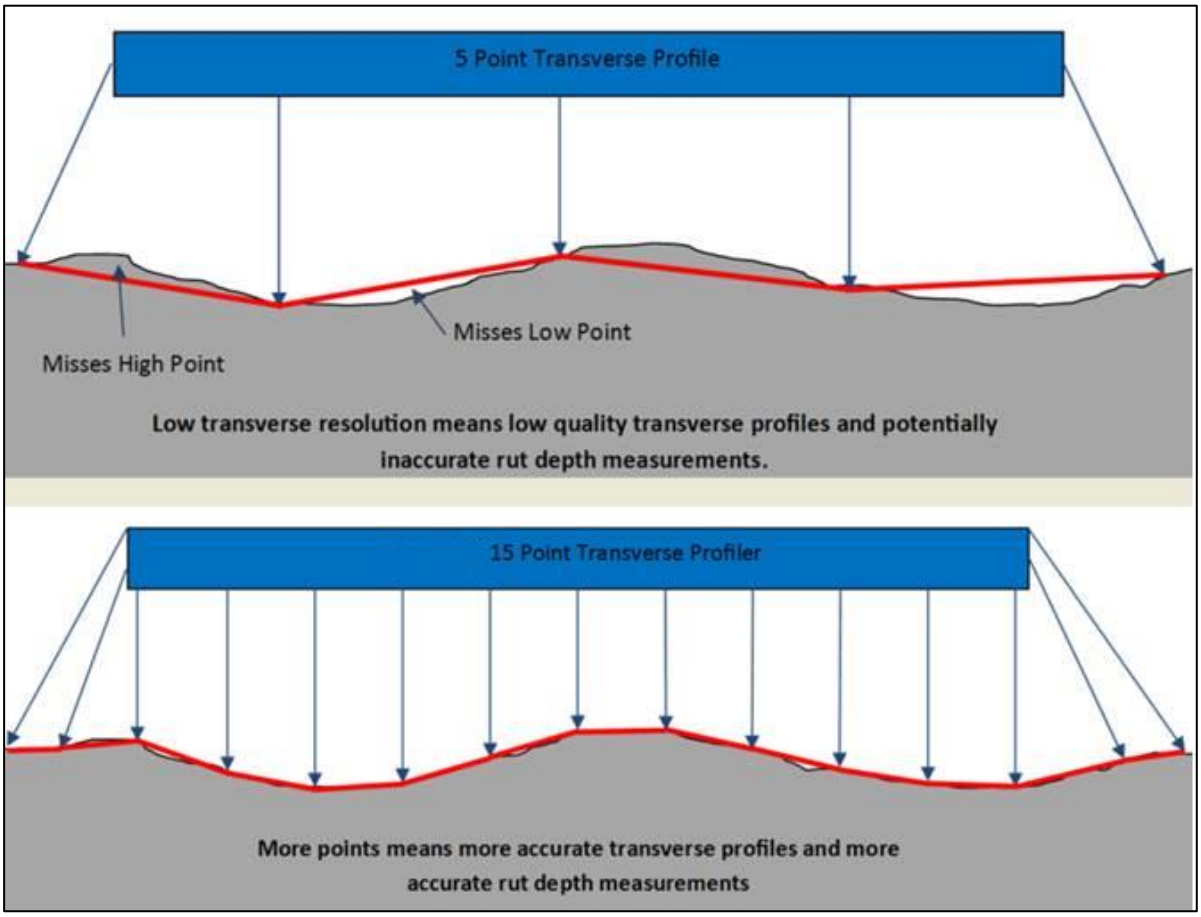
ลักษณะที่ 1 การตรวจวัดร่องโดยแบบเลเซอร์ 7 หรือ 15 จุด ที่มีระยะของจุดตรวจวัดตายตัว อันประกอบด้วยระบบรถสำรวจจาก Laser2 LaserDOH และ Laser1 ตามลำดับ ข้อมูลประเภทนี้จะมีความแม่นยำขึ้นกับตำแหน่งที่เซอร์ตกกระทบ ซึ่งระยะในการติดตั้งได้ถูกออกแบบมาโดยผู้ผลิตเครื่องมือซึ่งปรับแต่งมาให้เหมาะสมกับลักษณะทางโดยทั่วไป ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เลเซอร์ไม่ตกกระทบ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดที่ร่องล้อมีความลึกสูงสุดได้



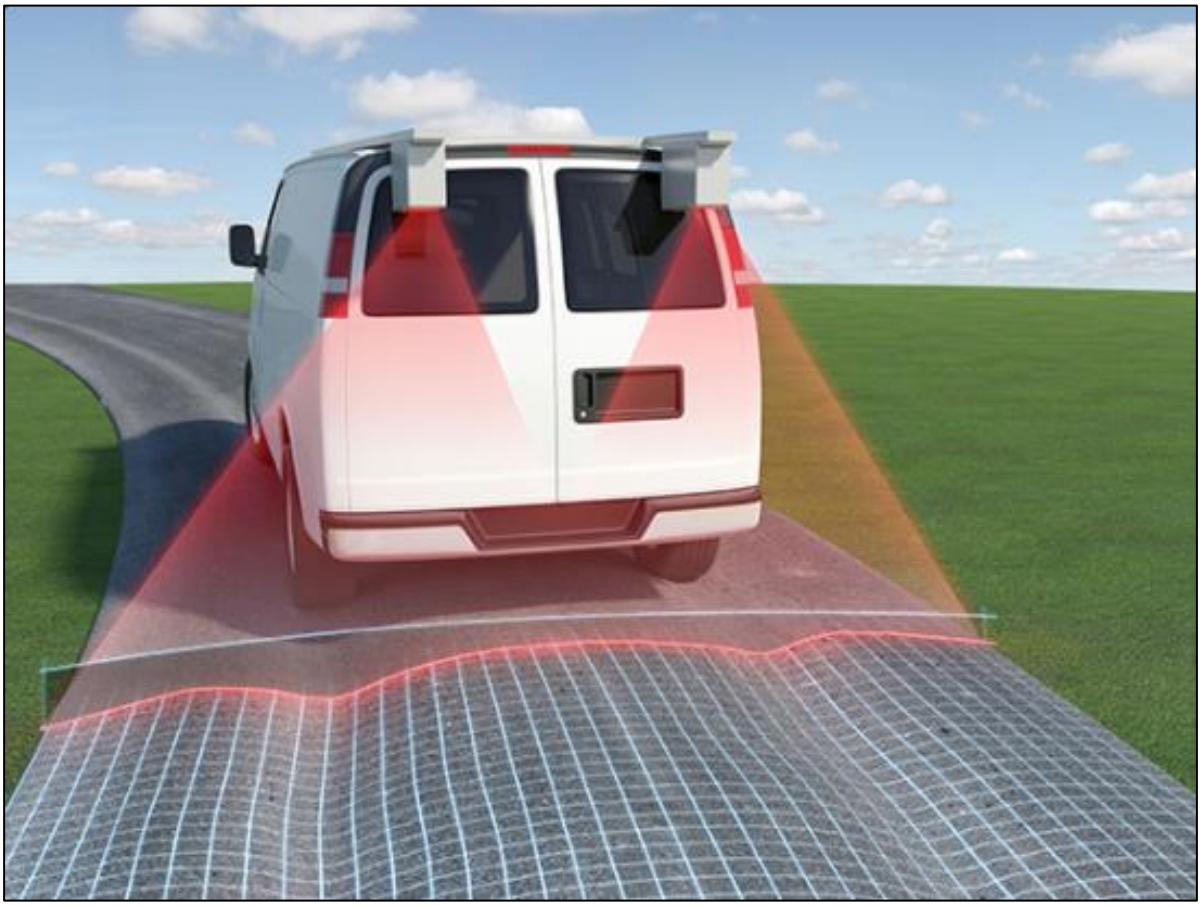
รูปที่ 2-50 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 7 จุด ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 2-51 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 15 จุด ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 2-52 แสดงความแตกต่างระหว่างจำนวนจุดเลเซอร์ในการเก็บข้อมูลสภาพทาง



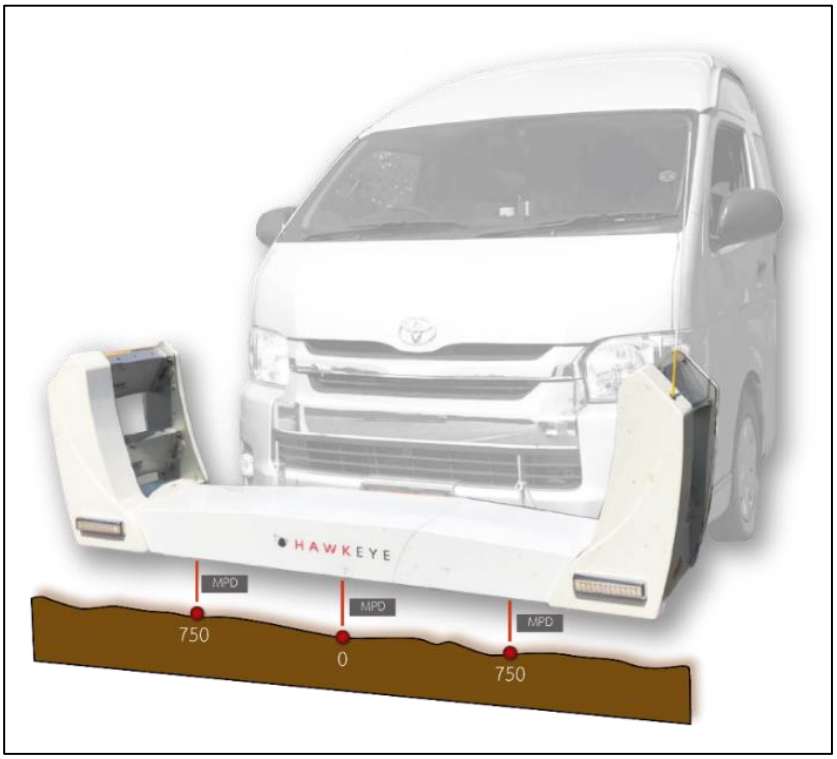
รูปที่ 2-53 แสดงการเก็บข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่ได้จำนวน 4,096 จุด Rutting

<u>ลักษณะที่ 2</u> การตรวจวัดโดยแบบเลเซอร์ 3 มิติ ที่มีจำนวนชุดเลเซอร์อยู่ 2 ชุด สำรวจได้กว้าง 4 เมตร และมีจำนวนเลเซอร์ที่วัดได้จำนวน 4,096 จุด ตามแนวขวาง ใช้ระบบ Pavemetrics's Laser Rut Measurement System (LRMS) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในกลุ่มของ Laser Crack Measurement System (LCMS) ในการตรวจวัดโดยเครื่องมือลักษณะนี้จะเป็นการสร้างข้อมูลหน้าตัดขวางของทางจากจุดจำนวนมาก จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการหาตำแหน่งที่ประมวลผลแล้วได้ความลึกของร่องล้อสูงสุด โดยจุดตรวจวัดอาจเป็นคนละตำแหน่งกับอีกระบบ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าความลึกร่องล้อเฉลี่ยของการสำรวจสำรวจตลอดช่วงที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับระบบที่มีตำแหน่งการตรวจวัดที่คงที่ สังเกตได้จากข้อมูลที่มีทั้งส่วนที่ค่าเฉลี่ยที่ใกล้ทั้ง 5 คัน โดยบางช่วงที่มีค่าสูงกว่าระบบอื่น ๆ จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ต่างชนิดกัน จำนวนจุดที่คำนวณต่างกัน จุดเริ่มต้นที่ต่างกัน แนวการวิ่งต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจส่งผลให้ค่า RUT มีความต่างกัน

3) การเปรียบเทียบข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD)

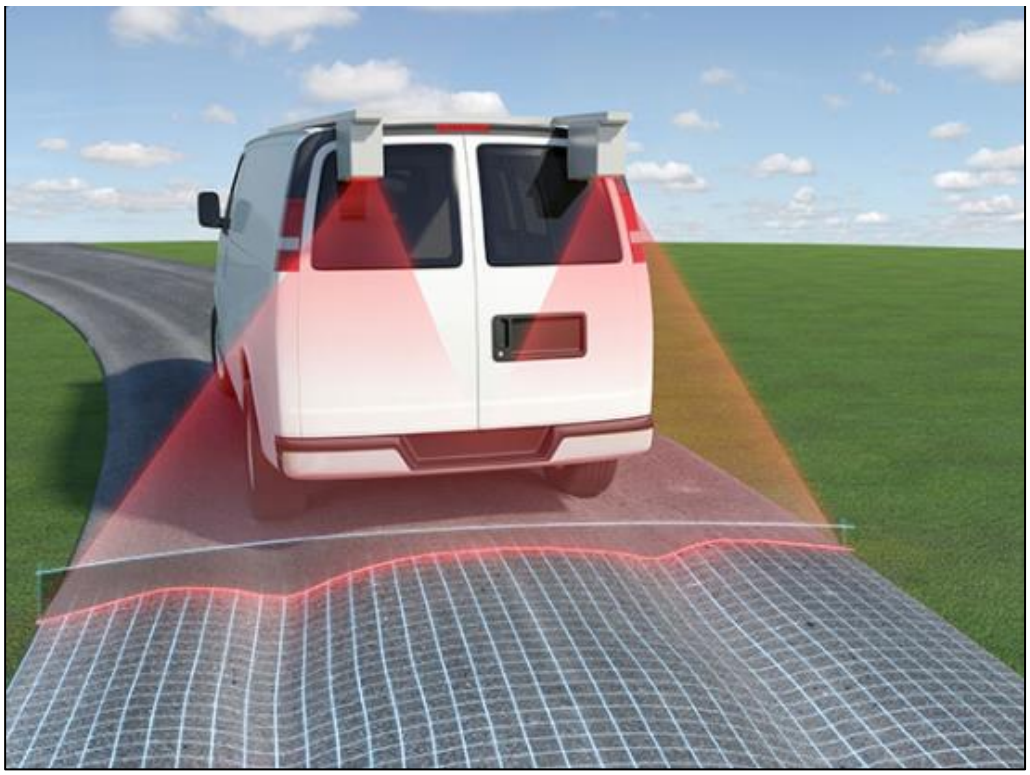
ค่า MPD เป็นการตรวจวัดโดยใช้เลเซอร์คำนวณค่าความหยาบของผิวทาง (Pavement TexLASER2re) โดยใช้เลเซอร์ ณ ตำแหน่งเดียวกันกับการตรวจวัดดัชนี IRI ที่ระยะ 750 มิลลิเมตร จากกึ่งกลางตัวรถ โดยแบ่งรูปแบบลักษณะการคำนวณออกได้ดังนี้

ลักษณะที่ 1 เป็นการใช้เลเซอร์สร้างโพรไฟล์ตามยาวเพื่อคำนวณค่าความหยาบของผิวทาง โดยพบในระบบสำรวจจาก Laser 1 Laser 2 และ Laser DOH เป็นวิธีการเก็บค่า MPD แบบทิศทางเดียวกับการวิ่งของรถสำรวจ โดยชุดเลเซอร์ที่ใช้ในการเก็บค่า MPD ประกอบไปด้วย จุดเลเซอร์ 750 มิลลิเมตร ซ้ายและขวาและจุดเลเซอร์ Centre ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะเป็นรูปแบบจุด โดยที่เครื่องมือทำการเก็บค่าทุก 1 มิลลิเมตร และคำนวณตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 2-54 อุปกรณ์เลเซอร์ของรถสำรวจลักษณะที่ 1 ที่ใช้สำหรับเก็บค่า MPD

ลักษณะที่ 2 เป็นการใช้เลเซอร์จำนวนชุดเลเซอร์อยู่ 2 ชุด สำรวจได้กว้าง 4 เมตร และมีจำนวนเลเซอร์ที่วัดได้จำนวน 4,096 จุด ของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) โดยการตรวจวัด Pavement Surface TexLASER2re ของแต่ละพื้นที่ผิวทางบนพื้นฐานการใช้วิธี “Digital Sand Patch Method” ที่มีหลักการเดียวกันกับวิธีการดั้งเดิม คือ Sand Patch Test สามารถประมวลผลหาค่า Air Void-Content Volume และพื้นที่ผิวทางบริเวณที่กำลังตรวจวัดได้สามารถจำลองพื้นผิวในรูปแบบ 3 มิติ



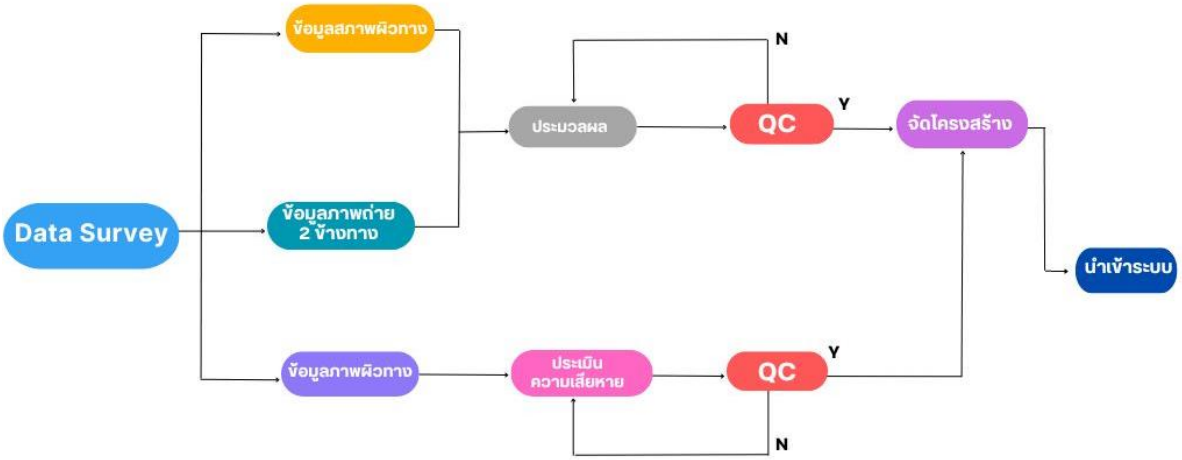
รูปที่ 2-55 แสดงการเก็บข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่ได้จำนวน 4,096 จุด
Mean Profile Depth : MPD

โดยสรุป จากการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ของข้อมูลค่า IRI ค่า RUT และ ค่า MPD จากเครื่องมือ คือ รถสำรวจทั้ง 5 คัน พบว่า ระดับความสอดคล้องของข้อมูลดังกล่าวอยู่ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟามีค่ามากกว่า 0.90 หรือมีค่าใกล้ 1

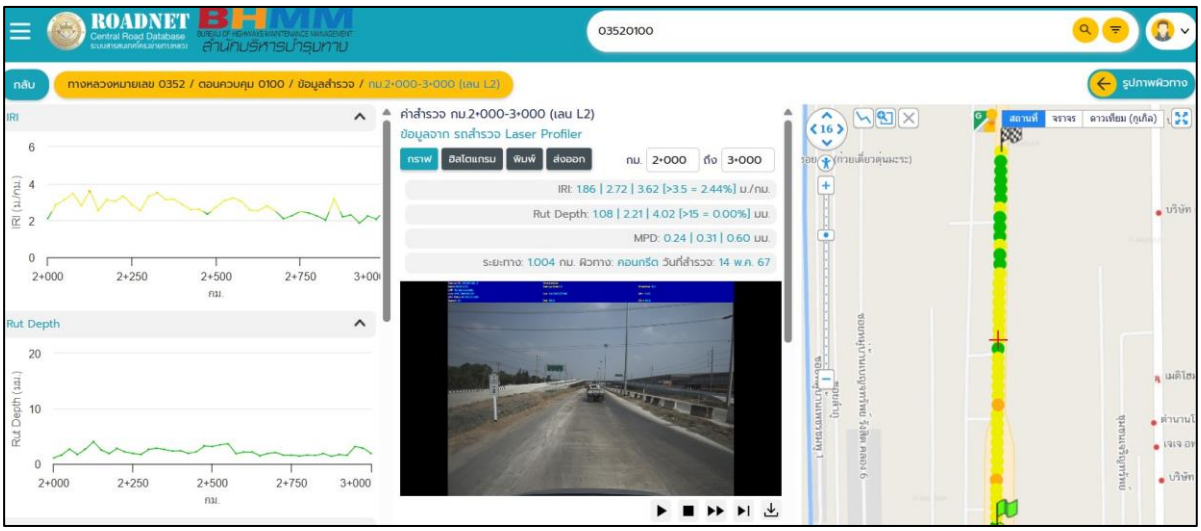
เนื่องจากจุดประสงค์หลักของการศึกษาในครั้งนี้ คือ การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดประเภทเดียวกันทั้ง 5 เครื่องที่ทำงานกันอย่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น การหาคือความน่าเชื่อถือของเครื่องมือ ผ่านการนำเครื่องมือมาวัดหลาย ๆ ครั้ง ด้วยค่าคำนวณค่าความเชื่อถือได้ที่วัดความสอดคล้องภายในชุดเดียวกัน (Internal Consistency) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา (Cronbach's Alpha Coefficient) จึงเพียงพอต่อการตรวจสอบความเชื่อถือได้ (Reliability Test) นอกจากนี้ ในการเก็บข้อมูลแต่ละประเภทจะใช้เครื่องมือจากรถสำรวจ 5 คัน ซึ่งทั้ง 5 คัน ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่เหมือนกัน และอาจจะมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกันออกไปบ้าง ดังนั้น การใช้สถิติทดสอบแบบ ANOVA แบบ Single Factor สำหรับกลุ่มข้อมูลที่มากกว่า 2 กลุ่ม (ในที่นี้มีกลุ่มข้อมูล 5 กลุ่มจากรถสำรวจ 5 คัน) อาจจะได้ผลลัพธ์ที่เอนเอียง (Bias) ไม่สะท้อนการที่ไม่สามารถควบคุมให้รถสำรวจใช้เทคโนโลยีในการประมวลผมเหมือนกันได้ทุกคัน ดังนั้น ที่ปรึกษาเสนอให้พิจารณาค่าสถิติที่แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องภายในชุดข้อมูลของแต่ละประเภทซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์ครอนบัคอัลฟา (Cronbach's Alpha Coefficient) ที่วัดออกมาจากข้อมูล Try out เบื้องต้นพบว่าทั้งค่า IRI ค่า Rutting และค่า MPD มีความสอดคล้องและน่าเชื่อถือในระดับที่ดีมาก

อนึ่ง การวิเคราะห์ด้วย *t*-test ไม่เหมาะสมต่อชุดข้อมูล เนื่องจากมีข้อมูลมากถึง 5 กลุ่มจากรถสำรวจ 5 คัน เพราะการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย *t*-test เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของตัวแปร 2 กลุ่มเท่านั้น (วานิชย์บัญชา, 2554)

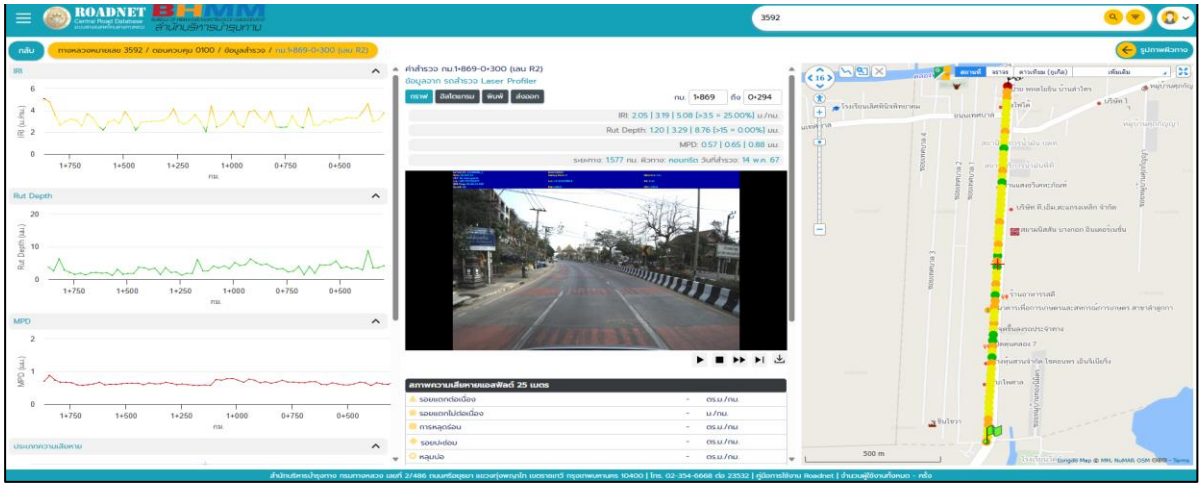
หลังจากทำการสอบเทียบพื้นที่แล้วเสร็จ ที่ปรึกษาทำการประมวลผลค่าข้อมูลสภาพทางและค่าความเสียหาย พร้อมนำเข้าข้อมูลสอบเทียบครบทั้ง 5 Sections ที่ทำการทดสอบการวิ่งเพื่อเปรียบเทียบค่าสภาพทางบนระบบ Roadnet3 แสดงดังรูปที่ 2-56 และแสดงผลพื้นที่ตัวอย่างผ่านระบบ Roadnet3 ได้แก่ อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS คันที่ 1,2 และรถสำรวจด้วย Laser Profile คันที่ 3,4 ของพื้นที่แปลงทดสอบทั้งหมด



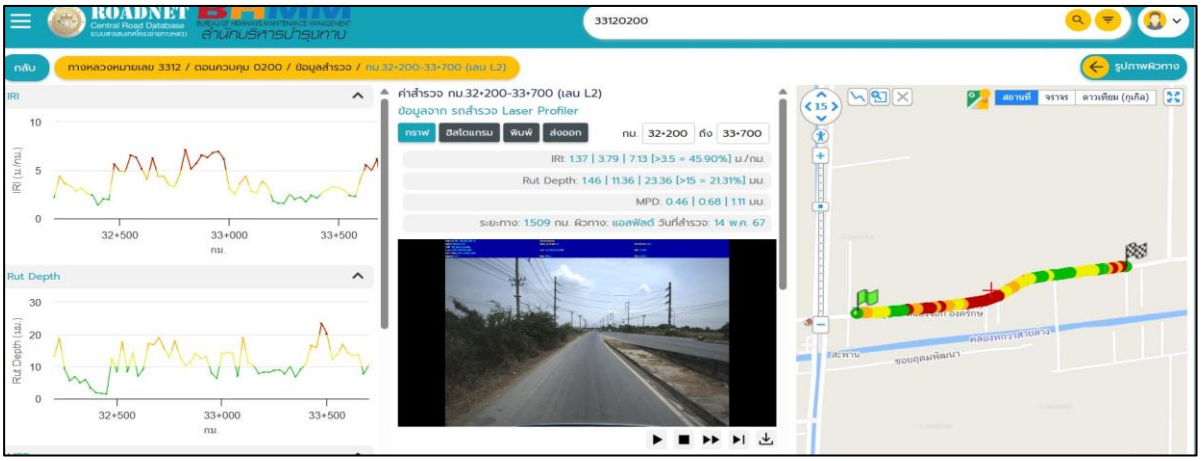
รูปที่ 2-56 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ



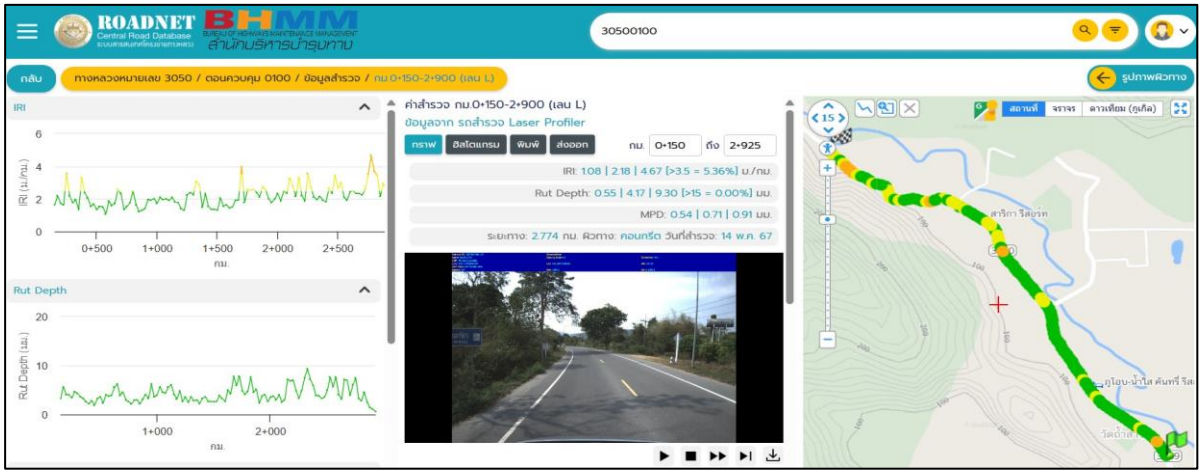
รูปที่ 2-57 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 352 ตอนควบคุม 0100 อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile



รูปที่ 2-58 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3592 ตอนควบคุม 0100
อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile



รูปที่ 2-59 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 3312 ตอนควบคุม 0200
อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile



รูปที่ 2-60 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 3050 ตอนควบคุม 0100
อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS และรถสำรวจด้วย Laser Profile

2.3.4.3 เอกสารรับรองและการ Calibrate อุปกรณ์สำรวจแต่ละคัน

- เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง LCMS คันที่ 1 จากโรงงานผู้ผลิต

romdas

Manufacturers of ROMDAS

DATA COLLECTION LIMITED
Post: PO Box 348 | Motueka 7143 | NEW ZEALAND
Office: 8C Bentinck Street | New Lynn | Waitakere | Auckland 0600 |NEW ZEALAND
Ph: +64 9 8277703 Fax: +64 9 827 7704 E-mail: info@romdas.com Website: www.romdas.com

Date: 20 April 2023

Certificate of LCMS Calibration Validation

Customer: **INFRAPLUS CO., LTD.**
System Installation Date: October 2022

LCMS model:	LCMS-400	LCMS-400
LCMS sensors s/n:	**F779**	**F780**
Date of calibration validation:	2023/04/19	2023/04/19

The above serial sensor number have passed the LCMS Validation as per below results

LCMS-400-F779

		Left		Center		Right	
		1	2	1	2	1	2
Range	Accuracy X	1.0500	1.8941	1.8902	1.6490	0.8155	0.8954
	Accuracy Z	0.6579	0.2781	0.3046	0.1128	1.0570	0.3797
	Noise Level Z	0.3535	0.2154	0.3354	0.2639	0.6032	0.2538
Focus	Focus Quality	0.6618		0.9553		0.5	

LCMS-400-F780

		Left		Center		Right	
		1	2	1	2	1	2
Range	Accuracy X	1.7562	0.1298	2.5450	0.5353	2.1345	0.0464
	Accuracy Z	0.1199	0.2910	0.3677	0.4336	0.1947	0.3109
	Noise Level Z	0.5287	0.5267	0.2727	0.5991	0.8447	0.2415
Focus	Focus Quality	0.4924		0.5413		0.7595	

This Certificate is valid for 6 months from the date of the calibration validation

Please note that the LCMS validation should be done every 6 months. If the validation results are not satisfactory, then LCMS must be sent to the factory for recalibration.

