

การประเมินความถูกต้องของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ Evaluating the Vehicle Trajectory obtained from Mobile Mapping System

พลวัต สันติธรรมนันท^{1,*} และ ชัยยุทธ เจริญผล²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: fanta2544@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการประเมินความถูกต้องของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งเป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนหลักในระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ โดยพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพของงานทำแผนที่ ได้แก่ ความเร็วออกแบบและความยาวของเส้นฐานจีเอ็นเอสเอส การประเมินความถูกต้องใช้วิธีการเปรียบเทียบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะตามตำแหน่งในช่วงเวลาต่าง ๆ และการประเมินความถูกต้องของตำแหน่งพอยต์คลาวด์ที่ความเร็วออกแบบต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการรังวัดจุดในทันทีกับการรังวัดพอยต์คลาวด์บนจุดควบคุมภาคพื้นดินและใช้ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ ผลการวิจัยพบว่าความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสและความเร็วออกแบบที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่มากขึ้น ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D เฉลี่ย และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เฉลี่ย อยู่ที่ 6 เซนติเมตรและ 10 เซนติเมตรตามลำดับในวิธีการที่หนึ่ง ตามวิธีการที่สอง ระบบ MMS-III ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีเพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากมีความละเอียดถูกต้อง RMSE2D เกิน 20 เซนติเมตร และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เกิน 30 เซนติเมตร ในขณะที่ระบบ MMS-II ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ความละเอียดถูกต้องที่กำหนดในเกือบทุกการตั้งค่า

คำสำคัญ: ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่, พอยต์คลาวด์, เลเซอร์สแกนเนอร์, วิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

Abstract

This article presents an evaluation of vehicle trajectory errors in road survey mapping using Mobile Mapping Systems (MMS), addressing the research gap in understanding how vehicle speeds and GNSS baseline lengths affect mapping accuracy. The evaluation employs two methods: Method 1 assesses the positional accuracy of trajectories processed with different GNSS baselines by comparing positions between epochs, and Method

2 assesses the positional accuracy of point cloud data at different speeds by comparing Real-Time Kinematic (RTK) positions with point cloud positions, using RMSE as the quality index. The research demonstrates that longer GNSS baselines decrease positional accuracy, a trend also observed with increased vehicle speed. Positional accuracies for RMSE2D and RMSE3D averaged 6 centimeters and 10 centimeters, respectively, in Method 1. Furthermore, in Method 2, the MMS-III system's performance was inadequate due to RMSE2D values exceeding 20 centimeters and RMSE3D values exceeding 30 centimeters, while the MMS-II system exhibited the best results, with almost configurations meeting the accuracy standards.

Keywords: Mobile Mapping System, Point Cloud, Laser Scanner, Trajectory

1. คำนำ

Mobile Mapping System (MMS) หรือระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ มีการพัฒนาอย่างมากในช่วงสิบปีที่ผ่านมา โดยมีการผสมผสานระหว่างเซนเซอร์ที่นำมาติดตั้งบนยานพาหนะต่างๆ ดังรูปที่ 4 จนในปัจจุบันรูปแบบเทคโนโลยีที่เป็นที่นิยมมากสำหรับงานสำรวจท้องถนนซึ่งก็คือระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง (Mobile Laser Scanning: MLS) ช่วยให้การทำงานสะดวกกว่าการเดินระดับและส่องกล้องที่จำเป็นต้องปิดถนนเพื่อทำการสำรวจในหลายครั้งและมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุอีกด้วย นอกจากนี้ยังสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับงานสำรวจเนื่องจากเก็บข้อมูลได้มากขึ้นโดยเฉพาะทรัพย์สินต่างๆ ที่อยู่ข้างทาง

ด้วยความที่ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่นั้นประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ มากมายซึ่งทำหน้าที่อยู่สองแบบหลักๆ นั่นก็คือส่วนแรกที่เป็นส่วนระบุตำแหน่งแบบสัมบูรณ์และส่วนที่สองใช้ระบุตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยส่วนหลังนั้นจะต้องอ้างอิงค่าพิกัดมาจากส่วนแรก ส่วนแรกนั้นใช้ข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสและ Inertial Measurement unit (IMU)

แล้วนำไปผลิตออกเป็นวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ส่วนสองนั้นจะ
ได้มาจากเลเซอร์สแกนเนอร์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดและภาพถ่ายเพื่อนำไป
ผลิตเป็นแผนที่สามมิติ [1]

วิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดความ
คลาดเคลื่อนมากที่สุด อีกทั้งยังถ่ายทอดความคลาดเคลื่อนไปยังส่วนที่สอง
ที่ระบุตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยตรง [1] แนวทางการประเมินความถูกต้อง
วิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ในช่วงที่ผ่านมาทำมาหลายรูปแบบไม่
ว่าจะเป็น การติดตั้งอุปกรณ์ต่างชนิดไปบนยานพาหนะเดียวกัน [2],
อุปกรณ์เดียวบนยานพาหนะเดียวกันแต่วิธีการประมวลผลแตกต่างกันอย่าง
การใช้สัญญาณจีเอ็นเอสเอสอย่างเดียวเทียบกับการผสมผสานระหว่าง
สัญญาณจีเอ็นเอสเอสกับข้อมูล IMU ไปพร้อมกับการเปรียบเทียบบนเส้น
อ้างอิงบนถนน [3], อุปกรณ์เดียวบนยานพาหนะเดียวกันแต่ใช้การ
ประมวลผลจีเอ็นเอสเอสด้วยวิธีการที่แตกต่างและใช้ค่าปรับแก้วงโคจร
ดาวเทียมที่แตกต่างกัน [4], อุปกรณ์เดียวบนยานพาหนะเดียวแต่วิ่ง
ยานพาหนะในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน [5] เป็นต้น การวิจัยเหล่านี้มี
เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของพารามิเตอร์และความเหมาะสมของถูกต้อง
ทางตำแหน่งของวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ด้วยเหตุนี้จึงมีช่องว่างของงานวิจัยโดยเฉพาะการคำนึงพารามิเตอร์ที่
เป็น ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสในการประมวลผลสัญญาณจีเอ็นเอสเอส
และความเร็วออกแบบ พารามิเตอร์เหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ
ในวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จึงจำเป็นต้องประเมินความถูกต้องทาง
ตำแหน่ง การทดสอบดำเนินการบนพื้นที่ส่วนหนึ่งของถนนประเสริฐ แขวง
รามอินทรา เขตคันนายาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยข้อมูลถูกนำมา
ประเมินความถูกต้องสองขั้นตอนด้วยกัน ในขั้นตอนแรกเป็นการประเมิน
ความ ถูก ต้อง ของ ข้อมูล วิธีการเคลื่อนที่ ของ ยาน พาหนะ ใน
ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ และขั้นที่สองเป็นการประเมินความถูกต้อง
ข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์ เพื่อเป็น
แนวทางในการจัดการกับพารามิเตอร์ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวิธีการ
เคลื่อนที่ของยานพาหนะ

2. ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 การคัดเลือกขอบเขตพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตามอยู่ที่ถนนประเสริฐมุนิก แขวงรามอินทรา เขตคันนา
ยาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร เนื่องจากเป็นถนนที่ง่ายต่อการเข้าถึงและเป็น
พื้นที่เปิดโล่งเหมาะแก่การรังวัดสัญญาณจีเอ็นเอสเอส เนื่องจากไม่มีผิว
สะท้อนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath)
และสิ่งบดบังสัญญาณจีเอ็นเอสเอสจนทำให้สัญญาณขาดหาย อีกทั้งบริเวณ
ดังกล่าวไม่มีสัญญาณไฟฟ้าจึงสามารถวิ่งยานพาหนะได้ตลอดเวลา ซึ่งทำให้
IMU ไม่หยุดการทำงานหรือประมาณค่าตำแหน่งผิดไปจากเดิมมาก
นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงเวลา 8.00-12.00 น.ซึ่งเป็นเวลาที่ยานพาหนะสัญจร
กันน้อย



รูปที่ 1 พื้นที่ทดลอง

2.2 การเตรียมข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่
ได้รับการประมวลผลรวมข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสที่รังวัด
ตำแหน่งและแก้ไขค่าเบี่ยงเบนและข้อมูลจาก IMU ที่ใช้ประมาณการ
การเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นๆ การประมวลผลดังกล่าวต้องดำเนินการใน
รูปแบบผูกมัดอย่างแน่น (Tightly Coupled) ซึ่งเป็นการทำให้ความ
คลาดเคลื่อนในระบบน้อยลงที่ปรับแก้โครงสร้างที่สะสมค่าความ
คลาดเคลื่อนไปอย่างต่อเนื่องแบบธารน้ำตกเป็นโครงสร้างที่ให้ปรับปรุงค่า
ในช่วงการประมวลผลต่างๆได้ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการผูกมัด
อย่างหลวม (loosely coupled) อีกทั้งด้านตำแหน่งและความเร็วถูก
ปรับแก้ตามการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา นอกจากนี้ ยังใช้
ความสัมพันธ์ของข้อมูลมากกว่าแค่ตำแหน่งและเวลา โดยนำข้อมูล
ซูโรเนจมาใช้ในการประมวลผล ด้วยเหตุผลเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึง
ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่ใช้คำนวณไปยังสถานีฐานต่างๆและ
ความเร็วออกแบบของยานพาหนะไว้ดังตารางที่ 1และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ความเร็วออกแบบสำหรับการใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่

ความเร็วออกแบบ (km/hr)	งานประยุกต์ใช้
30	การทำงานในพื้นที่เมืองซึ่งไม่สามารถขับให้เร็วมาก อันเนื่องจาก การจราจรที่มีลักษณะหนาแน่น ตัวอย่างพื้นที่ เช่น อุโมงค์ ถนนที่ มีทั้งผู้สัญจรด้วยพาหนะและสัญจรด้วยเท้า
60	การทำงานในพื้นที่เมืองซึ่งสามารถขับให้เร็วมาก อันเนื่องจาก การจราจรที่มีลักษณะเบาบาง ตัวอย่างพื้นที่ เช่น ถนนชนบท

ความเร็วออกแบบไว้ตามตารางที่ 1ทำไปเพื่อให้เหมาะกับสถานการณ์
ในรูปแบบที่แตกต่างกันสำหรับงานประยุกต์ใช้นั้นๆ ทั้งนี้ปัจจัยหลายอย่าง
ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วไปตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อ
ทดลอง ทั้งนี้จึงต้องควบคุมเท่าที่สามารถทำได้

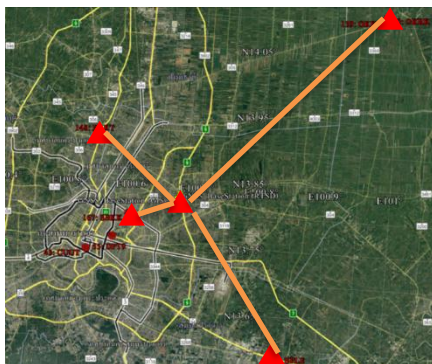
เพื่อให้มีสถานีฐานในระยะห่างที่แตกต่างกันและสามารถนำมา
เปรียบเทียบกันได้ จึงจำเป็นต้องจัดตั้งสถานีฐานโครงการ โดยอ้างอิงจาก

การประมวลผลข้อมูลจากสถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาว SBKK เพื่อ
กำหนดค่าพิกัดในพื้นที่วิจัย ซึ่งสถานีฐานที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถานีฐานที่ใช้คำนวณวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ชื่อสถานีฐาน	ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอส โดยประมาณ (km)	ชนิดของสถานีฐาน
GNSS01	0	สถานีฐานโครงการ
GNSS02	0	สถานีฐานโครงการ
SBKK	8	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาว
PKKT	20	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาว
BPLE	30	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาว
OKRK	47	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาว

นอกจากนี้ ระยะเส้นฐานโดยประมาณนั้นคิดจากสถานีฐานโครงการซึ่ง
สมมุติว่ามีจุดเดียวออกไปยังสถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาวต่างๆดังที่
แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งสถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสดาวและระยะห่างระหว่างสถานี
กับพื้นที่ทดลอง

2.3 การเตรียมข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วย เลเซอร์สแกนเนอร์

ค่าพิกัดของพอยต์คลาวด์ถูกฉายไปบนแผนที่ด้วยระบบ
EPSG : 32647 ซึ่งเป็นพิกัดรูปแบบ UTM47 N บนพื้นหลักฐาน WGS 84
ส่วนพื้นหลักฐานในทางดิ่งนั้นใช้เป็นการสูงอ้างอิงบนพื้นผิวทรงรีที่เรียก
กันว่า ellipsoidal height (h) หรือความสูงที่อ้างอิงมาจากพื้นผิวเออยด์
ซึ่งเรียกว่า ค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางหรือ orthometric height โดย
ที่พื้นผิวเออยด์ที่ใช้นั้นเป็น Thai Geoid Model 2017 หรือ
TGM 2017 โดยค่าพิกัดของพอยต์คลาวด์ได้จากข้อมูลจีเอ็นเอสเอสจาก
สถานีโครงการเท่านั้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 พอยต์คลาวด์หลังประมวลผลแล้ว

