

การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่อง
จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS

THE STUDY OF IONOSPHERIC AMPLITUDE SCINTILLATION
CHARACTERISTICS BASED ON GPS SIGNAL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2547

ISBN 974-9709-69-1
งานนี้ได้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น ไม่นุญาตให้
วิกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอ

THE STUDY OF IONOSPHERIC AMPLITUDE SCINTILLATION
CHARACTERISTICS BASED ON GPS SIGNAL

PATTAMA PHOOMCHUSAK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

ISBN 974-9709-69-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน	
	เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS	
นักศึกษา	นางสาวปัทมา พุ่มชูศักดิ์	
รหัสประจำตัว	45061079	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
พ.ศ.	2547	
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ณรงค์	เหมกรรณ์
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.นิภา	ลีลาจุจิ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz โดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทำการรับสัญญาณเพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลารายวันรายเดือนและรายปีเปรียบเทียบกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และวัฏจักรสุริยะ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนและความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะรุนแรงในเดือนมีนาคม และกันยายน ซึ่งสัมพันธ์กับช่วง Equinox นอกจากนี้ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS พบว่าในช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้น การระบุตำแหน่งจะเกิดความผิดพลาดไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นระยะทางมากกว่า 10 เมตร ซึ่งในที่สุดท้ายจะแสดงสมการสำหรับแก้ไขค่าระยะทางที่ผิดพลาดนี้ด้วยฟังก์ชันของค่าดัชนี S_4 ซึ่งเมื่อนำค่าระยะทางที่แก้ไขแล้วนี้ไปคำนวณหาตำแหน่งเครื่องรับ พบว่าระยะทางที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องทั้งทางละติจูดและลองจิจูดที่คำนวณจากระยะทางที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	The Study of Ionospheric Amplitude Scintillation Characteristics Based on GPS Signal
Student	Miss Pattama Phoomchusak
Student ID	45061079
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Narong Hemmakorn
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Nipha Leelaruji

ABSTRACT

This thesis presents the characteristics of ionospheric amplitude scintillation based on GPS signal (1575.45 MHz). The GPS receiver, GSV4000, which was installed at KMITL, has been used to receive the signal. The analysis included the diurnal; monthly and yearly variation of the scintillation compared with the change of electron content in the ionosphere and solar cycle. From our study, we found that the GPS scintillation typically occurs in the nighttime and the scintillation intensity peaks in March and September corresponding to equinox period. Furthermore, the study of the effect of amplitude scintillation on GPS accuracy found that the GPS receiver shows a 10-meters deviation from correct position while the scintillation occurs. Finally, the range correction equation, which is a function of the S_4 index, is presented. From the results, we found that the corrected error range away from the correct position in the latitude and longitude direction can be reduced.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความสามารถและความเอาใจใส่ของ รศ.ณรงค์ เหมภรณ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และ รศ.นิภา ลีสารุจิ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ตลอดจนให้โอกาสในการได้รับสิ่งดีๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทั้งสองเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ และขอขอบพระคุณ Prof.Dr.Yoshiaki Moriya จาก Tokai University รวมทั้ง Dr.Hisamitsu Minakoshi และ Dr.Takashi Maruyama แห่ง CRL (Communication Research Laboratory) ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ท่านอื่นๆในสถาบันแห่งนี้ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ Mr.Masabumi Kawamura แห่ง CRL , Mr.Rudy Birsa นักศึกษาปริญญาเอก แห่ง Latrobe University ประเทศออสเตรเลีย, Dr. AJ Van Dierendonck แห่ง System Department of GPS Silicon Valley ประเทศแคนาดา และ Mr. Shuichi Suga วิศวกรของบริษัท โตชิบา ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการให้รายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องรับ GPS และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอขอบพระคุณนาวาอากาศเอก ดร.เพียร โตท่าโรง ที่ให้คำปรึกษาและให้แนวทางในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณ เรือตรี เอกพล มิ่งขวัญ ที่ให้ข้อมูล คำปรึกษา และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยนี้ เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยสื่อสารดาวเทียมที่ให้คำแนะนำและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอขอบคุณ คุณเนติยา สนิทกลาง และ คุณหรรษา ชาเวียง สำหรับความเป็นเพื่อนที่ดีตลอดมา นอกจากนี้ข้าพเจ้าต้องขอขอบคุณป้าสนองและTimสำหรับความสบายใจที่มีให้เสมอ ขอขอบคุณศูนย์ปฏิบัติการวิจัยแสงซินโครตรอนที่ให้โอกาสในการศึกษาต่อตลอดจนทุกท่านที่มีส่วนในความสำเร็จครั้งนี้

และสุดท้ายวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จไม่ได้เลย ถ้าไม่มีกำลังใจที่อบอุ่นของครอบครัว ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ พ่อ แม่ ป้าหมั่น พี่ปุย พี่เป้ ที่คอยดูแลให้ความรัก ให้ความห่วงใย และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องมาตลอดชีวิต

คุณค่าและประโยชน์ใดๆอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่บิดา มารดา ครู-อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

บัทมา พุ่มชูศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	5
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	9
2.1 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศ.....	9
2.1.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	11
2.1.2 ชั้นย่อยต่างๆของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	15
2.1.2.1 ชั้น D.....	15
2.1.2.2 ชั้น E ปกติ.....	16
2.1.2.3 ชั้น Sporadic-E.....	16
2.1.2.4 ชั้นF ₁ , F ₂ และ F.....	16
2.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	17
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากกลุ่มความไม่ สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	18
2.2.2 เขตเฟรสเนล.....	20
2.2.3 วัฏจักรสุริยะ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (S_4 Index).....	24
2.4 ระบบ GPS	27
2.4.1 วิศวกรรมการของระบบหาตำแหน่ง.....	27
2.4.2 ส่วนประกอบของระบบ GPS.....	29
2.4.2.1 ส่วนอวกาศ.....	29
2.4.2.2 ส่วนสถานีควบคุม.....	31
2.4.2.3 ส่วนผู้ใช้.....	33
2.4.3 การให้บริการของระบบ GPS.....	33
2.4.4 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ GPS.....	34
2.5 การคำนวณตำแหน่งบนพื้นโลก.....	36
2.6 สรุป	40
บทที่ 3 การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์.....	41
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
3.2 ขั้นตอนและหลักการวิเคราะห์.....	44
3.3 ผลการวิเคราะห์.....	48
3.3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละช่วงเวลาระหว่างวัน.....	48
3.3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในรายเดือนและรายปี.....	55
3.3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับวัฏจักรสุริยะ.....	57
3.3.4 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	60
3.4 สรุป.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการบอกพิกัดสัญญาณดาวเทียม GPS.....	68
4.1 ขั้นตอนและหลักการวิเคราะห์.....	68
4.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของการบอกพิกัด	70
4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัด.....	77
4.4 การลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	85
4.5 สรุป.....	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	98
5.1 บทสรุปและวิจารณ์.....	98
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อไป.....	101
เอกสารอ้างอิง.....	102
ภาคผนวก.....	104
ภาคผนวก ก. โปรแกรม แปลงข้อมูล S_4	105
ภาคผนวก ข. รายละเอียดเครื่องรับ GPS รุ่น GSV4000.....	108
ภาคผนวก ค. การแปลงระบบพิกัดตำแหน่งดาวเทียมและตำแหน่งเครื่องรับ.....	113
ภาคผนวก ง. รายละเอียดดาวเทียม GPS.....	117
ภาคผนวก จ. บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	120
ประวัติผู้เขียน.....	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การแปลงค่าดัชนี S_4 กับค่ายอดถึงยอดของการแกว่งขึ้นลงโดยประมาณ (P_{ruc})	27
3.1 รายละเอียดของระบบการวัดสัญญาณดาวเทียม GPS	43
3.2 ค่าดัชนี S_4 ที่มากที่สุดในแต่ละเดือน	57
4.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัด.....	76
4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระยะทางที่คลาดเคลื่อนสมบูรณ์กับค่าดัชนี S_4	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS....	2
2.1 การแบ่งประเภทชั้นบรรยากาศโลกในชั้นต้น.....	9
2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของส่วนประกอบหลักในชั้นบรรยากาศเทียบกับ ความสูง.....	10
2.3 ลมสุริยะจากดวงอาทิตย์ที่แพร่ไปกระทบกับชั้นบรรยากาศของโลก.....	11
2.4 ขบวนการไอโอโนสเฟียร์.....	12
2.5 ขบวนการรวมตัวกันใหม่.....	12
2.6 อัตราการเกิดขบวนการไอโอโนสเฟียร์ที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอนุภาคของอากาศและการ เปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากดวงอาทิตย์.....	13
2.7 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	15
2.8 ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันตามความถี่ใช้งาน.....	18
2.9 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหัน.....	19
2.10 กลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์.....	19
2.11 ความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	20
2.12 ความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละบริเวณ.....	21
2.13 แสดงเส้นละติจูดแม่เหล็กโลกบนแผนที่ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์.....	22
2.14 ตัวอย่างการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ.....	23
2.15 โครงสร้างบางประการของดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	23
2.16 วัฏจักรสุริยะตั้งแต่ ค.ศ. 1935 จนถึง ค.ศ.2000	24
2.17 ส่วนประกอบของระบบ GPS.....	29
2.18 วงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส.....	30
2.19 ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณของระบบจีพีเอส.....	31
2.20 การทำงานในส่วนควบคุม.....	32
2.21 สถานที่ตั้งของสถานีควบคุม.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 การคำนวณตำแหน่งของจุดบนพื้นโลก.....	36
3.1 สายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม GPS (NovAtel's Model 502 GPSAntenna).....	42
3.2 เครื่องรับและประมวลผล (NovAtel's3951RGPSCard).....	42
3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลและแสดงผล.....	43
3.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ของสัญญาณดาวเทียม GPS.....	44
3.5 ลักษณะมุมอาซิมุทของวงโคจรดาวเทียม GPS วันที่ 14 เมษายน 2546.....	45
3.6 ลักษณะมุมเงยของวงโคจรดาวเทียม GPS วันที่ 14 เมษายน 2546.....	45
3.7 ตัวอย่างแนวโคจรของดาวเทียม GPS.....	46
3.8 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่ทำกรเฉลี่ยค่าออกมาทุกๆ 1 นาที.....	46
3.9 ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS....	47
3.10 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนของสัญญาณดาวเทียม GPS.....	48
3.11 ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	52
3.12 การเกิด "dynamo" ในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	53
3.13 จำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันที่ระดับค่าดัชนี S_4 ต่าง ๆ โดยวิเคราะห์รวมตั้งแต่เดือนกันยายน 2545 – เมษายน 2546.....	54
3.14 กราฟแสดงการกระจายสะสมของเปอร์เซ็นต์การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทัน หันที่ระดับค่าดัชนี S_4 ต่าง ๆ.....	54
3.15 ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนี S_4 ในทุกๆ 30 นาที ของแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2544 ถึง เดือนกันยายน 2546.....	55
3.16 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ที่มากที่สุดในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือน กันยายน พ.ศ. 2546.....	58
3.17 วัฏจักรดวงอาทิตย์ตั้งแต่ปี 1994 ถึง 2004.....	58
3.18 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลง TEC ในรอบหนึ่งวัน.....	60
3.19 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณอิเล็กตรอนตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2545 ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ.2546.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 ความสัมพันธ์ในการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของข้อมูล TEC และการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2545 ถึง เดือนสิงหาคม 2546.....	64
3.21 เปอร์เซนต์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณอิเล็กตรอนในระหว่างวันของเดือน มีนาคม 2546.....	65
3.22 การเปรียบเทียบ TEC กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนในวันที่ 14 เมษายน 2546.....	65
3.23 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ในวันที่ 14 เมษายน 2546.....	66
4.1 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของการบอกรบกวนที่คำนวณจากเครื่องรับซึ่งมีความผิดพลาดเป็น ระยะทางมากกว่า 15 เมตร.....	70
4.2 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของจุดบอกรบกวนที่คำนวณจากเครื่องรับซึ่งมีความผิดพลาดเป็น ระยะทางไม่เกิน 15 เมตร.....	74
4.3 การเปรียบเทียบค่าดัชนี S_4 กับค่าพิกัดที่คลาดเคลื่อนทั้งทางละติจูด ลองจิจูดและตำแหน่ง สมบูรณ.....	78
4.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางเทียมซึ่งมีผลลดทอนความแม่นยำในการบอกรบกวนของ เครื่องรับ GPS.....	86
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 22 เมษายน 2546.....	88
4.6 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะ ทางเทียมที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณในวันที่ 22 เมษายน 2546.....	88
4.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิม และจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 22 เมษายน 2546.....	89
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 14 เมษายน 2546.....	90
4.9 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะ ทางเทียมที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณในวันที่ 14 เมษายน 2546.....	90
4.10 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิม และจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 14 เมษายน 2546.....	91
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 13 เมษายน 2546.....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียบเดิมและจากค่าระยะทางเทียบที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณในวันที่ 13 เมษายน 2546.....	92
4.13 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียบเดิมและจากค่าระยะทางเทียบที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 13 เมษายน 2546.....	93
4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 15 มีนาคม 2546.....	94
4.15 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียบเดิมและจากค่าระยะทางเทียบที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณวันที่ 15 มีนาคม 2546....	94
4.16 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียบเดิมและจากค่าระยะทางเทียบที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 15 มีนาคม 2546.....	95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

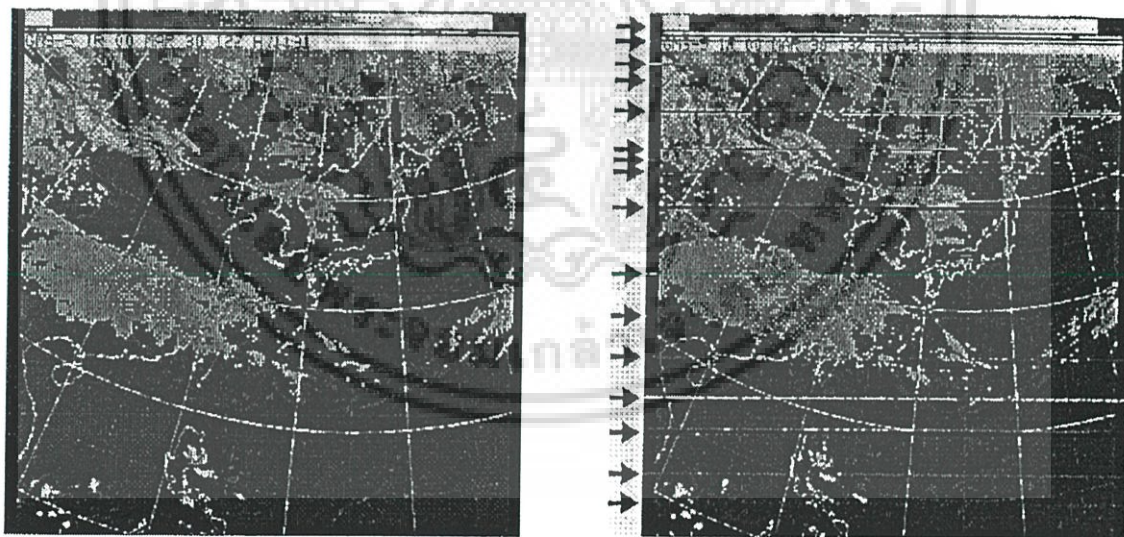
เทคโนโลยีข่าวสารได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของประชาชนในปัจจุบันมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นทางด้านธุรกิจ ข่าวสาร ความรู้ หรือเหตุการณ์ต่างๆรอบโลก ซึ่งเทคโนโลยีที่มีส่วนช่วยให้ข่าวสารมีการแพร่กระจายและใช้กันอย่างกว้างขวางก็คือ “เทคโนโลยีการสื่อสารผ่านดาวเทียม” แต่เดิมดาวเทียมเป็นวิวัฒนาการที่มนุษย์ได้ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้ประโยชน์ทางทหาร และต่อมาได้พัฒนาใช้ทางด้านพยากรณ์อากาศ การค้นหาทรัพยากรธรณี การติดต่อโทรศัพท์ระหว่างประเทศ การแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม การใช้งานอินเทอร์เน็ต (Internet) และการบอกตำแหน่งต่างๆบนโลก เป็นต้น ซึ่งดาวเทียมมีมากมายหลายประเภทเช่น

1. ดาวเทียมเพื่อการสื่อสารระหว่างจุดต่อจุด เช่น ดาวเทียมปลาปา, ดาวเทียมไทยคม
2. ดาวเทียมเพื่อการสื่อสารระหว่างดาวเทียม เช่น ดาวเทียม TDRS
3. ดาวเทียมเพื่อการสื่อสารเคลื่อนที่บนบก ในน้ำ และอากาศ เช่น ดาวเทียมอินมาร์แซท
4. ดาวเทียมเพื่อการสื่อสารวิทยุกระจายเสียง และวิทยุโทรทัศน์ เช่น ดาวเทียม ASTRA
5. ดาวเทียมเพื่อการสำรวจโลก สำรวจทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ดาวเทียม LANDSAT
6. ดาวเทียมเพื่อการสำรวจอวกาศ เช่น ดาวเทียม METEOR, ดาวเทียม EXPLORER
7. ดาวเทียมเพื่อการพยากรณ์อากาศ เช่น ดาวเทียม GMS, ดาวเทียม NOVA 6-9
8. ดาวเทียมเพื่อการปฏิบัติการในห้วงอวกาศ เช่น ดาวเทียม SPAS, ดาวเทียม SKYLAB
9. ดาวเทียมเพื่อภารกิจการวิทยุสมัครเล่น เช่น ดาวเทียม JAS-1 หรือ ดาวเทียม FUJI
10. ดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่ง เช่น ดาวเทียม NAVSTAR (อเมริกา), GLONASS (รัสเซีย)
11. ดาวเทียมเพื่อการนำร่องเรือ และอวกาศยาน เช่น ดาวเทียม TRANSOT, ดาวเทียม COSMOS

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้งานดาวเทียมมีมากมาย อย่างไรก็ตามในระบบสื่อสารดาวเทียม นั้นจะได้รับผลกระทบอันเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศโลก โดยชั้นบรรยากาศที่สำคัญและมีผลกระทบต่อการสื่อสารดาวเทียมคือ 2 ชั้นบรรยากาศหลัก ได้แก่ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นั้นเกิดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห (Refractive-Index) ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงกว่า 30 MHz และที่ความถี่มากกว่า 10 GHz เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ย่าน Ku โดยได้รับผลกระทบจากการดูดกลืนพลังงาน (Absorption), การกระเจิง (Scatter) ของคลื่นสัญญาณอันเนื่องมาจาก เมฆ,ฝน,หิมะ และอื่นๆ

ส่วนผลกระทบที่เกิดเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะเกิดจากการหน่วงเวลาของสัญญาณ (Time Delay) ซึ่งจะทำให้สัญญาณมาถึงจุดที่รับสัญญาณช้ากว่าการเดินทางของคลื่นในระยะทางตรง, การเกิดฟาราเดย์โรเทชัน (Faraday Rotation) ซึ่งจะทำให้มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณนั้นเกิดเคลื่อนไปจากมุมเดิม และผลของการแกว่งของสัญญาณอย่างกระทันหัน ซึ่งจะทำให้ระดับสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นๆลงๆอย่างรวดเร็วจากระดับปกติ โดยที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับเวลาและลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่แต่ละระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้ มักเกิดขึ้นกับสัญญาณในช่วงความถี่ 30 MHz- 3 GHz ทั้งนี้ยังอาจเกิดขึ้นในช่วงความถี่ 4-6 GHz ด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมนี้จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูลได้ เช่นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GSM (ความถี่ 1.694 GHz) มีผลต่อการสื่อสารข้อมูลทำให้สัญญาณภาพขาดหายไปในขณะที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ดังแสดงในรูปที่ 1.1 [1]



(ก) สภาวะสัญญาณปกติ

(ข) สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด
อย่างกระทันหัน

รูปที่ 1.1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GSM ทำให้เกิดเป็นเส้นดำในแนวนอนตามลูกศรชี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับระบบดาวเทียม GPS นั้นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการบอกตำแหน่งบนโลก และเนื่องจากประโยชน์จากการใช้งานดาวเทียม GPS มีมากมายเช่น

1. การสำรวจและวัดค่าต่างๆของโลก เช่น การหารูปปร่างจริงและสนามแรงดึงดูดของโลก
2. การสำรวจการเคลื่อนที่ของขั้วโลกและการหมุนของโลก
3. เก็บรายละเอียดของการสำรวจพื้นราบ เช่น เขตปกครอง ผังเมือง สารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)
4. การทำหมุดบังคับบนผิวโลกสำหรับงานภาพถ่ายทางอากาศและการสำรวจจากระยะไกล (Remote Sensing)
5. ใช้เพื่อการเดินทางตามแนวทางที่แน่นอนบนพื้นดิน ในทะเล หรือบนอากาศโดยยานพาหนะชนิดนั้นๆจะทำได้ถูกต้องแม่นยำ
6. กำหนดตำแหน่งอย่างละเอียดสำหรับทำแผนที่ทางทะเล การสำรวจ อุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ ธรณีวิทยาทางทะเล
7. บอกตำแหน่งและความเร็วในการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysics)
8. การสำรวจตำแหน่งก้อนน้ำแข็งในมหาสมุทรแอตแลนติก การทำวิจัยที่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ก็ใช้ดาวเทียม NAVSTAR GPS ในการกำหนดตำแหน่งต่างๆและการเดินทาง
9. ใช้ในทางทหาร เช่น เพื่อการรวบรวมเป้าหมาย (Target Acquisition) ใช้กับเครื่องบินสอดแนมที่ไร้คนขับ (Remotely Operated Vehicles) เป็นเซนเซอร์ (Sensor) ส่งตำแหน่งเป้าหมายเพื่อการโจมตี เป็นระบบนำวิถีให้อาวุธนำวิถี (Missile Guidance)

และในปัจจุบันนี้ระบบดาวเทียม GPS ได้ถูกนำมาใช้งานด้านการบอกตำแหน่งต่างๆ บนโลกในเชิงพาณิชย์แพร่หลายมากขึ้น เหตุเพราะสามารถใช้งานได้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก เช่นถูกนำไปใช้ในโทรศัพท์มือถือ ระบบติดตามการจราจร เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS และระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ๆทำการศึกษา ฤดูกาล เวลาในแต่ละวัน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Equatorial Zone) จะได้รับผลกระทบของปรากฏการณ์นี้ค่อนข้างรุนแรง แต่พบว่าประเทศไทยที่ซึ่งอยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กยังมีการศึกษาและมีบทความวิจัยนี้น้อยมาก ในขณะที่ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นของทวีปอเมริกา ยุโรป และเอเชียแถบ

เอกสารนี้จะดูจุดกลางที่สงวนไว้ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจในการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่เกิดขึ้น ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ข้อมูลการศึกษาคุณลักษณะและการวิเคราะห์ทางสถิติของสัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของธรรมชาติในแต่ละปีและในแต่ละพื้นที่ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการออกแบบวางแผนจัดการระบบให้มีความน่าเชื่อถือสูง (System Reliability) เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด และเป็นข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศที่วัดได้ในประเทศไทย โดยอาศัยการศึกษาและการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลสัญญาณดาวเทียมในพื้นที่ใช้งานนั้นๆ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมในประเทศไทยพบว่ามีอยู่น้อย โดยส่วนใหญ่เป็นงานวิจัยการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ Ku, C, S, L, VHF ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบวงโคจรอยู่กับที่ (Geo-stationary Earth Orbit) และโดยเฉพาะบทความวิจัยของประเทศไทยที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS นั้นพบว่ามีน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งเป็นดาวเทียมแบบวงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit) และศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาที่ผ่านมาของนักวิจัยหลายท่านพบว่า สัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ 30 MHz - 3 GHz จะได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกดิน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันนี้จะส่งผลกระทบต่อการสื่อสารข้อมูล ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS (ความถี่ 1575.42 MHz) จึงคาดการณ์ว่าสัญญาณดาวเทียม GPS จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรุนแรงในช่วงเวลากลางคืน และอาจส่งผลกระทบต่อการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ทำให้ตำแหน่งที่คำนวณได้เกิดความผิดพลาดคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการคำนวณค่าดัชนี S_4 ซึ่งแสดงถึงระดับความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [2]

$$S_4 = \left(\frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A \rangle^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

ซึ่ง A คือขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณ

$\langle \rangle$ คือค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงเวลาที่กำหนด

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำต่างกัน ขึ้นกับตำแหน่งละติจูดและเวลาที่เกิด ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จึงได้นำค่าดัชนี S_4 ที่คำนวณได้ไปวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน แต่ละเดือน และทำการเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเป็นสาเหตุในการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันดังกล่าว รวมทั้งได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนี S_4 กับค่าความคลาดเคลื่อนทางละติจูดและความคลาดเคลื่อนทางลองจิจูดด้วย เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่นำไปสู่กระบวนการสร้างสมการในการลดความผิดพลาดในการระบุพิกัดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

1.5 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz โดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทำการรับสัญญาณ โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2544 ถึง เดือนธันวาคม 2546 โดยค่าดัชนี S_4 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในรอบหนึ่งวัน และแต่ละเดือนนั้น และทำการเปรียบเทียบลักษณะการ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และวัฏจักรสุริยะซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันดังกล่าว รวมทั้งได้ทำการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รายละเอียดเนื้อหาการวิเคราะห์และการคำนวณต่างๆ มีดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงลักษณะของชั้นบรรยากาศโลกซึ่งมีอยู่ 2 ชั้นบรรยากาศที่ส่งผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน นั่นคือ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และอธิบายถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์รวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระดับความรุนแรงในการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในระหว่างวัน แต่ละฤดูกาล เช่น พื้นที่ที่ทำการศึกษา จุดดับบนดวงอาทิตย์ รวมทั้งกระบวนการเปลี่ยนแปลงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และอธิบายถึงค่าความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งแสดงด้วยค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน รวมถึงระบบ GPS ซึ่งประกอบไปด้วย ส่วนอวกาศ ส่วนสถานีควบคุมและส่วนผู้ใช้ การให้บริการของระบบ GPS ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการบอกตำแหน่ง นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงทฤษฎีการคำนวณพิกัดโดยจะอาศัยพิกัดของดาวเทียม (Cartesian Coordinate) และระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ GPS ของดาวเทียมแต่ละดวง และสุดท้ายจะเป็นการอธิบายถึงหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณสมการหาพิกัดเครื่องรับ GPS

บทที่ 3 กล่าวถึง ระบบการทดลอง วิธีการวิเคราะห์โดยใช้ไฟล์ข้อมูลจากเครื่อง GSV4000 และนำเสนอผลการวิเคราะห์ลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ทั้งในรอบหนึ่งวันและรอบฤดูกาล และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และวัฏจักรสุริยะ รวมทั้งผลวิเคราะห์การกระจายสะสมของเปอร์เซ็นต์และจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ระดับค่าดัชนี S_4 ต่างๆ

บทที่ 4 กล่าวถึงการศึกษาผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของเครื่องรับ GPS โดยได้อธิบายถึงขั้นตอนในการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของจุดบอกลูกพิกัดที่เครื่องรับคำนวณได้ในวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน และวันที่สัญญาณไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน รวมทั้งได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 กับพิกัดที่

คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้อง และส่วนสุดท้ายอธิบายการสร้างสมการเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการบอกพิกัดโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

บทที่ 5 เป็นบทสรุป กล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิเคราะห์ การเก็บข้อมูลสัญญาณ และข้อเสนอแนะต่างๆ สำหรับการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไป

ในส่วนของภาคผนวก ก. แสดงโปรแกรม IDL สำหรับแปลงไฟล์ข้อมูลจากรูปแบบ Binary มาเป็นรูปแบบ Ascii ภาคผนวก ข. แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเครื่องรับ GPS รุ่น GSV4000 ที่ใช้ในงานวิจัย ในส่วนของภาคผนวก ค. แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการแปลงโคออดิเนตตำแหน่งดาวเทียมและตำแหน่งเครื่องรับ GPS โดยใช้ระบบ WGS-84 ในส่วนของภาคผนวก ง. แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับดาวเทียม GPS และสุดท้ายภาคผนวก จ. จะเป็นบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

ในการศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณจากดาวเทียม GPS ณ ดาดฟ้าอาคารกรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ (ตึกอธิการบดี) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประกอบด้วย งานสายอากาศ เครื่องรับ GPS รุ่น GSV4000 แบบความถี่เดียว (Single Frequency : L1=1575.42 MHz) มีความถี่ในการ Sampling ข้อมูลเท่ากับ 50 Hz
2. รวบรวมข้อมูลซึ่งถูกประมวลผลและเก็บไว้ในไฟล์ข้อมูลชื่อ Data Logs ในเครื่อง GSV4000 ตลอด 24 ชั่วโมง โดยเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2544 ถึงเดือนธันวาคม 2546
3. วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันโดยใช้ข้อมูลค่าดัชนี S_4 เป็นตัวแสดงถึงระดับความรุนแรงในการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของสัญญาณดาวเทียม GPS มีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. นำข้อมูลพิกัดทั้งละติจูดและลองจิจูดทุกๆ 30 นาทีของเครื่องรับ GPS มาสร้างแผนภูมิเพื่อดูการกระจายตัวของการอ่านพิกัดที่คลาดเคลื่อนออกไปจากจุดที่ถูกต้องและหาค่าซึ่งเป็นตัวแทนของการกระจายตัวของการบอกพิกัดในวันหรือช่วงเวลานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับความผิดพลาดในการระบุพิกัด
3. สร้างสมการเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการบอกพิกัด โดยในการสร้างสมการนี้จะนำเอาข้อมูลของวัน และเวลาที่เครื่องรับ GPS มีการบอกพิกัดคลาดเคลื่อนเนื่องจากได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมาวิเคราะห์

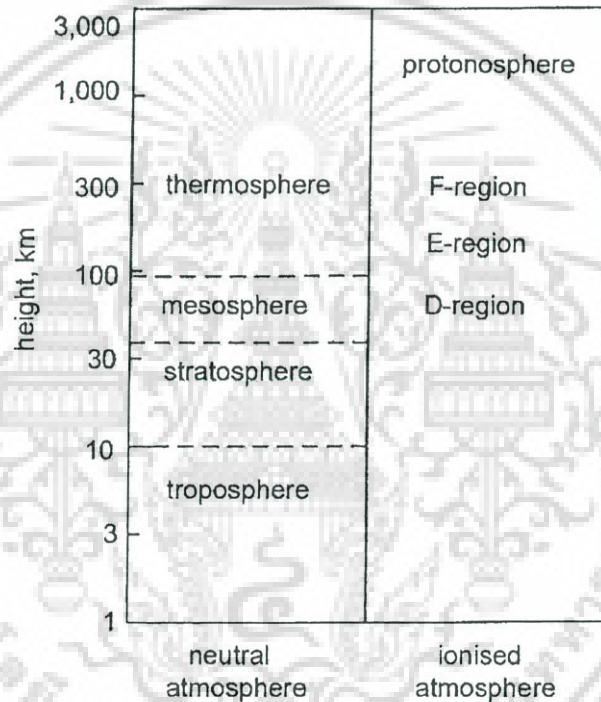


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน

2.1 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศของโลกถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทเบื้องต้น คือ ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง (Neutral Atmosphere) และชั้นบรรยากาศที่เป็นไอออไนซ์หรือเรียกว่าไอโอโนสเฟียร์ (Ionized Atmosphere) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



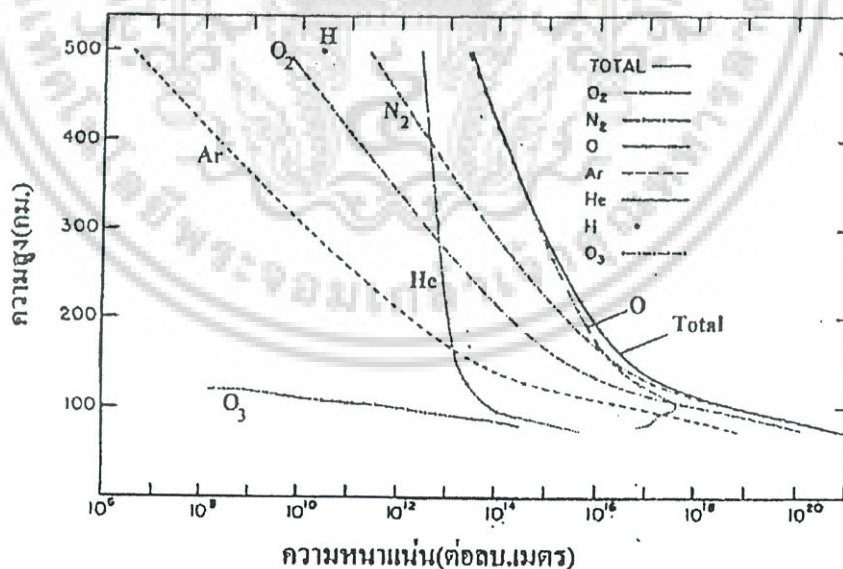
รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทชั้นบรรยากาศโลกในชั้นต้น [3]

สำหรับโครงสร้างของชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางสามารถจัดกลุ่มได้โดยใช้โพธิ์ไฟล์อุณหภูมิซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้นใหญ่ๆ โดยชั้นที่อยู่บริเวณพื้นโลกจะเป็นชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์หรืออาจเรียกว่า Boundary Layer ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่เราใช้ดำรงชีวิตอยู่ โดยในชั้นบรรยากาศนี้จะประกอบไปด้วยก๊าซชนิดต่างๆ รวมไปถึงฝุ่นละออง และมลภาวะที่มาจากแหล่งต่างๆ ตลอดจน เมฆฝน ไอน้ำ หมอก หิมะ จะอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ทั้งสิ้น ซึ่งมีระยะความสูงเมื่อเทียบกับพื้นดินประมาณ 7-18 กิโลเมตร ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศในระยะแรกจะลดลงผกผันกับความสูงที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 7°C/km และที่ระดับความสูงประมาณ 10

กิโลเมตร (ที่ตำแหน่งโทรโพพอส: Tropopause) หรือที่จุดเริ่มต้นของชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนโดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิจจะมีแนวโน้มแปรตามความสูง โดยการเพิ่มของอุณหภูมิไปตามความสูงนี้ เนื่องจากโอโซนมีการดูดซับรังสี UV บางส่วนที่แผ่จากดวงอาทิตย์ในระดับความสูงดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้จะปรากฏจนถึงแค่ระดับความสูงที่ 50 กิโลเมตร (หรือที่ตำแหน่งสตราโตพอส:Stratopause) อุณหภูมิก็จะเริ่มลดลงซึ่งแปรผกผันกับความสูงที่เพิ่มขึ้นของชั้นบรรยากาศมีโซสเฟียร์อีกครั้ง และที่ระดับความสูงประมาณ 80 กิโลเมตร อุณหภูมิจะมีการลดลงอย่างฉับพลันและลดลงจนถึงระดับต่ำสุดที่ประมาณ -92°C หลังจากจุดต่ำสุดของอุณหภูมิจึงเพิ่มขึ้นมาที่ระดับความสูงประมาณ 1,200 กิโลเมตร (หรือหลังจากตำแหน่งมีโซพอส: Mesopause) นี้แล้ว อุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าที่คงที่ที่ประมาณ $1,200^{\circ}\text{C}$ ณ ที่ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศเทอร์โมสเฟียร์

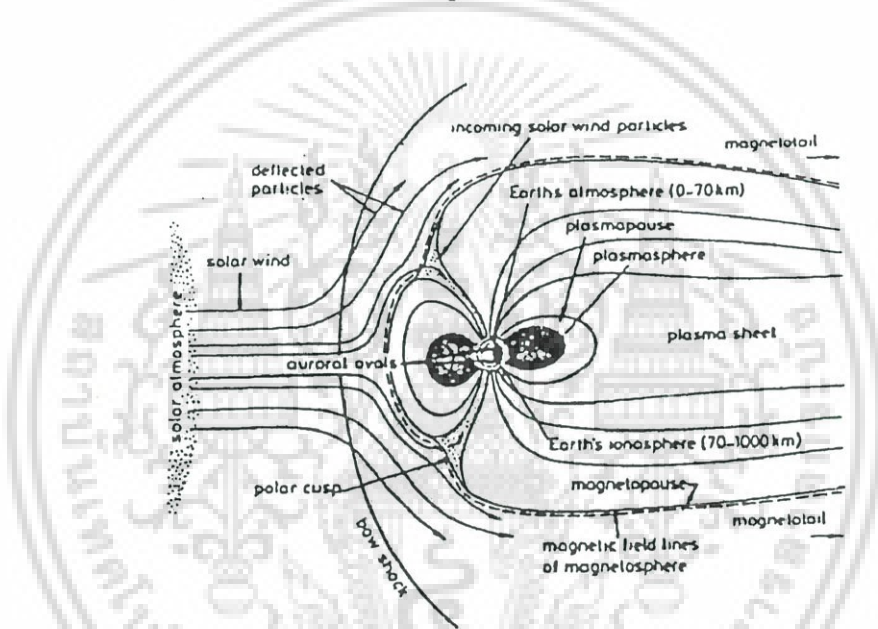
สำหรับชั้นบรรยากาศที่เป็นไอโอโนสเฟียร์นั้นสามารถแบ่งลักษณะได้โดยใช้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน เนื่องจากชั้นบรรยากาศส่วนบนของโลกนั้นโมเลกุลของออกซิเจนจะถูกทำให้แตกตัวด้วยรังสี UV ที่มีขนาดความยาวคลื่นสั้นกว่า 175.9 nm ขบวนการนี้มีความไวมากทำให้สภาวะที่มีความแปรปรวน (Turbulence) ไม่สามารถรักษา O_2 หรือให้ O รวมตัวกันได้ ดังนั้นจำนวนความหนาแน่นของ O จะเพิ่มขึ้นจนถึงที่ระดับความสูงประมาณ 150 กิโลเมตร ดังนั้นที่ความสูงเหนือ 150 กิโลเมตรขึ้นไป ชั้นบรรยากาศส่วนนี้จึงมีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบหลักจึงถูกเรียกว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การเปลี่ยนแปลงตามความสูงของค่าความหนาแน่น ส่วนประกอบหลักของชั้นบรรยากาศนั้น แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่นของส่วนประกอบหลักในชั้นบรรยากาศเทียบกับความสูง [3]

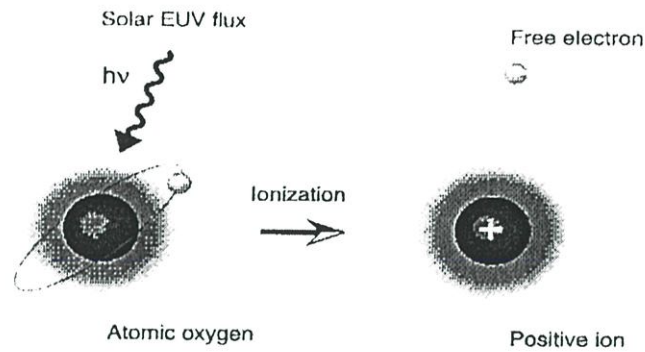
2.1.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ บริเวณที่พลาสมา (Plasma) เกิดการไอออไนซ์โดยมีขอบเขตประมาณ 50 กิโลเมตร ถึง 2,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก มีโมเลกุลเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ถูกไอออไนซ์และพบว่ายังคงมีโมเลกุลที่เป็นกลางจำนวนมากเหลืออยู่ในชั้นที่อยู่สูงกว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ ชั้นพลาสมาสเฟียร์ (Plasmaphere) หรือโปรโตโนสเฟียร์ (Protonosphere) ซึ่งยังมีปริมาณอิเล็กตรอนอิสระอยู่อย่างชัดเจน อิเล็กตรอนเหล่านี้ คือ สนามแม่เหล็กของโลกที่ทำหน้าที่ต่อต้านลมสุริยะ (Solar Wind) ซึ่งเป็นอนุภาคที่พุ่งออกจากดวงอาทิตย์ โดยแรงกระทำของอนุภาคที่พุ่งออกจากดวงอาทิตย์เหล่านี้จะบีบสนามแม่เหล็กของโลกไปในบริเวณทิศทางที่หันหลังให้กับดวงอาทิตย์ (Dark Side) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลมสุริยะจากดวงอาทิตย์ที่แพร่ไปกระทบกับชั้นบรรยากาศของโลก [4]

ตามปกติอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ในแต่ละช่วงเวลาและในแต่ละระดับความสูงนั้นจะเกิดไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดขบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) กล่าวคือภายใต้สภาวะความกดดันต่ำ (ที่ระดับความสูงมาก) สามารถเป็นไปได้ที่ทำให้อิเล็กตรอนหนึ่งหรือสองตัวหลุดจากโมเลกุลก๊าซ นอกจากนี้ไม่เพียงแต่การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของอิเล็กตรอนเท่านั้นที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาแต่ยังรวมถึงการแผ่รังสีบางชนิดเช่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) และรังสีคอสมิก (Cosmic) ด้วย โดยเมื่อรังสีแพร่เข้าถึงชั้นบรรยากาศจะทำให้จำนวนอนุภาคบางส่วนของอากาศนั้นกลายเป็นอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ รูปที่ 2.4 แสดงขบวนการไอออไนเซชัน

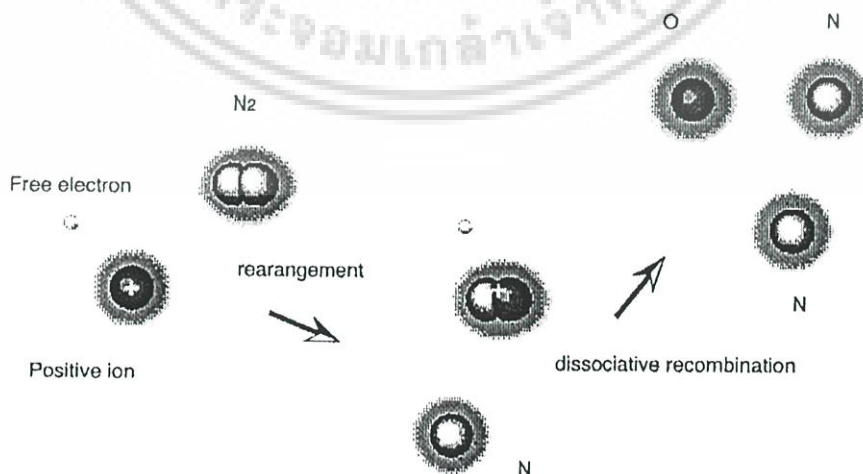


รูปที่ 2.4 ขบวนการไอออไนเซชัน [5]

จากรูปที่ 2.4 สามารถอธิบายได้ว่าโมเลกุลออกซิเจน (O) ที่เป็นส่วนประกอบหลักจะถูกไอออไนซ์โดยโฟตอน ($h\nu$)จากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ผลผลิตที่ได้คือ



ผลผลิตที่ได้คืออิเล็กตรอนอิสระและโมเลกุลซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนหนึ่งตัวหลุดออกไปแล้วจะทำให้กลายเป็นไอออนประจุบวก (โมเลกุลที่ได้รับอิเล็กตรอนไปก็จะกลายเป็นไอออนประจุลบ) ไอออนเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายภายใต้แรงทางไฟฟ้า เช่น แรงดูด หรือแรงผลัก โดยปกติแล้วไอออน อิเล็กตรอนและอะตอมต่าง ๆ ของก๊าซจะเคลื่อนที่ไปมาตลอดจึงมีการชนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีขบวนการการรวมตัวกันใหม่ (Process of Recombination) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา รูปที่ 2.5 แสดงขบวนการรวมตัวกันใหม่ของก๊าซออกซิเจนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



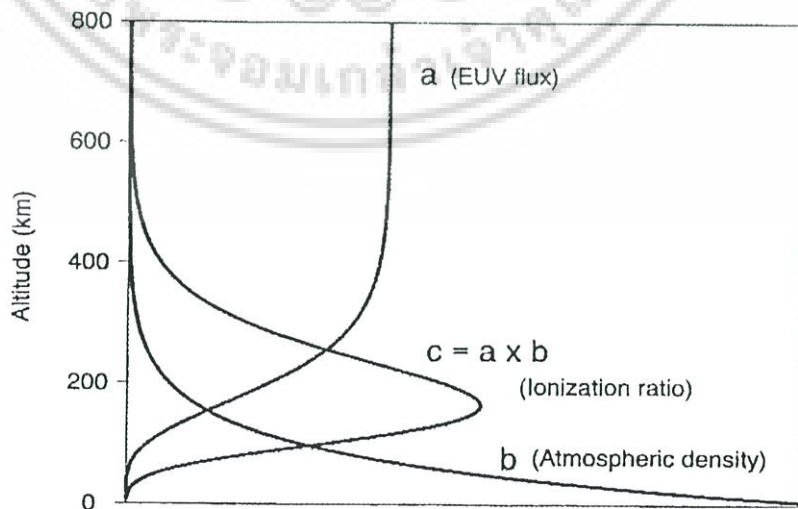
รูปที่ 2.5 ขบวนการรวมตัวกันใหม่ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.5 อธิบายได้ว่าอิออนที่เกิดจากขบวนการไอโอไนซชันกับโมเลกุลที่เป็นกลาง (N_2) จะเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนพลังงานหรือการแลกเปลี่ยนประจุและจะรวมตัวใหม่กับอิเล็กตรอนแตกตัวได้เป็นโมเลกุลที่เป็นกลางดังนี้



ดังนั้นโมเลกุลหนึ่งโมเลกุลที่ถูกไอโอไนซ์จะไม่คงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ตลอดไปโดยในส่วนของชั้นบรรยากาศโลกที่ต่ำ (ความกดดันสูง) จะมีการชนกันของอนุภาคที่มากจึงมีโอกาสเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่มาก ดังนั้นโมเลกุลของอากาศจะคงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ในระยะเวลาสั้นกว่าชั้นบรรยากาศส่วนบน นอกจากนี้แล้วรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ได้ถูกดูดซับไปเป็นจำนวนมากแล้วโดยชั้นบรรยากาศส่วนบน ดังนั้นในบริเวณที่ความสูงต่ำกว่า 50 กิโลเมตร จะมีการไอโอไนซ์เกิดขึ้นน้อยมาก ในทางกลับกันที่ความสูงมากกว่า 400 กิโลเมตรนั้น มีอนุภาคของอากาศที่เบาบางทำให้ความหนาแน่นของการไอโอไนซ์มีค่าต่ำมากถึงแม้ว่าจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากก็ตาม ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าชั้นบรรยากาศในระดับความสูงในช่วง 50-400 กิโลเมตรซึ่งก็คือระดับการวางตัวของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จะมีปริมาณอนุภาคของอากาศ , สภาวะความกดดันอากาศและการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตของดวงอาทิตย์เป็นไปอย่างเหมาะสมเอื้ออำนวยให้เกิดการไอโอไนซ์ขึ้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ณ ความสูงในช่วงนี้มีความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนสูงสุด รูปที่ 2.6 แสดงอัตราการเกิดขบวนการไอโอไนซ์ที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอนุภาคของอากาศและการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากดวงอาทิตย์



