

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการ
หาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษา ท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POSITION ACCURACY EVALUATION BETWEEN SBAS CORRECTION AND DIFFERENTIAL
GNSS SYSTEMS IN THE MARINE NAVIGATION A CASE STUDY OF DEEP SEA
PORT,SONGKHLA PROVINCE.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering
Department of Survey Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษา ท่าเรือน้ำลึกจังหวัดสงขลา
โดย	จ.ท.ภูวิศะ กิมตัน
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์)

ภูวิศะ กิมตัน : การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGSSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษา ท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา. (POSITION ACCURACY EVALUATION BETWEEN SBAS CORRECTION AND DIFFERENTIAL GNSS SYSTEMS IN THE MARINE NAVIGATION A CASE STUDY OF DEEP SEA PORT,SONGKHLA PROVINCE.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

ปัจจุบันการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมนำหนจีเอ็นเอสเอส (GNSS) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการหาตำแหน่งและการนำทางในภารกิจต่าง ๆ เช่น การคมนาคมทางบก การวางแผนการบิน และการเดินเรือ เป็นต้น ซึ่งการเดินเรือจำเป็นต้องทราบค่าพิกัดที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูง ในช่วงการนำเรือเข้าสู่ท่าเรือ จึงได้มีการนำระบบเสริมค่าความถูกต้องของตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม (SBAS) และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGSSS มาประยุกต์ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาเส้นทางการเดินเรือที่มีความแม่นยำและความถูกต้องทางตำแหน่งสูง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในหมู่นักเดินเรือ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดที่ประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างเทคนิคทั้งสองในบริบทของการเดินเรือทางทะเลในบริเวณพื้นที่ประเทศไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่ง DGSSS ซึ่งใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบ GNSS จำนวน 6,665 ตำแหน่ง บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา โดยตำแหน่งอ้างอิงค่าพิกัดได้มาจากวิธีการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง (PPK) ผลจากการศึกษาพบว่า เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGSSS มีค่า RMSE ทางราบ 0.59 เมตร ทางตั้ง 1.17 เมตร สำหรับข้อมูลรังวัดจากระบบดาวเทียม SBAS มีค่า RMSE ทางราบ 0.90 เมตร ทางตั้ง 5.10 เมตร ดังนั้นในการนำร่องการเดินเรือในพื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGSSS มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งมากกว่าการหาตำแหน่งโดยระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งการเดินเรือด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว และการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพียงพอต่อการเดินเรือในน่านน้ำจำกัด เดินเรือชายฝั่ง และน่านน้ำเปิด แต่ไม่เหมาะสมต่อการเดินเรือบริเวณท่าเรือ หรือน่านน้ำที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่นที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งน้อยกว่า 1 เมตร

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370235121 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Maritime navigation DGNS SBAS

Phuwisa Kimtan : POSITION ACCURACY EVALUATION BETWEEN SBAS CORRECTION AND DIFFERENTIAL GNSS SYSTEMS IN THE MARINE NAVIGATION A CASE STUDY OF DEEP SEA PORT,SONGKHLA PROVINCE.. Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

Nowadays, Global Navigation Satellite System (GNSS) is the preferred method of positioning and navigation in missions such as land transportation, flight planning and maritime navigation, etc., in which maritime navigation is necessary to know the coordinates with high positional accuracy during the ship's entry into the port. Satellite-Based Augmentation System (SBAS) and Differential Global Navigation Satellite System (DGNS) have therefore been applied in the routing processing for high precision and positional accuracy. These processes are accepted among mariners. However, in Thailand, there is no agency to assess the positional validity between the two techniques in the context of maritime navigation in regions of Thailand. Therefore, this research focuses on assessing the position accuracy between the correction data from the SBAS satellite system and the DGNS positioning technique, which use the observation data with the GNSS for 6,665 positions in the deep-sea port, Songkhla province. The reference coordinates were obtained from the Post-Processed Kinematic (PPK) method. The DGNS positioning technique showed the RMSE values at 0.59 m and 1.17 m in horizontal and vertical components respectively, while the SBAS technique showed the RMSE values at 0.90 m and 5.10 m in horizontal and vertical components respectively. Therefore, in marine navigation in the Gulf of Thailand, The DGNS technique produced more accurate positioning results than the SBAS technique, which is navigated by the GNSS technique only and the use of correction data from the SBAS technique provides adequate positional accuracy for restricted ocean navigation. Still, it is not appropriate for the port or waters with heavy maritime traffic requiring positional accuracy of less than 1 meter.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลายท่านด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศ.ดร.เฉลิมชนม์ สติรพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้แนวคิด คำแนะนำ คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในการทำวิจัยจนสามารถทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ รวมถึงตรวจสอบ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ พร้อมกับแนวความคิด สำหรับการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ มุมมองใหม่ ๆ ที่มีประโยชน์ ต่องานวิจัย ตลอดจนแนวความคิดสำหรับการดำเนินงานวิจัย เพื่อนำไปปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์ขึ้นตั้งแต่การสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์จน วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบด้วย อาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอน คำแนะนำและกำลังใจแก่ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ตลอดจนเจ้าหน้าที่ที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านจัดการสอบและดำเนินงานด้านเอกสารในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์หลักสูตรวิศวกรรมสำรวจ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล โดย อ.รจนา คุณพูล ซึ่งเป็นอาจารย์ของข้าพเจ้า เป็นผู้สนับสนุน และอนุเคราะห์ ทั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนคำแนะนำ และกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือข้าพเจ้ามาโดยตลอด โดยเฉพาะนายถิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์, นายสรศักดิ์ ชัยทวี, นางสาวปทุมพร พวงเพ็ชร, นายพูนทรัพย์ ทะริ และนางสาวรัตนาภรณ์ วงศ์โรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ได้แลกเปลี่ยนความรู้ ความสามารถ และมิตรภาพที่มีให้กันเสมอมา

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนในทุกด้าน และคอยเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าเสมอมา โดยเฉพาะนางสาวจิราพร แซ่ฉั่น ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประโยชน์ต่องานทางด้านวิศวกรรมสำรวจของประเทศไทยและผู้ที่เกี่ยวข้องต่อไป และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับและขออภัยเป็นอย่างสูง

ภูวิศะ กิมตัน

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	1
สารบัญภาพ.....	3
บทที่ 1 บทนำ.....	6
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	6
1.2 วัตถุประสงค์.....	8
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	8
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษาในงานวิจัย.....	8
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัย.....	9
1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	11
1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....	11
1.3.5 การเปรียบเทียบผลงานวิจัย.....	11
1.4 เครื่องมือที่ใช้การทดสอบ.....	12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	14

2.1.1 ระบบดาวเทียมนำหน้ GNSS	14
2.2 เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม.....	14
2.2.1 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว SPP (Single Point Positioning)	15
2.2.2 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)	16
2.2.3 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับระบบ DGNSS.....	18
2.3 Satellite Based Augmentation Systems (SBAS).....	20
2.4 มาตรฐานการเดินเรือ	26
2.5 การประเมินความถูกต้องของงานวิจัย	29
2.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD (Standard Deviation).....	30
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	40
3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40
3.2 ขั้นตอนการประมวลผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์	44
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย	46
4.1 ลักษณะการวางตำแหน่งของข้อมูล	46
4.2 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวราบ	48
4.3 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวตั้ง.....	49
4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งจากค่าแก้ระบบดาวเทียม SBAS	52
4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่ง	54
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ	56
5.1 อภิปรายผล	56
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	61
5.3 ปัญหาที่พบ	64
5.4 ข้อเสนอแนะ	68

บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลการรังวัด.....	74
ภาคผนวก ข. นิยามคำศัพท์เทคนิคภายในงานวิจัย.....	92
ประวัติผู้เขียน.....	94



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความต้องการเป็นอย่างน้อยของผู้ใช้งานทางทะเล.....	27
ตารางที่ 2 กระบวนการหาตำบลที่แน่นอนและระบบที่ใช้	28
ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	48
ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง (RMSE) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) 50	
ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบและทางตั้ง (RMSE) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ทางราบและทางตั้ง.....	51
ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบและทางตั้ง RMSE, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ทางราบและทางตั้ง ของระบบดาวเทียม SBAS.....	53
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบ แยกตามวิธีการประมวลผล.....	55
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง แยกตามวิธีการประมวลผล.....	55
ตารางที่ 9 ตารางสรุปผลลัพธ์จากการประมวลผล ทั้ง 3 เทคนิค	62
ตารางที่ 10 ค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย และ ค่า SD ทางราบเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน (เดือนกุมภาพันธ์ 2565).....	81
ตารางที่ 11 ค่า RMSE ทางราบ ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565).....	82
ตารางที่ 12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบ (SD) ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)	84
ตารางที่ 13 ค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ย และ ค่า SD ทางตั้งเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน (เดือนกุมภาพันธ์ 2565).....	86
ตารางที่ 14 ค่า RMSE ทางตั้ง ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565).....	87

ตารางที่ 15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางดิ่ง (SD) ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565).....	89
ตารางที่ 16 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางราบ ระหว่างข้อมูลรายเดือนเฉลี่ย (A) กับ ข้อมูลการเดินเรือ (B).....	91
ตารางที่ 17 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางดิ่ง ระหว่างข้อมูลรายเดือนเฉลี่ย (A) กับ ข้อมูลการเดินเรือ (B).....	91
ตารางที่ 18 นิยามศัพท์การเดินเรือในงานวิจัย.....	92



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 แผนที่ทางเข้าท่าเรือสงขลา (WGS84) หมายเลข 229	10
รูปที่ 2 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ Stonex รุ่น S10.....	13
รูปที่ 3 วิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว	15
รูปที่ 4 เทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ.....	17
รูปที่ 5 หลักการพื้นฐานของเทคนิค DGNS	18
รูปที่ 6 การแสดงพื้นที่ให้บริการของระบบดาวเทียม SBAS	20
รูปที่ 7 ทางเลือกในการใช้งานระบบดาวเทียม SBAS	22
รูปที่ 8 พื้นที่บริการสัญญาณของระบบดาวเทียม GAGAN.....	23
รูปที่ 9 สถานีภาคพื้นดินของระบบดาวเทียม GAGAN.....	23
รูปที่ 10 โครงสร้างระบบดาวเทียม GAGAN (A Ganeshan, 2017).....	24
รูปที่ 11 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของ BDSBAS.....	24
รูปที่ 12 สถานีภาคพื้นดิน BDSBAS	25
รูปที่ 13 ตัวอย่างแสดงการตั้งค่าในการประมวลผล โปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2	40
รูปที่ 14 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล.....	41
รูปที่ 15 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	43
รูปที่ 16 แผนผังขั้นตอนการประมวลผล	44
รูปที่ 17 ลักษณะการวางตำแหน่งของข้อมูล.....	47
รูปที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี.....	48
รูปที่ 19 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี.....	49
รูปที่ 20 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี	50
รูปที่ 21 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี.....	50
รูปที่ 22 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี.....	51

รูปที่ 23 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี.....	52
รูปที่ 24 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้ง ของระบบดาวเทียม SBAS.....	53
รูปที่ 25 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้ง ของระบบดาวเทียม SBAS.....	53
รูปที่ 26 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี.....	63
รูปที่ 27 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี.....	63
รูปที่ 28 เรือที่ใช้ในการทดลองเก็บข้อมูลวิจัย.....	65
รูปที่ 29 ตำแหน่งของข้อมูลตลอดเส้นทาง	66
รูปที่ 30 ภาพขยาย จุดสีเขียว แสดงตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ มากกว่า 5 เมตร และจุดสีแดง แสดงตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ มากกว่า 10 เมตร	67
รูปที่ 31 การตั้งค่าเทคนิคประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง PPP Static Mode.....	74
รูปที่ 32 การตั้งค่าเทคนิคประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง Kinematic Mode	75
รูปที่ 33 การตั้งค่าเทคนิคการประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS	76
รูปที่ 34 การตั้งค่าเทคนิคการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว	76
รูปที่ 35 การตั้งค่าเทคนิคการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS	77
รูปที่ 36 ผลลัพธ์ค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงด้วยเทคนิค PPP Static.....	78
รูปที่ 37 ผลลัพธ์จากเทคนิคการประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS.....	78
รูปที่ 38 ผลลัพธ์จากเทคนิคการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว.....	79
รูปที่ 39 ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (GAGAN127).....	79
รูปที่ 40 ตารางคำนวณแปลงข้อมูลค่าพิกัด Decimal Degrees เป็นพิกัด UTM.....	80
รูปที่ 41 ตารางคำนวณ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....	80

รูปที่ 42 ตารางคำนวณ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD).....	81
รูปที่ 43 แสดงผล RMSE ทางราบ ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน	83
รูปที่ 44 แสดงผล RMSE ทางราบเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน	83
รูปที่ 45 แสดงผล SD ทางราบ ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน.....	85
รูปที่ 46 แสดงผล SD ทางราบเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน.....	85
รูปที่ 47 แสดงผล RMSE ทางตั้ง ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน.....	88
รูปที่ 48 แสดงผล RMSE ทางตั้งเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน.....	88
รูปที่ 49 แสดงผล SD ทางตั้ง ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน.....	90
รูปที่ 50 แสดงผล SD ทางตั้งเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน.....	90



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) ได้ถูกออกแบบใช้งานมาอย่างยาวนาน โดยมีประเทศต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาระบบนำทางด้วยดาวเทียมขึ้นมาได้แก่ ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นประเทศแรกในการพัฒนาระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) , GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema) ของสหพันธรัฐรัสเซีย , Galileo ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป , BDS (BeiDou Navigation Satellite System) ของสาธารณรัฐประชาชนจีน , RNSS (Regional navigation Satellite System) ประเทศอินเดีย และ QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ของประเทศญี่ปุ่น โดยจะเรียกรวมระบบดาวเทียมของทุกประเทศนี้ว่า “ระบบดาวเทียม GNSS” ซึ่งระบบดาวเทียม GNSS ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อย่างกว้างขวาง เช่น การใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีสำรวจต่าง ๆ ได้ทั้งด้านการสำรวจทางบก การสำรวจทางน้ำ และการสำรวจทางอากาศ หรือจะเป็นในด้านการนำทาง ทางบก ทางอากาศ หรือการเดินทางเรือทะเลที่จะเห็นได้อย่างชัดเจน อีกทั้งการกำหนดตำแหน่งที่มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตร เป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการทำงานด้านอุทกศาสตร์ และการเดินเรือประเภทต่าง ๆ เช่น การเดินเรือผ่านช่องแคบ การเดินเรือในสถานที่ที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น หรือน่านน้ำจำกัด อีกทั้งสภาพแวดล้อมทางทะเลที่มีการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม (Multipath) สัญญาณขาดหาย (Cycle Slips) (Wu et al., 2003) ในปัจจุบันองค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ได้ยอมรับการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่มีความสามารถในหาตำแหน่งค่าพิกัด การนำทาง และเวลา (PNT : Positioning, Navigation, Time) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินเรือ โดยให้เป็นส่วนหนึ่งของระบบวิทยุการเดินเรือทั่วโลก WWRNS (World-Wide Radionavigation System) ซึ่งการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ต้องมีความสอดคล้องกับข้อกำหนด IMO ตามอนุสัญญา SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) (Lopez-Martinez et al., 2020)

ทั้งนี้ เรือส่วนใหญ่ในโลกได้ทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ซึ่งเป็นไปตามกฎการเดินเรือ ดังนั้นระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS จึงได้กลายเป็นวิธีการหลักในการหาตำแหน่งค่าพิกัด การนำทาง และเวลาในทะเล แต่ข้อจำกัดบางประการในความสามารถของ GNSS เช่น ความ

แม่นยำของระบบ ไม่เพียงพอ ส่งผลให้เกิดระบบเสริมค่าความถูกต้องของพิกัดบนพื้นดิน GBAS (Ground Based Augmentation System) หรือ ระบบเสริมด้วยระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System) ซึ่งระบบเหล่านี้จะเพิ่มความถูกต้องของตำแหน่งค่าพิกัดในระบบนำทางด้วยดาวเทียม GNSS เช่น ความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ ความต่อเนื่อง ความพร้อมใช้งาน และความสมบูรณ์ของข้อมูล ซึ่งได้รับการปรับปรุงเป็นอย่างมาก (Cezary et al., 2019) และอีกหนึ่งวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) ที่จะช่วยเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องทางตำแหน่งในการนำร่องของเรือ (Lopez & Anton, 2021) องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) กล่าวว่าเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล ในการให้ค่าแก่ข้อมูลและเพิ่มความถูกต้อง ให้กับผู้ใช้ในการเดินเรือในปัจจุบัน (Lopez-Martinez et al., 2020)

ระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System) ถูกพัฒนาในหลายหลายประเทศและมีชื่อเรียกที่แตกต่างกัน อาทิ ในสหรัฐอเมริกา เรียกว่า WAAS (Wide Area Augmentation System) ในขณะที่ กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป เรียกว่า EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) สำหรับประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) และส่วนประเทศอินเดีย เรียกว่า GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) โดยระบบดาวเทียม SBAS สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความถูกต้อง ในการประมาณค่าตำแหน่งและสามารถใช้เพื่อเสริมกับเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือทางทะเลและทางน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Magdaleno et al., 2018) อีกทั้งมีความพร้อมการใช้งานและความต่อเนื่องที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องช่วยนำทางอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับความแม่นยำที่เอื้อต่อความปลอดภัยในการนำทาง (Ibáñez Segura et al., 2020) อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดที่ประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างเทคนิคทั้งสองในบริบทของการเดินเรือทางทะเลในบริเวณพื้นที่ประเทศไทย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก่จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ต่อการเดินเรือในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ตลอดเส้นทาง การเดินเรือ เปรียบเสมือนการเดินเรือจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา

โดยทำการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ด้วยวิธีการประมวลผล 4 เทคนิค ได้แก่ (1.) เทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) ใช้เป็นค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จาก (2.) การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (3.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว และ (4.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ในการเลือกใช้งานระบบดาวเทียมนำหน GNSS นำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านต่าง ๆ ในพื้นที่ประเทศไทย ให้มีประสิทธิภาพทางตำแหน่งที่ดีขึ้น เช่น ในการนำร่องด้านการเดินเรือ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS ต่อการเดินเรือ ในพื้นที่ประเทศไทย

1.2.2 เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบดาวเทียม SBAS ที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการเดินเรือในพื้นที่ประเทศไทย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษาในงานวิจัย

1.3.1.1 ประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง จากข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) โดยใช้สถานีฐาน (Base Station) ที่อยู่ใกล้บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา ด้วยโปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013)

1.3.1.2 ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (Differential Global Navigation Satellite System) โดยใช้สถานีอ้างอิง จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร CORS ของบริษัท CHC ด้วยโปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2

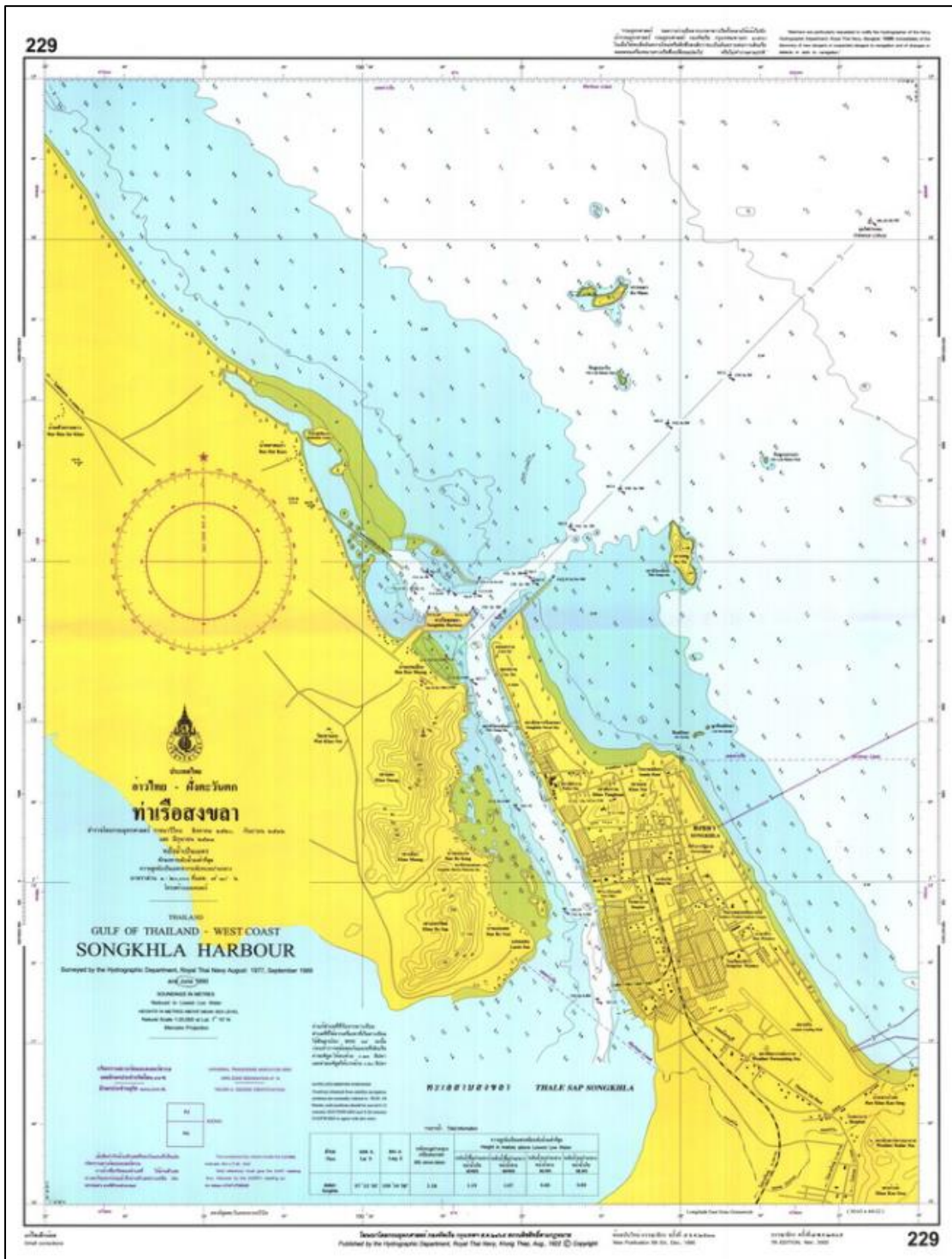
1.3.1.3 ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ด้วยวิธีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว ด้วยโปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2

1.3.1.4 ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลการรังวัดตำแหน่งทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System) ด้วยโปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2

1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการทดลองรังวัดหาค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณซึ่งติดตั้งบนตาดฟ้าเรือ โดยมีพื้นที่การศึกษาคือ บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา ได้มีการออกแบบเส้นทางในการทดสอบในครั้งนี้เปรียบเสมือนการเดินทางจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ โดยเริ่มจากท่อนไฟปากร่องของท่าเรือน้ำลึกสงขลา และเก็บข้อมูลตามเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร (10.80 ไมล์ทะเล) ความเร็วประมาณ 3 – 5 น็อต (5 กิโลเมตร/ชั่วโมง) ซึ่งขอบเขตพื้นที่อยู่ในแผนที่เดินเรือ หมายเลข 229 ทางเข้าท่าเรือ (WGS84) ดังแสดงในรูปที่ 1





รูปที่ 1 แผนที่ทางเข้าท่าเรือสงขลา (WGS84) หมายเลข 229

1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1.3.3.1 ข้อมูลตำแหน่งในพื้นที่ที่ได้จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร CORS (Continuously Operating Reference Stations) ที่อยู่ใกล้บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัด สงขลา ระยะเวลาข้อมูล 24 ชั่วโมง บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในรูปแบบไฟล์ RINEX (Receiver Independent Exchange Format)

1.3.3.2 ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในรูปแบบไฟล์ RINEX และเก็บข้อมูลตลอดเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบ เป็น ระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร (10.80 ไมล์ทะเล)

1.3.3.3 ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากฐานข้อมูลสาธารณะของ ประเทศ ฝรั่งเศส CNES (Center National D'études Spatiales) ที่ผ่านและครอบคลุมพื้นที่ ประเทศไทย ในวันที่ลงปฏิบัติงานสำรวจ ในรูปแบบไฟล์ RINEX

1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

ใช้โปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2 (Takasu, 2013) เป็นโปรแกรมหลักในการประมวลผลค่า พิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS รูปแบบ Kinematic position mode, Differential GNSS positioning mode , Single point positioning mode, Single point positioning mode ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS

1.3.5 การเปรียบเทียบผลงานวิจัย

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างเทคนิคทั้งสอง เปรียบเทียบโดยใช้ค่าความ ถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และส่วน เบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ ได้ดังต่อไปนี้

1.3.5.1 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์แล้ว ประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) กับ ข้อมูลจากการรังวัดด้วยเทคนิคการหา ตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (Differential Global Navigation Satellite System) เพียงอย่าง เดียว

1.3.5.2 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว

1.3.5.3 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System)

1.4 เครื่องมือที่ใช้การทดสอบ

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS (Global Navigation Satellite System) ยี่ห้อ Stonex รุ่น S10 สามารถรับสัญญาณด้วยดาวเทียมได้ครอบคลุมโครงข่าย GPS ,GLONASS ,GALILEO ,BEIDOU ,QZSS และ SBAS สามารถทำงานได้ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2

- เทคนิค Static ด้วยความละเอียดทางราบ $\pm(2.5\text{mm}+0.1 \text{ ppm RMS}$ ความละเอียดทางตั้ง $\pm(3.5\text{mm}+0.4 \text{ ppm) RMS}$
- เทคนิค RTK ด้วยความละเอียดทางราบ $\pm(8.0\text{mm}+0.8 \text{ ppm) RMS}$ ความละเอียดทางตั้ง $\pm(15\text{mm}+1.0 \text{ ppm) RMS}$
- เทคนิค DGNSS ด้วยความละเอียดทางราบ $\pm(0.25 \text{ m) RMS}$ ความละเอียดทางตั้ง $\pm(0.45 \text{ m) RMS}$
- ระบบดาวเทียม SBAS ด้วยความละเอียดทางราบ $\pm(0.50 \text{ m) RMS}$ ความละเอียดทางตั้ง $\pm(0.85 \text{ m) RMS}$ (STONEX, 2018)



รูปที่ 2 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ Stonex รุ่น S10

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพค่าความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ มาใช้ในพื้นที่ประเทศไทย

1.5.2 ใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจ ในการเลือกใช้งานระบบ GNSS (Global Navigation Satellite System) นำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านต่าง ๆ ในพื้นที่ประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพทางตำแหน่งที่ดีขึ้น เช่น ในการนำร่องด้านการเดินเรือ

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1.1 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS

GNSS มาจากคำว่า Global Navigation Satellite Systems ทำหน้าที่ให้ข้อมูลพิกัดบนผิวโลก ณ จุดที่รับสัญญาณตั้งอยู่ ซึ่งหน่วยงานด้านอวกาศได้นิยามความหมายของระบบนำร่องดาวเทียมว่า GNSS เพื่อให้ครอบคลุมระบบดาวเทียมที่มีลักษณะใช้งานคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS เช่น ระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System), GLONASS (Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema) ของสหพันธรัฐรัสเซีย , Galileo ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป , BDS (BeiDou Navigation Satellite System) ของสาธารณรัฐประชาชนจีน , RNSS (Regional navigation Satellite System) ประเทศอินเดีย และ QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) ของประเทศญี่ปุ่น โดยจะเรียกรวมระบบดาวเทียมของทุกประเทศนี้ว่า “ระบบดาวเทียม GNSS” เป็นต้น

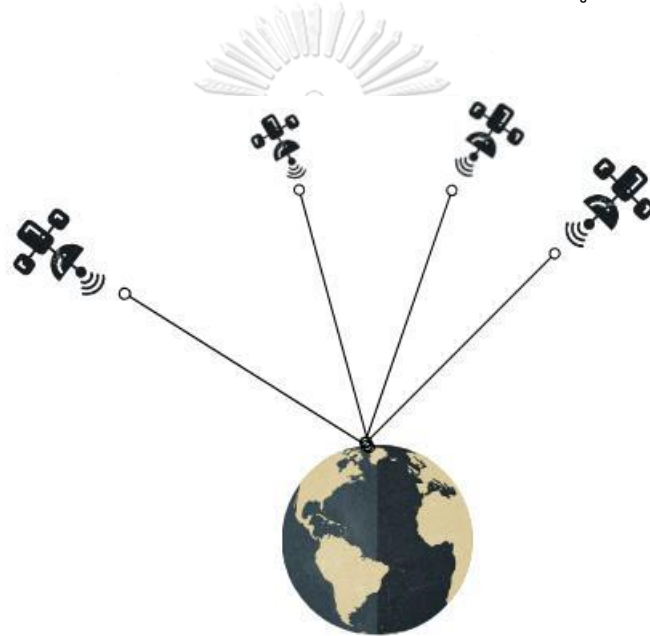
ระบบดาวเทียมนำหน GNSS (Global Navigation Satellite System) จะนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) ร่วมกับระบบดาวเทียมอื่น ๆ ทำให้มีดาวเทียมที่มีสภาพที่พร้อมใช้งานเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าทางตำแหน่งที่ดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียว และลดเวลาในการปฏิบัติงานด้านการรังวัดในพื้นที่ต่าง ๆ อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบจากข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคในขณะปฏิบัติงานด้านการรังวัด (อัศวินี วงษ์สุวรรณ, 2557)

2.2 เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม

ในปัจจุบันการทำงานด้วยระบบดาวเทียมการรังวัด เพื่อการหาค่าพิกัดทางตำแหน่งด้วยดาวเทียมกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น โดยการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

2.2.1 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว SPP (Single Point Positioning)

การหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับโดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว โดยปกติจะใช้วิธีการวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo range) ในการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวนี้ จำเป็นต้องมีการวัดระยะไปยังดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อที่จะสามารถหาค่าพิกัดทั้ง 3 แกน (X, Y, Z) เนื่องจากมีตัวแปรไม่ทราบค่าอยู่ 4 ตัวคือ ค่าพิกัด (X, Y, Z) 3 ตัวและค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาอีก 1 ตัว ฉะนั้นเมื่อทำการรังวัดไปยังดาวเทียมครบ 4 ดวงก็จะสามารถหาตำแหน่งสัมบูรณ์ได้ในทันทีจากเครื่องรับ ความถูกต้องของวิธีการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เครื่องมือรับแบบนำหนหรือพกพา ดังแสดงในรูปที่ 3 (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)



รูปที่ 3 วิธีการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว

ดัดแปลงจาก (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_R + \epsilon_R \quad (1)$$

