ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อสรุป
การสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate)

การสอบเทียบเครื่องมือ (Calibrate) ที่ใช้ในการสำรวจ

ในขอบเขตการดำเนินงาน (TOR) ในข้อ 4.3.3 ได้มีการจัดทำแผนการสำรวจสายทางให้ครอบคลุมต่อการทดสอบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 6 สายทาง (Section) จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้ทำการวิ่งทดสอบเข้าสู่กระบวนการประมวลผลเพื่อนำค่าสภาพทางได้แก่ ค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index; IRI) ค่าความลึกเฉลี่ยผิวทาง (Mean Profile Depth; MPD) และค่าความลึกร่องล้อ (Rutting) มาสอบเทียบจากขอบเขตการดำเนินงาน (TOR) ในข้อ 4.3.4 สาเหตุของการสอบเทียบค่าดังกล่าวเพื่อให้กรมทางหลวงมีความมั่นใจว่าถึงแม้ในการสำรวจจะมีรถสำรวจ 3 คัน ค่าสภาพทางที่ได้จากรถสำรวจแต่ละคันอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน โดยหลักการในการสอบเทียบค่าของทั้ง 3 คันนั้น นำหลักเกณฑ์ทางสถิติใช้ในวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) เพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าสภาพทางจากรถแต่ละคันมีความแตกต่างกันหรือไม่ ผลการวิเคราะห์สามารถจะนำเสนอตั้งแต่การเริ่มเลือกสายทาง ตลอดจนผลการดำเนินงาน มีรายละเอียดดังนี้

1. การจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด
2. การเปรียบเทียบความเร็วขณะทำการสำรวจ
3. ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพทางจากหลักเกณฑ์ทางสถิติ
4. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบรายอุปกรณ์
5. วิเคราะห์ผลลัพธ์การสอบเทียบจาก 3 อุปกรณ์

1. การจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด

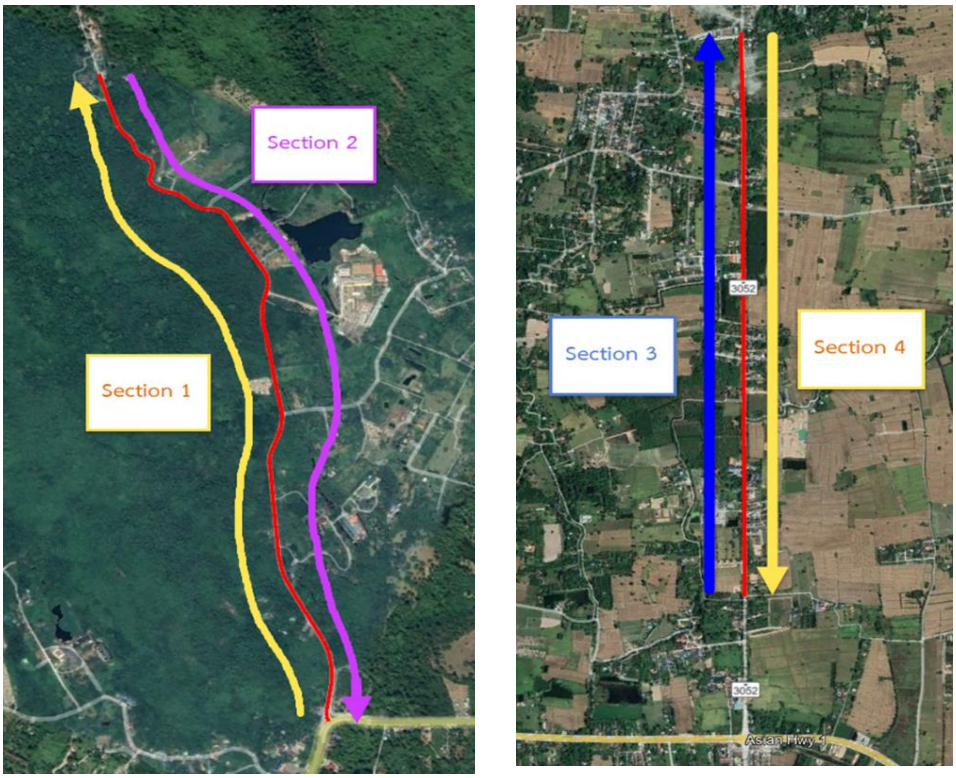
ที่ปรึกษาจะจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด โดยได้ดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพและถูกต้อง ดำเนินการตรวจสอบค่าที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์เลเซอร์และอุปกรณ์ LCMS เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและมีมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือสำรวจ โดยค่าทางสถิติที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งแปลงทดสอบที่ใช้ในการสอบเทียบ ประกอบไปด้วยถนนทางหลวงหมายเลข 3050 ถนนทางหลวงหมายเลข 3052 ถนนทางหลวงหมายเลข 33 ถนนทางหลวงหมายเลข 3049 แบ่งออกเป็น 6 Section โดยมีรายละเอียดของแปลงทดสอบดังตารางที่ 1

รายละเอียดข้อมูล Section วิ่งทดสอบ

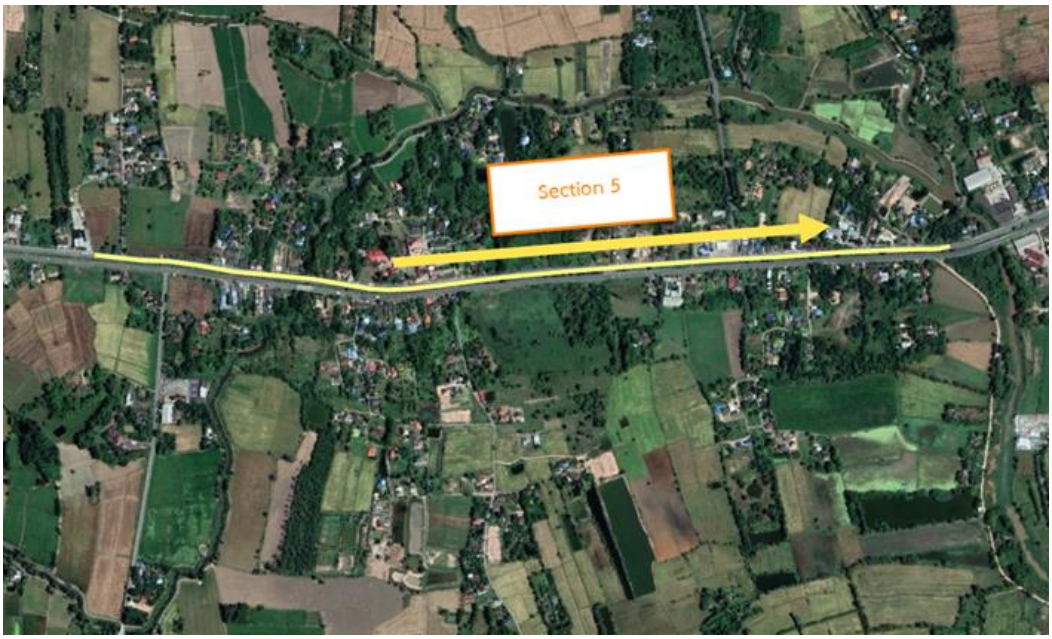
- Section ที่ 1 และ 2 ประเภทของทาง ทางโค้งทางลาดชันผิวทางลาดยาง
- Section ที่ 3 และ 4 ประเภทของทาง ผิวทางคอนกรีต
- Section ที่ 5 ประเภทของทาง ถนนมีความเสียหายสูงผิวทางลาดยาง
- Section ที่ 6 ประเภทของทาง วิ่งตามเส้นตีแนวผิวทางลาดยาง

ตารางที่ 1 Section แปลงทดสอบ

	ทางหลวง	ตอนควบคุม	Start	End	Lane	Pavement Type
section_1	3050	100	0+150	2+900	L1	AC
section_2	3050	100	2+900	0+150	R1	AC
section_3	3052	100	1+000	4+000	L1	CC
section_4	3052	100	4+000	1+000	R1	CC
section_5	33	501	119+000	121+000	L2	AC
section_6	3049	100	11+650	12+150	L2	AC



รูปที่ 1 ด้านซ้าย Section ที่ 1, Section ที่ 2 และรูปด้านขวา Section ที่ 3, Section ที่ 4



รูปที่ 2 Section ที่ 5

รูปที่ 3 Section ที่ 6

2. การจัดเตรียมพื้นที่ทดสอบตามเงื่อนไขที่กรมทางหลวงกำหนด

ความเร็วที่เหมาะสมในการวิ่งทดสอบคือ 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถึง 95 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM E950 และความเร็วที่ได้จากการวิ่งสอบเทียบมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วเฉลี่ยในการวิ่งทดสอบ

	SECTION	ความเร็วต่ำสุด			ความเร็วสูงสุด			ความเร็วเฉลี่ย		
		LASER 1	LASER 2	LCMS	LASER 1	LASER 2	LCMS	LASER 1	LASER 2	LCMS
AC	1	26.80	28.20	27.20	48.40	49.10	49.20	41.98	42.49	42.08
AC	2	26.60	25.70	27.10	52.20	55.30	52.50	44.75	45.30	45.22
CC	3	41.40	42.50	41.80	54.00	55.10	51.20	49.53	49.97	46.74
CC	4	32.60	34.30	33.70	55.00	55.10	54.50	49.74	49.77	47.55
AC	5	43.80	33.20	44.90	51.00	52.90	52.10	48.29	45.98	48.38
AC	6	35.20	32.00	21.90	45.80	37.60	49.00	41.20	35.91	36.25

3. ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพทางจากหลักเกณฑ์ทางสถิติ

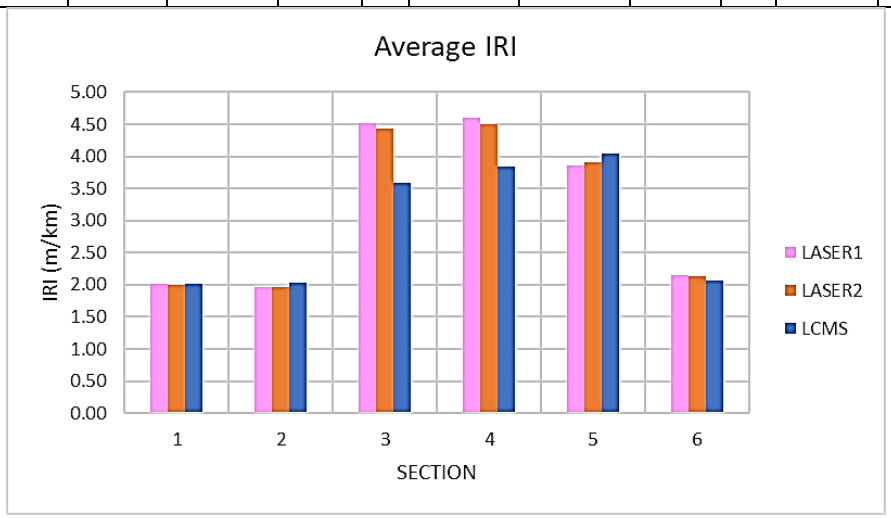
หลังจากทางที่ปรึกษา ได้นำอุปกรณ์สำรวจทั้งรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS ไปวิ่งทดสอบในแปลงทดสอบที่กำหนดในข้างต้น ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI RUT MPD ของรถสำรวจทั้ง 3 คัน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

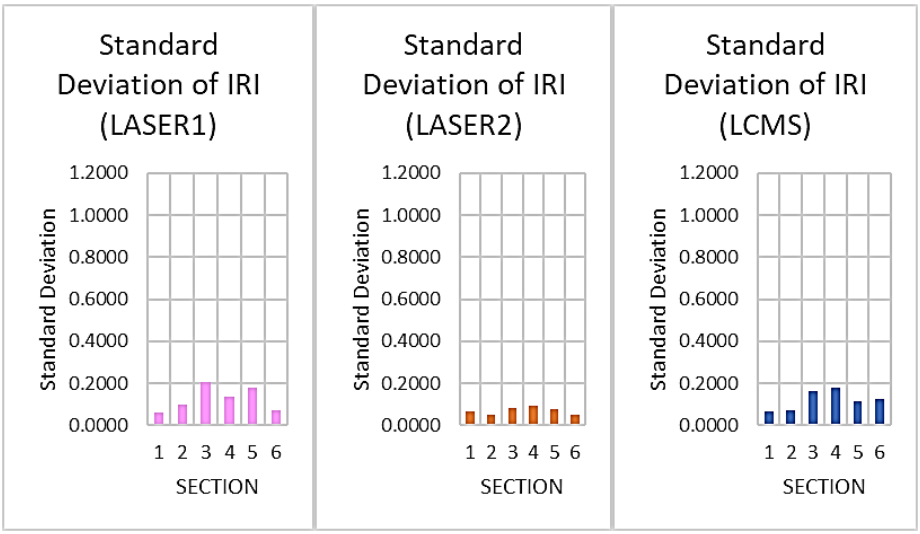
Summary Data	SECTION	AVG IRI				AVG RUT				AVG MPD		
		LASER 1	LASER 2	LCMS		LASER 1	LASER 2	LCMS		LASER 1	LASER 2	LCMS
AC	1	2.01	2.01	2.02		3.35	3.48	4.37		0.69	0.62	0.64
AC	2	1.97	1.96	2.03		2.44	2.01	2.97		0.62	0.58	0.59
CC	3	4.52	4.43	3.59		-	-	-		0.52	0.54	0.48
CC	4	4.59	4.50	3.84		-	-	-		0.52	0.54	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 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในแต่ละ Section

