

การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการเกรเดียนต์จาก
โครงข่ายจีพีเอสในประเทศไทย

ESTIMATION OF GPS RECEIVER BIAS BASED ON
GRADIENT DESCENT METHOD FROM GPS NETWORK IN THAILAND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-M-010-118

การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการเกรเดียนต์จาก
โครงข่ายจีพีเอสในประเทศไทย

ESTIMATION OF GPS RECEIVER BIAS BASED ON
GRADIENT DESCENT METHOD FROM GPS NETWORK IN THAILAND



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2017-EN-M-010-118

ESTIMATION OF GPS RECEIVER BIAS BASED ON
GRADIENT DESCENT METHOD FROM GPS NETWORK IN THAILAND



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-010-118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการ เกรเดียนต์จากโครงข่ายจีพีเอสในประเทศไทย
นักศึกษา	นายอธิวัฒน์ เจียบแหลม
รหัสประจำตัว	57601144
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ. ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ

บทคัดย่อ

ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ (Total Electron Content : TEC) หรือค่าหนึ่งของสัญญาณดาวเทียมสามารถคำนวณได้จากสัญญาณของดาวเทียมระบบระบุตำแหน่งโลกหรือจีพีเอส (Global Positioning System) โดยทั่วไปนั้นความแม่นยำในการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิจะมีผลกระทบหลักคือค่าไบอัสจากอุปกรณ์วัดสัญญาณของระบบจีพีเอส (GPS Instrumental bias) ซึ่งประกอบด้วยค่าไบอัสของดาวเทียม (satellite bias) และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (receiver bias) นอกจากนั้นการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นเป็นที่นิยมใช้อย่างมากเนื่องจากสามารถใช้ได้ในทุกพื้นที่ แต่ทว่าผลกระทบที่ตามมาจะเกิดความซับซ้อนขึ้นอย่างมากจากวิธีการนี้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสประยุกต์ใช้จากวิธีการเกรเดียนต์ (Gradient descent method) เพื่อลดความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) และทำการประยุกต์การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสสำหรับพื้นที่ของประเทศไทยด้วยวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition : SVD) นอกจากนั้นยังวิเคราะห์ค่าห้วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่วัดได้จากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่แตกต่างกันในกรุงเทพมหานครทั้งหมด 3 สถานี ซึ่งผลของการเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอจากข้อมูลทั้ง 13 สถานีนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุดประมาณ 1.7 เปอร์เซ็นต์ที่สถานี CHMA และสามารถลดจำนวนรอบวนซ้ำและความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับได้ประมาณ 315 เท่าจากสถานี SOKA นอกจากนั้นการเปรียบเทียบค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากวิธี SVD กับหน่วยงาน CODE พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์จากดาวเทียมดวงที่ 17 อย่างไรก็ตามจากการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสนั้นค่าไบอัสที่ได้จะถูกนำมาชดเชยให้กับค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิเพื่อคำนวณและวิเคราะห์ค่าห้วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากทั้งสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีพบว่ามีค่าสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนมีนาคมมีค่าประมาณ 39.72 นาโนวินาทีและน้อยที่สุดอยู่ในช่วงเดือน
ธันวาคมมีค่าประมาณ 23.19 นาโนวินาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Estimation of GPS receiver bias based on gradient descent method from GPS network in Thailand
Student	Mr. Athiwat Chiablaem
Student ID.	57601144
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Prof. Dr. Pornchai Supnithi

ABSTRACT

The Ionospheric Total Electron Content (TEC) or satellite delay can be computed from dual-frequency Global Positioning System (GPS) signals. It is well known that the TEC accuracy suffers from GPS instrumental biases, including satellite bias and receiver bias. The original receiver bias estimation for single GPS receiver station is very popular, but it has many complexities. Thesis proposes the GPS receiver bias estimation based on the gradient descent method. It can reduce the complexity of the computational from the original receiver bias estimation. The accuracy of the proposed receiver bias estimation is in percentage deviation (PD). The maximum PD of receiver bias from the proposed receiver estimation is about 1.7 % at CHMA station. The complexity of the proposed receiver estimation can be reduced by 315 times at SOKA station. Moreover, the satellite biases are computed, using the singular value decomposition (SVD). The satellite biases from the applied procedure are compared with the computed satellite biases from CODE. The maximum of PD of satellite biases is about 30 % from PRN 17. The estimated GPS instrumental biases are removed from the TEC. The ionospheric time delay is computed from the TEC. The highest ionospheric time delay is about 39.72 nanoseconds during March equinox while the minimum is about 23.19 nanoseconds during December solstice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ไม่สามารถสำเร็จได้หากขาดคำชี้แนะและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำเพื่อช่วยแก้ปัญหาและประสบการณ์ ในการศึกษาระดับปริญญาโท ตลอดจนทัศนคติในการทำงาน การทำวิจัย รวมไปถึงการใช้ชีวิต

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ คำแนะนำ และชี้แนะแนวเพื่อใช้ในการทำวิจัยแก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทางหน่วยงาน NICT (National Institute of Information and Communications Technology) ของประเทศญี่ปุ่นที่สนับสนุนทุนการศึกษาในระหว่างการศึกษาในระดับ ปริญญาโท โดยเฉพาะ Dr. Kornyanat Hozumi ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูลที่ใช้ทำวิจัย ข้าพเจ้า ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากกรมโยธาธิการและผังเมืองที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลของสัญญาณจีพีเอส

ขอขอบคุณ คุณสมใจ กลิ่นงาม ดร. ศราวดี รุ่งเรืองวชิเอก คุณอัจฉราภรณ์ บำรุงกิจ และ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ จากห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารและสารสนเทศศาสตร์ด้านอวกาศและชั้นบรรยากาศ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่คอยร่วมทุกข์ ร่วมสุข ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ในช่วงที่ข้าพเจ้าทำวิจัย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดา คุณยาย และ มารดาผู้ล่วงลับ รวมไปถึงเครือญาติของข้าพเจ้า ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

อิธิวัฒน์ เฉียบแหลม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	5
2.1.1 คุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณเขตเส้นศูนย์สูตร ละติจูดต่ำ.....	7
2.1.2 การศึกษาคุณลักษณะชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย.....	8
2.2 ระบบจีพีเอสและการจัดเก็บข้อมูล.....	9
2.2.1 ระบบจีพีเอส.....	9
2.2.2 การวัดสัญญาณข้อมูลจีพีเอส.....	10
2.2.3 การจัดเก็บข้อมูล.....	11
2.3 การศึกษาค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	13
2.4 วิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition: SVD).....	20
2.5 อัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent algorithm).....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอส.....	26
3.1 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบวิธีดั้งเดิม.....	26
3.1.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square technique).....	26
3.1.2 วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method).....	28
3.2 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบวิธีที่นำเสนอ.....	33
3.3 การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมในพื้นที่ที่มีข้อจำกัด.....	36
3.4 การออกแบบการทดลอง.....	39
3.4.1 ตำแหน่งของสถานีเครื่องรับจีพีเอส.....	39
3.4.2 การทำงานของระบบ.....	42
3.4.3 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิม.....	43
3.4.4 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	45
3.4.5 การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอส.....	46
3.4.6 การคำนวณค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	49
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	50
4.1 ผลของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส.....	50
4.1.1 การเลือกค่าลำดับชั้น μ_0	51
4.1.2 ความซับซ้อนของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ.....	56
4.1.3 การเปรียบเทียบความซับซ้อนเมื่อเปลี่ยนจุดเริ่มต้นของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	61
4.1.4 การเพิ่มเติมเงื่อนไขสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	64
4.1.5 การเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ.....	68
4.2 ผลของการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียม.....	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลของค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโนสเฟียร์ในกรุงเทพมหานคร.....	74
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	82
5.1 สรุปผลวิจัย.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
เอกสารอ้างอิง.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	95



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสวิธีดั้งเดิมใน 1 รอบ.....	32
3.2 ความซับซ้อนของขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอใน 1 รอบ.....	35
3.3 พิกัดตำแหน่งของสถานีเครื่องรับจีพีเอส.....	40
3.4 จำนวนของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสใน 1 วัน.....	48
4.1 พารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	52
4.2 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอของ วันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	54
4.3 จำนวนรอบการวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับทั้ง 2 วิธีโดยใช้ข้อมูลของ วันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	56
4.4 จำนวนความซับซ้อนทั้งหมดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม ของข้อมูลจีพีเอสจากสถานี SOKA วันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558.....	57
4.5 จำนวนความซับซ้อนทั้งหมดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วย วิธีที่นำเสนอของสถานี SOKA (สงขลา) จากข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	58
4.6 ค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอจากวันที่มีจำนวนรอบวนซ้ำของ วิธีที่นำเสนอทั้งสิ้น 500 รอบในเดือนมีนาคมและกันยายนในปี พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	59
4.7 ความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากวิธีที่นำเสนอจาก ข้อมูลจีพีเอสวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	60
4.8 การเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสใน วันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	61
4.9 จำนวนรอบวนซ้ำของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอกรณีเปลี่ยนจุดเริ่มต้นให้กับอัลกอริทึมโดยใช้ ข้อมูลของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	62
4.10 การเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส ในวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานี SOKA.....	63
4.11 จำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคมและกันยายนในปี พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	66
4.12 การเปรียบเทียบของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิม วิธีที่นำเสนอ และวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเงื่อนไขจากสถานี KMIT2 ในปี พ.ศ. 2558.....	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 การเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส ด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขในวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของพลาสมา.....	6
2.2 ลักษณะของสนามแม่เหล็กโลก.....	7
2.3 สาเหตุของความผิดปกติในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณเส้นศูนย์สูตร.....	8
2.4 สถานีตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของโครงการ SEALION.....	9
2.5 การโคจรของดาวเทียมระบบจีพีเอส.....	10
2.6 ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส.....	11
2.7 ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม.....	12
2.8 การส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียมจีพีเอสและเครื่องรับผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	14
2.9 ตัวอย่างของค่า $STEC_p$ (น้ำเงิน) และ $STEC_L$ (แดง) จาก PRN11 ในวันที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	15
2.10 ตำแหน่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และจุดสัญญาณตัดผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	16
2.11 รูปแบบทางเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยมของตำแหน่งดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส.....	17
2.12 ตัวอย่างผลของค่า $STEC$ (เส้นประ) และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิสัมบูรณ์ (เส้นทึบ) ของวันที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	19
2.13 ตัวอย่างการหาจุดต่ำสุดของอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์.....	24
2.14 ตัวอย่างอัลกอริทึมเมื่อค่าลำดับชั้นเมื่อ $\alpha = 0.3$ (ซ้าย) และ $\alpha = 0.003$ (ขวา).....	25
3.1 โครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในประเทศไทยปัจจุบัน.....	27
3.2 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด.....	30
3.3 ตัวอย่างผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด.....	30
3.4 กระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	33
3.5 ตัวอย่างผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	34
3.6 ตำแหน่งของสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในประเทศไทย.....	41
3.7 การเชื่อมต่อของสถานีเครื่องรับจีพีเอส.....	41
3.8 หลักการทำงานของ การประมาณค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสและค่าหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 ผังงานการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการประมาณค่าของวิธีต่างๆ.....	43
3.10 ผังงานการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีดั้งเดิม.....	44
3.11 ผังงานของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ.....	46
3.12 แผนที่ประเทศไทยและพื้นที่ที่ใช้ในการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับ สัญญาณจีพีเอสและค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ (กรอบสี่เหลี่ยม).....	47
3.13 ผังงานแสดงขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสและค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ด้วย SVD.....	49
3.14 ผังงานการคำนวณค่าห้วงเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	48
4.1 การทดสอบการค่า μ_0 จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยใช้ข้อมูลจีพีเอสวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	51
4.2 ผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิม [3] และวิธีที่ นำเสนอ โดยใช้ข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2.....	53
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสเครื่องรับจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธี จาก 13 สถานีโดยใช้ข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	55
4.4 จำนวนของรอบการวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่ นำเสนอจากข้อมูลของสถานี KMIT2 ของเดือนมีนาคม (1) มิถุนายน (2) กันยายน (3) และธันวาคม (4) พ.ศ. 2558.....	59
4.5 ผังงานของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอเมื่อทำการเพิ่มเงื่อนไข สำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเพิ่มเติม.....	64
4.6 จำนวนของรอบวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ เมื่อเพิ่มเงื่อนไขสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากข้อมูลของ สถานี KMIT2 ของเดือนมีนาคม (1) มิถุนายน (2) กันยายน (3) และธันวาคม (4) พ.ศ. 2558.....	65
4.7 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับ วิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับ วิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	69
4.9 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับ วิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2558.....	70
4.10 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับ วิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558.....	70
4.11 ค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมจากหน่วยงาน IGS และจากการประมาณค่าไบอัสของ ดาวเทียมด้วยวิธี SVD ของเดือนมีนาคม (รูปที่ 1) มิถุนายน (รูปที่ 2) กันยายน (รูปที่ 3) และธันวาคม (รูปที่ 4) ปี พ.ศ. 2558.....	72
4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยระหว่างจากหน่วยงาน CODE กับการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธี SVD.....	73
4.13 ค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่ความถี่ $f_1 = 1545.72$ MHz จากสถานี DPT9 (สีเขียว), KMIT1 (สีแดง), KMIT2 (สีดำ) และ จากวิธีการคำนวณด้วยวิธี SVD (สีน้ำเงิน) ของเดือน (ก) มีนาคม (ข) มิถุนายน (ค) กันยายน และ (ง) ธันวาคม ปี พ.ศ. 2558.....	75
4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่าง วิธี SVD กับสถานี DPT9 (บน) วิธี SVD กับสถานี KMIT1 (กลาง) และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 (ล่าง) ของเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558.....	78
4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่าง วิธี SVD กับสถานี KMIT1 (บน) และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 (ล่าง) ของเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558.....	79
4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่าง วิธี SVD กับสถานี KMIT1 (บน) และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 (ล่าง) ของเดือนกันยายน พ.ศ. 2558.....	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่าง SVD กับสถานี KMIT2 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558.....	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการใช้งานในด้านการระบุตำแหน่งโลก (Global Positioning System : GPS) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ เช่น ระบบติดตามยานพาหนะ (Vehical tracking) การสำรวจรังวัด (Surveying) การนำร่องของอากาศยาน (Aviation navigation) และการสำรวจและศึกษาวิจัยชั้นบรรยากาศโลก (Atmospheric and Ionospheric research) อย่างไรก็ตามระบบระบุตำแหน่งหรือจีพีเอสนั้นถูกบรรจุอยู่ในสมาร์ตโฟนทุกรุ่น ทำให้บุคคลในระดับพลเรือนสามารถประยุกต์ระบบดังกล่าวมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น นอกจากนี้สำหรับระบบระบุตำแหน่งโลกหรือจีพีเอสนั้นยังมีความผิดพลาดหรือเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นเนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่าง ซึ่งปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของสัญญาณจีพีเอสคือเกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) เนื่องจากสัญญาณที่ถูกส่งจากดาวเทียมจีพีเอสที่โคจรอยู่ที่ความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตรไปยังสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ตั้งอยู่ที่พื้นโลก ซึ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากมีขอบเขตที่ความสูงตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 กิโลเมตร โดยจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ชั้นในเวลากลางวันคือชั้น D E F1 และ F2 ตามลำดับ นอกจากนี้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ยังเป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสำคัญและยังรวมไปถึงผลกระทบต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับระบบสื่อสารอีกด้วย

สำหรับส่วนของการศึกษาวิจัยของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากสัญญาณจีพีเอสนั้นเป็นการศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับความหน่วงของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งเกิดจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสุทธิในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Total Electron Content : TEC) โดยสามารถคำนวณได้จากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่อาศัยการส่งสัญญาณแบบสองความถี่ในย่านความถี่ L ซึ่งค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณหาค่าความหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay time) โดยค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิที่คำนวณจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจะยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ ซึ่งทำให้การคำนวณค่าความหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศเกิดความผิดพลาดขึ้น โดยสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการคำนวณหาค่าความหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์คือค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอส (GPS instrumental biases) ซึ่งประกอบด้วยค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอส (satellite bias) และค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (receiver bias) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งจากงานวิจัย [1] ทำการประมาณค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดจีพีเอสด้วยวิธีการใช้วงจรรองความถี่คาลมาน (Kalman filter) และค่าไบอัสหรือค่าชดเชยของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ได้จากด้วยวิธีนี้จะมีค่าคงที่ตลอดหนึ่งวัน จากนักวิจัย [2] ได้นำเสนอวิธีคำนวณสำหรับแผนที่ของค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares fitting) เพื่อประมาณค่าไบอัสของทั้งดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งการประมาณค่าไบอัสด้วยวิธีนี้ไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นค่าไบอัสของดาวเทียมหรือเครื่องรับ อย่างไรก็ตามนักวิจัย [3] ได้นำเสนอวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์และการประมาณค่าไบอัสของทั้งดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยการใช้วิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition : SVD) จากโครงข่ายสถานีจีพีเอสของ GEONET ประเทศญี่ปุ่นและนำเสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวด้วยวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกเสนอสำหรับพื้นที่ที่มีการติดตั้งสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสน้อย อย่างไรก็ตามนักวิจัยในหลายๆ ภูมิภาคในโลกได้นำเสนอการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส เช่น งานวิจัย [4] ได้เสนอการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์แนวเฉียงที่คำนวณจากสัญญาณจีพีเอสกับค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์แนวเฉียงที่คำนวณจากเทคนิคดิจิตอล (Canadian Advanced Digital Ionosonde : CADI) ด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) ที่บริเวณละติจูดสูงประเทศแคนาดา นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้วิธีการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสจากการแยกค่าแบบเอกฐาน เช่น [5-6] ทำการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสจากโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณของประเทศเกาหลีใต้ (Korean GPS Network) และ [7-9] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสที่พัฒนาขึ้นสำหรับพื้นที่ของประเทศจีน

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณประเทศไทย [10-12] จะใช้ค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากหน่วยงาน Center for Orbital Determination in Europe หรือ CODE [13] และนิยมใช้วิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดจาก [3] เพื่อประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยว ซึ่งการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีดังกล่าวจะเกิดรบกวนซ้ำเป็นจำนวนมากอันเนื่องมาจากการที่วิธีการดังกล่าวจะกำหนดช่วงของค่าไบอัสของเครื่องรับขึ้นเพื่อหาค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์น้อยที่สุด ทำให้ใช้เวลานานในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสและมีความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีนี้มากพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยหลักการพื้นฐานของวิธีการเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent method) เพื่อลดความซับซ้อนจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) [3] หรือวิธีดั้งเดิม ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดียวที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถตอบโจทย์ในข้อจำกัดของจำนวนการติดตั้งเครื่องรับจีพีเอสที่มีในแต่ละพื้นที่ได้

อีกส่วนหนึ่งคือการประยุกต์วิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition) ในพื้นที่ที่มีจำนวนสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสน้อย

นอกจากนั้นค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณที่ได้รับจากการคำนวณมานั้นจะถูกนำมาชดเชยให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์เพื่อศึกษาค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากสถานีที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการนำเสนอการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการเกรเดียนต์เพื่อลดความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากวิธีดั้งเดิมโดยจะใช้ข้อมูลจากสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ติดตั้งกระจายทั่วประเทศไทย 13 สถานี โดยจะใช้ข้อมูลของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคมของปี พ.ศ. 2558

ส่วนที่ 2 จะเป็นการประยุกต์การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (SVD) โดยจะใช้ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยตั้งแต่ 5 ถึง 20 องศาเหนือและ 97.5 ถึง 105 องศาตะวันออก ซึ่งจะแบ่งขนาดของพื้นที่แต่ละกริดขนาด 2.5 คูณ 2.5 องศา ได้ทั้งหมด 18 กริดครอบคลุมบริเวณประเทศไทย สำหรับค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากหน่วยงาน CODE

ส่วนที่ 3 จะเป็นการคำนวณค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสชนิดสองความถี่ที่ติดตั้งในกรุงเทพมหานครจำนวน 3 เครื่องได้แก่เครื่องรับจีพีเอสของบริษัท Topcon และ Novatel ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเครื่องรับของบริษัท Leica ติดตั้งที่กรมโยธาธิการและผังเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประกอบไปด้วยเนื้อหาจำนวน 5 บท โดยในบทที่ 1 นั้นเป็นการกล่าวถึงที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ส่วนในบทที่ 2 จะกล่าวถึงการอธิบายชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ระบบระบุตำแหน่ง การคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ รวมไปถึงพื้นฐานของอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent method) และวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition) ในบทที่ 3 จะอธิบายถึงการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ได้จากวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวจากวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ อีกทั้งยังวิธีการคำนวณค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และการออกแบบการทดลองทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ ในบทที่ 4 จะแสดงผลการทดลองสมรรถนะและเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ อีกทั้งยังแสดงค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน รวมไปถึงค่าความหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส และบทที่ 5 จะเป็นการสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

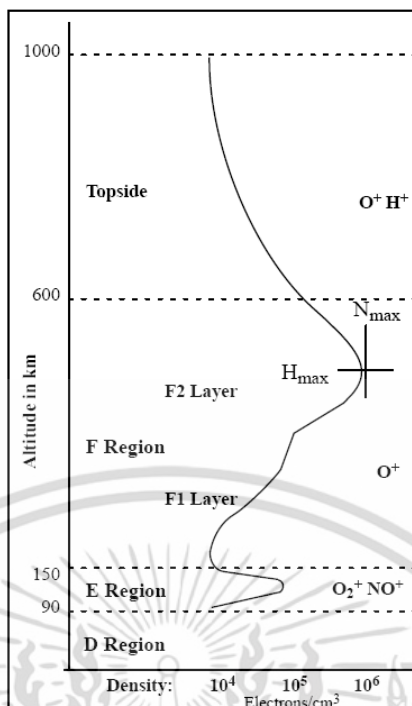
หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยจะกล่าวถึงลักษณะพื้นฐานของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ระบบจีพีเอสและการจัดเก็บข้อมูลของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบสองความถี่ นอกจากนี้จะกล่าวถึงการคำนวณค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมที่ส่งสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศนี้ โดยจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิที่นิยมใช้กันทั่วไป นอกจากนี้ในบทนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานของวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular Value Decomposition : SVD) และอัลกอริทึมพื้นฐานของวิธีเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent algorithm)

2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกซึ่งถูกแบ่งออกเป็นหลายๆ ชั้น โดยชั้นบรรยากาศที่เป็นที่สนใจและเป็นชั้นบรรยากาศที่ส่งผลกระทบต่อการเดินทางของสัญญาณดาวเทียมอย่างมากคือชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 50 – 1,000 กิโลเมตร ในชั้นบรรยากาศนี้จะประกอบไปด้วยอิเล็กตรอนและไอออนจำนวนมาก ซึ่งโมเลกุลของก๊าซที่อยู่บริเวณชั้นบรรยากาศนี้จะถูกกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออไนซ์อันเนื่องมาจากการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) หรือรังสียูวี (UV) และเอ็กซ์เรย์ (X-ray) จากดวงอาทิตย์ทำให้แตกตัวและกระจายตัวเป็นอิเล็กตรอนและไอออนอิสระซึ่งเรียกว่า พลาสมา (Plasma) โดยปริมาณอิเล็กตรอนอิสระชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นในช่วงเวลากลางวัน และเมื่อเวลาหลังพระอาทิตย์ตกอิเล็กตรอนและไอออนจะทำการคายพลังงานที่ได้รับและกลับมารวมตัวกันเป็นก๊าซอีกครั้ง โดยปริมาณอิเล็กตรอนและไอออนอิสระนั้นจะแปรผันไปตามสถานที่ วัน เวลา ฤดูกาล และปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนดวงอาทิตย์ เช่น จำนวนจุดบอดบนดวงอาทิตย์ ลมพายุสุริยะ นอกจากนี้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถแบ่งออกเป็นชั้นต่างๆ ดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของพลาสมา [33]

ชั้น D เป็นชั้นที่อยู่ความสูงประมาณ 60-90 กิโลเมตร โดยมีคุณสมบัติในการดูดซับพลังงานของคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) และความถี่กลาง (Medium Frequency : MF) เนื่องจากในชั้นนี้จะเกิดการไอออไนซ์ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับชั้นอื่นๆ และจะปรากฏเฉพาะช่วงเวลากลางวันเท่านั้น

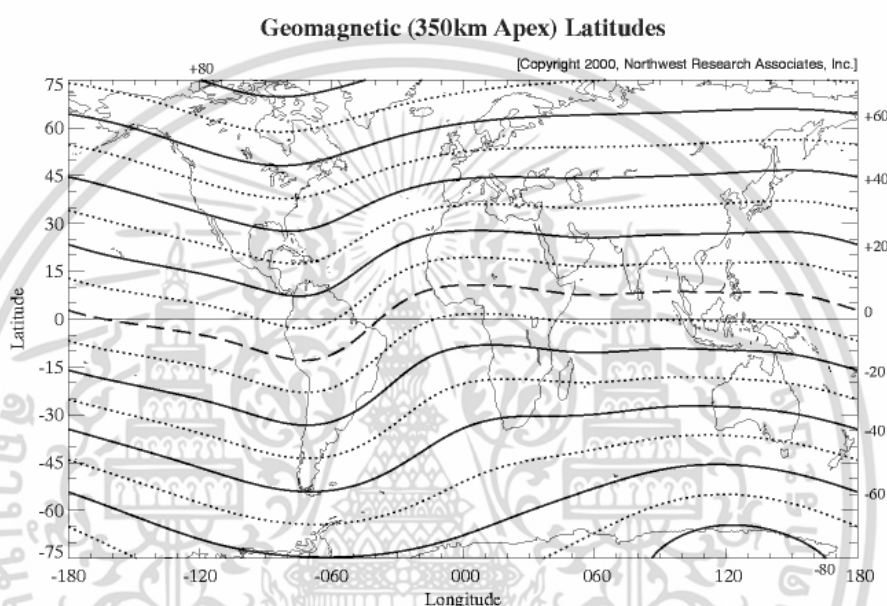
ชั้น E เป็นชั้นที่อยู่ระดับความสูงประมาณ 90-150 กิโลเมตร มีการเกิดไอออนได้มากกว่าชั้น D และจะหายไปอย่างรวดเร็วเมื่อพระอาทิตย์ตกดินเหมือนกับชั้น D และในบางครั้งจะพบปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Sporadic E (Es) คือบริเวณที่มีความหนาแน่นของพลาสมามากกว่าปกติ ซึ่งส่งผลให้สามารถสะท้อนความถี่ในย่านความถี่สูงมาก (Very High Frequency : VHF)

ชั้น F เป็นชั้นที่อยู่สูงที่สุดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อยู่ที่ความสูงประมาณ 150-600 กิโลเมตร โดยจะแยกออกเป็น 2 ชั้นในเวลากลางวันคือชั้น F1 และ F2 และกลับมารวมเป็นชั้นเดียวกันในเวลากลางคืนคือชั้น F โดยในชั้นนี้เป็นชั้นบรรยากาศที่สำคัญในการสื่อสารย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) โดยเป็นการอาศัยคุณสมบัติการสะท้อนกลับของสัญญาณเพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณสมบัติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเขตเส้นศูนย์สูตรและละติจูดต่ำ

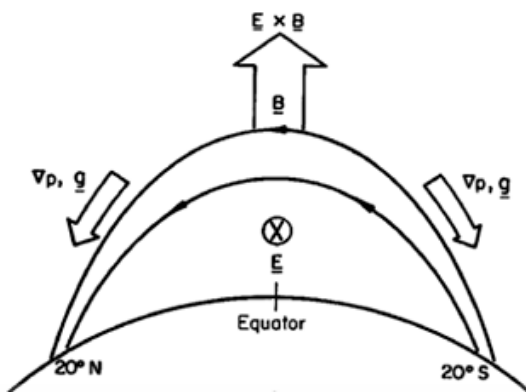
จากการเปลี่ยนแปลงของคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ฤดูกาล การเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กโลกและรวมถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์ เช่น พายุสุริยะ จำนวนจุดบอดบนดวงอาทิตย์ เป็นต้น จากลักษณะของสนามแม่เหล็กโลกที่แสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าภูมิศาสตร์ของประเทศไทยที่ตั้งอยู่นั้นจะครอบคลุมบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก (Magnetic equator) ที่พาดผ่านบริเวณจังหวัดภูเก็ต และเขตละติจูดต่ำในช่วง -15° ถึง 15° ละติจูดเหนือ



รูปที่ 2.2 ลักษณะของสนามแม่เหล็กโลก [20]

โดยคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเกิดปรากฏการณ์ที่สำคัญ คือ ปรากฏการณ์ความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Ionization Anomaly) หรือ EIA คือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการกระจายตัวของอิเล็กตรอนที่มีความไม่สม่ำเสมอในบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก อันเนื่องมาจากแรงสนามไฟฟ้ากระทำกับสนามแม่เหล็กโลก ($E \times B$) ในเวลากลางวันทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้น F ยกตัวขึ้น จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าทิศทางของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าส่งผลทำให้อิเล็กตรอนนั้นสูงขึ้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรก่อนจะไปสะสมกันบริเวณ -15° และ 15° ละติจูดเหนือ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าปรากฏการณ์น้ำพุ (Fountain effect) [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สาเหตุของความผิดปกติในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณเส้นศูนย์สูตร [21]

อย่างไรก็ตามยังมีอีกปรากฏการณ์หนึ่งคือปรากฏการณ์ EPB (Equatorial Plasma Bubble) เป็นปรากฏการณ์ความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าปกติในชั้น F อันเนื่องมาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะยกตัวขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงหลังพระอาทิตย์ตกดินซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ PRE (Pre-Reversal Enhancement) [21] ซึ่งทำให้ชั้นล่างของชั้น F เกิดความไม่เสถียรเกิดขึ้น โดยปกติชั้นปรากฏการณ์นี้ส่วนใหญ่มักจะเกิดในบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กและละติจูดต่ำในช่วงเวลากลางคืน

2.1.2 การศึกษาคุณลักษณะชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย

การศึกษาลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ริเริ่มในช่วงปี พ.ศ. 2546 ภายใต้โครงการที่เรียกว่า SEALION (South-East Asia Low-latitude Ionospheric Network) ของหน่วยงาน National Institute of Information and Communications Technology หรือ NICT ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นหน่วยงานที่ต้องการศึกษาและวิจัยคุณลักษณะชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณเขตเส้นศูนย์สูตรและเขตละติจูดต่ำ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ระบบไอโอโนซอนด์ (Ionosonde) เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสชนิดสองความถี่ เครื่องมือตรวจวัดสนามแม่เหล็กโลก (Magnetometer) และเครื่อง All sky-imager ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดเหล่านี้จะถูกติดตั้งในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้แก่ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ เวียดนาม และจีน สำหรับในประเทศไทยนั้นจะอยู่ภายใต้ความร่วมมือทางวิชาการระหว่างหน่วยงานและทางสถาบันการศึกษา 2 แห่งคือสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังรวมทั้งวิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ และวิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งตำแหน่งของสถานีตรวจวัดชั้นบรรยากาศแสดงดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



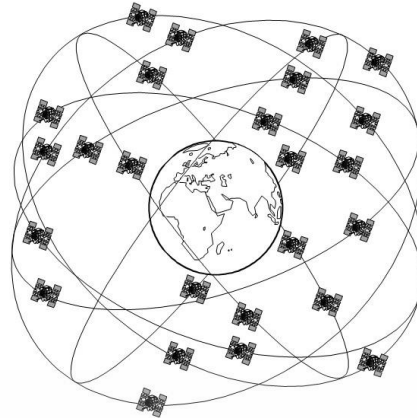
รูปที่ 2.4 สถานีตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในโครงการ SEALION [22]

2.2 ระบบจีพีเอสและการจัดเก็บข้อมูล

2.2.1 ระบบจีพีเอส

ระบบจีพีเอส หรือ GPS (Global Positioning System) คือระบบที่ใช้ดาวเทียมในการระบุตำแหน่งอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ เป็นโครงการของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยระบบจะประกอบไปด้วยดาวเทียมที่มีจำนวนทั้งหมด 32 ดวง ใน 6 ระนาบวงโคจรที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตรเหนือพื้นโลกโดยแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งจะทำให้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จำนวน 6 - 10 ดวง ณ ทุกๆ ที่บนโลก โดยดาวเทียมจีพีเอสแต่ละดวงจะส่งข้อมูลที่ใช้ในการระบุตำแหน่งของดาวเทียม (Navigation Message) ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลพารามิเตอร์ที่แสดงถึงลักษณะของวงโคจรดาวเทียมแต่ละดวงเพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งดาวเทียมที่มีความแม่นยำสูง (Ephemeris) ข้อมูลพารามิเตอร์ที่แสดงลักษณะของวงโคจรของดาวเทียมทั้งวงโคจรเพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งดาวเทียมที่มีความแม่นยำต่ำ (Almanac) และข้อมูลที่ใช้ในการบอกเวลา (Timing) รวมไปถึงสถานะของดาวเทียมแต่ละดวง (Satellite Status) โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกมอดูเลตด้วยรหัสสัญญาณรบกวนสุ่มเทียม (Pseudo-Random Noise : PRN) ซึ่งประกอบไปด้วยรหัส C/A (Code/Acquisition Code) สำหรับการใช้งานทางด้านพลเรือนทั่วไป และรหัส P (Precision Code) สำหรับการใช้งานในด้านการทหารเท่านั้น ซึ่งนับได้ว่าระบบจีพีเอสนั้นเป็นระบบแรกที่ใช้เทคโนโลยีการมอดูเลตแบบ CDMA (Code Division Multiple Access) หลังจากนั้นบิตข้อมูลทั้งหมดจะถูกมอดูเลตแบบ BPSK (Binary Phase Shift Keying) ที่ความถี่ f_1 (1.57542 GHz) และ f_2 (1.22760 GHz) ส่งไปยังเครื่องรับ GPS บนพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การโคจรของดาวเทียมระบบจีพีเอส [23]

