

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัญญาณแอมพลิจูดและเฟสอย่างกระทันหันของ
ดาวเทียม GPS

The study on Amplitude and Phase Scintillation on GPS Satellite Signal



คณะผู้วิจัย

รศ.นิภา ลีถาวรจิ

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

นางสาวภักทริยา ธีรภัทรไพบูลย์

RCH

TL

498

.N3

หบ๒.3.๖

เลขหมู่.....

67381

เลขทะเบียน.....

29 พ.ย. 2549

วัน,เดือน,ปี.....

b. 11664721
i.

ห้องปฏิบัติการวิจัยสื่อสารดาวเทียม

โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS (ความถี่ 1575.42 MHz) เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เกิดขึ้นในรอบหนึ่งวัน และในแต่ละฤดูกาล ตั้งแต่เดือนกันยายน 2544 ถึงเดือนกันยายน 2548 โดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากการศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ด้วยค่าดัชนี S_4 สำหรับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันและ σ_ϕ (60sec) สำหรับการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหัน พบว่าในช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันนั้น การระบุตำแหน่งจะเกิดความผิดพลาดไปจากตำแหน่งที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันเป็นระยะทางมากกว่า 10 เมตร

Abstract

This paper presents analysis of the diurnal and seasonal ionospheric scintillation on GPS signal (1575.45 MHz) during the period of September, 2001 to September, 2003 by using the GSV4000 GPS receiver installed at KMITL. From the study on the characteristic of ionospheric scintillation on GPS signal by using S_4 index to identify the amplitude scintillation and σ_ϕ (60sec) to identify the phase scintillation, found that the ionospheric scintillation phenomena impact on the GPS signal leading to the error in the global positioning system. From the results, we found that the error range on scintillation period differ from the non-scintillation period more than 10 meters.

สารบัญเรื่อง

	หน้า
1 บทนำ.....	1
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	2
2.1 ระบบบอกพิกัดของดาวเทียม GPS.....	2
2.2 ดัชนีวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	4
2.3 ดัชนีวัดการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหัน.....	5
3 การทดลองวิจัย.....	5
4 ผลการวิเคราะห์.....	6
4.1 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันในระหว่างวัน.....	6
4.2 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันในรายเดือนและรายปี.....	7
4.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันที่มีต่อการบอกพิกัดของดาวเทียม GPS.....	10
5 สรุป.....	11
6 ข้อเสนอแนะ.....	12
7 เอกสารอ้างอิง.....	13
8 ภาคผนวก.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่าง กะทันหัน.....	1
2	ตำแหน่งดาวเทียมและเครื่องรับ GPS.....	2
3	ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ตำแหน่งต่างๆ บน โลก.....	4
4	ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000.....	6
5	(ก) การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี S_4 ในรอบหนึ่งวันของวันที่ 14 เมษายน 2546 (ข) การเปลี่ยนแปลงของค่า σ_f (60sec) ในรอบหนึ่งวันของวันที่ 14 เมษายน 2546.....	7
6	ค่าเฉลี่ยดัชนี S_4 ระหว่างเดือนกันยายน 2545-2548 (ก) ภาพ 3 มิติของดัชนี S_4 (ข) ภาพคอนทัวร์ของดัชนี S_4	8
7	ค่าเฉลี่ย σ_f (60sec) ระหว่างเดือนกันยายน 2545-2548 (ก) ภาพ 3 มิติของ σ_f (60sec) (ข) ภาพคอนทัวร์ของ σ_f (60sec).....	9
8	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด วันที่ 7 ตุลาคม 2545.....	10
9	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด วันที่ 14 เมษายน 2546.....	11

สารบัญตาราง

ตารางที่

I รายละเอียดของระบบการวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

หน้า

6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

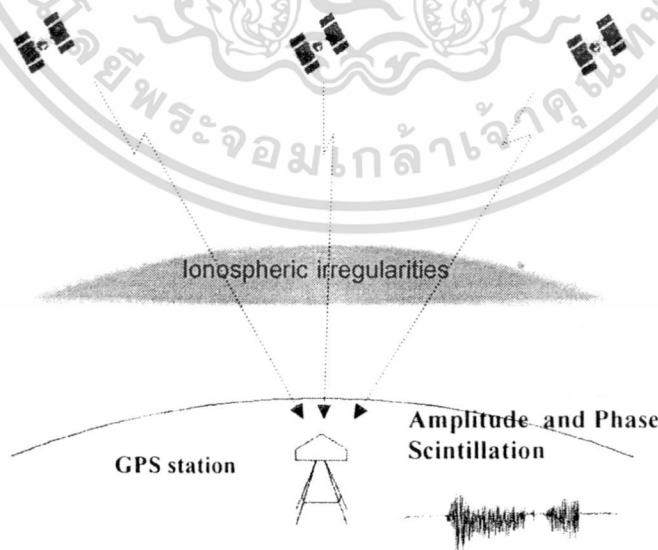
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

GPS (Global Positioning System)	การบอกพิกัดบนพื้นโลกด้วยระบบดาวเทียม ที่ควบคุมโดย กระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา
S_4	ค่าดัชนีที่ใช้วัดความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง กะทันหันของสัญญาณดาวเทียม
σ_p (60sec)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเฟสที่ใช้วัดความรุนแรงของการ เปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม
ρ	ค่าระยะทางเทียมที่คำนวณได้ทางทฤษฎี จากดาวเทียมไปยัง เครื่องรับ
x_i, y_i, z_i	ตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง
x, y, z	ตำแหน่งของเครื่องรับ GPS
C	ความเร็วแสง (3×10^8 m/s)
Δt	เวลาที่สัญญาณเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ
Equinox	ช่วงเวลาที่รังสีจากดวงอาทิตย์ฉายตั้งฉากกับแนวเส้นศูนย์สูตร
Solstice	ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นช่องทางที่สำคัญประการหนึ่งในการติดต่อสื่อสารจากสถานที่ซึ่งอยู่ห่างไกลกัน ช่วยให้โลกมีการสื่อสารที่ไร้พรมแดน แต่กระนั้นสัญญาณดาวเทียมอาจถูกลดทอนลงเนื่องจากสาเหตุทางสภาพแวดล้อมและปัจจัยทางธรรมชาติต่างๆ อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ การลดทอนเนื่องจากฝน การรบกวนจากดวงอาทิตย์ ฯลฯ ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเหล่านี้ล้วนมีส่วนทำให้สัญญาณดาวเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งแอมพลิจูดและเฟสเป็นแบบสุ่ม (Random) สัญญาณจึงเกิดการแกว่งขึ้นลงไปมา หรือเรียกว่า การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอย่างกระทันหัน (Scintillation) นำมาซึ่งความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูล จากความจริงที่ว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่สูงประมาณ 60-1000 กิโลเมตรจากพื้นโลก ในเวลากลางวันชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะได้รับพลังงานรังสีจากดวงอาทิตย์ ทำให้โมเลกุลของก๊าซเกิดการแตกตัว (Ionize) เป็นอ็อนและอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก โดยที่การแตกตัวของโมเลกุลก๊าซในแต่ละช่วงเวลาและในแต่ละระดับความสูงจะเกิดไม่เท่ากัน จากนั้นอ็อนและอิเล็กตรอนอิสระจะทำการรวมตัวกันอีกครั้ง (Recombination) โดยอัตราการแตกตัวมีค่าเท่ากับอัตราการรวมตัว และในเวลากลางคืนเมื่อไม่มีอิทธิพลจากรังสีของดวงอาทิตย์จะทำให้อัตราการแตกตัวมีค่าน้อยกว่าอัตราการรวมตัว ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนอิสระ เกิดเป็นกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนขึ้นในชั้นบรรยากาศ (Ionospheric irregularities) จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1,2] พบว่าเมื่อสัญญาณดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งมีความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอน จะถูกหักเห ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างกระทันหัน [3] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน

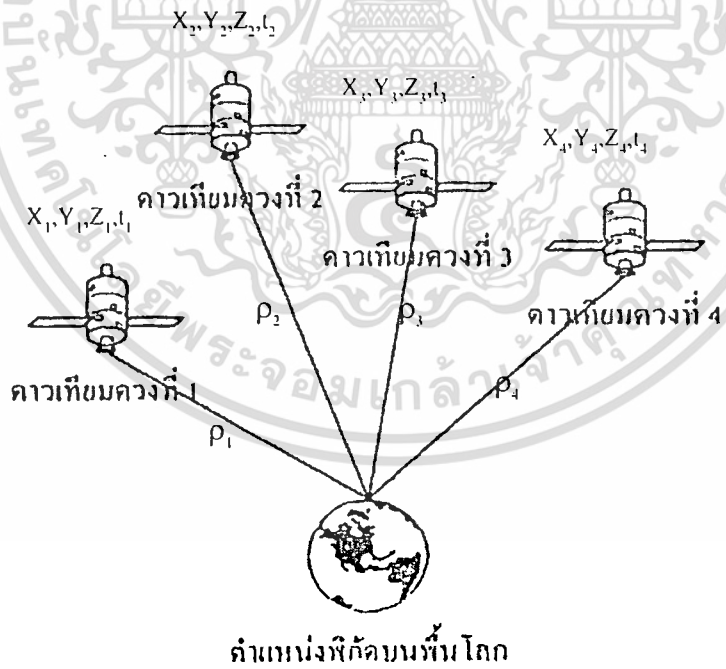
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีผลทำให้การระบุตำแหน่งของสัญญาณดาวเทียม GPS เกิดความผิดพลาด [4] โดยระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณนี้ขึ้นอยู่กับ ฤดูกาล เวลาในแต่ละวัน และตำแหน่งละติจูดของพื้นที่ที่ทำการศึกษา [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในรอบหนึ่งวัน และแต่ละเดือน เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกระทันหันที่มีต่อการระบุตำแหน่งบนพื้นโลก

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบอกพิกัดของดาวเทียม GPS (The Global Positioning System)

ระบบ GPS ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โคจรสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร ด้วยวงโคจรระดับกลาง (Medium Earth Orbit) 6 วงโคจร แต่ละวงโคจรทำมุมเอียง 55° สัญญาณที่ส่งจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงจะประกอบด้วยข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณตำแหน่งบนพื้นโลกนั่นคือ ข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง และเวลาที่เริ่มส่งสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง ดังแสดงในรูปที่ 2 [4]



รูปที่ 2 ตำแหน่งดาวเทียมและเครื่องรับ GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ GPS คือ การรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS อย่างน้อย 4 ดวง เพื่อใช้สำหรับแก้สมการหาตำแหน่ง x, y, z ของเครื่องรับด้วยวิธี Least-Squares Solution [6] โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงได้ดังสมการที่ (1), (2), (3) และ (4)

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 = \rho_1^2 \quad (1)$$

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

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 = \rho_3^2 \quad (3)$$

$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 = \rho_4^2 \quad (4)$$

โดยที่ x_i, y_i, z_i แทนตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง
 x, y, z แทนตำแหน่งของเครื่องรับ GPS
 ρ แทนระยะทางเทียมจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ GPS

ค่า ρ เป็นระยะทางเทียม (Pseudo-Range) จากดาวเทียมถึงเครื่องรับ GPS ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (5)

$$\rho = c(\Delta t) \quad (5)$$

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

แต่อย่างไรก็ตามพบว่า การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความแม่นยำในการคำนวณพิกัด เนื่องจากเมื่อสัญญาณดาวเทียม GPS เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอน ทำให้สัญญาณเกิดการหักเหจึงเดินทางถึงเครื่องรับช้ากว่าปกติ ส่งผลให้ระยะทางเทียมที่คำนวณได้เกิดการผิดพลาด เมื่อนำไปคำนวณหาพิกัดจึงได้พิกัดที่ไม่ถูกต้อง โดยที่การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมในระบบ GPS จะมีช่วงเวลาและสาเหตุของการเกิดดังนี้ [1,2]

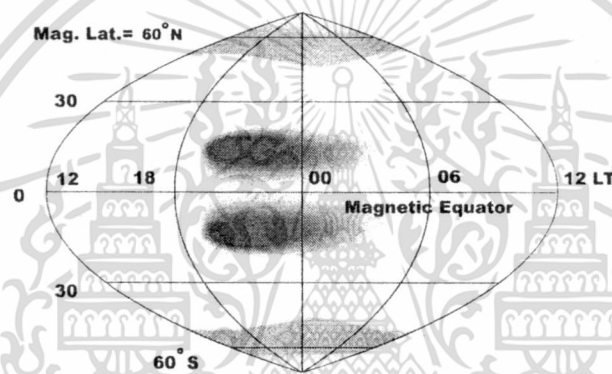
การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตกประมาณ 1 ชั่วโมง เนื่องจาก ณ ช่วงเวลาดังกล่าวชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ทำให้สัญญาณที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมีคุณลักษณะเปลี่ยนแปลงไป

ในการเปลี่ยนแปลงรายปี จำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงกะทันหันของสัญญาณจะมีค่ามากที่สุดในเดือนมีนาคมและกันยายน เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วง Equinox ซึ่งเป็นช่วงที่รังสีเอกซารนี้เป็นเอกซารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากดวงอาทิตย์ฉายตั้งฉากกับแนวเส้นศูนย์สูตรของโลก ส่งผลให้อิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความหนาแน่นมากกว่าในเดือนอื่นๆ ในขณะที่จำนวนครั้งของการเกิดจะมีค่าน้อยที่สุดในเดือนมิถุนายนและธันวาคม เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วง Solstice ซึ่งเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด [3]

การเปลี่ยนแปลงกระทันหันของสัญญาณจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในทุกๆ 11 ปี ตามวัฏจักรสุริยะ โดยปีที่ครบรอบวัฏจักรจะเป็นปีที่มีกิจกรรมและมีปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์สูงที่สุด ดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาสู่อวกาศ ซึ่งจะรบกวนสภาพชั้นบรรยากาศของโลก