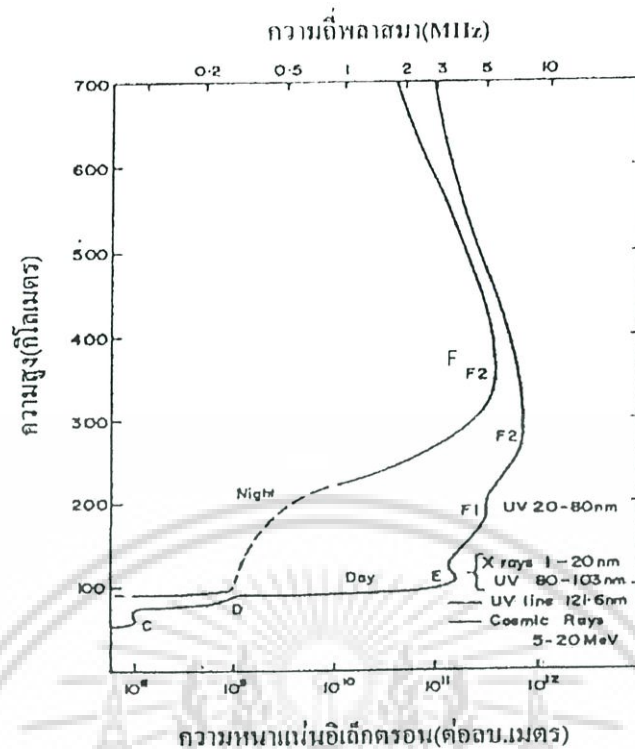
รูปที่ 2.6 อัตราการเกิดขบวนการไอโอไนซ์ที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอนุภาคของอากาศและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยรัฐบาลไทยภายใต้สัญญาที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณความถี่ต่างกันจะเดินทางกลับมายังโลกจากความสูงของชั้นบรรยากาศที่ต่างกันด้วย จึงแสดงว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไม่ได้มีเพียงชั้นเดียว แต่ในแต่ละชั้นของชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์มีความแตกต่างกันเนื่องจากความจริงที่ว่าก๊าซต่างๆ ในชั้นบรรยากาศโลกที่ถูก ไอโอโนสเฟียร์มีความแตกต่างกัน ณ ที่ความสูงและความดันต่างกัน และนอกจากนี้ต้นกำเนิด (Source) ที่ทำให้เกิดการไอโอไนซ์ (เช่น ชนิดของรังสีจากดวงอาทิตย์) ก็แตกต่างกันด้วย ในการ ไอโอไนซ์ที่ระดับต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นในแต่ละระดับย่อยที่ความหนาแน่น อิเล็กตรอนมีค่าสูงสุดนั้นถูกเรียกว่า "ชั้น" (Layer) จำนวนของชั้น, ความสูงของมัน และความรุนแรงที่มีต่อสัญญาณที่ถูกทำให้เลี้ยวเบนไปจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวัน, ในแต่ละเดือนและในแต่ละปี ในแต่ละชั้นย่อยจะมีความถี่วิกฤตซึ่งมีค่าเฉพาะในแต่ละชั้นของมันเอง

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบ่งเป็นชั้นย่อยหลักๆ 3 ชั้น ในช่วงเวลากลางวันคือ ชั้น E, F₁ และ F₂ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 นอกจากชั้นปกติเหล่านี้แล้วยังมีชั้นที่ต่ำกว่าชั้น E เรียกว่าชั้น D โดยชั้น D นี้มีขอบเขตอยู่ระหว่าง 50 ถึง 90 กิโลเมตร ในช่วงเวลากลางวันของชั้นนี้จะส่งผลเป็นอันมากต่อการลดทอนของคลื่นความถี่สูงในแถบขั้วโลก ในช่วงเวลากลางคืนชั้น F₁ และ F₂ จะรวมตัวกันเป็นชั้นเดียวเรียกว่าชั้น F ส่วนชั้น D ก็จะหายไปในช่วงกลางคืนเช่นกัน ดังนั้นในช่วงกลางคืนจะมีชั้นย่อยปรากฏอยู่เพียง 2 ชั้นหลักๆ คือ ชั้น E และชั้น F โดยปกติแล้วชั้น E ที่ถูกพบที่ความสูง 110 กิโลเมตร แต่อาจจะเปลี่ยนแปลงในช่วงความสูง 90 กิโลเมตร ถึง 140 กิโลเมตร ในทำนองเดียวกัน ชั้น F₁ จะวางตัวอยู่ที่ระดับความสูง 220 กิโลเมตร โดยที่ระดับความสูงนี้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงเวลาระหว่างวันและในแต่ละฤดูกาล ส่วนชั้น F₂ นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก คือ จะเปลี่ยนไปมาที่ระดับความสูง 250-400 กิโลเมตร [4]



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์[3]

2.1.2 ชั้นย่อยต่างๆของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.1.2.1 ชั้น D

ชั้น D เป็นชั้นที่วางตัวในระดับความสูงที่ต่ำสุดในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ชั้นนี้จะปรากฏเฉพาะในช่วงที่มีแสงอาทิตย์และจะหายไปในเวลากลางคืนเนื่องจากการรวมตัวกันใหม่ของอนุภาคมีค่าสูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากความจริงที่ว่าความเข้มของการไอโอไนซ์นั้นขึ้นอยู่กับระยะห่างของโลกกับดวงอาทิตย์ และหลังจากพระอาทิตย์ตกขบวนการการรวมตัวกันใหม่ก็จะมีอัตราเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ชั้น D หายไปในเวลากลางคืน ความหนาแน่นในการไอโอไนซ์จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวันและค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนอยู่ในช่วงจาก 10^{14} และ 10^{16} อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [4]

ชั้น D มีบทบาทต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ คือ จะดูดกลืนพลังงานจากคลื่นที่ความถี่ MF, HF และ VHF และมันยังสะท้อนสัญญาณในช่วงความถี่ LF และ VLF เนื่องจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นนี้มีไม่เพียงพอ (ประมาณ 10^9 el/m³) และมีความถี่ในการชนกันของอิเล็กตรอนและอนุภาคที่เป็นกลางที่อัตราที่สูง (ประมาณ 10^6 ครั้งต่อวินาที) [4] จึงไม่สามารถส่งผลกระทบต่อคลื่นวิทยุให้เลี้ยวเบนได้ ดังนั้นจึงมีผลกระทบต่อการลดทอนของคลื่นสัญญาณเมื่อเดินทางผ่านชั้นนี้ และเนื่องจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนต่ำนี้ทำให้ไม่สามารถศึกษาได้ด้วยวิธี Ionosonde แต่ใช้เทคนิคอื่นได้ เช่น Incoherent Scatter การวัดโดยใช้จรวด Wave Interaction และอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การแจ้งให้เพิกการก๊อปปี้ให้คนอื่น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 ชั้น E ปกติ

ชั้น E ปกติ เป็นชั้นที่ค่อนข้างบาง วางตัวอยู่เหนือชั้น D ที่ระดับความสูง 90-140 กิโลเมตร มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูง 110 กิโลเมตร จากพื้นผิวโลก ในเวลากลางคืน ชั้น E มีการไอออไนซ์ที่น้อยมาก ในขณะที่ช่วงเวลากลางวันจะมีการไอออไนซ์ค่อนข้างมาก การเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันไม่ค่อยมากแต่จะค่อนข้างเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล คือ ค่าอิเล็กตรอนจะมีค่าต่ำในฤดูหนาวเนื่องจากการทำมุมเอียงระหว่างตำแหน่งของโลกกับดวงอาทิตย์ส่งผลให้เกิดการเกิดไอออไนซ์ลง ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นนี้อยู่ในช่วงประมาณ $10^5 - 4.5 \times 10^5$ el/m^3 ในช่วงเวลากลางวัน และมีค่าประมาณ $5 \times 10^5 - 10^4$ el/m^3 [4] ในเวลากลางคืน ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของ Solar Activity โดยชั้น E นี้ถูกสร้างขึ้นจากการไอออไนซ์ของก๊าซเนื่องจากการแผ่รังสี Soft X-ray

2.1.2.3 ชั้น Sporadic-E

นอกจากชั้นที่มีความเสถียรดังเช่นชั้น D, E และ F แล้ว ในชั้นบรรยากาศไอออไนสเฟียร์ยังมีการปรากฏของเทอมการไอออไนซ์ที่ผิดปกติก็คือ Sporadic-E แทนด้วยสัญลักษณ์ E_s เนื่องจากการปรากฏขึ้นของชั้น Sporadic-E จะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น โดยปกติจะมีรูปแบบคล้ายก้อนเมฆมีลักษณะเป็นหย่อม ๆ และจะเปลี่ยนแปลงขนาดตั้งแต่ 1 กิโลเมตร จนถึงหลายๆ ร้อยกิโลเมตร การเกิดขึ้นและความเข้มของการไอออไนซ์จะไม่มีความสัมพันธ์กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยการเกิดขึ้นนี้ไม่สามารถทำนายได้ และยังสามารถพบได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน หรือในฤดูใดๆก็ได้ ชั้น Sporadic-E เป็นชั้นที่บางมากแต่มีความหนาแน่นของการไอออไนซ์สูง (ความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าเกือบ 10 เท่า ของชั้น E ปกติ) และจะปรากฏที่ใดก็ได้ในระยะความสูงตั้งแต่ 90-120 กิโลเมตร [4]

2.1.2.4 ชั้น F_1, F_2 และ F

ชั้น F เป็นชั้นย่อยบนสุดของชั้นบรรยากาศไอออไนสเฟียร์มีการไอออไนซ์มากที่สุด และเป็นเพียงชั้นเดียวที่รักษาการไอออไนซ์โดยไม่ขึ้นกับวันหรือฤดูกาลใดๆ ชั้น F เป็นชั้นที่อำนวยความสะดวกแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะทางไกลได้แม้ในยามกลางคืน การปรากฏขึ้นได้ของชั้น F ในเวลากลางคืนนั้นมาจากความจริงที่ว่าชั้น F เป็นชั้นบนสุดที่มีการไอออไนซ์สูงมาก ดังนั้นจึงมีอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์แล้วเหลืออยู่แม้ไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์แล้วก็ตาม และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือค่าความหนาแน่นในการไอออไนซ์มีค่าสูงในขณะที่ค่าความหนาแน่นของอากาศมีไม่มากนัก ณ ความสูงระดับนี้ ดังนั้นโมเลกุลเกือบทั้งหมดในชั้นนี้จึงเป็นโมเลกุลที่ถูกไอออไนซ์ โดยอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ในการก่อตัวขึ้นเป็นชั้นนี้ คือ อะตอมของออกซิเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างกลางวันหลังจากพระอาทิตย์ขึ้นพบว่า ชั้น F แยกเป็น 2 ชั้น เรียกว่าชั้น F_1 และ F_2 ปรากฏการณ์นี้จะพบตลอดปีในบริเวณละติจูดต่ำ (Low Latitude) และปรากฏเฉพาะฤดูร้อนเท่านั้นในบริเวณละติจูดสูง (High Latitude) ชั้น F_1 จะปรากฏขึ้นในช่วงเวลากลางวัน และวางตัวอยู่ในระดับความสูงประมาณ 140-250 กิโลเมตร โดยมีค่าระดับความสูงเฉลี่ยคือ 220 กิโลเมตร สำหรับชั้น F_2 เป็นชั้นที่วางตัวอยู่บนสุดโดยมีระดับความสูงอยู่ที่ 250-400 กิโลเมตร ในเวลากลางวันค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นนี้จะมีค่ามากที่สุด ในบรรดาชั้นย่อยอื่นๆ ทั้งหมดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในเวลากลางคืนชั้น F_1 และ F_2 จะรวมตัวกันเป็นชั้น F และมีระดับความสูงลดลงมาเป็น 300 กิโลเมตร ชั้น F_2 นี้ก่อตัวขึ้นโดยการไอโอไนซ์จากการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต และ รังสี X-rays การไอโอไนซ์ของชั้น F_2 จะได้รับอิทธิพลจากสนามแม่เหล็กโลก ลม และกระแสขั้วลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และค่าความหนาแน่นไอโอไนซ์จะเปลี่ยนแปลงตามปฏิกิริยาโซล่า (Solar Activity) และการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดดับของดวงอาทิตย์ตั้งแต่ค่าต่ำสุดจนถึงสูงสุด [4]

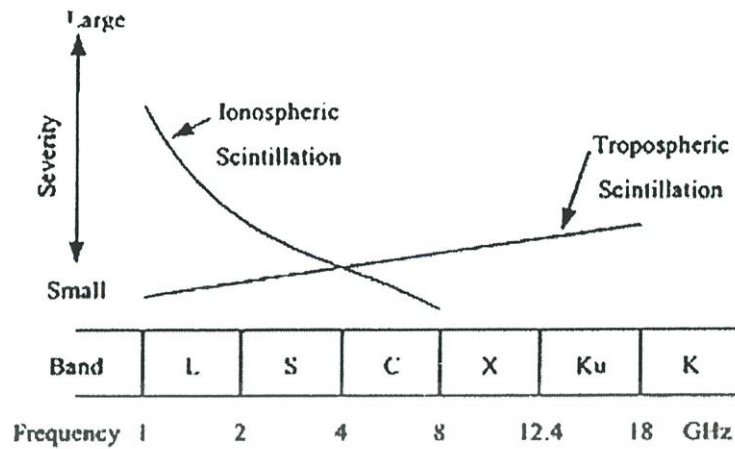
ปัจจุบันมีการศึกษาวิธีการต่างๆที่ใช้หาค่าปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Total Electron Content : TEC) หลายวิธีโดยปกติแล้วปริมาณอิเล็กตรอนจะถูกวัดในหน่วยของ 10^{16} อิเล็กตรอนต่อตารางเมตร (el/m^2) [3]

2.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ระบบสื่อสารดาวเทียมได้รับผลกระทบเมื่อสัญญาณแพร่กระจายผ่านชั้นบรรยากาศโลก โดยชั้นบรรยากาศโลกที่มีผลกระทบเป็นส่วนใหญ่ คือ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห (Refractive Index), การลดทอน (Absorption), การกระเจิง (Scatter) ของคลื่นสัญญาณอันเนื่องจาก เมฆ,ฝน,หิมะ และอื่นๆ โดยผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เริ่มมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าแถบความถี่ C (4-6 GHz) ขึ้นไป ส่วนผลกระทบที่เกิดเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าแถบความถี่ C (30 MHz- 3 GHz) [7] ซึ่งจะทำให้สัญญาณเกิดการหน่วงเวลา (Time Delay) ทำให้สัญญาณมาถึงจุดที่รับสัญญาณช้ากว่าการเดินทางของคลื่นในระยะตรง, การเกิดการหมุนแบบฟาราเดย์ (Faraday Rotation) ซึ่งจะทำให้มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณนั้นเกิดหมุนไปจากมุมเดิม และนอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหัน (Scintillation) ซึ่งจะทำให้ระดับสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นๆลงๆอย่างรวดเร็วจากระดับปกติ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับเวลาและลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่แต่ละระดับความสูง

โดยระดับความรุนแรงของการแกว่งตามความถี่ที่ใช้งานต่างๆ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.8 ด้านการคำนวณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



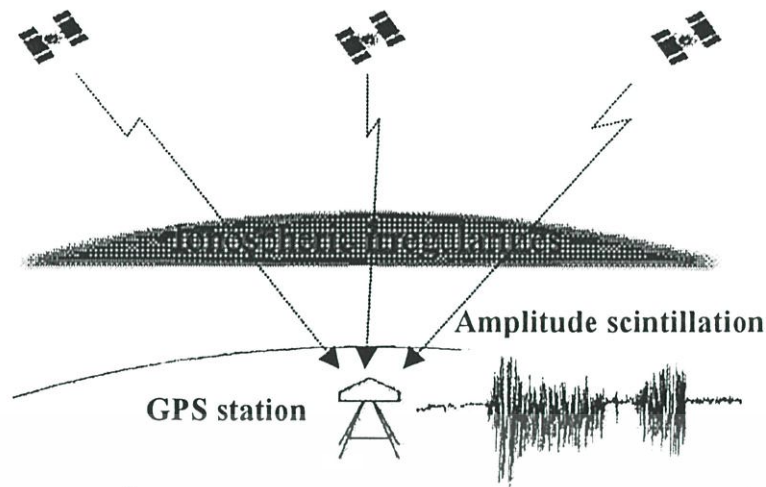
รูปที่ 2.8 ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันตามความถี่ใช้งาน [8]

จากรูปที่ 2.8 สัญญาณดาวเทียมย่าน C จะได้รับผลกระทบจากทั้งชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้พอๆกัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ปกติจะมีคาบเวลา (Period) ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมากกว่า คาบเวลาของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการแกว่งของสัญญาณอย่างผิดปกติของสัญญาณดาวเทียมความถี่ย่าน L นั้น มีสาเหตุสำคัญมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในขณะที่จะมีความสัมพันธ์กับชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์อยู่น้อยมาก ทั้งนี้เพราะว่าการเกิดการแกว่งสัญญาณอย่างกะทันหันในย่านเส้นศูนย์สูตรนี้จะพบมากที่สุดในช่วงกลางคืน ซึ่งไม่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีหักเหของชั้นโทรโพสเฟียร์ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงกลางวันตามปริมาณการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหอันเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงกลางวัน [8]

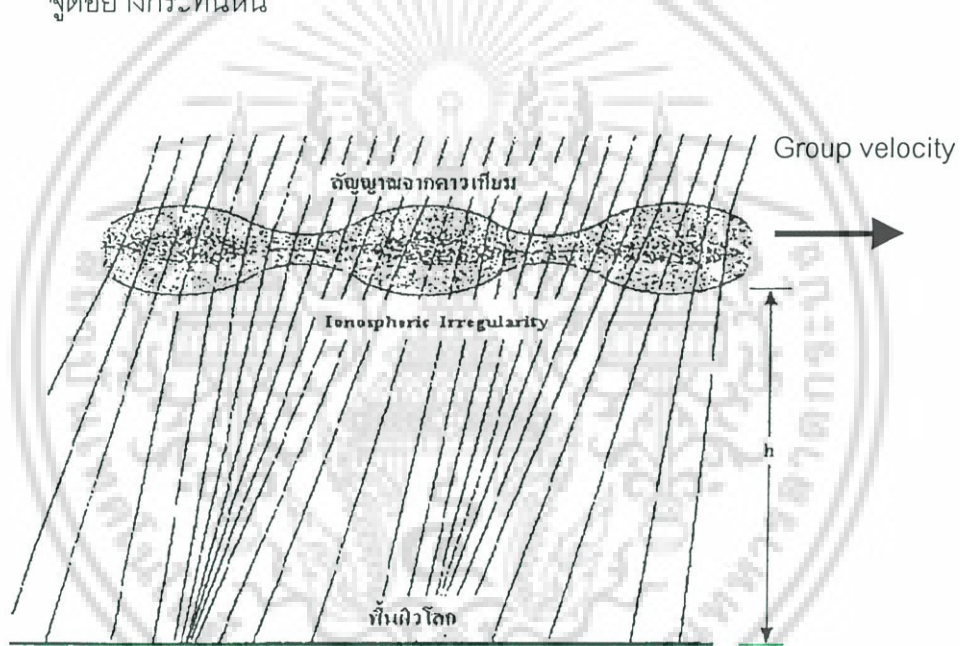
2.2.1 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดจากการที่สัญญาณเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Irregularities) ทำให้สัญญาณที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศนี้ถูกหักเห ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดการเสริมหรือหักล้างกันของคลื่นทางตรงและคลื่นที่ถูกหักเห ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของแอมพลิจูดอย่างรวดเร็ว (Amplitude Scintillation) ซึ่งนอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสด้วย (Phase Scintillation) [9] ดังแสดงในรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน



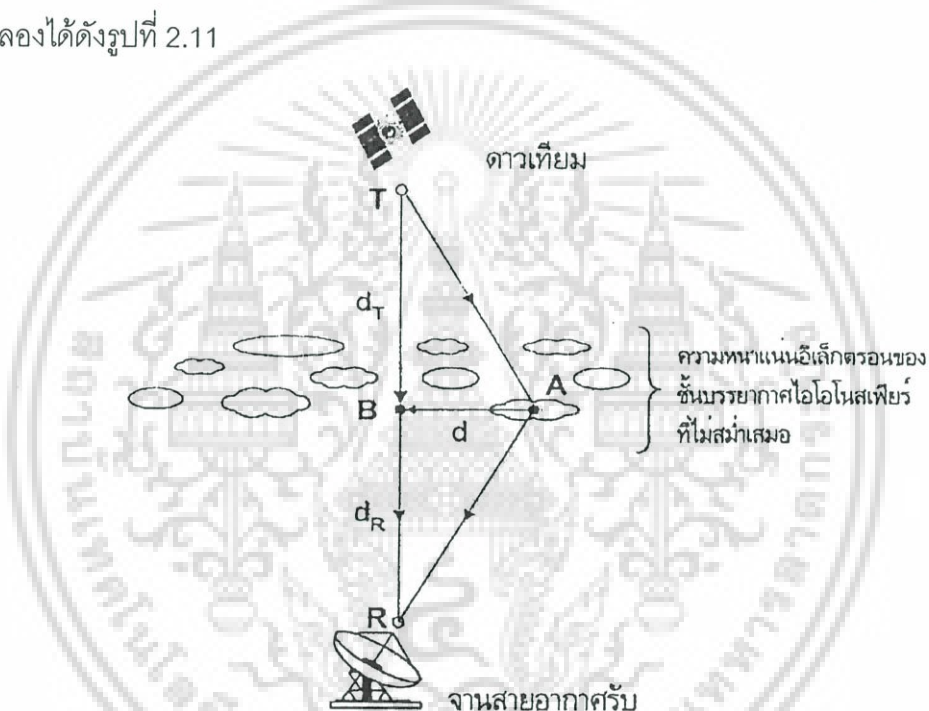
รูปที่ 2.10 กลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

รูปที่ 2.10 แสดงกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มความไม่สม่ำเสมอขนาดเล็ก (Small-Scale Irregularities) หลายๆกลุ่ม ที่ถูกบรรจุอยู่ในแผ่นมันขนาดใหญ่ (Large-Scale Patches) ที่เคลื่อนที่ขวางเส้นทางการเดินทางของคลื่นในระยะเวลา 20 นาที ถึงหลายชั่วโมง มีขนาดในทิศตะวันออก-ตะวันตก หลายร้อยกิโลเมตร มีความสูงในแนวตั้ง 50 ถึง หลายร้อยกิโลเมตร และมีขนาดในทิศเหนือ-ใต้ ประมาณ 2000 กิโลเมตร [9] แต่ในความเป็นจริงกลุ่มความไม่สม่ำเสมอไม่ได้มีรูปทรงเดียวแต่จะมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน กลุ่มความไม่สม่ำเสมอที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนซึ่งสัมพันธ์กับการปรากฏตัวของชั้น F และปรากฏการณ์ Spread F ซึ่งเกิดในเวลากลางคืนด้วย [10]

2.2.2 เขตเฟรสเนล

ความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นฟังก์ชันของขนาดของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ ระยะทางระหว่างกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ กับเครื่องรับ และขนาดของเฟรสเนล (Fresnel Zone Size) เนื่องจากสัญญาณเกิดการหักเหจากความไม่สม่ำเสมอในเฟรสเนลโซนอันดับต่างๆ หลายๆ เส้นทางนั้นมารวมกัน ทำให้เกิดการรวมเฟส และหักล้างเฟสมีผลทำให้ระดับสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถแสดงแบบจำลองได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน [11]

จากรูปที่ 2.11 ถ้าระยะทาง TAR มากกว่าระยะทาง TBR อยู่ $\lambda/2$ จะได้สมการดังนี้ [4]

$$TAR = \text{ระยะทาง TBR} + \lambda/2 \quad \text{เมตร} \quad (2.4)$$

สัญญาณที่เดินทางในเส้นทาง TAR จะกลับเฟส 180 องศาเทียบกับคลื่นที่เดินทางในเส้นทางตรง ทำให้ระดับความแรงสัญญาณที่เครื่องรับมีค่าน้อยลง ซึ่งเรียกว่าเฟรสเนลโซนอันดับที่หนึ่ง (First Fresnel Zone) โดยรัศมีเขตเฟรสเนลโซนที่หนึ่งคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = \sqrt{\frac{\lambda d_T d_R}{d_T + d_R}} \quad \text{เมตร} \quad (2.5)$$

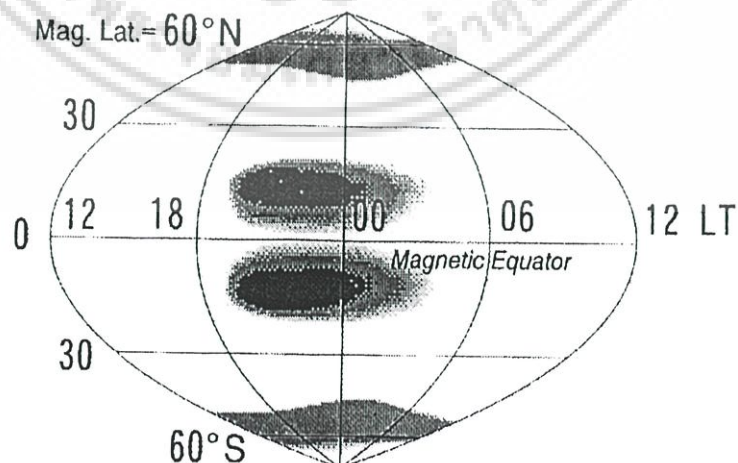
เมื่อ d คือรัศมีเฟรสเนลโซนอันดับที่หนึ่ง

λ คือความยาวคลื่นของสัญญาณ

รัศมีเฟรสเนลโซนอันดับสูง (อันดับที่ n) หาได้จากสมการต่อไปนี้ [4]

$$d_n = \sqrt{n} \times d \quad (2.6)$$

ระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้ขึ้นอยู่กับ ความถี่ ที่ใช้งาน ฤดูกาล เวลาในแต่ละวัน ปฏิกริยาโซล่า และตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ที่ทำการศึกษ โดยทั่วไปบริเวณตำแหน่งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบ่งเป็น 3 บริเวณหลัก ๆ คือ บริเวณละติจูดสูง ซึ่งรวมไปถึงพื้นที่แถบขั้วแม่เหล็กโลกด้วย บริเวณละติจูดกลาง และบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ ± 20 องศา ของเส้นศูนย์สูตรสนามแม่เหล็กโลก (Geomagnetic Equator) ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะรุนแรงกว่าบริเวณอื่น โดยจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันสูงสุดที่ละติจูด $(\lambda_m) \pm 10$ องศาของเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก และมีการลดลงด้วยรูปแบบเกาส์ (Gaussian Shape) คือ $\exp\{-[(\lambda_m - 10)/10]^2\}$ [12]

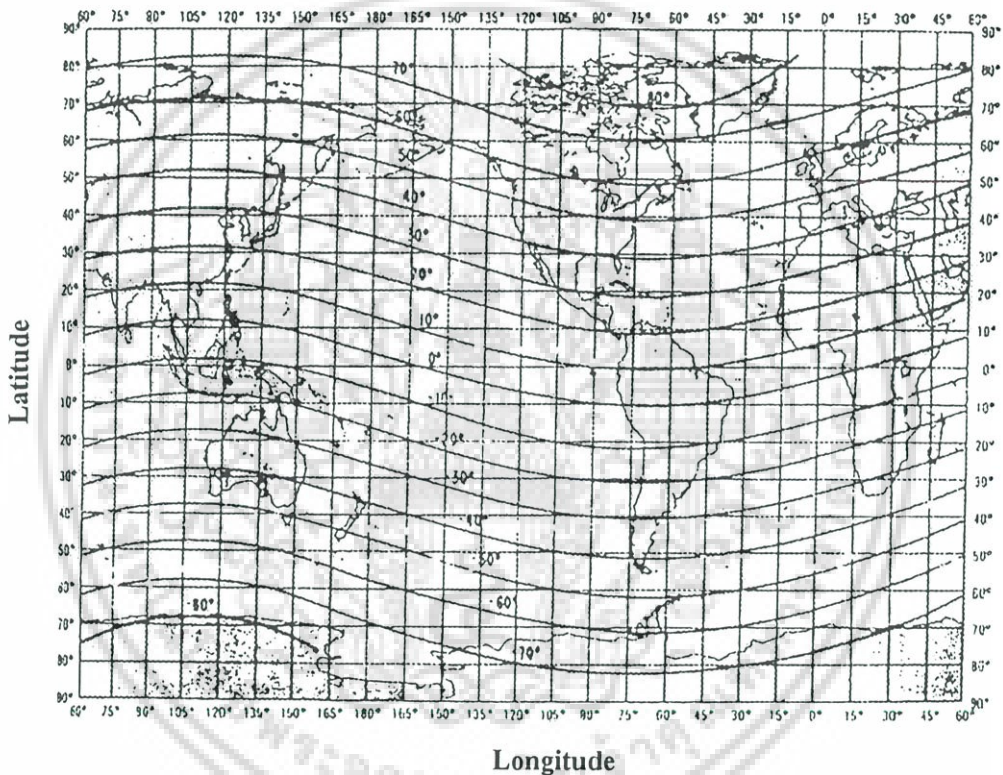


รูปที่ 2.12 ความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละบริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ บริเวณทั้งสามนี้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดขึ้นมากที่สุดในเวลากลางคืน โดยการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะรุนแรงกว่าบริเวณอื่น เนื่องจากเป็นบริเวณที่สนามแม่เหล็กโลกวางตัวขนานกับพื้นโลกมากที่สุด ซึ่งมีผลต่อกลไกในการเคลื่อนที่ของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

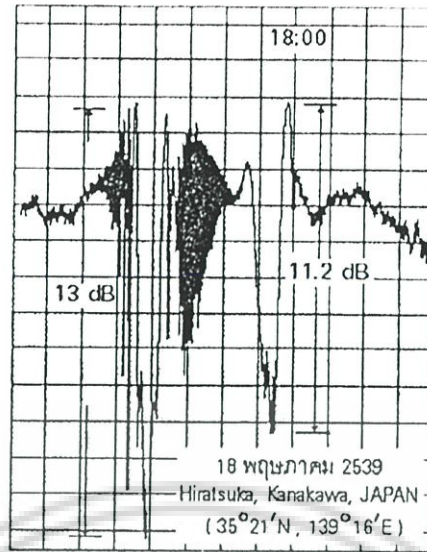
การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันสูงสุดเกิดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรสนามแม่เหล็กโลกมากกว่าเส้นศูนย์สูตรโลก แต่เนื่องจากแกนแม่เหล็กของโลกเลื่อนไปจากแกนหมุนของโลกเป็นมุมประมาณ 11.3° C จึงทำให้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กจะไม่ตรงกันกับเส้นศูนย์สูตรทางภูมิศาสตร์ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เส้นละติจูดแม่เหล็กโลกบนแผนที่ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ [4]

ความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งในตอนกลางวันจะเกิดที่ชั้น E ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเรียกว่า Sporadic-E ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ (Quasi-Periodic Scintillation) ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.14 ส่วนในเวลากลางคืนความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะเกิดขึ้นในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งจะอยู่ที่ระยะความสูงตั้งแต่ 200-600 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน [13]

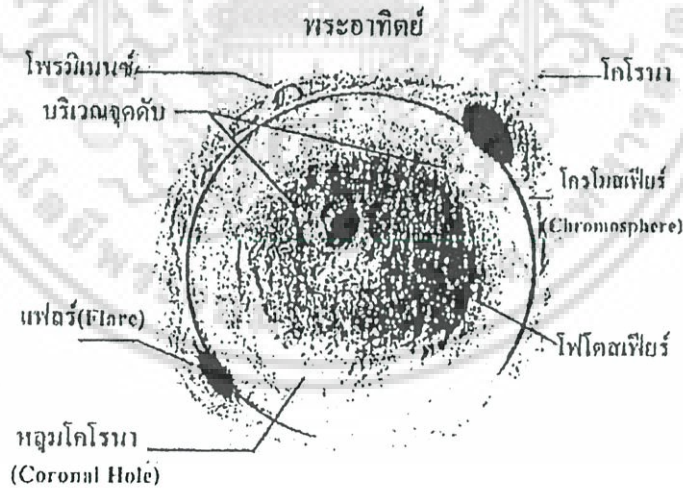
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ[13]

2.2.3 วัฏจักรสุริยะ

นอกจากความถี่ที่ใช้งาน, ตำแหน่งละติจูดของพื้นที่และเวลาแล้ว ปริมาณความเข้มในการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันยังขึ้นอยู่กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspot Number) ด้วย

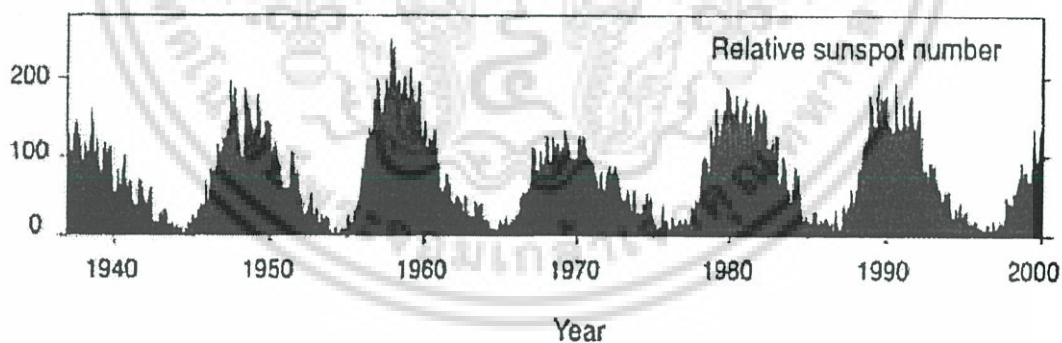


รูปที่ 2.15 โครงสร้างบางประการของดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [3]

จุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspots) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Theophrastus ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นจุดดำมืดดังรูปที่ 2.15 ซึ่งปรากฏขึ้นและหายไปตามเวลาอายุ การเกิดจุดดับนั้นค่อนข้างจะไม่แน่นอนซึ่งบางจุดก็มีอายุแค่ 3-4 วันเท่านั้น การที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดดับบนดวงอาทิตย์มีลักษณะดำมืดทั้งนี้เพราะพื้นผิว ณ จุดนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณพื้นผิวดวงอาทิตย์ส่วนอื่นๆ คือ บริเวณจุดดับจะมีอุณหภูมิประมาณ 3000 องศาเซลวิน ส่วนบริเวณรอบๆ จะมีอุณหภูมิสูงถึง 6000 องศาเซลวิน จุดดับบนดวงอาทิตย์จะมีแนวโน้มเกิดเป็นกลุ่มและแต่ละกลุ่มจะอยู่ใกล้ๆ กันโดย 1 กลุ่มนี้อาจจะประกอบด้วยจุดเดี่ยวๆ หรือหลายสิบจุดก็ได้ และจุดดับนี้จะมีการหมุนไปตามการหมุนของดวงอาทิตย์และถูกกำหนดลักษณะโดยความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงถึง 0.4 เทสลา (4000 G) [3] และจุดดับนี้จะเกิดเป็นคู่ที่มีขั้วแม่เหล็กที่ตรงกันข้ามกันทำให้เกิดการไหลวนของสนามแม่เหล็กออกมาจากโคโรนาหรือผิวของดวงอาทิตย์ และสนามแม่เหล็กนี้เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ บนดวงอาทิตย์ซึ่งทำให้ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าแปรเปลี่ยนไป โดยการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเป็นคาบหรือที่เรียกว่า วัฏจักรสุริยะ หรือวัฏจักรของแสงอาทิตย์ (Solar Cycle) ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar Flux) ที่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบหนึ่งวัฏจักรประมาณ 11.1 ปี รูปที่ 2.16 ซึ่งแสดงวัฏจักรสุริยะตั้งแต่ปีค.ศ. 1935 จนถึงปี 2000

การเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆทางสุริยะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับโครงสร้างชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงเป็นเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าสูงขึ้นในแต่ละชั้นย่อยของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ solar activity มีค่าสูงกว่าปกติ ค่า TEC ก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม



รูปที่ 2.16 วัฏจักรสุริยะตั้งแต่ ค.ศ. 1935 จนถึง ค.ศ.2000 [5]

2.3 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (s_4 index)

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ซึ่งพบว่าจะมีผลกระทบต่อลักษณะสัญญาณดาวเทียม จึงได้มีการกำหนดเป็นตัวแปรหนึ่งในการออกแบบระบบดาวเทียม โดยมีการเผื่อค่าไว้ชดเชยกับค่าระดับสัญญาณที่อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงเกินกว่าระดับที่ต้องการเช่นเดียวกับตัวแปรอื่นๆ ในการศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นวิธีการสถิติเป็นสิ่งจำเป็นในการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นวิธีการสถิติเป็นสิ่งจำเป็นในการแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงของระดับสัญญาณและเก็บเป็นข้อมูลทางสถิติที่ใช้อ้างอิงในการทำนายความน่าจะเป็นในการเกิดของเหตุการณ์ในอนาคตได้ในระดับหนึ่ง การวัดระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นสามารถวัดได้หลายวิธีดังนี้

1) วิธีที่เรียกว่า Peak to Peak เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมาก โดยกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน แล้วอ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของระดับสัญญาณที่รับได้ในเวลาหนึ่งที่กำหนดโดยไม่มีกฎเกณฑ์บังคับตายตัว วิธีนี้ไม่เพียงง่ายในการนำไปใช้งานแต่ยังใช้ได้ดีในการแทนลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้ทุกชนิด แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ไม่เหมาะกับการใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาว [8]

2) ค่าดัชนี SI (Scintillation Index) เป็นการประมาณการวัดความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ง่าย ๆ โดยนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันดับหนึ่ง (First-Order Analysis) กำหนดโดย

$$SI = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \quad (2.7)$$

โดยที่ P_{\max} คือค่ามากที่สุดของกำลังของสัญญาณอันดับที่ 3

P_{\min} คือค่าน้อยที่สุดของกำลังของสัญญาณอันดับที่ 3 [14]

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงสภาวะปรากฏการณ์ที่เกินจริง (Overemphasizing) จึงได้พิจารณาค่ายอดที่สามจากค่าสูงสุดและต่ำสุดในช่วงเวลาหนึ่งๆ

3) ค่าดัชนี S_4 เป็นค่าดัชนีการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ใช้โดยทั่วไปและให้ความถูกต้องมากที่สุด เพื่อแสดงถึงความเข้มของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน Briggs และ Parkin [2] ได้นำเสนอชุดของดัชนีในเทอมของ S_1 , S_2 , S_3 และ S_4 ดัชนี S_4 เป็นดัชนีที่สัมพันธ์กับเวลาที่กำหนดโดยค่ารากที่สองของค่าความแปรปรวน (Variance) ของกำลังสัญญาณที่รับได้หารด้วยค่าเฉลี่ยของกำลังสัญญาณนั้น ในหน่วยวัตต์ ซึ่งเป็นค่าออร์แมลไลซ์ (Normalize) ความแปรปรวนของความเข้มสัญญาณ

$$S_4 = \left(\frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A \rangle^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.8)$$

โดยที่ A คือขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณ

$\langle \rangle$ คือค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนด

หรืออาจสามารถหาค่าดัชนี S_4 ได้จาก

$$S_4 = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (2.9)$$

$$m_x = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.10)$$

$$\sigma_x = s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.11)$$

โดยที่ σ_x คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

m_x คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean Value)

x คือ ข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูล [4]

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ในดัชนี S_4 สามารถคำนวณได้โดยทำการเฉลี่ยสัญญาณทุกๆ ช่วงเวลาใดๆที่กำหนด โดยปกติใช้ 1 นาที ค่าดัชนี S_4 เท่ากับ 0.5 เป็นตัวแบ่งระหว่างการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอย่างอ่อน (Weak Scintillation) และอย่างรุนแรง (Strong Scintillation) ซึ่งบางครั้งค่าดัชนี S_4 อาจมากกว่า 1

การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนี S_4 กับความถี่ [15] ดังนี้

$$S_4 \propto f^{-1} \text{ สำหรับความถี่ 1.5 GHz ถึง 4 GHz}$$

$$S_4 \propto f^{-2} \text{ สำหรับความถี่ 4 GHz ขึ้นไป}$$

$$S_4 \propto f^{-1.5} \text{ สำหรับ Amplitude Scintillation}$$

$$S_4 \propto f^{-2} \text{ สำหรับ Phase Scintillation}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ย่านความถี่ต่ำกว่า 3 GHz ITU-R ได้เสนอความสัมพันธ์ที่ได้จากการเฝ้าสังเกตระหว่างดัชนี S_4 กับค่ายอดถึงยอดของการแกว่งขึ้นลงโดยประมาณ (P_{fluc}) ได้ดังสมการต่อไปนี้[15]

$$P_{fluc} = 27.5S_4^{1.26} \quad \text{เดซิเบล} \quad (2.12)$$

เพื่อความสะดวกในการแปลงไปมาระหว่างค่าดัชนี S_4 กับค่า Peak to Peak ของการแกว่งขึ้นลงโดยประมาณ (P_{fluc}) จึงได้คำนวณแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแปลงค่าดัชนี S_4 กับค่ายอดถึงยอดของการแกว่งขึ้นลงโดยประมาณ (P_{fluc})

S_4	P_{fluc}
0.1	1.5
0.2	3.5
0.3	6
0.4	8.5
0.5	11
0.6	14
0.7	17
0.8	20
0.9	24
1.0	27.5

2.4 ระบบ GPS

2.4.1 วิวัฒนาการของระบบหาดำแหน่ง

ในอดีตที่ผ่านมาการอ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลกจะทำการสังเกตจากดวงดาวเป็นหลักโดยมีการกำหนดรูปสามเหลี่ยมเพื่อใช้ในการอ้างอิง วิธีนี้เรียกว่า Stellar Triangulation Method ต่อมาเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ก้าวหน้าขึ้น ก็ได้มีระบบที่ใช้หาดำแหน่งเกิดขึ้นโดยในระยะแรกคือระบบการหาทิศทางด้วยคลื่นวิทยุซึ่งมีการใช้ในการนำทางให้กับเรือ โดยมีสถานีส่งสัญญาณวิทยุตั้งอยู่ตามชายฝั่ง และมีเครื่องรับติดตั้งอยู่ในเรือ ดังนั้นจึงสามารถทราบถึงทิศทางเรือเทียบกับสถานีส่งสัญญาณ ส่วนตำแหน่งของเรื่อนั้นสามารถคำนวณจากความแตกต่างของการรับคลื่น

เอกลวิทยุผ่านทางอากาศกับทางน้ำ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบที่พัฒนาต่อมาก็คือระบบ LORAN-C ซึ่งมีความผิดพลาดของจุดที่ทำนายไม่เกิน 200 เมตร เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยหลักการที่คลื่นวิทยุเดินทางด้วยความเร็วคงที่โดยติดตั้งแหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ 2 แหล่งส่งสัญญาณพัลส์ออกมาพร้อมๆกัน จะสามารถทราบระยะทางระหว่างเครื่องรับเครื่องหนึ่งกับแหล่งกำเนิดคลื่นทั้งสองนั้นได้โดยวัดระยะเวลาที่เครื่องรับได้รับพัลส์จากแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่ง จุดที่มีความแตกต่างระหว่างเวลาที่ได้รับพัลส์ทั้งสองเท่ากันจะวางตัวเป็นแนวรูปไฮเพอร์โบลาโดยมีแนวที่ระยะห่างระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งทั้งสองเท่าๆกันวางตัวเป็นแนวเส้นตรงตั้งฉากกับแนวเส้นตรงระหว่างเครื่องส่งทั้งสอง ดังนั้นหากติดตั้งแหล่งกำเนิดคลื่น 2 ชุดขึ้นไปในบริเวณเดียวกัน จะเห็นว่าแนวไฮเพอร์โบลาที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นแต่ละชุดจะตัดกันทำให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของเครื่องรับ และอีกระบบหนึ่งคือระบบการหาตำแหน่งโดยใช้หลักการของความแตกต่างเฟสจากคลื่นวิทยุที่รับได้จากแหล่งกำเนิดสัญญาณที่เป็นคลื่นแบบต่อเนื่องแทนการส่งแบบพัลส์ของระบบ LORAN-C โดยวิธีนี้สามารถคำนวณหาตำแหน่งพิกัดโดยการวัดความแตกต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง ระบบหาตำแหน่งที่ใช้หลักการนี้คือ ระบบ OMEGA

ต่อมาระบบที่ใช้หาตำแหน่งที่ทันสมัยขึ้นคือ ระบบ Navy Navigational Satellite System (NNSS) หรือที่เรียกว่าระบบ TRANSIT เป็นระบบแรกที่ใช้ดาวเทียมในการหาตำแหน่งพิกัด ระบบนี้จะประกอบด้วยดาวเทียม 6 ดวง ที่โคจรที่ระดับความสูง 1100 กิโลเมตร โดยโคจรรอบโลกแบบ Polar Orbit คือ โคจรในแนวขั้วโลกเหนือกับขั้วโลกใต้ ระบบ TRANSIT นี้ได้ถูกพัฒนาโดยหน่วยงานทหารสหรัฐอเมริกา มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งพิกัดของเรือ และอากาศยาน โดยต่อมาได้อนุญาตให้พลเรือนสามารถใช้ประโยชน์ได้ ในปัจจุบันนี้เรือและอากาศยานขนาดเล็กยังคงใช้ระบบนี้อยู่

ระบบดาวเทียมจีพีเอสได้ถูกพัฒนาขึ้นมาแทนที่ระบบ TRANSIT เนื่องจากสามารถตอบคำถามในเรื่องเวลา ตำแหน่งพิกัด และความเร็วได้อย่างถูกต้องฉับไวและราคาไม่แพงไม่ว่าจะเวลาใดหรือตำแหน่งใดในโลกนี้ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าระบบ GPS เป็นระบบที่ใช้หาตำแหน่งที่มีการใช้งานแพร่หลาย เป็นที่นิยม และมีความแม่นยำมากที่สุดในระบบปัจจุบัน

