

#### 4.1 พื้นที่สำรวจ

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

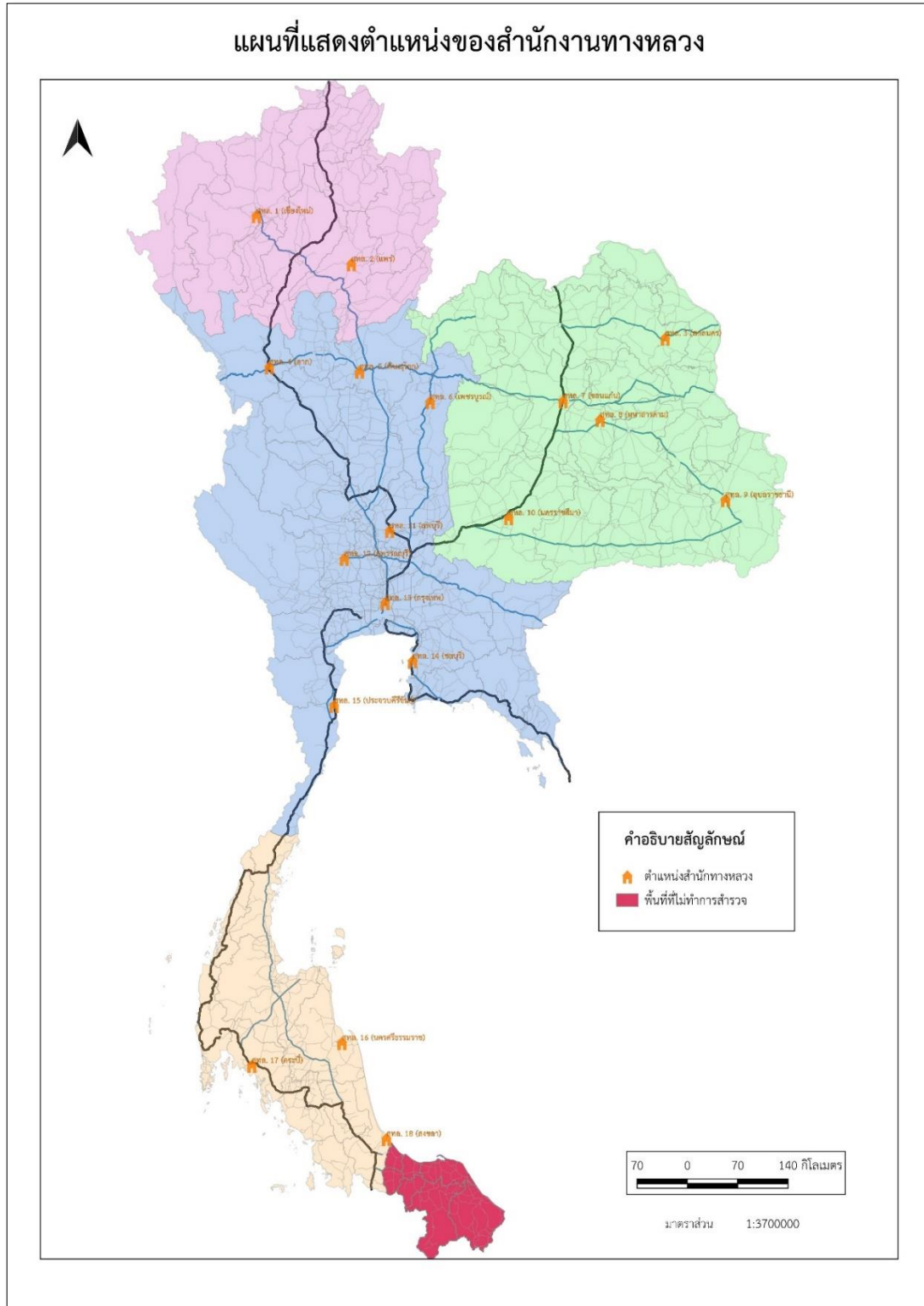


ตารางที่ 4-1 แสดงระยะทางสำรวจรายสำนัก แบ่งตามอุปกรณ์การสำรวจ

สำนักงานทางหลวง	ระยะทางสำรวจ(กม.)		ระยะทางสำรวจรวม(กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
สำนักงานทางหลวงที่ 1 (เชียงใหม่)	840.012	2,406.368	3,246.38
สำนักงานทางหลวงที่ 10 (นครราชสีมา)	1,151.728	1,383.954	2,535.682
สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี)	1,112.786	904.869	2,017.655
สำนักงานทางหลวงที่ 12 (สุพรรณบุรี)	340.604	895.854	1,236.458
สำนักงานทางหลวงที่ 13 (กรุงเทพ)	1,116.693	705.109	1,821.802
สำนักงานทางหลวงที่ 14 (ชลบุรี)	1,206.055	686.105	1,892.16
สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)	1,373.956	236.241	1,610.197
สำนักงานทางหลวงที่ 16 (นครศรีธรรมราช)	965.756	293.857	1,259.613
สำนักงานทางหลวงที่ 17 (กระบี่)	1,146.788	467.768	1,614.556
สำนักงานทางหลวงที่ 18 (สงขลา)	291.431	299.492	590.923
สำนักงานทางหลวงที่ 2 (แพร่)	468.832	1,766.316	2,235.148
สำนักงานทางหลวงที่ 3 (สกลนคร)	670.791	347.145	1,017.936
สำนักงานทางหลวงที่ 4 (ตาก)	815.223	1,149.849	1,965.072
สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	657.863	515.96	1,173.823
สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	724.188	246.542	970.73
สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	908.624	777.939	1,686.563
สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	695.292	580.691	1,275.983
สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	622.086	806.641	1,428.727
<b>ระยะทางสำรวจรวม(กม.)</b>	<b>15,108.708</b>	<b>14,470.700</b>	<b>29,579.408</b>



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



รูปที่ 4-1 ตำแหน่งของสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 แห่ง

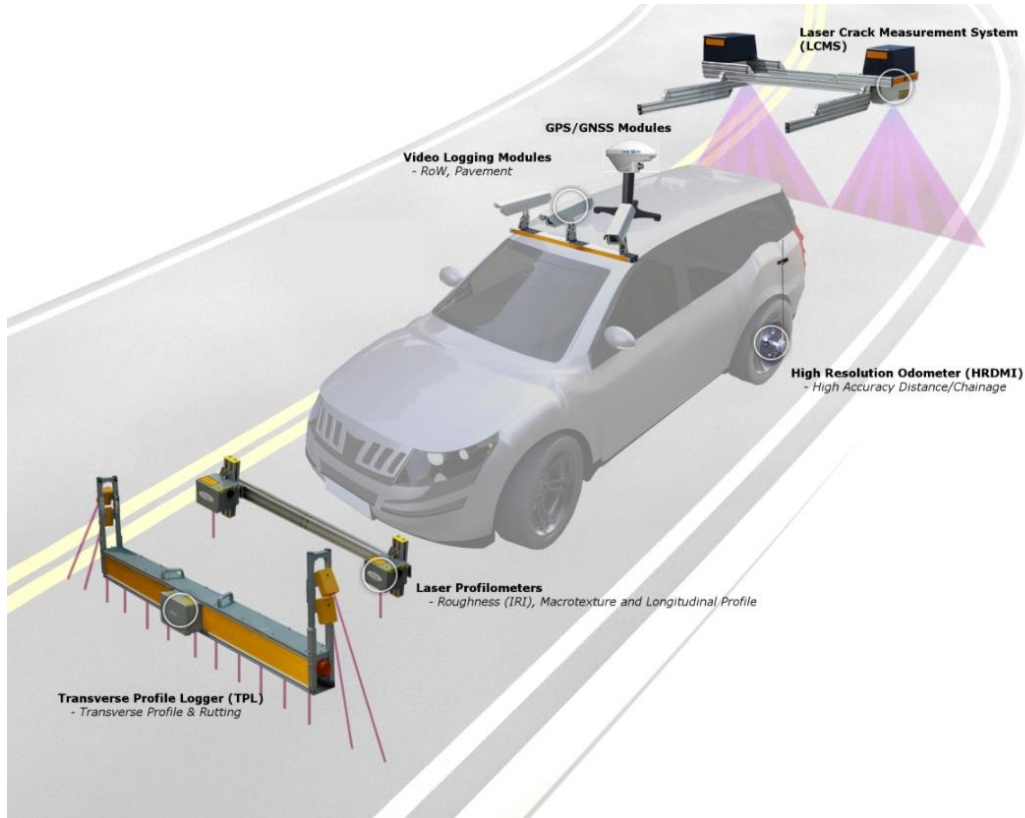


## 4.2 เครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทาง

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

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





รูปที่ 4-2 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.)

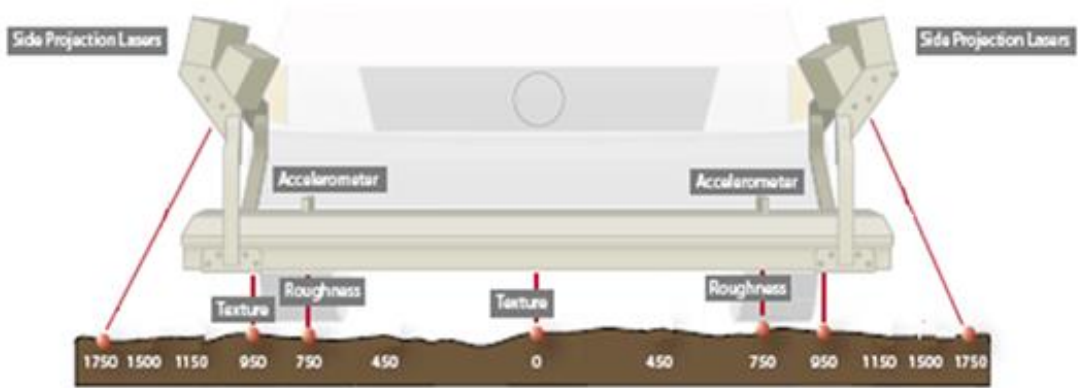
รูปที่ 4-3 ตัวอย่างการจำแนกระดับชั้น (Class) ของอุปกรณ์ตรวจวัดตามระดับความแม่นยำและความถี่ของการบันทึกข้อมูลตามระยะทางสำรวจ เพื่อประมวลผลค่าโปรไฟล์ของผิวทาง (Pavement Profile) ตามมาตรฐาน ASTM E950



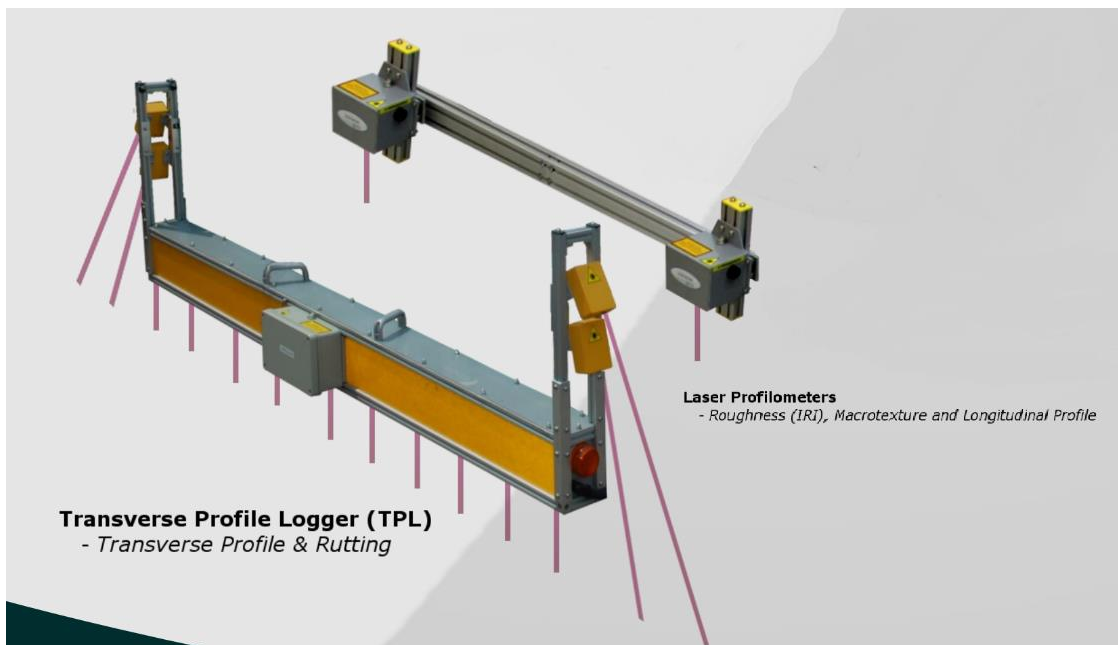
4.2.1 มีชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่สามารถตรวจวัดสภาพผิวทางได้ทุก 25 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า โดยสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับเครื่องมือระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ทำการบอกพิกัดตำแหน่งแบบ DGPS (Differential Global Positioning System) ทศนิยมอย่างน้อย 6 ตำแหน่ง บนพื้นหลักฐานอ้างอิง WGS84 และค่าพิกัดที่ได้สามารถนำไปคำนวณเป็นระยะทางตามสายทางได้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

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

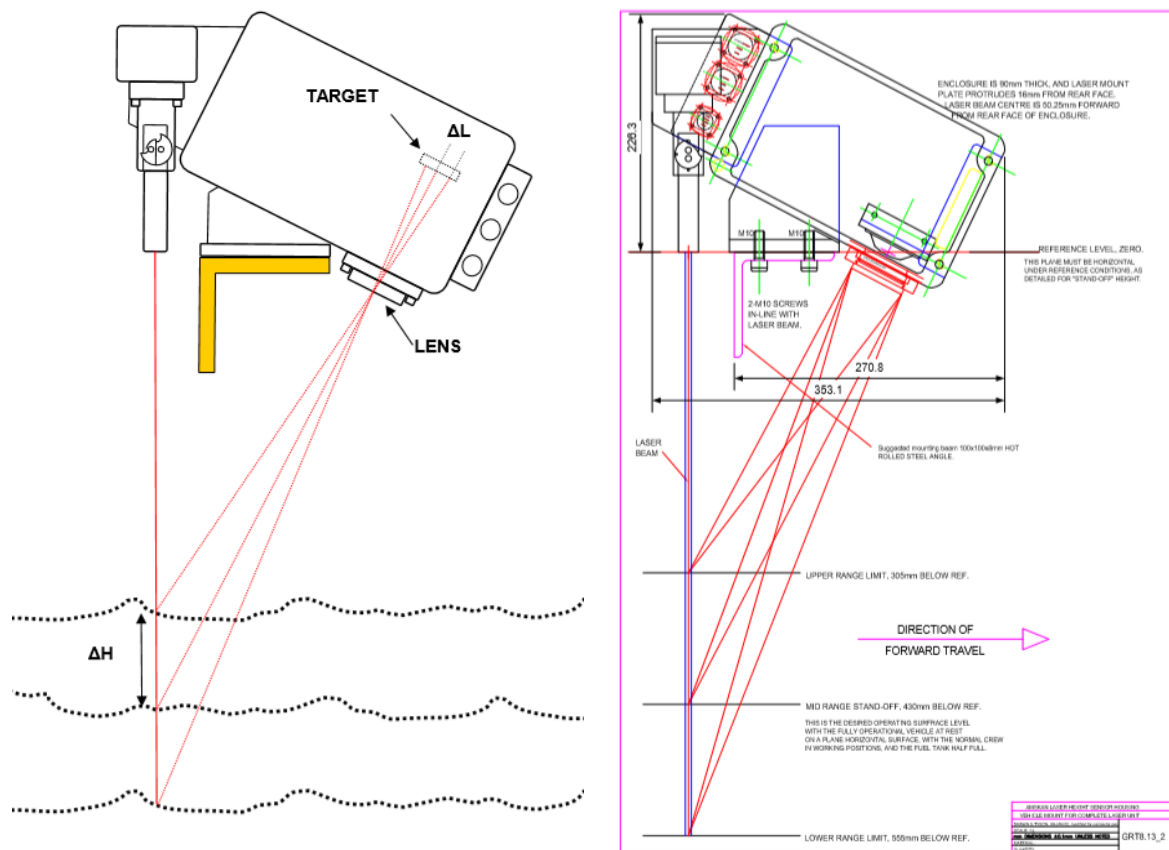
**เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (Laser Profilometer)** เป็นชุดเครื่องมือที่ประกอบด้วยชุดเลเซอร์หลายจำนวนประกอบไว้ด้วยกัน ทำการติดตั้งไว้บริเวณด้านหน้าของยานพาหนะสำรวจบนโครงสร้างที่มีความแข็งแรง (Rigid) เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องและมีค่าที่ตรวจวัดได้สัมพันธ์กันจากทุกอุปกรณ์เซนเซอร์ โดยมีระยะการติดตั้งเพื่อตรวจวัด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



รูปที่ 4-4 ผังการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์



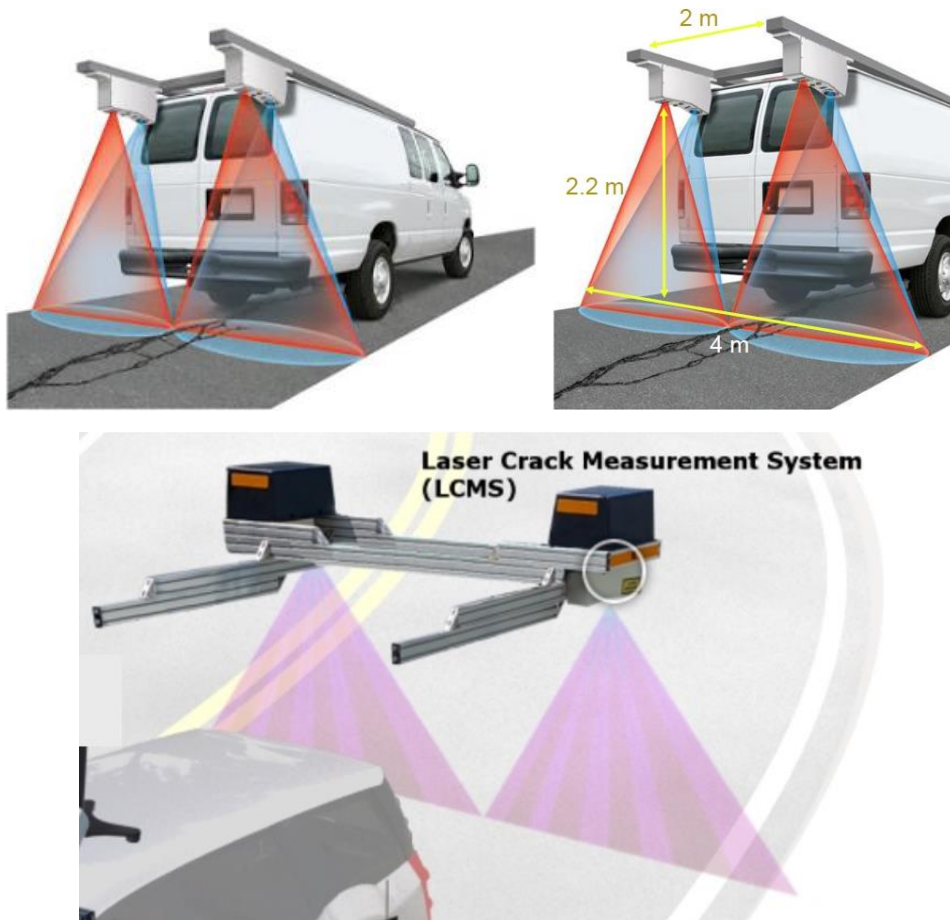
รูปที่ 4-5 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 4-6 แสดงการทำงานของเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์



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

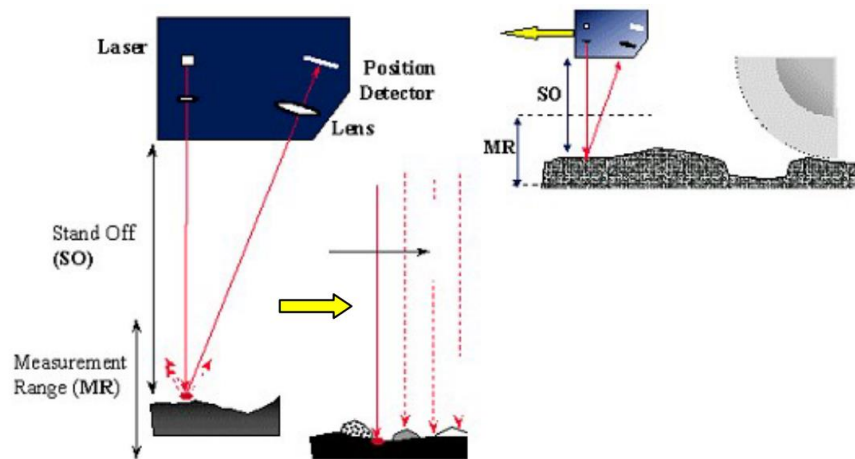


รูปที่ 4-7 อุปกรณ์ Laser Crack Measurement System (LCMS)

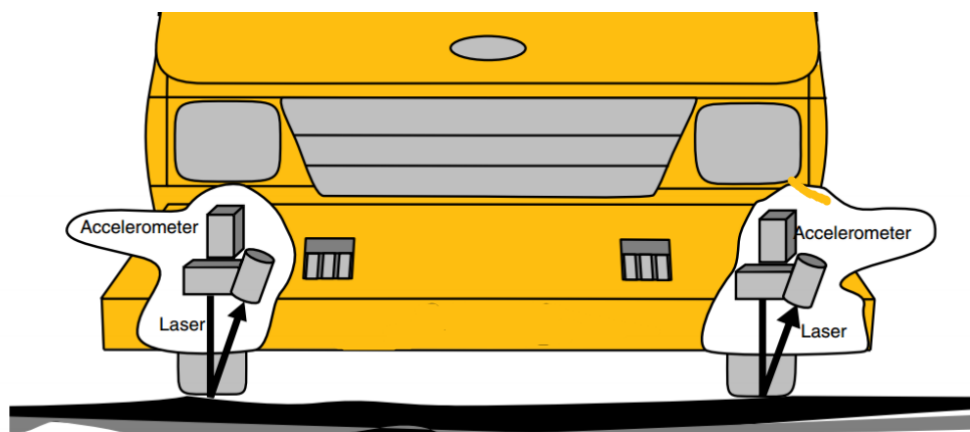
โดยชุดเลเซอร์ทั้ง 2 ประเภทที่ได้กล่าวมา สามารถทำการตรวจวัดข้อมูลสภาพผิวทางที่สำคัญ 3 ตัว ด้วยกัน คือ



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

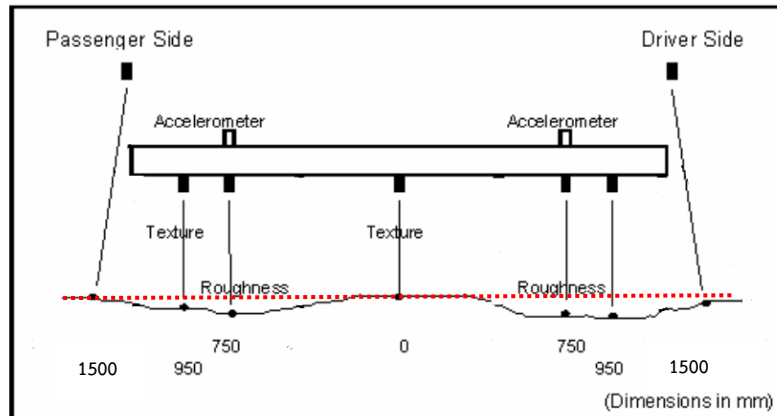


รูปที่ 4-8 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดความเรียบของผิวทาง



รูปที่ 4-9 หลักการทำงานของอุปกรณ์เลเซอร์ร่วมกับอุปกรณ์ Accelerometer ติดตั้งที่ ระยะ +/- 750 มิลลิเมตร จากแนวกึ่งกลางของรถสำรวจ

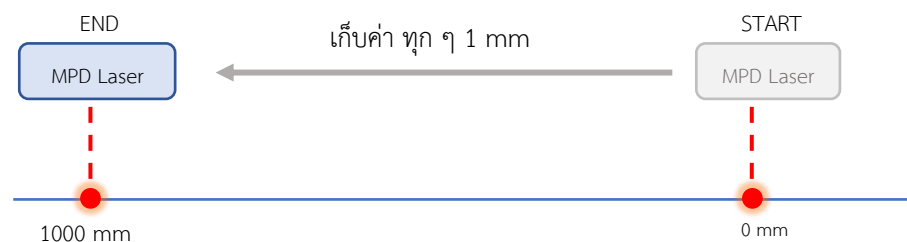
2) ข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) เป็นการใช้ชุดเลเซอร์ตั้งแต่ 7 หัวขึ้นไป ทำการตรวจวัดข้อมูลภาพตัดขวางผิวทางในทิศทางตั้งฉากกับแนวการสำรวจทุก ๆ ระยะทางสำรวจ 25 มิลลิเมตร จากนั้นทำการสร้างระนาบอ้างอิงที่เป็นระดับของผิวถนนแล้วทำการคำนวณความลึกบริเวณแนวร่องล้อ แยกทั้งสองฝั่งซ้าย (Rut Left) และฝั่งขวา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



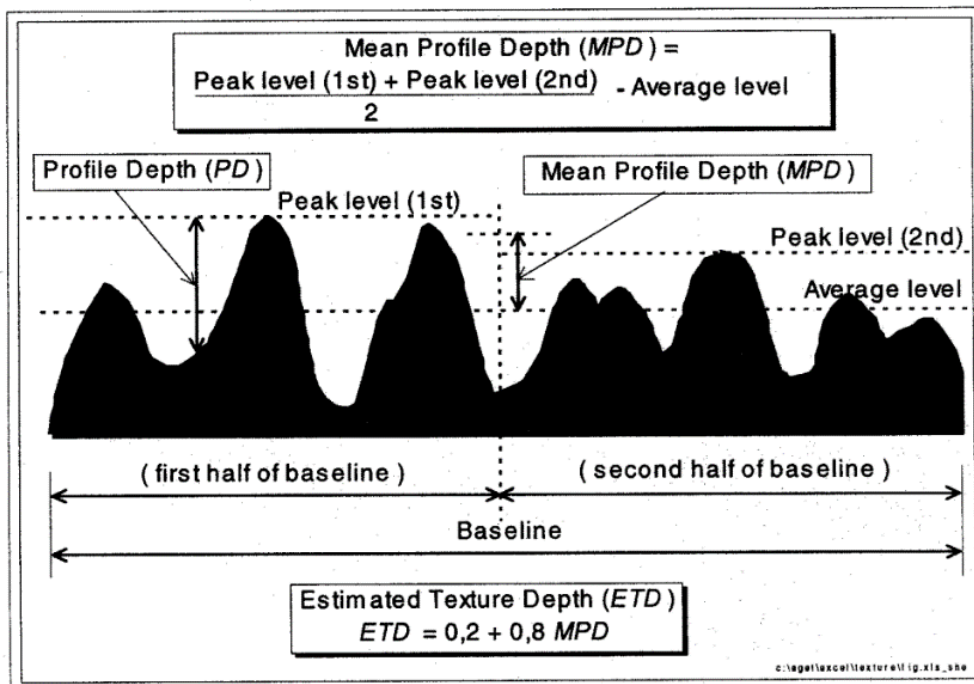
รูปที่ 4-10 การตรวจวัดความลึกร่องล้อด้วยเลเซอร์ 7 หัว

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

ซึ่งวิธีการคำนวณและตรวจสอบความถูกต้องของค่า MPD นั้น โปรแกรมประมวลผลสามารถที่จะประมวลผลละเอียดสูงสุดที่ 1 เมตร ดังนั้นเมื่อเก็บค่าทุก ๆ 1 มิลลิเมตร เป็นระยะทาง 1 เมตร (ดังรูปที่ 4-11) โปรแกรมจะนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟ และคำนวณตามสูตรมาตรฐาน (ดังรูปที่ 4-12) ตามลำดับ ซึ่งการสำรวจในรอบการสำรวจนี้ มีการประมวลผลที่ทุก ๆ 25 เมตร คือการนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ ทุก ๆ 1 เมตร มาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4-11 แสดงตัวอย่างการเก็บค่า MPD

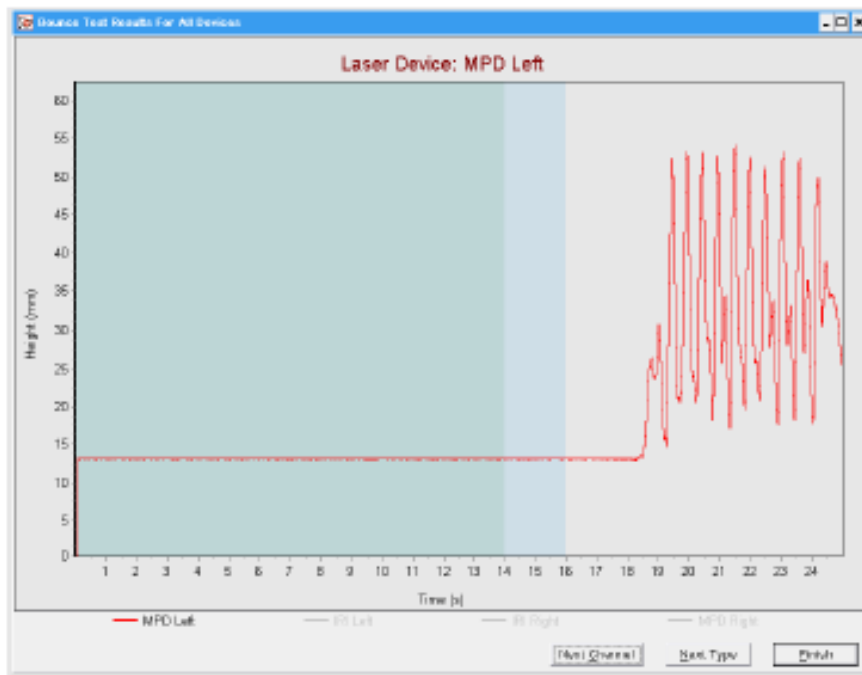


รูปที่ 4-12 แสดงตัวอย่างการคำนวณหาค่า MPD

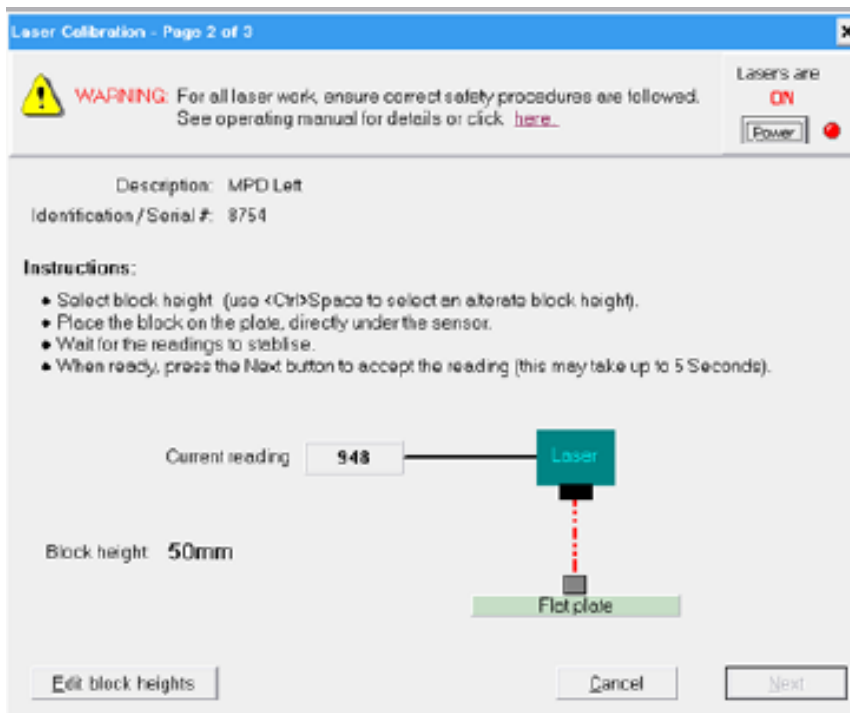
ในส่วนของการตรวจสอบว่าเครื่องมือตรวจวัดค่า Texture ทำงานเป็นปกติหรือไม่ สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทำ bounce test ซึ่งทางที่ปรึกษาจะพิจารณากราฟ raw laser signal ที่ได้จากเลเซอร์ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ ทั้งนี้ การทำ bounce test นั้น พื้นฐานก็เพื่อที่จะตรวจสอบการทำงานในการวัดค่า IRI และ accelerometer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

การทำ block calibration คือ การสอบเทียบการวัดค่าความสูงของเลเซอร์ให้ถูกต้อง โดยใช้ก้อนเหล็กขนาด 50 มิลลิเมตร ในการสอบเทียบ โดยการสอบเทียบวิธีนี้ควรทำเดือนละครั้ง

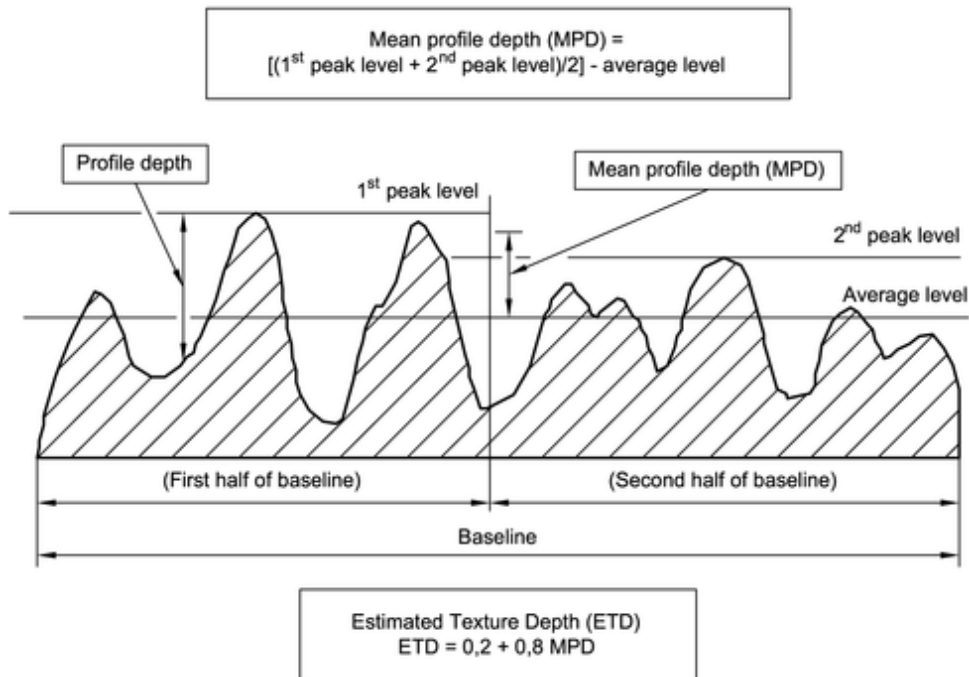




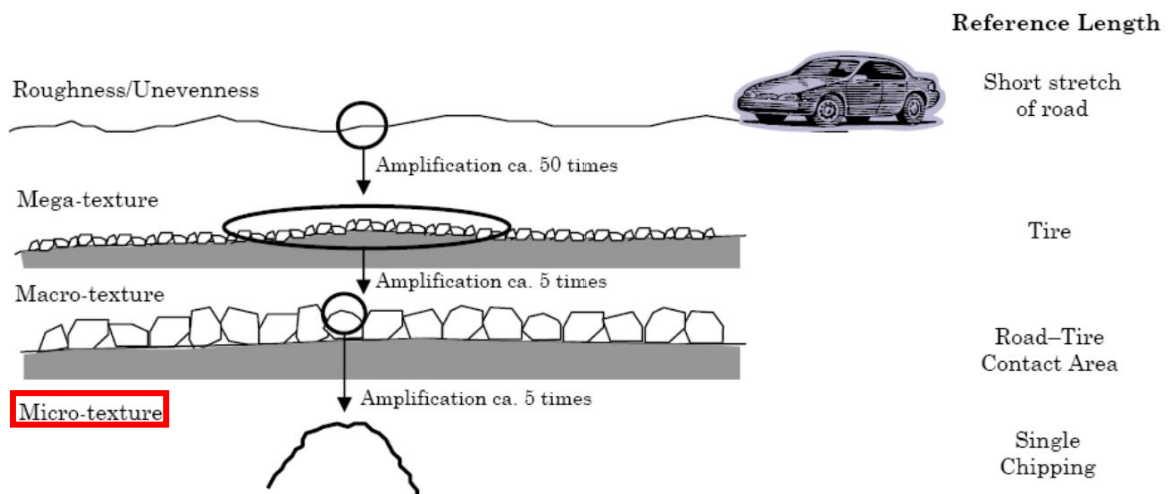
รูปที่ 4-13 กราฟแสดงค่าการ bounce test



รูปที่ 4-14 หน้าโปรแกรมแสดงการทำ block calibration



รูปที่ 4-15 การคำนวณผลลัพธ์ค่า MPD จากเครื่องมือ Laser



รูปที่ 4-16 ค่า MPD ที่ตรวจวัดได้เป็นค่าความผิดของผิวทางในระดับ Macro-texture



นอกจากนี้ยังมีในส่วนของการคำนวณค่าความหยาบเฉลี่ยของผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ด้วยชุดอุปกรณ์เลเซอร์ตรวจวัดค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) โดยใช้ระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS) ซึ่งการตรวจวัด Pavement surface texture ของแต่ละพื้นที่ผิวทาง บนพื้นฐานการใช้วิธี “Digital Sand Patch Method” ที่มีหลักการเดียวกันกับวิธีการดั้งเดิมคือ Sand Patch Test สามารถประมวลผลหาค่า air void-content volume และพื้นที่ถนนบริเวณที่กำลังตรวจวัดได้ โดยใช้วิธีการประมวลผลตามมาตรฐาน ASTM E965-15 และตามมาตรฐาน ASTM E1845-15 ดังรูปที่ 4-17 และ รูปที่ 4-18 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<sup>3</sup>

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

|  
*Digital Sand Patch Method*

$V$  = air void-content volume, mm<sup>3</sup>

$A$  = road surface, mm

รูปที่ 4-17 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 4-18 การประมวลผลค่า MTD ตามมาตรฐาน ASTM E1845-15



ตารางที่ 4-2 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	15 ชุด	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 25 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิวทาง	1 มม. สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 100 กม./ชม.	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานในการเก็บข้อมูล	ASTM E950 Class 1 Requirement for The Measurement of Longitudinal Profile AASHTO PP37 Provisional Standard of Quantifying Roughness of Pavement World Bank Technical Report 42 Class 1 AustRoad Guideline ASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using A Straightedge	คุณสมบัติเทียบเท่าข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่าระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2.2 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	25 กก. (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ



ตารางที่ 4-3 รายละเอียดเครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

ข้อมูล	รายละเอียด	คุณสมบัติเพิ่มเติม
จำนวนชุดเลเซอร์	7 ชุด	คุณสมบัติเทียบเท่า ข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูลค่าระดับ	สามารถกำหนดได้โดยทั่วไปเก็บทุกระยะ 1 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
อัตราการเก็บข้อมูล texture ของผิว ทาง	1 มม. สำหรับ Mean Profile Dept Measurement (MPD)	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
ความเร็วรถในการเก็บข้อมูล	20 ถึง 100 กม./ชม.	คุณสมบัติเทียบเท่า ข้อกำหนดของโครงการ
มาตรฐานในการเก็บข้อมูล	ASTM E950 Class 1 Requirement for The Measurement of Longitudinal Profile AASHTO PP37 Provisional Standard of Quantifying Roughness of Pavement World Bank Technical Paper 46 Class 1 AustRoad Guideline ASTM E1845 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth ASTM E1703 Standard Test Method for Measuring Rut-Dept Of Pavement Surface Using A Straightedge	คุณสมบัติเทียบเท่า ข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	0.5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
ความยาวคลื่นของการเก็บข้อมูลค่า ระดับในแนวยาว	100 มม. ถึง 100 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
ความกว้างของชุดเลเซอร์	2 ม.	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ
น้ำหนักของชุดเลเซอร์	30 กก. (โดยประมาณ)	คุณสมบัตินอกเหนือ ข้อกำหนดของโครงการ



ตารางที่ 4-4 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, AUSTRROADS Guidelines (where applicable), ISO 13473, NCAT Profiler Certified (longitudinal profiler), LCPC Methode d'essai No 40, World Bank Technical Paper 46.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ
ความละเอียดในการเก็บข้อมูล	ตามขวางถนน ทุกๆ 1 มม. ตามยาวถนน ทุกๆ 5 มม.	คุณสมบัตินอกเหนือข้อกำหนดของโครงการ
ตรวจความเสียหายอัตโนมัติ	สามารถตรวจรอยแตก (Crack) ได้ระดับ 1 มม.	คุณสมบัติดีกว่าข้อกำหนดของโครงการ



4.2.2 มีระบบประมวลผลเพื่อระบุตำแหน่งและขนาดของความเสียหายของผิวทางโดยประมวลผลแบบอัตโนมัติได้ (Automatic Cracking Detection) จากข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์ หรือมีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ โดยประมวลผลจากโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายจากภาพถ่าย โดยมีรายละเอียดดังนี้

Laser Crack Measurement System (LCMS) เป็นเครื่องมือเลเซอร์สำหรับสำรวจสภาพทางเทคโนโลยีล่าสุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีความแม่นยำสูงมาก สามารถสำรวจข้อมูลสภาพทางออกมาในรูปแบบของ 3D profiles ความละเอียดสูง อุปกรณ์เลเซอร์สามารถสร้างภาพถ่ายผิวทาง และมีระบบประมวลผลขนาดและชนิดของความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) แบบอัตโนมัติ (Automatic Cracking Detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) สามารถระบุพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมความกว้างไม่น้อยกว่า 4.0 เมตร หรือ 1 ช่องจราจร โดยมีรายละเอียดของกล้องตารางที่ 4-5



รูปที่ 4-19 อุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS) และตัวอย่างภาพจากอุปกรณ์ถ่ายภาพผิวทาง (LCMS)

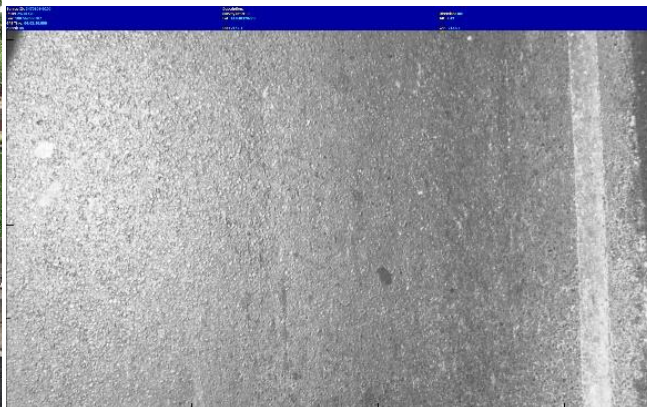


ตารางที่ 4-5 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง โดยการใช้อุปกรณ์ LCMS

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

กล้องบันทึกภาพผิวทาง เป็นกล้องบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูง สามารถเก็บภาพได้คมชัดในสภาวะแสงน้อยถึงน้อยมากได้ ใช้เพื่อบันทึกภาพความเสียหายที่เกิดขึ้นบนผิวทางครอบคลุม 1 ช่องจราจร หรือ 3.5 เมตร เพื่อเก็บรายละเอียดลักษณะความเสียหายของถนน ขนาด และประเภทของการแตกร้าว และยังสามารถนำไปประมวลผลเพิ่มเติมเพื่อทำการลบแสงและเงา ในกรณีที่เกิดจากการบดบังของวัตถุหรือตัวรถ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการประเมินความเสียหายของผิวทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 4-20 โดยมีรายละเอียดของกล้องดังตารางที่ 4-6 และ ตารางที่ 4-7





รูปที่ 4-20 กล้องบันทึกภาพผิวทาง และตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพผิวทาง



ตารางที่ 4-6 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

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

ตารางที่ 4-7 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพผิวทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

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



**4.2.3 มีชุดอุปกรณ์ถ่ายภาพถนนและสองข้างทาง สามารถบันทึกภาพได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงสายทาง โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และกำหนดระยะห่างระหว่างภาพของการสำรวจได้ ที่สามารถนำมาประมวลผลข้อมูลเป็นภาพเคลื่อนไหวได้**

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



รูปที่ 4-21 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง



ตารางที่ 4-8 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

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

ตารางที่ 4-9 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง อุปกรณ์ LCMS

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



ตารางที่ 4-10 รายละเอียดกล้องบันทึกภาพสภาพภายในเขตทาง (ที่ปรึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)

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

**4.2.4 มีชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยระยะทางจากอุปกรณ์นี้จะทำงานสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ**

ทางที่ปรึกษาจะจัดชุดอุปกรณ์วัดระยะทาง ชนิดวัดระยะทางจากรอบล้อ โดยการวัดระยะทางจากอุปกรณ์นี้สามารถทำงานร่วมกันหรือสัมพันธ์กันกับอุปกรณ์เซนเซอร์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนรถสำรวจ เพื่อกำหนดระยะทางในการบันทึกข้อมูลของเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- เครื่องวัดความเร่ง (Accelerometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดระดับผิวทางแบบเลเซอร์เนื่องจากการสั่นของรถสำรวจ



รูปที่ 4-22 เครื่องมือวัดความเร่ง





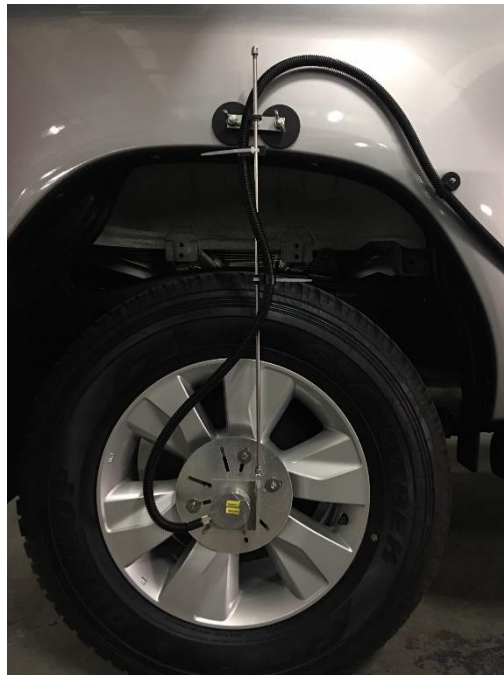
- เครื่องวัดระยะทาง (Distance Measurement Instrument : DMI) เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งกับล้อรถสำรวจเพื่อตรวจวัดระยะทางสำรวจโดยใช้หลักการนับจำนวนรอบของพัลส์ (Pulse) ของล้อรถสำรวจ



รูปที่ 4-23 รายละเอียดเครื่องวัดระยะทาง

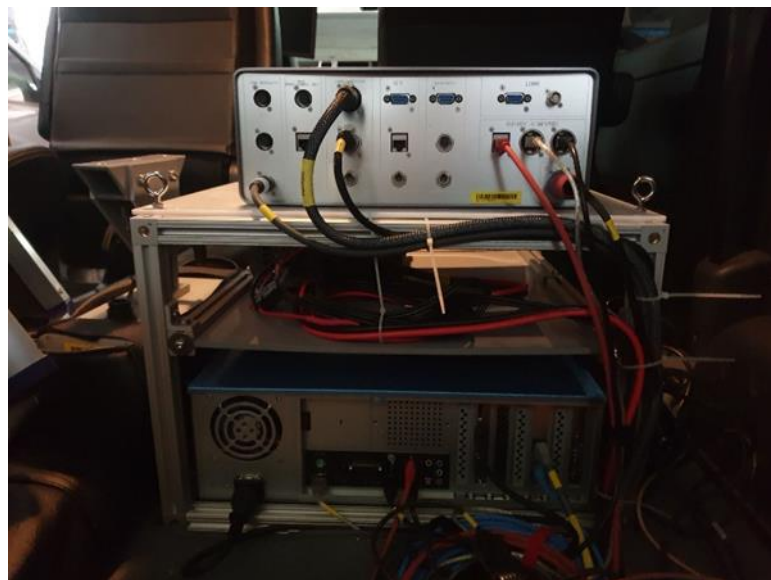
ตารางที่ 4-11 แสดงรายละเอียดเครื่องมือวัดระยะทาง

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

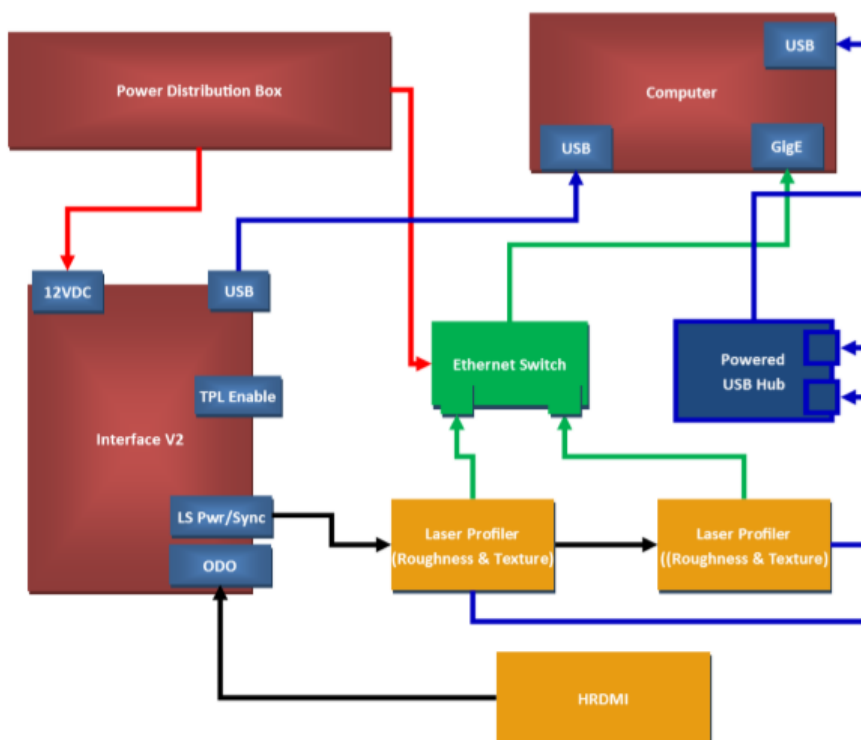


รูปที่ 4-24 เครื่องวัดระยะทาง

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



รูปที่ 4-25 อุปกรณ์รับสัญญาณและชุดบันทึกข้อมูล



รูปที่ 4-26 แสดงการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ภายในระบบคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล

- การติดตั้งเครื่องมือ จะทำการติดตั้งเครื่องมือดังกล่าวมาข้างต้นเข้ากับรถสำรวจสภาพทาง (Road Condition Survey Vehicle : RCSV)



รูปที่ 4-27 ลักษณะของรถสำรวจที่ใช้ในการสำรวจ



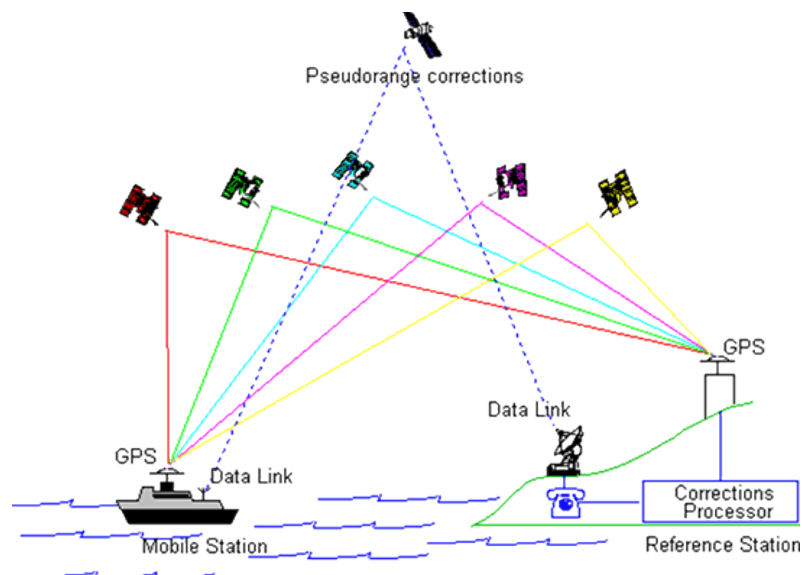


#### 4.2.5 มีชุดอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS พร้อมความสามารถในการรับค่าปรับแก้เพื่อให้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งมีความละเอียดอย่างน้อยในระดับ 1 เมตร จำนวน 1 ชุด

เครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GNSS) พร้อมรับสัญญาณค่าพิกัดปรับแก้ (Differentials Global Positioning System : DGPS) คือ เครื่องมือที่ใช้ระบุตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะ ที่ทำการสำรวจข้อมูล โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายในรถจะแสดงค่าสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ทำการบันทึกซึ่งได้พิกัดตำแหน่งจากอุปกรณ์ GPS/GNSS ชนิด DGPS นั้นเอง โดยสามารถแสดงพิกัดทั้งทางแนวราบและแนวตั้ง โดยอ้างอิงจากสัญญาณดาวเทียม (GPS Satellite) และสัญญาณค่าแก้ Differential Correction จากผู้ให้บริการ และรายละเอียดของเครื่องมือ ดังตารางที่ 4-12



รูปที่ 4-28 ตัวอย่างเครื่องมือระบุพิกัดด้วยดาวเทียม



รูปที่ 4-29 หลักการทำงานของกรรับพิกัดและค่าแก้ DGPS

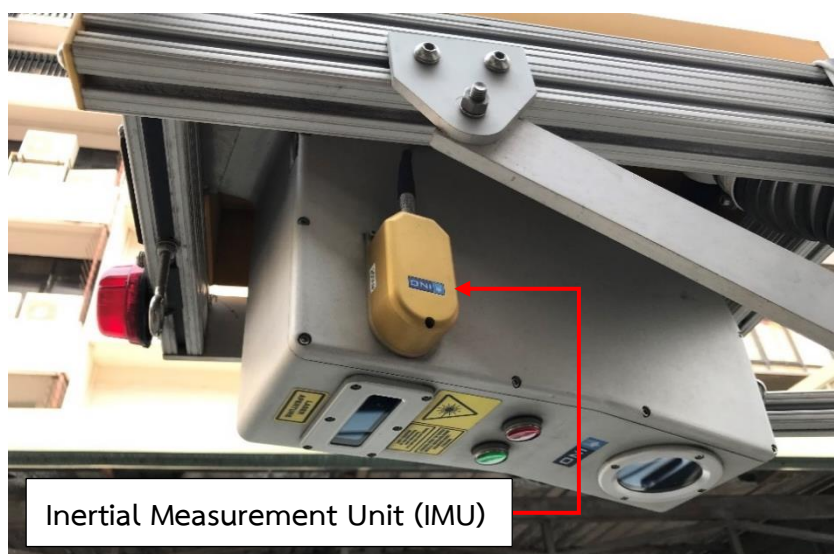


ตารางที่ 4-12 รายละเอียดของเครื่องระบุพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS/GNSS)

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

#### 4.2.6 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) หาระดับความสูง (Elevation) และคาร์รัศมีทางโค้ง (Radius) ได้



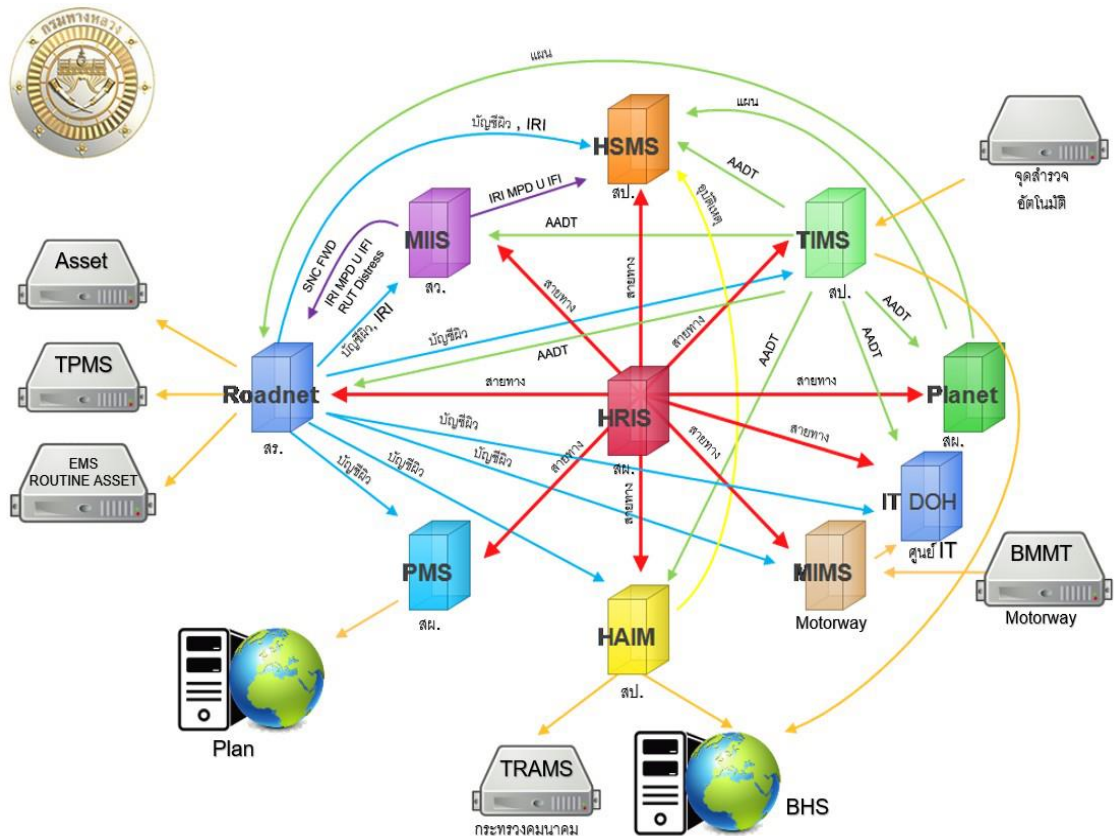
รูปที่ 4-30 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)



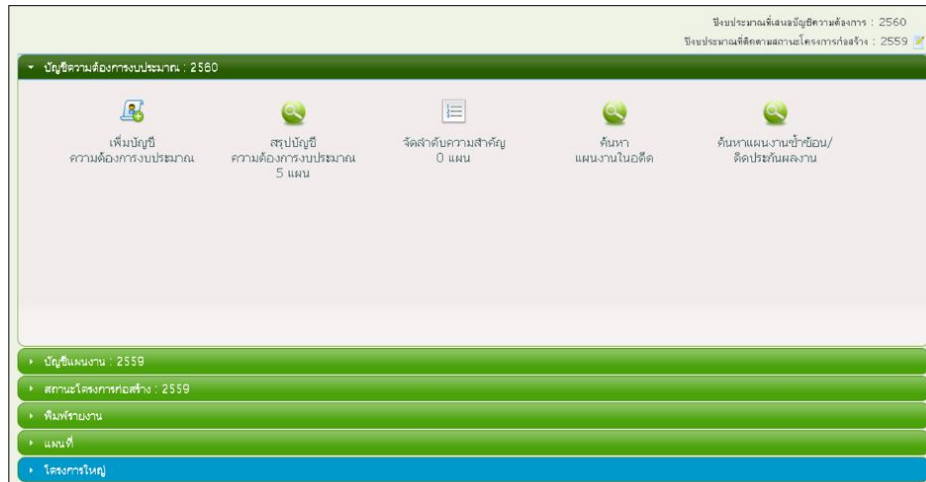
### 4.3 การสำรวจสภาพทาง

#### 4.3.1 จัดทำแผนการสำรวจและตามเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

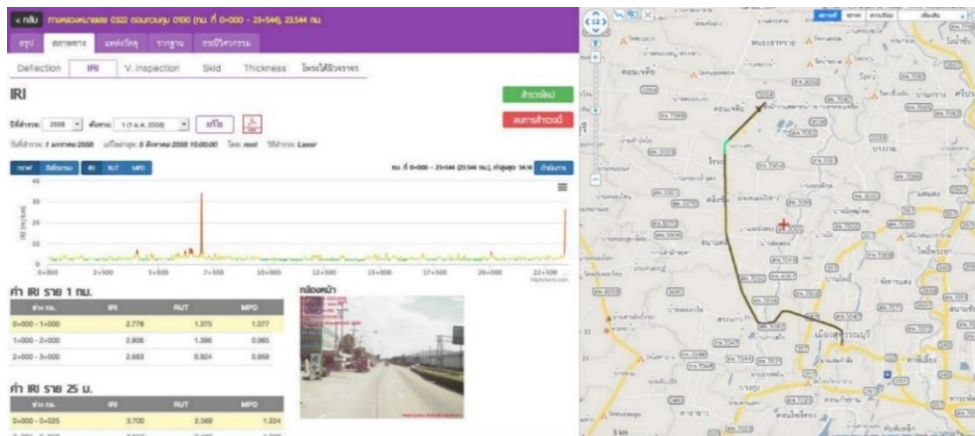
ในการจัดทำแผนการสำรวจที่ปรึกษาได้จัดทำบัญชีสายทางและผิวทางที่จะสำรวจ พร้อมแผนที่พื้นที่สำรวจรายแขวงทางหลวง โดยประมวลผลจากข้อมูล ดังนี้ ข้อมูลลักษณะผิวทางและข้อมูลกายภาพจากฐานข้อมูล Roadnet ข้อมูลแผนงานจากระบบบริหารแผนงาน (Plannet) ข้อมูลบัญชีสายทางจากระบบข้อมูลทะเบียนสายทาง (Highway Registration Systems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



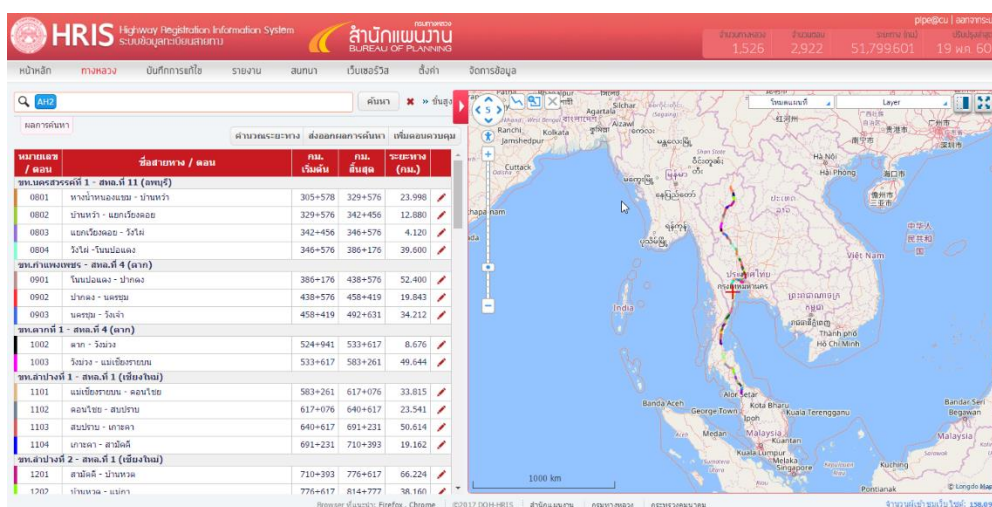
รูปที่ 4-31 แสดงโครงข่ายการเชื่อมโยงระบบต่าง ๆ ของกรมทางหลวง



รูปที่ 4-32 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจเพื่อหลีกเลี่ยงงานซ่อมบำรุงถนนจาก ระบบ Plannet

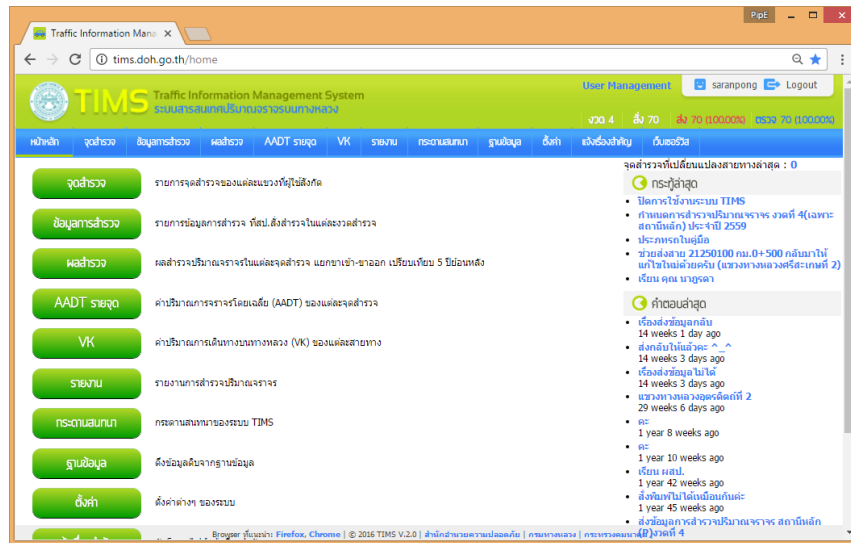


รูปที่ 4-33 เพื่อนำมาใช้สำหรับวางแผนสำรวจ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลค่าสภาพทางจาก ระบบ MIIS



รูปที่ 4-34 เพื่อใช้ในประเมินจัดทำแผนวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในงานซ่อมบำรุง ระบบ HRIS





รูปที่ 4-35 เพื่อนำข้อมูลปริมาณจราจรจากระบบ TIMS มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง

นอกจากการนำข้อมูลจากฐานข้อมูลต่าง ๆ เพื่อประกอบการคัดเลือกสายทางแล้ว ในการจัดทำแผนการสำรวจและเกณฑ์ในการคัดเลือกสายทาง การสำรวจและเก็บข้อมูลสภาพความเสียหายของผิวทางจะต้องวางแผนและเตรียมการอย่างละเอียดรอบคอบ เพื่อลดปัญหาความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นและให้การสำรวจเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ที่ปรึกษาได้ทำการวางแผนการสำรวจโดยคัดเลือกสายทางเป็นระยะทางตามขอบเขตงานเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ทั้งผิวลาดยาง และผิวคอนกรีต รวมไปถึงทางคู่ขนานของแต่ละสายทาง โดยได้นำเสนอให้คณะกรรมการตรวจรับและให้ความเห็นชอบก่อนแล้ว ซึ่งมีหลักเกณฑ์การเลือกสายทางสำรวจ ดังนี้
  - สายทางที่จะทำการสำรวจ อยู่ในพื้นที่ความรับผิดชอบของสำนักทางหลวงที่ 1 ถึง 18 ซึ่งไม่รวมพื้นที่ในจังหวัดชายแดนภาคใต้ตาม พ.ร.บ. รักษาความมั่นคงภายในราชอาณาจักร ได้แก่ จังหวัดปัตตานี จังหวัดยะลา จังหวัดนราธิวาส และ 4 อำเภอในจังหวัดสงขลา ได้แก่ อำเภอเทพา อำเภอนาทวี อำเภोजะนะ และอำเภอสะบ้าย้อย
  - เกณฑ์ที่ได้รับจากคณะกรรมการระยะทางสำรวจรวม ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร (ระยะทางสำรวจจริง) ประกอบด้วย
    - ทางหลวงหมายเลข 1 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 2 หลัก ทำการสำรวจทั้งหมด
    - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ ทางหลวงหมายเลข 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 1 ทำการสำรวจทั้งหมด
    - ทางหลวงหมายเลข 3 หลัก และ 4 หลัก ที่อยู่ในลำดับชั้นทางหลวงที่ 2, 3 และ 4 ที่มีค่า IRI ของสายทาง มากกว่าเท่ากับ 3.00 ทำการสำรวจทั้งหมด



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



ตารางที่ 4-13 เกณฑ์การคัดเลือกสายทางสำรวจเพื่อใช้ในการวางแผนสำรวจสายทางปี 2565

digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (49,954.734)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทางสำรวจทั้งหมด (กม.) (67,683.479)	IRI น้อยกว่า 3.0	IRI มากกว่า เท่ากับ 3.0	ระยะทางตามเกณฑ์สำรวจปี2565 (กม.) (29,400)
1 สำรวจทุกปี	2	<8,000	156.945	1	156.945			156.945
		>8,000	109.741	1	109.741			109.741
	≥4	<8,000	156.548	2	304.556			304.556
		>8,000	2751.325	2	5,190.956			5,190.956
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	4.270	4	17.080			17.080
		>8,000	152.181	4	608.724			608.724
≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000		3	0.000			0.000	
	>8,000	3.666	3	10.998			10.998	
2 สำรวจทุกปี	2	<8,000	344.244	1	344.244			344.244
		>8,000	240.765	1	240.765			240.765
	≥4	<8,000	584.982	2	1,158.000			1,158.000
		>8,000	2941.486	2	5,668.554			5,668.554
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.812	4	23.248			23.248
		>8,000	101.621	4	406.484			406.484
≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.170	3	0.510			0.510	
	>8,000	5.588	3	16.764			16.764	
3 หลัก สำรวจทุกปี (ลำดับชั้นทางหลวง ที่ 1)	2	<8,000	363.511	1	363.511			363.511
		>8,000	376.246	1	376.246			376.246
	≥4	<8,000	279.061	2	524.864			524.864
		>8,000	2073.077	2	4,038.492			4,038.492
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	16.629	4	66.516			66.516
		>8,000	53.631	4	214.524			214.524
≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0.000			0.000	
	>8,000	0.200	3	0.600			0.600	
4 หลัก สำรวจทุกปี (ลำดับชั้นทางหลวง ที่ 1)	2	<8,000	94.932	1	94.932			94.932
		>8,000	216.793	1	216.793			216.793
	≥4	<8,000	41.059	2	82.118			82.118
		>8,000	191.494	2	382.988			382.988
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	0.000	4	0			0.000
		>8,000	0.000	4	0			0.000
≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0			0.000	
	>8,000	0.000	3	0			0.000	
3 (ลำดับชั้นทาง หลวงที่ 2, 3, 4)	2	<8,000	2296.973	1	2,296.973	1,839.624	457.349	457.349
		>8,000	1670.245	1	1,670.245	1,457.471	212.774	212.774
	≥4	<8,000	615.558	2	1,226.338	1,148.476	82.640	82.640
		>8,000	3490.539	2	6,949.294	5,970.210	1,004.458	1,004.458
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	2.054	4	8.216	4.108	0.000	0.000
		>8,000	5.739	4	22.956	8.904	5.148	5.148
≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.335	3	1.005	0.335	0.000	0.000	
	>8,000	10.153	3	30.459	8.235	5.754	5.754	
4 (ลำดับชั้นทาง หลวงที่ 2, 3, 4)	2	<8,000	21770.474	1	21,770.474	16,463.596	5,306.878	4,367.441
		>8,000	5640.504	1	5,640.504	4,579.643	1,060.861	1,060.861
	≥4	<8,000	1495.906	2	2,979.822	2,583.112	404.710	404.710
		>8,000	2208.538	2	4,388.662	3,645.344	771.732	771.732
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.995	4	23.980	8.000	7.980	7.980
		>8,000	12.777	4	51.108	25.554	0.000	0.000
≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000	0.000	3	0.000	0.000	0.000	0.000	
	>8,000	1.430	3	4.290	1.430	0.000	0.000	
New rout								400.000

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิงจากระบบ Roadnet วันที่ 18 สิงหาคม 2564



ตารางที่ 4-14 ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง

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





ตารางที่ 4-14 ระยะทางแผนการสำรวจ ปี 2565 ตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (ต่อ)

digit	ช่องจราจร	AADT total	ระยะทางจริง (กม.) (49,954.734)	วิ่งสำรวจ (เที่ยว)	ระยะทาง สำรวจ(กม.) (67,069.478)	ระยะทางตามเกณฑ์ สำรวจปี2565 (กม.) (29,400)	ระยะทางแผนการสำรวจ ปี2565 (กม.) (29,579.408)
		>8,000	2,208.538	2	4,388.66	771.73	550.140
	≥4 ที่มีทางขนาน	<8,000	5.995	4	23.98	7.98	5.500
		>8,000	12.777	4	51.11	-	-
	≥4 ที่มีทางขนาน (ฝั่งเดียว)	<8,000		3	-	-	7.014
		>8,000	1.430	3	4.29	-	4.830
	New rout					400.00	
ระยะทางสำรวจรวม (กม.)						29,400.00	29,579.408

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิงจากระบบ Roadnet วันที่ 14 ธันวาคม 2564



#### 4.3.2 นำเสนอแผนการสำรวจ ระยะทางไม่น้อยกว่า 29,400 กิโลเมตร

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

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

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

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

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



## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ตารางที่ 4-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแนวทางหลวง)

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



## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ตารางที่ 4-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) (ต่อ)

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



## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ตารางที่ 4-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) (ต่อ)

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



## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ตารางที่ 4-15 ระยะทางแผนการสำรวจตามเกณฑ์การคัดเลือกสายทาง (แบ่งตามแขวงทางหลวง) (ต่อ)

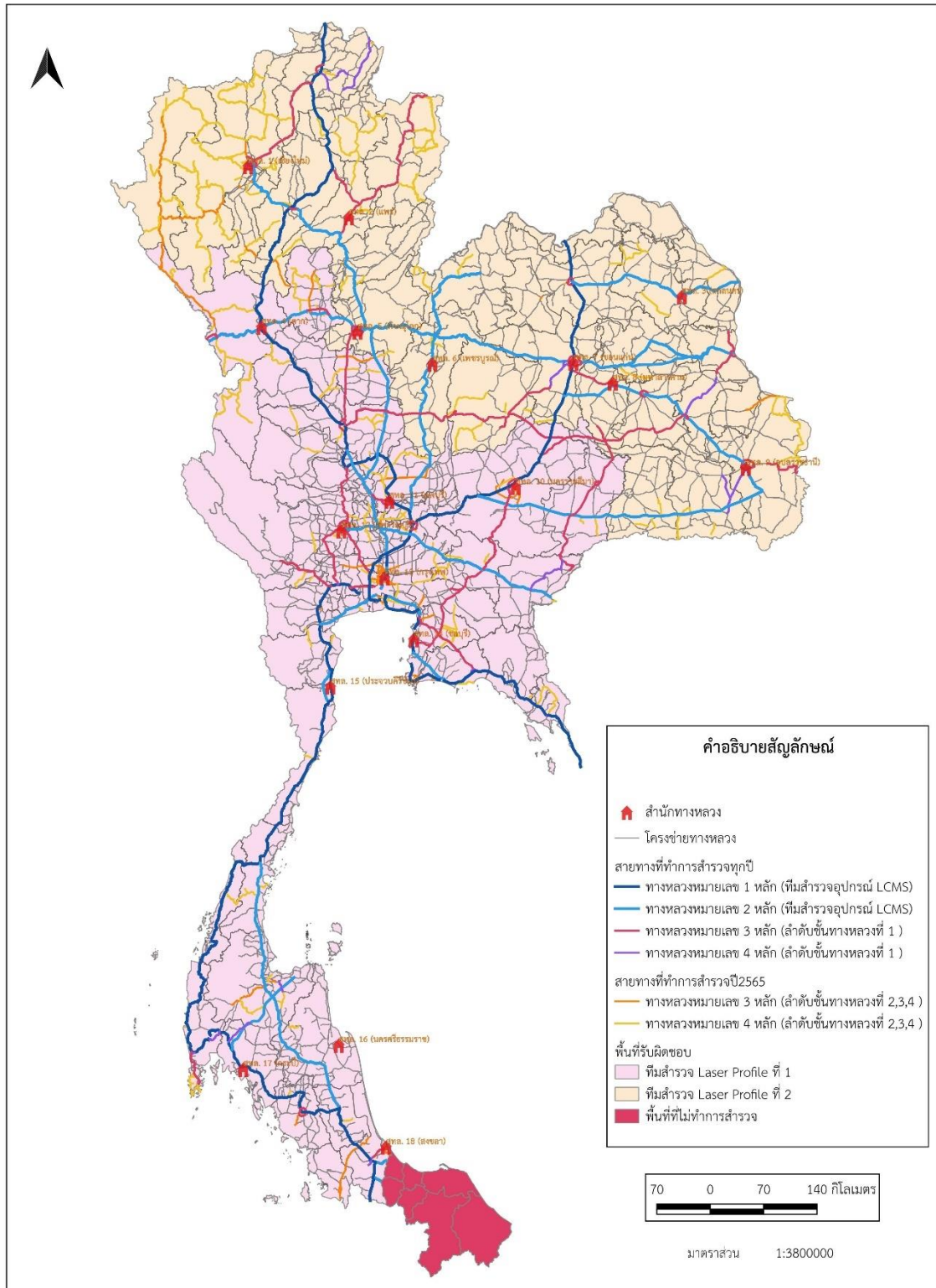
ชื่อ สำนัก/แขวง	ระยะทางสำรวจ (กม.)		ระยะทางสำรวจรวม (กม.)
	Laser Crack Measurement System (LCMS)	Laser Profilometer	
<b>สำนักงานทางหลวงที่ 15 (ประจวบคีรีขันธ์)</b>	<b>1,373.956</b>	<b>236.241</b>	<b>1,610.197</b>
ขท.เพชรบุรี	252.737	13.675	266.412
ขท.ชุมพร	346.737	18.617	365.354
ขท.นครปฐม	58.208	102.158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

หมายเหตุ : ข้อมูลระยะทางอ้างอิง จากระบบ Roadnet วันที่ 14 ธันวาคม 2564





### แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565



รูปที่ 4-36 แผนที่โครงข่ายการสำรวจปี 2565



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

**จัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด**

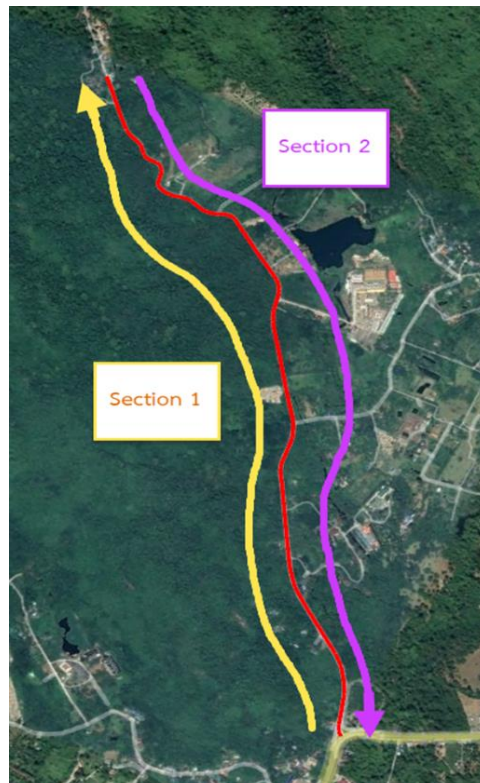
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบและสอบเทียบเครื่องมือสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและถูกต้อง โดยดำเนินการตรวจสอบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เลเซอร์และอุปกรณ์ LCMS เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและมีมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือสำรวจ โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแปลงทดสอบที่ใช้ในการสอบเทียบ ประกอบไปด้วยถนนทางหลวงหมายเลข 3050 ถนนทางหลวงหมายเลข 3052 ถนนทางหลวงหมายเลข 33 ถนนทางหลวงหมายเลข 3049 แบ่งออกเป็น 6 Section โดยมีรายละเอียดของแปลงทดสอบดังตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ก่อนการสำรวจ

	ทางหลวง หมายเลข	ตอน ควบคุม	กม. เริ่มต้น	กม. สิ้นสุด	ระยะทาง (กม.)	ช่อง จราจร	ประเภท ผิวทาง	หมายเหตุ
section_1	3050	100	0+150	2+900	2.750	L1	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง ที่มีทางโค้งและทางลาดชัน
section_2	3050	100	2+900	0+150	2.750	R1	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง ที่มีทางโค้งและทางลาดชัน
section_3	3052	100	1+000	4+000	3.000	L1	CC	พื้นที่ทดสอบผิวคอนกรีต
section_4	3052	100	4+000	1+000	3.000	R1	CC	พื้นที่ทดสอบผิวคอนกรีต
section_5	33	501	119+000	121+000	2.000	L2	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง ที่มีความเสียหายของ ผิวทางมาก
section_6	3049	100	11+650	12+150	0.500	L2	AC	พื้นที่ทดสอบผิวลาดยาง กำหนดเส้นโค้งแนวการวิ่ง ของรถสำรวจ

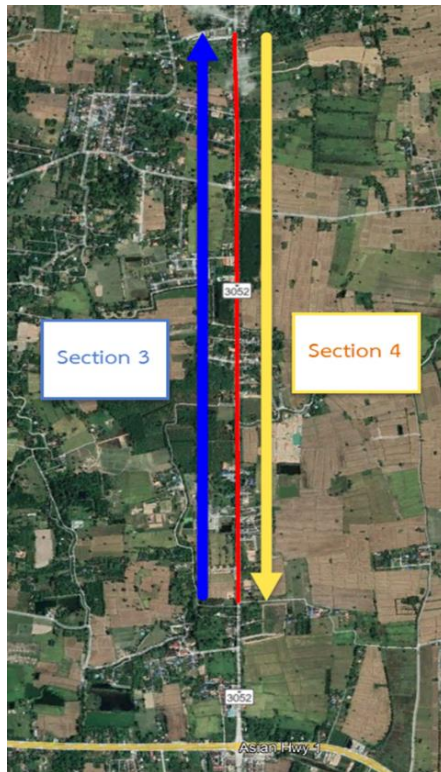


รูปที่ 4-37 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050, 3052, 33 และ 3049



รูปที่ 4-38 Section ที่ 1 และ Section ที่ 2





รูปที่ 4-39 Section ที่ 3 และ Section ที่ 4



รูปที่ 4-40 Section ที่ 5



รูปที่ 4-41 Section ที่ 6



รูปที่ 4-42 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง  
มีพื้นที่ทางโค้งและทางลาดชัน





รูปที่ 4-43 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3052 ตอน 100 ผิวทางคอนกรีต



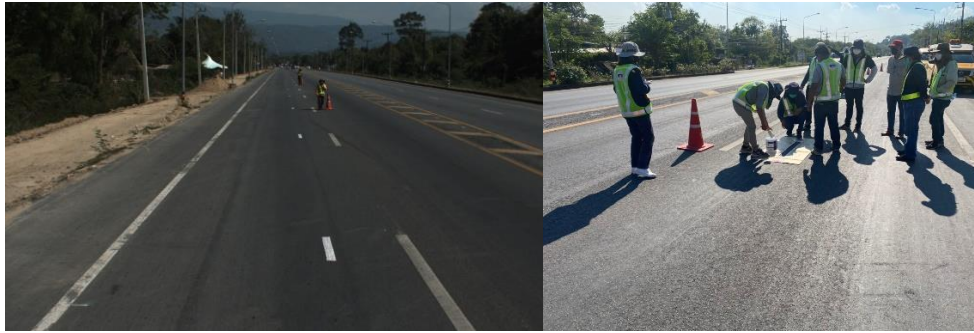
รูปที่ 4-44 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 33 ตอน 501 ผิวทางลาดยาง  
ที่มีความเสียหายของผิวทางค่อนข้างมาก





## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 4-45 พื้นที่ทดสอบอุปกรณ์ ทางหลวงหมายเลข 3049 ตอน 100 ผิวทางลาดยาง

มีการกำหนดเส้นเล็งแนว เพื่อให้รถสำรวจที่ทำการทดสอบ วิ่งไปในแนวเดียวกัน

ที่ปรึกษาใช้ความเร็วที่เหมาะสมในการวิ่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E950 และความเร็วที่ได้จากการวิ่งสอบเทียบมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-17

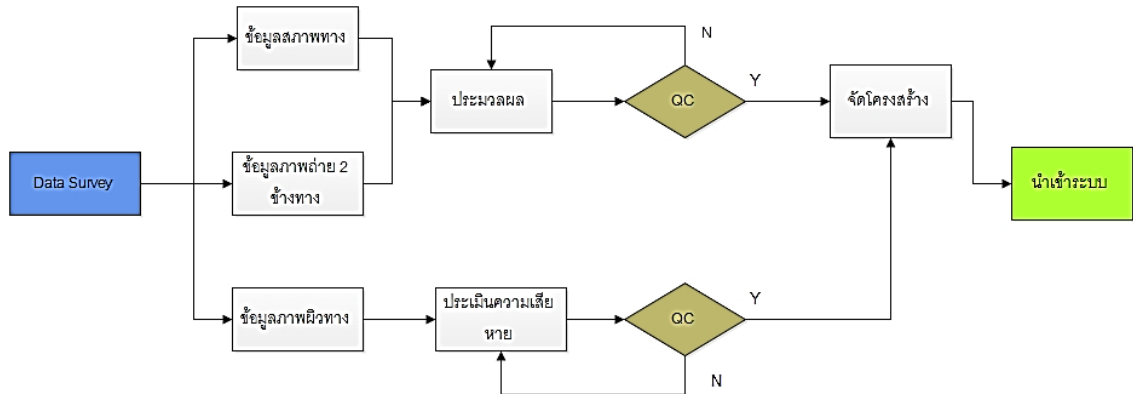
ตารางที่ 4-17 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ

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



### ประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet

ทั้งนี้ที่ปรึกษาจะต้องดำเนินการสำรวจพื้นที่ตัวอย่าง และประมวลผลค่าความเสียหายต่าง ๆ พร้อมจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการสำรวจ ก่อนดำเนินการสำรวจพื้นที่อื่น ๆ ตามแผนการสำรวจต่อไป

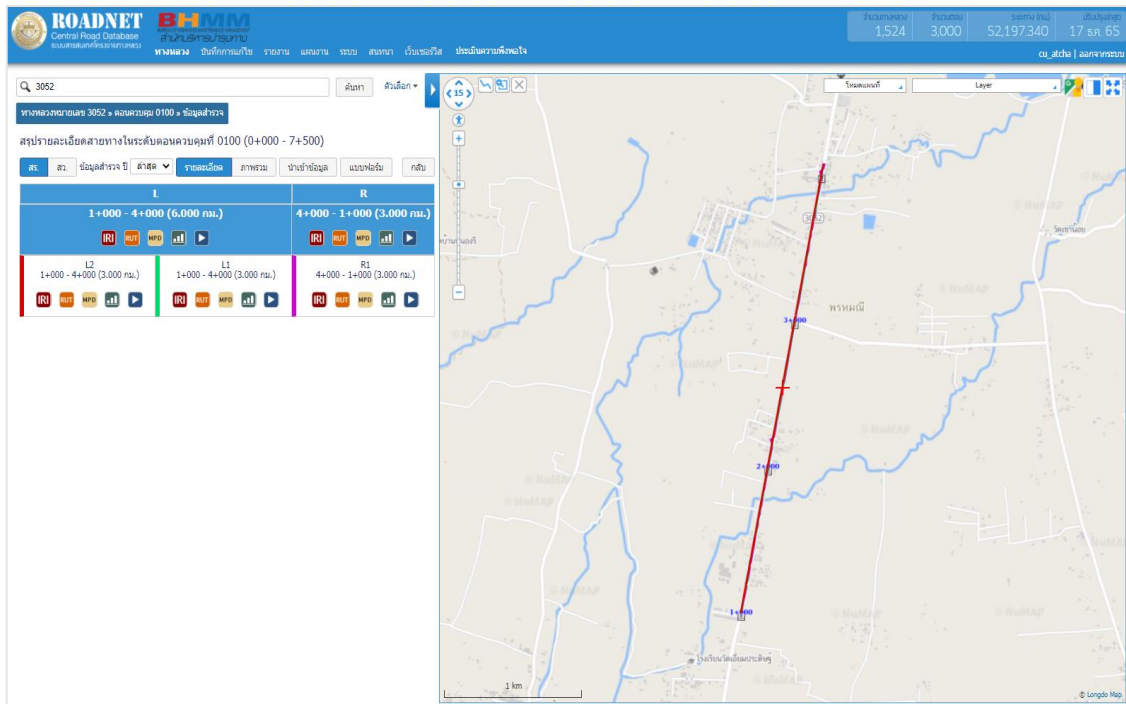


รูปที่ 4-46 แสดงขั้นตอนการทำงานจากก่อนนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ

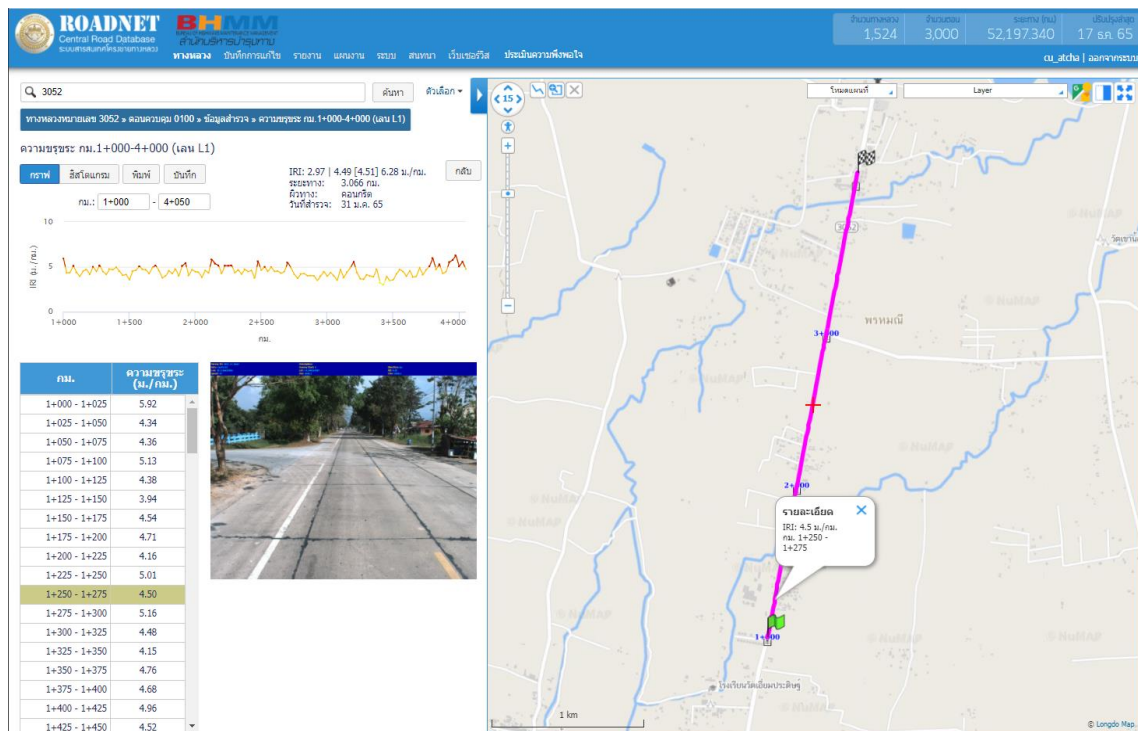
หลังจากที่ปรึกษาทำการสำรวจพื้นที่แล้วเสร็จ ที่ปรึกษาทำการประมวลผลค่าความเสียหาย และนำเข้าข้อมูลสำรวจครบทั้ง 6 Section ที่ทำการทดสอบการวิ่งเพื่อเปรียบเทียบค่าสภาพทางบนระบบ Roadnet สามารถแสดงผลพื้นที่ตัวอย่างผ่านระบบ Roadnet ได้แก่ รถสำรวจด้วย Laser Profile ทั้งคันที่ 1 และ 2 และอุปกรณ์รถสำรวจ LCMS คันที่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



รายงานเบื้องต้น (Inception Report)  
โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



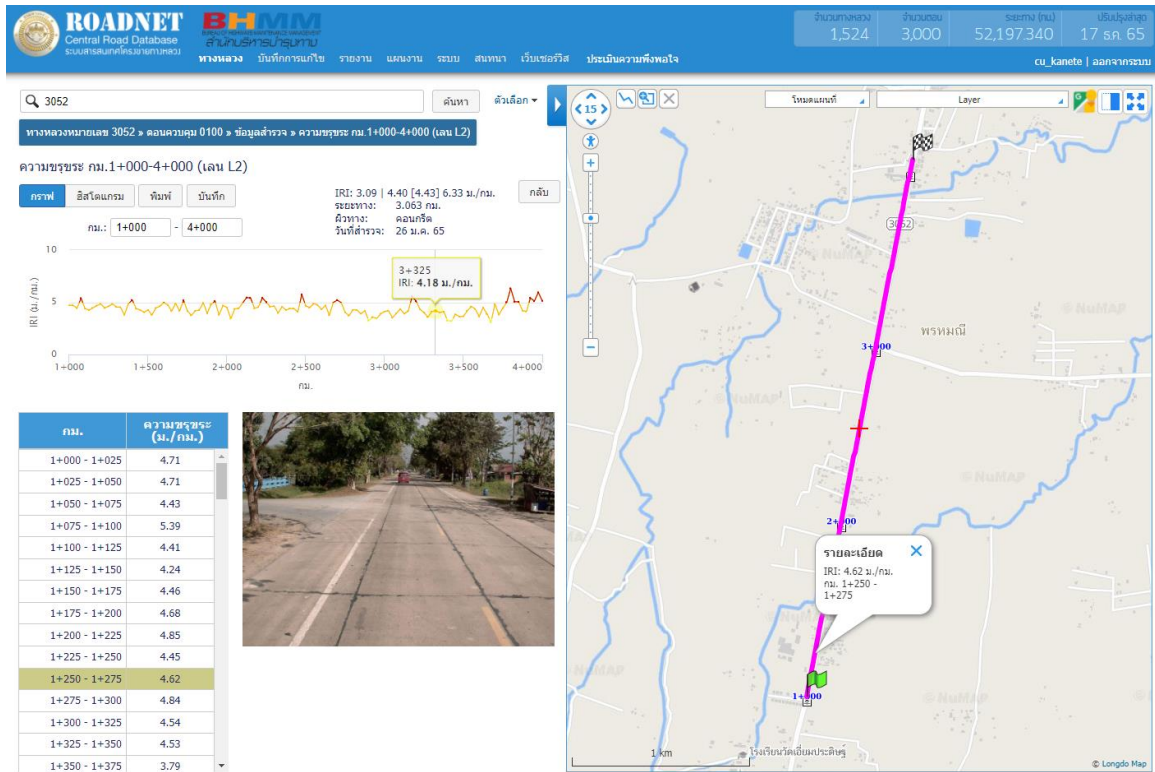
รูปที่ 4-47 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจทั้ง 3 คัน



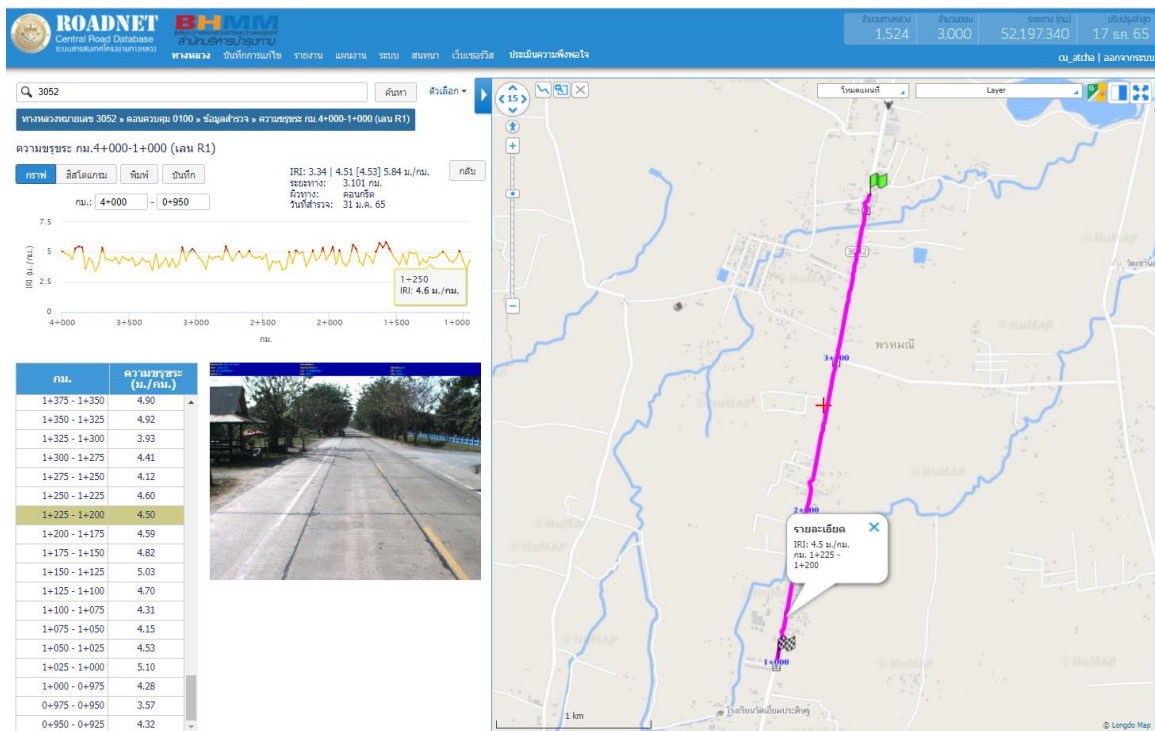
รูปที่ 4-48 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวคอนกรีต สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 1



รายงานเบื้องต้น (Inception Report)  
 โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
 การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 4-49 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวดอนกริด สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 2

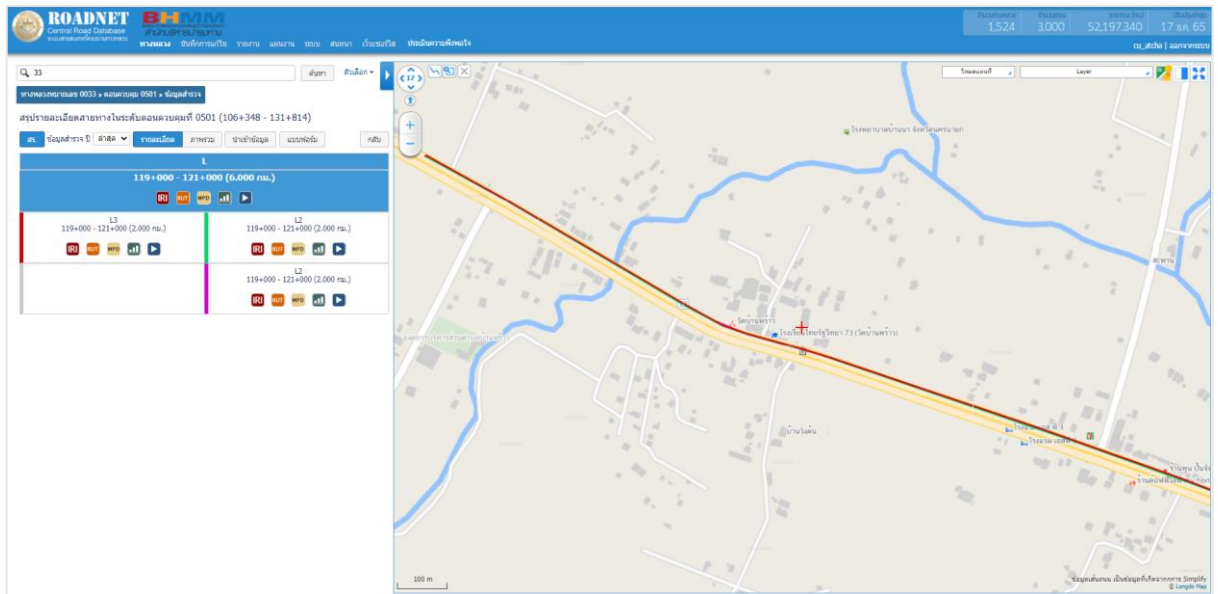


รูปที่ 4-50 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวดอนกริด สายทาง 3052 ตอนควบคุม 0100 รถสำรวจคันที่ 3

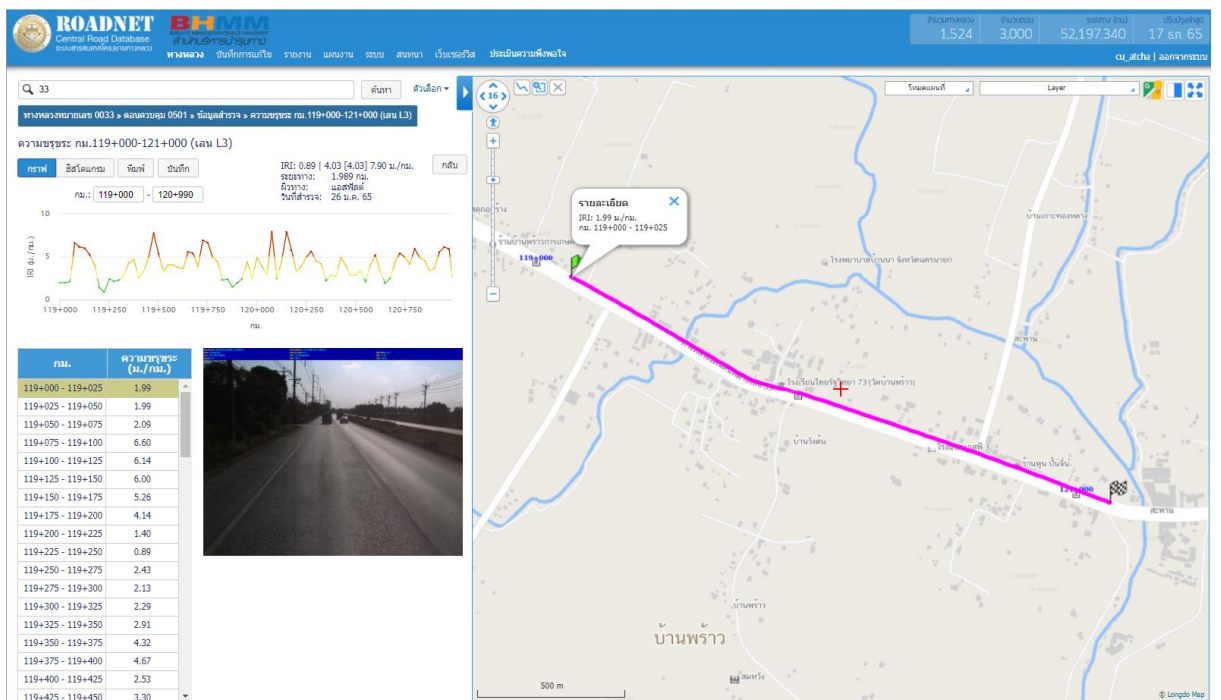




รายงานเบื้องต้น (Inception Report)  
โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



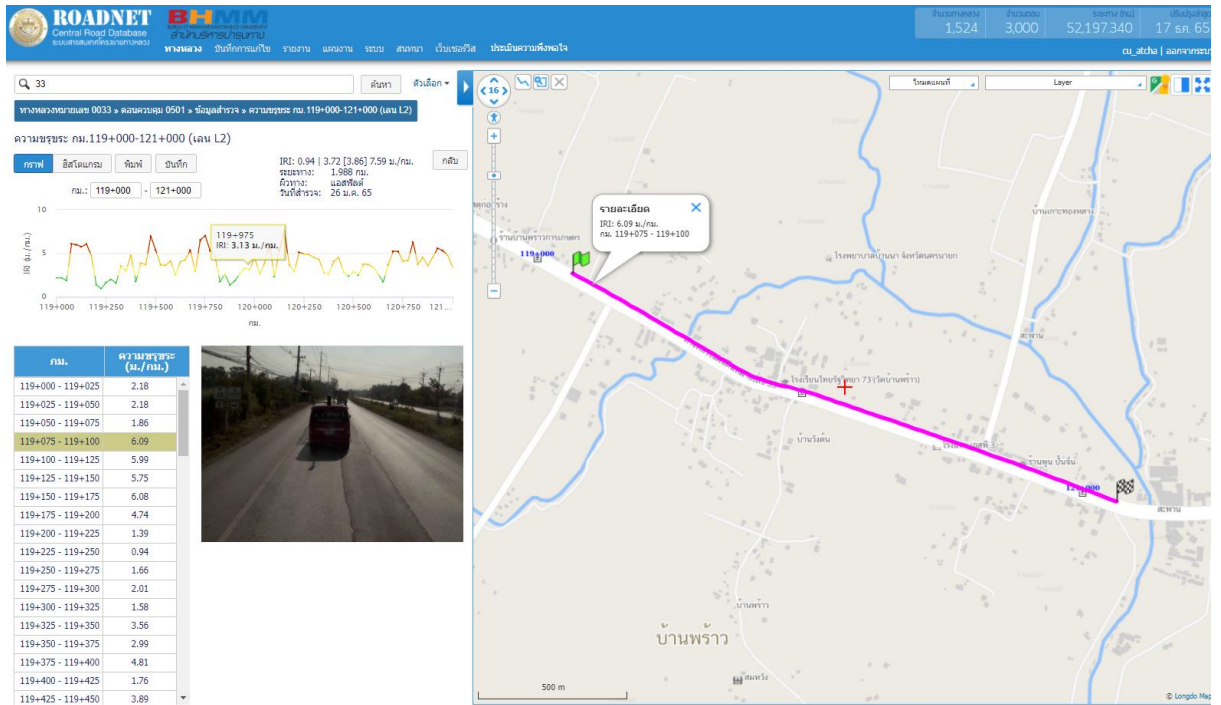
รูปที่ 4-51 แสดงผลการนำเข้าข้อมูลผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจทั้ง 3 คัน