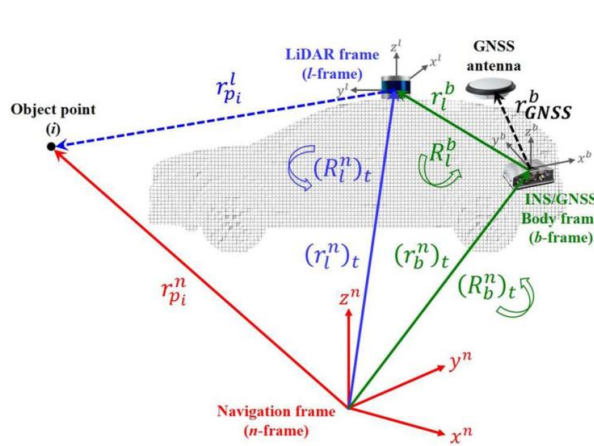
2.4 การเตรียมระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่งเพื่อไป ประยุกต์ในการทำแผนที่บนท้องถนน

การดำเนินงานต้องทราบคุณลักษณะที่แตกต่างกันของเครื่องมือ อีกทั้ง
ต้องการกำหนดให้ความถี่ของเลเซอร์สแกนเนอร์ทำงานที่ความถี่ Pulse
Repetition Frequency (PRF) มีค่าเท่ากับ 300 KHz เพื่อให้ผลต่อการ
ประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีการได้เปรียบกันและอาจช่วยในงานปฏิบัติทำ
ให้สะดวกต่อการประมวลและจัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพ

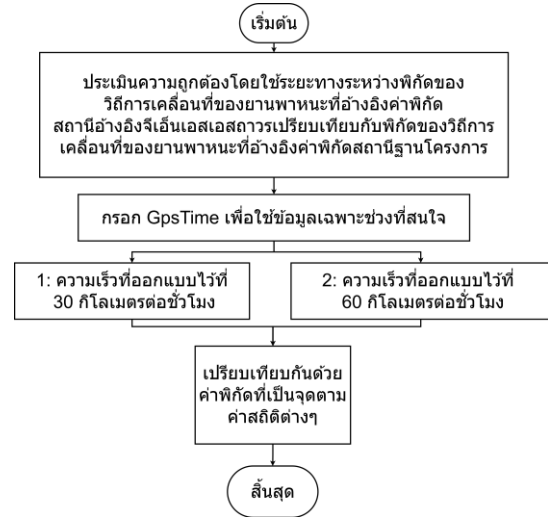
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง

อุปกรณ์	รูปแบบการทำงาน		
	MMS-I	MMS-II	MMS-III
ความถี่เลเซอร์สแกน สูงสุด	1 MHz	2 MHz	640 kHz
ลักษณะของ เลเซอร์สแกน	Dual laser	Single laser	Single laser
ค่า R-P-H ของ IMU	0.008°/0.020°	0.020°/0.090°	0.0029°/0.0102°
รูปแบบของ IMU	FOGS	MEMS	MEMS
น้ำหนักของ IMU	0.750 kg	1.850 kg	0.070 kg
กำลังไฟของ IMU	42 Watt	0.1 Watt	0.8 Watt
ลักษณะของกล้อง	Spherical Camera	Spherical Camera	Spherical Camera
ความละเอียดกล้อง รอบทิศ	30 MP	30MP	30 MP
ค่าความละเอียด ถูกต้อง RMSE2D ใน การรังวัดตำแหน่ง	0.02-0.05 m	0.01-0.02 m	0.02-0.04 m

แต่ละระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่งที่
นำมาทดสอบอาจจะได้รับผลกระทบจากสถานที่ทดลองจึงอาจส่งผลด้าน
ลบต่อการสร้างแผนที่ได้ อีกทั้งรูปแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานจะส่งผลโดยตรงต่อ
ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจทำแผนที่จึงอาจทำให้การตัดสินใจในรายงานนี้ไม่
เป็นธรรม



รูปที่ 4 รูปร่างลักษณะของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่โดยทั่วไป [3]



รูปที่ 5 แนวทางประเมินวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเมื่อความเร็วออกแบบและความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสเปลี่ยนไป

3. วิธีการที่ใช้ในการวิจัย

3.1 วิธีการประเมินข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

หากการคำนวณวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสามารถดำเนินการออกมาได้ด้วยการประมวลผลข้อมูลจีเอ็นเอสเอสที่เปลี่ยนแปลงไปตามความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่ใช้ประมวลผลร่วมกับข้อมูลของ IMU ที่ติดตั้งอยู่ในระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันออกไปเพื่อประเมินความถูกต้องวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นค่าสถิติอย่าง MAE, STD, RMSE2D, RMSE3D เหล่านี้ที่มีในตารางที่ 4 และ ค่า MAX อีกด้วย

ตารางที่ 4 สูตรของค่าสถิติที่ใช้

ค่าสถิติ	สูตร
Mean Absolute Error: MAE	$\frac{1}{N} \hat{x} - \bar{x} $
Standard Deviation: STD	$\sqrt{\frac{\sum (\hat{x} - \bar{x})^2}{n}}$
Root Mean Square Error horizontal: RMSE 2D	$\sqrt{\frac{\sum (\hat{x} - \bar{x})^2 + \sum (\hat{y} - \bar{y})^2}{N}}$
Root Mean Square Error 3D space: RMSE 3D	$\sqrt{\frac{\sum (\hat{x} - \bar{x})^2 + \sum (\hat{y} - \bar{y})^2 + \sum (\hat{z} - \bar{z})^2}{N}}$

แนวทางการประเมินวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ สามารถกระทำออกมาด้วยการรังวัดค่าพิกัดในแต่ละช่วงเวลาแล้วหาค่าตัวแทน โดยจำเป็นต้องคัดเลือกเฉพาะช่วงที่อยู่ในขอบเขต อีกทั้งคำนวณด้วยสถานีฐานตามตารางที่ 2 และแบ่งพิจารณาตามความเร็วออกแบบไว้ในตารางที่ 1 เป็นดังแผนภาพดังรูปที่ 5

