

การพัฒนาระบบและเทคนิคการสอบเทียบเพื่อจัดทำแผนที่ 3 มิติความถูกต้องสูง ของสถาบันสารสนเทศ ทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน)

A development and calibration techniques of high accuracy 3D Mobile Mapping Systems (MMS) of Hydro Informatics Institute (HII).

นายณัฐกิตติ์ เสงี่ยม¹

¹ งานวิจัยภูมิสารสนเทศ ฝ่ายพัฒนาเทคโนโลยีและดิจิทัล

³ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

*ณัฐกิตติ์ เสงี่ยม ; E-mail address: nattakit@hii.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีสำรวจจัดทำแผนที่ 3 มิติแบบเคลื่อนที่ และเทคนิคการสอบเทียบระบบ โดยใช้กล้อง Total Station, terrestrial Laser Scanner และ Computer Measuring Machine (CMM) เพื่อให้ได้ค่า Lever Arm และ Bore-Sight ของระบบที่มีความถูกต้องสูงเมื่อเปรียบเทียบกับจุดศูนย์กลางของระบบ จากนั้นจัดทำ Ground Control Point (GCP) บนพื้นที่ทดสอบด้วยกล้อง Total Station จากนั้นจึงทดสอบระบบ MMS ในพื้นที่ทดสอบที่เตรียมจุดควบคุมไว้และนำข้อมูลไปประมวลผลโดยโปรแกรม Qinertial โดยใช้ค่า Lever Arm และ Bore-Sight ที่ได้จากการสอบเทียบข้างต้น จะได้ข้อมูล 2 ส่วนคือ ภาพถ่าย 360 องศา และข้อมูล Point Cloud ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับ GCP ที่ทำได้ ผลการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนทางราบ ± 5 เซนติเมตร และทางตั้ง ± 7 เซนติเมตร ที่ระยะ 15 เมตรจากจุดเปิดถ่าย

คำสำคัญ: Lever Arm, Bore-Sight, ข้อมูล Point Cloud

Abstract

This article presents a development of 3D mapping from surveying technology called "Mobile Mapping System (MMS)" and its calibration. The calibration techniques use total station camera, terrestrial laser scanners and a computer measuring machine (CMM) to get high accuracy of Lever Arm and Bore Sight with comparing to the system center. Then, ground control points (GCPs) on the testing area are created by a total station camera. After testing the MMS, the data will be corrected and processed by using Qinertial program together with the calibrated Lever Arm and Bore Sight data. The processing results can give two type of data which are 360 degree of the surveying object photos, and point cloud data. At 15 meters apart, the MMS surveying technique could give an accuracy results on the

horizontal position of ± 5 cm and on the vertical position of ± 7 cm by comparing with GCP.

Keywords: Lever Arm, Bore-Sight, Point Cloud data

1. คำนำ

ในปัจจุบันข้อมูลภูมิสารสนเทศถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะใช้ในการวางแผนจัดการกับสถานการณ์ในด้านต่างๆ เช่น การก่อสร้าง การจัดการทรัพยากร รวมไปถึงการพัฒนาในด้านต่างๆ ด้วยภารกิจหลักของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) หรือ สสน. ในด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ และเป็นหน่วยงานสนับสนุนข้อมูลให้กับสำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ(สทช.) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพัฒนาระบบ MMS เพื่อให้ได้ข้อมูลภูมิประเทศและแผนที่ 3 มิติที่มีความถูกต้องสูง ในเวลาอันรวดเร็ว เพื่อผลิตข้อมูลใช้สำหรับวิเคราะห์และวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและบริหารจัดการกับภัยพิบัติที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

สสน. เริ่มพัฒนาระบบ MMS ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 เริ่มจากระบบสำรวจทางบก และได้พัฒนาต่อเนื่องมาตลอด โดยในปัจจุบันเป็นเวอร์ชันที่ 3 โดยการประกอบอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละชนิดด้วยตัวเอง และสืบค้นจนได้วิธีการสอบเทียบอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงเพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลแผนที่ 3 มิติ โดยการพัฒนาร่วมกับสถาบันการศึกษา ระบบ MMS สามารถสำรวจสามารถเก็บข้อมูลในระยะรัศมี 100 เมตรจากระยะสำรวจ โดยสามารถเก็บข้อมูลระยะทาง 100 กิโลเมตร ได้ในเวลาเพียง 6 ชั่วโมงเท่านั้น บนถนนหรือพื้นผิวต่างๆที่รถสามารถเข้าถึงได้ อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้มีรายละเอียดดังในเอกสารวิจัยฉบับนี้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตระบบจัดทำแผนที่ 3 มิติแบบเคลื่อนที่ และนำเสนอเทคนิคตรวจวัดค่า Lever-arm และ Bore-Sight ของระบบ MMS ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด 3 ชนิดเพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องสูงที่สุด และนำมาใช้ในการ

