

การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วย
ระบบดาวเทียม GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียวในพื้นที่ประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

POSITION ACCURACY EVALUATION USING THE CORRECTION OF THE SBAS COMBINED
WITH GPS FOR SINGLE POINT POSITIONING IN THAILAND



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 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียวในพื้นที่ประเทศไทย

โดย

นายพูนทรัพย์ ทะริ

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 ไวกสุระสิงห์)

พจนทรัพย์ ทะริ : การประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียวในพื้นที่ประเทศไทย. (POSITION ACCURACY EVALUATION USING THE CORRECTION OF THE SBAS COMBINED WITH GPS FOR SINGLE POINT POSITIONING IN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.เฉลิม ชนม์ สติระพจน์

Satellite Based Augmentation System (SBAS) เป็นระบบเสริมดาวเทียมที่ให้บริการค่าแก้สำหรับดาวเทียม GNSS ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริการเป็นบริเวณกว้างและมีการพัฒนาในประเทศต่างๆทั่วโลก เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้อยู่ในพื้นที่บริการแต่ก็รับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียวในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (Continuously Operating Reference Stations: CORS) จากกรมแผนที่ทหาร จำนวน 40 สถานี ในช่วงเดือนกันยายน 2562, เดือนธันวาคม 2562 และเดือนเมษายน 2563 และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ครอบคลุมประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดียวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) เป็นค่าพิกัดอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning: SPP) และการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning: SPP) ผลการศึกษาพบว่าปัจจุบันประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้งได้โดยเฉลี่ย

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170234821 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: single point positioning, SBAS, GAGAN, BDSBAS, SPAN

Phunsap Thari : POSITION ACCURACY EVALUATION USING THE CORRECTION OF THE SBAS COMBINED WITH GPS FOR SINGLE POINT POSITIONING IN THAILAND. Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

Satellite Based Augmentation System (SBAS) is the additional system that provide services for improving the accuracy of Global Navigation Satellite Systems (GNSS). The SBAS service supports wide-area and is recently developed in many countries around the world. Since Thailand is not located within the service area, Thailand can still receive the correction message from SBAS. This research, therefore, aims to study on an evaluation of positioning accuracy using the correction message from SBAS combined with standard positioning service from GPS in Thailand. Use of 40 CORS Stations operated by Royal Thai Survey Department during September 2019, December 2019, and April 2020. The results from the GPS Single Point Positioning technique (SPP) and the GPS Single Point Positioning technique (SPP) combined with SBAS messages are compared with the coordinate reference by using the GPS Precise Point Positioning technique (PPP). The research shows that Thailand can receive the correction message from 3 SBASs including SPAN, GAGAN, and BDSBAS. The above 3 SBASs cannot improve both the horizontal and vertical positioning results compared with the standard positioning service from GPS.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2020

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาในงานวิจัยนี้ ที่ให้แนวคิด คำแนะนำ คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งได้ถ่ายทอดความรู้ ความสามารถ ซึ่งมีคุณค่าและประโยชน์อย่างยิ่ง ให้ผู้เขียนสามารถทำงานสำเร็จลุล่วงเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ขอขอบคุณ อ.ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. ชาติชาย ไวยสุระสิงห์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง วิธีการและตรวจสอบ ซึ่งเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัยนี้ ทำให้งานวิจัยนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณ อ.ดร.ชัยยุทธ เจริญผล ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำปรึกษา แนะนำ และแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จบรรลุตามเป้าหมายที่คาดหวังไว้

ขอขอบคุณ คณาจารย์ทุกท่านทั้งที่ได้เอื้อนามและไม่ได้เอื้อนามที่เคารพอย่างยิ่งในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สั่งสอน ถ่ายทอดความรู้ ความสามารถทางด้านวิชาการ ให้คำแนะนำและปรึกษาซึ่งเป็นประโยชน์ยิ่งตลอดมา และขอขอบคุณ พี่น้องและเพื่อนนิสิตทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือ ได้แลกเปลี่ยนความรู้ ความสามารถ และมีมิตรภาพที่มีให้กันเสมอมา

ขอขอบคุณกรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย ที่สนับสนุนข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อบรมสั่งสอน ให้โอกาส ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาในทุก ๆ ด้าน สุดทำยนี้คุณประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ขอยกให้ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ตลอดไป

พูนทรัพย์ ทะริ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฑ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning: SPP).....	7
2.2 การประมวลผลการรับวัดตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP).....	9
2.3 รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square Error: RMSE).....	10
2.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD หรือ σ).....	10
2.5 Kruskal-Wallis Test.....	12
2.6 Satellite Based Augmentation System (SBAS).....	12
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	27

3.2 ขั้นตอนการประมวลผลและการเปรียบเทียบผลงานวิจัย.....	31
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย.....	33
4.1 ผลการประเมินในช่วงวันที่ 1-30 กันยายน 2562.....	33
4.2 ผลการประเมินในช่วงวันที่ 1-31 ธันวาคม 2562.....	42
4.3 ผลการประเมินในช่วงวันที่ 1-30 เมษายน 2563.....	51
4.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัย.....	66
5.1 อภิปรายผลการศึกษาวิจัย.....	66
5.2 สรุปผลการศึกษาวิจัย.....	74
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	80
ประวัติผู้เขียน.....	119



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	สรุปรูปแบบโครงสร้างข้อมูลค่าแก้ (Daniel Porras Sánchez & César Pisonero Berges, 2006).....	16
ตารางที่ 2	รูปแบบข้อความค่าแก้ SBAS (Enge et al., 2015) (Daniel Porras Sánchez & César Pisonero Berges, 2006).....	17
ตารางที่ 3	ค่า RMSE ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562	34
ตารางที่ 4	ค่า SD ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562	36
ตารางที่ 5	ค่า RMSE ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562	38
ตารางที่ 6	ค่า SD ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562	40
ตารางที่ 7	ค่า RMSE ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562.....	43
ตารางที่ 8	ค่า SD ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562.....	45
ตารางที่ 9	ค่า RMSE ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562.....	47

ตารางที่ 10 ค่า SD ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562 49

ตารางที่ 11 ค่า RMSE ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563 52

ตารางที่ 12 ค่า SD ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563 54

ตารางที่ 13 ค่า RMSE ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563 56

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่า SD ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563 58

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามวิธีการประมวลผล..... 61

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามฤดูกาล..... 62

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งแยกตามวิธีการประมวลผล..... 63

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งแยกตามฤดูกาล 65

ตารางที่ 19 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามวิธีการประมวลผล 72

ตารางที่ 20 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามฤดูกาล 72

ตารางที่ 21 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งแยกตามวิธีการประมวลผล..... 73

ตารางที่ 22 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแยกตามฤดูกาล	73
ตารางที่ ก-1 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผลของแต่ละวิธี.....	81
ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบการกระจายตัวของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี.....	82
ตารางที่ ก-3 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผลของแต่ละวิธี.....	84
ตารางที่ ก-4 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลของแต่ละวิธี	84
ตารางที่ ก-5 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN127	85
ตารางที่ ก-6 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN127.....	86
ตารางที่ ก-7 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128.....	87
ตารางที่ ก-8 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128.....	87
ตารางที่ ก-9 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128	88
ตารางที่ ก-10 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128.....	89
ตารางที่ ก-11 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล.....	90
ตารางที่ ก-12 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) แยก ตามฤดูกาล.....	90
ตารางที่ ก-13 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล	91
ตารางที่ ก-14 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล.....	92
ตารางที่ ก-15 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล	93
ตารางที่ ก-16 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแบบ GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล.....	93
ตารางที่ ก-17 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผลแต่ละวิธี	94

ตารางที่ ก-18 ผลการทดสอบการกระจายตัวของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผลแต่ละวิธี	94
ตารางที่ ก-19 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผลแต่ละวิธี	97
ตารางที่ ก-20 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผลแต่ละวิธี.....	97
ตารางที่ ก-21 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN127.....	98
ตารางที่ ก-22 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) และ sbas127	98
ตารางที่ ก-23 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128.....	99
ตารางที่ ก-24 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128.....	100
ตารางที่ ก-25 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128	101
ตารางที่ ก-26 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128.....	101
ตารางที่ ก-27 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล	102
ตารางที่ ก-28 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล.....	103
ตารางที่ ก-29 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม	104
ตารางที่ ก-30 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม	104
ตารางที่ ก-31 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน	105
ตารางที่ ก-32 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน.....	105
ตารางที่ ก-33 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน	106

ตารางที่ ก-34 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน	107
ตารางที่ ก-35 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล.....	108
ตารางที่ ก-36 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล.....	108
ตารางที่ ก-37 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม	109
ตารางที่ ก-38 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม	110
ตารางที่ ก-39 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน.....	111
ตารางที่ ก-40 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน.....	111
ตารางที่ ก-41 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน.....	112
ตารางที่ ก-42 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน	112
ตารางที่ ก-43 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล.....	114
ตารางที่ ก-44 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล.....	114
ตารางที่ ก-45 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN128 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม	115
ตารางที่ ก-46 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม	115
ตารางที่ ก-47 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือนกันยายน.....	116

ตารางที่ ก-48 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือนกันยายน.....	117
ตารางที่ ก-49 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือน ธันวาคม	118
ตารางที่ ก-50 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือนธันวาคม	118



สารบัญรูปรภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 การแสดงการใช้งานระบบดาวเทียม GPS ในด้านต่าง ๆ.....	1
รูปที่ 2 การแสดงสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) กรมแผนที่ทหาร.....	4
รูปที่ 3 การแสดงหาตำแหน่งแบบจุดเดียว.....	7
รูปที่ 4 การแสดงเทียบสัญญาณของรหัสระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)	8
รูปที่ 5 การแสดงพื้นที่ได้กราฟการแจกแจงปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	11
รูปที่ 6 การแสดงพื้นที่ให้บริการของระบบดาวเทียม SBAS (European GNSS Agency, 2020)....	13
รูปที่ 7 การแสดง GNSS Test Bed (Dammalage, De Silva, & Satirapod, 2017).....	14
รูปที่ 8 การแสดงองค์ประกอบของระบบ SBAS (Geoscience Australia, 2018).....	15
รูปที่ 9 การแสดงโครงสร้างของข้อมูล SBAS (Enge et al., 2015).....	16
รูปที่ 10 การแสดงตัวอย่างข้อมูล SBAS ของดาวเทียม GAGAN127.....	18
รูปที่ 11 การแสดงตัวอย่างค่าแก้ Ionospheric delay corrections.....	18
รูปที่ 12 การแสดงพื้นที่ให้บริการของระบบดาวเทียม GAGAN (Ganeshan et al., 2016).....	19
รูปที่ 13 การแสดงสถานีภาคพื้นดิน GAGAN (Ganeshan et al., 2016).....	20
รูปที่ 14 การแสดงโครงสร้างระบบดาวเทียม GAGAN (Ganeshan et al., 2016).....	20
รูปที่ 15 การแสดงพื้นที่ให้บริการของ BDSBAS APVI ความถี่เดียว (Chen, Jin, Li, & Qu, 2019). 21	21
รูปที่ 16 การแสดงสถานีภาคพื้นดิน BDSBAS และ IGP (Chen et al., 2019).....	22
รูปที่ 17 การแสดงโครงสร้างระบบดาวเทียม BDSBAS (Li et al., 2020).....	22
รูปที่ 18 การแสดงแผนผังขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
รูปที่ 19 การแสดงแผนขั้นตอนการประมวลผลและการเปรียบเทียบผลงานวิจัย.....	32

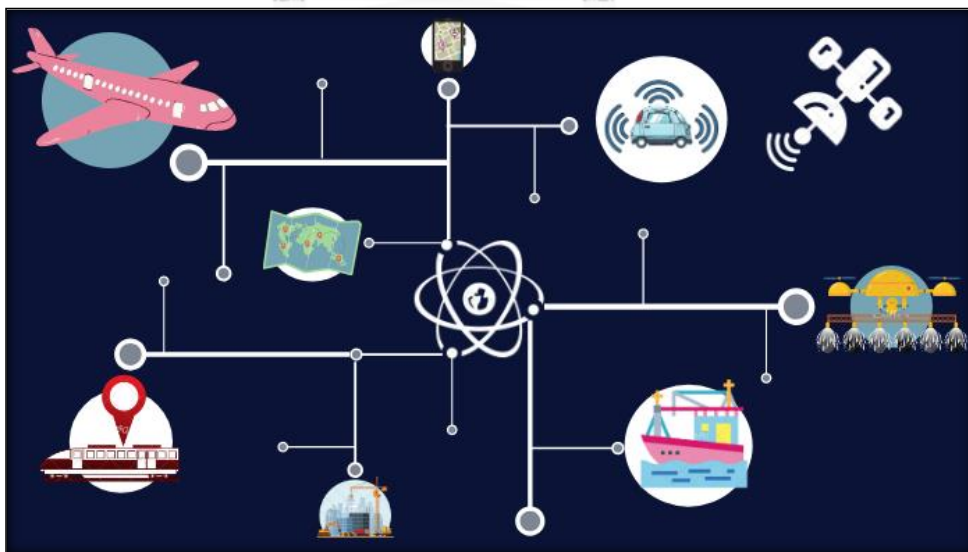
รูปที่ 29 การแสดงค่า SD ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563.....	55
รูปที่ 30 การแสดงค่า RMSE ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563.....	58
รูปที่ 31 การแสดงค่า SD ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563.....	60
รูปที่ 32 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล GAGAN127, GAGAN128, และ GPS เพียงอย่างเดียวได้ ในเดือนกันยายน 2562.....	67
รูปที่ 33 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล BDSBAS 130 ได้ ในเดือนธันวาคม 2562..	68
รูปที่ 34 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล GAGAN127, GAGAN128, และ GPS เพียงอย่างเดียวได้ ในเดือนธันวาคม 2562	69
รูปที่ 35 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล SPAN ได้ ในเดือนเมษายน 2563.....	70
รูปที่ 36 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล GAGAN127, GAGAN128, และ GPS เพียงอย่างเดียวได้ ในเดือนเมษายน 2563.....	71
รูปที่ ก-1 การแสดงการกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS (spp).....	82
รูปที่ ก-2 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127	82
รูปที่ ก-3 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN128	83
รูปที่ ก-4 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp).....	95
รูปที่ ก-5 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127	95
รูปที่ ก-6 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN128	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการรังวัดด้วยดาวเทียมได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System: GPS) เป็นระบบที่ใช้หาค่าพิกัดทางตำแหน่งที่พัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา ซึ่งปัจจุบันสัญญาณของระบบดาวเทียม GPS ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วโลก จึงมีการใช้ประโยชน์จากระบบดาวเทียม GPS มากมาย อาทิเช่น งานทำแผนที่และหมุดควบคุม งานตรวจจัดการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก งานควบคุมเครื่องจักรกล และงานสำรวจรังวัดทางตำแหน่ง ซึ่งค่าที่รังวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS และนำมาใช้ประโยชน์ในการคำนวณหาค่าพิกัดทางตำแหน่งที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และ เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phaser) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวที่เป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์โดยใช้วิธีซูโดเรนจ์ (Pseudorange) จะให้ค่าพิกัดทางตำแหน่งทันที ทำให้มีการประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในงานต่าง ๆ เช่น ด้านการเกษตร การเดินเรือ งานก่อสร้าง การติดตามรถยนต์และการบิน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับ 5-10 เมตร (Ernst & Young, 2019) ปัจจุบันจึงได้มีความพยายามปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งให้ดีขึ้น จึงมีการพัฒนาระบบเสริมดาวเทียมที่เรียกว่า Satellite Based Augmentation System (SBAS)



รูปที่ 1 การแสดงการใช้งานระบบดาวเทียม GPS ในด้านต่าง ๆ

Satellite Based Augmentation System (SBAS) เป็นระบบเสริมดาวเทียมที่ให้บริการค่าแก้สำหรับระบบดาวเทียม GNSS (Global Navigation Satellite System: GNSS) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริการเป็นบริเวณกว้างจึงมีการพัฒนาระบบเสริมดาวเทียม SBAS อย่างแพร่หลายในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เช่น สหรัฐอเมริกา คือ Wide Area Augmentation System (WAAS), สหภาพยุโรป คือ European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS), แอฟริกา คือ Agency for The Air Navigation in Africa and Madagascar (A-SBAS), ประเทศอินเดีย คือ GPS and GEO Augmented Navigation (GAGAN), สาธารณรัฐประชาชนจีน คือ BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS), เกาหลีใต้ คือ Korea Augmentation Satellite System (KAAS), สหพันธรัฐรัสเซีย คือ The System for Differential Corrections and Monitoring (SDCM), ประเทศญี่ปุ่น คือ Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS) และประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ คือ Southern Positioning Augmentation Network (SPAN) ตามลำดับ (European GNSS Agency, 2020) ซึ่งระบบดาวเทียม SBAS ของแต่ละประเทศจะให้ค่าแก้ที่แตกต่างกัน เมื่อนำค่าแก้ดังกล่าวประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS จะทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งแตกต่างกันด้วย และมีการปรับใช้งานจากการให้บริการของดาวเทียม SBAS ในพื้นที่ประเทศของตนเอง (Choy, Kuckartz, Dempster, Rizos, & Higgins, 2017) เนื่องจากประเทศไทยไม่ได้อยู่ในพื้นที่ให้บริการของดาวเทียม SBAS แต่ก็สามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียวในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (Continuously Operating Reference Station: CORS) จากกรมแผนที่ทหาร และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดียวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP) เป็นค่าพิกัดอ้างอิงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning: SPP) และการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning: SPP) ซึ่งประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวในพื้นที่ประเทศไทย

1.2.2 เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพระบบดาวเทียม SBAS ที่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์ด้านงานสำรวจด้วยดาวเทียมในพื้นที่ประเทศไทย

1.2.3 เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวในพื้นที่ประเทศไทย

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษาในงานวิจัย

1. ประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิงด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP) โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) กรมแผนที่ทหารเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยใช้การประมวลผลแบบออนไลน์ของ Australian Surveying and Land Information Group's Online GPS Processing Service (AUSPOS) (Geoscience Australia, 2020)

2. ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (SPP) โดยใช้ข้อมูลรังวัดของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) กรมแผนที่ทหารด้วยโปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013)

3. ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากฐานข้อมูลสาธารณะของประเทศฝรั่งเศส (Center national d'études spatiales: CNES) ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (SPP) โดยใช้ข้อมูลรังวัดของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS) กรมแผนที่ทหาร ด้วยโปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013)

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics Subscription (George & Mallery, 2019)

1.3.4 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

ใช้การประมวลผลออนไลน์ของ AUSPOS (Geoscience Australia, 2020) ในการประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิง จากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS_(PPP) และใช้โปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013) ในการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS_(PPP) เพียงอย่างเดียว, ค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS_(SPP), ใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics Subscription (George & Mallery, 2019) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS

1.3.5 การเปรียบเทียบผลการวิจัย

การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ ได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิง (PPP) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS_(PPP) เพียงอย่างเดียว
2. เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิง (PPP) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS_(SPP)

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล
2. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม

SBAS เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน

3. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล
4. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในการประมวลผลร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดียว ในพื้นที่ประเทศไทย

1.4.2 สามารถประยุกต์ใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่เหมาะสมในการประมวลผลร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดียว สำหรับพื้นที่ประเทศไทยในด้านต่าง ๆ เช่น งานสำรวจด้วยดาวเทียม เป็นต้น

1.4.3 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดียว ในพื้นที่ประเทศไทย

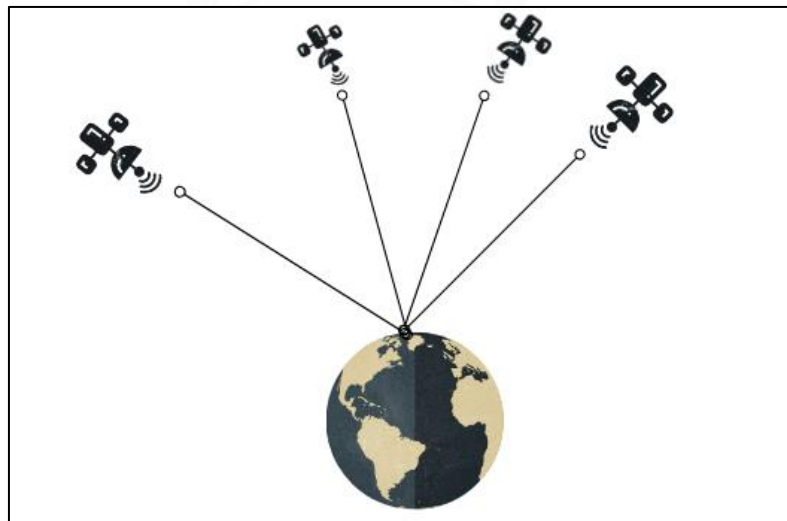
บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีแนวคิดประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวโดยอาศัยข้อมูลซูโดเรนจ์ (Pseudorange) เปรียบเทียบกับการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ซึ่งใช้เป็นค่าพิกัดอ้างอิงด้วยการใช้วิธีการทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการเปรียบเทียบผลการวิจัยในครั้งนี้ สามารถแสดงสมการค่าสังเกต (Observation Equation) และสมการทางสถิติที่ใช้เปรียบเทียบผลการวิจัยดังนี้

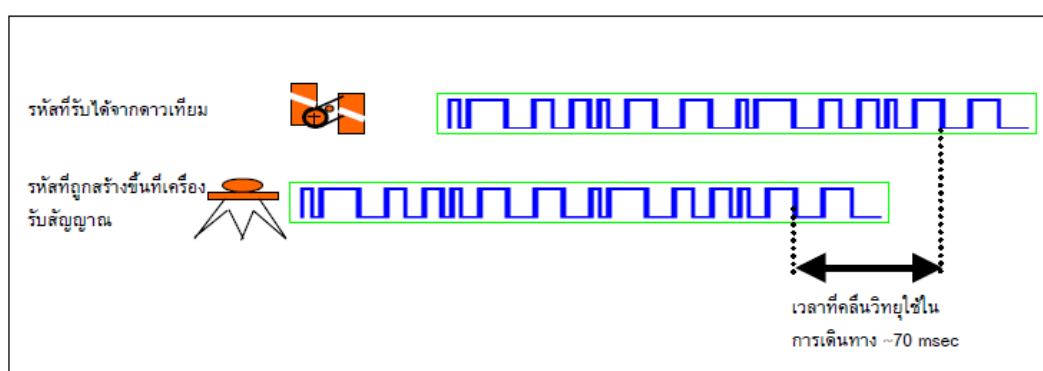
2.1 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning: SPP)