For Data Collection Limited

Paul hunter
Chief Technology Officer

รูปที่ 2-61 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง LCMS คันที่ 1

- เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง LCMS คันที่ 2 จากโรงงานผู้ผลิต

Pavemetrics

Calibration Certificate

December 22, 2021

LCMS model:	LCMS-201	LCMS-201
LCMS sensors s/n:	**F325**	**F326**
Date of calibration:	2021/12/21	2021/12/22
Calibration ID:	Cal002	Cal002

The LCMS (Laser Crack Measurement System) sensors mentioned above were calibrated at Pavemetrics, Québec City, Canada. Both LCMS sensors **PASS** the calibration.

LCMS-201-F325 Cal002

		LEFT		CENTER		RIGHT	
		1	2	1	2	1	2
Range	Accuracy X	0.10	0.18	0.27	0.63	0.56	0.09
	Accuracy Z	0.39	0.03	0.34	0.01	0.33	0.04
	Noise Level Z	0.45	0.27	0.29	0.20	0.22	0.18
Focus	Focus Quality	0.87		0.82		0.73	

LCMS-201-F326 Cal002

		LEFT		CENTER		RIGHT	
		1	2	1	2	1	2
Range	Accuracy X	0.38	0.02	1.14	0.41	1.17	0.04
	Accuracy Z	0.21	0.21	0.15	0.07	0.49	0.38
	Noise Level Z	0.49	0.23	0.31	0.19	0.35	0.19
Focus	Focus Quality	0.67		0.53		0.56	

Quality Indicator

Bad — Good

See Installation Manual for pass/fail criteria

Jean-François Hébert
Director of Product Development
Tel: +1 418 717 6671 | jfhebert@pavemetrics.com

Pavemetrics Systems Inc.
150, Boulevard René-Lévesque Est, Suite 1820 | Québec (Québec) G1R 5B1 Canada
www.pavemetrics.com | Fax: +1 418 522 3345

รูปที่ 2-62 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง LCMS คันที่ 2

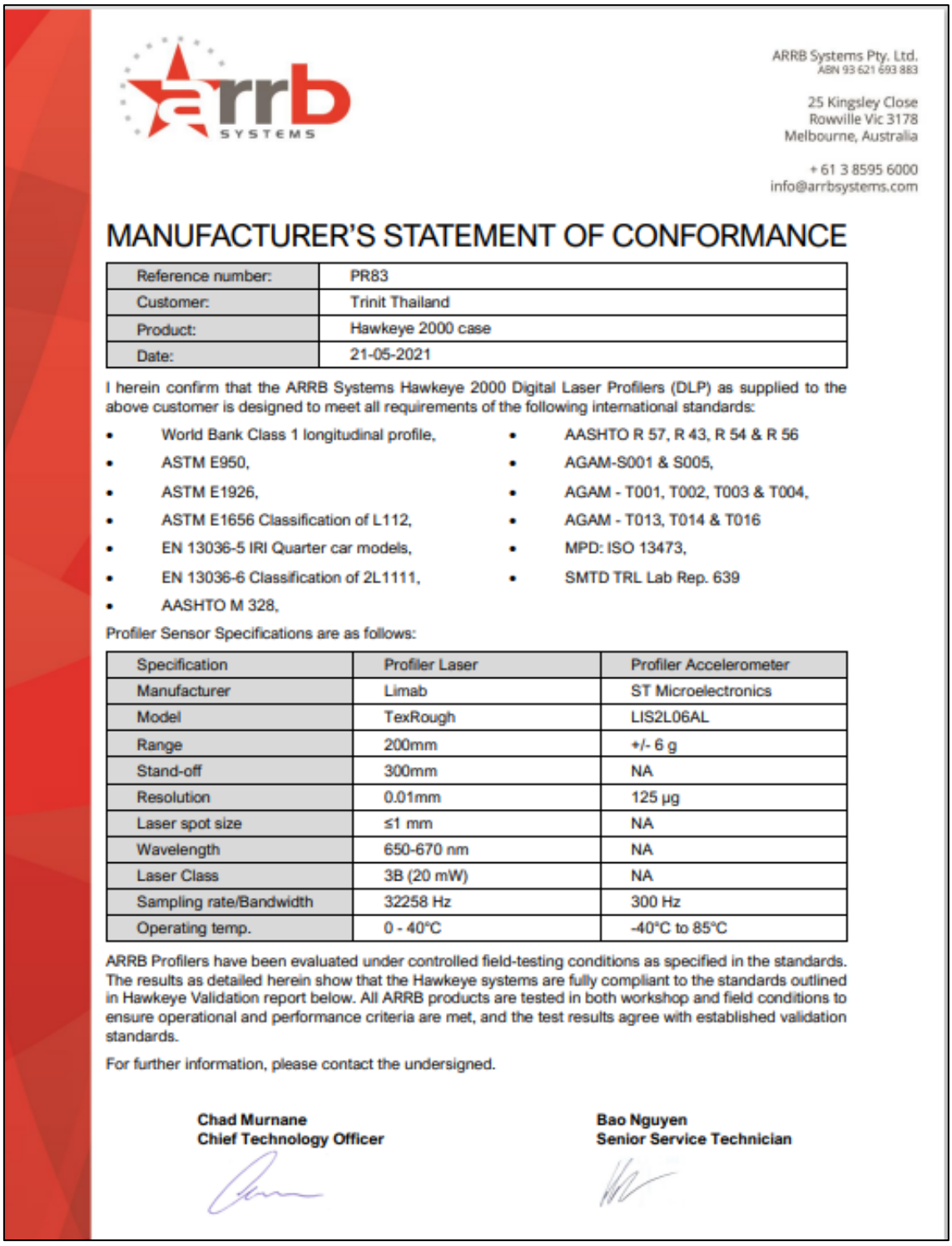
- ผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง Laser Profiler คันที่ 1

Date :	11-12-2023		
Vehicle :	U5660		
Calibration ID :	U5660_231211		
Operator :	prame		
Mileage :	1000		
Tyre Pressure :	48		
Section Length(m) :	1000		
Error Tolerance :	0.10%		
Run Number Total :			
Run Number Used for Validation :	5265378	5265450	5264358
Sample :	3		
Mean :	5265062		
S.Dev :	610.74		
S.Error :	352.61		
Pass/Fail 95% :	Pass		
ODO Validation :	Pass		
ODO Validation Chainage :	999.7		

รูปที่ 2-63 การ Calibrate อุปกรณ์สำรวจ Laser Profiler คันที่ 1

- อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง Laser Profiler คันที่ 2

เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง Laser Profiler คันที่ 2 จากโรงงานผู้ผลิต



ARRB Systems Pty. Ltd.
ABN 93 621 693 883

25 Kingsley Close
Rowville Vic 3178
Melbourne, Australia

+ 61 3 8595 6000
info@arrbsystems.com

MANUFACTURER'S STATEMENT OF CONFORMANCE

Reference number:	PR83
Customer:	Trinit Thailand
Product:	Hawkeye 2000 case
Date:	21-05-2021

I herein confirm that the ARRB Systems Hawkeye 2000 Digital Laser Profilers (DLP) as supplied to the above customer is designed to meet all requirements of the following international standards:

- World Bank Class 1 longitudinal profile,
- ASTM E950,
- ASTM E1926,
- ASTM E1656 Classification of L112,
- EN 13036-5 IRI Quarter car models,
- EN 13036-6 Classification of 2L1111,
- AASHTO M 328,
- AASHTO R 57, R 43, R 54 & R 56
- AGAM-S001 & S005,
- AGAM - T001, T002, T003 & T004,
- AGAM - T013, T014 & T016
- MPD: ISO 13473,
- SMTD TRL Lab Rep. 639

Profiler Sensor Specifications are as follows:

Specification	Profiler Laser	Profiler Accelerometer
Manufacturer	Limab	ST Microelectronics
Model	TexRough	LIS2L06AL
Range	200mm	+/- 6 g
Stand-off	300mm	NA
Resolution	0.01mm	125 µg
Laser spot size	≤1 mm	NA
Wavelength	650-670 nm	NA
Laser Class	3B (20 mW)	NA
Sampling rate/Bandwidth	32258 Hz	300 Hz
Operating temp.	0 - 40°C	-40°C to 85°C

ARRB Profilers have been evaluated under controlled field-testing conditions as specified in the standards. The results as detailed herein show that the Hawkeye systems are fully compliant to the standards outlined in Hawkeye Validation report below. All ARRB products are tested in both workshop and field conditions to ensure operational and performance criteria are met, and the test results agree with established validation standards.

For further information, please contact the undersigned.

Chad Murnane
Chief Technology Officer

Bao Nguyen
Senior Service Technician

รูปที่ 2-64 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง Laser Profiler คันที่ 2

ARRB Systems Pty. Ltd.
ABN 93 621 693 883

25 Kingsley Close
Rowville Vic 3178
Melbourne, Australia

+ 61 3 8595 6000
info@arrbsystems.com

5. Precision and Accuracy Limits

The following are the specified precision and accuracy limits:

Test	r^2	Slope	Intercept
IRI precision	≥0.97	= 1.00 +/- 0.10	= 0.00 +/- 0.10
IRI accuracy*	≥0.95		
MPD precision	≥0.97	= 1.00 +/- 0.10	= 0.00 +/- 0.10
Rut depth precision	>0.98	= 1.00 +/- 0.15	= 0.00 +/- 0.15

*in comparison to independent profiler. See results for additional information.

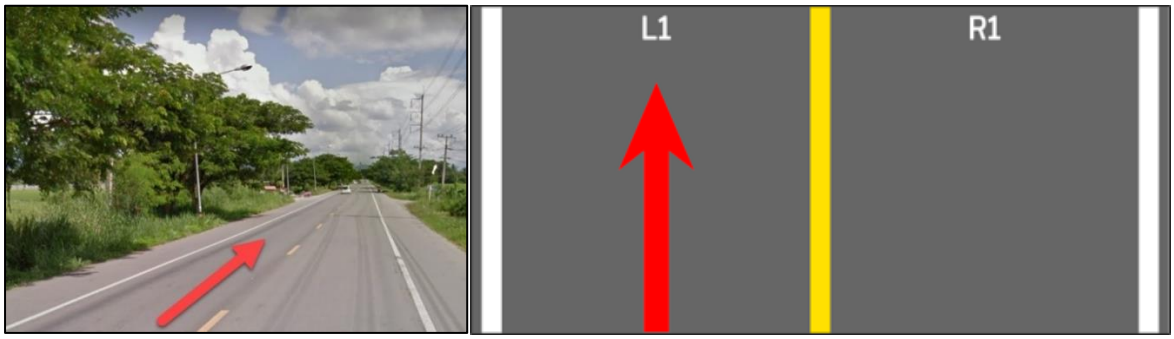
6. System components

Position	Sensor model	Data type	Sensor S/N
Left 750mm	Limab TexRough	IRI/Texture/Acc	16205
Left 1150mm	Limab MRough	Rutting	16399
Left 1500mm	Limab MRough	Rutting	16400
Centre	Limab TexRough	IRI/Texture/Acc	16401
Right 1500mm	Limab MRough	Rutting	16397
Right 1150mm	Limab MRough	Rutting	16398
Right 750mm	Limab TexRough	IRI/Texture/Acc	16204
Make	**Equipment**	**Model**	**Serial number**
Hawkeye	2000 Case	NA	PR83
Hawkeye	Power Hub	NA	162 / 163
Hawkeye	Heartbeat 3	BF-18010.A	153
Hawkeye	Master PC	BF-COM/ARK-3500F	KSA4813724
SICK DMI	Axle Mounted DMI	DFS60B-SET-2000	2052-0359
Hawkeye	Gipsitrac2	G2	26
Hawkeye	Acquisition Software	Version 9.0	N/A
Hawkeye	Processing Toolkit Software	Version 8.5.0	N/A

รูปที่ 2-64 เอกสารรับรองผล Calibrate อุปกรณ์สำรวจค่าสภาพทาง Laser Profiler คันที่ 2 (ต่อ)

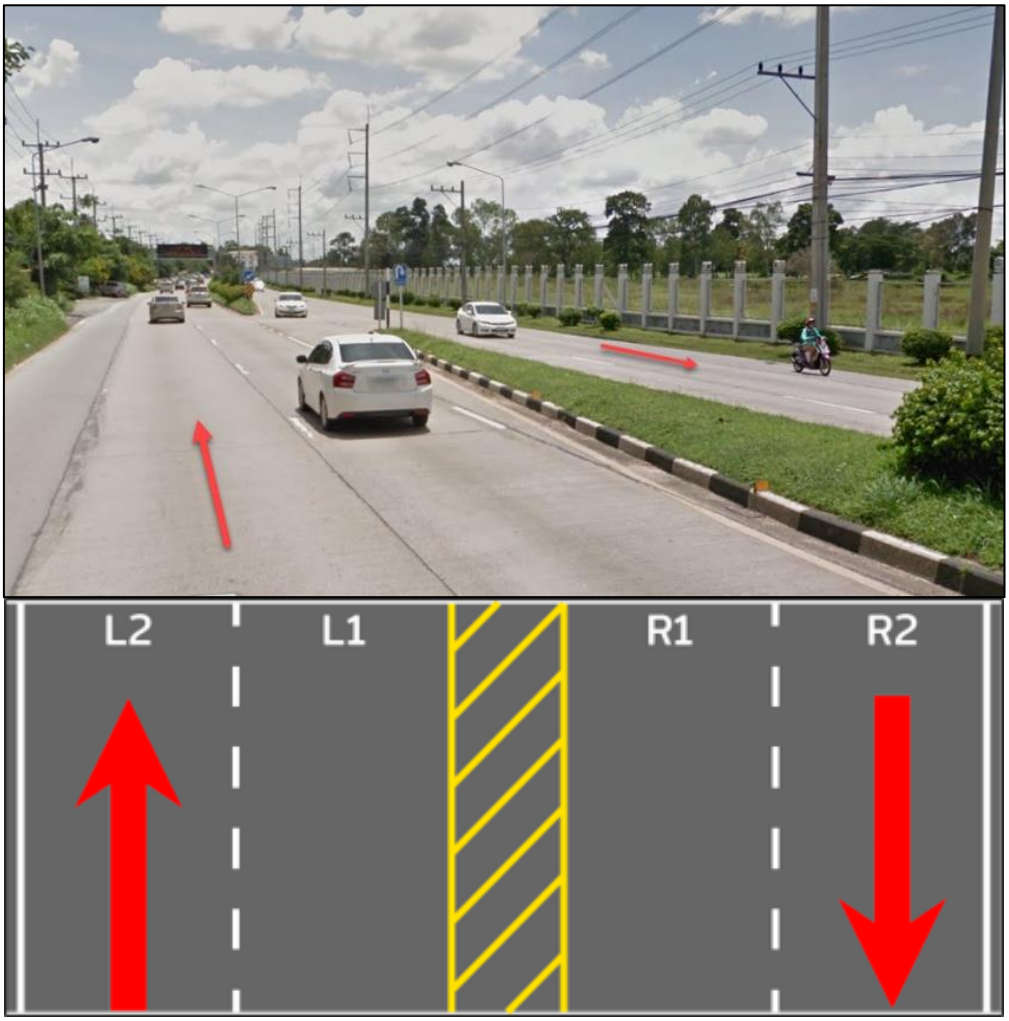
<u>วิธีการวิ่งสำรวจสายทางในโครงการ</u>

- **กรณีสำรวจ 1 ทิศทาง** จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนในทิศทางที่มีความเสียหายมากที่สุด



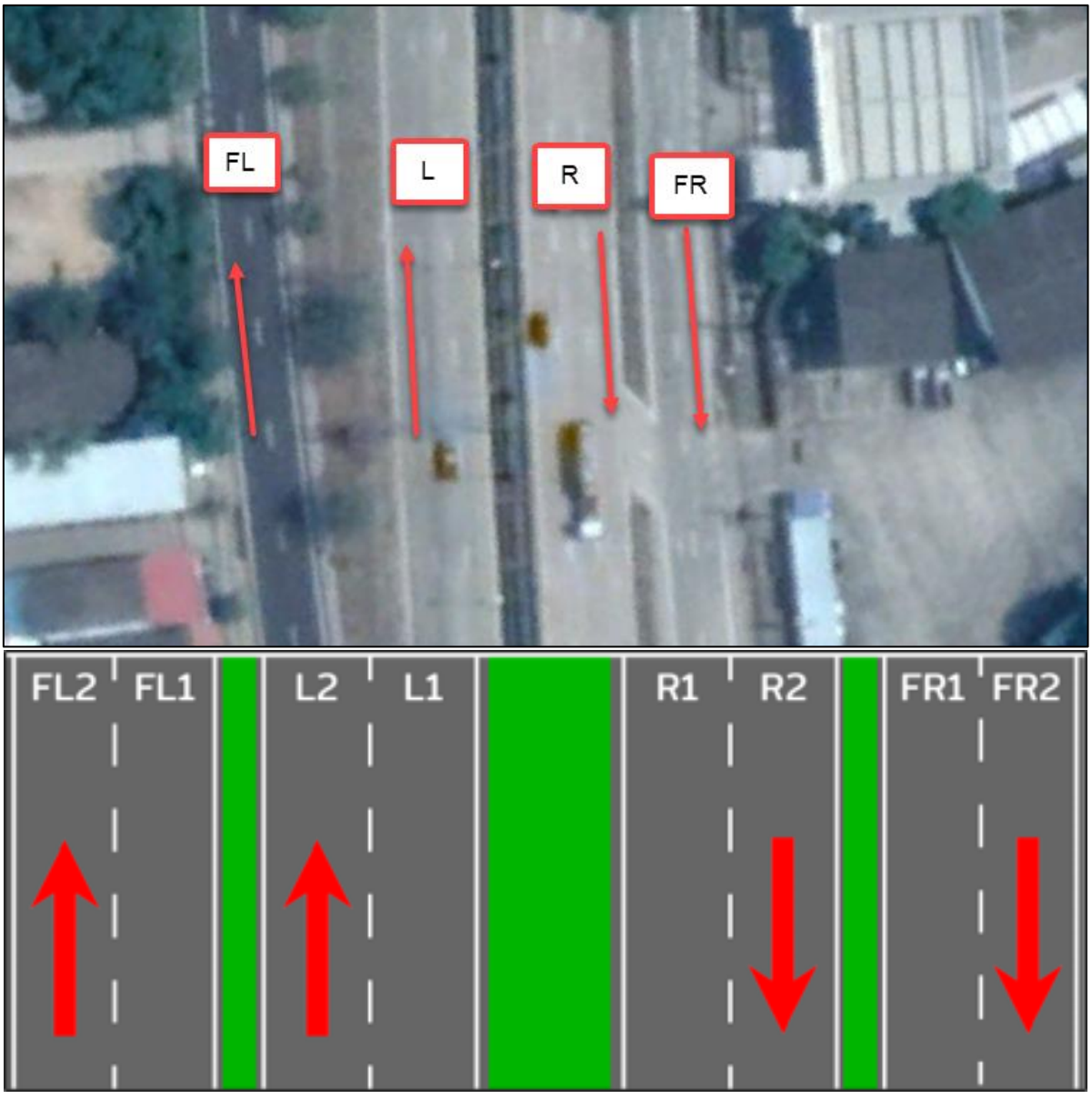
รูปที่ 2-65 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด

- **กรณีสำรวจ 2 ทิศทาง** จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง



รูปที่ 2-66 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง

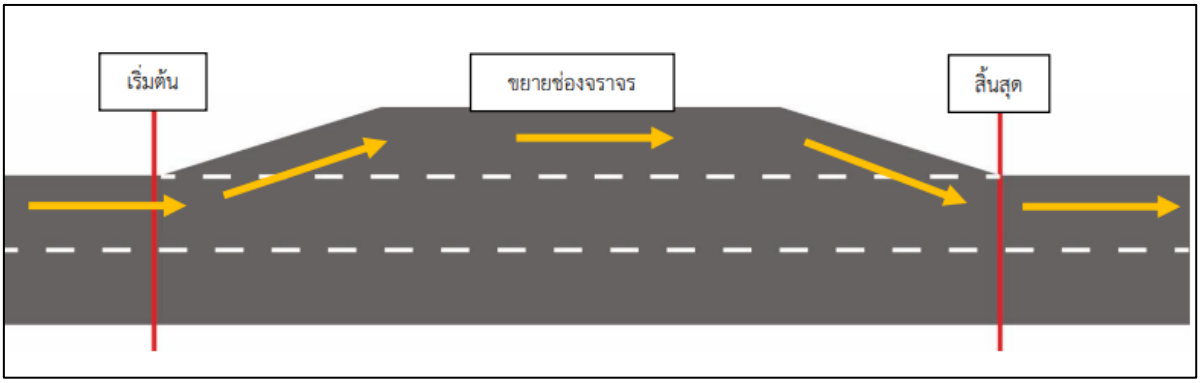
- **กรณีที่มีการสำรวจ 2 ทิศทาง** แล้วมีทางคู่ขนาน ให้ทำการวิ่งสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทางคู่ขนาน



รูปที่ 2-67 แสดงภาพมุมสูงการวิ่งจราจรช่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน

- **กรณีที่มีการเพิ่มช่องจราจร จาก 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจรขึ้นไป** ให้ทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทั้งฝั่งขา L และ ฝั่งขา R

รูปที่ 2-68 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน



รูปที่ 2-69 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่สองช่องจราจร

- **กรณีที่ไม่สามารถทำการสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนได้** เนื่องจากมีเหตุจำเป็น เช่น ปิดปรับปรุงผิวจราจร ก็จะทำการสำรวจช่องจราจรที่อยู่ติดกับช่องจราจรดังกล่าวแทน

รูปที่ 2-70 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้

- **กรณีที่พื้นผิวสายทางเปียกเนื่องจากฝนตกหรือมีน้ำขังในช่องจราจร** ที่จะทำการสำรวจ จะทำการหยุดการสำรวจในสายทางนั้น แล้วจะกลับมาสำรวจใหม่เมื่อพื้นผิวสายทางแห้งสนิท

รูปที่ 2-71 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้

- **กรณีที่สายทางมีอุปสรรคในการสำรวจ** เช่น มีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวางทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ หรืออยู่ในพื้นที่หวงห้ามของราชการที่ไม่อนุญาตให้เข้าพื้นที่ได้ จะไม่ทำการสำรวจ แล้วทำการรายงานปัญหาและอุปสรรคเพื่อแจ้งแก่คณะกรรมการ ฯ แล้วดำเนินการสำรวจในสายทางสำรองแทน

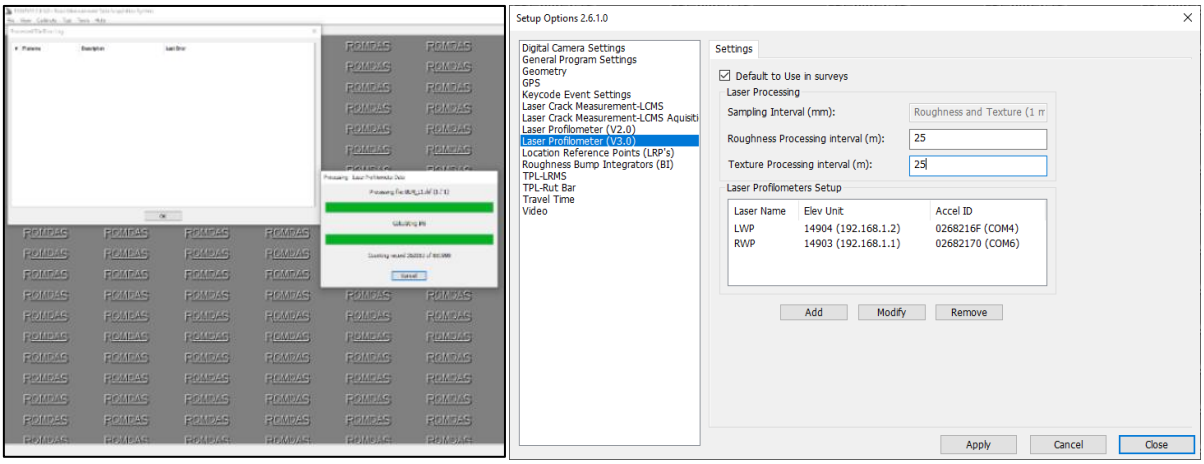
รูปที่ 2-72 แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้
เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวางทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้

2.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ

ที่ปรึกษาจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ อย่างน้อยตามที่มีในระบบฐานข้อมูล Roadnet

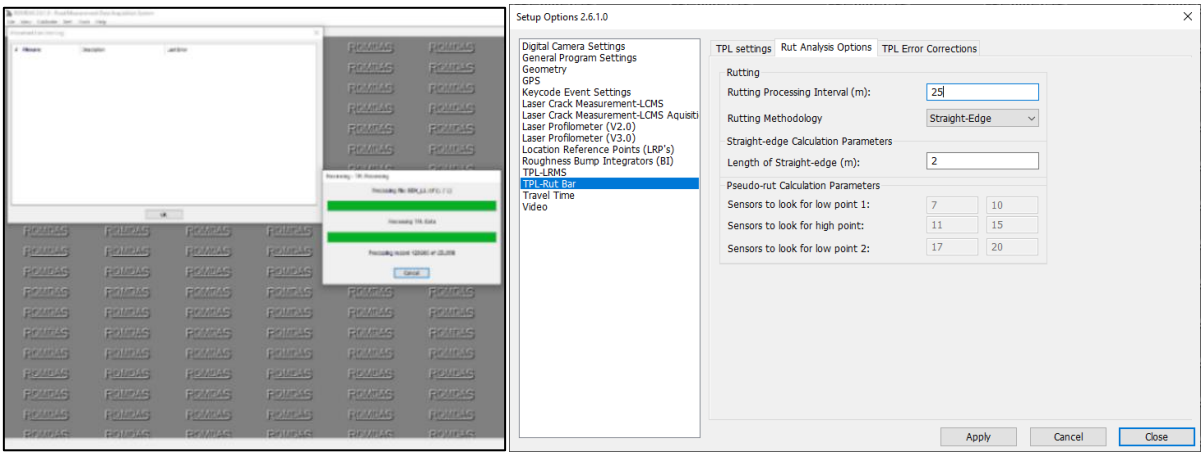
2.4.1 การประมวลผลข้อมูลจากชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



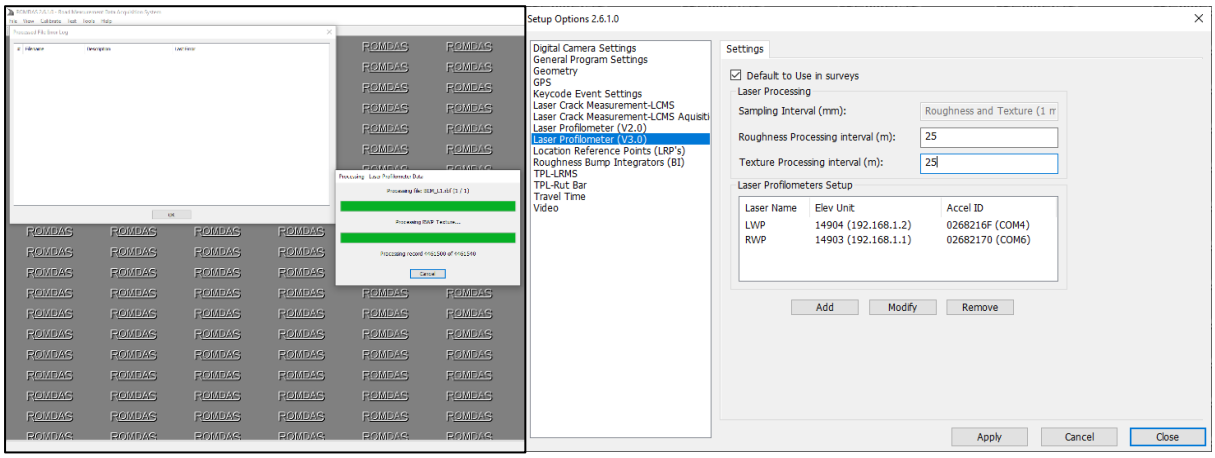
รูปที่ 2-73 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกร่องล้อบนผิวทาง

2) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลผิวทาง (International Roughness Index : IRI) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตรหรือน้อยกว่า