2.2.2 การวัดสัญญาณข้อมูลจีพีเอส

สำหรับวิธีการรับข้อมูลของระบบจีพีเอสแบบสองความถี่สามารถรับได้จากวิธีการวัดระยะทางเทียม (Pseudo-range measurement) และวิธีการวัดเฟสคลื่นพาห้ (Carrier-phase measurement)

2.2.2.1 การวัดระยะทางเทียม (Pseudo-range measurement)

โดยการวัดระยะทางเทียมนั้นเป็นการวัดการเดินทางของสัญญาณจากดาวเทียมถึงเครื่องรับจีพีเอส โดยที่ทั้งฝั่งรับและส่งจะสร้างรหัสสัญญาณสุ่มเทียม ซึ่งเมื่อเวลาที่สัญญาณข้อมูลที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอสนั้นสามารถหาได้จากผลต่างของเวลาที่รับสัญญาณกับเวลาที่ส่งสัญญาณจากดาวเทียมผ่านตัวกลางชนิดสุญญากาศ ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะทางเทียมได้ตามสมการที่ 2.1

$$P = c \times \Delta t \quad (2.1)$$

เมื่อ P คือระยะทางเทียม (เมตร) Δt คือผลต่างของเวลาที่รับสัญญาณกับเวลาที่สัญญาณถูกส่งจากดาวเทียมจีพีเอส (วินาที) และ c คือค่าอัตราเร็วของแสงที่เดินทางผ่านตัวกลางสุญญากาศเท่ากับ 299,792,458 เมตรต่อวินาที

2.2.2.2 การวัดเฟสคลื่นพาห้ (Carrier phase measurement)

สำหรับการวัดระยะทางเทียมอีกวิธีนี้เป็นการวัดระยะทางเทียมโดยอาศัยจำนวนคาบของสัญญาณที่สามารถรับได้ โดยจะใช้วิธีการวัดผลต่างระหว่างเฟสคลื่นพาห้ของสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสและสัญญาณที่เครื่องรับที่สร้างด้วยตัวเอง ซึ่งจะสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = \Delta\phi \times \lambda \quad (2.2)$$

โดย L คือระยะทางเทียมที่วัดได้จากวิธีการวัดเฟสคลื่นพาห์ (เมตร) $\Delta\phi$ คือผลต่างระหว่างเฟสระหว่างสัญญาณที่เครื่องรับจีพีเอสสร้างขึ้นเองและสัญญาณที่ได้รับจากดาวเทียมจีพีเอส และ λ คือค่าความยาวคลื่นของสัญญาณจีพีเอส (19.0 เซนติเมตรสำหรับความถี่ f_1 และ 24.4 เซนติเมตรสำหรับความถี่ f_2) อย่างไรก็ตามวิธีการวัดเฟสคลื่นพาห์จะถูกใช้ในงานที่จำเป็นต้องใช้การวัดค่อนข้างแม่นยำ เช่น การทำรังวัด ซึ่งการวัดด้วยเฟสคลื่นพาห์จะมีความแม่นยำมากกว่าวิธีวัดระยะทางเทียมเนื่องจากได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนน้อยกว่าการวัดด้วยระยะทางเทียม

2.2.3 การจัดเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลของการวัดสัญญาณจีพีเอสจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่อยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลเลขฐานสองแล้วนำไปประมวลผลเพื่อเก็บเป็นแฟ้มข้อมูลแบบ RINEX (Receiver Independent Exchange format) [14] ซึ่งชนิดของข้อมูลสัญญาณจีพีเอสจะมีหลักๆ อยู่ 2 ชนิดคือ แฟ้มข้อมูลดาวเทียมจีพีเอส (Observation file) และแฟ้มข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส (Navigation file)

2.11		OBSERVATION DATA				G (GPS)	RINEX VERSION / TYPE			
teqc 2012Jun6						20170405 02:39:59	UTCPGM / RUN BY / DATE			
DPT9							MARKER NAME			
DPT9							MARKER NUMBER			
SURVEY DIV		DPT SURVEY DIV					OBSERVER / AGENCY			
		LEIAR10 NONE					REC # / TYPE / VERS			
-1136984.0549		6091176.7420		1506867.1803			ANT # / TYPE			
0.0000		0.0000		0.0000			APPROX POSITION XYZ			
1		1					ANTENNA: DELTA H/E/N			
4		C1		L1 P2 L2			WAVELENGTH FACT L1/2			
5.0000							# / TYPES OF OBSERV			
16							INTERVAL			
							LEAP SECONDS			
MSXP IAx86-PII bcc32 5.0 MSWin95->XP 486/DX+							COMMENT			
2.10		OBSERVATION DATA				G	COMMENT			
Spider V2,1,0,2275						2015 03 01 00:59	COMMENT			
		THIS RINEX FILE IS CREATED FROM RTCM V2.3 DATA					COMMENT			
teqc edited: all GLONASS satellites excluded							COMMENT			
2015 3 1 0 0 0.0000000						GPS	TIME OF FIRST OBS			
							END OF HEADER			
(1)	15 3 1 0 0	0.0000000	0	9G02G05G12G13G15G18G24G25G29						
	21994316.140	115580860.680	21994311.700	90062993.059						
	23048138.100	121118749.574	23048136.160	94378213.852						
	24191986.280	126823462.344	24191983.800	99266713.344						
	20945727.100	110070551.570	20945723.500	85769255.137						
	20176220.400	106538273.375	20176217.000	82413672.234						
	24472545.400	128092577.094	24472542.680	100210965.184						
	24054322.680	125853908.551	24054323.800	98089237.598						
	24164975.840	126476298.176	24164976.260	99156150.031						
(2)	20724276.650	109786182.586	20724273.500	84944504.879						
	15 3 1 0 0	5.0000000	0	9G02G05G12G13G15G18G24G25G29						
	21994913.440	115583999.488	21994909.000	90065438.875						
	23049944.220	121128240.758	23049942.300	94385609.570						
	24193750.180	126832731.691	24193747.720	99273936.188						
	20946974.500	110077106.730	20946970.900	85774363.055						
	20175426.420	106534100.887	20175423.020	82410420.941						
	24471552.280	128087358.066	24471549.560	100206898.383						
	24052104.120	125842249.883	24052105.240	98080152.938						
	24166296.700	126483239.230	24166297.140	99161558.637						
	20792971.280	109779322.730	20792968.120	84939159.531						

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 แฟ้มข้อมูลสัญญาณดาวเทียม (Observation file) คือแฟ้มข้อมูลที่แสดงพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลมาพร้อมกับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส โดยในแฟ้มข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจะประกอบด้วย (1) คือ ส่วนหัวของแฟ้มข้อมูล (Header section) ซึ่งจะประกอบด้วยเวอร์ชันของ RINEX เป็น 2.11 ระบบดาวเทียม ชนิดของเครื่องรับและสายอากาศ ตำแหน่งของสายอากาศ จำนวนพารามิเตอร์ที่บันทึกได้แก่ C1, L1, P2, L2 และวันที่เวลาที่เริ่มเก็บข้อมูล ส่วนที่ (2) คือ จะเป็นส่วนเริ่มต้นของการบันทึกข้อมูลสัญญาณจีพีเอส (Data record) คือส่วนที่บันทึกข้อมูลสัญญาณจีพีเอสที่บันทึกข้อมูลของแต่ละเวลา จากรูปดังกล่าวจะแสดงเวลาที่บันทึกเป็น ปี 2015 เดือน มีนาคม วันที่ 1 ชั่วโมงที่ 0 นาทีที่ 0 วินาทีที่ 0 ตามเวลาของจีพีเอส (Universal Coordinated Time :UTC) ถัดมาจะเป็นเลขแสดงจำนวนดาวเทียมที่และหมายเลขของดาวเทียมที่ส่งที่รับข้อมูลได้ โดยจะมีดาวเทียมดวงที่ 2, 5, 12, 13, 15, 18, 24, 25 และ 29 ตามลำดับ ถัดมาจะเป็นส่วนของข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสนั้นจะเรียงเป็นหลักตามจำนวนของพารามิเตอร์ที่ทำการบันทึกนั้นคือ C1, L1, P2, L2 และข้อมูลแต่ละบรรทัดคือข้อมูลของดาวเทียมเช่น บรรทัดแรกจะเป็นค่าพารามิเตอร์ C1, L1, P2, L2 ของดาวเทียมดวงที่ 2 เป็นต้น สำหรับแฟ้มข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส (Navigation file) คือแฟ้มข้อมูลที่เก็บค่าเกี่ยวกับวงโคจรของดาวเทียมที่มีความแม่นยำสูง (ephemeris) ของแต่ละดวงไว้ โดยจะมีส่วนประกอบหลักๆ อยู่สองส่วนเช่นเดียวกับแฟ้มข้อมูลของสัญญาณดาวเทียม โดยตัวอย่างแฟ้มข้อมูลนี้แสดงดังรูปที่ 2.7

```

-----
 2.10      N: GPS NAV DATA                                RINEX VERSION / TYPE
teqc 2012Jun6      20170404 08:23:04UTC PGM / RUN BY / DATE
 1.6764D-08 0.0000D+00 -1.1921D-07 5.9605D-08      ION ALPHA
 1.2288D+05 -3.2768D+04 -1.9661D+05 -6.5536D+04      ION BETA
-3.725290298462D-09-7.993605777301D-15 233472      42 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
 16                                                    LEAP SECONDS
MSXP|IAx86-PII|bcc32 5.0|MSWin95->XP|486/DX+          COMMENT
SPIDER V4,3,0,4633      2015 03 09 18:11          COMMENT
-----
(1) -----
(2) -----
(3) -----
1 15 2 28 18 0 0.0-8.491333574057D-06 4.547473508865D-13 0.000000000000D+00
 2.800000000000D+01-2.596875000000D+01 4.345538151540D-09 1.503881646318D+00
-1.458451151848D-06 3.923747921363D-03 1.008622348309D-05 5.153674213409D+03
 5.832000000000D+05-3.911554813385D-08-3.007807657091D-01 3.725290298462D-08
 9.622571428096D-01 1.842500000000D+02 3.979549879426D-01-7.928901979426D-09
 2.667968346248D-10 1.000000000000D+00 1.833000000000D+03 0.000000000000D+00
 2.000000000000D+00 0.000000000000D+00 5.587935447693D-09 2.800000000000D+01
 5.759400000000D+05
-----
2 15 3 1 0 0 0.0 5.507902242243D-04 2.273736754432D-12 0.000000000000D+00
 5.900000000000D+01-3.096875000000D+01 4.823772492557D-09-1.066996949757D+00
-1.532956957817D-06 1.442955166567D-02 9.801238775253D-06 5.153778228760D+03
 0.000000000000D+00 3.315508365631D-07-4.570020408608D-01 2.086162567139D-07
 9.408521775154D-01 1.803750000000D+02-2.311079865296D+00-8.183198119127D-09
 1.078616362893D-10 1.000000000000D+00 1.834000000000D+03 0.000000000000D+00
 2.000000000000D+00 0.000000000000D+00-2.048909664154D-08 5.900000000000D+01
-7.260000000000D+03
-----

```

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแฟ้มข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม

จากรูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างแฟ้มข้อมูล RINEX ของวงโคจรดาวเทียมจีพีเอส โดยส่วนที่ (1) จะเป็นส่วนหัวของแฟ้มข้อมูล ซึ่งจะแสดงเวอร์ชันของ RINEX เป็น 2.10 ชนิดข้อมูลวงโคจรของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมจีพีเอส สำหรับบรรทัดของ ION ALPHA และ ION BETA นั้นจะเป็นค่าพารามิเตอร์ที่มาพร้อมกับเฟรมข้อมูลของสัญญาณจีพีเอสเพื่อใช้ในการคำนวณค่าห้วงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในบรรทัดลำดับถัดมาจะเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับคำนวณเวลา (UTC) ในส่วนที่ (2) จะเป็นส่วนของข้อมูลวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส โดยตัวเลขที่เรียงในบรรทัดนี้คือ หมายเลขของดาวเทียม ปี เดือน วัน ชั่วโมง นาที วินาที และค่าไบอัสของสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม โดยข้อมูลที่ได้ในส่วนที่ (3) ประกอบไปด้วยข้อมูลพารามิเตอร์ที่แสดงถึงลักษณะของวงโคจรดาวเทียมเพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งดาวเทียมที่มีความแม่นยำสูง (Ephemeris)

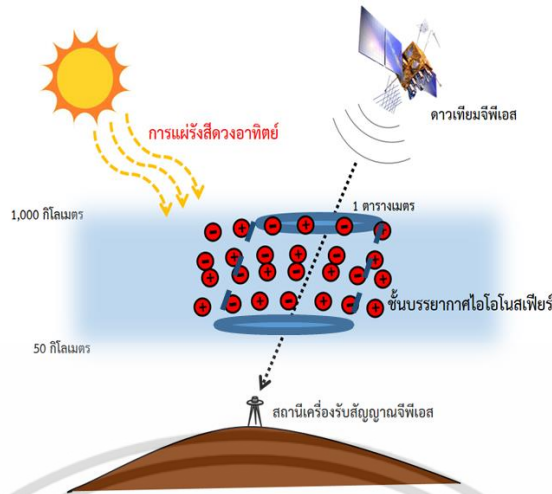
2.3 การศึกษาค่าห้วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ค่าห้วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นสามารถคำนวณได้จากค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ที่สำคัญที่บ่งบอกถึงคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิมีความหมายอีกนัยหนึ่งคือเป็นค่าห้วงหรือดีเลย์ของสัญญาณดาวเทียมที่ตัดผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธินั้นสามารถคำนวณได้จากสัญญาณจีพีเอสแบบสองความถี่ ซึ่งส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอสที่โคจรอยู่ที่ระดับประมาณ 20,200 กิโลเมตรเหนือพื้นโลก ซึ่งปกติจะถูกเก็บอยู่ในห้วงของ TEC Unit หรือ TECU ($1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ electrons/m}^2$) ซึ่งค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิซึ่งคือจำนวนอิเล็กตรอนที่วัดได้ในระนาบทรงกระบอกรอบจุดที่สัญญาณดาวเทียมตัดผ่านที่ 1 ตารางเมตร โดยแสดงดังรูปที่ 2.8 และการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิเขียนดังสมการที่ 2.3

$$TEC = \int_s N_e ds \quad (2.3)$$

โดยที่ N_e คือจำนวนความหนาแน่นอิเล็กตรอน (อิเล็กตรอนต่อตารางเมตร)

s คือระยะทางระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส



รูปที่ 2.8 การส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียมจีพีเอสและเครื่องรับผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

โดยทั่วไปการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิจากสัญญาณจีพีเอสแบบคู่จะนิยมคำนวณเป็นค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวเฉียง (Slant path TEC : STEC) ซึ่งค่า STEC นั้นสามารถคำนวณได้จากค่าความแตกต่างระหว่างระยะทางเทียม (The difference of pseudo-ranges) และค่าความแตกต่างระหว่างเฟสคลื่นพาห้ (The difference of carried-phases) ซึ่งค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวเฉียงสามารถคำนวณ ได้ดังสมการที่ (2.4) และ (2.5) [3, 10-12]

$$STEC_P = \frac{1}{40.3 \times 10^{16}} \times \frac{f_1^2 f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)} \times (P_2 - C_1) \quad (2.4)$$

$$STEC_L = \frac{1}{40.3 \times 10^{16}} \times \frac{f_1^2 f_2^2}{(f_1^2 - f_2^2)} \times (L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2) \quad (2.5)$$

โดยที่ $STEC_P$ คือค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวเฉียงที่ได้จากการวัดระยะทางเทียม

$STEC_L$ คือค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวเฉียงที่ได้จากการวัดเฟสคลื่นพาห้

P_2 และ C_1 คือค่าระยะทางเทียมที่วัดได้จากรหัส P และ C/A ตามลำดับ

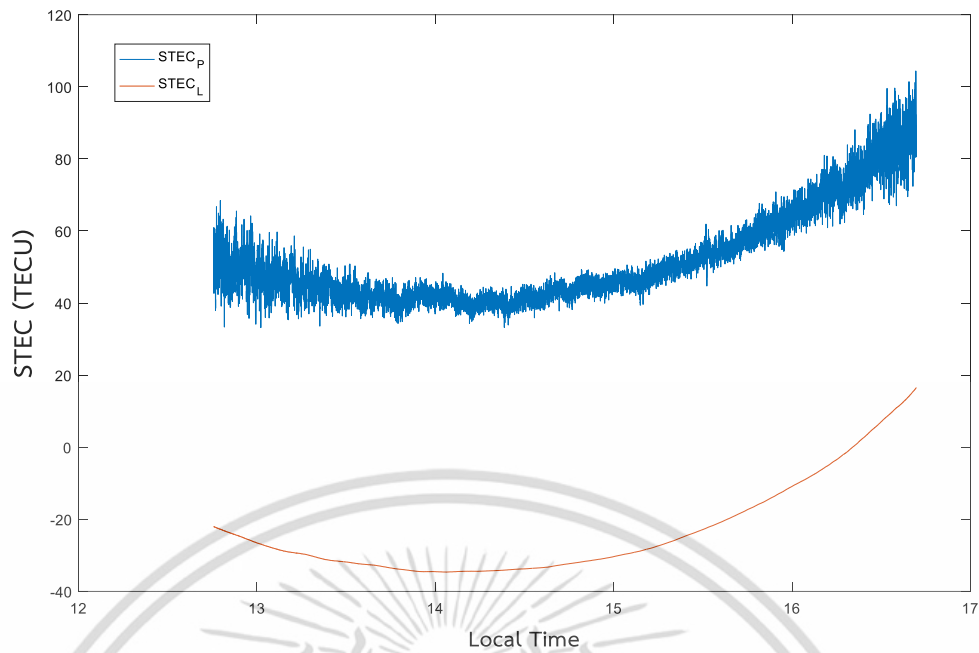
L_1 และ L_2 คือค่าเฟสคลื่นพาห้

f_1 และ f_2 คือความถี่ของสัญญาณจีพีเอสมีค่า 1.57542 GHz และ 1.22760 GHz

ตามลำดับ

λ_1 และ λ_2 คือค่าความยาวคลื่นของความถี่ f_1 และ f_2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



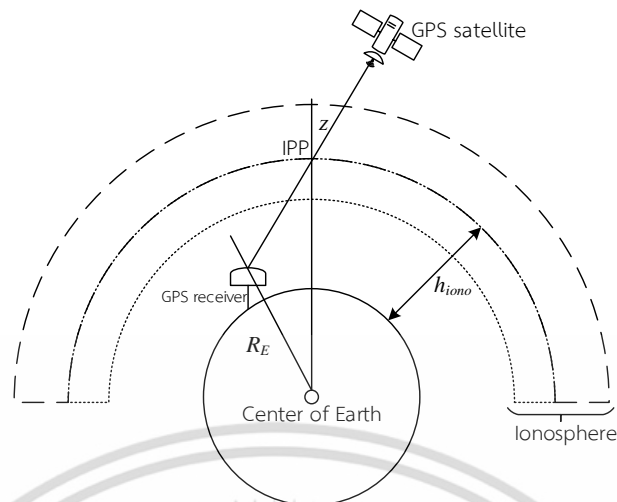
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างของค่า $STEC_P$ (น้ำเงิน) และ $STEC_L$ (แดง) จาก PRN11 ในวันที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 2.9 ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวเฉียงที่วัดได้ทั้งสองค่าคือ $STEC_P$ และ $STEC_L$ นั้นพบว่ามีปัญหาจากสิ่งรบกวนอื่นๆ ซึ่งค่า $STEC_P$ จะถูกสัญญาณรบกวนมากกว่าค่า $STEC_L$ แต่ค่า $STEC_L$ ส่วนใหญ่จะมีค่า ambiguity อยู่ [15] อย่างไรก็ตามโปรแกรม GPS Toolkits [16] จะถูกใช้เพื่อกำจัดและซ่อมแซมข้อมูลที่มีสภาพผิดปกติทั้งหมด อย่างไรก็ตามระดับของค่า $STEC_P$ นั้นเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับค่า $STEC$ ซึ่งค่า $STEC_L$ จะถูกยกระดับขึ้นมาเทียบเท่าระดับของ $STEC_P$ เพื่อลดค่าสัญญาณรบกวนของค่า $STEC$ ได้ดังสมการที่ 2.6

$$STEC = STEC_L + \overline{(STEC_P - STEC_L)} \quad (2.6)$$

โดยที่ ค่า $\overline{(STEC_P - STEC_L)}$ คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างค่า $STEC_P$ และค่า $STEC_L$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และจุดสัญญาณตัดผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากรูปที่ 2.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นอิสระต่อกันและสมมติฐานว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เปรียบเสมือนเปลือกบางทรงกลมห่อหุ้มโลกไว้และมีการกระจายตัวของอิเล็กตรอนและไอออนอยู่ทั่วพื้นผิวของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [17] โดยที่ IPP (Ionospheric pierce point) คือจุดที่สัญญาณดาวเทียมจีพีเอสตัดผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ h_{iono} คือความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งถูกกำหนดให้อยู่ที่ 350 กิโลเมตร และ z คือมุมเซนิตของดาวเทียมจีพีเอส (Zenith angle) นอกจากนี้ค่า STEC สามารถแปลงเป็นค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้ง (Vertical TEC : VTEC) ได้เมื่อค่า STEC คูณกับค่าฟังก์ชันการส่ง (Mapping function) หรือ Mf ได้ดังสมการที่ 2.7

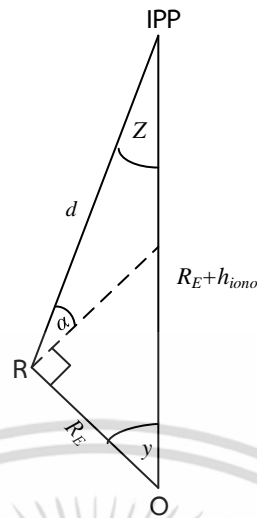
$$VTEC = STEC \times Mf \quad (2.7)$$

ซึ่งค่า Mf สามารถคำนวณได้จากมุมเซนิตดังสมการที่ 2.8

$$Mf = \cos(z) \quad (2.8)$$

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นรูปแบบของตำแหน่งของดาวเทียม จุด IPP และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสนั้นสามารถมองเป็นรูปแบบทางเลขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangle geometry) ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปแบบทางเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยมของตำแหน่งดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส

โดยที่ ค่า R_E คือรัศมีของโลกมีเท่ากับ 6,378.1 กิโลเมตร
 ค่า h_{iono} คือค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เท่ากับ 350 กิโลเมตร
 ค่า α คือค่ามุมเงยของดาวเทียมจีพีเอส
 R คือตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส
 d คือระยะทางของสัญญาณตั้งแต่จุด IPP ถึงเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส
 y คือมุมระหว่างเครื่องรับและจุด IPP ที่วัด ณ จุดศูนย์กลางโลก

พิจารณารูปที่ 2.11 จากกฎของซายด์สำหรับการหามุมของรูปสามเหลี่ยมใดๆ สามารถจัดเรียงพารามิเตอร์ในรูปได้ดังสมการที่ 2.9

$$\frac{\sin(y)}{d} = \frac{\sin(90^\circ + \alpha)}{R_E + h_{iono}} = \frac{\sin(z)}{R_E} \quad (2.9)$$

อย่างไรก็ตามจากสมการที่ 2.9 สามารถจัดรูปแบบของสมการเพื่อคำนวณมุมเซนธิ์ได้ดังสมการที่ 2.10 และ 2.11

$$\frac{\cos(\alpha)}{R_E + h_{iono}} = \frac{\sin(z)}{R_E} \quad (2.10)$$

$$\sin(z) = \frac{R_E}{R_E + h_{iono}} \cos(\alpha) \quad (2.11)$$

จากทฤษฎีของพิทาโกรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sin^2(z) + \cos^2(z) = 1 \quad (2.12)$$

$$\cos^2(z) = 1 - \sin^2(z) \quad (2.13)$$

$$\cos^2(z) = 1 - \left(\frac{R_E}{R_E + h_{iono}} \cos(\alpha) \right)^2 \quad (2.14)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 2.14 ค่า Mf สามารถคำนวณได้จาก

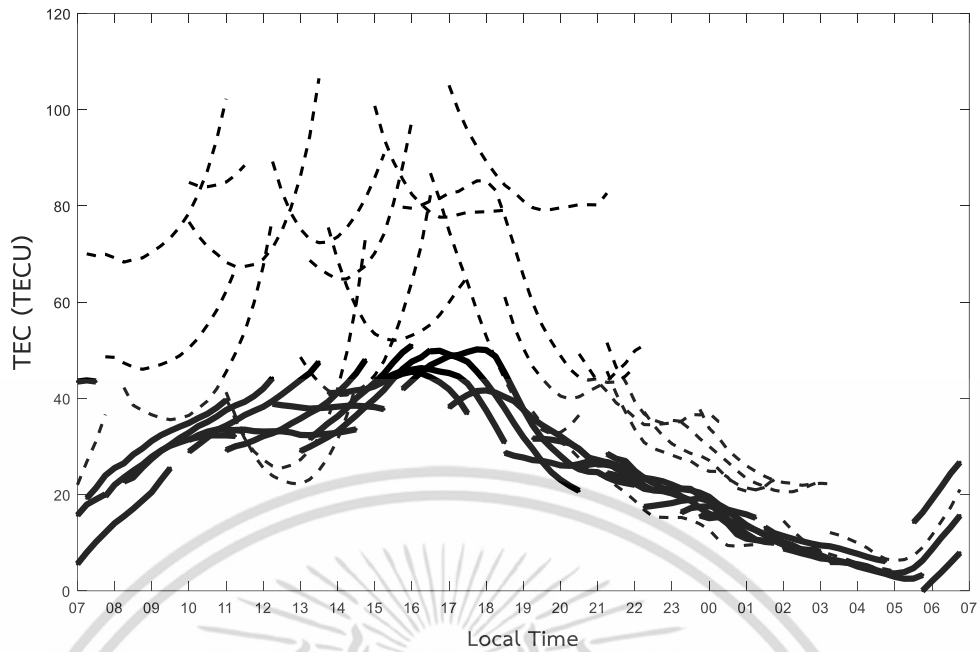
$$Mf = \cos(z) = \sqrt{1 - \left(\frac{R_E}{R_E + h_{iono}} \times \cos(\alpha) \right)^2} \quad (2.15)$$

อย่างไรก็ตามจากสมการที่ 2.7 ค่า $VTEC$ ที่คำนวณได้ยังมีค่าความผิดพลาดจากดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจึงจำเป็นต้องนำค่าไบอัสของทั้งคู่มาคัดเซาะในค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้ง ดังนั้นค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิสมบูรณ์ (Absolute TEC : TEC) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.16

$$TEC = (STEC - b_s - b_r) \times Mf \quad (2.16)$$

เมื่อ b_s และ b_r คือค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอส (นาโนวินาที เมื่อ 1 นาโนวินาทีจะเท่ากับ 2.853 TECU) [3] ตามลำดับ ซึ่งค่าไบอัสของดาวเทียมคือค่าหน่วงหรือความแตกต่างทางเวลาในการเดินทางของสัญญาณของทั้งสองความถี่ สำหรับค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสนั้นสาเหตุหลักคือค่าหน่วงทางเวลาที่เกิดจากการประมวลผลของวงจรรายในของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสและอาจจะรวมถึงสายนำสัญญาณที่เชื่อมต่อกับสายอากาศ หรืออาจรวมไปถึงอุณหภูมิของที่ตั้งของสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งวิธีการคำนวณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสจะถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 3 โดยทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้คำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิและการประมาณไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสรวมไปถึงพื้นฐานของวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 2.4 และ 2.5 โดยตัวอย่างลักษณะค่าของ $STEC$ และค่าอิเล็กตรอนสุทธิสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างผลของค่า STEC (เส้นประ) และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิตั้งสมบูรณ์ (เส้นทึบ) ของวันที่ 1 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างของค่า STEC (เส้นประ) และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิตั้งสมบูรณ์ (เส้นทึบ) โดยแต่ละเส้นคือค่าที่วัดจากดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า STEC ที่วัดได้จะมีความแปรปรวนพอสมควรอันเนื่องมาจากผลของค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสที่ยังไม่ได้ชดเชยให้กับค่า STEC เมื่อเทียบกับค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิตั้งสมบูรณ์ที่ได้จากดาวเทียมแต่ละดวงนั้นจะมีการกระจายตัวน้อยกว่าค่า STEC เนื่องจากได้ทำการชดเชยค่าไบอัสให้กับดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสแล้ว สำหรับการคำนวณค่าหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะใช้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิตั้งสมบูรณ์เพื่อให้ได้ค่าหน่วงเวลาที่แม่นยำขึ้น

จากการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิตั้งสมบูรณ์ที่คำนวณได้นั้นจะถูกใช้ในการคำนวณค่าหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยค่าหน่วงเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะนิยมแสดงอยู่ในรูป [28]

$$I = \frac{40.3 \times TEC}{cf^2} \quad (2.17)$$

โดยที่ I คือค่าหน่วงเวลาของสัญญาณจีพีเอสอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีหน่วยเป็นนาโนวินาที c คือค่าอัตราเร็วที่แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นสุญญากาศ (เมตรต่อวินาที) และ f คือความถี่ของดาวเทียม (กิกะเฮิรต) นอกจากนั้นสำหรับความถี่ของสัญญาณจีพีเอสของความถี่ f_i ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ในควมถี่ที่มีค่า 1 TEC จะทำให้ค่าระยะทางเทียมของสัญญาณจีพีเอสในย่านความถี่นั้นมากขึ้นประมาณ 16 เซนติเมตร

2.4 วิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition : SVD)

วิธีการแยกค่าแบบเอกฐานหรือ SVD [24-25] เป็นวิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้เพื่อแก้ปัญหาในการใช้เทคนิคกำลังสองน้อยที่สุด (Least square technique) โดยสมการแสดงดังสมการที่ 2.18

$$\mathbf{Ax} = \mathbf{b} \quad (2.18)$$

จากวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์และการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ถูกเสนอโดย [3] ซึ่งวิธีการนี้ตอบโจทย์ในเรื่องที่เป็นวิธีการจัดการปัญหาของขนาดเมทริกซ์ที่ใช้จัดการข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนในการคำนวณมาก [17-19] โดยขนาดของข้อมูลที่ได้จากสถานีจีพีเอสที่ใช้นั้นมีปริมาณมากทำให้เมทริกซ์ข้อมูลนั้นมีขนาดใหญ่พอสมควร ซึ่งการจัดการเมทริกซ์ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ถูกกำหนดให้เป็นเมทริกซ์ \mathbf{A} ที่มีขนาด $m \times n$ นั้นจะถูกแยกออกเป็น 3 เมทริกซ์ได้แก่ เมทริกซ์ตั้งฉาก (Orthogonal matrix) \mathbf{U} ขนาด $m \times m$ คูณกับเมทริกซ์แนวทแยง (Diagonal matrix) \mathbf{S} หรือค่าเอกฐาน (Singular value) ขนาด $m \times n$ ที่มีค่าเป็นจำนวนเต็มบวกหรือศูนย์ซึ่งคูณกับทรานสโพสของเมทริกซ์ตั้งฉาก (Transpose of orthogonal matrix) \mathbf{V} ขนาด $n \times n$ ซึ่งจะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.19

$$\mathbf{A}_{m \times n} = \mathbf{U}_{m \times m} \cdot \mathbf{S}_{m \times n} \cdot \mathbf{V}_{n \times n}^T \quad (2.19)$$

เมื่อคุณสมบัติของเมทริกซ์ตั้งฉากจะเห็นได้ว่า

$$\begin{aligned} \mathbf{U}^T \mathbf{U} &= \mathbf{I} \\ \mathbf{V}^T \mathbf{V} &= \mathbf{I} \end{aligned} \quad (2.20)$$

เมื่อ \mathbf{I} คือเมทริกซ์เอกลักษณ์ (Identity matrix) สำหรับเมทริกซ์ \mathbf{U} และ \mathbf{V} สามารถคำนวณได้จากเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะ (Eigenvector) ของ \mathbf{AA}^T และ $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$ ตามลำดับ จากสมการที่ 2.18 เมทริกซ์ทแยง \mathbf{S} สามารถคำนวณได้จากรากที่สองของค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalues) ของเมทริกซ์ \mathbf{U} หรือ \mathbf{V} ที่มีซึ่งค่าลักษณะเฉพาะเพื่อใช้หาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะของเมทริกซ์ \mathbf{U} และ \mathbf{V} คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{A}\mathbf{A}^T\bar{u} = \lambda\bar{u} \quad (2.21)$$

$$\mathbf{A}^T\mathbf{A}\bar{v} = \lambda\bar{v} \quad (2.22)$$

อย่างไรก็ตามเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจในการใช้วิธีแยกค่าแบบเอกฐานจะแสดงตัวอย่างโดยกำหนดให้

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

จากเมทริกซ์ \mathbf{A} ที่กำหนดให้โดยจะเริ่มต้นโดยการหาเมทริกซ์ \mathbf{U}

$$\mathbf{A}\mathbf{A}^T = \mathbf{A}^T\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5 & 4 \\ 4 & 5 \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

จากสมการที่ 2.20 ทำการย้ายข้างค่าลักษณะเฉพาะจากนั้นทำการหาดีเทอร์มิแนนต์จะเขียนได้เป็น

$$\det(\mathbf{A}\mathbf{A}^T - \lambda\mathbf{I}) = 0 \quad (2.25)$$

ซึ่งดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ที่ได้ออกมาจากต้องมีค่าเท่ากับ 0 โดยเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} 5-\lambda & 4 \\ 4 & 5-\lambda \end{vmatrix} &= 0 \\ (5-\lambda)(5-\lambda) - 16 &= 0 \\ \lambda^2 - 10\lambda + 9 &= 0 \\ (\lambda-1)(\lambda-9) & \end{aligned} \quad (2.26)$$