การหาตำแหน่งจุดเดี่ยวเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับ โดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว โดยปกติจะใช้วิธีการวัดซูโดเรนจ์ในการหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวนี้จำเป็นต้องวัดระยะไปยังดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อจะสามารถหาค่าพิกัด X, Y และ Z ได้เนื่องจากมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ 4 ตัว คือ ค่าพิกัดของจุด (X, Y, Z) 3 ตัว และค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาอีก 1 ตัว ฉะนั้นเมื่อทำการรังวัดไปยังดาวเทียมครบ 4 ดวง ก็จะสามารถหาตำแหน่งสัมบูรณ์ได้ทันทีจากเครื่องรับ ความถูกต้องของวิธีการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เมื่อใช้เครื่องรับแบบนำหนหรือแบบพกพา (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)



รูปที่ 3 การแสดงหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว

แนวคิดพื้นฐานของการวัดระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ เครื่องรับสัญญาณแต่ละตัวมีหน่วยความจำของตัวเองในแต่ละรหัสที่ดาวเทียมส่งมา เครื่องรับสัญญาณจะใช้ข้อมูลนี้สร้างรหัสภายในเครื่องรับสัญญาณ (Gregory, 1996) การวัดระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณหาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น ซึ่งจะเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกันค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้เดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548) ดังแสดงในรูปที่ 4 แสดงเทียบสัญญาณของรหัสระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ



รูปที่ 4 การแสดงเทียบสัญญาณของรหัสระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)

จากแนวคิดพื้นฐานเบื้องต้น เมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณจะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งเรียกว่า ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) ซูโดเรนจ์ที่ได้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ซึ่งสามารถแสดงสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทางดังต่อไปนี้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2548)

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(dt - dT) + \epsilon_p + \epsilon_R \quad (1)$$

จากสมการที่ (1)

- R คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (Pseudorange) (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)

- d_{trop} คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- c คือ ความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
- dt คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับสัญญาณ (วินาที)
- dT คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- ϵ_p คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
- ϵ_R คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

2.2 การประมวลผลการรังวัดตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP)

การประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP) เป็นวิธีการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยใช้ทั้งข้อมูลซูโดเรนจ์และเฟสของคลื่นส่ง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ที่ปรากฏในสมการที่ 2 และ 3 (ภคพงศ์ หอมเนียม, 2547) ได้แก่ ตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับสัญญาณ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และค่าเลขปริศนา โดยให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตรถึงเดซิเมตร ซึ่งสามารถแสดงสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีหน่วยระยะทางเป็นเมตรได้ดังนี้ (Kouba & Héroux, 2001)

$$\ell_p = \rho + c(dt - dT) + T_r + \epsilon_p \quad (2)$$

$$\ell_\phi = \rho + c(dt - dT) + T_r + N\lambda + \epsilon_\phi \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) และ(3)

ℓ_p คือ ซูโดเรนจ์จากการวัดรหัสของคลื่นส่งระหว่าง L1 กับ L2 ($2.54P_1 - 1.54P_2$) (เมตร)

ℓ_ϕ คือ ข้อมูลเฟสจากการวัดเฟสของคลื่นส่งระหว่าง L1 กับ L2 ($2.54P_1 - 1.54P_2$) (เมตร)

ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ (เมตร)

c คือ ความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

dT คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับสัญญาณ (วินาที)

T_r คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ (ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์) (เมตร)

N คือ เลขปริศนาของคลื่นส่งที่ผสมผสานระหว่าง L1 กับ L2 (ลูกคลื่น)

λ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่งที่ผสมผสานระหว่าง L1 กับ L2 (เมตร)

$\epsilon_p, \epsilon_\phi$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี และสัญญาณรบกวน (เมตร)

2.3 รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square Error: RMSE)

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) เพื่อประเมินค่าความแม่นยำทางตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้ง ซึ่งแสดงในสมการที่ 4 และสมการที่ 5 ตามลำดับดังต่อไปนี้ (Authority & Space Administration: Virginia, 1998)

2.3.1 ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ (Horizontal Accuracy)

$$RMSE_r = \sqrt{\sum((N_{data,i} - N_{check,i})^2 + (E_{data,i} - E_{check,i})^2)/n} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4)

$RMSE_r$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ (เมตร)

$N_{data,i}$, $E_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดทางราบจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร)

$N_{check,i}$, $E_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดอ้างอิงทางราบจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร)

i คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ที่ 1 วินาที

n คือ จำนวน Epoch

2.3.2 ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง (Vertical Accuracy)

$$RMSE_z = \sqrt{\sum(Z_{data,i} - Z_{check,i})^2/n} \quad (5)$$

จากสมการที่ (5)

$RMSE_z$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง (เมตร)

$Z_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดทางตั้งจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร)

$Z_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดอ้างอิงทางตั้งจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (เมตร)

i คือ ข้อมูลแต่ละ Epoch ที่ 1 วินาที

n คือ จำนวน Epoch

2.4 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD หรือ σ)

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อวัดการกระจายของข้อมูลซึ่งจะแสดงถึงคุณภาพของข้อมูล ใช้เปรียบเทียบข้อมูลว่ากระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมากน้อยเพียงใด หากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยน้อย และถ้าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่ามากแสดงว่าข้อมูลกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมาก หากข้อมูลมีการกระจายตัวห่างจากค่าเฉลี่ยมาก อาจทำให้ผลของงานวิจัยคลาดเคลื่อน ดังนั้นการวิเคราะห์ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) จึงควรพิจารณาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

ด้วย ซึ่งคิดค้นโดย ฟรานซิส กาลตัน (Mr. Francis Galton) ในปี ค.ศ. 1860 ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้ (Pearson, 2011)

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (6)$$

จากสมการที่ (6)

N คือ จำนวนตัวอย่าง

X_i คือ ค่าพิภคที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่าง (เมตร)

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของค่าพิภคที่วัดได้จากกลุ่มตัวอย่าง (เมตร)

การหาค่าความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้นกับจำนวนของการรังวัดที่เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 7 (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2549)

$$E_p = C_p \times \sigma_x \quad (7)$$

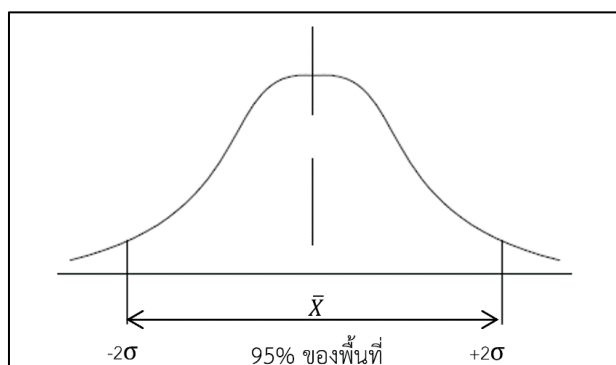
จากสมการที่ (7)

E_p คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เป็นไปได้ที่อัตราส่วนร้อยละ p ของการวัด 1 ครั้ง

C_p คือ ค่าสัมประสิทธิ์พื้นที่ใต้กราฟการแจกแจงปกติที่อัตราส่วนร้อยละ p

σ_x คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการแจกแจงปกติ

โดยค่าอัตราส่วนร้อยละ p จะบอกถึงระดับความเชื่อมั่น (Confidence level) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อน p ($-1.9599\sigma \leq \varepsilon \leq 1.9599\sigma$) (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2549) เมื่อนำค่าเฉลี่ยมาพล็อตเป็นกราฟการแจกแจงปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งพื้นที่ใต้กราฟการแจกแจงปกติ คือ จำนวนการรังวัดเท่ากับ 100% ดังนั้น ณ ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\pm 2\sigma$ ซึ่งมีพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ 95% สามารถอธิบายได้ว่าหากมีการรังวัด 100 ครั้ง จะมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ $\pm 2\sigma$ จำนวน 95 ครั้ง และอยู่นอกเกณฑ์ $\pm 2\sigma$ จำนวน 5 ครั้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% เป็นเกณฑ์ของการรังวัด



รูปที่ 5 การแสดงพื้นที่ใต้กราฟการแจกแจงปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.5 Kruskal-Wallis Test

การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบด้วยวิธี Kruskal-Wallis Test ซึ่งเป็นการทดสอบข้อมูลที่เป็นแบบ Non-parametric เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งและทางราบระหว่างกลุ่มตัวอย่าง โดยการกำหนดสมมติฐานดังต่อไปนี้ (Kruskal, 1952)

สมมติฐาน

$H_0 = u_1 = u_2 = \dots = u_c$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 = u_1 \neq u_2 \neq \dots \neq u_c$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งไม่มีความแตกต่างกัน)

เมื่อ $u_1 = u_2 = \dots = u_c$ เป็นค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของกลุ่มตัวอย่าง 1, 2, ..., c

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05)

2.6 Satellite Based Augmentation System (SBAS)

Satellite Based Augmentation System (SBAS) เป็นระบบเสริมดาวเทียมซึ่งสำนักงานการบินแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้ออกแบบมาเพื่อใช้งานด้านการบิน และประเทศกลุ่มสหภาพยุโรปได้ตระหนักถึงความจำเป็นของระบบเสริมดาวเทียมนี้ จึงได้มีแผนพัฒนาในเดือนมิถุนายน ค.ศ. 1996 และได้มีการประกาศใช้งานอย่างเป็นทางการเมื่อปี ค.ศ. 2011 ต่อมาประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาระบบเสริมดาวเทียมขึ้นมาที่เรียกว่า Multifunctional Satellite Augmentation System ในปี ค.ศ. 2003 (Dautermann, 2014) โดยระบบเสริมดาวเทียมจะให้บริการค่าแก้สำหรับระบบดาวเทียม GNSS ได้แก่ ค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำทางตำแหน่ง (ปทุมพร พวงเพ็ชร, 2560) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บริการเป็นบริเวณกว้าง ปัจจุบันมีการพัฒนาระบบเสริมดาวเทียม SBAS อย่างแพร่หลายในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 6 ทั้งให้บริการในปัจจุบันและกำลังพัฒนาเพื่อให้บริการในอนาคต อาทิเช่น (European GNSS Agency, 2020)

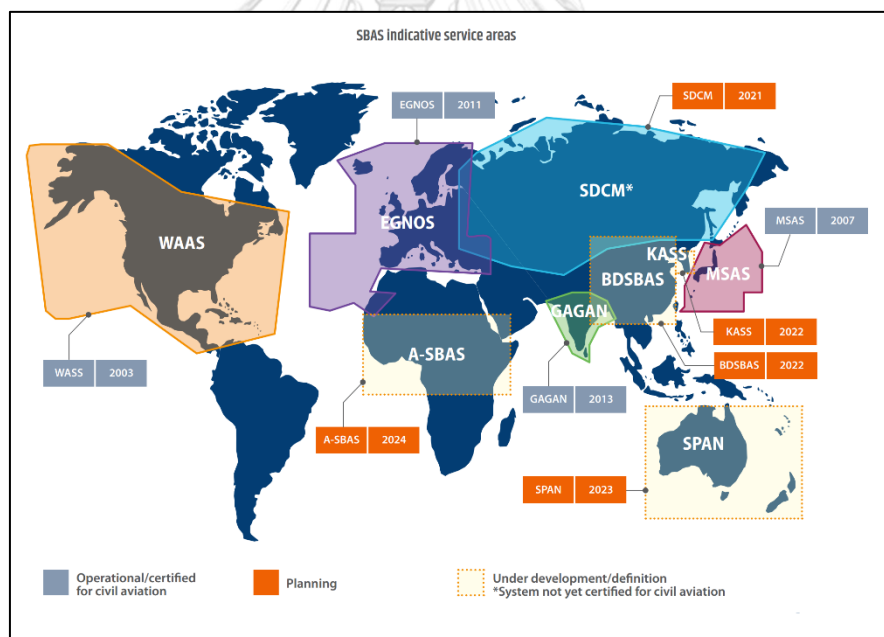
ระบบดาวเทียม SBAS ที่ให้บริการในปัจจุบัน มีดังต่อไปนี้

1. สหรัฐอเมริกา คือ Wide Area Augmentation System (WAAS)
2. ประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรป คือ European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS)

3. ประเทศอินเดีย คือ GPS and GEO Augmented Navigation (GAGAN)
4. ประเทศญี่ปุ่น คือ Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS)

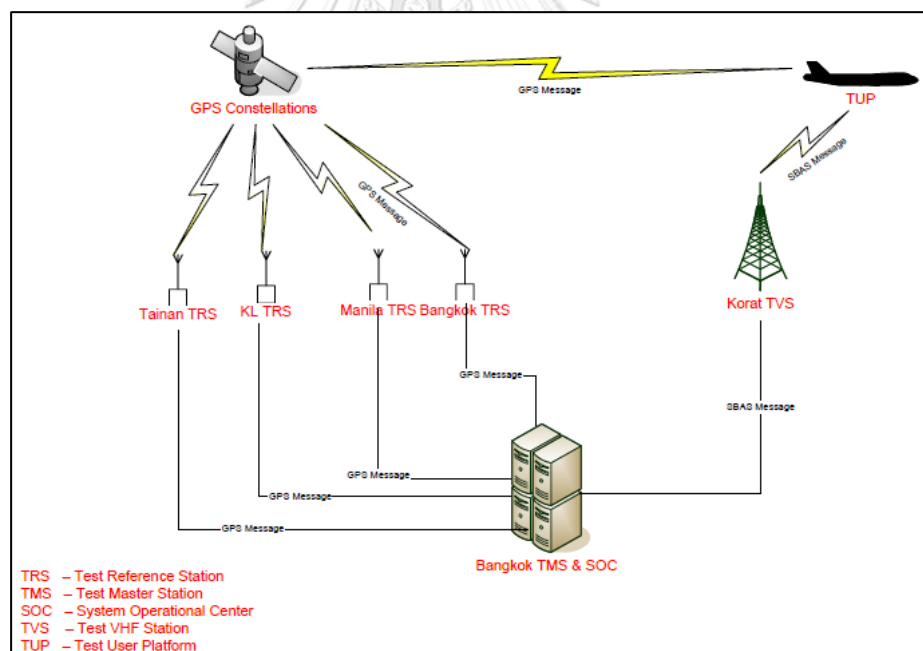
ระบบดาวเทียม SBAS ที่กำลังพัฒนาและมีแผนที่จะให้บริการในอนาคต มีดังต่อไปนี้

1. สหพันธรัฐรัสเซีย คือ The System for Differential Corrections and Monitoring (SDCM)
2. สาธารณรัฐประชาชนจีน คือ BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS)
3. ประเทศเกาหลีใต้ คือ Korea Augmentation Satellite System (KAAS)
4. ทวีปแอฟริกา คือ Agency for The Safety of Air Navigation in Africa and Madagascar (A-SBAS)
5. ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์ คือ Southern Positioning Augmentation Network (SPAN)



รูปที่ 6 การแสดงพื้นที่ให้บริการของระบบดาวเทียม SBAS (European GNSS Agency, 2020)

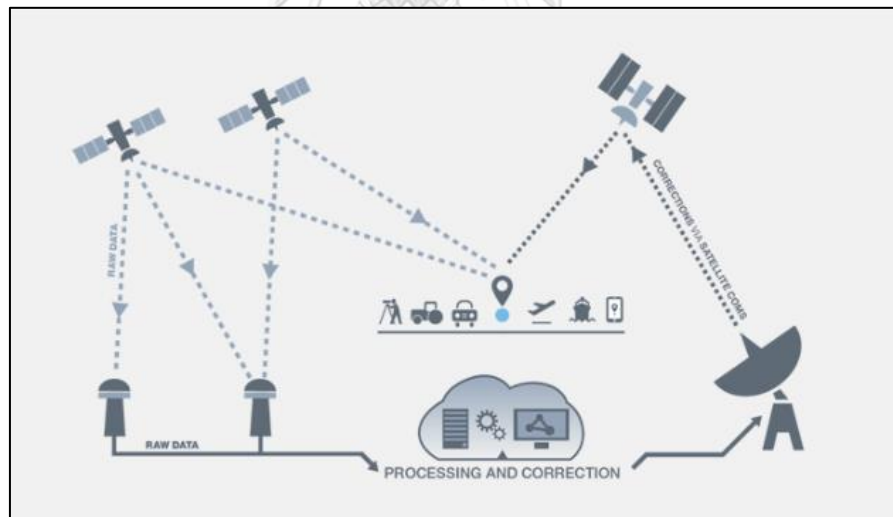
สำหรับประเทศไทย Pringvanich & Satirapod (2007) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึม SBAS โดยระบบ GNSS Test Bed ของภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก อีกทั้งได้อธิบายถึงระบบ GNSS Test Bed ของภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งโครงสร้างของระบบ GNSS Test Bed ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งประกอบด้วย Test Reference Station (TRS) จะรับข้อมูลมาจากดาวเทียม 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 ตามลำดับ



รูปที่ 7 การแสดง GNSS Test Bed (Dammalage, De Silva, & Satirapod, 2017)

2.6.1 Satellite Based Augmentation System (SBAS) มีองค์ประกอบดังนี้

1. Ground segment ประกอบด้วยส่วนของโครงข่ายสถานีควบคุม ทำหน้าที่รับสัญญาณจากระบบดาวเทียม GNSS แล้วส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังสถานีประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะทำหน้าที่ประมวลผลและสร้างข้อความ SBAS จากนั้นส่งข้อความ SBAS ไปที่สถานีควบคุมดาวเทียม GEO เพื่อสร้างสัญญาณและส่งข้อความ SBAS ขึ้นไปส่วนของ Space segment
2. Space segment ประกอบด้วย Geostationary satellites (GEO) ซึ่งเป็นดาวเทียมค้างฟ้า ทำหน้าที่รับสัญญาณและข้อความ SBAS จากสถานีควบคุมดาวเทียม GEO ส่งมาหลังจากนั้นดาวเทียม GEO จะส่งข้อมูล SBAS ที่เหมือนกับสัญญาณ GPS ไปยังผู้ใช้
3. User segment ประกอบด้วยผู้ใช้ประโยชน์จากข้อมูล SBAS ด้วยอุปกรณ์รับสัญญาณที่รองรับระบบ SBAS สำหรับงานตามที่ใช้ต้องการ
4. Support segment ทำหน้าที่ออกแบบ พัฒนา การบำรุงรักษา ตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพของระบบ SBAS และปรับปรุงแก้ไขดำเนินการด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบ SBAS



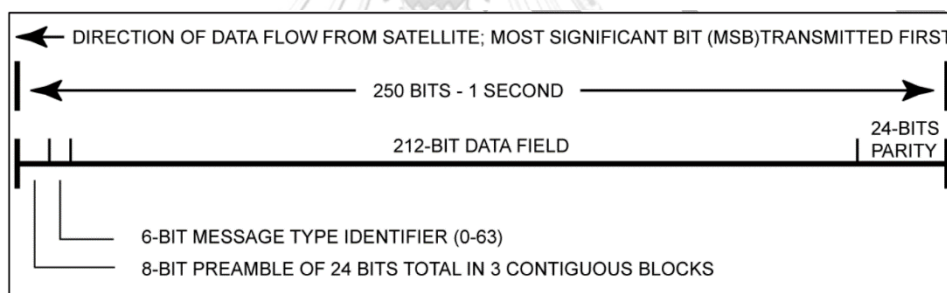
รูปที่ 8 การแสดงองค์ประกอบของระบบ SBAS (Geoscience Australia, 2018)

2.6.2 รูปแบบโครงสร้างข้อมูลค่าแก้ SBAS

ข้อมูลค่าแก้ SBAS จะถูกส่งไปยังผู้ใช้งานในทุก ๆ 1 วินาที (Enge, Enge, Walter, & Eldredge, 2015) ซึ่งใน 1 วินาทีจะมีข้อมูลจำนวน 250 บิต โดยจะแบ่งข้อมูลเป็น 4 ประเภท ได้แก่ Preamble จำนวน 8 บิต, Message type identifier จำนวน 6 บิต, Data field จำนวน 212 บิต

และ Parity information มีจำนวน 24 บิต ข้อมูลหลาย ๆ ข้อความจะรวมกันเป็น 250 บิต เพื่อสร้างค่าแก็งส่งไปยังผู้ใช้งานที่ต้องการใช้ค่าแก็งจากระบบดาวเทียม SBAS ดังแสดงในรูปที่ 9 และตารางที่ 1 ซึ่งรูปแบบข้อมูลค่าแก็งทั้ง 4 ประเภทดังกล่าวจะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้ (Daniel Porras Sánchez & César Pisonero Berges, 2006)

1. Preamble จำนวน 8 บิต ใน 8 บิตแรกจะเป็นการซิงโครไนซ์ข้อมูล ซึ่งในตำแหน่งบิตที่ 0 จะเป็นบิตที่สำคัญที่สุดเนื่องจากว่าเป็นบิตที่รับส่งข้อความเป็นบิตแรก
2. Message type identifier จำนวน 6 บิต เพื่อใช้ระบุประเภทของข้อความค่าแก็ง ซึ่งสามารถกำหนดข้อความที่แตกต่างกันได้จำนวน 64 ประเภท (0-63) แต่ในปัจจุบันใช้งานเพียง 20 ประเภทข้อความเท่านั้น
3. Data field จำนวน 212 บิต ประกอบด้วยข้อความค่าแก็งและระบบรักษาความปลอดภัยของข้อความค่าแก็งเพื่อให้ข้อความค่าแก็งครบถ้วนสมบูรณ์ จำนวน 64 ประเภทข้อความ
4. Parity information จำนวน 24 บิต ใช้เพื่อตรวจสอบความซ้ำซ้อนและตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่มในข้อความค่าแก็ง



รูปที่ 9 การแสดงโครงสร้างของข้อมูล SBAS (Enge et al., 2015)

ตารางที่ 1 สรุปรูปแบบโครงสร้างข้อมูลค่าแก็ง (Daniel Porras Sánchez & César Pisonero Berges, 2006)

Position in message	Name	Purpose
0-7	Preamble	Assure frame synchronisation
8-13	Message type identifier	Define the type of message
14-225	Data field	GIC/WAD information
226-249	Parity information	Redundancy & error checking

2.6.3 รูปแบบข้อความค่าแก้ SBAS

Data field จะบรรจุข้อความ 64 ประเภทข้อความใน 212 บิตและจะถูกระบุประเภทของข้อความด้วย Message type identifier จำนวน 6 บิต แต่ในปัจจุบันมีการใช้งานเพียง 20 ประเภท ซึ่งข้อความค่าแก้แต่ละประเภทจะมีการอัปเดตข้อความในช่วงระยะเวลาที่แตกต่างกัน เช่น ข้อความค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม Message Type 2-5 จะมีการอัปเดตข้อความทุก ๆ 6 วินาที ข้อความค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ Message Type 18, 26 จะมีการอัปเดตข้อความทุก ๆ 5 นาที เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2 (Enge et al., 2015)

ตารางที่ 2 รูปแบบข้อความค่าแก้ SBAS (Enge et al., 2015) (Daniel Porras Sánchez & César Pisonero Berges, 2006)