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงภายในบริเวณละติจูด $\pm 30^\circ$ ของเส้นศูนย์สูตรสนามแม่เหล็กโลก [7] และบริเวณที่มีความรุนแรงของการเกิดรองลงมาคือบริเวณขั้วโลกทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่ตำแหน่งต่างๆ บนโลก

ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกระทันหันจะเกิดขึ้นในบริเวณที่สนามแม่เหล็กโลกมีความแปรปรวนมาก โดยการเปลี่ยนแปลงตามค่าสนามแม่เหล็กโลกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกระทันหันในทางอ้อมคือ เมื่อสนามแม่เหล็กมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างฉับพลันหรือที่เรียกว่า Sudden Storm Commencement (SSC event) ถ้าเกิดในเวลากลางวันจะส่งผลให้ค่า TEC เพิ่มขึ้น แต่หากเกิดในตอนกลางคืนอาจทำให้ค่า TEC ลดลงทันที หรืออาจทำให้ค่า TEC เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในวันถัดมา [10]

2.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน (Amplitude scintillation measurement)

การวัดระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันนั้นสามารถวัดได้หลายวิธี เช่น การประมาณความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันด้วยค่าดัชนี S1 แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะเป็นแบบสุ่ม ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงได้มีการนำค่าดัชนี S_4 มาใช้ในการแสดงถึงระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องมากกว่าและเป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป [6] ดังสมการที่ (6)

$$S_4 = \sqrt{\frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A \rangle^2}} \quad (2)$$

โดยที่ A คือ แทนระดับสัญญาณที่ถูกสุ่มด้วยความถี่ 50 Hz
 $\langle \rangle$ คือ แทนค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงเวลา 1 นาที
 $\frac{S}{N_0}$ คือ แทนค่าเฉลี่ยของ Signal-to-noise density ในช่วงเวลา 1 นาที

จากสมการที่ (6) เทอมแรกในเครื่องหมายรากเป็นค่าที่รวมสัญญาณรบกวนอื่นเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมใกล้เคียง (Ambient noise) เข้าไว้ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณรบกวนนี้ก่อนด้วยค่าดัชนีอื่นเนื่องจากสัญญาณรบกวน (เทอมที่ 2 ในเครื่องหมายราก) ซึ่งได้มาจากการจำลองค่าเฉลี่ยของ Signal-to-noise density ในช่วงเวลา 1 นาที [8]

2.3 การวัดการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหัน (Phase scintillation measurement)

การวัดระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหันนั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเฟส ดังสมการที่ (7) [11]

$$\sigma_\phi(60\text{sec}) = \sqrt{\langle \sigma_\phi \rangle^2} \quad (3)$$

โดยที่ σ_ϕ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเฟส ในหน่วยเรเดียน (radian)

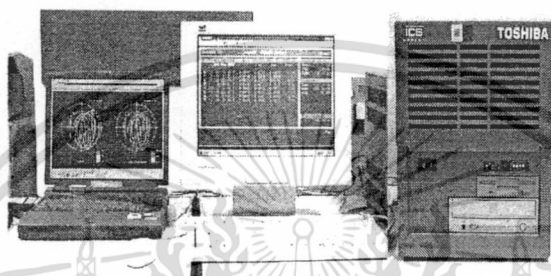
3. การทดลองวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ที่ความถี่ 1575.42 MHz โดยใช้ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000 ซึ่งถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการรับสัญญาณดาวเทียม GPS สามารถประมวลผลค่าดัชนี S_4 และ $\sigma_\phi(60\text{sec})$ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำสูง ที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รายละเอียดของระบบแสดงดังตารางที่ 1 และชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS แสดงได้ดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ชุดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น GSV4000

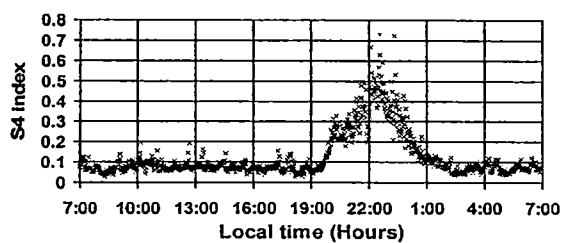
4. ผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลค่าดัชนี S_4 ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (6) และค่าดัชนี σ_f (60sec) ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (7) ตั้งแต่เดือนกันยายน 2544 ถึง เดือนกันยายน 2548 มาวิเคราะห์หา ลักษณะและระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในช่วงเวลาแต่ละวัน แต่ละเดือน ซึ่งจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 พบการเปลี่ยนแปลง ดังนี้

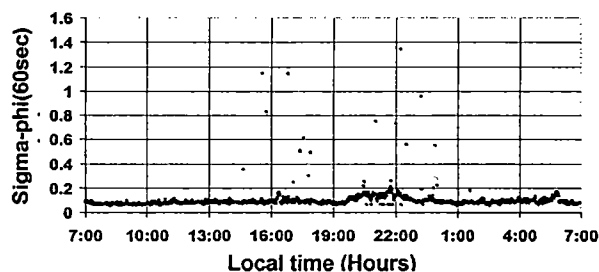
4.1 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันในระหว่างวัน

จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 ในรอบหนึ่งวันพบว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ จะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากดวงอาทิตย์ตก ในช่วงเวลาประมาณ 20:00 – 1:00 น. โดยช่วงเวลาที่เกิดรุนแรงที่สุด คือช่วงเวลาประมาณ 21:00 – 22:00 น. ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี σ_f (60sec) ในรอบหนึ่งวันพบว่า การเปลี่ยนแปลงเฟสอย่างกะทันหันของสัญญาณ จะเริ่มขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 16:00 – 1:00 น. โดยช่วงเวลาเกิดรุนแรงที่สุด คือช่วงเวลาประมาณ 18:00 – 1:00 น. ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ตัวอย่างแสดงการเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 และ σ_f (60sec) ในรอบหนึ่งของวันที่ 14 เมษายน 2546 แสดงได้ดังรูปที่ 5 (ก) และ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

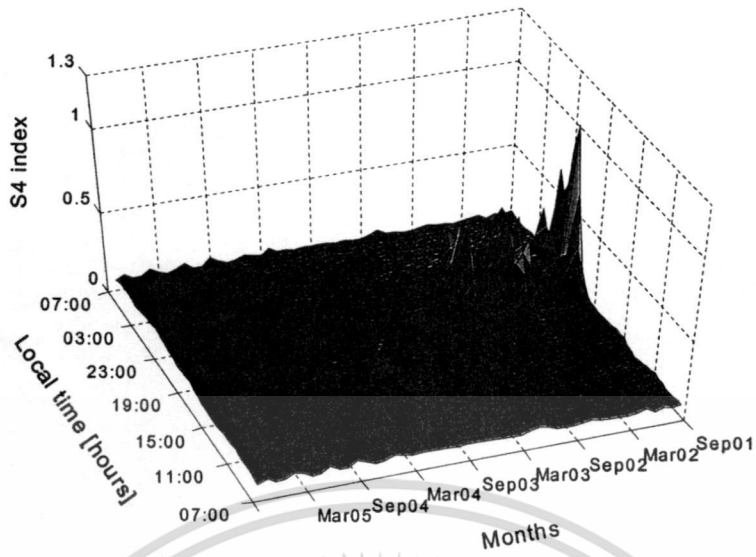
รูปที่ 5 (ก) การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี S_4 ในรอบหนึ่งวันของวันที่ 14 เมษายน 2546

