

การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการ
ประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย



นางสาวปทุมพร พวงเพชร

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF POSITIONING ACCURACY USING GAGAN CORRECTION FOR GPS SINGLE
POINT POSITIONING MODE IN THAILAND REGION



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย

โดย

นางสาวปทุมพร พวงเพชร

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บรรเจิด พลະการ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธีทัต เจริญกาลัญญูตา)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ พันโท ดร.สรวิศ สุขเวทย์)

ปทุมพร พวงเพ็ชร : การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย (ANALYSIS OF POSITIONING ACCURACY USING GAGAN CORRECTION FOR GPS SINGLE POINT POSITIONING MODE IN THAILAND REGION) อ.ที่ปริภษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 57 หน้า.

ในปัจจุบันระบบดาวเทียมนำหน GPS ได้ประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการใช้งานหลายด้าน เช่น การสำรวจ การทำแผนที่ การนำทาง การบิน และงานด้านอื่นๆ อย่างไรก็ตาม ค่าความถูกต้องและความแม่นยำทางตำแหน่งจาก GPS ยังไม่เพียงพอสำหรับงานบางอย่าง ระบบเสริมการระบุพิกัดด้วยดาวเทียม Satellite Based Augmentation Systems (SBAS) ซึ่งพัฒนาโดยหลายๆประเทศที่พัฒนาแล้วและตั้งชื่อเรียกระบบต่างกันไป โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงความถูกต้องและความแม่นยำระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการนำร่องอากาศยาน ในปัจจุบัน SBAS ที่ครอบคลุมพื้นที่ในประเทศไทย คือ GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN) ที่พัฒนาโดยประเทศอินเดีย GAGAN ได้ช่วยเสริมค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือทางตำแหน่งสำหรับการนำร่องการบินในประเทศอินเดียและพื้นที่ใกล้เคียง การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นเรื่องการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย ผลจากการรังวัดดังกล่าวจะเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมสากลแบบต่อเนื่อง (GNSS CORS) ของกรมที่ดิน จำนวน 11 สถานี และกรมโยธาธิการและผังเมือง จำนวน 11 สถานี ซึ่งใช้ข้อมูล GPS จากวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2560 ในการศึกษาวิจัย จากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่ครอบคลุมกับทุกพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นยังคงไม่เหมาะสมกับประเทศไทยซึ่งแสดงให้เห็นจากค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยการใช้ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar model และค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ดีกว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัด GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในบางพื้นที่ของประเทศไทย

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5870436621 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: GPS / SBAS / GAGAN / GNSS / , CONTINUOUSLY OPERATING REFERENCE STATION

PATUMPHON PUANGPET: ANALYSIS OF POSITIONING ACCURACY USING GAGAN CORRECTION FOR GPS SINGLE POINT POSITIONING MODE IN THAILAND REGION.
ADVISOR: PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 57 pp.

At present, Global Positioning System (GPS) is applied in various applications such as surveying, mapping, navigation, aviation, etc. However, GPS positioning accuracy and precision are not sufficient for some applications. Satellite Based Augmentation Systems (SBAS) are developed by several developed countries and each SBAS is named differently, with an intention to further improve GPS positioning systems accuracy and precision, especially for aircraft navigation. Currently SBAS covering Thailand is geostationary Earth orbit (GEO) Augmented Navigation (GAGAN) developed by India. GAGAN provides improved positioning accuracies and reliabilities in aviation in India and nearby areas. This study focuses on analysis of positioning accuracy using GAGAN correction services for GPS single point positioning determination in Thailand. The results are compared with reference coordinates by using GNSS observations of 11 GNSS CORSs operated by the Department of Lands (DOL) and 11 GNSS CORSs from Department of Public Works and Town & Country Planning (DPT). This study had been carried out with GPS observation data starting from 1 January 2017 until 31 March 2017. According to the obtained results, the performance of GAGAN could not provide a good service in any part of Thailand due to GAGANs ionosphere correction is not suitable for Thailand, as shown in the positioning accuracy from GPS aided by GAGAN which is lower than the results obtained from GAGAN combined with Klobuchar model and GPS by applying ionosphere-free combination in some parts of Thailand.

Department: Survey Engineering

Student's Signature

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลายท่านด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศ. ดร. เฉลิมชนม์ สติรพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณที่ให้แนวความคิด ความรู้ รวมถึงคำปรึกษาต่างๆ ในการทำงานวิจัยจนสามารถทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอบพระคุณ รศ. ดร. บรรเจิด พละการ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ พร้อมแนวความคิด สำหรับการดำเนินงานวิจัย

ขอบพระคุณ ดร. ธิทัต เจริญกาลัญญูตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสั่งสอนให้ความรู้ ทางด้านการศึกษา ด้านการประมวลผลข้อมูล และให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดการศึกษา

ขอบพระคุณ พท. ดร. สรวีศ สุภเวษย์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอบพระคุณ ดร. ทยาทิพย์ ทองตัน จากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ ผู้ซึ่งสนับสนุน ให้คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ทั้งในด้านการปฏิบัติงานและด้านการศึกษา

ขอบพระคุณนายชัยพร กิจประชา ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้ความรู้ การประมวลผล และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอบพระคุณนายสุรัตน์ ดับใหม่และครอบครัว ที่ให้ความช่วยเหลือด้านความรู้ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดการศึกษา

ขอบพระคุณนางสาวพิชญา หาญคุณากร และนางสาวชวีศา บรรเลงสุวรรณที่ให้ความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา และให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดการศึกษา

ขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ เพื่อนและพี่ๆ น้องๆ ภาควิศวกรรมสำรวจทุกท่าน สำหรับมิตรภาพ คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจและการสนับสนุนในทุกด้าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ไม่มากนักน้อยและหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยเป็นอย่างสูง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 แนวเหตุผลและทฤษฎีสำคัญ.....	7
2.1 การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว Single Point Positioning (SPP).....	7
2.2 การประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP).....	8
2.3 มาตรฐานการบิน.....	9
2.4 Space Based Augmentation System (SBAS).....	11
2.5 THE GPS AIDED GEO AUGMENTED NAVIGATION (GAGAN).....	13
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.2 ขั้นตอนวิธีการประมวลและเปรียบเทียบค่าพิกัด.....	25
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	27

4.1 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว.....	27
4.2 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ...	30
4.3 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่ง ใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model	32
4.4 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3).....	35
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	38
5.1 อภิปรายผล	38
5.2 สรุปผลการวิจัย	50
5.3 ปัญหาที่พบ	51
5.4 ข้อเสนอแนะ	51
รายการอ้างอิง.....	53
รายการอ้างอิง.....	55
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	57

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สรุปเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพของ GNSS ในแต่ละช่วงการบิน.....	10
ตารางที่ 2.2 สรุปเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพของ GNSS ในแต่ละช่วงการบิน.....	11
ตารางที่ 2.3 สรุปประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN.....	17
ตารางที่ 4.1 แสดงตารางค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับ ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว.....	28
ตารางที่ 4.2 แสดงตารางค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN.....	31
ตารางที่ 4.3 แสดงตารางค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model.....	34
ตารางที่ 4.4 แสดงตารางค่า Root Mean Square Error (RMSE)และค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับ ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3).....	36

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ที่ใช้ข้อมูลในการทำการศึกษจากกรมโยธาธิการและผังเมือง	3
รูปที่ 1.2 แสดงพื้นที่ที่ใช้ข้อมูลในการทำการศึกษจากกรมที่ดิน	4
รูปที่ 1.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษา.....	6
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของระบบดาวเทียม SBAS	12
รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบส่วนภาคพื้นดินของระบบดาวเทียม GAGAN.....	14
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบการทำงานของระบบดาวเทียม GAGAN.....	14
รูปที่ 2.4 แสดงพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณระบบดาวเทียม GAGAN	15
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนวิธีการการประมวลและเปรียบเทียบค่าพิกัดในแต่ละวิธี.....	26
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบ และ แนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว..	29
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบ และแนวตั้งจาก การเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว.....	29
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและ แนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบ ดาวเทียม GAGAN	31
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จาก การเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN.....	32
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและ แนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบ ดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model.....	34
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จาก การเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model	35

รูปที่ 4.7 แสดงกราฟค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)..... 37

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)..... 37

รูปที่ 5.1 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบ ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง 40

รูปที่ 5.2 แสดงค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบ ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง..... 41

รูปที่ 5.3 แสดงวิธีการประมวลผลค่าพิกัดที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง ของค่าพิกัดในแนวราบมากที่สุดในแต่ละสถานี 42

รูปที่ 5.4 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวตั้ง ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง 45

รูปที่ 5.5 แสดงค่า Standard Deviation (SD)ของค่าพิกัดทั้งในแนวตั้ง ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง 46

รูปที่ 5.6 แสดงวิธีการประมวลผลที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัด ในแนวตั้งมากที่สุดของแต่ละสถานี..... 47

รูปที่ 5.7 แสดงประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย 49

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบดาวเทียมนำหน Global Positioning System (GPS) หรือ NAVSTAR GPS (NAVigation System for Timing And Ranging–Global Positioning System) เป็นระบบดาวเทียมนำหนที่ถูกรออกแบบใช้งานอย่างยาวนาน โดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาเป็นผู้พัฒนาระบบนี้ขึ้นมา เพื่อให้บริการจัดหาตำแหน่งที่ครอบคลุมทั่วโลก ปัจจุบันระบบดาวเทียมนำหนได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยประเทศต่างๆ ซึ่งมีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียมนำหน GPS เรียก ระบบนี้ว่า Global Navigation Satellite System (GNSS) ประกอบด้วยระบบดาวเทียมนำหนอื่นๆ ได้แก่ GLONASS ของประเทศรัสเซีย GALILEO ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป BeiDou ของประเทศจีน QZSS ของประเทศญี่ปุ่น และ IRNSS ของประเทศอินเดีย (Bacci et al., 2012) ระบบดาวเทียมนำหน GPS ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านการสำรวจ ด้านการทำแผนที่ ด้านการนำทางรถยนต์ ด้านทางการนำร่องการบิน เป็นต้น แต่บางครั้งความถูกต้องและความแม่นยำทางตำแหน่งสำหรับการนำทางที่ได้รับยังไม่เพียงพอจึงมีแนวคิดการพัฒนาระบบเสริมความถูกต้องและความแม่นยำทางตำแหน่ง ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า The Satellite Based Augmentation Systems (SBAS) โดยระบบจะเพิ่มความถูกต้องและความแม่นยำทางตำแหน่งของระบบตามเทียมนำหน GPS (Murugan, 2014)

ระบบดาวเทียม SBAS ได้ถูกพัฒนาใช้งานขึ้นในหลายประเทศและมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป อาทิ ในสหรัฐอเมริกาเรียกว่า WAAS (Wide Area Augmentation System) ในขณะที่กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปเรียกว่า EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) สำหรับประเทศญี่ปุ่นเรียกว่า MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) และส่วนประเทศอินเดียเรียกว่า GAGAN (GPS Aided GEO Augmented Navigation) (Dammalage & Silva, 2016) ซึ่งระบบดาวเทียม SBAS ที่สัญญาณครอบคลุมประเทศไทยคือระบบ GAGAN (GANESHAN A.S. et al., 2016)

ระบบดาวเทียม GAGAN ประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวงคือ GSAT- 8 และ GSAT- 10 ซึ่งถูกพัฒนาโดย Airports Authority of India (AAI) ร่วมกับ Indian Space Research Organization (ISRO) ระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะเพิ่มความถูกต้องความแม่นยำของการหาตำแหน่งในระบบดาวเทียมนำหน GPS ทำให้มีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากระบบดาวเทียม GAGAN มากมาย เช่น การประยุกต์ระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการรังวัดทำแผนที่ การสำรวจ หรือเป็น

ระบบเสริมความถูกต้องสำหรับการนำหนด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในด้านการเดินทาง อากาศเพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบการเดินทางอากาศยุคใหม่ ที่มีองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรือ International Civil Aviation Organization (ICAO) เป็นผู้กำหนดแนวทางปฏิบัติและ มาตรฐานไว้อย่างชัดเจน ปัจจุบันประเทศไทยและทั่วโลกกำลังอยู่ในช่วงปรับเปลี่ยนเทคนิคและ รูปแบบการเดินทางอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานโดยระบบดาวเทียม GAGAN เป็นระบบที่เพิ่มความ ถูกต้องและความน่าเชื่อถือทางตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นในการนำหนทางการบินทั้งในประเทศอินเดีย และปล่อยสัญญาณค่าปรับแก้ในบริเวณใกล้เคียงรวมถึงประเทศไทย โดยระบบดาวเทียม SBAS อื่นๆ ยังไม่สามารถให้ค่าปรับแก้ในบริเวณประเทศไทยได้ (GANESHAN A.S. et al., 2016) ทั้งนี้ในพื้นที่ ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดที่ทำการทดสอบประสิทธิภาพการรับสัญญาณระบบดาวเทียม GAGAN

ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการ ประมวลผลรังวัดหาค่าตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้ จากระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียม แบบต่อเนื่อง (CORS) ของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรมที่ดิน และข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN เพื่อศึกษาความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้รับนำไปประยุกต์ในการใช้งานต่างๆ เช่น การนำหน การนำหนทางการบิน การทำแผนที่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลรังวัดหาค่าตำแหน่งจุด เดี่ยวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้ข้อมูลระบบดาวเทียม GAGAN ใน พื้นที่ประเทศไทย

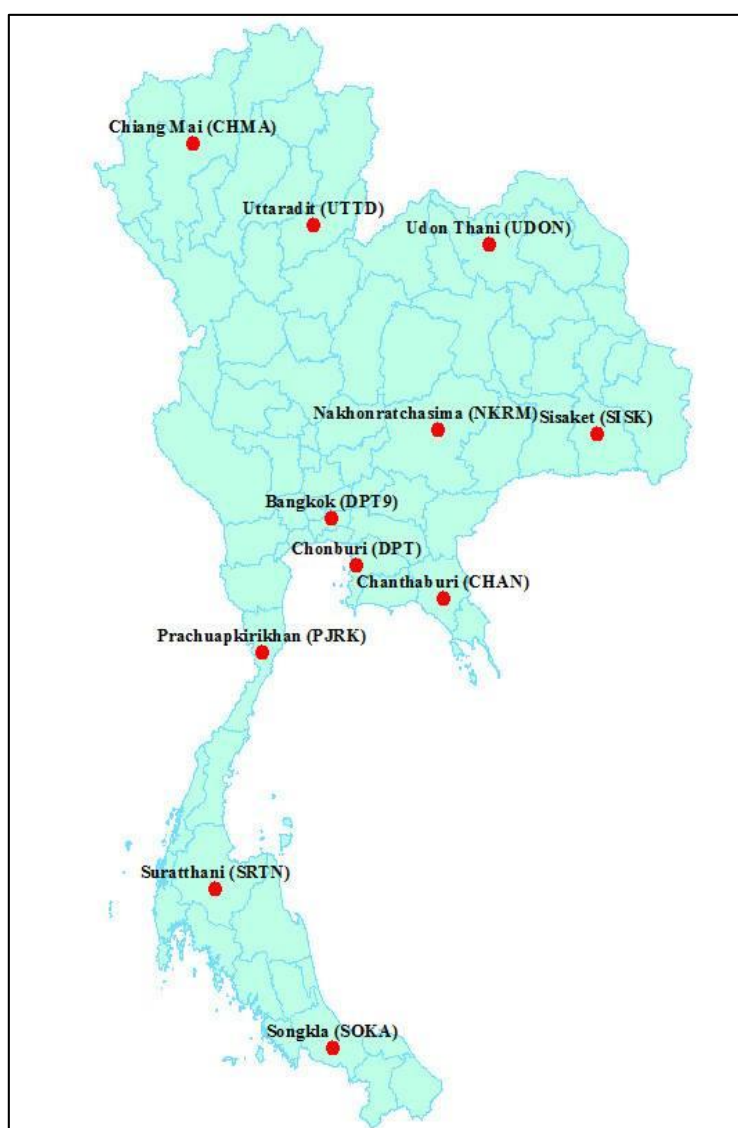
1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากข้อ มูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย

1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพความเหมาะสมของระบบดาวเทียม GAGAN ที่จะนำไปใช้ ประโยชน์ในด้านการบินในพื้นที่ประเทศไทย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

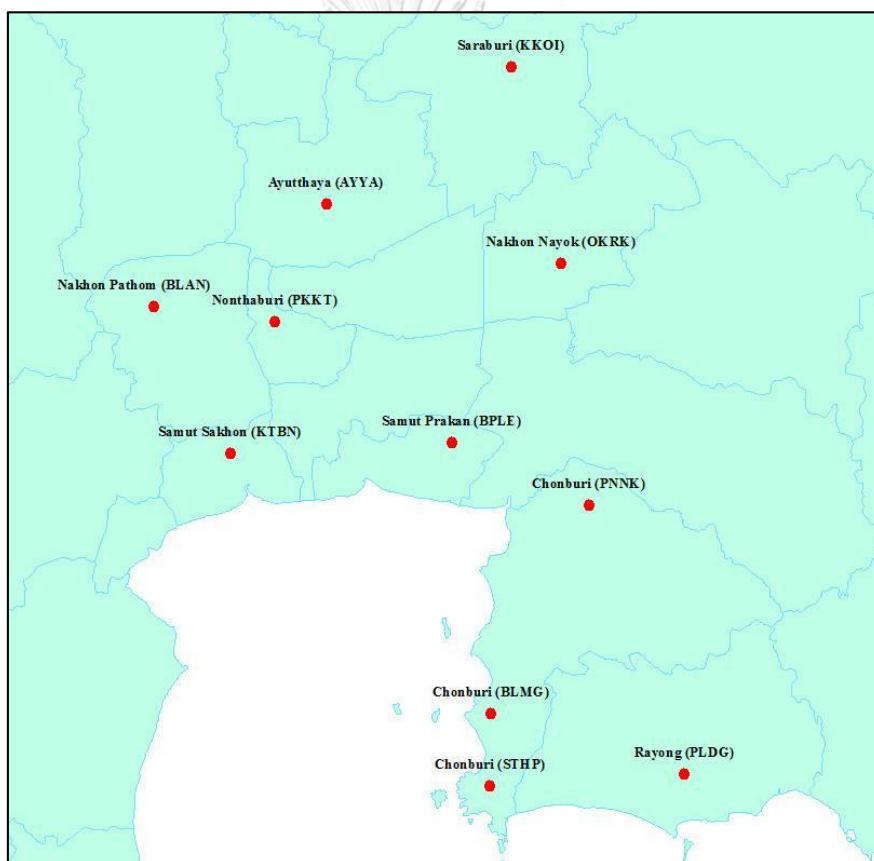
1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