R = สมการค่ารังวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo range)

ρ = ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ

Δr = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม

d_{ion} = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

d_{trop} = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

c = ความเร็วแสง

$\Delta\delta_r$ = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ

$\Delta\delta^S$ = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม

dm_R = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี (Multipath)

ϵ_R = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชุดเรดาร์ที่วัดได้ของรหัส

2.2.2 การหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

การหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์เป็นวิธีที่ใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูง และจะต้องทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้หาดำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่น ๆ ฉะนั้นจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่องในการทำงาน หลักการทำงานของการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์คือ การนำเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่หนึ่งไปวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ซึ่งเรียกกันโดยทั่วไปว่า สถานีฐาน (Base station) หรือสถานีอ้างอิง (Reference station) ส่วนเครื่องรับเครื่องที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณตามจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด ซึ่งเรียกว่าสถานีจร (Roving station) หรือสถานีผู้ใช้ (User station) การหาค่าพิกัดของตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีนี้ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐานและสถานีจรจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันและช่วงเวลาเดียวกัน ทั้งนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม จะรับสัญญาณอย่างน้อย 4 ดวง ด้วยการทำงานในลักษณะดังกล่าว ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic errors) หลายชนิด ดังเช่น ความคลาดเคลื่อนจากวงโคจร ความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น จะถูกหักล้างกันไปทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้นั้นดีขึ้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

การหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ก็คือเทคนิคค่าต่าง ซึ่งจะมียู่ 3 ลักษณะด้วยกัน คือ ระหว่างเครื่องรับ (Between receivers), ระหว่างดาวเทียม (Between satellites), และระหว่างเวลา (Between epochs) โดยทั่วไปเทคนิคการหาค่าต่างจะนับตามจำนวนครั้งของการหาค่าต่าง เช่นเดียวกัน เทคนิคการหาค่าต่างที่นิยมใช้กันมีอยู่สามแบบคือ การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing), การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing) และการหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing) ในวิจัยนี้เราจะใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing) และใช้การหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ (Between-Receiver differencing) ในการศึกษาต่อไป

2.2.2.1 ค่าต่างระหว่างเครื่องรับ (Between-Receiver differences)

การหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับเป็นการนำเอาค่าที่ได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันที่จุดสองจุดมาหาค่าต่าง เช่น มีชุดเครื่องรับที่จุด A และจุด B ซึ่งทั้งสองจุดสามารถรับข้อมูลดาวเทียมหมายเลข 1 จากสมการ (2) หากรวมค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์เป็นหนึ่งเทอม (d_{atmos}) และสมมติว่าไม่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนในข้อมูลเลย เราสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่รับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 ที่จุด A และ จุด B ได้อย่างง่าย มีดังนี้

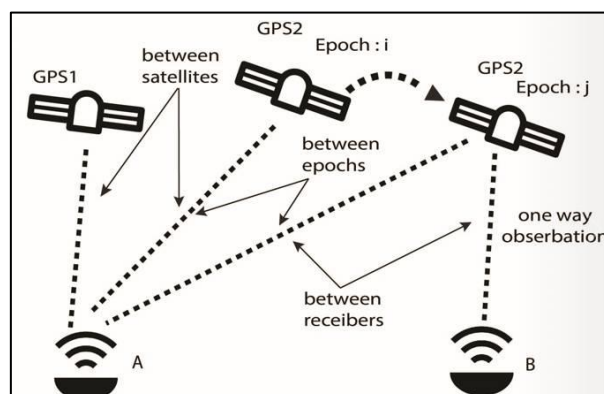
$$\phi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta r^1 + d_{atmosA} + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2)$$

$$\phi_B^1 = \rho_B^1 + \Delta r^1 + d_{atmosB} + c(\Delta\delta_B - \Delta\delta^1) + \lambda N_B^1 \quad (3)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ โดยนำสมการ (2) ลบด้วยสมการ (3) จะได้

$$\phi_A^1 - \phi_B^1 = \rho_A^1 - \rho_B^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) \quad (4)$$

ซึ่งการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับแบบนี้ สามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศ ทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ โดยประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้น ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสอง หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ระยะเส้นฐาน (Baseline length) ในหนังสือหลายเล่มมักเรียกการหาค่าต่างชนิดนี้ว่า การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single difference) ดังแสดงในรูปที่ 4 (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

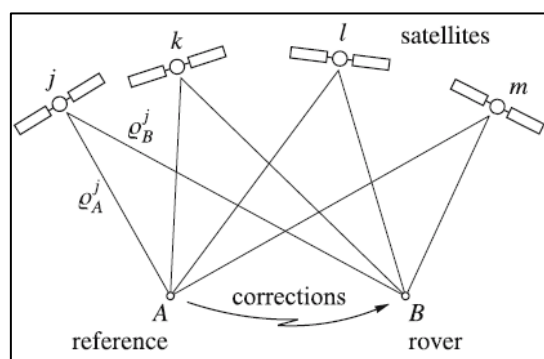


รูปที่ 4 เทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ

(เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.2.3 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับระบบ DGNS

ทฤษฎีที่กล่าวถึงระบบนำหน้ด้วยดาวเทียม GNSS แบบปรับแก้ผลต่างหรือเทคนิคการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (Differential Global Navigation Satellite System) มีอยู่หลากหลาย เช่น เป็นเทคนิคการระบุตำแหน่งแบบทันทีทันใด โดยใช้ตัวรับตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ตัวรับตัวหนึ่งมักจะหยุดนิ่งอยู่ที่จุดอ้างอิง หรือสถานที่ที่ทราบค่าพิกัด เรียกโดยทั่วไป สถานีหลัก, สถานีฐาน, สถานีอ้างอิง (Base station) แล้วจากนั้นให้ทำการรับสัญญาณ พร้อมกับกับเครื่องหาค่าพิกัดอีกเครื่องหนึ่ง (Rover) ขั้นตอนการคำนวณของเครื่องรังวัดหาค่าพิกัด GNSS ตัวหลัก (Base station) จะไม่ใช่สัญญาณเวลาทำการคำนวณหาค่าพิกัด ในทางตรงข้ามจะใช้ค่าพิกัดที่ทราบแล้วทำการคำนวณหาเวลาที่สัญญาณ GNSS ใช้ในการเดินทางแล้วทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณเวลาที่ได้รับจริงจะทำให้ได้ค่าความต่างซึ่งก็คือค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อน จากนั้นเครื่องหาค่าพิกัดหลัก (Base station) จะทำการส่งค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ไปให้เครื่องหาค่าพิกัดอีกเครื่องหนึ่ง (Rover) ใช้เป็นค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณ เวลาที่ได้รับจากดาวเทียมเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5 สำหรับการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS สามารถจัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบได้เป็นอย่างดี เนื่องจากอัตราส่วนโค้งของระยะระหว่างดาวเทียมของระบบ GNSS ซึ่งห่างกันมากในอวกาศเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดสองเครื่องขณะเคลื่อนที่เพื่อปฏิบัติงานรังวัดแบบสัมพัทธ์ DGNS บนโลกจะไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นถ้าเครื่องรังวัดหาค่าพิกัด GNSS ทำงานอยู่ใกล้กันเป็นระยะประมาณ 200 – 300 กิโลเมตร สัญญาณที่ส่งมาถึงเครื่องรังวัดหาค่าพิกัด GNSS ทั้งสองจะถือเสมือนหนึ่งว่าคลื่นได้เดินทางผ่านสภาพบรรยากาศเพียงส่วนเล็กและถือว่ามีสภาพบรรยากาศเหมือนกัน ดังนั้นจึงถือเสมือนหนึ่งว่ามีความคลาดเคลื่อนเหมือนกัน (Hofmann-Wellenhof et al., 2007)



รูปที่ 5 หลักการพื้นฐานของเทคนิค DGNS

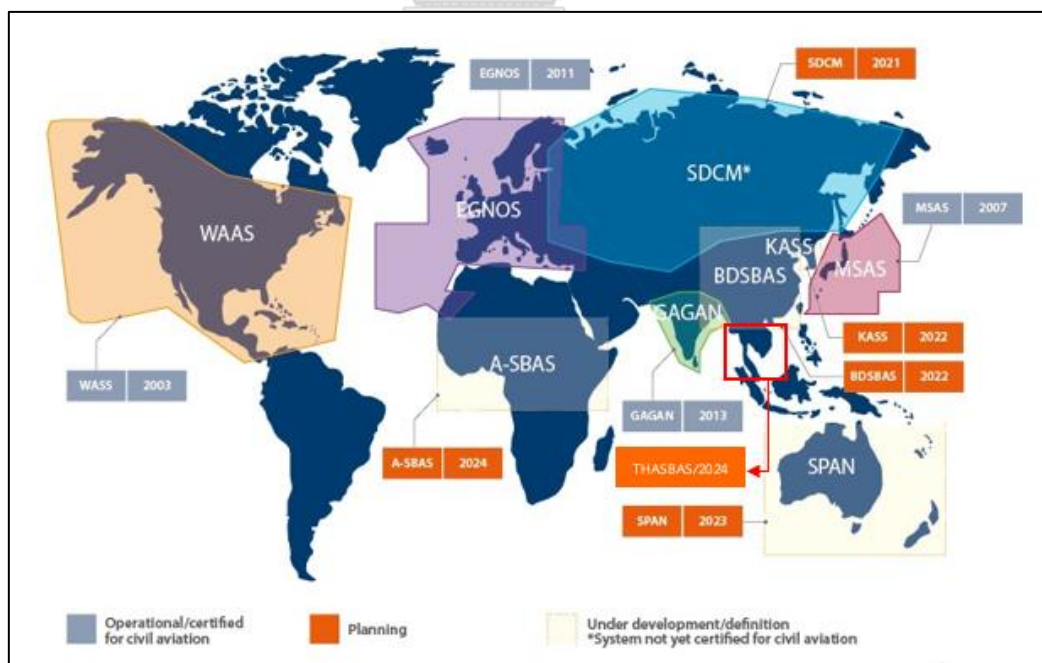
(ดัดแปลงจาก Hofmann-Wellenhof et al. (2007))

และในวิจัยหลายประเทศได้กล่าวถึงเทคนิคการปรับแก้ผลต่างหรือเทคนิคการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ซึ่งมีชื่อเรียกต่างกันแต่การหลักการทำงานเหมือนกันทั้ง DGPS (Differential GPS) และ DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) iva๑ด๑งนี้ Chen et al. (2003) ได้กล่าวไว้ว่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่รังวัดได้โดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGPS โดยใช้เครื่องรังวัดหาตำแหน่งค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ที่ถอดรหัส C/A Code ได้เพียงอย่างเดียวจะมีความถูกต้องอยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เมตร จนถึง 20 - 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของเครื่องรังวัดหาตำแหน่งค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS ที่ใช้ และ Hall (1996) ได้กล่าวไว้ว่าเทคนิคการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGPS มีรัศมีการทำงานอยู่ในระยะ 300 กิโลเมตร โดยค่าพิกัดที่รังวัดได้จะมีความถูกต้องในระดับที่ดีกว่า 3 เมตร ความถี่ที่อนุญาตสำหรับสัญญาณวิทยุ DGPS อยู่ระหว่าง 283.5 kHz ถึง 325 kHz ด้วยวิธีนี้ ผู้ใช้สามารถรับการแก้ไข DGPS (Differential GPS) ผ่านรูปแบบ Radio Technical Commission for Maritime Services Special Committee 104 (RTCM SC-104) และ Hasan and Mahmud (2005) กล่าวว่าระบบ DGPS เป็นระบบที่ใช้แนวคิดของการวัดระยะเทียม ระบบนี้ให้การแก้ไข DGPS ฟรีโดยใช้สถานีอ้างอิงเชิงพาณิชย์พร้อมเครื่องรับที่เหมาะสม ความพร้อมใช้งานของสถานีอ้างอิงที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง หมายความว่าผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องตั้งค่าสถานีอ้างอิงของตนเองอีกต่อไป โครงสร้างการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGPS, DGNSS โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Reference Station หรือสถานีอ้างอิง (Base station) เป็นที่ตั้งของเครื่องรังวัดหาตำแหน่งค่าพิกัด GNSS บนตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง เพื่อทำหน้าที่ในการรับสัญญาณดาวเทียมคำนวณค่าพิกัดและค่าแก้ไข
2. Integrity Monitor หน่วยตรวจสอบที่อยู่ร่วมกับสถานีอ้างอิงเพื่อคอยตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของสถานีอ้างอิงว่ามีความผิดพลาดหรือไม่
3. Broadcast Site เป็นหน่วยที่ทำการกระจายค่าแก้ไขผ่านทางช่องทางต่าง ๆ เช่น คลื่นโทรศัพท์ คลื่นวิทยุ และอินเทอร์เน็ต
4. Control Station สถานีควบคุมส่วนกลางมีหน้าที่ติดตามการทำงานของสถานีอ้างอิงต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบ
5. Communication Network โครงข่ายการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีควบคุมส่วนกลางกับสถานีอ้างอิง
6. DGPS/DGNSS User Equipment คือผู้ใช้เครื่องหาตำแหน่งค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS หรือ GNSS ที่เปิดใช้การรับค่าแก้ไขในระบบ DGPS/DGNSS

2.3 Satellite Based Augmentation Systems (SBAS)

Satellite Based Augmentation System (SBAS) ระบบดาวเทียม SBAS เป็นระบบเสริมดาวเทียมที่ถูกพัฒนาขึ้นในหลากหลายประเทศโดยมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามประเทศที่พัฒนา เช่น ในสหรัฐอเมริกา เรียกว่า WAAS (Wide Area Augmentation System) ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป คือ EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) ประเทศญี่ปุ่น คือ MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) และ ประเทศอินเดีย คือ GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) เป็นต้น และมีประเทศที่กำลังพัฒนาและมีแผนจะให้บริการในอนาคต เช่น สหพันธรัฐรัสเซีย คือ SDCM (The System for Differential Corrections and Monitoring) สาธารณรัฐประชาชนจีน คือ BDSBAS (BeiDou Satellite-Based Augmentation System) ประเทศเกาหลีใต้ คือ KAAS (Korea Augmentation Satellite System) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 6 พัฒนาการเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยระบบเสริมดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System) จะให้บริการค่าแก้สำหรับระบบดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System) ได้แก่ ค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ค่าแก้ค่า คลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อเพิ่มค่าความแม่นยำทางตำแหน่ง (ปทุมพร พวงเพ็ชร, 2560) ของพื้นที่เพิ่มขึ้นในบริเวณกว้าง เช่น ด้านการบิน ด้านการเดินเรือ เป็นต้น (Choy et al., 2017)



รูปที่ 6 การแสดงพื้นที่ให้บริการของระบบดาวเทียม SBAS (ดัดแปลงจาก <https://www.euspa.europa.eu>, 2021)

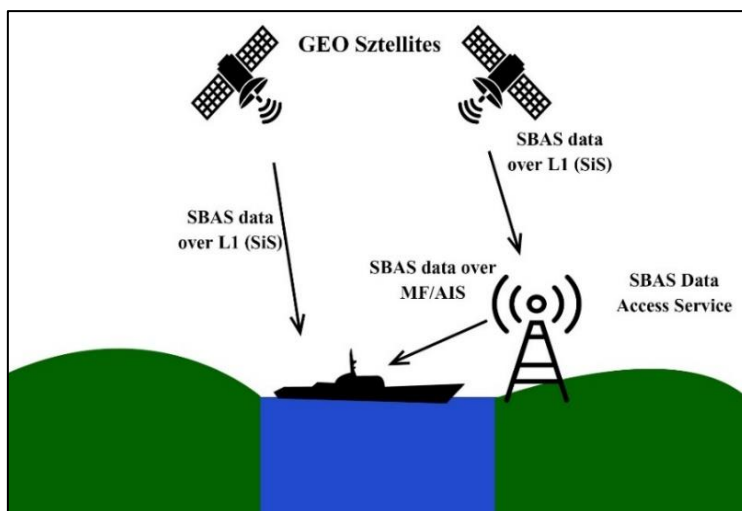
The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) สมาคมประชาการระหว่างประเทศ กล่าวว่าเทคนิคการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS เป็นระบบที่ยอมรับกันในระดับสากลในหมู่ นักเดินเรือ เนื่องจากให้ค่าความถูกต้อง ความแม่นยำทางตำแหน่งทางตำบลที่ของเรือ ซึ่งในปัจจุบันผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงและใช้ประโยชน์จากระบบเสริมด้วยดาวเทียม SBAS ได้อย่างทั่วถึงและตลอด 24 ชั่วโมง ระบบดาวเทียม SBAS เป็นระบบที่เสริมค่าความถูกต้องสามารถให้ข้อมูลประเภทเดียวกับการรังวัดแบบสัมพัทธ์ DGNSS ได้ในพื้นที่กว้าง และสามารถใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และความสมบูรณ์ ในกิจกรรมทางทะเลต่าง ๆ และทางน้ำภายในประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความแม่นยำทางตำแหน่งเทียบเท่ากับวิธีการแบบสัมพัทธ์ DGNSS (ความแม่นยำ < 5 เมตร (95%)) (NAVGUIDE, 2557) ระบบดาวเทียม SBAS ให้ ความแม่นยำ ความพร้อมใช้งานและความต่อเนื่องที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องช่วยนำทางอื่น ๆ สามารถปฏิบัติตามมาตรฐานสากลทั่วไปโดยทำงานร่วมกันได้ และสอดคล้องกับความละเอียดตามที่ องค์การการทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ที่ A.1046(27) กำหนดขึ้น (Lopez-Martinez et al., 2020) ส่วนประกอบของระบบ SBAS (Satellite Based Augmentation System) มี 4 ส่วนสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 7 ได้แก่

1. ส่วนอวกาศ (Space segment) ประกอบด้วยดาวเทียม GEO (Geostationary satellites) หลายดวง ซึ่งเป็นดาวเทียมค้างฟ้า ซึ่งปกติแล้วดาวเทียม SBAS เป็นดาวเทียมอเนกประสงค์ (ดาวเทียมสื่อสารเชิงพาณิชย์) ทำหน้าที่รับสัญญาณและข้อความ SBAS จากสถานีควบคุมดาวเทียม GEO ที่ส่งมาหลังจากนั้น ดาวเทียม GEO จะส่งข้อมูล SBAS ที่เหมือนกับสัญญาณ GPS (Global Positioning System) ไปยังผู้ใช้งานต่อไป

2. Ground segment ประกอบด้วยส่วนของโครงข่ายสถานีควบคุม ทำหน้าที่รับสัญญาณจาก ระบบดาวเทียม GNSS แล้วส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังสถานีประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลและสร้างข้อความ SBAS จากนั้นส่งข้อความ SBAS ไปที่สถานีควบคุมดาวเทียม GEO เพื่อสร้างสัญญาณและส่งข้อความ SBAS ขึ้นไปส่วนของ Space segment

3. Support segment ทำหน้าที่ออกแบบ พัฒนา การบำรุงรักษา ตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพของระบบ SBAS และปรับปรุงแก้ไขดำเนินการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ SBAS

4. User segment ประกอบด้วยผู้ใช้ประโยชน์จากข้อมูล SBAS ด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณที่รองรับระบบ SBAS สำหรับงานตามที่ใช้ต้องการ (Geoscience Australia, 2018)

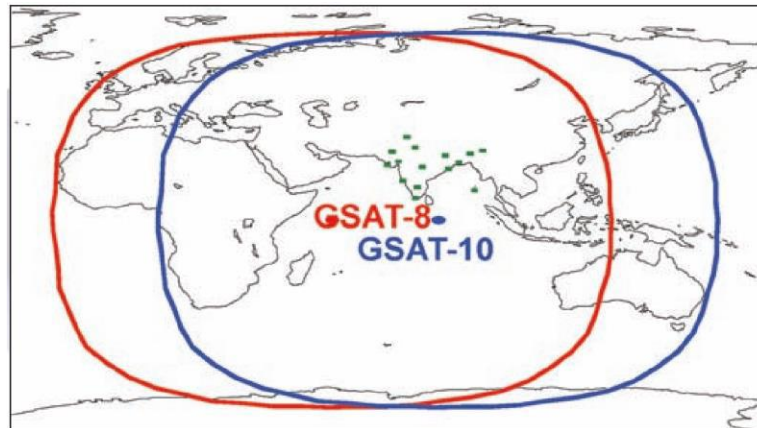


รูปที่ 7 ทางเลือกในการใช้งานระบบดาวเทียม SBAS
(ดัดแปลงจาก Lopez-Martinez et al. (2020))

เนื่องจากระบบดาวเทียม SBAS แต่ละประเทศที่มีการสร้างขึ้นมาในปัจจุบันจะมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ระบบดาวเทียม SBAS ที่ผ่านพื้นที่ประเทศไทยจำนวน 2 ระบบด้วยกันคือ ระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งเป็นระบบดาวเทียม SBAS ของประเทศอินเดีย และ BDSBAS เป็นระบบดาวเทียม SBAS ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

1. ระบบดาวเทียม GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN)

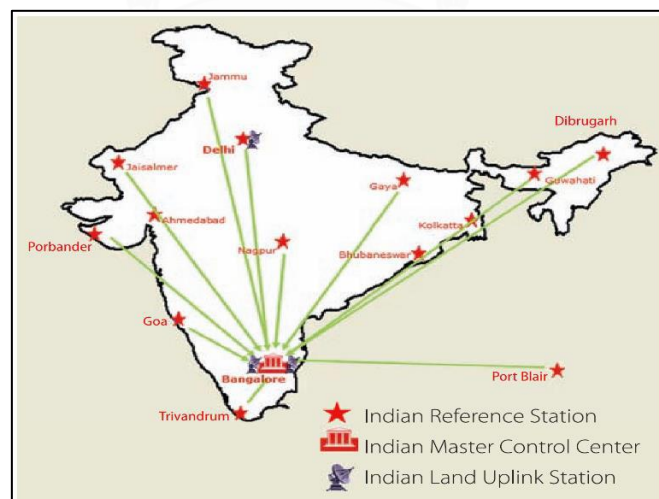
ระบบดาวเทียม GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN) เป็นระบบ SBAS ที่พัฒนาร่วมกันระหว่าง The Indian Space Research Organization (ISRO) กับ Airports Authority of India (AAI) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความถูกต้องทางตำแหน่งของระบบดาวเทียม Global Navigation Satellite Systems (GNSS) ที่ใช้ในการนำร่องการเดินทางต่าง ๆ เช่น นำหนทางบก การบิน และการเดินเรือ พื้นที่ให้บริการของระบบดาวเทียม GAGAN ครอบคลุมเขตพื้นที่การบินของประเทศอินเดีย และยังครอบคลุมไปยังพื้นที่บริเวณโดยรอบ (Dammalage, 2018) และเมื่อใช้ระบบดาวเทียม GNSS ร่วมกับระบบดาวเทียม GAGAN สามารถเพิ่มความแม่นยำทางตำแหน่งขึ้นได้ มีประโยชน์อย่างมากในด้านการสำรวจ เวลา การบิน การเดินเรือ เกษตรกรรม เหมือนแร่ การขนส่ง ตลอดจนสาขาอื่น ๆ เช่น การก่อสร้างหรือแท่นขุดเจาะน้ำมันนอกชายฝั่ง (A Ganeshan, 2017) ระบบดาวเทียม GAGAN สามารถทำงานร่วมกันได้กับระบบดาวเทียม SBAS อื่น ๆ ในระดับนานาชาติ เช่น WAAS ของประเทศสหรัฐอเมริกา EGNOS ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป เป็นต้น



รูปที่ 8 พื้นที่บริการสัญญาณของระบบดาวเทียม GAGAN

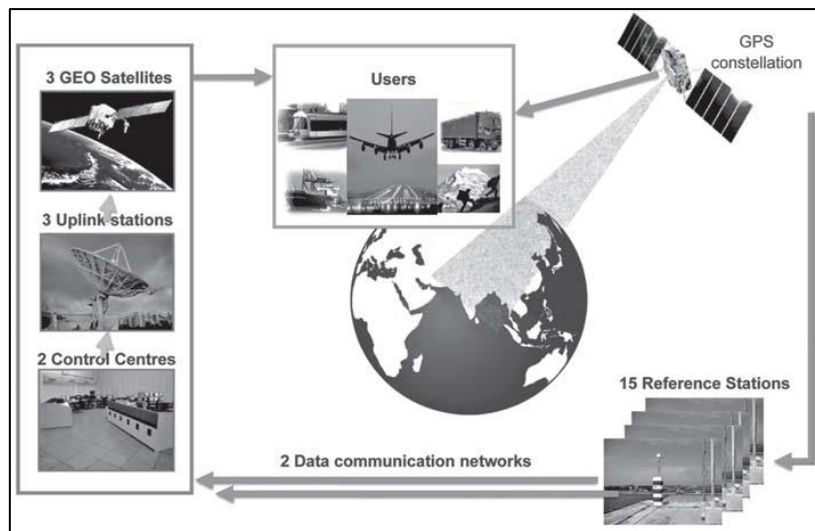
ดัดแปลงมาจาก (AS Ganeshan et al., 2016)

ระบบดาวเทียมเสริม GAGAN ประกอบด้วย Indian Reference Station (INRES) ทั้งหมด 15 สถานี ทั่วประเทศอินเดีย ระบบดาวเทียม GAGAN จะรับข้อมูลมาจาก ดาวเทียม GPS และ GEO หลังจากนั้นจะส่งข้อความ GPS ไปยัง Indian Master Control Center (INMCC) มี 2 แห่ง ที่เมืองบังคาลอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลและสร้างข้อความ SBAS และพารามิเตอร์ ที่สมบูร์น จากนั้นส่งข้อความ SBAS และพารามิเตอร์ที่สมบูร์น จากนั้นส่งข้อความ SBAS และ พารามิเตอร์ที่สมบูร์นไปยัง Indian Land Uplink Station (INLUS) ในทุก ๆ วินาที มี 3 แห่ง ตั้งอยู่ที่เมืองบังคาลอร์ 2 แห่ง และเมืองนิวเดลี 1 แห่ง ตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 สถานีภาคพื้นดินของระบบดาวเทียม GAGAN

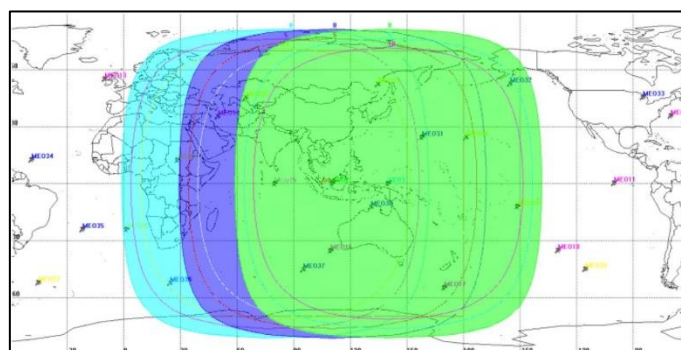
ดัดแปลงมาจาก (Ganeshan et al., 2016)



รูปที่ 10 โครงสร้างระบบดาวเทียม GAGAN (A Ganeshan, 2017)

2. ระบบดาวเทียม BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS)

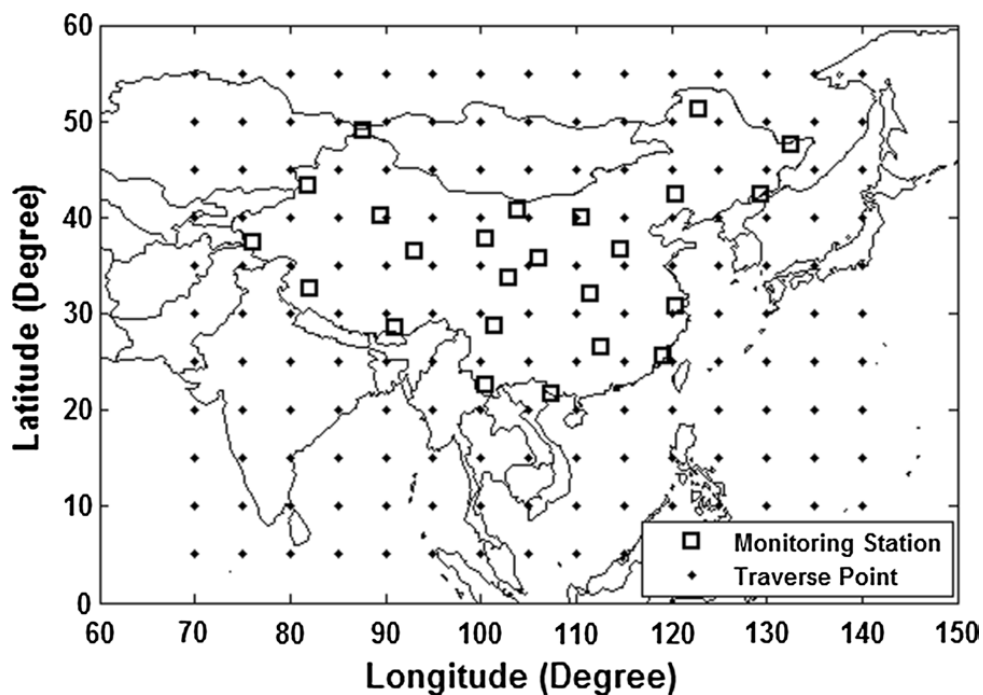
BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS) เป็นระบบดาวเทียมเสริมที่พัฒนาโดยสาธารณรัฐประชาชนจีน เริ่มให้บริการบนดาวเทียม GEO-1 (BDSBAS PRN Signal Number 130) ที่ละติจูดที่ 80°E เป็นระบบเสริมบริการค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อปรับปรุงค่าพิกัดแก่ระบบดาวเทียม BDSBAS ซึ่งระบบดาวเทียม BDSBAS จะให้บริการ จะให้บริการความถี่เดี่ยว (SF) และหลายความถี่ (DFMC) ตามมาตรฐานองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ (ICAO) (Chen et al., 2019) BDSBAS จะให้บริการผู้ใช้ในประเทศจีนและพื้นที่โดยรอบที่สามารถรับสัญญาณได้ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณของ BDSBAS

ดัดแปลงจาก (wileyonlinelibrary.com)

ระบบดาวเทียม BDSBAS มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนภาคพื้นดินมีศูนย์ควบคุมศูนย์ประมวลผลข้อมูล Monitoring Station (MS) และ Uplink Station ที่กระจายอยู่ทั่วสาธารณรัฐประชาชนจีน ดังแสดงในรูปที่ 12 แสดงสถานีภาคพื้นดิน BDSBAS และ IGP's ซึ่งจะทำการส่งข้อความ SBAS ผ่านสัญญาณ B1C และ B2a ไปยังผู้ใช้งานผ่านดาวเทียม GEO ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียม GEO 3 ดวง (อยู่ที่ 80°E, 110.5°E และ 140°E) และส่วนของผู้ใช้งาน (Chen et al., 2019)