(ข) การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนี σ_p (60sec) ในรอบหนึ่งวันของวันที่ 14 เมษายน 2546

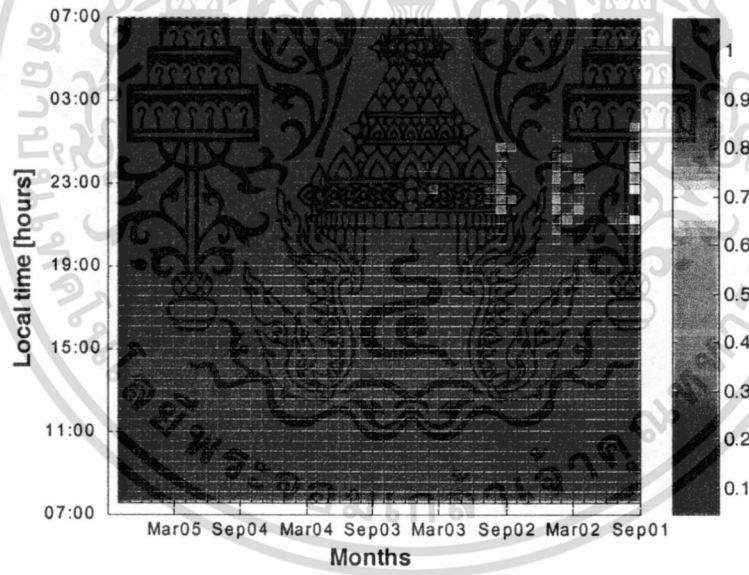
จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าดัชนี S_4 และ σ_p (60sec) เปรียบเทียบกับค่าปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ พบว่าช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกระทันหันอย่างรุนแรงนั้นจะเป็นช่วงเวลาที่ความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการแปรปรวนมาก เนื่องจากเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนอิสระและไอออนในเวลากลางคืน [4]

4.2 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกระทันหันในรายเดือนและรายปี

เมื่อวิเคราะห์ในแต่ละเดือนดังแสดงในรูปที่ 6 (ก), (ข) และ 7(ก), (ข) พบว่าเดือนที่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกระทันหันรุนแรง คือช่วงเดือนมีนาคมและกันยายน โดยเดือนกันยายน 2545 มีค่าดัชนี S_4 สูงสุดประมาณ 0.6, ค่า σ_p (60sec) สูงสุดประมาณ 0.16 และเดือนมีนาคม 2546 มีค่าดัชนี S_4 สูงสุดประมาณ 0.60, ค่า σ_p (60sec) สูงสุดประมาณ 0.15 เนื่องจากเดือนมีนาคมและกันยายนตรงกับช่วง Equinox (ช่วงที่รังสีจากดวงอาทิตย์ฉายตั้งฉากกับแนวเส้นศูนย์สูตร) ทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์หนาแน่นมากกว่าในเดือนอื่น และในช่วงเดือนธันวาคมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณน้อย เนื่องจากเป็นช่วง Solstice (ช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด) [3]



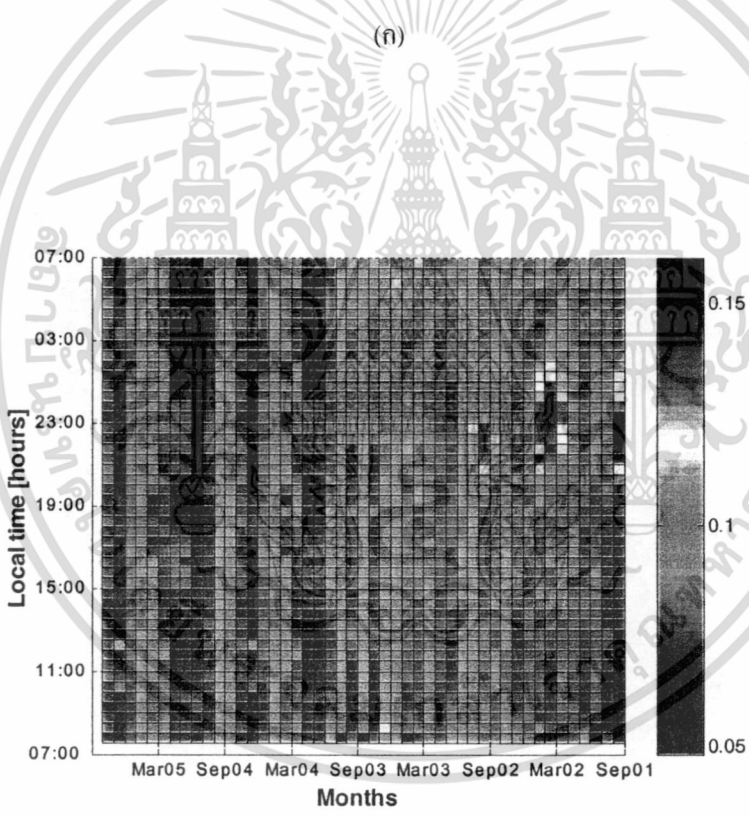
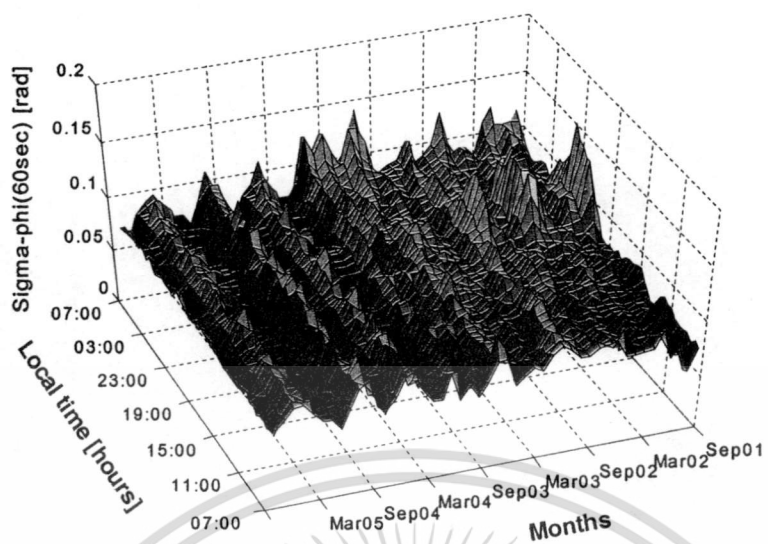
(ก)



(ข)

รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยดัชนี S_4 ระหว่างเดือนกันยายน 2544-2548 (ก) ภาพ 3 มิติของดัชนี S_4 (ข) ภาพคอนทัวร์ของดัชนี S_4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