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

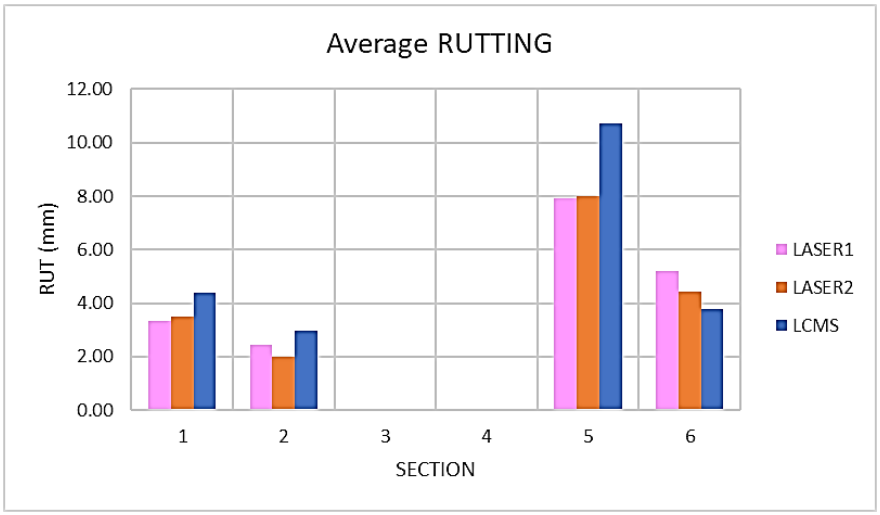


รูปที่ 4 กราฟแสดงค่า IRI เฉลี่ย ในแต่ละ Section

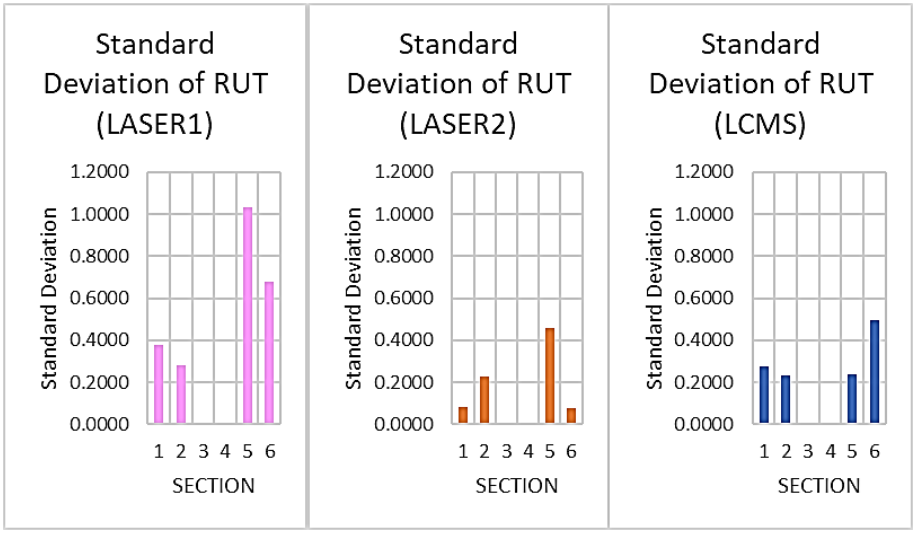


รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI

จากรูปที่ 5 กราฟส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 3 (ผิวทางคอนกรีต) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.207

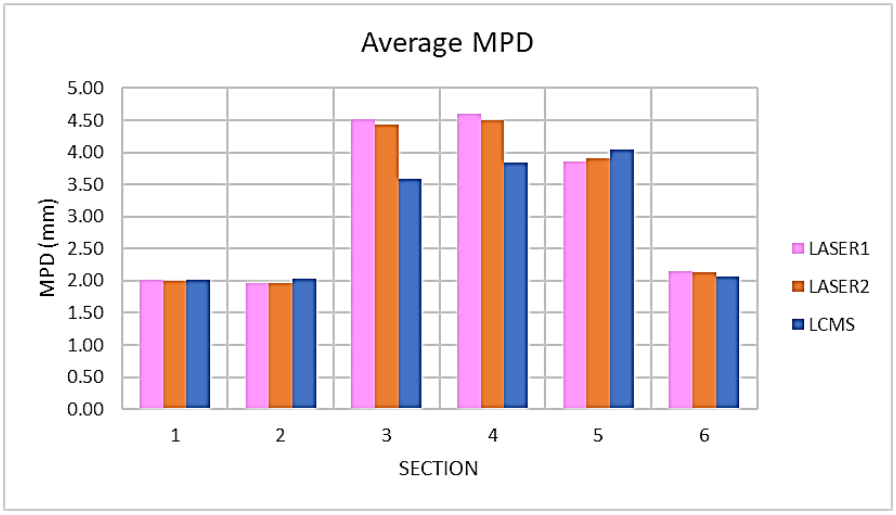


รูปที่ 6 กราฟแสดงค่า RUTTING เฉลี่ย

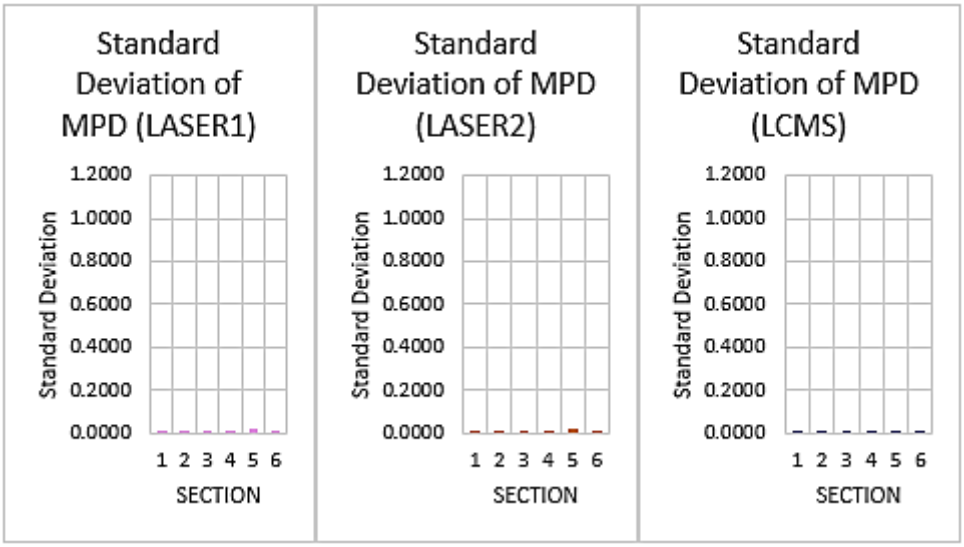


รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RUTTING

จากรูปที่ 7 กราฟส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RUT ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.033



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่า MPD เฉลี่ย



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า MPD

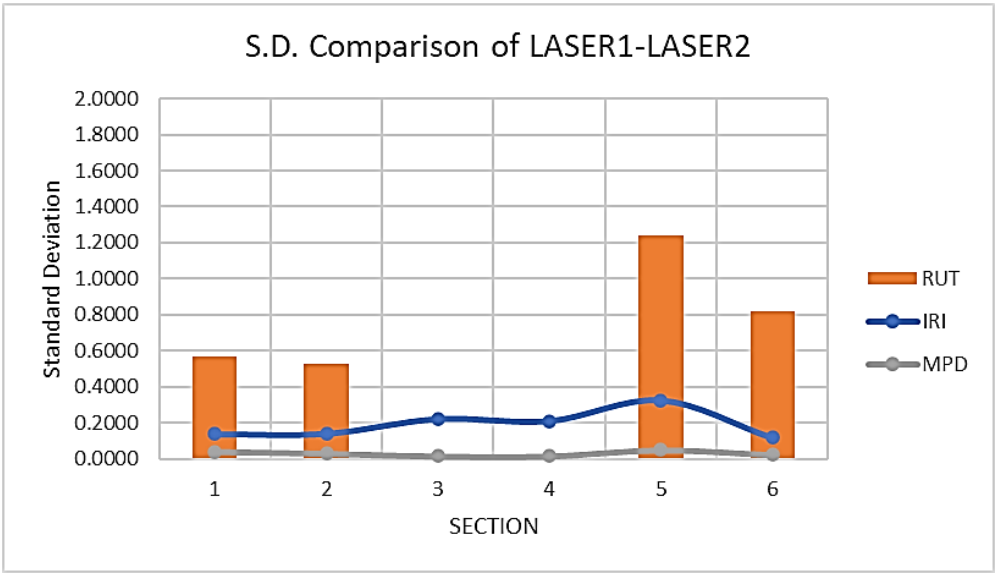
จากรูปที่ 9 กราฟส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า MPD ของการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบของอุปกรณ์ทดสอบแต่ละคัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเข้าใกล้ 0 มาก หรือกล่าวได้ว่า การวิ่งแต่ละรอบชุดข้อมูลแทบไม่ต่างจากกัน โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดจะมาจากรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 2 Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.018

หลักจากที่ปรึกษานำผลจากการวิ่งทดสอบ ทั้ง 3 รอบ ของอุปกรณ์แต่ละชนิดมาดูค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว ซึ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สูง เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของแต่ละอุปกรณ์สำรวจ ให้ค่าที่ไม่ต่างกัน ทางที่ปรึกษาจึงได้ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired Sample T-Test ต่อ โดยผลของการวิเคราะห์จะแสดงที่หัวข้อ การวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบรายอุปกรณ์

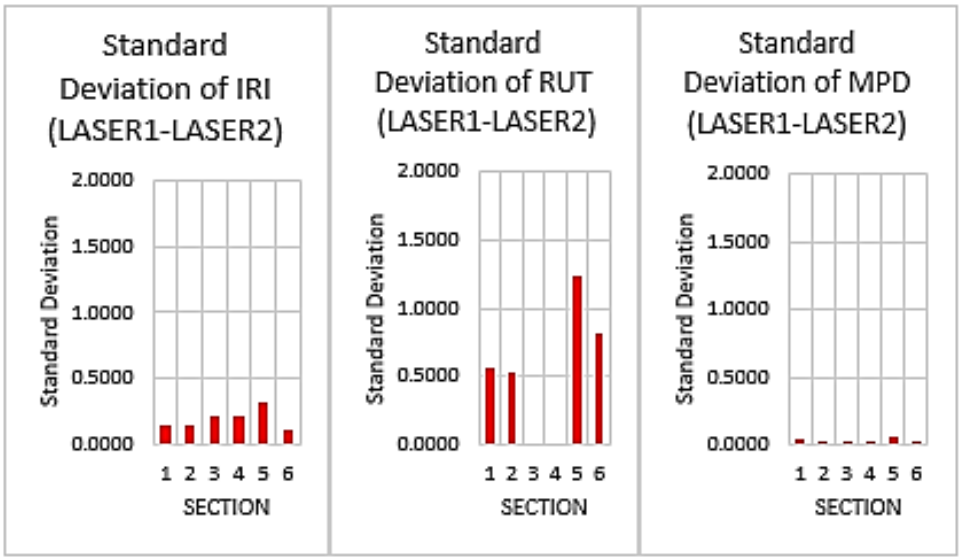
ที่ปรึกษาได้ทำการเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละอุปกรณ์สำรวจ ทั้งรถสำรวจ Laser Profiler คันที่1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section

Summary Data	SECTION	AVG SD LASER1 - LASER2				AVG SD LASER1 - LCMS				AVG SD LASER2 - 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