Message Type	Messages Contents	Update Period (sec.)
0	Don't use this GEO for safety-of-life (it is only for testing)	6
1	PRN Mask assignments, set up to 51 of 210 bits	120
2-5	Fast corrections (satellite clock error)	6-60
6	Integrity information (UDREI)	6
7	Fast correction degradation factors	120
9	GEO navigation message (X, Y, Z, time, etc.)	120
10	Degradation parameters	120
12	SBAS network time/UTC offset parameters	300
17	GEO satellite almanacs	300
18	Ionospheric grid point masks	300
24	Mixed fast/long term satellite error corrections	6-60
25	Long term satellite error corrections	120
26	Ionospheric delay corrections	300
27	SBAS service message	300
28	Clock/ephemeris covariance matrix	120
62	Internal test message	-
63	Null message	-

ในรูปที่ 10 แสดงตัวอย่างข้อมูล SBAS ของดาวเทียม GAGAN127 แสดงส่วนประกอบในไฟล์ RINEX มีรายละเอียดดังนี้คือ หมายเลข 1 แสดงรายละเอียดของไฟล์ RINEX, หมายเลข 2 จะเป็นเลข PRN ของดาวเทียม SBAS แต่ละระบบ ซึ่งในไฟล์ตัวอย่างข้างต้นเป็นของดาวเทียม GAGAN PRN127, หมายเลข 3 แสดงเวลาที่อัปเดตข้อมูล, หมายเลขที่ 4 แสดงประเภทของรูปแบบข้อความค่าแก้ SBAS ซึ่งในไฟล์ตัวอย่างแสดงข้อความค่าแก้หมายเลข 26 Ionospheric delay corrections และหมายเลข 5 เป็นข้อความค่าแก้ ค่าแก้แต่ละประเภทจะอัปเดตทุก ๆ 1 วินาทีผ่านรหัสดังแสดงข้างต้น และในรูปที่ 11 ได้แสดงตัวอย่างค่าแก้ Ionospheric delay corrections ของข้อความหมายเลข 26 ที่ถอดรหัสนับโปรแกรม SBAS TeACHER (European Space Agency, 2011)

Line	Text
1	2.12 B RINEX VERSION / TYPE
2	NTMF V2.3.1.10 CNES-NTMF 19/09/03 00:44 PGM / RUN BY / DATE
3	SBAS consolidation file for PRN 127 COMMENT
4	END OF HEADER
5	127 19 09 01 00 00 00 L1 32 0 SBA
6	26 53 69 84 07 80 3D 02 EF FF C0 1A 00 D0 06 00 30 03 80
7	0C 00 E0 0B 00 5A 04 DF FF E0 2F BD 0B 80
8	127 19 09 01 00 00 01.1 L1 32 0 SBA
9	63 9A FC 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
10	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 1C 87 77 40
11	127 19 09 01 00 00 02.1 L1 32 0 SBA
12	C6 FE BD 00 00 0D 02 A0 00 00 F0 00 28 04 00 53 C2 47 08
13	05 3B F0 4E 2F 00 00 00 00 00 31 E6 BA 80
14	19 09 01 00 00 03.1 L1 32 0 SBA
15	2 53 0A C0 05 FF C0 09 FF DF FC 06 40 01 FF DF FD FF C0
16	09 FF C0 19 7E BB 99 7B B9 B9 91 3C B1 40
17	127 19 09 01 00 00 04.1 L1 32 0 SBA
18	3 9A 0D DF FF FE 5F FF FE FF F8 02 1F FD FF FF F5 FF DF
19	FD FF DF FF A7 96 D7 BA 7B BB A7 59 F4 80
20	127 19 09 01 00 00 05.1 L1 32 0 SBA
21	4 C6 11 DF FC 00 9F FF FF DF FD FF FF F7 FA DF FD FF DF
22	FD FF DF FF 97 97 BB BB FF FF F3 25 66 C0
23	127 19 09 01 00 00 06.1 L1 32 0 SBA
24	63 53 FC 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
25	00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01 80 36 C0

รูปที่ 10 การแสดงตัวอย่างข้อมูล SBAS ของดาวเทียม GAGAN127

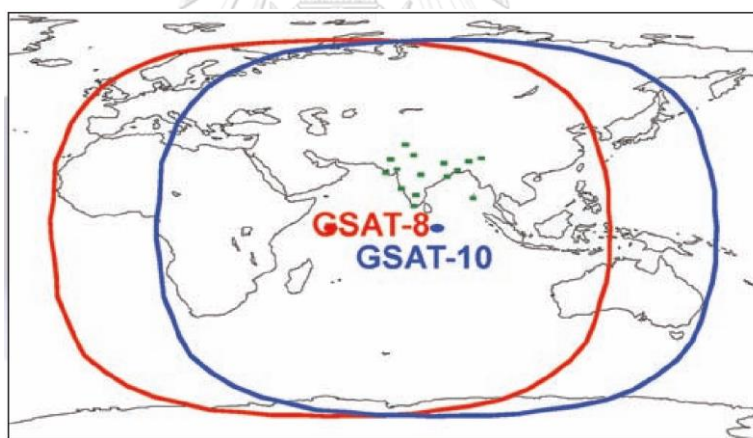
Grid Ionospheric Vertical Error (GIVE) and IGP Vertical Delay Estimate satellites 16-30 in IGP mask				
IGP	GIVEI	GIVE (meters)	σ_{GIVE}^2 (m ²)	IGP Vertical Delay Estimate
16	12	6.0	3.326	0.375 m
17	13	15.0	20.787	0.375 m
18	13	15.0	20.787	0.625 m
19	15	Not Monitored	Not Monitored	63.875 m
20	13	15.0	20.787	0.000 m

รูปที่ 11 การแสดงตัวอย่างค่าแก้ Ionospheric delay corrections

เนื่องจากระบบดาวเทียม SBAS แต่ละประเทศมีโครงสร้างของระบบการทำงานที่คล้ายคลึงกัน (Dautermann, 2014) ดังนั้นจึงขอยกตัวอย่างระบบดาวเทียม SBAS 2 ระบบ ได้แก่ GAGAN เป็นระบบดาวเทียม SBAS ของประเทศอินเดีย และ BDSBAS เป็นระบบดาวเทียม SBAS ของสาธารณรัฐประชาชนจีน

1. GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN)

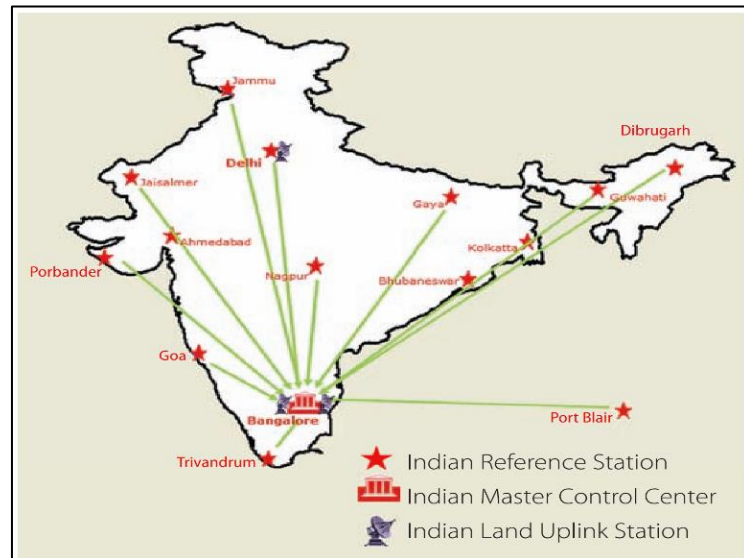
GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN) เป็นระบบ SBAS ที่พัฒนาร่วมกันระหว่าง The Indian Space Research Organization (ISRO) กับ Airports Authority of India (AAI) เป็นระบบดาวเทียมเสริมเพื่อปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของ Global Navigation Satellite System (GNSS) ให้บริการในประเทศอินเดียและพื้นที่บริเวณโดยรอบ (Ganeshan, Satish, KARTIK, NIRMALA, & Ramesh, 2016) ซึ่งครอบคลุมในพื้นที่ประเทศไทยด้วย ดังแสดงในรูปที่ 12 แสดงพื้นที่บริการของระบบดาวเทียม GAGAN และ The Directorate General of Civil Aviation (DGCA) ในประเทศอินเดียได้รับรองการดำเนินการของระบบดาวเทียมเสริม GAGAN ในเดือนธันวาคม 2013 (Dammalage et al., 2017)



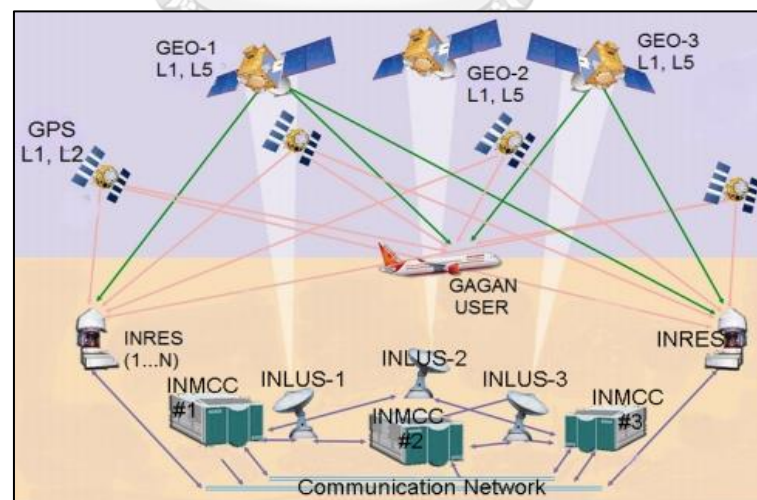
รูปที่ 12 การแสดงพื้นที่บริการของระบบดาวเทียม GAGAN (Ganeshan et al., 2016)

ระบบดาวเทียมเสริม GAGAN ประกอบด้วย Indian Reference Station (INRES) ทั้งหมด 15 สถานีทั่วประเทศอินเดีย ดังแสดงในรูปที่ 13 แสดงสถานีภาคพื้นดิน GAGAN จะรับข้อมูลมาจากดาวเทียม GPS และ GEO หลังจากนั้นจะส่งข้อความ GPS ไปยัง Indian Master Control Center (INMCC) มี 2 แห่ง ที่เมืองบังคาลอร์ ทำหน้าที่ประมวลผลและสร้างข้อความ SBAS และพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์ จากนั้นส่งข้อความ SBAS และพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์ จากนั้นส่งข้อความ SBAS และพารามิเตอร์ที่สมบูรณ์ไปยัง Indian Land Uplink Station (INLUS) ในทุก ๆ วินาที มี 3 แห่ง ซึ่งอยู่

ที่เมืองบังคาลอร์ 2 แห่ง และเมืองนิวเดลี 1 แห่ง ดังแสดงในรูปที่ 14 ทำหน้าที่ส่งออกข้อมูลในรูปแบบ C-band ไปดาวเทียม Geo ซึ่งประกอบด้วย GSAT-8 (PRN Signal Number 127) ที่ละติจูดที่ 55°E และGSAT-10 (PRN Signal Number 128) ที่ละติจูดที่ 83°E จะกระจายข้อมูล SBAS ไปยังผู้ที่ต้องการใช้งานในรูปแบบสัญญาณ L1 และL5 เพื่อใช้ร่วมกับการคำนวณค่าพิกัดที่รังวัดด้วยดาวเทียม GPS ในเครื่องรับสัญญาณของผู้ใช้งาน (Ganeshan et al., 2016)



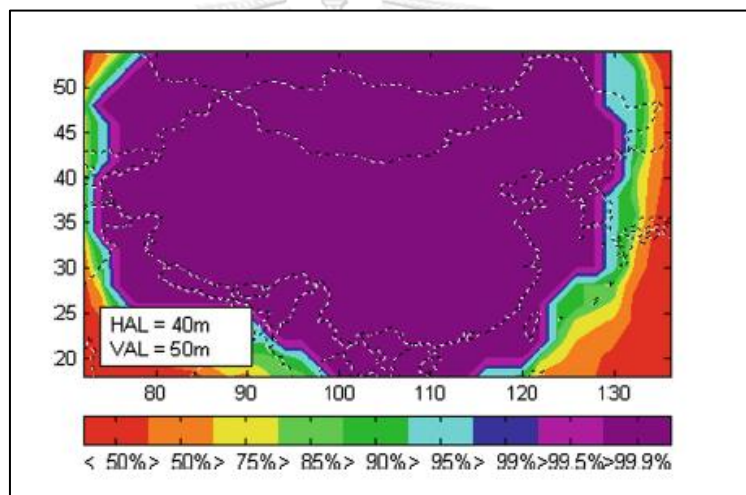
รูปที่ 13 การแสดงสถานีภาคพื้นดิน GAGAN (Ganeshan et al., 2016)



รูปที่ 14 การแสดงโครงสร้างระบบดาวเทียม GAGAN (Ganeshan et al., 2016)

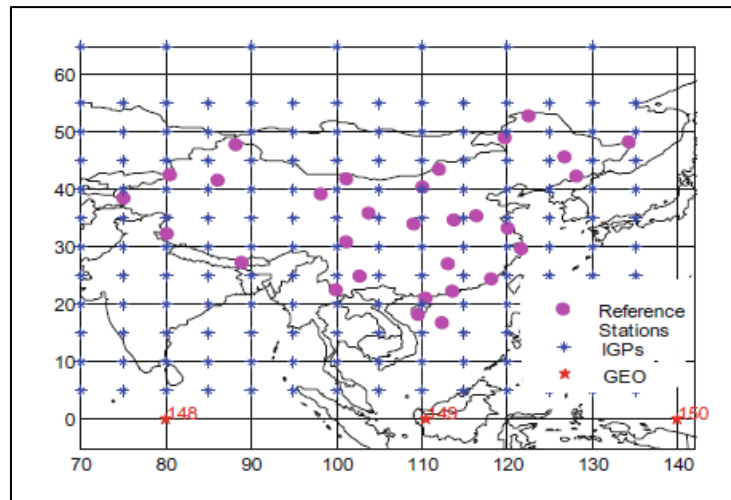
2. BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS)

BeiDou Satellite-Based Augmentation System (BDSBAS) เป็นระบบดาวเทียมเสริมที่พัฒนาโดยสาธารณรัฐประชาชนจีน เริ่มให้บริการบนดาวเทียม GEO-1 (BDSBAS PRN Signal Number 130) ที่ละติจูดที่ 80°E (Li et al., 2020) เป็นระบบเสริมบริการค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อปรับปรุงค่าพิกัดแก่ BDSBAS (Liu et al., 2019) ให้บริการในประเทศจีนและพื้นที่ใกล้เคียง ดังแสดงในรูปที่ 15 แสดงพื้นที่ให้บริการของ BDSBAS APVI ความถี่เดียว, BDSBAS ให้บริการ 2 โหมด คือ ความถี่เดียวและสองความถี่, หลายความถี่ตามมาตรฐาน ICAO SARPs ซึ่ง SF ให้ค่าเท่ากับ GPS ในสัญญาณ L1 C/A สำหรับบริการด้านการบิน (Bao, Li, Liu, Liu, & Shao, 2019)

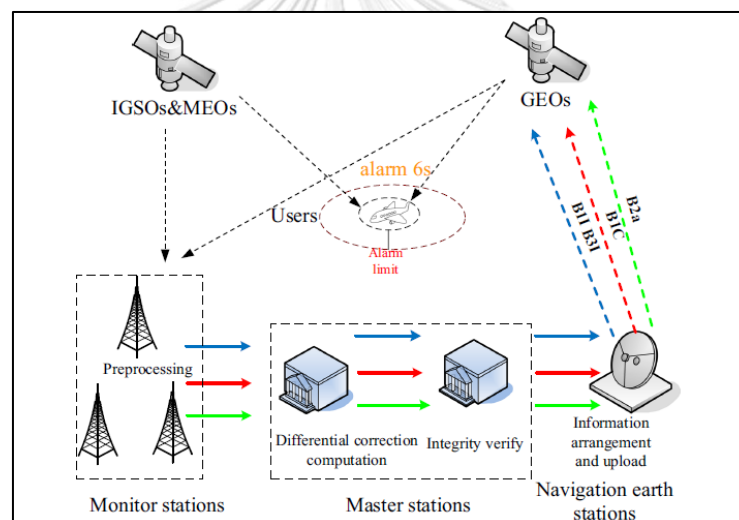


รูปที่ 15 การแสดงพื้นที่ให้บริการของ BDSBAS APVI ความถี่เดียว (Chen, Jin, Li, & Qu, 2019)

BDSBAS ประกอบด้วยส่วนภาคพื้นดินมีศูนย์ควบคุม ศูนย์ประมวลผลข้อมูล Monitoring Station (MS) และ Uplink Station ที่กระจายอยู่ทั่วสาธารณรัฐประชาชนจีน ดังแสดงในรูปที่ 16 แสดงสถานภาคพื้นดิน BDSBAS และ IGP's ซึ่งจะทำการส่งข้อความ SBAS ผ่านสัญญาณ B1C และ B2a ไปยังผู้ใช้งานผ่านดาวเทียม GEO (Li et al., 2020) ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียม GEO 3 ดวง (อยู่ที่ 80°E, 110.5°E และ 140°E) และส่วนของผู้ใช้งาน (Chen et al., 2019) ดังแสดงในรูปที่ 17 แสดงโครงสร้างระบบดาวเทียม BDSBAS



รูปที่ 16 การแสดงสถานีภาคพื้นดิน BDSBAS และ IGPs (Chen et al., 2019)



รูปที่ 17 การแสดงโครงสร้างระบบดาวเทียม BDSBAS (Li et al., 2020)

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดียว ในพื้นที่ประเทศไทยและเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพระบบดาวเทียม SBAS ที่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์ด้านการสำรวจด้วยดาวเทียม ในพื้นที่ประเทศไทย โดยการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ โดยที่ผ่านมามีเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ คือ

El-Mowafy, Cheung & Rubinov (2020) ได้ศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม SBAS Generation 2 ของประเทศออสเตรเลีย เพื่อประเมินความแม่นยำการระบุตำแหน่งยานพาหนะโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เมื่อเปรียบเทียบกับ การหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว เป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้วิธี Kinematic test ทดสอบในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 4 ประเภท คือ ชานเมือง: ซึ่งมีอาคารที่มีความสูงไม่เกินสามชั้น, เมืองที่มีความหนาแน่นต่ำ: มีอาคารไม่สูงมากและอาคารสูงบนถนนด้านหนึ่ง, เมืองที่มีความหนาแน่นสูง: มีอาคารสูงบนถนนใหญ่และถนนที่ต้นไม้ปกคลุมถนนหนาแน่นทั้งสองด้านโดยเปรียบเทียบ SBAS L1, Dual-frequency Multi-constellation SBAS-based (DFMC) และ PPP ผลจากการศึกษาพบว่าสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทำให้ประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งแตกต่างกัน ความพร้อมในการใช้งานของระบบดาวเทียม SBAS และ PPP มีค่าตั้งแต่ 30% ไปถึง 90% ค่าความแม่นยำตั้งแต่ 0.3 เมตรถึง 3 เมตร ทั้งในสภาพแวดล้อมที่โปร่งใสและเรขาคณิตของดาวเทียมที่ดีทำให้ความแม่นยำทางตำแหน่งดีขึ้น ต่อมา Nie et al. (2019) ได้ศึกษาการประเมินค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บนสัญญาณ SBAS L1 ในระบบดาวเทียม SBAS ที่ให้บริการ 5 ระบบ คือ WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, และSDCM โดยใช้ข้อมูล 181 วัน (ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2561 ถึง 30 มิถุนายน 2561) จากการศึกษาพบว่าระบบดาวเทียม EGNOS มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบเสริมดาวเทียมระบบอื่น ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบเท่ากับ 0.645 เมตร และมีค่าความถูกต้องของค่าแก้จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เท่ากับ 0.491 เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่าความถูกต้องของ SDCM เท่ากับ EGNOS ที่มีค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบเท่ากับ 0.650 เมตร มีค่าความถูกต้องของค่าแก้จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เท่ากับ 0.523 เมตร WAAS มีค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบเท่ากับ 0.954 เมตร มีค่าความถูกต้องของค่าแก้จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เท่ากับ 0.505 เมตร และความถูกต้องของค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS จากระบบ MSAS และ GAGAN ต่ำกว่าระบบอื่นที่มีค่าคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบเท่ากับ 1.931 เมตร และ 1.325 เมตร ตามลำดับ มีค่าความถูกต้องของค่าแก้จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เท่ากับ 0.795 เมตร และ 0.858 เมตร ตามลำดับ และได้ทำการประเมินค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในสัญญาณ GPS ผลการประเมินพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในทางกลับกันค่าความถูกต้องของการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ดีกว่าค่าแก้จากดาวเทียม GPS สำหรับเครื่องรับสัญญาณแบบความถี่เดียว อีกทั้ง Ramu, Srinivas & Jyothirmaye (2019) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการหาตำแหน่ง GNSS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS การนำทางด้วย multi-GNSS นั้นสามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งส่วนใหญ่

สามารถอธิบายด้วยค่าความถูกต้องและความแม่นยำ เมื่อเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง การศึกษาดังกล่าวได้ประเมินความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลของดาวเทียม multi-GNSS (GPS, GLONASS และ Galileo) พร้อมกับสัญญาณระบบดาวเทียม SBAS จากเครื่องรับสัญญาณ GNSS ที่สถานี Geethanjali College of Engineering and Technology (GCET) ในเมืองไฮเดอราบัด ประเทศอินเดีย ในวันที่ 9 ตุลาคม 2561 ซึ่งมีระบบดาวเทียม SBAS ให้บริการคือ GAGAN, WAAS และ MTSAT โคจรเหนือ่านฟ้า ของเครื่องรับสัญญาณ 6 ดวง มีดาวเทียมมากที่สุด 22 ดวง น้อยสุด 17 ดวง ตลอด 24 ชั่วโมง โดยหาค่าความถูกต้องด้วยค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งทั้งแนวราบและแนวตั้งด้วย 2D-RMSE และ 3D-RMSE จากการศึกษาดังกล่าวพบว่ามีค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งแบบ 2D-RMSE และ 3D-RMSE ประมาณ 1.25 เมตร ซึ่งค่าพิกัดของสถานีอ้างอิง GCET คือ X (1199419.675 m.), Y (5965113.290 m.) และ Z (1908094.816 m.) อีกทั้งในปีเดียวกัน Jung, Park & Jeong (2019) ได้ศึกษาการประเมินความแม่นยำในการระบุตำแหน่งยานพาหนะของ GNSS โดยใช้การอ้างอิง SLAM3-D เพื่อปรับปรุงความแม่นยำทางตำแหน่งและสร้างแผนที่สามมิติ ซึ่งจะประเมินความแม่นยำของตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ GPS ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ GPS อย่างเดียว, SBAS-GPS และ RTK-GPS ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันสองแห่ง คือ ถนนที่ไม่เบดบังวิสัยทัศน์ใน Pusan National University และถนนที่มีอาคารสูงโดยใช้ Real-time 3DSLAM Position ซึ่งเป็นค่าพิกัดอ้างอิง ผลจากการศึกษาได้แสดงค่า RMSE และค่า experimental Circular Error Probability (eCEP) ซึ่งค่า eCEP เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง GPS ผลการทดสอบบนถนนที่ไม่เบดบังวิสัยทัศน์ใน Pusan National University แสดงให้เห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของ RTK-GPS ให้ความแม่นยำที่ดีที่สุดมีค่า RMSE เท่ากับ 1.18 เมตร ส่วน GPS อย่างเดียว และ SBAS-GPS มีค่า RMSE เท่ากับ 1.88 เมตร และ 3.51 เมตร ตามลำดับ และผลการทดสอบบนถนนที่มีอาคารสูง แสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของ RTK-GPS ให้ความแม่นยำที่ลดลง มีค่า RMSE เท่ากับ 42.60 เมตร ส่วน GPS อย่างเดียว มีค่า RMSE เท่ากับ 23.70 เมตร และ Dammalage (2019) ได้ศึกษา Application of Indian Space-based Augmentation Service ในการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ในประเทศศรีลังกา เพื่อตรวจสอบให้บริการของ GAGAN ที่เป็นบริการเสริมสำหรับการหาตำแหน่งมีแอปพลิเคชันนำทางที่มีความน่าเชื่อถือและคุ้มค่าในพื้นที่ประเทศศรีลังกา ซึ่งทดสอบเก็บข้อมูลในรูปแบบจุด เส้น และเชิงพื้นที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดแตกต่างกันเพื่อทดสอบการใช้งานและความแม่นยำของ GAGAN ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง 3D ด้วยวิธี Standard Positioning Service (SPS) เทียบกับค่ารังวัดเฟสของคลื่นส่ง DGPS มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น 70% และ 78% สำหรับการรังวัดด้วย GAGAN และ DGPS ตามลำดับเมื่อเทียบกับการรังวัดด้วย Garmin Etrex 10 และค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนของการรังวัดเชิงเส้น และเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Standard Positioning Service (SPS) ด้วยการใช้ GAGAN มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น