จากกระบวนการที่ได้จะได้ค่าค่าลักษณะเฉพาะของ $\mathbf{A}\mathbf{A}^T$ คือ $\lambda = 1, 9$

จากนั้นทำการจัดรูประบบสมการตามสมการที่ 2.20 และแทนค่าลักษณะเฉพาะเมื่อ $\lambda = 9$ จะได้

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} 5-9 & 4 \\ 4 & 5-9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} &= 0 \\ -4u_1 + 4u_2 &= 0 \\ u_1 &= u_2 \end{aligned} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากระบบสมการจะได้ว่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ได้จากค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda = 9$ คือ $\vec{u}_1 = [1, 1]$
จากนั้นทำการหาเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะเมื่อ $\lambda = 1$ จะได้

$$\begin{aligned} 4u_1 + 4u_2 &= 0 \\ u_1 &= -u_2 \end{aligned} \quad (2.28)$$

จากระบบสมการจะได้ว่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะที่ได้จากค่าลักษณะเฉพาะ $\lambda = 1$ คือ $\vec{u}_2 = [-1, 1]$
ดังนั้นเวกเตอร์ลักษณะที่ได้จาก $\lambda = 9$ และ $\lambda = 1$ จะถูกจัดเป็นเมทริกซ์

$$\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

จากเมทริกซ์ด้านบนจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ตั้งฉากซึ่งจะได้เป็นเมทริกซ์ \mathbf{U} ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\vec{u}_1}{|\vec{u}_1|} &= \frac{[1, 1]}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \left[\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \\ \frac{\vec{u}_2}{|\vec{u}_2|} &= \frac{[-1, 1]}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \left[-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \end{aligned} \quad (2.30)$$

ดังนั้นเมทริกซ์ตั้งฉาก \mathbf{U} คือ

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

อย่างไรก็ตามในทำนองเดียวกันค่าในเมทริกซ์ $\mathbf{A}\mathbf{A}^T$ จะมีเท่ากับ $\mathbf{A}^T\mathbf{A}$ ดังนั้นจากกระบวนการคำนวณในทางเดียวกันค่าที่ได้ในเมทริกซ์ตั้งฉาก \mathbf{V} คือ

$$\mathbf{V} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นค่าในเมทริกซ์ S จะเป็นค่ารากที่สองของค่าลักษณะเฉพาะที่จัดอยู่ในรูปของเมทริกซ์แนวทแยง โดยจะเรียงจากค่าที่มากที่สุดไปจนถึงค่าน้อยที่สุด สำหรับค่าลักษณะเฉพาะของเมทริกซ์ U และ V นั้นจะมีค่าเหมือนกันเสมอนั้นคือเหตุผลว่าทำไมจึงสามารถใช้ค่าลักษณะเฉพาะจากเมทริกซ์ทั้งสองได้ โดยค่าที่ถูกจัดเรียงในเมทริกซ์ S คือค่าเอกฐาน จากค่าลักษณะเฉพาะที่ได้จะได้เมทริกซ์ S คือ

$$S = \begin{bmatrix} \sqrt{9} & 0 \\ 0 & \sqrt{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

ดังนั้นจากเมทริกซ์ U V และ S จะได้

$$\begin{aligned} A &= USV^T \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.34)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

2.5 อัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent algorithm)

อัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent algorithm) หรือ Steepest descent algorithm [26-27] เป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมหรือหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน จากคำนวณเกรเดียนต์หรือความชันของฟังก์ชันเพื่อมุ่งไปยังจุดต่ำสุดหรือค่าที่เหมาะสม ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะเป็นวิธีการวนซ้ำ (Iterative method) จนกว่าจะพบค่าที่เหมาะสม จากตัวอย่างของฟังก์ชันพาราโบลาหงายดังสมการที่ 2.35

$$f(x) = x^2 - 2x \quad (2.35)$$

จากสมการที่ 2.35 ในการหาจุดต่ำสุดสามารถใช้ค่าความชันหรือเกรเดียนต์ของฟังก์ชัน ซึ่งจะมีค่าเท่ากับอนุพันธ์ของ $f(x)$

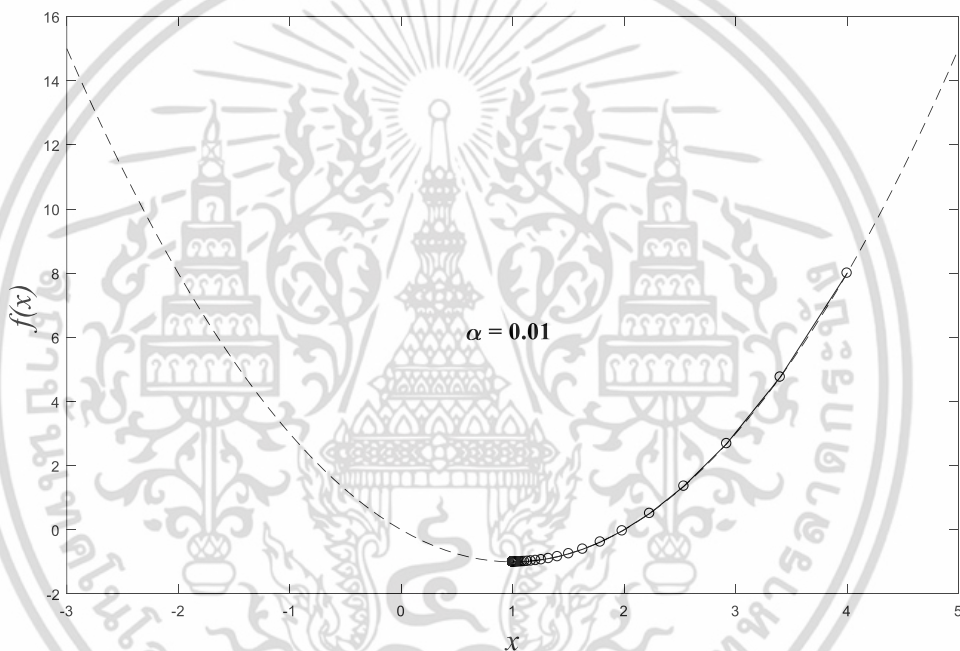
$$f'(x) = \nabla f(x) = 2x - 2 \quad (2.36)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอัลกอริทึมนี้จะเริ่มจากจุด x_0 โดยการใช้จำนวนรอบวนซ้ำเพื่อหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันตั้งแต่ x_i ไปจนถึง x_{i+1} ในทิศทางของความชันหรือเกรเดียนต์ ค่าของ $f(x)$ จะค่อยๆ ลดลงไปถึงจุดหมาย ดังนั้นสมการของอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ได้ดังสมการที่ 2.37

$$x_{i+1} = x_i - \alpha f'(x_i) \quad (2.37)$$

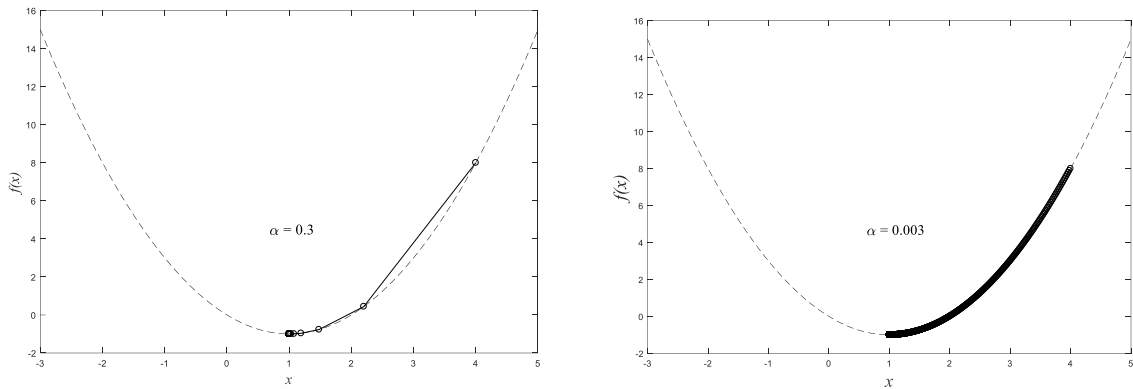
เมื่อ α คือค่าของลําดับขั้น (step size) เพื่อกำหนดขนาดของของแต่ละลําดับ จากตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 เมื่อกำหนดให้ $\alpha = 0.01$ และ $x_0 = 4$



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการหาจุดต่ำสุดของอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์

จากรูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ของอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์เข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชันพาราโบลา จากการกำหนดของค่าลําดับขั้นที่เหมาะสมนั้นหากยังกำหนดค่าลําดับขั้นมากจะทำให้การเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมายของอัลกอริทึมจะยิ่งเร็วขึ้น ถ้าหากค่าลําดับขั้นมากเกินไปจะทำให้เข้าสู่อนันต์ (Divergence) ได้ แต่ถ้าหากกำหนดค่าลําดับขั้นน้อยเกินไปตัวอัลกอริทึมเองจะใช้เวลานานขึ้นในการเข้าสู่จุดต่ำสุด โดยตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของค่าลําดับขั้นแสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างอัลกอริทึมเมื่อค่าลำดับชั้นเมื่อ $\alpha = 0.3$ (ซ้าย) และ $\alpha = 0.003$ (ขวา)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอส

การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะมีวิธีที่ถูกนำเสนอแตกต่างกันไป โดยหัวข้อที่ 3.1 แสดงวิธีการประมาณค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสจากแบบดั้งเดิม โดยจะแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square fitting technique) ที่แก้ปัญหาด้วยวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition) และวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) ถัดมาหัวข้อที่ 3.2 แสดงและอธิบายการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ ซึ่งวิธีดังกล่าวจะเป็นวิธีที่อ้างอิงจากวิธีการเกรเดียนต์เดสเซนต์ ลำดับถัดมาหัวข้อที่ 3.3 แสดงวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสและค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสความหนาแน่นต่ำในประเทศไทย ซึ่งได้ประยุกต์ใช้จากวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ในหัวข้อที่ 3.4 แสดงถึงการคำนวณค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากพารามิเตอร์ค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์และความถี่ของสัญญาณจีพีเอส สุดท้ายนี้หัวข้อที่ 3.5 แสดงการออกแบบการทดลองของวิธีการในหัวข้อที่ 3.2 3.3 และ 3.4 ทั้งนี้กระบวนการประมาณค่าทั้งหมดจะใช้โปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) ในการประมวลผลเป็นหลัก

3.1 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบวิธีดั้งเดิม [3]

การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสซึ่งถูกนำเสนอโดย [3] ได้เสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไว้ 2 วิธี ดังหัวข้อต่อไปนี้

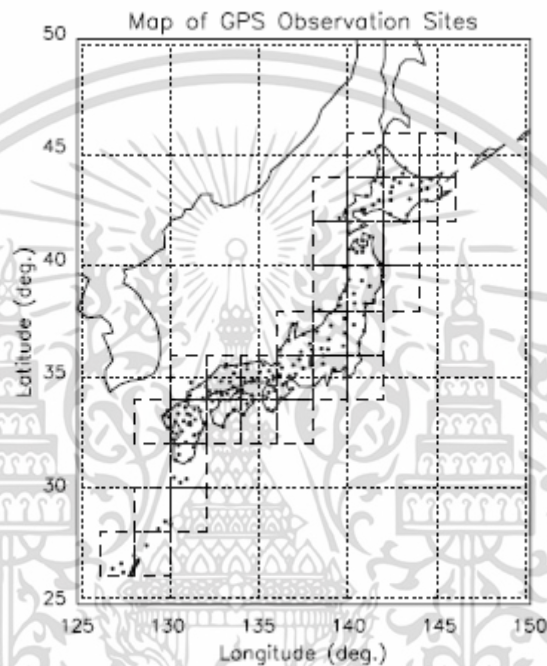
3.1.1 วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square technique) [3]

การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการนี้ จะได้ทั้งค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ ค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสและค่าไบอัสของเครื่องรับ ซึ่งในวิธีดังกล่าวได้ถูกนำเสนอขึ้นเมื่อครั้งใช้กับโครงข่ายเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจีโอเน็ต (GEONET) ที่ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้วิธีหนึ่งในวิธีกำลังสองน้อยที่สุดด้วยวิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition : SVD) ที่ถูกกล่าวไว้ในบทที่ 2 จากสมการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์สมบูรณในสมการที่ 2.16 ทำการจัดรูปแบบสมการให้อยู่รูปแบบเดียวกันกับสมการที่ 2.17 ซึ่งจัดอยู่ในรูปของ

$$\frac{1}{Mf_{jk}} \times TEC_i + b_{sj} + b_{rk} = STEC_{jk} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\frac{1}{Mf_{j,k}}$ คือค่าที่ได้รับจากดาวเทียมจีพีเอสดวงที่ j และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเครื่องที่ k และตัวแปรที่ไม่ทราบค่าของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ ณ ลำดับที่ i (TEC_i) ค่าไบอัสของดาวเทียมดวงที่ j และค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเครื่องที่ k ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถหาคำตอบได้โดยการจะเรียงอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ ซึ่งการจัดรูปเมทริกซ์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับผู้วิจัยแต่ละคน รวมไปถึงพื้นที่ที่ใช้ในการทำวิจัยอีกด้วย โดยใน [3] จะใช้พื้นที่วิจัยที่ประเทศญี่ปุ่นจากโครงข่ายสถานีเครื่องรับจีพีเอสมากถึง 1,000 สถานีดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในประเทศญี่ปุ่น [3]

โดยในงานวิจัยดังกล่าวจะทำการแบ่งพื้นที่เป็น 32 ช่อง ขนาด 2 องศา 2 องศา ตามแนวละติจูดและลองจิจูดให้ครอบคลุมทั้งประเทศ แม้ในบางพื้นที่อาจไม่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส แต่จะมีจุดที่มีสัญญาณตัดผ่านชั้นบรรยากาศไอออนสเฟียร์ที่เรียกว่า IPP (อ้างอิงถึงบทที่ 2) ของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสอื่นๆ ซึ่งได้ทำการจัดรูปสมการในรูปแบบของเมทริกซ์ไว้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ 0 & \frac{1}{Mf_{jk}} & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} TEC_1 \\ \cdot \\ TEC_i \\ b_{s1} \\ \cdot \\ b_{sj} \\ b_{r1} \\ \cdot \\ b_{rk} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นว่าเมทริกซ์ทางซ้ายมีขนาด $m \times n$ โดยที่ n จะขึ้นอยู่กับค่าแปรไม่ทราบค่าของเมทริกซ์ตรงกลางและ m คือจำนวนสมการที่ 3.1 ซึ่งขนาดของเมทริกซ์และตัวแปรไม่ทราบค่าจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าต่างๆ อย่างเช่น ในงานวิจัยที่กล่าวถึงจะทำการกำหนดค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ทุกๆ 15 นาทีในแต่ละช่องโดยได้รับข้อมูลจากดาวเทียมจำนวน 28 ดวงและจำนวนสถานีเครื่องรับแบบสองความถี่ 209 สถานี โดยจะได้จำนวนตัวแปรไม่ทราบค่าคือ $(96 \times 32) + 28 + 209 = 3,309$ ซึ่งขนาดของเมทริกซ์ทางซ้ายจะมีขนาดประมาณ $35,000 \times 3,309$ จากสมการที่ได้จะใช้วิธี SVD ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการแก้ไขปัญหาของรูปแบบวิธีกำลังสองน้อยสุด โดยผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการดังกล่าวจะได้ค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละพื้นที่ที่ถูกกำหนดไว้ ค่าไบอัสของดาวเทียมจี-พีเอส และค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของทุกสถานีที่ใช้ในการประมวลผลนี้ ซึ่งผลการทดลองจากการที่นักวิจัย [3] ได้เสนอวิธีดังกล่าวโดยใช้ข้อมูลช่วงวันที่ 15 ถึง 17 มิถุนายน วันที่ 21 ถึง 23 ธันวาคม และวันที่ 20 ถึง 22 กันยายน ในปี พ.ศ. 2544 พบว่าค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจะค่อนข้างคงที่และเปลี่ยนแปลงน้อยมากในแต่ละวัน สำหรับค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้จากวิธีดังกล่าวจะมีค่าไบอัสของเครื่องรับมีค่าตั้งแต่อย่างน้อยกว่า 1 นาโนวินาทีไปจนถึง 4 นาโนวินาที

จากการนำเสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสจากวิธีกำลังสองน้อยที่สุดเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในพื้นที่ที่มีโครงข่ายเครื่องรับจีพีเอสอยู่อย่างหนาแน่น ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมในบางพื้นที่ที่มีสถานีเครื่องรับจีพีเอสน้อย ดังนั้นจึงมีอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสได้ โดยจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.1.2

3.1.2 วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) [3]

วิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีนี้จะใช้สถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเพียง 1 สถานี ซึ่งเหมาะสมกับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดในการติดตั้งสถานีรับสัญญาณจีพีเอส โดยใช้วิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์แนวตั้ง (σ_{VTEC}) ที่ทำการลบค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสออกแล้ว โดยหลักการนี้จะสมมติว่าค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวตั้งที่ได้มาจากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสทุกดวง ณ ช่วงเวลานั้นๆ ก่อนจะทำการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเริ่มขึ้นจำเป็นต้องกำหนดค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเบื้องต้น (b_r) ก่อนเนื่องจากว่าในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสนั้นไม่สามารถระบุได้เลยว่าค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสค่าใดเป็นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องรับนั้น จากนั้นค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจะถูกใช้เป็นค่าชดเชยให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้งแล้วจึงคิดผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้ง (σ_{Total}) โดยค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ทำให้ผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิมีค่าน้อยที่สุด ค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั้นจะถูกเลือกเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเครื่องนั้น โดยค่าผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้งสามารถหาค่าได้จาก

$$\sigma_{Total} = \sum_{j=1}^{N_t} \sigma_{VTEC}^j \quad (3.3)$$

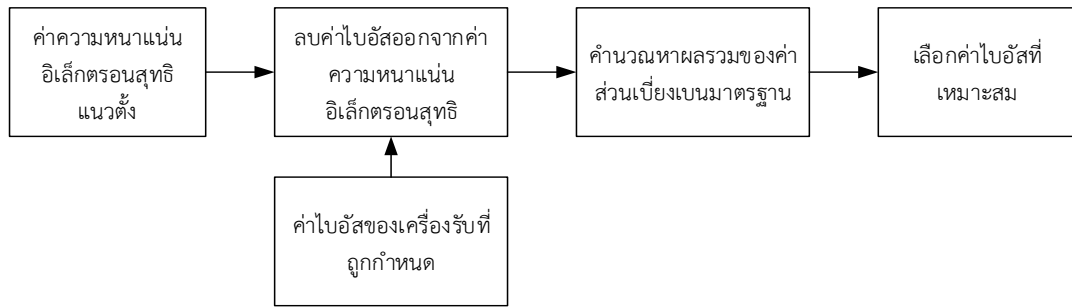
เมื่อจำนวนเวลาตั้งแต่ j จนถึง N_t และ σ_{VTEC}^j คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้ง ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\sigma_{VTEC}^j = \sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2} \quad (3.4)$$

เมื่อ N_{Sat}^j คือ จำนวนของดาวเทียม ณ เวลา j ค่า $VTEC_k^j$ คือ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้งของดาวเทียม k ณ เวลาที่ j และผลเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้ง (\overline{VTEC}^j) ของดาวเทียม ณ ช่วงเวลา j

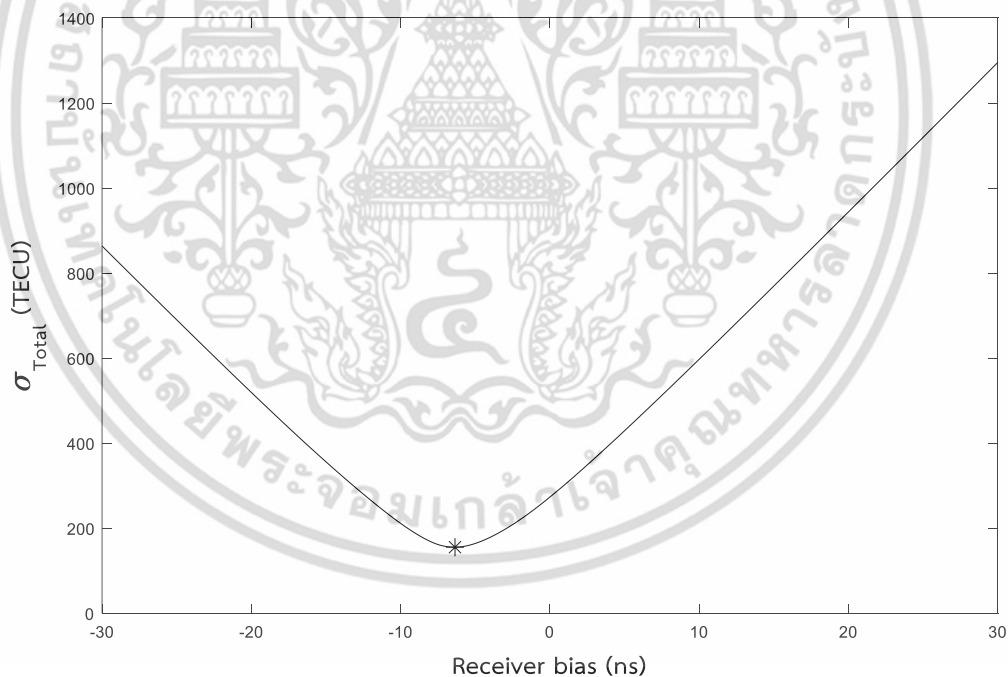
วิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยสุด จะไม่สามารถทราบได้เลยว่าค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสค่าใดที่เหมาะสม ซึ่งการประมาณค่าด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องกำหนดค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเบื้องต้นเพื่อหาผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้งน้อยที่สุด ซึ่งต้องนำค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่กำหนดไว้มาคิดคำนวณทุกค่าเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยรูปแบบของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีนี้จะแสดงในลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 บล็อกไดอะแกรมขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด

นอกจากนั้นรูปแบบของประมาณค่าไบอัสเครื่องรับของสัญญาณจีพีเอสที่ได้จะมีรูปแบบคล้ายคลึงกับกราฟพาราโบลา ซึ่งตัวอย่างที่ได้จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด

พิจารณารูปที่ 3.3 แนวแกนตั้งคือผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวตั้ง แกนนอนคือค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ถูกกำหนดขึ้น ในการประมาณค่าไบอัส 1 รอบ ค่าไบอัสที่ถูกกำหนดขึ้นถูกชดเชยไป 1 ค่า และจะได้ผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ซึ่งค่าไบอัสที่เหมาะสมที่สุดจะอยู่ที่ค่าที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ 1 ค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนมาตรฐานมา 1 ค่า จากนั้นทำการประมาณค่าไบอัสไปเรื่อยๆ จนถึงค่าไบอัสถูกกำหนดค่าสุดท้าย จากความสัมพันธ์ของค่าไบอัสและผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในรูปแบบของกราฟพาราโบลา และจะเลือกค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ทำให้ผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุด โดยจุดรูปดาวนั้นแสดงถึงจุดที่ผลของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าน้อยที่สุดและทำการเลือกค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส ณ ตำแหน่งนั้นเป็นค่าที่เหมาะสม ซึ่งการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการดังกล่าวจะเกิดรอบวนซ้ำเป็นจำนวนมากอันเนื่องมาจากจำนวนของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อหาค่าที่เหมาะสม จำนวนรอบวนซ้ำ และจำนวนของดาวเทียมในแต่ละวัน โดยผลกระทบที่ตามมาคือความซับซ้อนในการประมาณค่าจะมีมากขึ้นเช่นกัน จากขั้นตอนการคำนวณในแต่ละรอบวนซ้ำจะเริ่มต้นจากการแปลงค่า STEC ที่ทำการลบค่าไบอัสของดาวเทียมออกแล้วตั้งสมการที่ 2.7 เมื่อกำหนดให้จำนวนดาวเทียมคือ N_{Sat} และสมมติให้จำนวนดาวเทียม ณ เวลา j คือ 3 ดวง ค่า STEC จากดาวเทียมทั้ง 3 ดวงถูกลบด้วยค่า b , ทั้งหมดดังนั้นจะเกิดการลบขึ้น 3 ครั้ง ณ เวลา j และค่า STEC ที่ปราศจากค่าไบอัสทั้งหมดจะคูณกับค่า Mf เพื่อแปลงเป็นค่า VTEC โดยจะเกิดการคูณขึ้น 3 ครั้งเช่นกัน ดังนั้นความซับซ้อนทั้งหมดของสมการที่ 2.7 ทั้งการลบและการคูณคือ

$$\sum N_{Sat}^j \quad (3.5)$$

ขั้นตอนถัดมาคือการคำนวณค่า σ_{VTEC}^j จากสมการที่ 3.4 นั้นจำนวนครั้งของการบวกและคูณสามารถอธิบายได้ดังขั้นตอนดังนี้ (กำหนดให้จำนวนดาวเทียมคือ N_{Sat}^j ณ เวลาที่ j)

\overline{VTEC}^j ค่า VTEC ที่ได้จากดาวเทียมทุกดวง ณ เวลา j จะถูกนำมาบวกกันทั้งหมด โดยจำนวนครั้งของการบวกคือ $N_{Sat}^j - 1$ และเกิดการหาร 1 ครั้ง

$VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j$ ค่า VTEC ที่ได้จากดาวเทียมดวงที่ k ณ เวลา j จะลบกับค่าเฉลี่ยของค่า VTEC ณ เวลา j โดยการลบจะเกิดขึ้นทั้งหมด N_{Sat}^j

$\sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2$ คำนวณค่าผลต่างระหว่าง $VTEC_k^j$ และ \overline{VTEC}^j โดยจะเกิดการบวกในขั้นตอนนี้คือ $N_{Sat}^j - 1$ และเกิดการคูณ 1 ครั้ง

$\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2$ ค่าที่ได้จากขั้นตอนนี้จะถูกรวบรวมด้วยจำนวนของดาวเทียม ณ เวลา j โดยจะเกิดการหาร 1 ครั้ง

$\sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2}$ ค่าที่คำนวณจะถูกนำมาหาเป็นค่ารากที่สอง โดยจะเกิดการคำนวณรากที่สองขึ้น 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความซับซ้อนของการบวกทั้งหมดจากขั้นตอนนี้คือ

$$N_{Sat}^j - 1 + N_{Sat}^j + N_{Sat}^j - 1 = 3N_{Sat}^j - 2 \quad (3.6)$$

นอกจากนั้นความซับซ้อนของการคูณและรากที่สองเกิดขึ้นทั้งหมด 3 ครั้งและ 1 ครั้งตามลำดับ

ขั้นตอนสุดท้ายคือการหาค่า σ_{Total} โดยจะเป็นการรวมค่า σ_{VTEC}^j ทั้งหมด ซึ่งจะเกิดการบวกทั้งหมดจะน้อยกว่าจำนวนครั้งที่ทำการเก็บข้อมูล 1 ครั้ง เช่น หากกำหนดจำนวนครั้งที่เก็บข้อมูลสูงสุดคือ D จำนวนครั้งของการบวกในขั้นตอนนี้คือ $D-1$ โดยการหาค่าความซับซ้อนทั้งหมดของวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสวิธีดั้งเดิมใน 1 รอบ

ขั้นตอน	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
$VTEC = (STEC - b_r) \times Mf$	$\sum N_{Sat}^j$	$\sum N_{Sat}^j$	-
$\sigma_{VTEC}^j = \sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2}$	$\sum (3N_{Sat}^j - 2)$	$3 \times D$	$1 \times D$
$\sigma_{Total} = \sum_{j=1}^{N_r} \sigma_{VTEC}^j$	$D-1$	-	-

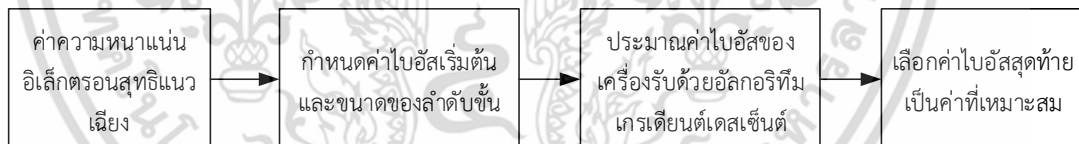
เมื่อ D คือจำนวนของข้อมูลจีพีเอสใน 1 วัน และ N_{Sat}^j คือจำนวนดาวเทียมใน ณ เวลา j

อย่างไรก็ตามการประมาณค่าไบอัสด้วยวิธีการส่วนเบี่ยงเบนน้อยที่สุดจะพบกับค่าความซับซ้อนที่เกิดขึ้นอย่างมาก จากขั้นตอนคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC หรือ σ_{VTEC}^j นั้นเพิ่มข้อมูล RINEX จะถูกเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากการใช้โปรแกรม GPS Toolkits โดยจำนวนของดาวเทียมจีพีเอสแต่ละเวลาจะมีประมาณ 3 ถึง 11 ดวง ซึ่งจำนวนครั้งของการบวกในแต่ละเวลาจะมีค่าที่แตกต่างกันไป พิจารณาจากรูปที่ 3.3 ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าจะมีวิธีที่สามารถลดความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสได้ ดังนั้นผู้เขียนจึงได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสอีกวิธีหนึ่งเพื่อช่วยลดความซับซ้อนในการคำนวณและผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันกับวิธีดั้งเดิม ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าไบอัสของเครื่องรับที่เหมาะสมได้ อย่างไรก็ตามขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมนี้จะถูกเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตไว้ในหัวข้อที่ 3.5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบวิธีที่นำเสนอ

ในหัวข้อที่ 3.1 ได้กล่าวถึงการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดและวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด ซึ่งการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในประเทศไทยส่วนใหญ่จะนิยมใช้วิธีดั้งเดิมที่ถูกกล่าวถึงในหัวข้อ 3.2.2 ซึ่งในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้เกิดการวนซ้ำ (Iterations) โดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ถูกกำหนดขึ้นก่อนทำการคำนวณ ซึ่งหากว่ารอบวนซ้ำมากผลที่ตามมาคือความซับซ้อนของวิธีการประมาณค่าจะมากขึ้นตาม ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนของวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ผู้เขียนได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวด้วยวิธีการเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent method) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการเพื่อใช้หาจุดต่ำสุดของฟังก์ชัน โดยวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอนี้ไม่จำเป็นต้องกำหนดช่วงของค่าไบอัสของเครื่องรับเป็นจำนวนมาก ซึ่งเพียงแค่กำหนดจุดเริ่มต้นให้อัลกอริทึมเท่านั้น โดยวิธีการนี้จะสามารถลดรอบวนซ้ำในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิมได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่อยู่ในรูปแบบของกราฟพาราโบลานั้นการใช้วิธีการที่นำเสนอสามารถยืนยันได้ว่าวิธีการเกรเดียนต์เดสเซนต์สามารถใช้ในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสได้ ซึ่งกระบวนการของวิธีที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 กระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอ

พิจารณากระบวนการในรูปที่ 3.4 โดยการประมาณค่าในขั้นตอนแรกจะเหมือนกับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีในหัวข้อ 3.2.2 เพื่อหาค่าผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดเริ่มต้นของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากนั้นการหาค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสในลำดับถัดไปจะสามารถหาได้จากสมการที่ 3.7

$$b_{r,i+1} = b_{r,i} - \mu_i \cdot \Delta\sigma_i \quad (3.7)$$

โดยค่า $b_{r,i}$ คือ ค่าไบอัสของเครื่องรับ ณ รอบการวนซ้ำที่ i ค่า $\Delta\sigma_i$ คือค่าผลต่างระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ รอบการวนซ้ำที่ i และ $i-1$ ซึ่งคำนวณได้จาก

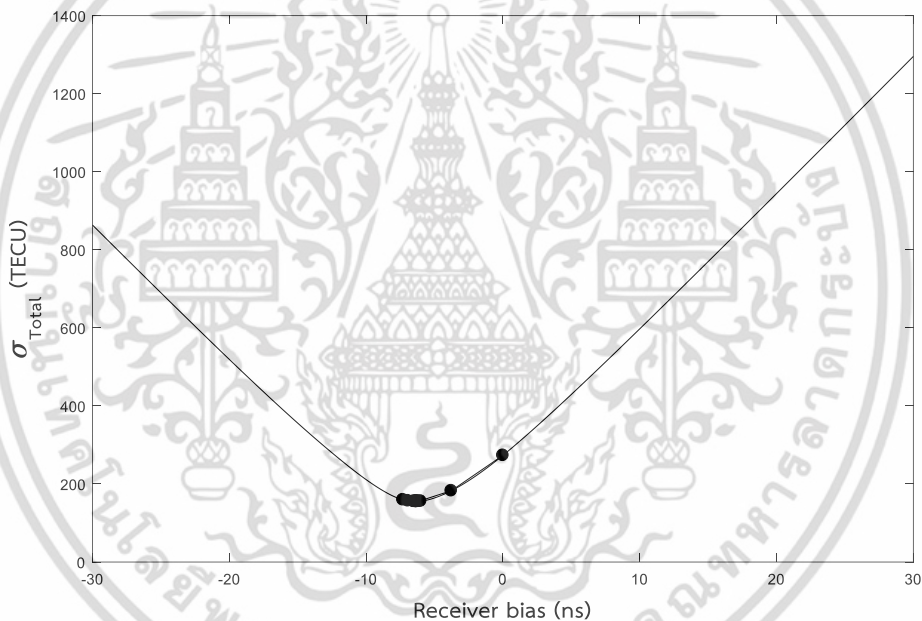
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta\sigma_i = \sigma_{Total,i} - \sigma_{Total,i-1} \quad (3.8)$$

