

ระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วย
ดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์
RELATIVE GNSS POSITIONING ERROR MONITORING AND PREDICTION
SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง
ด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์
RELATIVE GNSS POSITIONING ERROR MONITORING AND PREDICTION
SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2567

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียม
จีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์


RELATIVE GNSS POSITIONING ERROR MONITORING AND PREDICTION SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นายวรมธ ช้างเนียม 64011265
2. นายองค์กร ทองพิทักษ์ 64011313
3. นายอภิวรรณ แซ่ลี 64011319


.....
(ศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ)

อาจารย์ที่ปรึกษา


.....
(ดร.จิรภูมิ บุตรโท)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง “ระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์” สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ทางผู้จัดทำต้องขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ และดร.จิรภูมิ บุตรโท อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวคิดและแนวทางวิธีการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงผู้จัดทำขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาเอก ปริญญาโทที่คอยให้คำแนะนำ คอยช่วยเหลือ และสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้การทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ความรู้ต่าง ๆ ให้แก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่อาจจะไม่ได้กล่าวถึงในข้างต้นที่ให้การสนับสนุน และให้ความช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ที่สนใจศึกษาต่อไป

นายวรมธ ช้างเนียม
นายองค์กร ทองพิทักษ์
นายอภิวรรณ แซ่ลี
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง
ด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์
RELATIVE GNSS POSITIONING ERROR MONITORING
AND PREDICTION SYSTEM

โดย	นายวรมธ	ช่างเนียม	64011265
	นายองค์กร	ทองพิทักษ์	64011313
	นายอภิวรรณ	แช่ลี	64011319

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.จิรภูมิ บุตรโท

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนา ระบบตรวจสอบและแก้ไขความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วย GNSS บนเว็บแอปพลิเคชัน โดยใช้พารามิเตอร์สภาพอวกาศ (space weather product) ประเมินดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบจากสภาพอวกาศและการเปลี่ยนแปลงในชั้นไอโอโนสเฟียร์ แล้วทำการคัดกรองดาวเทียมเหล่านั้นออกจากการคำนวณตำแหน่ง นอกจากนี้ยังมีการทำนายและแจ้งเตือนการเกิดความคลาดเคลื่อน ผู้ใช้งานสามารถทราบดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบและปรับใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องการความแม่นยำสูงในช่วงเวลาที่เหมาะสม

ABSTRACT

This thesis presents the development of a system for monitoring and correcting positioning errors in relative GNSS positioning on a web application. The system utilizes space weather parameters to assess satellites affected by space weather conditions and ionospheric variations, filtering out those satellites from the positioning calculation. Additionally, the system includes prediction and alert features for positioning errors. Users can identify affected satellites and adjust their equipment, which requires high-precision positioning at optimal times.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	XIII
บทที่ 1	
บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	1
บทที่ 2	
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบสัญญาณจีเอ็นเอสเอส	2
2.2 หลักการทำงานของการทำงานหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์	3
2.3 Haversine Formula	5
2.4 พารามิเตอร์สภาพอากาศ (Space Weather Product)	6
2.5 ตำแหน่งดาวเทียม	13
2.6 มุมเงยดาวเทียม	17
2.7 หลักการ Shared Memory	18
2.8 API (Application Programming Interface)	18
2.9 STR2STR	19
2.10 RTKRCV	20
2.11 NMEA-0183	22
2.12 RTCM (Radio Technical Commission for Maritime services)	25
2.13 NTRIP Client	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 โมดูลรับสัญญาณดาวเทียม U-BLOX NEO-M8T-0	31
2.15 Intel Mini PC NUC 11 Essential Kit	32
2.16 สายอากาศ AN-105L-GNSS	33
2.17 ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน	34
2.18 ฐานข้อมูล MySQL	36
2.19 เว็บแอปพลิเคชัน Grafana	36
2.20 ระบบแจ้งเตือนแบบพุช ntfy	37
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญานินพนธ์	
3.1 การออกแบบ	38
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	53
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	55
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์	57
4.2 การทดสอบเพื่อหาเกณฑ์ในการตัดสินใจในกระบวนการการสอบเทียบ (CALIBRATION)	62
4.3 การทดสอบเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK FIXED SOLUTION ในครั้งแรกระหว่างเครื่องรับสัญญาณ HIGH-END กับ LOW-COST ของแต่ละสถานีฐาน	67
4.4 การคำนวณพารามิเตอร์สภาพอวกาศ (Space Weather Product)	70
4.5 การทดสอบการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำ Geometry Screening ด้วย Space Weather Product	84
4.6 ระบบฐานข้อมูล	87
4.7 ผลการทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน	93
4.8 ผลการทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือน	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 STEC ที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับ	7
2.2 ตัวอย่างกราฟของค่า STEC ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2024	7
2.3 VTEC ที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับ	8
2.4 ตัวอย่างกราฟของค่า VTEC ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2024	9
2.5 ตัวอย่างค่าดัชนี S_{4c} วันที่ 20 มกราคม 2024	11
2.6 ตัวอย่างข้อมูล NMEA ที่เครื่องรับ	23
2.7 ตัวอย่างข้อมูล GPGGA	25
2.8 การทำงานของ NTRIP (Network Transport of RTCM data over IP)	30
2.9 อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม U-BLOX NEO-M8T-0	31
2.10 Intel Mini-PC NUC 11 Essential Kit	32
2.11 สายอากาศ AN-105L-GNSS	33
2.12 หน้า Dashboard ที่สร้างจาก Grafana	37
2.13 แอปพลิเคชัน ntfy	37
3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์	38
3.2 แผนผังงานของระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์	39
3.3 แผนผังงานการทำงานของกริดกรองดาวเทียม Geometry Screening	41
3.4 แผนผังงานการทำงานของคำนวณพารามิเตอร์ S_{4c}	43
3.5 แผนผังงานการทำงานของคำนวณพารามิเตอร์ ROTI	45
3.6 บล็อกไดอะแกรมการจัดเก็บข้อมูลและส่งไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน	46
3.7 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Home	47
3.8 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Status	48
3.9 หน้าต่าง Status ที่แสดงกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐานทั้งหมด	48
3.10 หน้าต่าง Status ที่แสดงกราฟ Space Weather Product ทั้งหมด	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 หน้าต่าง Status ที่แสดงขั้นตอนการรับข้อความแจ้งเตือนเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน	50
3.12 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Download	50
3.13 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Contact	51
3.14 แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือน Ntfy	52
3.15 แผนผังการทำงานของระบบทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน	53
4.1 ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ CST9	57
4.2 ตั้งค่าตำแหน่งของสถานีฐาน KMIG ด้วยพิกัดที่ได้จากเว็บไซต์ของ AUSPOS	58
4.3 จัดเตรียมข้อมูลไฟล์ RINEX ของสถานีจลน์ CST9 และสถานีฐาน KMIG	58
4.4 ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 1 มกราคม 2025	59
4.5 ค่ามัธยฐานและระยะห่างของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 1 มกราคม 2025	59
4.6 ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 4 มกราคม 2025	60
4.7 ค่ามัธยฐานและระยะห่างของตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 4 มกราคม 2025	60
4.8 ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 5 มกราคม 2025	61
4.9 ค่ามัธยฐานและระยะห่างของตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 5 มกราคม 2025	62
4.10 ผลการทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)	63
4.11 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 60 วินาที	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.12	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 120 วินาที	64
4.13	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 180 วินาที	65
4.14	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 240 วินาที	65
4.15	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 300 วินาที	65
4.16	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 100 วินาที	66
4.17	ผลลัพธ์การคำนวณ S_{4c} ใน Terminal	70
4.18	ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อคัดกรองมูมเงย 10 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025	71
4.19	ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อคัดกรองมูมเงย 15 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025	71
4.20	ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อคัดกรองมูมเงย 20 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025	72
4.21	ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อคัดกรองมูมเงย 25 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025	72
4.22	ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อคัดกรองมูมเงย 30 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025	72
4.23	การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (A) ที่มูมเงย 30 องศา กับ S_4 (B) วันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2568	73
4.24	การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (A) ที่มูมเงย 30 องศา กับ S_4 (B) วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568	73
4.25	การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (A) ที่มูมเงย 30 องศา กับ S_4 (B) วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568	74
4.26	การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (A) ที่มูมเงย 30 องศา กับ S_4 (B) วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568	74
4.27	การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (A) ที่มูมเงย 30 องศา กับ S_4 (B) วันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568	74
4.28	ค่า STEC ที่ผ่านการคัดกรองเข้าไปใน Window สำหรับคำนวณค่า ROTI	75
4.29	ผลลัพธ์ ROTI (A) เมื่อเริ่มเก็บค่า STEC และ (B) เมื่อเก็บค่า STEC ครบ 300 ค่า	75
4.30	ค่า STEC ขณะที่เกิดปรากฏการณ์ Cycle Slip	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.31	ค่า ROTI ขณะที่เกิดปรากฏการณ์ Cycle Slip	76
4.32	การเปลี่ยนแปลงของค่า STEC (A) ในวินาทีแรกเมื่อตรวจพบการเกิด Cycle Slip และ (B) วินาทีที่สองเมื่อตรวจพบการเกิด Cycle Slip	77
4.33	ค่า STEC (A) ก่อนทำการแก้ไขและ (B) หลังทำการแก้ไข	78
4.34	ค่า ROTI ที่ได้จากค่า STEC ที่ถูกแก้ไข	78
4.35	ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 0.5 TECu	79
4.36	ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 1 TECu	80
4.37	ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 2 TECu	80
4.38	ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 3 TECu	81
4.39	ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 0.5 TECu	82
4.40	ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 1 TECu	82
4.41	ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 2 TECu	83
4.42	ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด Cycle Slip เป็น 3 TECu	83
4.43	ค่า S_{4c} (A) ที่ต่ำกว่า 0.4 ค่า S_{4c} (B) ที่สูงกว่า 0.4	84
4.44	โปรแกรมคัดแยกดาวเทียมออกจากการคำนวณตำแหน่ง	85
4.45	ผลลัพธ์การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อคัดแยกดาวเทียม G05 ออกจากการคำนวณตำแหน่งและแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนบนเว็บแอปพลิเคชัน	86
4.46	ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ DPT9 ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	87
4.47	ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ KMIT6 ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	88
4.48	ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ STFD ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.49 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ DPT9_Cut ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	89
4.50 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ KMIT6_Cut ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	90
4.51 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ STFD_Cut ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	90
4.52 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน Table ของ Cut_Off ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK	91
4.53 ตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์สภาพอากาศ S_{4c} ที่ถูกจัดเก็บใน API	92
4.54 ตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์สภาพอากาศ S_{4c} ที่ถูกจัดเก็บใน API	93
4.55 ฟังก์ชันการแก้ไขให้หน้าเว็บแอปพลิเคชันรีเฟรชหน้า Status	94
4.56 แผนผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Status Table	95
4.57 ตัวอย่างหน้าแสดงผล Status Table เวลา 19:49:52 น. ของวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2568	96
4.58 ฐานข้อมูลที่ใช้ดึงค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาล่าสุด	96
4.59 แผนผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Status Time Series Graph	97
4.60 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน KMIT6 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2568	98
4.61 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน DPT9 วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2568	98
4.62 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน STFD วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2568	99
4.63 แผนผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Status Space Weather Product Graph	99
4.64 หน้าแสดงผล Status Time Series Graph Plot	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.65	ฐานข้อมูลที่ใช้ดึงค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลานั้น	101
4.66	ส่วนของ Nav Bar ในหน้าต่างแสดงผลหลัก	102
4.67	หน้าต่างแสดงผล Home	102
4.68	หน้าต่างแสดงผล Status	103
4.69	หน้าต่างการ DOWNLOAD ข้อมูล	103
4.70	หน้าต่างแสดงผล CONTACT	104
4.71	หน้าต่างแสดงผลค่าสถานะในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศไม่เกินที่ เกณฑ์กำหนดไว้	104
4.72	หน้าต่างแสดงผลค่าสถานะในกรณีที่ค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศเกินที่ เกณฑ์กำหนดไว้	105
4.73	หน้าแสดงผลกราฟลื้อค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน KMIT6	105
4.74	หน้าแสดงผลกราฟลื้อค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน DPT9	106
4.75	หน้าแสดงผลกราฟลื้อค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน STFD	106
4.76	หน้าแสดงผลค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศ S_{4c}	107
4.77	หน้าแสดงผลค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศ ROTI	107
4.78	หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการการแจ้งเตือนผ่าน ntfy	108
4.79	การเลือกสถานีฐานและวันที่ต้องการดาวน์โหลด	109
4.80	หน้าต่างดาวน์โหลดไฟล์ .csv สำเร็จ	109
4.81	รูปไฟล์ .csv ที่ได้จากการดาวน์โหลด	100
4.82	หน้าต่างแสดงผล Contact ของเว็บแอปพลิเคชัน	100
4.83	การแสดงผลหน้าต่างเว็บแอปพลิเคชันบนคอมพิวเตอร์	101
4.84	การแสดงผลหน้าต่างเว็บแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์	102
4.85	การแสดงผลหน้าต่างเว็บแอปพลิเคชันบนแท็บเล็ต	102
4.86	หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการการแจ้งเตือนผ่าน ntfy	113
4.87	ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน ntfy บนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.88	ตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์ในแอปพลิเคชัน “ntfy” (A) กดแถบเมนู Settings (B) ตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์	114
4.89	ตั้งค่าหัวข้อในแอปพลิเคชัน “ntfy” (A) กดเครื่องหมาย “+” (B) ตั้งค่า Subscribed Topics (C) ช่องแชทสำหรับรับข้อความแจ้งเตือน	115
4.90	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 2KMIT6	116
4.91	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 5KMIT6	116
4.92	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 10KMIT6	116
4.93	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 20KMIT6	117
4.94	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 2DPT	117
4.95	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 5DPT	118
4.96	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 10DPT	118
4.97	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 20DPT	118
4.98	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 2STFD	119
4.99	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 5STFD	119
4.100	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 10STFD	120
4.101	ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 20STFD	120
4.102	หน้าต่างแสดงผลกรณีที่ค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศไม่เกินที่เกณฑ์กำหนด	121
4.103	หน้าต่างแสดงผลกรณีที่ค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศเกินที่เกณฑ์กำหนด	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คำสั่งการทำงานโปรแกรม STR2STR	19
2.2 ตัวเลือกการทำงานโปรแกรม RTKRCV	21
2.3 คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม RTKRCV	21
2.4 ความหมายของข้อมูล NMEA สำหรับเครื่องรับ GNSS	23
2.5 รายละเอียดข้อมูล GPGGA	24
2.6 Common Message Type	26
2.7 State Space Representation (SSR) Message Types	26
2.8 Multiple Signal Messages (MSM) Message Type	27
2.9 ข้อมูล RTCM ประเภท Multiple Signal Messages (MSM) ของ GPS	28
2.10 ข้อมูล COMMON MESSAGE TYPE RTCM 1004 ของ GPS	28
2.11 ข้อมูล COMMON MESSAGE TYPE RTCM 1019 ของ GPS	29
2.12 คุณสมบัติของอุปกรณ์ U-BLOX NEO-M8T-0	31
2.13 คุณสมบัติของอุปกรณ์ INTEL MINI PC NUC 11 ESSENTIAL KIT	32
2.14 คุณสมบัติสายอากาศ AN-105L-GNSS	33
4.1 สรุปผลการทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)	63
4.2 สรุปผลการทดลองหาช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)	66
4.3 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK Fixed Solution ในครั้งแรกของสถานี KMIT6	67
4.4 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK Fixed Solution ในครั้งแรกของสถานี DPT9	68
4.5 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK Fixed Solution ในครั้งแรกของสถานี STFD	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีเทคโนโลยียุคใหม่ที่ต้องการใช้การระบุพิกัดความแม่นยำสูงเป็นจำนวนมาก แต่เทคโนโลยีเหล่านี้อาจได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศและปรากฏการณ์ธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดปัญหาความคลาดเคลื่อนขณะใช้งาน ไม่สามารถระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ ซึ่งผู้ใช้งานไม่ทราบว่าในช่วงเวลาใดมีความคลาดเคลื่อน ปริมาณนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อสร้างระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนที่จากการคำนวณตำแหน่งด้วยค่าปรับแก้ และลดความคลาดเคลื่อนโดยใช้พารามิเตอร์สภาพอวกาศ (S_4 และ ROTI) มาคัดกรองดาวเทียมที่มีปัญหาออกจากการคำนวณตำแหน่ง แล้วนำผลลัพธ์ไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน พร้อมทำนายและแจ้งเตือนการเกิดความคลาดเคลื่อน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์
- 2) เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ของสถานีจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์
- 3) เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากดาวเทียมทั้งหมดกับดาวเทียมที่ผ่านการกรองด้วยพารามิเตอร์สภาพอวกาศที่ใช้กำหนดคุณภาพ
- 4) เพื่อทำนายและแจ้งเตือนการเกิดความคลาดเคลื่อนด้วยพารามิเตอร์สภาพอวกาศ

1.3 ขอบเขตของปริมาณงาน

ปริมาณงานนี้ทำการศึกษาวิธีการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ของสถานีจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ โดยใช้ค่าปรับแก้จากโครงข่ายสถานีฐานในประเทศไทยคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน ตรวจสอบความแม่นยำที่คำนวณตำแหน่ง คำนวณพารามิเตอร์สภาพอวกาศเพื่อคัดกรองดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบและทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน จากนั้นแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชัน ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและรับข้อความแจ้งเตือนเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนสูงเกินเกณฑ์ที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ในผ่านแอปพลิเคชัน NTFY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับโครงการเรื่อง “ระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์” ประกอบด้วยหลักการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ระบบสัญญาณจีเอ็นเอสเอส

GNSS (Global Navigation Satellite System) ระบบนำทางด้วยดาวเทียมที่โคจรรอบโลกซึ่งให้บริการสำหรับระบุตำแหน่งหรือค่าพิกัดบนพื้นผิวโลก [1] ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาระบบนำทางด้วยดาวเทียมขึ้นมาหลายระบบประกอบไปด้วย

- 1) GPS (Global Positioning System) ของสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยดาวเทียม 31 ดวง โคจรอยู่ใน 6 ระนาบ ที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตร
- 2) GLONASS ของสหพันธรัฐรัสเซีย ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวงและสำรองอีก 2 ดวง โคจรอยู่ใน 3 ระนาบ ที่ระดับความสูงประมาณ 19,100 กิโลเมตร
- 3) Galileo ของสหภาพยุโรป ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวงและสำรองอีก 6 ดวง โดยโคจรอยู่ใน 3 ระนาบ ที่ระดับความสูงประมาณ 23,000 กิโลเมตร
- 4) BeiDou หรือ BDS ของสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยปัจจุบันกำลังขยายระบบดาวเทียมให้ครอบคลุมทั่วโลกให้มีจำนวนดาวเทียม 35 ดวงภายในปี 2020 โคจรที่ระดับความสูงประมาณ 21,100 กิโลเมตร
- 5) IRNSS (Regional navigation Satellite System) ของประเทศอินเดีย เป็นระบบดาวเทียมระดับภูมิภาคซึ่งให้บริการเฉพาะประเทศอินเดียและพื้นที่ใกล้เคียงในระยะ 1,500 กิโลเมตร ประกอบด้วยดาวเทียม 7 ดวง
- 6) Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) ของประเทศญี่ปุ่น เป็นระบบดาวเทียมระดับภูมิภาค ที่ครอบคลุมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงและโอเชียเนีย (Oceania) ขณะนี้มีดาวเทียม 4 ดวงที่โคจรอยู่เหนือพื้นโลก และมีแผนจะเพิ่มเป็น 7 ดวงภายในปี 2024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการทำงานของการทำงานหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์

การหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์จะใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง [1] โดยเครื่องที่หนึ่งวางที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแน่นอนบนสถานีฐาน (Base) และเครื่องที่สองวางในจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดสถานีจลน์ (Rover) โดยทั้งสองเครื่องนี้ต้องรับสัญญาณดาวเทียมกลุ่มเดียวกันเวลาเดียวกัน ซึ่งค่าที่รับวัดได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสามารถนำมาคำนวณหาตำแหน่งได้ 2 ชนิด ดังนี้

2.2.1 ระยะทางเทียม (Pseudo range)

ซูโดเรนจ์ (Pseudo range) คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ โดยคำนวณจากการเปรียบเทียบรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียมกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้นเอง กระบวนการนี้ทำโดยการเลื่อนรหัสไปเรื่อย ๆ จนกว่ารหัสทั้งสองจะตรงกัน ช่วงเวลาที่ต้องเลื่อนรหัสให้ตรงกันนี้ จะสะท้อนถึงระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณเมื่อคูณความเร็วของคลื่นวิทยุด้วยระยะเวลานี้ จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งระยะทางนี้คือ “ซูโดเรนจ์” โดยสมการของซูโดเรนจ์ที่คำนวณจากรหัส (Code Pseudo range) และมีหน่วยเป็นระยะทาง ดังสมการที่ 2.1 [1]

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_R + \varepsilon_R \quad (2.1)$$

โดยที่	R	คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (เมตร)
	ρ	คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
	Δr	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
	d_{ion}	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
	d_{trop}	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
	c	คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
	$\Delta\delta_r$	คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
	$\Delta\delta^s$	คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
	dm_R	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)
	ε_R	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)

เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase) เหมาะสำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดในระดับเซนติเมตร จำเป็นที่จะต้องใช้เฟสของคลื่นส่งในการประมวลผล ซึ่งเฟสของคลื่นส่งจะให้ความแม่นยำ 1 - 5 เซนติเมตร และในการวัดเฟสของคลื่นส่งเป็นการวัดเปรียบเทียบค่าความต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมา กับเฟสที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงสามารถมาแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนเต็มรอบ (Integer cycle part) และ ส่วนไม่เต็มรอบ (Fractional part) ซึ่งในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมาได้แต่สามารถหาได้จากค่าความต่างและจำนวนเต็มนี้เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) โดยมีสมการค่าซูดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่งดังสมการที่ 2.2 [1]

$$\varphi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_\varphi + \varepsilon_\varphi + \lambda N \quad (2.2)$$

โดยที่	φ	คือ ซูดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
	ρ	คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
	Δr	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
	d_{ion}	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
	d_{trop}	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
	c	คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
	$\Delta\delta_r$	คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
	$\Delta\delta^s$	คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
	dm_φ	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)
	ε_φ	คือ ความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในซูดเรนจ์ที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร)
	λ	คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
	N	คือ เลขปริศนาของคลื่นส่ง

หลักการทำงานของการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ คือ สถานีฐานและสถานีจลน์จะต้องรับสัญญาณดาวเทียมกลุ่มเดียวกันเวลาเดียวกัน โดยสถานีฐานจะทำหน้าที่เหมือนจุดอ้างอิง และส่งค่าปรับแก้คลื่นสัญญาณ (correction data) ณ เวลานั้นๆ ไปยังสถานีจลน์และสามารถนำค่าปรับแก้ที่ได้รับมาไปใช้เป็นค่าแก้สำหรับคำนวณตำแหน่งของตัวเองได้ในทันที (real-time) ให้ความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในการหาค่าพิกัดแบบสัมพัทธ์แบ่งออกเป็น 3 วิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static survey) ใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง เครื่องหนึ่งจะวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือสถานีฐานอีกเครื่องหนึ่งจะนำไปวางที่จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดหรือสถานีจร โดยทั้ง 2 เครื่องต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 4 ดวงต้องตั้งไว้ประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง ซึ่งวิธีนี้ให้ค่าความแม่นยำตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร - 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร)

2) วิธีการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid static survey) วิธีนี้ทำงานเหมือนวิธีการรังวัดแบบสถิตแต่ระยะเวลาตั้งจะเหลือ 10 - 20 นาที วิธีนี้ให้ค่าความแม่นยำ 1 - 3 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

3) วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที (เรียลไทม์ kinematic survey) วิธีนี้ทำงานคล้ายคลึงกับการรังวัดแบบสถิตใช้เครื่องรับอย่างน้อย 2 เครื่อง เครื่องหนึ่งจะวางไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือสถานีฐานและอีกเครื่องหนึ่งจะนำไปวางที่จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดหรือสถานีจร แต่ในวิธีนี้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับเครื่องที่วางที่จุดที่ต้องการทราบค่าได้โดยทั้ง 2 เครื่องต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง ซึ่งเครื่องรับสัญญาณที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้นและวิธีนี้ให้ค่าความแม่นยำที่ 1-5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร)

2.3 Haversine Formula

Haversine Formula [2] คือสูตรคำนวณระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดสองจุดบนทรงกลมโดยใช้ละติจูดและลองจิจูดที่วัดตามพื้นผิว เป็นสิ่งสำคัญสำหรับใช้ในการนำทาง โดยสมการ Haversine Formula แสดงดังสมการที่ 2.3

$$D(A, B) = 2 * R * \arcsin \left[\sqrt{\sin^2 \left(\frac{lat_A - lat_B}{2} \right) + \cos(lat_A) \cos(lat_B) \sin^2 \left(\frac{lon_A - lon_B}{2} \right)} \right] \quad (2.3)$$

โดยที่ D	คือ ระยะทางระหว่างจุดสองจุด (เซนติเมตร)
lat_A, lon_A	คือ ละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ย (เรเดียน)
lat_B, lon_B	คือ ละติจูดและลองจิจูด ณ เวลาใดๆ (เรเดียน)
R	คือ รัศมีของโลกมีค่าเท่ากับ 637,100,000 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 พารามิเตอร์สภาพอวกาศ (Space weather product)

พารามิเตอร์สภาพอวกาศ หมายถึงข้อมูลการพยากรณ์และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในสภาพแวดล้อมในอวกาศและในชั้นบรรยากาศ ที่มีผลต่อการโทรคมนาคม ข้อมูลเหล่านี้สามารถป้องกันความเสียหายจากผลกระทบของสภาพอวกาศ ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์จากการเกิดรังสีในสภาพอวกาศ และเพิ่มความปลอดภัยในการนำทางทางอากาศและทางเรือ

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์ จะรับข้อมูลจากดาวเทียมที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งในชั้นบรรยากาศนี้มักจะได้รับผลกระทบจากสภาพอวกาศ และปรากฏการณ์ธรรมชาติต่างๆ เช่น พายุแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Storms) ปรากฏการณ์พองพลาสมา (Plasma Bubbles) เป็นต้น ปรากฏการณ์เหล่านี้จะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก สัญญาณที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะเกิดการหักเห ถูกบิดเบือน หรือเบี่ยงเบน ทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเมื่อส่งมายังเครื่องรับบนโลก ระบบระบุตำแหน่งจุดอย่างแม่นยำ (Precise Point Positioning (PPP)) และระบบระบุตำแหน่งแบบจลน์เรียลไทม์ (Real-Time Kinematic (RTK)) ที่ต้องการความแม่นยำสูงในการระบุตำแหน่งนั้นจะได้รับผลกระทบเหมือนกัน ดังนั้นพารามิเตอร์สภาพอวกาศที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (Total Electron Content (TEC)) อัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนีปริมาณอิเล็กตรอนรวม (Rate of TEC Index (ROTI)) และ Scintillation Index (S_4) [3] สามารถใช้คาดการณ์ดาวเทียมที่ข้อมูลถูกบิดเบือนหรือขาดหายจากปรากฏการณ์ธรรมชาติออกจากค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่ง เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้น

2.4.1 ปริมาณอิเล็กตรอนรวม (Total Electron Content (TEC))

เมื่อดวงอาทิตย์แผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ อนุภาคต่างๆ จะถูกแยกออกเป็นอิเล็กตรอนและไอออน มีจำนวนที่มากขึ้นตามการแผ่รังสี ซึ่งจะส่งผลต่อสัญญาณดาวเทียม GPS และทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งสัญญาณ โดยทั่วไปความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในช่วงกลางวันจะมากกว่าช่วงกลางคืน และจะสูงมากในช่วงฤดู equinox (เวลาที่กลางวันเท่ากับกลางคืน คือเดือนมีนาคม เมษายน กันยายน ตุลาคม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

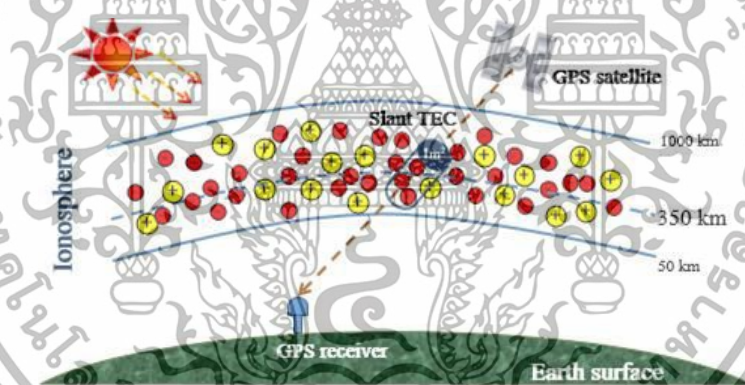
Total Electron Content (TEC) [4], [5] คือปริมาณของอิเล็กตรอนทั้งหมดที่อยู่ในเส้นทางของสัญญาณวิทยุที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และ TEC มีหน่วยวัดเป็น "TECU" (Total Electron Content Units) โดย 1 TECU เท่ากับ 10^{16} อิเล็กตรอนต่อตารางเมตร

2.4.1.1 ปริมาณอิเล็กตรอนรวมตามแนวเฉียง (Slant Total Electron Content (STEC))

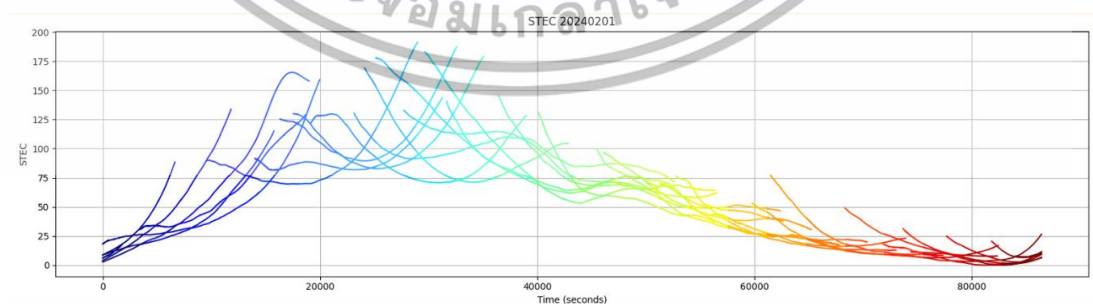
ปริมาณอิเล็กตรอนรวมตามแนวเฉียง คือปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนตามเส้นทางเฉียงระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ ดังรูปที่ 2.1 และคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 ผลลัพธ์ของค่า STEC มีลักษณะดังรูปที่ 2.2 [4]

$$STEC = \int N_e(s) ds \quad (2.4)$$

เมื่อ N_e คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน มีหน่วยเป็น $electrons / m^3$
 s คือ ระยะทางตามเส้นทางการแพร่กระจาย มีหน่วยเป็น m



รูปที่ 2.1 STEC ที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟของค่า STEC ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

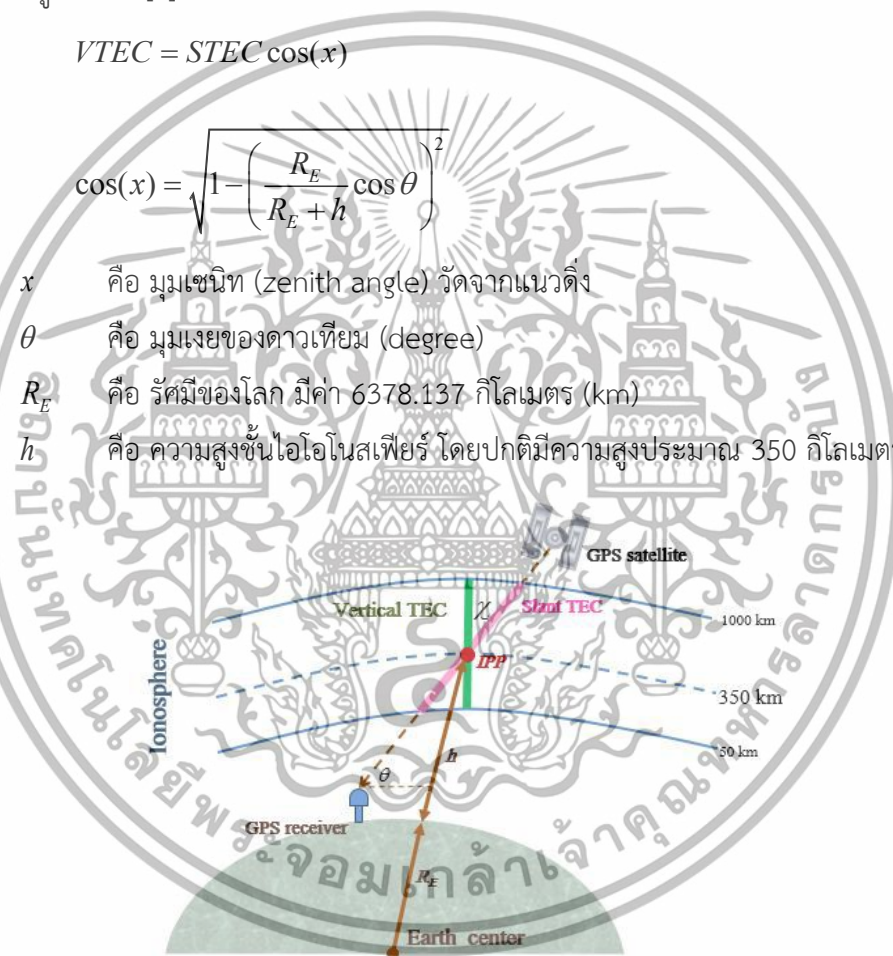
2.4.1.2 ปริมาณอิเล็กตรอนรวมตามแนวตั้ง (Vertical Total Electron Content (VTEC))

ปริมาณอิเล็กตรอนรวมตามแนวตั้ง คือปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนตามเส้นทางแนวตั้งตรงจากพื้นดินขึ้นไปยังชั้นไอโอโนสเฟียร์ ดังรูปที่ 2.3 และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 โดยอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของสมการที่ 2.6 ผลลัพธ์ของค่า VTEC มีลักษณะดังรูปที่ 2.4 [5]

$$VTEC = STEC \cos(x) \quad (2.5)$$

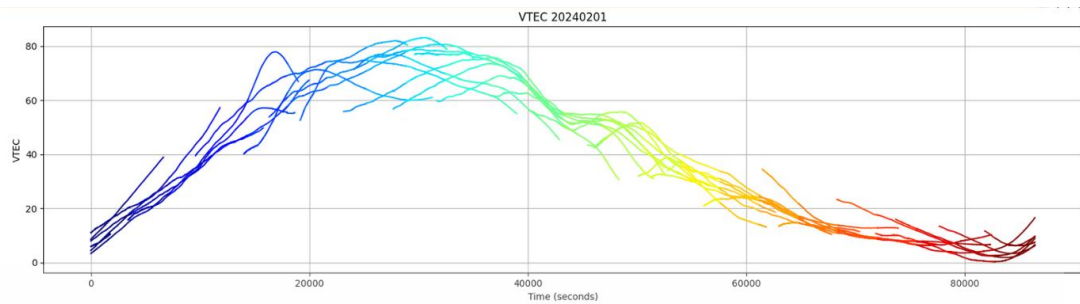
$$\cos(x) = \sqrt{1 - \left(\frac{R_E}{R_E + h} \cos \theta \right)^2} \quad (2.6)$$

เมื่อ x คือ มุมเซนิท (zenith angle) วัดจากแนวตั้ง
 θ คือ มุมเงยของดาวเทียม (degree)
 R_E คือ รัศมีของโลก มีค่า 6378.137 กิโลเมตร (km)
 h คือ ความสูงชั้นไอโอโนสเฟียร์ โดยปกติมีความสูงประมาณ 350 กิโลเมตร (km)



รูปที่ 2.3 VTEC ที่เกิดจากการส่งสัญญาณจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟของค่า VTEC ของวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2024

2.4.2 อัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนีปริมาณอิเล็กตรอนรวม (Rate of TEC Index (ROTI))

Rate of TEC Index (ROTI) [6], [7] คือดัชนีที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ Total Electron Content (TEC) ใช้วิเคราะห์และตรวจสอบความเสี่ยงของไอโอโนสเฟียร์ในเวลาจริง สามารถตรวจสอบและคาดการณ์ความผิดปกติของสัญญาณที่อาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำของระบบนำทางด้วยดาวเทียม การสื่อสารและการวัดตำแหน่งผ่านดาวเทียม เช่น GPS หรือ GNSS โดย ROTI คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงของค่า STEC ซึ่งเป็นค่า TEC ที่คำนวณตามแนวเส้นทางของสัญญาณที่เดินทางผ่านไอโอโนสเฟียร์ เมื่อมีความปั่นป่วนหรือความแปรปรวนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ STEC จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่า ROTI สูงขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น พายุสุริยะ

2.4.2.1 สมการคำนวณค่า Slant TEC จาก Carrier phase

ทำการคำนวณหาค่า Slant TEC จาก Carrier phase ดังสมการที่ 2.7 [6], [7]

$$STEAC = k * (L_1(\lambda_1) - L_2(\lambda_2)) \quad (2.7)$$

- เมื่อ k คือ ค่าคงที่ในการคำนวณ STEC มีค่า 9.5196
- L_1 คือ Carrier phase ของความถี่ที่ 1 มีหน่วยเป็น cycle
- L_2 คือ Carrier phase ของความถี่ที่ 2 มีหน่วยเป็น cycle
- λ_1 คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ 1 คำนวณจาก $\lambda_1 = \frac{C}{f_1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- λ_2 คือ ความยาวคลื่นของความถี่ที่ 2 คำนวณจาก $\lambda_2 = \frac{C}{f_2}$
- C คือ ความเร็วของแสง มีหน่วยเป็น m/s
- f_1 คือ ความถี่ของ L_1 มีหน่วยเป็น Hz
- f_2 คือ ความถี่ของ L_2 มีหน่วยเป็น Hz

2.4.2.2 คำนวณ ROTI จาก Slant TEC

ทำการคำนวณ ROTI จาก Slant TEC ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9 [6], [7]

$$ROTI_m = \frac{TEC_m - TEC_{m-1}}{t_m - t_{m-1}} \quad (2.8)$$

- เมื่อ TEC_m คือ ค่าของ TEC ที่เวลา m
- TEC_{m-1} คือ ค่าของ TEC ที่เวลาที่ก่อนหน้า m
- $t_m - t_{m-1}$ คือ ความต่างของเวลา

$$ROTI_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{m=n-N/2}^{n+N/2-1} (ROTI_m - \overline{ROTI})^2} \quad (2.9)$$

- เมื่อ N คือ จำนวนของช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (ใน 1 วินาที)
- $ROTI_m$ คือ ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของ TEC ที่เวลา m
- \overline{ROTI} คือ ค่าเฉลี่ยของ ROTI ในช่วงเวลา N

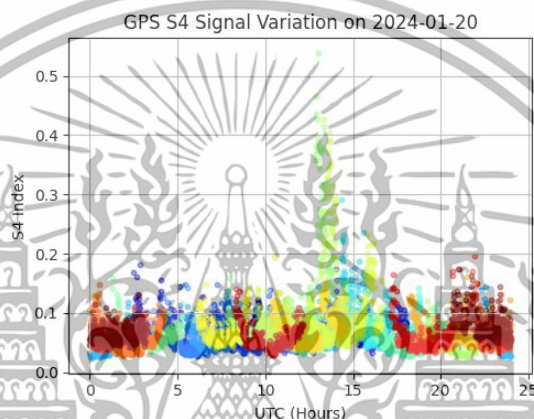
2.4.2.3 วิธีคำนวณค่า Rate of TEC Index (ROTI) แบบเรียลไทม์

ในการคำนวณ ROTI แบบเรียลไทม์จะใช้วิธีการ Sliding Window ทุก 1 วินาทีแทนการใช้วิธีการแบบมาตรฐานทุก 5 นาที วิธีการแบบ Sliding Window ทุก 1 วินาที จะเป็นการเลื่อน Window ทุกๆ 1 วินาที โดยจะกำหนดให้มีขนาดของ Window เป็น 300 วินาที แล้วคำนวณหา ROTI 1 รอบ ในรอบที่ 2 จะเลื่อน Window ไปเป็นวินาทีถัดไป แล้วทำการคำนวณ ROTI สำหรับรอบที่ 2 และจะทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ ซึ่งต่างจากวิธีการแบบมาตรฐานทุก 5 นาที วิธีการแบบมาตรฐานทุก 5 นาที จะเป็นการเลื่อน Window ทุกๆ 5 นาที โดยจะกำหนดให้มีขนาดของ Window เป็น 300 วินาที ในการคำนวณแต่ละรอบจะต้องรอให้มีข้อมูลใหม่ๆ ให้ครบ 5 นาที ถึงจะทำการเลื่อน Window

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 Scintillation index (S_4)

Scintillation index (S_4) [3] คือดัชนีที่ใช้ประเมินความแปรปรวนของสัญญาณ (signal scintillation) จากดาวเทียม GNSS ซึ่งเกิดจากการรบกวนในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะชั้นไอโอโนสเฟียร์ วัดความผันผวนของความเข้มสัญญาณ หากค่า S_4 สูงเข้าใกล้ 1 แสดงถึงความผันผวนมากและคุณภาพสัญญาณลดลง อันเนื่องมาจากสภาวะในชั้นบรรยากาศที่ไม่เสถียร เช่น พายุสุริยะ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง ตัวอย่างข้อมูล S_4 แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างค่าดัชนี S_4 วันที่ 20 มกราคม 2024

การคำนวณดัชนี S_4 มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความแปรปรวนของสัญญาณดาวเทียม (ionospheric scintillation) โดยปกติค่า S_4 จะคำนวณได้ด้วยเครื่องรับเฉพาะทาง (Ionospheric Scintillation Monitoring Receivers (ISMR) แต่อย่างไรก็ดี S_4 ยังสามารถคำนวณโดยใช้ข้อมูล C/N_0 จาก GNSS receivers ในโครงการนี้จะนิยามว่า S_{4c} [8]

2.4.3.1 คำนวณ S_{4c} จากค่า C/N_0 [8]

ขั้นตอนแรกจะทำการคำนวณ signal-to-noise ratio (S/N_0) [8] จาก C/N_0 ดังสมการที่ 2.10

$$S/N_0 = 10^{0.1(C/N_0)} \quad (2.10)$$

เมื่อ C/N_0 คือ จำนวนของช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (ใน 1 วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 สมการคำนวณค่าความเข้มของสัญญาณแบบ detrended (SI_{det})

ขั้นตอนถัดไปคือคำนวณค่าความเข้มของสัญญาณแบบ detrended (SI_{det})

ดังสมการที่ 2.11 [8]

$$SI_{det} = \frac{S(k)}{\langle S(k-i) \rangle} \quad (2.11)$$

เมื่อ $S(k)$ คือ ความเข้มของสัญญาณในช่วงเวลาที่ k

$\langle S(k-i) \rangle$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณในช่วงเวลา 60 วินาที

2.4.3.3 คำนวณความเข้มขั้นของสัญญาณ

ขั้นตอนถัดไป คือคำนวณค่าความเข้มขั้นของสัญญาณ ดังสมการที่ 2.12

$$S_{4c} = \sqrt{\frac{\langle SI^2 \rangle - \langle SI \rangle^2}{\langle SI \rangle^2}} \quad (2.12)$$

เมื่อ SI คือ ความเข้มขั้นของสัญญาณ

$\langle \cdot \rangle$ คือ การคำนวณค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่กำหนด

2.4.4 การประเมินระดับความแปรปรวนของ space weather product

Space weather product แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมในอวกาศและในชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการโทรคมนาคมในด้านต่าง ๆ ซึ่ง space weather product มีผลต่อการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์ ในบางครั้งที่มีความแปรปรวนมาก ค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งก็จะสูงตามไปด้วย โดยเกณฑ์ในการประเมินระดับความแปรปรวนของ space weather product (S_4 และ ROTI) มีดังนี้

1) space weather product (S_{4c}) [8]

- S_{4c} มีค่ามากกว่า 0.2 แต่น้อยกว่า 0.4 ถือว่ามีความแปรปรวนระดับอ่อน
- S_{4c} มีค่ามากกว่า 0.4 แต่น้อยกว่า 0.6 ถือว่ามีความแปรปรวนระดับปานกลาง
- S_{4c} มีค่ามากกว่า 0.6 ถือว่ามีความแปรปรวนระดับมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) space weather product (ROTI) [8]

- ROTI มีค่าน้อยกว่า 0.4 ถือว่ามีความแปรปรวนระดับอ่อน หรือไม่แปรปรวนเลย
- ROTI มีค่ามากกว่า 0.4 แต่น้อยกว่า 0.6 ถือว่ามีความเริ่มแปรปรวน
- ROTI มีค่ามากกว่า 0.6 แต่น้อยกว่า 0.7 ถือว่ามีความแปรปรวนระดับปานกลาง
- ROTI มีค่ามากกว่า 0.7 แต่น้อยกว่า 0.9 ถือว่ามีความแปรปรวนมาก
- ROTI มีค่ามากกว่า 0.9 ถือว่ามีความแปรปรวนระดับรุนแรงมาก