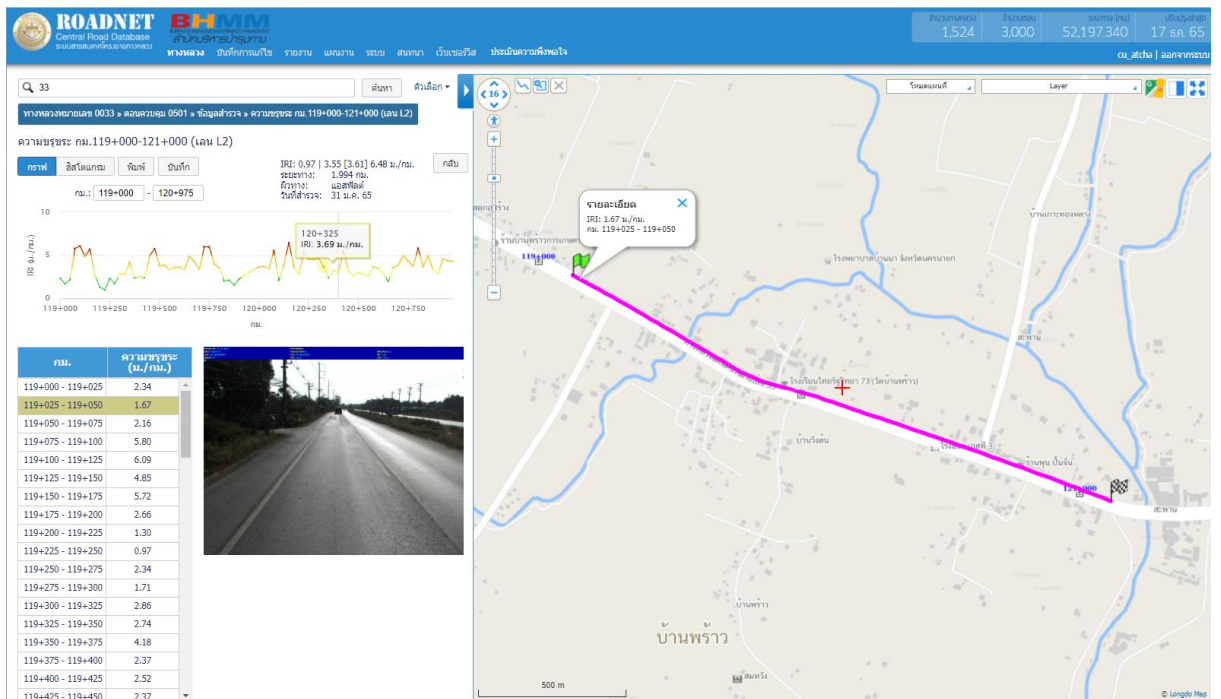
รูปที่ 4-52 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 1



รายงานเบื้องต้น (Inception Report)  
 โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
 การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 4-53 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 2



รูปที่ 4-54 ข้อมูลสำรวจพื้นที่ตัวอย่างผิวลาดยาง สายทาง 33 ตอนควบคุม 501 รถสำรวจคันที่ 3





**4.3.4** ที่ปรึกษาจะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจในพื้นที่ตัวอย่างในข้อ 4.3.3 โดยทดสอบทั้งผิวทางลาดยาง และผิวทางคอนกรีต ดำเนินการเก็บข้อมูลการสำรวจเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 1 กิโลเมตรของผิวทางแต่ละประเภท ประเภทละ 3 รอบการสำรวจ ต่อ 1 ชุดเครื่องมือและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไม่น้อยกว่าข้อมูลดังนี้ ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) ค่าความสึกกร่อนล้อ (Rutting) ซึ่งค่าทางสถิติที่ต้องวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าอย่างน้อยดังนี้ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

หลังจากทางที่ปรึกษา ได้นำอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง รถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS ไปวิ่งทดสอบในแปลงทดสอบที่กำหนดในข้างต้น ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่า IRI RUT MPD ของรถสำรวจทั้ง 3 คัน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4-18 และตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-18 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

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



ตารางที่ 4-19 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละ Section

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

จากตารางที่ 4-19 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากกรดสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 3 (ผิวทางคอนกรีต) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.207

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

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

ที่ปรึกษาได้ทำการเปรียบเทียบ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแต่ละอุปกรณ์สำรวจ ทั้งกรดสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และกรดสำรวจ LCMS โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังตารางที่ 4-20



ตารางที่ 4-20 ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ  
ในแต่ละ Section

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

จากตารางที่ 4-20 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LASER2 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ทุก ๆ Section มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.238 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ใน ทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน

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

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



สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ของค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

การนำหลักการและวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คัน เพื่อต้องการทราบผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ว่าข้อมูลที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คันนั้น มีผลอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยในการวิเคราะห์จะใช้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ของข้อมูล IRI RUTTING และ MPD สามารถแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการวิ่งทดสอบ ดังตารางที่ 4-21 ถึงตารางที่ 4-22 ดังนี้

ตารางที่ 4-21 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

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



ตารางที่ 4-22 ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน

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

ตารางที่ 4-23 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)

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

จากตารางตัวอย่างค่าเฉลี่ยและตารางเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ได้จากการ  
วิ่งทดสอบ ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน จะเห็นได้ว่า จะเห็นได้ว่า บางค่าสภาพทาง มีค่าเฉลี่ย  
และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และบางค่าสภาพทาง มีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบน  
มาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ที่ต่างกัน โดยเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ สามารถอธิบายสรุปได้ดังนี้



### การสรุปผลค่าสภาพทางของ ผิวทางลาดยาง

ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า IRI ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำค่าผลการสำรวจจัดลงกลุ่มตามเกณฑ์มาตรฐาน IRI ของกรมทางหลวงแล้วนั้น (ตารางที่ 4-23เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)) พบว่าค่า IRI ทั้ง 3 คันอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าค่า IRI เฉลี่ย ที่ได้จากการวิ่งทดสอบจากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ค่า RUTTING ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ใน Section 2 ที่มีค่า RUTTING (มีความเสียหายไม่สูง) ค่าเฉลี่ยของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คันจะใกล้เคียงกัน และมีผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน สามารถสรุปผลได้ว่าแปลงทดสอบที่ค่าความเสียหายไม่สูง ค่า RUTTING เฉลี่ย ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และใน Section 5 ที่ RUTTING (มีความเสียหายสูง) ค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับอุปกรณ์ LCMS จะมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างจากอุปกรณ์ Laser Profiler และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMSที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต่างกันมาก ประกอบกับปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าวคือ แนวการวิ่งของรถสำรวจ และปัจจัยในพฤติกรรมคนขับรถ จากปัจจัยดังกล่าวถ้าหากมีความต่างกันเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลให้ค่าที่ได้มีความต่างกัน

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

### การสรุปผลค่าสภาพทางของ ผิวทางคอนกรีต

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





## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 4-55 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4

ซึ่งปกติแล้วบนช่องจราจรของผิวคอนกรีตจะไม่มีรอยต่อดังกล่าวบริเวณพื้นที่ช่องจราจร จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยมีความต่างจากค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler ทางที่ปรึกษาจึงนำค่าจากร่องล้อขามาทำการเปรียบเทียบบริเวณที่ไม่มีรอยต่อตามยาวและเทียบค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ผลปรากฏว่าค่า IRI เฉลี่ย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และอยู่ในเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวงที่เกณฑ์เดียวกัน (ตารางที่ 4-24 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง))

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



### วิธีการวิ่งสำรวจ

- กรณีสำรวจ 2 ทิศทาง จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง



รูปที่ 4-56 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนทั้ง 2 ทิศทาง

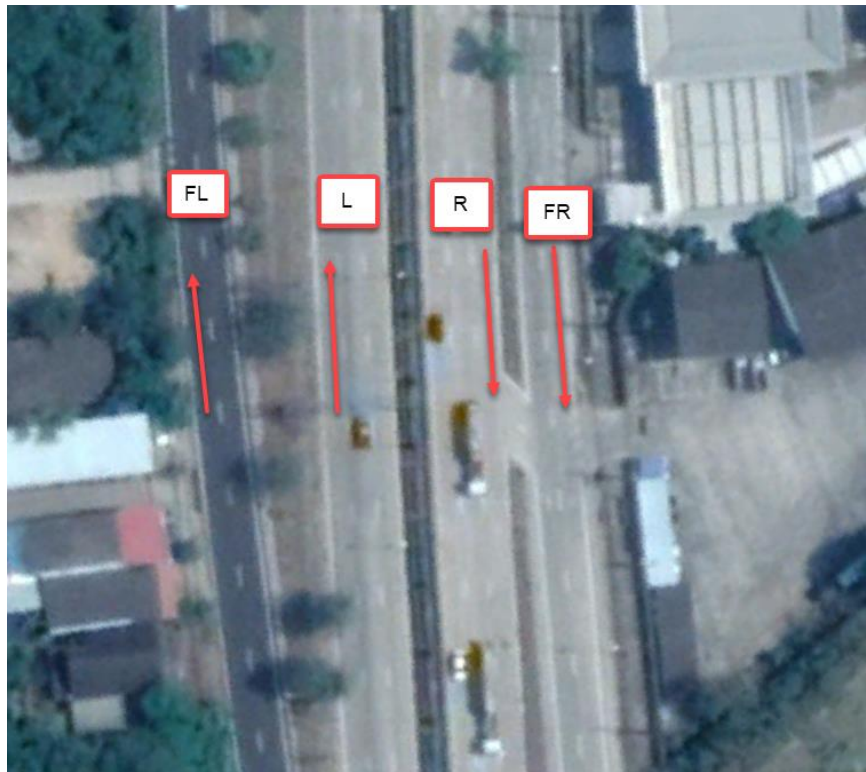
- กรณีสำรวจ 1 ทิศทาง จะทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนในทิศทางที่มีความเสียหายมากที่สุด



รูปที่ 4-57 แสดงการวิ่งช่องจราจรด้านซ้ายสุด

- กรณีที่มีการสำรวจ 2 ทิศทาง แล้วมีทางคู่ขนาน ให้ทำการวิ่งสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทางคู่ขนาน





รูปที่ 4-58 แสดงภาพมุมมองสูงการวินิจฉัยร่องซ้ายสุดทั้งทางหลักและทางขนาน

- กรณีที่มีการเพิ่มช่องจราจร จาก 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจรขึ้นไป ให้ทำการสำรวจช่องจราจรด้านซ้ายสุดของทั้งฝั่งขา L และฝั่งขา R



รูปที่ 4-59 แสดงภาพการเข้าสำรวจทางขนาน



รูปที่ 4-60 ภาพมุมสูงแสดงการวิ่งเมื่อเข้าสู่สองช่องจราจร

- กรณีที่ไม่สามารถทำการสำรวจในช่องจราจรด้านซ้ายสุดของถนนได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น เช่น ปิดปรับปรุงผิวจราจร ก็จะทำให้การสำรวจช่องจราจรที่อยู่ติดกับช่องจราจรดังกล่าวแทน



รูปที่ 4-61 แสดงภาพเมื่อเข้าสำรวจด้านซ้ายสุดของถนนไม่ได้ เนื่องจากมีเหตุจำเป็น



- กรณีที่พื้นผิวสายทางเปียกเนื่องจากฝนตก หรือมีน้ำขัง ในช่วงจราจรที่จะทำการสำรวจ จะทำการหยุดการสำรวจในสายทางนั้นแล้วจะกลับมาสำรวจใหม่เมื่อพื้นผิวสายทางแห้งสนิท



รูปที่ 4-62 แสดงภาพสายทางที่เปียกจนไม่สามารถสำรวจได้

- กรณีที่สายทางมีอุปสรรคในการสำรวจเช่น มีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวางทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้ หรืออยู่ในพื้นที่หวงห้ามของราชการที่ไม่อนุญาตให้เข้าพื้นที่ได้ จะไม่ทำการสำรวจ แล้วทำการรายงานปัญหาและอุปสรรคเพื่อแจ้งแก่คณะกรรมการ แล้วดำเนินการสำรวจในสายทางสำรองแทน



รูปที่ 4-63 แสดงภาพเมื่อไม่สามารถเข้าสำรวจได้เนื่องจากมีสิ่งก่อสร้างถาวรกีดขวางทำให้รถไม่สามารถเข้าสำรวจได้



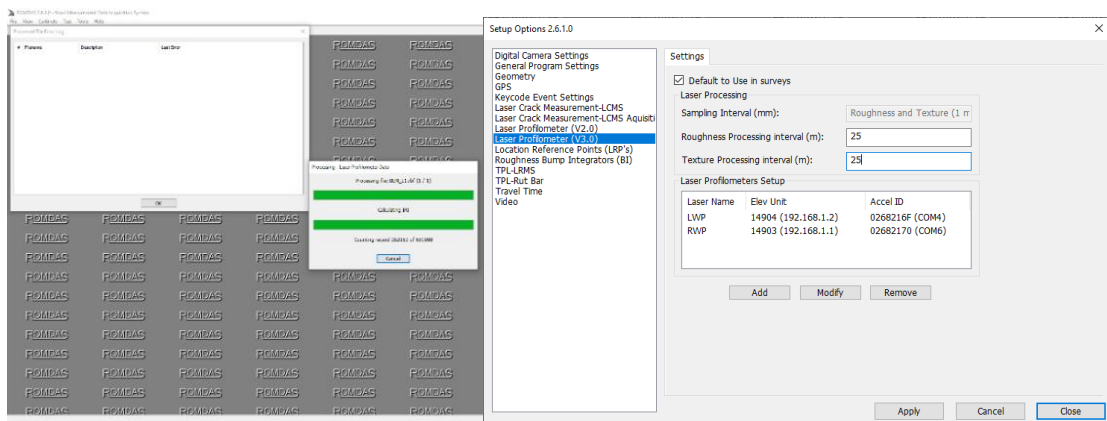


#### 4.4 การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ

ที่ปรึกษาจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ อย่างน้อยตามที่มีในระบบฐานข้อมูล Roadnet

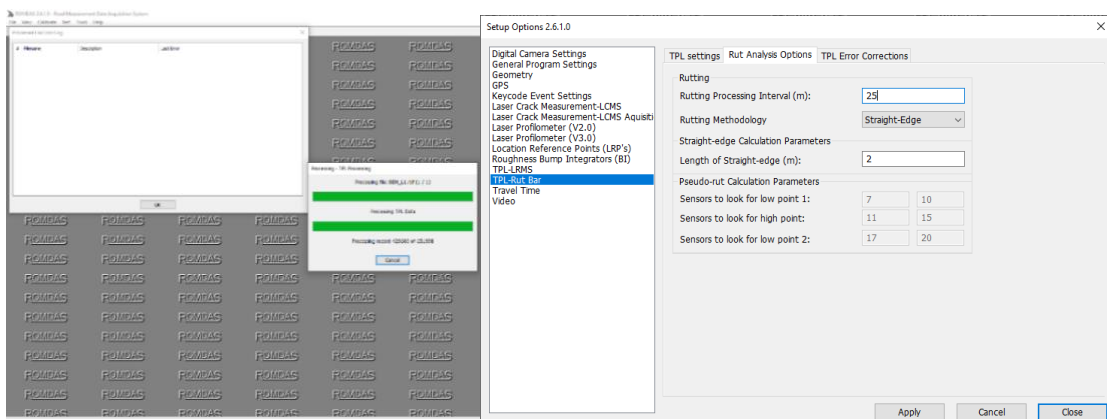
##### 4.4.1 การประมวลผลข้อมูลจากชุดเครื่องมือเลเซอร์เพื่อใช้สำรวจข้อมูลสภาพทางประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

- ข้อมูลค่าความลึกกร่องล้อ (Rutting) ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



รูปที่ 4-64 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากลของผิวทาง

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

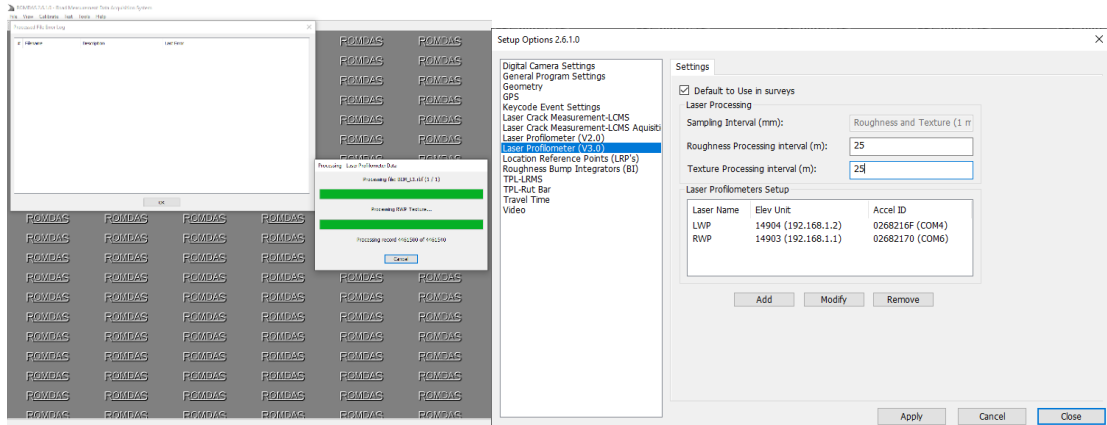


รูปที่ 4-65 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความลึกกร่องล้อบนผิวทาง





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



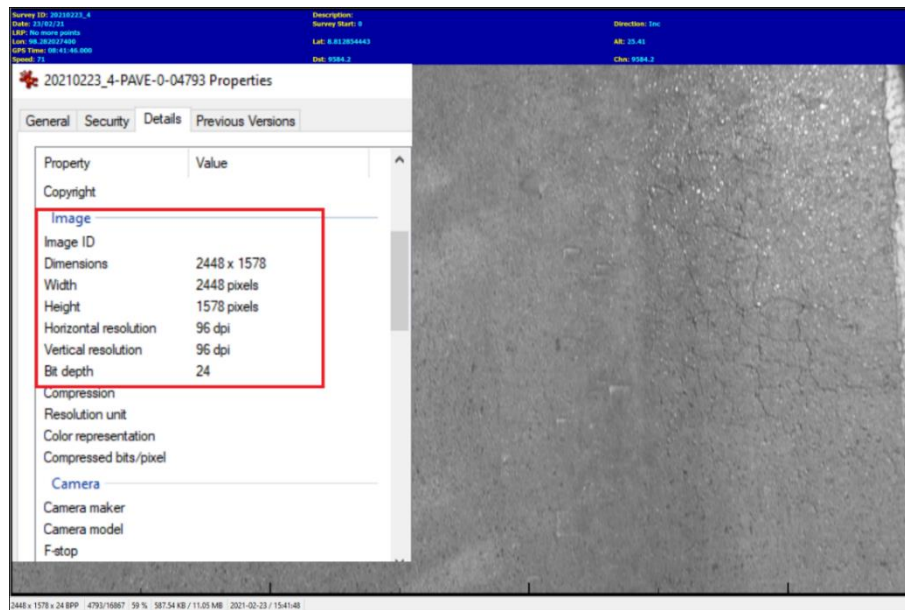
รูปที่ 4-66 ตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง

#### การประมวลผลข้อมูลสภาพผิวทาง

ประกอบด้วย การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากข้อมูลการสำรวจที่ปรากฏบนผิวทางจากภาพถ่ายผิวทาง ที่มีความละเอียด 4,090x10,000 Pixels หรือ 2,448x1,578 Pixels ดังรูปที่ 67 และรูปที่ 68 ตามลำดับ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางจากภาพถ่ายหรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic crack detection) ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) โดยประเภทความเสียหายต้องประกอบไปด้วย รอยแตก รอยปะ หลุมบ่อ หรือข้อมูลอย่างน้อยที่มีในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก โดยอ้างอิงกับพิกัดทางภูมิศาสตร์ทำการคำนวณทุกระยะ 25 เมตร หรือน้อยกว่า



รูปที่ 4-67 แสดงภาพถ่ายผิวทางที่สร้างขึ้นจากเลเซอร์



รูปที่ 4-68 แสดงความละเอียดภาพถ่ายสภาพความเสียหายผิวทาง (Distress)  
จากอุปกรณ์ ROMDAS pavement camera

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

#### การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวลาดยาง

จากการประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทาง ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวลาดยาง ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึก และประมวลผลด้วยอุปกรณ์การสำรวจจากตารางที่ 4-24 โดยสามารถระบุค่าพิกัดตำแหน่งของภาพ และสามารถบันทึกภาพผิวทางได้อย่างต่อเนื่อง ร่วมกับการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายโดยบุคลากรผู้ชำนาญการโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางสำหรับการประเมิน ที่สามารถส่งออกผลลัพธ์ค่าความเสียหายจากการประเมินสายทาง และค่าพิกัดตำแหน่งของภาพที่เกิดความเสียหายได้



ตารางที่ 4-24 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางลาดยาง

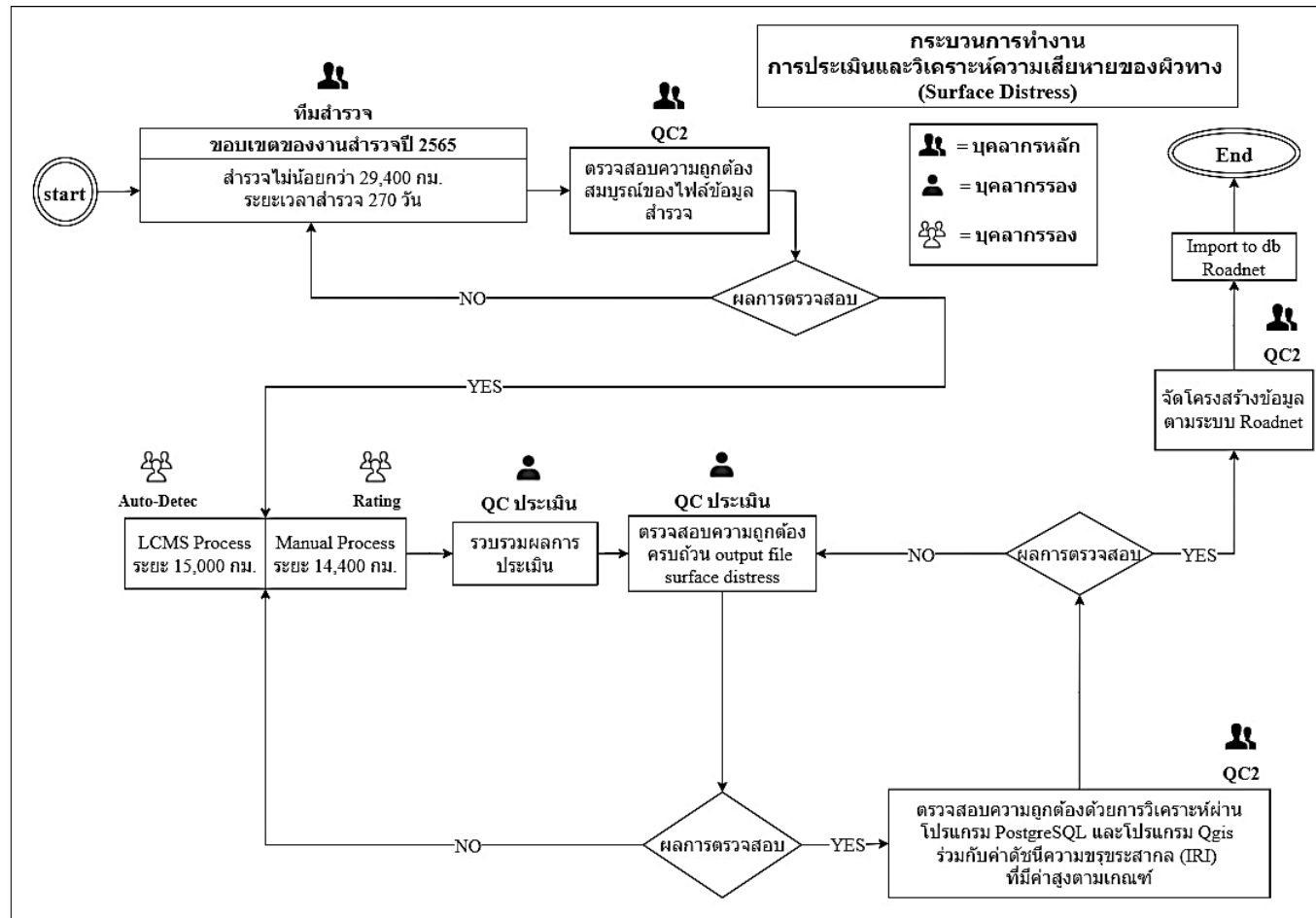
ผิวทางลาดยาง			
ลำดับที่	ประเภทความเสียหาย	การวัด	หน่วยการวัด
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnected crack)	พื้นที่	ตารางเมตร/กม.
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (Longitudinal crack)	ความยาว	เมตร/กม.
3	การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)	พื้นที่	ตารางเมตร/กม.
4	การหลุดร่อน (Raveling)	พื้นที่	ตารางเมตร/กม.
5	หลุมบ่อ (Pot holes)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

#### การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของถนนผิวคอนกรีต

ที่ปรึกษาจะประเมินปริมาณความเสียหายประเภทต่าง ๆ ที่ปรากฏบนถนนผิวคอนกรีต ซึ่งข้อมูลประเภทและปริมาณความเสียหายจะถูกบันทึกโดยอ้างอิงกับพิภพทางภูมิศาสตร์ ทำให้การประมวลผลข้อมูลความเสียหายช่วยในการประเมินด้วยผู้ชำนาญการ โดยหน่วยการวัดความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตจะแตกต่างจากหน่วยการวัดความเสียหายของถนนผิวลาดยาง เช่น รอยแตกตามขวางของถนนผิวลาดยางจะมีหน่วยการวัดเป็นความยาว (เมตร) ส่วนรอยแตกตามขวางของถนนผิวคอนกรีตจะมีหน่วยการวัดเป็นจำนวนแผ่น/กิโลเมตร เป็นต้น ซึ่งความเสียหายจากถนนผิวคอนกรีตที่จะวิเคราะห์ตามเกณฑ์ดังตารางที่ 4-25

ตารางที่ 4-25 การจำแนกประเภทความเสียหายของผิวทางคอนกรีต

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



รูปที่ 4-69 กระบวนการทำงานการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทาง

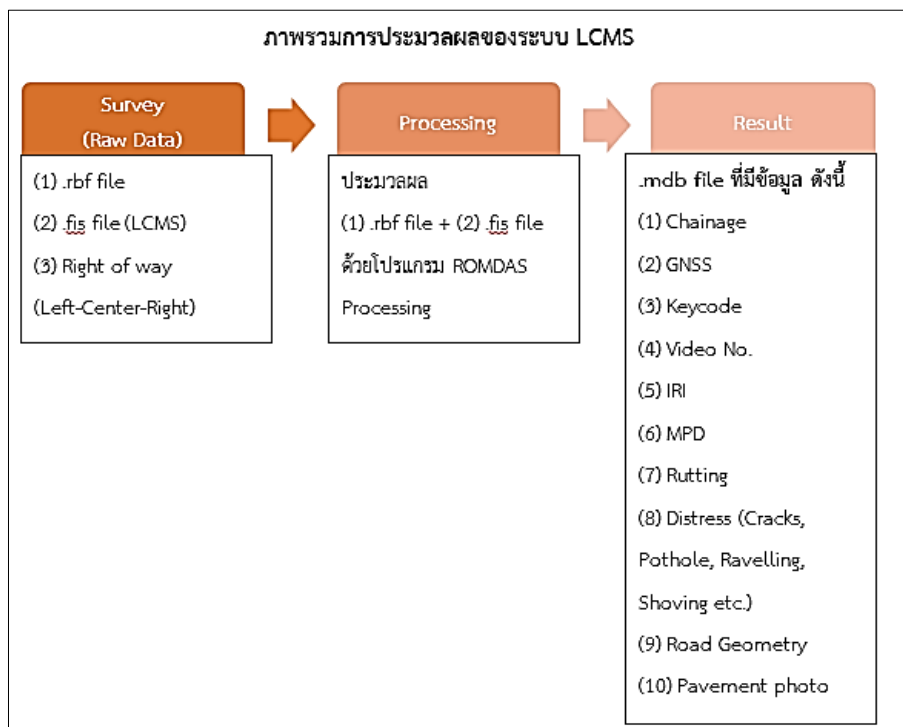




### การประมวลผลข้อมูลความเสียหายของผิวทางที่ได้จากข้อมูลการสำรวจ

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

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



รูปที่ 4-70 ภาพรวมการประมวลผลของระบบ Laser Crack Measurement System (LCMS)

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

ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลของระบบ LCMS จะถูกจัดเก็บในรูปแบบของไฟล์รูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb ประกอบด้วยตารางของข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้



- ตาราง GNSS หรือตาราง GPS\_processed

1	2	3	4	
CHAINAGE	SPEED	LATITUDE	LONGITUDE	ALT_MSL
0	44.9	13.7629982816667	100.543801262333	10.75
5	44.9	13.7629738254713	100.543879839581	8.64
10	44.9	13.7629493692759	100.543958416829	6.53
15	44.9	13.7629249130805	100.544036994077	4.42
20	44.9	13.7629004568851	100.544115571325	2.31
25	43.7	13.7629605637453	100.544185779181	3.62

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

- ตาราง Keycode

1	2	3					
CHAINAGE	CHAINAGE_END	EVENT	SWITCH_GRI	EVENT_DESC	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
287.3	5457.9 a	pevement		Asphalt	13.7638767688935	100.546524266681	3.182133
326.5	1660.8 5	Action		Lane3	13.7639932240338	100.546863311919	3.184616
397.6	397.6 1			Start record	13.7641354341058	100.547527678679	13.10108
399.3	399.3 s			Demarcation Sign	13.7641432363333	100.547538640167	12.647
1660.8	23949.3 4	Action		Lane2	13.7741000441882	100.55317917526	3.916896
4203.1	5797.8 8			Bridge Start	13.7950785590037	100.560931946617	3.572958
4205.5	6266.6 9			Bridge End	13.7951007458788	100.560932237559	3.628844
4377.6	4377.6 0			KM	13.7966422603197	100.560799393145	3.117926
5457.9	5783.9 c	pevement		Concrete	13.8063519285926	100.559811817281	3.364444
5783.9	11548 a	pevement		Asphalt	13.8092681415963	100.559429633147	3.58764

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



• ตาราง Video

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

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

• ตาราง Roughness (IRI)

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

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



• ตาราง Rutting

1		2	
CHAINAGE	LEFT_DEPTH	RIGHT_DEPT	
0	6.9	2.2	
5	6.9	1.2	
10	1.6	1.1	
15	3.6	3.3	
20	2.1	4.6	
25	2.9	3.1	

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

• ตาราง Mean Profile Depth (MPD)

1		2	
CHAINAGE	BAND_2	BAND_4	
0	-1	-1	
5	0.9003538	0.6459938	
10	0.8974075	0.6950513	
15	0.9710187	0.6057438	

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



• ตาราง Cracks

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

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

• ตาราง Pothole

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

1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	BAND_2 (mm)	ค่าความลึกผิวเฉลี่ยซ้าย
	BAND_4 (mm)	ค่าความลึกผิวเฉลี่ยขวา





● ตาราง Ravelling

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

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

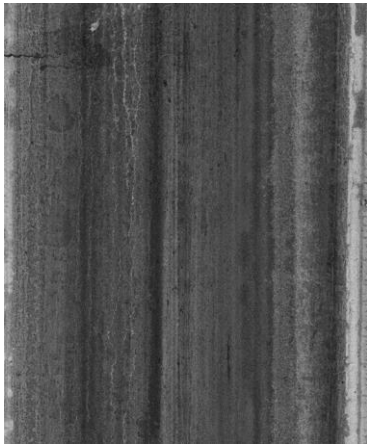
● ตาราง Geometry

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

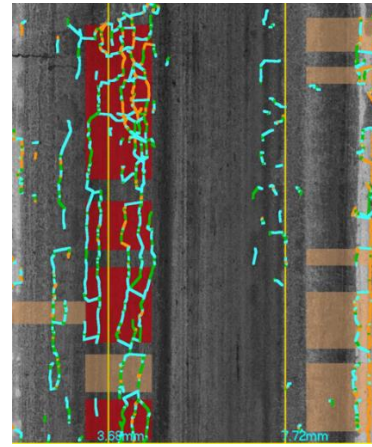
1	CHAINAGE (m)	ระยะทางสำรวจสะสม
2	GRADIENT	ค่าความลาดชัน (Percent grade slope)
3	HORIZONTAL_CURVATURE	คาร์ตมีทางโค้ง (Radius)
4	CROSS_SLOPE	คาความลาดเอียง (Percent crown slope)



● Pavement Photo (ภาพพื้นผิวถนน)



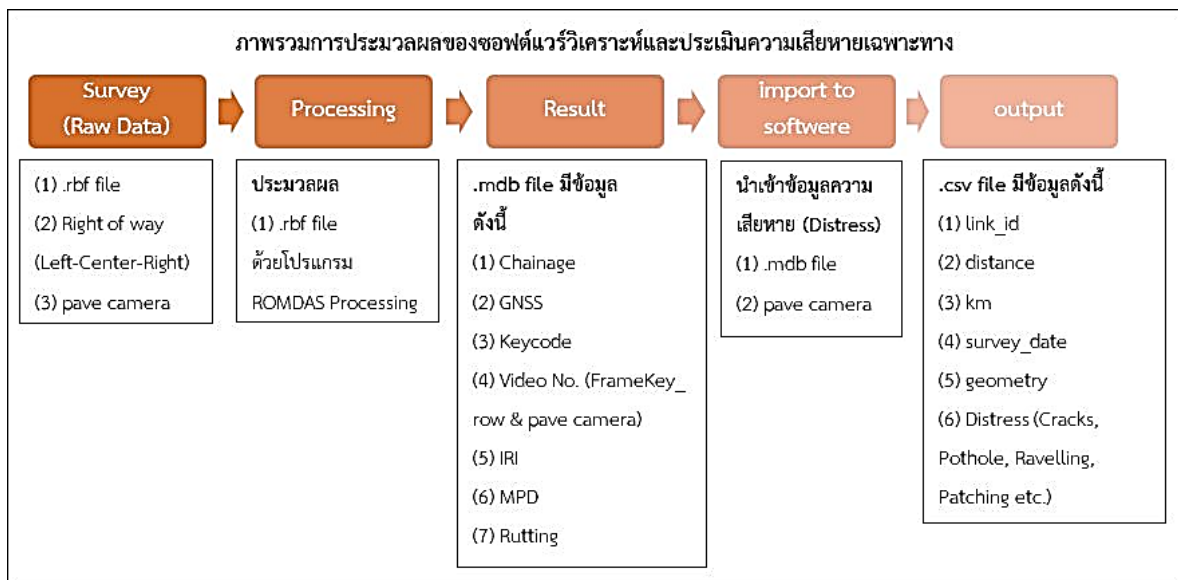
Asphalt pavement



Asphalt pavement with distress

รูปที่ 4-71 ภาพพื้นผิวถนนที่สร้างจากเลเซอร์สามารถทำความละเอียดสูงสุดได้ที่ 4090 x 10000 pixels

2) การประมวลผลความเสียหายของผิวทางโดยการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ด้วยโปรแกรมการประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายผิวทาง ในการตรวจสอบภาพถ่ายพื้นผิวถนน เพื่อระบุประเภทความเสียหายที่มีพิกัดทางภูมิศาสตร์อ้างอิงดังรูปที่ 4-72



รูปที่ 4-72 ภาพรวมการประมวลผลของซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

จากการประเมินวิเคราะห์ความเสียหายทั้งจากระบบ Auto Crack Detection ร่วมกับการตรวจสอบจากผู้ประเมิน (Manual Rating) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง สามารถนำมาแปลผลค่าความเสียหายได้ดังตารางที่ 4-26

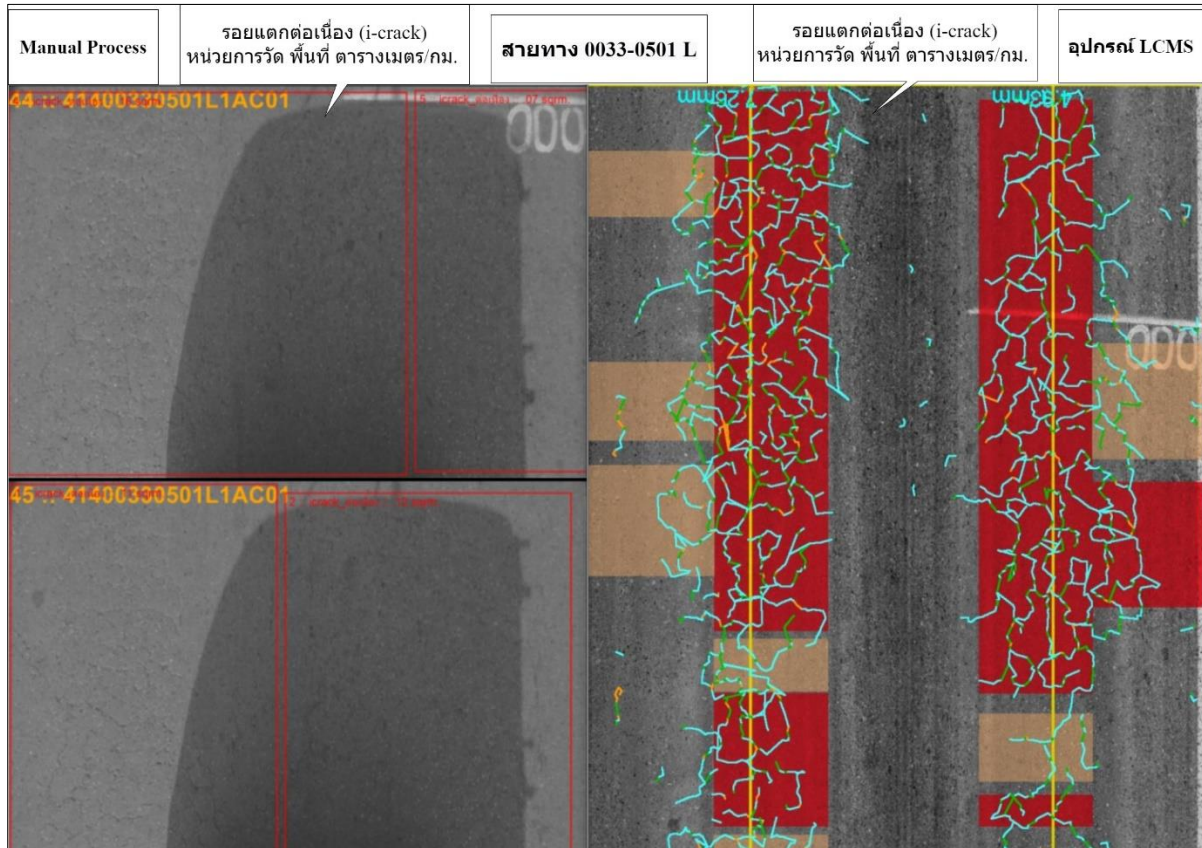


ตารางที่ 4-26 ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากการอุปการณ์สำรวจด้วย LCMS และโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง

Roadnet	Types	Manual Rating	Auto Crack Detection	unit
		Method		
<b>ลาดยาง (Asphalt pavement)</b>				
รอยแตกต่อเนื่อง (รอยแตกหนึ่งจระเข้)	alligator/multiple	Manual	Auto	ตร.ม
รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (รอยแตกตามยาว)	transverse/longitudinal	Manual	Auto	ม.
การหลุดร่อน	raveling	Manual	Auto	ตร.ม
การเยิ้ม	bleeding	Manual	Auto	ตร.ม
รอยปะซ่อม	patch_ac	Manual	Manual	ตร.ม
หลุมบ่อ	Pothole	Manual	Auto	ตร.ม
<b>คอนกรีต (Concrete pavement)</b>				
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
วัสดุยานวรอยต่อเสียหาย	joint_seal_damage	Manual	Manual	ม.
มุมแตก	corner_break	Manual	Manual	จุด



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

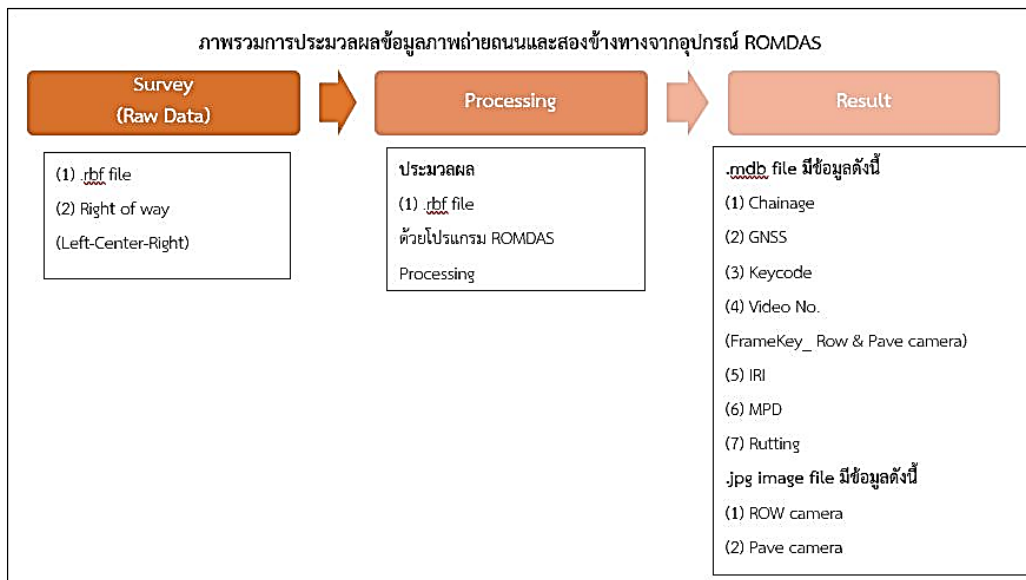


รูปที่ 4-73 ตัวอย่างการประเมินความเสียหายผิวทางด้วยวิธีการ Manual Process ผ่านโปรแกรมประเมินเฉพาะทางและอุปกรณ์ Lcms Process



#### 4.4.2 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจะต้องทำการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางที่มีความละเอียด 1600 x 1200 ในรูปแบบไฟล์ JPEG หรือดีกว่า

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



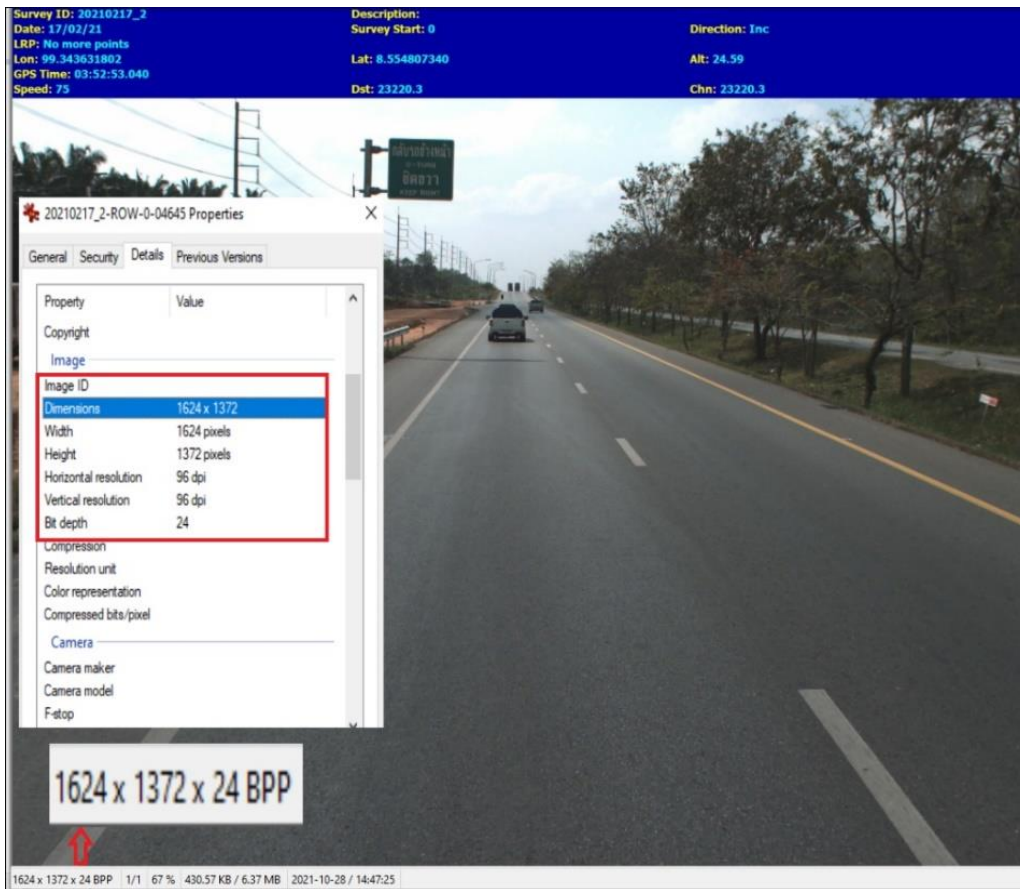
รูปที่ 4-74 การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทางจากอุปกรณ์ ROMDAS



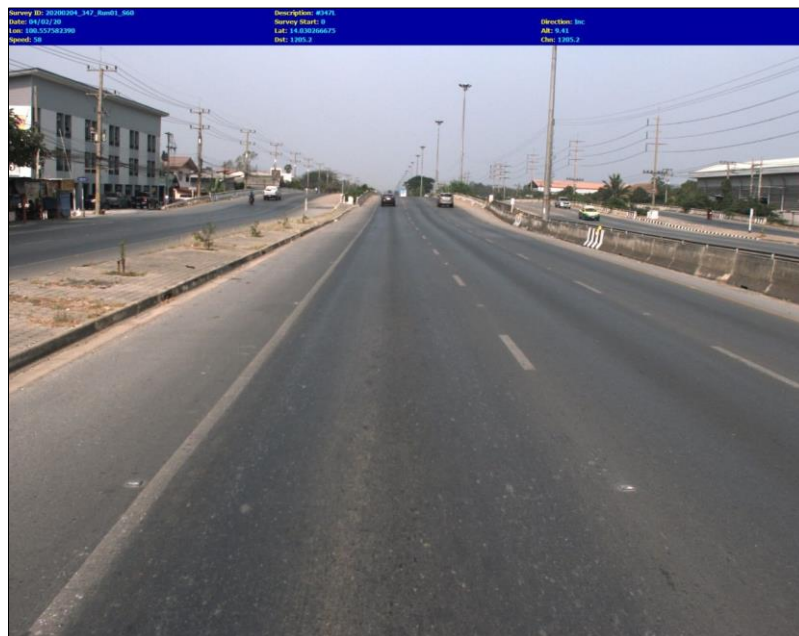


## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 4-75 ตัวอย่างความละเอียดข้อมูลภาพถ่ายถนนและสองข้างทาง



รูปที่ 4-76 ตัวอย่างภาพจากกล้องบันทึกภาพถนนและพื้นที่ภายในบริเวณเขตทางทั้งสองข้าง  
บนระบบ Roadnet



รูปที่ 4-77 ผลลัพธ์การประมวลผลภาพถ่ายต่อเนื่องที่สามารถแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหว  
บนระบบ Roadnet ได้

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

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



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

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

- บิต (Bit) คือ ข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุด เป็นข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจ และนำไปใช้งานได้ ซึ่งได้แก่ เลข 0 หรือ เลข 1 เท่านั้น
- ไบต์ (Byte) หรือ อักขระ (Character) ได้แก่ ตัวเลข หรือตัวอักษร หรือสัญลักษณ์พิเศษ 1 ตัว เช่น 0, 1, ..., 9, A, B, ..., Z และเครื่องหมายต่าง ๆ ซึ่ง 1 ไบต์จะเท่ากับ 8 บิต หรือตัวอักขระ 1 ตัว เป็นต้น
- ฟิลด์ (Field) หรือเขตข้อมูล หมายถึง หัวรายการหรือหัวเรื่องข้อมูลที่เราตั้งขึ้นมาเพื่อเก็บข้อมูลตัวอักษร ตัวเลข หรือสัญลักษณ์พิเศษ รูปภาพ โดยตั้งชื่อให้สื่อความหมายกับข้อมูลที่จะเก็บภายใต้ชื่อฟิลด์นั้น เช่น ฟิลด์ชื่อสินค้า ก็จะเก็บข้อมูลของชื่อสินค้านั้น ๆ เป็นต้น
- เรคคอร์ด (Record) ได้แก่ ฟิลด์ตั้งแต่ 1 ฟิลด์ ขึ้นไป ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องรวมกันเป็นเรคคอร์ด เช่น ชื่อ นามสกุล เลขประจำตัว ยอดขาย ข้อมูลของพนักงาน 1 คน เป็น 1 เรคคอร์ด
- ไฟล์ (Files) หรือแฟ้มข้อมูล ในฐานข้อมูลแอสเซสอาจประกอบด้วย Table, Form Report, Query, Macro และ Module จำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระบบฐานข้อมูลที่ใช้เก็บ มักจะเก็บฐานข้อมูลซึ่งเป็นเรื่องเดียวกัน เช่น ไฟล์ข้อมูลพนักงาน ไฟล์ข้อมูลลูกค้า ไฟล์ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า



# รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

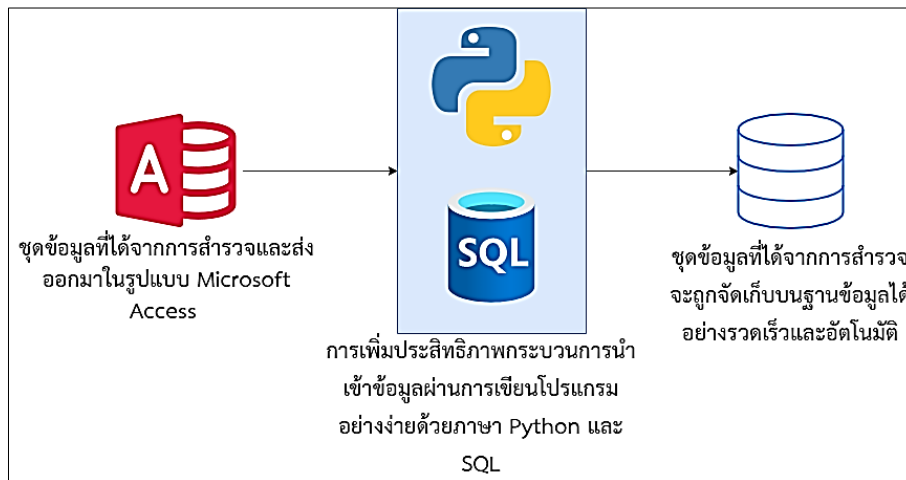
LRP	GPS_TIME	LATITUDE	LONGITUDE	NORTH	EASTING	ALT_HAE	ALT_MSL	HEADI
25	02:23:28.060	8.14759315833333	99.819807225	0	0	0	32.03	
30	02:23:28.080	8.14759848666667	99.8198380583333	0	0	0	32.06	
35	02:23:29.020	8.14760879	99.819898355	0	0	0	32.08	
40	02:23:29.040	8.14761392166667	99.8199280116667	0	0	0	32.08	
45	02:23:29.080	8.14762373	99.819984625	0	0	0	32.12	
50	02:23:30.020	8.147633155	99.8200393966667	0	0	0	32.08	
55	02:23:30.040	8.147637895	99.82006579	0	0	0	32.08	
60	02:23:30.080	8.14764773666667	99.820118225	0	0	0	32.13	
65	02:23:31.020	8.14765687666667	99.820167083333	0	0	0	32.11	
70	02:23:31.060	8.14766583333333	99.82021544	0	0	0	32.14	
75	02:23:32.000	8.14767515166667	99.8202619866667	0	0	0	32.17	
80	02:23:32.040	8.14768397666667	99.8203082716667	0	0	0	32.18	
85	02:23:32.080	8.14769291666667	99.8203545366667	0	0	0	32.14	
90	02:23:33.020	8.147702215	99.8204001083333	0	0	0	32.13	
95	02:23:33.060	8.147710665	99.8204457016667	0	0	0	32.13	
100	02:23:34.000	8.14771904833333	99.8204909316667	0	0	0	32.16	
105	02:23:34.020	8.14772295	99.820513545	0	0	0	32.16	
110	02:23:34.060	8.14773068166667	99.8205583933333	0	0	0	32.17	
115	02:23:35.000	8.14773800833333	99.820603075	0	0	0	32.2	
120	02:23:35.060	8.147747845	99.8206693666667	0	0	0	32.22	
125	02:23:36.000	8.14775343666667	99.82071312	0	0	0	32.23	
130	02:23:36.040	8.147757975	99.8207561633333	0	0	0	32.26	
135	02:23:36.080	8.14776267166667	99.8207993633333	0	0	0	32.26	
140	02:23:37.020	8.14776619666667	99.8208421783333	0	0	0	32.22	
145	02:23:37.060	8.14776977666667	99.82088522	0	0	0	32.22	

รูปที่ 4-78 ตัวอย่างข้อมูลสำรวจที่ผ่านการประมวลผล  
และถูกจัดอยู่ในรูปแบบ Microsoft Access นามสกุล .mdb



### การเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูลด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

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



รูปที่ 4-79 แผนผังแสดงการเพิ่มประสิทธิภาพการนำเข้าข้อมูล  
ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python และ SQL

นอกจากการเก็บข้อมูลในรูปแบบ Microsoft Access แล้วในการดึงข้อมูลสำรวจให้อยู่ในรูปแบบ CSV ก็ยังสามารถรองรับการส่งออกในรูปแบบนี้เช่นกัน ดังตัวอย่างข้อมูล Rutting, IRI และ MPD ที่ได้จากการประมวลผล เป็นดังรูปที่ 4-80 ถึงดังรูปที่ 4-83





# รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

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

รูปที่ 4-80 ตัวอย่างข้อมูล Rutting

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

รูปที่ 4-81 ตัวอย่างข้อมูล IRI

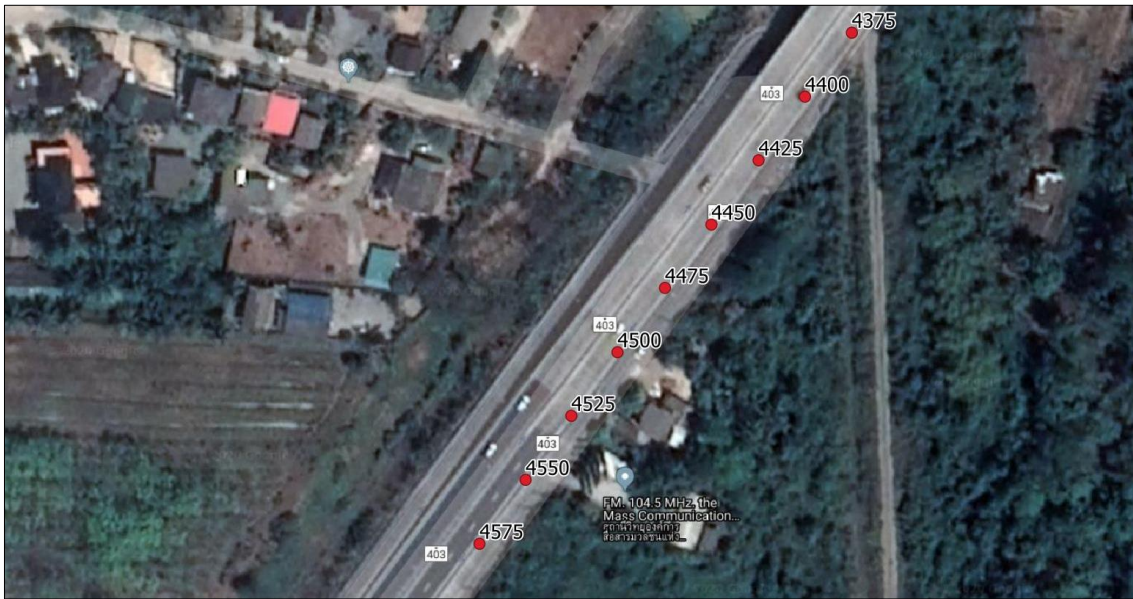


## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

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

รูปที่ 4-82 ตัวอย่างข้อมูล MPD

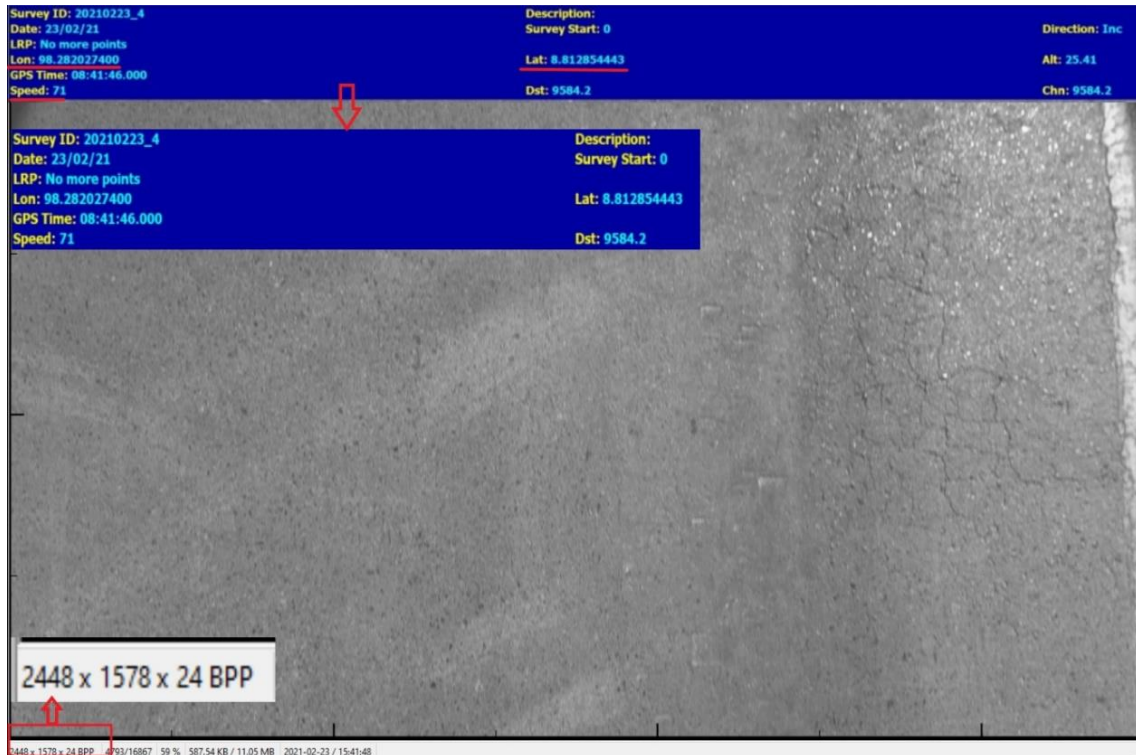


รูปที่ 4-83 การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในรูปแบบของแผนที่ (GIS) โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงที่เป็นมาตรฐานและสามารถจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ได้อย่างเหมาะสม



### ข้อมูลที่ผ่านการประมวลผลโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS ที่สามารถแสดงผลในรูปแบบแผนที่ (GIS)

หลักเกณฑ์การตรวจสอบความเสียหายสภาพทาง โดยพิจารณาถึงระบบพิกัดอ้างอิงของข้อมูล  
ประเมิน Distress จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง ร่วมกับการ  
การประมวลผลด้วยระบบ LCMS และค่าเฉลี่ยข้อมูลความเสียหายประเภท ค่าความสึกร่อนล้อ (Rutting)  
และค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีค่าพิกัด  
ทางภูมิศาสตร์บ่งชี้ว่าเกิดความเสียหาย ณ ตำแหน่งใดบนสายทางที่สำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 4-84



รูปที่ 4-84 แสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่สัมพันธ์กับสายทางที่สำรวจ





# รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

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

รูปที่ 4-85 แสดงตัวอย่างข้อมูลประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์ และประเมินความเสียหายเฉพาะทาง และระบบ LCMS



รูปที่ 4-86 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลที่เกิดความเสียหายสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย IRI ที่สูงตามข้อมูลประเมิน



จากรูปที่ 4-85 แสดงการประมวลผลการสำรวจในรูปแบบแผนที่ (GIS) ข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) จากโปรแกรมวิเคราะห์และประเมินความเสียหายผิวทางเฉพาะทางจากภาพถ่าย หรือระบบวิเคราะห์ความเสียหายผิวทางแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection)

โดยแสดงจุดที่เกิดความเสียหายสภาพทางที่เกิดการหลุดร่อน (Raveling) ของผิวถนนลาดยาง หน่วยวัดตารางเมตร ด้วยโปรแกรมประเมินและวิเคราะห์ความเสียหายเฉพาะทางและระบบการประมวลผลของ LCMS จุดที่เกิดความเสียหายจะสัมพันธ์กับข้อมูลค่าเฉลี่ยดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ที่มีค่าสูงตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนด

#### 4.5 การจัดเก็บข้อมูลสู่ฐานข้อมูล Roadnet

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

##### 4.5.1 ดำเนินการตรวจสอบ ปรับปรุงและทดสอบเชื่อมโยงข้อมูลที่ได้จากการสำรวจตามข้อ 2.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet ให้ถูกต้องและสามารถแสดงผลในระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างถูกต้อง

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

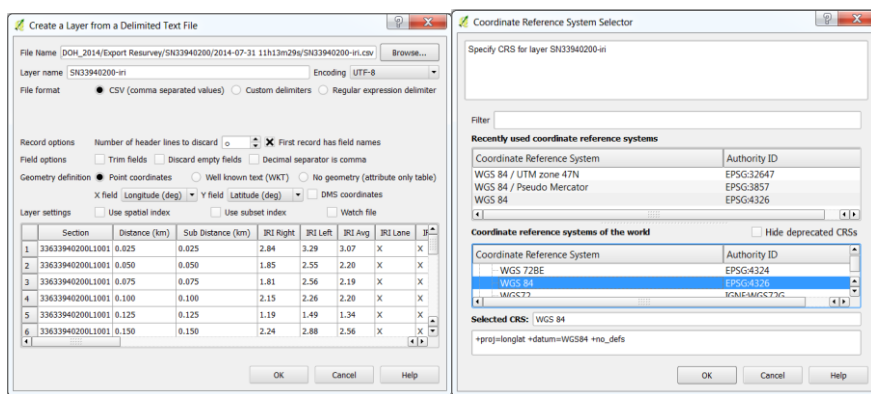






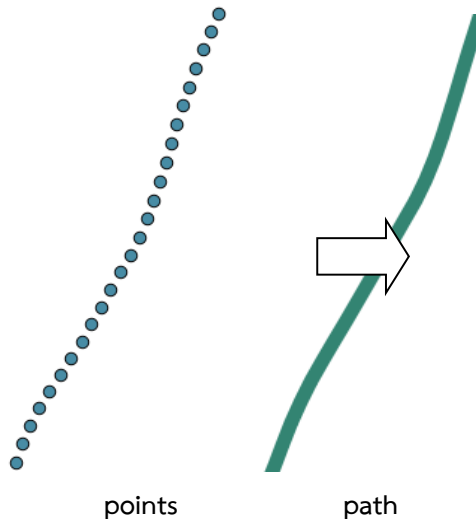
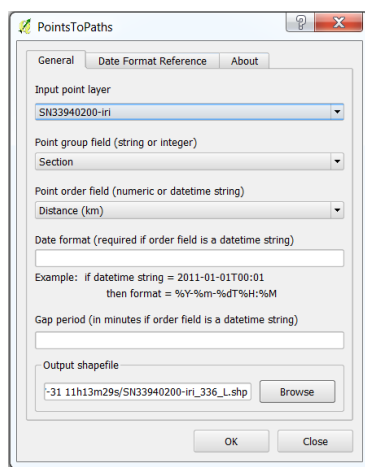
LEADOUT, ค่าพิกัด Latitude, Longitude ที่มีค่าเป็น 0 และข้อมูล EVENT บริเวณสะพาน เป็นต้น

- Rutting (\*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด โดยการ Edit field name ตามโครงสร้างที่กำหนด
  - Texture-MPD (\*.csv file) ทำการปรับแก้โครงสร้างฐานข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนดโดยการ Edit field name ตามโครงสร้างที่กำหนด
4. ทำการ convert (\*.csv file) to Shape file (point) ในข้อมูล IRI, Rutting และ MPD โดยใช้โปรแกรม QGIS Desktop และกำหนด Map project file



รูปที่ 4-89 การ convert (\*.csv file) to shapefile (point)

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



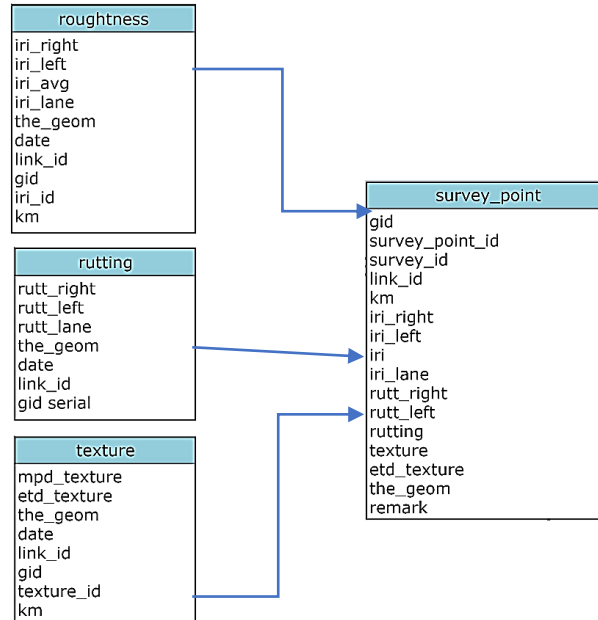
points

path

รูปที่ 4-90 การ convert points to Paths



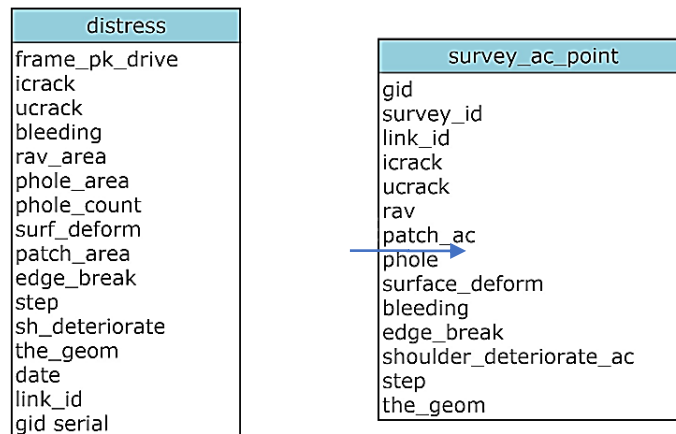
6. ทำการนำเข้าข้อมูลสำรวจสภาพทางที่ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (Accuracy data) และความถูกต้องของข้อมูลบรรยาย (Attribute Data) เรียบร้อยแล้ว ทำการปรับโครงสร้างข้อมูลให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจสภาพทางในฐานข้อมูล Roadnet เพื่อให้สามารถสืบค้นและแสดงผลข้อมูลผ่านโปรแกรมสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet)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



โครงสร้างข้อมูลสำรวจที่ได้จาก HKE

โครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)

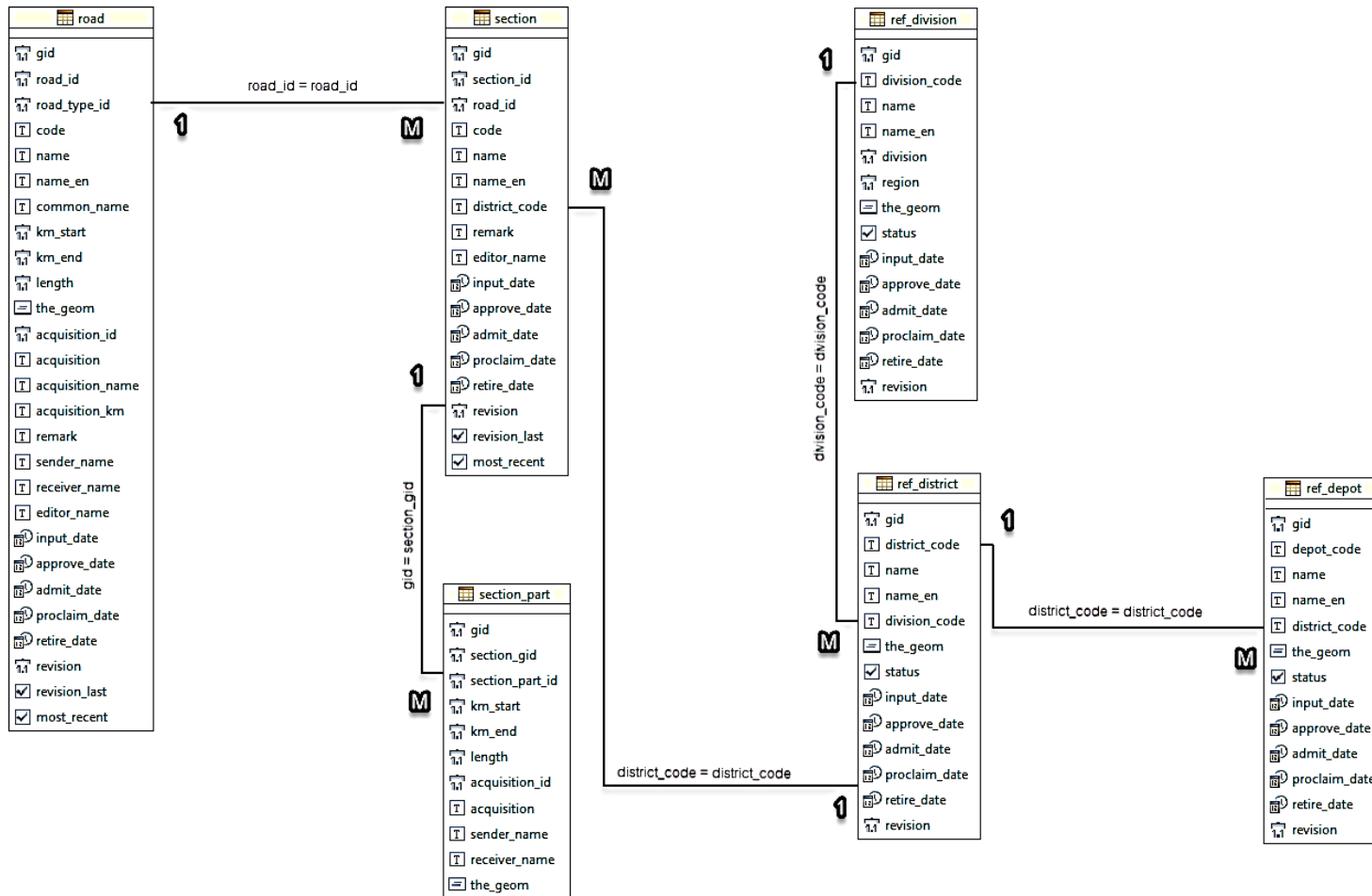
รูปที่ 4-91 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม HKE ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจ  
ในฐานข้อมูลกลางงานบำรุงทาง (CRDB)



โครงสร้างข้อมูลสำรวจที่ได้จาก POP

โครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูลกลางงาน  
บำรุงทาง (CRDB)

รูปที่ 4-92 การปรับโครงสร้างข้อมูลจากโปรแกรม  
ให้ตรงกับโครงสร้างข้อมูลสำรวจในฐานข้อมูล



รูปที่ 4-93 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลบัญชีสายทาง



รูปที่ 4-94 แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงของข้อมูลสำรวจจากสำนักบำรุงทาง





### คำอธิบาย

PK = Primary Key

ลำดับของ PK ถ้าเป็น Composite หลาย Field จะเป็น PK (1) คือลำดับที่ 1 และ PK (2) คือลำดับที่ 2 ถ้ามีตัวเดียวไม่มีลำดับ

FKn = Foreign Key ตัวที่ n

Un = Unique Constraint ตัวที่ n

CHKn = Check Constraint ตัวที่ n

**Table Name** : Road

**Description** : ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลทางหลวงจากระบบ HRIS

**Author** : คณิศร์ สมพงษ์พันธ์

**Last Update** : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
gid	integer NOT NULL	Not null	คีย์หลัก	PK	
road_id	integer	Not null	รหัสทางหลวง	FK1	Table: section Column: road_id
road_type_id	integer	Not null	ประเภททางหลวง		
code	character varying(4)	Not null	หมายเลขทางหลวง	FK2	Table: aadt Column: route_id
name	character varying(255)	Not null	ชื่อทางหลวง (ภาษาไทย)		
name_en	character varying(255)	Not null	ชื่อทางหลวง (ภาษาอังกฤษ)		
common_name	character varying(255)	Not null	ชื่อเดิมทางหลวง		
km_start	integer	Not null	กม. เริ่มต้น หน่วย เมตร		
km_end	integer	Not null	กม. สิ้นสุด หน่วย เมตร		
length	double precision	Not null	ระยะทาง หน่วย กิโลเมตร		
the_geom	geometry	Not null	MULTILINESTRING (SRID:4326)		



## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
remark	text	null	รายละเอียดหลักฐาน การได้มา		
sender_name	text	null	ชื่อผู้ส่งมอบ		
receiver_name	text	null	ชื่อผู้รับมอบ		
editor_name	text	null	แก้ไขโดย		
input_date	timestamp without time zone	null	วันที่กรอกข้อมูล		
approve_date	date	null	วันที่อนุมัติรัฐมนตรี		
admit_date	date	null	วันที่ผู้จัดให้ลงทะเบียน		
proclaim_date	date	null	วันที่แก้ไข		
retire_date	date	null	วันที่ยกเลิกทะเบียน		
revision	integer	null	ลำดับการแก้ไขข้อมูล		
revision_last	boolean	null	สถานะการเป็นประวัติ TRUE = Active FALSE = Inactive	CHK1	
most_recent	boolean	null	สถานะการใช้งาน TRUE = Active FALSE = Inactive	CHK2	





Table Name : Section

Description : ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลบัญชีสายทางจากระบบ HRIS

Author : คณะศรี สมพงษ์พันธ์

Last Update : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
gid	int	Not null	คีย์หลัก	PK	
section_id	int	Not null	รหัสตอนควบคุม	FK1	Table:section_part Column:section_gid
road_id	int	Not null	รหัสทางหลวง	FK2	Table:Road Column:road_id
code	char var 4	Not null	หมายเลขตอนควบคุม		
name	char var 255	null	ชื่อตอน		
name_en	char var 255	null	ชื่อตอนภาษาอังกฤษ		
district_code	char 3	Not null	หน่วยงานที่รับผิดชอบ ทล.	FK3	Table: ref_district Column: district_code
remark	text	null	รายละเอียดหลักฐานการได้มา		
editor_name	text	null	ชื่อผู้แก้ไขข้อมูล		
input_date	datetime	Not null	วันที่กรอกข้อมูล		
approve_date	date	Not null	วันที่ผู้จัดให้ลงทะเบียน		
admit_date	date	Not null	วันที่มีการประกาศให้แก้ไข		
proclaim_date	date	Not null	วันที่ได้รับการอนุมัติ		
retire_date	date	null	วันที่ยกเลิกทะเบียน		
revision	int	Not null	ลำดับ		
revision_last	boolean	Not null	สถานะการเป็นประวัติ TRUE = Active FALSE = Inactive	CHK1	
most_recent	boolean	Not null	สถานะการใช้งาน TRUE = Active FALSE = Inactive	CHK2	



**Table Name** : Section\_part

**Description** : ตารางแสดงรายละเอียดข้อมูลบัญชีสายทางจากระบบ HRIS

**Author** : คณะศรี สมพงษ์พันธ์

**Last Update** : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
gid	integer	Not null	คีย์หลัก	PK	
section_gid	integer	Not null	รหัสหัวข้อ gid ใน ตาราง section	FK1	Table:Section Column:gid
section_part_id	integer	Not null	รหัสตอนควบคุม	FK2	Table:subection Column:section_id
km_start	int	Not null	กม. เริ่มต้น หน่วย เมตร		
km_end	int	Not null	กม. สิ้นสุด หน่วย เมตร		
length	double precision	Not null	ระยะทาง หน่วย กิโลเมตร		
acquisition_id	integer	Not null	ประเภทการโอนมอบ		
acquisition	text	null	รายละเอียดการโอนมอบ		
sender_name	text	null	ชื่อผู้โอนมอบ		
receiver_name	text	null	ชื่อผู้รับมอบ		
the_geom	geometry	Not null	LINestring (SRID:4326)		



Table Name : Survey

Description : ตารางแสดงตารางข้อมูลสำรวจ

Author : คณิศร์ สมพงษ์พันธ์

Last Update : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
survey_id	serial	Not null	รหัส	PK	
subsection_id	int	Not null	รหัสบัญชีลักษณะผิวทาง	FK1	Table:subsection Column:subsection_id
section_id	int	Not null	รหัสตอนควบคุม	FK2	Table:section_part Column:section_part_id
survey_code	character varying(25)	Not null	รหัสสำรวจ		
run_code	character varying(25)	Not null	รหัสวิ่งรถสำรวจ		
lane_group	int	Not null	จัดกลุ่มช่องจราจร 0 = All 1 = F -1 = R 2 = FF		
lane_no	int	null	จำนวนช่องจราจร		
km_start	integer	Not null	กม. เริ่มต้น		
km_end	integer	Not null	กม. สิ้นสุด		
length	real	Not null	ระยะทาง		
distance_odo	real	Not null	ระยะทางจากอุปกรณ์ สำรวจ		
distance_gps	real	Not null	ระยะทางจาก GPS		
year	integer	Not null	ปีการสำรวจ		
survey_type	integer	Not null	ประเภทการสำรวจ		
date	date	Not null	วันที่สำรวจ		
the_geom	geometry	Not null	LINestring (SRID:4326)		
remark	character(10)	null	หมายเหตุ		





Table Name : Survey\_image

Description : ตารางแสดงตารางข้อมูลภาพสำรวจ

Author : คณิศร์ สมพงษ์พันธ์

Last Update : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
survey_image_id	serial	Not null	รหัส	PK	
survey_id	int	Not null	รหัสตารางสำรวจ	FK	Table:Survey Column:survey_id
km	int	Not null	กม. จุดสำรวจ		
directory	char var 255	Not null	ตำแหน่งไฟล์		
filename	char var 255	Not null	ชื่อไฟล์		
the_geom	geometry	Not null	POINT (SRID:4326)		



Table Name : Survey\_ac\_point

Description : ตารางแสดงตารางข้อมูลสำรวจบนผิวทางคอนกรีต

Author : คณิศร์ สมพงษ์พันธ์

Last Update : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
gid	int	Not null	รหัส	PK	
survey_id	int	Not null	รหัสตารางสำรวจ	FK	Table:Survey Column:survey_id
icrack	double	Not null	รอยแตกต่อเนื่อง		
ucrack	double	Not null	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง		
rav	double	Not null	การหลุดร่อน		
patch_ac	double	Not null	รอยปะซ่อม		
phole	double	Not null	หลุมบ่อ		
surface_deform	double	Not null	การเสียรูปร่างผิวทาง		
bleeding	double	Not null	การเยิ้ม		
edge_break	double	Not null	ความเสียหายขอบผิวทาง		
shoulder_deteriorate_ac	double	Not null	ความเสียหายไหล่ทาง		
step	double	Not null	ความเสียหายไหล่ทางต่ำกว่าผิวทาง		
the_geom	geometry	Not null	Point (SRID:4326)		
remark	character(10)	null	หมายเหตุ		



Table Name : Survey\_conc\_point

Description : ตารางแสดงตารางข้อมูลสำรวจบนผิวทางลาดยาง

Author : คณิศร์ สมพงษ์พันธ์

Last Update : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
gid	int	Not null	รหัส	PK	
survey_id	int	Not null	รหัสตารางสำรวจ	FK	Table:survey Column:survey_id
transverse_crack	int	Not null	จำนวนแผ่นแตกตามขวาง		
non_transverse_crack	int	Not null	จำนวนแผ่นแตกตามยาว และแนวทแยง		
faulting	double	Not null	รอยเลื่อนต่างระดับ		
spalling	int	Not null	รอยบิ่นกะเทาะ		
corner_break	int	Not null	มุมแตก		
joint_seal_damage	double	Not null	วัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย		
patch_conc	double	Not null	รอยปะซ่อม		
mpd	double	Not null	MPD		
shoulder_deteriorate_conc	double	Not null	ความเสียหายไหล่ทาง		
void	int	Not null	โพรงใต้แผ่นคอนกรีต		



Table Name : Survey\_point

Description : ตารางแสดงตารางข้อมูลจุดสำรวจ

Author : คณิศร์ สมพงษ์พันธ์

Last Update : 6 ธ.ค. 2564

Field Name	Data Type	Null	Description	Index	Reference
survey_point_id	serial	Not null		PK	
survey_id	int	Not null		FK	Table:survey Column:survey_id
km	int	Not null	กม. จุดสำรวจ		
iri	real	Not null	ความขรุขระ		
iri_right	real	Not null	ความขรุขระด้านขวา		
iri_left	real	Not null	ความขรุขระด้านซ้าย		
iri_lane	real	Not null	ความขรุขระช่องจราจร		
rutting	double	Not null	ความลึกร่องล้อ		
texture	double	Not null	ความลึกของผิวทาง		
etd_texture	real	Not null	ค่าเฉลี่ยความลึกของผิวทาง		
the_geom	geometry	Not null	POINT (SRID:4326)		
remark	character(10)	null	หมายเหตุ		



4.5.2 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมที่ปรึกษาต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่ได้จากการสำรวจผ่านโปรแกรม Roadnet โดยมีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งอย่างมีระบบเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสากล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) โดยทำการสุ่มตรวจข้อมูลจากแขวงทางหลวง อย่างละ 2 พื้นที่ตัวอย่าง

เมื่อทำการสำรวจข้อมูลแล้วเสร็จ มีการตรวจสอบคุณภาพเชิงตำแหน่งของข้อมูลโดยใช้การเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไทยโชต (รายละเอียดจุดภาพ 2 เมตร) รวมไปถึงการตรวจสอบค่าความสึกกร่อน (Rutting) ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) และค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง ก่อนการนำเข้าระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวงและระบบบริหารงานบำรุงทาง (TPMS) การทำเช่นนี้จะทำให้ระบบการบริหารข้อมูลมีความเป็นเอกภาพ และเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างข้อมูลให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะป้อนเข้า (Input) สู่อบบประเมินความเสียหาย โดยรายงานความถูกต้องของข้อมูลตำแหน่งเทียบกับแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

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

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





## รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

ตารางที่ 4-27 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 ที่1	2
4			642	ขท.สกลนคร ที่2 (สว่างแดนดิน)	2
5			646	ขท.หนองคาย	2
6			511	พิษณุโลกที่ 1	2
7		สำนักงานทางหลวงที่ 5 (พิษณุโลก)	515	พิษณุโลกที่ 2	2
8			557	อุดรดิตถ์ที่ 1	2
9			519	พิจิตร	2
10			554	ขท.เลย ที่1	2
11		สำนักงานทางหลวงที่ 6 (เพชรบูรณ์)	555	ขท.เลย ที่2 (ด่านซ้าย)	2
12			551	ขท.เพชรบูรณ์ ที่1	2
13			552	ขท.เพชรบูรณ์ ที่2 (บึงสามพัน)	2
14			623	ขท.อุดรธานี ที่1	2
15			624	ขท.อุดรธานี ที่2 (หนองหาน)	2
16		สำนักงานทางหลวงที่ 7 (ขอนแก่น)	621	ขท.ขอนแก่น ที่1	2
17			627	ขท.ขอนแก่น ที่2 (ชุมแพ)	2
18			628	ขท.ขอนแก่น ที่3	2
19			633	ขท.ยโสธร	2
20			635	ขท.ร้อยเอ็ด	2
21			สำนักงานทางหลวงที่ 8 (มหาสารคาม)	622	ขท.มหาสารคาม
22		647		ขท.กาฬสินธุ์	2
23		615		ขท.สุรินทร์	2
24		638		ขท.ศรีสะเกษ ที่1	2
25		สำนักงานทางหลวงที่ 9 (อุบลราชธานี)	636	ขท.ศรีสะเกษ ที่2	2
26			631	ขท.อุบลราชธานี ที่1	2
27			632	ขท.อุบลราชธานี ที่2	2
28			611	ขท.นครราชสีมา ที่1	2
29			612	ขท.นครราชสีมา ที่2	2
30			สำนักงานทางหลวงที่ 10 นครราชสีมา	614	ขท.นครราชสีมา ที่3
31		617		ขท.บุรีรัมย์	2
32		618		ปราจีน	2
33		619		ขท.สระแก้ว	2
34		สำนักงานทางหลวงที่ 13 กรุงเทพฯ	414	นครนายก	2



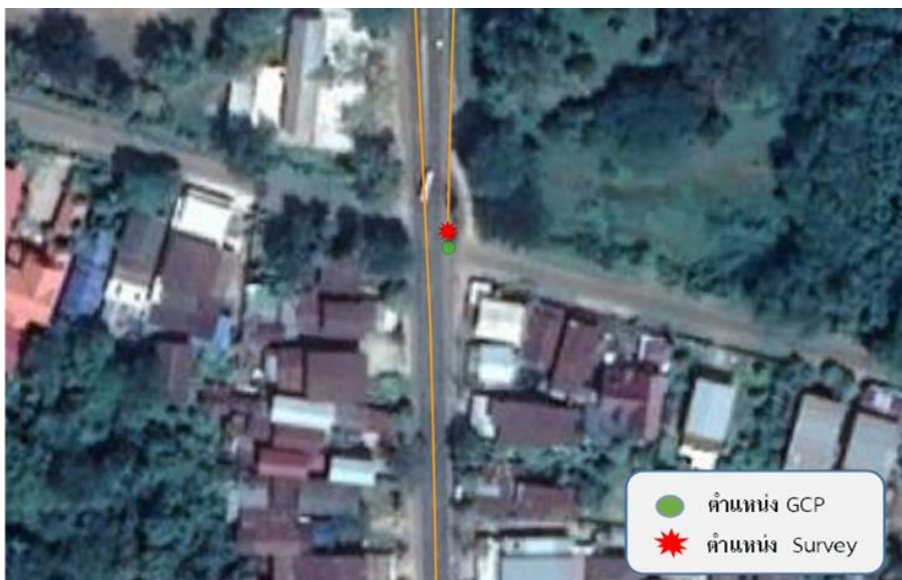
รูปที่ 4-95 แสดงตัวอย่างจุดบั้งคับภาคพื้นดิน GPC



จุดบังคับภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point : GCP) และจุดที่ทำการตรวจสอบ  
ทั้ง 34 จุด ต้องสามารถมองเห็นตำแหน่งจุดตัดทางแยกจากภาพถ่ายดาวเทียมไทโชต (THEOS)  
หรือเทียบเท่าได้ชัดเจน ดังรูปที่ 4-96 และรูปที่ 4-97



รูปที่ 4-96 แสดงตัวอย่างจุด GCP และจุดที่ทำการตรวจสอบ ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ 4-97 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) โดยมีสาระสำคัญคือ ในการประเมินความละเอียดถูกต้องของแผนที่ใด ๆ ให้ทำการเลือกจุดตรวจสอบ (GCP) ไปเปรียบเทียบกับจุด ๆ เดียวกันที่ปรากฏบนแผนที่ทำขึ้นอิสระ (Independent) ข้อมูลแผนที่อิสระที่จะนำมาเปรียบเทียบควรอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่กำหนด เช่น แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมโทโซต (THEOS) มาตรฐาน 1 : 25,000 ความละเอียดจุดภาพ 2 เมตร

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

รวมไปถึงการคัดกรอกข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์เครื่องตรวจวัดต่าง ๆ IRI Rutting หรือ MPD ที่ข้อมูลมีความผิดปกติจากการรับสัญญาณ เช่น ค่า IRI มากกว่า 10 เป็นต้น



ตารางที่ 4-28 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง

Point	E (m) Survey	N (m) Survey	E (m) GCP	N (m) GCP	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta E^2$ (m)	$\Delta N^2$ (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
Point_35	255469.600	1774905.300	255468.500	1774903.200	1.100	2.100	1.210	4.410
Point_36	241407.500	1738171.500	241407.200	1738170.600	0.300	0.900	0.090	0.810
Point_37	386479.390	1772577.130	386479.320	1772579.830	0.070	-2.700	0.005	7.290





ตารางที่ 4-28 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่ง (ต่อ)

Point	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta E^2$ (m)	$\Delta N^2$ (m)
Point_38	409556.600	1745168.600	409556.900	1745170.700	-0.300	-2.100	0.090	4.410
Point_39	386470.400	1772598.100	386472.600	1772597.300	-2.200	0.800	4.840	0.640
Point_40	348334.200	1778094.300	348336.700	1778094.600	-2.500	-0.300	6.250	0.090
Point_41	321906.200	1787932.600	321905.200	1787933.000	1.000	-0.400	1.000	0.160
Point_42	270625.900	1775042.300	270623.700	1775041.600	2.200	0.700	4.840	0.490
Point_43	336594.400	1815099.700	336591.000	1815099.000	3.400	0.700	11.560	0.490
Point_44	366209.200	1846456.600	366210.900	1846455.500	-1.700	1.100	2.890	1.210
Point_45	328683.200	1618115.000	328682.700	1618116.700	0.500	-1.700	0.250	2.890
Point_46	398003.100	1618944.100	398005.500	1618943.000	-2.400	1.100	5.760	1.210
Point_47	431034.600	1623639.700	431036.400	1623641.800	-1.800	-2.100	3.240	4.410
Point_48	405391.500	1618556.300	405390.500	1618556.400	1.000	-0.100	1.000	0.010
Point_49	431056.900	1623619.000	431055.300	1623622.200	1.600	-3.200	2.560	10.240
Point_50	494516.700	1642693.500	494516.900	1642695.300	-0.200	-1.800	0.040	3.240
Point_51	481984.400	1686786.900	481985.400	1686785.400	-1.000	1.500	1.000	2.250
Point_52	438877.660	1718571.060	438876.800	1718570.490	0.860	0.570	0.740	0.325
Point_53	485536.500	1679987.900	485536.400	1679990.600	0.100	-2.700	0.010	7.290
Point_54	506453.800	1648813.800	506451.900	1648811.700	1.900	2.100	3.610	4.410
Point_55	241406.600	1738169.000	241406.800	1738170.700	-0.200	-1.700	0.040	2.890
Point_56	187349.400	1658677.400	187347.400	1658674.500	2.000	2.900	4.000	8.410
Point_57	137817.000	1644145.400	137815.300	1644144.300	1.700	1.100	2.890	1.210
Point_58	96786.700	1621558.200	96793.400	1621555.000	-6.700	3.200	44.890	10.240
Point_59	226798.600	1627781.900	226800.700	1627781.000	-2.100	0.900	4.410	0.810
Point_60	145063.900	1644829.600	145063.500	1644830.100	0.400	-0.500	0.160	0.250
Point_61	233813.900	1625188.300	233811.000	1625193.000	2.900	-4.700	8.410	22.090
Point_62	309427.600	1618481.200	309429.800	1618481.300	-2.200	-0.100	4.840	0.010
Point_63	146598.800	1549103.700	146594.800	1549106.100	4.000	-2.400	16.000	5.760
Point_64	111309.800	1565938.100	111307.200	1565939.500	2.600	-1.400	6.760	1.960
Point_65	234617.200	1511837.700	234618.500	1511836.400	-1.300	1.300	1.690	1.690
Point_66	183265.500	1529431.200	183264.900	1529433.900	0.600	-2.700	0.360	7.290
Point_67	70279.900	1586299.800	70278.600	1586301.500	1.300	-1.700	1.690	2.890
Point_68	91487.400	1574051.000	91486.000	1574054.300	1.400	-3.300	1.960	10.890
<b>Sum</b>							<b>238.051</b>	<b>325.431</b>
<b>Mean</b>							<b>2.017</b>	<b>2.758</b>
<b>RMSE(E)</b>							<b>1.420</b>	
<b>RMSE(N)</b>								<b>1.661</b>
<b>RMSE</b>							<b>2.185</b>	





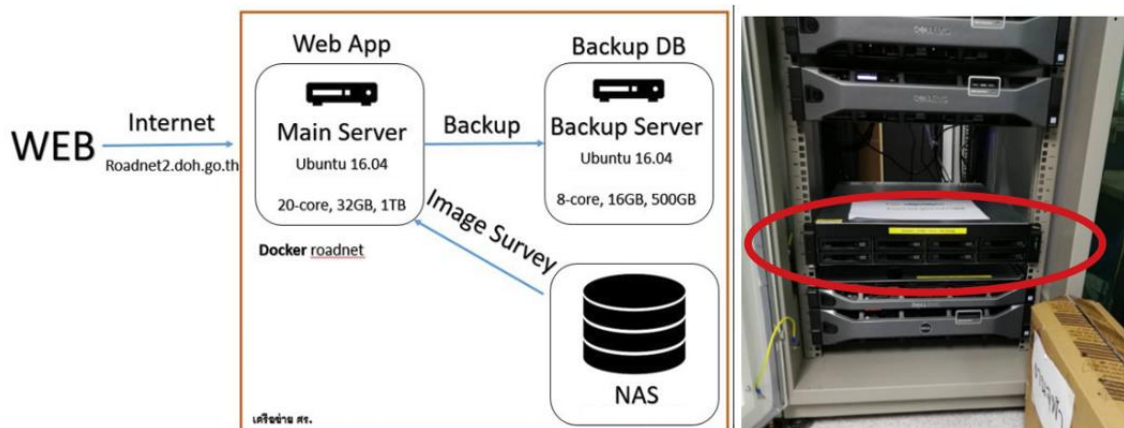
โดยแสดงรายละเอียดหัวตารางดังนี้

Point	หมายถึง ตำแหน่งที่ทำการตรวจสอบ
E และ N (Survey)	หมายถึง ค่า E และ N ของข้อมูลสำรวจ
E และ N (GCP)	หมายถึง จุดค่า E และ N ของจุดบังคับภาพภาคพื้นดิน
$\Delta E$	หมายถึง ผลต่าง E
$\Delta N$	หมายถึง ผลต่าง N

ผลการเปรียบเทียบในส่วนของการตรวจสอบเชิงตำแหน่งระหว่างข้อมูลสำรวจ ที่ได้ลงพื้นที่ทำการสำรวจบนสายทางในแต่ละแขวงทางหลวง เปรียบเทียบกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจากการเปรียบเทียบ RMSE ผลที่ได้อยู่ประมาณ 2.185 เมตร ซึ่งถ้านำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการทำงานแผนที่ หรือการแสดงผลข้อมูลสายทางบนระบบ แต่ถ้านำข้อมูลดังกล่าวมาใช้งานงานก่อสร้าง หรือการทำแผนที่รายละเอียดสูง เช่น 1:500 หรือ 1:100 เป็นต้น อาจจะต้องนำมาทดสอบค่าอีกครั้งจากการวัดด้วยกล้องระดับให้เหมาะสมมากขึ้น สรุปจากผลการเปรียบเทียบข้อมูล RMSE นี้สามารถนำไประบุค่าคุณภาพของข้อมูลหรือนำไปเป็นเอกสารอ้างอิง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทางได้อย่างเหมาะสม

**4.5.3 ที่ปรึกษาต้องทำการจัดเก็บข้อมูลที่ได้ จากข้อ 4.4 ในระบบฐานข้อมูล Roadnet เพื่อใช้ในการสืบค้น วิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบของแผนที่ GIS โดยที่ปรึกษาจะต้องจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจไว้ในอุปกรณ์ที่เก็บข้อมูล (Hard disk) และสำรองข้อมูลชนิด NAS (Network Attached Storage) อย่างเป็นระบบของผู้ว่าจ้าง โดยติดตั้งที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง**

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



รูปที่ 4-98 แสดงอุปกรณ์สำรองข้อมูลชนิด NAS ที่ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมทางหลวง

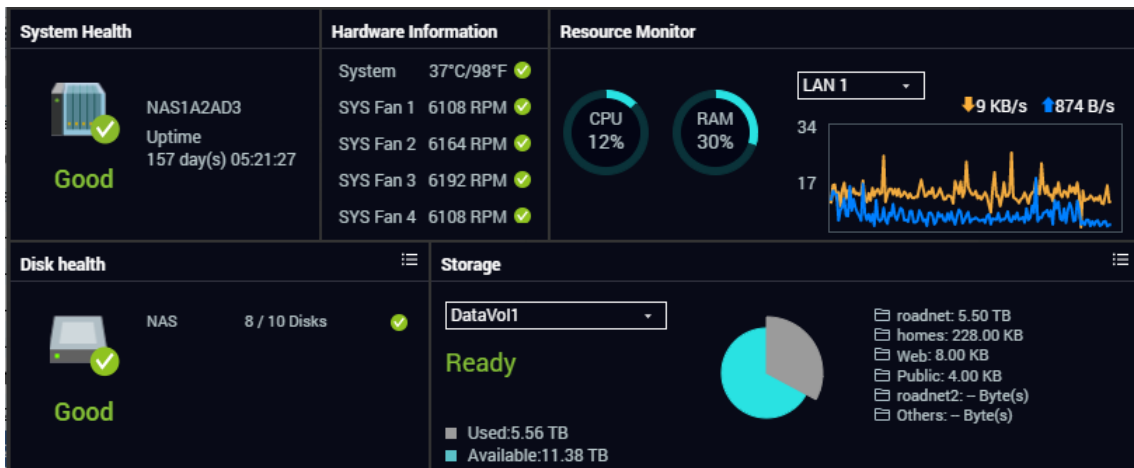
ปัจจุบันระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้ให้บริการตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน คือ การจัดเก็บข้อมูลบัญชีสายทาง ข้อมูลลักษณะผิวทาง ข้อมูลโครงสร้างและกายภาพ ข้อมูลสำรวจสภาพทางต่าง ๆ ที่ได้มีการสำรวจโดยสำนักบริหารบำรุงทาง อันประกอบด้วย ข้อมูลดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ข้อมูลความถี่ร่องล้อ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

จากการศึกษาอุปกรณ์แม่ข่ายของระบบ Roadnet ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยประกอบด้วยเครื่องแม่ข่ายจำนวน 3 เครื่อง ได้แก่ เครื่องที่ใช้ในการพัฒนาระบบ Roadnet ทั้งฟังก์ชันและหน้าจอแสดงผลจะอยู่ในเครื่องแม่ข่าย Web Base Application ต่อมาเครื่องแม่ข่าย Database ใช้ในการเก็บฐานข้อมูลรวมทั้งการ Backup ฐานข้อมูลไว้เพื่อป้องกันการสูญหายของฐานข้อมูล เครื่องแม่ข่ายเครื่องสุดท้าย คือ NAS มีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางและภาพเคลื่อนไหวที่ได้จากการสำรวจ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ดังตารางที่ 4-29



ตารางที่ 4-29 แสดงข้อมูลสถานะความสามารถของระบบแม่ข่ายของระบบ Roadnet ในปัจจุบัน

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



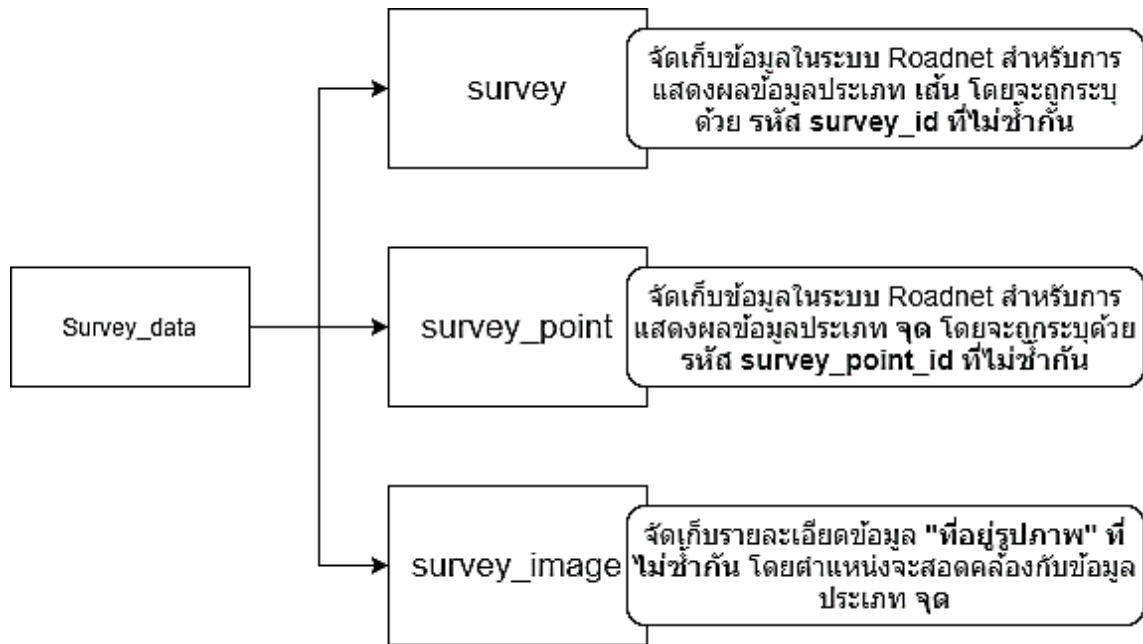
รูปที่ 4-99 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูล (NAS)

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



#### 4.5.4 การจัดเก็บข้อมูลในระบบ Roadnet จะต้องไม่มีผลกระทบกับข้อมูลเดิมที่มีอยู่ในระบบ และรูปแบบจะต้องสอดคล้องกับข้อมูลที่มีอยู่ในระบบ

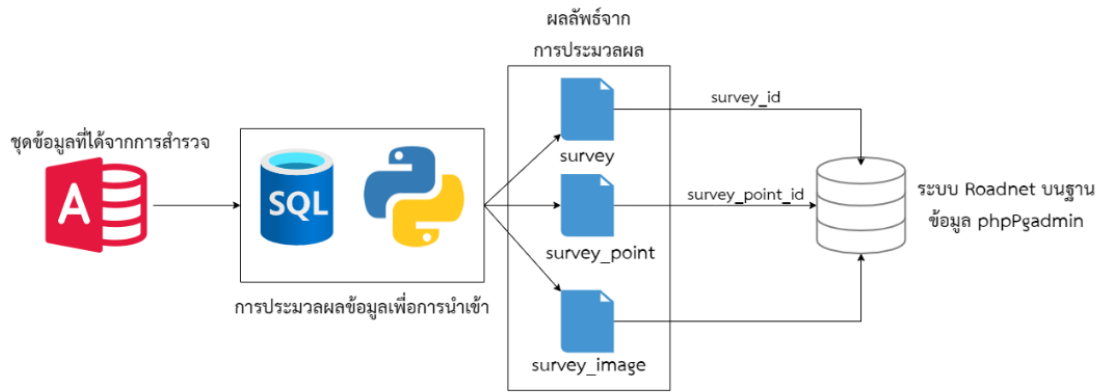
การจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะมีโครงสร้างตามข้อ 2.5.1 โดยมีการออกแบบโครงสร้างเพื่อยกระดับกระบวนการการนำเข้าข้อมูล เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบ โดยมีแบ่งกลุ่มข้อมูลสำรวจที่ถูกประมวลผลพร้อมนำเข้าระบบไว้ ดังรูปที่ 4-100