เมื่อค่า σ_{Total} คือผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC สำหรับค่า μ_i คือค่าขนาดลำดับชั้น i รอบการวนซ้ำที่ i สามารถหาได้จากสมการที่ 3.9

$$\mu_i = \frac{\mu_0}{b_{r,i} - b_{r,i-1}} \quad (3.9)$$

โดยค่า μ_0 คือค่าขนาดลำดับชั้นเริ่มต้นที่ถูกกำหนดขึ้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำการวนซ้ำไปจนกว่าจะเข้าใกล้จุดต่ำที่สุดของกราฟพาราโบลาจึงจะหยุด ซึ่งจะทำให้การเลือกค่า $b_{r,i}$ ครั้งสุดท้ายของการคำนวณเป็นค่าไบอัสที่เหมาะสมของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเครื่องนั้น โดยรูปแบบของตัวอย่างผลที่ได้จากการใช้วิธีที่นำเสนอขึ้นนั้นแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ

จากรูปที่ 3.5 แกนตั้งคือผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แกนนอนคือค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส จุดสีดำคือตำแหน่งของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอในแต่ละรอบการวนซ้ำ และเส้นสีดำคือการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการนี้จะเริ่มจากจุดเริ่มต้นแล้วจะขยับเข้าหาจุดที่เป็นค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ต่ำที่สุด โดยขนาดของลำดับการกระโดดจะมีค่ามากเมื่ออยู่ไกลจากจุดที่เป็นค่าที่เหมาะสมและจะค่อยๆ ลดขนาดลงเมื่อเข้าใกล้จุดที่เป็นค่าตอบ ซึ่งจุดแต่ละจุดจะแทนจำนวนของรอบการวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอ อย่างไรก็ตามจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีนำเสนอจะอาศัยหลักการคล้ายกับวิธีดั้งเดิม ซึ่งความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะเหมือนกับวิธีดั้งเดิมตั้งแต่วิธีการลบค่าไบอัสของเครื่องรับที่กำหนดไปจนถึงการคำนวณหาผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC แต่ในวิธีที่นำเสนอจะเพิ่มการคำนวณขึ้นจากสมการที่ 3.7 เป็นสมการของอัลกิริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ โดยในสมการนี้จะมีจำนวนการบวกและลบที่เกิดขึ้นทั้งหมด 2 ครั้งและจำนวนการคูณอีก 1 ครั้ง และสมการที่ 3.9 จะมีจำนวนการลบและการหารที่เกิดขึ้นกระบวนการละ 1 ครั้ง ดังนั้นการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ 1 รอบจะมีจำนวนความซับซ้อนมากกว่าวิธีดั้งเดิม ซึ่งความซับซ้อนที่เกิดขึ้นกับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับโดยใช้วิธีที่นำเสนอจะมีขั้นตอนการประมาณค่าสรุปได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ความซับซ้อนของขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอใน 1 รอบ

ขั้นตอน	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
$VTEC = (STEC - b_r) \times Mf$	$\sum N_{Sat}^j$	$\sum N_{Sat}^j$	-
$\sigma_{VTEC}^j = \sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2}$	$\sum (3N_{Sat}^j - 2)$	$3 \times D$	$1 \times D$
$\sigma_{Total} = \sum_{j=1}^{N_i} \sigma_{VTEC}^j$	$D-1$	-	-
$\mu_i = \frac{\mu_0}{b_{r,i} - b_{r,i-1}}$	1	1	-
$b_{r,i+1} = b_r - \mu_i \cdot \Delta\sigma_i$	2	1	-

เมื่อ D คือจำนวนของข้อมูลจีพีเอสใน 1 วันและ N_{Sat}^j คือจำนวนดาวเทียมใน ณ เวลา j

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องด้วยวิธีที่นำเสนอจะมีขั้นตอนและความซับซ้อนในการประมาณค่ามากกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ทว่าในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับที่เหมาะสมนั้นการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอจะสามารถลดรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าด้วยวิธีดั้งเดิมและสามารถลดความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสในน้อยกว่าวิธีดั้งเดิมได้ โดยผลการทดลองจะถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 4 อย่างไรก็ตามขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจะถูกเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ตไว้ในหัวข้อที่ 3.5.4

3.3 การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมในพื้นที่ที่มีข้อจำกัด

จากหัวข้อ 3.2.1 ได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์และการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากโครงข่ายสถานีจีพีเอสที่ติดตั้งอย่างหนาแน่น ซึ่งในบางพื้นที่อาจไม่สามารถประมาณค่าไบอัสของทั้งดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสได้ เพื่อทำการชดเชยสำหรับค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ให้คำนวณได้ความแม่นยำขึ้น ดังนั้นวิธีการจะนำค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสสามารถทำได้โดยการใช้ข้อมูลค่าไบอัสของดาวเทียมจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น IGS (International GNSS Service) JPL (Jet Propulsion Laboratory) CODE (Center for Orbital Determination in Europe) เป็นต้น ส่วนค่าไบอัสเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะนิยมใช้วิธีในหัวข้อที่ 3.2.2 แต่ทว่าค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จำเป็นต้องรอการประมวลผลจากแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงซึ่งจะอยู่ในรูปแบบของค่าเฉลี่ยของแต่ละเดือนในปีนั้นเนื่องจากการใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 2 เดือน ซึ่งเป็นเวลานานพอสมควรสำหรับการศึกษาที่ต้องการแบบ Real-time ดังนั้นหากต้องการทราบค่าไบอัสของดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลาเพื่อสามารถนำค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสมาใช้ประโยชน์ได้ทันที โดยไม่ต้องรอจากหน่วยงานต่างๆ ผู้เขียนจึงประยุกต์การใช้วิธี 3.2.1 เพื่อพัฒนามาใช้กับพื้นที่ในประเทศไทยโดยมีเงื่อนไขคือ (1) จำนวนสถานีเครื่องรับจีพีเอสที่ถูกติดตั้งทั่วประเทศนั้นมีน้อยกว่ารูปแบบของการคำนวณแบบที่ [3] ได้นำเสนอไว้ (2) การโคจรของดาวเทียมจีพีเอสของพื้นที่เขตเส้นศูนย์สูตรทำให้ได้ตำแหน่งของจุดตัดผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสไปถึงเครื่องรับที่แตกต่างจากพื้นที่ละติจูดกลางและสูง

ทั้งนี้วิธีการดังกล่าวจะใช้รูปแบบสมการที่ 3.1 เพื่อเป็นสมการขั้นต้นในการใช้ประมาณค่าไบอัสของดาวเทียม ซึ่งจำนวนของสมการอาจจะไม่เท่ากันในแต่ละเวลา ถ้าสมมติว่าทำการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสในแต่ละกริด ซึ่งรูปแบบของจำนวนสมการที่ใช้ในกระบวนการนี้ในแต่ละกริดสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{1}{Mf_{1,1}} \times TEC_1 + b_{s1} + b_{r1} &= STEC_{1,1} \\
\frac{1}{Mf_{2,1}} \times TEC_1 + b_{s2} + b_{r1} &= STEC_{2,1} \\
&\vdots \\
\frac{1}{Mf_{J,1}} \times TEC_1 + b_{sJ} + b_{r1} &= STEC_{J,1} \\
\frac{1}{Mf_{1,2}} \times TEC_1 + b_{s1} + b_{r2} &= STEC_{1,2} \\
&\vdots \\
\frac{1}{Mf_{J,K}} \times TEC_1 + b_{sJ} + b_{rK} &= STEC_{J,K} \\
\frac{1}{Mf_{1,1}} \times TEC_2 + b_{s1} + b_{r1} &= STEC_{1,1} \\
&\vdots \\
\frac{1}{Mf_{J,K}} \times TEC_i + b_{sJ} + b_{rK} &= STEC_{J,K} \\
&\vdots \\
\frac{1}{Mf_{J,K}} \times TEC_J + b_{sJ} + b_{rK} &= STEC_{J,K}
\end{aligned} \tag{3.10}$$

จากสมการที่ 3.10 ในการแก้ปัญหาระบบสมการที่มีจำนวนมากนั้นอย่างที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าวิธีการนี้จะใช้วิธี SVD มาแก้ปัญหาระบบสมการของกระบวนการนี้ โดยค่าพารามิเตอร์ Mf , TEC , b_s , b_r และ $STEC$ จะถูกจัดอยู่ในรูปของเมทริกซ์ ซึ่งในการจัดลำดับแต่ละพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบฟังก์ชันนั้นจะเริ่มจากค่าฟังก์ชันการส่ง (Mapping function) (Mf) ที่รับค่ามาจากดาวเทียมดวงที่ J และเครื่องรับ K ซึ่งจะถูกบรรจุอยู่ในเวกเตอร์ \mathbf{x} โดยแสดงดังสมการที่ 3.11

$$\mathbf{x} = \left[\frac{1}{Mf_{11}}, \frac{1}{Mf_{21}}, \dots, \frac{1}{Mf_{J1}}, \frac{1}{Mf_{12}}, \dots, \frac{1}{Mf_{JK}} \right]^T \tag{3.11}$$

โดยที่ Mf คือค่าฟังก์ชันการส่งจากดาวเทียมจีพีเอสลำดับที่ j และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสลำดับที่ k ที่ปรากฏขึ้น ณ การเก็บข้อมูลครั้งที่ i นอกจากนั้น J และ K คือจำนวนสูงสุดของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ลำดับถัดมาให้ \mathbf{x} เป็นเวกเตอร์ที่เก็บตัวแปรที่ไม่ทราบค่าไว้อย่างค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ ค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งจะมีขนาดเท่ากับ $I+J+K$ โดยสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{x} = [TEC_1, TEC_2, \dots, TEC_I, b_{s1}, b_{s2}, \dots, b_{sJ}, b_{r1}, b_{r2}, \dots, b_{rK}]^T \quad (3.12)$$

โดยที่ I คือจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลครั้งสุดท้ายและเวกเตอร์ \mathbf{b} คือเวกเตอร์ที่มีค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์แนวเฉียงจากดาวเทียมดวงที่ j และเครื่องรับลำดับที่ k สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.13

$$\mathbf{b} = [STEC_{11}, STEC_{21}, \dots, STEC_{J1}, STEC_{12}, \dots, STEC_{JK}]^T \quad (3.13)$$

ขณะที่เมทริกซ์ \mathbf{Q}_s และ \mathbf{Q}_r คือเมทริกซ์ที่บรรทัดเลข 1 ซึ่งจะเปรียบเสมือนค่าสัมประสิทธิ์ของดาวเทียมของดวงที่ j และเครื่องรับดวงที่ k ตามลำดับ ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 3.14

$$\mathbf{Q}_s = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{(J \times K) \times J}, \quad \mathbf{Q}_r = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{(J \times K) \times K} \quad (3.14)$$

ซึ่งจำนวนของเลข 1 ในแต่ละหลักของเมทริกซ์ \mathbf{Q}_r จะเท่ากับจำนวนสูงสุดของดาวเทียม J นอกจากนี้ นำเมทริกซ์จากสมการที่ 3.11 และ 3.14 มารวมกัน จะได้เป็นเมทริกซ์ \mathbf{A} ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3.15

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \chi_1 & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{Q}_{s1} & \mathbf{Q}_{r1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \chi_I & \mathbf{Q}_{sI} & \mathbf{Q}_{rI} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

เมื่อ χ_i คือเวกเตอร์ที่มีค่า $\frac{1}{Mf_{j,k}}$ ณ การเก็บข้อมูลครั้งที่ i โดยจะถูกเรียงแบบเมทริกซ์แนวทแยง ดังนั้นจากรูปแบบของสมการที่ 3.15 สามารถจัดอยู่ในสมการที่ 3.16

$$\begin{bmatrix} \chi_1 & \cdots & \mathbf{0} & \mathbf{Q}_{s1} & \mathbf{Q}_{r1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{0} & \cdots & \chi_I & \mathbf{Q}_{sI} & \mathbf{Q}_{rI} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{x} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_I \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ \mathbf{b}_i คือเวกเตอร์ที่มีค่า $STEC_{j,k}$ ณ การเก็บข้อมูลครั้งที่ i เพราะฉะนั้นเพื่อที่จะหาค่าของตัวแปรไม่ทราบค่าในเวกเตอร์ \mathbf{x} จะใช้ SVD มาช่วยในการจัดรูปของเมทริกซ์ \mathbf{A} ดังสมการที่ 3.17

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{V}^T \quad (3.17)$$

และค่าตัวแปรที่ไม่ทราบจะสามารถหาได้จากวิธี SVD ดังสมการที่ 3.18

$$\mathbf{x} = \mathbf{V} \cdot \text{diag}(\mathbf{S}^{-1}) \cdot \mathbf{U}^T \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_I \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

โดยที่เมทริกซ์ \mathbf{U} และ \mathbf{V} คือ เมทริกซ์ตั้งฉากที่มีขนาด $m \times m$ และ $n \times n$ ตามลำดับ และเมทริกซ์ \mathbf{S} คือ เมทริกซ์ทแยงมุมซึ่งจะมีขนาดเท่ากับเมทริกซ์ \mathbf{A}

อย่างไรก็ตามการประมาณค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการ SVD จะถูกประยุกต์ใช้ในพื้นที่ประเทศไทย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสอยู่อย่างจำกัด แต่สถานีจีพีเอสได้ถูกติดตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศทำให้ได้จำนวนของข้อมูลเพียงพอที่สามารถประมาณค่าโดยการใช้อินเตอร์โพลได้ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการทดลองของวิธีนี้จะแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 3.5

3.4 การออกแบบการทดลอง

3.4.1 ตำแหน่งของสถานีเครื่องรับจีพีเอส

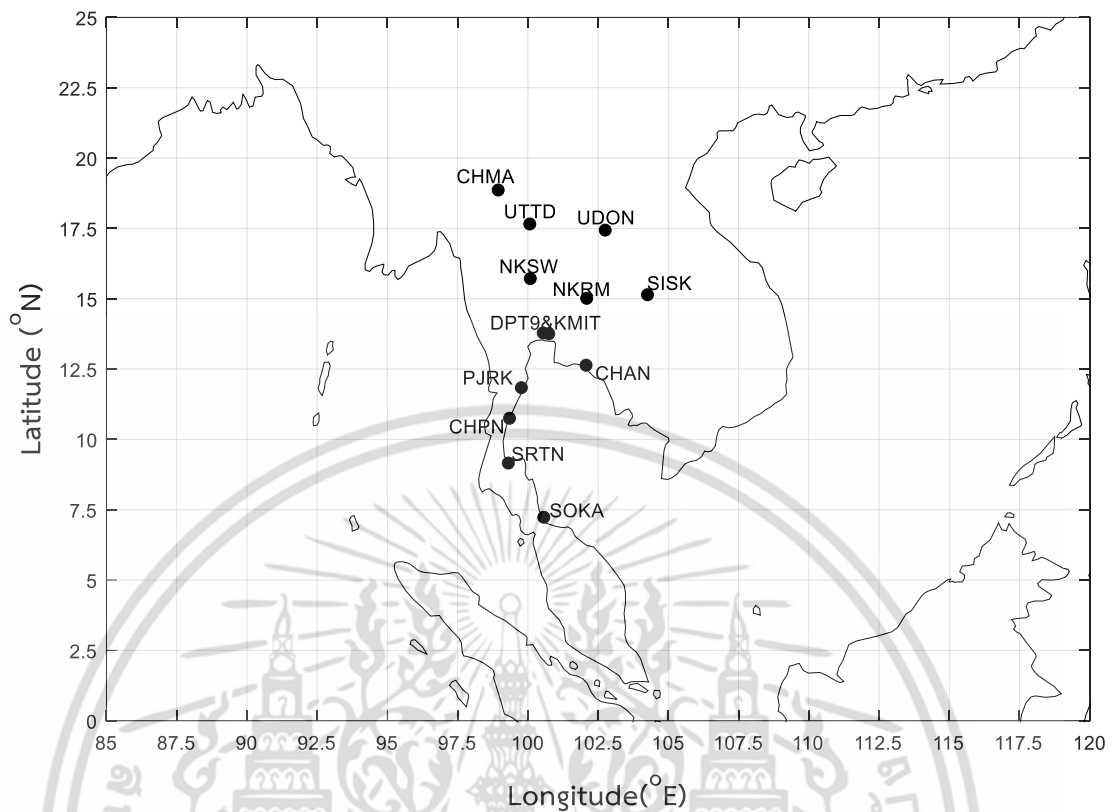
การประมวลผลของข้อมูลทั้งหมดในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้ข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ติดตั้งโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โครงการสถานีโครงข่ายสำรวจชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเขตละติจูดต่ำบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (South-East Asia Low-latitude Ionosphere Network: SEALION) โดย National Institute of Information and Communications Technology (NICT) ประเทศญี่ปุ่น และกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสได้กระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ โดยตำแหน่งของแต่ละสถานีจะแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พิกัดตำแหน่งของสถานีเครื่องรับจีพีเอส

เจ้าของโครงการ	ชื่อสถานี	พิกัดตำแหน่ง	
		ละติจูด (°N)	ลองจิจูด (°E)
KMITL	KMIT1	13.7278	100.7726
SEALION	KMIT2	13.7278	100.7726
	CHPN	10.7246	99.3744
DPT	DPT9	13.7568	100.5732
	CHAN	12.6100	102.1000
	CHMA	18.8368	98.9705
	NKRM	14.9875	102.1218
	NKSW	15.6906	100.1141
	PJRK	11.8116	99.7963
	SISK	15.1161	104.2587
	SOKA	7.2067	100.5961
	SRTN	9.1322	102.7807
	UDON	17.4127	102.7807
	UTTD	17.6301	100.0963

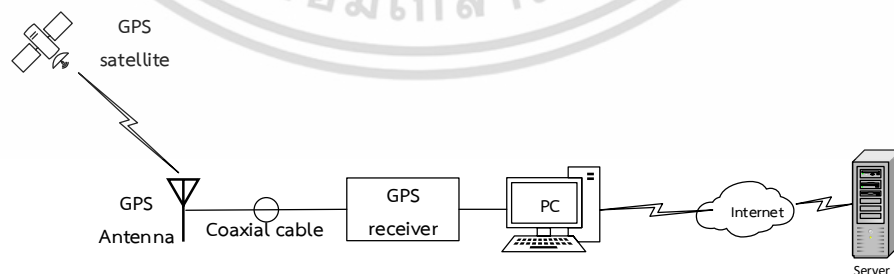
จากตารางที่ 3.3 สถานีที่ติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ใช้ในการประมวลผลมีทั้งสิ้น 14 สถานี โดยแบ่งเป็นสถานีของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 สถานีถูกติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการโครงการสำรวจชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ณ อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ และอีก 1 สถานีถูกติดตั้งที่เดียวกันภายใต้โครงการ SEALION นอกจากนี้สถานี CHPN ของโครงการ SEALION ถูกติดตั้งที่สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร และสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของกรมผังเมืองได้ถูกติดตั้งกระจายตามทุกภูมิภาคทั่วประเทศไทยมีดังนี้ บริเวณภาคกลางมีจำนวน 2 สถานีคือ สถานี DPT9 และ NKSW ติดตั้งที่สำนักงานกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร และจังหวัดนครสวรรค์ บริเวณภาคเหนือมี 2 สถานีคือ CHMA และ UTTD ติดตั้งที่จังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดอุตรดิตถ์ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี 3 สถานีคือ สถานี NKRM SISK และ UDON ติดตั้งที่จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดศรีสะเกษ และจังหวัดอุรธานี บริเวณภาคตะวันออกมี 1 สถานีคือ สถานี CHAN ติดตั้งที่จังหวัดจันทบุรี และบริเวณภาคใต้และตะวันตกมี 3 สถานีคือ สถานี PJRK SRTN และ SOKA ติดตั้งที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี และจังหวัดสงขลา ตามลำดับ ซึ่งตำแหน่งของสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสดังที่กล่าวมาทั้งหมดจะถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งของสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในประเทศไทย

นอกจากนั้นในแต่ละโครงการที่ติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจะมีระบบการเก็บข้อมูลของสัญญาณจีพีเอสคล้ายๆ กัน โดยจะมีสายอากาศ (GPS antenna) รับข้อมูลมาจากสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสผ่านสายโคแอกเชียล (Coaxial cable) เข้าสู่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสซึ่งจะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมเพื่อแปรรหัสสัญญาณและเก็บข้อมูล จากนั้นคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลไปเก็บไว้ยังเครื่องบริการ (Server) ในลำดับสุดท้าย โดยแผนภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.7

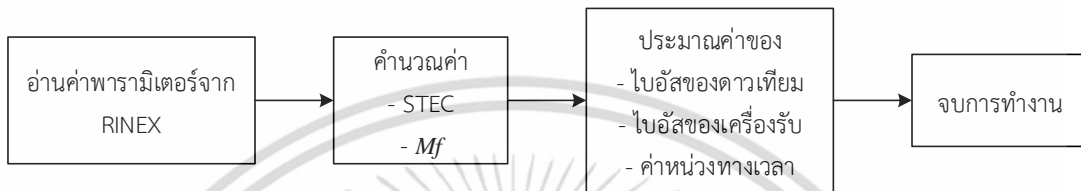


รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อของสถานีเครื่องรับจีพีเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

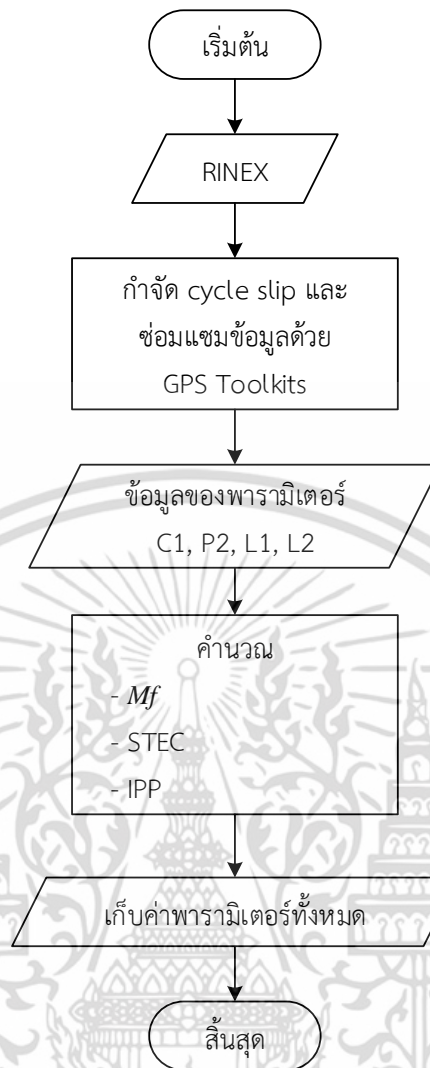
3.4.2 การทำงานของระบบ

การออกแบบและขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอส ค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเป็นการประมวลผลจากข้อมูลที่มีอยู่ตามจริง สำหรับขั้นตอนการประมาณค่าในช่วงแรกจะเป็นอ่านพารามิเตอร์ต่างๆ จากข้อมูลสัญญาณจีพีเอสที่เก็บอยู่ในรูปของ RINEX ซึ่งจะเป็นการคำนวณค่าพารามิเตอร์บางอย่างมาใช้ในการคำนวณ โดยขั้นตอนของการประมวลผลโดยรวมแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 หลักการทำงานของ การประมาณค่าไบอัสของอุปกรณ์การวัดสัญญาณจีพีเอสและค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากรูปที่ 3.8 ในขั้นตอนการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากค่าตัวแปรที่ได้จาก RINEX ซึ่งวิธีการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเฉลี่ย (STEC) จากวิธีการวัดค่าความแตกต่างระหว่างระยะทางเทียมและวิธีการวัดค่าความต่างระหว่างเฟสคลื่นพาห์ โดยค่าตัวแปรที่ใช้คือ C_1 , P_2 คือค่าระยะทางเทียมจากรหัส C/A และรหัส P ตามลำดับ L_1 และ L_2 คือเฟสคลื่นพาห์ที่ได้จากความถี่ f_1 และ f_2 ตามลำดับ ซึ่งการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเฉลี่ยจะได้รับผลกระทบจากค่าความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลหรือ cycle slip ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเฉลี่ยมีค่าที่ผิดเพี้ยนไปอย่างมากจึงจำเป็นต้องกำจัดและซ่อมแซมในส่วนของคุณข้อมูล โดยโปรแกรม GPS Toolkits [17] จะถูกนำมาใช้เพื่อซ่อมแซมและกำจัดข้อมูลที่ผิดเพี้ยนไป และทำการเก็บค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อไปโดยการประมวลผลเบื้องต้นของบล็อกที่ 2 แสดงอยู่ดังรูปที่ 3.9

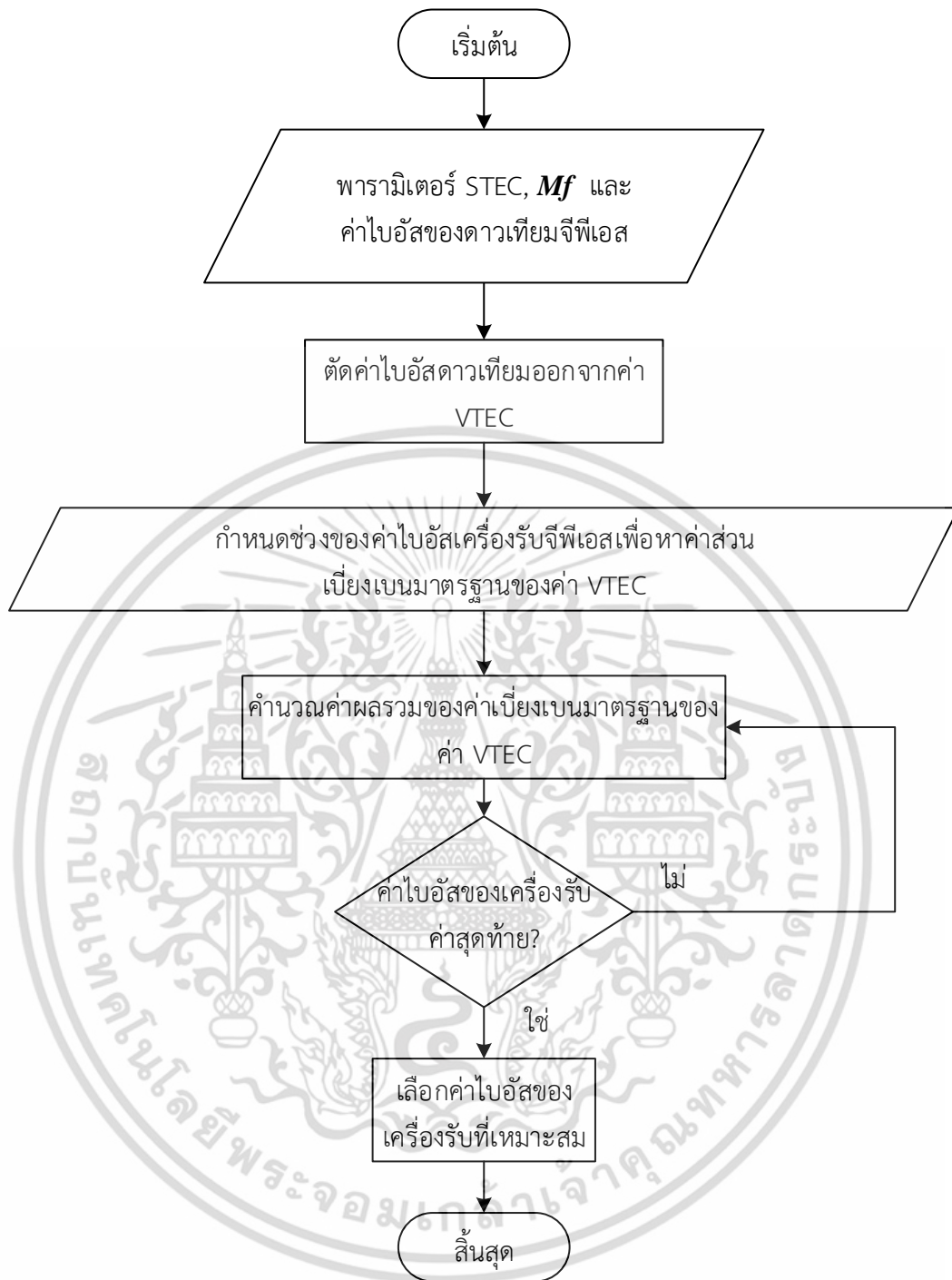


รูปที่ 3.9 ผังงานการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการประมาณค่าของวิธีต่างๆ

3.4.3 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิม

จากหัวข้อที่ 3.1.2 วิธีการดั้งเดิม [3] ได้นำเสนอไว้เพื่อประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส 1 สถานี โดยใช้วิธีหาผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC น้อยที่สุด จากค่าไบอัสของเครื่องรับที่ถูกกำหนดขึ้น ซึ่งอาจจะมีจำนวนของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ค่อนข้างมากในการประมาณค่าอันเนื่องมาจากไม่สามารถรู้ได้ว่าค่าไบอัสใดเป็นค่าที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องใช้ค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่กำหนดไว้ทุกค่ามาคำนวณหาผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC เมื่อค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสใดที่ทำให้ผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดจะเลือกค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั้นเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเครื่องนั้น จากบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3.2 ขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสามารถเขียนผังงานดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ผังงานการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิม

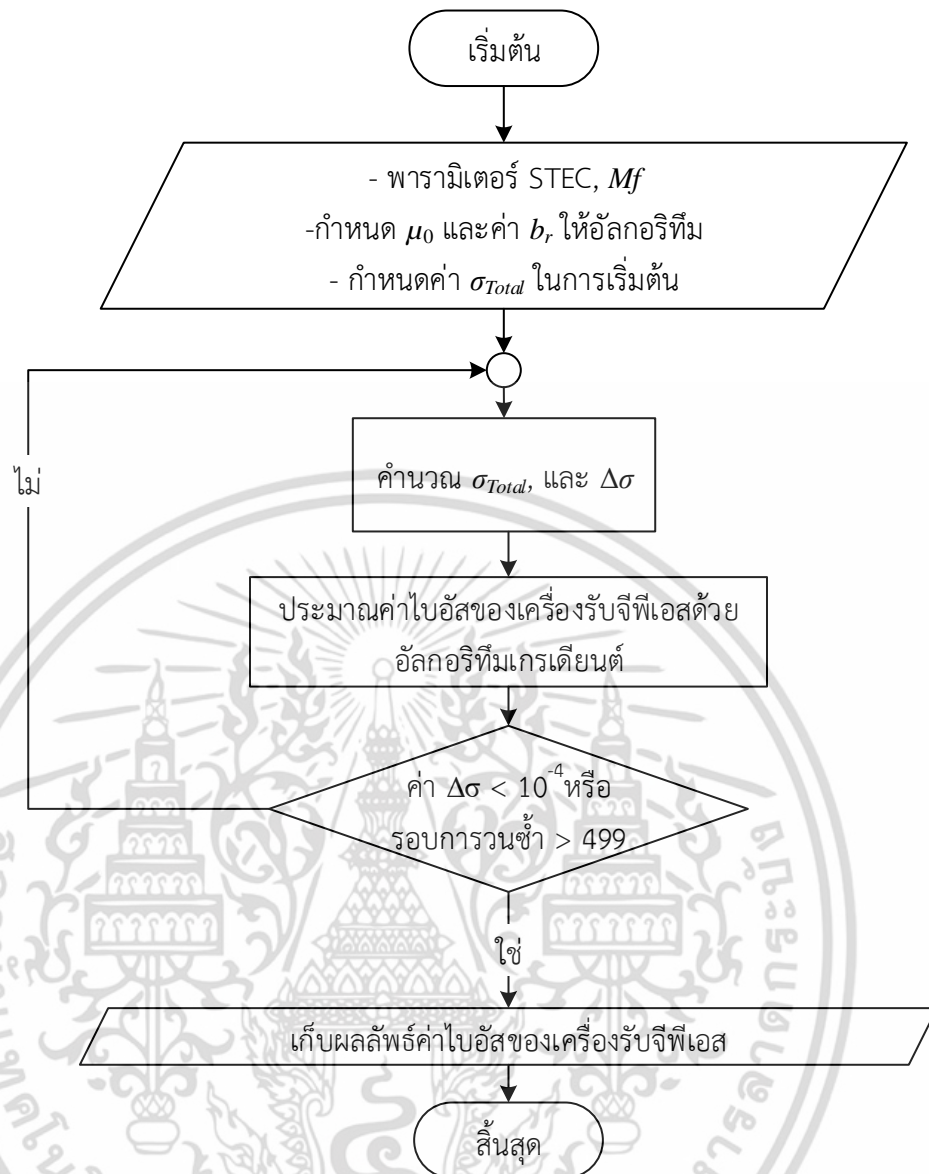
จากรูปที่ 3.10 แสดงผังงานของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับแบบดั้งเดิมจะใช้พารามิเตอร์ STEC และ M_f มาเป็นค่าเริ่มต้นในการประมาณค่าและจะกำหนดช่วงของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสขึ้น ซึ่งค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ถูกกำหนดขึ้นจะถูกนำไปลบกับค่า STEC โดยที่จำนวนของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั้นจะขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานจะกำหนดช่วงของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสอยู่ช่วงใด แต่ทว่าไม่สามารถระบุได้ว่าค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสค่าใดเป็นค่าที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสม ซึ่งจะต้องใช้จำนวนของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสมากพอสมควร หลังจากนั้นจะถูกแปลงเป็นค่า VTEC จากนั้นจะนำค่า VTEC ที่ไปหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละช่วงเวลาของข้อมูลจีพีเอสใน 1 วัน จากนั้นทำการหาค่าผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC (σ_{Total}) ซึ่งกระบวนการจะสิ้นสุดลงเมื่อค่าไบอัสของเครื่องรับค่าสุดท้ายถูกใช้ในการคำนวณ และทำการเลือกค่าไบอัสของเครื่องรับที่ทำให้ค่า σ_{Total} มีค่าน้อยที่สุดเพื่อเป็นค่าไบอัสของเครื่องรับที่เหมาะสมสำหรับเครื่องรับนั้น