2.5 ตำแหน่งดาวเทียม

ตำแหน่งดาวเทียม เป็นพิกัดในอวกาศสำหรับบอกตำแหน่งของดาวเทียมในเวลานั้น ๆ โดยทั่วไปจะมีระบบพิกัดหลายประเภทที่สัมพันธ์กับตำแหน่งผู้ใช้หรือสถานีรับสัญญาณ เช่นระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System) ระบบพิกัด ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) และระบบพิกัดวงโคจรเฉพาะของดาวเทียม (Orbital Coordinate System) เป็นต้น โดยระบบพิกัดที่ใช้งานในปฏิญานินพจน์นี้ ได้แก่

1) ระบบพิกัด ECEF (Earth-Centered, Earth-Fixed) [9] เป็นพิกัดแบบสามมิติที่ตั้งให้จุดศูนย์กลางอยู่ที่แกนโลก หรือศูนย์กลางของโลก นิยมใช้ในการคำนวณตำแหน่งดาวเทียม เนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียมมีการหมุนไปพร้อมโลก ระบบพิกัดนี้จะแสดงในรูปแบบแกน X, Y และ Z โดยที่แกน X ชี้ไปยังจุดที่ละติจูดและลองจิจูดเป็นศูนย์บนเส้นศูนย์สูตร แกน Y ชี้ไปทางที่ตั้งฉากกับแกน X และแกน Z ชี้ไปยังขั้วโลกเหนือ

2) ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System) [10] เป็นพิกัดแบบ LLA (Latitude, Longitude, Altitude) ใช้บอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ใช้อ้างอิงตำแหน่งสำหรับผู้ใช้และสถานีรับสัญญาณ และสามารถแปลงจากระบบพิกัด ECEF มาเป็นระบบพิกัด LLA ได้หากต้องการใช้งานตำแหน่งดาวเทียมในระบบ LLA

3) ระบบพิกัดวงโคจรเฉพาะของดาวเทียม (Orbital Coordinate System) [11], [12] เป็นพิกัดที่ใช้สำหรับคำนวณตำแหน่งในวงโคจรของดาวเทียมโดยเฉพาะ โดยคำนวณจากอัตราความเร็วและมุมของดาวเทียมที่โคจรรอบโลก ใช้คำนวณเส้นทางและมุมมองของดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 ข้อมูล ephemeris

ขั้นตอนแรกในการคำนวณพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมนั้น จะอาศัยข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ จาก ephemeris data [11], [13] ที่ดาวเทียมส่งมายังผู้ใช้งานหรือสถานีรับสัญญาณ ซึ่งข้อมูล ephemeris จะคำนวณจากการคาดการณ์ของวงโคจรของดาวเทียม

2.5.2 สมการคำนวณพารามิเตอร์พื้นฐาน

เมื่อรับค่าพารามิเตอร์สำเร็จ ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการคำนวณพารามิเตอร์พื้นฐาน โดยพารามิเตอร์ตัวแรกที่จะคำนวณจะเป็นเวลาตั้งแต่เริ่มบันทึกข้อมูลใน ephemeris ถึงเวลาเริ่มคำนวณ ดังสมการที่ 2.13 [11]

$$t = t_{data} - t_{oe} \quad (2.13)$$

เมื่อ t คือ เวลาตั้งแต่บันทึกข้อมูลใน ephemeris ถึงเวลาที่คำนวณ มีหน่วยเป็นวินาที

t_{data} คือ เวลาปัจจุบัน หรือเวลาที่เริ่มคำนวณตำแหน่งดาวเทียม มีหน่วยเป็นวินาที

t_{oe} คือ เวลาของ ephemeris data มีหน่วยเป็นวินาที

จากสมการที่ 2.13 เมื่อคำนวณ t แล้ว จะนำไปคำนวณมุมที่บอกตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรตามเวลาที่ผ่านไป หรือ Mean Anomaly ดังสมการที่ 2.14 [11], [14]

$$\mu = \mu_0 + \left(\sqrt{\frac{GM}{a^3} + \Delta n} \right) * t \quad (2.14)$$

เมื่อ μ คือ Mean Anomaly หรือมุมที่บอกตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรตามเวลาที่ผ่านไป มีหน่วยเป็น radians

μ_0 คือ Mean Anomaly ที่เวลาที่กำหนดใน ephemeris มีหน่วยเป็นเรเดียน

GM คือ ค่าคงที่แรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าเป็น $3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3 / \text{s}^2$

a คือ ระยะทางจากจุดศูนย์กลางโลกถึงวงโคจรของดาวเทียม มีหน่วยเป็นเมตร

Δn คือ ค่าการแก้ไขความเร็วเชิงมุมของวงโคจร มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

จากสมการที่ 2.14 เมื่อคำนวณ μ แล้ว จะนำค่าที่ได้ไปคำนวณมุมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรรูปวงรี หรือ Eccentric Anomaly ดังสมการที่ 2.15 [11], [14]

$$E = \mu + e \sin(E) \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ E คือ Eccentric Anomaly หรือมุมที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของดาวเทียมในวงโคจรรูปวงรี มีหน่วยเป็นเรเดียน

e คือ Eccentricity หรือค่าความรีของวงโคจร มีค่าอยู่ระหว่าง 0 (วงกลม) และ 1 (วงรีที่แคบที่สุด)

จากสมการที่ 2.15 ในการคำนวณ E จะทำการแก้สมการด้วยวิธี iterative method จากนั้นนำไปคำนวณมุมจริงที่บอกตำแหน่งปัจจุบันของดาวเทียมในวงโคจร ดังสมการที่ 2.16 [11]

$$v = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{1-e^2} * \sin(E)}{\cos E - e} \right) \quad (2.16)$$

เมื่อ v คือ True Anomaly หรือมุมจริงที่บอกตำแหน่งปัจจุบันของดาวเทียมในวงโคจร

2.5.3 สมการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแก้ไขตำแหน่งจากการรบกวนวงโคจร (Orbital Perturbations)

ขั้นตอนถัดจากการคำนวณพารามิเตอร์พื้นฐาน คือคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การแก้ไขตำแหน่งจากการรบกวนวงโคจร โดยใช้พารามิเตอร์ v และ E มาคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ค่าแรกที่คำนวณจะเป็น Argument of Perigee หรือค่ามุมที่บอกตำแหน่งจุดใกล้โลกที่สุดของวงโคจร ดังสมการที่ 2.17 [11], [14]

$$\omega = \omega_0 + C_{uc} \cos(2(\omega_0 + v)) + C_{us} \sin(2(\omega_0 + v)) \quad (2.17)$$

เมื่อ ω คือ มุม Argument of Perigee หลังจากปรับการรบกวน บอกตำแหน่งจุดใกล้โลกที่สุดของวงโคจร มีหน่วยเป็นเรเดียน

ω_0 คือ มุม Argument of Perigee เริ่มต้นที่บันทึกไว้ในไฟล์ ephemeris บอกตำแหน่งจุดใกล้โลกที่สุดของวงโคจร มีหน่วยเป็นเรเดียน

C_{uc} คือ ค่าแก้ไขปรับค่าการรบกวนในทิศทางโคไซน์ มีหน่วยเป็นเรเดียน

C_{us} คือ ค่าแก้ไขปรับค่าการรบกวนในทิศทางไซน์ มีหน่วยเป็นเรเดียน

จากสมการที่ 2.14 เมื่อคำนวณ μ แล้ว จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ค่าที่สอง คือ Radial Distance หรือระยะทางระหว่างดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางของโลกในตำแหน่งปัจจุบัน ดังสมการที่ 2.18 [11], [14]

$$r = a(1 - e \cos(E)) + C_{rc} \cos 2(\omega_0 + v) + C_{rs} \cos 2(\omega_0 + v) \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ r คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางของโลกในตำแหน่งปัจจุบัน

C_{rc} คือ ค่าแก้ไขปรับระยะทางในแนวรัศมี หน่วยเป็นเมตร

C_{rs} คือ ค่าแก้ไขปรับระยะทางในแนวรัศมีในทิศทางไซน์ หน่วยเป็นเมตร

จากสมการที่ 2.18 เมื่อคำนวณ r แล้ว จะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ค่าที่สาม คือ Inclination หรือมุมเอียงที่ระหว่างระนาบวงโคจรของดาวเทียมกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ดังสมการที่ 2.19 [11], [14]

$$i = i_0 + i_t + C_{ic} \cos(2v) + C_{is} \sin(2v) \quad (2.19)$$

เมื่อ i คือ มุมเอียงที่ระหว่างระนาบวงโคจรของดาวเทียมกับระนาบศูนย์สูตรของโลก มีหน่วยเป็นเรเดียน

i_0 คือ มุมเอียงของวงโคจรในช่วงเริ่มต้น ซึ่งได้จากข้อมูล ephemeris มีหน่วยเป็นเรเดียน

i_t คือ การเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงตามเวลา มีหน่วยเป็นเรเดียน

C_{ic} คือ ค่าแก้ไขปรับค่าการรบกวนในทิศทางโคไซน์ของมุมเอียง มีหน่วยเป็นเรเดียน

C_{is} คือ ค่าแก้ไขปรับค่าการรบกวนในทิศทางไซน์ของมุมเอียง มีหน่วยเป็นเรเดียน

2.5.4 สมการคำนวณ Right Ascension

ขั้นตอนถัดไป คือคำนวณ Right Ascension of Ascending Node โดยคำนึงถึงการหมุนของโลก ดังสมการที่ 2.20 [11], [14]

$$\Omega = \Omega_0 + (\dot{\Omega} - \omega_e)t - \omega_e t_{oe} \quad (2.20)$$

เมื่อ Ω คือ Right Ascension of the Ascending Node หรือมุมในแนวทิศทางของตำแหน่งที่วงโคจรของดาวเทียมตัดกับระนาบศูนย์สูตรของโลกมีหน่วยเป็นเรเดียน

Ω_0 คือ Right Ascension of the Ascending Node เริ่มต้น ณ เวลาที่กำหนด ที่บันทึกไว้ในไฟล์ ephemeris มีหน่วยเป็นเรเดียน

$\dot{\Omega}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Right Ascension of the Ascending Node มีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

ω_e คือ ค่าคงที่ความเร็วเชิงมุมของโลก มีค่าเป็น $7.2921151467 \times 10^{-5} \text{ rad} / \text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 สมการแปลงตำแหน่งดาวเทียมจากระบบพิกัด Orbital ไปเป็นพิกัด ECEF

ตำแหน่งดาวเทียมจากระบบพิกัด Orbital ที่คำนวณได้จะถูกกำหนดไว้ในรูปแบบของ Matrix ขนาด 1x3 ดังสมการที่ 2.21 จากนั้นจะถูกแปลงเป็นพิกัด ECEF ด้วยการใช้ Matrix การหมุนดังสมการที่ 2.22 ไปคูณกับ Matrix ขนาด 1x3 ดังสมการที่ 2.23 [11], [14]

$$\vec{r} = \begin{bmatrix} r \cos(v) \\ r \sin(v) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\Omega) \cos(\omega) - \sin(\Omega) \cos(i) & -\cos(\Omega) \sin(\omega) - \sin(\Omega) \cos(\omega) \cos(i) & \sin(\Omega) \sin(i) \\ \sin(\Omega) \cos(\omega) + \cos(\Omega) \sin(\omega) \cos(i) & -\sin(\Omega) \sin(\omega) + \cos(\Omega) \cos(\omega) \cos(i) & -\cos(\Omega) \sin(i) \\ \sin(\omega) \sin(i) & \cos(\omega) \sin(i) & \cos(i) \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\vec{\rho}_e = R \vec{r} \quad (2.23)$$

เมื่อ \vec{r} คือ ตำแหน่งดาวเทียมในระบบพิกัด Orbital
 R คือ Matrix การหมุน
 $\vec{\rho}_e$ คือ ตำแหน่งดาวเทียมในระบบพิกัด ECEF

2.6 มุมเงยดาวเทียม

มุมเงยดาวเทียม คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นแนวนอนกับแนวสายตาเมื่อมองสูงขึ้นไปจากระดับสายตา สำหรับปริญญาโทนี่ มุมเงยที่ใช้จะเป็นมุมเงยจากสถานีฐานเมื่อมองขึ้นไปดาวเทียมแต่ละดวง เนื่องจากดาวเทียมมีการเคลื่อนที่โคจรรอบโลกตลอดเวลา ทำให้มุมเงยนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงต้องทำการคำนวณมุมเงยในแต่ละวินาที โดยที่มุมเงยจะมีตั้งแต่ 0 - 90 องศา เริ่มตั้งแต่แนวขนานกับพื้น [15], [16]

2.6.1 ค่ามุมระยะเวกเตอร์

ในการคำนวณมุมเงยนั้น ขั้นตอนแรกจะทำการคำนวณระยะเวกเตอร์ของดาวเทียมในระบบพิกัดเดียวกับสถานีฐาน สามารถใช้ Matrix การหมุนในการแปลงระบบพิกัด โดยนำตำแหน่งของดาวเทียมลบกับตำแหน่งของสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 คำนวณมุมเงย

ขั้นตอนถัดจากการคำนวณระยะเวกเตอร์ คือคำนวณหามุมเงย [17] ดังสมการที่ 2.24

$$elev = \tan^{-1} \left(\frac{Zl}{\sqrt{Xl^2 - Yl^2}} \right) \quad (2.24)$$

เมื่อ Xl คือ ระยะในแนวแกน X (ตามทิศตะวันออก)
 Yl คือ ระยะในแนวแกน Y (ตามทิศเหนือ)
 Zl คือ ระยะในแนวแกน Z (ตามแนวตั้งขึ้นไปจากพื้นโลก)

2.7 หลักการ Shared memory

Shared memory [18] เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้หลายกระบวนการ (processes) สามารถใช้หน่วยความจำร่วมกันได้ โดยปกติแล้วแต่ละกระบวนการในคอมพิวเตอร์จะมีหน่วยความจำของตัวเอง ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลของกระบวนการอื่นได้โดยตรง ถ้าต้องการส่งข้อมูลระหว่างกันก็ต้องใช้วิธีส่งข้อความ ไฟล์ หรือช่องทางอื่น ๆ ซึ่งอาจช้าและมีค่าใช้จ่ายสูง แต่ Shared Memory (หน่วยความจำที่ใช้ร่วมกัน) ทำให้กระบวนการหลายตัวสามารถอ่านและเขียนข้อมูลร่วมกันได้โดยตรงในหน่วยความจำ ซึ่งเร็วกว่าวิธีส่งข้อมูลแบบปกติ

Shared memory ใช้กับงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ที่มีหลายคอร์ (multicore) หรือระบบที่มีหลาย CPU (SMP - Symmetric Multiprocessing) ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่สามารถรันหลายกระบวนการพร้อมกันได้ โดยเมื่อเริ่มสร้าง Shared memory ขึ้นมาใช้งาน สามารถให้ Shared Memory Manager ช่วยจัดการได้

2.8 API (Application Programming Interface)

API หรือ Application Programming Interface [19] คือกลไกที่ช่วยให้ซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมสองส่วนเชื่อมเข้าด้วยกัน ให้สามารถสื่อสารกันได้ โดย “Application” หมายถึงซอฟต์แวร์ที่มีฟังก์ชันชัดเจน ส่วน “Interface” หมายถึงสัญญาบริการระหว่างสองซอฟต์แวร์ที่ดูแลเรื่องการใช้คำขอและการตอบกลับ สามารถแบ่ง API ออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

- 1) Private APIs เป็น API สำหรับภายในองค์กร
- 2) Partner APIs เป็น API สำหรับพาร์ทเนอร์ ต้องได้รับอนุญาตเท่านั้นถึงจะเข้าถึงได้
- 3) Public APIs เป็น API ที่บุคคลภายนอกใช้งานได้ แต่อาจมีค่าใช้จ่ายบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) Composite APIs เป็น API ที่นำ API หลากหลายแบบมาผสานรวมกันเพื่อให้ตอบสนองความต้องการใช้งานที่สลับซับซ้อน

API เป็นการทำงานระหว่างไคลเอ็นต์และเซิร์ฟเวอร์ ฝ่ายที่ส่งคำขอหรือ “ผู้ใช้บริการ” จะเป็นไคลเอ็นต์ และฝ่ายที่ส่งการตอบกลับหรือ “ผู้ให้บริการ” จะเป็นเซิร์ฟเวอร์ โดย API จะทำงานใน 4 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับเวลาและสาเหตุที่สร้าง API ดังนี้

- 1) SOAP API เป็น API ที่ใช้ Simple Object Access Protocol (โปรโตคอลการเข้าถึงอ็อบเจกต์อย่างง่าย) โดยใช้ XML ในการแลกเปลี่ยนข้อความระหว่างไคลเอ็นต์และเซิร์ฟเวอร์
- 2) RPC API หรือ Remote Procedure Call (การเรียกใช้กระบวนการระยะไกล) โดยไคลเอ็นต์ดำเนินงานบนเซิร์ฟเวอร์ และเซิร์ฟเวอร์จะส่งผลลัพธ์กลับไปไคลเอ็นต์
- 3) Websocket API เป็น API ที่ใช้อ็อบเจกต์ JSON ในการส่งข้อมูล โดยที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์สามารถส่งข้อความเรียกกลับไปยังไคลเอ็นต์ที่เชื่อมต่อ มีประสิทธิภาพมากกว่า REST API
- 4) REST API เป็น API ที่นิยมใช้งานบนเว็บไซต์ ไคลเอ็นต์จะส่งคำขอไปที่เซิร์ฟเวอร์ เป็นข้อมูล ส่วนเซิร์ฟเวอร์จะนำข้อมูลนี้ไปใช้เพื่อเริ่มการทำงานของฟังก์ชันภายใน แล้วส่งคืนข้อมูลไปที่ไคลเอ็นต์

2.9 STR2STR

STR2STR เป็นโปรแกรมที่รับข้อมูลการสตรีมแล้วสามารถแบ่งและส่งออกไปเป็นการสตรีมหลายรายการได้ สตรีมที่รับเข้าสามารถเป็น serial tcp client tcp server ntrip client หรือไฟล์ได้ ส่วนสตรีมที่ส่งออกสามารถเป็น serial tcp client tcp server ntrip server หรือไฟล์ได้ โดยสามารถใช้งานโปรแกรม STR2STR ได้ด้วยการพิมพ์คำสั่ง “str2str [ตัวเลือก]” ตามตัวเลือกต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1 [19]

ตารางที่ 2.1 คำสั่งการทำงานโปรแกรม STR2STR

ตัวเลือก	ความหมาย
-in stream	รับข้อมูลการสตรีม
-out stream	ส่งออกการสตรีม
-msg	ประเภทข้อความและช่วงเวลาการส่งออกข้อความในรูปแบบ RTCM
-sta sta	รหัสสถานี
-opt opt	ตัวเลือกที่ขึ้นอยู่กับตัวรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คำสั่งการทำงานโปรแกรม STR2STR (ต่อ)

ตัวเลือก	ความหมาย
-s msec	เวลาหมดอายุ (มิลลิวินาที) [10000]
-r msec	ช่วงเวลาการเชื่อมต่อใหม่ (มิลลิวินาที) [10000]
-n msec	รอบการขอ NMEA (เมตร) [0]
-f sec	ขอบเขตการสลับไฟล์ (วินาที) [30]
-c file	ไฟล์คำสั่งของตัวรับ [no]
-p lat lon hgt	ตำแหน่งสถานี (ละติจูด/ลองจิจูด/ความสูง) (องศา, เมตร)
-px x y z	ตำแหน่งสถานี (x/y/z-ECEF) (เมตร)
-a antinfo	ข้อมูลเกี่ยวกับเสาอากาศ (แยกด้วย ,)
-i rcvinfo	ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรับ (แยกด้วย ,)
-o e n u	antenna offset (e,n,u) (เมตร)
-l local_dir	ftp/http local directory []
-x proxy_addr	ที่อยู่พร็อกซี HTTP/NTRIP [no]
-t level	ระดับการติดตาม [0]
-h	แสดงคู่มือการใช้งาน

2.10 RTKRCV

RTKRCV [19] เป็นโปรแกรมส่วนหนึ่งของ RTKLIB ซึ่งเป็นชุดเครื่องมือที่ให้บริการในการประมวลผลข้อมูล GNSS โดยโปรแกรม RTKRCV ถูกออกแบบมาเพื่อทำให้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการทำ Real-Time Kinematic (RTK) positioning ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้ได้รับข้อมูลตำแหน่งที่มีความแม่นยำในเวลาจริง ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux ได้ และยังมีความสามารถในการรับสัญญาณดาวเทียมจากสถานีจรวด (Rover) และสถานีฐานซึ่งผู้ใช้งานสามารถ ควบคุมและกำหนดค่าต่าง ๆ ผ่านหน้าต่าง Command line โดยสามารถใช้งานโปรแกรม RTKRCV ได้ด้วยการพิมพ์คำสั่ง “rtkrvc [ตัวเลือก]” ตามตัวเลือกต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2 หรือสามารถใช้คำสั่งในโปรแกรม RTKRCV ด้วยการพิมพ์คำสั่ง “[คำสั่ง]” ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตัวเลือกการทำงานโปรแกรม RTKRCV

ตัวเลือก	ความหมาย
-s	เริ่มเซิร์ฟเวอร์ RTK เมื่อเริ่มโปรแกรม
-p port	หมายเลขพอร์ตสำหรับคอนโซล telnet
-m port	หมายเลขพอร์ตสำหรับสตรีมการตรวจสอบ Monitor
-d dev	อุปกรณ์ปลายทางสำหรับคอนโซล
-o file	ไฟล์การกำหนดค่า (Configuration file)
-r level	เอาต์พุตไฟล์สถานะโซลูชัน (0:off 1:states 2:residuals)
-t level	ระดับการติดตามการดีบั๊ก (0:off 1-5:on)

ตารางที่ 2.3 คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม RTKRCV

คำสั่ง	ความหมาย
start	เริ่มเซิร์ฟเวอร์ RTK โดยไม่ต้องใช้คำสั่งนี้หากโปรแกรมรันด้วยตัวเลือก -s
stop	หยุดเซิร์ฟเวอร์ RTK
restart	รีสตาร์ทเซิร์ฟเวอร์ RTK หากตั้งค่าตัวเลือกการประมวลผลแล้วให้ดำเนินการคำสั่งเพื่อเปิดใช้งานการเปลี่ยนแปลง
Solution [cycle]	แสดงโซลูชันถ้าไม่ใส่ตัวเลือกจะแสดงเพียงหนึ่งโซลูชัน ถ้าใส่ตัวเลือกโซลูชันจะแสดงเป็นระยะตามเวลาที่กำหนดในหน่วยวินาที (cycle) หากต้องการหยุดการแสดงผลเป็นระยะให้ส่งสัญญาณหยุด (Ctrl-C)
status [cycle]	แสดงสถานะ RTK ใช้ตัวเลือก cycle เพื่อแสดงผลเป็นระยะ
satellite [cycle]	แสดงสถานะดาวเทียมใช้ตัวเลือก cycle เพื่อแสดงผลเป็นระยะ
observ [cycle]	แสดงข้อมูลการสังเกตการณ์ใช้ตัวเลือก cycle เพื่อแสดงผลเป็นระยะ
navidata [cycle]	แสดงข้อมูลนำทางใช้ตัวเลือก cycle เพื่อแสดงผลเป็นระยะ
stream [cycle]	แสดงสถานะสตรีมใช้ตัวเลือก cycle เพื่อแสดงผลเป็นระยะ
error	แสดงข้อความผิดพลาด/คำเตือน หากต้องการหยุดการแสดงผลข้อความให้ส่งสัญญาณหยุด (Ctrl-C)
option [opt]	แสดงค่าตัวเลือกการประมวลผล หากไม่ใส่ตัวเลือกจะแสดงค่าตัวเลือกทั้งหมด หากใส่ตัวเลือกจะแสดงเฉพาะค่าตัวเลือกที่ตรงกับรูปแบบที่ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม RTKRCV (ต่อ)

คำสั่ง	ความหมาย
set opt [val]	กำหนดค่าของตัวเลือกการประมวลผลเป็น val หากไม่ใส่ตัวเลือก val ข้อความแจ้งเตือนจะปรากฏขึ้นเพื่อให้ป้อนค่า การเปลี่ยนแปลงตัวเลือกการประมวลผลจะไม่เปิดใช้งานจนกว่าเซิร์ฟเวอร์ RTK จะรีสตาร์ท
load [file]	โหลดตัวเลือกการประมวลผลจากไฟล์ หากไม่ใส่ตัวเลือก จะใช้งานไฟล์ rtkrcv.conf เป็นค่าเริ่มต้น เพื่อให้การเปลี่ยนแปลงมีผลต้องรีสตาร์ทเซิร์ฟเวอร์ RTK
save [file]	บันทึกตัวเลือกการประมวลผลปัจจุบันลงในไฟล์ หากไม่ใส่ตัวเลือกจะใช้งานไฟล์ rtkrcv.conf เป็นค่าเริ่มต้น
log [file off]	บันทึกบันทึกคอนโซลลงในไฟล์หากต้องการหยุดการบันทึกให้ใช้ตัวเลือก off
help[?] [path]	แสดงรายการคำสั่งหากใส่ตัวเลือก path จะแสดงตัวเลือกเกี่ยวกับเส้นทางสตรีม
exit	ออกจากระบบและปิดคอนโซลสถานะของเซิร์ฟเวอร์ RTK จะไม่ได้รับผลกระทบจากคำสั่งนี้
shutdown	ปิดเซิร์ฟเวอร์ RTK และออกจากโปรแกรม

2.11 NMEA-0183

เมื่อเปิดใช้งานเอาต์พุต NMEA-0183 [20], [21] จะสามารถส่งชุดย่อยของข้อความ NMEA-0183 ไปยังเครื่องมือและอุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของเครื่องรับ โดยข้อความ NMEA-0183 เหล่านี้จะช่วยให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถใช้ข้อมูลที่เลือกซึ่งรวบรวมหรือคำนวณโดยเครื่องรับ GNSS ข้อความทั้งหมดเป็นไปตามรูปแบบ NMEA-0183 เวอร์ชัน 3.01 ทั้งหมดขึ้นต้นด้วย \$ เขตข้อมูลข้อมูลตามตัวคั่นจุลภาค (,) ข้อมูลสรุปชุดข้อความ NMEA ที่เครื่องรับรองรับได้ ดังตารางที่ 2.42.4 ความหมายของข้อมูล NMEA สำหรับเครื่องรับ GNSS และรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ความหมายของข้อมูล NMEA สำหรับเครื่องรับ GNSS

ประเภท NMEA	ความหมาย
GPGLL	ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ละติจูด ลองจิจูด
GPVTG	ข้อมูลเส้นทางและความเร็วสัมพันธ์กับพื้นดิน
GPRMC	ข้อมูลเวลา วันที่ ตำแหน่ง และความเร็วของข้อมูล
GPXDR	โหมดการทำงานของตัวรับสัญญาณ GPS, ดาวเทียมที่ใช้และ DOP
GPXSV	จำนวนดาวเทียม GPS ในรูปแบบของหมายเลข ID ของดาวเทียม ระดับความสูง รวบ และ ค่า SNR
GPXST	อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ความถี่ความแรงของสัญญาณและอัตราบิตจากบิตคอนวิทิวผู้รับ
GPTRF	ข้อมูลการส่งค่าแก้ไข
GPSTN	รหัสข้อมูลหลายรายการ
GPXTE	ข้อผิดพลาดที่วัดได้
GPZDA	วันที่และเวลา (ข้อความบอกเวลา PPS ซึ่งโครโนซ์กับ PPS)
150	ตกลงเพื่อส่งข้อความ

```

$GNGSA,A,3,06,11,14,17,19,20,22,,,,,1.4,0.6,1.3,1*3F
$GNGSA,A,3,06,11,14,17,19,20,22,,,,,1.4,0.6,1.3,2*31
$GNGSA,A,3,10,11,12,19,24,31,33,,,,,1.4,0.6,1.3,3*3C
$GPGSV,3,1,11,05,11,208,00,06,48,343,45,09,12,099,00,11,47,290,44,0*65
$GPGSV,3,2,11,12,07,324,00,14,41,146,26,17,34,057,42,19,40,025,43,0*6B
$GPGSV,3,3,11,20,49,207,42,22,66,139,45,30,07,165,00,,,,,0*55
$GPGSV,2,1,07,68,22,068,42,69,31,123,44,73,61,239,49,74,38,310,41,0*7F
$GPGSV,2,2,07,80,24,174,25,83,12,032,00,84,28,329,34,,,,,0*45
$GAGSV,2,1,07,10,41,283,41,11,23,259,32,12,50,319,39,19,17,123,00,0*7F
$GAGSV,2,2,07,24,35,323,39,31,87,256,44,33,26,026,38,,,,,0*4C
$GPRMC,152016.00,A,1343.6486203,N,10046.5585902,E,0.44,0.00,201223,0.0,E,R,V*50
$GPGLL,152016.00,1343.6486203,N,10046.5585902,E,5,19,1.0,12.189,M,-30.454,M,1.0,0000*5A
$GNGSA,A,3,06,11,14,17,19,20,22,,,,,1.4,0.6,1.3,1*3F
$GNGSA,A,3,06,11,14,17,19,20,22,,,,,1.4,0.6,1.3,2*31
$GNGSA,A,3,10,11,12,19,24,31,33,,,,,1.4,0.6,1.3,3*3C

```

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างข้อมูล NMEA ที่เครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ข้อมูล GPGLA ในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งจากตำแหน่งอ้างอิงรายละเอียดของข้อมูลประเภท GPGLA แสดงดังตารางที่ 2.5 และรูปตัวอย่างข้อมูล GPGLA แสดงดังรูปที่ 2.7

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อมูล GPGLA

โครงสร้างประโยค	ความหมาย
\$GPGLA	Log header
utc	UTC time status of position (hours/minutes/seconds/ decimal seconds)
lat	Latitude (DDmm.mm)
lat dir	Latitude direction (N = North, S = South)
Lon	Longitude (DDDmm.mm)
lon dir	Longitude direction (E = East, W = West)
quality	0 : no fix 1 : Single point 2 : Differential GPS (DGPS) fix 3 : Precise Positioning System (PPS) fix (for government use only) 4 : RTK fixed solution 5 : RTK float solution
# sats	Number of satellites in use. May be different to the number in view
hdop	Horizontal dilution of precision
alt	Antenna altitude above/below mean sea level
a-units	Units of antenna altitude (M = metres)
undulation	Undulation - the relationship between the geoid and the WGS84 ellipsoid
u-units	Units of undulation (M = metres)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดข้อมูล GPGGA (ต่อ)

โครงสร้างประโยค	ความหมาย
age	Age of correction data (in seconds) The maximum age reported here is limited to 99 seconds.
stn ID	Differential base station ID
*xx	Check sum

```

$GPRMC,14.4603,0.0,A,13.43,64.37547,N,100.46,56.35474,E,1.11,106.96,251.223,0.0,E,R,V*50
$GPGGA,14.4603,0.0,13.43,64.37547,N,100.46,56.35474,E,5,17,1.0,14.474,M,-30.454,M,1.0,0000*59
$GNGSA,A,3,06,11,14,17,19,20,,,,,1.5,0.7,1.3,1*3F

```

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างข้อมูล GPGGA

2.12 RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services)

RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) คือรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในระบบดาวเทียมนำทาง เช่น GPS GLONASS Galileo และ BeiDou เพื่อช่วยปรับปรุงความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง โดยข้อมูล RTCM จะส่งค่าระยะทางจากสถานีฐานไปยังดาวเทียมดวงต่างๆ พร้อมตำแหน่งจริงของสถานีฐานนั้น เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณการเบี่ยงเบนของสัญญาณจากชั้นบรรยากาศ ข้อผิดพลาดของนาฬิกาดาวเทียม และข้อผิดพลาดจากสภาพแวดล้อม [22]

2.10.1 RTCM message Type

2.10.1.1 Common Message Type

ข้อมูล Observation ของ GPS (L1 & L2) ให้ข้อมูลสัญญาณที่รับจากดาวเทียม ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณตำแหน่งใน RTK เช่นข้อความ 1004 1012

ข้อมูลตำแหน่งของสถานีอ้างอิง (ECEF location) ให้ตำแหน่งของสถานีอ้างอิง ซึ่งจำเป็นสำหรับการปรับเทียบตำแหน่งของผู้ใช้ เช่นข้อความ 1005 1006 1007

ข้อมูล Ephemeris ให้ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรของดาวเทียม เพื่อช่วยในการคำนวณตำแหน่งดาวเทียม เช่นข้อความ 1019 (สำหรับ GPS) และ 1020 (สำหรับ GLONASS) รายละเอียดสำหรับข้อมูล RTCM common message Type แสดงดังตารางที่ 2.6 [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 Common Message Type

Message Type	Message Name
1004	Extended L1 & L2 GPS RTK Observables
1005	Stationary RTK Reference Station ARP
1006	Stationary RTK Reference Station ARP with Antenna Height
1007	Antenna Descriptor
1012	Extended L1&L2 GLONASS RTK Observables
1013	System Parameters
1017	GPS Combined Geometric and Ionospheric Correction Differences
1019	GPS Ephemerides
1020	GLONASS Ephemerides
1029	Unicode Text String
1033	Receiver and Antenna Descriptors

2.10.1.2 State Space Representation (SSR) Message Types

State Space Representation (SSR) เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการการหาตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงในระบบ GNSS (Global Navigation Satellite System) เช่นการทำ Precise Point - Positioning (PPP) การใช้ข้อมูล SSR จะให้ข้อมูลที่ช่วยปรับปรุงความแม่นยำของตำแหน่งที่คำนวณจากสัญญาณดาวเทียม ทำให้สามารถคำนวณตำแหน่งที่แม่นยำระดับเซนติเมตรได้ ไม่อาศัยสถานีอ้างอิงใกล้เคียง โดยรายละเอียดข้อมูล SSR แสดงดังตารางที่ 2.7 [22]

ตารางที่ 2.7 State Space Representation (SSR) Message Types

Message Type	Message Name
1057	SSR GPS Orbit Correction
1058	SSR GPS Clock Correction
1059	SSR GPS Code Bias
1060	SSR GPS Combined Orbit and Clock Corrections
1061	SSR GPS URA
1062	SSR GPS High Rate Clock Correction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 State Space Representation (SSR) Message Types (ต่อ)

Message Type	Message Name
1063	SSR GLONASS Orbit Correction
1064	SSR GLONASS Clock Correction
1065	SSR GLONASS Code Bias

2.10.1.3 Multiple Signal Messages (MSM) Message Types

Multiple Signal Messages (MSM) ในระบบ GNSS (Global Navigation Satellite System) เป็นชุดข้อความที่ให้รายละเอียดข้อมูลที่ครอบคลุมเกี่ยวกับสัญญาณดาวเทียมที่รับมา ข้อมูลที่มีในข้อความ MSM เช่น Carrier Phase Observation Pseudorange Observation Signal-to-Noise Ratio (SNR) Doppler Phase range และ Time of week (TOW)

ข้อความ MSM ถูกออกแบบให้สามารถใช้กับระบบ GNSS หลายประเภท เช่น GPS, GLONASS, Galileo, และ QZSS โดยมีรูปแบบที่คล้ายคลึงกันเพื่อความสอดคล้องในการประมวลผล โดยรายละเอียดของข้อมูล MSM แต่ละประเภทแสดงตารางที่ 2.8 และ 2.9 [22]

ตารางที่ 2.8 Multiple Signal Messages (MSM) message type

Message Type	Message Name
MSM1	Conventional and advanced DGNSS
MSM2	Conventional RTK modes
MSM3	
MSM4	
MSM5	Storing data in a complete set of RINEX observables
MSM6	RTK with extended resolution. Real time Network data streaming
MSM7	Transmission of a complete set of RINEX observations with extended resolution

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 ข้อมูล RTCM ประเภท Multiple Signal Messages (MSM) ของ GPS

Message Type	Message Name
1071	GPS MSM1
1072	GPS MSM2
1073	GPS MSM3
1074	GPS MSM4
1075	GPS MSM5
1076	GPS MSM6
1077	GPS MSM7

ในปฏิญานีพจน์นี้ทางคณะผู้จัดทำเลือกใช้ข้อมูล RTCM ประเภท Common Message Type RTCM 1004 และ RTCM 1019 เนื่องจากข้อมูล RTCM 1004 [22] ดังตารางที่ 2.10 ให้ข้อมูลพารามิเตอร์ที่นำไปใช้ในการคำนวณ Pseudorange จาก code และ carrier phase และ RTCM 1019 [16] ดังตารางที่ 2.11 ให้ข้อมูล ephemeris ของดาวเทียมเพื่อที่ทางผู้จัดทำสามารถนำข้อมูลไปใช้งานต่อในการคำนวณพารามิเตอร์อวกาศเพื่อเป็นเกณฑ์ที่ใช้จำแนกคุณภาพของดาวเทียมแต่ละดวงที่ได้รับผลกระทบจาก Ionospheric scintillation

ตารางที่ 2.10 ข้อมูล Common Message Type RTCM 1004 ของ GPS

Message Type	Message Name
DF009	GPS Satellite ID
DF010	GPS L1 Code Indicator
DF011	GPS L1 Pseudorange
DF012	GPS L1 PhaseRange – L1 Pseudorange
DF013	GPS L1 Lock time Indicator
DF014	GPS Integer L1 Pseudorange Modulus Ambiguity
DF015	GPS L1 CNR
DF016	GPS L2 Code Indicator
DF017	GPS L2-L1 Pseudorange Difference
DF018	GPS L2 PhaseRange – L1 Pseudorange

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ข้อมูล Common Message Type RTCM 1004 ของ GPS (ต่อ)

Message Type	Message Name
DF019	GPS L2 Lock time Indicator
DF020	GPS L2 CNR

ตารางที่ 2.11 ข้อมูล Common Message Type RTCM 1019 ของ GPS

DF Number	Data Field
DF002	Message Number
DF009	GPS Satellite ID
DF076	GPS Week Number
DF077	GPS SV ACCURACY
DF078	GPS CODE ON L2
DF079	GPS IDOT
DF071	GPS IODE
DF081	GPS t_{oc}
DF082	GPS a_{f2}
DF083	GPS a_{f1}
DF084	GPS a_{f0}
DF085	GPS IODC
DF086	GPS C_{rs}
DF087	GPS Δn (DELTA n)
DF088	GPS M_0
DF089	GPS C_{uc}
DF090	GPS Eccentricity (e)
DF091	GPS C_{us}
DF092	GPS $(A)^{1/2}$
DF093	GPS t_{oe}
DF094	GPS C_{ic}

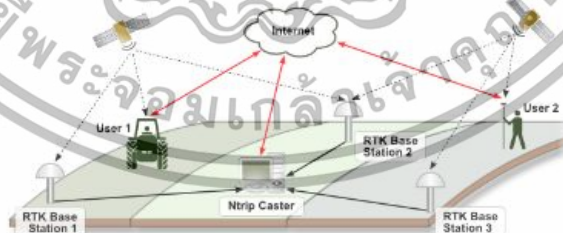
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.11 ข้อมูล Common Message Type RTCM 1019 ของ GPS (ต่อ)

DF Number	Data Field
DF095	GPS Ω_0 (<i>OMEGA</i>) ₀
DF096	GPS C_{is}
DF097	GPS i_0
DF098	GPS C_{rc}
DF099	GPS ω (Argument of Perigee)
DF100	GPS <i>OMEGADOT</i> (Rate of Right Ascension)
DF101	GPS t_{GD}
DF102	GPS SV HEALTH
DF103	GPS L2-P data flag
DF137	GPS Fit Interval

2.13 NTRIP Client

NTRIP (Network Transport of RTCM data over IP) [23], [24] เป็นโพรโตคอลสำหรับการส่งข้อมูลแก้ไข RTK แบบเรียลไทม์จากสถานีฐานไปยังเครื่องรับเคลื่อนที่ (rover) โดยใช้เครือข่ายอินเทอร์เน็ตดังรูปที่ 2.8 โดยเทคโนโลยีนี้มีประโยชน์อย่างมากในพื้นที่ที่สัญญาณวิทยุแบบเดิมไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากภูมิประเทศที่มีต้นไม้หรือเนินเขา



รูปที่ 2.8 การทำงานของ NTRIP (Network Transport of RTCM data over IP) [25]

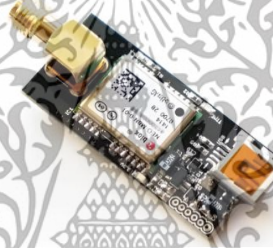
ไคลเอ็นต์ NTRIP เป็นอุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์ที่ใช้โพรโตคอล NTRIP เพื่อรับข้อมูล RTC จาก NTRIP Caster และสามารถเป็นเครื่องรับสัญญาณ GNSS หรือคอมพิวเตอร์ที่รันซอฟต์แวร์ประมวลผล GNSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคสเตอร์ NTRIP คือ เซิร์ฟเวอร์ที่จัดหาข้อมูล RTC ให้กับไคลเอ็นต์ NTRIP แคสเตอร์ NTRIP รวบรวมข้อมูล RTC จากสถานีอ้างอิง GNSS และกระจายข้อมูลไปยังไคลเอ็นต์ NTRIP ผ่านอินเทอร์เน็ต

2.14 โมดูลรับสัญญาณดาวเทียม U-blox NEO-M8T-0

U-blox NEO-M8T-0 ดังรูปที่ 2.9 เป็นโมดูลรับสัญญาณดาวเทียม GNSS โมดูล GNSS NEO-M8T ให้เวลาแม่นยำสูงในการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูงทั่วโลกรองรับการใช้งานร่วมกับดาวเทียม BeiDou, GLONASS และ Galileo นอกเหนือจากระบบ GPS การรับสัญญาณพร้อมกันจากดาวเทียมที่หลากหลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.12 [26]



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม U-blox NEO-M8T-0

ตารางที่ 2.12 คุณสมบัติของอุปกรณ์ U-blox NEO-M8T-0

คุณสมบัติ	รายละเอียด
GNSS	BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS / QZSS
Number of concurrent GNSS	3
GNSS platform	Concurrent GNSS
Oscillators	TCXO
Maximum supply [V]	3.6
Minimum supply [V]	2.7
Antennas	Pin (active) for external antenna, Pin (passive) for external antenna
Dimensions [mm]	17.0 x 22.4 x 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 Intel Mini PC NUC 11 Essential Kit

คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (NUC) หรือ Next Unit of Computing [27] ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในฟอร์มแฟคเตอร์ขนาดเล็ก หรือชุดประมวลผลระดับเดสก์ท็อปพีซี (Desktop PC) ที่ถูกออกแบบโดยบริษัท Intel โดยภายในของอุปกรณ์ NUC นั้นมีหลักการทำงานและความสามารถเทียบเท่ากับพีซีมาตรฐานทั่วไป ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.13



รูปที่ 2.10 Intel Mini PC NUC 11 Essential Kit

ตารางที่ 2.13 คุณสมบัติของอุปกรณ์ Intel Mini PC NUC 11 Essential Kit

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Brand	Intel
CPU	Intel® Celeron® Processor N5105 (4M Cache, up to 2.90 GHz)
Main Memory	DDR4-2933 1.2V SO-DIMM
Storage	M.2 SSD
Graphics	DP++/HDMI
Port	2 x USB 3.2 Gen 2 2 x USB 2.0 2 x USB 3.2 Gen 1 1 x DisplayPort1.4 1 x HDMI2.0b 1 x Lan
Audio Jack	3.5mm Front stereo jack 3.5mm Front microphone jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.13 คุณสมบัติของอุปกรณ์ Intel Mini PC NUC 11 Essential Kit (ต่อ)

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Network	10/100/1000 LAN
Bluetooth	Bluetooth 5.1
Power Supply	19VDC 65W Power supply with geo-specific C5 AC cords
Supported Operating Systems	Windows 11, Windows 10, Linux

2.16 สายอากาศ AN-105L-GNSS

สายอากาศ AN-105L-GNSS [28] เป็นสายอากาศที่สามารถรับสัญญาณจีพีเอสในย่านความถี่ L1 L2 และ L5 ได้โดยสายอากาศชนิดนี้จะมีรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่นเป็นแบบ Omnidirectional ดังรูปที่ 2.11 และมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.14

รูปที่ 2.11 สายอากาศ AN-105L-GNSS

ตารางที่ 2.14 คุณสมบัติสายอากาศ AN-105L-GNSS

คุณสมบัติ	รายละเอียด
Frequency Range (MHz)	GPS L1/L2/L5 GLONASS L1/L2 BDS B1/B2/B3 GALILEO E1/E5a/E5b/E6 QZSS L1/L5 SBAS L1
Gain (dBi)	< 5.5
Polarization	Right-Hand Circular Polarization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 คุณสมบัติสายอากาศ AN-105L-GNSS (ต่อ)

คุณสมบัติ	รายละเอียด
LNA Gain (dB)	40 ± 2 dB
VSWR	≤ 2.0
Voltage	3.0V - 16.0V
Radiation Pattern	Omnidirectional

2.17 ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน

2.17.1 ภาษา HTML(Hypertext Markup Language)