รูปที่ 4-100 แสดงการเชื่อมโยงในระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

จากแผนผังการแสดงผลการเชื่อมโยงในระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของข้อมูลมี 3 ส่วน คือ 1.ข้อมูลกลุ่ม survey ที่ระบุตำแหน่งเส้นทางบนทางหลวงของแต่ละตอนควบคุมในระบบ โดยมีการกำหนดรหัสข้อมูล survey\_id ที่ระบุชุดข้อมูลต่าง ๆ เพื่อป้องกันผลกระทบระหว่างการนำเข้าข้อมูลในแต่ละรอบ 2.ข้อมูลกลุ่ม survey\_point ที่ระบุตำแหน่งจุดสำรวจที่ระยะห่างทุก ๆ 25 เมตร โดยมีการกำหนดรหัสข้อมูล survey\_point\_id เพื่อป้องกันผลกระทบระหว่างการนำเข้าข้อมูลในแต่ละรอบ 3.ข้อมูลกลุ่ม survey\_image ที่ระบุรายละเอียดที่อยู่รูปภาพ เพื่อให้ระบบสามารถดึงข้อมูลรูปภาพจากฐานข้อมูลการจัดเก็บรูปภาพ (NAZ) โดยตำแหน่งรูปภาพจะสอดคล้องกับตำแหน่งจุดสำรวจ

สำหรับขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin สามารถอธิบายกระบวนการการนำเข้าได้ ดังนี้



รูปที่ 4-101 แผนผังแสดงขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ระบบ Roadnet บนฐานข้อมูล phpPgadmin

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

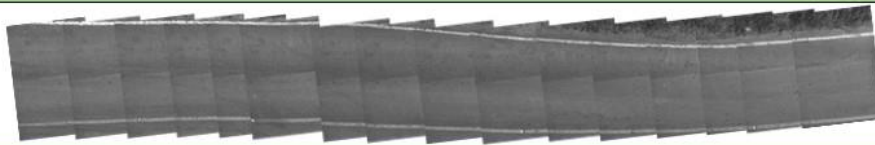
ในการสำรวจภายในปี 2565 ในครั้งนี้มีระยะทางรวมไม่น้อยกว่า 29,400 กม. และสามารถแบ่งการสำรวจด้วย 2 อุปกรณ์ ได้แก่ อุปกรณ์รถสำรวจ LCMS (Laser Crack Measurement System) ที่ต้องวิ่งระยะทางไม่ต่ำกว่า 15,000 กม. และอีกอุปกรณ์คือชุดอุปกรณ์สำรวจด้วยระบบ Laser Scan ระยะทางรวมไม่ต่ำกว่า 14,400 กม. ซึ่งภายในการสำรวจในปี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



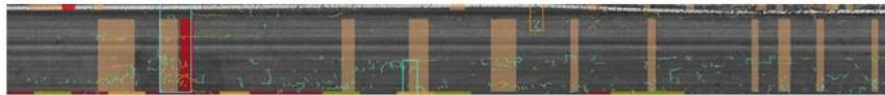
นอกจากนี้ทางทีมที่ปรึกษาจะดำเนินการตรวจสอบค่าความเสียหายจากระบบ Auto Crack Detection เพื่อนำเสนอต่อคณะกรรมการตรวจสอบได้เพื่อรองรับการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ดังรูปตัวอย่างการตรวจสอบจากระบบ Auto Crack Detection

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

รูปภาพรถ HAWKEYE



รูปภาพรถ ROMDAS



รูปภาพกล้องหน้ารถ



รูปที่ 4-102 เปรียบเทียบค่าความเสียหายที่ STA 2+025 – 2+050 บนทางหลวงหมายเลข 1257 ตอนควบคุม 100 แขวงทางหลวงน่านที่ 1



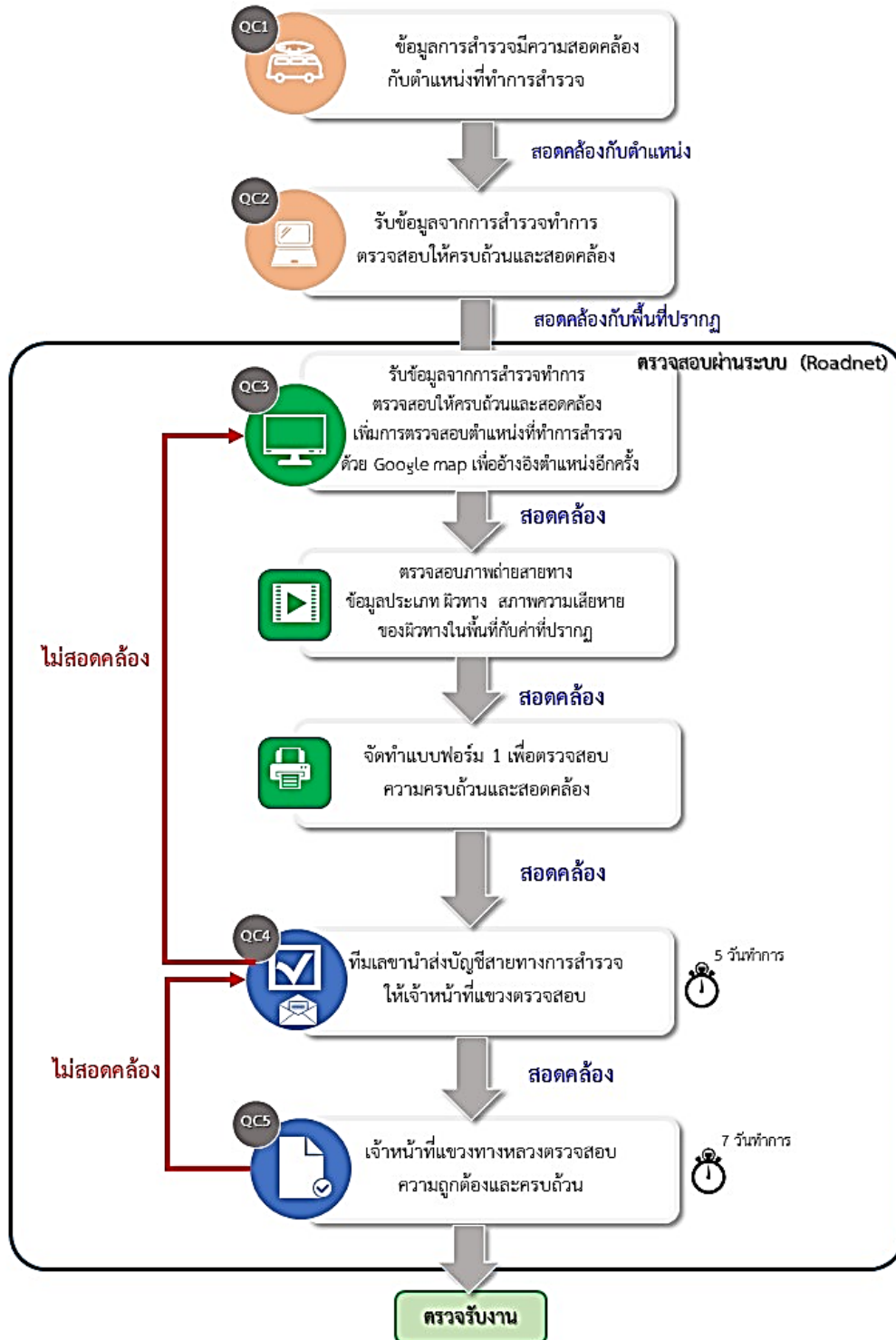


4.6 การตรวจสอบข้อมูลการสำรวจผ่านระบบ Roadnet ข้อมูลการสำรวจที่ถูกจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Roadnet ต้องมีความครบถ้วนถูกต้องโดยสามารถตรวจสอบผ่านระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ได้อย่างน้อยดังนี้

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

- ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ
- ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง
- ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

การตรวจสอบข้อมูลสำรวจ เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการสำรวจ จนมาถึงขั้นตอนการรับข้อมูลสำรวจตลอดจนการนำเข้าระบบ Roadnet ซึ่งจะมีการตรวจสอบตั้งแต่รายละเอียดภายในสายทางรวมทั้งความครบถ้วนของข้อมูลสำรวจ ความสอดคล้องและสัมพันธ์กับภาพถ่าย 2 ข้างทางโดยมีกระบวนการและรายละเอียดตามภาพดังนี้



รูปที่ 4-103 แสดงกระบวนการตรวจสอบผ่านระบบ Roadnet



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

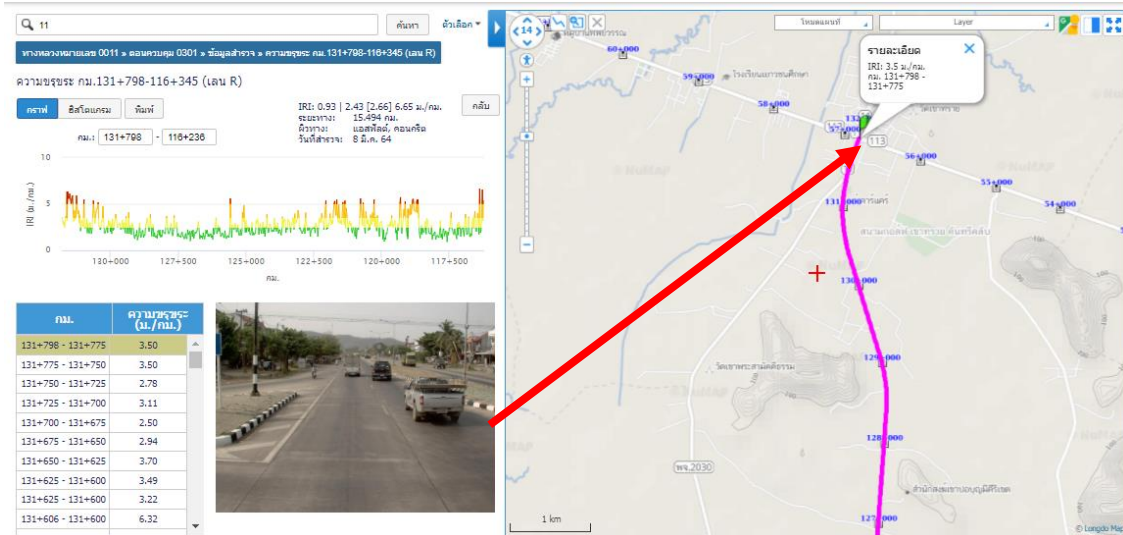
ตารางที่ 4-30 แสดงรายละเอียดในการตรวจสอบรอบที่ 3 (Qc3) กระบวนการภายใน

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



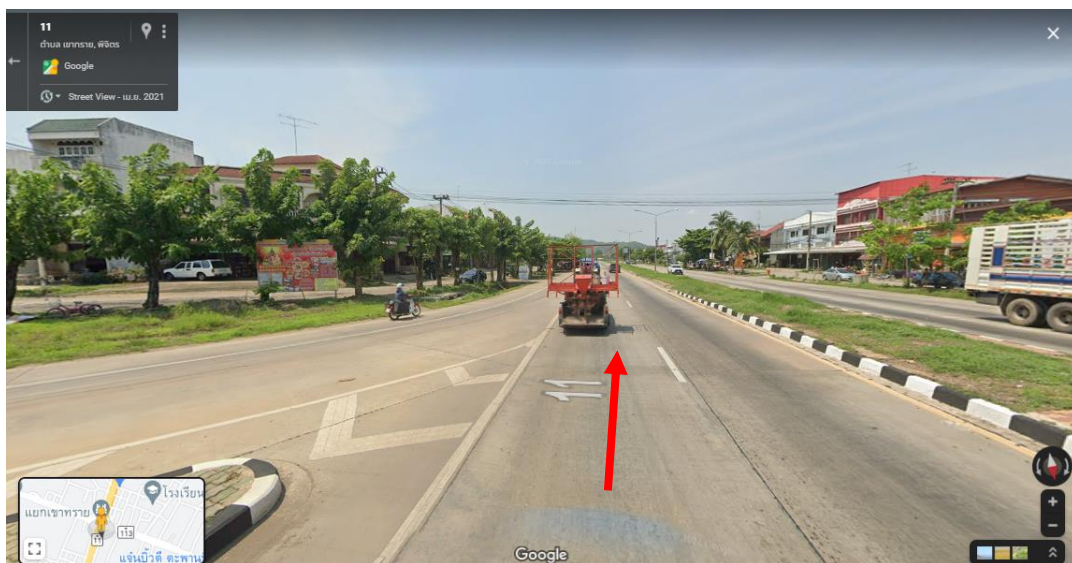
● ภาพถ่ายสายทางจะต้องมีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจ

การแสดงผลภาพถ่ายสองข้าง (LT/RT) เช่น ทางด้านซ้ายทางแสดงผลกิโลเมตรสำรวจ จากนั้นไปมากจะต้องสอดคล้องกับสายทางที่สำรวจในพื้นที่ โดยการแสดงผลสองข้างทางผ่านระบบ Roadnet2 แสดงผลทุก 25 เมตร ตามที่กำหนดไว้อย่างต่อเนื่องกันไปตลอดสายทางสังเกตจากการแสดงพิกัดสายทางเส้นทางบนแผนที่ควบคู่กันไป



รูปที่ 4-104 ตัวอย่างการตรวจสอบความสอดคล้องเชิงตำแหน่งบริเวณทางแยก

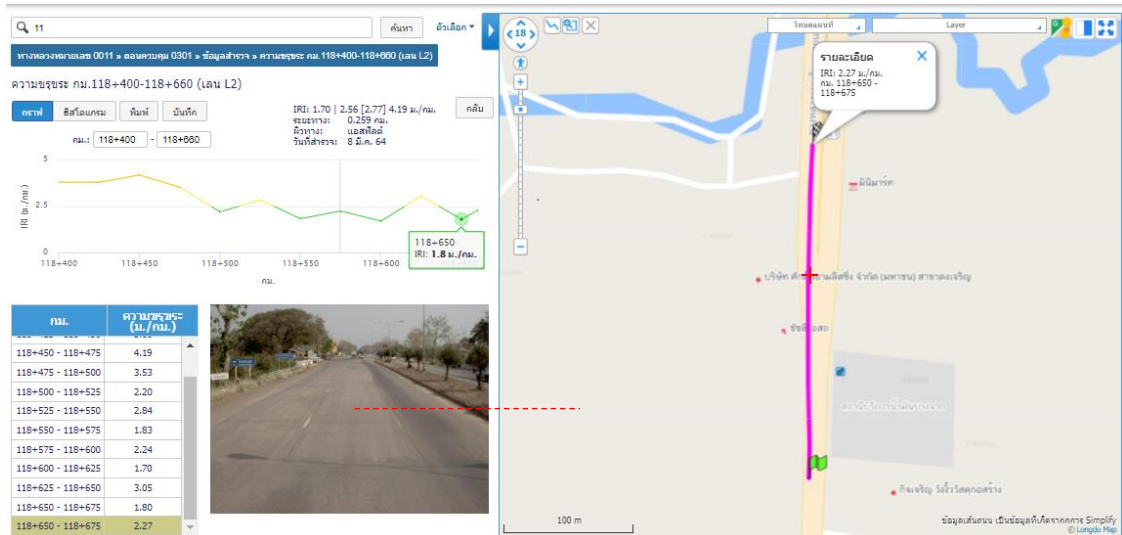
จากภาพถ่ายจุดเริ่มต้นความสอดคล้องกับตำแหน่งที่ทำการสำรวจที่ปรึกษาทำการตรวจสอบเพิ่ม 1 ขั้นตอนโดยเทียบภาพถ่ายสายทางและภาพจาก Google Map เพื่ออ้างอิงความสอดคล้องของตำแหน่งสายทางที่ทำการสำรวจ



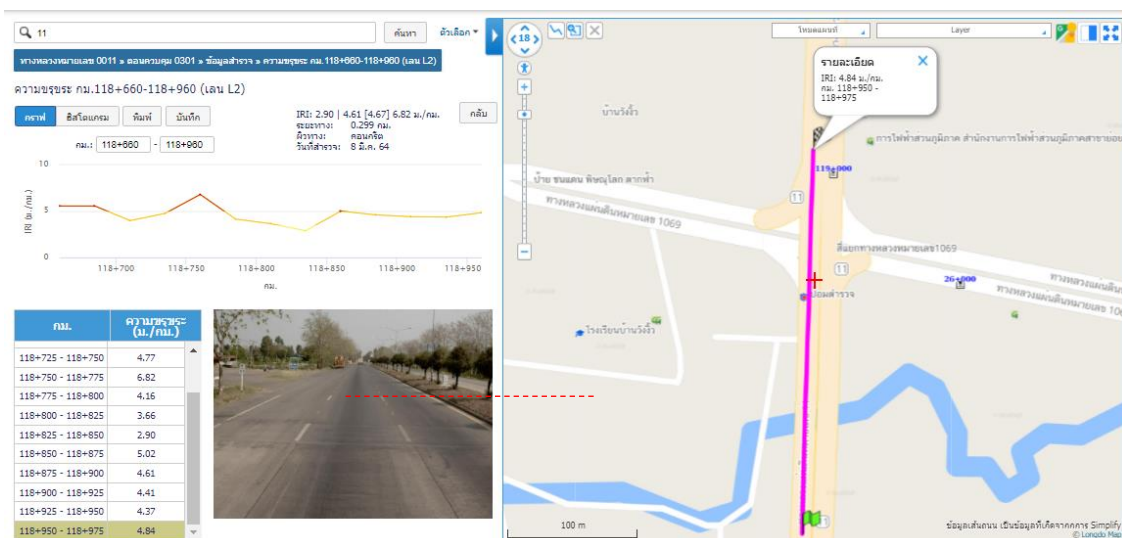
รูปที่ 4-105 ตัวอย่างการตรวจสอบพื้นที่สำรวจและอ้างอิงตำแหน่งภาพจาก Google Map



- ข้อมูลประเภท ผิวทาง จะต้องมีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริง  
ประเภทผิวทางผ่านระบบและผิวทางพื้นที่จริงต้องมีความสอดคล้องกัน โดยแสดงผล  
ผิวทางแอสฟัลต์และผิวทางคอนกรีต ซึ่งในบางสายทางอาจมีผิวทางมากกว่า 1 ผิวทาง



รูปที่ 4-106 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวแอสฟัลต์และรอยต่อผิวคอนกรีต



รูปที่ 4-107 ตัวอย่างการตรวจสอบสายทางที่แสดงผิวคอนกรีตและรอยต่อผิวแอสฟัลต์





● ความสอดคล้องของสภาพความเสียหายในพื้นที่กับค่าที่ปรากฏ

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







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

การตรวจสอบข้อมูลความเสียหายของผิวทาง (Surface Distress) ที่ได้จากการประเมินความเสียหายผิวทางทั้งผิวทางแอสฟัลต์ และคอนกรีต มีการบวนการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนนำเข้าระบบโดยมีกระบวนการตรวจสอบตามข้อ 4.4.2 ซึ่งเป็นกระบวนการก่อนนำข้อมูลเข้าระบบ Roadnet การตรวจสอบดังกล่าว สามารถทำการตรวจสอบตำแหน่งของข้อมูลเทียบกับสายทางที่มีค่าสภาพทางสูงเพียงเท่านั้น จนนำข้อมูลเข้าระบบ Roadnet จึงทำการตรวจสอบข้อมูลทางด้านความสอดคล้องและครบถ้วนกับภาพถ่าย 2 ช่องทาง และตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจ ตารางสภาพความเสียหายนำเข้าระบบมีความครบถ้วนสมบูรณ์ โดยมีรายการของประเภทความเสียหายของผิวทาง ดังนี้

ตารางที่ 4-31 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวแอสฟัลต์

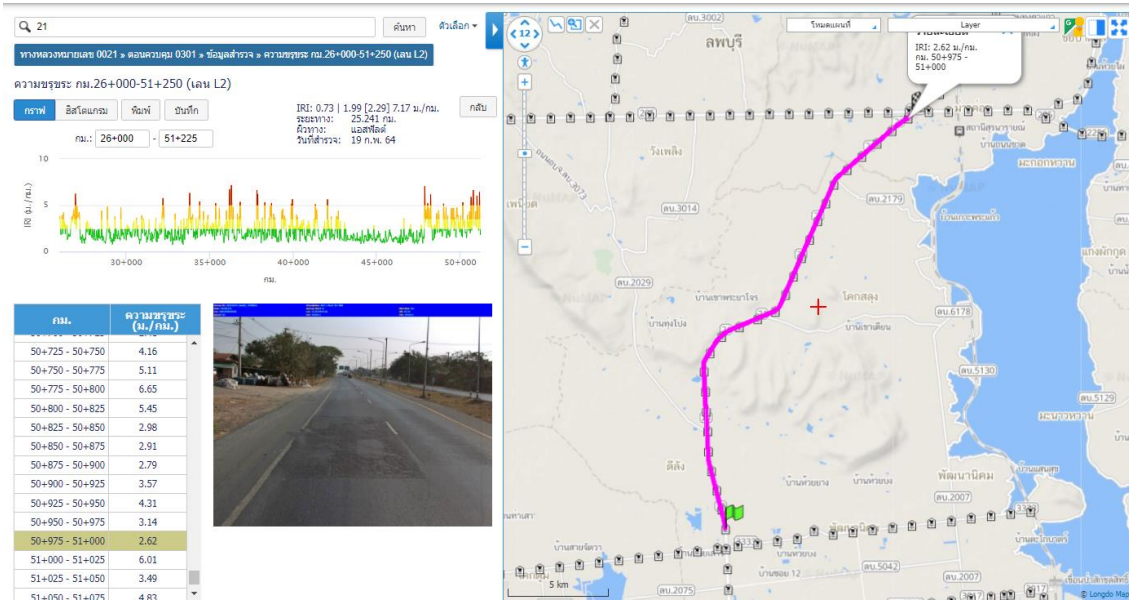
ลำดับที่	ประเภทความเสียหายของทางผิวลาดยาง
1	รอยแตกต่อเนื่อง (Interconnecting Crack)
2	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง (U-Crack)
3	การเยิ้มของลาดยาง (Bleeding)
4	การหลุดร่อน (Raveling)
5	หลุมบ่อ (Pot Holes)
6	รอยปะซ่อม (Patching)



# รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

จากผลการนำเข้าข้อมูลความเสียหายผิวทางแอสฟัลต์ จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟ  
ของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ข้างทางควบคู่กันไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 4-109 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายแอสฟัลต์

## ความเสียหาย กม.26+000-51+250 (เลน L2)

สภาพความเสียหายแอสฟัลต์			
ความขรุขระ	0.73   1.99 [2.29] 7.17 ม./กม.	ความลึกร่องล้อ	0.96   7.84 [9.41] 29.63 มม.
รอยแตกต่อเนื่อง	130.82 ตร.ม.	รอยแตกไม่ต่อเนื่อง	4.04 ม.
การหลุดร่อน	0.01 ตร.ม.	รอยปะซ่อม	5.71 ตร.ม.
หลุมบ่อ	0.00 ตร.ม.	การเสียรูปร่างผิวทาง	0.00 ตร.ม.
การเย็บ	11.60 ตร.ม.	ความเสียหายขอบผิวทาง	0.00 ม.
ความเสียหายไหล่ทาง	0.00 ม.	ความเสียหายไหล่ทางต่ำกว่าผิวทาง	0.00 ม.

รูปที่ 4-110 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายแอสฟัลต์

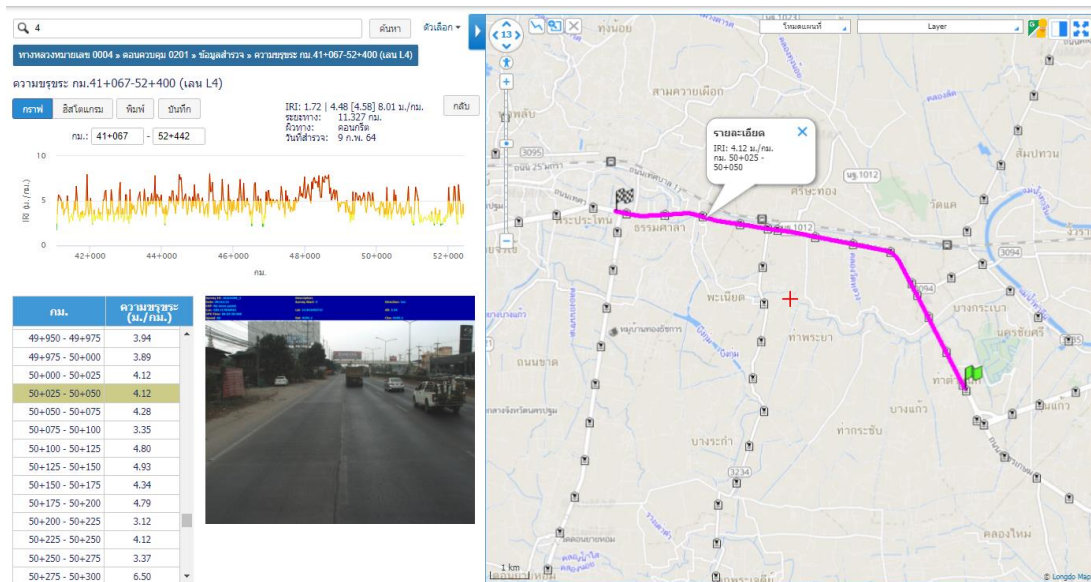




ตารางที่ 4-32 แสดงข้อมูลการประเมินความเสียหายบนผิวคอนกรีต

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 จะทำการเปรียบเทียบกับกราฟ  
ของผลการสำรวจค่าสภาพทาง และข้อมูลภาพถ่าย 2 ช่องทางควบคู่กันไป ดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 4-111 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพความเสียหายคอนกรีต

ความเสียหาย กม.41+067-52+400 (เลน L4)

สภาพความเสียหายคอนกรีต			
จำนวนแผ่นแตกตามขวาง	26.21 แผ่น	วัสดุยาแนวรอยต่อเสียหาย	3.43 ม.
จำนวนแผ่นแตกตามยาว และแนวทแยง	17.21 แผ่น	รอยปะซ่อม	9.26 ตร.ม.
รอยเลื่อนต่างระดับ > 12 มม.	0.00 จุด	MPD	0.39   0.54 [0.56] 1.54 มม.
รอยบิ่นกระเทาะ	15.18 จุด	โหล่ทางเสียหาย	0.00 ม.
มุมแตก	3.62 จุด	โพรงใต้แผ่นคอนกรีต	0.00 แผ่น

รูปที่ 4-112 ตัวอย่างการแสดงผลผ่านระบบ Roadnet สภาพความเสียหายคอนกรีต



นอกจากนี้ ทางทีมที่ปรึกษาจะดำเนินการหารูปแบบในการแสดงผลค่าความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS) อ้างอิงระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinates Systems) บนพื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984) ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับว่ามีความเป็นสากลและถูกต้องแม่นยำ โดยข้อมูลที่ได้จากการประมวลยังสามารถระบุตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย พร้อมทั้งแสดงภาพถ่ายต่อเนื่องที่เกิดความเสียหาย ณ ช่วงสายทางนั้น ๆ ได้ ดังแสดงเป็นจุดสามเหลี่ยมสีน้ำเงินที่ระยะห่างระหว่างจุดในทุก ๆ 2 เมตร ซึ่งค่าความเสียหายที่ได้จากการประเมินและวิเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญและจากระบบ LCMS นั้น จะสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) (วงกลมสี่เหลี่ยม) ที่ระยะห่างระหว่างจุดในทุก ๆ 25 เมตร ที่มีค่าสูงตามเกณฑ์ที่คณะกรรมการกำหนด ดังรูปที่ 4-113



รูปที่ 4-113 แสดงจุดพิกัดค่าความเสียหายผิวทาง ค่าเฉลี่ยความขรุขระสากล (IRI) และภาพถ่ายความเสียหายผิวทางในรูปแบบแผนที่ (GIS)





#### 4.6.3 ภาพถ่ายและภาพเคลื่อนไหว (VDO) ของถนนและสองข้างทาง ต้องมีความสมบูรณ์ของภาพ ดังนี้

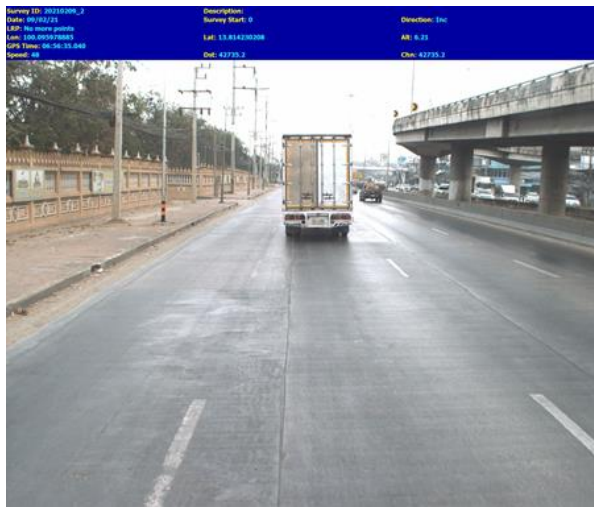
- ภาพถ่ายจะต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมมาบดบังความชัดเจนอันแสดงถึงสภาพของผิวทาง หรือทรัพย์สินต่าง ๆ ที่ติดตั้งในบริเวณเขตทางหลวง เช่น คราบหยดน้ำ หรือเงาสะท้อนจากกระจก เป็นต้น

ภาพถ่ายสองข้างทาง จากการนำภาพถ่าย 2 ข้างทางที่ได้จากการสำรวจด้วยกล้องภายในห้องโดยสารของรถสำรวจ (DVR) นำมาเรียงลำดับภาพทุก ๆ 25 เมตร จนออกมาเป็นภาพเคลื่อนไหว (VDO) จากการตรวจสอบภาพถ่ายต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอม เช่น เงาสะท้อนจากกระจก คราบหยดน้ำ คราบมูลนกหรืออื่น ๆ เป็นต้น ที่บดบังทัศนวิสัยในการแสดงผลบนหน้าระบบ Roadnet มีตัวอย่างภาพที่เกิดปัญหาดังรูปที่ 4-114



รูปที่ 4-114 ตัวอย่างการแสดงผลภาพถ่ายที่มีคราบมูลนก

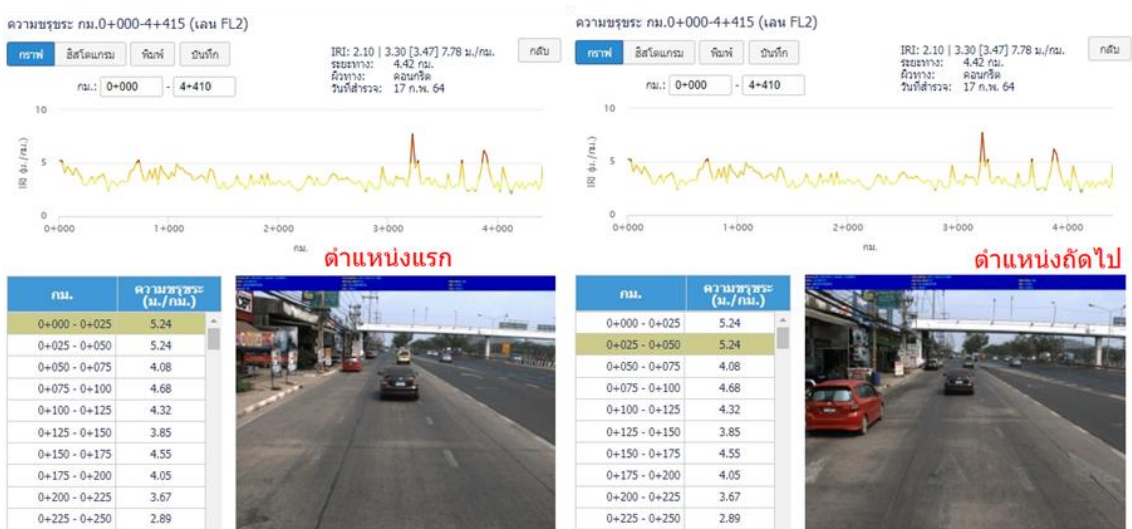
- สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทางไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ภาพ
- สัดส่วนภาพต้องเห็นผิวจราจรและสองข้างทาง คิดเป็นร้อยละของภาพทั้งหมด ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ที่ปรึกษาทำการตรวจสอบโดยวิธีดูภาพถ่ายสองข้างทาง และภาพเคลื่อนไหว (VDO) โดยภาพที่สอดคล้องดังตัวอย่างนี้



รูปที่ 4-115 ตัวอย่างการแสดงผลสภาพสัดส่วนที่มีความสอดคล้อง

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

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



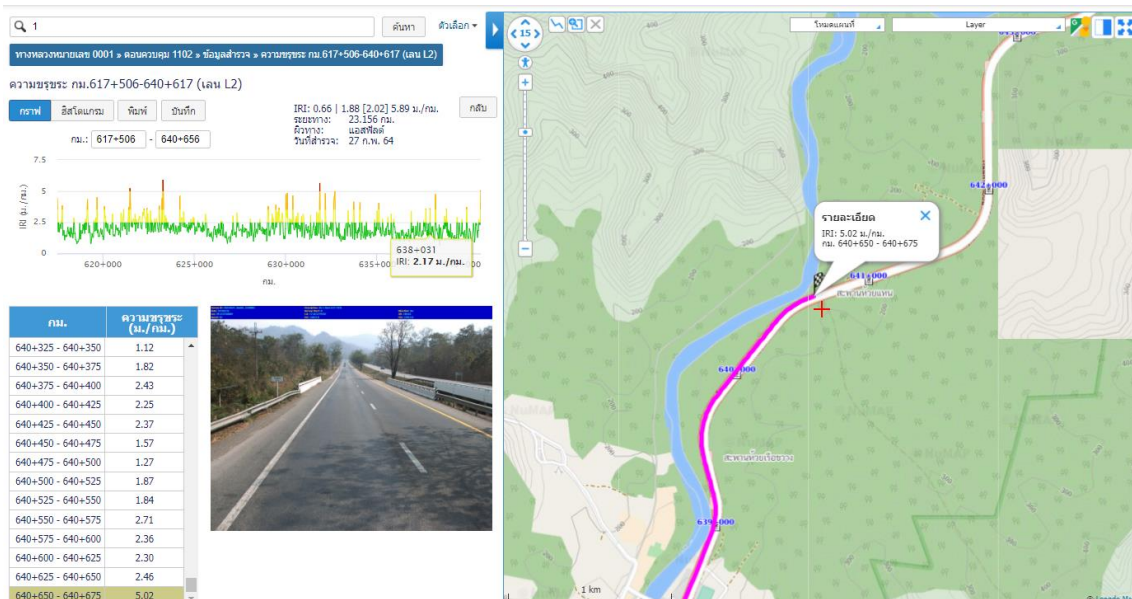
รูปที่ 4-116 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพเคลื่อนไหวที่ไม่ซ้ำกัน





#### 4.6.4 การแสดงพิกัดสายทาง (Coordinates) จะต้องมีความสอดคล้องกับภาพถ่ายสายทางและสภาพพื้นที่

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



รูปที่ 4-117 ตัวอย่างการแสดงผลการแสดงผลพิกัดสายทางหมายเลขทางหลวงที่ 1 ตอนควบคุมที่ 1102



**4.6.5 เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลผู้ว่าจ้างสามารถแต่งตั้งคณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาค เพื่อตรวจสอบ ความครบถ้วนสอดคล้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ**

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

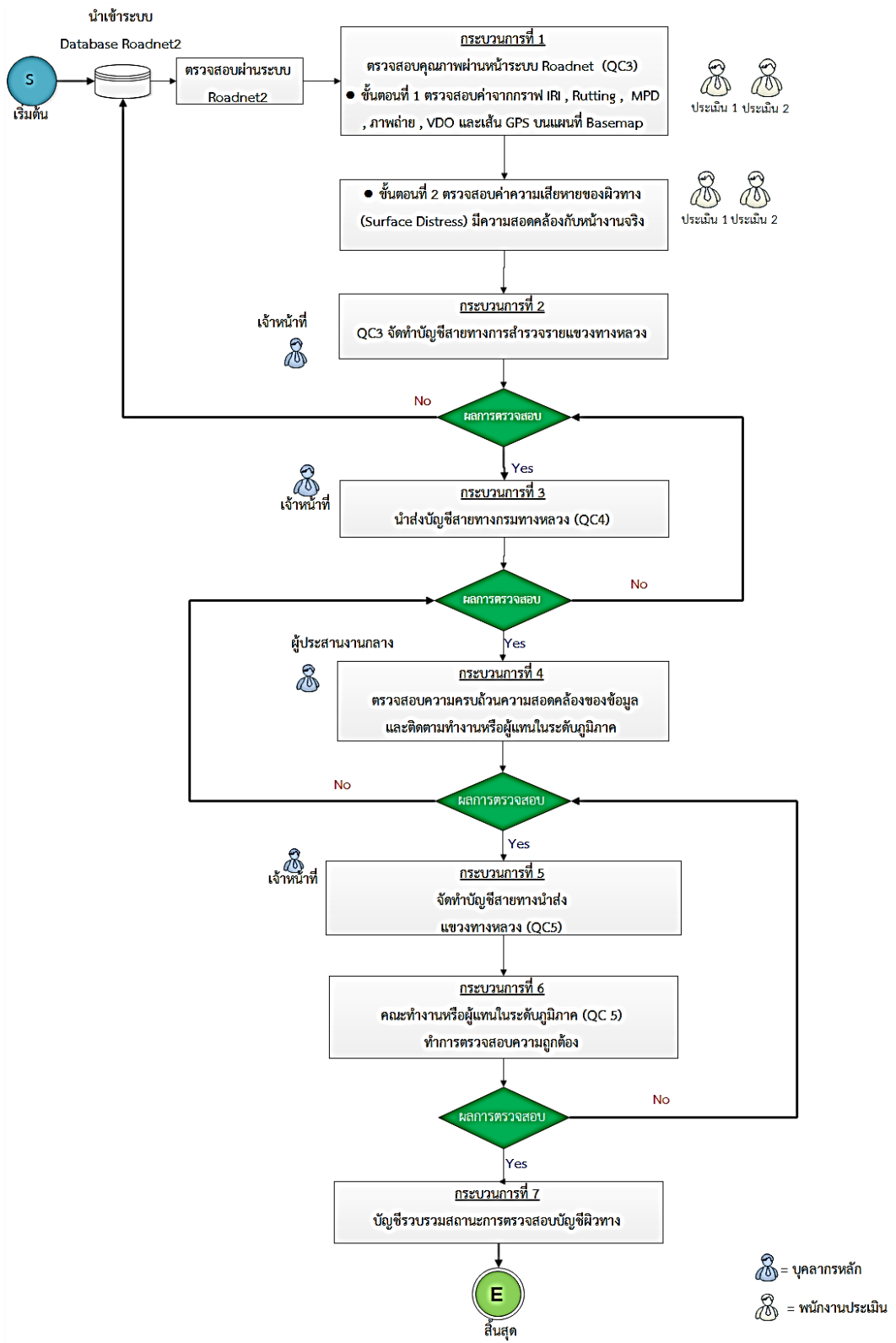






# รายงานเบื้องต้น (Inception Report)

โครงการค่าสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565



รูปที่ 4-120 กระบวนการขั้นตอนการตรวจสอบของเจ้าหน้าที่ที่ตรวจสอบคุณภาพ







อ้างอิงจากรูปที่ 4-120 รายละเอียดขยายความกระบวนการตรวจสอบ ผ่านหน้าระบบ Roadnet มีกระบวนการทั้งสิ้น 7 กระบวนการดังนี้

### กระบวนการที่ 1

**ขั้นที่ 1** ตรวจสอบค่า IRI, Rutting, MPD, ภาพถ่าย และภาพเคลื่อนไหว

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

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

### กระบวนการที่ 2

เจ้าหน้าที่ QC3 จัดทำบัญชีสายทางการสำรวจรายแขวงทางหลวงดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางส่งไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แก่คณะทำงาน ดังตัวอย่างบัญชีตรวจสอบ QC4 รายแขวงทางหลวง ดังรูปที่ 4-120

### กระบวนการที่ 3

เจ้าหน้าที่ผู้ประสานงานกลาง ดำเนินบันทึกผล รายงานผลระยะทางความก้าวหน้าวันที่รับ – ส่งข้อมูลและดำเนินการประสานงานไปยังหน่วยงานสำนักบริหารบำรุงทางให้แจกจ่ายบัญชีสายทางแก่คณะทำงานตรวจสอบ



**กระบวนการที่ 4**

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

**กระบวนการที่ 5**

เจ้าหน้าที่ QC 4 จัดทำบัญชีสายทางการสำรวจรายแขวงทางหลวงดำเนินการจัดทำบัญชีสรุปสายทางนำส่งแก่คณะทำงานหรือผู้แทนในระดับภูมิภาคในกระบวนการ QC 5

**กระบวนการที่ 6**

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

**กระบวนการที่ 7**

เจ้าหน้าที่ QC 3 จัดทำสรุปบัญชีรวบรวมสถานการณ์ตรวจสอบบัญชีผิวทาง และติดตามระยะทางการผ่านการตรวจสอบ พร้อมทั้งรายงานผลเป็นประจำรายสัปดาห์



เมื่อพบข้อมูลไม่ตรงกับบัญชีผิวทาง ที่ปรึกษาสามารถหมายเหตุข้อมูลการสำรวจ เป็นจุดสังเกต เพื่อให้เจ้าหน้าที่จากสำนักบริหารบำรุงทาง และเจ้าหน้าที่แขวงทางหลวง ทำการตรวจสอบบัญชีของตนเองผ่านระบบ Roadnet อีกครั้ง โดยมีรายละเอียดของหมายเหตุดังนี้

1. **ตรวจสอบระยะทาง** เนื่องจากระยะทางวิ่งสำรวจ ไม่ตรงกับบัญชีแผน (บัญชีผิวทาง) ยกตัวอย่างเช่น ระยะทางสำรวจ กม.เริ่มต้น - กม.สิ้นสุด การสำรวจ มีระยะทางมากกว่าหรือน้อยกว่า 500 ม. เป็นต้นไป ระบุหมายเหตุข้อสังเกตที่ทำการตรวจสอบ
2. **ตรวจสอบช่องจราจร** เนื่องจากข้อมูลจำนวนช่องจราจร ไม่ตรงกับบัญชีแผน (บัญชีผิวทางที่ได้จากระบบ Roadnet) ยกตัวอย่างเช่น ระหว่างสำรวจพบว่า ช่องจราจรได้มีการปรับขยายจากบัญชีผิวทาง 2 ช่องจราจร เป็น 4 ช่องจราจร ที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจเพิ่ม พร้อมระบุหมายเหตุข้อสังเกตช่วง กม. ที่สำรวจเพิ่มจากบัญชีผิวทาง
3. **ตรวจสอบทางขนาน** เนื่องจากบัญชีทางขนาน ไม่ตรงกับบัญชีแผน (บัญชีผิวทางที่ได้จากระบบ Roadnet) ยกตัวอย่างเช่น บัญชีผิวทางระบุทางขนาน เมื่อทำการสำรวจ ไม่พบทางขนานดังกล่าว หรือระหว่างสำรวจพบทางขนานเพิ่มจากบัญชีผิวทาง ที่ปรึกษาดำเนินการสำรวจเพิ่ม พร้อมระบุหมายเหตุข้อสังเกตช่วง กม. ที่สำรวจเพิ่มจากบัญชีผิวทาง
4. **ตรวจสอบผิวทาง** เนื่องจากผิวทางที่พบจากการสำรวจ ไม่ตรงกับบัญชีแผน (บัญชีผิวทางที่ได้จากระบบ Roadnet) ยกตัวอย่างเช่น บัญชีผิวทางระบุเป็นผิวแอสฟัลต์ เมื่อทำการสำรวจพบว่ามีแบ่งผิวคอนกรีตบางช่วง กม. ที่ปรึกษาจัดทำข้อมูลตามสภาพที่พบจริงพร้อมทั้งระบุหมายเหตุ
5. **รอนำส่งข้อมูลใหม่** เนื่องจากไม่ผ่านขั้นตอนการตรวจสอบ และจัดทำกรนำส่งใหม่ในภายหลัง ซึ่งระยะทางจะไม่ซ้ำกับระยะทางที่เคยส่งเดิม
6. **ตรวจสอบแล้วเสร็จ** เนื่องจากเคยนำส่งข้อมูลบัญชีสายทางดังกล่าวแล้ว ซึ่งอยู่ในการนำส่งผ่านรายงานบัญชีสายทางครั้งก่อน
7. **ไม่นำส่งตามแผน** เนื่องจากพบความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล เช่น บางช่วงมีงานซ่อมผิวทาง ไม่สามารถสำรวจได้ และสายทางได้มีการโอนให้แก่หน่วยงานอื่น
8. **มีงานซ่อมผิวทาง ไม่สามารถสำรวจได้** ใช้ในเหตุการณ์ พบการก่อสร้างระหว่างสำรวจระบุช่วงกม. ที่พบงานซ่อมผิวทาง



#### 4.7 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทางหลวงเพื่อการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของผิวทางในระยะยาว (Long Term Pavement Performance) ของผิวทางลาดยาง ดังนี้

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

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

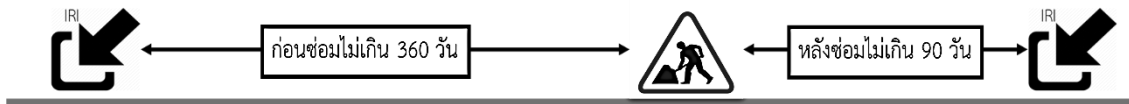


ที่ปรึกษาได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจนถึงวันที่ 31 มีนาคม 2564 ซึ่งที่ปรึกษาได้รับข้อมูลมาจากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ และสำนักบริหารบำรุงทาง ทั้งนี้ได้รับการตรวจสอบและผ่านการอนุมัติจากคณะกรรมการแล้ว

### ขั้นตอนที่ 2 การคัดเลือกสายทาง

เมื่อดำเนินการรวบรวมข้อมูลแล้วที่ปรึกษาจะคัดเลือกสายทางที่น่าข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดการคัดเลือก ดังนี้

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



รูปที่ 4-121 การคัดเลือกช่วงอายุผิวทาง

- ผลการสำรวจของ IRI เฉลี่ยหลังซ่อมจะต้องมีค่าไม่มากกว่า ค่า IRI เฉลี่ยก่อนซ่อม เพื่อให้ได้สายทางที่มีการปรับปรุงค่า IRI อย่างแท้จริง

### ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบข้อมูล

เมื่อที่ปรึกษาจะดำเนินการคัดเลือกสายทางที่สามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทาง ภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงส่งข้อมูลให้ทางคณะกรรมการพิจารณาความเหมาะสมของสายทางอีกครั้ง ทั้งข้อมูลตำแหน่งของสายทางและประวัติงานซ่อมบำรุง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการที่สุด



ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว

เมื่อที่ปรึกษาได้สายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าความเรียบผิวทางภายหลังได้รับการซ่อมบำรุงแล้ว ที่ปรึกษาจึงแยกการวิเคราะห์ตามพฤติกรรมและหลักการของค่าความเรียบได้ 3 แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

1) แบบจำลองผลกระทบหลังการฉาบผิวทางลาดยาง

ที่ปรึกษานำค่าความราบเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมจากข้อมูลสายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการฉาบผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

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

$$RI_a = \text{IRI หลังการฉาบผิว (m/km)}$$

$$RI_b = \text{IRI ก่อนการฉาบผิว (m/km)}$$

$$Hsl = \text{ความหนาของการฉาบผิว (mm)}$$

$$A_0 = 1 \text{ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)}$$

2) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิว (HDM)

ที่ปรึกษานำค่าความราบเรียบก่อนและหลังการซ่อมบำรุงมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเรียบหลังการซ่อมจากแบบจำลอง TPMS และค่าความเรียบหลังการซ่อมบำรุงจากข้อมูลสายทางจริง ซึ่งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการซ่อมบำรุงด้วยวิธีการเสริมผิวลาดยางในระบบ TPMS ที่อ้างอิงจาก HDM-4 มีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$\Delta RI_a = \text{max}\{0, A_0[\text{min}(a_1, RI_{bw}) - a_2] + a_3 \text{max}\{0, (RI_{bw} - a_1)\}\}$$

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

โดยที่

$$A_0 = 0.9 \text{ ค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ (default)}$$

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

$$a_2 = 1 + 0.018 \text{max}\{0, (100 - \text{HSNEWaw})\}$$

$$a_3 = \text{min}\{a_0, \text{max}\{0, (0.01 \text{HSNEWaw} - 0.15)\}\}$$

$$\Delta RI_a = \text{การลดค่าของค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง}$$

$$RI_{bw} = \text{ค่า IRI ก่อนการเสริมผิวทาง (m/km)}$$

$$RI_{aw} = \text{ค่า IRI หลังการเสริมผิวทาง (m/km)}$$

$$\text{HSNEWaw} = \text{ความหนาของการเสริมผิวทาง (mm)}$$





3) แบบจำลองผลกระทบจากการซ่อมบำรุงด้วยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่  
และงานบูรณะผิวทาง

การซ่อมบำรุงด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง  
เป็นวิธีการซ่อมบำรุงแบบรีอิตั้งแต่ชั้นโครงสร้างทาง จากนั้นจึงลาดผิวทางใหม่ด้วยแอสฟัลต์  
ซึ่งวิธีการซ่อมบำรุงดังกล่าวส่งผลให้ค่า IRI ภายหลังจากซ่อมด้วยวิธีนี้จะมีค่าเทียบเท่ากับถนนใหม่  
ทางที่ปรึกษาจึงจะรวบรวมข้อมูลค่า IRI ยอนหลังเพื่อกำหนดเป็นค่าความราบเรียบภายหลัง  
การซ่อมด้วยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่และการบูรณะผิวทาง

#### 4.7.2 การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติ ในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทาง เรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius)

สำหรับค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown  
slope) และค่ารัศมีโค้ง (Radius) กลุ่มที่ศึกษาดำเนินการสำรวจด้วยรถยนต์สำรวจที่ติดตั้งระบบ  
Laser Crack Measurement System และ Inertial Measurement Unit (IMU) ดังรูปที่ 4-122  
และรูปที่ 4-123 และค่าระดับความสูง (Elevation) กลุ่มที่ศึกษาดำเนินการสำรวจด้วยอุปกรณ์  
รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS ดังรูปที่ 4-124

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องมือสำรวจ กลุ่มที่ปรึกษาจะนำข้อมูลลักษณะทาง  
เรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น และค่าระดับความสูง (Elevation)  
จากรถสำรวจมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มาจากแบบ As-Built โดยใช้ข้อมูลทางสถิติ เพื่อตรวจสอบ  
ความถูกต้องของข้อมูลก่อนทดลองนำขึ้นระบบ Roadnet ต่อไป