79% และ 83% ตามลำดับและการรังวัดแบบ DGPS มีค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้น 86% สำหรับการรังวัดเชิงเส้นและเชิงพื้นที่ จากผลการศึกษานี้ยืนยันได้ว่า GAGAN สามารถปรับปรุงความถูกต้องของการรังวัดข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างแม่นยำใกล้เคียงกับ DGPS โดยไม่ต้องใช้สถานีอ้างอิงหรือสถานี CORE นอกจากนี้ Khasuwan et al. (2018) ได้ศึกษาประสิทธิภาพและนำเสนอโครงสร้าง Test Bed ของระบบดาวเทียม SBAS ใน Generation 2 ในประเทศไทยด้วย Dual Frequency Multi-Constellation (DFMC) พัฒนามาจาก Generation 1 เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการตอบสนองแก่ผู้ใช้งานอีกทั้งประเมินความเหมาะสมของ DFMC SBAS ด้านการบินและการใช้งานด้านอื่น ๆ ติดตั้งสถานีควบคุมที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในเดือนกันยายน 2561 รับสัญญาณดาวเทียม Inmarsat4-F1 พัฒนาโดย Geoscience Australia (GA) กับ Land Information New Zealand (LINE) และ The Cooperative Research Centre for Spatial Information (CRCSI) ปล่อยสัญญาณครอบคลุมพื้นที่เอเชียแปซิฟิกรวมถึงประเทศไทยด้วย ผลการศึกษาพบว่า สถานีอ้างอิงท้องถิ่นมีผลกระทบกับการรังวัด ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากอัตราส่วนระหว่างคลื่นส่งกับสัญญาณรบกวนจะมีค่าลดลงเมื่อถูกรบกวนโดยสถานีอ้างอิงท้องถิ่น ผลลัพธ์จากการศึกษาข้างต้นโครงการสถานีควบคุม SBAS Test Bed Generation 2 ในประเทศไทยซึ่งเป็นบริเวณเส้นศูนย์สูตรให้ค่าความเชื่อมั่นที่สูงตามวัตถุประสงค์ของมาตรฐาน ICAO กำหนดสำหรับการบินรวมทั้งเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำและก่อนหน้า Puangpet (2018) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมสากลแบบต่อเนื่องของกรมที่ดินจำนวน 11 สถานี และของกรมโยธาธิการและผังเมืองจำนวน 11 สถานี ใช้ข้อมูล GPS ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 31 มีนาคม 2560 การเปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยค่า RMSE และค่า SD เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิงที่ประมวลผลการรังวัดทางตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS_(SPP) เพียงอย่างเดียว, ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN_(SPP), ค่าพิกัด GPS ใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN_(SPP) ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model, ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นไม่เหมาะสมกับประเทศไทยเมื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model และค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ดีกว่าในบางพื้นที่ของประเทศไทย และก่อนหน้า Dammalage et al. (2017) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ GAGAN ใน

พื้นที่ประเทศศรีลังกา การศึกษาในครั้งนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาวิเคราะห์การปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในประเทศศรีลังกาซึ่งอยู่นอกพื้นที่ประเทศเดียว การทดสอบประสิทธิภาพดังกล่าวใช้เครื่องรับสัญญาณ GNSS 1 เครื่องกำหนดให้รับสัญญาณ SBAS และเครื่องรับสัญญาณ GNSS อีก 2 เครื่องให้รับสัญญาณ GPS แบบจุดเดี่ยว ใช้สถานีควบคุมทั้ง 7 แห่ง 6 อำเภอ ในประเทศศรีลังกา ได้แก่ Narammala, Athugala, Gannoruwa, Kegalle, Homagama, Ambalangoda และ Mathara ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสถานีที่ทดสอบโดยใช้ค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN แสดงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าไม่ใช้ค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ในสถานีควบคุมทั้ง 7 สถานี มี 5 สถานีที่มีค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง 3D น้อยกว่า 1 เมตร อีกทั้ง 79% ของการวิ่งวัด (จากการวิ่งวัด 24 ชั่วโมง) แสดงค่าความแม่นยำของตำแหน่ง 3D ที่ยอมรับได้น้อยกว่า 1 เมตร สำหรับแอปพลิเคชันการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่หลายแห่ง อย่างไรก็ตามการใช้ DGPS ท้องถิ่นมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าค่าแก้จาก GAGAN โดยมีการวิ่งวัดเกือบ 85% มีข้อผิดพลาดทางตำแหน่ง 3D น้อยกว่า 1 เมตร และ Tsai & Low (2014) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพการให้บริการระบบดาวเทียม SBAS ของ GAGAN และ MSAS ที่ขยายพื้นที่ให้บริการไปยังประเทศสิงคโปร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอรูปแบบการผสมผสานของข้อความจากระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งมีการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อความก่อนนำมาใช้ประโยชน์จากค่าแก้ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม SBAS ในพื้นที่ประเทศสิงคโปร์ ซึ่งไม่ได้อยู่ในเขตบริการของระบบดาวเทียม GAGAN และ MSAS ในงานวิจัยดังกล่าวได้ประเมินคุณภาพของสัญญาณจากนั้นจะเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐานการบิน การผสมผสานกันของข้อความจากระบบดาวเทียม GAGAN และ MSAS ที่พัฒนาขึ้นจะเป็นแนวทางพัฒนาระบบบริการดาวเทียมเสริมในประเทศสิงคโปร์ต่อไป โดยรับสัญญาณดาวเทียม GPS รองรับระบบดาวเทียม SBAS เก็บข้อมูลระบบดาวเทียม 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% ของค่าคลาดเคลื่อนในแนวราบและแนวตั้ง จากผลการศึกษาพบว่าค่าความถูกต้องโดยใช้ค่าแก้ MSAS และ GAGAN ในโหมด NPA มีค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งเท่ากับ 2.43 เมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งเท่ากับ 3.07 เมตร ดีกว่า SPS ที่มีค่าคลาดเคลื่อนทางราบเท่ากับ 2.89 เมตร และมีค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งเท่ากับ 3.47 เมตร แต่ค่าคลาดเคลื่อนทางราบในโหมดของ PA เท่ากับ 2.52 เมตร ใกล้เคียงกับ NPA จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าระบบดาวเทียม SBAS ทั้งสองสามารถใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการนำทาง

ในประเทศสิงคโปร์ด้วยค่าแก๊สที่รวดเร็ว ค่าคลาดเคลื่อนทางราบจะลดลงประมาณ 0.45 เมตร และความแม่นยำในทางดิ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.40 เมตร การใช้ PA จะมีค่าคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากประเทศสิงคโปร์ไม่ได้อยู่ในเขตบริการของระบบดาวเทียม SBAS อีกทั้งยังตั้งอยู่บนเส้นศูนย์สูตรและแม้ว่าสิงคโปร์ไม่ได้อยู่ในเขตบริการ MSAS และ GAGAN ประสิทธิภาพการนำทางของ NPA สามารถใช้งานได้มากกว่า 99%



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอน วิธีการดำเนินงาน ขั้นตอนการประมวลผลและการเปรียบเทียบผลงานวิจัย เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS
- 3.1.2 ตรวจสอบรวบรวม จัดเก็บข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS) กรมแผนที่ทหารจำนวน 40 สถานี และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยจากฐานข้อมูลสาธารณะของประเทศฝรั่งเศส (Center national d'études spatiales: CNES)
- 3.1.3 ศึกษาการประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิงจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS_(PPP) แบบออนไลน์ของ AUSPOS (Geoscience Australia, 2020) , โปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013) ในการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS_(SPP) เพียงอย่างเดียว, ค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS_(SPP) และโปรแกรม IBM SPSS Statistics Subscription (George & Mallery, 2019) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS
- 3.1.4 จัดเก็บข้อมูลและทำการประมวลผลข้อมูลของงานวิจัย มีดังต่อไปนี้
 1. ประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิง ด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP) โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) จากกรมแผนที่ทหาร เป็นระยะเวลา 7 วัน โดยประมวลผลแบบออนไลน์ของ AUSPOS (Geoscience Australia, 2020)
 2. ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (SPP) โดยใช้ข้อมูลสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) จากกรมแผนที่ทหาร โดยใช้โปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013)

3. ประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดียว (SPP) โดยใช้ข้อมูลสถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงถาวร (CORS) ของกรมแผนที่ทหารโดยใช้โปรแกรม RTKLIB ver.2.4.2 (Takasu, 2013)
4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics Subscription (George & Mallery, 2019)

3.1.5 การเปรียบเทียบผลการวิจัย

การเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้ง ด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนี้

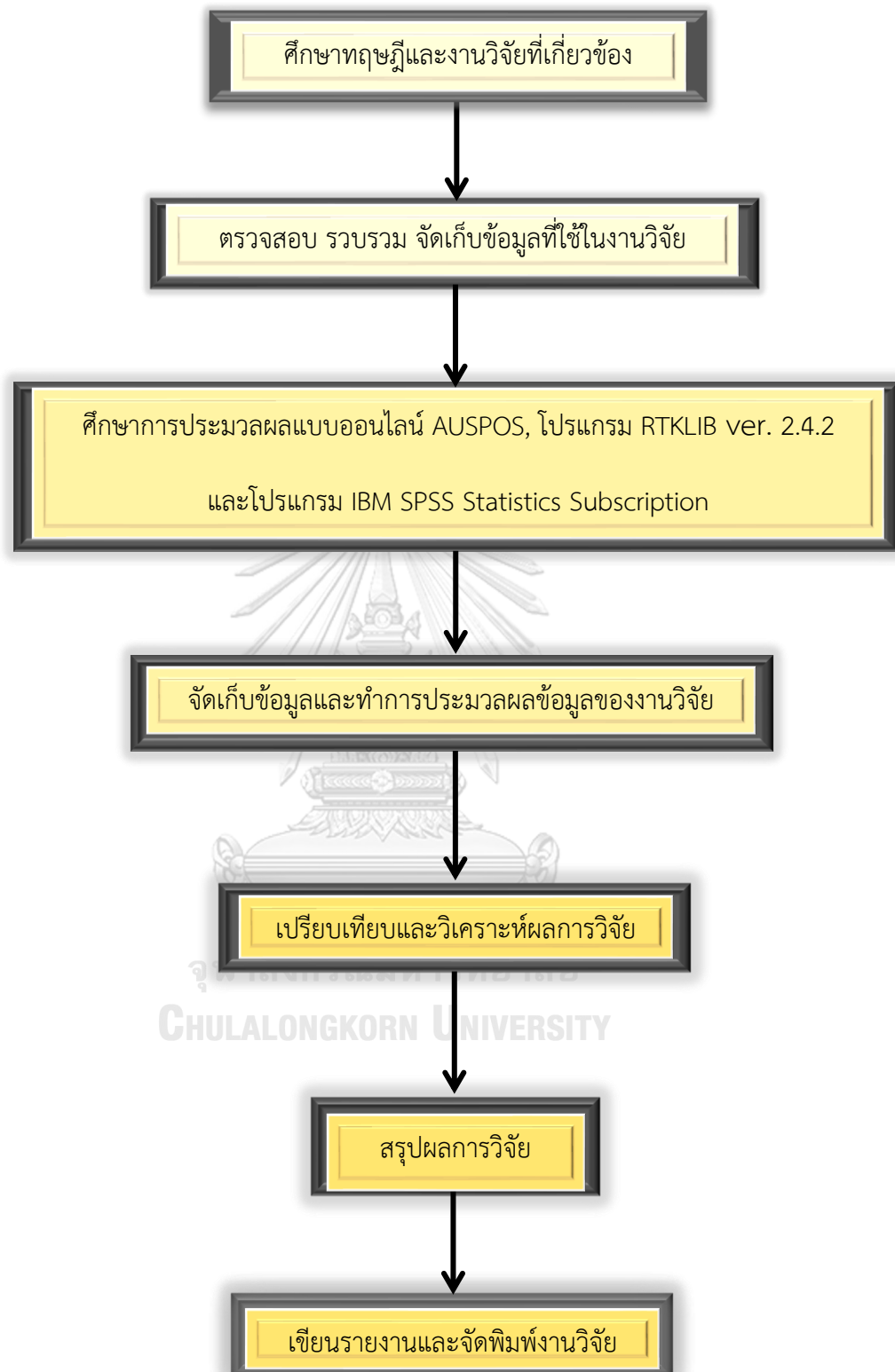
1. เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิง (PPP) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS_(SPP) เพียงอย่างเดียว
2. เปรียบเทียบค่าพิกัดอ้างอิง (PPP) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS_(SPP)

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กรณี ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล
2. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน

3. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล
 4. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน
- 3.1.6 วิเคราะห์ผลการวิจัยและสรุปผลการวิจัย
 - 3.1.7 เขียนรายงานผลการวิจัยและจัดพิมพ์งานวิจัย

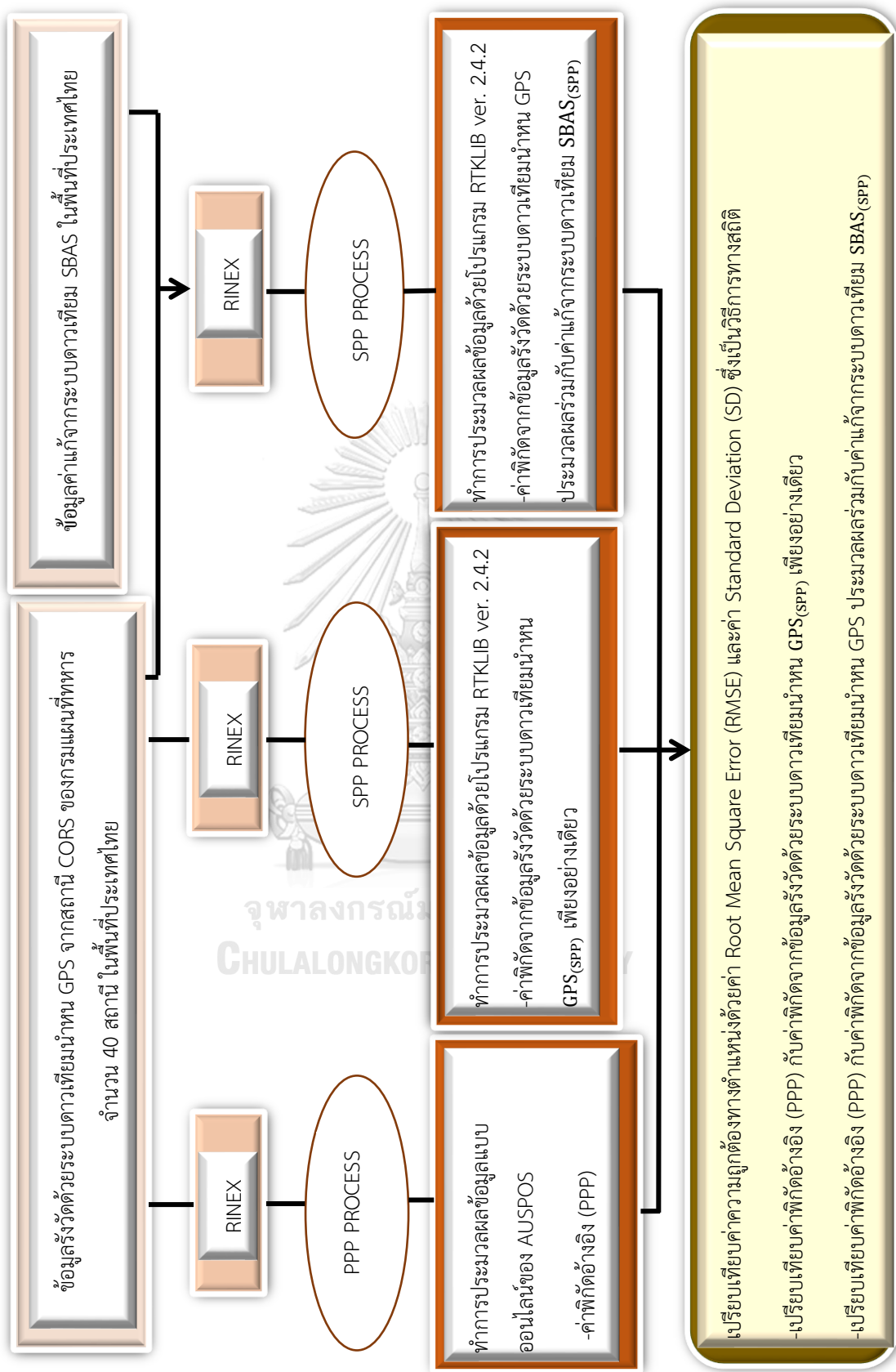




รูปที่ 18 การแสดงแผนผังขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2 ขั้นตอนการประมวลผลและการเปรียบเทียบผลงานวิจัย

- 3.2.1 ทำการเก็บข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS จากสถานี CORS ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 40 สถานี และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในพื้นที่ประเทศไทย
- 3.2.2 ทำการแปลงข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS จากสถานี CORS ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 40 สถานี และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ในพื้นที่ประเทศไทยให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ RINEX
- 3.2.3 ทำการประมวลผลค่ารังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว
- 3.2.4 ทำการประมวลผลค่ารังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ตามวิธีการดังต่อไปนี้
 1. ประมวลผลค่ารังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว
 2. ประมวลผลค่ารังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS
- 3.2.5 ทำการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติ ตามวิธีการดังต่อไปนี้
 1. เปรียบเทียบค่าพิคตอ้างอิง (PPP) กับค่าพิคตจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS_(SPP) เพียงอย่างเดียว
 2. เปรียบเทียบค่าพิคตอ้างอิง (PPP) กับค่าพิคตจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS_(SPP)



รูปที่ 19 การแสดงแผนขั้นตอนการประมวลผลและการเปรียบเทียบผลงานวิจัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

จากการวิเคราะห์และประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียว ในพื้นที่ประเทศไทย โดยทำการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดียวความละเอียดสูง (PPP) เป็นค่าพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว และเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดียว (SPP) โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในทุก ๆ 1 วินาที ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 40 สถานีที่กระจายทั่วประเทศไทย ในวันที่ 1-30 กันยายน 2562, 1-31 ธันวาคม 2562 และ 1-30 เมษายน 2563 โดยใช้วิธีการทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง ซึ่งได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.1 ผลการประเมินในช่วงวันที่ 1-30 กันยายน 2562

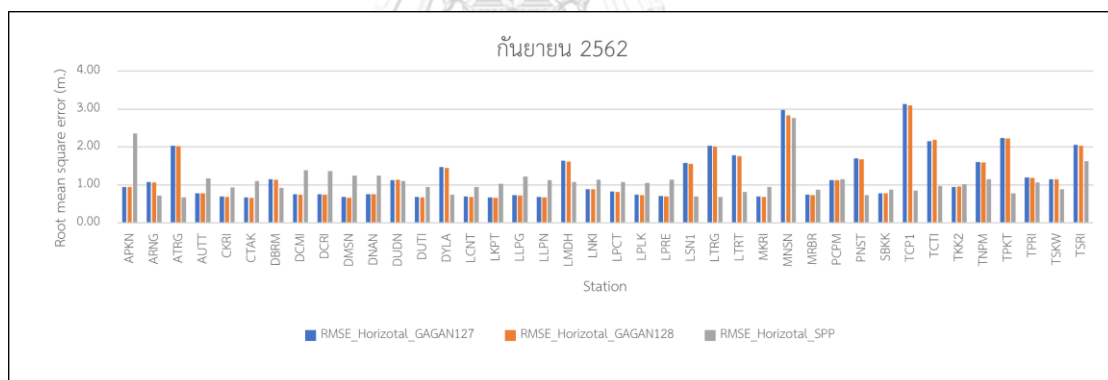
4.1.1 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวราบ

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.23 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.31 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.21 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.09 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.11 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 3 และในรูปที่ 20 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี และในตารางที่ 4 และในรูปที่ 21 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 3 ค่า RMSE ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Horizontal		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
1	APKN	0.95	0.94	2.36
2	ARNG	1.07	1.06	0.72
3	ATRG	2.03	2.02	0.67
4	AUTT	0.78	0.78	1.17
5	CKRI	0.69	0.68	0.93
6	CTAK	0.68	0.66	1.10
7	DBRM	1.15	1.14	0.92
8	DCMI	0.76	0.74	1.39
9	DCRI	0.75	0.75	1.37
10	DMSN	0.68	0.66	1.25
11	DNAN	0.76	0.76	1.24
12	DUDN	1.13	1.14	1.10
13	DUTI	0.68	0.67	0.95
14	DYLA	1.48	1.45	0.74
15	LCNT	0.69	0.68	0.94
16	LKPT	0.67	0.66	1.04
17	LLPG	0.73	0.72	1.23
18	LLPN	0.68	0.67	1.12
19	LMDH	1.65	1.61	1.08
20	LNKI	0.89	0.89	1.13
21	LPCT	0.82	0.81	1.08
22	LPLK	0.74	0.73	1.06
23	LPRE	0.70	0.70	1.14
24	LSN1	1.58	1.56	0.70
25	LTRG	2.03	2.02	0.68
26	LTRT	1.78	1.75	0.81
27	MKRI	0.70	0.69	0.94
28	MNSN	2.98	2.83	2.77
29	MRBR	0.74	0.74	0.87