ภาษา HTML เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาเว็บเพจ ใช้สร้างเค้าโครงหรือใส่เนื้อหาข้อความต่าง ๆ ในหน้าเว็บ โดยใช้ Tag <> เป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้น และ </> กำหนดจุดสิ้นสุดการทำงาน โดยมีตัวอย่างคำสั่งใน HTML [29] ดังนี้

- < html > คือ กำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการทำงานในโปรแกรม
- < head > คือ กำหนดส่วนหัวเรื่อง
- < title > คือ กำหนดชื่อจะไปแสดงที่ Title Bar
- < body > คือ กำหนดเนื้อหาที่จะแสดงบนหน้าเว็บ
- < h1 - h6 > คือ กำหนดหัวข้อตัวอักษรขนาดใหญ่และเล็กลงตามลำดับหัวข้อ
- < i > คือ ตัวอักษรเอียง
- < p > คือ ขึ้นย่อหน้าใหม่

2.17.2 ภาษา CSS (Cascading Style Sheets)

ภาษา CSS [29] เป็นภาษาที่ใช้พัฒนาลักษณะรูปแบบ ใส่พื้นหลัง หรือเพิ่มกรอบข้อความ ของหน้าเว็บ เพื่อเพิ่มความสวยงามให้หน้าเว็บแอปพลิเคชัน CSS สามารถกำหนดรูปแบบพร้อมกันทีเดียวได้ ทำให้เวลาแก้ไขไม่ต้องคอยแก้ทีละส่วน โดยสามารถเขียนได้ 3 วิธีดังนี้

- 1) Inline Styles เขียนแทรกลงไปในบรรทัดที่ต้องการแก้ไขที่ไฟล์ HTML ได้เลย
- 2) Internal CSS Style แยก CSS ออกจาก HTML แต่อยู่ในหน้าเดียวกันกับไฟล์ HTML โดยแทรก CSS เอาไว้ที่ < head >< /head >

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) External Style Sheet สร้าง CSS เป็นไฟล์ .css ต่างหาก แล้วนำไปใช้ในหน้าเว็บ ด้วยการเพิ่ม `< linkrel="stylesheet" href="ชื่อไฟล์.css" type="text/css" / >` ไว้ที่ส่วน `< head >> /head >` ในหน้า HTML

2.17.3 ภาษา Javascript

ภาษา Javascript [29] เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้พัฒนาเว็บเพจร่วมกับ HTML ที่ทำให้หน้าเว็บมีความเคลื่อนไหว อาจจะใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ผู้ใช้งานกรอกหรือใช้เพื่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงบนหน้าเว็บ และใช้ในการเพิ่มลูกเล่นให้เว็บสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้โดยสามารถเขียนได้ 2 วิธี คือ

1) Inline Styles คำสั่งจะอยู่ในหน้าเดียวกับ HTML โดยใช้ `< script >< /script >` กำหนดขอบเขตคำสั่งของ JavaScript

2) External คือการสร้าง JavaScript เป็นไฟล์ .js ต่างหากแล้วนำเข้าไปใช้ในหน้าเว็บด้วยการเพิ่ม `< script type="text/Javascript" src="ชื่อไฟล์.js" >< /script >` ไว้ที่ส่วน `< head >> /head >` ของไฟล์ .html

2.17.4 ภาษา PHP (PHP Hypertext Preprocessor)

ภาษา PHP [30], [31] คือภาษาคอมพิวเตอร์จําพวก scripting language ภาษาจําพวกนี้คำสั่งต่าง ๆ จะเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่า script และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัวแปรชุดคำสั่ง ตัวอย่างของภาษาสคริปต์เช่น Javascript, Perl เป็นต้น ลักษณะของ PHP ที่แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่น ๆ คือ PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ PHP จึงถือได้ว่าเป็นภาษาที่เรียกว่า server-side หรือ HTML-embedded scripting language นั่นคือในทุก ๆ ครั้งก่อนที่เครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งให้บริการเป็น Web server จะส่งหน้าเว็บเพจที่เขียนด้วย PHP ให้ผู้ใช้งานมัน จะทำการประมวลผลตามคำสั่งที่มีอยู่ให้เสร็จก่อน แล้วจึงค่อยส่งผลลัพธ์ที่ได้กลับมามาตั้งนั้น PHP จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญชนิดหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถสร้าง Dynamic Web pages (เว็บเพจที่มีการโต้ตอบกับผู้ใช้) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีลูกเล่นมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 ฐานข้อมูล MySQL

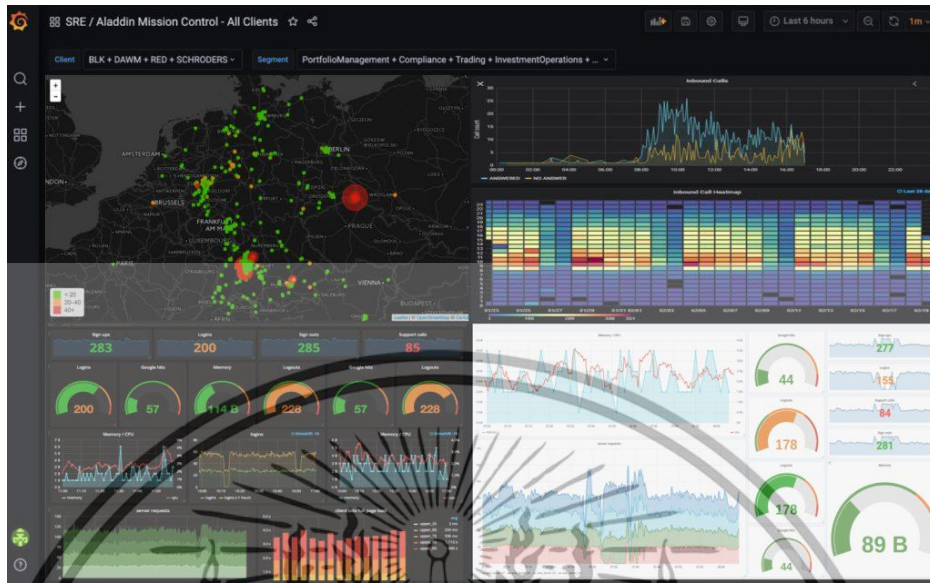
ฐานข้อมูล MySQL [32], [33] คือระบบจัดการฐานข้อมูลหรือ Database Management System (DBMS) แบบข้อมูลเชิงสัมพันธ์ หรือ Relational Database Management System (RDBMS) ซึ่งจัดเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบตาราง แบ่งข้อมูลออกเป็นแถว (Row) และคอลัมน์ (Column) เพื่อเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลในตารางกับข้อมูลในคอลัมน์ที่กำหนดแทนการเก็บข้อมูลที่แยกออกจากกันโดยไม่มีความเชื่อมโยงกัน ประกอบด้วยข้อมูล (Attribute) ที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกัน (Relation) โดยใช้ RDBMS Tools สำหรับการควบคุมและจัดเก็บฐานข้อมูลที่จำเป็น

ฐานข้อมูล MySQL มีหน้าที่จัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่งภาษา Structured Query Language หรือ SQL เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์และเป็นระบบเปิด (Open System) ที่มีโครงสร้างของภาษาที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน นอกจากนี้ ฐานข้อมูล MySQL ยังถูกใช้ในองค์กรหรือกลุ่มธุรกิจชั้นนำต่าง ๆ เช่นการจัดเก็บข้อมูลสำหรับ Website, Mobile Application, Application สำหรับองค์กร, ข้อมูลทางการแพทย์, ข้อมูลทางการเงิน และสร้างฐานข้อมูลของลูกค้า เป็นต้น

2.19 เว็บแอปพลิเคชัน Grafana

Grafana [34] เป็นซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สที่ใช้สร้างแดชบอร์ด (Dashboard) และการแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟที่ช่วยให้วิเคราะห์ข้อมูลได้ สามารถเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูลหลายแหล่ง เช่น ฐานข้อมูล SQL, NoSQL, Kubernetes, Raspberry Pi, ข้อมูลแบบ Time-series (Prometheus) และบริการคลาวด์ต่าง ๆ นอกจากนี้แล้วเว็บแอปพลิเคชัน Grafana ก็มีความสามารถในการดึงข้อมูลจาก API ได้โดยใช้ JSON-API โดยการดึงข้อมูลจาก API ค่าแต่ละค่าที่จะนำมาแสดงจะต้องมีวันที่และเวลากำกับไว้ เพื่อให้ Grafana สามารถจัดการข้อมูลให้ตรงกับเวลาบนกราฟได้ดังรูปที่ 2.12

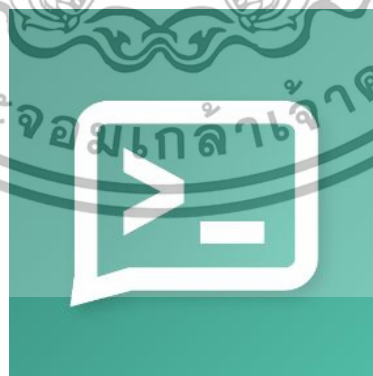
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 หน้า Dashboard ที่สร้างจาก Grafana

2.20 ระบบแจ้งเตือนแบบพุด ntfy

ntfy [35] เป็นบริการแจ้งเตือน pub-sub ที่ใช้ HTTP ธรรมดา สามารถส่งการแจ้งเตือนไปยังโทรศัพท์หรือเดสก์ท็อปผ่านสคริปต์จากคอมพิวเตอร์เครื่องใดก็ได้ สามารถทำได้ผ่าน PUT หรือ POST หัวข้อจะถูกสร้างขึ้นทันทีโดยการสมัครหรือเผยแพร่ และใช้ REST API ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งการใช้ระบบแจ้งเตือนแบบพุด ntfy จะมีความยืดหยุ่นอย่างไร้ขีดจำกัด ในการรับการแจ้งเตือนพร้อมลำดับความสำคัญ ไฟล์แนบ ปุ่มการทำงาน แท็ก และอิโมจิที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.13 แอปพลิเคชัน ntfy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

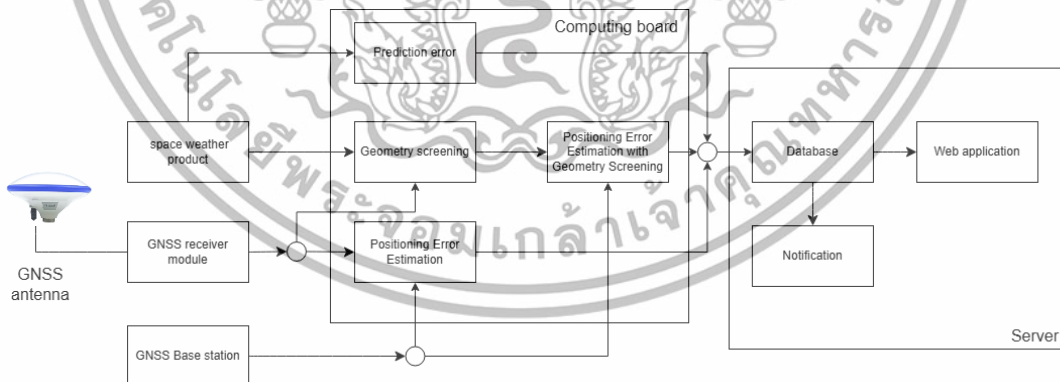
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปฏิญญาพันธ

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบระบบ

ปฏิญญาพันธนี้ต้องการพัฒนาระบบตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการระบุพิกัดแบบสัมพัทธ์บนเว็บแอปพลิเคชัน และทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นด้วยการคัดกรองคุณภาพของดาวเทียมจาก Space weather product เพื่อให้อุปกรณ์ที่ต้องการความแม่นยำสูงในการระบุตำแหน่งพิกัดนั้นมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 รับค่าละติจูดและลองจิจูดของสถานีจลน์และรับค่าปรับแก้จากสถานีฐานเพื่อนำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ในบอร์ดประมวลผล จากนั้นจะส่งข้อมูลไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล แล้วทำการรับค่าจากข้อมูล RTCM เพื่อคำนวณ Space weather product ที่จะใช้ในการคัดกรองดาวเทียม เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ลดลง จากนั้นจะทำการแสดงผลข้อมูลที่ได้ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน และมีฟังก์ชันเพิ่มเติมคือการทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน ณ เวลาปัจจุบันที่จะแสดงบนเว็บแอปพลิเคชันและการแจ้งเตือนสถานะเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนเกินเกณฑ์ที่ผู้ใช้งานตั้งค่าเอาไว้

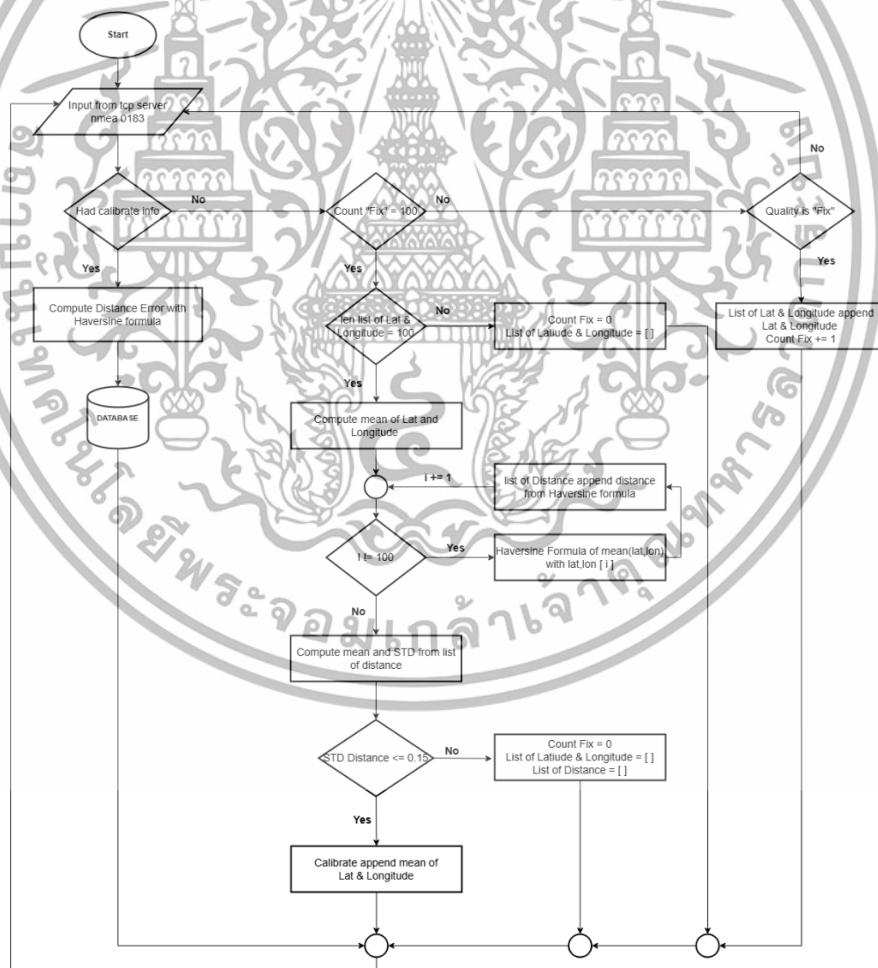


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การออกแบบระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบ สัมพัทธ์

ในการออกแบบระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบ สัมพัทธ์ทางผู้จัดทำทำการรับข้อมูลจาก U-blox NEO-M8T-0 ที่ใช้งานร่วมกับสายอากาศ AN-105L-GNSS และทำการกระจายข้อมูลที่ได้รับผ่านทาง Tcp server โดยใช้โปรแกรม str2str จากนั้นใช้โปรแกรม rtkrcv มาทำการรับข้อมูลของ U-blox NEO-M8T-0 ผ่านทาง Tcp client และรับข้อมูลค่าแก้ไขของสถานีฐานจาก Ntrip client และใช้โปรแกรม rtkrcv ส่งข้อมูลทาง Tcp server จากนั้นใช้สคริปต์ไพทอนมาทำการเชื่อมต่อรับข้อมูลและทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ โดยแผนผังการทำงานของระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังงานของระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 การทำงานของระบบเริ่มจากการรับข้อมูล NMEA- 0183 จากโปรแกรม rtkrcv ผ่านทาง Tcp server และทำการอ่านข้อมูล NMEA-0183 ประเภท GPGLL เพื่อรับข้อมูลเกี่ยวกับ เวลา ละติจูด ลองจิจูดและค่าความแม่นยำของข้อมูล จากนั้นทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่ามีข้อมูลของค่าปรับเทียบ (Calibration) หรือไม่ ถ้ามีให้ทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณตำแหน่งหรือค่า Error จากสมการ Haversine formula จากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่ได้รับการคำนวณคือ เวลา ละติจูด ลองจิจูดและค่า Error เข้าสู่ระบบฐานข้อมูลแล้วทำการวนลูปทำซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

แต่ถ้าไม่มีข้อมูลค่าปรับเทียบ ให้ทำการตรวจสอบเงื่อนไขว่ามีค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ครบ 100 ข้อมูลหรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำการตรวจสอบจำนวนข้อมูลใน List อีกครั้งว่ามีครบ 100 ข้อมูลใช้หรือไม่ ถ้าไม่ครบให้ทำการเคลียร์ข้อมูลที่ได้รับมาก่อนหน้าทั้งหมดแล้วทำการรับข้อมูลที่มีค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ใหม่ทั้งหมด แต่ถ้ามีข้อมูล RTK fixed solution ครบ 100 ข้อมูลให้ทำการหาค่าเฉลี่ยของ ละติจูดและลองจิจูดของข้อมูลที่ได้รับมา จากนั้นทำการวนลูปเพื่อคำนวณค่า Error จากสมการ Haversine formula ระหว่างค่าเฉลี่ยของละติจูดและลองจิจูดกับละติจูดและลองจิจูดของแต่ละข้อมูลจาก 100 ข้อมูลจากนั้นทำการเก็บค่า Error ที่ได้ไว้ใน List ทำการวนลูปเช่นนี้จนครบ 100 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลค่า Error ที่ได้มาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วทำการเช็คเงื่อนไขว่ามีค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.15 หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำการเก็บค่าเฉลี่ยของละติจูดและลองจิจูดที่ได้คำนวณมาในก่อนหน้านี้ไว้ใน List ของข้อมูลของค่าปรับเทียบ แต่ถ้ามีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า 0.15 ให้ทำการเคลียร์ข้อมูลที่ได้รับมาก่อนหน้าทั้งหมดแล้วทำการรับข้อมูลที่มีค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ใหม่ทั้งหมด

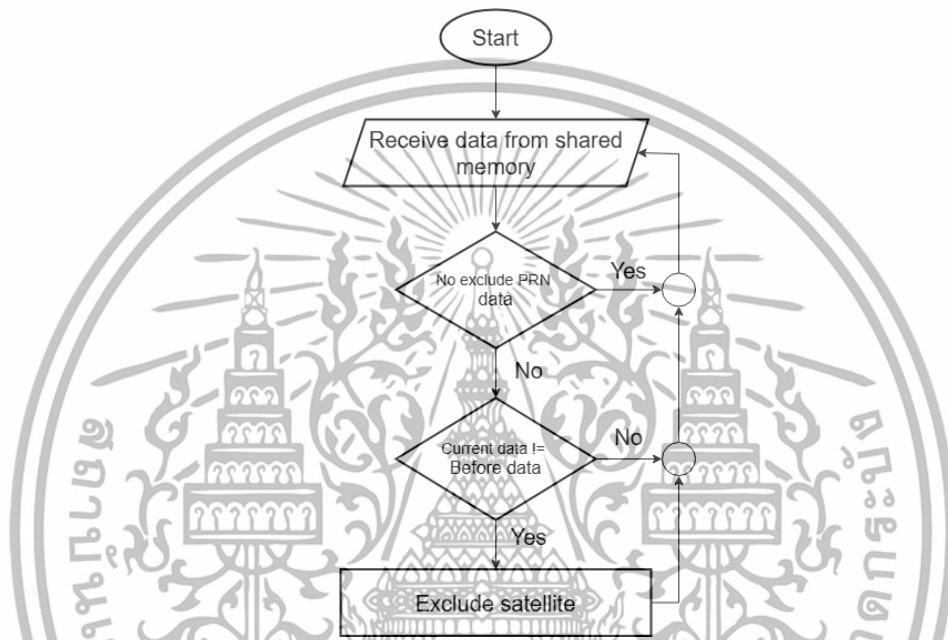
แต่ถ้ามีค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ไม่ครบ 100 ข้อมูล ให้ทำการเช็คเงื่อนไขข้อมูลเป็นสถานะ RTK fixed solution หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำการเก็บค่าของละติจูดและลองจิจูดไว้ใน List แล้วทำการวนลูปเช็คข้อมูลไปเรื่อย ๆ แต่ถ้าข้อมูลไม่เป็นสถานะ RTK fixed solution ให้ทำการวนลูปรับข้อมูลใหม่ไปเรื่อย ๆ

3.1.3 การออกแบบการทำ Geometry screening

ในการออกแบบการทำ Geometry screening หรือคัดกรองดาวเทียมดังรูปที่ 3.3 จะเริ่มจากการรับข้อมูลของดาวเทียมที่มีค่า ROTI และ S_{4c} มากกว่า 0.4 ผ่านทาง Shared memory หลังจากนั้นทำการเช็คค่าข้อมูลที่ได้รับมีดาวเทียมที่ต้องการจะคัดออกหรือไม่ ถ้าไม่มีให้ทำการรอรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลใหม่ ถ้ามีให้ทำการเช็คอีกครั้งว่าดาวเทียมที่ต้องการคัดออกมีหมายเลขต่างกับดาวเทียมที่คัดออกไปแล้วก่อนหน้านี้หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำการคัดดาวเทียมที่ได้รับข้อมูลมาล่าสุดออกจากการคำนวณตำแหน่ง แล้วแสดงผลลัพธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณตำแหน่งเมื่อคัดดาวเทียมที่มีค่า ROTI และ S_{4c} มากกว่า 0.4 ออกจากการคำนวณใหม่ในเว็บแอปพลิเคชัน ถ้าไม่ใช่ให้ทำการรอรับข้อมูลใหม่ต่อไป



รูปที่ 3.3 แผนผังงานการทำงานของกรคัดกรองดาวเทียม Geometry screening

3.1.4 การออกแบบโปรแกรมคำนวณพารามิเตอร์ S_{4c}

ในการออกแบบโปรแกรมคำนวณพารามิเตอร์ S_{4c} เริ่มจากการเชื่อมต่อรับข้อมูลจาก TCP Client เพื่อรับข้อมูล RTCM-Message จากนั้นทำการเช็ครหัสข้อมูล RTCM message ว่าใช่ RTCM 1004 หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำการเช็ครหัสอีกครั้งว่าเป็น RTCM 1019 หรือไม่ถ้าใช่ให้ทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งของดาวเทียม Ephemeris Data ถ้าไม่ใช่ให้ทำการกลับไปรับข้อมูลจาก TCP Client อีกครั้ง

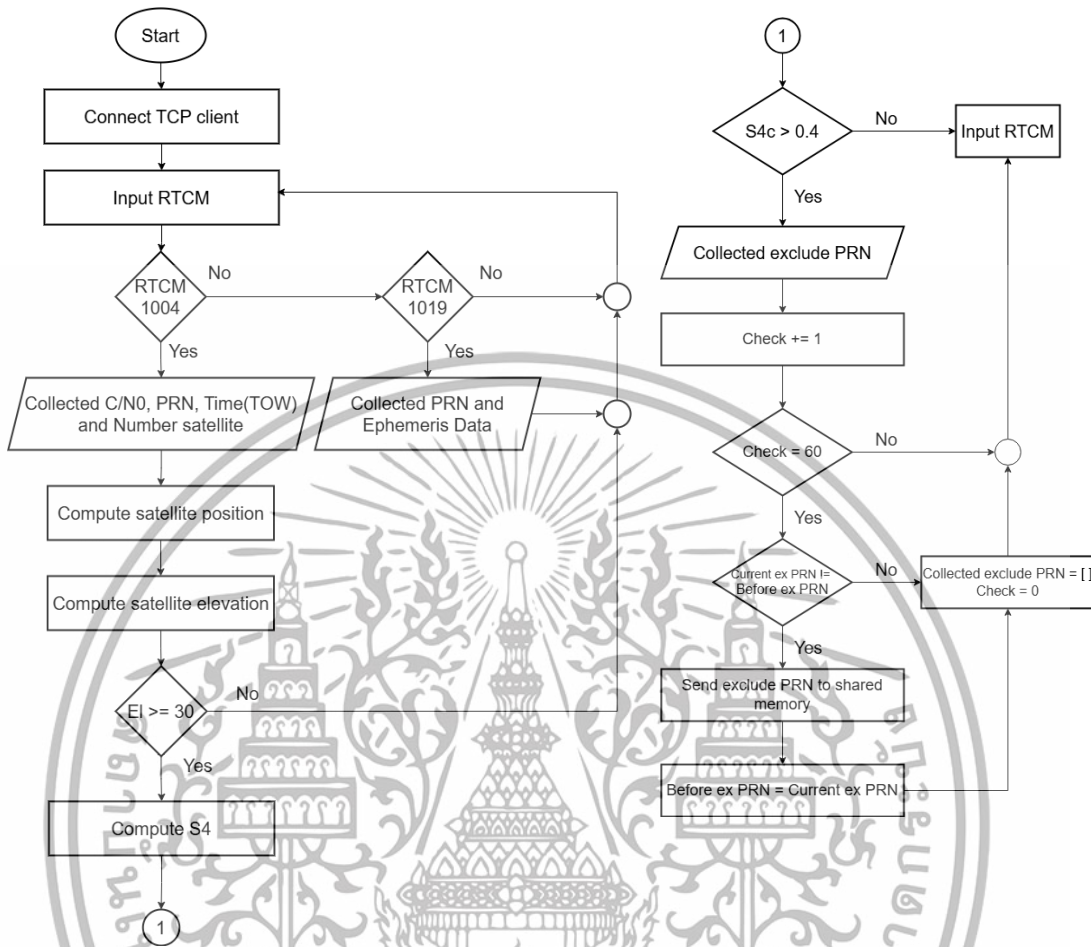
ถ้าใช่ RTCM 1004 ให้เก็บข้อมูล หมายเลขดาวเทียม จำนวนดาวเทียม ค่า C/N_0 และเวลา GPS Time of week จากนั้นทำการเช็คต่อว่า PRN หมายเลขนั้นมีข้อมูล Ephemeris หรือไม่ ถ้ามีให้ทำการคำนวณตำแหน่งของดาวเทียม จากนั้นทำการคำนวณมุมเงยของดาวเทียมและเช็คความมุมเงยของดาวเทียมมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 30 องศาหรือไม่ ถ้าใช่ทำการคำนวณ S_{4c} ถ้า

ไม่ใช่ให้ทำการวนลูปเปลี่ยนหมายเลข PRN เป็นหมายเลขอื่น ถ้าไม่มีข้อมูล Ephemeris ให้ทำการวนลูปเปลี่ยนหมายเลข PRN เป็น PRN อื่นจนครบตามจำนวน Number of Satellite ถ้าลูปครบแล้วให้ทำการกลับไปรับข้อมูลจาก TCP Client ต่อไป

หลังจากคำนวณ S_{4c} แล้วทำการเช็คเงื่อนไขว่าค่า S_{4c} ที่ได้มีค่าเกิน 0.4 หรือไม่ ถ้าไม่เกินให้ทำการกลับไปรับข้อมูลจาก TCP Client อีกครั้ง ถ้าเกินให้ทำการเก็บหมายเลข PRN ของค่า S_{4c} นั้นไว้ในตัวแปร List แล้วทำการนับเป็น Check บวกเท่ากับ 1

หลังจากนั้นเช็คเงื่อนไขว่าตัวแปร Check เท่ากับ 60 หรือไม่ ถ้าไม่ให้ทำการกลับไปรับข้อมูลจาก TCP Client อีกครั้ง ถ้า Check เท่ากับ 60 ให้ทำการเช็คอีกครั้งว่า PRN ที่ต้องการคัดออกนั้นซ้ำกับ PRN ที่คัดออกก่อนหน้านี้หรือไม่ ถ้าซ้ำกันให้ทำการรีเซ็ตตัวแปร Check เท่ากับ 0 และตัวแปร List ที่เก็บข้อมูล PRN ให้เป็น List ว่างแล้วให้ทำการกลับไปรับข้อมูลจาก TCP Client อีกครั้ง ถ้า PRN ที่ต้องการคัดออกนั้นไม่ซ้ำกับ PRN ที่ต้องการคัดออกก่อนหน้านี้ ให้ทำการส่งข้อมูลหมายเลข PRN ที่ต้องการคัดออกทาง Shared memory เพื่อให้โปรแกรม Geometry screening คัดดาวเทียมที่มีค่า S_{4c} มากกว่า 0.4 ออกจากการคำนวณตำแหน่ง หลังจากนั้นให้ตัวแปร PRN ก่อนหน้าเท่ากับ PRN ปัจจุบันและทำการรีเซ็ตตัวแปร Check เท่ากับ 0 และตัวแปร List ที่เก็บข้อมูล PRN ให้เป็น List ว่างแล้วให้ทำการกลับไปรับข้อมูลจาก TCP Client อีกครั้ง โดยแผนผังการทำงานของโปรแกรมคำนวณพารามิเตอร์ S_{4c} ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของการคำนวณพารามิเตอร์ S_{4c}

3.1.5 การออกแบบโปรแกรมคำนวณพารามิเตอร์ ROTI

โปรแกรมคำนวณพารามิเตอร์ ROTI แสดงดังรูปที่ 3.5 จะเริ่มจากการเชื่อมต่อ Ntrip Client แล้วรับข้อมูล RTCM 1004 และ RTCM 1019 มาใช้ในการคำนวณมุมเงยและ ROTI

ในการคำนวณมุมเงยจะอาศัยข้อมูล Ephemeris จาก RTCM 1019 ไปคำนวณตำแหน่งของดาวเทียมก่อน แล้วค่อยนำไปคำนวณมุมเงย และมีเงื่อนไขสำหรับคัดกรองดาวเทียมคือเก็บเอาเฉพาะดาวเทียมที่มีมุมเงยมากกว่า 30 องศาไปคำนวณ ROTI ต่อ จากนั้นจะทำการคำนวณหามุมเงยต่อไปเรื่อย ๆ

ในการคำนวณ ROTI จะอาศัยข้อมูล Phase range ของความถี่ L1 กับ L2 ไปคำนวณ จะเริ่มจากแปลงหน่วยของ Phase range จากเมตรเป็น cycle จากนั้นทำการคำนวณค่า STEC พร้อมทั้งทำการตรวจสอบ cycle slip หากเกิด cycle slip จะทำการหาผลต่างของค่า STEC ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับค่า STEC ก่อนหน้าและทำการหาค่า STEC ปัจจุบันใหม่ด้วยการเอาค่า STEC ปัจจุบันลบกับผลต่าง แล้วแทนที่ค่า STEC ในช่วงที่เกิด cycle slip จนกว่าจะไม่เกิด cycle slip และมีค่า STEC กลับมาใกล้เคียงกับค่าล่าสุดที่นำมาแทนที่ เมื่อผ่านขั้นตอนการตรวจสอบ cycle slip จะทำการเก็บค่า STEC ให้ครบ 300 ค่า เพื่อที่จะนำไปคำนวณ ROTI

หลังจากคำนวณ ROTI แล้วทำการเช็คเงื่อนไขว่าค่า ROTI ที่ได้มีค่าเกิน 0.4 หรือไม่ ถ้าเกินให้ทำการแสดงข้อความว่า “Exclude Satellite: (PRN)” PRN คือหมายเลขดาวเทียมที่มีค่า ROTI สูงเกินเงื่อนไขแจ้งให้ทำการตัดดาวเทียมดวงนั้นออกจากการคำนวณตำแหน่ง และทำการเปลี่ยนหมายเลข PRN เพื่อทำการคำนวณดาวเทียมดวงถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

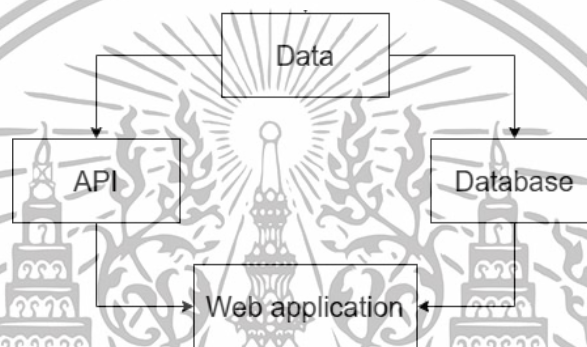


รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของคำนวณพารามิเตอร์ ROTI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 การออกแบบระบบจัดเก็บฐานข้อมูล

ในการออกแบบระบบจัดเก็บฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.6 เพื่อจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับมาจาก U-blox NEO-M8T-0 โดยจะจัดเก็บข้อมูลเข้าไปในฐานข้อมูล My SQL จะจัดเก็บข้อมูลเวลา วันที่ ละติจูด ลองจิจูด ระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ ค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณตำแหน่ง และคุณภาพในการเชื่อมต่อกับสถานีฐาน แล้วไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน ในส่วนของ API จะใช้เป็นตัวกลางที่จะส่งข้อมูล space weather product คือ S_{4c} และ ROTI ไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมการจัดเก็บข้อมูลและส่งไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน

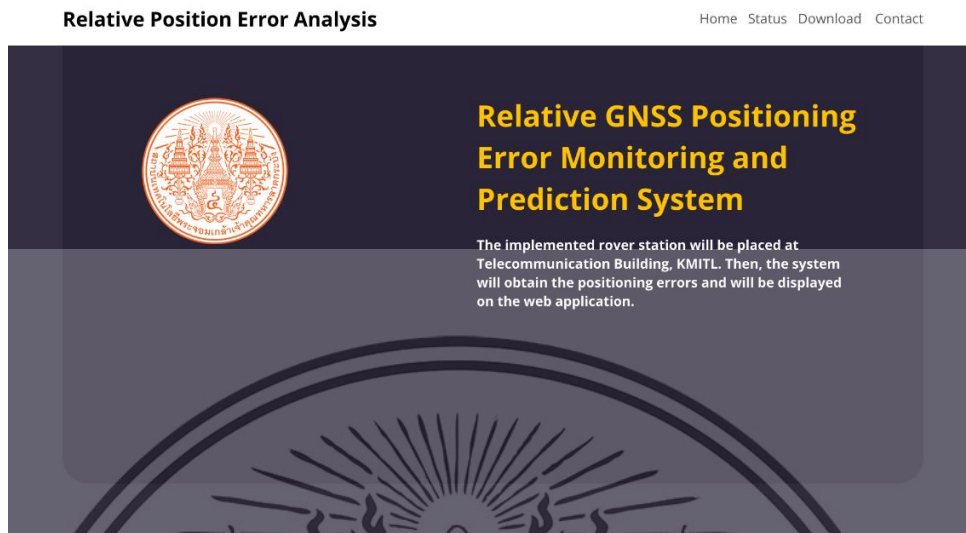
3.1.7 การออกแบบโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชัน

ในการออกแบบโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลของระบบตรวจสอบและทำนายค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์ สำหรับเว็บแอปพลิเคชันนี้จะแสดงผลข้อมูลออกมาเป็น 4 ส่วน คือ Home, Status, Download และ Contact โดยจะแสดง 4 ส่วนนี้เป็นแถบเมนูอยู่ด้านบนของเว็บแอปพลิเคชัน เอาไว้เชื่อมต่อไปที่ส่วนต่าง ๆ ได้ และมีการแสดงคำว่า “Relative Position Error Analysis” ไว้ด้านบนในแถบเดียวกับกับเมนูทั้ง 4 ส่วน

3.1.7.1 การออกแบบโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันในหน้า Home

หน้าแรกของเว็บแอปพลิเคชันที่ไว้แสดงผลจะเป็นหน้า Home เป็นหน้าหลักที่แสดงรายละเอียดคร่าว ๆ เกี่ยวกับข้อมูลที่เว็บแอปพลิเคชันนี้แสดงดังรูปที่ 3.7 จะมีตราของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไว้ฝั่งซ้าย ส่วนฝั่งขวาจะเป็นชื่อของโครงการและรายละเอียดที่อธิบายเกี่ยวกับโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



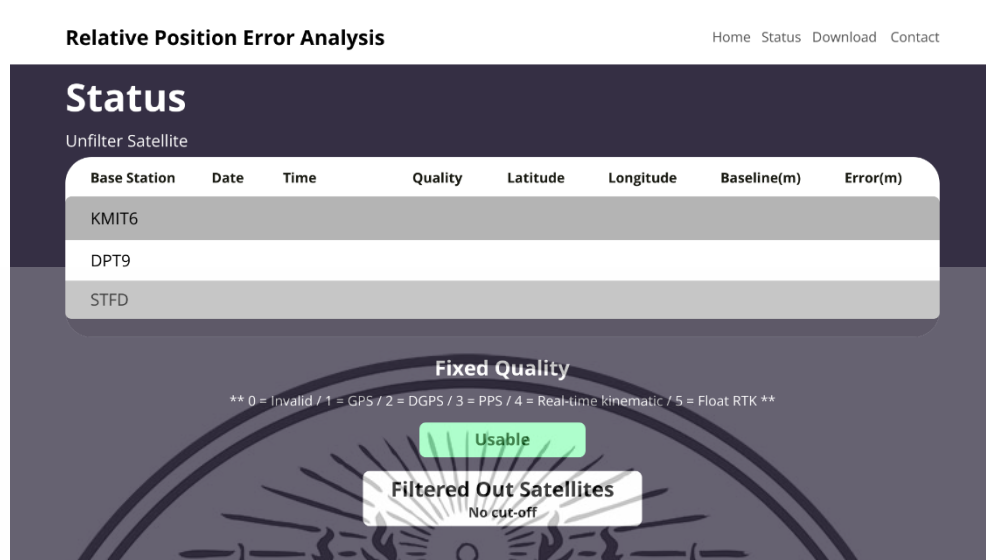
รูปที่ 3.7 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Home

3.1.7.2 การออกแบบโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันในหน้า Status หน้าต่อไปของเว็บแอปพลิเคชันจะเป็นหน้า Status ในหน้านี้จะแบ่งการแสดงผลออกมาเป็น 4 ส่วน ได้แก่

- 1) ส่วนที่แสดงข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูล
- 2) ส่วนที่แสดงกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 3 สถานีฐาน
- 3) ส่วนที่แสดงกราฟของ space weather product
- 4) ส่วนที่แสดงขั้นตอนการรับข้อความแจ้งเตือนเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน สำหรับส่วนแรกที่แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.8 จะแสดงใน

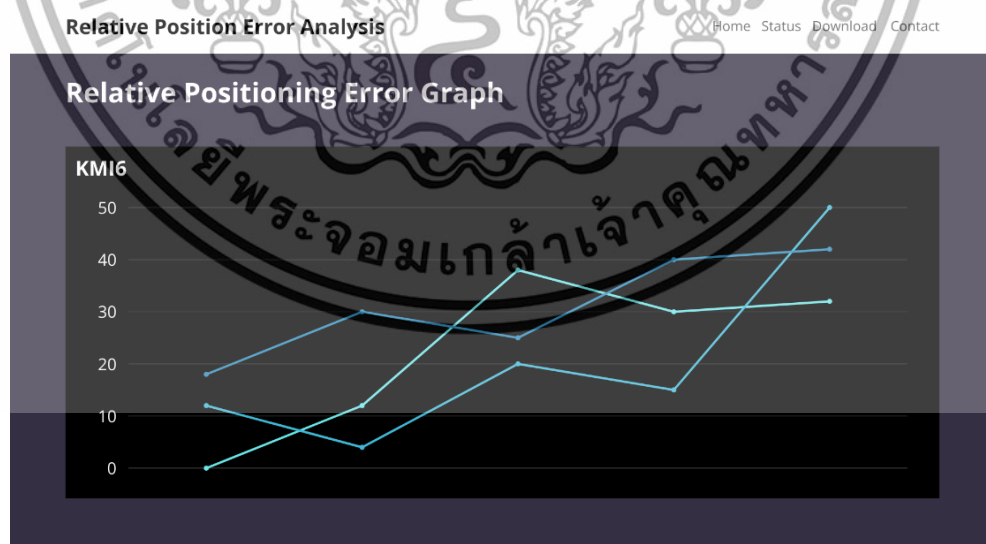
รูปแบบของตาราง ประกอบด้วย Base station, Date, Time, Quality, Latitude, Longitude, Baseline และ Error ของสถานีฐาน KMI6, DPT9 และ STFD แบบเรียลไทม์ ด้านล่างตารางจะอธิบายคุณภาพในการระบุตำแหน่ง ประกอบไปด้วยสถานะ 0 ถึง 5 คือ Invalid, GPS, DGPS, PPS, Real-time kinematic และ Float RTK ส่วนด้านล่างจากนั้นจะเป็นบล็อกที่เอาไว้แสดงคุณภาพของการระบุตำแหน่งโดยใช้เกณฑ์จากค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศมาทำนายผลว่าสมควรใช้งานเครื่องมือระบุตำแหน่งหรือไม่ ณ เวลานั้น และหากดาวเทียมดวงไหนที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติจะถูกกรองออกจากการคำนวณตำแหน่งและแสดงว่าดาวเทียมดวงไหนที่ถูกคัดกรองออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Status

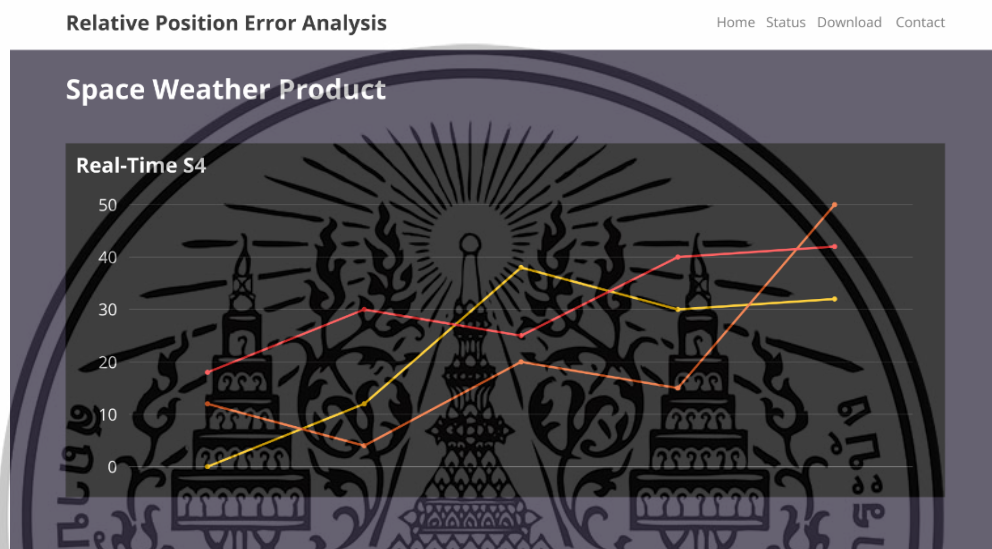
สำหรับส่วนต่อมาจะเป็นส่วนที่แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลดังรูปที่ 3.9 จะแสดงในรูปแบบของกราฟ ประกอบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน KMI6, DPT9 และ STFD แบบเรียลไทม์ และแสดงย้อนหลัง 24 ชั่วโมงล่าสุด โดยกราฟที่แสดงผลจะใช้ Grafana ในการแสดงผล โดยจะให้ Grafana ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลบนกราฟ จากนั้นจะนำกราฟที่ได้จาก Grafana มาแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันอีกที



รูปที่ 3.9 หน้าต่าง Status ที่แสดงกราฟค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับส่วนต่อมาเป็นส่วนที่แสดงข้อมูลที่เก็บไว้ใน API ดังรูปที่ 3.10 จะแสดงค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศในรูปแบบของกราฟ ประกอบด้วย S_{4c} และ ROTI แบบเรียลไทม์ และแสดงย้อนหลัง 24 ชั่วโมงล่าสุด โดยกราฟที่แสดงผลจะใช้ Grafana ในการแสดงผล โดยจะให้ Grafana ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผลบนกราฟ จากนั้นจะนำกราฟที่ได้จาก Grafana มาแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันอีกที



รูปที่ 3.10 หน้าต่าง Status ที่แสดงกราฟ space weather product ทั้งหมด

สำหรับส่วนต่อมาเป็นส่วนที่แสดงวิธีการสมัครรับการแจ้งเตือน ดังรูปที่ 3.11 โดยจะให้ผู้ใช้งานเลือกสถานีฐานและเกณฑ์ขั้นต่ำของค่าความคลาดเคลื่อนที่ต้องการให้แจ้งเตือน โดยจะให้ผู้ใช้งานสมัครรับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน ntfy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relative Position Error Analysis Home Status Download Contact

How to Notify on ntfy application

1. ดาวน์โหลด application " ntfy "

2. ตั้งค่า server ใน application : กด setting -> ไล่ " ntfy.jirapoom.work " ในช่อง Default Server

3. เพิ่มช่องทางรับแจ้งเตือน : ไปที่หน้า notification -> กด + ที่มุมขวาบน -> ไล่ topic name ตามที่คุณได้รับหลังจากเลือก error and base station