รูปที่ 2-74 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง

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

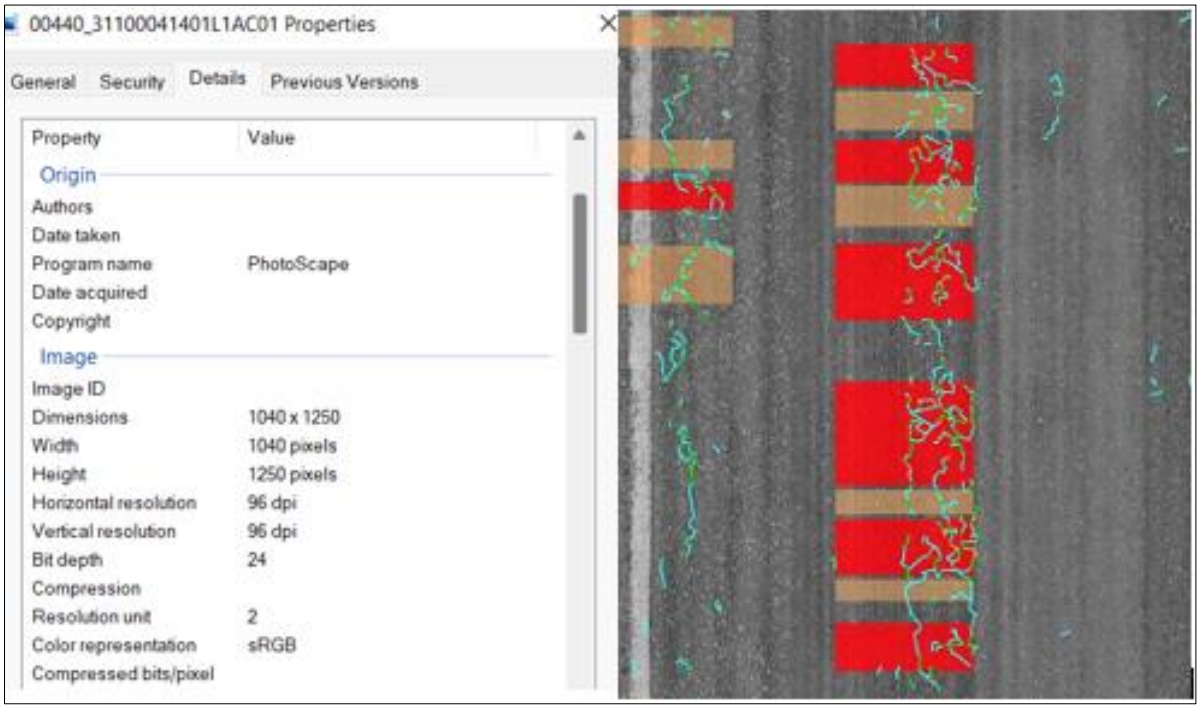


รูปที่ 2-75 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง

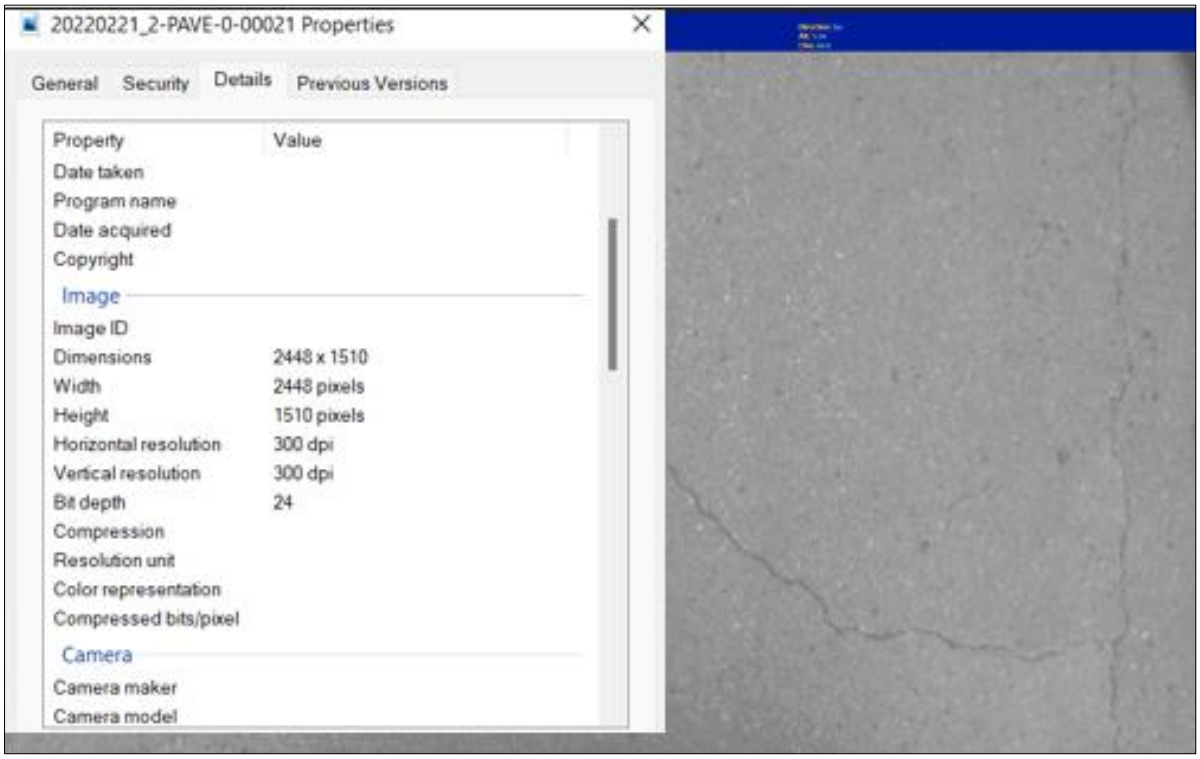
4) การประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง ประกอบด้วย ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากจากข้อมูลการสำรวจในข้อ 2.3.3 ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่าย หรือ ระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Crack Detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) โดยประเภทความเสียหายต้องประกอบไปด้วยข้อมูลอย่างน้อยที่มีในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกโดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า

ข้อมูลสภาพผิวทางที่ได้จากการสำรวจโดยใช้อุปกรณ์ในข้อ 2.3.3 ซึ่งความเสียหายจะปรากฏบนผิวทาง และข้อมูลจะถูกบันทึกจากการที่รถวิ่งในความเร็วที่กำหนด ในรูปแบบภาพถ่ายต่อเนื่องของผิวทาง ที่มีความละเอียดโดยประมาณ 1040x1250 Pixels หรือ 2448x1510 Pixels โดยที่ปรึกษาจะทำการประเมินและวิเคราะห์ 2 วิธี ประกอบด้วย

- โปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่ายหรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Crack Detection)
- การตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) โดยประเภทความเสียหายที่เกิดขึ้นจากปัจจัยแวดล้อมในหลาย ๆ ด้าน เช่น ภัยธรรมชาติ การรับน้ำหนักของรถบรรทุกกระทำซ้ำมากเกินกว่าที่โครงสร้างชั้นทางนั้นจะรับได้ ทำให้เกิดความเสียหาย ซึ่งประกอบไปด้วย รอยแตก รอยปะ หลุมบ่อ รอยบิ่นของแผ่นคอนกรีต ผิวลาดยางหลุดล่อน เป็นต้น



รูปที่ 2-76 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์



รูปที่ 2-77 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 - 3 เมตร ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่ายที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประเมินความเสียหายของผิวทาง ร่วมกับระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Crack Detection) ซึ่งการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทางต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวลาดยาง**

จากการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2-19 ปรากฏบนถนนผิวลาดยาง ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก และประมวลผลด้วยอุปกรณ์การสำรวจ โดยสามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายโดยบุคลากรผู้ชำนาญการโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางสำหรับการประเมินที่สามารถส่งออกผลลัพธ์ค่าความเสียหายจากการประเมินสายทาง และค่าพิกัดตำแหน่งของภาพที่เกิดความเสียหายได้

ตารางที่ 2-19 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง

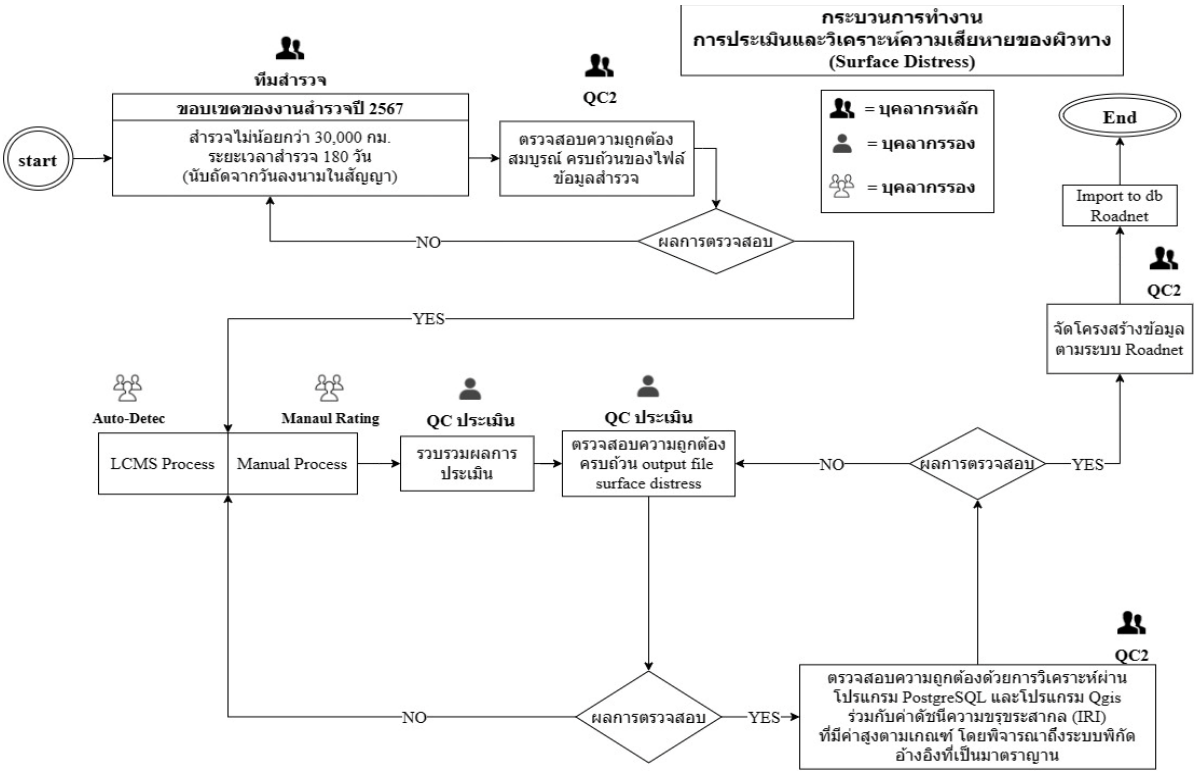
ผิวทางลาดยาง		
ลำดับที่	**ประเภทความเสียหาย**	**หน่วยการวัด**
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected Crack)	ตารางเมตร/กม.
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal Crack)	เมตร/กม.
3	การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)	ตารางเมตร/กม.
4	การหลุดล่อน (Raveling)	ตารางเมตร/กม.
5	หลุมบ่อ (Pot Holes)	ตารางเมตร/กม.
6	รอยปะซ่อม (Patching)	ตารางเมตร/กม.

- **การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวคอนกรีต**

ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวคอนกรีต ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกโดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยหน่วยการวัดความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตจะแตกต่างจากหน่วยการวัดความเสียหายของถนนผิวลาดยาง เช่น รอยแตกตามขวางของถนนผิวลาดยางจะมีหน่วยการวัดเป็นความยาว (เมตร) ส่วนรอยแตกตามขวางของถนนผิวคอนกรีตจะมีหน่วยการวัดเป็นจำนวนแผ่น/กิโลเมตร เป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตที่จะวิเคราะห์ตามเกณฑ์ แสดงดังตารางที่ 2-20

ตารางที่ 2-20 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

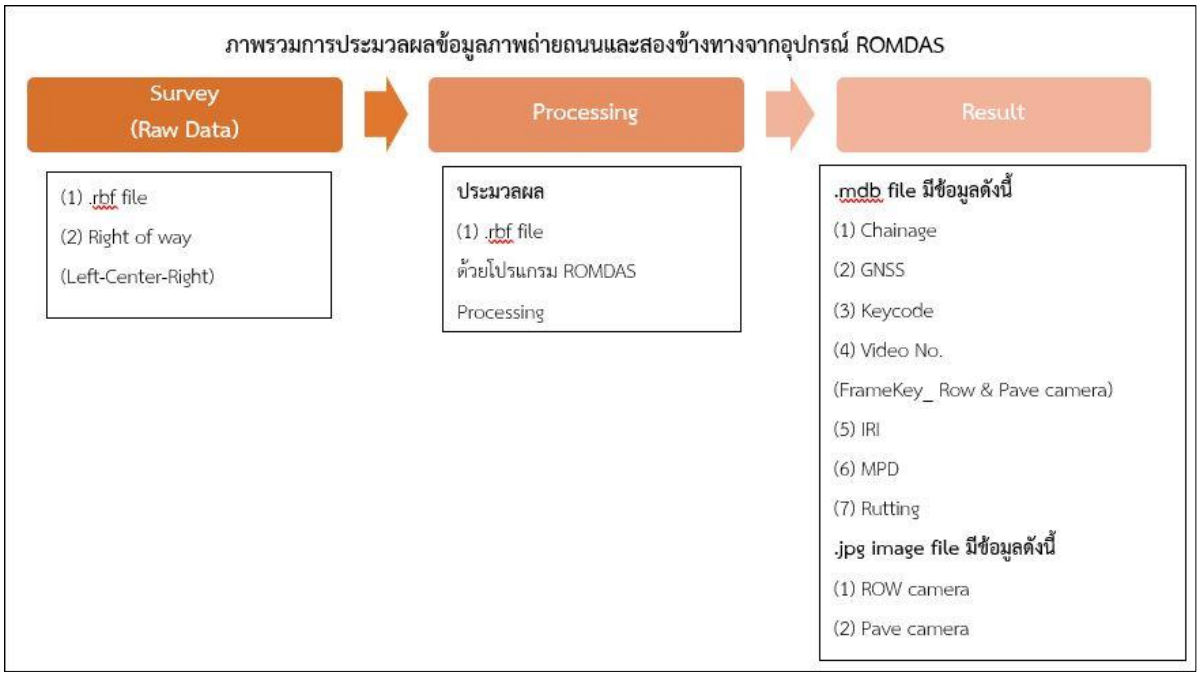
ผิวทางคอนกรีต		
ลำดับที่	**ประเภทความเสียหาย**	**หน่วยการวัด**
1	รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)	จำนวนแผ่น/กม.
2	รอยบิ่นกะเทาะที่รอยต่อ (Spalling)	ร้อยละของการบิ่นที่รอยต่อตามขวาง
3	รอยแตกตามยาว (Longitudinal Cracks)	จำนวนแผ่น/กม.
4	รอยแตกที่มุม (Corner Breaks)	จำนวน/กม.
5	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)	เสียหาย/ไม่เสียหาย
6	รอยปะซ่อม (Patching)	ตารางเมตร



รูปที่ 2-78 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง

2.4.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายสองข้างทางจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางที่มีความละเอียด 1600x1200 (2 ล้านพิกเซล) ในรูปแบบไฟล์ JPEG หรือดีกว่า

ข้อมูลภาพที่ได้จากการสำรวจสายทางจะถูกนำมาประมวลผลที่ความละเอียดไม่ต่ำกว่า 1600x1200 Pixel ในรูปแบบของไฟล์ JPEG หรือดีกว่า ซึ่งข้อมูลที่ได้จากกล้องบันทึกภาพภายในเขตทางจะประกอบด้วย ไหล่ทาง ป้ายจราจร หลักกิโลเมตร ราวกันอันตราย ไฟสัญญาณจราจร ไฟฟ้าส่องสว่าง อุปกรณ์อำนวยความปลอดภัยต่าง ๆ



รูปที่ 2-79 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS

ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลของระบบ LCMS จะถูกจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์รูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb ประกอบด้วยตารางของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- ตาราง GNSS หรือตาราง GPS_processed

1 CHAINAGE	2 SPEED	3 LATITUDE	LONGITUDE	4 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 CHAINAGE_S	CHAINAGE_END	EVENT	2 SWITCH_GR	EVENT_DESC	3 LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
287.3	5457.9	a	pevement	Asphalt	13.7638767688935	100.546524266681	3.182133
326.5	1660.8	5	Action	Lane3	13.7639932240338	100.546863311919	3.184616
397.6	397.6	1		Start record	13.7641354341058	100.547527678679	13.10108
399.3	399.3	s		Demarcation Sign	13.7641432363333	100.547538640167	12.647
1660.8	23949.3	4	Action	Lane2	13.7741000441882	100.55317917526	3.916896
4203.1	5797.8	8		Bridge Start	13.7950785590037	100.560931946617	3.572958
4205.5	6266.6	9		Bridge End	13.7951007458788	100.560932237559	3.628844
4377.6	4377.6	0		KM	13.7966422603197	100.560793939145	3.117926
5457.9	5783.9	c	pevement	Concrete	13.8063519285926	100.559811817281	3.364444
5783.9	11548	a	pevement	Asphalt	13.8092681415963	100.559429633147	3.58764

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

- ตาราง Video

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

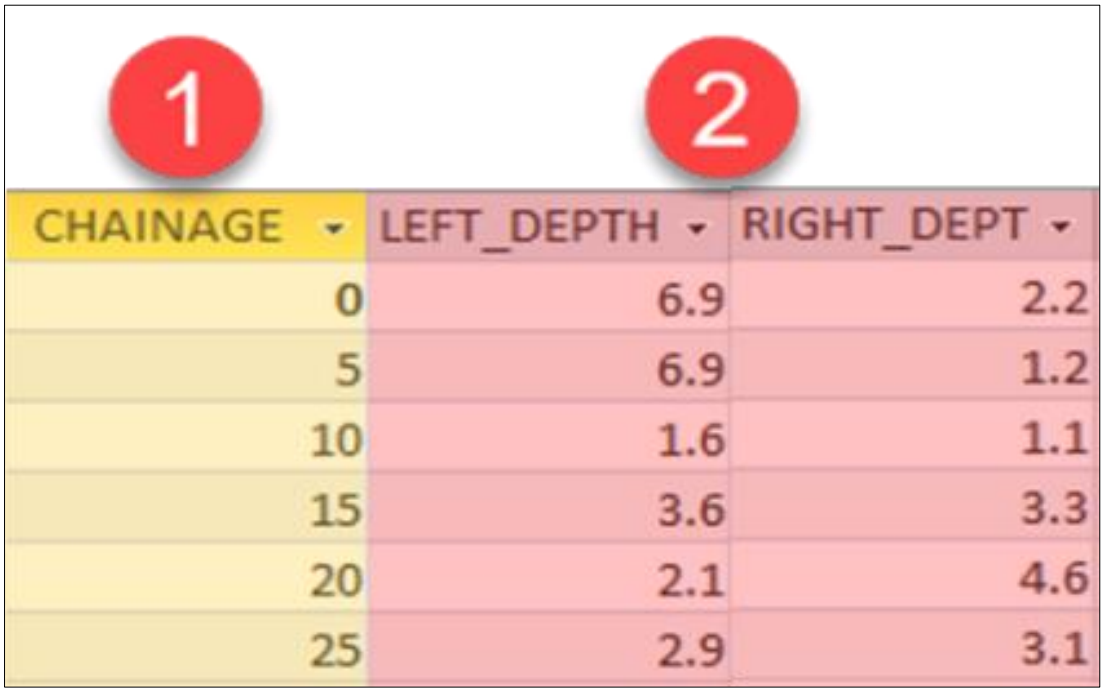
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	FRAME	รูปถ่ายเขตทาง
3	x (deg) y (deg) z (m)	พิกัด Latitude พิกัด Longitude ระดับความสูง

- ตาราง Roughness (IRI)

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

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

- ตาราง Rutting



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

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

- ตาราง Mean Profile Depth (MPD)

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

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

- ตาราง Cracks

1 CHAINAGE	2 LENGTH	3 AREA	4 CLASSIFICAT	5 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

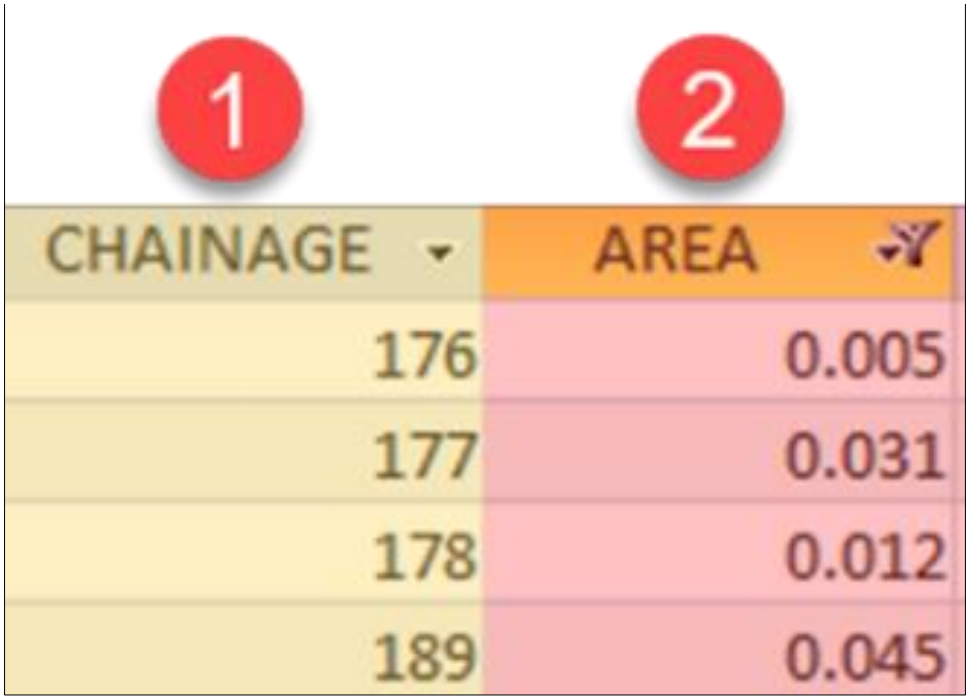
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	AREA (sq.m)	พื้นที่รอยแตก

- ตาราง Pothole

1 CHAINAGE	2 AREA	3 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) BAND_4 (mm)	ค่าความลึกผิวเฉลี่ยซ้าย ค่าความลึกผิวเฉลี่ยขวา

- ตาราง Ravelling



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

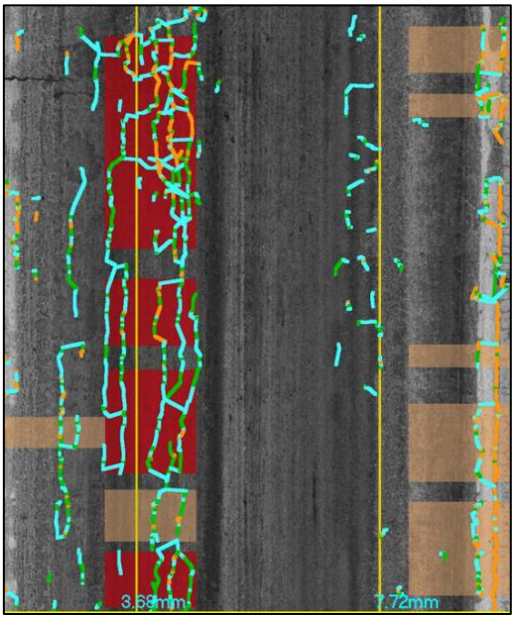
- ตาราง Geometry

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

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	GRADIENT	ค่าความลาดชัน (Percent Grade Slope)
3	HORIZONTAL_CURVATURE	รัศมีทางโค้ง (Radius)
4	CROSS_SLOPE	ค่าความลาดเอียง (Percent Crown Slope)

- Pavement Photo (ภาพพื้นผิวถนน)

Asphalt Pavement

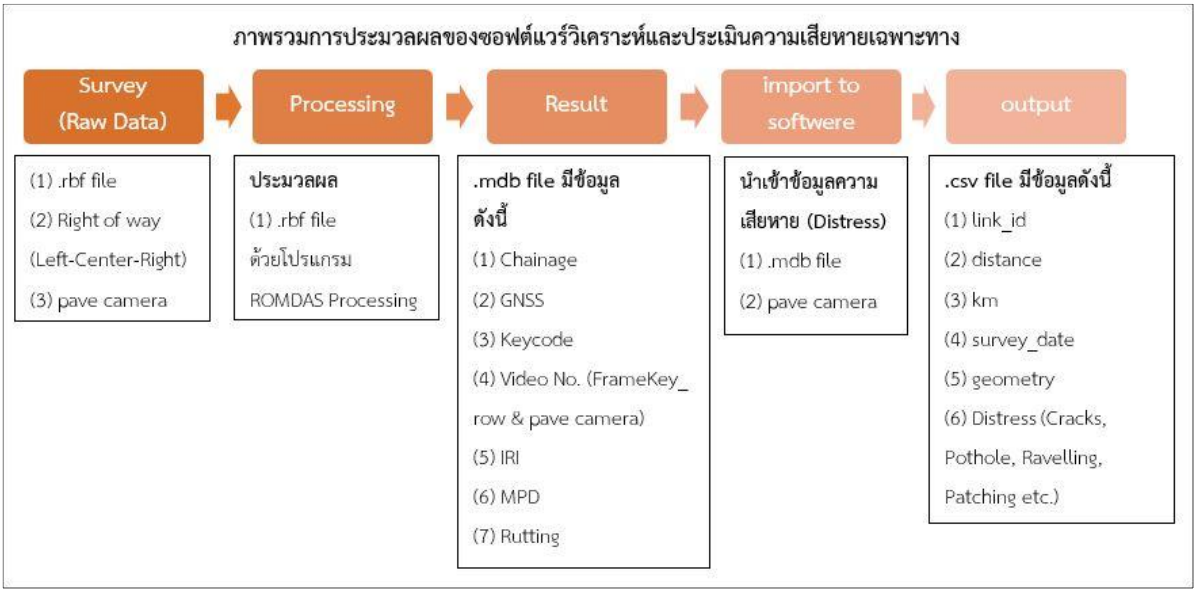


Asphalt Pavement with Distress

รูปที่ 2-80 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090x10000 Pixels

1) การประมวลผลความเสียหายของผิวทางโดยการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating)

ด้วยโปรแกรมการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายผิวทาง ในการตรวจสอบภาพถ่ายผิวถนน เพื่อระบุประเภทความเสียหายที่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์อ้างอิง



รูปที่ 2-81 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

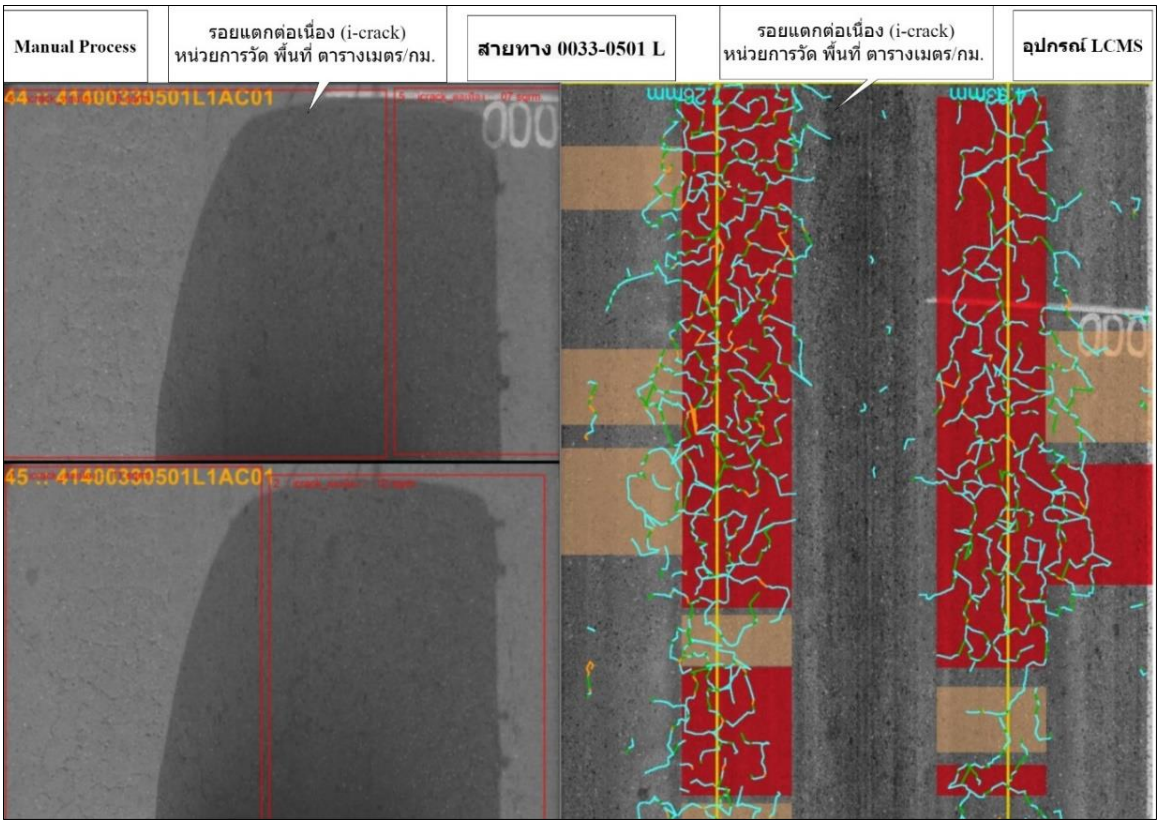
จากการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายทั้งจากระบบ Auto Crack Detection ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง สามารถนำมาแปลผลค่าความความเสียหายแสดงดังตารางที่ 2-21

ตารางที่ 2-21 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปกรณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