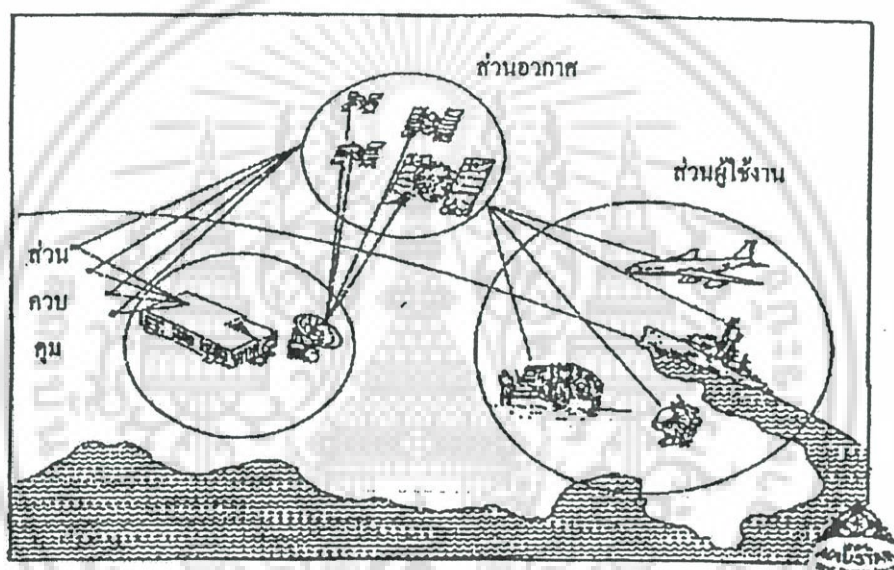
ระบบ GPS เป็นระบบบอกพิกัดตำแหน่งอ้างอิงกับพื้นโลก โดยการส่งคลื่นวิทยุจากดาวเทียมในอวกาศมายังภาคพื้นดินและใช้ความต่างของเวลาในการส่งรับสัญญาณระหว่างดาวเทียม (อย่างน้อย 4 ดวง) กับตัวรับสัญญาณในการคำนวณหาตำแหน่ง, ความเร็วและเวลา ให้กับผู้ใช้งานทั้งทางบก ทางทะเล ทางอากาศ และทางอวกาศ ตามปกติระบบจีพีเอสจะมีการใส่รหัสเพื่อให้เกิดความผิดพลาดเล็กน้อย เนื่องจากระบบจีพีเอสถูกพัฒนาขึ้นมาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา (The United States Department of Defence: DOD) เพื่อประโยชน์ทางการทหารและหน่วยงานราชการบางหน่วยของสหรัฐอเมริกา ซึ่งต่อมาเปิดโอกาสให้ภาคเอกชนและหน่วยงานต่างๆสามารถรับสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมและนำมาใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของสงวนลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทียบตลอดเวลาสำหรับเครื่องรับทั่วไป ข้อมูลเหล่านี้จะประกอบด้วย สัญญาณเวลาอ้างอิง, ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียม, สมบัติประสิทธิภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์, สภาพการใช้งานของดาวเทียม, เวลาของระบบ, Clock Bias ของดาวเทียม, ตำแหน่งละติจูด, ลองจิจูด, ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของเครื่องรับและตำแหน่งของดาวเทียม ดังนั้นเพื่อป้องกันการใช้งานที่ผิด จึงมีการใส่รหัสเพื่อให้ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

2.4.2 ส่วนประกอบของระบบจีพีเอส

ระบบจีพีเอสประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนอวกาศ (Space Segment), ส่วนสถานีควบคุม (Control Segment), และส่วนของผู้ใช้งาน (User Segment) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

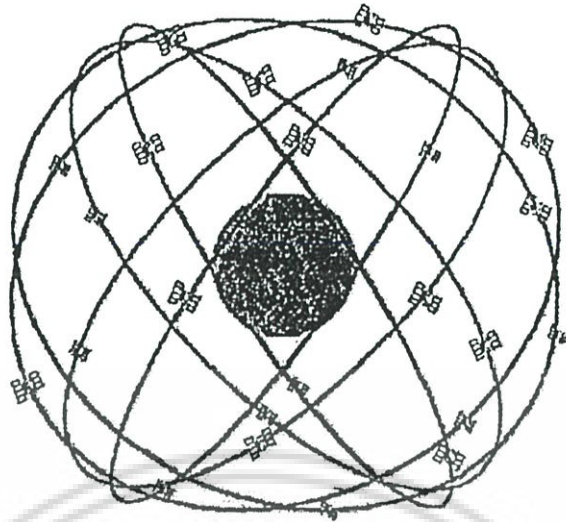


รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบของระบบจีพีเอส [13]

2.4.2.1 ส่วนอวกาศ

ประกอบด้วยดาวเทียมนาฟสตาร์ (Navstar: NAVigation System using Time And Ranging) 24 ดวง ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ดาวเทียมจะถูกจัดใน 6 ระนาบวงโคจร ซึ่งจะมีดาวเทียม 4 ดวงในแต่ละระนาบวงโคจร แต่ละระนาบวงโคจรจะมีมุมเอียง 55° สัมพันธ์กับระนาบเส้นศูนย์สูตรโลกและดาวเทียม โดยจะมีความสูงเฉลี่ยของการโคจรประมาณ 20,200 กิโลเมตรเหนือพื้นโลกด้วยวงโคจรแบบ Non-Geostationary orbit ดังแสดงในรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



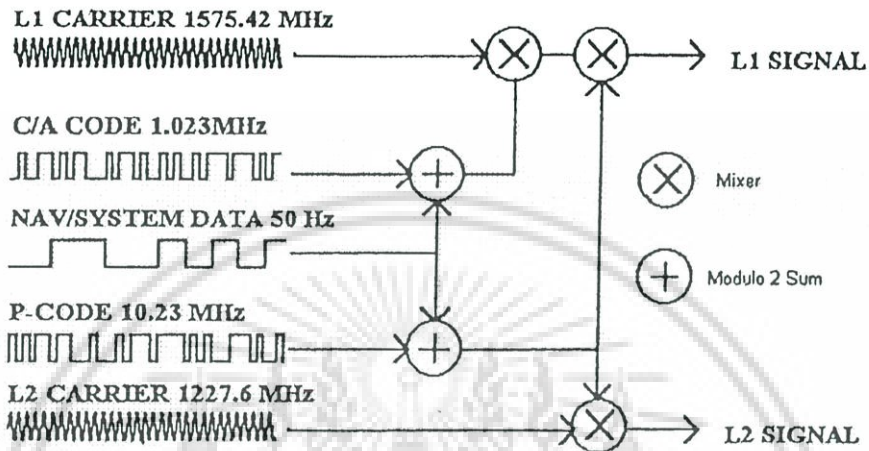
รูปที่ 2.18 วงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส [16]

ดาวเทียมแต่ละดวงโคจรด้วยความเร็ว 3.9 กิโลเมตร/วินาที มีคาบเวลาโคจรเท่ากับ 43,080 วินาที หรือโคจร 1 รอบใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที โดยจะวนตามเส้นทางเหนือผิวโลกซ้ำกันทุกๆ 23 ชั่วโมง 56 นาที ผู้ใช้ที่อยู่ ณ ตำแหน่งที่คงที่บนพื้นดิน จะสามารถเห็นดาวเทียมดวงเดิมในแต่ละวันผ่านเส้นทางเดิมบนท้องฟ้า แต่ดาวเทียมจะขึ้นและตกเร็วขึ้น 4 นาทีในแต่ละวันเนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมจะถูกวางตำแหน่งในระบบวงโคจรที่จะทำให้ดาวเทียม 4 ดวงในระนาบนั้น สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดสังเกตได้ในทุกๆ ที่บนโลก

ความแม่นยำในการบอกตำแหน่งระบบจีพีเอสเกิดขึ้นจากการใช้สัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูงและตรงกันระหว่างเครื่องรับจีพีเอสกับดาวเทียม ซึ่งในดาวเทียม GPS Block II จะมีนาฬิกาอะตอมแบบรูบิเดียม (Rubidium) 2 เครื่อง และแบบซีเซียม (Cesium) 2 เครื่อง ซึ่งจะทำให้ความผิดพลาดต่อวันไม่เกิน 10^{-14} วินาที (เนื่องจากความผิดพลาดของเวลาเพียง 10^{-9} วินาที จะทำให้เกิดความผิดพลาดของตำแหน่งถึง 30 เซนติเมตร [11]) ดาวเทียมจะใช้สัญญาณจากนาฬิกาสร้างสัญญาณความถี่พาหะ 2 ความถี่ คือ L1 เท่ากับ 1575.42 MHz และ L2 เท่ากับ 1227.6 MHz ความถี่พาหะจะถูกมอดูเลตด้วยวิธีสเปกตรัมแพร่ (Spread Spectrum) กับรหัสข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยขบวนสัญญาณรหัส PRN (Pseudorandom Noise) ที่เป็นเอกลักษณ์ของดาวเทียมแต่ละดวงและข้อมูลข่าวสารการนำร่องอันได้แก่ ข้อมูลที่เกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียมสัมประสิทธิ์สภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สภาพการใช้งานของดาวเทียม เวลาของระบบสัญญาณเวลาของดาวเทียม เป็นต้น โดยที่สัญญาณรหัส PRN มี 2 รูปแบบคือ รหัส C/A (Coarse/Acquisition Code) ที่มีความถี่ 1.023 MHz เป็นสัญญาณที่อนุญาตให้บุคคลทั่วไปใช้

งาน โดยสัญญาณรหัส C/A จะถูกมอดูเลตกับความถี่พาหะ L1 เท่านั้น และขบวนรหัสแบบที่สอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ รหัส P (Precision Code) มีความถี่เท่ากับ 10.23 MHz เป็นสัญญาณที่ใช้ในทางทหารสหรัฐ และบุคคลที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น สัญญาณรหัส P นี้จะถูกมอดูเลตกับความถี่พาหะทั้ง L1 และ L2 ซึ่งจะทำให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำมากกว่า ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณของระบบจีพีเอสแสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะการมอดูเลตสัญญาณของระบบจีพีเอส [11]

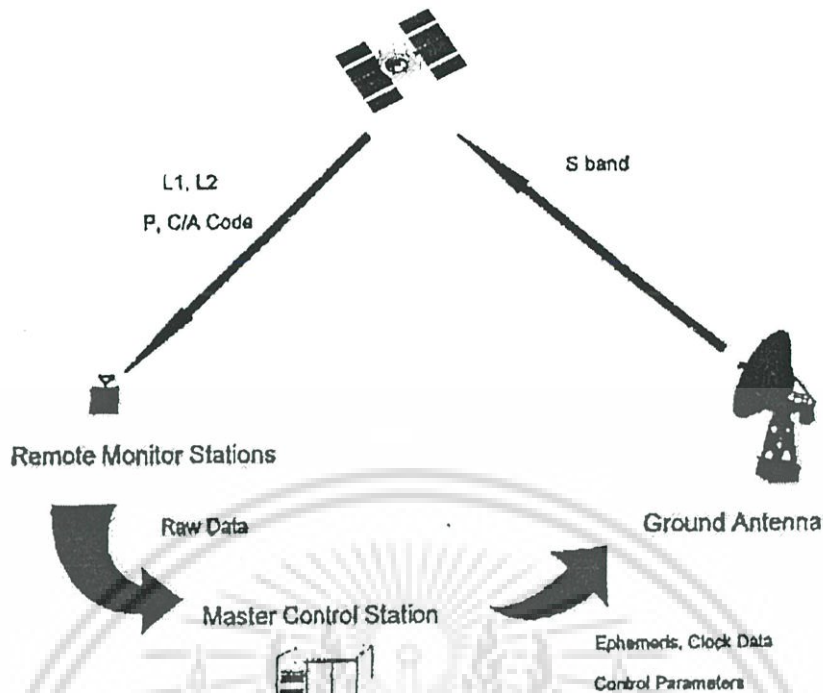
รหัส P และ รหัส C/A นั้น ได้ถูกออกแบบมาเพื่อไม่ให้มีการรบกวนกัน โดย P-Code จะถูกมอดูเลตกับคลื่นพาหะพร้อมกับ C/A code ที่ถูกมอดูเลตกับสัญญาณของคลื่นพาหะที่ถูกชิฟท์เฟสไป 90° โดยสัญญาณของคลื่นพาหะที่ถูกมอดูเลตไปทั้งสองนี้จะรวมกันด้วยวิธี Phase Quadrature และข้อมูลที่ถูกส่งจากดาวเทียมนั้นจะถูกมอดูเลตลงบน P-Code หรือ C/A Code

2.4.2.2 ส่วนสถานีควบคุม

จะรับผิดชอบการทำงานของดาวเทียมจีพีเอส เช่นการรักษาตำแหน่งดาวเทียม (Station Keeping), ตรวจสอบสภาพและระบบต่างๆบนดาวเทียม, ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell), ระดับพลังงานของแบตเตอรี่, การเปิดดาวเทียมสำรอง, ปรับปรุงข้อมูลเวลา, ข้อมูลอีพิเมอร์ซิส (Ephemeris), ข้อมูลอัลมาแนค (Almanac) และตัวชี้ค่าอื่นๆในข่าวสารการนำร่องวันละครั้งหรือตามแต่ความจำเป็น

ส่วนควบคุมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station), สถานีควบคุมหลัก (Control Station) และจานสายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Antenna) ดังแสดงในรูปที่ 2.20

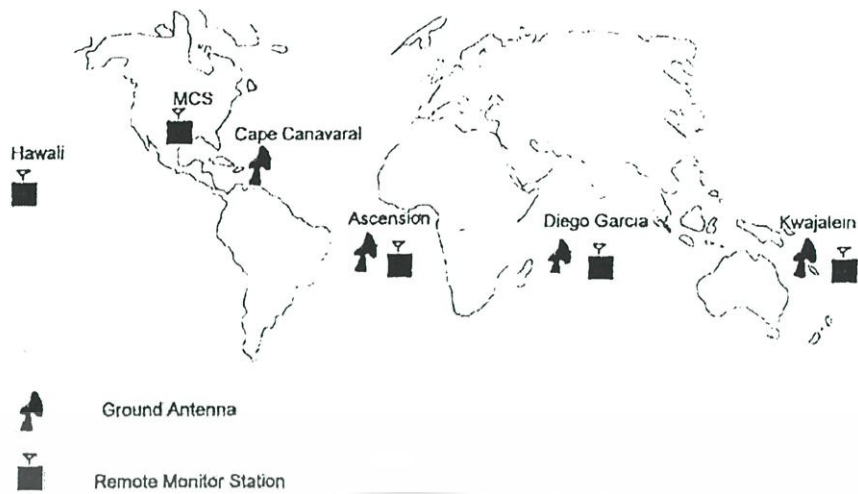
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 การทำงานในส่วนควบคุม [13]

1) สถานีสังเกตการณ์ จะรับสัญญาณได้ทั้ง 2 ความถี่ ซึ่งอาจมีการหักเหและล่าช้า ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทรโพสเฟียร์ ทำให้เกิดการผิดพลาดของข้อมูล ดังนั้นสถานีสังเกตการณ์จะรวบรวมข้อมูลจากสัญญาณที่ได้รับทั้ง 2 ความถี่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และจะส่งไปยังสถานีควบคุมหลักโดยกรมอุตุนิยมวิทยาของสหรัฐอเมริกา เพื่อทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาดและหาข้อมูลที่ต้องใช้ต่อไป

2) สถานีควบคุมหลัก มีหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากสถานีสังเกตการณ์ เพื่อตรวจสอบและกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียม ข้อมูลอัลมาแนค ข้อมูลอีพีมอริสให้ถูกต้อง สถานีควบคุมหลักจะเป็นศูนย์กลางในการทำงานของส่วนควบคุม ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Falcon, Colorado Spring, CO. ส่วนสถานีสังเกตการณ์จะกระจายอยู่ตามที่ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมในย่าน L-Band และจะส่งสัญญาณเตือนไปยังสถานีควบคุมหลักภายใน 60 วินาทีหากตรวจพบความผิดพลาด [17]



รูปที่ 2.21 สถานที่ตั้งของสถานีควบคุม[13]

3) ส่วนของสถานีสายอากาศภาคพื้นดิน จะทำการส่งคำสั่ง ข้อมูลการนำร่อง และข้อมูลอื่นๆที่เรียกว่า TT&C (Telemetry, Tracking and Command) ซึ่งเตรียมพร้อมโดยสถานีควบคุมหลักสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังสถานีสายอากาศภาคพื้นดิน และเก็บไว้จนกว่าดาวเทียมที่ต้องการส่งข้อมูลจะผ่านมา โดยจะส่งผ่านคลื่นความถี่ S-Band โดยสถานีสายอากาศจะตั้งอยู่คู่กับสถานีสังเกตการณ์

2.4.2.3 ส่วนผู้ใช้

มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส โดยจะรับสัญญาณ L-Band ที่ถูกส่งจากดาวเทียมและนำมาคำนวณเพื่อหาตำแหน่ง, ความเร็ว และเวลา ของเครื่องรับ จากนั้นจะนำค่าไปประยุกต์ใช้งานตามแต่ลักษณะการใช้งาน

2.4.3 การให้บริการของระบบจีพีเอส

การให้บริการระบบจีพีเอสแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ (Precise Positioning Service : PPS) และการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน (Standard Positioning Service : SPS)

1) การบอกตำแหน่งแบบสมบูรณ์ เป็นการให้บริการแบบ PPS เป็นบริการที่ให้ตำแหน่ง, ความเร็ว, เวลาที่ถูกต้องเฉพาะผู้ใช้งานที่ได้รับอนุญาตเท่านั้น การบริการ PPS จะเน้นไปในทางทหาร โดยจะได้รับการอนุมัติจาก U.S. Department of Defense (DOD) ผู้ที่ได้รับอนุญาต เช่น U.S. Military, NATO Military และกองทัพอื่นๆ หรือพลเรือนเช่น Australian Defense Forces, U.S. Defense Mapping Agency การบริการแบบ PPS จะให้ค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 16

เมตร (3-D,50%) และความผิดพลาดทางเวลาไม่เกิน 100 ns และเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถให้ความถูกต้องของความเร็วคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 m/s (ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องรับ) การแอคเซส (Access) ข้อมูล PPS จะใช้เทคนิคคริปโตกราฟฟิก (Cryptographic) 2 อย่าง คือ SA (Selective Availability) และ AS (Anti-Spoofing) เทคนิค SA จะทำการลดค่าความถูกต้องของข้อมูล PVT โดยจะใส่ค่าความผิดพลาดซูดแรนดอม (Pseudorandom Error) ให้กับสัญญาณดาวเทียม ส่วนเทคนิค AS จะเอนคริป (Encrypt) สัญญาณรหัส P ให้เป็นสัญญาณในรหัส Y สำหรับ Encryption Key และเทคนิคเฉพาะอื่นๆ จะถูกจัดให้เฉพาะผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาต ทำให้ SA และ AS ไม่เป็นผล เครื่องรับจะได้ประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากระบบจีพีเอส จะได้ผลดีที่สุดถ้าใช้รหัส P(Y) บนทั้ง L1 และ L2 ในการคำนวณ [17]

2) การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน เป็นระบบที่ผู้ใช้บริการสามารถใช้สัญญาณ L1 ได้เพียงอย่างเดียวในการหาพิกัด GPS เป็นบริการที่ให้ความถูกต้องน้อยกว่า แต่จะใช้งานได้กับผู้ใช้งานทั้งหมด ในช่วงเวลาที่ไม่มีความระมัดระวังของ SA จะถูกควบคุมเพื่อให้ค่าความถูกต้องในแนว 100 เมตร (100m,95%) และ 337 ns (337ns,95%) แต่ในช่วงเวลาสงครามอาจมีการลดค่าความถูกต้องลง เนื่องจากความมั่นคงได้โดยประธานาธิบดีสหรัฐอเมริกาเท่านั้น[17]

2.4.4 ความผิดพลาดในระบบ GPS

แม้ว่าระบบ GPS จะถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องในระบบการนำร่องทั่วโลกก็ตาม แต่ระบบ GPS ยังคงมีค่าความผิดพลาดมากพอสมควร โดยความผิดพลาดนี้มีสาเหตุมาจาก

1) Ephemeris Data Error เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียม GPS เกิดจากการเฉไปของวงโคจรดาวเทียม เมื่อข้อมูล GPS ไม่ได้ส่งตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียม จะมีผลความผิดพลาดไปถึงการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแก้ไขโดยข้อมูลควบคุมจากสถานีควบคุมหลัก ดังนั้น ถ้าไม่มีการแก้ไขจากสถานีควบคุมข้อมูลจะมีการผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่จากรายงานใน ค.ศ. 1984 แสดงว่าสำหรับการทำงานไม่เกิน 24 ชั่วโมง ค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากค่าอีพีเมอร์ซิสมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2.1 เมตร

2) Satellite Clock Errors ที่เกิดขึ้นในเครื่องส่งสัญญาณ GPS ที่ดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจำเป็นต้องมีนาฬิกาอะตอมมิก ซึ่งมีความแม่นยำสูงและจะต้องซิงโครไนส์กับนาฬิกาของระบบ แต่ในความเป็นจริงสัญญาณของดาวเทียมจะถูกแก้ไขโดยสถานีควบคุมหลักให้ซิงโครไนส์กับระบบโดยตลอด แต่นาฬิกาของเครื่องรับนั้นยากที่จะทำการแก้ไข จึงต้องมีการชดเชยการคำนวณโดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มในการคำนวณด้านเวลา

3) Security Signal เป็นความผิดพลาดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด สาเหตุเกิดจากการที่ทางสหรัฐอเมริกาได้ใส่รหัสข้อมูล SA ลงในสัญญาณดาวเทียมทุกดวง ค่าความคลาดเคลื่อนจาก SA นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนทางเวลาประมาณ 10 นาที ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางระยะทางเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร ผู้ใช้ทั่วไปที่ใช้ระบบ SPS จะมีสัญญาณ

SA รวมอยู่ด้วยทำให้เกิดความผิดพลาด แต่ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ระบบ PPS จะไม่มีความผิดพลาดจากรหัส SA

4) Ionosphere Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนรบกวนลงมาจกสาเหตุของ SA ทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียม เกิดเนื่องจากอิเล็คตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้ จะไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแสง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะมีความล่าช้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอิเล็คตรอนอิสระที่อยู่ในชั้นนี้ และแปรผกผันตรงกับ $1/f$ ผู้ใช้ทั้งหมดจะได้รับค่าความคลาดเคลื่อนในความล่าช้าในชั้นไอโอโนสเฟียร์

5) Troposphere Errors เป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ความเร็วแสงเฉไป โดยที่ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความดันและความชื้นทั้งหมดนี้ ทำให้ความเร็วสัญญาณแปรปรวนไปทั้งหมด สำหรับผู้ใช้ทั่วไปค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ประมาณ 1 เมตร

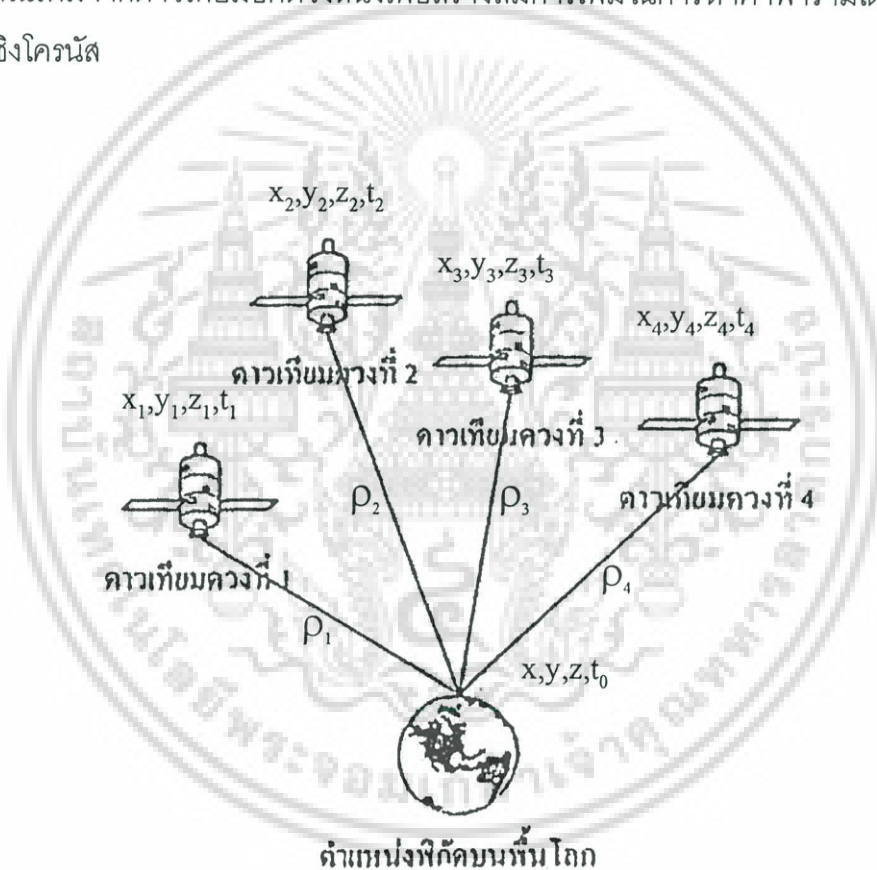
6) Multipath Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากการส่งสัญญาณของดาวเทียม GPS ไปกระทบผิวสะท้อนก่อนที่จะไปถึงผู้รับ เช่น สะท้อนผิวของตึกหรือผิวของน้ำ โดยผลกระทบนี้มีแนวโน้มที่มากขึ้นในที่ที่เครื่องรับอยู่ใกล้กับผิวสะท้อนที่ใหญ่มากๆ ความผิดพลาดที่พบมากที่สุดประมาณ 15 เมตร การแก้ไขความผิดพลาดนี้คือการต่อสายอากาศให้กับเครื่องรับ

7) Receiver Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะของเครื่องรับสัญญาณ อันเนื่องมาจากความร้อนภายในเครื่องรับสัญญาณ, ประสิทธิภาพ Software ของเครื่องรับ และจำนวนช่องรับสัญญาณแต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาจนความผิดพลาดลักษณะนี้มีค่าน้อยมาก

8) ความผิดพลาดอันเนื่องจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้นำร่อง (Geometric Dilution of Precision) ความผิดพลาดนี้เกิดจากการหาระยะทางซูโดเรนจ์ของเครื่องรับ การเลือกกลุ่มดาวเทียมจะเป็นองค์ประกอบหลัก มีการใช้ค่าๆ หนึ่งเป็นตัวแสดงถึงคุณภาพของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจาก การกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ค่านี้คือ ไดลูชันออฟพรีซิชั่น (Dilution of Precision :DOP) ค่าของ DOP มักถูกอธิบายในเทอมต่างๆ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่ได้จากการจับกลุ่มดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ เทอมต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ GDOP (Geometrical Dilution of Precision, PDOP (Position Dilution of Precision (3-D)), HDOP (Horizontal Dilution of Precision (Latitude, Longitude)), VDOP (Vertical Dilution of Precision (Height)), TDOP (Time Dilution of Precision (Time)) ซึ่งตัวที่มักนำมาพิจารณาได้แก่ ค่า GDOP แสดงถึงการจัดวางตัวของดาวเทียม 4 ดวงที่ทำกับเครื่องรับสัญญาณ ถ้าค่า GDOP ที่ค่ามาก พิกัดที่ได้จากเครื่องรับอาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นมากเช่นเดียวกัน

2.5 การคำนวณหาตำแหน่งบนพื้นโลก

โดยทางทฤษฎีนั้นการคำนวณหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนั้นจะสมมุติว่า สัญญาณนาฬิกาของดาวเทียมและของเครื่องรับนั้น ซิงโครนัสกับเวลาของระบบ การหาตำแหน่งดาวเทียมจะใช้ระบบ ECEF (Earth Centered – Earth – Fixed) ในการหาข้อมูล โดยเรียกข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมนี้ว่า ข้อมูลอีพีมอริส โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเวกเตอร์ตำแหน่งดาวเทียม เพื่อหาจุดตัดอันเป็นตำแหน่งของเครื่องรับ ผู้ใช้ต้องการหาตำแหน่งใน 3 มิติ คือ ละติจูด, ลองจิจูด และความสูง จึงต้องรับสัญญาณดาวเทียม 3 ดวง เพื่อทราบตำแหน่งดาวเทียม (X_i, Y_i, Z_i) แต่เนื่องจากสัญญาณเวลาของเครื่องรับทั่วไปไม่ซิงโครนัสกับระบบ [18] ดังนั้นจึงทำให้ต้องทำการรับค่าสัญญาณเพิ่มจากดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเพื่อสร้างสมการเพิ่มในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการไม่ซิงโครนัส



รูปที่ 2.22 การคำนวณตำแหน่งของจุดบนพื้นโลก[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการพื้นฐานในการหาตำแหน่งของผู้ใช้ (x,y,z) แสดงได้ดังนี้ [3]

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + \text{error} = c \times (t_1 - t_0) \quad (2.13)$$

$$\sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} + \text{error} = c \times (t_2 - t_0) \quad (2.14)$$

$$\sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} + \text{error} = c \times (t_3 - t_0) \quad (2.15)$$

$$\sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} + \text{error} = c \times (t_4 - t_0) \quad (2.16)$$

โดยที่ c คือความเร็วแสง

x_1, y_1, z_1 คือตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 1

x_2, y_2, z_2 คือตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 2

x_3, y_3, z_3 คือตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 3

x_4, y_4, z_4 คือตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 4

t_0 คือค่าเวลาที่ผิดพลาดของดาวเทียมกับเครื่องรับจีพีเอส

t_1 คือเวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 1 มาถึงเครื่องรับ

t_2 คือเวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 2 มาถึงเครื่องรับ

t_3 คือเวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 3 มาถึงเครื่องรับ

t_4 คือเวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 4 มาถึงเครื่องรับ

error คือค่าความคลาดเคลื่อนที่อ่านได้เช่น Clock Bias : CB

ระยะทางเทียมหรือพิวโดเรนจ์ (Pseudorange) สามารถหาได้จากการนำเอาเวลาที่ได้มาคูณกับความเร็วแสง ดังนั้นระยะทางที่วัดได้จึงเท่ากับ

$$\rho = c \times (t_r - t_t) \quad (2.17)$$

โดยที่ ρ คือ ระยะเทียมหรือพิวโดเรนจ์ (Pseudorange) (เมตร)

c คือ ความเร็วแสง (0.299792458 เมตรต่อวินาที)

t_r คือเวลาที่สัญญาณเดินทางถึงเครื่องรับ (วินาที)

t_t คือเวลาที่สัญญาณถูกส่งจากดาวเทียม (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอสนี้ Bancroft [18] ได้อธิบายการแก้สมการเพื่อหาค่า 4 ตัวแปรจากสมการ 4 สมการ ด้วยวิธี Least-Squared Solution ดังนี้
นำข้อมูลที่รับได้จากดาวเทียม i มาสร้างเป็นเวกเตอร์แถวเดี่ยว

$$\vec{S}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ \rho_i \end{bmatrix} \quad (\text{ข้อมูลที่รับได้จากดาวเทียม } i) \quad (2.18)$$

$$\vec{u} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ \rho \end{bmatrix} \quad (\text{ตำแหน่งที่ไม่ทราบค่าของเครื่องรับ}) \quad (2.19)$$

ระยะทางเทียม จากดาวเทียม i แต่ละดวงถึงเครื่องรับ

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + b = \rho_i \quad (2.20)$$

รวมความคลาดเคลื่อนในสมการ

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = (\rho_i - b)^2 \quad (2.21)$$

$$x_i^2 - 2x_i x + x^2 + y_i^2 - 2y_i y + y^2 + z_i^2 - 2z_i z + z^2 = \rho_i^2 - 2\rho_i b + b^2 \quad (2.22)$$

$$(x_i^2 - y_i^2 + z_i^2 - \rho_i^2) - 2(x_i x + y_i y + z_i z - \rho_i b) + (x^2 + y^2 + z^2 - b^2) = 0 \quad (2.23)$$

จากเวกเตอร์ Loren inner Product

$$\langle \vec{u}, \vec{v} \rangle = u_1 v_1 + u_2 v_2 + u_3 v_3 - u_4 v_4 \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงเวกเตอร์ของสมการให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ Loren Inner Product

$$\langle \bar{S}_i, \bar{S}_i \rangle - 2\langle \bar{S}_i, \bar{u} \rangle + \langle \bar{u}, \bar{u} \rangle = 0 \quad (2.25)$$

$$\frac{1}{2}\langle \bar{S}_i, \bar{S}_i \rangle - \langle \bar{S}_i, \bar{u} \rangle + \frac{1}{2}\langle \bar{u}, \bar{u} \rangle = 0 \quad (2.26)$$

นำค่าที่ได้จากดาวเทียมแต่ละดวงมาจัดให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์

$$B = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & \rho_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & \rho_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 & \rho_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 & \rho_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}, \quad \bar{a} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \langle \bar{S}_1, \bar{S}_1 \rangle \\ \langle \bar{S}_2, \bar{S}_2 \rangle \\ \langle \bar{S}_3, \bar{S}_3 \rangle \\ \langle \bar{S}_4, \bar{S}_4 \rangle \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \bar{e} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \end{bmatrix}, \quad \Delta = \frac{1}{2}\langle \bar{u}, \bar{u} \rangle \quad (2.27)$$

เมื่อ B คือ เมตริกซ์ $n \times 4$ สามารถจะสร้างเมตริกซ์จาก n สมการพร้อมๆกันจากสมการ (2.26)

$$\bar{a} - B\bar{u} + \Delta\bar{e} = 0 \quad (2.28)$$

$$\text{หรือ } B\bar{u} = (\bar{a} + \Delta\bar{e}) \quad (2.29)$$

หาค่าของตัวแปรที่ไม่ทราบค่าจาก

$$\bar{u}^* = B^+(\bar{a} + \Delta\bar{e}) \quad \text{เมื่อ} \quad B^+ = (B^T B)^{-1} B^T \quad (2.30)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$\Delta = \frac{1}{2}\langle B^+(\bar{a} + \Delta\bar{e}), B^+(\bar{a} + \Delta\bar{e}) \rangle, \quad B^+ = \frac{1}{2}\langle B^+\bar{a}, B^+\bar{a} \rangle + \Delta\langle B^+\bar{a}, B^+\bar{a} \rangle + \frac{1}{2}\Delta^2\langle B^+\bar{e}, B^+\bar{e} \rangle \quad (2.31)$$

$$\Delta^2\langle B^+\bar{e}, B^+\bar{e} \rangle + \Delta 2(\langle B^+\bar{a}, B^+\bar{a} \rangle - 1) + \langle B^+\bar{a}, B^+\bar{a} \rangle = 0 \quad (2.32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้สมการเพื่อหาค่าของเวกเตอร์ \vec{u}_1^* , \vec{u}_2^* เพื่อหาค่า x, y, z

2.6 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลทำให้สัญญาณดาวเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน อันเนื่องมาจากการที่สัญญาณเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความถี่ที่ใช้ ใช้งาน เวลา ตำแหน่งพื้นที่ที่พิจารณา และวัฏจักรสุริยะ โดยปกติการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนหลังพระอาทิตย์ตก ซึ่งบริเวณที่เกิดรุนแรงที่สุดคือบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก ซึ่งการวัดระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นโดยส่วนใหญ่จะใช้ค่าดัชนี S_4 เป็นค่าบ่งชี้ถึงระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ในส่วนตัวท้ายยังได้กล่าวถึงระบบ GPS ซึ่งเป็นระบบการบอกพิกัดบนพื้นโลก โดยการส่งคลื่นจากดาวเทียมลงมายังเครื่องรับภาคพื้นดิน แล้วอาศัยความต่างของเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางและข้อมูลตำแหน่งดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง มาเป็นข้อมูลในการคำนวณหาพิกัดของเครื่องรับ ซึ่งความผิดพลาดในการบอกพิกัดอาจมาจากหลายสาเหตุ หนึ่งในสาเหตุนั้นก็คือความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยเช่นกัน

ดังนั้นในบทที่ 3 จึงเป็นการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาระหว่างวัน รายเดือน และรายปี เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับลักษณะการเกิดความผิดพลาดในการคำนวณพิกัดในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการสร้างสมการลดความผิดพลาดในการบอกพิกัดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในบทที่ 4 ต่อไป

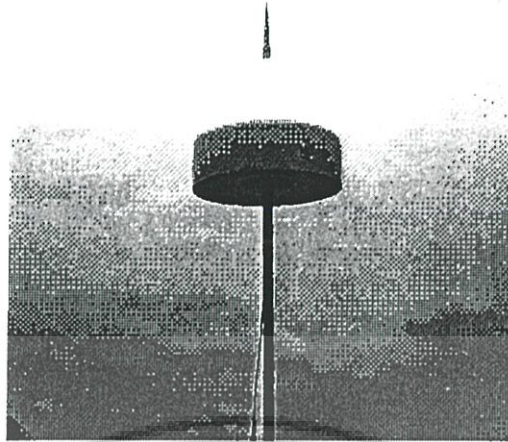
การวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ได้ดำเนินการโดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ISM (GPS Silicon Valley 4000 Ionospheric Scintillation Monitor) ซึ่งผลิตโดยบริษัท NovAtel ประเทศแคนาดา ซึ่งถูกติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (100.8°E , 13.7°N , 2.8°N Geomagnetic Latitude) ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลสัญญาณจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2544 ถึงเดือน ธันวาคม 2546 เพื่อนำมาประมวลผลค่าดัชนี S_4 ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz ที่เกิดขึ้นในระหว่างวัน และในแต่ละเดือนต่อไป โดยชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

1) สายอากาศ

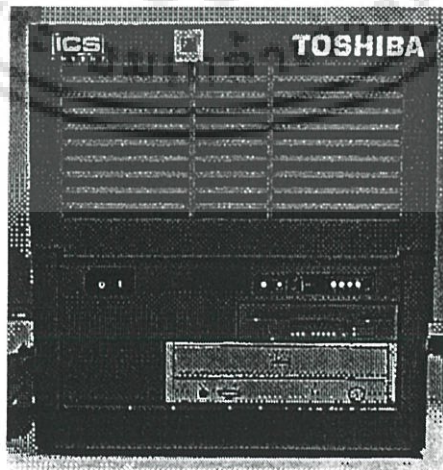
เป็นสายอากาศชนิดไมโครสตริบ (Microstrip Antenna) ที่มีโพลาไรซ์ของคลื่นแบบวงกลม หมุนขวา (Right Hand Circular Polarized) เนื่องด้วยสัญญาณจากดาวเทียมเป็นแบบหมุนวน ขวา ถูกติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าอาคารกรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ ซึ่งเป็นบริเวณพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งกีดขวางรอบทิศทางเป็นมุมเงยสูงกว่า 20 องศา และไม่ใกล้กับแหล่งกำเนิดสัญญาณวิทยุ เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม ทำหน้าที่รับสัญญาณจากดาวเทียม GPS ทั้ง 2 ความถี่ คือ L1 เท่ากับ 1575.42 MHz และ L2 เท่ากับ 1227.12 MHz รูปที่ 3.1 แสดงภาพสายอากาศรับสัญญาณ GPS



รูปที่ 3.1 สายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม GPS (NovAtel's Model 502GPSAntenna)

2) เครื่องรับสัญญาณและประมวลผลค่าดัชนี S_4

เป็นเครื่องรับแบบ Continuous Receiver คือ เป็นเครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไปพร้อมๆ กัน และสามารถแสดงผลค่าตำแหน่งและความเร็วได้ทันที นอกจากนี้ข้อดีที่ใช้วัดตำแหน่งอย่างต่อเนื่องได้แล้ว เครื่องรับชนิดนี้ยังสามารถช่วยขจัดปัญหา GDOP ซึ่งเป็นความผิดพลาดอันเนื่องจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้นำร่องได้อีกด้วย โดยเครื่องรับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมมาประมวลผลได้ครั้งละ 12 ดวงพร้อมๆ กัน ถูกติดตั้งที่ห้องปฏิบัติการสื่อสารดาวเทียมชั้น 10 อาคารกรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ รูปที่ 3.2 แสดงภาพเครื่องรับสัญญาณและประมวลผลค่าดัชนี S_4

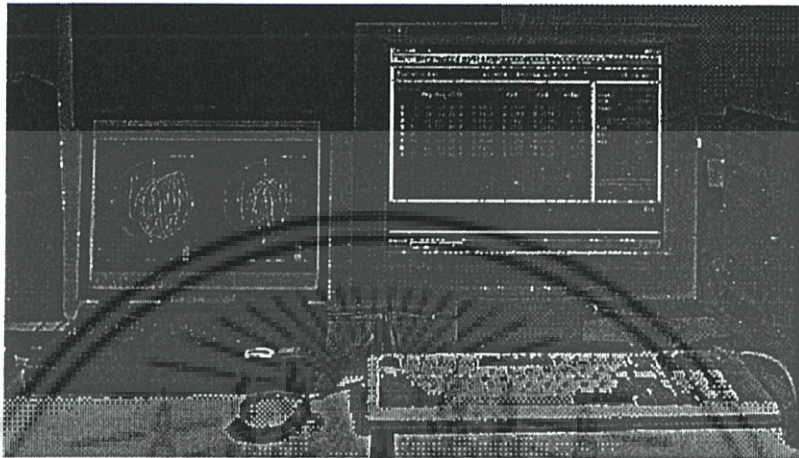


รูปที่ 3.2 เครื่องรับและประมวลผล (NovAtel's 3951R GPSCard)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลและแสดงผล

คอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลและแสดงผลได้ทันที ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ห้องปฏิบัติการสื่อสารดาวเทียม ชั้น 10 อาคารกรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์ รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลและแสดงผล



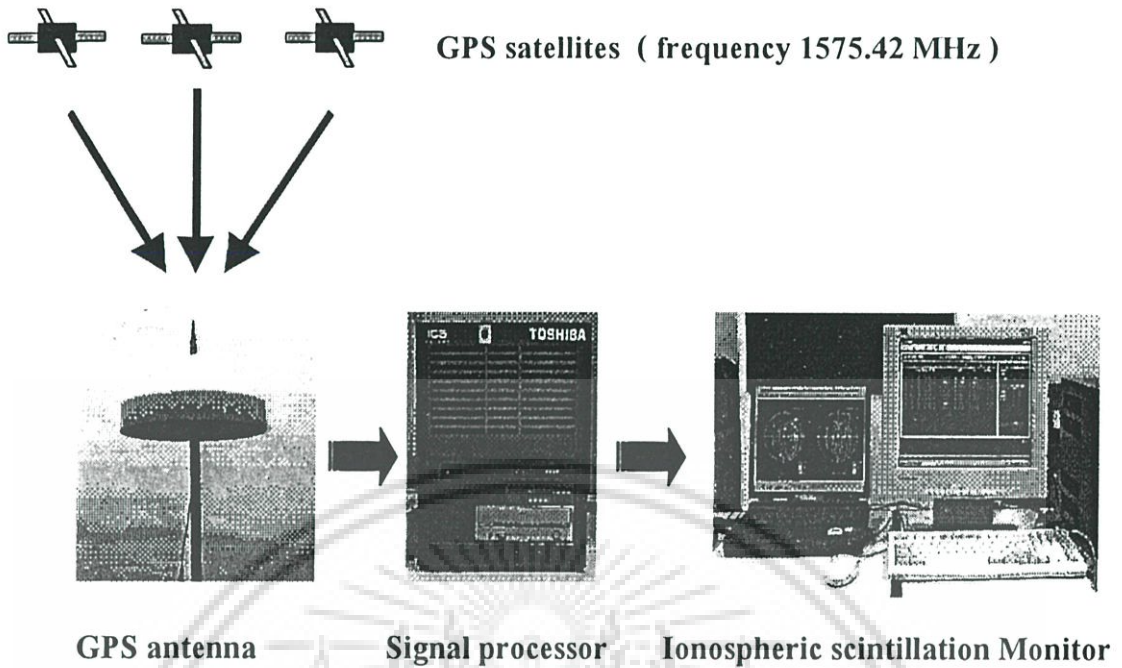
รูปที่ 3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลและแสดงผล

สำหรับรายละเอียดของระบบและบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ของระบบการวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของระบบการวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

ชื่อดาวเทียม	NAVSTAR – GPS
จำนวนดาวเทียม	23 ดวง
ความถี่	L1 = 1575.42 MHz ,L2 = 1227.60 MHz
โพลาริเซชัน	Right Hand Circularly Polarized
ชนิดสายอากาศรับ	Microstrip Antenna
ตำแหน่งสายอากาศรับ	100.8 °E , 13.7 °N , 2.8°N Geomagnetic Latitude
Gain of LNA	26 dB
เครื่องรับ	GSV4000 ISM

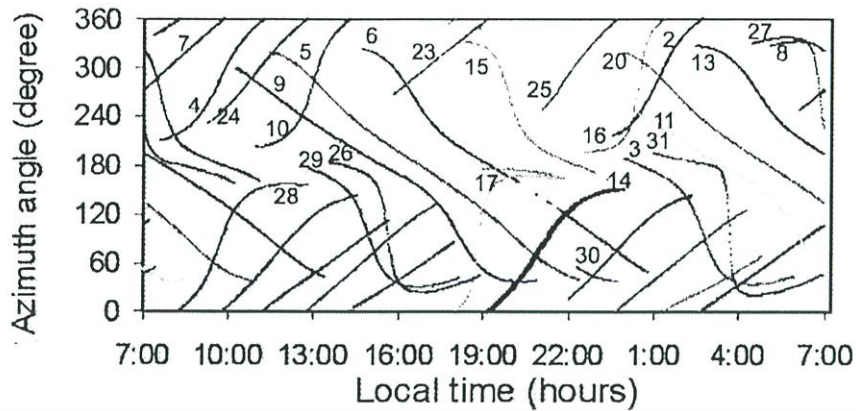
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



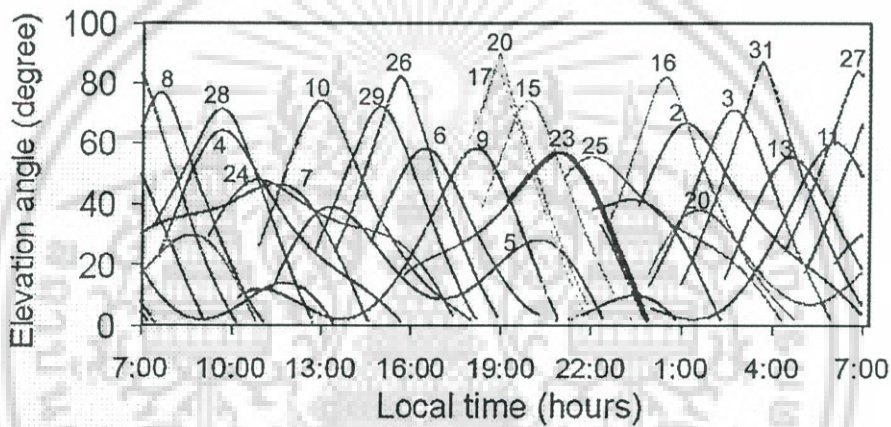
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS

3.2 ขั้นตอนและหลักการวิเคราะห์

ในการดำเนินการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ เริ่มต้นจากขั้นตอนการรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงที่มีมุมเงยมากกว่า 20 องศาขึ้นไป ด้วยจานสายอากาศรับสัญญาณ ซึ่งจะสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS ดวงใดได้นั้นขึ้นอยู่กับแนววงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงในขณะนั้นว่าจะอยู่ในแนวพิสัยที่เครื่องรับสามารถจะรับได้หรือไม่ ซึ่งโดยปกติแล้ว จะสามารถเห็นดาวเทียมดวงเดิมในแต่ละวันผ่านเส้นทางเดิมบนท้องฟ้า แต่ดาวเทียมจะขึ้นและตกเร็วขึ้น 4 นาทีในแต่ละวัน รูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างลักษณะการเปลี่ยนแปลงมุมอาซิมุท (Azimuth Angle) และมุมเงย (Elevation Angle) ของวงโคจรดาวเทียม GPS ที่วัดได้ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อวันที่ 14 เมษายน 2546