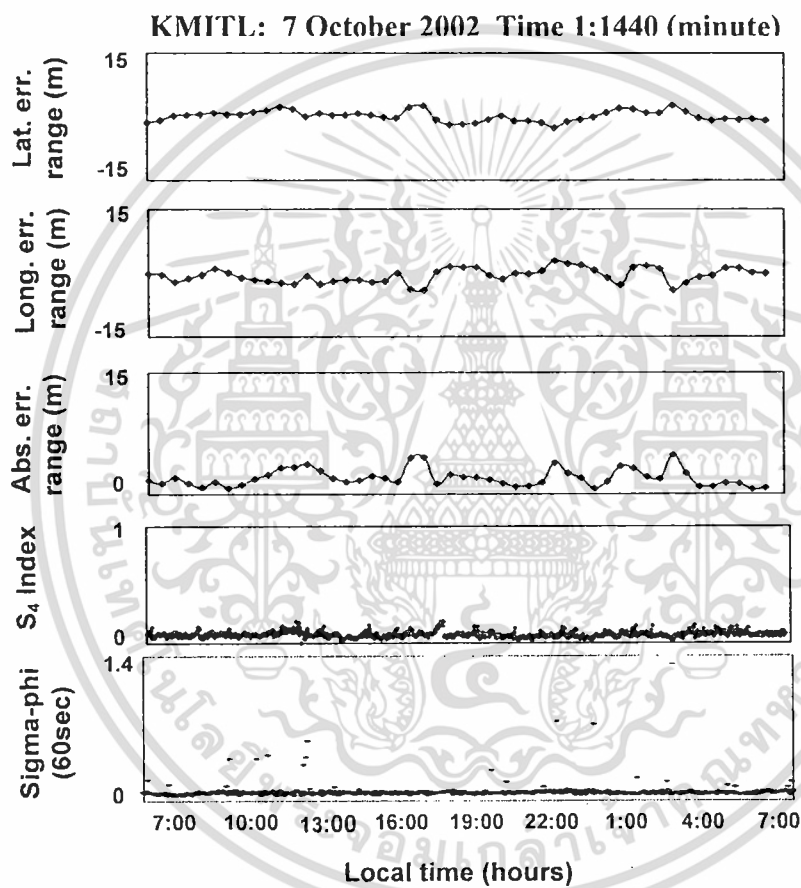
(ข)

รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ย σ_{ϕ} (60sec) ระหว่างเดือนกันยายน 2544-2548
 (ก) ภาพ 3 มิติของ σ_{ϕ} (60sec) (ข) ภาพคอนทัวร์ของ σ_{ϕ} (60sec)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันที่มีต่อการบอกพิกัดของดาวเทียม GPS

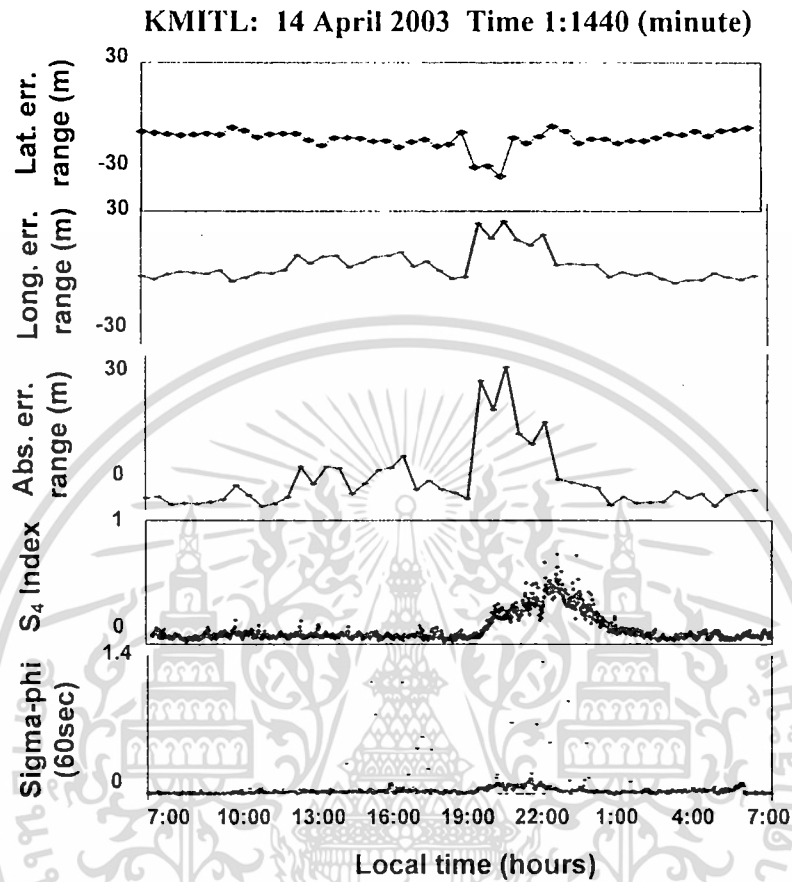
เมื่อพิจารณาข้อมูลการระบุพิกัดของเครื่องรับ GPS พบว่าช่วงเวลาที่มีสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่การระบุตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ GPS เกิดการคลาดเคลื่อนมากที่สุด ตัวอย่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนี S_4 และ σ_{ϕ} (60sec) กับความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS ทั้งทางละติจูด ลองจิจูด และ ระยะทางคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ในวันที่ 7 ตุลาคม 2545 ซึ่งเป็นวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันน้อย แสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด วันที่ 7 ตุลาคม 2545

เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี S_4 กับความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของเครื่องรับ GPS ในวันที่ 14 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นวันที่สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณค่อนข้างรุนแรง ดังแสดงในรูปที่ 9 จากรูปจะเห็นว่าค่าพิกัด ที่คำนวณได้ทั้งทาง ละติจูดและลองจิจูดจะคลาดเคลื่อนออกจากตำแหน่งในช่วงที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

เป็นระยะทางมากที่สุดประมาณ 15 เมตรที่เวลา 23:00 – 1:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ค่าดัชนี S_4 และ σ_{ϕ} (60sec) มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการบอกพิกัด วันที่ 14 เมษายน 2546

5. สรุป

การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณจะเกิดในช่วงเวลาประมาณ 20:00-1:00น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดความแปรปรวนอย่างรุนแรง โดยเดือนที่สัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างกะทันหันรุนแรงที่สุด คือเดือนมีนาคมและกันยายน ซึ่งวัดค่าดัชนี S_4 ได้มากที่สุดเท่ากับ 1.2 และ 0.6 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าดัชนี σ_{ϕ} (60sec) มีค่า 0.16 และ 0.15 ตามลำดับ เนื่องจากเป็นช่วงเดือน Equinox นอกจากนี้พบว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสอย่างกะทันหันเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ซึ่งทำให้พิกัดของเครื่องรับที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากช่วงเวลาที่มิเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันไปมากกว่า 10 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อเสนอแนะ