ประมวลผลข้อมูลจากระบบ MMS โดยแผนที่แบบจำลอง 3 มิติที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับความถูกต้องทางตำแหน่งกับจุดควบคุม (Ground Control Point : GCP) โดยการเคลื่อนที่เป็นรูปแบบต่างๆ โดยมีความถูกต้องทางตำแหน่งดีกว่า 10 เซนติเมตร

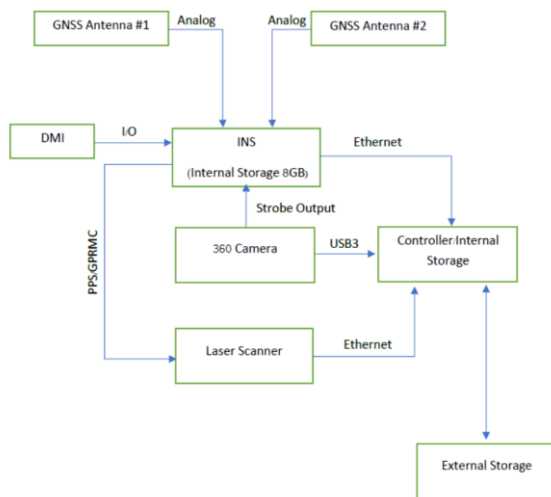
3. วิธีดำเนินการ

3.1 องค์ประกอบของระบบ MMS

ระบบ MMS ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดทั้งหมด 5 ชนิด คือ Global Navigation Satellite System (GNSS), Inertial Measurement Unit (IMU), Laser Scanner, 360° camera และ Distance Measuring Instrument (DMI) โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะถูกประกอบรวมกันและติดตั้งบนรถยนต์สำรวจดังรูปที่ 1 การเชื่อมโยงอุปกรณ์แต่ละชนิดดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 Sensor ของระบบ MMS



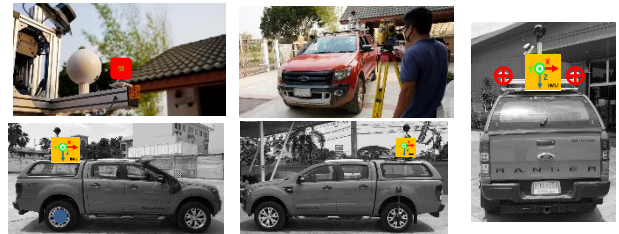
รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงของระบบ MMS

เนื่องจากระบบ MMS ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชนิด จึงต้องมีจุดอ้างอิงหลักเป็นแกนของระบบ ส่วนอุปกรณ์อื่นนั้นก็ต้องจะมีค่า Lever Arm และ Bore-Sight ที่แตกต่างกันออกไป ความแม่นยำในการหาค่าเหล่านี้มีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการตรวจวัดที่มีความแม่นยำสูง แต่ด้วยการตรวจวัดแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่ต่างกัน สส. จึงต้องใช้วิธีการตรวจวัดทั้งหมด 3 วิธี คือ ตรวจวัดด้วยกล้อง Total station, ตรวจวัดด้วย Terrestrial Laser scanner และตรวจวัดด้วย Computer Measuring Machine (CMM) เพื่อให้ได้ค่าที่มีความถูกต้องสูงสุด โดยค่าที่วัดได้แสดง ดังตารางที่ 1

3.2 การสอบเทียบอุปกรณ์ในห้องทดลอง

3.2.1 การสอบเทียบด้วยกล้อง Total Station

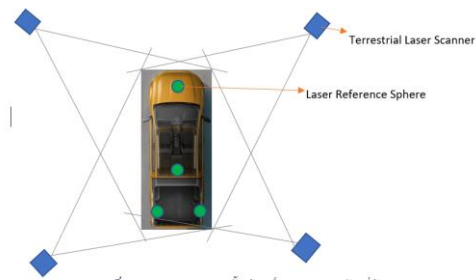
อุปกรณ์ Total Station ที่ใช้ในการสอบเทียบครั้งนี้เป็นกล้องยี่ห้อ Topcon รุ่น OS 101 มีความถูกต้อง EDM อยู่ที่ ± 3 มิลลิเมตร + 2ppm x D) กรณีที่ไม่มีเป้าปริซึม