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Horizontal		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
30	PCPM	1.13	1.12	1.15
31	PNST	1.70	1.68	0.73
32	SBKK	0.78	0.78	0.88
33	TCP1	3.13	3.10	0.85
34	TCTI	2.16	2.19	0.97
35	TKK2	0.95	0.95	1.02
36	TNPM	1.61	1.60	1.15
37	TPKT	2.23	2.23	0.79
38	TPRI	1.20	1.19	1.07
39	TSKW	1.15	1.15	0.89
40	TSRI	2.05	2.04	1.63
	Mean	1.23	1.21	1.09

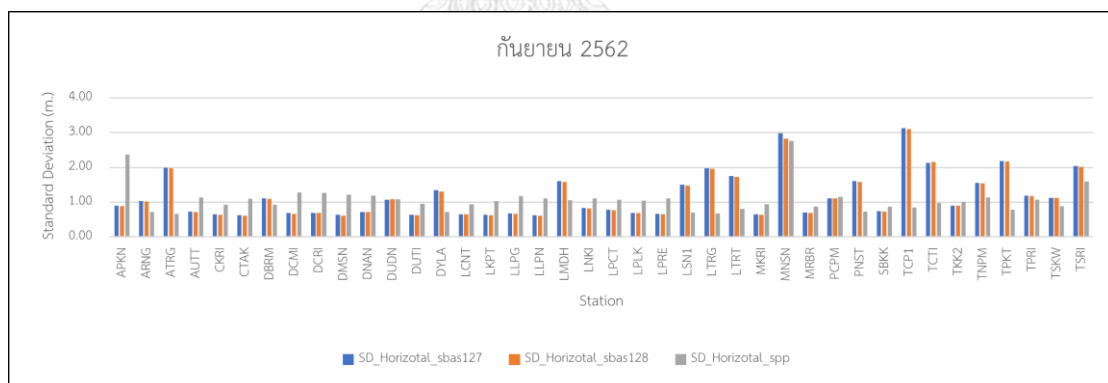


รูปที่ 20 การแสดงค่า RMSE ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนกันยายน 2562

ตารางที่ 4 ค่า SD ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard Deviation (m.) _Horizontal		
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
1	APKN	1.76	1.73	4.63
2	ARNG	2.02	1.99	1.41
3	ATRG	3.89	3.88	1.30
4	AUTT	1.43	1.41	2.23
5	CKRI	1.27	1.25	1.83
6	CTAK	1.23	1.20	2.14
7	DBRM	2.17	2.14	1.81
8	DCMI	1.35	1.31	2.50
9	DCRI	1.36	1.35	2.49
10	DMSN	1.25	1.20	2.37
11	DNAN	1.40	1.40	2.33
12	DUDN	2.11	2.12	2.13
13	DUTI	1.25	1.23	1.86
14	DYLA	2.62	2.56	1.42
15	LCNT	1.28	1.27	1.84
16	LKPT	1.24	1.22	2.02
17	LLPG	1.32	1.30	2.30
18	LLPN	1.23	1.21	2.16
19	LMDH	3.16	3.09	2.07
20	LNKI	1.63	1.62	2.16
21	LPCT	1.52	1.50	2.10
22	LPLK	1.36	1.35	2.05
23	LPRE	1.29	1.27	2.17
24	LSN1	2.95	2.90	1.37
25	LTRG	3.88	3.83	1.33
26	LTRT	3.44	3.38	1.59
27	MKRI	1.27	1.26	1.84
28	MNSN	5.84	5.55	5.42

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard Deviation (m.) _Horizontal ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
29	MRBR	1.37	1.36	1.70
30	PCPM	2.18	2.17	2.25
31	PNST	3.15	3.09	1.44
32	SBKK	1.46	1.44	1.72
33	TCP1	6.13	6.08	1.67
34	TCTI	4.17	4.23	1.91
35	TKK2	1.75	1.77	1.98
36	TNPM	3.05	3.03	2.21
37	TPKT	4.27	4.24	1.54
38	TPRI	2.33	2.30	2.09
39	TSKW	2.19	2.19	1.73
40	TSRI	3.99	3.95	3.13
Mean		2.31	2.28	2.11



รูปที่ 21 การแสดงค่า SD ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP)

เพียงอย่างเดียว ในเดือนกันยายน 2562

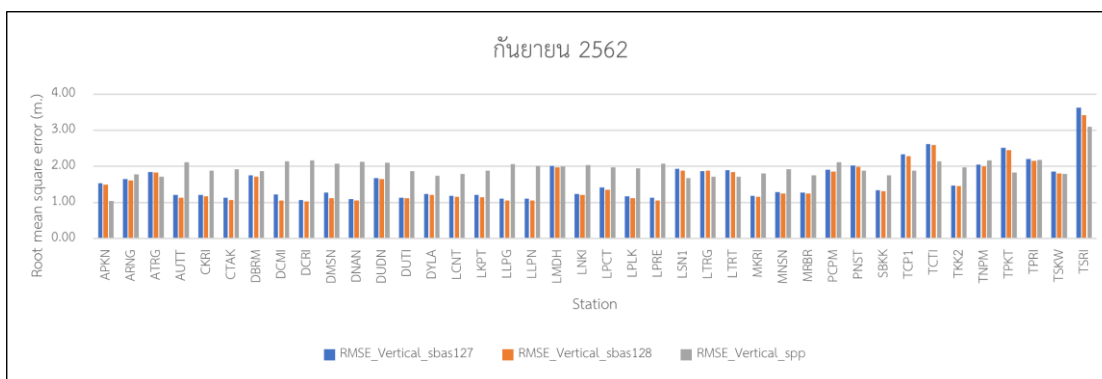
4.1.2 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวตั้ง

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.09 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.55 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.98 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.95 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.46 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 5 และในรูปที่ 22 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี และในตารางที่ 6 และในรูปที่ 23 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 5 ค่า RMSE ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Vertical		
		GAGAN_sb127	GAGAN_sb128	GPS_spp
1	APKN	1.53	1.49	1.04
2	ARNG	1.65	1.62	1.77
3	ATRG	1.85	1.83	1.71
4	AUTT	1.22	1.14	2.12
5	CKRI	1.21	1.18	1.88
6	CTAK	1.14	1.07	1.92
7	DBRM	1.75	1.72	1.87
8	DCMI	1.23	1.05	2.14
9	DCRI	1.07	1.03	2.17
10	DMSN	1.28	1.12	2.08
11	DNAN	1.09	1.06	2.12
12	DUDN	1.68	1.65	2.11
13	DUTI	1.14	1.12	1.88
14	DYLA	1.24	1.22	1.75
15	LCNT	1.18	1.16	1.80
16	LKPT	1.22	1.15	1.89
17	LLPG	1.11	1.05	2.06

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Vertical		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
18	LLPN	1.11	1.06	2.01
19	LMDH	2.02	1.97	2.00
20	LNKI	1.23	1.21	2.04
21	LPCT	1.42	1.35	1.97
22	LPLK	1.18	1.12	1.95
23	LPRE	1.13	1.06	2.07
24	LSN1	1.93	1.89	1.68
25	LTRG	1.87	1.88	1.72
26	LTRT	1.90	1.84	1.72
27	MKRI	1.19	1.16	1.81
28	MNSN	1.29	1.26	1.92
29	MRBR	1.28	1.26	1.75
30	PCPM	1.91	1.86	2.12
31	PNST	2.02	1.98	1.89
32	SBKK	1.34	1.32	1.75
33	TCP1	2.33	2.28	1.89
34	TCTI	2.62	2.59	2.14
35	TKK2	1.47	1.45	1.98
36	TNPM	2.05	2.01	2.17
37	TPKT	2.51	2.45	1.83
38	TPRI	2.21	2.15	2.18
39	TSKW	1.86	1.81	1.79
40	TSRI	3.63	3.42	3.10
Mean		1.60	1.55	1.95

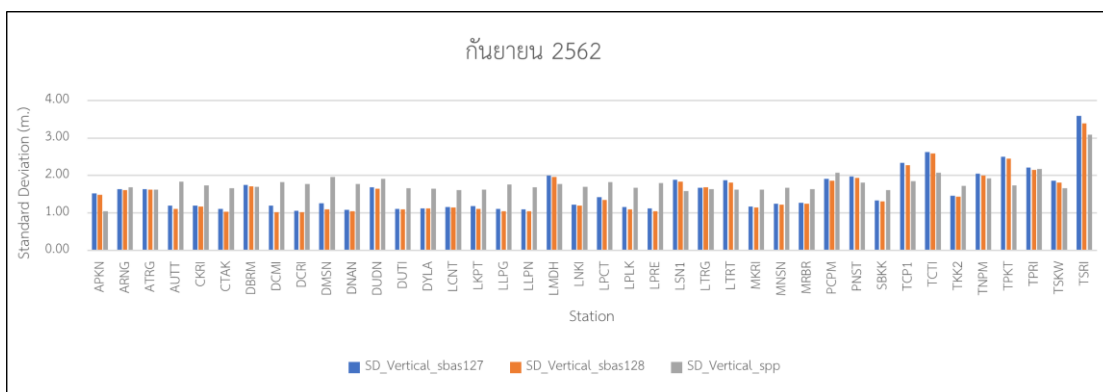


รูปที่ 22 การแสดงค่า RMSE ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนกันยายน 2562

ตารางที่ 6 ค่า SD ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนกันยายน 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard Deviation (m.) _Vertical		
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
1	APKN	2.98	2.91	2.04
2	ARNG	3.21	3.14	3.30
3	ATRG	3.21	3.17	3.18
4	AUTT	2.35	2.18	3.59
5	CKRI	2.35	2.29	3.41
6	CTAK	2.17	2.03	3.25
7	DBRM	3.42	3.35	3.32
8	DDMI	2.35	2.00	3.56
9	DCRI	2.08	1.99	3.48
10	DMSN	2.46	2.14	3.83
11	DNAN	2.13	2.05	3.47
12	DUDN	3.29	3.24	3.74
13	DUTI	2.18	2.13	3.25
14	DYLA	2.19	2.19	3.23

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard Deviation (m.) _Vertical		
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%		
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
15	LCNT	2.27	2.23	3.15
16	LKPT	2.32	2.18	3.19
17	LLPG	2.16	2.04	3.44
18	LLPN	2.15	2.04	3.30
19	LMDH	3.93	3.84	3.49
20	LNKI	2.40	2.35	3.33
21	LPCT	2.78	2.64	3.57
22	LPLK	2.28	2.15	3.27
23	LPRE	2.20	2.05	3.52
24	LSN1	3.69	3.60	3.11
25	LTRG	3.27	3.31	3.19
26	LTRT	3.68	3.56	3.18
27	MKRI	2.29	2.23	3.17
28	MNSN	2.45	2.39	3.27
29	MRBR	2.50	2.44	3.20
30	PCPM	3.74	3.64	4.05
31	PNST	3.87	3.80	3.54
32	SBKK	2.62	2.57	3.16
33	TCP1	4.57	4.47	3.62
34	TCTI	5.14	5.08	4.06
35	TKK2	2.87	2.82	3.39
36	TNPM	4.02	3.92	3.78
37	TPKT	4.91	4.79	3.41
38	TPRI	4.32	4.21	4.25
39	TSKW	3.64	3.54	3.26
40	TSRI	7.03	6.64	6.05
	Mean	3.09	2.98	3.46



รูปที่ 23 การแสดงค่า SD ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนกันยายน 2562

4.2 ผลการประเมินในช่วงวันที่ 1-31 ธันวาคม 2562

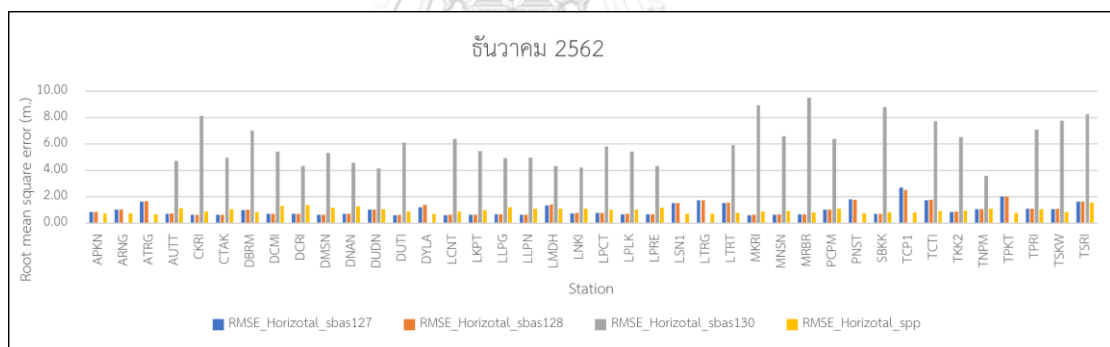
4.2.1 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวราบ

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSAB130 ได้ทั้งหมด 31 สถานี จาก 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.06 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.78 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.03 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.04 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.91 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.97 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.78 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 7 และในรูปที่ 24 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี และในตารางที่ 8 และในรูปที่ 25 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 7 ค่า RMSE ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562

ลำดับที่	รายชื่อ สถานี	Root mean square error (m.) _ Horizontal			
		GAGAN_sb127	GAGAN_sb128	BDSBAS_sb130	GPS_spp
1	APKN	0.84	0.86	-	0.74
2	ARNG	1.01	1.02	-	0.73
3	ATRG	1.65	1.67	-	0.67
4	AUTT	0.71	0.73	4.73	1.13
5	CKRI	0.63	0.65	8.11	0.89
6	CTAK	0.63	0.64	4.95	1.05
7	DBRM	1.00	1.03	7.02	0.85
8	DCMI	0.69	0.70	5.42	1.32
9	DCRI	0.70	0.70	4.32	1.39
10	DMSN	0.64	0.65	5.32	1.17
11	DNAN	0.71	0.71	4.59	1.28
12	DUDN	1.03	1.02	4.15	1.06
13	DUTI	0.61	0.64	6.10	0.90
14	DYLA	1.22	1.38	-	0.69
15	LCNT	0.60	0.63	6.38	0.89
16	LKPT	0.62	0.64	5.47	0.98
17	LLPG	0.67	0.68	4.95	1.20
18	LLPN	0.64	0.65	4.96	1.11
19	LMDH	1.36	1.42	4.31	1.11
20	LNKI	0.76	0.77	4.23	1.08
21	LPCT	0.76	0.78	5.82	1.02
22	LPLK	0.68	0.70	5.43	1.02
23	LPRE	0.66	0.67	4.32	1.16
24	LSN1	1.54	1.52	-	0.72
25	LTRG	1.73	1.72	-	0.70
26	LTRT	1.53	1.55	5.92	0.77
27	MKRI	0.61	0.63	8.93	0.88
28	MNSN	0.65	0.67	6.61	0.92
29	MRBR	0.66	0.68	9.50	0.83

ลำดับที่	รายชื่อ สถานี	Root mean square error (m.) _ Horizontal			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GAGAN_sbas127
30	PCPM	1.03	1.04	6.39	1.09
31	PNST	1.79	1.79	-	0.74
32	SBKK	0.70	0.72	8.79	0.82
33	TCP1	2.70	2.53	-	0.81
34	TCTI	1.75	1.76	7.74	0.94
35	TKK2	0.86	0.88	6.55	0.96
36	TNPM	1.06	1.08	3.58	1.08
37	TPKT	2.03	2.02	-	0.78
38	TPRI	1.08	1.09	7.11	1.05
39	TSKW	1.08	1.09	7.77	0.84
40	TSRI	1.64	1.63	8.26	1.55
Mean		1.03	1.04	6.06	0.97

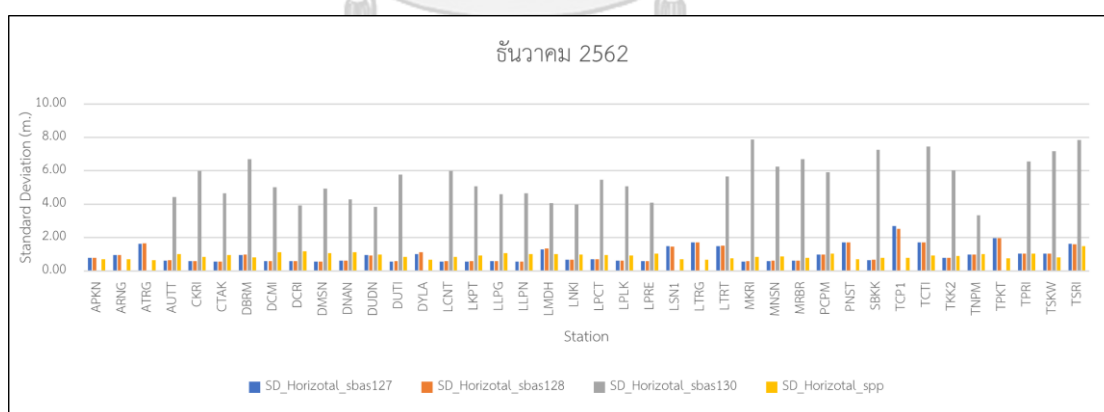


รูปที่ 24 การแสดงค่า RMSE ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนธันวาคม 2562

ตารางที่ 8 ค่า SD ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Horizontal			
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GPS_spp
1	APKN	1.52	1.54	-	1.40
2	ARNG	1.88	1.88	-	1.38
3	ATRG	3.20	3.25	-	1.28
4	AUTT	1.23	1.25	8.68	1.99
5	CKRI	1.14	1.17	11.74	1.66
6	CTAK	1.09	1.12	9.14	1.87
7	DBRM	1.84	1.90	13.15	1.60
8	DCMI	1.16	1.16	9.81	2.22
9	DCRI	1.17	1.16	7.71	2.32
10	DMSN	1.10	1.12	9.67	2.07
11	DNAN	1.20	1.20	8.41	2.20
12	DUDN	1.86	1.83	7.55	1.93
13	DUTI	1.11	1.14	11.29	1.67
14	DYLA	2.00	2.21	-	1.31
15	LCNT	1.09	1.14	11.73	1.65
16	LKPT	1.12	1.15	9.96	1.80
17	LLPG	1.15	1.15	9.00	2.07
18	LLPN	1.11	1.12	9.11	1.97
19	LMDH	2.52	2.65	7.96	1.98
20	LNKI	1.32	1.33	7.78	1.92
21	LPCT	1.37	1.40	10.69	1.88
22	LPLK	1.20	1.22	9.92	1.83
23	LPRE	1.14	1.15	8.01	2.02
24	LSN1	2.88	2.84	-	1.35
25	LTRG	3.35	3.33	-	1.31
26	LTRT	2.93	2.96	11.08	1.46
27	MKRI	1.10	1.13	15.42	1.65

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Horizontal			
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GPS_spp
28	MNSN	1.16	1.20	12.25	1.70
29	MRBR	1.18	1.22	13.11	1.54
30	PCPM	1.93	1.92	11.61	2.03
31	PNST	3.36	3.33	-	1.40
32	SBKK	1.26	1.29	14.25	1.55
33	TCP1	5.28	4.94	-	1.53
34	TCTI	3.33	3.33	14.59	1.80
35	TKK2	1.53	1.56	11.79	1.74
36	TNPM	1.90	1.92	6.55	1.97
37	TPKT	3.86	3.82	-	1.49
38	TPRI	2.04	2.04	12.85	2.01
39	TSKW	2.02	2.02	14.07	1.58
40	TSRI	3.16	3.14	15.35	2.89
Mean		1.90	1.91	10.78	1.78



รูปที่ 25 การแสดงค่า SD ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนจันวาคม 2562

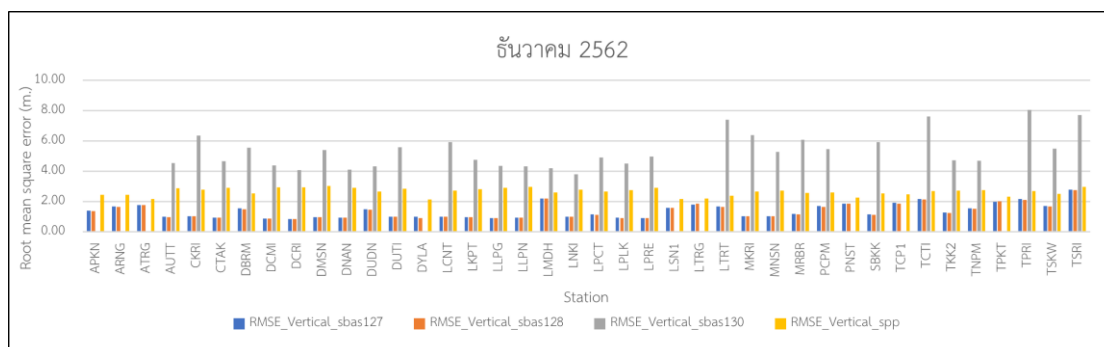
4.2.2 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวตั้ง

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSAB130 ได้ทั้งหมด 31 สถานี จาก 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.35 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.32 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.38 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.59 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.37 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.55 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.66 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.18 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 9 และในรูปที่ 26 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี และในตารางที่ 10 และในรูปที่ 27 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 9 ค่า RMSE ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Vertical			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GPS_spp
1	APKN	1.39	1.37	-	2.45
2	ARNG	1.67	1.66	-	2.44
3	ATRG	1.78	1.79	-	2.18
4	AUTT	1.01	0.99	4.55	2.90
5	CKRI	1.05	1.03	6.37	2.78
6	CTAK	0.95	0.94	4.67	2.93
7	DBRM	1.57	1.50	5.56	2.56
8	DCMI	0.89	0.88	4.38	2.94
9	DCRI	0.86	0.84	4.09	2.94
10	DMSN	0.96	0.97	5.41	3.04
11	DNAN	0.94	0.94	4.12	2.92
12	DUDN	1.51	1.47	4.34	2.66
13	DUTI	1.01	1.00	5.61	2.85
14	DYLA	1.00	0.92	-	2.15

ลำดับที่	รายชื่อ สถานี	Root mean square error (m.) _ Vertical			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GAGAN_sbas127
15	LCNT	1.02	1.01	5.93	2.73
16	LKPT	0.98	0.97	4.76	2.84
17	LLPG	0.91	0.92	4.37	2.92
18	LLPN	0.94	0.95	4.33	2.96
19	LMDH	2.22	2.20	4.20	2.61
20	LNKI	1.01	1.01	3.82	2.79
21	LPCT	1.15	1.13	4.92	2.67
22	LPLK	0.93	0.92	4.53	2.76
23	LPRE	0.93	0.93	4.99	2.92
24	LSN1	1.58	1.59	-	2.17
25	LTRG	1.81	1.86	-	2.20
26	LTRT	1.68	1.66	7.40	2.39
27	MKRI	1.05	1.03	6.38	2.68
28	MNSN	1.05	1.03	5.30	2.74
29	MRBR	1.19	1.17	6.09	2.58
30	PCPM	1.73	1.66	5.46	2.61
31	PNST	1.86	1.87	-	2.28
32	SBKK	1.17	1.14	5.94	2.55
33	TCP1	1.92	1.87	-	2.49
34	TCTI	2.18	2.15	7.62	2.70
35	TKK2	1.28	1.26	4.73	2.74
36	TNPM	1.55	1.54	4.71	2.75
37	TPKT	2.00	2.01	-	2.34
38	TPRI	2.17	2.12	8.05	2.71
39	TSKW	1.71	1.70	5.52	2.52
40	TSRI	2.79	2.76	7.71	2.99
Mean		1.38	1.37	5.35	2.66