1.3.1.1 การศึกษาวิจัยใช้ข้อมูลในพื้นที่ที่ได้จากสถานี CORS จำนวน 11 สถานีทั่วทั้งประเทศไทย จากกรมโยธาธิการและผังเมือง ได้แก่จันทบุรี (CHAN) เชียงใหม่ (CHMA) ชลบุรี (CNBR) กรุงเทพมหานคร (DPT9) นครราชสีมา (NKRM) ประจวบคีรีขันธ์ (PJRK) ศรีสะเกษ (SISK) สงขลา (SOKA) อุตรธานี (UDON) และอุตรดิตถ์ (UTTD) สุราษฎร์ธานี (SRTN)



รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ที่ใช้ข้อมูลในการทำการศึกษจากกรมโยธาธิการและผังเมือง

1.3.1.2 การศึกษาวิจัยใช้ข้อมูลในพื้นที่ที่ได้จากสถานี CORS จำนวน 11 สถานีจาก กรมที่ดิน ได้แก่ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรี สาขาพนัสนิคม (PNNK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาบางละมุง (BLMG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาสัตหีบ (STHP) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดระยองสาขาปลวกแดง (PLDG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาครสาขา กระทุ่มแบน (KTBN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองครักษ์ (OKRK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรี (KKOI)



รูปที่ 1.2 แสดงพื้นที่ที่ใช้ข้อมูลในการทำการศึกษาจากกรมที่ดิน

1.3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1.3.2.1 ข้อมูลจากสถานี CORS จากกรมโยธาธิการและผังเมือง จำนวน 11 สถานีทั่วทั้งประเทศไทย ระยะเวลาของข้อมูล 3 เดือน เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2560 บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในรูปแบบไฟล์ RINEX โดยใช้ข้อมูลจากระบบดาวเทียมนำหน GPS เท่านั้น

1.3.2.2 ข้อมูลจากสถานี CORS จากกรมที่ดิน จำนวน 11 สถานีทั่วทั้งประเทศไทย ระยะเวลาของข้อมูล 3 เดือน เดือนมกราคม พ.ศ. 2560 ถึง มีนาคม พ.ศ. 2560 บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที ในรูปแบบไฟล์ RINEX โดยใช้ข้อมูลจากระบบดาวเทียมนำหน GPS เท่านั้น

1.3.2.3 ข้อมูลค่าแก้ของระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทยจากฐานข้อมูลสาธารณะของประเทศฝรั่งเศส Centre national d'étudesspatiales (CNES)

1.3.3 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

1.3.3.1 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงเพื่อนำเป็นค่าพิกัดอ้างอิงโดยใช้ข้อมูลจากระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียวเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยความถูกต้องของค่าพิกัดจะอยู่ในระดับเซนติเมตร (Kouba & Héroux, 2001) จากสถานี CORS ของกรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งใช้โปรแกรม PANDA ในการประมวลผล (ค่าพิกัดอ้างอิง)

1.3.3.2 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยโดยใช้ข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียวจากสถานี CORS ของกรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด GPS เพียงอย่างเดียว)

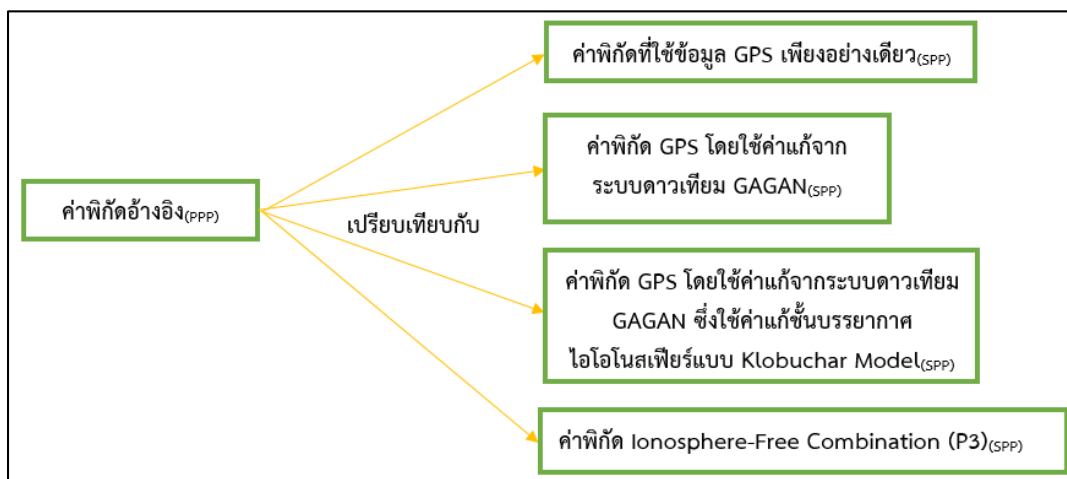
1.3.3.3 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้ข้อมูลของระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากการคำนวณจากสถานีอ้างอิงในประเทศอินเดีย ซึ่งใช้ข้อมูลจากสถานี CORS ของกรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN)

1.3.3.4 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้ข้อมูลของระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model โดยใช้ข้อมูลจากสถานี CORS ของกรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model)

1.3.3.5 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบจำลองของ Ionosphere-Free Combination (P3) โดยใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ จากสถานี CORS ของกรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3))

1.3.4 การเปรียบเทียบผลการศึกษา

เปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD) ดังนี้



รูปที่ 1.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษา

1.3.5 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ซอฟต์แวร์เชิงวิจัย คือ โปรแกรม Positioning and Navigation Data Analyst (PANDA) ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยวูฮั่น ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีนเพื่อใช้ในการประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิง และโปรแกรม gLAB ที่พัฒนาขึ้นภายใต้สัญญาองค์การ European Space Agency (ESA) โดย group of Astronomy and Geomatics (gAGE) Universitat Politecnica de Catalunya (UPC) เพื่อใช้ในการประมวลผลค่าพิกัดในวิธีอื่นๆ ซึ่งทั้ง 2 โปรแกรมสามารถประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล GNSS

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับทำ

1.4.1 ให้ทราบถึงประสิทธิภาพค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นจากการนำข้อมูลระบบดาวเทียม GAGAN มาใช้ในพื้นที่ประเทศไทย

1.4.2 สามารถนำค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในประโยชน์ในด้านต่างๆ ในพื้นที่ประเทศไทย เช่น การนำร่องทางด้านการบินในพื้นที่ประเทศไทย เป็นต้น

บทที่ 2

แนวเหตุผลและทฤษฎีสำคัญ

2.1 การหาตำแหน่งจุดเดียว Single Point Positioning (SPP)

การหาตำแหน่งจุดเดียวเป็นการหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของเครื่องรับโดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว โดยปกติจะใช้วิธีการวัดซูดเรนจ์ (Pseudorange) ในการหาตำแหน่งจุดเดียวนี้จำเป็นต้องมีการวัดระยะไปยังดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อที่จะสามารถหาค่าพิกัดทั้ง X Y Z เนื่องจากมีตัวไม่ทราบค่าอยู่ 4 ตัวคือ ค่าพิกัดจุด X Y Z 3 ตัวและค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาอีก 1 ตัว ฉะนั้นเมื่อทำการรังวัดไปยังดาวเทียมครบ 4 ดวงก็จะสามารถหาตำแหน่งสัมบูรณ์ได้ในทันทีจากเครื่องรับ ความถูกต้องของวิธีการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เครื่องมือรับแบบนำหนหรือพกพา (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

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

จากสมการที่ 1

R = สมการค่ารังวัดซูดเรนจ์ (Pseudo range) (เมตร)

ρ = ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ (เมตร)

Δr = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)

d_{ion} = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)

d_{trop} = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)

c = ความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

dT = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

ep = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)

ε_R = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูดเรนซ์ที่วัดได้ของรหัส

(เมตร)

2.2 การประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning: PPP)

ในการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงนั้น มีพารามิเตอร์สำหรับในการประมวลผล ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ ค่าพิกัดตำแหน่งเครื่องรับ โดยมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตร ดังนั้นสมการการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูงสามารถเขียนได้ ดังนี้ (Kouba & Héroux, 2001)

$$P_{L3} = (\rho + c(dt - dT) + (M \times ZTD) + \epsilon_p)_{L3} \quad (2)$$

$$\phi_{L3} = (\rho + c(dt - dT) + (M \times ZTD) + N \lambda + \epsilon_\phi)_{L3} \quad (3)$$

จากสมการที่ 2 และ 3

P = สมการค่ารังวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo range) (เมตร)

ϕ = สมการค่ารังวัดเฟสคลื่นส่ง (Carrier phase) (เมตร)

ρ = ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ (เมตร)

c = ความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

dt = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)

dT = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)

M = Mapping ฟังก์ชันซึ่งเป็นฟังก์ชันของมุมสูงดาวเทียม (เมตร)

ZTD = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ Zenith Total Delay

(เมตร)

N = เลขปริศนาของข้อมูลไอไอโนสเฟียร์ฟรี (หน่วยนับ)

λ = ความยาวคลื่นของข้อมูลแบบไอไอโนสเฟียร์ฟรี (เมตร)

ϵ_p และ ϵ_ϕ = ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจาก คลื่นหลายวิถี (Multipath) และ

สัญญาณรบกวนของข้อมูล (Observation noise) (เมตร)

2.3 มาตรฐานการบิน

องค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศ หรือ ICAO ได้กำหนดมาตรฐานและแนวทางปฏิบัติสำหรับงานบริการโทรคมนาคมการบินที่ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกโดยสภาวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2492 ตามบทบัญญัติของมาตรา 37 ของอนุสัญญาว่าด้วยการบินพลเรือนระหว่างประเทศและกำหนดให้เป็นภาคผนวก 10 ของอนุสัญญาซึ่งมีผลบังคับเริ่มใน วันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2492 ทั้งนี้ มาตรฐานและแนวทางปฏิบัติสำหรับ GNSS พัฒนาโดยคณะกรรมการ Global Navigation Satellite System และอยู่ในภาคผนวก 10 ของอนุสัญญาการบินพลเรือนระหว่างประเทศ โดยในมาตรฐานได้ประกอบด้วยคำอธิบายพื้นฐานเกี่ยวกับเทคโนโลยีการนำทางด้วยดาวเทียมรวมทั้งระบบเสริมระบบดาวเทียมมาตรฐานของข้อมูล GNSS เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางการเดินทางอากาศองค์ประกอบของ GNSS และหน่วยงานกำกับดูแลที่รับผิดชอบในการอนุมัติการใช้ GNSS สำหรับการดำเนินงานในด้านการบิน เครื่องรับสัญญาณ GNSS ประกอบด้วยเสาอากาศและตัวประมวลผลซึ่งคำนวณตำแหน่ง เวลา เครื่องรับสัญญาณต้องมีการวัดจากดาวเทียมอย่างน้อยสี่ดวงเพื่อกำหนดตำแหน่ง 3 มิติ ค่าความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับความแม่นยำของการวัดค่าจากดาวเทียมและ relative positions ของดาวเทียมที่ใช้ ซึ่งดาวเทียมกลุ่มหลักไม่สามารถให้ความถูกต้องทางตำแหน่งในด้านการบินที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการของการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆของด้านการบินจึงมีการริเริ่มคิดระบบเสริมระบบดาวเทียม คือ aircraft-based augmentation system (ABAS), satellite-based augmentationsystem (SBAS) และ ground-based augmentation system (GBAS) ซึ่ง ABAS อาศัยเทคนิคการประมวลผล Avionics เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการบิน ส่วนอีก 2 แบบใช้สถานีภาคพื้นดินในการตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณดาวเทียม และคำนวณค่าแก้ไขเพื่อเพิ่มความถูกต้องทางตำแหน่ง ระบบดาวเทียม SBAS ส่งข้อมูลนี้ผ่านไปยังดาวเทียม GEO Stationary เพื่อทำการกระจายไปยังส่วนผู้ใช้งานที่ GBAS ใช้ข้อมูล VHF ที่ออกอากาศจากสถานีภาคพื้นดิน แต่ละประเทศจะมีการพัฒนาระบบเสริมระบบดาวเทียมเพื่อใช้ประโยชน์ในประเทศของตัวเองแตกต่างกันไป ซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานองค์การการบินพลเรือนระหว่างประเทศเกี่ยวกับมาตรฐานระบบดาวเทียม SBAS ที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งกับเครื่องบินระหว่างทำการบิน ซึ่งแต่ละช่วงการบินจะมีมาตรฐานที่กำหนดไว้โดยชัดเจน ทั้งนี้ประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม SBAS ให้ค่าความถูกต้องบนความต้องการประสิทธิภาพของ Non-Precision

Approach (NPA) และ Approach with Vertical guidance (APV) โดยข้อกำหนดของเกณฑ์มาตรฐานระบบดาวเทียม SBAS ประกอบด้วย accuracy, integrity, continuity และ availability

Accuracy คือ ค่าความผิดพลาดระหว่างตำแหน่งของเครื่องบินโดยประมาณกับตำแหน่งที่แท้จริงซึ่งตำแหน่งที่ประมาณจะผิดไปจากตำแหน่งจริงควรจะน้อยกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

Integrity คือ การวัดความน่าเชื่อถือความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากระบบทั้งหมด รวมถึงความสามารถของระบบที่จะให้คำเตือนที่ถูกต้องและทันเวลาแก่ผู้ใช้เมื่อระบบใช้งานไม่ได้ในขณะที่กำลังบิน โดยระบบต้องเตือนผู้ใช้งานน้อยกว่า 10 วินาที

Continuity คือ ความต่อเนื่องในการให้บริการของระบบ หรือความสามารถของระบบในการปฏิบัติหน้าที่โดยไม่มีการหยุดการทำงานในระหว่างการดำเนินงาน

Availability คือ ความพร้อมของระบบที่ให้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือกับผู้ใช้งาน โดยระบบมีประสิทธิภาพที่สูงจะต้องมีการออนไลน์อย่างน้อย 99.999 เปอร์เซ็นต์ ของเวลาในช่วงหนึ่งปี (Weber, 2012) โดยในแต่ละขั้นตอนการนำร่องทางการบิน ICAO ได้สรุปมาตรฐานความถูกต้องในแต่ละช่วงการบินในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

Typical operation	Accuracy horizontal 95%	Accuracy vertical 95%	Integrity	Time-to-alert	Continuity	Availability
En-route	3.7 km (2.0 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	5 min	$1-1 \times 10^{-4}/h$ to $1-1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
En-route, Terminal	0.74 km (0.4 NM)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	15 s	$1-1 \times 10^{-4}/h$ to $1-1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Non-precision approach (NPA)	220 m (720 ft)	N/A	$1-1 \times 10^{-7}/h$	10 s	$1-1 \times 10^{-4}/h$ to $1-1 \times 10^{-8}/h$	0.99 to 0.99999
Approach operations with vertical guidance (APV-I)	16.0 m (52 ft)	20 m (66 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach	10 s	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	0.99 to 0.99999
Approach operations with vertical guidance (APV-II)	16.0 m (52 ft)	8.0 m (26 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach	6 s	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	0.99 to 0.99999
Category I precision approach	16.0 m (52 ft)	6.0 to 4.0 m (20 to 13 ft)	$1-2 \times 10^{-7}$ in any approach	6 s	$1-8 \times 10^{-6}$ per 15 s	0.99 to 0.99999

ตารางที่ 2.1 สรุปเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพของ GNSS ในแต่ละช่วงการบิน (Weber, 2012)

Typical operation	Accuracy horizontal 95%	Accuracy vertical 95%
En-route (oceanic/continental low density)	7.4 km (4 NM)	N/A
En-route (continental)	3.7 km (2 NM)	N/A
En-route, Terminal	1.85 km (1 NM)	N/A
Non-precision approach (NPA)	556 m (0.3 NM)	N/A
Approach operations with vertical guidance (APV-I)	40 m (130 ft)	50 m (164 ft)
Approach operations with vertical guidance (APV-II)	40 m (130 ft)	20.0 m (66 ft)
Category I precision approach	40 m (130 ft)	35.0 m to 10.0 m (115 ft to 33 ft)

ตารางที่ 2.2 สรุปเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพของ GNSS ในแต่ละช่วงการบิน (Weber, 2012)

2.4 Space Based Augmentation System (SBAS)

ระบบดาวเทียม SBAS ได้ถูกพัฒนาใช้งานขึ้นในหลายประเทศและมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป ในสหรัฐอเมริกา เรียกว่า WAAS (Wide Area Augmentation System) ในขณะที่กลุ่มประเทศสหภาพยุโรป เรียกว่า EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) สำหรับประเทศญี่ปุ่น เรียกว่า MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System) และส่วนประเทศอินเดีย เรียกว่า GAGAN (GPS and GEO Augmented Navigation) โดยแต่ละประเทศพัฒนาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของพื้นที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่บริเวณกว้าง เช่น ระดับประเทศ ระดับภูมิภาค เป็นต้น ผ่านการใช้งานดาวเทียม Geo-stationary satellites (GEO) เพื่อเพิ่ม Ranging ทำให้มีการเพิ่มความหลายของสัญญาณในการใช้งาน Integrity channel การส่งสัญญาณข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ที่มีความสมบูรณ์ให้กับผู้ใช้และ Correction information ค่าแก้วงโคจรดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยการเพิ่มข้อมูลระบบดาวเทียม SBAS เข้าไปในสัญญาณทำให้เพิ่ม