รูปที่ 12 สถานีภาคพื้นดิน BDSBAS
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดัดแปลงจาก (Chen et al., 2019)

และนอกจากนี้ประเทศจีนยังคงเข้าร่วมการประชุมเพื่อพัฒนาระบบดาวเทียม SBAS เพื่อใช้ในการนำร่องการเดินเรือ ของสมาคมประภาคารระหว่างประเทศ (The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities: IALA) เพื่อบริหารการเดินเรือชายฝั่งและอาจนำมาพิจารณาการใช้ระบบดาวเทียม SBAS ในการเดินเรือในน่านน้ำของประเทศตนเองในอนาคต ในปัจจุบันประเทศจีนจะเริ่มตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม BDSBAS สำหรับการเดินเรือ ให้สอดคล้องกับที่สมาคมประภาคารระหว่างประเทศกำหนด (IALA) (Chen et al., 2019)

2.4 มาตรฐานการเดินเรือ

สมาคมประภาคารระหว่างประเทศ IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities) เป็นสมาคมทางเทคนิคระดับนานาชาติ ที่ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2500 ในฐานะสมาคมทางเทคนิคซึ่งมีการดำเนินการร่วมมือกับส่วนต่าง ๆ ของโลกในการหารือกัน และสร้างผลผลิตในรูปแบบกฎต่าง ๆ ออกมา โดยมีความพยายามและวัตถุประสงค์ร่วมกันเพื่อสร้างมาตรฐานที่สอดคล้องกันสำหรับเครื่องหมายทางเรือ และอำนวยความสะดวกในการเดินทางในทะเลเกิดความปลอดภัย และมีประสิทธิผล และติดต่อกับองค์กรต่าง ๆ เช่น องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ซึ่งเป็นองค์การหลักที่ออกกฎข้อบังคับที่ครอบคลุมครบถ้วนเกี่ยวกับการเดินเรือ รับผิดชอบด้านความปลอดภัย สภาพแวดล้อม กฎหมายที่เกี่ยวข้องความร่วมมือทางเทคนิค ความปลอดภัยทางทะเล และการเดินเรืออย่างมีประสิทธิภาพ องค์การอุทกศาสตร์สากล IHO (International Hydrographic Organization) เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วหน่วยงานที่มีอำนาจในงานเครื่องหมายทางเรือ ได้รับการสถาปนาขึ้นเพื่อทำหน้าที่รับผิดชอบในการทำให้การเดินเรือมีความปลอดภัย ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกการพัฒนาด้านการค้า และเศรษฐกิจตั้งนั้นการให้บริการหลัก ๆ จึงมุ่งไปยังการสนองความต้องการของเรือค้า และในบางพื้นที่อาจจัดให้มีบริการพิเศษเพิ่มเติมให้แก่ เรือข้ามฟาก เรือประมง เรือสำราญ และกิจกรรมเฉพาะในทะเล ตามมติขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO ที่ A.915(22) นิยามว่า เดินเรือ คือกระบวนการวางแผน บันทึกและควบคุมการเคลื่อนที่ของยาน จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และมีข้อแนะนำว่าไม่พึงใช้วิธีการใดวิธีการหนึ่งเพียงอย่างเดียวในการหาตำแหน่งที่ของเรือ ซึ่งวิธีการหลักในการเดินเรือ อธิบายแบบกระชับ ดังต่อไปนี้ เดินเรือชายฝั่ง (Terrestrial Navigation) คือ (1.) เดินเรือโดยใช้วิธีการทางทัศนเรดาร์ หยั่งน้ำ การตรวจพิสูจน์ทราบต่าง ๆ บนฝั่งเพื่อนำมาใช้หาตำแหน่งที่เรือ (2.) เดินเรือดาราศาสตร์ (Celestial or Astronomical Navigation) (3.) เดินเรือโดยใช้การตรวจวัดวัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ เช่น ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ ดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ เพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งที่เรือ และ (4.) เดินเรือวิทยุ (Radionavigation) เดินเรือด้วยการใช้สัญญาณวิทยุ เพื่อนำมาใช้หาตำแหน่งที่ หรือเส้นทางที่ เช่น GPS, DGPS, SBAS, AIS ฯ เป็นต้น

มาตรฐานความแม่นยำในการเดินเรือ ตามข้อมติ องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ที่ A.915(22) ใช้กำหนดมาตรฐานความแม่นยำสำหรับการเดินเรือ ผนวกที่ 2 และ 3 แสดงในตารางที่ 1 และแบ่งช่วงการเดินเรือ ตามรูปแบบแล้วจะแบ่งออกเป็นสามช่วง (1.) เดินเรือในมหาสมุทร (Ocean Navigation) (2.) เดินเรือชายฝั่ง (Coastal Navigation) และ (3.) เดินเรือในน่านน้ำจำกัด (Restricted Water Navigation) ทั้งนี้ในเอกสารบางฉบับอาจกำหนดการเดินเรือช่วงอื่น ๆ ไว้อีกเช่น เข้าสู่ท่าเรือ ท่าเรือ เส้นทางน้ำในแผ่นดิน เป็นต้น

ตารางที่ 1 ความต้องการเป็นอย่างน้อยของผู้ใช้งานทางทะเล
(NAVGUIDE, 2557)

การใช้งาน (Application)	ความแม่นยำสัมบูรณ์ในแนวราบ (95%)/เมตร (Absolute Horizontal Accuracy)(95%)(m)
สำหรับการเดินเรือในบริเวณ :	
มหาสมุทร (OCEAN)	10 - 100
ชายฝั่ง (Coastal)	10
น่านน้ำจำกัด (Restricted waters)	10
ท่าเรือ (Port)	1
เส้นทางน้ำในแผ่นดิน (Inland Waterways)	10
อุทกศาสตร์ (Hydrography)	1 - 2
สมุทรศาสตร์ (Oceanography)	10
การจัดการเครื่องหมายทางเรือ (Aid to Navigation Management)	1
ปฏิบัติการท่าเรือ :	
VTS ในท้องถิ่น (Local VTS)	1
การจัดการตู้สินค้า/สินค้า (Container/cargo Management)	1
การบังคับใช้กฎหมาย (Law Enforcement)	1
การขนถ่ายสินค้า (Cargo Handling)	0.1

ในกรณีศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเปรียบเทียบเสมือนการเดินทางเรือเข้าสู่ท่าเรือ และน่านน้ำจำกัด โดยมีรายละเอียดดังนี้ วิธีการแรก คือ เดินเรือเข้าสู่ท่าเรือ ช่วงนี้เป็นการเดินเรือจากชายฝั่งไปยังท่าเรือซึ่งจะเดินเรือจากน่านน้ำที่ค่อนข้างไม่จำกัดจากช่วงเดินเรือชายฝั่ง ไปยังบริเวณน่านน้ำจำกัดและมีการสัญจรที่หนาแน่นมากกว่า ซึ่งอยู่ใกล้ และ/หรือ ภายในเส้นทางเข้าอ่าว แม่น้ำ หรือท่าเรือ วิธีการที่สอง เดินเรือในน่านน้ำจำกัด มีลักษณะคล้ายคลึงกับการเข้าสู่ท่าเรือ แต่มีความแตกต่างตรงที่อยู่ใกล้อันตรายและมีขีดจำกัดในเรื่องการหันเลี้ยวและควบคุมเรือ พนักงานนำร่อง หรือผู้บังคับการเรือ เรือขนาดใหญ่ขณะอยู่น่านน้ำจำกัด ต้องทำการนำเรือด้วยความแม่นยำ และเที่ยงตรงสูง เพื่อหลีกเลี่ยงการติดตื้น การเกยกับวัตถุใต้น้ำที่เป็นอันตราย หรือโดนเข้ากับเรืออื่นในช่องแคบที่มีการสัญจรหนาแน่น ถ้าเรือใหญ่เผชิญกับเหตุคับขันที่ไม่อาจเปลี่ยนเข็มหรือหยุดเรือได้ สถานการณ์อาจบังคับให้ต้องเดินเรือห่างที่อันตรายในระยะ 2 - 3 เมตร การตรวจวัดหาดำบลที่แน่นอนในการเดินเรือจะมีข้อกำหนด ตารางที่ 2 ให้เห็นชนิดของความแม่นยำ ด้วยการใช้เทคนิค หรือ อุปกรณ์การเดินเรือแบบธรรมดา เพื่อหลีกเลี่ยงการโดนกันที่จะเกิดขึ้น ทั้งนี้ การเข้าสู่ท่าเรือ และเดินเรือในน่านน้ำจำกัดอาจ

บรรลุผลได้อย่างง่าย ๆ ด้วยการใช้เพียงเครื่องช่วยทางทัศนศาสตร์และเรดาร์ แต่สำหรับการเข้าสู่ท่าเรือ อาจจะได้มาโดยการร่วมกันของ GPS/SBAS และ DGNS ได้นำมาใช้สำหรับการหาดำบลที่ในช่วงการเข้าสู่ท่าเรือ หรือน่านน้ำจำกัด เนื่องจากให้ตำบลที่ซึ่งมีความแม่นยำสูง และเมื่อสนธิเข้ากับระบบ แสดงแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศเพื่อการเดินเรือ ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) ให้ความถี่ในการหาที่เรือที่แน่นอน (Fix Rates) ได้ทุก 10 วินาทีหรือดีกว่า

ตารางที่ 2 กระบวนการหาดำบลที่แน่นอนและระบบที่ใช้

(NAVGUIDE, 2557)

กระบวนการ (Process)	ชนิดของความแม่นยำ (ความน่าจะเป็น 95%) (Typical Accuracy)	ความแม่นยำที่ 1 ไมล์ทะเล (เมตร) (Accuracy at 1NM (meters))
ใช้เข็มทิศแม่เหล็กแบริงไฟหรือที่หมายบนฝั่ง	$\pm 3^\circ$ ความแม่นยำอาจลดน้อยลงที่ละติจูดสูง ๆ	93
ใช้เข็มทิศใจโรแบริงไฟหรือที่หมายบนฝั่ง	$0.75^\circ \times \secant$ ของละติจูด (ละติจูดต่ำกว่า 60°)	<62
วิทยุหาทิศ (Radio Direction Finder)	$\pm 3^\circ$ ถึง $\pm 10^\circ$	93 - 310
แบริงจากรედาร์	$\pm 1^\circ$ สมมติฐานว่าภาพบนจอมีความเสถียรและเรือ อยู่ในสภาพนิ่งพอควร	31
ระยะทางจากรีดาร์	1% ของระยะสูงสุดของสเกลที่ใช้หรือ 30 เมตร แล้วแต่ว่าค่าไหนจะมากกว่ากัน	
LORAN C/CHAYKA	30 เมตร	
eLoran	80 – 100 เมตร	
GPS	5 – 10 เมตร	
DGPS (GNSS) (ITU-R M.823/1 Format)	1 – 3 เมตร	
ที่เรือรายงาน (Dead Reckoning : DR)	ประมาณ 1 ไมล์ทะเลต่อทุก ๆ ชั่วโมงของการ เดินเรือ	

2.5 การประเมินความถูกต้องของงานวิจัย

การประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างเทคนิคทั้งสองนั้น ได้อ้างอิงตามมาตรฐานของ NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) กำหนดขึ้นมาโดย FGDC (Federal Geographic Data Committee) ซึ่งจะคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย RMSE (Root Mean Square Error)

2.5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทาง x และ y

$$RMSE_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_{data,i} - E_{check,i})^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE_N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_{data,i} - N_{check,i})^2}{n}} \quad (6)$$

เมื่อ	$E_{data,i}$	คือ ข้อมูลค่าพิกัดที่จะเปรียบเทียบ แกน <i>Easting</i>
	$E_{check,i}$	คือ ค่าพิกัดอ้างอิง แกน <i>Easting</i>
	$N_{data,i}$	คือ ค่าพิกัดที่จะเปรียบเทียบ แกน <i>Northing</i>
	$N_{check,i}$	คือ ค่าพิกัดอ้างอิง แกน <i>Northing</i>
	i	คือ เลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ถึง n
	n	คือ จำนวนของจุดตรวจสอบทั้งหมด

2.5.2 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (Horizontal Accuracy)

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_E)^2 + (RMSE_N)^2} \quad (7)$$

ถ้าหากว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนระบบแฝงอยู่และค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีลักษณะการแจกแจงเป็นปกติ โดยที่ค่าคลาดเคลื่อนทางแนวแกน x เป็นอิสระจากความคลาดเคลื่อนทางแนวแกน y แล้วค่าความถูกต้องทางราบของการเก็บข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ในงานวิจัยตามมาตรฐานของ NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถคำนวณได้จาก สมการดังนี้

$$NSSDA = 1.7308 * RMSE_r \quad (8)$$

2.5.3 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง Z

$$RMSE_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_{data,i} - h_{check,i})^2}{n}} \quad (9)$$

เมื่อ	$h_{data,i}$	คือ ข้อมูลค่าพิกัดที่จะเปรียบเทียบ แกน h
	$h_{check,i}$	คือ ค่าพิกัดอ้างอิง แกน h
	i	คือ เลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ถึง n
	n	คือ จำนวนของจุดตรวจสอบทั้งหมด

ถ้าหากว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนระบบแฝงอยู่และค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีลักษณะการแจกแจงเป็นปกติ ค่าความถูกต้องทางตั้งของการเก็บข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ในงานวิจัยตามมาตรฐานของ NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สามารถคำนวณได้จาก สมการดังนี้

$$NSSDA = 1.9600 * RMSE_h \quad (10)$$

(Minnesota Planning Land Management Information Center, 1999)

2.6 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน SD (Standard Deviation)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย และในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อวัดการกระจายของข้อมูลซึ่งจะแสดงถึงความแม่นยำของข้อมูล ใช้เปรียบเทียบข้อมูลว่ากระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด หากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยน้อย และถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมาก หากข้อมูลมีการกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมาก อาจทำให้ผลของงานวิจัยคลาดเคลื่อน ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย RMSE (Root Mean Square Error) จึงควรพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งคิดค้นโดย ฟรานซิส กาลตัน (Mr. Francis Galton) ในปี ค.ศ.1860 ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้ (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2549)

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (10)$$

- N คือ จำนวนตัวอย่าง
 X_i คือ ค่าพิสัยที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่าง (เมตร)
 \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าพิสัยที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่าง (เมตร)

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

The International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities (IALA) ตามข้อมติขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (International Maritime Organization : IMO) ที่ A.915(22) NAVGUIDE (2557) นิยามว่า เดินเรือ คือกระบวนการวางแผน บันทึก และควบคุมการเคลื่อนที่ของยาน (Craft) จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง คู่มือเครื่องหมายทางเรือ แสดงมาตรฐานที่สอดคล้องกัน ตามที่ยอมรับในผนวก 2 และ 3 มีข้อกำหนดต้องการความแม่นยำขนาด 10 - 100 เมตร สำหรับการเดินเรือในมหาสมุทร การเดินเรือบริเวณชายฝั่ง (Coastal) ต้องการความแม่นยำขนาด 10 เมตร และการเดินเรือบริเวณท่าเรือ (Port) ต้องการขนาดความแม่นยำขนาด 1 เมตร ที่ความแม่นยำสัมบูรณ์ในแนวราบ 95% ประเด็นเรื่องความปลอดภัยในการเดินเรือในช่วงการเข้าสู่ท่าเรือ (Harbors Approach) ทำให้มีความต้องการเป็นอย่างมากในเรื่องความแม่นยำของค่าบลที่ ความถี่ในการหาที่เรือที่แน่นอน (Fix) และสารสนเทศด้านการเดินเรือตามเวลาจริง สิ่งที่กำลังเหล่านี้ต้องมีความละเอียดมากกว่าช่วงการเดินเรือชายฝั่ง (Coastal Phase) ซึ่งระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) และ เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (Differential Global Navigation Satellite System) ได้นำมาใช้สำหรับการหาตำแหน่งในช่วงการเข้าสู่ท่าเรือ เนื่องจากให้ค่าบลที่มีความแม่นยำสูง และเมื่อผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีระบบแสดงแผนที่เดินเรือ อิเล็กทรอนิกส์ และสารสนเทศเพื่อการเดินเรือ ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) ให้ความถี่ในการหาที่เรือแน่นอน (Fix Rates) ได้ทุก 10 วินาที หรือดีกว่า นอกจากนี้ El-Diasty and Elsobeiey (2015) กล่าวว่าระบบดาวเทียมนำหน GNSS ลักษณะคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS เป็นวิธีการพื้นฐานของการหาตำแหน่งสำหรับการนำทางในรูปแบบต่าง ๆ ในปัจจุบันนี้ อย่างไรก็ตามคุณลักษณะบางอย่างอาจจะไม่เพียงพอสำหรับผู้ใช้งานทุกคน หรือในงานบางงาน เช่น การเดินเรือ ดังนั้นจึงมีหลายกรณีที่ระบบดาวเทียมนำหน GNSS ต้องรับการสนับสนุนจากเทคนิคอื่น ๆ จากมุมมองนักเดินเรือคุณสมบัติระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่าง

เดียวสามารถตอบสนองแก่นักเดินเรือได้ในกรณีอยู่ที่ในทะเลเปิด แต่มีหลายกรณีที่ความแม่นยำของระบบดาวเทียมนำหน GNSS ไม่เพียงพอ จึงต้องมีการใช้ระบบเสริมอื่น ๆ เช่น เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS และระบบเสริมดาวเทียม SBAS และ (Lopez & Anton, 2021) ได้ศึกษาอุปกรณ์ที่เปิดใช้งานระบบ SBAS/EGNOS ในการเดินเรือ กล่าวว่าระบบ GNSS ที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของ องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับความแม่นยำสัมบูรณ์ ตามมติ A.915(22) แผนก 3 นโยบาย การเดินเรือฉบับปรับปรุงและข้อกำหนดสำหรับดาวเทียมนำทางทั่วโลกในอนาคต ได้ยอมรับว่า GNSS และ GLONASS ของสหพันธรัฐรัสเซีย เป็นส่วนประกอบของ WWRNS (World Wide Radionavigation System) เพื่อใช้ในกรณีการเดินเรือในน่านน้ำเปิด แต่ไม่ใช่ทางเข้าท่าเรือ หรือน่านน้ำจำกัด สรุปคือ GNSS เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีเทคนิคเสริมไม่เพียงพอต่อกรณีดังกล่าว ต้องมีระบบเสริม ดังมติของ IMO ที่ A.915(22) กำหนดไว้ระบบเสริมดาวเทียม SBAS/EGNOS เป็นหนึ่งในเทคนิคที่สามารถปรับปรุงความแม่นยำของ GPS ได้ และ Specht (2015) กล่าวว่า เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS และ ระบบเสริมดาวเทียม SBAS อยู่ในกลุ่มของระบบสนับสนุนดาวเทียมทั่วโลก และระบบเหล่านี้มีประสิทธิภาพในนำทางที่ดีกว่า GPS จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของตำแหน่ง GPS นำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า ความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งเพิ่มขึ้นทุกปี ผลการของการเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง GPS ส่งผลต่อการเพิ่มความแม่นยำของการกำหนดตำแหน่งของระบบสนับสนุนทั้งหมด ควบคู่กันไป และ (Wu et al., 2003) ได้ศึกษาความการวางตำแหน่ง วิธีการรังวัดแบบจลนในทันที RTK (Real Time Kinematic Survey) สำหรับการนำทางทางทะเล ที่มีความถูกต้องในระดับเซนติเมตรเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการทำงานด้านอุทกศาสตร์และการเดินเรือ เช่น การเดินเรือผ่านช่องแคบ อีกทั้งสภาพแวดล้อมทางทะเลที่มีการรบกวนจากสิ่งแวดล้อม (Multipath) สัญญาณขาดหาย (Cycle Slips) แต่เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS สามารถให้ตำแหน่งที่มีความถูกต้องที่เพียงพอต่อการเดินเรือ และใช้วิธีการนี้ในการแก้ปัญหาได้ และก่อนหน้านี้ Chen et al. (2003) ได้กล่าวไว้ว่าความถูกต้องของค่าพิคที่รังวัดได้ด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS โดยใช้เครื่องหาพิคด้วยดาวเทียม GPS ที่ถอดรหัส C/A Code ได้เพียงอย่างเดียวจะมีความถูกต้องอยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เมตรจนถึง 20 - 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของเครื่องหาค่าพิคด้วยดาวเทียม GPS ที่ใช้ และ (Cezary et al., 2019) ได้ศึกษาการประเมินความแม่นยำในการหาตำแหน่งของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS และระบบเสริมดาวเทียม SBAS/EGNOS ในอ่าว Gdansk โดยใช้การวัดการเคลื่อนที่ทางทะเลจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือเพื่อประเมินความถูกต้องของตำแหน่งที่คาดการณ์ได้ของเครื่องรับ

สัญญาณ DGNSS และ SBAS/EGNOS โดยใช้การเคลื่อนที่ของเรือในอ่าววกัดญสค์ ใช้ตัวรับสองตัวในการศึกษา (Simrad MXB5 (DGPS) และ Trimble GA530 (EGNOS) ซึ่งบันทึกพิกัดพร้อมกัน ค่าที่ได้รับจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงที่คำนวณโดยใช้เครื่องรับ GNSS (Trimble R10) ที่เชื่อมต่อกับเครือข่าย GNSS เพื่อให้แน่ใจว่ามีความแม่นยำ 2 - 3 เซนติเมตร ($p = 0.95$) ระหว่างช่วงการรังวัดสี่ชั่วโมง สถิติความแม่นยำของระบบเหล่านี้ถูกกำหนดโดยอิงจากตำแหน่งประมาณ 11,500 ตำแหน่ง จากการศึกษาพบว่าเทคนิคการกำหนดตำแหน่งทั้งสองระบบมีระดับความแม่นยำที่เท่ากันประมาณ 0.5 ถึง 2 เมตร และตรงตามข้อกำหนดด้านความแม่นยำที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่เผยแพร่ของการเดินเรือในน่านน้ำจำกัดของ องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) และ (Dammalage, 2018) ได้ศึกษา Application of Indian Space-based Augmentation Service ในการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในประเทศศรีลังกา เพื่อตรวจสอบให้บริการของ GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) ที่เป็นบริการเสริมสำหรับการหาตำแหน่งมีแอปพลิเคชันนำทางที่มีความน่าเชื่อถือและคุ้มค่า ในพื้นที่ประเทศศรีลังกา ซึ่งทดสอบเก็บข้อมูลในรูปแบบจุด เส้น และเชิงพื้นที่ตามเงื่อนไขที่กำหนด แตกต่างกันเพื่อทดสอบการใช้งานและความแม่นยำของ GAGAN ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทาง ตำแหน่ง 3D ด้วยวิธี Standard Positioning Service (SPS) เทียบกับค่ารังวัดเฟสของคลื่นส่ง DGPS มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น 70% และ 78% สำหรับการรังวัดด้วย GAGAN และ DGPS ตามลำดับเมื่อ เทียบกับการรังวัดด้วย Garmin Etrex 10 และค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนของการรังวัดเชิงเส้น และเชิง พื้นที่ด้วยวิธี Standard Positioning Service (SPS) ด้วยการ ใช้ GAGAN มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น 79% และ 83% ตามลำดับและการรังวัดแบบ DGPS มีค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้น 86% สำหรับการรังวัด เชิงเส้นและเชิงพื้นที่ จากผลการศึกษาสามารถยืนยันได้ว่า GAGAN สามารถปรับปรุงความถูกต้อง ของการรังวัดข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างแม่นยำใกล้เคียงกับ DGPS โดยไม่ต้องใช้สถานีอ้างอิงหรือสถานี CORS (Continuously Operating Reference Stations) และ (Murugan, 2014) ได้ทำการศึกษาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางภาคพื้นดินโดยใช้ข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS (Global Positioning System) เพียงอย่างเดียวเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) บริเวณพื้นที่ประเทศอินเดียปี 2014 ในงานวิจัยนี้กล่าววาระบบดาวเทียมนำหน GPS เป็นระบบดาวเทียมที่บอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ก่อตั้ง แต่เนื่องจากความความถูกต้องทางตำแหน่ง ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบดาวเทียมนำหน GPS ไม่ตรงกับภูมิภาคประเทศอินเดีย เพราะประเทศอินเดียตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรและ The Equatorial Ionospheric Grid Point (IPG) ของประเทศอินเดีย

และประเทศสหรัฐอเมริกาไม่เหมือนกัน ดังนั้นเพื่อการปรับปรุงค่าความถูกต้องของตำแหน่งระบบดาวเทียมนำหน GPS ในภูมิภาคอินเดียจึงมีการพัฒนาระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่หมายเลข PRN127 และ PRN128 โดยระบบดาวเทียม GAGAN ให้ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมและค่าคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมผ่าน Navigation Messages งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการประมวลผลข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียว เปรียบเทียบกับการประมวลผลใช้ข้อมูลดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้ที่ได้มาจากระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้เทคนิค Differential Correction Technique ซึ่งทำการตั้งรับสัญญาณโดยใช้เครื่องรับที่มีความต่างในการรับสัญญาณ โดยทำการรับสัญญาณระบบ GPS เพียงอย่างเดียวและรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับรับสัญญาณค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN ผลการศึกษาพบว่า การรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับรับสัญญาณค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN ทำให้ได้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าการรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ในแถบประเทศเดียวกัน (Dammalage et al., 2017) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) ในพื้นที่ประเทศศรีลังกา การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์การปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในประเทศศรีลังกาซึ่งอยู่นอกพื้นที่ของประเทศอินเดีย การทดสอบประสิทธิภาพดังกล่าวใช้เครื่องรับสัญญาณ GNSS 1 เครื่องกำหนดให้รับสัญญาณ SBAS และเครื่องรับสัญญาณ GNSS อีก 2 เครื่องให้รับสัญญาณ GPS แบบจุดเดี่ยว ใช้สถานีควบคุมทั้ง 7 แห่ง 6 อำเภอ ใน ประเทศศรีลังกา ได้แก่ Narammala, Athugala, Gannoruwa, Kegalle, Homagama, Ambalangoda และ Mathara ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสถานีที่ ทดสอบโดยใช้ค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN แสดงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าไม่ใช้ค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ในสถานีควบคุมทั้ง 7 สถานี มี 5 สถานีที่มีค่า คลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง 3D น้อยกว่า 1 เมตร อีกทั้ง 79% ของการรังวัด (จากการรังวัด 24 ชั่วโมง) แสดงค่าความแม่นยำของตำแหน่ง 3D ที่ยอมรับได้น้อยกว่า 1 เมตร สำหรับแอปพลิเคชันการเก็บ รวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่หลายแห่ง อย่างไรก็ตามการใช้ DGPS ท้องถิ่นมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าค่าแก้ จาก GAGAN โดยมีการรังวัดเกือบ 85% มีข้อผิดพลาดทางตำแหน่ง 3D น้อยกว่า 1 เมตร และ (Kim et al., 2008) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ความแม่นยำของการสำรวจแบบเคลื่อนที่โดยใช้ระบบดาวเทียม SBAS ใน การศึกษานี้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการกำหนดตำแหน่งเคลื่อนที่ ของระบบดาวเทียม SBAS ความถูกต้องของตำแหน่งเคลื่อนที่ตามวิธีการระบุตำแหน่ง GPS แบบต่างๆ และความถูกต้องของ

ตำแหน่งเคลื่อนที่ระบบดาวเทียม SBAS ถูกเปรียบเทียบกับ การวางตำแหน่งแบบเคลื่อนที่ดำเนินการ โดยใช้การวางตำแหน่งด้วยเทคนิค RTK, การวางตำแหน่งด้วยเทคนิค DGPS การวางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้ SBAS และการวางตำแหน่งอิสระ และความแม่นยำได้รับการประเมินผ่าน วิธีการทางสถิติ RMSE 2D และ RMSE 3D คำนวณโดยการเปรียบเทียบกับพิกัดที่กำหนดโดยการวางตำแหน่งนิ่ง เป็นผลให้ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE 3D ตามวิธีการกำหนดตำแหน่งแต่ละวิธีคือ 13.1 ซม. สำหรับการวางตำแหน่ง RTK, 126.0 ซม. สำหรับการวางตำแหน่ง DGPS, 135.7 ซม. สำหรับแบบแยกส่วน (L1/L2), 428.9 ซม. สำหรับแบบรับสัญญาณเดี่ยว (L1) และ 109.2 ซม. สำหรับ ระบบดาวเทียม SBAS ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE 3D ของการวางตำแหน่ง RTK ที่มีความแม่นยำสูงสุดคือ 13.1 ซม. และค่าความคลาดเคลื่อน RMSE 3D ของตำแหน่งเดี่ยวที่ใช้ความถี่เดี่ยวที่มีความแม่นยำต่ำสุดคือ 428.9 ซม. นอกจากนี้ ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE 2D และ RMSE 3D ของการวางตำแหน่ง SBAS คือ 56.2 ซม. และ 109.2 ซม. ตามลำดับ ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงว่าความแม่นยำของการวางตำแหน่ง SBAS เทียบได้กับตำแหน่ง DGPS เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนในแนวนอน 9.4 ซม. และค่าความคลาดเคลื่อน RMSE 3D รวมถึงทิศทางแนวตั้ง ต่ำกว่าค่าความคลาดเคลื่อนในการวางตำแหน่งจาก DGPS 16.8 ซม. อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความกว้างของความผันผวนของข้อผิดพลาดในแนวตั้งค่อนข้างใหญ่และมีการโก่งตัวประมาณ 1 ม. จึงได้รับการยืนยันว่าความไม่เสถียรในแนวตั้งปรากฏขึ้นเมื่อใช้ของ SBAS ดังนั้นจึงมีการตัดสินใจจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของการวางตำแหน่งของระบบดาวเทียม SBAS ในสภาพแวดล้อมการทดลองต่าง ๆ เพื่อระบุสาเหตุของความไม่เสถียรในแนวตั้งของการวางตำแหน่ง ระบบ SBAS และเพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งานการวางตำแหน่งระบบ SBAS ในอนาคต ทางการของประเทศไทย (Hasan & Mahmud, 2005) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการกระจายสัญญาณ DGPS ในการเดินเรือทางทะเล สำหรับประเทศมาเลเซีย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของสัญญาณวิทยุ DGPS ไม่เพียงแต่สำหรับการวางตำแหน่งในแนวนอน แต่ยังรวมถึงความพร้อมใช้งานของข้อมูลและความน่าเชื่อถือที่เครื่องรับระยะไกลด้วย เพื่อจุดประสงค์นี้ ได้ทำการทดสอบแบบสถิติและการเคลื่อนที่กับการแก้ไข DGPS ที่ได้รับจากสัญญาณวิทยุ DGPS การทดสอบทั้งสองใช้รูปแบบข้อมูล National Marine Electronic Associations 0183 (NMEA 0183) ที่สร้างโดยเครื่องรับระยะไกลเพื่อตรวจสอบสัญญาณ DGPS ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการแยกข้อมูลระยะทาง (การทดสอบแบบอยู่กับที่) ส่งผลต่ออายุของค่าแก้ DGPS ความเบาบางของสัญญาณในแนวราบของความแม่นยำ (HDOP) จำนวนการใช้ดาวเทียม และความแรงของสัญญาณที่บันทึกที่เครื่องรับระยะไกลอย่างไร ในขณะที่เดียวกัน วิธีการติดตาม (การทดสอบแบบเคลื่อนที่) จะแยกความแตกต่างของผลลัพธ์การติดตามอัตโนมัติและด้วยตนเอง เพื่อ

ประมาณการวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสำรวจการเดินเรือและอุทกศาสตร์ ซึ่งระยะห่างระหว่างสถานีอ้างอิงและผู้ใช้เป็นปัจจัยหลัก ซึ่งทำให้ความแม่นยำลดลง เนื่องจากระยะทางที่เพิ่มขึ้น สถานีอ้างอิงและผู้ใช้งานจะไม่พบข้อผิดพลาดแบบเดิมอีกต่อไป (ไอโอโนสเฟียร์, วงโคจรดาวเทียม, นาฬิกาดาวเทียม) อีกต่อไป สิ่งนี้จะเพิ่มอายุของค่าแก้ DGPS ซึ่งจะนำไปสู่ปัญหาเวลาแฝง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติมเกี่ยวกับความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบเนื่องจากความหลากหลายของบุคคลซึ่งใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ผู้ใช้หลักอาจเป็นนักเดินเรือทางทะเล (การเดินเรือทางทะเล) และผู้สำรวจอุทกศาสตร์ (การวางตำแหน่งงานอุทกศาสตร์) ระบบจะให้ประโยชน์มากมายแก่ผู้ใช้เหล่านี้ เนื่องจากบริการนี้เป็นสัญญาณออกอากาศฟรีตลอด 24 ชั่วโมง และ (Tsai & Low, 2014) ได้จัดทำการศึกษาประเมินประสิทธิภาพให้บริการระบบดาวเทียม SBAS ของ GAGAN ที่ขยายพื้นที่ให้บริการไปยังประเทศสิงคโปร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอรูปแบบการผสมผสานของข้อความจากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อความก่อนนำมาใช้ประโยชน์จากค่าแก้ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อความก่อนนำมาใช้ประโยชน์จากค่าแก้ที่ได้รับจากดาวเทียม SBAS ในพื้นที่ประเทศสิงคโปร์ซึ่งไม่ได้อยู่ในเขตบริการของระบบดาวเทียม GAGAN และ MSAS ในงานวิจัยดังกล่าวได้ประเมินคุณภาพของ สัญญาณจากนั้นจะเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐานการบิน การผสมผสานกันของข้อความจากระบบดาวเทียม GAGAN และ MSAS ที่พัฒนาขึ้นจะเป็นแนวทางพัฒนาระบบบริการดาวเทียมเสริม ในประเทศสิงคโปร์ต่อไป โดยรับสัญญาณดาวเทียม GPS รองรับระบบดาวเทียม SBAS เก็บข้อมูล ระบบดาวเทียม MSAS (PRN129 และ 137) และระบบดาวเทียม GAGAN (PRN127 และ 128) ใน Nanyang Technological University ประเทศสิงคโปร์ เก็บข้อมูลวันที่ 1 ธันวาคม 2556 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2556 เป็นระยะเวลา 1 เดือน จากนั้นจะคำนวณค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งแบบ SPS, Non-Precision Approach (NPA) และ Precision Approach (PA) โดยที่ SPS Mode จะไม่ใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ส่วน NPA จะใช้ค่าแก้รวดเร็วจากระบบดาวเทียม SBAS และ PA จะใช้ค่าแก้ที่รวดเร็วและค่าแก้ไอโอโนสเฟียร์ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ของค่าคลาดเคลื่อนในแนวราบและแนวดิ่ง จากผลการศึกษาพบว่าค่าความถูกต้องโดยใช้ค่าแก้ MSAS และ GAGAN ในโหมด NPA มีค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งเท่ากับ 2.43 เมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งเท่ากับ 3.07 เมตร ดีกว่า SPS ที่มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบเท่ากับ 2.89 เมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งเท่ากับ 3.47 เมตร แต่ค่าคลาดเคลื่อนทางราบในโหมดของ PA เท่ากับ 2.52 เมตร ใกล้เคียงกับ NPA จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าระบบดาวเทียม SBAS ทั้งสองสามารถใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการนำทางในประเทศสิงคโปร์ด้วยค่าแก้ที่รวดเร็ว ค่าคลาดเคลื่อนทางราบจะลดลงประมาณ 0.45 เมตร และ

ความแม่นยำในทางดิ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.40 เมตร การใช้ PA จะมีค่าคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากประเทศสิงคโปร์ไม่ได้อยู่ในเขตบริการของระบบดาวเทียม SBAS อีกทั้งยังตั้งอยู่บนเส้นศูนย์สูตรและแม้ว่าสิงคโปร์ไม่ได้อยู่ในเขตบริการ MSAS และ GAGAN ประสิทธิภาพการนำทางของ NPA สามารถใช้งานได้มากกว่า 99% สำหรับประเทศไทย (Pringvanich & Satirapod, 2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึม SBAS โดยระบบ GNSS Test Bed ของภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก อีกทั้งได้อธิบายถึงระบบ GNSS Test Bed ของภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งโครงสร้างของระบบ GNSS Test Bed ซึ่งประกอบด้วย Test Reference Station (TRS) จะรับข้อมูลมาจาก ดาวเทียม GPS หลังจากนั้นจะส่งข้อมูล GPS ไปยัง Test Master Station (TMS) ซึ่งทำการประมวลผลและสร้างข้อความ SBAS จากนั้นส่งข้อความ SBAS ไปยัง Test VHT Station (TVS) เพื่อส่งออกข้อมูลกระจายไปยัง Test User Platform (TUP) ด้วยเครื่องรับสัญญาณ GPS ความถี่เดียว หลังจากนั้นประมวลผลหาตำแหน่งโดยการถอดรหัส GPS และ SBAS จากการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ของประสิทธิภาพ SBAS ผ่านการใช้งานระบบ Test Bed สามารถเพิ่มความแม่นยำทางตำแหน่งสำหรับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS มีความพร้อมใช้งานซึ่งประเมินผ่านสัญญาณคลื่น APV-I ที่ 99.852 % และ 99.968% สำหรับแนวราบและแนวตั้ง และสัญญาณคลื่น APV-II ที่ 99.852% และ 96.808% ทั้งแนวราบและแนวตั้ง และ (ปทุมพร พวงเพ็ชร, 2560) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วย ระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมสากล แบบต่อเนื่องของกรมที่ดินจำนวน 11 สถานี และของกรมโยธาธิการ และผังเมืองจำนวน 11 สถานี ใช้ ข้อมูล GPS ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2560 การเปรียบเทียบผลการศึกษา ด้วยค่า RMSE และค่า SD เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิงที่ประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุด เดี่ยวความละเอียดสูงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS(SPP) เพียงอย่างเดียว, ค่าพิกัด GPS โดยใช้เวลาแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (SPP), ค่าพิกัด GPS ใช้เวลาแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN(SPP) ซึ่งใช้เวลาแก้ชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model, ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ใน ประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบ ดาวเทียม GAGAN นั้นไม่เหมาะสมกับประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของ ค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้เวลาแก้ค่า คลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model และค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) มีค่าความถูกต้องทาง

ตำแหน่งของค่าพิกัดที่ดีกว่าในบางพื้นที่ของประเทศ อีกทั้ง (Thari et al., 2022) ได้ศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการ ประมวลผลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียว ในพื้นที่ประเทศไทย โดยทำการประมวลผลข้อมูลรังวัด ด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดียวความละเอียดสูง (PPP) เป็นค่าพิกัด อ้างอิง เปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียง อย่างเดียว และเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดียว (SPP) โดยใช้ ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในทุก ๆ 1 วินาที ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 40 สถานีที่ กระจายทั่วประเทศไทย ในวันที่ 1-30 กันยายน 2562, 1-31 ธันวาคม 2562 และ 1-30 เมษายน 2563 โดยใช้วิธีการทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่า ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย สรุปได้ว่าปัจจุบันในพื้นที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งได้โดยเฉลี่ยอีกท่าน (Sopphan et al., 2020) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเสริมด้วยดาวเทียม GAGAN ในประเทศไทย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเสริมด้วยดาวเทียม GAGAN ในประเทศไทยในวันที่เสียบสงบ และถูกรบกวน ในเดือนมีนาคม 2019 โดยใช้ข้อมูลค่าแก้ทั้งหมดที่ได้รับจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ความแม่นยำในแนวนอนและแนวตั้ง 95 เปอร์เซ็นต์ในวันที่เสียบสงบคือ 1.52 เมตร และ 3.18 เมตร ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม ในวันที่ถูกรบกวนจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง อยู่ที่ 1.97 เมตร และ 3.41 เมตร ตามลำดับ ความแตกต่างระหว่างสองเงื่อนไขภายในทั้งค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ (HPE) และ ค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้ง (VPE) ขึ้นอยู่กับความแม่นยำ 95 เปอร์เซ็นต์ที่ 0.45 เมตร และ 0.23 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นระบบระบุตำแหน่ง GPS ที่มีความแม่นยำระดับเมตร จึงไม่พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เราสามารถเห็นค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันในวันที่ถูกรบกวน หากระบบถูกตั้งค่าให้ทำงานด้วยความแม่นยำระดับเซนติเมตร และสุดท้ายในขั้นตอนการประมวลผลด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) (Parajuli, 2020) ได้ศึกษาบรรดาซอฟต์แวร์ประมวลผลข้อมูล GNSS หลาย ๆ ตัว RTKLIB เป็นโปรแกรมโอเพ่นซอร์สสำหรับการจัดตำแหน่ง GNSS ที่พัฒนาโดย T. Takasu มีโหมดการประมวลผลภายหลัง หลายโหมดใน RTKPOST : Single, DGPS/DGNSS, Kinematic, Static, Moving-Baseline, Fixed, PPP-

Kinematic, PPP-Static และ PPP-Fixed โหมดต่าง ๆ ให้ความแม่นยำของตำแหน่งที่แตกต่างกัน และยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในโหมดการกำหนดตำแหน่งเดียวกันโดยใช้ข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ตำแหน่งจุดเดียว (Single) สามารถใช้เพื่อความถูกต้องของระดับเมตรด้วยเครื่องรับเดี่ยว ต้องใช้เครื่องรับสองตัวในตำแหน่งที่แตกต่างกันและสัมพันธ์กัน ตัวรับสัญญาณหนึ่งตัวถูกใช้เป็นสถานีอ้างอิง (base) และอีกตัวเป็นเคลื่อนที่ (rover) ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งโดยอ้างอิงถึงสถานีฐาน การวัดตำแหน่งด้วยความแม่นยำไม่กี่เซนติเมตรสามารถทำได้ด้วยการวางตำแหน่งสัมพัทธ์ DGSS การกำหนดตำแหน่งจุดที่แม่นยำ (PPP) เป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนของเครื่องรับเดี่ยวโดยใช้ข้อมูลวงโคจร/นาฬิกาที่แม่นยำจาก IGS ในโหมดคงที่ PPP สามารถสังเกตความแม่นยำของตำแหน่งได้น้อยกว่าเซนติเมตร มีการเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่า RMS ของตำแหน่งในโหมดการจัดตำแหน่งต่าง ๆ



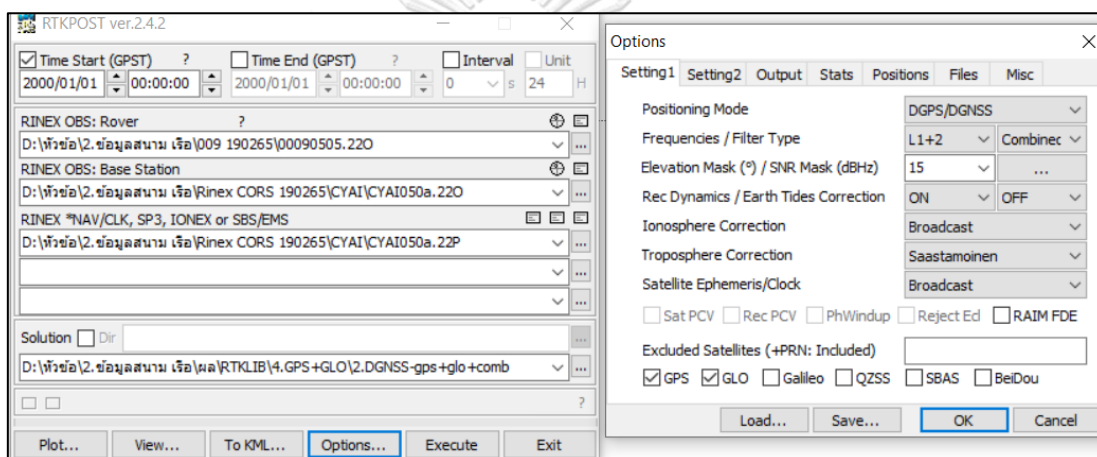
บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของบทนี้กล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอน วิธีการดำเนินงานเก็บข้อมูล ขั้นตอนของการประมวลผลและการเปรียบเทียบผลงานวิจัย เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ของงานวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 15 มีดังนี้

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคและวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด และวิธีการใช้โปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2 (Takasu, 2013) ในการประมวลผลข้อมูล ตัวอย่างดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ตัวอย่างแสดงการตั้งค่าในการประมวลผล โปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2

3.1.2 ศึกษากฎข้อบังคับที่ครอบคลุมครบเกี่ยวกับการเดินเรือ ขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ในส่วนของมาตรฐานความแม่นยำในการเดินเรือ ตามข้อมติ ที่ A.915(22) (NAVGUIDE, 2557)

3.1.3 วางแผนการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ในช่วงวันเวลาที่เหมาะสม โดยให้มีจำนวนดาวเทียมเพียงพอกับความต้องการในแต่ละวิธีการ ตรวจสอบสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร CORS (Continuously Operating Reference Stations) ในพื้นที่ที่จะใช้ในการทดสอบเรือและอุปกรณ์ต่าง ๆ เกี่ยวกับการทดสอบ และสภาพอากาศในวันทำการรังวัด ต้องเป็นวันที่คลื่นลมสงบ

3.1.4 ทำการรังวัดภาคสนามเก็บข้อมูลการสำรวจรังวัด โดยใช้พื้นที่บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา เปรียบเสมือนการเดินทางเรือจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ ซึ่งใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดด้วยระบบ GNSS (Global Navigation Satellite System) ยี่ห้อ Stonex รุ่น S10 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.4.1 รวบรวมข้อมูลตำแหน่งในพื้นที่ที่ได้จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร CORS (Continuously Operating Reference Stations) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สถานีของบริษัท CHC Navtech (Thailand) จำนวน 1 สถานี ซึ่งตั้งอยู่ที่ตึกวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ระยะเวลารวบรวมข้อมูล 24 ชั่วโมง บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในรูปแบบไฟล์ RINEX (Receiver Independent Exchange Format)

3.1.4.2 บันทึกข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในรูปแบบไฟล์ RINEX ดังแสดงในรูปที่ 14 และเก็บข้อมูลตลอดเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบ เป็นระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร (10.80 ไมล์ทะเล)



รูปที่ 14 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล

3.1.4.3 รวบรวมข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากฐานข้อมูลสาธารณะของประเทศ ฝรั่งเศส CNES (Center national d'études spatiales) ที่ผ่านและครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ในวันที่ลงปฏิบัติงานสำรวจ ในรูปแบบไฟล์ RINEX

3.1.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการรังวัด โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ได้ดังต่อไปนี้

3.1.5.1 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) กับ ข้อมูลจากการรังวัดด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) เพียงอย่างเดียว

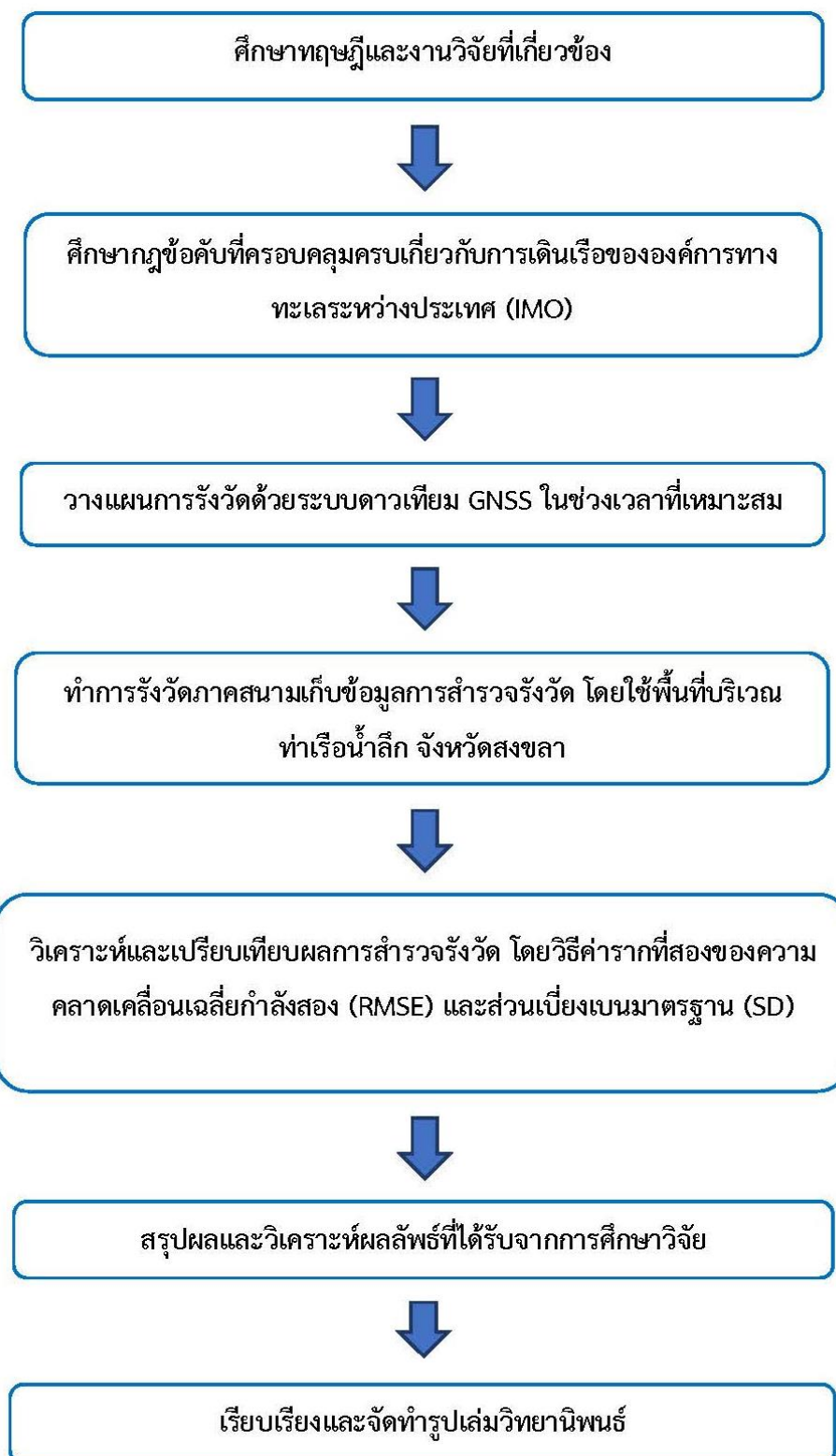
3.1.5.2 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว

3.1.5.3 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System)

3.1.5.4 เปรียบเทียบข้อมูลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS

3.1.6 สรุปผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย

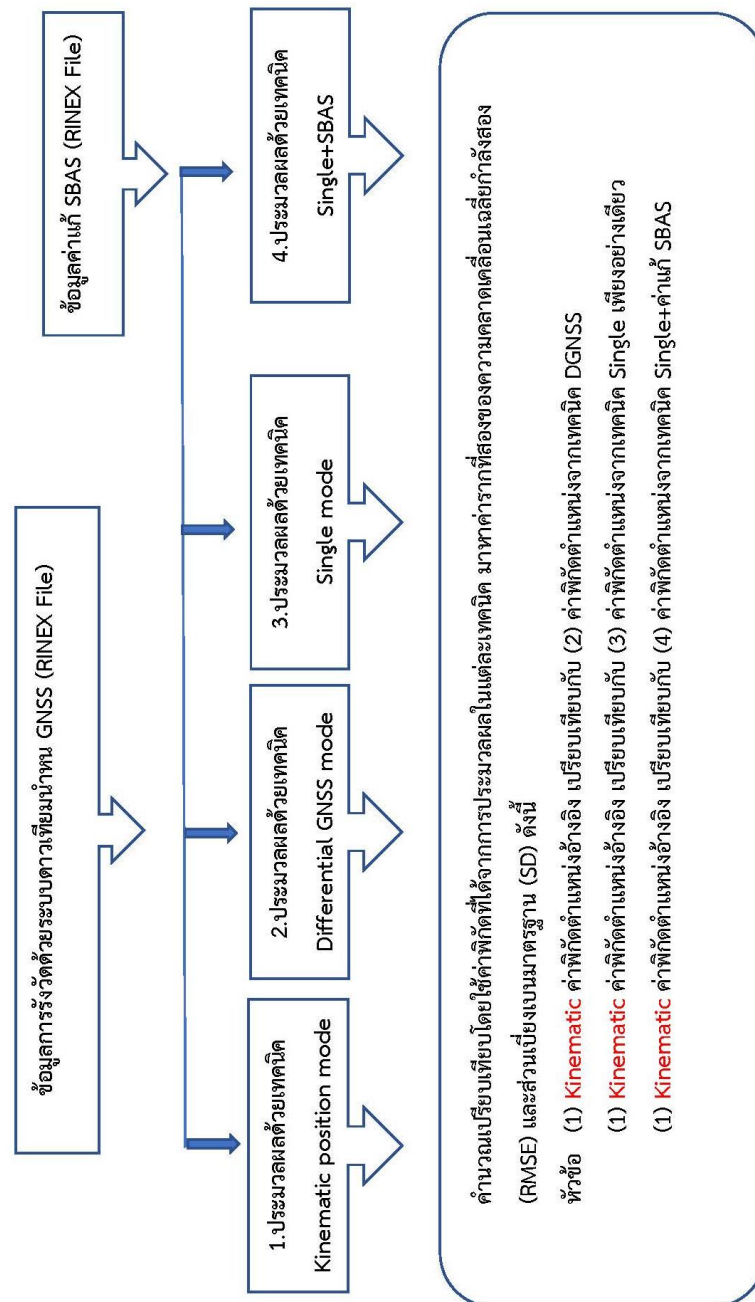
3.1.7 เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



รูปที่ 15 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

3.2 ขั้นตอนการประมวลผลและเปรียบเทียบผลลัพธ์

ในการประมวลผลทุกวิธีจะใช้ วิธีการประมวลผลภายหลัง (Post-Processed) ซึ่งจะใช้โปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 เป็นโปรแกรมหลักในการประมวลผลในวิจัยเล่มนี้ และเพื่อให้เข้าใจวิธีการประมวลผลของงานวิจัยได้โดยง่าย จึงขอเสนอแผนผังขั้นตอนการประมวลผลดังแสดงในรูปที่ 16 และจะอธิบายขั้นตอนต่าง ๆ อย่างละเอียดให้ส่วนถัดไป



รูปที่ 16 แผนผังขั้นตอนการประมวลผล

3.2.1 ประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพื่อใช้เป็นค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) ในโหมด Kinematic position mode ซึ่งวิธีนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่าวิธีอื่นในลักษณะการเคลื่อนที่ (Parajuli, 2020)

3.2.2 ประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) ในรูปแบบ Differential GNSS positioning mode

3.2.3 ประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ในรูปแบบ Single point positioning mode

3.2.4 ประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System) ในรูปแบบ Single point positioning mode ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS

เมื่อทำการประมวลแต่ละเทคนิคเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาคำนวณวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการรังวัด โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ได้ดังต่อไปนี้

3.2.5 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK กับ ข้อมูลจากการรังวัดด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS เพียงอย่างเดียว

3.2.6 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่ง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว

3.2.7 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS

3.2.8 เปรียบเทียบข้อมูลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS

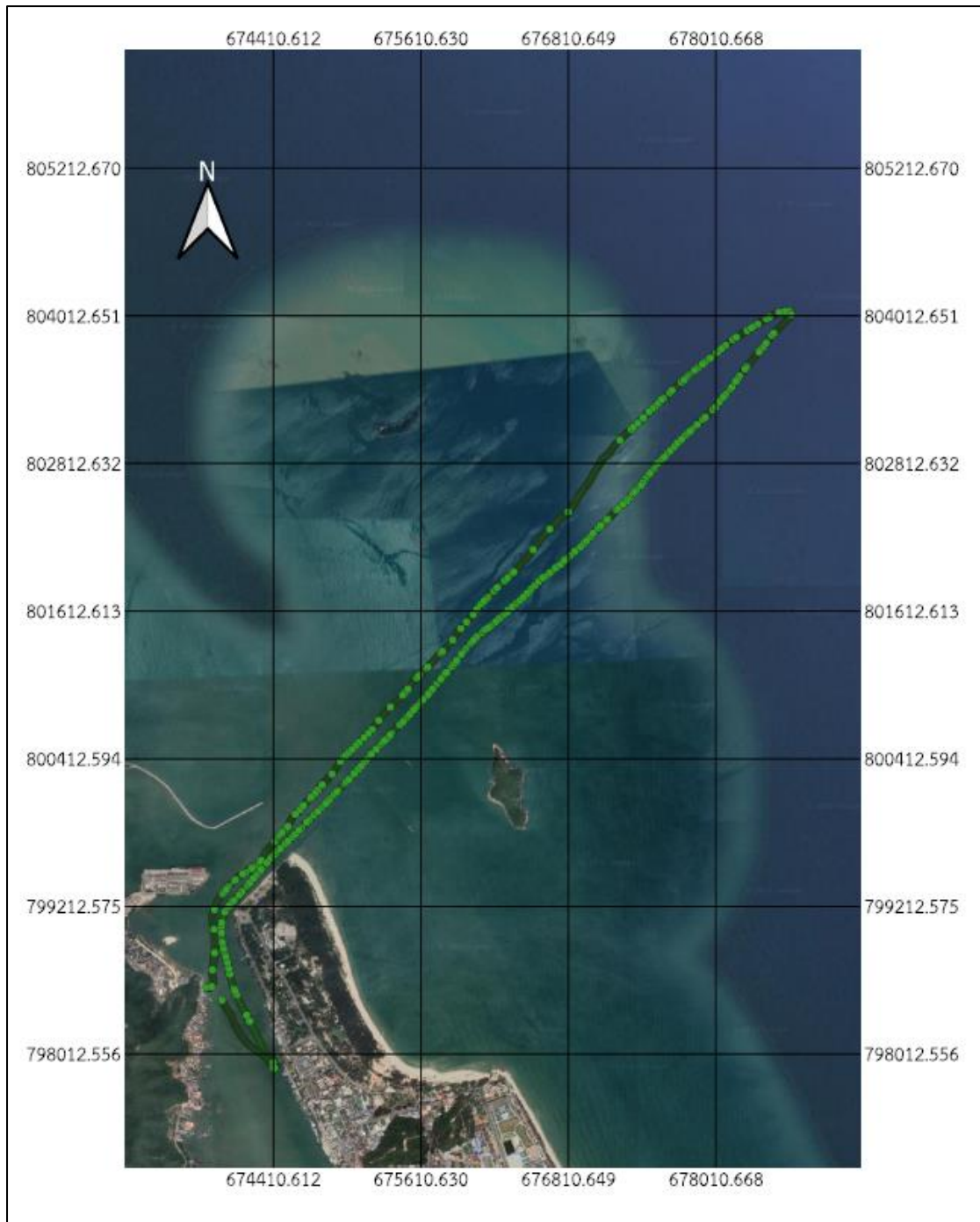
บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

จากการวิเคราะห์และประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษา ท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา โดยทำการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS โดยใช้โปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2 ในการศึกษาวิจัย ได้ทำการประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง ซึ่งใช้เทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processing Kinematic) เปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผล 3 วิธี ได้แก่ (1.) การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential GNSS positioning mode) (2.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว Single (Single point positioning mode) และ (3.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Single point positioning + the correction of the SBAS) ซึ่งใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทุก ๆ 1 วินาที จำนวน 6,665 ตำแหน่ง เปรียบเสมือนการเดินเรือจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา ในวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2565 โดยใช้วิธีทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง ซึ่งได้แยกเป็นทางราบ ทางตั้ง และผลลัพธ์ในภาพรวม และในตารางที่ 5 เป็นตารางเปรียบเทียบค่า RMSE, SD ของแต่ละวิธี, รูปที่ 22 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี และ รูปที่ 23 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

4.1 ลักษณะการวางตำแหน่งของข้อมูล

ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ตลอดเส้นทางที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดสอบ เป็นระยะเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร (10.80 ไมล์ทะเล) พื้นที่บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา มีลักษณะการวางตัวของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 17



รูปที่ 17 ลักษณะการวางตำแหน่งของข้อมูล

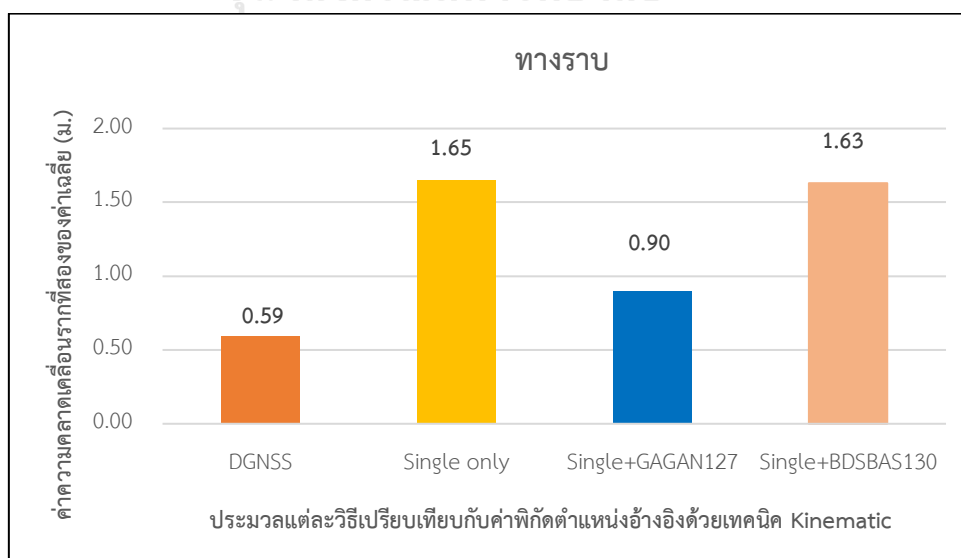
4.2 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวราบ

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ซึ่งจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังนี้ วิธีการประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS มีค่า RMSE 0.59 เมตร มีค่า SD 0.43 เมตร, วิธีการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE 1.65 เมตร มีค่า SD 1.90 เมตร และ วิธีการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ซึ่งประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE 0.90 เมตร มีค่า SD 1.27 เมตร, ระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE 1.63 เมตร มีค่า SD 2.83 เมตร และในตารางที่ 3 เป็นตารางเปรียบเทียบค่า RMSE, SD ของแต่ละวิธี, รูปที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี และ รูปที่ 19 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี

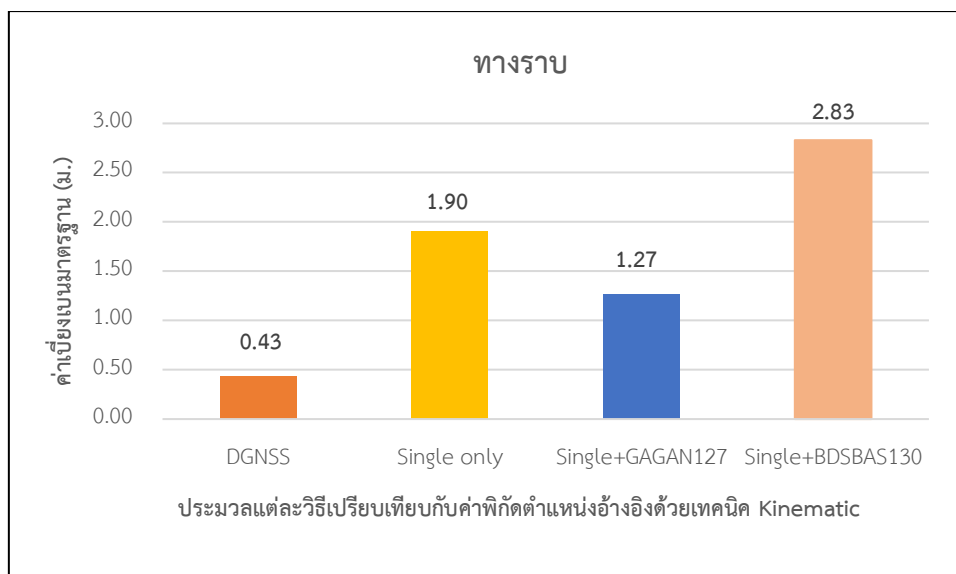
ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

Method process	Horizontal RMSE (m.)	Horizontal SD (m.)
DGNSS	0.59	0.43
Single only	1.65	1.90
Single + GAGAN127	0.90	1.27
Single + BDSBAS130	1.63	2.83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 18 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี



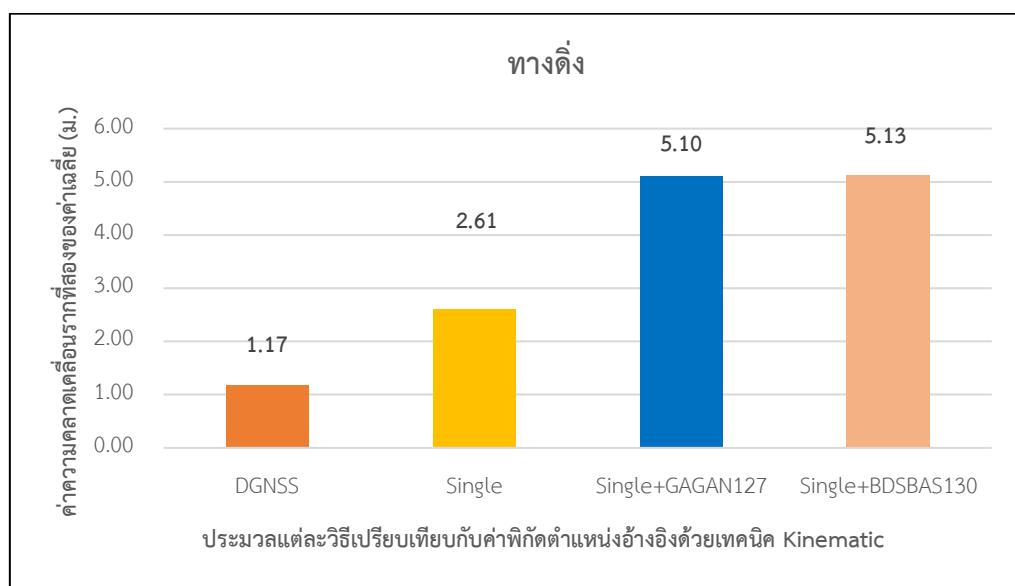
รูปที่ 19 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี

4.3 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวตั้ง

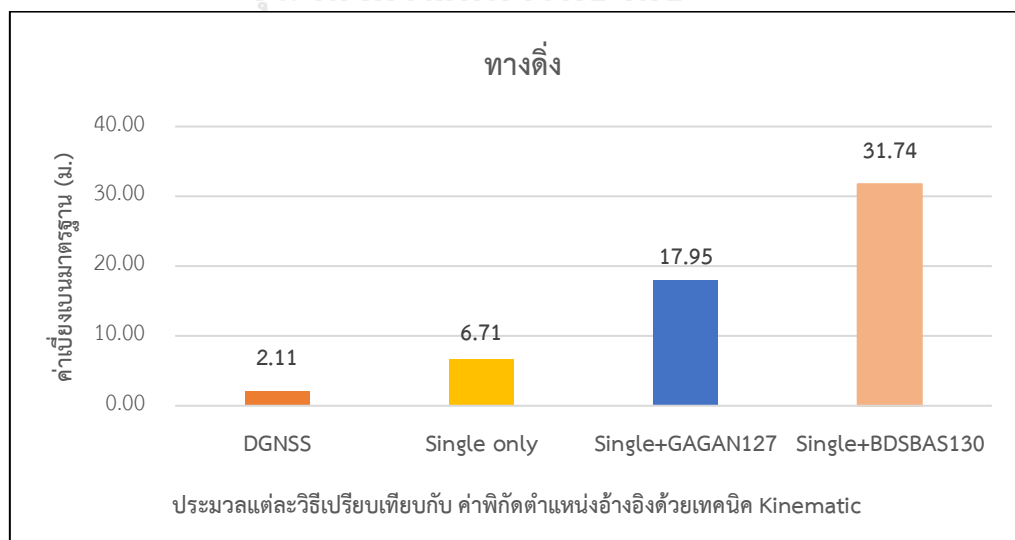
ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ซึ่งจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังนี้ วิธีการประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS มีค่า RMSE 1.17 เมตร มีค่า SD 2.11 เมตร, วิธีการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE 2.61 เมตร มีค่า SD 6.71 เมตร และ วิธีการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE 5.10 เมตร มีค่า SD 17.95 เมตร, ระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE 5.13 เมตร มีค่า SD 31.74 เมตร และในตารางที่ 4 เป็นตารางเปรียบเทียบค่า RMSE, SD ของแต่ละวิธี ในรูปที่ 20 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี และ รูปที่ 21 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง (RMSE) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

Method process	Vertical RMSE (m.)	Vertical SD (m.)
DGNSS	1.17	2.11
Single only	2.61	6.71
Single + GAGAN127	5.10	17.95
Single + BDSBAS130	5.13	31.74



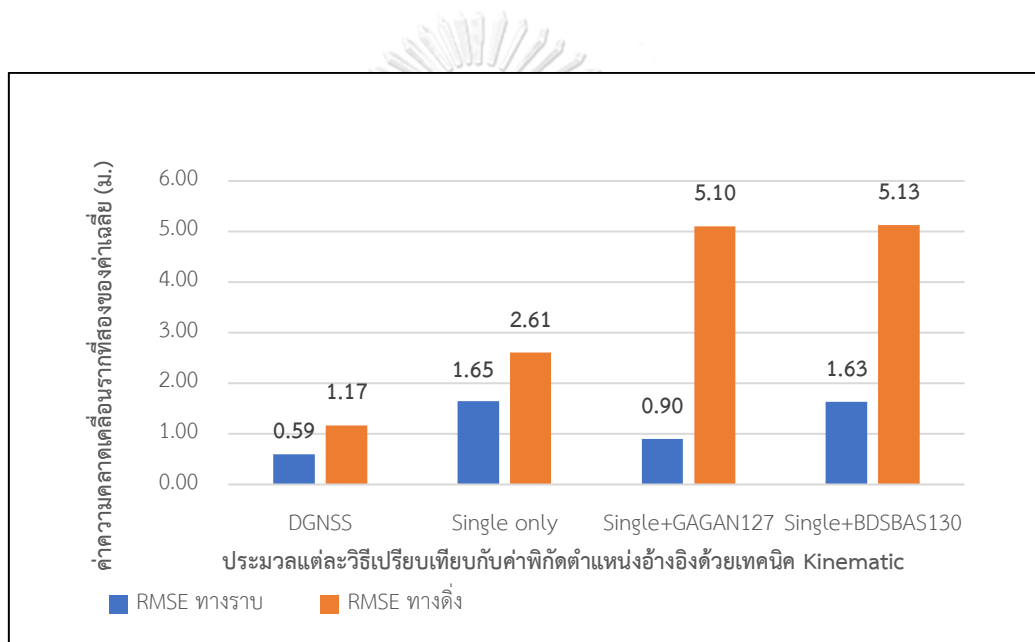
รูปที่ 20 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี



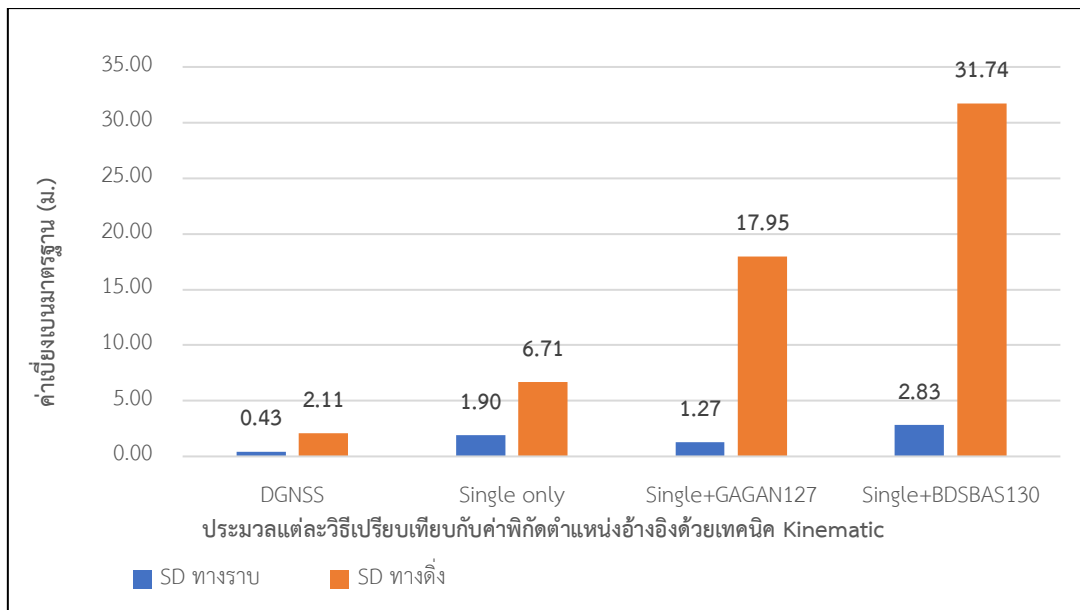
รูปที่ 21 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบและทางตั้ง (RMSE) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ทางราบและทางตั้ง

Method process	Horizontal RMSE (m.)	Horizontal SD (m.)	Vertical RMSE (m.)	Vertical SD (m.)
DGNSS	0.59	0.43	1.17	2.11
Single only	1.65	1.90	2.61	6.71
Single + GAGAN127	0.90	1.27	5.10	17.96
Single + BDSBAS130	1.63	2.83	5.13	31.74



รูปที่ 22 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี



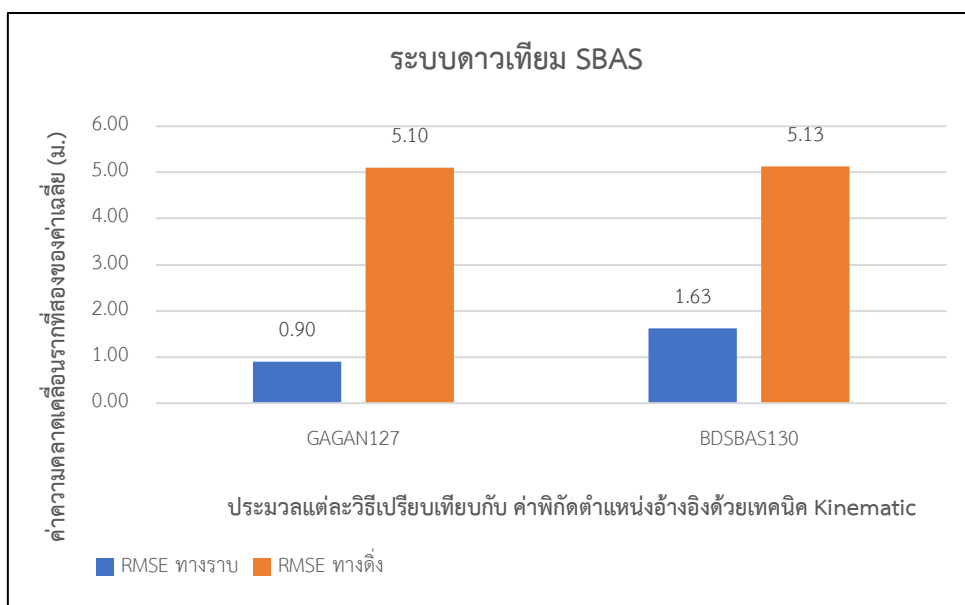
รูปที่ 23 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

4.4 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งจากค่าแก้ระบบดาวเทียม SBAS

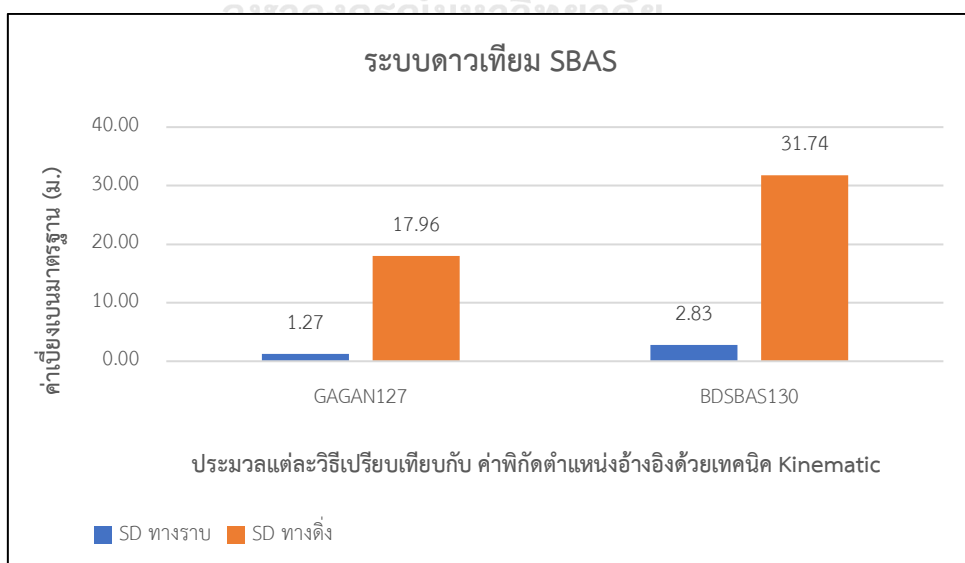
ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS 2 ระบบ คือ GAGAN PRN127 และ BDSBAS PRN130 ซึ่งจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จากการประมวลผลข้อมูลในงานวิจัย ระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE ทางราบ 0.90 เมตร, SD ทางราบ 1.27 เมตร และ RMSE ทางตั้ง 5.10 เมตร, SD ทางตั้ง 17.96 เมตร, และระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE ทางราบ 1.63 เมตร, SD ทางราบ 2.83 เมตร และ RMSE ทางตั้ง 5.13 เมตร, SD ทางตั้ง 31.74 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 6 เป็นตารางเปรียบเทียบค่า RMSE, SD ของแต่ละวิธี, ในรูปที่ 24 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้ง ของการประมวลผลแต่ละวิธี และ รูปที่ 25 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบและทางตั้ง RMSE, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ทางราบและทางตั้ง ของระบบดาวเทียม SBAS

Method process	Horizontal RMSE (m.)	Horizontal SD (m.)	Vertical RMSE (m.)	Vertical SD (m.)
GAGAN127	0.90	1.27	5.10	17.96
BDSBAS130	1.63	2.83	5.13	31.74



รูปที่ 24 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้ง ของระบบดาวเทียม SBAS



รูปที่ 25 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้ง ของระบบดาวเทียม SBAS

4.5 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่ง

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลทั้ง 3 เทคนิคดังต่อไปนี้ Differential GNSS positioning mode , Single point positioning mode และ Single point positioning mode + SBAS ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลจะนำมาคำนวณโดยใช้วิธีทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งจะใช้การเปรียบเทียบโดยการจับคู่ ดังแสดงในตารางที่ 7 และ 8

4.4.1 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processed Kinematic) กับ ข้อมูลจากการรังวัดด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) เพียงอย่างเดียว มีความแตกต่างกัน โดยมีค่า RMSE ทางราบ 0.59 เมตร ทางตั้ง 1.17 เมตร และ ค่า SD ทางราบ 0.43 เมตร ทางตั้ง 2.11 เมตร

4.4.2 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว มีความแตกต่างกัน โดยมีค่า RMSE ทางราบ 1.65 เมตร ทางตั้ง 2.61 เมตร และ ค่า SD ทางราบ 1.9 เมตร ทางตั้ง 6.71 เมตร

4.4.3 เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งอ้างอิง ด้วยเทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 2 ระบบ GAGAN127 และ BDSBAS130 มีความแตกต่างกัน ระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE ทางราบ 0.90 เมตร ทางตั้ง 5.10 เมตร, มีค่า SD ทางราบ 1.27 เมตร ทางตั้ง 17.96 เมตร และ ระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE ทางราบ 1.63 เมตร ทางตั้ง 5.13 เมตร, มีค่า SD ทางราบ 2.83 เมตร ทางตั้ง 31.74 เมตร

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบ แยกตามวิธีการประมวลผล

จับคู่วิเคราะห์ผล เปรียบเทียบ	ผลการเปรียบเทียบ	ค่า RMSE ทางราบ (ม.)	ค่า SD ทางราบ (ม.)
Kinematic กับ DGNS	แตกต่าง	0.59	0.43
Kinematic กับ Single		1.65	1.90
Kinematic กับ Single + GAGAN127		0.90	1.27
Kinematic กับ Single + BDSBAS130		1.63	2.83

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง แยกตามวิธีการประมวลผล

จับคู่วิเคราะห์ผล เปรียบเทียบ	ผลการเปรียบเทียบ	ค่า RMSE ทางตั้ง (ม.)	ค่า SD ทางตั้ง (ม.)
Kinematic กับ DGNS	แตกต่าง	1.17	2.11
Kinematic กับ Single		2.61	6.71
Kinematic กับ Single + GAGAN127		5.10	17.96
Kinematic กับ Single + BDSBAS130		5.13	31.74

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการศึกษาวิจัย สรุปผลการศึกษาในหัวข้อต่าง ๆ ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะในการนำผลการศึกษาหรือเทคนิควิธีการในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้งาน หรือใช้ประโยชน์ในการศึกษางานวิจัยในอนาคตต่อไป

5.1 อภิปรายผล

จากผลการศึกษาวิจัยที่ได้นำเสนอไปในบทที่ 3 และ บทที่ 4 มีประเด็นที่สามารถนำมาอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 อภิปรายผลการเปรียบเทียบผลการศึกษากับงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีความคล้ายคลึงกัน

ในปัจจุบันเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) และระบบดาวเทียม SBAS (Satellite-Based Augmentation System) มีความสำคัญมากขึ้น ในการนำหนต่าง ๆ จากผลการศึกษาจากงานวิจัยหลายงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS สามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงความแม่นยำและความถูกต้อง ในเรื่องการให้ค่าความแม่นยำและความถูกต้องทางตำแหน่งในกิจกรรมต่าง ๆ เช่นการนำร่องการเดินทางเรือได้ดีมากยิ่งขึ้น ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการอภิปรายวิธีการดำเนินงานวิจัยและผลการศึกษาวิจัยการศึกษาวิเคราะห์และประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินทางเรือ เปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่คล้ายคลึงกันดังต่อไปนี้

1. งานวิจัยของ (Cezary et al., 2019) ได้ศึกษาการประเมินความแม่นยำในการหาตำแหน่งของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS และระบบเสริมดาวเทียม SBAS/EGNOS ในอ่าว Gdansk ประเทศโปแลนด์ โดยใช้การวัดการเคลื่อนที่ทางทะเล จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือเพื่อประเมินความถูกต้องของตำแหน่งที่คาดการณ์ได้ของเครื่องรับสัญญาณ DGNSS และ SBAS/EGNOS โดยใช้การเคลื่อนที่ของเรือ ระหว่างช่วงการรังวัดสี่ชั่วโมง โดยใช้ค่าสถิติความแม่นยำโดยอิงจากตำแหน่งประมาณ 11,500 ตำแหน่ง จากการศึกษาพบว่าเทคนิคการกำหนดตำแหน่งทั้งสองระบบมีระดับความแม่นยำที่เท่ากัน ประมาณ 0.5 ถึง 2 เมตร และตรงตามข้อกำหนดด้านความแม่นยำที่กำหนดไว้ในมาตรฐานที่เผยแพร่ของการเดินทางเรือในน่านน้ำจำกัดของ องค์การทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization)

2. งานวิจัยของ (Lopez & Anton, 2021) ได้ศึกษาอุปกรณ์ที่เปิดใช้งานระบบ SBAS/EGNOS ในการเดินทางเรือ กล่าวว่าระบบ GNSS ที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดขององค์การ

ทางทะเลระหว่างประเทศ IMO (International Maritime Organization) ในส่วนเกี่ยวกับความแม่นยำสัมบูรณ์ ตามมติ A.915(22) หมวด 3 นโยบาย การเดินเรือฉบับปรับปรุงและข้อกำหนดสำหรับดาวเทียมนำทางทั่วโลกในอนาคต ได้ยอมรับว่าระบบดาวเทียม GNSS และ GLONASS ของสหพันธรัฐรัสเซีย เป็นส่วนประกอบของ WWRNS (World Wide Radionavigation System) เพื่อใช้ในกรณีการเดินเรือในน่านน้ำเปิด แต่ไม่ใช่ทางเข้าท่าเรือ หรือน่านน้ำจำกัด สรุปคือระบบดาวเทียม GNSS เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีเทคนิคเสริมความถูกต้อง ไม่เพียงพอต่อกรณีดังกล่าว ต้องมีระบบเสริมดังมติของ IMO ที่ A.915(22) กำหนดไว้ระบบเสริมดาวเทียม SBAS/EGNOS เป็นหนึ่งในเทคนิคที่สามารถปรับปรุงความแม่นยำของ GPS ได้ โดยผลการศึกษาที่ได้กล่าวไปสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งจากข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากการวิเคราะห์เมื่อใช้ระบบเสริมดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่าใช้ระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว

3. งานวิจัยของ (Dammalage et al., 2017) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) ในพื้นที่ประเทศศรีลังกา การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์การปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในประเทศศรีลังกาซึ่งอยู่นอกพื้นที่ของประเทศอินเดีย ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสถานีที่ ทดสอบโดยใช้ค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN แสดงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าไม่ใช้ค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการใช้เทคนิค DGPS ท้องถิ่นมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยมีการรังวัดเกือบ 85% มีข้อผิดพลาดทางตำแหน่ง 3D น้อยกว่า 1 เมตร โดยผลการศึกษาที่ได้กล่าวไปสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลโดยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGPS/DGNSS มีค่าความถูกต้องสูงกว่าค่าความถูกต้องที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN

4. งานวิจัยของ (ปทุมพร พวงเพชร, 2560) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการ ใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วย ระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ใน ประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นไม่เหมาะสมกับประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของ ค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยผลการศึกษาที่ได้กล่าวไปสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ในงานวิจัยได้นำมาประมวลผล

ร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทั้งสองระบบ GAGAN และ BDSBAS ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งในการหาตำแหน่งที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย

5. งานวิจัยของ (Thari et al., 2022) ได้ศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้วิธีการทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย สรุปได้ว่าปัจจุบันในพื้นที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งได้โดยเฉลี่ย โดยผลการศึกษาที่ได้กล่าวไปสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ในงานวิจัยได้นำมาประมวลผลร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทั้งสองระบบ GAGAN และ BDSBAS ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งในการหาตำแหน่งที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย

6. งานวิจัยของ (Sopphan et al., 2020) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของระบบเสริมด้วยดาวเทียม GAGAN ในประเทศไทย ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบเสริมด้วยดาวเทียม GAGAN ในประเทศไทยในวันที่เจียบสงบ และวันที่ถูกรบกวน ในเดือนมีนาคม 2562 โดยใช้ข้อมูลค่าแก้ทั้งหมดที่ได้รับจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ความแม่นยำในแนวนอนและแนวตั้ง 95 เปอร์เซ็นต์ในวันที่เจียบสงบคือ 1.52 เมตร และ 3.18 เมตร ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม ในวันที่ถูกรบกวนจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูง อยู่ที่ 1.97 เมตร และ 3.41 เมตร ตามลำดับ ความแตกต่างระหว่างสองเงื่อนไขภายในทั้งค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ (HPE) และ ค่าความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง (VPE) ขึ้นอยู่กับความแม่นยำ 95 เปอร์เซ็นต์ที่ 0.45 เมตร และ 0.23 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นระบบระบุตำแหน่ง GPS ที่มีความแม่นยำระดับเมตร จึงไม่พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อย่างไรก็ตาม เราสามารถเห็นค่าความคลาดเคลื่อนที่แตกต่างกันในวันที่ถูกรบกวน หากระบบถูกตั้งค่าให้ทำงานด้วยความแม่นยำระดับเซนติเมตร โดยผลการศึกษาที่ได้กล่าวไปสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ เปรียบเทียบข้อมูลตำแหน่งจากข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว กับ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากผลเมื่อใช้ระบบเสริมดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่า ใช้ระบบดาวเทียม GNSS เพียงอย่างเดียว

5.1.2 อภิปรายผลจากการประมวลผลทางตำแหน่งทางราบ และทางตั้ง

จากข้อมูลการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS และนำมาวิเคราะห์และประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS โดยใช้วิธีทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ในการเปรียบเทียบผลการวิจัยระหว่างค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลทั้ง 3 เทคนิค กับค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงจากเทคนิครังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง (Post-Processed Kinematic) โดยใช้โหมด Kinematic position mode ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ

เทคนิคที่ 1 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลโดยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE 0.59 เมตร และค่า SD 0.43 เมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบมากที่สุดในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เทคนิคที่ 2 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE 1.65 เมตร และค่า SD 1.90 เมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบน้อยกว่า เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS

เทคนิคที่ 3 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบที่ได้จากการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE 0.90 เมตร มีค่า SD 1.27 เมตร, ระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE 1.63 เมตร มีค่า SD 2.83 เมตร จากผลลัพธ์ ระบบดาวเทียม GAGAN127 สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบได้ เมื่อเทียบกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ ที่ได้จากการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว แต่ยังไม่ดีกว่าเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS

2. ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้ง

เทคนิคที่ 1 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งที่ได้จากการประมวลผลโดยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE 1.17 เมตร และค่า SD 2.11 เมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งมากที่สุดในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เทคนิคที่ 2 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวตั้งที่ได้จากการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว มีค่า RMSE 2.61 เมตร และมีค่า SD 6.71 เมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้ง น้อยกว่า เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS

เทคนิคที่ 3 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งที่ได้จากการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 มีค่า RMSE 5.10 เมตร มีค่า SD 17.95 เมตร, ระบบดาวเทียม BDSBAS130 มีค่า RMSE 5.13 เมตร มีค่า SD 31.74 เมตร จากผลลัพธ์ ระบบดาวเทียม SBAS ทั้งสองระบบ ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางตั้งได้

5.1.3 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของการประมวลผลด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ดังนี้

ในประเทศไทยระบบดาวเทียม SBAS ยังไม่ค่อยมีบทบาทและความสำคัญในการนำร่องการเดินทางเรือในพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีระบบดาวเทียม SBAS เป็นของตนเอง และในปัจจุบันมีระบบ AIS (Automatic Identification System) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า UAIS (Universal Automatic Identification System) เป็นระบบหรืออุปกรณ์แสดงตนอัตโนมัติ ที่ใช้สำหรับในกิจการเดินเรือภายในประเทศหรือระหว่างประเทศ โดยกำหนดให้เรือเดินทะเลระหว่างประเทศขนาดตั้งแต่ 300 ตันกรอสขึ้นไป และเรือเดินทะเลที่ไม่ได้เดินทางระหว่างประเทศขนาดตั้งแต่ 500 ตันกรอสขึ้นไปต้องติดตั้งระบบ AIS ซึ่งอยู่ภายใต้กำหนดของ IMO (International Maritime Organization) ด้วยการส่งสัญญาณวิทยุผ่าน VHF แบบอัตโนมัติต่อเนื่องเพื่อแจ้งข้อมูลและตำบลที่ของตัวเองให้กับเครื่อง AIS อื่น ๆ ที่ติดอยู่กับเรือหรือสถานีชายฝั่งใกล้เคียง กล่าวคือเป็นระบบสื่อสารเพื่อแจ้งแสดงตัวระหว่าง เรือกับเรือ และ เรือกับสถานีฝั่ง เพื่อช่วยให้มีความปลอดภัยในการเดินเรือมากขึ้นและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมจราจรทางน้ำระบบ VTS (Vessel Traffic Control System) ในการตรวจตราเรือที่เดินทางอยู่ภายในบริเวณรับผิดชอบให้ดียิ่งขึ้น

ปัจจุบันระบบดาวเทียม SBAS ที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณได้ จากงานวิจัยของ (Thari et al., 2022) มีด้วยกัน 3 ระบบ คือ GAGAN, SPAN และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้นไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งได้โดยเฉลี่ย โดยผลการศึกษาที่ได้กล่าวไปสอดคล้องกับผลการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ในงานวิจัยได้นำมาประมวลผลร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทั้งสองระบบ GAGAN และ BDSBAS ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งในการหาตำบลที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย ถ้าต้องการค่าความถูกต้องที่สูงขึ้น สามารถนำมาใช้ควบคู่ หรือทดแทน