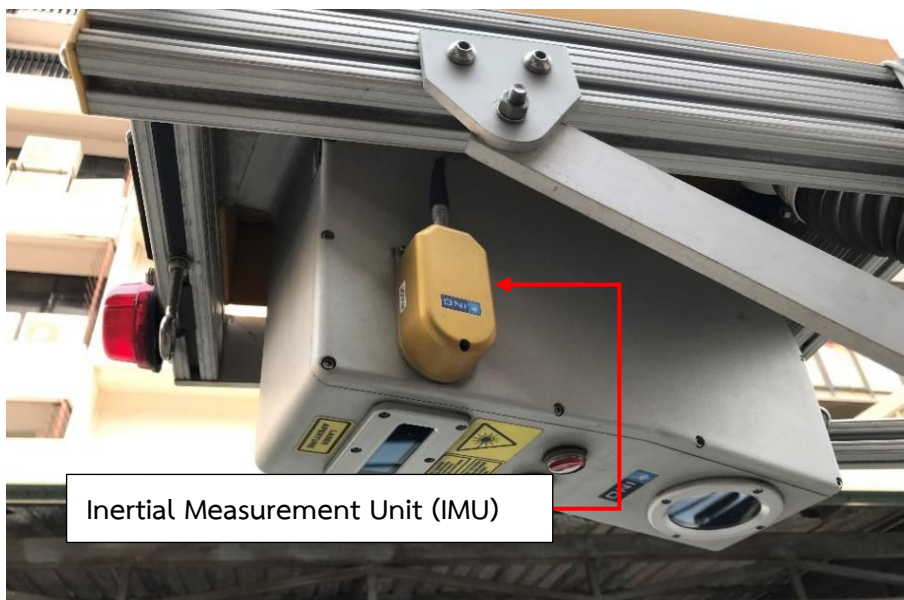
รูปที่ 4-122 รถสำรวจระบบ Laser Crack Measurement System



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

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

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



รูปที่ 4-123 อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU)



รูปที่ 4-124 อุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS

### 1.1 การประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) และค่าระดับความสูง (Elevation)

การประมวลผลค่าที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) คือ ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) สามารถใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิตคำนวณออกมาเป็นค่าดังกล่าวได้โดยอัตโนมัติ ดังรูปที่ 4-125 ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปแสดงผลบนระบบสารสนเทศโครงข่ายทางหลวง (Roadnet) ต่อไปได้



CHAINAGE	LRP_NUMBER	LRP_CHAINAGE	GRADIENT	HORIZONTAL_CURVATURE	CROSS_SLOPE	VALID	IMAGE_FILE_INDEX	ALT_MSL
0	0	0	-0.18	-20.4	1.52	<input checked="" type="checkbox"/>	_000000+0.000	10.97
1	0	1	-0.75	-21.4	1.02	<input checked="" type="checkbox"/>	_000000+1.000	10.12
2	0	2	-0.27	-23.6	1.24	<input checked="" type="checkbox"/>	_000000+2.000	11.02
3	0	3	0.05	-38	1.32	<input checked="" type="checkbox"/>	_000000+3.000	10.18
4	0	4	0.3	-57.2	1.4	<input checked="" type="checkbox"/>	_000000+4.000	9.76
5	0	5	-0.26	-59.5	1	<input checked="" type="checkbox"/>	_000001+0.000	10.29
6	0	6	-1.2	-83.5	0.45	<input checked="" type="checkbox"/>	_000001+1.000	10.24
7	0	7	-0.5	-111.3	0.68	<input checked="" type="checkbox"/>	_000001+2.000	10.05
8	0	8	-0.91	-155.4	0.31	<input checked="" type="checkbox"/>	_000001+3.000	10.12
9	0	9	-0.55	-153.8	0.53	<input checked="" type="checkbox"/>	_000001+4.000	10.18
10	0	10	-0.76	29	0.7	<input checked="" type="checkbox"/>	_000002+0.000	10.25
11	0	11	0.11	194	0.65	<input checked="" type="checkbox"/>	_000002+1.000	10.7
12	0	12	-0.75	104.2	0.45	<input checked="" type="checkbox"/>	_000002+2.000	11.53
13	0	13	-0.35	51.3	0.36	<input checked="" type="checkbox"/>	_000002+3.000	12.1
14	0	14	-0.67	46.5	0.13	<input checked="" type="checkbox"/>	_000002+4.000	5.44
15	0	15	-0.94	5	0.05	<input checked="" type="checkbox"/>	_000003+0.000	5.35
16	0	16	-0.38	43.4	0.26	<input checked="" type="checkbox"/>	_000003+1.000	4.87
17	0	17	0.27	35.2	0.37	<input checked="" type="checkbox"/>	_000003+2.000	5.3
18	0	18	-0.88	31.8	0.43	<input checked="" type="checkbox"/>	_000003+3.000	6.07
19	0	19	-1.21	28	0.27	<input checked="" type="checkbox"/>	_000003+4.000	5.5
20	0	20	-0.7	24.4	0.75	<input checked="" type="checkbox"/>	_000004+0.000	5.5
21	0	21	-0.55	21.5	0	<input checked="" type="checkbox"/>	_000004+1.000	5.39
22	0	22	-2.35	18.7	0.44	<input checked="" type="checkbox"/>	_000004+2.000	4.89
23	0	23	0.33	15.5	1.01	<input checked="" type="checkbox"/>	_000004+3.000	5.13
24	0	24	0.47	13.5	0.78	<input checked="" type="checkbox"/>	_000004+4.000	4.49
25	0	25	0.24	12.1	0.72	<input checked="" type="checkbox"/>	_000005+0.000	5.32
26	0	26	-0.03	11.6	0.44	<input checked="" type="checkbox"/>	_000005+1.000	4.78
27	0	27	-0.25	11.3	-0.66	<input checked="" type="checkbox"/>	_000005+2.000	4.47
28	0	28	-0.67	11.3	-0.67	<input checked="" type="checkbox"/>	_000005+3.000	4.19
29	0	29	0.87	11	-0.17	<input checked="" type="checkbox"/>	_000005+4.000	3.95
30	0	30	-0.1	11.1	-0.51	<input checked="" type="checkbox"/>	_000006+0.000	3.97

ความลาดชัน (Grad slope)

รัศมีโค้ง (Radius)

ความลาดเอียง (Crown slope)

ระดับความสูง (Elevation)

รูปที่ 4-125 ผลการประมวลผลค่าลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric)

และค่าระดับความสูง (Elevation) โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปจากบริษัทผู้ผลิต จากการสำรวจด้วยระบบ

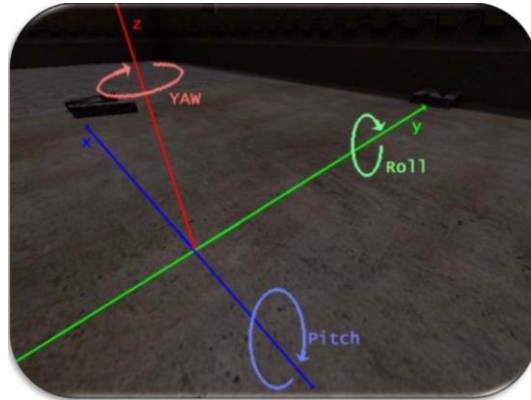
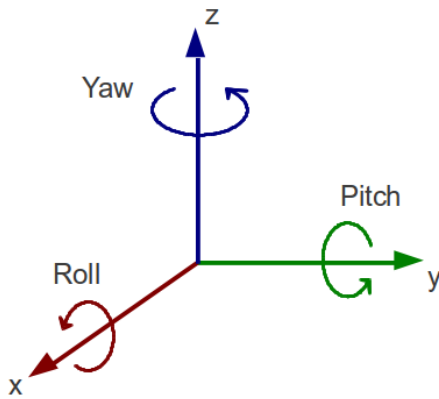
Laser Crack Measurement System (LCMS)

### 1.1.1 หลักการประมวลผลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric)

จากอุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) และอุปกรณ์รับค่าพิกัดตำแหน่งจากสัญญาณดาวเทียมแบบ GNSS

อุปกรณ์ Inertial Measurement Unit (IMU) ประกอบด้วย Accelerometers และ Gyroscopes ที่สามารถตรวจจับท่าทางของรถสำรวจได้ใน 3 แกน คือ แกน X, Y, Z และสามารถตรวจจับการหมุนตัวของรถสำรวจได้ใน 3 แกนเช่นกัน คือ Roll, Pitch และ Yaw มีหน่วยวัดเป็น องศาเรเดียนต่อวินาที (rad/s)





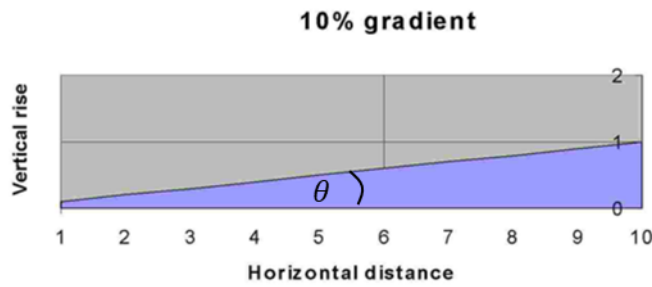
รูปที่ 4-126 The position of all three axes

● ความลาดชัน (Percent grad slope)

ความลาดชัน คือ อัตราส่วนสูงที่เปลี่ยนแปลงต่อระยะทางตามแนวนอนระหว่างสองจุดใดๆ บนเส้นตามแนวยาวของถนน โดยการคำนวณค่าความลาดชัน (Percent grad slope) เป็นไปตามสมการดังนี้

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

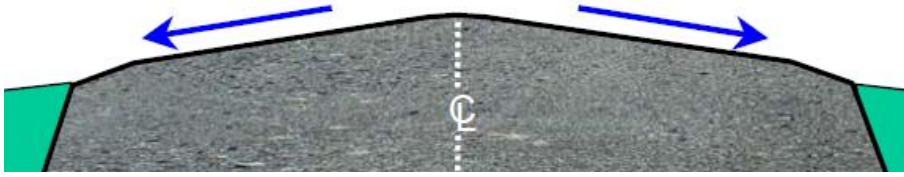
$$\%Grade = \tan\theta \times 100$$



รูปที่ 4-127 หลักการคำนวณค่าความลาดชันของสายทาง (Longitudinal Grade)



- ความลาดเอียง (Percent crown slope)



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

- รัศมีโค้ง (Radius)

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

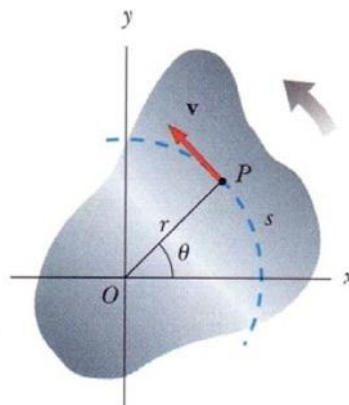
$$\theta = \frac{S}{r}$$
$$r = \frac{S}{\theta}$$

เมื่อ :

$\theta$  วัดเป็นเรเดียน (rad.)

S คือ ระยะกระจัดเชิงเส้น (ม.)

r คือ รัศมีโค้ง (ม.)



รูปที่ 4-128 การกระจัดเชิงมุม (Angular Displacement)





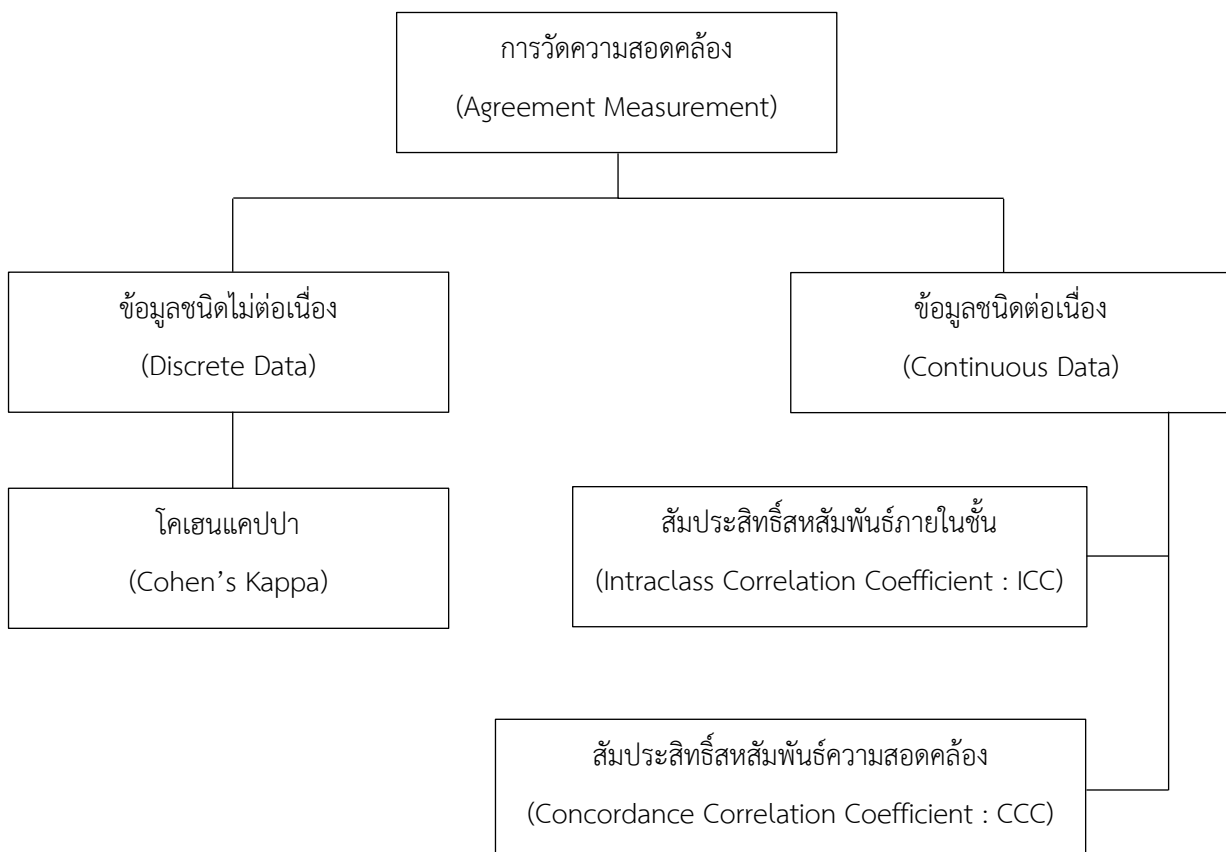
- **ค่าระดับความสูง (Elevation)**

ค่าระดับความสูง (Elevation) สำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมในระบบ GNSS ที่ติดตั้งอยู่บนรถสำรวจ (ตามรูปที่ 4-128)

## 2. การศึกษาความแม่นยำของเครื่องมือด้วยค่าทางสถิติ

การการศึกษาความแม่นยำในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) จะนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้มาจากแบบ As-Built โดยใช้การวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวัดความสอดคล้อง (Agreement Measurement) ซึ่งวิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อพิจารณาถึงสิ่งทีวัดสิ่งเดียวกันโดยผู้วัดหลายคนหรือเครื่องมือวัดหลายชนิด สถิติที่ใช้วัดการสอดคล้องที่นิยมใช้ คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC) (สายวรุธ สุกก่า และคณะ, 2559) หรือค่าทางสถิติอื่น ๆ ดังนี้

### 2.1 การวัดความสอดคล้อง (Agreement Measurement)



รูปที่ 4-129 สถิติที่ใช้วัดความสอดคล้องจำแนกตามชนิดของข้อมูล (สายวรุธ สุกก่า และคณะ, 2559)



การวัดความสอดคล้อง เป็นการวัดค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของผู้ประเมินหรือเครื่องมือหลายชนิดวัดในสิ่งเดียวกัน (วรัญญ วังษ์เสรี และอภิชญา เกียรติอุบลไพบูลย์, 2557) เพื่อพิจารณาว่าสิ่งที่วัดสิ่งเดียวกันโดยผู้วัดหลายคนหรือเครื่องมือวัดหลายชนิดให้ผลการวัดได้สอดคล้องกันหรือไม่ สำหรับการศึกษาคความแม่นยำในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) เปรียบเทียบกับแบบ As-Built จะใช้วิธีการวัดความสอดคล้องสำหรับข้อมูลชนิดต่อเนื่อง ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสอดคล้อง (Concordance Correlation Coefficient : CCC) สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC) เป็นต้น โดยสำหรับในการศึกษาครั้งนี้ที่ปรึกษาเลือกใช้วิธีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC)

## 2.2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC)

สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation) นำเสนอครั้งแรกโดยฟิชเชอร์ (Fisher) ในปี ค.ศ. 1954 สหสัมพันธ์ภายในชั้นใช้วัดความสอดคล้องสำหรับข้อมูลชนิดต่อเนื่อง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 สถิตินี้วัดความสอดคล้องกันของผู้ประเมินหรือเครื่องมือวัดโดยผ่านค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งหากใช้ในกรณีเปรียบเทียบเครื่องมือวัดสองชนิด หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลกลุ่มนั้นจะมีความสอดคล้องกันสูง แต่หากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าข้อมูลกลุ่มนั้นไม่มีความสอดคล้องกัน

ในปัจจุบันนี้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในวงการแพทย์เพื่อประเมินผลความน่าเชื่อถือระหว่างผู้สังเกตหรือเครื่องมือวัด (Inter-rater Reliability) การทดสอบและทดสอบซ้ำ (Test-retest Reliability) และความน่าเชื่อถือของผู้ประเมิน (Intra-rater Reliability) สำหรับการศึกษาคครั้งนี้ จะใช้การประเมินผลความน่าเชื่อถือระหว่างผู้สังเกตหรือเครื่องมือวัด (Inter-rater Reliability)



ตารางที่ 4-33 ระดับความสอดคล้องของข้อมูล (สายวรรณ สุภก้า และคณะ, 2559)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น	ความสอดคล้องของข้อมูล
0.91 - 1.00	ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมีความสอดคล้องดีมาก
0.75 - 0.90	ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมีความสอดคล้องดี
0.50 - 0.74	ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมีความสอดคล้องพอใช้
0.0 - 0.49	ความน่าเชื่อถือของข้อมูลมีความสอดคล้องต่ำ

### 2.2.1 ขั้นตอนการเลือกใช้แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC)

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นเพื่อใช้วัดความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินหรือเครื่องมือวัด จำเป็นต้องเลือกแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ให้เหมาะสมเพื่อความถูกต้องในการวัดความน่าเชื่อถือ รูปแบบของแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น แสดงดังตารางที่ 4-33 โดยกลุ่มที่ปรึกษาจะวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

#### 2.2.1.1 ขั้นตอนการเลือกใช้แบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นสำหรับการศึกษาความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (Inter-rater Reliability Study)

ในการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมของการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้นสำหรับ การศึกษาความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมินมีแนวทางในการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมทั้งหมด 4 คำถาม (ตามรูปที่ 4-130) ดังนี้

- 1) ในทุก ๆ หน่วยตัวอย่างผู้ประเมินเป็นผู้ประเมินกลุ่มเดียวกันหรือไม่
- 2) กลุ่มของผู้ประเมินถูกเลือกอย่างสุ่มจากประชากรขนาดใหญ่หรือเป็นกลุ่มของผู้ประเมินที่เฉพาะเจาะจง
- 3) สนใจความน่าเชื่อถือของผู้ประเมินเพียงคนเดียวหรือผู้ประเมินหลายคน
- 4) สนใจรูปแบบนิยามความสอดคล้องหรือความแน่นอน

จากคำถามที่ 1 และ 2 ถูกใช้ในการเลือกตัวแบบ คำถามที่ 3 ใช้สำหรับการเลือกชนิดของผู้ประเมินและคำถามที่ 4 ถูกใช้สำหรับการเลือกนิยามสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น



#### 2.2.1.1.1 เลือก “ตัวแบบ”

- One-Way Random-Effects Model

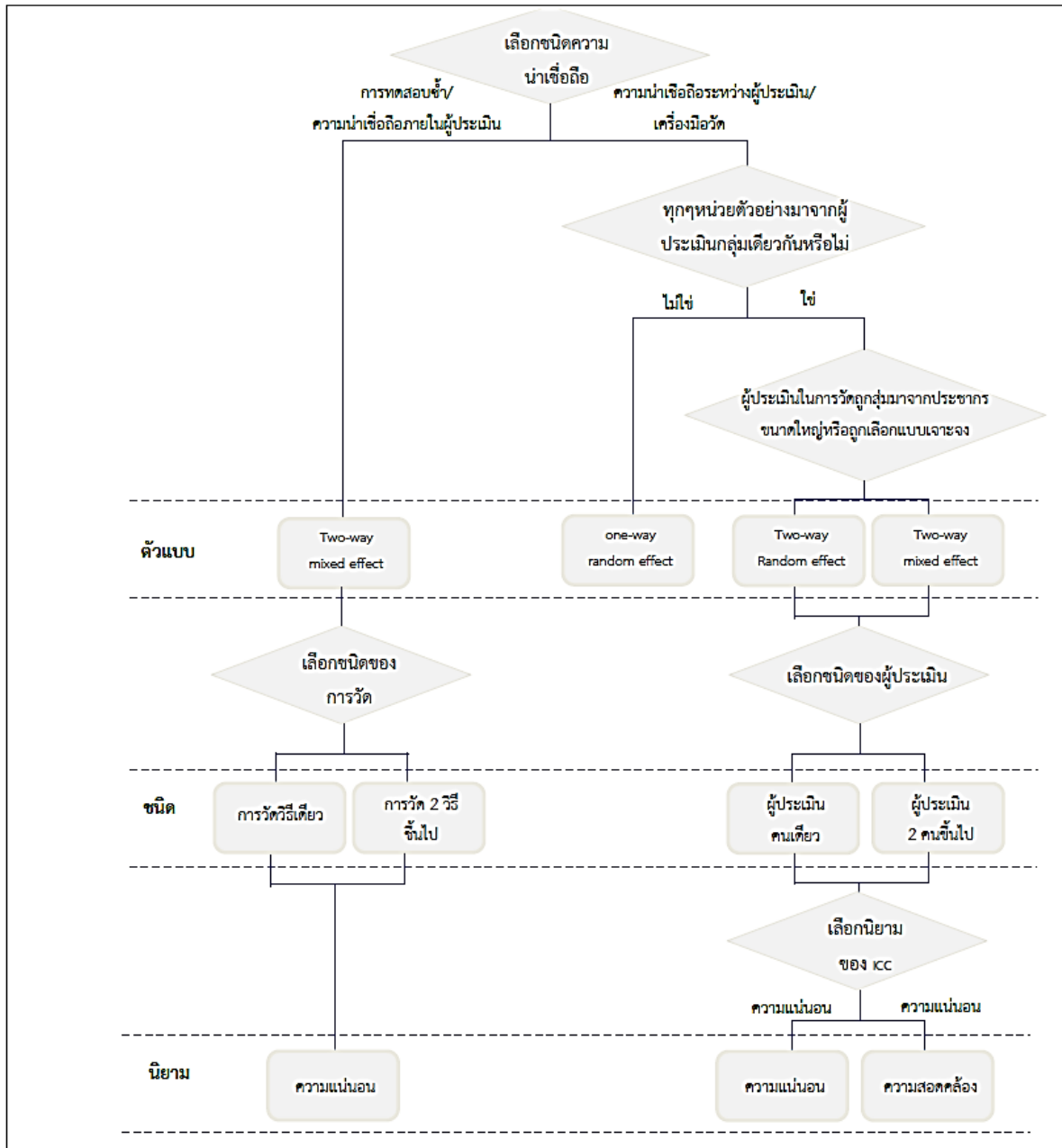
หน่วยตัวอย่างจะถูกประเมินโดยผู้ประเมินหรือกลุ่มผู้ประเมินหรือเครื่องมือวัดที่แตกต่างกัน ซึ่งก็คือเครื่องมือเลเซอร์ (Laser Profilometer) และเครื่องมือวัดความเร็วของผิวทางชนิดรถเข็น (Walking Profiler)

#### 2.2.1.1.2 เลือก “ชนิด” ผู้ประเมิน

- ผู้ประเมินตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป (K Raters)

#### 2.2.1.1.3 เลือก “รูปแบบนิยาม” ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น

- รูปแบบความสอดคล้อง (Consistency)



รูปที่ 4-130 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเลือกใช้แบบจำลองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น

(Koo T. K. & Li M. Y. , 2016)



## 2.2.2 แบบจำลองและวิธีการคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC)

สำหรับการการศึกษาความแม่นยำในการตรวจวัดข้อมูลลักษณะทางเรขาคณิตของสายทาง (Geometric) ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grad slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่ารัศมีโค้ง (Radius) และค่าระดับความสูง (Elevation) เลือกใช้แบบจำลองเพื่อคำนวณสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (Intraclass Correlation Coefficient : ICC) แบบที่ 6 ดังตารางที่ 4-34





ตารางที่ 4-34 แบบจำลองและสูตรการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น

แบบจำลองการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ภายในชั้น ของ McGraw & Wong (1996)	แบบจำลองการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ภายในชั้นของ Shrout & Fleiss (1979)	สูตรในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ภายในชั้น
1. One-way random effects, absolute agreement, single rater/measurement	ICC(1,1)	$\frac{MS_R - MS_W}{MS_R + (k+1)MS_W}$
2. Two-way random effects, consistency, single rater/measurement	-	$\frac{MS_R - MS_E}{MS_R + (k-1)MS_W}$
3. Two-way random effects, absolute agreement, single rater/measurement	ICC(2,1)	$\frac{MS_R - MS_W}{MS_R + (k-1)MS_W + \frac{k}{n}(MS_C - MS_E)}$
4. Two-way mixed effects, consistency, single rater/measurement	ICC(3,1)	$\frac{MS_R - MS_E}{MS_R + (k-1)MS_W}$
5. Two-way mixed effects, absolute agreement, single rater/measurement	-	$\frac{MS_R - MS_W}{MS_R + (k-1)MS_W + \frac{k}{n}(MS_C - MS_E)}$
6. One-way random effects, absolute agreement, multiple raters/measurement	ICC(1,k)	$\frac{MS_R - MS_W}{MS_R}$
7. Two-way random effects, consistency, multiple raters/measurement	-	$\frac{MS_R - MS_E}{MS_R}$
8. Two-way random effects, absolute agreement, multiple raters/measurement	ICC(2,k)	$\frac{MS_R - MS_E}{MS_R + \frac{MS_C - MS_E}{n}}$
9. Two-way mixed effects, consistency, multiple raters/measurement	ICC(3,k)	$\frac{MS_R - MS_E}{MS_R}$
10. Two-way mixed effects, absolute agreement, multiple raters/measurement	-	$\frac{MS_R - MS_E}{MS_R + \frac{MS_C - MS_E}{n}}$

(ที่มา : Koo T. K. & Li M. Y., 2016)



เมื่อ

Shrout & Fliess (1979)

ตัวเลขตัวแรกในวงเล็บ หมายถึง ชนิดของตัวแบบ กำหนดดังนี้

- 1 คือ ตัวแบบ One-Way Random-Effects Model
- 2 คือ ตัวแบบ Two-Way Random-Effects Model
- 3 คือ ตัวแบบ Two-Way Mixed-Effects Model

ตัวเลขตัวที่สองในวงเล็บ หมายถึง ชนิดของผู้ประเมิน กำหนดดังนี้

- 1 คือ มีผู้ประเมินคนเดียว
- $k$  มีผู้ประเมินสองคนขึ้นไป

McGraw & Wong (1996)

$MS_R$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างแถว

$MS_W$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน

$MS_E$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

$MS_C$  คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างสดมภ์

$n$  คือ จำนวนหน่วยตัวอย่าง

$k$  คือ จำนวนผู้ประเมิน/วิธีการวัด/เครื่องมือวัด

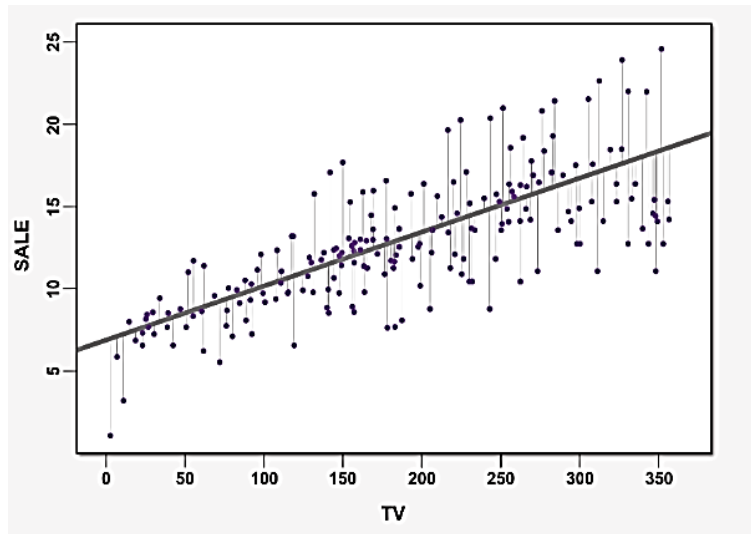
### 2.3 การวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งได้แก่ตัวประมาณการ (Predictor, X) และตัวตอบสนอง (Response, y) โดยเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) ทั้งนี้ในขั้นตอนการทำ Regression ต้องมีการเก็บจำนวน Sample space จำนวนมากพอ นั่นคือ มี  $x$  และ  $y$  ที่มีความสัมพันธ์กันหลาย ๆ ครั้ง เพื่อนำมาหาสมการความสัมพันธ์

$$y = ax + b$$

เมื่อ  $a$  คือ ความชัน

$b$  คือ จุดตัดแกน Y



รูปที่ 4-131 Simple Linear Regression

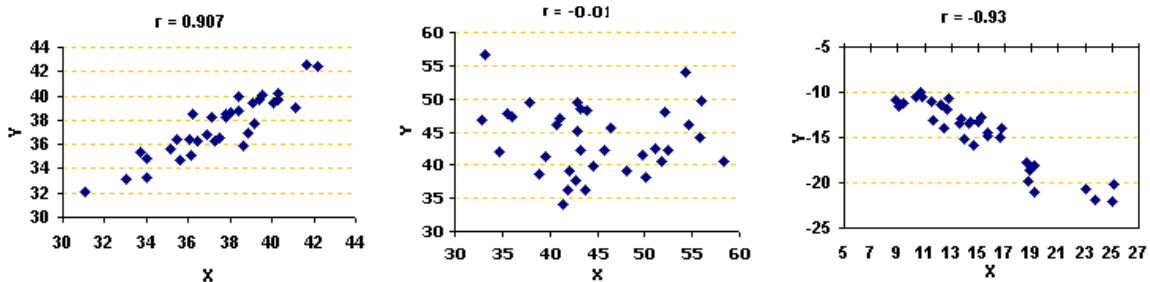
### 2.4 ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นการดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยมี Correlation Coefficient (r) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์นี้ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์นี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 ซึ่งหากมีค่าใกล้ -1.0 นั้นหมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม หากมีค่าใกล้ +1.0 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก และหากมีค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r) คำนวณได้ดังนี้

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

เมื่อ  $x_i, y_i$  คือ ค่าใด ๆ ของแต่ละตัวแปรที่เป็นคู่กัน

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



รูปที่ 4-132 Scatter plot แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร ใน 3 ลักษณะ



## 2.5 RMSE

RMSE ย่อมาจาก “Root Mean Square Error” เป็นการวัดทางสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การคำนวณนั้นสามารถคำนวณหาค่าของค่าใด ๆ หรือฟังก์ชันใด ๆ ที่แปรผันต่อเนื่อง ทั้งนี้คำว่า root mean square ก็คือ "รากที่สองของค่าเฉลี่ย" ของค่าเหล่านั้น ๆ ยกกำลังสอง ด้วยเหตุนี้เราจึงถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยยกกำลัง

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

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

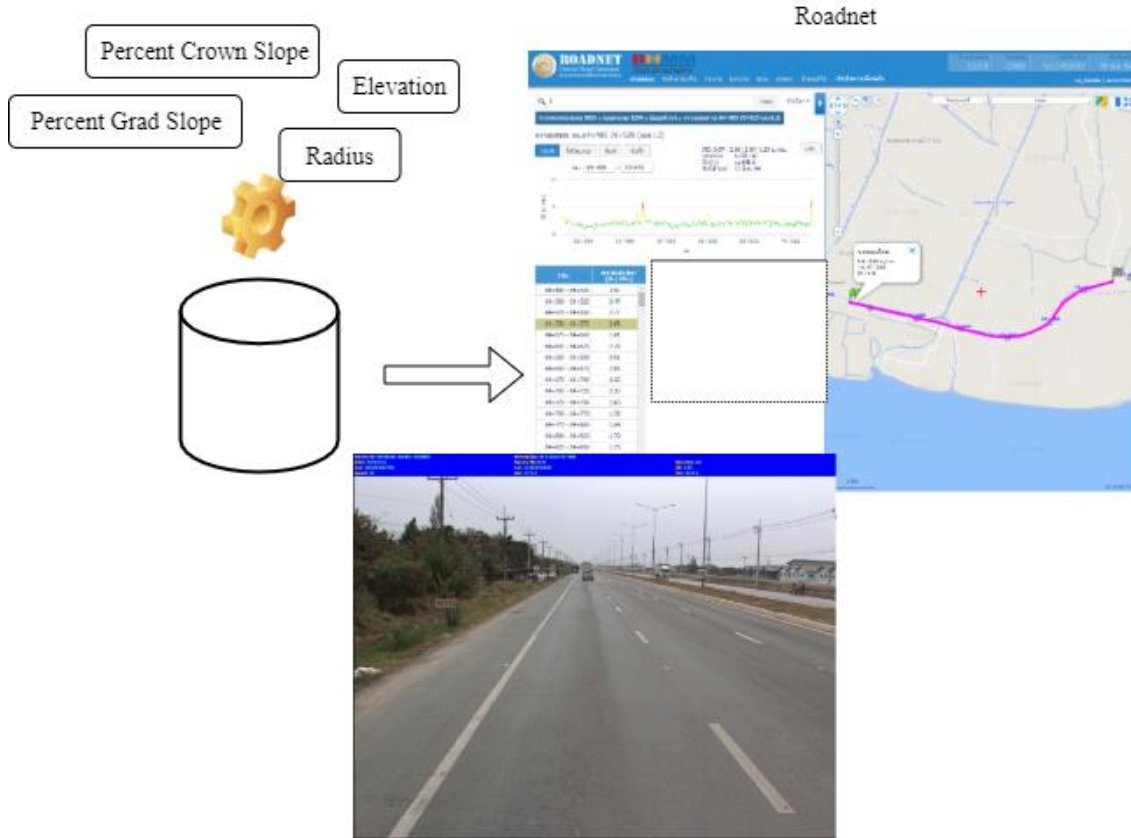
### 4.7.3 การศึกษาและวิเคราะห์แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ Roadnet ให้สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลสภาพทาง เช่น ข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) เป็นต้น โดยจะต้องนำเสนอแนวทางการพัฒนาระบบ Roadnet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

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

แต่ด้วยงานวางแผนการซ่อมบำรุงสายทางที่ต้องการการวิเคราะห์ข้อมูลให้มีความหลากหลาย เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ต่อการแก้ไขปัญหาทางให้ครอบคลุมทุกมิติของงานวางแผน ดังนั้น จึงมีการเพิ่มงานศึกษาข้อมูลค่าความลาดชัน (Percent grade slope) ค่าความลาดเอียง (Percent crown slope) ค่าระดับความสูง (Elevation) และค่ารัศมีทางโค้ง (Radius) ดังกล่าว และนำมาแสดงผลร่วมกับข้อมูลค่าสภาพทางอื่น ๆ ที่ได้ทำการเก็บจากการสำรวจ พร้อมทั้งการแสดงผลข้อมูลบนระบบ Roadnet เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งและเพิ่มมุมมองการ



วิเคราะห์ข้อมูลได้มากขึ้น โดยภายในการศึกษาทางที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาตั้งแต่ขั้นตอน  
และวิธีการคำนวณค่าที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะจากตัวอุปกรณ์ และดำเนินการ  
วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการแสดงผลร่วมกับค่าสภาพทางที่ได้แสดงบนระบบ Roadnet  
ดังปัจจุบัน

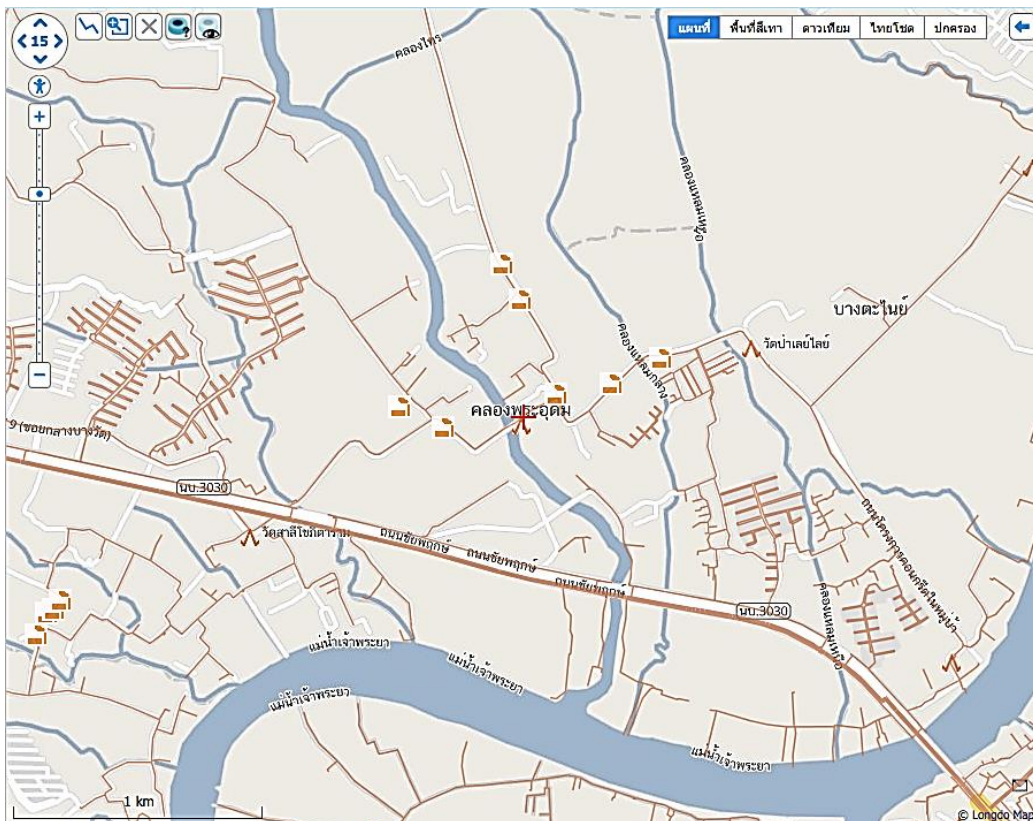


รูปที่ 4-133 แสดงตัวอย่างการนำข้อมูลค่าความลาดชัน ค่าความลาดเอียง  
ค่าระดับความสูง และค่ารัศมีทางโค้ง



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

ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลความเสียหายผิวทาง และรูปภาพภาพถ่ายผิวทาง หลังจากการประมวลผลค่าความเสียหายของผิวทางทั้งแบบประเมินด้วยเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญและแบบอัตโนมัติ (Automatic Detection) ให้สามารถแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าระบบได้ทุก ๆ 25 เมตร หรือสามารถแสดงร่วมกับค่าสภาพทางจากรถสำรวจได้อย่างเหมาะสม โดยการจัดทำให้สามารถแสดงได้หลากหลายระดับ (Layer) เพื่อรองรับการใช้งานในระบบสารสนเทศหลายรูปแบบ รวมถึงการแสดงผลรายละเอียดบนแผนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การแสดงผลข้อมูลความเสียหายผิวลาดยางที่มีรูปแบบทั้งหมด 6 ประเภท แสดงรวมบนระบบ Roadnet ที่มีการแสดงผลข้อมูลสายทางในรูปแบบหลากหลายระดับ



รูปที่ 4-134 ตัวอย่างการออกแบบการแสดงผลบนแผนที่หลายระดับ





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

การพิจารณาการเสื่อมสภาพผิวทางในการศึกษาของ Highway Development Management Version 4 (HDM 4) จะพิจารณาพื้นผิว 4 ชนิด ประกอบด้วย Bituminous (asphalt), Concrete, Block และ Unsealed และแบ่งตามลักษณะหมวดหมู่ของพื้นผิวเป็น 2 กลุ่ม คือ Paved (มีผิวเคลือบชั้นดิน) และ Unpaved (ถนนผิวดิน) ซึ่ง 2 ส่วนนี้จะนำไปแยกพิจารณา ประเภทพื้นผิว (Surface type) และประเภทพื้นชั้นฐาน (Base Type) ที่ประกอบด้วย Granular Base (GB), Stabilized Base (SB), Asphalt base (AB) and Asphalt pavement (AP) ซึ่งจะทำให้ได้ประเภทของพื้นผิวถนนทั้งสิ้น 26 ประเภท ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-35

ตารางที่ 4-35 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 4

หมวดหมู่ของพื้นผิว (Surface category)	ระดับพื้นผิว (Surface class)	ประเภทผิวทาง (Pavement type)	ประเภทพื้นผิว (Surface type)	ประเภทพื้นชั้นฐาน (Base type)
Paved	Bituminous	AMGB	AM	GB
		AMAB		AB
		AMSB		SB
		AMAP		AP
		STGB	ST	GB
		STAB		AB
		STSB		SB
		STAP		AP
	Concrete	JPGB	JP	GB
		JPAB		AB
		JRSB	JR	SB
		CRGB	CR	GB
		CRAB		AB
		CRSB		SB
	Block	CBGB	CB	GB
		CBSB		SB
		BRGB	BR	GB
		BRSB		SB
		SSGB		SS



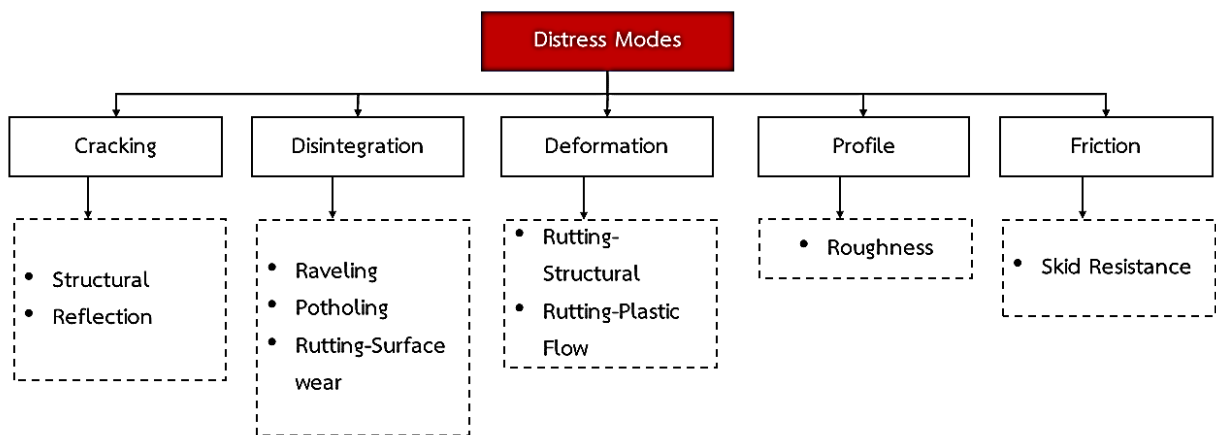
ตารางที่ 4-35 การจำแนกประเภทพื้นผิวตามการศึกษา HDM 4 (ต่อ)

หมวดหมู่ของพื้นผิว (Surface category)	ระดับพื้นผิว (Surface class)	ประเภทผิวทาง (Pavement type)	ประเภทพื้นผิว (Surface type)	ประเภทพื้นชั้นฐาน (Base type)
		SSSB		SB
Unsealed	Unsealed	GRUP	GR	UP
		EAUP	EA	UP
		SAUP	SA	UP

สำหรับการศึกษาในโครงการนี้จะลงรายละเอียดการทบทวนปัจจัย ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษากรณีระดับพื้นผิวที่เป็นบิทูมินัส (Bituminous) และคอนกรีต (Concrete) โดยจะทำการศึกษาในส่วนของประเภทความเสียหาย (Deterioration) ที่เกิดขึ้นกับผิวทาง สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณและแนวทางการปรับค่าสัมประสิทธิ์ การทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองตามการศึกษาของ HDM 4 จะแสดงให้เห็นในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 (Progress Report 1)

#### 4.7.5.1 พื้นผิวบิทูมินัส (Bituminous Pavement)

สำหรับการพิจารณาความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิทูมินัส จะถูกแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ คือ การเกิดรอยแตก (Cracking), การหลุดร่อน (Disintegration), การเปลี่ยนรูปร่าง (Deformation), Profile โดยพิจารณาในลักษณะของความหยาบ และการเสียดทาน (Friction) ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4-135 โดยความเสียหายแต่ละประเภทมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 4-135 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวบิทูมินัส



## Structural Number

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

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

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

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

### การเกิดรอยแตก (Cracking) บนพื้นผิวบิทูมินัส

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

### การเกิดรอยแตกของตามโครงสร้าง (Structural Cracking)

รอยแตกกว้างในลักษณะนี้มีสาเหตุมาจากการออกแบบไม่ถูกต้อง ในการศึกษาของ HDM 4 จะพิจารณาลักษณะการแตกกว้างตามโครงสร้างออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีการแตกกว้างตามแนวกว้าง (Wide Structural Cracking) และตามแนวแตกทั้งหมดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิว (All Structural Cracking)

ทั้งนี้การพิจารณาทั้ง 2 กรณีจะพิจารณาในส่วนของค่าเริ่มต้นของการแตก (Initiation) และการขยายตัวของรอยแตกกว้าง (Progression)



สำหรับการพิจารณารอยแตกตามแนวโครงสร้าง จะเป็นการพิจารณาการเกิดรอยแตกกว้าง ในลักษณะแนวกว้าง (Wide Cracking) และรอยแตกทั้งโครงสร้าง (All Structural Cracking) สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้นในการแตกกว้าง และคำนวณออกเป็นเวลาเริ่มต้นของรอยแตกตามแนว กว้าง (ICW) และทั้งโครงสร้าง (ICA) โดยปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาจะประกอบด้วย ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวบิตูมินัส จำนวนโครงสร้างผิวทางที่ได้รับการปรับปรุง เฉลี่ยประจำปี เป็นต้น โดยรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาจะแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-36

ตารางที่ 4-36 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการเกิดรอยแตกของตามโครงสร้าง (Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
CDS	ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวบิตูมินัส
progression	จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ามาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
SNP	Adjust Structural Number
DEF	ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวจาก Benkelman beam (BB) บนร่องล้อ (มม.)
CMOD	โมดูลัสความยืดหยุ่นของดินซีเมนต์ (GPa) มีค่าอยู่ระหว่าง 0-30 Gpa
HSNEW	ความหนาของพื้นผิวชั้นบนสุด (มม.)
HSOLD	ความหนารวมของพื้นผิวชั้นล่าง (Subgrade) ทั้งหมด (มม.)
PCRA	พื้นที่แตกกว้างทั้งหมดก่อนทำการปิด (%)
PCRW	พื้นที่แตกกว้างด้านกว้างก่อนทำการปิด (%)
KW	ค่าต่ำสุด [0.05 ค่าสูงสุด (PCRW - 10, 0), 1]
KA	ค่าต่ำสุด [0.05 ค่าสูงสุด (PCRA - 10, 0), 1]
HSE	ค่าต่ำสุด [100, HSNEW + (1 - KW) HSOLD]
CRT	เวลาชะลอการแตกเนื่องจากการบำรุงรักษา (ปี)

สำหรับการพิจารณาการของการเกิดรอยแตกกว้างทั้งโครงสร้างและรอยแตกกว้างตามแนว กว้าง จะเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ของการแตกกว้างทั้ง 2 ประเภท ในระหว่างปีที่ วิเคราะห์ โดยจะต้องอาศัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอายุของผิวทาง (AGE2) เข้ามาพิจารณาด้วย



ตารางที่ 4-37 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกร้าวทั้งโครงสร้าง (Progression of All Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
ACAA	พื้นที่ของการแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมดเมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์ (%)
ta	เศษส่วนของปีที่วิเคราะห์ซึ่งใช้ความก้าวหน้าของการแตกร้าวเชิงโครงสร้างทั้งหมด
AGE2	อายุผิวทาง (ปี)
Kcpa	การสอบเทียบตัวแปรสำหรับความก้าวหน้าของการแตกร้าวของโครงสร้างทั้งหมด
CRP	การชะลอการขยายตัวของรอยแตกเนื่องจากการรักษาเชิงป้องกัน (กำหนดให้ CRP = 1 - 0.12 CRT)

ตารางที่ 4-38 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของการเกิดรอยแตกร้าวตามแนวกว้าง (Progression of Wide Structural Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
ACWa	พื้นที่แตกร้าวของโครงสร้างด้านกว้างเมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์ (%)
tw	เศษส่วนของปีที่วิเคราะห์ซึ่งมีการแตกร้าวของโครงสร้างในวงกว้าง
Kcpw	การสอบเทียบตัวแปรสำหรับความก้าวหน้าของการแตกร้าวโครงสร้างด้านกว้างและตัวแปรอื่น ๆ ตามที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้

### รอยแตกสะท้อน (Reflection Cracking) บนผิวทางบิทูมินัส

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

ในกรณีการคำนวณตามการศึกษาของ HDM 4 ในส่วนของการพิจารณาค่าเริ่มต้นของรอยแตกสะท้อน จำเป็นต้องมีการพิจารณาค่าเฉลี่ยรายวันของรถบรรทุกต่อสองช่องจราจร การแอนตัวของคาน Benkelman ความหนาของพื้นผิวบนสุด (มม.) เพื่อนำมาคำนวณค่าเวลาเริ่มต้นของการเกิดรอยแตกสะท้อน (Time to initiation of reflection cracking: ICF) โดยรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-39



ตารางที่ 4-39 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดรอยแตกสะท้อน (Initiation of Reflection Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
ADH	ค่าเฉลี่ยรายวันของรถบรรทุกต่อสองช่องจราจร
DEF	การแอ่นตัวของคาน Benkelman
HSNEW	ความหนาของพื้นผิวบนสุด (มม.)
Kcif	ปัจจัยการสอบเทียบของการแตกร้าวที่สะท้อนกลับเริ่มต้น

สำหรับการพิจารณาการขยายตัวของรอยแตกสะท้อน จะพิจารณาในลักษณะของค่าการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวสะท้อน (incremental change in area of reflection cracking during analysis year) โดยพิจารณาจากพื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวสะท้อนเดิม พื้นที่รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นล่าสุดก่อนทำการซ่อมบำรุง รายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-40

ตารางที่ 4-40 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของรอยแตกสะท้อน (Progression of Reflection Cracking) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
ACFa	พื้นที่การแตกร้าวสะท้อนกลับเมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ (ร้อยละของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
ACFb	พื้นที่การแตกร้าวสะท้อนกลับเมื่อสิ้นสุดปีการวิเคราะห์ (ร้อยละของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
PCRA	พื้นที่การแตกร้าวล่าสุดก่อนการทำการปิด (ร้อยละของพื้นที่ร่วทั้งหมด)
tf	เศษส่วนของปีวิเคราะห์ซึ่งใช้ความก้าวหน้าเชิงการแตกร้าวสะท้อนกลับ
Kcpcf	ปัจจัยการสอบเทียบสำหรับความก้าวหน้าของการแตกร้าวสะท้อนกลับ

### การเกิดรอยแตกร้าวทั้งหมด (Cracking) บนผิวทางบิทูมินัส

จากประเภทการเกิดรอยแตกร้าวตามแนวโครงสร้างและรอยแตกสะท้อน ตามการศึกษาของ HDM 4 ในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกร้าว อันเนื่องมาจากสาเหตุการแตกร้าวในลักษณะของโครงสร้างและการแตกร้าวแบบสะท้อน โดยการศึกษาจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

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





- ส่วนที่ 2 การพิจารณาค่าสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกกว้างในลักษณะของการแตกกว้างตามแนวกว้าง (Wide Cracking) และการเกิดการแตกกว้างสะท้อน (Total area of wide structural and reflection cracking: ACWT)
- ส่วนที่ 3 การพิจารณาค่าสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดที่เกิดรอยแตกกว้าง (Total area of carriageway cracked: ACRA)

### การสึกกร่อน (Raveling) บนผิวทางบิทูมินัส

การสึกกร่อนเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้พื้นผิวเกิดการหลุดร่อน (Disintegration) โดยสาเหตุมาจากการบดอัดชั้นผิวทางขณะก่อสร้างไม่เพียงพอ ปูผิวขณะความชื้นสูง การใช้แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีส่วนผสมไม่เหมาะสมหรืออุณหภูมิไม่เหมาะสม และการเสื่อมสภาพของผิวทางแอสฟัลต์