รูปที่ 3 แสดงการติดตั้งที่เป้าตำแหน่งต่างๆ และการสอบเทียบด้วยกล้อง Total Station

3.2.2 การสอบเทียบด้วย Terrestrial Laser Scanner (TLS)

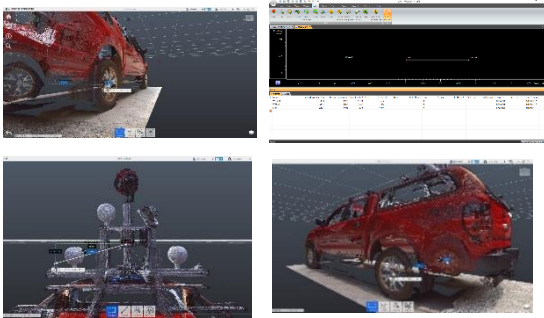
อุปกรณ์ Terrestrial Laser Scanner ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้เป็นยี่ห้อ FARO รุ่น Focus3D X330 โดยมีความถูกต้องอยู่ที่ 0.3 มิลลิเมตร



รูปที่ 4 แสดงการติดตั้งที่เป้าตำแหน่งต่างๆ และการสอบเทียบด้วย Laser Scanner

ข้อมูลที่ได้จากการ Scan ดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นข้อมูลที่ถูเก็บมาจากการ Scan ซึ่งใช้เวลาประมวล 40 นาทีต่อการตั้งกล้อง 1 ครั้ง หลังจากนั้นข้อมูลทั้งหมดจะถูกนำมาประสานกันด้วย Laser Reference Sphere เพื่อให้ได้ข้อมูลของรถทั้งคัน

3.2.3.2 เมื่อใช้ probe วัดตำแหน่งเสา GNSS Antenna ทั้ง 2 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 8



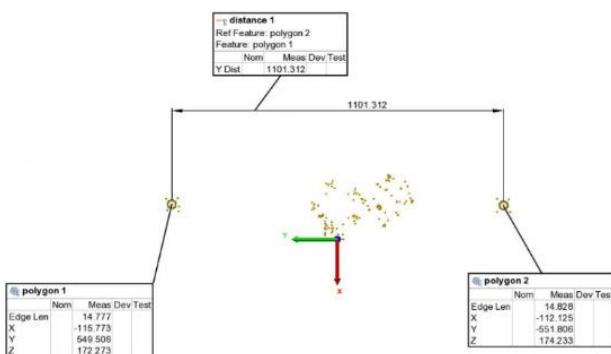
รูปที่ 5 ผลจากการสอบเทียบด้วย Laser Scanner

3.2.3 การสอบเทียบด้วยอุปกรณ์ Computer Measuring Machine ที่ใช้ในการสอบเทียบครั้งนี้คือ FARO รุ่น Prime ซึ่ง Accuracy อยู่ที่ ± 0.023 มิลลิเมตร. เมื่อทำการติดตั้งอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วสามารถใช้ probe ของ FARO Prime ทำการวัดค่าตำแหน่งได้โดยตรงเลย ดังแสดงดังรูปที่ 6

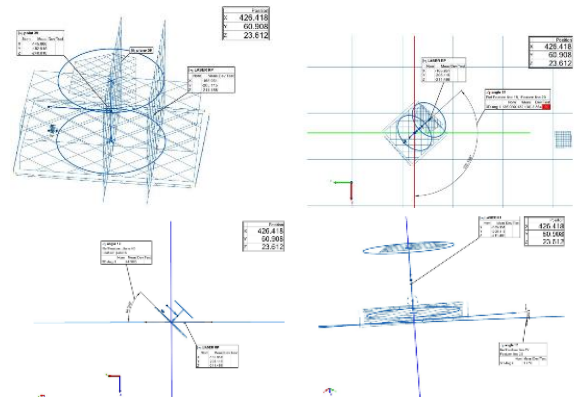


รูปที่ 6 ผลจากการสอบเทียบด้วย Laser Scanner

3.2.3.1 เมื่อใช้ probe วัดตำแหน่งเสา GNSS Antenna ทั้ง 2 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 7



