การประเมินความถูกต้องของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่

Evaluating the Vehicle Trajectory obtained from Mobile Mapping System

พลวัต สันติธรรมนนท์[1,*] และ ชัยยุทธ เจริญผล[2]

[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 โดยเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการรังวัดจลนในทันทีกับการรังวัดพอยต์คลาวด์บนจุดควบคุมภาคพื้นดินและใช้ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ ผลการวิจัยพบว่าความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสและความเร็วออกแบบที่เพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่มากขึ้น ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D เฉลี่ย และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เฉลี่ย อยู่ที่ 6 เซนติเมตรและ 10 เซนติเมตรตามลำดับในวิธีการที่หนึ่ง ตามวิธีการที่สอง ระบบ MMS-III ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ดีเพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากมีค่าความละเอียดถูกต้อง 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

แล้วนำไปผลิตออกเป็นวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ส่วนสองนั้นจะได้มาจากเลเซอร์สแกนเนอร์ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดและภาพถ่ายเพื่อนำไปผลิตเป็นแผนที่สามมิติ [1]

วิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นส่วนสำคัญที่ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด อีกทั้งยังถ่ายทอดความคลาดเคลื่อนไปยังส่วนที่สองที่ระบุตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยตรง [1] แนวทางการประเมินความถูกต้องวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ในช่วงที่ผ่านมานั้นทำมาหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น การติดตั้งอุปกรณ์ต่างชนิดไปบนยานพาหนะเดียวกัน [2], อุปกรณ์เดียวบนยานพาหนะเดียวกันแต่วิธีการประมวลผลแตกต่างอย่างการใช้สัญญาณจีเอ็นเอสเอสอย่างเดียวเทียบกับการผสมผสานระหว่างสัญญาณจีเอ็นเอสเอสกับข้อมูล IMU ไปพร้อมกับการเปรียบเทียบบนเส้นอ้างอิงบนถนน [3], อุปกรณ์เดียวบนยานพาหนะเดียวกันแต่ใช้การประมวลผลจีเอ็นเอสเอสด้วยวิธีการที่แตกต่างและใช้ค่าปรับแก้วงโคจรดาวเทียมที่แตกต่างกัน [4], อุปกรณ์เดียวบนยานพาหนะเดียวแต่วิ่งยานพาหนะในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน [5] เป็นต้น การวิจัยเหล่านี้มีเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของพารามิเตอร์และความเหมาะสมของถูกต้องทางตำแหน่งของวิถีการเคลื่อนของยานพาหนะ

ด้วยเหตุนี้จึงมีช่องว่างของงานวิจัยโดยเฉพาะการคำนึงพารามิเตอร์ที่เป็น ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสในการประมวลผลสัญญาณจีเอ็นเอสเอสและความเร็วออกแบบ พารามิเตอร์เหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ จึงจำเป็นต้องประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง การทดสอบดำเนินการบนพื้นที่ส่วนหนึ่งของถนนประเสริฐ แขวงรามอินทรา เขตคันนายาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยข้อมูลถูกนำมาประเมินความถูกต้องสองขั้นตอนด้วยกัน ในขั้นตอนแรกเป็นการประเมินความถูกต้องข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ และขั้นที่สองเป็นการประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการกับพารามิเตอร์ที่อาจส่งผลต่อคุณภาพของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

2. ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 การคัดเลือกขอบเขตพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตามอยู่ที่ถนนประเสริฐมนูกิจ แขวงรามอินทรา เขตคันนายาว จังหวัดกรุงเทพมหานคร เนื่องจากเป็นถนนที่ง่ายต่อการเข้าถึงและเป็นพื้นที่เปิดโล่งเหมาะแก่การรังวัดสัญญาณจีเอ็นเอสเอส เนื่องจากไม่มีผิวสะท้อนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) และสิ่งบดบังสัญญาณจีเอ็นเอสเอสจนทำให้สัญญาณขาดหาย อีกทั้งบริเวณดังกล่าวไม่มีสัญญาณไฟจึงสามารถวิ่งยานพาหนะได้ตลอดเวลา ซึ่งทำให้ IMU ไม่หยุดการทำงานหรือประมาณค่าตำแหน่งผิดไปจากเดิมมาก นอกจากนี้ต้องคำนึงถึงเวลา 8.00-12.00 น.ซึ่งเป็นเวลาที่ยานพาหนะสัญจรกันน้อย