ช่วงปีที่น่ามาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS กับระยะทางสัมบูรณ์ที่คลาดเคลื่อนไปเป็นช่วงกลางของวัฏจักรสุริยะ ซึ่งมีผลทำให้ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันของดาวเทียมมีความรุนแรงไม่มากนัก ในทางปฏิบัติเพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างถูกต้องควรมีการเก็บข้อมูลเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรายปีตามปีวัฏจักรสุริยะ เนื่องจากรังสีจากดวงอาทิตย์นั้นมีอิทธิพลต่อโครงสร้างการกระจายตัวของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ นอกจากนี้ควรนำผลที่ได้จากการวิจัยไปวิเคราะห์เพื่อหาสมการในการแก้ไขความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของระบบ GPS อันเนื่องมาจากปัจจัยจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปัทมา พุ่มชูศักดิ์, “การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.
 - [2] ปัทมา พุ่มชูศักดิ์, “ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของสัญญาณดาวเทียม GPS”, วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง, ฉบับที่ 2, ปีที่ 12, สิงหาคม 2547.
 - [3] Allnutt J. M., “Satellite to Ground Radiowave Propagation Theory, Practice and System Impact at Frequency above 1 GHz”, Peter Peregrinus Ltd., London, 1989.
 - [4] เอกพล มิ่งขวัญ, “ปัจจัยที่ลดทอนความแม่นยำจีพีเอสในภาวะที่มีความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สูงสุด”, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ (คอมพิวเตอร์) บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547, หน้า 1-8.
 - [5] J. Nichols, A. Hansen, T. Walter and P. Enge, “High Latitude Measurements of Ionospheric Scintillation Using the NSTB”, Proceedings of ION GPS-99, 1999.
 - [6] Bancroft S., “An Algebraic Solution of GPS Equations”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 21, 1985, pp.56-59.
 - [7] สมพงษ์ สุกรณ์แก้วดอนม, “การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกระทันหันแถบความถี่ C ที่มุมเงยต่ำ”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546, หน้า 6-20.
 - [8] 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.
 - [9] M. H O Aquino, F. S Rodrigues, A. Dodson, T. Moore and S. Waugh, “Results of Statistical Analysis of GPS Ionospheric Scintillation Data in Northern Europe 13-15 October 2003, Matera, Italy”, which available at http://www.nottingham.ac.uk/icssg/research/research_project/isgres38/icssg_matera_2003_1.pdf
 - [10] อรอนงค์ เพชรนิ่ม, “การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547, หน้า 1-8.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณทหารลาดกระบัง, 2542, หน้า 96-102 .

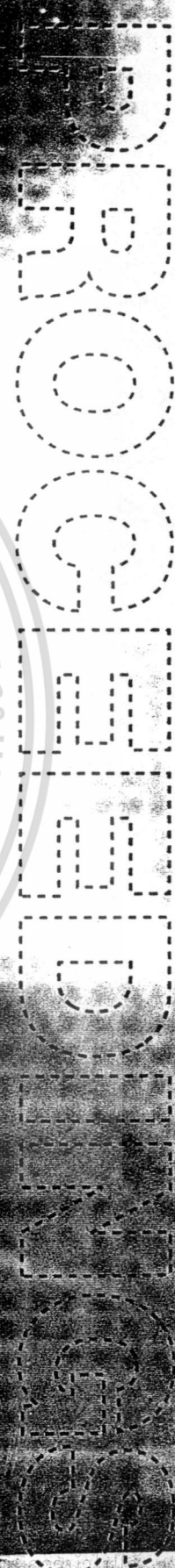
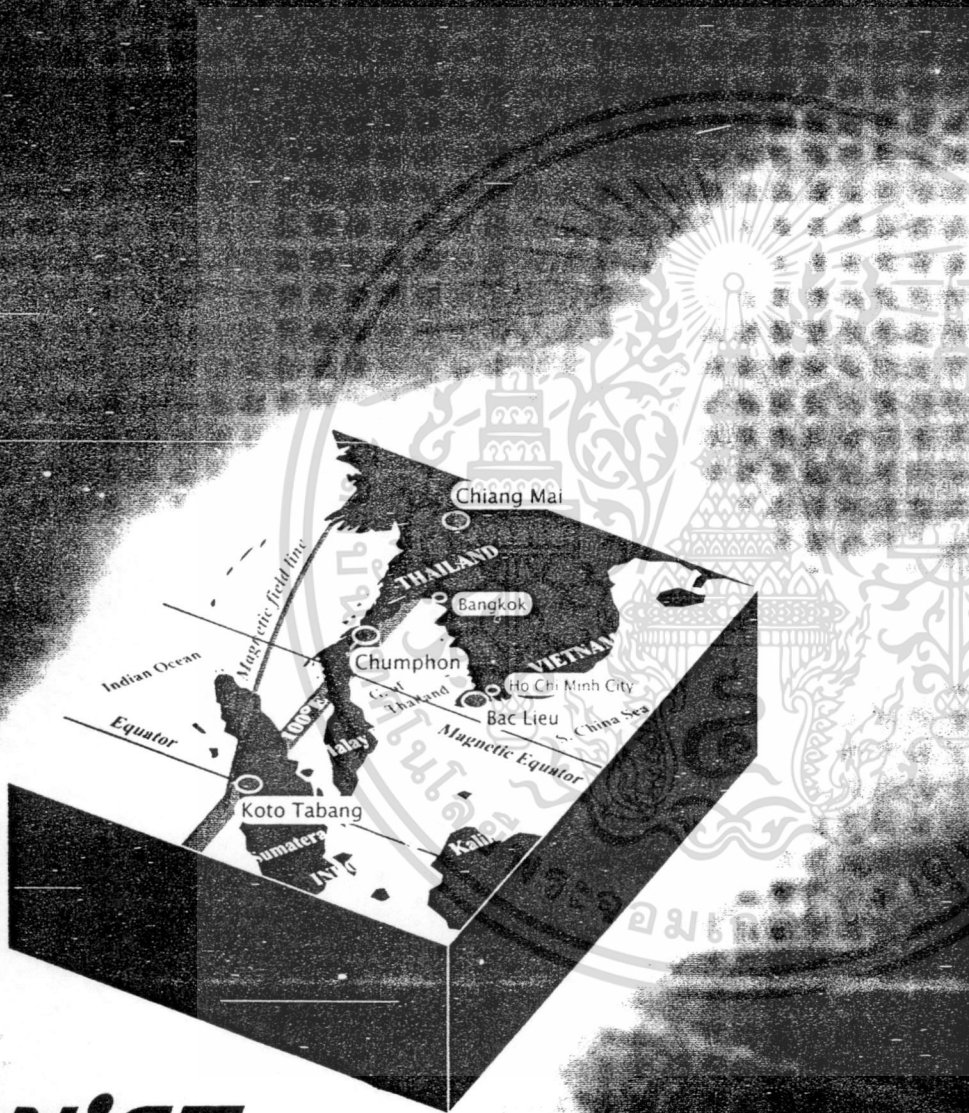
- [11] C. Hegarty, M. B. El-Arini, T. Kim and S. Ericson, "Scintillation Modeling for GPS-Wide Area System Receivers", Radio Science, Vol. 36, No.5, September/October 2001, pp.1221-1231.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Symposium on Earth's Atmosphere

iSEA



NICT



16- 17 December 2004

The Study of Diurnal Ionospheric Scintillation on GPS Signal in Thailand

Pattariya Theerapatpaiboon*, Pattama Phoomchusak, Nipha Leelaruji
and Narong Hemmakorn

