

การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่างๆในพื้นที่ประเทศไทยสำหรับ
เครื่องรับความถี่เดียว



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 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparative study of using different ionosphere models in Thailand for single-
frequency GPS users

Mr. Khunphut Prakanrattana



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 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์
แบบต่างๆในพื้นที่ประเทศไทยสำหรับเครื่องรับความถี่
เดียว

โดย

นายคุณพุมิ ปราการรัตน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมสำรวจ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วิชัย เที่ยงวีรชน)

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

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันเอก ดร.กนก วีรวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ปณิธาน ศรีนวลดี)

คุณพุดดี ปรากฏการณ์ : การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่างๆในพื้นที่ประเทศไทยสำหรับเครื่องรับความถี่เดียว (Comparative study of using different ionosphere models in Thailand for single-frequency GPS users) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 120 หน้า.

สาเหตุหนึ่งของความคลาดเคลื่อนในสัญญาณ GNSS นั้นมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพราะว่าชั้นไอโอโนสเฟียร์มีอิเล็คตรอนอิสระที่ทำให้เกิดความล่าช้าในสัญญาณ GNSS สำหรับเครื่องรับสัญญาณสองความถี่สามารถจัดการปัญหานี้ไปได้โดยใช้วิธี Ionosphere-free linear combination แต่สำหรับเครื่องรับความถี่เดียวไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นต้องมีการเลือกใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ที่เหมาะสมเพื่อทำการขจัดค่าคลาดเคลื่อนนี้ในสัญญาณ GNSS ออกไป สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ท้องถิ่นจากการใช้สถานี GNSS ในประเทศไทยโดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE และเลือกใช้ Spherical Harmonic Expansion ค่าต่าง ๆ เพื่อดูความเหมาะสมของพื้นที่ประเทศไทย และนำมาเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ต่าง ๆ ในประเทศไทย อาทิ Klubochar Model, Global Ionosphere Maps, Ionosphere Model from QZSS ด้วยการนำข้อมูลความถี่เดียวค่าพิกัดที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นจะถูกเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการใช้ Ionosphere-free Linear combination ของเครื่องรับสองความถี่ด้วยการทดสอบผลทางสถิติ จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ท้องถิ่นของประเทศไทยให้ผลลัพธ์ที่มีค่าความถูกต้องทางตำแหน่งดีที่สุดเมื่อเทียบกับผลการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบอื่น ๆ และค่าอันดับและดีกรีที่ 7 ของ Spherical Harmonic Expansion จะเหมาะสมที่สุดในพื้นที่ที่ทดสอบในประเทศไทย และเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ของวิธี Ionosphere-free Linear combination ของเครื่องรับสองความถี่แล้วมีความใกล้เคียงกันแต่ก็มีความแตกต่างทางนัยสำคัญอยู่

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5870122521 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: GPS / IONOSPHERE MODEL / BERNESE

KHUNPHUT PRAKANRATTANA: Comparative study of using different ionosphere models in Thailand for single-frequency GPS users. ADVISOR: PROF. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 120 pp.

One cause of inaccuracy of GNSS signal is from an Ionosphere layer. The ionosphere layer contains free electrons which delay the speed of GNSS signal. Dual frequency receivers can overcome this problem by using an ionosphere-free linear combination, while a single frequency receiver cannot. Therefore, selection of suitable ionosphere model is vital to eliminate inaccuracy of GNSS signal. The purpose of this thesis is to generate the local ionosphere models with the use available GNSS stations in Thailand by the BERNESE software and setting degree/order of Spherical Harmonic Expansion to suitableness of Thailand. Comparative of various ionosphere models in Thai region such as Klubochar Model, Global Ionosphere Maps, Ionosphere Model from QZSS. With the use of single frequency data, the coordinates derived from the above-mentioned models were compared with the coordinates obtained from applying an ionosphere-free linear combination from dual frequency receivers by statistical test. The experimental results show that the local ionosphere model produces the most accurate positioning results and degree/order 7 of Spherical Harmonic Expansion is best in Thailand. And they are similar to the results obtained from an ionosphere-free linear combination of dual frequency receivers, but with significant differences.

Department: Survey Engineering

Student's Signature

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชลัม สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ข้าพเจ้า นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ วิชัย เยี่ยงวีรชน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันเอก ดร.กนก วีรวงศ์ และ ดร.ปณิธาน ศรีนวลดี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำต่าง ๆ ตั้งแต่การสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการสอบและดำเนินงานด้านเอกสารในงานวิจัยครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ กรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง องค์กร International GNSS Service (IGS) ประเทศสหรัฐอเมริกา องค์กร Center for Orbit Determination in Europe (CODE) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ และองค์กร Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ประเทศญี่ปุ่น ที่ได้ให้การสนับสนุนข้อมูลทางจีพีเอสเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า รวมถึงพี่ ๆ เพื่อน ๆ นิสิตภาควิชาสำรวจทุกท่านที่คอยแลกเปลี่ยนความรู้รวมทั้งสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3.1 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	4
1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
1.4.2 กำหนดวางแผนและจัดเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย	4
1.4.3 สร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย	4
1.4.4 เปรียบเทียบผลของการใช้แบบจำลองแบบต่าง ๆ	5
1.4.5 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 แนวคิดพื้นฐาน.....	6
2.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์	7

2.3 Single Layer Ionospheric Delay Modeling	7
2.4 Total Electron Content (TEC).....	9
2.5 การขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์.....	11
2.5.1 Ionosphere-free Linear Combination	11
2.5.2 Klobuchar model	12
2.5.3 Ionosphere Model from QZSS	13
2.5.4 Ionosphere Total Electron Content (TEC) Map	14
2.5.5 การสร้าง Ionosphere TEC Map สำหรับประเทศไทย โดย BERNESE	15
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย	22
3.1 ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส	22
3.2 ข้อมูลสำหรับการประมวลผลด้วย BERNESE	25
3.3 ข้อมูลแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ	34
บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	36
4.1 การสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบ TEC Map สำหรับประเทศไทยด้วย BERNESE	37
4.2 การประมวลผลค่าพิกัดจุดเดียวโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ	40
4.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องด้วยวิธีการทางสถิติทดสอบสมมติฐาน	43
4.3.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของค่าพิกัด	43
4.3.2 การทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร (F-Test Statistic)	43
4.3.3 การทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร (T-Test Statistic).....	44
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	45
5.1 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงของแต่ละสถานีทดสอบใน ระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน พ.ศ. 2558.....	45

5.1.1	สถานี AYYA.....	45
5.1.2	สถานี BPLE.....	48
5.1.3	สถานี CUUT.....	51
5.1.4	สถานี NKRM.....	54
5.1.5	สถานี SRTN.....	57
5.1.6	สถานี STHP.....	60
5.1.7	สถานี UTTD.....	63
5.1.8	เปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (THTM) ที่ใช้อันดับและตีกิริที่ต่างกันที่สถานีต่าง ๆ.....	66
5.1.9	เปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละช่วงเวลา.....	68
5.2	ทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ.....	71
5.2.1	สถานี AYYA.....	72
5.2.2	สถานี BPLE.....	73
5.2.3	สถานี CUUT.....	74
5.2.4	สถานี NKRM.....	76
5.2.5	สถานี SRTN.....	77
5.2.6	สถานี STHP.....	78
5.2.7	สถานี UTTD.....	79
บทที่ 6	อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	80
6.1	อภิปรายผล.....	80
6.2	สรุปผลการวิจัย.....	81
6.3	ข้อเสนอแนะ.....	82
	รายการอ้างอิง.....	83

ภาคผนวก.....	86
ภาพผนวก ก. การใช้งานซอฟต์แวร์ BERNESE 5.0 ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์.....	87
ภาพผนวก ข. การใช้งาน RTKLIB 2.4.3 ในการประมวลผลจุดเดียว.....	114
อภิธานศัพท์.....	118
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	120



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลสถานีรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลไฟล์ในโฟลเดอร์ C:\BERN50\GPS\GEN.....	33
ตารางที่ 4.1 ค่าพิกัดของแต่ละสถานีทดสอบ.....	43
ตารางที่ 5.1 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี AYYA.....	47
ตารางที่ 5.2 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี BPLE.....	50
ตารางที่ 5.3 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี CUUT.....	53
ตารางที่ 5.4 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี NKRM.....	56
ตารางที่ 5.5 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี SRTN.....	59
ตารางที่ 5.6 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี STHP.....	62
ตารางที่ 5.7 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSEในแนวราบและแนวตั้งของการใช้ แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี UTTD.....	65
ตารางที่ 5.8 แสดงผลการคำนวณค่าเอพของพิกัดที่สถานี AYYA.....	72
ตารางที่ 5.9 แสดงผลการคำนวณค่าเอพของพิกัดที่สถานี BPLE.....	73
ตารางที่ 5.10 แสดงผลการคำนวณค่าเอพของพิกัดที่สถานี CUUT.....	74

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการคำนวณค่าทีของพิกัดที่สถานี CUUT..... 75

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี NKRM..... 76

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี SRTN..... 77

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี STHP..... 78

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี UTTD..... 79

ตาราง ก-1 แสดง User Variable..... 87

ตาราง ก-2 แสดง Menu Variable..... 88



สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ที่ใช้ข้อมูลทำการวิจัย.....	3
รูปที่ 2.1 Ionosphere Delay.....	7
รูปที่ 2.2 Single Layer Ionospheric Delay Modeling.....	8
รูปที่ 2.3 Slant TEC and Vertical TEC.....	9
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างค่า TEC ที่ถูกบันทึกไว้.....	10
รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง TEC Map.....	10
รูปที่ 2.6 วงโคจรดาวเทียม QZSS.....	14
รูปที่ 2.7 แสดงที่ตั้งสถานีฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบทั้งโลก (GIM).....	15
รูปที่ 2.8 รูปฮาร์มอนิกเชิงทรงกลมในดีกรีและอันดับต่าง ๆ.....	16
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างไฟล์ IONEX.....	18
รูปที่ 3.1 แสดงที่ตั้งรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
รูปที่ 3.2 ภาพตัวอย่างสถานีรับสัญญาณดาวเทียมของกรมโยธาธิการและผังเมือง.....	23
รูปที่ 3.3 แสดงที่ตั้งของแต่ละสถานี.....	25
รูปที่ 3.4 โพลเตอร์ภายใน Campaign.....	26
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างไฟล์ Rinex แบบรายวัน.....	27
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลวงโคจรดาวเทียม.....	28
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลค่าแก้ไขเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก.....	29

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	30
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม.....	31
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	32
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	32
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ของ Klobuchar Model.....	34
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ของ QZSS.....	34
รูปที่ 3.14 ตัวอย่าง GIM.....	35
รูปที่ 4.1 สถานีฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย.....	39
รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่าง THAI40612.INX ของวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2558.....	40
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างไฟล์ POS ที่สถานี CUUT วันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2558.....	41
รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงค่าพิกัดเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิง.....	41
รูปที่ 4.5 สถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบประมวลผลค่าพิกัด.....	42
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA.....	45
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA.....	46
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA.....	46
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA.....	47
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA.....	47
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA.....	48
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE.....	48

รูปที่ 5.28 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN.....	59
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN.....	59
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN.....	60
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP.....	60
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP.....	61
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP.....	61
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP.....	62
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP.....	62
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP.....	63
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD.....	63
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD.....	64
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD.....	64
รูปที่ 5.40 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD.....	65
รูปที่ 5.41 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD.....	65
รูปที่ 5.42 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD.....	66
รูปที่ 5.43 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลอง THAI ในแต่ละสถานี.....	67
รูปที่ 5.44 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลอง THAI ในแต่ละสถานี.....	67
รูปที่ 5.45 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลอง THAI ในแต่ละสถานี.....	68

รูปที่ 5.46 กราฟผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ของสถานี CUUT ในวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2558 (DOY 68).....	69
รูปที่ 5.46 กราฟผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ของสถานี CUUT ในวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2558 (DOY 165).....	70
รูปที่ ก-1 การสร้าง Campaign.....	88
รูปที่ ก-2 การเลือก Campaign.....	89
รูปที่ ก-3 สร้างโพลเตอร์ย่อยใน Campaign	89
รูปที่ ก-4 ตั้งค่ารับ Session.....	90
รูปที่ ก-5 Edit Station Coordinate.....	90
รูปที่ ก-6 Edit Station Information.....	91
รูปที่ ก-7 Edit Station Information.....	91
รูปที่ ก-8 Create tabular orbit(1).....	92
รูปที่ ก-9 Create tabular orbit(2).....	92
รูปที่ ก-10 Create tabular orbit(3).....	93
รูปที่ ก-11 Create standard orbit(1).....	93
รูปที่ ก-12 Create standard orbit(2).....	94
รูปที่ ก-13 Create standard orbit(3).....	94
รูปที่ ก-14 Create standard orbit(4).....	95
รูปที่ ก-15 Create standard orbit(5).....	95
รูปที่ ก-16 Create standard orbit(6).....	96
รูปที่ ก-17 Create standard orbit(7).....	96

รูปที่ ก-18 Combine/manipulate clock data(1).....	97
รูปที่ ก-19 Combine/manipulate clock data(2).....	97
รูปที่ ก-20 Combine/manipulate clock data(3).....	98
รูปที่ ก-21 Clean/smooth observation File (1).....	99
รูปที่ ก-22 Clean/smooth observation File (2).....	99
รูปที่ ก-23 Clean/smooth observation File (3).....	100
รูปที่ ก-24 Clean/smooth observation File (4).....	100
รูปที่ ก-25 Observation File (1).....	101
รูปที่ ก-26 Observation File (2).....	101
รูปที่ ก-27 Observation File (3).....	102
รูปที่ ก-28 Observation File (4).....	102
รูปที่ ก-29 Observation File (5).....	103
รูปที่ ก-30 Observation File (6).....	103
รูปที่ ก-31 Observation File (7).....	104
รูปที่ ก-32 Observation File (8).....	104
รูปที่ ก-33 Code-Base Clock Synchronization (1).....	105
รูปที่ ก-34 Code-Base Clock Synchronization (2).....	105
รูปที่ ก-35 Code-Base Clock Synchronization (3).....	106
รูปที่ ก-36 Code-Base Clock Synchronization (4).....	106
รูปที่ ก-37 Code-Base Clock Synchronization (5).....	107

รูปที่ ก-38 Code-Base Clock Synchronization (6).....	107
รูปที่ ก-39 Parameter Estimation (1).....	108
รูปที่ ก-40 Parameter Estimation (2).....	108
รูปที่ ก-41 Parameter Estimation (3).....	109
รูปที่ ก-42 Parameter Estimation (4).....	109
รูปที่ ก-43 Parameter Estimation (5).....	110
รูปที่ ก-44 Parameter Estimation (6).....	110
รูปที่ ก-45 Parameter Estimation (7).....	111
รูปที่ ก-46 Parameter Estimation (8).....	111
รูปที่ ก-47 Parameter Estimation (9).....	112
รูปที่ ก-48 Parameter Estimation (10).....	112
รูปที่ ก-49 Parameter Estimation (11).....	113
รูปที่ ก-50 Parameter Estimation (12).....	113
รูปที่ ข-1 ตัวอย่าง RTKLIB.....	114
รูปที่ ข-2 ตัวอย่าง RTKPOST.....	115
รูปที่ ข-3 ตั้งค่า Ionosphere Correction.....	115
รูปที่ ข-4 การตั้งค่า RTKPOST.....	116
รูปที่ ข-5 ตัวอย่าง RTKPLOT.....	117
รูปที่ ข-4 การตั้งค่า RTKPLOT.....	118
แผนผังที่ 2.1 ขั้นตอนการสร้าง TEC Map ของซอฟต์แวร์ BERNESE.....	18

แผนผังที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 36

แผนผังที่ 4.2 ขั้นตอนการสร้าง TEC Map ของซอฟต์แวร์ BERNESE แบบละเอียด..... 37



บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีในการรังวัดสำรวจด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสมีการพัฒนาและก้าวหน้าไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพและความถูกต้องที่สูงยิ่งขึ้น ทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย แต่ก็ยังมีสิ่งที่กระทบต่อความถูกต้องของการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสคือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่ทำให้ตำแหน่งความถูกต้องมีความคลาดเคลื่อนไป ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้ที่ส่งผลต่อการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสมีอยู่หลากหลาย เช่น ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตำแหน่งดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับ ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเสาอากาศ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถี และค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ

ในด้านของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ จะมีชั้นบรรยากาศที่ส่งผลต่อการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสอยู่คือ ชั้นไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ ซึ่ง (Musa 2007) ได้พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีความแปรปรวนสูงและมีการเปลี่ยนแปลงเร็วในเขตพื้นที่ศูนย์สูตรซึ่งรวมถึงพื้นที่ประเทศไทยด้วย ในขณะที่ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีการเปลี่ยนแปลงช้าและค่อนข้างราบ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์จึงค่อนข้างมีผลต่อพื้นที่ประเทศไทย สำหรับเครื่องรับสองความถี่นั้นสามารถจัดความคลาดเคลื่อนนี้ได้โดยใช้คลื่นผสมที่จัดค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่เรียกว่า Ionosphere-free linear combination แต่สำหรับเครื่องรับความถี่เดียวไม่สามารถใช้ได้ ทำให้จำเป็นต้องใช้แบบจำลองในการปรับแก้เพื่อขจัดค่าคลาดเคลื่อนนี้ จากที่ผ่านมาได้มีการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับพื้นที่ภูมิภาคเฉพาะในพื้นที่ประเทศต่าง ๆ ขึ้นมา เช่น (Todorova, Hobiger, Weber and Schuh 2004) ได้เปรียบเทียบแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ที่สร้างขึ้นมาเองในพื้นที่กับแบบจำลองมาตรฐานแบบทั่วโลกซึ่งแบบที่สร้างขึ้นเองให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า และ (Xiong, Wan, Yu and Hu 2016) สร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์บนพื้นที่ประเทศจีนและเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Global Ionosphere Maps (GIMs) ซึ่งได้ผลที่ดีกว่าเช่นกัน รวมทั้งของ (Takahashi, Costa et al. 2014) ยังสร้าง TEC mapping บนพื้นที่ประเทศบราซิลเพื่อศึกษาค่าไอโอโนสเฟียร์ในพื้นที่ที่มีละติจูดต่ำ และสำหรับพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งอยู่ในพื้นที่ภูมิภาคใกล้เส้นศูนย์สูตรที่เป็นภูมิภาคที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์มีความแปรปรวนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นในโลก (Musa 2007)

ทำให้พื้นที่ประเทศไทยควรที่จะมีแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทยเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรังวัดรับสัญญาณในประเทศไทย

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ เช่น Klubochar Model, Global Ionosphere Maps, Ionosphere model from QZSS และแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์เฉพาะภูมิภาคสำหรับประเทศไทยในรูปแบบ Ionosphere TEC Map ที่สร้างจากซอฟต์แวร์ BERNESE (Rolf, Urs and Pierre 2007) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับงานวิจัยที่ใช้อันดับและดีกรีของ spherical harmonic expansion ที่แตกต่างกัน โดยใช้ข้อมูลความถี่เดียวในการทดสอบ และค่าพิกัดที่ได้จากแบบจำลองดังกล่าวข้างต้นจะถูกเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงที่ได้มาจากการใช้ Ionosphere-free linear combination ของเครื่องรับสองความถี่ เพื่อหาความเหมาะสมของแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ บนพื้นที่ประเทศไทย

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบ Ionosphere TEC Map สำหรับพื้นที่เฉพาะภูมิภาค โดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรังวัดรับสัญญาณแบบความถี่เดียว
- 1.2.2 เปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ บนประเทศไทยในการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวสำหรับเครื่องรับความถี่เดียวรวมทั้งเปรียบเทียบกับการใช้วิธี Ionosphere-free linear combination ของเครื่องรับสองความถี่

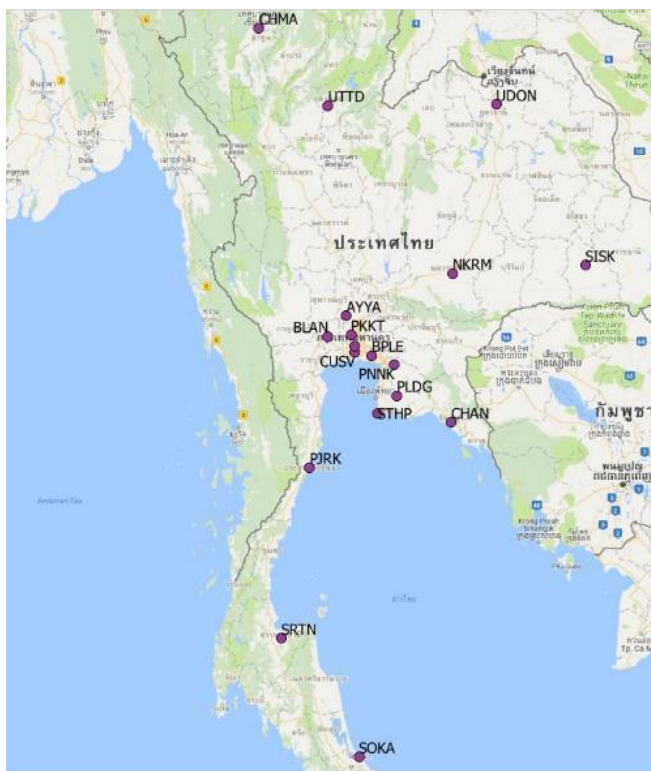
1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตการศึกษา

- 1.3.1.1 ศึกษาแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ Klubochar Model, Global Ionosphere Maps, Ionosphere model from QZSS และวิธี Ionosphere-free linear combination
- 1.3.1.2 ศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบ Ionosphere TEC Map สำหรับประเทศไทยด้วยซอฟต์แวร์ BERNESE

1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในพื้นที่ ที่ติดตั้งสถานีฐานถาวรรับสัญญาณดาวเทียมแบบต่อเนื่องของกรมโยธาธิการและผังเมือง (ได้แก่ CHAN, CHMA, NKRM, PJRK, SISK, SOKA, SRTN, UDON, UTTD) และของกรมที่ดิน (ได้แก่ AYYA, BPLE, BLAN, PKKT, PLDG, PNNK, STHP) ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ประเทศไทย รวมทั้งที่ติดตั้งที่ดาดฟ้าตึก 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CUUT และ CUSV) โดยใช้ข้อมูลในระหว่างวันที่ 1 มกราคม ถึง 1 กันยายน พ.ศ. 2558



รูปที่ 1.1 แสดงพื้นที่ ที่ใช้ข้อมูลทำการวิจัย

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์และแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ อาทิ Klubochar Model, Global Ionosphere Maps (GIM), QZSS, Ionosphere-free linear combination และการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับพื้นที่เฉพาะภูมิภาค รวมถึงศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE 5.0 เพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

1.4.2 กำหนดวางแผนและจัดเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

กำหนดและวางแผนโดยกำหนดให้พื้นที่ ที่จะใช้ในการวิจัยคือที่ตั้งสถานีฐานถาวรรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมที่กระจายอยู่ทั่วประเทศไทยทั้งของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรมที่ดิน รวมทั้งที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งข้อมูลจากสถานีดังกล่าวเป็น 2 ชุด คือชุดสำหรับการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์พื้นที่ประเทศไทยด้วย BERNESE และชุดสำหรับใช้ในการประมวลผลจุดเดียวเพื่อทำการเปรียบเทียบผลของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ และกำหนดช่วงเวลารับสัญญาณที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยคือ ใช้ข้อมูลรับสัญญาณในระหว่างปี 2558 ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง 1 กันยายน (ทั้งหมด 244 วัน)

รวบรวมข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในงานวิจัยทั้งหมดที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลรังวัดดาวเทียมจีพีเอสจากสถานีฐานทั้งหมด ข้อมูลแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ อาทิ Klubochar Model, Global Ionosphere Maps (GIM), Ionosphere Model from QZSS รวมทั้งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ เช่น ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม ข้อมูลแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก ข้อมูลค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม ข้อมูลค่าแก้ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เป็นต้น

1.4.3 สร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย

ทำการประมวลผลข้อมูลจีพีเอสสำหรับการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย โดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE 5.0 และตั้งค่าดีกรีและอันดับของโมเดล spherical harmonic expansion ที่ใช้ในการจำลองพื้นผิวของแบบจำลองด้วยค่า 4, 5, 6, และ 7 โดยจะได้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทยทั้งหมดจำนวน 4 แบบ

1.4.4 เปรียบเทียบผลของการใช้แบบจำลองแบบต่าง ๆ

ทำการเปรียบเทียบผลของค่าทางตำแหน่งของการประมวลผลจุดเดียวด้วยซอฟต์แวร์ RTKLIB 4.2.3 โดยตั้งค่าการแก้ความคลาดเคลื่อนจากไอโอโนสเฟียร์ด้วยแบบจำลองแบบต่าง ๆ ได้แก่

- Klubochar Model
- Global Ionosphere Maps (GIM)
- Ionosphere Model from QZSS
- แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (THTM) โดยใช้ดีกรีและอันดับ Spherical Harmonic ที่ 4 - 7

รวมทั้งทำการประมวลผลด้วยวิธี Ionosphere-free Linear Combination เพื่อนำมาใช้เป็นตัวอ้างอิงเปรียบเทียบ

1.4.5 สรุปผลการวิจัยและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

วิเคราะห์และสรุปผลของการเปรียบเทียบแบบจำลองต่าง ๆ โดยใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ในการประเมินความถูกต้องทางตำแหน่ง และใช้วิธีทางสถิติ การทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing) ประเมินเทียบกับผลของวิธี Ionosphere-free Linear Combination ที่นัยสำคัญ 5 % และสรุปผลทั้งหมดพร้อมจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถสร้าง Ionosphere TEC Map สำหรับประเทศไทยและใช้งานเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรังวัดรับสัญญาณสำหรับเครื่องรับความถี่เดียว
- 1.5.2 สามารถเปรียบเทียบแบบจำลองเพื่อดูความเหมาะสมของแบบจำลองกับพื้นที่ภูมิภาคประเทศไทย

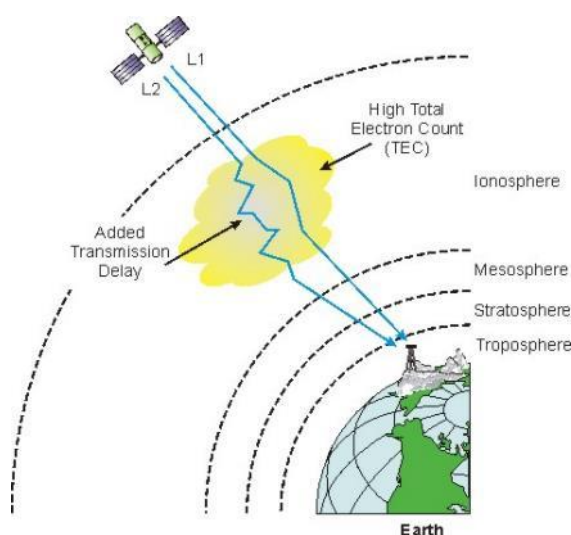
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดพื้นฐาน

ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นความคลาดเคลื่อนหนึ่งที่ส่งผลต่อการรับสัญญาณ GNSS ส่งผลให้คลื่นสัญญาณไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแสง ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนนี้มีหลายปัจจัย อาทิ ปริมาณรวมของอิเล็กตรอน (Total Electron Content) ตามแนวเส้นทาง ความถี่คลื่นสัญญาณ ตำแหน่งภูมิศาสตร์ เวลาและฤดูกาล เป็นต้น ซึ่งในกรณีที่แย่ที่สุด การหักเหในแนวตั้งอาจสูงถึง 50 เมตร และอาจเพิ่มเป็น 3 เท่าเมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมที่อยู่ใกล้ในแนวราบ (Rizos 1997) สำหรับวิธีในการลดความคลาดเคลื่อนนี้สามารถทำได้หลายวิธี โดยวิธีที่เป็นที่นิยมคือ Ionosphere-free linear combination ที่เป็นการใช้ข้อมูลสองความถี่เพื่อขจัดค่าคลาดเคลื่อนแต่วิธีนี้ใช้ได้กับเครื่องรับสัญญาณหลายความถี่เท่านั้นทำให้เครื่องรับความถี่เดียวไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นสำหรับเครื่องรับสัญญาณความถี่เดียวจึงจะต้องอาศัยแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนนี้ ซึ่งในปัจจุบันมีแบบจำลองให้ใช้งานกัน อาทิ Klobuchar Model จากดาวเทียม GPS และ Global Ionosphere Map จากสถาบัน CODE ซึ่งแบบจำลองเหล่านี้เป็นแบบที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งโลก ซึ่งบางพื้นที่บางภูมิภาคอาจจะปรับแก้ความคลาดเคลื่อนนี้ได้ไม่ตึง ทำให้มีการดัดแปลงแบบจำลองให้แค่ครอบคลุมพื้นที่เฉพาะเพื่อให้การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ อย่างของประเทศญี่ปุ่น ได้สร้าง Klobuchar Model จากข้อมูลดาวเทียมของตัวเอง QZSS เพื่อใช้ในพื้นที่ประเทศตัวเองและบริเวณใกล้เคียง และหลาย ๆ ประเทศก็สร้าง TEC Map ของตัวเองเพื่อจำลองชั้นไอโอโนสเฟียร์เหนือประเทศตัวเอง สำหรับพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งอยู่ในพื้นที่ภูมิภาคใกล้เส้นศูนย์สูตรที่เป็นภูมิภาคที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์มีความแปรปรวนสูงสุดเมื่อเทียบกับภูมิภาคอื่นในโลก (Musa 2007) ทำให้พื้นที่ประเทศไทยควรมีแบบจำลองที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทยเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการรับสัญญาณในประเทศไทย

2.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์

ชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีขอบเขตของความสูงเหนือพื้นโลกตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 กิโลเมตร (Seeber 1993, Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger and Collins 1997) ในชั้นนี้จะมีอิเล็กตรอนอิสระซึ่งมีผลทำให้คลื่นสัญญาณ GNSS เดินทางด้วยความเร็วที่ต่างจากความเร็วแสง เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วแสง การเดินทางของคลื่นสัญญาณ GNSS ผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีผลทำให้ซูโดเรนท์เดินทางได้ช้าลง ดังนั้นระยะที่วัดได้จึงยาวกว่าที่ควรจะเป็น และในทางกลับกันเฟสของคลื่นส่งจะมีความมากขึ้น ดังนั้นระยะที่วัดได้จึงสั้นลงกว่าที่ควรจะเป็น ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้

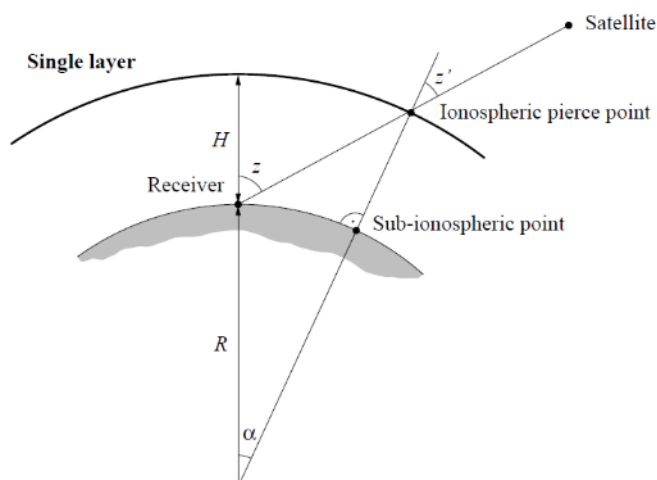


รูปที่ 2.1 Ionospheric Delay (Harte et al, 2016)

ความคลาดเคลื่อนของเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ปริมาณรวมของอิเล็กตรอน (Total Electron Content) ตามแนวเส้นทาง ความถี่ของคลื่นสัญญาณ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ฤดูกาลและเวลา เป็นต้น (Lin 1997)

2.3 Single Layer Ionospheric Delay Modeling

โดยทั่วไปแบบจำลองที่ใช้ในการขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์จะใช้สมมุติฐานว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศชั้นเดียวบาง ๆ (Single Layer) (Musa 2007) ที่ทำการกำหนดความสูงเหนือพื้นโลกคงที่ โดยที่แบบจำลองนี้จะใช้มุม Zenith (z) เหนือเครื่องรับและมุม Zenith (z') เหนือพื้นผิวชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่สูงจากพื้นผิวโลก (H) โดยมุมทั้งสองเป็นตำแหน่งที่คลื่นจากดาวเทียมเดินทางผ่านไปยังเครื่องรับ (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 Single Layer Ionospheric Delay Modeling (Rolf et al, 2007, p.259)

จากแบบจำลองนี้ ละติจูด (φ_{ipp}) และลองจิจูด (λ_{ipp}) ที่จุด IPP (Ionospheric Pierce Point) สามารถคำนวณได้ตามสมการ (1)–(4) (ธีรทัต เจริญกมลัญญา 2555)

$$z' = \sin^{-1}\left(\frac{R_E}{R_E+H} \sin z\right) \quad (1)$$

$$\alpha = z - z' \quad (2)$$

$$\varphi_{ipp} = \sin^{-1}(\cos \alpha \sin \varphi' + \sin \alpha \cos \varphi \cos A') \quad (3)$$

$$\lambda_{ipp} = \lambda' + \frac{\sin \alpha \sin A'}{\cos \varphi} \quad (4)$$

โดยที่

φ_{ipp} คือ ละติจูด ณ ตำแหน่ง IPP (องศา) λ_{ipp} คือ ลองจิจูด ณ ตำแหน่ง IPP (องศา)

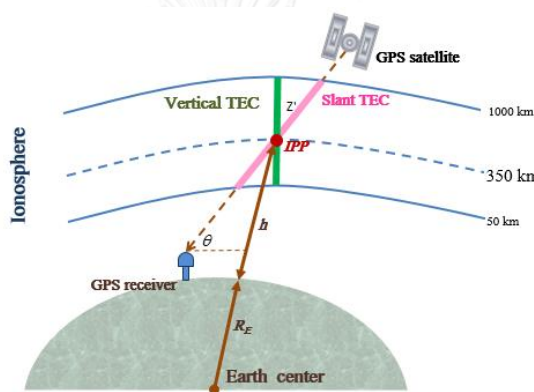
φ' คือ ละติจูดตำแหน่งเครื่องรับ (องศา) λ' คือ ลองจิจูดตำแหน่งเครื่องรับ (องศา)

A' คือ อะซิมุทตำแหน่งเครื่องรับ (องศา) R_E คือ รัศมีของโลก (6371 km)

2.4 Total Electron Content (TEC)

Total Electron Content (TEC) คือ ปริมาณรวมของอิเล็กตรอนตามแนวเส้นทางของระหว่างเครื่องส่งและรับสัญญาณ ยิ่งมีปริมาณอิเล็กตรอนมากก็จะส่งผลให้คลื่นสัญญาณเดินทางได้ช้าลง โดยที่ค่า TEC จะวัดปริมาณอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ตารางเมตร (1 TEC unit (TECU) = 10¹⁶ electrons/m²) (Abdullah, Bahari and Yatim 2008)

ในการรับสัญญาณ ค่า TEC ที่วัดได้จะเป็นตามแนวเส้นทางของดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณจะเรียกว่า Slant TEC (Misra and Enge 2012) แต่ค่า TEC ที่ของตำแหน่งนั้น ๆ จะเป็น TEC ตามแนวตั้งคือ Vertical TEC (VTEC) ดังรูปที่ 2.3 แสดง Slant TEC & Vertical TEC และความสัมพันธ์ของ Slant TEC & Vertical TEC ดังสมการ (5)



รูปที่ 2.3 Slant TEC and Vertical TEC (Misra et al, 2012)

$$\cos z' = \frac{VTEC}{Slant\ TEC} \quad (5)$$

ค่า VTEC จะเป็นค่าที่จะถูกใช้ในการหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากไอโอโนสเฟียร์ Δ^{iono} โดยที่ จะขึ้นอยู่กับความถี่ (f) ดังสมการ (6) แสดงให้เห็นว่ายิ่งมีความถี่สูงจะทำให้ความคลาดเคลื่อนลดลง (Rolf, Urs and Pierre 2007)

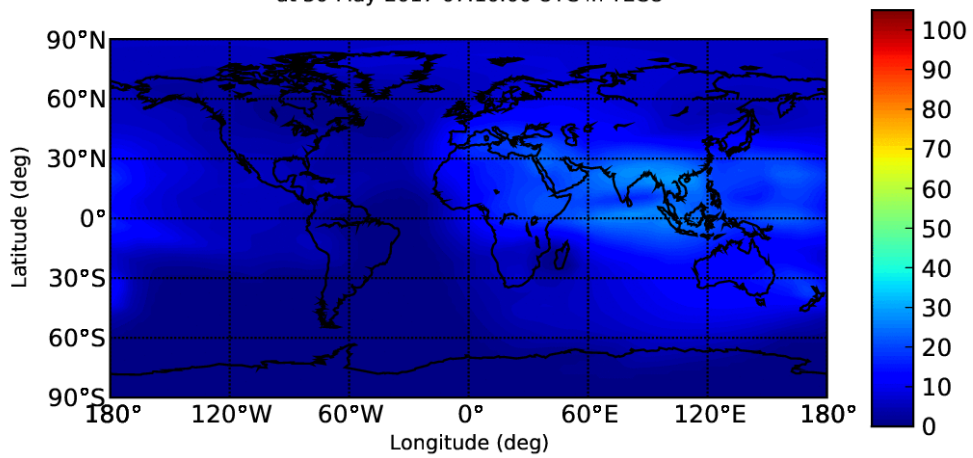
$$\Delta^{iono} = \frac{\alpha}{f^2} VTEC \quad \text{โดยที่ } \alpha = 40.3 \times 10^{16} ms^{-2} TECU^{-1} \quad (6)$$

โดยทั่วไปแล้วจะเก็บค่าของ VTEC อยู่ในรูปของไฟล์ตารางกริดแผนที่อย่าง IONEX ดังรูป 2.4 ตัวอย่างค่า VTEC ที่ถูกบันทึกไว้ และสามารถแสดงออกมาในรูปของแผนที่ดังรูปที่ 2.5 ตัวอย่าง TEC Map (Schaer, Gurtner and Feltens 1998)

1	START OF TEC MAP														
2015	2	28	0	0	0	EPOCH OF CURRENT MAP									
87.5-180.0	180.0	5.0			450.0										
LAT/LON1/LON2/DLON/H															
128	129	130	131	132	132	133	133	133	133	133	133	132	131	130	129
128	126	125	123	121	119	117	114	112	109	107	104	102	100	97	95
93	91	89	88	87	85	85	84	84	84	84	84	84	85	86	87
89	90	91	93	95	96	98	100	102	104	106	108	109	111	113	115
116	118	120	121	123	124	125	127	128							
85.0-180.0	180.0	5.0			450.0										
LAT/LON1/LON2/DLON/H															
146	148	150	152	154	155	157	158	159	160	160	160	160	159	158	156
154	152	149	145	142	138	133	129	124	119	114	109	104	99	94	89
85	81	77	74	72	69	68	67	67	67	67	68	70	72	74	77
79	82	86	89	92	95	99	102	105	108	111	114	117	120	122	125
127	130	132	135	137	139	141	144	146							
82.5-180.0	180.0	5.0			450.0										
LAT/LON1/LON2/DLON/H															
160	163	166	169	172	175	177	180	182	184	185	186	186	185	184	182
180	177	173	169	164	159	154	148	141	134	127	120	113	105	98	91
85	79	74	69	66	63	61	60	60	60	61	63	66	69	72	76
80	84	88	92	96	100	105	108	112	116	119	123	126	129	132	134
137	140	143	145	148	151	154	157	160							
80.0-180.0	180.0	5.0			450.0										
LAT/LON1/LON2/DLON/H															
171	174	178	182	186	190	194	198	201	203	205	206	206	206	204	202
199	195	191	187	182	177	172	165	159	151	144	135	127	118	110	101
93	86	80	75	70	67	65	64	64	64	66	68	71	74	78	82
86	90	95	99	103	107	111	115	119	122	125	129	132	135	137	140
143	146	150	153	156	160	163	167	171							
77.5-180.0	180.0	5.0			450.0										
LAT/LON1/LON2/DLON/H															
182	186	191	195	200	204	209	213	216	219	221	222	221	219	216	212
208	203	199	194	190	186	182	177	172	166	159	151	143	134	125	116
107	100	93	87	83	80	78	77	76	77	78	80	82	85	87	91
94	97	101	104	108	111	114	118	121	123	126	129	132	135	139	142
146	150	154	158	163	168	172	177	182							

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างค่า VTEC ที่ถูกบันทึกไว้

Vertical Total Electron Content Map
at 30-May-2017 07:10:00 UTC in TECU



รูปที่ 2.5 ตัวอย่าง TEC Map (<http://iono.jpl.nasa.gov/index.html>)

2.5 การขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์

ในการขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์สามารถใช้ได้หลากหลายวิธีในการขจัด โดยสำหรับเครื่องรับหลายความถี่จะสามารถใช้ Ionosphere-free Linear Combination ขจัดค่าคลาดเคลื่อนไปได้และสำหรับเครื่องรับความถี่เดียวจะต้องใช้แบบจำลองในการลดค่าคลาดเคลื่อนซึ่งได้แก่ Klobuchar Model, Ionosphere Model from QZSS, Ionosphere Total Electron Content (TEC) Map เป็นต้น

2.5.1 Ionosphere-free Linear Combination

เป็นเทคนิคการขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้ข้อมูลสองชนิดที่มีความถี่ต่างกัน ซึ่งวิธีการนี้ใช้ได้กับเครื่องรับสัญญาณที่มีหลายความถี่

จากสมการการวัดเฟสของคลื่นส่งให้สมมติว่าขจัดค่าคลาดเคลื่อนอื่นเหลือแค่ไอโอโนสเฟียร์ ได้ตั้งสมการ (7) และ (8) (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger and Collins 1997)

$$\lambda_1 \varphi_1 = \rho_r^s + c(\Delta\delta_r^s) + \lambda_1 N_1 - \Delta_1^{iono} \quad (7)$$

$$\lambda_2 \varphi_2 = \rho_r^s + c(\Delta\delta_r^s) + \lambda_2 N_2 - \Delta_2^{iono} \quad (8)$$

โดยที่

φ_1, φ_2 คือ ชูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นความถี่ L_1, L_2

ρ_r^s คือ ระยะจากดาวเทียม s ถึงเสารับสัญญาณ r

c คือ ความเร็วแสง

$\Delta\delta_r^s$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับ

λ_1, λ_2 คือ ความยาวคลื่นส่งที่ความถี่ L_1, L_2

N_1, N_2 คือ ค่าเลขปริศนาของคลื่นความถี่ L_1, L_2

$\Delta_1^{iono}, \Delta_2^{iono}$ คือ ค่าคลาดเคลื่อนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นความถี่ L_1, L_2

จาก $C = f\lambda$ จะสามารถจัดรูปใหม่สมการ (7) และ (8) ได้เป็นสมการ (9) และ (10) (ธีรทัต เจริญกมลัญญาตา 2555)

$$\varphi_1 = af_1 + N_1 - \frac{b}{f_1} \quad (9)$$

$$\varphi_2 = af_2 + N_2 - \frac{b}{f_2} \quad (10)$$

$$\text{โดยที่ } a = \frac{e_r^s}{c} + \Delta\delta_r^s \text{ และ } b = \frac{f_i^2}{c} \Delta_i^{iono}$$

ขจัดเทอม Δ_i^{iono} โดยการนำสมการ (9) คูณกับ f_1 และสมการ (10) คูณกับ f_2 และนำมาลบกันและจัดรูปใหม่โดยคูณ $\frac{f_1}{(f_1^2 - f_2^2)}$ เพื่อให้จัดรูปได้ง่ายได้เป็นสมการ (11) ที่ขจัดค่าคลาดเคลื่อนไอโอโนสเฟียร์ทิ้งไปแล้ว

$$[\varphi_1 - \frac{f_2}{f_1} \varphi_2] \frac{f_1^2}{(f_1^2 - f_2^2)} = af_1 + [N_1 - \frac{f_2}{f_1} N_2] \frac{f_1^2}{(f_1^2 - f_2^2)} \quad (11)$$

ถึงแม้ว่า Ionosphere-free Linear Combination จะสามารถขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ แต่ไม่สามารถจัดการได้หมดตามชื่อ เพราะในการรวมข้อมูลนี้มีการประมาณค่าเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากความคลาดเคลื่อนชนิดนี้อยู่บนพื้นฐานที่คลื่นเดินทางเป็นเส้นตรง แต่ในความจริงนั้นมียธิพลอื่น ๆ ที่ทำให้คลื่นเกิดความบิดเบี้ยวอยู่ (Bassiri and Hajj 1993)

2.5.2 Klobuchar model

คือแบบจำลองสำหรับเครื่องรับความถี่เดียว เพื่อลดความซับซ้อนในการคำนวณและการจัดเก็บที่รวดเร็วจึงส่งออกข้อมูลในรูปแบบ broadcast ionospheric parameters มาในข้อมูล Navigation ของข้อมูลดาวเทียม GPS โดยแบบจำลองนี้ใช้ Single Layer Ionospheric Delay Modeling มาทำเป็น Mapping Function สำหรับการคำนวณค่าคลาดเคลื่อน ค่าที่ถูกส่งมาจะอยู่ในรูปพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ (Klobuchar 1987)

คำนวณหาค่าคลาดเคลื่อน I_r^s โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทั้ง 8 ตัว ได้ตามสมการ (12) – (16) (Takasu 2013)

คำนวณ Φ_m จากละติจูด (φ_{ipp}) และลองจิจูด (λ_{ipp}) ที่จุด IPP

$$\Phi_m = \varphi_{IPP} + 0.064 \cos(\lambda_{IPP} - 1.617) \quad (12)$$

คำนวณเวลาท้องถิ่น t ที่จุด IPP จากเวลา t_{gps}

$$t = 4.32 \times 10^4 \lambda_{IPP} + t_{gps} \quad (13)$$

คำนวณ Slant Factor (F) จากมุมระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ (E)

$$F = 1 + 16(0.53 - E)^3 \quad (14)$$

คำนวณค่าเฟสของความคลาดเคลื่อนไอโอโนสเฟียร์ (X_I)

$$X_I = 2\pi \frac{(t-50400)}{\sum_{n=0}^3 \beta_n \varphi_m^n} \quad (15)$$

คำนวณค่าคลาดเคลื่อน I_r^S

$$I_r^S = \begin{cases} F \times 5 \times 10^{-9}, & |X_I| > 1.57 \\ F \times (5 \times 10^{-9} + \sum_{n=0}^3 \alpha_n \varphi_m^n \times (1 - \frac{X_I^2}{2} + \frac{X_I^4}{24})), & |X_I| \leq 1.57 \end{cases} \quad (16)$$