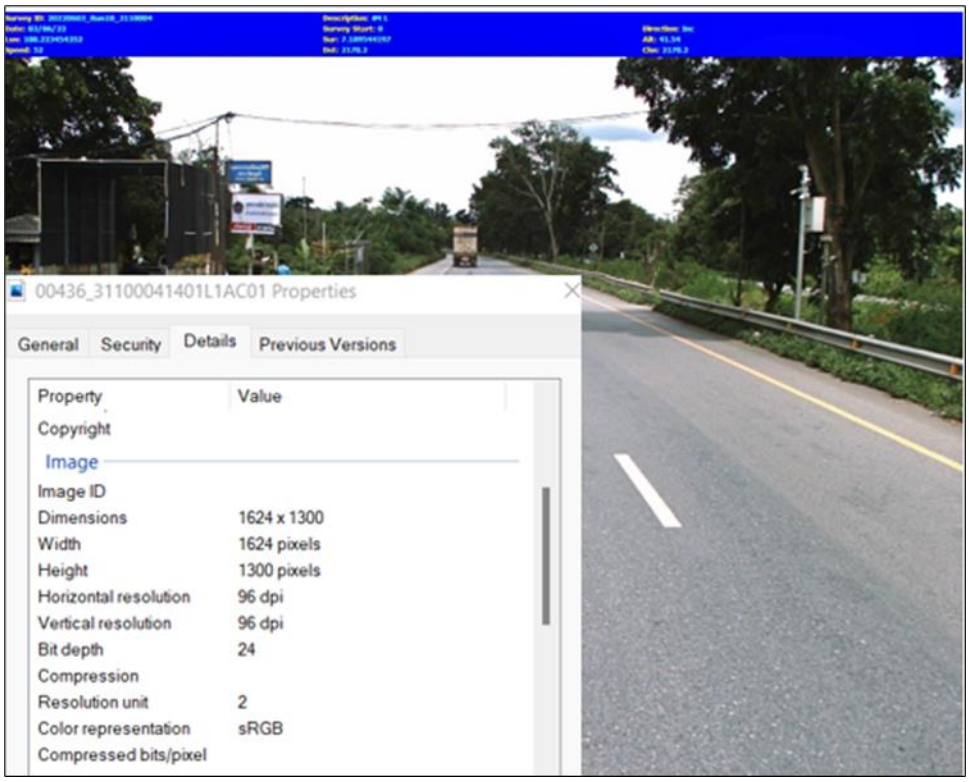
Roadnet	Types	Manual Rating	Auto Crack Detection	Unit
		Method		
ลาดยาง (Asphalt Pavement)				
รอยแตกต่อเนื่อง (รอยแตกหนังจระเข้)	Alligator/Multiple	Manual	Auto	ตร.ม
รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (รอยแตกตามยาว)	Transverse/Longitudinal	Manual	Auto	ม.
การหลุดล่อน	Raveling	Manual	Auto	ตร.ม
การเยิ้ม	Bleeding	Manual	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

2) การเปรียบเทียบข้อมูลการประมวลผลที่ได้จากการประเมินความเสียหายของผิวทาง

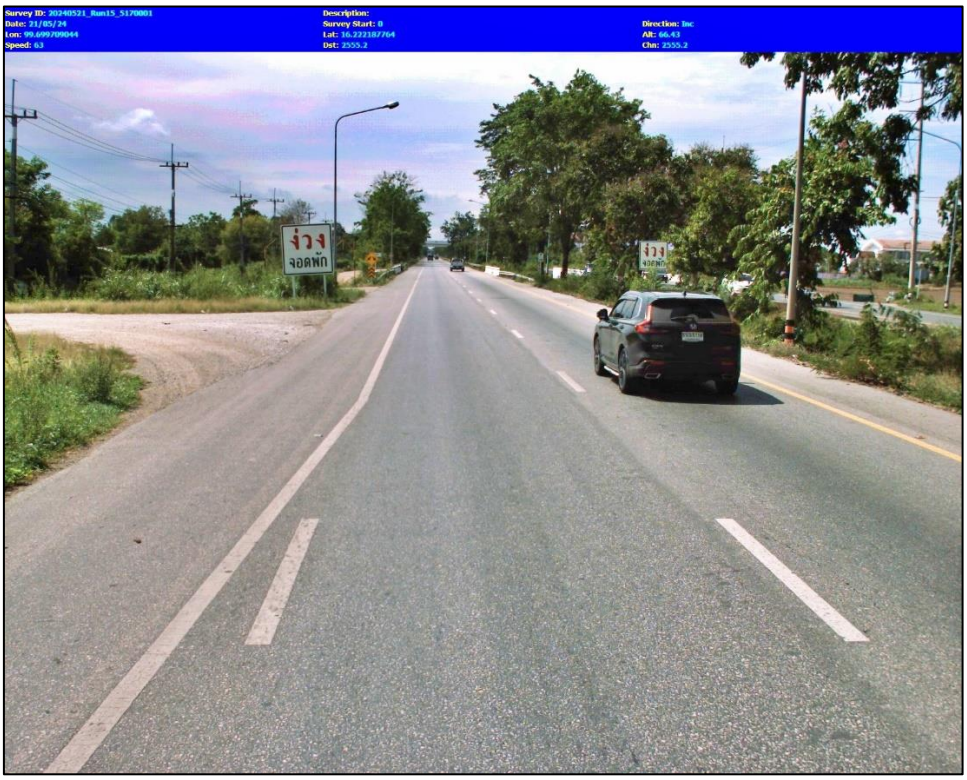
ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ LCMS Process ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลที่ได้มีการประมวลผลประเภทความเสียหายที่ใกล้เคียงกันของทั้ง 2 วิธีการ โดยผลการประเมินผิวทางที่มองเห็นด้วยสายตา และ Auto Detect สรุปเป็นความเสียหายประเภทรอยแตกต่อเนื่องของผิวทางลาดยาง โดยมีหน่วยวัดเป็นพื้นที่ ตารางเมตร/กิโลเมตร



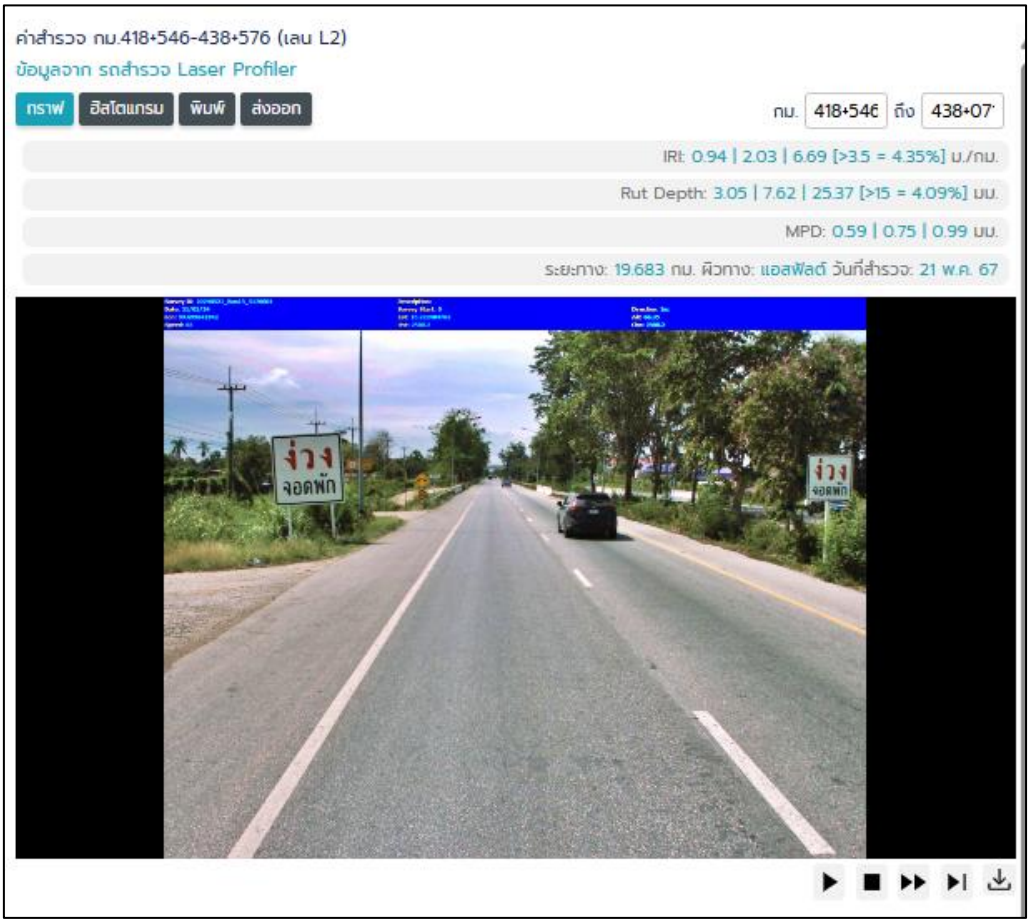
รูปที่ 2-82 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ LCMS Process



รูปที่ 2-83 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง



รูปที่ 2-84 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่
ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้างบนระบบ Roadnet3



รูปที่ 2-85 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่อง
ที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว พร้อมบ่งชี้ช่วง กม. บนระบบ Roadnet3 ได้

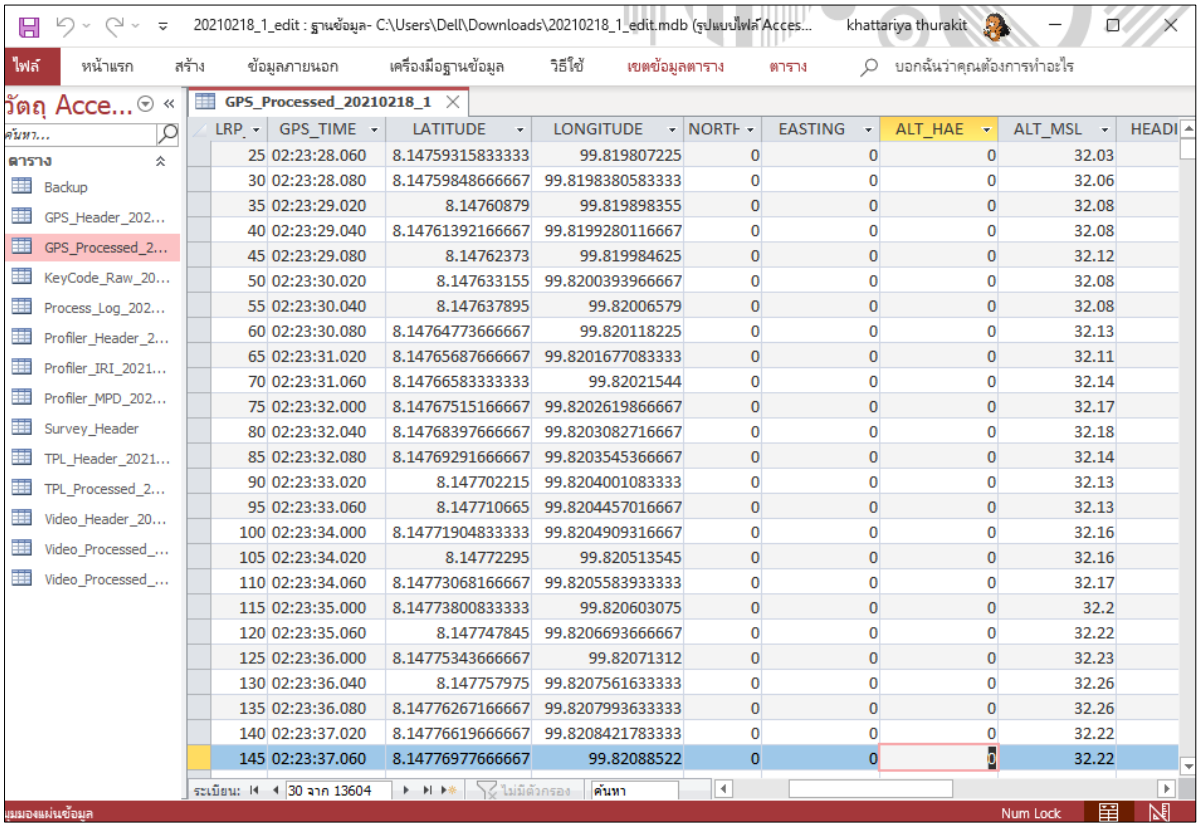
2.4.3 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม เช่น ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) พื้นหลักฐานอ้างอิง (WGS84) หากมีหรือระบบพิกัดอื่นๆ นอกเหนือจากที่กล่าวมาขั้นต้น โดยสามารถระบุตำแหน่งข้อมูลการสำรวจแบบสัมพัทธ์ (Relative location) หรือแบบหลักกิโลเมตรตามระบบทะเบียนทางหลวงปัจจุบันที่ใช้อ้างอิงขณะที่ทำการสำรวจ โดยที่ปรึกษาจะต้องประมวลผลชุดข้อมูล ดังนี้

1) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting)
2) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI)
3) ข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD)
4) ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

ในปัจจุบันการสำรวจข้อมูลภาคสนามมีบทบาทสำคัญต่อการวิเคราะห์และตัดสินใจในหลายมิติ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมักถูกเก็บในรูปแบบกระดาษหรือไฟล์ Excel ซึ่งสร้างปัญหาในการจัดการ ค้นหา และวิเคราะห์ข้อมูล ที่ปรึกษาจึงได้นำเสนอระบบฐานข้อมูล Access บนรถสำรวจ ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ระบบนี้ช่วยให้การจัดการข้อมูลมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และสะดวกยิ่งขึ้น

ทางที่ปรึกษาได้ทำการศึกษากระบวนการส่งออกข้อมูลผ่านอุปกรณ์บนรถสำรวจ และพัฒนาทั้งตัวอุปกรณ์และวิธีการจัดเก็บข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระบบฐานข้อมูล Access ถูกเลือกใช้สำหรับจัดการข้อมูลในระบบนี้ ด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

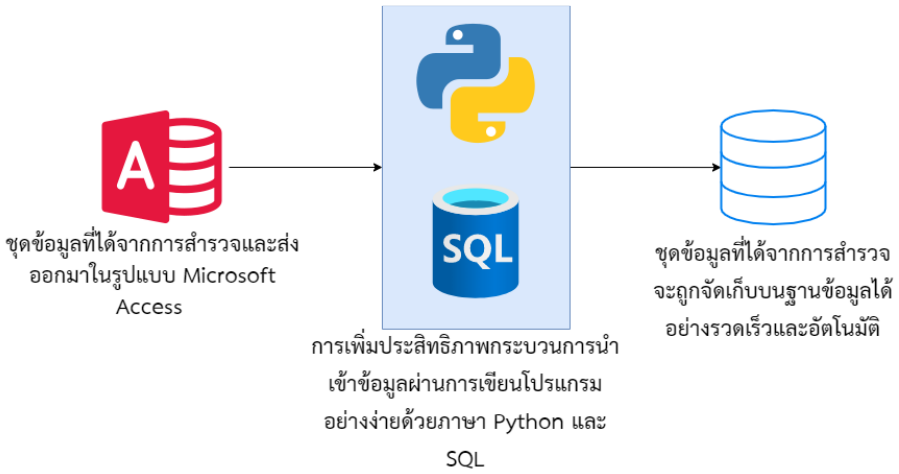
- **ใช้งานง่าย :** ผู้ใช้สามารถเรียนรู้และใช้งานโปรแกรม Access ได้อย่างง่ายดาย โดยไม่ต้องมีความรู้ด้านเทคนิคมากนัก
- **มีประสิทธิภาพ :** โปรแกรม Access มีความเร็วในการค้นหาและประมวลผลข้อมูลสูง
- **รองรับการใช้งานหลากหลาย :** โปรแกรม Access รองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการ Windows และ Mac
- **การจัดการข้อมูลมีประสิทธิภาพ :** ผู้ใช้สามารถค้นหา วิเคราะห์ และจัดการข้อมูลได้อย่างสะดวกรวดเร็ว
- **ข้อมูลมีความถูกต้อง :** โครงสร้างข้อมูลแบบสัมพันธ์ช่วยลดความผิดพลาดในการจัดเก็บข้อมูล
- **การรายงานผลมีประสิทธิภาพ :** โปรแกรม Access รองรับการสร้างรายงานในรูปแบบต่าง ๆ
- **ใช้งานกับระบบข้อมูลแบบสัมพันธ์ (Relational Database)** ซึ่งเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางข้อมูล (Table) แต่ละตารางจะประกอบด้วยฟิลด์ (Field) หรือหัวรายการข้อมูล และเรคคอร์ด (Record) หรือชุดข้อมูลของแต่ละหน่วยเก็บข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้
  - **บิต (Bit) :** ข้อมูลขนาดเล็กที่สุด เป็นข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและนำไปใช้งานได้ ซึ่งได้แก่ เลข 0 หรือ เลข 1 เท่านั้น
  - **ไบต์ (Byte) :** 8 บิต เท่ากับ 1 ตัวอักษร
  - **ฟิลด์ (Field) :** หัวรายการข้อมูล
  - **เรคคอร์ด (Record) :** ฟิลด์ตั้งแต่ 1 ฟิลด์ขึ้นไป
  - **ไฟล์ (Files) :** ฐานข้อมูล Access ประกอบด้วย Table, Form, Report, Query, Macro และ Module



รูปที่ 2-86 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 ซึ่งข้อดีของกระบวนการดังกล่าวนั้นสามารถยกระดับการนำเข้าข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและอัตโนมัติ เพื่อลดเวลาการนำเข้าและใช้เวลากับการตรวจสอบข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

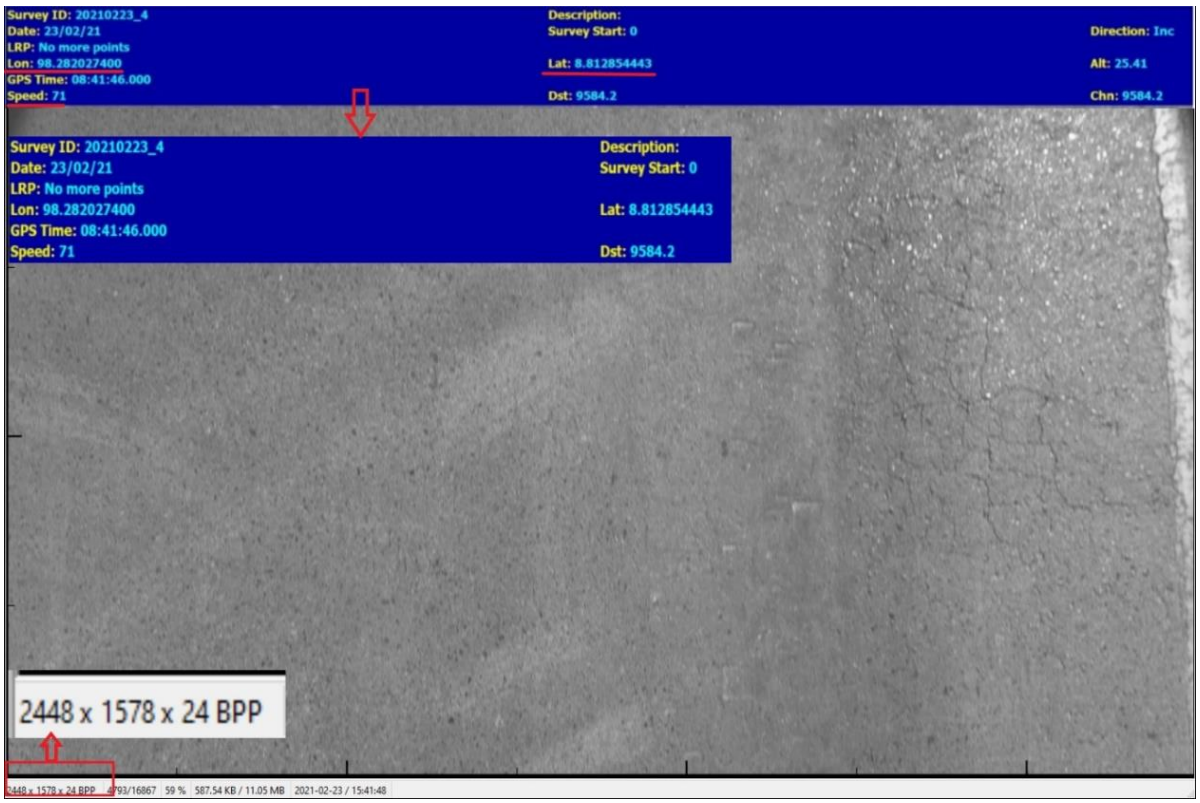


รูปที่ 2-87 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล
ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

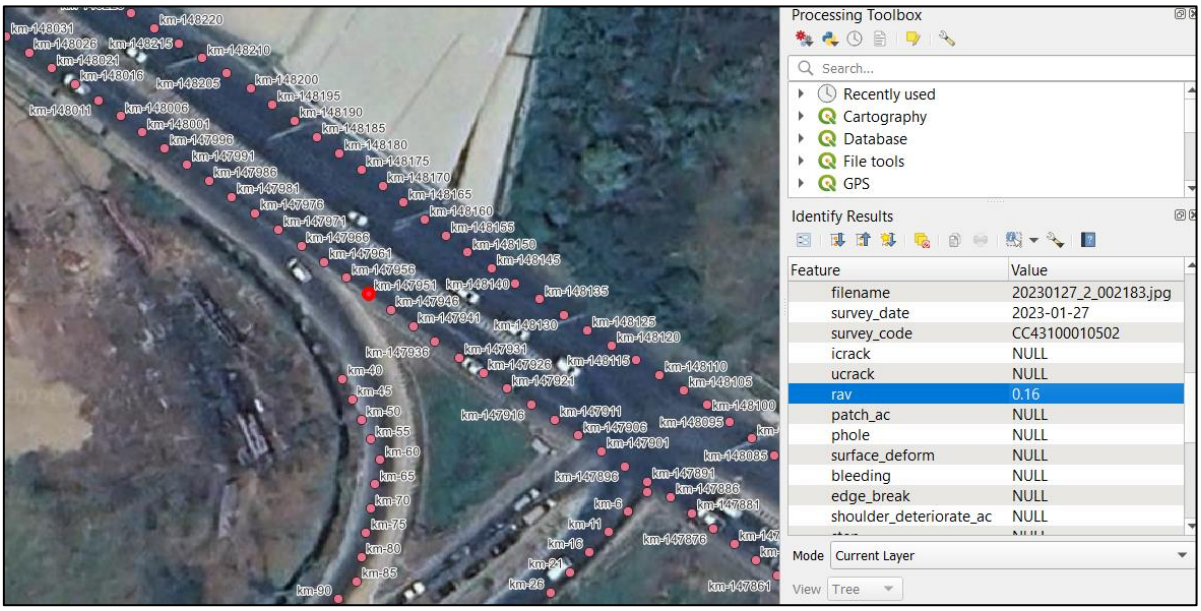
รูปที่ 2-88 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม

ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่ (GIS)

หลักเกณฑ์การตรวจสอบความเสียหายสภาพทาง โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงของข้อมูลประเมิน Distress จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง ร่วมกับการประมวลผลด้วยระบบ LCMS และค่าเฉลี่ยข้อมูลความเสียหายประเภทค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) และค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์บ่งชี้ว่าเกิดความเสียหาย ณ ตำแหน่งใดบนสายทางที่สำรวจ



รูปที่ 2-89 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ



รูปที่ 2-90 แสดงพิกัดค่าความเสียหายที่สัมพันธ์กับสายทางสำรวจ

รูปที่ 2-91 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS)
ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน

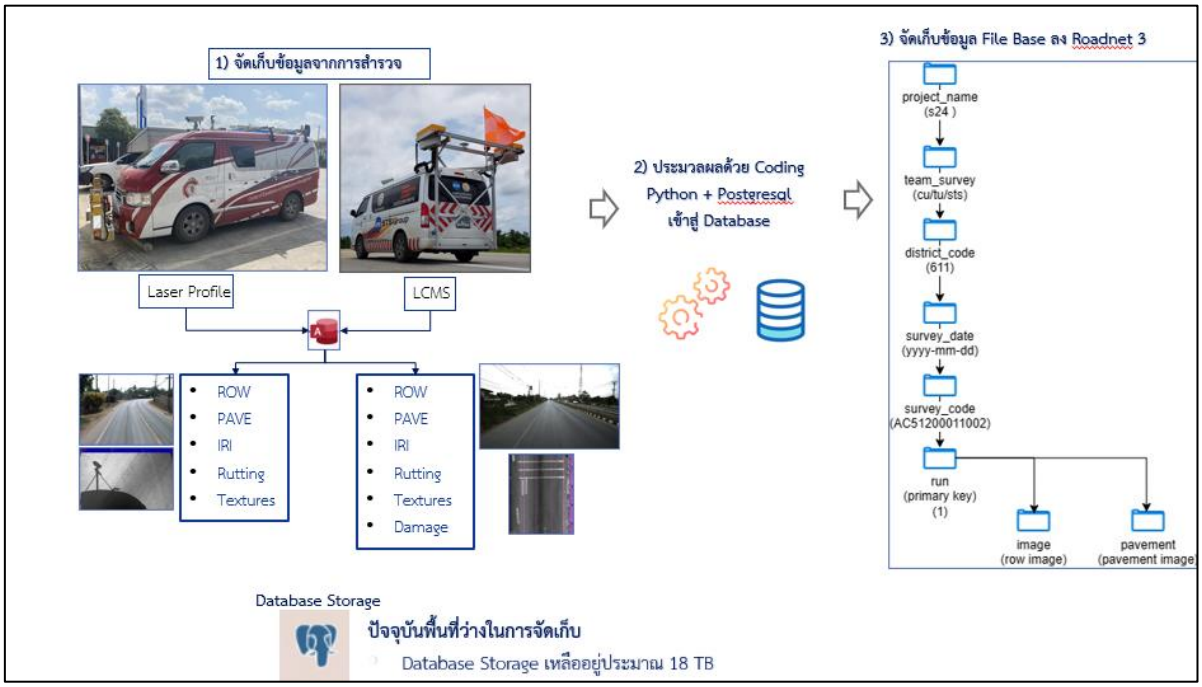
จากรูปที่ 2-91 การวิเคราะห์สภาพทางในรูปแบบแผนที่ GIS โดยใช้ข้อมูลความเสียหายของผิวทางจากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายผิวทางเฉพาะทางจากภาพถ่ายหรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

- **ข้อมูลที่แสดงบนแผนที่**
  - จุดที่เกิดความเสียหายสภาพทางที่เกิดการหลุดล่อน (Raveling) ของผิวถนนลาดยาง : แสดงเป็นจุดสีบนแผนที่ หน่วยวัดเป็นตารางเมตร
  - ค่าเฉลี่ยดัชนีความขรุขระสากล (IRI) : แสดงเป็นค่าตัวเลขบนแผนที่
- **การวิเคราะห์**
  - จุดที่เกิดความเสียหายจะสัมพันธ์กับข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่มีค่าสูงตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนด
- **ข้อดีของการใช้ GIS**
  - แสดงภาพรวมของสภาพทางในพื้นที่
  - ระบุจุดที่เกิดปัญหาได้ชัดเจน
  - วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจุดที่เกิดปัญหาและค่า IRI
  - ช่วยให้ตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมแซมได้อย่างเหมาะสม

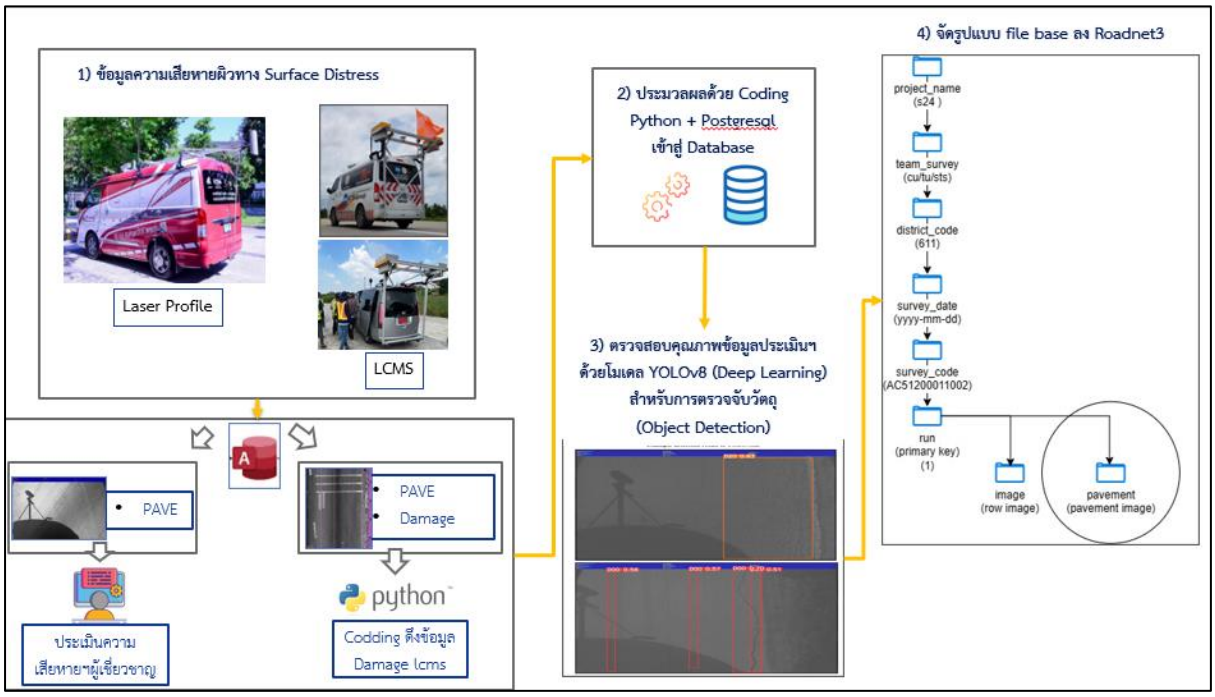
จากแผนที่ GIS เราสามารถวิเคราะห์ได้ว่าถนนสายใดที่มีจุดเกิดปัญหา Raveling มากที่สุด ถนนสายใดที่มีค่า IRI สูง ถนนสายใดที่มีทั้งจุดเกิดปัญหา Raveling และค่า IRI สูง

2.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet

ระบบฐานข้อมูล Roadnet เป็นระบบที่ใช้จัดเก็บข้อมูลสำรวจสภาพทางหลวง เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์ และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS ข้อมูลสำรวจสภาพทางหลวงที่นำมาใช้ในระบบ Roadnet นั้น จะต้องมีรูปแบบโครงสร้างข้อมูลตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยที่ปรึกษาได้นำเสนอขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทาง ซึ่งมีระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 30,000 กิโลเมตร ลงสู่ระบบฐานข้อมูล Roadnet โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดเก็บข้อมูลสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard Disk) และนำไปเก็บในอุปกรณ์จัดเก็บและสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) ที่ติดตั้งอยู่ ณ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง



รูปที่ 2-92 แสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลจากรถสำรวจเข้าสู่ฐานข้อมูล Roadnet3