รูปที่ 1 พื้นที่ทดลอง

2.2 การเตรียมข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ได้รับการประมวลผลร่วมข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสที่รังวัดตำแหน่งและแก้ไขค่าเบี่ยงเบนและข้อมูลจาก IMU ที่ใช้ประมาณการการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นๆ การประมวลผลดังกล่าวต้องดำเนินการในรูปแบบผูกรวมอย่างแน่น (Tightly Coupled) ซึ่งเป็นการทำให้ความคลาดเคลื่อนในระบบน้อยลงที่ปรับแก้โครงสร้างที่สะสมค่าความคลาดเคลื่อนไปอย่างต่อเนื่องแบบธารน้ำตกเป็นโครงสร้างที่ให้ปรับปรุงค่าในช่วงการประมวลผลต่างๆได้ ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการผูกรวมอย่างหลวม (loosely coupled) อีกทั้งด้านตำแหน่งและความเร็วถูกปรับแก้ตามการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา นอกจากนี้ ยังใช้ความสัมพัทธ์ของข้อมูลมากกว่าแค่ตำแหน่งและเวลา โดยนำข้อมูลซูโรเรนจ์มาใช้ในการประมวลผล ด้วยเหตุผลเหล่านี้ จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่ใช้คำนวณไปยังสถานีฐานต่างๆและความเร็วออกแบบของยานพาหนะไว้ดังตารางที่ 1และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ความเร็วออกแบบสำหรับการใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่

ความเร็วออกแบบ (km/hr)	งานประยุกต์ใช้
30	การทำงานในพื้นที่เมืองซึ่งไม่สามารถขับให้เร็วมาก อันเนื่องจากการจราจรที่มีลักษณะหนาแน่น ตัวอย่างพื้นที่ เช่น อุโมงค์ ถนนที่มีทั้งผู้สัญจรด้วยพาหนะและสัญจรด้วยเท้า
60	การทำงานในพื้นที่เมืองซึ่งสามารถขับให้เร็วมาก อันเนื่องจากการจราจรที่มีลักษณะเบาบาง ตัวอย่างพื้นที่ เช่น ถนนชนบท

ความเร็วออกแบบไว้ตามตารางที่ 1ทำไปเพื่อให้เหมาะกับสถานการณ์ในรูปแบบที่แตกต่างๆสำหรับงานประยุกต์ใช้นั้นๆ ทั้งนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเร็วไปตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งส่งผลต่อการทดลอง ทั้งนี้จึงต้องควบคุมเท่าที่สามารถทำได้

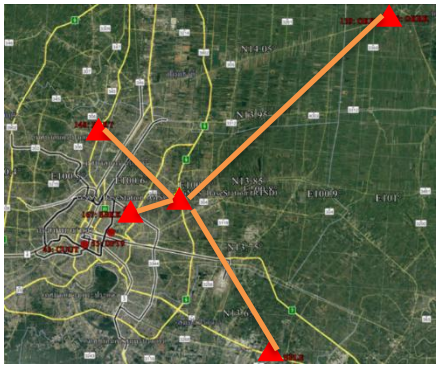
เพื่อให้มีสถานีฐานในระยะห่างที่แตกต่างกันและสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ จึงจำเป็นต้องจัดตั้งสถานีฐานโครงการ โดยอ้างอิงจาก

การประมวลผลข้อมูลจากสถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวร SBKK เพื่อกำหนดค่าพิกัดในพื้นที่วิจัย ซึ่งสถานีฐานที่ใช้แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สถานีฐานที่ใช้คำนวณวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

ชื่อสถานีฐาน	ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสโดยประมาณ (km)	ชนิดของสถานีฐาน
GNSS01	0	สถานีฐานโครงการ
GNSS02	0	สถานีฐานโครงการ
SBKK	8	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวร
PKKT	20	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวร
BPLE	30	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวร
OKRK	47	สถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวร

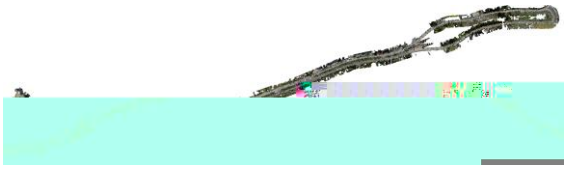
นอกจากนี้ ระยะเส้นฐานโดยประมาณนั้นคิดจากสถานีฐานโครงการซึ่งสมมุติว่ามีจุดเดียวออกไปยังสถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอถาวรต่างๆดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งสถานีฐานอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวรและระยะห่างระหว่างสถานีกับพื้นที่ทดลอง

2.3 การเตรียมข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ค่าพิกัดของพอยต์คลาวด์ถูกฉายไปบนแผนที่ด้วยระบบ EPSG : 32647 ซึ่งเป็นพิกัดรูปแบบ UTM47 N บนพื้นหลักฐาน WGS 84 ส่วนพื้นหลักฐานในทางดิ่งนั้นใช้เป็นความสูงอ้างอิงบนพื้นผิวทรงรีที่เรียกกันว่า ellipsoidal height (h) หรือความสูงที่อ้างอิงมาจากพื้นผิวยีออยด์ ซึ่งเรียกว่า ค่าระดับเหนือน้ำทะเลปานกลางหรือ orthometric height โดยที่พื้นผิวยีออยด์ที่ใช้นั้นเป็น Thai Geoid Model 2017 หรือ TGM 2017 โดยค่าพิกัดของพอยต์คลาวด์ได้จากข้อมูลจีเอ็นเอสเอสจากสถานีโครงการเท่านั้น เพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 พอยต์คลาวด์หลังประมวลผลแล้ว