2.5.3 Ionosphere Model from QZSS

The Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) คือระบบดาวเทียมของประเทศญี่ปุ่น โดยอยู่ภายใต้การดูแลของ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) โดยที่วงโคจรของดาวเทียม QZSS จะครอบคลุมแค่พื้นที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงและโอเชียเนีย ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งทำให้ประเทศไทยสามารถรับสัญญาณได้และระบบดาวเทียม QZSS ไม่ได้ทำงานได้ด้วยระบบตัวเองอย่างเดียวแต่จะทำงานร่วมกับข้อมูลจากดาวเทียมในระบบ GNSS (JAXA 2014)

สำหรับระบบดาวเทียม QZSS ได้มีการส่งออกพารามิเตอร์ของไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบเดียวกับ Klobuchar Model เพื่อขจัดค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากไอโอโนสเฟียร์สำหรับเครื่องรับสัญญาณความถี่เดียว แต่พื้นที่ที่พารามิเตอร์นี้ครอบคลุมจะเป็นแค่ที่ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงและโอเชียเนียเท่านั้น โดย QZSS จะสร้างและส่งออกค่าพารามิเตอร์สองชุดคือพารามิเตอร์สำหรับเอเชียตะวันออกเฉียงและโอเชียเนียและพารามิเตอร์สำหรับพื้นที่ญี่ปุ่นเพื่อให้พื้นที่ญี่ปุ่นมีความถูกต้องแม่นยำที่ดีขึ้น (สำหรับประเทศไทยเมื่อรับสัญญาณ QZSS แล้วพารามิเตอร์ที่ส่งมาจะเป็นชุดสำหรับเอเชียตะวันออกเฉียงและโอเชียเนีย) (QZSS 2016)



รูปที่ 2.6 วงโคจรของดาวเทียม QZSS

2.5.4 Ionosphere Total Electron Content (TEC) Map

คือแผนที่แสดงปริมาณรวมของอิเล็กตรอน (Total Electron Content :TEC) ในรูปแบบของตารางกริด โดยจะแสดงในรูปค่า VTEC (vertical total electron content) โดยใช้การกระจายฮาร์มอนิกแบบทรงกลม (spherical harmonic expansion) ในการคำนวณ และจะจัดเก็บตารางกริดในรูปแบบของไฟล์ IONEX (IONosphere map EXchange)

ในการหาค่า Ionospheric Delay $I_{r,i}^S$ (m) นั้นจะใช้ค่า VTEC ที่ละติจูดและลองจิจูด ณ ตำแหน่ง IPP ณ เวลาที่ t ตามสมการ (17) (Takasu 2013)

$$I_{r,i}^S = \frac{1}{\cos z'} \frac{40.3 \times 10^6}{f_i} VTEC(t, \varphi_{IPP}, \lambda_{IPP}) \quad (17)$$

โดยที่ f_i คือความถี่ของสัญญาณที่รับ (Hz)

ในปัจจุบันได้มีการปล่อยแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบทั้งโลก (Global Ionosphere Map : GIM) สร้างโดย Center for Orbit Determination in Europe (CODE) โดยการใช้สถานีฐานถาวรทั่วโลกในเครือข่ายของตัวเองสร้างออกมา ดังรูปที่ 2.7

$$f_2\varphi_1 = af_1f_2 + N_1f_2 - \frac{f_2}{f_1}b \quad (18)$$

$$f_1\varphi_2 = af_1f_2 + N_2f_1 - \frac{f_1}{f_2}b \quad (19)$$

นำสมการ (18) และ (19) มาลบกันได้สมการ (20)

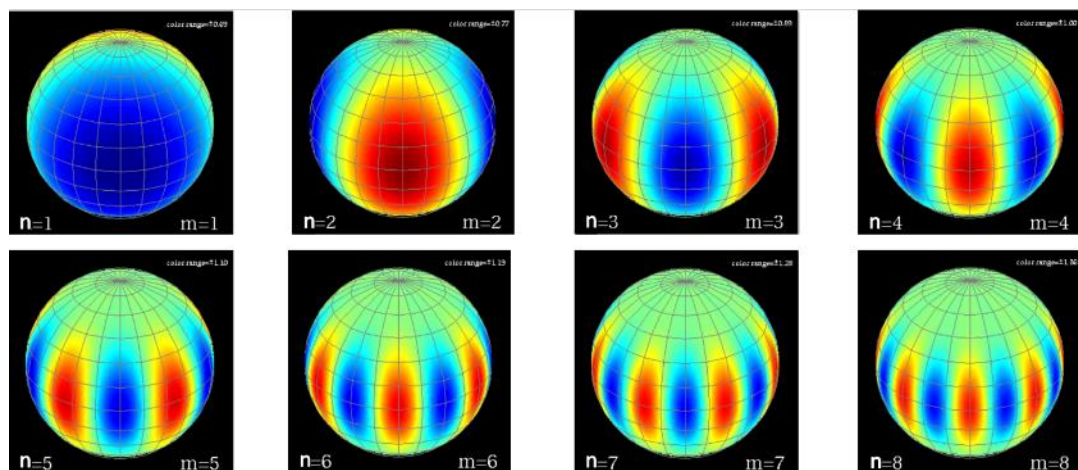
$$f_2\varphi_1 - f_1\varphi_2 = N_1f_2 - N_2f_1 - \frac{f_2}{f_1}b + \frac{f_1}{f_2}b \quad (20)$$

แทนค่า $b = \frac{f_i^2}{c} \Delta_i^{Iono}$ ลงสมการ (20) และจัดรูปใหม่ได้สมการ (21)

$$f_2\varphi_1 - f_1\varphi_2 = N_1f_2 - N_2f_1 - \frac{f_1f_2}{c}(\Delta_1^{Iono} + \Delta_2^{Iono}) \quad (21)$$

จากสมการ (21) ค่า $\Delta_1^{Iono} + \Delta_2^{Iono}$ คือ ขนาดของค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากไอโอโนสเฟียร์ และเมื่อได้ค่าคลาดเคลื่อนนี้แล้วจะสามารถหาค่า VTEC ณ ตำแหน่ง IPP ตามสมการ (17) แล้วนำไปบันทึกสร้างเป็น Geographic Grid โดยใช้โมเดล spherical harmonic expansion ที่ Degree และ Order ที่ 6 (Rolf, Urs and Pierre 2007) ในการจำลองค่าของ VTEC บนตารางกริด

Spherical Harmonic Expansion หรือ การกระจายฮาร์มอนิกเชิงทรงกลม คือฟังก์ชันทรงกลมที่ไว้จำลองพื้นผิวของทรงกลม การกระจายฮาร์มอนิกเชิงทรงกลมเป็นชุดของฟังก์ชัน Laplace's equation บนทรงกลมและใช้เป็นตัวแทนของฟังก์ชันที่กำหนดไว้บนพื้นผิวของทรงกลมโดยใช้ circular functions (sines and cosines) จะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนของฟังก์ชันบนวงกลมผ่าน Fourier series โดยค่าดีกรีและอันดับต่าง ๆ (Zhao, Jin, Mekik and Feng 2016) ดังรูป 4.5 แสดงรูปฮาร์มอนิกเชิงทรงกลมในดีกรีและอันดับต่าง ๆ



รูปที่ 2.8 รูปฮาร์มอนิกเชิงทรงกลมในดีกรีและอันดับต่าง ๆ

โดยในที่นี้จะถูกใช้ในการจำลองพื้นผิวของ TEC โดยใช้สมการ (22) นี้ (Rolf, Urs and Pierre 2007)

$$VTEC(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n \tilde{P}_{nm}(\sin \varphi)(a_{nm} \cos m\lambda + b_{nm} \sin m\lambda) \quad (22)$$

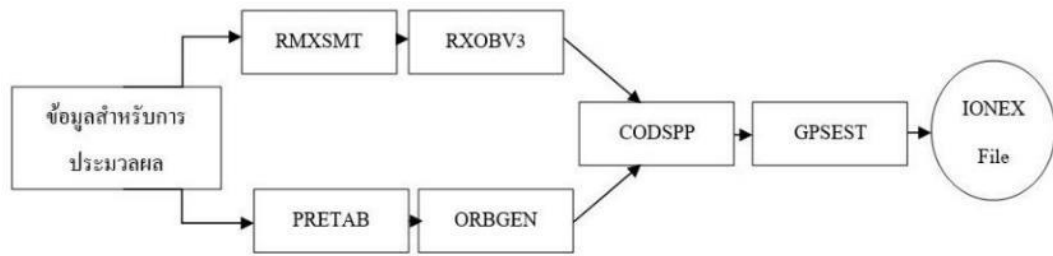
เมื่อ $VTEC(\varphi, \lambda)$ คือ Vertical TEC ที่ละติจูด φ และลองจิจูด λ

\tilde{P}_{nm} คือ ฟังก์ชัน Associated Legendre Polynomials ดีกรี n และอันดับ m

a_{nm} และ b_{nm} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการกระจายฮาร์มอนิกเชิงทรงกลม

สำหรับความเหมาะสมของค่าดีกรีและอันดับนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่เป็นหลัก โดยแบบจำลองแบบทั้งโลกจะใช้ค่าดีกรีและอันดับที่ 15 และใช้ขนาดดีกรีและอันดับที่น้อยลงมาสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดเล็กโดยเฉลี่ยสำหรับขนาดพื้นที่ระดับประเทศจะใช้ค่าประมาณ 4 - 6 และถ้าใช้อันดับและดีกรีที่สูงนั้นจะใช้เวลาในการสร้างมากขึ้นโดยที่ความถูกต้องแทบไม่ต่างจากการใช้อันดับและดีกรีที่น้อยกว่า (Zhao, Jin, Mekik and Feng 2016) สำหรับประเทศไทยจะทำการเปรียบเทียบการใช้ดีกรีและอันดับค่าต่าง ๆ โดยจะเลือกใช้ค่าดีกรีและอันดับที่ 4 - 7 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างบนประเทศไทย

ในการสร้าง TEC Map โดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE จะใช้โมดูลต่าง ๆ ดังนี้ PRETAB สร้างไฟล์วงโคจรดาวเทียมแบบ TAB และ CLK และ ORBGEN สร้างไฟล์วงโคจรดาวเทียมเป็นแบบ STD และทำการนำเข้าข้อมูลรับสัญญาณ RINEX โดยจะทำการ smooth สัญญาณด้วย RMXSMT แล้วแปลงเป็น Bernese observation ด้วย RXOBV3 และนำไฟล์ทั้งหมดที่ทำไว้มาประมวลผลข้อมูลสัญญาณด้วย CODSPY และสุดท้ายนำไปสร้าง TEC Map ด้วย GPSEST โดยเลือกใช้วิธีการ Zero-Difference และทำการตั้งค่าเลือกใช้สมการ Geometry-Free Linear Combination (L4) ในการประมวลผล และเลือกขนาด ดีกรีและอันดับของ Spherical Harmonic ที่จะใช้ในการประมวลผล และกำหนดของเขตละติจูดและลองจิจูดให้มีความละเอียดครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทย สุดท้ายประมวลผลจะได้ไฟล์ของ TEC Map สำหรับประเทศไทยออกมาในรูปแบบของไฟล์ IONosphere map EXchange (IONEX) ตามแผนผัง 2.1



แผนผัง 2.1 ขั้นตอนการสร้าง TEC Map ของซอฟต์แวร์ BERNESE

สำหรับไฟล์ IONEX จะแสดงค่าของ VTEC อยู่ในรูปของตารางกริดครอบคลุมพื้นที่ละติจูดและลองจิจูดตามที่กำหนดไว้ตามช่วงเวลาที่กำหนด 24 ชั่วโมง และจะแสดงค่า VTEC ทุก ๆ หนึ่งชั่วโมงตามเวลาของ UTC (Schaer, Gurtner and Feltens 1998) ดังรูป 2.9 ตัวอย่างไฟล์ IONEX

1.0	IONOSPHERE MAPS		GNSS		IONEX VERSION / TYPE										
GPSEST V5.0	My agency/institute		26-AUG-16 11:46		PGM / RUN BY / DATE										
TAE	COMMENT														
My description text	DESCRIPTION														
2015 2 28	0	0	0	EPOCH OF FIRST MAP											
2015 3 1	0	0	0	EPOCH OF LAST MAP											
7200	INTERVAL														
13	# OF MAPS IN FILE														
COSZ	MAPPING FUNCTION														
10.0	ELEVATION CUTOFF														
One-way carrier phase leveled to code	OBSERVABLES USED														
5	# OF STATIONS														
55	# OF SATELLITES														
6371.0	BASE RADIUS														
2	MAP DIMENSION														
450.0 450.0 0.0	HGT1 / HGT2 / DHGT														
25.0 -10.0 -0.5	LAT1 / LAT2 / DLAT														
84.0 120.0 0.5	LON1 / LON2 / DLON														
-1	EXPONENT														
TEC/RMS values in 0.1 TECU; 9999, if no value available	COMMENT														
1	END OF HEADER														
2015 2 28	0	0	0	START OF TEC MAP											
25.0 84.0 120.0	0.5	450.0	EPOCH OF CURRENT MAP												
-79 -76 -73 -68 -63 -57 -51 -44 -36 -28 -19 -10	0	9	19	29	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
39 48 58 68 77 86 94 103 110 117 124 130 135 140 144 147															
150 151 152 152 152 150 148 145 141 137 132 126 120 113 105 97															
88 79 69 59 49 38 27 16 5 -6 -18 -29 -40 -52 -63 -74															
-85 -95 -106 -116 -125 -134 -143 -152 -159															
24.5 84.0 120.0	0.5	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H												
-57 -54 -51 -47 -42 -37 -31 -24 -17 -10 -2	6	15	23	32	40										
49 58 66 75 83 91 98 105 112 118 124 129 134 138 141 144															
146 148 149 149 149 148 146 144 141 138 134 129 124 119 113 106															
99 92 85 77 69 61 52 44 35 27 18	9	1	-8	-16	-24										

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างไฟล์ IONEX

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรทัต เจริญกัลัญญตา (2555) ศึกษาการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบทั้งโลกและแบบของพื้นที่ประเทศไทยในการเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคการรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานในระยะห่างระหว่างสถานีขนาดต่าง ๆ โดยใช้ซอฟต์แวร์ Bernese 5.0 ในการประมวลผล และวิเคราะห์ได้ผลว่าแบบจำลองแบบทั้งโลกและประเทศไทยช่วยให้หาค่าเลขปริศนาได้ดีขึ้นประมาณ 9 % และ 16 % ตามลำดับและพิกัดกระโดดขนาดใหญ่และค่า RMSE ไม่มีนัยสำคัญที่แตกต่างกันโดยสรุปแล้วแบบจำลองของประเทศไทยจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคการรังวัดนี้ได้มากกว่าแบบจำลองแบบทั้งโลกในระยะห่างระหว่างสถานีฐานขนาดกลาง

รัชกฤษ ศุภกุลโอภาส (2555) ทำการติดตามการผันแปรของปริมาณอิเล็กตรอนรวมในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์หลังเหตุการณ์แผ่นดินไหวที่มีขนาดความรุนแรงมากกว่า 7.5 และความลึกของจุดกำเนิดแผ่นดินไหวน้อยกว่า 30 กิโลเมตรจากผิวดินในช่วงปี พ.ศ. 2552-2554 โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมจีพีเอส โดยได้ศึกษา 4 เหตุการณ์แผ่นดินไหว ได้แก่ แผ่นดินไหวที่ประเทศนิวซีแลนด์ แผ่นดินไหวบริเวณหมู่เกาะซามัว แผ่นดินไหวที่ ประเทศญี่ปุ่น และแผ่นดินไหวที่หมู่เกาะเคอร์มาเดก โดยใช้ข้อมูลจากตัวรับสัญญาณจีพีเอสบริเวณรอบจุดศูนย์กำเนิดแผ่นดินไหว พบว่าปริมาณอิเล็กตรอนรวมจะเกิดการผันแปรหลังเกิดแผ่นดินไหวเป็นเวลา 6 นาทีเป็นต้นไป เนื่องมาจากแผ่นดินไหวก่อให้เกิดคลื่น Acoustic ซึ่งเดินทางจากผิวดินไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลาประมาณ 6 นาที และคาบการผันแปรของปริมาณอิเล็กตรอนรวมอยู่ในช่วง 3.5 นาที ถึง 9.2 นาที ซึ่งสอดคล้องกับคาบของ Acoustic Wave ซึ่งอยู่ในช่วง 2 นาที ถึง 10 นาที

พรทิพย์ ใจมั่น (2556) ศึกษาการแปรเปลี่ยนของอิเล็กตรอนรวมในประเทศไทยระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2555 โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสบริเวณภาคกลางประเทศไทยนำมาสร้าง VTEC โดยใช้ Single Layer Model ของ Bernese Software ในชื่อ Thai Ionosphere Map (TIM) และจะใช้ Global Ionosphere Map (GIM) เป็นตัวเปรียบเทียบผล ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าความผิดปกติในชั้นบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับเดือนและฤดูกาลโดยความผิดปกติจะเกิดขึ้นสูงในช่วงเดือนมีนาคม เมษายน กันยายนและตุลาคม และจากผลรายปีมีลักษณะการกระจายความผิดปกติเชิงพื้นที่ในช่วงเวลากลางคืนและการแปรผันนี้จะรุนแรงมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง และ

ผลการเปรียบเทียบ TIM และ GIM แสดงให้เห็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นมีความสัมพันธ์สูงมาก

Todorova, S., et al. (2003) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบภูมิภาค โดยจะสร้างแบบจำลองในรูปแบบของค่า Vertical Total Electron Content (VTEC) โดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE และนำไปเปรียบเทียบค่า VTEC ที่ได้กับเทคนิคอื่นๆ ได้แก่ Global map จาก The International GPS Service (IGS) ที่คำนวณจากข้อมูล GPS มากกว่า 150 สถานีทั่วโลก, Very Long Base Interferometry (VLBI) เทคนิคการใช้กล้องโทรทรรศน์วิทยุบนดาวเทียมทำงานร่วมกับกล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดินโดยการรวมสัญญาณเหล่านี้และใช้มันหาค่าความล่าช้าของไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบของ TEC และ The TOPEX/Poseidon ที่เป็นดาวเทียมวัดระดับพื้นผิวทะเลและผลกระทบต่อสภาพอากาศของโลก โดยจากการเปรียบเทียบแล้วแบบจำลองที่สร้างจากซอฟต์แวร์ BERNESE มีความใกล้เคียงกับแบบจำลองที่ได้จากสามเทคนิคข้างต้นซึ่งมีความเหมาะสมนำไปใช้งานได้

Alcay, Yigit et al. (2012) ได้ทดสอบการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบภูมิภาคโดยการใช้สถานีเดียวอาศัยเทคนิค PPP ใน BERNESE โดยใช้ข้อมูลในวันที่สภาพอากาศสงบและวันที่มีพายุในการทดสอบบนพื้นที่สถานีในละติจูดระดับกลางและละติจูดระดับสูงแล้วนำมาเทียบกับ Global Ionosphere Maps (GIMs) ของ International GPS service (IGS) ซึ่งจะใช้เป็นตัวอ้างอิง จากการทดสอบข้อมูลที่ได้จากวันที่สภาพอากาศสงบทั้งจากสถานีที่ละติจูดกลางและละติจูดสูงมีความเหมาะสมใกล้เคียงกับแบบ GIMs ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง

Takahashi, Costa et al. (2014) ได้ตรวจสอบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ละติจูดต่ำและเส้นศูนย์สูตรโดยใช้แผนที่ TEC mapping และศึกษาบนพื้นที่ประเทศบราซิล จะใช้สถานีทั่วทั้งบราซิลมากกว่า 90 สถานีมาใช้คำนวณค่า TEC ของทุกสถานีแล้วรวมกันสร้างเป็น TECMAP ที่มีความละเอียดในระดับสูง และตรวจสอบแบบวันต่อวันในการประเมินผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม (EIA) ซึ่งไม่สอดคล้องกับ solar flux ซึ่งเป็นเพราะผลของน้ำขึ้นน้ำลงและคลื่นจากดาวเคราะห์และจากการไล่ระดับสีของ TEC จะแสดงให้เห็นความสามารถในการประเมินค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระบบ GNSS และยังสามารถใช้ TECMAP ตรวจสอบหา plasma bubbles ขนาดใหญ่ได้ด้วย

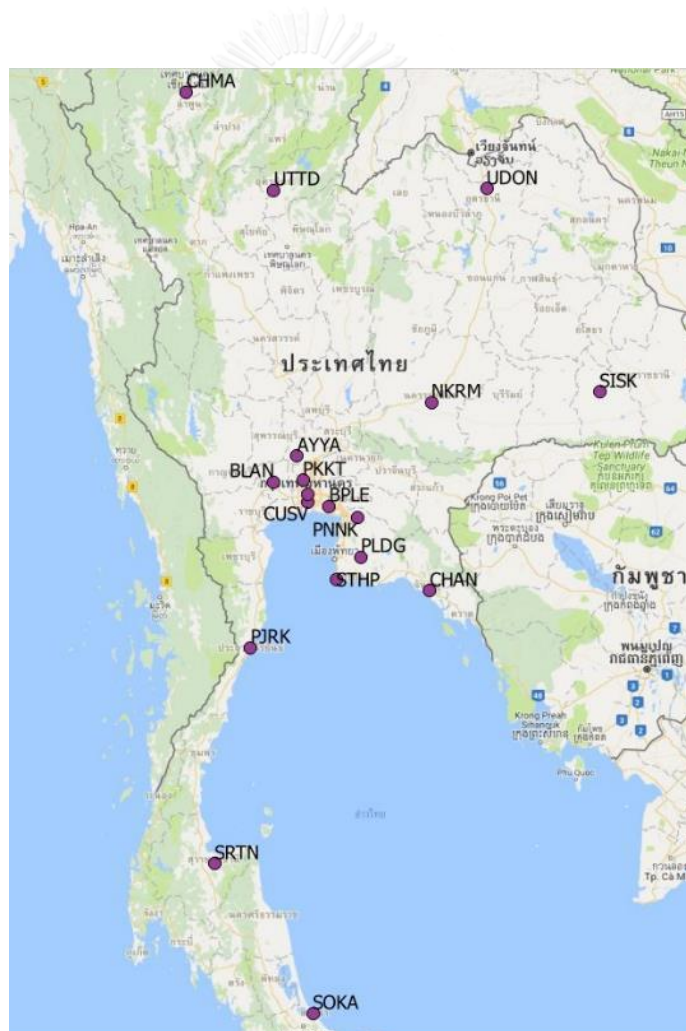
Zhao, Jin et al. (2016) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ภูมิภาคของประเทศจีนขึ้นโดยสร้างออกมาให้มีความละเอียดสูงเพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศจีนและบริเวณใกล้เคียง โดยใช้ข้อมูลจากสถานีเครือข่าย Crustal Movement Observation Network of China (CMONOC) และ International GNSS Service (IGS) รวมทั้งหาสัมประสิทธิ์ spherical harmonics และความสูงที่เหมาะสมในจีน รวมทั้งเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ CODE GIMs ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ภูมิภาคของจีนนั้นจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในจีนได้ดีกว่าแบบ CODE GIMs และสัมประสิทธิ์ spherical harmonics ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ degree/order 6 และความสูงที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองจะอยู่ที่ 550 กิโลเมตร

Xiong, Wan et al. (2016) ศึกษาความแปรปรวนของไอโอโนสเฟียร์ทั่วประเทศจีนโดยการใช้ข้อมูล TEC ที่มาจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมทั่วประเทศจีน มาสร้างเป็น TEC Map เปรียบเทียบแบบวันต่อวัน จากการวิเคราะห์ ความแตกต่างขนาดเล็กในลองจิจูดมีความเกี่ยวข้องกับมุมบ่าเบนแม่เหล็กโลก และ TEC Map ภูมิภาคที่สร้างมาสามารถจำลองโครงสร้างเชิงพื้นที่ไอโอโนสเฟียร์ในประเทศจีนได้ดี และได้เปรียบเทียบกับ TEC Map นี้กับของ Jet Propulsion Laboratory ทำให้เห็นความเบี่ยงเบนขนาดใหญ่ในตอนเหนือของประเทศจีนซึ่งเกิดจากจำนวนสถานีที่น้อยกว่าบริเวณอื่น และนอกจากนี้การใช้ข้อมูลจาก BeiDou ร่วมกับ GPS และ GLONASS ทำให้สามารถศึกษาวิจัยไอโอโนสเฟียร์บนประเทศจีนได้ดีขึ้น

บทที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.1 ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange Format) รับสัญญาณทุก ๆ 30 วินาที โดยจะใช้ข้อมูลในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2558 ถึง 1 กันยายน พ.ศ.2558 (จำนวน 244 วัน) ของสถานีฐานถาวรจากองค์กรหน่วยงานต่าง ๆ ได้แก่ กรมที่ดิน กรมโยธาธิการและผังเมือง และจาก The International GNSS Service (IGS) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งสิ้น 18 สถานี ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงที่ตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ใช้ในงานวิจัย

สถานีฐานถาวรเป็นสถานีที่ติดตั้งอยู่กับที่ด้วยความมั่นคงไม่เคลื่อนย้ายไปไหน โดยติดตั้งอยู่ในพื้นที่เปิดโล่งไม่มีสิ่งกีดขวางมาบดบังเครื่องรับสัญญาณ รวมทั้งเครื่องรับสัญญาณและเสาอากาศของเครื่องรับจะเป็นของที่มีคุณภาพสูงและใช้เครื่องรับสัญญาณหลายความถี่ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ภาพตัวอย่างสถานีรับสัญญาณดาวเทียมของกรมโยธาธิการและผังเมือง

รายละเอียดสถานีฐาน อาทิ ชนิดของเครื่องรับสัญญาณ เสาอากาศเครื่องรับ ของแต่ละสถานี แสดงดังตาราง 3.1

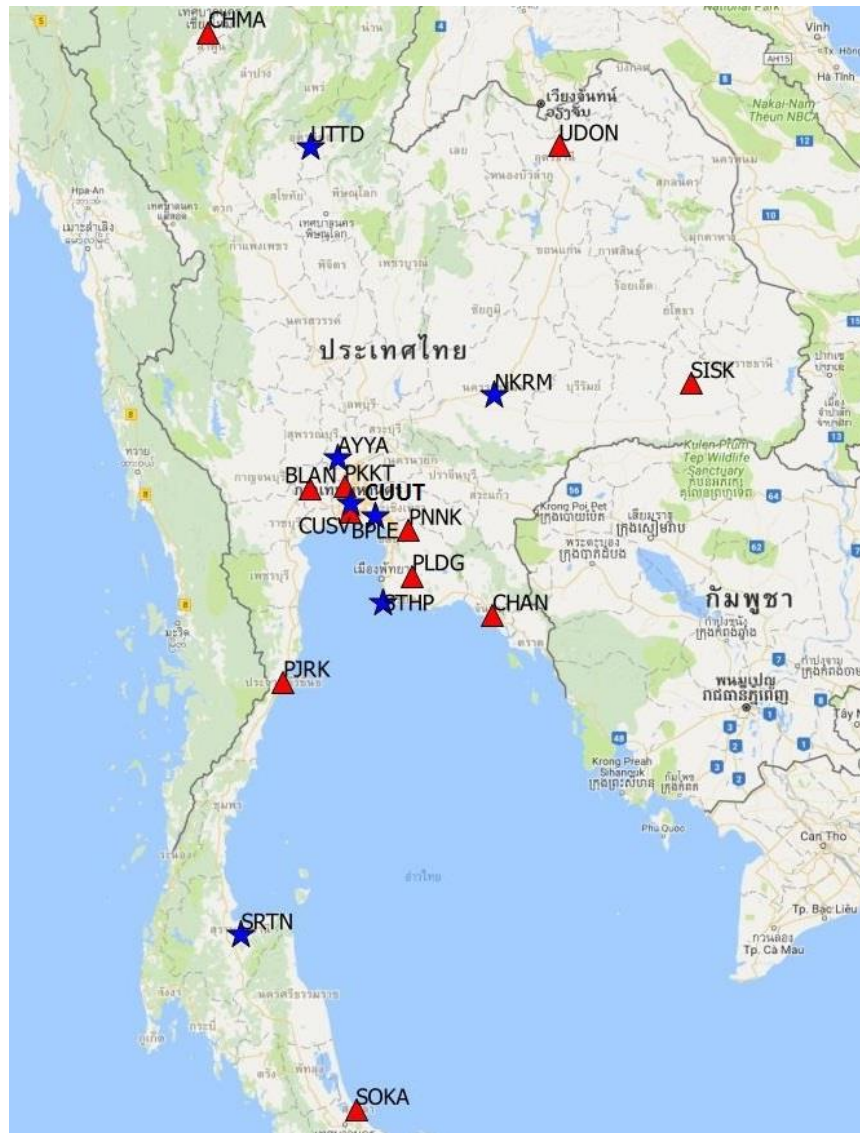
ลำดับ	สถานที่ตั้ง	ชื่อ	หน่วยงาน	เครื่องรับสัญญาณ	เสาอากาศเครื่องรับ
1	Phra Nakhon Si Ayutthaya	AYYA	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
2	Nakhon Pathom	BLAN	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
3	Samut Prakan	BPLE	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
4	Nonthaburi	PKKT	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
5	Rayong	PLDG	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
6	Chon Buri	PNNK	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
7	Chon Buri	STHP	กรมที่ดิน	TRIMBLE NETR5	TRM55971.00 TZGD
8	Chanthaburi	CHAN	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
9	Chiang Mai	CHMA	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
10	Nakhonratchasima	NKRM	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
11	Prachuapkirikhan	PJRK	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
12	Sisaket	SISK	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
13	Songkla	SOKA	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
14	Suratthani	SRTN	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
15	Udonthani	UDON	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
16	Uttaradit	UTTD	กรมโยธาธิการและผังเมือง	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 NONE
17	Chulalongkorn University	CUSV	IGS	TRIMBLE NETR5	TRM41249.00 NONE
18	Chulalongkorn University	CUUT	IGS	TRIMBLE NETR9	TRM57971.00 NONE

ตาราง 3.1 แสดงข้อมูลสถานีรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณของสถานีฐานไปใช้งาน 2 อย่างด้วยกันคือ สำหรับสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทยและสำหรับการทดสอบเปรียบเทียบผลการประมวล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเป็นชุดข้อมูลออกเป็นสองชุดเพื่อใช้งานโดยแบ่งให้มีพื้นที่ครอบคลุมทั่วประเทศไทยทั้งสองชุด ดังนี้ รูปที่ 3.3 แสดงที่ตั้งของแต่ละชุดสถานี

ชุดสำหรับการสร้างแบบจำลอง : BLAN CHAN CHMA CUSV PJRK PKKT PLDG PNNK SISK SOKA UDON

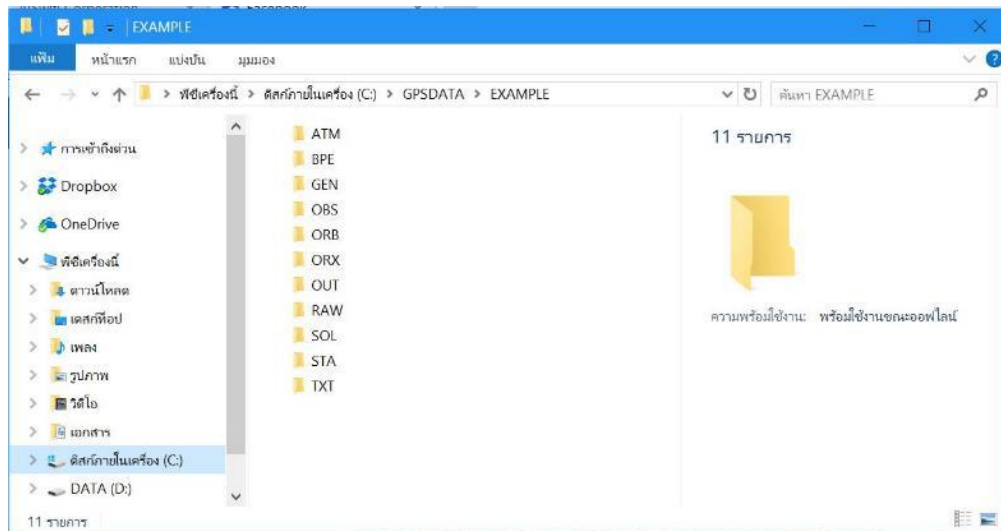
ชุดสำหรับทดสอบเปรียบเทียบ : AYYA BPLE CUUT NKRM SRTN STHP UTTD



รูปที่ 3.3 แสดงที่ตั้งของแต่ละชุดสถานี (สีแดง : ชุดสำหรับสร้างแบบจำลอง ,สีน้ำเงิน : ชุดสำหรับทดสอบเปรียบเทียบ)

3.2 ข้อมูลสำหรับการประมวลผลด้วย BERNESE

ซอฟต์แวร์ BERNESE เป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับงานวิจัย ซึ่งมีการทำงานคำนวณที่ซับซ้อนในขั้นตอนของการประมวลผล จำเป็นต้องใช้ข้อมูลของการแก้ค่าคลาดเคลื่อนต่าง ๆ เป็นจำนวนมากโดยจะจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในโพลเดอร์สำหรับชุดการประมวลผล (Campaign) ที่ภายในจะมีโพลเดอร์ที่แยกเก็บข้อมูลการแก้ค่าต่าง ๆ ไว้ดังรูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างและวิธีการใช้งาน Campaign สามารถดูได้ในภาพผนวก ก.



รูปที่ 3.4 โฟลเดอร์ภายใน Campaign

ข้อมูลที่เป็นที่ใช้ในการประมวลผลด้วย BERNESE มีดังนี้

3.2.1 Station RINEX File

ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจะต้องอยู่ในรูปของไฟล์ข้อมูล RINEX แบบรายวัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ข้อมูลที่ได้มาจากกรมที่ดิน และ กรมโยธาธิการและผังเมือง เป็นข้อมูลดิบแบบรายชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงไฟล์และรวมไฟล์เป็นแบบรายวัน เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้ และนำไปวางไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\RAW เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese แสดงตัวอย่างไฟล์ Rinex แบบรายวัน รูปที่ 3.5

```

3.02 OBSERVATION DATA M: Mixed RINEX VERSION / TYPE
RTKCONV 2.4.3 20160308 092752 UTC PGM / RUN BY / DATE
log: D:\GPS_Data_Timble\CUUT\Convert\RINEX\9036%n0.%.%yo COMMENT
format: RINEX COMMENT
CREF0001 MARKER NAME
CREF0001 MARKER NUMBER
MARKER TYPE
OBSERVER / AGENCY
5427R49036 NetR9 4.81 REC # / TYPE / VERS
TRM57971.00 ANT # / TYPE
-1132917.0663 6092528.2126 1504643.2263 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
G 6 C1C L1C C2W L2W C2X L2X SYS / # / OBS TYPES
R 8 C1C L1C C1P L1P C2C L2C C2P L2P SYS / # / OBS TYPES
E 6 C1X L1X C7X L7X C8X L8X SYS / # / OBS TYPES
C 6 C1I L1I C6I L6I C7I L7I SYS / # / OBS TYPES
30.000 INTERVAL
2015 1 14 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2015 1 14 23 59 30.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
G SYS / PHASE SHIFT
R SYS / PHASE SHIFT
E SYS / PHASE SHIFT
C SYS / PHASE SHIFT
0 GLONASS SLOT / FRQ #
C1C 0.000 C1P 0.000 C2C 0.000 C2P 0.000 GLONASS COD/PHS/BIS
END OF HEADER
> 2015 1 14 0 0 0.0000000 0 16
E20 22913648.719 120412031.436
G 2 22175910.906 116535223.483 22175913.730 90806688.000
G 5 20568897.703 108090289.426 20568903.016 84226222.889 20568902.871 84226228.641
G 6 23043254.852 121093140.260 23043263.938 94358331.018 23043263.941 94358331.777
G 9 24674852.609 129667168.398 24674862.500 101039371.040 24674861.297 101039367.810
G10 21099022.523 110876133.107 21099028.199 86397016.989
G12 21882581.719 114993730.715 21882586.574 89605522.066 21882586.660 89605528.823

```

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างไฟล์ Rinex แบบรายวัน

3.2.2 ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม

ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมสำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แบบ Final ในรูปแบบไฟล์ PRE โดยเป็นข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบรายวัน ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> โดยไฟล์วงโคจรดาวเทียมที่ดาวน์โหลดมาจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ EPH ดังนั้นจึงต้องแปลงเป็นไฟล์ PRE ก่อน ซึ่งทำได้โดยการเปลี่ยนนามสกุลไฟล์ (Rename) หลังจากนั้นจึงนำไปไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ORB เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese แสดงตัวอย่างข้อมูลวงโคจรดาวเทียม รูปที่ 3.6

```

#cp2015 3 11 0 0 0.00000000 96 d+d Igb08 FIT AIUB
## 1835 259200.00000000 900.00000000 57092 0.00000000000000
+ 56 G01G02G03G04G05G06G07G08G09G10G11G12G13G14G15G16G17
+ G18G19G20G21G22G23G24G25G26G27G28G29G30G31G32R01R02
+ R03R04R05R06R07R08R09R10R11R12R13R14R15R16R17R18R19
+ R20R21R22R23R24 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
++ 4 4 4 4 4 4 4 4 4 10 4 4 4 4 4 6 5 4
++ 4 5 5 5 5 5 4 4 5 4 4 6 4 4 4 4 4
++ 4 4 4 4 4 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%c M cc GPS ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%f 1.2500000 1.025000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* Center for Orbit Determination in Europe (CODE)
/* Final GNSS orbits and GPS clocks for year-day 15070
/* Note: Middle day of a 3-day arc GPS/GLONASS solution
/* PCV:IGS08 OL/AL:FES2004 NONE YN ORB:CoN CLK:CoN
* 2015 3 11 0 0 0.00000000
PG01 7335.750621 -19195.423490 -16778.416029 -8.109431
PG02 -21909.659495 14365.287650 -2004.977500 552.783527
PG03 -2631.097347 -16933.559156 -20274.243201 249.200665
PG04 15434.353203 -19451.617874 -9365.003158 -8.787704
PG05 -17221.703872 7060.967926 18961.521979 -268.568823
PG06 -21799.305145 2480.941372 -14963.479933 104.872221
PG07 -6417.603972 -13705.849980 21903.436788 446.688730
PG08 23964.508489 -10126.240580 -3049.345171 18.360992
PG09 -7771.452154 -24085.215978 8028.733437 -109.440745

```

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลวงโคจรดาวเทียม

3.2.3 ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก (Earth Rotation Parameters/Pole Information)

ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนนี้จะเป็นแบบรายปีโดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ ERP (ตัวอย่างเช่น C04_2015.ERP โดย 2015 คือปีค.ศ.) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/ORB/> จากนั้นนำไปไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ORB เมื่อ XXX คือชื่อ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese แสดงตัวอย่างข้อมูลค่าแก้เนื่องมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก รูปที่ 3.7

IERS C04 POLE										15-FEB-16 00:55				
NUTATION MODEL		: NO		SUBDAILY POLE MODEL: RAY										
DATE	TIME	X-POLE	Y-POLE	UT1-UTC	GPS-UTC	RMS XP	RMS YP	RMS DT	DE-CPO	DP-CPO	RMS EP	RMS PS		
YYYY MM DD HH MM		(")	(")	(S)	(S) REM	(")	(")	(S)	(")	(")	(")	(")		
2015 1 1 0 0		0.03077	0.28075	-0.459914	16. C04	0.00005	0.00004	0.000011	0.00000	0.00000	0.00005	0.00014		
2015 1 2 0 0		0.02963	0.28125	-0.460836	16. C04	0.00005	0.00004	0.000012	0.00000	0.00000	0.00005	0.00014		
2015 1 3 0 0		0.02895	0.28158	-0.461623	16. C04	0.00005	0.00004	0.000012	0.00000	0.00000	0.00005	0.00014		
2015 1 4 0 0		0.02867	0.28207	-0.462326	16. C04	0.00005	0.00004	0.000013	0.00000	0.00000	0.00005	0.00014		
2015 1 5 0 0		0.02847	0.28276	-0.462991	16. C04	0.00005	0.00004	0.000013	0.00000	0.00000	0.00005	0.00014		
2015 1 6 0 0		0.02788	0.28353	-0.463660	16. C04	0.00005	0.00004	0.000013	0.00000	0.00000	0.00005	0.00013		
2015 1 7 0 0		0.02716	0.28447	-0.464322	16. C04	0.00005	0.00004	0.000013	0.00000	0.00000	0.00005	0.00013		
2015 1 8 0 0		0.02581	0.28548	-0.465137	16. C04	0.00005	0.00004	0.000013	0.00000	0.00000	0.00005	0.00013		
2015 1 9 0 0		0.02466	0.28602	-0.466023	16. C04	0.00005	0.00004	0.000012	0.00000	0.00000	0.00005	0.00012		
2015 1 10 0 0		0.02352	0.28666	-0.467055	16. C04	0.00005	0.00004	0.000012	0.00000	0.00000	0.00004	0.00011		
2015 1 11 0 0		0.02261	0.28782	-0.468195	16. C04	0.00005	0.00005	0.000011	0.00000	0.00000	0.00004	0.00010		
2015 1 12 0 0		0.02151	0.28879	-0.469309	16. C04	0.00005	0.00005	0.000010	0.00000	0.00000	0.00004	0.00010		
2015 1 13 0 0		0.02043	0.28982	-0.470396	16. C04	0.00005	0.00005	0.000010	0.00000	0.00000	0.00004	0.00009		
2015 1 14 0 0		0.01888	0.29089	-0.471531	16. C04	0.00005	0.00005	0.000009	0.00000	0.00000	0.00003	0.00009		
2015 1 15 0 0		0.01720	0.29215	-0.472690	16. C04	0.00005	0.00005	0.000009	0.00000	0.00000	0.00003	0.00008		
2015 1 16 0 0		0.01499	0.29363	-0.473792	16. C04	0.00005	0.00005	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00008		
2015 1 17 0 0		0.01304	0.29451	-0.474909	16. C04	0.00005	0.00005	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00008		
2015 1 18 0 0		0.01077	0.29529	-0.475979	16. C04	0.00005	0.00005	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		
2015 1 19 0 0		0.00933	0.29610	-0.477027	16. C04	0.00005	0.00005	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		
2015 1 20 0 0		0.00812	0.29683	-0.478148	16. C04	0.00005	0.00004	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		
2015 1 21 0 0		0.00741	0.29761	-0.479384	16. C04	0.00005	0.00004	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		
2015 1 22 0 0		0.00686	0.29853	-0.480797	16. C04	0.00005	0.00004	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		
2015 1 23 0 0		0.00620	0.29953	-0.482334	16. C04	0.00005	0.00004	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		
2015 1 24 0 0		0.00508	0.30013	-0.483870	16. C04	0.00005	0.00004	0.000008	0.00000	0.00000	0.00003	0.00007		

รูปที่ 3.7 ตัวอย่างข้อมูลค่าแก้มือมาจากแรงเหวี่ยงจากการหมุนของโลก

3.2.4 ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนนี้จะเก็บแบบรายเดือนโดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ DCB (ตัวอย่างเช่น P1P21501.DCB โดย 15 คือปี ค.ศ. สองหลักท้ายและ 01 คือลำดับเดือน) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> จากนั้นนำไปไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ORB เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese แสดงตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม รูปที่ 3.8

CODE'S MONTHLY GNSS P1-P2 DCB SOLUTION, YEAR 2015, MONTH 01		05-FEB-15 06:46	
DIFFERENTIAL (P1-P2) CODE BIASES FOR SATELLITES AND RECEIVERS:			
PRN / STATION NAME	VALUE (NS)	RMS (NS)	
*** *****	*****	***	
G01	-8.231	0.008	
G02	8.464	0.010	
G03	-5.834	0.008	
G04	-0.559	0.008	
G05	2.247	0.006	
G06	-7.564	0.009	
G07	2.494	0.007	
G08	-1.568	0.021	
G09	-5.157	0.008	
G10	-2.912	0.007	
G11	2.935	0.007	
G12	3.128	0.009	
G13	2.566	0.008	
G14	1.276	0.007	
G15	2.095	0.010	
G16	1.868	0.007	
G17	2.311	0.008	
G18	2.519	0.008	
G19	4.939	0.008	
G20	0.633	0.009	

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจาก Differential Code Bias ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

3.2.5 ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม

ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนนี้เป็นแบบรายวันโดยข้อมูลจะอยู่ในรูปของไฟล์ CLK (ตัวอย่างเช่น CODE15002.CLK โดย 1500 คือ GPS Week ใน 4 หลักแรกและ 2 ลำดับวันของสัปดาห์ซึ่งเริ่มจาก 0 ในวันอาทิตย์) ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> จากนั้นนำไปไว้โฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ORB เมื่อ XXX คือชื่อ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese แสดงตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม รูปที่ 3.9