รูปแบบข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะถูกจัดเก็บในรูปแบบ SBET TRJ และ หรือ CSV ซึ่งในรูปแบบแรกนั้นจำเป็นต้องแปลงออกมาเป็น CSV โดยใช้สคริปส์อ่านออกมา

นอกจากนี้แล้ววิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะนั้นจะมีการวิ่งรถเป็นรูปแบบเฉพาะของตนเองเพื่อช่วยในการ IMU Initialization ดังนั้นส่วนนี้ไม่เกี่ยวข้องต่อการประเมินความถูกต้องจึงควรถูกขจัดออกไปจากระบบโดยวิธีการคัดกรองด้วยสคริปส์เพื่อแยกวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในส่วนของการวัดสอบเครื่องมือก่อนนำไปคำนวณดังรูปที่ 5

ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ต้องไม่เกิน 20 เซนติเมตรและ 30 เซนติเมตรตามลำดับโดยอ้างอิงเกณฑ์ชั้นงานตาม TAICS TR-0016(E) V1.0:2021

3.2 วิธีการประเมินข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ข้อมูลอ้างอิงที่จะนำไปประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จำเป็นต้องถูกประเมินความผิดปกติของการรังวัดสัญญาณจีเอ็นเอสเอสก่อน ดำเนินงานเพื่อคัดกรองข้อมูลที่ไม่ได้มีค่าพิกัดต่างในแกนจนผิดปกติไปจากกลุ่มก่อน นำไปประยุกต์กับการประเมินความถูกต้องต่อไป

ใช้การรังวัดจลนในทันที (Real Time Kinematic : RTK) สองรอบ โดยมีช่วงเวลาแตกต่างเพื่อให้มีโอกาสที่มีผลที่แตกต่างกัน แต่ในเมื่ออยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของผลต่างของพิกัดแล้วค่าเฉลี่ยนั้นไม่ควรมีความแตกต่างกันจนมากเกินไป โดยการประเมินความผิดปกติสามารถสังเกตได้จากค่าเฉลี่ยที่มีลักษณะต่างจากค่าในกลุ่มเดียวกัน จาก TAICS TR-0016(E) V1.0:2021 ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE ไม่ควรแตกต่างกันเกิน 10 เซนติเมตรและ 15 เซนติเมตรในทางราบและทางสามมิติตามลำดับ การรังวัดพิกัดในครั้งนี้ได้ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D อยู่ที่ 1 เซนติเมตรและค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D อยู่ที่ 1 เซนติเมตร ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความผิดปกติในการรังวัดจลนในทันทีแต่อย่างใด สามารถนำค่าพิกัดที่รังวัดจุดพิกัดควบคุม

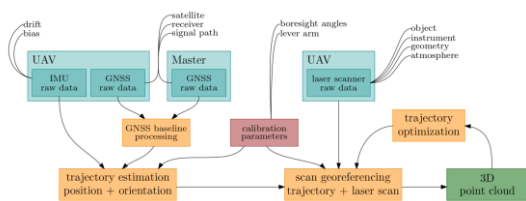
ภาคพื้นดินไปเป็นข้อมูลอ้างอิงในการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์ต่อไป

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพอยต์คลาวด์สามมิติที่ได้จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ดังรูปที่ 3 สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและค่าพิกัดที่บันทึกด้วยวิธีเลเซอร์สแกนนิ่งซึ่งใช้การอ้างอิงค่าพิกัดจากวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่โดยวิเคราะห์หาค่าสถิติอย่าง MAE, STD, MSE แต่ละแกน พร้อมทั้งค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_H หรือ RMSE2D ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_V หรือ RMSE ในทางตั้ง และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_3d หรือ RMSE3D โดยต้องผ่านเกณฑ์ขึ้นงานตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์ขึ้นงานระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ต่างๆ

TAICS TR-0016(E) V1.0:2021		Suggested Specification of Mobile Mapping System (MMS) Data v1.0	
RMSE2D < 20 cm	RMSE3D < 30 cm	Horizontal Accuracy < 15 cm	Vertical Accuracy < 30 cm

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพอยต์คลาวด์นำมาดำเนินการเพื่อประยุกต์ในการประเมินความถูกต้องของวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งเป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนหลักและส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนโดยรวมของระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ ดังนั้น การประเมินความถูกต้องของพอยต์คลาวด์จึงสะท้อนถึงความถูกต้องโดยรวมของทั้งวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและพอยต์คลาวด์ ซึ่งเป็นผลลัพธ์สุดท้ายที่นำไปใช้ในการจัดทำแผนที่ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการประมวลผลเพื่อให้ได้พอยต์คลาวด์ [1]

โดยทั่วไป ผลลัพธ์ของการประเมินบ่งชี้ได้เพียงว่า “ผ่านเกณฑ์” หรือ “ไม่ผ่านเกณฑ์” เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักคือการดำเนินงานทำแผนที่ให้สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งพิจารณาจากปัจจัยด้านต้นทุนและระยะเวลาในการดำเนินงาน นอกเหนือจากคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ ดังนั้น การมุ่งเน้นที่การได้มาซึ่งค่าความละเอียดถูกต้องที่ดีที่สุดอาจไม่ใช่ทางเลือกที่เหมาะสมเสมอไป และคุณภาพของผลลัพธ์ที่อยู่ในระดับที่สูงกว่า “ผ่านเกณฑ์” จึงไม่ได้รับการพิจารณา