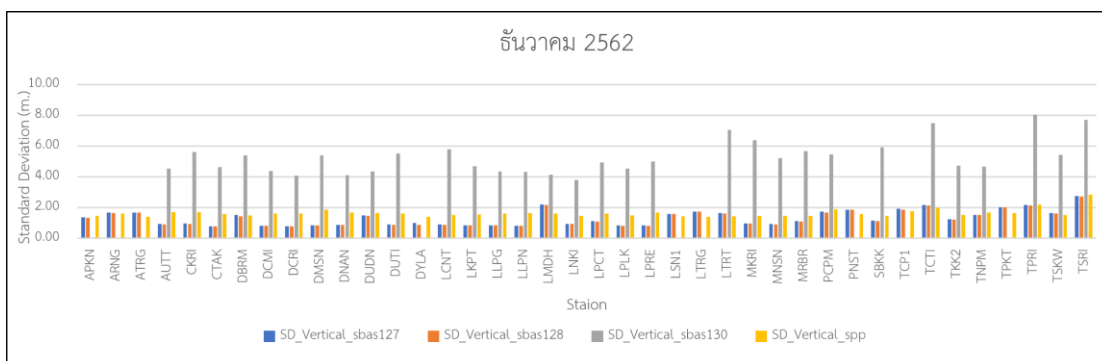


รูปที่ 26 การแสดงค่า RMSE ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนธันวาคม 2562

ตารางที่ 10 ค่า SD ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนธันวาคม 2562

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Vertical			
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GPS_spp
1	APKN	2.66	2.60	-	2.83
2	ARNG	3.24	3.23	-	3.16
3	ATRG	3.28	3.28	-	2.73
4	AUTT	1.80	1.75	8.90	3.33
5	CKRI	1.88	1.84	11.02	3.30
6	CTAK	1.54	1.52	9.09	3.07
7	DBRM	2.95	2.81	10.56	2.88
8	DCMI	1.56	1.58	8.57	3.12
9	DCRI	1.53	1.53	7.96	3.18
10	DMSN	1.62	1.63	10.59	3.63
11	DNAN	1.68	1.68	8.04	3.27
12	DUDN	2.93	2.84	8.50	3.20
13	DUTI	1.77	1.69	10.80	3.13
14	DYLA	1.92	1.72	-	2.73
15	LCNT	1.76	1.70	11.34	2.95

ลำดับที่	รายชื่อ สถานี	Standard deviation (m.) _ Vertical ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	BDSBAS_sbas130	GAGAN_sbas127
16	LKPT	1.66	1.63	9.17	3.03
17	LLPG	1.64	1.65	8.51	3.14
18	LLPN	1.60	1.59	8.46	3.20
19	LMDH	4.31	4.25	8.11	3.15
20	LNKI	1.85	1.82	7.45	2.87
21	LPCT	2.18	2.14	9.63	3.18
22	LPLK	1.66	1.61	8.87	2.90
23	LPRE	1.62	1.60	9.77	3.25
24	LSN1	3.08	3.10	-	2.78
25	LTRG	3.37	3.42	-	2.75
26	LTRT	3.18	3.15	13.83	2.79
27	MKRI	1.91	1.86	12.50	2.87
28	MNSN	1.83	1.77	10.23	2.87
29	MRBR	2.21	2.15	11.13	2.85
30	PCPM	3.38	3.25	10.70	3.69
31	PNST	3.63	3.65	-	3.06
32	SBKK	2.23	2.16	11.62	2.83
33	TCP1	3.75	3.66	-	3.43
34	TCTI	4.22	4.18	14.65	3.88
35	TKK2	2.41	2.36	9.25	2.97
36	TNPM	2.99	2.96	9.14	3.29
37	TPKT	3.92	3.94	-	3.23
38	TPRI	4.26	4.15	15.78	4.31
39	TSKW	3.20	3.18	10.63	2.94
40	TSRI	5.36	5.31	15.10	5.56
Mean		2.59	2.55	10.32	3.18



รูปที่ 27 การแสดงค่า SD ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS (sbas130), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนธันวาคม 2562

4.3 ผลการประเมินในช่วงวันที่ 1-30 เมษายน 2563

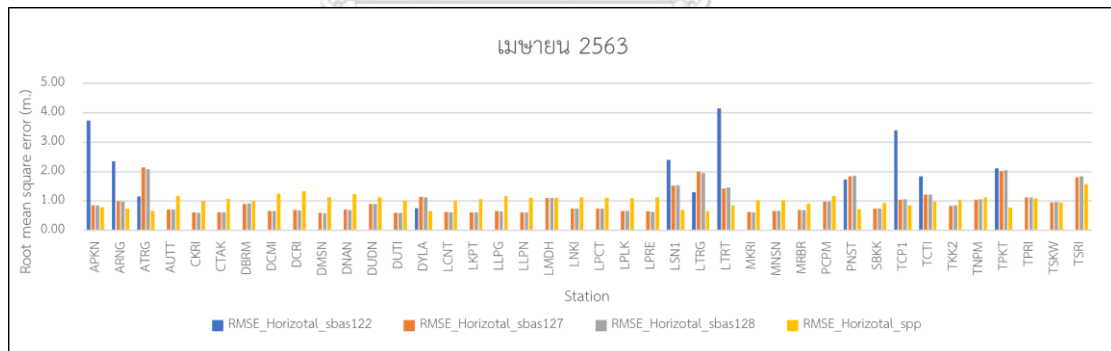
4.3.1 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวราบ

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN122 ได้ทั้งหมด 11 สถานี จาก 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.27 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.85 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.98 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.98 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.02 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.96 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 11 และในรูปที่ 28 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี และในตารางที่ 12 และในรูปที่ 29 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 11 ค่า RMSE ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Horizontal			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
1	APKN	3.73	0.85	0.85	0.79
2	ARNG	2.35	1.00	0.99	0.74
3	ATRG	1.15	2.15	2.09	0.67
4	AUTT	-	0.71	0.71	1.17
5	CKRI	-	0.61	0.60	1.01
6	CTAK	-	0.61	0.61	1.08
7	DBRM	-	0.91	0.92	1.00
8	DCMI	-	0.67	0.66	1.25
9	DCRI	-	0.70	0.69	1.34
10	DMSN	-	0.59	0.59	1.13
11	DNAN	-	0.72	0.70	1.24
12	DUDN	-	0.91	0.91	1.13
13	DUTI	-	0.61	0.60	1.02
14	DYLA	0.77	1.14	1.13	0.66
15	LCNT	-	0.63	0.62	1.01
16	LKPT	-	0.62	0.62	1.07
17	LLPG	-	0.66	0.66	1.17
18	LLPN	-	0.62	0.62	1.11
19	LMDH	-	1.11	1.11	1.12
20	LNKI	-	0.75	0.74	1.13
21	LPCT	-	0.74	0.74	1.11
22	LPLK	-	0.67	0.67	1.09
23	LPRE	-	0.64	0.64	1.13
24	LSN1	2.40	1.52	1.54	0.70
25	LTRG	1.31	2.01	1.96	0.67
26	LTRT	4.16	1.44	1.46	0.85
27	MKRI	-	0.63	0.62	1.03
28	MNSN	-	0.67	0.66	1.03

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Horizontal			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	SPAN_sbas122
29	MRBR	-	0.70	0.69	0.93
30	PCPM	-	0.99	0.98	1.18
31	PNST	1.73	1.84	1.85	0.73
32	SBKK	-	0.74	0.74	0.94
33	TCP1	3.41	1.05	1.06	0.85
34	TCTI	1.84	1.22	1.23	0.98
35	TKK2	-	0.85	0.86	1.05
36	TNPM	-	1.04	1.06	1.13
37	TPKT	2.11	2.01	2.05	0.77
38	TPRI	-	1.12	1.13	1.10
39	TSKW	-	0.96	0.97	0.95
40	TSRI	-	1.82	1.84	1.57
Mean		2.27	0.98	0.98	1.02

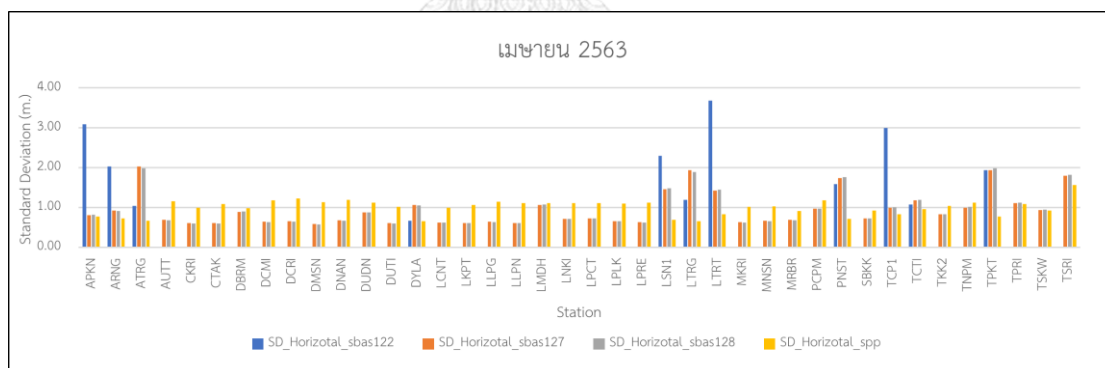


รูปที่ 28 การแสดงค่า RMSE ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563

ตารางที่ 12 ค่า SD ในทางราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Horizontal			
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
1	APKN	6.05	1.59	1.59	1.51
2	ARNG	3.98	1.80	1.79	1.42
3	ATRG	2.04	3.99	3.88	1.30
4	AUTT	-	1.34	1.33	2.28
5	CKRI	-	1.19	1.17	1.95
6	CTAK	-	1.19	1.18	2.12
7	DBRM	-	1.75	1.77	1.93
8	DCMI	-	1.25	1.23	2.32
9	DCRI	-	1.28	1.25	2.41
10	DMSN	-	1.14	1.13	2.21
11	DNAN	-	1.33	1.31	2.34
12	DUDN	-	1.72	1.71	2.21
13	DUTI	-	1.18	1.17	1.98
14	DYLA	1.30	2.09	2.06	1.28
15	LCNT	-	1.22	1.21	1.96
16	LKPT	-	1.20	1.19	2.09
17	LLPG	-	1.26	1.25	2.24
18	LLPN	-	1.20	1.19	2.17
19	LMDH	-	2.09	2.10	2.18
20	LNKI	-	1.41	1.39	2.19
21	LPCT	-	1.42	1.41	2.17
22	LPLK	-	1.29	1.28	2.14
23	LPRE	-	1.24	1.23	2.20
24	LSN1	4.49	2.87	2.90	1.36
25	LTRG	2.33	3.80	3.70	1.29
26	LTRT	7.22	2.80	2.85	1.62
27	MKRI	-	1.23	1.21	1.99
28	MNSN	-	1.30	1.29	2.01

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Horizontal			
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
29	MRBR	-	1.35	1.33	1.78
30	PCPM	-	1.90	1.89	2.32
31	PNST	3.11	3.41	3.46	1.40
32	SBKK	-	1.41	1.42	1.81
33	TCP1	5.88	1.95	1.97	1.62
34	TCTI	2.10	2.32	2.33	1.88
35	TKK2	-	1.62	1.64	2.04
36	TNPM	-	1.95	1.98	2.21
37	TPKT	3.80	3.79	3.89	1.51
38	TPRI	-	2.17	2.19	2.14
39	TSKW	-	1.84	1.85	1.82
40	TSRI	-	3.52	3.58	3.06
Mean		3.85	1.86	1.86	1.96



รูปที่ 29 การแสดงค่า SD ในแนวราบของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563

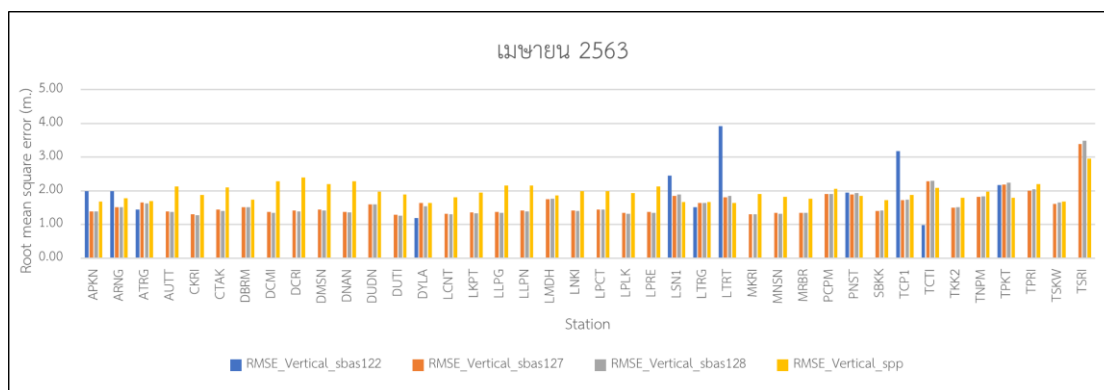
4.3.2 ผลลัพธ์จากการประมวลผลในแนวตั้ง

ผลลัพธ์จากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN122 ได้ทั้งหมด 11 สถานี จาก 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.07 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.96 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 เมตร, ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 เมตร และประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว (SPP) ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.95 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.48 เมตร ซึ่งแสดงในตารางที่ 13 และในรูปที่ 30 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี และในตารางที่ 14 และในรูปที่ 31 เป็นกราฟเปรียบเทียบค่า SD ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

ตารางที่ 13 ค่า RMSE ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Vertical			
		SPAN_sb122	GAGAN_sb127	GAGAN_sb128	GPS_spp
1	APKN	1.98	1.38	1.38	1.68
2	ARNG	1.99	1.51	1.51	1.78
3	ATRG	1.44	1.65	1.63	1.69
4	AUTT	-	1.39	1.37	2.13
5	CKRI	-	1.30	1.28	1.87
6	CTAK	-	1.44	1.40	2.10
7	DBRM	-	1.51	1.52	1.74
8	DCMI	-	1.37	1.34	2.29
9	DCRI	-	1.41	1.38	2.39
10	DMSN	-	1.44	1.41	2.20
11	DNAN	-	1.37	1.35	2.28
12	DUDN	-	1.60	1.59	1.98
13	DUTI	-	1.28	1.27	1.90
14	DYLA	1.19	1.63	1.54	1.64
15	LCNT	-	1.31	1.30	1.80

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Root mean square error (m.) _ Vertical			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
16	LKPT	-	1.35	1.34	1.95
17	LLPG	-	1.38	1.35	2.16
18	LLPN	-	1.42	1.38	2.15
19	LMDH	-	1.75	1.76	1.87
20	LNKI	-	1.42	1.40	1.99
21	LPCT	-	1.45	1.44	1.98
22	LPLK	-	1.34	1.32	1.94
23	LPRE	-	1.37	1.34	2.13
24	LSN1	2.45	1.85	1.89	1.67
25	LTRG	1.51	1.64	1.64	1.67
26	LTRT	3.92	1.81	1.85	1.64
27	MKRI	-	1.31	1.30	1.91
28	MNSN	-	1.34	1.32	1.82
29	MRBR	-	1.34	1.34	1.76
30	PCPM	-	1.91	1.91	2.06
31	PNST	1.94	1.89	1.94	1.85
32	SBKK	-	1.40	1.42	1.72
33	TCP1	3.17	1.72	1.73	1.87
34	TCTI	0.98	2.28	2.29	2.08
35	TKK2	-	1.49	1.51	1.79
36	TNPM	-	1.82	1.83	1.98
37	TPKT	2.17	2.19	2.24	1.79
38	TPRI	-	2.01	2.04	2.20
39	TSKW	-	1.61	1.65	1.68
40	TSRI	-	3.39	3.49	2.95
Mean		2.07	1.60	1.60	1.95

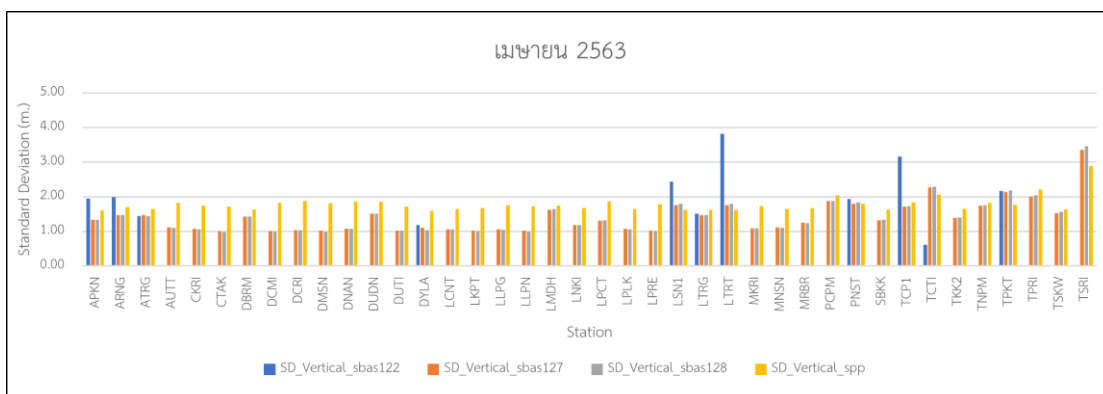


รูปที่ 30 การแสดงค่า RMSE ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563

ตารางที่ 14 เปรียบเทียบค่า SD ในทางตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) ในเดือนเมษายน 2563

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Vertical ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
1	APKN	3.82	2.61	2.62	3.14
2	ARNG	3.89	2.87	2.88	3.33
3	ATRG	2.82	2.88	2.82	3.22
4	AUTT	-	2.18	2.16	3.56
5	CKRI	-	2.10	2.07	3.42
6	CTAK	-	1.96	1.92	3.35
7	DBRM	-	2.79	2.80	3.20
8	DCMI	-	1.97	1.93	3.58
9	DCRI	-	2.03	2.01	3.69
10	DMSN	-	1.99	1.94	3.53
11	DNAN	-	2.10	2.09	3.64
12	DUDN	-	2.95	2.95	3.62
13	DUTI	-	2.00	1.98	3.36

ลำดับที่	รายชื่อสถานี	Standard deviation (m.) _ Vertical			
		ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%			
		SPAN_sbas122	GAGAN_sbas127	GAGAN_sbas128	GPS_spp
14	DYLA	2.33	2.15	2.01	3.12
15	LCNT	-	2.08	2.07	3.22
16	LKPT	-	1.98	1.97	3.27
17	LLPG	-	2.08	2.04	3.44
18	LLPN	-	1.99	1.94	3.37
19	LMDH	-	3.18	3.22	3.40
20	LNKI	-	2.32	2.30	3.27
21	LPCT	-	2.56	2.57	3.65
22	LPLK	-	2.09	2.08	3.23
23	LPRE	-	1.99	1.96	3.48
24	LSN1	4.78	3.45	3.52	3.18
25	LTRG	2.96	2.89	2.87	3.17
26	LTRT	7.48	3.44	3.52	3.17
27	MKRI	-	2.14	2.12	3.40
28	MNSN	-	2.18	2.16	3.21
29	MRBR	-	2.44	2.42	3.29
30	PCPM	-	3.69	3.69	3.99
31	PNST	3.80	3.52	3.60	3.52
32	SBKK	-	2.58	2.62	3.19
33	TCP1	6.21	3.36	3.38	3.61
34	TCTI	1.20	4.46	4.49	4.02
35	TKK2	-	2.71	2.75	3.22
36	TNPM	-	3.40	3.45	3.57
37	TPKT	4.24	4.18	4.28	3.45
38	TPRI	-	3.93	4.00	4.31
39	TSKW	-	2.99	3.06	3.21
40	TSRI	-	6.57	6.77	5.65
	Mean	3.96	2.77	2.78	3.48



รูปที่ 31 การแสดงค่า SD ในแนวตั้งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลค่ารังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN (sbas122), GAGAN (sbas127), GAGAN (sbas128), และ GPS (SPP) เพียงอย่างเดียว ในเดือนเมษายน 2563

4.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง

4.4.1 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 มีความแตกต่างกัน (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวก หน้า 79-81)

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบ ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U จับคู่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบ (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวก หน้า 81-87) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.4.1.1 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 มีความแตกต่างกัน

4.4.1.2 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน

- 4.4.1.3 ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามวิธีการประมวลผล

การเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยค่า คลาดเคลื่อนทางราบ	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์	ค่า RMSE ทางราบ (ม.)
GPS (spp)	มีความแตกต่างกัน	GPS (spp) กับ	มีความแตกต่างกัน	1.03
		GPS+GAGAN127		1.08
GPS+GAGAN127	มีความแตกต่างกัน	GPS (spp) กับ	มีความแตกต่างกัน	1.03
		GPS+GAGAN128		1.08
GPS+GAGAN128	มีความแตกต่างกัน	GPS+GAGAN127 กับ	ไม่มีความแตกต่างกัน	1.08
		GPS+GAGAN128		1.08

4.4.2 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว และค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวก หน้าที่ 87-91) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- 4.4.2.1 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนฤดูร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน
- 4.4.2.2 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนฤดูร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน

- 4.4.2.3 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนฤดูร้อน ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามฤดูกาล

การเปรียบเทียบ	เดือน	ผลการวิเคราะห์	เดือน	ค่า RMSE ทางราบ (ม.)
ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบ	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562	1.09
	ธันวาคม 2562		ธันวาคม 2562	0.97
	เมษายน 2563		เมษายน 2563	1.02
GPS (spp)	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562	1.23
	ธันวาคม 2562		ธันวาคม 2562	1.03
	เมษายน 2563		เมษายน 2563	0.98
GPS+GAGAN127	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562	1.21
	ธันวาคม 2562		ธันวาคม 2562	1.04
	เมษายน 2563		เมษายน 2563	0.98
GPS+GAGAN128	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562	1.21
	ธันวาคม 2562		ธันวาคม 2562	1.04
	เมษายน 2563		เมษายน 2563	0.98

4.4.3 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 มีความแตกต่างกัน (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวกหน้า 92-95)

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U จับคู่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวกหน้า 95-99) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- 4.4.3.1 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 มีความแตกต่างกัน

- 4.4.3.2 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน
- 4.4.3.3 ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแยกตามวิธีการประมวลผล

การเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยค่า คลาดเคลื่อนทางดิ่ง	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์	ค่า RMSE ทางดิ่ง (ม.)
GPS (spp)	มีความแตกต่างกัน	GPS (spp) กับ	มีความแตกต่างกัน	2.19
		GPS+GAGAN127		1.53
GPS+GAGAN127	มีความแตกต่างกัน	GPS (spp) กับ	มีความแตกต่างกัน	2.19
		GPS+GAGAN128		1.51
GPS+GAGAN128	มีความแตกต่างกัน	GPS+GAGAN127 กับ	ไม่มีความแตกต่างกัน	1.53
		GPS+GAGAN128		1.51