2.00		CLOCK DATA		RINEX VERSION / TYPE	
CCRNXC V5.3	AIUB	22-JUL-15 06:53		PGM / RUN BY / DATE	
CODE final GPS clock information for day 198, 2015, 3D-sol				COMMENT	
Clock information consistent with phase and P1/P2 code data				COMMENT	
Satellite/receiver clock values at intervals of 30/300 sec				COMMENT	
High-rate (30 sec) clock interpolation based on phase data				COMMENT	
GPS				TIME SYSTEM ID	
17				LEAP SECONDS	
G GPSEST V5.3	IGS08			SYS / PCVS APPLIED	
G GPSEST V5.3	P1C1.DCB @ ftp.unibe.ch/aiub/CODE/			SYS / DCBS APPLIED	
2	AR AS			# / TYPES OF DATA	
COD Center for Orbit Determination in Europe				ANALYSIS CENTER	
1				# OF CLK REF	
YELL 40127M003		0.000000000000E+00		ANALYSIS CLK REF	
131	IGb08			# OF SOLN STA / TRF	
YELL 40127M003	-1224452884	-2689216188	5633638288	SOLN	STA NAME / NUM
ALGO 40104M002	918129209	-4346071305	4561977896	SOLN	STA NAME / NUM
ALIC 50137M001	-4052052556	4212836000	-2545104822	SOLN	STA NAME / NUM
ALRT 40162M001	388042462	-740382440	6302001948	SOLN	STA NAME / NUM
AMC2 40472S004	-1248596348	-4819428203	3976505946	SOLN	STA NAME / NUM
AMU2 66040M002	13448	-164729	-6359570279	SOLN	STA NAME / NUM
AREQ 42202M005	1942826245	-5804070341	-1796894161	SOLN	STA NAME / NUM
ARTU 12362M001	1843956466	3016203211	5291261780	SOLN	STA NAME / NUM
AUCK 50209M001	-5105681420	461564007	-3782181144	SOLN	STA NAME / NUM
BAKO 23101M002	-1836969371	6065616974	-716257895	SOLN	STA NAME / NUM
BJFS 21601M001	-2148744423	4426641206	4044655852	SOLN	STA NAME / NUM
BOGT 41901M001	1744398910	-6116037094	512731849	SOLN	STA NAME / NUM
BOR1 12205M002	3738358272	1148173875	5021815862	SOLN	STA NAME / NUM
BRAZ 41606M001	4115014069	-4550641608	-1741443825	SOLN	STA NAME / NUM
BRMU 42501S004	2304703337	-4874817172	3395187026	SOLN	STA NAME / NUM
BRST 10004M004	4231162456	-332746491	4745131029	SOLN	STA NAME / NUM
BRUX 13101M010	4027881445	306998673	4919498980	SOLN	STA NAME / NUM
CAS1 66011M001	-901776136	2409383259	-5816748499	SOLN	STA NAME / NUM
CEDU 50138M001	-3753473009	3912741020	-3347959920	SOLN	STA NAME / NUM

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากนาฬิกาดาวเทียม

3.2.6 ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์แบบทั่วโลก

ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนทั้งสองนี้เป็นแบบรายวัน โดยข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบทั่วโลกอยู่ในรูปแบบของไฟล์ ION ในขณะที่ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์แบบทั่วโลกอยู่ในรูปแบบของไฟล์ TRO ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/> จากนั้นนำทั้งสองไฟล์ไปไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ATM เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese แสดงตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ รูปที่ 3.10 และ ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ รูปที่ 3.11

CODE'S GLOBAL IONOSPHERE MAPS FOR DAY 186, 2015		09-JUL-15 20:06	

MODEL NUMBER / STATION NAME	:	1860-01	
MODEL TYPE (1=LOCAL,2=GLOBAL,3=STATION)	:	2	
MAXIMUM DEGREE OF SPHERICAL HARMONICS	:	15	
MAXIMUM ORDER	:	15	
DEVELOPMENT WITH RESPECT TO			
GEOGRAPHICAL (=1) OR GEOMAGNETIC (=2) FRAME	:	2	
MEAN (=1) OR TRUE (=2) POSITION OF THE SUN	:	1	
MAPPING FUNCTION (0=NONE,1=COSZ,2=MSLM,3=ESM)	:	2	
HEIGHT OF SINGLE LAYER AND ITS RMS ERROR (KM)	:	450.00	0.00
COORDINATES OF EARTH-CENTERED DIPOLE AXIS			
LATITUDE OF NORTH GEOMAGNETIC POLE (DEGREES)	:	80.33	
EAST LONGITUDE (DEGREES)	:	-72.67	
PERIOD OF VALIDITY			
FROM EPOCH / REFERENCE EPOCH (Y,M,D,H,M,S)	:	2015 07 05 00 00 00	
TO EPOCH	:		
LATITUDE BAND COVERED			
MINIMUM LATITUDE (DEGREES)	:	-89.25	
MAXIMUM LATITUDE (DEGREES)	:	89.37	
ADDITIONAL INFORMATION			
NUMBER OF CONTRIBUTING STATIONS	:	262	
NUMBER OF CONTRIBUTING SATELLITES	:	55	
ELEVATION CUT-OFF ANGLE (DEGREES)	:	10	
MAXIMUM TEC AND ITS RMS ERROR (TECU)	:	69.77	0.39
COMMENT / WARNING	:		
COEFFICIENTS			
DEGREE	ORDER	VALUE (TECU)	RMS (TECU)
0	0	21.30388783	0.0301
1	0	6.07481031	0.0289
1	1	9.11494906	0.0311
1	-1	6.28573697	0.0283
2	0	-5.51970863	0.0283

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

%=TRO 0.01 COD 15:205:09263 IGS 15:200:00000 15:201:00000 P MIX	

+FILE/REFERENCE	
*INFO TYPE	INFO
DESCRIPTION	CODE, Astronomical Institute, University of Bern
OUTPUT	CODE IGS 3-day solution
CONTACT	code@aiub.unibe.ch
SOFTWARE	Bernese GNSS Software Version 5.3
HARDWARE	UBELIX: Linux, x86_64
INPUT	CODE IGS 1-day solutions
-FILE/REFERENCE	

+TROP/DESCRIPTION	
* KEYWORD	VALUE (S)
ELEVATION CUTOFF ANGLE	3
SAMPLING INTERVAL	180
SAMPLING TROP	7200
TROP MAPPING FUNCTION	WET VMF
SOLUTION FIELDS 1	TROTOT STDDEV TGNTOT STDDEV TGETOT STDDEV
-TROP/DESCRIPTION	

+TROP/STA COORDINATES	
*SITE PT SOLN T	STA X STA Y STA Z SYSTEM REMRK
ABMF A 1 P	2919785.757 -5383744.996 1774604.794 Igb08 COD
ABPO A 1 P	4097216.578 4429119.123 -2065771.247 Igb08 COD
ADIS A 1 P	4913652.659 3945922.766 995383.439 Igb08 COD
ALBH A 1 P	-2341333.056 -3539049.522 4745791.272 Igb08 COD
ALGO A 1 P	918129.207 -4346071.307 4561977.898 Igb08 COD
ALIC A 1 P	-4052052.557 4212835.999 -2545104.821 Igb08 COD
ALRT A 1 P	388042.461 -740382.440 6302001.947 Igb08 COD
AMC2 A 1 P	-1248596.349 -4819428.202 3976505.946 Igb08 COD
ANKR A 1 P	4121948.452 2652187.871 4069023.844 Igb08 COD
AREQ A 1 P	1942826.245 -5804070.340 -1796894.162 Igb08 COD

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

3.2.7 ข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็นในการประมวลผล

นอกจากค่าแก้ที่กล่าวมาในข้างต้นนี้แล้วยังมีค่าแก้อื่น ๆ อยู่อีกจำนวนมากซึ่งจะเป็นจำพวกไม่อิงตามวันเวลา แต่จะเป็นอิงที่อุปกรณ์หรือสถานที่ และพวกแก้ปัญหาต่าง ๆ อาทิเช่น ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากดาวเทียมและข้อมูลดาวเทียมที่มีปัญหา ข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ และข้อมูลแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงมหาสมุทร เป็นต้น ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ตามตาราง 3.2 แล้วนำไฟล์เหล่านี้ไว้ในโฟลเดอร์ C:\BERN50\GPS\GEN

ชื่อไฟล์	รายละเอียด	ความจำเป็นในการ Update	ดาวนโหลด
CONST.	ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	ไม่	Aiub*
DATUM.	ข้อมูล Datum	เมื่อมี Ellipsoid ใหม่	Aiub*
RECEIVER.	ข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องรับ	เมื่อมีเครื่องรับชนิดใหม่	Aiub*
PHAS_COD.I01	Relative Antenna Model แบบระบุ Radome Codes	เมื่อมีเสาอากาศชนิดใหม่หรือค่าแก้ใหม่	Aiub*
SATELLIT.I01	ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมใช้คู่กับ PHAS_COD.I01	เมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงใหม่	Aiub*
PHAS_COD.I05	Absolute Antenna Model แบบระบุ Radome Codes	เมื่อมีเสาอากาศชนิดใหม่หรือค่าแก้ใหม่	Aiub*
SATELLIT.I05	ข้อมูลเกี่ยวกับดาวเทียมใช้คู่กับ PHAS_COD.I05	เมื่อมีการส่งดาวเทียมดวงใหม่	Aiub*
SAT___.CRX	ข้อมูลดาวเทียมที่มีปัญหา	เมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับดาวเทียม	Aiub*
GPSUTC.	ข้อมูล GPS leap second	เมื่อมีการปรับแก้เวลา	Aiub*
IAU.2000NUT	ข้อมูล Nutation Model Coefficients	ไม่	Aiub*
IERS.2000SUB	ข้อมูลย่อยการวางตัวของโลก	ไม่	Aiub*
JGM.3	ข้อมูล Earth Potential Coefficients	ไม่	Aiub*
POLOFF.	ข้อมูล Pole Offset Coefficients	ไม่	Aiub*
DE200.EPH	ข้อมูลวงโคจรดาวเคราะห์	ไม่	JPL**
____.BLQ	ข้อมูล Ocean Loading	เมื่อใช้สถานีใหม่	OSO***

ตาราง 3.2 ข้อมูลไฟล์ในโฟลเดอร์ C:\BERN50\GPS\GEN

* Aiub คือ <http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50/GEN>

**JPL คือ <http://www.jpl.nasa.gov>

***OSO คือ <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>

3.3 ข้อมูลแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ

ข้อมูลแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

3.3.1 Klobuchar Model

ข้อมูล Klobuchar Model จะถูกส่งมาในรูปแบบของ broadcast ionospheric parameters มาในข้อมูล Navigation ของข้อมูลดาวเทียม GPS ซึ่งข้อมูล Navigation จะมากับข้อมูล Rinex หรือสามารถดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gnss/data/> ค่าที่จะนำมาใช้จะอยู่ในรูปพารามิเตอร์สัมประสิทธิ์ ION ALPHA ($\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$) และ ION BETA ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$) ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ของ Klobuchar Model รูปที่ 3.12

2	NAVIGATION DATA				RINEX VERSION / TYPE
CCRINEXN V1.6.0 UX	CDDIS		01-JAN-15 19:39	PGM / RUN BY / DATE	
IGS BROADCAST EPHEMERIS FILE				COMMENT	
0.1490D-07	-0.7451D-08	-0.5960D-07	0.1192D-06	ION ALPHA	
0.1290D+06	-0.1966D+06	0.6554D+05	0.3277D+06	ION BETA	
0.931322574616D-09	0.888178419700D-14	589824	1825	DELTA-UTC: A0,A1,T,W	
16				LEAP SECONDS	
				END OF HEADER	

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ของ Klobuchar Model

3.3.2 Ionosphere Model from QZSS

ข้อมูลของ Ionosphere Model จาก QZSS จะถูกส่งมาในรูปแบบของ broadcast ionospheric parameters ในข้อมูล Navigation เช่นเดียวกับแบบของ Klobuchar Model แต่จะมากับ Navigation ของดาวเทียม QZSS เท่านั้น และสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <http://qz-vision.jaxa.jp/USE/en/custom> ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ของ QZSS รูปที่ 3.13

2.12	N	J		RINEX VERSION / TYPE	
RDE	MCS	20150106 052343	UTC	PGM / RUN BY / DATE	
QZSA	5.6811D-08	-9.4864D-08	-1.5098D-07	2.4414D-07	IONOSPHERIC CORR
QZSB	1.1264D+05	1.2516D+05	-5.1129D+05	-2.6843D+05	IONOSPHERIC CORR
QZUT	1.5832483768D-08	-9.769962617D-15	28672	1826	TIME SYSTEM CORR
16					LEAP SECONDS
					END OF HEADER

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ของ QZSS

3.3.3 Global Ionosphere Maps (GIM)

ข้อมูล Global Ionosphere Maps สร้างมาจากข้อมูลสถานีฐานทั่วโลกของ IGS ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ <http://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex> โดยสามารถดาวน์โหลดได้หลังจากผ่านไป 3 วัน ตัวอย่าง GIM รูปที่ 3.14

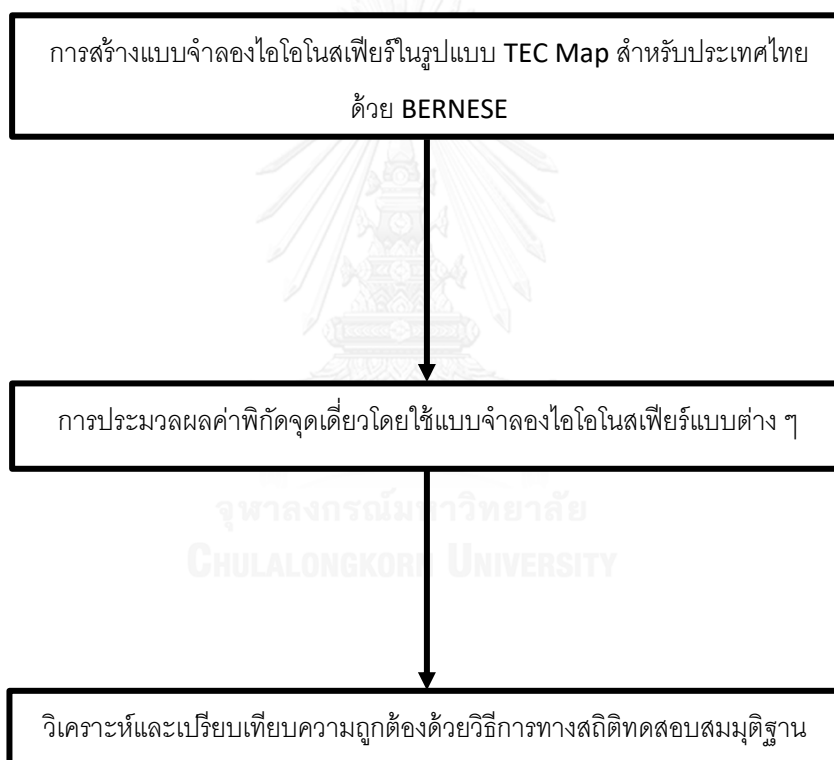
GIM ที่สร้างออกมาจะอยู่ในรูปแบบของ IONEX (IONosphere map EXchange) ประกอบไปด้วยค่า VTEC ทุกจุดตัดตารางสี่เหลี่ยม (Grid Point) ซึ่งจะแสดงค่า VTEC ทุก ๆ 2 ชั่วโมง ตามเวลา UTC (Coordinated Universal Time) และความละเอียดจะอยู่ที่ 5 องศา และ 2.5 องศา ครอบคลุมทั่วทั้งโลก และใช้โมเดล spherical harmonic expansion ที่ Degree และ Order ที่ 15 ของ Solar-Geomagnetic Reference Frame และใช้ Piece-wise linear functions เป็นข้อมูลตัวแทนในเวลาหลัก (Time Domain) สำหรับการแปลงค่า Slant TEC ไปเป็น VTEC จะใช้โมเดลที่ modify จาก single-layer model mapping (MSLM) mapping function ซึ่งจะคำนวณมาจากมุมสูงของดาวเทียม และในการคำนวณค่า Ionospheric Pierce Point (IPP) จะกำหนดชั้นบรรยากาศเป็นแบบ Spherical Layer มีรัศมี 6,821 กิโลเมตร (CODE, 2012)

1	START OF TEC MAP														
2015	EPOCH OF CURRENT MAP														
1	1	11	0	0	0	LAT/LON1/LON2/DLON/H									
87.5-180.0	180.0	5.0	450.0												
81	82	82	83	83	84	84	85	85	85	86	86	86	86	85	85
85	85	84	84	83	83	82	81	81	80	80	79	78	78	77	76
75	75	74	74	73	73	73	72	72	72	71	71	71	71	71	71
71	71	71	71	71	72	72	72	72	72	73	73	74	74	75	75
76	76	77	78	78	79	79	80	81							
85.0-180.0	180.0	5.0	450.0												
87	89	91	92	93	94	95	96	96	96	97	96	96	96	95	95
94	93	92	92	90	89	88	86	85	83	82	80	79	77	76	75
74	72	72	71	70	69	69	69	69	69	69	69	69	69	70	70
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	71	71	71	73	74
74	76	77	79	81	82	84	86	87							
82.5-180.0	180.0	5.0	450.0												
96	99	101	104	104	106	107	107	107	107	106	106	105	104	103	102
100	99	98	96	94	93	91	90	87	85	83	81	78	76	75	72
71	69	68	67	67	67	67	67	68	69	69	70	70	71	72	72
73	73	72	72	72	71	71	70	70	69	69	69	69	70	71	72
74	76	78	81	84	87	90	93	96							
80.0-180.0	180.0	5.0	450.0												
107	111	115	117	119	120	121	120	119	117	116	113	111	108	106	103
102	100	98	97	95	93	92	90	87	85	82	80	77	74	72	70
68	67	65	65	65	66	66	67	68	70	71	73	74	75	76	76
77	76	76	76	74	73	72	71	70	68	67	67	67	68	68	70
73	76	80	84	89	93	98	103	107							
77.5-180.0	180.0	5.0	450.0												
121	126	130	134	136	137	136	134	132	128	124	119	114	110	105	102
98	95	93	92	90	89	88	87	85	82	80	77	74	71	69	67
66	64	64	64	64	65	67	68	70	72	74	76	77	79	79	80
80	79	78	77	75	74	72	70	68	66	65	64	64	64	66	69
72	76	82	88	95	102	109	115	121							

รูปที่ 3.14 ตัวอย่าง GIM

บทที่ 4 วิธีดำเนินงานวิจัย

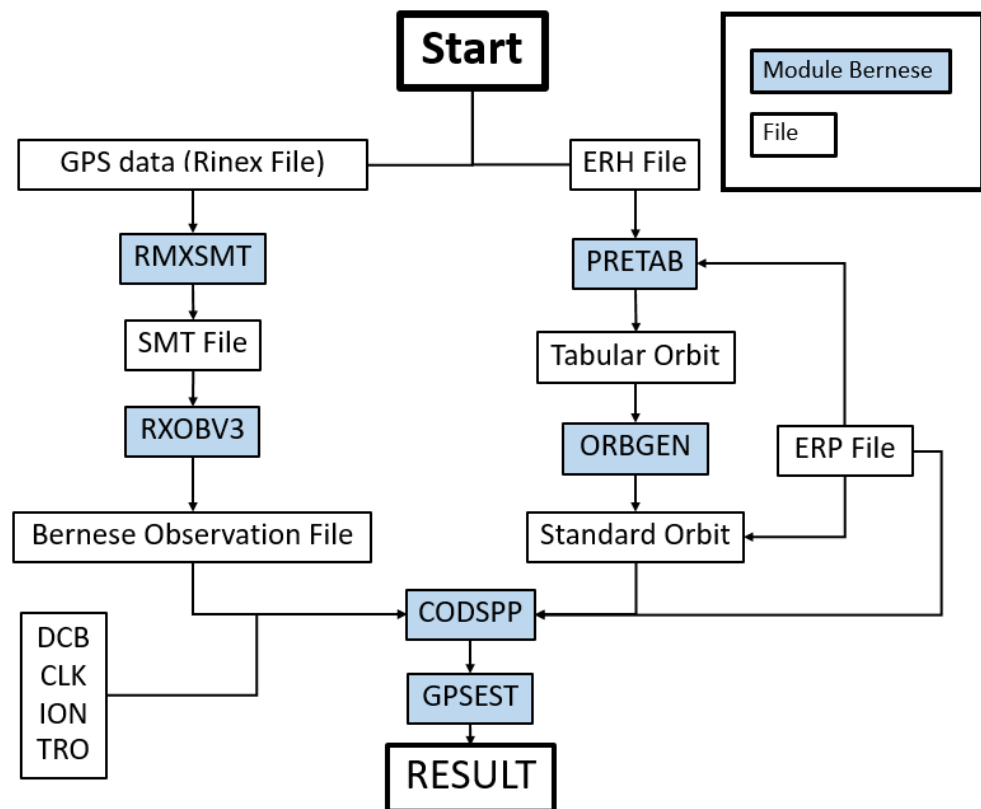
การดำเนินงานวิจัยสำหรับการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่างๆในพื้นที่ประเทศไทยสำหรับเครื่องรับความถี่เดียว มีขั้นตอนการดำเนินงานคือ ทำการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบ TEC Map สำหรับประเทศไทยด้วยซอฟต์แวร์ BERNESE หลังจากนั้นนำแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ที่ได้และแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ไปใช้ในการประมวลผลค่าพิกัดจุดเดี่ยวของสถานีทดสอบที่กำหนดไว้แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกันด้วยวิธีการทางสถิติทดสอบสมมติฐาน ดังแผนผังที่ 4.1



แผนผังที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 การสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบ TEC Map สำหรับประเทศไทยด้วย BERNESE

ในการสร้าง TEC Map โดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE จะใช้โมดูลต่าง ๆ ในซอฟต์แวร์ดำเนินงานตามขั้นตอน ที่แสดงตามแผนผังที่ 4.2 และในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแต่ละโมดูล แสดงในภาพผนวก ก และการประมวลผลในแต่ละโมดูลมีดังนี้



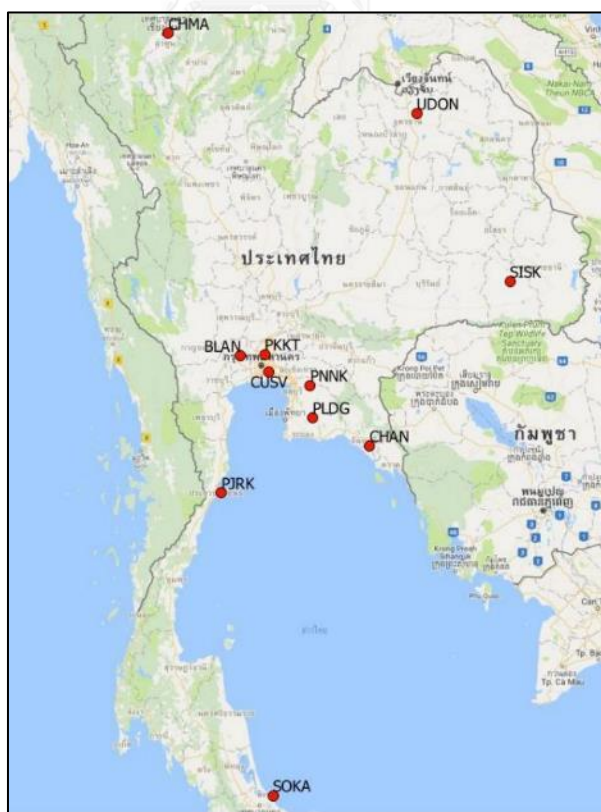
แผนผัง 4.2 ขั้นตอนการสร้าง TEC Map ของซอฟต์แวร์ BERNESE

- PRETAB โมดูลสำหรับการสร้างไฟล์วงโคจรดาวเทียมแบบ Tabular จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียม .ERH ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของไฟล์ .TAB เก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ORB เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese

- ORBGEN โมดูลสำหรับการสร้างไฟล์วงโคจรดาวเทียมแบบ Standrad จากข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ Tabular (.TAB) ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ .STD เก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\ORB เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese
- RMXSMT โมดูลสำหรับการจัดค่าคลาดเคลื่อนเบื้องต้นจำพวก Cycle slips และ Outliers ในไฟล์ Rinex รวมทั้งทำการ Smooth ข้อมูลรหัสของคลื่นส่ง (Code Observations) โดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ .SMT เก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\RAW เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese
- RXOBV3 โมดูลสำหรับแปลงข้อมูลไฟล์ Rinex หรือไฟล์ .SMT ให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ Bernese Observation ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบไฟล์ .CZH, .CZO, .PZH และ .PZO ทั้งหมด 4 ไฟล์ เก็บไว้ในโฟลเดอร์ C:\GPSDATA\XXX\OBS เมื่อ XXX คือชื่อของ Campaign ในซอฟต์แวร์ Bernese
- CODSPP โมดูลสำหรับการประมวลผลข้อมูลรหัสของคลื่นส่ง เพื่อหาค่าแก้नाฬิกาของเครื่องรวบรวมทั้งทำการแก้ไขข้อมูลการรังวัดให้อ้างอิงที่เวลา Epoch เดียวกัน โดยใช้ข้อมูล .CZH ร่วมกับข้อมูลค่าแก้ต่าง ๆ อาทิ วงโคจรดาวเทียม นาฬิกาดาวเทียม แรงเหวี่ยงการหมุนโลก Code Bias และข้อมูลสถานีเบื้องต้น เป็นต้น
- GPSEST โมดูลสำหรับการปรับแก้เบื้องต้น ในงานวิจัยนี้จะเป็นโมดูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์โดยเลือกใช้ข้อมูลการรังวัดแบบ Zero-Difference ร่วมกับค่าแก้ต่าง ๆ สร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์โดยใช้สมการ Geometry Free Linear Combination (L4) และตั้งค่า Degree และ Order ของ Spherical Harmonic Expansion ตามต้องการได้ออกมาในรูปแบบของไฟล์ IONEX (.INX)

ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทยด้วย BERNESE จะใช้ข้อมูลสถานีฐานที่เตรียมไว้สำหรับการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์จำนวน 11 สถานี ได้แก่ BLAN, CHAN, CHMA, CUSV, PJRK, PKKT, PLDG, PNNK, SISK, SOKA, และ UDON ดังรูป 4.1 (สถานีสีแดง) และข้อมูลดาวเทียมที่ใช้จะใช้แค่เพียงข้อมูลดาวเทียมจีพีเอสเท่านั้น และผลลัพธ์ที่ได้คือแบบจำลองไอโอ

โนสเฟียร์ของประเทศไทยโดยตั้งชื่อไว้ว่า THTM (Thai TEC Map) โดยชื่อไฟล์จะรวมกับเลขค่า Degree และ Order ของ Spherical Harmonic Expansion ที่ใช้และเลขวันเดือน (ตัวอย่างเช่น THTM40102.INX คือ ใช้ Degree และ Order ที่ 4 ของวันที่ 2 มกราคม) ที่อยู่ในรูปแบบของไฟล์ IONEX ซึ่งค่า VTEC จะแสดงทุก ๆ 1 ชั่วโมง เริ่มจาก 0-1, 1-2, 2-3 จนถึง 23-24 ตามเวลาของ UTC และมีความละเอียดเท่ากับ) 0.5 ละติจูด และ 0.5 ลองติจูด ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ -10 ถึง 25 ละติจูด และ 84 ถึง 120 ลองติจูด โดยใช้โมเดล Spherical Harmonic Expansion ที่ Degree และ Order ที่จะใช้ทดสอบคือ 4, 5, 6 และ 7 ของ Solar-Geomagnetic Reference Frame และใช้ Piecewise linear functions เป็นข้อมูลตัวแทนในเวลาหลัก (Time Domain) สำหรับการแปลงค่า Slant TEC ไปเป็น VTEC จะใช้โมเดลที่ modify จาก single-layer model mapping (MSLM) mapping function ซึ่งจะคำนวณมาจากมุมสูงของดาวเทียม และในการคำนวณค่า Ionospheric Pierce Point (IPP) จะกำหนดชั้นบรรยากาศเป็นแบบ Spherical Layer มีรัศมี 6,821 กิโลเมตร (ความสูงพื้นโลกเหนือชั้นบรรยากาศ 450 กิโลเมตร รวมกับรัศมีโลก 6371 กิโลเมตร) ดังรูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่าง THTM40612.INX ของวันที่ 12 มิถุนายน 2558



รูป 4.1 สถานีฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (สถานีสีแดง)

1	START OF TEC MAP														
2015	6	12	0	0	0	EPOCH OF CURRENT MAP									
25.0	84.0	120.0	0.5	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
-23	-21	-20	-18	-16	-14	-13	-11	-9	-7	-5	-3	-1	1	3	5
7	9	11	13	15	18	20	22	24	26	29	31	33	35	38	40
42	44	47	49	51	54	56	58	61	63	66	68	70	73	75	77
80	82	84	87	89	92	94	96	99	101	103	106	108	110	113	115
117	120	122	124	127	129	131	134	136	LAT/LON1/LON2/DLON/H						
24.5	84.0	120.0	0.5	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
-6	-4	-3	-1	1	2	4	6	8	10	12	13	15	17	19	21
23	25	28	30	32	34	36	38	40	43	45	47	49	52	54	56
59	61	63	65	68	70	73	75	77	80	82	84	87	89	91	94
96	99	101	103	106	108	111	113	115	118	120	122	125	127	130	132
134	137	139	141	144	146	148	151	153	LAT/LON1/LON2/DLON/H						
24.0	84.0	120.0	0.5	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
9	11	12	14	16	17	19	21	23	25	26	28	30	32	34	36
38	40	42	44	47	49	51	53	55	57	60	62	64	66	69	71
73	76	78	80	83	85	87	90	92	94	97	99	102	104	106	109
111	114	116	118	121	123	126	128	130	133	135	138	140	142	145	147
149	152	154	157	159	161	164	166	168	LAT/LON1/LON2/DLON/H						
23.5	84.0	120.0	0.5	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
23	24	26	27	29	31	33	34	36	38	40	42	44	46	48	50
52	54	56	58	60	62	64	66	68	71	73	75	77	80	82	84
87	89	91	94	96	98	101	103	105	108	110	112	115	117	120	122
125	127	129	132	134	137	139	141	144	146	149	151	153	156	158	161
163	166	168	170	173	175	177	180	182	LAT/LON1/LON2/DLON/H						
23.0	84.0	120.0	0.5	450.0	LAT/LON1/LON2/DLON/H										
35	36	38	39	41	43	45	46	48	50	52	54	55	57	59	61
63	65	67	70	72	74	76	78	80	83	85	87	89	92	94	96
98	101	103	105	108	110	112	115	117	120	122	124	127	129	132	134
137	139	141	144	146	149	151	154	156	158	161	163	166	168	171	173
175	178	180	183	185	187	190	192	195	LAT/LON1/LON2/DLON/H						

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่าง THAI40612.INX ของวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ. 2558

4.2 การประมวลผลค่าพิกัดจุดเดี่ยวโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ

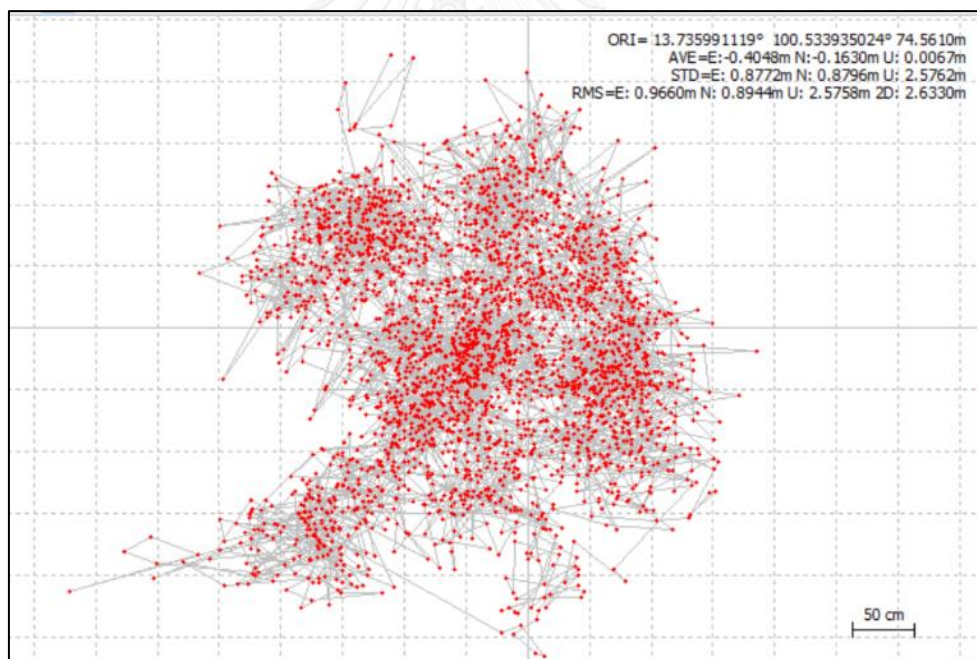
การประมวลผลค่าพิกัดจุดเดี่ยว (Single Point Positioning) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.3 ในการประมวลผลค่าพิกัด เนื่องจากสามารถตั้งค่าการเลือกใช้การแก้ความคลาดเคลื่อนไอโอโนสเฟียร์ได้หลากหลาย ในขั้นตอนการใช้งานประมวลผลสามารถดูได้ที่ ภาพผนวก ข และผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจะเป็นค่าพิกัดในระบบละติจูดและลองจิจูดและความสูงแต่ละ Epoch ในรูปของไฟล์ POS ดังรูปที่ 4.3 ตัวอย่างไฟล์ POS และสามารถนำผลลัพธ์ที่ได้เทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงของสถานีเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด ENU ได้ ดังรูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงค่าพิกัดเทียบกับค่าอ้างอิง

```

% program : RTKPOST ver.2.4.3 b8
% inp file : D:\Thesis_Process_RTKLIB\DOY014\CUUT0140.150
% inp file : D:\Thesis_Process_RTKLIB\DOY014\brdc0140.15n
% obs start : 2015/01/14 00:00:00.0 GPST (week1827 259200.0s)
% obs end : 2015/01/14 23:59:30.0 GPST (week1827 345570.0s)
% pos mode : single
% elev mask : 15.0 deg
% ionos opt : ionex tec
% tropo opt : est ztd+grad
% ephemeris : broadcast
%
% (lat/lon/height=WGS84/ellipsoidal,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
% GPST latitude(d'') longitude(d'') height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m) sdne(m) sdeu(m) sdu(m) age(s) ratio
2015/01/14 00:00:00.000 13 44 09.53321 100 32 02.11810 74.3656 5 7 1.7897 2.3205 6.2263 -0.5178 2.6240 -1.7579 0.00 0.0
2015/01/14 00:00:30.000 13 44 09.52907 100 32 02.13055 74.8920 5 7 1.7894 2.3298 6.2524 -0.5229 2.6544 -1.7572 0.00 0.0
2015/01/14 00:01:00.000 13 44 09.53280 100 32 02.13287 75.7016 5 7 1.7891 2.3393 6.2789 -0.5281 2.6849 -1.7565 0.00 0.0
2015/01/14 00:01:30.000 13 44 09.52669 100 32 02.13288 75.3583 5 7 1.7888 2.3491 6.3060 -0.5332 2.7155 -1.7557 0.00 0.0
2015/01/14 00:02:00.000 13 44 09.51639 100 32 02.11054 73.5208 5 7 1.7885 2.3591 6.3336 -0.5382 2.7464 -1.7549 0.00 0.0
2015/01/14 00:02:30.000 13 44 09.53281 100 32 02.12003 75.3736 5 7 1.7882 2.3693 6.3617 -0.5433 2.7774 -1.7541 0.00 0.0
2015/01/14 00:03:00.000 13 44 09.52129 100 32 02.12679 74.9373 5 7 1.7879 2.3799 6.3906 -0.5481 2.8088 -1.7530 0.00 0.0
2015/01/14 00:03:30.000 13 44 09.53319 100 32 02.12557 74.8997 5 7 1.7878 2.3907 6.4202 -0.5527 2.8404 -1.7517 0.00 0.0
2015/01/14 00:04:00.000 13 44 09.52556 100 32 02.11938 75.2199 5 7 1.7876 2.4017 6.4504 -0.5572 2.8723 -1.7503 0.00 0.0
2015/01/14 00:04:30.000 13 44 09.52431 100 32 02.12033 74.9572 5 7 1.7874 2.4131 6.4811 -0.5617 2.9044 -1.7490 0.00 0.0
2015/01/14 00:05:00.000 13 44 09.53156 100 32 02.12679 74.9206 5 7 1.7872 2.4247 6.5124 -0.5662 2.9366 -1.7476 0.00 0.0
2015/01/14 00:05:30.000 13 44 09.52376 100 32 02.12266 74.6541 5 7 1.7871 2.4365 6.5443 -0.5707 2.9692 -1.7462 0.00 0.0
2015/01/14 00:06:00.000 13 44 09.52421 100 32 02.14005 75.7566 5 7 1.7869 2.4486 6.5767 -0.5751 3.0019 -1.7448 0.00 0.0
2015/01/14 00:06:30.000 13 44 09.51992 100 32 02.11926 74.3313 5 7 1.7867 2.4610 6.6096 -0.5795 3.0349 -1.7434 0.00 0.0
2015/01/14 00:07:00.000 13 44 09.52068 100 32 02.11761 74.6598 5 7 1.7865 2.4737 6.6432 -0.5839 3.0681 -1.7420 0.00 0.0
2015/01/14 00:07:30.000 13 44 09.54028 100 32 02.11788 73.8207 5 7 1.7864 2.4866 6.6773 -0.5882 3.1016 -1.7406 0.00 0.0
2015/01/14 00:08:00.000 13 44 09.52313 100 32 02.10628 74.1823 5 7 1.7862 2.4998 6.7120 -0.5925 3.1353 -1.7392 0.00 0.0
2015/01/14 00:08:30.000 13 44 09.51965 100 32 02.10616 74.1492 5 7 1.7860 2.5133 6.7473 -0.5968 3.1692 -1.7378 0.00 0.0
2015/01/14 00:09:00.000 13 44 09.52635 100 32 02.11438 73.9698 5 7 1.7858 2.5271 6.7832 -0.6011 3.2035 -1.7364 0.00 0.0
2015/01/14 00:09:30.000 13 44 09.53947 100 32 02.12986 75.3904 5 7 1.7857 2.5411 6.8196 -0.6053 3.2379 -1.7350 0.00 0.0
2015/01/14 00:10:00.000 13 44 09.52085 100 32 02.11995 75.0209 5 7 1.7855 2.5555 6.8567 -0.6095 3.2727 -1.7336 0.00 0.0

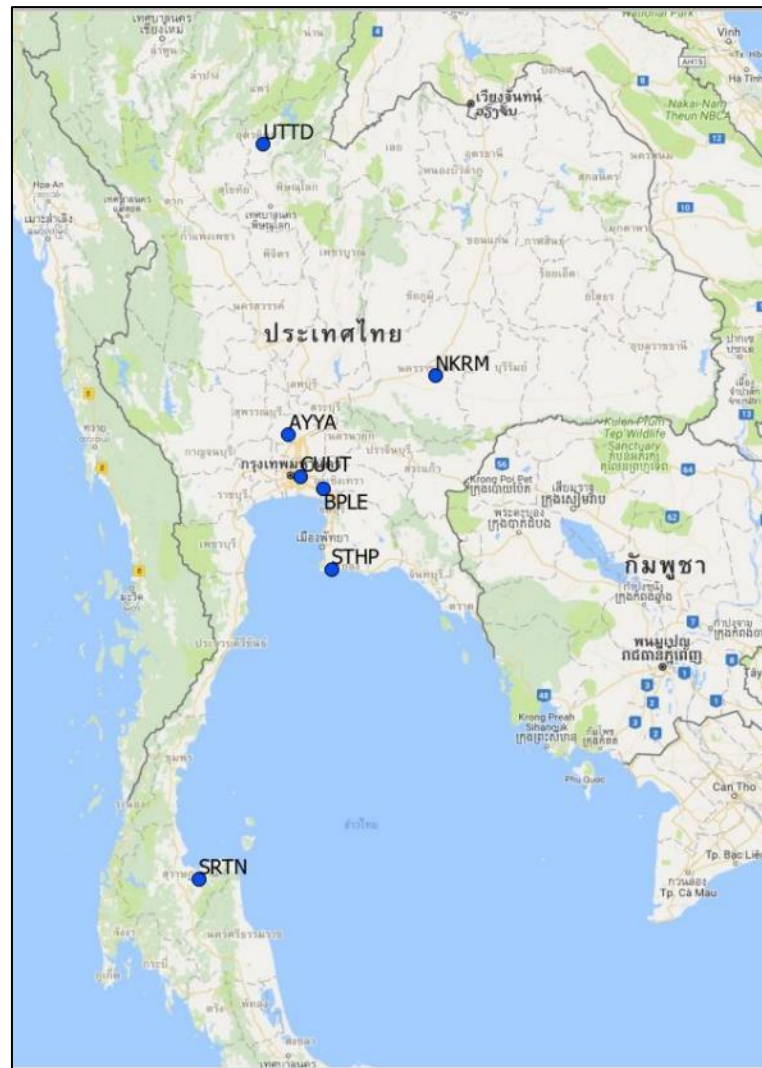
```

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างไฟล์ POS ที่สถานี CUUT วันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2558



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างแสดงค่าพิกัดเทียบกับค่าอ้างอิง

สถานีที่ใช้ในการทดสอบประมวลผลค่าพิกัดนั้นจะใช้สถานีที่ไม่ได้ใช้สร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาซึ่งได้แก่สถานี AYVA, BPLE, CUUT, NKRM, SRTN, STHP และ UTDD จำนวน 7 สถานี ดังรูปที่ 4.5 (สถานีสีน้ำเงิน) โดยทำการประมวลผลทุก ๆ 1 วัน



รูป 4.5 สถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบประมวลผลค่าพิกัด (สถานีสี่น้ำเงิน)

ผลลัพธ์ของการประมวลผลค่าพิกัดจุดเดียวโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ที่ต้องการจะได้แก่ ผลของการใช้ Klubochar Model, ผลของการใช้ Global Ionosphere Maps (GIM), ผลของการใช้ Ionosphere Model from QZSS และผลของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (THTM) โดยใช้ตรีและอันดับ Spherical Harmonic ที่แตกต่างกันจำนวน 4 แบบ รวมทั้งสิ้นจะได้ผลลัพธ์จำนวน 7 แบบ และรวมทั้งสร้างผลลัพธ์ของการใช้ Ionosphere-free Linear Combination ของเครื่องรับสองความถี่เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบความถูกต้องด้วยวิธีการทางสถิติทดสอบสมมติฐาน

4.3 วิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องด้วยวิธีการทางสถิติทดสอบสมมุติฐาน

4.3.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องของค่าพิกัด

การวิเคราะห์ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลด้วยแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ทั้ง 7 แบบ จะใช้ค่าพิกัดอ้างอิงของแต่ละสถานีที่หน่วยงานเจ้าของสถานีได้ทำการคำนวณด้วยการประมวลผลด้วยความละเอียดสูงและถูกบันทึกไว้ในไฟล์ Rinex ของแต่ละสถานี ดังตาราง 4.1 ค่าพิกัดของแต่ละสถานีทดสอบ เป็นตัวเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพิกัด และแสดงผลของค่าคลาดเคลื่อนออกมาในรูปแบบของค่าพิกัด ENU (East, North, Up)

ลำดับ	ชื่อสถานี	Latitude	Longitude	Height (m)
1	AYYA	14.364311	100.576763	-14.7077
2	BPLE	13.592025	100.832118	-18.5374
3	CUUT	13.735991	100.533935	74.5610
4	NKRM	14.992081	102.129429	152.4313
5	SRTN	9.132225	99.331361	9.9490
6	STHP	12.662821	100.904064	-17.4371
7	UTTD	17.630093	100.096343	51.2614

ตาราง 4.1 ค่าพิกัดของแต่ละสถานีทดสอบ

4.3.2 การทดสอบสมมุติฐานความแปรปรวนของสองประชากร (F-Test Statistic)

การทดสอบสมมุติฐานความแปรปรวนของสองประชากรคือการทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยกรณีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันเพื่อพิสูจน์ว่าความแปรปรวนของทั้ง 2 กลุ่มประชากรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

4.3.2.1 การแจกแจงเอฟ (F - distribution)

การแจกแจงเอฟนั้นมีความสำคัญในการทดสอบสมมุติฐานความเท่ากันของความแปรปรวนของประชากร โดยเมื่อ S_1^2 และ S_2^2 คือความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่สุ่มมาจาก ประชากรที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน และมีขนาดเท่ากับ n_1 และ n_2 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาโดยการสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติจะได้

$$f = \frac{S_1^2}{S_2^2} \text{ ที่เป็นตัวแทนในการทดสอบสมมุติฐานของการแจกแจงแบบเอฟ}$$

4.3.2.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมุติฐาน

- 1) ทำการตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรซึ่งกลุ่มตัวอย่างต้องได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน และประชากรมีการแจกแจงปกติ
- 2) กำหนดสมมุติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบ
- 3) กำหนดค่าระดับความเชื่อมั่น
- 4) คำนวณค่า $f = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ ที่เป็นตัวแทนในการทดสอบสมมุติฐานการแจกแจงเอฟ
- 5) กำหนดขอบเขตวิกฤตโดยให้ค่า F วิกฤตจากค่าระดับความเชื่อมั่นและองศาเสรีของประชากร (df) เมื่อ $df_1 = n_1 - 1$, $df_2 = n_2 - 1$
- 6) สรุปผลการทดสอบสมมุติฐาน

4.3.3 การทดสอบสมมุติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากร (T-Test Statistic)

การทดสอบสมมุติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรคือการทดสอบค่าเฉลี่ยกรณีกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกันโดยพิจารณาที่ความแปรปรวนของของกลุ่มประชากรมีความเท่ากันหรือไม่ซึ่งมีวิธีการคำนวณ 2 กรณีด้วยกันคือ กรณีความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$) และกรณีความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทดสอบกรณีความแปรปรวนของประชากร 2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน

4.3.3.1 ขั้นตอนการทดสอบค่าเฉลี่ยของสองประชากรกรณีความแปรปรวนของประชากร

2 กลุ่มมีค่าเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$)

- 1) ทำการตรวจสอบตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรซึ่งกลุ่มตัวอย่างต้องได้มาโดยการสุ่มที่เป็นอิสระจากกัน และประชากรมีการแจกแจงปกติ
- 2) กำหนดสมมุติฐานทางสถิติสำหรับการทดสอบ
- 3) กำหนดค่าระดับความเชื่อมั่น
- 4) ทดสอบสมมุติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
- 4) คำนวณค่าค่า $T = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{Sp^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$ เมื่อ $Sp^2 = \frac{(n_1)s_1^2 + (n_2)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$
- 5) กำหนดขอบเขตวิกฤตโดยให้ค่า T วิกฤตจากค่าระดับความเชื่อมั่นและองศาเสรีของประชากร (df) เมื่อ $df = n_1 + n_2 - 2$
- 6) สรุปผลการทดสอบสมมุติฐาน