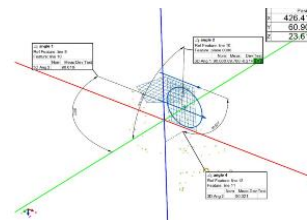
รูปที่ 7 แสดงค่าตำแหน่งที่วัดได้จาก CMM



รูปที่ 8 จุดอ้างอิงของ Velodyne Puck Lite ซึ่งอยู่เอียงจากจุดศูนย์กลางของอุปกรณ์ และการคำนวณมุม รอบแกน X,Y,Z

3.2.3.3 การวัดค่าตำแหน่ง Ladybug 5+

สำหรับ Ladybug จะอ้างอิงจุดศูนย์กลางของเลนส์ ทั้ง 5 ด้าน โดยมีแกน X พุ่งออกจากหน้า 0 แล้วมีแกน Z พุ่งจากจุดตัดกันนั้นขึ้นไปยังเลนส์ที่ 6 ส่วนแกน Y ตั้งฉากกับแกนทั้ง 2 ตอนต้น



รูปที่ 9 แสดงจุดศูนย์กลางและแกนต่างๆของ Ladybug 5+ การวัดค่าตำแหน่ง Lever Arm และ Bore-Sight

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่า Lever Arm และ Bore-Sight ก่อนและหลังการสอบเทียบอุปกรณ์

ลำดับ	รายการ	ก่อนการสอบเทียบ	หลังการสอบเทียบ
1	Center of Rotation Lever Arm (X, m.)	0.550	0.216
2	Center of Rotation Lever Arm (Y, m.)	0.040	0.005

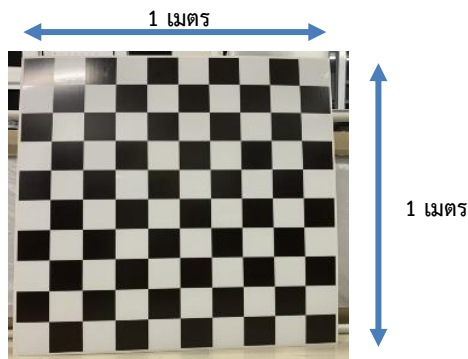
ลำดับ	รายการ	ก่อนการสอบเทียบ	หลังการสอบเทียบ
3	Center of Rotation Lever Arm (Z, m.)	1.770	1.814
4	Odometer Lever Arm (X, m.)	0.523	0.216
5	Odometer Lever Arm (Y, m.)	-0.596	-0.884
6	Odometer Lever Arm (Z, m.)	1.770	1.814
7	GNSS Ant1 Lever Arm (X, m.)	-0.086	-0.116
8	GNSS Ant1 Lever Arm (Y, m.)	0.553	0.550
9	GNSS Ant1 Lever Arm (Z, m.)	0.244	0.140
10	GNSS Ant2 Lever Arm (X, m.)	-0.080	-0.112
11	GNSS Ant2 Lever Arm (Y, m.)	-0.547	-0.552
12	GNSS Ant2 Lever Arm (Z, m.)	0.246	0.142

รูปที่ 11 ตัวอย่างจุดควบคุมในพื้นที่ทดสอบ

3.3 กำหนดจุดควบคุมในพื้นที่ทดสอบ 2 รูปแบบ

3.3.1 การใช้เป้าตารางหมากรุก

เป้าตารางหมากรุก ขนาด 1 x 1 เมตร และมีช่องหมากรุกขนาด 10 x 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงเป้าตารางหมากรุกขนาด 1 เมตร x 1 เมตร

3.3.2 จุดควบคุมธรรมชาติ (Natural Point)

จุดควบคุมธรรมชาติที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ประกอบไปด้วยจุดทั้งหมด 39 จุด โดยมีระยะ ระหว่าง 10 – 100 เมตร จากเส้นทางการวิ่งดังรูปที่ 11