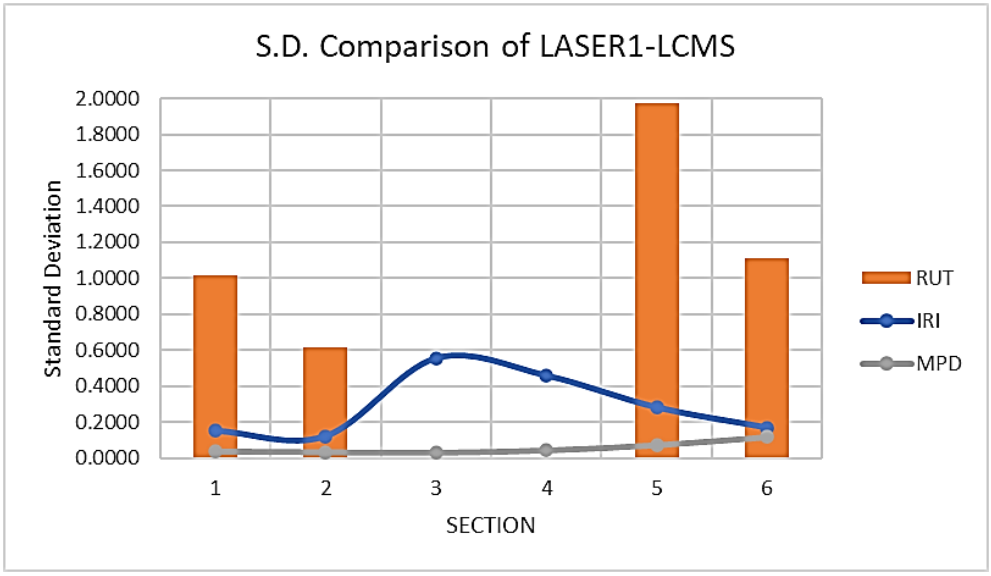


รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LASER2

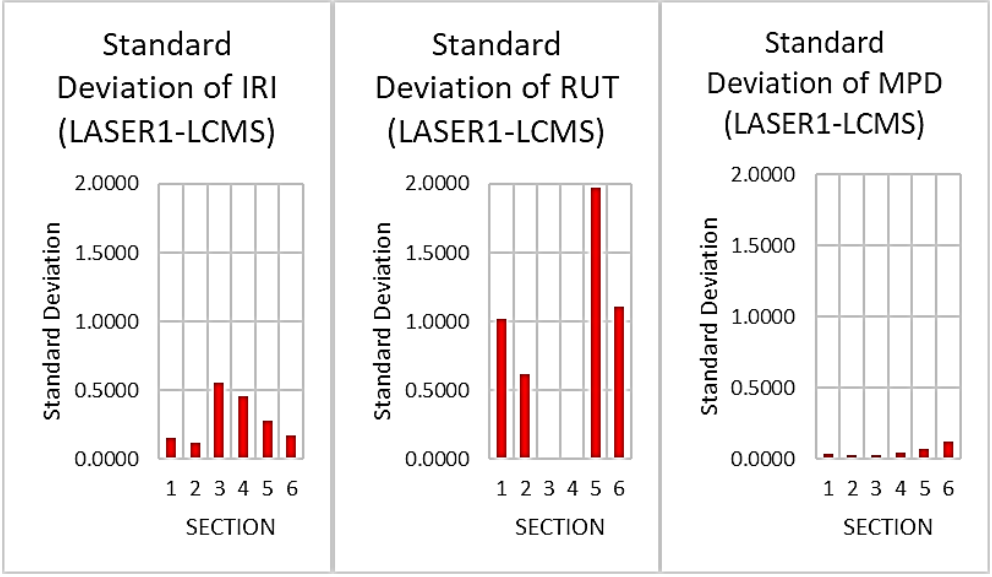


รูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบแยกค่า ระหว่าง LASER1 กับ LASER2

จากรูปที่ 10 และรูปที่ 11 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LASER2 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ทุก ๆ Section มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.238 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ในทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน

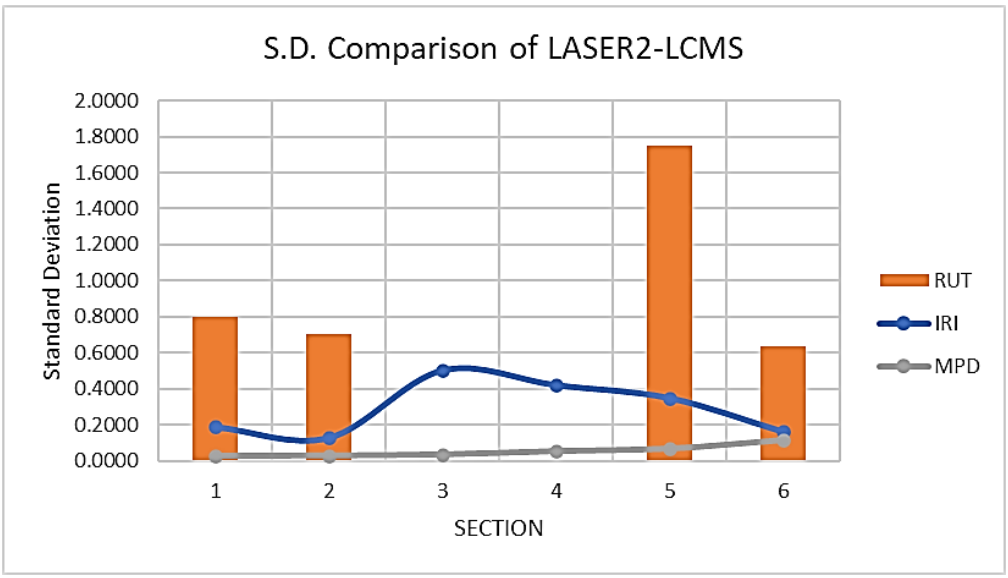


รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LCMS

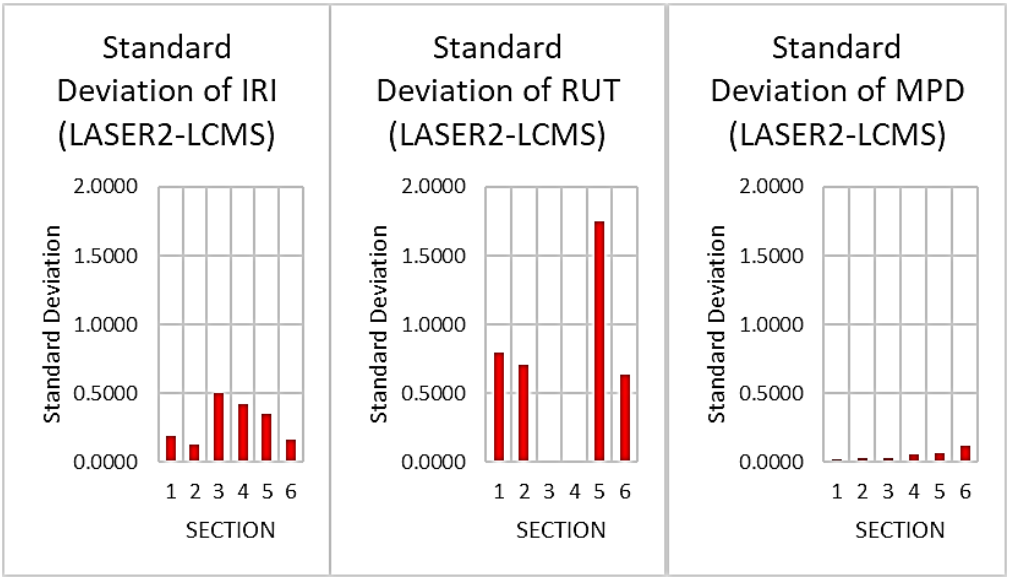


รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบแยกค่า ระหว่าง LASER1 กับ LCMS

จากรูปที่ 12 และรูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER1 กับ LCMS พบว่าค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ใน Section 3 Section 4 ผิวทางคอนกรีตมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่า Section อื่น ๆ โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.556 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.971 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า MPD ในทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER2 กับ LCMS

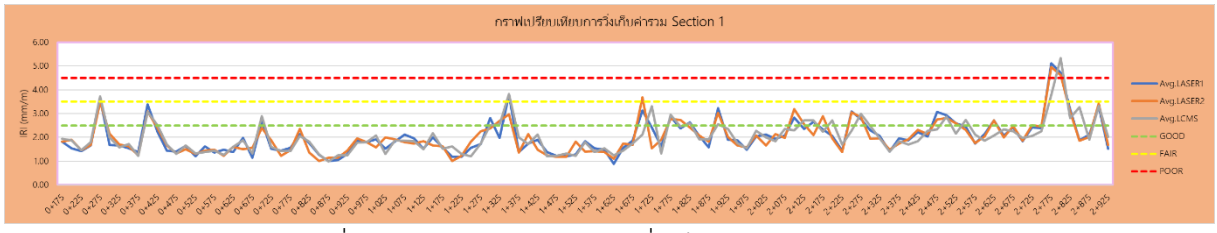


รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แบบแยกค่า ระหว่าง LASER2 กับ LCMS

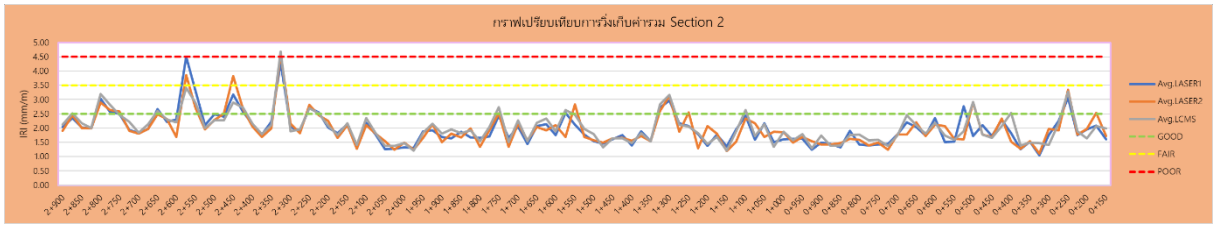
จากรูปที่ 14 และรูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบรวมส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระหว่าง LASER2 กับ LCMS พบว่าค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า IRI ใน Section 3 Section 4 ผิวทางคอนกรีตมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงกว่า Section อื่น ๆ โดยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 0.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า RUT เป็นค่าที่มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุด ค่า RUT ใน section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดอยู่ที่ 1.747 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานค่า MPD ในทุก ๆ Section มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกัน

อธิบายผลทางสถิติของข้อมูลจากการวิ่งสอบเทียบ

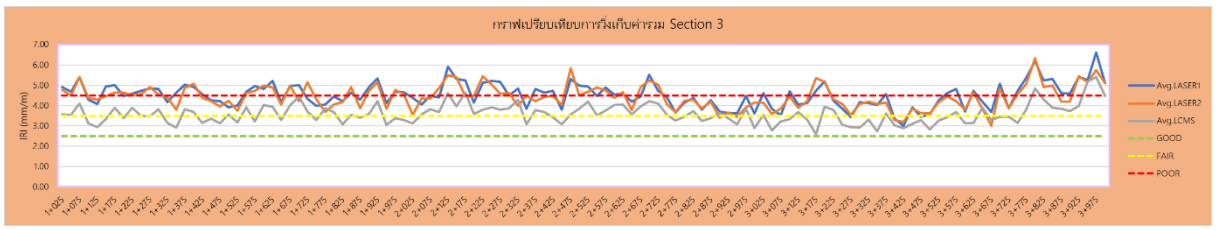
เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3 และตารางที่ 5 พบว่า **ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI** ในผิวทางลาดยาง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิ่งทดสอบมีข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่สูง ประกอบกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวง ซึ่งค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน โดยมีรายละเอียดเกณฑ์ค่าดัชนีความขรุขระสากล (IRI) ดังตารางที่ 8



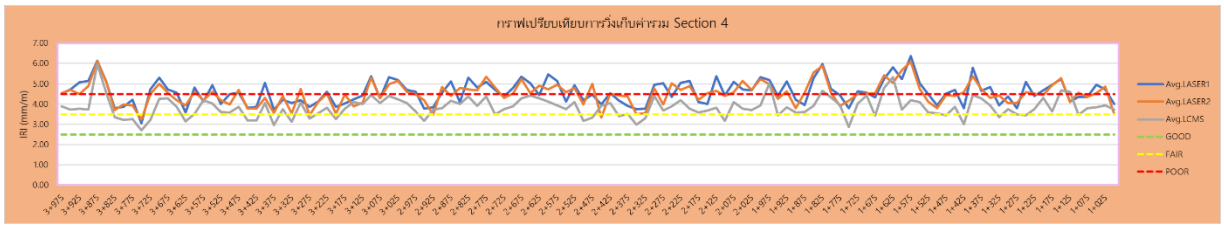
รูปที่ 16 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม Section 1



