



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบเครือข่ายเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่และการวิเคราะห์ความแปรปรวน
ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เหนือสถานีวัดชุมพร ประเทศไทย

Dual-Frequency GPS Receiver Network Development and Total Electron
Content (TEC) Analysis in the Ionosphere of Chumpon Station, Thailand

นายพรชัย ทรัพย์นิธิ

นายประเสริฐ เคนพันค้อ

นางบุศราศิริ ธนะ

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556-2558
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เหนือสถานีวัดชุมพร ประเทศไทย
Dual-Frequency GPS Receiver Network Development and Total Electron Content (TEC) Analysis in the Ionosphere of Chumpon Station, Thailand

นายพรชัย ทรัพย์นิธิ

นายประเสริฐ เคนพันค้อ

นางบุศราศิริ ธนะ

RCH

พ 231 ก

2558

เลขหมู่

142890

เลขทะเบียน

รับเดือนปี - 6 ส.ย. 2559

b. 12781289
i.

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556-2558

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบเครือข่ายเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่และการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เหนือสถานีวัดชุมพร ประเทศไทย

แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2556-2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 1,880,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 3 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2555 ถึง 30 กันยายน 2558

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

นายพรชัย ทรัพย์นิธิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายประเสริฐ เคนพันคือ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นางบุศราศิริ ธนะ คณะธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสสองความถี่และเครื่องรับสัญญาณเพื่อวัดคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย โดยมีการจัดตั้งศูนย์ข้อมูลจีพีเอสและชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องรับจีพีเอสชนิดสองความถี่นั้นจะส่งมาในรูปแบบ RINEX เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองเพื่อพัฒนาแผนที่สองมิติของค่าที่ได้รับเหนือประเทศไทยด้วยแบบจำลองฮาร์โมนิกทรงกลมดัดแปลง Adjusted Spherical Harmonics Model (ASHM) ส่วนข้อมูลจากเครื่องรับไอโอโนซอนด์จะอยู่ในรูปของไฟล์รูปภาพไอโอโนแกรมเพื่อทำการดึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆออกมา เช่นความถี่วิกฤต (f_oF_2) และค่าสเปรดเอฟ เป็นต้น ทางกลุ่มวิจัยได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการคำนวณค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนเอง และยังได้จัดทำโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์และพล็อตค่าเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานอีกด้วย นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้ทำการวิเคราะห์ได้ระหว่างปี 2005 ถึง 2013 นั้นได้มีการนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติเพื่อร่วมปรับปรุงมาตรฐานข้อมูล International Reference Ionosphere (IRI) อีกด้วย

คำสำคัญ : จีพีเอส; ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์; เครื่องไอโอโนซอนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Dual-Frequency GPS Receiver Network Development and Total Electron Content (TEC) Analysis in the Ionosphere of Chumphon Station, Thailand

Researcher: Pornchai Supnithi

Faculty: Engineering **Department:** Telecommunications Engineering

Researcher: Prasert Kenpankho

Faculty: Industrial Education **Department:** Engineering

Researcher: Boosarasiri Thana

University/Faculty: Chulalongkorn University/Science **Department:** Geology

Abstract

In this project, we set up a dual-frequency GNSS receiver network in Thailand with the purpose of measuring and analyzing the characteristics of ionosphere in Thailand. An ionospheric and GNSS data center has been established at <http://www.iono-gnss.kmitl.ac.th>. The obtained GNSS data are in the RINEX format, then the total electron content in the ionosphere is then analyzed and used in the two-dimensional (2D) map construction based on Adjusted Spherical Harmonics Model (ASHM). The ionosonde, on the other hand, gives the output as images known as ionograms. They are scaled to give the ionospheric characteristics such F2-layer critical frequency (f_oF_2), F2-layer peak height (h_mF_2) and Spread F, for instance. In addition, the research team has developed a software suite to analyze the TEC and the interactive interface to demonstrate the graphs and outputs given desired input files. Most importantly, the analyzed data from 2005 to 2013 have been presented in International Conference and used to improve the existing International Reference Ionosphere (IRI) model as well.

Keywords : GPS; Ionosphere; Ionosonde

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้สนับสนุนงบประมาณสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเป็นทุนวิจัยหมวดเงินอุดหนุนที่ได้รับการจัดสรรจากรัฐ และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ รวมทั้งวิทยาเขตชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการศึกษาวิจัย ในโครงการวิจัยนี้ยังได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและข้อมูลทางเทคนิคต่างๆจากหน่วยงานในประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่น สำหรับหน่วยงานในประเทศไทยได้รับความร่วมมือจากกองระบบเครื่องช่วยเดินอากาศ บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยสแตมฟอร์ดและกรมโยธาธิการและผังเมือง สำหรับหน่วยงานในประเทศญี่ปุ่นได้แก่ National Institute of Information and Communication Technology (NICT) ประเทศญี่ปุ่น มหาวิทยาลัยเกียวโต และ Electronic Navigation Research Institute (ENRI) ที่ให้ข้อมูลจีพีเอสจากตำแหน่งต่างๆในประเทศไทย ขอขอบคุณนักศึกษาหลายคนที่ได้ช่วยเหลืองานในแผนงานวิจัยนี้ ได้แก่ นายศราวุฒิ รุ่งเรืองวิเอก นายเวธิต ภาคย์พิสุทธิ์ นางสาวอัจฉรา บำรุงกิจ นายปรมินทร์ วงษ์เจริญและนายอริวัฒน์ ฉะชัยแหลม ที่ช่วยในเก็บรวบรวมข้อมูลจีพีเอสและยังได้ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง IRI การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 ถึง 2558

นายพรชัย ทรัพย์นิธิ

นายประเสริฐ เคนพันค้อ

นางบุศราศิริ ธนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	6
2.1.2 มาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI)	9
2.1.3 การวัดปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	10
2.1.4 โครงการ South East Asia Low-latitude Ionospheric Network (SEALION)	12
2.1.5 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network)	13
2.1.6 การคำนวณค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ	15
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่	19
3.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีพินายและสถานีอื่นๆ	22
3.2.1 ค่าที่ TEC ที่ได้จาก IGS	25
3.2.2 ค่าที่ TEC ที่ได้จากแบบจำลอง IRI	27
3.2.3 การคำนวณค่าไบอัสเครื่องรับ	31
3.3 การสร้างฐานข้อมูลจีพีเอสของประเทศไทยและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเผยแพร่ข้อมูล	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การพัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC	32
3.5 การเข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	33
3.6 การพัฒนาโมเดลการทำนายค่า TEC สำหรับจังหวัดชุมพร ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	34
บทที่ 4 ผลการวิจัย	37
4.1 การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่	37
4.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีพิจัยและสถานีอื่นๆ	42
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่า TEC	43
4.2.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ในช่วงที่เกิดความผิดปกติ	45
4.3 การพัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC	51
4.4 การเข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	52
4.5 การพัฒนาโมเดลการทำนายค่า TEC สำหรับจังหวัดชุมพร ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	53
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	56
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย	
6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด	57
บรรณานุกรม	58
ภาคผนวก	62
ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	63
ภาคผนวก ข บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	64
ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

3.1 รายชื่อของแต่ละสถานีวิัด

20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เส้นทางสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	7
2.2 ปราบฏการณ์ซินทิเลชันไอโอโนสเฟียร์	7
2.3 แพทเทิร์นการเกิดซินทิเลชัน	8
2.4 บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์การวัดค่า TEC	10
2.5 ไฟล์ RINEX และข้อมูลจีพีเอสสองความถี่	11
2.6 ที่ตั้งสถานีวัดในโครงการ SEALION	12
2.7 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม	14
3.1 ตำแหน่งสถานีเครื่องรับจีพีเอส 2 ความถี่	19
3.2 สถานีหนองคาย	20
3.3 สถานีศรีสำโรง	21
3.4 สถานีพิมาย	21
3.5 ระบบการสร้างเครือข่ายฐานข้อมูลจีพีเอสสองความถี่	22
3.6 การคำนวณค่า VTEC จากเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่	24
3.7 ไฟล์ในรูปแบบ IONEX วันที่ 9 มกราคม 2006	26
3.8 ไฟล์ในรูปแบบ IONEX ของบริเวณชุมพรในวันที่ 9 มกราคม 2006	27
3.9 ตัวอย่างหน้าเว็บแบบจำลอง IRI จากเว็บไซต์	29
3.10 เอادتพุตที่สามารถเลือกได้ในหน้าเว็บ IRI	30
3.11 ขั้นตอนการคำนวณค่าไบอัสเครื่องรับ	31
3.12 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับค่า TEC	34
3.13 ค่า SSN	36
4.1 การบริการข้อมูลไอโอโนสเฟียร์และจีพีเอสในหน้าเว็บไซต์	38
4.2 เครือข่ายเครื่องรับสัญญาณและวัดสภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเชื่อมต่อข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์ที่สถาบันเทคโนโลยีฯ ลาดกระบัง โดยวิธี rsync	39
4.4 ตัวอย่างกราฟค่า TEC	42
4.5 ค่า VTEC ของสถานีชุมพรในปี 2004 ถึงปี 2006	43
4.6 ผลการเปรียบเทียบค่า GPS TEC, IGS TEC และ IRI TEC ที่สถานีชุมพร	44
4.7 ค่าดัชนี Dst ในเดือนสิงหาคม 2557	45
4.8 ค่า TEC ของวันที่ 26 สิงหาคม 2557	46
4.9 ค่า TEC ของวันที่ 27 สิงหาคม 2557	47
4.10 ค่า TEC ของวันที่ 28 สิงหาคม 2557	48
4.11 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 26 สิงหาคม 2557	49
4.12 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 27 สิงหาคม 2557	49
4.13 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 28 สิงหาคม 2557	49
4.14 ค่าดัชนี Dst ในเดือนกันยายน 2557	49
4.15 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 12 กันยายน 2557	50
4.16 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 13 กันยายน 2557	50
4.17 หน้าจอ GUI ในการคำนวณแสดงค่า slant TEC, TEC และ ROTI	52
4.18 การเข้าร่วมประชุมวิชาการ IRI 2013 Workshop	53
4.19 ค่า RMSE ของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสามแบบในช่วงการฝึกฝนการเรียนรู้	54
4.20 กราฟของ MSE สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสน่อ	54
4.21 ผลการเปรียบเทียบค่า GPS TEC, NN TEC and IRI-2007 TEC ในปี 2005 ถึง 2009	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย ซึ่งตั้งเขตละติจูดต่ำ โดยมีที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุปและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 80 ถึง 1,200 กิโลเมตร มีความแปรปรวนของอิออนและอิเล็กตรอนอย่างสูง โดยในแต่ละเขตละติจูดของโลกจะมีความแปรปรวนในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันออกไป บริเวณที่มีความแปรปรวนของอิเล็กตรอนที่สุดคือบริเวณละติจูดที่ตั้งอยู่ $\pm 15^\circ$ จากเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก (magnetic equator) บริเวณนี้เป็นที่รู้จักในชื่อว่าเขต Equatorial Ionospheric Anomaly (EIA) ประเทศไทยมีที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูดแม่เหล็กโดยมีตำแหน่งเหนือเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลกเพียงเล็กน้อย

การศึกษาความแปรปรวนของอิเล็กตรอนนี้สามารถทำได้โดยการตรวจวัดค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอน (Total electron content) หรือค่า TEC โดยปกติค่า TEC จะมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน ฤดูกาล และปีโดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูด สองจุดแม่เหล็ก วัฏจักรสุริยะ ค่า TEC เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการคำนวณพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ความหน่วงสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การแกว่งตัวของสัญญาณดาวเทียมหรือปรากฏการณ์ซินทีเลชัน ความแม่นยำของระบบจีพีเอสต่อตำแหน่งเครื่องบินในระยะต่างๆ ตามมาตรฐานวิทยุการบิน ความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การเคลื่อนที่ของชั้นบรรยากาศโดยรวม การศึกษาการเคลื่อนไหวเปลือกโลก และการศึกษาฟองพลาสมาอันมีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม เป็นต้น ดังนั้นจึงการจัดทำโมเดลข้อมูลชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เรียกว่า โมเดล IRI (International Reference Ionosphere) ในระดับนานาชาติเพื่อเก็บข้อมูลเหล่านี้ของทั่วโลก ค่า TEC เป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างหนึ่งในโมเดลนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่า TEC วิธีหนึ่งที่ยอมรับในปัจจุบันทำได้โดยการวัดสัญญาณจีพีเอสสองความถี่และคำนวณผลต่างเฟสทั้งสอง ทั้งนี้เนื่องจากความสะดวกในการติดตั้งเครื่องจีพีเอสสองความถี่ในตำแหน่งต่างๆของโลก สัญญาณจีพีเอสที่วัดได้ปกติจะเก็บค่าไว้ในไฟล์มาตรฐานRINEX ประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูดกลางมีการติดตั้งเครื่องจีพีเอสสองความถี่เป็นจำนวนมาก มีการวัดและเก็บสถิติค่า TEC มาเป็นเวลาหลายสิบปีแต่ประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตละติจูดล่างหรือบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลกเพิ่งมีการศึกษาได้ไม่นาน ในกรณีของประเทศไทยมีการศึกษาและวิจัยในสาขานี้้น้อยมาก แต่เมื่อไม่นานมานี้ ทางภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยร่วมกับมหาวิทยาลัยเกียวโต และทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนั้นได้ร่วมกับ National Institute of Information and Communication Technology (NICT) ประเทศญี่ปุ่น ผ่านโครงการ SEALION (Southeast Asia Low Ionospheric Latitude Network) ตั้งแต่ปี 2005 ได้ทำการติดตั้งเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่รวมทั้งอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Optical Sky Imager, เครื่อง ionosonde เครื่องวัดสนามแม่เหล็กโลก ที่จังหวัดเชียงใหม่ สุโขทัย นครราชสีมา กรุงเทพฯ ชุมพรและภูเก็ต และได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ไปส่วนหนึ่ง

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการเชื่อมต่อข้อมูลของเครื่องวัดจีพีเอสและอุปกรณ์ต่างๆจากสถานีวัดที่มีอยู่ มีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ TEC และสร้างโมเดล TEC สำหรับประเทศไทย โครงการนี้จะเป็นความร่วมมือระหว่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกียวโตและ NICT ประเทศญี่ปุ่น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) ออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่
- 2) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีต่าง ๆ
- 3) สร้างฐานข้อมูลจีพีเอสของประเทศไทยและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเผยแพร่ข้อมูล
- 4) พัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC
- 5) เข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระดับนานาชาติ

สำหรับโมเดล International Radio Ionosphere (IRI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) พัฒนาโมเดลทำนายค่า TEC สำหรับจังหวัดชุมพร ประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (neural network)
- 7) สร้างเครือข่ายวิจัยและนักวิจัยรุ่นใหม่ในสาขาวิทยาศาสตร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เทคโนโลยีจีพีเอสและชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยในโครงการวิจัยนี้ คือ (1) การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่ จะทำการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่ จากนั้นจะทำการออกแบบการเชื่อมต่อข้อมูลจีพีเอสจากสถานีตรวจวัดที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ สุโขทัย นครราชสีมา (สถานีพินาย) กรุงเทพฯ ชุมพรและภูเก็ต เข้าในแต่ละสถานีจะต้องคำนึงถึงการทำงานในระยะยาว โดยมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการควบคุมระยะไกล (remote control) เพื่อตรวจเช็คสถานะของเครื่องวัด ณ จุดต่างๆ (2) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีสถานีต่างๆ ข้อมูลจีพีเอสที่ใช้ในการคำนวณ TEC คือค่า pseudo range ของสองความถี่ L1 และ L2 ที่ได้รับทุกๆ 1 วินาทีหรือ 10 วินาที ขึ้นอยู่กับเครื่อง จะทำการแปลงให้เป็นค่า slant TEC ก่อนที่จะทำการประมาณค่า bias แล้วแปลงเป็นค่า vertical TEC เทคนิคของการคำนวณ bias นั้นจะใช้เทคนิค least mean square และสมมติฐานว่าค่า bias มีค่าคงที่ในแต่ละวัน (3) สร้างฐานข้อมูลจีพีเอสของประเทศไทยและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเผยแพร่ข้อมูล ฐานข้อมูลจีพีเอสที่แสดงคือ ค่า pseudo range ของสัญญาณ P1, P2, C1, L1 และ L2 แต่สำหรับบางสถานีอาจไม่มีค่าของสัญญาณ P1 นอกจากนี้จะแสดงค่า slant TEC และดัชนีการเปลี่ยนแปลงค่า TEC (ROTI) ร่วมด้วย ระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้นจะอำนวยความสะดวกต่อการดาวน์โหลดข้อมูล มีระบบล็อกอินและรหัสผ่าน โดยเครื่องเซิร์ฟเวอร์จะตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกจากนี้ทำการพัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC ซอฟต์แวร์ในการแปลงค่า pseudo range ให้เป็น slant TEC และ vertical TEC จะใช้โปรแกรม MATLAB และภาษาซี (4) เข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระดับนานาชาติ เช่น โมเดล International Radio Ionosphere (IRI) ทำการส่งข้อมูลที่วิเคราะห์จากประเทศไทยตั้งแต่ปี 2005 – 2013 เข้าร่วมการปรับปรุงโมเดล International Reference Ionosphere (IRI) และเข้าร่วมการประชุม IRI เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Workshop ซึ่งมีการจัดทุกๆ 2 ปี (5) พัฒนาโมเดลทำนายค่า TEC สำหรับประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (neural network) โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้เป็นแบบ feedforward มีอินพุตได้แก่ วัน ฤดูกาล ความแรงของดวงอาทิตย์ ปี เป็นต้น โดยผลลัพธ์ที่ได้รับจะเปรียบเทียบกับโมเดล IRI และ IGS (International GNSS Service)

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุป

ในโครงการวิจัยนี้จะมีการส่งข้อมูลจากสถานีวัดสัญญาณต่าง ๆ เข้ามารวมศูนย์ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อให้มีสถานีวัดที่ครอบคลุมประเทศไทย โดยจะส่งไฟล์ข้อมูล RINEX จากเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่จากสถานีเหล่านี้ โดยทำการส่งวันละ 1 ครั้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ (TEC) โดยใช้คำนวณจากค่าระยะทางเทียมของความถี่ L1 และ L2 ค่าไบอัสเครื่องรับสัญญาณจะคำนวณด้วยวิธีความแปรปรวนต่ำสุด (minimum variance) ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณดำเนินการจัดทำเอง โดยใช้โปรแกรม Matlab นอกจากนี้จะทำการสร้างหน้า GUI ประกอบการวิเคราะห์ค่า TEC ในหน้าเว็บ ศูนย์ข้อมูลที่จัดทำขึ้นที่ www.iono-gnss.kmitl.ac.th ข้อมูลต่างๆที่ทำการวิเคราะห์นี้จะนำไปเข้าร่วมการปรับปรุงโมเดล IRI ในการจัดประชุมวิชาการที่มีขึ้นทุกๆ 2 ปี นอกจากนี้จะมีการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับทำนายค่า TEC อีกด้วย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่พร้อมฐานข้อมูลจีพีเอสและข้อมูลชั้นบรรยากาศของประเทศไทยและระบบสารสนเทศเพื่อเผยแพร่ข้อมูล
- 2) ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีต่างๆ
- 3) ข้อมูล GPS สำหรับการศึกษาวิจัยในประเทศไทยและนานาชาติ
- 4) ชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) โมเดลโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการทำนายค่า TEC
- 6) ประเทศไทยมีส่วนร่วมในการปรับปรุงมาตรฐานโมเดล International Radio Ionosphere (IRI)
- 7) เผยแพร่ผลงานในรูปแบบวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่มีค่า impact factor หรือการประชุมระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 รายการต่อปี
- 8) สร้างเครือข่ายวิจัยและนักวิจัยรุ่นใหม่ในสาขาเทคโนโลยีจีพีเอสและชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

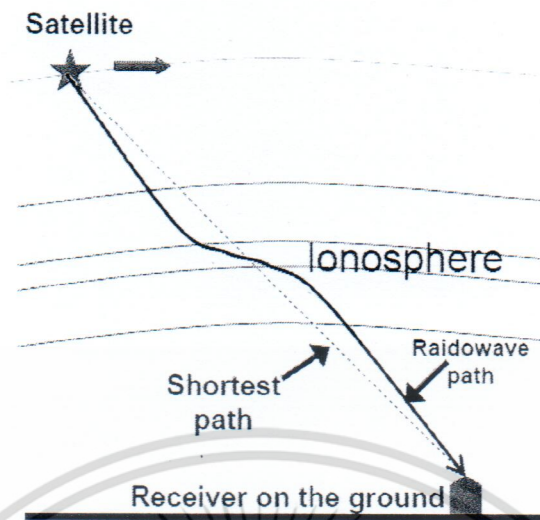
2.1 พื้นฐานทฤษฎี

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ มาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI) การวัดปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โครงการ South East Asia Low-latitude Ionospheric Network (SEALION) โครงข่ายประสาทเทียมและการคำนวณค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนโดยอาศัยข้อมูลจากเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่

2.1.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

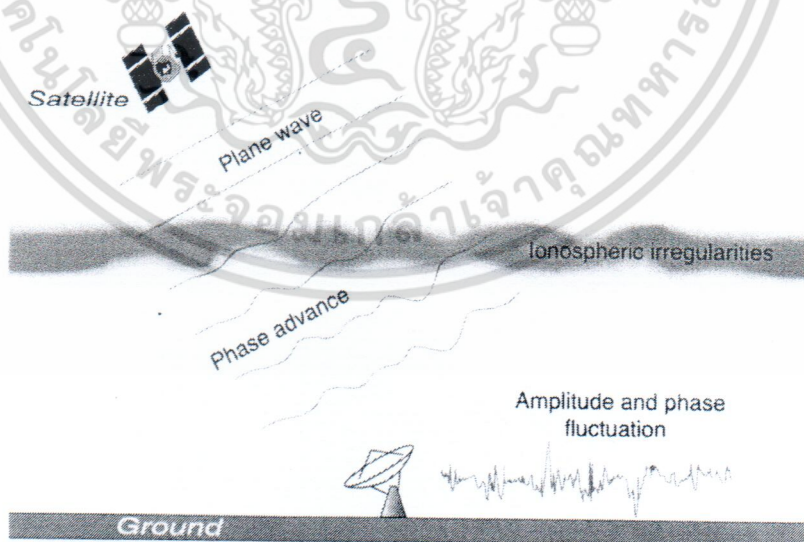
ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงประมาณ 80 กิโลเมตรถึง 1200 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นชั้นบรรยากาศที่ไม่เป็นกลาง มีปริมาณไอออนและอิเล็กตรอนจำนวนมาก ความแปรปรวนของอิเล็กตรอน ก่อให้เกิดผลกระทบต่อคลื่นสัญญาณที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ยกตัวอย่างเช่น (1) ระบบการสื่อสารดาวเทียมความเร็วสูง (2) ระบบดาวเทียมจีพีเอส เป็นดาวเทียมระบุตำแหน่ง เมื่อสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเกิดการหักเหจากเส้นทางตรงดังแสดงในภาพที่ 2.1 (เส้นประ) อันเป็นผลมาจากการที่ดัชนีการหักเหบริเวณภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แตกต่างจากบริเวณภายนอกเนื่องจากปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ก่อให้เกิด (1) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดกระทันหันที่เรียกกันว่า ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (scintillation) ทำให้สัญญาณดาวเทียมมีสมรรถนะต่ำลงและในกรณีที่เลวร้าย สัญญาณอาจขาดหายได้ (out-of-lock) และ (2) การหน่วงเวลาไม่ปกติ (irregular delay) มีผลกระทบต่อการรับ-ส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม การสื่อสารระหว่างเครื่องบินและดาวเทียม รวมทั้งความแม่นยำในการใช้ประโยชน์ของการระบุตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอส เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 เส้นทางสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดกระทันหันหรือซินทิเลชัน (scintillation) [1] คือปรากฏการณ์ที่สัญญาณดาวเทียมมีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสเมื่อคลื่นสัญญาณเดินทางมาผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แสดงดังภาพที่ 2.2 ปรากฏการณ์ซินทิเลชันนี้มีผลต่อระบบสื่อสารดาวเทียมในย่าน UHF ตั้งแต่ 10 MHz จนถึง 6 GHz โดยเกิดจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่คงที่ในชั้น E และ F

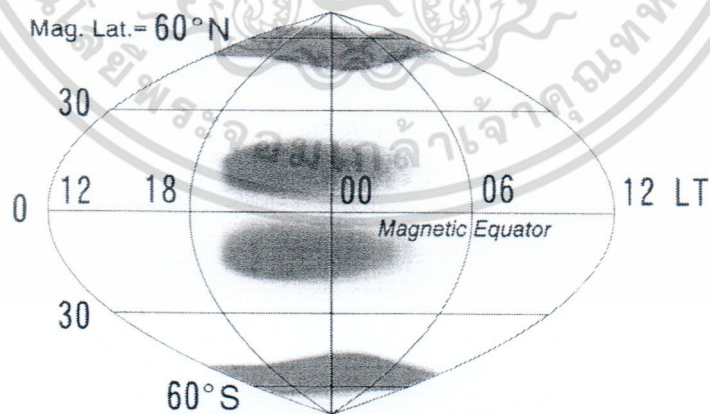


ภาพที่ 2.2 ปรากฏการณ์ซินทิเลชันไอโอโนสเฟียร์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแปรหนึ่งที่น่าสนใจในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ได้แก่ ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (total electron content) หรือ TEC [1-4] บ่งบอกถึงความหนาแน่นพลาสมาหรืออิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศนี้ (หน่วย: electrons/m³) ค่า TEC ที่วัดได้นี้มีประโยชน์ที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้ในการคำนวณของความหนาของชั้นบรรยากาศ (slab thickness) และเมื่อเปรียบเทียบกับหลายบริเวณใกล้เคียงกัน สามารถตรวจสอบการเคลื่อนที่ของชั้นบรรยากาศในภาพกว้างได้ นอกจากนี้ในเขตละติจูดต่ำ เช่น ประเทศไทย ค่าผลต่าง TEC (differential TEC) เมื่อทำการวิเคราะห์ร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ เช่น Sky Imager สามารถใช้ศึกษา plasma bubble เป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่บริเวณเล็ก ๆ ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ และมีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมนั่นเอง ดังนั้นการทำนายทิศทางและความเร็วของ plasma bubble ต้องอาศัยการเก็บข้อมูลของ TEC

ในการวัด TEC ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ พบว่าค่าที่วัดได้มีค่าแตกต่างกันระหว่างโซนต่าง ๆ ในโลก โดยจะความแปรปรวนที่สุดในโซนที่เรียกว่า Equatorial Ionization Anomaly (EIA) เป็นบริเวณที่อยู่ในเขต $\pm 15^\circ$ ของเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก (magnetic equator) และโซนขั้วโลก ทั้งนี้ความหนาแน่นอิเล็กตรอนเปลี่ยนแปลงไปวัน เวลา ฤดู ปีและวัฏจักรสุริยะ ในภาพที่ 2.3 แสดงระดับของชั้นที่เลชันและความหนาแน่นอิเล็กตรอน ซึ่งมีความรุนแรงที่สุดในบริเวณ $\pm 15^\circ$ ของเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลกและบริเวณขั้วโลก (สีเข้ม)