ตารางที่ 2 แสดงค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพ

หมายเลข	N (m.)	E (m.)	H (m.)	Slope Distance (m.)
1	1519588.649	678617.939	-30.810	18.225
2	1519584.417	678629.966	-30.765	21.474
3	1519575.867	678654.408	-30.748	41.539
4	1519577.808	678607.808	-26.359	9.553
5	1519580.993	678608.400	-26.327	11.774
6	1519584.121	678608.997	-26.303	14.332
7	1519587.266	678609.572	-26.274	17.124
8	1519590.442	678610.170	-26.242	20.064
9	1519592.776	678609.886	-21.532	23.721
10	1519592.084	678613.441	-21.595	22.835
11	1519591.806	678613.859	-24.406	21.633
12	1519587.033	678630.864	-21.022	25.670
16	1519584.912	678643.588	-24.389	33.998
17	1519581.145	678643.467	-26.501	32.202
18	1519581.991	678644.696	-21.673	34.538
19	1519579.317	678652.619	-19.467	41.811
20	1519579.121	678653.223	-21.677	41.822
21	1519579.147	678654.392	-20.962	43.101
22	1519580.693	678648.522	-25.935	36.946
23	1519580.503	678649.088	-26.443	37.381
24	1519573.569	678656.085	-25.710	43.278
25	1519569.646	678655.985	-29.493	42.873
26	1519567.966	678655.390	-29.501	42.368
27	1519562.509	678649.691	-27.848	37.627
28	1519561.258	678650.165	-31.909	38.32
29	1519558.014	678652.315	-29.050	41.311
30	1519554.675	678649.621	-24.486	40.440
31	1519552.947	678646.379	-25.259	38.214
32	1519552.900	678646.476	-27.841	38.052
33	1519551.297	678637.137	-28.443	31.155
34	1519549.334	678636.700	-29.399	32.067
35	1519550.325	678636.895	-31.834	31.557
36	1519574.048	678668.499	-19.489	56.518
37	1519568.276	678689.093	-19.493	76.792
38	1519537.558	678765.507	-0.419	108.878
39	1519538.139	678684.659	-14.282	90.385
40	1519534.215	678683.959	-14.637	91.391

หมายเลข	N (m.)	E (m.)	H (m.)	Slope Distance (m.)
41	1519545.247	678651.312	-14.345	48.834
42	1519541.138	678650.536	-14.468	50.510

3.3.3 จุดอ้างอิงแบบมีเส้นฐาน

สร้างจุด 2 จุด โดยการรังวัดค่าที่กักใช้เทคนิค RTK สร้างเส้นฐานด้วย GNSS โดยใช้สถานีอ้างอิงทางพิคดที่ใกล้ที่สุดคือสถานี DPT9 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง จากนั้นใช้กล้อง Total Station ตั้งรับจุด B แล้วยิง Back Sight ไปที่จุด A โดยใช้ Target



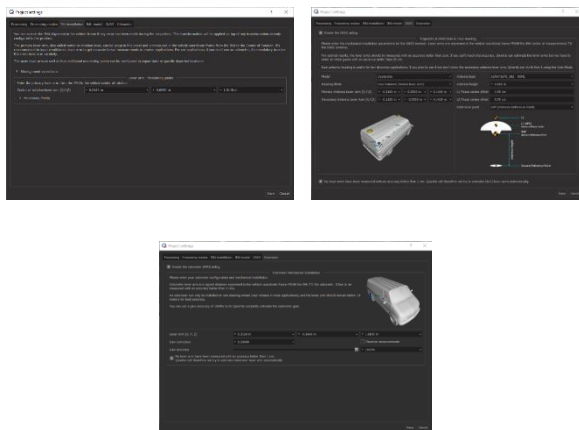
รูปที่ 12 การตั้งอุปกรณ์ GNSS เพื่อรังวัดค่าที่กักของเส้นฐาน

4. การประมวลผลข้อมูล

4.1 ประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม Qintertia

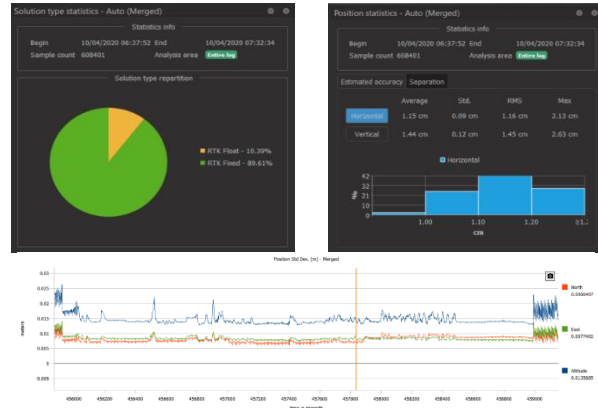
4.1.1 ประมวลผลจากการวิ่งสำรวจและข้อมูล

ประมวลผลข้อมูล GNSS จาก Base Station หลังจากนั้นระหว่างการประมวลผล Motion Profile ที่ต้องเลือกใช้คือ Automotive และ เลือกระบบ GNSS ทั้งหมดที่มี และใส่ค่า Dual Antenna Lever Arm และ Odometer Lever Arm