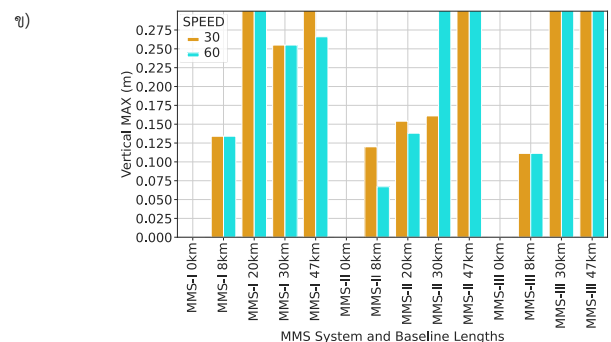
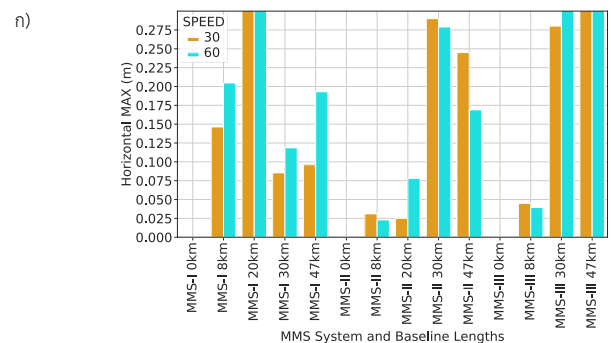
4. ผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลลัพธ์ของการประเมินความถูกต้องของข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ผลการทดสอบความถูกต้องทางตำแหน่งเมื่อกำหนดความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่แตกต่างกันที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเปรียบเทียบภายในระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เดียวกันและที่ความเร็วออกแบบเดียวกันสามารถแสดงได้ตามตารางเหล่านี้ โดยค่าสถิติมีหน่วยเป็นเมตร และสูตรคำนวณค่าสถิติแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ กำหนดให้เกณฑ์มีค่าไม่เกิน 30 เซนติเมตร เพื่ออำนวยความสะดวกในการนำเสนอ และเป็นอ้างอิงค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ตามเกณฑ์ TAICS TR-0016(E) V1.0:2021

การใช้ข้อมูลจีเอ็นเอสเอสอย่างเดียวกันที่ปรับเปลี่ยน ในส่วนของข้อมูล IMU คงเดิมแล้วเมื่อนำมาคำนวณประมวลผลร่วมกัน พบว่าความถูกต้องทางตำแหน่งถูกเปลี่ยนแปลงไปจำนวนหนึ่ง นอกจากนี้แล้วการใช้ข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่หลายรูปแบบ ให้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจกว่าการใช้ข้อมูลมาจากแหล่งเดียว

ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นจากอ้างอิงด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่ต่างเปรียบเทียบกับวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด

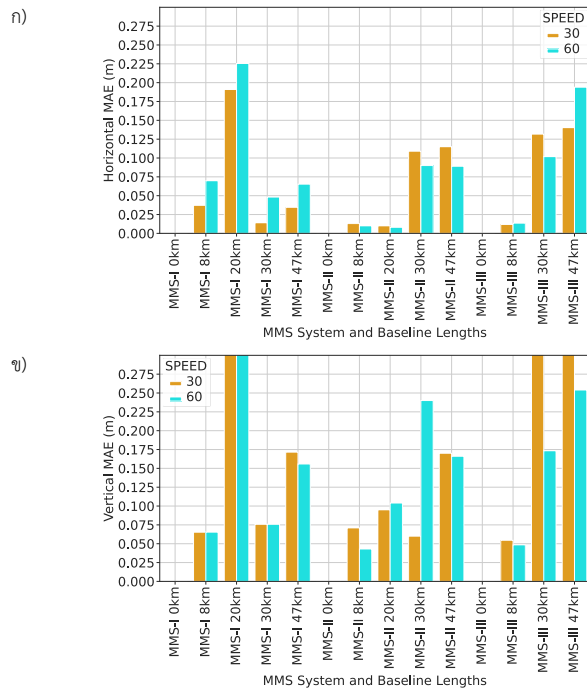


รูปที่ 7 การเปรียบเทียบข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ด้วยค่าสูงสุด

จากรูปที่ 7 พบว่าค่าสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยหลายครั้งมีค่าเกิน 0.100 เมตร ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของเกณฑ์มาตรฐาน ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D ที่ 0.200 เมตร ในรูปที่ 5 (ข) ค่าที่ได้จากแนวแกนตั้งก็มีความคลาดเคลื่อนสูงเช่นกัน เนื่องจากค่าในแกนดังกล่าวบาง

ส่วนเกิน 0.100 เมตร ซึ่งเมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับค่าในแกนอื่น ๆ อาจส่งผลให้ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 3D เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ 0.300 เมตร อย่างไรก็ตาม ค่าสูงสุดเหล่านี้เป็นเพียงค่าที่แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่เกิดขึ้น และไม่ได้อ้างอิงถึงภาพรวมของข้อมูลทั้งหมด ในด้านระยะเส้นฐาน พบว่าระยะเส้นฐานที่ยาวขึ้นมีแนวโน้มส่งผลให้ค่าสูงสุดของความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น เช่นเดียวกับความเร็วออกแบบในการรังวัด อย่างไรก็ตาม ในรูปแบบระบบ MMS-I ที่ระยะห่าง 20 กิโลเมตร มีปัจจัยพิเศษเพิ่มเติม คือ ความไม่สอดคล้องกันของเครื่องมือรับสัญญาณจากกรมแผนที่ทหารและกรมที่ดิน นอกจากนี้ ระบบ MMS-III ไม่สามารถประมวลผลข้อมูล ณ สถานีดังกล่าวได้ โดยทั่วไป ค่าสูงสุดของความคลาดเคลื่อนในแนวแกนตั้งมีค่าสูงกว่าค่าสูงสุดในแนวแกนนอน ซึ่งอาจเนื่องมาจากการรังวัดตำแหน่งในแนวแกนตั้งมีความซับซ้อนมากกว่าเมื่อต้องทำการวัดระยะยานพาหนะเคลื่อนที่

ค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากอ้างอิงด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่ต่างเปรียบเทียบกับวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด

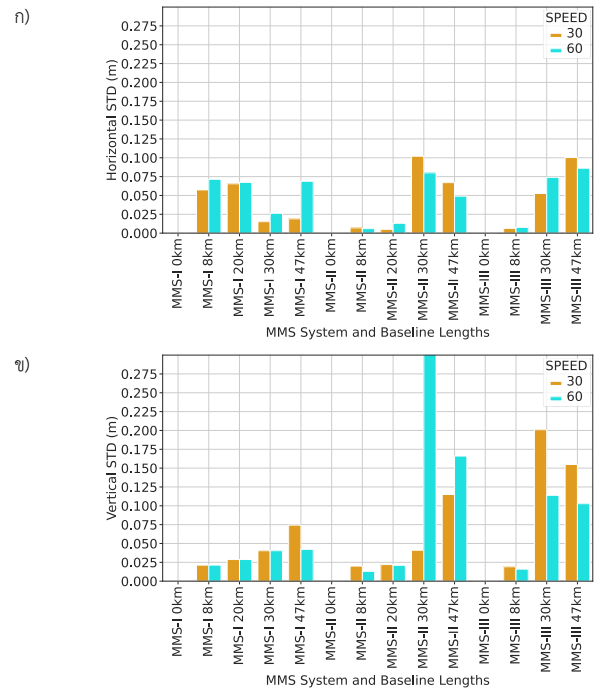


รูปที่ 8 การเปรียบเทียบข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะค่าเฉลี่ย