4.4.4 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว และค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

- 4.4.4.1 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนฤดูร้อน มีความแตกต่างกัน (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวก หน้าที่ 100-105)

1. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน
2. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน
3. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน

4.4.4.2 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนฤดูร้อน มีความแตกต่างกัน (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวก หน้าที่ 105-111)

1. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน
2. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน
3. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 เดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน

4.4.4.3 ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนฤดูร้อน มีความแตกต่างกัน (รายละเอียดการวิเคราะห์ผลตามภาคผนวก หน้าที่ 111-116)

1. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน

2. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน
3. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแยกตามฤดูกาล

การเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง	เดือน	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์	ค่า RMSE ทางดิ่ง (ม.)
GPS (spp)	กันยายน 2562	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน	1.95
			กันยายน 2562 กับ เมษายน 2563	ไม่มีความแตกต่างกัน	1.95
			กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562 กับ เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	2.66
	ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน	1.60
			กันยายน 2562 กับ เมษายน 2563	ไม่มีความแตกต่างกัน	1.60
			กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562 กับ เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	1.38
GPS + GAGAN127	กันยายน 2562	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน	1.55
			กันยายน 2562 กับ เมษายน 2563	ไม่มีความแตกต่างกัน	1.55
			กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562 กับ เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	1.37
	ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน	1.37
			กันยายน 2562 กับ เมษายน 2563	ไม่มีความแตกต่างกัน	1.37
			กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562 กับ เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	1.60

บทที่ 5

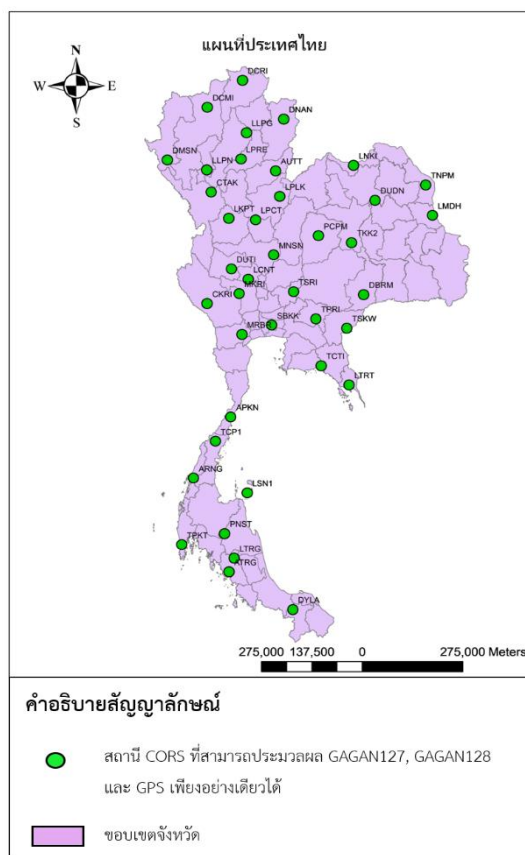
สรุปผลการศึกษาวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผล การสรุปผลการศึกษาวิจัย และข้อเสนอแนะปัญหาและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อจะได้นำผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ตรงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้และเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไปในอนาคต

5.1 อภิปรายผลการศึกษาวิจัย

5.1.1 ผลการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ในพื้นที่ประเทศไทย ในช่วงวันที่ 1-30 กันยายน 2562 พบว่า

1. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.23 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.31 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.09 เมตร
2. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.21 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.28 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.55 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.98 เมตร
3. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.09 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.11 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.95 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.46 เมตร

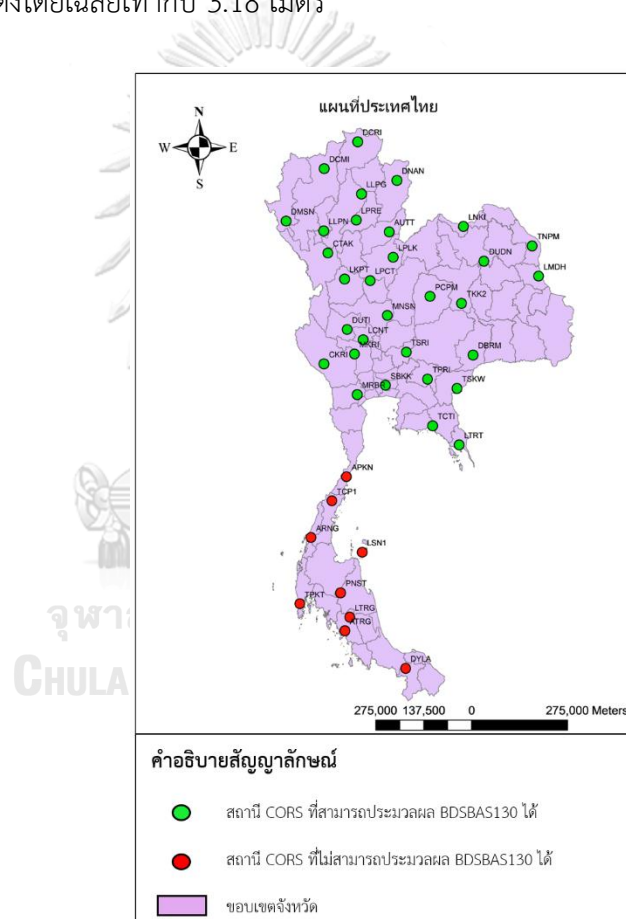


รูปที่ 32 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล GAGAN127, GAGAN128, และ GPS เพียงอย่างเดียวได้ ในเดือนกันยายน 2562

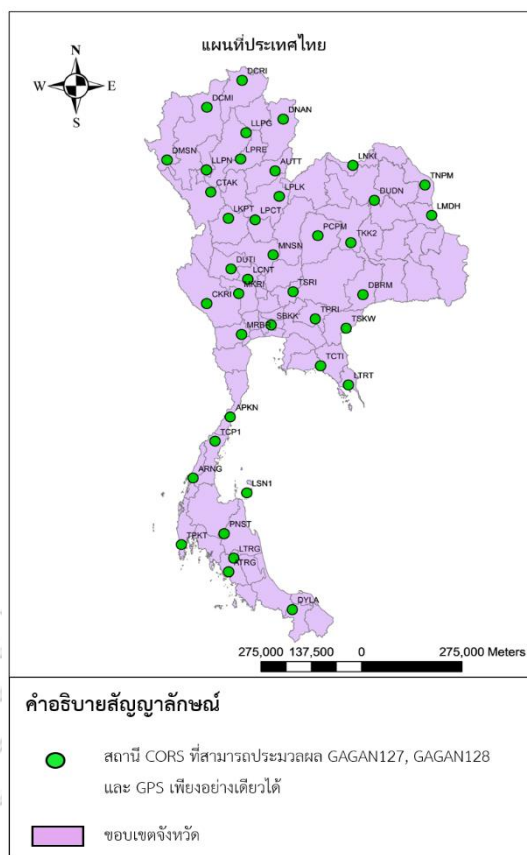
5.1.2 ผลการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ในพื้นที่ประเทศไทย ในช่วงวันที่ 1-31 ธันวาคม 2562 พบว่า

1. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.03 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.38 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.59 เมตร
2. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.04 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.91 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.37 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.55 เมตร

3. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม BDSBAS130 ได้ทั้งหมด 31 สถานี จาก 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 6.06 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.78 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 5.35 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10.32 เมตร
4. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.97 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.78 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.66 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.18 เมตร



รูปที่ 33 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล BDSBAS 130 ได้ ในเดือนธันวาคม 2562

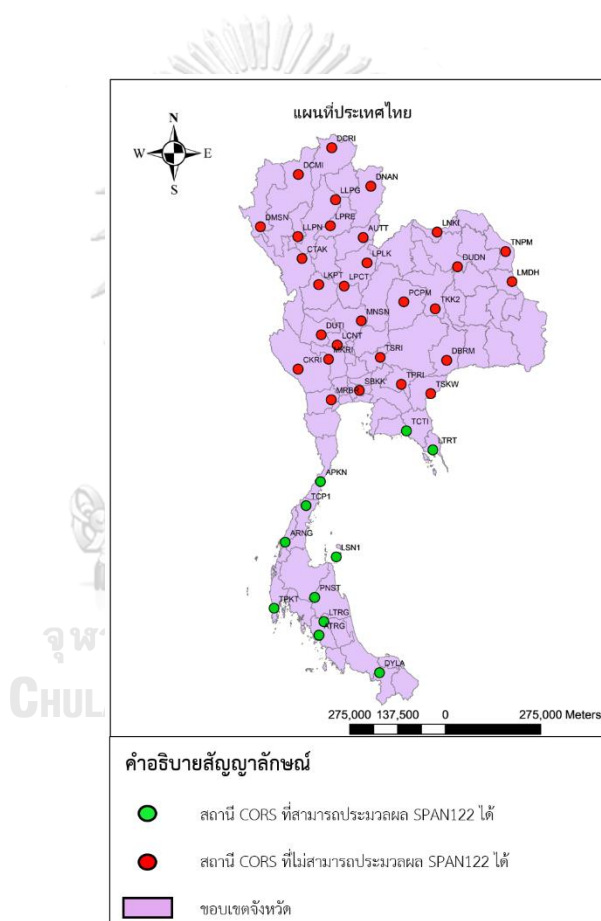


รูปที่ 34 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล GAGAN127, GAGAN128, และ GPS เพียงอย่างเดียวได้ ในเดือนธันวาคม 2562

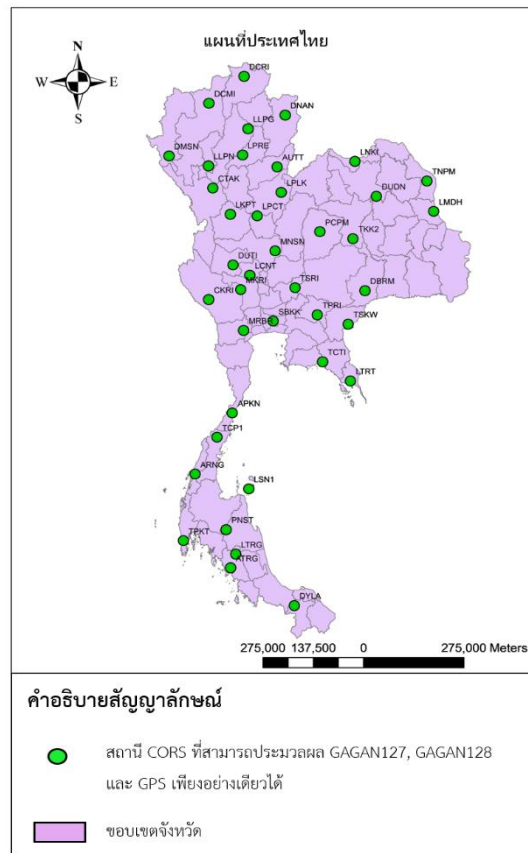
5.1.3 ผลการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียว ในพื้นที่ประเทศไทย ในช่วงวันที่ 1-30 เมษายน 2563 พบว่า

1. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN122 ได้ 11 สถานี จาก 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.27 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.85 เมตร และค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.07 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.96 เมตร
2. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.98 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 เมตร

3. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN128 ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.98 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.86 เมตร และมีค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.60 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.78 เมตร
4. การประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ได้ทั้งหมด 40 สถานี มีค่า RMSE ทางราบโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.02 เมตร มีค่า SD ทางราบโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.96 เมตร และค่า RMSE ทางตั้งโดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.95 เมตร มีค่า SD ทางตั้งโดยเฉลี่ยเท่ากับ 3.48 เมตร



รูปที่ 35 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล SPAN ได้ ในเดือนเมษายน 2563



รูปที่ 36 การแสดงสถานี CORS ที่สามารถประมวลผล GAGAN127, GAGAN128, และ GPS เพียงอย่างเดียวได้ ในเดือนเมษายน 2563

5.1.4 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS แบ่งการทดสอบออกเป็น 4 กรณี สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 19 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามวิธีการประมวลผล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบ	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์
GPS (spp)	มีความแตกต่างกัน	GPS (spp) กับ GPS+GAGAN127	มีความแตกต่างกัน
GPS+GAGAN127		GPS (spp) กับ GPS+GAGAN128	มีความแตกต่างกัน
GPS+GAGAN128		GPS+GAGAN127 กับ GPS+GAGAN128	ไม่มีความแตกต่างกัน

2. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว และค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 20 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบแยกตามฤดูกาล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบ	เดือน	ผลการวิเคราะห์
GPS (spp)	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน
	ธันวาคม 2562	
	เมษายน 2563	
GPS+GAGAN127	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน
	ธันวาคม 2562	
	เมษายน 2563	
GPS+GAGAN128	กันยายน 2562	ไม่มีความแตกต่างกัน
	ธันวาคม 2562	
	เมษายน 2563	

3. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 21 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแยกตามวิธีการประมวลผล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์
GPS (spp)	มีความแตกต่างกัน	GPS (spp) กับ GPS+GAGAN127	มีความแตกต่างกัน
GPS+GAGAN127		GPS (spp) กับ GPS+GAGAN128	มีความแตกต่างกัน
GPS+GAGAN128		GPS+GAGAN127 กับ GPS+GAGAN128	ไม่มีความแตกต่างกัน

4. ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว และค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS ประมวลผลกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 22 การสรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งแยกตามฤดูกาล

การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง	เดือน	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์
GPS (spp)	กันยายน 2562 ธันวาคม 2562 เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ ธันวาคม 2562	มีความแตกต่างกัน
			กันยายน 2562 กับ เมษายน 2563	ไม่มีความแตกต่างกัน
			ธันวาคม 2562 กับ เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน

การเปรียบเทียบ ค่าเฉลี่ยค่า คลาดเคลื่อนทางตั้ง	เดือน	ผลการวิเคราะห์	การจับคู่วิเคราะห์ผล	ผลการวิเคราะห์	
GPS + GAGAN127	กันยายน 2562 ธันวาคม 2562 เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ	มีความแตกต่างกัน	
			ธันวาคม 2562		
			กันยายน 2562 กับ	ไม่มีความแตกต่างกัน	
				เมษายน 2563	
				ธันวาคม 2562 กับ	มีความแตกต่างกัน
				เมษายน 2563	
GPS + GAGAN128	กันยายน 2562 ธันวาคม 2562 เมษายน 2563	มีความแตกต่างกัน	กันยายน 2562 กับ	มีความแตกต่างกัน	
			ธันวาคม 2562		
			กันยายน 2562 กับ	ไม่มีความแตกต่างกัน	
				เมษายน 2563	
				ธันวาคม 2562 กับ	มีความแตกต่างกัน
				เมษายน 2563	

5.2 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการอภิปรายผลการศึกษาวิจัยข้างต้นในการประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ในพื้นที่ประเทศไทย โดยทำการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ด้วยวิธีการประมวลผลจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP) เป็นค่าพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว และเปรียบเทียบกับค่าพิกัดจากการประมวลผลข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ด้วยวิธีการประมวลผลหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (SPP) โดยใช้ข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในทุก ๆ 1 วินาที ของกรมแผนที่ทหารจำนวน 40 สถานีที่กระจายทั่วประเทศไทย ในวันที่ 1-30 กันยายน 2562, 1-31 ธันวาคม 2562 และ 1-30 เมษายน 2563 โดยใช้วิธีการทางสถิติคือ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ในการเปรียบเทียบผลการวิจัย

สรุปได้ว่าปัจจุบันในพื้นที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งได้โดยเฉลี่ย เมื่อประมวลผลร่วมกับข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดียวในพื้นที่ประเทศไทย อีกทั้งการรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม GAGAN รับสัญญาณได้ 40 สถานี ในทุกช่วงเวลาที่กำหนดในงานวิจัย ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งประเทศไทย แต่การรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SPAN รับสัญญาณได้ 11 สถานี ในช่วงเดือนเมษายน 2563 เท่านั้น และรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม BDSBAS รับสัญญาณได้ 31 สถานี จากทั้งหมด 40 สถานี ในช่วงเดือนธันวาคม 2562 เท่านั้นซึ่งยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งประเทศไทย ซึ่งผลจากการวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ประทุมพร พวงเพชร (2560) ที่สรุปไว้ว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดครอบคลุมทุกพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 จากผลการศึกษารายงานพบว่าในปัจจุบันในพื้นที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ให้บริการครอบคลุมทุกช่วงเวลาและครอบคลุมทุกพื้นที่ที่เลือกศึกษารายงาน แต่ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SPAN, และ BDSBAS ให้บริการไม่ครอบคลุมทุกช่วงเวลาและครอบคลุมทุกพื้นที่ที่เลือกศึกษารายงาน ในอนาคตอาจจะมีการให้บริการค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS อื่น ๆ ที่ครอบคลุมทุกช่วงเวลาและครอบคลุมทุกพื้นที่ประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมจากการให้บริการค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS อื่น ๆ ที่เพิ่มขึ้นด้วย

5.3.2 จากผลการศึกษารายงานชี้ให้เห็นว่าปัจจุบันในพื้นที่ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณจากระบบดาวเทียม SBAS ได้ 3 ระบบ คือ SPAN, GAGAN, และ BDSBAS ซึ่งค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ทั้ง 3 ระบบข้างต้น ไม่สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางดิ่งได้โดยเฉลี่ย เมื่อเทียบกับการประมวลผลค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ซึ่งยังไม่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย ดังนั้นจึงควรศึกษาพัฒนาแบบจำลองค่าแก้ค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ด้วยระบบดาวเทียม SBAS ที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทยประเทศไทย

5.3.3 เนื่องจากค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ที่สามารถประมวลผลได้ในพื้นที่ประเทศไทยในปัจจุบัน จะให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ดังกล่าวไปใช้งานควรคำนึงถึงมาตรฐานความถูกต้องทางตำแหน่งที่ยอมรับได้ของงานแต่ละประเภทด้วย



บรรณานุกรม

- Authority, T., & Virginia, N. (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3. USA: National Standard for Spatial Data Accuracy.
- Bao, J. et al. (2019). Ionospheric Anomaly Detection to Support the BDSBAS. IEEE Access 8, 1691-1704.
- Chen, S et al. (2019). Study on the Prediction Method of Single and Dual Frequency Service Area for BDSBAS. Paper presented at the China Satellite Navigation Conference.
- Choy, S. et al. (2017). GNSS satellite-based augmentation systems for Australia. GPS Solutions 21(3), 835-848.
- Dammalage, De Silva, D., & Satirapod, C. (2017). Performance Analysis of GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN) Over Sri Lanka. Engineering journal 21(5), 305-314.
- Dammalage, T. (2019). Application of Indian space-based augmentation service on geospatial data collections in Sri Lanka. Survey Review 51(369), 485-491.
- Daniel Porras Sánchez , & César Pisonero Berges. (2006). "The EGNOS SBAS Message Format Explained". [Online]. Retrieved from https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/The_EGNOS_SBAS_Message_Format_Explained
- Dautermann, T. (2014). Civil air navigation using GNSS enhanced by wide area satellite based augmentation systems. Progress in Aerospace Sciences 67, 51-62.
- Enge, P. et al. (2015). Aviation Benefits from Satellite Navigation. New space 3(1), 19-35.
- Ernst, & Young. (2019). SBAS Test-bed Demonstrator Trial Economic Benefits Report. Australia.
- European GNSS Agency. (2020). GNSS USER TECHNOLOGY REPORT ISSUE 3. Office of the European Union.
- European Space Agency. (2011). "SBAS TeACHER". [Online]. Retrieved from <http://www.egnos-pro.esa.int/sbasteacher/>
- Ganeshan, A. el at, Jan-Feb. (2016). GAGAN—Redefining Navigation over the Indian

- Region. In inside GNSS, 42-48.
- George, D., & Mallery, P. (2019). IBM SPSS statistics 26 step by step: A simple guide and reference: Routledge.
- Geoscience Australia. (2018). "Geoscience Australia conducts aviation trial on satellite-based augmentation system". [Online] Retrieved from <https://www.opengovasia.com/geoscience-australia-conducts-aviation-trial-on-satellite-based-augmentation-system/>
- Geoscience Australia. (2020). "Online GPS Processing Service". [Online]. Retrieved from <https://gnss.ga.gov.au/auspos>
- Gregory, T. (1996). UNDERSTANDING THE GPS An Introduction to the Global Positioning System What It Is and How It works. USA: GeoResearch.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. GPS solutions 5(2), 12-28.
- Kruskal, W. (1952). A nonparametric test for the several sample problem. Annals of Mathematical Statistics 23(4), 525-540.
- Li, R. et al. (2020). Advances in BeiDou Navigation Satellite System (BDS) and satellite navigation augmentation technologies. Satellite Navigation 1(1), 1-23.
- Liu, C. et al. (2019). Performance Evaluation Method for Ionospheric Grid Information of BDS via Dual-frequency Observations. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Pearson, K. (2011). The life, letters and labours of Francis Galton: Cambridge University Press.
- Takasu, T. (2013). RTKLIB ver. 2.4. 2 Manual. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 29-49.
- Tsai, Y., & Low, K. (2014). Performance assessment on expanding SBAS service areas of GAGAN and MSAS to Singapore region. Paper presented at the 2014 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium-PLANS 2014.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2548). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Survey งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปทุมพร พวงเพ็ชร. (2560). การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียม

นำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม
สำรวจจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภักพงษ์ หอมเนียม. (2547). การพัฒนาซอฟต์แวร์สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียวที่ให้ความละเอียดสูง
โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชัย เยี่ยงวีรชน. (2549). การสำรวจรังวัด : ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ขั้นตอนการทดสอบทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบและค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

1. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล โดยมีปัจจัยในการพิจารณาเลือกใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล คือ การวัดการกระจายตัวของข้อมูล และความแปรปรวนของข้อมูล

1.1 การวัดการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ (normal distribution) โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าคลาดเคลื่อนทางราบมีการกระจายตัวแบบปกติ)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าคลาดเคลื่อนทางราบมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

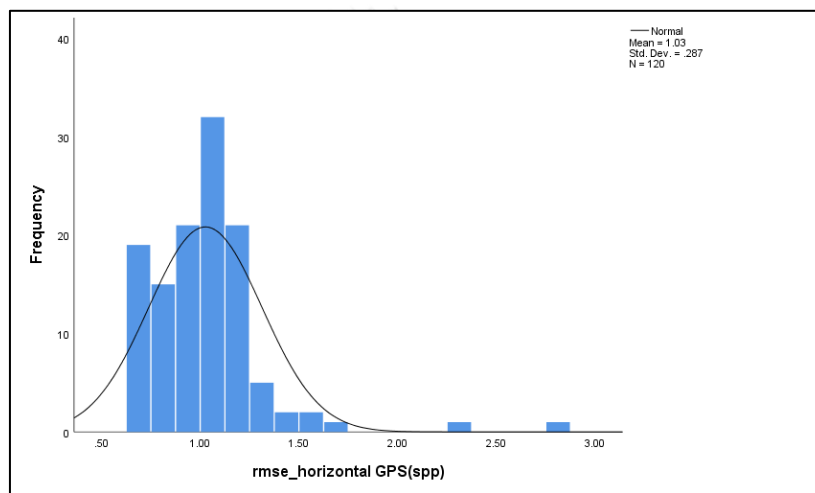
ตารางที่ ก-1 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผลของแต่ละวิธี