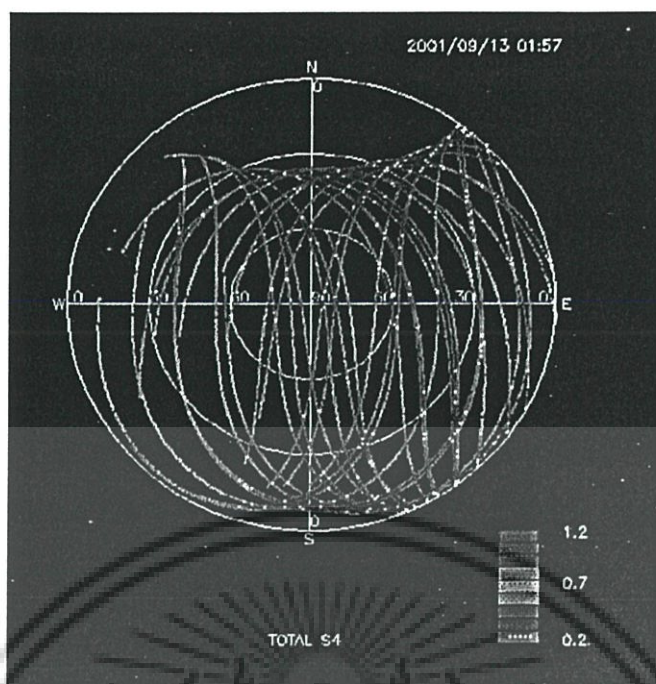
รูปที่ 3.5 ลักษณะมุมอาซิมุทของวงโคจรดาวเทียม GPS วันที่ 14 เมษายน 2546



รูปที่ 3.6 ลักษณะมุมเงยของวงโคจรดาวเทียม GPS วันที่ 14 เมษายน 2546

หลังจากนั้นสัญญาณดาวเทียม GPS ที่รับได้จะถูกนำมาขยายและแปลงสัญญาณที่ได้นั้นให้ลดความถี่ลงด้วยตัวแปลงความถี่ (Down-Converter) จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องรับ GPS เพื่อดึงเอาข้อมูลต่างๆ ที่ถูกส่งลงมาที่สัญญาณพาหะ เช่น ข้อมูลตำแหน่งดาวเทียม, ข้อมูลเวลา, ข้อมูลที่จำเป็นต่อการคำนวณหาตำแหน่ง เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่หน่วยประมวลผลนำไปแสดงผลหรือนำข้อมูลที่จำเป็นไปคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น ค่าดัชนี S_4 ซึ่งข้อมูลต่างๆจะถูกเก็บรวบรวมตลอด 24 ชั่วโมงโดยโปรแกรมควบคุม และจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของ Log File ในแต่ละวันลงในไฟล์ชื่อ ISMR Data Logs วงโคจรของดาวเทียมและค่าพารามิเตอร์ต่างๆจะถูกนำมาแสดงที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่แสดงผล ตัวอย่างแนวโคจรของดาวเทียม GPS ที่แสดงค่าดัชนี S_4 ที่วัดได้ในแต่ละนาทีแสดงดังรูปที่ 3.7 และตัวอย่างข้อมูลมุมเงย, มุมอะซิมุท, C/N_0 , S_4 index , Sig-1, Sig-60, ตำแหน่งทางละติจูด ลองติจูด และความสูงของเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณของเครื่องรับ GSV4000 แสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างแนวโคจรของดาวเทียม GPS ที่สามารถรับได้

20031009.DAT		ISMRB DISPLAY - MANUAL MODE						
	deg	deg	dBHz		rad	rad	meter	
1	15	51	320	51.3	0.0072	0.0474	0.0393	-776.68
2	30	20	153	42.7	0.1385	0.0672	0.1052	-1145.32
3	6	14	182	39.8	0.1523	0.0869	0.1162	-966.41
4	18	43	11	49.2	0.0113	0.0506	0.0913	-1398.43
5	17	17	145	40.9	0.0418	0.0655	0.1092	-654.20
6	9	37	43	47.8	0.0309	0.0494	0.0894	-390.33
7	21	75	166	52.0	0.0199	0.0465	0.0872	-10.71
8	14	32	278	47.3	0.0090	0.0505	0.0897	-877.38

Week:	1239
TOW:	346080
Date:	09 OCT 03
Time:	00:08:00
Position	
Lat:	13.730720
Lon:	100.777793
Alt:	39.973
Rec: 20	

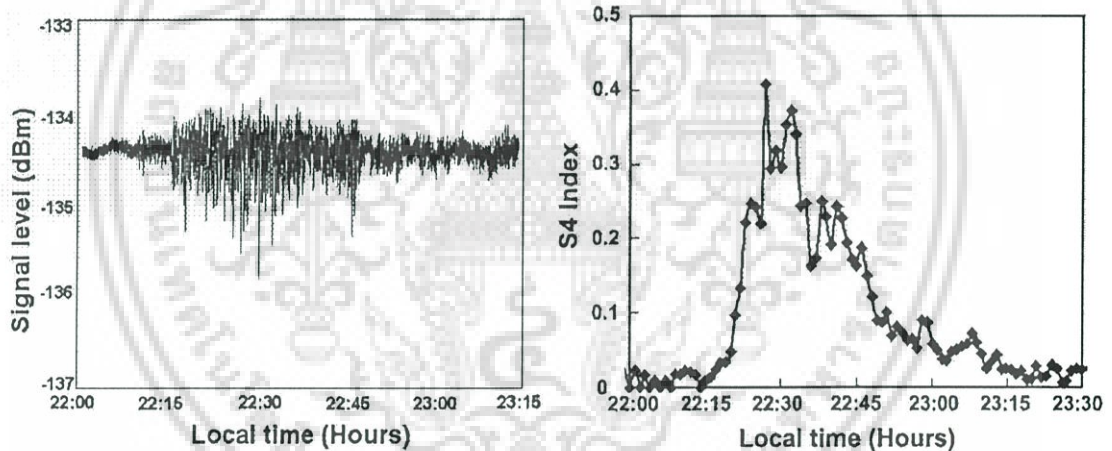
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลที่ทำการเฉลี่ยค่าออกมาทุกๆ 1 นาที

ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลจะถูกเก็บอยู่ในรูปแบบไบนารี (Binary Format) ดังนั้นในการเข้าถึงข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้จำเป็นต้องมีโปรแกรมในการแปลงรูปแบบข้อมูลจากรูปแบบไบนารีมาเป็นรูปแบบแอสกี (ASCII Format) ก่อน ซึ่งสำหรับข้อมูลที่เก็บในเครื่อง

GV4000 เครื่องนี้สามารถแปลงรูปแบบข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรม bin2asc.exe และโปรแกรมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gps_ext.idl สำหรับการแปลงข้อมูลค่าดัชนี S_4 ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก. ข้อมูลที่ถูกแปลงรูปแบบแล้วในแต่ละนาทียจะถูกจัดเก็บในรูปของแฟ้มข้อมูล โดยเริ่มตั้งแต่นาทีที่ 1 (เวลา 7:00 น.) จนถึงนาทีที่ 1440 (เวลา 6:59 น.) โดยเวลาที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลจะใช้เวลาท้องถิ่น (Local Time : LT) ซึ่งเทียบกับเวลามาตรฐาน (Universal Time : UT) ด้วย $LT = UT+7$ ข้อมูลในแต่ละวันจะมีโครงสร้างเหมือนกันทุกวันจนครบเดือนและปี

สำหรับการคำนวณค่าดัชนี S_4 นั้น สัญญาณจะถูกสุ่มตัวอย่างด้วยอัตรา 50 Hz เพื่อนำข้อมูลที่ถูกสุ่มนี้ไปคำนวณค่าดัชนี S_4 ด้วยสมการที่ 2.8 โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงๆละ 1 นาที [19] (กำหนดให้การแกว่งแอมพลิจูดของสัญญาณใน 1 นาที คือ 1 ครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน) ตัวอย่างแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่วัดได้ในวันที่ 27 กันยายน 2546 เปรียบเทียบกับค่าดัชนี S_4 ที่ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 3.9



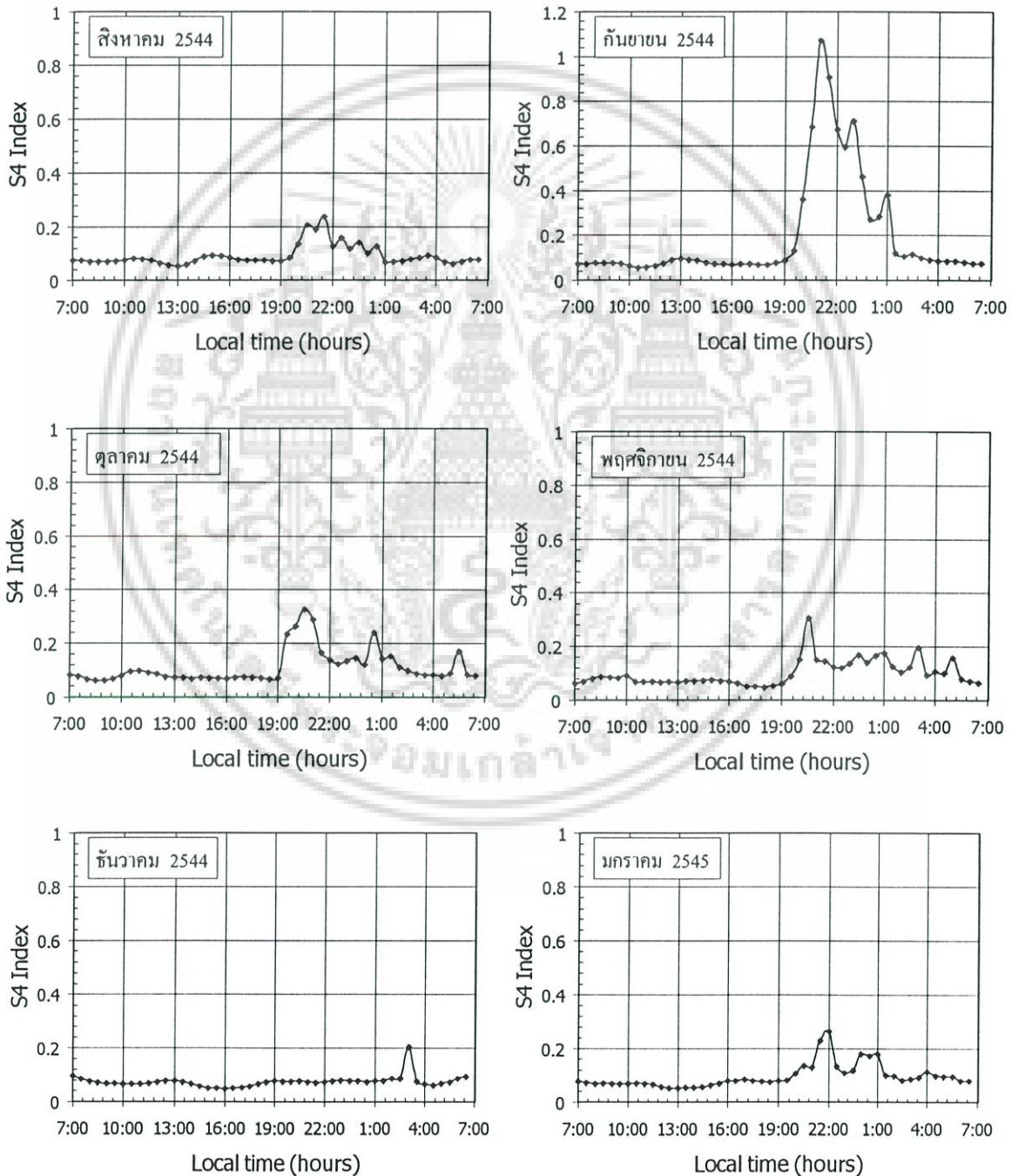
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลค่าดัชนี S_4 ซึ่งได้จากชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS นี้ มาวิเคราะห์หาลักษณะและระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลาแต่ละวัน แต่ละเดือน โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2544 ถึง เดือนธันวาคม 2546 การวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในรายวัน รายเดือน และรายปี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

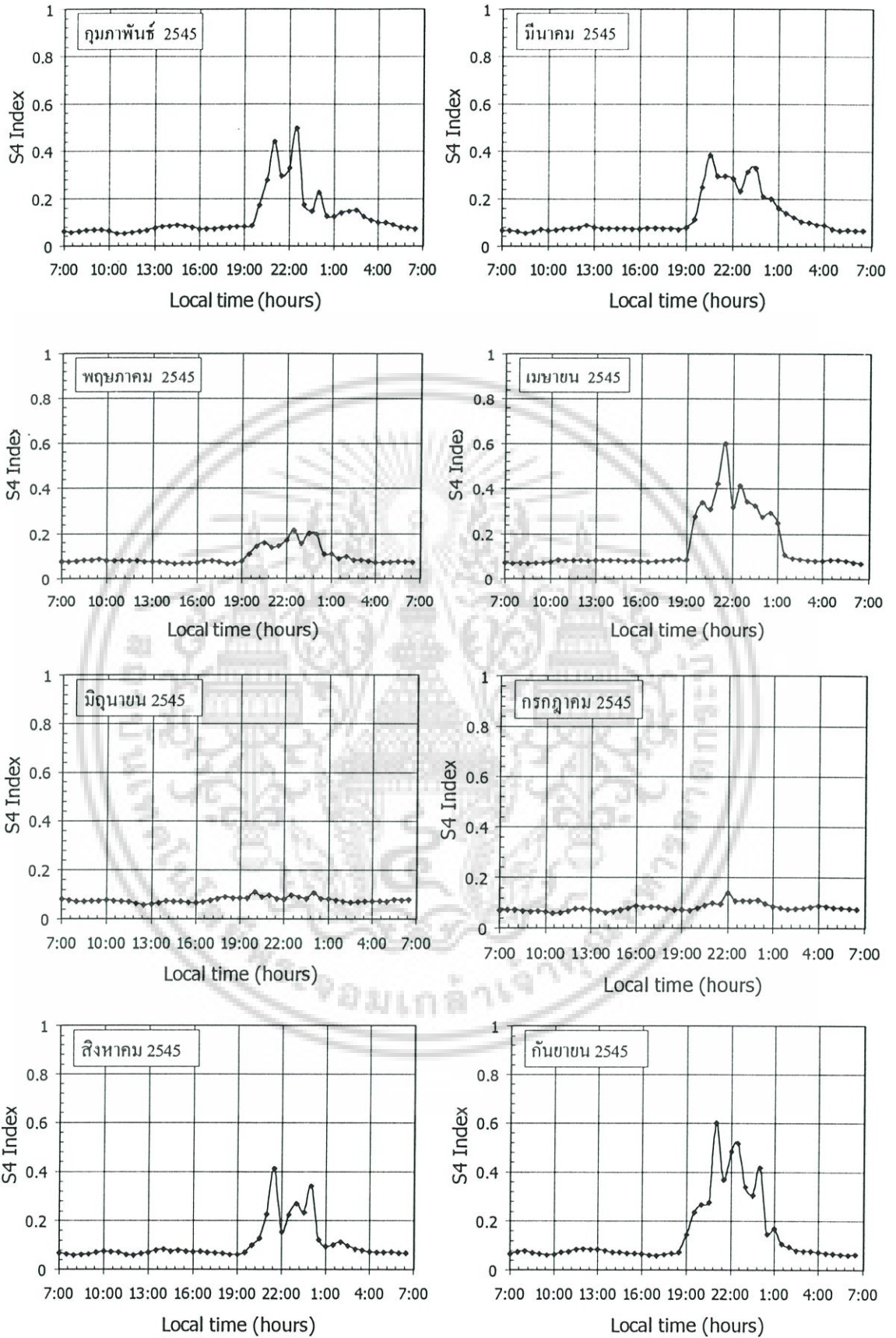
3.3 ผลการวิเคราะห์

3.3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละช่วงเวลาระหว่างวัน

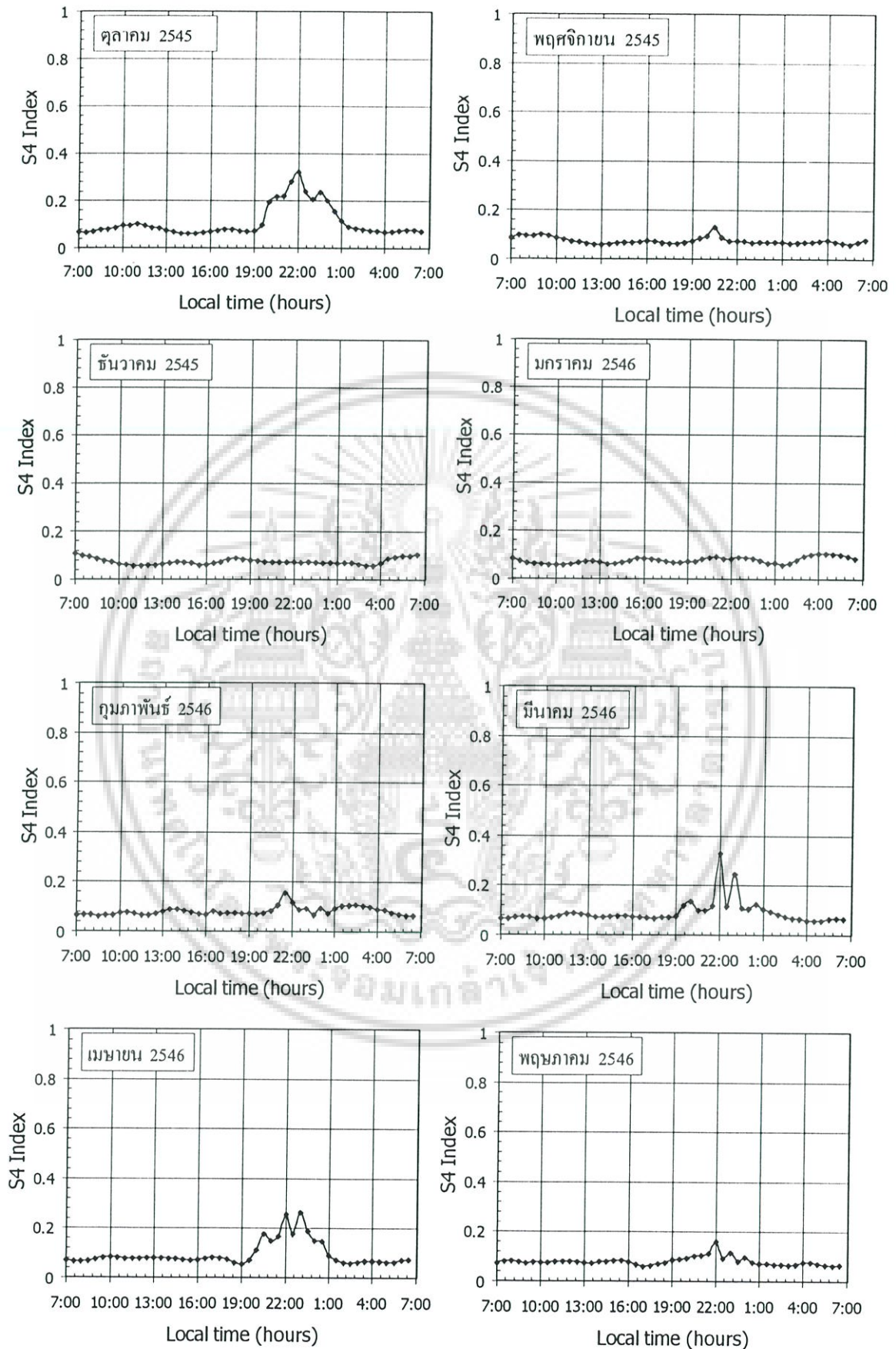
จากการทดลองที่ได้เริ่มเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ เดือนสิงหาคม 2544 จนถึงเดือนธันวาคม 2546 ได้ผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของดัชนี S_4 ในแต่ละเดือนดังนี้



เอกสารนี้รูปที่ 3.10 ที่การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนของสัญญาณดาวเทียม GPS การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

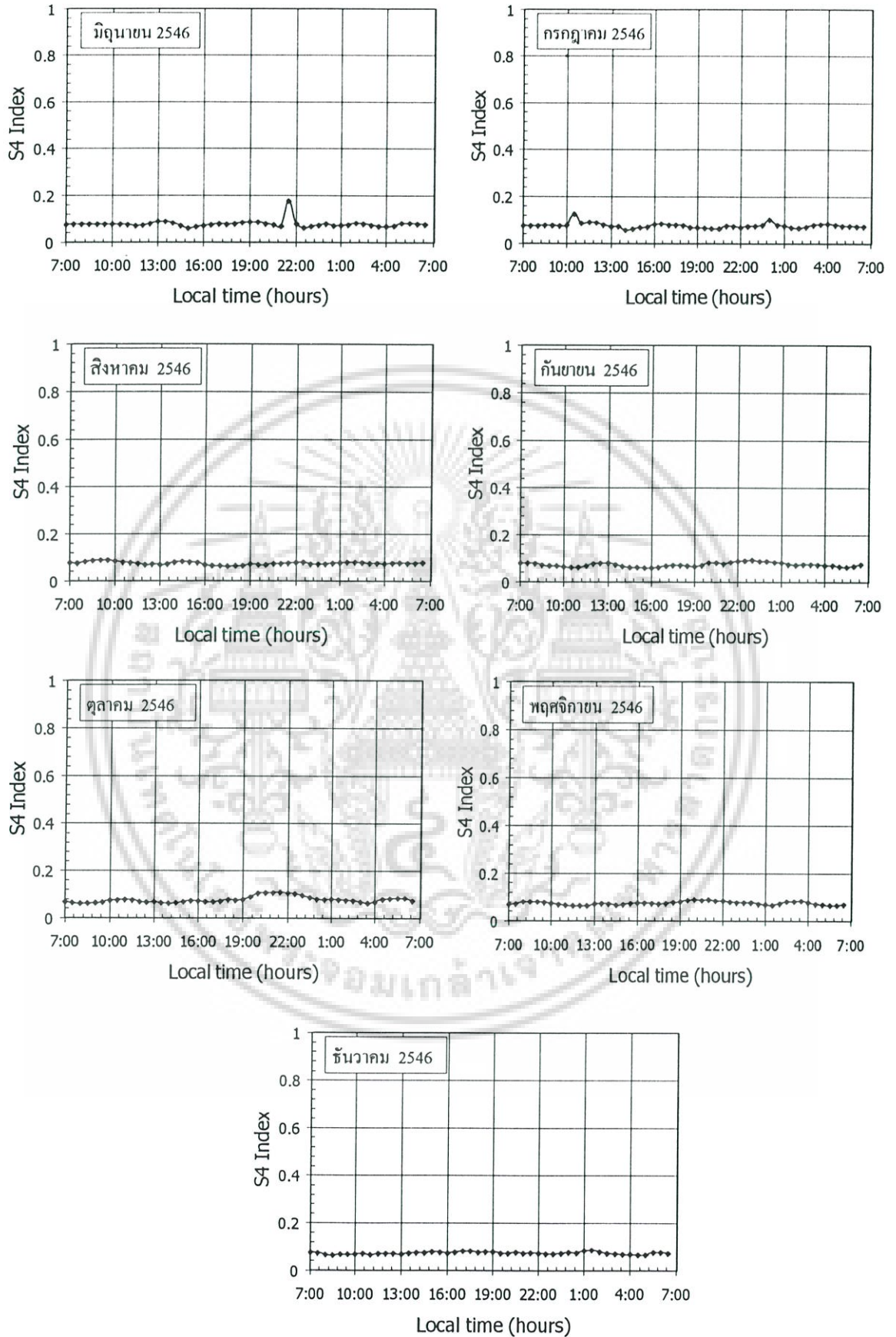


เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 (ต่อ)

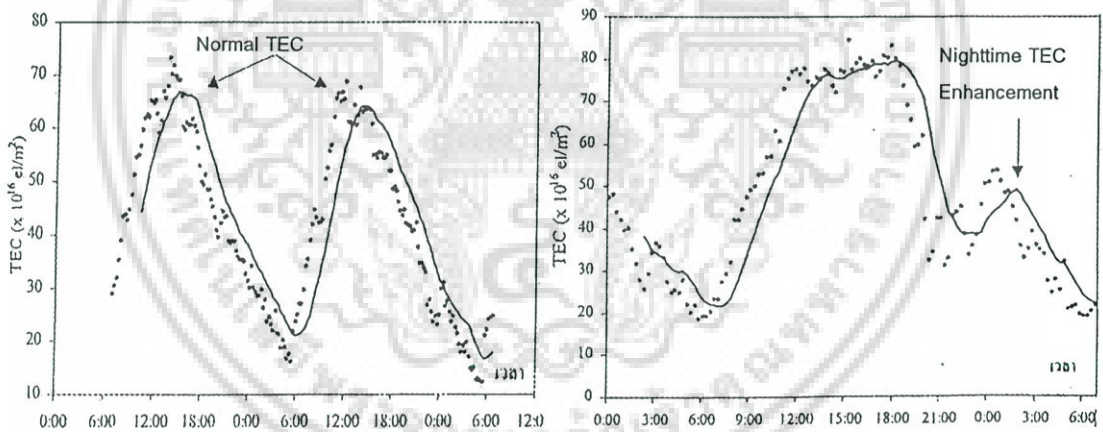
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าดัชนี S_4 ในระหว่างวันของแต่ละเดือนที่แสดงในรูปที่ 3.10 หาได้โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยค่าดัชนี S_4 ของดาวเทียมแต่ละดวงที่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะนั้นๆ ทุกๆ 30 นาทีตลอดทั้งเดือน เพื่อศึกษาดูแนวโน้มการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจากค่าดัชนี S_4 ที่คำนวณได้ ซึ่งจะพบว่าการการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณในรอบวัน จะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากดวงอาทิตย์ตก ส่วนมากจะเริ่มเกิดในช่วงเวลา ประมาณ 20:00 – 1:00 น. โดยมีช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดรุนแรงที่สุด คือช่วงเวลาประมาณ 21:00 – 22:00 น. ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS จะเกิดรุนแรงในช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงเวลากการปรากฏตัวของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และสอดคล้องกับการเกิด Nighttime หรือ TEC enhancement ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในตอนกลางคืนหรือช่วงหลังจากพระอาทิตย์ตกดินไปแล้ว สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้คือ ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีค่าสูงขึ้นเป็นครั้งที่สองในช่วงค่ำหลังจากเกิดค่าสูงสุดไปแล้วในตอนบ่าย (ประมาณ 14:00-15:00 น.) [3] ดังแสดงในรูปที่ 3.11(ข) โดยปกติแล้วการเปลี่ยนแปลงของค่า TEC ในแต่ละวันนั้นจะมีค่าสูงสุดตามปกติอยู่ที่เดียวคือในช่วงบ่าย ดังแสดงในรูปที่ 3.11 (ก)



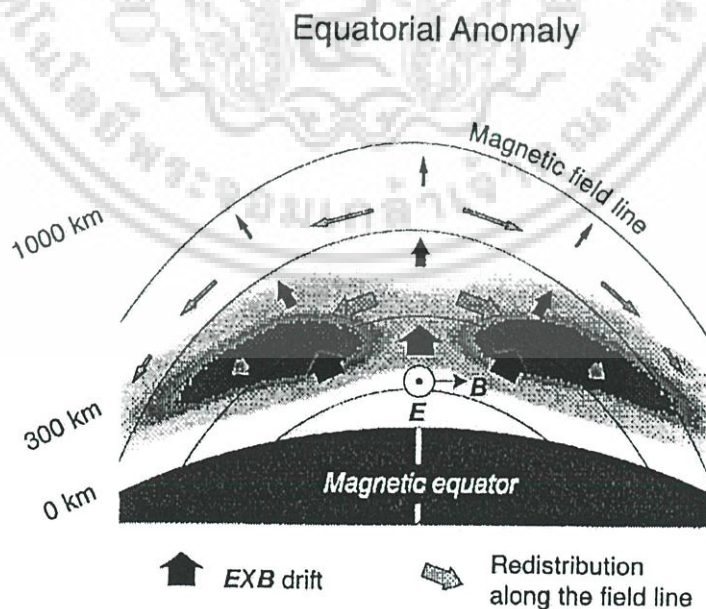
(ก) TEC ปกติ

(ข) TEC enhancement

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [3]

จากปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายจากหลักความจริงที่ว่าในเวลากลางวันกระแสลมเทอร์โมสเฟียร์ (Thermospheric Wind) ซึ่งเป็นกระแสการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคนิวตรอนตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (บางครั้งกระแสลมนี้จึงถูกเรียกว่า Neutral Atmospheric Winds) มีทิศทางเคลื่อนที่จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (E) (ที่เกิดจากการที่อนุภาคนิวตรอนเคลื่อนที่ออกจากอิเล็กตรอน) มีทิศพุ่งไปทางทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก มีผลทำให้กลุ่มพลาสมา (กลุ่มอิเล็กตรอน) มีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่พุ่งขึ้นเนื่องจากความสัมพันธ์ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

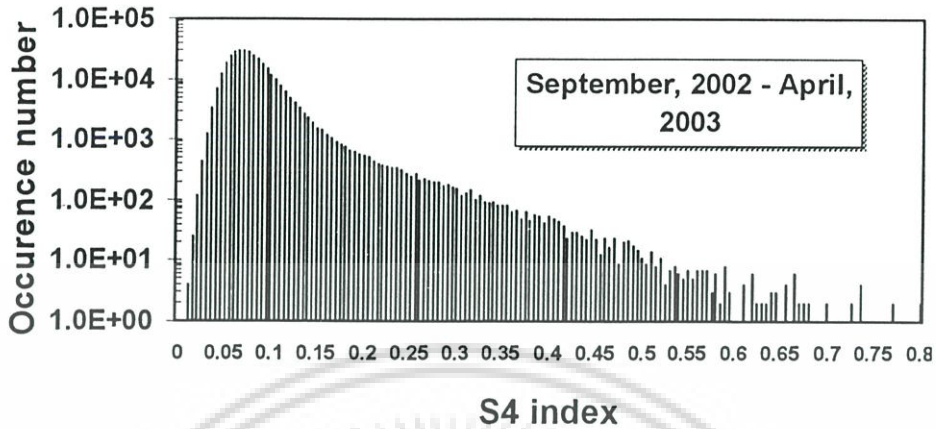
ผลคูณเชิงเวกเตอร์ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าและเวกเตอร์สนามแม่เหล็กโลก(B) ทำให้เกิดเวกเตอร์ความเร็วลอยเลื่อน (V)(Drift Velocity) ของพลาสมา $\vec{V} = \vec{E} \times \vec{B}$ ทำให้เกิดพลาสมาดิฟฟ์ในทิศทางพุ่งขึ้นที่บริเวณใกล้กับเส้นศูนย์สูตรดิพแม่เหล็ก (Geomagnetic Dip Equatorial) ซึ่งเป็นบริเวณที่วางตัวขนานกับเส้นแรงแม่เหล็กโลก ซึ่งมีผลต่อแรงที่กระทำกับกลุ่มพลาสมา ในขณะที่กลุ่มพลาสมาพุ่งขึ้นได้นำพาอิเล็กตรอนไปที่ความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จึงมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน จนถึง ณ ระดับความสูงที่แรงยกตัวและแรงโน้มถ่วงมีความสมดุลกัน กลุ่มพลาสมาจะแยกตัวออกเป็น 2 กลุ่มเคลื่อนที่ลงไปตามเส้นสนามแม่เหล็กในบริเวณตำแหน่งละติจูด ± 15 องศา ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติในแถบเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Anomaly) หลังจากเวลา 12:00 น. โดยประมาณกระแสลมเทอร์โมสเฟียร์จะเปลี่ยนทิศทาง กล่าวคือจะมีทิศพุ่งจากตะวันออกไปตะวันตก ซึ่งมีผลทำให้สนามไฟฟ้ามีทิศพุ่งจากตะวันตกไปตะวันออก ทำให้แรงกระทำต่อกลุ่มพลาสมามีทิศพุ่งลง ดังนั้นในเวลากลางคืนปริมาณอิเล็กตรอนจะหนาแน่นน้อยกว่าในเวลากลางวัน ซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในรอบหนึ่งวันตามปกติ ซึ่งจากการกระทำของลมและสนามแม่เหล็กนี้เรียกว่า “การเกิดไดนาโมในชั้น F (F region dynamo)” ดังแสดงในรูปที่ 3.12 แต่ปรากฏการณ์ของ TEC enhancement นั้น จะเกิดจากการเคลื่อนที่ของกลุ่มพลาสมาในทิศทางพุ่งขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลา ประมาณ 18:00 หลังจากพุ่งขึ้นมาแล้วครั้งหนึ่งในเวลากลางวันหลังจากนั้นก็ตกลง [5]



รูปที่ 3.12 การเกิด “dynamo” ในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [5]

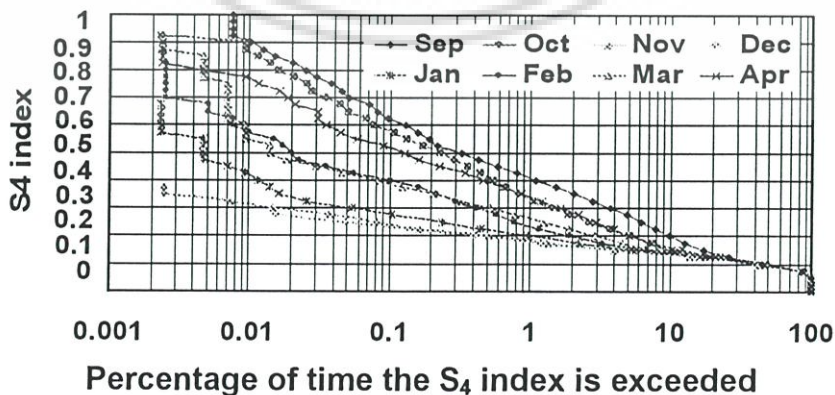
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์จำนวนครั้ง ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ระดับค่าดัชนี S_4 ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 จำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันที่ระดับค่าดัชนี S_4 ต่าง ๆ โดยวิเคราะห์รวมตั้งแต่เดือนกันยายน 2545 – เมษายน 2546

จะเห็นว่าตั้งแต่เดือน กันยายน 2545 ถึงเดือนเมษายน 2546 ค่าดัชนี S_4 ในระดับ 0.06-0.08 จะมีจำนวนครั้งของการเกิดมากที่สุด ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ 41.5% ของข้อมูลค่าดัชนี S_4 ทั้งหมด ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การแกว่งแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ระดับค่าดัชนี S_4 มากกว่า 0.5 เท่ากับ 0.2 % ของข้อมูลค่าดัชนี S_4 ทั้งหมดรวม 8 เดือน ซึ่งถ้าแยกพิจารณาในแต่ละเดือนและวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์การกระจายสะสมของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ด้วยข้อมูลค่าดัชนี S_4 ในแต่ละนาทิต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าในเดือนกันยายนจะมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิดการแกว่งที่รุนแรง (ค่าดัชนี S_4 มากกว่า 0.5) มากที่สุดและลดลงในเดือนตุลาคม พฤศจิกายน ธันวาคม ตามลำดับ และจะเริ่มเพิ่มมากขึ้นในเดือน มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน ตามลำดับ



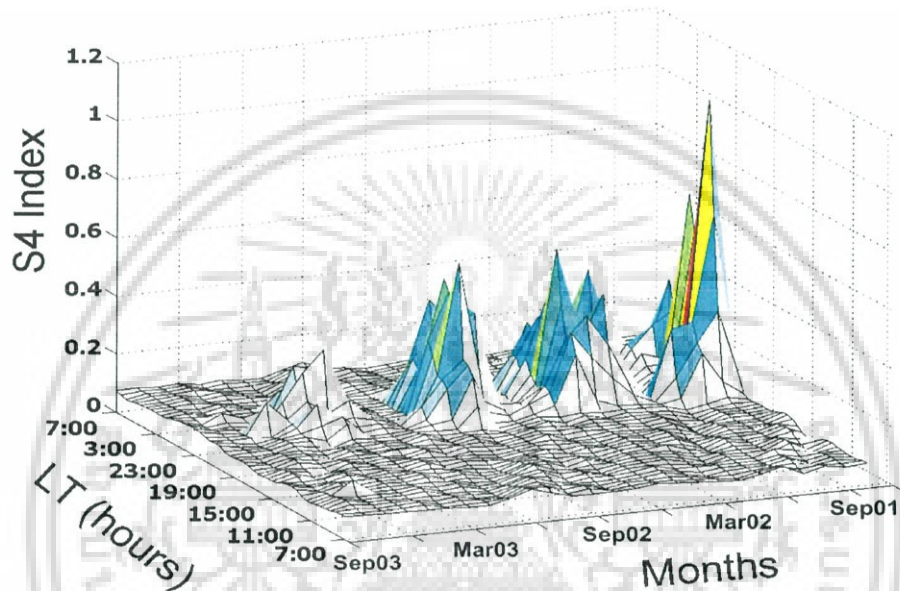
รูปที่ 3.14 กราฟแสดงการกระจายสะสมของเปอร์เซ็นต์การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง

กะทันหันที่ระดับค่าดัชนี S_4 ต่าง ๆ

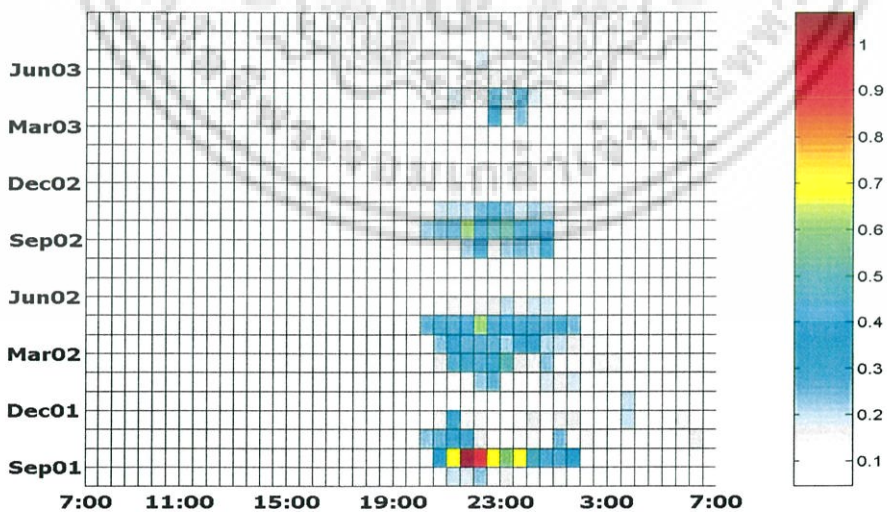
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในวงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในรายเดือนและรายปี

ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละฤดูกาล โดยการนำค่าเฉลี่ยของค่าดัชนี S_4 ในแต่ละเดือนมาแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่าดัชนี S_4 ในรอบวันของแต่ละเดือนในรูปแบบ 3 มิติ และแบบคอนทัวร์ ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2544 ถึง เดือนกันยายน 2546 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 (ก) และ(ข) ตามลำดับ



(ก) ภาพ 3 มิติ



(ข) คอนทัวร์

รูปที่ 3.15 ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนี S_4 ในทุกๆ 30 นาที ของแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2544 ถึงเดือน กันยายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

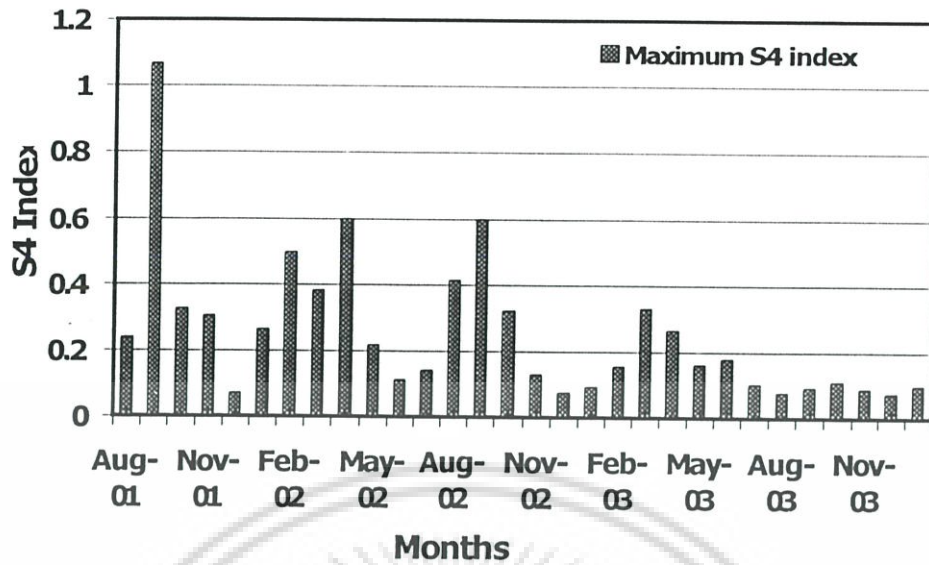
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 ที่ซึ่งแสดงถึงระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในแต่ละเดือนพบว่าระดับความรุนแรงในการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะขึ้นกับเดือนที่ทำการวัดสัญญาณ จากรูปที่ 3.15 (ก) และ (ข) ดัชนี S_4 ใน 1 ปี นั้นค่าสูงสุดต่ำสุดจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นฤดูกาล (Seasonal S_4 Index Variation) โดยในแต่ละปีจะมีค่าสูงสุดอยู่ 2 ช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน และเดือนกันยายน-ตุลาคม ดังเช่นในปี พ.ศ. 2544 เดือนที่มีค่าดัชนีสูงสุดคือ เดือนกันยายน วัดค่าดัชนี S_4 ได้ 1.06 และในปี พ.ศ. 2545 วัดค่าดัชนี S_4 ได้สูงสุดในเดือน เมษายน และกันยายน ซึ่งมีค่าดัชนี S_4 เท่ากันคือ 0.6 และในปี พ.ศ. 2546 วัดค่าดัชนี S_4 ได้สูงสุดในเดือน มีนาคม ซึ่งมีค่าดัชนี S_4 เท่ากับ 0.3 จะเห็นได้ว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่รุนแรงจะมีลักษณะเป็นคาบเวลา กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในช่วงเดือน มีนาคมและกันยายนของแต่ละปี ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ โดยโลกจะมีการโคจรโดยเปลี่ยนแปลงมุมตรงศีรษะหรือมุมซินิธ (Zenith Angle) ที่ทำมุมกับดวงอาทิตย์ เนื่องจากแกนโลก (Geographic Axis) เอียงเป็นมุม 23.5° กับดวงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้แต่ละซีกโลกเอียงเข้า-ออกจากดวงอาทิตย์ สลับกัน ใน 1 ปี ทำให้ซีกโลกที่เอียงเข้าหาดวงอาทิตย์ซึ่งเรียกว่าช่วง Equinox (ประมาณเดือน มีนาคม-เมษายนและกันยายน-ตุลาคม) นั้นมีมุมซินิธน้อยเพราะดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะในเวลากลางวันและมีช่วงเวลากลางวันที่ยาวนานและเกิดลักษณะเป็นฤดูกาลขึ้น เนื่องจากการไอโอโนสเฟียร์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นแปรโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีระดับที่สูงทำให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากตามไปด้วย และในทางตรงกันข้ามเดือนที่ค่าดัชนี S_4 มีค่าน้อยที่สุดคือช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคมและในช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวตรงกับช่วง Solstice (ประมาณเดือนมิถุนายนและธันวาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด [3]

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับวัฏจักรสุริยะ

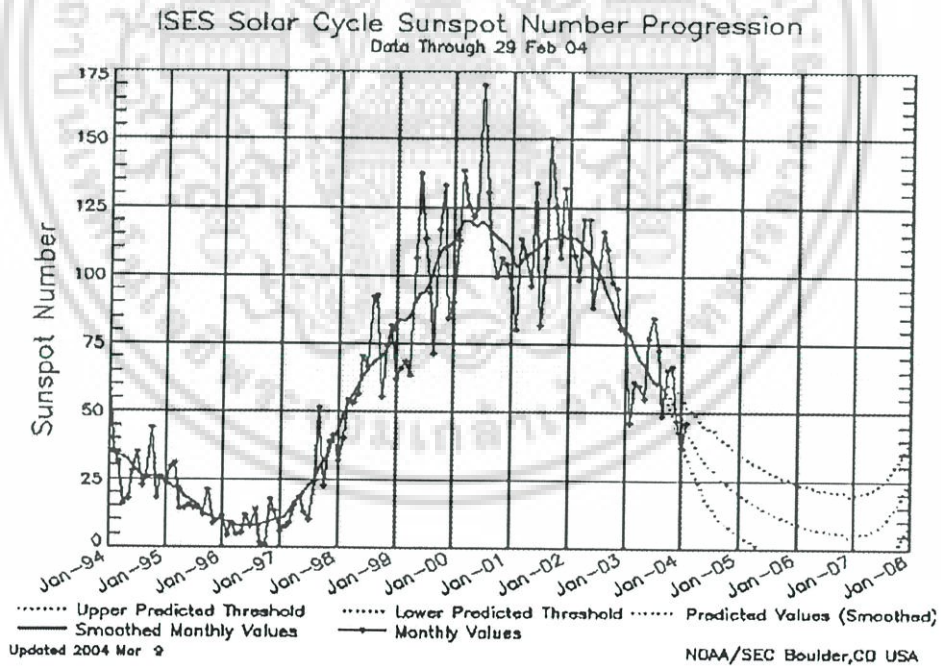
ความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนอกจากจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาระหว่างวันและฤดูกาลแล้ว การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในรายเดือนและรายปีนั้นยังมีความสัมพันธ์กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 พบว่าค่าดัชนี S_4 ที่สูงสุดในแต่ละปีจะไม่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.16 โดยค่าดัชนี S_4 ที่สูงสุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2544 ซึ่งเป็นเดือนที่เริ่มทำการบันทึกข้อมูล มีค่ามากที่สุด รองลงไปก็คือเดือนเมษายน พ.ศ. 2545, เดือนกันยายน พ.ศ.2545,เดือนเมษายน พ.ศ.2546 และเดือนธันวาคม พ.ศ.2546 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าค่าดัชนี S_4 ที่มากที่สุดในแต่ละปีจะมีค่าลดลงตามลำดับซึ่งสัมพันธ์กับวัฏจักรดวงอาทิตย์ในช่วงที่จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ลดลงเรื่อยๆเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.17

ตารางที่ 3.2 ค่าดัชนี S_4 ที่มากที่สุดในแต่ละเดือน

เดือน	ค่าดัชนี S_4		
	พ.ศ.2544	พ.ศ. 2545	พ.ศ. 2546
มกราคม		0.262458	0.089997
กุมภาพันธ์		0.497429	0.155255
มีนาคม		0.382872	0.328092
เมษายน		0.599867	0.261344
พฤษภาคม		0.215227	0.160854
มิถุนายน		0.110511	0.177005
กรกฎาคม		0.140593	0.101
สิงหาคม	0.236766	0.411466	0.078
กันยายน	1.068501	0.599544	0.092078
ตุลาคม	0.324684	0.321304	0.107441
พฤศจิกายน	0.305377	0.13009	0.087149
ธันวาคม	0.071218	0.07212	0.072844



รูปที่ 3.16 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ที่มากที่สุดในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2546



รูปที่ 3.17 วัฏจักรดวงอาทิตย์ตั้งแต่ปี 1994 ถึง 2004[20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