**** topic name : หากคุณเลือก error 2 cm and base station เป็น kmit6 คุณจะได้รับ topic name เป็น " 2kmit6 " ****

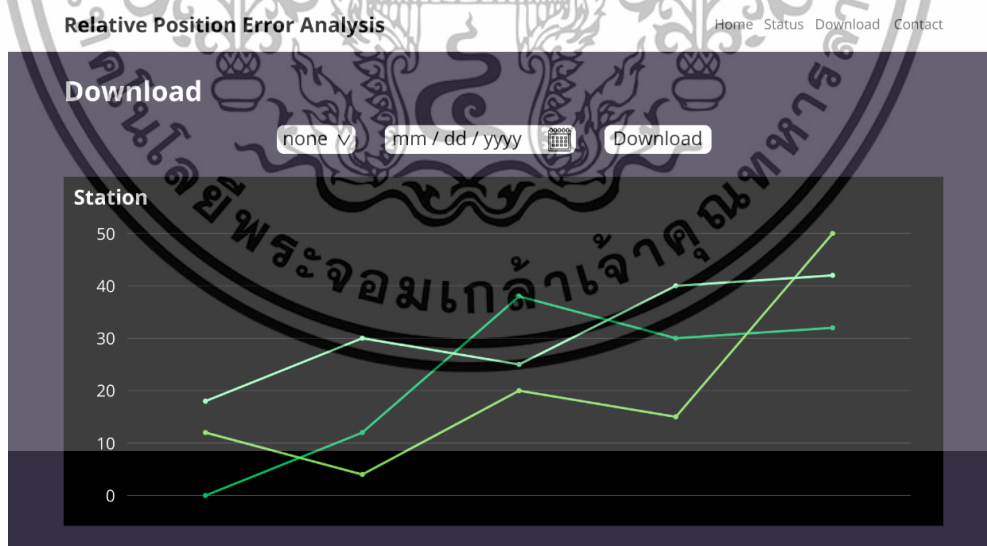
Select base station and threshold to notify on your ntfy application

none v none v Submit

Your Topic name is : 2stfd

รูปที่ 3.11 หน้าต่าง Status ที่แสดงขั้นตอนการรับข้อความแจ้งเตือนเมื่อเกิดความคลาดเคลื่อน

3.1.7.3 การออกแบบโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันในหน้า Download หน้าต่อไปของเว็บแอปพลิเคชันจะเป็นหน้า Download ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูลย้อนหลังได้ดังรูปที่ 3.12 โดยไฟล์ที่ให้ผู้ใช้งานโหลดได้จะเป็นไฟล์ .csv

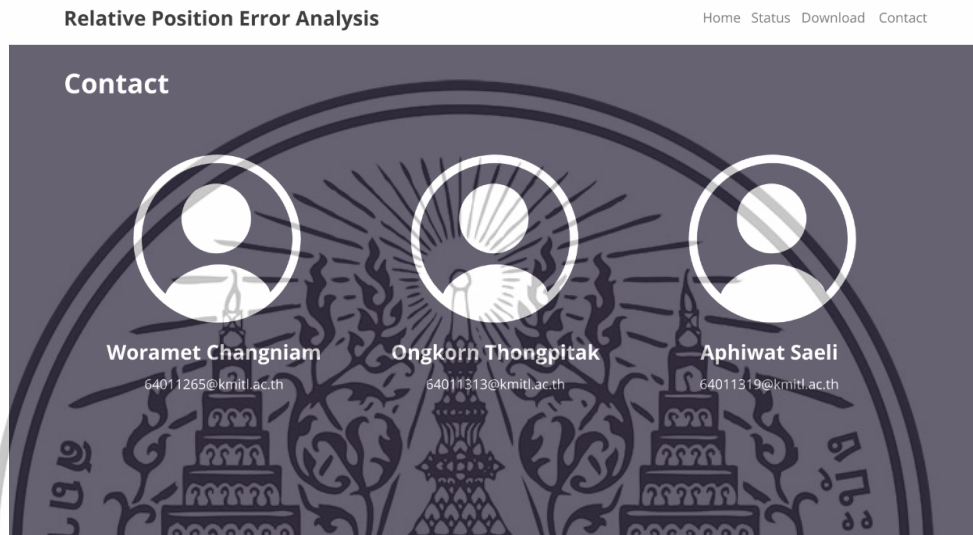


รูปที่ 3.12 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Download

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7.4 การออกแบบโครงสร้างของเว็บแอปพลิเคชันในหน้า Contact

ในส่วนสุดท้ายของหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Contact จะทำการเชื่อมต่อไปยังหน้าต่างของ Contact ที่ออกแบบไว้โดยจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดทำโปรเจกต์ ประกอบด้วยรายชื่อผู้จัดทำและอีเมลดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การออกแบบหน้าต่างแสดงผลเมื่อกดที่ Contact

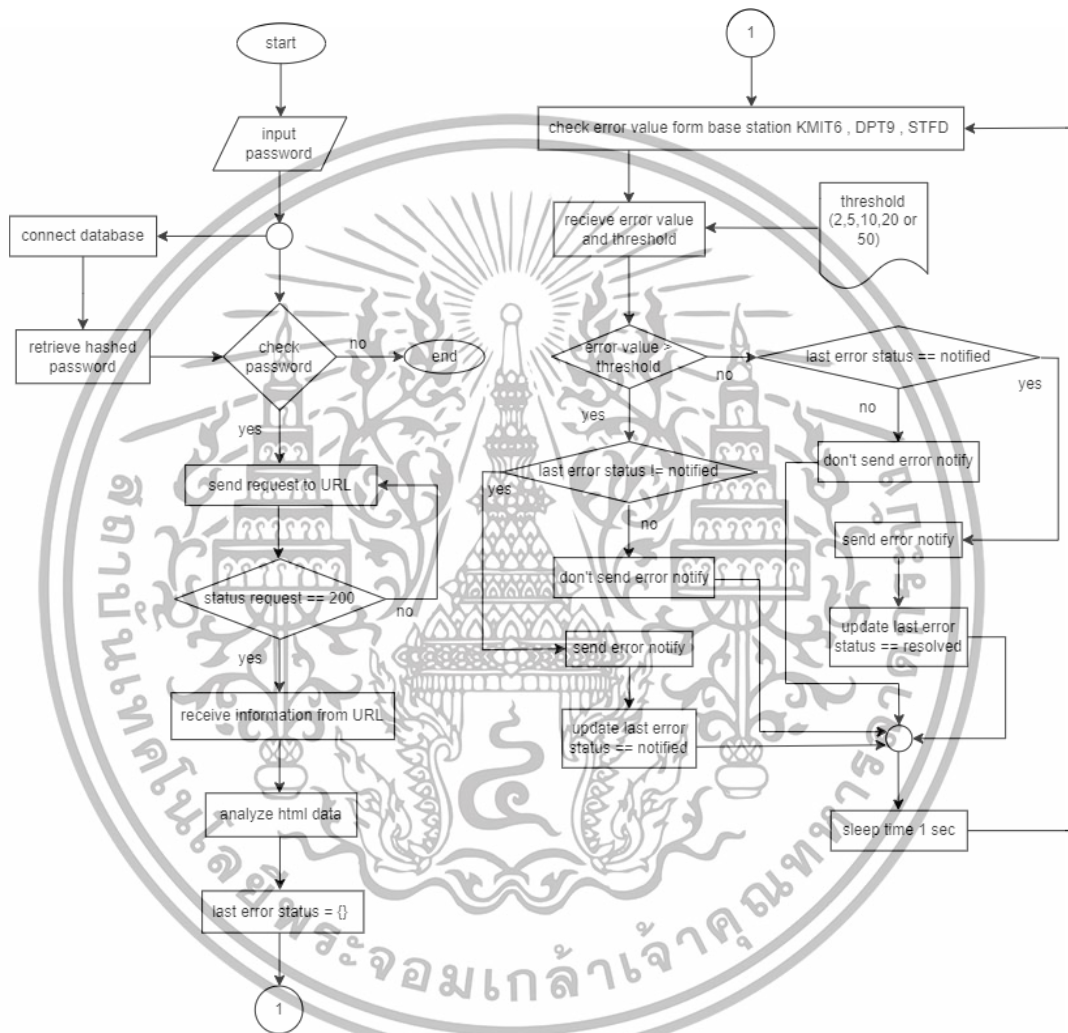
3.1.8 การออกแบบระบบแจ้งเตือนผ่าน ntfy.sh

ในการออกแบบการทำงานของระบบแจ้งเตือน ntfy ดังรูปที่ 3.14 ระบบจะทำงานต่อโดยส่งคำขอไปที่ URL ของเว็บแอปพลิเคชันเพื่อทำการเชื่อมต่อ แล้วนำข้อมูลที่ต้องการมาประมวลผล จากนั้นระบบจะสร้างลิสต์ไว้เก็บสถานะการส่งแจ้งเตือน ระบบจะนำค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละสถานีในตารางบนหน้าเว็บแอปพลิเคชันนำมาประมวลผล แล้วนำมาเทียบกับเกณฑ์ที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้จะมีค่าเป็น 2, 5, 10, 20 และ 50 เซนติเมตร สถานะการแจ้งเตือนแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังนี้

1) ค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะไปตรวจสอบว่าในลิสต์มีสถานะแจ้งเตือนแล้วหรือไม่ ถ้าเป็นสถานะ “ยังไม่แจ้งเตือน” จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนว่าขณะนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด พร้อมส่งสถานะใหม่เข้าไปในลิสต์ คือสถานะ “แจ้งเตือนแล้ว”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเกณฑ์กำหนด ระบบจะไปตรวจสอบว่าในลิสต์มีสถานะแจ้งเตือนแล้วหรือไม่ ถ้าเป็นสถานะ “แจ้งเตือนแล้ว” จะทำการส่งข้อความแจ้งเตือนว่าขณะนั้นค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด พร้อมส่งสถานะใหม่เข้าไปในลิสต์ คือสถานะ “ยังไม่แจ้งเตือน”



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของระบบแจ้งเตือน ntfy

3.1.9 การออกแบบระบบการทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทำนายความคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 3.15 จะใช้ข้อมูล space weather product วิเคราะห์และทำนาย โดยถ้ามีค่า S_4 หรือ ROTI ค่าใดค่าหนึ่งเกิน 0.4 ระบบจะถือว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่ง ณ เวลานั้นจะมีความคลาดเคลื่อน แล้วจะแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ไว้บนเว็บแอปพลิเคชันให้ผู้ใช้งานรู้ว่า ณ เวลานั้นการระบุตำแหน่งอาจจะไม่แม่นยำ อาจจะมี ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้



รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของระบบทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในปฏิญานิพนธ์นี้ มีอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 STR2STR

ใช้สำหรับกระจายข้อมูลที่ได้รับจาก อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม ZED-F9P-01B U-blox GNSS ผ่านทาง TCP server เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลได้พร้อมกันหลายโปรแกรมโดยไม่มีข้อจำกัดจากการใช้ Port การเชื่อมต่อซ้ำกัน

3.2.2 RTKRCV

ใช้สำหรับการประมวลผลข้อมูล GNSS ใช้เพื่อเป็นเครื่องมือในการทำ Real-time Kinematic (RTK) positioning เพื่อให้ได้ข้อมูลตำแหน่งที่มีความแม่นยำ ณ เวลานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 Intel NUC 11 Essential Mini PC

ใช้สำหรับเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลต่างๆ

3.2.4 สายอากาศ AN-105L-GNSS

ใช้สำหรับรับสัญญาณจากดาวเทียม

3.2.5 อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม Geodetic GNSS

ใช้สำหรับรับข้อมูล RTCM message เพื่อนำมาคำนวณค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศ

3.2.6 อุปกรณ์รับสัญญาณดาวเทียม ZED-F9P-01B U-blox GNSS

ใช้สำหรับรับสัญญาณดาวเทียมในระบบ GNSS

3.2.7 สกริปต์ไพธอน

ใช้สำหรับคำนวณค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศ และใช้สำหรับการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

3.2.8 TNC male crimp for RG58U

ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับสายอากาศ

3.2.9 SMA male crimp for RG58U

ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

3.2.10 Micro USB to USB Cable

ใช้สำหรับเชื่อมต่อจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเข้ากับอุปกรณ์ประมวลผล

3.2.11 Intel NUC Adapter

ใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ประมวลผล

3.2.11 รางปลั๊ก 3 ช่อง

ใช้สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองเข้ากับกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์

เป็นการนำตำแหน่งของสถานีจลน์ที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสถานีจลน์จาก AUSPOS [36] ด้วยข้อมูลในไฟล์ RINEX

3.3.2 การทดสอบเพื่อหาเกณฑ์ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)

เป็นการทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจและช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

3.3.3 การทดสอบเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกระหว่างเครื่องรับสัญญาณ High-end กับ Low-cost ของแต่ละสถานีฐาน

เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรับค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรก โดยจะใช้เครื่องรับสัญญาณ High-end กับ Low-cost ของแต่ละสถานีฐาน KMIT6 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง), DPT9 (กรมโยธาธิการและผังเมือง) และ STFD (มหาวิทยาลัยนานาชาติแสตมฟอร์ด)

3.3.4 การคำนวณพารามิเตอร์สภาพอวกาศ (Space Weather Product)

เป็นการนำข้อมูล RTCM 1004 กับ RTCM 1019 มาทำการคำนวณหาพารามิเตอร์สภาพอวกาศ ซึ่งเป็นค่า ROTI และ S_{4c}

3.3.5 การทดสอบการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำ Geometry screening ด้วย Space weather product

เป็นการทดลองเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนด้วยดาวเทียมที่ผ่านการคัดกรองด้วยพารามิเตอร์อวกาศ (ROTI และ S_{4c}) กับค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่คัดกรองดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 ระบบฐานข้อมูล

เป็นการทดลองสร้างระบบฐานข้อมูล SQL เพื่อจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับจากสถานีรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.7 การทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

เป็นการทดสอบการตอบสนองและการแสดงผลของเว็บแอปพลิเคชัน และทดสอบการแสดงผลหน้าเว็บด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น โทรศัพท์ คอมพิวเตอร์ และแท็บเล็ต

3.3.8 การทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือน

เป็นการทดสอบการรับข้อความแจ้งเตือนของสถานีฐาน KMIT6 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง), DPT9 (กรมโยธาธิการและผังเมือง) และ STFD (มหาวิทยาลัยนานาชาติแสตมฟอร์ด) เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

3.3.9 การทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่ง

เป็นการทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อนขณะที่คำนวณตำแหน่ง โดยใช้ Space weather product มาช่วยในการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์

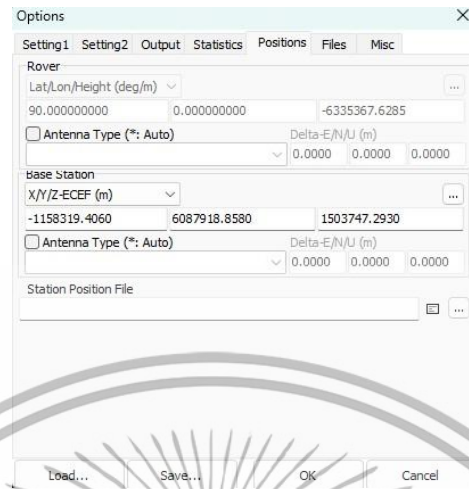
เมื่อทำการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ของสถานีจลน์ CS9T ที่ตั้งอยู่บนชั้นดาดฟ้าของอาคารภาควิชาโทรคมนาคมแล้ว เพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความถูกต้องในการคำนวณตำแหน่งนั้น สามารถนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตำแหน่งของสถานีจลน์โดยใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ AUSPOS ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่ให้ข้อมูลตำแหน่งของสถานีต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลจากไฟล์ RINEX ของสถานีจลน์ CST9 และสถานีฐาน KMIG ในการทดสอบจะใช้ตำแหน่งที่คำนวณได้เป็นจำนวน 3 วัน ได้แก่วันที่ 1, 4 และ 5 มกราคม 2025

ในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ที่ใช้ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ AUSPOS จะอาศัยโปรแกรม RTKPOST โดยทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ในรูปที่ 4.1 จะมีการตั้งค่า Positioning mode ให้เป็น Kinematic ซึ่งเป็นโหมดสำหรับการคำนวณตำแหน่งแบบ RTK ตั้งค่ามุมเงยให้เป็น 15 องศาเพื่อใช้คัดกรองดาวเทียม เลือกใช้ความถี่ L1 และเลือกใช้ดาวเทียมทุกประเภทในระบบ GNSS ในการคำนวณตำแหน่ง ส่วนในรูปที่ 4.2 จะทำการกำหนดตำแหน่งของสถานีฐาน KMIG ในระบบพิกัด ECEF โดยจะใช้พิกัดที่ได้จากเว็บไซต์ AUSPOS จะได้พิกัดของสถานีฐาน KMIG ในแกน X เป็น -1158319.4060 เมตร แกน Y เป็น 6087918.8580 เมตร และแกน Z เป็น 1503747.2930 เมตร



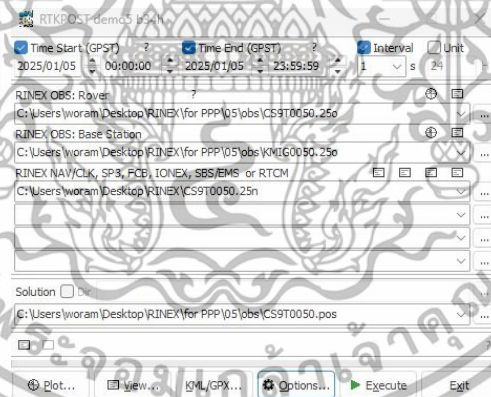
รูปที่ 4.1 ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ CST9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตั้งค่าตำแหน่งของสถานีฐาน KMIG ด้วยพิกัดที่ได้จากเว็บไซต์ของ AUSPOS

เมื่อทำการตั้งค่าพารามิเตอร์แล้ว จะทำการจัดเตรียมข้อมูลไฟล์ RINEX ของสถานี จลน์ CST9 และสถานีฐาน KMIG ก่อน ได้แก่ไฟล์ observation ของสถานีจลน์ CST9 และสถานี ฐาน KMIG และไฟล์ navigation แล้วเปิดใช้งานไฟล์ RINEX ผ่านโปรแกรม RTKPOST ดังรูปที่ 4.3 เมื่อกดปุ่ม Execute จะได้ผลลัพธ์ของตำแหน่งสถานีจลน์ CST9 ในรูปแบบของไฟล์ .pos



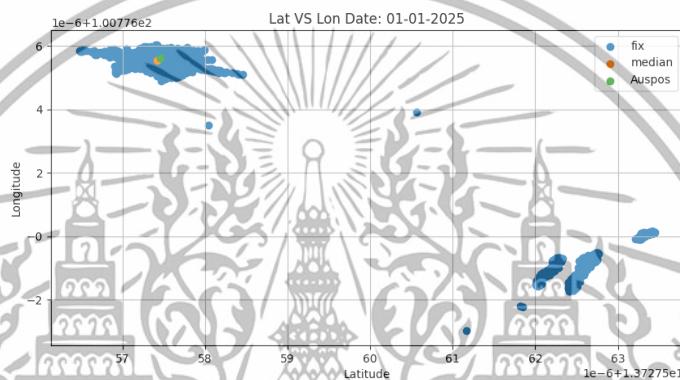
รูปที่ 4.3 จัดเตรียมข้อมูลไฟล์ RINEX ของสถานีจลน์ CST9 และสถานีฐาน KMIG

เมื่อได้ตำแหน่งของสถานีจลน์ CST9 ด้วยข้อมูลตำแหน่งในเว็บไซต์ AUSPOS แล้ว จะ ทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสถานีจลน์ CST9 ที่ได้จากการคำนวณผ่านวิธีการของ RTK เพื่อ เปรียบเทียบความแม่นยำและตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 ทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ในวันที่ 1 มกราคม 2025

การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ของสถานีจลน์ CS9T จะอาศัยค่ามัธยฐานมาทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่คำนวณจาก AUSPOS ดังรูปที่ 4.4 แล้วคำนวณระยะห่างระหว่างละติจูดและลองจิจูดของค่ามัธยฐานกับตำแหน่งจาก AUSPOS ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 1 มกราคม 2025

จากรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงตำแหน่งทั้งหมดที่คำนวณได้ของวันที่ 1 มกราคม 2025 ด้วยจุดสีฟ้า ทำการคำนวณค่ามัธยฐานของตำแหน่งที่คำนวณได้ตลอดทั้งวันแล้วแสดงเป็นจุดสีส้ม และแสดงตำแหน่งที่ได้จาก AUSPOS ด้วยจุดสีเขียว จากกราฟจะพบว่าจุดสีส้มกับจุดสีเขียว ใกล้เคียงกันมาก

```
med_lat, Lon: (13.727557421, 100.776005554)
AusPos_lat, lon: (13.727557457, 100.776005618)
Distance between med and ref : 0.799 cm
```

รูปที่ 4.5 ค่ามัธยฐานและระยะห่างของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 1 มกราคม 2025

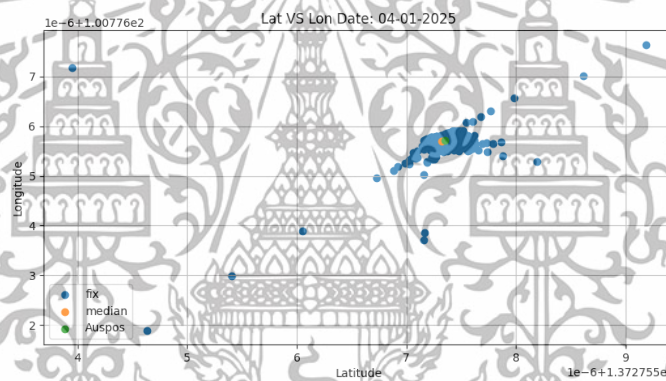
จากรูปที่ 4.5 เป็นผลลัพธ์ที่ได้ในการคำนวณค่ามัธยฐานจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และตำแหน่งที่ได้จาก AUSPOS พบว่าค่ามัธยฐานจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ได้ละติจูดและลองจิจูดเป็น 13.727557421, 100.776005554 และละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUSPOS เป็น 13.727557457, 100.776005618 เมื่อนำมาคำนวณหาระยะห่างได้ 0.799 เซนติเมตร แสดงว่าการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีความแม่นยำสูงและความคลาดเคลื่อนไม่ถึง 1 เซนติเมตร

4.1.2 ทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ในวันที่ 4 มกราคม 2025

การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ของสถานีจลน์ CS9T จะอาศัยค่ามัธยฐานมาทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่คำนวณจาก AUSPOS ดังรูปที่ 4.6 แล้วคำนวณระยะห่างระหว่างละติจูดและลองจิจูดของค่ามัธยฐานกับตำแหน่งจาก AUSPOS ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 4 มกราคม 2025

จากรูปที่ 4.6 เป็นการแสดงตำแหน่งทั้งหมดที่คำนวณได้ของวันที่ 4 มกราคม 2025 ด้วยจุดสีฟ้า แล้วทำการคำนวณค่ามัธยฐานของตำแหน่งที่คำนวณได้ตลอดทั้งวันแล้วแสดงเป็นจุดสีส้ม และแสดงตำแหน่งที่ได้จาก AUSPOS ด้วยจุดสีเขียว จากกราฟจะพบว่าจุดสีส้มกับจุดสีเขียวใกล้เคียงกันมาก

```
med_Lat, Lon: (13.727557321, 100.776005691)
AusPos_lat, lon: (13.72755735, 100.776005709)
Distance between med and ref : 0.377 cm
```

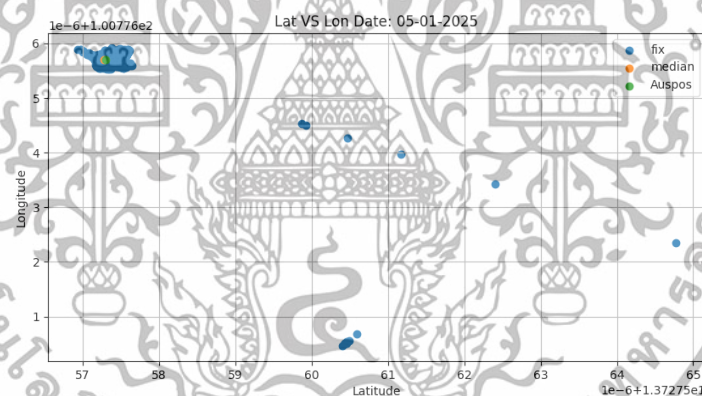
รูปที่ 4.7 ค่ามัธยฐานและระยะห่างของตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 4 มกราคม 2025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.7 เป็นผลลัพธ์ที่ได้ในการคำนวณค่ามัธยฐานจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และตำแหน่งที่ได้จาก AUSPOS พบว่าค่ามัธยฐานจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ได้ละติจูดและลองจิจูดเป็น 13.727557321, 100.776005691 และละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก AUSPOS เป็น 13.72755735, 100.776005709 เมื่อนำมาคำนวณหาระยะห่างได้ 0.377 เซนติเมตร แสดงว่าการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีความแม่นยำสูง มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าของวันที่ 1 มกราคม 2025

4.1.3 ทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ในวันที่ 5 มกราคม 2025

ในการทดสอบความแม่นยำในการคำนวณตำแหน่งของสถานีจลน์ CS9T จะใช้ค่าค่ามัธยฐานมาทำการเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่คำนวณจาก AUSPOS ดังรูปที่ 4.8 และมีการแสดงตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่คำนวณได้ จำนวนดาวเทียมดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 5 มกราคม 2025

จากรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงตำแหน่งทั้งหมดที่คำนวณได้ของวันที่ 5 มกราคม 2025 ด้วยจุดสีฟ้า แล้วทำการคำนวณค่ามัธยฐานของตำแหน่งที่คำนวณได้ตลอดทั้งวันแล้วแสดงเป็นจุดสีส้ม และแสดงตำแหน่งที่ได้จาก AUSPOS ด้วยจุดสีเขียว จากกราฟจะพบว่าจุดสีส้มกับจุดสีเขียวใกล้เคียงกันเหมือนกับวันที่ 5 มกราคม 2025

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
med_Lat, Lon: (13.727557278, 100.776005697)
AusPos_lat, Lon: (13.727557298, 100.776005697)
Distance between med and ref : 0.222 cm
```

รูปที่ 4.9 ค่ามัธยฐานและระยะห่างของตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และ AUSPOS ในวันที่ 5 มกราคม 2025

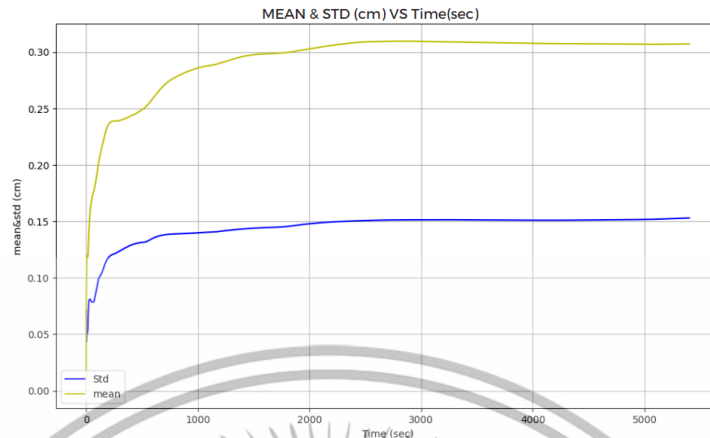
จากรูปที่ 4.9 เป็นผลลัพธ์ที่ได้ในการคำนวณค่ามัธยฐานจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์และตำแหน่งที่ได้จาก AUSPOS พบว่าค่ามัธยฐานจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ได้ละติจูดและลองจิจูดเป็น 13.727557278, 100.776005697 และละติจูดและลองจิจูดที่ได้จาก AUSPOS เป็น 13.727557298, 100.776005697 เมื่อนำมาคำนวณหาระยะห่างได้ 0.222 เซนติเมตร แสดงว่าการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีความแม่นยำสูง มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

4.2 การทดสอบเพื่อหาเกณฑ์ในการตัดสินใจในกระบวนการการสอบเทียบ (Calibration)

4.2.1 การทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการการสอบเทียบ (Calibration)

เมื่อทำการทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration) โดยทำการรับข้อมูลละติจูดและลองจิจูดพร้อมค่าแก้ไขที่ได้จากโปรแกรม rtkrcv แล้วนำมาคำนวณหาเฉลี่ยของละติจูดและลองจิจูด จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของละติจูดและลองจิจูดมาทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณตำแหน่งจากสมการ Haversine Formula จากสมการที่ 2.3 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของละติจูดและลองจิจูดที่รับมา จากนั้นทำการคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เซนติเมตร) กับเวลา (วินาที) ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนเริ่มมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลู่เข้าค่าใดค่าหนึ่ง ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.10 และตารางสรุปผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)

เวลา (วินาที)	STD (cm)	MEAN (cm)
0 - 1000	0.14	0.28
0 - 2000	0.15	0.31
0 - 3000	0.15	0.32
0 - 4000	0.15	0.32
0 - 5000	0.15	0.32

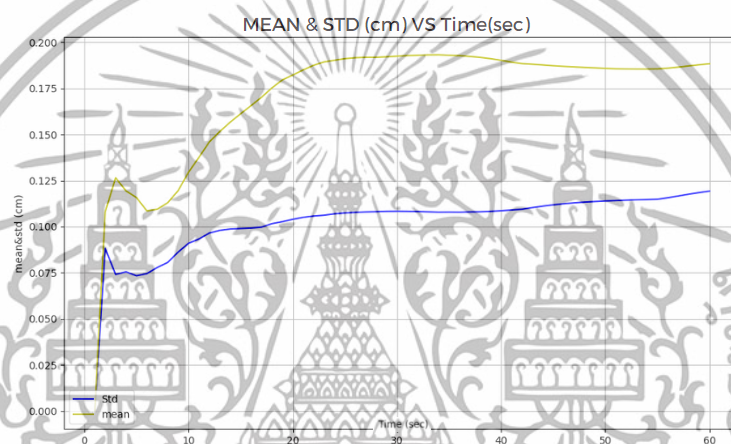
จากตารางที่ 4.1 ได้ผลการทดลองในช่วงเวลาที่ 0 - 1000 วินาทีได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.14 เซนติเมตร ช่วงเวลาที่ 0 - 2000 วินาทีได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15 เซนติเมตร ช่วงเวลาที่ 0 - 3000 วินาทีได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15 เซนติเมตร ช่วงเวลาที่ 0 - 4000 วินาทีได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15 เซนติเมตร และช่วงเวลาที่ 0 - 5000 วินาทีได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.15 เซนติเมตร

ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้ใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.15 เซนติเมตร เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration) ว่าต้องมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.15 เซนติเมตร จึงจะเสร็จสิ้นในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)

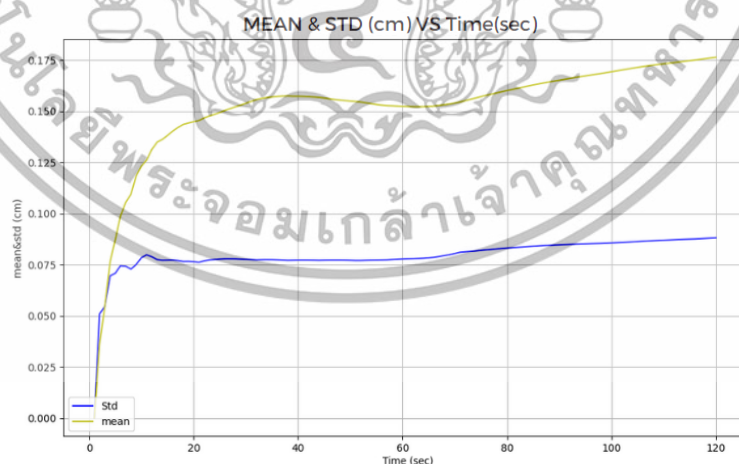
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดลองหาช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)

จากการผลการทดลองในการทดลองที่ 4.2.1 กราฟเริ่มมีแนวโน้มในการลู่ออกในช่วง 0 – 1000 วินาทีดังนั้นในการทดลองนี้เลยทดลองรับค่าในช่วงเวลา 60, 120, 180, 240 และ 300 วินาทีเพื่อทำการหาช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในกระบวนการ Calibration โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 - 4.15 ตามลำดับ และสรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการตัดสินใจเก็บข้อมูลในกระบวนการ Calibration ได้ตารางสรุปดังตารางที่ 4.2

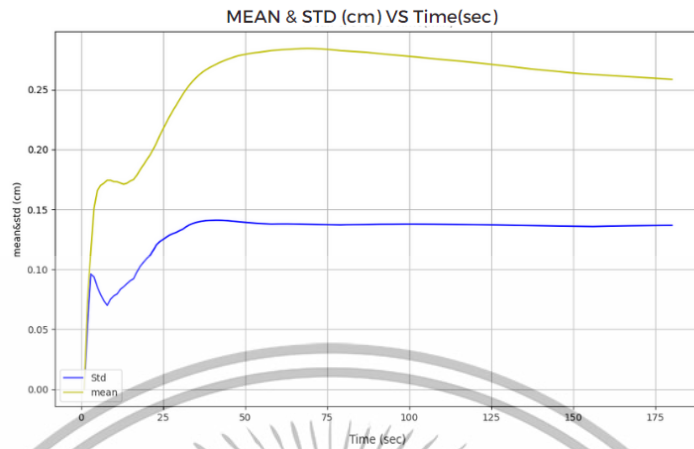


รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 60 วินาที

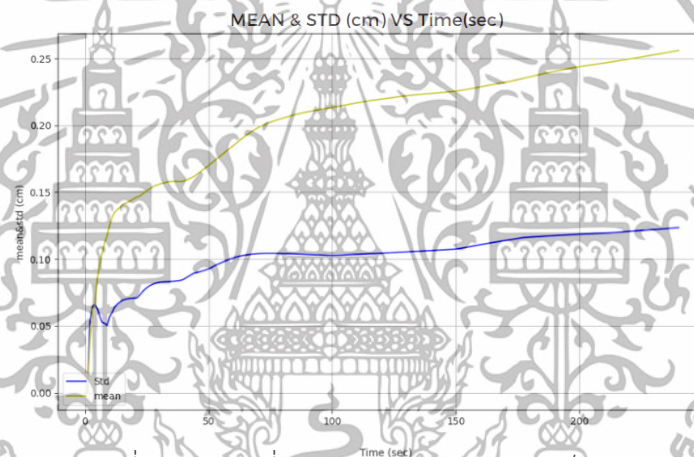


รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 120 วินาที

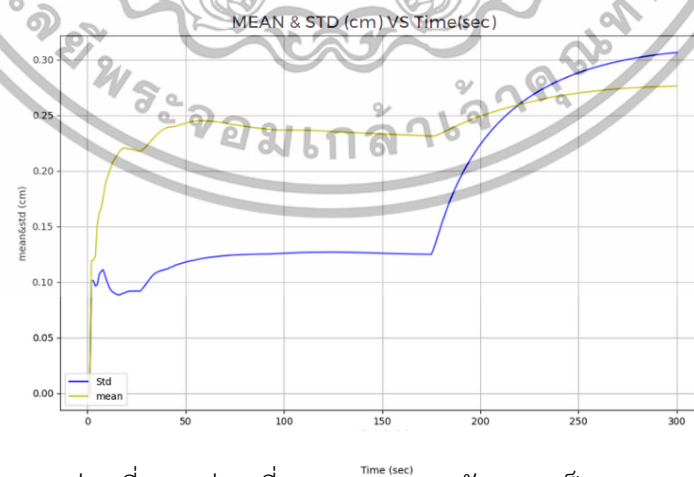
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 180 วินาที



รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 240 วินาที



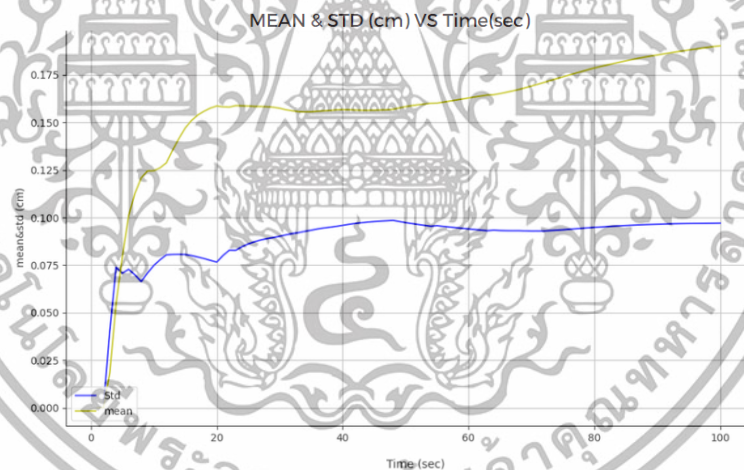
รูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 300 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองหาช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจ ในกระบวนการเปรียบเทียบ (Calibration)

เวลา (วินาที)	STD (cm)	ช่วงที่ค่า STD เริ่มลู่เข้า
60	0.11 – 0.12	ยังไม่ชัดเจน
120	0.07 – 0.080	40 – 60 วินาที
180	0.14	40 – 150 วินาที
240	0.10 – 0.12	60 – 150 วินาที
300	0.12	50 – 150 วินาที

จากการทดลองทั้ง 5 ครั้ง ทางผู้จัดทำได้ผลสรุปเวลาในการตัดสินใจเป็นในช่วง 100 วินาทีเพราะว่าในช่วง 100 วินาทีนั้นมีค่า STD ที่ลู่เข้าแล้วที่ได้เห็นจากผลการทดลองดังตารางที่ 4.2 จากนั้นทางผู้จัดทำได้ลองนำค่าช่วงเวลา 100 วินาทีที่ตัดสินใจมาทำการทดลองเช่นเดียวกันได้ผลแสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับเวลา เป็นเวลา 100 วินาที

จากการทดลองเห็นได้ว่ากราฟเริ่มมีการลู่เข้าที่ 40 – 60 วินาทีและค่า STD ที่ได้มีค่าที่ 0.10 ซึ่งอยู่ช่วงที่ตัดสินใจจากการทดลองที่ 4.2.1 ที่ตัดสินใจค่า STD ที่ 0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกระหว่างเครื่องรับสัญญาณ High-end กับ Low-cost ของแต่ละสถานีฐาน

การทดสอบเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรก จะหาเวลาสถานะของข้อมูลที่ได้รับจาก Receiver ว่าสถานะที่ได้รับครั้งแรกของแต่ละสถานีฐานใช้เวลาเท่าใดถึงจะได้สถานะ RTK fixed solution ครั้งแรกมาทำการเปรียบเทียบกันในแต่ละสถานีใช้เวลาเท่าใดถึงจะได้สถานะ RTK fixed solution ครั้งแรก และเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับสัญญาณ High-end ยี่ห้อ NovAtel รุ่น Propak 6 กับเครื่องรับสัญญาณ Low-cost ยี่ห้อ Ublox รุ่น ZED-F9P-01B

4.3.1 การทดสอบในสถานี KMIT6 (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง)

ทำการทดลองของสถานีฐาน KMIT6 ได้การผลทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี KMIT6

High-end		Low-cost	
ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)
1	34	1	65
2	38	2	55
3	32	3	67
4	31	4	46
5	35	5	54
6	31	6	48
7	31	7	47
8	31	8	137
9	28	9	111
10	31	10	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี KMIT6 (ต่อ)

High-end		Low-cost	
ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)
Mean	32.2	Mean	72.9
STD	2.78	STD	31.68

จากตารางที่ 4.3 การทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี KMIT6 ระหว่างเครื่องรับสัญญาณ High-end กับ Low-cost เห็นได้ชัดเลยว่าเวลาที่ใช้มีค่าแตกต่างกันโดยเครื่องรับสัญญาณ Low-cost มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้คือ 72.9 วินาที แล้วมีค่า STD คือ 31.68 ซึ่งเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้งมีเวลาที่ไม่น่าอนสังเกตได้จากค่า STD ส่วนของเครื่องรับสัญญาณ High-end มีค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้อยู่ที่ 32.2 วินาที STD คือ 2.78 ซึ่งมีค่า STD น้อยหมายความว่าเวลาที่ใช้ในแต่ละครั้งมีเวลาที่ใช้ไม่แตกต่างกันมาก

4.3.2 การทดสอบในสถานี DPT9 (กรมโยธาธิการและผังเมือง)

ทำการทดลองของสถานีฐาน DPT9 ได้การผลทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี DPT9

High-end		Low-cost	
ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)
1	435	1	653
2	582	2	894
3	751	3	825
4	376	4	574
5	666	5	750
Mean	562	Mean	739.2
STD	156.25	STD	128.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 การทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี DPT9 ระหว่างเครื่องรับสัญญาณ High-end กับ Low-cost โดยเครื่องรับสัญญาณ Low-cost มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้คือ 739.2 วินาที มีค่า STD คือ 128.61 ส่วนของเครื่องรับสัญญาณ High-end มีค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้อยู่ที่ 562 วินาที STD คือ 156.25 จากค่า STD ที่ได้จากการการเปรียบเทียบเครื่องรับสัญญาณทั้ง 2 ประเภท พบว่ามีค่าของ STD สูงมากทั้งคู่เนื่องจากระยะทางที่ไกลมากของสถานีฐานกับสถานีจลน์ทำให้เวลาที่ใช้ในการรอมีระยะเวลาเพิ่มสูงขึ้นจากระยะเวลาที่ใช้ในการรอจากสถานี KMIT6

4.3.3 การทดสอบในสถานี STFD (มหาวิทยาลัยนานาชาติแสตมฟอร์ด)

ทำการทดลองของสถานีฐาน STFD ได้การผลทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี STFD

High-end		Low-cost	
ครั้งที่	เวลา (วินาที)	ครั้งที่	เวลา (วินาที)
1	547	1	745
2	619	2	651
3	587	3	714
4	268	4	431
5	286	5	471
Mean	461.4	Mean	602
STD	170.37	STD	143.00

จากตารางที่ 4.5 การทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกของสถานี STFD ระหว่างเครื่องรับสัญญาณ High-end กับ Low-cost ได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับสถานีฐาน DPT9 เช่นกันเนื่องจากมีระยะทางที่ไกลกว่าสถานีฐาน KMIT6 จึงใช้เวลารอนานกว่าในการได้ค่าสถานะ RTK fixed solution ในครั้งแรกแต่ใช้ระยะเวลาในการรอสั้นกว่าของสถานีฐาน DPT9 เพราะสถานีฐาน STFD มีระยะทางที่ใกล้กับสถานีจลน์มากกว่าสถานีฐาน DPT9 โดยเครื่องรับสัญญาณ Low-cost มีค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

602 วินาที มีค่า STD คือ 143.00 ส่วนของเครื่องรับสัญญาณ High-end มีค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้อยู่ที่ 461 วินาที STD คือ 170.37

4.4 การคำนวณพารามิเตอร์สภาพอวกาศ (Space weather product)

4.4.1 ผลการคำนวณ S_{4c}

การคำนวณ S_{4c} แบบเรียลไทม์ จะต้องเก็บข้อมูล C/N_0 ที่ได้จากชุดข้อมูล RTCM 1004 ใช้เทคนิค Sliding Window โดยกำหนดขนาดของ Window ไว้ 60 ค่า หรือการเก็บค่า C/N_0 ไว้ 60 ค่า เพื่อที่จะคำนวณ S_{4c} ซึ่งค่าแรกที่ได้จะต้องใช้เวลา 60 วินาทีในการรอการประมวลผล หลังจากนั้นจะสามารถทำการคำนวณ S_{4c} ได้ในทุกๆวินาที ค่า S_{4c} ที่ได้จะต้องผ่านเงื่อนไขการคัดกรองมุมเงย ทำการทดลองตั้งแต่ 10 – 30 องศา โดยเพิ่มขึ้นทีละ 5 องศา ซึ่งมุมเงยสามารถคำนวณได้จากชุดข้อมูล RTCM 1019 โดยผลลัพธ์ของการคำนวณ S_{4c} แสดงดังรูปที่ 4.17

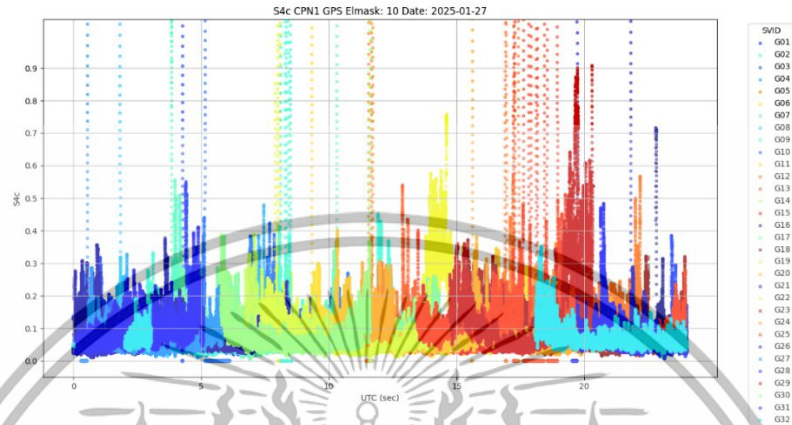
```
< tow 521330 see : 14 sats
PRN: G18 L1 S4c: 0.215680 EL: 69.4
PRN: G18 L2 S4c: 0.173762 EL: 69.4
PRN: G29 L1 S4c: 0.231997 EL: 32.7
PRN: G29 L2 S4c: 0.244955 EL: 32.7
PRN: G24 L1 S4c: 0.188417 EL: 59.2
PRN: G24 L2 S4c: 0.189230 EL: 59.2
PRN: G23 L1 S4c: 0.228195 EL: 31.2
PRN: G23 L2 S4c: 0.143868 EL: 31.2
< tow 521331 see : 14 sats
PRN: G18 L1 S4c: 0.216870 EL: 69.4
PRN: G18 L2 S4c: 0.174264 EL: 69.4
PRN: G29 L1 S4c: 0.232427 EL: 32.7
PRN: G29 L2 S4c: 0.245643 EL: 32.7
PRN: G24 L1 S4c: 0.191098 EL: 59.2
PRN: G24 L2 S4c: 0.189230 EL: 59.2
PRN: G23 L1 S4c: 0.230590 EL: 31.2
PRN: G23 L2 S4c: 0.150741 EL: 31.2
< tow 521332 see : 14 sats
PRN: G18 L1 S4c: 0.221959 EL: 69.4
PRN: G18 L2 S4c: 0.176993 EL: 69.4
PRN: G29 L1 S4c: 0.234693 EL: 32.7
PRN: G29 L2 S4c: 0.248861 EL: 32.7
PRN: G24 L1 S4c: 0.196376 EL: 59.2
PRN: G24 L2 S4c: 0.199510 EL: 59.2
PRN: G23 L1 S4c: 0.235486 EL: 31.2
PRN: G23 L2 S4c: 0.155720 EL: 31.2
```

รูปที่ 4.17 ผลลัพธ์การคำนวณ S_{4c} ใน Terminal

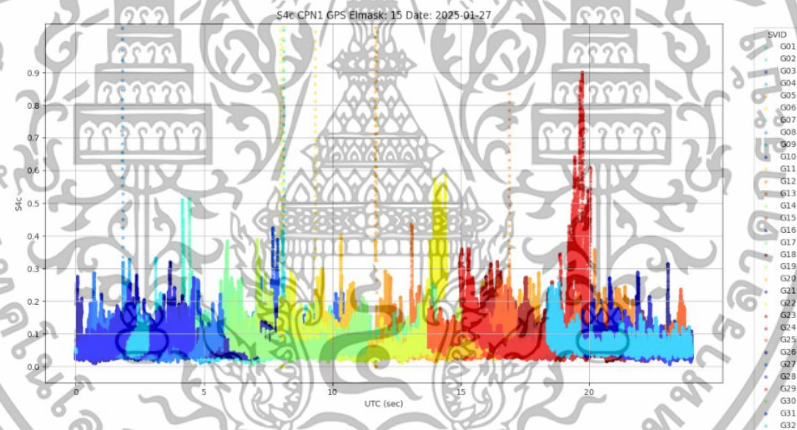
จากรูปที่ 4.17 ผลลัพธ์ที่แสดงออกมาจะมีค่าเวลา ณ ขณะนั้น Tow (GPS Time of week) และจำนวนดาวเทียมที่รับได้ของ GPS ณ ขณะนั้นทั้งหมด หมายเลขดาวเทียม ความถี่ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียม ค่า S_{4c} และมุมเงยจะถูกบันทึกข้อมูลไว้ แล้วนำมาทำการพล็อตเพื่อให้สังเกตข้อมูล S_{4c} ในช่วงเวลา 1 วันได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.18 - 4.22

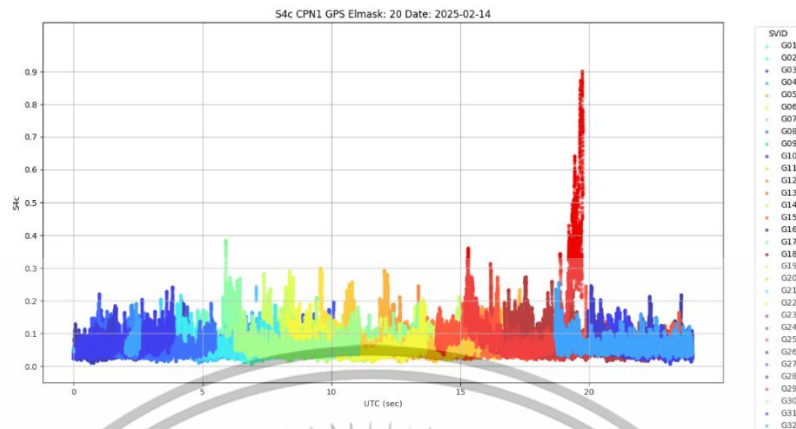


รูปที่ 4.18 ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อตัดกรองมุมเงย 10 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025

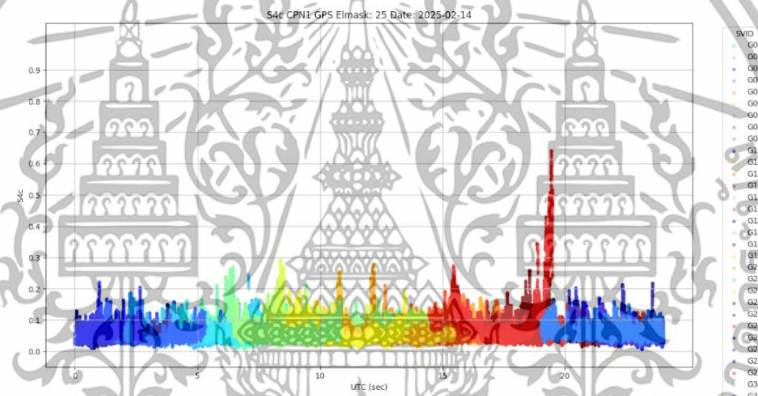


รูปที่ 4.19 ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อตัดกรองมุมเงย 15 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025

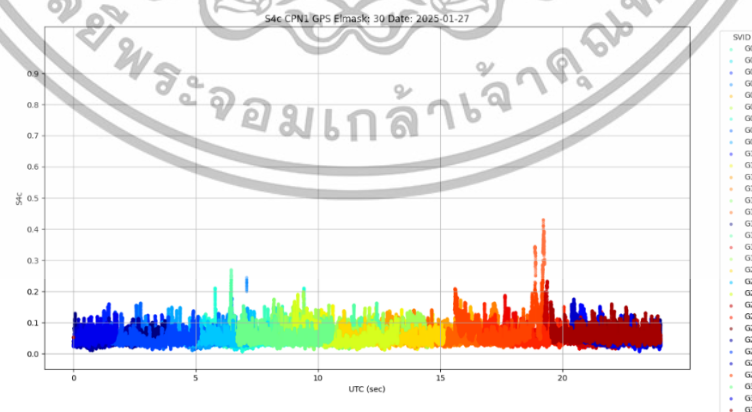
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อตัดกรองมุมเงย 20 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025



รูปที่ 4.21 ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อตัดกรองมุมเงย 25 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025

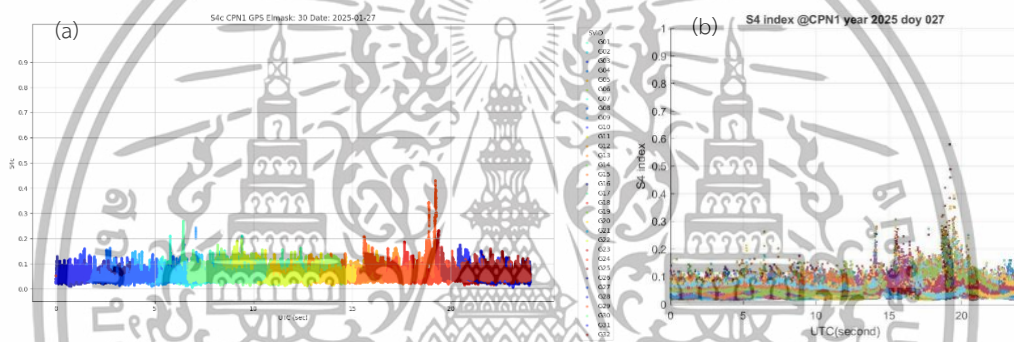


รูปที่ 4.22 ค่าดัชนี S_{4c} เมื่อตัดกรองมุมเงย 30 องศาของวันที่ 27 มกราคม 2025

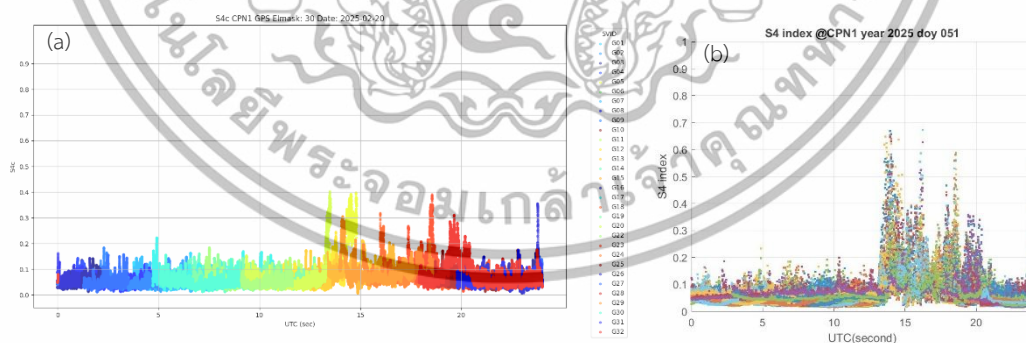
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 - 4.22 เป็นการคำนวณค่า S_{4c} มุมเงยที่แตกต่างกันตั้งแต่ 10 – 30 องศา ตามลำดับเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า S_4 ที่ได้จากเครื่องรับเฉพาะทาง Ionospheric Scintillation Monitoring Receiver (ISMR) ที่แสดงผลทางเว็บไซต์ Iono-Thailand ว่าควรใช้มุมเงยเท่าไรจึงจะมีความคล้ายกับผลลัพธ์ที่แสดงบนหน้าเว็บไซต์มากที่สุด

จากการทดลองพบว่าการคำนวณ S_{4c} ใช้มุมเงยที่ 30 องศา มีความใกล้เคียงกับ S_4 ที่ได้จากเครื่องรับเฉพาะทาง ISMR ที่แสดงผลทางเว็บไซต์ Iono-Thailand มากที่สุด ภาพการเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} ที่ได้จากการคำนวณค่า C/N_0 กับ ข้อมูล S_4 ที่ได้จากเครื่องรับ ISMR ในวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2568 แสดงดังรูปที่ 4.23 และ ในช่วงวันที่ 20 – 23 กุมภาพันธ์ 2568 แสดงดังรูปที่ 4.24 – 4.27 ตามลำดับ

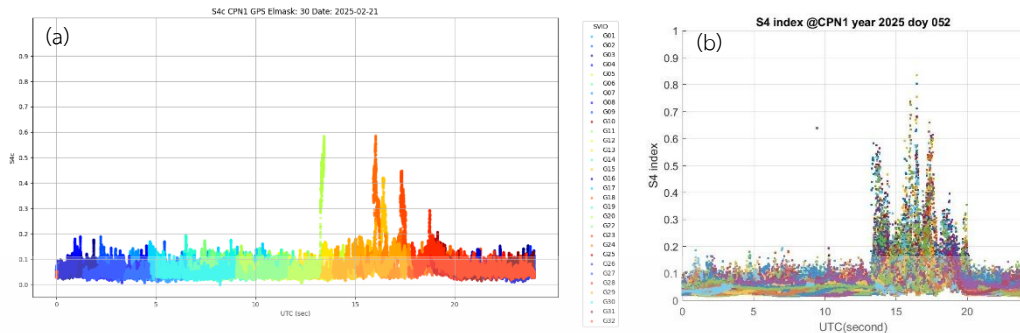


รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (a) ที่มุมเงย 30 องศา กับ S_4 (b) วันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2568

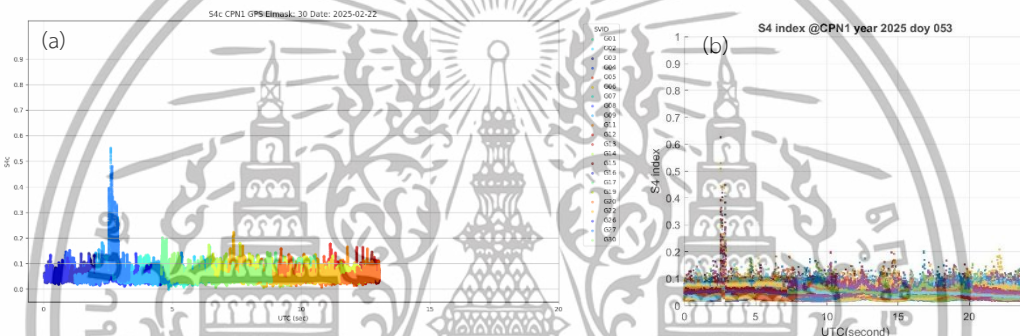


รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (a) ที่มุมเงย 30 องศา กับ S_4 (b) วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

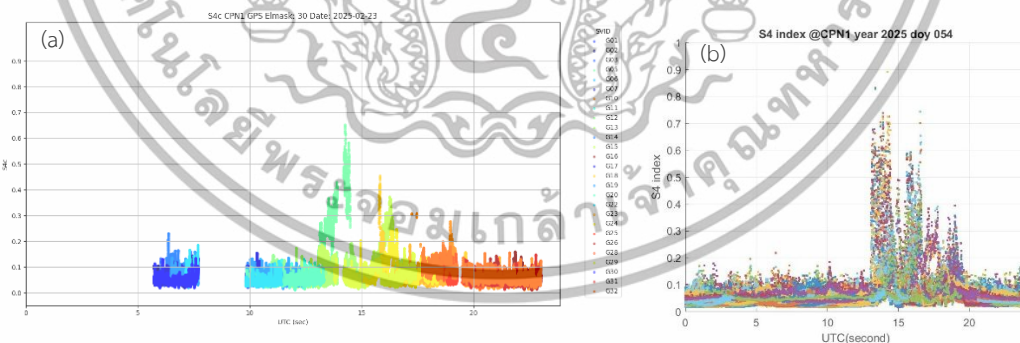
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (a) ที่มุมเงย 30 องศา กับ S_4 (b) วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (a) ที่มุมเงย 30 องศา กับ S_4 (b) วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568



รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบข้อมูล S_{4c} (a) ที่มุมเงย 30 องศา กับ S_4 (b) วันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568

จากรูปที่ 4.23 - 4.27 สังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ค่า S_4 มีค่าสูงขึ้นติดต่อกันเป็นช่วงเวลานึงค่า S_{4c} ที่ได้จากการคำนวณก็จะมีค่าที่สูงขึ้นติดต่อกันในช่วงระยะเวลาเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ S_{4c} จากค่า C/N_0 ที่มุ่มเมยเท่ากับ 30 องศา ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่า S_4 ที่ได้จากเครื่องรับเพาะทาง ISMR ที่แสดงผลทางเว็บไซต์ Iono-Thailand

4.4.2 ผลการคำนวณ ROTI

ในการคำนวณค่า ROTI จะใช้หลักการ Sliding window ทุกๆ 5 นาที โดยกำหนดขนาดของ window เป็น 300 วินาทีหรือเก็บค่าของ STEC ให้ครบ 300 ค่า ซึ่งค่า STEC นั้นจะมาจากดาวเทียมที่ผ่านการคัดกรองมุ่มเมย เพื่อใช้ในการคำนวณ ROTI เมื่อเก็บค่าครบ 300 ค่าแรกแล้วจะเริ่มทำการคำนวณ ROTI ค่าแรก สำหรับ ROTI ค่าที่สองจะทำการรับค่า STEC เพิ่มเข้ามา 1 ค่า แล้วทำการเลื่อน window ให้เก็บค่าที่เพิ่มเข้ามาใหม่เป็นค่าที่ 300 แล้วทำการคำนวณ ROTI ค่าที่สอง และทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนไม่ได้รับค่าจากดาวเทียมแล้ว จะหยุดทำการคำนวณ ROTI เนื่องจากมี STEC ไม่ครบ 300 ค่า ดังรูปที่ 4.28