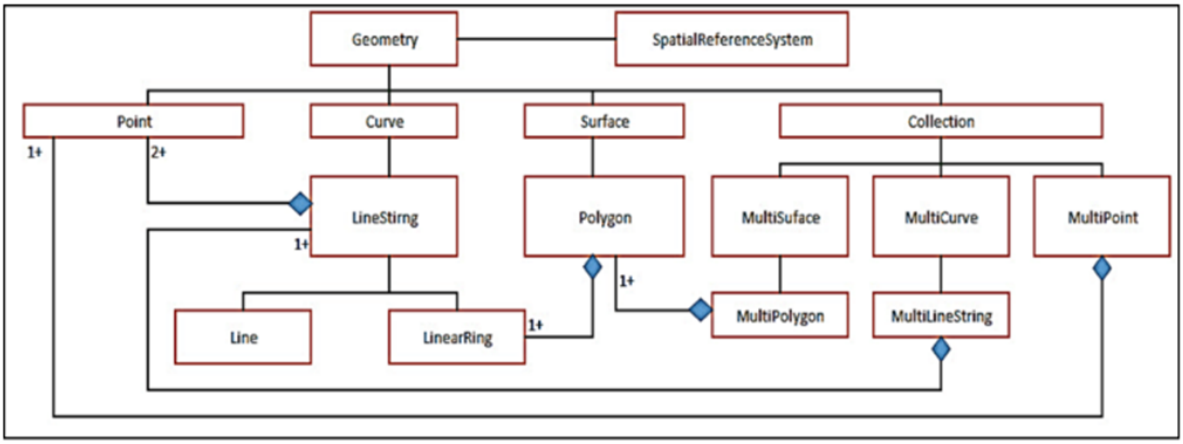
รูปที่ 2-93 แสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลความเสียหายผิวทาง จากรถสำรวจเข้าสู่ฐานข้อมูล Roadnet3

2.5.1 ดำเนินการตรวจสอบ ปรับปรุงและทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามข้อ 2.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet ให้ถูกต้อง และสามารถแสดงผลในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างถูกต้อง

ระบบฐานข้อมูลสำหรับระบบสำรวจผิวทางมีบทบาทสำคัญในการจัดเก็บ วิเคราะห์และใช้งานข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ การออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ ที่ปรึกษาได้นำเสนอแนวทางการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลสำหรับระบบสำรวจผิวทาง โดยมุ่งเน้นไปที่หลักการสำคัญดังต่อไปนี้

- **ความสัมพันธ์ของข้อมูล :** โครงสร้างฐานข้อมูลจะต้องรองรับความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจผิวทาง รวมไปถึงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพิ่มเติม
- **การแยกข้อมูล :** ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผิวทางจะถูกแยกออกจากข้อมูลสายทางเพื่อป้องกันผลกระทบต่อข้อมูลในอนาคต
- **ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ :** โครงสร้างฐานข้อมูลจะใช้ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการเชื่อมโยงระหว่างกลุ่มข้อมูล ช่วยให้ผู้ใช้สามารถสืบค้นและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- **การอ้างอิงตำแหน่ง :** ข้อมูลเชิงพื้นที่ในฐานข้อมูลจะมีการอ้างอิงตำแหน่งแบบพิกัดสมบูรณ์และรองรับการแปลงค่าพิกัดเพื่อรองรับเทคนิค Linear Referencing

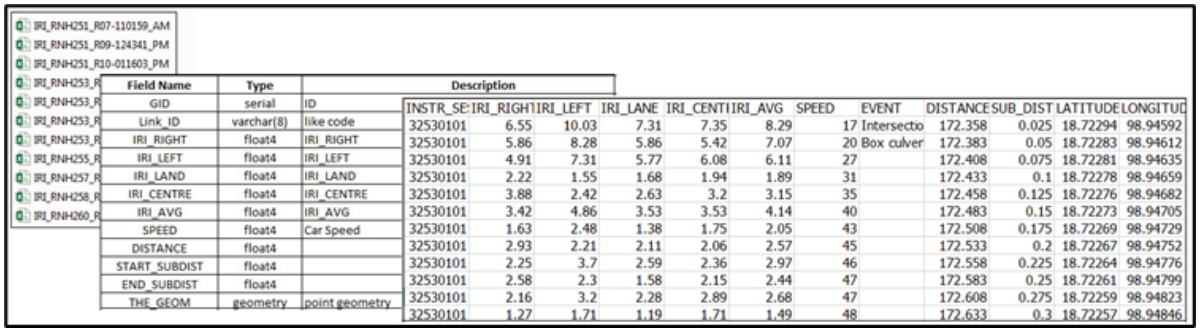
ที่ปรึกษาได้รวบรวมข้อมูลสภาพผิวทางของแต่ละพื้นที่ทั่วประเทศเข้าไว้ด้วยกันภายใต้มาตรฐานโครงสร้างฐานข้อมูลเดียวกันโดยการจัดทำรูปแบบโครงสร้างข้อมูลลักษณะสภาพผิวทางข้อมูลสายทางในแบบจำลองของโครงข่ายสายทาง (Road Network Model) ให้เป็นไปตาม Open Geospatial Consortium (OGC) ซึ่งมาตรฐาน OGC เป็นแนวทางในการออกแบบโครงสร้างข้อมูลปริภูมิช่วยให้ระบบต่าง ๆ สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้ และมาตรฐานนานาชาติ International Standard Organization (ISO) ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลปริภูมิ เพื่อให้ข้อมูลในแต่ละพื้นที่มีความพร้อมต่อการนำเข้าระบบฐานข้อมูลกลาง



รูปที่ 2-94 แสดงแบบจำลองโครงสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ตามมาตรฐาน ISO/OGC

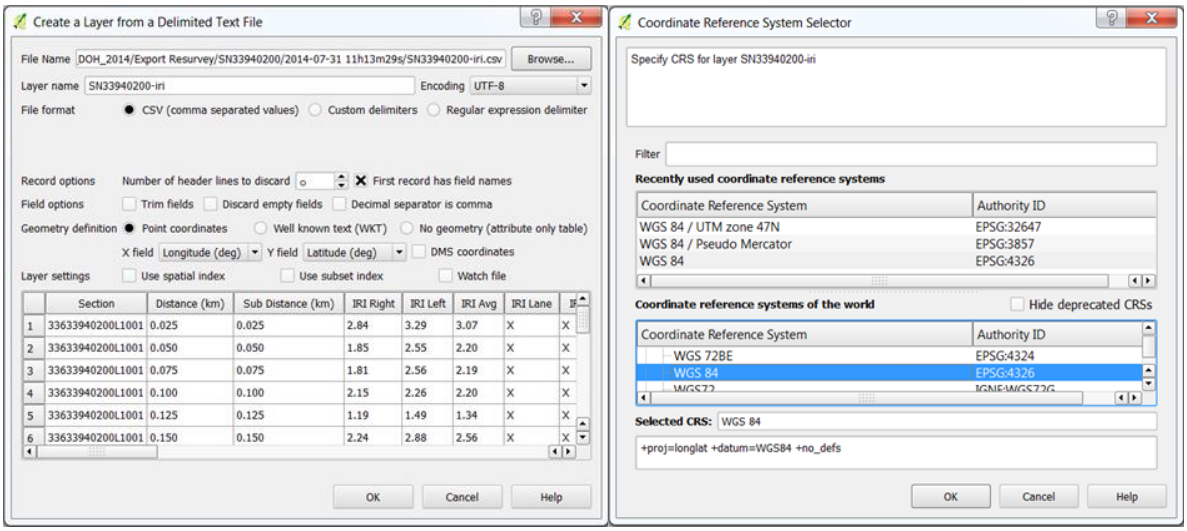
1) การกำหนดโครงสร้างตารางโดยวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจสภาพผิวทางเพื่อระบุประเภทของข้อมูล กำหนดชื่อตารางและชื่อคอลัมน์ให้สอดคล้องกับความหมายของข้อมูล กำหนดชนิดข้อมูลของคอลัมน์ เช่น ตัวเลข ตัวอักษร วันที่ เวลากำหนดคีย์หลัก (Primary Key) สำหรับระบุข้อมูลแต่ละ Record ซ้ำ และกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตาราง (Foreign Key)
2) การแปลงรูปแบบข้อมูลสำรวจ โดยแปลงรูปแบบข้อมูลให้สอดคล้องกับโครงสร้างตารางที่กำหนด ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เช่น รูปแบบ ช่วงค่าความสมเหตุสมผลและแปลงค่าพิกัดให้เป็นรูปแบบที่ระบบฐานข้อมูลรองรับ ซึ่งที่ปรึกษาใช้วิธีทำการแก้ไขข้อมูลตารางโดยคัดลอก *.csv file ทั้งหมดจากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Automatic HKE โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ IRI, Rutting และ MPD
    - IRI (*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดโดยการ Transform จาก Point to Line และทำการลบ (Delete) ข้อมูลที่ผิดปกติ เช่น LEADIN, LEADOUT, ค่าพิกัด Latitude, Longitude ที่มีค่าเป็น 0 และข้อมูล EVENT บริเวณสะพาน เป็นต้น

- Rutting (*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด โดยการ Edit Field Name ตามโครงสร้างที่กำหนด
- Texture-MPD (*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดโดยการ Edit Field Name ตามโครงสร้างที่กำหนด



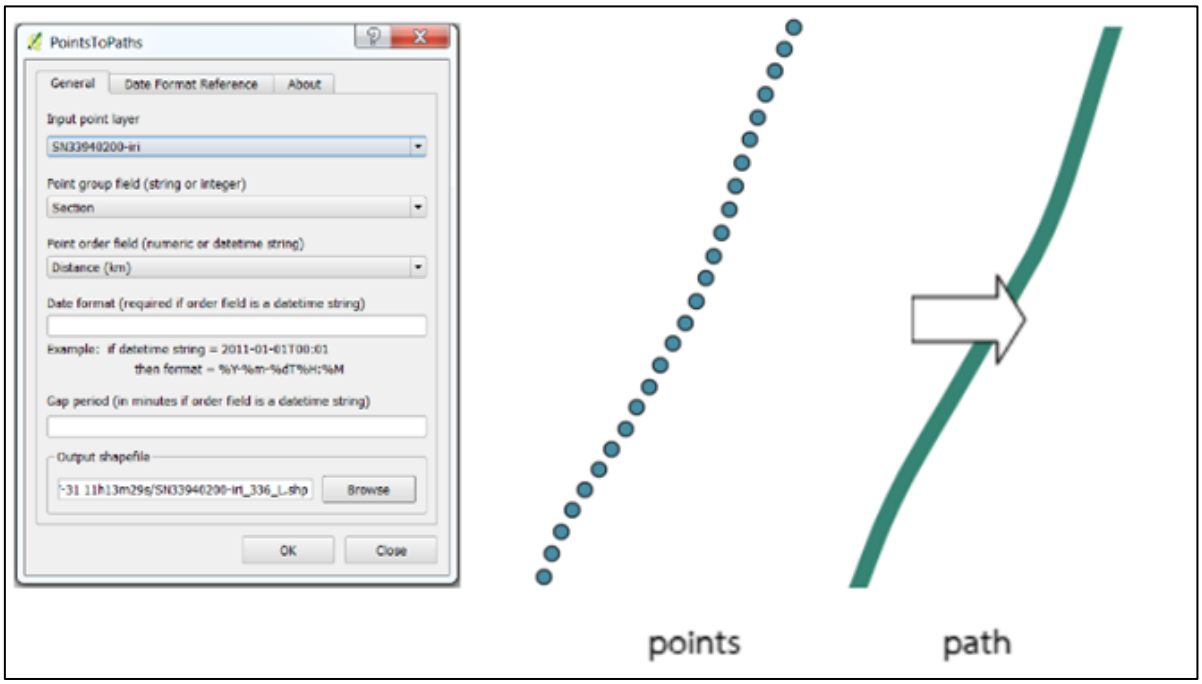
รูปที่ 2-95 การเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมก่อนแปลงให้อยู่ในรูปแบบของข้อมูลภูมิสารสนเทศ

- ทำการ Convert (*.csv file) to Shape File (point) ในข้อมูล IRI, Rutting และ MPD โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop และกำหนด Map Project File



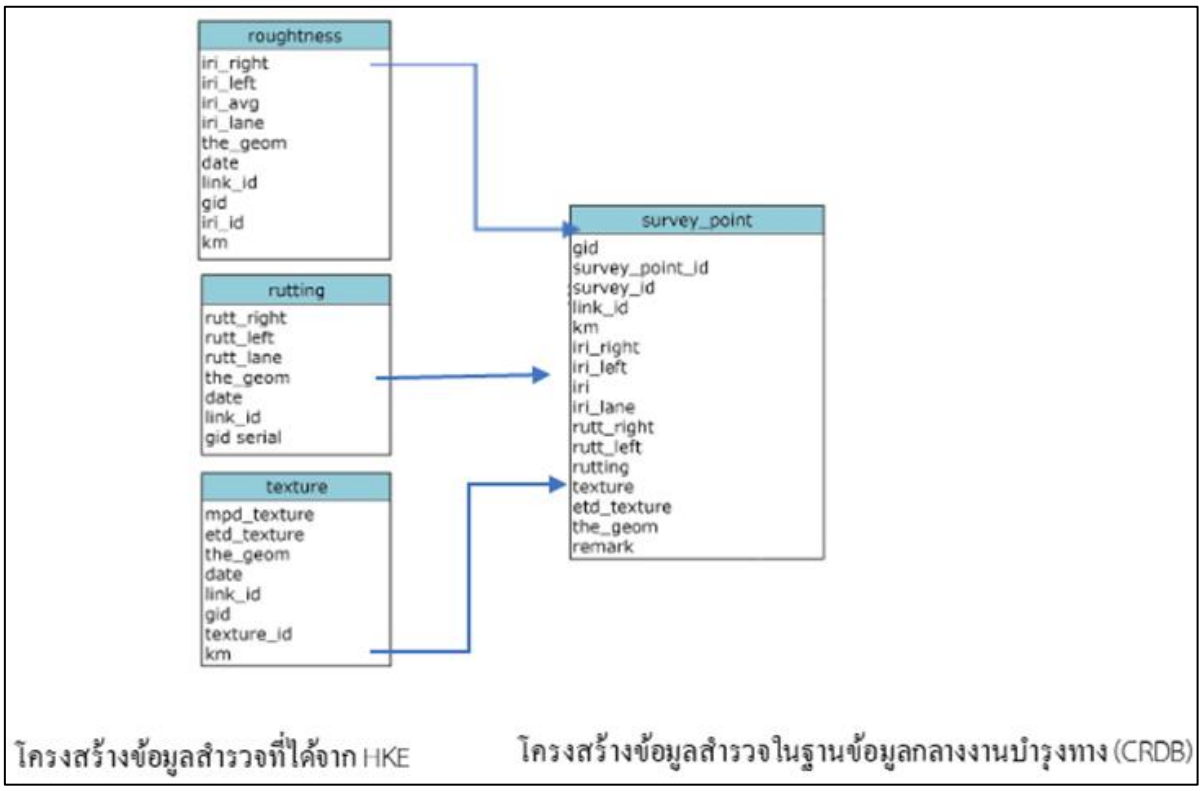
รูปที่ 2-96 การ Convert (*.csv file) to Shapefile (Point)

3) ตรวจสอบจำนวน Record ของข้อมูล IRI Rutting Texture-MPD หลังจากการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของสารสนเทศภูมิศาสตร์แล้ว ทำการ Convert Points to Paths เฉพาะข้อมูล IRI โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop ที่ได้จะเป็น Feature ของบัญชีสายทางหรือแนวสายทางที่สำรวจ

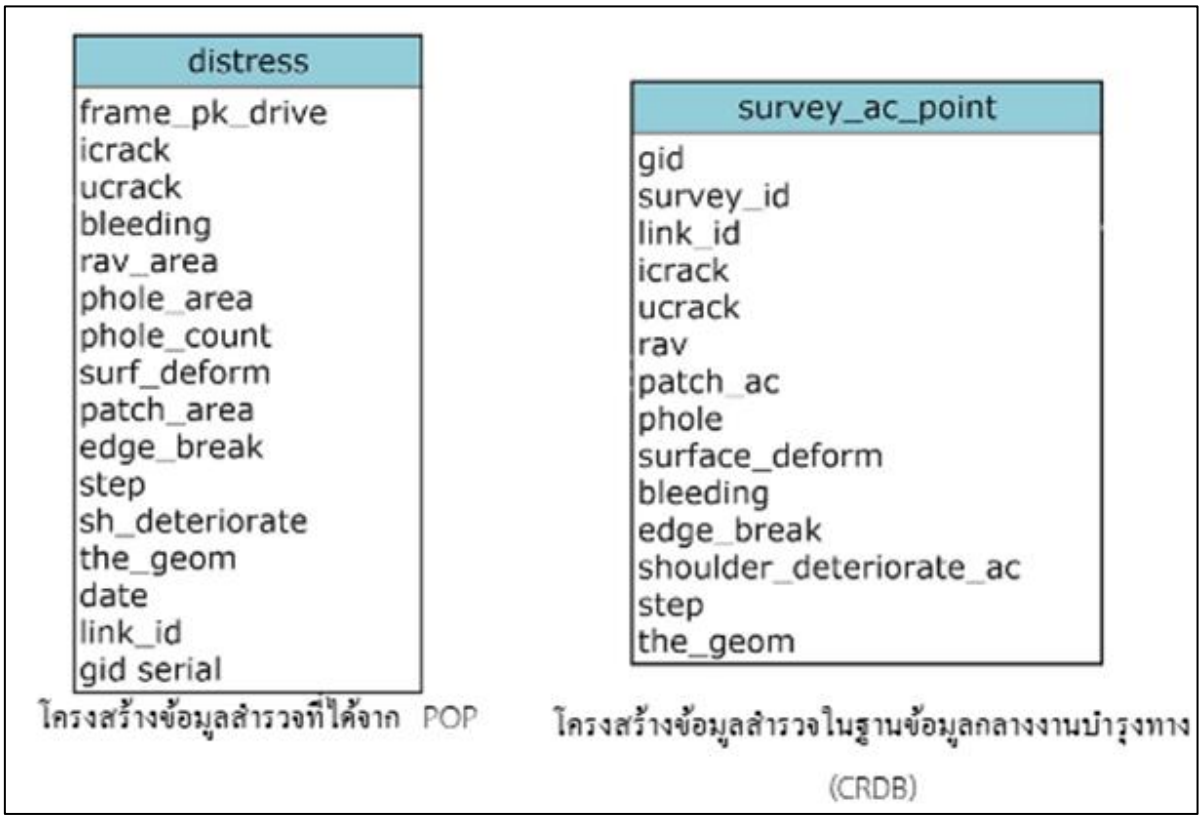


รูปที่ 2-97 การ Convert Points to Paths

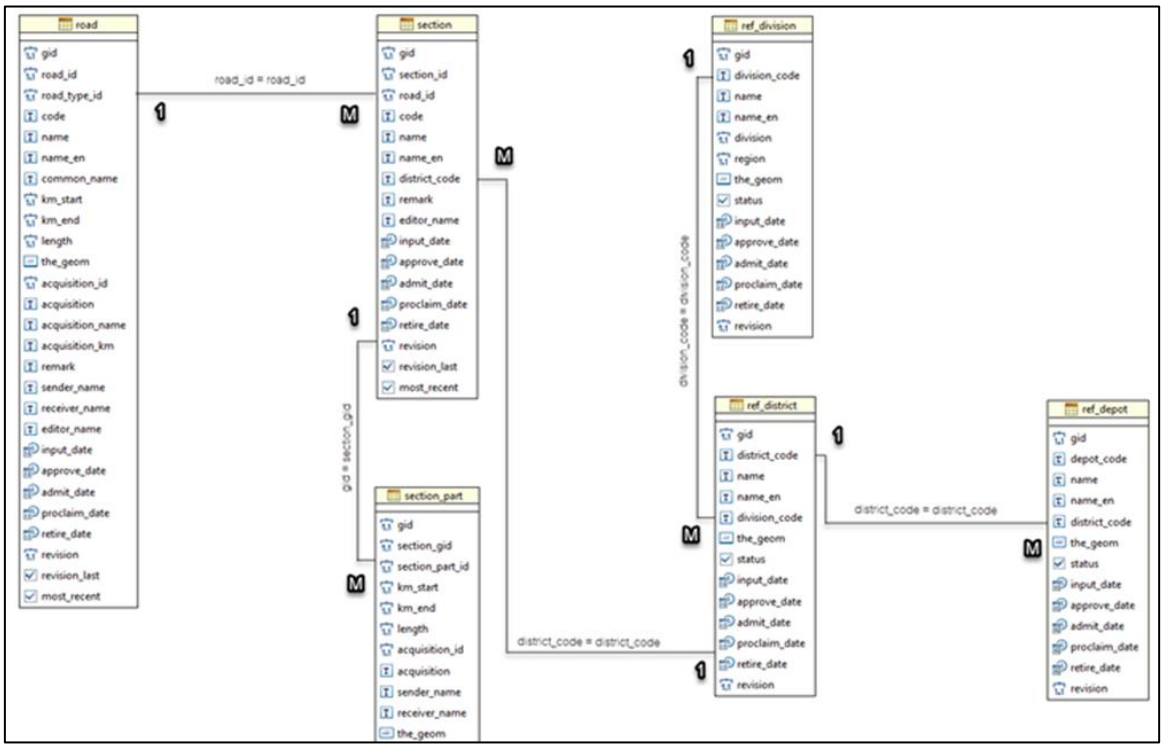
4) การนำเข้าข้อมูล โดยนำเข้าข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลโดยใช้ PostgreSQL หรือเครื่องมือจัดการฐานข้อมูลอื่น ๆ ที่เหมาะสม โดยที่ปรึกษาใช้วิธีการนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทางที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Accuracy Data) และความถูกต้องของข้อมูลอรรถาธิบาย (Attribute Data) เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับโครงสร้างข้อมูลให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจสภาพทางในฐานข้อมูล Roadnet เพื่อให้สามารถสืบค้นและแสดงผลข้อมูลผ่านโปรแกรมสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้



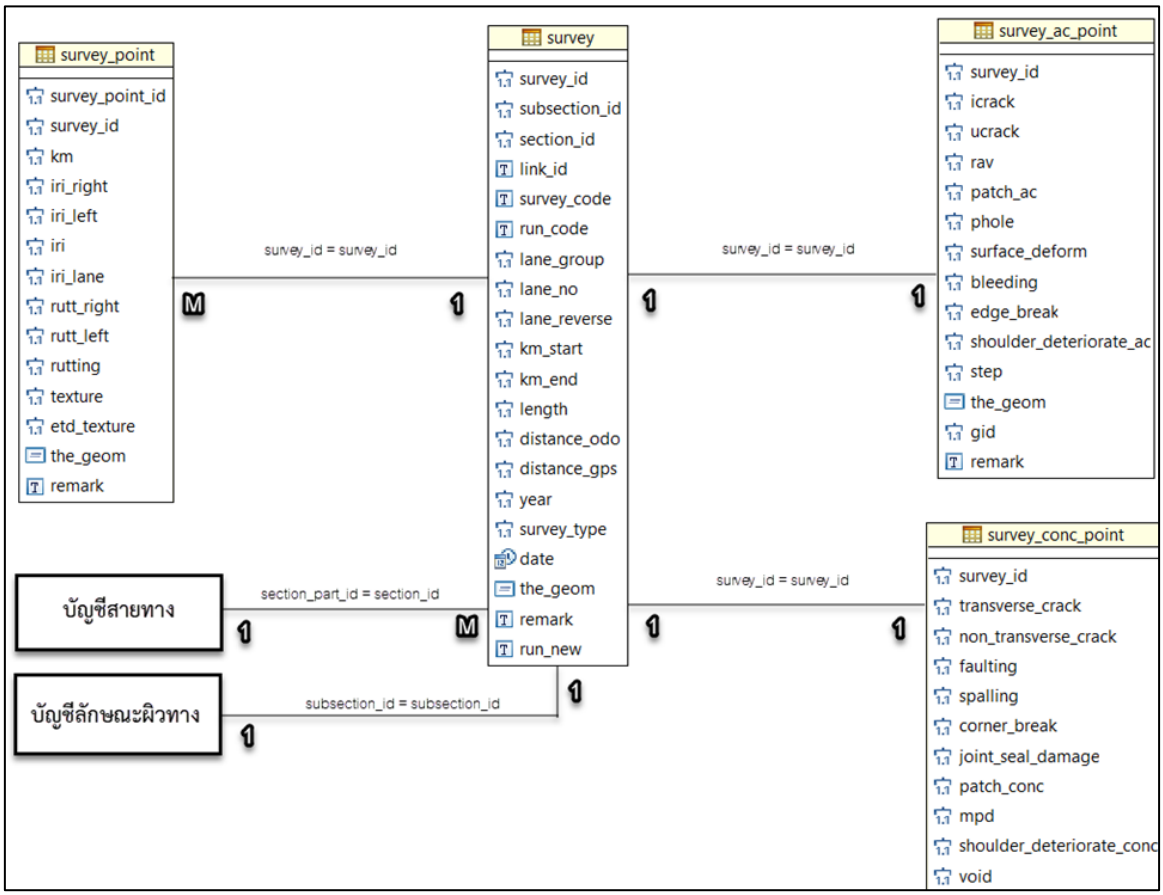
รูปที่ 2-98 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE
ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ ในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)



รูปที่ 2-99 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรมให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล



รูปที่ 2-100 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลบัญชีสายทาง



รูปที่ 2-101 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลสำรวจจากสำนักบำรุงทาง

5) การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลหลังจากนำเข้า การตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล ตรวจสอบข้อมูลที่ผิดพลาด เช่น ข้อมูลที่ไม่มีค่าพิกัด ข้อมูลซ้ำซ้อน แก้ไขหรือลบข้อมูลที่ผิดพลาดออกจากตาราง

2.5.2 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ที่ปรึกษาต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผ่านโปรแกรม Roadnet โดยมีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งอย่างมีระบบเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล เช่น ข้อมูลภาพดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลจากแขวงทางหลวง อย่างละ 2 พื้นที่ตัวอย่าง

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

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

โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลดังกล่าวจะพิจารณาจากระยะทางสำรวจ และจำนวนวันทำงานที่สำรวจในพื้นที่แขวงทางหลวง อย่างน้อยแขวงละ 2 จุด (กรณีสำรวจข้อมูลสายทางในแขวงทางหลวงนั้น 2 วัน) กล่าวคือ การรายงานคุณภาพข้อมูลเชิงพื้นที่ จะทำการสุ่มตรวจสอบ เพื่อให้มั่นใจว่าอุปกรณ์สำรวจที่ใช้งานในวันนั้น ๆ มีสภาพการทำงานปกติ สามารถอ่านค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดอุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม GPS ระบบส่งค่าพิกัดเข้าสู่อุปกรณ์จัดเก็บ และบันทึกข้อมูลโดยสามารถตรวจสอบได้ก่อนเริ่มงานสำรวจ 1 ครั้งต่อวัน ดังนั้นหากทำการสำรวจแขวงทางหลวง 3 วัน จะต้องใช้จุดตรวจสอบ 3 จุด เป็นต้น ในพื้นที่แขวงทางหลวงนั้น ๆ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 2-22 แสดงตัวอย่างชื่อแขวงทางหลวงที่มีการตรวจสอบ (Root Mean Square Error : RMSE)

ลำดับ	Team	รายชื่อสำนัก	รหัสแขวง	รายชื่อแขวง	จำนวนจุด
1	TU	สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	639	ขท.มุกดาหาร	2
2			644	ขท.นครพนม	2
3			641	ขท.สกลนคร ที่ 1	2
4			642	ขท.สกลนคร ที่ 2 (สว่างแดนดิน)	2
5			646	ขท.หนองคาย	2
6			511	พิษณุโลกที่ 1	2
7		สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	515	พิษณุโลกที่ 2	2
8			557	อุตรดิตถ์ที่ 1	2
9			519	พิจิตร	2
10			554	ขท.เลย ที่ 1	2
11		สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	555	ขท.เลย ที่2 (ด่านซ้าย)	2
12			551	ขท.เพชรบูรณ์ ที่ 1	2
13			552	ขท.เพชรบูรณ์ ที่ 2 (บึงสามพัน)	2
14			623	ขท.อุดรธานี ที่ 1	2
15			624	ขท.อุดรธานี ที่ 2 (หนองหาน)	2
16		สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	621	ขท.ขอนแก่น ที่ 1	2
17			627	ขท.ขอนแก่น ที่ 2 (ชุมแพ)	2
18			628	ขท.ขอนแก่น ที่ 3	2
19			633	ขท.ยโสธร	2
20			635	ขท.ร้อยเอ็ด	2
21		สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	622	ขท.มหาสารคาม	2
22			647	ขท.กาฬสินธุ์	2
23			615	ขท.สุรินทร์	2
24			638	ขท.ศรีสะเกษ ที่ 1	2
25		สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	636	ขท.ศรีสะเกษ ที่ 2	2
26			631	ขท.อุบลราชธานี ที่ 1	2
27			632	ขท.อุบลราชธานี ที่ 2	2
28			611	ขท.นครราชสีมา ที่ 1	2
29			612	ขท.นครราชสีมา ที่ 2	2
30		สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	614	ขท.นครราชสีมา ที่ 3	2
31			617	ขท.บุรีรัมย์	2
32			618	ปราจีน	2
33			619	ขท.สระแก้ว	2
34		สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพฯ)	414	นครนายก	2

รูปที่ 2-102 แสดงตัวอย่างจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน GCP

จุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และจุดที่ทำการตรวจสอบ ทั้ง 34 จุด ต้องสามารถมองเห็นตำแหน่งจุดตัดทางแยกจากภาพถ่ายดาวเทียมไทโซต (THEOS) หรือเทียบเท่าได้ชัดเจน แสดงดังรูปที่ 2-103 และรูปที่ 2-104