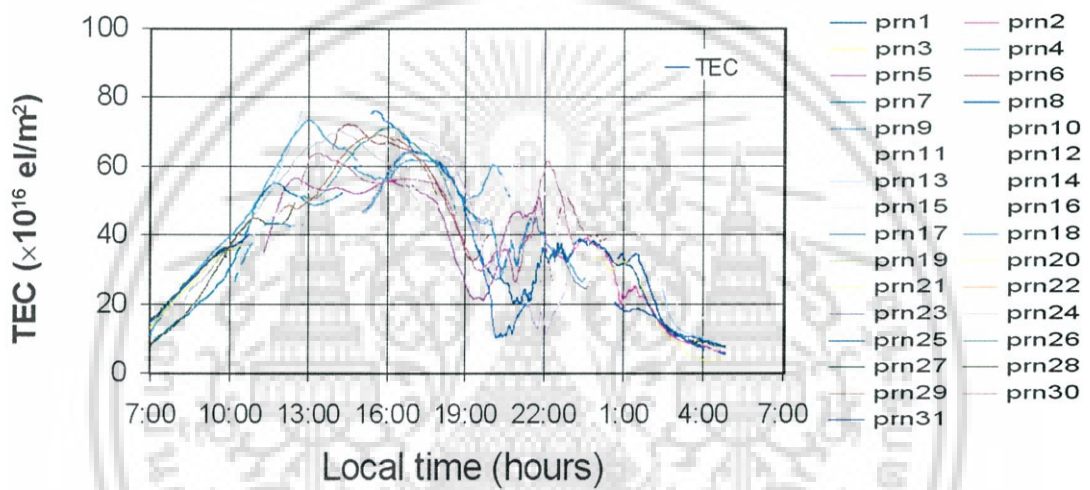
จากรูปที่ 3.16 และ 3.17 จะเห็นได้ว่าความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS จะขึ้นกับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆทางสุริยะ (Solar Activity) มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับโครงสร้างชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงเป็นเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าสูงขึ้นในแต่ละชั้นย่อยของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ solar activity มีค่าสูงกว่าปกติ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ก็จะได้รับผลจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปนี้ด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างวันและแต่ละเดือนด้วย



3.3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันกับ

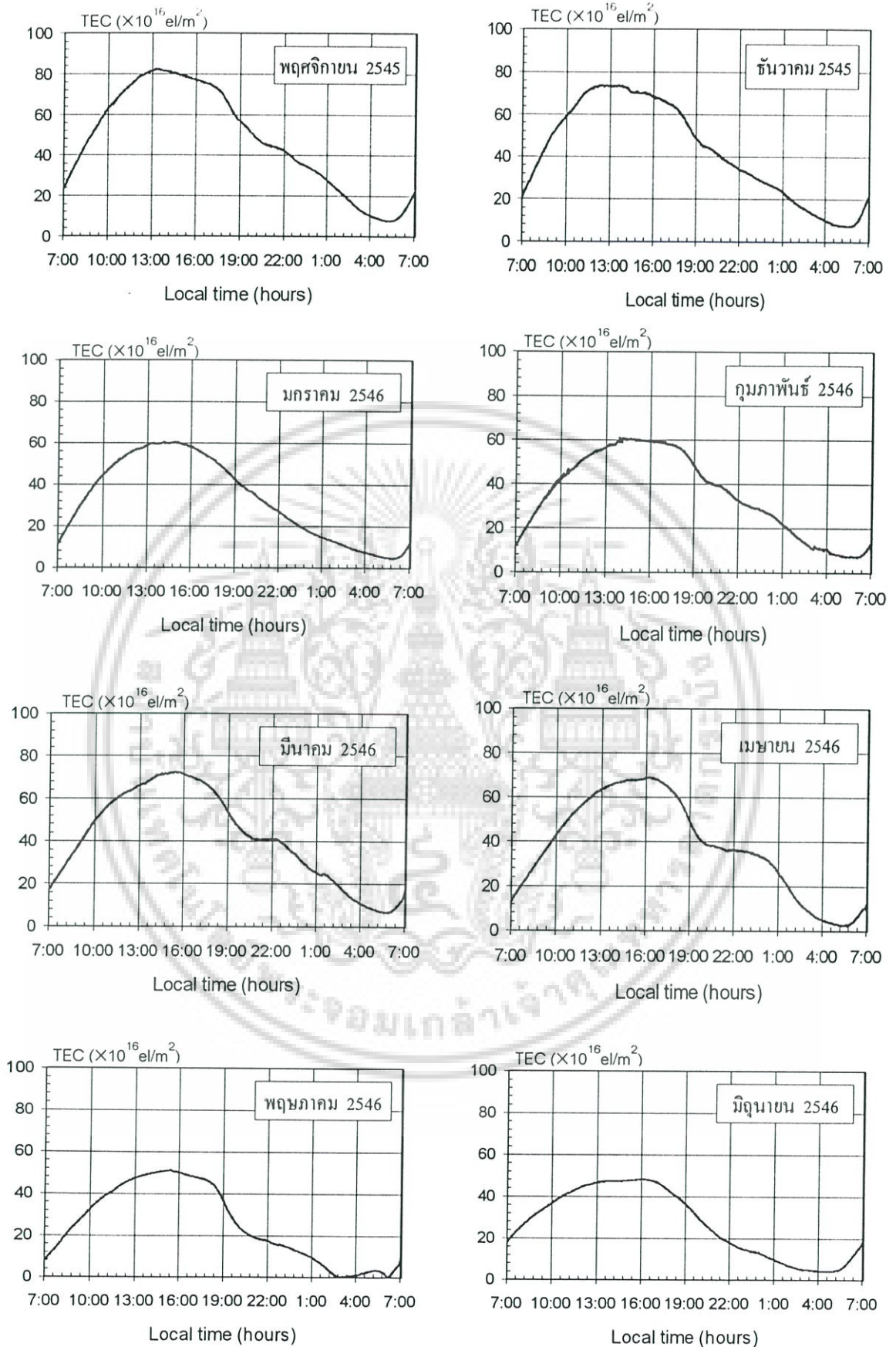
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ได้รับผลจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกโดยเครื่อง TEC Meter รุ่น JAVAD ที่ซึ่งติดตั้งอยู่ ณ ห้องปฏิบัติการสื่อสารดาวเทียม ชั้น 10 ตึกอธิการบดี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2545 ถึงเดือน ธันวาคม 2546 รูปที่ 3.18 แสดงตัวอย่างของข้อมูลปริมาณการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่คำนวณได้ในวันที่ 14 เมษายน 2546



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลง TEC ในรอบหนึ่งวัน

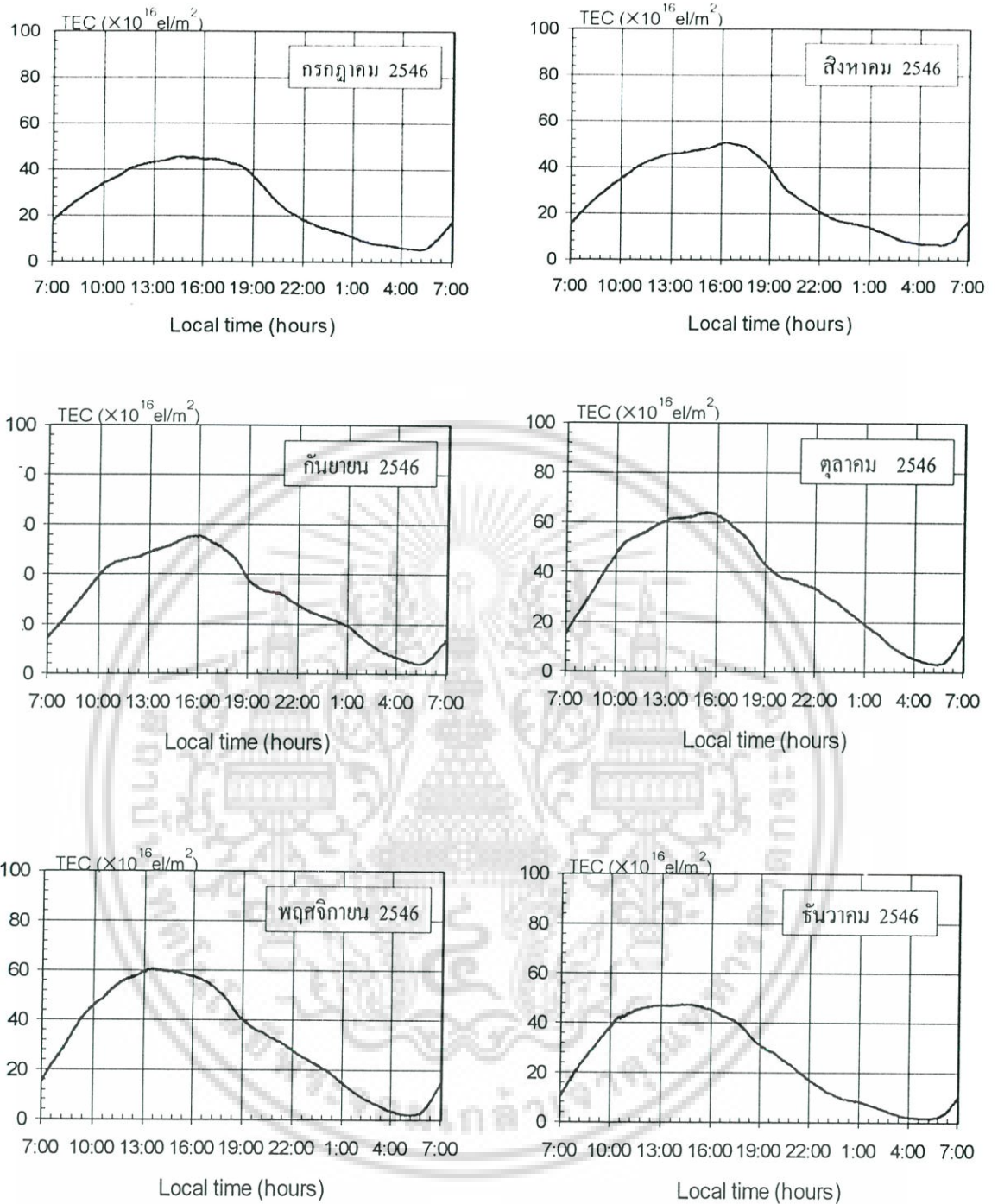
จากรูปที่ 3.18 เป็นการพล็อตค่า TEC ซึ่งคำนวณได้จากสัญญาณดาวเทียม GPS แต่ละดวงที่สามารถรับได้ในขณะนั้นๆ ในทุกๆ 30 วินาที โดยไม่ได้มีการเฉลี่ยค่าใดๆทั้งสิ้น จะเห็นว่าปริมาณอิเล็กตรอนจะเริ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาหลังจากพระอาทิตย์ขึ้นและจะมีค่ามากที่สุดในเวลาประมาณ 13:00-15:00 น. และจะลดลงเรื่อยๆจนมีค่าต่ำสุดที่เวลาประมาณ 4:00-5:00 น. นอกจากนี้จากรูปจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาประมาณ 19:00-1:00 น. ปริมาณการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนจะมีความแปรปรวนอย่างรุนแรง สังเกตได้จากเส้นกราฟในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีการแกว่งขึ้นลงมากกว่าในช่วงอื่นๆ สาเหตุเนื่องจากเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนอิสระและอิออนรวมทั้งเกิดปรากฏการณ์ TEC enhancement ด้วย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณอิเล็กตรอนเฉลี่ยในแต่ละเดือนแสดงดังรูป 3.19



รูปที่ 3.19 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณอิเล็กตรอนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2545

ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



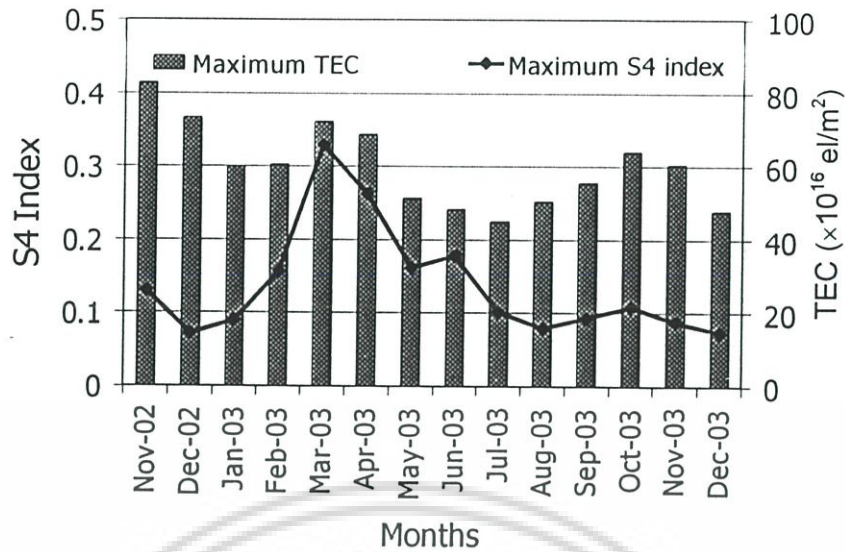
รูปที่ 3.19 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.19 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณอิเล็กตรอนในระหว่างวันซึ่งค่าที่พลัดในแต่ละกราฟเกิดจากการหาค่าเฉลี่ยของค่า TEC ทุกวัน ณ เวลานั้นๆในแต่ละเดือน เพื่อศึกษาดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างวันนี้ค่าปริมาณอิเล็กตรอน มีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วงประมาณ 4:00-5:00น. และค่อยๆสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 14:00 น. และเมื่อหลังจากค่าสูงสุดในระหว่างวันแล้วปริมาณอิเล็กตรอนที่วัดได้จะค่อยๆลดต่ำลงตลอดถึงกลางคืน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากอัตราการสร้างอิเล็กตรอน (Electron-Production Rate) หรือการเกิดไอไอไนซ์ของก๊าซต่างๆในชั้น F_1 และ F_2 นั้นได้รับอิทธิพลโดยตรงจากความเข้มรังสี EUV และ x-ray จากดวงอาทิตย์ และการที่ TEC มีค่าสูงสุดในช่วงบ่าย (ประมาณ 14:00 น.) แทนที่จะมีค่าสูงสุดในเวลาเที่ยงวันเนื่องจากสาเหตุการเกิดการเคลื่อนที่ของกลุ่มพลาสมาที่เรียกว่าความผิดปกติในย่านเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Anomaly)

ในเวลาเช้าปริมาณอิเล็กตรอนจะมีความหนาแน่นมากที่สุดแถบเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กเนื่องจากมีการไอไอไนซ์สูงในช่วงเวลาหลังจากดวงอาทิตย์ขึ้น กลุ่มอิเล็กตรอนที่เป็นกลุ่มก้อนหรือเรียกว่า Crest นั้นจะเกิดขึ้นในเวลาประมาณ 9:00-10:00 น. ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กแล้วแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เคลื่อนที่ออกจากกันในแนวทิศเหนือและทิศใต้ แล้วจะมีความหนาแน่นของการไอไอไนซ์สูงขึ้นไปจนถึงเวลาที่ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าสูงสุดคือที่เวลาประมาณ 14:00 น. ที่เส้นดิพละติจูดแม่เหล็กประมาณ $\pm 15-20^\circ$ หลังจากทีกลุ่มอิเล็กตรอน เคลื่อนที่ไปถึงละติจูดแม่เหล็กประมาณ $\pm 15-20^\circ$ แล้ว การไอไอไนซ์จะลดลงไปในขณะที่กลุ่มอิเล็กตรอนทั้งสองเคลื่อนที่เข้าหากันในแนวเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กอีกครั้งและหายไปในเวลากลางคืนในที่สุด [3]

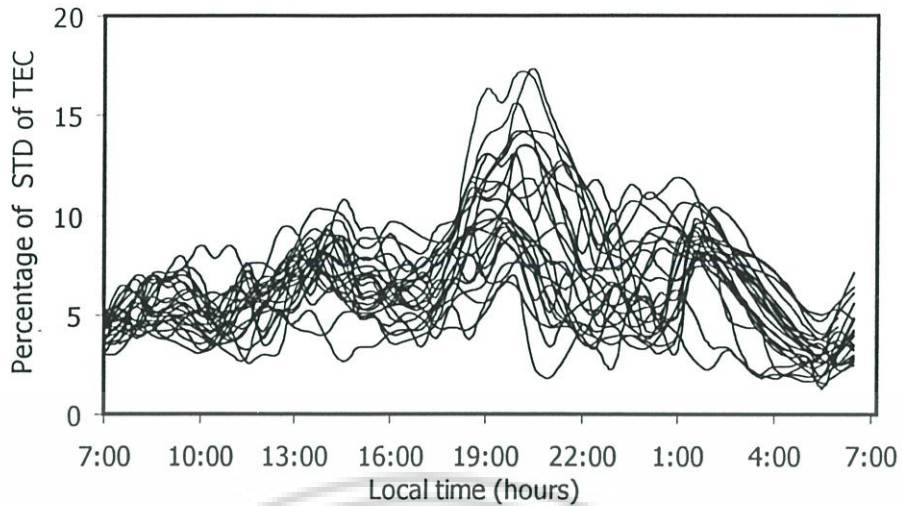
นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ข้อมูลยังพบว่าข้อมูล TEC ใน 1 ปี นั้นค่าสูงสุดต่ำสุดจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นฤดูกาล โดยในแต่ละปีจะมีค่าสูงสุดอยู่ 2 ยอดคือ ประมาณเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม และเช่นเดียวกันกับค่าต่ำสุดพบว่าจะมีจุดต่ำสุดอยู่ที่ช่วงประมาณเดือนมิถุนายนและเดือนธันวาคม ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในรอบฤดูกาล ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของข้อมูล TEC และการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2545 ถึง เดือนธันวาคม 2546

จากรูปจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ที่มีการเกิดขึ้นมากที่สุดและน้อยที่สุดเป็นฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของค่า TEC เฉลี่ยทั้งเดือนซึ่งมีค่าสูง 2 ครั้งและต่ำสุด 2 ครั้งใน 1 ปี คือสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ มีนาคม-เมษายน และกันยายน-ตุลาคมซึ่งสอดคล้องกับช่วง Equinox และ Solstice

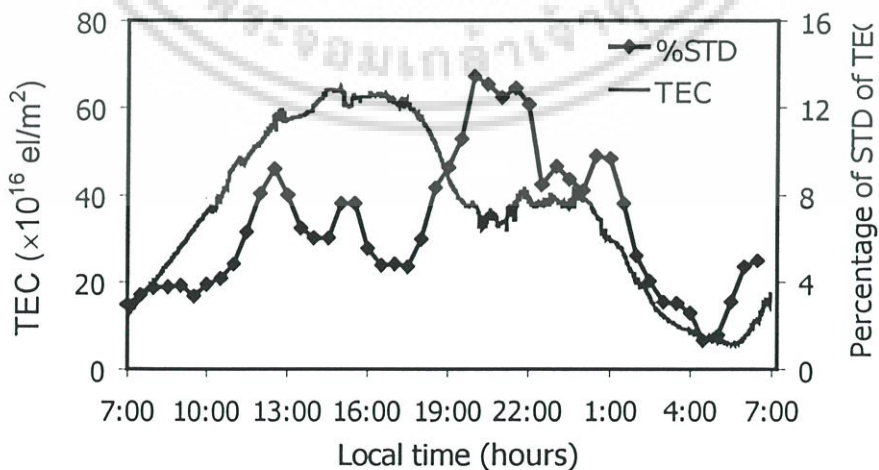
จากการวิเคราะห์ข้อมูล TEC ในรอบวัน พบว่าบางวันปริมาณอิเล็กตรอนจะมีการเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน (ประมาณ 22:00 น.) หลังจากที่มียุคสูงสุดในช่วงกลางวันแล้ว ซึ่งปริมาณอิเล็กตรอนในช่วงเวลาดังกล่าวจะมีความแปรปรวนมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ด้วย ดังนั้นเพื่อศึกษาถึงแนวโน้มความไม่สม่ำเสมอของค่า TEC ในระหว่างวัน จึงได้ทำการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณอิเล็กตรอน โดยการคำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละวันแล้วนำมาพล็อตรวมกันในแต่ละเดือน จากผลการวิเคราะห์นี้พบว่าส่วนมากในเวลากลางวันค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วงประมาณ 5-10% และจะมีค่าสูงขึ้นในเวลากลางคืน และสูงสุด 10-20% ตัวอย่างแสดงเปอร์เซ็นต์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณอิเล็กตรอนโดยเฉลี่ยในเดือน มีนาคม 2546 ซึ่งเป็นเดือนที่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรุนแรงมากที่สุดในปี 2546 แสดงในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เปอร์เซนต์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณอิเล็กตรอนในระหว่างวันของเดือน มีนาคม 2546

จากรูปที่ 3.21 พบว่าในเวลากลางคืนเปอร์เซนต์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีค่าสูงกว่าในเวลากลางวัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีความไม่สม่ำเสมอในเวลากลางคืนสูงกว่าเวลากลางวัน จึงอาจเป็นเหตุผลหนึ่งว่าทำไมปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมจึงพบในช่วงเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน

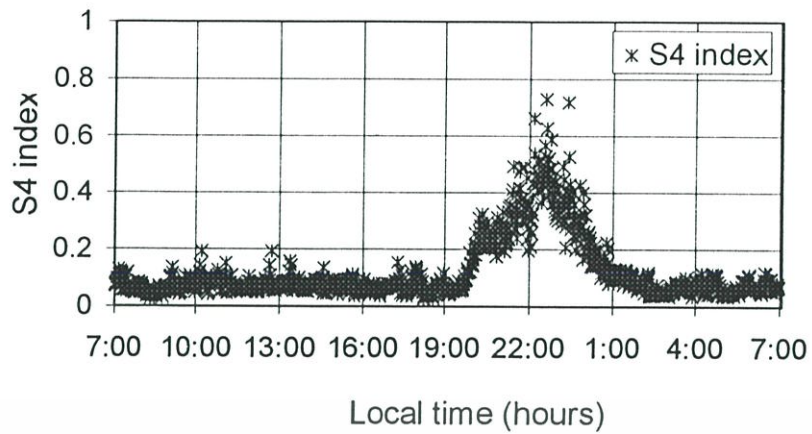
ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในรอบวันและผลการวิเคราะห์เปอร์เซนต์ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนเปรียบเทียบกับค่าดัชนี S_4 ในวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรุนแรงแสดงได้ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ



รูปที่ 3.22 การเปรียบเทียบ TEC กับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนในวันที่

14 เมษายน 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ในวันที่ 14 เมษายน 2546

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 เปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะพบว่าช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอย่างรุนแรงนั้นจะสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีค่าสูงกว่าช่วงเวลาอื่น

3.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงระบบทดลอง หลักการและผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2544 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2546 ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาระหว่างวัน และฤดูกาล รวมทั้งผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันกับวัฏจักรสุริยะ และผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2545 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2546 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณจะเริ่มเกิดในช่วงเวลาประมาณ 20:00 น. ถึงเวลาประมาณ 1:00 น. โดยรุนแรงมากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 22:00 น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดความแปรปรวนอย่างรุนแรง และช่วงเวลาการปรากฏตัวของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยเดือนที่แอมพลิจูดของสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างกระทันหันรุนแรงมากที่สุด คือเดือน มีนาคม และ เดือนกันยายน เนื่องจากเป็นช่วงเดือน Equinox และเดือนที่มีค่าดัชนี S_4 น้อยที่สุดคือเดือนธันวาคม ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเดือน Solstice นอกจากนี้ค่าดัชนี S_4 ที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับ 0.06-0.08 ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดได้ 41.5% และ

เปอร์เซ็นต์การแกว่งของแอมพลิจูดอย่างรวดเร็วที่ระดับค่าดัชนี S_4 มากกว่า 0.5 เท่ากับ 0.2 % ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเดือนกันยายนจะมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิดการแกว่งในระดับที่รุนแรง (ค่าดัชนี S_4 มากกว่า 0.5 ขึ้นไป) มากกว่าเดือนอื่น ๆ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ได้โดยสรุปดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในระหว่างวัน โดยมากมักเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนคือเวลาประมาณ 20:00 – 1:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลากการรวมตัวของชั้น F_1 และ F_2 ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้น F ที่จะปรากฏขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 19:00 – 21:00 น. และการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในระหว่างวัน มักเกิดขึ้นสอดคล้องกับความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในรูปของปรากฏการณ์ TEC enhancement (เวลาประมาณ 22 :00น.) แต่พบว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในระหว่างวันนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสูงสุดต่ำสุดของข้อมูล TEC ที่เกิดขึ้นในระหว่างวัน ซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลาประมาณ 14:00-15:00 น. และค่าต่ำสุดที่เวลาประมาณ 4:00-5:00 น.

2. การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในรายเดือนและปีนั้น พบว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดขึ้นรุนแรงที่สุดและน้อยที่สุดเป็นฤดูกาลสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของค่า TEC เฉลี่ยทั้งเดือน ซึ่งมีค่าสูงสุด 2 ครั้งและต่ำสุด 2 ครั้ง ใน 1 ปี คือสูงสุดในช่วงเดือน มีนาคม-เมษายน และเดือน กันยายน-ตุลาคม และค่าต่ำสุดพบที่เดือน มิถุนายนและธันวาคม ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเดือน Equinox และ Solstice และนอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในรายเดือนและปียังสัมพันธ์กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์หรือแปรตามวัฏจักรสุริยะ โดยความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จาก พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ.2546 ซึ่งจากเหตุการณ์นี้สามารถอธิบายได้จากความจริงที่ว่าในช่วง พ.ศ. 2543 จะเป็นช่วงที่จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าสูงสุด จากนั้นจะลดลงเรื่อยๆตามวัฏจักรสุริยะ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงอยู่ในช่วงขาลงของวัฏจักรสุริยะ

บทที่ 4

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง กะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของ สัญญาณดาวเทียม GPS

4.1 ขั้นตอนและหลักการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด

การศึกษาผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS ได้ดำเนินการโดยทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำในการบอกตำแหน่งเครื่องรับ GPS กับคุณลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องตรงกันตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ จึงกำหนดความหมายของคำว่าความแม่นยำให้หมายถึงการบอกตำแหน่งบนโลกที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำ โดยพิจารณาจากระยะทางที่คลาดเคลื่อนออกจากค่าตำแหน่งอ้างอิงที่ถูกต้อง ซึ่งคือค่าเฉลี่ยของค่าตำแหน่งทั้งหมดที่คำนวณ และกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกาได้กำหนดความแม่นยำทางราบ โดยใช้คำว่าวงกลมของความผิดพลาดที่เป็นไปได้ (Circular Error Probability : CEP) และ DRMS (Distance Root of Mean Square : DRMS) เป็นค่าที่แสดงถึงระดับความผิดพลาดในการบอกตำแหน่ง โดยค่า CEP จะเป็นค่ารัศมีของวงกลมที่บรรจุค่าที่เป็นไปได้ 50% และค่า DRMS คือ ค่าระยะทางระหว่างตำแหน่งที่วัดได้กับตำแหน่งจริง 2DRMS จะเป็น 2 dimension ของวงกลมแห่งความผิดที่เท่ากับ 95% ของจุดที่อยู่ภายในรัศมี ของวงกลม [17]

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS มีรายละเอียดดังนี้

- 1) เริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลตำแหน่งเครื่องรับ GPS ทางละติจูด, ลองจิจูดและความสูงที่ได้จากการคำนวณของหน่วยประมวลผลเครื่องรับ GSV4000 ซึ่งจะถูเก็บรวบรวมบันทึกลงในไฟล์ชื่อ POSA มาแปลงรูปแบบข้อมูลจากรูปแบบไบนารีเป็นรูปแบบเฮกซ์โดยโปรแกรม bin2asc.exe ก่อน ซึ่งข้อมูลละติจูด, ลองจิจูดและความสูงที่ได้นี้จะต้องถูกแปลงให้อยู่ในระบบแกนคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinates) ซึ่งมีหน่วยเมตรก่อนตามสูตรที่กล่าวไว้ในภาคผนวก ค.

- 2) จากนั้นนำข้อมูลพิกัดทางละติจูดและลองจิจูดที่คลาดเคลื่อนออกจากค่าตำแหน่งอ้างอิงที่ถูกต้องมาวิเคราะห์ดูการกระจายตัว (Scatter) ของจุดพิกัดเครื่องรับ GPS ในช่วงเวลาระหว่างวัน

เอกสารในรูปแบบของแผนภูมิการกระจาย โดยที่จุดแต่ละจุดในแผนภูมิ จะแทนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนไปจากค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดที่ถูกต้องทั้งในแนวละติจูดและลองจิจูดของเครื่องรับ GPS ที่คำนวณได้จากเครื่องรับ GSV4000 ทุกๆ 30 นาที

3) สร้างวงกลม CEP ซึ่งเป็นตัวแทนของการกระจายตัวของการบอกพิกัดในวัน หรือช่วงเวลา ที่พิจารณา ซึ่งหาค่า CEP ในแต่ละช่วงเวลาได้โดย การแบ่งข้อมูลพิกัดทั้งหมดในวันที่พิจารณา ออกเป็นช่วงๆ ละ 2 ชั่วโมง แล้วหาค่ามัธยฐาน (Median) หรือค่าร้อยละ 50 แรกของพิกัด ของข้อมูลพิกัดในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนด [11] ซึ่งค่า CEP ที่ได้ (แทนค่ารัศมีของวงกลม) จะถูกนำไป สร้างวงกลมล้อมรอบข้อมูลพิกัดในช่วงนั้นๆ

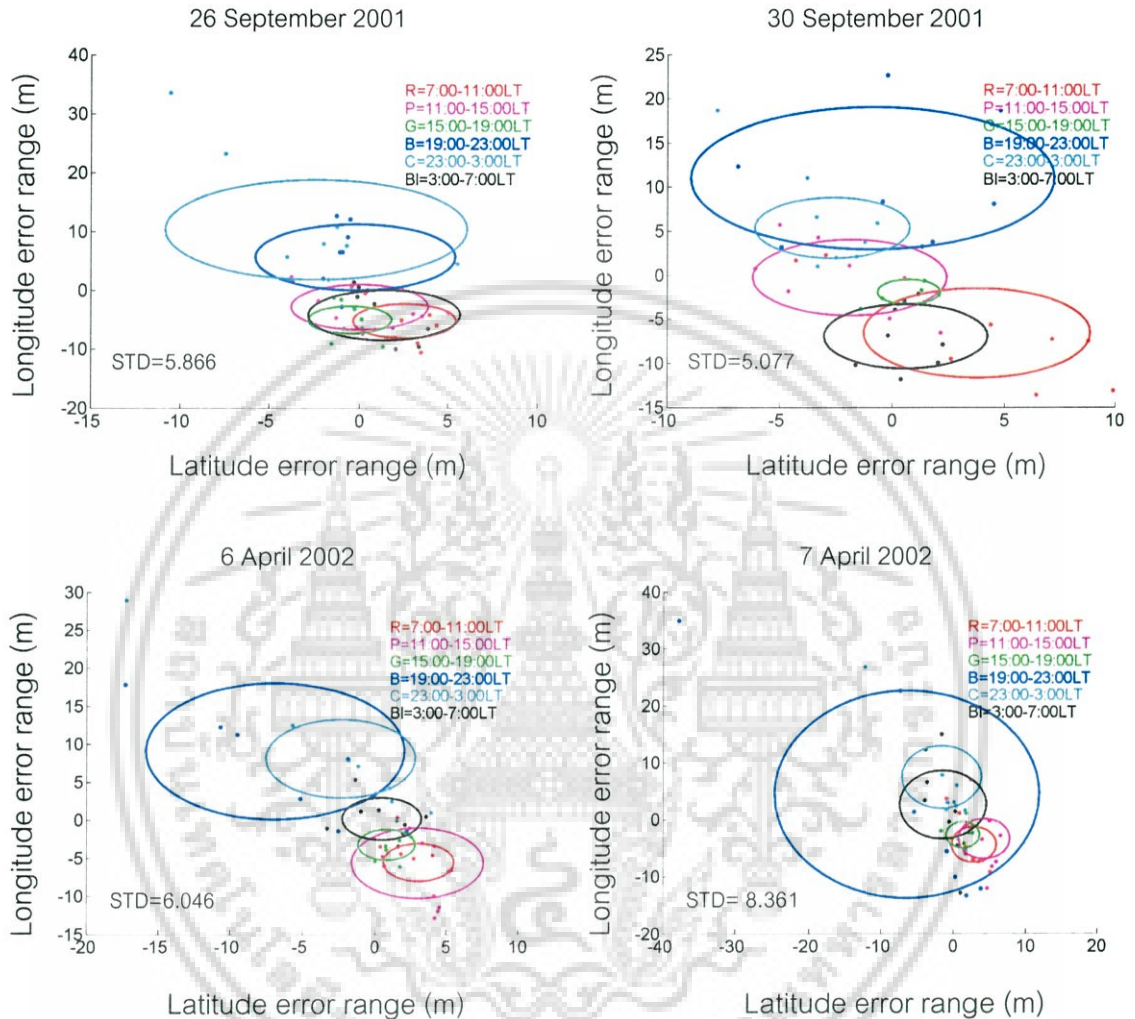
4) หาค่าการกระจายตัวออกมาจากจุดศูนย์กลางของพิกัดที่อ่านได้ในแต่ละ 30 นาที ซึ่งก็คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นตัวแทนของการกระจายตัวของพิกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

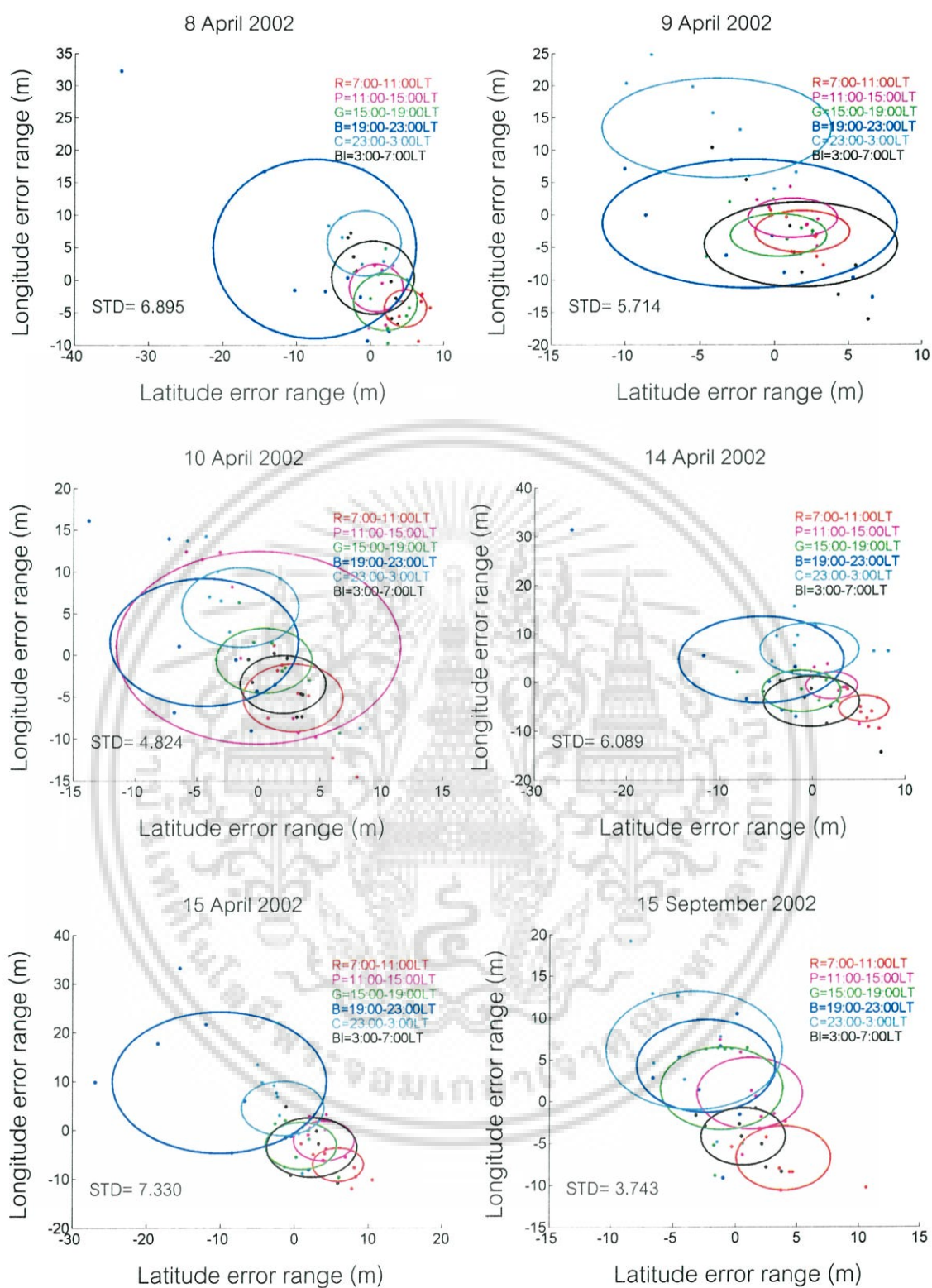
4.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายของพิกัดที่คลาดเคลื่อน

ตัวอย่างแสดงแผนภูมิการกระจายตัวของจุดบอกลักษณะของเครื่องรับที่ได้จากการวิเคราะห์
แสดงได้ดังต่อไปนี้



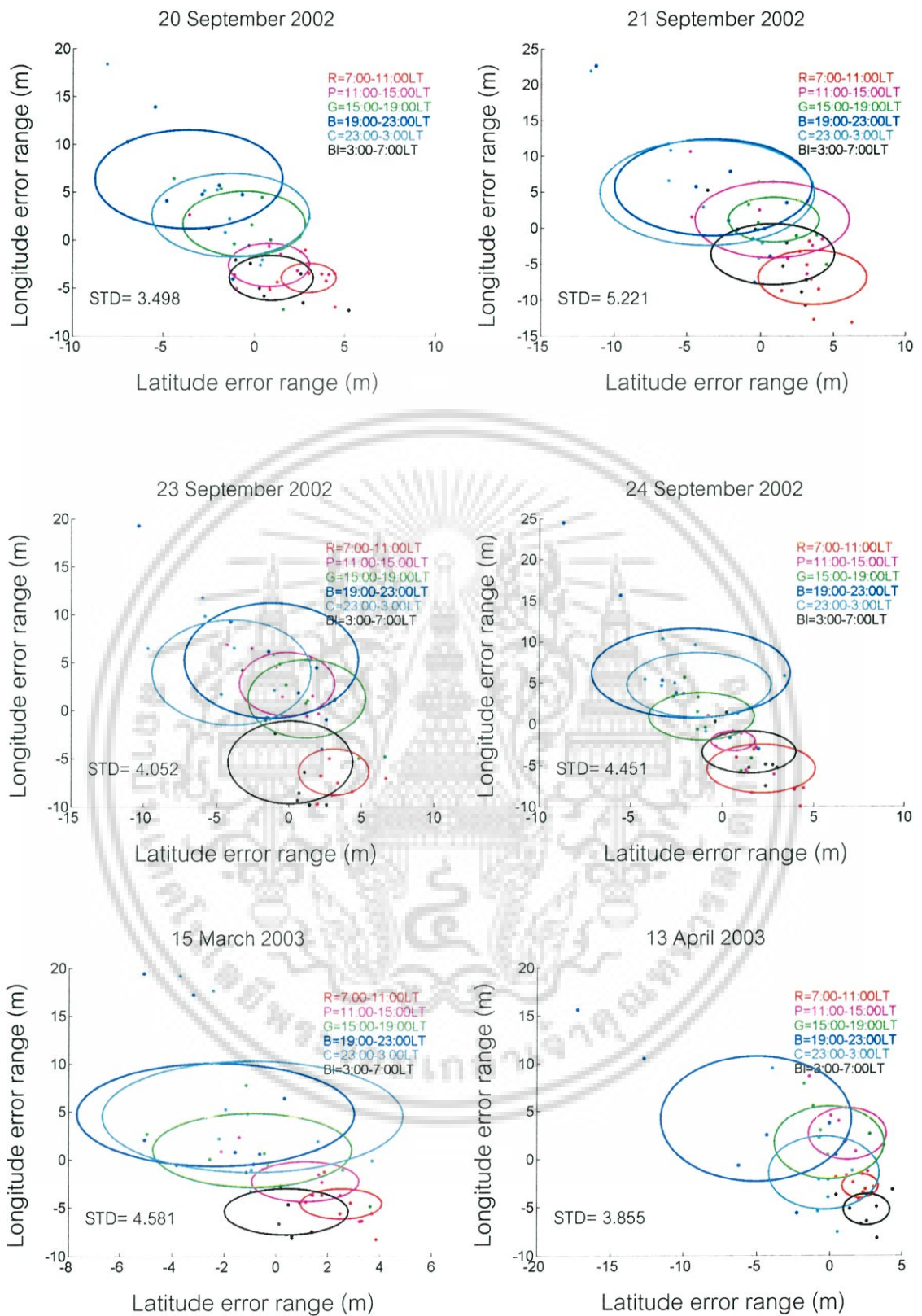
รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากเครื่องรับซึ่งมีความผิดพลาดเป็นระยะทางมากกว่า 15 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



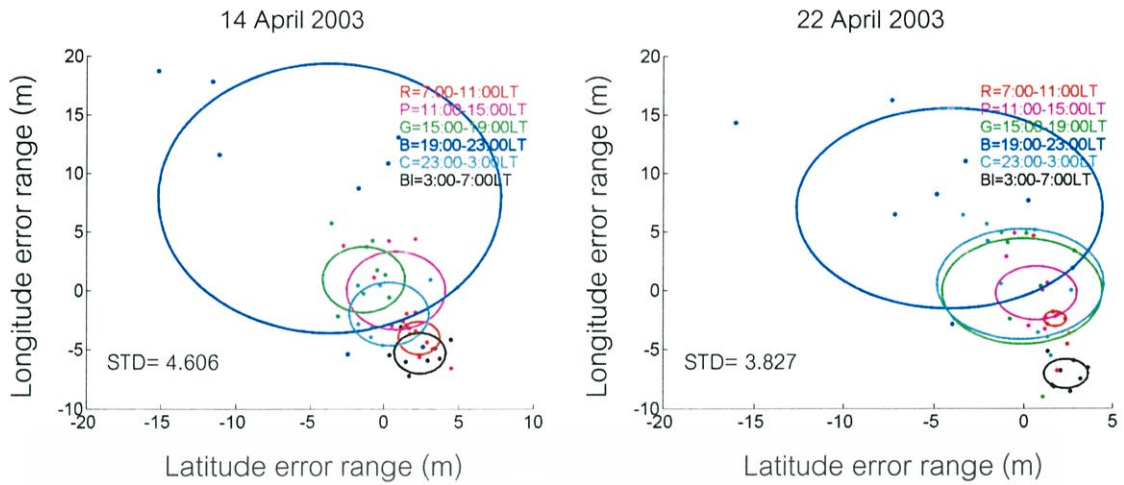
รูปที่ 4.1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 (ต่อ)

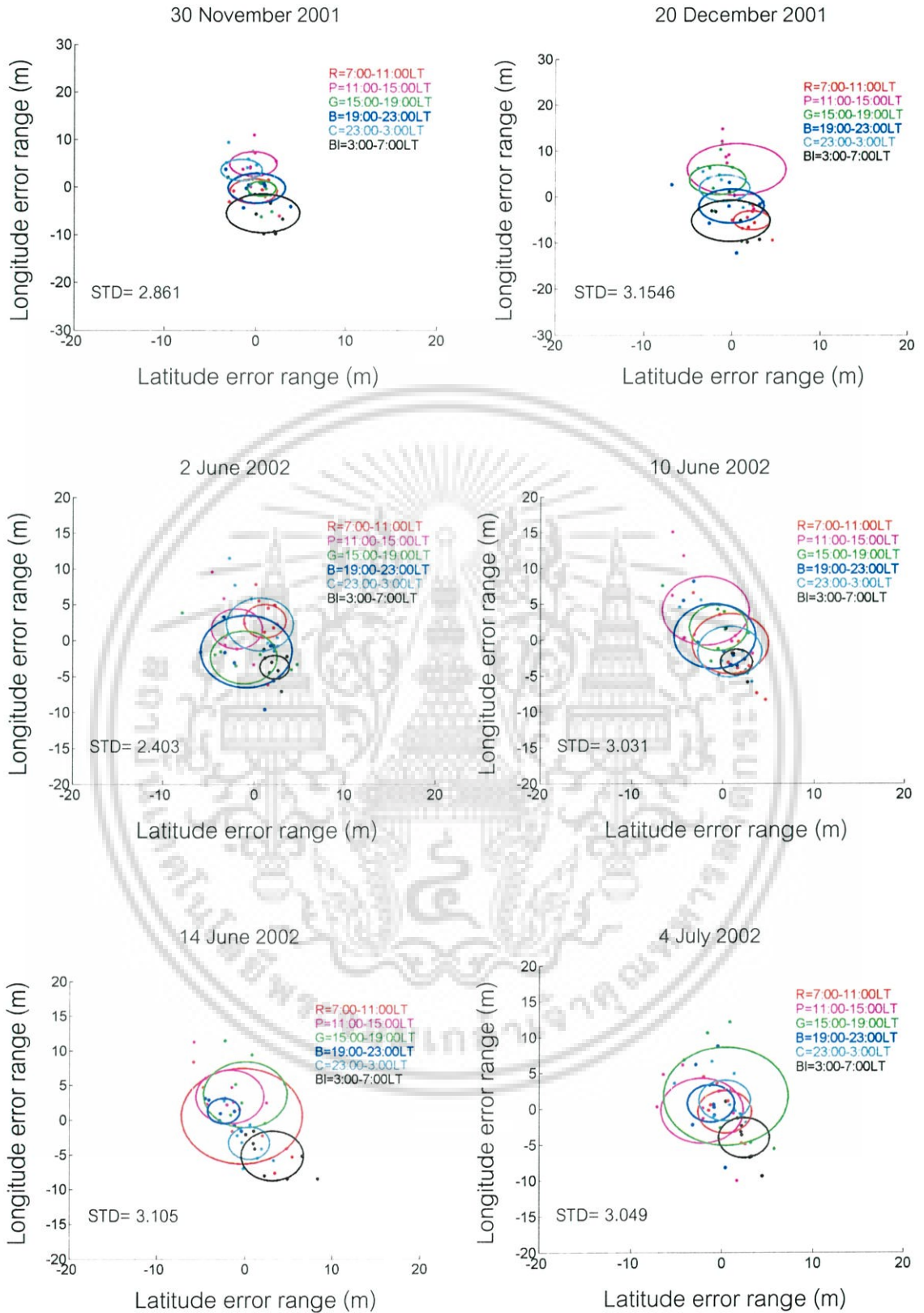
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 (ต่อ)

เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าโดยมากจะมีการกระจายของจุดบอกพิกัดมากในช่วงเวลากลางคืน กล่าวคือ เครื่องรับ GPS จะบอกพิกัดผิดพลาดไปจากค่าพิกัดจริงในช่วงเวลาประมาณ 19:00-23:00 น. และ 23:00-3:00 น. โดยสามารถสังเกตได้จากขนาดของวงกลม B และ C จะมีขนาดใหญ่กว่าวงอื่น ๆ ซึ่งขนาดของวงกลม B และ C แทนค่าการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดในช่วงเวลา 19:00-23:00 น. และ 23:00-3:00 น. ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของจุดทั้งหมดในแต่ละวันด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะพบว่าแต่ละวันที่ทำการพิจารณาในรูปที่ 4.1 จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดพิกัดมากกว่า 3.1 ขึ้นไป