```
G09 37.028792943001766
G09 | STEC1: -330.240, Corrected STEC: -330.2396838224128
G04 69.9839745351013
G04 | STEC1: -306.940, Corrected STEC: -306.9404627358824
G08 74.71762589747273
G08 | STEC1: -248.800, Corrected STEC: -248.7995057897866
G27 60.70538967281021
G27 | STEC1: -391.298, Corrected STEC: -391.29839826553615
```

รูปที่ 4.28 ค่า STEC ที่ผ่านการคัดกรองเข้าไปใน window สำหรับคำนวณค่า ROTI

จากรูป 4.28 พบว่าดาวเทียม 4 ดวงที่ผ่านเงื่อนไขคัดกรองมุ่มเมย คือต้องมีมุ่มเมยมากกว่า 15 องศาจากนั้นจะทำการเก็บค่า STEC ที่คำนวณได้จากข้อมูล RTCM 1004 ของดาวเทียมแต่ละดวงไว้ใน window โดยจะกำหนดให้ ROTI มีค่าเป็น NaN ก่อนดังรูปที่ 4.29 (a) เพื่อทำการคำนวณค่า ROTI เมื่อเก็บครบ 300 ค่า ดังรูปที่ 4.29 (b)

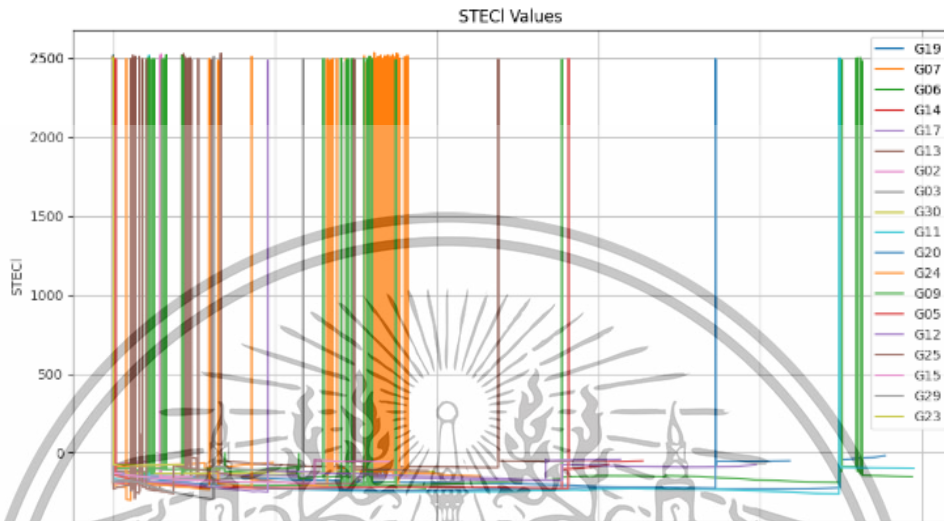
ROTI at 2024-11-02 16:51:03		ROTI at 2024-11-02 16:56:02	
8	NaN	8	0.009544
9	NaN	9	0.016661
27	NaN	27	0.011036
4	NaN	4	0.011429

รูปที่ 4.29 ผลลัพธ์ ROTI (a) เมื่อเริ่มเก็บค่า STEC และ (b) เมื่อเก็บค่า STEC ครบ 300 ค่า

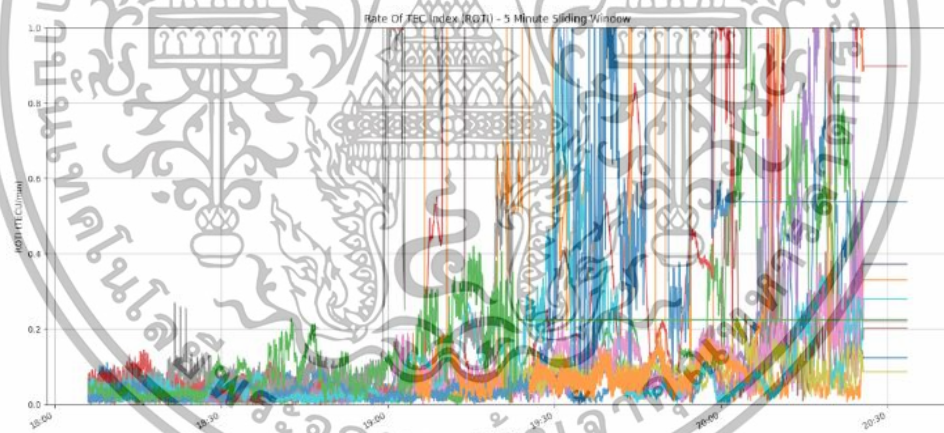
แต่ในระหว่างที่รับจากข้อมูล RTCM 1004 มาคำนวณค่า STEC และ ROTI นั้นอาจจะเกิดปรากฏการณ์ cycle slip ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่จะทำให้ค่า STEC เปลี่ยนแปลงอย่างก้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระโดดดังรูปที่ 4.30 ส่งผลให้ค่า ROTI เกิดความแปรปรวนมากดังรูปที่ 4.31 หากนำไปใช้คำนวณตำแหน่งจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 4.30 ค่า STECI ขณะที่เกิดปรากฏการณ์ cycle slip



รูปที่ 4.31 ค่า ROTI ขณะที่เกิดปรากฏการณ์ cycle slip

จากรูป 4.30 ค่า STECI มีการเปลี่ยนแปลงจากประมาณ -100 TECu ถึง -200 TECu ไปเป็น 2500 TECu ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ก้าวกระโดดมาก ส่งผลทำให้ค่า ROTI ในรูปที่ 4.31 มีค่ามากกว่า 0.4 อยู่ในเกณฑ์ที่มีความแปรปรวนมาก แสดงว่าดาวเทียมนั้นได้รับผลกระทบจากการเกิดปรากฏการณ์ cycle slip แต่สามารถปรับแก้การเกิดปรากฏการณ์ cycle slip ได้ด้วยการใช้ผลต่างของค่า STECI ปัจจุบันกับค่า STECI ก่อนหน้าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าผลต่าง = ค่า STEC ปัจจุบัน - ค่า STEC ก่อนหน้า

ค่า STEC ที่ปรับแก้ = ค่า STEC ปัจจุบัน - ค่าผลต่าง

เมื่อเกิดปรากฏการณ์ cycle slip ดังรูปที่ 4.32 (a) และ 4.32 (b) แล้วนำวิธีการปรับแก้ค่า STEC ไปใช้ปรับแก้ จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.33 (b)

PRN 7: Corrected STEC using diff = -55.75153725587725: -96.94284677107484
G07 STEC1: -152.6943840269521 Corrected STEC: -96.94284677107484

(a)

PRN 7: Corrected STEC using diff = -55.75153725587725: -96.9333271872461
G07 STEC1: -152.68486444312336 Corrected STEC: -96.9333271872461

(b)

รูปที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงของค่า STEC (a) ในวินาทีแรกเมื่อตรวจพบการเกิด cycle slip และ (b) วินาทีที่สองเมื่อตรวจพบการเกิด cycle slip

จากรูปที่ 4.32 (a) และ 4.32 (b) เกิดปรากฏการณ์ cycle slip ขณะรับข้อมูลจากดาวเทียมทำให้ข้อมูลคลาดเคลื่อน ซึ่งส่งผลให้ค่า STEC เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันจาก -96.94 TECu เป็น -152.69 TECu การปรับแก้ค่า STEC ในกรณีนี้เริ่มต้นด้วยการคำนวณค่าผลต่างระหว่างค่า STEC ก่อนและหลังเกิด Cycle Slip ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{ค่าผลต่าง} = -152.69 - (-96.94) = -55.75 \text{ TECu}$$

จากนั้นนำค่าผลต่างนี้ไปปรับแก้ค่า STEC โดยลบค่าผลต่างออกจากค่า STEC ปัจจุบัน จะได้ค่า STEC ที่ปรับแก้ดังนี้

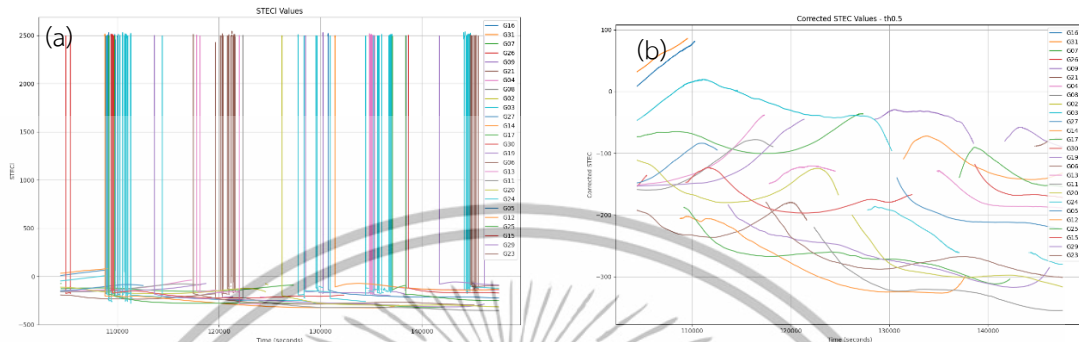
$$\text{ค่า STEC ที่ปรับแก้} = -152.69 - (-55.75) = -96.94 \text{ TECu}$$

เมื่อค่าผลต่างที่ใช้ปรับแก้ได้ผลลัพธ์ค่า STEC ที่ถูกต้อง จะทำการบันทึกไว้สำหรับการปรับแก้ค่า STEC ในครั้งต่อไป และจากรูปที่ 4.32 (b) แสดงให้เห็นว่าดาวเทียมหมายเลข PRN 7 ยังคงเกิดเหตุการณ์ Cycle Slip อย่างต่อเนื่อง เมื่อมีการรับค่า STEC ใหม่ การปรับแก้จะดำเนินการโดยใช้ค่าผลต่างที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้คือ -55.75 TECu เมื่อนำไปปรับแก้กับค่า STEC ใหม่ จะได้ค่า STEC ที่ปรับแก้แล้วดังนี้

$$\text{ค่า STEC ที่ปรับแก้} = -152.68 - (-55.75) = -96.93 \text{ TECu}$$

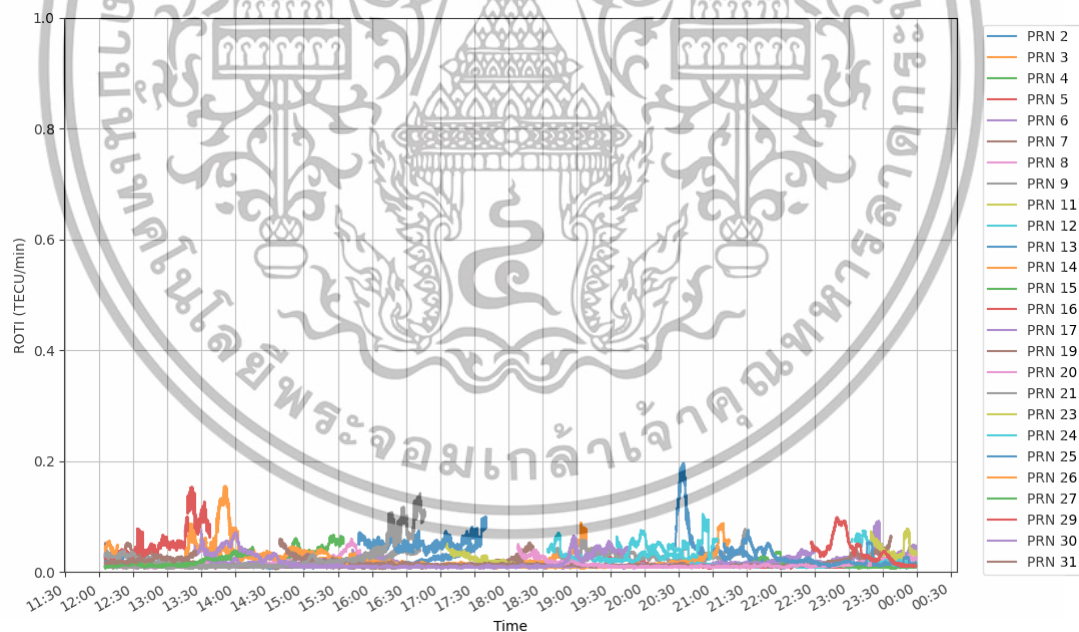
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการแก้ไขค่า STEC ด้วยผลต่างของค่า STEC ปัจจุบันกับค่าก่อนหน้าแล้วจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.33 (a) และรูปที่ 4.33 (b)



รูปที่ 4.33 ค่า STEC (a) ก่อนทำการแก้ไขและ (b) หลังทำการแก้ไข

จากรูปที่ 4.33 (a) เมื่อทำการแก้ไขค่า STEC ตอนที่เกิดปรากฏการณ์ cycle slip จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.33 (b) ซึ่งช่วยลดผลกระทบจากปรากฏการณ์ cycle slip ทำให้ค่า ROTI ที่ได้มีค่าน้อยลงดังรูปที่ 4.34

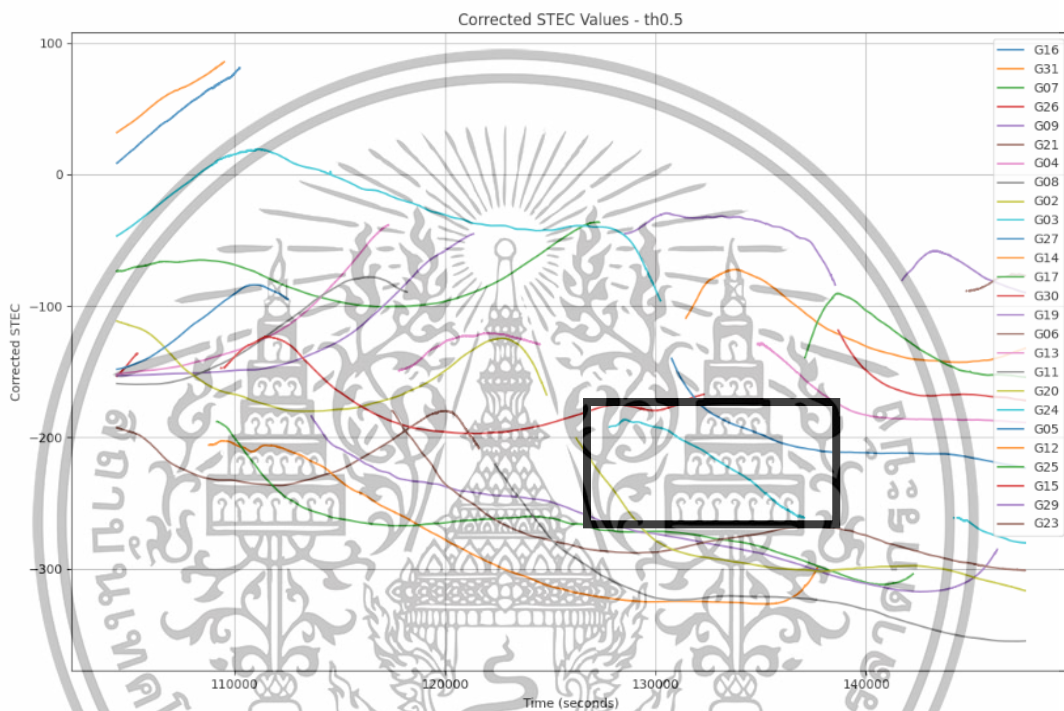


รูปที่ 4.34 ค่า ROTI ที่ได้จากค่า STEC ที่ถูกแก้ไข

แต่การเกิดปรากฏการณ์ cycle slip สามารถเกิดได้ตลอดทั้งวัน และไม่สามารถทราบเวลาที่แน่นอนได้ว่าจะเกิดช่วงเวลาไหนในแต่ละวัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ค่า ROTI แปรปรวน ดังนั้นจึง

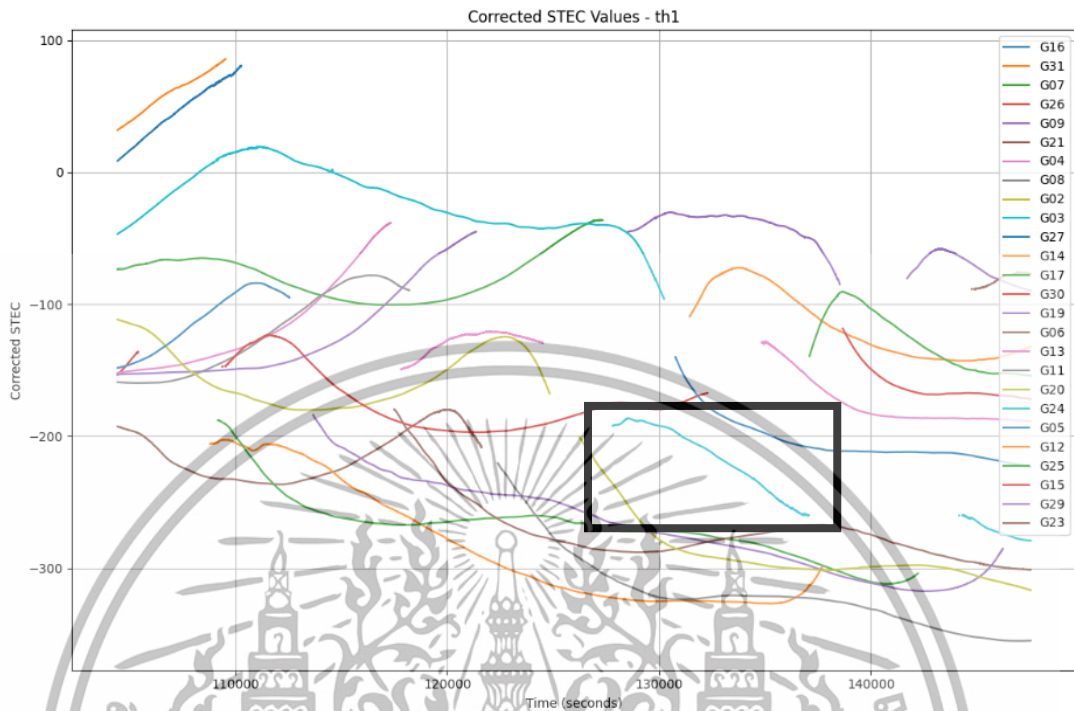
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบด้วยการกำหนดเกณฑ์ในการเกิดปรากฏการณ์ cycle slip โดยใช้ผลต่างของค่า STEC ปัจจุบันกับค่า STEC ก่อนหน้าเป็นเกณฑ์ จะมีเกณฑ์ 0.5 TECu, 1 TECu, 2 TECu และ 3 TECu ถ้าผลต่างของ STEC มากกว่าเกณฑ์จะถือว่าเกิดปรากฏการณ์ cycle slip จากรูปที่ 4.33 (a) เป็นค่า STEC ที่เกิดปรากฏการณ์ cycle slip และไม่ได้ทำการแก้ไข เมื่อนำไปตรวจสอบการเกิดปรากฏการณ์ cycle slip ด้วยเกณฑ์ทั้ง 4 ค่า จะได้ผลลัพธ์ค่า STEC ดังรูปที่ 4.35 – 4.38

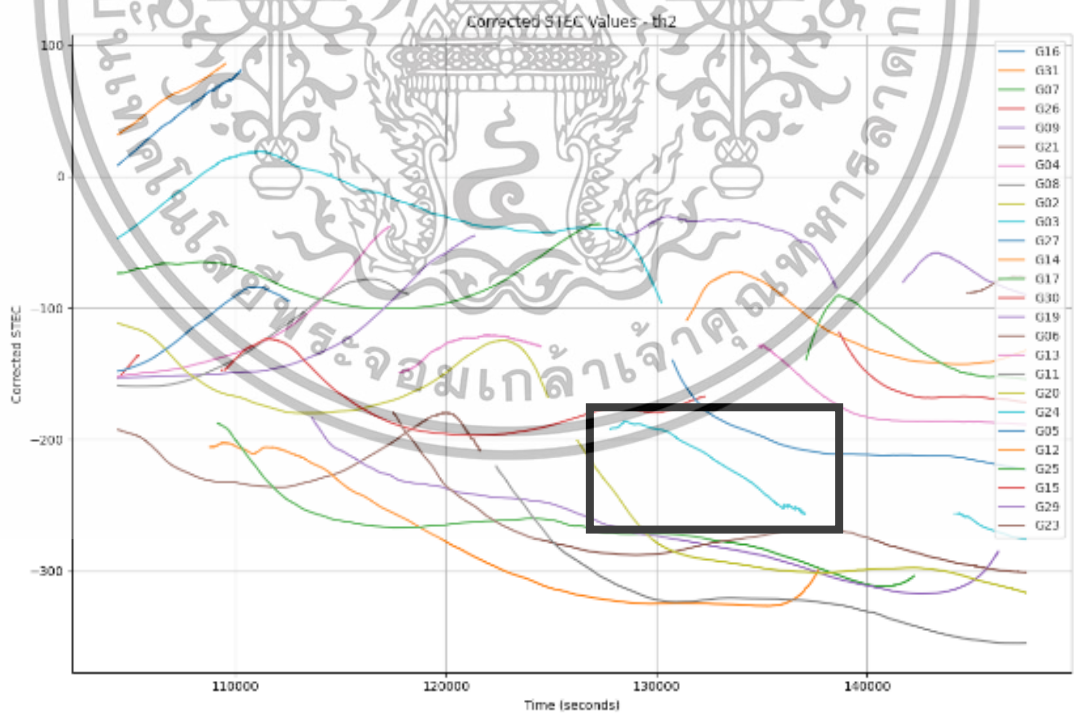


รูปที่ 4.35 ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 0.5 TECu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

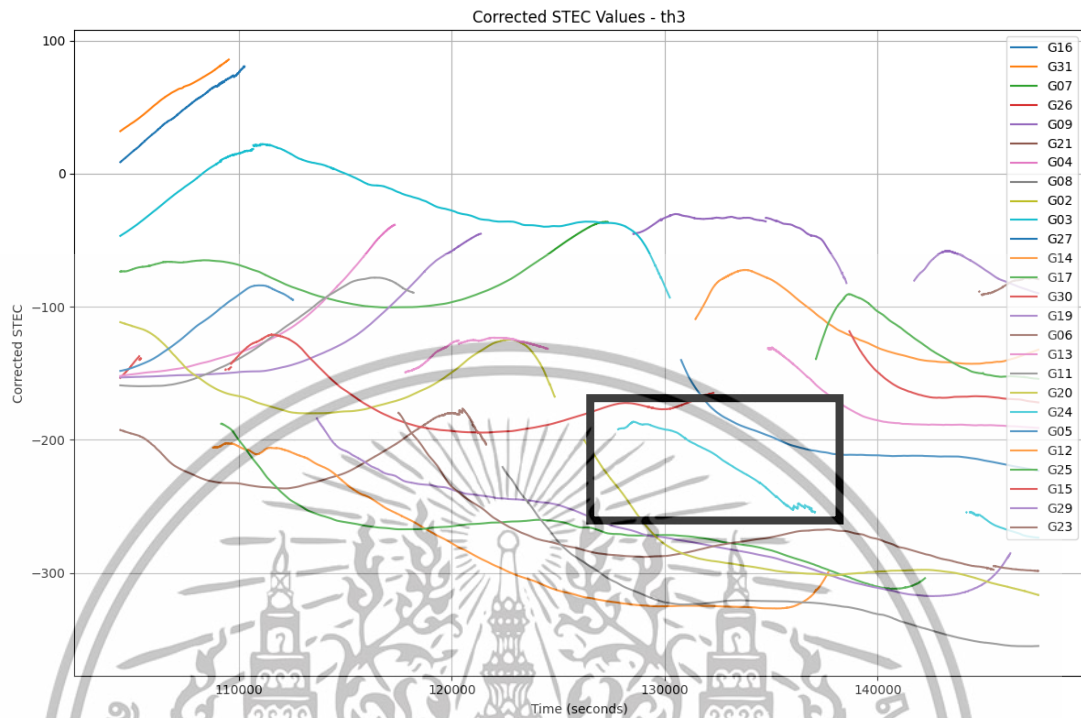


รูปที่ 4.36 ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 1 TECu



รูปที่ 4.37 ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 2 TECu

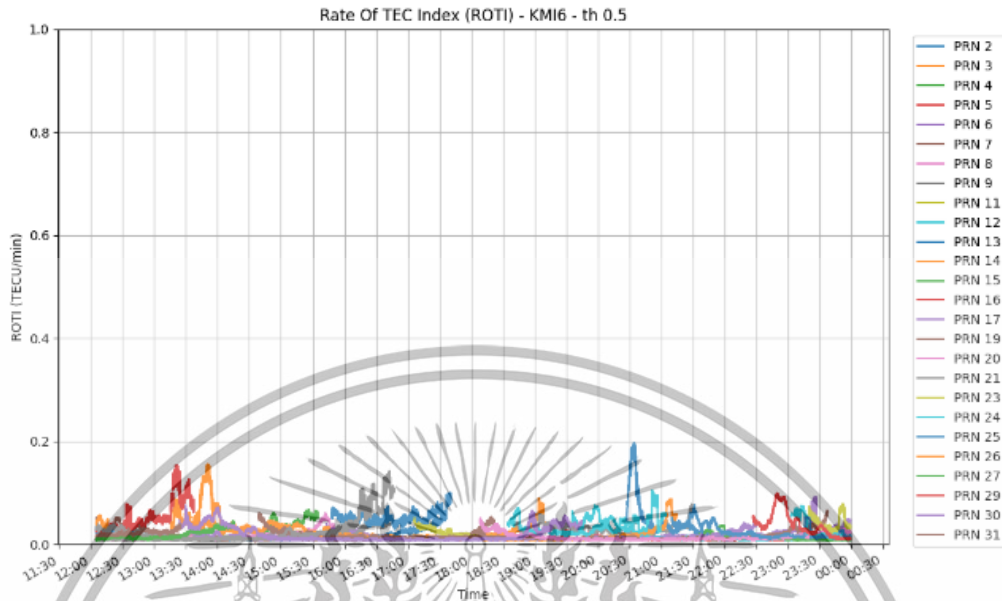
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



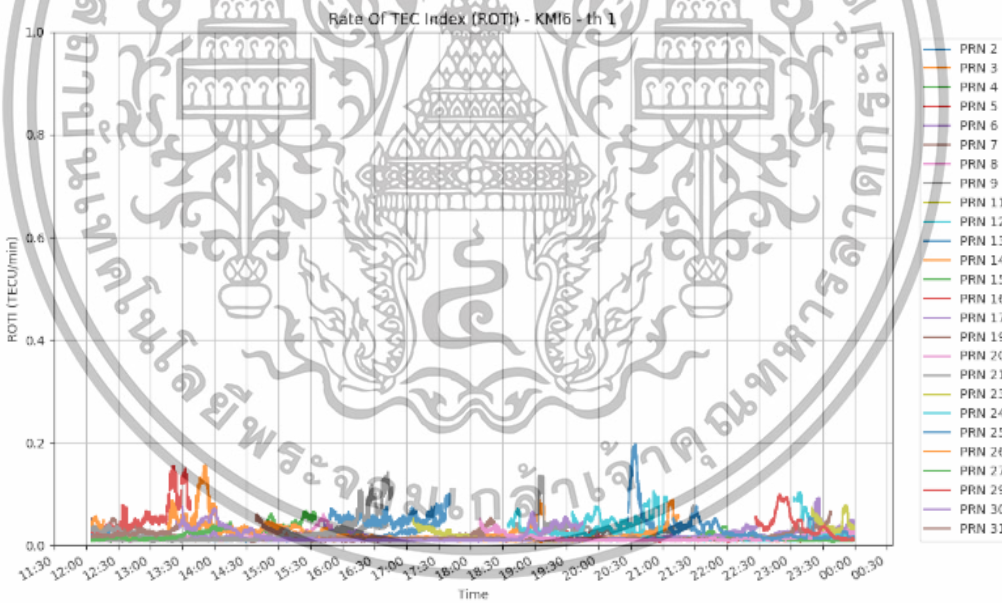
รูปที่ 4.38 ค่า STEC จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 3 TECu

จากรูปที่ 4.35 – 4.38 เป็นค่า STEC ที่ได้จากการกำหนดเกณฑ์และผ่านการปรับแก้แล้ว จะพบว่ายิ่งเกณฑ์มีค่าน้อย ค่า STEC ในช่วงที่ถูกปรับแก้จะมีความเสถียรมากกว่า ดังนั้นควรใช้เกณฑ์เป็น 0.5 TECu ในการกำหนดการเกิดปรากฏการณ์ cycle slip และเมื่อนำไปคำนวณค่า ROTI ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.39 – 4.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

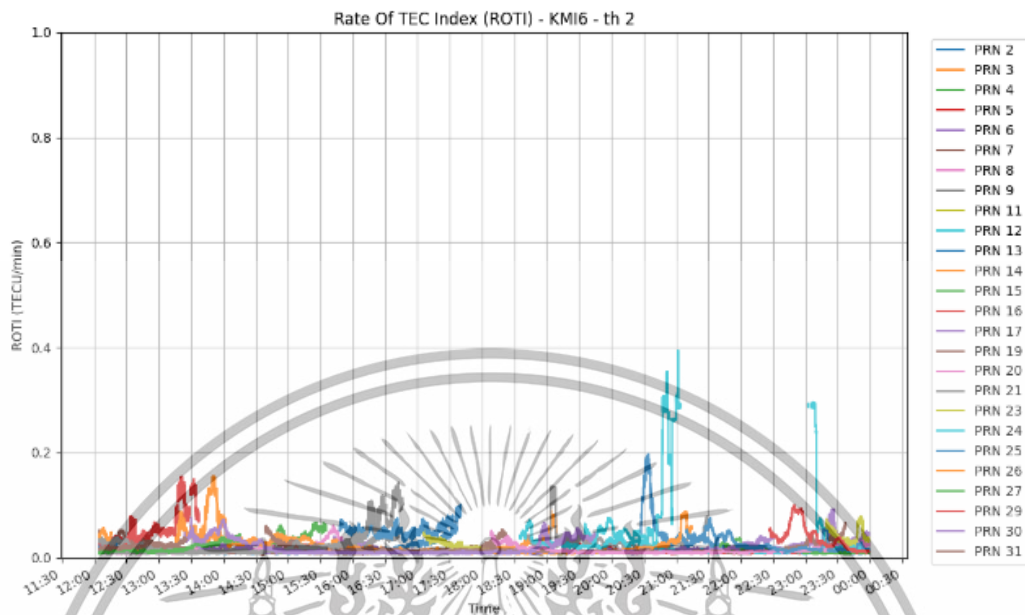


รูปที่ 4.39 ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 0.5 TECu

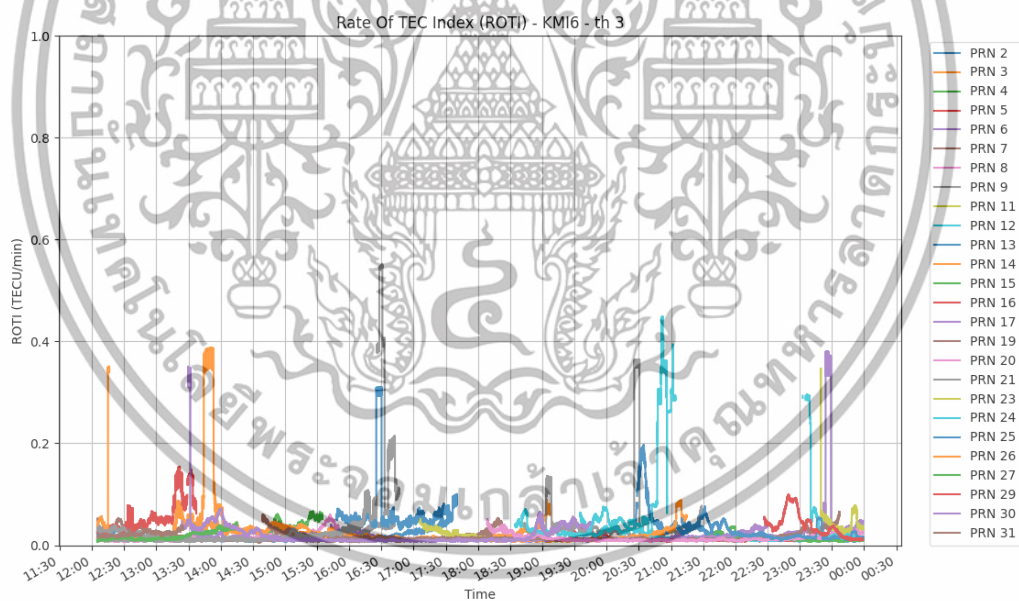


รูปที่ 4.40 ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 1 TECu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.41 ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 2 TECu



รูปที่ 4.42 ค่า ROTI จากการกำหนดเกณฑ์การเกิด cycle slip เป็น 3 TECu

จากรูปที่ 4.39 – 4.42 เป็นค่า ROTI ที่ได้ค่า STEC ที่จากการกำหนดเกณฑ์และผ่านการปรับแก้แล้ว จะพบว่ายิ่งเกณฑ์มีค่ามาก ดาวเทียมบางดวงจะมีค่า ROTI ที่แปรปรวนมาก จนเกือบถึง 0.4 ดังนั้นควรใช้เกณฑ์เป็น 0.5 TECu ในการกำหนดการเกิดปรากฏการณ์ cycle slip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการทำ Geometry Screening ด้วย Space weather product

ในการทำ geometry Screening หรือการคัดกรองดาวเทียมด้วย space weather product โดยระบบจะตรวจสอบด้วยเกณฑ์การประเมินระดับความแปรปรวนทุก ๆ 1 นาที สำหรับดาวเทียมที่มีค่า S_{4c} และ ROTI น้อยกว่า 0.4 จะถือว่าความแปรปรวนอยู่ในระดับอ่อน จะเก็บไว้ใช้ในการคำนวณตำแหน่ง ส่วนดาวเทียมที่มีค่า S_{4c} หรือ ROTI มากกว่า 0.4 จะถูกตัดออกจากการคำนวณตำแหน่งดังรูปที่ 4.43

<pre>< tow 52266 see : 12 sats PRN: G05 L1 S4c: 0.141073 EL: 31.2 PRN: G13 L1 S4c: 0.164767 EL: 54.8 PRN: G15 L1 S4c: 0.057084 EL: 82.2 PRN: G29 L1 S4c: 0.078257 EL: 49.5 < tow 52267 see : 12 sats PRN: G05 L1 S4c: 0.141980 EL: 31.2 PRN: G13 L1 S4c: 0.161250 EL: 54.8 PRN: G15 L1 S4c: 0.057683 EL: 82.3 PRN: G29 L1 S4c: 0.077710 EL: 49.5 < tow 52268 see : 12 sats PRN: G05 L1 S4c: 0.141073 EL: 31.1 PRN: G13 L1 S4c: 0.158519 EL: 54.8 PRN: G15 L1 S4c: 0.057890 EL: 82.3 PRN: G29 L1 S4c: 0.077039 EL: 49.5 []</pre>	<pre>< tow 51219 see : 12 sats PRN: G05 L1 S4c: 0.559112 EL: 35.4 PRN: G13 L1 S4c: 0.073376 EL: 59.4 PRN: G15 L1 S4c: 0.081862 EL: 74.7 PRN: G29 L1 S4c: 0.060181 EL: 42.0 < tow 51220 see : 12 sats PRN: G05 L1 S4c: 0.556558 EL: 35.4 PRN: G13 L1 S4c: 0.072022 EL: 59.4 PRN: G15 L1 S4c: 0.082164 EL: 74.7 PRN: G29 L1 S4c: 0.059929 EL: 42.0 < tow 51221 see : 12 sats PRN: G05 L1 S4c: 0.552313 EL: 35.4 PRN: G13 L1 S4c: 0.069498 EL: 59.4 PRN: G15 L1 S4c: 0.082045 EL: 74.7 PRN: G29 L1 S4c: 0.060254 EL: 42.1 [G05]</pre>
(a)	(b)

รูปที่ 4.43 ค่า S_{4c} (a) ที่ต่ำกว่า 0.4 ค่า S_{4c} (b) ที่สูงกว่า 0.4

จากรูปที่ 4.43 (a) เป็นเหตุการณ์ที่ค่า S_{4c} น้อยกว่า 0.4 ซึ่งจะไม่มีการคัดดาวเทียมออกจากการคำนวณตำแหน่ง ส่วนรูปที่ 4.43 (b) เป็นเหตุการณ์ที่ดาวเทียมหมายเลข G05 มีค่า S_{4c} ประมาณ 0.55 ซึ่งมากกว่า 0.4 ดังนั้นระบบจึงทำการคัดแยกดาวเทียมดวงนั้นออกจากการคำนวณตำแหน่งดังรูปที่ 4.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

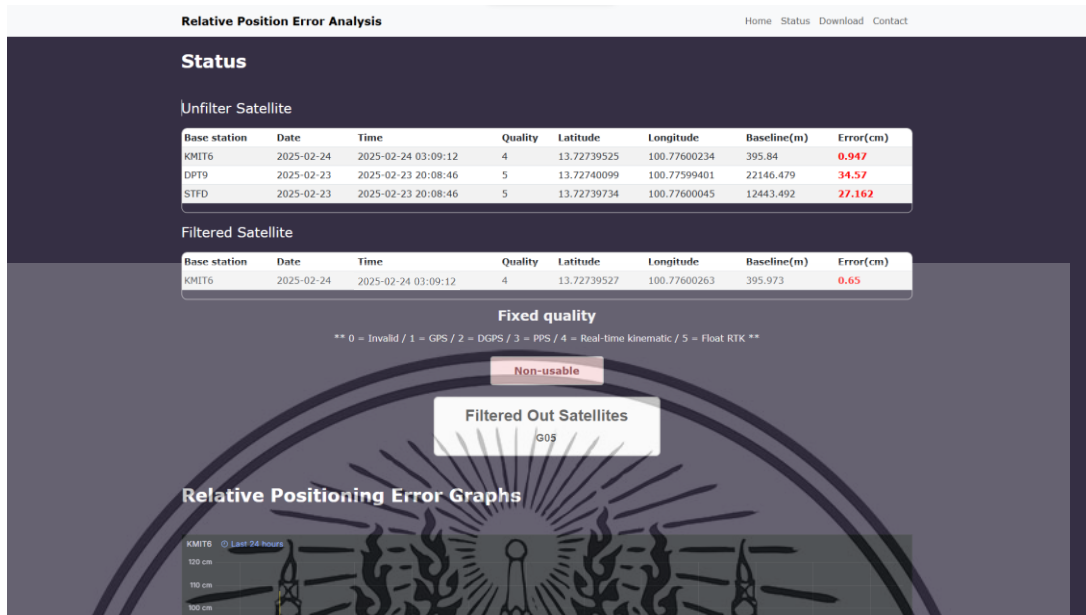
ok
['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
ok
['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
ok
['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
ok
['G05', 'N', 'N', 'N', 'N']
Edit complete : KMIT6_updated.conf
ok
['G05', 'N', 'N', 'N', 'N']
ok
['G05', 'N', 'N', 'N', 'N']
ok
['G05', 'N', 'N', 'N', 'N']