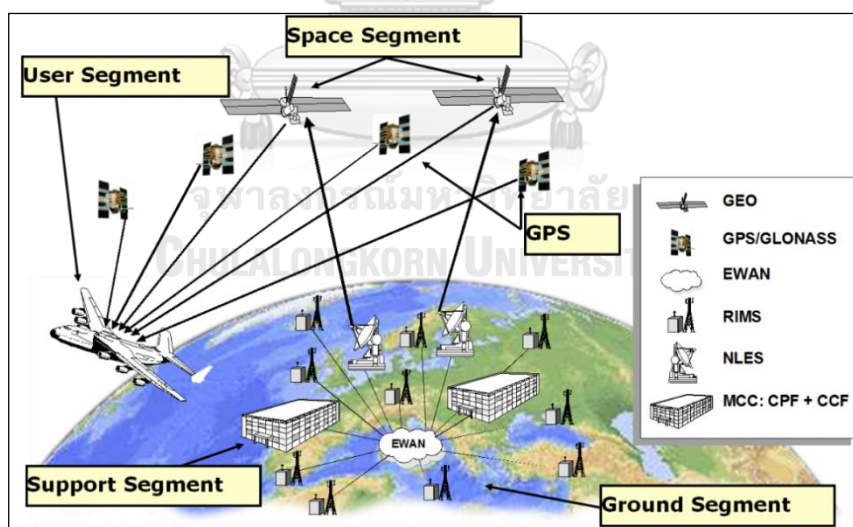
ความแม่นยำทางตำแหน่งโดยลดข้อผิดพลาดทางด้านตำแหน่งต่ำกว่า 4 เมตร ในพื้นที่ของประเทศอินเดีย (GANESHAN A.S. et al., 2016) ส่วนประกอบของระบบดาวเทียม SBAS ประกอบด้วย

2.4.1 ส่วนอวกาศ (Space segment) ประกอบไปด้วยดาวเทียม GEO satellites หลายดวงที่ทำหน้าที่แพร่กระจาย broadcast ในพื้นที่ให้บริการโดยข้อความการนำทางของระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งปกติแล้วดาวเทียม SBAS เป็นดาวเทียมอเนกประสงค์ (ดาวเทียมการสื่อสารเชิงพาณิชย์) ที่มีความสามารถในการสร้างสัญญาณ GPS และทำการส่งสัญญาณ GPS อีกครั้งให้กับผู้ใช้ผ่านข้อความนำทางที่สร้างขึ้นบนพื้นดิน

2.4.2 ส่วนภาคพื้นดิน (Ground segment) ประกอบด้วยสถานีอ้างอิงที่ตั้งอยู่ในสถานที่ที่ได้รับการสำรวจอย่างแม่นยำ เพื่อสำหรับการส่งข้อมูล Ranging และ Integrity channel โดยจุดประสงค์หลักของส่วนภาคพื้นดินคือการสร้างและอัปเดตสัญญาณเสริม broadcast ที่เกิดโดยดาวเทียม GEO satellites

2.4.3 ส่วนสนับสนุน (Support segment) ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้งหมดที่สนับสนุนและการแก้ไขการดำเนินงานและการบำรุงรักษาของระบบดาวเทียม SBAS

2.4.4 ส่วนผู้ใช้ (User segment) ประกอบด้วยอุปกรณ์ของผู้ใช้ทั้งหมดที่จำเป็นในการรับและใช้ข้อมูลระบบดาวเทียม SBAS



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของระบบดาวเทียม SBAS

ที่มา: http://www.navipedia.net/index.php/File:SBAS_architecture.png

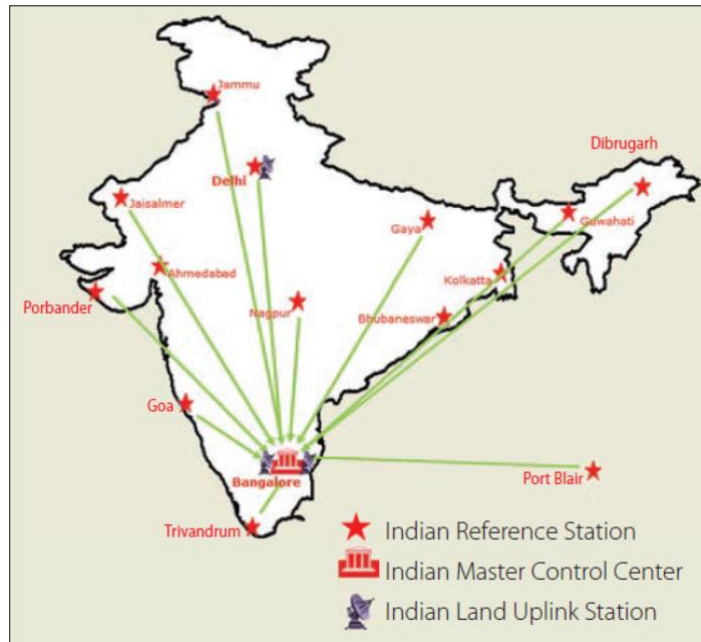
2.5 THE GPS AIDED GEO AUGMENTED NAVIGATION (GAGAN)

ระบบดาวเทียม GAGAN พัฒนาโดยประเทศอินเดีย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความถูกต้องทางตำแหน่งของระบบดาวเทียม GPS ที่ใช้ในระบบนำร่องการเดินทาง พื้นที่การ ให้บริการระบบดาวเทียม GAGAN ครอบคลุมเขตพื้นที่การบินของประเทศอินเดีย Flight Information Region (FIR) และยังครอบคลุมไปยังพื้นที่การบินบริเวณข้างๆ โดยระบบดาวเทียม GAGAN ให้สัญญาณการนำทางด้านการบินพลเรือนที่สอดคล้องกับองค์การการบินพลเรือนระหว่าง ประเทศ International Civil Aviation Organization Practices (SARPs) ที่กำหนดโดย Global Navigation Satellite system (GNSS) Panel ระบบดาวเทียม GAGAN สามารถทำงานร่วมกันได้ กับระบบ SBAS อื่นๆ ในระดับนานาชาติ เช่น WAAS ของประเทศสหรัฐอเมริกา EGNOS กลุ่ม ประเทศสหภาพยุโรป MSAS ของประเทศญี่ปุ่น องค์ประกอบระบบดาวเทียม GAGAN ประกอบด้วย

1. Indian Reference Station (INRES) สถานีอ้างอิงเหล่านี้ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลการ วัดและข้อมูล broadcast ของระบบดาวเทียม GPS และ GEO satellites เพื่อทำการส่งไปยังสถานี ควบคุมหลัก (INMCC) เพื่อการประมวลผลต่อไป โดยสถานีอ้างอิงมี 15 แห่งทั่วทั้งประเทศอินเดียซึ่ง ตั้งอยู่ที่เมือง Ahmed a ba Bangalore, Jammu, Guwahati, Kolkata, New Delhi, Port Blair, Trivandrum, Jaisalmer, Goa, Porbandar, Gaya, Dibrugarh, Nagpur และ Bhubaneshwar

2. Indian Master Control Center (INMCC) สถานีควบคุมหลักมี 2 แห่งตั้งอยู่ในเมือง Bangalore ในประเทศอินเดียมีหน้าที่นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยแต่ละสถานี INRES จะถูกส่งไปยัง สถานี INMCC ในแบบเรียลไทม์ (ทุกวินาที) ทำประมวลผลสำหรับการสร้างค่าแก้และค่าพารามิเตอร์ integrity ในรูปแบบของข้อความ SBAS โดยข้อความ SBAS ที่สร้างขึ้นจะถูกส่งไปยังสถานี INLUS ที่ อยู่ห่างออกไปเพื่อดำเนินการประมวลผลต่อไป

3. Indian Land Uplink Station (INLUS) สถานี INLUS มี 3 สถานี 2 แห่งที่เมือง Bangalore และอีก 1 สถานีที่เมือง New Delhi โดยสถานี INLUS ได้รับข้อความ SBAS จากสถานี INMCC จะทำการจัดรูปแบบให้รองรับได้กับระบบดาวเทียม GPS และอัปโหลดข้อความ SBAS ไปยัง ดาวเทียม GEO Stationary เพื่อทำการกระจายไปยังส่วนผู้ใช้ โดยข้อความ SBAS มีข้อมูลที่ช่วยให้ เครื่องรับ SBAS สามารถขจัดข้อผิดพลาดทางตำแหน่งของระบบดาวเทียม GPS ให้ค่าความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือในทางตำแหน่ง พร้อมค่าแก้ ค่า integrity จะถูกคำนวณและส่งให้กับผู้ใช้ใน รูปแบบเป็นข้อความ โดยข้อความจะถูกส่งในรูปแบบ C-band ไปยัง GSAT-8/GSAT-10/GSAT-15 GEO satellite ผ่านสถานี INLUS และส่งสัญญาณกลับลงมาผ่าน L1 & L5 band มายังผู้ใช้ซึ่ง broadcast messages จะถูกใช้โดยเครื่องรับที่รองรับการรับสัญญาณ SBAS จะคำนวณตำแหน่ง ในขณะที่คำนวณค่าแก้ไขในสัญญาณ GPS

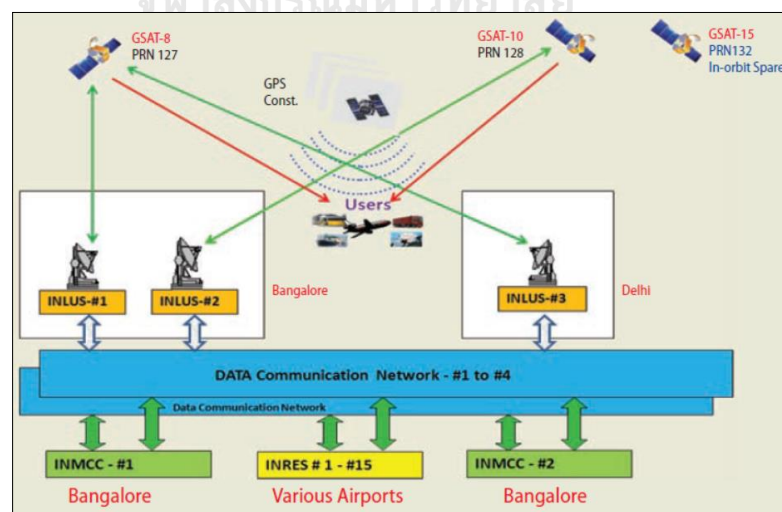


รูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบส่วนภาคพื้นดินของระบบดาวเทียม GAGAN

ที่มา: (GANESHAN A.S. et al., 2016)

4. Geostationary satellites (GSAT-8/ GSAT-10/ GSAT-15) ประกอบด้วยดาวเทียมที่ใช้ งานตอนนี้ 2 ดวงคือ GSAT-8 อยู่ที่ 55 องศาตะวันออก PRN127 GSAT-10 อยู่ที่ 83 องศาตะวันออก PRN128 และในอนาคตมีการวางแผนที่จะพัฒนา GSAT-15 อยู่ที่ 93.5 องศาตะวันออก PRN132

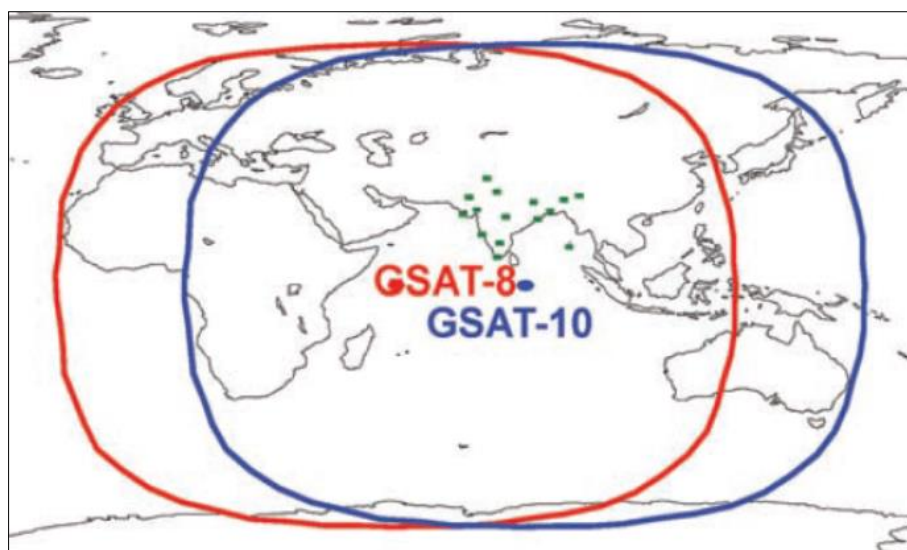
5. ระบบการสื่อสารข้อมูล ในระบบดาวเทียม GAGAN มีการสื่อสารข้อมูลในหลายขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนมีความสำคัญและสัมพันธ์เป็นแบบโครงข่าย



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบการทำงานของระบบดาวเทียม GAGAN

ที่มา: (GANESHAN A.S. et al., 2016)

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงการทำงานของแต่ละส่วนประกอบของระบบดาวเทียม GAGAN ที่มีสถานี INRES ทำการเก็บข้อมูลจากดาวเทียม GPS และดาวเทียม Geostationary satellites แล้วส่งข้อมูลไปยังสถานี INMCC ทำการประมวลผลสร้างค่าแก้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งและค่าพารามิเตอร์ส่งไปยังสถานี INLUS เพื่อทำการจัดรูปแบบให้รองรับได้กับระบบดาวเทียม GPS ส่งข้อมูลที่ได้ไปยังดาวเทียม Geostationary satellites จากนั้นดาวเทียม Geostationary satellites ส่งข้อมูลไปยังผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.4 แสดงพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณระบบดาวเทียม GAGAN
ที่มา: (GANESHAN A.S. et al., 2016)

โดยจากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่สัญญาณของระบบดาวเทียม GAGAN ครอบคลุมในพื้นที่ประเทศไทยด้วย ในระบบดาวเทียม GAGAN ค่าแก้ที่ส่งผลให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งเพิ่มขึ้นจากระบบดาวเทียม GAGAN ประกอบด้วย (Murugan, 2014) ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay) (Satirapod et al., 2016)

1. ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม

ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมนั้นถูกคำนวณขึ้นที่สถานีควบคุมหลัก โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากจากสถานีติดตามดาวเทียมที่กระจายตัวอยู่ ซึ่งมีการทำนายวงโคจรดาวเทียมล่วงหน้าและส่งข้อมูลที่ทำนายไปยังดาวเทียมเพื่อให้ดาวเทียมส่งมาให้กับผู้ใช้ในรูปแบบข้อมูลนำหนที่มาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียม ซึ่งความเป็นจริงการทำนายวงโคจรดาวเทียมให้สมบูรณ์นั้นเป็นไปได้เนื่องจากมีแรงต่างๆ มากระทำกับตัวดาวเทียมมากมายหลายชนิด ด้วยเหตุนี้ตำแหน่งดาวเทียมที่คำนวณได้จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมจึงมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) ซึ่งข้อ

มูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN มีวิธีคำนวณค่าแก้จากสถานีควบคุมหลักเก็บรวบรวมข้อมูล code และข้อมูล carrier phase จากสถานีอ้างอิง และประมวลผลค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมโดยใช้ software ที่ซับซ้อน (Baba & Rao, 2014)

2. ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม

ค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม ค่าความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการเทียบเวลาและความถี่มาตรฐานที่แตกต่างไปจากเวลาของ GPS และยังมีความคลาดเคลื่อนระยะยาวที่เกิดจากความไม่เสถียรของมาตรฐานความถี่ที่เรียกว่า ดริฟท์ของนาฬิกา และอัตราดริฟท์ของนาฬิกา ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมเป็นค่าที่คำนวณได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลัก (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) ซึ่งข้อมูลค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN มีวิธีคำนวณค่าแก้จากข้อผิดพลาดของนาฬิกาของแต่ละดาวเทียม จะถูกกำหนดส่งมาจากสถานีควบคุมหลัก จากนั้นทำการประมวลผลแล้วสถานีควบคุมหลักส่งค่าแก้ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมไปยังดาวเทียม GEO satellite จากนั้นส่งมาให้กับผู้ใช้ในรูปแบบข้อมูลนำหน (Baba & Rao, 2014)

3. ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay)

ชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีขอบเขตของความสูงเหนือพื้นโลกตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 กิโลเมตร ในชั้นบรรยากาศนี้จะมีอิเล็กตรอนอิสระซึ่งมีผลทำให้คลื่นสัญญาณดาวเทียมเดินทางด้วยความเร็วที่ต่างจากความเร็วแสงจะมีผลทำให้ซูโดเรนจ์เดินทางได้ช้าลง ทำให้วัดระยะได้ยาวกว่าที่ควรจะเป็น ในทางกลับกันเฟสของคลื่นส่งจะเดินทางได้เร็วขึ้น ทำให้ระยะที่วัดได้สั้นลง ค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้วิธีการที่ใช้ลดค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถทำได้หลายวิธีโดยสำหรับเครื่องรับหลายความถี่จะสามารถใช้แบบจำลองของ Ionosphere-Free Combination (P3) และเครื่องรับความถี่เดียวสามารถใช้แบบจำลอง ได้แก่ Klobuchar Model, Ionosphere Model from QZSS, Ionosphere Total Electron Content (TEC) Map เป็นต้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) ซึ่งการทำงานของระบบดาวเทียม GAGAN จะให้ความสำคัญค่าแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เนื่องจากประเทศอินเดียที่ละติจูดที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรทำให้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ผิดปกติเพื่อความถูกต้องจึงต้องทำการตรวจสอบค่าความผิดปกติที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วทำการปรับค่าความเชื่อมั่นทางสถิติ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาและการใช้ Ionosphere Model ที่เหมาะสมที่สุดในภูมิภาค

ประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

1. RNP 0.1 en route navigation within Indian FIR
2. APV 1/1.5 precision approach over the landmass of Indian FIR

Achievement of GAGAN Objective			
Service Level	Parameters	Requirement	Results
RNP 0.1	1.Availability	>99% over the Indian FIR	>99%
	2.Horizontal Accuracy	<72 m. 95% bound	0.7 m. Average
	3.Vertical Accuracy	N/A	1.52 m. Average
	4.Time to Alarm	10 s	6.2S
	5.Vertical Alert Limit	N/A	-
	6.Horizontal Alert Limit	185.2 m.	<185 m.
APV 1/1.5	1.Availability	99% over 76% of India	86.57%
	2.Horizontal Accuracy	<7.6 m. 95% bound	0.7 m. Average
	3.Vertical Accuracy	<7.6 m. 95% bound	1.51 m. Average
	4.Time to Alarm	6.2 s	6.2S
	5.Vertical Alert Limit	50 m.	VPL<50
	6.Horizontal Alert Limit	40 m.	HPL<40

ตารางที่ 2.3 สรุปประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN

ที่มา : (Bhattacharjya S.et al., 2013)