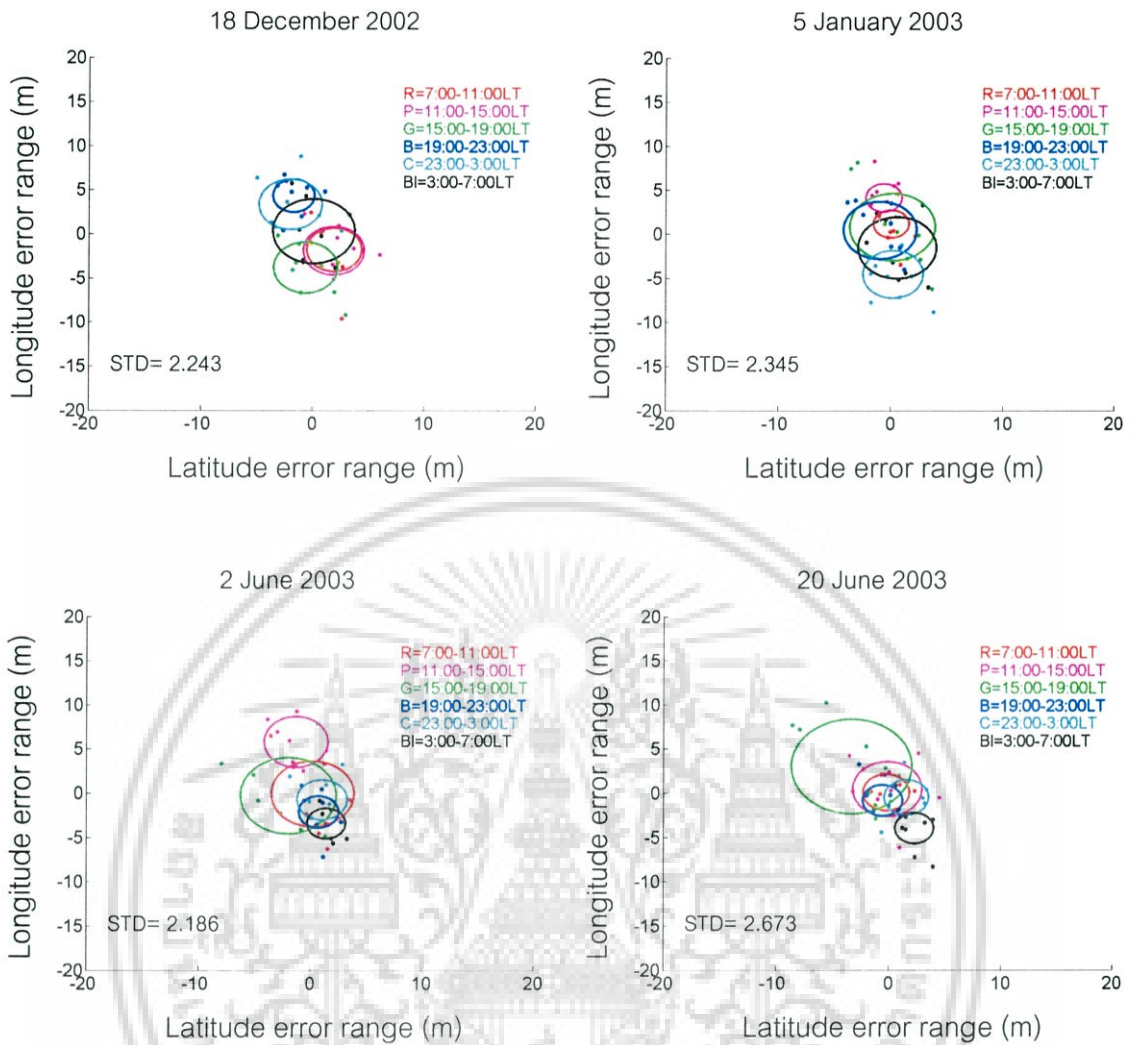
ผลการวิเคราะห์แผนภูมิการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากเครื่องรับในวันที่ค่าพิกัดที่คำนวณได้มีความผิดพลาดไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นระยะทางไม่เกิน 15 เมตร แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากเครื่องรับซึ่งมีความผิดพลาดเป็น

ระยะทางไม่เกิน 15 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ต่อ)

จากการวิเคราะห์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลในรูปที่ 4.2 พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดพิกัดในแต่ละวันที่ทำการพิจารณาจะมีค่าต่ำกว่า 3.1 ซึ่งต่ำกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่วัดได้ในรูปที่ 4.1 นั้นแสดงให้เห็นว่าการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS ในวันที่พิจารณาในรูปที่ 4.1 มีความคลาดเคลื่อนไปจากจุดที่ถูกต้องมากกว่าในรูปที่ 4.2 โดยในรูปที่ 4.2 จะพบว่าจุดพิกัดที่คำนวณได้ในแต่ละวันที่พิจารณาจะมีค่าใกล้เคียงกันตลอดเวลา สังเกตได้จากการเกาะกลุ่มกันของจุดพิกัด ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดในแต่ละวันที่ทำการพิจารณาในรูปที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัด

วัน/เดือน/ปี	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (มากกว่า 3.1)	วัน/เดือน/ปี	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (น้อยกว่า 3.1)
26 กันยายน 2544	5.866	30 พฤศจิกายน 2544	2.861
30 กันยายน 2544	5.077	20 ธันวาคม 2544	3.1546
6 เมษายน 2545	6.046	2 มิถุนายน 2545	2.403
7 เมษายน 2545	8.361	10 มิถุนายน 2545	3.0331
8 เมษายน 2545	6.895	14 มิถุนายน 2545	3.106
9 เมษายน 2545	5.714	4 กรกฎาคม 2545	3.049
10 เมษายน 2545	4.824	18 ธันวาคม 2545	2.243
14 เมษายน 2545	6.089	5 มกราคม 2546	2.345
15 เมษายน 2545	7.330	2 มิถุนายน 2546	2.186
15 กันยายน 2545	3.743	20 มิถุนายน 2546	2.573
20 กันยายน 2545	3.498		
21 กันยายน 2545	5.221		
23 กันยายน 2545	4.052		
24 กันยายน 2545	4.451		
15 มีนาคม 2546	4.581		
13 เมษายน 2546	3.855		
14 เมษายน 2546	4.606		
22 เมษายน 2546	3.827		

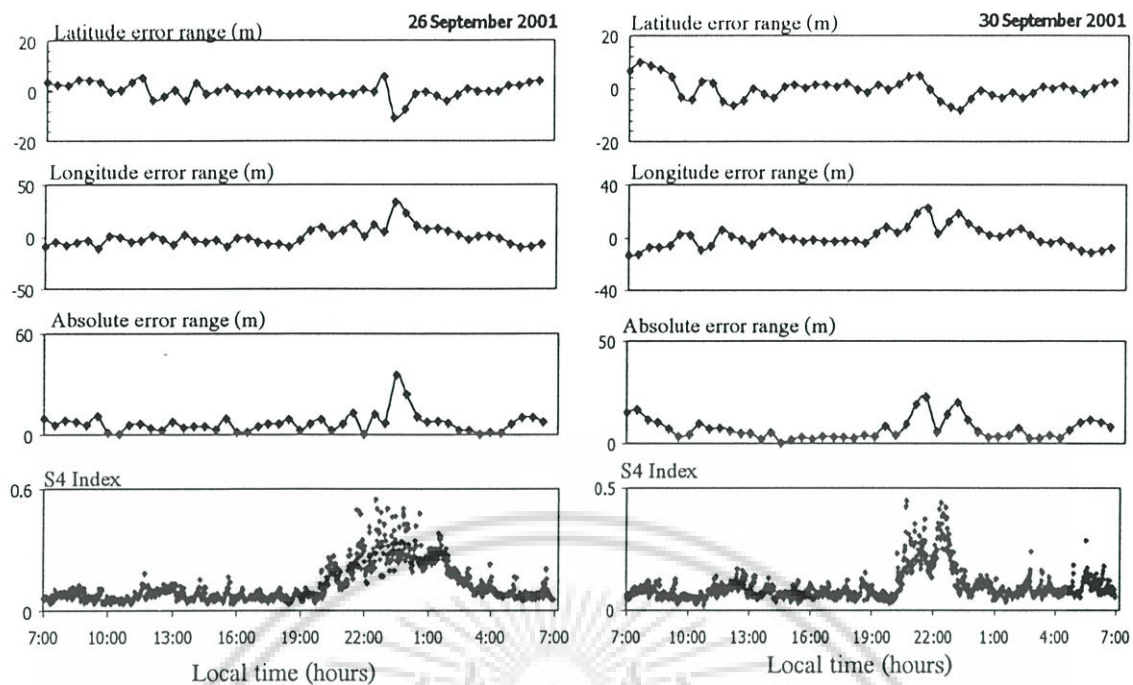
จากตารางที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดจะมีค่ามากในช่วงเดือนกันยายน, เดือนเมษายนและมีนาคม และจะมีค่าน้อยในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม และมิถุนายน-กรกฎาคม ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นลดลงเป็นฤดูกาลกล่าวคือ ใน 1 ปีข้อมูลพิกัดที่คำนวณจะเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกตั้งมากที่สุด 2 ช่วง ซึ่งสอดคล้องกับช่วง Equinox และจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่วัดได้นี้จะสังเกตได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ.2544 ถึง พ.ศ.2546 ระดับของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละเดือนมีแนวโน้มที่ลดลง นั่นแสดงว่าข้อมูลพิกัดที่คำนวณได้จากเครื่องรับ GPS จะมีความผิดพลาดลดลงเรื่อยๆ ซึ่งสัมพันธ์กับวัฏจักรสุริยะที่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารแจ้งจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ลดลงนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 เป็นต้นมานำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัด

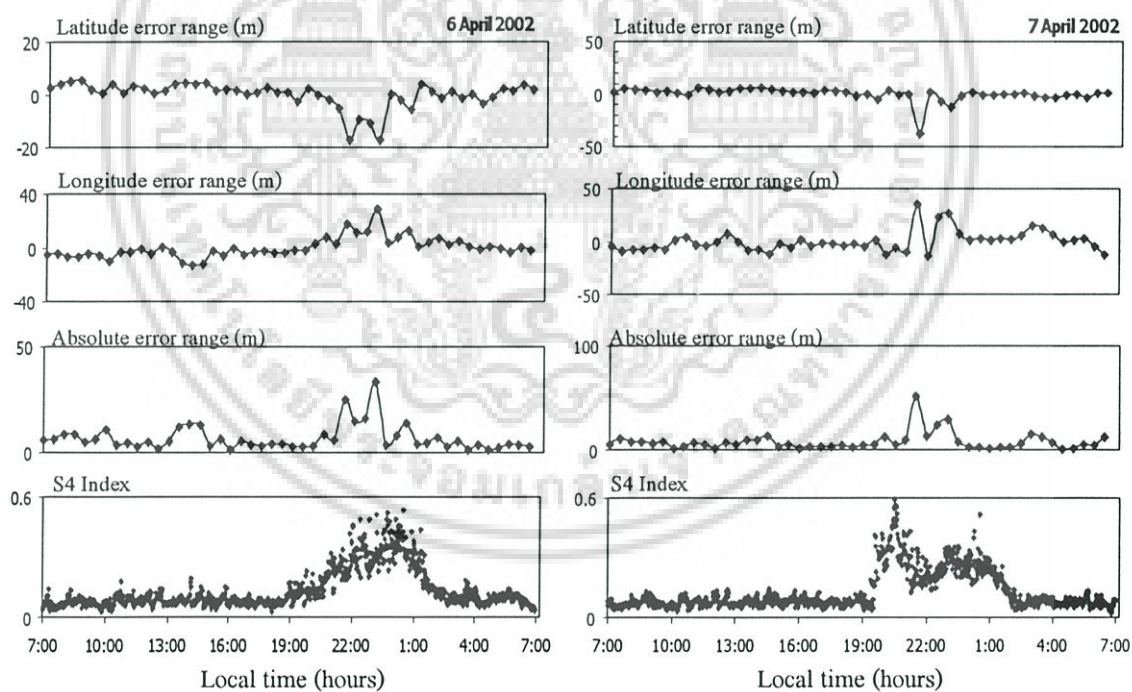
จากผลการวิเคราะห์ที่ได้นี้ชี้ให้เห็นว่าความแม่นยำในการระบุพิกัดเครื่องรับ GPS นอกจากจะสอดคล้องกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในระหว่างวัน คือความแม่นยำในการระบุพิกัดจะลดลงในช่วงเวลากลางคืนซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นแล้ว ยังมีแนวโน้มสัมพันธ์กับปรากฏการณ์การโคจรของดวงอาทิตย์และวัฏจักรสุริยะเช่นเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในฤดูกาลด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 กับค่าพิกัดที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องทางละติจูด, ลองจิจูด และระยะทางคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ โดยได้เลือกทำการวิเคราะห์ตัวอย่างวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันค่อนข้างรุนแรงเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว โดยผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.3





(ก) 10 กันยายน 2544

(ข) 30 กันยายน 2544



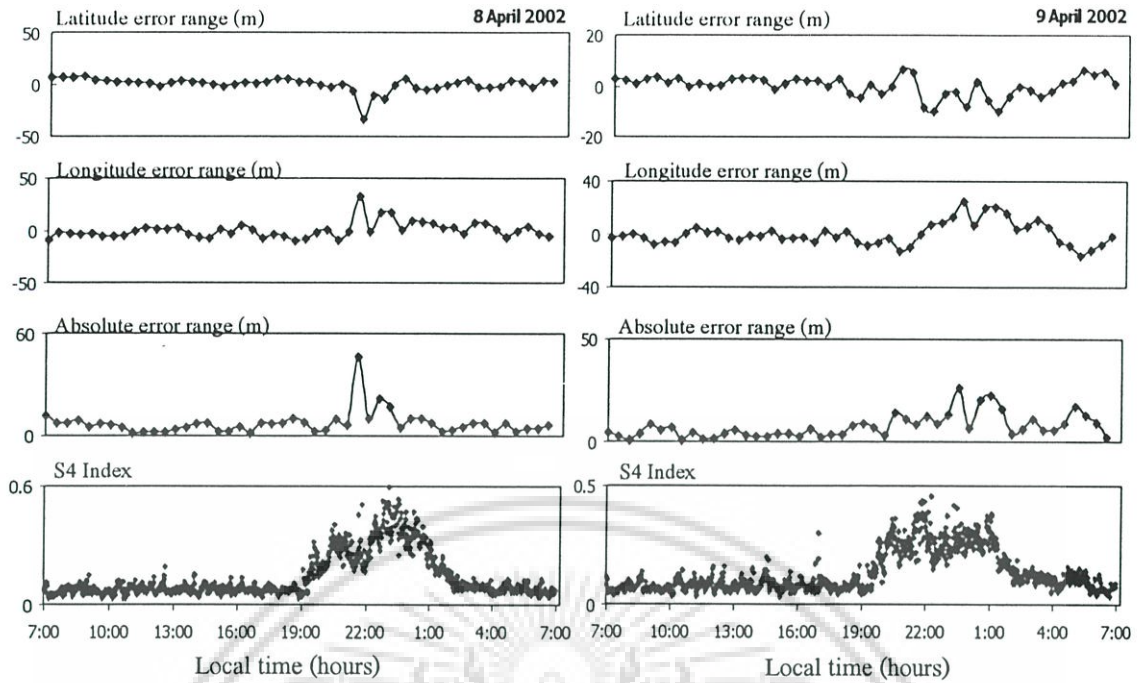
(ค) 6 เมษายน 2545

(ง) 7 เมษายน 2545

รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าดัชนี S_4 กับค่าพิคตที่คลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งอ้างอิงที่ถูกต้อง

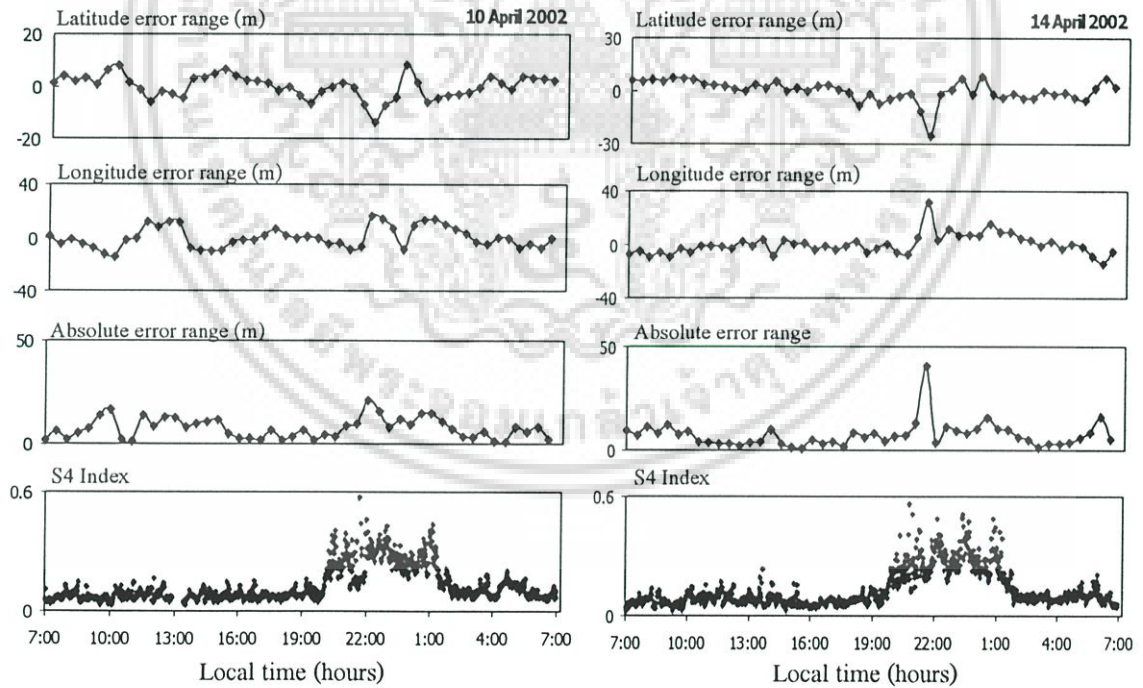
ทางละติจูด, ลองจิจูดและระยะทางสมบูรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) 8 เมษายน 2545

(ข) 9 เมษายน 2545

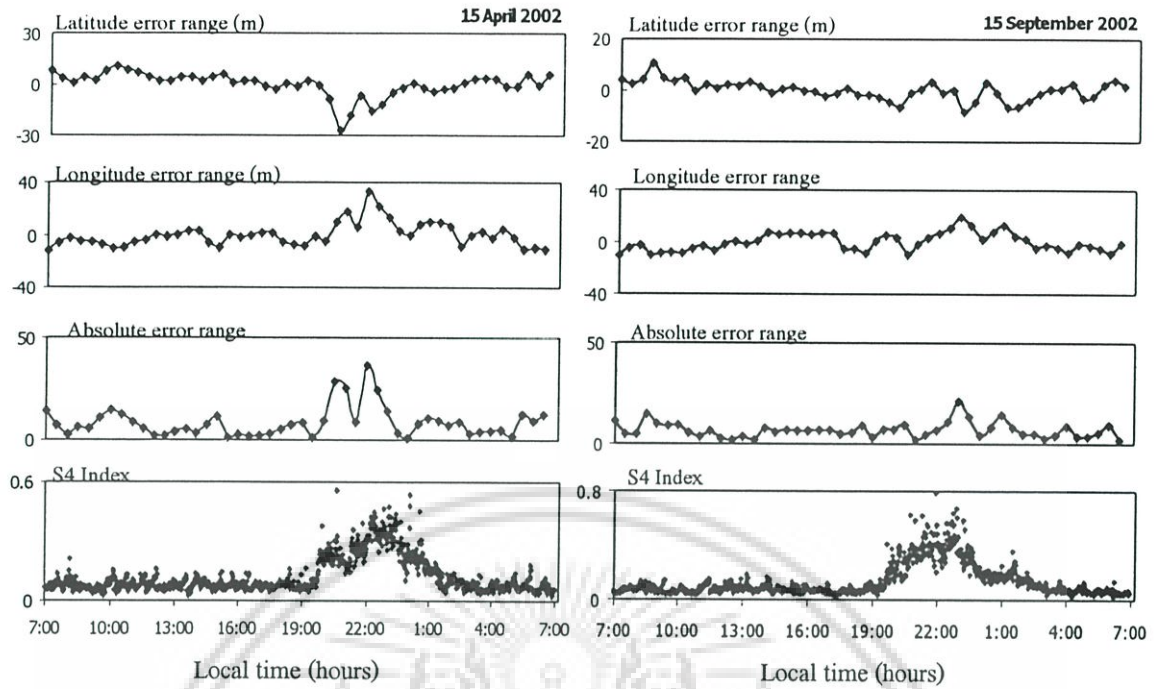


(ค) 10 เมษายน 2545

(ง) 14 เมษายน 2545

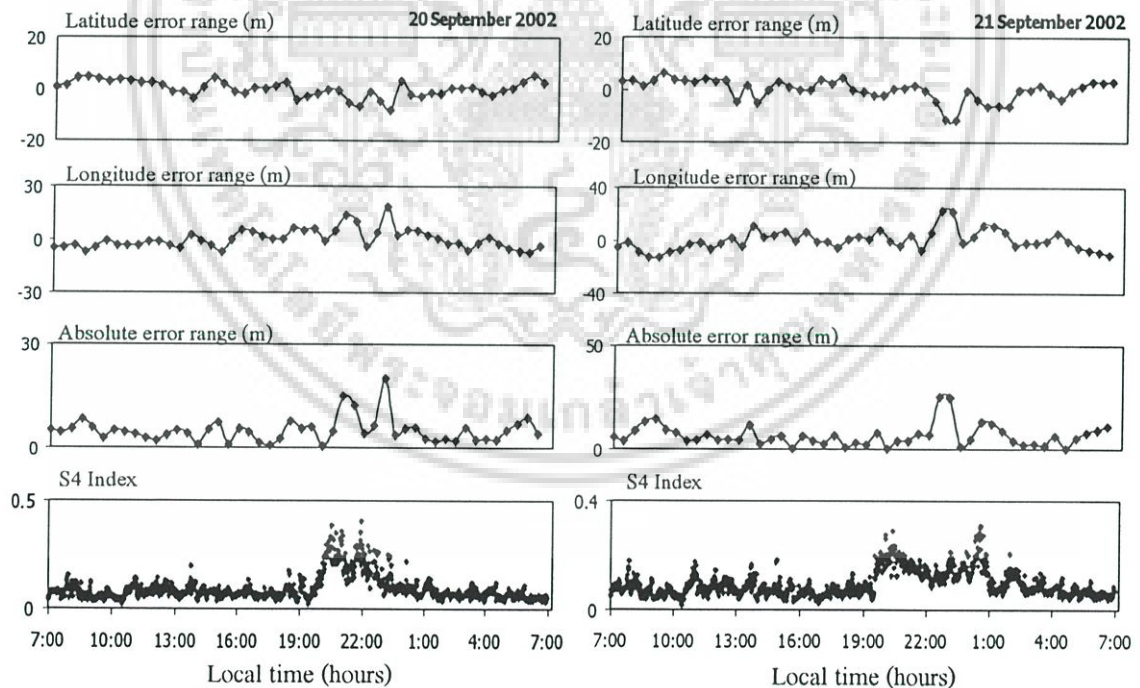
รูปที่ 4.3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ฉ) 15 เมษายน 2545

(ญ) 15 กันยายน 2545

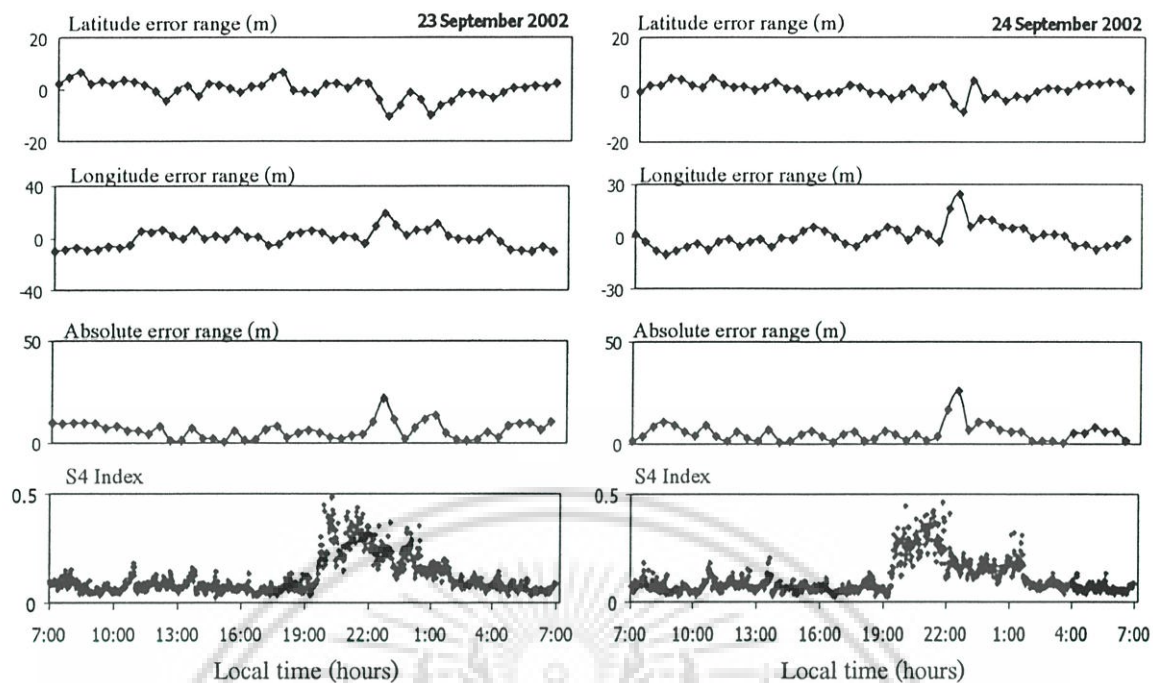


(ฎ) 20 กันยายน 2545

(ฏ) 21 กันยายน 2545

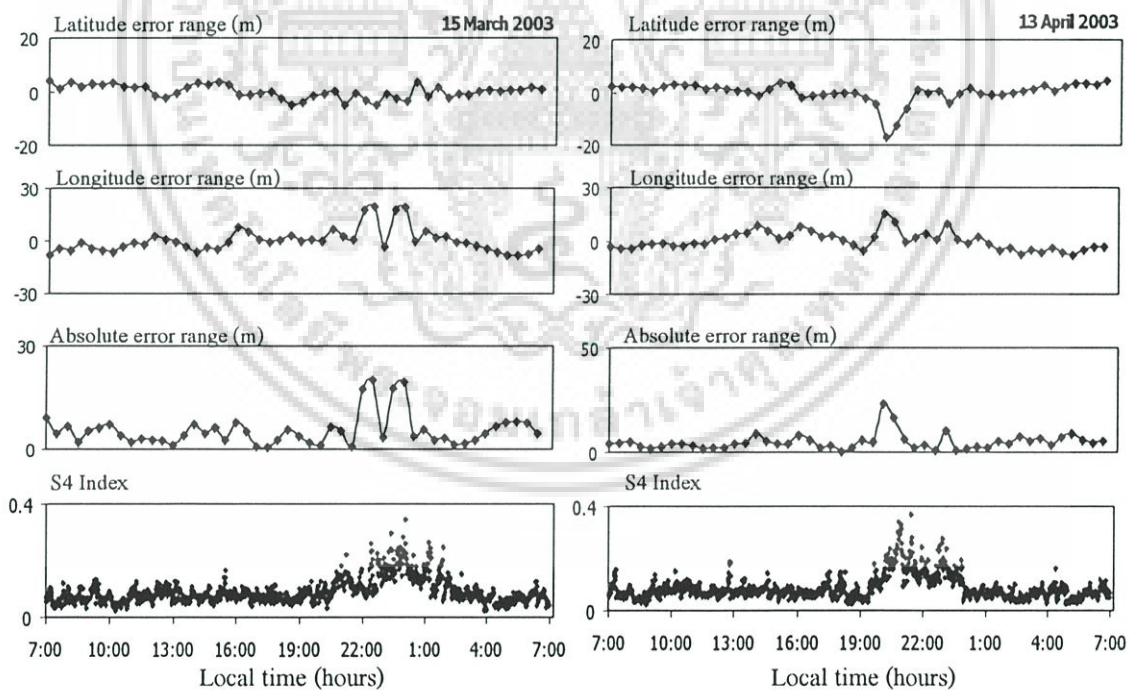
รูปที่ 4.3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(จ) 23 กันยายน 2545

(ข) 24 กันยายน 2545

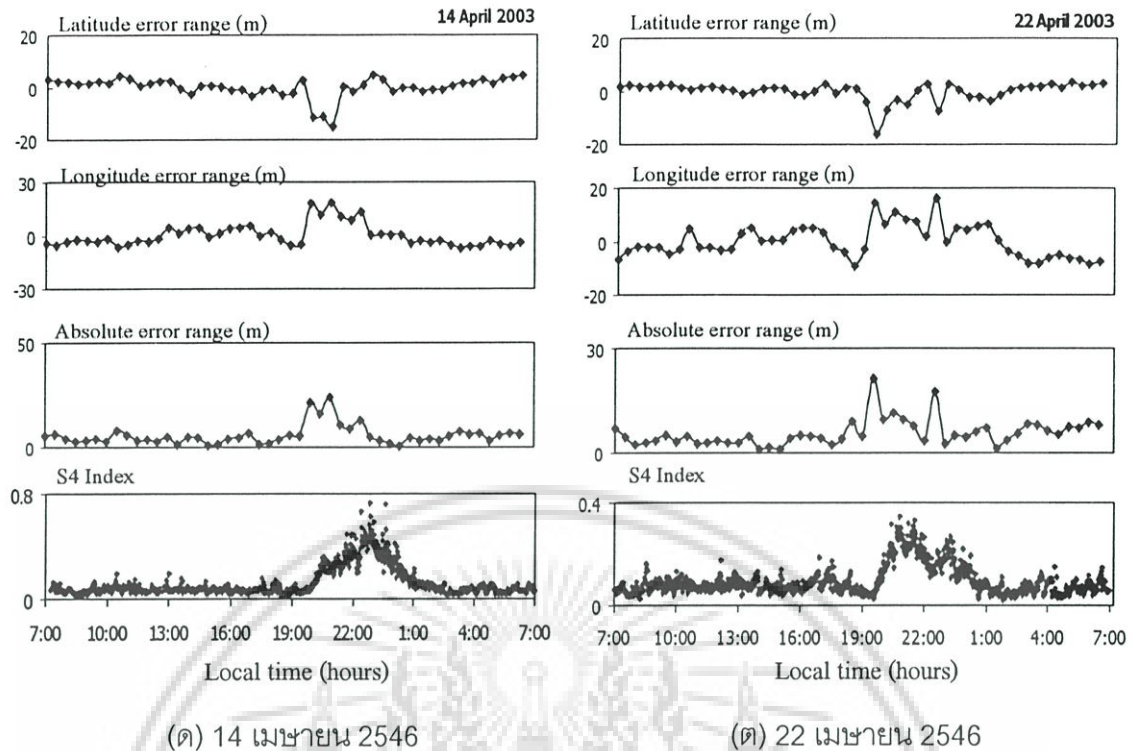


(ค) 15 มีนาคม 2546

(ง) 13 เมษายน 2546

รูปที่ 4.3 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ต่อ)

จากรูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่คำนวณได้ จะสังเกตได้ว่าโดยมากแล้วระยะทางที่คลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งที่ถูกต้องทาง ละติจูด ลองจิจูด และ ค่าระยะทางคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ จะมีค่ามากกว่า 15 เมตรในช่วงเวลาประมาณ 20:00- 24:00 น. โดยระยะทางคลาดเคลื่อนสูงสุดที่พบในงานวิจัยนี้คือ 51.3 เมตรในวันที่ 7 เมษายน 2545 ซึ่งจากการวิเคราะห์ช่วงเวลาที่เกิดความผิดพลาดในการคำนวณพิกัดจะพบว่าสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ค่าดัชนี S_4 มีค่าสูงที่สุดด้วยเช่นกัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า การบอกตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนนี้มีสาเหตุมาจากความผิดพลาดของเวลา (Time bias) เนื่องจากสัญญาณเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งนอกจากจะทำให้สัญญาณเดินทางมาถึงเครื่องรับช้ากว่าความเป็นจริงแล้วซึ่งมีผลโดยตรงต่อการคำนวณหาพิกัดของเครื่องรับและในบางครั้งยังอาจทำให้เครื่องรับ GPS ไม่สามารถรับสัญญาณได้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นระดับสัญญาณอาจต่ำเกินข้อจำกัดที่ระบบถูกออกแบบมาให้รับสัญญาณได้ ซึ่งมีผลต่อจำนวนดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณหาพิกัด ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลที่ว่าในสภาวะปกติเครื่องรับ GPS จะรับสัญญาณจากดาวเทียมและลือคสัญญาณที่นิ่ง และคำนวณพิกัด

จากสัญญาณดาวเทียมในชุดนั้นเป็นเวลาหลายนาที ทำให้พิกัดที่ได้ออกมามีความแม่นยำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าในช่วงเวลานั้นจำนวนของดาวเทียมที่ใช้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมชุดเดิมได้ต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ เนื่องจากสัญญาณของดาวเทียมเหล่านั้นถูกรบกวนหรือมีการเปลี่ยนแปลง จนไม่มีความคงที่พอที่เครื่องรับ GPS จะรับสัญญาณได้ จึงเป็นเหตุผลทำให้ความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของเครื่องรับลดลง จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) โดยรวมของระยะทางที่คลาดเคลื่อนสมบูรณกับค่าดัชนี S_4 ในแต่ละวันที่ทำการพิจารณา ซึ่งผลการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระยะทางที่คลาดเคลื่อนสมบูรณกับค่าดัชนี S_4

วันเดือนปี	ค่าระยะทางคลาดเคลื่อนสมบูรณสูงสุด (เมตร)	ค่าดัชนี S_4 สูงสุด	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
26 กันยายน 2544	35.14509169	0.545	0.166869335
30 กันยายน 2544	22.61433537	0.4402	0.43053298
6 เมษายน 2545	33.68466964	0.519	0.502219705
7 เมษายน 2545	51.34326	0.592	0.252908344
8 เมษายน 2545	46.62929275	0.593	0.376591326
9 เมษายน 2545	26.13090138	0.451	0.635543304
10 เมษายน 2545	21.15715963	0.459	0.492733224
14 เมษายน 2545	40.71502401	0.519	0.276724981
15 เมษายน 2545	36.63274944	0.465	0.543904862
15 กันยายน 2545	20.93933298	0.673	0.455310942
20 กันยายน 2545	20.06336416	0.352	0.079426394
21 กันยายน 2545	25.27175588	0.308	0.069534976
23 กันยายน 2545	21.87513578	0.482	-0.05241605
24 กันยายน 2545	25.98898494	0.425	-0.021320399
15 มีนาคม 2546	20.09504422	0.296	0.472300578
13 เมษายน 2546	23.23175631	0.329	0.388975393
14 เมษายน 2546	24.04811526	0.589	0.251264798
22 เมษายน 2546	21.47644434	0.346	0.318772398

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่าระดับความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งที่เกิดขึ้นในแต่ละวันที่ทำการพิจารณา มีความสัมพันธ์กับระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน กล่าวคือ ถ้าค่าดัชนี S_4 มาก ก็มีแนวโน้มที่ระยะทางคลาดเคลื่อนสมบูรณจะมีค่ามากตามด้วย ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้จะเห็นว่าระยะทางคลาดเคลื่อนสมบูรณ์และค่าดัชนี S_4 ส่วนใหญ่จะมีค่าความสัมพันธ์มากกว่า +0.2 ขึ้นไป แต่บางวันความสัมพันธ์จะเป็นลบ ทั้งนี้อาจมาจากสาเหตุที่ข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่วัดได้ในช่วงขาลงของวัฏจักรสุริยะซึ่งมีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันไม่รุนแรงนัก แต่ในบางวันก็พบว่าจะมีค่าความสัมพันธ์ที่สูงกว่า 0.5 แต่จากผลการวิเคราะห์โดยรวมแสดงให้เห็นว่าความแม่นยำในการบอกตำแหน่งจะมีสัมพันธ์กับการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมากพอสมควร ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ที่ผ่านมาจึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลพื้นที่นำไปสู่กระบวนการในการสร้างสมการสำหรับลดความผิดพลาดในการบอกตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS ในช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



4.4 การลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

จากการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการคำนวณพิกัด เนื่องจากเมื่อสัญญาณดาวเทียม GPS เดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการหักเห ทำให้สัญญาณเดินทางถึงเครื่องรับช้ากว่าปกติ ส่งผลต่อการคำนวณค่าระยะทางเทียม ทำให้ระยะทางเทียมที่คำนวณได้เกิดการผิดพลาด เมื่อนำระยะทางที่ผิดไปคำนวณหาพิกัดจึงได้พิกัดที่ไม่ถูกต้อง [11] เหตุผลเพราะในการคำนวณหาพิกัดแต่ละครั้งของเครื่องรับ GPS จะอาศัยข้อมูลพิกัดของดาวเทียม และระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ GPS ของดาวเทียมแต่ละดวงตามสมการพื้นฐานดังนี้

$$\sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} = \rho \quad (4.1)$$

$$\rho = C \times (t_1 - t_0) \quad (4.2)$$

โดยที่ ρ คือระยะทางเทียม (เมตร)

C คือความเร็วที่สัญญาณใช้เดินทางมีค่าเท่ากับความเร็วแสง (299792458 เมตร/วินาที)

t_0 คือเวลาที่ดาวเทียมเริ่มส่งสัญญาณ (วินาที)

t_1 คือ เวลาที่สัญญาณเดินทางมาถึงเครื่องรับ GPS (วินาที)

เมื่อปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีผลกระทบต่อสัญญาณทำให้ค่าระยะทางเทียมเกิดผิดพลาดไปจากค่าที่ถูกต้อง ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะทางเทียม ซึ่งมีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS

และด้วยแนวความคิดที่ว่าถ้าสามารถนำหลักการทางสถิติมาใช้ในการแก้ไขปรับปรุงค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ให้มีความถูกต้องมากขึ้นได้โดยอาศัยข้อมูลค่าดัชนี S_4 ที่ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ จะทำให้สามารถคำนวณพิกัดเครื่องรับได้ถูกต้องมากขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าดัชนี S_4 ที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาระหว่างวันกับค่าระยะทางเทียมที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ถูกต้อง เนื่องจากการวิเคราะห์การถดถอยคือการศึกษาถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวหนึ่งหรือหลายตัวที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรอื่นอีกตัวหนึ่งว่ามีลักษณะความสัมพันธ์อย่างไร ในรูปแบบใด และแสดงลักษณะความสัมพันธ์นั้นออกมาในรูปแบบของสมการการถดถอย [21] และด้วยหลักการวิเคราะห์การถดถอยนี้ทำให้สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าดัชนี S_4 และระยะทางที่ผิดพลาดไปจากระยะทางจริงของค่าระยะทางเทียมได้ เพื่อเป็นสมการในการแก้ไขค่าระยะทางเทียมให้มีค่าถูกต้องใกล้เคียงกับค่าระยะทางจริงได้มากที่สุด ซึ่งเมื่อนำค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขให้ถูกต้องมากขึ้นแล้วนี้ไปคำนวณหาค่าพิกัดเครื่องรับ GPS ก็จะได้ค่าพิกัดที่แม่นยำมากขึ้น โดยสมการการถดถอยเชิงเส้น แสดงดังนี้

$$R = a + \rho + b(S_4) \quad (4.3)$$

$$a = \bar{r} - \bar{\rho} - b(\bar{S}_4) \quad (4.4)$$

$$b = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (|r_i - \rho_i| \cdot S_{4i}) - \sum_{i=1}^n S_{4i} \cdot \sum_{i=1}^n |r_i - \rho_i|}{n \cdot \sum_{i=1}^n (S_{4i})^2 - \left(\sum_{i=1}^n S_{4i} \right)^2} \quad (4.5)$$

โดยที่ R คือระยะทางเทียมที่ถูกแก้ไขแล้ว

ρ คือระยะทางเทียม

S_4 คือค่าดัชนี S_4

r คือระยะทางจริงจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ

b คือค่าสัมประสิทธิ์ของ S_4 [21]

$\bar{R}, \bar{\rho}, \bar{S}_4$ คือค่าเฉลี่ยของข้อมูล R, ρ, S_4 ตามลำดับ

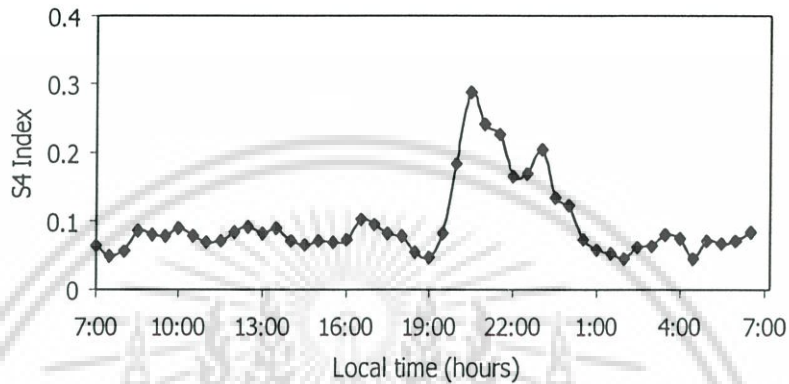
a คือค่าความผิดพลาดอื่น ๆ เช่น ความผิดพลาดที่เกิดจากอุณหภูมิหรือที่เกิดจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [21]

n คือจำนวนข้อมูล

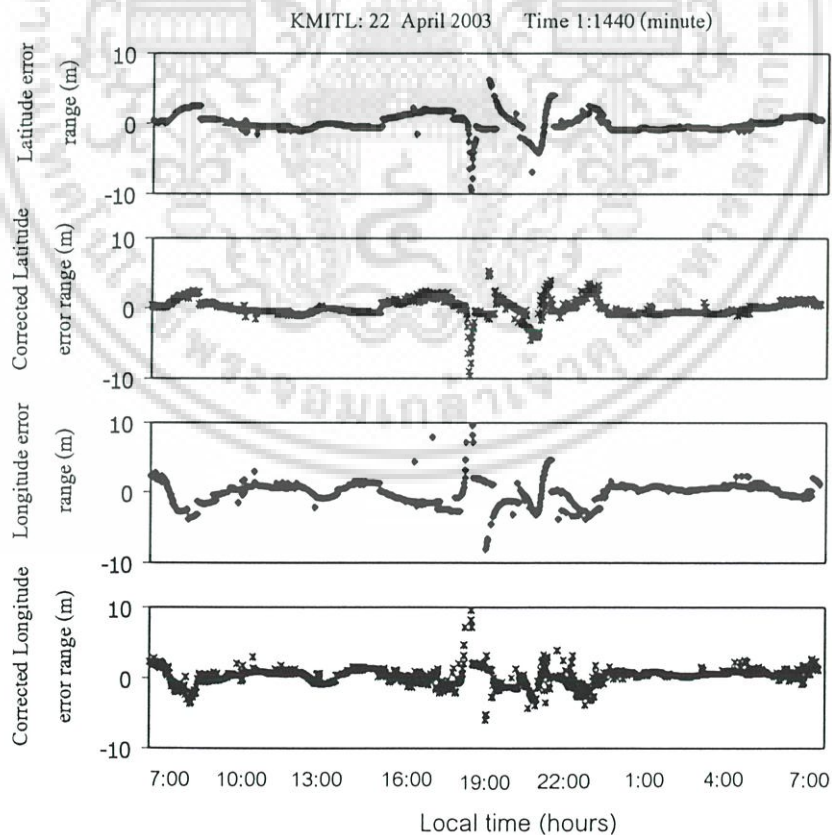
โดยขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นด้วยการนำข้อมูลค่าดัชนี S_4 และค่าระยะทางเทียมที่ได้จากไฟล์ข้อมูลชื่อ RGEA ของเครื่อง GSV4000 มาแก้สมการ ที่ (4.3), (4.4) และ(4.5) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ต้องการ ซึ่งเมื่อแทนค่าสัมประสิทธิ์ในสมการเดิมแล้วจะได้สมการใหม่ซึ่งจะเป็นสมการที่ใช้สำหรับแก้ไขค่าระยะทางเทียม ให้มีความถูกต้องมากที่สุด ก่อนนำไปใช้ในการคำนวณหาพิกัดด้วยสมการที่ (4.1) และ(4.2) โดยอาศัยวิธี Least-Squared Solution ของ Bancroft ในการแก้สมการคำนวณพิกัด พิกัดที่คำนวณได้เองนี้เป็นพิกัดเริ่มแรก ซึ่งจะไม่มีการเฉลี่ยค่า หรือใช้วิธีการคัดเลือกข้อมูลเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการบอกพิกัดใดๆทั้งสิ้น พิกัดเริ่มแรกนี้จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่คำนวณโดยเครื่อง GPS ดังนั้นเพื่อความชัดเจนในการเปรียบเทียบผลที่ได้ จึงได้คำนวณหาพิกัดเริ่มแรกที่ได้จากค่าระยะทางเทียมเดิม และพิกัดเริ่มแรกที่ได้จากระยะทางเทียมใหม่ที่ถูกแก้ไข แล้วนำค่าพิกัดที่นอร์มัลไลซ์ด้วย 10^5 มาสร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบกัน ผลการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 22 เมษายน 2546 รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิมกับที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้วและแผนภูมิแสดงการกระจายของพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิมเปรียบเทียบกับการกระจายของพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไข ของวันที่ 22 เมษายน 2546

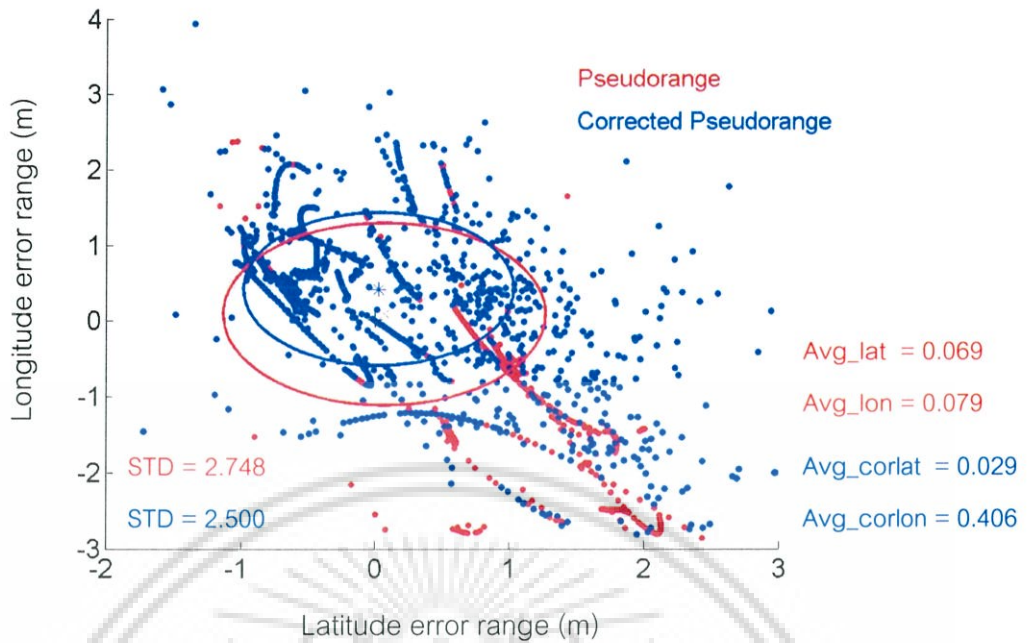


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 22 เมษายน 2546



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณวันที่ 22 เมษายน 2546

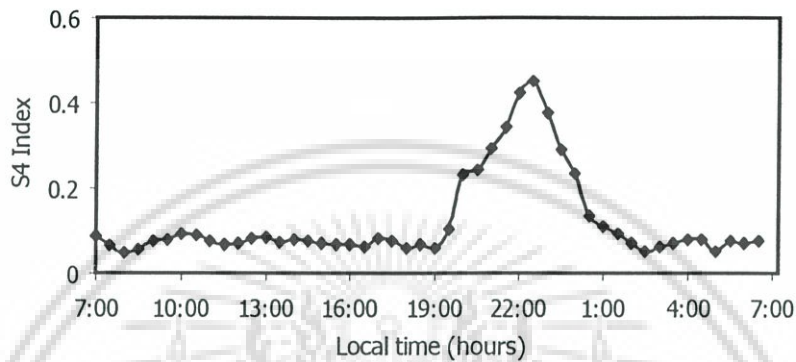
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