เทคนิคที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น เทคนิคการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGPS/DGNSS, ระบบหรืออุปกรณ์แสดงตนอัตโนมัติ AIS เป็นต้น ประเทศไทยควรมีระบบดาวเทียม SBAS เป็นของตนเอง เช่นเดียวกับประเทศที่ได้พัฒนาระบบดาวเทียม SBAS ไว้แล้ว

สำหรับการเดินเรือในอนาคตความสำคัญของระบบดาวเทียม SBAS อาจจะมีค่าความสำคัญเพิ่มขึ้น ถ้าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น หรือ เมื่อประเทศไทยสามารถพัฒนาระบบดาวเทียม SBAS เป็นของตนเองได้แล้ว การนำร่องการเดินเรืออาจจะใช้เพียงระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในการนำหนทั้งทางบก อากาศ และการเดินเรือ มุมมองของผู้วิจัย เสนอแนะให้มีการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากระบบดาวเทียม SBAS อีกครั้ง เมื่อถึงเวลานั้น ระบบดาวเทียม SBAS จะสามารถทดแทนหรือแทนที่ ระบบการนำร่องการเดินเรือที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้ ต่อเมื่อมีงานวิจัยและการวิเคราะห์ที่สามารถยื่นได้ออกมา

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเทคนิคการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษาท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา ซึ่งใช้ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS จำนวน 6,665 ตำแหน่ง เปรียบเสมือนการเดินเรือจากน่านน้ำจำกัดเข้าสู่ท่าเรือ บริเวณท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา โดยใช้โปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2 สำหรับการประมวลผลข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ในการศึกษาวิจัยได้ทำการประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง โดยใช้เทคนิคการรังวัดแบบจลน์แล้วประมวลผลภายหลัง PPK (Post-Processing Kinematic) โดยใช้โหมด Kinematic position mode เพื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการประมวลผล 3 เทคนิค ได้แก่

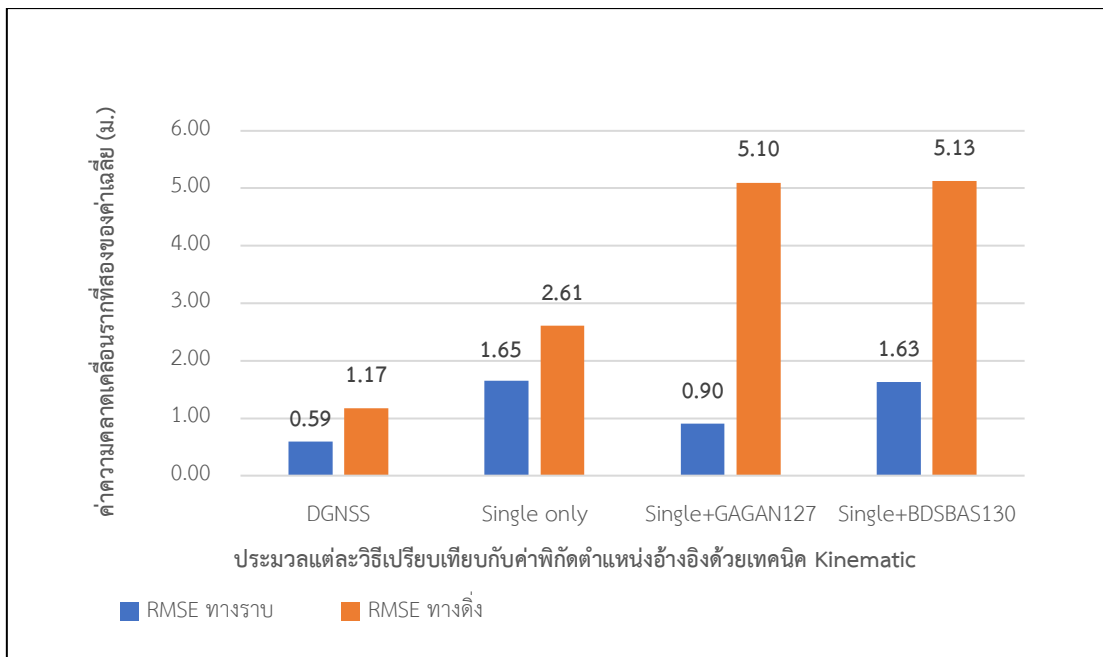
1. การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาดำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS (Differential GNSS positioning mode)
2. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว Single (Single point positioning mode)
3. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS Single point positioning + the correction of the SBAS

โดยแสดงผลลัพธ์ค่าความถูกต้องทางพิกัดตำแหน่งและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้จากเทคนิคทั้งสามนั้น จะใช้วิธีทางสถิติค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ย (RMSE) และค่า

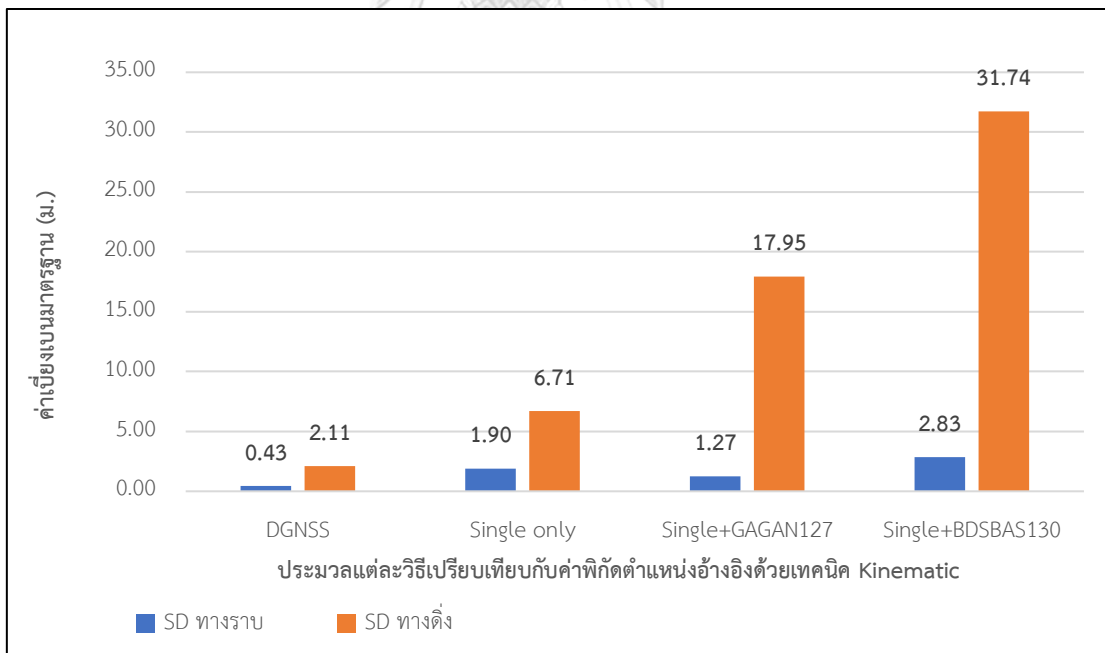
เบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มาคำนวณ จากผลลัพธ์ทางสถิติพบว่า ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ และทางตั้ง จากเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทั้งทางราบ และทางตั้งมากที่สุด มีค่า RMSE ทางราบ 0.59 เมตร ทางตั้ง 1.17 เมตร และมีค่า SD ทางราบ 0.43 เมตร ทางตั้ง 2.11 เมตร เมื่อนำมาเทียบกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผล ด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้ไขจากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งประมวลผล ร่วมกับค่าแก้ไขจากระบบดาวเทียม GAGAN127 และ BDSBAS130 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้งสองระบบ ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต่างกัน ทางผู้วิจัยจะขอยกเอาผลลัพธ์ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 เป็นตัวแทนของระบบดาวเทียม SBAS เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีกว่า ซึ่งมีค่า RMSE ทางราบ 0.90 เมตร ทางตั้ง 5.10 เมตร และมีค่า SD ทางราบ 1.27 เมตร ทางตั้ง 17.95 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 9, รูปที่ 26 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี และ รูปที่ 27 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี

ตารางที่ 9 ตารางสรุปผลลัพธ์จากการประมวลผล ทั้ง 3 เทคนิค

Method process	Horizontal RMSE (m.)	Horizontal SD (m.)	Vertical RMSE (m.)	Vertical SD (m.)
DGNSS	0.59	0.43	1.17	2.11
Single only	1.65	1.90	2.61	6.71
Single + GAGAN127	0.90	1.27	5.10	17.96
Single + BDSBAS130	1.63	2.83	5.13	31.74



รูปที่ 26 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี



รูปที่ 27 กราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบ ทางตั้งของการประมวลแต่ละวิธี

จากผลลัพธ์สรุปได้ว่า ในพื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ช่วยเพิ่มความแม่นยำ ความถูกต้องทางตำแหน่งในการหาตำแหน่งที่ ในช่วงการเข้าสู่ท่าเรือ หรือน่านน้ำที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น ที่ดีกว่าการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และเมื่อผนวกเข้ากับระบบแสดงแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศเพื่อการเดินเรือ ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) สามารถให้ความถี่ในการหาที่เรือที่แน่นอน เป็นไปตามมาตรฐานความแม่นยำในการเดินเรือ ตามข้อกำหนดการทางทะเลระหว่างประเทศ (IMO) ที่ A.915(22) แต่ข้อจำกัดของเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างสถานีอ้างอิง (Base Station) และเครื่องรับ (Rover) ซึ่งการเดินเรือด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว และการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพียงพอต่อการเดินเรือในน่านน้ำจำกัด เดินเรือชายฝั่ง และน่านน้ำเปิด แต่ไม่เหมาะสมต่อการเดินเรือบริเวณท่าเรือ หรือน่านน้ำที่มีการจราจรทางน้ำหนาแน่น ที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งน้อยกว่า 1 เมตร และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ในงานวิจัยได้นำมาประมวลผลร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GNSS ทั้งสองระบบ ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งในการหาตำแหน่งที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย ซึ่งผลจากงานวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Thari et al. (2022) ที่สรุปไว้ว่า ระบบดาวเทียม SBAS ที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้นไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งได้โดยเฉลี่ย เมื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว และ ปทุมพร พวงเพชร (2560) ที่สรุปไว้ว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่ สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดครอบคลุมทุกพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย

5.3 ปัญหาที่พบ

5.3.1 เนื่องจากวันที่ได้ทำการเก็บบันทึกข้อมูล กรมอุตุนิยมวิทยาได้ประกาศไว้ว่า ลักษณะอากาศโดยทั่วไปท้องฟ้าโปร่ง คลื่นลมสงบ ทิศนวิสัยดี คลื่นสูงประมาณ 1 เมตร แต่เมื่อทำการทดลองห่างฝั่งออกไปประมาณ 10 กิโลเมตร (5.4 ไมล์ทะเล) คลื่นสูงประมาณ 1.5 – 2.0 เมตร

5.3.2 ขนาดของเรือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลวิจัยเป็นเรือประมง ที่ดัดแปลงเป็นเรือนำเที่ยว ขนาดประมาณ 15 ตันกรอส ความยาว 16 เมตร กว้าง 4 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 28 เมื่อปะทะกับคลื่น ทำให้เรือยกตัว ไม่สามารถรักษาระดับของเรือไว้ได้

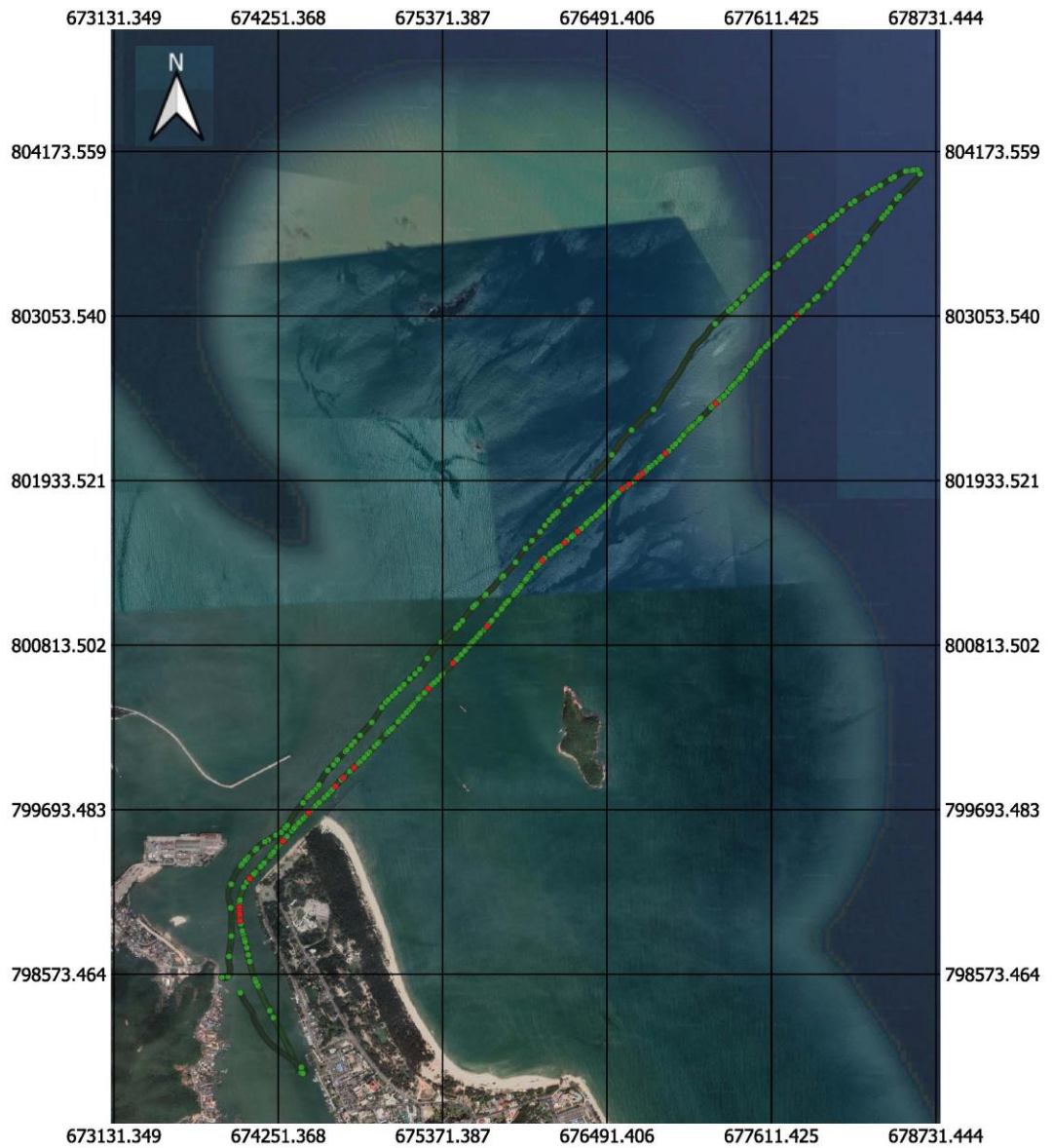


รูปที่ 28 เรือที่ใช้ในการทดลองเก็บข้อมูลวิจัย

5.3.3 ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN หมายเลข PRN128 ไม่มีข้อมูลในฐานข้อมูล สาธารณะของประเทศฝรั่งเศส CNES (Center national d'études spatiales) ในวันที่ลงปฏิบัติงาน สัปดาห์ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2565

5.3.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัย พบว่า ข้อมูลในงานวิจัยมีค่ากระโดด (Lost of continuity) และค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่เกิดขึ้น ช่วงที่มีค่ากระโดดอยู่ในช่วงที่ห่างจากฝั่ง ซึ่งมีคลื่น สูง เกิดจากกระตุน้ำขึ้น-ลง ทำให้กระแสน้ำไหลแรง ผนวกกับการเปลี่ยนทิศทางของลม และช่วง เติ่นเรือเข้าท่าเรือ มีสิ่งปลูกสร้าง แนวต้นไม้ แนวเขา ช่วงข้อมูลค่าที่กระโดดสามารถดูได้จากรูปที่ 29 และเมื่อขยายภาพ ให้เห็นชัดเจน ดังรูปที่ 30

ข้อมูลการเดินทางเรือ

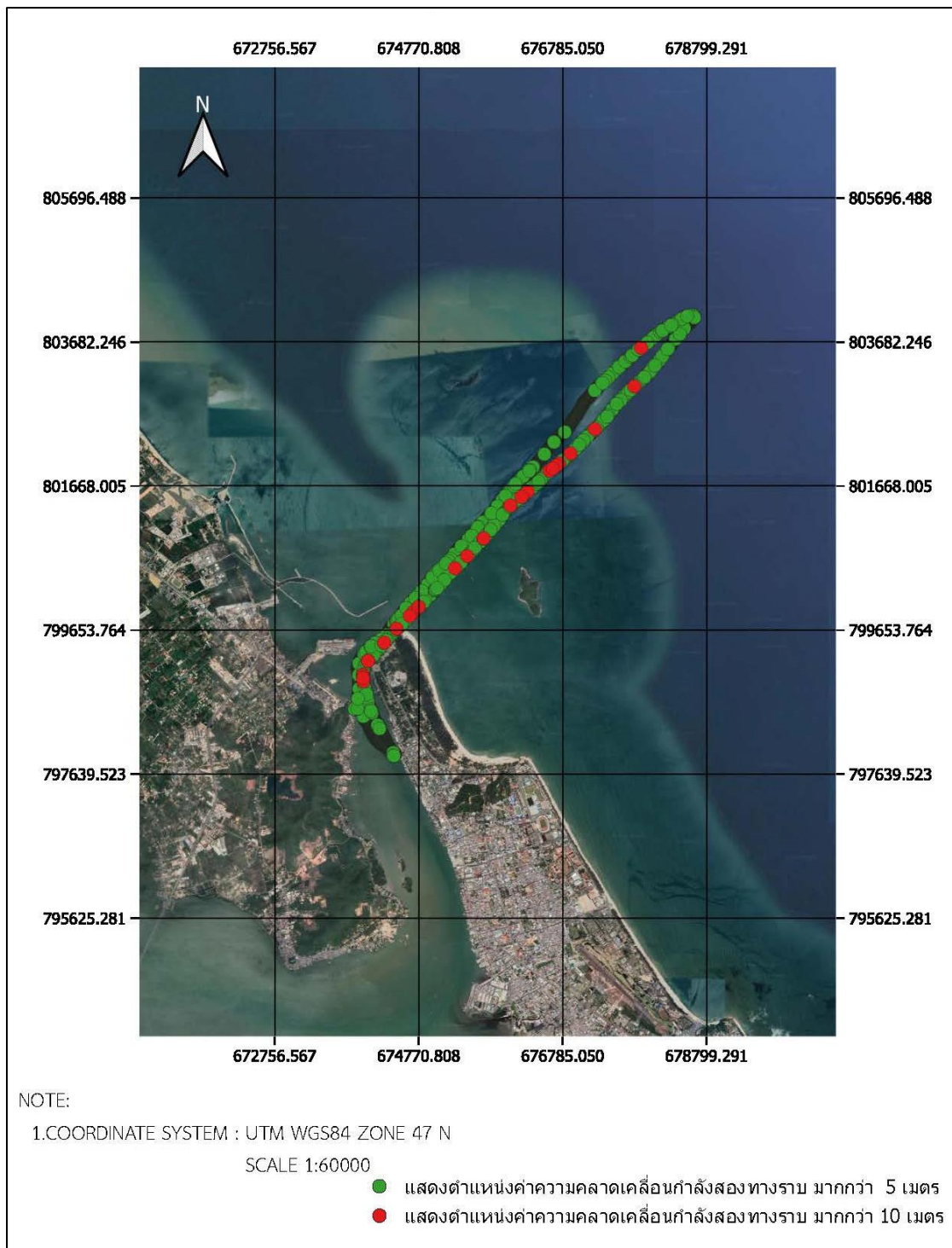


NOTE:

1.COORDINATE SYSTEM : UTM WGS84 ZONE 47 N
SCALE 1:46000

● แสดงตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ มากกว่า 5 เมตร
● แสดงตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ มากกว่า 10 เมตร

รูปที่ 29 ตำแหน่งของข้อมูลตลอดเส้นทาง



รูปที่ 30 ภาพขยาย จุดสีเขียว แสดงตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ มากกว่า 5 เมตร และจุดสีแดง แสดงตำแหน่งค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองทางราบ มากกว่า 10 เมตร

5.3.5 จากข้อมูลทั้งหมด สาเหตุที่คาดว่าเป็นสาเหตุหลักในงานวิจัยนี้คือ จากคลื่น เพราะการยกตัวของคลื่น เป็นจังหวะเดียวกับการที่เครื่องสำรวจรังวัดด้วยระบบ GNSS บันทึกข้อมูล

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 สำหรับการเดินเรือในอนาคตความสำคัญของระบบดาวเทียม SBAS อาจจะมี ความสำคัญเพิ่มขึ้น ถ้าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ดีขึ้น หรือ เมื่อประเทศไทยสามารถพัฒนาระบบ ดาวเทียม SBAS เป็นของประเทศไทยได้แล้ว การนำร่องการเดินเรืออาจจะใช้เพียงระบบดาวเทียมนำ หน GNSS ร่วมกับข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในการนำหนทั้งทางบก อากาศ และการ เดินเรือ มุมมองของผู้วิจัย เสนอแนะให้มีการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากระบบ ดาวเทียม SBAS อีกครั้ง เมื่อถึงเวลานั้น ระบบดาวเทียม SBAS จะสามารถแทนที่ ระบบการนำร่อง การเดินเรือที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้

5.4.2 ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้เลือกใช้พื้นที่ฝั่งทะเลอ่าวไทย ในทดลองวิจัย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ตั้งใน ข้อสรุปข้างต้นว่า ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้งสองระบบ ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้อง ทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งในการหาตำแหน่งที่ของเรือได้โดยเฉลี่ย ทางผู้วิจัยขอเสนอแนะให้ เปลี่ยนสถานที่วิจัยไปยังฝั่งทะเลอันดามัน เนื่องจากเป็นฝั่งเดียวกับประเทศอินเดีย ซึ่งมีระบบ ดาวเทียม GAGAN เพื่อการวิเคราะห์ผลลัพธ์ อาจจะตอบโจทย์การเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ ดีขึ้น

5.4.3 ในปัจจุบันเครื่องมืออุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเรือเดินทะเลส่วนใหญ่ จะมีความสามารถในการ รับสัญญาณระบบดาวเทียม SBAS เกือบทุกลำ และเป็นไปตามข้อมติของ องค์การทางทะเลระหว่าง ประเทศ (IMO) จากผลการศึกษา ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้อง ทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งในการหาตำแหน่งที่ของเรือ ในช่วงการเข้าสู่ท่าเรือได้โดยเฉลี่ย ซึ่งมี งานวิจัยรองรับหลายงาน จึงควรมีการพิจารณาอย่างรอบคอบในการเลือกใช้ระบบดาวเทียม SBAS เพื่อการนำร่องการเดินเรือบริเวณท่าเรือในพื้นที่ประเทศไทย

บรรณานุกรม

- Cezary, S., Pawelski, J., Smolarek, L., Specht, M., & Dabrowski, P. (2019). Assessment of the Positioning Accuracy of DGPS and EGNOS Systems in the Bay of Gdansk using Maritime Dynamic Measurements. *Journal of Navigation*, 72(3), 575-587. doi:10.1017/S0373463318000838
- Chen, Jin, B., Li, D., & Qu, P. (2019). *Study on the prediction method of single and dual frequency service area for BDSBAS*. Paper presented at the China Satellite Navigation Conference.
- Chen, Landau, H., & Vollath, U. (2003). *New tools for network RTK integrity monitoring*. Paper presented at the Proceedings of the 16th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS/GNSS 2003).
- Choy, S., Kuckartz, J., Dempster, A. G., Rizos, C., & Higgins, M. (2017). GNSS satellite-based augmentation systems for Australia. *GPS Solutions*, 21(3), 835-848.
- Dammalage, T. (2018). Application of Indian space-based augmentation service on geospatial data collections in Sri Lanka. *Survey Review*.
- Dammalage, T., De Silva, D., & Satirapod, C. (2017). Performance analysis of GPS aided geo augmented navigation (GAGAN) over Sri Lanka. *Engineering journal*, 21(5), 305-314.
- El-Diasty, M., & Elsobeiey, M. (2015). Precise Point Positioning Technique with IGS Real-Time Service (RTS) for Maritime Applications. *Positioning*, Vol.06No.04, 10. doi:10.4236/pos.2015.64008
- Ganeshan, A. (2017). Benefits of indian satellite navigation systems. *Sci. Culture*, 83, 14-24.
- Ganeshan, A., Satish, S., Kartik, A., Nirmala, S., & Ramesh, G. (2016). *GAGAN—Redefining Navigation over the Indian Region*. Paper presented at the Inside GNSS.
- Geoscience Australia. (2018). "Geoscience Australia conducts aviation trial on satellite-based augmentation system". Retrieved from <https://www.opengovasia.com/geoscience-australia-conducts-aviation-trial-on-satellite-based-augmentation-system/>

- Hall, G. W. (1996). USCG differential GPS navigation service. *Coast Guard Navigation Center Report*.
- Hasan, R. C., & Mahmud, M. R. (2005). FREE BROADCAST DGPS SERVICE IN MARINE: HOW GOOD IS IT?
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*: Springer Science & Business Media.
- Ibáñez Segura, D., Rovira Garcia, A., Alonso, M. T., Sanz, J., Juan, J. M., Gonzalez Casado, G., & López Martínez, M. (2020). EGNOS 1046 Maritime Service Assessment. *Sensors*, 20(1), 276.
- Kim, H. I., Son, E. S., Lee, H. S., Kim, H. H., & Park, K. D. (2008). Accuracy analysis of kinematic SBAS surveying. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 26(5), 493-504.
- Lopez-Martinez, M., Álvarez, J.-M., Lorenzo, J.-M., & Daroca, C. G. (2020). SBAS/EGNOS for Maritime. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(10), 764. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/10/764>
- Lopez, M., & Anton, V. (2021). Evolution of SBAS/EGNOS Enabled Devices in Maritime. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15(3), 541-549. doi:10.12716/1001.15.03.06
- Magdaleno, S., López, M., la Casa, C. d., Lacarra, E., Blanco, N., Jiménez, D., & Aarmo, K. A. (2018). *SBAS Guidelines for Shipborne Receiver and EGNOS Performances based on IMO Res. A. 1046 (27)*. Paper presented at the Proceedings of the 31st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2018).
- Minnesota Planning Land Management Information Center. (1999). *Positional Accuracy Handbook*.
- Murugan, B. (2014). The land based positional accuracy of GPS and GPS augmented by GAGAN over the Indian geographical region. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(4), 61-67.

- NAVGUIDE. (2557). แนวความคิดเรื่องความแม่นยำในการเดินเรือ CONCEPTS AND ACCURACY OF NAVIGATION. Retrieved from http://www.hydro.navy.mi.th/download/navguide_61.pdf
- Parajuli, B. (2020). Performance Analysis of Different Positioning Modes in RTKLIB Software.
- Pringvanich, N., & Satirapod, C. (2007). SBAS algorithm performance in the implementation of the ASIAPACIFIC GNSS test bed. *The Journal of Navigation*, 60(3), 363-371.
- Sophan, S., Phakphisut, W., Myint, L. M., & Supnithi, P. (2020). *Performances of GAGAN Satellite-Based Augmentation System in Thailand Region*. Paper presented at the 2020 35th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC).
- Specht, M. (2015). The evaluation of the positioning accuracy of the egnos and dgps systems based on the long-term measurements in the years 2006-2014. *Polish Cartographical Review*, 47(2), 99-108.
- STONEX. (2018). S10 GNSS Receiver. Retrieved from <https://www.stonex.it/project/s10-gnss-receiver/>
- Takasu, T. (2013). RTKLIB ver. 2.4. 2 Manual. *RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning*, 29-49.
- Thari, P., Kriengkraiwasin, S., & Satirapod, C. (2022). Evaluation of GNSS positioning accuracy from satellite-based augmentation systems in Thailand. *Engineering and Applied Science Research*, 49(2), 209-217.
- Tsai, Y.-F., & Low, K.-S. (2014). *Performance assessment on expanding SBAS service areas of GAGAN and MSAS to Singapore region*. Paper presented at the Proceedings of IEEE/ION PLANS 2014.
- Wu, F., Kubo, N., & Yasuda, A. (2003). *Fast Ambiguity Resolution in RTK-GPS Positioning for Marine Navigation*. Paper presented at the Proceedings of the 2003 National Technical Meeting of The Institute of Navigation.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2549). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 *Advanced GPS Satellite Surveying* งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ปทุมพร พวงเพชร. (2560). การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- วิชัย เยี่ยงวีรชน. (2549). การสำรวจรังวัด : ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- หนังสือพจนานุกรมศัพท์อุทกศาสตร์. (2560). กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ. จัดพิมพ์โดย โรงพิมพ์ก่อสร้างแผนที่ กรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ: ลิขสิทธิ์ของกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือ.
- อัศวิน วังสุวรรณ. (2557). การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสมสำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย., กรุงเทพมหานคร.