ภาพที่ 2.3 แพทเทิร์นการเกิดชั้นที่เลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ทราบกันดีว่า ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขต EIA นี้ แต่การศึกษาค่า TEC ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เหนือประเทศไทยนั้นเพิ่งเริ่มต้นได้ไม่นาน โดยมีการติดตั้งสถานีวัดเป็นครั้งแรกเมื่อ 5 ปีที่ผ่านมา จากการศึกษาที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ร่วมมือกับหน่วยงาน National Institute of Information and Communication Technology (NICT) ผ่านโครงการ Southeast Asia Low Latitude Ionospheric Observation Network (SEALION) [5] โดยในโครงการนี้มีจุดวัดทั้งหมดเพียง 4 จังหวัดในประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ กรุงเทพฯ ชุมพรและภูเก็ต และอีกจำนวนหนึ่งผ่านความร่วมมือกับมหาวิทยาลัยเกียวโต จำนวนสถานีที่มีอยู่เป็นจำนวนที่น้อยมากในการศึกษาและวิเคราะห์ TEC ในประเทศไทย เมื่อเทียบกับประเทศญี่ปุ่นซึ่งในปัจจุบัน มีเครือข่ายสถานีที่ส่งข้อมูลวัดค่า TEC เป็นจำนวนมากกว่า 1,000 จุด เป็นต้น [6] อย่างไรก็ตาม การวัดค่า TEC สามารถทำได้โดยการแปลงข้อมูลจีพีเอสสองความถี่ให้เป็น TEC

2.1.2 มาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI)

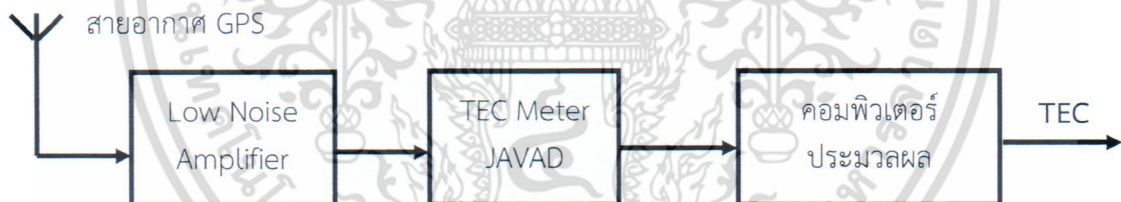
การจัดทำมาตรฐาน IRI เป็นโครงการระดับนานาชาติซึ่งก่อตั้งโดยองค์การ NASA ประเทศสหรัฐอเมริกาและได้รับการสนับสนุนหลักจากสองหน่วยงาน ได้แก่ COSPAR (Committee on Space Research) และ URSI (International Union on Radio Science) การประชุมมาตรฐาน IRI มีทุกๆ สองปี ภายใต้งาน IRI workshop โดยมีจุดประสงค์เพื่อประชุมและนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลและองค์ความรู้ต่างๆที่มีความสำคัญต่อการศึกษาชั้นบรรยากาศของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปัจจุบันมีแบบจำลองจำนวนมากถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาและทำนายตัวแปรต่างๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แบบจำลอง IRI เป็นแบบจำลองมาตรฐานสำหรับทำนายตัวแปรต่างๆ ในชั้นบรรยากาศสามารถใช้ได้ทั่วโลก และมีการปรับปรุงแบบจำลองอย่างสม่ำเสมอ แบบจำลอง IRI ถูกสร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของแหล่งข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ทั่วโลก แบบจำลอง IRI-2007 เป็นแบบจำลองล่าสุดที่พัฒนามาจากแบบจำลอง IRI-2001 ซึ่งเป็นแบบจำลองเดิม แบบจำลอง IRI-2007 ถูกปรับปรุงมาจากข้อจำกัดต่างๆ ที่มีอยู่ในแบบจำลองรุ่นก่อน และเน้นการปรับปรุงไปที่บริเวณ Topside ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อการคำนวณค่าปริมาตรอิเล็กทรอนิกส์รวม (TEC) ในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นแบบจำลอง IRI-2007 จึงสามารถถูกใช้งานได้หลากหลายรูปแบบมากขึ้น ซึ่งรวมไปถึงการคำนวณค่า TEC (Total Electron Content) อีกด้วย อีกทั้งองค์การ NASA ผู้ซึ่งทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจัยและพัฒนาแบบจำลอง IRI-2007 ได้เปิดให้บริการการคำนวณหรือทำนายตัวแปรต่างๆของชั้นบรรยากาศเพื่อการศึกษาวิจัยผ่านทาง http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri_vitmo.php โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดใดทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามอย่างไรก็ดี พบว่าแบบจำลองโมเดล IRI ล่าสุดยังมีความผิดพลาดอยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตละติจูดต่ำ เช่นในเขตประเทศไทย ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลระยะยาวเพื่อปรับปรุงต่อไปเนื่องจากแปรผันตามวัฏจักรสุริยะ

2.1.3 การวัดปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ในการวัดปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (Total Electron Content: TEC) ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แสดงดังภาพที่ 2.4 โดยมีบทความที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ [23]-[26] เช่น การคิดค้นเครื่องวัดปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้สัญญาณจากดาวเทียม GPS [23] การสร้างเครือข่ายในการแลกเปลี่ยนข้อมูลปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย



ภาพที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์การวัดค่า TEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2.11 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2007Jun25 20100301 23:59:48UTCPCGM / RUN BY / DATE
Linux 2.4.20-8|Pentium IV|gcc -static|Linux|486/DX+ COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
NNKI MARKER NAME
DPRI KYOTO_UNIV OBSERVER / AGENCY
1 TRIMBLE 5700 -Unknown- REC # / TYPE / VERS
-Unknown- TRM41249:00 ANT # / TYPE
-1339941.5478 5922995.5581 1944220.4377 APPROX POSITION XYZ
0.0001 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
4 L1 L2 P2 C1 # / TYPES OF OBSERV
1.0000 INTERVAL
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
teqc windowed: start @ 2010 Mar 2 00:00:00.000 COMMENT
teqc windowed: end @ 2010 Mar 2 23:59:59.000 COMMENT
2010 3 2 0 0 4.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER

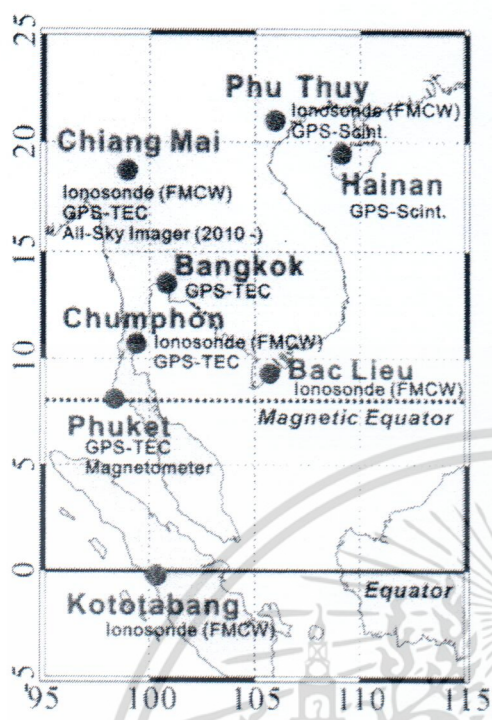
10 3 2 0 0 4.0000000 0 8G 5G 4G27G28G17G 2G10G 9
-3780944.87547 -2919020.94144 23669972.8024 23669976.2734
-30308766.99648 -23451931.79346 20768188.7324 20768191.5344
-4887905.40245 24401472.7904
-36682816.46548 -28571449.94145 21465352.9074 21465356.8604
-30750069.02748 -23432043.09846 21428781.1274 21428784.4124
-15887091.95747 -11458753.73045 22086008.5434 22086013.4764
-15524864.73848 -12003207.66845 21943689.4614 21943692.9664
-2003158.65646 24031558.8994

```

ภาพที่ 2.5 ไฟล์ RINEX และข้อมูลจีพีเอสสองความถี่

ญี่ปุ่น [24] การพัฒนารูปแบบพยากรณ์ความเที่ยงตรงเพื่อการคำนวณหาค่าปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [25] การวัดปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามตำแหน่งต่างๆของโลก [26] เช่น บริเวณเส้นศูนย์สูตร บริเวณเส้นละติจูด เป็นต้นสัญญาณจีพีเอสสองความถี่ที่รับได้นั้น จะถูกเก็บอยู่ในไฟล์ RINEX ซึ่งเป็นฟอร์แมตมาตรฐาน โดยปกติค่าที่บันทึกได้แก่ pseudorange ของทั้งสองความถี่คือ P1, P2 และเฟส L1, L2 ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างไฟล์ RINEX และข้อมูลจีพีเอสสองความถี่ เครื่องรับจีพีเอสที่ทางทีมวิจัยใช้อยู่จะมีการอัปเดตไฟล์นี้ทุกๆ 1 วินาที และ 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จังหวัด	หน่วยงานที่ดูแล
เชียงใหม่	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กรุงเทพฯ	สถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง
ชุมพร	สถาบันเทคโนโลยีลาดกระบัง
ภูเก็ต	วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต

ภาพที่ 2.6 ที่ตั้งสถานีวัดในโครงการ SEALION

2.1.4 โครงการ South East Asia Low-latitude Ionospheric Network (SEALION)

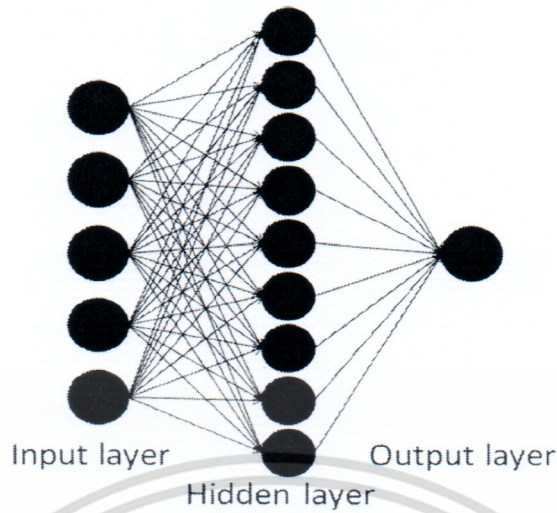
โครงการ SEALION เป็นเครือข่ายการศึกษาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งได้เริ่มทำการวิจัยตั้งแต่ปี 2003 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวัดค่าและทำนายการรบกวนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งฟองพลาสมา ที่ตั้งของสถานีวัดในโครงการ SEALION นี้ความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวเนื่องจากมีสถานีวัด 2 สถานีที่ตั้งอยู่ห่างจากเส้นศูนย์แม่เหล็กทางเหนือและใต้เท่า ๆ กัน ได้แก่ สถานีชุมพรและสถานีโกโตตาบัง (Kototabang) ซึ่งไม่ปรากฏในทวีปอื่นๆ ในโลก เนื่องจากติดทะเลหรือป่าอะเมซอน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โครงการ SEALION นี้จะสิ้นสุดในปี 2554 และในประเทศไทยมีเพียง 4 สถานีวัดได้แก่ เชียงใหม่ กรุงเทพฯ ชุมพร และภูเก็ต ที่มีการวัดค่า TEC (GPS-TEC) นอกเหนือไปจากประเทศไทยแล้วยังมีหน่วยงานสมาชิกจากประเทศอื่นๆ ได้แก่ ประเทศเวียดนาม จีน อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบประมวลผลข้อมูลซึ่งถูกสร้างขึ้นตามแบบของสมองมนุษย์ [27-28] ประกอบไปด้วยสามเลเยอร์ (Layer) หลักดังแสดงในภาพที่ 2.7 คือ อินพุตเลเยอร์ (Input layer) ฮิดเดนเลเยอร์ (Hidden layer) และเอาต์พุตเลเยอร์ (Output layer) แต่ละเลเยอร์นั้นจะประกอบไปด้วยโหนด (Node) หรือ นิวรอน (Neuron) ซึ่งทำหน้าที่เป็นส่วนประมวลผลของข้อมูล และมีลักษณะการทำงานคล้ายกับ เซลล์สมองของมนุษย์ นิวรอนประกอบไปด้วย เส้นเชื่อมระหว่างโหนด (Connecting link) ตัวบวกเพิ่ม (Adder) และฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function) การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมมีสองแบบด้วยกัน คือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) และการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนั้นไม่จำเป็นต้องมีค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับข้อมูลกระตุ้นในรูปแบบต่างๆในระหว่างการเรียนรู้ และจะทำการจัดกลุ่มรูปแบบต่างๆเหล่านั้นเองตามต้องการ ดังนั้นผลลัพธ์ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้จึงจะเป็นการระบุกลุ่มของข้อมูลที่ใส่เข้าไป โดยจะอิงกับวิธีการจัดกลุ่มซึ่งได้เรียนรู้จากข้อมูลที่โครงข่ายเคยพบมา ส่วนรูปแบบการเรียนรู้แบบมีผู้สอนเริ่มด้วยการส่งสิ่งเร้าที่ใช้ในการสอนเข้าไปเป็นอินพุต (Input) ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสร้างผลลัพธ์ออกมาเป็นเอาต์พุต (Output) ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะในตอนที่เราเริ่มเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเป้าหมาย (Target response) ซึ่งผู้สอน (Teacher) จะเป็นผู้สร้างขึ้น หากมีความแตกต่างกันนั้นคือมีความคลาดเคลื่อน (error) เกิดขึ้น ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณการปรับแต่งค่าน้ำหนักต่างๆ ในโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนลงให้เหลือน้อยที่สุด การปรับแต่งค่าน้ำหนักโดยพิจารณาจากความคลาดเคลื่อนนี้ จะขึ้นอยู่กับกฎการเรียนรู้ หรือขั้นตอนการคำนวณซึ่งเรียกว่า "อัลกอริทึม" (Algorithm) ที่แตกต่างกัน โดยแต่ละอัลกอริทึมจะมีคุณลักษณะและสมรรถนะแตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม วิธีการส่วนใหญ่ของการเรียนรู้แบบมีผู้สอนนี้จะดัดแปลงมาจากวิธีการทางคณิตศาสตร์ในเรื่องของ เทคนิคการหาค่าเหมาะสม (Optimization technique)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียม

ในโครงสร้างไปข้างหน้าและการแพร่กระจายย้อนกลับ อัลกอริทึมจะเริ่มจากการตั้งค่าน้ำหนัก และไบอัสเริ่มต้นเป็นค่าสุ่มจำนวนน้อยๆ แต่ละโหนดอินพุต $x_i, i = 1, \dots, n$ ได้รับสัญญาณอินพุต และส่งไปยังโหนดทั้งหมดในเลเยอร์ซ่อน แต่ละโหนดซ่อน $z_j, j = 1, \dots, p$ จะรวมสัญญาณอินพุตที่ถ่วงน้ำหนักด้วยความสัมพันธ์

$$z_{in,j} = w_{0,j} + \sum_{i=1}^n x_i w_{i,j} \quad (2.1)$$

เมื่อ $z_{in,j}$ คืออินพุตทั้งหมดของ $z_j, w_{0,j}$ คือค่าไบอัสของโหนด j, x_i คือสัญญาณอินพุตจากโหนด i และ w_{ij} คือค่าไบอัสจากโหนดอินพุต i ไปยังโหนดซ่อน j ค่าเอาต์พุตของโหนดซ่อนที่ j คำนวณได้จากฟังก์ชันซิกมอยด์แทนเจนต์คือ

$$z_j = f(z_{in,j}) = \frac{2}{1 + e^{(-2z_{in,j})}} - 1 \quad (2.2)$$

หลังจากนั้นจึงส่งสัญญาณ z_j ไปยังโหนดเอาต์พุต ค่า $Y_k (k = 1, \dots, m)$ ที่โหนดเอาต์พุตแต่ละโหนดคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_{in,k} = w_{0,k} + \sum_{j=1}^p z_j w_{j,k} \quad (2.3)$$

เมื่อ $y_{in,k}$ คือเอาต์พุตรวมแก่ y_k , $w_{0,k}$ คือค่าไบอัสที่โนดเอาต์พุต k , z_j คือสัญญาณอินพุตจากโนดซ่อนที่ j และ w_{jk} คือค่าไบอัสจากโนดซ่อนที่ j ไปยังโนดเอาต์พุตที่ k หลังจากนั้นสัญญาณเอาต์พุต y_k คำนวณได้จาก

$$y_k = \text{PURELIN}(y_{in,k}) = y_{in,k} \quad (2.4)$$

ในงานนี้ได้ใช้วิธีการแพร่กระจายกลับแบบ Levenberg-Marquardt

2.1.6 การคำนวณค่าปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ

การคำนวณค่า TEC อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อคลื่นสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเห n มีแอมพลิจูดเท่ากับ

$$u(t) = U(t) \cos \left\{ 2\pi f \left(\frac{x}{c_p} - t \right) \right\} = U \cos \left\{ 2\pi f \left(\frac{nx}{c} - t \right) \right\} \quad (2.5)$$

โดยที่ U คือ แอมพลิจูด, f คือความถี่, c คือความเร็วแสง, c_p คือความเร็วเฟสและ x คือระยะทาง

ดัชนีหักเหของคลื่นสำหรับความถี่ในช่วง VHF ขึ้นไปมีความสัมพันธ์กับความถี่ และความหนาแน่นของอิเล็กตรอน N (m^{-3}) นั่นคือ

$$n = c/c_p = 1 - \left\{ A/(2f)^2 \right\} N \quad (2.6)$$

โดยที่ $A = \frac{(2\pi e)^2}{m\epsilon_0} = 80.6 \text{ m}^3/s^2$, $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$ คือค่า permittivity ของ free space,

$e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ และ $m = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ คือค่าประจุและมวลของอิเล็กตรอน ตามลำดับ

เฟสทั้งหมดจากการเดินทางในระยะทาง L คำนวณได้จาก

$$\psi = \frac{2\pi f}{c} L - \frac{\pi A}{cf} \int N ds + \eta \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ η คือค่าไบอัส (bias) ของเฟสในระบบซึ่งไม่ทราบค่า ถ้าให้ $TEC = \int N ds$ ดังนั้น (2.7) กลายเป็น

$$\psi = \frac{2\pi f}{C} L - \frac{\pi A}{Cf} TEC \quad (2.8)$$

ตัวแปร L สามารถตัดทิ้งได้ เมื่อใช้สองความถี่ โดย $f_1 = pf_r$ และ $f_2 = qf_r$ ยกตัวอย่างเช่น ให้ $f_r = 50$ MHz, $p = 3$, $q = 5$ MHz เป็นต้น ให้ ψ_1, ψ_2 คือเฟสของความถี่ f_1 และ f_2 ตามลำดับ ผลต่างของเฟสคำนวณได้จาก

$$\Phi = \frac{\psi_1}{p} - \frac{\psi_2}{q} = \frac{\pi A}{f_r C} \left(\frac{1}{q^2} - \frac{1}{p^2} \right) TEC + \eta \quad (2.9)$$

หาค่าอนุพันธ์ของเฟส ψ_1, ψ_2 จะได้ความถี่ดอปเปลอร์ f_{d1}, f_{d2} ตามลำดับ สมการใหม่เขียนได้ในรูป

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{f_{d1}}{p} - \frac{f_{d2}}{q} = \frac{\pi A}{f_r C} \left(\frac{1}{q^2} - \frac{1}{p^2} \right) \frac{d}{dt} TEC \quad (2.10)$$

ค่า slant TEC ที่คำนวณได้จากข้อมูลจีพีเอสสองความถี่ ต้องมีการแก้ไขเนื่องจากเป็นค่า TEC ในแนวสัญญาณดาวเทียมซึ่งแต่ละเวลาทำมุมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอส นอกจากนั้นยังมีค่า bias จากดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสที่ต้องคำนึงถึง เมื่อแก้ไขแล้วจะได้ค่า vertical TEC ค่านี้คำนวณได้จาก [4]

$$VTEC = STEC \times \cos \chi, \quad (2.11)$$

โดยที่มุมอะซิมุม χ คำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\chi = \arcsin \left(\frac{R_E \cos \alpha}{R_E + h} \right), \quad (2.12)$$

โดยที่ α เป็นมุมเงยของดาวเทียม, R_E คือรัศมีโลกและ h คือความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งสมมติฐานว่าเท่ากับ 400 กิโลเมตร หากรวมค่าไบอัสของดาวเทียมและเครื่องรับในการคำนวณ vertical TEC ซึ่งเขียนแทนด้วย TEC จะได้

$$TEC = (STEC - b_s - b_r) \times \cos \chi, \quad (2.13)$$

เมื่อ b_r คือค่าประมาณไบอัสของเครื่องรับจีพีเอส b_s คือค่าประมาณของไบอัสดาวเทียมซึ่งได้จากเครือข่าย GEONET มหาวิทยาลัยเกียวโต ซึ่งเป็นเครือข่ายวัดข้อมูลจีพีเอส สร้างขึ้นโดย Geographical Survey Institute (GSI) ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจำนวนมากกว่า 1000 เครื่องติดตั้งทั่วประเทศญี่ปุ่น [Miyazaki et al., 1997] ค่าประมาณของ bias จากเครื่องรับจีพีเอสคำนวณได้หลายวิธีแต่ยังเป็นหัวข้อวิจัยที่ได้รับความสนใจอยู่ในปัจจุบัน โดยมีวิธีการประมาณที่แตกต่างกันระหว่างกรณีที่มีเครื่องรับจำนวนมากหรือน้อย วิธีหนึ่งในการประมาณสำหรับเครื่องรับเครื่องเดียว ทำได้โดยอาศัยการคำนวณความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด [4]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทความ [4] ผู้แต่งได้แสดงวิธีการคำนวณค่า TEC แนวเฉียง (Slant TEC: STEC) จากสองค่าได้แก่ ระยะทางเทียม (pseudorange) P1, P2 และเฟส L1, L2 จากสัญญาณจีพีเอสสองความถี่ ซึ่งอยู่ในไฟล์ RINEX โดยค่า TEC แนวเฉียงที่ได้รับจากระยะทางเทียมจะมีสัญญาณรบกวนเป็นอย่างมากในขณะที่เมื่อใช้เฟสในการคำนวณจะเรียกว่า แต่มีข้อเสียคืออาจจะมีการกระโดดของเฟสเป็นเท่าๆของ 2π ดังนั้นจำเป็นต้องมีการปรับค่าให้มีค่าเฉลี่ยโดยอิงกับค่า TEC แนวเฉียงที่ได้จากระยะทางเทียมเสมอ โดยปกติค่า bias ของดาวเทียมและเครื่องรับเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้การคำนวณค่า TEC แนวตั้ง (Vertical TEC: VTEC) มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประมาณค่าและกำจัดออกไป ในบทความนี้ พิจารณาสถานีวัดจีพีเอสสองความถี่มากกว่า 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีและแบ่งประเทศญี่ปุ่นเป็น 20 โซน และสมมติว่าค่า VTEC ในแต่ละโซนคงที่ ด้วยค่า STEC ที่วัดในแต่ละโซน และสมมติว่าค่า bias มีค่าคงที่ในแต่ละวัน จากนั้นใช้เมตริกส์ทำการประมาณค่า VTEC และ bias ของดาวเทียมและเครื่องรับ ด้วยวิธี least mean square error นอกจากนั้นในบทความนี้นำเสนอว่าในกรณีที่มิมีสถานีวัดจำนวนไม่มากหรือแม้แต่ 1 สถานี สามารถใช้ค่า bias ดาวเทียมจากเว็บไซต์ของ NASA และทำการประมาณค่า bias เครื่องรับสัญญาณด้วยวิธี Minimum variance

ในบทความ [30] ได้มีการศึกษาค่า VTEC เฉลี่ยรายชั่วโมง ณ จังหวัดชุมพร ระหว่างปี 2004 ถึง 2006 พบว่าค่า TEC จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในตอนกลางวันและลดลงในตอนกลางคืน ทั้งนี้โดยเฉลี่ยในปี 2004 ให้ค่าสูงกว่าในปี 2005 และ 2006 อย่างไรก็ดียังไม่มีการคำนวณค่า bias ในบทความนี้ นอกจากนี้ยังได้มีการคำนวณความหนาของชั้นไอโอโนสเฟียร์ด้วย พบว่าในช่วงก่อนเวลาเข้าสู่ฤดูมีระดับที่สูงผิดปกติ อย่างไรก็ตามค่า TEC ที่ได้รับไม่ได้พิจารณาความคลาดเคลื่อนของเฟสที่ใช้ในการคำนวณ ค่า STEC

ในบทความ [27-28] ได้สร้างแบบจำลองโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมทำนายค่า VTEC ในประเทศแอฟริกาใต้ ในบทความ [29] ได้สร้างโมเดลการทำนายค่า VTEC รายชั่วโมง ในประเทศญี่ปุ่นจากเครือข่ายประสาทเทียม ข้อมูลที่รวบรวมมีระยะเวลามากกว่า 50 ปี เป็นโมเดลแบบ feedforward มีอินพุตได้แก่ วัน เดือน ปี ปริมาณแสงอาทิตย์ เป็นต้น

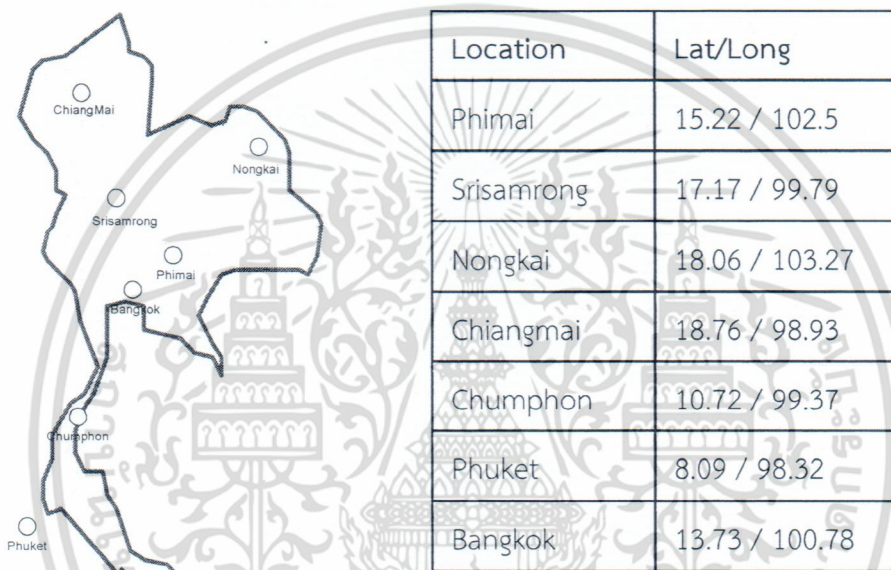
ในบทความ [31] ได้กล่าวถึงโครงการ SEALION อันเป็นความร่วมมือระหว่าง National Institute of Information and Communication Technology (NICT) ประเทศญี่ปุ่นกับหน่วยงาน/สถาบันการศึกษา เช่น สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย ซึ่งมีการติดตั้งอุปกรณ์ศึกษาชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ ที่ตั้งของสถานีวัดในโครงการนี้ความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว เนื่องจากมีสถานีวัด 2 สถานีที่ตั้งอยู่บนพื้นดินห่างจากเส้นศูนย์แม่เหล็กทางเหนือและใต้เท่า ๆ กัน ได้แก่ สถานีชุมพร ประเทศไทยและสถานีโกโตตาบัง (Kototabang) ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งไม่ปรากฏในทวีปอื่นๆ ในโลก เนื่องจากอาจจะติดทะเลหรือป่าอะเมซอน เป็นต้น ดังนั้นทำให้สามารถศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในบริเวณ EIA อันมีปริมาณอิเล็กตรอนสูงหรือต่ำกว่าปกติ ในโครงการนี้ประเทศไทยสถานีวัดจำนวน 4 แห่ง ได้แก่ เชียงใหม่ กรุงเทพฯ ชุมพร และภูเก็ต โดยมีอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ไอออโนซอนด์ (ionosonde) เครื่องวัดจีพีเอสสองความถี่และเครื่องวัดสนามแม่เหล็กโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่



ภาพที่ 3.1 ตำแหน่งสถานีเครื่องรับจีพีเอส 2 ความถี่

เนื่องจากในโครงการ SEALION เดิมนั้นมีจำนวนสถานีวัดทั้งสิ้น 4 จังหวัดแล้ว แต่ในปัจจุบันข้อมูลทั้งหมดถูกส่งไปยัง NICT ประเทศญี่ปุ่นโดยตรง ดังนั้นจะมีการส่งข้อมูลจากทั้ง 4 จังหวัดเข้ามารวมศูนย์ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อให้มีสถานีวัดที่ครอบคลุมประเทศไทยมากขึ้น จึงเพิ่มสถานีวัดอีก 3 แห่งได้แก่ จังหวัดหนองคาย (Nongkhai) สุโขทัย (Srisamrong) และ นครราชสีมา (Phimai) โดยในขณะนี้ได้เริ่มติดตั้งเครื่องมือแล้วแต่ยังไม่ได้ลิงค์ข้อมูลมารวมศูนย์ ในตารางที่ 3.1 แสดงรายชื่อที่ปัจจุบันดูแลแต่ละสถานีวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 รายชื่อที่ของแต่ละสถานีวัด

จังหวัด	หน่วยงานที่ดูแล
เชียงใหม่	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
สุโขทัย (ศรีสำโรง)	สถาบันเทคโนโลยี ลาดกระบัง
หนองคาย	สถาบันเทคโนโลยี ลาดกระบัง
นครราชสีมา (พิมาย)	สำนักงานฝนหลวง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ	สถาบันเทคโนโลยี ลาดกระบัง บริษัทวิทยุการบิน จำกัด
ชุมพร	สถาบันเทคโนโลยี ลาดกระบัง
ภูเก็ต	สถาบันเทคโนโลยี ลาดกระบัง

ด้านล่างแสดงตัวอย่างภาพของบางสถานีที่ในขณะนี้มีการติดตั้งเครื่องวัดสัญญาณจีพีเอสสองความถี่อยู่
สถานีหนองคาย



ภาพที่ 3.2 สถานีหนองคาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีสุโขทัย (ศรีสำโรง)



ภาพที่ 3.3 สถานีศรีสำโรง

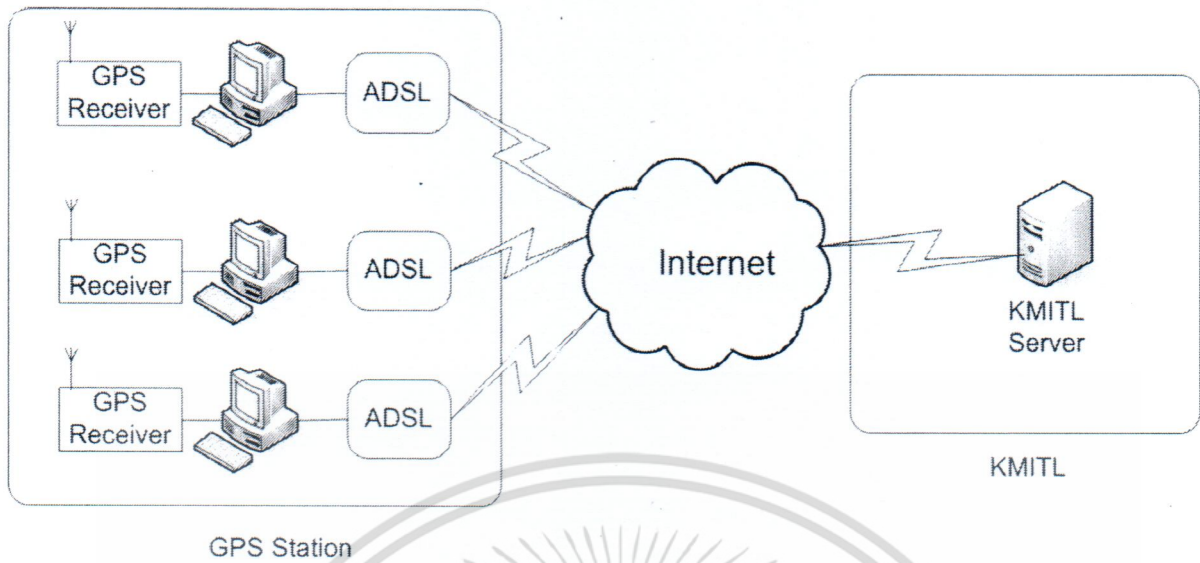
สถานีนครราชสีมา (พิมาย)



ภาพที่ 3.4 สถานีพิมาย

ภาพที่ 3.5 แสดงระบบการสร้างเครือข่ายฐานข้อมูลจีพีเอส ดังนั้นจะมีการส่งข้อมูลจากสถานีต่าง ๆ เข้ามารวมศูนย์ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อให้มีสถานีวัดที่ครอบคลุมประเทศไทย ดังนั้นในจะมีการเดินทางไปยังสถานีต่างๆเพื่อทำการติดตั้งการเครือข่ายรับ-ส่งข้อมูล นอกจากนี้จำเป็นต้องเพิ่มเทคนิคการควบคุมระยะไกล (remote control) เข้าตรวจสอบเช็คการทำงานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 ระบบการสร้างเครือข่ายฐานข้อมูลจีพีเอสสองความถี่

3.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีพินายและสถานีอื่นๆ

วิธีการเก็บข้อมูล

สำหรับข้อมูล จีพีเอส เนื่องจากสถานีจีพีเอส ที่ติดตั้งแบบถาวรตามจุดต่าง ๆ ในประเทศไทย เป็นสถานีจีพีเอสที่ได้ลงนามความร่วมมือกับคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส ที่ถูกบันทึกโดยอัตโนมัติเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ของจีพีเอส จะถูกส่งเข้ามาที่ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย เป็นประจำทุก ๆ เดือน โดยผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ข้อมูล TEC ใน 1 วัน (เดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง) มีขนาด ประมาณ 200 KB

เนื่องจาก สัญญาณจีพีเอส ที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมจีพีเอส จะมีการแปรปรวนของสัญญาณเนื่องมาจากอิเล็คตรอนอิสระในชั้นไอโอโนสเฟียร์ โดยค่าการแปรปรวนนี้สามารถคำนวณได้โดยตรง จากข้อมูลที่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอส บันทึกไว้ ค่าการแปรปรวนของสัญญาณ จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของปริมาณรวมของอิเล็คตรอนอิสระในบรรยากาศ หรือ Total Electron Content (TEC) เหนือ สถานีจีพีเอสนั้น ๆ การวิเคราะห์ ข้อมูล จากข้อมูล TEC ที่ได้จากจีพีเอส สามารถนำไปวิเคราะห์

ในการศึกษาเกี่ยวกับไฟล์ RINEX สำหรับเครื่องวัดสองประเภท ได้แก่ JAVAD และ TOPCON ประกอบด้วยข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ค่าระยะเทียม, ค่าเฟส, ดาวเทียมดวงที่รับค่าได้, ตำแหน่งดาวเทียม เป็นต้น ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

slant TEC ที่คำนวณได้จากข้อมูลจีพีเอสสองความถี่ ต้องมีการแก้ไขเนื่องจากเป็นค่า TEC ในแนวสัญญาณดาวเทียมซึ่งแต่ละเวลาทำมุมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอส นอกจากนั้นยังมีค่า bias จากดาวเทียมและเครื่องรับจีพีเอสที่ต้องคำนึงถึง เมื่อแก้ไขแล้วจะได้ค่า vertical TEC คำนวณได้จาก

$$VTEC = STEC \times \cos \chi \quad (3.1)$$

โดยที่มุมอะซิมุท χ คำนวณได้จาก

$$\chi = \arcsin \left(\frac{R_E \cos \alpha}{R_E + h} \right) \quad (3.2)$$

โดยที่ α เป็นมุมเงยของดาวเทียม, R_E คือรัศมีโลกและ h คือความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งสมมติฐานว่าเท่ากับ 400 กิโลเมตร หากรวมค่า bias ดาวเทียมและเครื่องรับในการคำนวณ vertical TEC ซึ่งเขียนแทนด้วย TEC จะได้

$$TEC = (STEC - b_s - b_r) \times \cos \chi \quad (3.3)$$

เมื่อ b_s คือค่าประมาณของ bias เครื่องรับจีพีเอส b_r คือค่าประมาณของ bias ดาวเทียม

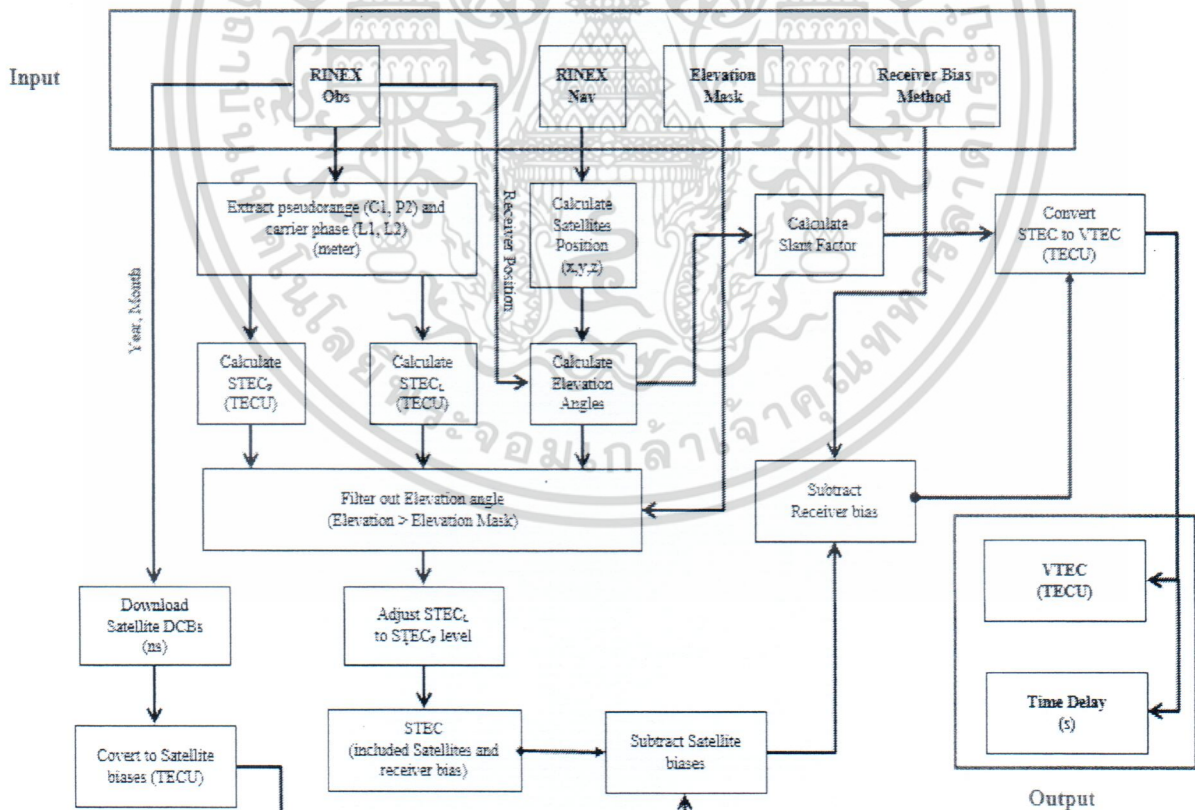
ดัชนีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า TEC (Rate of TEC index) หรือค่า ROTI ใช้สำหรับการตรวจสอบความผิดปกติในการเปลี่ยนแปลงค่า TEC ค่า ROTI สามารถคำนวณหาได้จาก

$$ROTI = \sqrt{\frac{(\Delta TEC^2) - (\overline{\Delta TEC})^2}{\Delta t}} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ΔTEC คือผลต่างของค่า TEC ที่ติดกัน, $(\Delta TEC)^2 - \overline{(\Delta TEC)^2}$ คือความแปรปรวน และ Δt คือเวลาของแต่ละแซมเปิล

ภาพที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการคำนวณค่า VTEC จากไฟล์ RINEX ที่ได้รับจากเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่ซึ่งมีสองประเภทคือไฟล์ Observation และไฟล์ Navigation โดยเริ่มต้นจากการนำตัวแปร C1, P2, L1 และ L2 จากไฟล์ประเภท Observation มาคำนวณค่า $STEC_p$ และ จากนั้นเลือกเฉพาะกรณีที่มุมเงยสูงกว่าระดับที่ตั้งไว้ เช่น 30 องศา เป็นต้น หลังจากนั้นจะทำการปรับระดับค่า $STEC_L$ ไปอยู่ที่ระดับค่าเฉลี่ยของ $STEC_p$ ค่า $STEC$ ที่ตัดแปลงนี้ยังมีส่วนของค่าไบอัสดาวเทียมและไบอัสเครื่องรับอยู่ ดังนั้นจำเป็นต้องลบค่าทั้งสองออกก่อน สำหรับไฟล์ Navigation นั้นจะดึงตำแหน่งของดาวเทียมในพิกัด (x,y,z) ออกมารวมกับตำแหน่งเครื่องรับเพื่อคำนวณค่ามุมเงย ค่ามุมเงยนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณ slant factor เพื่อทำการแปลงจาก $STEC$ ให้เป็น VTEC



ภาพที่ 3.6 การคำนวณค่า VTEC จากเครื่องรับจีพีเอสสองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ค่า TEC ที่ได้จาก IGS

เครือข่าย IGS หรือ International GNSS service ประกอบไปด้วยสถานีจีพีเอสสองความถี่อย่างน้อย 350 สถานีทั่วโลก หน่วยงานกลางตั้งอยู่ที่หน่วยปฏิบัติการ Jet Propulsion Laboratory ซึ่งดูแลระบบข้อมูลกลาง (Central bureau Information System: CBIS) และการเข้าถึงผลิตภัณฑ์ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อการบริการ ทาง IGS บริการข้อมูลสำหรับแผนที่ TEC ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก <ftp://igscb.jpl.nasa.gov/> ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลทุกๆ สองชั่วโมง โดยมีค่าไบอัสในฟอร์มแมต IONEX (The Ionosphere Map EXchange) ดาวน์โหลดได้จาก <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/> ภาพที่ 3.7 แสดงตัวอย่างไฟล์ในฟอร์มแมต IONEX ในวันที่ 9 มกราคม 2006 โดยมีละติจูดเริ่มต้นจาก 87.5° ลดลง