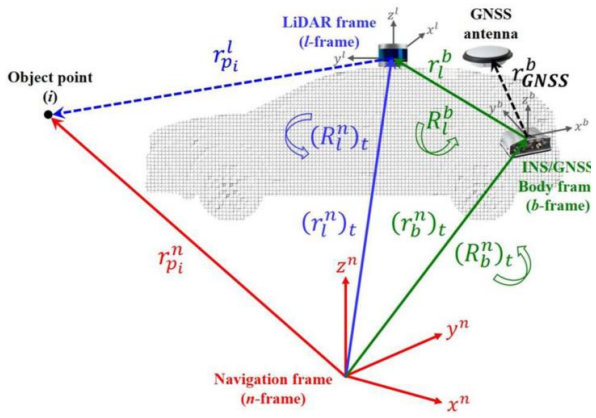
2.4 การเตรียมระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่งเพื่อไปประยุกต์ในการทำแผนที่บนท้องถนน

การดำเนินงานต้องทราบคุณลักษณะที่แตกต่างกันของเครื่องมือ อีกทั้งต้องการกำหนดให้ความถี่ของเลเซอร์สแกนเนอร์ทำงานที่ความถี่ Pulse Repetition Frequency (PRF) มีค่าเท่ากับ 300 KHz เพื่อให้ผลต่อการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่มีการได้เปรียบกันและอาจช่วยในงานปฏิบัติทำให้สะดวกต่อการประมวลและจัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพ

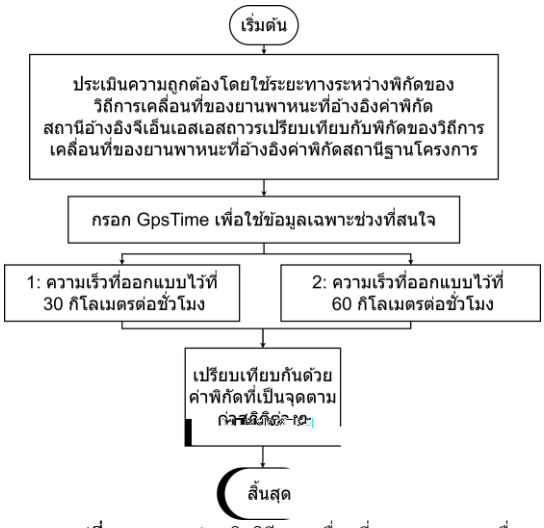
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ชนิดเลเซอร์สแกนนิ่ง

อุปกรณ์	รูปแบบการทำงาน		
	MMS-I	MMS-II	MMS-III
ความถี่เลเซอร์สแกนสูงสุด	1 MHz	2 MHz	640 kHz
ลักษณะของเลเซอร์สแกน	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
ความละเอียดกล้องรอบทิศ	30 MP	30MP	30 MP
ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D ในการรังวัดตำแหน่ง	0.02-0.05 m	0.01-0.02 m	0.02-0.04 m

แต่ละระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่งที่นำมาทดสอบอาจจะได้รับผลกระทบจากสถานที่ทดลองจึงอาจส่งผลด้านลบต่อการสร้างแผนที่ได้ อีกทั้งรูปแบบอุปกรณ์ที่ใช้งานจะส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจทำแผนที่จึงอาจทำให้การตัดสินในรายงานนี้ไม่เป็นธรรม



รูปที่ 4 รูปร่างลักษณะของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่โดยทั่วไป [3]



รูปที่ 5 แนวทางประเมินวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเมื่อความเร็วออกแบบและความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสเปลี่ยนไป

3. วิธีการที่ใช้ในการวิจัย

3.1 วิธีการประเมินข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

หากการคำนวณวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะสามารถดำเนินการออกมาได้ด้วยการประมวลผลข้อมูลจีเอ็นเอสเอสที่เปลี่ยนแปลงไปตามความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่ใช้ประมวลผลร่วมกับข้อมูลของ IMU ที่ติดตั้งอยู่ในระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แตกต่างกันออกไปเพื่อประเมินความถูกต้องวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเป็นค่าสถิติอย่าง MAE, STD, RMSE2D, RMSE3D เหล่านี้ที่มีในตารางที่ 4 และ ค่า MAX อีกด้วย

ตารางที่ 4 สูตรของค่าสถิติที่ใช้งาน

ค่าสถิติ	สูตร
Mean Absolute Error: MAE	$\frac{1}{N}\lvert\hat{x}-\bar{x}\rvert$
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	$\sqrt{\frac{\sum(\hat{x}-\bar{x})^2+\sum(\hat{y}-\bar{y})^2+\sum(\hat{z}-\bar{z})^2}{N}}$

แนวทางการประเมินวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ สามารถกระทำออกมาด้วยการรังวัดค่าพิกัดในแต่ละช่วงเวลาแล้วหาค่าตัวแทน โดยจำเป็นต้องคัดเลือกเฉพาะช่วงที่อยู่ในขอบเขต อีกทั้งคำนวณด้วยสถานีฐานตามตารางที่ 2 และแบ่งพิจารณาตามความเร็วออกแบบไว้ในตารางที่ 1 เป็นดังแผนภาพดังรูปที่ 5

รูปแบบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะถูกจัดเก็บในรูปแบบ SBET TRJ และ หรือ CSV ซึ่งในรูปแบบแรกนั้นจำเป็นต้องแปลงออกมาเป็น CSV โดยใช้สคริปส์อ่านออกมา

นอกจากนี้แล้ววิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะนั้นมักจะมีการวิ่งรถเป็นรูปแบบเฉพาะของตนเองเพื่อช่วยในการ IMU Initialization ดังนั้นส่วนนี้ไม่เกี่ยวข้องต่อการประเมินความถูกต้องจึงควรถูกขจัดออกไปจากระบบโดยวิธีการคัดกรองด้วยสคริปส์เพื่อแยกวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในส่วนของการวัดสอบเครื่องมือก่อนนำไปคำนวณต่อดังรูปที่ 5

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

3.2 วิธีการประเมินข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ข้อมูลอ้างอิงที่จะนำไปประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จำเป็นต้องถูกประเมินความผิดปกติของการรังวัดสัญญาณจีเอ็นเอสเอสก่อน ดำเนินงานเพื่อคัดกรองข้อมูลที่ไม่ได้มีค่าพิกัดต่างในแกนจนผิดปกติไปจากกลุ่มก่อน นำไปประยุกต์กับการประเมินความถูกต้องต่อไป

ใช้การรังวัดจลน์ในทันที (Real Time Kinematic : RTK) สองรอบโดยมีช่วงเวลาแตกต่างเพื่อให้มีโอกาสที่มีผลที่แตกต่างกัน แต่ในเมื่ออยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของผลต่างของพิกัดแล้วค่าเฉลี่ยนั้นไม่ควรมีค่าแตกต่างกันจนมากเกินไป 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 เหล่านี้ แสดงให้เห็นว่าไม่มีความผิดปกติในการรังวัดจลน์ในทันทีแต่อย่างใด สามารถนำค่าพิกัดที่รังวัดจุดพิกัดควบคุม

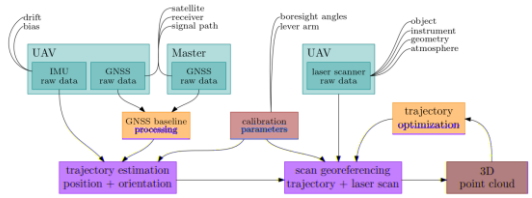
ภาคพื้นดินไปเป็นข้อมูลอ้างอิงในการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งพอยต์คลาวด์ต่อไป

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพอยต์คลาวด์สามมิติที่ได้จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ดังรูปที่ 3 สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินและค่าพิกัดที่บันทึกด้วยวิธีเลเซอร์สแกนนิ่งซึ่งใช้การอ้างอิงค่าพิกัดจากวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่โดยวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าสถิติอย่าง MAE, STD, MSE แต่ละแกน พร้อมทั้งค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_H หรือ RMSE2D ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_V หรือ RMSE ในทางดิ่ง และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_3d หรือ RMSE3D โดยต้องผ่านเกณฑ์ชั้นงานตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์ชั้นงานระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ต่างๆ

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

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพอยต์คลาวด์นำมาดำเนินการเพื่อประยุกต์ในการประเมินความถูกต้องของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งเป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนหลักและส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนโดยรวมของระบบทำแผนที่เคลื่อนที่ ดังนั้น การประเมินความถูกต้องของพอยต์คลาวด์จึงสะท้อนถึงความถูกต้องโดยรวมของทั้งวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะและพอยต์คลาวด์ ซึ่งเป็นผลลัพธ์สุดท้ายที่นำไปใช้ในการจัดทำแผนที่ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการประมวลผลเพื่อให้ได้พอยต์คลาวด์ [1]

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

4. ผลการศึกษาวิจัยและอภิปรายผล

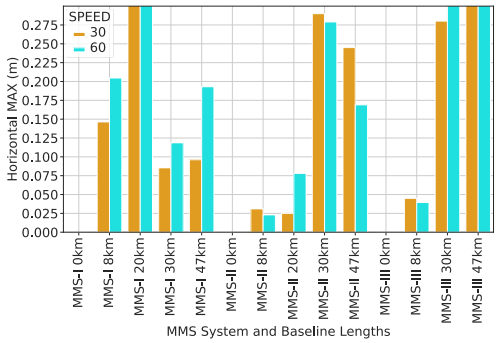
4.1 ผลลัพธ์ของการประเมินความถูกต้องของข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