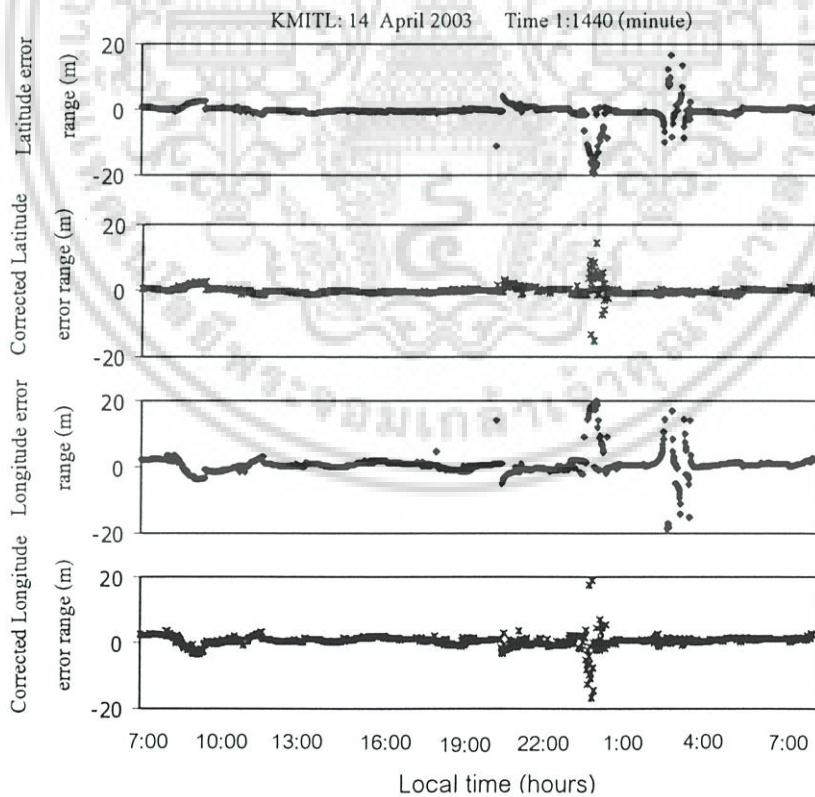
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิม และจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 22 เมษายน 2546

รูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 โดยเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 22 เมษายน 2546 ซึ่งมีค่าดัชนี S_4 มากที่สุดประมาณ 0.3 และจากการเปรียบเทียบพิกัดที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่ถูกแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า ตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งทางละติจูดและลองจิจูดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าลดลง โดยพิกัดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าค่าพิกัดที่ प्राप्तจากการแก้ไขคิดเป็น 32.7% และจากแผนภูมิแสดงการกระจายในรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดซึ่งคำนวณจากรยะทางเทียมที่แก้ไขจะมีค่าเท่ากับ 2.5 ซึ่งน้อยกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.748 ซึ่งพิกัดที่ได้รับการแก้ไขใหม่จะมีค่าการกระจายลดลง 1.1 เท่าของพิกัดเดิม นอกจากนี้จากรูปจะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของพิกัดที่ถูกแก้ไขทางละติจูด ($Avg_corlat=0.029$) จะมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิง (0,0) มากกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดคลาดเคลื่อนเดิม ($Avg_lat=0.069$)

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 14 เมษายน 2546 รูปที่ 4.9 และ 4.10 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิม กับที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้ว และแผนภูมิแสดงการกระจายของพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิมเปรียบเทียบกับ การกระจายของพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไข ของวันที่ 14 เมษายน 2546



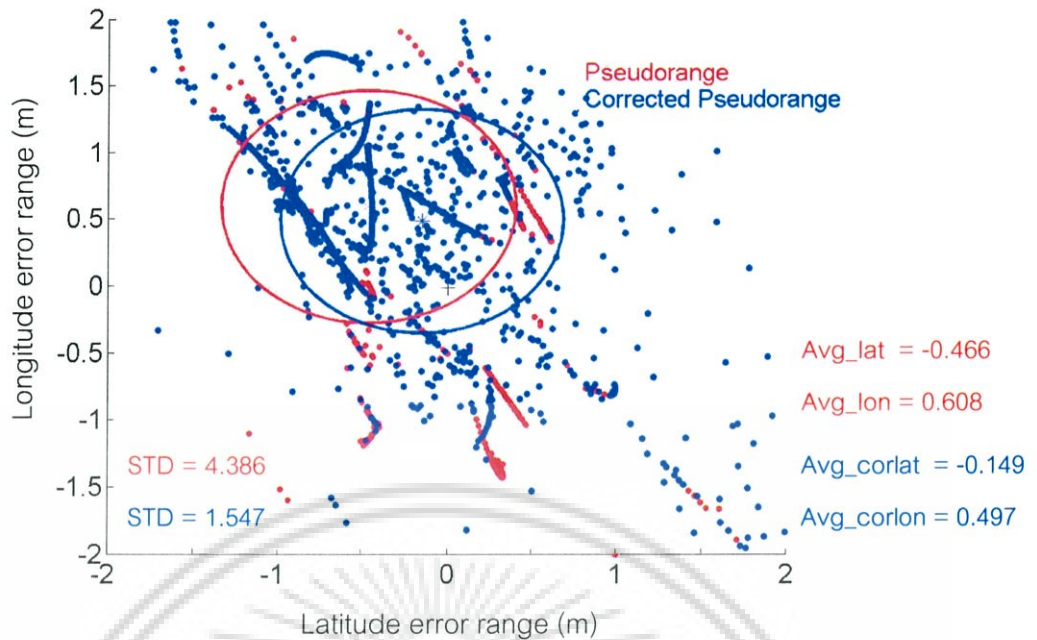
รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 14 เมษายน 2546



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจาก ค่า

ระยะทางเทียมที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณวันที่ 14 เมษายน 2546

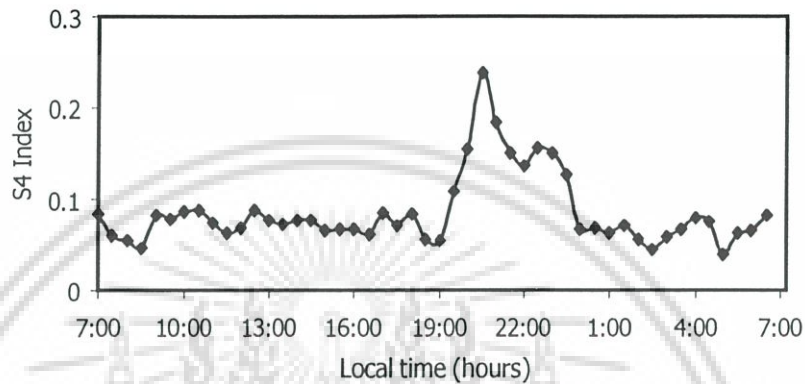
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



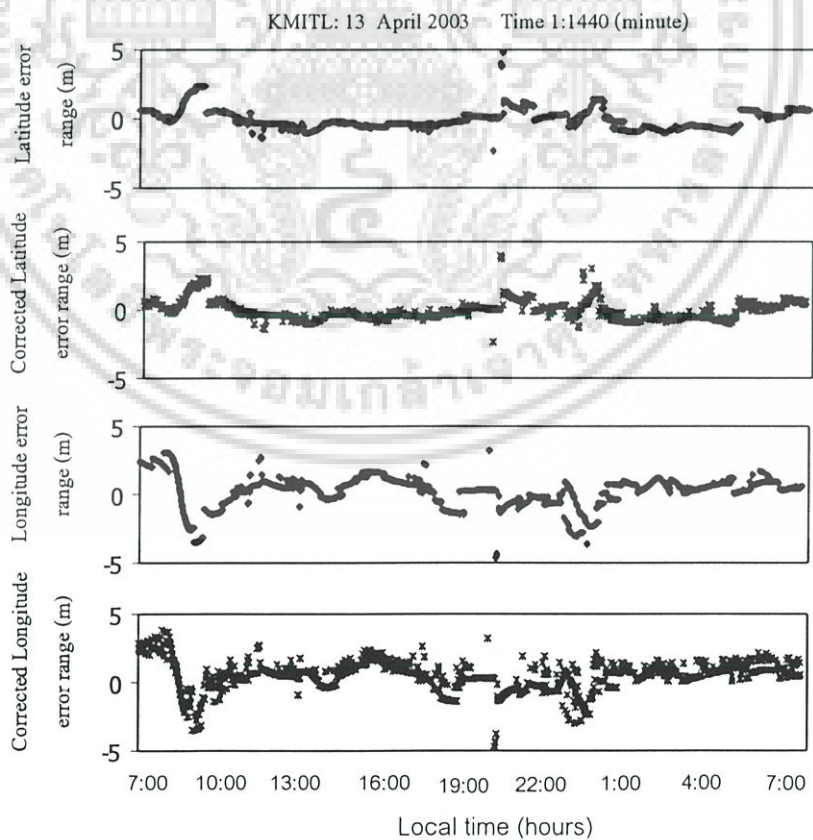
รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 14 เมษายน 2546

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 โดยเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 14 เมษายน 2546 ซึ่งมีค่าดัชนี S_4 มากที่สุดประมาณ 0.5 และจากการเปรียบเทียบพิกัดที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่ถูกแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งทางละติจูดและลองจิจูดที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าลดลง โดยพิกัดที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าค่าพิกัดที่ปราศจากการแก้ไขคิดเป็น 30.1% และจากแผนภูมิแสดงการกระจายในรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดซึ่งคำนวณจากระยะทางเทียมที่แก้ไขจะมีค่าเท่ากับ 1.547 ซึ่งน้อยกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 4.386 ซึ่งพิกัดที่ได้รับการแก้ไขใหม่นี้จะมีค่าการกระจายลดลง 2.84 เท่าของพิกัดเดิม นอกจากนี้จากรูปจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดที่ถูกแก้ไขทางละติจูด ($Avg_corlat=-0.149$) และลองจิจูด ($Avg_corlon=0.497$) จะมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงมากกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดคลาดเคลื่อนเดิม ($Avg_lat=-0.466$ และ $Avg_lon=0.608$)

รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 13 เมษายน 2546 รูปที่ 4.12 และ 4.13 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิม กับที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้วและแผนภูมิแสดงการกระจายของพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิมเปรียบเทียบกับการกระจายของพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไข ของวันที่ 13 เมษายน 2546

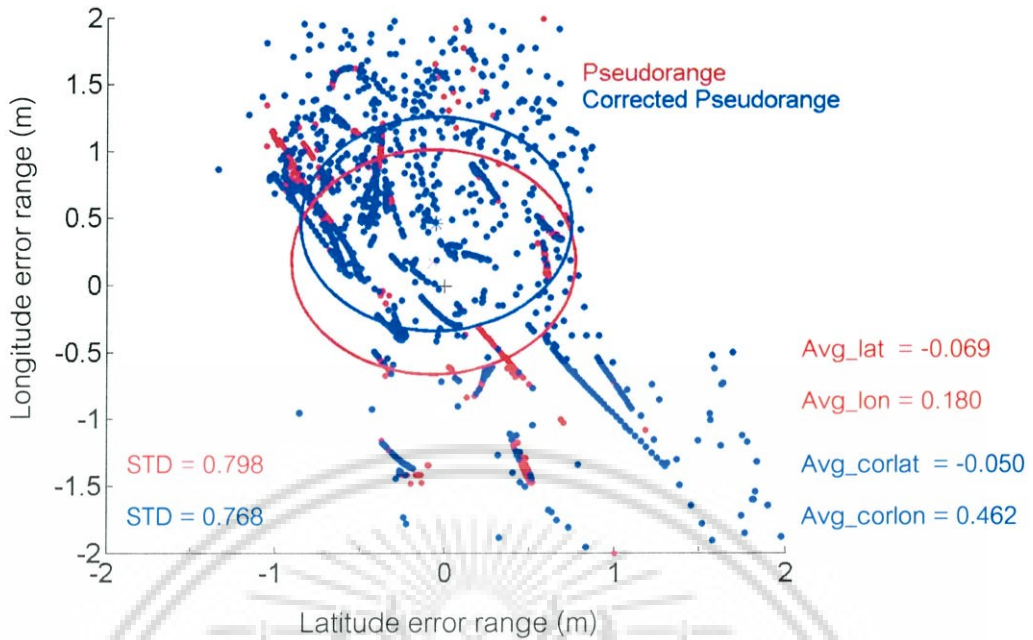


รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดในวันที่ 13 เมษายน 2546



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิมและจากค่า

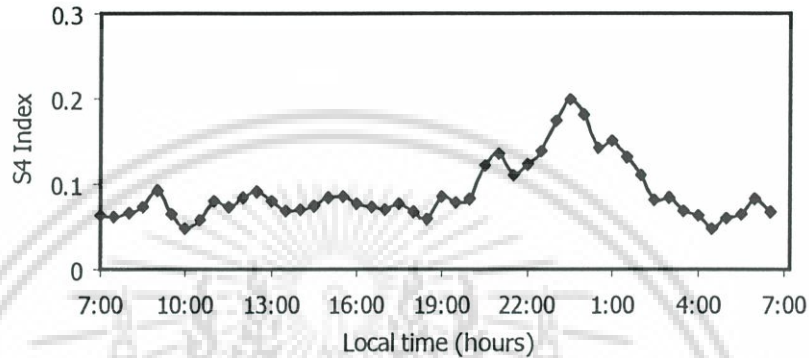
เอกสารนี้เป็นเอกสารระยะทางเทียมที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณในวันที่ 13 เมษายน 2546 ค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



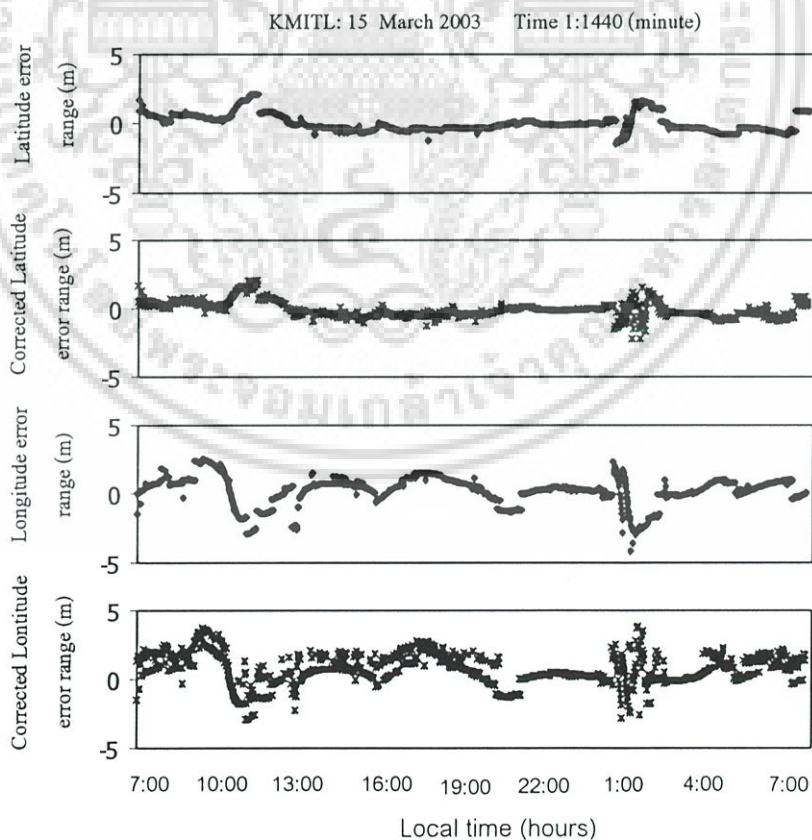
รูปที่ 4.13 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 13 เมษายน 2546

รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 โดยเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 13 เมษายน 2546 ซึ่งมีค่าดัชนี S_4 มากที่สุดประมาณ 0.25 และจากการเปรียบเทียบพิกัดที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่ถูกแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 4.12 พบว่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งทางละติจูดและลองจิจูดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าลดลง โดยพิกัดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าค่าพิกัดที่ปราศจากการแก้ไขคิดเป็น 33.82 % และจากแผนภูมิแสดงการกระจายในรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่แก้ไขจะมีค่าเท่ากับ 0.768 ซึ่งน้อยกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.798 ซึ่งพิกัดที่ได้รับการแก้ไขใหม่จะมีค่าการกระจายลดลง 1.03 เท่าของพิกัดเดิม นอกจากนี้จากรูปจะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดที่ถูกแก้ไขทางละติจูด (Avg_corlat=-0.050) จะมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงมากกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดคลาดเคลื่อนเดิม (Avg_lat=-0.069)

รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 15 มีนาคม 2546 รูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงแผนภูมิการเปรียบเทียบพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิม กับที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้วและแผนภูมิแสดงการกระจายของพิกัดเริ่มแรก ที่คำนวณจากระยะทางเทียมเดิมเปรียบเทียบกับการกระจายของพิกัดเริ่มแรก ที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไข ของวันที่ 15 มีนาคม 2546

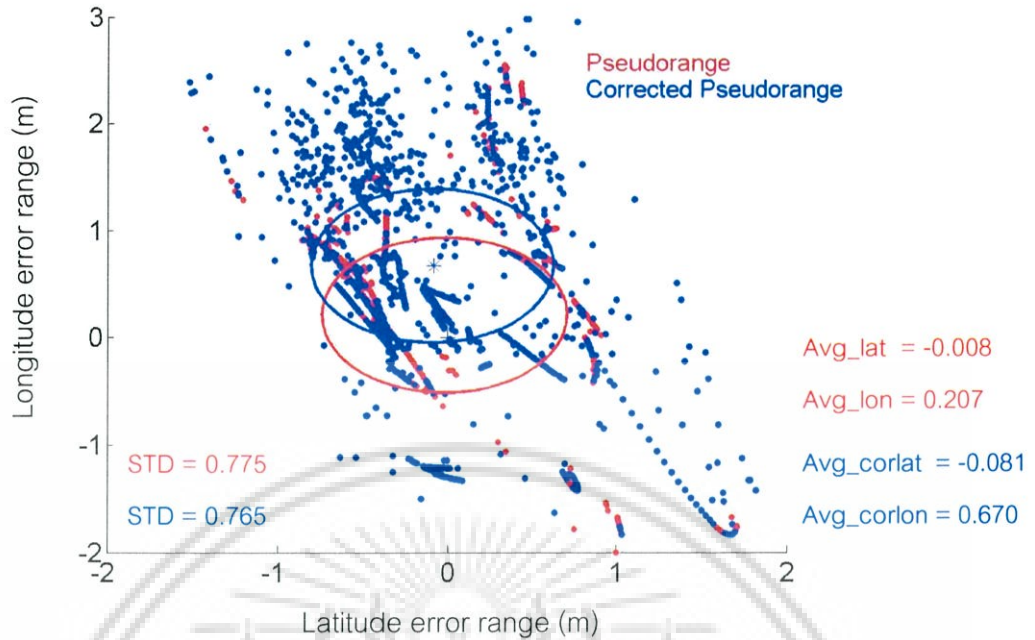


รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 15 มีนาคม 2546



รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบระยะทางคลาดเคลื่อนที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขทั้งทางละติจูดและลองจิจูดของสัญญาณวันที่ 15 มีนาคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของกองทัพอากาศเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบการกระจายของพิกัดที่คำนวณจากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขของสัญญาณในวันที่ 15 มีนาคม 2546

รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 โดยเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้ในวันที่ 15 มีนาคม 2546 ซึ่งมีค่าดัชนี S_4 มากที่สุดประมาณ 0.2 และจากการเปรียบเทียบพิกัดที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมเดิมและจากค่าระยะทางเทียมที่ถูกแก้ไข ดังแสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนทั้งทางละติจูดและลองจิจูดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าลดลง โดยพิกัดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้วจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าค่าพิกัดที่ปราศจากการแก้ไขคิดเป็น 37.57% และจากแผนภูมิแสดงการกระจายในรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดที่คำนวณจากรยะทางเทียมที่แก้ไขจะมีค่าเท่ากับ 0.765 ซึ่งน้อยกว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 0.775 ซึ่งพิกัดที่ได้รับการแก้ไขใหม่นี้จะมีค่าการกระจายลดลง 1.01 เท่าของพิกัดเดิม

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้อธิบายมาข้างต้นพอสรุปได้ว่าพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้วจะมีการกระจายตัวของพิกัดน้อยกว่าพิกัดที่ไม่ได้แก้ไขค่าระยะทางเทียม และค่าเฉลี่ยของพิกัดเริ่มแรกมีระยะใกล้กับพิกัดจริงมากกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดที่ไม่ได้แก้ไขค่าระยะทางเทียม โดยการกระจายและระยะทางคลาดเคลื่อนของพิกัดที่ถูกแก้ไขจะลดลงมากที่สุดในวันที่ 14 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นวันที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรุนแรงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุป

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงการศึกษาผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการบอกพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ GPS โดยได้ทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของจุดพิกัดที่เครื่องรับ GPS จำนวนได้ในช่วงเวลาระหว่างวัน ในรูปของแผนภูมิการกระจาย เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเกิดความผิดพลาดในการบอกพิกัดของเครื่องรับกับลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าในสภาวะปกติจุดพิกัดที่คำนวณโดยเครื่องรับ GPS จะมีการกระจายตัวในบริเวณใกล้เคียงกัน ซึ่งสามารถให้ความถูกต้องได้โดยเกิดความผิดพลาดในระยะไม่เกิน 10 เมตร แต่จุดบอกพิกัดที่คำนวณได้ จะมีการกระจายเป็นวงกว้างมากขึ้นโดยระยะทางที่คลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งที่ถูกต้องทาง ละติจูด ลองจิจูด และ ค่าสมบูรณ จะมีค่ามากกว่า 15 เมตรในช่วงเวลาประมาณ 20:00- 24:00 น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS โดยค่าสัมพัทธ์ของระยะทางคลาดเคลื่อนสมบูรณกับค่าดัชนี S_4 ในแต่ละวันจะมีค่ามากกว่า 0.3 นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความผิดพลาดในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS มีแนวโน้มสัมพันธ์กับปรากฏการณ์การโคจรของดวงอาทิตย์และวัฏจักรสุริยะเช่นเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในฤดูกาลด้วย โดยดูได้จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นลดลงเป็นฤดูกาลกล่าวคือความผิดพลาดจะมีมากที่สุดในช่วงครบรอบ 11 ปี ของการเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์สูงสุด และในรอบ 1 ปี ข้อมูลพิกัดที่คำนวณจะเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องมากที่สุด 2 ช่วงคือในเดือน เมษายน และเดือนกันยายน ซึ่งสอดคล้องกับช่วง Equinox เช่นเดียวกับลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการบอกพิกัดเครื่องรับ GPS

ในการคำนวณพิกัดของเครื่องรับ GPS สิ่งที่สำคัญต่อความแม่นยำในการแก้สมการเพื่อคำนวณหาพิกัด คือความถูกต้องของข้อมูลพิกัดของดาวเทียมในระบบ GPS และระยะทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ และความแปรปรวนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีผลต่อสัญญาณดาวเทียมที่เดินทางผ่านทำให้ระยะทางเทียมที่ได้เกิดความผิดพลาดไปจากความเป็นจริง เมื่อนำค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ไปแก้สมการของเครื่องรับ GPS จะทำให้ได้พิกัดที่ผิดพลาดออกมา ดังนั้นในหัวข้อ 4.2 จึงได้ทำการแก้ไขค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากที่สุดด้วย โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์หาค่าคงที่ในการสร้างสมการซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าดัชนี S_4 ที่ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการผิดพลาดของระยะทางเทียม ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้วจะมีการกระจายตัวของพิกัดน้อยกว่า

พิกัดที่ไม่ได้แก้ไขค่าระยะทางเทียม และค่าเฉลี่ยของพิกัดเริ่มแรกมีระยะใกล้กับพิกัดจริงมากกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดที่ไม่ได้แก้ไขค่าระยะทางเทียม โดยในวันที่ 22 เมษายน 2546 พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดที่คลาดเคลื่อนซึ่งคำนวณจากระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้วจะมีค่าเท่ากับ 2.5 ซึ่งลดลงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 2.748 และผลการวิเคราะห์ในวันที่ 14 เมษายน 2546 พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดที่แก้ไขแล้วจะมีค่าเท่ากับ 4.386 ซึ่งลดลงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิมที่มีค่าเท่ากับ 1.547 สำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดที่แก้ไขในวันที่ 13 เมษายน 2546 และวันที่ 15 มีนาคม 2546 ลดลงจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพิกัดเดิม 1.03 และ 1.01 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุปและวิจารณ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะต่างๆของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาระหว่างวัน รายเดือนและรายปี ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือวัฏจักรสุริยะ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการคำนวณพิกัดของเครื่องรับ GPS รวมถึงการสร้างสมการเพื่อลดความผิดพลาดดังกล่าวด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

- จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในช่วงเวลาระหว่างวันพบว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นในเวลา กลางคืน ส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงเวลาประมาณ 20:00 น - 1:00 น. โดยมีช่วงเวลาที่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดรุนแรงที่สุด คือช่วงเวลาประมาณ 21:00 - 22:00 น. ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาระหว่างวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นไม่สอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่ซึ่งปกติแล้วปริมาณอิเล็กตรอนจะมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน (ประมาณ 14:00 น.) แต่พบว่าช่วงเวลาที่ การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน จะเป็นช่วงเวลาการรวมตัวของชั้น F_1 และ F_2 เป็นชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่ปรากฏขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 19:00-21:00 น. และ ยังสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงอีกด้วย ซึ่งจากการศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยการวิเคราะห์หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างวัน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าส่วนมากในเวลา กลางวันค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะอยู่ในช่วงประมาณ 5-10% และในเวลากลางคืนค่าเบี่ยงเบน มาตรฐานจะอยู่ในช่วงประมาณ 10-20% ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนใน ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีความไม่สม่ำเสมอในเวลากลางคืนสูงกว่าเวลากลางวัน และ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา กลางคืนยังสอดคล้องกับการเกิดปรากฏการณ์ TEC enhancement หรือปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณ อิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงค่ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สำหรับการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในรายเดือนนั้น จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของแต่ละเดือนในรอบ 1 ปีนั้น จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นฤดูกาล โดยเดือนที่แอมพลิจูดของสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างกะทันหันรุนแรงมากที่สุด คือเดือน มีนาคม และ เดือนกันยายนโดยจะสอดคล้องกับช่วง Equinox ซึ่งเป็นช่วงที่ซีกโลกเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด (ประมาณเดือน มีนาคม-เมษายนและกันยายน-ตุลาคม) มีผลทำให้ในช่วงเดือนดังกล่าวดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะในเวลากลางวันและมีช่วงเวลากลางวันที่ยาวนาน และเนื่องจากการไอไอไนซีในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นแปรโดยตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์ เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มีระดับที่สูงทำให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากตามไปด้วย และในทางตรงกันข้ามเดือนที่ค่าดัชนี S_4 มีค่าน้อยที่สุดคือช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคมและในช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวตรงกับช่วง Solstice (ประมาณเดือนมิถุนายนและธันวาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด ซึ่งจากการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์รายเดือนพบว่าจะมีลักษณะเป็นฤดูกาลมีค่าสูงสุดและต่ำสุด 2 ครั้งใน 1 ปี ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละเดือนด้วยเช่นกัน และจากการวิเคราะห์จำนวนครั้งในการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของข้อมูลทั้งหมดพบว่า การดัชนี S_4 ที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับ 0.06-0.08 ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดได้ 41.5%

- ความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนอกจากจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาระหว่างวันและฤดูกาลแล้ว การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละปีนั้นยังมีความสัมพันธ์กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ด้วย ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 พบว่าค่าดัชนี S_4 ที่สูงสุดในแต่ละปีจะเกิดไม่เท่ากัน โดยค่าดัชนี S_4 ที่มากที่สุดในแต่ละปีที่ทำการวิเคราะห์จะมีค่าลดลงตามลำดับซึ่งสัมพันธ์กับวัฏจักรดวงอาทิตย์ในช่วงที่จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ลดลงเรื่อยๆเช่นกัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยในช่วงเวลาที่ Solar Activity มีค่าสูงกว่าปกติ ค่าปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตาม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ก็จะได้รับผลจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปนี้ด้วย

- สำหรับการศึกษาลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งนั้น จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลการกระจายของจุดบัพกัณฑ์ที่เครื่องรับ GPS จำนวนออกมาได้ พบว่าโดยมากจะมีการกระจายของจุดบัพกัณฑ์

พิกัดมากในช่วงเวลากลางคืนคือเวลาประมาณ 20:00- 24:00 น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการบอกตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากความผิดพลาดของเวลาที่ดาวเทียมใช้ในการเดินทางมาถึงเครื่องรับ เนื่องจากสัญญาณเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทำให้สัญญาณเดินทางมาถึงเครื่องรับช้ากว่าความเป็นจริง ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการคำนวณหาพิกัดของเครื่องรับ และจากการผลการวิเคราะห์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ซึ่งเป็นตัวแทนของการกระจายของจุดบอกพิกัด พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามากในช่วงเดือนกันยายน, เดือนเมษายนและมีนาคม และจะมีค่าน้อยในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม และมีพฤษภาคม-กรกฎาคม ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นลดลงเป็นฤดูกาลกล่าวคือ ใน 1 ปีข้อมูลพิกัดที่คำนวณจะเกิดความคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องมากที่สุด 2 ช่วง ซึ่งสอดคล้องกับช่วง Equinox เช่นเดียวกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในฤดูกาล และนอกจากนี้ยังพบว่าระดับของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละปีมีแนวโน้มที่ลดลง สัมพันธ์กับวัฏจักรสุริยะเช่นเดียวกับลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในรายปีด้วย จึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS

- เนื่องจากความแปรปรวนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีผลต่อสัญญาณดาวเทียมที่เดินทางผ่านทำให้ระยะทางเทียมที่ได้เกิดความผิดพลาดไปจากความเป็นจริง เมื่อนำค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ไปแก้สมการของเครื่องรับ GPS จะทำให้ได้พิกัดที่ผิดพลาดออกมา ดังนั้นจึงได้สร้างสมการซึ่งเป็นฟังก์ชันของค่าดัชนี S_4 ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการผิดพลาดของค่าระยะทางเทียม ในการแก้ไขค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากที่สุดเพื่อใช้ในการคำนวณหาพิกัด โดยในเบื้องต้นได้สร้างฟังก์ชันในรูปของสมการเชิงเส้น ซึ่งจากการนำค่าระยะทางเทียมที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นไปคำนวณหาพิกัด แทนการนำเอาค่าระยะทางเทียมที่เครื่องรับ GPS คำนวณได้ พบว่าพิกัดเริ่มแรกที่คำนวณได้จากค่าระยะทางเทียมที่แก้ไขแล้ว จะมีการกระจายตัวของพิกัดน้อยกว่าพิกัดที่ไม่ได้แก้ไขค่าระยะทางเทียมโดยฟังก์ชันที่เตรียมไว้ และค่าเฉลี่ยของพิกัดเริ่มแรกมีระยะใกล้เคียงกับพิกัดจริงมากกว่าค่าเฉลี่ยของพิกัดที่ไม่ได้แก้ไขค่าระยะทางเทียม

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

ปัญหาที่พบคือ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมในช่วงปี พ.ศ. 2544 – 2546 ซึ่งเป็นช่วงที่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดขึ้นไม่รุนแรงเนื่องจากเป็นช่วงขาลงของวัฏจักรสุริยะ ทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมีความชัดเจนไม่มากนัก รวมทั้งเครื่องรับ GPS นี้ถูกตั้งค่าให้ทำการบันทึกข้อมูลค่าพิกัดที่คำนวณได้ทุกๆ 30 นาทีตั้งแต่เริ่มมีการติดตั้งเครื่อง ซึ่งความถี่ในการบันทึกข้อมูลน้อยเกินไป ทำให้ข้อมูลพิกัดที่นำมาวิเคราะห์ความผิดพลาดในการคำนวณพิกัดไม่ละเอียดเท่าที่ควร ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและชัดเจนในการวิเคราะห์ข้อมูลมากขึ้น จึงควรทำการบันทึกข้อมูลค่าพิกัดที่คำนวณได้ทุกๆ 1 นาที

ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาวิจัยต่อไปคือ

1. เนื่องจากฟังก์ชันที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้นนั่นคือปัจจัยการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความผิดพลาดในการบอกพิกัดอีก ดังนั้นในการปรับปรุงฟังก์ชันดังกล่าวให้มีความแม่นยำในการแก้ไขค่าระยะทางเทียมมากขึ้นควรจะมีการนำปัจจัยอื่นมา พิจารณาด้วย เช่น การเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหัน หรือปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
2. ผลการศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงปีพ.ศ. 2544-2546 ซึ่งเป็นช่วงที่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีระดับความรุนแรงลดลงเนื่องจากเป็นช่วงขาลงของวัฏจักรสุริยะ ดังนั้นเพื่อให้ฟังก์ชันสามารถใช้งานได้ทุกๆไปและใช้ได้กับทุกๆสถานที่จึงควรใช้ข้อมูลปัจจุบันในปีนั้นๆมาเป็นข้อมูลในการสร้างฟังก์ชันสำหรับลดความผิดพลาดในการบอกพิกัดต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Makaratat K. "Analysis of 1.694 GHz Ionospheric Scintillation and Its Impact on Satellite Communication System." Master Thesis of Engineering in Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.2002.
- [2] Briggs B.H. and Parkins I.A. "On the Variation of Radio Star and Satellite Scintillation with Zenith Angle." J. Atmos. Terr. Phys., 1963,pp.334-365.
- [3] อรอนงค์ เพชรนิ่ม. "การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม."วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.
- [4] Allnutt J.E. Satellite to Ground Radiowave Propagation Theory, Practice and System Impact at Frequencies above 1 GHz. London : Peter Peregrinus Ltd. 1989.
- [5] Tadanori Ondoh and Katsuhide Marubashi eds. Science of Space Environment. Japan : Ohmsha Ltd. 2000
- [6] Davies K. Ionospheric Radio. London : Peter Peregrinus Ltd. 1990.
- [7] Louis J. Ipplito Jr. Radiowave Propagation in Satellite Communications. Newyork : Van Nostrand Reinhold Company. 1986.
- [8] สมพงษ์ ศุภร์แก้วฉนวน. "การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแถบความถี่ C ที่มุมเงยต่ำ."วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [9] Aarons J. "Global Morphology of Ionospheric Scintillations." Proceedings of the IEEE, vol.70, no.4, April 1982,pp.360-378.
- [10] Jonathan Nichols, Andrew Hansen, Todd Walter and Per Enge. "High Latitude Measurements of Ionospheric Scintillation Using the NSTB.", Proceedings of ION GPS-99.,1999.
- [11] เอกพล มิ่งขวัญ. "ปัจจัยที่ลดทอนความแม่นยำของจีพีเอสในภาวะที่มีความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สูงสุด." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Goodman J. M. "A Resume of Anticipated FLEETSATCOM and GAPFILLER Scintillation Effects During the Peak of Solar Cycle 21 (1980-1982)." In Donnelly R. F (Ed.) "Solarterrestrial Predictions Proceedings IV." US Govt. Printing Office, Washington, DC. 1980.
- [13] กาญจน์ เหล่าพิพัฒนา. "การศึกษาปริมาณอิเล็กทรอนิกส์รอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้สัญญาณดาวเทียม GPS. " วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.
- [14] Whitney H. E., Malik C. and Aarons J. "A Proposed Index for Measuring Ionospheric Scintillation." Planet. Space Sci., vol. 17, 1969, pp.1069-1073.
- [15] Recommendation ITU-R P. 531-5. "Ionospheric Propagation Data and Prediction Methods Required for the Design of Satellite Services and Systems." 1999.
- [16] Hofmann - Wellenhof B., H. Lichtenegger and J. Collin. Global Positioning System Theory and Practice. New York : Springer-Verlag Wien. 1994.
- [17] ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย. ระบบการหาดำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม. พิมพ์ครั้งที่ 1. ประเทศไทย. 2546.
- [18] Bancroft S. "An algebraic solution of the GPS equation" IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol.21,1985,pp.56-59.
- [19] A.J. Van Dierendonck, P. Fenton and J.Klobuchar. "Commercial Ionospheric Scintillation Monitoring Receiver Development and Test Results." Proceedings of ION 52nd Annual meeting, The institute of Navigation., Cambridge, 1996.
- [20] David H. Hathaway. "The Solar Activity." [online]. Available: <http://www.sec.noaa.gov/swn/>
- [21] เอกชัย ชัยประเสริฐสิทธิ. การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2527.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
โปรแกรมแปลงข้อมูล S₄

```

pro gps_ext
line=""

gpsfile=dialog_pickfile(title='Please select scintillation file',filter='*.dat')

for i=1,32 do begin

    pos=strpos(gpsfile, '\', /reverse_search)
    fnam=strmid(gpsfile,pos(0)+1,strlen(gpsfile)-pos(0))
    spawn, 'c:\gsv4000\bin2ascii /F '+fnam+' /O test.out /S '+strtrim(i,2)

    openr, unit1, /get_lun, 'test.out'

    fnam=strmid(fnam,0,strlen(fnam)-4)

    if (i lt 10) then begin
        fnam=fnam+'.S0'+strtrim(i,2)
    endif else begin
        fnam=fnam+'.S'+strtrim(i,2)
    endelse

    openw, unit2, /get_lun, fnam

    pos=0
    offset=0 & start=0

```

เอกสาร while not eof(unit1) do begin ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

readf,unit1, line

if (strmid(line,0,5) eq '$POSA' and pos eq 0) then begin
    pos=1
    goto, label1
endif

if (strmid(line,0,5) eq '$POSA' and pos eq 1) then begin
    pos_split=strsplit(line,',',/extract)
    printf,unit2,'LOCATION = ',strmid(pos_split(3),0,10),' ',strmid(pos_split(4),0,10),'
',strmid(pos_split(5),0,7)
    point_lun, unit1,0
    pos=2
endif

if (pos eq 2) then begin
    if (strmid(line,0,5) eq '$ISMA') then begin
        ism_split=strsplit(line,',',/extract)
        if (float(ism_split(11)) gt 10) then begin
            start=fix(ism_split(2))
            offset=fix(ism_split(24))
        endif else begin
            printf,unit2,$
            format='(i4,"",f9.2,"",i2,"",i8,"",f5.1,"",2(f4.1,""),7(f8.4,""),f8.2,"",f7.2,"",6(f8.4,""))',$
            fix(ism_split(1)),float(ism_split(2)),fix(ism_split(5)),$
            fix(ism_split(2))-start+offset,float(ism_split(6)),float(ism_split(7)),float(ism_split
(8)),$
            float(ism_split(9)),float(ism_split(10)),float(ism_split(11)),float(ism_split(12)),$
            float(ism_split(13)),float(ism_split(14)),float(ism_split(15)),float(ism_split(16)),$
            float(ism_split(17)),float(ism_split(18)),float(ism_split(19)),float(ism_split(20)),$

```

```
float(ism_split(21)),float(ism_split(22)),float(ism_split(23))
endelse
endif
endif
label1:
endwhile

free_lun, unit1
free_lun, unit2

spawn, 'del test.out'

endfor

end
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

รายละเอียดเครื่องรับ GPS รุ่น GSV4000

The GSV4000 (GPS Silicon Valley) consists of three major components: a GPS Antenna (NovAtel's Model 502 GPSAntenna), a GPS receiver (NovAtel's 3951R GPSCard) and a GSV-3003A 10 MHz OCXO Reference Board with various interconnecting cables. The latter two components are designed to plug into a standard IBM-compatible desktop personal computer (PC). The GPS receiver, which is a GPSCard with modified software, can track up to 11 GPS C/A signals at the L1 frequency (1575.42 MHz) and measure phase and amplitude (at 50-Hz rate) and code/carrier divergence (at 1-Hz rate) for each satellite being tracked. (The 12th channel is used as a noise reference.)

The primary purpose of the GSV4000 ISM system is to collect ionospheric scintillation data for all visible GPS satellites (up to eleven satellites) and store binary data logs, called ISMR, on the PC hard disk for post processing. These data may also be output to a serial port on the GPSCard (COM1) in either binary or ASCII format. The GSV4000K.EXE program is used to control the GSV4000 operations. You can program GSV4000K's Data Logging operation to collect the ISMR data logs that are generated every minute. Another off-line PC-based program, ISMVIEW.EXE, may be used to review the ISMR data.

The programs (GSV4000K.EXE and ISMVIEW.EXE) run on IBM PC or compatibles with 640 k bytes of conventional memory. It works with a monochrome, EGA, VGA, or SVGA monitor. A math coprocessor is not required.

The GPSCard PC Series modules are composed of two major sections: an RF section and a Digital section. In order for the GPSCard PC module to function as a complete GPS positioning system, it must be installed into an IBM-compatible desktop or laptop computer and connected to an external. A brief description of each section follows.

1) GPSAntenna

The purpose of the antenna element is to intercept the radio waves emitted by the GPS satellites. The signal is then coupled to the low noise amplifier (LNA) where it is amplified to overcome the losses incurred by the interconnecting coaxial cable between the antenna and GPSCard. NovAtel offers a variety of GPSAntenna models. All use low profile microstrip technology with built-in LNA and bandpass filtering. The antenna you choose will depend on your particular application, ranging from precise geodetic surveying to avionics, marine, and mobile.

2) GPSCard RF/IF section

The GPSCard receives the filtered and amplified RF signal from the GPSAntenna via the external interconnection coaxial cable. The RF section of the GPSCard serves the following primary functions:

- Filters the RF signal to reduce noise and interference
- Down-converts the RF signal to an IF (intermediate frequency) range that is suitable for the A/D converter
- Amplifies the GPS signal to a level suitable to drive the A/D converter in the digital section
- Accepts automatic gain control (AGC) input from the Digital Signal Processor (DSP) to maintain the IF signal at a constant level
- Supplies DC voltage to the antenna RF input connector which is used by the GPSAntenna as power input for the LNA.

3) Digital section

The GPSCard digital section consists of three major subsections: Signal Processor, CPU, and System I/O. The Signal Processor contains two NovAtel custom ASIC correlator chips, an analog to digital converter (A/D), and performs the following primary functions:

- Converts the IF signal to a digital format (A/D conversion)
- Independent satellite channel tracking (up to 12 channels)
- C/A code and carrier phase tracking

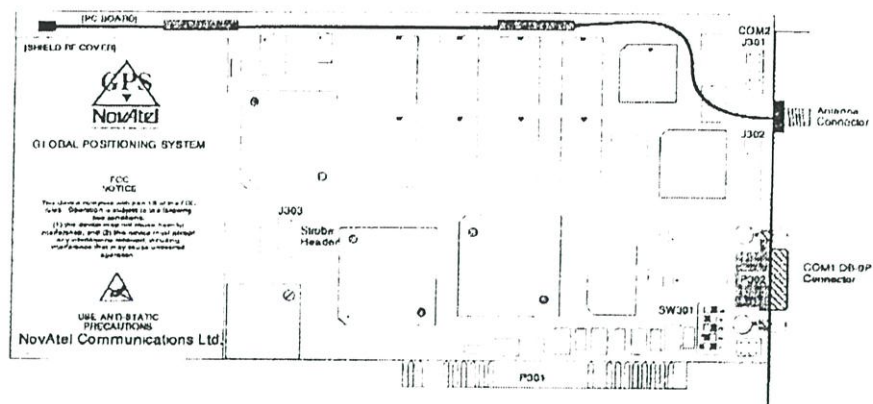


Fig.1 GPSCard PC Series-System Functional Block Diagram

The CPU is the heart of the GPSCard. All of the system control, processing, and positioning intelligence is performed in the CPU. It consists of both hardware and software components. The CPU is summarized below:

- A 32-bit microprocessor
- Custom Real Time Operating System (RTOS)
- Database management
- I/O control
- Position filtering
- Channel/loop control
- Navigation software

The I/O section allows two-way communications and timing strobes between outside devices and the GPSCard. Pinout descriptions for I/O connections are provided in the Hardware Installation section of this manual. A summary of I/O functions is listed below:

- Provides two serial communication ports for interfacing with outside data communications equipment (DCE)-EIA RS232
- Selectable baud rates up to 115.2 Kbaud (defaults to 9600 baud)
- Provides input and output timing strobe lines
- Allows user command input (COM1, COM2, or host computer console)
- Provides a means of output logging of various data types and differential corrections

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISMR Data Log

Both the SIN and the DIV data logs contain only raw measurements (phase, amplitude, code/carrier divergence and C/N_0). They are available for diagnostic or analytical purposes. You will have to supply your own data analysis and reduction program. However, the receiver automatically reduces these raw measurements every minute on the minute and stores the results in the ISMR data log (see Table A). You will get continuous data when you specify ONTIME trigger with 60.0-second period and 0-second offset. Each log contains data blocks for the all satellites being tracked (in number of SV observations).

Table A ISMRB Data Log-Message ID=124. Message byte count = $32+(n*84)$

(n = number of SV's being tracked)

Field #	Name	Bytes	Format	Unit	Offset
1	Sync	3	char	N/A	0
	Checksum	1	char	N/A	3
	Message ID	4	integer	N/A	4
	Message byte count	4	integer	bytes	8
2	Week Number	4	integer	Weeks	12
3	Time of Week (TOW)	8	double	Seconds	16
4	Number of SV observations	4	integer	N/A	24
5	Receiver status	4	integer	N/A	28
	For First SV observation				
6	PRN	4	integer	N/A	32
7	SV Azimuth angle	4	float	Degrees	36
8	SV Elevation angle	4	float	Degrees	40
9	C/N_0	4	float	dB-Hz	44
10	Total S_4	4	float	dimension-less	48
11	Correction to total S_4	4	float	dimension-less	52
12	1-second phase sigma	4	float	radians	56
13	3-second phase sigma	4	float	radians	60

Field #	Data	4	float	Unit	Offset
14	10-second phase sigma	4	float	radians	64
15	30-second phase sigma	4	float	radians	68
16	60-second phase sigma	4	float	radians	72
17	Average of Code/Carrier divergence	4	float	cycles	76
18	Sigma of Code/Carrier divergence	4	float	cycles	80
19	Phase Spectral strength T	4	float	dB	84
20	Phase Spectral slope p	4	float	dimension-less	88
21	Amplitude Spectrum K0	4	float	dB	84
22	Amplitude Spectrum K1	4	float	dimension-less	84
23	Amplitude Spectrum K2	4	float	dimension-less	84
24	Amplitude Spectrum K3	4	float	dimension-less	84
25	Lock time	4	integer	seconds	92
26	Channel status	4	integer	N/A	96
27...	For Next SV Observation				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

การแปลงระบบพิกัดตำแหน่งดาวเทียมและตำแหน่งเครื่องรับ

A Ellipsoid and projection constants

Shape and size of biaxial ellipsoids used in the UK

Name	Semi-major Axis a (m)	Semi-minor Axis b (m)	Associated datum And projections
Airy 1830	6,377,563.396	6,356,256.910	OSGB36, National Grid
Airy 1830 modified	6,377,340.189	6,356,034.447	Ireland 65, Irish National Grid
International 1924 Aka Hayford 1909	6,378,388.000	6,356,911.946	ED50, UTM
GRS80 aka WGS84 Ellipsoid	6,378,137.000	6,356,752.3141	WGS84, ITRS, ETRS89.