```

1.0          IONOSPHERE MAPS      MIX          IONEX VERSION / TYPE
cmprcmb v1.2  gAGE/UPC           24-jan-06 19:32  PGM / RUN BY / DATE
ionex file containing IGS COMBINED Ionosphere maps  COMMENT
global ionosphere maps for day 009, 2006           DESCRIPTION
IONEX file containing the COMBINED IGS TEC MAPS and DCBs  DESCRIPTION
IONEX files of the following IACs were combined:  god  DESCRIPTION
                                                    esa  DESCRIPTION
                                                    jpl  DESCRIPTION
                                                    upc  DESCRIPTION
Contact address (e-mail): manuel@mat.upc.es        DESCRIPTION
2006      1      9      0      0      0      EPOCH OF FIRST MAP
2006      1     10      0      0      0      EPOCH OF LAST MAP
7200                                           INTERVAL
13                                           # OF MAPS IN FILE
COSZ                                           MAPPING FUNCTION
0.0                                           ELEVATION CUTOFF
combined TEC calculated as weighted mean of input TEC valuesOBSERVABLES USED
310                                           # OF STATIONS
29                                           # OF SATELLITES
6371.0                                          BASE RADIUS
2                                           MAP DIMENSION
450.0 450.0 0.0                                HGT1 / HGT2 / DHGT
87.5 -87.5 -2.5                                LAT1 / LAT2 / DLAT
-180.0 180.0 5.0                               LON1 / LON2 / DLON

```

START OF TEC MAP																		
EPOCH OF CURRENT MAP																		
LAT/LON1/LON2/DLON/H																		
1																		
2006	1	9	0	0	0													
87.5-180.0			180.0	5.0		450.0												
31	31	31	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30	29	29	28	29		
28	28	28	28	28	27	28	27	28	28	28	28	28	28	28	29	28		
29	30	30	30	30	31	31	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32		
32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	31	31	31	31	31		
32	31	31	32	31	32	32	31	31										
85.0-180.0			180.0	5.0		450.0									LAT/LON1/LON2/DLON/H			
32	32	33	32	32	32	32	31	31	30	30	30	30	29	28	28	27		
27	26	26	26	25	25	25	25	25	25	25	25	26	27	27	27	28		
28	29	29	30	31	31	31	32	33	33	33	33	34	34	34	34	34		
34	34	34	34	34	33	33	33	33	32	32	32	32	32	32	32	32		
32	33	32	32	32	32	32	32	32	32									
82.5-180.0			180.0	5.0		450.0									LAT/LON1/LON2/DLON/H			
34	34	34	35	35	35	35	33	33	32	31	30	29	29	29	28			
27	26	25	25	24	23	23	22	22	22	22	22	22	22	23	24	25		
26	27	28	29	30	31	32	33	34	34	35	35	35	35	35	35	36		
35	36	35	35	34	33	33	32	32	32	31	31	31	31	31	32	32		
32	32	32	32	33	33	33	34	34										

ภาพที่ 3.7 ไฟล์ในรูปแบบ IONEX วันที่ 9 มกราคม 2006 จาก

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex/>

ไปที่ละ 2.5° และหยุดที่ -87.5° สำหรับลองจิจูดมีค่าในช่วงจาก -180° ไปถึง 180° เพิ่มขึ้นทีละ 5° ความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์อยู่ที่ 450 กิโลเมตร

เนื่องจาก IGS ไม่มีสถานีที่ตั้งอยู่ที่ชุมพร ดังนั้นจึงเลือกสถานีที่ใกล้กันอยู่ที่ละติจูด 10° และ 100° แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าค่า TEC เท่ากับ 210 TECU โดยในไฟล์แสดงค่าที่หารด้วย 10 คือเท่ากับ 21 TECU

```

1.0          IONOSPHERE MAPS      MIX          IONEX VERSION / TYPE
cmpcmb v1.2   gAGE/UPC            24-jan-06 19:32    PGM / RUN BY / DATE
ionex file containing IGS COMBINED Ionosphere maps  COMMENT
global ionosphere maps for day 009, 2006          DESCRIPTION
IONEX file containing the COMBINED IGS TEC MAPS and DCBs  DESCRIPTION
IONEX files of the following IAACs were combined: cod  DESCRIPTION
esa  DESCRIPTION
jpl  DESCRIPTION
upc  DESCRIPTION
Contact address (e-mail): manuel@mat.upc.es        DESCRIPTION
2006  1    9    0    0    0    0    EPOCH OF FIRST MAP
2006  1   10    0    0    0    0    EPOCH OF LAST MAP
7200                                INTERVAL
13                                  # OF MAPS IN FILE
COSZ                                MAPPING FUNCTION
0.0                                ELEVATION CUTOFF
combined TEC calculated as weighted mean of input TEC values OBSERVABLES USED
310                                # OF STATIONS
29                                 # OF SATELLITES
6371.0                             BASE RADIUS
2                                  MAP DIMENSION
450.0 450.0 0.0                    HGT1 / HGT2 / DHGT
87.5 -87.5 -2.5                    LAT1 / LAT2 / DLAT
-180.0 180.0 5.0                    LON1 / LON2 / DLON