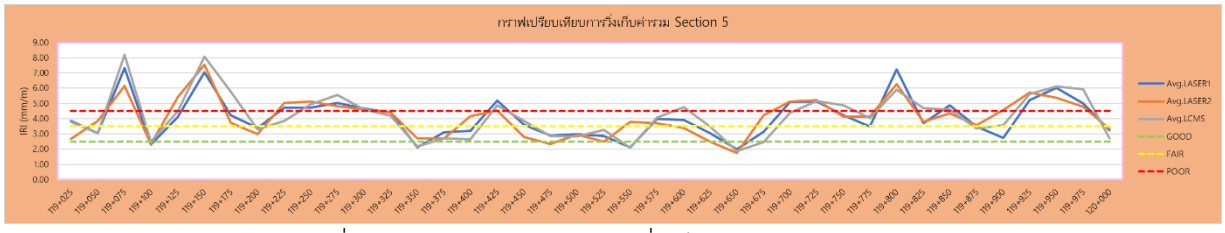
รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม Section 2



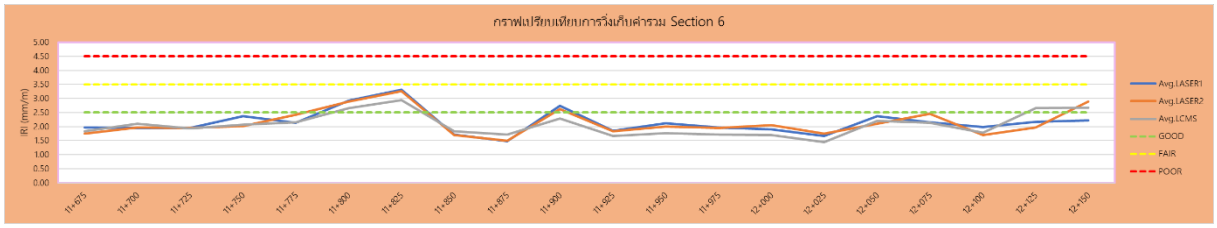
รูปที่ 18 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม Section 3



รูปที่ 19 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม Section 4



รูปที่ 20 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม Section 5

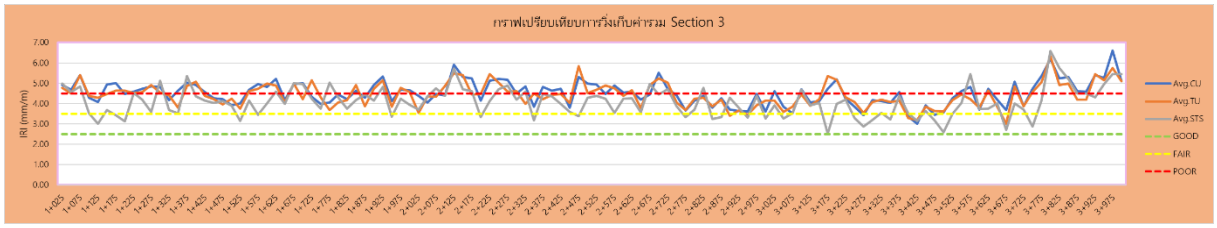


รูปที่ 21 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่ารวม Section 6

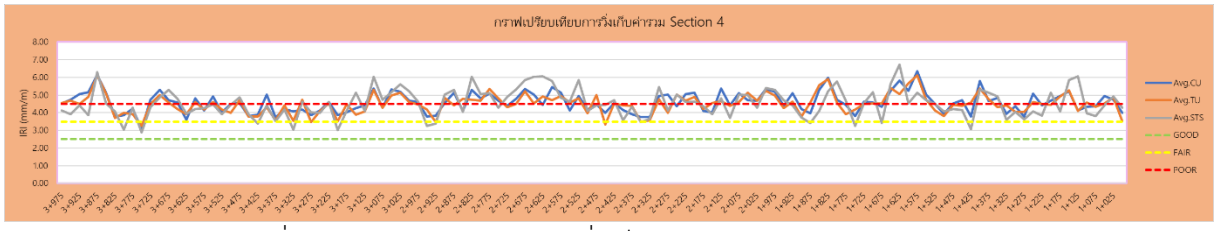
จากรูปที่ 16 ถึงรูปที่ 21 เป็นกราฟแสดงค่าเฉลี่ย (IRI) จากการวิ่งทดสอบ ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน พล็อตกราฟร่วมกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวง เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นได้ว่า ข้อมูลใน Section 1 Section 2 Section 5 และ Section 6 ซึ่งเป็นผิวทางลาดยางทั้งหมด เมื่อค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่สูง ทำให้ค่าที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คันอยู่ในเกณฑ์เดียวกัน ของกรมทางหลวง ค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน สามารถเชื่อถือได้ ส่วนผิวทางคอนกรีต ค่าที่ได้จากการวิ่งทดสอบ อุปกรณ์ LCMS มีค่าเฉลี่ย (3.59 section3) (3.84 section4) ที่ต่ำกว่า อุปกรณ์ Laser Profiler (4.52,4.43 section3) (4.59,4.50 section4) และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงเมื่อเทียบกับอุปกรณ์สำรวจแบบ Laser Profiler ทั้ง 2 คัน จากรูปที่ 19 และ 20 จะเห็นได้ว่า ค่า IRI ของอุปกรณ์ LCMS จะให้ค่าที่อยู่คนละเกณฑ์กับอุปกรณ์แบบ Laser Profiler และเมื่อพิจารณาวิธีการได้มาซึ่งค่าของอุปกรณ์ LCMS ที่มีความต่างจากอุปกรณ์ Laser Profiler (อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ การเปรียบเทียบข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล) ประกอบกับพื้นที่แปลงทดสอบ มีรอยต่อตามยาวตลอดทั้งช่วงของแปลงทดสอบทั้งใน Section 3 และ Section 4 ดังรูปที่ 23

รูปที่ 22 ภาพถนนคอนกรีต Section 3 และ Section 4

จากรูปที่ 22 จะเห็นได้ว่าบริเวณร่องล้อซ้าย ของแปลงทดสอบ มีรอยต่อตามยาวอยู่ ซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้จากอุปกรณ์ LCMS มีความต่าง จากอุปกรณ์ Laser Profiler เพื่อตรวจสอบข้อสังเกตข้างต้นทางที่ปรึกษา จึงได้นำข้อมูลจากร่องล้อขวา มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวง โดยกราฟที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 23 ถึง รูปที่ 24



รูปที่ 23 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่าร่องล้อขวารวม Section 3



รูปที่ 24 กราฟเปรียบเทียบการวิ่งเก็บค่าร่องล้อขวารวม Section 4

จากรูปที่ 23 และรูปที่ 24 หลังจากทางที่ปรึกษานำค่า IRI ร่องล้อขวาของ Section 3 และ Section 4 มาพล็อตร่วมกับเกณฑ์ค่า IRI ของกรม ผลปรากฏว่า ค่า IRI ของอุปกรณ์ทั้ง 3 คัน อยู่ในเกณฑ์ช่วงเดียวกัน

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RUT ในผิวทางลาดยาง ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิ่งทดสอบจากตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 เครื่องมือ ในแต่ละ Section จะเห็นได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของและอุปกรณ์ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า RUT จะมีค่าที่สูงกว่าค่าอื่น ๆ โดยค่า RUT ของอุปกรณ์ LCMS มีค่าเฉลี่ย (10.71) ที่สูงกว่า อุปกรณ์ Laser Profiler คันที่ 1 ค่าเฉลี่ย (7.91) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง (1.971) ใน Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) โดยปัจจัยที่ทำให้ค่าต่างกันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงอาจเกิดจากจำนวนจุดการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ทั้ง 3 คัน และปัจจัยอื่นๆ (อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อการเปรียบเทียบข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting))

ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของค่า MPD ในผิวทางลาดยางและผิวคอนกรีต ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ค่าเฉลี่ย MPD ที่ได้ จากทุก ๆ Section มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ต่างชนิดกันอยู่ในเกณฑ์ต่ำ สูงสุดเพียง 0.116 (LASER 2 เทียบกับ LCMS) จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ต่างชนิดกันไม่ส่งผลกระทบต่อค่าที่ได้จากการสำรวจ

หลังจากที่ปรึกษานำผลจากการวิ่งทดสอบ ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 แล้ว ค่าเฉลี่ย IRI ของผิวทางลาดยางมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ รูปแบบการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมเหมือนกัน สำหรับผิวทางคอนกรีตที่มีรอยต่อตามยาว อาจจะทำให้ข้อมูลต่างกัน มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง ค่าเฉลี่ย RUT ข้อมูลที่ต่างกันในบาง Section ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง และมีจำนวนจุดการเก็บข้อมูลที่ต่างกัน ค่าเฉลี่ย MPD ถึงจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ แต่รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลที่ต่างกัน (อธิบายเพิ่มเติมที่หัวข้อการเปรียบเทียบข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth: MPD) จากข้อมูลในข้างต้นทางที่ปรึกษา จึงได้ตั้งสมมติฐานที่ว่าเครื่องมือต่างกันมีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมเหมือนกันจะให้ข้อมูลที่ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ Paired Sample T-Test รูปแบบการทดสอบจะเป็นการทดสอบระหว่างอุปกรณ์ และค่าที่ใช้ในการทดสอบคือค่า IRI RUT MPD โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงในหัวข้อ การวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

การนำหลักการและวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คัน เพื่อต้องการทราบผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ว่าข้อมูลที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คันนั้น มีผลอยู่ในทิศทางเดียวกัน โดยในการวิเคราะห์จะใช้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของข้อมูล IRI RUTTING และ MPD สามารถแสดงผลสรุปข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการวิ่งทดสอบ ดังตารางที่ 6 ถึงตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 6 ข้อมูลตัวอย่างค่าเฉลี่ยของแต่ละอุปกรณ์สำรวจที่ได้จากการวิ่งทดสอบ

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

ตารางที่ 7 ข้อมูลตัวอย่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน

ผิวทาง	ค่าสภาพทาง	SECTION	กม.สำรวจ	AVG SD	AVG SD	AVG SD
				LASER 1 – LASER 2	LASER 1 - LCMS	LASER 2 - 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 8 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง)

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

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

การสรุปผลค่าสภาพทางของ ผิวทางลาดยาง

ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าเฉลี่ยค่า IRI ที่ใกล้เคียงกัน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำค่าผลการสำรวจจัดลงกลุ่มตามเกณฑ์มาตรฐาน IRI ของกรมทางหลวงแล้วนั้น (ตารางที่ 8 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (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 เฉลี่ยที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และใน Section 5 ที่ RUTTING (มีความเสียหายสูง) ค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับอุปกรณ์ LCMS จะมีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างจากอุปกรณ์ Laser Profiler และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMS ที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ต่างกันมาก ประกอบกับปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อค่าดังกล่าวคือ แนวการวิ่งของรถสำรวจและปัจจัยในพฤติกรรมคนขับรถ จากปัจจัยดังกล่าวถ้าหากมีความต่างกันกันเพียงเล็กน้อยก็จะส่งผลให้ค่าที่ได้มีความต่างกัน

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

การสรุปผลค่าสภาพทางของ ผิวทางคอนกรีต

ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน เมื่อพิจารณาค่าที่จากการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน อุปกรณ์สำรวจ LCMS ให้ค่าเฉลี่ย IRI ต่างจากอุปกรณ์สำรวจ แบบ Laser Profiler และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler กับ LCMS ที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ Laser Profiler ด้วยกัน เนื่องด้วยอุปกรณ์สำรวจ LCMS มีเทคโนโลยีการประมวลผลที่ต่างออกไปเนื่องด้วยการตัดความเสียหายบนรอยต่อตามยาวของผิวคอนกรีต อ้างอิงจากรูปที่ 22