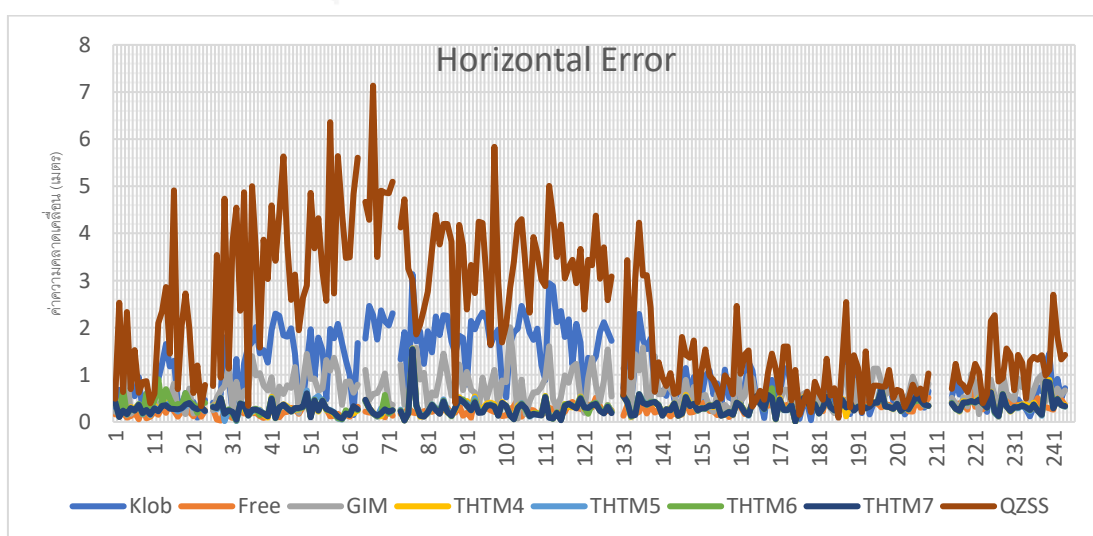
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนระหว่างค่าพิกัดสถานีฐานที่ได้จากประมวลผลโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ กับค่าพิกัดอ้างอิงของสถานีฐานของทั้ง 7 สถานีด้วยกัน ซึ่งในแต่ละสถานีจะมีค่าคลาดเคลื่อนทั้งหมดจำนวน 8 ชุด ประกอบไปด้วยค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้ Klubochar Model, ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้ Global Ionosphere Maps (GIM), ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้ Ionosphere Model from QZSS, ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (THTM) ที่ใช้ดีกรีและอันดับที่แตกต่างกัน 4 แบบ (THTM4, THTM5, THTM6, THTM7) และค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้ Ionosphere-free Linear Combination

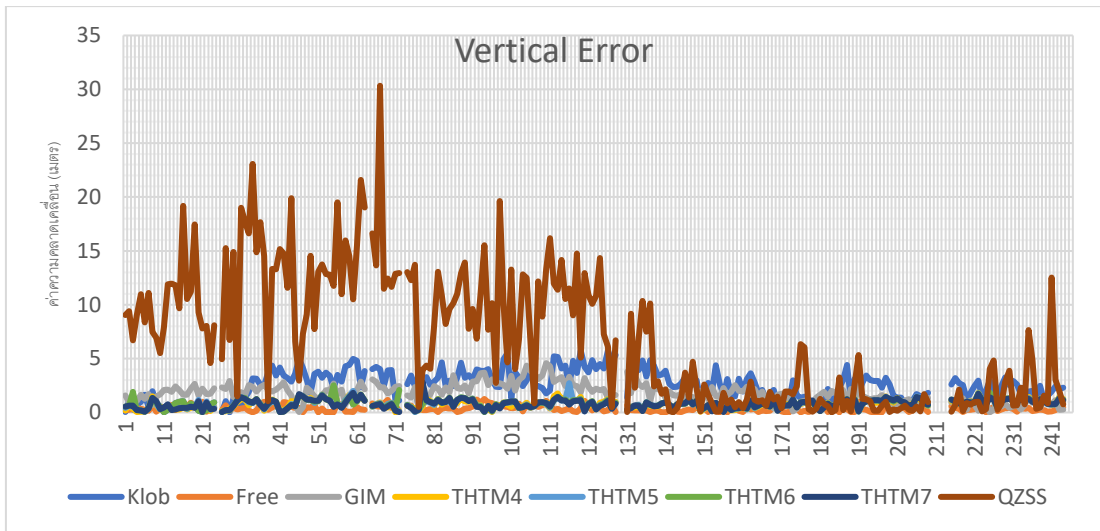
5.1 สรุปค่าความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงของแต่ละสถานีทดสอบในระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน พ.ศ. 2558

5.1.1 สถานี AYYA

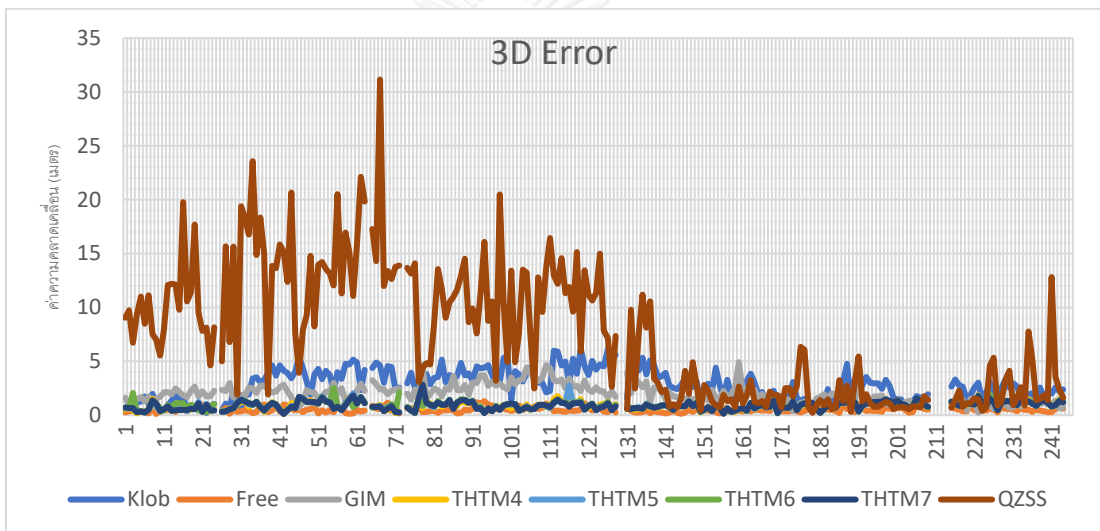
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี AYYA ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 234 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.1 -5.3 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA



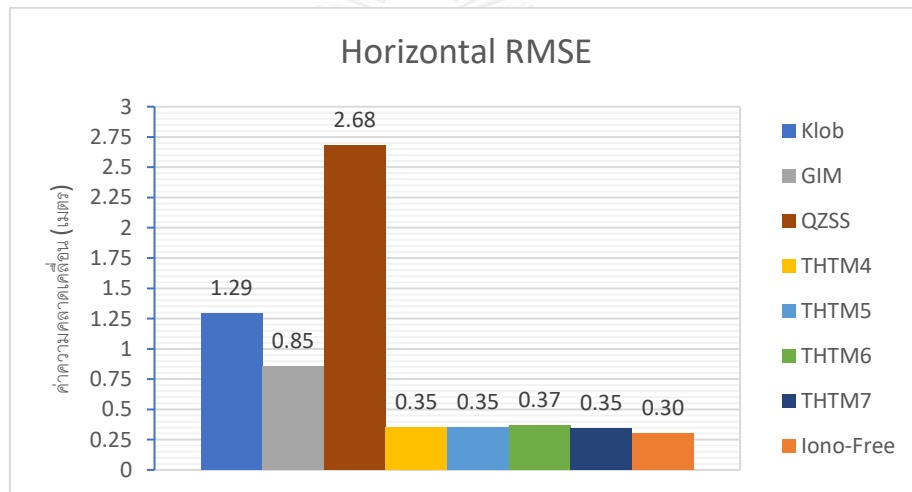
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA

จากรูปที่ 5.1 – 5.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี AYYA แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 1 – 135) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

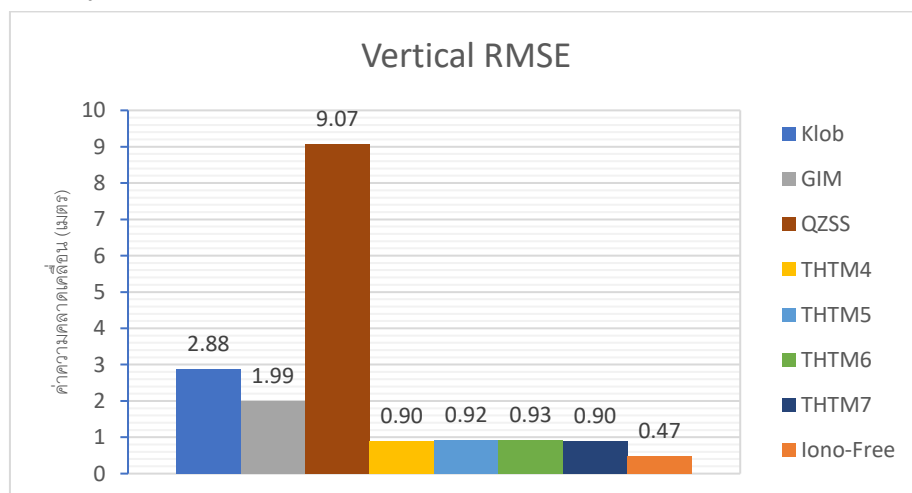
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.4 – 5.6 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.01	3.34	1.05	1.29	0.01	5.77	2.54	2.88	0.01	6.67	2.75	3.15
GIM	0.00	4.66	0.67	0.85	0.01	4.58	1.80	1.99	0.01	6.53	1.92	2.17
QZSS	0.08	7.31	2.17	2.68	0.01	30.33	6.78	9.07	0.08	31.20	7.12	9.46
THTM 4	0.00	1.64	0.29	0.35	0.01	2.48	0.80	0.90	0.01	2.97	0.85	0.97
THTM 5	0.01	1.63	0.29	0.35	0.03	2.72	0.82	0.92	0.03	3.17	0.87	0.99
THTM 6	0.00	1.79	0.29	0.37	0.02	2.52	0.83	0.93	0.02	3.09	0.88	1.00
THTM 7	0.00	1.63	0.28	0.35	0.04	2.81	0.80	0.90	0.04	3.25	0.85	0.96
lonosphere-free	0.01	0.75	0.26	0.30	0.00	1.25	0.38	0.47	0.01	1.46	0.46	0.56

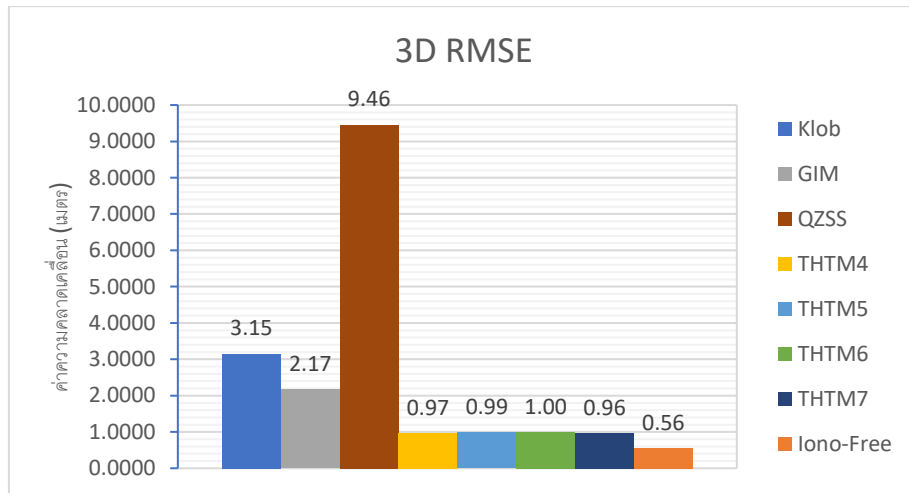
ตารางที่ 5.1 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี AYYA (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA

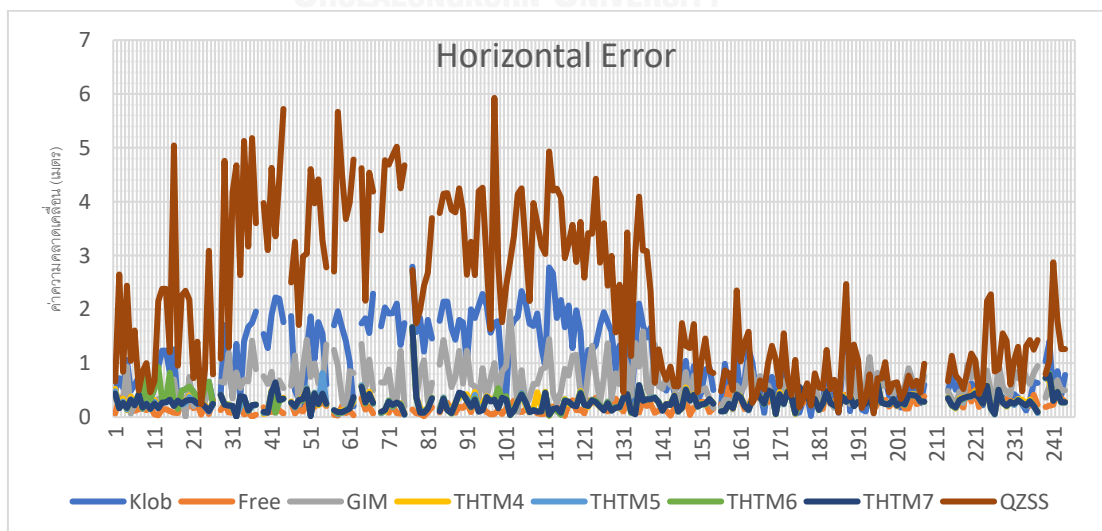


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี AYYA

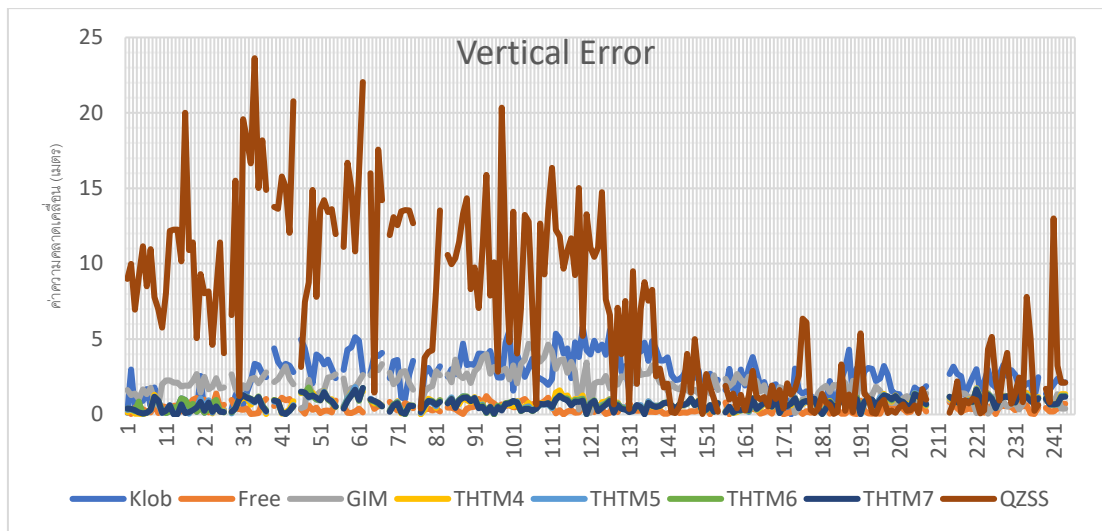
จากรูปที่ 5.4 – 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี AYYA แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.2 สถานี BPLE

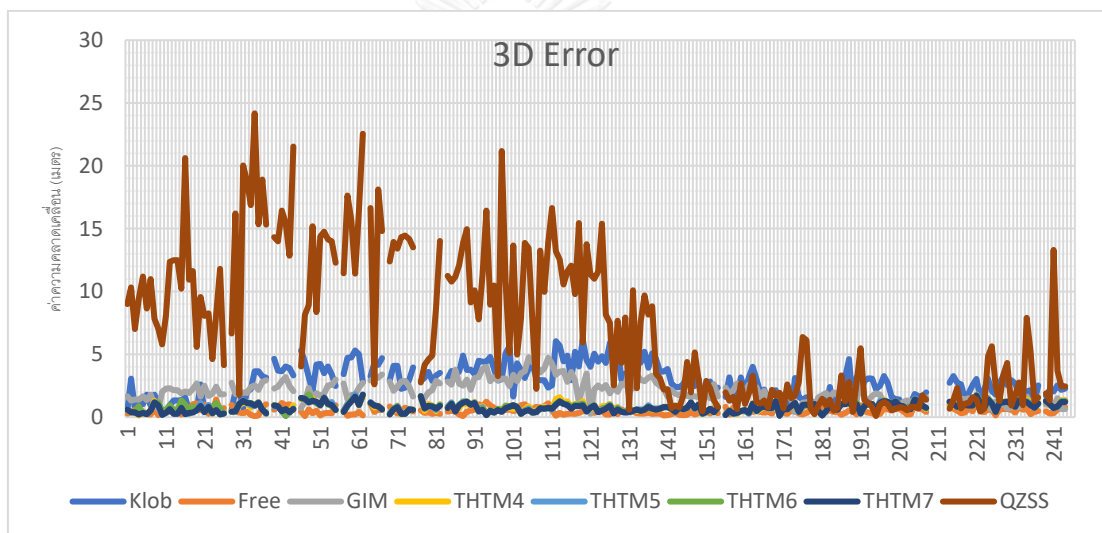
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี BPLE ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 229 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.7 -5.9 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE



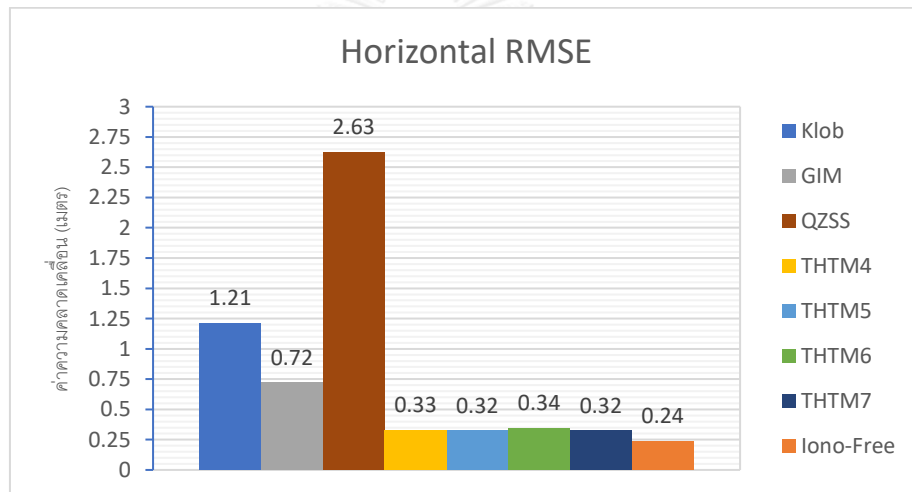
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE

จากรูปที่ 5.7 – 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี BPLE แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 1 – 135) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

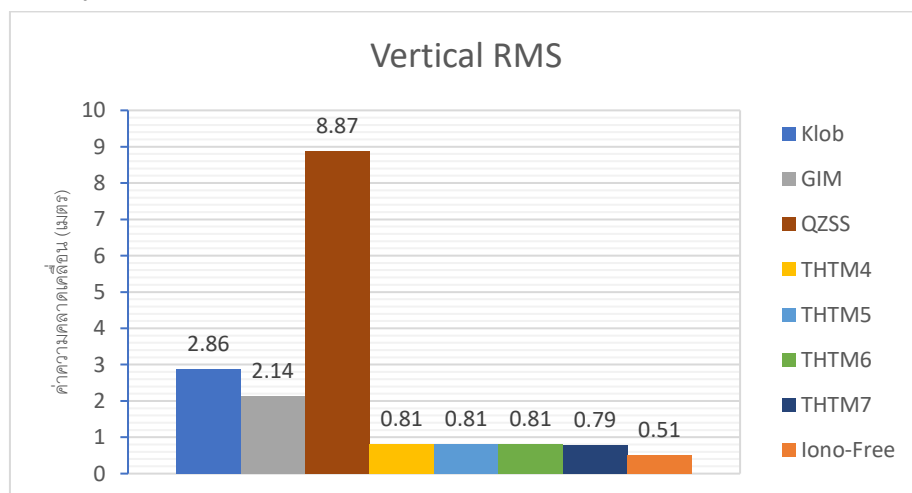
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.10 – 5.12 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.01	3.24	0.98	1.21	0.01	5.82	2.54	2.86	0.01	6.66	2.72	3.11
GIM	0.00	2.24	0.60	0.72	0.05	4.69	1.92	2.14	0.05	5.20	2.02	2.25
QZSS	0.01	6.15	2.14	2.63	0.04	23.63	6.70	8.87	0.04	24.41	7.03	9.25
THTM 4	0.01	1.71	0.26	0.33	0.00	1.74	0.71	0.81	0.01	2.44	0.76	0.88
THTM 5	0.00	1.72	0.25	0.32	0.00	1.82	0.72	0.81	0.00	2.50	0.76	0.87
THTM 6	0.00	1.92	0.27	0.37	0.00	1.79	0.72	0.81	0.01	2.62	0.77	0.89
THTM 7	0.00	1.71	0.25	0.32	0.01	1.76	0.69	0.79	0.01	2.46	0.74	0.85
Ionosphere-free	0.00	0.73	0.19	0.24	0.00	1.39	0.42	0.51	0.00	1.57	0.47	0.56

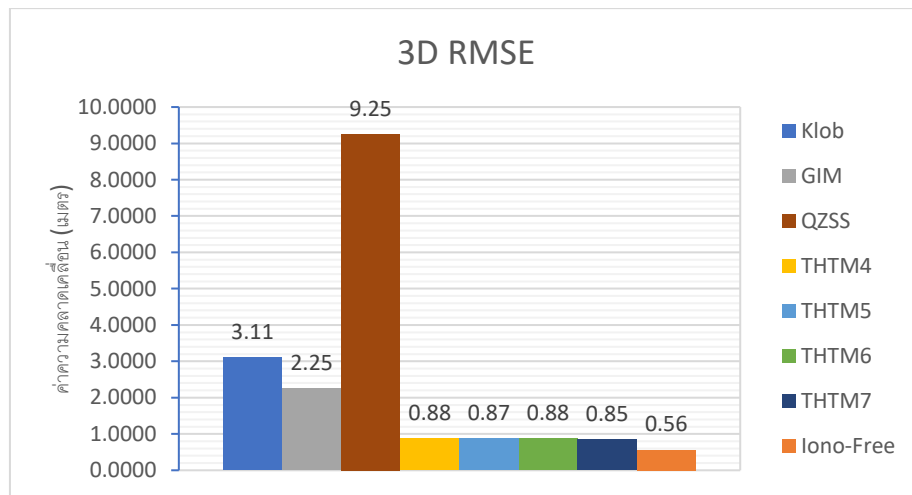
ตารางที่ 5.2 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี BPLE (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE

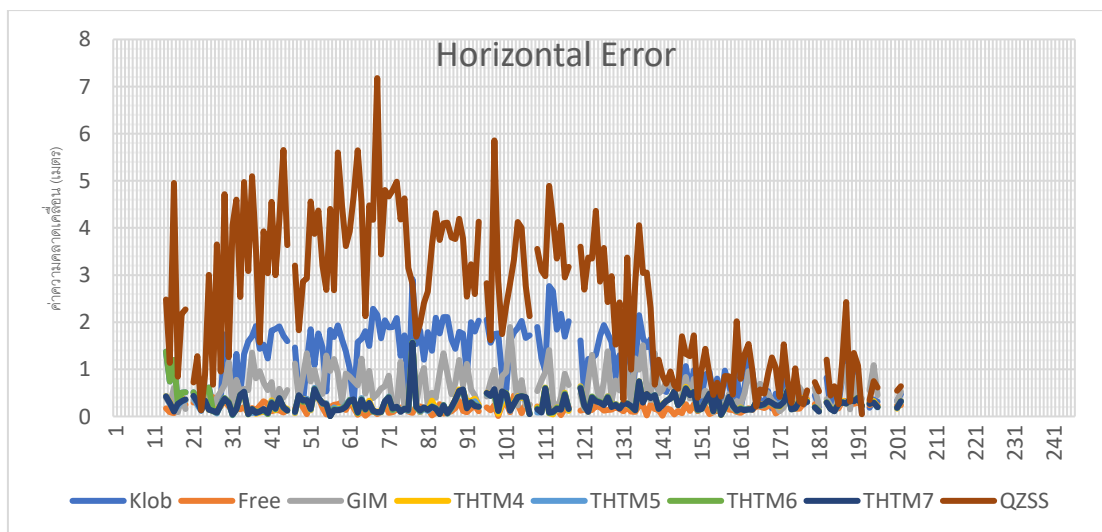


รูปที่ 5.12 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี BPLE

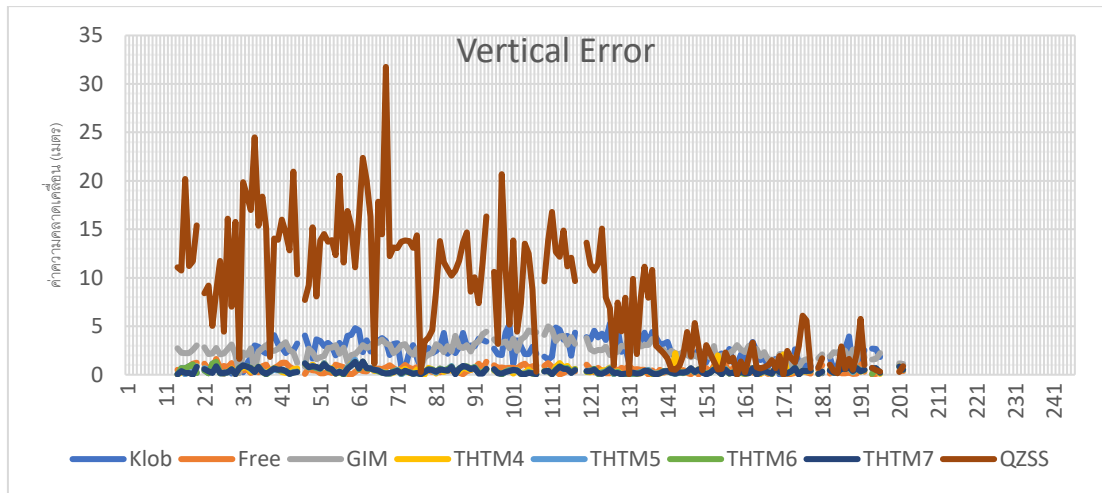
จากรูปที่ 5.10 – 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี BPLE แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.3 สถานี CUUT

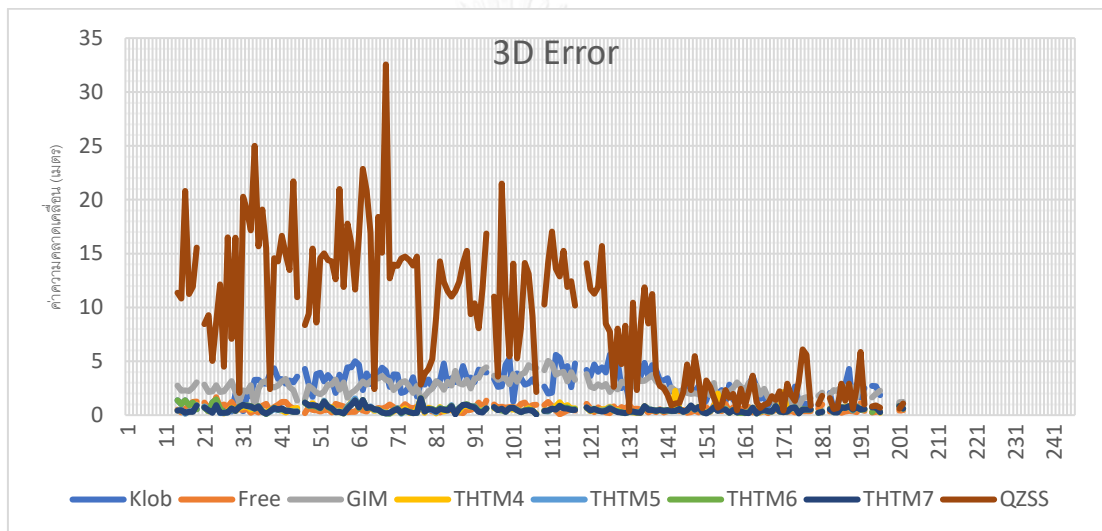
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี CUUT ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 176 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.13 -5.15 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี CUUT



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี CUUT



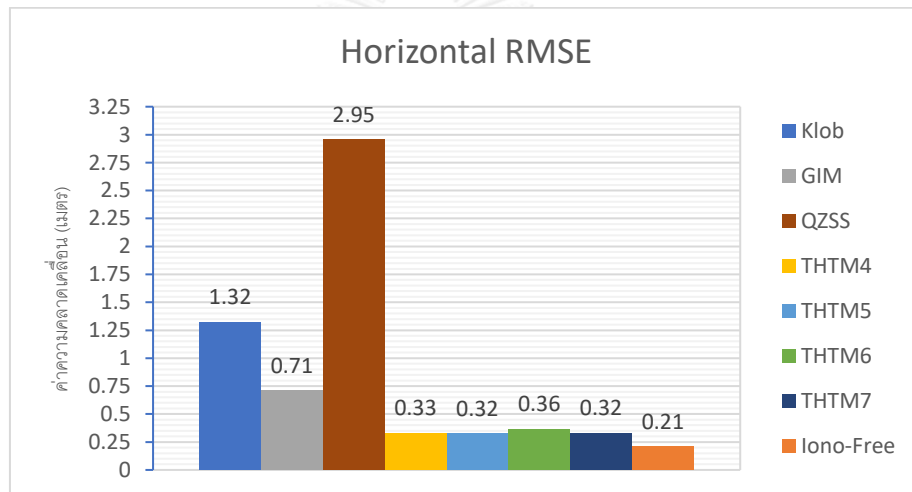
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี CUUT

จากรูปที่ 5.13 – 5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี CUUT แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 11 – 135) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

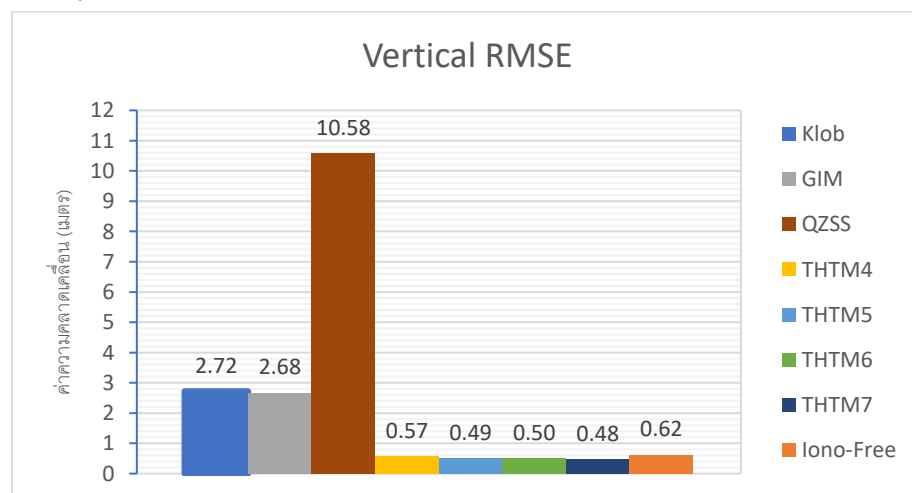
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.16 – 5.18 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.00	3.17	1.11	1.32	0.02	5.28	2.41	2.72	0.02	6.16	2.65	3.03
GIM	0.02	2.13	0.59	0.71	0.18	4.98	2.54	2.68	0.18	5.42	2.60	2.77
QZSS	0.03	7.35	2.48	2.95	0.01	31.76	8.38	10.58	0.03	32.59	8.74	10.98
THTM 4	0.00	1.61	0.25	0.33	0.01	2.22	0.44	0.57	0.01	2.74	0.51	0.66
THTM 5	0.00	1.62	0.25	0.32	0.02	1.54	0.40	0.49	0.02	2.23	0.48	0.59
THTM 6	0.00	2.05	0.26	0.36	0.00	1.36	0.41	0.50	0.01	2.46	0.49	0.62
THTM 7	0.00	1.60	0.25	0.32	0.00	1.37	0.39	0.48	0.01	2.11	0.47	0.58
Ionosphere-free	0.00	0.57	0.16	0.21	0.01	1.63	0.53	0.62	0.01	1.72	0.56	0.66

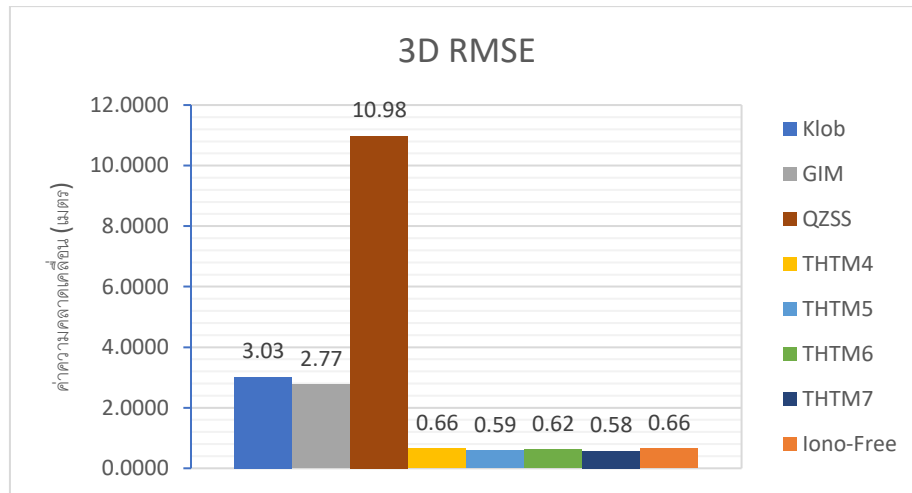
ตารางที่ 5.3 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี CUUT (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี CUUT



รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี CUUT

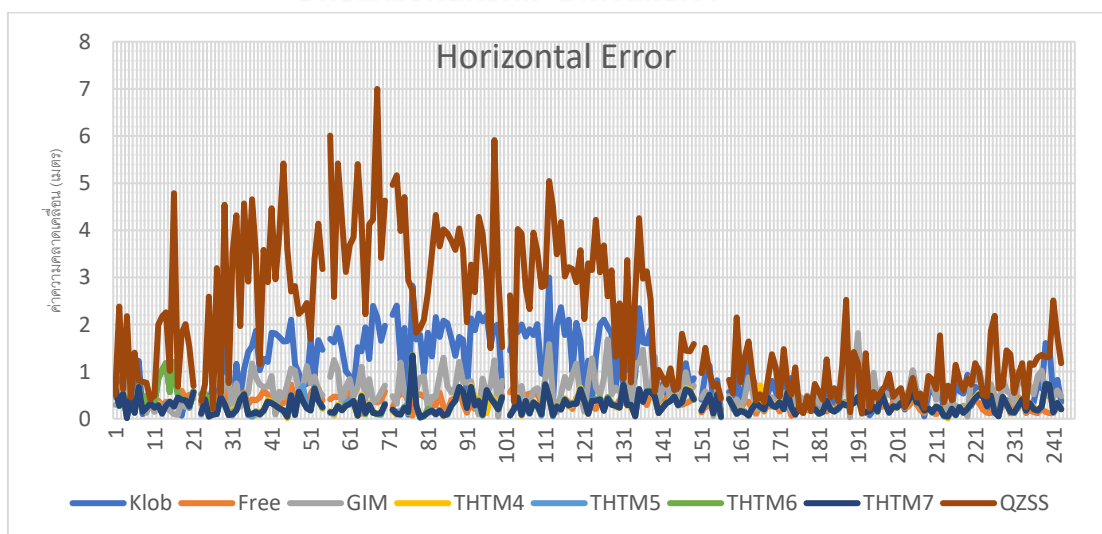


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี CUUT

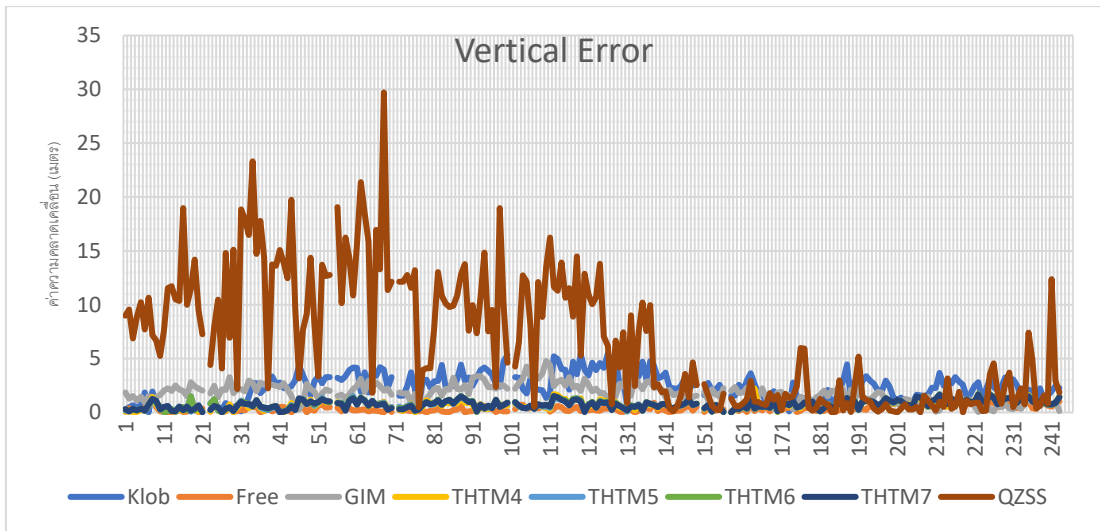
จากรูปที่ 5.16 – 5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี CUUT แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.4 สถานี NKRM

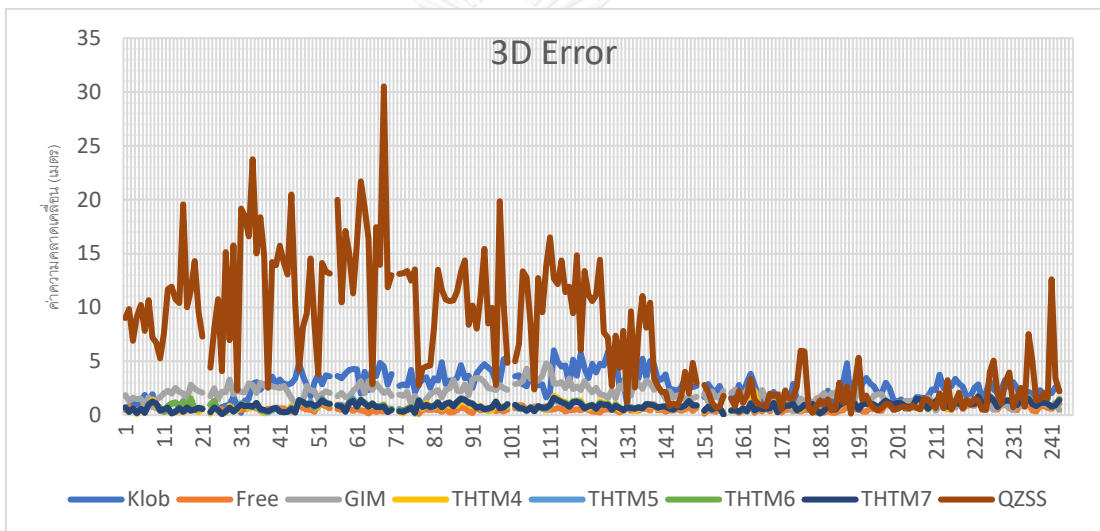
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี NKRM ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 237 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.19 -5.21 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี NKRM



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี NKRM



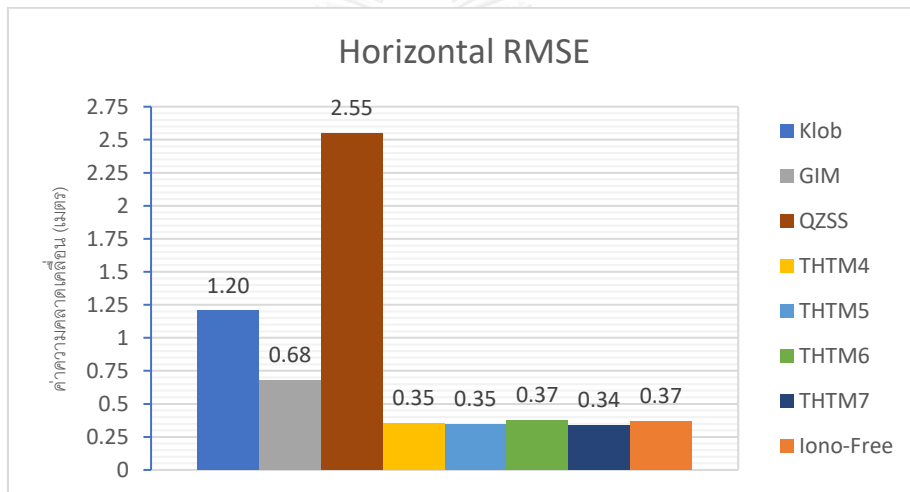
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี NKRM

จากรูปที่ 5.19 – 5.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี NKRM แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 1 – 135) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

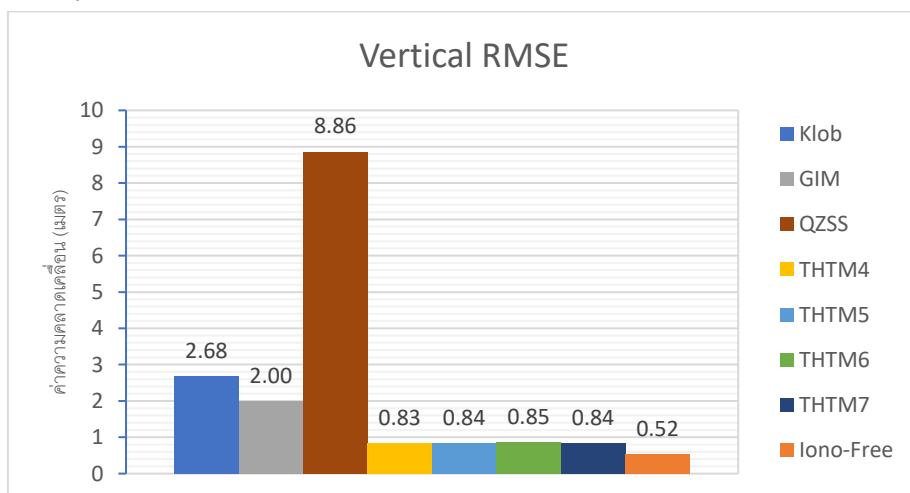
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.22 – 5.24 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.01	3.25	0.96	1.20	0.00	5.49	2.36	2.68	0.01	6.38	2.55	2.94
GIM	0.00	2.04	0.56	0.68	0.05	4.79	1.81	2.00	0.05	5.21	1.89	2.11
QZSS	0.01	7.12	2.03	2.55	0.01	29.71	6.60	8.86	0.01	30.55	6.90	9.22
THTM 4	0.00	1.41	0.27	0.35	0.00	2.23	0.73	0.83	0.00	2.63	0.78	0.90
THTM 5	0.00	1.40	0.27	0.35	0.00	1.71	0.75	0.84	0.00	2.21	0.80	0.91
THTM 6	0.00	1.80	0.28	0.37	0.01	1.71	0.76	0.85	0.01	2.48	0.81	0.93
THTM 7	0.00	1.38	0.27	0.34	0.01	1.68	0.75	0.84	0.01	2.17	0.79	0.90
Ionosphere-free	0.01	1.23	0.32	0.37	0.00	1.37	0.42	0.52	0.01	1.84	0.53	0.64

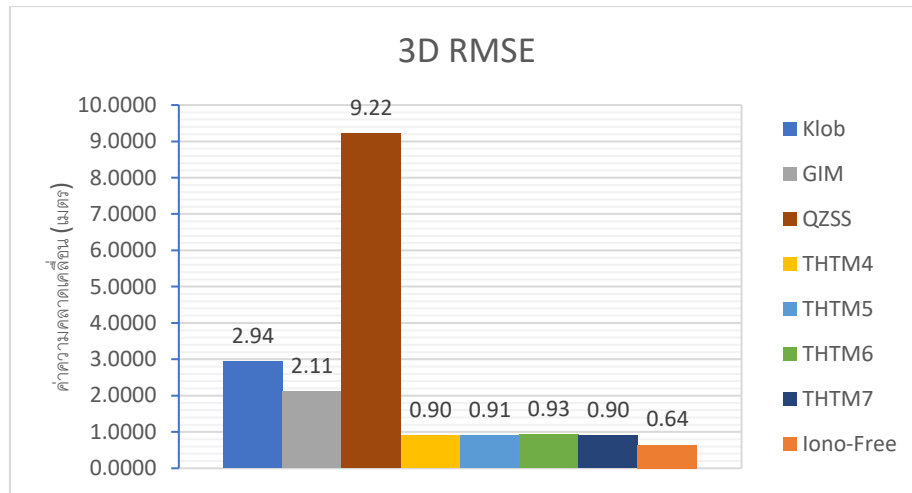
ตารางที่ 5.4 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี NKRM (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี NKRM