```

รูปที่ 4.44 โปรแกรมตัดแยกดาวเทียมออกจากการคำนวณตำแหน่ง

จากรูปที่ 4.44 ทำการเชื่อว่ามีความหมายเลขดาวเทียมที่ต้องการตัดออกหรือไม่ ถ้าไม่มีจะแสดงเป็น ['N', 'N', 'N', 'N', 'N'] ถ้ามีจะแสดงหมายเลขดาวเทียมดวงนั้น จากรูปที่ 4.43 (b) จะเห็นว่า มีเพียงดาวเทียมหมายเลข G05 ที่ต้องการตัดออก จากนั้นทำการเพิ่มหมายเลขดาวเทียมที่ต้องการตัดออกลงในไฟล์กำหนดค่า จากรูปที่ 4.44 เป็นไฟล์กำหนดค่าของสถานี KMIT6 หลังจากเพิ่มสำเร็จจะแสดงข้อความว่า 'Edit complete' และทำการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณตำแหน่งหลังจกตัดกรองดาวเทียมที่มีค่า S_{4c} มากกว่า 0.4 ออกจากการคำนวณตำแหน่งแล้วแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 4.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 ผลลัพธ์การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อตัดดาวเทียม G05 ออกจากการคำนวณ ตำแหน่งและแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนบนเว็บแอปพลิเคชัน

จากรูปที่ 4.45 เป็นการแสดงผลค่าความคลาดเคลื่อนบนเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งจะมี ตารางแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐานแต่ละสถานีฐานซึ่งตาราง Unfiltered Satellite คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ได้ผ่านการตัดดาวเทียม ส่วนตาราง Filtered Satellite คือความคลาดเคลื่อนที่ผ่านการตัดดาวเทียมที่มีค่า S_{4c} ที่มากกว่า 0.4 ณ เวลานั้น ส่วนช่องสีแดงด้านล่างใช้บอก สถานะว่า ณ เวลานั้นมีความแปรปรวนจาก Ionospheric scintillation ที่ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นหรือไม่ จากรูปที่ 4.45 แสดงสถานะ Non-usable แปลว่ามีความแปรปรวนจาก Ionospheric scintillation ณ เวลานั้น ส่วนช่องสีขาว Filtered Out Satellites ใช้บอกว่าดาวเทียมดวงใดที่มีค่า S_{4c} มากกว่า 0.4 แนะนำให้นำออกจากการคำนวณตำแหน่ง จากรูปที่ 4.45 แนะนำให้นำดาวเทียม G05 ออกจากการคำนวณตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ระบบฐานข้อมูล

4.6.1 ระบบฐานข้อมูล MySQL

ระบบฐานจัดเก็บข้อมูลได้ใช้โปรแกรม phpMyAdmin ในการจัดเก็บข้อมูลซึ่งโปรแกรมสามารถจัดการฐานข้อมูล MySQL ได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่ง SQL โดยตรง โดยในการจัดเก็บข้อมูลนี้จะเรียงตามวันเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลในการทดสอบ ซึ่งจะสามารถแสดงข้อมูลตารางจัดเก็บข้อมูลได้ โดยในฐานข้อมูลยังมีตารางอีก 3 ตารางไว้เก็บค่าต่าง ๆ ในการทดลองของแต่ละสถานี ดังรูปที่ 4.46 – 4.48

ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
1	2025-01-07	2025-01-06 19:08:52	4	13.72738677	100.77599743	22146.881	1.616
2	2025-01-07	2025-01-06 19:08:53	4	13.72738678	100.77599743	22146.881	1.509
3	2025-01-07	2025-01-06 19:08:54	4	13.72738679	100.77599743	22146.881	1.723
4	2025-01-07	2025-01-06 19:08:55	4	13.72738679	100.77599744	22146.882	1.559
5	2025-01-07	2025-01-06 19:08:56	4	13.72738678	100.77599742	22146.88	1.543
6	2025-01-07	2025-01-06 19:08:57	4	13.72738679	100.77599743	22146.881	1.509
7	2025-01-07	2025-01-06 19:08:58	4	13.72738677	100.77599743	22146.881	1.616
8	2025-01-07	2025-01-06 19:08:59	4	13.72738681	100.77599743	22146.88	1.193
9	2025-01-07	2025-01-06 19:09:00	4	13.72738682	100.77599742	22146.879	1.457
10	2025-01-07	2025-01-06 19:09:01	4	13.7273868	100.7759974	22146.877	1.433
11	2025-01-07	2025-01-06 19:09:02	4	13.72738678	100.77599743	22146.881	1.403
12	2025-01-07	2025-01-06 19:09:03	4	13.72738679	100.77599743	22146.881	1.413
13	2025-01-07	2025-01-06 19:09:04	4	13.72738681	100.77599742	22146.879	1.236
14	2025-01-07	2025-01-06 19:09:05	4	13.7273868	100.77599741	22146.878	1.334
15	2025-01-07	2025-01-06 19:09:06	4	13.72738679	100.77599741	22146.879	1.483
16	2025-01-07	2025-01-06 19:09:07	4	13.7273868	100.77599742	22146.879	1.337
17	2025-01-07	2025-01-06 19:09:08	4	13.7273868	100.77599742	22146.879	1.317
18	2025-01-07	2025-01-06 19:09:09	4	13.72738682	100.77599742	22146.879	1.137
19	2025-01-07	2025-01-06 19:09:10	4	13.72738682	100.77599743	22146.88	1.109
20	2025-01-07	2025-01-06 19:09:11	4	13.7273868	100.77599745	22146.883	1.242
21	2025-01-07	2025-01-06 19:09:12	4	13.7273868	100.77599741	22146.878	1.384
22	2025-01-07	2025-01-06 19:09:13	4	13.72738682	100.77599743	22146.88	1.109
23	2025-01-07	2025-01-06 19:09:14	4	13.72738681	100.77599742	22146.879	1.236
24	2025-01-07	2025-01-06 19:09:15	4	13.72738681	100.77599744	22146.881	1.458
25	2025-01-07	2025-01-06 19:09:16	4	13.72738682	100.77599742	22146.879	1.137

รูปที่ 4.46 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน table ของ dpt9 ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
548718	2025-02-23	2025-02-23 20:08:46	4	13.72739528	100.7760023	395.836	0.351
548717	2025-02-23	2025-02-23 20:08:45	4	13.72739527	100.77600229	395.835	0.222
548716	2025-02-23	2025-02-23 20:08:44	4	13.72739529	100.77600232	395.838	0.55
548715	2025-02-23	2025-02-23 20:08:43	4	13.72739528	100.7760023	395.836	0.351
548714	2025-02-23	2025-02-23 20:08:42	4	13.72739529	100.77600228	395.833	0.458
548713	2025-02-23	2025-02-23 20:08:41	4	13.72739527	100.77600229	395.835	0.222
548712	2025-02-23	2025-02-23 20:08:40	4	13.72739527	100.7760023	395.836	0.247
548711	2025-02-23	2025-02-23 20:08:39	4	13.7273953	100.77600228	395.833	0.566
548710	2025-02-23	2025-02-23 20:08:38	4	13.72739527	100.77600231	395.837	0.31
548709	2025-02-23	2025-02-23 20:08:37	4	13.72739527	100.77600233	395.839	0.486
548708	2025-02-23	2025-02-23 20:08:36	4	13.72739529	100.7760023	395.835	0.458
548707	2025-02-23	2025-02-23 20:08:35	4	13.72739528	100.7760023	395.836	0.351
548706	2025-02-23	2025-02-23 20:08:34	4	13.7273953	100.7760023	395.835	0.566
548705	2025-02-23	2025-02-23 20:08:33	4	13.72739528	100.77600231	395.837	0.397
548704	2025-02-23	2025-02-23 20:08:32	4	13.72739525	100.77600232	395.838	0.324
548703	2025-02-23	2025-02-23 20:08:31	4	13.72739527	100.77600231	395.837	0.31
548702	2025-02-23	2025-02-23 20:08:30	4	13.72739528	100.77600228	395.833	0.351
548701	2025-02-23	2025-02-23 20:08:29	4	13.72739525	100.77600231	395.837	0.243
548700	2025-02-23	2025-02-23 20:08:28	4	13.72739525	100.77600229	395.835	0
548699	2025-02-23	2025-02-23 20:08:27	4	13.72739526	100.77600229	395.835	0.111
548698	2025-02-23	2025-02-23 20:08:26	4	13.72739528	100.7760023	395.836	0.351
548697	2025-02-23	2025-02-23 20:08:25	4	13.72739529	100.77600228	395.833	0.458
548696	2025-02-23	2025-02-23 20:08:24	4	13.72739527	100.77600229	395.835	0.222
548695	2025-02-23	2025-02-23 20:08:23	4	13.72739527	100.77600229	395.835	0.222
548694	2025-02-23	2025-02-23 20:08:22	4	13.72739527	100.77600226	395.831	0.393

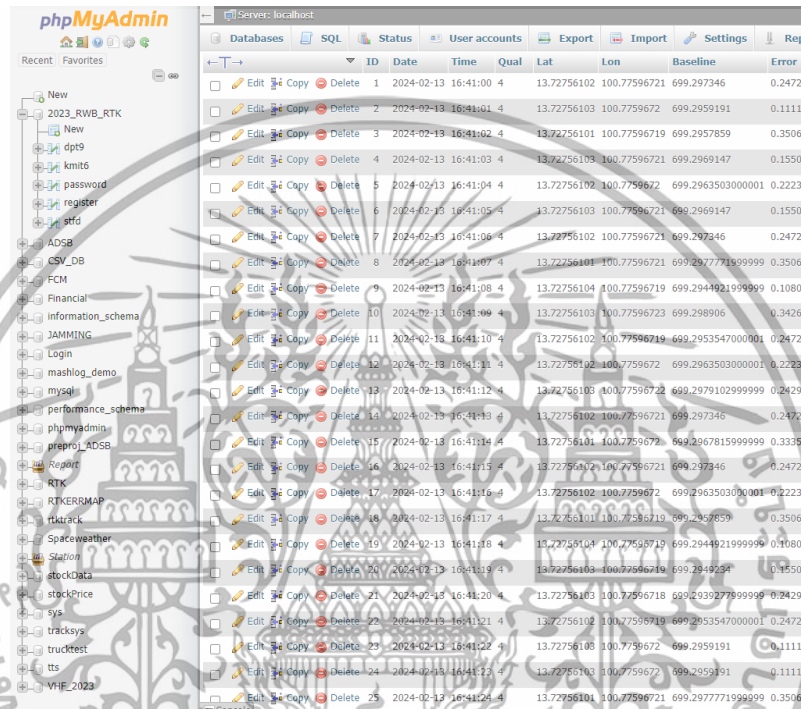
รูปที่ 4.47 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน table ของ kmit6 ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
307101	2025-02-23	2025-02-23 20:08:46	5	13.72739734	100.77600045	12443.492	27.162
307100	2025-02-23	2025-02-23 20:08:45	5	13.72739737	100.77600047	12443.494	27.276
307099	2025-02-23	2025-02-23 20:08:44	5	13.72739737	100.77600049	12443.496	27.141
307098	2025-02-23	2025-02-23 20:08:43	5	13.72739733	100.77600049	12443.496	27.411
307097	2025-02-23	2025-02-23 20:08:42	5	13.72739731	100.77600046	12443.497	27.347
307096	2025-02-23	2025-02-23 20:08:41	5	13.72739737	100.77600049	12443.496	27.141
307095	2025-02-23	2025-02-23 20:08:40	5	13.72739737	100.7760005	12443.497	27.073
307094	2025-02-23	2025-02-23 20:08:39	5	13.7273974	100.77600053	12443.5	27.432
307093	2025-02-23	2025-02-23 20:08:38	5	13.72739739	100.77600051	12443.498	27.170
307092	2025-02-23	2025-02-23 20:08:37	5	13.72739737	100.77600054	12443.502	26.893
307091	2025-02-23	2025-02-23 20:08:36	5	13.7273974	100.7760005	12443.497	27.333
307090	2025-02-23	2025-02-23 20:08:35	5	13.72739738	100.77600049	12443.496	27.227
307089	2025-02-23	2025-02-23 20:08:34	5	13.7273974	100.77600048	12443.495	27.468
307088	2025-02-23	2025-02-23 20:08:33	5	13.72739737	100.77600051	12443.498	27.005
307087	2025-02-23	2025-02-23 20:08:32	5	13.72739734	100.77600051	12443.499	26.746
307086	2025-02-23	2025-02-23 20:08:31	5	13.72739736	100.77600048	12443.495	27.124
307085	2025-02-23	2025-02-23 20:08:30	5	13.72739737	100.77600043	12443.49	27.556
307084	2025-02-23	2025-02-23 20:08:29	5	13.72739736	100.77600047	12443.494	27.193
307083	2025-02-23	2025-02-23 20:08:28	5	13.72739734	100.77600042	12443.489	27.373
307082	2025-02-23	2025-02-23 20:08:27	5	13.72739734	100.7760004	12443.487	27.515
307081	2025-02-23	2025-02-23 20:08:26	5	13.72739735	100.7760004	12443.487	27.599
307080	2025-02-23	2025-02-23 20:08:25	5	13.72739735	100.77600038	12443.485	27.741
307079	2025-02-23	2025-02-23 20:08:24	5	13.72739733	100.77600039	12443.486	27.583
307078	2025-02-23	2025-02-23 20:08:23	5	13.72739733	100.77600043	12443.49	27.218
307077	2025-02-23	2025-02-23 20:08:22	5	13.72739736	100.77600042	12443.489	27.541

รูปที่ 4.48 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน table ของ stfd ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.46 – 4.48 จะเป็นตารางข้อมูลที่จัดเก็บค่าต่าง ๆ ของสถานี DPT9, KMIT6 และ STFD โดยในตารางจะเก็บข้อมูลวันที่ เวลา สถานะ ละติจูด ลองจิจูด Baseline และ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นค่าที่คำนวณได้โดยตรงและไม่มีการคัดกรองดาวเทียม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะ ถูกนำไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน



ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
1	2024-02-13	16:41:00	4	13.72756102	100.77596721	699.297346	0.24724
2	2024-02-13	16:41:01	4	13.72756103	100.7759672	699.2959191	0.11119
3	2024-02-13	16:41:02	4	13.72756101	100.77596719	699.2957859	0.35064
4	2024-02-13	16:41:03	4	13.72756103	100.77596721	699.2969147	0.15502
5	2024-02-13	16:41:04	4	13.72756102	100.7759672	699.2963503000001	0.22239
6	2024-02-13	16:41:05	4	13.72756103	100.77596721	699.2969147	0.15502
7	2024-02-13	16:41:06	4	13.72756102	100.77596721	699.297346	0.24724
8	2024-02-13	16:41:07	4	13.72756101	100.77596721	699.2977719999999	0.35064
9	2024-02-13	16:41:08	4	13.72756104	100.77596719	699.2944921999999	0.10802
10	2024-02-13	16:41:09	4	13.72756103	100.77596723	699.298906	0.3426
11	2024-02-13	16:41:10	4	13.72756102	100.77596719	699.2953547000001	0.24724
12	2024-02-13	16:41:11	4	13.72756102	100.7759672	699.2963503000001	0.22239
13	2024-02-13	16:41:12	4	13.72756103	100.77596722	699.2979102999999	0.24297
14	2024-02-13	16:41:13	4	13.72756102	100.77596721	699.297346	0.24724
15	2024-02-13	16:41:14	4	13.72756101	100.7759672	699.2967815999999	0.33358
16	2024-02-13	16:41:15	4	13.72756102	100.77596721	699.297346	0.24724
17	2024-02-13	16:41:16	4	13.72756102	100.7759672	699.2963503000001	0.22239
18	2024-02-13	16:41:17	4	13.72756101	100.77596719	699.2957859	0.35064
19	2024-02-13	16:41:18	4	13.72756104	100.77596719	699.2944921999999	0.10802
20	2024-02-13	16:41:19	4	13.72756103	100.77596719	699.2948294	0.15502
21	2024-02-13	16:41:20	4	13.72756103	100.77596718	699.2932277999999	0.24297
22	2024-02-13	16:41:21	4	13.72756102	100.77596719	699.2953547000001	0.24724
23	2024-02-13	16:41:22	4	13.72756108	100.7759672	699.2959191	0.11119
24	2024-02-13	16:41:23	4	13.72756103	100.7759672	699.2959191	0.11119
25	2024-02-13	16:41:24	4	13.72756101	100.77596721	699.2977719999999	0.35064

รูปที่ 4.49 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกรวบรวมใน table ของ dpt9_cut ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
4	2024-02-13	14:56:19	4	13.72755614	100.77598048	700.8290127	0.49447
5	2024-02-13	14:56:20	4	13.72755615	100.77598047	700.8275859	0.46507
6	2024-02-13	14:56:21	4	13.72755612	100.77598046	700.8278836999999	0.79486
7	2024-02-13	14:56:22	4	13.72755615	100.77598048	700.8285816	0.39743
8	2024-02-13	14:56:23	4	13.72755615	100.77598046	700.8265902	0.54586
9	2024-02-13	14:56:24	4	13.72755613	100.77598045	700.8264569	0.77512
10	2024-02-13	14:56:25	4	13.72755614	100.77598045	700.8260257000001	0.69966
11	2024-02-13	14:56:26	4	13.72755614	100.77598047	700.8280171	0.55031
12	2024-02-13	14:56:27	4	13.72755614	100.77598045	700.8260257000001	0.69966
13	2024-02-13	14:56:28	4	13.72755614	100.77598045	700.8260257000001	0.69966
14	2024-02-13	14:56:29	4	13.72755615	100.77598045	700.8255946	0.63481
15	2024-02-13	14:56:30	4	13.72755615	100.77598046	700.8265902	0.54586
16	2024-02-13	14:56:31	4	13.72755614	100.77598045	700.8260257000001	0.69966
17	2024-02-13	14:56:32	4	13.72755612	100.77598044	700.8258924	0.93014
18	2024-02-13	14:56:33	4	13.72755614	100.77598046	700.8270213999999	0.62009
19	2024-02-13	14:56:34	4	13.72755612	100.77598043	700.8248967	1.00839
20	2024-02-13	14:56:35	4	13.72755614	100.77598043	700.8240344	0.87725
21	2024-02-13	14:56:36	4	13.72755615	100.77598046	700.8285902	0.54586
22	2024-02-13	14:56:37	4	13.72755614	100.77598043	700.8240344	0.87725
23	2024-02-13	14:56:38	4	13.72755614	100.77598045	700.8260257000001	0.69966
24	2024-02-13	14:56:39	4	13.72755613	100.77598044	700.82544612	0.85391
25	2024-02-13	14:56:40	4	13.72755614	100.77598047	700.8280171	0.55031
26	2024-02-13	14:56:41	4	13.72755614	100.77598047	700.8280171	0.55031
27	2024-02-13	14:56:42	4	13.72755612	100.77598044	700.8258924	0.93014
28	2024-02-13	14:56:43	4	13.72755612	100.77598047	700.8288794	0.74171

รูปที่ 4.50 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน table ของ kmit6_cut ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error	cutoff
3128	2025-02-24	2025-02-24 04:34:18	4	13.7273956	100.77600236	395.838	2.782	
3129	2025-02-24	2025-02-24 04:34:19	4	13.72739562	100.77600236	395.838	2.557	
3126	2025-02-24	2025-02-24 04:34:06	4	13.72739562	100.77600234	395.835	2.56	
3125	2025-02-24	2025-02-24 04:34:07	4	13.72739563	100.77600236	395.837	2.449	
3124	2025-02-24	2025-02-24 04:34:06	4	13.72739563	100.77600236	395.837	2.56	
3123	2025-02-24	2025-02-24 04:34:05	4	13.72739562	100.77600236	395.837	2.56	
3122	2025-02-24	2025-02-24 04:34:04	4	13.72739563	100.77600235	395.836	2.446	
3121	2025-02-24	2025-02-24 04:34:03	4	13.72739561	100.77600235	395.836	2.609	
3120	2025-02-24	2025-02-24 04:34:02	4	13.72739563	100.77600235	395.836	2.446	
3119	2025-02-24	2025-02-24 04:34:01	4	13.72739563	100.77600235	395.836	2.446	
3118	2025-02-24	2025-02-24 04:34:00	4	13.72739562	100.77600237	395.838	2.567	
3117	2025-02-24	2025-02-24 04:33:59	4	13.72739562	100.77600235	395.836	2.557	
3116	2025-02-24	2025-02-24 04:33:58	4	13.72739563	100.77600236	395.837	2.449	
3115	2025-02-24	2025-02-24 04:33:57	4	13.72739564	100.77600234	395.835	2.338	
3114	2025-02-24	2025-02-24 04:33:56	4	13.72739564	100.77600235	395.836	2.335	
3113	2025-02-24	2025-02-24 04:33:55	4	13.72739563	100.77600234	395.835	2.449	
3112	2025-02-24	2025-02-24 04:33:54	4	13.72739562	100.77600234	395.835	2.56	
3111	2025-02-24	2025-02-24 04:33:53	4	13.72739563	100.77600233	395.834	2.456	
3110	2025-02-24	2025-02-24 04:33:52	4	13.72739562	100.77600234	395.835	2.56	
3109	2025-02-24	2025-02-24 04:33:51	4	13.72739563	100.77600233	395.834	2.456	
3108	2025-02-24	2025-02-24 04:33:50	4	13.72739563	100.77600236	395.837	2.449	
3107	2025-02-24	2025-02-24 04:33:49	4	13.72739563	100.77600235	395.836	2.446	
3106	2025-02-24	2025-02-24 04:33:48	4	13.72739563	100.77600236	395.837	2.449	
3105	2025-02-24	2025-02-24 04:33:47	4	13.72739564	100.77600236	395.837	2.338	
3104	2025-02-24	2025-02-24 04:33:46	4	13.72739564	100.77600236	395.837	2.338	

รูปที่ 4.51 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน table ของ stfd_cut ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.49 - 4.51 จะเป็นตารางข้อมูลที่จัดเก็บค่าต่าง ๆ ของสถานี DPT9, KMIT6 และ STFD ตามลำดับ ซึ่งในตารางเหล่านี้จะเก็บข้อมูลแตกต่างจากตาราง dpt9, kmit6 และ stfd โดยจะเก็บค่าวันที่ เวลา สถานะ ละติจูด ลองจิจูด Baseline และค่าความคลาดเคลื่อนที่เป็นค่าที่คำนวณได้โดยตรงและมีการคัดกรองดาวเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งขึ้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปแสดงบนเว็บแอปพลิเคชัน

	ID	datetime	cut_off
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	2	2025-02-22 01:42:47	['G15', 'G16']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	3	2024-02-21 01:47:30	['G15', 'G16', 'N', 'N', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	4	2024-02-21 01:47:30	['G15', 'G16', 'G17', 'G18', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	5	2025-02-22 02:43:22	['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	6	2025-02-22 02:44:22	['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	7	2025-02-22 02:45:22	['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	8	2025-02-22 02:46:22	['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	9	2025-02-22 02:47:22	['N', 'N', 'N', 'N', 'N']
<input type="checkbox"/> Edit Copy Delete	10	2025-02-22 02:48:22	['N', 'N', 'N', 'N', 'N']

รูปที่ 4.52 ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ถูกจัดเก็บใน table ของ cut_off ในฐานข้อมูล 2023_RWB_RTK

จากรูปที่ 4.52 จะเป็นตารางข้อมูลที่จัดเก็บค่าข้อมูลดาวเทียมที่ถูกคัดกรองออก โดยใช้เงื่อนไขของพารามิเตอร์สภาพอากาศ ว่าถ้าดาวเทียมดวงใดมีค่าเกิน 0.4 ในเวลานั้นให้ทำการคัดกรองดาวเทียมดวงนั้นออก โดยข้อมูลจะถูกเก็บเข้าไปยังฐานข้อมูลทุก 1 นาที

4.6.2 ระบบ REST API

ในการส่งข้อมูลเกี่ยวกับพารามิเตอร์สภาพอากาศ ระบบได้ใช้หลักการของ REST API เพื่ออำนวยความสะดวกในการดึงและส่งข้อมูลระหว่างส่วนต่าง ๆ ของระบบ โดยข้อมูลสำคัญที่ถูกจัดเก็บใน API ได้แก่พารามิเตอร์ที่ใช้บ่งบอกสภาพอากาศ เช่น S_{4c} และ ROTI ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความแปรปรวนของไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อการใช้อุปกรณ์ระบุตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Pretty-print 
{
  "satellites": [
    {
      "time": "2025-02-20T07:00:11",
      "prn": "G03",
      "s4c": 0.099765,
      "elevation": 38.8
    },
    {
      "time": "2025-02-20T07:00:11",
      "prn": "G16",
      "s4c": 0.055765,
      "elevation": 81.2
    },
    {
      "time": "2025-02-20T07:00:11",
      "prn": "G26",
      "s4c": 0.054351,
      "elevation": 56.8
    },
    {
      "time": "2025-02-20T07:00:11",
      "prn": "G27",
      "s4c": 0.07767,
      "elevation": 33.1
    },
    {
      "time": "2025-02-20T07:00:11",
      "prn": "G31",
      "s4c": 0.058108,
      "elevation": 30.6
    },
    {
      "time": "2025-02-20T07:00:11",
      "prn": "G32",
      "s4c": 0.088964,
      "elevation": 35.4
    }
  ]
}

```

รูปที่ 4.53 ตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์สภาพอวกาศ S_{4c} ที่ถูกจัดเก็บใน API

จากรูปที่ 4.53 แสดงตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์ S_{4c} ที่ถูกจัดเก็บและพร้อมเรียกใช้งานผ่าน API โดยค่า S_{4c} นี้บ่งบอกถึงความเข้มข้นและความแปรปรวนของคลื่นสัญญาณซึ่งเกิดจากสภาวะไอโอโนสเฟียร์ โดยทางผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลเวลา ชื่อดาวเทียม ค่า S_{4c} และค่ามุมของดาวเทียม ทุก ๆ 1 นาที และทำให้ข้อมูลที่อยู่ใน API ทั้งหมดอยู่ใน API เพียงแค่ 24 ชั่วโมงล่าสุดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Pretty-print 
[
  {
    "time": "2025-02-21T21:41:06",
    "prn": "G29",
    "roti": 0.014061938604605
  },
  {
    "time": "2025-02-21T21:41:06",
    "prn": "G5",
    "roti": 0.0169478000300648
  },
  {
    "time": "2025-02-21T21:41:06",
    "prn": "G13",
    "roti": 0.0510747201564546
  },
  {
    "time": "2025-02-21T21:41:06",
    "prn": "G15",
    "roti": 0.0215100204853376
  },
  {
    "time": "2025-02-21T21:42:06",
    "prn": "G29",
    "roti": 0.0118841141142336
  },
  {
    "time": "2025-02-21T21:42:06",
    "prn": "G5",
    "roti": 0.0147283591430576
  }
]

```

รูปที่ 4.54 ตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์สภาพอวกาศ S_{4c} ที่ถูกจัดเก็บใน API

จากรูปที่ 4.54 แสดงตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์ ROTI (Rate of TEC Index) ที่เก็บไว้ใน API ที่เป็นดัชนีใช้วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ โดยทางผู้จัดทำได้ทำการเก็บค่าข้อมูลเวลา ชื่อดาวเทียม ค่า S_{4c} และค่านุมของดาวเทียม ทุก ๆ 1 นาที และทำให้ข้อมูลที่อยู่ใน API ทั้งหมดอยู่ใน API เพียงแค่ 24 ชั่วโมงล่าสุดเท่านั้น

4.7 ผลการทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

4.7.1 การแก้ไขปัญหาการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันผ่านผู้ใช้งานจริง

เนื่องจากก่อนที่จะนำเว็บแอปพลิเคชันไปใช้งานจริง คณะผู้จัดทำได้มีการนำเว็บแอปพลิเคชันนี้ไปทดสอบการทำงานกับผู้ใช้งานจริงเพื่อที่จะหาข้อผิดพลาดหรือข้อเสนอแนะของระบบเพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7.1.1 แก้ไขการอัปเดตหน้า Status อัตโนมัติเมื่อมีข้อมูลใหม่เข้ามา

กรณีที่มีข้อมูลใหม่ถูกเพิ่มเข้ามาในฐานข้อมูล เว็บแอปพลิเคชันนั้นไม่ได้มีการอัปเดตข้อมูลอัตโนมัติให้กับผู้ใช้งาน คณะผู้จัดจึงเล็งเห็นถึงปัญหาและแก้ไขปัญหาด้วยการพัฒนาฟังก์ชันให้มีการอัปเดตหน้าเว็บแอปพลิเคชันใหม่โดยอัตโนมัติ โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องกดรีเฟรชหน้าเว็บแอปพลิเคชันเองโดยใช้ฟังก์ชันดังรูปที่ 4.55

```

$(document).ready(function(){
    function fetchData(){
        $.ajax({
            url: 'fetch_data_status.php',
            type: 'GET',
            dataType: 'json',
            success: function(data){
                $('#table-body-unfilter').html(data.unfiltered);
                $('#table-body-filter').html(data.filtered);

                $('#table-body-unfilter tr td:last-child').css({
                    'color': 'red',
                    'font-weight': 'bold'
                });
                $('#table-body-filter tr td:last-child').css({
                    'color': 'red',
                    'font-weight': 'bold'
                });
            },
            error: function(xhr, status, error) {
                console.error("Error fetching data:", error);
            }
        });
        setInterval(fetchData, 1000);
    }
});

```

รูปที่ 4.55 ฟังก์ชันการแก้ไขให้หน้าเว็บแอปพลิเคชันรีเฟรชหน้า Status

จากรูปที่ 4.55 การทำงานของฟังก์ชันนี้คือให้ทำการ fetchdata ใหม่ทุก ๆ 1 วินาที แต่ข้อมูลที่เข้ามาในฐานข้อมูลจะมีเข้ามาทุก ๆ วินาที ทางผู้จัดทำจึงตั้งค่าให้ fetchdata ทุก ๆ 1 วินาทีเพื่อให้ fetch ข้อมูลได้ทันกับข้อมูลที่เก็บเข้ามาในฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หน้าต่างแสดงผล Status Table

การแสดงผลของหน้า Status Table นั้นใช้การดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการตรวจสอบจึงใช้การตรวจสอบว่า ID ที่มากที่สุดในฐานข้อมูลคือเท่าไร แล้วทำการดึงข้อมูลทั้งหมดของ ID ที่มากที่สุดในตารางนั้น ๆ มาแสดงในหน้าต่าง Status Table โดยแผนผังการทำงานของ Status Table แสดงได้ดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 แผนผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Status Table

จากรูปที่ 4.56 การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันเริ่มจากการเรียกดูค่า ID ล่าสุดจากฐานข้อมูล MySQL จากนั้นนำ ID ดังกล่าวมาเก็บไว้ (Collect last ID) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการแสดงผล (Show value) บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน หลังจากนั้น ระบบจะทำการตรวจสอบค่า ID จากฐานข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที หากพบว่าค่า ID มีการเปลี่ยนแปลง (แสดงว่ามีข้อมูลใหม่) ก็จะดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลล่าสุดมาแสดงผลให้ทันที ในกรณีที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลง ระบบจะวนกลับไปตรวจสอบค่า ID ใหม่อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ข้อมูลที่แสดงอยู่เป็นปัจจุบันตลอดเวลา ดังรูปที่ 4.57 และ 4.58

Status

Unfilter Satellite

Base station	Date	Time	Quality	Latitude	Longitude	Baseline(m)	Error(cm)
KMIT6	2025-02-22	2025-02-22 19:49:52	4	13.72739527	100.77600236	395.842	0.667
DPT9	2025-02-22	2025-02-22 19:49:52	5	13.72739898	100.77599787	22146.925	10.759
STFD	2025-02-22	2025-02-22 19:49:52	4	13.7273958	100.77600252	12443.728	5.38

รูปที่ 4.57 ตัวอย่างหน้าแสดงผล Status Table เวลา 19:49:52 น. ของวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2568

ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
483566	2025-02-22	2025-02-22 19:49:59	4	13.72739528	100.77600233	395.839	0.843
483565	2025-02-22	2025-02-22 19:49:58	4	13.7273953	100.77600234	395.84	1.024
483564	2025-02-22	2025-02-22 19:49:57	4	13.72739529	100.77600233	395.839	0.947
483563	2025-02-22	2025-02-22 19:49:56	4	13.72739527	100.77600234	395.84	0.701
483562	2025-02-22	2025-02-22 19:49:55	4	13.72739529	100.77600234	395.84	0.915
483561	2025-02-22	2025-02-22 19:49:54	4	13.72739527	100.77600234	395.84	0.701
483560	2025-02-22	2025-02-22 19:49:53	4	13.72739529	100.77600236	395.842	0.89
483559	2025-02-22	2025-02-22 19:49:52	4	13.72739527	100.77600236	395.842	0.667
483558	2025-02-22	2025-02-22 19:49:51	4	13.72739528	100.77600234	395.84	0.808
483557	2025-02-22	2025-02-22 19:49:50	4	13.72739528	100.77600234	395.84	0.808
483556	2025-02-22	2025-02-22 19:49:49	4	13.7273953	100.77600232	395.837	1.09

รูปที่ 4.58 ฐานข้อมูลที่ใช้ดึงค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลาล่าสุด

2) หน้าต่างแสดงผล Status Time series graph

การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า “Status Time series graph” เริ่มต้นจากการที่ระบบจะตรวจสอบและดึงค่า ID ล่าสุดจากฐานข้อมูล MySQL จากนั้นนำ ID ดังกล่าวไปใช้ในการเรียกข้อมูล (Collect last data) เพื่อเตรียมข้อมูลเวลาและค่าความคลาดเคลื่อน จากนั้นระบบจะทำการ Plot ค่าต่าง ๆ ลงในกราฟผ่าน Grafana โดยจะแสดงผลแบบเรียลไทม์ให้ผู้ใช้สามารถติดตามได้อย่างต่อเนื่อง หลังจากนั้นระบบจะตั้งค่าให้ดึงค่า ID ล่าสุดจากฐานข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที เพื่อตรวจสอบว่า ID มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ หากพบว่าค่า ID เปลี่ยนไป (มีข้อมูลใหม่เข้ามา) ระบบจะดึงข้อมูลของ ID ใหม่และอัปเดตกราฟทุก ๆ 1 นาที กระบวนการนี้

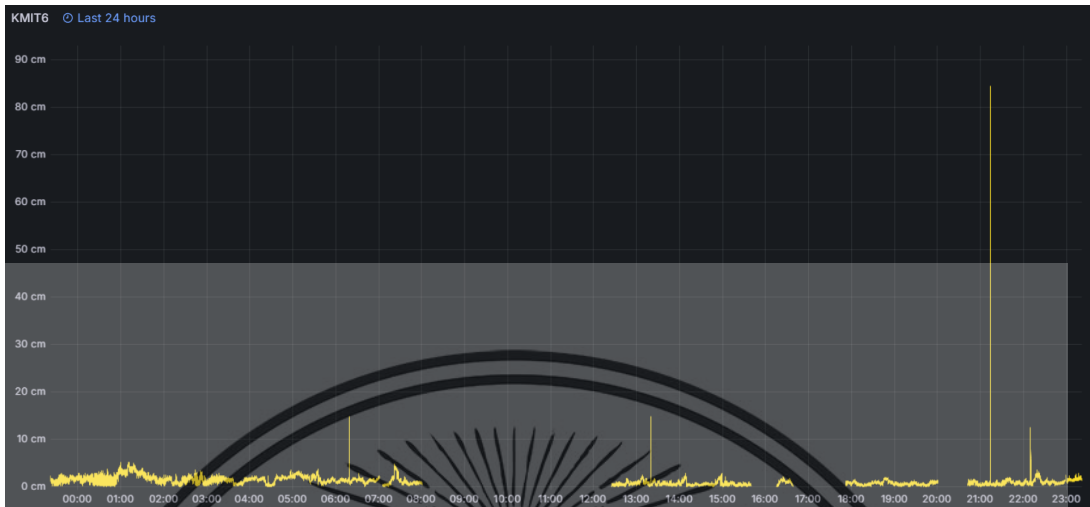
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำซ้ำอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ข้อมูลที่ปรากฏบนหน้าเว็บแอปพลิเคชันเป็นข้อมูลล่าสุดตลอดเวลา ดังรูปที่ 4.59 และได้ผลลัพธ์แสดงบนหน้าเว็บแอปพลิเคชันดังรูปที่ 4.60 - 4.62