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

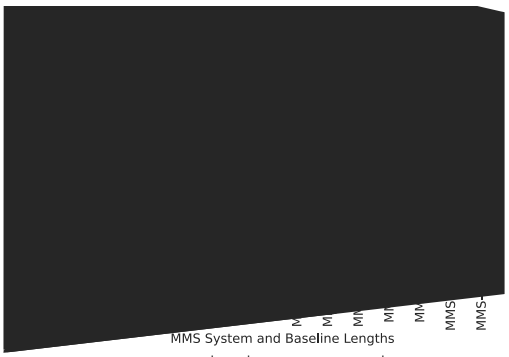
การใช้ข้อมูลจีเอ็นเอสเอสอย่างเดียวที่ปรับเปลี่ยน ในส่วนของข้อมูล IMU คงเดิมแล้วเมื่อนำมาคำนวณประมวลผลร่วมกัน พบว่าความถูกต้องทางตำแหน่งถูกเปลี่ยนแปลงไปจำนวนหนึ่ง นอกจากนี้แล้วการใช้ข้อมูลวิถีการเคลื่อนของยานพาหนะจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่หลายรูปแบบ ให้ผลลัพธ์ที่น่าสนใจกว่าการใช้ข้อมูลมาจากแหล่งเดียว

ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นจากอ้างอิงด้วยวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่ต่างเปรียบเทียบกับวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด

ก)



ข)

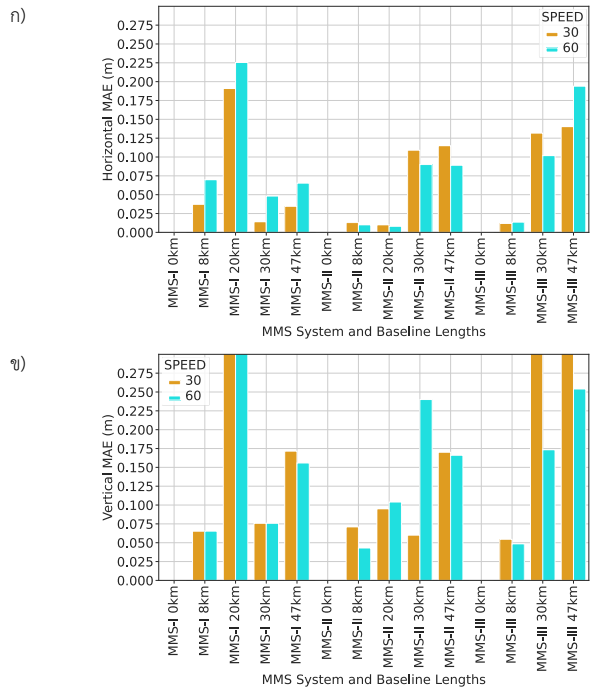


รูปที่ 7 การเปรียบเทียบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ด้วยค่าสูงสุด

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

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

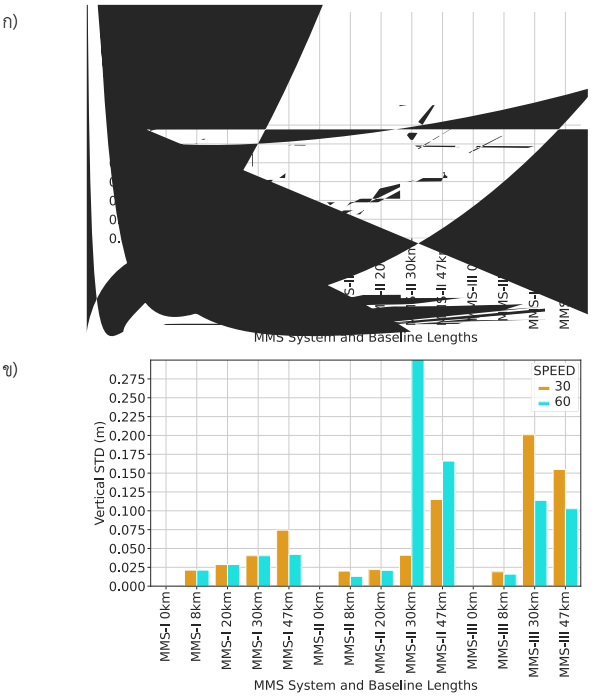
ค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากอ้างอิงด้วยวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่ต่างเปรียบเทียบกับวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะค่าเฉลี่ย

รูปที่ 8 (ก) มีค่าเฉลี่ยทางราบไม่ค่อยเกิน 0.100 เมตรซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 2D ที่ 0.200 เมตร ในรูปที่ 8 (ข) ค่าที่ได้จากทางดิ่งมีปัญหาอย่างมากเช่นกัน เพราะว่าในแกนเดียวนั้น ทำให้มีค่าเฉลี่ยเกิน 0.100 เมตร ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอีก หากนำไปรวมกับแกนอื่นซึ่งอาจทำให้เกินเกณฑ์ที่กำหนด ภาพเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าด้านความยาวเส้นฐานยิ่งมากย่อมให้ค่าเฉลี่ยสูงขึ้น ในกรณีนี้ค่าเฉลี่ยทางดิ่งก็มักจะมีค่าแย่กว่าค่าเฉลี่ยทางราบเช่นกันเดียวกับค่าสูงสุด และปัญหาของความไม่เข้ากันของอุปกรณ์ ณ รูปแบบ MMS-I 20km ส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยสูงมาก เช่นเดียวกันที่ปรากฏในการเปรียบเทียบค่าสูงสุด