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

การพิจารณาค่าเริ่มต้นของการสึกกร่อนจะถูกสะท้อนออกมาในลักษณะของเวลาเริ่มต้นของการหลุดร่อน (Time to raveling initiation : IRV) โดยมีปัจจัยที่ส่งผล เช่น จำนวนเพลลา/การลงน้ำหนักบดอัดผิวทางของเพลลายานพาหนะที่สัญจรบริเวณผิวทางที่ทำการวิเคราะห์ โดยปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณค่าเริ่มต้นนี้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4-41

ตารางที่ 4-41 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการสึกกร่อน (Initiation of Raveling) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
CDS	ตัวบ่งชี้ข้อบกพร่องในการก่อสร้างสำหรับพื้นผิวบิทูมินัส
YAX	จำนวนเพลลาต่อปีของรถทุกประเภทในปีที่วิเคราะห์ (ล้าน/เลน)
Kvi	การสอบเทียบตัวแปรสำหรับการเริ่มต้นการแตกหลุดเป็นชิ้น
RRF	ปัจจัยการชะลอตัวของการแตกหลุดเป็นชิ้น เนื่องจากการบำรุงรักษา

ในส่วนของการพิจารณาการขยายตัวของการสึกกร่อน จะสะท้อนออกมาเป็นค่าของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้นระหว่างปีวิเคราะห์ (Change in area of raveling during analysis year: ACX) โดยพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้ พื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้นเมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์อายุของผิวทาง เป็นต้น



ตารางที่ 4-42 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของเกิดการสึกกร่อน (Progression of Ravelling) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
ARVa	พื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้น เมื่อเริ่มปีที่วิเคราะห์ (%)
tv	เศษส่วนของปีที่วิเคราะห์ซึ่งใช้ความก้าวหน้าของการแตกหลุดเป็นชิ้น
AGE2	อายุผิวทาง (ปี)
Kvp	การสอบเทียบตัวแปรสำหรับความก้าวหน้าของการแตกตัวของ การแตกหลุดเป็นชิ้น

### การเกิดหลุมบ่อ (Potholing) บนผิวทางบิทูมินัส

การเกิดหลุมบ่อนั้นมีสาเหตุต่อเนื่องจากการเกิดรอยแตกกว้างในลักษณะต่าง ๆ ส่วนผสมของยางมะตอยไม่สม่ำเสมอหรือไม่เหมาะสมกับการใช้งาน รวมถึงความสามารถในการระบายน้ำของผิวทาง

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

### ค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ (Initiation of Potholing)

การเกิดหลุมบ่อของผิวทางมาจากการเกิดรอยแตกกว้าง การศึกษาของ HDM 4 จึงได้ตั้งค่าเริ่มต้นก่อนการพิจารณาการเกิดหลุมบ่อ โดยพิจารณาจากสัดส่วนพื้นที่ทั้งหมดของโครงสร้างที่เกิดการแตกกว้าง (ACA) มากกว่าร้อยละ 20 และสัดส่วนพื้นที่การแตกหลุดเป็นชิ้น (ARV) มากกว่าร้อยละ 30 นอกจากนี้ยังมีหลุมบ่อที่เกิดขึ้นก่อนช่วงเวลาที่ทำการสำรวจ ดังนั้นค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อจะเป็นระยะเวลาในการเกิดรอยแตกตามแนวกว้างหรือการเกิดสึกกร่อนและการเกิดหลุมบ่อ (Time between the initiation of wide cracking or ravelling and the initiation of potholes: IPT) โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-43

ตารางที่ 4-43 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ (Initiation of Potholing) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
HS	ความหนาของชั้นผิวบิทูมินัส (มิลลิเมตร)
CDB	ดัชนีบ่งชี้ความเสียหายในช่วงขั้นตอนการก่อสร้าง สำหรับชั้นฐาน (Subgrade)
YAX	จำนวนเพลลาของรถทุกประเภทในปีวิเคราะห์ (ล้าน/เลน)
MMP	ตะกอนน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน
Kpi	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการเกิดหลุมบ่อ



### การขยายตัวของหลุมบ่อ (Progression of Potholing)

การขยายตัวของหลุมบ่อจะพิจารณาจากผลกระทบจากช่วงเวลาระหว่างการเกิดหลุม และการซ่อมแซม (Patching policy factor : PEFF) นอกจากนี้การศึกษาของ HDM 4 ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเพื่ออธิบายจำนวนหลุมบ่อที่เกิดตามรูปแบบความเสียหายเช่น รอยแตกตามแนว กว้าง รอยแตกสะท้อน ที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ โดยการวิเคราะห์นี้จะต้องคำนึงช่วงเวลา ในการต่อเติมหรือการสร้างผิวทางใหม่ (AGE2)

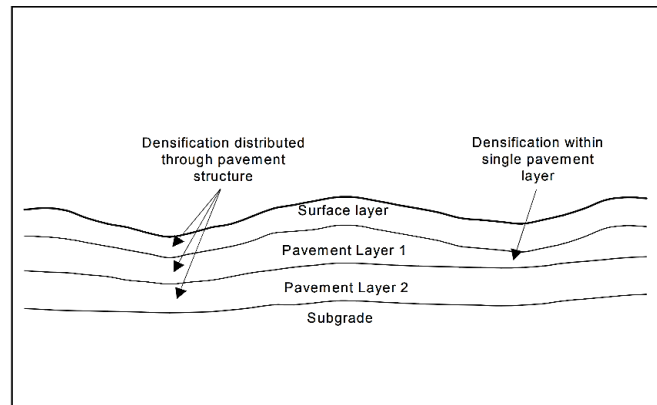
เมื่อได้จำนวนหลุมบ่อที่เกิดตามรูปแบบความเสียหาย จึงทำการพิจารณาจำนวนหลุมบ่อ ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-44 ตารางที่ 4-44 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการขยายตัวของหลุมบ่อ (Progression of Potholing) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
dNPTi	จำนวนหลุมบ่อที่เกิดตามรูปแบบความเสียหายเช่น รอยแตกตามแนว กว้าง รอยแตกสะท้อน ที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่ทำการศึกษา
ADISI	เปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่เกิดรอยแตกตามแนว กว้าง หรือเปอร์เซ็นต์พื้นที่ที่เกิดรอยแตกสะท้อนในช่วงปี แรกที่ทำการศึกษา
ACWpi	ช่วงบริเวณพื้นที่ที่น้อยที่สุดที่เกิดรอยแตกกว้างก่อนจะเป็นหลุมบ่อ จากการระบุของผู้ใช้ทาง (ใช้ค่า ตั้งต้นที่ 20%)
ARVpi	ช่วงบริเวณพื้นที่ที่น้อยที่สุดที่เกิดรอยแตกสะท้อนก่อนจะเป็นหลุมบ่อ จากการระบุของผู้ใช้ทาง (ใช้ ค่าตั้งต้นที่ 30%)
ELANES	จำนวนช่องจราจร
PEFF	Patching policy factor
Kpp	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการเกิดหลุมบ่อ

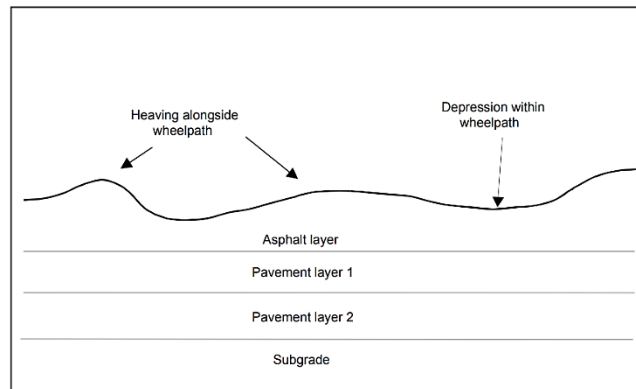
### การเกิดร่องล้อ (Rutting) บนผิวทางบิทูมินัส

การเกิดร่องบนผิวทางมีสาเหตุเนื่องมาจากการบดอัดชั้นดินคันทางไม่ได้มาตรฐาน เมื่อมี น้ำหนักบรรทุกทุกวิ่งผ่าน ทำให้วัสดุใต้ผิวทางเคลื่อนตัวออกด้านข้าง ซึ่งเป็นการเสียรูปอย่างถาวร หรือเกิดจากวัสดุแอสฟัลต์ผิวทางมีส่วนผสมที่ไม่คงตัว ก็ทำให้ผิวทางทรุดตัวได้ หรือเกิดจากการแบกรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำหนดกว่าชั้นโครงสร้างทางจะรับได้

การศึกษาของ HDM 4 จึงแบ่งวิธีการพิจารณาการเกิดร่องล้อออกเป็น 4 ส่วน คือ การ คำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification) การเสียรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation) การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) และการสึกหรอ ของพื้นผิว (Surface Wear) โดยมีรายละเอียดการพิจารณาดังนี้



รูปที่ 4-136 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากความหนาของชั้นผิวทาง



รูปที่ 4-137 การเกิดร่องล้อ อันเป็นผลจากการเปลี่ยนรูปพลาสติกของพื้นผิว

### การคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification)

เป็นการคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Rutting due to initial densification: RDO) โดยจะอาศัยจากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวจาก Benkelman beam บนร่องล้อ ค่าเฉลี่ยของการปรับ Structural Number ของพื้นผิว และความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดสัมพันธ์ โดยรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-45



ตารางที่ 4-45 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณค่าเริ่มต้นขนาดความหนาของร่อง (Initial Densification) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
YE4	จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ากับมาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
DEF	ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวของ Benkelman beam (BB) บนร่องล้อ (มม.)
SNP	ค่าเฉลี่ยของการปรับ Structural Number ของพื้นผิว
COMP	ความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดสัมพันธ์
Krid	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าเริ่มต้นของการแน่นตัว

### การเสีรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation)

ในส่วนนี้ ตามการศึกษาของ HDM 4 จะเป็นการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสีรูปของชั้นโครงสร้างทางในปีที่วิเคราะห์ (Total incremental increase in structural deformation in analysis:  $\Delta RDST$ ) โดยจะอาศัยจากการพิจารณาพื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวเริ่มต้น ของปีที่ทำการวิเคราะห์ (Area of indexed cracking at the beginning of analysis year : ACXa) รวมถึงการเพิ่มขึ้นของการเสีรูปเชิงโครงสร้างที่เกิดจากการเกิดร่องหลังจากมีการเกิดหลุมบ่อก่อนหน้า ในปีที่วิเคราะห์ (Incremental rutting due to structural deformation after cracking in analysis year :  $\Delta RDSTcrk$ ) โดยรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-46

ตารางที่ 4-46 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการเสีรูปของชั้นโครงสร้างทาง (Structural Deformation) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
$\Delta RDSTuc$	การเพิ่มขึ้นของการเสีรูปเชิงโครงสร้างที่เกิดจากการเกิดร่องในปีที่วิเคราะห์ (มม.)
$\Delta RDSTcrk$	การเพิ่มขึ้นของการเสีรูปเชิงโครงสร้างที่เกิดจากการเกิดร่องหลังจากมีการเกิดหลุมบ่อก่อนหน้า ในปีที่วิเคราะห์ (มม.)
MMP	ตะกอนน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน
ACXa	พื้นที่ที่เกิดรอยแตกร้าวเริ่มต้น ของปีที่ทำการศึกษา (%)
Krst	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาความเสียหายของโครงสร้าง



### การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

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

- การวิเคราะห์ความหนืดของตัวประสานหรือตัวยึดเกาะ (Binder viscosity) ในส่วนนี้จะถูกอธิบายจากการวิเคราะห์ค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) ของสารยึดเกาะในส่วนผสมเมื่อสิ้นสุดช่วงการวิเคราะห์ โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้แสดงในตารางที่ 4-47

ตารางที่ 4-47 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
SP	จุดอ่อนตัว (Softening Point) ของสารยึดเกาะในส่วนผสมเมื่อสิ้นสุดช่วงการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)
SPi	จุดอ่อนตัวเริ่มต้นของสารยึดเกาะจากการทดสอบ Ring and Ball
SPm	การเพิ่มขึ้นของจุดอ่อนตัวของสารยึดเกาะเนื่องจากการผสม (องศาเซลเซียส)
$\Delta SP$	จุดอ่อนตัวที่เพิ่มขึ้นระหว่างปีที่ทำการศึกษา (องศาเซลเซียส)
VIMa	เปอร์เซ็นต์ช่องว่างของส่วนผสม เมื่อเริ่มต้นปีการวิเคราะห์ (%)
PT	อุณหภูมิพื้นผิวที่ความลึก 20 มิลลิเมตร ระหว่างปีที่ทำการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)

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

ตารางที่ 4-48 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณสัดส่วนช่องว่างของส่วนผสม (Voids in mix : VIM) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
$V_a$	สัดส่วนปริมาณมวลรวม (%)
$V_b$	สัดส่วนปริมาณสารยึดเกาะในส่วนผสม (%)





ทั้งนี้ค่าของสัดส่วนช่องว่างของส่วนผสมจะลดลงเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลง สาเหตุมาจาก การบดอัดน้ำหนักเพลลาและความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุก และอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิของผิวทางและจุดอ่อนตัวของตัวประสาน การศึกษาของ HDM 4 จึงได้พัฒนาแบบจำลองที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงช่องว่างส่วนผสมในมวลรวมที่ลดลงในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (Decrease in voids during an analysis year:  $\Delta VIM$ ) โดยมีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าดังกล่าว แสดงให้เห็นในตารางที่ 4-49

ตารางที่ 4-49 ตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงช่องว่างส่วนผสมในมวลรวมที่ลดลงในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (Decrease in voids during an analysis year) ตามการศึกษาของ HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
YE4	จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ามาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
Sh	ความเร็วของยานพาหนะหนัก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
PT	อุณหภูมิพื้นผิวที่ความลึก 20 มิลลิเมตร ระหว่างปีที่ทำการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)
SP	จุดอ่อนตัว (Softening Point) ของสารยึดเกาะในส่วนผสมเมื่อสิ้นสุดช่วงการวิเคราะห์ (องศาเซลเซียส)

นอกจากนี้การศึกษาของ HDM 4 ได้ทำการศึกษแบบจำลองที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Incremental increase in plastic deformation in analysis:  $\Delta RDPD$ ) โดยเป็นการนำ ความหนาของชั้นผิว การบดอัดน้ำหนักเพลลาและความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุก ดังตารางที่ 4-50 ตารางที่ 4-50 ตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Incremental increase in plastic deformation in analysis) ตามการศึกษา HDM 4

ตัวแปร	ความหมาย
HS	ความหนาของชั้นผิวบิตูมินัส (มิลลิเมตร)
Krpd	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก
$\Delta RDPD$	การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
CDS	ดัชนีบ่งชี้ความเสียหายในช่วงขั้นตอนการก่อสร้าง สำหรับพื้นผิวบิตูมินัส
YE4	จำนวนเพลลาที่เทียบเท่ามาตรฐานต่อปี (ล้าน/เลน)
Sh	ความเร็วของยานพาหนะหนัก (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
HS	ความหนาของชั้นผิวบิตูมินัส (มิลลิเมตร)
Krpd	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก



### การสึกหรอของพื้นผิว (Surface Wear)

การศึกษาของ HDM 4 เป็นการพิจารณาความลึกของร่องล้อที่เพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (Incremental increase in rut depth due to studded tyres in analysis:  $\Delta RDW$ ) โดยอาศัยผลกระทบที่เกิดกับสภาพผิวทาง เช่น ถนนเกลือ (Salted Road) ซึ่งมีสาเหตุมาจากการละลายตัวของน้ำที่ควบแน่นจนเป็นหิมะหรือแม่คะนิง โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 4-51

ตารางที่ 4-51 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาการเกิดการสึกหรอของพื้นผิว (Surface wear)

ตัวแปร	ความหมาย
PASS	จำนวนรถที่ผ่านต่อปี โดยพิจารณาในทิศทางเดียว (1000 คัน)
S	ความเร็วจราจรเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
SALT	ตัวแปรหุ่นที่บ่งชี้ ถนนเกลือ (Salted Road) เกิดจากการละลายตัวของน้ำที่ควบแน่นจนเป็นหิมะหรือแม่คะนิง
W	ความกว้างของถนนโดยรวมความกว้างของไหล่ทาง (มิลลิเมตร)
Krsw	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการวิเคราะห์การสึกหรอของพื้นผิว

### การพิจารณาการเกิดความลึกร่องล้อทั้งหมด (Total Rut Depth)

เพื่อสะท้อนภาพรวมของการเกิดความลึกของร่องล้อทั้ง 4 ประเภท การศึกษาของ HDM 4 จะอธิบายในลักษณะของความลึกของร่องเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นทั้งหมด ในช่วงที่ทำการวิเคราะห์ (Incremental increase in total mean rut depth in both wheel paths in analysis year) โดยเป็นการนำค่าความหนาของพื้นผิวเริ่มต้น การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสียดรูปเชิงโครงสร้างในปีที่วิเคราะห์ การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ ทั้งนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ผิวทางที่เกิดร่องล้อ จะพิจารณาในช่วงเวลาสุดท้ายที่มีการซ่อมบำรุงหรือมีการก่อสร้างชั้นฐานใหม่ของผิวทาง (AGE4)

ตารางที่ 4-52 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาการเกิดความลึกร่องล้อทั้งหมด (Total Rut Depth)

ตัวแปร	ความหมาย
RDO	ความหนาของพื้นผิวเริ่มต้น (มิลลิเมตร)
$\Delta RDST$	การเพิ่มขึ้นทั้งหมดของการเสียดรูปเชิงโครงสร้างในปีที่วิเคราะห์ (มม.)
$\Delta RDPD$	การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก ในช่วงปีที่วิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
$\Delta RDW$	ความลึกของร่องที่เพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ในช่วงปีที่ทำการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
RDMb	ความลึกของร่องเฉลี่ยทั้งหมด ในช่วงสิ้นสุดปีที่ทำการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)
RDMa	ความลึกของร่องเฉลี่ยทั้งหมด ในช่วงเริ่มต้นปีที่ทำการวิเคราะห์ (มิลลิเมตร)



### ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ของพื้นผิวบิตูมินัส

การพิจารณาส่วนนี้จะเป็นรูปแบบความเสียหายในส่วนของการเสียดทาน (Friction) โดยในการศึกษาของ HDM 4 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

- การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น (Incremental change skid resistance )
- การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์ (The skid resistance measured 50 km/h at the end of the analysis year)
- การพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย (The average skid resistance value at a given annual average traffic speed)

การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถล จะพิจารณาระดับค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน (Sideway force coefficient: SFC) ที่ความเร็ว 50 กม./ชม. สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท ในสภาพพื้นผิวทางเปียกดังแสดงในตารางที่ 4-53 ค่าดังกล่าวที่ใช้ในการพิจารณานี้ ใกล้เคียงกับที่ใช้งานของหน่วยซ่อมบำรุงทางของประเทศอังกฤษ (Giles, 1957)

ตารางที่ 4-53 ระดับค่าของ SFC ที่ความเร็ว 50 กม./ชม สำหรับประเภทและลักษณะถนนต่าง ๆ รวม 4 ประเภท

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

ที่มา: Giles (1957)



### การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น

ตามการศึกษาของ HDM 4 ในส่วนนี้จะทำการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Incremental change in sideway force coefficient during analysis year:  $\Delta SFC50$ ) โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4-54 ตารางที่ 4-54 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่วิเคราะห์พิจารณาที่ความเร็ว 50 กม./ชม.

ตัวแปร	ความหมาย
$\Delta QCV$	ปริมาณรถบรรทุกที่เพิ่มขึ้นบนเส้นทางที่ทำการสำรวจ (คัน/เลน/วัน)
Ksfc	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าความต้านทานการลื่นไถล

### การพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์

ในส่วนนี้จะนำค่าที่ได้จากการพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น ( $\Delta SFC50$ ) มาพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ แรงต้านในช่วงสิ้นสุดปีที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 4-55

ตารางที่ 4-55 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ สิ้นปีที่วิเคราะห์

ตัวแปร	ความหมาย
SFC50a	ค่าความต้านทานการลื่นไถลวัดได้ 50 กม./ชม. ณ ปีเริ่มต้นที่วิเคราะห์
$\Delta SFC50$	ค่าความต้านทานการลื่นไถลที่เพิ่มขึ้นในช่วงปีที่วิเคราะห์ พิจารณาที่ความเร็ว 50 กม./ชม

### การพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย

เป็นการพิจารณาความต้านทานการลื่นไถลเพิ่มขึ้น ภายใต้เงื่อนไขความเร็วจราจรในพื้นที่ที่ทำการสำรวจ (Traffic speed : S) โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 4-56 ตารางที่ 4-56 ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย

ตัวแปร	ความหมาย
S	เงื่อนไขความเร็วจราจรในพื้นที่ที่ทำการสำรวจ
Ksfc	สัมประสิทธิ์ในการปรับแบบจำลอง สำหรับการพิจารณาค่าเฉลี่ยความต้านทานการลื่นไถลภายใต้เงื่อนไขการกำหนดความเร็วจราจรเฉลี่ย



## การพิจารณาการเกิดความขรุขระ (Roughness) ของผิวทาง

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

ในการศึกษาของ HDM 4 ได้พัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าดัชนีความเรียบขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI) ที่ได้รับผลกระทบจาก 5 องค์ประกอบ ได้แก่ องค์ประกอบด้านโครงสร้าง (Structural Component) องค์ประกอบจากการเกิดรอยแตกร้าว (Cracking Component) องค์ประกอบจากการเกิดร่องล้อความลึก (Rutting Component) องค์ประกอบจากการเกิดหลุมบ่อ (Potholing Component) และองค์ประกอบจากสภาพแวดล้อม (Environment Component) โดยจะนำค่าที่ได้จากการคำนวณทั้ง 5 องค์ประกอบมาพิจารณาการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดของความขรุขระในช่วงปีที่วิเคราะห์ (Total incremental change in roughness during analysis year :  $\Delta RI$ ) มีรายละเอียดการปรับค่าใน 5 องค์ประกอบ ดังนี้

- องค์ประกอบด้านโครงสร้าง (Structural Component) ใช้ค่า Adjust Structural Number (SNP) พิจารณา pavement strength indicator แทน Structural Number (SNC)
- องค์ประกอบจากการเกิดรอยแตกร้าว (Cracking Component) การพิจารณาส่วนนี้จะคล้ายกับ HDM 3 แต่จะมีการเพิ่มในส่วนของ Calibration Factor (Kgc) เปรียบเสมือนการปรับค่าของผลกระทบจากการเกิดรอยแตกร้าวที่มีผลต่อค่า IRI
- องค์ประกอบจากการเกิดร่องล้อความลึก (Rutting Component) เพิ่มเติมในส่วนของการปรับค่า เพิ่ม Calibration Factor ภายใต้งี้อ่อนไข straight-edge 2.0 เมตร แต่ในกรณีการศึกษาของ HDM 3 อยู่ภายใต้งี้อ่อนไขของ straight-edge 1.2 เมตร
- องค์ประกอบจากการเกิดหลุมบ่อ (Potholing Component) ในส่วนนี้อ้างอิงตามการศึกษาของ Paterson (1987) ที่ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของหลุมบ่อตามความแตกต่างของขนาดหลุมที่มีผลต่อค่าดัชนีความขรุขระสากล

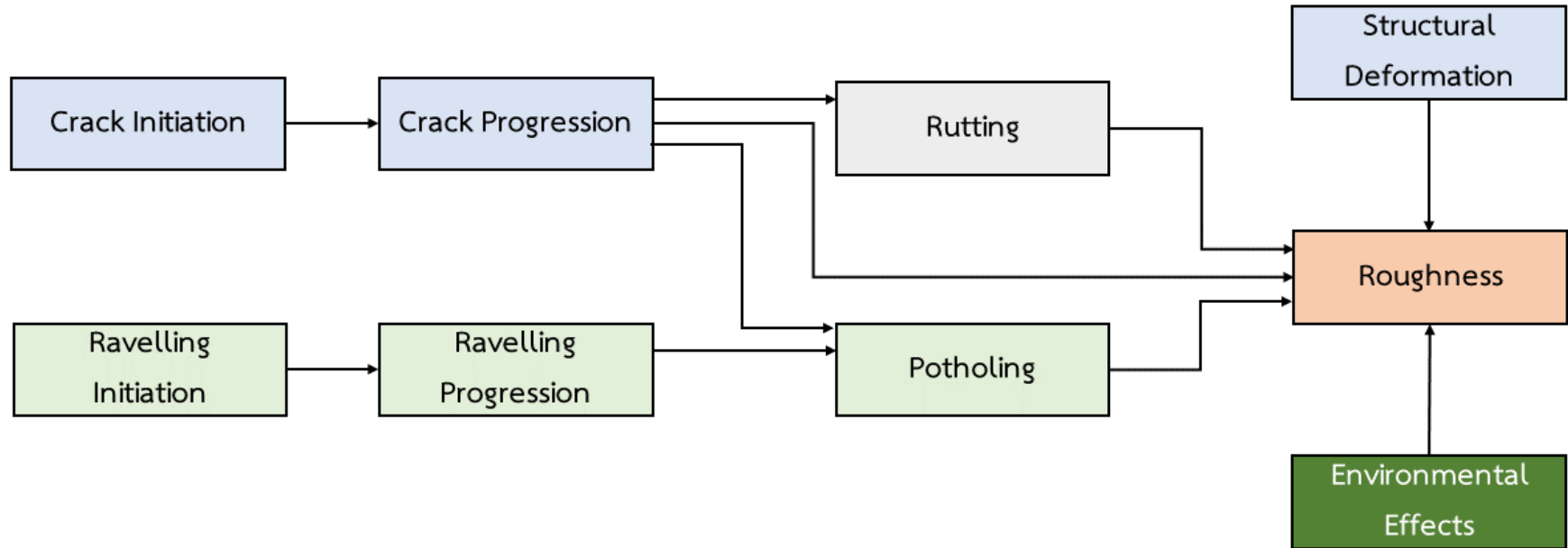
ทั้งนี้การวิเคราะห์ Potholing Component ในการศึกษาของ HDM 4 จะทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระหว่างขนาดของหลุมบ่อและค่าดัชนีความขรุขระสากล เพื่อหาระยะเวลาซ่อมบำรุงที่เหมาะสม โดยสมการจะอ้างอิงตามการศึกษาของ Riley (1998) ซึ่งเป็นการต่อยอดจากแบบจำลอง HTR แต่มีการพิจารณาในส่วนของ TLF (Time lapses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



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

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





รูปที่ 4-138 สรุปลองค์ประกอบที่ใช้ในการวิเคราะห์ความขรุขระตามการศึกษาของ HDM 4



#### 4.7.5.2 พื้นผิวคอนกรีต (Concrete Pavement)

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

เพื่อให้แบบจำลองในสามารถอธิบายการเกิดการเสื่อมสภาพได้ชัดเจนขึ้น ในรายงาน HDM 4 จึงอ้างอิงแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาแล้วของ ERES (1999) โดยในส่วนนี้ได้มีการพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นในแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถอธิบายการเสื่อมสภาพได้แม่นยำขึ้น

สำหรับการแบ่งประเภทพื้นผิวคอนกรีตที่ใช้ในการพิจารณาการเสื่อมสภาพในรายงาน

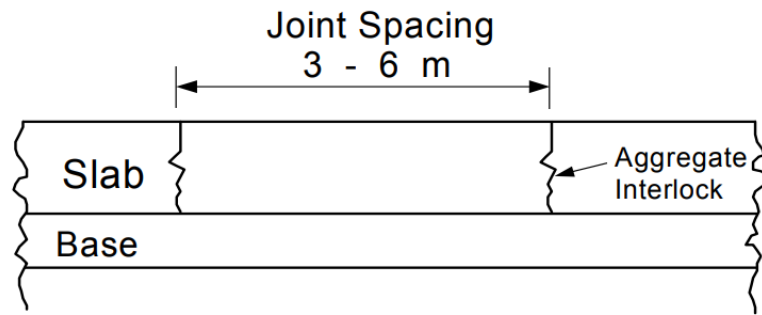
HDM 4 จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

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

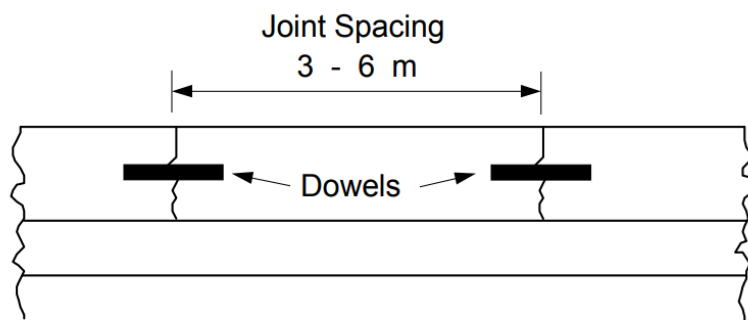
โดยแต่ละประเภทมีรายละเอียด ดังนี้

#### ถนนคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริมกันร้าว (Joint Plain Concrete Pavement: JPCP)

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



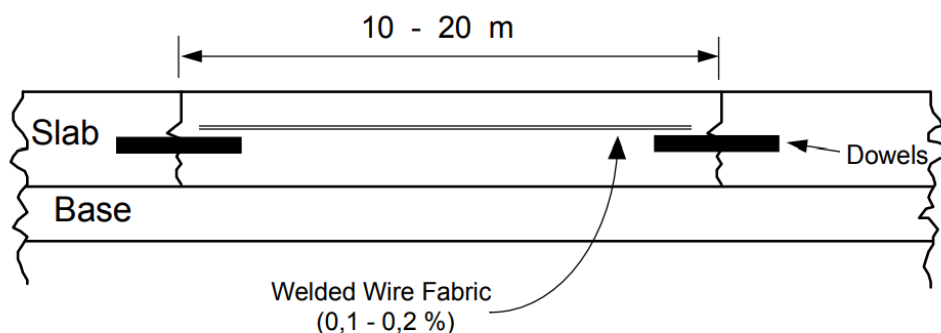
รูปที่ 4-139 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : ไม่มีลูกเดี๋ยย



รูปที่ 4-140 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเหล็กกันร้าว กรณี : มีลูกเดี๋ยย

### ถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว (Joint Reinforced Concrete Pavement : JRCP)

ถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าวบริเวณผิวส่วนบนของชั้นคอนกรีตและมีเหล็กเดี๋ยยเพื่อการถ่ายแรงบริเวณรอยต่อ ถนนคอนกรีตประเภทนี้สามารถสร้างให้มีระยะห่างระหว่างรอยต่อได้ห่างกว่าชนิด JPCP เนื่องจากมีเหล็กเสริมกันร้าวป้องกันไม่ให้เกิดรอยแตก โดยปกติถนนคอนกรีตชนิดนี้จะสามารถสร้างระยะห่างระหว่างรอยต่อได้ระหว่าง 10-20 เมตร

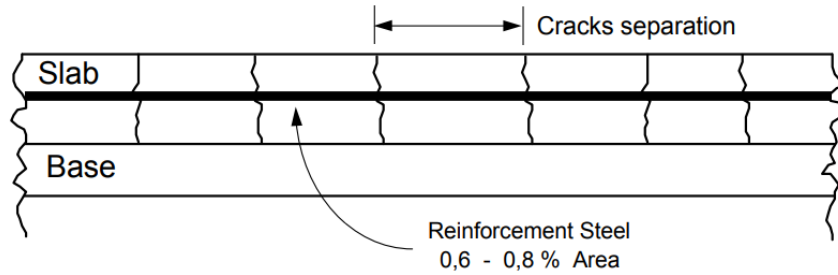


รูปที่ 4-141 รูปแบบถนนคอนกรีตที่เสริมเหล็กกันร้าว



### ถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง (Continuously Reinforced Concrete Pavement: CRCP)

ถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง ทั้งนี้รอยแตกแรกจะถูกป้องกันโดยเหล็กเสริมกันร้าวที่มากกว่า JRPC โดยเหล็กเสริมกันร้าวนี้จะทำหน้าที่ยึดรอยแตกที่เกิดขึ้นเข้าด้วยกัน และทำหน้าที่ถ่ายตรงบริเวณรอยแตก



รูปที่ 4-142 รูปแบบถนนคอนกรีตที่ก่อสร้างโดยไม่มีรอยต่อตามขวาง

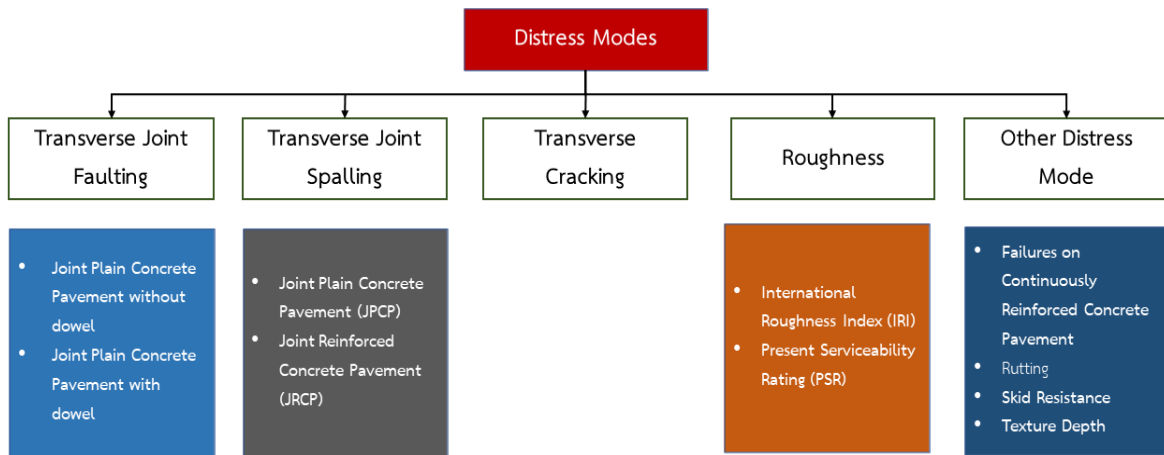
เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการอธิบายประเภทการเสื่อมสภาพของผิวทางถนนคอนกรีตในการศึกษาของ HDM 4 จึงได้ทำการเพิ่มในส่วนของพื้นที่เทบนชั้นฐาน (Type of Slab) และชนิดของชั้นผิว (Subgrade Types) เข้าไปในแบบจำลองเพื่ออธิบายการเสื่อมสภาพผิวทางตามประเภทความเสียหาย (Distress Types) และชนิดของพื้นผิวคอนกรีต ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-57

ตารางที่ 4-57 ประเภทชั้นผิวทางคอนกรีต

Base	Subgrade
Asphalt treated	Granular
Cement treated	Fine
Granular	
Fine	

### ประเภทการเสื่อมสภาพของพื้นผิวคอนกรีต

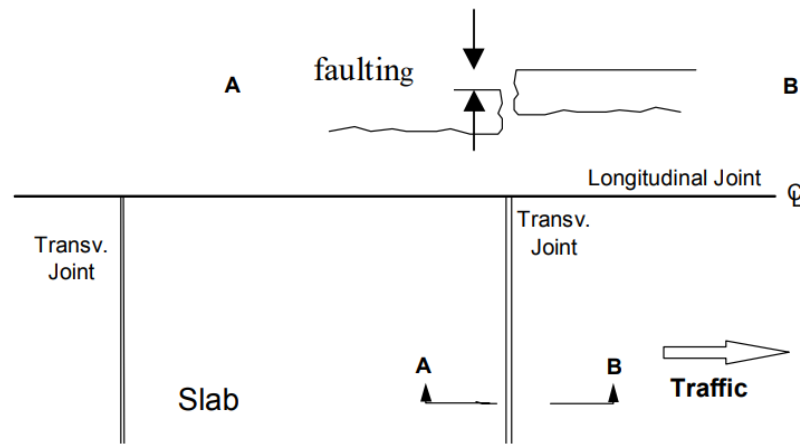
สำหรับการพิจารณาประเภทของการเสื่อมสภาพผิวทาง (Distress mode) ในกรณีของพื้นผิวคอนกรีต ตามการศึกษาของ HDM 4 จะแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ประกอบด้วย Transverse Joint Faulting, Transverse Joint Spalling, Transverse Cracking, Roughness และ ความเสียหายประเภทอื่น ๆ (Other Distress Mode) ทั้งนี้แต่ละประเภทจะมีการพิจารณาแบบจำลองที่ใช้คำนวณตามประเภทพื้นผิวคอนกรีต โดยประเภทการเสื่อมสภาพ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4-143 ประเภทความเสียหายที่เกิดกับพื้นผิวคอนกรีต

### Transverse Joint Faulting

ในกรณีนี้เป็นลักษณะความเสียหายในรูปแบบของการหลุดตัวต่างระดับ (Faulting) ซึ่งเป็นลักษณะความเสียหายที่สังเกตได้จากแผ่นพื้นที่ติดกันมีระดับแตกต่างกัน สาเหตุเกิดจากการหลุดตัวของชั้นฐานรากไม่เท่ากันหรือความคลาดเคลื่อนจากการใช้เหล็กเสริมถ่าน้ำหนัก



รูปที่ 4-144 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Faulting

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

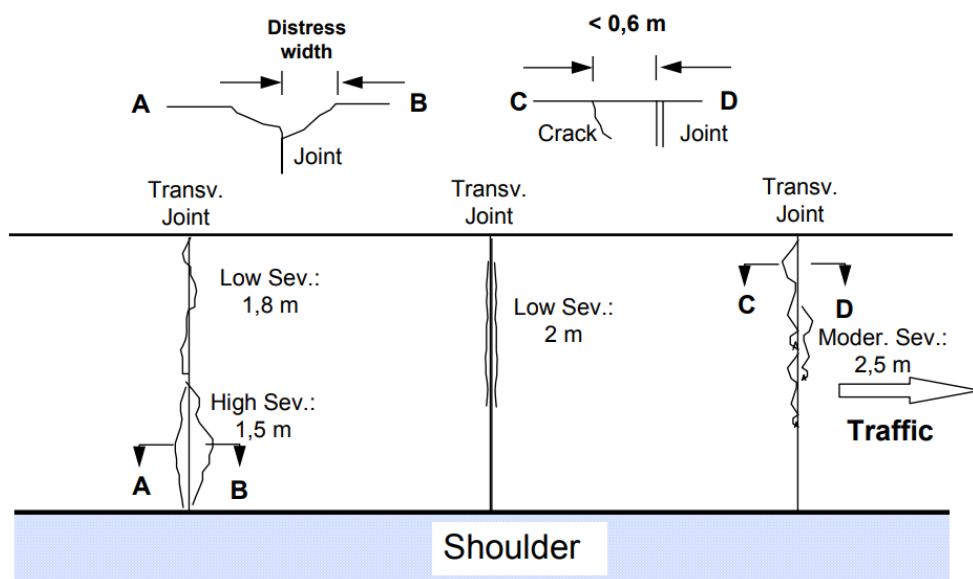
### Transverse Joint Spalling

ความเสียหายในรูปแบบของผิวทางแตกกะเทาะ (Spalling) โดยเป็นลักษณะความเสียหายที่เกิดรอยร้าวและแตกเป็นสะเก็ดตามรอยต่อและมีความลึกไม่มากนัก สาเหตุมักเกิดจากรอยต่อไม่เรียบ



หรือคอนกรีตที่เส้นของรอยต่อไม่แข็งแรง เมื่อมีน้ำหนักรวดทับจึงทำให้แตกบิ่นกะเทาะ โดยระดับความเสียหายที่เกิดจากการกะเทาะในการศึกษาของ HDM 4 ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

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



รูปที่ 4-145 รูปแบบการเกิด Transverse Joint Spalling

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

### Transverse Cracking

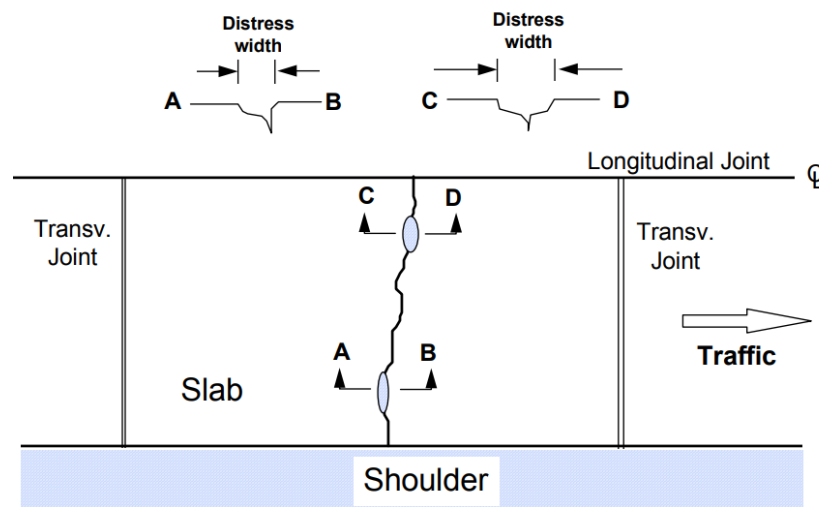
ในกรณีนี้คือความเสียหายที่เกิดรอยแตกตามแนวขวางของแผ่นพื้น (Slab) สาเหตุเกิดจากการบิดตัวของแผ่นพื้นเนื่องจากอุณหภูมิหรือการหดตัวไม่เท่ากันของชั้นทาง ทั้งนี้ในการศึกษาของ SHRP (1993) ได้แบ่งระดับความรุนแรงของ Transverse Cracking ออกเป็น 3 ระดับ คือ

- ความเสียหายระดับต่ำ โดยความกว้างของจุดที่แตกบริเวณพื้นผิวน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร โดยไม่เกิดการหลุดตัวต่างระดับและการกะเทาะ





- ความเสียหายระดับปานกลาง โดยความกว้างของจุดที่แตกบริเวณพื้นผิวอยู่ระหว่าง 3-6 มิลลิเมตร หรือเกิดการกะเทาะที่อยู่ในความเสียหายระดับต่ำ (น้อยกว่า 75 มิลลิเมตร) หรือมีการทรุดตัวที่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร
- ความเสียหายระดับสูง โดยความกว้างของจุดที่แตกบริเวณพื้นผิวอยู่มากกว่า 6 มิลลิเมตร หรือเกิดการกะเทาะที่อยู่ในความเสียหายระดับสูง (มากกว่า 75 มิลลิเมตร) หรือมีการทรุดตัวที่มากกว่า 6 มิลลิเมตร



รูปที่ 4-146 รูปแบบการเกิด Transverse Cracking

### การพิจารณาความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวคอนกรีต

สำหรับการพิจารณาค่า ความหยาบของผิวทาง (Roughness) ในการศึกษาของ HDM 4 สำหรับพื้นผิวของคอนกรีตจะสะท้อนออกมาเป็นค่า International Roughness Index (IRI) โดยมีหน่วยเป็น เมตรต่อกิโลเมตร ทั้งนี้ในบางแบบจำลองมีการพิจารณาคุณภาพการขับขี่ (Ride Quality) โดยสะท้อนออกมาในค่าของ Present Serviceability Rating (PSR) ซึ่งค่าดังกล่าว จะถูกสะท้อนออกมาในลักษณะของเกณฑ์ตั้งแต่ แย่มาก จนถึง ดีมาก ดังแสดงให้เห็นในตารางที่ 4-58

ตารางที่ 4-58 ค่า Present Serviceability Rating (PSR)

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



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

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

#### ความเสียหายประเภทอื่น ๆ (Other Distress Mode)

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

#### Failures on Continuously Reinforced Concrete Pavement

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

#### การเกิดร่อง (Rutting)

ความเสียหายในกรณีนี้ของพื้นผิวคอนกรีตจะไม่เหมือนกับกรณีของพื้นผิวบิตูมินัส ซึ่งความเสียหายที่จะทำให้เกิดกับพื้นผิวคอนกรีตคือการสึกหรอของยางที่ใช้เป็นตัวประสาน

สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการอธิบายการเกิดร่องในการศึกษาของ HDM 4 จะเป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับพื้นผิวบิตูมินัส ซึ่งไม่สามารถนำมาอธิบายกับพื้นผิวคอนกรีตได้

#### ความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีต (Skid Resistance)

แบบจำลองที่ใช้ในการพิจารณาและพยากรณ์ค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางคอนกรีตจะอ้างอิงตามแบบจำลองของ NDLI (1995)

#### ความลึกของพื้นผิว (Texture Depth)

ความเสียหายที่ส่งผลต่อความลึกของพื้นผิวคอนกรีต มีด้วยกันหลากหลายสาเหตุ ตั้งแต่การใช้พื้นผิวมาโครกับผิวทางคอนกรีตในขณะก่อสร้าง การเขาระ่องพลาสติก การขจัดคราบสกปรกโดยการแปรงลวดหรือการพ่นด้วยกรด รวมถึงสภาพแวดล้อม และปริมาณการจราจร ทั้งนี้ในการศึกษาของ HDM 4 ยังไม่ปรากฏแบบจำลองที่คาดการณ์การสูญเสียความลึกของพื้นผิวเนื่องจากการจราจรและสิ่งแวดล้อม



#### 4.7.6 การศึกษาการประยุกต์แบบจำลอง การเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS กับแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง

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

โดยในรายงานการศึกษาขั้นต้นนี้ จะเป็นการทบทวนแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง ของระบบ TPMS และแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.7.6.1 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS

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

$$dIRI = Kgp(134Exp(Kgm \times m \times AGE3) \times (1 + 0.75SNC)^{-5} \times YE4 + 0.0121AGE3) + (Kgm \times m \times RIa)$$

โดย  $AGE3$  คือ อายุสายทางตั้งแต่มีการเสริมผิว การบูรณะ หรือการก่อสร้างใหม่ (ปี)

$RIa$  คือ ค่าความขรุขระสากลเมื่อต้นปีที่สนใจ (ม./กม.)

$m$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม (อ้างอิง HDM-4 Volume 6 ตาราง B10-3)

$SNC$  คือ ค่าความแข็งแรงของโครงสร้างทางตั้งแต่มีการก่อสร้าง การเสริมผิว การบูรณะ หรือการก่อสร้างใหม่ครั้งล่าสุด (ASSHTO)

$YE4$  คือ Annual Number of Equivalent Standard Axles (ล้าน ESAL/ช่องทางจราจร/ปี)

$Kgp$  คือ ค่าปรับแก้อัตราการเสื่อมสภาพของความขรุขระผิวทาง



*Kgm* คือ ค่าปรับแก้ของค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม โดยที่ค่าตั้งต้นมีค่าเท่ากับ 1 (อ้างอิง HDM-4, Volume 5, P. 93-96)

#### 4.7.6.2 แบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง

แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของผิวทาง จากโครงการศึกษาเพื่อพัฒนาและบูรณาการระบบคลังข้อมูลงานวิจัยของกรมทางหลวง ของสำนักวิจัยและพัฒนาทางจะใช้วิธีการประมวลผลค่าดัชนีสภาพผิวทาง (Pavement Condition Index : PCI) ซึ่งการประเมินค่า PCI ในส่วนนี้จะไม่มีการพิจารณาค่า IRI ซึ่งเป็นดัชนีที่ชี้บ่งชี้ความราบเรียบการขับขี่ และจะไม่พิจารณาความหยาบของผิวทาง (MPD) ซึ่งเป็นคุณลักษณะของผิวทาง ไม่ใช่ความเสียหาย โดยมีสูตรการคำนวณ ดังนี้

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

โดย *PCI* คือ ค่าดัชนีสภาพทาง (Pavement Condition Index)

$\beta_{i,j}$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเสื่อมสภาพของความเสียหายประเภท *i* ที่ระดับความรุนแรง *j* โดยค่าสัมประสิทธิ์สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและผิวทางคอนกรีต

$D_{i,j}$  คือ ร้อยละของประเภทความเสียหายประเภท *i* ที่ระดับความรุนแรง *j* ภายพื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน โดยวิธีการคำนวณค่า  $D_{i,j}$  จะแบ่งตามหน่วยนับความเสียหาย ซึ่งมี 3 รูปแบบ ดังนี้

- ความเสียหายประเภทที่มีหน่วยนับเป็น ตร.ม. โดย  $D_{i,j} = (\text{พื้นที่ความเสียหาย} \times 100) / \text{พื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน}$
- ความเสียหายประเภทที่มีหน่วยนับเป็น ม. โดย  $D_{i,j} = (\text{ความยาวความเสียหาย} \times 0.5 \text{ ม.} \times 100) / \text{พื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน}$  โดยสมมติให้ความกว้างประสิทธิภาพของความเสียหายเชิงเส้นมีค่าเท่ากับ 0.5 ม.
- ค่าเฉลี่ยความลึกร่องล้อซึ่งมีหน่วยเป็น มม. วิธีการประมวลผลจะสมมติให้ความกว้างแนวล้อด้านซ้ายและแนวล้อด้านขวาที่ใช้ค่าความลึกร่องล้อของช่องจราจรนั้น ๆ มีความกว้างด้านละ 0.75 ม. ตามคำจำกัดความแถบแนวล้อ (Wheel Path Band) ของ AASHTO ทั้งนี้การแบ่งระดับความรุนแรงของความลึกร่องล้ออ้างอิง



คู่มือตรวจสอบและประเมินสภาพความเสียหายของผิวทาง กรมทางหลวง (2550)

ดังนี้

- ความเสียหายเล็กน้อย (Low) ร่องล้อสึกเฉลี่ย 6 มม. – 12 มม.
- ความเสียหายปานกลาง (Medium) ร่องล้อสึกเฉลี่ย 12 มม. – 25 มม.
- ความเสียหายรุนแรง (High) ร่องล้อสึกเฉลี่ยมากกว่า 25 มม.