รูปที่ 8 (ก) มีค่าเฉลี่ยทางราบไม่ค่อนเกิน 0.100 เมตรซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D ที่ 0.200 เมตร ในรูปที่ 8 (ข) ค่าที่ได้จากทางตั้งมีปัญหามากเช่นกัน เพราะในแกนเดียวนั้น ทำให้มีค่าเฉลี่ยเกิน 0.100 เมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอีก หากนำไปรวมกับแกนอื่นซึ่งอาจทำให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด ภาพเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าด้านความยาวเส้นฐานยิ่งมียาวขึ้นค่าเฉลี่ยสูงขึ้น ในกรณีนี้ค่าเฉลี่ยทางตั้งก็จะมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยทางราบเช่นกันเดียวกับค่าสูงสุด และปัญหาของความไม่เข้ากันของ

อุปกรณ์ ณ รูปแบบ MMS-I 20km ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยสูงมาก เช่นเดียวกันที่ปรากฏในการเปรียบเทียบค่าสูงสุด

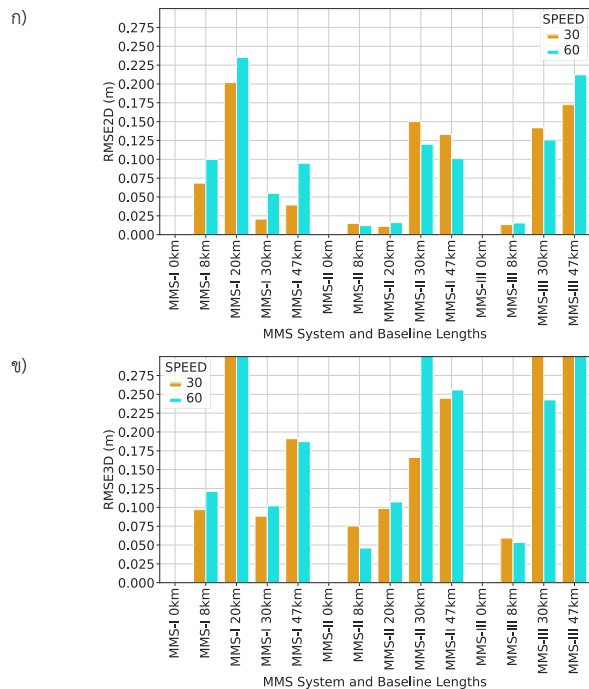
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้นจากอ้างอิงด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่ต่างเปรียบเทียบกับวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

รูปที่ 9 (ก) มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบไม่ค่อนเกิน 0.100 เมตร ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D ที่ 0.200 เมตร รูปที่ 9 (ข) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางตั้งก็มีปัญหามากเช่นกันเพราะในแกนเดียวนั้นก็ทำให้มีค่าเกิน 0.100 เมตร ซึ่งจะมีค่าเพิ่มอีกหากไปรวมกับแกนอื่นซึ่งอาจทำให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด หากเปรียบเทียบกันในภาพนี้สามารถสังเกตได้ถึงความยาวเส้นฐานที่มากขึ้นมีผลกระทบต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนในทิศทางที่สูงขึ้น นอกจากนี้พบกรณีผิดปกติที่รูปแบบ MMS-II 30km ที่ความเร็วออกแบบ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อาจมีข้อผิดพลาดบางอย่าง เช่น ไม่ได้ตัดส่วนที่วัดผิดพลาดเกินไปออก เป็นต้น

ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงด้วยวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่ต่างเปรียบเทียบกับวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด โดยค่าเหล่านี้เป็นที่ยอมรับในการประเมินคุณภาพของงานทำแผนที่ด้วยระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยค่าความ
ละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D

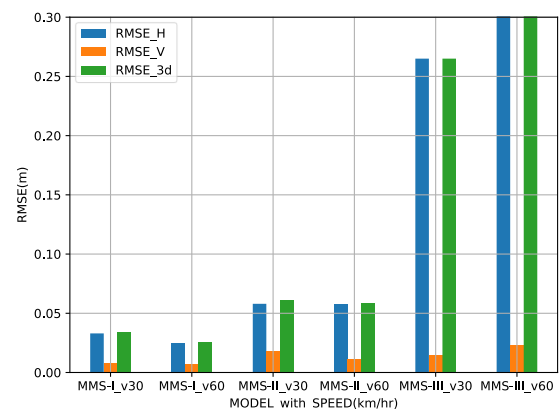
รูปที่ 10 (ก) มีค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D มีส่วนที่เกิน 0.200 เมตรซึ่งเป็นค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D ที่ 0.200 เมตร รูปที่ 10 (ข) ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D นั้นมีค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 0.300 เมตร หากเปรียบเทียบกันในภาพนี้ ซึ่งสามารถสังเกตได้ถึงความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่มากขึ้นมักจะทำให้มีค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D สูงขึ้น ส่วนด้านความเร็วออกแบกก็มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกันกับความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอส อีกทั้งค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D มีรูปแบบคล้ายกับค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เช่นกัน อีกทั้งเมื่อพิจารณาจากค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เป็นหลัก พบว่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.056 เมตรและ 0.097 เมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยที่ผ่านมาเราจะสังเกตได้ว่าค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 3D ซึ่งเป็นดัชนีหลักในการตัดสินใจว่าสามารถใช้ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสได้แค่และความเร็วออกแบกอย่างไร จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการตั้งสถานีฐานโครงการเมื่อไร สองค่าดัชนีนี้ได้แสดงลักษณะเฉพาะในแต่ละเครื่องซึ่งเหมือนกันทั้งสองค่าในแต่ละเครื่อง แต่ให้ค่าดัชนีเหล่านี้ที่เหมาะสมต่อความเร็วออกแบกคนละรูปแบบซึ่งไม่แน่นอน แต่ค่าสองค่าดัชนีนี้มักมีเพิ่มขึ้นเมื่อมีความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสมีมากขึ้นอย่างแน่นอนซึ่งในค่าสถิติรูปแบบอื่นซึ่งก็ได้ชี้ไปในทางเดียวกันว่าความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่มากขึ้นย่อมส่งผลต่อค่าสถิติต่างๆโดยตรงและเป็นไปในทางที่สูงขึ้น ดังนั้นความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสมีนัยสำคัญต่อการทำแผนที่บน