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี NKRM

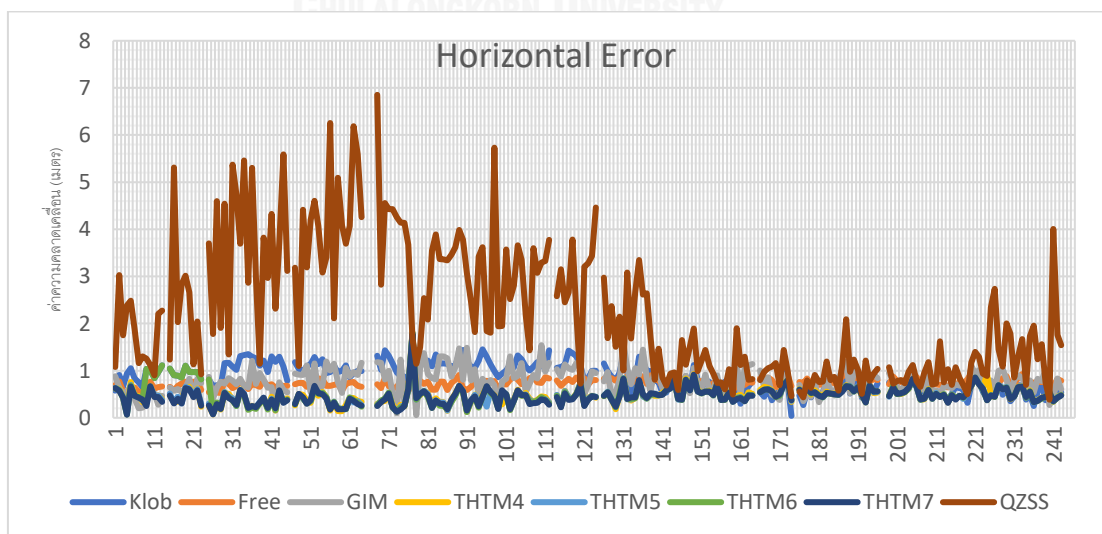


รูปที่ 5.24 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี NKRM

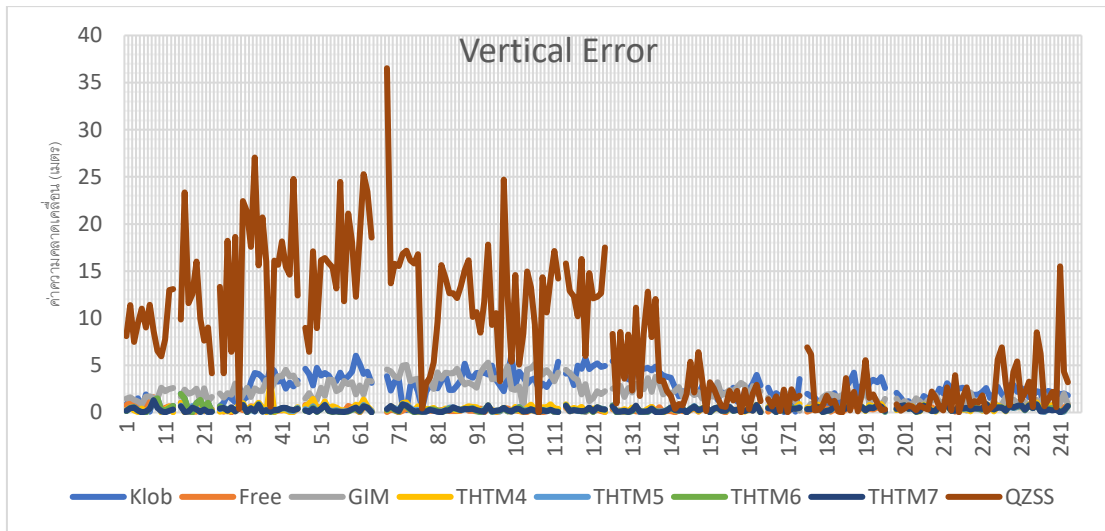
จากรูปที่ 5.22 – 5.24 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี NKRM แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.5 สถานี SRTN

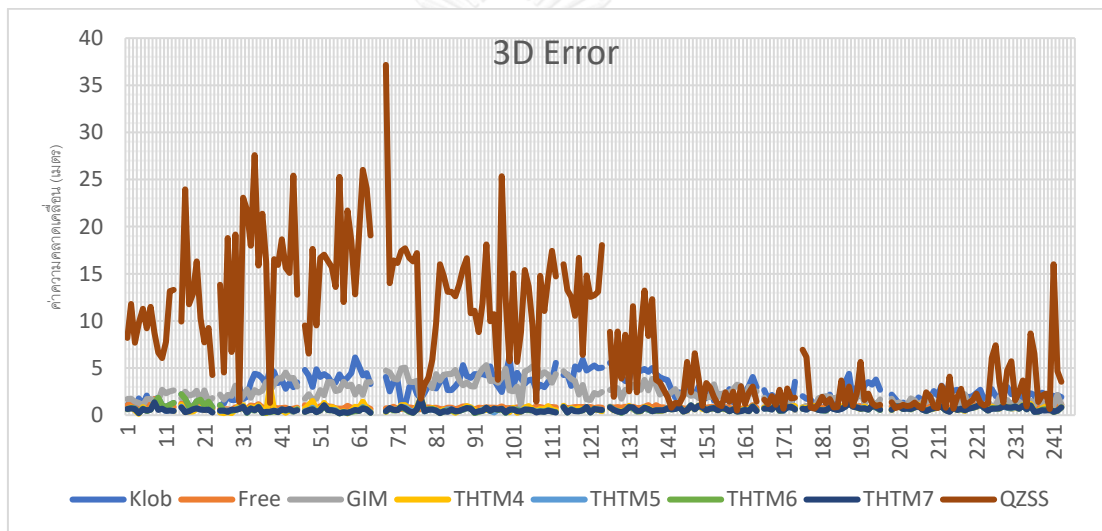
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี SRTN ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 232 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.25 -5.27 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN



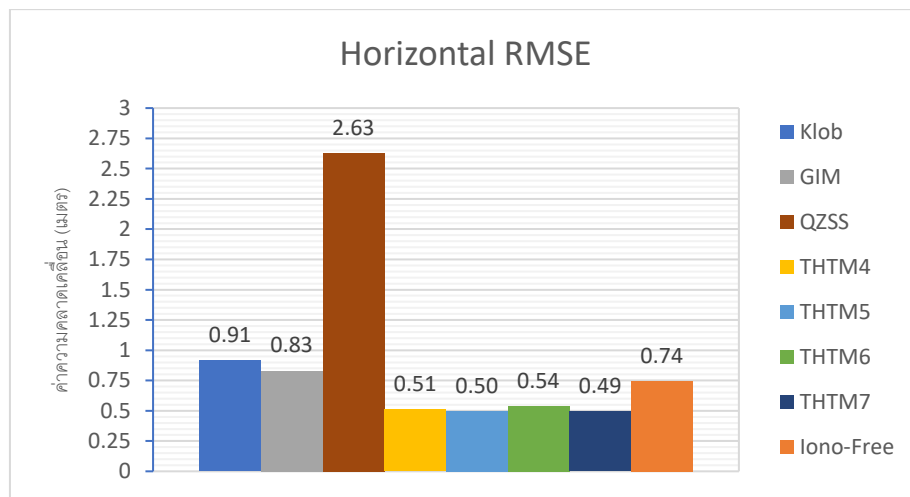
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN

จากรูปที่ 5.25 – 5.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี SRTN แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 1 – 135) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

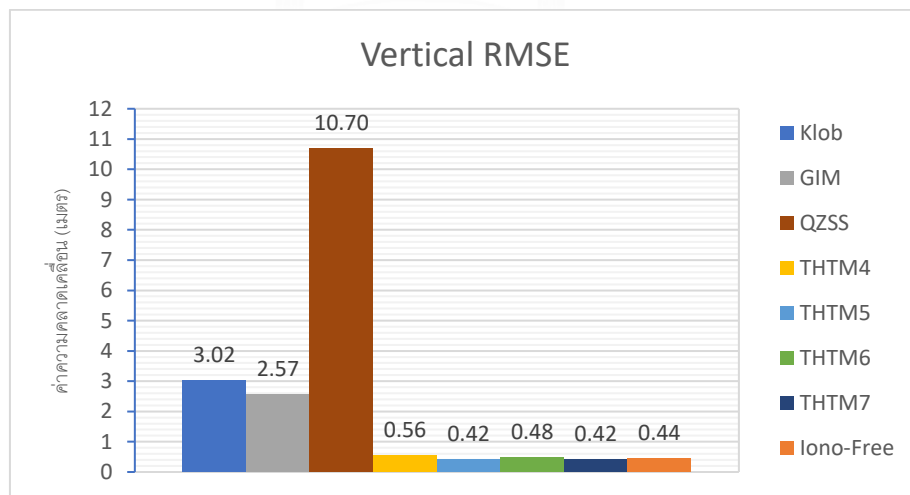
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.28 – 5.30 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.04	2.21	0.83	0.91	0.02	6.16	2.68	3.01	0.05	6.54	2.80	3.15
GIM	0.04	1.90	0.76	0.83	0.19	5.29	2.28	2.57	0.20	5.62	2.41	2.70
QZSS	0.09	7.05	2.18	2.63	0.01	36.52	7.99	10.70	0.09	37.20	8.28	11.01
THTM 4	0.00	1.83	0.44	0.51	0.02	3.26	0.44	0.56	0.02	3.73	0.63	0.76
THTM 5	0.01	1.82	0.43	0.50	0.00	1.29	0.35	0.42	0.01	2.24	0.56	0.65
THTM 6	0.01	2.02	0.46	0.54	0.00	1.97	0.37	0.48	0.01	2.82	0.59	0.72
THTM 7	0.00	1.81	0.43	0.49	0.00	1.30	0.34	0.42	0.00	2.23	0.55	0.65
Ionosphere-free	0.26	1.16	0.72	0.74	0.00	1.62	0.36	0.44	0.26	1.99	0.81	0.87

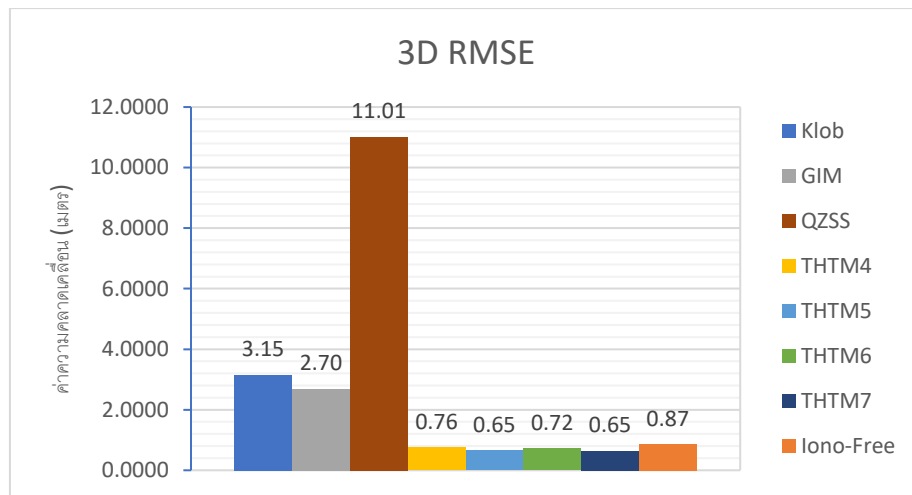
ตารางที่ 5.5 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี SRTN (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.28 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN

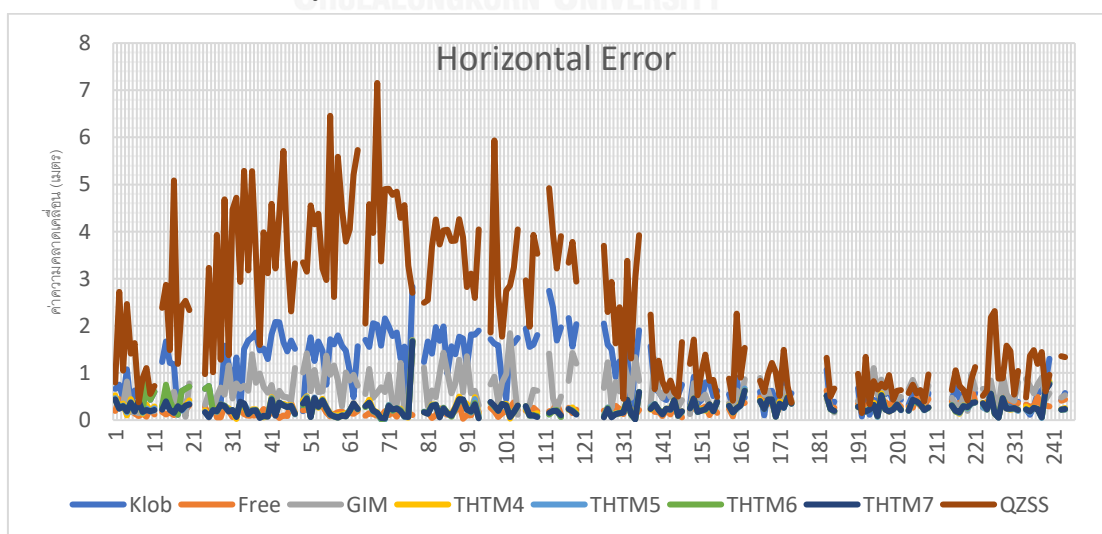


รูปที่ 5.30 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี SRTN

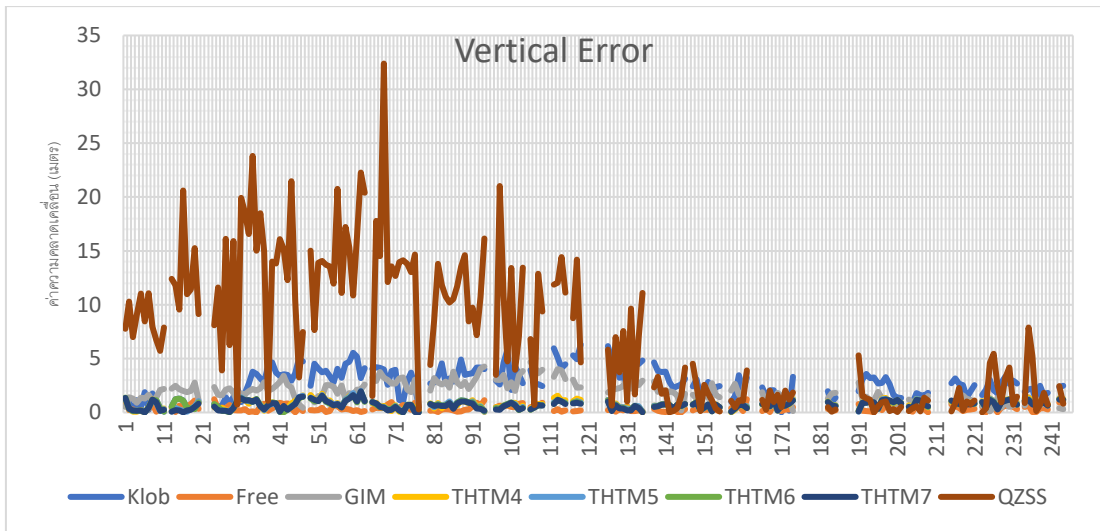
จากรูปที่ 5.28 – 5.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี SRTN แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.6 สถานี STHP

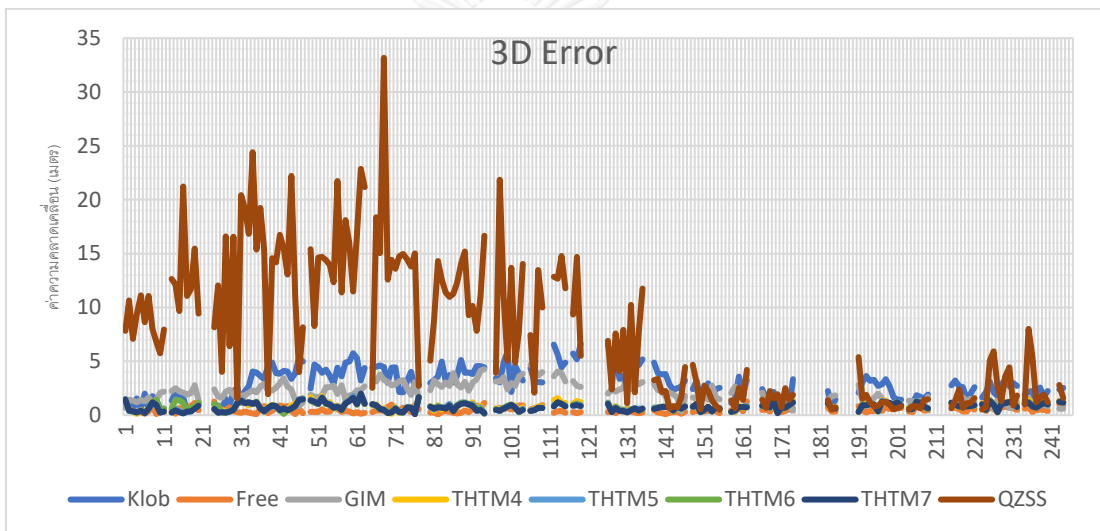
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี STHP ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 195 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.31 -5.33 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP



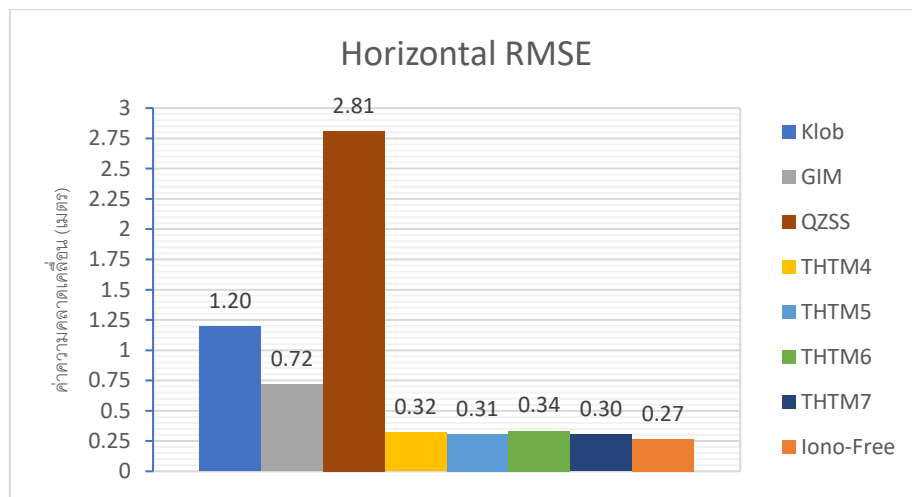
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP

จากรูปที่ 5.31 – 5.33 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี STHP แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 1 – 135) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

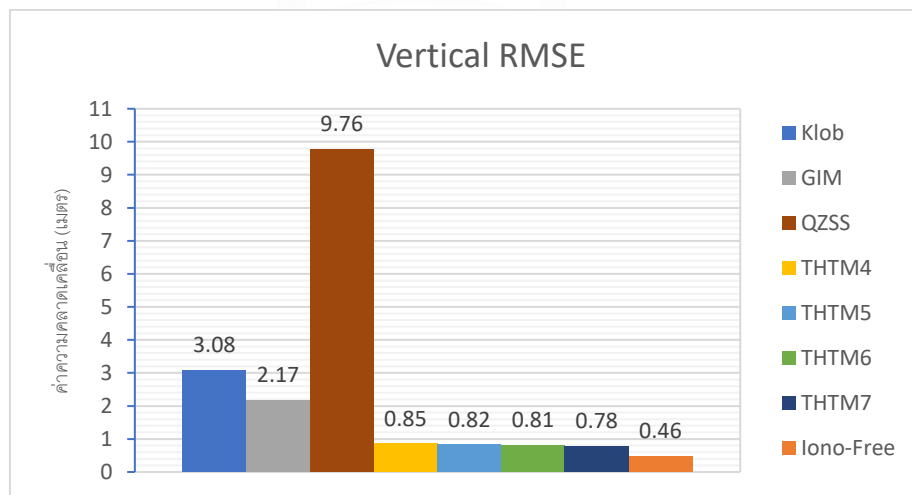
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.34 – 5.36 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.02	3.23	0.99	1.20	0.01	6.31	2.74	3.08	0.02	7.09	2.91	3.30
GIM	0.02	2.11	0.61	0.72	0.11	4.67	1.95	2.17	0.11	5.12	2.04	2.28
QZSS	0.04	7.35	2.30	2.81	0.01	32.39	7.31	9.76	0.04	33.22	7.66	10.16
THTM 4	0.00	1.75	0.99	0.32	0.02	1.85	0.75	0.85	0.02	2.55	1.24	0.91
THTM 5	0.00	1.74	0.24	0.31	0.01	2.01	0.72	0.82	0.01	2.66	0.76	0.87
THTM 6	0.00	1.88	0.25	0.38	0.01	1.93	0.72	0.81	0.01	2.69	0.76	0.89
THTM 7	0.00	1.72	0.23	0.30	0.01	1.96	0.69	0.78	0.01	2.61	0.73	0.84
Ionosphere-free	0.00	0.69	0.22	0.27	0.01	1.23	0.38	0.46	0.01	1.41	0.44	0.54

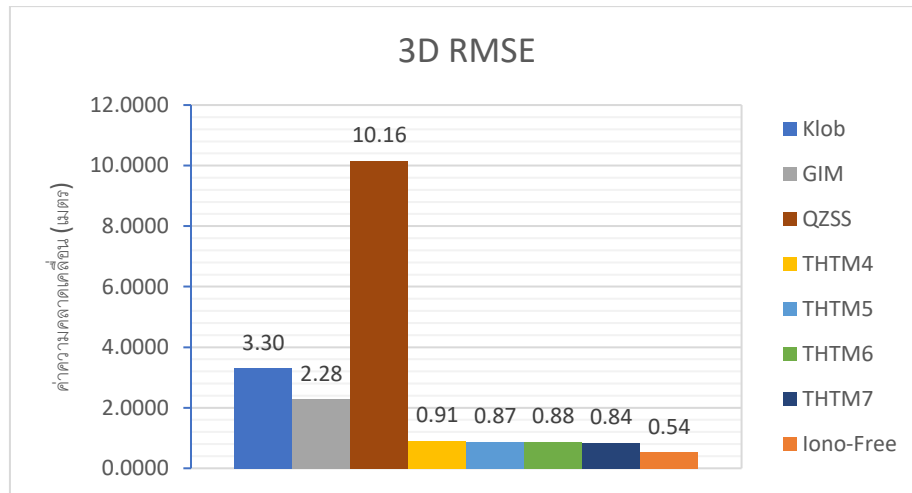
ตารางที่ 5.6 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี STHP (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแบบจำลองของสถานี STHP



รูปที่ 5.35 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแบบจำลองของสถานี STHP

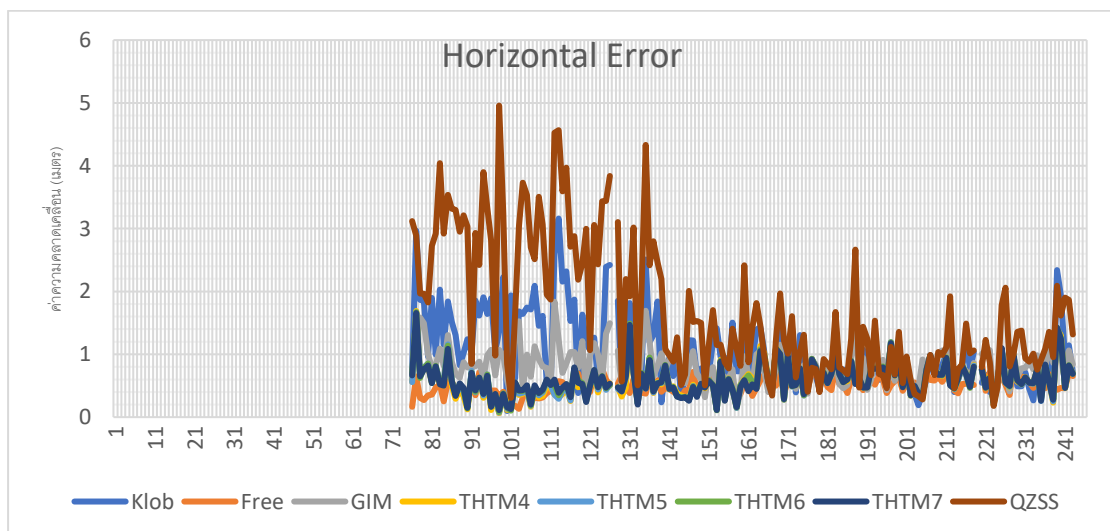


รูปที่ 5.36 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี STHP

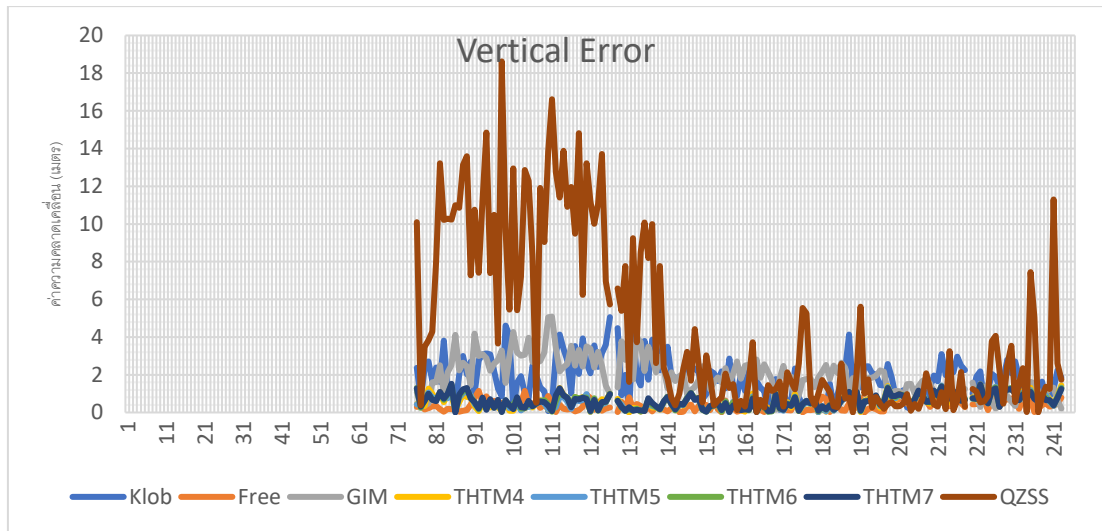
จากรูปที่ 5.34 – 5.36 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี STHP แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.7 สถานี UTTD

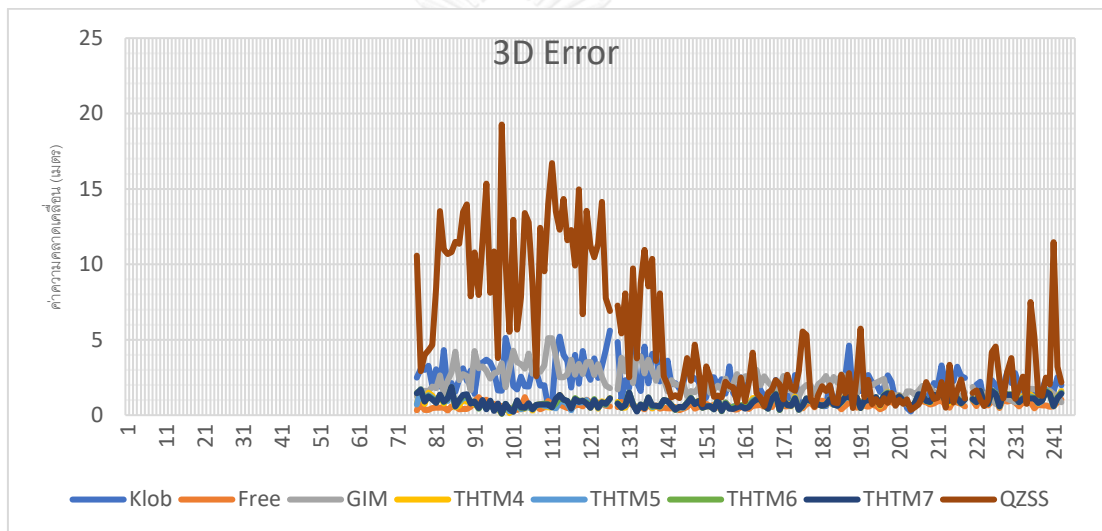
จากการประมวลผลค่าพิกัดที่สถานี UTTD ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคมถึง 1 กันยายน ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวน 166 วัน ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้งดังรูปที่ 5.37 -5.39 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนรายวันของแต่ละแบบจำลอง



รูปที่ 5.37 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางราบรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD



รูปที่ 5.38 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD



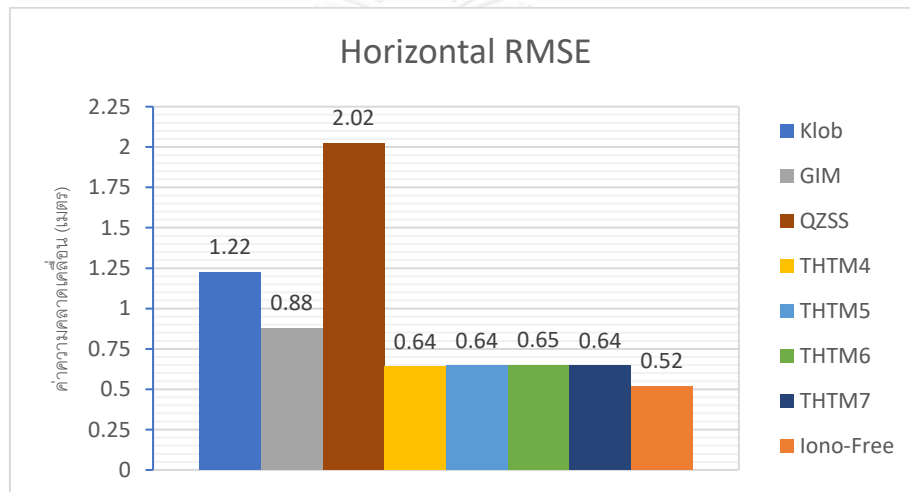
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงค่าคลาดเคลื่อนทางสามมิติรายวันของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD

จากรูปที่ 5.37 – 5.39 แสดงการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้งและสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี UTTD แสดงให้เห็นว่าในช่วงต้นปี (DOY ประมาณ 76 – 139) ค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่ในแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS ก่อนที่หลังจากนั้นจะมีขนาดที่เล็กลง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดเล็กและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับวิธี Free (Ionosphere-free Linear Combination)

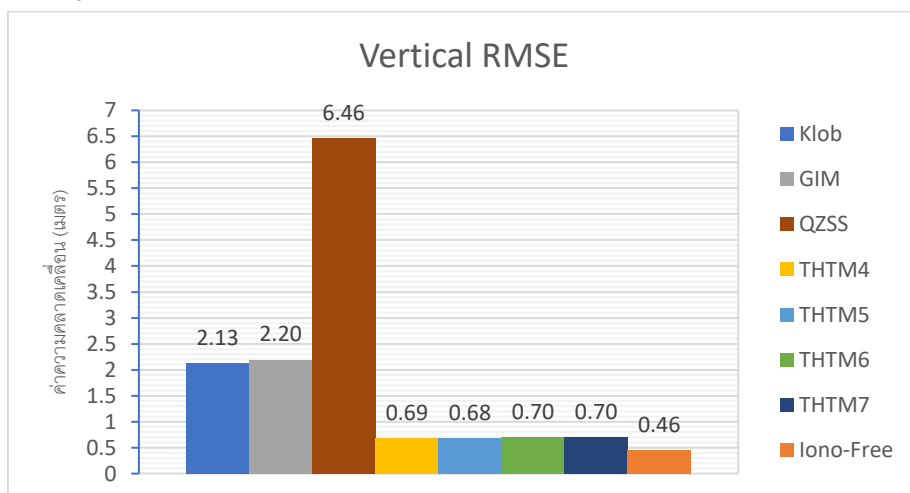
สรุปค่าทางสถิติเบื้องต้นได้ดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.40 – 5.42 กราฟแสดงค่า RMSE ของแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้	Horizontal				Vertical				3D			
	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE	Min	Max	Mean	RMSE
Klubochar Model	0.03	3.55	0.98	1.22	0.05	5.06	1.84	2.13	0.06	6.18	2.08	2.46
GIM	0.00	2.16	0.76	0.88	0.15	5.09	1.96	2.20	0.15	5.53	2.10	2.37
QZSS	0.03	5.22	1.62	2.02	0.00	18.62	4.49	6.46	0.03	19.34	4.78	6.77
THTM 4	0.01	1.76	0.55	0.64	0.00	1.49	0.58	0.69	0.01	2.30	0.80	0.94
THTM 5	0.02	1.79	0.56	0.64	0.00	1.48	0.58	0.68	0.02	2.32	0.81	0.94
THTM 6	0.00	1.80	0.56	0.65	0.03	1.48	0.61	0.70	0.03	2.33	0.83	0.96
THTM 7	0.02	1.77	0.56	0.64	0.00	1.52	0.60	0.70	0.02	2.33	0.82	0.95
lonosphere-free	0.03	0.93	0.49	0.52	0.00	1.15	0.38	0.46	0.03	1.48	0.62	0.69

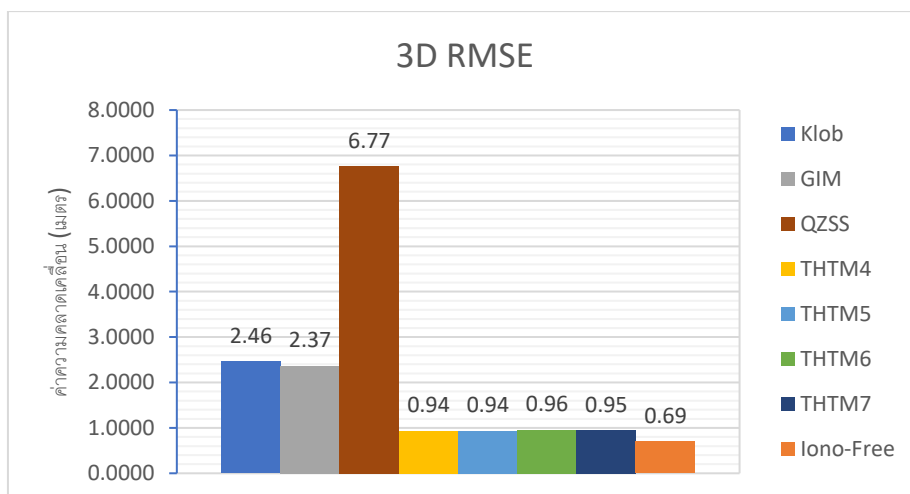
ตารางที่ 5.7 ค่าคลาดเคลื่อนขนาดต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ย และ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งของการใช้แบบจำลองแต่ละแบบที่สถานี UTTD (หน่วยเมตร)



รูปที่ 5.40 กราฟแสดงค่า RMSE แนวราบของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงค่า RMSE แนวตั้งของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD

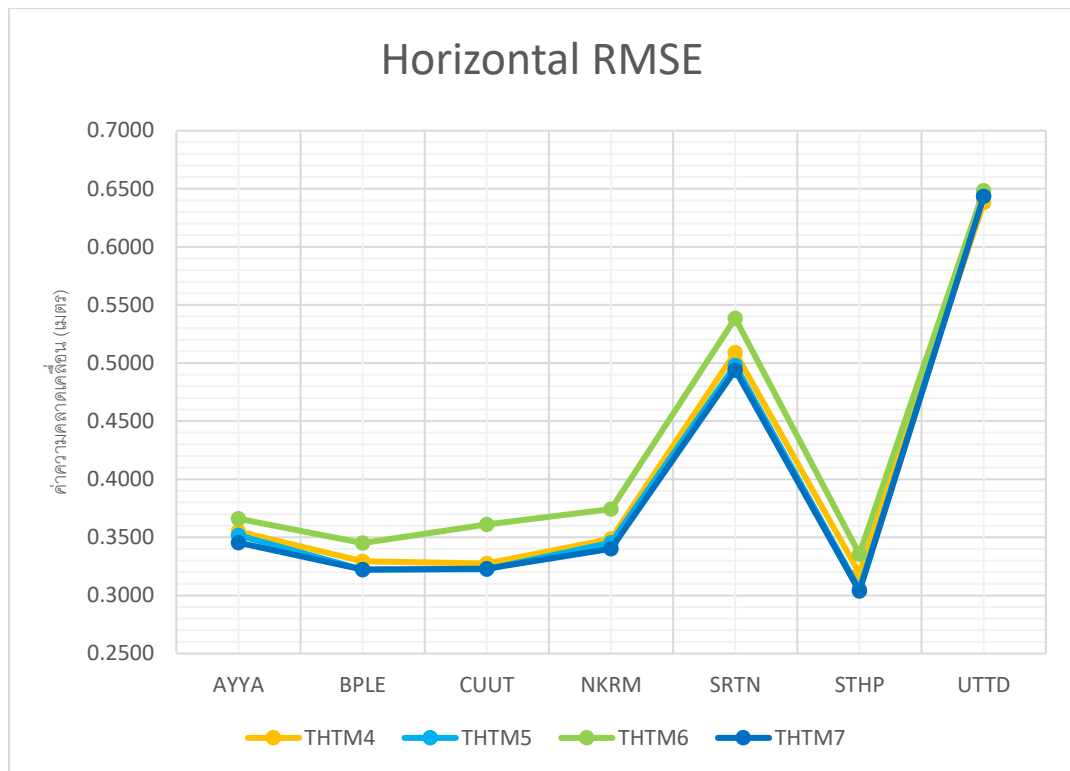


รูปที่ 5.42 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลองของสถานี UTTD

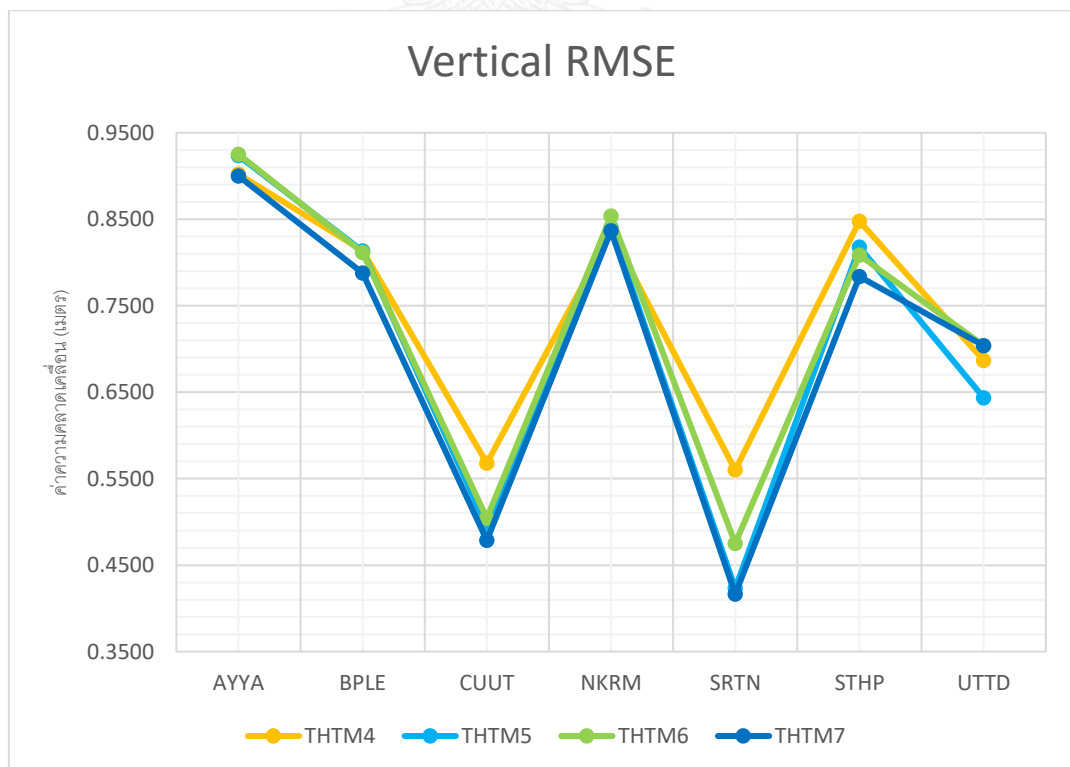
จากรูปที่ 5.40 – 5.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า RMSE ในแต่ละวันทั้งในแนวราบแนวตั้ง และสามมิติของแต่ละแบบจำลองที่สถานี UTTD แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง Klobuchar, GIM และ QZSS มีค่าสูง ส่วนแบบจำลอง THTM ทั้ง 4 แบบมีค่าต่ำและขนาดใกล้เคียงกันรวมทั้งยังใกล้เคียงกับวิธี Iono-Free (Ionosphere-free Linear Combination)

5.1.8 เปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (THTM) ที่ใช้อันดับและดีกรีที่ต่างกันที่สถานีต่าง ๆ

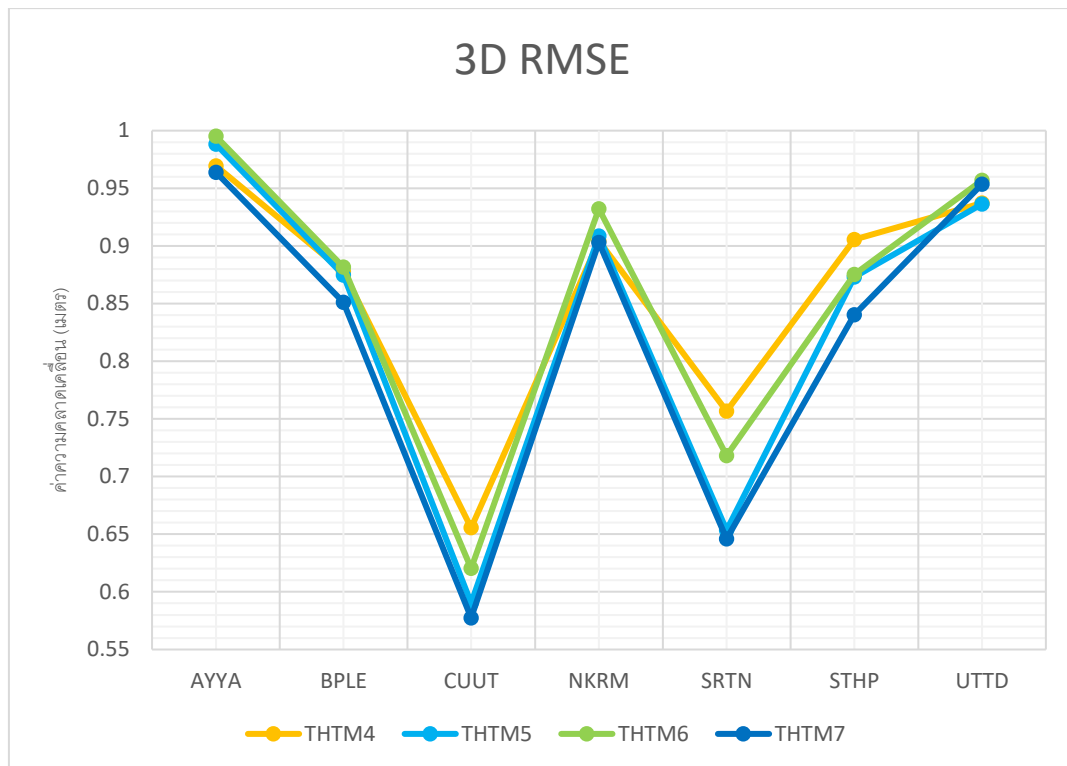
ผลลัพธ์จากการประมวลผลค่าพิกัดที่ใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทยที่ใช้อันดับและดีกรีที่ต่างกันในการสร้างได้แก่ อันดับและดีกรีที่ 4 (THTM4), อันดับและดีกรีที่ 5 (THTM5), อันดับและดีกรีที่ 6 (THTM6), และอันดับและดีกรีที่ 7 (THTM7) ทั้งสิ้น 4 แบบ ได้ค่าคลาดเคลื่อนของการใช้แต่ละแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแนวราบและแนวตั้ง ดังรูปที่ 5.43 - 5.45 กราฟแสดงค่า RMSE ของแนวราบแนวตั้งและ 3D ของแต่ละแบบจำลอง THTM ในแต่ละสถานี



รูปที่ 5.43 กราฟแสดงค่า RMSE ของแนวราบของแต่ละแบบจำลอง THTM ในแต่ละสถานี



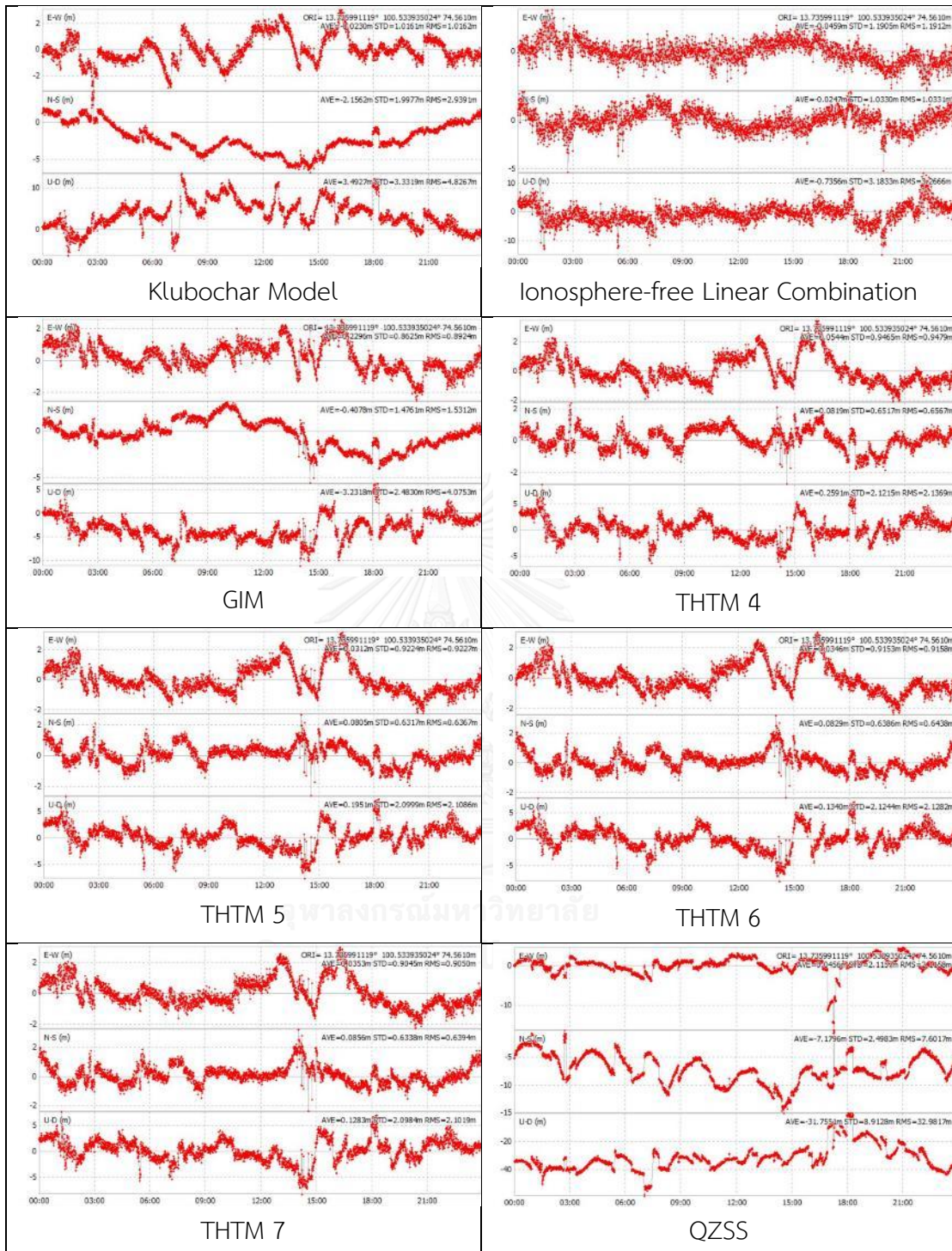
รูปที่ 5.44 กราฟแสดงค่า RMSE ของแนวตั้งของแต่ละแบบจำลอง THTM ในแต่ละสถานี