รูปที่ 4.59 แผนผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า Status Time series graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

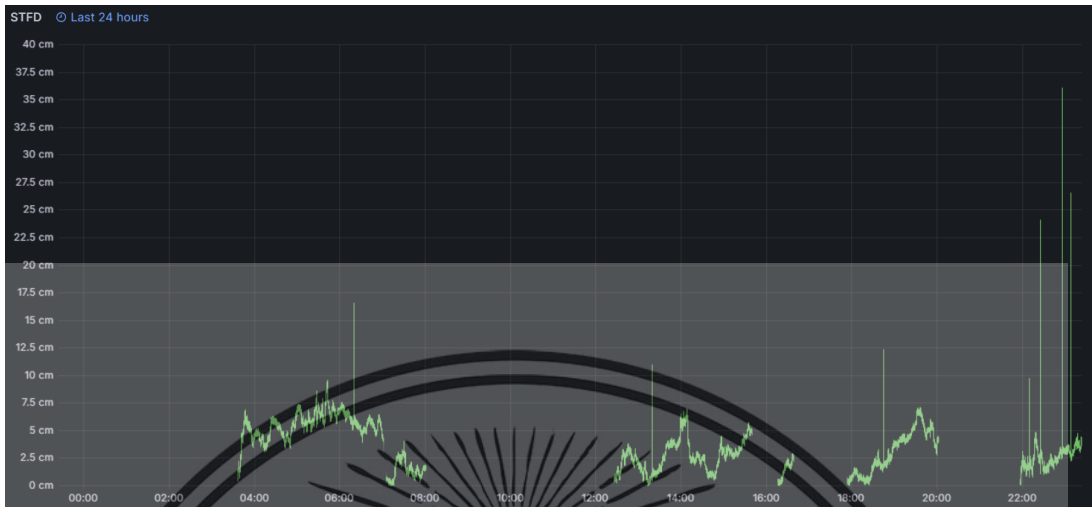


รูปที่ 4.60 หน้าแสดงผลกราฟฟลोटค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน KMIT6 วันที่ 22
กุมภาพันธ์ พ.ศ.2568

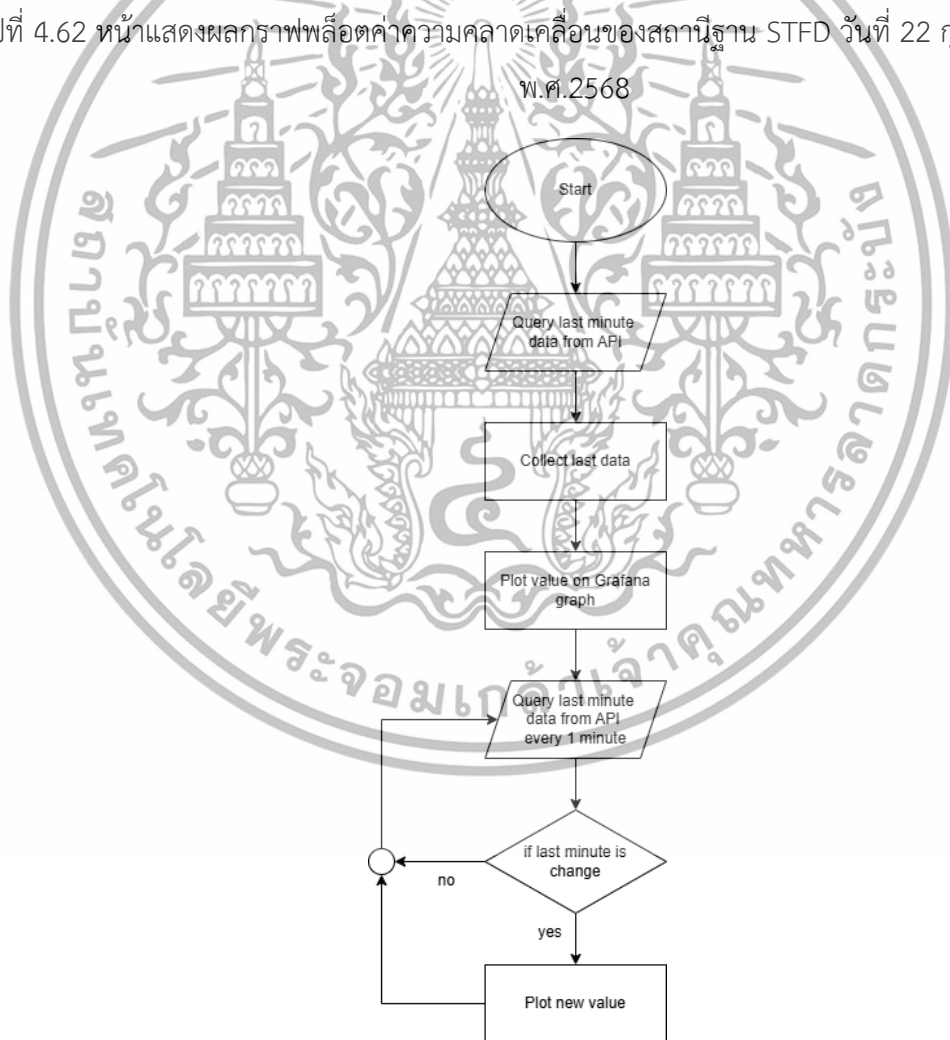


รูปที่ 4.61 หน้าแสดงผลกราฟฟลोटค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน DPT9 วันที่ 22 กุมภาพันธ์
พ.ศ.2568

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



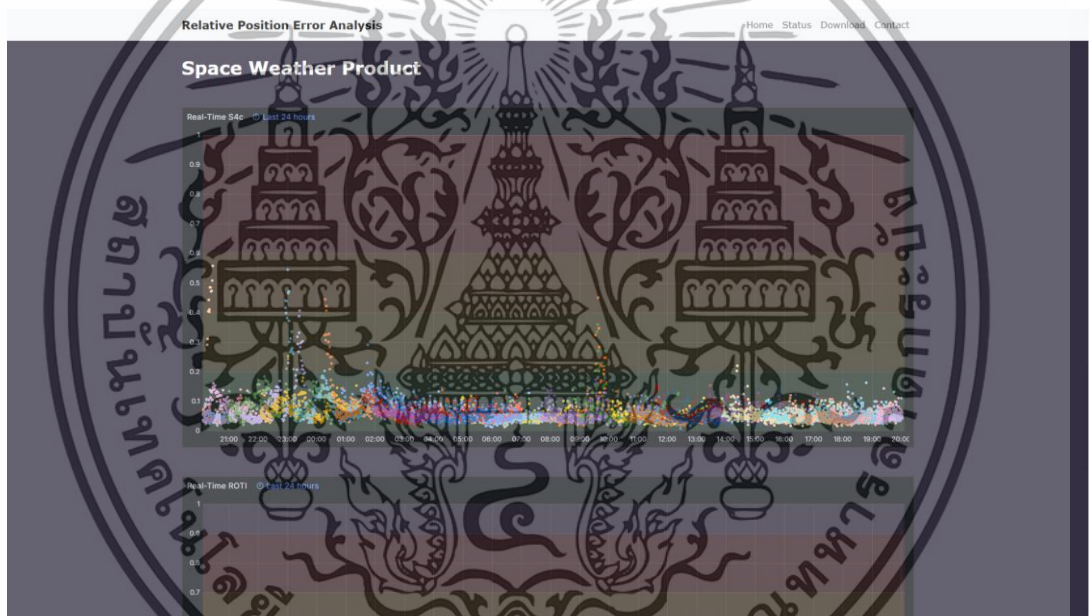
รูปที่ 4.62 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน STFD วันที่ 22 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2568



รูปที่ 4.63 แผนผังการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า status space weather product graph

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.63 กระบวนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันหน้า “Status Space weather product graph plot” เริ่มจากการที่ระบบทำการค้นหาและดึงค่าข้อมูลที่มีเวลาใหม่ล่าสุดจากฐานข้อมูล จากนั้นระบบจะใช้คำสั่งสำหรับดึงข้อมูล (fetchdata) เวลาชื่อดาวเทียม และค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศ เพื่อรวบรวมข้อมูลเหล่านี้มานำเสนอในรูปแบบกราฟแบบเรียลไทม์บนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน เมื่อข้อมูลถูกดึงมาแสดงผลแล้ว ระบบจะรอเป็นระยะเวลาที่กำหนด (เช่น 1 นาที) ก่อนทำการตรวจสอบอีกครั้งว่ามีค่าเวลาใหม่ที่เปลี่ยนแปลงหรือไม่ หากพบว่า มีข้อมูลใหม่ ระบบจะทำการดึงข้อมูลเพิ่มเติมตามเวลาล่าสุดนั้น และอัปเดตการแสดงผลในกราฟทันที วนซ้ำกระบวนการเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามสถานะและแนวโน้มของข้อมูล Space Weather ได้อย่างต่อเนื่องและเป็นปัจจุบันตลอดเวลา ดังรูปที่ 4.64 และ 4.65