รูปที่ 2-103 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1

รูปที่ 2-104 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 2

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

นอกจากการตรวจสอบแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมไทโซต (THEOS) ในประเด็นความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งทางราบแล้ว ยังจะมีการตรวจสอบคุณภาพในประเด็นอื่น ๆ ซึ่งที่ปรึกษาจะได้วางแผนดำเนินการ เพื่อให้ผลการปฏิบัติงานมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอันเป็นสากล เช่น การตรวจสอบอัตราการบีบอัดภาพที่ยังทำให้ภาพดูคล้ายคลึงต้นฉบับ อันเนื่องมาจากกระบวนการ Lossy Compression (JPG/PNG) ให้อยู่ในเกณฑ์ความละเอียดจุดภาพ 800x600 Pixels กล่าวคือ การบีบอัดข้อมูล (Compression) คือ กระบวนการเข้ารหัสข้อมูลที่เลือกเอาเฉพาะบิตที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ และสามารถรับส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยกระบวนการ Lossy Compression จะตัดข้อมูลบางส่วนออกไปเพื่อลดขนาดของไฟล์ ซึ่งข้อมูลที่ซ้ำซ้อนจะถูกตัดทิ้งอย่างถาวร ข้อดี คือขนาดข้อมูลจะลดลงมาก ข้อเสีย คือข้อมูลจะไม่ละเอียดเหมือนต้นฉบับ แต่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์งานทาง และแสดงผลในระบบสารสนเทศ Roadnet รวมไปถึงการคัดกรองข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เครื่องตรวจวัดต่าง ๆ IRI Rutting หรือ MPD ที่ข้อมูลมีความผิดปกติจากการรับสัญญาณ เช่น ค่า IRI มากกว่า 10 เป็นต้น

ตารางที่ 2-23 ตัวอย่างผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง

Point	E (m) Survey	N (m) Survey	E (m) GCP	N (m) GCP	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE^2 (m)	ΔN^2 (m)
Point_1	469031.800	1828936.500	469032.100	1828937.500	-0.300	-1.000	0.090	1.000
Point_2	432152.340	1828024.690	432152.500	1828021.000	-0.160	3.690	0.026	13.616
Point_3	475681.600	1923050.500	475684.300	1923048.800	-2.700	1.700	7.290	2.890
Point_4	437994.000	1915191.100	437990.400	1915191.400	3.600	-0.300	12.960	0.090
Point_5	366220.750	1846449.840	366219.250	1846450.620	1.500	-0.780	2.250	0.608
Point_6	403799.700	1900980.900	403801.300	1900981.200	-1.600	-0.300	2.560	0.090
Point_7	391368.700	1911840.900	391369.900	1911840.700	-1.200	0.200	1.440	0.040
Point_8	318927.000	1923014.300	318923.200	1923021.400	3.800	-7.100	14.440	50.410
Point_9	258545.300	1976909.300	258543.800	1976909.200	1.500	0.100	2.250	0.010
Point_10	265011.400	1956420.400	265012.100	1956418.800	-0.700	1.600	0.490	2.560
Point_11	34668.200	1881654.800	34667.700	1881653.300	0.500	1.500	0.250	2.250
Point_12	1706.300	1865297.800	1709.000	1865296.300	-2.700	1.500	7.290	2.250
Point_13	12642.700	1865894.900	12641.800	1865897.100	0.900	-2.200	0.810	4.840
Point_14	82412.400	1909116.600	82414.100	1909118.200	-1.700	-1.600	2.890	2.560
Point_15	15148.600	1960722.500	15148.500	1960725.700	0.100	-3.200	0.010	10.240
Point_16	4810.900	1910145.100	4808.400	1910146.300	2.500	-1.200	6.250	1.440
Point_17	22059.400	1818966.100	22060.300	1818964.300	-0.900	1.800	0.810	3.240
Point_18	31509.200	1790871.800	31510.000	1790871.300	-0.800	0.500	0.640	0.250
Point_19	151683.400	1937362.700	151685.500	1937363.500	-2.100	-0.800	4.410	0.640
Point_20	139582.800	1936146.000	139581.500	1936143.500	1.300	2.500	1.690	6.250
Point_21	124829.200	1931968.000	124829.600	1931968.600	-0.400	-0.600	0.160	0.360
Point_22	103511.500	1924906.100	103511.700	1924908.000	-0.200	-1.900	0.040	3.610
Point_23	77449.400	1802305.900	77450.000	1802303.200	-0.600	2.700	0.360	7.290
Point_24	100533.900	1865090.300	100532.700	1865094.000	1.200	-3.700	1.440	13.690
Point_25	71247.000	1748701.000	71249.300	1748701.200	-2.300	-0.200	5.290	0.040
Point_26	75562.400	1733827.100	75564.000	1733826.000	-1.600	1.100	2.560	1.210
Point_27	281436.100	1895223.100	281436.300	1895222.000	-0.200	1.100	0.040	1.210
Point_28	265339.700	1928122.500	265339.500	1928120.300	0.200	2.200	0.040	4.840
Point_29	299760.300	1920676.400	299759.900	1920681.700	0.400	-5.300	0.160	28.090
Point_30	318922.200	1923014.700	318923.400	1923019.500	-1.200	-4.800	1.440	23.040
Point_31	268125.500	1818821.900	268127.000	1818821.000	-1.500	0.900	2.250	0.810
Point_32	275239.100	1875494.700	275240.700	1875496.400	-1.600	-1.700	2.560	2.890
Point_33	238417.200	1824212.400	238418.400	1824212.200	-1.200	0.200	1.440	0.040
Point_34	225764.530	1825123.050	225763.000	1825123.660	1.530	-0.610	2.341	0.372
						Sum	238.051	325.431
						Mean	2.017	2.758
						RMSE(E)	1.420	
						RMSE(N)		1.661
						RMSE	2.185	

โดยแสดงรายละเอียดหัวตารางดังนี้

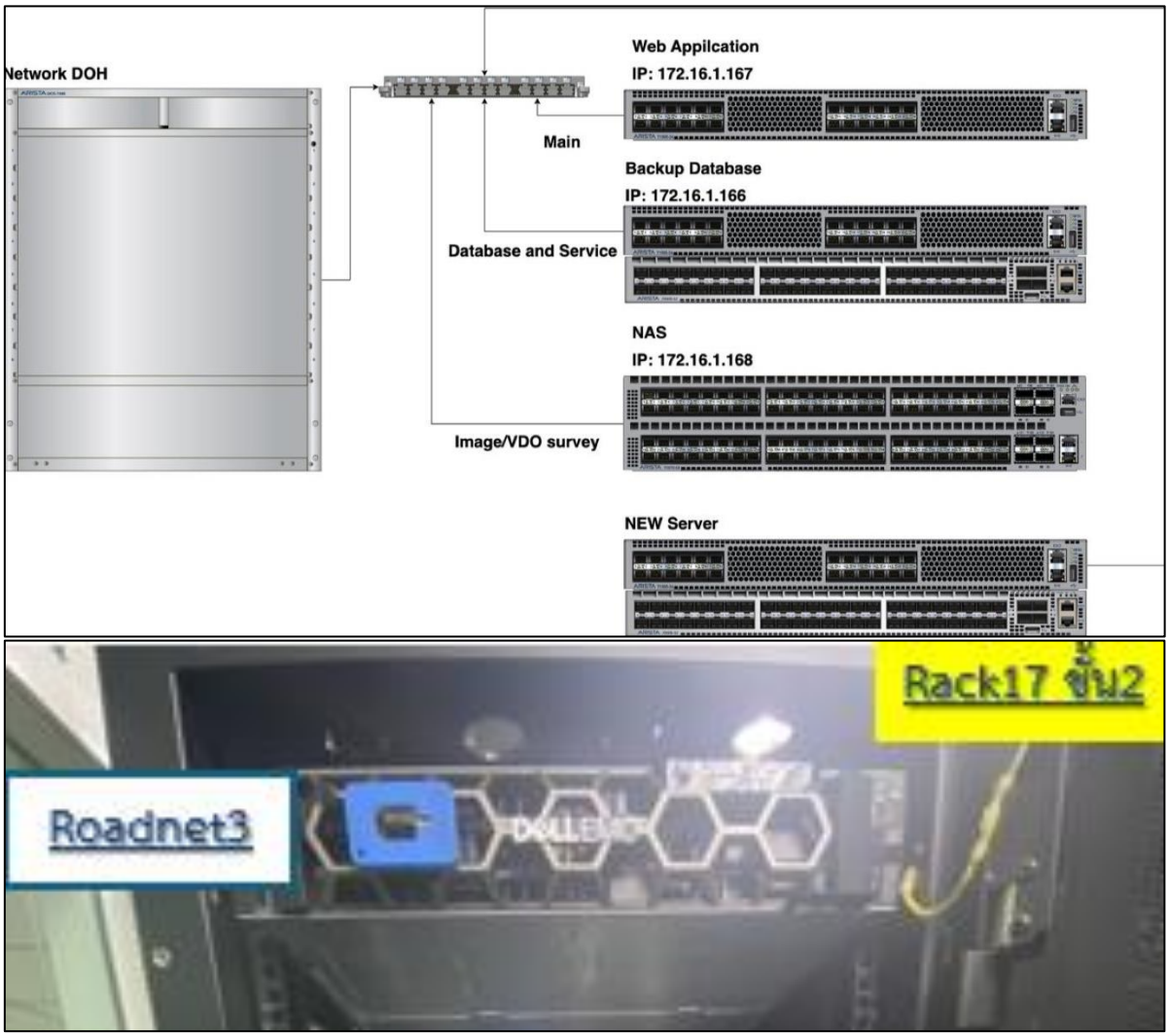
Point	หมายถึง	ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบ
E และ N (Survey)	หมายถึง	ค่า E และ N ของข้อมูลสำรวจ
E และ N (GCP)	หมายถึง	จุดค่า E และ N ของจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน
ΔE	หมายถึง	ผลต่าง E
ΔN	หมายถึง	ผลต่าง N

ผลการเปรียบเทียบในส่วนของการตรวจสอบเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลสำรวจที่ได้ลงพื้นที่ทำการสำรวจบนสายทางในแต่ละแขวงทางหลวง เปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบ RMSE ผลที่ได้อยู่ประมาณ 2.185 เมตร ซึ่งถ้านำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการทำงานแผนที่ หรือการแสดงผลข้อมูลสายทางบนระบบ แต่ถ้านำข้อมูลดังกล่าวมาใช้งานงานก่อสร้าง หรือการทำแผนที่รายละเอียดสูง เช่น 1:500 หรือ 1:100 เป็นต้น อาจจะต้องนำมาทดสอบค่าอีกครั้งจากการวัดด้วยกล้องระดับให้เหมาะสมมากขึ้น สรุปจากผลการเปรียบเทียบข้อมูล RMSE นี้สามารถนำไประบุค่าคุณภาพของข้อมูลหรือนำไปเป็นเอกสารอ้างอิง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานทางได้อย่างเหมาะสม

2.5.3 ที่ปรึกษาจะทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้ จากข้อ 2.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์ และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard Disk) และสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) อย่างเป็นระบบของกรมทางหลวง โดยติดตั้งที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

เพื่อรองรับการสืบค้น วิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลสภาพทางในรูปแบบแผนที่ GIS ที่ปรึกษาได้จัดเก็บข้อมูลการสำรวจไว้บนระบบฐานข้อมูล Roadnet อย่างเป็นระบบ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) ข้อมูลสำรวจ : เก็บไว้บนอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) เพื่อการเข้าถึงที่รวดเร็ว
2) ข้อมูลสำรอง : เก็บบนระบบ NAS (Network Attached Storage) ที่ติดตั้ง ณ ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง เพื่อความปลอดภัยและป้องกันข้อมูลสูญหาย



รูปที่ 2-105 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

ระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ณ ปัจจุบันเปรียบเสมือนคลังข้อมูลขนาดใหญ่ที่เก็บรวบรวมข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับทางหลวงในประเทศไทย ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้เพื่อสนับสนุนงานบริหารจัดการทางหลวงในหลากหลายด้าน ช่วยให้การบำรุงรักษาทางหลวงมีประสิทธิภาพ ประหยัดงบประมาณ และเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ถนน

ข้อมูลที่เก็บในระบบ Roadnet ประกอบด้วย

- ข้อมูลบัญชีสายทาง : ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับทางหลวง เช่น ชื่อทางหลวง หมายเลขทางหลวง ระยะทาง สถานการณ์อัพเดตบัญชีสายทางที่เชื่อมมาจากระบบ HRIS ของสำนักแผนงาน ฯลฯ
- ข้อมูลลักษณะผิวทาง : ข้อมูลเกี่ยวกับผิวทาง เช่น ประเภทของผิวทาง สภาพผิวทาง ฯลฯ
- ข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ : ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างทางหลวง เช่น จำนวนช่องจราจร ความกว้างทางหลวง จำนวนเลน ฯลฯ
- ข้อมูลสำรวจสภาพทาง : ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสภาพทาง เช่น ดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ความลึกร่องล้อ (Rutting) ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวถนน (MPD) ค่าความเสียดทานผิว (Skidding) ฯลฯ
- ข้อมูลสภาพความเสียหาย : ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพความเสียหายของทางหลวง เช่น รอยแตกร้าว หลุมบ่อ ฯลฯ
- ข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทาง : ภาพถ่ายทางหลวงทั้งสองข้าง เก็บไว้เพื่อตรวจสอบสภาพทาง วิเคราะห์ความเสียหาย และออกแบบงานซ่อมแซม
- ข้อมูลอื่น ๆ : ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับทางหลวง เช่น ข้อมูลสะพาน ท่อลอด หลักกิโลเมตร ฯลฯ

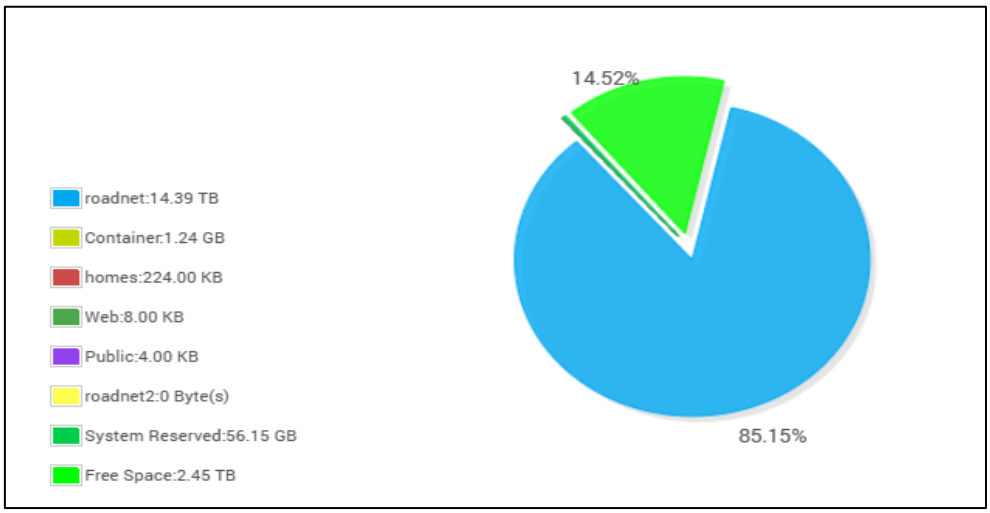
ระบบ Roadnet แสดงผลข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

- แผนที่ : แสดงข้อมูลทางหลวงบนแผนที่ เช่น ตำแหน่งทางหลวง ประเภททางหลวง สภาพผิวทาง ฯลฯ
- กราฟ : แสดงข้อมูลทางหลวงในรูปแบบกราฟ ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ข้อมูลความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าเฉลี่ยความลึกโพรไฟล์ (Mean Profile Depth : MPD) และค่าความเสียดทานผิว (Skidding : μ) ตลอดจนข้อมูลสภาพความเสียหายประเภทต่าง ๆ
- ตาราง : แสดงข้อมูลทางหลวงในรูปแบบตาราง เช่น ตารางข้อมูลบัญชีสายทางตารางข้อมูลสภาพความเสียหาย ฯลฯ
- ภาพถ่าย : แสดงภาพถ่ายทางหลวงทั้งสองข้าง (Road Asset View) ในรูปแบบของข้อมูลเชิงพื้นที่ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสภาพทางได้โดยตรง
- รายงาน : จัดทำรายงานสรุปข้อมูลทางหลวงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น รายงานสรุปสภาพทางหลวง รายงานผลการสำรวจ ฯลฯ

- จากการศึกษาอุปกรณ์แม่ข่ายของระบบ Roadnet ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยประกอบด้วยเครื่องแม่ข่ายจำนวน 3 เครื่อง
  - เครื่องที่ 1 Web Base Application : พัฒนาระบบ Roadnet ทั้งฟังก์ชัน และหน้าจอแสดงผล
  - เครื่องที่ 2 Database : เก็บฐานข้อมูลและสำรองข้อมูลป้องกันสูญหาย
  - เครื่องที่ 3 (NAS) : เก็บข้อมูลภาพ 2 ข้างทางและภาพเคลื่อนไหวจากรถสำรวจตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ตารางที่ 2-24 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน

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



รูปที่ 2-106 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS)

จากภาพเป็นการแสดงผลการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล NAS ซึ่งมีการใช้การจัดเก็บข้อมูลอยู่ประมาณ 15 TB หลังจากดำเนินงานสำรวจครบรอบตลอด 5 ปี ที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 จนถึง 2566 ซึ่งมีขนาดการจัดเก็บที่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อีก 2 TB สามารถรองรับการจัดเก็บข้อมูลการสำรวจในรอบต่อไปได้

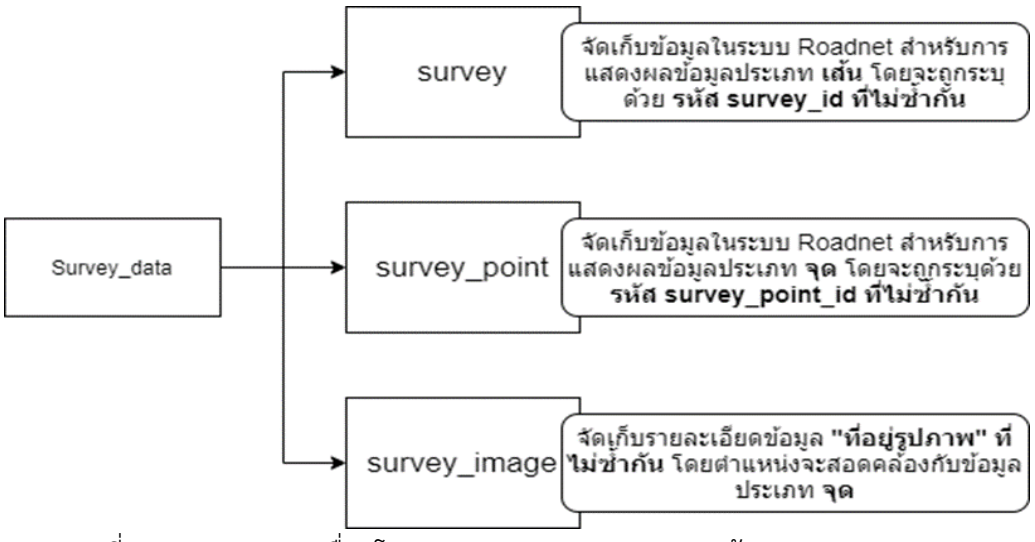
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการเพิ่มพื้นที่การจัดเก็บเพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูลสำรวจเพิ่มเติมทั้งในปัจจุบันและในอนาคตโดยมีพื้นที่ Database storage คงเหลืออยู่ประมาณ 18 TB แสดงดังรูปที่ 2-107

```
administrator@ubuntu01:~$ sudo fdisk -l | grep sd
[sudo] password for administrator:
Disk /dev/sdb: 1.76 TiB, 1919313510400 bytes, 3748659200 sectors
Disk /dev/sda: 21.85 TiB, 24002961604608 bytes, 46880784384 sectors
Disk /dev/sdc: 447.7 GiB, 480036847616 bytes, 937571968 sectors
/dev/sdc1     2048   2203647   2201600  1.1G EFI System
/dev/sdc2  2203648   6397951   4194304    2G Linux filesystem
/dev/sdc3  6397952 937568255 931170304  444G Linux filesystem
administrator@ubuntu01:~$
```

รูปที่ 2-107 แสดงภาพ Database Storage คงเหลือ 18 TB ณ ปัจจุบัน

2.5.4 การจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet จะต้องไม่มีผลกระทบกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในระบบและรูปแบบจะต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ

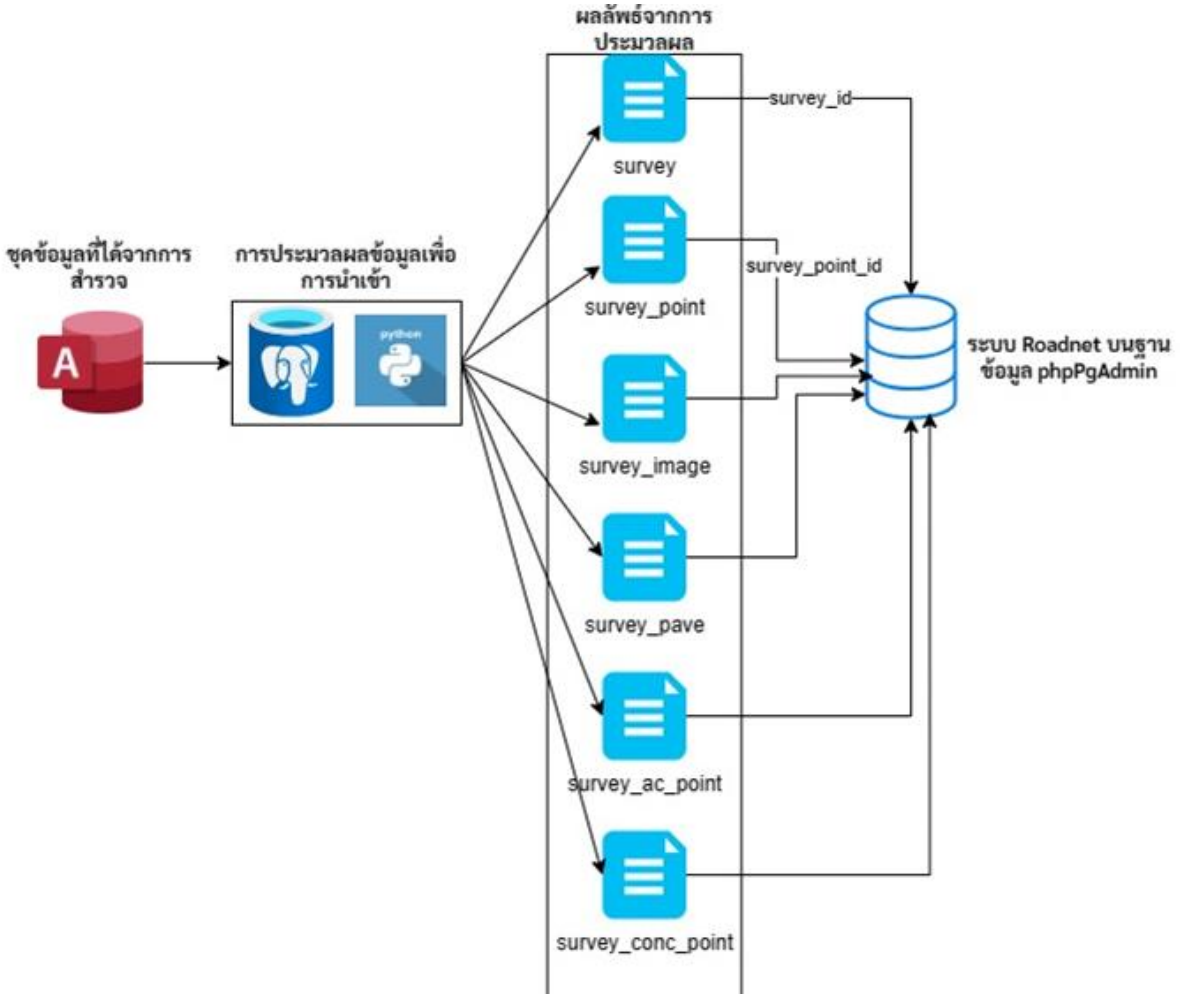
การจัดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgAdmin จะมีโครงสร้างตามข้อ 2.5.1 โดยมีการออกแบบโครงสร้างเพื่อยกระดับกระบวนการการนำเข้าข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบ โดยมีแบ่งกลุ่มข้อมูลสำรวจที่ถูกประมวลผลพร้อมนำเข้าระบบไว้ แสดงดังรูปที่ 2-108



รูปที่ 2-108 แสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

จากแผนผังการแสดงการเชื่อมโยงบนระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของข้อมูลมี 3 ส่วน คือ 1.ข้อมูลกลุ่ม Survey ที่ระบุตำแหน่งเส้นถนนบนทางหลวงของแต่ละตอนควบคุมบนระบบ โดยมีการกำหนดรหัสข้อมูล Survey_id ที่ระบุชุดข้อมูลต่าง ๆ เพื่อป้องกันผลกระทบระหว่างการนำเข้าข้อมูลในแต่ละรอบ 2.ข้อมูลกลุ่ม Survey_point ที่ระบุตำแหน่งจุดสำรวจที่ระยะห่างทุก ๆ 25 เมตร โดยมีการกำหนดรหัสข้อมูล Survey_point_id เพื่อป้องกันผลกระทบระหว่างการนำเข้าข้อมูลในแต่ละรอบ 3.ข้อมูลกลุ่ม Survey_image ที่ระบุรายละเอียด ที่อยู่รูปภาพ เพื่อให้ระบบสามารถดึงข้อมูลรูปภาพจากฐานข้อมูลการจัดเก็บรูปภาพ (NAS) โดยตำแหน่งรูปภาพจะสอดคล้องกับตำแหน่งจุดสำรวจ

สำหรับขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpaPgdmin สามารถอธิบายกระบวนการการนำเข้าได้ ดังนี้



รูปที่ 2-109 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

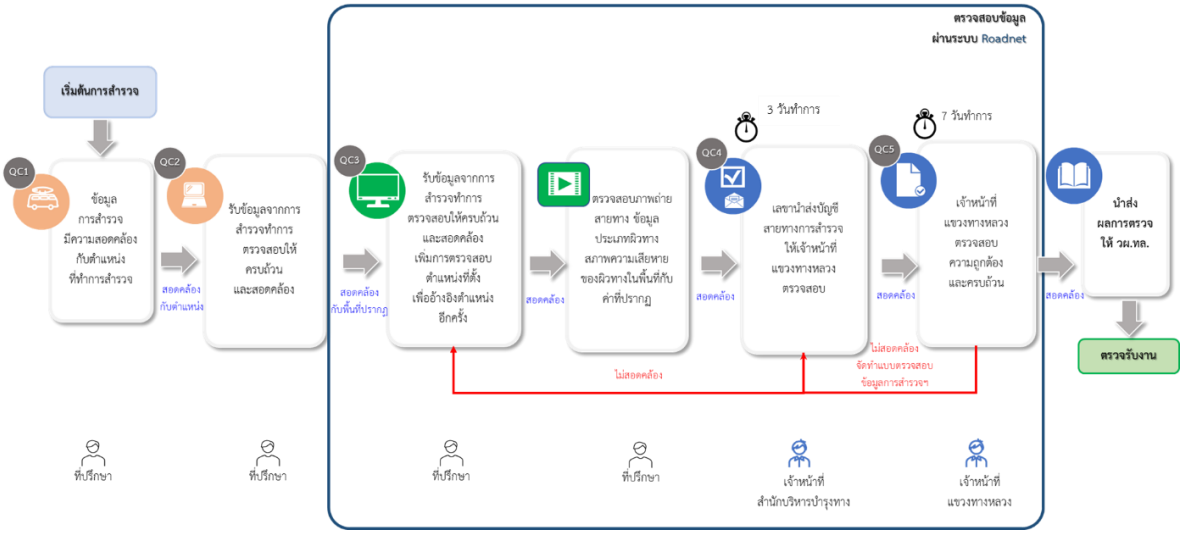
2.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet

ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet3 ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet3) ได้อย่างน้อยดังนี้

2.6.1 การแสดงผลข้อมูลสภาพทางได้แก่ ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) ข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) และข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth : MPD) ต้องดำเนินการตรวจสอบความถูกต้อง ดังนี้

- ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ
- ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง
- ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

การตรวจสอบข้อมูลสำรวจ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจ จนมาถึงขั้นตอนการรับข้อมูลสำรวจตลอดจนการนำเข้าระบบ Roadnet3 ซึ่งจะทำการตรวจสอบทั้งแต่รายละเอียดภายในสายทาง รวมทั้งความครบถ้วนของข้อมูลสำรวจ ความสอดคล้องและสัมพันธ์กับภาพถ่าย 2 ข้างทาง โดยมีกระบวนการและรายละเอียดตามภาพดังนี้



รูปที่ 2-110 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet3

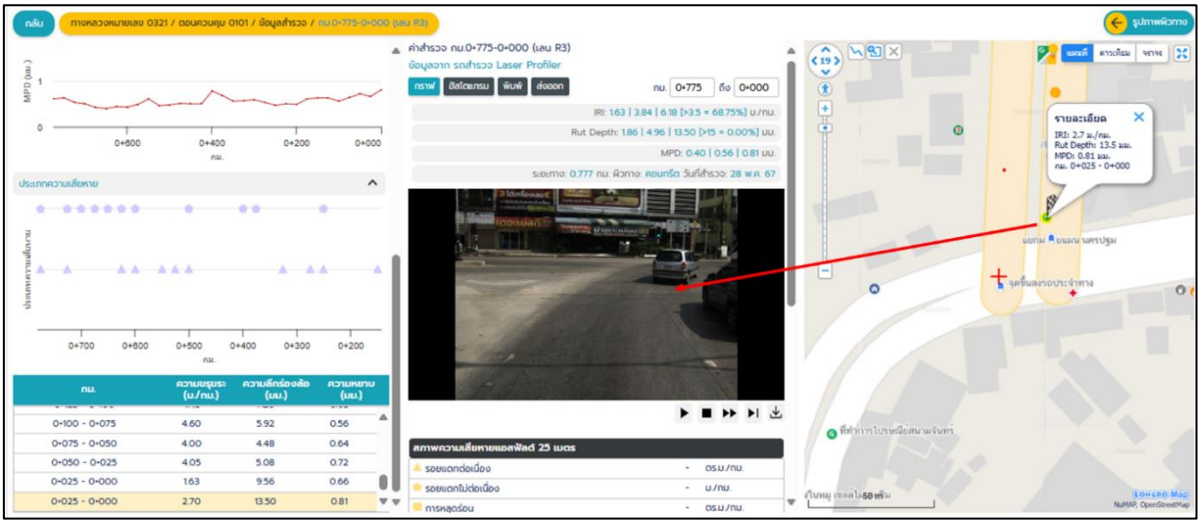
ในขั้นตอนการตรวจสอบการแสดงผลหน้าข้อมูลสำรวจผ่านระบบ Roadnet3 ทางทีมมีการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) ทางด้านคุณภาพของข้อมูล ได้กำหนดเงื่อนไขการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วน ความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวงตอนควบคุม และแผนการสำรวจและผิวการสำรวจ มีความสอดคล้องทุกกระบวนการ โดยทำการตรวจสอบตามเงื่อนไขต่อไปนี้