โดยตารางที่ 2.3 แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศอินเดีย โดย RNP 0.1 คือ ความต้องการของประสิทธิภาพการนำหนด้านการบินที่กำหนดค่าความถูกต้องการนำร่องเครื่องบินในแนวราบ โดยมีค่าความถูกต้องที่ต้องการน้อยกว่าแบบ APV 1/1.5 ซึ่งให้ค่าความถูกต้องการนำร่องเครื่องบินในแนวราบและแนวตั้ง ทั้งนี้ประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN จะต้องอยู่ในมาตรฐานตามที่ ICAO กำหนดไว้ตามที่กล่าวไว้ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

Dammalage and Silva (2016) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ GAGAN ในพื้นที่ประเทศศรีลังกาในปี 2016 โดยความต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งและความน่าเชื่อถือที่เพิ่มขึ้น ที่จะนำไปใช้ประยุกต์ในด้านต่างๆ อาทิ เช่น การเดินเรือ การสำรวจต่างๆ การทำแผนที่ การนำทางรถยนต์ การนำร่องเครื่องบิน และการสำรวจระยะไกลซึ่งมีการพัฒนาระบบดาวเทียมนำหน GPS ไปใช้งานแบบ Real-time โดยสามารถให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ครอบคลุมในระดับประเทศ หรือระดับทวีปดังนั้นจึงมีการสร้างเครือข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง CORS สองแห่งขึ้นในประเทศศรีลังกา เขตตำบลโคลัมโบ ซึ่งเป็นพื้นที่ให้บริการค่าแก้ระบบดาวเทียม GAGAN โดยการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การปรับปรุงค่าความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยการใช้ค่าแก้ระบบดาวเทียม GAGAN ในประเทศศรีลังกา โดยใช้เครื่องรับสัญญาณระบบดาวเทียม GNSS 2 เครื่องโดยเครื่องแรกทำการตั้งรับสัญญาณในระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียว ส่วนเครื่องที่สองทำการตั้งรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับรับสัญญาณระบบดาวเทียม GAGAN ทำการตั้งรับสัญญาณข้อมูล 24 ชั่วโมง ซึ่งผลการศึกษาพบว่าเครื่องที่ทำการตั้งรับสัญญาณในระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียว ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับ 1 เมตร – 6 เมตร และเครื่องที่ทำการตั้งรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับรับสัญญาณระบบดาวเทียม GAGAN ความถูกต้องของตำแหน่งดีขึ้นอย่างมากเนื่องจากการใช้ค่าแก้ GAGAN แบบ Real-time โดยค่าความถูกต้องอยู่ในระดับ 1 เมตร – 3 เซนติเมตร ทั้งนี้งานวิจัยยังดำเนินการทดสอบผ่านสถานีควบคุมอีก 7 แห่ง 6 อำเภอ เพื่อเปรียบเทียบระยะทางที่แตกต่างกันระหว่างสถานีส่งผลต่อการรับสัญญาณค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะทางไม่ส่งผลต่อการรับสัญญาณค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งค่าความถูกต้องอยู่ในระดับต่ำกว่าหนึ่งเมตร นอกจากนี้ในประเทศอินเดียได้มีการทำงานวิจัยศึกษาโดย Murugan (2014) ได้ทำการศึกษาค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางภาคพื้นดินของโดยใช้ข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียวเปรียบเทียบกับการใช้ข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับข้อมูลค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN บริเวณพื้นที่ประเทศอินเดียปี 2014 โดยงานวิจัยนี้กล่าววาระบบดาวเทียมนำหน GPS เป็นระบบบอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลกซึ่งเป็นที่รู้จักกันทั่วไปซึ่งประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ก่อตั้ง แต่ทั้งนี้ในพื้นที่ประเทศอินเดียค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากระบบดาวเทียมนำหน GPS มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของระบบดาวเทียมนำหน GPS ไม่ตรงกับภูมิภาคประเทศอินเดียเพราะประเทศอินเดียตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรและ The Equatorial Ionospheric Grid Point (IGP) ของประเทศอินเดียกับประเทศสหรัฐอเมริกาไม่เหมือนกัน ดังนั้นเพื่อปรับปรุงค่าความถูกต้องตำแหน่งของระบบดาวเทียมนำหน GPS ในภูมิภาคอินเดียจึงมีการพัฒนาระบบดาวเทียม GAGAN

ซึ่งประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวง คือดาวเทียมหมายเลข PRN127 และ PRN128 โดยระบบดาวเทียม GAGAN ให้ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ค่าคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมและค่าคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมผ่าน Navigation Messages ในงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการประมวลผลข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียวเปรียบเทียบกับประมวลผลใช้ข้อมูลระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับข้อมูลค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้เทคนิค Differential Correction Technique ซึ่งทำการตั้งรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีความแตกต่างในการรับสัญญาณโดยทำการรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียวและรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับรับสัญญาณค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN ผลการศึกษาพบว่า การรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับรับสัญญาณค่าแก้ที่ได้จากระบบดาวเทียม GAGAN ทำให้ได้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าการรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียว ส่วน Sanwale, Singh, and Salawade (2013) ศึกษา The Global Navigation Satellite System (GNSS) and Indian Satellite Based Augmentation System (GAGAN) ในปี 2013 โดยกล่าวว่า Global Navigation Satellite System (GNSS) คือคำเรียกรวมของระบบดาวเทียมนำหน (GPS, GLONASS, GALILEO, และ Beidou) ที่ให้ข้อมูลพิคตบนพื้นผิวโลกซึ่งได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ เช่น การเดินเรือ การนำร่องการบิน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) อย่างไรก็ตามค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระบบดาวเทียมนำหน GNSS เพียงอย่างเดียวไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการ ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาปรับปรุงค่าความถูกต้องของระบบดาวเทียมนำหน GNSS โดยเสริมระบบดาวเทียม GAGAN เพื่อให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งกับระบบดาวเทียมนำหน GPS งานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาค่าความถูกต้องของระบบดาวเทียมนำหน GNSS และระบบดาวเทียม GAGAN ผลวิจัยพบว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งเพิ่มขึ้นเมื่อนำข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มาใช้ร่วมกับระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยในประเทศอินเดียจะนำมาใช้ในประโยชน์ด้านต่างๆ อย่างที่เห็นได้ชัด คือ ด้านการนำร่องการบิน ที่ช่วยในการบอกตำแหน่งของเครื่องบินแบบ Real-time ช่วยในด้านการลงจอดของเครื่องบิน ทั้งนี้ในด้านการศึกษาค่าแก้ที่มาจากระบบดาวเทียม GAGAN โดย Chandra, Srinivas, and Sarma (2009) ได้ทำการศึกษา Ionosphere สำหรับระบบดาวเทียม GAGAN ในปี 2009 โดยกล่าวถึงระบบดาวเทียม GAGAN ได้รับการพัฒนาจากองค์การวิจัยอวกาศอินเดีย (ISRO) โดยร่วมมือกับท่าอากาศยานแห่งประเทศอินเดีย (AAL) พัฒนาเพื่อต้องการตอบสนองทางด้านการบินโดยพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญที่สุดที่มีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งในการนำทางของระบบดาวเทียม GAGAN คือความล่าช้าของ Ionospheric delay ซึ่ง Total Electron Content (TEC) เป็นตัวชี้วัด Ionospheric delay ในแถบเส้นศูนย์สูตรและละติจูดต่ำตัวอย่างเช่น ประเทศอินเดีย มีค่า TEC ที่สูง โดยข้อมูลเฟสที่ได้จากเครือข่ายระบบดาวเทียม GAGAN ของสถานี TEC ใน

ประเทศอินเดียใช้เพื่อประเมิน Ionospheric gradients หลายทิศทาง อัตราของ TEC (ROT) และ อัตราของ TEC Index (ROTI) คำนวณเพื่อระบุ Ionospheric gradients ในกลุ่มสัญญาณดาวเทียมที่ส่งมาหลายทิศทางสัญญาณ สัญญาณที่ได้รับจะทำได้รับการไล่ระดับ Ionospheric gradients เพื่อระบุและหลีกเลี่ยงการใช้งานสัญญาณที่ไม่ดีนั้น ทำให้เพิ่ม accuracy, availability, integrity และ continuity ในด้านการบิน ทั้งนี้ Acharya et al. (2007) ได้ทำการศึกษาผลกระทบ Ionospheric สำหรับระบบดาวเทียม GAGAN ในปี 2007 วิจัยได้กล่าวถึงระบบดาวเทียม GAGAN ดำเนินการสร้าง โดยมีจุดประสงค์ที่จะเพิ่มความถูกต้องและความสมบูรณ์ให้กับระบบการนำทางมากกว่าการใช้ระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียวโดยระบบดาวเทียม GAGAN ให้ค่าแก้ในสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ทั้งนี้ค่าแก้ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ Ionospheric Delay ซึ่งอาศัยโมเดล Real Time Grid Based Ionospheric Delay Model เพื่อแก้ไข Ionospheric Delay ในการวัดสัญญาณ 1575.42 (L1) และ 1227.6 MHz (L2) อัลกอริธึมที่มีอยู่จะถูกแทนที่ด้วย Kriging based model เพื่อให้ตรงตามความต้องการโดยค่าแก้มากที่สุด 0.5 m. ในพื้นที่ประเทศอินเดีย โดยรายละเอียดของการเก็บรวบรวมข้อมูล และการประมวลผลรวมถึงการประมาณค่าของ TEC ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความล่าช้าของ Ionospheric Delay โดยผลการศึกษาพบว่า ช่วงเวลาและสถานที่ในการศึกษามีความน่าสนใจในความผิดปกติของ Ionospheric ที่จะส่งผลกระทบต่อระบบดาวเทียม GAGAN ทั้งนี้ต้องมีการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบดาวเทียม GAGAN ทั้งนี้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องระบบดาวเทียม SBAS ในภูมิภาคอื่นๆ โดย Machado et al., 2012 ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเพิ่มข้อมูลระบบดาวเทียม SBAS ในการร่วมประมวลผลกับข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศบราซิล ในปี 2012 โดยงานวิจัยกล่าวถึงปัจจุบันสัญญาณ L1 ของระบบดาวเทียมนำหน GPS สามารถนำมาใช้ในการร่วมประมวลผลกับข้อมูลระบบดาวเทียม SBAS โดยการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในช่วงระยะทางสั้นๆ นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของระบบดาวเทียม SBAS และวงโคจรของดาวเทียม SBAS ซึ่งการตั้งค่าจะกำหนดแตกต่างกันกับระบบดาวเทียมนำหน GPS เพื่อที่จะวิเคราะห์ว่าความแตกต่างเหล่านี้สามารถส่งผลกระทบต่อความถูกต้องทางตำแหน่งต่อระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของบราซิลอย่างไร โดยทำการทดลองใช้เครื่องรับที่รับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียวกับการตั้งรับสัญญาณระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการรับสัญญาณระบบดาวเทียม SBAS ซึ่งใช้วิธีการประมวลผลแบบรังวัดตำแหน่งจุดเดียวและการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์เพื่อแสดงเรขาคณิตของดาวเทียม ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง และค่า ambiguity resolution ในระยะทางที่สั้น ผลการศึกษาพบว่า การที่นำข้อมูลระบบดาวเทียม SBAS มาร่วมใช้ในการประมวลผลสามารถทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งดีขึ้น โดยงานวิจัยที่ศึกษาระบบดาวเทียม SBAS ในประเทศไทย Pringvanich and Satirapod (2009) ได้ทำการศึกษา การบินทดสอบและการวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีการทำงานของระบบดาวเทียม SBAS โดยใช้ฐาน GNSS ในพื้นที่

เอเชียแปซิฟิก การทดสอบครั้งนี้เป็นโครงการการทำงานร่วมกันในระดับภูมิภาคที่รวบรวมผู้ปฏิบัติงานด้านการบินของส่วน satellite navigation ในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ GNSS และเพื่อพัฒนางานวางแผนโครงการใช้งาน GNSS ในระดับภูมิภาคได้สำเร็จ โครงการนี้เป็นโครงการทำงานภายใต้ความร่วมมือทางเศรษฐกิจของเอเชีย Asia-Pacific Economic Cooperation GNSS Implementation Team (APEC GIT) โดยการทดสอบดำเนินการตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2549 ซึ่งระบบการทำงานเป็นการผสมระหว่าง SBAS และ GBAS มีการติดตั้งสถานีทดสอบอ้างอิง Test Reference Stations (TRSs) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวรับสัญญาณ GPS แบบ 2 ความถี่ ส่วนติดต่อการสื่อสารและอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลข้อมูล GPS ที่เก็บรวบรวมไว้ในสถานีทดสอบอ้างอิงจะถูกส่งไปยังสถานีทดสอบหลัก Test Master Station (TMS) ในกรุงเทพมหานครข้อความ SBAS จะถูกสร้างขึ้นและข้อความจะถูกส่งผ่าน Test VHF Station (TVS) เครื่องรับหรือเครื่องบิน Test User Platform (TUP) จะได้รับสัญญาณ GPS และข้อความ SBAS ที่ออกอากาศจาก TVS แล้วคำนวณและเก็บตำแหน่งของ TUP บทความนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและผลการทดสอบการบินที่ดำเนินการในประเทศไทยในเดือนกันยายน 2550 ในระหว่างการทดสอบการบินพบว่าข้อความ SBAS และ VHF Data Link (VDL) จะคล้ายกับ GBAS ซึ่งผลกระทบของ VHF broadcast เช่น ผลกระทบของภูมิประเทศผลกระทบต่อทัศนคติของเครื่องบินที่แตกต่างกันและตำแหน่งที่มีการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าในขณะที่ GBAS VDL ครอบคลุมเป็นอย่างดีตลอด 30 NM บริเวณท่าอากาศยานตั้งแต่เมื่อเครื่องบินลกระยะสูงจนเข้าระยะประชิดสนามบินถึงเครื่องบินขับเคลื่อนบนทางขึ้นทั้งนี้ควรพิจารณาถึงระดับการส่งผ่านสัญญาณที่ไม่สม่ำเสมอเพื่อลดการสูญเสียข้อความ VHF ที่เป็นไปได้ โดยเครื่องรับอากาศยานการสูญเสียข้อความ VHF ที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดความผันผวนอย่างมากใน Horizontal Protection Levels (HPL) และ Vertical Protection Levels (VPL) ที่เกิดขึ้นจากการคำนวณ TUP

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลรังวัดหาค่าตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง (CORS) ของกรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมที่ดินแต่มีข้อจำกัดในเรื่องความต่อเนื่องของข้อมูลทำให้ต้องลบข้อมูลในบางวัน และข้อมูลจากกรมที่ดินไม่สามารถประมวลผลค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)_(SPP) เพราะข้อมูลที่ได้รับมีไม่เพียงพอต่อการประมวลผล โดยในการประมวลผลงานวิจัยจะยึดค่าพิกัดอ้างอิงที่ได้จากการประมวลรังวัดหาค่าตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงเป็นตัวเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลแบบวิธีอื่นๆ

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลรังวัดตำแหน่งจุดเดียวด้วยระบบดาวเทียมนำหนGPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN

3.1.2 ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ gLAB ในการประมวลผลข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN

3.1.3 รวบรวมข้อมูลที่ต้องการใช้ในงานวิจัยทั้งหมด ประกอบด้วยข้อมูล GPS จากสถานี CORS จำนวน 11 สถานี ของกรมที่ดิน พร้อมกับข้อมูล GPS จากสถานี CORS จำนวน 11 สถานี ของกรมโยธาธิการและผังเมือง และข้อมูลค่าแก้ของระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย จากฐานข้อมูลสาธารณะของประเทศฝรั่งเศส Centre national d'étudesspatiales (CNES)

3.1.4 ทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม gLAB

3.1.4.1 ทำการประมวลผลรังวัดหาค่าตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงเพื่อนำเป็นค่าพิกัดอ้างอิงโดยใช้ข้อมูลจากระบบดาวเทียมนำหน GPS เพียงอย่างเดียวเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยความถูกต้องของค่าพิกัดจะอยู่ในระดับเซนติเมตร (Kouba & Héroux, 2001) จากสถานี CORS ของกรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งใช้โปรแกรม PANDA ในการประมวลผล (ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP))

3.1.4.2 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวด้วยโดยใช้ข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS อย่างเดียวจากสถานี CORS ของกรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว_(SPP))

3.1.4.3 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้ข้อมูลของระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากการคำนวณจากสถานีอ้างอิงในประเทศอินเดีย ซึ่งใช้ข้อมูลจากสถานี CORS ของกรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN_(SPP))

3.1.4.4 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้ข้อมูลของระบบดาวเทียม GAGAN โดยใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model โดยใช้ข้อมูลจากสถานี CORS ของกรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model_(SPP))

3.1.4.5 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS โดยใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบจำลองของ Ionosphere-Free Combination (P3) โดยใช้ข้อมูลชูโดเรนจ์ จากสถานี CORS ของกรมที่ดิน และกรมโยธาธิการและผังเมือง (ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)_(SPP))

3.1.5 วิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากผลลัพธ์โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD)

3.1.5.1 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว_(SPP)