12.5-180.0 180.0 5.0 450.0        LAT/LON1/LON2/DLON/H
388 396 403 402 383 340 292 240 202 182 170 156 143 131 119 110
104 104 103 105 107 109 108 105 100 96 91 90 90 90 92 93
90 83 76 71 67 68 59 55 54 53 51 48 46 47 47 47
52 63 79 97 114 133 157 182 207 234 256 277 289 295 297 297
297 295 293 295 307 328 354 376 388
10.0-180.0 180.0 5.0 450.0        LAT/LON1/LON2/DLON/H
363 376 390 401 392 361 314 261 224 203 188 178 166 152 139 127
121 121 119 119 121 123 119 112 107 104 99 100 97 94 95 95
91 82 74 67 62 58 55 52 52 52 49 47 45 45 45 47
52 64 81 100 118 137 160 186 210 234 254 272 282 285 286 285
284 281 278 279 288 306 330 350 363
7.5-180.0 180.0 5.0 450.0        LAT/LON1/LON2/DLON/H
336 349 366 383 384 364 327 281 247 223 209 200 190 178 166 151
144 142 139 140 142 142 132 121 115 114 111 111 106 101 99 96
91 82 72 64 59 56 54 53 51 50 47 46 45 45 44 46
53 66 84 104 121 138 160 185 209 229 247 263 271 275 277 279
278 275 271 270 276 290 309 325 336

```

ภาพที่ 3.8 ไฟล์ในรูปแบบ IONEX ของบริเวณชุมพรในวันที่ 9 มกราคม 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 27
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ค่า TEC ที่ได้จากแบบจำลอง IRI

ค่า TEC ที่ได้จากแบบจำลอง IRI ในที่นี้เรียกว่า IRI TEC ซึ่งได้จากเว็บไซต์

http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012_vitmo.html/ ในหน้าเว็บของแบบจำลอง IRI จะแบ่งเป็น 4

ส่วนได้แก่ อินพุต ตัวเลือกอินพุต รูปแบบการแสดงผลเอาร์ทพุตและเอาร์ทพุตที่ต้องการ ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างหน้าเว็บ

แบบจำลอง IRI จากเว็บไซต์และภาพที่ 3.10 แสดงเอาร์ทพุตที่สามารถแสดงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International Reference Ionosphere - IRI-2012

This page enables the computation and plotting of IRI parameters: electron and ion (O^+ , H^+ , He^+ , O_2^+ , NO^+) densities, total electron content, electron, ion and neutral (CIRA-86) temperatures, equatorial vertical ion drift and others.

Select Date and Time

Year(1958-2016): 2000

Note: If date is outside the Ap index range (1958-2013/10), then STORM model will be turned off.

Month: January Day(1-31): 01

Time: Universal Hour of day (e.g. 1.5): 1.5

Select Coordinates

Coordinates Type: Geographic

Latitude(deg. from -90. to 90.): 50 Longitude(deg. from 0. to 360.): 40

Height (km, from 60. to 2000.): 100

Select a Profile type and its parameters:

Height km [60 - 2000] Start 100 Stop 2000 Step size 50

Submit Reset

Optional Input:

Sunspot number, Rz12 (0. - 400.) Ionospheric index, IG12 (-50. - 400.)

F10.7 radio flux, daily (0. - 400.) F10.7 radio flux, 81-day (0. - 400.)

Electron content: Upper boundary (km, from 50. - 2000.)

Ne Topside: NeQuick F peak model: URSI foF2 Storm model: on

Bottomside Thickness: ABT-2009 F1 occurrence probability: Scotto-1997 no L

foE auroral storm model: on Ne D-Region: IRI-95

Te Topside: TBT-2012 Ion Composition: RBV10/TTS03

Note: User may specify the following four parameters only for Profile type 'Height':

F2 peak density (NmF_2), cm^{-3} ($10^3 - 10^8$) or F2 plasma frequency (foF_2), MHz (2-14): 0

F2 peak height (hmF_2), km (100 - 1000) or Propagation factor $M(3000)F_2$ (1.5 - 4): 0

E peak density (NmE), cm^{-3} ($20 - 10^5$) or E plasma frequency (foE), MHz (0.1-14): 0

E peak height (hmE), km (70 - 200): 0

Select output form:

- List model data
- Create model data file in ASCII format for downloading
- Plot model data

Note 1: The first selected parameter below always will be along the X-axis, the other selections will be along Y-axis. (e.g. if you want a Height profile, you may specify Height as the first parameter in the listing below.)

Note 2: User may get scatter plot if he specifies any two parameters below and changes the "connect type" in the "Advanced plot selections" to "show points only"

Submit Reset

ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างหน้าเว็บแบบจำลอง IRI จากเว็บไซต์

http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012_vitmo.html/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Independent Variables

- Year
- Month
- Day of month
- Day of year
- Hour of day, UT/LT
(depending on user's choice above)
- Solar zenith angle, degree
- Height, km
- Geographic/Geomagnetic Latitude, deg.
(depending on user's choice above)
- Geographic/Geomagnetic Longitude, deg.
(depending on user's choice above)
- CGM Latitude, deg.
- CGM Longitude, deg.
- Magnetic inclination (DIP), degree
- Modified dip latitude, degree
- Declination, degree
- InvDip, degree
- Dip latitude, degree
- MLT, hour

IRI Model Parameters

- Electron density (N_e), m^{-3}
- Ratio of Ne and F2 peak density (N_e/N_mF2)
- Neutral Temperature T_n , K
- Ion Temperature T_i , K
- Electron Temperature, T_e , K
- Atomic Oxygen ions (O^+), percentage
- Atomic Hydrogen (H^+), ions, percentage
- Atomic Helium (He^+), ions, percentage
- Molecular Oxygen (O_2^+) ions, percentage
- Nitric Oxide ions (NO^+), percentage
- Cluster ions, percentage
- Atomic Nitrogen (N^+) ions, percentage
- Total Electron Content (TEC), $10^{16} m^{-2}$
- TEC top, percentage
- Height of F2 peak ($hmF2$), km
- Height of F1 peak ($hmF1$), km
- Height of E peak (hmE), km
- Height of D peak (hmD), km
- Density of F2 peak (N_mF2), m^{-3}
- Density of F1 peak (N_mF1), m^{-3}
- Density of E peak (N_mE), m^{-3}
- Density of D peak (N_mD), m^{-3}
- Propagation factor $M(3000)F2$
- Bottomside thickness ($B0$), km
- Bottomside shape ($B1$)
- E-valley width, km
- E-valley depth ($N_{min}N_mE$)
- F2 plasma frequency ($foF2$), MHz
- F1 plasma frequency ($foF1$), MHz
- E plasma frequency (foE), MHz
- D plasma frequency (foD), MHz

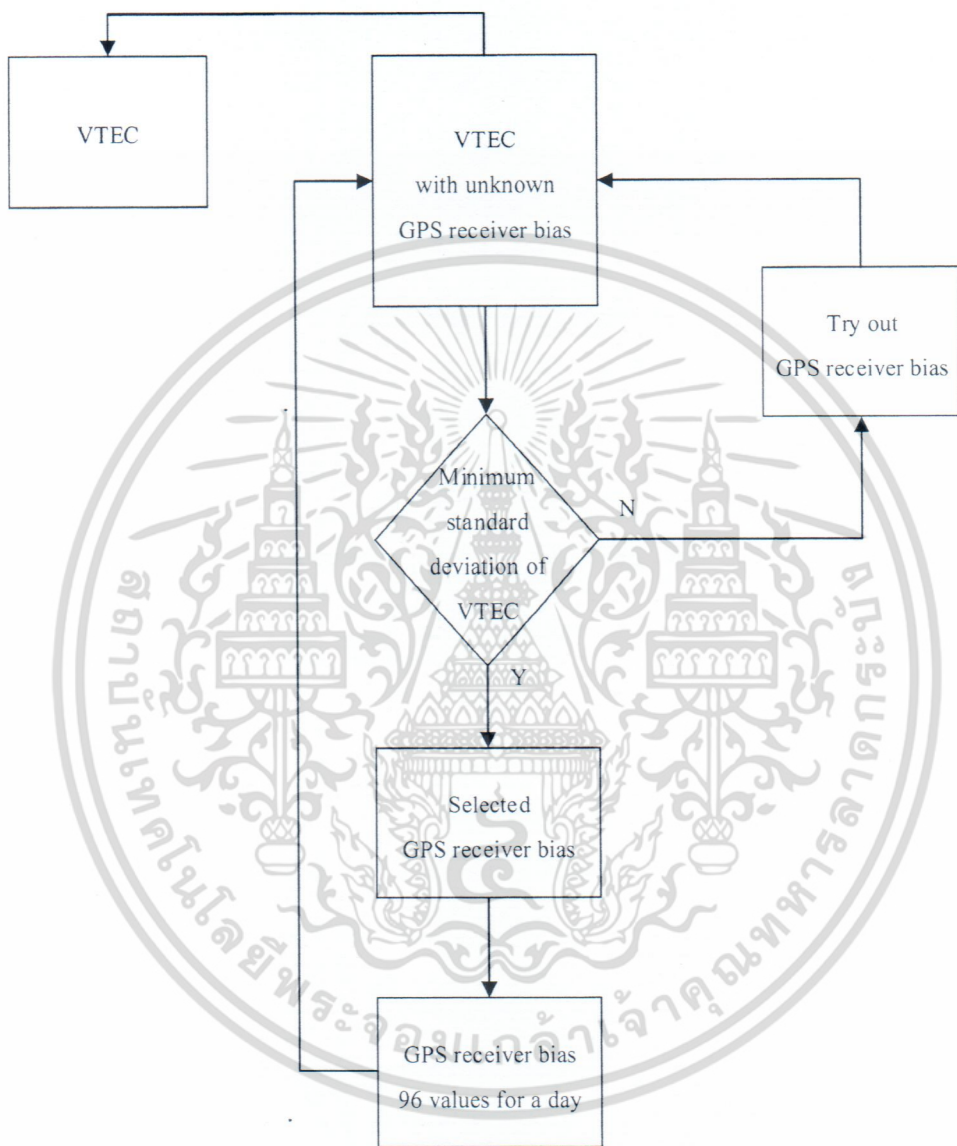
Indices used by the model

- 12-month running mean of sunspot number (Rz12)
- Ionospheric Index IG12
- Daily Solar Radio Flux F107D
- 81-day Solar Radio Flux F107_81D
- 3-h_ap
- daily_ap
- 3-h_kp

ภาพที่ 3.10 เอาดัฟุดที่สามารถเลือกได้ในหน้าเว็บ IRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การคำนวณค่าไบอัสเครื่องรับ



ภาพที่ 3.11 ขั้นตอนการคำนวณค่าไบอัสเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างฐานข้อมูลจีพีเอสของประเทศไทยและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเผยแพร่ข้อมูล

ในการพัฒนาระบบสารสนเทศให้บริการข้อมูลจีพีเอส มีเป้าหมายในการให้บริการข้อมูลต่อไปนี้

1. ค่า slant TEC
2. ค่า vertical TEC ที่ได้จากข้อมูลที่วัดได้

โดยจะทำการสร้างหน้าเว็บเพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และเทคโนโลยีจีพีเอส และจีเอ็นเอสที่เว็บไซต์ www.iono-gnss.kmitl.ac.th รวมทั้งมีลิงค์สำหรับการดาวน์โหลดข้อมูลที่สถานีต่างๆ เรียงตามชื่อสถานีและปีที่ทำการเก็บข้อมูล

3.4 การพัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC

คณะผู้วิจัยได้พัฒนาชุดซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ค่า TEC เพื่อทำการแปลงค่า pseudo range ให้เป็น slant TEC และ vertical TEC จะใช้โปรแกรม MATLAB และภาษาซี

ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รับไฟล์ RINEX และตั้งพารามิเตอร์ C1, P2, L1, L2
2. คำนวณค่า C1-P2, และ L1-L2
3. ทำการยกระดับของค่า L1-L2 ให้มาอยู่ที่ระดับค่าเฉลี่ยของ C1-P2
4. ทำการแก้ไข cycle slip
5. คำนวณค่า slant TEC (STEC)
6. ลบค่าไบอัสดาวเทียมออกจากข้อ 4
7. ทำการประมาณไบอัสเครื่องรับสัญญาณ
8. แปลงค่า STEC ให้เป็นค่า VTEC (vertical TEC)

3.5 การเข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ทำการส่งข้อมูลที่วิเคราะห์จากประเทศไทย เข้าร่วมการปรับปรุงโมเดล International Reference Ionosphere (IRI) และเข้าร่วมการประชุม IRI Workshop ซึ่งมีการจัดทุกๆ สองปี

3.6 การพัฒนาโมเดลการทำนายค่า TEC สำหรับจังหวัดชุมพร ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

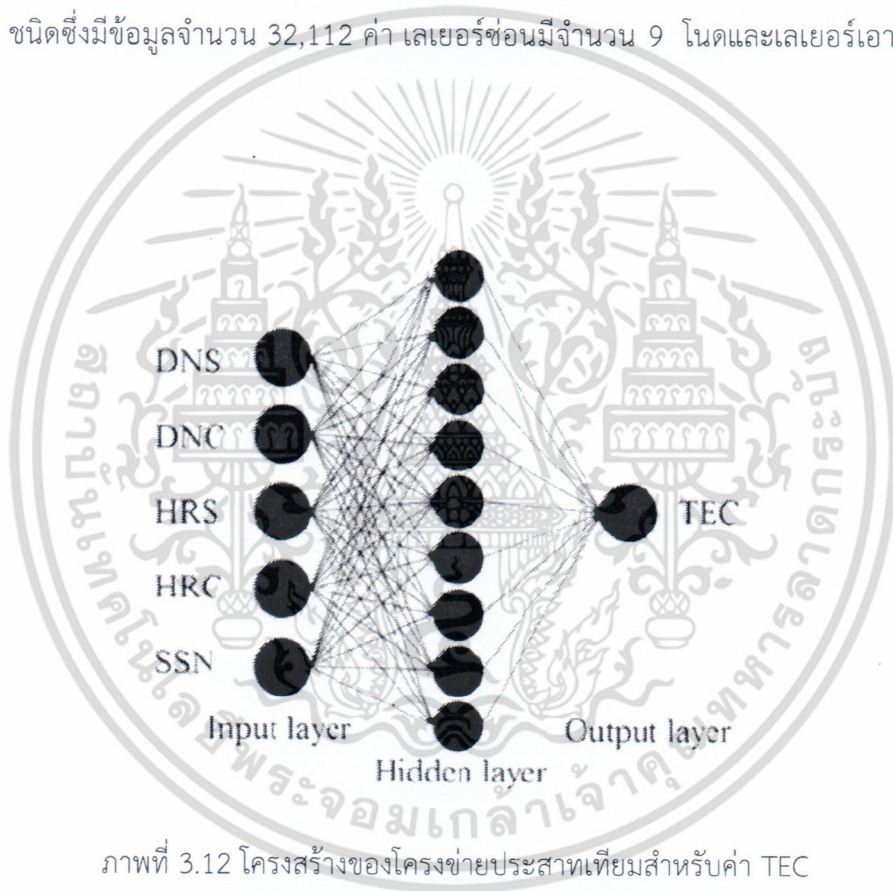
จะทำการศึกษาวิจัยและสร้างโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำนาย TEC โดยในเริ่มแรกจะเริ่มจากสถานีชุมพร โดยโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนั้น เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนชนิดส่งผ่านไปข้างหน้า (Feed forward network) ซึ่งข้อมูลจะผ่านเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่อินพุตเลเยอร์ และจะส่งผ่านจากเลเยอร์หนึ่งไปสู่อีกเลเยอร์หนึ่งจนกระทั่งถึงเอาต์พุตเลเยอร์ และใช้ back propagation algorithm สำหรับการปรับแต่งค่าน้ำหนัก (weight adjustment) ในระหว่างกระบวนการการเรียนรู้ เมื่อโครงข่ายประสาทเทียมเรียนรู้จนสามารถจดจำรูปแบบตามที่ทำการฝึกสอนให้ได้แล้ว ก็จะทำการทำนายค่าเอาต์พุตออกมา จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบเอาต์พุตที่ได้กับค่าเป้าหมายเพื่อคำนวณหาค่าความผิดพลาดออกมา และป้อนค่าความผิดพลาดนี้กลับไปยังโครงข่ายเพื่อเป็นการปรับปรุงความสามารถในการทำนายผ่านกระบวนการปรับค่าน้ำหนัก ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมจะมีการวนรอบกระบวนการดังกล่าวซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE, Mean-Square Error) ที่กำหนดไว้

เมื่อกระบวนการทั้งหมดเสร็จสิ้นลง ก็จะไปสู่กระบวนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นสามารถวัดได้จาก ค่ารากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE, Root-Mean-Square Error) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (TEC_{pred} - TEC_{meas})^2}, \quad (3.5)$$

เมื่อ N คือจำนวนของจุดข้อมูล TEC_{pred} คือ TEC ที่ถูกทำนายจากแบบจำลอง และ TEC_{meas} คือ TEC ที่ได้จากการประมาณมาจากเครื่องรับสัญญาณ GPS แบบสองความถี่นั่นเอง โดยในเริ่มต้นจะใช้ข้อมูลจากปี 2004 และ 2006 ในการฝึกและทดลองทำนายค่า TEC ในปี 2005 จากนั้นขยายจำนวนปีให้ได้ถึงปี 2012 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นระบบประมวลผลข่าวสาร อันประกอบไปด้วยเลเยอร์อินพุต เลเยอร์ซ่อน (หรือเลเยอร์ตรงกลาง) และเลเยอร์เอาต์พุต แต่ละเลเยอร์จะมีหน่วยประมวลผลที่เรียกว่าโนด, หน่วย, เซลล์ หรือนิวรอน แต่ละนิวรอนเป็นหน่วยประมวลผลซึ่งประกอบไปด้วยตัวเชื่อม (link) ตัวบวกและฟังก์ชันกระตุ้น (activation function) โครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้นโดยการฝึกให้เรียนรู้จากข้อมูลที่มีอยู่ ในส่วนนี้จะทำการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับค่า TEC โดยใช้โครงข่ายไปข้างหน้า (feedforward) ที่มีการแพร่กระจายย้อนกลับแสดงดังภาพที่ 2.35 โดยเลเยอร์อินพุตมีจำนวน 5 โนด แทนอินพุต 5 ชนิดซึ่งมีข้อมูลจำนวน 32,112 ค่า เลเยอร์ซ่อนมีจำนวน 9 โนดและเลเยอร์เอาต์พุตมีจำนวน 1 โนดเท่านั้น



ภาพที่ 3.12 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับค่า TEC

ตัวแปรที่ใช้ในการวัดความถูกต้องของโครงข่ายที่พัฒนาและการเปรียบเทียบค่าที่ทำนายกับค่าจริงมี 2 ชนิดคือรากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (root-mean-square error) หรือ RMSE นิยามได้จาก

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (TEC_{pred,i} - TEC_{meas,i})^2} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
34
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N คือจำนวนข้อมูล, คือค่า TEC_{pred} ที่ทำนายจากแบบจำลอง และคือค่า TEC_{meas} คือค่า TEC แนวตั้งหรือ VTEC และค่า RMSE ที่ทำการนอร์มอไลซ์หรือ NRMSE นิยามได้จาก

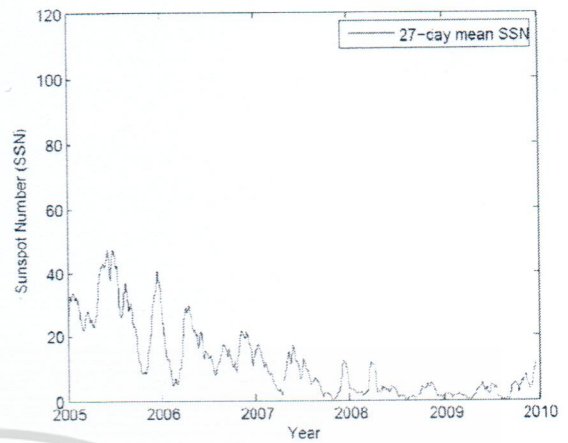
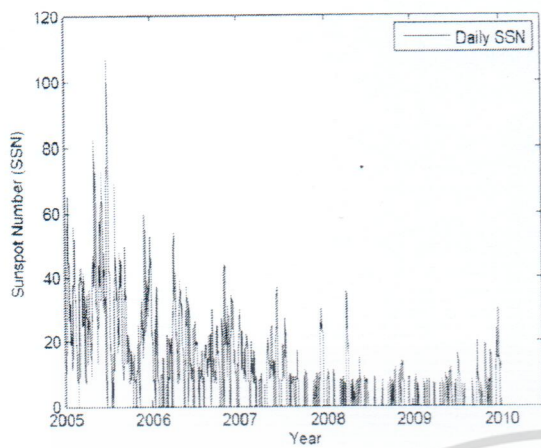
$$RMSE_{norm} = \frac{RMSE}{TEC_{meas}} \quad (3.7)$$

เมื่อ \overline{TEC}_{meas} คือค่า TEC เฉลี่ยที่นอร์มอไลซ์ ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งข้อมูลค่า TEC เป็น 3 ส่วนคือข้อมูลของปี 2005, 2006, 2008 และ 2009 ใช้สำหรับการฝึกฝน (training) การตรวจสอบ (validation) และข้อมูลของปี 2007 ใช้สำหรับการทดสอบ (test)

อินพุตที่ใช้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมล้วนมีผลกระทบต่อค่า TEC ได้แก่ หมายเลขชั่วโมง (HR) หมายเลขวัน (DN) จำนวนจุดบนดวงอาทิตย์ (SSN) เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องจะทำการแปลงอินพุตด้วยฟังก์ชัน

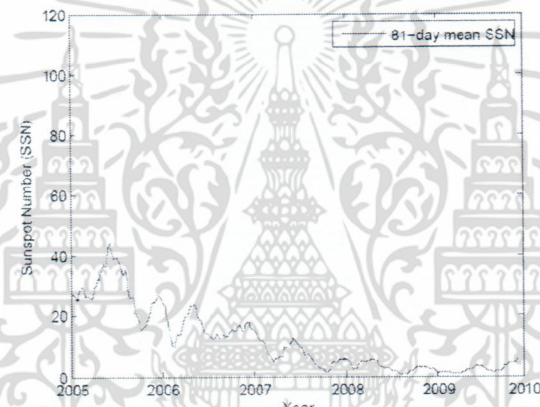
$$\begin{aligned} DNS &= \sin\left(\frac{2\pi DN}{365.25}\right), DNC = \cos\left(\frac{2\pi DN}{365.25}\right) \\ HRS &= \sin\left(\frac{2\pi HR}{24}\right), HRC = \cos\left(\frac{2\pi HR}{24}\right) \end{aligned} \quad (3.8)$$

ค่า SSN บ่งบอกถึงความแรงของดวงอาทิตย์สามารถรวบรวมได้จากเว็บไซต์ ftp.ngdc.noaa.gov ในการนำค่านี้ไปใช้ในโครงข่ายประสาทเทียมมีทั้งหมดสามแบบได้แก่ ค่า SSN แต่ละวัน (NN1) ค่า SSN เฉลี่ย 27 วัน (NN2) และค่า SSN เฉลี่ย 81 วัน (NN3) แสดงดังภาพที่ 3.13 (ก), (ข) และ (ค)



(ก)

(ข)



(ค)

ภาพที่ 3.13 ค่า SSN (ก) ในแต่ละวัน (ข) ค่า SSN เฉลี่ยทุกๆ 27 วันและ (ค) ค่า SSN เฉลี่ยทุกๆ 81 วัน

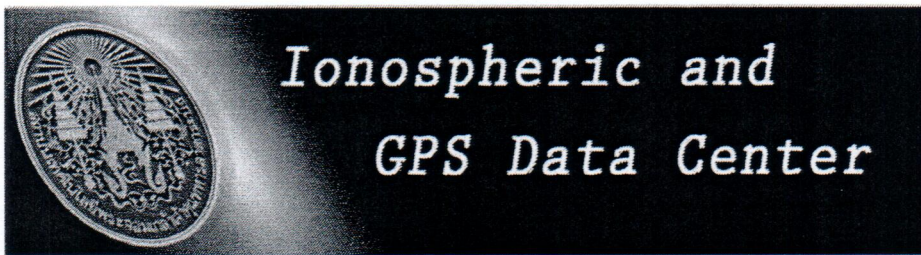
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 36
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่

ได้ทำการออกแบบระบบการเชื่อมต่อระหว่างสถานีวัดต่างๆ มายังสถาบันฯ โดยเครื่องวัดมีสองประเภท ได้แก่ JAVAD และ TOPCON ตัวอย่างของสถานีวัด คณะวิจัยได้จัดทำเว็บไซต์ <http://iono-gnss.kmitl.ac.th> โดยมีบริการข้อมูลไอโอโนสเฟียร์และจีพีเอสแสดงดังภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 โดยภาพที่ 4.2 แสดงเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสและเครื่องวัดสภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ภาพที่ 4.1 แสดงหน้าเว็บของเมนูย่อย “Data” ซึ่งแสดงลิงค์ข้อมูลไฟล์ประเภท RINEX ที่ให้บริการของแต่ละสถานี โดยแบ่งประเภทตามหน่วยงานที่ให้ความร่วมมือในการวิจัย โครงการวิจัย หรือหน่วยงานที่เป็นเจ้าของอุปกรณ์ ในขณะที่ได้ใส่ลิงค์ของข้อมูลในแต่ละปี และเมื่อคลิกเหล่านี้จะแสดงไฟล์ของแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 1 ถึงวันที่ 365 ตามมาตรฐานวันในระบบจีพีเอส ภาพที่ 4.2 แสดงเครือข่ายของเครื่องรับสัญญาณหรืออุปกรณ์สังเกตการณ์ทั้งหมดในประเทศไทย โดยมีบางหน่วยงานเช่น กรมที่ดิน ที่คณะผู้วิจัยยังไม่ได้ติดต่อเรื่องการขอข้อมูลจีพีเอส



Home > DATA

DATA

NICT (National Institute of Information and Communications Technology)

Navigation

- ▶ [Data Tools & API Data](#)
- ▶ [Home](#)

USER LOGIN

USERNAME *

PASSWORD *

[Log in](#)

[Create new account](#)

[Request new password](#)

Stations	Description	Date
Bangkok (KUL)	GPS data	2010 2011 2011 2012 2009 2007 2006 2004 2003 2002
Chiangmai (CMU)	GPS data	2010 2011 2011 2010 2009 2008 2007 2006 2006 2004
Phuket (PTC)	GPS data	2010 2011 2011 2009 2009 2007 2006 2009 2004
Dumreuk (DPV)	GPS data	2010 2011 2011 2009 2008 2007 2006 2004

Kyoto University

Stations	Description	Date
Suwayama (S.S)	GPS data	2010 2011 2011 2009 2009 2008
Nongai (NWD)	GPS data	2010 2011 2011 2009 2009
Primal (PM)	GPS data	2010 2010 2011 2010 2009 2008

Stations	Descriptions	Date
Sankofa Int. Universit	GPS data	2010 2012 2011
Aero Thai	GPS data	2010 2012 2011
KMITL (12-Floor-Building)	GPS data	2010 2012 2011

ภาพที่ 4.1 การบริการข้อมูลไอโอโนสเฟียร์และจีพีเอสในหน้าเว็บไซต์

Home > KNOWLEDGE

Knowledge

Navigation

- ▶ [Data Tools & API Data](#)
- ▶ [Home](#)

USER LOGIN

USERNAME *

PASSWORD *

[Log in](#)

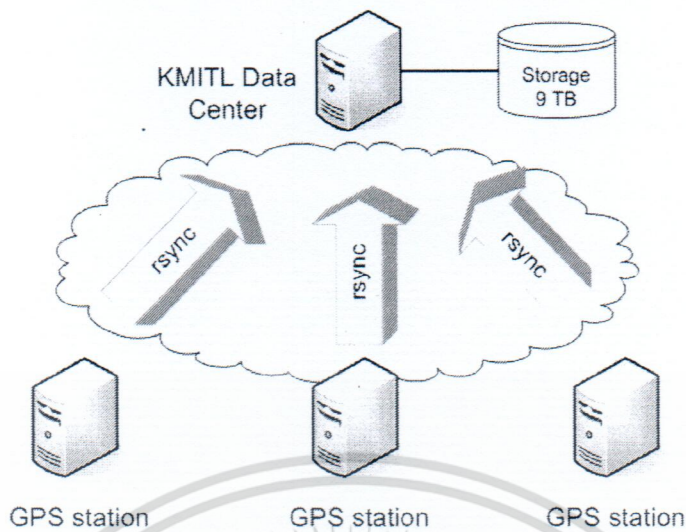
[Create new account](#)

[Request new password](#)

- SEALION
- KMITL - Chulalongkorn University
- Department of Public Works and Town and Country Planning, Ministry of Interior
- Department of Lands (11 stations)
- Aeronautical Radio of Thailand (Aerothai)
- Royal Thai Navy (3 Ionosonde stations)
- Royal Thai Survey Department
- Thai Meteorological Department

ภาพที่ 4.2 เครื่องข่ายเครื่องรับสัญญาณและวัดสภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 การเชื่อมต่อข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์ที่สถาบันเทคโนโลยีฯ ลาดกระบัง โดยวิธี rsync

ภาพที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่อข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์ที่สถาบันเทคโนโลยีฯ ลาดกระบัง โดยวิธี rsync การใช้คำสั่ง rsync หรือ remote sync ซึ่งเป็นวิธีสำเนาไฟล์จากหรือไปยังเครื่องที่ตั้งอยู่ห่างไกลออกไป จะมีความเร็วสูงกว่า การใช้คำสั่ง scp (secure copy) เนื่องจากคำสั่ง rsync จะสำเนาข้อมูล (ในรูปไบนารีและบล็อก) ที่เปลี่ยนไปจากเดิมเท่านั้น แต่ในการทำ rsync ครั้งแรกจะสำเนาไฟล์ทั้งหมดก่อน นอกจากนี้คำสั่ง rsync ยังใช้แบนด์วิดธ์น้อยกว่า เนื่องจากการนำเทคนิคการบีบอัดข้อมูลเข้ามาใช้ด้วย คำสั่งพื้นฐานของ rsync คือ

```
#rsync options source destination
```

โดยในส่วนของ options มีตัวเลือกได้แก่

- v : verbose
- r : copies data recursively (but don't preserve timestamps and permission while transferring data)
- a : archive mode, archive mode allows copying files recursively and it also preserves symbolic links, file permissions, user & group ownerships and timestamps
- z : compress file data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-h : human-readable, output numbers in a human-readable format

โดยปกติการทำ rsync นิยมใช้งานร่วมกับคำสั่ง ssh (secured shell) เพื่อป้องกันผู้อื่นอ่านข้อมูลเหล่านี้ได้ ตัวอย่างคำสั่งที่ใช้งานเพื่อส่งไฟล์จากเครื่องพีซีที่สถานี (รีโมท) มายังเซิร์ฟเวอร์ที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ที่สำนักบริการคอมพิวเตอร์ที่สถาบันฯ (โลคอล) ได้แก่

```
#rsync options ssh source destination
```

```
#rsync -avzhe ssh root@192.168.0.100/root/GPS/2013/046.o /tmp/
```

การสร้างคีย์สำหรับทั้งโลคอลและรีโมทโฮสต์ ทำได้โดยการใช้คำสั่ง

```
$ ssh-keygen -t rsa -b 2048 -f /home/thisuser/cron/thishost-rsync-key
```

Generating public/private rsa key pair.

Enter passphrase (empty for no passphrase): [press enter here]

Enter same passphrase again: [press enter here]

Your identification has been saved in /home/thisuser/cron/thishost-rsync-key.

Your public key has been saved in /home/thisuser/cron/thishost-rsync-key.pub.

The key fingerprint is:

```
2e:28:d9:ec:85:21:e7:ff:73:df:2e:07:78:f0:d0:a0 thisuser@thishost
```

ซึ่งจะได้คีย์ในไฟล์ทั้งสอง จากนั้นทำการส่งคีย์ไปยังเครื่องรีโมท

```
$ scp /home/thisuser/cron/thishost-rsync-key.pub
```

```
remoteuser@remotehost:/home/remoteuser/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตั้งเวลาให้มีการส่งข้อมูลเป็นประจำ สามารถทำได้โดยการใช้คำสั่ง crontab เข้ามาช่วย รูปแบบคำสั่งพื้นฐานของ crontab โดยเริ่มจากการสร้างสคริปต์

```
#!/bin/sh

RSYNC=/usr/bin/rsync

SSH=/usr/bin/ssh

KEY=/home/thisuser/cron/thishost-rsync-key

RUSER=remoteuser

RHOST=remotehost

RPATH=/remote/dir

LPATH=/this/dir/

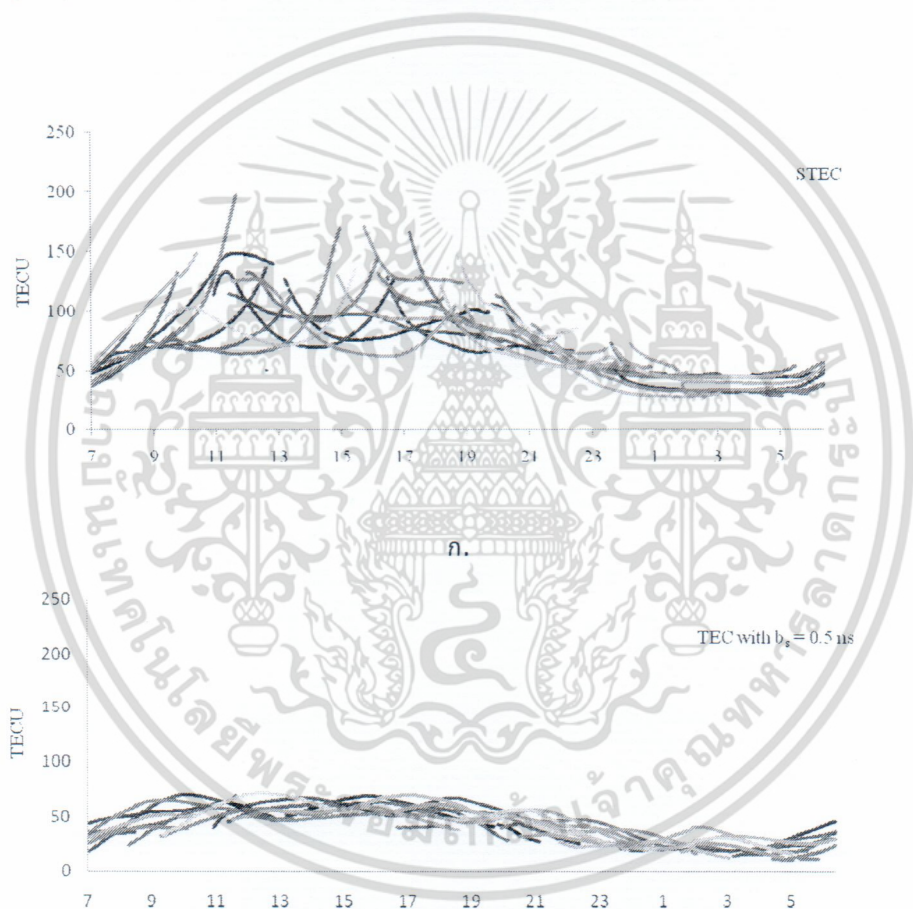
$RSYNC -az -e "$SSH -i $KEY" $RUSER@$RHOST:$RPATH $LPATH
```

จากนั้นบันทึกไฟล์ด้วยชื่อ 'rsync-remotehost-backups' แล้วทำการเรียกสคริปต์เพื่อการส่งไฟล์เป็นประจำ ยกตัวอย่างเช่น

```
0 5 * * * /home/thisuser/cron/rsync-remotehost-backups (for a daily 5 AM sync)
0 5 * * 5 /home/thisuser/cron/rsync-remotehost-backups (for a weekly (5 AM on Fridays))
```

4.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ที่สถานีพินายและสถานีอื่นๆ

ภาพที่ 4.4 (ก) แสดงตัวอย่างค่า slant TEC ได้รับจากสถานีชุมพรในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง โดยประกอบไปด้วยค่าจากหลากหลายเส้นทางดาวเทียม ในภาพรวมค่า STEC ของเส้นทางที่มีมุมเงยของดาวเทียมสูงจะมีค่าสูงกว่าเมื่อมุมเงยมีค่าต่ำ เนื่องจากเส้นทางของสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มากกว่า ภาพที่ 4.4 (ข) แสดงค่า VTEC ในวันเดียวกันเมื่อนำค่าไบอัสเครื่องรับ $b_r = 0.5$ ns ออก จะเห็นว่าค่า VTEC ที่คำนวณได้จากทุกดวงมีค่าใกล้เคียงกัน



ข.