ซึ่งปกติแล้วบนช่องจราจรของผิวคอนกรีตจะไม่มีรอยต่อดังกล่าวบริเวณพื้นที่ช่องจราจร จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยมีความต่างจากค่าสำรวจที่ได้จากอุปกรณ์ Laser Profiler ทางที่ปรึกษาจึงนำค่าจากร่องล้อขวามาทำการเปรียบเทียบบริเวณที่ไม่มีรอยต่อตามยาวและเทียบค่า IRI จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ผลปรากฏว่าค่า IRI เฉลี่ย เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และอยู่ในเกณฑ์ค่า IRI ของกรมทางหลวงที่เกณฑ์เดียวกัน (ตารางที่ 8 เกณฑ์ระดับการให้บริการ (ความเรียบของผิวทางหลวง))

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

4. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบรายอุปกรณ์

จากผลการวิ่งทดสอบในแปลงทดสอบของแต่ละอุปกรณ์สำรวจ ทั้งรถสำรวจ Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และรถสำรวจ LCMS จะเห็นได้ว่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า IRI RUT MPD ที่ได้จากการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของรถสำรวจทั้ง 3 คัน มีค่าที่ต่ำ เพื่อเป็นการยืนยันว่าข้อมูลการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ของรถสำรวจแต่ละคัน มีข้อมูลที่ไม่ต่างกัน ที่ปรึกษาจึงได้นำข้อมูลการวิ่งทดสอบแต่ละรอบมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Paired Sample T-Test

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

ขั้นตอนของการทดสอบ สามารถดำเนินการได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

$H_0 : \mu_d = 0$; ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$H_a : \mu_d \neq 0$; ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เป็นการตั้งสมมติฐานทางสถิติ ซึ่งประกอบด้วยสมมติฐานหลัก (Null hypothesis, H_0) และสมมติฐานรอง (Alternative hypothesis, H_a) ในการนี้ทีมที่ปรึกษาต้องการทดสอบเครื่องมือจากรถสำรวจแต่ละคันจากวิ่งสำรวจ 3 รอบ ว่ามีผลการทดสอบใกล้เคียงกันที่ 95% หรือไม่ จึงทำการตั้งสมมติฐานรองแบบไม่มีทิศทาง ซึ่งจะทำการทดสอบแบบสองทาง (Two-tailed test) ด้วยผลการสำรวจของรถแต่ละคันทั้ง 3 รอบ โดยจับเป็นคู่ ได้แก่

- ค่าที่ได้จากรถสำรวจของรอบที่ 1 เทียบกับ ค่าที่ได้จากรถสำรวจของรอบที่ 2
- ค่าที่ได้จากรถสำรวจของรอบที่ 2 เทียบกับ ค่าที่ได้จากรถสำรวจของรอบที่ 3
- ค่าที่ได้จากรถสำรวจของรอบที่ 1 เทียบกับ ค่าที่ได้จากรถสำรวจของรอบที่ 3

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ

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

ขั้นที่ 3 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

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

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

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

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

โดย

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

d_i คือ ความแตกต่างของข้อมูลการวัดทั้ง 3 คู่ โดยการทดสอบนี้แบ่งเป็น

$d_i = X_i$(รอบการสำรวจที่ 1) $- X_i$(รอบการสำรวจที่ 2) และ

$d_i = X_i$(รอบการสำรวจที่ 2) $- X_i$(รอบการสำรวจที่ 3) และ

$d_i = X_i$(รอบการสำรวจที่ 1) $- X_i$(รอบการสำรวจที่ 3)

S_d คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างนั้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ Paired T-Test แบบรายอุปกรณ์ เปรียบเทียบค่าแต่รอบการวิ่งทดสอบกับอุปกรณ์สำรวจชนิดเดียวกัน และค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ Paired T-Test ประกอบไปด้วยค่า IRI RUT MPD ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 9 ถึงตารางที่ 14

ตารางที่ 9 Section 1 กิโลเมตรที่ 0+150 ถึง กิโลเมตรที่ 2+900

ตารางสรุปผล PAIRED TEST (Section 1)				
ค่าทดสอบ	ค่า Paired T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95 % พื้นที่วิกฤต +1.98 และ -1.98			ค่า Correlation สูงสุด
	รอบที่ 1 - รอบที่ 2	รอบที่ 2 - รอบที่ 3	รอบที่ 1 - รอบที่ 3	
ค่า IRI				
LASER1	-0.48606	-0.36763	-0.80820	99%
LASER2	-0.58937	-1.43123	-1.47600	99%
LCMS	-0.62501	-0.65231	-1.35903	98%
ค่า RUTTING				
LASER1	-0.91698	0.15008	-0.83570	88%
LASER2	-0.60600	-1.33845	-1.59501	99%
LCMS	0.43645	-1.94014	-1.27022	93%
ค่า MPD				
LASER1	-0.14186	0.28283	0.12114	95%
LASER2	-1.62273	0.46989	-1.17912	92%
LCMS	1.72362	-1.49271	0.42406	96%

ตารางที่ 10 Section 2 กิโลเมตรที่ 2+900 ถึง กิโลเมตรที่ 0+150

ตารางสรุปผล PAIRED TEST (Section 2)				
ค่าทดสอบ	ค่า Paired T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95 % พื้นที่วิกฤต +1.98 และ -1.98			ค่า Correlation สูงสุด
	รอบที่ 1 - รอบที่ 2	รอบที่ 2 - รอบที่ 3	รอบที่ 1 - รอบที่ 3	
ค่า IRI				
LASER1	0.94434	-0.76602	-0.00546	97%
LASER2	1.10895	0.94844	1.68849	98%
LCMS	-1.39672	0.37568	-0.82433	97%
ค่า RUTTING				
LASER1	-0.69801	-0.49121	-1.31186	97%
LASER2	-1.41574	0.44029	-0.77488	94%
LCMS	-1.80967	1.92733	-0.21023	95%
ค่า MPD				
LASER1	0.74368	1.14045	1.59872	96%
LASER2	-0.55503	0.75066	0.21735	93%
LCMS	1.76280	0.31994	1.92942	97%

ตารางที่ 11 Section 3 กิโลเมตรที่ 1+000 ถึง กิโลเมตรที่ 4+000

ตารางสรุปผล PAIRED TEST (Section 3)				
ค่าทดสอบ	ค่า Paired T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95 % พื้นที่วิกฤต +1.98 และ -1.98			ค่า Correlation สูงสุด
	รอบที่ 1 - รอบที่ 2	รอบที่ 2 - รอบที่ 3	รอบที่ 1 - รอบที่ 3	
ค่า IRI				
LASER1	1.18378	-1.18806	0.14074	96%
LASER2	0.25462	-0.59372	-0.40703	98%
LCMS	1.74343	-0.69416	1.24040	86%
ค่า MPD				
LASER1	0.08243	0.96966	1.09480	83%
LASER2	-0.98851	-0.15535	-1.01894	92%
LCMS	1.69914	-1.54304	0.55539	91%

ตารางที่ 12 Section 4 กิโลเมตรที่ 4+000 ถึง กิโลเมตรที่ 1+000

ตารางสรุปผล PAIRED TEST (Section 4)				
ค่าทดสอบ	ค่า Paired T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95 %			ค่า Correlation สูงสุด
	พื้นที่วิกฤต +1.98 และ -1.98			
	รอบที่ 1 - รอบที่ 2	รอบที่ 2 - รอบที่ 3	รอบที่ 1 - รอบที่ 3	
ค่า IRI				
LASER1	-0.63386	-0.43204	-0.89127	96%
LASER2	-0.03831	-0.73858	-1.09035	97%
LCMS	0.88960	0.49743	1.39726	85%
ค่า MPD				
LASER1	1.18997	-1.57231	-0.01042	97%
LASER2	1.32635	-1.81192	-0.66248	93%
LCMS	1.83973	-0.13733	1.60262	82%

ตารางที่ 13 Section 5 กิโลเมตรที่ 119+000 ถึง กิโลเมตรที่ 121+000

ตารางสรุปผล PAIRED TEST (Section 5)				
ค่าทดสอบ	ค่า Paired T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95 %			ค่า Correlation สูงสุด
	พื้นที่วิกฤต +1.99 และ -1.99			
	รอบที่ 1 - รอบที่ 2	รอบที่ 2 - รอบที่ 3	รอบที่ 1 - รอบที่ 3	
ค่า IRI				
LASER1	-0.25453	0.44815	0.44005	98%
LASER2	-1.61267	-0.67063	-1.79516	99%
LCMS	1.21865	0.02532	1.00430	99%
ค่า RUTTING				
LASER1	-0.65696	0.17167	-0.78723	94%
LASER2	0.02060	-0.65653	-0.55995	97%
LCMS	0.32675	1.56479	1.95802	99%
ค่า MPD				
LASER1	-0.34172	0.87507	0.79185	99%
LASER2	0.08808	-1.57969	-1.37346	99%
LCMS	0.63955	1.23882	1.88769	99%

ตารางที่ 14 Section 6 กิโลเมตรที่ 11+650 ถึง กิโลเมตรที่ 12+150

ตารางสรุปผล PAIRED TEST (Section 6)				
ค่าทดสอบ	ค่า Paired T-Test ที่ความเชื่อมั่น 95 % พื้นที่วิกฤต +2.09 และ -2.09			ค่า Correlation สูงสุด
	รอบที่ 1 - รอบที่ 2	รอบที่ 2 - รอบที่ 3	รอบที่ 1 - รอบที่ 3	
ค่า IRI				
LASER1	1.18823	-0.75401	0.36162	99%
LASER2	0.41337	-0.02787	0.33793	98%
LCMS	-1.41025	-0.66870	-1.81699	90%
ค่า RUTTING				
LASER1	-0.62991	0.95376	0.20435	86%
LASER2	0.26419	1.54129	1.38407	99%
LCMS	2.00130	-0.78822	2.02640	82%
ค่า MPD				
LASER1	-0.75210	0.08954	-0.90112	97%
LASER2	0.35486	-0.32217	0.11623	96%
LCMS	-0.86249	-1.64889	-2.00006	98%

ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า การทำ Paired Test แบบรายอุปกรณ์ ของอุปกรณ์สำรวจ ทั้ง 3 คัน (Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และ LCMS) ค่าที่ได้จากการวิ่งทดสอบทั้ง 3 รอบ ในแต่ละ Section ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรือข้อมูลจากการวิ่งทดสอบ 3 รอบ ของอุปกรณ์สำรวจ (Laser Profiler คันที่ 1 คันที่ 2 และ LCMS) ค่าที่ได้ในแต่ละรอบมีข้อมูลที่ไม่ต่างกัน

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยวิธี Paired Sample T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์

จากข้อมูลค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างอุปกรณ์ ทางที่ปรึกษาจึงได้ตั้งสมมติฐานที่ว่าเครื่องมือต่างกันแต่มีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมเหมือนกัน จะให้ข้อมูลที่ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ Paired Sample T-Test

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

ขั้นตอนของการทดสอบ สามารถดำเนินการได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

$H_0 : \mu_d = 0$; ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

$H_a : \mu_d \neq 0$; ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

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

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

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ

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

ขั้นที่ 3 เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

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

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

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

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

โดย

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

d_i คือ ความแตกต่างของข้อมูลการวัดทั้ง 3 คู่ โดยการทดสอบนี้แบ่งเป็น

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

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

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

S_d คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแตกต่างนั้น

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ Paired T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกับอุปกรณ์สำรวจต่างชนิดกัน และค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ Paired T-Test ประกอบไปด้วย ค่า IRI RUT MPD ของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 15

ผลการวิเคราะห์การทำ Paired Test รวม ของทั้ง 3 ที่ปรึกษา

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์การทำ Paired T-Test รวม ของทั้ง 3 เครื่องมือ

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

จากตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test ผลปรากฏว่าค่า IRI ในผิวทางลาดยาง ประกอบไปด้วยข้อมูลจาก Section 1 Section 2 Section 5 และ Section 6 ผ่านผลการทำ Paired T-Test ยอมรับสมติฐานหลัก ข้อมูลมีความต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับผิวคอนกรีต (Section 3 Section 4) ข้อมูลมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากแปลงทดสอบมีรอยต่อตามยาว ค่า RUTTING ของข้อมูลในทุก Section ข้อมูลมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าข้อมูลจาก Section 1 Section 2 Section 3 Section 4 และ Section 6 ข้อมูลมีความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนข้อมูลจาก Section 5 (ผิวทางมีความเสียหายสูง) ข้อมูลมีความต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากข้อมูลในข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าถึงอุปกรณ์สำรวจต่างชนิดกัน แต่มีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมเหมือนกัน วิ่งทดสอบในแปลงทดสอบที่ผิวทางเป็นปกติ จะมีข้อมูลมีความต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ให้ผลที่ไม่ต่างกัน) ส่วนอุปกรณ์ต่างชนิดกันรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมที่ต่างกันจะมีข้อมูลความต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอธิบายรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมในหัวข้อวิเคราะห์ผลลัพธ์การสอบเทียบจาก 3 อุปกรณ์