3.4.4 การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ

การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีนี้จะลดความซับซ้อนของวิธีดั้งเดิม โดยใช้วิธีเกรเดียนต์เดสเซนต์มาช่วยในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ซึ่งในขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับจะคล้ายกับวิธีดั้งเดิมแต่ทว่าในการประมาณค่าไบอัสด้วยวิธีนี้ค่าไบอัสจะถูกกำหนดเพียงแค่ว่าค่าเดียวเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการประมาณค่าในลำดับถัดไป วิธีการนี้จะทำการประมาณค่าไบอัสไปเรื่อยๆ จนกว่าจะความผิดพลาดของการประมวลผลจะมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ และเลือกค่าสุดท้ายที่การประมวลผลหยุด ณ จุดนั้นเป็นค่าไบอัสของเครื่องรับที่เหมาะสมของเครื่องนั้น โดยจากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 3.4 จะกำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ STEC Mf μ_0 และค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส ณ จุดเริ่มต้นที่ 0 และที่ -1 นาโนวินาทีเพื่อคำนวณหาค่าผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC ($\sigma_{Total,i-1}$) เริ่มต้นก่อนจะเข้าสู่กระบวนการประมาณค่าเพื่อที่ว่าในกระบวนการคำนวณจะสามารถหาค่า $\Delta\sigma_i$ ได้ เมื่อเข้าสู่กระบวนการประมาณค่าจะนำค่าไบอัสของเครื่องรับที่จุดเริ่มต้นไปคำนวณหาค่า $\sigma_{Total,i}$ เพื่อคำนวณหาค่าผลต่างของผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\Delta\sigma_i$ จากนั้นจะเป็นคำนวณค่า μ_i เพื่อจะไปเป็นค่าลำดับชั้นในอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์ดังสมการที่ 3.5 จากนั้นเข้าสู่การตรวจสอบค่า $\Delta\sigma_i$ หรือจำนวนรอบการวนซ้ำของกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับโดยที่ค่า $\Delta\sigma_i$ จะถูกกำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 10^{-4} หรือจำนวนรอบวนซ้ำมากกว่า 499 รอบกระบวนการนี้จะหยุดทันที โดยกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถเขียนเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

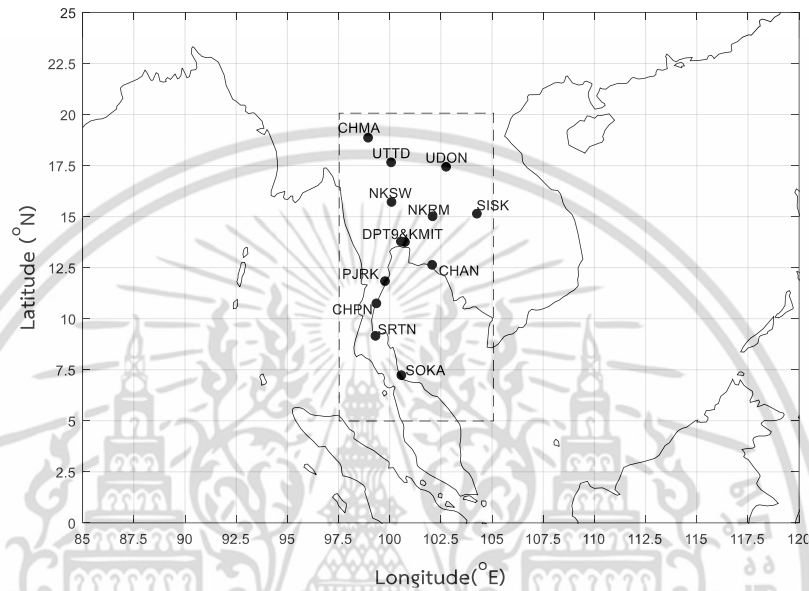


รูปที่ 3.11 ฟังงานของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ

3.4.5 การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอส

การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสและค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิตัวนี้จะสามารถประมาณค่าออกมาได้ทั้ง 3 พารามิเตอร์ โดยการประมาณค่าด้วยวิธีนี้สามารถใช้ในพื้นที่ที่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่เพียงพอ และเพื่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับจำเป็นต้องกำหนดพื้นที่ของการประมาณค่าไบอัสของวิธีนี้ได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งทางผู้วิจัยเห็นว่าวิธีการนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณค่าไบอัสของดาวเทียมแบบรายวันได้ เพื่อไม่ต้องเสียเวลารอข้อมูลค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องทางด้านดาวเทียมอย่างหน่วยงาน IGS หรือ CODE ซึ่งเป็นผู้ให้ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบจีเอ็นเอสเอส แต่การประมวลผลและแบ่งปันข้อมูลของค่าไบอัสของดาวเทียมนั้นจะเป็นทางหน่วยงาน CODE ซึ่งจะในรูปแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ Differential Code Bias (DCB) โดยจะเป็นไฟล์ข้อมูลของค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมในแต่ละเดือน ซึ่งวิธีนี้สามารถประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมได้ทุกดวงที่ปรากฏในวันนั้นๆ อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังได้ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากข้อมูลของแต่ละสถานีได้อีกด้วย และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิต่างที่ได้จากวิธีนี้จะเป็นค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิสำหรับในแต่ละพื้นที่ที่ถูกเลือกขึ้นจากผู้วิจัย โดยแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนที่ประเทศไทยและพื้นที่ที่ใช้ในการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสและค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ (กรอบสี่เหลี่ยม)

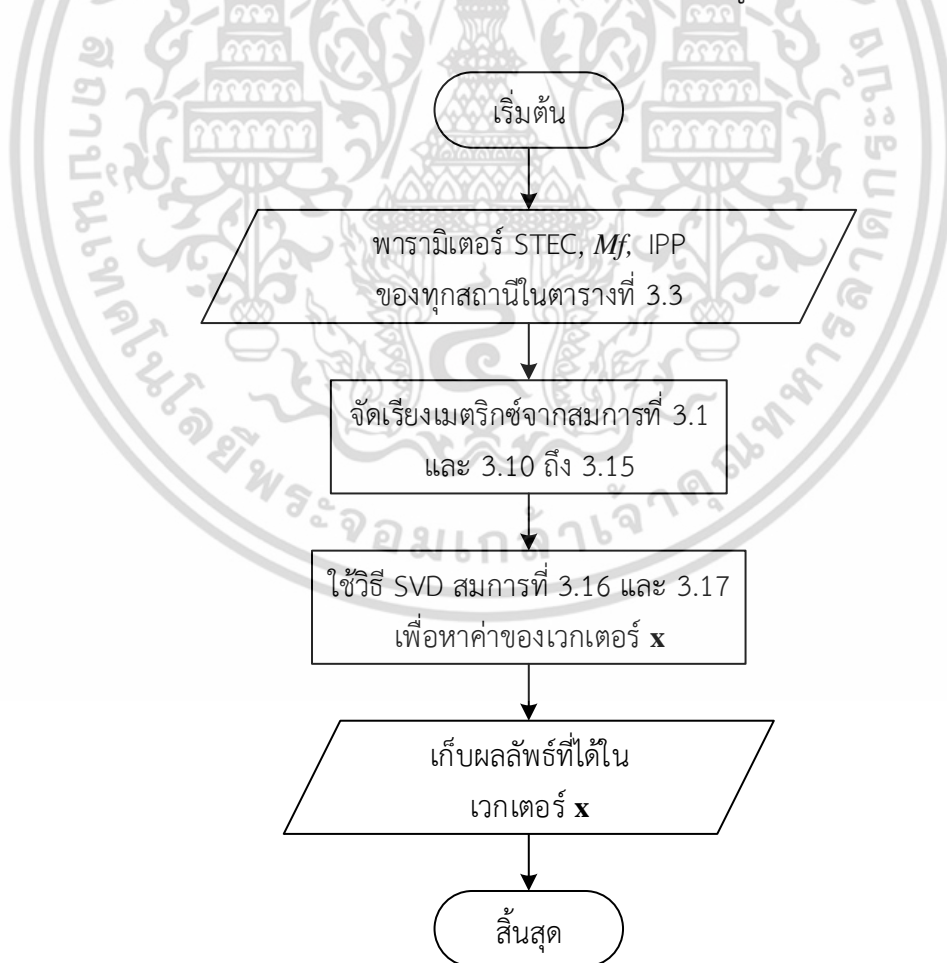
จากรูปที่ 3.12 ทำการแบ่งพื้นที่บริเวณประเทศไทยเป็น 18 ช่อง จาก 5°N ถึง 20°N และ 97.5°E ถึง 105°E โดยแต่ละช่องจะมีขนาด 2.5°N × 2.5°E ตามแนวละติจูดและลองจิจูด ตามลำดับ ซึ่งจะใช้พารามิเตอร์ STEC M_f และ IPP ทุกสถานีที่ใช้ในกระบวนการนี้ โดยจำนวนของข้อมูลจีพีเอสที่ถูกเก็บในทุกๆ 15 นาทีจะได้เมทริกซ์ของค่า STEC M_f และ IPP ที่มีขนาด 96×32 โดยที่ 96 คือจำนวนครั้งที่ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 15 นาทีใน 1 วันจากแต่ละช่องที่แบ่งไว้ ซึ่งค่า TEC ที่คำนวณได้จะมีค่าทั้งหมด 96 ค่าต่อช่อง ดังนั้นจำนวนของค่า TEC ที่ไม่ทราบค่าจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของข้อมูลคูณกับจำนวนของกริดพื้นที่ทั้งหมด ส่วนจำนวนของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้รับมูลมีทั้งหมด 32 ดวงและใช้ข้อมูลจากจำนวนสถานีเครื่องรับจีพีเอสทั้งหมด 14 สถานี ซึ่งจากจำนวนของตัวแปรทั้งหมดขนาดของเวกเตอร์ x จะมีขนาดเท่ากับจำนวนตัวแปรค่า TEC ที่ไม่ทราบค่ารวมกับจำนวนดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอส สำหรับขนาดของเมทริกซ์ A คือ $m \times n$ โดยที่ m คือจำนวนของสมการที่ใช้ในการคำนวณค่า TEC ส่วน n จะมีค่าเท่ากับจำนวนของตัวแปรไม่ทราบค่า ซึ่งขนาดของ m จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ n ซึ่งจำนวนของสมการที่ใช้ในการคำนวณมีประมาณ 7,558 สมการ ดังนั้นขนาดของ

เมทริกซ์ A คือ 7,558×1,774 จากจำนวนตัวแปรทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.4
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 จำนวนของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสใน 1 วัน

ตัวแปร	จำนวน
พื้นที่กริด	18
ข้อมูลแต่ละกริด	96
TEC ไม่ทราบค่า	1,728
ดาวเทียมจีพีเอส	32
เครื่องรับจีพีเอส	14
ตัวแปรไม่ทราบค่าทั้งหมด	1,774
จำนวนสมการ	7,558
ขนาดของเมทริกซ์ A	7,558x1,774
ขนาดของเวกเตอร์ x	1,774
ขนาดของเวกเตอร์ b	7,558

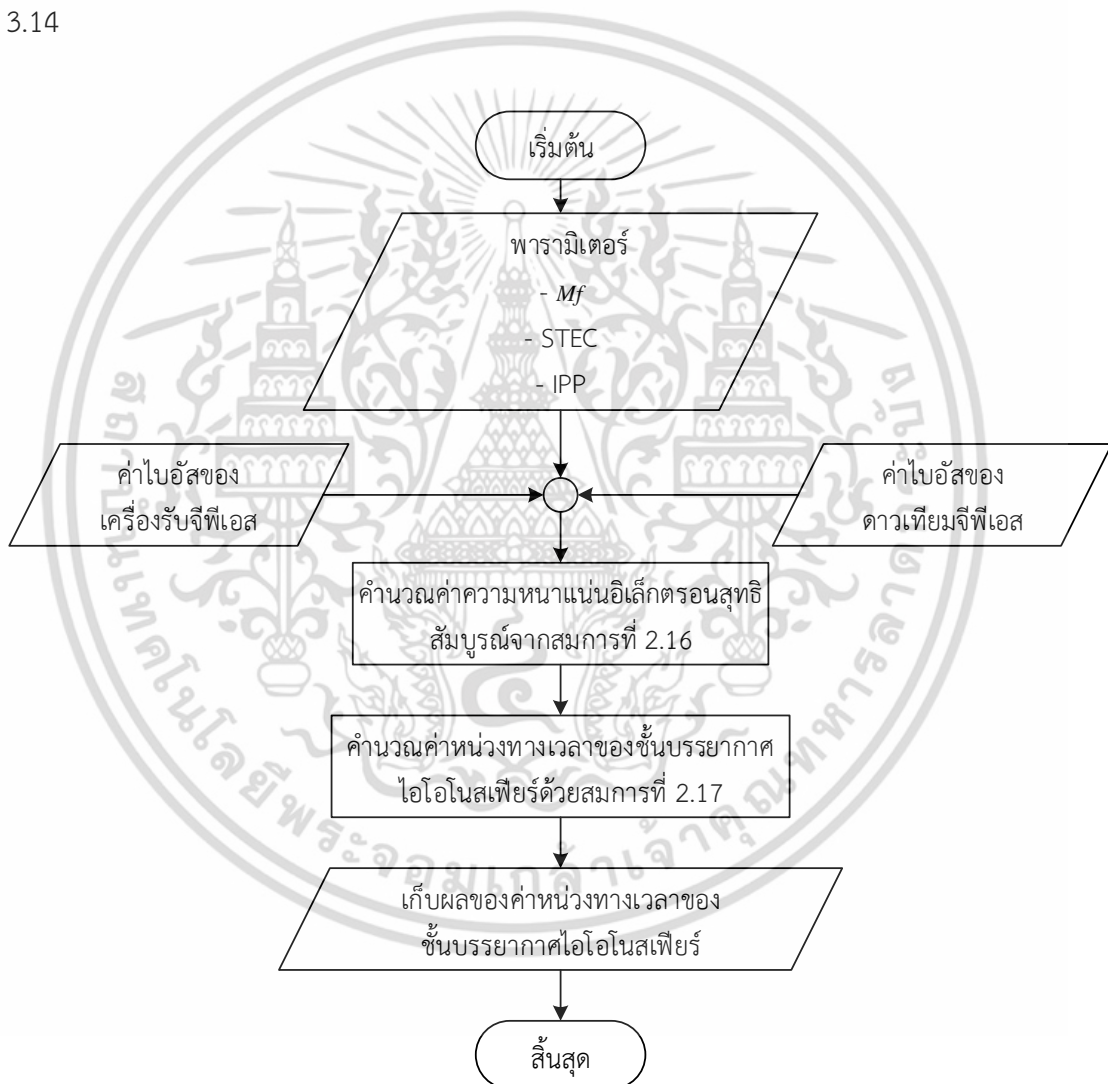
โดยผังงานของการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสนี้แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ผังงานแสดงขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสและค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ด้วย SVD เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 การคำนวณค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

การคำนวณเพื่อหาค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จะได้จากค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิแนวเฉียงที่หลังจากทำการกำจัดหรือชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆ ออกไปจนหมดแล้ว ซึ่งอาจจะนำค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากการประมาณค่าหรือจากหน่วยงาน CODE และค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้จากวิธีที่นำเสนอมาเป็นค่าชดเชย จากนั้นจึงแปลงค่า STEC เป็นค่า TEC แล้วสามารถใช้สมการที่ 2.17 เพื่อคำนวณหาค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งการคำนวณค่าหน่วยเวลานั้นจะใช้ข้อมูลที่ประมวลผลแล้วจากหัวข้อที่ 3.5.2 ในรูปบล็อกที่ 2 ของรูปที่ 3.8 โดยแผนผังงานของขั้นตอนการคำนวณค่าหน่วยทางเวลาแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ผังงานการคำนวณค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสทั้งวิธีการคิดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) และวิธีที่นำเสนอด้วยวิธีเกรเดียนต์เดสเซนต์ (Gradient descent method) ซึ่งวิธีที่นำเสนอจะทำการลดความซับซ้อนในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีการประมาณค่าไบอัสแบบดั้งเดิม เพื่อลดเวลาในการประมวลผล ซึ่งไม่ได้มีเพียงแต่มีผลของการประมวลผลของค่าไบอัสของเครื่องรับแบบเดียวเท่านั้น ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองจากการประยุกต์วิธีการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสและค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์บริเวณประเทศไทยด้วยวิธีกำลังน้อยที่สุด (Least squares method) โดยใช้วิธีการแยกค่าแบบเอกฐาน (Singular value decomposition : SVD) นอกจากนั้นจะแสดงผลการทดลองและวิเคราะห์ของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในกรุงเทพมหานคร ซึ่งค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะสามารถหาได้จากค่า TEC ที่ทำการชดเชยค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับแล้ว

4.1 ผลการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส

จากหัวข้อที่ 3.2.2 และ 3.3 ผู้เขียนได้อธิบายถึงวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสำหรับเครื่องรับเครื่องเดียว ซึ่งวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับแบบดั้งเดิมนั้นเป็นการประมาณค่าไบอัสจากการกำหนดช่วงของค่าไบอัสเพื่อชดเชยค่า VTEC แล้วทำการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC จากนั้นทำการหาผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC ของทุกเวลาเพื่อหาค่าไบอัสที่เหมาะสมอันเนื่องมาจากค่าไบอัสที่ทำให้ผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการประมาณค่าที่นำเสนอจะใช้หลักการเดียวกันในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั่นคือทำการหาผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC แต่หาค่าไบอัสเริ่มต้นจะถูกกำหนดขึ้นเพียง 1 ค่าเท่านั้นแทนที่จะแทนค่าไบอัสหลายๆ ค่า โดยผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC ที่ได้ในแต่ละรอบวนซ้ำจะถูกนำไปใช้เพื่อหาค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าไบอัสในแต่ละรอบวนซ้ำเพื่อหาค่าไบอัสของเครื่องรับในลำดับถัดไปจนกว่าค่าความผิดพลาดจะน้อยกว่าที่กำหนด ซึ่งค่าไบอัสของเครื่องรับในรอบวนซ้ำรอบสุดท้ายจะถูกเลือกเป็นค่าไบอัสของเครื่องรับที่เหมาะสม นอกจากนั้นวิธีการประมาณค่าไบอัสด้วยวิธีนำเสนอจะกำหนดค่าลำดับขั้นเบื้องต้น (Initial step-size) หรือ μ_0 เพื่อใช้ในการหาค่าลำดับขั้นหรือ μ_i ในแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

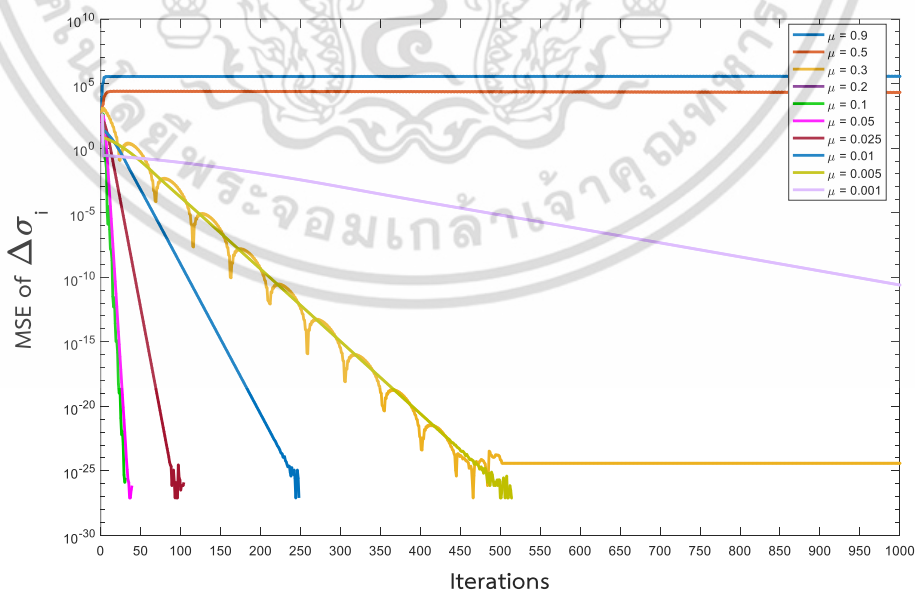
ละรอบวนซ้ำที่ i ด้วย โดยขั้นตอนนี้จะทำให้วิธีการที่นำเสนอมีลักษณะลู่เข้าสู่ค่าผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ VTEC ที่น้อยที่สุด

4.1.1 การเลือกค่าลำดับชั้น μ_0

อย่างไรก็ตามผลการทดสอบของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจะแสดงผลจากการประมาณค่าทั้งสองวิธีโดยใช้ข้อมูลสัญญาณจีพีเอสที่เก็บทุกๆ 15 นาทีจากสถานีเครื่องรับจีพีเอสจากสถานี KMIT2 วันที่ 25 มิถุนายนในปี พ.ศ. 2558 และใช้ค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากหน่วยงาน Center for Orbital Determination in Europe หรือ CODE [13] นอกจากนี้พารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับอัลกอริทึมเกรเดียนต์เดสเซนต์คือการกำหนดค่าลำดับชั้น ซึ่งวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอจะใช้วิธีการกำหนดค่าลำดับชั้นหรือ μ_0 แบบไม่เปลี่ยนแปลง โดยจะทำการทดสอบเพื่อหาค่า μ_0 ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบในกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอโดยผลของการทดสอบการใช้ค่า μ_0 เท่ากับ 0.9, 0.5, 0.3, 0.2, 0.1, 0.05, 0.025, 0.01, 0.005, 0.001 โดยใช้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error : MSE) สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$MSE = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} (\sigma_{Total,i} - \sigma_{Total,i-1})^2 \quad (4.1)$$

เมื่อ N_i คือจำนวนของรอบวนซ้ำสูงสุด ซึ่งการทดสอบค่าลำดับชั้นแต่ละค่าแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทดสอบการค่า μ_0 จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอโดยใช้ข้อมูลจีพีเอสวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่า MSE ของค่าผลต่างของค่า $\Delta\sigma_i$ ที่ได้จากระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสโดยใช้รอบกันทั้งสิ้น 1,000 รอบพบว่าค่า μ_0 ที่เท่ากับ 0.1, 0.05, 0.025, 0.01 และ 0.005 นั้นจะมีค่า MSE ประมาณ 10^{-27} โดยจำนวนรอบวนซ้ำของค่า μ_0 เท่ากับ 0.1 และ 0.05 จะใช้รอบวนซ้ำไม่เกิน 50 รอบ ส่วนค่าที่เท่ากับ 0.025, 0.01 และ 0.005 จะใช้รอบวนซ้ำประมาณ 100, 250 และ 500 รอบตามลำดับ สำหรับค่า μ_0 เท่ากับ 0.9 และ 0.5 นั้นจะเห็นว่าค่า MSE จะสูงขึ้นก่อนจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ที่นั่นแสดงให้เห็นว่าการใช้ค่า μ_0 เท่ากับ 0.9 และ 0.5 อัลกอริทึมจะไม่สามารถเข้าสู่จุดต่ำสุดได้ สำหรับค่า μ_0 เท่ากับ 0.3 พบว่าจะมีค่าลดลง โดยมีค่าใกล้เคียงกันกับค่า μ_0 ที่มีค่าเท่ากับ 0.005 ก่อนที่จะเริ่มสภาวะคงที่ที่ 10^{-24} หลังจากรอบการวนซ้ำ 500 รอบ สำหรับค่า μ_0 เท่ากับ 0.001 นั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าค่า MSE จะมีค่าลดลงอย่างช้าๆ จนกว่าจะอยู่ในสภาวะคงที่ โดยจะใช้จำนวนรอบวนซ้ำมากพอสมควร

อย่างไรก็ตามจากการทดสอบค่า μ_0 จำนวนทั้ง 10 ค่านั้น ผู้วิจัยจะทำการเลือกค่า μ_0 ที่ใช้จำนวนรอบวนซ้ำน้อยที่สุดคือ μ_0 เท่ากับ 0.1 ซึ่งก่อนจะเริ่มการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ นั้นจะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการเริ่มต้นการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเสียก่อน โดยพารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าสรุปดังในตารางที่ 4.1

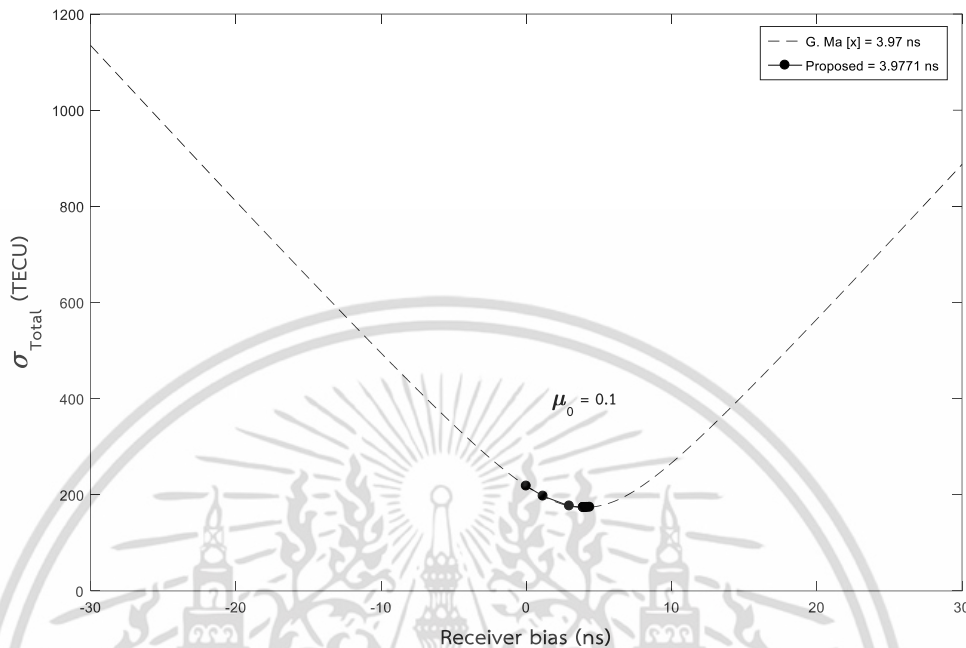
ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์สำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
$b_{r,i-1}$	-1
$b_{r,i}$	0
$\Delta\sigma_i$	< 0.0001
จำนวนรอบวนซ้ำ (iteration)	< 500
μ_0	0.1

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่ามีข้อกำหนดค่าของพารามิเตอร์ $b_{r,i-1}$ ขึ้นเนื่องจากต้องการคำนวณหาค่า $\sigma_{Total,i-1}$ ก่อนเข้ากระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเพราะว่าเพื่อให้อัลกอริทึมสามารถหาลำดับขั้นถัดไปได้ในครั้งแรกของการประมวลผล สำหรับค่า $\min(\Delta\sigma_i)$ ที่ถูกกำหนดให้มีค่าน้อยกว่า 0.0001 นั้นเพื่อเป็นเงื่อนไขในการทำให้อัลกอริทึมนั้นหยุด เช่นเดียวกับกับการกำหนดจำนวนรอบวนซ้ำเพื่อให้อัลกอริทึมไม่ใช้ทรัพยากรในการคำนวณมากจนเกินไป

สำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นจะกำหนดเป็นช่วงของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเพื่อหาค่าผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC ซึ่งการกำหนดค่าสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมนั้นจะกำหนดช่วงของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเริ่มต้นที่ -30 นาโนวินาที และเพิ่มค่าไบอัสทีละ 0.01 ไปจนถึง 30 นาโน

วินาที อย่างไรก็ตามเพื่อทดสอบการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ
นั้น



รูปที่ 4.2 ผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิม [3] และวิธีที่
นำเสนอ โดยใช้ข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

จากรูปที่ 4.2 แสดงรูปแบบของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธี
ดั้งเดิม (เส้นประ) และวิธีที่นำเสนอ (จุดสีดำทึบ) ของสถานี KMIT2 โดยแกนตั้งคือผลรวมของส่วน
เบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC และแกนนอนคือค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส พบว่าผลลัพธ์ของค่า
ไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิมคือ 3.97 นาโนวินาที สำหรับค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้
จากวิธีที่นำเสนอนั้นจะเห็นว่าค่าไบอัสจะทำการลู่เข้าสู่ค่าต่ำสุดนับตั้งแต่จุดเริ่มต้น ซึ่งค่าไบอัสของ
เครื่องรับจีพีเอสมีค่า 3.9771 นาโนวินาที โดยความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณ
จีพีเอสของทั้งสองวิธีนั้นมีค่าต่างกันเพียง 0.0071 นาโนวินาทีเท่านั้น จากของผลจากการประมาณค่า
ไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสทั้งสองวิธีในรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส
ทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นทำการทดสอบการประมาณค่าไบอัสของเครื่องจีพีเอสโดยใช้
ข้อมูลจีพีเอสจากทุกสถานีในวันเดียวกัน ซึ่งผลจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธี
ดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอแสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

สถานี	ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (นาโนวินาที)	
	วิธีดั้งเดิม [3]	วิธีที่นำเสนอ
KMIT1 (KMITL)	-6.54	-6.5368
KMIT2 (SEALION)	3.97	3.9771
CHPN	-2.56	-2.5589
DPT9	-	-
CHAN	-1.21	-1.2217
CHMA	-1.97	-2.0049
NKRM	1.36	1.3569
NKSW	-17.02	-17.0301
PJRK	-0.76	-0.7685
SISK	0.66	0.6578
SOKA	-5.96	-5.9608
SRTN	-0.94	-0.9353
UDON	2.67	2.6762
UTTD	2.92	2.9079

จากตารางที่ 4.2 ผลของค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีการประมาณค่าทั้งสองวิธีจากข้อมูลสัญญาณจีพีเอสของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 นั้นจะเห็นได้ว่าค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจะมีค่าแตกต่างกันไป โดยค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของแต่ละสถานีจะเป็นค่าไบอัสของเฉพาะเครื่องรับสัญญาณของสถานีนั้น ซึ่งค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจากข้อมูลของทุกสถานีที่ใช้อยู่ช่วงระหว่างประมาณ -17 นาโนวินาทีถึง 3.9 นาโนวินาที โดยที่ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีที่นำเสนอสูงสุดที่สถานี KMIT2 มีค่าประมาณ 3.9771 นาโนวินาที และค่าต่ำสุดที่สถานี NKSW มีค่าประมาณ -17.02 นาโนวินาที โดยจากค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากทั้งสองวิธีนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกสถานี นอกจากนั้นเพื่อพิสูจน์ว่าค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ได้จากวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสได้เพื่อเป็นค่าชดเชยในการคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม ความแม่นยำในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับของวิธีการที่นำเสนอนั้นจะแสดงในรูปแบบของค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (Percentage deviation : PD) ระหว่างค่าไบอัสของเครื่องรับจากวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

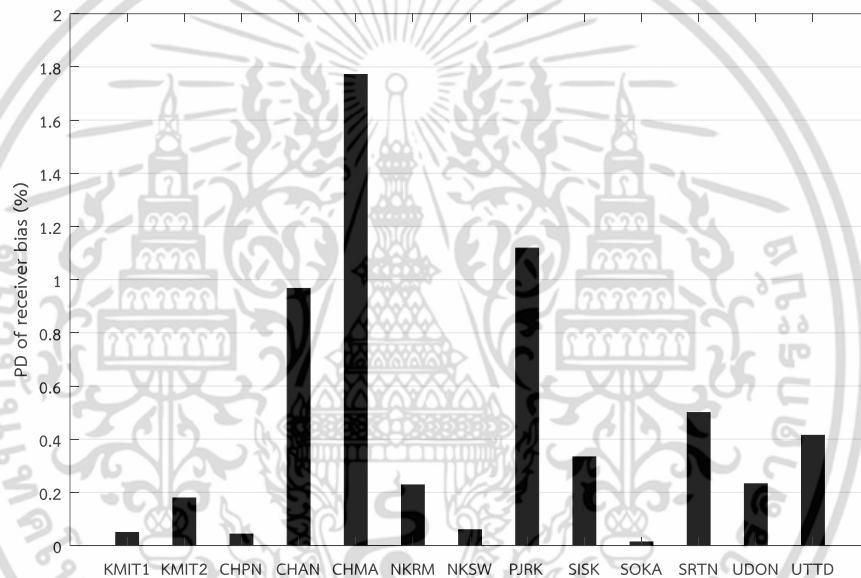
$$PD_{b_r} = \left| \frac{b_{r,pro} - b_{r,ref}}{b_{r,ref}} \right| \times 100 \quad (4.2)$$

โดยที่ค่า PD_{b_r} คือค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส (เปอร์เซ็นต์)

$b_{r,pro}$ คือค่าไบอัสของเครื่องรับจากวิธีที่นำเสนอ (นาโนวินาที)

$b_{r,ref}$ คือค่าไบอัสของเครื่องรับอ้างอิง (นาโนวินาที)

จากสมการที่ 4.2 กำหนดให้ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ได้จากวิธีดั้งเดิมเป็นค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสอ้างอิง ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนของค่าไบอัสของเครื่องรับระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสเครื่องรับจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธีจาก 13 สถานีโดยใช้ข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องสัญญาณจีพีเอสจากทุกสถานีมีค่าน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ นั้นทำการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับได้ใกล้เคียงกันมาก โดยค่าเปอร์เซ็นต์ส่วนเบี่ยงเบนของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสสูงสุดประมาณ 1.77 เปอร์เซ็นต์ที่สถานี CHMA (เชียงใหม่) และค่าที่น้อยที่สุดของข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 มีค่าประมาณ 0.01 เปอร์เซ็นต์ที่สถานี SOKA (สงขลา) ซึ่งพบว่าความแม่นยำของการประมาณค่าไบอัสด้วยวิธีที่นำเสนอจะได้ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิมมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ความซับซ้อนของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ

จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของทั้งสองวิธีที่ถูกนำเสนอไว้ในบทที่ 3 นั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีใช้หลักการเดียวกันในการประมวลผล ซึ่งจากตารางแสดงความซับซ้อนของวิธีดั้งเดิมและความซับซ้อนของวิธีที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.2.2 และ 3.3 จะเห็นว่าใน 1 รอบการวนซ้ำวิธีที่นำเสนอจะมีค่าความซับซ้อนมากกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ทว่าหากเทียบจากการนำวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากทั้งสองวิธีไปใช้จริง โดยผลของจำนวนรอบวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสแสดงในตารางที่ 4.2 จากขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่แสดงว่าความซับซ้อนของขั้นตอนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอในบทที่ 3 นั้นแสดงจำนวนของความซับซ้อนของแต่ละขั้นตอนได้แสดงไว้ทั้งจำนวนของการบวก ลบ คูณ หาร รวมไปถึงรากที่สอง โดยจะขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลสัญญาณจีพีเอสที่ใช้ประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วย ซึ่งดังผลที่แสดงในตารางที่ 4.2 จะเห็นว่าจำนวนรอบวนซ้ำของวิธีดั้งเดิมนั้นจะมีจำนวนรอบการวนซ้ำเท่ากันทุกสถานีคือ 6,001 รอบ และส่วนในส่วนของจำนวนรอบการวนซ้ำของวิธีที่นำเสนอจากข้อมูลจีพีเอสในวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 อยู่ช่วงระหว่าง 4 รอบถึง 19 รอบ โดยจำนวนรอบการวนซ้ำสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสน้อยที่สุดคือ 4 รอบที่สถานี CHMA (เชียงใหม่) และจำนวนรอบมากที่สุดคือ 19 รอบที่สถานี SOKA (สงขลา) ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถลดจำนวนรอบวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสได้จริง แต่อย่างไรก็ตามจำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิม แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 จำนวนรอบการวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับทั้ง 2 วิธีโดยใช้ข้อมูลของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

สถานี	จำนวนรอบการวนซ้ำ	
	วิธีดั้งเดิม [3]	วิธีที่นำเสนอ
KMIT1 (KMITL)	6,001	11
KMIT2 (SEALION)		13
CHPN		12
DPT9	-	-
CHAN	6,001	9
CHMA		4
NKRM		9
NKSW		14
PJRK		9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) จำนวนรอบการวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับทั้ง 2 วิธีโดยใช้ข้อมูลของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

สถานี	จำนวนรอบการวนซ้ำ	
	วิธีดั้งเดิม [3]	วิธีที่นำเสนอ
SISK	6,001	9
SOKA		19
SRTN		15
UDON		10
UTTD		12

ตารางที่ 4.4 จำนวนความซับซ้อนทั้งหมดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของวิธีดั้งเดิมของข้อมูลจีพีเอสจากสถานี SOKA วันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558

ขั้นตอน	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
$VTEC = (STEC - b_r) \times Mf$	350×6,001	350×6,001	-
$\sigma_{VTEC}^j = \sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2}$	858×6,001	(96×3)×6,001	(96×1)×6,001
$\sigma_{Total} = \sum_{j=1}^{N_i} \sigma_{VTEC}^j$	(96-1)×6,001	-	-
รวม	7,819,303	3,828,638	576,096

จากตารางที่ 4.4 แสดงความซับซ้อนทั้งหมดที่ได้จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิม ซึ่งจำนวนครั้งต่อการบวกและลบจะมีจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นประมาณ 7,819,303 ครั้ง จำนวนครั้งของการคูณและหารเกิดขึ้นประมาณ 3,828,638 ครั้ง และจำนวนครั้งในถอดรากที่สองประมาณ 576,096 ครั้ง โดยในวิทยานิพนธ์นี้จำนวนของความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมจะใช้จำนวนค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อหาค่าไบอัสของเครื่องรับที่เหมาะสมของสถานีเท่านั้น จึงทำให้จำนวนรอบของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั้นเท่ากับทุกสถานีอีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของค่าไบอัสของเครื่องรับที่กำหนดขึ้นเพื่อหาผลรวมของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC ทุกค่านั้นเอง นอกจากนั้นจากตารางแสดงจำนวนรอบวนซ้ำในตารางที่ 4.3 จะเห็นว่าจำนวนรอบวนซ้ำมากที่สุดคือสถานี SOKA ดังนั้นจำนวนความซับซ้อนทั้งหมดของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับ

จีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอจะเป็นของสถานี SOKA โดยแสดงดังตารางที่ 4.5

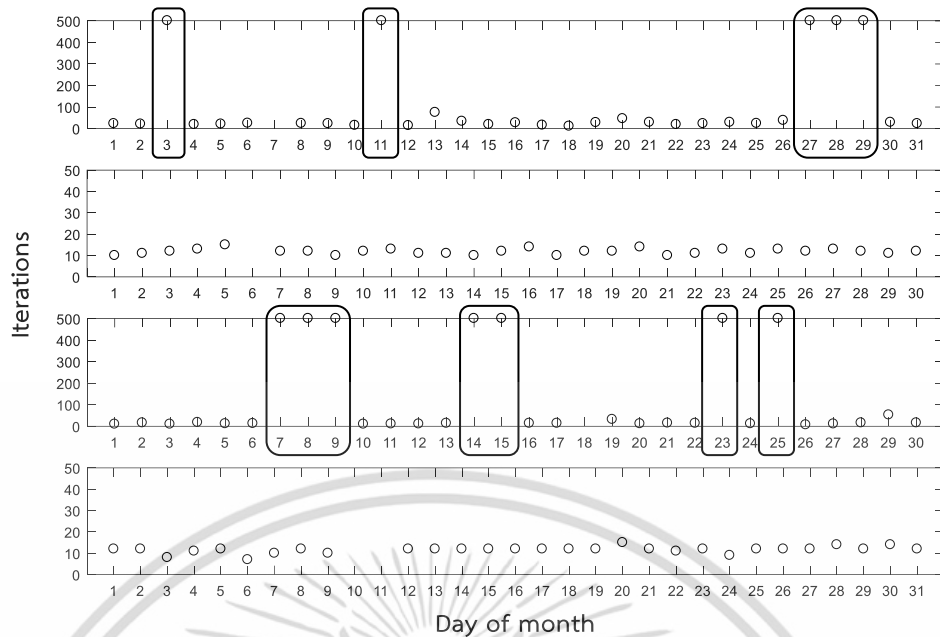
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 จำนวนความซับซ้อนทั้งหมดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอของสถานี SOKA (สงขลา) จากข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

ขั้นตอน	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
$VTEC = (STEC - b_r) \times Mf$	350×19	350×19	-
$\sigma_{VTEC}^j = \sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2}$	858×19	(96×3)×19	(96×1)×19
$\sigma_{Total} = \sum_{j=1}^{N_i} \sigma_{VTEC}^j$	(96-1)×19	-	-
$\mu_i = \frac{\mu_0}{b_{r,i} - b_{r,i-1}}$	1×19	1×19	-
$b_{r,i+1} = b_r - \mu_i \cdot \Delta\sigma_i$	2×19	1×19	-
รวม	24,814	12,160	1,824

จากตารางที่ 4.5 แสดงจำนวนของความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอของสถานี SOKA จากข้อมูลวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 นั้นพบว่าจำนวนครั้งของการบวกและลบของวิธีที่นำเสนอจะมีค่าประมาณ 24,814 ครั้ง จำนวนการคูณและหารประมาณ 12,160 ครั้ง และจำนวนการถอดรากที่สองประมาณ 1,824 ครั้ง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าจำนวนของความซับซ้อนของมีจำนวนที่น้อยกว่ามาก ดังนั้นการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ นั้นสามารถลดความซับซ้อนได้จริง ซึ่งจากการเปรียบเทียบจำนวนของความซับซ้อนของวิธีดั้งเดิมดังตารางที่ 4.3 และจำนวนความซับซ้อนของวิธีที่นำเสนอดังตารางที่ 4.4 พบว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถลดจำนวนความซับซ้อนจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิมได้ประมาณ 315 เท่าทั้งจำนวนการบวก ลบ คูณ หาร และรากที่สอง อย่างไรก็ตามตารางที่ 4.2 และ 4.3 แสดงผลของค่าไบอัสของเครื่องรับและจำนวนรอบวนซ้ำของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอเพียง 1 วันจากทุกสถานีที่มีข้อมูลของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 เท่านั้น เพื่อทดสอบสมรรถนะของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ นั้นจะทำการประมาณค่าไบอัสของทุกสถานีที่มีข้อมูลของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคมในปี พ.ศ. 2558 จะใช้ข้อมูลสัญญาณจีพีเอสที่มีจาก 4 เดือน ในปี พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2 เพื่อแสดงผลทดสอบสมรรถนะในการลดความซับซ้อนจากวิธีดั้งเดิมของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยจะแสดงในรูปแบบของจำนวนของรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 จำนวนของรอบการวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอมจากข้อมูลของสถานี KMIT2 ของเดือนมีนาคม (1) มิถุนายน (2) กันยายน (3) และธันวาคม (4) พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 4.4 แสดงจำนวนรอบวนซ้ำของกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอมของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ในปี พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2 พบว่าจำนวนรอบการวนซ้ำส่วนใหญ่ในเดือนมิถุนายนและธันวาคมจะมีจำนวนรอบวนซ้ำประมาณ 10 ถึง 15 รอบและประมาณ 7 ถึง 14 รอบตามลำดับ สำหรับจำนวนรอบวนซ้ำของเดือนมีนาคมและกันยายนจะพบว่าจำนวนรอบวนซ้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นคือ 500 รอบ ซึ่งเกิดขึ้นในวันที่ 3, 11, 27, 28 และ 29 ของเดือนมีนาคม และในเดือนกันยายนวันที่มีจำนวนรอบวนซ้ำ 500 รอบได้แก่วันที่ 7, 8, 9, 14, 15, 23 และ 25 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเบื้องต้นระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอมสำหรับวันดังกล่าวสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอมจากวันที่มีจำนวนรอบวนซ้ำของวิธีที่นำเสนอมทั้งสิ้น 500 รอบในเดือนมีนาคมและกันยายนในปี พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

วัน/เดือน/ปี	การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส		ผลต่าง
	วิธีดั้งเดิม	วิธีที่นำเสนอม	
3/3/58	8.62	8.6414	-0.0214
11/3/58	3.74	3.7249	0.0151
27/3/58	5.88	5.8951	-0.0151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน/เดือน/ปี	การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส		ผลต่าง
	วิธีดั้งเดิม	วิธีที่นำเสนอ	
28/3/58	8.16	8.1726	-0.0126
29/3/58	6.38	6.3456	0.0344
7/9/58	5.27	5.2821	-0.0121
8/9/58	6.24	6.2820	-0.042
9/9/58	4.96	4.8739	0.0861
14/9/58	5.75	5.8154	-0.0654
15/9/58	5.75	5.9171	-0.1671
23/9/58	6.41	6.3944	0.0156
25/9/58	5.42	5.4519	-0.0319

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอมีค่าผลต่างไม่เกิน 0.2 นาโนวินาที ซึ่งจะสามารถคิดได้ว่าอัลกอริทึมในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั้นจะถูกลงใกล้จุดต่ำสุด แต่ทว่าอัลกอริทึมไม่สามารถหยุดการทำงานได้และจะเกิดการวนซ้ำรอบจุดต่ำสุดแบบไม่มีที่สิ้นสุดเนื่องจากไม่ได้เข้าเงื่อนไขเมื่อค่า $\Delta\sigma_i$ ไม่ได้น้อยกว่า 0.0001 แต่จะใช้เงื่อนไขของการจำกัดจำนวนรอบการวนซ้ำแทน แต่จากผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณค่านั้นค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ได้จากวิธีที่นำเสนอไม่ได้แตกต่างกันมากกับค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้จากวิธีดั้งเดิม นอกจากนี้สำหรับความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอที่มีจำนวนรอบวนซ้ำ 500 รอบของวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 สรุปได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากวิธีที่นำเสนอจากข้อมูลจีพีเอสวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

ขั้นตอน	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
$VTEC = (STEC - b_r) \times Mf$	336×500	336×500	-
$\sigma_{VTEC}^j = \sqrt{\frac{1}{N_{Sat}^j} \sum_{k=1}^{N_{Sat}^j} (VTEC_k^j - \overline{VTEC}^j)^2}$	816×500	(96×3)×500	(96×1)×500
$\sigma_{Total} = \sum_{j=1}^{N_r} \sigma_{VTEC}^j$	(96-1)×500	-	-
$\mu_i = \frac{\mu_0}{b_{r,i} - b_{r,i-1}}$	1×500	1×500	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอน	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
$b_{r,i+1} = b_r - \mu_i \cdot \Delta\sigma_i$	2×500	1×500	-
รวม	625,000	313,000	48,000

จากตารางที่ 4.7 เมื่อความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอที่มีจำนวนรอบวนซ้ำ 500 รอบจะเกิดจำนวนของการบวกเกิดขึ้นเท่ากับ 625,000 ครั้ง จำนวนการคูณเท่ากับ 313,000 ครั้ง และการถอดรากที่เป็นจำนวน 48,000 ครั้ง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมในวันเดียวกันสรุปได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสในวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

วิธีการ	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
วิธีดั้งเดิม	7,483,247	3,744,624	576,096
วิธีที่นำเสนอ	625,000	313,000	48,000
ความซับซ้อนลดลง (เท่า)	11.97	11.96	12

จากตารางที่ 4.8 เมื่อทำการเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสทั้งจากวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอนั้นพบว่าเมื่อวิธีที่นำเสนอเกิดจำนวนรอบวนซ้ำมากที่สุด 500 รอบจะสามารถลดความซับซ้อนของการคำนวณทั้งบวก ลบ คูณ ทหาร และการถอดรากที่สองได้ประมาณ 12 เท่า

4.1.3 การเปรียบเทียบความซับซ้อนเมื่อเปลี่ยนจุดเริ่มต้นของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ

จากการเปรียบเทียบความซับซ้อนของวิธีที่นำเสนอนั้นจะทำการกำหนดจุดเริ่มต้นที่ $b_{r,0} = 0$ เท่านั้น ในกรณีที่ทำการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอโดยจะใช้จุดเริ่มต้น 2 จุดคือ $b_{r,0} = 30$, $b_{r,-1} = 31$ และ $b_{r,0} = -30$, $b_{r,-1} = -31$ ตามลำดับ โดยการตั้งค่าตัวแปรค่าอื่นจะใช้ค่าเดียวกันกับการทดลองที่ผ่านมา สำหรับในกรณีนี้จะใช้ข้อมูลของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานีเครื่องรับจีพีเอสทุกสถานี ซึ่งผลการทดลองของจำนวนรอบวนซ้ำแสดงดังตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 จำนวนรอบวนซ้ำของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอกรณีเปลี่ยนจุดเริ่มต้นให้กับอัลกอริทึม โดยใช้ข้อมูลของวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

สถานี	จำนวนรอบวนซ้ำ			
	วิธีดั้งเดิม [3]	วิธีที่นำเสนอ		
		$b_{r,0} = 0$	$b_{r,0} = 30$	$b_{r,0} = -30$
KMIT1 (KMITL)	6,001	11	41	24
KMIT2 (SEALION)		13	28	41
CHPN		12	41	35
DPT9	-	-	-	-
CHAN	6,001	9	40	37
CHMA		4	37	35
NKRM		9	31	35
NKSW		14	43	15
PJRK		9	40	36
SISK		9	34	34
SOKA		19	50	35
SRTN		15	46	41
UDON		10	29	37
UTTD		12	31	39

จากตารางที่ 4.9 แสดงจำนวนรอบวนซ้ำของวิธีดั้งเดิมและวิธีนำเสนอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้น ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงจุดเริ่มต้นที่เพิ่มเข้ามาเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของจำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นกับวิธีที่นำเสนอ โดยจากในตารางนั้นเมื่อวิธีที่นำเสนอมีค่าจุดเริ่มต้นที่ $b_{r,0} = 30$ จำนวนรอบวนซ้ำที่พบจะมีจำนวนระหว่าง 28 ถึง 50 รอบ โดยจำนวนรอบวนซ้ำที่น้อยที่สุดของวิธีที่นำเสนอ KMIT2 (SEALION) คือ 28 รอบ และมากที่สุดที่สถานี SOKA คือ 50 รอบ ขณะที่จำนวนรอบวนซ้ำของวิธีที่นำเสนอเมื่อจุดเริ่มต้นที่ $b_{r,0} = -30$ จำนวนรอบวนซ้ำที่พบมีตั้งแต่ 15 ถึง 41 รอบ โดยจำนวนรอบวนซ้ำที่มากที่สุดคือ 41 รอบที่สถานี KMIT1 (KMITL) และ SRTN และน้อยที่สุดคือ 15 รอบที่สถานี NKSW สำหรับการเปลี่ยนแปลงของจุดเริ่มต้นในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอพบว่าจำนวนรอบวนซ้ำจะเพิ่มขึ้นประมาณ 19 ถึง 33 รอบอันเนื่องมาจากการกำหนดจุดเริ่มต้นนั้นจะอยู่ห่างจากจุดที่น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีจุดเริ่มต้น $b_{r,0} = 0$ นอกจากนั้นผลของค่าไบอัสของเครื่องรับในตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสมีค่าเป็นบวก จำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากวิธีที่นำเสนอเมื่อจุดเริ่มต้นที่ 30 จะน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนรอบวนซ้ำของวิธีที่นำเสนอที่จุดเริ่มต้น -30 และเมื่อค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้ค่าเป็นลบ ผลของจำนวนรอบวนซ้ำจะเป็นในทิศทางตรงกันข้าม

จากจำนวนรอบวนซ้ำที่นับได้จากแต่ละกรณีนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนที่เกิดขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอในแต่ละกรณี ซึ่งจะเลือกสถานีที่วัดจำนวนรอบวนซ้ำของในแต่ละกรณีได้แก่ สถานี SOKA โดยผลของจำนวนความซับซ้อนของสถานี SOKA ในแต่ละกรณีสรุปดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสในวันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานี SOKA

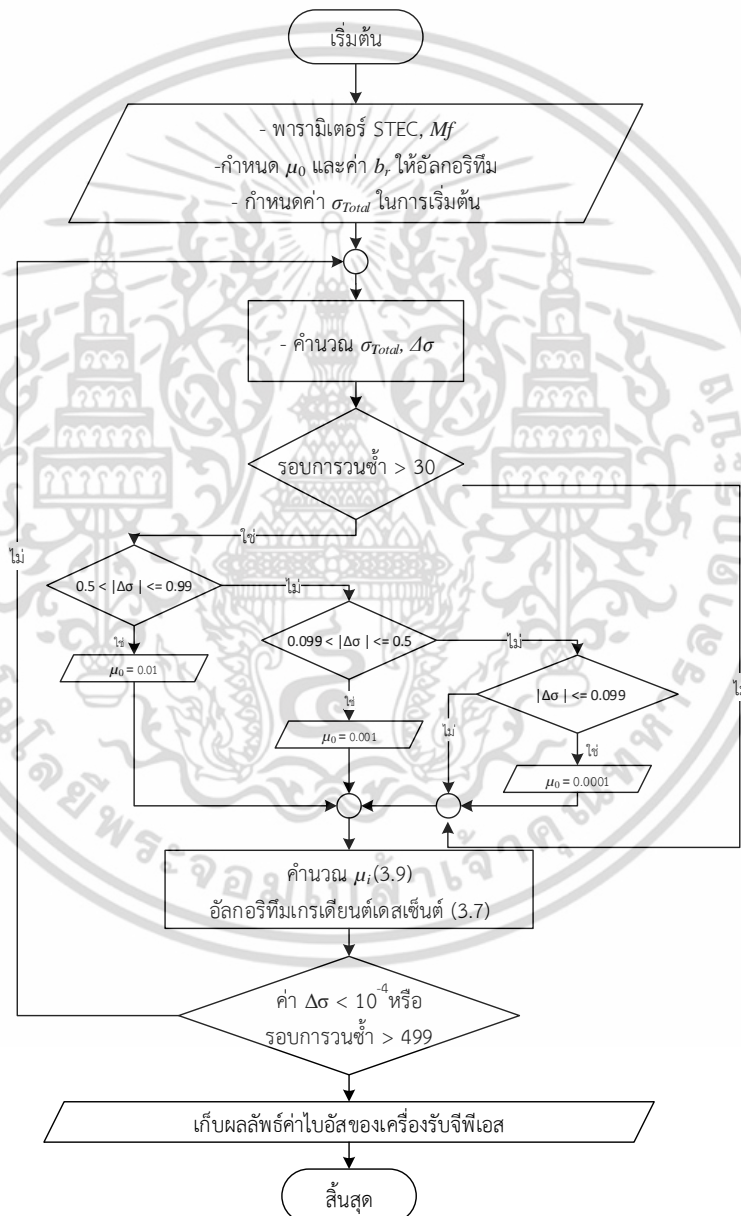
วิธีการ	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
วิธีดั้งเดิม	7,819,303	3,828,638	576,096
วิธีที่นำเสนอ เมื่อ $b_{r,0} = 0$	24,814	12,160	1,824
วิธีที่นำเสนอ เมื่อ $b_{r,0} = 30$	65,300	32,000	4,800
วิธีที่นำเสนอ เมื่อ $b_{r,0} = -30$	45,710	22,400	3,360
ความซับซ้อนลดลงจากวิธีดั้งเดิม (เท่า)			
วิธีที่นำเสนอ เมื่อ $b_{r,0} = 0$	315.11	314.85	315.84
วิธีที่นำเสนอ เมื่อ $b_{r,0} = 30$	119.74	119.64	120.02
วิธีที่นำเสนอ เมื่อ $b_{r,0} = -30$	171.06	170.92	171.45

จากตารางที่ 4.9 พบว่าจำนวนความซับซ้อนเมื่อทำการเปลี่ยนจุดเริ่มต้นให้กรณีที่นำเสนอ นั้น โดยในกรณีที่จุดเริ่มต้น $b_{r,0} = 30$ พบว่าจำนวนความซับซ้อนของการบวกเกิดขึ้นทั้งสิ้น 65,300 ครั้ง การคูณ 12,160 ครั้ง และการถอดรากที่สองเกิดขึ้น 4,800 ครั้ง ซึ่งความซับซ้อนที่ลดลงจากการประมาณค่าด้วยกรณีนี้เมื่อเทียบกับวิธีดั้งเดิมประมาณ 120 เท่า สำหรับในกรณีที่จุดเริ่มต้น $b_{r,0} = -30$ พบว่าจำนวนความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากการบวกคือ 45,710 ครั้ง การคูณ 22,400 ครั้ง และการคำนวณรากที่สอง 3,360 ครั้ง ซึ่งสามารถลดความซับซ้อนจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีดั้งเดิมได้ประมาณ 171 เท่า จากตารางดังกล่าวสังเกตได้ว่าความซับซ้อนที่ลดลงจากวิธีดั้งเดิมนั้นความสามารถในการลดความซับซ้อนจะลดลงจากกรณีที่จุดเริ่มต้นคือ $b_{r,0} = 0$ โดยประสิทธิภาพของการลดความซับซ้อนในกรณีที่จุดเริ่มต้นเริ่มที่ $b_{r,0} = 30$ จะลดความซับซ้อนได้น้อยกว่าในกรณีที่ $b_{r,0} = 0$ อยู่ 2.6 เท่า และประสิทธิภาพในการลดความซับซ้อนของกรณีที่ $b_{r,0} = -30$ จะมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ $b_{r,0} = 0$ อยู่ 1.8 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การเพิ่มเติมเงื่อนไขสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่ นำเสนอ

จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอที่กล่าวมาข้างต้นนั้นพบว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดังกล่าวจะมีบางวันที่จะเป็นกรณีที่ทำให้จำนวนรอบการวนซ้ำมีมากถึง 500 รอบ ซึ่งหากไม่ได้กำหนดจำนวนรอบวนซ้ำของอัลกอริทึมไว้ตัวอัลกอริทึมเองจะทำการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสไปจนกว่าค่า $\Delta\sigma$ มีค่าน้อยกว่า 0.0001 โดยกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอโดยการเพิ่มเติมเงื่อนไขที่ทำให้อัลกอริทึมสามารถหยุดก่อนรอบวนซ้ำถึง 500 รอบสามารถเขียนเป็นผังงานได้ดังรูปที่ 4.5

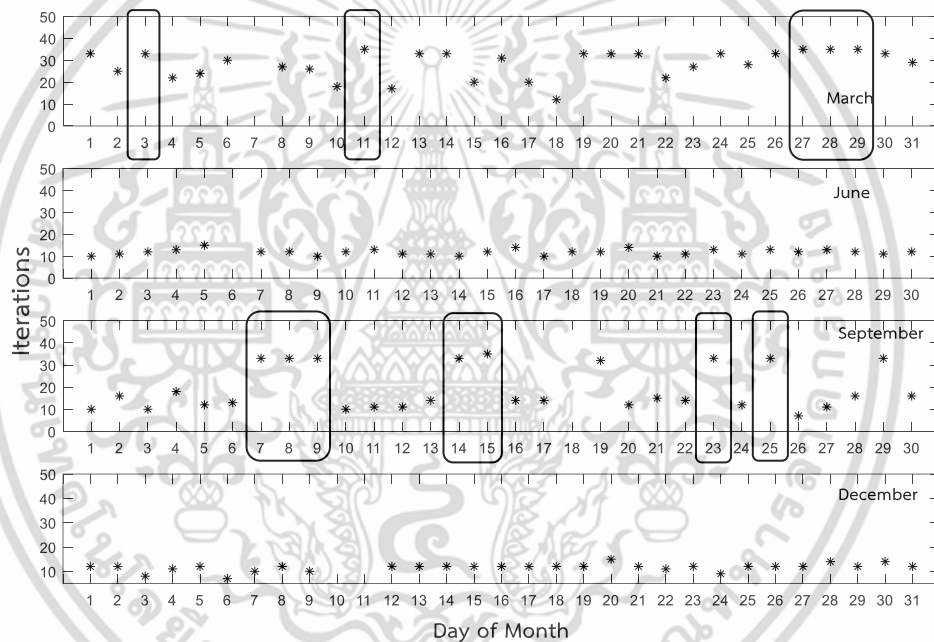


รูปที่ 4.5 ผังงานของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอเมื่อทำการเพิ่ม
เงื่อนไขสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4.5 การเพิ่มเติมเงื่อนไขสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสนั้นได้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในกรณีที่อัลกอริทึมเองกำลังลู่อู่เข้าสู่จุดต่ำสุดแล้วไม่สามารถเข้าสู่จุดนั้นได้ และเกิดการวนซ้ำรอบจุดต่ำสุดไปจนกว่าจะเข้าเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งเมื่อพิจารณาในกรณีที่จำนวนรอบการวนซ้ำมากกว่า 30 รอบจะเข้าสู่การพิจารณาเลือกค่า μ_0 ใหม่เพื่อให้วิธีการนี้ลู่อู่เข้าสู่จุดที่ใกล้เคียงจุดหมายมากที่สุด โดยจะทำการกำหนดเงื่อนไขไว้ 3 อย่างคือเมื่อ $0.5 < |\Delta\sigma_i| \leq 0.99$ จะกำหนดให้ค่า $\mu_0 = 0.01$ นอกจากนั้นเงื่อนไข $0.099 < |\Delta\sigma_i| \leq 0.5$ และ $|\Delta\sigma_i| \leq 0.099$ จะกำหนดค่า $\mu_0 = 0.001$ และ $\mu_0 = 0.0001$ ตามลำดับ

จากการทดสอบใช้การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอเมื่อทำการเพิ่มเติมเงื่อนไขสำหรับลดจำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสซึ่งผลทดสอบนั้นแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 จำนวนของรอบการวนซ้ำจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอเมื่อเพิ่มเติมเงื่อนไขสำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากข้อมูลของสถานี KMIT2 ของเดือนมีนาคม (1) มิถุนายน (2) กันยายน (3) และธันวาคม (4) พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 4.6 แสดงจำนวนรอบการวนซ้ำที่ใช้ในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ ซึ่งเรียงจากบนสุดคือจำนวนรอบการวนซ้ำที่ใช้ในแต่ละวันของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ จากรูปดังกล่าวพบว่าจำนวนรอบการวนซ้ำของเดือนมีนาคมมีจำนวนรอบตั้งแต่ 12 ถึง 35 รอบ เดือนมิถุนายนพบว่าจำนวนรอบที่ได้ในแต่ละวันจะมีค่าใกล้เคียงกันโดยจะพบจำนวนรอบได้ตั้งแต่ 10 ถึง 15 รอบ ในเดือนกันยายนจะพบจำนวนรอบวนซ้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 7 ถึง 35 รอบ และในเดือนธันวาคมพบว่าจำนวนรอบวนซ้ำมีจำนวน 7 ถึง 15 รอบ จากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขนั้นจะเห็นว่าจำนวนวันที่มีรอบวนซ้ำ 500 รอบที่เกิดขึ้นกับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับก่อนหน้านี้ที่อัลกอริทึมจะกระโดดข้ามสลับไปมาไม่มีที่สิ้นสุด ทำให้ไม่สามารถเข้าสู่ค่าต่ำสุดของผลรวมของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า VTEC ได้ และอัลกอริทึมเองจะไม่สามารถหยุดการทำงานได้เนื่องจากค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณยังไม่ค่อยน้อยไปกว่าที่กำหนดไว้ จากเงื่อนไขที่เพิ่มเติมขึ้นนี้จะช่วยให้อัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับสามารถเข้าสู่และหยุดการทำงานได้ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าวันที่มีจำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นในเดือนมีนาคม วันที่ 3, 11, 27, 28, 29 และเดือนกันยายน วันที่ 7, 8, 9, 14, 15, 23 และ 25 นั้น ลดลงจาก 500 รอบเหลือเพียงประมาณ 33 ถึง 35 รอบเท่านั้น ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 จำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคมและกันยายนในปี พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

วัน/เดือน/ปี	จำนวนรอบวนซ้ำ	
	วิธีที่นำเสนอ	วิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไข
3/3/58	500	33
11/3/58		35
27/3/58		35
28/3/58		35
29/3/58		35
7/9/58		33
8/9/58		33
9/9/58		33
14/9/58		33
15/9/58		35
23/9/58		33
25/9/58		33

นอกจากนั้นผลการทดสอบของค่าไบอัสเบื้องต้นเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีดั้งเดิม วิธีที่นำเสนอ และวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขนั้นสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิม วิธีที่นำเสนอ และวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมจากสถานี KMIT2 ในปี พ.ศ. 2558

วัน/เดือน/ ปี	การประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส			ผลต่างระหว่างวิธีการ	
	วิธี ดั้งเดิม	วิธีที่ นำเสนอ	วิธีที่นำเสนอแบบ เพิ่มเติม	ดั้งเดิมกับ นำเสนอ	ดั้งเดิมกับนำเสนอแบบ เพิ่มเติม
3/3/58	8.62	8.6414	8.5792	-0.0214	0.0408
11/3/58	3.74	3.7249	3.6818	0.0151	0.0582
27/3/58	5.88	5.8951	5.8936	-0.0151	-0.0136
28/3/58	8.16	8.1726	8.1659	-0.0126	-0.0059
29/3/58	6.38	6.3456	6.3447	0.0344	0.0353
7/9/58	5.27	5.2821	5.2806	-0.0121	-0.0106
8/9/58	6.24	6.2820	6.2847	-0.042	-0.0447
9/9/58	4.96	4.8739	4.8827	0.0861	0.0773
14/9/58	5.75	5.8154	5.8154	-0.0654	-0.0654
15/9/58	5.75	5.9171	5.6598	-0.1671	0.0902
23/9/58	6.41	6.3944	6.4083	0.0156	0.0017
25/9/58	5.42	5.4519	5.4512	-0.0319	-0.0312

จากตารางที่ 4.12 พบว่าค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้จากวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมจะมีค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสใกล้เคียงกันกับค่าไบอัสของเครื่องรับที่ได้จากวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ ซึ่งผลต่างระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมจะมีค่าไม่เกิน 0.1 นาโนวินาที ซึ่งจะเห็นว่าการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมสามารถลดจำนวนรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอได้ ซึ่งจะเห็นว่าเงื่อนไขที่เพิ่มเติมเข้ามานั้นจะทำให้อัลกอริทึมเองเข้าสู่จุดที่ใกล้เคียงจุดหมายมากที่สุดจนกว่าค่า $\Delta\sigma_i$ มีค่าน้อยกว่า 0.0001 จึงทำให้อัลกอริทึมหยุดทำงานได้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าเงื่อนไขในการจำกัดจำนวนรอบวนซ้ำที่ 500 รอบ นอกจากนั้นจากการประมาณค่าด้วยวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขนั้นจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดังกล่าวในวันที่ 3 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2558 จะมีจำนวนรอบวนซ้ำเกิดขึ้น 33 รอบ ซึ่งเมื่อนำมาคิดหาจำนวนความซับซ้อนที่ได้จากวิธีนี้สรุปได้ดังตารางที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 การเปรียบเทียบความซับซ้อนที่เกิดจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขในวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 จากสถานี KMIT2

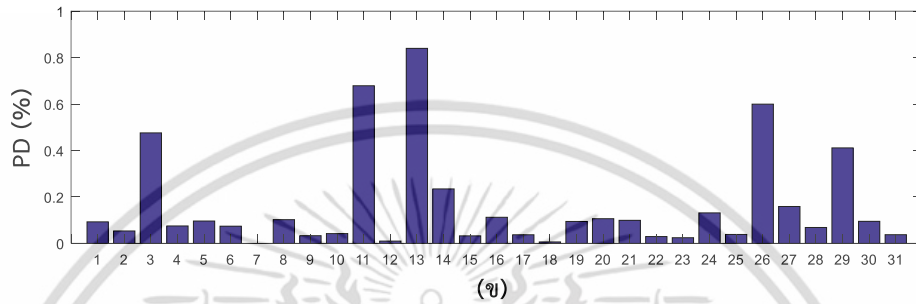
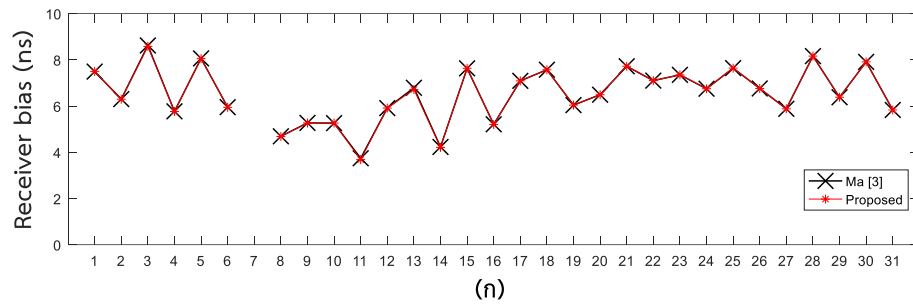
วิธีการ	ความซับซ้อน		
	การบวก	การคูณ	รากที่สอง
วิธีดั้งเดิม	7,483,247	3,744,624	576,096
วิธีที่นำเสนอ	41,250	20,658	3,168
ความซับซ้อนลดลง (เท่า)	181.4	181.2	181.8

จากตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อทำการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขนั้นสามารถลดจำนวนรอบวนซ้ำแบบเดิมจาก 500 รอบลดเหลือ 33 รอบจากข้อมูลวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ซึ่งจากวันดังกล่าวสามารถลดความซับซ้อนของกระบวนการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสได้ประมาณ 181 เท่า โดยจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีดังกล่าวผู้เขียนจึงเลือกวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไขในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเนื่องจากทำให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิมและสามารถลดการใช้ทรัพยากรในกระบวนการนี้ได้

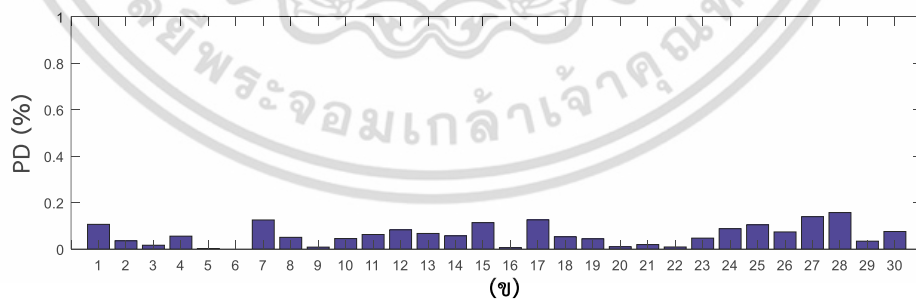
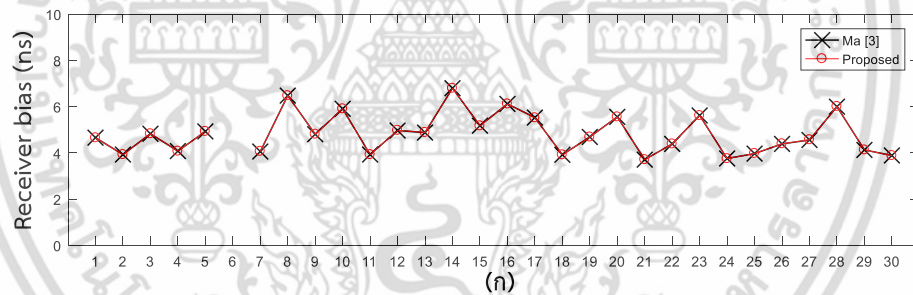
อย่างไรก็ตามผลการเปรียบเทียบทั้งค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสแบบรายเดือนทั้งแบบวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอแบบเพิ่มเติมเงื่อนไข ซึ่งจะเลือกข้อมูลในเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคมจะถูกกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.1.5 การเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจากวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอ

นอกจากนั้นผลของการเปลี่ยนแปลงและเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ได้จากวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสแบบดั้งเดิม (Minimum standard deviation method) และการประมาณค่าไบอัสเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอ (Gradient descent method) จากข้อมูลจีพีเอสของเดือนมีนาคม กันยายน มิถุนายน และธันวาคม ปี พ.ศ. 2558 โดยค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของทั้ง 2 วิธีและค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างทั้ง 2 วิธีจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแสดงดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.10

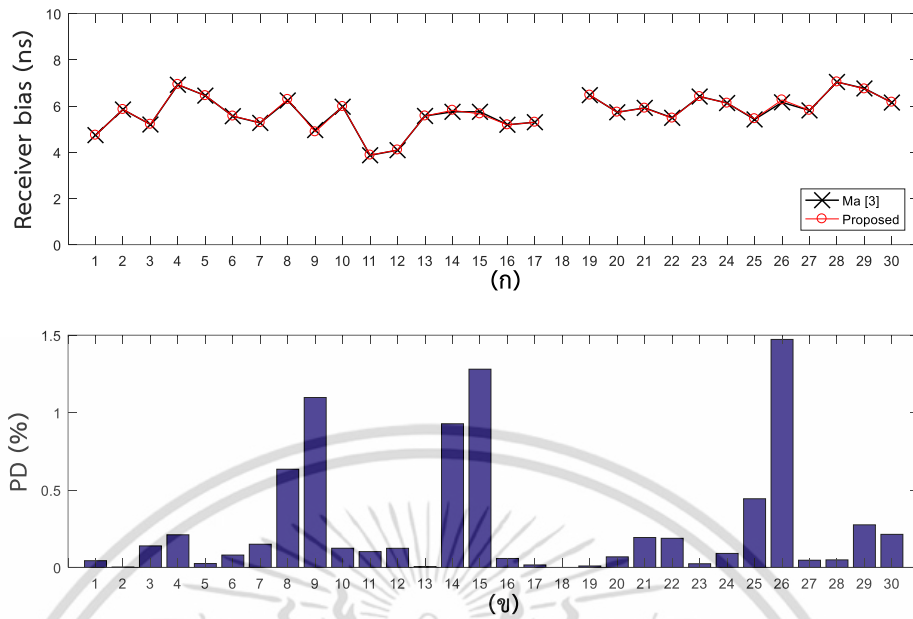


รูปที่ 4.7 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558

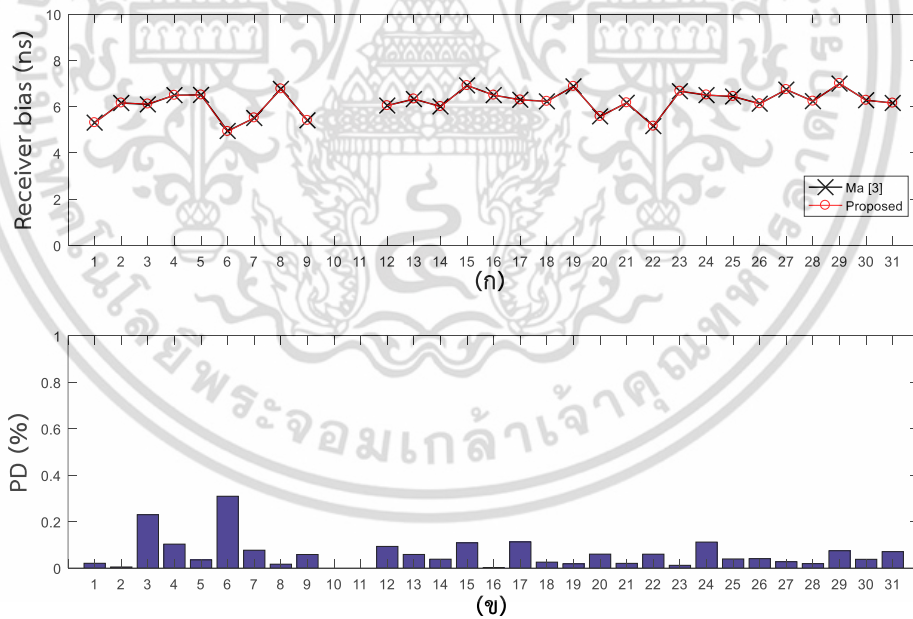


รูปที่ 4.8 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนกันยายน พ.ศ. 2558



รูปที่ 4.10 ค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสของวิธีดั้งเดิม (ดำ) และวิธีที่นำเสนอ (แดง) (รูป (ก)) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอ (รูป (ข)) จากสถานี KMIT2 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

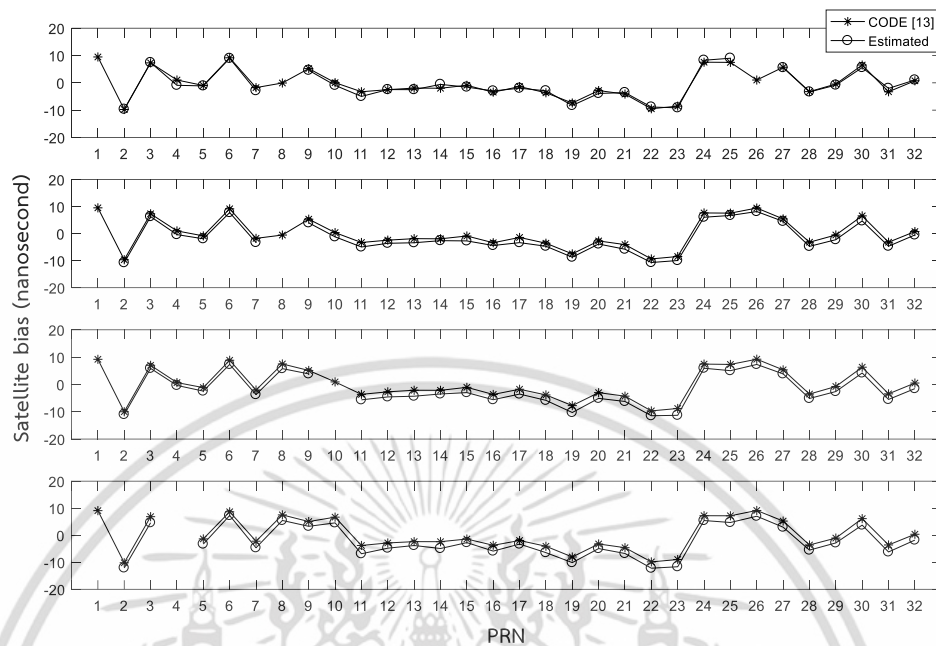
จากรูปที่ 4.7 (ก) แสดงค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในเดือนมีนาคมพบว่ามีค่าตั้งแต่ 3.74 ถึง 8.62 นาโนวินาทีและจากรูปที่ 4.7 (ข) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดอยู่ประมาณ 0.839 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) แสดงค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสและค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอในเดือนมิถุนายนพบว่ามีค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสมีค่าตั้งแต่ 3.71 ถึง 6.8 นาโนวินาที ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดประมาณ 0.125 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในรูปที่ 4.9 แสดงค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสและผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของทั้งสองวิธีในเดือนกันยายนพบว่ามีค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสตั้งแต่ 3.87 ถึง 7.04 นาโนวินาที และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างประมาณ 1.472 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 4.10 แสดงค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสและค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสของทั้งสองวิธีในเดือนธันวาคมพบว่ามีค่าไบอัสของเครื่องรับตั้งแต่ 4.95 ถึง 7 นาโนวินาที และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างสูงสุดมีค่าประมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการใช้วิธีที่นำเสนอพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสจากข้อมูลจีพีเอสทั้ง 4 เดือนมีค่าสูงสุดคือ 1.472 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ซึ่งแสดงถึงสมรรถนะในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับด้วยวิธีที่นำเสนอว่าสามารถประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสแบบเดี่ยวได้ ซึ่งค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่ได้จากการประมาณค่าเหล่านี้จะถูกใช้เพื่อคำนวณค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในลำดับต่อไป

4.2 ผลของการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียม

โดยทั่วไปค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสนั้นสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากหน่วยงาน International GNSS Service หรือ IGS [18] และหน่วยงาน Center for Orbital Determination in Europe หรือ CODE [13] ซึ่งเป็นหน่วยงานที่คอยติดตามการทำงานต่างๆ ของระบบจีพีเอสทั้งดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ติดตั้งอยู่ทั่วโลก รวมไปถึงการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส โดยค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสามารถเข้าไปดาวน์โหลดได้ที่เว็บไซต์ของทั้งสองหน่วยงาน ซึ่งค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ประมาณค่าจากหน่วยงานดังกล่าวจะอยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อมูลนามสกุล .DCB (Differential Code Bias) หน่วยเป็นนาโนวินาที เนื่องจากค่าไบอัสของดาวเทียมนั้นจะไม่แตกต่างกันมากในแต่ละวัน ซึ่งรูปแบบของแฟ้มข้อมูลค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จากหน่วยงานเหล่านี้จะเป็นค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสทั้ง 32 ดวงในแต่ละเดือน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้ค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากหน่วยงาน CODE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก [13] โดยจะใช้ข้อมูลของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคม ตามลำดับ เพื่อเป็นค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสอ้างอิงเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จากการประยุกต์การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธี SVD ในพื้นที่ที่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสน้อย ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ได้จากหน่วยงาน CODE และจากการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมแสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมจากหน่วยงาน IGS และจากการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมด้วยวิธี SVD ของเดือนมีนาคม (รูปที่ 1) มิถุนายน (รูปที่ 2) กันยายน (รูปที่ 3) และธันวาคม (รูปที่ 4) ปี พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากหน่วยงาน IGS และการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมด้วยวิธี SVD โดยการประยุกต์ใช้ในพื้นที่ที่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณมีจำนวนน้อยแต่ได้ถูกติดตั้งกระจายครอบคลุมทั้งประเทศไทย โดยค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสเฉลี่ยของ CODE จะมีทั้ง 32 ดวงยกเว้นในเดือนธันวาคมจะมีจำนวนดาวเทียมทั้งหมด 31 ดวง แต่ทว่าค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยที่พบได้จากการประมาณค่าด้วยวิธี SVD นั้นมีจำนวนที่แตกต่างกันไป โดยในรูปที่แสดงพบว่าทั้ง 4 เดือนมีจำนวนดาวเทียมที่ถูกพบจากข้อมูลจีพีเอสอยู่ 30 ดวง หากพิจารณารูปดังกล่าวค่าไบอัสของดาวเทียมบางดวงจะไม่มีค่าเลย ซึ่งสามารถคาดคะเนได้ว่าดาวเทียมจีพีเอสดวงนั้นไม่ได้โคจรผ่านบริเวณประเทศไทยในช่วงเดือนนั้นเลย อย่างไรก็ตามจากรูปดังกล่าวพบว่าแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากวิธี SVD มีค่าไบอัสของดาวเทียมที่ใกล้เคียงกันกับค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากหน่วยงาน CODE ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสในเดือนมีนาคมมีค่าประมาณ -9.6 ถึง 9 นาโนวินาที ในเดือนมิถุนายนมีประมาณ -10.7 ถึง 8.1 นาโนวินาที ในเดือนกันยายนมีประมาณ -11.4 ถึง 7.3 นาโนวินาที และค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยในเดือนธันวาคมมีค่าประมาณ -12.2 ถึง 7.3 นาโนวินาที นอกจากนี้สังเกตแนวโน้มของค่าไบอัสของดาวเทียมแต่ละดวงพบว่าค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมดวงส่วนใหญ่จะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ถึงแม้ว่าค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้นั้นจะถูกประมาณค่าในแต่ละช่วงฤดูกาลก็ตาม นอกจากนี้การ

เปรียบเทียบค่าไบอัสของดาวเทียมระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมจากหน่วยงาน CODE และจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมด้วยวิธี SVD นั้นจะทำการเปรียบเทียบแบบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมจากทั้ง 2 แหล่งดังสมการที่ 4.3

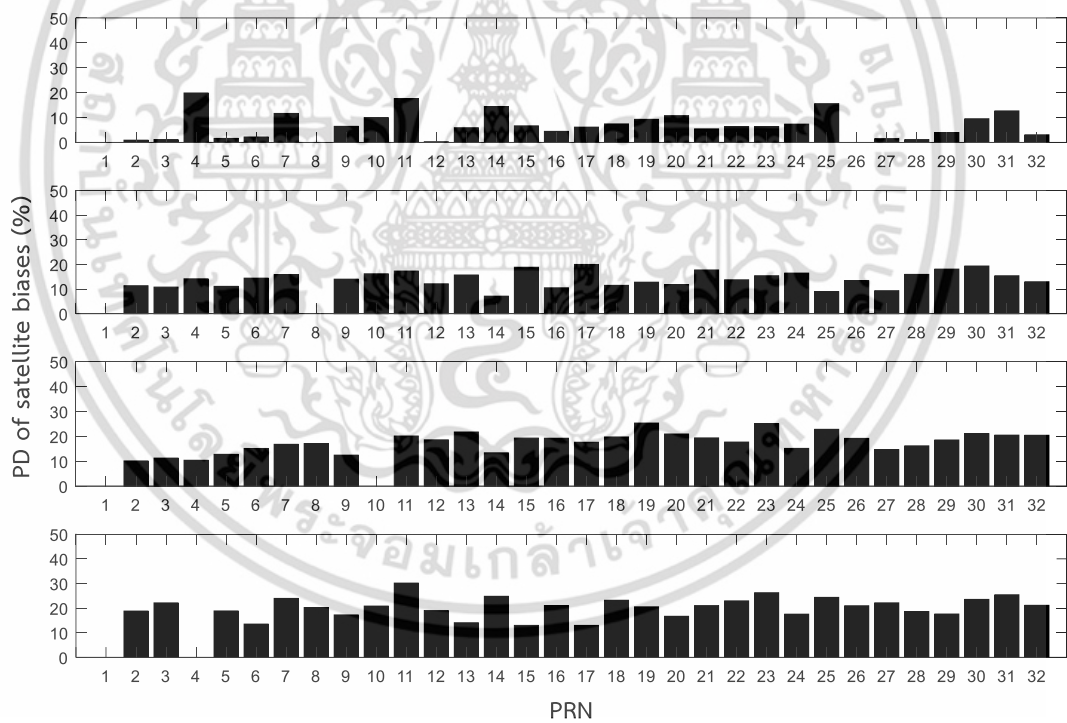
$$PD_{b_s} = \left| \frac{b_{s,est} - b_{s,ref}}{b_{s,ref}} \right| \times 100 \tag{4.3}$$

เมื่อ PD_{b_s} คือค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)

$b_{s,est}$ คือค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยที่ได้จากการประมาณค่า (นาโนวินาที)

$b_{r,ref}$ คือค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยอ้างอิง (นาโนวินาที)

ซึ่งค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยจากหน่วยงาน CODE จะถูกกำหนดให้เป็นค่าอ้างอิง ($b_{s,ref}$) เพื่อทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยระหว่างทั้ง 2 แหล่ง โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยอ้างอิงและค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากการประมาณค่าด้วยวิธี SVD นั้นแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของดาวเทียมเฉลี่ยระหว่างจากหน่วยงาน CODE กับการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสด้วยวิธี SVD

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่ประมาณค่าได้จากการประยุกต์วิธี SVD โดยใช้ข้อมูลสัญญาณจีพีเอสในปี พ.ศ. 2558 สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมเมื่อเทียบกับค่าไบอัสของดาวเทียมที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

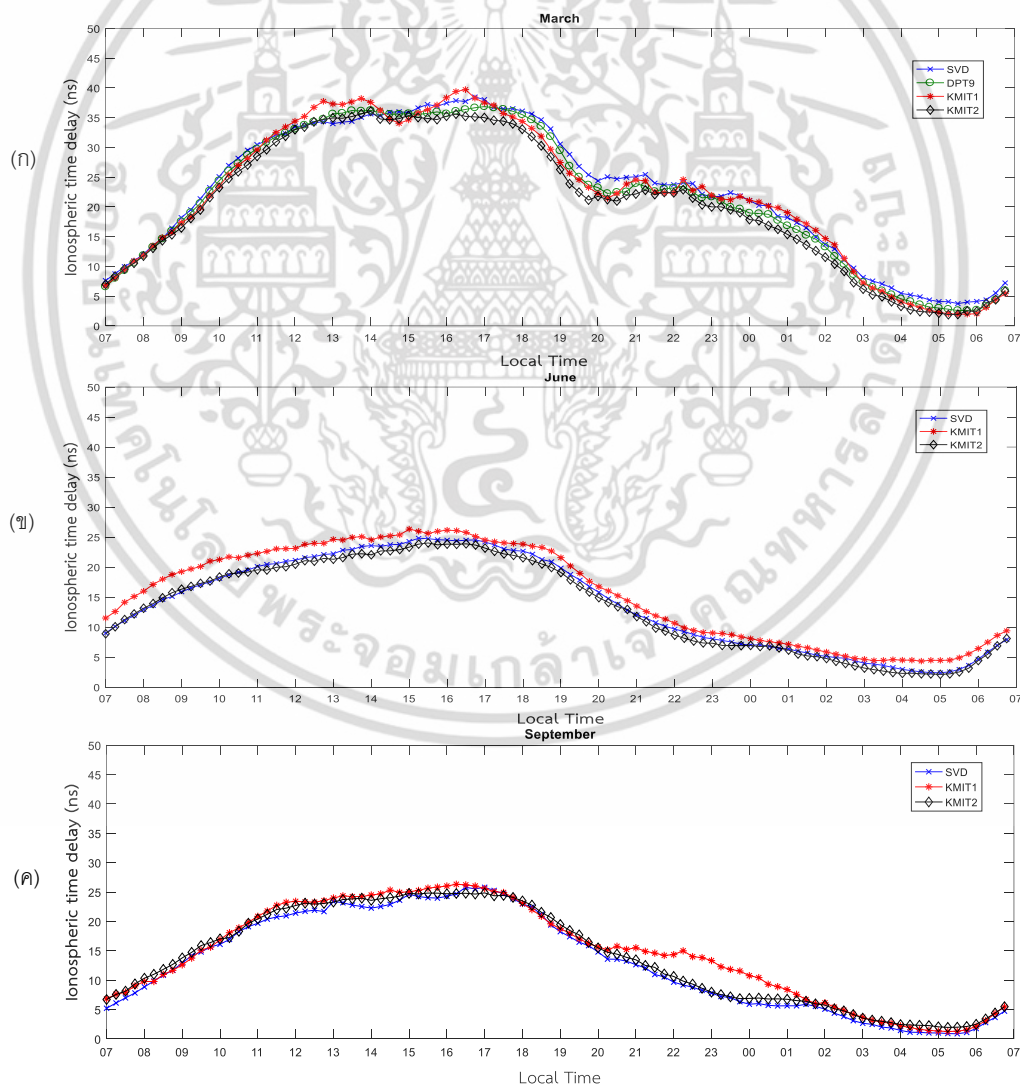
ได้จากหน่วยงาน CODE พบว่าในเดือนมีนาคมค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมจาก CODE กับค่าไบอัสของดาวเทียมที่ประมาณค่าด้วยวิธี SVD นั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าไบอัสของดาวเทียมดวงที่ 12 จะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุดคือ 0.27 เปอร์เซ็นต์ และค่าที่มากที่สุดอยู่ที่ 19.86 เปอร์เซ็นต์ของดาวเทียมดวงที่ 4 สำหรับเดือนมิถุนายนค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 7 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่ต่ำสุดอยู่ที่ 7.1 เปอร์เซ็นต์จากดาวเทียมดวงที่ 14 และค่าสูงสุดอยู่ที่ 19.98 เปอร์เซ็นต์ของดาวเทียมดวงที่ 17 สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าไบอัสของดาวเทียมในเดือนกันยายนจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดจากดาวเทียมดวงที่ 19 มีค่าประมาณ 25.34 เปอร์เซ็นต์ และค่าต่ำสุดจากดาวเทียมดวงที่ 2 มีค่าประมาณ 10.13 เปอร์เซ็นต์ และในเดือนธันวาคมค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมีค่าตั้งแต่ 12 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่ต่ำที่สุดมีค่าประมาณ 12.98 เปอร์เซ็นต์จากดาวเทียมดวงที่ 17 และค่าสูงที่สุดมีค่าประมาณ 30.14 เปอร์เซ็นต์จากดาวเทียมดวงที่ 11 จากผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่แสดงในรูปที่ถูกกล่าวมานั้นช่วงของค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากหน่วยงาน CODE กับการประมาณค่าด้วย SVD พบว่ามีอยู่ในช่วง 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่มากนั้นอันเนื่องมาจากจำนวนของข้อมูลที่ได้จากแต่ละสถานีนั้นมีน้อยกว่าจากหน่วยงาน CODE มาก ซึ่งหน่วยงานนี้ได้ทำการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากสถานีที่ติดตั้งอยู่ทั่วโลก แต่ทว่าการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมที่ได้จากวิธี SVD นั้นจะใช้ข้อมูลจากสถานีที่ติดตั้งในประเทศไทยเท่านั้น จึงอาจจะทำให้จำนวนข้อมูลที่มีไม่มากพอที่จะคำนวณให้ได้ค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสที่มีความแม่นยำสูง แต่จะสะดวกในการใช้งานกับข้อมูลที่ใกล้เคียงกับปัจจุบันในการศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยที่ไม่ต้องรอไฟล์ข้อมูลค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากหน่วยงาน CODE

4.3 ผลของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในกรุงเทพมหานคร

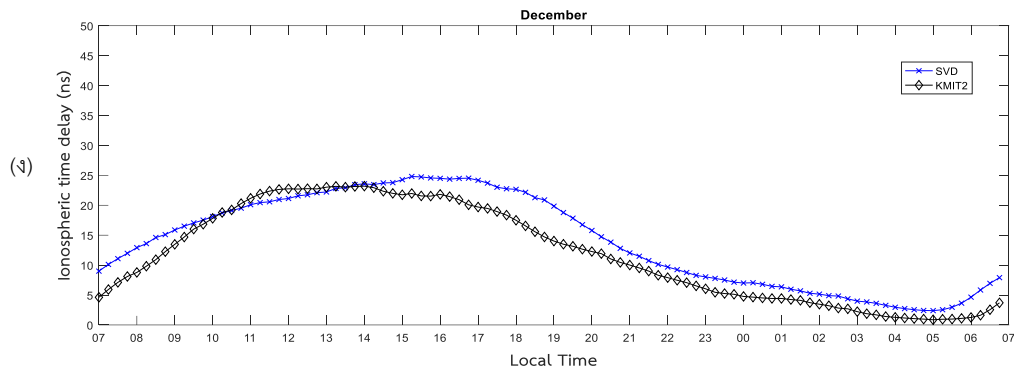
หลังจากการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแล้วจะนำค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสมาชดเชยให้กับค่า VTEC ซึ่งจะได้เป็นค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิสัมบูรณ์ตามสมการที่ 2.16 ซึ่งค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิสัมบูรณ์หรือค่า TEC เป็นพารามิเตอร์สำคัญในการคำนวณหาค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งในหัวข้อนี้จะแสดงผลของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากสถานีที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร โดยจะเป็นค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากข้อมูลที่เป็นตัวแทนของ 4 ฤดูกาลคือ ฤดูวสันตวิษุวัต (March equinox) คือเดือนมีนาคม ฤดูศารทวิษุวัต (September equinox) คือเดือนกันยายน ซึ่งเป็นช่วงที่ระนาบของแกนโลกจากตั้งฉากกับดวง

อาทิตย์ ทำให้เวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน และฤดูครีษมายัน (Summer solstice) คือเดือนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิถุนายน เป็นช่วงที่บริเวณทางขั้วโลกเหนือเข้าสู่ฤดูร้อน โดยจะมีเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน และในบริเวณขั้วโลกใต้จะเข้าสู่ฤดูหนาวซึ่งเวลากลางวันจะสั้นกว่ากลางคืน ส่วนฤดูหนาว (Winter solstice) คือเดือนธันวาคมเป็นช่วงบริเวณขั้วโลกเหนือจะเข้าสู่ฤดูหนาว ส่วนบริเวณขั้วโลกใต้จะเข้าสู่ฤดูร้อน [29] โดยจะเปรียบเทียบค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากสถานี KMIT1, KMIT2, DPT9 และยังรวมไปถึงค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากการคำนวณด้วยวิธี SVD ซึ่งได้มาจากค่า TEC จากโดยอ้างอิงจุด IPP จากโครงข่ายสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่มีทั่วประเทศไทย โดยในการคำนวณค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต้องการทราบว่าหากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสต่างรุ่นหรือผลิตภัณฑ์จากบริษัทที่ผลิตแตกต่างกันอย่างไร ค่าความหน่วงทางเวลาที่ได้จะมีค่าแตกต่างกันน้อยหรือไม่ โดยค่ามัธยฐานของค่าความหน่วงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของทั้ง 4 เดือนจากสถานีเครื่องรับจีพีเอสและจากวิธีคำนวณด้วยวิธี SVD แสดงดังรูปที่ 4.13



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีความถี่ $f_i = 1545.72$ MHz จากสถานี DPT9 (สีเขียว), KMIT1 (สีแดง), KMIT2 (สีดำ) และจากวิธีการคำนวณด้วยวิธี SVD (สีน้ำเงิน) ของ (ก) เดือนมีนาคม (ข) มิถุนายน (ค) กันยายน และ (ง) ธันวาคม ปี พ.ศ. 2558

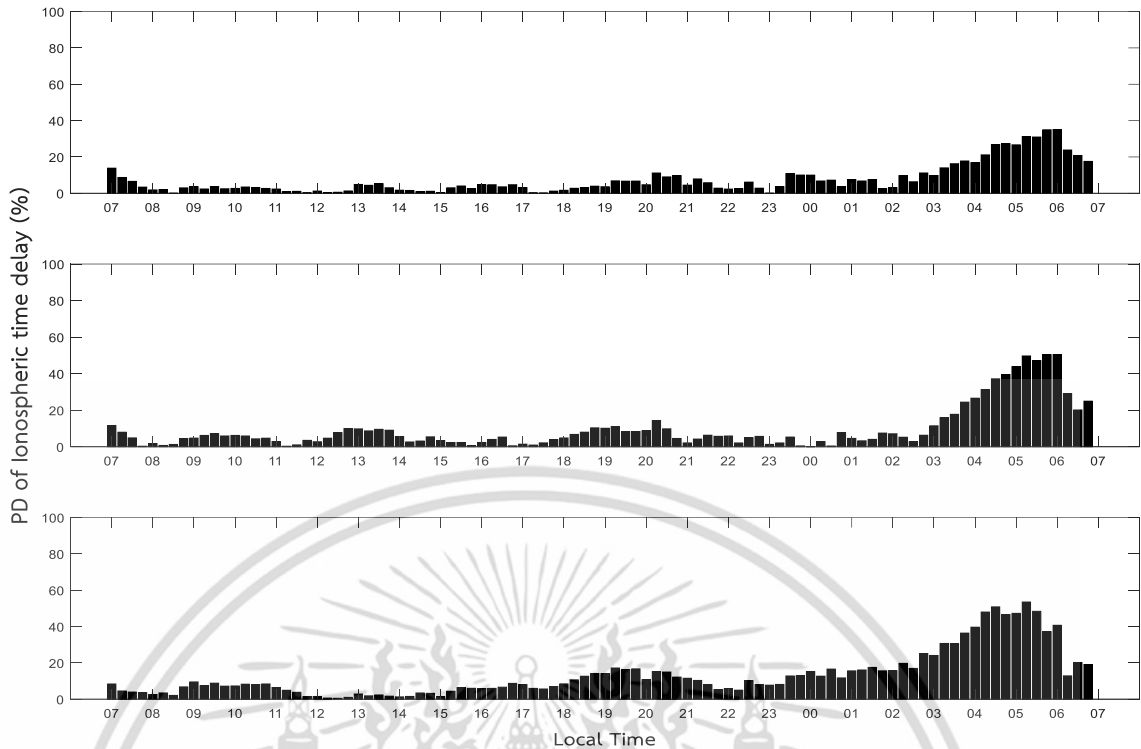
จากรูปที่ 4.13 แสดงค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่คำนวณได้จากค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิสัมบูรณ์ (TEC) และความถี่ของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ($f_i = 1545.72$ MHz) โดยวัดจากสถานีเครื่องรับ DPT9, KMIT1, KMIT2 และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิจากวิธี SVD นั้นจะเห็นรูปแบบของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากทุกเดือนคล้ายกัน โดยค่าหน่วงทางเวลาจะมีค่าค่อยๆ เริ่มสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 07.00 น. ไปจนถึงช่วงที่ค่าหน่วงทางเวลามีค่าสูงสุดในช่วง 16.00 น. ถึง 17.00 น. หลังจากช่วงหลังพระอาทิตย์ตกดินตั้งแต่ 17.30 น. ค่าหน่วงทางเวลาจะค่อยๆ เริ่มลดระดับลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 05.00 น. ถึง 06.00 น. จากรูปที่ 4.13 (ก) และ (ค) ในช่วงฤดูวิษุวัต (Equinox) จะเห็นว่าค่าหน่วงทางเวลาที่ได้จากทั้ง 3 สถานีและ 1 วิธีการคำนวณมีรูปแบบและค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมจะอยู่ที่ 39.72 นาโนวินาที ณ สถานี KMIT1 ในช่วงเวลาประมาณ 16.30 น. ส่วนที่สถานี DPT9 และ KMIT2 จะมีค่าสูงสุดประมาณ 36.86 นาโนวินาทีและ 36.08 นาโนวินาที ตามลำดับ ในเดือนกันยายนค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ช่วงเดือนกันยายนค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 26.32 นาโนวินาที 24.86 นาโนวินาที และ 25.81 นาโนวินาทีจากสถานี KMIT1 KMIT2 และวิธี SVD ตามลำดับ อย่างไรก็ตามจากรูป (ก) จะเห็นว่าช่วงเวลาตั้งแต่ 20.00 น. ไปจนถึง 01.00 น. ค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะสูงขึ้นแต่ไม่มากเกินไปกว่าในเวลากลางวันได้รับอิทธิพลจากกระแสลมในชั้นบรรยากาศบริเวณเส้นศูนย์สูตรในระดับความสูงประมาณ 300 ถึง 400 กิโลเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีอิเล็กตรอนหนาแน่นที่สุดเกิดการยกตัวขึ้น เป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางคืน [30-32] โดยในรูป (ค) จะสังเกตความผิดปกตินี้ได้จากสถานี KMIT1 เพียงสถานีเดียว ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าสถานี KMIT2 ไม่สามารถเห็นปรากฏการณ์นี้ได้เนื่องจากการใช้โปรแกรม