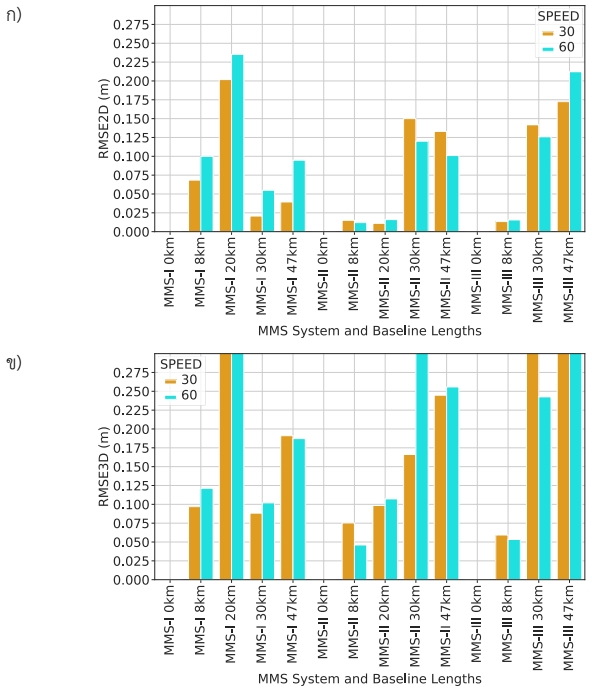
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้นจากอ้างอิงด้วยวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่แตกต่างกันโดยเปรียบเทียบกับวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงด้วยวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานที่แตกต่างเปรียบเทียบกับวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่มีการประมวลผลเส้นฐานด้วยสถานีฐานที่ใกล้ที่สุด โดยค่าเหล่านี้เป็นที่นิยมในการประเมินคุณภาพของงานทำแผนที่ด้วยระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง



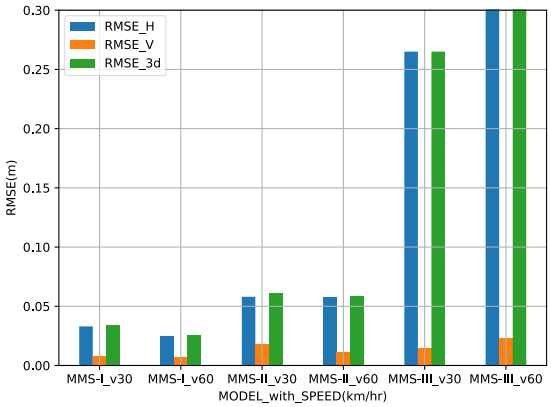
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะด้วยค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D

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 ส่วนด้านความเร็วออกแบบก็มีความสัมพันธ์ในรูปแบบเดียวกันกับความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอส อีกทั้งค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D มีรูปแบบคล้ายกับค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เช่นกัน อีกทั้งเมื่อพิจารณาจากค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D เป็นหลัก พบว่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.056 เมตรและ 0.097 เมตร ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยที่ผ่านมานั้นเราจะสังเกตได้ว่าค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D และค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE 3D ซึ่งเป็นดัชนีหลักในการตัดสินใจว่าสามารถใช้ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสได้แค่และความเร็วออกแบบอย่างไร จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงการตั้งสถานีฐานโครงการเมื่อไร สองค่าดัชนีนี้ได้แสดงลักษณะจำเพาะในแต่ละเครื่องซึ่งเหมือนกันทั้งสองค่าในแต่ละเครื่อง แต่ก็ให้ค่าดัชนีเหล่านี้ที่เหมาะสมต่อความเร็วออกแบบคนละรูปแบบซึ่งไม่แน่นอน แต่ค่าสองค่าดัชนีนี้มักมีเพิ่มขึ้นเมื่อมีความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสมีมากขึ้นอย่างแน่นอนซึ่งในค่าสถิติรูปแบบอื่นซึ่งก็ได้ชี้ไปในทางเดียวกันว่าความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่มากขึ้นย่อมส่งผลต่อค่าสถิติต่างๆโดยตรงและเป็นไปในทางที่สูงขึ้น ดังนั้นความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสมีนัยสำคัญต่อการทำแผนที่บนท้องถนน นอกจากนี้ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสในการประมวลผลไม่ใช่ปัจจัยเดียวที่ต้องพิจารณา อย่างในภาพค่าสูงสุดนั้นแม้ว่าสถานี PKKT จะอยู่เพียงแค่ 20 กิโลเมตรก็ให้ความคลาดเคลื่อนได้มากกว่าทุกสถานีที่ทำการประมวลผลมา จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความเข้ากันของระหว่างเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสระหว่างสองสถานีซึ่งก็คือที่ยานพาหนะและสถานีฐาน อีกทั้งต้องคำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่จะไปสะสมเพิ่มในผลลัพธ์ที่ไปรวมกับค่ารังวัดที่ได้จากเลเซอร์สแกนเนอร์ พอยต์คลาวด์สุดท้ายจะแสดงคุณภาพวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในทางอ้อมและเป็นการตัดสินถึงคุณภาพของผลลัพธ์สุดท้ายในทางตรง

4.2 ผลลัพธ์ของการประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพอยต์คลาวด์จากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เมื่อใช้สถานีฐานที่ใกล้ที่สุดและมีความเร็วออกแบบที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เป็นการเปรียบเทียบ สามารถทำข้ามระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ได้อีกด้วย



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความถูกต้องของพอยต์คลาวด์

ข้อสังเกตจากรูปที่ 11 มีสองระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่สามารถผ่านเกณฑ์ชั้นงานมาได้ อีกทั้งกราฟค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_V จะต่ำกว่ากราฟอื่นๆ ในส่วนของกราฟค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE_H และ กราฟค่าความละเอียดถูกต้องRMSE_3d จะมีรูปแบบใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเป็นระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่รูปแบบไหนในความเร็วออกแบบไหนก็ตามค่าสถิติที่ได้ต่ำอยู่ในระดับหลักเซนติเมตรซึ่งเหมาะสมต่อการทำแผนที่รูปแบบนี้มาก เมื่อใช้เกณฑ์ที่กำหนดไว้ ความเร็วออกแบบที่สูงกว่ามักจะมีคุณภาพพอยต์คลาวด์ที่ด้อยกว่า นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่ติดตั้งก็ส่งผลต่อคุณภาพโดยตรง แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพที่ได้จากการใช้อุปกรณ์นั้นไม่จำเป็นต้องมีคุณภาพสูงเสมอไปเพราะไม่ได้เป็นปัจจัยเดี่ยวที่ตัดสินผลลัพธ์ของการดำเนินการทำแผนที่บนท้องถนน

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าสามารถนำไปประยุกต์กับมาตรฐานที่ใช้ระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่ง ว่าสามารถทำแผนที่บน

ท้องถนนได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานต่างๆ โดยในที่นี้จะแสดงตามเกณฑ์ชั้นงานของ Verification and validation guidelines for HD Maps ซึ่งถูกจัดทำโดย 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

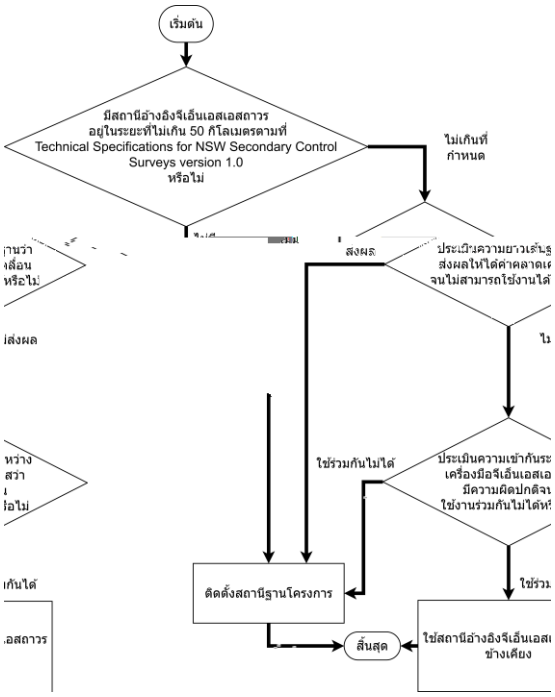
MMS and Speed	Standard			
	TAICS TR-0016(E) V1.0:2021		Suggested Specification of Mobile Mapping System (MMS) Data v1.0	
	RMSE2D < 20 cm	RMSE3D < 30 cm	Horizontal Accuracy < 15 cm	Vertical Accuracy < 30 cm
MMS-I_v30	☑	☑	☑	☑
MMS-I_v60	☑	☑	☑	☑
MMS-II_v30	☑	☑	☑	☑
MMS-II_v60	☑	☑	☑	☑
MMS-III_v30	☐	☑	☐	☑
MMS-III_v60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

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

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการประเมินความถูกต้องของข้อมูลวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

การประเมินถูกต้องทางตำแหน่งเมื่อเลือกกำหนดความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสที่แตกต่างกันด้วยข้อมูลสัญญาณจีเอ็นเอสเอสร่วมกับข้อมูล IMU ในพื้นที่รายล้อมไปด้วยสถานีฐานอ้างอิงถาวรจีเอ็นเอสเอส อธิบายถึงความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกใช้ความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสระหว่างรถไปถึงสถานีฐานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น สถานีฐานโครงการที่ตั้งอยู่ในพื้นที่กับสถานีฐานอ้างอิงถาวรจีเอ็นเอสเอสโดยเมื่อความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสมากขึ้นย่อมทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมากขึ้น ทั้งนี้ต้องดูถึงความเข้ากันของการประมวลผลจีเอ็นเอสเอสระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่รถกับสถานีฐานอีกด้วย ทั้งนี้ข้อปฏิบัติควรดำเนินตามแนวทางที่แสดงออกเป็นแผนผังแนวทางในการเลือกใช้สถานีฐานออกมาดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แนวทางในการเลือกใช้สถานีฐาน