The ellipsoid squared eccentricity constant e^2 is computed from a and b by equation (B1)

Transverse Mercator projections used in the UK

Projection	Scale factor on Central meridian F_0	True origin ϕ_0 and λ_0	Map coordinates of true origin (metres), e_0 and N_0	Ellipsoid
National Grid	0.9996012717	Lat 49° N Long 2° W	E 400,000 N -100,000	Airy 1830
Irish National Grid	1.000035	Lat $53^\circ 30'$ N Long 8° W	E 200,000 N 250,000	Airy 1830 modified
UTM zone 29	0.9996	Lat 0° Long 9° W	E 500,000 NO	International 1924
UTM zone 30	0.9996	Lat 0° Long 3° W	E 500,000 NO	International 1924

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UTM zone 31	0.9996	Lat 0°	E 500,000	International
		Long 3°E	NO	1924

B Converting between 3-D Cartesian and ellipsoidal latitude , longitude and height coordinates

Converting latitude, longitude and ellipsoid height to 3-D Cartesian coordinates

Values are required for the following ellipsoid constants: the semi-major axis length a and eccentricity squared e^2 . The latter can be calculated from a and b or the flattening f by

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 2f - f^2 \quad \text{B1}$$

The Cartesian coordinates x y and z of a point are obtained from the latitude ϕ , longitude λ and ellipsoid height H by

$$v = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}} \quad \text{B2}$$

$$x = (v + H) \cos \phi \cos \lambda \quad \text{B3}$$

$$y = (v + H) \cos \phi \sin \lambda \quad \text{B4}$$

$$z = ((1 - e^2)v + H) \sin \phi \quad \text{B5}$$

Here's a worked example using the Airy 1830 ellipsoid. Intermediate values are shown here to 10 decimal places. Compute all values using double-precision arithmetic.

$$\phi \quad 52^\circ 39' 27.2531'' \text{ N}$$

$$\text{Longitude} \quad 1^\circ 43' 4.5177'' \text{ E}$$

$$H \quad 24.700 \text{ m}$$

$$e^2 \quad 6.6705397616\text{E-}03$$

$$v \quad 6.3910506260\text{E+}06$$

$$x \quad 3,874,938.849 \text{ m}$$

$$y \quad 116,218.624 \text{ m}$$

$$z \quad 5,047,168.208 \text{ m}$$

Converting 3-D Cartesian coordinates to latitude, longitude and ellipsoid height

Again, we need the defining constants of the ellipsoid. Longitude λ is easily computed from Cartesian coordinates, remembering to be careful about the quadrant of the resulting angle;

$$\lambda = \arctan(y/x) \quad \text{B6}$$

The latitude is obtained by an iterative procedure. The initial value of latitude is given by

$$\phi = \arctan\left(\frac{z}{p(1-e^2)}\right) \quad \text{B7}$$

where $p = \sqrt{x^2 + y^2}$

ϕ is iteratively improved by repeatedly computing ν from equation (B2) (using the latest value of ϕ) and then a new value for ϕ by

$$\phi = \arctan\left(\frac{z + e^2 \nu \sin \phi}{p}\right) \quad \text{B8}$$

until the change between two successive values of ϕ is smaller than the precision to which you want to calculate the latitude. Ellipsoid height H is then given by:

$$H = \frac{P}{\cos \phi} - \nu \quad \text{B9}$$

Here's a worked example using the Airy 1830 ellipsoid. Intermediate values are shown here to 10 decimal places. Compute all values using double-precision arithmetic.

x 3,874,938.849 m

y 116,218.624 m

z 5,047,168.208 m

e^2 6.6705397616E-03

Initial ϕ 9.1904799045E-01 rad

ν 6.39105062630E+06

2nd ϕ 9.1904797796E-01 rad

ν 6.3910506260E+06

3rd ϕ 9.1904797793E-01 rad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϕ 52°39'27.2531'' N

λ 1°43'4.5177'' E

H 24.700 m

x 3,874,938.849 m

y 116,218.624 m

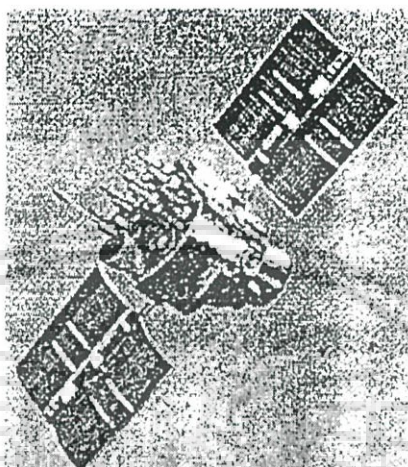
z 5,047,168.208 m



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
รายละเอียดของดาวเทียม GPS

GPS Block I



รูปที่ ง.1 ดาวเทียม GPS Block I

เป้าหมาย เป็นดาวเทียมที่เป็นระบบ Demonstration เพื่อทดสอบระบบการทำงาน
ประเทศผู้ผลิต สหรัฐอเมริกา

วันที่ส่งดาวเทียม	1-1	22/2/78
	1-2	13/5/78
	1-3	6/10/78
	1-4	11/12/78
	1-5	9/2/80
	1-6	26/4/80
	1-7	18/12/81
	1-8	14/7/83
	1-9	13/6/84
	1-10	8/9/84
	1-11	9/10/85

วงโคจร วงกลม 20,200 ก.ม., คาบ 12 ชม., มุมเอียง (incline) 63° , 6 ระนาบวงโคจร

ขนาด 5.3 เมตร

น้ำหนัก 445 กิโลกรัม (ในวงโคจร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อายุการใช้งาน 5 ปี

ผู้ผลิต Rockwell Space System

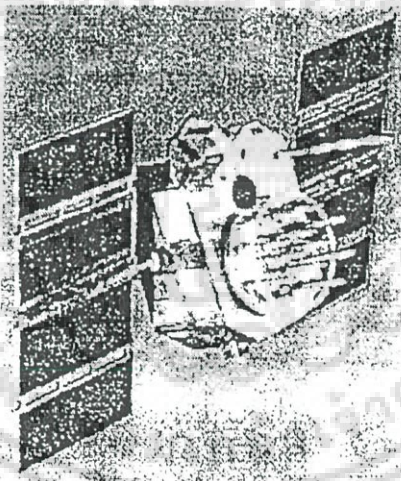
ดาวเทียมในระบบ 11 ดวง

ลักษณะระบบดาวเทียม

- สมดุลแบบ 3 แกน, nadir pointing ใช้ reaction wheels
- แผงเซลล์รับแสงอาทิตย์คู่ ผลิตได้มากกว่า 400 W (EQL)
- แบตเตอรี่ NiCd
- การติดต่อสำหรับการควบคุมและ Telemetry ใช้ S-band (SGLS)
- UHF Cross-link ระหว่างดาวเทียม
- ระบบ Hydrazine propulsion

ระบบส่งสัญญาณ สัญญาณ 2 ความถี่ สำหรับการนำร่องย่าน L-band ที่ 1575.42 MHz (L_1) และ 1227.60 MHz (L_2)

GPS Block II และ IIA



รูปที่ ๖.2 ดาวเทียม GPS Block II และ IIA

เป้าหมาย เป็นดาวเทียมระบบ Operator ส่วน Block IIA คือรุ่น Advance กลุ่มดาวเทียมที่
สมบูรณ์มี 24 ดวง 6 วงโคจร

ประเทศผู้ผลิต สหรัฐอเมริกา

วันที่ส่งดาวเทียม	2-1	14/2/89	2-13	9/4/92
	2-2	10/6/89	2-14	7/7/92
	2-3	17/8/89	2-15	9/9/92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ๒๔ กพ ๒๕/10/89 งาน ๒-16 ๒๕/11/92 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-5	11/12/89	2-17	18/12/92
2-6	24/1/90	2-18	2/2/93
2-7	25/3/90	2-19	30/3/93
2-8	2/8/90	2-20	13/5/93
2-9	1/10/90	2-21	26/6/93
2-10	26/11/90	2-22	30/8/93
2-11	3/7/91	2-23	26/10/93
2-12	23/2/92	2-24	3/3/94

วงโคจร วงโคจร 20,200 กม., คาบ 12 ชม., มุมเอียง 55° , 6 ระนาบวงโคจร
ขนาด 5.3 เมตร

อายุการใช้งาน 7.5 ปี

ผู้ผลิต Rockwell Space System

ดาวเทียมในระบบ Block II 9 ดวง, Block IIA 15 ดวง

ลักษณะระบบดาวเทียม

- สมดุลแบบ 3 แกน, nadir pointing ใช้ reaction wheels
- แผงเซลล์รับแสงอาทิตย์คู่ 700 W (EQL)
- การติดต่อสำหรับการควบคุมและ Telemetry ใช้ S-band (SGLS)
- UHF Cross-link ระหว่างดาวเทียม
- ระบบ Hydrazine propulsion

ระบบส่งสัญญาณ- สัญญาณ 2 ความถี่ สำหรับการนำร่องย่าน L-band ที่ 1575.42 MHz (L_1)
และ 1227.60 MHz (L_2)

- ทุกดวงบรรจุนาฬิกาอะตอม Rubidium 2 เครื่องและ Cesium 2 เครื่อง
- บรรจุเซนเซอร์สำหรับการตรวจการระเบิดของนิวเคลียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

1. “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของสัญญาณดาวเทียม GPS”วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ฉบับที่ 2 ปีที่ 12 เดือน สิงหาคม พ.ศ.2547.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจาก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของสัญญาณดาวเทียม GPS

The Effect of Ionospheric Amplitude Scintillation on GPS Accuracy

ปีทมา พุ่มชูศักดิ์
นักศึกษาระดับปริญญาโท

นิภา ลีลาธิ
รองศาสตราจารย์

ณรงค์ เหมภรณ์
รองศาสตราจารย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์, สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ionospheric amplitude scintillation) ของสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz ที่เกิดขึ้นในรอบหนึ่งวัน และแต่ละฤดูกาล ตั้งแต่เดือนกันยายน 2545 ถึงเดือนเมษายน 2546 โดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และจากการศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งพบว่าในช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้น การระบุตำแหน่งจะเกิดความผิดพลาดไปจากตำแหน่งที่ถูกต้องเป็นระยะทางมากกว่า 10 เมตร บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการในการลดข้อผิดพลาดจากการคำนวณระยะทางด้วยฟังก์ชันของค่าดัชนี S_4 ซึ่งค่าพิกัดของเครื่องรับ GPS ที่ถูกแก้ไขด้วยฟังก์ชันดังกล่าวแล้วจะมีความคลาดเคลื่อนเป็นระยะทางไม่เกิน 10 เมตร

Abstract

This paper presents analyses of the diurnal and seasonal amplitude scintillation effected by the ionosphere of GPS signals (1575.45 MHz). The GPS receiver, GSV4000, which was installed at KMITL, have been used to receive the signal from September 2002 to April 2003. From the study of the impact of scintillation on GPS accuracy, we found that the GPS receiver shows more 10 meter deviation from correct position during the scintillation phenomena occur. This paper introduces the method, which is a function of the S_4 index, to decrease the error range due to the scintillation. The new position, which is corrected by this method, has an error less than 10 meters.

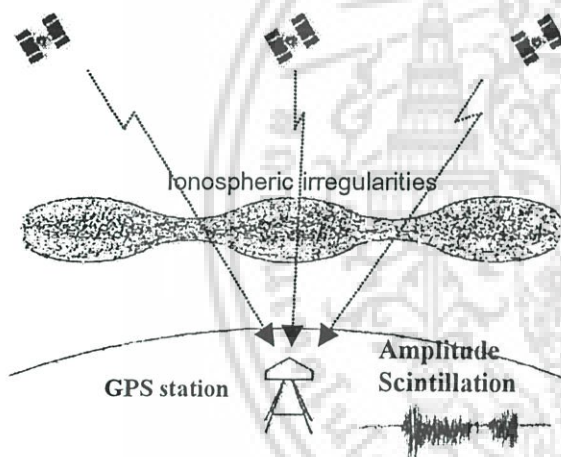
คำสำคัญ: ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์, การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน, ดัชนี S_4 , สัญญาณดาวเทียม GPS

Keywords: Ionosphere, amplitude scintillation, S_4 index and GPS signal

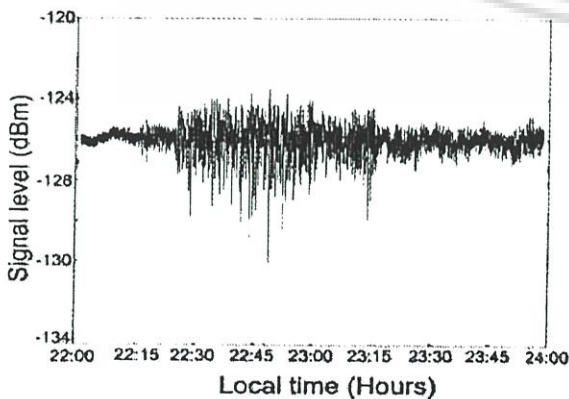
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งอยู่สูงประมาณ 60-1000 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นชั้นบรรยากาศที่โมเลกุลของก๊าซออกซิเจนเกิดการไอออไนซ์ (Ionize) แยกตัวเป็นอิเล็คตรอนอิสระและไอออนจำนวนมาก เนื่องจากได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ โดยที่การไอออไนซ์ในแต่ละช่วงเวลาและในแต่ละระดับความสูงเกิดไม่เท่ากัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz จะได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ซึ่งมีความไม่สม่ำเสมอเนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็คตรอน (Ionospheric irregularities) สัญญาณที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศนี้จึงถูกหักเห ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน [1] ดังแสดงในรูปที่ 1,2



รูปที่ 1 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน



รูปที่ 2 ตัวอย่างแสดงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในวันที่ 26 เมษายน 2546

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าสัญญาณดาวเทียม GPS ที่วัดได้จะเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างกะทันหันรุนแรงในช่วงเวลา 22:30 - 23:00 น. ซึ่งจากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน มีผลทำให้การระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS จะเกิดความผิดพลาดมากกว่าในช่วงเวลาที่สัญญาณไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน [2] โดยระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้ขึ้นอยู่กับ ฤดูกาล เวลาในแต่ละวัน และตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ที่ทำการศึกษ [3]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในรอบหนึ่งวัน และแต่ละเดือน เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ที่มีต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS และนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้ไปออกแบบสร้างแบบจำลองเพื่อลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS ต่อไป

2. หลักการที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Scintillation Index)

การวัดระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นสามารถวัดได้หลายวิธี เช่นการประมาณความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยค่าดัชนี SI สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ดัชนี S_{4T} ในการแสดงถึงระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องมากกว่าและเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป [4] ดังสมการที่ (1)

$$S_{4T} = \frac{\sqrt{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}}{\langle A \rangle} \tag{1}$$

โดยที่ S_{4T} แทนค่าดัชนีที่รวมสัญญาณรบกวน
 A แทนระดับสัญญาณที่ถูกสุ่มด้วยความถี่ 50 Hz
 $\langle \rangle$ แทนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงเวลา 1 นาที

ค่าดัชนี S_{4T} ในสมการที่ (1) เป็นค่าที่รวมสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง (Ambient noise) เข้าไว้ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณรบกวนนี้ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ค่าดัชนี S_4 ต่อไป โดยการจำลองค่าเฉลี่ยของ Signal-to-noise density ในช่วงเวลา 1 นาที เพื่อหาค่าดัชนีอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน (correction to total S_4 : S_{4C}) ได้ดังสมการที่ (2) [5]

$$S_{4C} = \sqrt{\frac{100}{S/N_0} \left[1 + \frac{500}{19S/N_0} \right]} \quad (2)$$

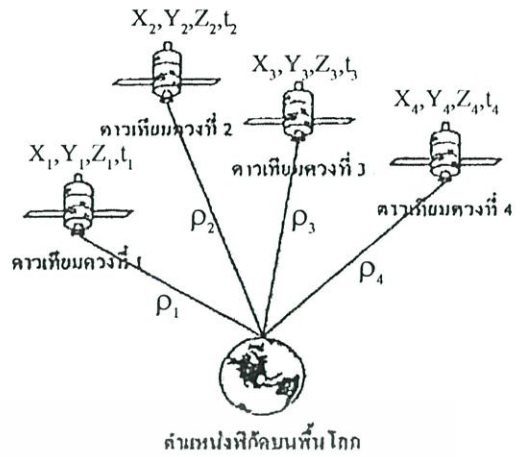
โดยที่ S_{4C} แทนค่าดัชนีอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวน
 S/N_0 แทนค่าเฉลี่ยของ Signal-to-noise density ในช่วงเวลา 1 นาที

เมื่อนำสมการที่ (2) ลบออกจากสมการที่ (1) จะได้สมการที่ (3) ซึ่งเป็นสมการค่าดัชนี S_4 ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นค่าดัชนี S_4 ที่สัญญาณรบกวนได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว[5]

$$S_4 = \sqrt{\frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A \rangle^2} - \frac{100}{S/N_0} \left[1 + \frac{500}{19S/N_0} \right]} \quad (3)$$

2.2 ระบบบอกพิกัดของดาวเทียม GPS (The Positioning System)

ระบบ GPS ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร ด้วยวงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit) 6 วงโคจร แต่ละวงโคจรทำมุมเอียงทำมุม 55° สัญญาณที่ส่งจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงจะประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งบนพื้นโลกนั่นคือ ข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง และเวลาที่เริ่มส่งสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง ดังแสดงในรูปที่ 3 [2]



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งดาวเทียมและเครื่องรับ GPS

หลักการที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ GPS คือ การรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS อย่างน้อย 4 ดวง เพื่อใช้สำหรับแก้สมการหาตำแหน่ง x,y,z ของเครื่องรับด้วยวิธี Least-Squares Solution [4] โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังสมการที่ (4),(5),(6) และ (7)

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 = \rho_1^2 \quad (4)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 = \rho_2^2 \quad (5)$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 = \rho_3^2 \quad (6)$$

$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 = \rho_4^2 \quad (7)$$

โดยที่ x,y,z แทนตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง
 x,y,z แทนตำแหน่งของเครื่องรับ GPS

ρ แทนระยะทางเทียมจากดาวเทียมถึงเครื่องรับGPS

ค่า ρ เป็นระยะทางเทียม (Pseudo-Range)จากดาวเทียมถึงเครื่องรับ GPS ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$\rho = c(\Delta t) \quad (8)$$

โดยที่ ρ แทนระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ GPS
 c แทนความเร็วแสง (3×10^8 m/s)

Δt แทนเวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการคำนวณพิกัด เนื่องจากเมื่อสัญญาณดาวเทียม GPS เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอน ทำให้สัญญาณเกิดการหักเห มีผลทำให้สัญญาณเดินทางถึงเครื่องรับช้ากว่าปกติ ซึ่งทำให้ระยะทางเทียมที่คำนวณได้เกิดการผิดพลาด เมื่อนำระยะทางที่ผิดไปคำนวณหาพิกัดจึงได้พิกัดที่ไม่ถูกต้อง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) [6] มาเป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างสมการเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณพิกัดของเครื่องรับ GPS โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอการแก้ไขค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ด้วยฟังก์ชันของดัชนี S_4 ดังแสดงในสมการที่ (9),(10),(11) และ (12)

$$R = a + b_1(\rho) + b_2(S_4) \quad (9)$$

$$a = \bar{R} - b_1\bar{\rho} - b_2\bar{S}_4 \quad (10)$$

$$b_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \rho_i R_i - \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot \sum_{i=1}^n R_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\rho_i)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \rho_i \right)^2} \quad (11)$$

$$b_2 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n S_{4i} R_i - \sum_{i=1}^n S_{4i} \cdot \sum_{i=1}^n R_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n (S_{4i})^2 - \left(\sum_{i=1}^n S_{4i} \right)^2} \quad (12)$$

โดยที่ R แทนระยะทางเทียมที่ถูกแก้ไขแล้ว

ρ , S_4 แทนระยะทางเทียมและค่าดัชนี S_4 ตามลำดับ

b_1 , b_2 แทนค่าสัมประสิทธิ์ของ ρ และ S_4 ตามลำดับ

$\bar{R}, \bar{\rho}, \bar{S}_4$ แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูล R, ρ, S_4 ตามลำดับ

a แทนค่าความผิดพลาดอื่น ๆ

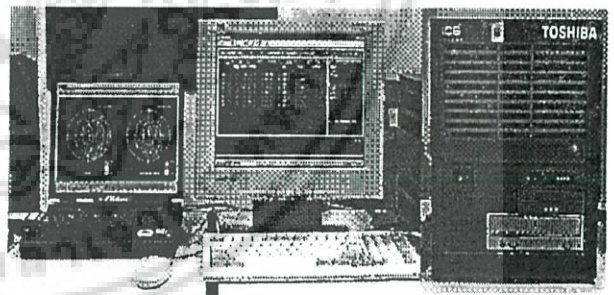
n แทนจำนวนข้อมูล

3. การทดลองวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่ความถี่ 1575.42 MHz โดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ซึ่งเป็นชุดเครื่องรับที่ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการรับสัญญาณดาวเทียม GPS และสามารถประมวลผลค่าดัชนี S_4 ได้อย่างถูกต้องแม่นยำสูง ที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รายละเอียดของระบบแสดงดังตารางที่ 1 และชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แสดงได้ดังรูปที่ 4

ตารางที่ 1 รายละเอียดของระบบการวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

Satellite	NAVSTAR – GPS
Frequency	L1 = 1575.42 MHz L2 = 1227.60 MHz
Polarization	Right hand circularly polarized
Receiving Antenna	Microstrip antenna
Location of receiver	KMITL, 100.8 °E , 13.7 °N
Gain of LNA	26 dB
Receiver	GSV4000 (GPS Ionospheric Scintillation Monitor)



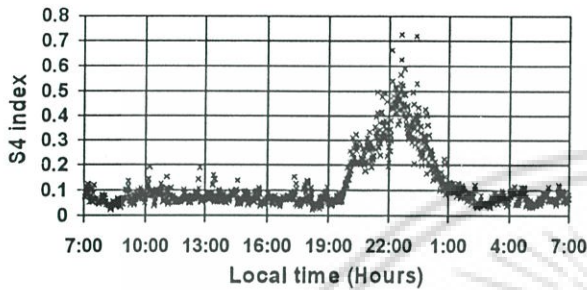
รูปที่ 4 แสดงชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000

4. ผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลค่าดัชนี S_4 ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (3) ตั้งแต่เดือนกันยายน 2545 ถึง เดือนเมษายน 2546 มาวิเคราะห์หาลักษณะและระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลาแต่ละวัน แต่ละเดือน ซึ่งจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ในรอบหนึ่งวันพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนักวิจัยได้เห็นว่าเนื้อหาบางส่วนหรือทั้งหมดไม่เหมาะสมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

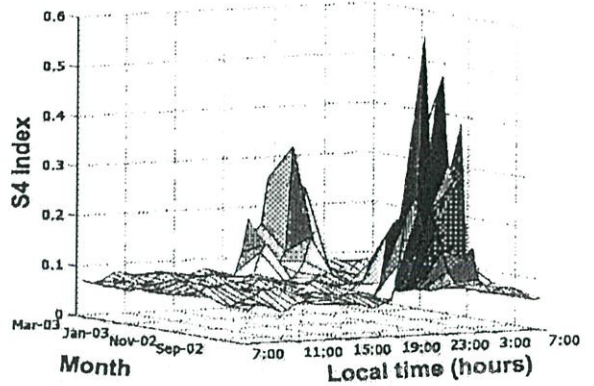
อย่างกะทันหันของสัญญาณ จะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากดวงอาทิตย์ตก ในช่วงเวลาประมาณ 20:00 – 1:00 น. โดยช่วงเวลาที่การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดรุนแรงที่สุด คือช่วงเวลาประมาณ 21:00 – 22:00 น. ตัวอย่างแสดงการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ในรอบหนึ่งของวันที่ 14 เมษายน 2546 แสดงได้ดังรูปที่ 5



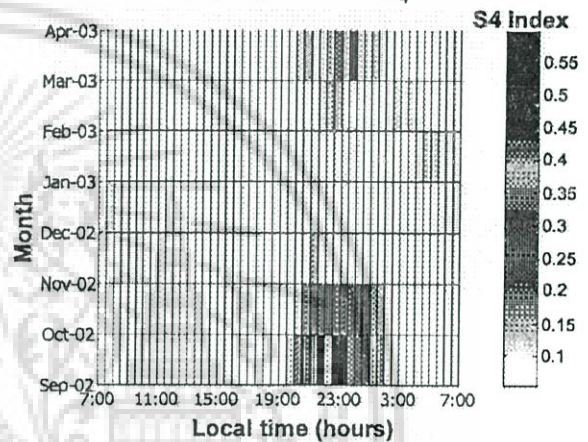
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี S_4 ในรอบหนึ่งวันของวันที่ 14 เมษายน 2546

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 เปรียบเทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะพบว่าช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอย่างรุนแรงนั้นจะเป็นช่วงเวลาที่ความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีการแปรปรวนมาก เนื่องจากเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ (Process of Recombination) ของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนในเวลากลางคืน [2]

และจากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 ในแต่ละเดือนดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าเดือนที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่รุนแรงมาก คือช่วงเดือน กันยายน และมีนาคม โดยเดือนกันยายน 2545 และเดือนมีนาคม 2546 จะมีค่าดัชนี S_4 สูงสุดประมาณ 0.6 และ 0.3 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากเดือนมีนาคมและกันยายนตรงกับช่วง Equinox (ช่วงที่รังสีจากดวงอาทิตย์ฉายตั้งฉากกับแนวเส้นศูนย์สูตร) ทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์หนาแน่นมากกว่าในเดือนอื่น และในช่วงเดือนธันวาคมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันน้อย เนื่องจากเป็นช่วง Solstice (ช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด) [1]



(ก) 3D plot ของดัชนี S_4

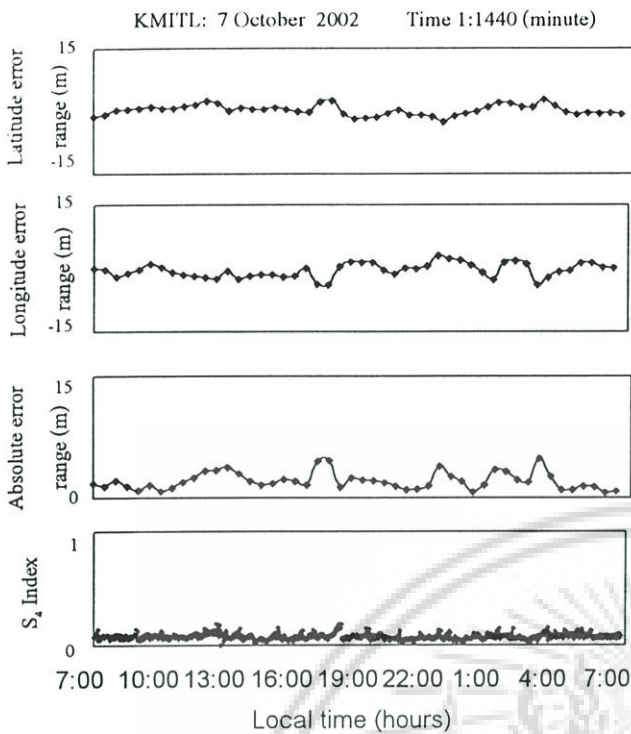


(ข) Contour plot ของดัชนี S_4

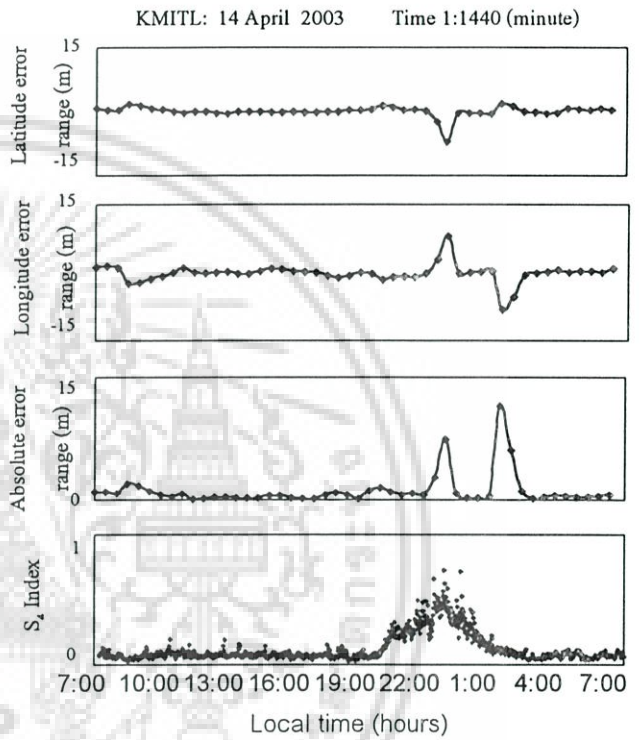
รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยดัชนี S_4 ในเดือนกันยายน 2545-เมษายน 2546 (ก) 3D plot ของดัชนี S_4 (ข) contour plot ของดัชนี S_4

จากการศึกษาข้อมูลการระบุพิกัดของเครื่องรับ GPS พบว่าช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่การระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ GPS เกิดความผิดพลาดมากที่สุด ตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS ทั้งทางละติจูด ลองจิจูด และระยะทางคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ในวันที่ 7 ตุลาคม 2545 ซึ่งเป็นวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันน้อย แสดงได้ดังรูปที่ 7 และแผนภูมิแสดงการกระจายตัวจุดบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS แสดงดังรูปที่ 8

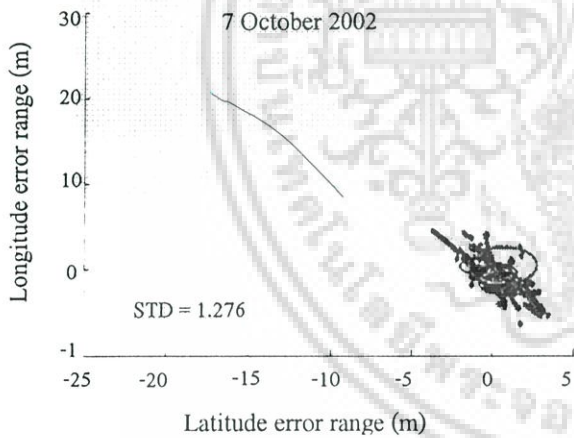
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด วันที่ 7 ตุลาคม 2545

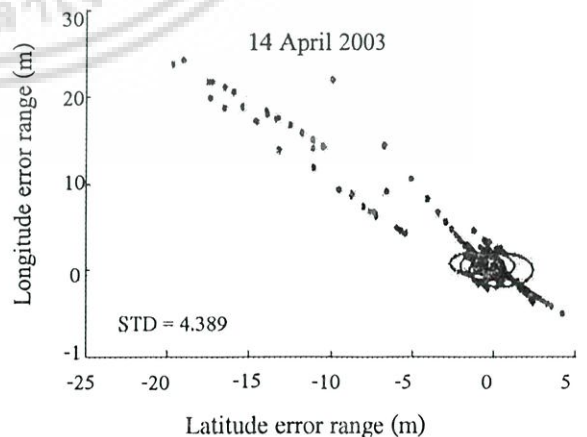


รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด วันที่ 14 เมษายน 2546



รูปที่ 8 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดของเครื่องรับ

จากรูปจะพบว่าจุดบอกพิกัดที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกพิกัดที่ซึ่งแสดงถึงความผิดพลาดในการระบุตำแหน่ง เท่ากับ 1.276 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS ในวันที่ 14 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันก่อนข้างรุนแรง ดังแสดงในรูปที่ 9

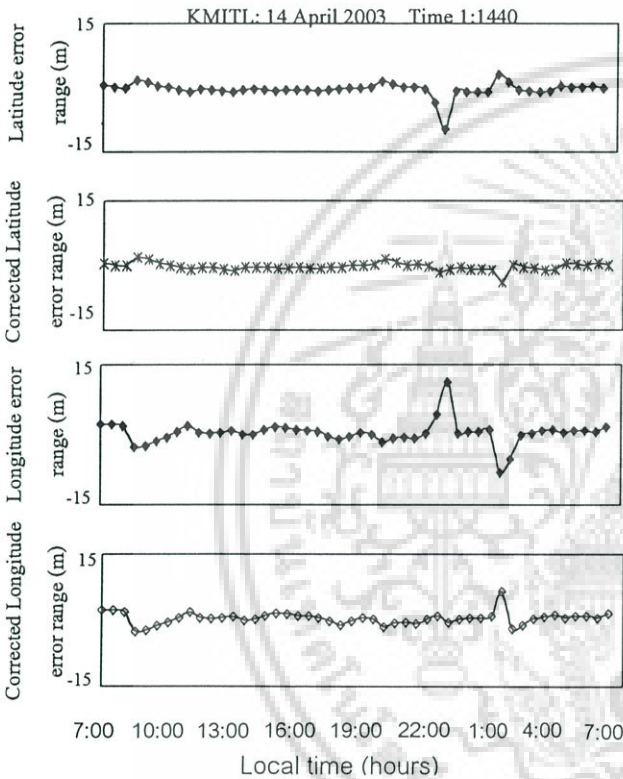


รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดของเครื่องรับ

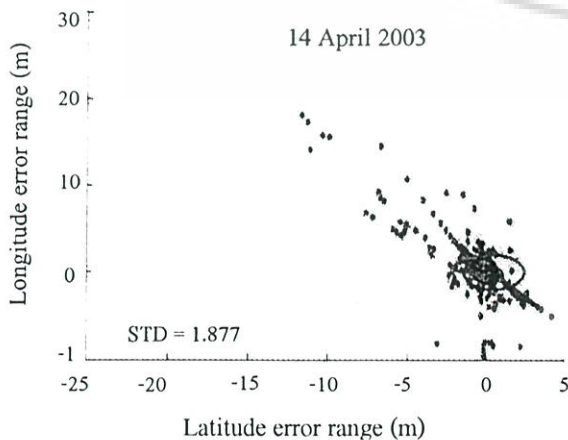
จุดจะคลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งจริงมากที่สุดประมาณ 15 เมตรในช่วงเวลา 23:00 – 1:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ค่าดัชนี S_4 มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด และจากแผนภูมิแสดงการกระจายของจุดบอกพิกัดเครื่องรับ GPS ในรูปที่ 10 พบว่าจุดบอกพิกัดจะมีการกระจัดกระจายเกิดขึ้นมากในเวลากลางคืน โดยสามารถวัดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกพิกัดได้เท่ากับ 4.389

จากรูปจะเห็นว่าค่าพิกัดที่คำนวณได้ทั้งทางละติจูดและลองจิจูดมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งค่าพิกัดที่คำนวณได้ทั้งทางละติจูดและลองจิจูดมีความสัมพันธ์กัน ไม่อย่างนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดเนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งมีผลต่อการคำนวณพิกัดที่คลาดเคลื่อนของเครื่องรับจะถูกแก้ไขด้วยสมการที่ 9 ซึ่งค่าพิกัดของเครื่องรับที่คำนวณได้ใหม่นี้จะมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางละติจูดและลองจิจูดที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ทั้งก่อนและหลังได้รับการแก้ไขให้ถูกต้องมากขึ้น และรูปที่ 12 แสดงแผนภูมิการกระจายของจุดบอกลูกพิกัดที่แก้ไขแล้ว

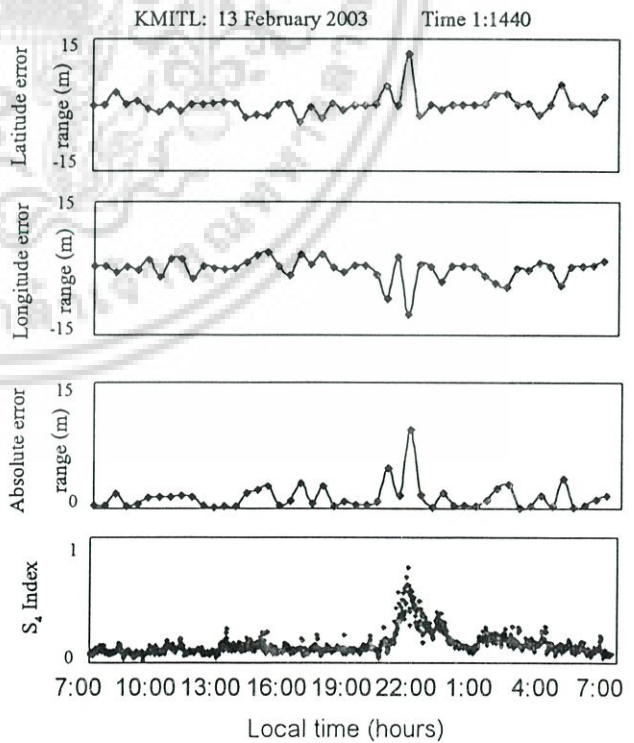


รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดของเครื่องรับ GPS ก่อนและหลังได้รับการแก้ไข



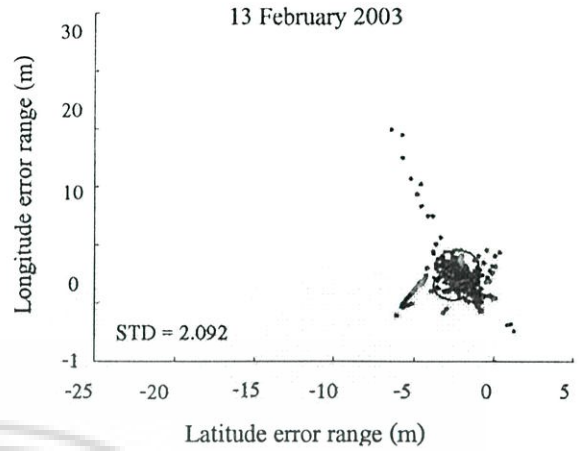
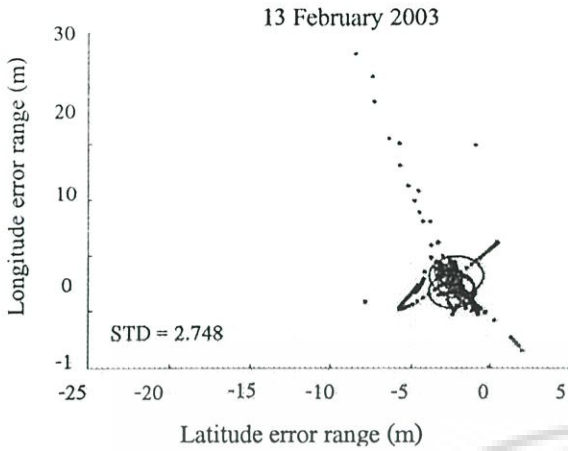
รูปที่ 12 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของจุดบอกลูกพิกัดที่ถูกแก้ไข

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่าพิกัดที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้ว จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าค่าพิกัดที่ปราศจากการแก้ไข โดยพิกัดของเครื่องรับทั้งทางละติจูดและลองจิจูดจะคลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งจริงมากที่สุดประมาณ 5 เมตร และเมื่อพิจารณาแผนภูมิการกระจายของจุดบอกลูกพิกัดในรูปที่ 12 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าจุดบอกลูกพิกัดที่ได้รับการแก้ไขใหม่นี้จะมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกลูกพิกัดที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าเท่ากับ 1.877 ซึ่งลดลง 2.3 เท่าจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกลูกพิกัดที่ปราศจากการแก้ไข และเมื่อนำสมการที่ 9 ไปแก้ไขค่าพิกัดที่คลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2546 ผลปรากฏว่าสามารถลดระยะทางที่ผิดพลาดไปจากตำแหน่งที่ถูกตั้งได้เช่นเดียวกัน โดยแสดงผลได้ดังนี้ รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนในการบอกลูกพิกัดของเครื่องรับ GPS ในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2546 และรูปที่ 14 แสดงแผนภูมิแสดงการกระจายของจุดบอกลูกพิกัดเครื่องรับ GPS โดยสามารถวัดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกลูกพิกัดได้เท่ากับ 2.748



รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น การบอกลูกพิกัด วันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2546 การนำค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

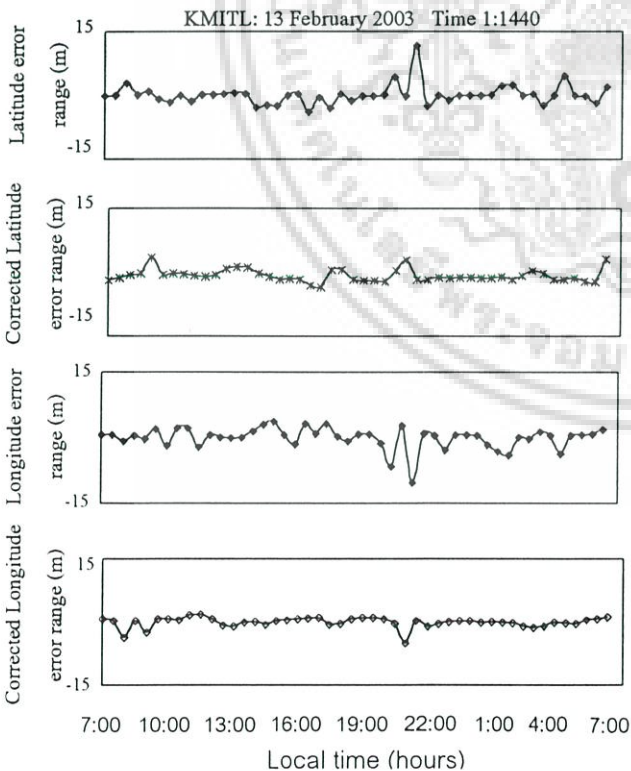


รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดที่ถูกแก้ไข

รูปที่ 16 แผนภูมิแสดงการกระจายตัวของจุดบอกพิกัดที่ถูกแก้ไข

รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางละติจูดและลองจิจูดที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง ทั้งก่อนและหลังได้รับการแก้ไขให้ถูกต้องมากขึ้น ในวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2546 และรูปที่ 16 แสดงแผนภูมิการกระจายของจุดบอกพิกัดที่แก้ไขแล้ว

จากรูปที่ 15 จะเห็นว่าพิกัดที่ไม่ได้ถูกแก้ไขจะคลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งจริงมากที่สุดประมาณ 15 เมตรทั้งทางละติจูดและลองจิจูด ในขณะที่พิกัดที่คำนวณจากระยะทางเทียมที่ได้รับการแก้ไขแล้ว จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่า โดยพิกัดของเครื่องรับทั้งทางละติจูดและลองจิจูดจะคลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งจริงมากที่สุดประมาณ 7 เมตร และเมื่อพิจารณาแผนภูมิการกระจายของจุดบอกพิกัดในรูปที่ 16 จะเห็นได้ว่าจุดบอกพิกัดที่ได้รับการแก้ไขใหม่นี้จะมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกพิกัดที่ได้รับการแก้ไขแล้วมีค่าเท่ากับ 2.092 ซึ่งลดลง 1.31 เท่าจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดบอกพิกัดที่ปราศจากการแก้ไข



5. สรุป

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ จะเกิดในช่วงเวลาประมาณ 20:00-1:00น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดความแปรปรวนอย่างรุนแรง โดยเดือนที่แอมพลิจูดของสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างกะทันหันรุนแรงมากที่สุด คือเดือน มีนาคม และ เดือนกันยายนซึ่งวัดค่าดัชนี S_4 ได้มากที่สุดเท่ากับ 0.3 และ 0.6 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นช่วงเดือน Equinox นอกจากนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความแม่นยำ

รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดของเครื่องรับ GPS

ก่อนและหลังได้รับการแก้ไข
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการระบุตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ดังนั้นเมื่อทำการแก้ไขค่าระยะทางเทียมที่ผิดพลาดนี้ด้วยฟังก์ชันของค่าดัชนี S_4 ให้ความถูกต้องมากขึ้นก่อนจะนำค่าระยะทางเทียมนี้ไปคำนวณพิกัดของเครื่องรับแล้ว จะทำให้พิกัดของเครื่องรับที่ได้ใหม่นี้มีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ถูกต้องไม่เกิน 10 เมตร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอแสดงความขอบคุณต่อโครงการ New Post PARTNERS ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Allnutt J. M. , *Satellite to Ground Radiowave Propagation Theory, Practice and System Impact at Frequencies above 1 GHz*. Peter Peregrinus Ltd., London ,1989.
- [2] เอกพล มิ่งขวัญ. “ปัจจัยที่ลดทอนความแม่นยำจีพีเอสในภาวะที่มีความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สูงสุด.”วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. , 2546.
- [3] Jonathan Nichols, Andrew Hansen, Todd Walter and Per Enge.“ High Latitude Measurements of Ionospheric scintillation Using theNSTB.”, *Proceedings of ION GPS-99.*,1999.
- [4] Bancroft, S. An algebraic solution of the GPS equations, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* 21 (1985) 56-59.
- [5] A.J. Van Dierendonck, P. Fenton and J.Klobuchar. “Commercial Ionospheric Scintillation Monitoring Receiver Development and Test Results”, 1996. ” *Proceedings of ION 52nd Annual meeting.*, The institute of Navigation., Cambridge, 1996.
- [6] เอกชัย ชัยประเสริฐสิทธิ , *การวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถอดอย*. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์., 2527.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียนบทความ



น.ส. ปัทมา พุ่มชูศักดิ์ กำลังศึกษาในระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศึกษางานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS

รูปอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS



รศ.ณรงค์ เหมกรณ์ จบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยโตเกียว ศึกษาวิจัยด้านการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน และการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม

แปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม



รศ.นิภา ลีลาจวิ จบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ศึกษาวิจัยด้านปรากฏการณ์การกระเจิงของคลื่นวิทยุและการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม

คลื่นวิทยุและการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล : นางสาวปัทมา พุ่มชูศักดิ์
 วัน เดือน ปี เกิด : 26 มกราคม พ.ศ. 2521
 สถานที่เกิด : อ.เมือง จ.พิจิตร
 วุฒิการศึกษา : ปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม (วศ.บ.) คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำเร็จการ
 ศึกษาปี พ.ศ. 2542

ผลงานทางวิชาการ :

1. “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของสัญญาณดาวเทียม GPS” วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ฉบับที่ 2 ปีที่ 12 เดือน สิงหาคม พ.ศ.2547.
2. “The Deterioration of GPS Accuracy Caused by Ionospheric Amplitude Scintillation” The 1st ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2004), Pattaya, Thailand, 13-14 May 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้