รูปที่ 13 หน้าต่างกำหนดค่า Lever Arm และ Bore-Sight

ขั้นตอนการเก็บข้อมูลของ INS เป็นการเก็บข้อมูลของทุกวินาที ดังนั้นเมื่อ import ข้อมูลเข้ามาในโปรแกรม Qintertia จะได้ Solution การประมวลผลเป็น Fixed และ Float



รูปที่ 14 ผลลัพธ์การประมวลผลข้อมูล

อัตราการ Fixed ได้มากถึง 89.61% ในขณะที่อีก 10.39% เป็น Solution แบบ float และเมื่อลองพิจารณาถึงสถิติค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง พบว่าในทางราบมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องอยู่ที่ 1.15 เซนติเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.9 มิลลิเมตร และมีค่าความถูกต้องต่ำสุดในทางราบอยู่ที่ 2.13 เซนติเมตร ในขณะที่หากพิจารณาในแนวตั้งพบว่ามีความถูกต้องเฉลี่ยอยู่ที่ 1.44 เซนติเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 1.2 มิลลิเมตร นอกจากนี้ในแนวตั้งมีความถูกต้องต่ำสุดอยู่ที่ 2.63 เซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นว่าช่วงที่มีผลต่อค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งคือ ช่วงแรกและช่วงท้ายของการเก็บข้อมูล ดังนั้นก่อนการวิ่งเก็บข้อมูลและหลังจากเก็บข้อมูลเสร็จแล้ว ควรจอดรถทิ้งไว้ในที่โล่งและรับสัญญาณ GNSS ได้ดีเป็นระยะเวลาประมาณ 5 นาที

4.2 การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องกับจุดควบคุมภาพ

หลังจากที่ได้ดำเนินการ ประมวลผลข้อมูลจาก INS เรียบร้อยแล้ว ก็จะดำเนินการนำผลที่ได้ขึ้นมาคำนวณตำแหน่งของ Point Cloud ที่ได้สำรวจมา แล้วนำผลที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับจุดควบคุมภาพที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามมีบางจุดที่ทำการระบุตำแหน่งได้ยาก จึงไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งผลของการตรวจสอบแยกตามความเร็ว 40 และ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องกับจุดควบคุมภาพ โดยวิ่งทดสอบที่ความเร็ว 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง

หมายเลข	จุดควบคุมภาพ			Point Cloud		
	N	E	H	N	E	H
4	1519577.81	678607.81	-26.36	1519577.75	678607.86	-26.36

หมายเลข	จุดควบคุมภาพ			Point Cloud		
	N	E	H	N	E	H
5	1519580.99	678608.40	-26.33	1519580.97	678608.45	-26.32
6	1519584.12	678609.00	-26.30	1519584.11	678609.07	-26.31
7	1519587.27	678609.57	-26.27	1519587.25	678609.65	-26.30
8	1519590.44	678610.17	-26.24	1519590.37	678610.20	-26.31
12	1519587.03	678630.86	-21.02	1519586.95	678630.89	-20.96
13	1519583.96	678632.00	-26.76	1519583.87	678631.98	-26.67
14	1519586.09	678632.35	-19.47	1519586.03	678632.35	-19.47
15	1519583.40	678640.31	-21.71	1519583.33	678640.27	-21.69
18	1519581.99	678644.70	-21.67	1519581.94	678644.61	-21.66
19	1519579.32	678652.62	-19.47	1519579.27	678652.63	-19.43
20	1519579.12	678653.22	-21.68	1519579.10	678653.19	-21.68
21	1519579.15	678654.39	-20.96	1519579.08	678654.42	-21.01
27	1519562.51	678649.69	-27.85	1519562.46	678649.69	-27.81
29	1519558.01	678652.32	-29.05	1519557.96	678652.27	-29.03
30	1519554.68	678649.62	-24.49	1519554.66	678649.61	-24.47
31	1519552.95	678646.38	-25.26	1519552.93	678646.36	-25.27
32	1519552.90	678646.48	-27.84	1519552.90	678646.44	-27.83
33	1519551.30	678637.14	-28.44	1519551.35	678637.20	-28.40
34	1519549.33	678636.70	-29.40	1519549.31	678636.67	-29.34
35	1519550.33	678636.90	-31.83	1519550.34	678636.87	-31.78
mean				0.061	0.072	
min				0.019	0.025	
max				0.100	0.123	
SD				0.023	0.026	