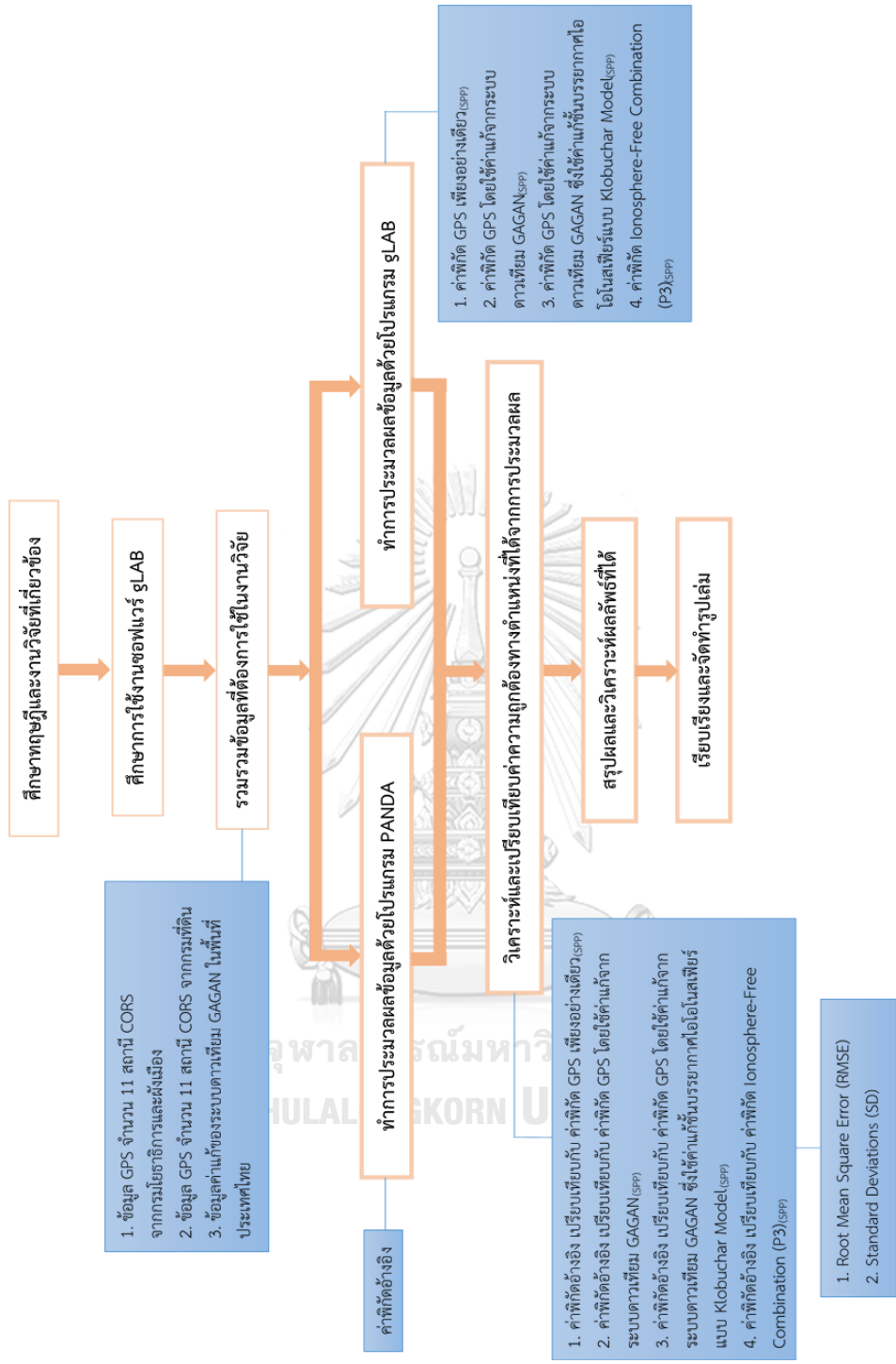
3.1.5.2 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN_(SPP)

3.1.5.3 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model_(SPP)

3.1.5.4 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)_(SPP)

3.1.6 สรุปผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้

3.1.7 เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2 ขั้นตอนวิธีการประมวลผลและเปรียบเทียบค่าพิกัด

3.2.1 ทำการรวบรวมเก็บข้อมูล GPS จากสถานี CORS จำนวน 11 สถานี ของกรมที่ดิน พร้อมกับข้อมูล GPS จากสถานี CORS จำนวน 11 สถานี ของกรมโยธาธิการและผังเมืองแล้วทำการโหลดข้อมูลค่าแก้ระบบดาวเทียม GAGAN

3.2.2 ทำการแปลงไฟล์ข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ RINEX โดยขั้นตอนนี้จะทำการตรวจเช็คความต่อเนื่องข้อมูลและตัดข้อมูลค่าพิกัดที่ไม่ดี

3.2.3 ทำการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวความละเอียดสูงเพื่อนำเป็นค่าพิกัดอ้างอิง

3.2.4 ทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม gLAB ในแต่ละวิธีการประมวลผลตามข้อ 3.1.4

3.2.5 ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดโดยนำค่าพิกัดอ้างอิงเป็นตัวเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ประมวลผลได้ในรูปแบบอื่นๆ โดยดูจากค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD)

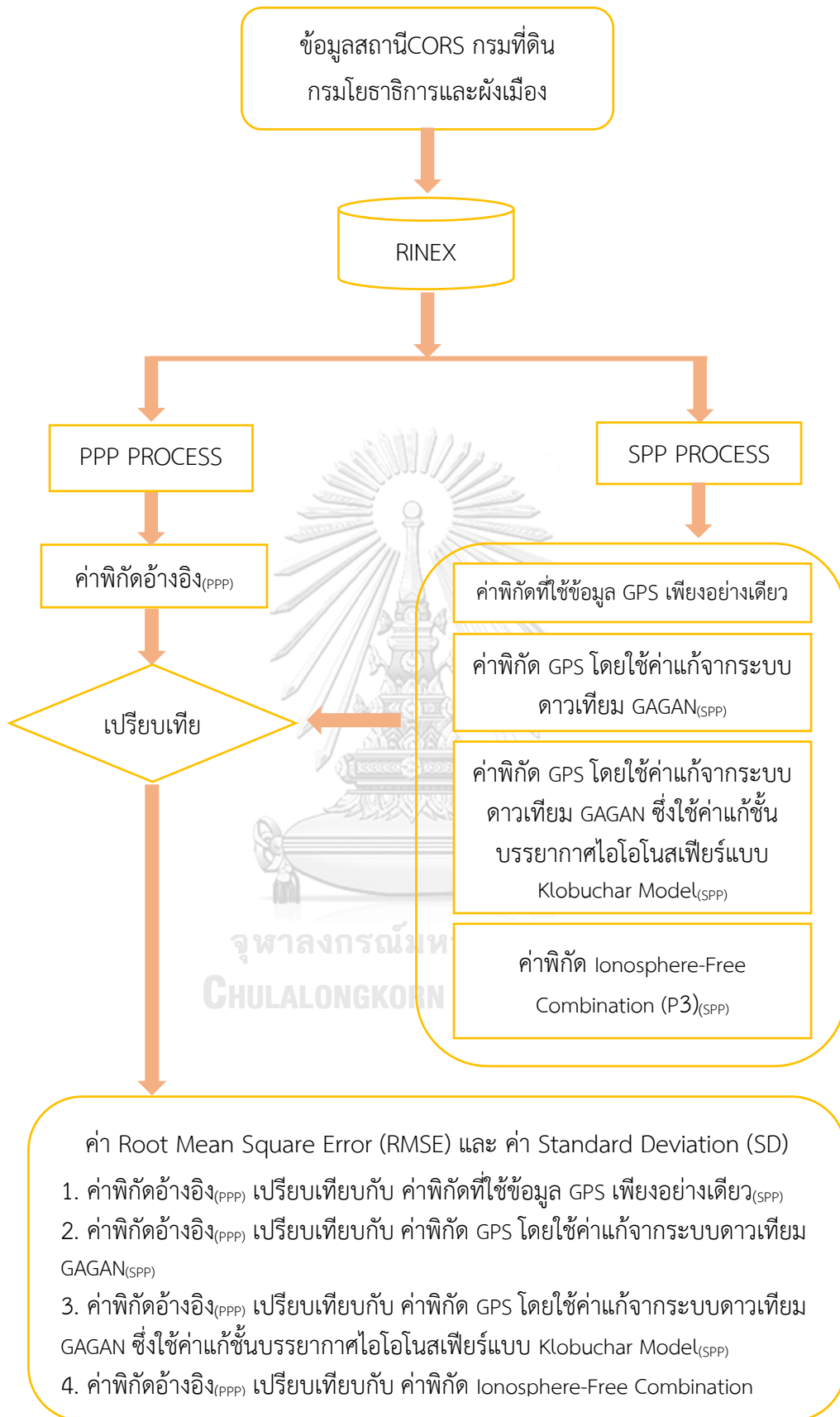
3.2.6 ทำการสรุปผลความแตกต่างค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดจากค่า Root Mean Square Error และค่า Standard Deviation (SD) ที่ได้จากการเปรียบเทียบทั้ง 4 แบบ

3.2.6.1 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว_(SPP)

3.2.6.2 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN_(SPP)

3.2.6.3 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model_(SPP)

3.2.6.4 ค่าพิกัดอ้างอิง_(PPP) เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)_(SPP)



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนวิธีการการประมวลผลและเปรียบเทียบค่าพิกัดในแต่ละวิธี

บทที่ 4

ผลการศึกษา

หลังจากทำการประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิงโดยใช้การประมวลรังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว ความละเอียดสูง Precise Point Positioning (PPP) และทำการประมวลผลค่าพิกัดที่ได้ในแต่ละวิธี คือ ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model และ ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) โดยใช้การประมวลผลแบบการรังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว Single Point Positioning (SPP) ทุกๆ 1 วินาที เป็นเวลาทั้งหมด 180 วัน (1 มกราคม พ.ศ.2560 – 31 มีนาคม พ.ศ.2560) จากข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง (CORS) ของกรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง โดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD) ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างค่าความถูกต้องของตำแหน่งระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ได้แต่ละวิธี ได้ผลการศึกษาดังนี้

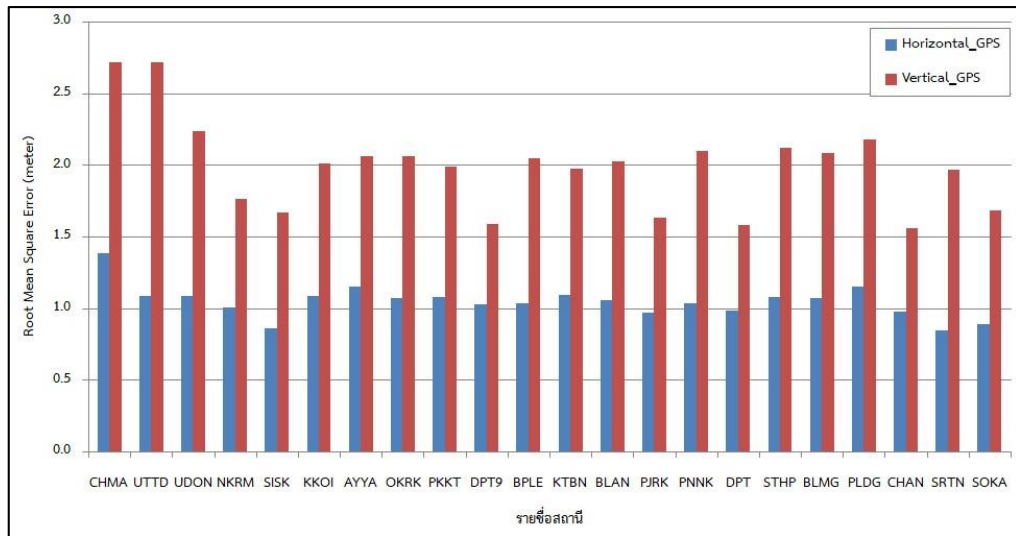
4.1 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว

ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของค่าพิกัด GPS เพียงอย่างเดียวในแนวราบและแนวตั้งจากการประมวลผลแบบการรังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (SPP) เปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงในแต่ละสถานีแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1 โดยรูปที่ 4.1 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า RMSE ทั้งในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีโดยค่าเฉลี่ย RMSE ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 1.046 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.993 เมตร และรูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า SD ในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีซึ่งค่าเฉลี่ย SD ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 0.955 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.791 เมตร

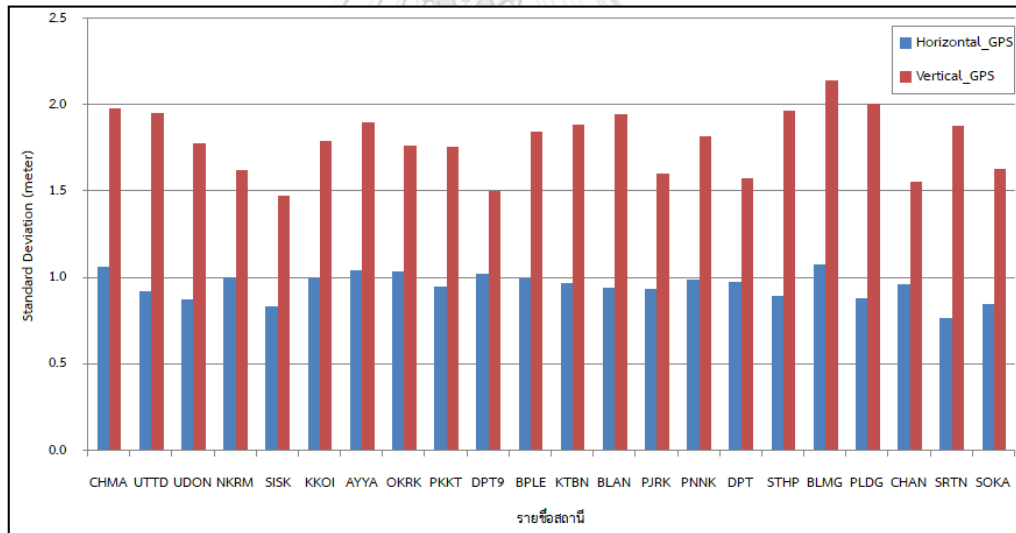
ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS(เมตร)		SD_GPS (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
1	CHMA	1.384	2.715	1.067	1.984
2	UTTD	1.087	2.715	0.926	1.954
3	UDON	0.859	1.672	0.877	1.778

ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS(เมตร)		SD_GPS (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
4	NKRM	1.087	2.241	1.001	1.623
5	SISK	1.004	1.767	0.836	1.476
6	KKOI	1.087	2.015	0.995	1.791
7	AYYA	1.150	2.066	1.045	1.898
8	OKRK	1.071	2.069	1.037	1.768
9	PKKT	1.081	1.989	0.949	1.761
10	DPT9	1.024	1.594	1.021	1.504
11	BPLE	1.035	2.053	0.999	1.849
12	KTBN	1.096	1.979	0.970	1.884
13	BLAN	1.059	2.030	0.942	1.946
14	PJRK	0.971	1.632	0.938	1.606
15	PNNK	1.036	2.103	0.990	1.818
16	DPT	0.983	1.586	0.979	1.578
17	STHP	1.067	2.086	0.897	1.966
18	BLMG	1.078	2.122	1.079	2.139
19	PLDG	1.147	2.186	0.880	2.006
20	CHAN	0.976	1.563	0.965	1.558
21	SRTN	0.844	1.967	0.767	1.883
22	SOKA	0.887	1.684	0.852	1.632
Mean		1.046	1.993	0.955	1.791

ตารางที่ 4.1 แสดงตารางค่า RMSE และค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟค่า RMSE ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว

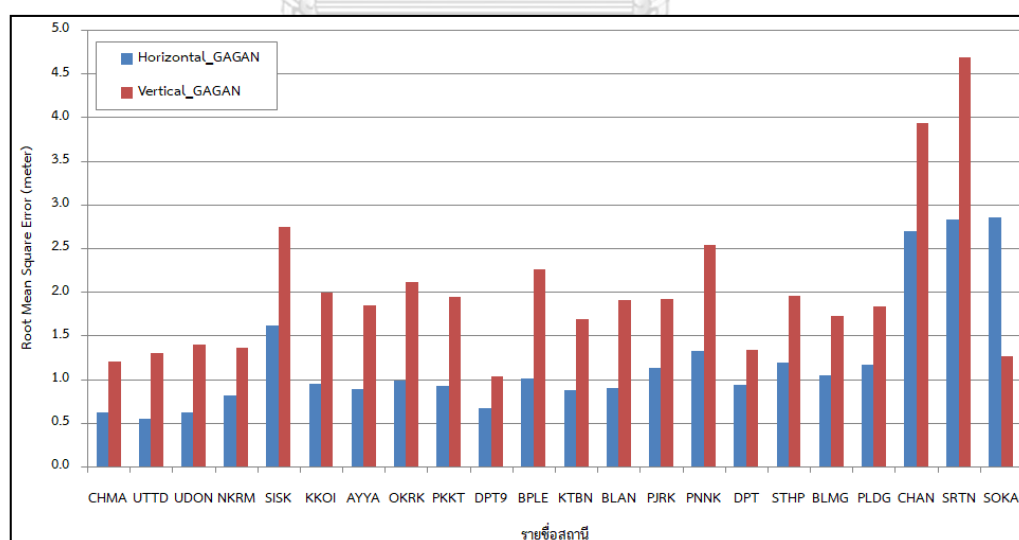
4.2 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN

ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในแนวราบและแนวตั้งจากการประมวลผลแบบการรังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดียว (SPP) เปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงในแต่ละสถานีแสดงอยู่ในตารางที่ 4.2 โดยรูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า RMSE ทั้งในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีโดยค่าเฉลี่ย RMSE ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 1.207 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.998 เมตร และรูปที่ 4.4 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า SD ในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีซึ่งค่าเฉลี่ย SD ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 1.192 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.917 เมตร

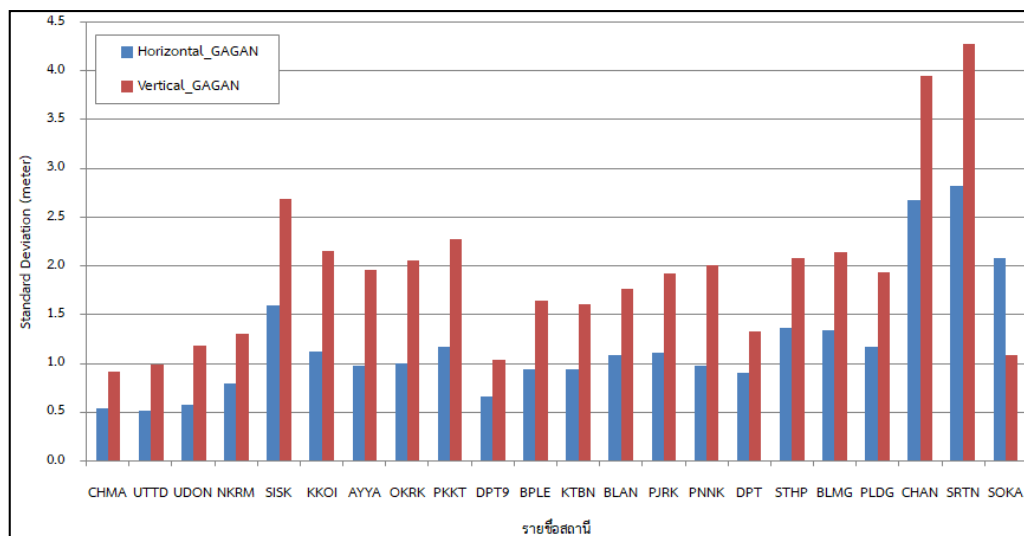
ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS+GAGAN (เมตร)		SD_GPS+GAGAN (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
1	CHMA	0.618	1.201	0.536	0.915
2	UTTD	0.540	1.302	0.507	0.989
3	UDON	1.617	2.742	0.571	1.172
4	NKRM	0.621	1.399	0.783	1.298
5	SISK	0.808	1.363	1.589	2.681
6	KKOI	0.948	1.994	1.116	2.148
7	AYYA	0.891	1.841	0.966	1.953
8	OKRK	0.980	2.113	0.998	2.046
9	PKKT	0.926	1.943	1.163	2.265
10	DPT9	0.667	1.028	0.651	1.028
11	BPLE	1.003	2.262	0.939	1.642
12	KTBN	0.869	1.692	0.934	1.602
13	BLAN	0.894	1.901	1.077	1.759
14	PJRK	1.132	1.922	1.107	1.922
15	PNNK	1.327	2.537	0.968	2.007

ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS+GAGAN (เมตร)		SD_GPS+GAGAN (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
16	DPT	0.931	1.334	0.900	1.325
17	STHP	1.048	1.728	1.360	2.074
18	BLMG	1.195	1.949	1.338	2.137
19	PLDG	1.160	1.830	1.162	1.927
20	CHAN	2.697	3.938	2.670	3.936
21	SRTN	2.832	4.680	2.818	4.272
22	SOKA	2.856	1.258	2.080	1.080
Mean		1.207	1.998	1.192	1.917

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางค่า RMSE และค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟค่า RMSE ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN

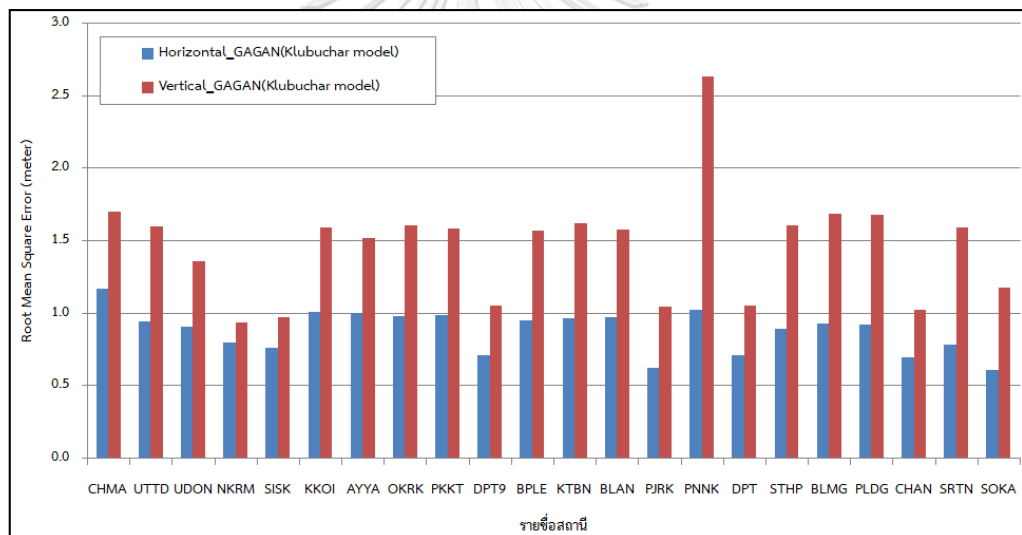
4.3 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model

ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model ในแนวราบและแนวตั้งจากการประมวลผลแบบการรังวัดหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยว (SPP) เปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงในแต่ละสถานีแสดงอยู่ในตารางที่ 4.3 โดยรูปที่ 4.5 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า RMSE ทั้งในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานี โดยค่าเฉลี่ย RMSE ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 0.882 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.466 เมตร และรูปที่ 4.6 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า SD ในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีซึ่งค่าเฉลี่ย SD ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 0.738 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.320 เมตร

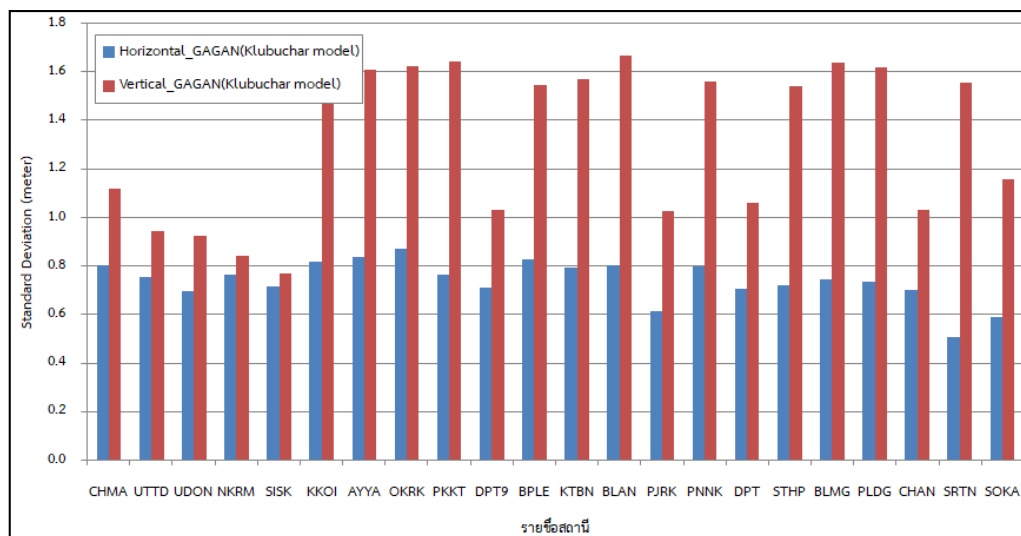
ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS+GAGAN (Klobuchar model) (เมตร)		SD_GPS+GAGAN (Klobuchar model) (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
1	CHMA	1.173	1.706	0.802	1.114
2	UTTD	0.950	1.601	0.750	0.942
3	UDON	0.768	0.974	0.692	0.924
4	NKRM	0.910	1.363	0.764	0.839
5	SISK	0.798	0.936	0.714	0.765
6	KKOI	1.011	1.593	0.816	1.642
7	AYYA	1.004	1.521	0.836	1.605
8	OKRK	0.980	1.607	0.870	1.620
9	PKKT	0.993	1.588	0.763	1.640
10	DPT9	0.715	1.055	0.710	1.030
11	BPLE	0.951	1.573	0.826	1.541
12	KTBN	0.970	1.622	0.793	1.565
13	BLAN	0.979	1.582	0.800	1.666
14	PJRK	0.629	1.049	0.612	1.022
15	PNNK	1.025	2.636	0.796	1.558
16	DPT	0.713	1.057	0.705	1.057
17	STHP	0.932	1.693	0.719	1.536
18	BLMG	0.892	1.609	0.741	1.635
19	PLDG	0.921	1.683	0.733	1.613
20	CHAN	0.701	1.030	0.697	1.029
21	SRTN	0.785	1.595	0.507	1.551

ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS+GAGAN (Klobuchar model) (เมตร)		SD_GPS+GAGAN (Klobuchar model) (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
22	SOKA	0.612	1.180	0.589	1.154
Mean		0.882	1.466	0.738	1.320

ตารางที่ 4.3 แสดงตารางค่า RMSE และค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้ไขจากรบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ไขบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟค่า RMSE ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้ไขจากรบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ไขบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model



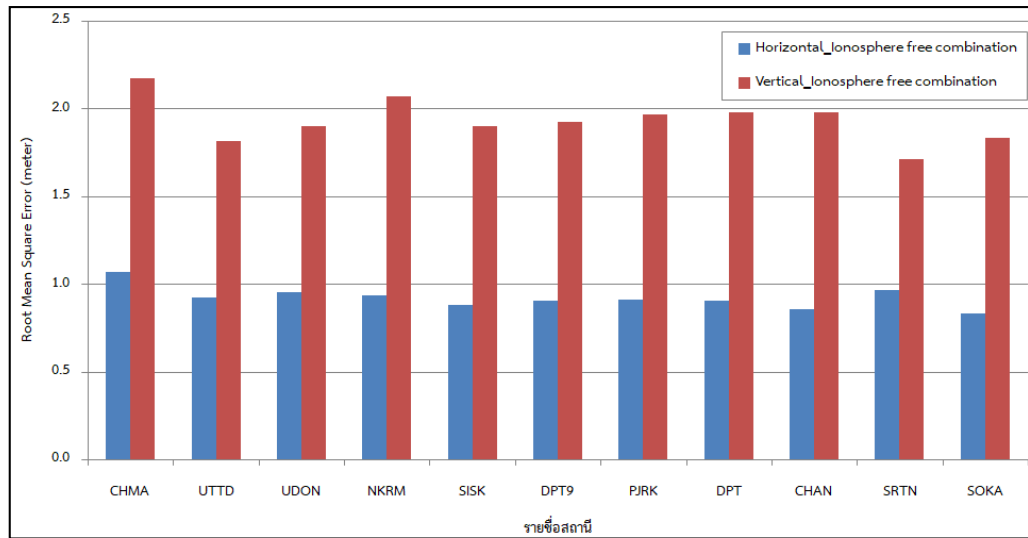
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้ไขจากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ไขชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model

4.4 ค่าพิกัดอ้างอิงเปรียบเทียบกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)

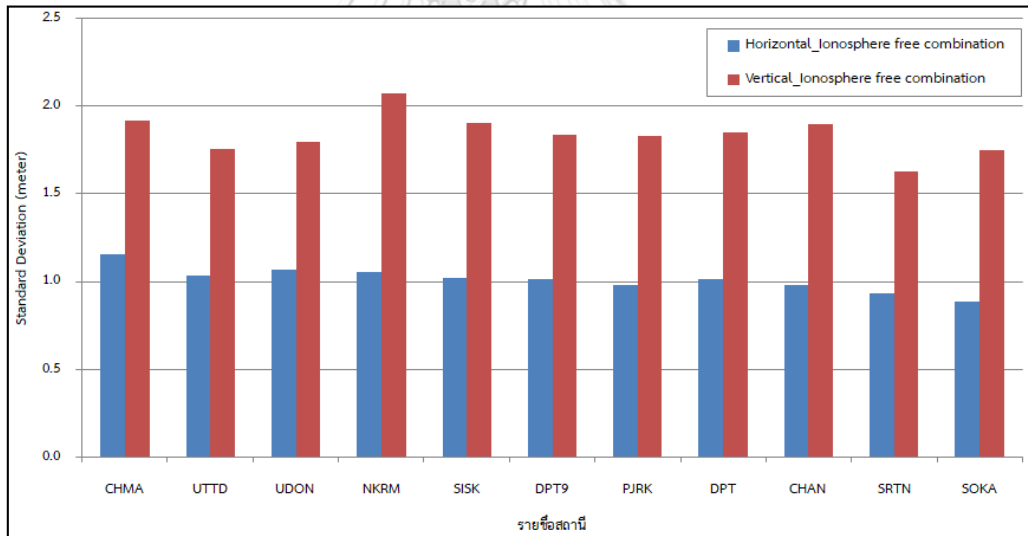
ผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) ในแนวราบและแนวตั้งจากการประมวลผลแบบการรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียว (SPP) เปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงในแต่ละสถานีแสดงอยู่ในตารางที่ 4.4 โดยรูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า RMSE ทั้งในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีโดยค่าเฉลี่ย RMSE ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 0.921 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.931 เมตร และรูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลลัพธ์ค่า SD ในแนวราบและแนวตั้งของแต่ละสถานีซึ่งค่าเฉลี่ย SD ในแนวราบจะอยู่ที่ประมาณ 1.010 เมตร ส่วนแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ 1.834 เมตร ซึ่งข้อมูลของกรมที่ดินไม่สามารถคำนวณ Ionosphere-Free Combination(P3) ได้เนื่องจากข้อมูลที่ทำกรจัดเก็บจากกรมที่ดินมีไม่เพียงพอในการประมวลผล ซึ่งประกอบด้วย สถานีอาคารรังวัดและท่าแผนที (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรี สาขาพนัสนิคม (PNNK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาบางละมุง (BLMG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาสัตหีบ (STHP) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดระยอง สาขาปลวกแดง (PLDG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาครสาขากระทุ่มแบน (KTBN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองครักษ์ (OKRK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรี (KKOI)

ลำดับ	ชื่อ	RMSE_GPS+Ionosphere-Free Combination(P3) (เมตร)		SD_GPS+Ionosphere-Free Combination(P3) (เมตร)	
		Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
1	CHMA	1.068	2.170	1.151	1.915
2	UTTD	0.922	1.814	1.029	1.749
3	SISK	0.879	1.901	1.018	1.898
4	UDON	0.952	1.898	1.065	1.789
5	NKRM	0.937	2.071	1.054	2.070
6	DPT9	0.901	1.924	1.012	1.830
7	PJRK	0.910	1.965	0.978	1.824
8	DPT	0.907	1.977	1.010	1.846
9	CHAN	0.857	1.976	0.978	1.892
10	SRTN	0.966	1.709	0.929	1.621
11	SOKA	0.829	1.833	0.885	1.744
Mean		0.921	1.931	1.010	1.834

ตารางที่ 4.4 แสดงตารางค่า RMSE และค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้ง จากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟค่า RMSE ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่า SD ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบและแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)

บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย โดยบทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลงานวิจัย สรุปผลงานวิจัยในประเด็นต่างๆ และข้อจำกัดในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัยหรือเทคนิควิธีการที่ใช้ในงานวิจัยไปปรับใช้ประโยชน์ในอนาคต

5.1 อภิปรายผล

5.1.1 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบ

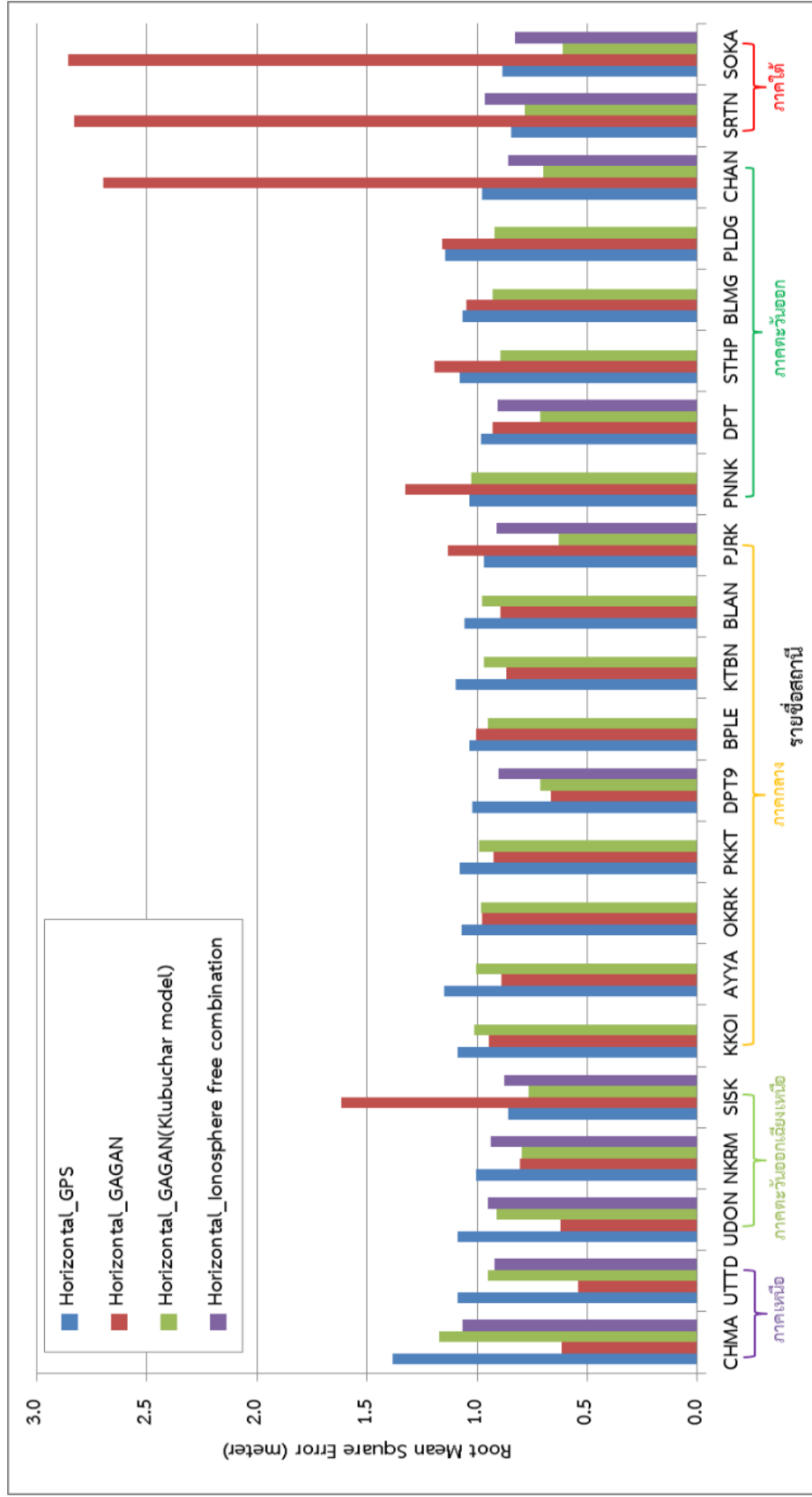
จากการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดียวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งจากรูปที่ 5.1 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) โดยรูปที่ 5.2 แสดงค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดในแนวราบจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ได้แต่ละวิธี เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.1 และ 5.2 สามารถแบ่งค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบที่ได้จากการประมวลผลแบบหาตำแหน่งจุดเดียวที่ใช้ข้อมูล GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบมากที่สุด มี 10 สถานี คือ สถานีจังหวัดเชียงใหม่ (CHMA) จังหวัดอุดรดิตถ์ (UTTD) จังหวัดอุดรธานี (UDON) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรี (KKOI) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายกสาขาองครักษ์ (OKRK) สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่จังหวัดนนทบุรี (PKKT) จังหวัดกรุงเทพมหานคร (DPT9) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาครสาขากระทุ่มแบน (KTBN) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐมสาขาบางเลน (BLAN)