รูปที่ 4.64 หน้าแสดงผลค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
  "time": "2025-02-22T19:59:38",
  "prn": "G15",
  "s4c": 0.041617,
  "elevation": 37
},
{
  "time": "2025-02-22T20:00:38",
  "prn": "G13",
  "s4c": 0.042304,
  "elevation": 48.8
},
{
  "time": "2025-02-22T20:00:38",
  "prn": "G20",
  "s4c": 0.050138,
  "elevation": 36.7
},
{
  "time": "2025-02-22T20:00:38",
  "prn": "G05",
  "s4c": 0.058743,
  "elevation": 56.9
},
{
  "time": "2025-02-22T20:00:38",
  "prn": "G12",
  "s4c": 0.064794,
  "elevation": 46.3
},
{
  "time": "2025-02-22T20:00:38",
  "prn": "G15",
  "s4c": 0.046907,
  "elevation": 37.5
}
}

```

รูปที่ 4.65 ฐานข้อมูลที่ใช้ดึงค่าความคลาดเคลื่อน ณ เวลานั้น

4.7.2 ผลการทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน

4.7.2.1 ผลการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดงผลหลัก

จากการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดงผลหลัก ซึ่งจะมี Nav bar อยู่ส่วนบนสุดของหน้าเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.66 โดยเมื่อมีการกดค่าที่แสดงบน Nav bar หน้าเว็บแอปพลิเคชันจะเชื่อมต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ดังนี้


- 1) เมื่อกด Home จะเชื่อมต่อไปหน้าต่างแสดงผล Home ดังรูปที่ 4.67
- 2) เมื่อกด Status จะเชื่อมต่อไปหน้าต่างแสดงผล Status ดังรูปที่ 4.68
- 3) เมื่อกด Download จะเชื่อมต่อไปหน้าต่างการ Download ข้อมูล ดัง

รูปที่ 4.69

- 4) เมื่อกด Contact จะเชื่อมต่อไปหน้าต่างแสดงผล Contact ดังรูปที่ 4.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relative Position Error Analysis [Home](#) [Status](#) [Download](#) [Contact](#)



RELATIVE GNSS POSITIONING ERROR MONITORING AND PREDICTION SYSTEM

The implemented rover station will be placed at Telecommunication Building, KMITL. Then, the system will obtain the positioning errors and will be displayed on the web application.


Status

Unfilter Satellite

Base station	Date	Time	Quality	Latitude	Longitude	Baseline(m)	Error(cm)
KMIT6	2025-02-22	2025-02-22 21:20:05	4	13.72739533	100.77600225	395.83	0.247

รูปที่ 4.66 ส่วนของ Nav bar ในหน้าตาแสดงผลหลัก

Relative Position Error Analysis [Home](#) [Status](#) [Download](#) [Contact](#)



RELATIVE GNSS POSITIONING ERROR MONITORING AND PREDICTION SYSTEM

The implemented rover station will be placed at Telecommunication Building, KMITL. Then, the system will obtain the positioning errors and will be displayed on the web application.

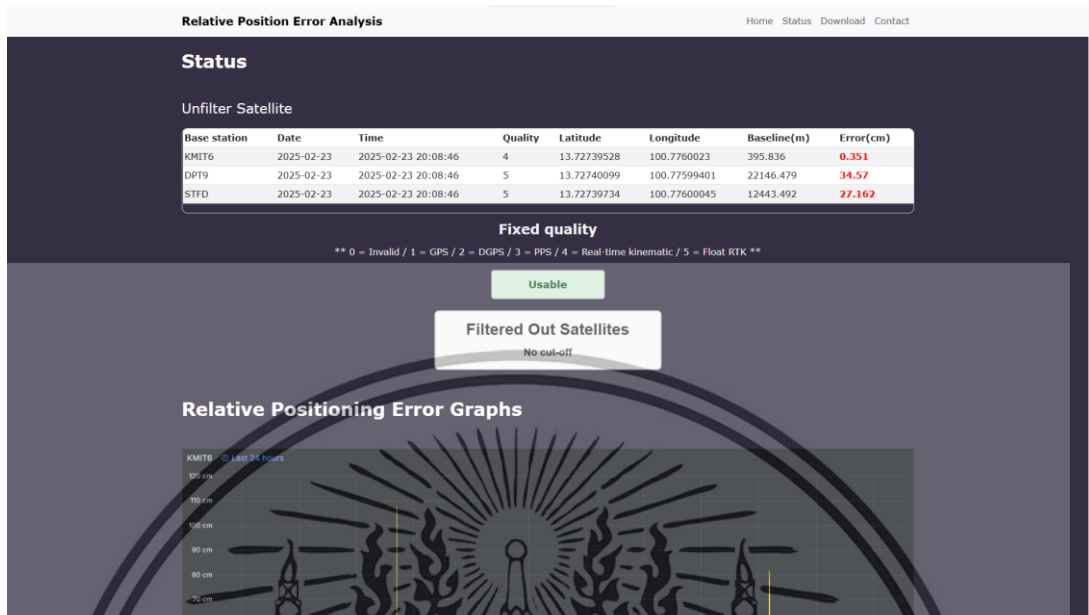
Status

Unfilter Satellite

Base station	Date	Time	Quality	Latitude	Longitude	Baseline(m)	Error(cm)
KMIT6	2025-02-22	2025-02-22 21:20:05	4	13.72739533	100.77600225	395.83	0.247

รูปที่ 4.67 หน้าตาแสดงผล Home

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

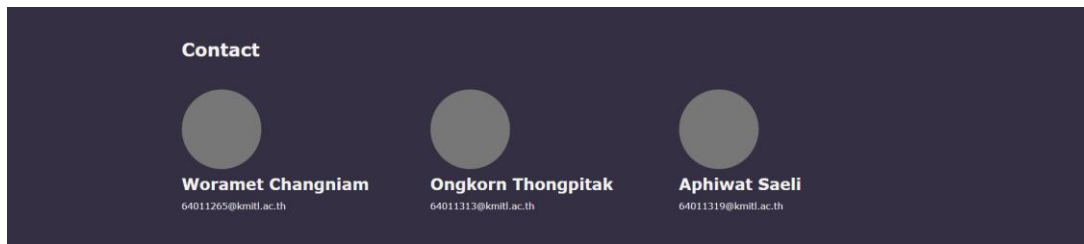


รูปที่ 4.68 หน้าต่างแสดงผล Status



รูปที่ 4.69 หน้าต่างการ Download ข้อมูล

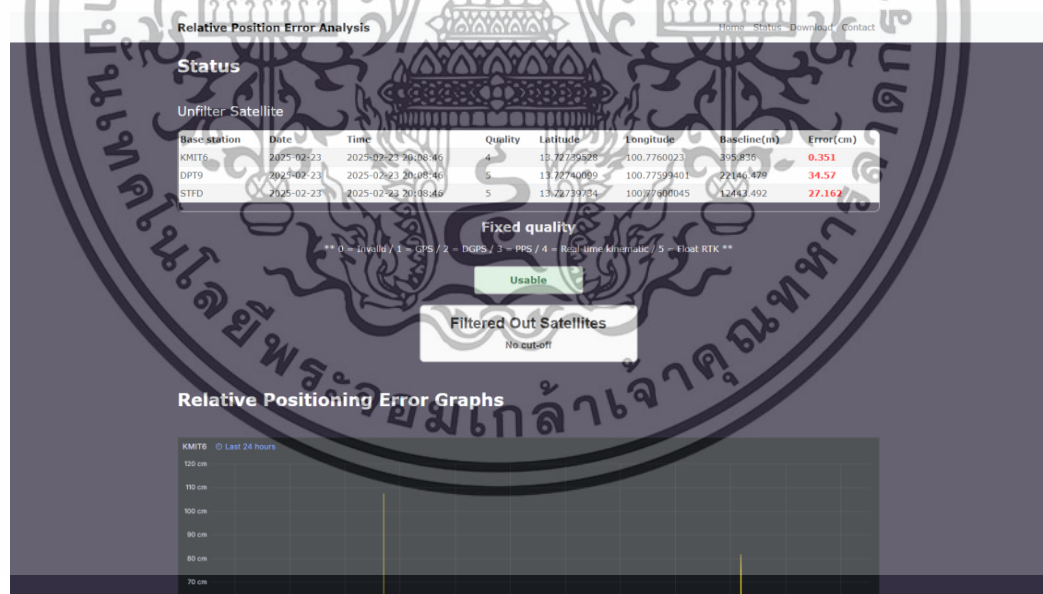
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.70 หน้าต่างแสดงผล Contact

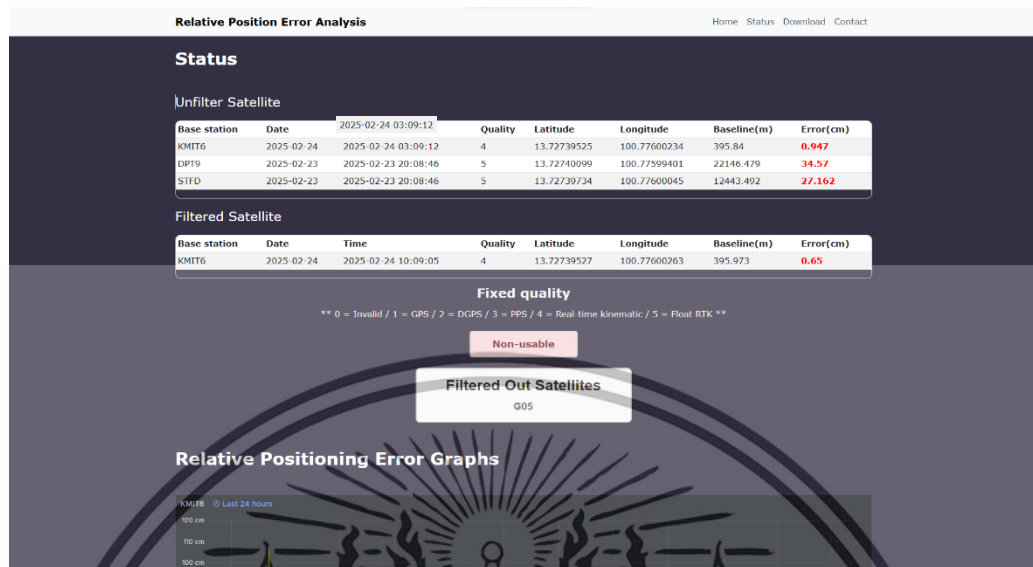
4.7.2.2 ผลการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดงผล Status

จากการทดสอบการทำงานของหน้าต่าง Status หน้าเว็บแอปพลิเคชันจะทำการเชื่อมต่อไปยังหน้าต่างของ Status โดยความหมายของ Quality ในค่าต่างๆจะแสดงอยู่ด้านใต้ของตาราง โดยในส่วนถัดมาจะแสดงค่าสถานะที่ทำนายผลว่าสมควรใช้ระบบระบุตำแหน่ง ณ เวลานั้นหรือไม่ โดยใช้เกณฑ์ว่า ณ เวลานั้นมีค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศเกิน 0.4 หรือไม่ ถ้าเกินจะถือว่าไม่สมควรใช้ระบบระบุตำแหน่ง ณ เวลานั้น และในด้านล่างจะมีข้อความระบุว่าดาวเทียมดวงไหนที่ได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศและโดนคัดกรองออกจากการคำนวณตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.71 และ 4.72



รูปที่ 4.71 หน้าต่างแสดงผลค่าสถานะในกรณีที่มีค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศไม่เกินที่เกณฑ์กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



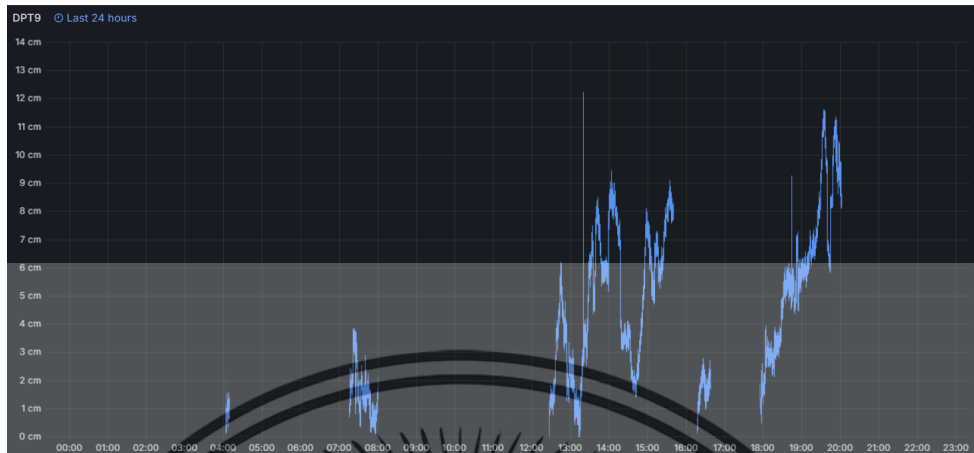
รูปที่ 4.72 หน้าต่างแสดงผลค่าสถานะในกรณีที่คุณพารามิเตอร์สภาพอากาศเกินที่เกณฑ์กำหนดไว้

ในส่วนต่อมาจะแสดงกราฟพล็อตแบบ Real-time ของค่าความคลาดเคลื่อน ณ ขณะนั้นเทียบกับเวลา ณ ปัจจุบัน โดยจะแสดงทั้ง 3 สถานีฐานแบ่งออกเป็น 3 กราฟ ได้แก่ KMIT6, DPT9 และ STFD ดังรูปที่ 4.73 - 4.75 ตามลำดับ

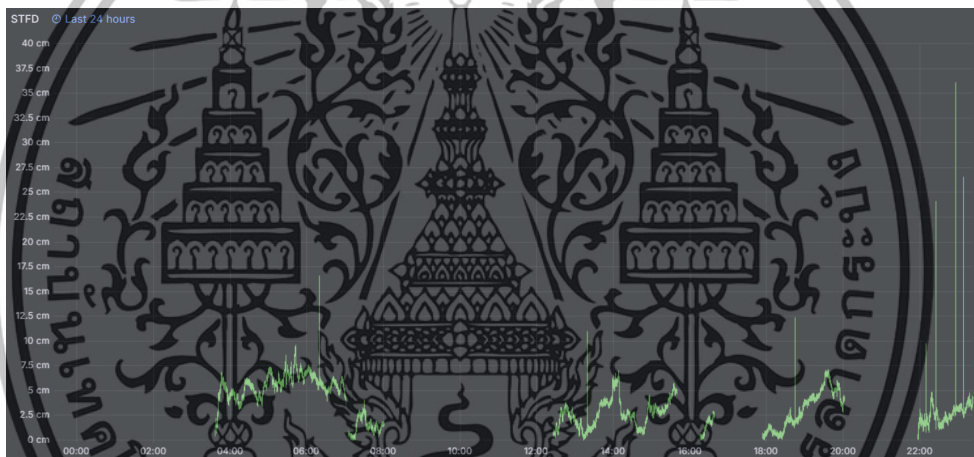


รูปที่ 4.73 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน KMIT6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



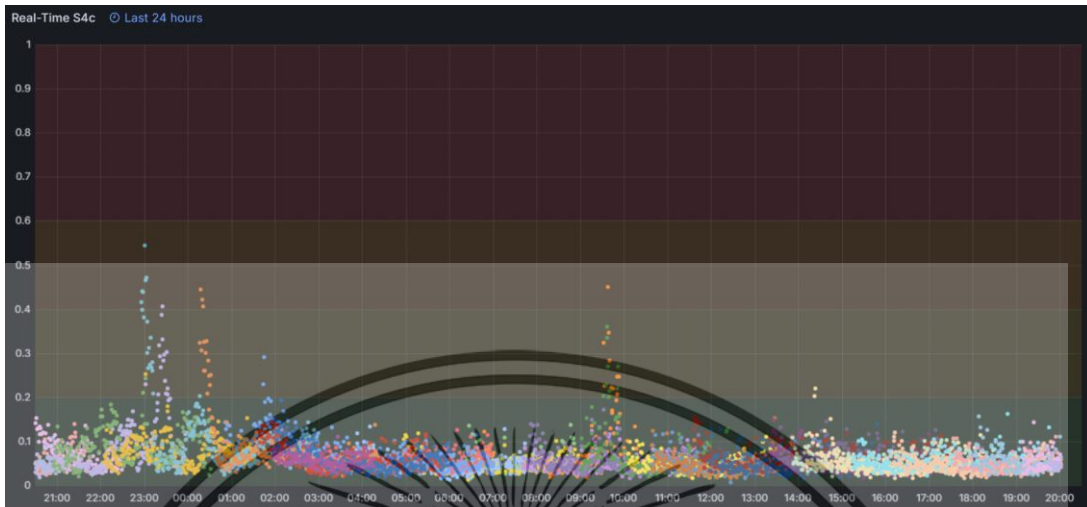
รูปที่ 4.74 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน DPT9



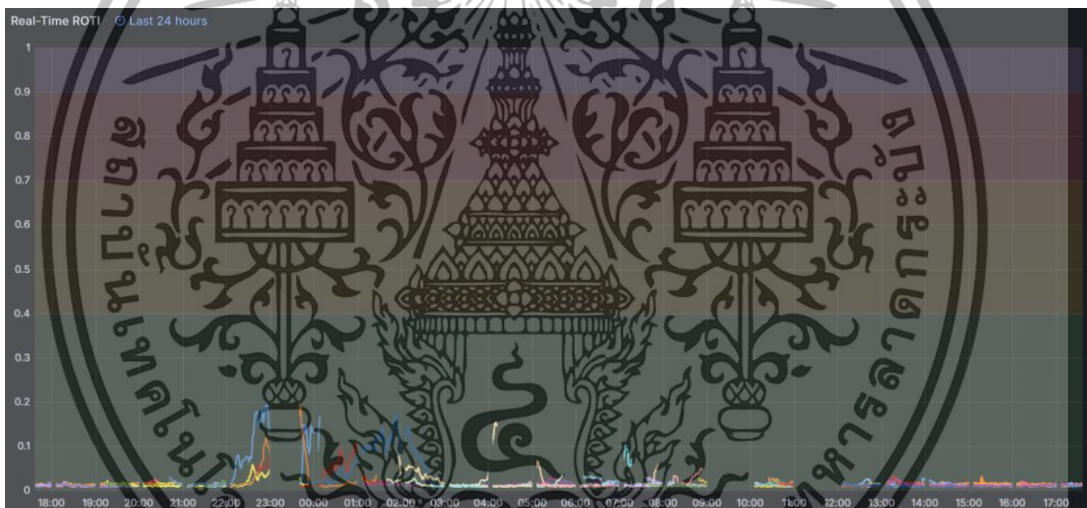
รูปที่ 4.75 หน้าแสดงผลกราฟพล็อตค่าความคลาดเคลื่อนของสถานีฐาน STFD

ในส่วนถัดมาจะแสดงกราฟพล็อตแบบ Real-time ของค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศได้แก่ S_{4c} และ ROT1 ดังรูปที่ 4.76 และ 4.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



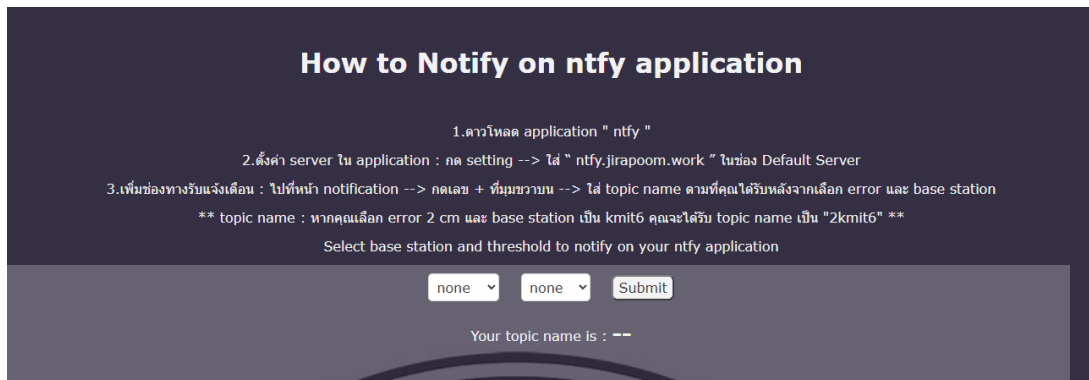
รูปที่ 4.76 หน้าแสดงผลค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศ S_{4c}



รูปที่ 4.77 หน้าแสดงผลค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศ ROT1

ในส่วนสุดท้ายจะหน้าเว็บแอปพลิเคชันนี้ที่ให้ผู้ใช้งานเลือกสถานีฐานและเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนที่ผู้ใช้งานต้องการจะให้แจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน ntfy โดยจะมีอธิบายขั้นตอนและวิธีการใช้งานแอปพลิเคชัน ntfy เมื่อผู้ใช้งานทำตามขั้นตอนแล้วกด Submit ผู้ใช้งานจะได้รับ Topic name เพื่อนำไปกรอกที่แอปพลิเคชัน ntfy ดังรูปที่ 4.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



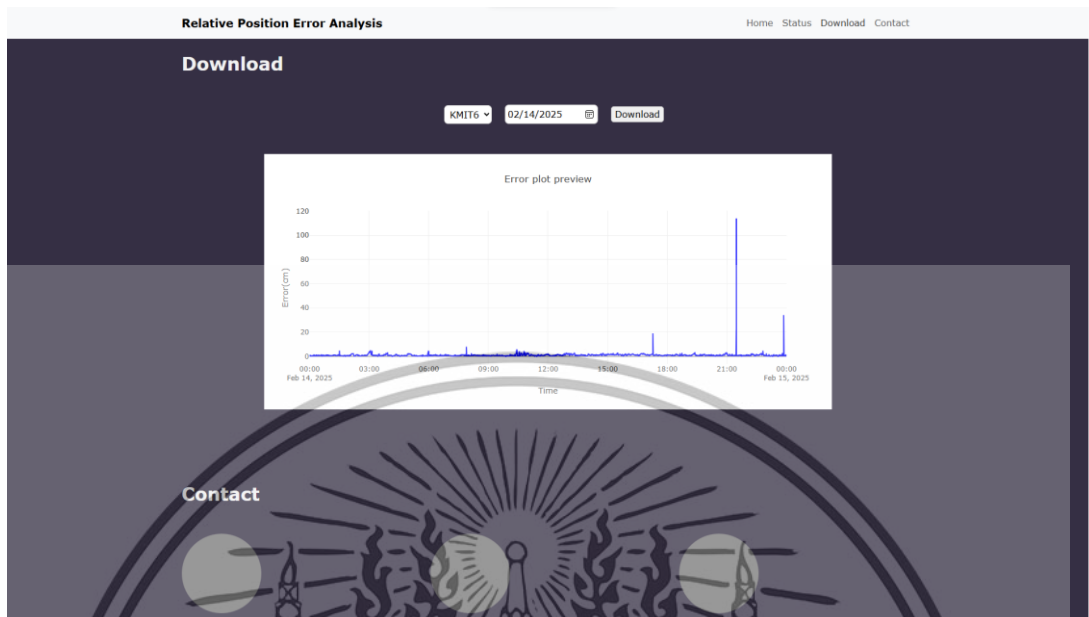
รูปที่ 4.78 หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการการแจ้งเตือนผ่าน ntfy

จากรูปที่ 4.78 กรณีที่ผู้ใช้งานเลือกข้อมูลครบแล้วกด Submit หน้าเว็บแอปพลิเคชันจะแสดง Topic name เพื่อให้ผู้ใช้งานนำ Topic name ไปใส่ในแอปพลิเคชัน ntfy เพื่อเป็นการสมัครรับข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการ

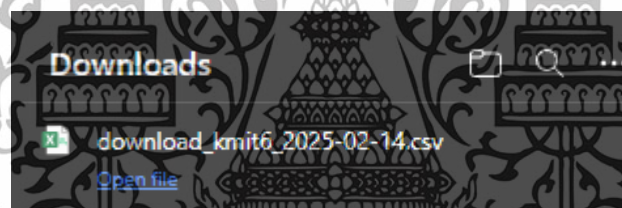
4.7.2.3 ผลการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดงผล Download

จากการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดงผล Download ของเว็บแอปพลิเคชัน เมื่อผู้ใช้เลือกสถานีฐานและวันที่ที่ต้องการดาวน์โหลดข้อมูลแล้ว หน้าเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการดาวน์โหลดในรูปแบบกราฟลึ้อตแบบ Time series ดังรูปที่ 4.79 เมื่อผู้ใช้เลือกเสร็จแล้วกดปุ่ม Download หน้าเว็บแอปพลิเคชันจะทำการดาวน์โหลดข้อมูลของวันที่ผู้ใช้เลือกเป็นไฟล์ .csv ดังรูปที่ 4.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.79 การเลือกสถานีฐานและวันที่ต้องการดาวน์โหลด



รูปที่ 4.80 หน้าต่างดาวน์โหลดไฟล์ .csv สำเร็จ

จากรูปที่ 4.80 เมื่อดาวน์โหลดเสร็จสิ้นผู้ใช้งานจะได้รับไฟล์ที่รวบรวมข้อมูลต่างๆที่อยู่ในฐานข้อมูลทั้งหมดดังรูปที่ 4.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ID	Date	Time	Qual	Lat	Lon	Baseline	Error
2	92920	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.836	0.155
3	92921	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.837	0.351
4	92922	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.111
5	92923	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.836	0.108
6	92924	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.836	0.445
7	92925	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.111
8	92926	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.837	0.351
9	92927	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.838	0.596
10	92928	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.676
11	92929	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.837	0.458
12	92930	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.837	0.566
13	92931	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.837	0.566
14	92932	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.458
15	92933	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.839	0.644
16	92934	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.836	0.556
17	92935	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.839	0.55
18	92936	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.838	0.596
19	92937	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.838	0.808
20	92938	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.676
21	92939	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.834	0.701
22	92940	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.786
23	92941	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.676
24	92942	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.666
25	92943	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.832	0.704
26	92944	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.833	0.644
27	92945	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.351
28	92946	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.835	0.458
29	92947	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.836	0.334
30	92948	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.836	0.556
31	92949	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.837	0.458
32	92950	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.831	0.546
33	92951	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.831	0.775
34	92952	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.832	0.704
35	92953	2/14/2025	2/14/2025 0:00	4	13.7274	100.776	395.829	0.729

รูปที่ 4.81 รูปไฟล์ .csv ที่ได้จากการดาวน์โหลด

4.7.3.4 ผลการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดง Contact

จากการทดสอบการทำงานของหน้าต่างแสดงผล Contact ของเว็บแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 4.82 โดยหน้า Contact นั้นจะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับผู้จัดทำโปรเจกต์ประกอบด้วย

- 1) รายชื่อผู้จัดทำ
- 2) อีเมลของผู้จัดทำ

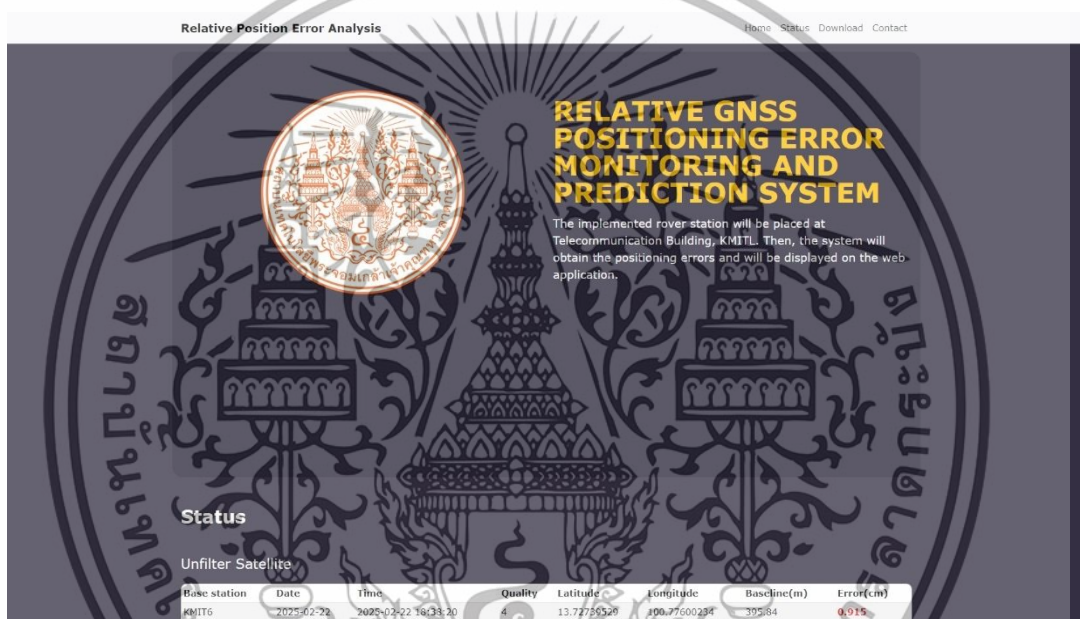


รูปที่ 4.82 หน้าต่างแสดงผล Contact ของเว็บแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

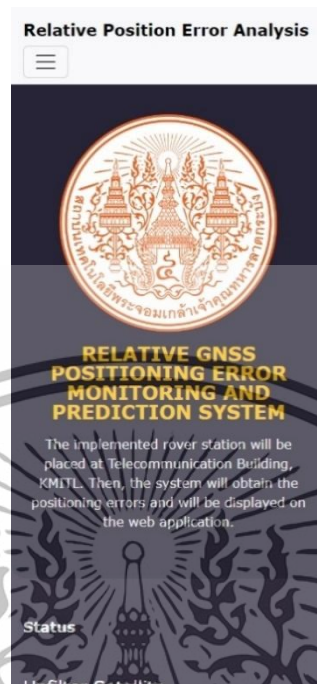
4.7.3 การทดสอบการแสดงผลหน้าตาต่างเว็บแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์ต่าง ๆ

เพื่อให้เว็บแอปพลิเคชันสามารถรองรับการใช้งานผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ทั้งคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ หรือแท็บเล็ตได้อย่างสะดวก ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทดสอบและปรับปรุงหน้าเว็บแอปพลิเคชันให้สามารถรองรับและเปิดใช้งานได้ผ่านคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ และแท็บเล็ต โดยจะตั้งค่าขนาดของหน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับคอมพิวเตอร์เป็น 1920x1080 px ส่วนขนาดของหน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์เป็น 390x844 px และขนาดของหน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแท็บเล็ตเป็น 768x1024 px ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.83 – 4.85 ตามลำดับ



รูปที่ 4.83 การแสดงผลหน้าตาต่างเว็บแอปพลิเคชันบนคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.84 การแสดงหน้าต่างเว็บแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์

Base station	Date	Time	Quality	Latitude	Longitude	Baseline(m)	Error
KMIT6	2025-02-22	2025-02-22 18:38:33	4	13.72739528	100.77600232	395.838	0.89
DPT9	2025-02-22	2025-02-22 18:38:33	4	13.7273991	100.77599668	22146.795	5.58
STFD	2025-02-22	2025-02-22 18:38:33	4	13.72739573	100.77600207	12443.68	2.13

รูปที่ 4.85 การแสดงหน้าต่างเว็บแอปพลิเคชันบนแท็บเล็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ผลการทดสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือน

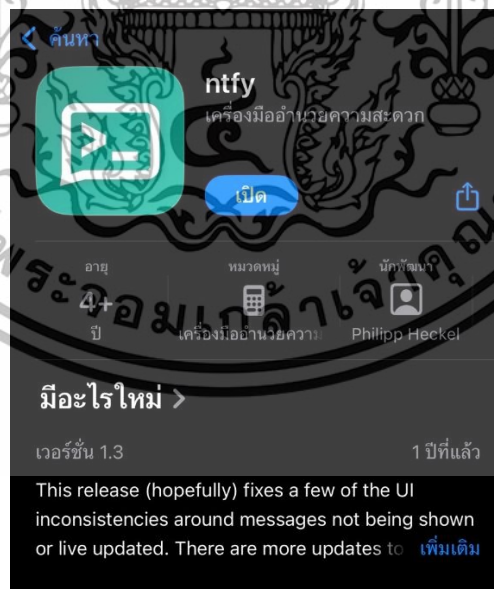
ในการรับข้อความแจ้งเตือน เพื่อต้องการทราบว่า ณ เวลานั้นสถานีฐานมีความคลาดเคลื่อนเท่าไรบ้าง ผู้ใช้สามารถทำตามขั้นตอนที่อยู่บนหน้าเว็บแอปพลิเคชันดังรูปที่ 4.86 เพื่อรับข้อความแจ้งเตือนได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 4.86 หน้าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับผู้ที่ต้องการการแจ้งเตือนผ่าน ntfy

ในการรับข้อความแจ้งเตือนสามารถทำตามขั้นตอนบนเว็บแอปพลิเคชันได้ดังนี้

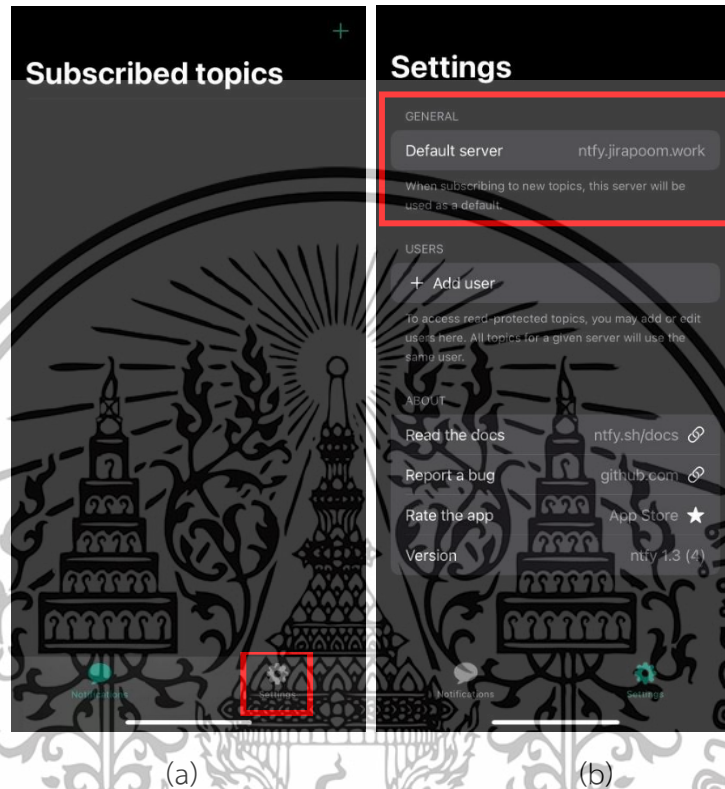
1) ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน "ntfy" ดังรูปที่ 4.87



รูปที่ 4.87 ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน ntfy บนอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์ในแอปพลิเคชัน “ntfy” เมื่อเข้าสู่หน้าแอปพลิเคชันแล้วให้กดที่ Settings (แถบเมนูด้านล่างฝั่งขวา) ดังรูปที่ 4.88 (a) เมื่อเข้าสู่หน้า Settings แล้วให้ตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์ด้วยการใส่ “ntfy.jirapoom.work” ในช่องของ Default server ดังรูปที่ 4.88 (b)



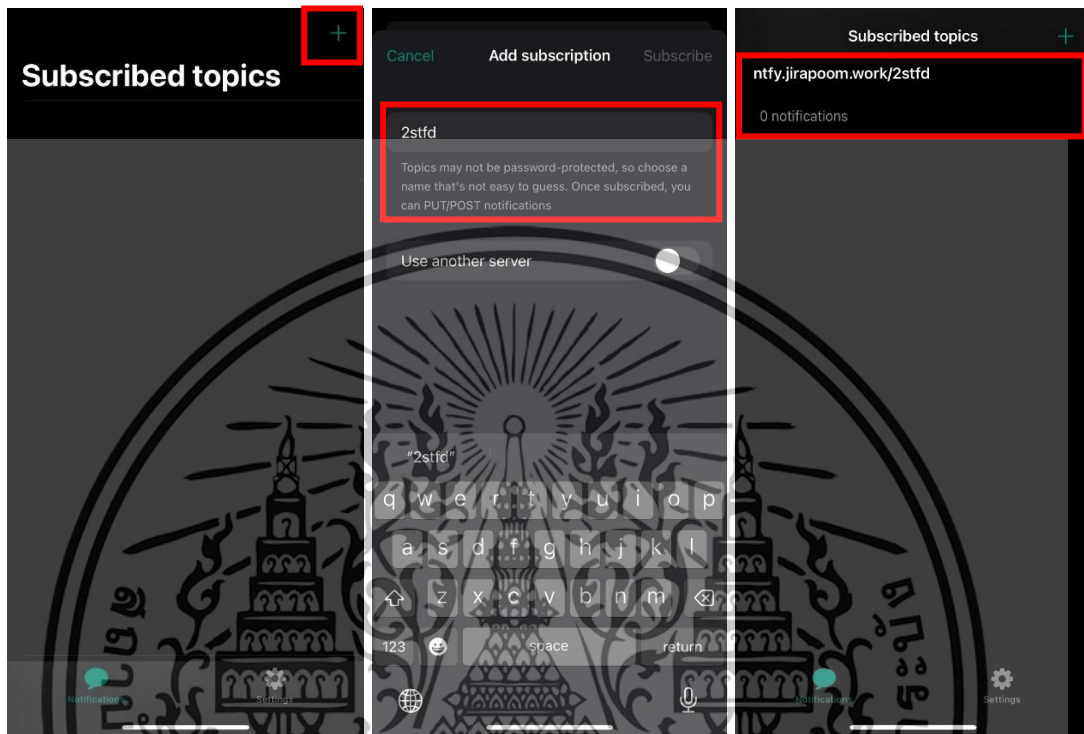
รูปที่ 4.88 ตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์ในแอปพลิเคชัน “ntfy” (a) กดแถบเมนู Settings (b) ตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์

3) เลือกสถานีฐานที่ต้องการและกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนบนแอปพลิเคชันดังรูปที่ 4.77 จากตัวอย่างในรูปได้เลือกสถานีฐาน STFD และกำหนดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน 2 เซนติเมตร เมื่อกดปุ่ม Submit จะมีข้อความแสดงออกมาหลังจากประโยค “Your topic name is :” เป็น “2stfd”

4) เมื่อได้รับ Topic name แล้วให้เข้าไปในแอปพลิเคชัน “ntfy” ในหน้าของ Notifications ให้กดเครื่องหมาย “+” (แถบเมนูด้านบนฝั่งขวา) ดังรูปที่ 4.89 (a) เมื่อเข้าสู่หน้า Add subscribed ให้ใส่ Topic name ที่ได้คือ “2stfd” ดังรูปที่ 4.89 (b) เมื่อกด Subscribed ที่มุมบนขวาแล้วจะเห็นว่า มีช่องแชทสำหรับรับข้อความแจ้งเตือนที่หน้าของ Notifications ดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.89 (c) เมื่อสถานีฐาน STFD มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 2 เซนติเมตร ระบบจะส่งการแจ้งเตือนเข้ามาในช่องแชทนี้



(a)

(b)

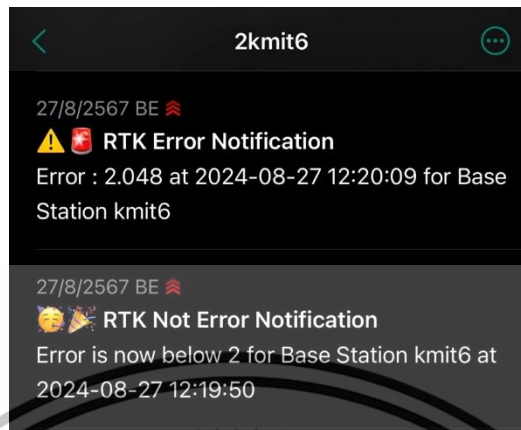
(c)

รูปที่ 4.89 ตั้งค่าหัวข้อในแอปพลิเคชัน “ntfy” (a) กดเครื่องหมาย “+” (b) ตั้งค่า Subscribed Topics (c) ช่องแชทสำหรับรับข้อความแจ้งเตือน

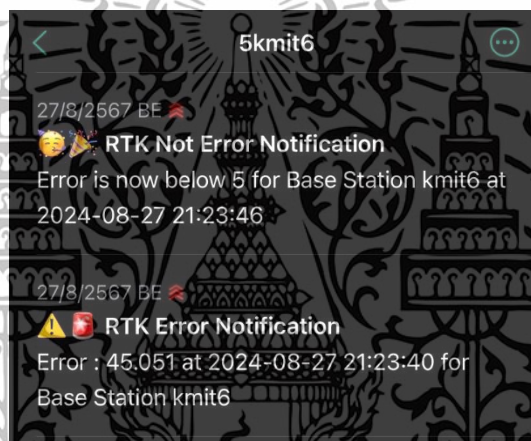
4.8.1 ผลการทดสอบรับข้อความแจ้งเตือนสำหรับสถานี KMIT6

สำหรับสถานี KMIT6 จะตั้งค่าการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตั้งแต่ 2, 5, 10, 20 และ 50 เซนติเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของสถานี KMIT6 มีค่าสูงสุดไม่ถึง 50 เซนติเมตร ทำให้ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะหัวข้อของ 2kmit6, 5kmit6, 10kmit6 และ 20kmit6 ดังรูปที่ 4.90 - 4.93 ตามลำดับ

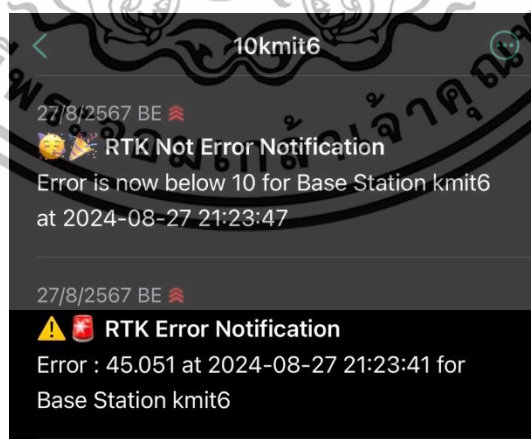
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.90 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 2kmit6

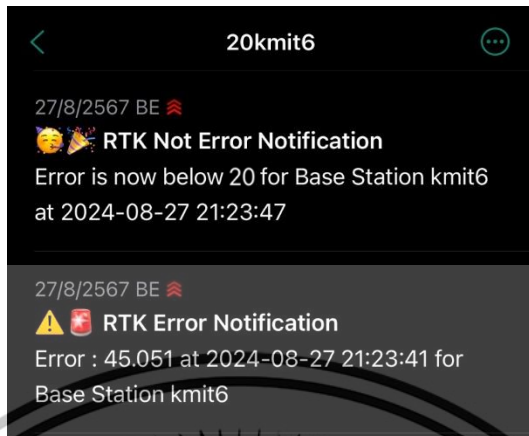


รูปที่ 4.91 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 5kmit6



รูปที่ 4.92 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 10kmit6

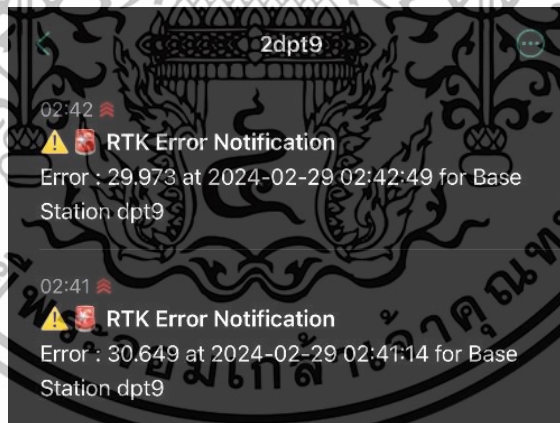
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.93 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 20kmit6

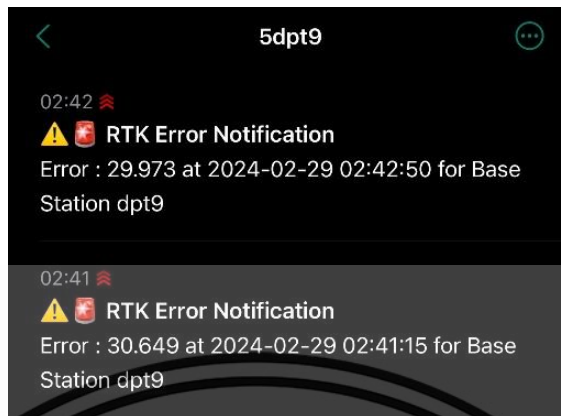
4.8.2 ผลการทดสอบรับข้อความแจ้งเตือนสำหรับสถานี DPT9

สำหรับสถานี DPT9 จะตั้งค่าการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตั้งแต่ 2, 5, 10, 20 และ 50 เซนติเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของสถานี DPT9 มีค่าสูงสุดไม่ถึง 50 เซนติเมตร ทำให้ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะหัวข้อของ 2dpt9, 5dpt9, 10dpt9 และ 20dpt9 ดังรูปที่ 4.94 - 4.97

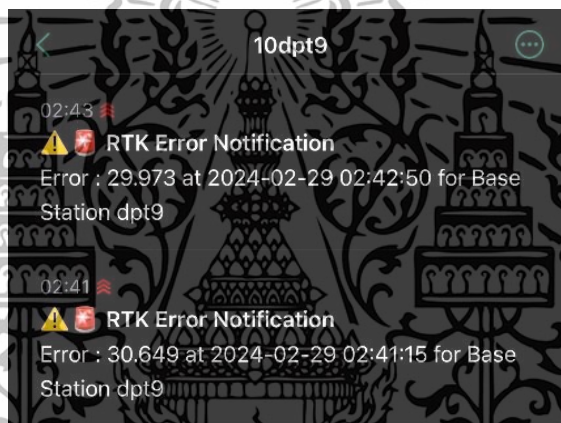


รูปที่ 4.94 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 2dpt

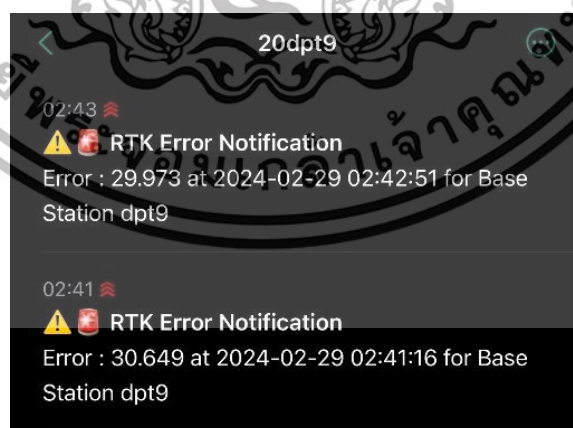
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.95 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 5dpt



รูปที่ 4.96 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 10dpt

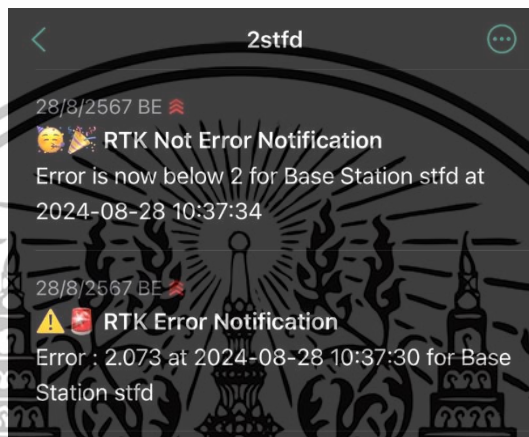


รูปที่ 4.97 ข้อความแจ้งเตือนของหัวข้อ 20dpt

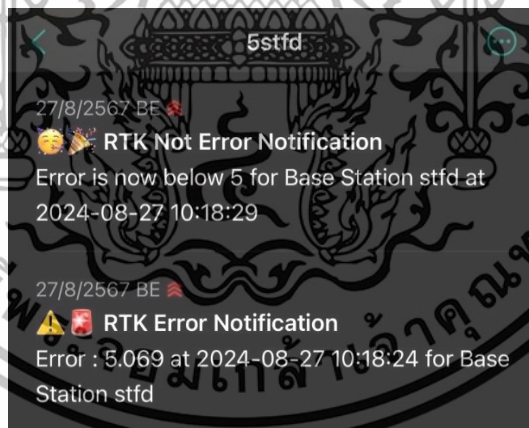
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8.3 ผลการทดสอบรับข้อความแจ้งเตือนสำหรับสถานี STFD

สำหรับสถานี STFD จะตั้งค่าการแจ้งเตือนเมื่อมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดตั้งแต่ 2, 5, 10, 20 และ 50 เซนติเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของสถานี STFD มีค่าสูงสุดไม่ถึง 50 เซนติเมตร ทำให้ระบบจะแจ้งเตือนเฉพาะหัวข้อของ 2stfd, 5stfd, 10stfd และ 20stfd ดังรูปที่ 4.98 - 4.101

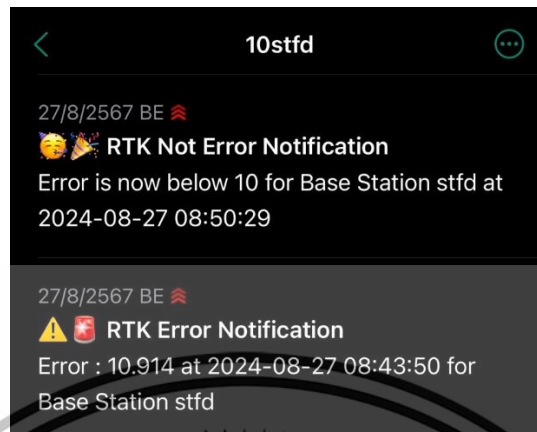


รูปที่ 4.98 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 2stfd

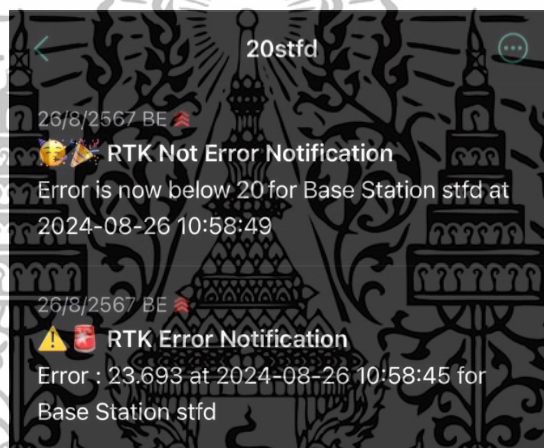


รูปที่ 4.99 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 5stfd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.100 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 10stfd

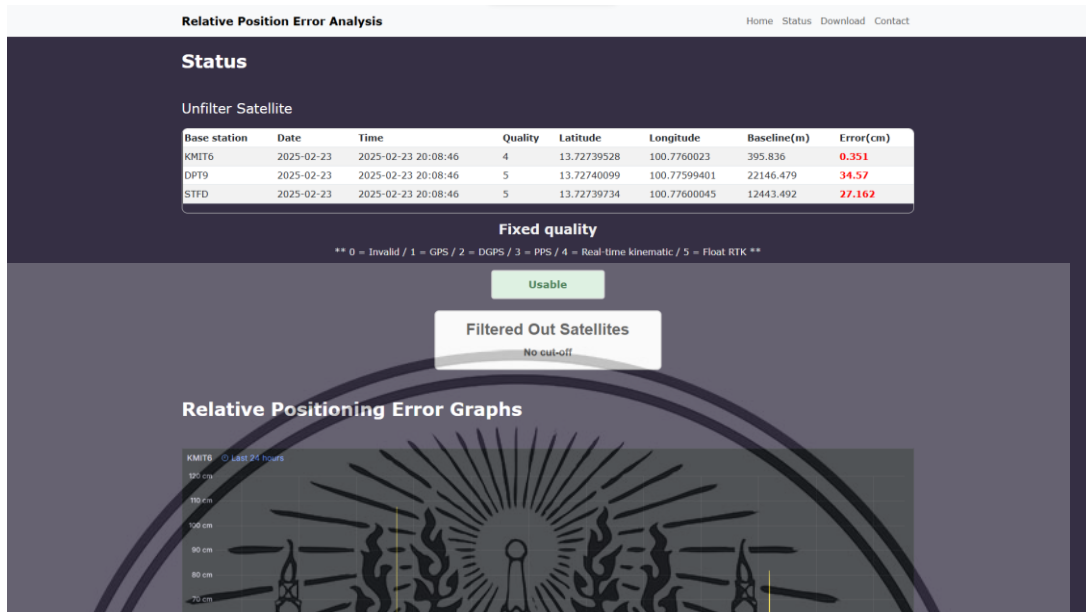


รูปที่ 4.101 ข้อความแจ้งเตือนในหัวข้อ 20stfd

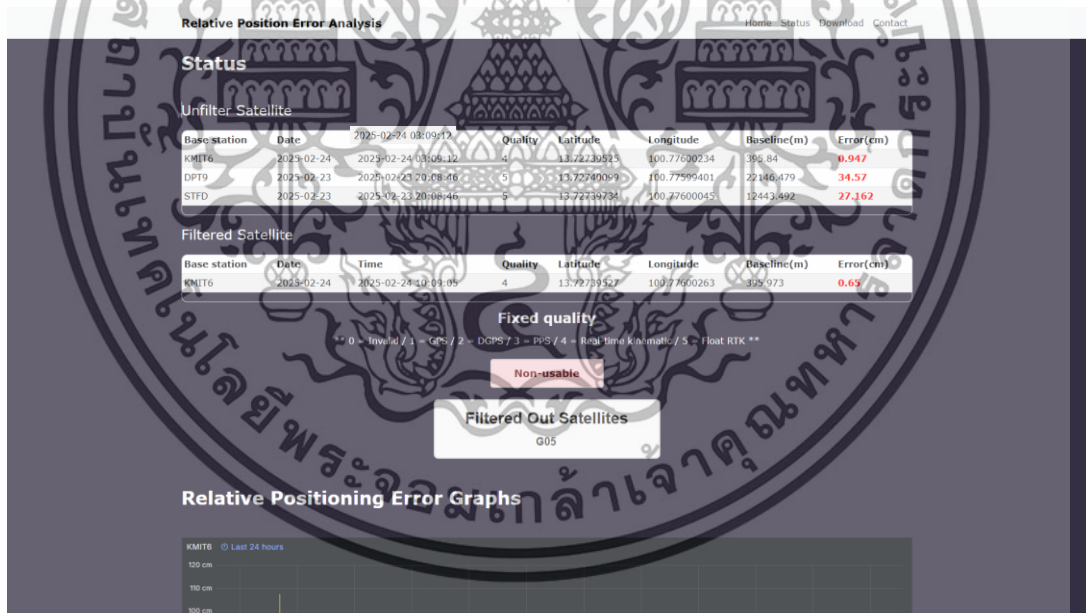
4.9 การทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่ง

ในการทดลองการทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งนั้น จะนำข้อมูล space weather product (ค่า S_{4c} และ ROTI) มาช่วยในการทำนาย โดยจะใช้เกณฑ์ที่เหมาะสมในการประเมิน สำหรับค่า S_{4c} ถ้ามีค่ามากกว่า 0.4 จะถือว่าตำแหน่งที่คำนวณได้เริ่มมีความคลาดเคลื่อน ส่วนค่า ROTI ถ้ามีค่ามากกว่า 0.4 จะถือว่าตำแหน่งที่คำนวณได้เริ่มมีความคลาดเคลื่อนเหมือนกัน เมื่อนำไปใช้ในการทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน ได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.102 และ 4.103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.102 หน้าตาแสดงผลกรณีที่ค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศไม่เกินที่เกณฑ์กำหนด



รูปที่ 4.103 หน้าตาแสดงผลกรณีที่ค่าพารามิเตอร์สภาพอวกาศเกินที่เกณฑ์กำหนด

จากรูปที่ 4.102 และ 4.103 เป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ใช้ทำนายบนหน้าเว็บแอปพลิเคชัน หากค่า S_{4c} หรือ ROTI ค่าใดค่าหนึ่งของดาวเทียมมากกว่า 0.4 ระบบจะทำนายว่า ณ เวลานั้นการคำนวณตำแหน่งด้วยดาวเทียมดวงนั้นจะมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์และแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ พร้อมแสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งการทำงานของระบบตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบสัมพัทธ์แบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนคือ ส่วนของการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ โดยที่ระบบทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยค่าปรับแก้จากโครงข่ายสถานีฐาน โดยใช้สมการ Haversine Formula คำนวณระยะห่างระหว่างจุดสองจุดของละติจูดและลองจิจูดที่ได้จากการหาค่าเฉลี่ยละติจูดและลองจิจูด และทำการตรวจสอบความแม่นยำของตำแหน่งด้วยการเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่ได้จากเว็บ AUSPOS พบว่ามีความแม่นยำสูง ตำแหน่งที่ได้นั้นแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยในระดับมิลลิเมตร จากนั้นเก็บค่าความคลาดเคลื่อน ละติจูด ลองจิจูด ระยะห่างระหว่างสถานีฐานและสถานีจลน์ วันที่และเวลาเข้าไปยังฐานข้อมูลในส่วนของการคำนวณพารามิเตอร์ที่ใช้กำหนดคุณภาพดาวเทียม ได้แก่ S_{4c} และ ROTI จะใช้คัดกรองดาวเทียมที่มีคุณภาพต่ำและทำนายการเกิดความคลาดเคลื่อน ในส่วนของเว็บแอปพลิเคชันจะแสดงข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล แสดงกราฟความคลาดเคลื่อน และกราฟพารามิเตอร์อวกาศ นอกจากนี้แล้วยังมีฟังก์ชันการแจ้งเตือนสถานะการเกิดความคลาดเคลื่อนของแต่ละสถานีให้กับผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน ntfy

5.2 ข้อเสนอแนะ

การคัดกรองดาวเทียมออกด้วย S_{4c} และ ROTI พบว่ามีข้อจำกัดในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลที่เป็นสถานะ RTK fixed solution เมื่อพบว่ามี การคัดกรองดาวเทียม จะใช้เวลาในการรอค่าความแม่นยำของข้อมูลนานจนค่า S_{4c} และ ROTI ของดาวเทียมที่ถูกคัดกรองออกกลับสู่สภาวะปกติก่อนที่สถานะจะเป็น RTK fixed solution ทำให้บางครั้งจะไม่ได้เห็นผลลัพธ์ที่เปรียบเทียบระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนที่คัดกรองดาวเทียมออกจากการคำนวณตำแหน่งกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ได้คัดกรองดาวเทียมออกจากการคำนวณตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. 2552.
- [2] SimonKettle, "Distance on a sphere: The Haversine Formula." Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: [https://community.esri.com/t5/coordinate-reference-systems-blog/distance-on-a-sphere-the-haversine-formula/ba-p/902128#:~:text=For%20example%2C%20haversine\(%CE%B8\),longitude%20of%20the%20two%20points](https://community.esri.com/t5/coordinate-reference-systems-blog/distance-on-a-sphere-the-haversine-formula/ba-p/902128#:~:text=For%20example%2C%20haversine(%CE%B8),longitude%20of%20the%20two%20points)
- [3] Thai GNSS and Space Weather Information Data Center, "S4 Index." Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: http://iono-gnss.kmitl.ac.th/?page_id=807
- [4] Thai GNSS and Space Weather Information Data Center, "Slant Total Electron Content (STEC)." Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: http://iono-gnss.kmitl.ac.th/?page_id=243
- [5] Space Weather Prediction Center National Oceanic and Atmospheric Administration, "Total Electron Content." Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/total-electron-content>
- [6] Thai GNSS and Space Weather Information Data Center, "Rate Of TEC change Index (ROTI) map ." Accessed: Aug. 20, 2024. [Online]. Available: http://iono-gnss.kmitl.ac.th/?page_id=807
- [7] earth.esa, "Computation of TEC and Rate of TEC Index (ROTI) from GOCE GPS." Accessed: Sep. 23, 2024. [Online]. Available: https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/GO_TN_HPF_GS_0337_L2_TEC_and_ROTI.pdf
- [8] Xiaomin Luo, "Amplitude scintillation index derived from C/N0 measurements released by common geodetic GNSS receivers operating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- at 1 Hz.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/339246075_Amplitude_scintillation_index_derived_from_CN0_measurements_released_by_common_geodetic_GNSS_receivers_operating_at_1_Hz
- [9] cis, “Coordinate Systems.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: <https://dirsig.cis.rit.edu/docs/new/coordinates.html>
- [10] NGThai, “การกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (Geographic Coordinate System) ระบบพิกัดภูมิศาสตร์.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: <https://ngthai.com/science/33338/geographic-coordinate-system/>
- [11] J. M. J. Z. and M. H.-P. T. U. of C. S. J. Sanz Subirana, “GPS and Galileo Satellite Coordinates Computation.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_and_Galileo_Satellite_Coordinates_Computation
- [12] ร.ท.สุทธิพงษ์ โตสงวน, “ตามกฎพื้นฐานของกลศาสตร์ท้องฟ้า โดยเริ่มต้นจากกฎของการเคลื่อนที่ของนิวตัน ที่จะอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุ ซึ่งจะสามารถพิจารณาแรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อดาวเทียมได้.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/total-electron-contenthttps://spoc.raf.mi.th/index.php/30-spoc-main/isr-km-spoc-raf/150-4>
- [13] RTCM SPECIAL COMMITTEE NO. 104, “RTCM STANDARD 10403.2.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://ge0mlib.com/papers/Protocols/RTCM_SC-104_v3.2.pdf
- [14] Prof. E. Calais – Purdue University, “GPS Geodesy - LAB 5.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://www.geologie.ens.fr/~ecalais/teaching/gps-geodesy/lab_5.pdf
- [15] celestis, “What are the ‘azimuth and elevation’ of a satellite?” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- <https://www.celestis.com/resources/faq/what-are-the-azimuth-and-elevation-of-a-satellite/>
- [16] gistda, “รู้จักกับ..!! การติดตามดาวเทียมโดยใช้การอ้างอิงตำแหน่งในระบบงานสายอากาศ .” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://www.gistda.or.th/news_view.php?n_id=4782&lang=EN
- [17] spu, “Look Angle Determination.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://www.spu.edu.sy/downloads/files/1537008470_ms-sat4.pdf
- [18] python, “multiprocessing.shared_memory — Shared memory for direct access across processes.” Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: https://docs.python.org/3/library/multiprocessing.shared_memory.html
- [19] rtklib, “RTKLIB ver. 2.4.2 Manual.” Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: https://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf
- [20] trimble, “NMEA-0183 message: GGA.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/NMEA-0183messages_GGA.html
- [21] trimble, “NMEA-0183 messages: Overview.” Accessed: Nov. 02, 2024. [Online]. Available: https://receiverhelp.trimble.com/alloy-gnss/en-us/NMEA-0183messages_MessageOverview.html
- [22] use-snip, “An RTCM 3 message cheat sheet.” Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/an-rtcm-message-cheat-sheet/?gad_source=1&gbraid=0AAAAADb_UlB5YpzjYz0WQtBlihuzxMIP&gclid=Cj0KQCQjwq_G1BhCSARIsACc7NxorY8wCzzec1yiDRbl00WNNnSHNugBuvX_vUBqDIPL-7DcoTw0Cr_2MaAkowEALw_wcB
- [23] globalgpsystems, “NTRIP, NTRIP Client and NTRIP Caster: How Do They Work.” [Online]. Available: <https://globalgpsystems.com/gnss/ntrip-ntrip-client-and-ntrip-caster-how-do-they->

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- work/#:~:text=An%20NTRIP%20Client%20is%20a,data%20to%20the%20NTRIP%20Clients.
- [24] lefebure, “NTRIP Client.” [Online]. Available: <http://lefebure.com/software/ntripclient/>
- [25] pix4d, “What is NTRIP - PIX4Dcatch RTK.” Accessed: Apr. 20, 2025. [Online]. Available: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/4633640503709>
- [26] gnss oem, “NEO-M8T TIME and RAW receiver board with SMA.” Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://gnss.store/neo-m8t-timing-gnss-modules/45-elt0032.html>
- [27] intel, “มินิพีซี - Intel® NUC 11 Essential.” [Online]. Available: <https://www.thailand.intel.com/content/www/th/th/products/sku/217676/intel-nuc-11-essential-mini-pc-nuc11atkc2/specifications.html>
- [28] TOPGNSS Store, “GNSS L1 L2,L5 RTK Rover Gnss เส้าอากาศเส้าอากาศ GPS ความแม่นยำสูงการเกษตร,RTK Gps เส้าอากาศ GLONASS Galileo QZSS TOPGNSS.” Accessed: Feb. 25, 2025. [Online]. Available: <https://th.aliexpress.com/item/1005003095272512.html?gatewayAdapt=glo2tha>
- [29] thaiware, “HTML, CSS และ JavaScript แตกต่างกันอย่างไร ?” [Online]. Available: <https://tips.thaiware.com/1330.html>
- [30] mindphp, “PHP คืออะไร พีเอชพี คือภาษาคอมพิวเตอร์ ใช้ในการเขียนโปรแกรมในเว็บ.” [Online]. Available: <https://www.mindphp.com/%E0%B8%84%E0%B8%B9%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/73-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/2127-php-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [31] shareef.l, “PHP PDO.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://oakm.oas.psu.ac.th/index.php/blog/86>
- [32] Aj Earn KMUTNB, “วิชา Database (ปี 63/2).” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.youtube.com/playlist?list=PL7fB6_3v0nhxDj0xlp-W6jyG4NP_ay73s
- [33] openlandscape, “MySQL คือ อะไร ? โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล Open Source ยอดนิยม !” [Online]. Available: <https://blog.openlandscape.cloud/mysql>
- [34] Grafana, “Grafana.” Accessed: Dec. 16, 2024. [Online]. Available: <https://grafana.com/grafana/>
- [35] Philipp C. Heckel, “NTFY.” Accessed: Feb. 19, 2024. [Online]. Available: ntfy.sh
- [36] AUSPOS, “AUSPOS - Online GPS Processing Service.” Accessed: Apr. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/positioning-australia/geodesy/auspos>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

โปรแกรมระบบวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

import socket
import pynmea2
import mysql.connector
import numpy as np
from datetime import datetime, timedelta

# เชื่อมต่อกับ Database
conn = mysql.connector.connect(
    host='161.246.18.205',
    user='TTS',
    password='ttsproj',
    database='2023_RWB_RTK'
)

# Create Cursor object
cursor = conn.cursor()

##### Function #####

def mean(lat_lon): #หาค่าเฉลี่ย
    m = sum(lat_lon) / len(lat_lon)
    return round(m, 8)

def std(mean, lat_lon): #หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
    var = sum((x - mean)**2 for x in lat_lon) / (len(lat_lon) - 1)
    std = round(np.sqrt(var), 8)
    print(f"mean: {mean} std: {std} \n")
    return std

def Haversine(lat1, lat2, lon1, lon2): #Haversine formula
    r = 6371*10**5 #centimetres
    lat1, lat2, lon1, lon2 = map(np.radians, [lat1, lat2, lon1, lon2])
    a = np.sin((lat1-lat2)/2)**2 + np.cos(lat1) * np.cos(lat2)*np.sin((lon1-lon2)/2)**2
    c = 2 * np.arctan2(np.sqrt(a), np.sqrt(1-a))
    distance = r * c
    return round(distance, 3)

##### Connect to TCP server #####

server_ip = '127.0.0.1'
server_port = 8080

# สร้างการเชื่อมต่อ TCP ไปยังเซิร์ฟเวอร์
client_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
client_socket.connect((server_ip, server_port))

##### Variable #####

sec = 0

lis_lat = []
lis_lon = []
calib_dis_lis = []

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ref_lat = [] #After calibration
ref_lon = []

##### Loop input #####
while True:
    data = client_socket.recv(1024) # รับข้อมูลจาก Tcp server
    if not data:
        break # ถ้าไม่มีการรับข้อมูลแล้วให้หยุด Loop
    decoded_data = data.decode('utf-8') # Decode ข้อมูลที่รับมาเป็น str
    sentences = decoded_data.split('\r\n') # แบ่งข้อมูลในตัวแปร decoded_data ด้วยตัวอักษรตัวขึ้นบรรทัดใหม่ (\r\n)

    for sentence in sentences:
        if sentence.startswith('$'): # ข้อมูล NMEA ที่เริ่มต้นด้วย '$'

            try:
                msg = pynmea2.parse(sentence)
                if isinstance(msg, pynmea2.GGA):
                    ##### แปลงเวลาจาก UTC เป็น UTC+7
                    utc_time = datetime.combine(datetime.utcnow().date(), msg.timestamp)
                    utc7 = utc_time + timedelta(hours=7)

                    lat = round(msg.latitude, 8)
                    lon = round(msg.longitude, 8)
                    high = msg.altitude
                    qual = msg.gps_qual

                    #ประเภทของคุณภาพของข้อมูล NMEA
                    if qual == 1:
                        n_qual = "Single"
                    elif qual == 2:
                        n_qual = "DGPS"
                    elif qual == 4:
                        n_qual = "Fix"
                    elif qual == 5:
                        n_qual = "Float"

##### Main Code #####

                    if len(ref_lat) != 0: # ทำการเช็คว่ามีข้อมูลที่ได้จากการ calibration แล้วหรือไม่
                        Dis = Haversine(ref_lat[0], lat, ref_lon[0], lon)
                        print(f"Time(UTC+7): {utc7.date()} {utc7.time()} Quality: {n_qual}\nLatitude: {lat}(deg)
Longitude: {lon}(deg)\nDistance Error: {Dis}(cm)", end = ")

                        base_line = (Haversine(13.72783004, lat, 100.77236522, lon))/(10**2)
                        base_line = round(base_line, 3)
                        print(f" Base line: {base_line} m\n")

                    #เก็บข้อมูลไว้ในตัวแปร แล้วทำการเก็บข้อมูลไว้ใน Database
                    Date = utc7.date()
                    Time = utc7.time()
                    Qual = qual
                    Lat = lat
                    Lon = lon

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Base = base_line
Error = Dis
#ส่วนการเพิ่มข้อมูลเข้าใน Database ทำการเลือกชื่อ Table และ Column ที่ต้องการจะเก็บข้อมูล
sql = "INSERT INTO kmit6 (Date, Time, Qual, Lat, Lon, Baseline, Error) VALUES (%s,
%s, %s, %s, %s, %s)"
val = (Date, Time, Qual, Lat, Lon, Base, Error)
cursor.execute(sql, val)

# ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใน Database
conn.commit()

##### Calibrating #####
elif sec == 100: # ทำการตั้งเวลาสำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในกระบวนการ calibration
if len(lis_lat) == sec: # เช็กลีกครั้งว่ามีข้อมูลใน lis ครบ 100 ค่า หรือไม่
m_lat, m_lon = mean(lis_lat), mean(lis_lon) #หาค่าเฉลี่ยของ latitude และ longitude
std_lat, std_lon = std(m_lat, lis_lat), std(m_lon, lis_lon)

#การคำนวณระยะความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณตำแหน่งแบบสัมพัทธ์
#โดยใช้ ค่าเฉลี่ยของ lat&lon ที่หามาเป็นจุดอ้างอิง แล้ว ใช้ lat&lon ที่อยู่ใน list_lat กับ list_lon วนลูบจนครบทุก
ตัว
calib_dis_lis = [Haversine(m_lat, lis_lat[i], m_lon, lis_lon[i]) for i in range(len(lis_lat))]
m_calib_dis = mean(calib_dis_lis) #หาค่าเฉลี่ยของค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้
std_calib_dis = std(m_calib_dis, calib_dis_lis) #คำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาด
เคลื่อนที่ได้

if std_calib_dis <= 0.15: #เช็คค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ว่ามีค่า น้อยกว่าเท่ากับ 0.15 cm ใช่ไหม
ref_lat.append(m_lat)
ref_lon.append(m_lon)
print("##### Calibrated!!!! #####")

else: #ทำการล้างค่า sec, lis_lat, lis_lon, calib_dis_lis ให้เป็น 0 หรือ list ว่าง เพื่อทำการเก็บค่าใหม่แล้วทำ
กระบวนการซ้ำเช่นเดิม
sec = 0
lis_lat = []
lis_lon = []
calib_dis_lis = []
print("!!! Standard deviation is more than 0.2 cm !!!!")

else: #ทำการล้างค่า sec, lis_lat, lis_lon ให้เป็น 0 หรือ list ว่าง เพื่อทำการเก็บค่าใหม่แล้วทำกระบวนการซ้ำเช่นเดิม
sec = 0
lis_lat = []
lis_lon = []

##### Prepare Calibration #####
else:
if qual == 4: #เช็คคุณภาพของ NMEA ว่าเป็น Fix หรือไม่
lis_lat.append(lat) #เก็บค่า Lat&lon ไว้ใน list
lis_lon.append(lon)
sec += 1
print(f"Calibrating.....Qual(now): {n_qual} {sec}")

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else: #ทำการล้างค่า sec, lis_lat, lis_lon, calib_dis_lis, ref_lat, ref_lon ให้เป็น 0 หรือ list ว่าง เพื่อทำ
การเก็บค่าใหม่แล้วทำการวนการซ้ำเช่นเดิม
    sec = 0
    lis_lat = []
    lis_lon = []
    calib_dis_lis = []
    ref_lat = []
    ref_lon = []
    print(f"Qual(now): {n_qual} {sec}")

except pynmea2.ParseError as e:
    print(f"Parse error: {e}")

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

import requests

from bs4 import BeautifulSoup

import time

from datetime import datetime

import getpass

import mysql.connector

import bcrypt

def check_password(): # ฟังก์ชันการเช็ครหัสผ่าน

# สร้างการเชื่อมต่อฐานข้อมูล

database = mysql.connector.connect(

    user="TTS",

    password="ttsproj",

    host="161.246.18.205",

    port=3306,

    database="2023_RWB_RTK"

)

cursor = database.cursor() # ส่งคำสั่ง SQL ไปยังฐานข้อมูลและรับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการประมวลผลคำสั่ง SQL

try:

# ดึงรหัสผ่านที่ถูก hash จากฐานข้อมูล

cursor.execute("SELECT password FROM password LIMIT 1")

result = cursor.fetchone()

hashed_password = result[0].encode('utf-8') if result else None

if not hashed_password: # รหัสที่ถูก hash เอาไว้จะเก็บในฐานข้อมูล

    print("No password found in the database.")

    return False

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

# รับรหัสผ่าน

password_input = getpass.getpass("Enter password to run the script: ").encode('utf-8')

# ตรวจสอบรหัสผ่าน

if bcrypt.checkpw(password_input, hashed_password): # ตรวจสอบรหัสผ่านที่กรอก กับรหัสผ่านในฐานข้อมูล

    print("Password correct. Running the script...")

    return True

else:

    print("Password incorrect. Exiting...")

    return False

except mysql.connector.Error as error: # หากเชื่อมต่อฐานข้อมูลไม่ได้ จะนำรหัสผ่านที่เก็บไว้มาตรวจสอบไม่ได้

    print("Failed to retrieve password from MySQL: {}".format(error))

    return False

finally: # หักเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล

    if database.is_connected():

        cursor.close()

        database.close()

# ฟังก์ชันการสร้างระบบแจ้งเตือน

def monitor_and_notify():

    url = 'http://161.246.18.205/rtk2024/users.php' # url ของเว็บแอปพลิเคชัน

    last_error_status = {} # ใช้เพื่อจดจำสถานะการแจ้งเตือนล่าสุดสำหรับแต่ละเกณฑ์

    while True:

        try:

            response = requests.get(url) # ส่งคำขอ HTTP GET ไปที่ url ของเว็บแอปพลิเคชัน

            if response.status_code == 200: # ถ้าค่ามีสถานะ 200 แสดงว่าการเชื่อมต่อสำเร็จและรับข้อมูลกลับมาอย่างถูกต้อง

                soup = BeautifulSoup(response.content, 'html.parser') # อ่านและแปลงข้อมูล HTML ให้อ่านง่าย

                table = soup.find('table') # ค้นหาตารางใน HTML

                rows = table.find_all('tr')[1:] # ดึงข้อมูลของแถวในตาราง โดยข้ามแถวแรก(แถวที่เป็นชื่อหัวของแต่ละคอลัมน์)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for row in rows:
    cols = row.find_all('td') # ค้นหาข้อมูลคอลัมน์ทั้งหมดภายในแถวนั้น

    base_station = cols[0].text.strip().lower()

# ดึงข้อความที่อยู่ในคอลัมน์แรก(สถานีฐาน) นำมาทำการลบช่องว่างด้านหน้าและด้านหลังของข้อความ แปลงข้อความให้เป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด
    error_value = float(cols[-1].text.strip())

# ดึงค่า error ในคอลัมน์สุดท้าย(ค่าความคลาดเคลื่อน) แปลงข้อมูลเป็นตัวเลขทศนิยม ทำการลบช่องว่างด้านหน้าและด้านหลังของข้อมูลที่ดึงมา

    for threshold in [2, 5, 10, 20, 50]: # เกณฑ์ที่ผู้ใช้เลือก มี 2 cm ,5 cm ,10 cm , 20 cm , 50 cm
        key = f"{threshold}{base_station}" # คีย์จะประกอบด้วยเกณฑ์ที่เลือก + ชื่อสถานีฐาน
        if error_value > threshold: # ถ้าค่าคลาดเคลื่อน > เกณฑ์ที่กำหนด
            if last_error_status.get(key, None) != 'notified':
# ระบบตรวจสอบสถานะใน last_error_status ว่าเป็นสถานะ notified หรือไม่ ถ้าไม่ จะส่งการแจ้งเตือนว่ามี error มากกว่าเกณฑ์ที่เลือก
                notify_error(base_station, error_value, threshold)
                last_error_status[key] = 'notified' # อัปเดตสถานะ notified เข้าไปใน last_error_status
            else:
# ถ้าค่า error อยู่ใต้เกณฑ์และก่อนหน้านี้อาศัยการแจ้งเตือน
                if last_error_status.get(key) == 'notified':
                    reset_notification(base_station, threshold) # ส่งการแจ้งเตือนว่าค่า error กลับสู่สภาวะปกติ
                    last_error_status[key] = 'resolved' # อัปเดตสถานะเป็น 'resolved' ใน last_error_status

except Exception as e:
    print(f"Error: {e}")
    break

time.sleep(1) # Adjust as necessary based on the desired frequency of checks

def notify_error(base_station, error_value, threshold): # ฟังก์ชันข้อความแจ้งเตือนสำหรับมีค่าเกินเกณฑ์
    ntfy_topic = f"{threshold}{base_station}" # ปรับให้ใช้ชื่อสถานีและ threshold อย่างถูกต้อง
    message = f"Error : {error_value} cm at {datetime.now().strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')} for Base Station {base_station}"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

response = requests.post(f'https://ntfy.jirapoom.work/{ntfy_topic}',
                        data=message, headers={
                            "Title": "RTK Error Notification",
                            "Priority": "urgent",
                            "Tags": "warning,rotating_light"
                        })

# ตรวจสอบสถานะการตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์หลังจากส่งคำขอ HTTP GET ไปยัง URL
if response.status_code == 200: # สถานะการตอบกลับเป็น 200 แสดงว่าการส่งการแจ้งเตือนไปยังหัวข้อที่ระบุสำเร็จ
    print(f'Notification sent to {ntfy_topic}. Message: {message}')
else: # สถานะการตอบกลับไม่เท่ากับ 200 แสดงว่าการส่งการแจ้งเตือนไปยังหัวข้อที่ระบุล้มเหลว
    print(f'Failed to send notification to {ntfy_topic}. Status code: {response.status_code}')

def reset_notification(base_station, threshold): # ฟังก์ชันข้อความแจ้งเตือนสำหรับมีค่ากลับสู่สถานะปกติ
    ntfy_topic = f'{threshold}{base_station}' # ปรับให้ชื่อสถานีและ threshold อย่างถูกต้อง
    message = f'Error is now below {threshold} cm for Base Station {base_station} at
{datetime.now().strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S')}'
    response = requests.post(f'https://ntfy.jirapoom.work/{ntfy_topic}',
                            data=message, headers={
                                "Title": "RTK Not Error Notification",
                                "Priority": "urgent",
                                "Tags": "partying_face,tada"
                            })

# ตรวจสอบสถานะการตอบกลับจากเซิร์ฟเวอร์หลังจากส่งคำขอ HTTP GET ไปยัง URL
if response.status_code == 200: # สถานะการตอบกลับเป็น 200 แสดงว่าการส่งการแจ้งเตือนไปยังหัวข้อที่ระบุสำเร็จ
    print(f'Reset notification sent to {ntfy_topic}. Message: {message}')
else: # สถานะการตอบกลับไม่เท่ากับ 200 แสดงว่าการส่งการแจ้งเตือนไปยังหัวข้อที่ระบุล้มเหลว
    print(f'Failed to send reset notification to {ntfy_topic}. Status code: {response.status_code}')

if __name__ == "__main__":
    if check_password():
        monitor_and_notify()

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้