ตารางที่ 2-25 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) กระบวนการภายใน

ลำดับ	รายละเอียดการตรวจสอบ	สอดคล้อง	ไม่สอดคล้อง
1	ตาราง,กราฟ สำรวจระยะทางค่า IRI, RUTTING, MPD มีความสอดคล้อง	☒	☐
2	ข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางไม่สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง/ไม่สมบูรณ์	☒	☐
3	ภาพเคลื่อนไหวไม่สอดคล้องกับข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทาง/ไม่สมบูรณ์	☒	☐
4	ไม่มีข้อมูลตารางความเสียหาย หรือข้อมูลไม่ถูกต้อง	☒	☐
5	ไม่มีข้อมูลการสำรวจ หรือไม่ได้นำเข้าข้อมูลในระบบ Roadnet3	☒	☐
6	ไม่มีข้อมูลหน้าสรุปรายละเอียดสายทางในระดับตอนควบคุม	☒	☐
7	แผนระยะทางสำรวจ ไม่ตรงกับระยะทางในระบบ	☒	☐
8	วันที่สำรวจไม่ถูกต้อง ไม่แสดง (วัน/เดือน/ปี)	☒	☐
9	แผนการสำรวจซับซ้อนหรือไม่ครบถ้วนกับข้อมูลในระบบ	☒	☐
10	กม.แผนการสำรวจไม่ตรงกับประเภททาง (ทางขนาน, สะพานข้ามแยก, อุโมงค์ทางลอด)	☒	☐
11	ข้อมูลผิวทางบนระบบไม่ตรงกับข้อมูลบัญชีผิวทาง	☒	☐
12	ตำแหน่ง GPS ในแผนที่ไม่สมบูรณ์	☒	☐
13	ตำแหน่ง GPS เส้นทางสำรวจสัมพันธ์กับโครงข่ายทางหลวง (HRIS)	☒	☐

- ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ

การแสดงผลภาพถ่ายสองข้าง (LT/RT) เช่น ทางด้านซ้ายทางแสดงผลกิโลเมตรสำรวจจากน้อยไปมากจะต้องสอดคล้องกับสายทางที่สำรวจในพื้นที่ โดยการแสดงภาพสองข้างทางผ่านระบบ Roadnet3 แสดงผลทุก 25 เมตร ตามที่กำหนดไว้อย่างต่อเนื่องกันไปตลอดสายทาง สังเกตจากการแสดงพิกัดสายทางเส้นทางบนแผนที่ควบคู่กันไป



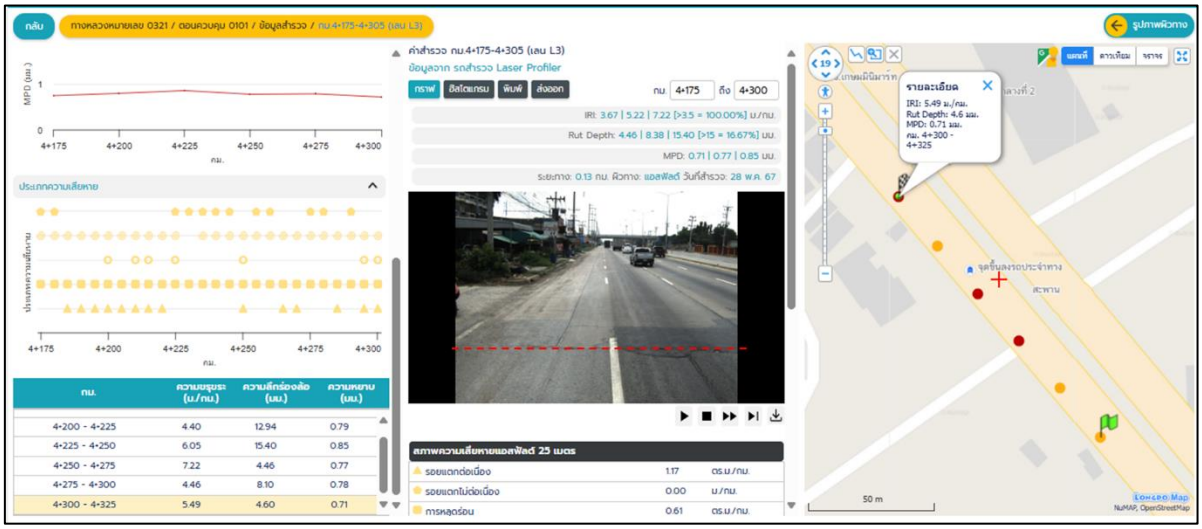
รูปที่ 2-111 ตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก

จากภาพถ่ายจุดเริ่มต้นความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจที่ปรึกษาทำการตรวจสอบเพิ่ม 1 ขั้นตอนโดยเทียบภาพถ่ายสายทางและภาพจาก Google Map เพื่ออ้างอิงความสอดคล้องของตำแหน่งสายทางที่ทำการสำรวจ

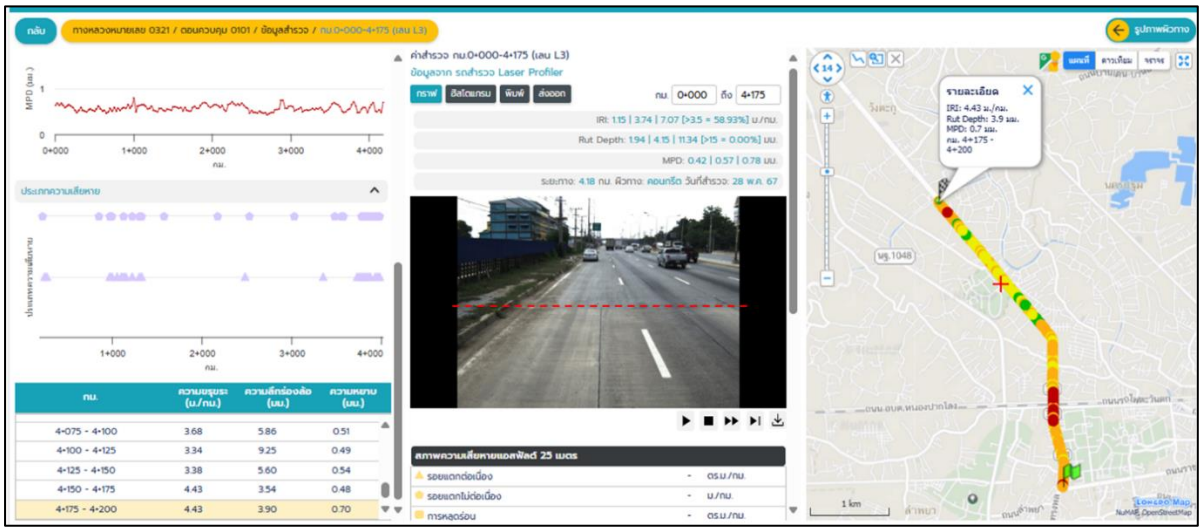
รูปที่ 2-112 ตัวอย่างการตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map

- ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง

ประเภทผิวทางผ่านระบบและผิวทางพื้นที่จริงต้องมีความสอดคล้องกัน โดยแสดงผลผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต ซึ่งในบางสายทางอาจมีผิวทางมากกว่า 1 ผิวทาง



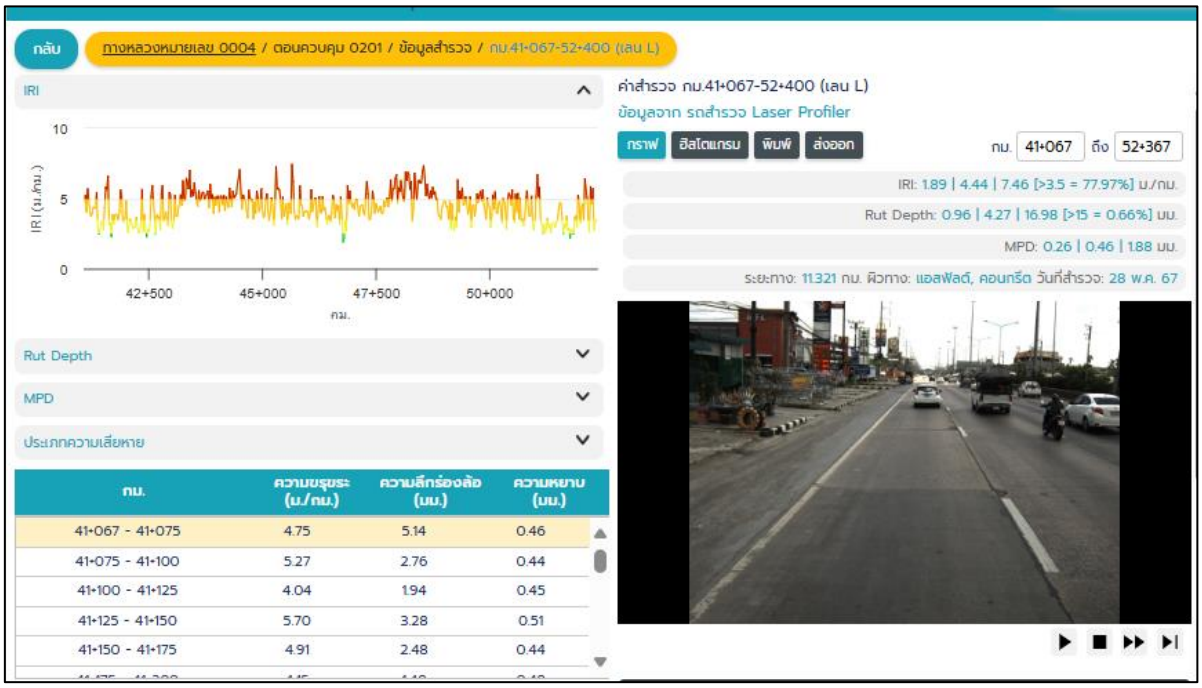
รูปที่ 2-113 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวลาดยาง



รูปที่ 2-114 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวลาดยาง

- ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

วิธีการตรวจสอบการแสดงผลหน้าข้อมูลสำรวจเบื้องต้นจากการนำเข้าระบบข้อมูลสภาพทาง จะทำการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet3 โดยทำการตรวจสอบความถูกต้อง ความครบถ้วน และความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจในแต่ละสายทาง ยกตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องของสภาพความเสียหายของข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) เนื่องจากข้อมูลกราฟแสดงค่าความขรุขระสากล (IRI) มากกว่าที่กำหนด จึงต้องตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างค่าความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่าย 2 ข้างทาง นอกจากนั้น การตรวจสอบการแสดงผลกราฟต้องเป็นไปตามปกติ ค่าของกราฟจะต้องไม่เท่ากับ 0 และค่าไม่เกิน 8 หรือการแสดงผลกราฟผิดเพี้ยนไป เมื่อพบข้อผิดพลาดดังกล่าว จะดำเนินการส่งข้อมูลกลับไปแก้ไข เพื่อความครบถ้วน และความสอดคล้องของข้อมูล จึงจำเป็นต้องตรวจสอบอย่างละเอียด ดังนี้



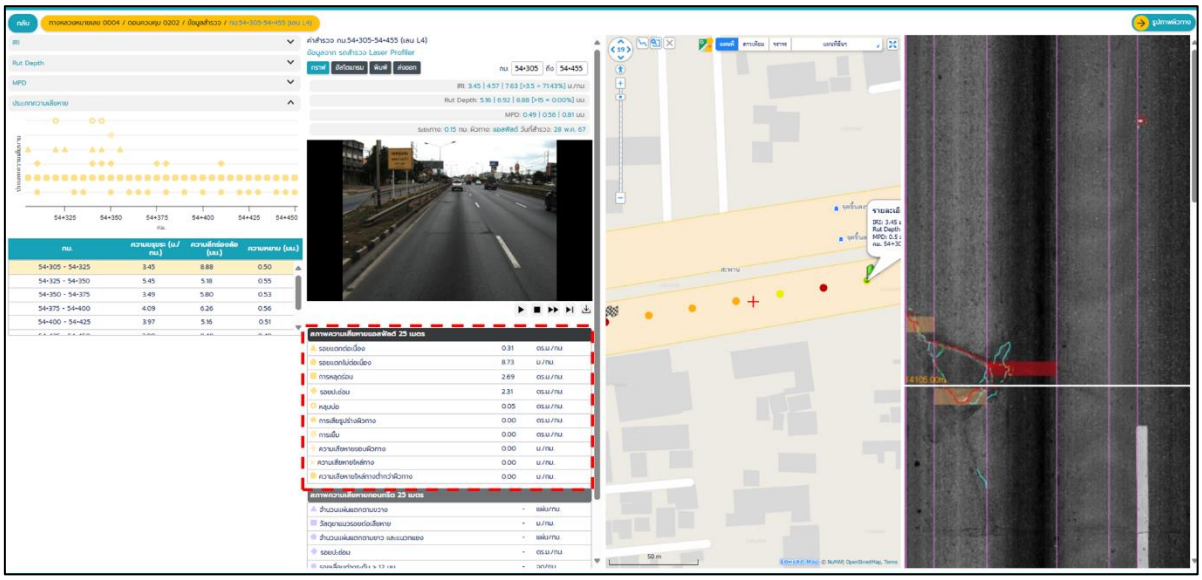
รูปที่ 2-115 ตัวอย่างกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่สภาพความเสียหายสอดคล้องในพื้นที่

การตรวจสอบข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากการประเมินความเสียหายผิวทางทั้งผิวทางแอสฟัลต์ และคอนกรีต มีการบวนการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนนำเข้าระบบโดยมีกระบวนการตรวจสอบตามข้อ 2.4.2 ซึ่งเป็นกระบวนการก่อนนำข้อมูลเข้าระบบ Roadnet3 การตรวจสอบดังกล่าว สามารถทำการตรวจสอบตำแหน่งของข้อมูลเทียบกับสายทางที่มีค่าสภาพทางสูงเพียงเท่านั้น จนนำข้อมูลเข้าระบบ Roadnet3 จึงทำการตรวจสอบข้อมูลทางด้านความสอดคล้องและครบถ้วนกับภาพถ่าย 2 ข้างทาง และตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจ ตารางสภาพความเสียหายนำเข้าระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ โดยมีรายการของประเภทความเสียหายของผิวทาง ดังนี้

ตารางที่ 2-26 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวลาดยาง

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

จากผลการนำเข้าข้อมูลความเสียหายผิวทางลาดยาง จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางควบคู่กันไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้

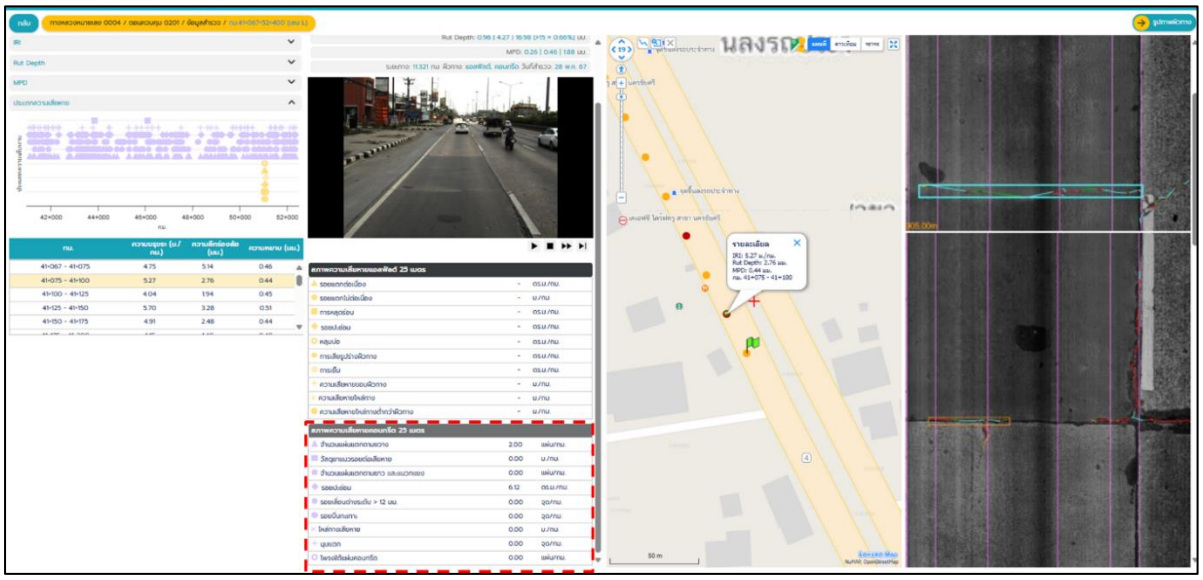


รูปที่ 2-116 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายลาดยาง

ตารางที่ 2-27 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต

ลำดับที่	ประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต
1	รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)
2	รอยบิ่นกระเทาะที่รอยต่อ (Spalling)
3	รอยแตกตามยาว (Longitudinal Cracks)
4	รอยแตกที่มุม (Corner Breaks)
5	ความเสียหายของวัสดุยาแนวรอยต่อ (Joint Seal Damage)
6	รอยปะซ่อม (Patching)

จากผลการนำเข้าข้อมูลความเสียหายผิวทางคอนกรีต จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางควบคู่กันไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 2-117 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต

2.6.2 ภาพถ่ายและภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของถนนและสองข้างทางต้องมีความสมบูรณ์ของภาพดังนี้

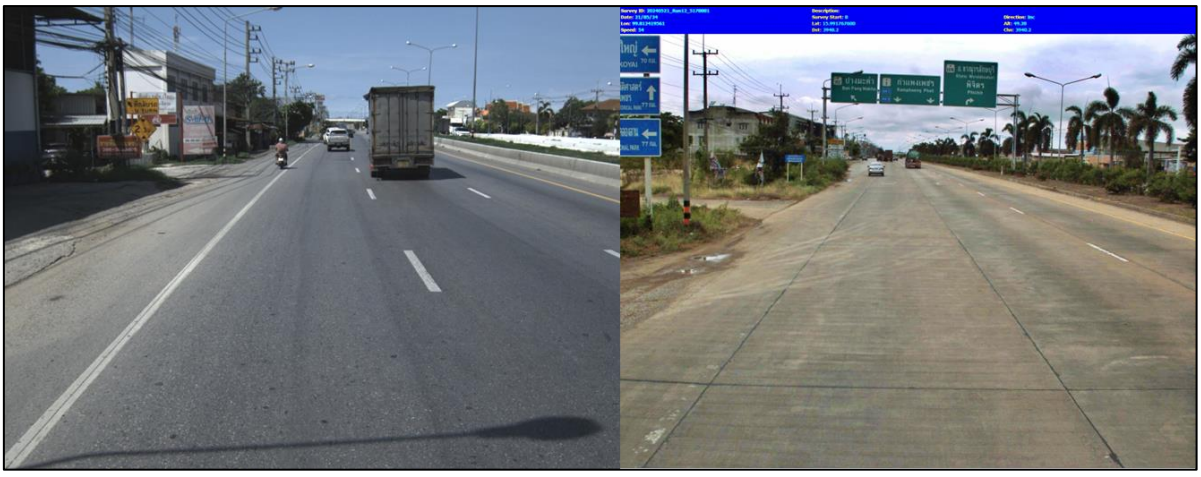
- ภาพถ่ายจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังความชัดเจนอันแสดงถึงสภาพของผิวทางหรือทรัพย์สินต่าง ๆ ที่ติดตั้งในบริเวณเขตทางหลวง เช่น คราบหยดน้ำ หรือเงาสะท้อนจากกระจกรถ เป็นต้น

ภาพถ่ายสองข้างทางจากการการนำภาพถ่าย 2 ข้างทางที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องภายในห้องโดยสารของรถสำรวจ (DVR) นำมาเรียงลำดับภาพทุก ๆ 25 เมตร จนออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหว (VDO) จากการตรวจสอบภาพถ่ายต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น เงาสะท้อนจากกระจก คราบหยดน้ำ คราบมูลนกหรืออื่น ๆ เป็นต้น ที่บดบังทัศนวิสัยในการแสดงผลบนหน้าระบบ Roadnet3 ตัวอย่างภาพที่เกิดปัญหาแสดงดังรูปที่ 2-118

รูปที่ 2-118 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก

- สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทางไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ภาพ

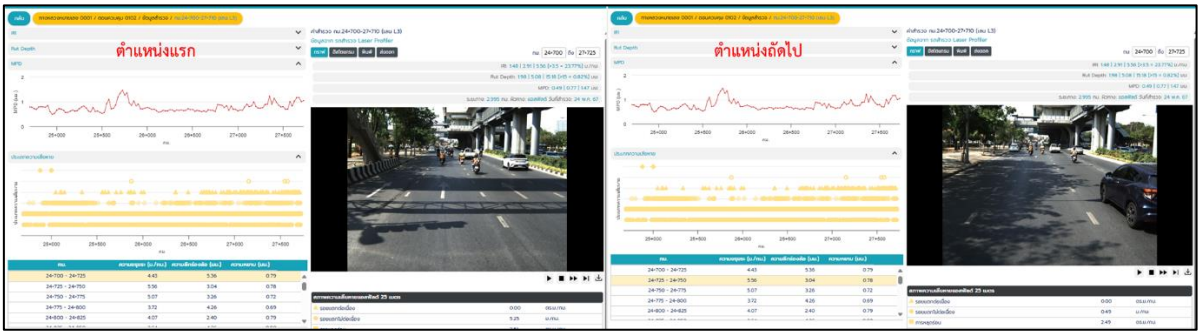
สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทาง คิดเป็นร้อยละของภาพทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ที่ปรึกษาทำการตรวจสอบโดยวิธีดูภาพถ่ายสองข้างทางและภาพเคลื่อนไหว (VDO) โดยภาพที่สอดคล้องดังตัวอย่างนี้



รูปที่ 2-119 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง

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

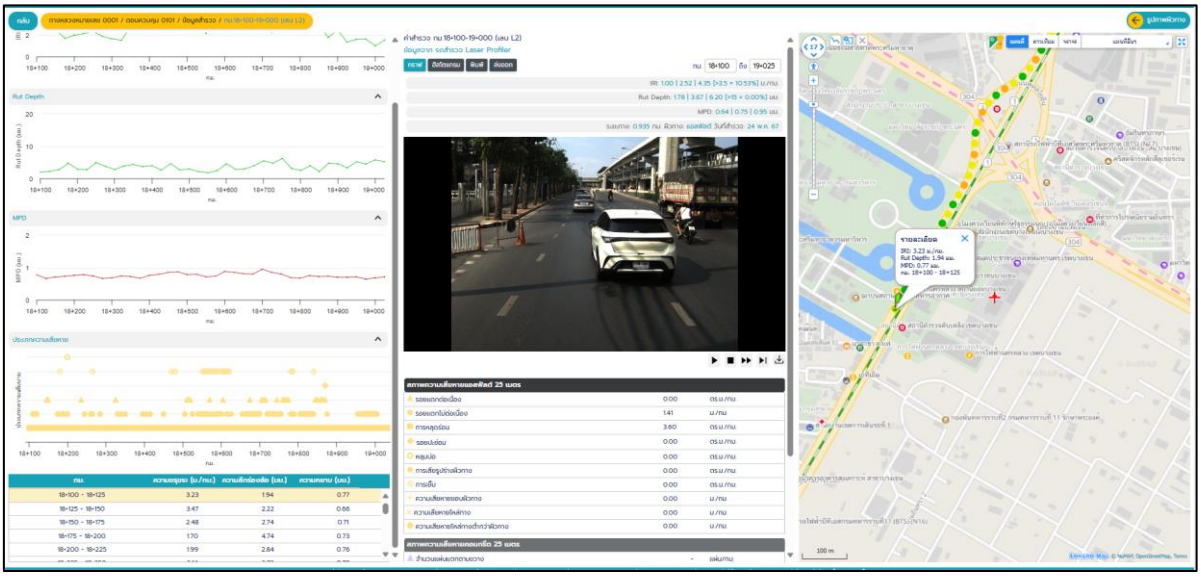
ภาพถ่ายต้องไม่กระตุกไม่ซ้ำกันสลับซับซ้อน โดยการตรวจสอบจำเป็นต้องทำการตรวจสอบผ่านการดูภาพถ่ายสองข้างทาง เช่นจากกราฟข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล IRI ภาพที่เปลี่ยนทุก ๆ 25 เมตร มีความสอดคล้องหรือไม่ และตรวจสอบจากฟังก์ชันการดูภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของสายทางบนระบบ Roadnet3



รูปที่ 2-120 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน

2.6.3 การแสดงพิกัดสายทาง (Coordinates) จะต้องมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายสายทางและสภาพพื้นที่

การแสดงพิกัดสายทางเส้นทาง (Coordinates) สายทางที่สำรวจและหน้าแผนที่ Base map ของข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน ตำแหน่งหลักกิโลเมตรของจุดสำรวจสภาพทาง เรียงตามจุด Layer หลักกิโลเมตรของสายทาง ไม่สลับซับซ้อน ข้อมูลภาพถ่ายสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงที่ปรากฏจุดสังเกต เช่น ทางแยก สะพาน รวมทั้งทิศทางของสายทางที่ต้องต่อเนื่องจนถึงจุดสิ้นสุดของสายทาง ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 2-121 ตัวอย่างการแสดงการแสดงพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102

2.6.4 เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลผู้ว่าจ้างสามารถแต่งตั้งคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค เพื่อตรวจสอบ ความครบถ้วนสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

เมื่อทางที่ปรึกษาได้ทำการนำข้อมูลสำรวจขึ้นระบบ Roadnet3 แล้วเสร็จ จึงเริ่มทำการตรวจสอบความครบถ้วน และความสอดคล้องของข้อมูล โดยที่ปรึกษาจะจัดรูปแบบในการตรวจสอบรอบที่ 3 (QC3) เพื่อทำการตรวจสอบข้อมูลโดยละเอียด และเมื่อผ่านการตรวจสอบดังกล่าวจึงจะจัดทำบัญชีสรุปผลการสำรวจเป็นรายแขวงทางหลวง โดยจะสรุปบัญชีสายทางส่งเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลความครบถ้วนของข้อมูล จากสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง เป็นบัญชีตรวจสอบรอบที่ 4 (QC4) แสดงดังรูปที่ 2-122 และที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำบัญชีสรุป สายทางส่งไปยังหน่วยงานภายในพื้นที่แขวงทางหลวง ให้แก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค เพื่อตรวจสอบ ซึ่งจะทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งว่าตั้งอยู่ภายในพื้นที่ดังกล่าวหรือไม่ โดยขั้นตอนการตรวจสอบนี้จะเป็นการตรวจสอบรอบที่ 5 (QC5) มีรายละเอียดตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2-123 โดยกระบวนการทั้งสิ้นที่ปรึกษาได้จัดทำรายละเอียดขั้นตอนการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 2-124

ผลการสำรวจ โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิผลการใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2567

สำรวจระหว่างวันที่..... ถึง .....

แขวงทางหลวงที่ .....

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อสายทาง	แผนการสำรวจ					ผลการสำรวจ										หมายเหตุ	กม.ตรวจ
			กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด	ระยะทางจริง	ระยะทางสำรวจ ต่อ 2 ช่อง	ชนิดผิวทาง	วันที่สำรวจ เริ่ม	วันที่สำรวจ สิ้นสุด	กม.เริ่มต้นการสำรวจ	กม.สิ้นสุด การสำรวจ	ระยะทาง (กม.)	ช่องจราจร	ผิวทาง	จำนวนช่องจราจร	สถานะการวิ่งสำรวจ		
1	501	แยกโรงเรียนสุธีวิทยา - ดงจำปา	137+465	138+600	1.135	9.800	AC.												
			138+600	143+100	4.500		AC.												
			143+100	143+500	0.400		Conc.												
			143+500	144+310	0.810		Conc.												
			144+310	144+800	0.490		Conc.												
			144+800	146+950	2.150		Conc.												
			146+950	147+265	0.315		Conc.												
			138+600	137+465	1.135	9.800	AC.												
			143+100	138+600	4.500		AC.												
			143+500	143+100	0.400		Conc.												
			144+310	143+500	0.810		Conc.												
			144+800	144+310	0.490		Conc.												
			146+950	144+800	2.150		Conc.												
			147+265	146+950	0.315		Conc.												
แผนการสำรวจ						19.600		ผลการสำรวจ				0.000	กิโลเมตร						

รูปที่ 2-122 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง

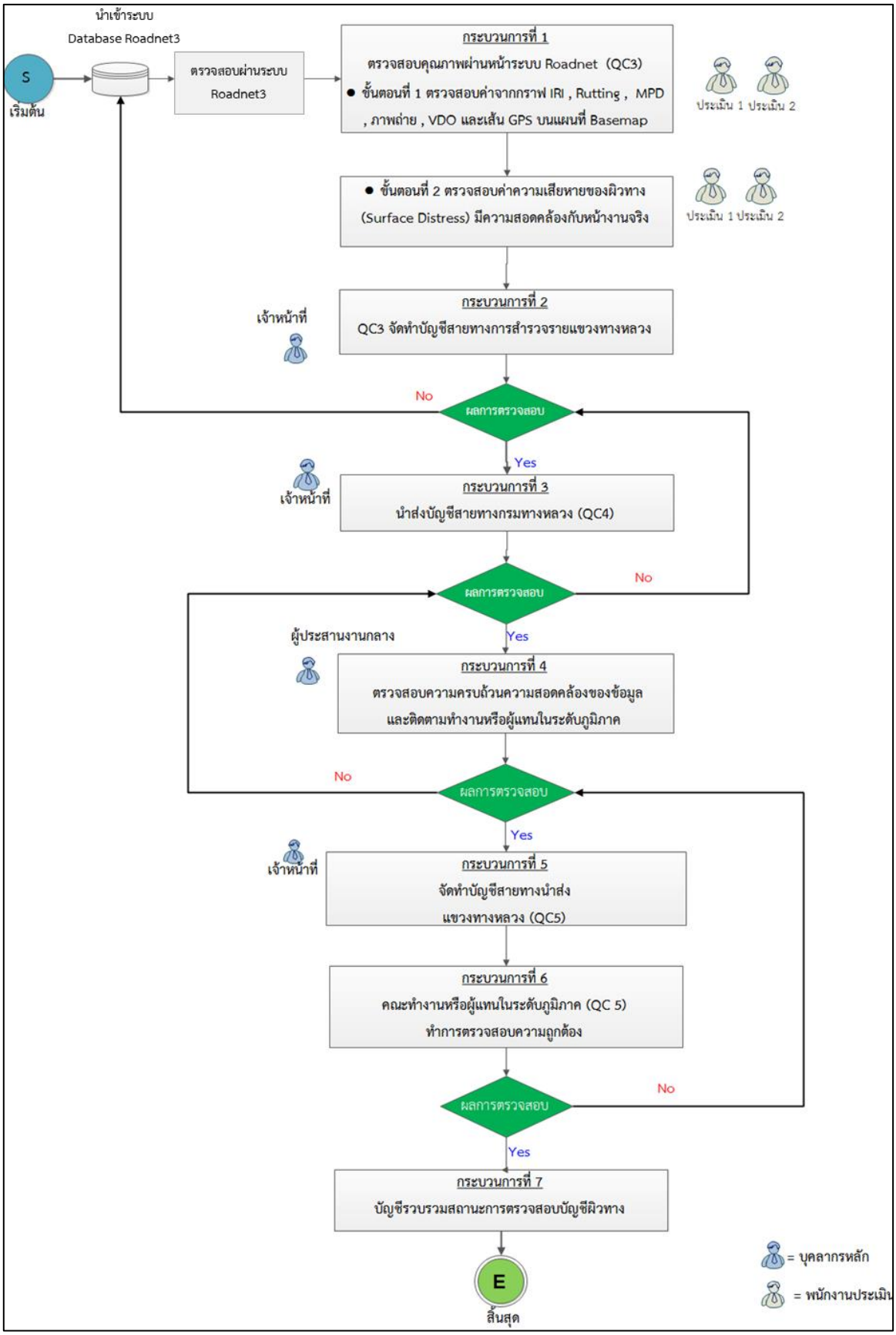
แขวงทางหลวงที่ .....