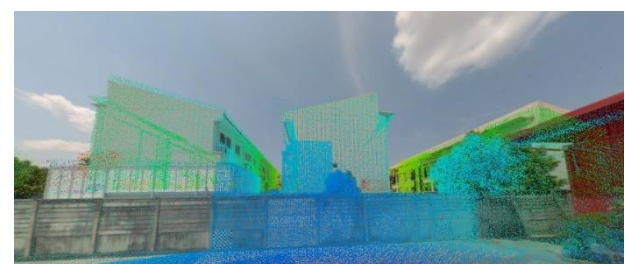
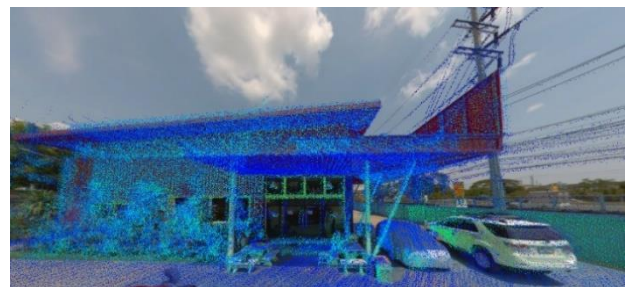
หมายเลข	จุดควบคุมภาพ			Point Cloud		
	N	E	H	N	E	H
20	1519579.12	678653.22	-21.68	1519579.10	678653.22	-21.69
21	1519579.15	678654.39	-20.96	1519579.12	678654.40	-21.00
27	1519562.51	678649.69	-27.85	1519562.54	678649.67	-27.81
29	1519558.01	678652.32	-29.05	1519558.01	678652.25	-29.06
30	1519554.68	678649.62	-24.49	1519554.75	678649.58	-24.53
31	1519552.95	678646.38	-25.26	1519552.99	678646.38	-25.27
32	1519552.90	678646.48	-27.84	1519552.98	678646.45	-27.83
33	1519551.30	678637.14	-28.44	1519551.29	678637.25	-28.49
34	1519549.33	678636.70	-29.40	1519549.25	678636.60	-29.38
35	1519550.33	678636.90	-31.83	1519550.28	678636.97	-31.84
mean				0.058	0.085	
min				0.005	0.025	
max				0.131	0.172	
SD				0.036	0.037	

4.3 การผสานข้อมูลภาพ 360 องศา เข้ากับ Point Cloud

หลังจากที่ทำการประมวลผล Point Cloud และภาพ 360 องศา เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถผสานข้อมูลดังกล่าวเข้าด้วยกันโดยใช้โปรแกรม Orbit GT Content Manager เพื่อสร้างแผนที่ 3 มิติ โดยลำดับข้อมูลออกออกเป็นเฟรมตาม Trajectory ที่ระบบ MMS วิ่งผ่าน จำนวนเฟรมขึ้นอยู่กับความถี่ในการจัดเก็บข้อมูลภาพ โดยข้อมูลที่แสดงออกมานั้นสามารถตรวจวัดขนาดความกว้าง ยาว สูง และพื้นที่ ของภูมิประเทศได้เสมือนการรังวัดบนพื้นที่จริง ทุกประการโดยค่าความแม่นยำของระบบ MMS ของ สสน.

ตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องกับจุดควบคุมภาพ โดยวิ่งทดสอบที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง

หมายเลข	จุดควบคุมภาพ			Point Cloud		
	N	E	H	N	E	H
4	1519577.81	678607.81	-26.36	1519577.85	678607.76	-26.46
5	1519580.99	678608.40	-26.33	1519581.04	678608.38	-26.36
6	1519584.12	678609.00	-26.30	1519584.12	678608.96	-26.38
7	1519587.27	678609.57	-26.27	1519587.26	678609.54	-26.31
8	1519590.44	678610.17	-26.24	1519590.45	678610.17	-26.38
12	1519587.03	678630.86	-21.02	1519587.10	678630.82	-21.07
13	1519583.96	678632.00	-26.76	1519584.01	678631.95	-26.76
14	1519586.09	678632.35	-19.47	1519586.09	678632.35	-19.53
15	1519583.40	678640.31	-21.71	1519583.41	678640.31	-21.88
18	1519581.99	678644.70	-21.67	1519581.92	678644.79	-21.65
19	1519579.32	678652.62	-19.47	1519579.34	678652.66	-19.43



รูปที่ 15 ข้อมูลแผนที่ 3 มิติ

5. บทสรุป

จากรายละเอียดที่ได้แสดงมาตอนต้น พบว่าการรังวัดค่า Lever-Arm ของรถ เช่น Lever-Arm จาก INS มายังจุด Center of Rotation การใช้กล้อง Total Station ก็เพียงพอต่อการวัดค่าดังกล่าว อย่างไรก็ตามค่า Lever-Arm และ Bore-Sight ของ Sensor ต่างๆ เช่น Velodyne Puck Lite และ Ladybug การใช้ CMM ก็เป็นแนวความคิดหนึ่งที่ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำมากพอในการประมวลผลในขั้นตอนต่อไป

ค่า Lever-Arm และ Bore-Sight ที่ได้ สามารถนำไปใช้ประมวลผล ข้อมูล โดยผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับจุดควบคุมภาพ พบว่ามีความถูกต้องเฉลี่ยของระบบในทางราบดีมากอยู่ในระดับ ± 5 เซนติเมตร ที่ระยะ 15 เมตรจากจุดเปิดถ่าย และใน 3 มิติ อยู่ในระดับความถูกต้อง ± 7 เซนติเมตร ที่ระยะ 15 เมตรจากจุดเปิดถ่าย ในงานวิจัยนี้

อีกทั้งความเร็วที่ใช้ในการสำรวจ ยังส่งผลต่อความถูกต้องของข้อมูล และความหนาแน่นของ Point cloud อีกด้วย ดังตารางที่ 3 และ 4 เมื่อเปรียบเทียบค่า Max และ SD เห็นได้ว่าที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง สูงกว่าประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับการวิ่งที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อ ชั่วโมง

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณ ดร.ปณิธาน ศรีนวลดี เป็นอย่างสูงที่ช่วยเสนอวิธีการทดสอบความถูกต้องของระบบ MMS รวมถึงช่วยวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้งข้อเสนอแนะต่างๆที่ได้รับตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gong, J. Mobile lidar data collection and analysis for post-sandy disaster recovery. In Proceedings of the 2013 International Workshop of Computing in Civil Engineering, Los Angeles, CA, USA, 23–25 June 2013. 7. Tang, P.; Huber, D.; Akinci, B.; Lipman, R.; Lytle, A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. Autom. Constr. 2010, 19, 829–843.
- [2] Novak, K. The ohio state university highway mapping system: The stereo vision system component. In Proceedings of the 47th Annual Meeting of The Institute of Navigation, Williamsburg, VA, USA, 10–12 June 1991; pp. 121–124.

- [3] Chiang, K.-W.; Tsai, M.-L.; Naser, E.-S.; Habib, A.; Chu, C.-H. New calibration method using low cost mem imus to verify the performance of uav-borne มิลลิเมตรs payloads. Sensors 2015, 15, 6560–6585.
- [4] Morales, J.; Martínez, J.L.; Mandow, A.; Reina, A.J.; Pequeño-Boter, A.; García-Cerezo, A. Bore-sight calibration of construction misalignments for 3d scanners built with a 2d laser rangefinder rotating on its optical center. Sensors 2014, 14, 20025–20040.
- [5] Hassan, E. Calibration of Multi-Sensor Laser Scanning Systems; University of Calgary: Calgary, AB, Canada, 2014.
- [6] Keller, F.; Sternberg, H. Multi-sensor platform for indoor mobile mapping: System calibration and using a total station for indoor applications. Remote Sens. 2013, 5, 5805–5824.
- [7] Sairam, N.; Nagarajan, S.; Ornitz, S. Development of mobile mapping system for 3d road asset inventory. Sensors 2016, 16, 367.