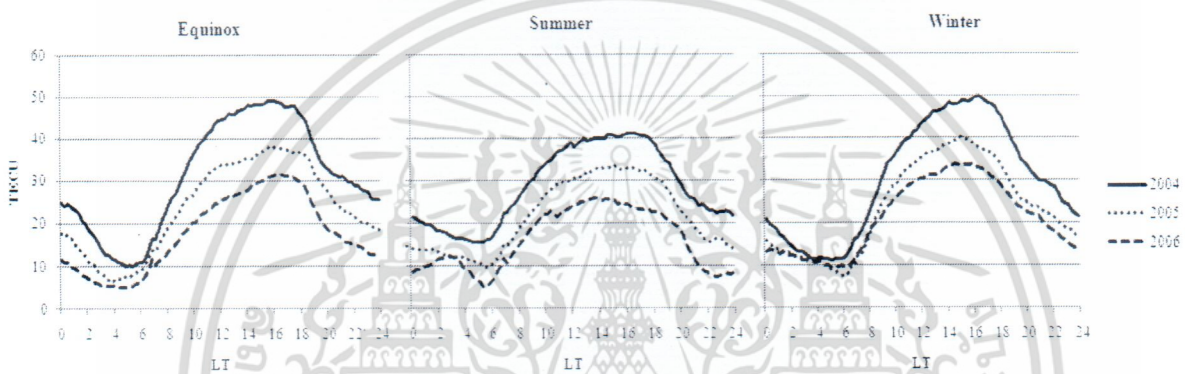
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างกราฟค่า TEC (ก) ค่า slant TEC (ข) ค่า vertical TEC ที่มีการปรับค่าด้วย $b_r = 0.5$

ns

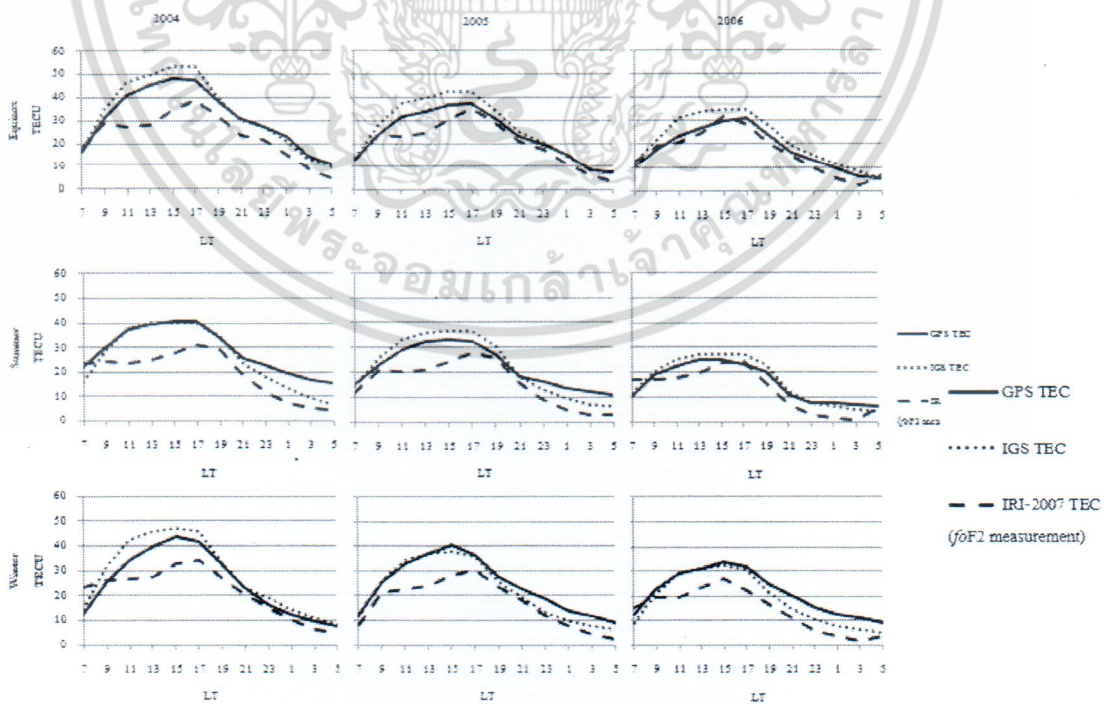
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
42
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่า TEC

ภาพที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า VTEC ในแต่ละฤดูกาลได้แก่ช่วงเดือน equinox (มีนาคม, เมษายน, กันยายนและตุลาคม), summer (พฤษภาคม, มิถุนายน, กรกฎาคมและสิงหาคม) และ winter (พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคมและกุมภาพันธ์) โดยในแต่ละเวลาค่า VTEC ที่คำนวณได้เป็นค่ามัธยฐาน โดยปกติก่า VTEC มีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นและมีค่าสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวันก่อนที่จะลดลง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ปี พบว่าในปี 2004 จะมีค่า VTEC สูงกว่าในปีอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากในปี 2004 มีค่า solar activity สูงสุด

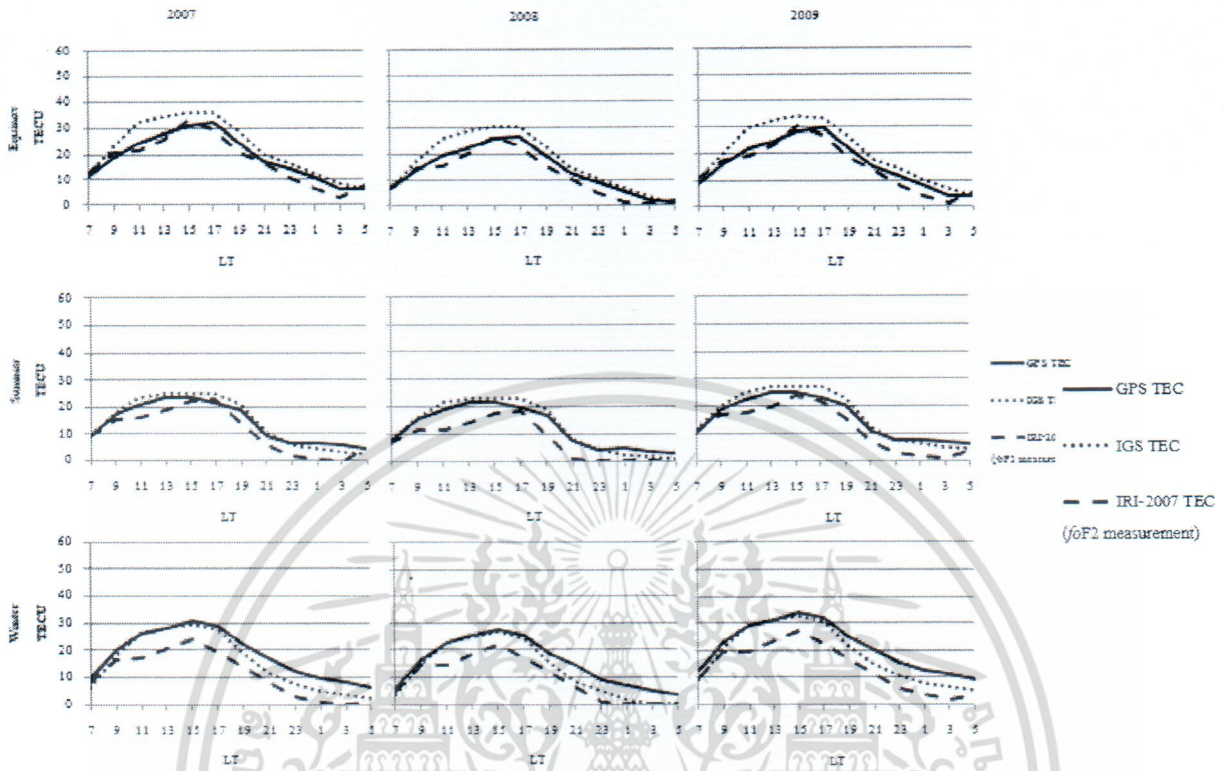


ภาพที่ 4.5 ค่า VTEC ของสถานีชุมพรในปี 2004 ถึงปี 2006



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

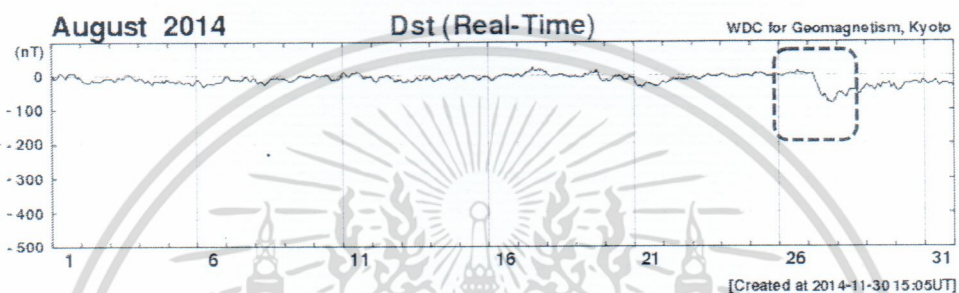
ภาพที่ 4.6 ผลการเปรียบเทียบค่า GPS TEC, IGS TEC และ IRI TEC ที่สถานีชุมพร ในปี (ก) 2004-2006 และ (ข) ปี 2007-2009

ภาพที่ 4.6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่ามัธยฐานของ GPS TEC, IGS TEC และ IRI-2007 TEC จากปี 2004 ถึง 2009 พบว่าในภาพรวมค่า IRI-2007 TEC มีค่าต่ำกว่าค่า GPS TEC ที่ได้จากสถานีชุมพร โดยจะเห็นได้ชัดในช่วงเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน ค่า TEC ทั้งสองชนิดมีระดับที่ใกล้เคียงกันในช่วงอิควิน็อกซ์ ของปี 2005 และ 2006 ผลต่างสูงสุดระหว่างค่า IRI TEC และ GPS TEC มีค่าเท่ากับ 15 TECU ในช่วงกลางวันและเท่ากับ 5 TECU ในช่วงกลางคืน สำหรับค่า IGS TEC นั้นสูงกว่าค่า GPS TEC ประมาณ 5 TECU ในช่วงกลางวันของฤดูอิควิน็อกซ์ แต่ต่ำกว่า GPS TEC ในช่วงกลางคืนของฤดูหนาวปี 2005 และปี 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลจีพีเอสเพื่อคำนวณค่า TEC ในช่วงที่เกิดความผิดปกติ

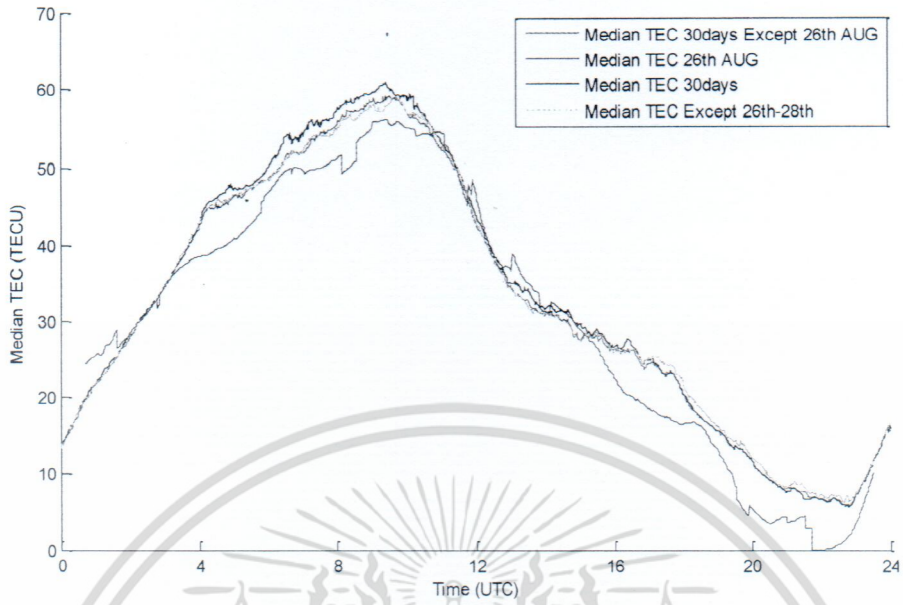
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาค่า TEC ที่สถานี KMITL ในช่วงวันที่ 26-29 สิงหาคม 2557 (2014) เนื่องจากพบว่ามีพายุแม่เหล็ก (magnetic storm) เกิดขึ้น โดยสังเกตได้จากกราฟของดัชนี Dst แสดงดังภาพที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าในวันที่ 27 สิงหาคม ดัชนี Dst มีค่าลดต่ำลงถึงประมาณเกือบ -100 nT



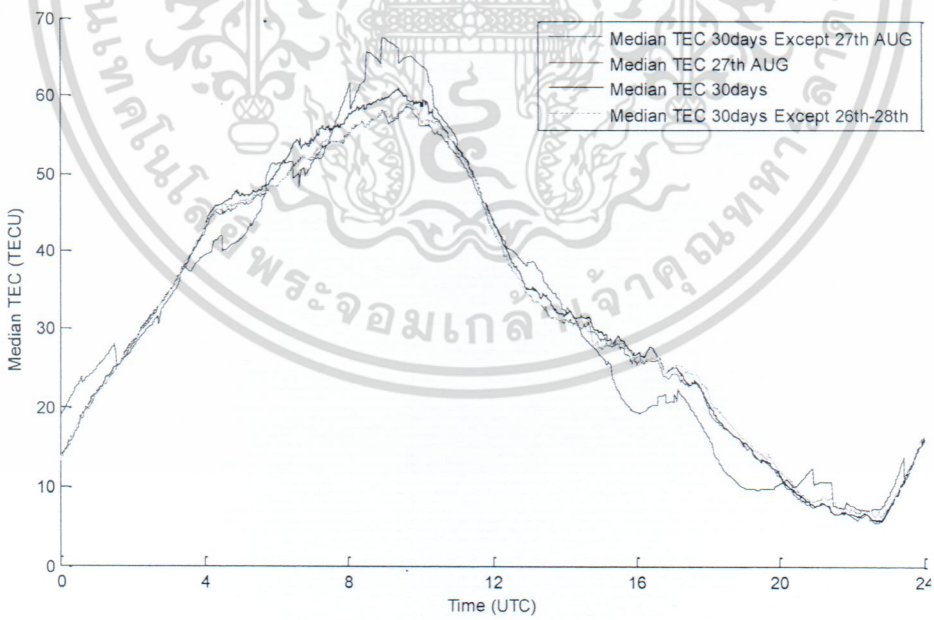
ภาพที่ 4.7 ค่าดัชนี Dst ในเดือนสิงหาคม 2557

เมื่อตรวจสอบค่า VTEC ระหว่างวันที่ 26-28 สิงหาคม 2557 พบว่าค่า VTEC ที่ได้แสดงดังภาพที่ 4.8 ถึง 4.10 ตามลำดับ ค่าไบอัสเครื่องรับของทั้ง 3 วันนี้เท่ากับ -4.4 ns, -4.63 ns และ -5.2 ns ตามลำดับ จากภาพที่ 4.8 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า VTEC ของวันที่ 26 สิงหาคม กับค่าเฉลี่ยแบบมัธยฐานรายเดือน โดยนับวันก่อนและหลังวันนี้จำนวนทั้งสิ้น 30 วันพบว่าค่า VTEC มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 4.00-11.00 UTC และเวลา 15.00-23.00 UTC ค่า TEC สูงสุดเท่ากับ 55 TECU สำหรับวันที่ 27 สิงหาคมในภาพที่ 3 พบว่าในช่วงเวลา 8.00 – 11.00 UTC ค่า VTEC สูงกว่าค่าเฉลี่ยและในเวลา 13.00-20.00 UTC ค่า VTEC มีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ค่า TEC สูงสุดเท่ากับ 65 TECU ในกรณีของวันที่ 28 สิงหาคม ค่า VTEC ที่วัดได้มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยในเวลา 0.00-10.00 UTC และเวลา 12.00-16.00 UTC ค่า TEC สูงสุดเท่ากับ 65 TECU ดังนั้นสรุปได้ว่าในวันที่ 26 สิงหาคมเกิด พายุไอโอโนสเฟียร์แบบลบ (negative ionospheric storm) ส่วนวันที่ 27 สิงหาคมเกิดพายุไอโอโนสเฟียร์แบบบวก (positive ionospheric storm) และแบบลบ สำหรับวันที่ 28 สิงหาคมนั้นเกิดพายุไอโอโนสเฟียร์แบบบวกเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
45
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

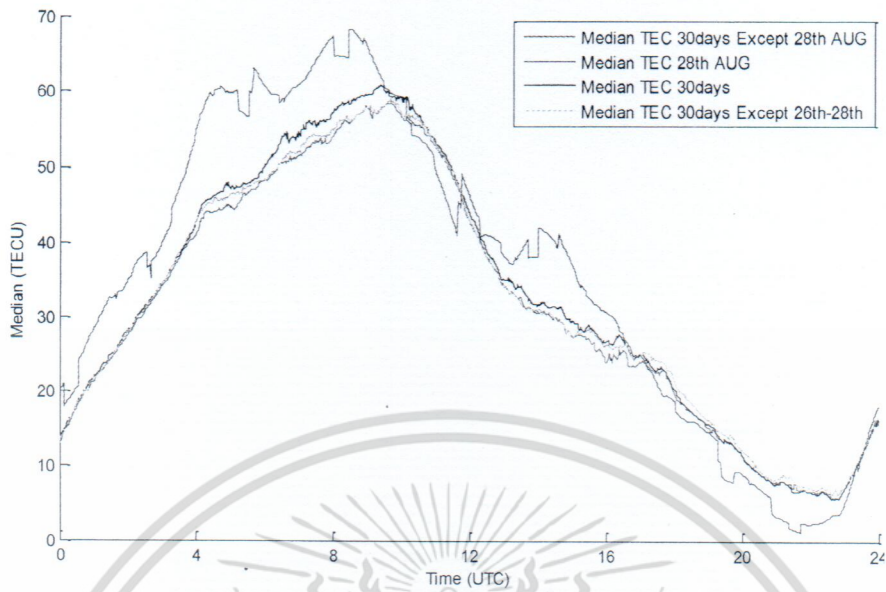


ภาพที่ 4.8 ค่า TEC ของวันที่ 26 สิงหาคม 2557



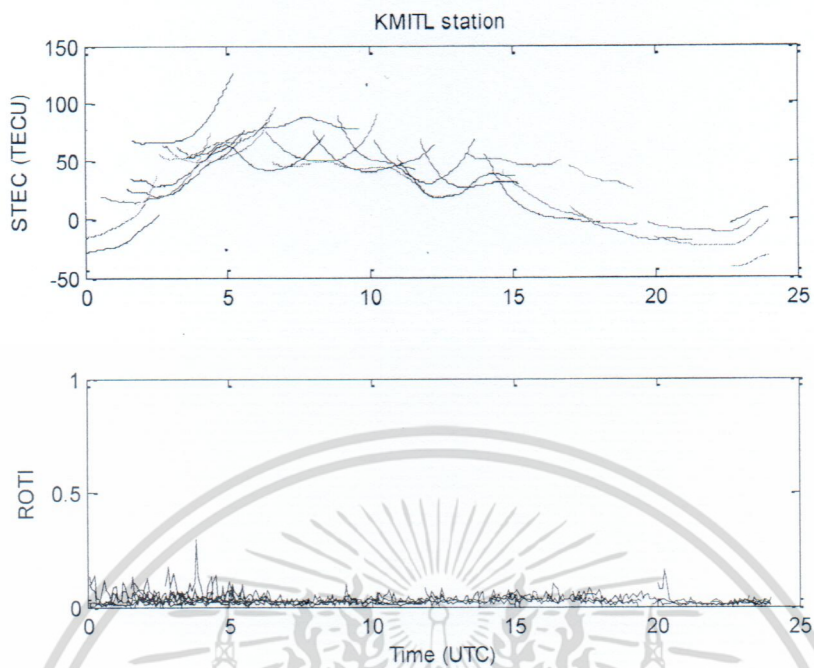
ภาพที่ 4.9 ค่า TEC ของวันที่ 27 สิงหาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 46
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

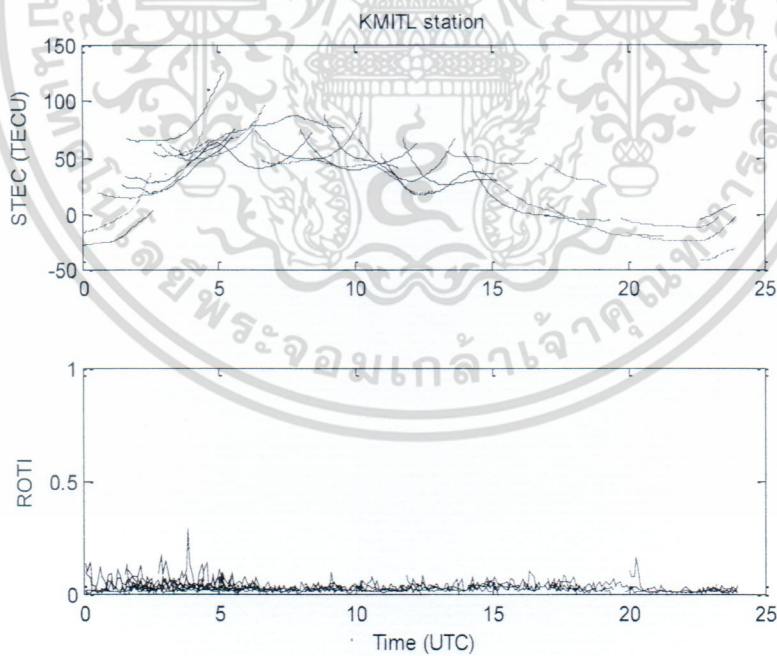


ภาพที่ 4.10 ค่า TEC ของวันที่ 28 สิงหาคม 2557

เมื่อพิจารณาจากค่า ROTI (Rate of TEC change) ไม่พบความผิดปกติในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงนี้ ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.11 ถึง 4.13

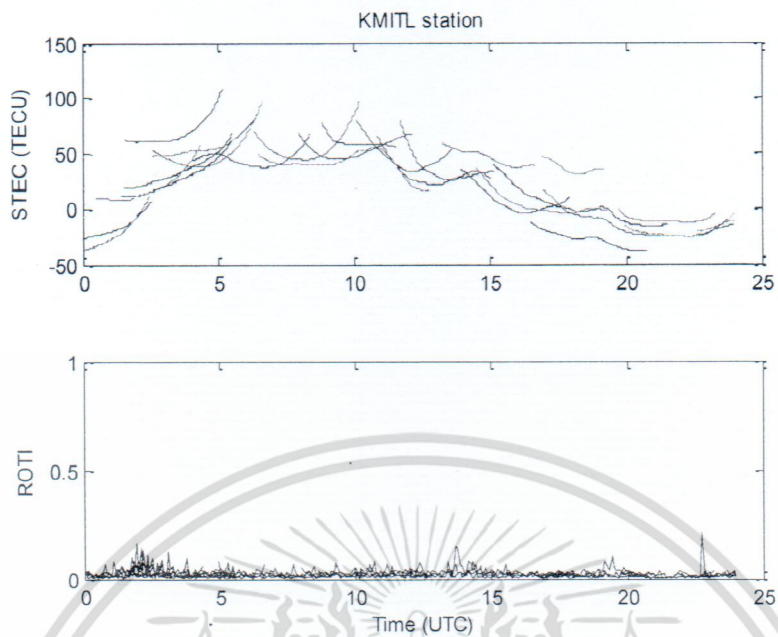


ภาพที่ 4.11 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 26 สิงหาคม 2557



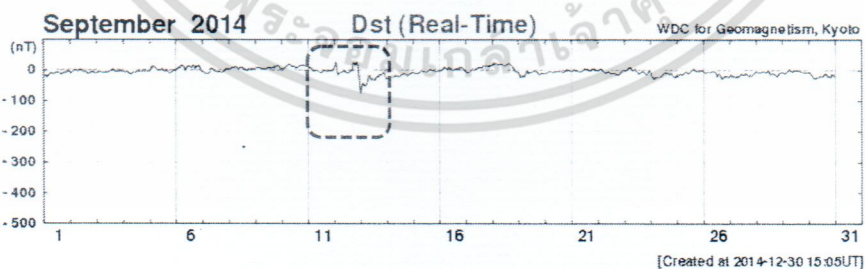
ภาพที่ 4.12 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 27 สิงหาคม 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 48
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 28 สิงหาคม 2557

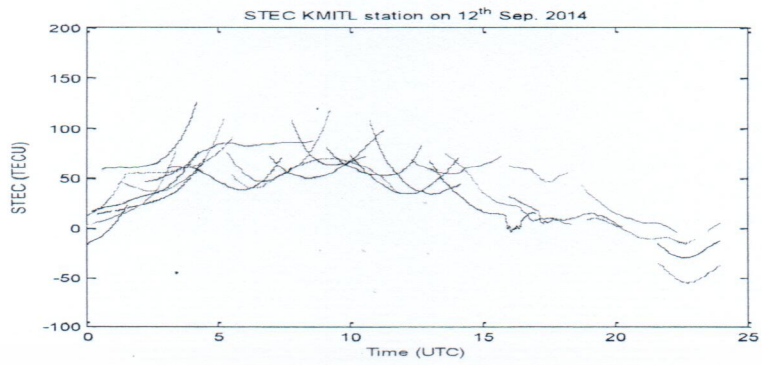
นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาค่า TEC ในช่วงวันที่ 12-13 กันยายน 2557 (2014) เนื่องจากพบว่ามีพายุแม่เหล็ก (magnetic storm) เกิดขึ้น โดยสังเกตได้จากกราฟของดัชนี Dst แสดงดังภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าในวันที่ 12 กันยายน ดัชนี Dst มีค่าลดต่ำลงถึงประมาณ -90 nT



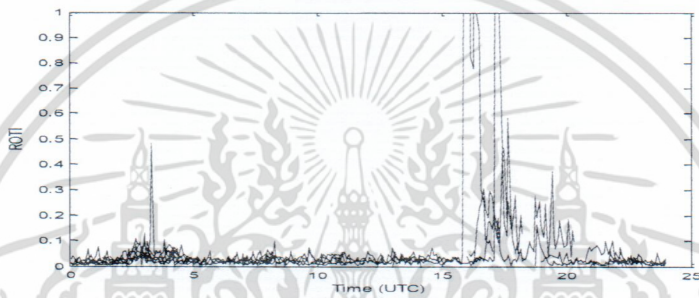
ภาพที่ 4.14 ค่าดัชนี Dst ในเดือนกันยายน 2557

เมื่อพิจารณาค่า ROTI จะพบว่าเกิดความผิดปกติในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในวันที่ 12 และ 13 กันยายน 2557 ดังแสดงในภาพที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

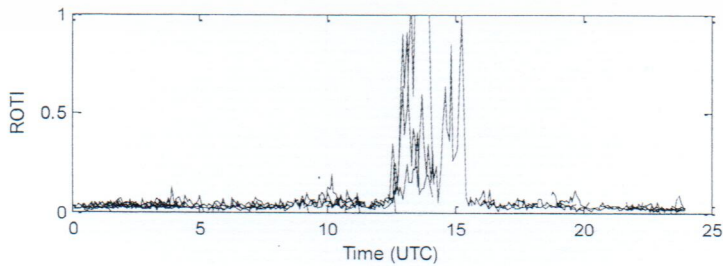
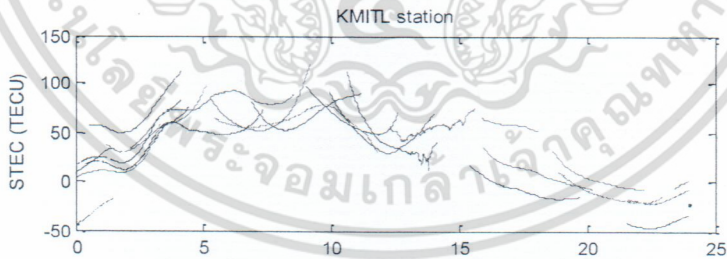