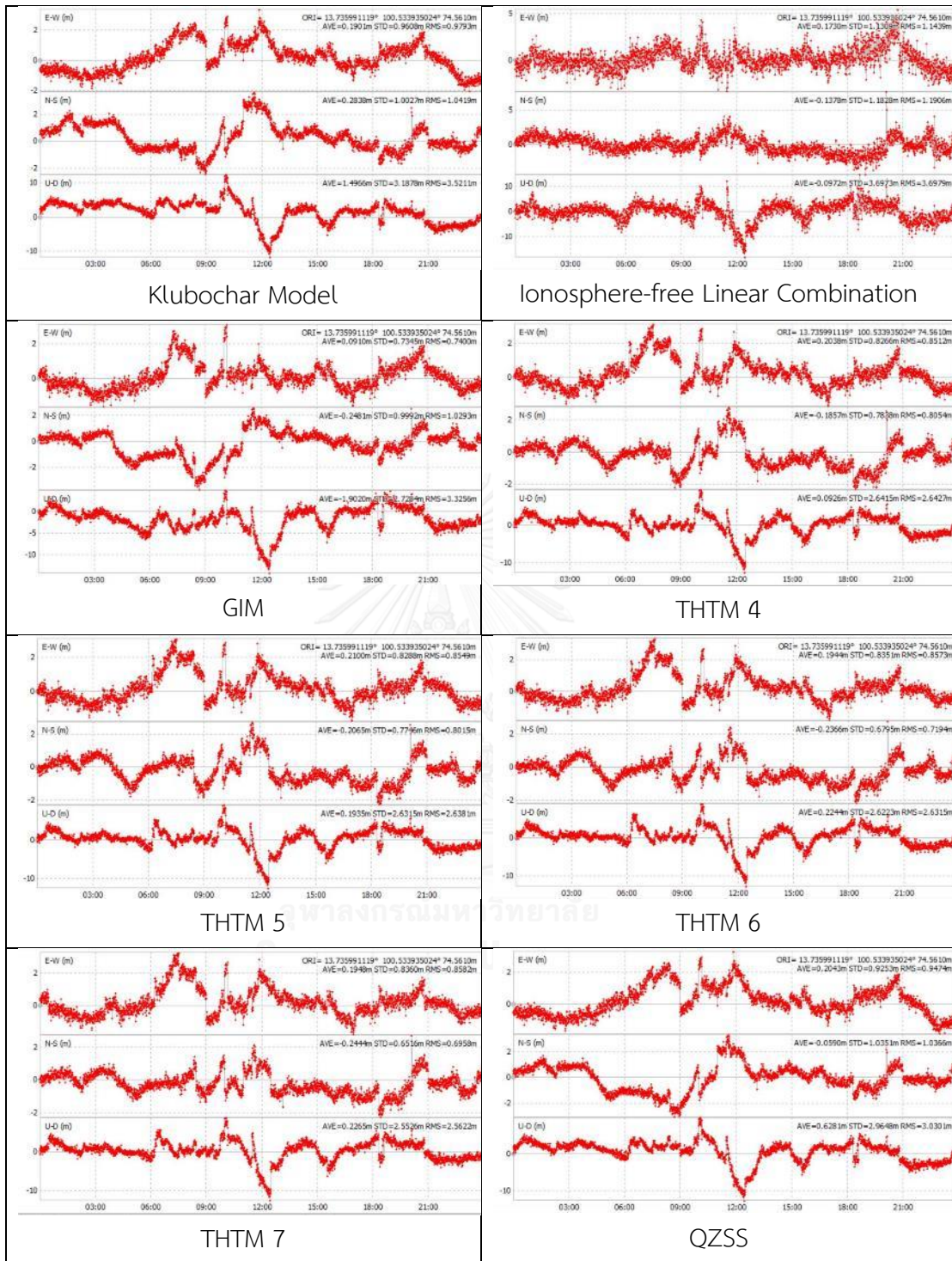
รูปที่ 5.45 กราฟแสดงค่า RMSE 3D ของแต่ละแบบจำลอง THTM ในแต่ละสถานี

5.1.9 เปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละช่วงเวลา

เนื่องจากในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวันมีผลต่อความคลาดเคลื่อนของไอโอโนสเฟียร์ ดังนั้นจึงดูการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อนในหนึ่งวันของการประมวลผล โดยเลือกที่สถานี CUUT ที่เป็นสถานีที่มีความคลาดเคลื่อนดีที่สุดในบรรดาสถานีทั้งหมด โดยเลือกวันในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกันคือ วันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2558 (DOY 68) ในช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นวันที่อยู่ในช่วงวันที่มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังรูปที่ 5.46 และวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2558 (DOY 165) ในช่วงฤดูฝนซึ่งเป็นวันที่อยู่ในช่วงวันที่มีความคลาดเคลื่อนน้อย ดังรูปที่ 5.47



รูปที่ 5.46 แสดงกราฟผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ของสถานี CUUT ในวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2558 (DOY 68)



รูปที่ 5.47 แสดงกราฟผลลัพธ์จากการประมวลผลโดยใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ของสถานี CUUT ในวันที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2558 (DOY 165)

จากรูปที่ 5.46 และ 5.47 แสดงให้เห็นว่าในวัน DOY 68 นั้นจะมีค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่อยู่เกือบจะตลอดเวลาโดยส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ช่วง 6:00 น. ไปถึง 18:00 น. ถึงแม้ว่าจะใช้แบบจำลอง THTM ในการประมวลผลด้วยก็ตาม แต่ก็ยังมีค่าขนาดใหญ่หลงเหลืออยู่บ้าง และใน DOY 165 นั้นมีค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่อยู่ในช่วงเวลา 6:00 น. ถึง 15:00 น. ซึ่งมีช่วงที่แคบลงมาจาก DOY 68 ซึ่งแม้จะใช้แบบจำลอง THTM ในการประมวลผลด้วยแต่ก็ยังมีค่าขนาดใหญ่อยู่บ้าง

5.2 ทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

จากผลการศึกษาในแต่ละสถานีนี้นั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้มาประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งกับผลลัพธ์ของวิธี Ionosphere-free Linear Combination ของเครื่องรับสองความถี่ โดยจะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นตัวประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยใช้ค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ใช้การทดสอบข้อมูลทางสถิติโดยใช้สถิติทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร

การทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากรที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือคือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยกำหนดให้สมมติฐานสำหรับการทดสอบดังนี้

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

ชุดสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ F-Test โดยกำหนดให้ S_1^2 และ S_2^2 ค่าความแปรปรวนที่สุ่มมาจากประชากรชุดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ $F = \frac{S_1^2}{S_2^2}$ โดยกำหนดให้

ตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรชุดที่ 1 คือ ผลลัพธ์จากการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ

ตัวอย่างที่สุ่มจากประชากรชุดที่ 2 คือ ผลลัพธ์จากการใช้ Ionosphere-free Linear Combination ของเครื่องรับสองความถี่

เมื่อทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากรแล้วได้กรณี H_0 ให้ทำการทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยของสองประชากรที่นัยสำคัญ 0.05 กำหนดให้สมมติฐานสำหรับการทดสอบดังนี้

$$H_0 : \mu_1^2 = \mu_2^2$$

$$H_1 : \mu_1^2 \neq \mu_2^2$$

ชุดสถิติที่ใช้ในการทดสอบคือ T-Test โดยกำหนดให้

u_1^2 และ u_2^2 คือค่าเฉลี่ยที่สุ่มมาจากประชากรชุดที่ 1 และ 2

S_1^2 และ S_2^2 คือค่าความแปรปรวนที่สุ่มมาจากประชากรชุดที่ 1 และ 2

n_1 และ n_2 คือจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรชุดที่ 1 และ 2

$$\text{จะได้ค่า } T = \frac{u_1 - u_2}{\sqrt{Sp^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \text{ เมื่อ } Sp^2 = \frac{(n_1)S_1^2 + (n_2)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

5.2.1 สถานี AYYA

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 234 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05, 233, 233} = 1.24$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05, 233, 233}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.8 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	31.70	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	14.99	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	285.18	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	3.00	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 5	3.11	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 6	3.16	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 7	2.96	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ตาราง 5.8 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี AYYA

จากตารางที่ 5.8 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี AYYA ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.24 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งไม่มีผลของแบบจำลองไหนเลยที่น้อยกว่า ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.24 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่แบบจำลองทั้งหมด

5.2.2 สถานี BPLE

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 229 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05,229,229}=1.24$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05,229,229}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.9 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	30.35	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	15.95	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	268.63	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	2.42	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 5	2.40	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 6	2.50	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 7	2.27	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ตาราง 5.9 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี BPLE

จากตารางที่ 5.9 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี BPLE ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.24 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งไม่มีผลของแบบจำลองไหนเลยที่น้อยกว่า ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.24 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่แบบจำลองทั้งหมด

5.2.3 สถานี CUUT

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 176 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05,176,176}=1.28$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05,176,176}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.10 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	21.24	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	19.08	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	279.95	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	1.00	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
THTM 5	1.23	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
THTM 6	1.11	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$
THTM 7	1.24	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

ตาราง 5.10 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี CUUT

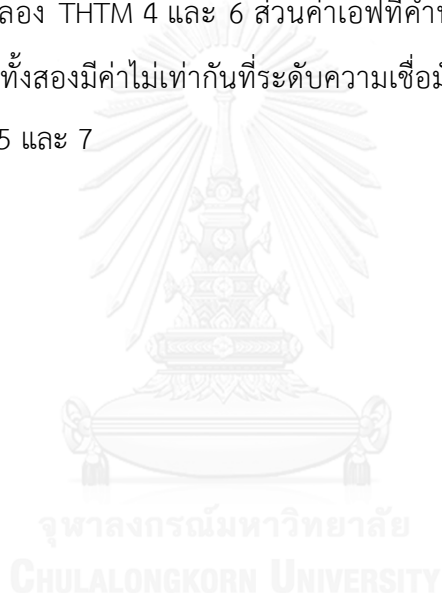
จากตารางที่ 5.10 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี CUUT ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.28 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่ ค่าพิกัดของแบบจำลอง THTM 4 - 7 ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.28 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่ ค่าพิกัดของแบบจำลอง Klubochar Model, Global Ionosphere Maps และ Ionosphere Model QZSS

เนื่องจากแบบจำลอง THTM 4 - 7 ไม่ปฏิเสธ H_0 ดังนั้นทำการทดสอบ T-Test ต่อที่แบบจำลองนี้ ที่นัยสำคัญ 0.05 จำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 176 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $T_{0.05,176,176}=1.65$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $T > T_{0.05,176,176}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.11 ผลการคำนวณค่าทีของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าที่ได้จากการคำนวณ ของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมุติฐาน ค่าเฉลี่ยของสองประชากร
THTM 4	0.72	$u_1^2 = u_2^2$
THTM 5	2.08	$u_1^2 \neq u_2^2$
THTM 6	1.25	$u_1^2 = u_2^2$
THTM 7	2.48	$u_1^2 \neq u_2^2$

ตาราง 5.11 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี CUUT

จากตารางที่ 5.11 แสดงผลการคำนวณค่าที่ที่สถานี CUUT ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.65 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่ ค่าพิกัดของแบบจำลอง THTM 4 และ 6 ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.65 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าเฉลี่ยทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่ ค่าพิกัดของแบบจำลอง THTM 5 และ 7



5.2.4 สถานี NKRM

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 237 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05,237,237}=1.23$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05,237,237}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.11 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	20.99	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	10.85	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	206.60	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	1.99	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 5	2.01	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 6	2.11	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 7	1.98	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ตาราง 5.11 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี NKRM

จากตารางที่ 5.11 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี NKRM ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.23 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งไม่มีผลของแบบจำลองไหนเลยที่น้อยกว่า ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.23 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่แบบจำลองทั้งหมด

5.2.5 สถานี SRTN

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 232 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05,232,232}=1.24$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05,232,232}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.12 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	13.22	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	9.70	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	161.71	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	1.31	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 5	1.76	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 6	1.45	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 7	1.80	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ตาราง 5.12 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี SRTN

จากตารางที่ 5.12 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี SRTN ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.24 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งไม่มีผลของแบบจำลองไหนเลยที่น้อยกว่า ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.24 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่แบบจำลองทั้งหมด

5.2.6 สถานี STHP

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 195 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05,195,195}=1.27$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05,195,195}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.13 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	38.03	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	18.19	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	359.69	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	2.86	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 5	2.66	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 6	2.78	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 7	2.46	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ตาราง 5.13 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี STHP

จากตารางที่ 5.13 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี STHP ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.26 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งไม่มีแบบจำลองใดเลยที่น้อยกว่า ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.26 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่แบบจำลองทั้งหมด

5.2.7 สถานี UTTD

ที่นัยสำคัญ 0.05 และมีจำนวนตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากร 166 ตัวอย่าง ดังนั้นจะได้ $F_{0.05,166,166}=1.29$ และบริเวณที่ปฏิเสธคือ $F > F_{0.05,166,166}$ ได้ผลการทดสอบสถิติดังตาราง 5.14 ผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดแนว 3D

แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์	ค่าเอฟที่ได้จากการคำนวณของพิกัดแนว 3D	ผลการทดสอบสมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากร
Klubochar Model	12.56	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Global Ionosphere Maps	11.66	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
Ionosphere Model QZSS	95.38	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 4	1.83	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 5	1.83	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 6	1.91	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$
THTM 7	1.89	$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

ตาราง 5.14 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟของพิกัดที่สถานี UTTD

จากตารางที่ 5.14 แสดงผลการคำนวณค่าเอฟที่สถานี UTTD ค่าเอฟที่คำนวณได้น้อยกว่า 1.29 จะแสดงว่าไม่ปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าเท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ซึ่งไม่มีแบบจำลองใดเลยที่น้อยกว่า ส่วนค่าเอฟที่คำนวณได้มากกว่า 1.29 จะแสดงว่าปฏิเสธ H_0 ค่าความแปรปรวนทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ได้แก่แบบจำลองทั้งหมด

บทที่ 6 อภิปรายผล สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 อภิปรายผล

จากผลการดำเนินงานและการทดสอบทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ในพื้นที่ประเทศไทยสำหรับเครื่องรับความถี่เดียวสามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

6.1.1. จากการเปรียบเทียบค่าคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดที่ได้จากการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ได้แก่ Klobuchar Model, Global Ionosphere Maps (GIM), Ionosphere Model from QZSS และ THTM 4 - 7 ที่สถานี AYYA, BPLE, CUUT, NKRM, SRTN, STHP และ UTDD จำนวน 7 สถานี ซึ่งจากค่าคลาดเคลื่อนและ RMSE ในแนวราบและแนวตั้งและสามมิติแต่ละสถานีแสดงให้เห็นว่า ค่าพิกัดจากการใช้ THTM 4 - 7 ให้ผลลัพธ์ดีกว่าแบบจำลองแบบอื่น ๆ ทั้งในแนวราบและแนวตั้งและสามมิติ และมีความใกล้เคียงกับความคลาดเคลื่อนจากการใช้ Ionosphere-free Linear Combination ของเครื่องรับสองความถี่ แต่ในการทดสอบทางสถิติ สมมติฐานความแปรปรวนของสองประชากรพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เว้นแต่ค่าคลาดเคลื่อนของสถานี CUUT เท่านั้นที่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับค่าคลาดเคลื่อนของการใช้ Ionosphere-free Linear Combination ของเครื่องรับสองความถี่

6.1.2. จากการเปรียบเทียบแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ของประเทศไทยที่สร้างขึ้นมาโดย BERNESE โดยใช้ค่าดีกรีและอันดับของ Spherical Harmonic Expansion ค่าต่าง ๆ หรือ THTM ตั้งแต่ 4 จนถึง 7 แสดงให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE ในแต่ละแบบดีกรีอันดับมีความใกล้เคียงกันโดยค่าคลาดเคลื่อนแตกต่างกันไม่เกิน 5 เซนติเมตรในแนวราบและ 15 เซนติเมตรในแนวตั้งและ 10 เซนติเมตรในแนวสามมิติ ซึ่งในแนวราบนั้น อันดับและดีกรีที่ 6 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ส่วนอันดับและดีกรีที่ 4, 5 และ 7 จะมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยและใกล้เคียงกันมาก และในแนวตั้งนั้นอันดับและดีกรีที่ 4 และ 6 มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด และอันดับและดีกรีที่ 5 และ 7 จะมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยและใกล้เคียงกันพอสมควร และในแนวสามมิติ อันดับและดีกรีที่ 4 และ

6 จะมีค่าคลาดเคลื่อนมากที่สุด และอันดับและตึกที่ 5 และ 7 จะมีค่าคลาดเคลื่อนน้อย และใกล้เคียงกันโดยที่ อันดับและตึกที่ 7 จะมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

- 6.1.3. พิจารณาที่ตำแหน่งของสถานีที่ทดสอบและสถานีที่ใช้สร้างแบบจำลองแล้วจะเห็นได้ว่า บริเวณที่หนาแน่นและล้อมรอบไปด้วยสถานีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะมีค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่มีความหนาแน่นน้อยหรือไม่ค่อยมีสถานีที่ใช้สร้างแบบจำลอง อย่างเช่นที่สถานี CUUT ที่อยู่ใกล้เคียงและล้อมรอบด้วยสถานี CUSV BLAN PKKT ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดในบรรดาสถานีทั้งหมด เมื่อเทียบกับสถานีที่มีค่าคลาดเคลื่อนสูงอย่างสถานี NKRM และ UTTD ที่ค่อนข้างอยู่ห่างไกลกับสถานีที่ใช้สร้างแบบจำลอง หรือสถานีที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีที่ใช้สร้างแบบจำลองแต่ไม่ครอบคลุมรอบด้านอย่างสถานี AYYA ที่ทางทิศเหนือไม่มีสถานีที่ใช้สร้างแบบจำลองอยู่ใกล้เคียงเลยแม้ทางทิศใต้จะมีอยู่ก็ตาม
- 6.1.4. จากการเปรียบเทียบแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละช่วงเวลาในการประมวลผลจะเห็นได้ว่าในช่วงต้นปีประมาณเดือนมกราคมไปจนถึงกลางเดือนพฤษภาคมจะมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงก่อนที่หลังพฤษภาคมนั้นความคลาดเคลื่อนมีขนาดที่ลดลงมาซึ่งเห็นได้ชัดเจนในแบบจำลอง Klobuchar Model และ Ionosphere Model from QZSS และในแบบจำลอง GIM และ THTM นั้นจะเห็นความแตกต่างได้ไม่ชัดเจนนักเพราะมีขนาดค่อนข้างคงที่ในแต่ละวัน และในแต่ละวันช่วงเวลาที่มีความคลาดเคลื่อนสูงนั้นโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเวลากลางวันตั้งแต่ 6:00 น. ถึง 15:00 น. โดยประมาณ

6.2 สรุปผลการวิจัย

จากผลการดำเนินงานและการอภิปรายผลข้างต้นสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

- 6.2.1 แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทยที่สร้างโดยใช้ซอฟต์แวร์ BERNESE (THTM) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรับสัญญาณสำหรับเครื่องรับความถี่เดียวได้ดีกว่าการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบอื่น ๆ อย่าง Klobuchar Model, Global Ionosphere Maps (GIM) และ Ionosphere Model from QZSS
- 6.2.2 เมื่อเทียบผลของการใช้แบบจำลอง THAI Model กับวิธี Ionosphere-free Linear Combination ของเครื่องรับสองความถี่แล้วถึงแม้ค่าความถูกต้องใกล้เคียงกันแต่เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วยังมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญอยู่

6.2.3 ผลของการใช้อันดับและดีกรีของ Spherical Harmonic Expansion ที่แตกต่างกันในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์สำหรับประเทศไทย (THTM) พบว่าในการใช้อันดับและดีกรีที่ 4, 5, 6 และ 7 มีความใกล้เคียงกันไม่แตกต่างกันมาก โดยที่อันดับและดีกรีที่ 7 ให้ผลดีที่สุดในพื้นที่ที่ทดสอบ

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 เนื่องจากข้อจำกัดในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทำให้ในงานวิจัยนี้ใช้เพียงข้อมูล GPS เท่านั้น ซึ่งควรที่จะนำข้อมูลรับสัญญาณจากดาวเทียมอื่น ๆ ในระบบ GNSS อาทิ GLONASS, GALILEO และ BEIDOU นำมาใช้งานร่วมด้วยเพื่อเพิ่มความหลากหลายของข้อมูลในงานวิจัย

6.3.2 ในช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยใช้เพียงแค่ครึ่งปีเท่านั้น อันเนื่องมาจากปัญหาการขาดหายของข้อมูลรับสัญญาณดาวเทียมจากหลายหน่วยงาน ซึ่งควรใช้ข้อมูลที่ยาวนานขึ้นถึง 1 ปีหรือหลาย ๆ ปี เพื่อให้ครอบคลุมในสภาพอากาศฤดูกาลต่าง ๆ และเพิ่มความน่าเชื่อถือในการประมวลผล

6.3.3 เนื่องจากสถานีที่ใช้ในงานวิจัยทั้งที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและใช้ทดสอบมีจำนวนไม่มากและไม่ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งหมดทำให้บางพื้นที่ไม่มีการทดสอบผลของการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งในอนาคตที่สถานีถูกติดตั้งมากขึ้นจะช่วยให้ผลลัพธ์ดีขึ้นและครอบคลุมทั่วทั้งประเทศไทย

6.3.4 โมเดลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ของประเทศไทยในงานวิจัยนี้ทดสอบเพียงแค่แบบ Spherical Harmonic Expansion เท่านั้น ซึ่งยังมีโมเดลแบบอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้งานได้อีก ที่อาจจะมีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทยและใช้งานได้ดีกว่าโมเดลที่ใช้อยู่

รายการอ้างอิง

ธีรทัต เจริญกาลัญญา. ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสในประเทศไทย. ปรินญาตุษฎีบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

พรทิพย์ ใจมั่น. การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กทรอนิกส์รวมในประเทศไทยระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2555. ปรินญาตุษฎีบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาธรณีวิทยา, สาขาวิชาโลกศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

รัชกฤษ ศุภกุลโอภาส. การตรวจติดตามการแปรผันของปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รวมในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เนื่องจากแผ่นดินไหวในช่วงปี พ.ศ. 2552-2554. ปรินญาตุษฎีบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาธรณีวิทยา, สาขาวิชาโลกศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

Abdullah, M., S. A. Bahari and B. Yatim (2008). TEC determination over single GPS receiver station using PPP technique, . International Symposium on GPS/GNSS 2008. Tokyo.

Alcay, S., C. Yigit and C. Inal (2012). GPS Based Ionosphere Mapping Using PPP Method. FIG Working Week 2012, Rome, Italy.

Bassiri, S. and G. Hajj (1993). "Higher-order ionospheric effects on the global positioning system observables and means of modeling them." Manuscripta Geodaetica 18: 280–289.

CODE (2012). "Global Ionosphere Maps Produced by CODE." from <http://aiuws.unibe.ch/ionosphere/>.

Harte, L. and B. Levitan (2016). Global Positioning System (GPS) 3rd edition, Discovernet.

Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger and J. Collins (1997). Global Positioning System: Theory and Practice. Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag.

JAXA (2014). Interface Specification for QZSS (IS-QZSS) Version 1.6, Japan Aerospace Exploration Agency.

Klobuchar, J. A. (1987). "Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users." IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems **23**(3): 325-331.

Lin, L. S. Real-Time Estimation of Ionospheric Delay Using GPS Measurements. Ph.D., School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 1997.

Misra, P. and P. Enge (2012). Global Positioning System (GPS): Signals, Measurements, and Performance, Ganga-Jamuna Press.

Musa, T. Residual Analysis of Atmospheric Delay in Low Latitude Region Using Network-Based GPS Positioning. Doctoral dissertation, School of Surveying & Spatial Information Systems, University of New South Wales, 2007.

QZSS (2016). "Michibiki (Quasi-Zenith Satellite System) Service Accessed 2016." from <http://qzss.go.jp/en/overview/services/index.html>.

Rizos, C. Principles and Practice of GPS Surveying. Doctoral dissertation, School of Geomatic Engineering, The University of New South Wales, 1997.

Rolf, D., H. Urs and F. Pierre (2007). Bernese GPS Software Version 5.0.

Schaer, S., W. Gurtner and J. Feltens (1998). IONEX: The Ionosphere Map Exchange Format Version 1. European Space Operations Centre. Darmstadt, Germany.

Seeber, G. (1993). Satellite Geodesy: Foundations, Methods & Applications. Berlin, Walter de Gruyter.

Takahashi, H., S. Costa, et al. (2014). "Diagnostics of equatorial and low latitude ionosphere by TEC mapping over Brazil." Advances in Space Research **54**(3): 385-394.

Takasu, T. (2013). RTKLIB Version 2.4.2 Manual.

Todorova, S., T. Hobiger, R. Weber and H. Schuh (2004). "Regional Ionosphere Modelling with GPS and Comparison with other Techniques." Education and Professional Practice in the Globalizing World: 292-302.

Xiong, B., W. Wan, Y. Yu and L. Hu (2016). "Investigation of ionospheric TEC over China based on GNSS data." Advances in Space Research **58**(6): 867-877.

Zhao, X., S. Jin, C. Mekik and J. Feng (2016). "Evaluation of regional ionospheric grid model over China from dense GPS observations." Geodesy and Geodynamics **7**(5): 361-368.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพผนวก ก. การใช้งานซอฟต์แวร์ BERNESE 5.0 ในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์

ซอฟต์แวร์ BERNESE เป็นซอฟต์แวร์สำหรับงานวิจัยในการคำนวณ Geodetic ด้วยความละเอียดสูง ในภาพผนวกนี้จะแสดงขั้นตอนการใช้งานในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์

เมื่อติดตั้งซอฟต์แวร์จะมีการสร้าง System User Variables สำหรับจัดเก็บข้อมูลของระบบ และในการอ้างอิงที่อยู่ข้อมูลในซอฟต์แวร์ BERNESE จะเริ่มต้นด้วยสัญลักษณ์ \$ เช่น \${P} หมายถึง C:\GPSDATA ดังในตาราง ก-1 และมีชุดตัวแปร Menu Variable เป็นชุดตัวแปรรหัสตัวย่อ ช่วยในกระบวนการทำงานเพื่อความสะดวกรวดสบายของผู้ใช้ แสดงอยู่ในตาราง ก-2

ตาราง ก-1 แสดง User Variable

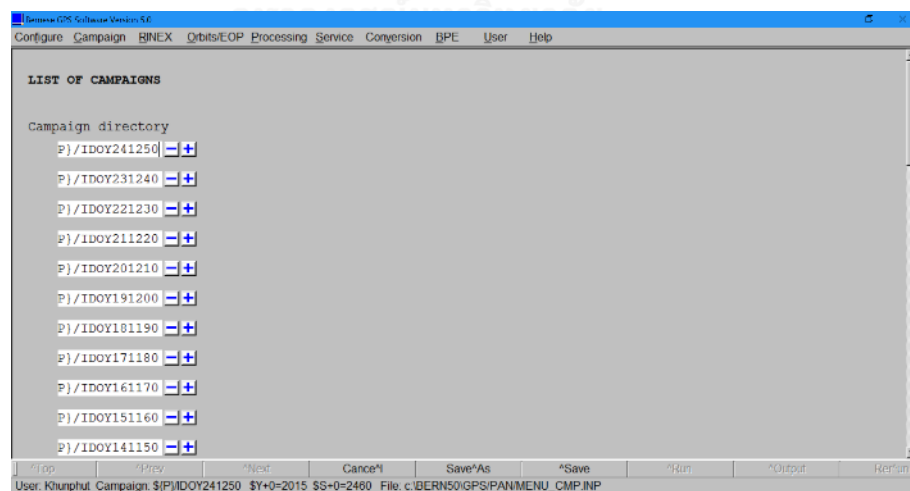
Folder	Description	User Variable
BERN50	ที่เก็บซอฟต์แวร์หลัก	\${P}
BERN50/GPS	ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประมวลผล	
BERN50/GPS/GEN	ข้อมูลเบื้องต้นในการประมวลผล อาทิ ข้อมูลดาวเทียม ข้อมูลเสาอากาศ ฯลฯ	
GPSDATA	ที่เก็บข้อมูล GPS	\${S}
GPSDATA/ATM	เก็บข้อมูลชั้นบรรยากาศ	
GPSDATA/OBS	เก็บข้อมูลไฟล์รูปแบบBERNESE	
GPSDATA/ORB	เก็บข้อมูลวงโคจร	
GPSDATA/ORX	เก็บข้อมูลRINEX	
GPSDATA/OUT	เก็บข้อมูลผลการประมวลผล	
GPSDATA/RAW	เก็บข้อมูลRINEXแบบดิบ	
GPSDATA/SOL	เก็บข้อมูลการประมวลผล	
GPSDATA/STA	เก็บข้อมูลค่าพิกัดสถานีฐาน	
GPSUSER/	ที่เก็บข้อมูลลำดับการประมวลผล	\${U}
GPSUSER/OPT	การตั้งค่าอัตโนมัติ	
GPSUSER/PAN	การตั้งค่า BPE	
GPSUSER/PCF	Process Control File	
GPSUSER/WORK	เก็บการทำงานของ BPE	

ตาราง ก-2 แสดง Menu Variable

	Without Range	With Range	Format	Description
\$+n	\$-n	\$+-	DDD	Day of Year (DOY)
\$S+n	\$S-n	\$S+-	DDDS	DOY, Session
\$Y+n	\$Y-n	\$Y+-	YYYY	Year
\$W+n	\$W-n	\$W+-	WWWW	GPS Week
\$M+n	\$M-n	\$M+-	YMMM	Year, Month
\$JD+n	\$JD-n	\$JD+-	DDDDD	Modified Julian Date
\$WD+n	\$WD-n	\$WD+-	WWWWD	GPS Week and Day
\$YD+n	\$YD-n	\$YD+-	YYDDD	Year and DOY
\$YSS+n	\$YSS-n	\$YSS+-	YYDDDS	Year DOY session
\$YMD_STR+n	\$YMD_STR-n	\$YMD_STR+-	YYY MM DD	Year Month Day
n=0,1,2,...9				

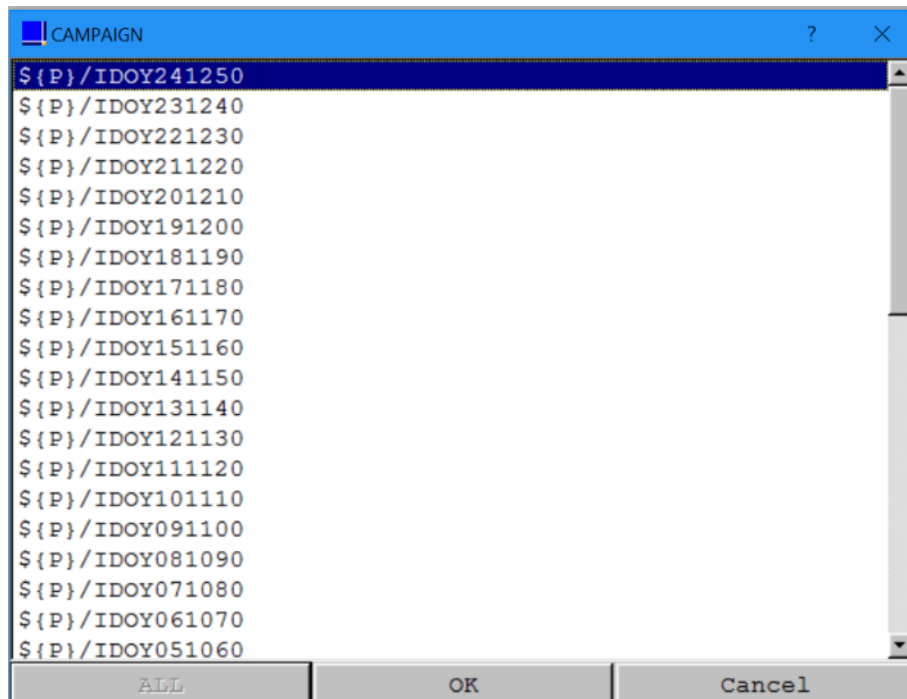
1. การสร้าง Campaign

ในการประมวลผลนั้นจำเป็นต้องสร้างโฟลเดอร์ Campaign โดยคลิกที่ Campaign > Edit List of Campaigns แล้วใส่ชื่อ Campaign Directory ตามต้องการ (รูป ก-1)



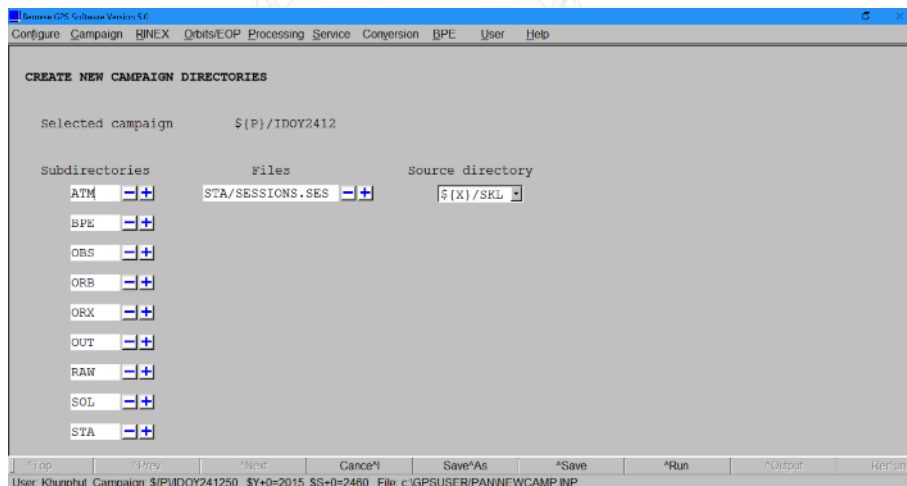
รูป ก-1 การสร้าง Campaign

จากนั้นทำการเลือกใช้ Campaign โดยไปคลิกที่ Campaign > Select Active Campaign แล้วเลือก Campaign ที่เราสร้างแล้วกด OK (รูป ก-2)



รูป ก-2 การเลือก Campaign

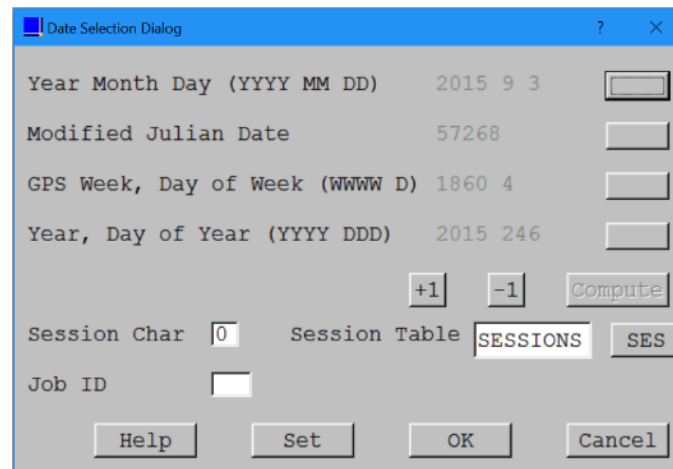
จากนั้นสร้างโฟลเดอร์ย่อยข้างใน Campaign โดยคลิก Campaign > Create New Campaign แล้วกด Run (รูป ก-3)



รูป ก-3 สร้างโฟลเดอร์ย่อยใน Campaign

2. การตั้งค่า Session

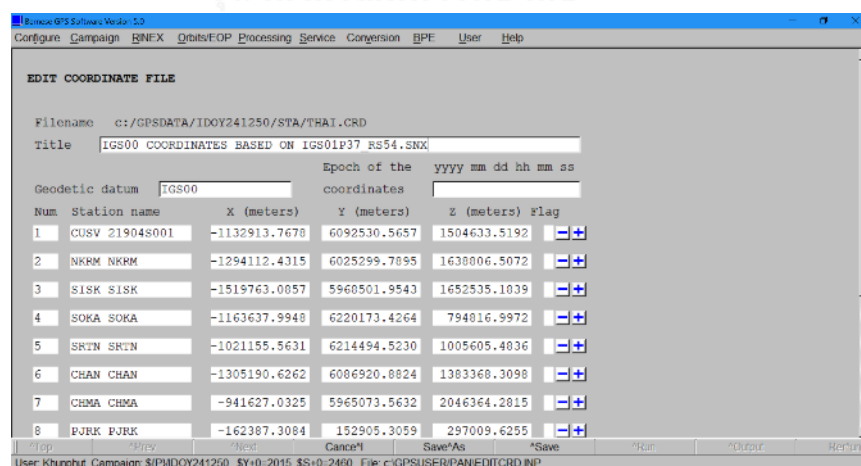
ก่อนการประมวลผลทุกครั้งต้องทำการตั้งค่า Session ในการประมวลผลก่อนโดยไปที่ Configure > Set Session/Compute Date โดยใส่ค่าวันที่จะประมวลผล (รูป ก-4)



รูป ก-4 ตั้งค่าวัน Session

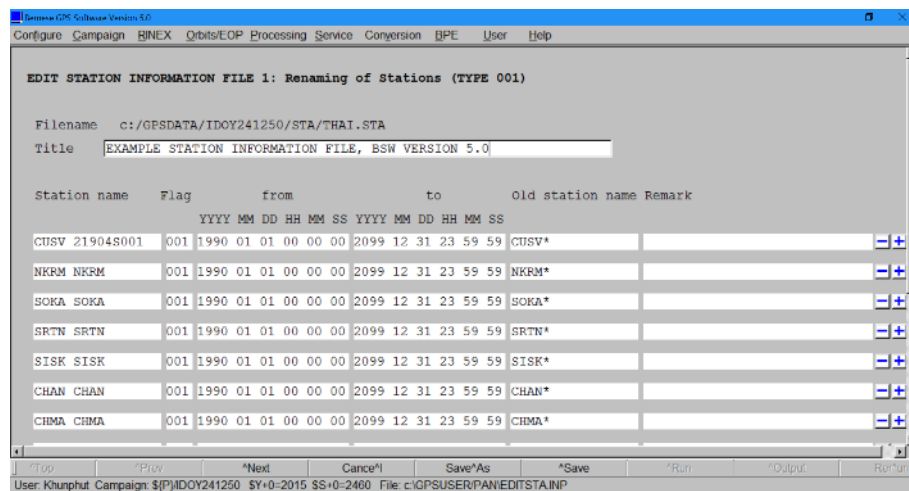
3. Edit Station Coordinate & Information

ก่อนการประมวลผลจะต้องมีการตั้งค่าของค่าพิกัดตั้งต้นและรายละเอียดต่าง ๆ ก่อน โดยแก้ไขค่าพิกัดตั้งต้นที่ Campaign > Edit Station File > Station Coordinate เลือกไฟล์ที่นามสกุล .CRD เป็นไฟล์หลักในการประมวลผล โดยสามารถ Station ที่เราจะประมวลผลและค่าพิกัดตั้งต้นได้ และตั้งค่า Flag ที่เป็นตัวกำหนด Station ว่าจะประมวลผลอย่างไร เช่น F = Fixed Coordinate, R = Coordinated extract from RINEX (รูป ก-5)

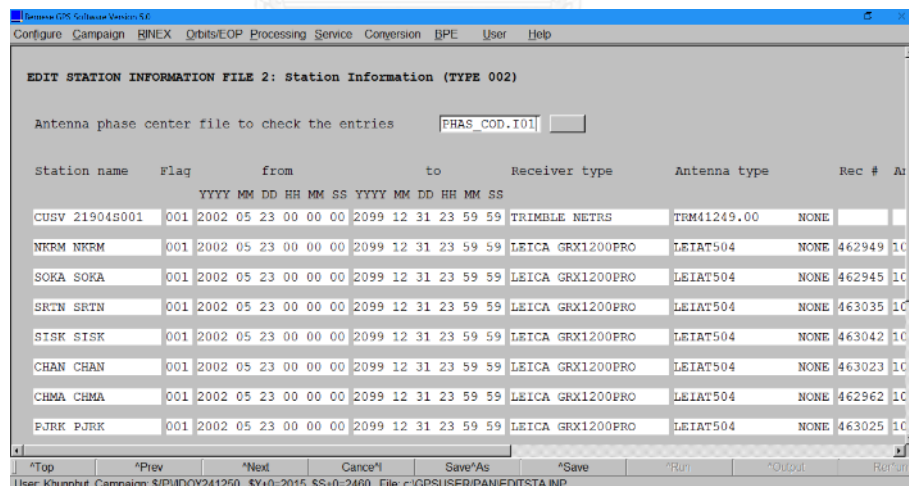


รูป ก-5 Edit Station Coordinate

ในการตั้งค่าต่าง ๆ ประจำแต่ละสถานี ไปที่ Campaign > Edit Station File > Station Information เลือกไฟล์ที่นามสกุล .STA ใส่ชื่อสถานีและช่วงเวลาประมวลผล และกด Next ไป เพื่อตั้งค่าอื่น ๆ อาทิ Receiver Type , Antenna Type และ Antenna eccentricity ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีความสำคัญในการประมวลผลมาก จึงควรตรวจสอบให้ดีก่อนประมวลผล (รูป ก-6-7)



รูป ก-6 Edit Station Information



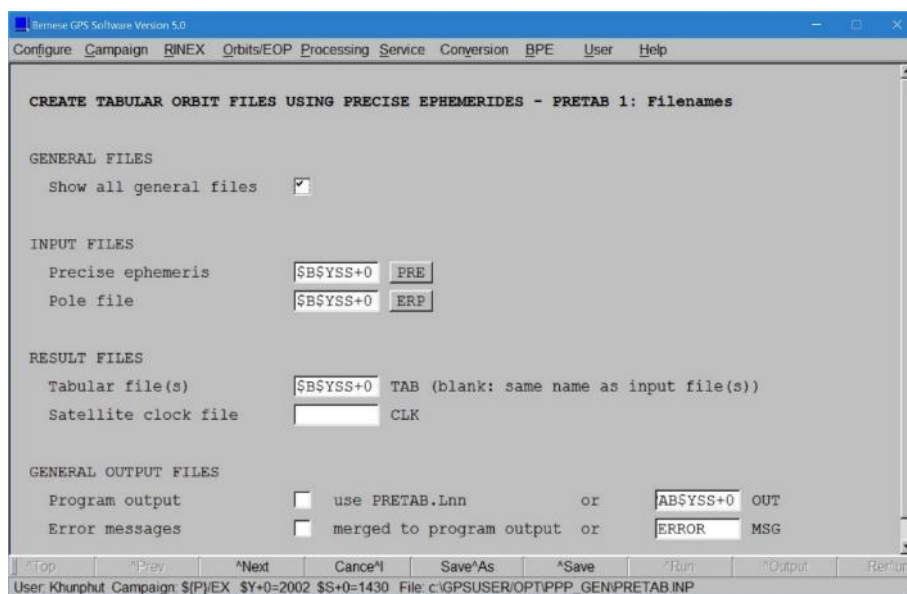
รูป ก-7 Edit Station Information

4. การจัดเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล

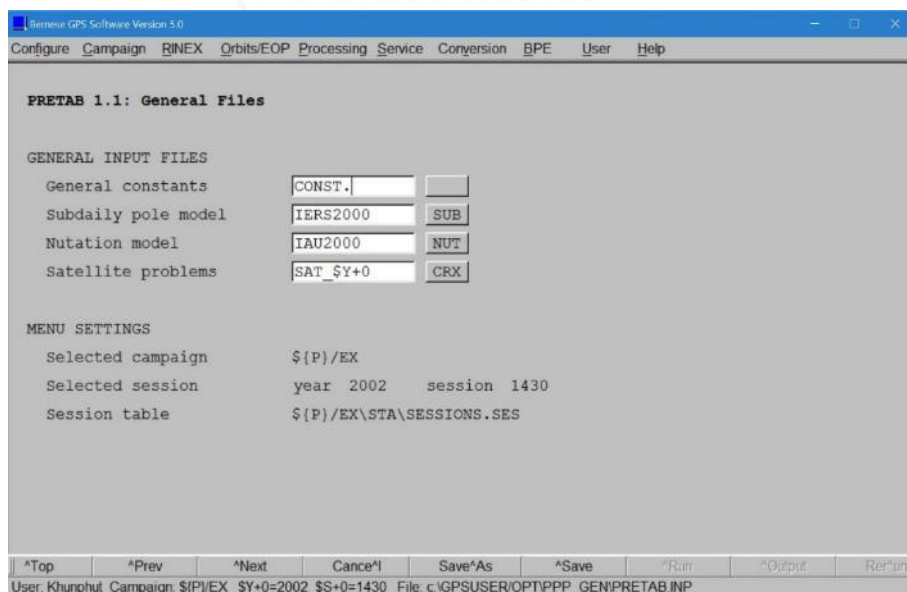
4.1. นำเข้าข้อมูลวงโคจร

ในการนำเข้าข้อมูลวงโคจร Precise Ephemeris และ Pole File จะนำเข้าเข้ามาโดยแปลงให้เป็น Tabular File ด้วย PRETAB แล้วแปลงเป็น Standard Orbit File ด้วย ORBGEN และตั้งค่าดังนี้