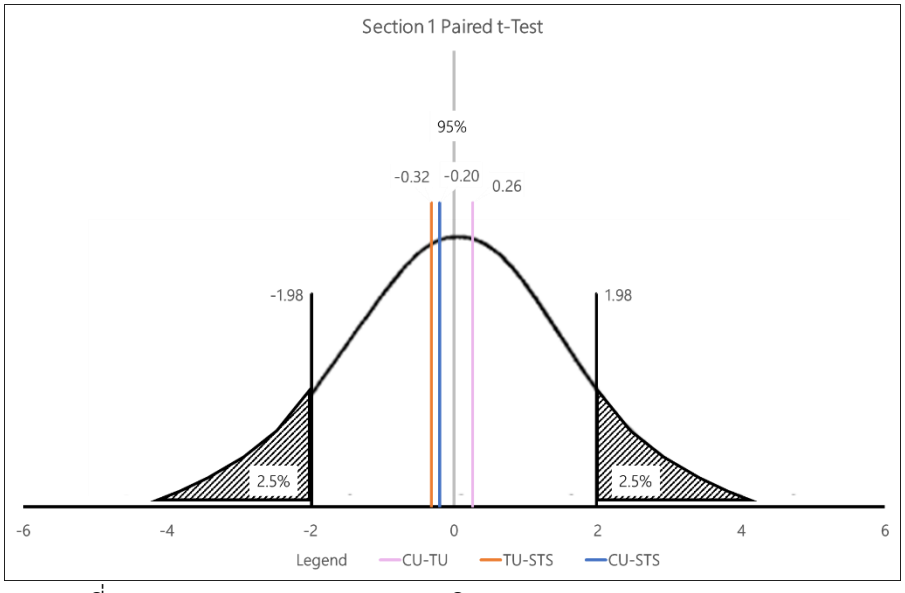
รายละเอียดของข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test จากเครื่องมือต่างชนิดกัน แต่รูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมเหมือนกัน วิ่งทดสอบในแปลงทดสอบที่ผิวทางเป็นปกติ ข้อมูลมีความต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ให้ผลที่ไม่ต่างกัน) โดยมีรายละเอียดดังนี้

Section 1 กิโลเมตรที่ 0+150 ถึง กิโลเมตรที่ 2+900

จากข้อมูลการสำรวจพบว่า $\pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = \pm t_{0.025,110}$ มีค่าประมาณ ±1.98 อธิบายได้ดังรูปที่ 26

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

- t_0 (LASER1- LASER2) = 0.26
- t_0 (LASER2 - LCMS) = -0.32
- t_0 (LASER1– LCMS) = -0.20



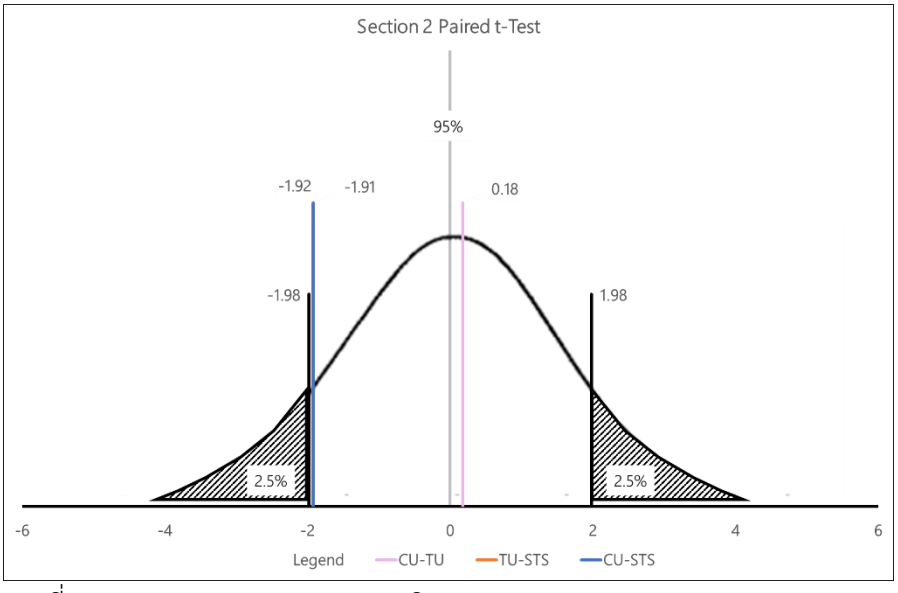
รูปที่ 25 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) Section 1 (IRI)

Section 2 กิโลเมตรที่ 2+900 ถึง กิโลเมตรที่ 0+150

จากข้อมูลการสำรวจพบว่า $\pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = \pm t_{0.025,110}$ มีค่าประมาณ ±1.98 อธิบายได้ดังรูปที่ 27

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

- t_0 (LASER1- LASER2) = 0.18
- t_0 (LASER2 - LCMS) = -1.92
- t_0 (LASER1– LCMS) = -1.91



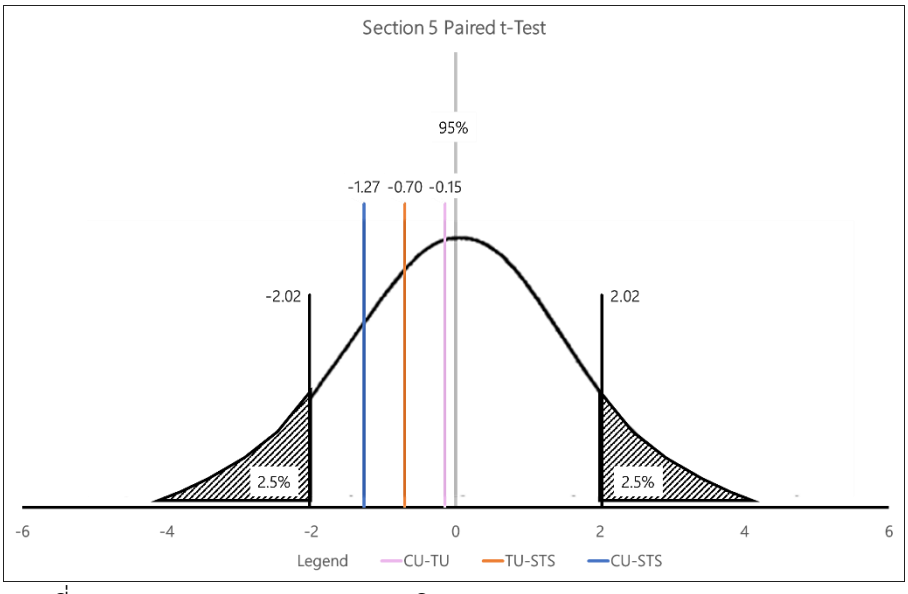
รูปที่ 26 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) Section 2 (IRI)

Section 5 กิโลเมตรที่ 120+000 ถึง กิโลเมตรที่ 121+000

จากข้อมูลการสำรวจพบว่า $\pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = \pm t_{0.025,39}$ มีค่าประมาณ ±2.02 อธิบายได้ดังรูปที่ 28

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

- t_0 (LASER1- LASER2) = -0.15
- t_0 (LASER2 - LCMS) = -0.70
- t_0 (LASER1– LCMS) = -1.27



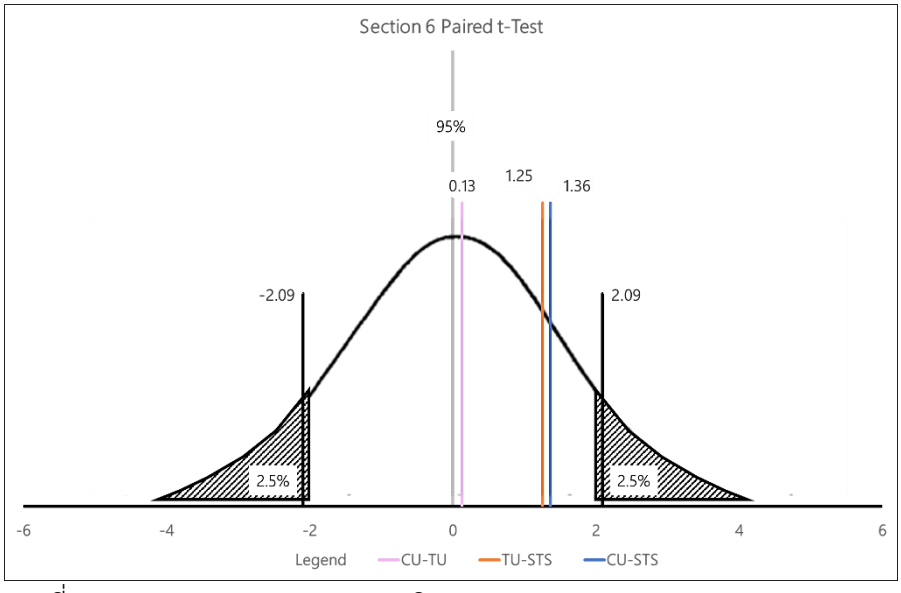
รูปที่ 27 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) Section 5 (IRI)

Section 6 กิโลเมตรที่ 11+650 ถึง กิโลเมตรที่ 12+150

จากข้อมูลการสำรวจพบว่า $\pm t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = \pm t_{0.025,19}$ มีค่าประมาณ ±2.09 อธิบายได้ดังรูปที่ 29

t_0 ที่ทำการทดสอบค่า IRI

- t_0 (LASER1- LASER2) = 0.13
- t_0 (LASER2 - LCMS) = 1.25
- t_0 (LASER1– LCMS) = 1.36



รูปที่ 28 กราฟแสดงการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) Section 6 (IRI)

สรุปผลการทำ Paired T-Test

จากข้อมูลการวิ่งทดสอบของอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คันมี ค่าเฉลี่ย ค่า IRI ที่ใกล้เคียงกัน และยังมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ไม่ต่างกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาลงไปในรายละเอียดรูปแบบการเก็บข้อมูล พบว่า อุปกรณ์ทั้ง 3 คันที่ได้ทำการสำรวจเก็บค่าสภาพทาง ได้แก่ ค่า IRI RUT และค่า MPD นั้น มีอุปกรณ์สำรวจที่ต่างชนิดกันและรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมมีความต่างกัน จึงได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติมด้วยวิธี Paired T-Test ในการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test เป็นการทดสอบค่าเฉลี่ยของ 2 กลุ่มว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ และมีการกำหนดสมมติฐานหลักที่ว่า ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รวมถึงกำหนด ให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนกันได้ที่ 5 % หรือกล่าวคือข้อมูลต้องมีค่าความเชื่อมั่นของข้อมูลที่ 95 %

ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test แบบระหว่างอุปกรณ์ จากตารางที่ 12 ค่า IRI ของอุปกรณ์สำรวจ 3 คัน (Laser Profiler 1 Laser Profiler 2 และ LCMS) ผ่านผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยวิธี Paired T-Test ใน Section 1 Section 2 Section 5 Section 6 และ Section ที่ผ่านทั้งหมด ซึ่งเป็นผิวทางลาดยาง จึงสรุปได้ว่า ถึงแม้ว่าอุปกรณ์สำรวจจะต่างชนิดกัน แต่มีรูปแบบการเก็บข้อมูลทางวิศวกรรมที่แตกต่างกันการวิ่งทดสอบในผิวทางที่เป็นปกติ ค่า IRI ที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน (Laser Profiler 1 Laser Profiler 2 และ LCMS) จะให้ค่าที่ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ หรืออธิบายเพิ่มเติมได้ว่าข้อมูลค่า IRI ที่ได้จากการวิ่งทดสอบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

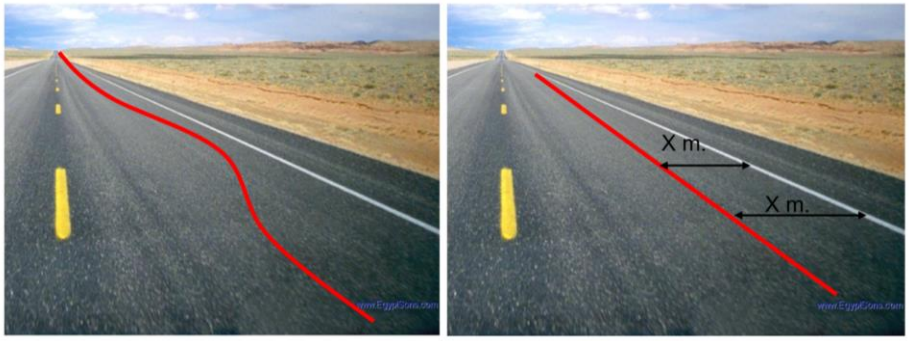
5. วิเคราะห์ผลลัพธ์การสอบเทียบจาก 3 อุปกรณ์