Faculty of Engineering and Research Center for Communications
and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Abstract

This paper presents the study of diurnal ionospheric scintillation characteristics on GPS signal (1575.45 MHz) by using the GSV4000 GPS receiver installed at KMITL, Thailand. The analysis employed S_4 index and $\sigma_f(60\text{sec})$ to measure the severity of amplitude and phase scintillation. Furthermore, the analysis included the consideration of relation between diurnal ionospheric scintillation and total electron content (TEC). From the study, we can demonstrate that both types of ionospheric scintillation have a same occurring time around 19:00-01:00 (Local time). The TEC variation being the cause of electron irregular patches leading to the ionospheric scintillation phenomenon.

* Corresponding author : Phone/Fax: +66-2-737-3000 Ext.3326, E-mail: s6064123@kmitl.ac.th

P R O C E E D I N G S

2005 Fifth International Conference on
Information, Communications and Signal Processing

ICICS 2005

6-9 December 2005, Bangkok, Thailand

© 2005 IEEE. Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint / republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

Introduction

Program at a Glance

Session Index

Author Index

Technical Support: ICICS 2005 Secretariat
Email: secretariat@icics.org

ISBN: 0-7803-9283-3 IEEE Catalog Number: 05EX1118C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **67381** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Effects of Sumatra-Andaman Earthquake on Total Ionospheric Electron Content (TEC) and Ionospheric Scintillation of GPS Signal in Thailand

P. Theerapatpaiboon, N. Leelaruji, N. Hemmakorn and P. Supnithi

Faculty of Engineering and Research Center for Communications and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
Phone/Fax: +66-2-737-3000 Ext.3326, E-mail: s6064123@kmitl.ac.th, klnipa@kmitl.ac.th

Abstract— This paper presents the effects of Sumatra-Andaman earthquake (26 December 2004) on the total ionospheric electron content (TEC) by using the TEC Meter (JAVAD) installed at KMITL. From the results, we found that the total ionospheric electron content enhancement at the time of this earthquake is higher than other days about 7 TEC units. Furthermore, the study includes the effect of this phenomenon on GPS signal (1575.45 MHz) by employing S_4 index and σ_{ϕ} (60sec) to identify the severity of amplitude scintillation and phase scintillation, respectively. From the observation, we can conclude that TEC variation is the cause of ionospheric scintillation leading to the position error on GPS about 8 meters.

Keywords— Earthquake, Total ionospheric electron content (TEC), GPS signal, Ionospheric scintillation

I. INTRODUCTION

At presents, satellite communication technology has become an important means to link the worldwide communication system. However, since the signal propagates through the atmosphere, especially the ionosphere. Ionospheric scintillation is one of many phenomena impacting on the signal fluctuation in the random of amplitude and phase changing. Amplitude scintillation results in worsening of accurate data while phase scintillation brings about the losing in phase locked of receiver. In the other words, scintillation is a major cause of the errors in satellite communication system as illustrated in Fig. 1.

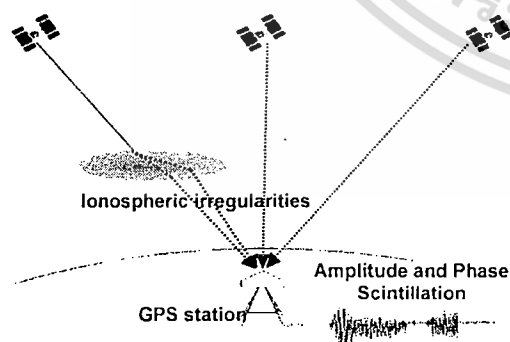


Figure 1. Ionospheric scintillation on the GPS signal.

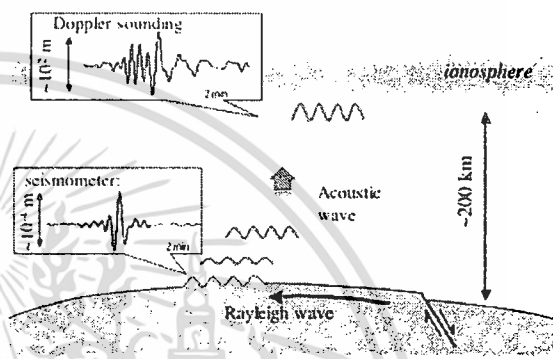


Figure 2. The effects of earthquake on atmosphere [2].

The severity of ionospheric scintillation varies by season, time, solar cycle, the location of the receiver, and the variation of the electron values in the ionosphere [1]. While earthquake: a natural disaster, not only impacts the land, but also disturbs the structure of electron in the ionosphere which represented by Fig. 2.

Earthquake releases the Rayleigh wave into the land caused the land shaking; meanwhile, generates acoustic wave into ionosphere caused the movement, collision and ionization of the charged particles in ionosphere and then the variation of electron values is a result.

II. THEORY

A. Ionospheric Structure

The ionosphere is an atmospheric region filled with charged particles i.e. electron and positive ion that blankets the Earth between altitudes of about 75 to 1000 km. It has a notable ability to interfere with radio waves propagation through it. At the different height of ionosphere, has the different of density, therefore, ionosphere is divided into layers as shown in Fig. 3.

E layer starts at height 100 km above ground (thickness is about 25 km) appearing promptly at sunrise and essentially disappears at sunset.

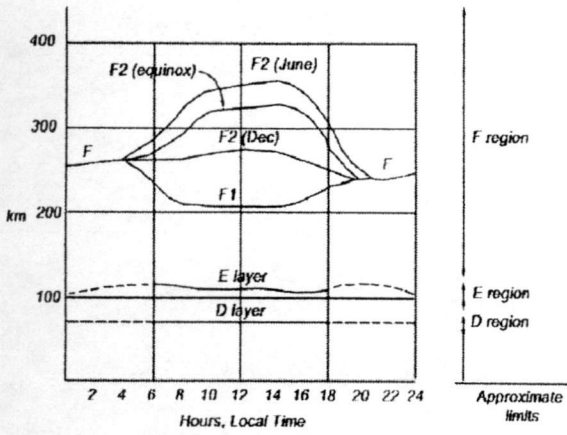


Figure 3. Layer variations in ionosphere [3]

F1 layer is height at 180 km in daytime and its collapse with F2 layer in nighttime. The thickness of this layer is 20 km in daytime.

F2 layer is most important layer in reflect wave. The height is between 250 to 400 km in daytime and fall down at 300 km in nighttime that is collapse with F1 layer become to F layer.

F layer occurs from collapse between F1 and F2 layer. Therefore F layer is only appears in nighttime and this layer has electron density more than other layer.