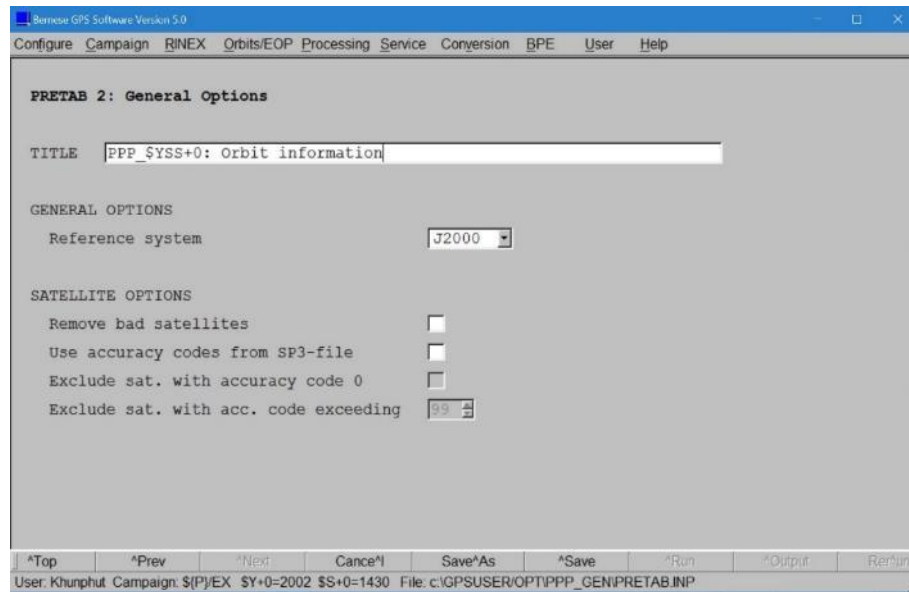
Orbits/EOP > Create tabular orbit (รูป ก-8-10)



รูป ก-8 Create tabular orbit(1)

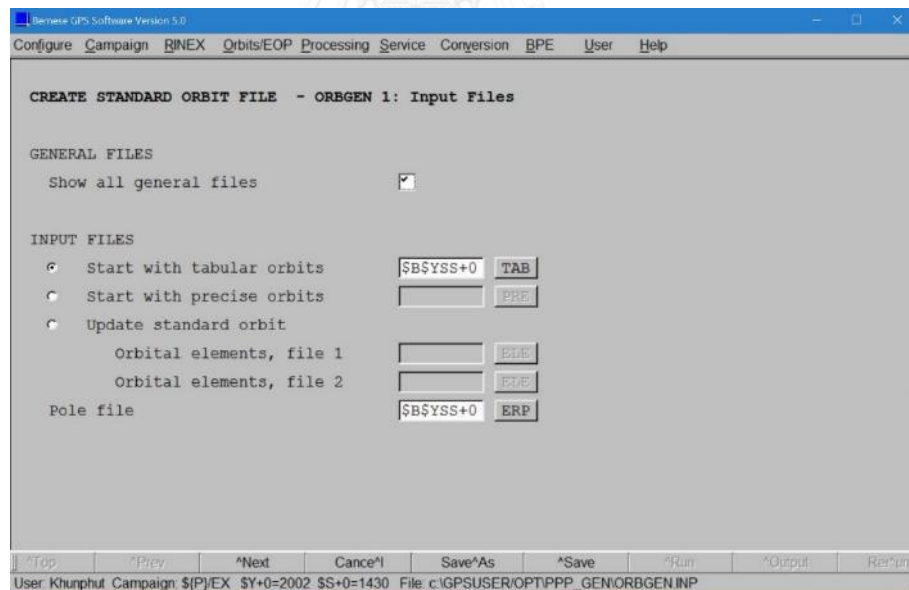


รูป ก-9 Create tabular orbit(2)

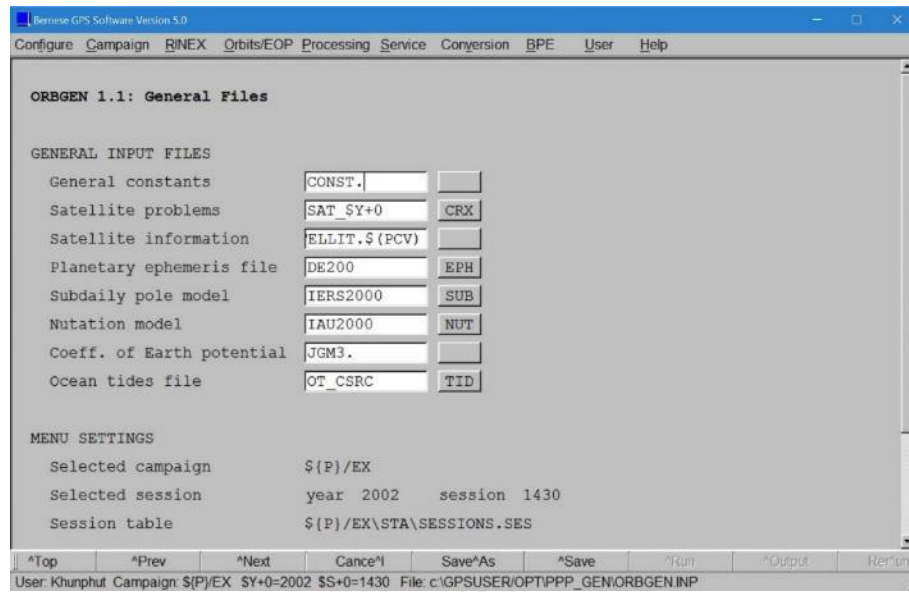


រូប ៣-១០ Create tabular orbit(3)

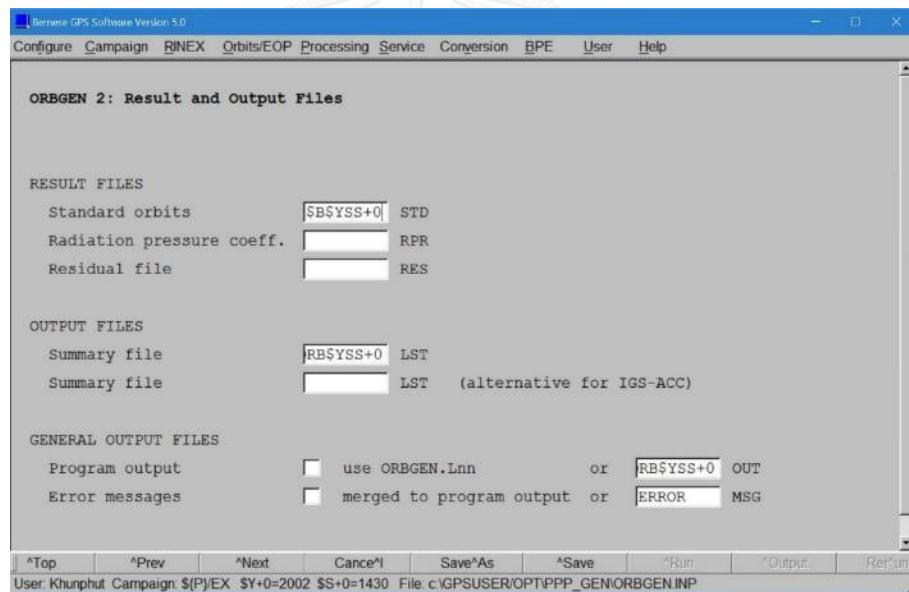
Orbits/EOP > Create standard orbit (រូប ៣-១១-១៧)



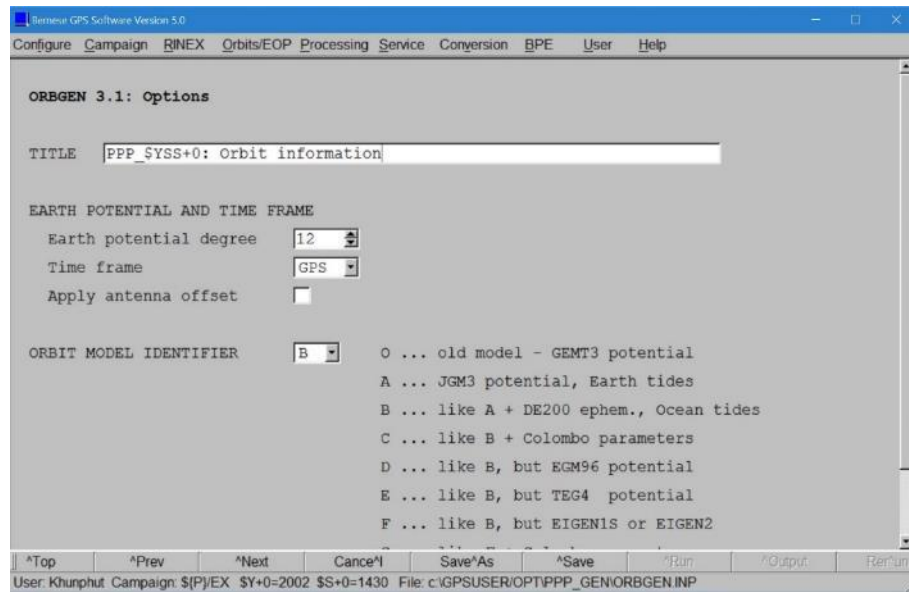
រូប ៣-១១ Create standard orbit(1)



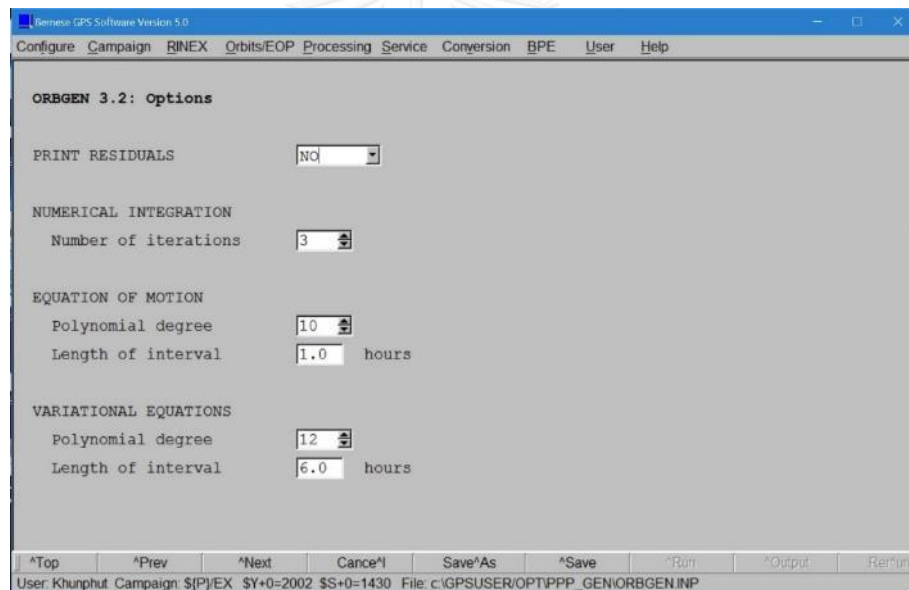
រូប n-12 Create standard orbit(2)



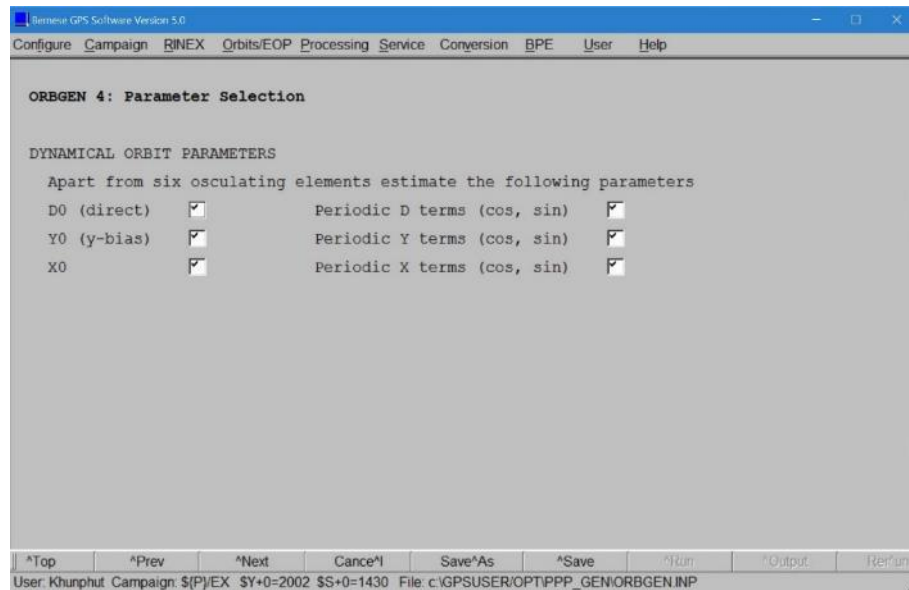
រូប n-13 Create standard orbit(3)



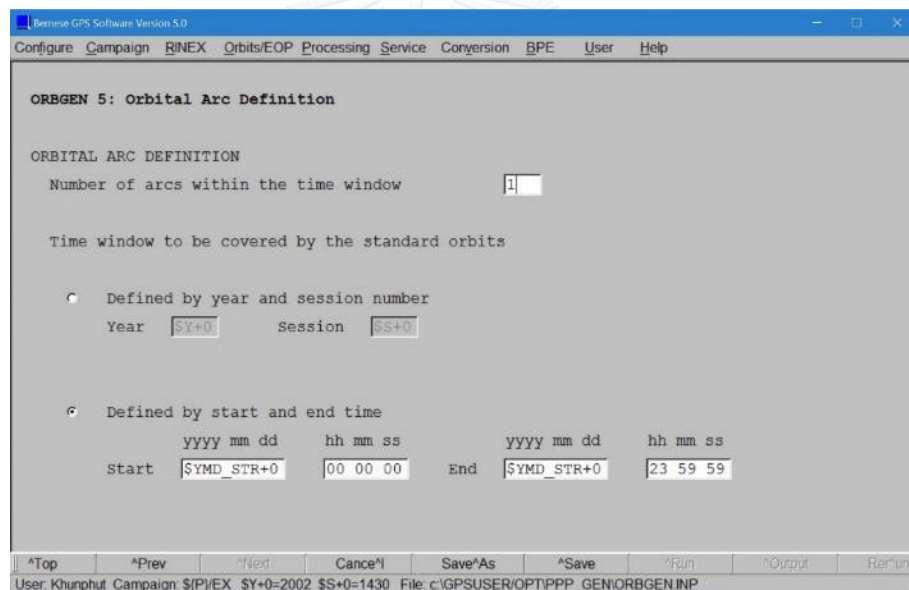
រូប ៣-14 Create standard orbit(4)



រូប ៣-15 Create standard orbit(5)



รูป ก-16 Create standard orbit(6)

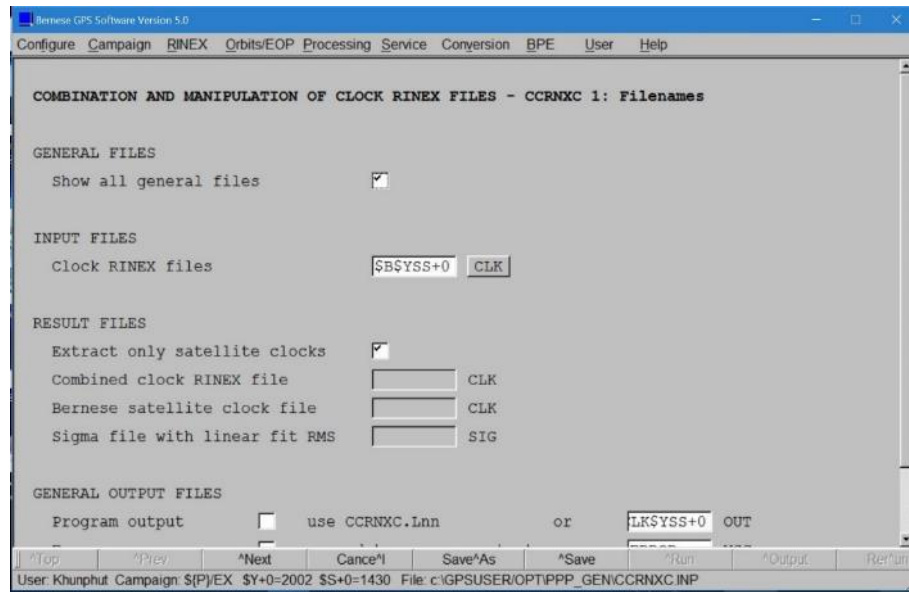


รูป ก-17 Create standard orbit(7)

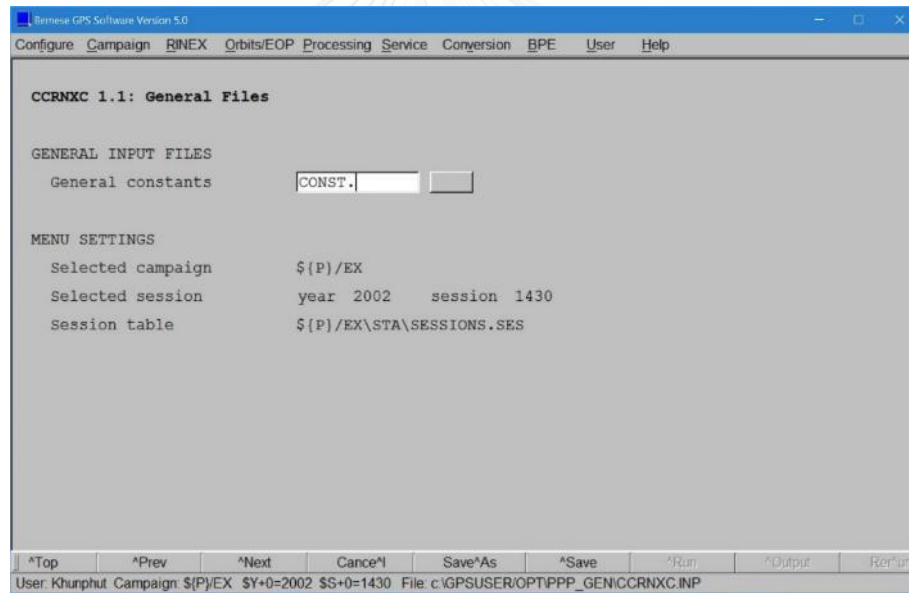
4.2. นำเข้าข้อมูล Clock Rinex File

นำเข้าข้อมูล Clock Rinex File เพื่อแปลงไฟล์เป็นไฟล์สำหรับใช้งานของ Bernese (CLK) โดยตั้งค่าตามนี้

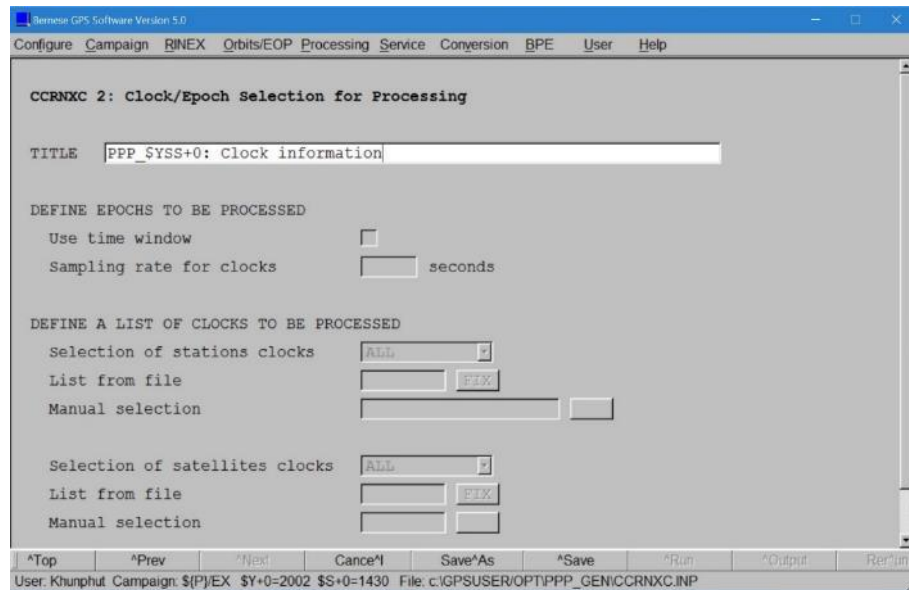
RINEX > RINEX utilities > Combine/manipulate clock data (รูป ก-18-20)



រូប ៧-១៨ Combine/manipulate clock data(1)



រូប ៧-១៩ Combine/manipulate clock data(2)

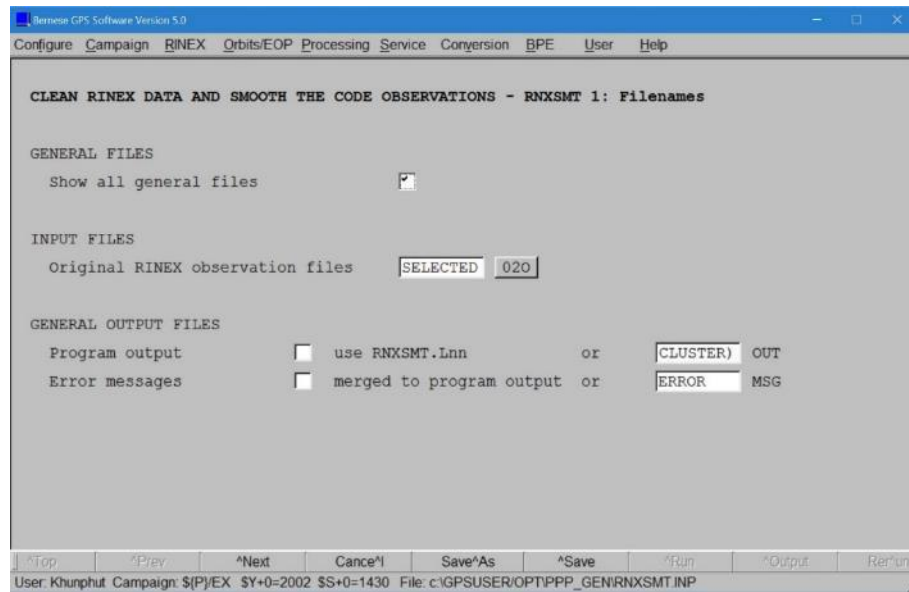


รูป ก-20 Combine/manipulate clock data(3)

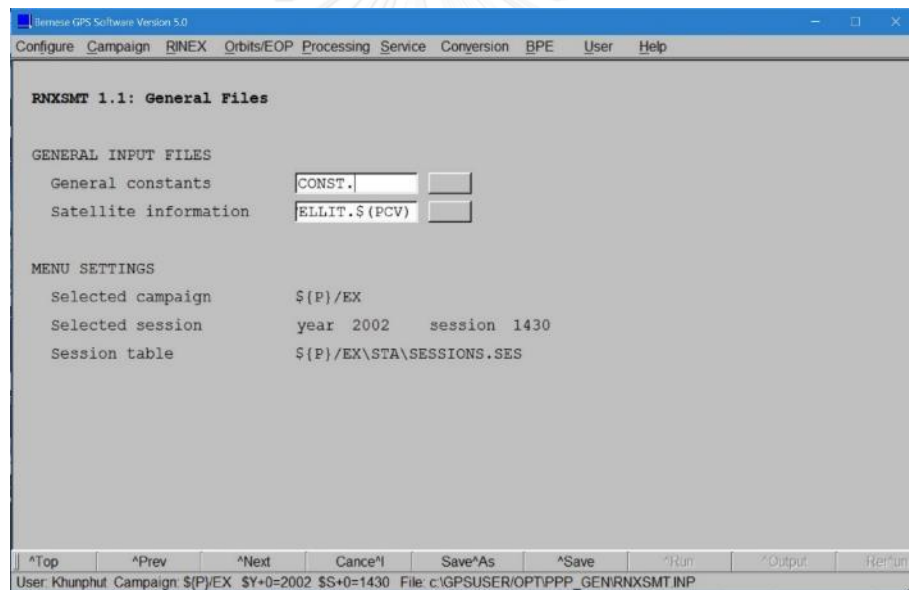
4.3. นำเข้าข้อมูล Rinex

เนื่องจาก Bernese ใช้ไฟล์ Observation ในรูปแบบ Bernese กังนั้นจึงต้องทำการแปลงไฟล์ Rinex เป็น Observation ก่อนโดยทำการ Smoothed Rinex ด้วย RNXSMT จะได้ไฟล์นามสกุล .SMT แล้วจากนั้นนำไปแปลงไฟล์ด้วย RXOBV3 จะได้ Observation File ในการใส่ชื่อไฟล์สถานีสามารถใช้ ???\$S+0 แทนชื่อสถานีได้โดยจะเลือกไฟล์ที่ชื่ออักษร 4 ตัวตามด้วย Session Number และเลข 0 ทุกไฟล์ การตั้งค่านี้นี้

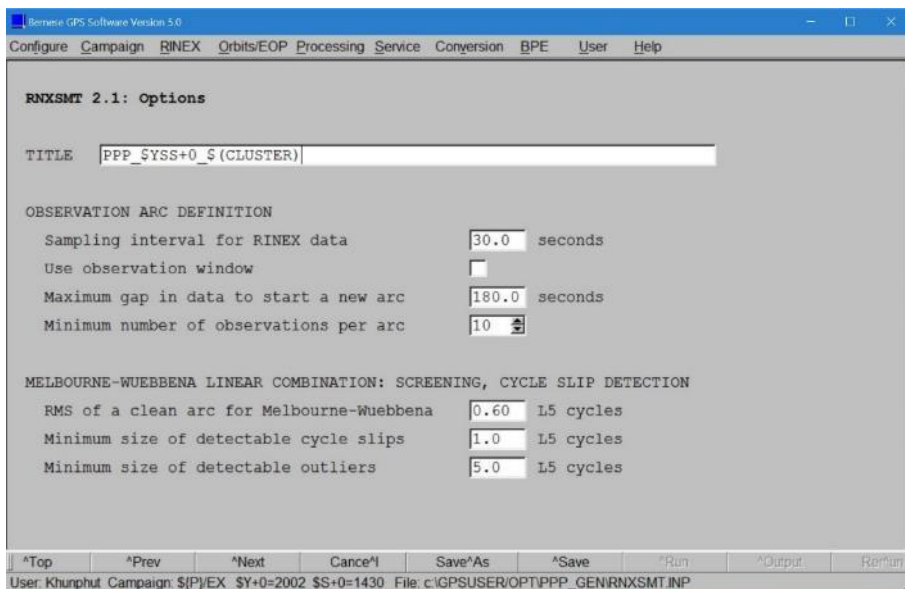
RINEX > RINEX utilities > Clean/smooth observation File (รูป ก-21-24)



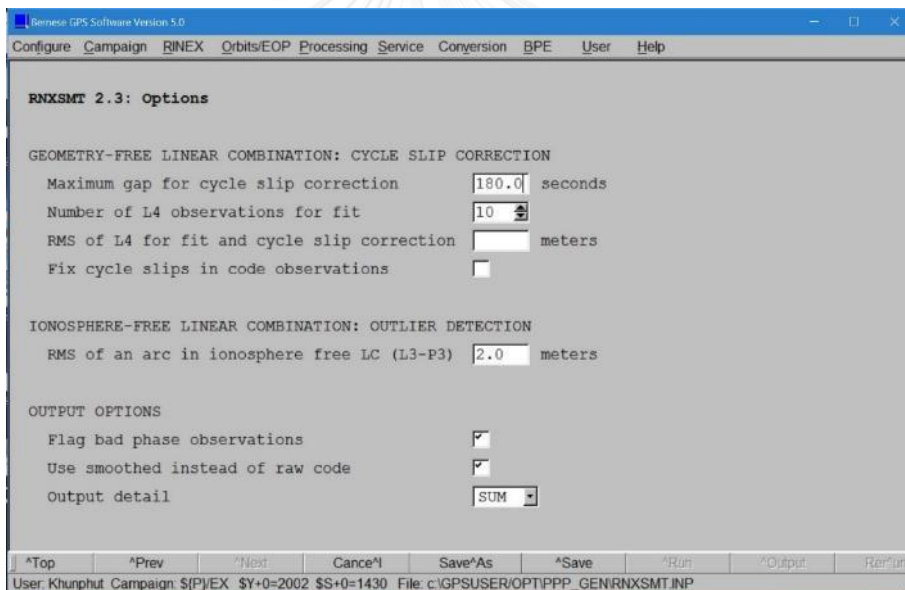
រូប ក-21 Clean/smooth observation File (1)



រូប ក-22 Clean/smooth observation File (2)

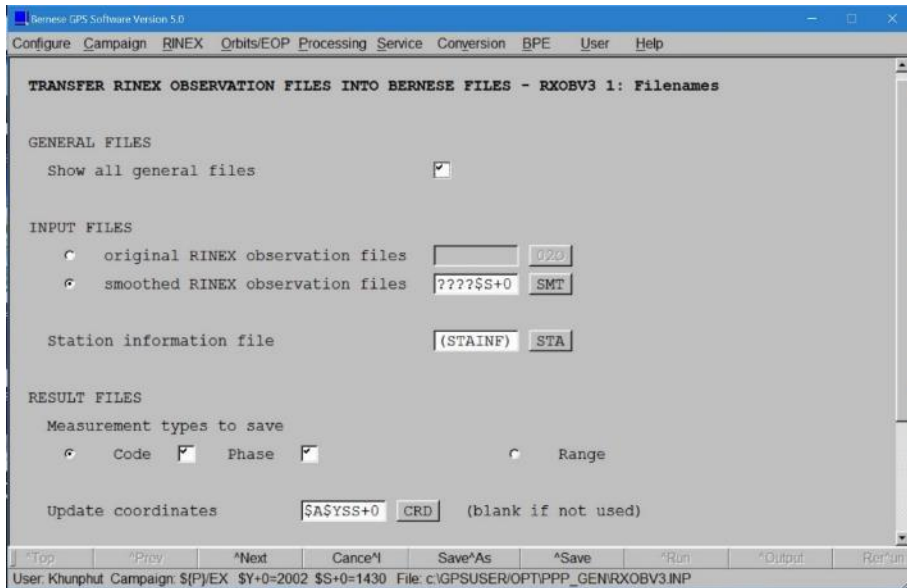


រូប ក-23 Clean/smooth observation File (3)

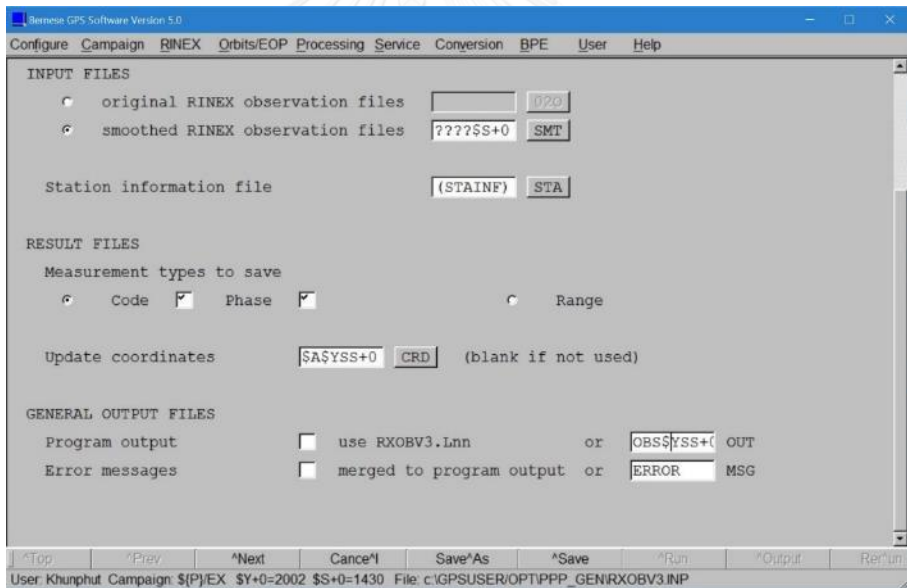


រូប ក-24 Clean/smooth observation File (4)

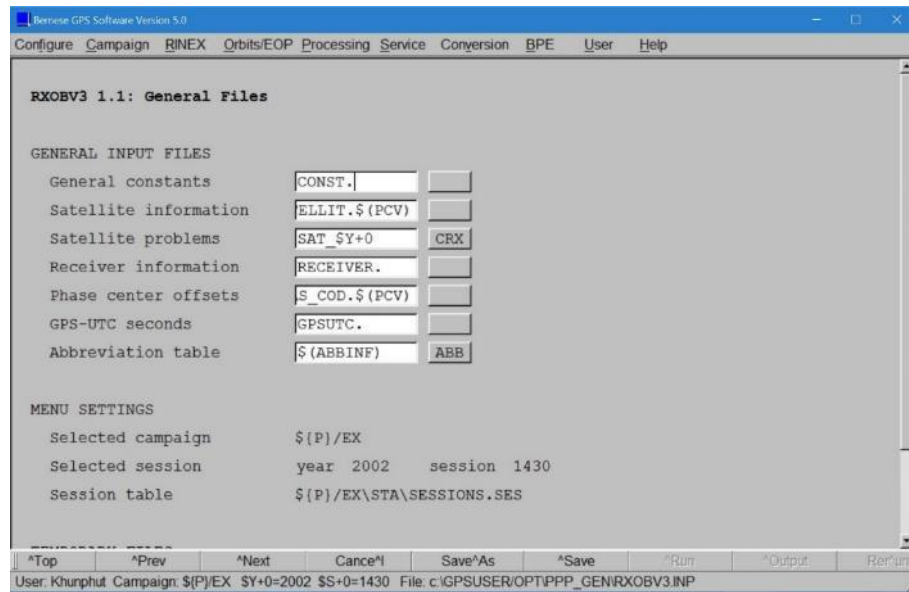
RINEX > Import RINEX to Bernese Format > Observation File (រូប n-25-32)



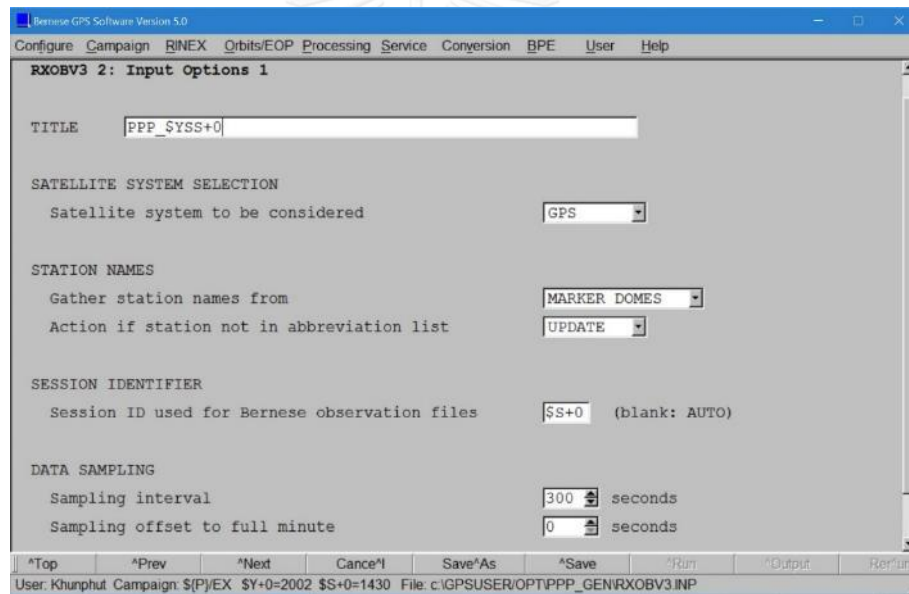
រូប n-25 Observation File (1)



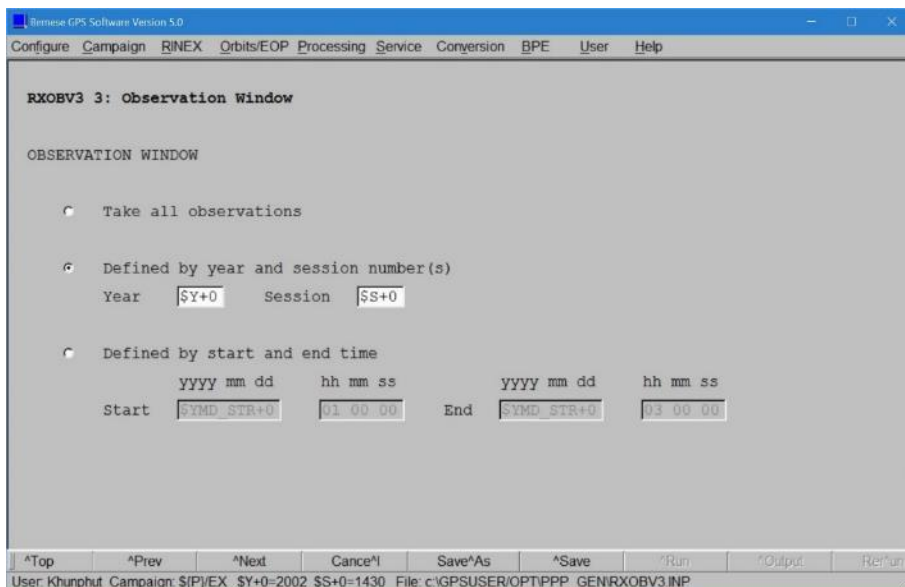
រូប n-26 Observation File (2)



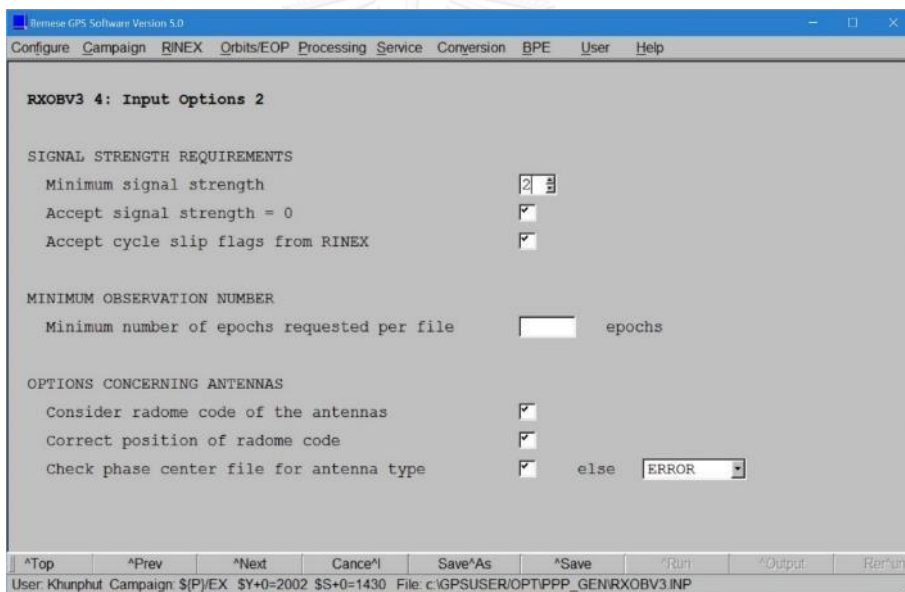
រូប ក-27 Observation File (3)



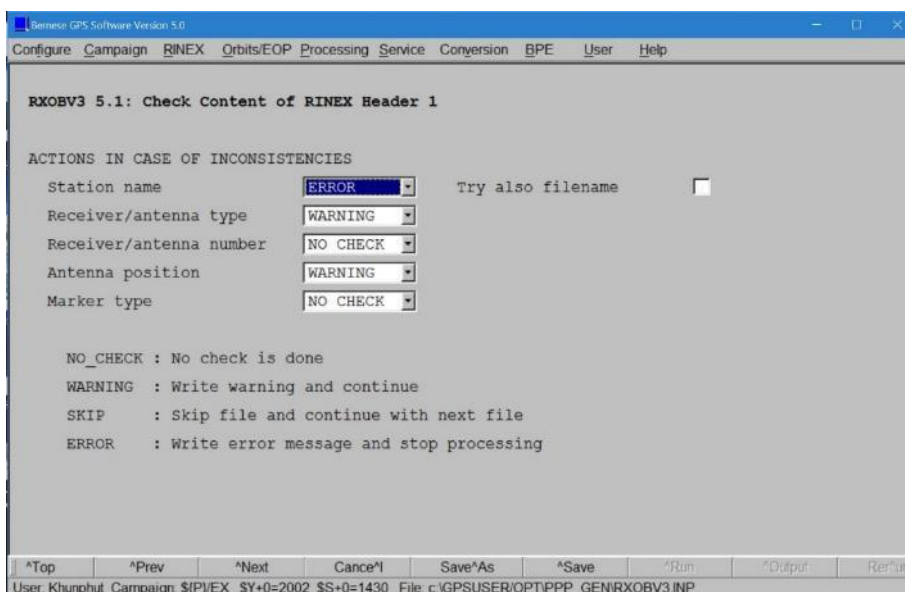
រូប ក-28 Observation File (4)



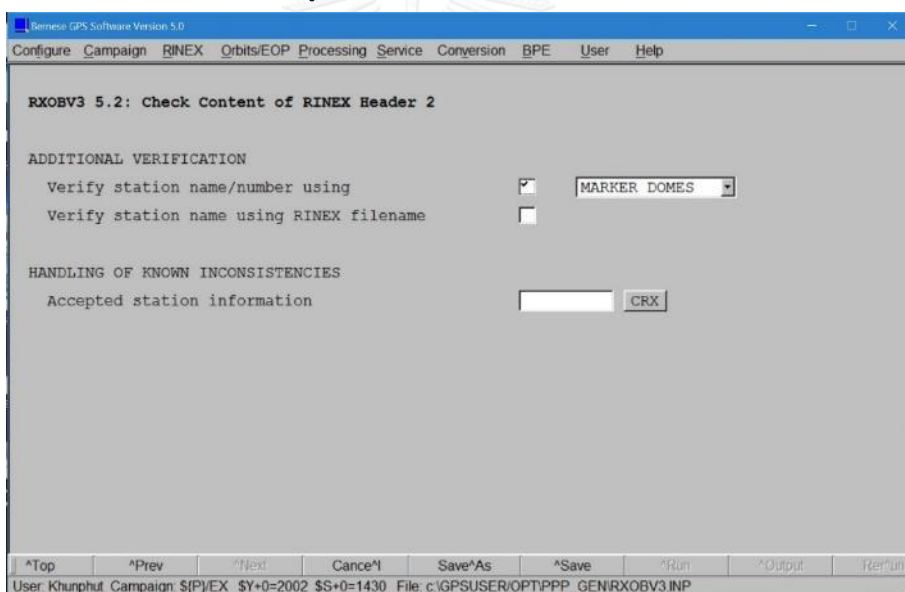
រូប ៣-29 Observation File (5)



រូប ៣-30 Observation File (6)



รูป ก-31 Observation File (7)

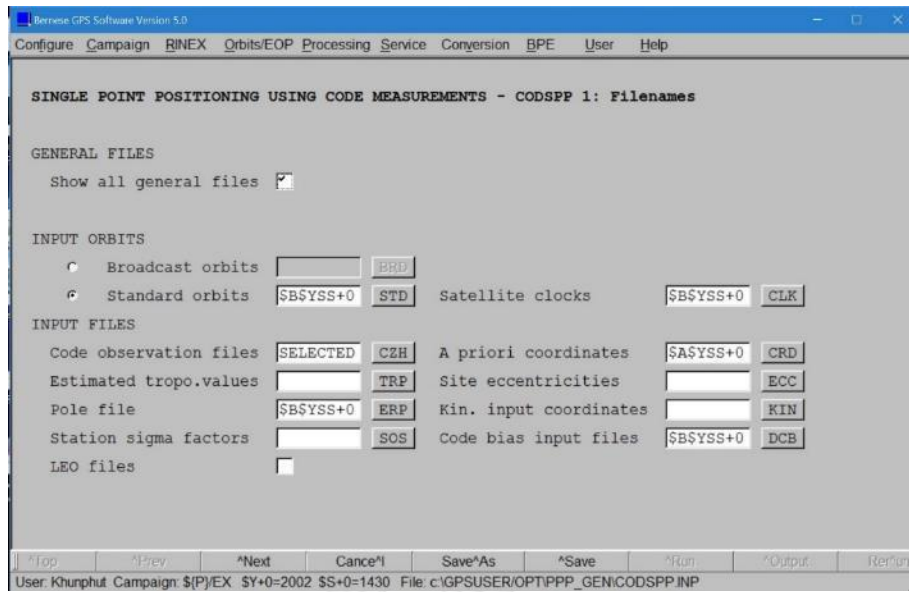


รูป ก-32 Observation File (8)

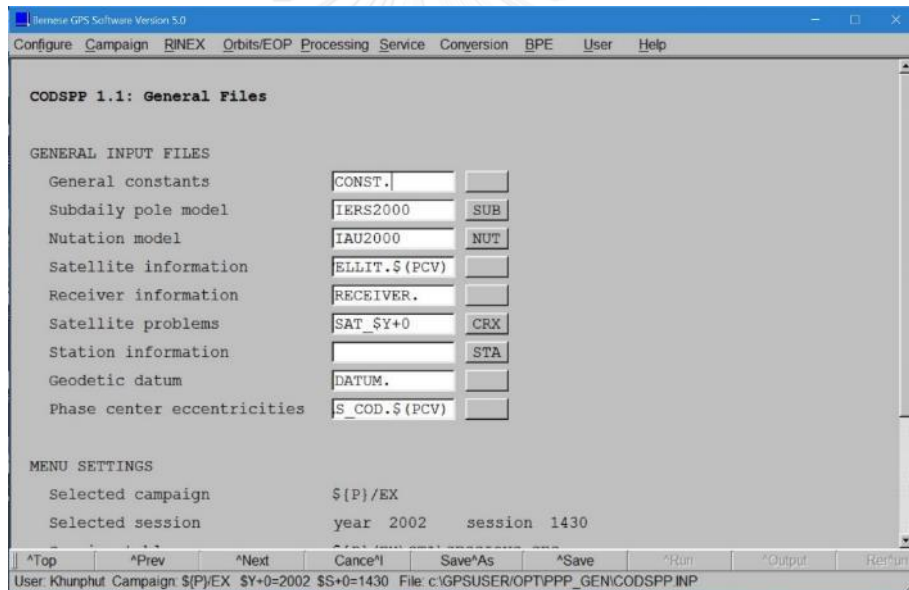
5. การประมวลผลสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์

ในขั้นตอนการประมวลผลนั้นจะเริ่มต้นด้วยการกำจัด Clock Receiver Bias ซึ่งใช้การประมวลผลแบบ Single Point Positioning ใน CODSP โดยนำข้อมูลจากขั้นตอนที่ผ่านมาใส่ใน Input โดยตั้งค่าดังนี้