(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.15 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 12 กันยายน 2557



ภาพที่ 4.16 ค่า slant TEC และ ROTI ของวันที่ 13 กันยายน 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ดีเนื่องจากความผิดปกติในทั้งสองวันเกิดขึ้นหลังพระอาทิตย์ตกดิน จึงคาดว่าเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ ฟองพลาสมา (plasma bubble) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นเป็นประจำในช่วงเดือนอิควิน็อกซ์ (เดือนมีนาคม เมษายน กันยายนและตุลาคม) ของทุกปี ในเขตละติจูดต่ำและเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก ซึ่งประเทศไทยตั้งอยู่

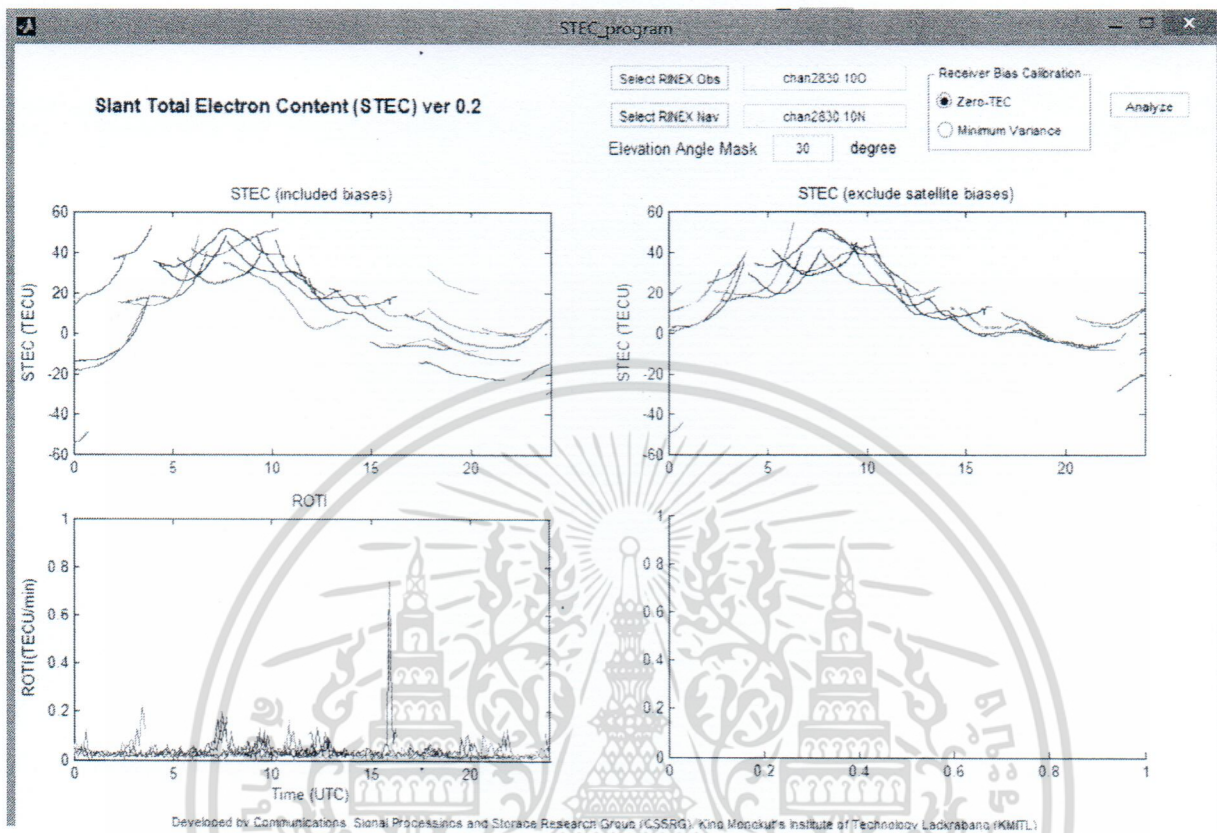
4.3 การพัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC

คณะผู้วิจัยได้พัฒนาชุดซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ค่า TEC ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รับไฟล์ RINEX และดึงพารามิเตอร์ C1, P2, L1, L2
2. คำนวณค่า C1-P2, และ L1-L2
3. ทำการยกระดับของค่า L1-L2 ให้มาอยู่ที่ระดับค่าเฉลี่ยของ C1-P2
4. ทำการแก้ไข cycle slip
5. คำนวณค่า slant TEC (STEC)
6. ลบค่าไบอัสดาวเทียมออกจากข้อ 4
7. ทำการประมาณไบอัสเครื่องรับสัญญาณ
8. แปลงค่า STEC ให้เป็นค่า VTEC (vertical TEC)

ภาพที่ 4.17 แสดงตัวอย่างหน้า GUI ในการคำนวณค่า TEC จากไฟล์ RINEX ของสถานีจันทบุรี ของกรมผังเมือง เราสามารถเลือกไฟล์ .o และไฟล์ .n ของสถานีที่ต้องการได้ และยังสามารถกำหนดมุมเงยต่ำสุดของสัญญาณดาวเทียมที่ไม่ใช้ในการคำนวณค่า TEC ในที่นี้เลือกค่า 30 องศา ค่าไบอัสของเครื่องรับทำงานได้สองวิธีได้แก่ วิธี Zero-TEC และวิธี Minimum variance รูปด้านซ้ายบนคือค่า STEC ที่ยังรวมค่าไบอัส รูปด้านขวาบนคือคือค่า STEC ที่ลบค่าไบอัสดาวเทียมออกแล้ว ส่วนรูปด้านซ้ายล่างคือค่า ROTI จะเห็นว่าที่เวลาประมาณ 15.30 LT นั้นมีการเกิดความผิดปกติทำให้ค่า ROTI เท่ากับประมาณ 0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.17 หน้าจอ GUI ในการคำนวณแสดงค่า slant TEC, TEC และ ROTI

4.4 การเข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

คณะผู้วิจัยได้เข้าร่วมการประชุม International Reference Ionosphere (IRI) 2013 ที่เมือง Olstzyn ประเทศโปแลนด์ ในระหว่างวันที่ 22 มิถุนายน ถึง 30 มิถุนายน 2556 เพื่อนำเสนอบทความจำนวน 3 บทความ ได้แก่

1. Ionospheric delay gradient monitoring for aeronautical applications in Thailand
2. The Variation of Critical Frequency of E layer over the Magnetic Equatorial Region, Chumphon, Thailand
3. The Occurrence of Equatorial SpreadF at the Conjugate Stations in Southeast Asia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 52
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการประชุมวิชาการครั้งนี้ แต่ละประเทศได้นำเสนอความก้าวหน้าและผลการวิจัยเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

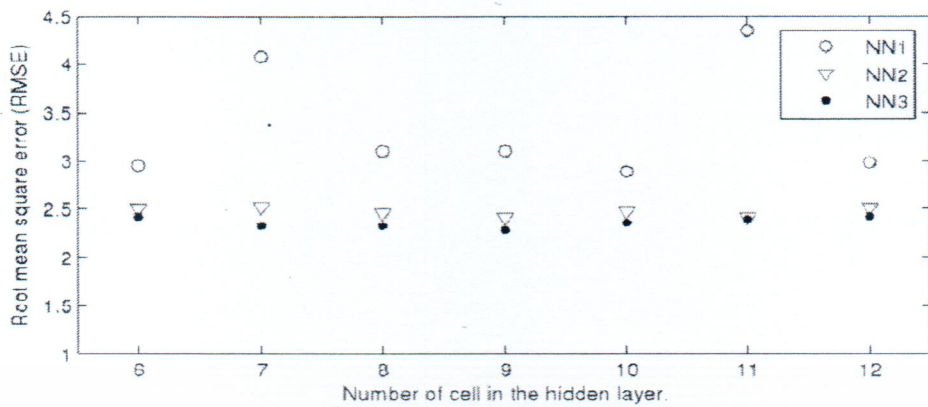


ภาพที่ 4.18 การเข้าร่วมประชุมวิชาการ IRI 2013 Workshop (ก) รูปหมู่ (ข) นักวิจัยไทย

4.5 การพัฒนาโมเดลการทำนายค่า TEC สำหรับจังหวัดชุมพร ประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม

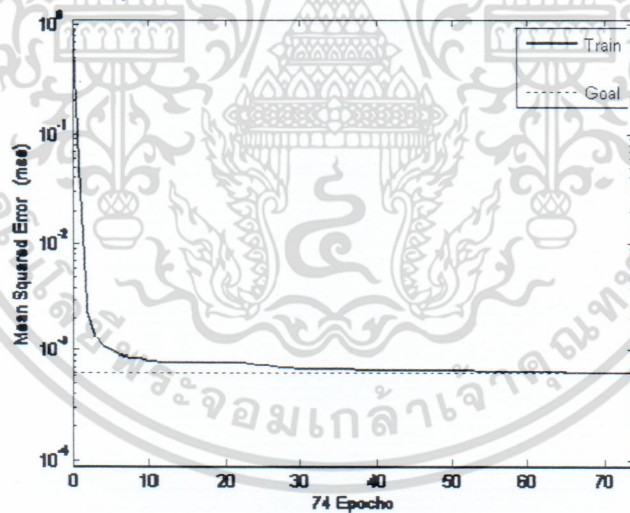
ภาพที่ 4.19 แสดงค่าการเปรียบเทียบค่า RMSE ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ใช้ค่า SSN แตกต่างกันสามวิธี โดยมีจำนวนโนดซ่อนตั้งแต่ 6 เซลล์ถึง 12 เซลล์ พบว่าโครงข่าย NN3 ที่มีโนดซ่อนจำนวน 9 โหนดให้ค่า RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 2.269 TECU ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้โครงข่าย NN3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



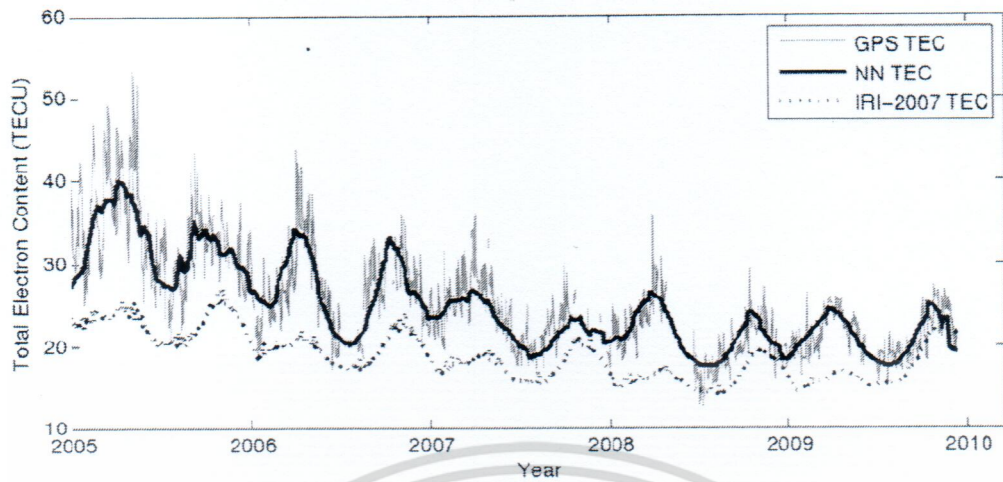
ภาพที่ 4.19 ค่า RMSE ของโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสามแบบในช่วงการฝึกฝนการเรียนรู้

ในระหว่างการฝึกฝนเรียนรู้จะใช้ค่า NRMSE ด้วยเพื่อลดผลกระทบจากค่า background TEC ค่า MSE ที่ตั้งไว้เท่ากับ $10^{-3.25}$ และใช้จำนวนรอบสูงสุดเท่ากับ 100,000 รอบ จากภาพที่ 4.20 พบว่าค่าความผิดพลาดเท่ากับค่า MSE นี้หลังจากการรันโปรแกรมไปจำนวน 74 รอบ



ภาพที่ 4.20 กราฟของ MSE สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมที่นำเสนอ

ภาพที่ 4.21 แสดงค่า TEC ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม ค่า TEC ที่ได้จาก GPS ที่สถานีชุมพรและค่า TEC จากแบบจำลอง IRI ในปี 2005 ถึง 2010 ในแบบจำลอง IRI ระยะความสูงที่ตั้งไว้เท่ากับ 20,000 กิโลเมตร



ภาพที่ 4.21 ผลการเปรียบเทียบค่า GPS TEC, NN TEC and IRI-2007 TEC ในปี 2005 ถึง 2009 (เวลา 1230 LT ที่สถานีชุมพร)



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครือข่ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่ โดยมีการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสสองความถี่ จากนั้นจะทำการออกแบบการเชื่อมต่อข้อมูลจีพีเอสจากสถานีตรวจวัดที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ สุโขทัย นครราชสีมา (สถานีพินาย) กรุงเทพฯ ชุมพรและภูเก็ต เข้าในแต่ละสถานีโดยมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการควบคุมระยะไกล (remote control) เพื่อตรวจเช็คสถานะของเครื่องวัด ณ จุดต่างๆ ข้อมูลจีพีเอสที่ใช้ในการคำนวณ TEC คือค่า pseudo range ของสองความถี่ L1 และ L2 ที่ได้รับทุกๆ 1 วินาทีหรือ 10 วินาที ขึ้นอยู่กับเครื่อง จะทำการแปลงให้เป็นค่า slant TEC ก่อนที่จะทำการประมาณค่า bias แล้วแปลงเป็นค่า vertical TEC เทคนิคของการคำนวณ bias นั้นจะใช้เทคนิค least mean square และสมมติฐานว่าค่า bias มีค่าคงที่ในแต่ละวัน นอกจากนี้มีการสร้างฐานข้อมูลจีพีเอสของประเทศไทยและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อเผยแพร่ข้อมูล ฐานข้อมูลจีพีเอสที่แสดงคือ ค่า pseudo range ของสัญญาณ P1, P2, C1, L1 และ L2 แต่สำหรับบางสถานีอาจไม่มีค่าของสัญญาณ P1 นอกจากนี้จะแสดงค่า slant TEC และดัชนีการเปลี่ยนแปลงค่า TEC (ROTI) ร่วมด้วย ระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้นอำนวยความสะดวกต่อการดาวน์โหลดข้อมูล มีระบบล็อกอินและรหัสผ่าน โดยเครื่องเซิร์ฟเวอร์ตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อให้ผู้ใช้งานหรือประชาชนทั่วไปเข้าใจในพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ จึงได้มีการพัฒนาชุดซอฟต์แวร์สำเร็จรูปวิเคราะห์ค่า TEC ซอฟต์แวร์ในการแปลงค่า pseudo range ให้เป็น slant TEC และ vertical TEC จะใช้โปรแกรม MATLAB และจัดทำ GUI เพื่อทำการพล็อตค่าที่ได้รับจากสถานีต่างๆ ผลการวิเคราะห์ค่า TEC ตั้งแต่ปี 2005 – 2013 ได้นำไปเข้าร่วมการปรับปรุงมาตรฐานกำหนดพารามิเตอร์ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระดับนานาชาติ คือ โมเดล International Radio Ionosphere (IRI) ท้ายที่สุดในโครงการวิจัยนี้มีการพัฒนาโมเดลทำนายค่า TEC สำหรับประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม (neural network) แบบ feedforward โดยมีอินพุตได้แก่ วัน ฤดูกาล ความแรงของดวงอาทิตย์ ปี เป็นต้น โดยผลลัพธ์ที่ได้รับเปรียบเทียบกับโมเดล IRI และ IGS (International GNSS Service) พบว่ามีความแม่นยำพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
56
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตงานวิจัย

ในบทนี้ทำการสรุปผลผลิตงานวิจัยที่ได้รับจากโครงการวิจัยนี้ ได้แก่ บทความวิชาการในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ที่มี Impact Factor) เว็บไซต์ศูนย์ข้อมูลจีพีเอสพร้อมฐานข้อมูลในรูปแบบไฟล์ RINEX และต้นแบบซอฟต์แวร์ที่ได้จัดทำ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด

6.1.1 บทความวิชาการในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ที่มี Impact Factor) จำนวน 1 ฉบับ

- 1) P. Kenpankho, P. Wongcharoen, P. Supnithi, M. Ishii, T. Tsugawa, T. Maruyama, "Comparison of E layer critical frequency over the Thai station Chumphon with IRI," *Journal of Advances in Space Research*, Volume 55, Issue 8, 15 April 2015, p. 2131–2138

6.1.2 เว็บไซต์ศูนย์ข้อมูลจีพีเอส ที่ลิงค์ www.iono-gnss.kmitl.ac.th จำนวน 1 เว็บไซต์ พร้อมฐานข้อมูลจีพีเอสในรูปแบบไฟล์ RINEX ของสถานีต่างๆ ในช่วงปี 2004-2012

6.1.3 ต้นแบบซอฟต์แวร์ในการคำนวณค่า TEC จำนวน 1 ชุด

6.1.4 ต้นแบบซอฟต์แวร์ในการทำนายค่า TEC ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม จำนวน 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] T. Maruyama, **Science of Space Environment**. Tadanori Ondoh and Katsushide Marubashi Eds. 2001.
- [2] S.S. Kouris, K.V. Polimeris, Lj.R.Cander, and L.Ciraolo, "Solar and latitude dependence of TEC and SLAB thickness," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70, 1351-1365. 2008.
- [3] G. Blewitt, "An automatic editing algorithm for GPS data," *Geophys. Res. Lett.*, 17, pp. 199-202, 1990.
- [4] G. Ma and T. Maruyama, "Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan," *Ann. Geophys.*, vol. 21, pp. 2083-2093, 2003.
- [5] S.M. Radicella, M.-L. Zhang, L. Romanelli, and A. Figliola, "A critical analysis of monthly medians and variability of ionospheric parameter," *Adv. Space Res*, vol. 15 (2), pp. 45-50, 1995.
- [6] T.L. Gulyaeva, S. Aggaewal, K.K. Mahajan, and S. Shastri, "Variability of foF2 at low and middle latitudes," *Adv. Space Res. Vol.* 22 (6), pp. 847-850, 1998.
- [7] J.M. Forbes, S.E. Palo, and X. Zhang, "Variability of the ionosphere," *J.Atmos. Solar-Torres. Phys. Vol.* 62 (8), pp. 685-693, 2000.
- [8] S.S. Kouris, and D.N. Fotiadis, "Ionospheric variability: a comparative statistical study," *Adv. Space Res. Vol.* 29 (6), pp. 977-985, 2002.
- [9] R.G. Ezquer, M. Mosert, and R.J. Corbella, "Variability of critical frequency and M(3000)F2 at Tucuman and San Juan," *ICTP Conference*, pp. 85-94, 2002.
- [10] M.-L. Zhang, J.K. Shi, X. Wang, and S.M. Radicella, "Ionospheric variability at low latitude station: Hainan, China," *Adv. Space Res. vol.* 34, pp. 1860-1868, 2004.

- [11] D. Bilitza, O.K. Obrou, J.O. Adeniyi, and O. Oladipo, "Variability of foF2 in the equatorial ionosphere" *Adv. Space Res.* vol. 34, pp. 1901-1906, 2004.
- [12] J.O. Adeniyi, D. Bilitza, S.M. Radicella and A.A. Willoughby, "Equatorial F2-Peak Parameters in the IRI Model," *Adv. Space Res.* Vol. 31, No. 3, pp. 507-512, 2003.
- [13] I. S. Batista, M.A. Abdu, "Ionospheric variability at Brazilian low and equatorial latitude: comparison between observations and IRI model," *Adv. Space Res.* Vol. 34, pp.1894-1900, 2004.
- [14] J.O. Adeniyi, O.A. Oladipo, and S.M. Radicella, "Variability of foF2 and comparison with IRI Model For an equatorial station," *The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics*, 2005.
- [15] M. L. Zhang, J. K. Shi, X. Wang, S.P. Shang, S. Z. Wu, "Ionospheric behavior of the F2 peak parameters foF2 and hmF2 at Hainan and comparisons with IRI model predictions," *Adv. Space Res.* Vol. 39, pp. 661-667, 2007.
- [16] F. Bertoni, Y. Sahai, P.R. Fagundes, V.G. Pillat, F. B. Guedes, J.R. Abalde, "IRI-2001 model predictions compared with ionospheric data observed at Brazilian low latitude stations," *Ann. Geophys.*, Vol. 24, pp. 2191-2200, 2006.
- [17] Y. J. Chuo, C. C. Lee, "Ionospheric variability at Taiwan low latitude station: Comparison between observations and IRI-2001 model," *Adv. Space Res.*, 2007.
- [18] N.K. Sethi, R.S. Dabas, Y. Ninawe, "foF2 variability over New Delhi during different solar cycle conditions and compareison with IRI-2001 model," *Adv. Space Res.* Vol. 40, pp. 855-860, 2007
- [19] R. Attaviriyasuwon, T. Boonchuk, N. Leelaruji, N. Hemmakorn, "Observation of ionospheric height changes at Chumphon near the magnetic equator" *ICICS Conference*, pp. 1169-1172, 2005.

- [20] V. Yamvini, N. Hemmakorn, N. leelaruji, P. supnithi, "The spread F phenomenon of the ionosphere in Thailand" IASTED International Conference, pp.467-469, 2006.
- [21] N. Tsushinki, "Model 7633 Realtime TECMETER Operation Manual", Japan.
- [22] G. Ma and T. Maruyama, "Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan", *Ann. Geophys.* Vol. 21 , pp2083-2093.
- [23] G.R. Ezuer, A.O. Nieves, and H. Teresita, "Predicted and measured total electron content at both peak of the equatorial anomaly", *Radio Science*, Vol. 29, No. 4, pp831-838, 1994.
- [24] P.B. Rao, B. Jayachadran, and N. Balan, "Low latitude TEC and Np variations during the solar cycles of 20 and 21, in: Investigation of ionosphere by means of Beacon satellite measurements edited by Cao Chong", *Int. Beacon Satellite symposium*, Beijing, China, p. 241, 1988.
- [25] Y. Tulunay, E. Tulunay, E.T. Senalp, The neural network technique-1: a general exposition, *Adv. Space Res.*, 33, 983-987, 2004.
- [26] Y. Tulunay, E. Tulunay, E.T. Senalp, The neural network technique-2: an ionospheric example illustrating its application, *Adv. Space Res.*, 33, 988 -992, 2004.
- [27] J.B. Habarulema, L.A. McKinnell, P.J. Cilliers, B.D.L. Opperman, Application of neural networks to South African GPS TEC modeling, *Adv. Space Res.*, 43(11), 1711-1720, 2009.
- [28] J.B. Habarulema, L.A. McKinnell, P.J. Cilliers, B.D.L. Opperman, Toward a GPS-based TEC prediction model for Southern Africa with feed forward networks, *Adv. Space Res.*, 44, 82-92, 2009.
- [29] T. Maruyama, "Regional reference total electron content model over Japan based on neural network mapping techniques," *Ann. Geophys.*, vol. 25, pp.2609-2614, 2007.
- [30] P. Kenpankho, K. Watthanasangmechai, P.Supnithi, "Solar and Latitude Dependence of TEC in Thailand," *Proceeding. ISAP.*, 2009.

- [31] N. Wichaipanich, P. Supnithi, M. Ishii and T. Maruyama, "Ionospheric variation at Thailand equatorial latitude station: comparison between observations and IRI-2001 model predictions," *Adv. Space Res.*, 45, 215-350, 2010.

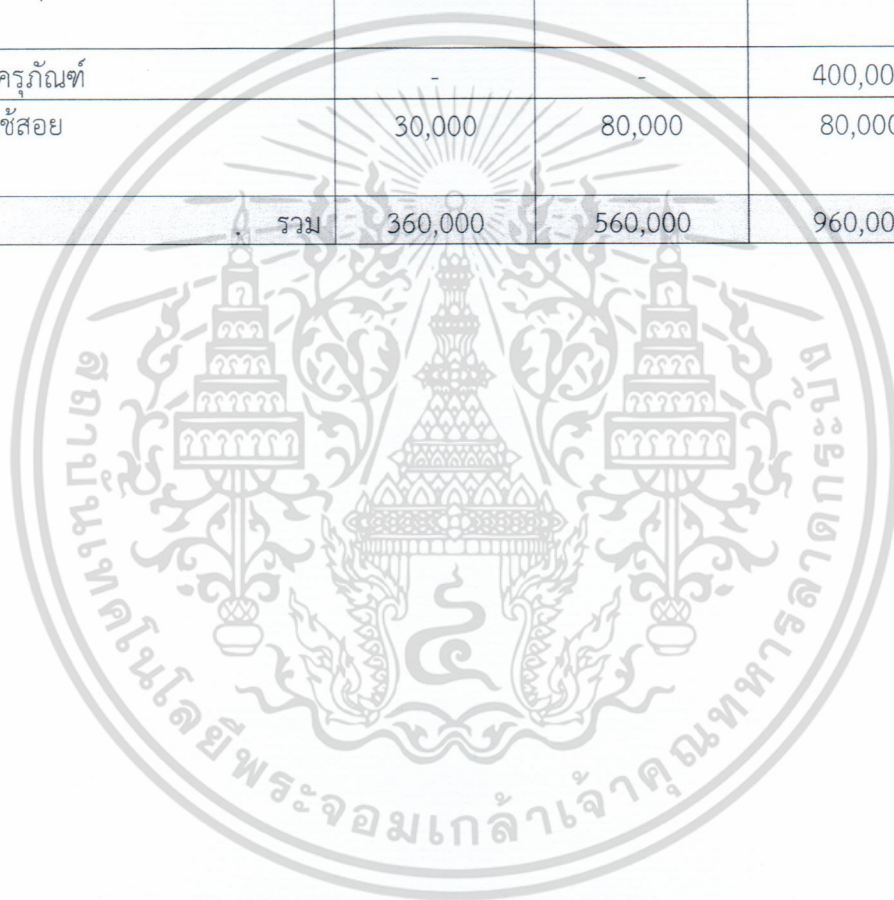




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

รายการ	ปีที่...1	ปีที่...2	ปีที่...3
	จำนวนเงิน	จำนวนเงิน	จำนวนเงิน
1. ค่าตอบแทนและค่าจ้าง	90,000	90,000	90,000
2. ค่าวัสดุ	240,000	390,000	390,000
3. ค่าครุภัณฑ์	-	-	400,000
4. ค่าใช้สอย	30,000	80,000	80,000
รวม	360,000	560,000	960,000



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

(ตามแนบ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Comparison of E layer critical frequency over the Thai station Chumphon with IRI

P. Wongcharoen^a, P. Kenpankho^{b,*}, P. Supnithi^a, M. Ishii^c, T. Tsugawa^c

^a Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^b Faculty of Industrial Education, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^c Space Weather and Environment Informatics Laboratory, National Institute of Information and Communications Technology, Nukuikita, Koganei, Tokyo 184-8795, Japan

Received 24 March 2014; received in revised form 20 January 2015; accepted 22 January 2015

Available online 4 February 2015

Abstract

In this research, as a part of working towards improving the IRI over magnetic equatorial region, the critical frequency of E layer in the ionosphere (f_oE) derived from the ionogram at Chumphon station (10.72°N, 99.37°E), Thailand, during 2005–2008 is analyzed. The Chumphon station is located in the magnetic equatorial region at the magnetic latitude of 3.22°N. The seasonal variation of the f_oE measurements is compared to the IRI f_oE predictions with the optional input in the sunspot number (Rz12) and the solar radio noise flux (F10.7). For a declining phase of the solar cycle 23 during the year 2005–2008, the study shows that the IRI f_oE prediction is similar to the f_oE observation during the period of 2005–2008. The maximum differences between the IRI f_oE prediction and f_oE observation are about 500 kHz during daytime period of 2007.