ท้องถนน นอกจากนี้ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสในการประมวลผลไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ต้องพิจารณา อย่างในภาพค่าสูงที่สุดนั้นแม้ว่าสถานี PKKT จะอยู่เพียงแค่ 20 กิโลเมตรก็ให้ความคลาดเคลื่อนได้มากกว่าทุกสถานีที่ทำการประมวลผลมา จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเข้ากันของระหว่างเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสระหว่างสองสถานีซึ่งก็คือที่ยานพาหนะและสถานีฐาน อีกทั้งต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่จะไปสะสมเพิ่มในผลลัพธ์ที่ไปรวมกับค่ารังวัดที่ได้จากเลเซอร์สแกนเนอร์ พอยต์คลาวด์สุดท้ายจะแสดงคุณภาพวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในทางอ้อมและเป็นการตัดสินถึงคุณภาพของผลลัพธ์สุดท้ายในทางตรง

4.2 ผลลัพธ์ของการประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จาก การสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพอยต์คลาวด์จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เมื่อใช้สถานีฐานที่ใกล้ที่สุดและมีความเร็วออกแบกที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เป็นการเปรียบเทียบ สามารถทำข้ามระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ได้อีกด้วย



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความถูกต้องของพอยต์คลาวด์

ข้อสังเกตจากรูปที่ 11 มีสองระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ที่สามารถผ่านเกณฑ์ชันงานมาได้ อีกทั้งกราฟค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_V จะต่ำกว่ากราฟอื่นๆ ในส่วนของกราฟค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_H และ กราฟค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_3d จะมีรูปแบบใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเป็นระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่รูปแบบไหนในความเร็วออกแบกไหนก็ตาม ค่าสถิติที่ได้ต่ำอยู่ในระดับหลักเซนติเมตรซึ่งเหมาะสมต่อการทำแผนที่รูปแบบนี้มาก เมื่อใช้เกณฑ์ที่กำหนดไว้ ความเร็วออกแบกที่สูงกว่ามักจะมีคุณภาพพอยต์คลาวด์ที่ดีกว่า นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่ติดตั้งก็ส่งผลต่อคุณภาพโดยตรง แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพที่ได้จากการใช้อุปกรณ์นั้นไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพสูงเสมอไปเพราะไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่ตัดสินผลลัพธ์ของการดำเนินการทำแผนที่บนท้องถนน

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์กับมาตรฐานที่ใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง ว่าสามารถทำแผนที่บน

ท้องถิ่นได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานต่างๆ โดยในที่นี้จะแสดงตามเกณฑ์ชั้นงานของ Verification and validation guidelines for HD Maps ซึ่งจัดทำโดย Taiwan Association of Information and Communication Standard (TAICS) ของไต้หวัน นอกจากนี้มีมาตรฐานอีกอย่างคือ Suggested Specifications of Mobile Mapping System (MMS) Data โดยมี Land Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region ของฮ่องกง

ตารางที่ 6 สรุปความสามารถในการเข้าเกณฑ์ชั้นงาน

MMS and Speed	Standard			
	TAICS TR-0016(E) V1.0:2021		Suggested Specification of Mobile Mapping System (MMS) Data v1.0	
	RMSE2D < 20 cm	RMSE3D < 30 cm	Horizontal Accuracy < 15 cm	Vertical Accuracy < 30 cm
MMS-I_v30	☑	☑	☑	☑
MMS-I_v60	☑	☑	☑	☑
MMS-II_v30	☑	☑	☑	☑
MMS-II_v60	☑	☑	☑	☑
MMS-III_v30	☐	☑	☐	☑
MMS-III_v60	☐	☐	☐	☑

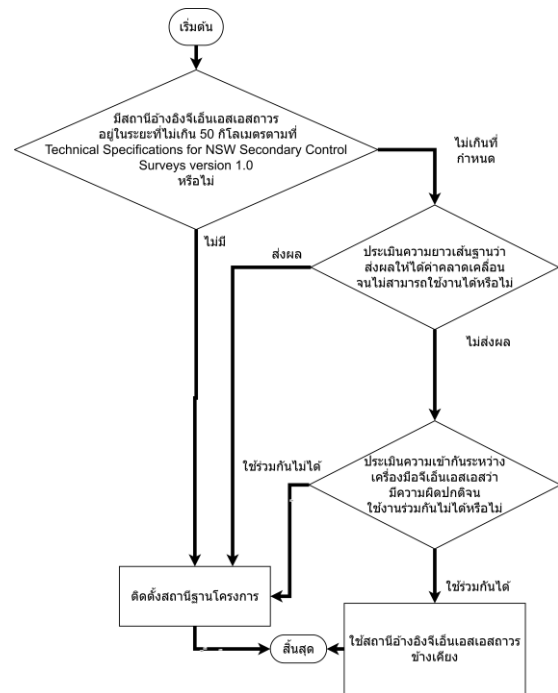
จากตารางที่ 6 พบว่าค่าความละเอียดถูกต้องในทางตั้งของทุกระบบจะทำได้ผ่านเกณฑ์ของ Suggested Specification of Mobile Mapping System (MMS) Data v1.0 แต่หากจะผ่านชั้นงานทั้งหมดในที่ต่างๆก็ควรเป็นแบบระบบ MMS-I กับ MMS-II ทั้งนี้คุณภาพของอุปกรณ์ตามตารางที่ 3 คุณภาพอุปกรณ์ไม่ได้เป็นเพียงแค่ตัวชี้วัดเดียวในการทำงานด้านสำรวจทำแผนที่ท้องถิ่น จำเป็นต้องนึกถึงปัจจัยต่างๆ เช่น ความรู้ความเชี่ยวชาญ, งบประมาณ, ลักษณะพื้นที่ ฯลฯ

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการประเมินความถูกต้องของข้อมูลวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

การประเมินถูกต้องทางตำแหน่งเมื่อเลือกกำหนดความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่แตกต่างกันด้วยข้อมูลสัญญาณจีเอ็นเอสเอสร่วมกับข้อมูล IMU ในพื้นที่รายล้อมไปด้วยสถานีฐานอ้างอิงดาวจีเอ็นเอสเอสอธิบายถึงความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกใช้ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสระหว่างรถไปถึงสถานีฐานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น สถานีฐานโครงการที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กับสถานีฐานอ้างอิงดาวจีเอ็นเอสเอสโดยเมื่อความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสมากขึ้นย่อมทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมากขึ้น ทั้งนี้ต้องดูถึงความเข้ากันของการประมวลผลจีเอ็นเอสเอสระหว่างเครื่องรับสัญญาณ