B. Ionospheric total electron content (TEC)

Ionospheric scintillation relates to TEC values since TEC variation form the electron irregular patches in the ionosphere. The satellite signal propagates through these patches; hence, ionospheric scintillation results. In general, TEC measurements derives from satellite radio signals observed at various angles, and normally expressed as equivalent vertical TEC which defined as the electron content in the vertical column of unit cross-sectional area from the sub-ionospheric point at the ground to satellite. The vertical TEC can be determined by [4]

$$\int_0^h N dh = \cos \chi_m \int_0^s N ds \quad (1)$$

or

$$\text{Vertical TEC} = \cos \chi_m \times \text{slant TEC} \quad (2)$$

where

N is the electron density

s is the slant range from the satellite to the receiver

χ_m is the zenith angle in the ionosphere of the satellite relative to the receiver

C. Amplitude scintillation

Amplitude scintillation varies to the season, time, solar cycle, the location of the receiver. The severity of amplitude scintillation is characterized by many methods. However, due

to the phenomenon randomness, S_4 is index derived by Briggs and Parkins, and defined as follows: [6]

$$S_4 = \sqrt{\frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A \rangle^2}} \quad (3)$$

where

A is the received power of the satellite signal

Note that $S_4 = 0.5$ is the boundary between strong and weak amplitude scintillation ($S_4 > 0.5$ represents strong amplitude scintillation.). Strong amplitude scintillation may cause the received signal to drop below threshold level and lost of received signal.

D. Phase scintillation

Phase scintillation varies by season, time, solar cycle, location of the receiver, magnetic field of the earth. The severity of phase scintillation is characterized by σ_ϕ (60sec) defined as [7]

$$\sigma_\phi(60\text{sec}) = \sqrt{\langle \sigma_\phi \rangle^2} \quad (5)$$

where

σ_ϕ is the standard deviation of signal phase in radian

Similar to the case of S_4 index, $\sigma_\phi = 0.5$ is the boundary between strong and weak phase scintillation ($\sigma_\phi > 0.5$ represents strong phase scintillation.). Strong phase scintillation may cause the frequency Doppler shift in carrier signal leading to the loss of phase lock of receiver [8].

E. 3.5 The global positioning system (GPS)

GPS composes of 24 satellites in 6 Medium Earth Orbit (orbit inclines 55°) as depicted in Fig. 4.

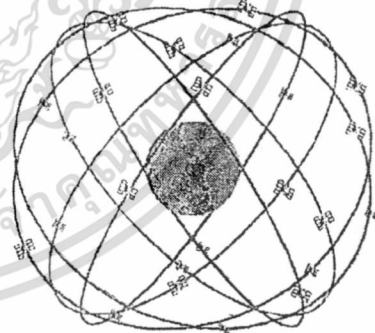


Figure 4. GPS satellite orbits [9]

The system employs at least 4 satellites to position the receiver. Each satellite sends the information: position and signal transmitted time to the receiver to calculate the position by using (6) to (9).

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 = [c \times (t_1 - t)]^2 \quad (6)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 = [c \times (t_2 - t)]^2 \quad (7)$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 = [c \times (t_3 - t)]^2 \quad (8)$$

$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 = [c \times (t_4 - t)]^2 \quad (9)$$

where

c is the light's velocity

x, y, z is the receiver's geocentric coordinates

x_i, y_i, z_i are the i th satellites's geocentric coordinates which can be observed

t_i are the time of transmission of the i th satellites which can be observed.

III. EXPERIMENTAL SYSTEM

This experiment measures the ionospheric TEC data from TEC meter (JAVAD) and receive signals from the GPS satellite system. The receiver installed at KMITL, Thailand by using GSV4000 (GPS Ionospheric Scintillation Monitor) and processing unit to determine S_4 index and σ_{ϕ} (60sec) for the analysis. The details of the measurement system are given by Table.1 and Fig. 5.

TABLE 1. SPECIFICATION FOR MEASUREMENT

Satellite	NAVSTAR - GPS
Frequency	L1 = 1575.42 MHz L2 = 1227.60 MHz
Polarization	Right hand circular polarize
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)

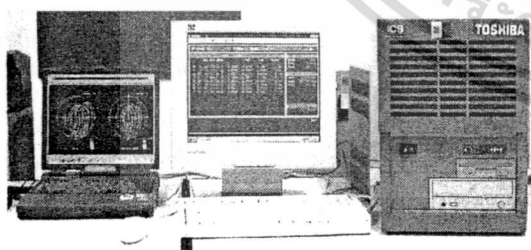


Figure 5. GSV4000 receiver and processing unit (GPS Ionospheric Scintillation Monitor).

IV. RESULTS AND ANALYSIS

The results of ionospheric TEC data during 24-27 December 2004 (Sumatra-Andaman earthquake occurs on 26 December 2004) as shown in Fig. 6 presents the comparison of the ionospheric TEC values between earthquake period and normal period. From the results can demonstrate that the ionospheric TEC values on Sumatra-Andaman earthquake are higher than other days about 7 TEC units.

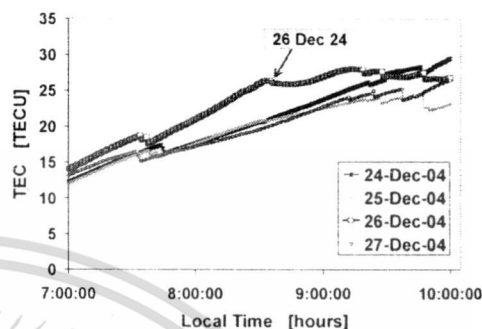


Figure 6. The ionospheric TEC variation during 24-27 December 2004.

The research of Yuichi Otsuka expresses that TEC enhancement in 26 December 2004 is the effect of acoustic waves generated by the earthquake propagated into the ionosphere with the sound speed. These wave impacts on the non-directivity of ion and electron mobility hence, density of electron in ionosphere is varied leading to TEC enhancement [10].

Moreover, we collected the GPS signal data on 26 December 2004 to analyze the severity of ionospheric scintillation by using S_4 index and σ_{ϕ} (60sec). From the results, along the earthquake period (around 7:50-8:30 LT), S_4 index and σ_{ϕ} (60sec) increase, so we can conclude that TEC variation leads to increasing of ionospheric scintillation as illustrate in Fig. 7 and 8. These phenomena are the cause of the error on GPS positioning determination about 8 meters as shown in Fig. 9.

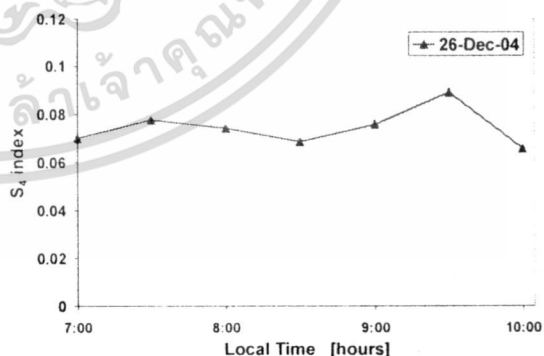


Figure 7. The variation of S_4 index values of GPS signal during earthquake on 26 December 2004.