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

$N_{Type}$  คือ จำนวนประเภทความเสียหายที่มีทั้งหมดภายในพื้นที่ผิวทางที่จะประเมิน

$N_{Level}$  คือ จำนวนระดับความรุนแรงของแต่ละประเภทความเสียหาย ซึ่งมี 3 ระดับคือ เล็กน้อย ปานกลาง และสูง

#### 4.7.6.3 เปรียบเทียบแบบจำลองการเสื่อมสภาพทาง (Deterioration Model) ของระบบ TPMS กับสำนักวิจัยและพัฒนาทาง

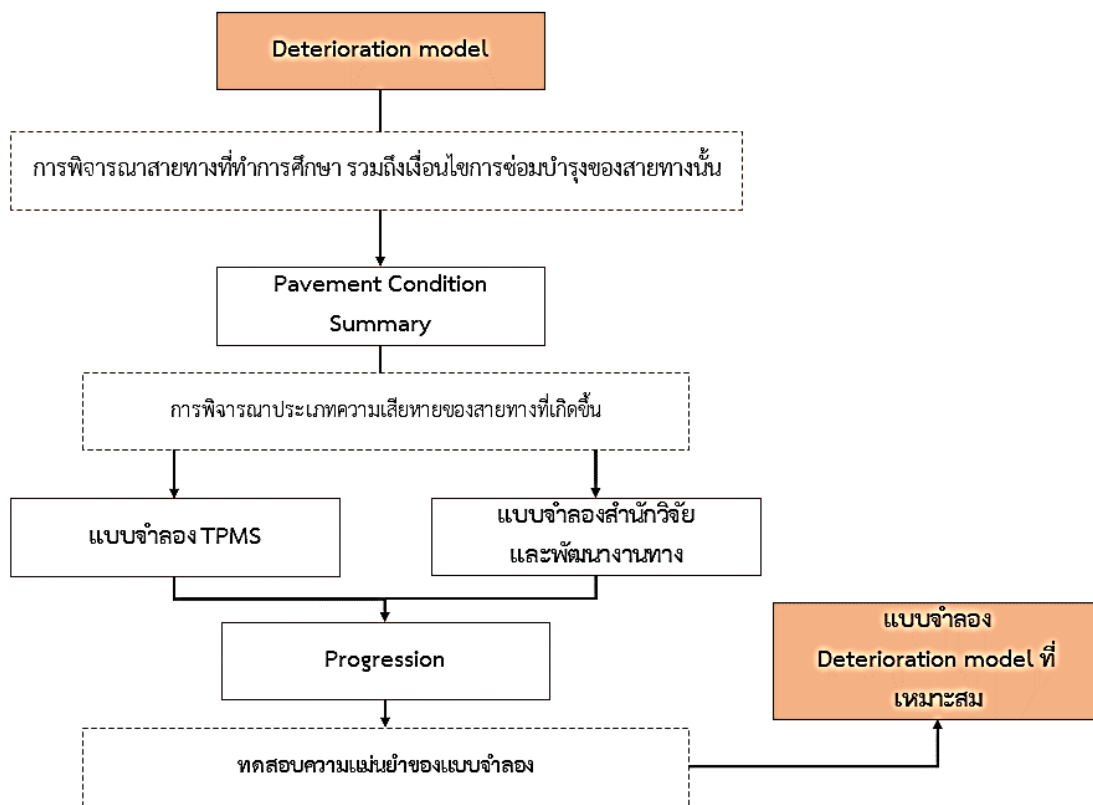
เมื่อพิจารณาแบบจำลองที่ใช้ในการเสื่อมสภาพทางของระบบ TPMS ของสำนักวิจัยและพัฒนาทาง นั้นมีความแตกต่างกัน โดยแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของระบบ TPMS จะอธิบายการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความขรุขระ เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปรวมถึงมีการได้รับการซ่อมบำรุง โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาจะเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าดัชนีความขรุขระเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากแบบจำลองการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพทางของสำนักวิจัยและพัฒนาทางที่วิเคราะห์ออกมาในรูปแบบของค่าดัชนีสภาพทาง โดยเป็นการนำระดับความรุนแรงของความเสียหายสภาพผิวทางในแต่ละประเภทมาวิเคราะห์ เพื่อแปลงเป็นคะแนนสภาพผิวทาง โดยมีคะแนนตั้งแต่ 0-100 คะแนน ซึ่งคะแนนยิ่งมากนั้นแสดงให้เห็นว่า ความรุนแรงของความเสียหายที่พิจารณา ส่งผลกระทบต่อผิวทางน้อย ไม่ต้องทำการซ่อมบำรุงผิวทางนั้น

เพื่อให้การวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 มีความชัดเจนมากขึ้น ที่ปรึกษาจะนำแนวทางการวิเคราะห์ความเสียหายของผิวทางของแบบจำลองทั้ง 2 มาพิจารณาเปรียบเทียบกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นข้อมูลที่สำรวจได้ในโครงการ **ทั้งนี้วิธีที่ใช้ในการพิจารณาแบบจำลองใดมีความเหมาะสมและแม่นยำในการประมาณค่าความเสียหาย จะถูกนำเสนอในรายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 (Progress Report 1)** โดยขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลองดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4-147 เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการวางมาตรการการซ่อมบำรุง รวมถึงการทำแผนงบประมาณในการซ่อมบำรุงผิวทางให้มีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้นต่อไป



โดยขั้นตอนการเปรียบเทียบแบบจำลองมีดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 การพิจารณาสายทางที่ทำการศึกษา รวมถึงเงื่อนไขการซ่อมบำรุงของสายทางนั้น
- ขั้นตอนที่ 2 การพิจารณาประเภทความเสียหายของสายทางที่เกิดขึ้น
- ขั้นตอนที่ 3 นำแบบจำลอง TPMS และแบบจำลองสำนักวิจัย และพัฒนางานทางวิเคราะห์ความเสียหายของสายทางที่พิจารณา
- ขั้นตอนที่ 4 นำแบบจำลอง TPMS และแบบจำลองสำนักวิจัยและพัฒนางานทางวิเคราะห์การขยายตัว (Progression) ความเสียหายของสายทางที่ทำการศึกษา
- ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบและเปรียบเทียบความแม่นยำของแบบจำลอง TPMS และแบบจำลองสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง



รูปที่ 4-147 แนวทางการเปรียบเทียบแบบจำลองการเสื่อมสภาพทางของระบบ TPMS

กับสำนักวิจัยและพัฒนางานทาง





#### 4.7.7 การศึกษาเครื่องมือประเมินสมรรถนะของถนน ในมิติอื่นๆ นอกจากเครื่องมือประเมินสภาพผิวทาง ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

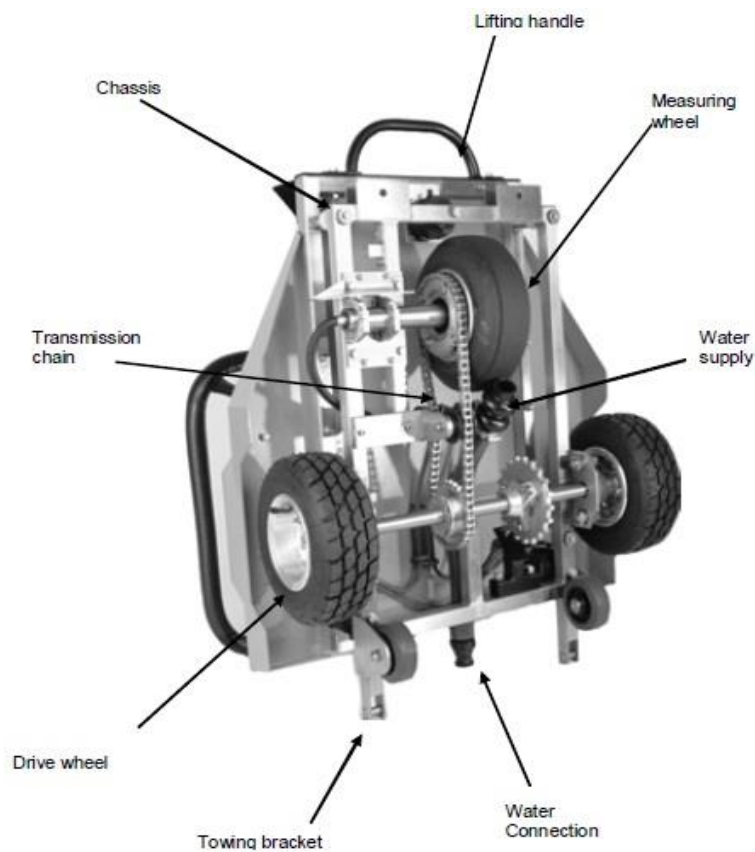
ที่ปรึกษาจะทำการศึกษาเครื่องมือประเมินสมรรถนะของถนนในมิติอื่น ๆ นอกจากเครื่องมือประเมินสภาพผิวทาง โดยมีตัวอย่างการเครื่องมือที่นิยมใช้ดังต่อไปนี้

##### 1) เครื่องมือสำรวจข้อมูลความเสียดทาน (Skid Resistance)

##### 1.1) การสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment)

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

โดยการสำรวจความเสียดทานแบบต่อเนื่อง (Continuous Friction Measuring Equipment) ในโครงการนี้จะทำการสำรวจความต้านทานการลื่นไถลด้วยเครื่องมือตรวจวัดค่าความเสียดทานที่ความเร็วสูงแบบ Fixed-Slip Friction Testing Device ซึ่งเป็นการทดสอบความฝืดผิวทาง โดยวิธีวัดความฝืดระหว่างผิวทางถนนกับล้อยางของรถทดสอบ ที่มีลักษณะเป็นรถทดสอบพ่วง 2 ล้อ และล้อทดสอบ 1 ล้อ ติดตั้งอยู่กับเพลลา ดังรูปที่ 4-148 และมีกลไกที่ใช้ต้านทานการเคลื่อนที่โดยเกียร์ และระบบโซ่เชื่อมกับเพลาล้อขับเคลื่อนทำให้เกิดการหมุนที่ล้อทดสอบ กำหนดน้ำหนักที่กระทำลงบนล้อทดสอบในแนวตั้ง เพื่อสามารถคำนวณแรงที่กดลงบนพื้นผิวทาง อันเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อความเสียดทานที่จะทดสอบได้ ในการทดสอบจะทดสอบด้วยล้อในสภาพพื้นผิวเปียกที่ความเร็วคงที่ ด้วยการวัดแรงลื่นไถลสำหรับการทดสอบผิวทางในสภาพเปียกน้ำจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ถังน้ำ ซึ่งอยู่บนรถลากต่อท่อกับวาล์วควบคุมหัวฉีดน้ำที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหน้าของล้อทดสอบ เพื่อปล่อยน้ำที่บริเวณล้อทดสอบ ควบคุมโดยชุดปั๊มที่ติดตั้งอยู่ในชุดรถทดสอบ เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มน้ำตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ เมื่อเริ่มการวิ่งตัวรถทดสอบจะตรอบของล้อยางรถทดสอบให้ต่ำกว่ารอบที่รถลากขณะวิ่ง จึงเป็นการจำลองการห้ามล้อแบบไม่ลือกล้อ (Anti-Brake System) ทำให้สามารถทดสอบความเสียดทานตามยาวในลักษณะต่อเนื่องได้ (Continuous Longitudinal Friction)



รูปที่ 4-148 เครื่องมือ Fixed Slip

## 1.2) การสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance)

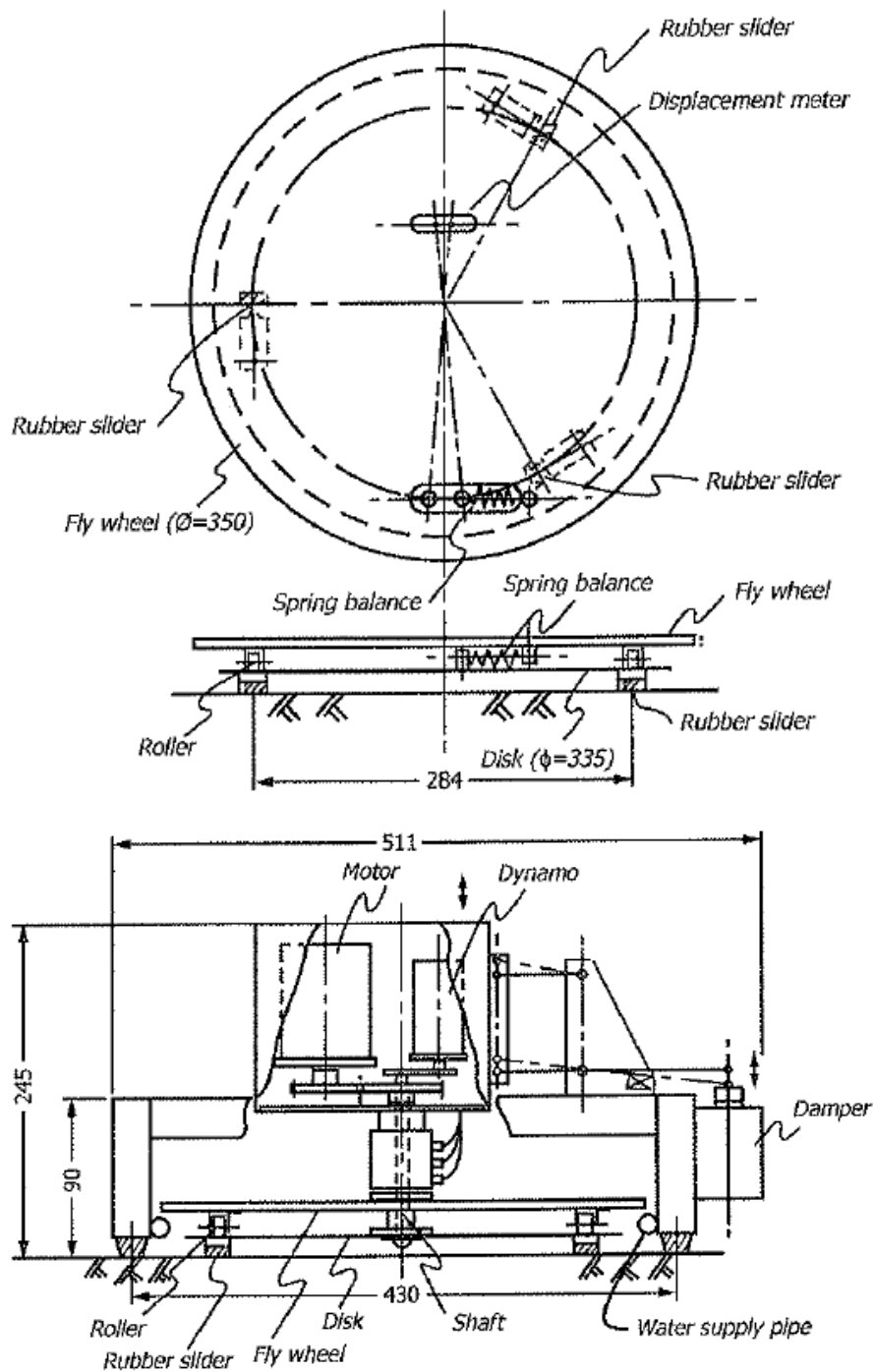


การสำรวจข้อมูลความเสียดทานแบบจุด (Skid Resistance) ในโครงการนี้จะดำเนินการทดสอบด้วยเครื่อง Dynamic Friction Tester (DFT) ซึ่งเป็นเครื่องมือทดสอบที่นิยมใช้ในประเทศไทย โดยเป็นระบบโครงสร้างที่ควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ โดยปกติจะถูกเก็บที่ 12, 24, 36, และ 48 ไมล์/ชม. หรือ 20, 40, 60, และ 80 กม./ชม. ความเร็วนี้มีความสัมพันธ์กับแรงเสียดทาน เครื่องนี้ควรติดกับตัวรถที่มีแท็งก์น้ำและคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยดำเนินการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E1911 แสดงดังรูปที่ 4-149 เครื่องทดสอบ DFT จะมีส่วนประกอบได้แก่



รูปที่ 4-149 เครื่องมือ Dynamic Friction Tester (DFT)

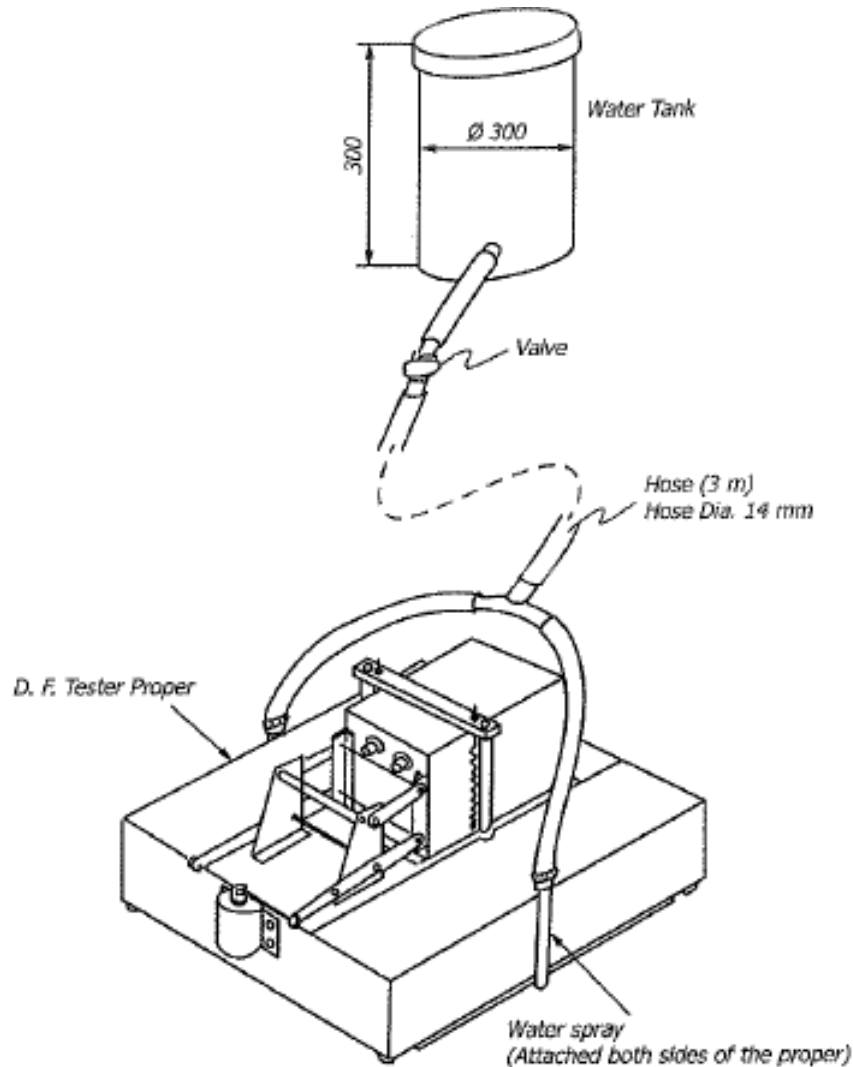
1. ตัวเครื่องทดสอบ DFT แสดงรายละเอียดตัวเครื่องทดสอบดังรูปที่ 4-150 ประกอบด้วยฐานหมุน และจานหมุน (Fly wheel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 350 มิลลิเมตร ซึ่งจะถูกลบเคลื่อนโดยชุดมอเตอร์ แผ่นยาง (Rubber slider) 3 แผ่น ถูกติดตั้งไว้บนจานหมุนระยะห่างเท่า ๆ กัน ซึ่งแต่ละแผ่นจะรับน้ำหนักจากเครื่องทดสอบข้างละ 11.8 N Spring Balance เชื่อมระหว่างฐานหมุนและจานหมุนเข้าด้วยกัน เพื่อลดค่าการแอ่นตัวระหว่างแผ่น 2 แผ่นดังกล่าว



รูปที่ 4-150 ตัวเครื่องทดสอบ DFT (หน่วย มิลลิเมตร)



2. Water Supply (ถังน้ำเลี้ยง) แสดงรูปที่ 4-151 จะปล่อยน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงพื้นผิวให้เปียกอยู่เสมอ โดยถังจะอยู่สูงกว่าเครื่องทดสอบ 0.6 เมตร อัตราการไหลของน้ำอยู่ที่ 3.6 ลิตรต่อนาที ความหนาของชั้นฟิล์มน้ำอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร

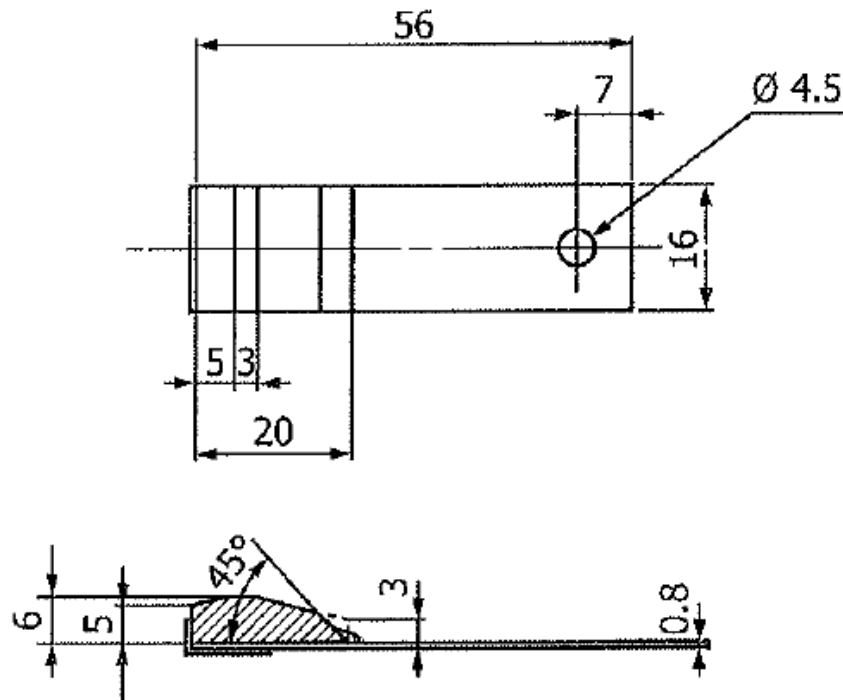


*Tank must be placed 60 cms higher than road surface. The amount of spraying water at the height is 60 cc/min.*

รูปที่ 4-151 Water Supply (หน่วย มิลลิเมตร)



3. แผ่นยางทดสอบ (Rubber Slider) แสดงดังรูปที่ 4-152 ประกอบด้วยแผ่นเหล็กขนาด 6x16x20 มิลลิเมตร ติดเข้ากับแผ่นยาง ซึ่งได้มาตรฐานความแข็งแรงของยาง ASTM E501 โดยความแข็งแรงของยางอยู่ที่  $58 \pm 2$  สามารถรับแรงดันได้สูงสุด 150 kPa แผ่นยางจะต้องเปลี่ยนทุกครั้งหลังจากการใช้งานครบ 12 รอบ



รูปที่ 4-152 แผ่นยางทดสอบ (Rubber slider)

- 2) การสำรวจการสำรวจการสะท้อนของเส้นจราจร (Pavement Marking)

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





รูปที่ 4-153 อุปกรณ์ Road Stripe Assessment at Highway Speeds

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

- เครื่องมือสามารถวัดค่าการสะท้อนแสงของเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง (Retroreflective Road Marking) ได้บนยานพาหนะตรวจวัด



รูปที่ 4-154 ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือ Pavement Marking Retro Reflectivity กับยานพาหนะ



- เครื่องมือสามารถวัดค่าการสะท้อนของสีตีเส้นจราจรหรือเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง (Pavement Marking Retro Reflectivity) ตามมาตรฐาน ASTM E1710 (Standard Test Method for Measurement of Retro Reflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retro Reflectometer) และ EN 1436 (Road Marking Performance For Road Users) ซึ่งเครื่องมือ Mobile Retro reflectometer จะมีหน่วยเป็น  $cd/lx/m^2$



Designation: E 1710 – 97

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS  
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428  
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

### Standard Test Method for Measurement of Retroreflective Pavement Marking Materials with CEN-Prescribed Geometry Using a Portable Retroreflectometer<sup>1</sup>

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

#### 1. Scope

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

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

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

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

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

#### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*  
D 4061 Test Method for Retroreflectance of Horizontal Coatings<sup>2</sup>  
E 284 Terminology of Appearance<sup>2</sup>  
E 809 Practice for Measuring Photometric Characteristics of Retroreflectors<sup>2</sup>
- 2.2 *Other Standards:*  
CEN EN 1436 Road Marking Materials—Road Marking

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-12 on Appearance and is the direct responsibility of Subcommittee E12.10 on Retroreflection.

Current edition approved Dec. 10, 1997. Published September 1998. Originally published as E 1710 – 95. Last previous edition E 1710 – 95a.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

#### Performance for Road Users<sup>3</sup>

#### 3. Terminology

3.1 The terminology used in this test method generally agrees with that used in Terminology E 284.

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

3.2.1 *coefficient of retroreflected luminance,  $R_L$ ,  $n$* —the ratio of the luminance,  $L$ , of a projected surface to the normal illuminance,  $E_1$ , at the surface on a plane normal to the incident light, expressed in candelas per square metre per lux ( $cd \cdot m^{-2} \cdot lx^{-1}$ ).

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

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

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

3.2.4 *entrance angle,  $\beta, n$* —the angle between the illumination axis and the retroreflector axis.

3.2.5 *observation angle,  $\alpha, n$* —the angle between the illumination axis and the observation axis.

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

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

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

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

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

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

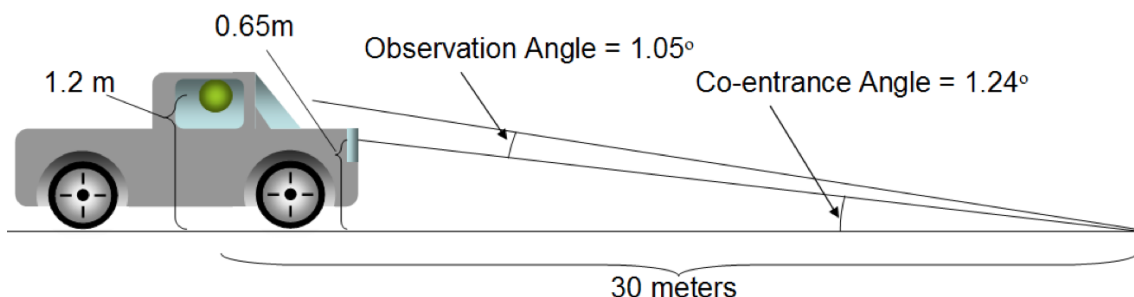




รูปที่ 4-155 มาตรฐาน ASTM E1710 และ EN 1436

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

### Standard 30 Meter Geometry



รูปที่ 4-156 รูปแบบการตรวจวัดตามแบบจำลองการมองเห็นที่ระยะ 30 เมตร





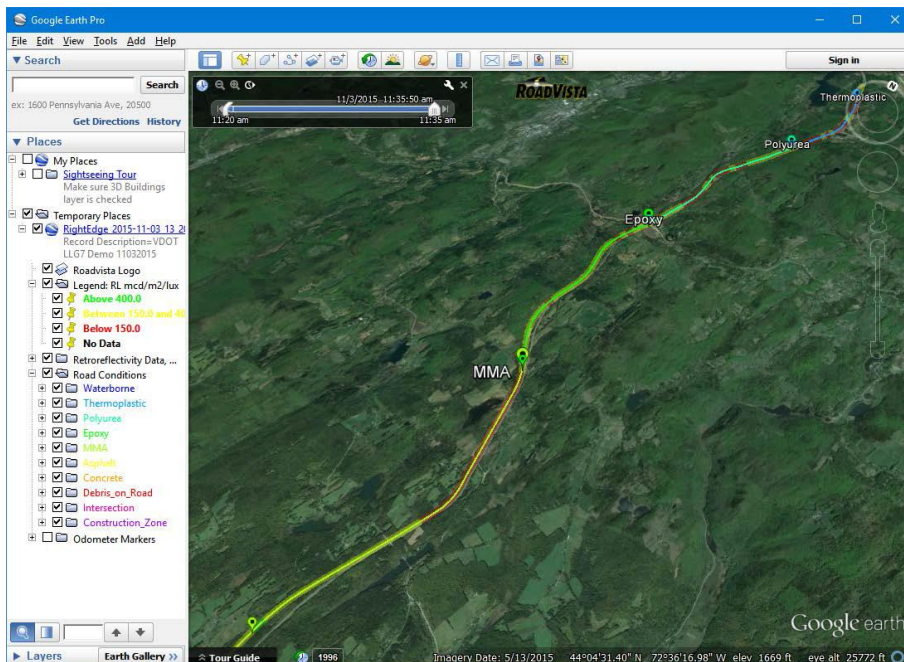
รายงานเบื้องต้น (Inception Report)  
โครงการสำรวจและประเมินสภาพโครงข่ายทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ  
การใช้จ่ายงบประมาณบำรุงรักษาทางหลวงในระยะยาว ปี 2565

- เครื่องมือสามารถติดตั้งบนยานพาหนะและวิ่งได้ด้วยความเร็ว 20 - 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีความกว้างที่เลเซอร์สามารถตรวจวัดได้ ขยายออกจากด้านข้างตัวอุปกรณ์ข้างละ 50 เซนติเมตร



รูปที่ 4-157 ตัวอย่างการเก็บข้อมูลขณะรถเคลื่อนที่

- เครื่องมือสามารถบันทึกค่าพิกัดในระบบ GPS ที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่จัดเก็บได้



รูปที่ 4-158 ตัวอย่างการระบุค่าพิกัดในระบบ GPS ของข้อมูล



- เครื่องมือมีระบบสำหรับวิเคราะห์ผลการตรวจวัดสามารถบันทึกค่า และให้ผลลัพธ์ได้ในทันที (Real-time Data Acquisition and Analysis)



รูปที่ 4-159 ตัวอย่างการแสดงผล และบันทึกผลการสำรวจแบบ Real-time Data Acquisition and Analysis

### 3) การตรวจวัดความสว่างของไฟฟ้าแสงสว่าง

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้วัดความสว่าง (Luminance) หรือความส่องสว่าง (Illuminance) นั้นมีอยู่มากมาย ทำให้ความต้องการในการใช้งานอุปกรณ์ในการวัดและวิเคราะห์แสงที่มีประสิทธิภาพ สะดวก รวดเร็ว รวมถึงสามารถแสดงผลข้อมูลแสงสว่างต่าง ๆ ที่มีความซับซ้อนได้เพิ่มมากขึ้น อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique จึงเครื่องมือหนึ่งที่สามารถตอบโจทย์ของผู้ใช้งานเหล่านั้นได้เป็นอย่างดีด้วยความสามารถในการวัดค่า Luminance ได้ง่ายโดยการถ่ายภาพเพียงครั้งเดียว ก็สามารถนำภาพที่ได้ไปดำเนินการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ทั้งค่าความสว่าง (Luminance) ความสม่ำเสมอของแสง (Uniformity) และค่าแสงแยงตา (Glare) ได้ อีกทั้งสามารถใช้วัดแสงได้หลากหลายประเภท ทั้งแสงสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ แสงภายในอาคาร แสงภายนอกอาคาร ไปจนถึงแสงไฟบนถนน รวมไปถึงการที่อุปกรณ์มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาได้ง่าย และสามารถใช้งานได้ในทุกสภาพแวดล้อม ทำให้อุปกรณ์นี้จึงเป็นเหมือนเครื่องมือที่เข้ามาช่วยพัฒนาการใช้งานเก็บข้อมูล และยกระดับเทคโนโลยีด้านไฟส่องสว่างได้ โดยมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

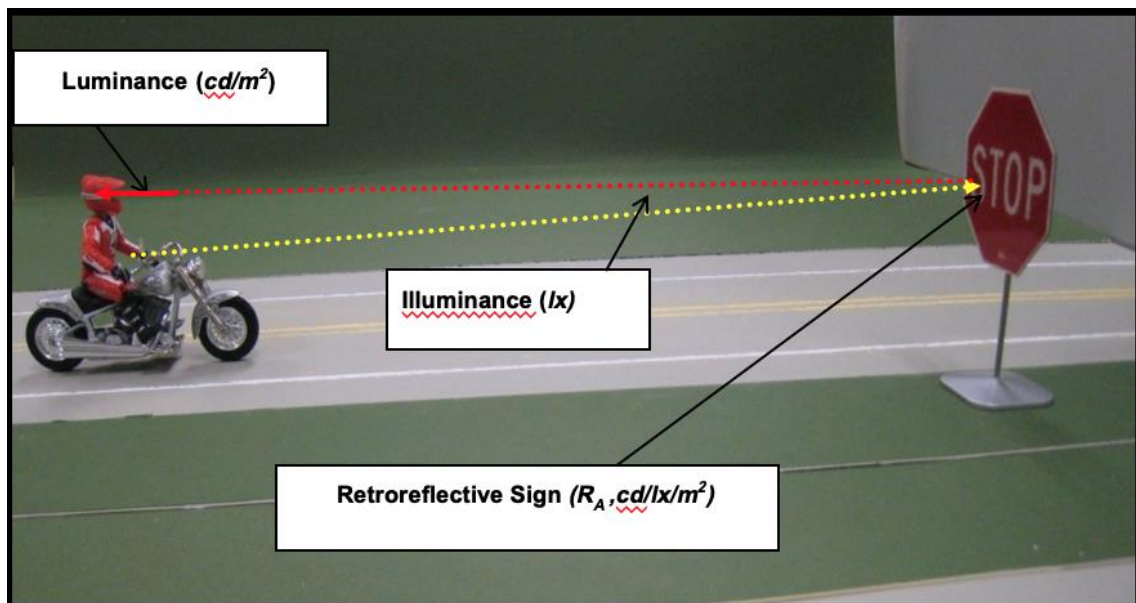
- **ความส่องสว่าง (Illuminance, E)** คือ ปริมาณแสงที่ตกกระทบบนพื้นผิวต่อพื้นที่ อาจเรียกว่า ระดับความสว่าง (Lighting Illuminance level) เพื่อบอกว่าพื้นที่นั้น ๆ ได้รับความสว่างมากน้อยเพียงใด มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (Lux, lx) ค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่สามารถดูคำแนะนำได้จากมาตรฐาน TIEA-GD 003 ของสมาคมไฟฟ้าแสงสว่างแห่งประเทศไทย



- **ความสว่าง (Luminance, L)** คือ ปริมาณแสงสะท้อนออกมาจากพื้นผิวใด ๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งต่อพื้นที่ หรือเรียกว่า ความจ้า (Brightness) ซึ่งปริมาณแสงที่เท่ากัน เมื่อตกกระทบลงมาบนวัตถุที่มีสีต่างกันจะมีปริมาณแสงสะท้อนกลับต่างกัน ทำให้เห็นวัตถุมีความสว่างต่างกัน มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร

โดยทั้งค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L) มีความสัมพันธ์โดยคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

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



รูปที่ 4-160 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความส่องสว่าง (Illuminance, E) และความสว่าง (Luminance, L)

- **Glare (แสงจ้า)** หรือ แสงแยงตา คือ สภาวะของแสงที่สว่างมากเกินไป ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนต่อการมองเห็น โดยทั่วไปมักแบ่งเป็นสองชนิด คือ
  - Disability Glare คือ สภาวะแสงจ้าที่มากเกินไปและส่งผลต่อความสามารถในการมองเห็นโดยตรง
  - Discomfort Glare คือ สภาวะแสงจ้าที่ไม่มากเกินไป แต่ทำให้เกิดความไม่สบายตาเนื่องจากแสงที่สว่างเกินกว่าความสว่างที่สายตاپกติจะสามารถรับได้ เมื่อผ่านไปช่วงเวลาหนึ่งก็ยังคงรับรู้ถึงความสว่างนั้นได้อยู่





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



รูปที่ 4-161 ตัวอย่างของแสงไฟที่ทำให้เกิด Disability and Discomfort Glare

นอกจากนี้ในพื้นที่เปิด สำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่มีขนาดเล็กแต่มีความสว่างสูง มักจะทำให้เกิด Glare Effect ได้ง่าย ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีพื้นผิวมากขึ้น ก็จะช่วยเพิ่มความสามารถในการมองเห็นได้

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

Uniformity สามารถวัดค่าได้โดย  $minimal\ illuminance / weighted\ average\ illuminance$

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





ยิ่งค่า Uniformity มีค่าใกล้เคียง 1 จะแสดงว่าพื้นที่นั้นมีค่าความสม่ำเสมอของแสงที่สูง ซึ่งเป็นค่าที่มีความสำคัญสำหรับการบอกถึงระดับความสว่างที่เหมาะสมของพื้นที่ทำงาน โดยทั่วไปแล้วสำหรับงานที่ต้องใช้การเพ่งมองสูง ควรมีค่าความสม่ำเสมอที่มากกว่า 0.7 และงานอื่น ๆ ไม่ควรต่ำกว่า 0.6 นอกจากนี้สำหรับการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ ความสม่ำเสมอของแสงในจอคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงด้วยตัวเองและความสม่ำเสมอของแสงของพื้นที่บริเวณโดยรอบไม่ควรมีค่าที่แตกต่างกันมาก รวมถึงค่า Uniformity ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการมองเห็นสำหรับสิ่งแวดล้อมภายนอกโดยเฉพาะสำหรับผู้ขับขี่บนถนน โดยทั่วไปถนนควรจะมีค่าความแตกต่างของระดับแสงสว่างที่ต่ำ และมีค่าความสม่ำเสมอของแสงที่สูง เนื่องจากหากมีความแตกต่างระหว่างระดับแสงที่สูงแล้วจะทำให้เกิดความไม่สบายตา ความเครียด เหนื่อยล้าและอาจทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน เพราะสายตาของมนุษย์ต้องใช้เวลาในการปรับตัวกับระดับแสงที่แตกต่างกัน ดังนั้น หากต้องปรับสายตาทบ่อย ๆ อาจทำให้เกิดการมองเห็นที่ผิดพลาดและเกิดอุบัติเหตุได้หน่วยการวัดของแสงต่าง ๆ รายละเอียดดังตารางที่ 4-59

ตารางที่ 4-59 หน่วยการวัดของแสง

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



### อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

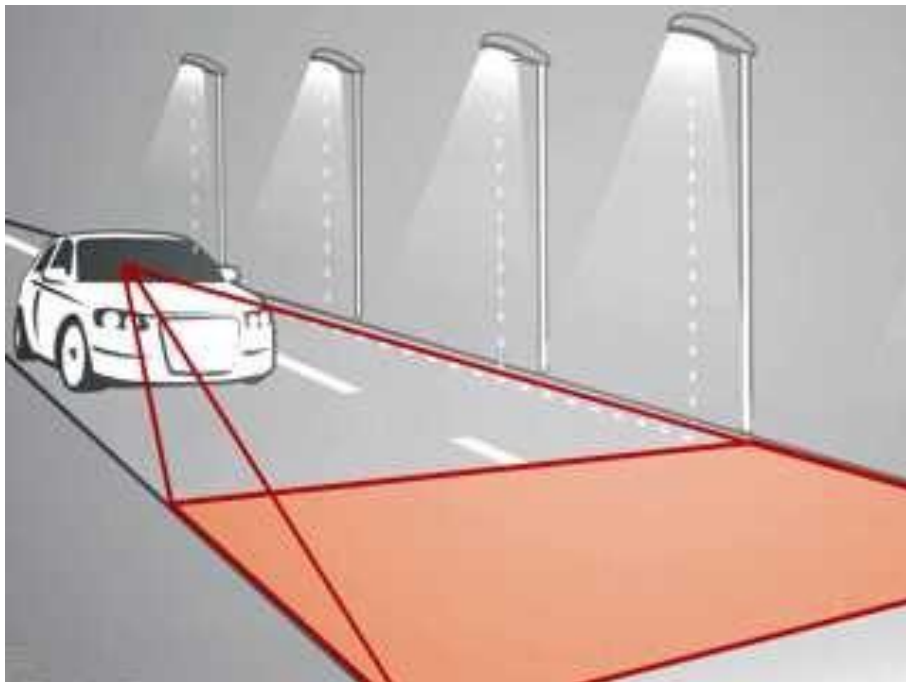
อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique จะดำเนินการเก็บข้อมูลความสว่าง โดยทำการถ่ายภาพของสถานะแสงนั้น ๆ ดังรูปที่ 4-162 ถึงรูปที่ 4-164 จากนั้นระบุระดับความสว่างที่สะท้อนมาจากวัตถุต่าง ๆ (Luminance) โดยที่สามารถบันทึกได้ทั้งแบบเป็นภาพนิ่งและแบบภาพนิ่งต่อเนื่อง ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานในการเก็บข้อมูลขณะใช้ยานพาหนะเคลื่อนที่ เช่น การเก็บข้อมูลแสงสว่างบน ถนน ทางด่วน สะพาน และอื่น ๆ โดยวิธีนี้มีความสะดวกรวดเร็ว และให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำ อย่างไรก็ตาม การถ่ายภาพนิ่งต่อเนื่อง จำเป็นต้องมีความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม โดยมีช่วงความเร็วไม่เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทดสอบ



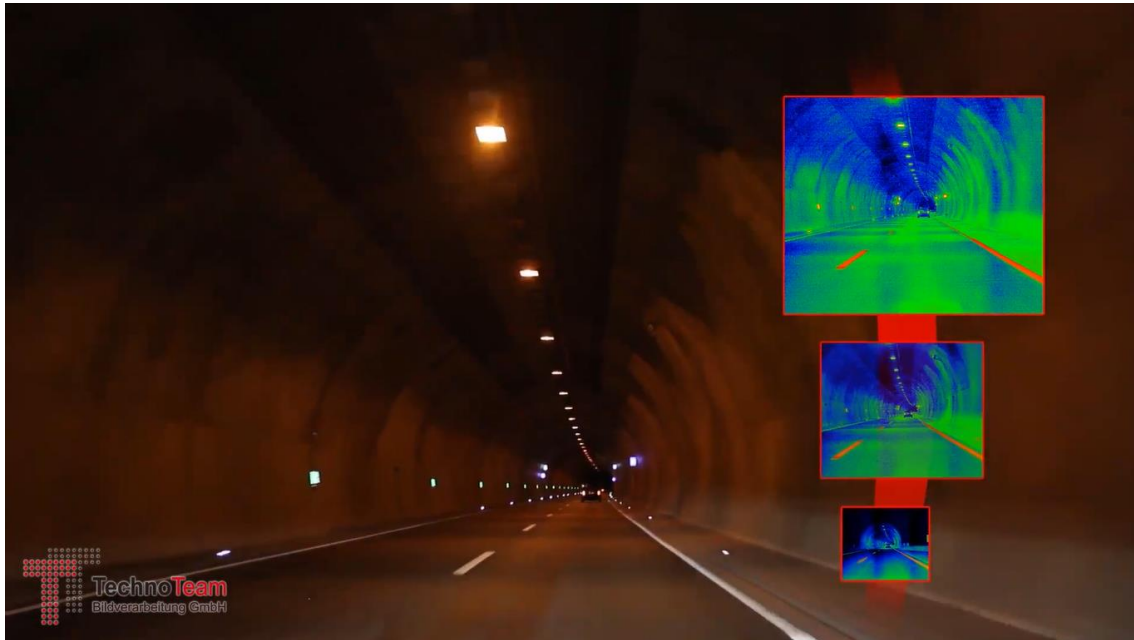
รูปที่ 4-162 อุปกรณ์ Photometer Imaging Light Technique



รูปที่ 4-163 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์บนถนน



รูปที่ 4-164 ตัวอย่างการใช้งานอุปกรณ์ภายในพาหนะ



รูปที่ 4-165 ตัวอย่างภาพที่ได้ขณะใช้งานโหมดการถ่ายภาพต่อเนื่อง

#### 4) การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทาง (Pavement Strength)

การสำรวจความแข็งแรงของโครงสร้างทางด้วยเครื่องมือสำรวจ Falling Weight Deflectometer (FWD) มีหลักการทำงานโดยการปล่อยตุ้มน้ำหนักตกกระทบแท่งลงบนผิวทาง แล้วทำการวัดค่าการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นและคำนวณย้อนกลับ โดยค่าการแอ่นตัวนั้นเพื่อหาค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งค่าโมดูลัสเหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการคำนวณอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของถนนและสามารถประยุกต์ใช้ในการออกแบบการเสริมผิวทางต่อไปได้ โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือดังต่อไปนี้

##### 4.1) รถตุ้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD



รูปที่ 4-166 ตัวอย่างรถตุ้ลากจูงและรถลากพ่วงทดสอบเครื่องมือ FWD



4.2) ชุดอุปกรณ์ทดสอบของรถลากพ่วง ได้แก่ แผงวงจรควบคุม Geophone  
แผ่น Plate ปีมลุม และแผ่นน้ำหนัก



รูปที่ 4-167 ตัวอย่างชุดอุปกรณ์ทดสอบ FWD

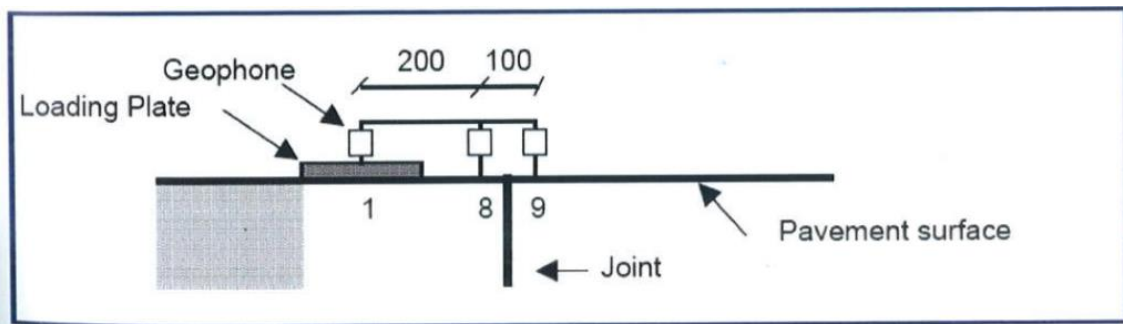
สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือ FWD การวางตำแหน่งของ Geophone ในการทดสอบ  
เพื่อต้องการวัดพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงจากการให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบ โดยมีรายละเอียดของ  
ตำแหน่ง ดังตารางที่ 4-60

ตารางที่ 4-60 ตำแหน่งของ Geophone เครื่องมือทดสอบ FWD

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



สำหรับกรณีของพื้นผิวทางคอนกรีต (Rigid Pavement) สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการถ่ายแรงที่ตำแหน่งรอยต่อ (Joint) ได้โดยกำหนดตำแหน่งของ Geophone ของเครื่องมือทดสอบให้คร่อมรอยต่อ (Joint) ของพื้นผิวทางคอนกรีต โดยมีตัวอย่างดังรูปที่ 4-168 มาตรการวัดแรง (Load Cell) ที่ติดตั้งบนแผ่นเหล็กมาตรฐานจะวัดแรงที่กระทำบนแผ่นเหล็กมาตรฐานในขณะที่การยุบตัว (Deformation) ของพื้นผิวที่เกิดการกระแทกข้างต้นจะถูกวัดด้วย Geophones ที่ติดตั้งบนพื้นผิวในตำแหน่งที่ห่างจากแผ่นเหล็กมาตรฐานที่ระยะต่าง ๆ



รูปที่ 4-168 ตัวอย่างการติดตั้ง Geophone บริเวณรอยต่อของผิวทางคอนกรีต

#### 5) การตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร

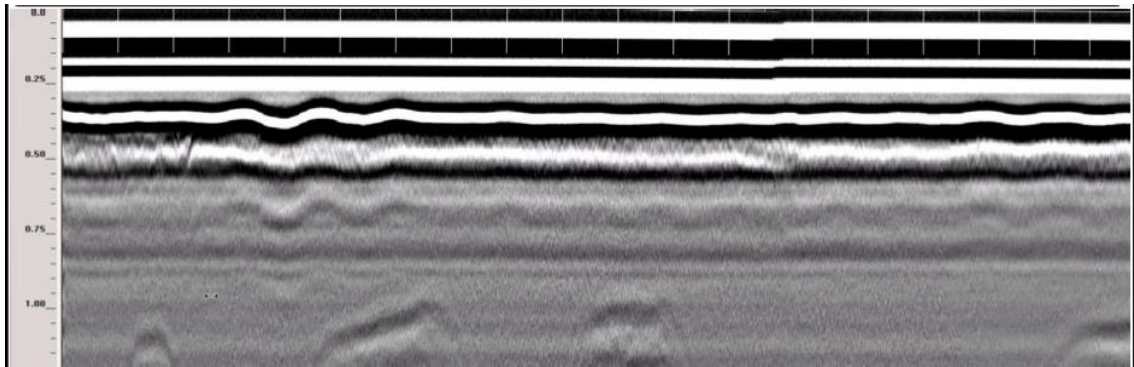
การตรวจสอบความเสียหายของถนนที่มีโพรงเกิดขึ้นในชั้นโครงสร้างชั้นทางหรือความผิดปกติทางกายภาพในโครงสร้างชั้นทาง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการตรวจสอบ เช่น เครื่องมือ Ground Penetration Radar (GPR) ซึ่งใช้หลักการทำงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการตรวจสอบโครงสร้างถนน ช่วยให้สามารถทราบตำแหน่งที่เกิดโพรงหรือความผิดปกติได้อย่างแม่นยำ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

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

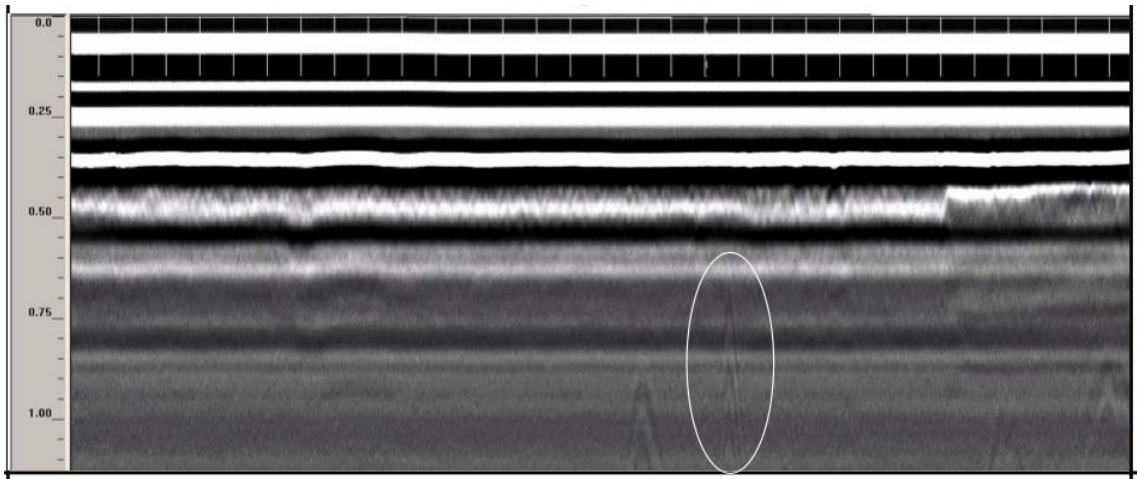




สำหรับการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจรจะมีตัวอย่างผลการทดสอบ



รูปที่ 4-169 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “ไม่มีความเสียหาย”



รูปที่ 4-170 ตัวอย่างการตรวจสอบโพรงใต้ผิวจราจร “พบโพรงใต้คันทางที่ความลึก 0.3 เมตร จากผิวทาง”



#### 4.8 การจัดทำรายงานแผนงานบำรุงทาง

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

##### 4.8.1 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์

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

แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ หรือแผนงานระยะยาว ซึ่งจะใช้ Optimization Model ร่วมกับแบบจำลองการเสื่อมสภาพ และแบบจำลองหลังการซ่อม เพื่อวิเคราะห์งบประมาณ (Budget) ค่าซ่อมบำรุง (Maintenance Cost) และค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง (Road User Cost) กรณีซ่อมบำรุงปกติและกรณีที่ซ่อมบำรุงด้วยวิธีอื่น ๆ ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญในการซ่อมบำรุงด้วยวิธี Optimization ซึ่งจากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์ จำเป็นต้องใช้แบบจำลองต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ระยะยาวเป็นผลให้ไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผิวทางประเภทคอนกรีตได้ ทั้งนี้แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงเชิงกลยุทธ์สามารถกระทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1. กรณีไม่จำกัดงบประมาณ (Unlimited Budget)
  - Objective Function: Maximize Total Benefit
2. กรณีจำกัดงบประมาณในแต่ละปี (Budget Constraint)
  - Objective Function: Maximize Total Benefit เน้นการทำให้เกิดผลตอบแทนต่อผู้ใช้ทางสูงสุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด เหมาะสมสำหรับกรณีที่ต้องการเน้นความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์
  - Objective Function: Minimize Average IRI เน้นการทำให้ค่าเฉลี่ย IRI ทั้งโครงข่ายของกรมทางหลวงต่ำสุด ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด 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



#### 4.8.2 แผนงานกิจกรรมบำรุงรักษาทางหลวงประจำปี

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

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

ในปัจจุบันระบบ TPMS ของกรมทางหลวงได้มีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการวิเคราะห์งบประมาณ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการปรับปรุงระบบ TPMS ในการวิเคราะห์ประจำปี มีรายละเอียด ดังนี้

- 1) สามารถการเลือกข้อมูลสายทางที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้สะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้น โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกลักษณะของสายทางที่จะทำการวิเคราะห์ คือ วิเคราะห์ถนนลาดยาง หรือคอนกรีต กำหนดช่วงค่า IRI ของสายทางรวมถึงปริมาณจราจร เพื่อคัดกรองสายทางที่ต้องการ
- 2) สามารถกำหนดวงเงินแยกในแต่ละกิจกรรมซ่อมบำรุงตามที่กรมทางหลวงกำหนดเพื่อทำการวิเคราะห์
- 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 เพื่อนำส่งตามความต้องการของสำนักบำรุงทาง กรมทางหลวง

#### 4.9 การจัดทำสื่อวีดิทัศน์ประชาสัมพันธ์โครงการ

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการฯ ความยาวรวมไม่น้อยกว่า 5 นาที ที่ปรึกษาจัดทำวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์ความยาวรวมไม่น้อยกว่า 5 นาที สามารถรองรับการรับชมได้ทางคอมพิวเตอร์แบบพกพา แล็บท็อป แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ



รูปที่ 4-171 ตัวอย่างการจัดทำวีดิทัศน์สื่อประชาสัมพันธ์โครงการ