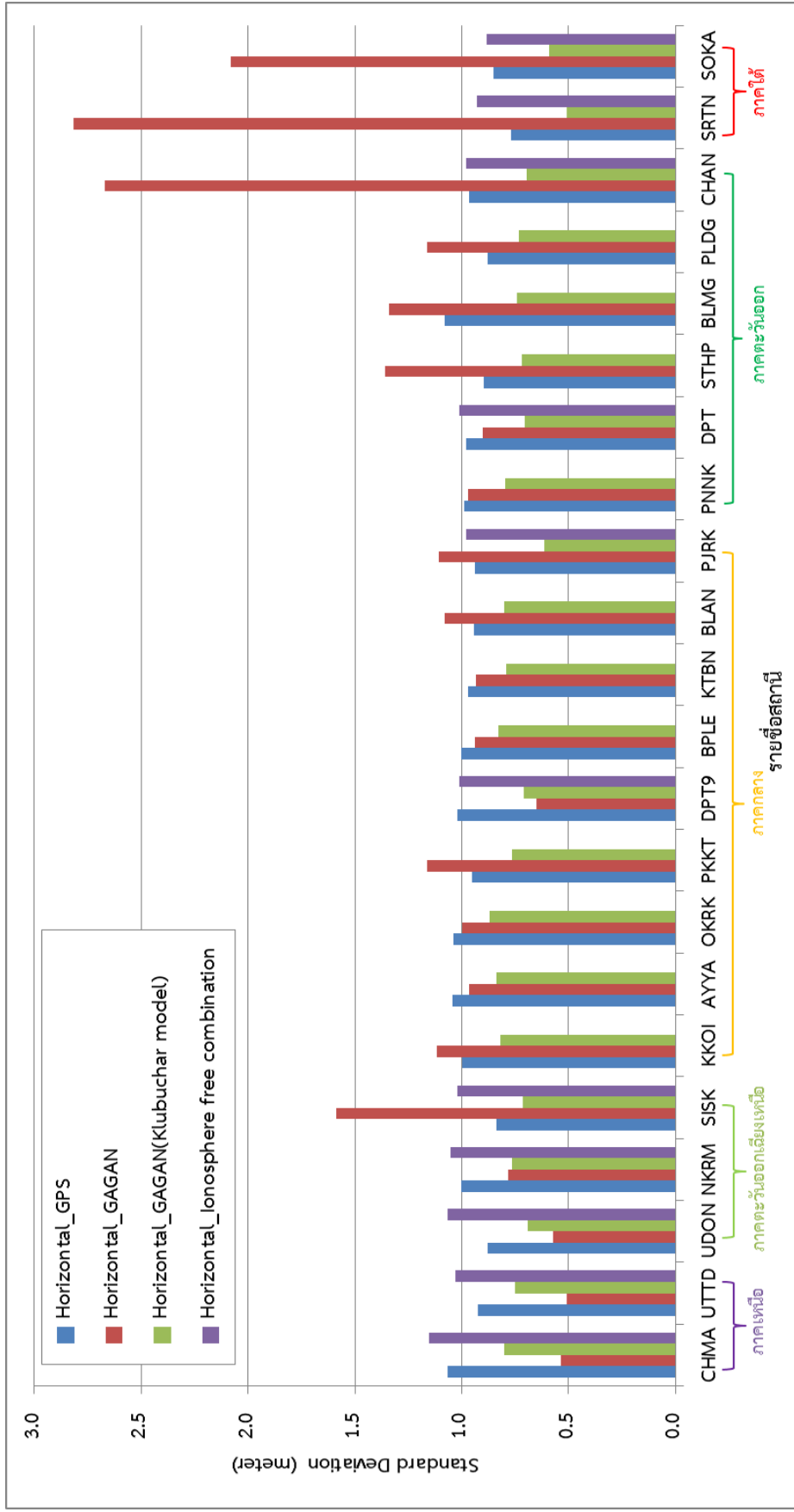
กรณีที่ 2 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบที่ได้จากการประมวลผลแบบหาตำแหน่งจุดเดียวที่ใช้ข้อมูล GPS ร่วมกับการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบมากที่สุด มี 12 สถานี ได้แก่ สถานีจังหวัดศรีสะเกษ (SISK) สถานีจังหวัดนครราชสีมา (NKRM) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการสาขาบางพลี (BPLE) สถานีจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (PJRK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาพนัสนิคม (PNNK) สถานีจังหวัดชลบุรี (DPT)

สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาบางละมุง (BLMG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาสัต
หีบ (STHP) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดระยองสาขาปลวกแดง (PLDG) สถานีจังหวัดจันทบุรี (CHAN)
จังหวัดสุราษฎร์ธานี (SRTN) และจังหวัดสงขลา (SOKA)

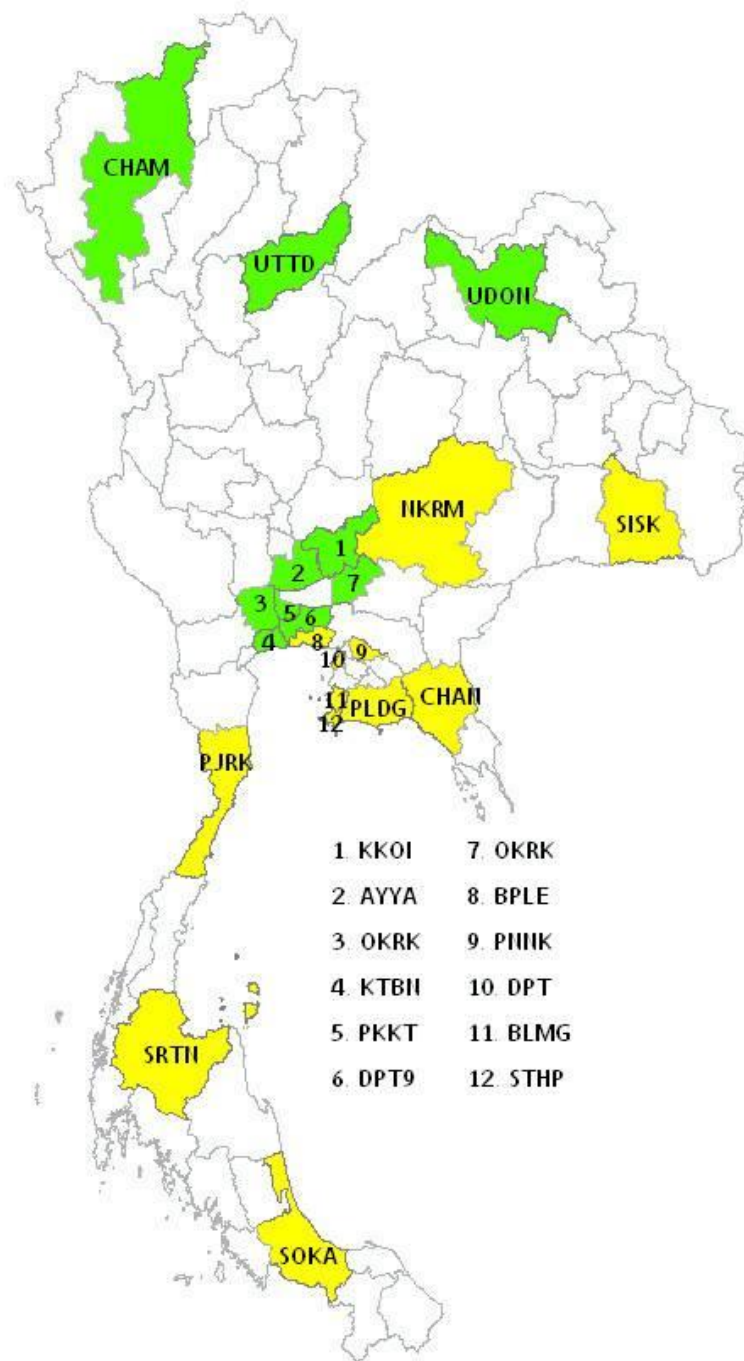




รูปที่ 5.1 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าที่ติดตั้งในแนวราบ ระหว่างค่าที่ติดตั้งได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าที่ติดตั้งเอง



รูปที่ 5.2 แสดงค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวราบ ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง



- ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวราบมากที่สุด
- ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model มีความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวราบมากที่สุด

รูปที่ 5.3 แสดงวิธีการประมวลผลค่าพิกัดที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่ง
ของค่าพิกัดในแนวราบมากที่สุดในแต่ละสถานี

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงวิธีการประมวลผลค่าพิกัดที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวราบมากที่สุดในแต่ละสถานี จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ค่าความถูกต้องของตำแหน่งค่าพิกัดในแนวราบของแต่ละสถานีที่ได้จากค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นมีลักษณะค่าความถูกต้องแบ่งตามภูมิภาค คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือบางจังหวัด ส่วนค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวราบที่ได้จากค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model ที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวราบมากที่สุดของแต่ละสถานี จากผลลัพธ์จะเห็นว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้นั้นแบ่งตามภูมิภาค ซึ่งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และในบางจังหวัดของภาคกลาง

5.1.2 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้ง

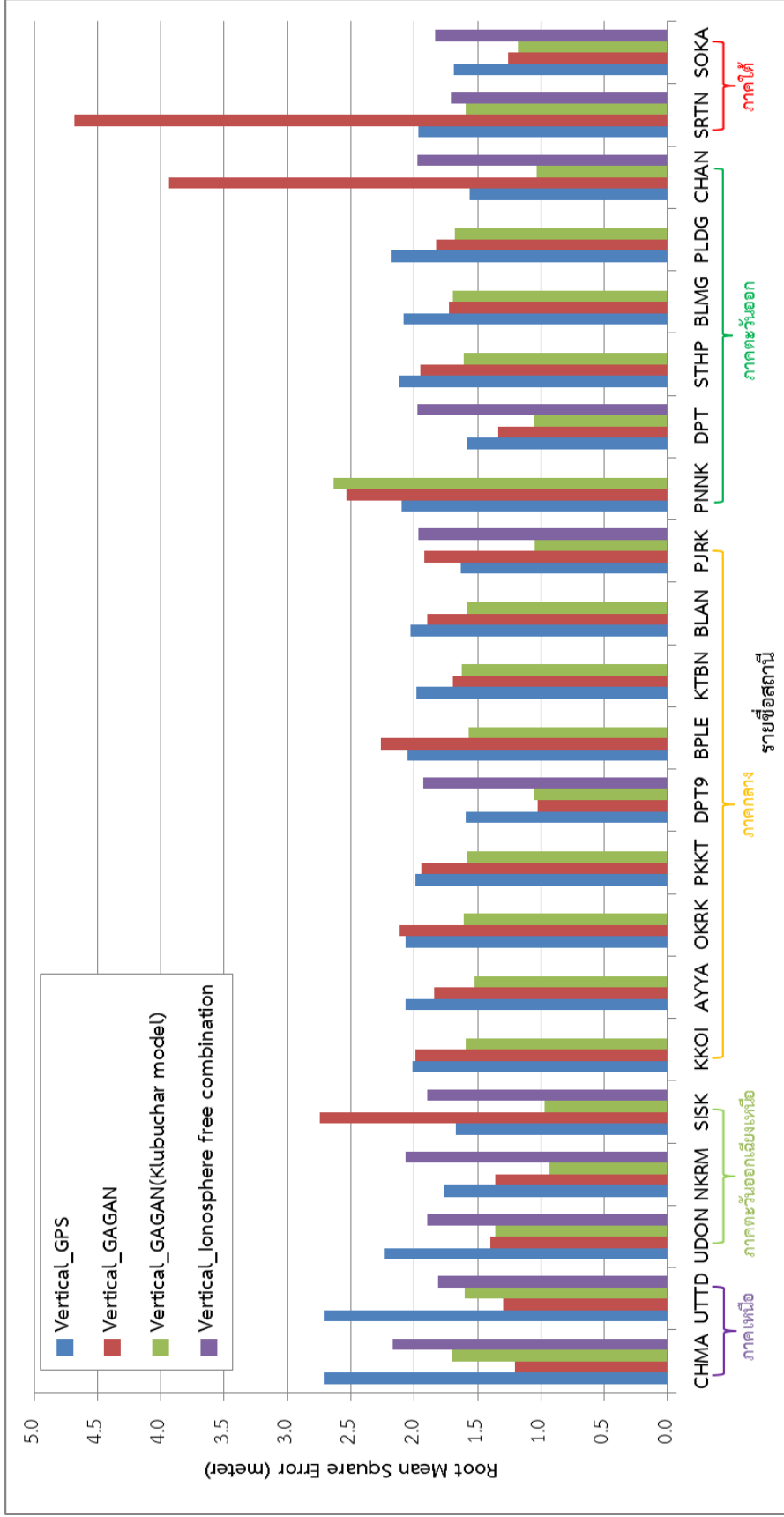
จากรูปที่ 5.4 แสดงค่า RMSE และรูปที่ 5.5 แสดงค่า SD ของค่าพิกัดในแนวตั้งจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับค่าพิกัดที่ได้แต่ละวิธี เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.4 และ 5.5 สามารถแบ่งค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งเป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งที่ได้จากการประมวลผลแบบหาค่าตำแหน่งจุดเดียวที่ใช้ข้อมูล GPS รวมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งมากที่สุด มี 3 สถานี คือ สถานีจังหวัดเชียงใหม่ (CHMA) จังหวัดอุดรดิตถ์ (UTTD) จังหวัดกรุงเทพมหานคร (DPT9)

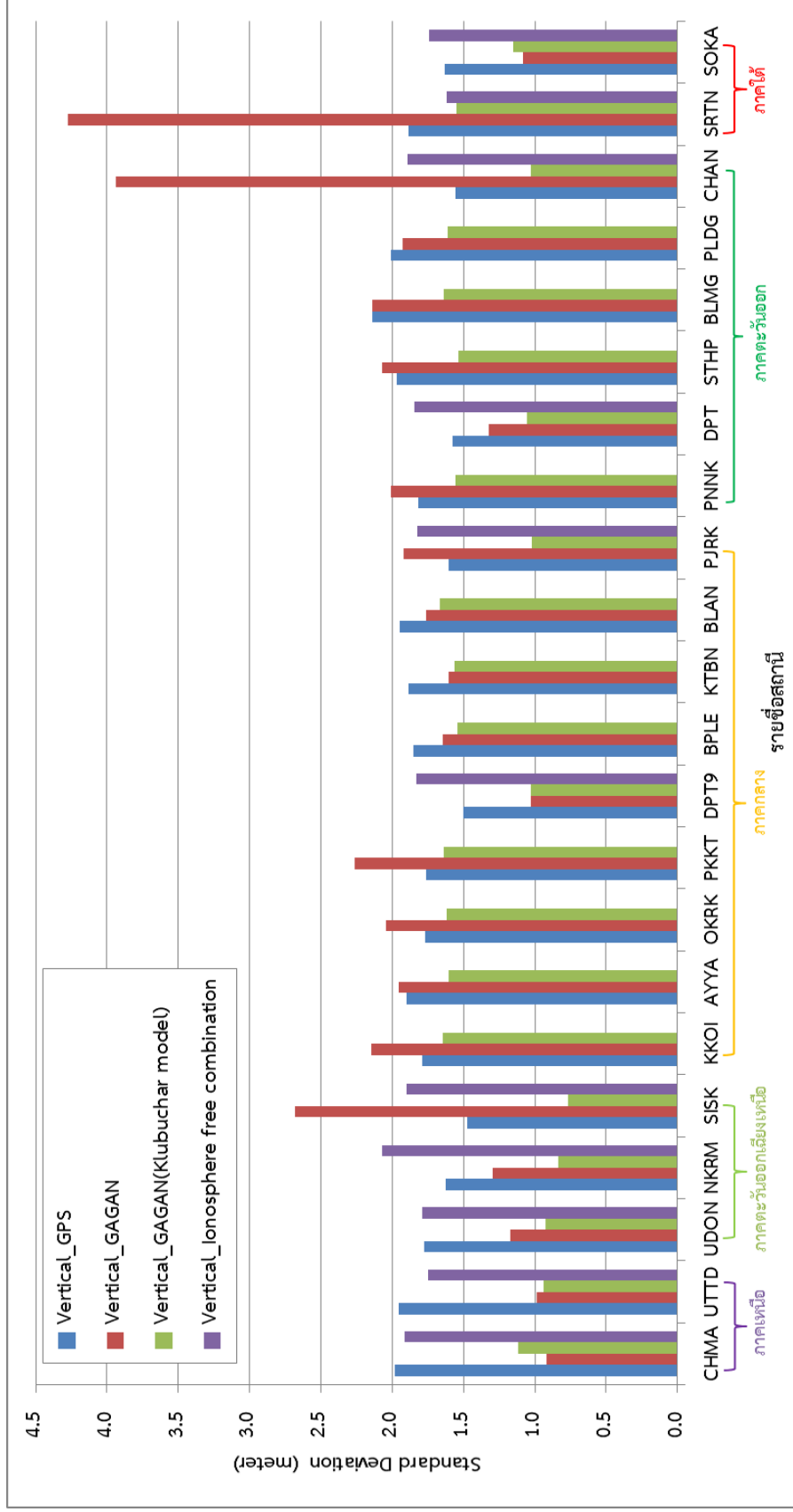
กรณีที่ 2 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งที่ได้จากการประมวลผลแบบหาค่าตำแหน่งจุดเดียวที่ใช้ข้อมูล GPS รวมกับการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งมากที่สุด มีจำนวน 18 สถานี คือ สถานีจังหวัดศรีสะเกษ (SISK) จังหวัดอุดรธานี (UDON) สถานีจังหวัดนครราชสีมา (NKRM) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรี (KKOI) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายกสาขาองค์กรักษ์ (OKRK) จังหวัดนนทบุรีสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาครสาขากระทุ่มแบน (KTBN) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐมสาขาบางเลน (BLAN) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (PJRK) สถานีจังหวัดชลบุรี (DPT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาบางละมุง (BLMG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาสัตหีบ (STHP) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดระยองสาขาปลวกแดง (PLDG) สถานีจังหวัดจันทบุรี (CHAN) จังหวัดสุราษฎร์ธานี (SRTN) และจังหวัดสงขลา (SOKA)

กรณีที่ 3 ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งที่ได้จากการประมวลผลแบบหาตำแหน่งจุดเดียวที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งมากที่สุด จำนวน 1 สถานี คือ สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาพนัสนิคม (PNNK)