ที่รถกับสถานีฐานอีกด้วย ทั้งนี้ข้อปฏิบัติควรดำเนินการตามแนวทางที่แสดงออกเป็นแผนผังแนวทางในการเลือกใช้สถานีฐานออกมาดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แนวทางในการเลือกใช้สถานีฐาน

5.2 สรุปผลการประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เมื่อใช้สถานีฐานที่ใกล้ที่สุดเท่านั้นและมีความเร็วออกแบบที่แตกต่างกัน ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ไม่ค่อยต่างจากค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D เพราะ ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE ในทางตั้งมีค่าไม่มากสำหรับงานทำแผนที่บนถนนแบบนี้ ในเรื่องคุณสมบัติของอุปกรณ์ตารางที่ 3 และใช้งานให้ได้เกณฑ์ชั้นงานที่กำหนดให้เพียงพอตามตารางที่ 6 พบว่าระบบ MMS-III ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ชั้นงานใดๆ ซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์ใช้งานได้ยากเพราะคุณภาพอุปกรณ์น้อยที่สุดในกลุ่ม อีกทั้งขาดประสิทธิภาพการทำงานเกี่ยวกับระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ และขาดความเชี่ยวชาญในการทำแผนที่ด้วยระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ อีกทั้งไม่สามารถการปรับความถี่ Pulse Repetition Frequency (PRF) ให้ลดลงเพื่อให้รับวัดได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้นและไกลมากขึ้น ในขณะที่ระบบ MMS-II ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดด้วยคุณภาพของอุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างระบบ MMS-I และระบบ MMS-III และคุณภาพผลลัพธ์ที่ผ่านเกณฑ์ชั้นงานทั้งหมดด้วยการตั้งค่ารูปแบบต่างๆ

นอกจากนี้แล้ว การวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกพื้นที่วิจัยดังรูปที่ 1 เพื่อจัดปัจจัยรบกวนผลลัพธ์งานวิจัย เช่น สภาพแวดล้อมบดบังสัญญาณจีเอ็นเอสเอส การเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) การสัญญาณมากเกินไปทำให้ต้องหยุด

รถเป็นเวลานานจน IMU ไม่สามารถใช้งานได้ต่อไป เป็นต้น อีกทั้งเป็นพื้นที่ใช้ยานพาหนะได้สะดวกและมีฟีเจอร์ต่างๆมากมายอย่าง เส้าไฟฟ้า ต้นไม้ตึกสูง 2-3 ชั้น เป็นต้น ปัจจัยด้านสถานที่เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญของการทำแผนที่บนท้องถนน

5.3 ข้อเสนอแนะในระดับทั่วไป

องค์กรรัฐและหน่วยงานเอกชนที่เข้าถึงระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่จำเป็นต้องใช้รูปที่ 12 เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องทางตำแหน่งมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางเพื่อลดโอกาสความผิดพลาดอันเนื่องมาจากไม่ทราบผลกระทบของความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสเมื่อใช้สถานีอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวรโดยไม่ระมัดระวัง และผลกระทบจากความไม่เข้ากันระหว่างเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอส

5.4 แนวทางการพัฒนาระบบประเมินคุณภาพระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่

ข้อมูลของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่งควรใช้วิธีการประเมินความถูกต้องของวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยตรงซึ่งสามารถเปรียบเทียบกันระหว่างระบบด้วยกันเองได้ โดยไม่ต้องใช้การประเมินความถูกต้องพอยต์คลาวด์ซึ่งเป็นวิธีทางอ้อม นอกจากนี้สามารถปรับปรุงส่วนของการประเมินความถูกต้องพอยต์คลาวด์ หากมีการประมวลผลข้อมูลพอยต์คลาวด์โดยใช้วิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ประมวลผลมาจากสถานีฐานหลายแบบ อาจจะช่วยในสรุปผลกระทบได้ชัดเจนกว่าการประเมินถูกต้องพอยต์คลาวด์ในงานวิจัยนี้

นอกจากนี้วิธีการปรับปรุงวิธีการวิจัยได้หลายอย่าง เช่น การเข้าถึงการประมวลผลวิถีและพอยต์คลาวด์ของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่, ข้อมูลพอยต์คลาวด์ควรมีค่าเวลาของจีพีเอส (GPS Time) มาให้ด้วยเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป การใช้ประโยชน์จากการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) อย่าง Random sample consensus (RANSAC) เพื่อคัดเลือkdตำแหน่งที่ผิดพลาดจนเกินไปเพื่อเก็บข้อมูลที่ดีในการคำนวณตำแหน่งต่อไป เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ สามหน่วยงานที่เข้าร่วมปฏิบัติงานนี้ ขอขอบพระคุณทีมงานเบื้องหลังงานวิจัย สำหรับการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์และวิธีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Dreier, J. Janßen, H. Kuhlmann, and L. Klingbeil, "Quality Analysis of Direct Georeferencing in Aspects of Absolute Accuracy and Precision for a UAV-Based Laser Scanning System," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 18, doi: 10.3390/rs13183564.
- [2] Chen, S. Srinara, Chiu, and K. Chiang, "LIDAR MATCHING STRATEGIES FOR HD POINT CLOUD MAP GENERATION IN URBAN AREA," *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, vol. XLVIII-1/W2-2023, pp. 785-790, 2023, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-785-2023.
- [3] K. Chiang, S. Srinara, Tsai, Lin, and Tsai, "High-Definition-Map-Based LiDAR Localization Through Dynamic Time-Synchronized Normal Distribution Transform Scan Matching," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 72, no. 6, pp. 7011-7023, 2023, doi: 10.1109/TVT.2023.3237275.
- [4] ชนเชล ไพจิตรประภาภรณ์, "การตรวจสอบวิถีของยานพาหนะจากระบบการทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ด้วยการประมวลผลข้อมูลจีเอ็นเอสเอสแบบจลนศาสตร์ภายหลัง," 2021.
- [5] H. Guan, J. Li, and Y. Yu, "3D urban mapping using a Trimble MX8 mobile laser scanning system: a validation study," in *Proceedings of the 8th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT 2013)*, Tainan, Taiwan, 2013, pp. 1-3.