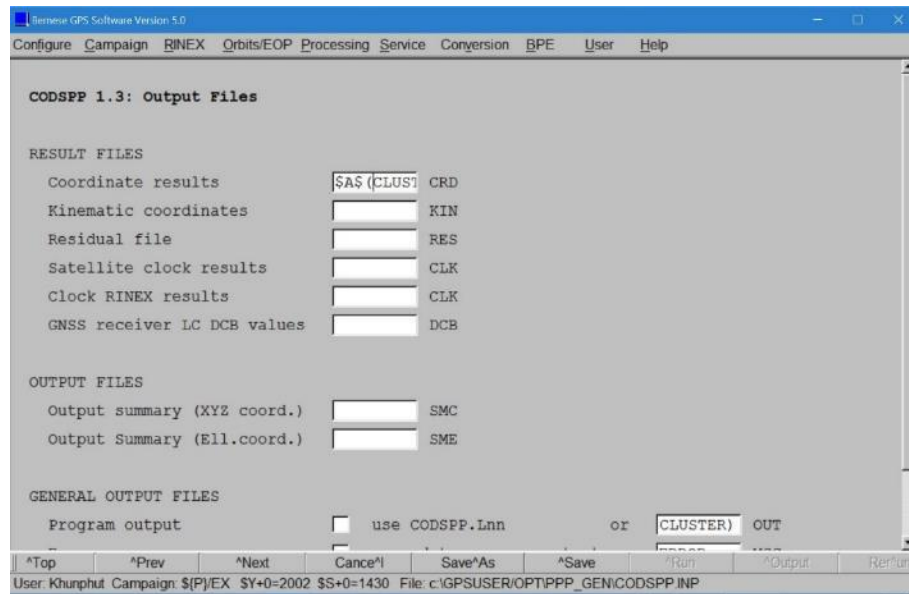
Processing > Code-Base Clock Synchronization (รูป ก-33-38)



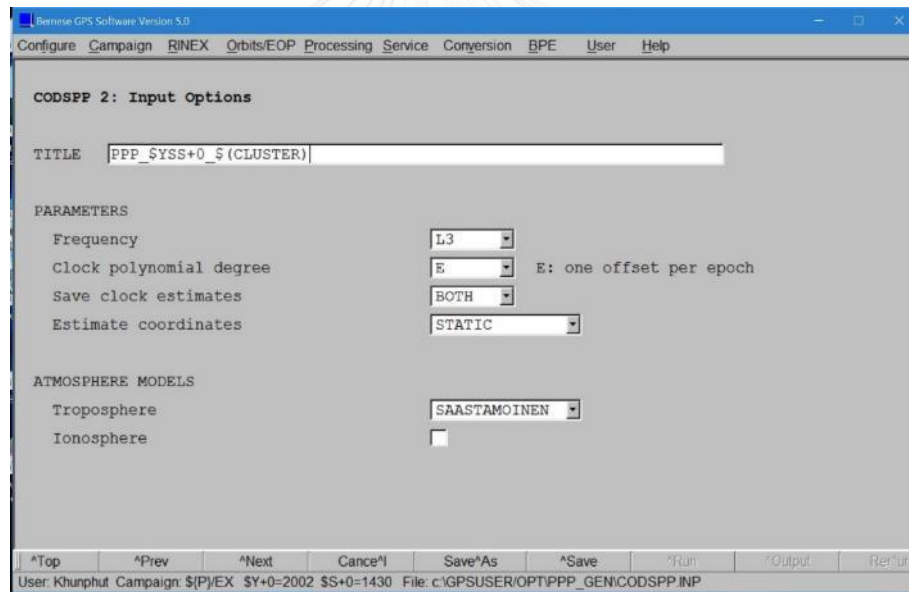
រូប ៣-៣៣ Code-Base Clock Synchronization (1)



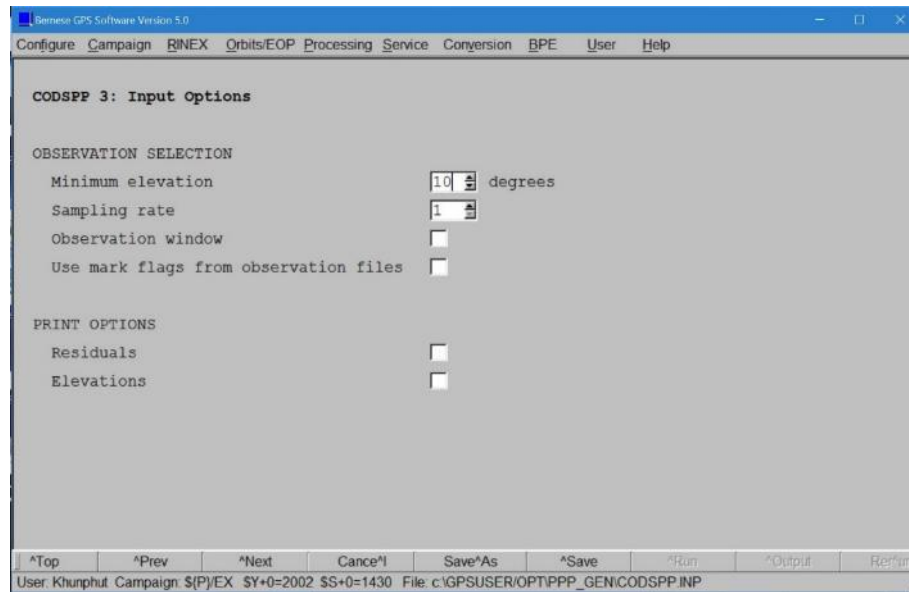
រូប ៣-៣៤ Code-Base Clock Synchronization (2)



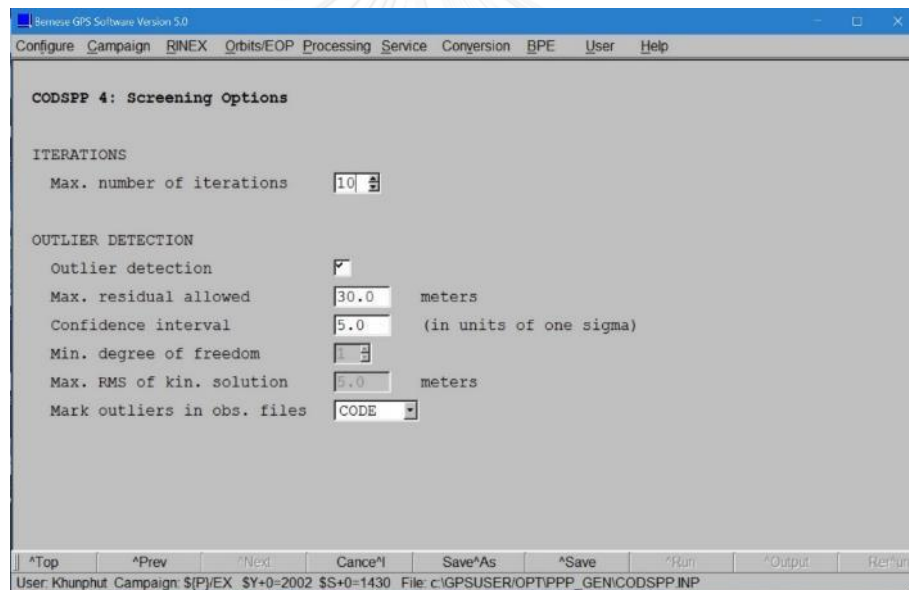
រូប n-35 Code-Base Clock Synchronization (3)



រូប n-36 Code-Base Clock Synchronization (4)



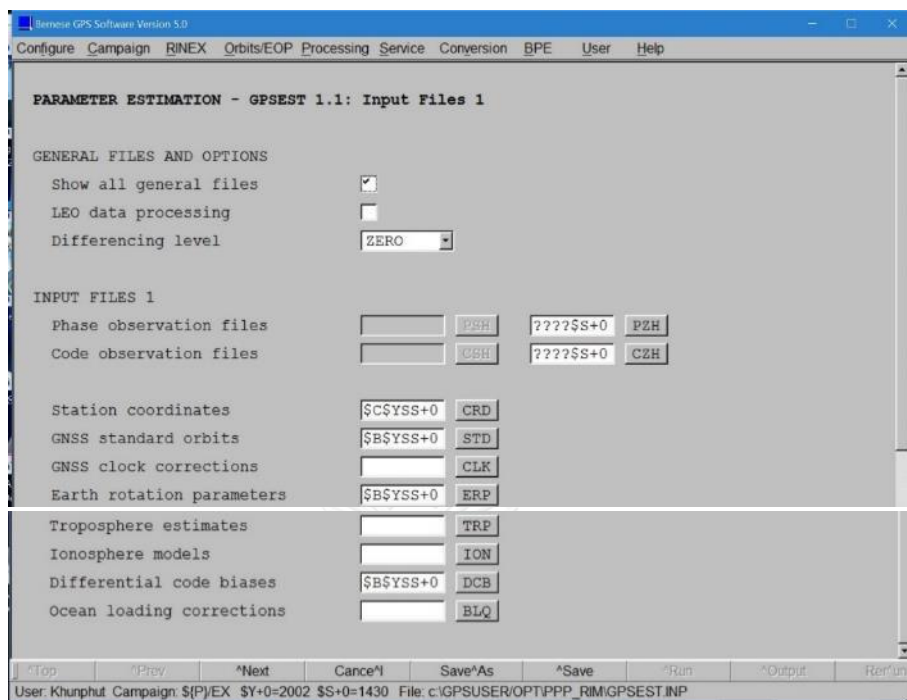
รูป ก-37 Code-Base Clock Synchronization (5)



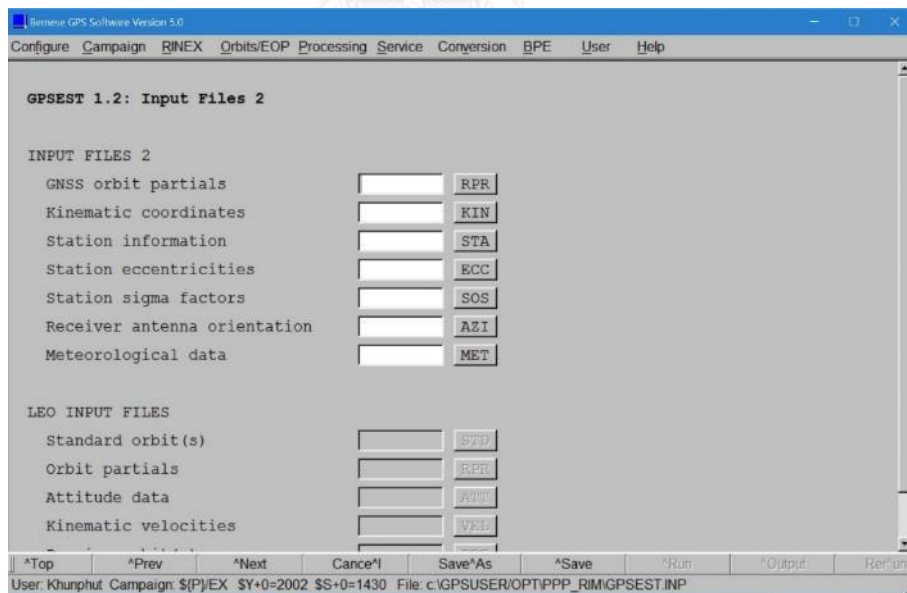
รูป ก-38 Code-Base Clock Synchronization (6)

ขั้นตอนต่อมาคือขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์ โดยใช้ GPSEST ในการสร้าง โดยตั้งค่าตามนี้

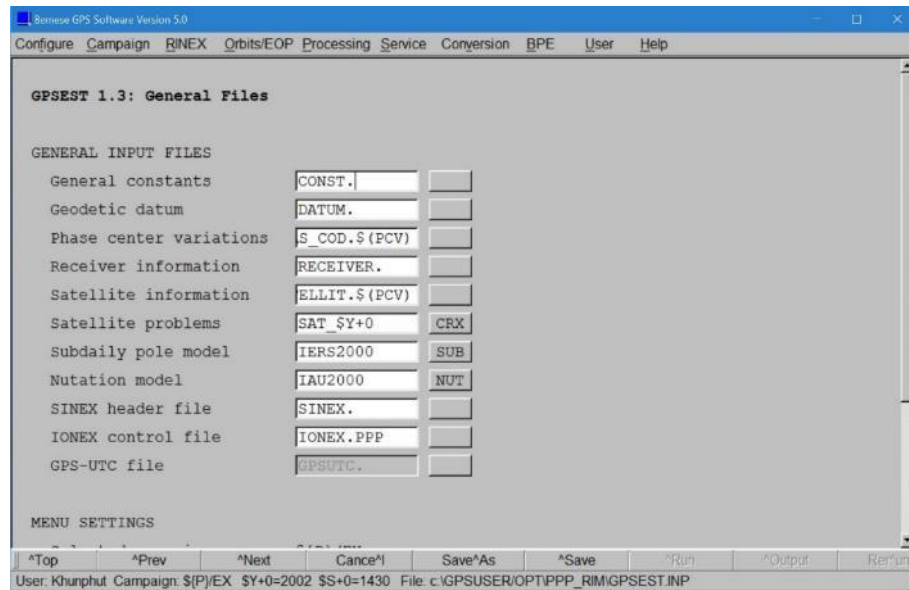
Processing > Parameter Estimation (รูป ก-39-50)



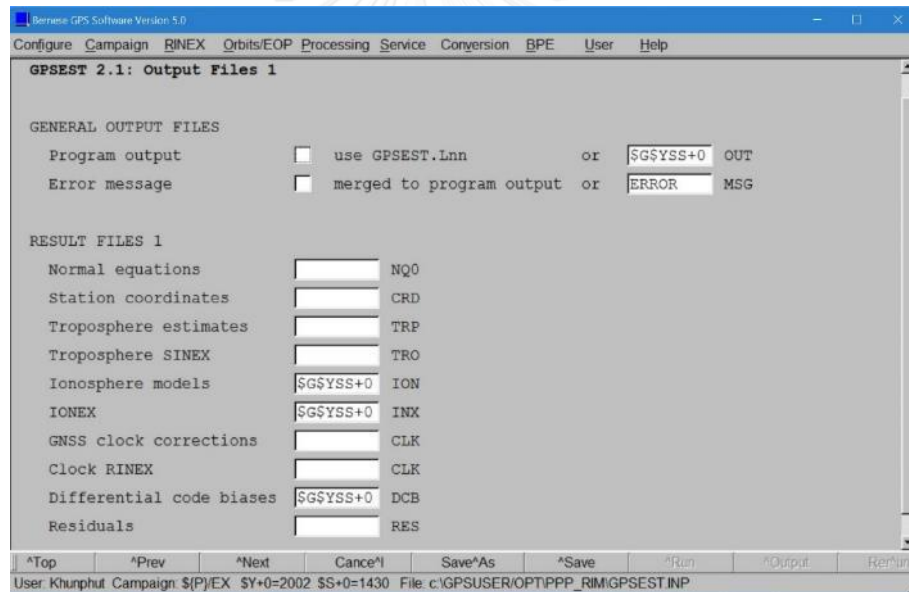
รูป ก-39 Parameter Estimation (1) ใส่ข้อมูลจากขั้นตอนนี้ก่อน ๆ ทั้งหมด และเลือก Differencing Level : Zero



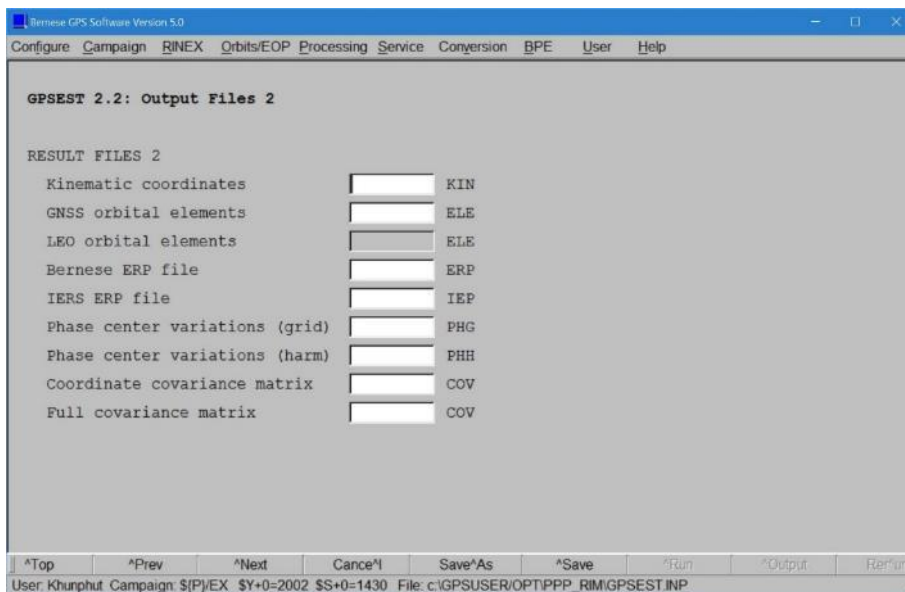
รูป ก-40 Parameter Estimation (2)



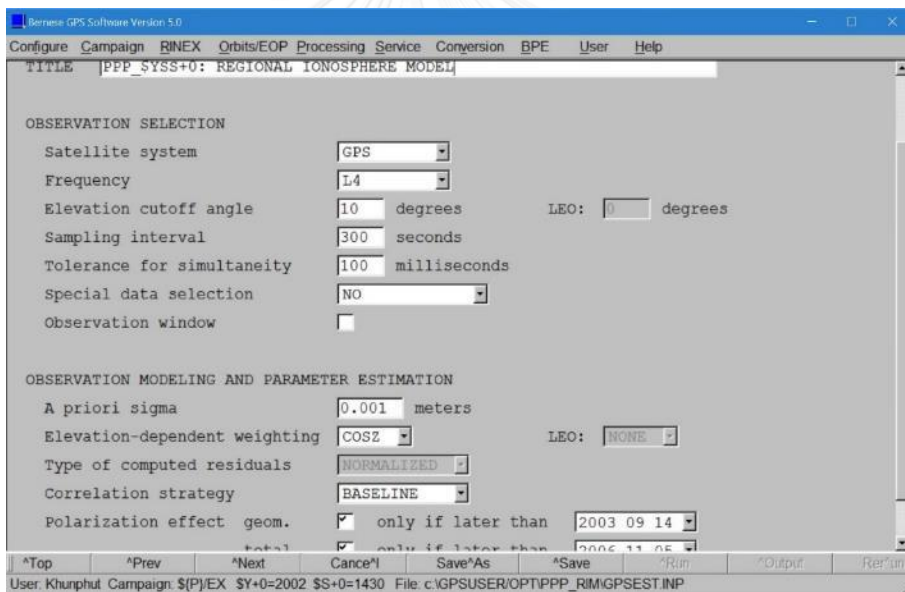
รูป ก-41 Parameter Estimation (3)



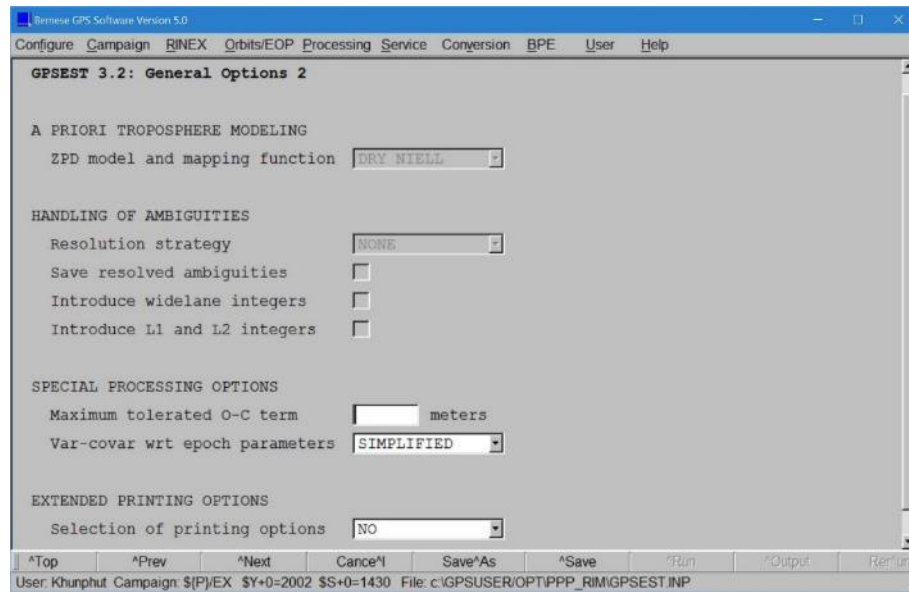
รูป ก-42 Parameter Estimation (4) ใส่ชื่อไฟล์ที่ต้องการที่ช่อง IONEX



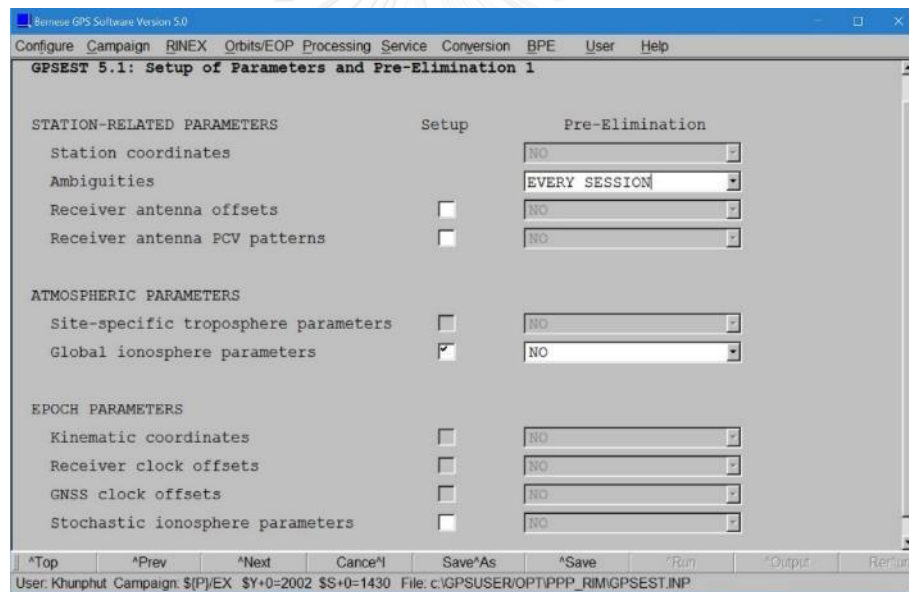
รูป ก-43 Parameter Estimation (5)



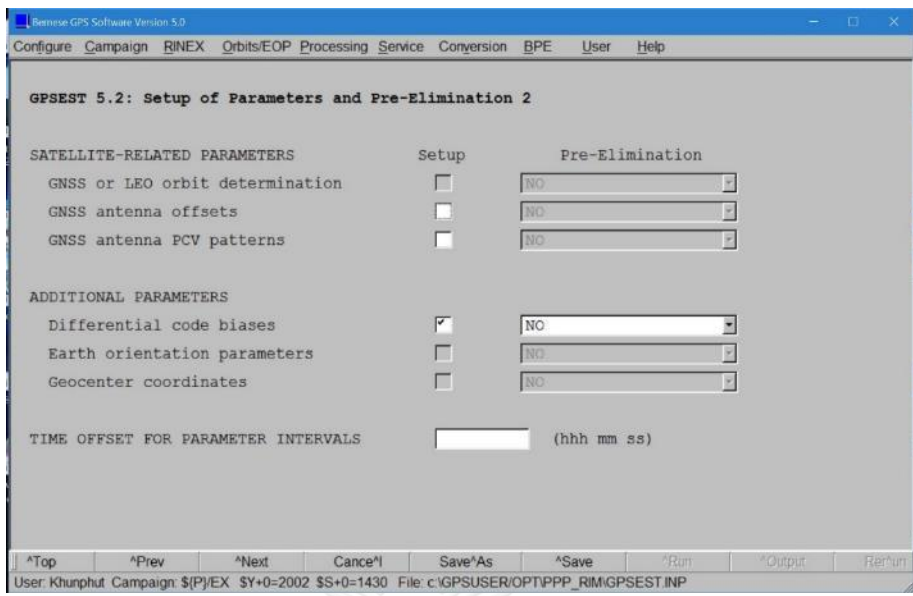
รูป ก-44 Parameter Estimation (6) เลือก Frequency เป็น L4 (Geometry Linear combination)



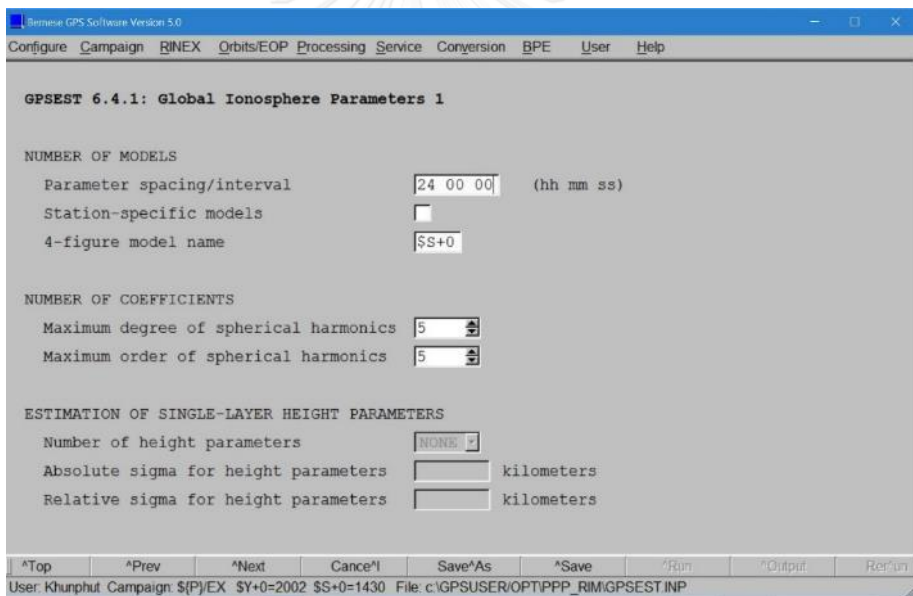
รูป ก-45 Parameter Estimation (7)



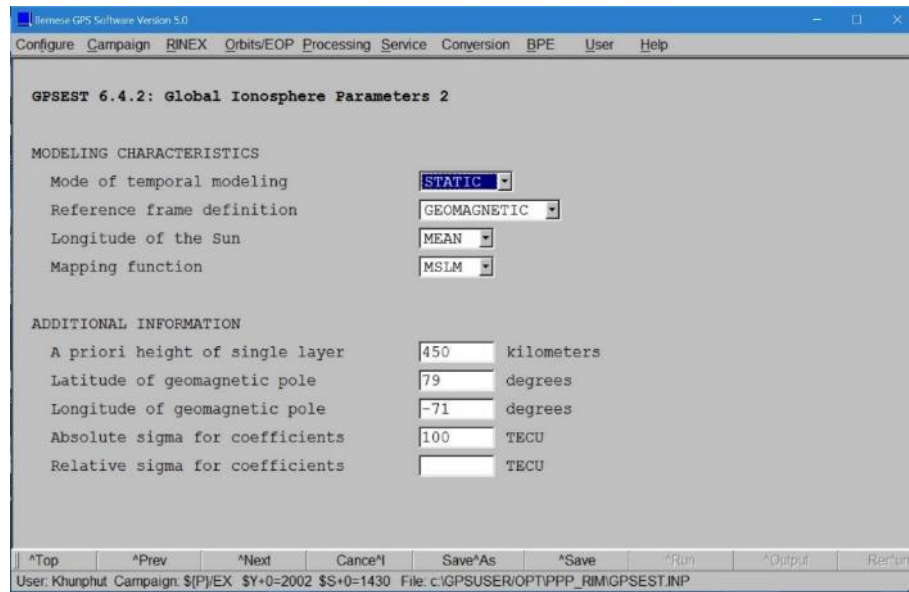
รูป ก-46 Parameter Estimation (8) ที่ Ambiguities เลือกเป็น Every Session



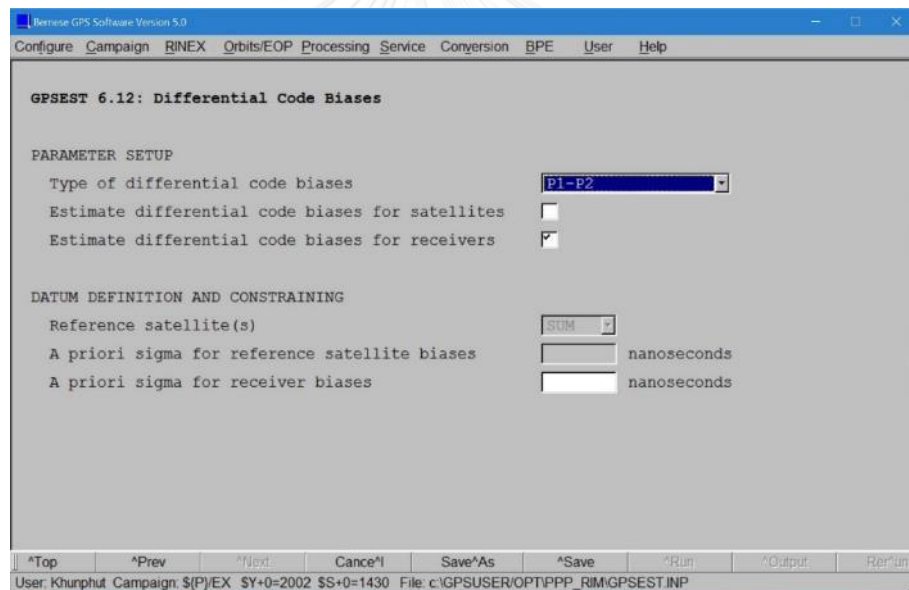
รูป ก-47 Parameter Estimation (9)



รูป ก-48 Parameter Estimation (10) ที่ Number of Coefficients ให้ตั้งค่าตามที่จะทดสอบได้แก่ 4, 5, 6 และ



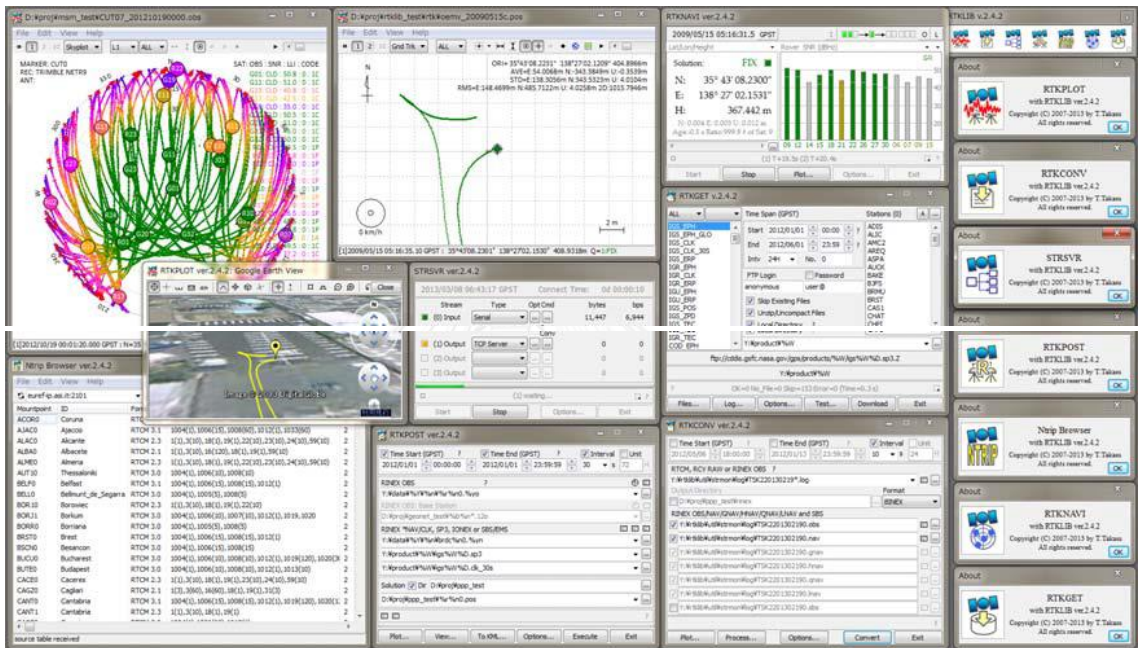
รูป ก-49 Parameter Estimation (11) กำหนด Modeling และ Additional ตั้งภาพ



รูป ก-50 Parameter Estimation (12) ตั้งชนิดของ Differential Code Bias เป็น P1-P2

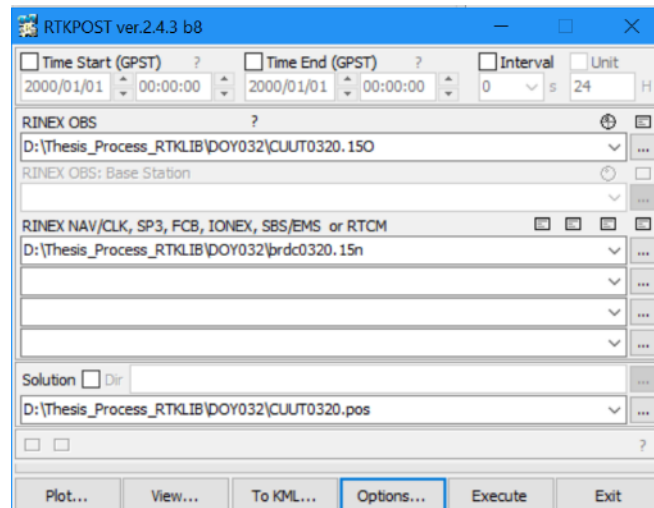
ภาพผนวก ข. การใช้งาน RTKLIB 2.4.3 ในการประมวลผลจุดเดี่ยว

ซอฟต์แวร์ RTKLIB 2.4.3 เป็นซอฟต์แวร์ฟรีที่สามารถทำการประมวลผลข้อมูล GNSS ได้ทั้งแบบมาตรฐานและความละเอียดสูงที่ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อยต่าง ๆ ภายในที่ทำหน้าที่แต่ละอย่าง (รูป ข-1) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้แค่ RTLPLOT และ RTKPLOT เท่านั้น



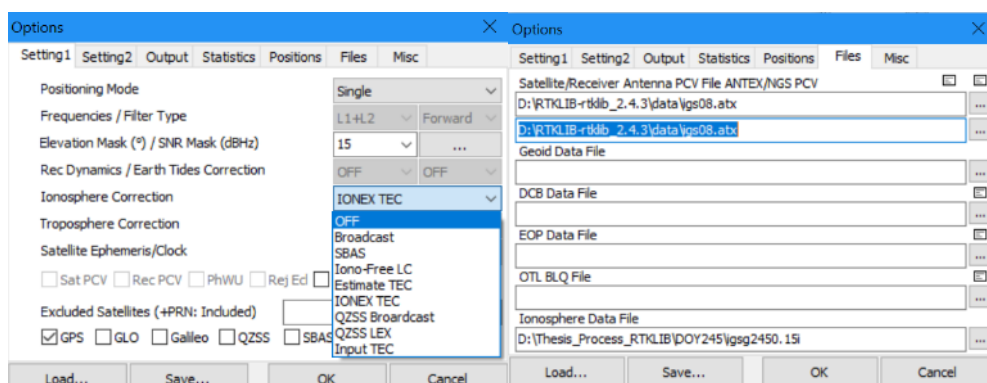
รูป ข-1 ตัวอย่าง RTKLIB

1. RTKPOST คือส่วนที่ทำหน้าที่ในการประมวลผล ในงานวิจัยนี้จะใช้เพียงการประมวลผลแบบ Single Point Positioning ตั้งค่าการใช้งานประมวลผลดังนี้ (รูป ข-2,ข-4)

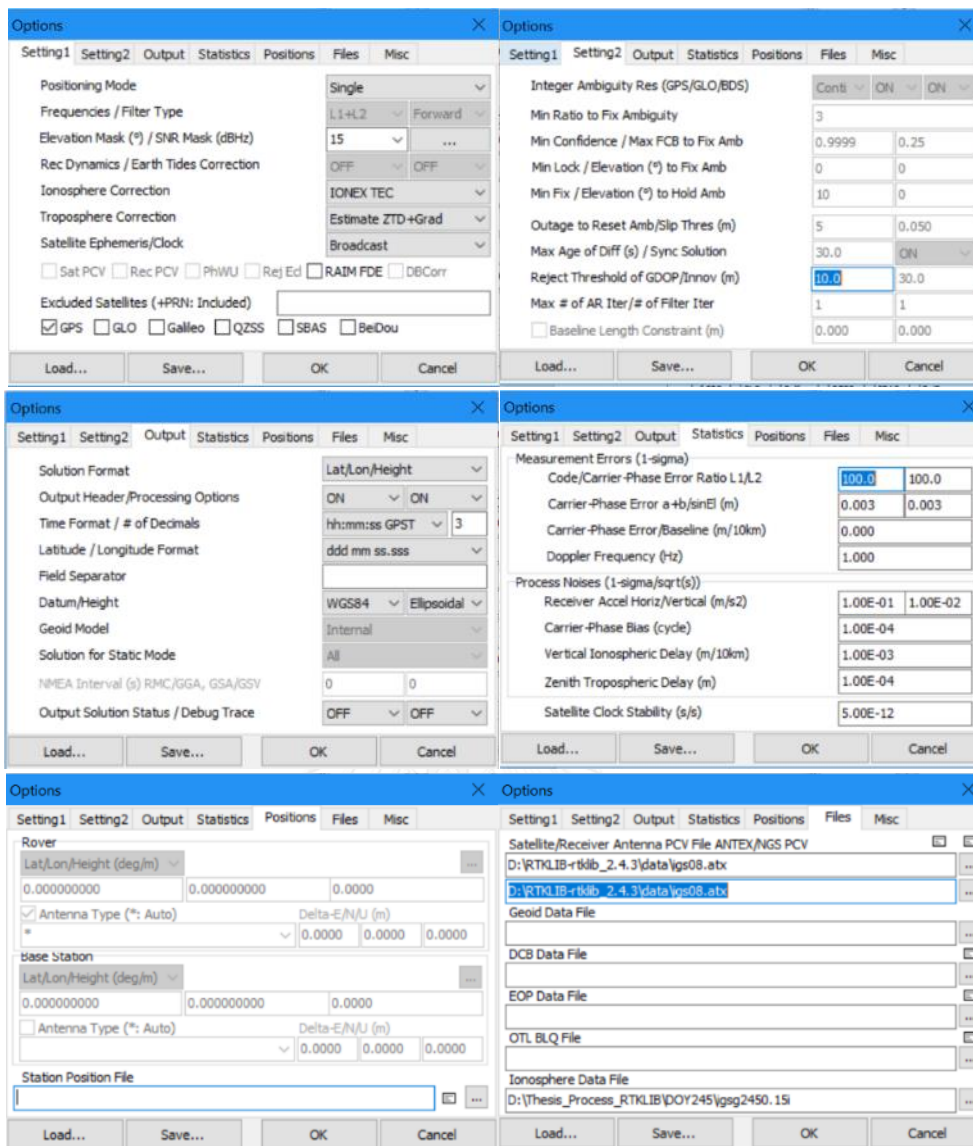


รูป ข-2 ตัวอย่าง RTKPOST

ในการตั้งค่า Ionosphere Correction สำหรับเลือกแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์นั้น Klobuchar Model : Broadcast, Ionosphere Model from QZSS : QZSS Broadcast, Ionosphere-free Linear Combination : Iono-Free LC และสุดท้าย GIM และ THAI : IONEX TEC โดยนำไฟล์ IONEX ไปใส่ที่ช่อง Ionosphere Data File (รูป ข-3)

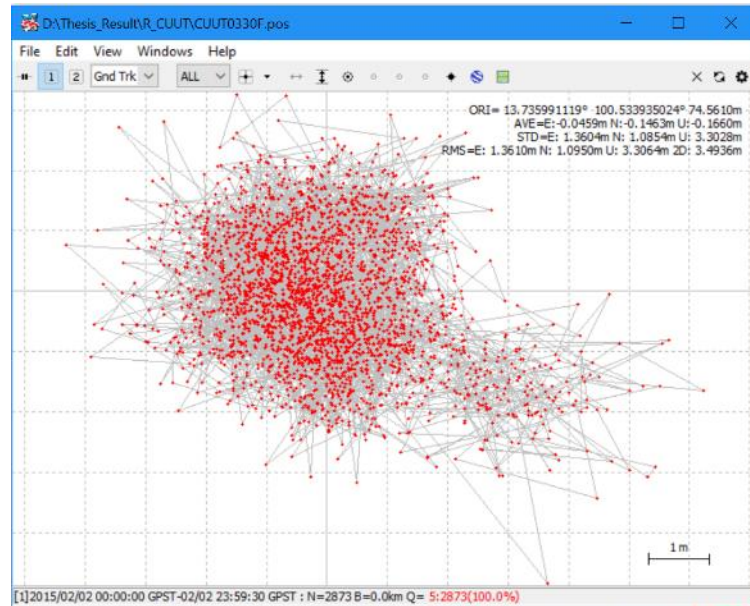


รูป ข-3 ตั้งค่า Ionosphere Correction



รูป ข-4 การตั้งค่า RTKPOST

2. RTKPLOT คือส่วนที่แสดงผลลัพธ์ของการประมวลผลในรูปแบบแผนที่และแสดงค่าพิกัดรวมทั้งค่าทางสถิติด้วย ดังรูป ข-5 และ ข-6



รูป ข-5 ตัวอย่าง RTKPLOT

Time Format	h:m:s GPST	Error Bar/Circle	OFF	Mark Color 1 (1-6)	[Color Selection]
Lat/Lon Format	ddd.ddddd	Direction Arrow	OFF	Mark Color 2 (1-6)	[Color Selection]
Show Statistics	ON	Graph Label	ON	Line Color	[Color Selection]
Cycle-Slip	OFF	Grid/Grid Label	Grid	Text Color	[Color Selection]
Parity Unknown	OFF	Compass	OFF	Grid Color	[Color Selection]
Ephemeris	OFF	Scale	ON	Background Color	[Color Selection]
Elevation Mask (°)	0	Auto Fit	ON	Plot Style	Mark/Line
Elev Mask Pattern	OFF	Y-Range (+/-)	1	Mark Size	2
Hide Low Satellite	OFF	RT Buffer Size	10800	Font	Tahoma 8pt
Max NSAT/DOP	30	Coordinate Origin	Lat/Lon/Hg	Animation Interval	10
Max Multipath	10			Update Cycle (ms)	100
Receiver Position	Lat/Lon/Hgt	Lat/Lon/Hgt	13.735991119 100.533935024 74.5610		
Satellite System	<input checked="" type="checkbox"/> GPS <input type="checkbox"/> GLO <input type="checkbox"/> Galileo	QC Cmd	teqc +qc +sym +l -rep -plot		
<input type="checkbox"/> QZSS <input type="checkbox"/> SBAS <input type="checkbox"/> BeiDou		RINEX Opt			
Excluded Sats (+Sn: Included)		TLE Data			
		TLE Sat No			

รูป ข-6 การตั้งค่า RTKPLOT

อภิธานศัพท์

โทรโพสเฟียร์	เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงจากพื้นดินขึ้นไปประมาณ 15 กม. อุณหภูมิจะค่อยๆลดลงตามระดับความสูง และเป็นชั้นที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศ
ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)	ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ หาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ
GNSS (Global Navigation Satellite System)	ระบบนำร่องโดยใช้กลุ่มดาวเทียม ซึ่งจะระบุตำแหน่งของผู้ใช้ที่อยู่บนพื้นผิวโลกครอบคลุมทั้งโลก ประกอบไปด้วยระบบดาวเทียม GPS, GLONASS, Galileo และ Beidou
Differential Code Bias (DCB)	ค่าความคลาดเคลื่อนในการส่งสัญญาณรหัสของดาวเทียมที่มีความถี่ที่แตกต่างกัน โดยปกติแล้วค่าคลาดเคลื่อนจะมีขนาดค่อนข้างคงที่แต่ในแต่ละดาวเทียมจะมีค่าแตกต่างกัน
GPS leap Second	วินาทีที่ปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อรักษามาตรฐานการประกาศเวลาให้ใกล้เคียงกับเวลาสุริยะโดยเฉลี่ยเนื่องด้วยเวลามาตรฐานมีพื้นฐานอยู่บนเวลาสากลเชิงพิกัด (UTC) ซึ่งรักษาไว้ด้วยนาฬิกาอะตอมที่มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูง แต่เนื่องจากโลกมีการเปลี่ยนแปลง อาทิ การเคลื่อนที่ของเปลือกโลก แผ่นดินไหว ปริมาณน้ำในมหาสมุทร ทำให้อัตราการหมุนของโลกช้าลงหรือเร็วขึ้น ถึงแม้จะเล็กน้อยแต่ก็อาจทำให้เวลาทั้งสองเกิดความแตกต่าง จึงต้องมีการปรับเวลาให้ใกล้เคียงกัน

Ocean Loading	ผลของน้ำขึ้นน้ำลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกกับ กระแสน้ำในมหาสมุทรก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของพื้นทะเลและ การเคลื่อนตัวของพื้นผิวที่อยู่ติดกัน
Coordinated Universal Time	เวลาสากลเชิงพิกัด คือ หน่วยเวลาที่ใช้ในการอ้างอิงการหมุนของ โลก โดยใช้เครื่องหมาย บวก หรือ ลบ เทียบจากหน่วย เวลาสากล ซึ่งเป็นระบบอ้างอิงจาก เวลามาตรฐานกรีนิช (GMT) จุดอ้างอิง ของเวลาสากลเชิงพิกัดคือที่ลองจิจูด ที่ 0° ที่ตัดผ่าน Royal Greenwich Observatory ใน กรีนิช ลอนดอน สหราชอาณาจักร



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นายคุณวุฒิ ปราการรัตน์

วันเดือนปีเกิด : 12 มิถุนายน พ.ศ. 2535

คุณวุฒิทางการศึกษา :

พ.ศ. 2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลงานทางวิชาการ

คุณวุฒิ ปราการรัตน์ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2560) "การศึกษาเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองไอโอโนสเฟียร์แบบต่าง ๆ ในพื้นที่ประเทศไทย" การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2560, 9-10 กุมภาพันธ์ 2560