ภาคผนวก

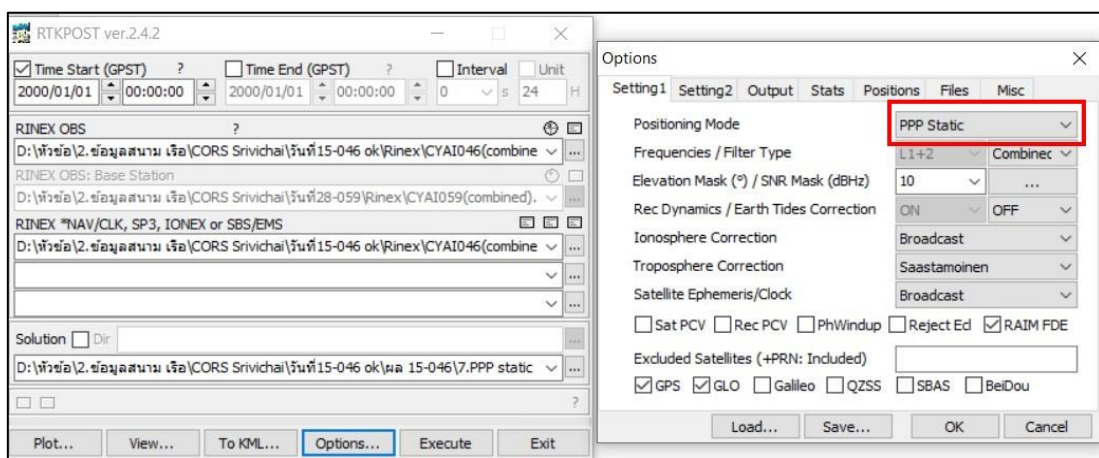
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลการรังวัด

เนื่องจากขั้นตอนการประมวลผลที่ใช้ในงานวิจัย มีข้อมูลสองชุดด้วยกัน คือ ข้อมูลการรังวัดด้วยระบบด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS จากการเดินเรือ และจากสถานีอ้างอิง ซึ่งขั้นตอนการประมวลผลไม่มีความแตกต่าง จึงขอสรุปไว้ในหัวข้อภาคผนวก ก. ดังนี้

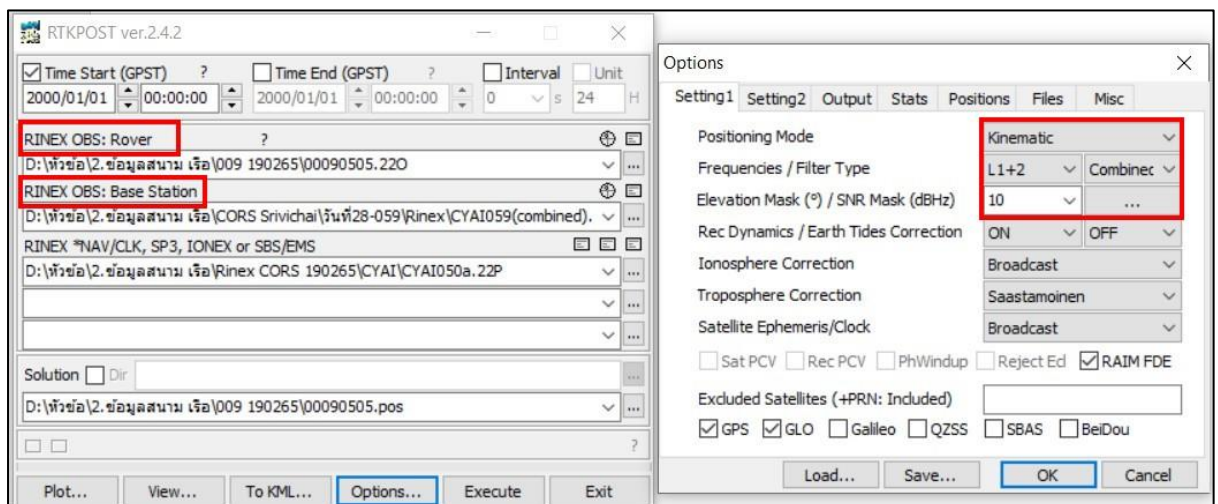
ขั้นตอนที่ 1 เตรียมข้อมูลการรังวัด และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากฐานข้อมูลสาธารณะของประเทศ ฝรั่งเศส CNES (Center national d'études spatiales) ที่ผ่านและครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ในรูปแบบไฟล์ RINEX โดยทำการประมวลผลข้อมูลการรังวัด ด้วยโปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2 ซึ่งทำการประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง โดยใช้โหมด PPP Static เปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผล 3 วิธี ได้แก่ (1.) การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (Differential GNSS positioning mode) (2.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว Single (Single point positioning mode) และ (3.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Single point positioning + the correction of the SBAS) ซึ่งวิธีการตั้งค่าในตัวโปรแกรมสามารถดูรายละเอียดได้จากคู่มือของตัวโปรแกรม RTKLIB ver. 2.4.2 และงานวิจัยของ (Parajuli, 2020) ที่ได้ทำการทดสอบเทคนิคต่าง ๆ ไว้ดังนี้

1. ประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง ข้อมูล RINEX OBS : Rover (ข้อมูลการรังวัด) และ RINEX Navigation >> Options >> Positioning Mode : PPP Static >> Elevation Mask : 10° ซึ่งเทคนิคนี้ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง ที่ดีที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 31



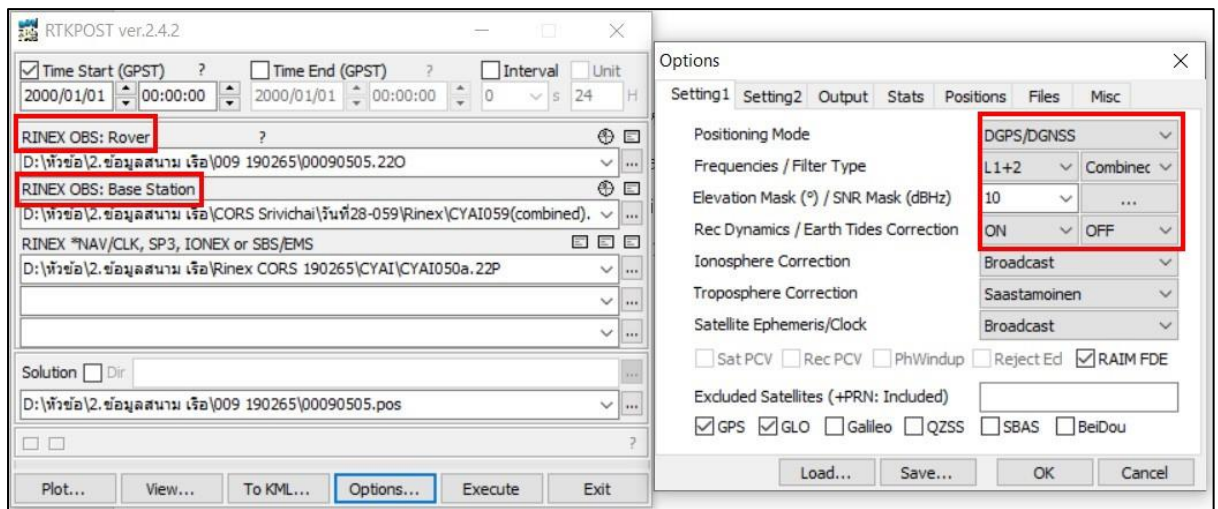
รูปที่ 31 การตั้งค่าเทคนิคประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง PPP Static Mode

2. ประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง ข้อมูล RINEX OBS : Rover (ข้อมูลการรังวัด), RINEX OBS : Base Station (ข้อมูลสถานีอ้างอิง CORS) >> Options >> Positioning Mode : Kinematic >> Frequencies/Filter Type : L1+2, Combine >> Elevation Mask : 10°>> Rec Dynamics : ON และในหน้าต่าง Position >> Base Station : RINEX Header Position (ใช้ในลักษณะเคลื่อนที่) ดังแสดงในรูปที่ 32



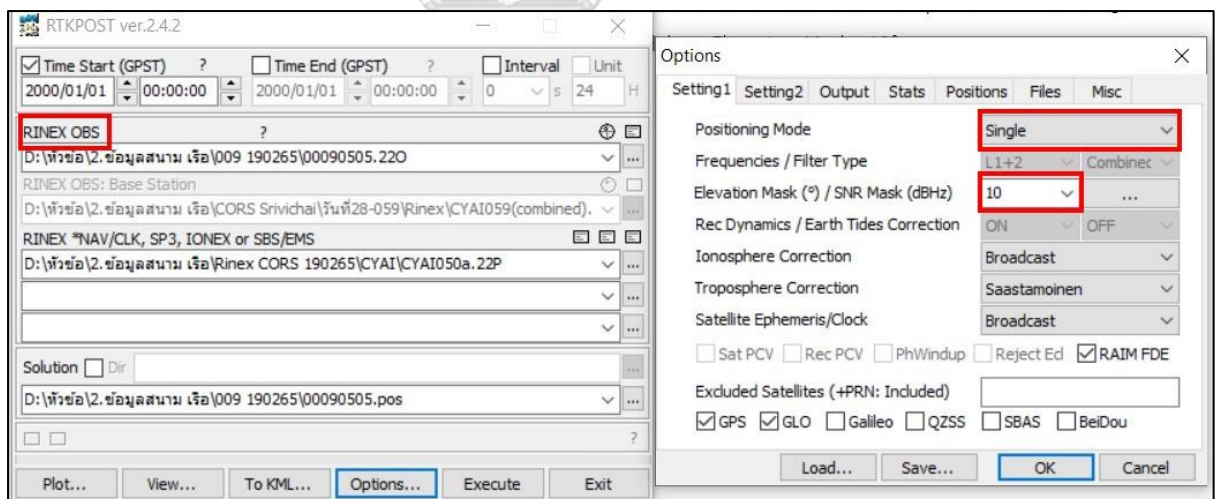
รูปที่ 32 การตั้งค่าเทคนิคประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง Kinematic Mode

3. การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS >> ข้อมูล RINEX OBS : Rover (ข้อมูลการรังวัด) >> RINEX OBS : Base Station (ข้อมูลสถานีอ้างอิง CORS) >> RINEX Navigation >> Options >> Positioning Mode : DGPS/DGNSS (Differential GNSS positioning mode) >> Frequencies/Filter Type : L1+2, Combine >> Elevation Mask : 10°>> Rec Dynamics : ON และในหน้าต่าง Position >> Base Station : RINEX Header Position ดังแสดงในรูปที่ 33



รูปที่ 33 การตั้งค่าเทคนิคการประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS

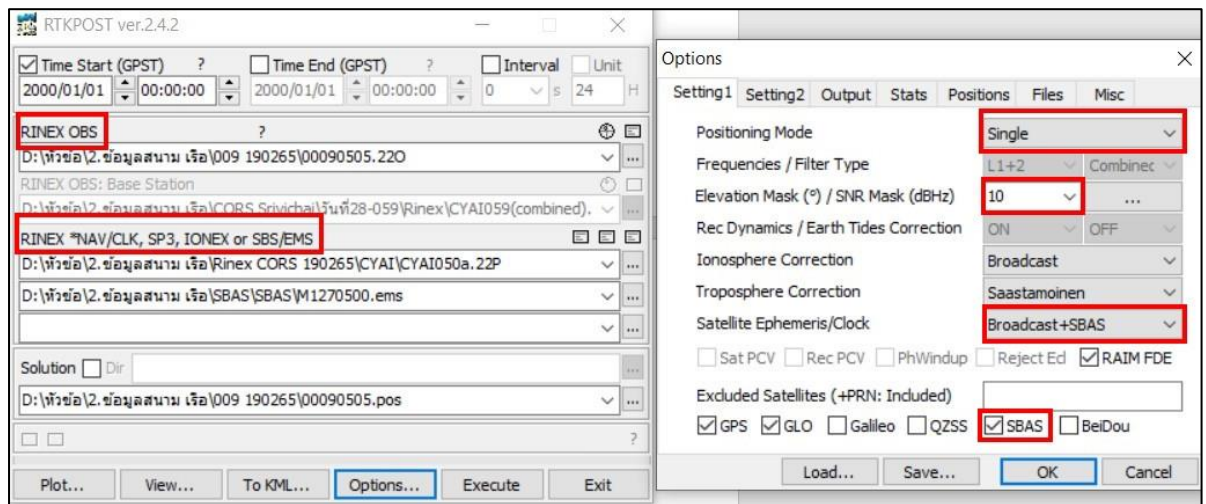
4. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว ข้อมูล RINEX OBS : Rover (ข้อมูลการรังวัด) และ RINEX Navigation >> Options >> Positioning Mode : Single (Single point positioning mode) >> Elevation Mask : 10° ดังแสดงในรูปที่ 34



รูปที่ 34 การตั้งค่าเทคนิคการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว

5. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Single point positioning + the correction of the SBAS) >> ข้อมูล RINEX OBS : Rover (ข้อมูลการรังวัด) >> RINEX Navigation และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม

SBAS นามสกุล .EMS >> Options >> Positioning Mode : Single (Single point positioning mode) >> Elevation Mask : 10° >> Satellite Ephemeris/Clock : Broadcast + SBAS >> Excluded Satellites ให้เพิ่ม ระบบดาวเทียม SBAS ดังแสดงในรูปที่ 35



รูปที่ 35 การตั้งค่าเทคนิคการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบผลการประมวลผล ต้องเหมือนกับที่ได้ตั้งค่าไว้แต่ละเทคนิค ซึ่งจุดสำคัญคือ การประมวลผลจะเป็นไปตามเทคนิคที่เราต้องการหรือไม่ ให้ดูจาก Q (The number and percentage of each quality solutions) ซึ่งจะมีเลขกำกับแต่ละเทคนิคแตกต่างกันออกไป เช่น PPP Static Q = 6 ดังรูปที่ 36, DGPS/DGNSS Q = 4 ดังรูปที่ 37, Single Q = 5 ดังรูปที่ 38 และ Single + SBAS Q = 3 ดังรูปที่ 39 เป็นต้น ตรวจสอบเวลา จำนวนข้อมูล และแปลงข้อมูลจาก พิกัด Decimal Degrees เป็นพิกัด UTM ดังรูปที่ 40 เพื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ทางราบ ทางตั้งและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังรูปที่ 41 และ 42 ในการเปรียบเทียบผลการวิจัยต่อไป

```

% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : D:\หัวข้อ\2.ข้อมูลสถานี ชื่อ\CORS Srivichai\วันที่02-033 ok\Rinex\CYAI033 (combined) .22o
% inp file : D:\หัวข้อ\2.ข้อมูลสถานี ชื่อ\CORS Srivichai\วันที่02-033 ok\Rinex\CYAI033 (combined) .22p
% obs start : 2022/02/02 00:00:00.0 GPST (week2195 259200.0s)
% obs end : 2022/02/02 23:59:45.0 GPST (week2195 345585.0s)
% pos mode : ppp-static
% solution : combined
% elev mask : 10.0 deg
% dynamics : on
% tidecorr : off
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% navi sys : gps glonass
% antennal : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of sat)
% GPST latitude (deg) longitude (deg) height (m) Q ns sdn (m)
2022/02/02 00:00:00.000 7.199839067 100.603024595 33.9051 6 14 0.0194
2022/02/02 00:00:15.000 7.199839068 100.603024592 33.9055 6 14 0.0194
2022/02/02 00:00:30.000 7.199839067 100.603024589 33.9056 6 14 0.0194
2022/02/02 00:00:45.000 7.199839067 100.603024586 33.9058 6 14 0.0194
2022/02/02 00:01:00.000 7.199839067 100.603024583 33.9061 6 14 0.0194
2022/02/02 00:01:15.000 7.199839067 100.603024579 33.9063 6 14 0.0194
2022/02/02 00:01:30.000 7.199839067 100.603024576 33.9066 6 14 0.0194
2022/02/02 00:01:45.000 7.199839067 100.603024574 33.9068 6 14 0.0194
2022/02/02 00:02:00.000 7.199839066 100.603024570 33.9072 6 14 0.0194
2022/02/02 00:02:15.000 7.199839066 100.603024567 33.9070 6 14 0.0194

```

รูปที่ 36 ผลลัพธ์ค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงด้วยเทคนิค PPP Static

```

% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : D:\หัวข้อ\2.ข้อมูลสถานี ชื่อ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined) .22o
% inp file : D:\หัวข้อ\2.ข้อมูลสถานี ชื่อ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined) .22o
% inp file : D:\หัวข้อ\2.ข้อมูลสถานี ชื่อ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined) .22p
% obs start : 2022/02/27 00:00:15.0 GPST (week2199 15.0s)
% obs end : 2022/02/27 23:59:45.0 GPST (week2199 86385.0s)
% pos mode : dgps
% freqs : L1+L2
% solution : combined
% elev mask : 10.0 deg
% dynamics : on
% tidecorr : off
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% navi sys : gps glonass
% antennal : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% antenna2 : ( 0.0000 0.0000 0.0000)
% ref pos : 7.199839464 100.603022369 31.2760
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of sat)
% GPST latitude (deg) longitude (deg) height (m) Q ns sdn (m) sde (m)
2022/02/27 00:00:15.000 7.199839464 100.603022370 31.2768 4 15 0.2324 0.3235
2022/02/27 00:00:30.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 15 0.2246 0.3230
2022/02/27 00:00:45.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2097 0.3284
2022/02/27 00:01:00.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2284 0.3321
2022/02/27 00:01:15.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2230 0.3285
2022/02/27 00:01:30.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2229 0.3314
2022/02/27 00:01:45.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2211 0.3342
2022/02/27 00:02:00.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2205 0.3304
2022/02/27 00:02:15.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2247 0.3283
2022/02/27 00:02:30.000 7.199839464 100.603022369 31.2760 4 14 0.2256 0.3301

```

รูปที่ 37 ผลลัพธ์จากเทคนิคการประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS

```

% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : D:\หัวข้อ\2ข้อมูลสนาม หรือ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined).22o
% inp file : D:\หัวข้อ\2ข้อมูลสนาม หรือ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined).22p
% obs start : 2022/02/27 00:00:15.0 GPST (week2199 15.0s)
% obs end : 2022/02/27 23:59:45.0 GPST (week2199 86385.0s)
% pos mode : single
% elev mask : 10.0 deg
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast
% navi sys : gps glonass

% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,r
% GPST latitude (deg) longitude (deg) height (m) Q ns sdn (m)
2022/02/27 00:00:15.000 7.199835429 100.603028944 32.2513 5 15 1.5824
2022/02/27 00:00:30.000 7.199836761 100.603023819 32.4422 5 15 1.5825
2022/02/27 00:00:45.000 7.199835279 100.603028916 32.0195 5 14 1.6092
2022/02/27 00:01:00.000 7.199834234 100.603027428 32.7711 5 14 1.6095
2022/02/27 00:01:15.000 7.199835396 100.603025909 32.0030 5 14 1.6098
2022/02/27 00:01:30.000 7.199833877 100.603027562 31.9065 5 14 1.6101
2022/02/27 00:01:45.000 7.199834357 100.603022330 31.6016 5 14 1.6104
2022/02/27 00:02:00.000 7.199834994 100.603019379 31.7696 5 14 1.6107
2022/02/27 00:02:15.000 7.199833595 100.603020035 30.5494 5 14 1.6110
2022/02/27 00:02:30.000 7.199834941 100.603016819 31.2807 5 14 1.6113
2022/02/27 00:02:45.000 7.199833821 100.603020069 30.6928 5 14 1.6117

```

รูปที่ 38 ผลลัพธ์จากเทคนิคการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่าง
เดียว


```

% program : RTKPOST ver.2.4.2
% inp file : D:\หัวข้อ\2ข้อมูลสนาม หรือ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined).22o
% inp file : D:\หัวข้อ\2ข้อมูลสนาม หรือ\CORS Srivichai\วันที่27-058\Rinex\CYAI058 (combined).22p
% inp file : D:\หัวข้อ\2ข้อมูลสนาม หรือ\CORS Srivichai\วันที่27-058\SBAS\SBAS\M1270580.ems
% obs start : 2022/02/27 00:00:15.0 GPST (week2199 15.0s)
% obs end : 2022/02/27 23:59:45.0 GPST (week2199 86385.0s)
% pos mode : single
% elev mask : 10.0 deg
% ionos opt : broadcast
% tropo opt : saastamoinen
% ephemeris : broadcast+sbas
% navi sys : gps glonass sbas

% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,n
% GPST latitude (deg) longitude (deg) height (m) Q ns sdn (m)
2022/02/27 00:00:15.000 7.199832376 100.603022012 30.9937 3 7 1.5706
2022/02/27 00:00:30.000 7.199832296 100.603020708 30.9369 3 7 1.5790
2022/02/27 00:00:45.000 7.199834518 100.603026478 31.4212 3 7 1.5703
2022/02/27 00:01:00.000 7.199832005 100.603027220 31.3584 3 7 1.5787
2022/02/27 00:01:15.000 7.199831048 100.603021869 30.8917 3 7 1.5700
2022/02/27 00:01:30.000 7.199830495 100.603023205 30.6077 3 7 1.5785
2022/02/27 00:01:45.000 7.199831144 100.603019015 30.9421 3 7 1.5699
2022/02/27 00:02:00.000 7.199831084 100.603013069 31.3756 3 7 1.5783
2022/02/27 00:02:15.000 7.199830490 100.603012516 30.0705 3 7 1.5698
2022/02/27 00:02:30.000 7.199830941 100.603007399 30.4329 3 7 1.5782
2022/02/27 00:02:45.000 7.199828910 100.603011509 29.7797 3 7 1.5903

```

รูปที่ 39 ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (GAGAN127)

Conversion of Coordinates in Decimal Degrees to UTM									
				Enter your coordinates					
		Point	Time	Decimal Degrees		UTM			
				Latitude	Longitude	East (X)	North (Y)	Zone	Band
1	00:00.0	7.1998391	100.6030246	677001.837	796150.862	47	N		
2	00:15.0	7.1998391	100.6030246	677001.837	796150.862	47	N		
3	00:30.0	7.1998391	100.6030246	677001.837	796150.862	47	N		
4	00:45.0	7.1998391	100.6030246	677001.836	796150.862	47	N		
5	01:00.0	7.1998391	100.6030246	677001.836	796150.862	47	N		
6	01:15.0	7.1998391	100.6030246	677001.835	796150.862	47	N		
7	01:30.0	7.1998391	100.6030246	677001.835	796150.861	47	N		
8	01:45.0	7.1998391	100.6030246	677001.835	796150.861	47	N		
9	02:00.0	7.1998391	100.6030246	677001.834	796150.861	47	N		
10	02:15.0	7.1998391	100.6030246	677001.834	796150.861	47	N		
11	02:30.0	7.1998391	100.6030246	677001.834	796150.861	47	N		
12	02:45.0	7.1998391	100.6030246	677001.833	796150.861	47	N		
13	03:00.0	7.1998391	100.6030246	677001.833	796150.861	47	N		
14	03:15.0	7.1998391	100.6030246	677001.833	796150.861	47	N		
15	03:30.0	7.1998391	100.6030246	677001.832	796150.861	47	N		
16	03:45.0	7.1998391	100.6030245	677001.832	796150.861	47	N		
17	04:00.0	7.1998391	100.6030245	677001.831	796150.861	47	N		
DATUM WGS84									
a (semi major axis)	6378137								
b (semi minor axis)	6356752.314								
Eccentricity	0.081819191								
2 nd Excentric. (e')	0.082094438								
e' ²	0.006739497								
c (polar radius of curvature)	6399593.626								
ENTRY DATA									
Hemisphere	N								

รูปที่ 40 ตารางคำนวณแปลงข้อมูลค่าพิกัด Decimal Degrees เป็นพิกัด UTM

Point label	TIME	Measured X on PPP Static	Measured X on DGNSS	Diff in X	Diff in X ²	TIME	Measured Y on PPP Static	Measured Y on DGNSS	Diff in Y	Diff in Y ²	Diff in X ² + Diff in Y ²
1	00:00.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	00:00.0	796150.793	796150.904	-0.112	0.013	0.053
2	00:15.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	00:15.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
3	00:30.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	00:30.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
4	00:45.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	00:45.0	796150.792	796150.905	-0.112	0.013	0.053
5	01:00.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	01:00.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
6	01:15.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	01:15.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
7	01:30.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	01:30.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
8	01:45.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	01:45.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
9	02:00.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	02:00.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
10	02:30.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	02:30.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
11	02:45.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	02:45.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
12	03:00.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	03:00.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
13	03:15.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	03:15.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053
14	03:30.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	03:30.0	796150.792	796150.905	-0.112	0.013	0.053
15	03:45.0	677001.792	677001.591	0.201	0.040	03:45.0	796150.793	796150.905	-0.112	0.013	0.053

รูปที่ 41 ตารางคำนวณ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

Point label	TIME	Measured Z on PPP Static	Measured Z on DGNSS	Diff in Z	Diff in Z ²
1	00:00.0	33.257	31.283	1.974	3.897
2	00:15.0	33.257	31.281	1.976	3.903
3	00:30.0	33.256	31.282	1.974	3.896
4	00:45.0	33.256	31.281	1.975	3.899
5	01:00.0	33.255	31.281	1.974	3.897
6	01:15.0	33.255	31.281	1.974	3.895
7	01:30.0	33.254	31.281	1.973	3.894
8	01:45.0	33.254	31.281	1.973	3.892
9	02:00.0	33.254	31.281	1.972	3.890
10	02:15.0	33.253	31.283	1.971	3.883

รูปที่ 42 ตารางคำนวณ ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

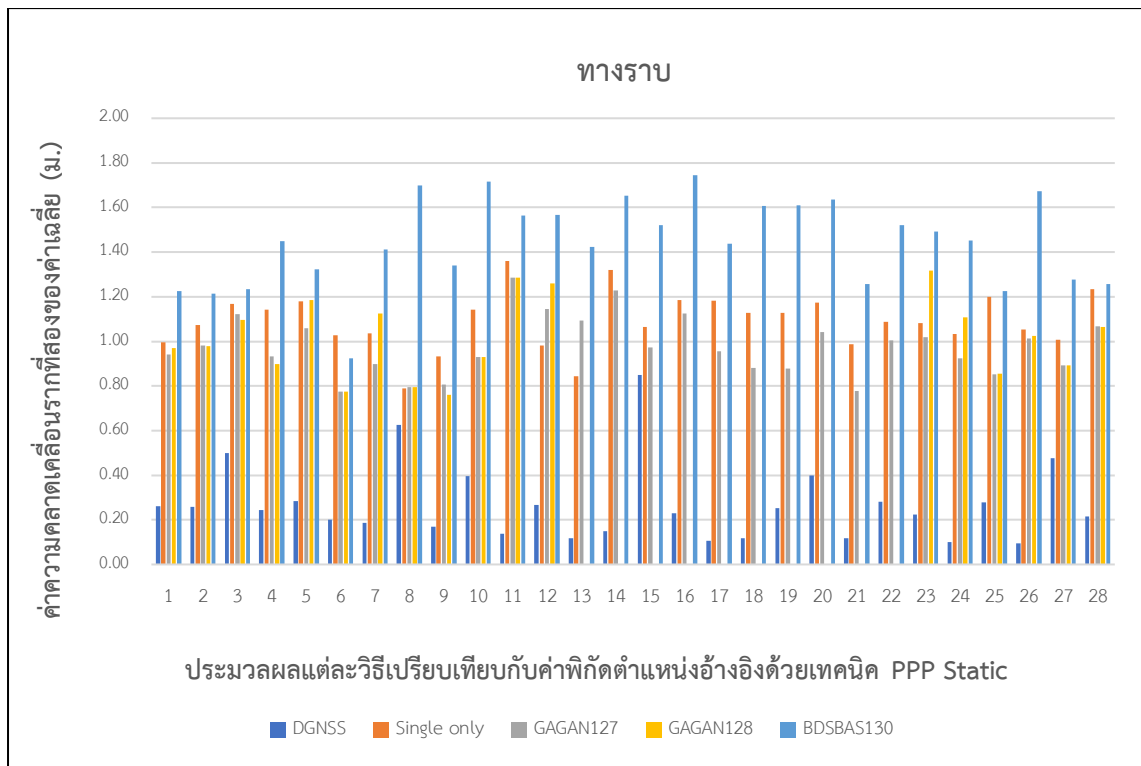
ขั้นตอนที่ 3 ทางราบ : สรุปผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดระบบดาวเทียมนำหน้ GNSS ซึ่งจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยทางราบ (SD) ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน (กุมภาพันธ์ 2565) ดังแสดงในตารางที่ 10, ค่า RMSE ทางราบ ระยะเวลา 1 เดือน ดังตารางที่ 11 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบ (SD) ระยะเวลา 1 เดือน ดังตารางที่ 12 ในรูปที่ 43 แสดงผล RMSE ทางราบ ระยะเวลา 1 เดือน, รูปที่ 44 แสดงผล RMSE ทางราบเฉลี่ย ระยะเวลา 1 เดือน และ รูปที่ 45 แสดงผล SD ทางราบ ระยะเวลา 1 เดือน, รูปที่ 46 แสดงผล SD ทางราบเฉลี่ย ระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 10 ค่า RMSE ทางราบเฉลี่ย และ ค่า SD ทางราบเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)

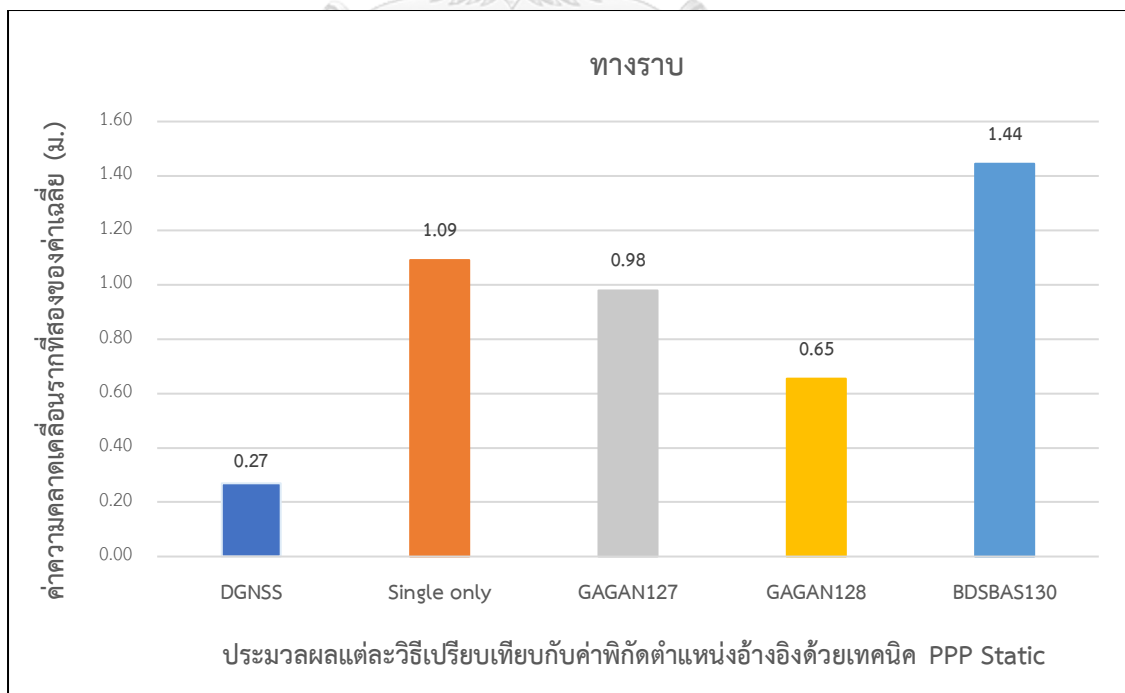
Method process	Horizontal RMSE (m.)	Horizontal SD (m.)
DGNSS	0.27	0.07
Single only	1.09	1.18
Single + GAGAN127	0.98	1.31
Single + GAGAN128	0.68*	0.97*
Single + BDSBAS130	1.44	5.47

ตารางที่ 11 ค่า RMSE ทางราบ ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)