1) การเปรียบเทียบข้อมูลค่าดัชนีความขรุขระสากล (International Roughness Index : IRI)

ค่าดัชนี IRI จากอุปกรณ์ทั้ง 3 ระบบ มีหลักการวัดและคำนวณที่เหมือนกัน โดยเป็นวิเคราะห์จากจุดข้อมูลค่าความสูงที่จากเซนเซอร์หัวติดตั้งที่ระยะ 750 มิลลิเมตรจากกึ่งกลางตัวรถบันทึกค่ามาทุก ๆ ระยะ 25 มิลลิเมตร ตามทิศทางการสำรวจและปรับแก้ด้วยอุปกรณ์วัดความเร่งในแนวแกน (Accelerometer) จากนั้นนำค่าระยะจากการสำรวจ (Longitudinal profile) มาคำนวณเป็นค่าดัชนี IRI โดยเป็นรูปแบบเดียวกันทั้ง 3 ระบบและเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM E950 และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลลัพธ์ที่ได้จากกราฟและผลการทดสอบ Paired Sample T-Test ยอมรับสมมติฐานหลัก (ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) พบว่า มีรูปแบบลักษณะไปในทิศทางเดียวกันและผ่านการทดสอบทั้ง 3 ระบบ ในผิวทางลาดยาง (Section 1, Section 2, Section 5 และ section 6) ค่า IRI ผิวทางลาดยางจากอุปกรณ์ทั้ง 3 คัน สามารถเชื่อถือได้

สำหรับผิวทางคอนกรีต (Section 3 และ Section 4) ผลการทดสอบ Paired Sample T-Test ปฏิเสธสมมติฐานหลัก (ค่าเฉลี่ยของแต่ละคู่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) ค่า IRI ของรถสำรวจ LCMS ค่อนข้างแตกต่างจากรถสำรวจอีก 2 คัน (LASER PROFILER) ที่ปรึกษาจึงได้ดำเนินการศึกษาการทำงานของระบบ LCMS พบว่ามีความแตกต่างจาก LASER PROFILER ซึ่งอาจเป็นปัจจัยให้ค่า IRI ที่สำรวจมาได้มีความแตกต่างกัน ดังนี้

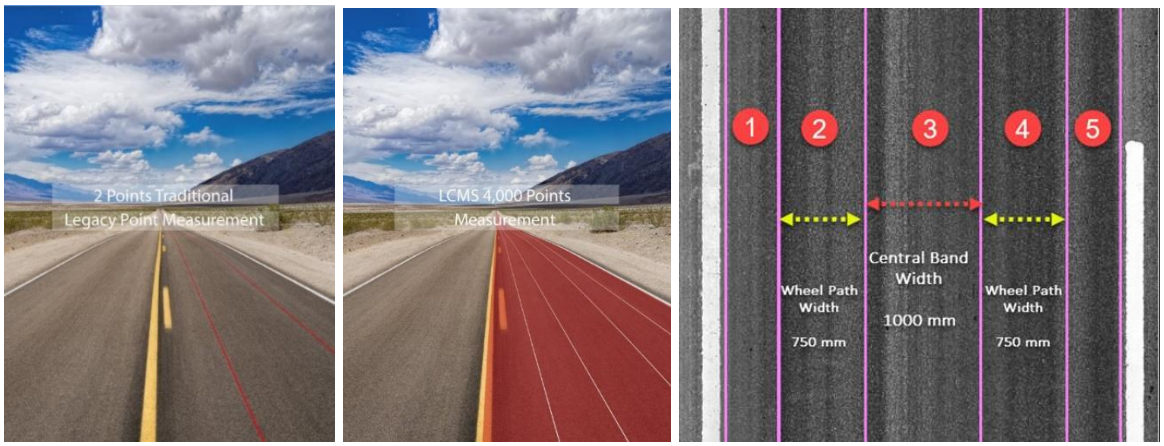
1. LCMS มีระบบ lane-tracking แก้ไขกรณีรถวิ่งไม่ตรงแนวเลนสำรวจ จึงทำให้แนวสำรวจตามร่องล้อของรถสำรวจแตกต่างกันได้ ถ้ารถสำรวจ LASER PROFILER วิ่งไม่ตรงแนวเลนสำรวจ



(ก.) (ข.)

รูปที่ 29 (ก.) แนวการสำรวจตามที่คนขับรถขับไม่ตรงตามแนวเลนสำรวจ (ข.) ระบบ Automated lane-tracking แก้ไขแนวการวิ่งสำรวจของรถให้สอดคล้องกับเลนสำรวจ

2. LCMS คำนวณค่า IRI มาจากค่าเฉลี่ยจุดเลเซอร์ทั้งหมดในร่องล้อ (wheel path กว้าง 750 mm) จำนวน 750 จุด ทำให้มีข้อมูลสำรวจสำหรับคำนวณค่า IRI จำนวนมากกว่า



(ก.) (ข.) (ค.)

รูปที่ 30 (ก.) LASER PROFILER ใช้ข้อมูลจากเลเซอร์ 2 จุด บริเวณกึ่งกลางร่องล้อ (ข.) LCMS มีจำนวนเลเซอร์ทั้งสิ้น 4,096 จุด เก็บข้อมูลได้กว้าง 4.0 ม. (ค.) การแบ่งพื้นที่ร่องล้อสำหรับคำนวณค่า IRI ของ LCMS

3. LCMS มีฟิลเตอร์อัตโนมัติสำหรับตัดข้อมูลสำรวจบริเวณที่เป็นหลุมบ่อและความเสียหายประเภทอื่นๆ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับ IRI และอาจบิดเบือนค่า IRI ออกไป ซึ่งจะทำให้ค่า IRI จาก LCMS ต่ำกว่า LASER PROFILER กรณีที่ถนนที่สำรวจมีความเสียหายประเภทอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องกับ IRI อยู่ในปริมาณมาก

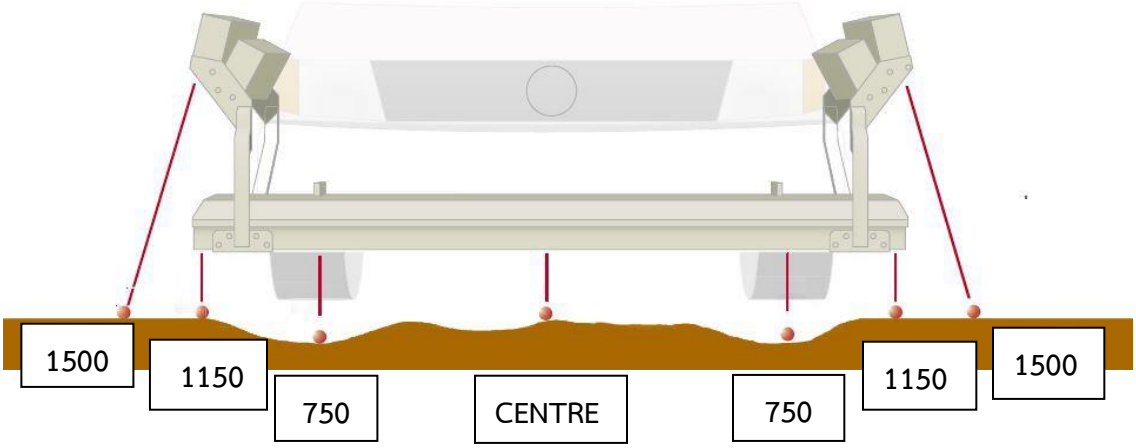
ดังนั้นสำหรับผิวทางคอนกรีต (Section 3 และSection 4) ซึ่งมี Longitudinal Joint บริเวณร่องล้อซ้ายตลอดเส้นทาง ตามรูปที่ 23 ค่า IRI จาก LCMS จึงมีค่าต่ำกว่า LASER PROFILER ที่ปรึกษาจึงใช้ค่า IRI จากร่องล้อขวาของ LCMS มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าจาก LASER PROFILER ตามรูปที่ 30 และ 31 เพื่อตัดปัจจัยจากระบบของรถสำรวจที่ทำให้ค่า IRI มีความแตกต่างกันออกไป กราฟมีลักษณะอยู่ในช่วงเกณฑ์ค่า IRI เดียวกัน

ดังนั้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าปัจจัยที่ทำให้ค่า IRI มีความแตกต่างกันระหว่างรถสำรวจ LCMS และ LASER PROFILER คือระบบการทำงานและประมวลผลของรถสำรวจแต่ละคันดังที่กล่าวมาข้างต้น ที่ปรึกษาจึงเสนอให้วิ่งสำรวจค่า IRI ใหม่อีกครั้งบนถนนผิวคอนกรีตที่ไม่มี Longitudinal Joint บริเวณร่องล้อและมีค่าความเสียหายน้อยเพื่อลดปัจจัยดังกล่าว แล้วนำผลมาเปรียบกันอีกครั้ง

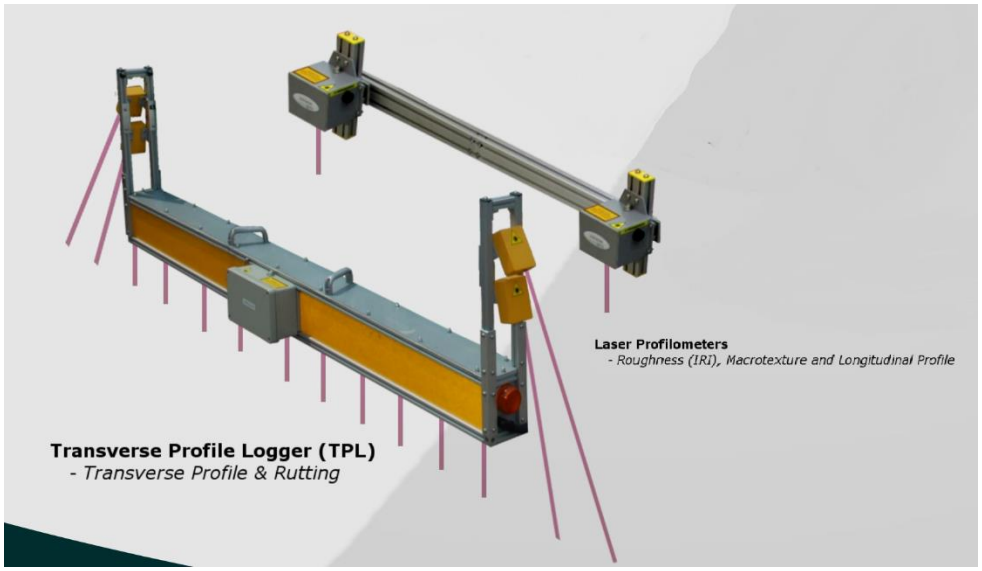
2) การเปรียบเทียบข้อมูลค่าความลึกร่องล้อ (Rutting)

ค่าความเสียหายร่องล้อเป็นการตรวจวัดโดยเซนเซอร์หลายหัวเพื่อสร้างรูปตัดขวางของผิวทาง แล้วทำการประมวลผลหาสูงสุดที่มีลักษณะเป็นแอ่งหรือหลุม ณ ตำแหน่งร่องล้อ โดยแยกออกเป็นการวิเคราะห์ร่องล้อซ้ายและขวา ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าข้อมูลจากเครื่องมือทั้ง 3 ระบบนั้น แตกต่างกันโดยแบ่งออกได้ 2 ลักษณะดังนี้