GPS Toolkit มองความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับข้อมูลจากค่า ambiguity และทำการลบข้อมูลในส่วนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป จากรูป (ข) และ (ง) ในช่วงฤดูมายนัน (Solstice) ของเดือนมิถุนายนค่าห้วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีข้อมูลของสถานี DPT 9 จากผลที่ได้จะพบว่าค่าห้วงทางเวลาของสถานี KMIT1 จะมีค่ามากกว่าสถานี KMIT2 และค่าที่ได้จากวิธี SVD ตลอดทั้งวัน ซึ่งค่าสูงที่สุดของแต่ละสถานีจะอยู่ที่ 26.32 นาโนวินาที 24.02 นาโนวินาที 24.81 นาโนวินาที ของสถานี KMIT1, KMIT2 และวิธี SVD ตามลำดับ จากผลของค่าห้วงทางเวลาที่ได้จากเดือนมิถุนายนของข้อมูลที่มีจะพบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ส่วนใหญ่จะไม่เกิดการแปรปรวนอย่างรุนแรงมาก ทำให้ได้ค่ามัธยฐานของค่าห้วงทางเวลาไม่พบความผิดปกติแต่อย่างใด สำหรับเดือนธันวาคมจะมีข้อมูลจากสถานี KMIT2 และจากวิธี SVD เท่านั้น โดยค่าสูงสุดจะอยู่ที่ 25.22 นาโนวินาที และ 23.19 นาโนวินาที จากวิธี SVD และสถานี KMIT2 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นความแตกต่างของค่าห้วงทางเวลาระหว่างทั้ง 2 วิธีได้อย่างชัดเจน ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลในเดือนธันวาคมจะไม่มีข้อมูลจากสถานี KMIT1 และสถานี DPT9 การคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทิจากวิธี SVD นั้นจะใช้ข้อมูลจากสถานีใดก็ตามที่มีจุด IPP อยู่เหนือขอบเขตที่กำหนดไว้สามารถคำนวณค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทิจได้โดยไม่ต้องมีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่นั้น [3] นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จาก 3 สถานีกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี SVD ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4

$$PD_I = \left| \frac{I_{ss} - I_{SVD}}{I_{SVD}} \right| \times 100 \quad (4.4)$$

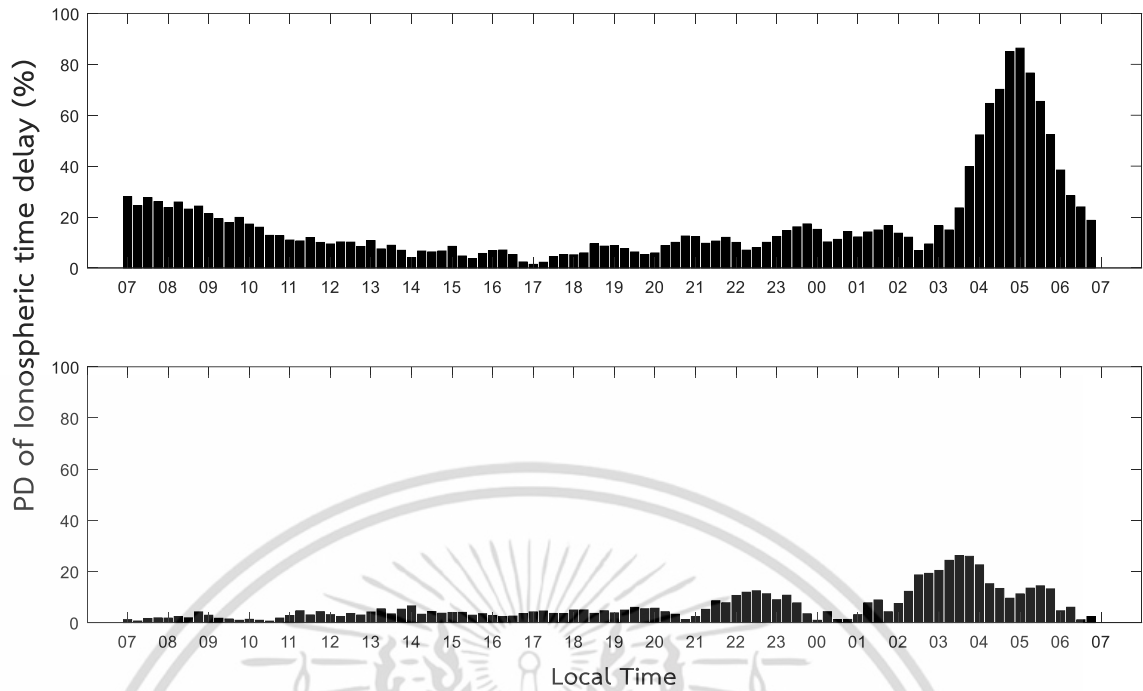
โดยที่ PD_I คือค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าห้วงทางเวลาระหว่างวิธี SVD (I_{SVD}) และจากสถานีโดยตรง (I_{SS}) ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าห้วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แสดงได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่างวิธี SVD กับสถานี DPT9 (บน) วิธี SVD กับสถานี KMIT1 (กลาง) และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 (ล่าง) ของเดือนมีนาคม พ.ศ. 2558

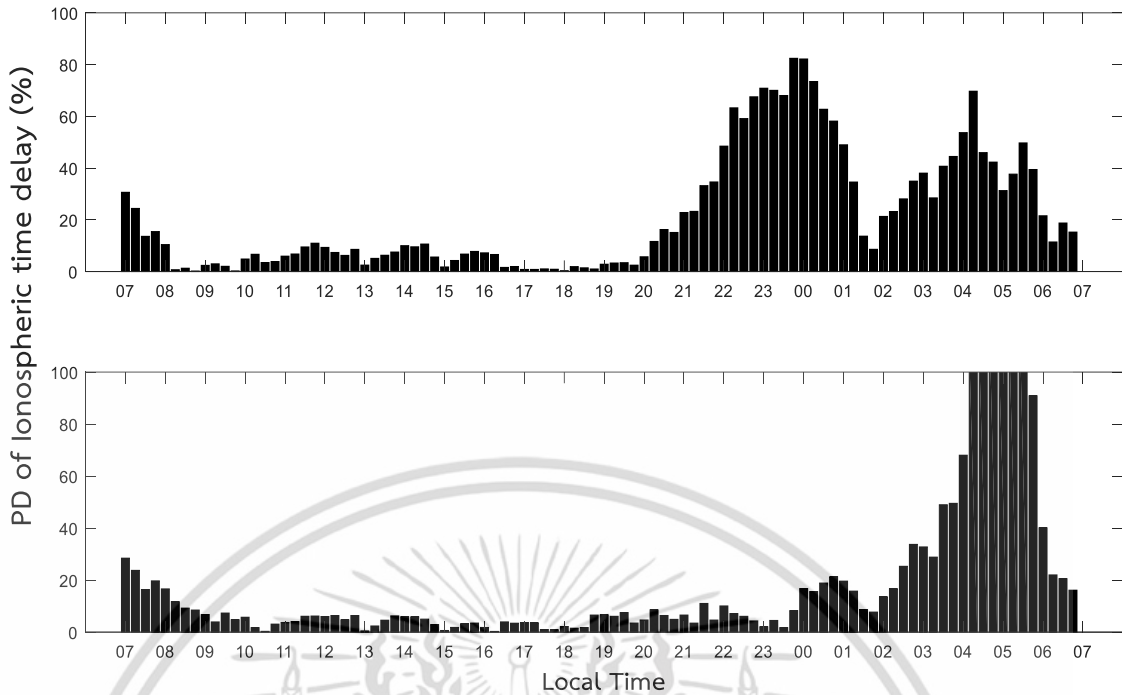
จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่างวิธี SVD กับสถานี DPT9 KMIT1 และ KMIT2 ตั้งแต่ช่วงเวลา 07.00 น. ถึงเวลาประมาณ 03.00 น. ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างวิธี SVD กับสถานีทั้งสามสถานีจะมีไม่ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ก่อนที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะเพิ่มขึ้นไปถึงจุดสูงสุดที่ประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ที่เทียบความแตกต่างระหว่างวิธี SVD กับสถานี DPT9 ส่วนความแตกต่างระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT1 จะมีค่าสูงสุดอยู่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ และความแตกต่างระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT2 ค่าสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้สังเกตได้ว่าช่วงเวลาประมาณ 03.00 น. ถึง 07.00 น. ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะเพิ่มขึ้นอย่างมากอันเนื่องมาจากค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากทุกแหล่งข้อมูลจะมีค่าน้อย ซึ่งจากรูปที่ 4.13 (ก) เมื่อหากไม่ได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแต่ละรูปจะมีค่าแตกต่างกันประมาณประมาณ 2.79 นาโนวินาที 3.6 นาโนวินาที และ 4.95 นาโนวินาทีจากการเปรียบเทียบระหว่างวิธี SVD กับสถานี DPT9 วิธี SVD กับสถานี KMIT1 และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT1 (บน) และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 (ล่าง) ของเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2558

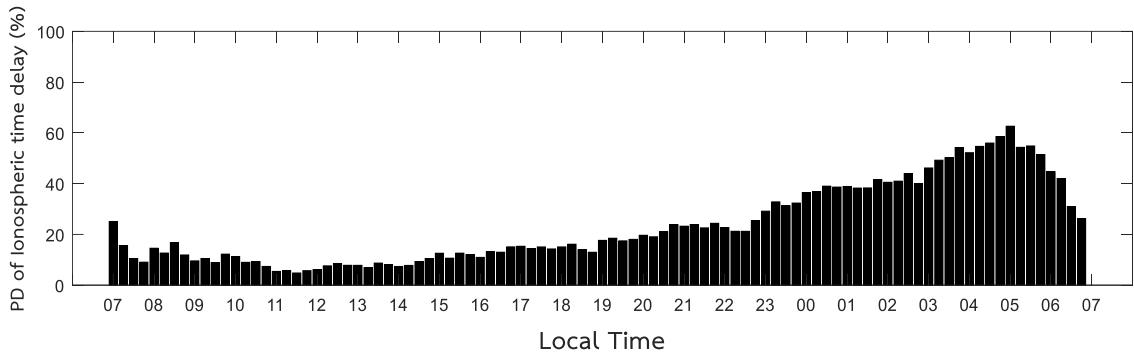
จากรูปที่ 4.13 (ข) สังเกตได้ว่าค่าหน่วงทางเวลาที่ได้จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีค่าสูงกว่าค่าหน่วงทางเวลาที่ได้จากวิธีอื่น ซึ่งจากรูปที่ 4.14 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT1 มีค่าในช่วงสูงสุดในช่วงเวลา 04.45 น. ถึง 05.00 น. มีค่าถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเทียบเป็นความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาจะมีค่าประมาณ 3.66 นาโนวินาที สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT2 ในช่วงเวลา 07.00 น. ถึง 02.00 น. ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในเวลาช่วงนี้มีค่าไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าค่าหน่วงทางเวลาทั้งจากวิธี SVD และสถานี KMIT2 มีค่าใกล้เคียงกันมาก ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดจะอยู่ที่ 26.2 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าหน่วงเวลาต่างกันประมาณ 1.53 นาโนวินาที



รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT1 (บน) และวิธี SVD กับสถานี KMIT2 (ล่าง) ของเดือนกันยายน พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความหน่วงเวลาระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT1 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างช่วงเวลา 08.00 น. ถึง 20.30 น. มีค่าไม่ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ก่อนที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นและสูงสุดที่เวลา 23.30 น. มีค่าประมาณ 82.42 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความแตกต่างอยู่ประมาณ 5.81 นาโนวินาที ส่วนช่วงเวลา 04.15 น. มีค่าประมาณ 69.70 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแตกต่างอยู่ 0.8 นาโนวินาที สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT2 นั้นช่วงเวลาตั้งแต่ 07.30 น. จนถึง 00.00 น. จะมีค่าต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเวลาตั้งแต่ 04.30 น. จนถึง 05.30 น. ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจะมีค่าสูงมากกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้จากรูปที่ 4.5 (ค) ค่าช่วงเวลาดังกล่าวสังเกตได้ว่าค่าหน่วงทางเวลาที่ได้จากวิธี SVD จะมีค่าต่ำสุดในช่วงนั้นโดยจะมีค่าตั้งแต่ 1.62 ถึง 2.11 นาโนวินาที ส่วนค่าหน่วงทางเวลาที่ได้จากสถานี KMIT2 นั้นในช่วงเวลาเดียวกันจะมีค่าอยู่ประมาณ 3.69 ถึง 4.4 นาโนวินาที ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าหน่วงทางเวลาที่ได้จากวิธี SVD ถึง 2 เท่า จึงทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงเวลานั้นสูงกว่า 100 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ระหว่างวิธี SVD กับสถานี KMIT2 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 4.16 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาระหว่างวิธี SVD กับ สถานี KMIT2 พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าหน่วงทางเวลาในช่วงเวลาประมาณ 09.00 น. ถึง 14.00 น. จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าเปอร์เซ็นต์ที่พบจะอยู่ระหว่าง 4 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ก่อนที่ ค่าเปอร์เซ็นต์จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เวลา 05.00 น. มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ประมาณ 62.61 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดเป็นค่าความแตกต่างของค่าหน่วงเวลาได้ประมาณ 3.56 นาโนวินาที

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบเดี่ยวด้วยวิธีเกรเดียนต์เดสเซนต์ การประยุกต์การประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมและค่าความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ด้วยวิธีการแยกค่าแบบเอกฐานหรือ SVD (Singular value decomposition) และค่าหน่วยทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณกรุงเทพมหานคร โดยในการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่นำเสนอเป็นวิธีการเพื่อลดความซับซ้อนจากการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสด้วยวิธีค่าส่วนเบี่ยงเบนน้อยที่สุด (Minimum standard deviation method) หรือวิธีดั้งเดิม

สำหรับการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสด้วยวิธีที่นำเสนอของข้อมูลวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558 จากสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสทั้ง 13 สถานีพบว่ามีค่าตั้งแต่ -17 ถึง 3.9 นาโนวินาที และค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสของวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอของทุกสถานีมีค่าต่ำกว่า 1.8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับรอบวนซ้ำที่เกิดขึ้นจากวิธีที่นำเสนอของทุกสถานีพบว่ามีจำนวนตั้งแต่ 4 ถึง 19 รอบ จำนวน 29 ถึง 50 รอบ และจำนวน 15 ถึง 41 รอบเมื่อกรณีที่จุดเริ่มที่ 0, 30 และ -30 นาโนวินาทีตามลำดับ ส่วนการประมาณค่าด้วยวิธีดั้งเดิมจะมีจำนวนรอบเท่ากันทุกสถานี 6,001 รอบ จากจำนวนความซับซ้อนของกระบวนการพบว่าการประมาณค่าไบอัสของวิธีที่นำเสนอสามารถลดความซับซ้อนที่เกิดขึ้นได้ประมาณ 315 เท่าเมื่อจุดเริ่มต้นที่ 0 นาโนวินาที ความซับซ้อนลดลง 120 เท่าและ 171 เท่าในกรณีที่จุดเริ่มต้นของวิธีที่นำเสนอเริ่มที่ 30 และ -30 นาโนวินาทีตามลำดับจากข้อมูลวันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2558 ของสถานี SOKA นอกจากนั้นเพื่อทดสอบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอโดยทำการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสที่สถานี KMIT2 โดยใช้ข้อมูลของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายนและธันวาคม พ.ศ. 2558 พบว่าจำนวนรอบที่ได้จากกระบวนการนี้มีจำนวนตั้งแต่ 12 ถึง 35 รอบในเดือนมีนาคม จำนวน 10 ถึง 15 รอบในเดือนมิถุนายน จำนวน 7 ถึง 35 รอบในเดือนกันยายน และจำนวน 7 ถึง 15 รอบในเดือนธันวาคม โดยสามารถลดความซับซ้อนได้ประมาณ 181 เท่าจากข้อมูลวันที่ 3 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558 ส่วนค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีดั้งเดิมและวิธีที่นำเสนอจากสถานีเดียวกันนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในเดือนมีนาคมมีค่าไม่เกิน 0.9 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเดือนมิถุนายน กันยายน และธันวาคมมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างไม่เกิน 0.13 เปอร์เซ็นต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับค่าไบอัสของเครื่องรับที่ได้จากวิธีดั้งเดิมมากและสามารถลดความซับซ้อนของการประมาณค่าไบอัสของเครื่องรับจีพีเอสได้

สำหรับการประมาณค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากการประยุกต์ใช้วิธี SVD ในพื้นที่ที่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสน้อย จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าไบอัสของดาวเทียมของเดือน มีนาคม มิถุนายน กันยายนและธันวาคม ปี พ.ศ. 2558 ระหว่างค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสจากหน่วยงาน CODE กับวิธี SVD ที่ใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสในประเทศไทยพบว่าแนวโน้มของค่าไบอัสของดาวเทียมจากทั้ง 2 แหล่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าไบอัสของดาวเทียมจีพีเอสสูงสุดของเดือนมีนาคม มิถุนายน กันยายน และธันวาคมจะมีค่าไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนั้นค่าหน่วงทางเวลาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากสถานีที่ติดตั้งในกรุงเทพมหานครและได้จากวิธี SVD ในช่วงเดือนมีนาคม และกันยายน จะมีค่าหน่วงทางเวลาสูงสุดที่วัดได้มีค่าประมาณ 39.72 นาโนวินาที และ 26.32 นาโนวินาทีจากสถานี KMIT1 ส่วนในช่วงเดือน มิถุนายนและธันวาคมพบค่าหน่วงทางเวลาสูงสุดประมาณ 26.32 นาโนวินาทีและ 25.22 นาโนวินาทีจากสถานี KMIT1 และวิธี SVD ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ด้วยวิธี SVD ควรเพิ่มข้อมูลของสถานีที่ใช้ในการคำนวณค่าที่ได้ เนื่องจากจำนวนของข้อมูลมีผลทำให้การประมาณค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจะมีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งในประเทศไทยยังมีหน่วยงานที่มีสถานีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเป็นของตนเองด้วยเช่น กรมที่ดิน กรมแผนที่ทหาร เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Sardón and N. Zarraoa, “Estimation of total electron content using GPS data: How stable are the differential satellite and receiver instrumental biases?”, **Radio Science**, 32, pp. 1899-1910, 1997.
- [2] Y. Otsuka, T. Ogawa, A. Saito, T. Tsugawa, S. Fukao and S. Miyazaki, “A new technique for mapping of total electron content using GPS network in Japan,” **Earth Planets Space**, 54, pp. 63-70, 2002.
- [3] G. Ma and T. Maruyama, “Deviation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan”, **Annales Geophysicae**, 21, pp. 2083-2093, 2003.
- [4] D. R. Themens, P. T. Jayachandran, R. B. Langley, J. W. MacDougall and M. J. Nicolls, “Determining receiver biases in GPS-derived total electron content in the auroral oval and polar cap region using ionosonde measurements”, **GPS Solut**, 17, pp. 357-369, 2013.
- [5] B. K. Choi, J. H. Cho and S. J. Lee, “Estimation of and analysis of GPS receiver differential code biases using KGN in Korean Peninsula”, **Advance in Space Research**, 47, pp. 1590-1599, 2011.
- [6] B. K. Choi, J. U. Park, K. M. Roh, and S. J. Lee, “Comparison of GPS receiver DCB estimation methods using GPS network”, **Earth Planets Space**, 65, pp. 707-711, 2013.
- [7] D. H. Zhang, W. Zhang, Q. Li, L. Q. Shi, Y. Q. Hao and Z. Xiao, “Accuracy analysis of the GPS instrumental bias estimated from observation in middle and low latitudes”, **Annales Geophysicae**, 28, pp. 1571-1580, 2010.
- [8] W. Zhang, D. H. Zhang and Z. Xiao, “The influence of geomagnetic storms on the estimation of GPS instrumental biases”, **Annales Geophysicae**, 27, pp. 1613-1623, 2009.
- [9] G. Ma, W. Gao, J. Li, Y. Chen and H. Shen, “Estimation of GPS instrumental biases from small scale network”, **Advances in Space Research**, 54, pp. 871-882, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] P. Kenpankho, K. Watthanasangmechai, P. Supnithi, T. Tsugawa, and T. Maruyama, "Comparison of GPS TEC measurements with IRI TEC prediction at the equatorial latitude station Chumphon, Thailand", **Earth Planets Space**, 63, 365-370, 2011.
- [11] P. Kenpankho, P. Supnithi and T. Nagatsuma, "Comparison of observed TEC values with IRI-2007 TEC and IRI-2007 TEC with optional f_oF_2 measurements predictions at an equatorial region, Chumphon, Thailand", **Advances in Space Research**, 52, pp. 1820-1826, 2013.
- [12] P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Variation of ionospheric slab thickness observations at Chumphon equatorial magnetic location", **Earth Planets Space**, 63, pp. 359-364, 2011.
- [13] Center for Orbit Determination in Europe. "DCB files," [online]. Available: <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>.
- [14] The University of Bern. "Satellite Geodesy" [online]. Available: http://www.aiub.unibe.ch/research/index_eng.html.
- [15] International GNSS Service. "RINEX Format Version 2.10," [online]. Available: <ftp://igs.org/pub/data/format/rinex210.txt>.
- [16] G. Blewitt, "An automatic editing algorithm for GPS data", **Geophysical Research Letters**, 17, pp. 199-202, 1990.
- [17] T. Gaussiran, D. Munton, B. Harris and B. Tolman, "An Open Source Toolkits for GPS Processing, Total Electron Content Effects, Measurement and Modelling," **International Beacon Satellite Symposium 2004**, 2004.
- [18] International GNSS Service. [online]. Available: <http://www.igs.org/>.
- [19] ศรารุฒิ รุ่งเรืองวิเอก, การศึกษาดีเลย์เกรเดียนต์อันเนื่องมาจากความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้เครื่องรับจีพีเอส ณ สนามบินสุวรรณภูมิ ประเทศไทย, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2559.
- [20] North West Research Associates, Inc. Space Weather Service. "Geomagnetic Latitude," [online]. Available: <https://spawx.nwra.com/spawx/maps/maplats.html>.

- [21] K. Watthanasangmechai, **Ionospheric study based on total electron content observations in Southeast Asia**, Ph. D Thesis of Department of Communications and Computer Engineering, Graduate School of Informatics, Kyoto University, Japan, 2015.
- [22] NICT. “SEALION,” [online].
Available: <http://seg-web.nict.go.jp/sealion/>.
- [23] GLOBO DAQ. “GNSS,” [online].
Available: http://globodaq.com/project1/?page_id=443.
- [24] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling and B. P. Flannery, “Numerical Recipes in Fortran 77,” **Cambridge University Press**, 1992.
- [25] K. Baker. 2005. **Singular Value Decomposition Tutorial**. The Ohio State University, Ohio, United State
- [26] R. M. Freund. 2004. **The Steepest Descent Algorithm for Unconstrained Optimization and a Bisection Line-Search Method**, Massachusetts Institute of Technology. United State
- [27] P. S.R. Diniz, “Adaptive Filtering Algorithm and Practical Implementation,” **Springer Science & Business Media**, 2007.
- [28] P. Misra and P. Enge, “Global Positioning System: Signals, Measurement, and Performance (Revised Second Edition),” **Ganga-Jamuna Press**, 2011.
- [29] N. Bowditch, “The American Practical Navigator: an Epitome of Navigation”, Bethesda, **National Geospatial-Intelligence Agency**, 2002.
- [30] S. Kumar, A.K. Singh and J. Y. Lee, “Equatorial Ionospheric Anomaly (EIA) and comparison with IRI model during descending phase of solar activity (2005–2009),” **Advances in Space Research**, 53, pp. 724-733, 2014.
- [31] S. K. Panda, S. S. Gedam and G. Rajaram, “Study of Ionospheric TEC from GPS observations and comparisons with IRI and SPIM model predictions in the low latitude anomaly Indian subcontinental region,” **Advances in Space Research**, pp. 1948-1964, 2015.
- [32] K. Ansari, O. Corumluoglu and S. K. Panda, “Analysis of ionospheric TEC from GNSS observables over the Turkish region and predictability of IRI and SPIM models,” **Astrophys Space Sci**, 65, 2017.
- [33] NOAA. “Ionosphere layer,” [online].
Available: <http://www.sel.noaa.gov/info/Iono.pdf>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%=====
% Single GPS receiver bias estimation by Gradient descent algorithm
% Proposed by Athiwat Chiablaem
% CSSRG Laboratory
% Department of Telecommunications Engineering
% King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
% Bangkok, Thailand
%=====
function [rcv_bias_gra,iterate] =
rcv_bias_gradientdescent(STEC_removebias,slant_factor)
%===== Constant =====
f1 = 1575.42*10^6;          % f1 = 1575.42 MHz (L1)
f2 = 1227.60*10^6;          % f2 = 1227.60 MHz (L2)
c = 299792458;             % light speed = 299792458 m/s
lambda1 = c/f1;            % wave length of f1
lambda2 = c/f2;            % wave length of f2
k = 9.5196;                % coefficient
A = 40.3;
Re = 6371.009*10^3;         % The mean radius of the Earth (6371.009 km)
h = 350*10^3;              % Ionospheric height for mapping function (350
km.)
%=====
std_tec = Inf; br_g = -1; iterate = 0; err = 1; br_new = 0; br_buff = -1;
br_keep = [];
std_keep = [];
Br_g = (br_g).*(c*(f1^2*f2^2/(A*(f1^2-f2^2)*10^16)))*(10^-9);
STEC_adj_allnobias_g = STEC_removebias - Br_g;
VTEC_no_sat_bias1_g = STEC_adj_allnobias_g.*slant_factor;
VTEC_std_during_g_ini = nanstd(VTEC_no_sat_bias1_g');
std_old = nansum(VTEC_std_during_g_ini');

mu = 0.1;
br_keep = [];
std_keep = [];
mu_keep = [];
mse_kepp = [];
mu_u = mu/(br_new-br_buff);
%===== Receiver bias estimation
while 1
%=====
% Sum of standard deviation of VTEC
%=====
%===== Change ns to TECU
Br_g = br_new.*(c*(f1^2*f2^2/(A*(f1^2-f2^2)*10^16)))*(10^-9);
%===== remove receiver bias from STEC
STEC_adj_allnobias_g = STEC_removebias - Br_g;
%===== convert to VTEC
VTEC_no_sat_bias1_g = STEC_adj_allnobias_g.*slant_factor;
%===== standard deviation calculation
VTEC_std_during_g = nanstd(VTEC_no_sat_bias1_g');
VTEC_std_during_g(isnan(VTEC_std_during_g)) = [];
%===== sum of standard deviation for whole day
std_tec = nansum(VTEC_std_during_g');
%=====

br_keep = [br_keep br_new];
std_keep = [std_keep std_tec];
mu_keep = [mu_keep mu_u];

%=====
%===== Find an error or difference of std(i) and std(i-1)
delta_std = (std_tec - std_old);
%=====
%=====
%===== check for stop the algorithm
if (abs(delta_std) < 0.0001) || iterate > 499

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break
    end
    %===== checking for reaching to minimum
    if iterate > 30
        if abs(delta_std) <= 0.99 && abs(delta_std) > 0.5
            mu = 0.01;
        elseif abs(delta_std) <= 0.5 && abs(delta_std) > 0.099
            mu = 0.001;
        elseif abs(mean_delta_std) < 0.005 && abs(mean_delta_std) >=
0.0001
            mu = 0.0001;
        elseif abs(delta_std) <= 0.0099
            mu = 0.00001;
        end
    end
end
%=====
=
br_buff = br_new;
std_buff = std_tec;
%===== Gradient descent algorithm
br_new = br_g - (mu_u*delta_std);
%=====
% Prepare for next loop
%=====
mu_u = mu/(br_new-br_buff);
br_g = br_new;
std_old = std_tec;
iterate = iterate+1;
br_ind(iterate+1) = br_new;
std_ind(iterate+1) = std_tec;
delta_std_ind(iterate+1) = delta_std;
%=====
end
%===== Result of Receiver bias (ns)
rcv_bias_gra = br_keep(iterate);
%=====

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% GPS instrumental bias estimation by Singular Value Decomposition For
% Thailand Area V.1
% Developed by Athiwat Chiablaem
% CSSRG Laboratory
% Department of Telecommunications Engineering
% King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
function[TEC_keep,sat_bias_svd_ns,rcv_bias_svd_ns]=
SVD_estimation(Lat_keep,Lon_keep,STEC_keep,SF_keep);
%=====
=====
% TEC and GPS instrumental bias estimation by Singular value decomposition
%=====
=====
%===== Constant =====
f1 = 1575.42*10^6;          % f1 = 1575.42 MHz (L1)
f2 = 1227.60*10^6;          % f2 = 1227.60 MHz (L2)
c = 299792458;             % light speed = 299792458 m/s
lambda1 = c/f1;           % wave length of f1
lambda2 = c/f2;           % wave length of f2
k = 9.5196;                % coefficient
A = 40.3;
Re = 6371.009*10^3;        % The mean radius of the Earth (6371.009 km)
h = 350*10^3;              % Ionospheric height for mapping function (350
km.)
%===== Matrix ordering
%===== Define 18 grids around Thailand Area
lat_mess = [20 17.5 15 12.5 10 7.5];
lat_mess_end = [17.5 15 12.5 10 7.5 5];
lon_mess = [97.5 100 102.5];
lon_mess_end = [100 102.5 105];
%=====
floor_ipp_lat = floor(Lat_keep);
floor_ipp_lon = floor(Lon_keep);
rcv_ind_collector = [];
sat_ind_collector = [];
stec_collector = [];
slantf_collector = [];
row = 0;
count = 1;
%===== Following Latitude
for pos_lat = 1:length(lat_mess)
    %===== Following Longitude
    for pos_lon = 1:length(lon_mess)
        %===== Time index for collected data every 15 minutes
        for t = 1:96
            %===== Find IPP lat & lon
            lat = find(floor_ipp_lat(t,:) <= lat_mess(pos_lat) &
floor_ipp_lat(t,:) >= lat_mess_end(pos_lat));
            lon = find(floor_ipp_lon(t,:) >= lon_mess(pos_lon) &
floor_ipp_lon(t,:) <= lon_mess_end(pos_lon));
            lat_lon = intersect(lat,lon);
            %===== Collected STEC & slant_factor values at each IPP
            stec_collected(max(row)+1:length(lat_lon)+max(row),1) =
STEC_keep(t,lat_lon(1:end));
            slantf_collected(max(row)+1:length(lat_lon)+max(row),count) =
SF_keep(t,lat_lon(1:end));
            %===== Find PRNs and receivers
            row = length(slantf_collected(:,t));
            ind_non_zero = find(slantf_collected > 0);
            sats = mod(lat_lon,32);
            sats(sats == 0) = 32;
            rcvs = ceil(lat_lon/32);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        sat_ind_collector = [sat_ind_collector;sats'];
        rcv_ind_collector = [rcv_ind_collector;rcvs'];

        stec_collect = reshape(stec_collected,[],1);
        stec_collect(stec_collect == 0) = [];

        slantf_collect = reshape(slantf_collected,[],1);
        slantf_collect(slantf_collected == 0) = [];
        %=====
        count = count+1;
    end
end
end
%=====
%===== Create satellite and receiver
sat_collected = [];
rcv_collected = [];
sat_test = zeros(length(sat_ind_collector),length(sat_ind_collector(1,:)));
rcv_test = zeros(length(rcv_ind_collector),length(rcv_ind_collector(1,:)));
%===== 1's for GPS satellites and receivers
for ind = 1:length(sat_ind_collector)
    sat_test(ind,sat_ind_collector(ind)) = 1;
    rcv_test(ind,rcv_ind_collector(ind)) = 1;
end
sat_test(:,1) = [];
%=====
%===== Secx matrix
inv_slantf = 1./slantf_collected;
inv_slantf(isinf(inv_slantf)) = 0;
%===== Design matrix A
design_mata = [inv_slantf sat_test rcv_test];
%=====
%===== SVD method
[U,S,V] = svd(design_mata);
%=====
%===== Matrix results
unknowns_x = V*pinv(S)*U'*stec_collected;
unknowns_x(abs(unknowns_x) < 0.01) = nan;
%=====
fin = 1;
%===== TEC results
for ind_c = 1:length(lat_mess)*length(lon_mess)
    TEC_keep{ind_c} = unknowns_x((96*(fin-1))+1:(96*fin));
    fin = fin+1;
end
%===== Satellite bias (TECU)
sat_bias_svd = unknowns_x(96*length(lat_mess)*length(lon_mess):96*length(lat_mess)*length(lon_mess)+31);
%===== Receiver bias (TECU)
rcv_bias_svd = unknowns_x(96*length(lat_mess)*length(lon_mess)+31+1:end);
%===== Sat and Rcv biases (ns)
sat_bias_svd_ns = sat_bias_svd/(c*(f1^2*f2^2/(A*(f1^2-f2^2)*10^16)));
rcv_bias_svd_ns = rcv_bias_svd/(c*(f1^2*f2^2/(A*(f1^2-f2^2)*10^16)));
%=====

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอริวัฒน์ ฉียบแหลม
วัน เดือน ปี เกิด	12 ตุลาคม พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดหนองบัวลำภู
ที่อยู่	64/1 หมู่ 1 ถนนนาลโย ตำบลหนองบัว อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู 39000
ประวัติการศึกษา	2557 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Athiwat Chiablaem, Pornchai Supnithi, Somjai Klinngam, Chaiwat Panachart, Apitep Seakow, Prasert Kenpankho, Kornyanat Watthanasangmechai, Tatsuhiro Yokoyama, Takuya Tsugawa and Mamoru Ishii, "Estimation of the single GPS-receiver bias using the gradient descent algorithm," 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Mai, Thailand, 28th June – 1st July, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้