© 2015 COSPAR. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: E layer; Critical frequency of E layer; Equatorial ionosphere; IRI-2012 model; Sunspot number; Solar flux index

1. Introduction

The critical frequency of E layer (f_oE) is an important ionospheric parameter which directly affects the radio wave propagation through the ionosphere. It changes dramatically with the time of the day, month, season and variation in solar activity. Previous works reported the ionosphere responds to the solar extreme ultraviolet (EUV) irradiance. The solar EUV ionizes the neutrals and thus forms the ionosphere which happens to be correlated to the solar radio noise flux index (F10.7). Some researchers investigated the daily variability of critical frequency of E layer in the

ionosphere (Kouris and Muggleton, 1973a,b; Rastogi and Mullen, 1981; Yamamoto et al., 1991, 1992). Abe et al. (2013) examined the variability of f_oE in the equatorial ionosphere with solar activity within the equatorial ionospheric anomaly region. The study revealed that the f_oE increases as the solar intensity increases. While f_oE increases with solar activity as expected, they find that the relative variability of f_oE decreases with increasing solar activity.

f_oE measurements in the equatorial region assist in the development of ionospheric models such as the International Reference Ionosphere (IRI) (Bilitza, 2001; Bilitza and Reinisch, 2008; Bilitza et al., 2011). Some studies in the literature report the measured f_oE data obtained from different techniques at various locations (Kouris and Muggleton, 1973a,b; Yamamoto et al., 1991, 1992; Schlegel and Haldoupis, 1994).

* Corresponding author. Tel.: +66 816109362; fax: +66 23298443.

E-mail addresses: s4611846@kmitl.ac.th (P. Wongcharoen), kkpraser@kmitl.ac.th (P. Kenpankho), ksuporne@kmitl.ac.th (P. Supnithi), mishii@nict.go.jp (M. Ishii), tsugawa@nict.go.jp (T. Tsugawa).

There were also many local and regional ionospheric models related to the E-layer critical frequency. Kouris and Muggleton (1973a, 1973b) used f_oE data over a period of 11 years of many ionosonde stations all over the world to obtain the dependence of f_oE on latitude, season, solar flux and local time. Zolesi et al. (1993) developed a regional ionospheric model by using Fourier analysis on the monthly median values of ionospheric characteristics including f_oE from seven ionospheric stations in Europe. McKinnel and Poole (2003) established a local E-layer critical frequency model over Grahamstown, South Africa, by using neural networks. However, there were a few regional models related to Chumphon station, Thailand, at the equatorial region where is influenced by the equatorial ionization anomaly (EIA) phenomenon. In an effort to improve the IRI model, the comparison of the f_oE measurement and the IRI-2012 f_oE prediction is made in this work.

Despite the series of studies on the dependence of the ionospheric characteristics on the solar activity, a few attention is given to the E-region of the equatorial ionosphere especially in South East Asia location. The monitoring Chumphon station is a part of the South East Asia Low Latitude Ionosphere Observation Network (SEALION) (Maruyama et al., 2007). SEALION aims to observe, monitor and forecast the ionospheric variation in the Asia Pacific region near the magnetic equator. It is a joint project among the following institutions and countries: National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand, Chiang Mai University (CMU), Thailand, National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Indonesia, Hanoi Institute of Geophysics (HIG), Vietnamese Academy of Science and Technology, Vietnam, Center for Space Science and Applied Research (CSSAR), Chinese Academy of Sciences, China, and Kyoto University, Japan.

2. Observation methodology

The critical frequency of the ionosphere is a function of many variables: local time; geographical coordinate; season; magnetic and solar activity. Good knowledge of this parameter is greatly essential for ionospheric researchers and users. The physical nature and dependence of the ionospheric characteristics on solar activity still remains the subject of study and investigation. The purpose of this research paper is to study the variation of f_oE at equatorial latitude station, Chumphon, Thailand, and to compare the f_oE measurement obtained from the ionograms with the f_oE prediction extracted from IRI2012 model. The period of study is divided into 4 seasons; September equinox, December solstice, March equinox, and June solstice.

2.1. f_oE measurement data

The f_oE measurements are made at Chumphon campus, KMITL, located at the geographic longitude 99.37°E and

latitude 10.72°N, Thailand. The magnetic latitude for Chumphon station is 3.22°N, close to the equatorial magnetic latitude. The f_oE values are measured from the frequency-modulated continuous wave (FMCW) ionosonde with transmitting power at 20 watts and the repetition period of 5 min. The ionosonde continuously transmits radio waves from 2 to 30 MHz and receives echoes from the ionosphere to provide the ionogram profile at every 15 min. The ionogram data are automatically uploaded to KMITL in Bangkok to be analyzed. The observation parameters are summarized in Saito and Maruyama (2006). The seasonal variations of f_oE are measured for 2005–2008. Sporadic E occurs frequently in the low latitude region. We removed such erroneous data by using the median value of f_oE .

2.2. Rz12. and F10.7 data

The data of the sunspot number (Rz12) and the solar radio noise flux (F10.7) are from the Space Weather Prediction Center (SWPC). SWPC is one of the National Weather Service which is a component of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). NOAA is an Operating Unit of the U.S. Department of Commerce. The daily F10.7 index and the 81-day average F10.7 index are entered into the IRI model. The data can be accessed at <http://legacy-www.swpc.noaa.gov/ftpdir/warehouse/>.

2.3. IRI f_oE prediction data

The International Reference Ionosphere (IRI) project was initiated by the Committee on Space Research (COSPAR) and by the International Union of Radio Science (URSI) in the late sixties (Bilitza and Reinisch, 2008). With the objective of establishing an international standard for the specification of ionospheric parameters based on all available worldwide data from ground-based stations as well as satellite observations, the IRI model is continually upgraded as new data and new modeling approaches become available and, consequently, this process has resulted in several major milestone editions of IRI (Rawer et al., 1978a,b, 1981; Bilitza, 1990, 2001; Bilitza and Rawer, 1996; Bilitza and Reinisch, 2008; Bilitza et al., 2011) progressing from a set of tables for typical conditions, to a global model for all phases of the solar cycle. More information about the IRI project including the information on the IRI Newsletter and the IRI electronic mailer can be found on the IRI homepage at <http://www.irimodel.org/>.

In the CCIR model for f_oE (CCIR, 1973) the critical frequency at the peak of the E-layer is given as (Kouris and Muggleton, 1973a; Kouris and Muggleton, 1973b)

$$f_oE^4 = A \cdot B \cdot C \cdot D \quad (\text{MHz}) \quad \text{ใช้ประโยชน์ด้านการค้า} \quad (1)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The four factors in Eq. (1) depend on the 12-months running mean of the F10.7 cm. solar flux (COV_{12}), on the solar zenith angle at noon in each season (χ_{noon}), on geographic latitude (φ), and on the zenith angle (χ_a), respectively, and they are given as follows:

$$A = 1 + 0.0094(COV_{12} - 66) \tag{2}$$

$$B = \cos^m \chi_{noon} \tag{3}$$

$$m = \begin{cases} -1.93 + 1.92 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| < 32^\circ \\ 0.11 - 0.49 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| \geq 32^\circ \end{cases} \tag{4}$$

$$C = \begin{cases} 23 + 116 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| < 32^\circ \\ 92 + 35 \cos \varphi & \text{for } |\varphi| \geq 32^\circ \end{cases} \tag{5}$$

$$D = \cos^n \chi_a \tag{6}$$

$$n = \begin{cases} 1.2 & \text{for } |\varphi| > 12^\circ \\ 1.31 & \text{for } |\varphi| \leq 12^\circ \end{cases} \tag{7}$$

IRI is the empirical standard model of the ionosphere. The most recent update is the IRI-2012 model which can be accessed at iramodel.org and can be computed online with the help of IRIweb at http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri2012_vitmo.html/. Different from the International Radio Consultative Committee (CCIR) model (CCIR, 1990), IRI defines the minimum foE value allowed for the critical frequency as follows (Bilitza, 1990):

$$foE_{min} = 0.121 + 0.0015(F10.7_{12} - 66) \text{ MHz} \tag{8}$$

The IRIweb was used to compute the foE values. In this work, we use the IRI-2012 model with optional input for the sunspot number and the solar radio noise flux.

3. Results and discussions

The four seasonal medians of foE values during the year 2005–2008 are shown in Fig. 1. The vertical axis is for the foE (in MHz unit) and the horizontal unit is the time period from 7 am to 7 pm at local time (LT). For the different phases of solar activities, we find that the foE values increase after the sunrise, reaches the maximum value at noon, and decreases from noon to sunset. The maximum value of foE is 3.6 MHz in June solstice 2006. The minimum value of foE is 2.1 MHz in December solstice 2008.

The seasonal variation of the foE measurements is compared to the IRI foE predictions. The foE measurements (Observed data) are plotted against the IRI foE predictions (IRI 2012 model) at Chumphon station in (a) December solstice, (b) March equinox, (c) June solstice, and (d) September equinox, from 2005 to 2008 as shown in Fig. 2.

Fig. 2 shows that IRI predicts the diurnal variation of the observed foE data quite well. There is a tendency to underestimate the observations in the afternoon and evening. This could be caused by a misrepresentation of the sunset time in IRI. The largest difference is found for the December solstice (Fig. 2(a)) where it reaches about 0.5 MHz at 17.00 h in 2007. During the March solstice in addition to underestimating the afternoon observations IRI overestimates the morning observation. This shift of the IRI diurnal curve with regard to the observed curve indicates again a misrepresentation of sunrise and sunset times in IRI.

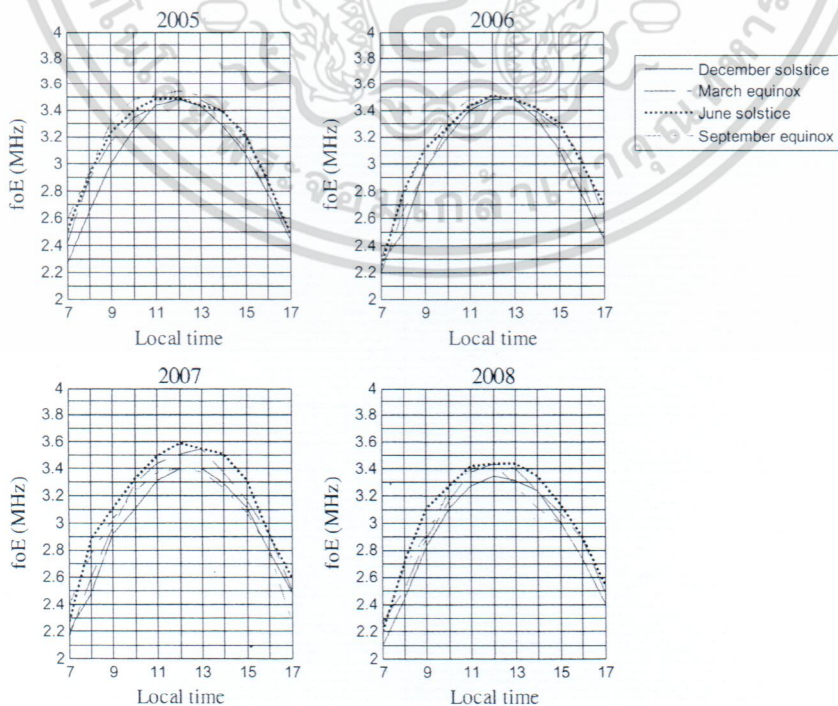


Fig. 1. The median of foE values at Chumphon station from 2005 to 2008 for September equinox, December solstice, March equinox and June solstice.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

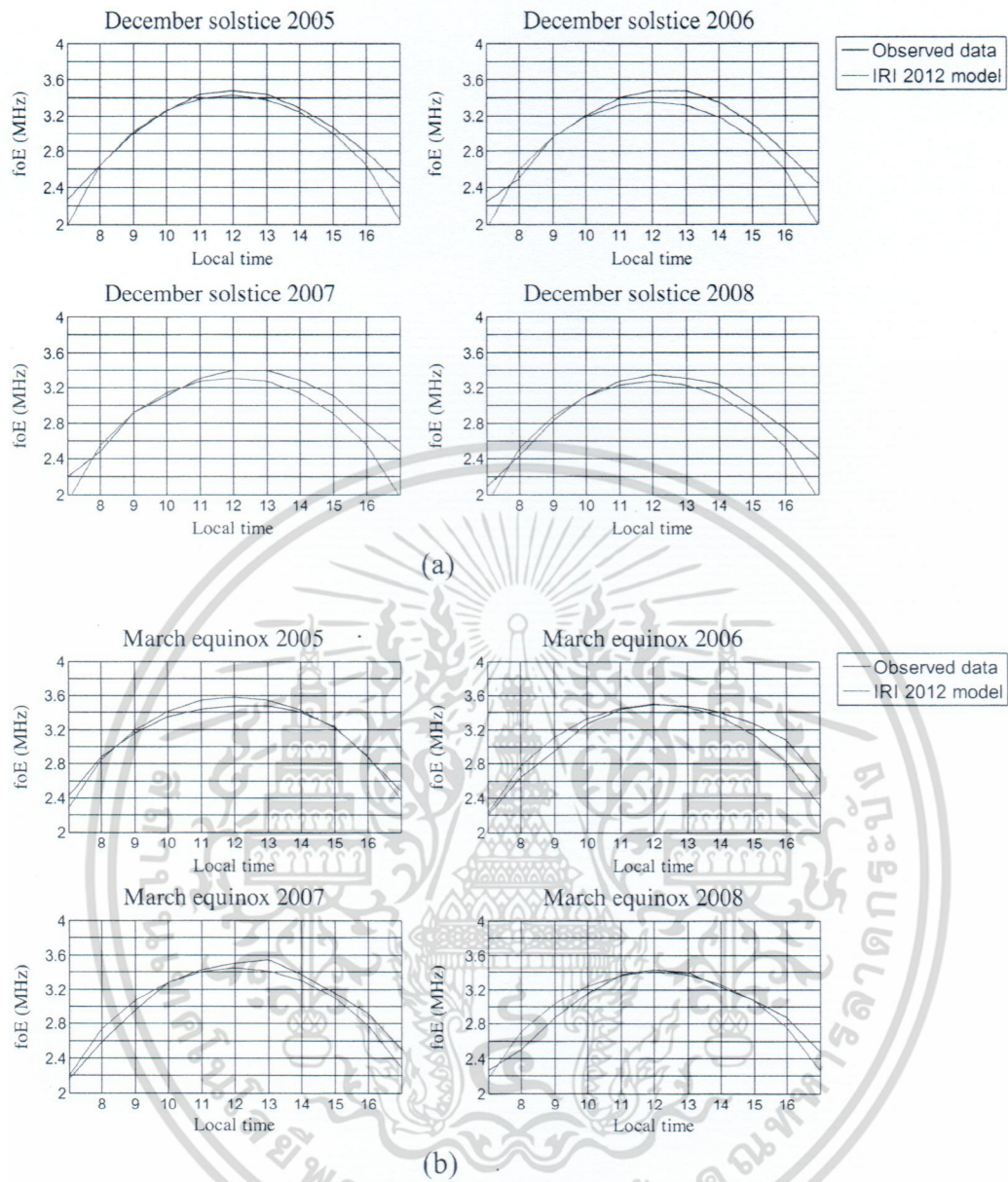


Fig. 2. The foE measurements (Observed data) are plotted against the IRI foE predictions (IRI 2012 model) at Chumphon station in (a) December solstice, (b) March equinox, (c) June solstice, and (d) September equinox, from 2005 to 2008.

To evaluate the overall performance of IRI, we calculate the percentage of errors ($\%E$) between the IRI foE predictions and the foE observation as shown in Fig. 3 by using the equation

$$\%E = \left[\frac{(foE_{IRI} - foE_{obs})}{foE_{obs}} \right] \times 100 \quad \% \quad (9)$$

A review of the Fig. 3(a) and (b) shows that IRI describes the data quite well (within 5–8%) for most of the day with very good results for noon time (just a few percent error). The big errors occur at sunrise and sunset and this is most likely due to a misrepresentation of the actual sunset and sunrise times in IRI since IRI describes

the average sunset/sunrise times for the whole month and uses a mathematical formula for getting the sunset and sunrise times.

Moreover, we use the root-mean square error (RMSE) to measure the difference between foE values predicted by the IRI model and the observed foE values from the Chumphon station. The RMSE of the IRI model prediction with respect to the estimated variable foE_{model} is defined as

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (foE_{obs,i} - foE_{model,i})^2}{n}} \quad (10)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

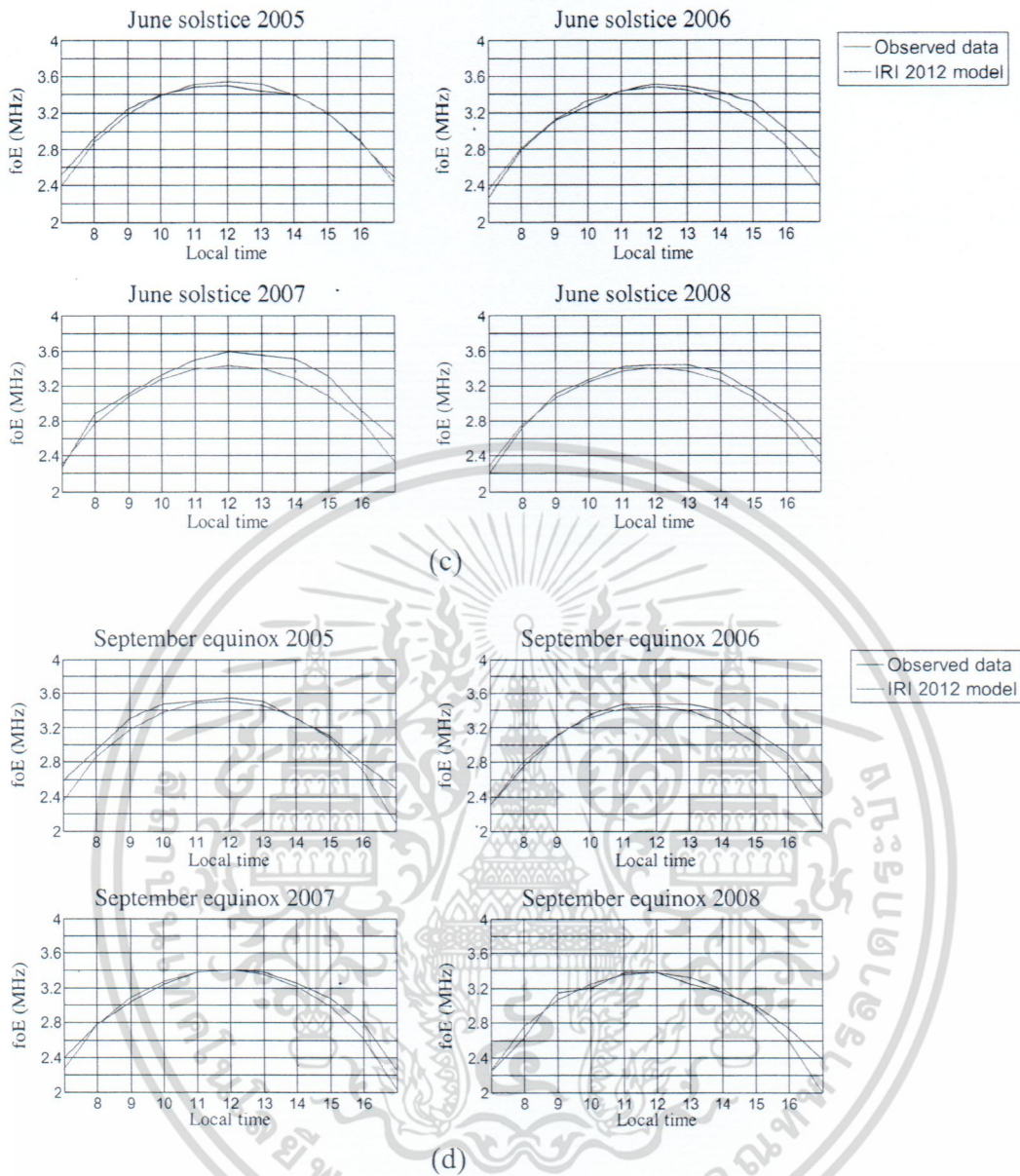


Fig 2. (continued)

where $foE_{obs,i}$ is the i th observed values and $foE_{model,i}$ is the i th modeled values and n is the number of samples.

Table 1 shows the seasonal averages of the RMSE values from 2005 to 2008 at the Chumphon station. The RMSE values are very small indicating the good agreement between IRI and the data. The largest RSME (0.030 MHz) is reached during the September equinox 2005, while the lowest RMSE (0.002 MHz) is reached during the June solstice in 2006 and 2008. As Fig. 2 shows the maximum values of foE measurements and IRI foE predictions are reached during noontime and the minimum foE values occur at sunrise and sunset. A close inspection of Figs. 2 and 3 indicates that with the decreasing solar activity from

$R12 = 29$ in 2005 to $R12 = 3$ in 2008, foE also decreases. Similar results were reported by Kouris and Muggleton, 1973a,1973b; Rastogi and Mullen, 1981; Yamamoto et al., 1991, 1992; Ouattara et al., 2009.

The foE of the equatorial ionosphere is more stable and regular in the high solar activity year than low solar activity year. That is, at high solar activity, the foE is minimum in variability than low solar activity.

Comparing our foE values with those reported by Abe et al. (2013) for Ouagadougou (lat. 12.4°N , long. 1.5°W and magnetic dip 1.43°N), we find that the foE values measured at Chumphon are lower than the ones at Ouagadougou which was studied by Abe et al.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

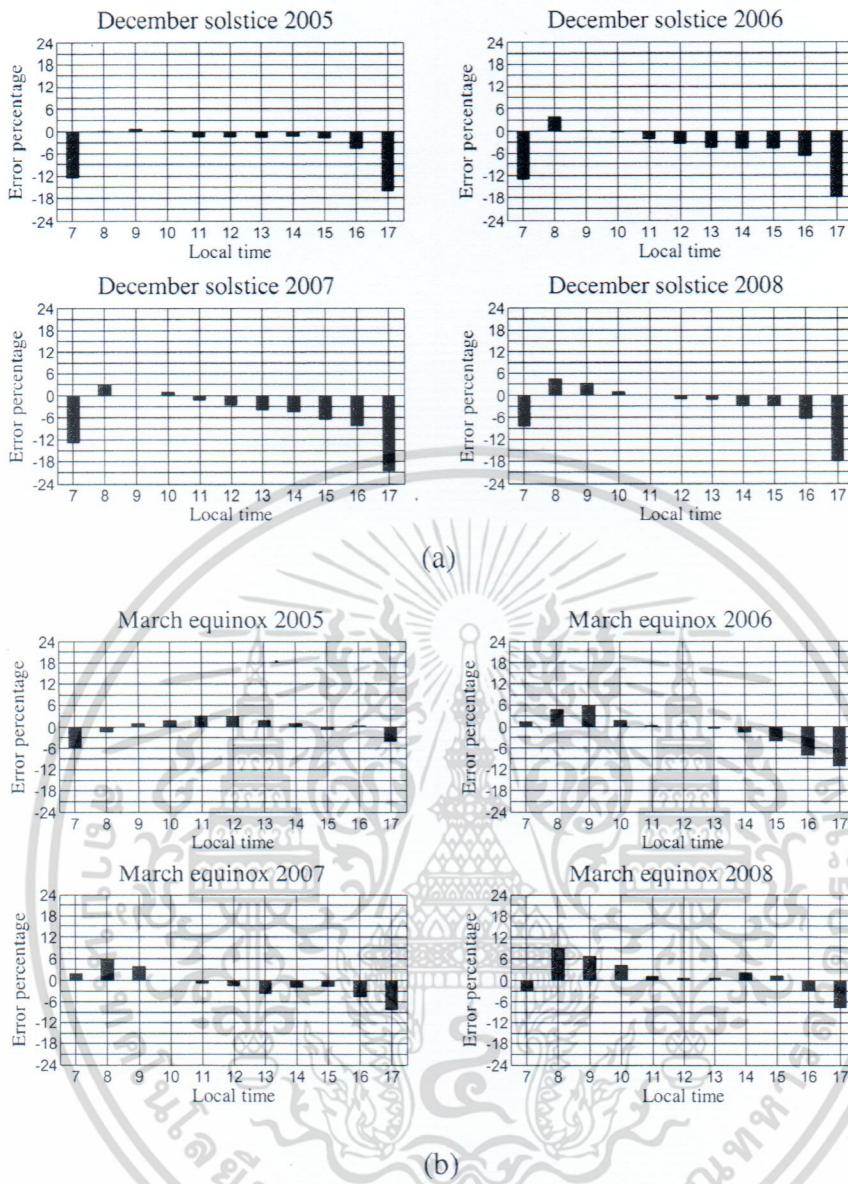


Fig. 3. The percentage of errors between the f_oE observations and IRI f_oE (IRI 2012 model) predictions in December solstice, (b) March equinox, (c) June solstice, and (d) September equinox during the year 2005–2008.

(2013). Both stations have similar dip latitudes but are located in different longitude sectors. For the yearly averages of the f_oE values from 2005 to 2008 at Chumphon station, the magnitude of the f_oE is 3.6 MHz but at Ouagadougou is 3.26 MHz. These longitudinal differences could be due the effect of the neutral atmosphere on f_oE .

4. Summary

The f_oE of the equatorial ionosphere at Chumphon region increases with the increase in solar activity and declines as sun begins to moves towards dusk for both low and high solar years. Following the solar zenith angle, f_oE reaches its maximum during local

noon and decreases towards sunrise and sunset for all the seasons. This is in accord with the submission of most researchers that have worked on such or similar ionospheric parameter (Oladipo et al., 2008; Abe et al., 2013).

In this research, for a declining phase of the solar cycle (2005–2008), the f_oE measurement from the f_oF2 data at Chumphon station, Thailand is compared with the IRI f_oE in IRI-2012 model. IRI predicts the Chumphon f_oE measurements quite well, closely following the diurnal variation of the data. Largest differences are found during sunrise and sunset indicating that IRI may not accurately represent the actual sunrise and sunset times. Since IRI is an average model, the sunrise and sunset times are also averages over the season and altitude range.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

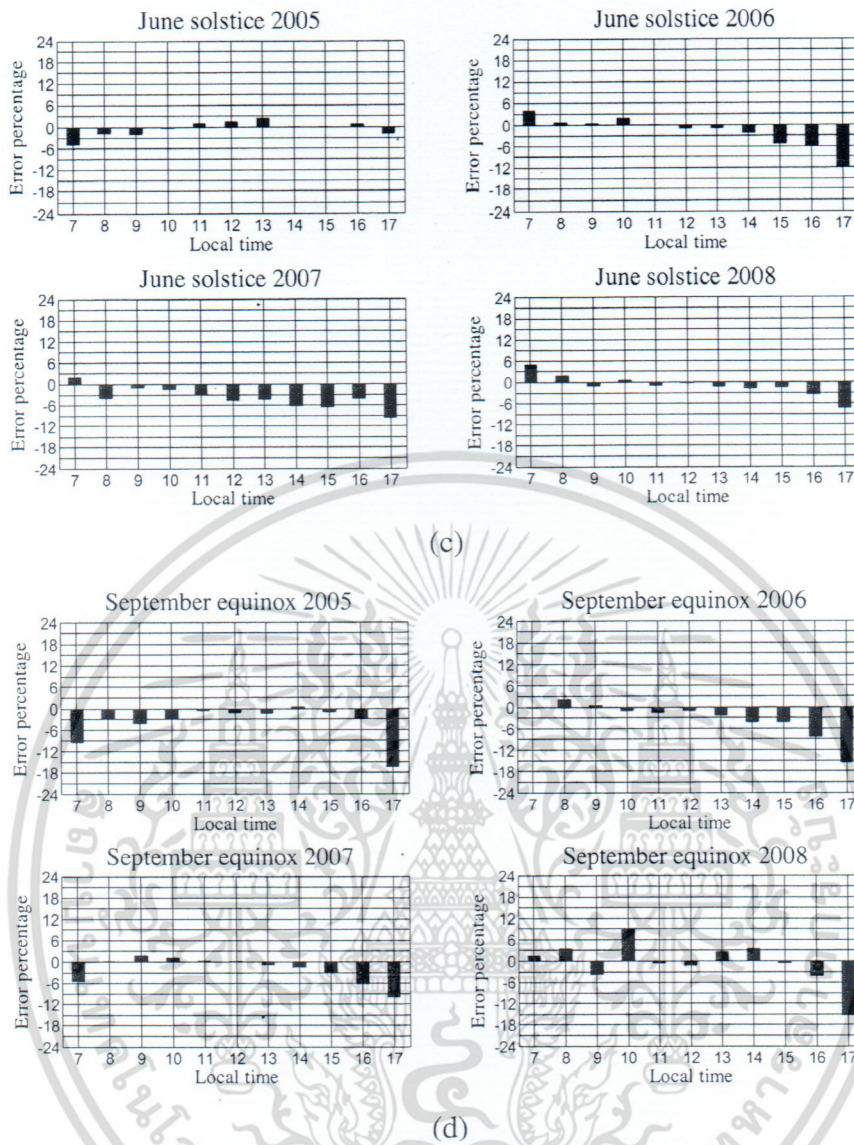


Fig 3. (continued)

Table 1
The RMSE values on the foE measurements and the IRI foE predictions from 2005 to 2008 at Chumphon station (MHz).