5.2 สรุปผลการประเมินความถูกต้องข้อมูลตำแหน่งพอยต์คลาวด์จากการสำรวจด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์

ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่เมื่อใช้สถานีฐานที่ใกล้ที่สุดเท่านั้นและมีความเร็วออกแบบที่แตกต่างกัน ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE3D ไม่ค่อยต่างจากค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE2D เพราะ ค่าความละเอียดถูกต้อง RMSE ในทางดิ่งมีค่าไม่มากสำหรับงานทำแผนที่บนถนนแบบนี้ ในเรื่องคุณสมบัติของอุปกรณ์ตารางที่ 3 และใช้งานให้ได้เกณฑ์ชั้นงานที่กำหนดให้เพียงพอตามตารางที่ 6 พบว่าระบบ MMS-III ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ผ่านเกณฑ์ชั้นงานใดๆ ซึ่งอาจเกิดจากอุปกรณ์ใช้งานได้ยากเพราะคุณภาพอุปกรณ์น้อยที่สุดในกลุ่ม อีกทั้งขาดประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ และขาดความเชี่ยวชาญในการทำแผนที่ด้วยระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ อีกทั้งไม่สามารถการปรับความถี่ Pulse Repetition Frequency (PRF) ให้ลดลงเพื่อให้รังวัดได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้นและไกลมากขึ้น ในขณะเดียวกันระบบ MMS-II ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดด้วยคุณภาพของอุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างระบบ MMS-I และระบบ MMS-III และคุณภาพผลลัพธ์ที่ผ่านเกณฑ์ชั้นงานทั้งหมดด้วยการตั้งค่ารูปแบบต่างๆ

นอกจากนี้แล้ว การวิจัยในครั้งนี้ที่ได้เลือกพื้นที่วิจัยดังรูปที่ 1 เพื่อขจัดปัจจัยรบกวนผลลัพธ์งานวิจัย เช่น สภาพแวดล้อมบดบังสัญญาณจีเอ็นเอสเอส การเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) การสัญจรมากเกินไปทำให้ต้องหยุด

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

5.3 ข้อเสนอแนะในระดับทั่วไป

องค์กรรัฐและหน่วยงานเอกชนที่เข้าถึงระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่จำเป็นต้องใช้รูปที่ 12 เพื่อให้ข้อมูลมีความถูกต้องทางตำแหน่งมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางเพื่อลดโอกาสความผิดพลาดอันเนื่องมาจากไม่ทราบผลกระทบของความยาวเส้นฐานจีเอ็นเอสเอสเมื่อใช้สถานีอ้างอิงจีเอ็นเอสเอสถาวรโดยไม่ระมัดระวัง และผลกระทบจากความไม่เข้ากันระหว่างเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอส

5.4 แนวทางการพัฒนาระบบประเมินคุณภาพระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่

ข้อมูลของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่แบบเลเซอร์สแกนนิ่งควรใช้วิธีการประเมินความถูกต้องของวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะโดยตรงซึ่งสามารถเปรียบเทียบกันระหว่างระบบด้วยกันเองได้ โดยไม่ต้องใช้การประเมินความถูกต้องพอยต์คลาวด์ซึ่งเป็นวิธีทางอ้อม นอกจากนี้สามารถปรับปรุงส่วนของการประเมินความถูกต้องพอยต์คลาวด์ หากมีการประมวลผลข้อมูลพอยต์คลาวด์โดยใช้วิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ประมวลผลมาจากสถานีฐานหลายแบบ อาจจะช่วยในสรุปผลกระทบได้ชัดเจนกว่าการประเมินถูกต้องพอยต์คลาวด์ในงานวิจัยนี้

นอกจากนี้มีวิธีการปรับปรุงวิธีการวิจัยได้หลายอย่าง เช่น การเข้าถึงการประมวลผลวิถีและพอยต์คลาวด์ของระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่, ข้อมูลพอยต์คลาวด์ควรมีค่าเวลาของจีพีเอส (GPS Time) มาให้ด้วยเพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป การใช้ประโยนช์จากการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) อย่าง Random sample consensus (RANSAC) เพื่อคัดเลือกตำแหน่งที่ผิดพลาดจนเกินไปเพื่อเก็บข้อมูลที่ดีในการคำนวณตำแหน่งต่อไป เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ สามหน่วยงานที่เข้ามาร่วมปฏิบัติงานนี้ ขอขอบพระคุณทีมงานเบื้องหลังงานวิจัย สำหรับการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งของพอยต์คลาวด์และวิถีการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากระบบทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้ 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] ชนะชล ไพจิตรประภาภรณ์, "การตรวจสอบวิถีของยานพาหนะจากระบบการทำแผนที่ชนิดเคลื่อนที่ด้วยการ ประมวลผลข้อมูลจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ภายหลัง," 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.