หมายเหตุ : การตรวจสอบให้ตรวจสอบในแถวที่ระบุ ระยะทาง (กม.) เท่านั้น
กรณีส่งตรวจครั้งที่ 1 แถวที่ไม่ระบุ ระยะทาง (กม.) หมายถึง จะส่งตรวจในครั้งที่ 2
กรณีส่งตรวจครั้งที่ 2 แถวที่ไม่ระบุ ระยะทาง (กม.) หมายถึง ท่านได้ตรวจสอบไปในครั้งที่ 1 แล้ว
แผนการสำรวจอ้างอิง วันที่ .....

หมายเลขทางหลวง	ตอนควบคุม	ชื่อสายทาง	แผนการสำรวจ		ช่องจราจร	ผลการนำเข้าข้อมูล			ประเภททาง	ประเภทผิวทาง	สรุป / สอดคล้อง x ไม่สอดคล้อง	ข้อสังเกต
			กม.เริ่มต้น	กม.สิ้นสุด		กม.เริ่มต้นการสำรวจ	กม.สิ้นสุดการสำรวจ	ระยะทาง (กม.)				
รวมระยะทาง								0.000	กิโลเมตร			

ลงชื่อ .....
(.....)

รูปที่ 2-123 ตารางตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC5



รูปที่ 2-124 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ

จากรูปที่ 2-124 รายละเอียดขยายความกระบวนการตรวจสอบผ่านหน้าระบบ Roadnet3 มีกระบวนการทั้งสิ้น 7 กระบวนการ ดังนี้

<u>กระบวนการที่ 1</u>

ขั้นที่ 1 ตรวจสอบค่า IRI, Rutting, MPD, ภาพถ่าย และภาพเคลื่อนไหว

1) ตรวจสอบการแสดงผลผ่านกราฟ ได้แก่
   - (IRI) มีความต่อเนื่อง ตรวจสอบค่ามีความสอดคล้องกับสภาพทาง
   - (Rutting) มีความต่อเนื่อง ตรวจสอบค่ามีความสอดคล้องกับสภาพทาง
   - (MPD) มีความต่อเนื่อง ตรวจสอบค่ามีความสอดคล้องกับสภาพทาง
2) ปรากฏภาพถ่าย 2 ข้างทาง ขึ้นครบตามช่วง ภาพไม่ถอยหลัง ภาพไม่กระโดด และภาพไม่ซ้ำ
3) ภาพถ่าย 2 ข้างทาง รูปสุดท้ายของช่วงเปลี่ยนผิวทาง และตอนควบคุมของสายทาง สามารถมองเห็นผิวเดิมได้ไม่เกิน 25 เมตร หรือ 50% ของสัดส่วนภาพถ่าย 2 ข้างทาง
4) ภาพถ่ายไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังทัศนวิสัย
5) ข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางสอดคล้องกับโครงข่ายทางหลวง (HRIS)
6) ประเภทผิวทางกล้องหน้าสอดคล้องกับข้อมูลแสดงผลบนระบบ Roadnet3
7) ภาพเคลื่อนไหว (VDO) มีความต่อเนื่องไม่สะดุด
8) พิกัดเส้นสำรวจสอดคล้องกับ GPS บนแผนที่ Basemap

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

<u>กระบวนการที่ 2</u>

เจ้าหน้าที่ QC3 จัดทำบัญชีผลการสำรวจสภาพทางรายแขวงทางหลวง และดำเนินการนำส่งไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แก่คณะทำงาน ดังตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง โดยจะต้องทำหนังสือแจ้งนำส่งบัญชีผลการสำรวจสภาพทางสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ทุก ๆ วันจันทร์

<u>กระบวนการที่ 3</u>

เจ้าหน้าที่ผู้ประสานงานกลาง ดำเนินบันทึกผล รายงานผลระยะทางความก้าวหน้า วันที่รับ – ส่งข้อมูลและดำเนินการประสานงานไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แจกจ่ายบัญชีสายทางแก่คณะทำงานตรวจสอบ

<u>กระบวนการที่ 4</u>

เจ้าหน้าที่ QC4 ตรวจสอบความครบถ้วนความสอดคล้องของข้อมูลสำรวจสายทางในทุก ๆ สายทางหลวง ตอนควบคุม และแผนการสำรวจและผิวการสำรวจ ต้องสอดคล้องทุกกระบวนการ และติดตามคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC5 โดยหากตรวจสอบข้อมูลสำรวจสายทางและบัญชีผลการสำรวจสภาพแล้วเสร็จ จะดำเนินการทำหนังสือแจ้งผลการตรวจสอบให้ที่ปรึกษารับทราบ เพื่อให้ที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำบัญชีผลการสำรวจสภาพรายแขวงทางหลวง นำส่งแก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค (QC5)

<u>กระบวนการที่ 5</u>

เจ้าหน้าที่ QC4 ดำเนินการจัดทำและนำส่งหนังสือแจ้งนำส่งตรวจสอบบัญชีผลการสำรวจสภาพทางรายแขวงทางหลวง แก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC5 โดยจะดำเนินการจัดทำและนำส่งหนังสือแจ้งนำส่งตรวจสอบบัญชีผลการสำรวจสภาพทางสัปดาห์ละ 2 ครั้ง ทุกวันพุธ และวันพฤหัสบดี

<u>กระบวนการที่ 6</u>

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

<u>กระบวนการที่ 7</u>

ที่ปรึกษาจัดทำสรุปบัญชีรวบรวมสถานการณ์ตรวจสอบบัญชีผิวทาง และติดตามระยะทางการผ่านการตรวจสอบ พร้อมทั้งรายงานผลเป็นประจำรายสัปดาห์

เมื่อพบข้อมูลไม่ตรงกับบัญชีผิวทาง ที่ปรึกษาสามารถหมายเหตุข้อมูลการสำรวจเป็นจุดสังเกต เพื่อให้เจ้าหน้าที่จากสำนักบริหารบำรุงทาง และเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวงทำการตรวจสอบบัญชีของตนเองผ่านระบบ Roadnet3 อีกครั้ง โดยมีรายละเอียดของหมายเหตุ ดังนี้

1) <u>ระยะทางสำรวจไม่ตรงกับบัญชี</u> คือ เมื่อทำการสำรวจ กม.เริ่มต้น - กม.สิ้นสุด ระยะสำรวจไม่สอดคล้องกับระยะทางในบัญชีลักษณะผิวทาง โดยจะระบุเมื่อระยะทางไม่สอดคล้องตั้งแต่ ± 500 เมตร เป็นต้นไป
2) <u>ข้อมูลจำนวนช่องจราจรไม่ตรงกับบัญชี</u> คือ เมื่อดำเนินการสำรวจพบว่าสภาพจริงเป็น 4 ช่องจราจร แต่บัญชีลักษณะผิวทางระบุ 2 ช่องจราจร หรือ สภาพจริงเป็น 2 ช่องจราจรแต่บัญชีลักษณะผิวทางเป็น 4 ช่องจราจร ควรแจ้งให้งานสถิติ ตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลในระบบ Roadnet3 ให้เป็นปัจจุบัน

3) ข้อมูลทางขนานไม่ตรงกับบัญชี, ข้อมูลอุโมงค์ทางลอดไม่ตรงกับบัญชี, ข้อมูลสะพานข้ามแยกไม่ตรงกับบัญชี คือ เมื่อดำเนินการสำรวจพบว่าสภาพจริงพบข้อมูลข้อมูลทางขนาน, อุโมงค์ทางลอด และสะพานข้ามแยก แต่บัญชีลักษณะผิวทาง ไม่ระบุ ข้อมูลทางขนาน, อุโมงค์ทางลอด และสะพานข้ามแยก ที่ปรึกษาจึงได้สำรวจเพิ่มจากบัญชีลักษณะผิวทาง ควรแจ้งให้งานสถิติตรวจสอบ และปรับปรุงข้อมูลในระบบ Roadnet3 ให้เป็นปัจจุบัน
4) ข้อมูลประเภทผิวทางไม่ตรงกับบัญชี คือ เมื่อดำเนินการสำรวจพบว่าประเภทผิวทางตามสภาพจริงไม่ตรงตามบัญชีลักษณะผิวทาง ควรแจ้งให้งานสถิติ ตรวจสอบและปรับปรุงข้อมูลในระบบ Roadnet3 ให้ เป็นปัจจุบัน
5) รอนำส่งข้อมูลครั้งที่ 2 คือ ไม่สามารถนำส่งได้ในรอบนี้ ทำให้สายทางช่วงนี้ไม่ต้องตรวจสอบ และจะมีการส่งข้อมูลให้ตรวจสอบ 2 ครั้ง
6) ตรวจสอบแล้วเสร็จ, อยู่ระหว่างตรวจสอบของแขวงฯ (เฉพาะบัญชี QC5), อยู่ระหว่างตรวจสอบของกรมฯ (เฉพาะบัญชี QC4) คือ สายทางในช่วงดังกล่าวท่านได้เคยตรวจสอบและยืนยันผลการตรวจสอบแล้ว หรืออยู่ระหว่างการตรวจสอบของแขวงฯ ในการส่งตรวจครั้งที่ 1 (เฉพาะบัญชี QC5) หรืออยู่ระหว่างการตรวจสอบของกรมฯ ในการส่งตรวจครั้งที่ 1 (เฉพาะบัญชี QC4)
7) ไม่สามารถสำรวจได้ คือ มีการก่อสร้างระหว่างที่ที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจ ซึ่งช่วงกม. ดังกล่าวจะไม่มีข้อมูลการสำรวจ หรือโอนให้หน่วยงานอื่น
8) หลักกิโลเมตรแสดงผลบนระบบ Roadnet3 ไม่ตรงกับกิโลเมตรข้อมูลสำรวจ ที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำเอกสารในการแจ้งผล โดยระบุหมายเลขทางหลวง ตอนควบคุม และข้อมูลช่วงหลักกิโลเมตร และระบุหมายเหตุเพื่อแจ้งเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวง โดยแจ้งในกลุ่ม LINE Open Chat ระบบ HRIS

สำหรับบัญชี Qc4

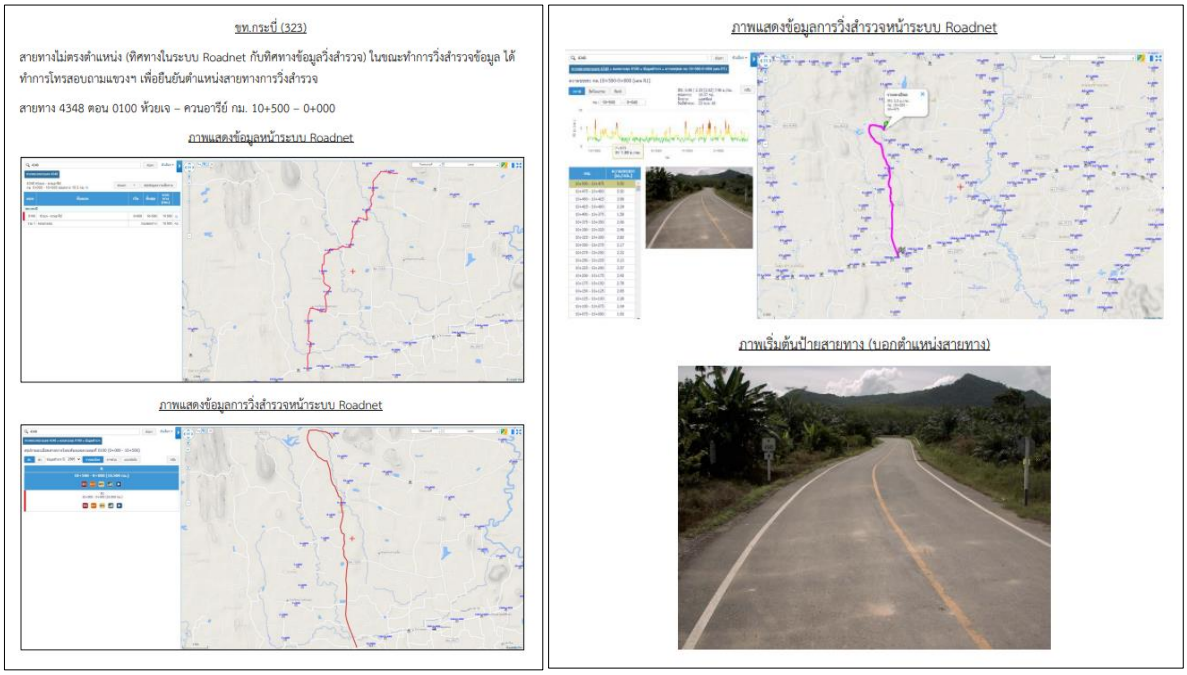
9) สายทางที่สำรวจเพิ่มเติม คือ ในกรณีที่นำสายทางแผนสำรอง (Plan B) นำมาสำรวจเพิ่มเติมเมื่อระยะทางไม่ครบถ้วนจากแผนหลักที่ได้รับมอบหมาย ระบุในช่องสถานะการวิ่งสำรวจ และหากมีข้อมูลไม่ตรงตามสถิติ เช่น ระยะทางสำรวจไม่ตรงกับบัญชี ให้ระบุข้อสังเกตเพิ่มในช่องหมายเหตุ

ทั้งนี้ในกรณีหลักกิโลเมตรแสดงผลบนระบบ Roadnet3 ไม่ตรงกับกิโลเมตรข้อมูลสำรวจที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำเอกสารในการแจ้งผล โดยระบุหมายเลขสายทางหลวง ตอนควบคุม และข้อมูลช่วงหลักกิโลเมตร เพื่อแจ้งเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวง โดยแจ้งในกลุ่ม LINE Open Chat ดังนี้

รูปที่ 2-125 QR code LINE Open Chat สำหรับแจ้งระบบ HRIS

และหากในกรณีแจ้งประเด็นบัญชีแผนหรืองานก่อสร้าง ระหว่างเจ้าหน้าที่ส่วนภูมิภาคแขวงทางหลวงและหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางแจ้งในกลุ่ม LINE Open Chat ดังนี้

รูปที่ 2-126 QR code LINE Open Chat Roadnet Survey สำหรับเจ้าหน้าที่ส่วนภูมิภาค



รูปที่ 2-127 ตัวอย่างเอกสารในการแจ้งผล กรณีหลักกิโลเมตรแสดงผลบนระบบ Roadnet3 ไม่ตรงกับกิโลเมตรข้อมูลสำรวจ โดยระบุหมายเลขสายทางหลวง ตอนควบคุม และข้อมูลช่วงหลักกิโลเมตร

2.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทางในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง

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

การวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) คือ แบบจำลองที่คำนวณค่า IRI หลังจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีต่าง ๆ หรือแบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง (Road Work Effect Model) โดยที่ปรึกษาจะใช้ข้อมูลค่า IRI จากการสำรวจในโครงการร่วมกับข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุง อันประกอบด้วย งานฉาบผิว งานเสริมผิว งานบูรณะพื้นทาง และงานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่ และงานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์ โดยใช้ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงและข้อมูลการสำรวจดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ของสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ เพื่อนำมาวิเคราะห์และสอบเทียบแบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุง ให้เป็นไปตามสภาพความเป็นจริงสายทางของกรมทางหลวงมากที่สุด ทางที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมและวิเคราะห์ผลตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูล

ที่ปรึกษาจะดำเนินการรวบรวมข้อมูลจากสำนักบริหารบำรุงทาง และสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ในการนำข้อมูลมาประกอบการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุง โดยข้อมูลที่ได้รับประกอบด้วย

- ชื่อสายทาง
- ตอนควบคุม
- ประเภทการซ่อมบำรุง
- ตำแหน่ง กม.
- ตำแหน่งช่องจราจร
- วันที่สำรวจค่า IRI
- ผู้ทำการสำรวจ (สำนักบริหารบำรุงทาง หรือสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ)
- ผลการสำรวจค่า IRI

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจนถึงวันที่ 31 มีนาคม 2564 ซึ่งที่ปรึกษาได้รับข้อมูลมาจากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง ทั้งนี้ได้รับการตรวจสอบและผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการแล้ว

ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกสายทาง

เมื่อดำเนินการรวบรวมข้อมูลแล้วที่ปรึกษาจะคัดเลือกสายทางที่นำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดการคัดเลือก ดังนี้

- เลือกสายทางที่มีงานบำรุงตามรหัสงาน 4 ประเภท ได้แก่ 22100 : งานฉาบผิวแอสฟัลต์ 22200 : งานเสริมผิวแอสฟัลต์ 23300 : งานปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมนำกลับมาใช้ใหม่ 24100 : งานบูรณะทางผิวแอสฟัลต์
- เลือกเฉพาะสายทางที่มีการสำรวจค่า IRI ในช่วงเวลาก่อนซ่อมบำรุงไม่เกิน 360 วัน และมีการสำรวจค่า IRI ในช่วงเวลาหลังซ่อมบำรุงไม่เกิน 90 วัน แสดงดังรูปที่ 2-128 เพื่อให้ได้สายทางที่ได้รับผลกระทบจากการซ่อมมากที่สุด

รูปที่ 2-128 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง

- ผลการสำรวจของ IRI เฉลี่ยหลังซ่อมจะต้องมีค่าไม่มากกว่า ค่า IRI เฉลี่ยก่อนซ่อม เพื่อให้ได้สายทางที่มีการปรับปรุงค่า IRI อย่างแท้จริง

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบข้อมูล

เมื่อที่ปรึกษาจะดำเนินการคัดเลือกสายทางที่สามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงส่งข้อมูลให้ทางคณะกรรมการพิจารณาความเหมาะสมของสายทางอีกครั้ง ทั้งข้อมูลตำแหน่งของสายทางและประวัติงานซ่อมบำรุง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว

เมื่อที่ปรึกษาได้สายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงแยกการวิเคราะห์ตามพฤติกรรมและหลักการของค่าความเรียบได้ 3 แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองผลกระทบหลังการฉาบผิวทางลาดยาง

ที่ปรึกษาจะนำค่าความเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉาบผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$RI_a = RI_b - MAX\{0, MIN[A_0*(RI_b - 2.85), 0.06 * Hsl]\}$

RI_a = IRI หลังการฉาบผิว (m/km)

RI_b = IRI ก่อนการฉาบผิว (m/km)

Hsl = ความหนาของการฉาบผิวl (mm)

A_0 = 1 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)

2) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิว (HDM)

ปรึกษาจะนำค่าความเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมบำรุงจากข้อมูลสายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

ΔRIa = max{0 , A0[min(a1,RIbw)-a2]+a3max[0,(RIbw -a1)]}

RIaw = RIbw - ΔRIa

โดยที่

A0 = 0.9 ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)

a1 = max{4.0 , 2.1exp[0.019HSNEWaw]}

a2 = 1 + 0.018max[0 , (100-HSNEWaw)]

a3 = min{a0 , max[0 , (0.01HSNEWaw- 0.15)]}

ΔRIa = การลดค่าของค่า IRI หลังการการเสริมผิวทาง

RIbw = ค่า IRI ก่อนการเสริมผิวทาง (m/km)

RIaw= ค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง (m/km)

HSNEWaw = ความหนาของการเสริมผิวทาง (mm)

3) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และงานบูรณะผิวทาง

การซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง เป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบรื้อตั้งแต่ชั้นโครงสร้างทาง จากนั้นจึงลาดผิวทางใหม่ด้วยแอสฟัลต์ ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่า IRI ภายหลังการซ่อมด้วยวิธีนี้จะมีค่าเทียบเท่ากับถนนใหม่ ทางที่ปรึกษาจึงจะรวบรวมข้อมูลค่า IRI ย้อนหลังเพื่อกำหนดเป็นค่าความเรียบภายหลังการซ่อมด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง

2.7.2 การศึกษาและแปลผลการสำรวจโดยโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System, TPMS) เพื่อวิเคราะห์แผนงานซ่อมบำรุงจากระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

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

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวลาดยาง

จากการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวลาดยาง ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก และประมวลผลด้วยอุปกรณ์การสำรวจ

โดยสามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายโดยบุคลากรผู้ชำนาญการโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางสำหรับการประเมิน ที่สามารถส่งออกผลลัพธ์ค่าความเสียหายจากการประเมินสายทาง และค่าพิกัดตำแหน่งของภาพที่เกิดความเสียหายแสดงดังตารางที่ 2-28

ตารางที่ 2-28 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง

ผิวทางลาดยาง			
ลำดับที่	**ประเภทความเสียหาย**	**การวัด**	**หน่วยการวัด**
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected Crack)	พื้นที่	ตารางเมตร/กิโลเมตร
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal Crack)	ความยาว	เมตร/กิโลเมตร

การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวคอนกรีต

ที่ปรึกษาประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวคอนกรีต ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกโดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ ทำให้การประมวลผลข้อมูลความเสียหายช่วยในการประเมินด้วยผู้ชำนาญการ โดยหน่วยการวัดความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตจะแตกต่างจากหน่วยการวัดความเสียหายของถนนผิวลาดยาง เช่น รอยแตกตามขวางของถนนผิวลาดยางจะมีหน่วยการวัดเป็นความยาว (เมตร) ส่วนรอยแตกตามขวางของถนนผิวคอนกรีตจะมีหน่วยการวัดเป็นจำนวนแผ่น/กิโลเมตร เป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตที่จะวิเคราะห์ตามเกณฑ์แสดงดังตารางที่ 2-29

ตารางที่ 2-29 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

ผิวทางคอนกรีต		
ลำดับที่	**ประเภทความเสียหาย**	**หน่วยการวัด**
1	รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracks)	จำนวนแผ่น/กิโลเมตร
2	รอยแตกตามยาว (Longitudinal Cracks)	จำนวนแผ่น/กิโลเมตร

2.8 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง

ที่ปรึกษาจะดำเนินการแปลผลข้อมูลจากโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System, TPMS) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำ แผนงานบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ซึ่งเหมาะสมทั้งด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดทำรายงานการจัดสรรงบประมาณบำรุงทางในระยะยาวโดยใช้ระบบ TPMS เพื่อใช้ในการวางแผนในระยะเวลา 3 ปี โดยในการวิเคราะห์ต้องประกอบด้วยการจัดสรรแบบไม่จำกัดงบประมาณการจัดสรรงบประมาณแบบจำกัดงบประมาณและแบบกำหนดดัชนีค่าIRIไม่เกินค่าที่กำหนดโดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผลในมิติ ที่หลากหลาย เช่นแยกตามหน่วยงาน รหัสงาน แขวงทางหลวง เป็นต้น

ที่ปรึกษาจะดำเนินการแปลผลข้อมูลจากโปรแกรมบริหารงานบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System : TPMS) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดทำแผนงานบำรุงรักษาทางหลวง ซึ่งเหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์ โดยมีรายละเอียดประกอบด้วย

2.8.1 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์

ที่ปรึกษาจะดำเนินการจัดทำรายงานการจัดสรรงบประมาณบำรุงทางในระยะยาวโดยใช้ระบบ TPMS เพื่อใช้ในการวางแผนในระยะเวลา 3 ปี โดยในการวิเคราะห์ต้องประกอบด้วยการจัดสรรงบประมาณแบบไม่จำกัดงบประมาณ การจัดสรรงบประมาณแบบจำกัดงบประมาณและแบบกำหนดดัชนีค่า IRI ไม่เกินค่าที่กำหนด โดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผลในมิติที่หลากหลาย เช่น แยกตามหน่วยงาน รหัสงาน แขวงทางหลวง เป็นต้น

แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์หรือแผนงานระยะยาว ซึ่งจะใช้ Optimization Model รวมกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพ และแบบจำลองหลังการซ่อมเพื่อวิเคราะห์งบประมาณ (Budget) ค่าซ่อมบำรุง (Maintenance Cost) และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (Road User Cost) กรณีซ่อมบำรุงปกติและกรณีที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีอื่น ๆ ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Optimization ซึ่งจากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ จำแบบต้องใช้แบบจำลองต่าง 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 เหมาะสำหรับกรณีที่ต้องการเน้นความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์
   - Objective Function : Minimize Average IRI เน้นการทำให้ค่าเฉลี่ย IRI ทั้งโครงข่ายของกรมทางหลวงต่ำสุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เหมาะสำหรับการซ่อมบำรุงถนน ทั้งสายหลักและสายรอง โดยไม่คำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
3) กรณีกำหนดค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี (IRI Constraint)
   - Objective Function : Maximize Total Benefit เน้นการคัดเลือกการซ่อมบำรุงสายทางที่ให้ผลประโยชน์ต่อผู้ใช้ทางสูงสุด
   - Objective Function : Minimize Total Cost เน้นการซ่อมบำรุงสายทาง เพื่อให้ได้ค่า IRI เฉลี่ยทั้งโครงข่ายตามเป้าหมาย และใช้งบประมาณน้อยที่สุด

2.8.2 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี

ที่ปรึกษาจะต้องแปลผลข้อมูลเพื่อจัดทำรายงาน วิธีซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางและคอนกรีต จากข้อมูลการสำรวจในโครงการนี้ และข้อมูลสภาพความเสียหายของทางหลวงในฐานข้อมูล Roadnet3 ด้วยโปรแกรม TPMS พร้อมจัดทำแผนงานบำรุงทางประจำปีในระดับความละเอียดทุก 1 กิโลเมตร (แบบไม่จำกัดงบประมาณ) โดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผลในมิติที่หลากหลาย เช่น แยกตามหน่วยงาน รหัสงาน แขวงทางหลวง เป็นต้น

ที่ปรึกษาจะต้องแปลผลข้อมูลเพื่อจัดทำรายงาน วิธีซ่อมบำรุงผิวทางลาดยางและคอนกรีต จากข้อมูลการสำรวจในโครงการนี้ และข้อมูลสภาพความเสียหายของทางหลวงในฐานข้อมูล Roadnet3 ด้วยโปรแกรม TPMS พร้อมจัดทำแผนงานบำรุงทางประจำปีในระดับความละเอียดทุก 1 กิโลเมตร (แบบไม่จำกัดงบประมาณ) โดยจัดทำรายงานสรุปผลการวิเคราะห์แสดงผลในมิติที่หลากหลาย เช่น แยกตามหน่วยงาน รหัสงาน จังหวัด เป็นต้น

ในปัจจุบันระบบ TPMS ของกรมทางหลวงได้มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการวิเคราะห์งบประมาณ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการปรับปรุงระบบ TPMS ในการวิเคราะห์ประจำปี มีรายละเอียด ดังนี้

1) สามารถเลือกข้อมูลสายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้สะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้น โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกลักษณะของสายทางที่จะทำการวิเคราะห์ คือ วิเคราะห์ถนนลาดยาง หรือคอนกรีต กำหนดช่วงค่า IRI ของสายทางรวมถึงปริมาณจราจร เพื่อคัดกรองสายทางที่ต้องการ
2) สามารถกำหนดวงเงินแยกในแต่ละกิจกรรมซ่อมบำรุงตามที่กรมทางหลวงกำหนด เพื่อทำการวิเคราะห์
3) สามารถกำหนดวงเงินแยกในแต่ละหน่วยงาน เพื่อเป็นการกระจายงบประมาณไปยังแต่ละหน่วยงาน ก่อนทำการวิเคราะห์
4) สามารถกำหนดวงเงินกรณีไม่จำกัดงบประมาณ (Unlimited Budget)
5) สามารถกำหนดวงเงินกรณีจำกัดงบประมาณรวมในแต่ละปี (Budget Constraint)
6) สามารถกำหนดกรณีกำหนดค่า IRI เป้าหมายในแต่ละปี (IRI Constraint)

โดยที่ปรึกษาจะทำการวิเคราะห์และจัดทำจัดทำรายงานแผนบำรุงทาง (Thailand Pavement Management System : TPMS) ทั้งแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี และแผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ เพื่อนำส่งตามความต้องการของสำนักบริหารบำรุงทาง กรมทางหลวง