Seasons	RMSE (MHz)			
	2005	2006	2007	2008
December solstice	0.007	0.006	0.006	0.006
March equinox	0.008	0.008	0.011	0.007
June solstice	0.007	0.002	0.003	0.002
September equinox	0.030	0.008	0.003	0.003

Acknowledgements

The authors are grateful to the National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan, for the corporation and necessary equipment. We would like to thank Prof. Dieter Bilitza for the IRI 2012 model. In addition, the authors would like to credit the

Space Weather Prediction Center (SWPC) for the data of the sunspot number, the ionospheric index, and the solar radio noise flux used in this paper. We would like to thank the reviewers for the helpful comments in revising the manuscript. This work is partially supported by King Mongkut’s Institute of Technology Research Fund under Grant No. KREF 025601 and King Mongkut’s Institute of Technology under Grant No. 2588A11802030.

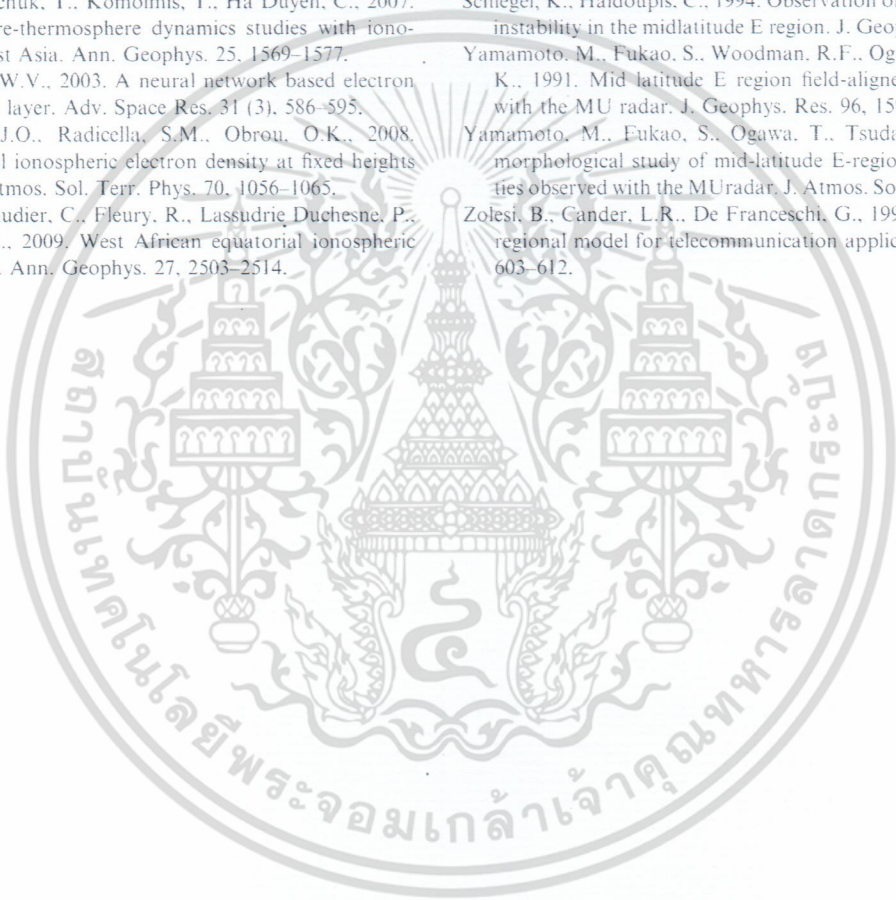
References

Abe, O.E., Rabiou, A.B., Adeniyi, J.O., 2013. Variation of foE in the equatorial ionosphere with solar activity. *Adv. Space Res.* 51, 69–75.
 Bilitza, D., 1990. *International Reference Ionosphere: IRI-90*, Greenbelt, Maryland, National Space Science Data Center, pp. 59–60.
 Bilitza, D., 2001. International reference ionosphere 2000. *Radio Sci.* 38 (6), 261–275.
 Bilitza, D., Rawer, K., 1996. International reference ionosphere. In: *The Upper Atmosphere – Data Analysis and Interpretation*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 735–772.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bilitza, D., Reinisch, B.W., 2008. International reference ionosphere 2007: improvements and new parameters. *Adv. Space Res.* 42, 599–609.
- Bilitza, D., McKinnell, L.A., Reinisch, B., Fuller-Rowell, T., 2011. The international reference ionosphere (IRI) today and in the future. *J. Geodesy.* 85, 909–920.
- CCIR, Comité Consultatif International des Radiocommunications, 1973. Report 252-2 and later supplements, Geneva.
- CCIR, 1990. Method of Calculating Sporadic E Field Intensity, Rec. and Rep., VI, Recommendation 534-3 (and later revisions). Genève, Switzerland, Comité Consultatif International des Radio communications, ITU.
- Kouris, S.S., Muggleton, L.M., 1973a. Diurnal variation in E-layer ionization. *J. Atmos. Terr. Phys.* 35, 133–139.
- Kouris, S.S., Muggleton, L.M., 1973b. World morphology of Appleton E-layer seasonal anomaly. *J. Atmos. Terr. Phys.* 35, 141–151.
- Maruyama, T., Kawamura, M., Saito, S., Nozaki, K., Kato, H., Hemmakorn, N., Boonchuk, T., Komolmis, T., Ha Duyen, C., 2007. Low latitude ionosphere-thermosphere dynamics studies with ionosonde chain in Southeast Asia. *Ann. Geophys.* 25, 1569–1577.
- McKinnell, L.A., Poole, A.W.V., 2003. A neural network based electron density model for the E layer. *Adv. Space Res.* 31 (3), 586–595.
- Oladipo, O.A., Adeniyi, J.O., Radicella, S.M., Obrou, O.K., 2008. Variability of equatorial ionospheric electron density at fixed heights below the f2 peak. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 70, 1056–1065.
- Quattara, F., Amory-Mazaudier, C., Fleury, R., Lassudrie-Duchesne, P., Vila, P., Petitdidier, M., 2009. West African equatorial ionospheric parameters climatology. *Ann. Geophys.* 27, 2503–2514.
- Rastogi, R.G., Mullen, J., 1981. Intense daytime radio wave scintillations and sporadic E layer near the dip equator. *J. Geophys. Res.* 86, 0148–0227.
- Rawer, K., Ramakrishnan, S., Bilitza, D., 1978. International Reference Ionosphere 1978, International Union of Radio Science, URSI Special Report, Bruxelles, Belgium, p. 77.
- Rawer, K., Bilitza, D., Ramakrishnan, S., Sheikh, M., 1978. Intention and buildup of the international reference ionosphere, in: *Operational Modeling of the Aerospace Propagation Environment, AGARD Conf. Proc.* vol. 238, pp. 6.1–6.10.
- Rawer, K., Lincoln, J.V., Conkright, R.O., 1981. International Reference Ionosphere – IRI 79, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Report UAG-82, Boulder, Colorado, pp. 245.
- Saito, S., Maruyama, T., 2006. Ionospheric height variations observed by ionosondes along magnetic meridian and plasma bubble onsets. *Ann. Geophys.* 24, 2991–2996.
- Schlegel, K., Haldoupis, C., 1994. Observation of the modified two-stream instability in the midlatitude E region. *J. Geophys. Res.* 99, 6219–6226.
- Yamamoto, M., Fukao, S., Woodman, R.F., Ogawa, T., Tsuda, T., Kato, K., 1991. Mid latitude E region field-aligned irregularities observed with the MU radar. *J. Geophys. Res.* 96, 15943–15949.
- Yamamoto, M., Fukao, S., Ogawa, T., Tsuda, T., Kato, S., 1992. A morphological study of mid-latitude E-region field-aligned irregularities observed with the MURadar. *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.* 54, 769–777.
- Zolesi, B., Cander, L.R., De Franceschi, G., 1993. Simplified ionospheric regional model for telecommunication applications. *Radio Sci.* 28 (4), 603–612.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

- ชื่อ นายพรชัย ทรัพย์นิธิ Mr. Pornchai Supnithi
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1015 02028 22 4
- ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
- สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง กทม. 10520 โทรศัพท์ 081-618-5151 อีเมลล์ ksupornc@kmitl.ac.th
เว็บไซต์ <http://www.kmitl.ac.th/~ksupornc/index.htm>
- ประวัติการศึกษา
B.S. Electrical Engineering 1995 University of Rochester, USA
M.S. Electrical Engineering 1997 University of Southern California, USA
Ph.D. Electrical Engineering 2002 Georgia Institute of Technology, USA
- สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Atmospheric Study, Communication System, Signal Processing, Error Correction Codes
- ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

โครงการวิจัย	หน่วยงานให้ ทุน	ระยะเวลา	ตำแหน่ง
Dual-frequency GPS network and ionospheric study in Thailand	9	1 year (Feb '11 – Jan '12)	Leader
Digital satellite beacon receiver based on the software defined radio (SDR)	6	1 year (Oct '10 – Sept '11)	Leader
Advanced Read Channel for Perpendicular Recording and Bit Patterned Media	1,2	3 years (Sept '10 – Aug '13)	Leader
An Inter-Track Interference Mitigation Technique Using Partial ITI Estimation in Patterned Media Storage	1,8	2 years (1 Oct '09 – 30 Sept '11)	Leader
Design of High-Rate Modified Array	1,2	2 years (2 July '08 –	Leader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Codes for Iterative Processing in Magnetic Recording Systems		15 Nov '10)	
Ionospheric Observation in Thailand	7	1 years (1 May '09 – 30 June '10)	Leader
Variable Bit Aspect Ratio (VBAR) Optimization in Perpendicular Magnetic Recording System	1,2	2 years(June 2008 - May 2010)	Leader
A method for reducing the effect of Thermal Asperity in Magnetic Recording System	1,2	2 years(June 2008 - May 2010)	Leader
Statistical Analysis of Head Failure from Read Channel Perspectives	1,2	2 years(June 2007 - May 2009)	Leader
Performance of Digital Modulation in Combined Scintillation and Multipath Fading in Satellite MobileCommunication with Maximal-Ratio Combining (MRC)	3,4	2 years(July 2007 – June 2009)	Leader
Optimization of Read channel chip in magnetic recording system	1	2 years(June 2006 - May 2008)	Adviser
Satellite Mobile Communications for Channels with Scintillation	5	1 year(2005 - 2006)	
Feasibility Study of Setting up I/U CRC in Data Storage Technolgy and Applications at KMITL	1	3 months(2006)	Leader
Technology Roadmap of Hard Disk Drive Industry of Thailand 2006-2010	1	3 months(2005)	Researcher
Elliptic Curve Crytosystem with FPGA	6	1 year (2005)	Leader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 74
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Diversity Techniques for Satellite Channels with Scintillation	6	1 year (2005)	Researcher
--	---	---------------	------------

หน่วยงานให้ทุนวิจัย

1. ศูนย์เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการข้อมูล
3. สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา
4. กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
5. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
7. Space Environment Group, NICT, Japan
8. ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. มูลนิธิโทรแห่งประเทศไทย

เอกสารวิชาการ - วารสารวิชาการ

1. Y. Suppakhun, P. Supnithi, Y. Okamoto, Y. Nakamura and H. Osawa, "Performance Improvement System for Perpendicular Magnetic Recording with Thermal Asperity," *IEICE Transaction on Electronics*, *accepted*, 2011. (impact factor = 0.608)
2. S. Osaklang, A. Kaewrawang, A. Kruesubthaworn, V. Ungvichian, P. Supnithi and A. Siritaratiwat, "A Practical Crosstalk Reduction Technique Applied to High-Density Hard Disk Interconnecting Assembly Traces," *IEEE Transaction on Magnetics*, *accepted*, 2011 (impact factor = 1.061).
3. K. Watthanasangmechai, P. Supnithi, S. Lerkvaranyu, T. Maruyama, "TEC prediction with neural network for Thailand equatorial latitude station," *Earth Planets Space*, *accepted*, 2011. (impact factor = 1.074)
4. W. Phakpisut, P. Supnithi, L. M.M. Myint and T. Sapon, "Serial schedulings for LDPC decoders and the performances in the bit patterned media systems with media noise," *IEEE Transaction on Magnetics*, *accepted*, 2011, (impact factor = 1.061)
5. P. Supnithi, K. Bunsri, and M. Novid, "Improved Bit Error Rate from Head/Media Optimization in Perpendicular Magnetic Recording Systems, *IEEE Transaction on Magnetics*, July 2011, (impact factor = 1.061).
6. P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Equatorial magnetic variation of ionospheric slab thickness observations at Chumphon, ", *Earth Planets Space*, *Accepted*, 2011. (impact factor = 1.074)

7. **P. Supnithi**, W. Phakpisut and W. Singhaudom, "Improved Iterative Processing to Combat Pseudo Cycles in Perpendicular Magnetic Recording, " **IEICE on Fundamentals**, vol. E94-A, No.5, pp.xxx , May 2011. (impact factor = 0.366)
8. C. Warisarn, P. Kovintavewat, and **P. Supnithi**, "Modified Per-Survivor Processing (MPSP) timing recovery for magnetic recording channels," **IEICE Transaction on Electronics**, vol. E94-C, No.3, Mar. 2011. (impact factor = 0.535)
9. P. Kenpankho, **P. Supnithi**, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Comparison of GPS TEC measurements with IRI TEC prediction at an equatorial latitude station, Chumphon, Thailand, " **Earth Planets Space**, 2011. (impact factor = 1.074)
10. N. Wichaipanich, **P. Supnithi**, M. Ishii and T. Maruyama, "Thailand low and equatorial F2-layer peak electron density and comparison with IRI-2007 model," **Earth Planets Space**, 2011. (impact factor = 1.074)
11. L.M.M.Myint, **P. Supnithi**, P. Tantasawasd, "Iterated Viterbi Detection Methods for a 2-D Bit Patterned Media Storage, " **Srinakarin Journal of Science and Technology (SJST)**, October 2010.
12. N. Wichaipanich, **P. Supnithi**, M. Ishii and T. Maruyama, "Ionospheric variability at Thailand equatorial latitude station: comparison between observations and IRI-2001 model predictions," **Journal of Advanced Space Research**, vol. 45, Issue 2, pp. 215-350, January 2010. (impact factor = 0.86)
13. L.M.M.Myint, P. Tantasawasd, **P. Supnithi**, "An inter-track mitigation technique using partial ITI estimation in patterned media storage," **IEEE Transaction on Magnetics**, vol. 5, no. 10, October 2009. (impact factor = 1.129)
14. **P. Supnithi**, W. Wongtrairat, , S. Tantaratana , "Performance of M-PSK and M-QAM in Mobile Satellite and Flat Fading with MRC diversity," **IEEE Transaction on Wireless Communication**, vol. 8, no. 7, July 2009, pp. 3360-3364. (impact factor = 2.181)
15. W. Wongtrairat, **P. Supnithi**, "Performance of digital modulation in double Nakagami-m fading channels with MRC diversity," **IEICE Transaction on Communication**, vol. E92-B, No. 2, Feb. 2009. (impact factor = 0.252)
16. A. Wongkeeratikul, N. Leelaruji, N. Hemakorn, S. Noppnakeepong and **P. Supnithi** , "Modeling and Measurement of Airplane Flutter Phenomena on TV Broadcasting Signal" **IEEE Trans. on Broadcasting**, June, 2008. (impact factor = 1.102)
17. **P. Supnithi**, R.A. Lopes, and S.W. McLaughlin, "Reduced-complexity turbo equalizations in high-density magnetic recording systems, " **IEEE Trans. on Magnetics**, September, 2003, pp. 2585- 2587. (impact factor = 1.129)

1. ชื่อ อาจารย์ บุศราศิริ ธนะ Mrs. Boossarasiri Thana
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3100901793462
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท ปทุมวัน กทม.
10330 โทร : 022185463 e-mail : boossara@geo.sc.chula.ac.th
5. ประวัติการศึกษา

วท.บ. ฟิสิกส์	2531	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พบ.ม. สถิติประยุกต์	2539	สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
วท.ม. คณิตศาสตร์ประยุกต์	2541	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Atmospheric Science, Climate Change and Modeling
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

เอกสารวิชาการ

- Raktabutr, T., Agsorn, S., Thana, B., and Bohuwech, D., 1990. Preliminary Investigative Study on Typhoon Gay(8929): Synoptic Aspect, Thai Met.Dept., 28 p.
- Thana, B., 1990. Tropical Cyclone, Thai Met. Dept., 29p. (In Thai)
- Thana, B., 2002. The Effect of Sea Surface Temperature on Rainfalls over Thailand, proceeding in GAME-T workshop.
- Nakapadungrat, S., et.al., 2003. Investigation of Surface Radiation Budget in Thailand, Report to National Council of Thailand, 67p.(In Thai)
- Thana, B., Chabangborn, A., Hashizume, M., Nakapadungrat, S., 2003. Investigation of surface radiation budget in Thailand, proceeding, proceeding in GAME-T workshop.
- B.Thana, A.Chanbangborn, M.Hashizume, and S.Nakapadungrat, 2004. The Comparison between longwave radiation data at Sri Samrong and Model (extended abstract), Proceedings CD-ROM The 6th International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME.
- A.Chabangborn, B.Thana, M.Hashizume, N.Ohte, K.Tanaka, and S.Nakapadungrat, 2004. Downward Longwave Radiation: Observed and Analysis under Clear Sky Condition (abstract), Proceeding The 25th ACRS (Asian Conference on Remote Sensing).
- Thana, B., Jarupongsakul, T., and Chabangbprn, A. 2005. Hydro-Meteorological Data Analysis for The Study of Coastal Erosion Problem At Pak Phanang River Basin, Nakhon Si Thammarat Province, J. of Metals, Materials and Minerals, Vol.15/2, p.36-40.
- Sojisuporn, P., Jarupongsakul, T., and Thana, B., 2005. Some Physical Oceanographic Characteristic Relating to Coastal Erosion at Pak Phanang River Basin, Nakhon Si Thammarat Province, J. of Metals, Materials and Minerals, Vol.15/2, p.41-53.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sojisuporn, P., Phaksopa, J., Jarupongsakul, T., and Thana, B., 2005. Nearshore Sediment Transport Along The Coastline of Pak Phanang River Basin, Nakhon Si Thammarat Province, J. of Metals, Materials and Minerals, Vol.15/2, p.72-82.

Jarupongsakul, T., Sojisuporn, P., Thana, B., and Suphawajruksakul, A., 2005, Influences of Nearshore Wave and Longshore Sediment Transport on The Future Trends of Coastal Changes at The Pak Phanang River Basin, Nakhon Si Thammarat Province, J. of Metals, Materials and Minerals, Vol.15/2, p.96-105.

Takeuchi, N., Doolgindachbaporn, T., Thana, B., Nakajima, T., and Kuse, H., 2005, Characteristics of Chemical Component of Aerosol in East Thailand Rainy Season (Submitted to Meteorological Society meeting in Japan)

งานวิจัยในอดีต/ปัจจุบัน

1. “Tropical Storm Track and Intensity Prediction” สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
2. “The effects of SST on Rainfalls in Thailand” สนับสนุนโดย US government/WMO
3. “The study of surface radiation in Thailand” สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ
4. “Earth Environmental and Climate Studies” สนับสนุนโดย Center for Climate System Research, The University of Tokyo/Japan Science and Technology Agency ประเทศญี่ปุ่น

ผลงานด้านการจัดประชุม

1. ดำเนินการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการในโครงการเชิญผู้เชี่ยวชาญชาวต่างประเทศ โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ โดยคณะกรรมการบริหารเครือข่ายความร่วมมือระหว่าง สถาบันเพื่อการพัฒนาอาจารย์ ควบคู่กับภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในโครงการเรื่อง การถ่ายทอดเทคโนโลยีด้านการศึกษาวิจัยด้านอุตุนิยมวิทยา ระหว่างวันที่ 10-14 พฤศจิกายน 2546
2. ผู้ช่วยเลขานุการ การประชุมนานาชาติ เรื่อง ธรณีวิทยาทางทะเลในภูมิภาคเอเชีย ครั้งที่ 5 ระหว่างวันที่ 14-16 มกราคม 2547
3. ดำเนินการจัดประชุมเชิงปฏิบัติการในโครงการเชิญผู้เชี่ยวชาญชาวต่างประเทศ โดยได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ โดยคณะกรรมการบริหารเครือข่ายความร่วมมือระหว่าง สถาบันเพื่อการพัฒนาอาจารย์ควบคู่กับภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในโครงการการถ่ายทอดเทคโนโลยี เรื่อง การศึกษามลภาวะทางอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระหว่างวันที่ 25-29 เมษายน 2548

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ เคนพันคือ

Assistant Professor Prasert Kenpankho

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3401700126891

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำ และบรรณาธิการวารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม

หน่วยงานและสถานที่

สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

หมายเลขโทรศัพท์ 02-329-8443 โทรสาร 02-329-8443 e-mail: kkpraser@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

2538 ปริญญาตรี วิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2543 ปริญญาโท Industrial Technology, Utah State University, USA

2546 ปริญญาโท Electrical Engineering, University of Massachusetts Lowell, USA

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

TEC monitoring applications and GPS study

งานวิจัยที่กำลังทำ

ผู้ช่วยวิจัย Ionospheric Observation in Thailand

แหล่งทุนจาก Space Environment Group, NICT, Japan

ผู้ช่วยวิจัย Dual-frequency GPS network and ionospheric study in Thailand

แหล่งทุนจาก Thai Toray Science Foundation, Thailand

ผลงานวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

– ระดับนานาชาติ

1. P. Kenpankho, K. Watthanasangmechai, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Comparison of GPS TEC measurements with IRI TEC prediction at an equatorial latitude station, Chumphon, Thailand," Earth Planets Space, vol. 63, pp. 365-370, June 2011. (impact factor = 1.112)
2. P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Equatorial magnetic variation of ionospheric slab thickness observations at Chumphon, ", Earth Planets Space, vol. 63, pp. 359-364, June 2011. (impact factor = 1.112)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Prasert Kenpankho. 2003. "Virtual Laboratory Remotely Controlled via the Internet." Journal of Industrial Education. 3(1) : 40-43. (impact factor = 0.087)

– ระดับชาติ

1. Prasert Kenpankho and Pornpimon Chayratsami. 2006. "The Orbit Accuracy of QuickBird-2 Satellite to Thailand Satellite Ground Station." Journal of Industrial Education. Bangkok: KMITL.

ผลงานที่ได้รับการอ้างอิงในวงวิชาการ

– ระดับนานาชาติ

1. Prasert Kenpankho and Peerawut Suwanjan. 2004. "Space Division Multiple Access with Four Users and Three Antenna Elements." 255-258. Proceedings of The 1ST KMITL International Conference on Integration of Science & Technology for Sustainable Development. Volume 1. Bangkok : KMITL.
2. Prasert Kenpankho. 2004. "Space Division Multiple Access with n Users and m Antenna Elements." 2004 IEEE 60th Vehicular Technology Conference Theme Wireless Technologies for Global Security", Los Angeles, USA.
3. Prasert Kenpankho and Peerawut Suwanjan. 2004. "DOA Finding of a Single Short Pulse by Using Three Dipole Antennas." 259-262. Proceedings of The 1ST KMITL International Conference on Integration of Science & Technology for Sustainable Development. Volume 1. Bangkok : KMITL.
4. Prasert Kenpankho and Peerawut Suwanjan. 2004. "GPS Based Ionospheric Scintillation for Space Weather." 1269-1272. Proceedings of The 25th Asian Conference on Remote Sensing . Volume 2. Chiang Mai : Geo-Informatics and Space Technology Development Agency.
5. Prasert Kenpankho, Pornpimon Chayratsami and Peerawut Suwanjan. 2005. "Virtual Laboratory for Real Experiments via Internet." 1049-1052. Proceedings of International Conference on Learning Organization in A Learning World. Bangkok : KMUTT.
6. Prasert Kenpankho and Peerawut Suwanjan. 2005. "GPS Based Ionospheric Scintillation Monitoring." 1031-1035. Proceedings of International Conference on Learning Organization in A Learning World. Bangkok : KMUTT.
7. Prasert Kenpankho, Peerawut Suwanjan and Surapong Siripongdee. 2005. "The Obstacles of e-Commerce in Developing Countries." 9.1-9.3. Proceedings of the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- International Conference on Computer and Industrial Management. Bangkok : Assumption University.
8. Prasert Kenpankho, Peerawut Suwanjan and Surapong Siripongdee. 2005. "Ensuring the Quality and Reliability of Electronics Devices." 17.1-17.4. Proceedings of the International Conference on Computer and Industrial Management. Bangkok : Assumption University.
 9. Prasert Kenpankho, Peerawut Suwanjan, Kitipong Mano, Surapong Siripongdee and Amornchai Chaichana. 2005. "Thailand Ground Station Based on the Accurately Orbit of IKONOS." Proceedings of The 2nd Asian Space Conference Satellite, Applications, Socio-Economics and Regulatory Regimes. Hanoi : IIAS.
 10. Prasert Kenpankho and Peerawut Suwanjan. 2005. "Transequatorial Radio Propagation Monitoring." 1344-1347. Proceedings of 2005 Fifth International Conference on Information, Communications and Signal Processing. Bangkok : KMITL.
 11. Prasert Kenpankho and Kitipong Mano. 2006. "ICT Employment Opportunities and Skills Development for ASEAN" Proceedings of the 4th International Conference on Developing Real-Life Learning Experiences: Education Reform through Performance-Based Learning. pp.230-234.
 12. Prasert Kenpankho. 2006. "Virtual Laboratory Model for Technological Laboratory." e-Learning International Conference 2006. Bangkok: RU.
 13. Prasert Kenpankho. 2006. "The Major Methods of Online Delivering Engineering Learning in Hands-on Laboratory." E-Learning International Conference 2006. Bangkok: RU.
 14. Prasert Kenpankho. 2006. "The Significant Factors of IKONOS-2 Orbit to Thailand Satellite Ground Station." International Symposium on Communication and Information Technologies 2006. Bangkok: KMITL.
 15. Prasert Kenpankho. 2007. "Accessibility on Thailand Satellite Ground Station to GeoEye-1." 3rd Asian Space Conference. Singapore: IIAS
 16. Prasert Kenpankho. 2007. "GPS Satellite Visibility Viewed by Vehicles in Bangkok, Thailand. The Fifth IASTED Asian Conference on Communication Systems and Networks 2007. Phuket: IASTED.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้