		Case Processing Summary					
		Valid		Missing		Total	
satellite		N	Percent	N	Percent	N	Percent
RMSE_horizontal	GPS (spp)	120	100.00%	0	0.00%	120	100.00%
	GPS+GAGAN127	120	100.00%	0	0.00%	120	100.00%
	GPS+GAGAN128	120	100.00%	0	0.00%	120	100.00%

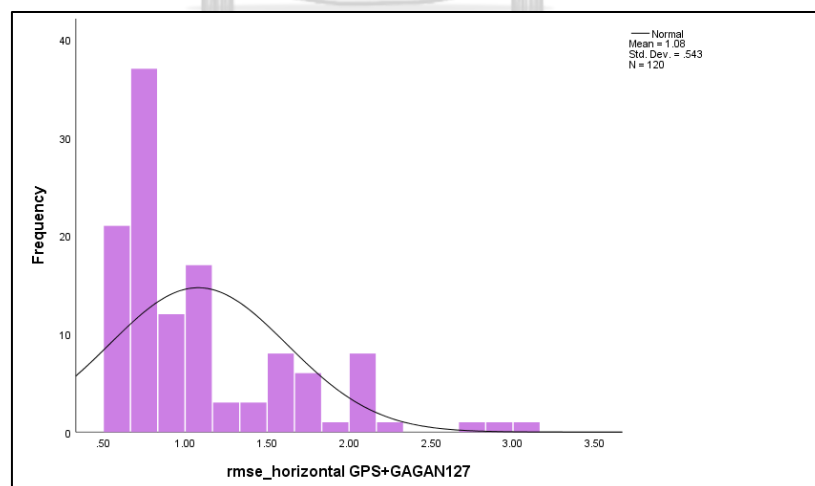
ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบการกระจายตัวของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธี

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	satellite	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
RMSE_horizontal	GPS (spp)	0.16	120	0.00	0.78	120	0.00
	GPS+GAGAN127	0.19	120	0.00	0.80	120	0.00
	GPS+GAGAN128	0.19	120	0.00	0.81	120	0.00

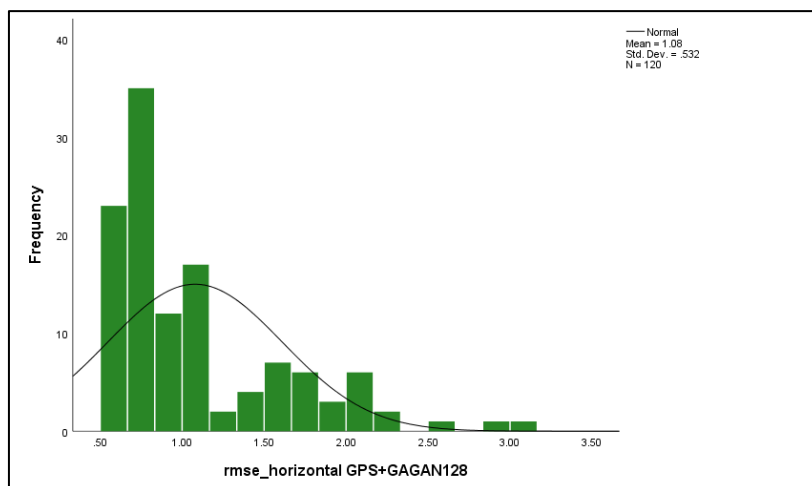
a. Lilliefors Significance Correction



รูปที่ ก-1 การแสดงการกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS (spp)



รูปที่ ก-2 การแสดงการกระจายตัวของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127



รูปที่ ก-3 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN128

จากตารางที่ ก-1 และ ก-2 แสดงผลการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 ด้วยวิธี Shapiro-Wilk พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าคลาดเคลื่อนทางราบมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้ Kruskal-wallis ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล

1.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธีไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-3 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผลของแต่ละวิธี

Ranks			
	satellite	N	Mean Rank
RMSE_horizontal	GPS (spp)	120	199.67
	GPS+GAGAN127	120	170.76
	GPS+GAGAN128	120	171.07
Total		360	

ตารางที่ ก-4 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลของแต่ละวิธี

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_horizontal
Kruskal-Wallis H	6.11
df	2
Asymp. Sig.	0.04
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: satellite	

จากตารางที่ ก-3 และ ก-4 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.04 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบ ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U โดยการจับคู่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบ ซึ่งกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.2.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127

สมมติฐาน

H₀ : $\mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ไม่มีความแตกต่างกัน)

H₁ : $\mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H₀ เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-5 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN127

		Ranks		
		N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_horizontal	GPS (spp)	120	130.16	15619.50
	GPS+GAGAN127	120	110.84	13300.50
Total		240		

ตารางที่ ก-6 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN127

Test Statistics ^a	
	RMSE_horizontal
Mann-Whitney U	6040.50
Wilcoxon W	13300.50
Z	-2.16
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.03

a. Grouping Variable: satellite

จากตารางที่ ก-5 และ ก-6 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.03 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 มีความแตกต่างกัน

1.2.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) \leq 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับ

นัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-7 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128

Ranks				
	satellite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_horizontal	GPS (spp)	120	130.00	15600.50
	GPS+GAGAN128	120	111.00	13319.50
Total		240		

ตารางที่ ก-8 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128

Test Statistics ^a	
	RMSE_horizontal
Mann-Whitney U	6059.50
Wilcoxon W	13319.50
Z	-2.12
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.03

a. Grouping Variable: satt

จากตารางที่ ก-7 และ ก-8 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.03 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน

1.2.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128

สมมติฐาน

H₀ : $\mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน)

H₁ : $\mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H₀ เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-9 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128

Ranks				
	satellite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_horizontal	GPS+GAGAN127	120	120.43	14451.00
	GPS+GAGAN128	120	120.58	14469.00
	Total	240		

ตารางที่ ก-10 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128

Test Statistics ^a	
	RMSE_horizontal
Mann-Whitney U	7191.00
Wilcoxon W	14451.00
Z	-0.02
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.99

a. Grouping Variable: satellite

จากตารางที่ ก-9 และ ก-10 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.99 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน

2. การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว และค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน

2.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เปรียบเทียบตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) แต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) แต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-11 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล

Ranks			
	month	N	Mean Rank
RMSE_horizontal	April	40	63.15
	September	40	64.26
	December	40	54.09
	Total	120	

ตารางที่ ก-12 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_horizontal
Kruskal-Wallis H	2.06
df	2
Asymp. Sig.	0.36
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: month	

จากตารางที่ ก-11 และ ก-12 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เปรียบเทียบตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และ

เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.36 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน

2.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 แต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 แต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) \leq 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-13 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล

Ranks			
	month	N	Mean Rank
RMSE_horizontal	April	40	53.83
	September	40	71.39
	December	40	56.29
	Total	120	

ตารางที่ ก-14 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_horizontal
Kruskal-Wallis H	5.99
df	2
Asymp. Sig.	0.06

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-13 และ ก-14 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เปรียบเทียบตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.06 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน

2.3 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เปรียบเทียบแยกตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 แต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 แต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-15 จำนวน RMSE ทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล

Ranks			
	month	N	Mean Rank
RMSE_horizontal	April	40	52.91
	September	40	70.15
	December	40	58.44
	Total	120	

ตารางที่ ก-16 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบของการประมวลผลแบบ GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_horizontal
Kruskal-Wallis H	5.12
df	2
Asymp. Sig.	0.08

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-15 และ ก-16 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางราบของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เปรียบเทียบตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.08 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางราบของแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน

3. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล

3.1 การวัดการกระจายตัวของข้อมูล เพื่อทดสอบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ (normal distribution) โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งมีการกระจายตัวแบบปกติ)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

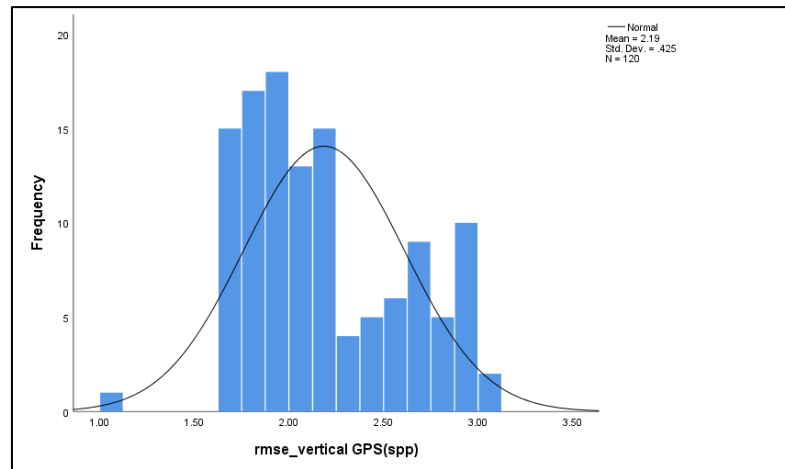
ตารางที่ ก-17 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวลผลแต่ละวิธี

Case Processing Summary							
		Cases					
		Valid		Missing		Total	
satellite		N	Percent	N	Percent	N	Percent
RMSE_vertical	GPS (spp)	120	100.00%	0	0.00%	120	100.00%
	GPS+GAGAN127	120	100.00%	0	0.00%	120	100.00%
	GPS+GAGAN128	120	100.00%	0	0.00%	120	100.00%

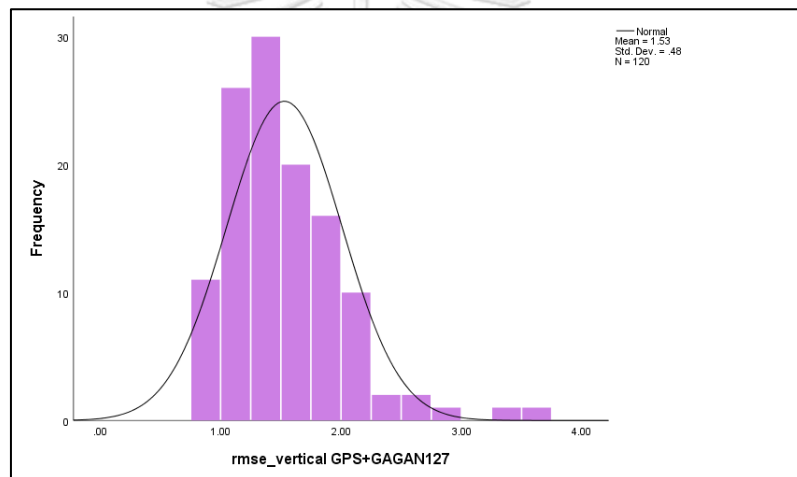
ตารางที่ ก-18 ผลการทดสอบการกระจายตัวของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผลแต่ละวิธี

Tests of Normality							
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
satellite		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
RMSE_vertical	GPS (spp)	0.14	120	0.00	0.93	120	0.00
	GPS+GAGAN127	0.11	120	0.00	0.90	120	0.00
	GPS+GAGAN128	0.10	120	0.00	0.90	120	0.00

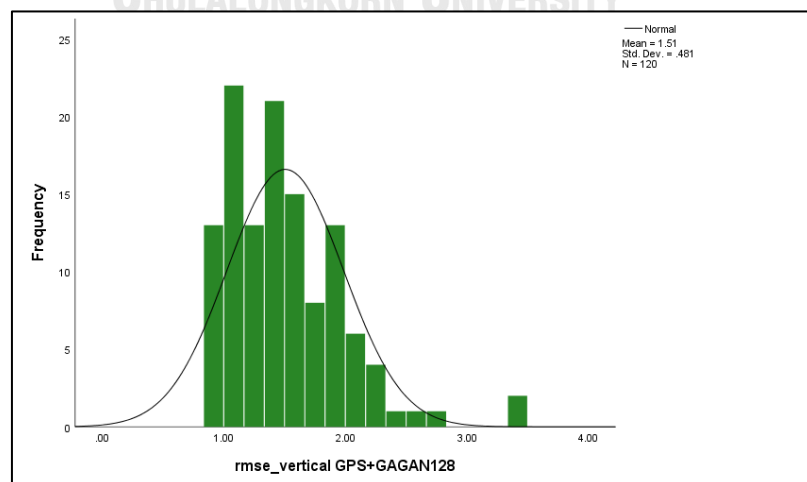
a. Lilliefors Significance Correction



รูปที่ ก-4 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp)



รูปที่ ก-5 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN127



รูปที่ ก-6 การแสดงการกระจายตัวค่าคลาดเคลื่อนทางราบของการประมวลผล GPS+GAGAN128

จากตารางที่ ก-17 และ ก-18 แสดงผลการทดสอบหากระจายตัวของข้อมูลค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 ด้วยวิธี Shapiro-Wilk พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงเลือกใช้ Kruskal-wallis ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล

3.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 เปรียบเทียบตามวิธีการประมวลผล ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธีไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) \leq 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-19 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

Ranks			
	satellite	N	Mean Rank
RMSE_vertical	GPS (spp)	120	268.37
	GPS+GAGAN127	120	139.10
	GPS+GAGAN128	120	134.03
Total		360	

ตารางที่ ก-20 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธี

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_vertical
Kruskal-Wallis H	128.47
df	2
Asymp. Sig.	0.00

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: satellite

จากตารางที่ ก-19 และ ก-20 แสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 และ GAGAN128 ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของการประมวลผลแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U โดยการจับคู่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ซึ่งกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127

สมมติฐาน

H₀ : $\mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ไม่มีความแตกต่างกัน)

H₁ : $\mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H₀ เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-21 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวล GPS (spp) และ GPS+GAGAN127

Ranks				
	satellite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	GPS (spp)	120	164.11	19693.50
	GPS+GAGAN127	120	76.89	9226.50
Total		240		

ตารางที่ ก-22 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS (spp) และ sbas127

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	1966.50
Wilcoxon W	9226.50
Z	-9.73
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.00

a. Grouping Variable: satellite

จากตารางที่ ก-21 และ ก-22 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ด้วยวิธี Mann-Whitney U ผลการทดสอบพบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 มีความแตกต่างกัน

3.2.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-23 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128

Ranks				
	satellite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	GPS (spp)	120	164.76	19771.00
	GPS+GAGAN128	120	76.24	9149.00
Total		240		

ตารางที่ ก-24 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp) และ GPS+GAGAN128

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	1889.00
Wilcoxon W	9149.00
Z	-9.88
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.00

a. Grouping Variable: satellite

จากตารางที่ ก-23 และ ก-24 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน

3.2.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-25 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128

Ranks				
	satellite	N	Mean Rank	Sum of Ranks
GAGAN_vertical	GPS+GAGAN127	120	122.71	14725.00
	GPS+GAGAN128	120	118.29	14195.00
Total		240		

ตารางที่ ก-26 ทดสอบความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 และ GPS+GAGAN128

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	6935.00
Wilcoxon W	14195.00
Z	-0.49
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.62

a. Grouping Variable: satellite

จากตารางที่ ก-25 และ ก-26 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.62 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 กับค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ไม่มีความแตกต่างกัน

4. การทดสอบความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว และค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม SBAS เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน

4.1 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เปรียบเทียบตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) แต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) แต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-27 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล

Ranks			
	month	N	Mean Rank
RMSE_vertical	April	40	41.23
	September	40	42.44
	December	40	97.84
	Total	120	

ตารางที่ ก-28 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp) แยกตามฤดูกาล

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_vertical
Kruskal-Wallis H	69.15
df	2
Asymp. Sig.	0.00

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-27 และ ก-28 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เปรียบเทียบตามฤดูกาลซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U โดยการจับคู่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ซึ่งกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-29 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	September	40	21.63	865.00
	December	40	59.38	2375.00
	Total	80		

ตารางที่ ก-30 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	45.00
Wilcoxon W	865.00
Z	-7.27
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.00

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-29 และ ก-30 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 คือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน

4.1.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-31 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	April	40	39.69	1587.50
	September	40	41.31	1652.50
	Total	80		

ตารางที่ ก-32 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	767.50
Wilcoxon W	1587.50
Z	-0.31
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.75

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-31 และ ก-32 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.75 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน

4.1.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-33 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS (spp) ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	April	40	22.04	881.50
	December	40	58.96	2358.50
	Total	80		

ตารางที่ ก-34 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS (spp) ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	61.50
Wilcoxon W	881.50
Z	-7.11
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.00

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-33 และ ก-34 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว (spp) ในเดือนธันวาคม 2562 กับเดือนเมษายน 2563 แตกต่างกัน

4.2 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐาน และทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ของแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-35 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล

Ranks			
	month	N	Mean Rank
RMSE_vertical	April	40	70.00
	September	40	63.96
	December	40	47.54
	Total	120	

ตารางที่ ก-36 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 แยกตามฤดูกาล

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_vertical
Kruskal-Wallis H	8.93
df	2
Asymp. Sig.	0.01

a. Kruskal Wallis Test
b. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-35 และ ก-36 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว และเดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U โดยการจับคู่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่ง ซึ่งกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกต์จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-37 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	September	40	47.11	1884.50
	December	40	33.89	1355.50
	Total	80		

ตารางที่ ก-38 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	535.50
Wilcoxon W	1355.50
Z	-2.55
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.01

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-37 และ ก-38 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน

4.2.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 แตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-39 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	April	40	43.65	1746.00
	September	40	37.35	1494.00
	Total	80		

ตารางที่ ก-40 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 ในเดือนกันยายนกับเดือนเมษายน

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	674.00
Wilcoxon W	1494.00
Z	-1.21
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.23

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-39 และ ก-40 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.23 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน

4.2.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 เดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 แตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-41 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN127 ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	April	40	46.85	1874.00
	December	40	34.15	1366.00
	Total	80		

ตารางที่ ก-42 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN127 ในเดือนธันวาคมกับเดือนเมษายน

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	546.00
Wilcoxon W	1366.00
Z	-2.44
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.02

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-41 และ ก-42 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN127 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน

4.3 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis โดยกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ของแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-43 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล

Ranks			
	month	N	Mean Rank
RMSE_vertical	April	40	71.22
	September	40	62.29
	December	40	47.99
Total		120	

ตารางที่ ก-44 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 แยกตามฤดูกาล

Test Statistics ^{a,b}	
	RMSE_vertical
Kruskal-Wallis H	9.08
df	2
Asymp. Sig.	0.01
a. Kruskal Wallis Test	
b. Grouping Variable: month	

จากตารางที่ ก-43 และ ก-44 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัตจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เปรียบเทียบตามฤดูกาลของประเทศไทยซึ่งมีเดือนกันยายน 2562 เป็นตัวแทนของฤดูฝน เดือนธันวาคม 2562 เป็นตัวแทนของฤดูหนาว เดือนเมษายน 2563 เป็นตัวแทนของฤดูร้อน ด้วยวิธี Kruskal-wallis พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัตจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ด้วยวิธี Kruskal-wallis ข้างต้นสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัตจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ของแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน และกลุ่มตัวอย่างมีมากกว่า 2 กลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นจึงใช้วิธี Mann-Whitney U โดยการจับคู่กลุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้ง ซึ่งกำหนดสมมติฐานและทดสอบสมมติฐานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-45 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN128 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	September	40	46.41	1856.50
	December	40	34.59	1383.50
	Total	80		

ตารางที่ ก-46 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 ในเดือนกันยายนกับเดือนธันวาคม

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	563.50
Wilcoxon W	1383.50
Z	-2.28
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.02

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-45 และ ก-46 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนธันวาคม 2562 มีความแตกต่างกัน

4.3.2 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 เดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 แตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) \leq 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-47 จำนวน RMSE ทางตั้งของการประมวล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือนกันยายน

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	April	40	44.63	1785.00
	September	40	36.38	1455.00
	Total	80		

ตารางที่ ก-48 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางตั้งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือนกันยายน

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	635.00
Wilcoxon W	1455.00
Z	-1.59
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.11

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-47 และ ก-48 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.11 ซึ่งมีความมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) > 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_0 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนกันยายน 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน

4.3.3 วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563

สมมติฐาน

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ไม่มีความแตกต่างกัน)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน)

โดยจะปฏิเสธ H_0 เมื่อค่า Sig. (2-tailed) มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (Sig. (2-tailed) ≤ 0.05) ทำการทดสอบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตามสมมติฐานข้างต้น ด้วยซอฟต์แวร์ IBM SPSS Statistics Subscription ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ตารางที่ ก-49 จำนวน RMSE ทางดิ่งของการประมวล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือน ธันวาคม

Ranks				
	month	N	Mean Rank	Sum of Ranks
RMSE_vertical	April	40	47.10	1884.00
	December	40	33.90	1356.00
	Total	80		

ตารางที่ ก-50 ทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางดิ่งของการประมวลผล GPS+GAGAN128 ในเดือนเมษายนกับเดือนธันวาคม

Test Statistics ^a	
	RMSE_vertical
Mann-Whitney U	536.00
Wilcoxon W	1356.00
Z	-2.54
Asymp. Sig. (2-tailed)	0.01

a. Grouping Variable: month

จากตารางที่ ก-49 และ ก-50 แสดงผลการทดสอบหาความสัมพันธ์ของค่าคลาดเคลื่อนทาง ดิ่งของค่าพิกัดจากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือนธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 ด้วยวิธี Mann-Whitney U พบว่าค่า Sig. (2-tailed) มีค่าเท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้คือ 0.05 (Sig. (2-tailed) < 0.05) แสดงว่ายอมรับ H_1 กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของค่าพิกัด จากข้อมูลรังวัดด้วยดาวเทียม GPS ประมวลผลร่วมกับค่าแก้จากดาวเทียม GAGAN128 ในเดือน ธันวาคม 2562 เทียบกับเดือนเมษายน 2563 มีความแตกต่างกัน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายพูนทรัพย์ ทะริ
วัน เดือน ปี เกิด	29 มีนาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดน่าน
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2555 สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศรีสวัสดิ์ วิทยาคาร จังหวัดน่าน พ.ศ. 2560 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม โยธาและการศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2562 สำเร็จการศึกษาปริญญารัฐศาสตรบัณฑิต คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ที่อยู่ปัจจุบัน	139 ม.7 ต.ตาลชุม อ.เวียงสา จ.น่าน 55110
ผลงานตีพิมพ์	พูนทรัพย์ ทะริ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2564) "การประเมินค่าความ ถูกต้องทางตำแหน่งโดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม SBAS ร่วมกับการรังวัด ด้วยระบบดาวเทียม GPS สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุด เดี่ยว ในพื้นที่ประเทศไทย" การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564