วันที่	DGNSS	Single only	GAGAN127	GAGAN128	BDSBAS130
1	0.26	1.00	0.94	0.97	1.22
2	0.26	1.07	0.98	0.98	1.21
3	0.50	1.17	1.12	1.10	1.24
4	0.24	1.14	0.93	0.90	1.45
5	0.29	1.18	1.06	1.19	1.32
6	0.20	1.03	0.78	0.78	0.92
7	0.19	1.04	0.90	1.12	1.41
8	0.63	0.79	0.80	0.79	1.70
9	0.17	0.93	0.81	0.76	1.34
10	0.40	1.14	0.93	0.93	1.72
11	0.14	1.36	1.29	1.29	1.56
12	0.27	0.98	1.14	1.26	1.57
13	0.12	0.84	1.09	0.00	1.42
14	0.15	1.32	1.23	0.00	1.65
15	0.85	1.07	0.97	0.00	1.52
16	0.23	1.19	1.13	0.00	1.75
17	0.11	1.18	0.96	0.00	1.44
18	0.12	1.13	0.88	0.00	1.61
19	0.25	1.13	0.88	0.00	1.61
20	0.40	1.17	1.04	0.00	1.64
21	0.12	0.99	0.78	0.00	1.26
22	0.28	1.09	1.00	0.00	1.52
23	0.22	1.08	1.02	1.32	1.49
24	0.10	1.03	0.92	1.11	1.45
25	0.28	1.20	0.85	0.85	1.23
26	0.10	1.05	1.01	1.02	1.67
27	0.48	1.01	0.89	0.89	1.28
28	0.22	1.23	1.07	1.07	1.26
เฉลี่ย	0.27	1.09	0.98	0.65	1.44



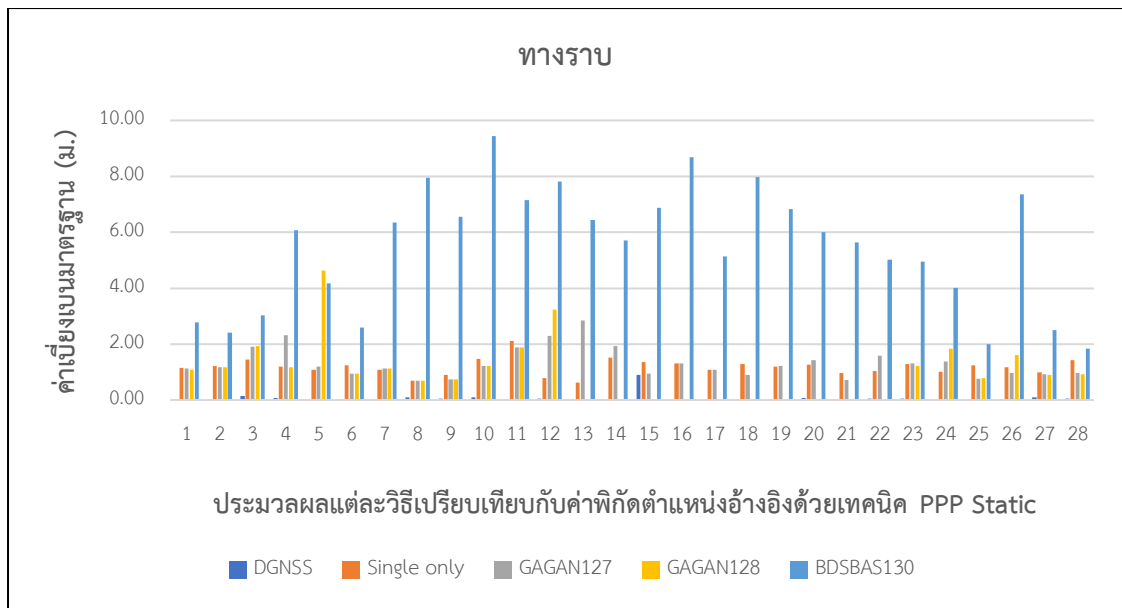
รูปที่ 43 แสดงผล RMSE ทางราบ ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน



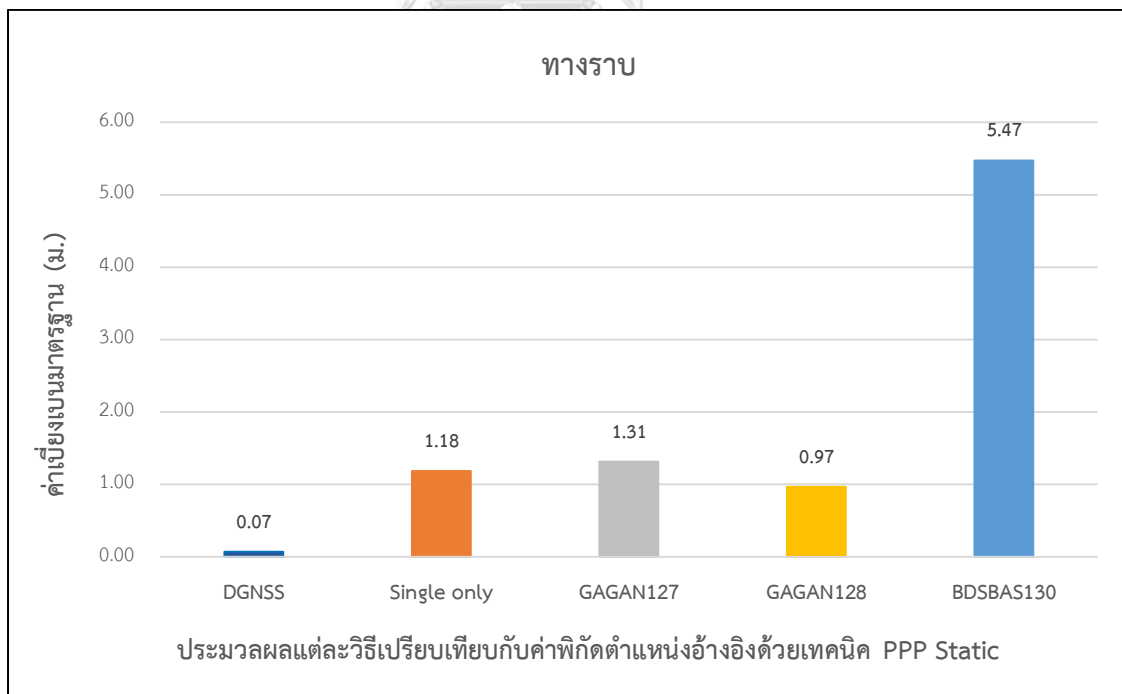
รูปที่ 44 แสดงผล RMSE ทางราบเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 12 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางราบ (SD) ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)

วันที่	DGNSS	Single only	GAGAN127	GAGAN128	BDSBAS130
1	0.02	1.14	1.12	1.08	2.77
2	0.02	1.21	1.17	1.18	2.40
3	0.15	1.44	1.90	1.92	3.02
4	0.07	1.19	2.33	1.18	6.06
5	0.01	1.09	1.18	4.63	4.18
6	0.02	1.24	0.94	0.94	2.59
7	0.01	1.08	1.13	1.12	6.34
8	0.10	0.70	0.70	0.69	7.95
9	0.05	0.91	0.73	0.73	6.56
10	0.09	1.48	1.21	1.21	9.43
11	0.02	2.10	1.88	1.88	7.14
12	0.04	0.79	2.29	3.23	7.81
13	0.02	0.62	2.84	0.00	6.44
14	0.02	1.52	1.92	0.00	5.71
15	0.89	1.35	0.95	0.00	6.86
16	0.03	1.31	1.32	0.00	8.68
17	0.01	1.08	1.08	0.00	5.14
18	0.01	1.29	0.91	0.00	7.97
19	0.03	1.20	1.21	0.00	6.84
20	0.07	1.27	1.43	0.00	6.02
21	0.01	0.97	0.72	0.00	5.63
22	0.05	1.05	1.59	0.00	5.03
23	0.04	1.30	1.32	1.21	4.95
24	0.01	1.02	1.37	1.85	4.01
25	0.03	1.24	0.77	0.79	1.99
26	0.01	1.17	0.96	1.61	7.36
27	0.10	0.99	0.92	0.90	2.50
28	0.04	1.43	0.96	0.91	1.84
เฉลี่ย	0.07	1.18	1.31	0.97	5.47



รูปที่ 45 แสดงผล SD ทางราบ ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน



รูปที่ 46 แสดงผล SD ทางราบเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน

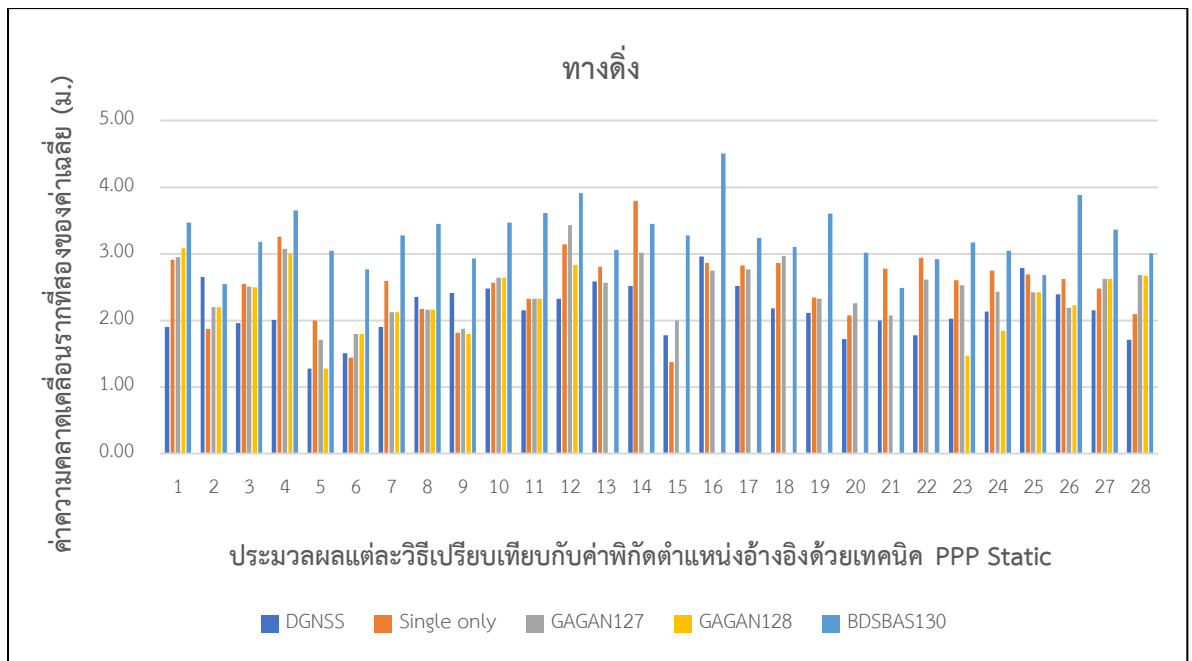
ขั้นตอนที่ 4 ทางตั้ง : สรุปผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดระบบดาวเทียมนำหน GNSS ซึ่งจะแสดงค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง (RMSE) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยทางตั้ง (SD) ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน (กุมภาพันธ์ 2565) ดังแสดงในตารางที่ 13, ค่า RMSE ทางตั้ง ระยะเวลา 1 เดือน ดังตารางที่ 14 และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางตั้ง (SD) ระยะเวลา 1 เดือน ดังตารางที่ 15 ในรูปที่ 47 แสดงผล RMSE ทางตั้ง ระยะเวลา 1 เดือน, รูปที่ 48 แสดงผล RMSE ทางตั้งเฉลี่ย ระยะเวลา 1 เดือน และ รูปที่ 49 แสดงผล SD ทางตั้ง ระยะเวลา 1 เดือน, รูปที่ 50 แสดงผล SD ทางตั้งเฉลี่ย ระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 13 ค่า RMSE ทางตั้งเฉลี่ย และ ค่า SD ทางตั้งเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)

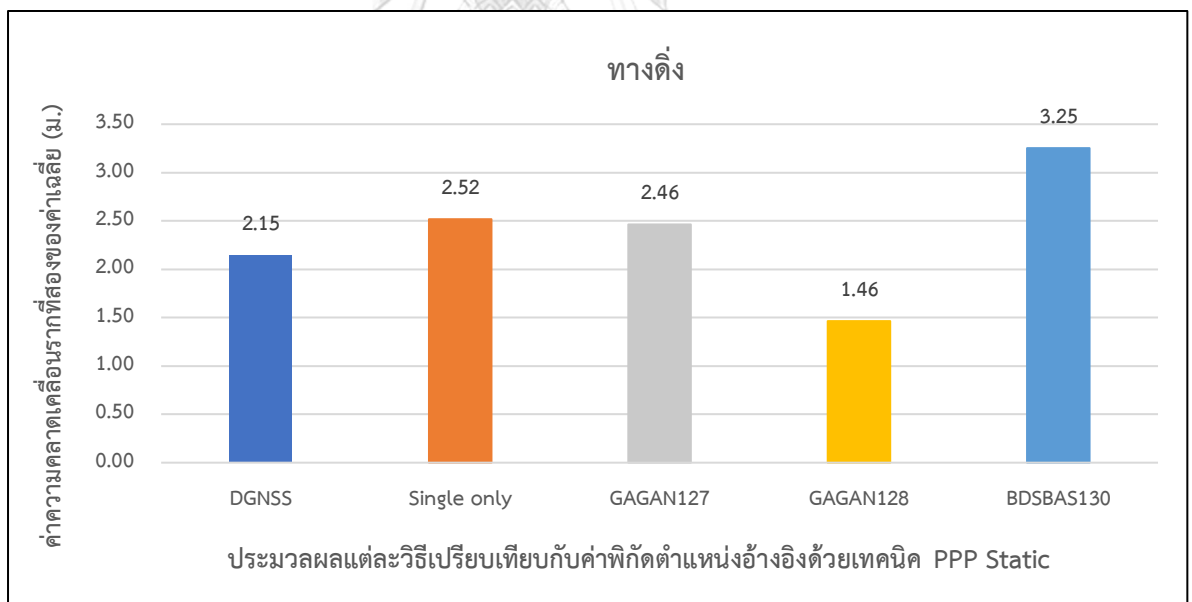
Method process	Vertical RMSE (m.)	Vertical SD (m.)
DGNSS	2.15	0.42
Single only	2.52	8.95
Single + GAGAN127	2.46	9.86
Single + GAGAN128	1.46*	5.82*
Single + BDSBAS130	3.25	32.79

ตารางที่ 14 ค่า RMSE ทางดิ่ง ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)

วันที่	DGNSS	Single only	GAGAN127	GAGAN128	BDSBAS130
1	1.90	2.91	2.95	3.08	3.47
2	2.66	1.87	2.20	2.20	2.55
3	1.96	2.54	2.50	2.50	3.18
4	2.01	3.25	3.07	3.01	3.65
5	1.27	2.00	1.71	1.27	3.04
6	1.51	1.44	1.79	1.79	2.77
7	1.90	2.59	2.13	2.13	3.27
8	2.36	2.17	2.16	2.16	3.45
9	2.41	1.81	1.88	1.80	2.93
10	2.47	2.56	2.65	2.64	3.47
11	2.16	2.32	2.32	2.32	3.61
12	2.32	3.14	3.43	2.83	3.91
13	2.58	2.81	2.56	0.00	3.05
14	2.52	3.80	3.02	0.00	3.45
15	1.78	1.37	2.00	0.00	3.28
16	2.96	2.86	2.75	0.00	4.51
17	2.51	2.83	2.77	0.00	3.23
18	2.18	2.86	2.97	0.00	3.10
19	2.11	2.34	2.32	0.00	3.60
20	1.72	2.08	2.26	0.00	3.02
21	2.00	2.77	2.07	0.00	2.48
22	1.78	2.94	2.61	0.00	2.92
23	2.03	2.60	2.53	1.47	3.17
24	2.13	2.75	2.43	1.84	3.05
25	2.78	2.69	2.42	2.42	2.68
26	2.39	2.63	2.19	2.23	3.88
27	2.15	2.47	2.62	2.62	3.37
28	1.71	2.09	2.68	2.67	3.00
เฉลี่ย	2.15	2.52	2.46	1.46	3.25



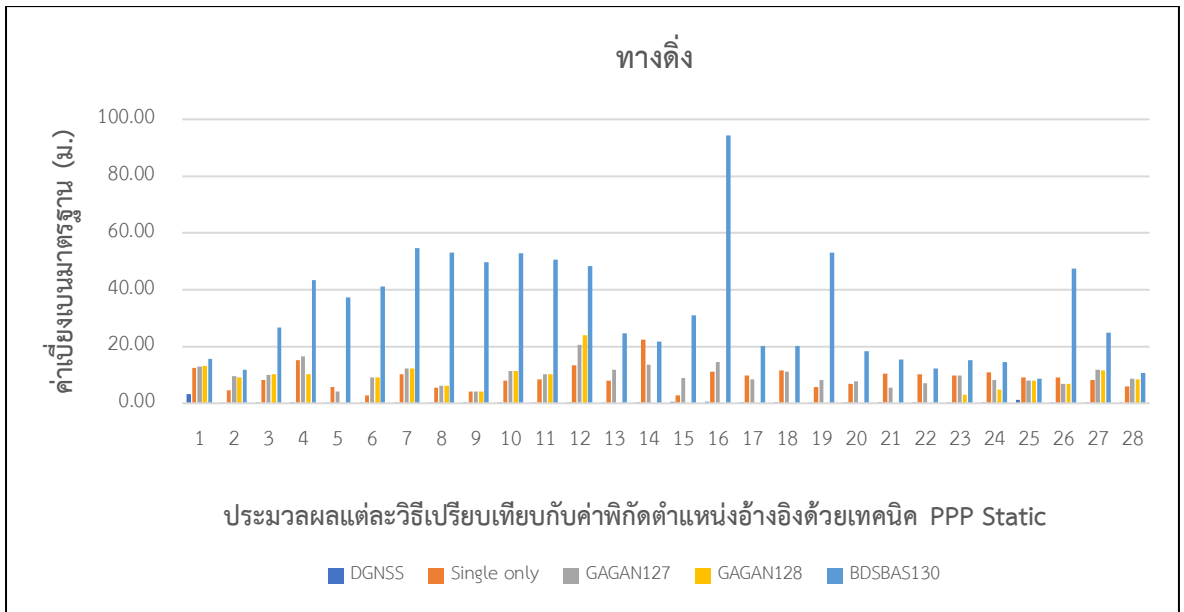
รูปที่ 47 แสดงผล RMSE ทางตั้ง ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน



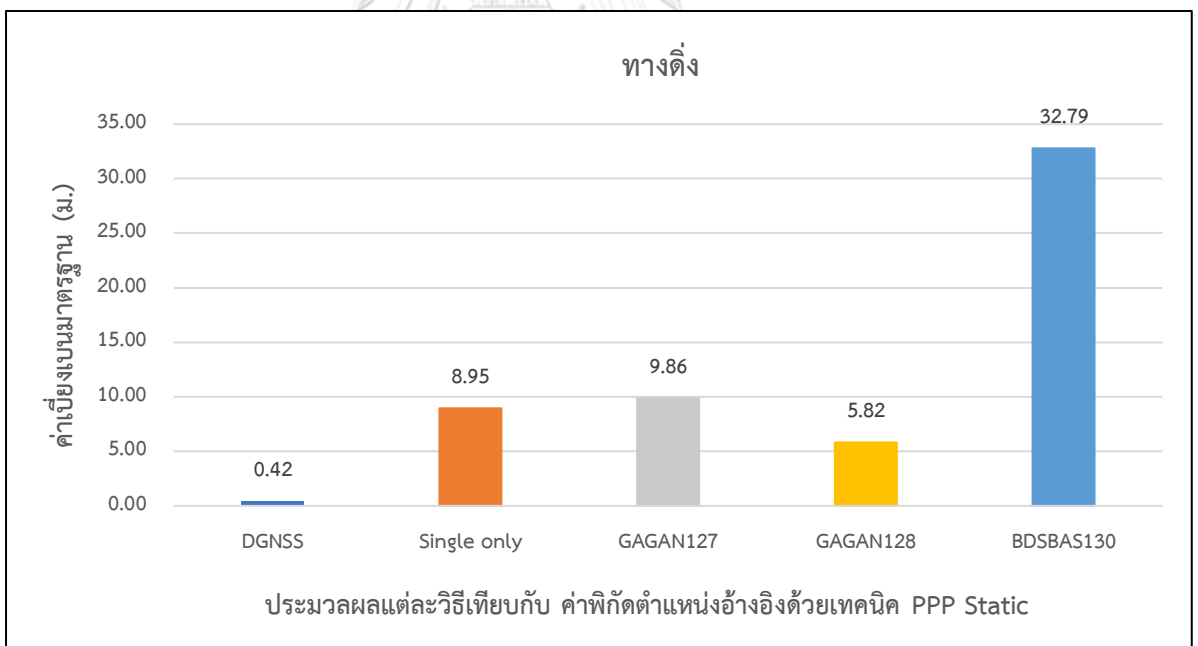
รูปที่ 48 แสดงผล RMSE ทางตั้งเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 15 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานทางตั้ง (SD) ระยะเวลา 1 เดือนของสถานี CORS CHC สงขลา (เดือนกุมภาพันธ์ 2565)

วันที่	DGNSS	Single only	GAGAN127	GAGAN128	BDSBAS130
1	3.33	12.50	12.90	13.11	15.69
2	0.20	4.69	9.47	9.19	11.86
3	0.24	8.24	9.93	10.17	26.58
4	0.27	15.17	16.58	10.32	43.42
5	0.08	5.66	4.05	0.08	37.36
6	0.10	2.81	9.01	9.01	41.06
7	0.12	10.18	12.20	12.19	54.71
8	0.20	5.60	6.07	6.07	53.05
9	0.31	4.20	4.23	4.23	49.76
10	0.28	8.04	11.34	11.34	52.88
11	0.22	8.40	10.23	10.23	50.49
12	0.41	13.36	20.57	24.09	48.44
13	0.22	7.97	11.73	0.00	24.77
14	0.40	22.38	13.56	0.00	21.65
15	0.45	2.82	8.84	0.00	31.05
16	0.48	11.10	14.43	0.00	94.33
17	0.29	9.84	8.42	0.00	20.22
18	0.35	11.52	11.09	0.00	20.23
19	0.16	5.78	8.11	0.00	53.04
20	0.24	6.74	7.67	0.00	18.40
21	0.33	10.37	5.39	0.00	15.50
22	0.40	10.14	7.14	0.00	12.31
23	0.27	9.81	9.88	3.02	15.16
24	0.32	10.91	8.18	4.92	14.47
25	1.23	9.12	7.99	7.90	8.58
26	0.30	9.04	6.90	6.95	47.45
27	0.38	8.13	11.73	11.60	24.93
28	0.18	6.00	8.54	8.45	10.69
เฉลี่ย	0.42	8.95	9.86	5.82	32.79



รูปที่ 49 แสดงผล SD ทางตั้ง ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน



รูปที่ 50 แสดงผล SD ทางตั้งเฉลี่ย ของสถานี CORS CHC สงขลา ระยะเวลา 1 เดือน

จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดรายเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 โดยทำการประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิง โดยใช้โหมด PPP Static เปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผล 3 เทคนิค ได้แก่ (1.) การประมวลผลด้วยเทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNS (Differential GNSS positioning mode) (2.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียว Single (Single point positioning mode) และ (3.) การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS (Single point positioning + the correction of the SBAS) เมื่อนำเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูลการวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GNSS ในการเดินเรือ โดยใช้วิธีทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์มีความคล้อยตามไปในทิศทางเดียวกัน กำหนดให้ผลลัพธ์รายเดือนเฉลี่ย (A) และ ผลลัพธ์การเดินเรือ (B) ดังในตารางที่ 16 และ 17

ตารางที่ 16 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางราบ ระหว่างข้อมูลรายเดือนเฉลี่ย (A) กับ ข้อมูลการเดินเรือ (B)

Method process	A : Horizontal RMSE (m.)	A : Horizontal SD (m.)	B : Horizontal RMSE (m.)	B : Horizontal SD (m.)
DGNSS	0.27	0.07	0.59	0.43
Single only	1.09	1.18	1.65	1.90
Single + GAGAN127	0.98	1.31	0.90	1.27
Single + BDSBAS130	1.44	5.47	1.63	2.83

ตารางที่ 17 ตารางเปรียบเทียบผลลัพธ์ทางตั้ง ระหว่างข้อมูลรายเดือนเฉลี่ย (A) กับ ข้อมูลการเดินเรือ (B)

Method process	A : Vertical RMSE (m.)	A : Vertical SD (m.)	B : Vertical RMSE (m.)	B : Vertical SD (m.)
DGNSS	2.15	0.42	1.17	2.11
Single only	2.52	8.95	2.61	6.71
Single + GAGAN127	2.46	9.86	5.10	17.95
Single + BDSBAS130	3.25	32.79	5.13	31.74

ภาคผนวก ข. นิยามคำศัพท์เทคนิคภายในงานวิจัย

เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ มีการกล่าวถึงและใช้คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการเดินเรือตลอดทั้งเล่มวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนจึงขออธิบายนิยามศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการเดินเรือไว้ในบทความนี้ เพื่อให้สามารถอ่านเนื้อหาภายในเล่มได้อย่างเข้าใจ

ตารางที่ 18 นิยามศัพท์การเดินเรือในงานวิจัย

(ดัดแปลงจาก (หนังสือพจนานุกรมศัพท์อุทกศาสตร์, 2560)

ศัพท์เทคนิค ภาษาอังกฤษ	คำย่อ	ศัพท์เทคนิค ภาษาไทย	ความหมาย
Maritime	-	เกี่ยวกับทางทะเล, ในทะเล	เป็นขอบเขต เกี่ยวข้องกับ หรือสัมพันธ์กับทะเล
Nautical	-	เกี่ยวกับเรือ, เกี่ยวกับชาวเรือ	เกี่ยวข้องกับเรือ การเดินหน หรือ ชาวเรือ
Navigation	-	การเดินเรือ, การ เดินหน	กระบวนการกำกับทิศทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง ซึ่งมีหลายประเภท เช่น Coast : การเดินเรือใกล้ฝั่ง, Radionavigation : การเดินเรือวิทยุ, Electronic : การเดินหนอิเล็กทรอนิกส์ มีความหมายมากกว่าการเดินหนด้วยวิทยุ แต่รวมถึงการเดินหนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ หรือเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เช่น GPS, AIS ฯ
International Maritime Organization	IMO	องค์การทางทะเล ระหว่างประเทศ	เป็นทบวงการชำนัญพิเศษของสหประชาชาติโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเป็นเวทีในการสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศสมาชิกในการกำหนดมาตรฐาน และแนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยในการเดินเรือ การคุ้มครองสิ่งแวดล้อมทางทะเล และการเดินเรืออย่างมีประสิทธิภาพ ประเด็นด้านกฎหมาย ความร่วมมือทางวิชาการ ความมั่นคงทางทะเล และการเดินเรืออย่างมีประสิทธิภาพ

International Association of Lighthouse Authorities	IALA	สมาคมประคารระหว่างประเทศ	หน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดหา การบำรุงรักษาประภาคารและเครื่องช่วยการเดินเรือในทะเล
Electronic Navigation Chart	ENC	แผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์	แผนที่เดินเรือ อิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนย่อยของฐานข้อมูลแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งอยู่บนเรือ มีข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะ ภูมิประเทศที่เป็นประโยชน์ต่อการเดินเรือ เช่น ชายฝั่ง สิ่งกีดขวางต่อการเดินเรือ กระโจมไฟ ฯลฯ
Electronic Chart Display and Information System	ECDIS	ระบบแสดงแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศเพื่อการเดินเรือ	ระบบสารสนเทศเพื่อการเดินเรือซึ่งถือว่าเท่าเทียมทางกฎหมายกับแผนที่เดินเรือ โดยแสดงผลสารสนเทศจากแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์ (ENC) ร่วมกับข้อมูลตำบลที่ และสามารถเลือกแสดงผลข้อมูลจากเซนเซอร์อื่น ๆ ได้ เช่น GPS/GNSS, Sounder, Radar
Automatic Identification System	AIS	ระบบ/อุปกรณ์แสดงตนอัตโนมัติ	ใช้สำหรับในกิจการ เดินเรือภายในประเทศหรือระหว่างประเทศ โดยกำหนดให้ เรือเดินทะเลระหว่างประเทศขนาดตั้งแต่ 300 ตันขึ้นไปและเรือเดินทะเลที่ไม่ได้เดินทางระหว่างประเทศขนาดตั้งแต่ 500 ตันขึ้นไป ต้องติดตั้งระบบ AIS ซึ่งอยู่ภายใต้กำหนดของ หน่วยงานทางทะเลระหว่างประเทศ IMO ตั้งแต่ช่วงต้นปี ค.ศ.2002 ด้วยการส่งสัญญาณวิทยุย่าน VHF แบบอัตโนมัติต่อเนื่อง
Vessel Traffic Service	VTS	การบริการจราจรทางน้ำ	การบริการที่ดำเนินการโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใด ๆ ซึ่งออกแบบมาเพื่อเพิ่มความปลอดภัย และประสิทธิภาพของการเดินเรือของการจราจร และการรักษาสิ่งแวดล้อม วิธีที่เอสอาจมีลักษณะของข้อความของข่าวสารง่าย ๆ ไปจนถึงการบริหารจัดการที่ซับซ้อนของการจราจรที่เกี่ยวข้องในระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จำโทภูวิศะ กิมตัน
วัน เดือน ปี เกิด	29 เมษายน 2536
สถานที่เกิด	อำเภอหาดใหญ่
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) หลักสูตรสาขาวิศวกรรมสำรวจ สาขา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรี วิชัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	18 ซอยอินทรรศ ถนนโชคสมาน1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110
ผลงานตีพิมพ์	1. ต่อลาภ การปลี้มจิตร ภูวิศะ กิมตัน จีรพัฒน์ ชูเกลี้ยง และมูสา ดนหมาน, 2559, “การศึกษาความเปลี่ยนแปลงของลักษณะภูมิประเทศพื้นที่ชายฝั่ง ทะเลที่เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำชายฝั่งทะเลบริเวณหาดขลาทัศน์ เทศบาลนครสงขลา” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21, วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559, ณ โรงแรม บีพี สมิหลา บีช จังหวัดสงขลา 2. จีรพัฒน์ จันทองพูน ต่อลาภ การปลี้มจิต สมใจ หมื่นจร ภูวิศะ กิมตัน, 2565, "การบูรณาการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อพัฒนาพื้นที่เพาะปลูก ยางพาราในระดับท้องถิ่น" การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 6, วันที่ 11-12 กุมภาพันธ์ 2565 3. ภูวิศะ กิมตัน และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2565, “การประเมินความ ถูกต้องทางตำแหน่งระหว่างข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS และ เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ DGNSS ในการเดินเรือ กรณีศึกษา ท่าเรือน้ำลึก จังหวัดสงขลา” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27 (กำลังเสนอตีพิมพ์)