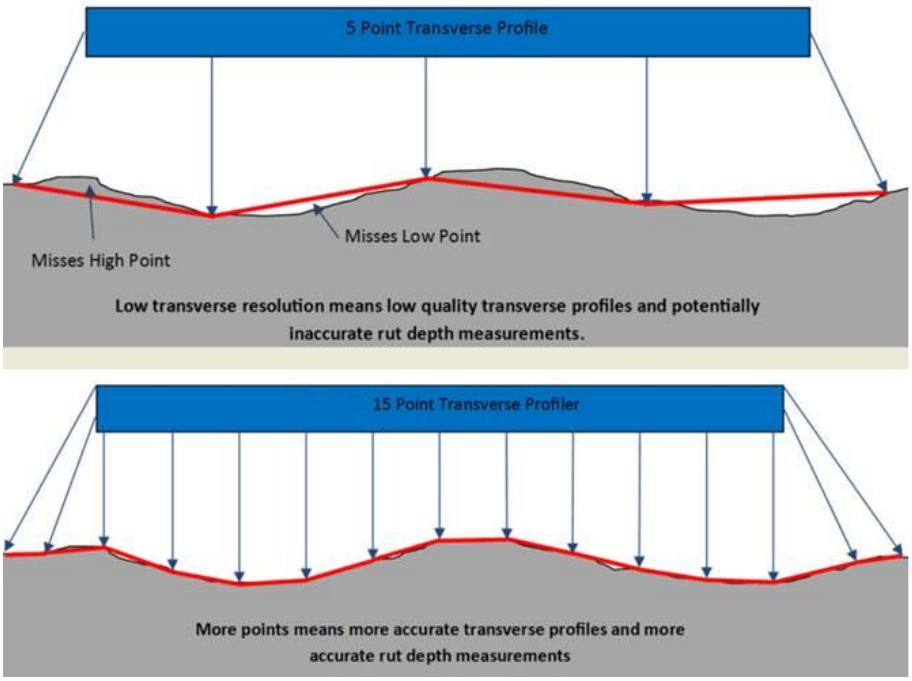
ลักษณะที่ 1 การตรวจวัดร่องโดยแบบเลเซอร์ 7 หรือ 15 จุด ที่มีระยะของจุดตรวจวัดตายตัว อันประกอบด้วยระบบรถสำรวจจาก LASER2 และLASER1 ตามลำดับ ข้อมูลประเภทนี้จะมีความแม่นยำขึ้นกับตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบ ซึ่งระยะในการติดตั้งได้ถูกออกแบบมาโดยผู้ผลิตเครื่องมือซึ่งปรับแต่งมาให้เหมาะสมกับลักษณะทางโดยทั่วไป ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนของการตรวจวัดอาจเกิดขึ้นได้ในกรณีที่เลเซอร์ไม่ตกกระทบ ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดที่ร่องล้อมีความลึกสูงสุดได้



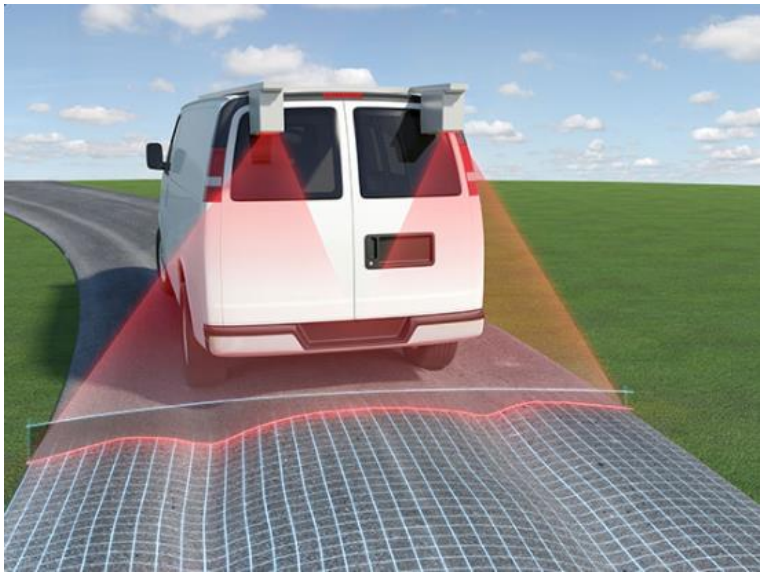
รูปที่ 31 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 7 จุด ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 32 เครื่องวัดระดับแบบเลเซอร์ 15 จุด ที่ติดตั้งบนยานพาหนะสำรวจ



รูปที่ 33 แสดงความแตกต่างระหว่างจำนวนจุดเลเซอร์ในการเก็บข้อมูลสภาพทาง



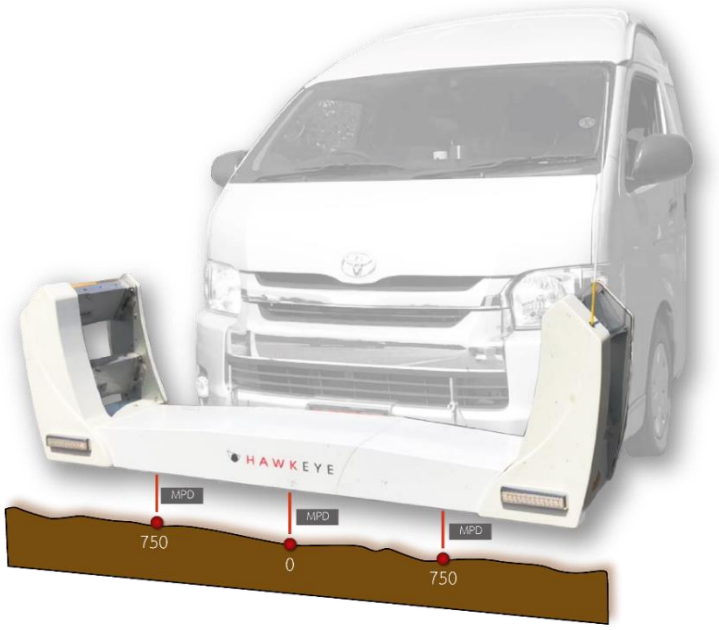
รูปที่ 34 แสดงการเก็บข้อมูลด้วยชุดเครื่องมือเลเซอร์ที่ได้จำนวน 4,096 จุด

ลักษณะที่ 2 การตรวจวัดโดยแบบเลเซอร์ 3 มิติ ที่มีจำนวนชุดเลเซอร์อยู่ 2 ชุด สำรวจได้กว้าง 4 เมตร และมีจำนวนเลเซอร์ที่วัดได้จำนวน 4,096 จุด ตามแนวขวางใช้ระบบ Pavemetrics's Laser Rut Measurement System (LRMS) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในกลุ่มของ Laser Crack Measurement System (LCMS) ในการตรวจวัด โดยเครื่องมือลักษณะนี้จะเป็นการสร้างข้อมูลหน้าตัดขวางของทางจากจุดจำนวนมาก จากนั้นซอฟต์แวร์จะทำการหาตำแหน่งที่ประมวลผลแล้วได้ความลึกของร่องล้อสูงสุด โดยจุดตรวจวัดอาจเป็นคนละตำแหน่งกับอีกระบบ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าความลึกร่องล้อเฉลี่ยของการสำรวจสำรวจตลอดช่วงที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับระบบที่มีตำแหน่งการตรวจวัดที่คงที่สังเกตได้จากข้อมูลที่มีทั้งส่วนที่ค่าเฉลี่ยที่ใกล้ทั้ง 3 ระบบเครื่องมือ โดยบางช่วงที่มีค่าสูงกว่าระบบอื่นๆ จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ต่างชนิดกัน จำนวนจุดที่คำนวณต่างกัน แนวการวิ่งต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจส่งผลให้ค่า RUT มีความต่างกัน อย่างไรก็ดี อุปกรณ์สำรวจทั้ง 3 คัน ได้รับรองมาตรฐาน ASTM E1703 สำหรับค่า RUTTING และรถสำรวจทั้ง 3 คันผ่านการ Calibrate มาแล้วทั้งสิ้น ถึงแม้ว่าค่าที่ได้จากรถสำรวจจะต่างกันจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น แต่ค่าที่ได้จากรถสำรวจทั้ง 3 คัน เป็นค่าที่ออกมาตามมาตรฐาน ASTM E1703 จึงถือได้ว่าค่า RUT จากรถสำรวจทั้ง 3 คัน เป็นค่าที่เชื่อถือได้

3) การเปรียบเทียบข้อมูลค่าความหยาบเฉลี่ยของพื้นผิวทาง (Mean Profile Depth: MPD)

ค่า MPD เป็นการตรวจวัดโดยใช้เลเซอร์คำนวณค่าความหยาบของผิวทาง (Pavement Texture) โดยใช้เลเซอร์ ณ ตำแหน่ง เดียวกันกับการตรวจวัดดัชนี IRI ที่ระยะ 750 มิลลิเมตร จากกึ่งกลางตัวรถ โดยแบ่งรูปแบบลักษณะการคำนวณออกได้ดังนี้

ลักษณะที่ 1 เป็นการใช้เลเซอร์สร้างโพรไฟล์ตามยาวเพื่อคำนวณค่าความหยาบของผิวทาง โดยพบในระบบสำรวจจาก LASER2 และ LASER1 เป็นวิธีการเก็บค่า MPD แบบทิศทางเดียวกับการวิ่งของรถสำรวจ โดยชุดเลเซอร์ที่ใช้ในการเก็บค่า MPD ประกอบไปด้วย จุดเลเซอร์ 750 มิลลิเมตร ซ้ายและขวา และจุดเลเซอร์ CENTRE ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะเป็นรูปแบบจุด โดยที่เครื่องมือทำการเก็บค่าทุก 1 มิลลิเมตร และคำนวณตามหลักเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 35 อุปกรณ์เลเซอร์ของรถสำรวจลักษณะที่ 1 ที่ใช้สำหรับเก็บค่า MPD

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

ดังนั้น การวัดทั้ง 2 ลักษณะมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องของจำนวนจุดในการประมวลผลและรูปแบบการวัด แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกันทั้ง 3 ระบบเครื่องมือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวิ่งทดสอบในแต่ละ section มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่ำ จึงสรุปได้ว่าอุปกรณ์ต่างชนิดกันไม่ส่งผลกระทบต่อค่าที่ได้จากการสำรวจ

ปัจจัยที่ทำให้ข้อมูลมีความต่างกัน

ปัจจัยที่ส่งผลให้ชุดข้อมูลมีค่าเฉลี่ยที่ต่างกันนั้น เกิดขึ้นได้หลากหลายปัจจัย ตั้งแต่พฤติกรรมการขับรถสำรวจของแต่ละคัน ที่มีพฤติกรรมเป็นเอกลักษณ์ของผู้ขับ ยกตัวอย่างกรณีทางโค้งและทางลาดชันของสายทางทดสอบใน Section ที่ 1 และ 2 (ทางหลวงหมายเลข 3050 ตอนควบคุมที่ 100) ซึ่ง Section ที่ 1 เป็นทางขึ้นเขา (ช่องจราจรซ้ายทาง) และ Section ที่ 2 เป็นทางลงเขา (ช่องจราจรขวาทาง) ภายในสายทางตัวอย่างจะประกอบไปด้วยทางโค้ง ที่ผสมกับทางลาดชันส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมคนขับทำให้เกิดการชะลอความเร็วหรือการห้ามล้อ (Brake) ระหว่างการเข้าโค้ง และ Section ที่ 5 ที่เป็นสายทางตัวอย่างของถนนที่มีความเสียหายสูง จากสภาพผิวทางที่มีความชำรุดโดยการเปรียบเทียบด้วยค่าสำรวจปี พ.ศ.2564 ก็ส่งผลต่อพฤติกรรมการสำรวจที่ผู้ขับรถอาจจะต้องชะลอความเร็วหรือการห้ามล้อ (Brake) เมื่อเจอความเสียหายของผิวทาง จากพฤติกรรมดังกล่าวส่งผลทำให้การทรงตัวของรถมีความแตกต่างกัน จึงทำให้กระทบต่อค่าสำรวจสภาพทาง และสาเหตุที่สอง ที่คาดว่าส่งผลกระทบต่อค่าสภาพทางไม่ต่างกัน คือ ปัจจัยจากอุปกรณ์ วิธีการคำนวณค่าของอุปกรณ์ จำนวนจุดที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าของอุปกรณ์ ที่แตกต่างกัน โดยทุกอุปกรณ์มีความโดดเด่นในการสำรวจสภาพทาง แต่ด้วยวิธีการคำนวณและปริมาณของตัวเลเซอร์ และความละเอียดของผลลัพธ์แต่ละอุปกรณ์มีความแตกต่าง ดังนั้นในการเลือกใช้งานแต่ละอุปกรณ์ก็ควรที่จะเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อความต้องการใช้งาน ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวของตัวอุปกรณ์ได้มีการอธิบายไว้ในหัวข้อวิเคราะห์ผลลัพธ์การสอบเทียบจาก 3 อุปกรณ์ ต่อไป