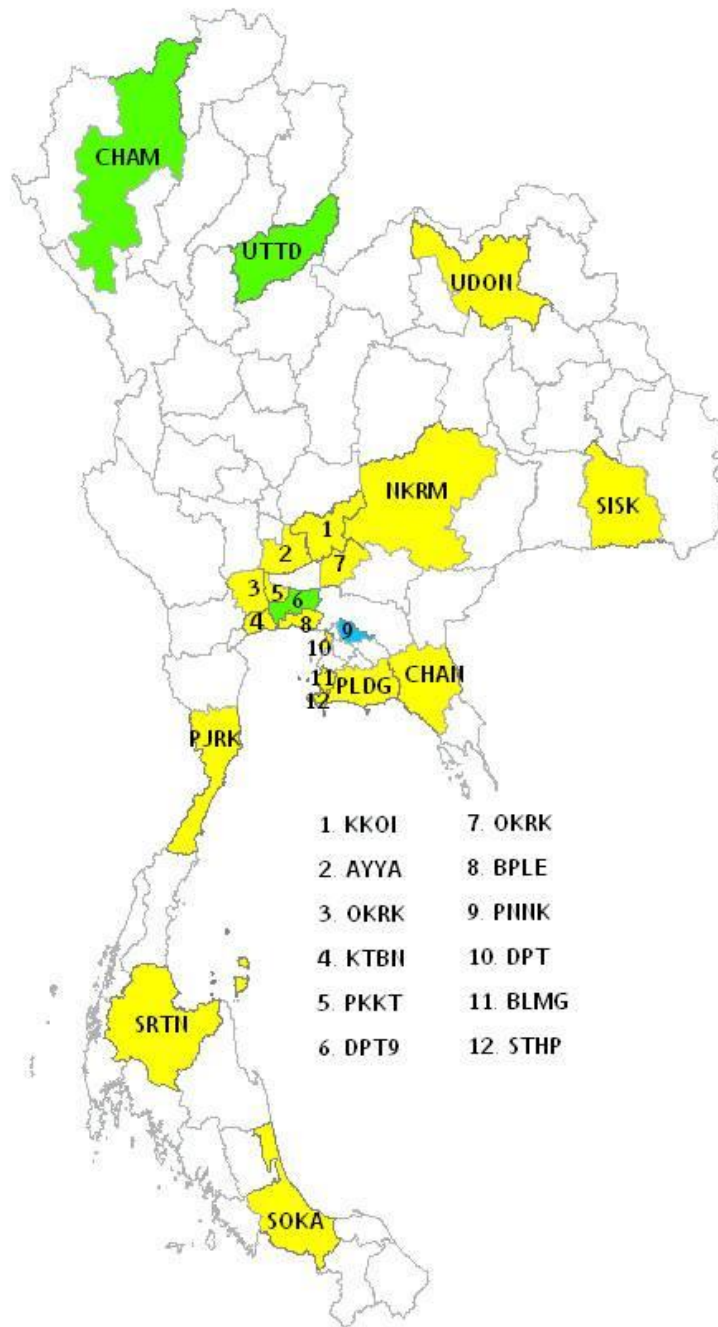




รูปที่ 5.4 แสดงค่า Root Mean Square Error (RMSE) ของค่าพิกัดทั้งในแนวตั้ง ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง



รูปที่ 5.5 แสดงค่า Standard Deviation (SD) ของค่าพิกัดทั้งในแนวตั้ง ระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากแต่ละวิธีเปรียบเทียบกับระหว่างค่าพิกัดอ้างอิง

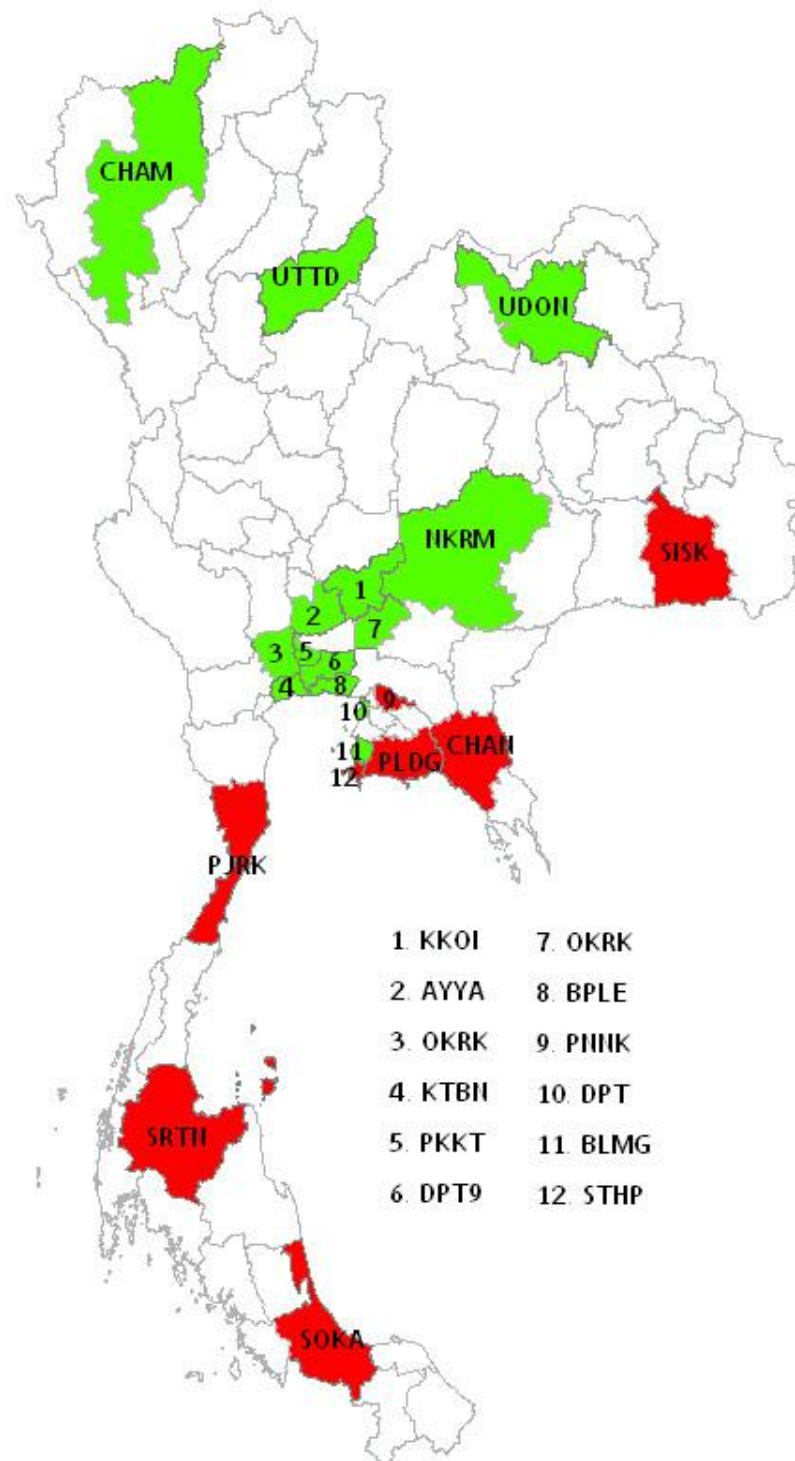


- ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวตั้งมากที่สุด
- ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวตั้งมากที่สุด
- ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวตั้งมากที่สุด

รูปที่ 5.6 แสดงวิธีการประมวลผลที่ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งมากที่สุดของแต่ละสถานี

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องของตำแหน่งค่าพิกัดในแนวตั้งของแต่ละสถานีที่ได้จากการวิธีการประมวลผลค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวตั้งมากที่สุดเทียบกับแต่ละวิธีการประมวลผล ซึ่งค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของพิกัดที่เพิ่มขึ้นมีความครอบคลุมในพื้นที่ประเทศไทยยกเว้นสถานีทางภาคเหนือและสถานีในภาคกลางในบางสถานีที่ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวตั้งมากที่สุด ทั้งนี้ในสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาพนัสนิคม (PNNK) ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งที่ได้จากการประมวลผลแบบหาค่าตำแหน่งจุดเดียวที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแนวตั้งมากที่สุด

โดยรูปที่ 5.7 แสดงค่าความถูกต้องของตำแหน่งค่าพิกัดที่เพิ่มขึ้นในแนวราบของแต่ละสถานีที่ได้จากการวิธีการประมวลผลค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN เปรียบเทียบกับค่าความถูกต้องของตำแหน่งของค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียว จะเห็นได้ว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นโดยใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในการประมวลผลนั้นยังคงไม่เหมาะสมกับบริเวณบางพื้นที่ในประเทศไทย ซึ่งแสดงให้เห็นจากค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียวในบางสถานีมีความถูกต้องมากกว่าค่าพิกัด GPS ที่ประมวลผลร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN เช่น สถานีในทางภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือในบางสถานี โดยสาเหตุเกิดจากค่าแก้ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นยังคงไม่เหมาะสมกับบางพื้นที่ในประเทศไทย



● ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าค่าพิกัด GPS เพียงอย่างเดียว

● ค่าพิกัดที่ใช้ข้อมูล GPS เพียงอย่างเดียวมีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าระบบดาวเทียม GAGAN ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ไม่ดี

รูปที่ 5.7 แสดงประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในพื้นที่ประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่อง (CORS) ของกรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมที่ดิน ร่วมกับข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ในการศึกษาวิจัยได้ทำการประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิงที่ใช้เทคนิคการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงเปรียบเทียบกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดในแต่ละกรณีที่ใช้เทคนิคประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวโดยแบ่งการเปรียบเทียบเป็น 4 กรณี คือ

1. ค่าพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS เพียงอย่างเดียว_(SPP)
2. ค่าพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN_(SPP)
3. ค่าพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model_(SPP)

4. ค่าพิกัดอ้างอิง เปรียบเทียบกับ ค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3)_(SPP)

โดยแสดงผลค่าความถูกต้องทางตำแหน่งและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้จากแต่ละกรณีโดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) และค่า Standard Deviation (SD) จากผลลัพธ์ทางสถิติจากการศึกษาผลลัพธ์ทั้ง 4 กรณี พบว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดโดยใช้วิธีการประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวข้อมูล GPS ร่วมกับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ค่าเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar model ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในแนวราบเพิ่มขึ้นมากที่สุดโดยแนวราบประมาณ 90 เซนติเมตรโดยเฉลี่ย แนวตั้งประมาณ 1.5 เมตรโดยเฉลี่ย เมื่อเทียบกับค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่เพิ่มขึ้นในวิธีประมวลผลแบบอื่นๆ ถึงแม้บางพื้นที่ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดแบบวิธีประมวลผลรังวัดหาตำแหน่งจุดเดี่ยวด้วยข้อมูลระบบดาวเทียมนำหน GPS ร่วมกับการใช้ข้อมูลค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN มีค่าความถูกต้องที่มากกว่าแต่ก็เกิดในเฉพาะบางพื้นที่ เช่น สถานีจังหวัดเชียงใหม่ (CHMA) จังหวัดอุดรดิตถ์ (UTTD) จังหวัดอุดรธานี (UDON) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรี (KKOI) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) เป็นต้น และเมื่อนำผลลัพธ์ในแต่ละวิธีการประมวลผลมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่เหมาะสมกับบางพื้นที่ของประเทศไทย ซึ่งแสดงให้เห็นจากในบางกรณีค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) และค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ซึ่งใช้ค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบ Klobuchar Model ที่ขจัดค่าคลาดเคลื่อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าค่าพิกัด GPS โดยใช้ค่าแก้จาก

ระบบดาวเทียม GAGAN ที่คำนวณค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากสถานีอ้างอิงในประเทศอินเดีย

จากผลลัพธ์ทำให้สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบดาวเทียม GAGAN ยังไม่สามารถให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นของค่าพิกัดครอบคลุมทุกพื้นที่ในประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นยังคงไม่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย ทั้งนี้ในการประยุกต์ใช้ระบบดาวเทียม GAGAN ในด้านการบินถึงแม้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยอยู่ในตามมาตรฐานของ ICAO แต่ก็มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ผิดพลาดในบางช่วงเวลา ดังนั้นด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) ตามมาตรฐานการบินจึงไม่สามารถนำมาใช้ในการบินได้

5.3 ปัญหาที่พบ

5.3.1 เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของข้อมูลที่ได้รับจากกรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง มีบางวันที่ข้อมูลไม่สามารถประมวลผลได้เนื่องจากข้อมูลมีปัญหาขาดความต่อเนื่องทำให้ต้องตัดข้อมูลในบางวันและกรมที่ดินไม่สามารถประมวลผลค่าพิกัด Ionosphere-Free Combination (P3) เพราะข้อมูลที่ได้รับมีไม่เพียงพอต่อการประมวลผลประกอบด้วย สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรี สาขาพนัสนิคม (PNNK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาบางละมุง (BLMG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดชลบุรีสาขาสัตหีบ (STHP) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดระยองสาขาปลวกแดง (PLDG) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาครสาขากระทุ่มแบน (KTBN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครนายก สาขาองครักษ์ (OKRK) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA)

สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสระบุรี (KKOI)

5.3.2 เนื่องจากไม่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่รับสัญญาณระบบดาวเทียม GAGAN โดยตรงในการจำหน่ายมากนักทำให้ยากในการตรวจสอบค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้รับ

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การประมวลผลในงานวิจัยนี้เป็นการประมวลผลแบบ Postprocessing โดยนำข้อมูลจากสถานีรังวัดสัญญาณต่อเนื่อง (CORS) มาประมวลผลร่วมกับค่าแก้ระบบดาวเทียม GAGAN ทั้งนี้ควรมีการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถคำนวณค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN ใน

รูปแบบ Real-timeดาวเทียม GNSS แบบต่อเนื่องควรมีการตั้งรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถรับค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN

5.4.2 การรับสัญญาณควรมีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณระบบดาวเทียม SBAS อื่นๆ เช่น WAAS, EGNOS, MSAS เพื่อตรวจสอบการรับสัญญาณที่ได้รับในพื้นที่ประเทศไทยพร้อมกับการประมวลผลค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้รับจากระบบดาวเทียม SBAS อื่นๆ

5.4.3 ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดที่ได้รับจากการประมวลผลร่วมกับค่าแก้ระบบดาวเทียม GAGAN ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของค่าพิกัดไม่ครอบคลุมทุกพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้รับจากระบบดาวเทียม GAGAN นั้นยังคงไม่เหมาะสมกับประเทศไทยดังนั้นควรมีการศึกษาทำแบบจำลองค่าแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย

5.4.4 ควรมีการพัฒนาแบบจำลองระบบดาวเทียม SBAS ที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. เอกสารคำสอนวิชา 2108631 *Advanced GPS Satellite Surveying* งาน
รังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549 (อัดสำเนา)

ภาษาอังกฤษ

- Acharya, R., Nagori, N., Jain, N., Sunda, S., Regar, S., Sivaraman, M., & Bandopadhyay, K. (2007). Ionospheric studies for the implementation of GAGAN. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 36, 11.
- Baba, M. K., & Rao, V. M. (2014). Estimation Of Global Positioning System Measurement Errors For GAGAN Applications. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 9(6), 13.
- Bacci, G., Falletti, E., Fernández-Prades, C., Luise, M., Margaria, D., & Zanier, F. (2012). Chapter 2 - Satellite-Based Navigation Systems *Satellite and Terrestrial Radio Positioning Techniques* (pp. 25-74). Oxford: Academic Press.
- Chandra, K. R., Srinivas, V. S., & Sarma, A. (2009). Investigation of ionospheric gradients for GAGAN application. *Earth, Planets and Space*, 61(5), 633-635.
- Dammalage, T., De Silva, D., & Satirapod, C. (2017). Performance Analysis of GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN) Over Sri Lanka. *Engineering Journal*, 21(5), 305-314.
- Dammalage, T., & Silva, D. N. D. (2016). Performance Analysis of Gps Aided Geo Augmented Navigation (Gagan) over Sri Lanka.
- GANESHAN, A., SATISH, S., KARTIK, A., NIRMALA, S., & RAMESH, G. (2016). GAGAN- Redefining Navigation over the Indian Region. *Inside GNSS*, 42-48.
- Kouba, J., & Héroux, P. (2001). Precise point positioning using IGS orbit and clock products. *GPS solutions*, 5(2), 12-28.
- Machado, W., Albarici, F., Fonseca, E., Monico, J., & Polezel, W. (2012). The Impact of Adding SBAS Data on GPS Data Processing in Southeast of Brazil: Preliminary Result *Geodesy for Planet Earth* (pp. 733-738): Springer.

- Murugan, B. (2014). The Land Based Positional Accuracy Of Gps And Gps Augmented By Gagan Over The Indian Geographical Region. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 3(4), 61-67.
- Pringvanich, N., & Satirapod, C. (2009). Flight test results and analysis of SBAS-like algorithm from the implementation of the Asia-Pacific GNSS test bed. *The Aeronautical Journal*, 113(1139), 35-40.
- Sanwale, J., Singh, D. J., & Salawade, U. (2013). The Global Navigation Satellite System (GNSS) and Indian Satellite Based Augmentation System (GAGAN). *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(12).
- Weber, L. (2012). *International Civil Aviation Organization (ICAO)*: Kluwer Law International.



รายการอ้างอิง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นางสาวปทุมพร พวงเพ็ชร

วันเดือนปีเกิด : 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2535

คุณวุฒิทางการศึกษา :

พ.ศ. 2549 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนนิรมล จังหวัดชุมพร

พ.ศ. 2552 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายโรงเรียนศรียาภัย จังหวัดชุมพร

พ.ศ. 2556 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

ประสบการณ์ทำงาน:

พ.ศ. 2556-2557 data specialist บริษัท CDG

พ.ศ. 2557-2558 นักภูมิสารสนเทศศาสตร์ โครงการก่อสร้าง สำนักงานชลประทานที่ 9 กรมชลประทาน

ผลงานทางวิชาการ

ปทุมพรพวงเพ็ชรและ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2561) “การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยการใช้ค่าแก้จากระบบดาวเทียม GAGAN สำหรับการประมวลผลการรังวัดตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวด้วยระบบดาวเทียมนำหน GPS ในพื้นที่ประเทศไทย”การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2561, 1-2 กุมภาพันธ์ 2561

Patumphon Pungpet and Chalermchon Satirapod (2 5 6 1)
"Positioning accuracy analyses on GPS single point positioning determination with GAGAN correction services in Thailand" ECTI-CON 2018, 18-21 July 2018, Chiang Rai, Thailand



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY