



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาคุณลักษณะและความสามารถในการใช้งานคลื่นวิทยุความถี่สูงสะท้อน
ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย

Study of characteristics and availability of high-frequency (HF) radio
reflecting from the ionosphere in Thailand

นายพรชัย ทรัพย์นิธิ

นางสมใจ กลิ่นงาม

นาวาโทเทพประทาน รุจิราภา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษาคูณลักษณะและความสามารถในการใช้งานคลื่นวิทยุความถี่สูงสะท้อนชั้น
บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย.....

แหล่งเงิน ..เงินงบประมาณ.....

ประจำปีงบประมาณ..... 2561..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน .. 448,900..... บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2560 ถึง 30 กันยายน 2561.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นายพรชัย ทรัพย์นิธิ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....

2. นางสมใจ กลิ่นงาม คณะเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.....

3. นาวาโท เทพประทาน รุจิราภา กองทัพอากาศ.....

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอ
โนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ในทำเลที่ตั้งของประเทศไทย และการประยุกต์ใช้งานต่างๆ อาทิเช่น การปรับปรุง
โมเดลทำนายพารามิเตอร์ของชั้นบรรยากาศ เช่น โมเดล International Reference Ionosphere (IRI) โดยจะทำการ
วิเคราะห์ค่าความถี่วิกฤตและความสูงชั้นเอฟสอง รวมทั้งการเกิดสเปคตรัม ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการใช้
งานย่านความถี่สูงหรือเอชเอฟ เป็นต้น

คำสำคัญ : ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์; เครื่องไอโอโนซอนด์, ความถี่วิกฤต, สเปคตรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Study of characteristics and availability of high-frequency (HF) radio reflecting from the ionosphere in Thailand

Researcher:

Pornchai Supnithi
Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
Somjai Klin-Ngam, Faculty of Industrial Education
Theppratan Rujirapa, Royal Thai Navy

Abstract

In this research project, we aim to study and characterize the ionosphere as well as troposphere in Thailand as well as their myriad applications such as improvement of the International Reference Ionosphere (IRI) model and ITU-R model. The important parameters to be analyzed include critical frequency (f_oF_2) and height ($h'F$) of F2 layer as well as Spread F occurrence. The obtained statistics will be useful for the users of high frequency (HF) band.

Keywords : Ionosphere; Ionosonde, Critical frequency, Spread F

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ นอกจากนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและข้อมูลทางเทคนิคต่างๆจากหน่วยงานในประเทศไทยและประเทศญี่ปุ่น สำหรับหน่วยงานในประเทศได้รับความร่วมมือจากกองทัพเรือ หน่วยงานในประเทศญี่ปุ่นที่ให้การสนับสนุนการวิจัยได้แก่ National Institute of Information and Communication Technology (NICT) ประเทศญี่ปุ่น สำหรับสถานีไอโอโนซอนด์และสถานีจีเอ็นเอสเอสที่วิทยาเขตชุมพร ขอขอบคุณนักศึกษา ผู้ช่วยวิจัยที่ได้ช่วยเหลืองานในโครงการวิจัยนี้ ได้แก่ นาย Phimmason Thammavong ที่ช่วยในเก็บรวบรวมข้อมูลไอโอโนซอนด์ และยังได้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณพ.ศ. 2561 ทั้งนี้ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ประสานงานการประเมินข้อเสนอโครงการวิจัยในเบื้องต้นด้วย โครงการวิจัยนี้ซึ่งมีระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2560 ถึง 31 กันยายน 2561

นายพรชัย ทรัพย์นิธิ
นางสมใจ กลิ่นงาม
นาวาโทเทพประทาน รุจิราภา
(คณะผู้วิจัย)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	7
2.2 การเกิดซินทิลเลชัน (scintillation)	9
2.3 เขต Equatorial Ionization Anomaly (EIA)	10
2.4 ระบบไอโอโนซอนด์ (ionosonde)	11
2.5 ปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ (Total electron content)	13
บทที่ 3 ผลการวิจัย	17
3.1 ผลการศึกษาเทคนิคของระบบไอโอโนซอนด์แบบดิจิทัลที่กองทัพเรือใช้งาน	17
3.2 ผลการศึกษาสถิติการเกิดสเปรดเอฟ	19
3.3 ผลการศึกษาความถี่วิกฤตชั้นเอฟ (foF2) และความสูงชั้นเอฟ (h'F)	24
3.4 การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สำหรับผู้ใช้งาน	30
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	32
บทที่ 5 สรุปผลผลิตงานวิจัย	33
5.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	37
ภาคผนวก ก สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย	38
ภาคผนวก ข บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	39
ประวัติคณะผู้วิจัย	40



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์เครื่องไอโอโนซอนด์ชนิด CADI	17



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ระบบเครื่องวัดไอโอโนซอนด์ประกอบไปด้วย (ก) เส้าอากาศ และ (ข) เครื่องรับ-ส่งสัญญาณ	3
1.2 ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่ได้รับจากสถานีชุมพร	3
1.3 รูปแบบของสเปกตรัมตามมาตรฐาน INAG	4
2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางวันและกลางคืน	7
2.2 ผลกระทบของชั้นไอโอโนสเฟียร์ต่อระบบการสื่อสารและระบบนำร่อง	8
2.3 เส้นทางสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	9
2.4 ปรัชญาการณ้ชั้นไอโอโนสเฟียร์	9
2.5 บริเวณ Equatorial Ionization Anomaly (EIA)	10
2.6 พองพลาสมาที่เกิดบริเวณด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์	10
2.7 จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ในวัฏจักรสุริยะรอบที่ 24	11
2.8 หลักการทำงานของเครื่องไอโอโนซอนด์	12
2.9 ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมและของค่าพารามิเตอร์	12
2.10 ความผิดปกติด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์	13
2.11 บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์การวัดค่า TEC	13
2.12 ไฟล์ RINEX และข้อมูลจีพีเอสสองความถี่	14
2.13 (ก) ค่า slant TEC และ (ข) ค่า vertical TEC ที่มีการปรับค่าด้วย $b_0 = 0.5$ ns	16
3.1 ภาพไอโอโนแกรมจากเครื่อง CADI	18
3.2 (ก) ที่ตั้งสายอากาศสถานีชุมพร (ข) ที่ตั้งเครื่องรับ-ส่งที่สถานีชลบุรี (กองทัพเรือ) และ (ค) ที่ตั้งสายอากาศสถานีชลบุรี (กองทัพเรือ)	18
3.3 ค่า foF2 ที่สถานีชุมพร เดือนมิถุนายน ปี 2013	20
3.4 ค่า Sunspot ปี 2008 และ ปี 2013	20
3.5 สถิติการเกิดสเปกตรัมในเดือนมีนาคม และกันยายน ปี 2008 และ 2014	21
3.6 สถิติการเกิดสเปกตรัมในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายนปี 2008 และ 2014	21
3.7 สถิติการเกิดสเปกตรัมในเดือนธันวาคมปี 2008 และ 2014	22
3.8 สถิติการเกิดสเปกตรัมในแต่ละเดือนในปี 2014	22
3.9 การเปรียบเทียบการเกิดสเปกตรัม กับค่า ROTI ในวันที่ 1 ถึง 4 มีนาคม ปี 2014	24
3.10 การเปรียบเทียบการเกิดสเปกตรัม กับค่า ROTI ในวันที่ 1 ถึง 4 พฤษภาคม ปี 2014	24
3.11 ค่า h'F ในเดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ปี 2013	25
3.12 ค่า foF2 ในเดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ปี 2013	26
3.13 ค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร เดือนมกราคม ปี 2014	26

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.14 ค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2014	27
3.15 ค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร เดือนมีนาคมปี 2014	27
3.16 (ก) ค่า foF2 และ (ข) ค่า h'F ที่สถานีชุมพร เดือนกันยายนปี 2013	28
3.17 ค่า foF2 ที่วัดได้และจากแบบจำลอง IRI 2012 ที่สถานีชุมพร เดือนสิงหาคมปี 2013	29
3.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า foF2 ที่สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ เดือนมกราคม ปี 2016	29
3.19 การเปรียบเทียบค่า h'F ที่สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ ในเดือนมกราคม ปี 2016	30
3.20 สภาวะอวกาศในส่วน Solar Geomagnetic และ Ionosphere ของวันนี้ และค่าที่ทำนาย	31
3.21 การทำนายสถานะการใช้งานสำหรับวิทยุในย่าน HF, Navigation และ Satellites	31



บทที่ 1

บทนำ

โครงการวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตละติจูดต่ำ โดยมีที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย วิธีการดำเนินการวิจัยโดยสรุปและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีระยะห่างจากพื้นโลกประมาณ 80 ถึง 1,200 กิโลเมตร ประกอบไปด้วยออสตรอนและอิตรอนอิสระที่มีความหนาแน่นแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาในแต่ละวันและแต่ละฤดูกาล ประโยชน์อันสำคัญของชั้นบรรยากาศชั้นนี้คือมีการส่งคลื่นวิทยุความถี่สูงจากสถานีภาคส่งขึ้นไปบนท้องฟ้าเพื่อให้สะท้อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไปยังสถานีภาครับ แม้ว่าการสื่อสารและเทคโนโลยีโทรคมนาคมในปัจจุบันได้พัฒนาเป็นอย่างมาก โดยมีการใช้งานคลื่นวิทยุอย่างแพร่หลายในหลายย่านความถี่ ตั้งแต่ระดับ เมกะเฮิรตซ์ กิกะเฮิรตซ์ และในอนาคตกจะขยายไปถึงย่านเทระเฮิรตซ์ แต่การสื่อสารย่านความถี่สูง (high frequency: HF) หรือเอชเอฟ ในช่วงความถี่ตั้งแต่ประมาณ 2 เมกะเฮิรตซ์ไปจนถึง 30 เมกะเฮิรตซ์ ก็ยังมีความจำเป็นต่อการใช้งานในเรือเดินสมุทร เรือรบ อากาศยานและวิทยุคลื่นสั้น เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำและที่สำคัญระบบการรับส่งสัญญาณในย่านเอชเอฟ เป็นระบบการสื่อสารสำรองสำหรับสภาวะฉุกเฉินหรือในเขตที่ไม่สามารถเข้าถึงระบบสื่อสารอื่นๆ อีกด้วย

จากการที่ทีมวิจัยได้เข้าร่วมการปฏิบัติงานวิจัยกับกรมการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ กองทัพอากาศ พบว่าโดยปกติทางกองทัพอากาศมีการใช้งานคลื่นวิทยุความถี่สูงเพื่อการสื่อสารเสียงและข้อมูลความเร็วต่ำในเรือรบ และเรือลาดตระเวนแทนที่การสื่อสารดาวเทียมเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย โดยก่อนออกเดินทางเรือแต่ละลำจะได้รับรายการคลื่นความถี่ที่สามารถใช้งานได้ในแต่ละช่วงเวลา อย่างไรก็ตามเนื่องจากความถี่ที่ใช้งานได้แปรผันไปตามระดับความหนาแน่นอิเล็กตรอน (total electron content: TEC) ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเวลาและช่วงเวลาในแต่ละปี จึงทำให้บ่อยครั้งไม่สามารถใช้งานความถี่สูงได้ โดยผู้ใช้งานบนเรือในระหว่างที่จอดในอ่าวไทยไม่ทราบสาเหตุได้ ในแต่ละเขตละติจูดของโลกจะมีระดับความแปรปรวนของความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่แตกต่างกันประเทศไทยเองมีที่ตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลกเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความแปรปรวนของอิเล็กตรอนสูงสุดและยังมีความผิดปกติในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จำเพาะในเขตนี้ เช่น พองพลาสมา (plasma bubble) และแพร่กระจายไปยังเขตละติจูดที่สูงขึ้นอีกด้วย ผลกระทบของพองพลาสมานี้มีผลทำให้สัญญาณความถี่สูงมีการสะท้อนที่ผิดปกติหรือไม่สามารถสะท้อนจากชั้นบรรยากาศชั้นนี้ การสังเกตการณ์ค่าความถี่สูงที่สามารถใช้งานได้นั้นสามารถดำเนินการได้จากสถานีไอโอโนซอนด์ (ionosonde station) และจำเป็นต้องมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามแม้ว่าทางกองทัพอากาศได้ติดตั้งสถานีไอโอโนซอนด์ในพื้นที่สองจังหวัดคือจังหวัดชลบุรีและจังหวัดพังงาแต่ขาดนักวิจัยที่จะทำการศึกษาวิจัย ในขณะที่ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนั้นได้มีการศึกษาวิจัยข้อมูลจากสถานีไอโอโนซอนด์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาเขตชุมพรของสถาบัน รวมทั้งจากสถานีอื่นๆในอาเซียนมาตั้งแต่ปีพ.ศ. 2548 ดังนั้นการศึกษาวิจัยค่าความถี่สูงที่สามารถใช้งานได้ และสภาวะการส่งข้อมูลจริงร่วมกับทางกองทัพเรือจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. วิเคราะห์ค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) และค่าความสูงชั้น F_2 จากสถานีไอโอโนซอนด์ในประเทศไทย
2. ทำการเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) และค่าความสูงชั้น F_2 ในประเทศไทยกับมาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI)
3. วิเคราะห์สถิติของการขาดหายคลื่นความถี่สูงสำหรับการใช้งานอันเนื่องมาจากความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
4. จัดทำรายงานค่าความถี่สูงที่สามารถใช้งานได้เพื่อประโยชน์ต่อกิจการเดินเรือ
5. พัฒนาซอฟต์แวร์อ่านค่าพารามิเตอร์จากภาพไอโอโนแกรมอัตโนมัติ
6. สร้างเครือข่ายวิจัยและนักวิจัยรุ่นใหม่ในสาขาวิศวกรรมศาสตร์เกี่ยวกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยในโครงการวิจัยนี้ คือ จะทำการวิเคราะห์ค่าความถี่วิกฤตและค่าความสูงชั้น F_2 จากสถานีไอโอโนซอนด์ในประเทศไทย เช่นที่สถานีชุมพร เชียงใหม่ เป็นต้น โดยทำการวิเคราะห์ค่าจากภาพไอโอโนแกรมที่บันทึกได้ทุกๆ 15 นาที นอกจากนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าสเปรดเอฟด้วยเช่นกัน ในส่วนของ มาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI) จะใช้มาตรฐาน IRI-2012 หรือ IRI-2016

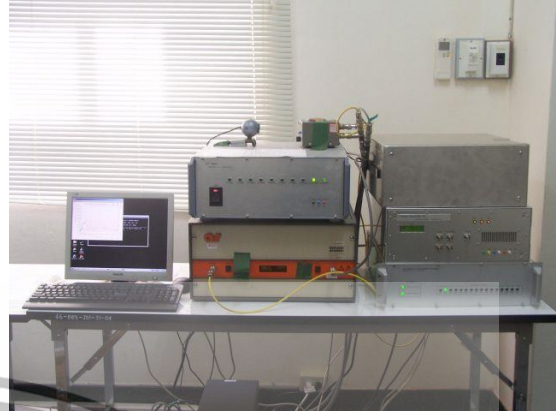
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 การสังเกตการณ์ความถี่วิกฤตด้วยเครื่องไอโอโนซอนด์

ระบบการวัดไอโอโนซอนด์ประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ สายอากาศที่ตั้งอยู่ภายนอก และเครื่องมือวัดภายใน สำหรับสถานีชุมพรเครื่องไอโอโนซอนด์ตั้งอยู่ที่วิทยาเขตชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแสดงภาพที่ 1.1 โดยภาพที่ 1.1 (ก) และ (ข) แสดงเสาอากาศไดโพล และเครื่องรับ-ส่งสัญญาณและคอมพิวเตอร์ประมวล ตามลำดับ ภาพที่ 1.2 แสดงตัวอย่างของภาพไอโอโนแกรมที่รับได้จริงจากสถานีชุมพร

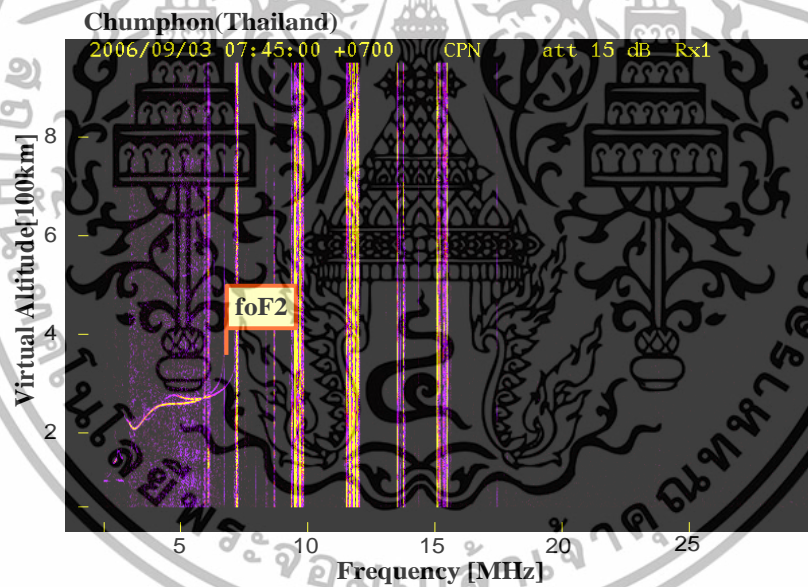


(ก)



(ข)

ภาพที่ 1.1 ระบบเครื่องวัดไอโอโนซอนด์ประกอบไปด้วย (ก) เสาอากาศ และ (ข) เครื่องรับ-ส่งสัญญาณ



ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่ได้รับจากสถานีชุมพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

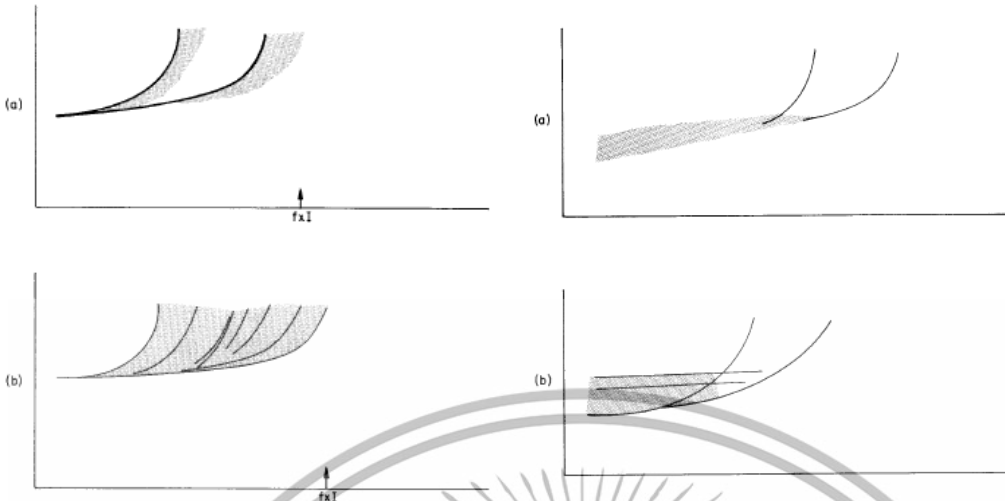


Fig. 2.20 Frequency spread, Type F



Fig. 2.21 Frequency spread, Type F

Fig. 2.22 Range spread, Type Q

ภาพที่ 1.3 รูปแบบของสเปรดเอฟตามมาตรฐาน INAG

ในกระบวนการวัดพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงในภาพที่เรียกว่าไอโอโนแกรมไอโอโนแกรมคือภาพที่เครื่องไอโอโนซอนด์แสดงผลตรวจเช็คสภาวะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่สถานีชุมพรได้รับภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 15 นาที เมื่อได้รับแล้วต้องมีการสเกลหรือตรวจสอบค่าที่ต้องการจากภาพไอโอโนแกรม ยกตัวอย่างเช่น ความถี่ f_oF_2 สามารถดูได้จากความถี่สูงสุดของเส้นด้านซ้ายที่ปรากฏในแกนนอน และความสูงสูงสุดในแกนตั้งนั่นคือ h_mF_2 ในภาพจะสังเกตเห็นแถบเส้นสีเหลืองหรือม่วง ซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณรบกวนจากย่านอื่นหรือเป็นเพียงนอยส์ อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่ไม่ปกติเมื่อมีความแปรปรวนของความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นเอฟ ภาพไอโอโนแกรมจะไม่แสดงเส้นสะท้อนได้อย่างชัดเจน แต่เส้นสะท้อนจะแผ่เป็นแถบคลื่น เหตุการณ์นี้เรียกว่าสเปรดเอฟ (spread F) เหตุการณ์สเปรดเอฟแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ สเปรดเอฟที่เกิดในแนวความถี่ (F-type) และสเปรดเอฟที่เกิดในแนวความสูง (R-type หรือ Q-type) ภาพที่ 1.3 แสดงรูปแบบของสเปรดเอฟที่เป็นได้ตามมาตรฐาน Ionosonde Network Advisory Group (INAG)

1.4.2 มาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI)

การจัดทำมาตรฐาน IRI เป็นโครงการระดับนานาชาติซึ่งริเริ่มโดยองค์การ NASA ประเทศสหรัฐอเมริกาและได้รับการสนับสนุนหลักจากสองหน่วยงานได้แก่ COSPAR (Committee on Space Research) และ IURSI (International Union on Radio Science) การประชุมมาตรฐาน IRI มีทุกๆ สองปีภายใต้งาน IRI workshop โดยมีจุดประสงค์เพื่อประชุมและนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งยังเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลและองค์ความรู้ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการศึกษาชั้นบรรยากาศของโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปัจจุบันมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แบบจำลองจำนวนมากถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาและทำนายตัวแปรต่างๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แบบจำลอง IRI เป็นแบบจำลองมาตรฐานสำหรับทำนายตัวแปรต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ สามารถใช้ได้ทั่วโลก และมีการปรับปรุงแบบจำลองอย่างสม่ำเสมอแบบจำลอง IRI ถูกสร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของแหล่งข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่ทั่วโลก แบบจำลอง IRI-2011 เป็นแบบจำลองล่าสุดที่พัฒนามาจากแบบจำลอง IRI-2007 ซึ่งเป็นแบบจำลองเดิม แบบจำลอง IRI-2011 ถูกปรับปรุงมาจากข้อจำกัดต่างๆ ที่มีอยู่ในแบบจำลองรุ่นก่อน และเน้นการปรับปรุงไปที่บริเวณ Topside ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อการคำนวณค่าปริมาณอิเล็กตรอนรวม (TEC) ในชั้นบรรยากาศ ดังนั้นแบบจำลอง IRI-2011 จึงสามารถถูกใช้งานได้หลากหลายรูปแบบมากขึ้น ซึ่งรวมไปถึงการคำนวณค่า TEC (Total Electron Content) อีกด้วยอีกทั้งองค์การ NASA ผู้ซึ่งทำการวิจัยและพัฒนาแบบจำลอง IRI-2007 ได้เปิดให้บริการการคำนวณหรือทำนายตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศเพื่อการศึกษาวิจัยผ่านทาง http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri_vitmo.php โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดใด ทั้งสิ้นอย่างไรก็ตามพบว่าแบบจำลองโมเดล IRI ล่าสุดยังมีความผิดพลาดอยู่มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตละติจูดต่ำและเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กเช่นใน เขตประเทศไทย ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลระยะยาวเพื่อปรับปรุงต่อไปเนื่องจากแปรผันตามวัฏจักรสุริยะ

1.4.3 การตรวจสอบความผิดปกติของชั้นไอโอโนสเฟียร์ด้วยสัญญาณจีพีเอส

ในการตรวจสอบความผิดปกติของชั้นไอโอโนสเฟียร์ด้วยสัญญาณจีพีเอสสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การคำนวณดัชนี S_4 ของซินทิลเลชัน (แต่สัญญาณที่ได้รับต้องมีการแซมปลิงเกินกิกะบิตต่อวินาที) และการคำนวณอัตรา การเปลี่ยนแปลงของค่า TEC (ROTI) หากว่าค่า ROTI มีค่าสูงกว่าค่าเทรสโฮลด์ที่กำหนดแสดงว่าเกิดความผิดปกติของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ให้ค่า TEC แนวเฉียงที่ได้รับคือ STEC ค่า ROTI ณ เวลา k สามารถคำนวณได้จาก

$$ROTI(k) = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N [STEC_i - E\{STEC\}]^2}$$

เมื่อ $STEC_i$ คือค่า STEC จากดาวเทียมแต่ละดวง ณ เวลา k และ $E\{STEC\}$ คือค่าเฉลี่ยของค่า STEC

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รายงานค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) และค่าความสูงชั้น F2 จากสถานีไอโอโนซอนด์ในประเทศไทย
2. สถิติของการขาดหายคลื่นความถี่สูงสำหรับการใช้งานอันเนื่องมาจากความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
3. รายงานผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่สังเกตการณ์ได้กับค่าจากมาตรฐาน International Reference Ionosphere (IRI)



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงประมาณ 80 กิโลเมตรถึง 1200 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นชั้นบรรยากาศที่ไม่เป็นกลาง มีปริมาณไอออนและอิเล็กตรอนจำนวนมาก ความแปรปรวนของอิเล็กตรอน ภาพที่ 8.1 แสดงภาพรวมของชั้นบรรยากาศแต่ละชั้นในแง่ความสูงและตัวอย่างกราฟความหนาแน่นอิเล็กตรอน (electron density) ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน จะเห็นว่าที่ชั้นบรรยากาศตั้งแต่ชั้นเมโซสเฟียร์ลงไปนั้น ชั้นบรรยากาศมีสถานะเป็นกลาง อย่างไรก็ตาม ตั้งแต่ชั้นไอโอโนสเฟียร์ขึ้นไปไม่เป็นกลาง โดยมีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 10^{12} อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร (el/m^3) ที่ความสูงประมาณ 300 กิโลเมตร เรียกบริเวณนี้ว่าเป็นด้านล่างของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และลดลงไปเรื่อยๆ เข้าสู่ชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (thermosphere) และเอ็กโซสเฟียร์ (exosphere) ในความเป็นจริงนั้น กราฟของความหนาแน่นอิเล็กตรอนจะขึ้นอยู่กับในแต่ละบริเวณของโลกวัน เวลา ฤดูกาลและปีในช่วงวัฏจักรสุริยะ ในช่วงเวลากลางวันความหนาแน่นอิเล็กตรอนจะมีค่าสูงกว่ากลางคืนเนื่องจากได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ ก่อให้เกิดการแตกตัว (ionization) ของอะตอม ในขณะที่เวลากลางคืนเกิดการรวมตัว (recombination) ระหว่างไอออนกับอิเล็กตรอน ชั้นไอโอโนสเฟียร์



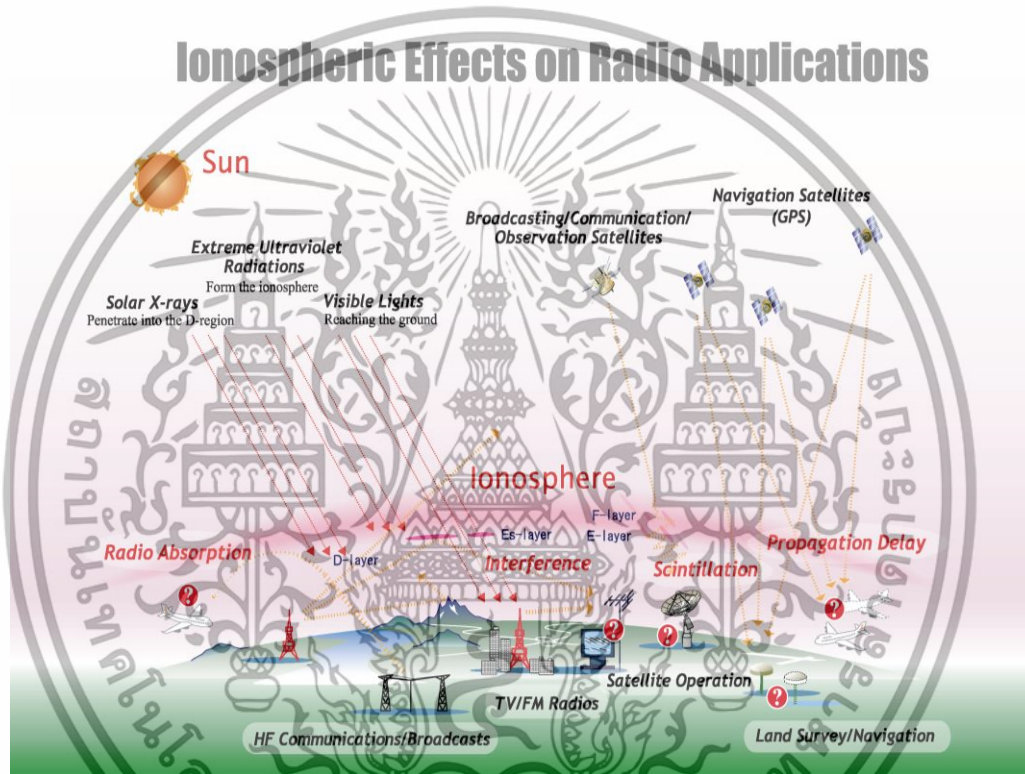
ภาพที่ 2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางวันและกลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งได้เป็นชั้นย่อยจำนวน 3 ชั้นจากล่างสุดไปจนสูงสุด ได้แก่ ชั้น D ชั้น E และชั้น F ตามลำดับ ในเวลากลางวัน ชั้น F จะแตกตัวเป็นชั้น F1 และชั้น F2 แต่ในเวลากลางคืนจะเหลือเพียงชั้น F ชั้นเดียว

ความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีผลกระทบต่อระบบสื่อสารหรือระบบนำร่องต่างๆ เช่น ระบบการสื่อสารความถี่สูง (HF) ระบบการกระจายเสียง/ภาพ ระบบการสื่อสารดาวเทียม (โดยเฉพาะย่านความถี่ C band) และระบบนำร่อง ระบุตำแหน่งเช่น จีพีเอส จีเอ็นเอสเอส รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานต่างๆ แสดงดังภาพที่ 2.2

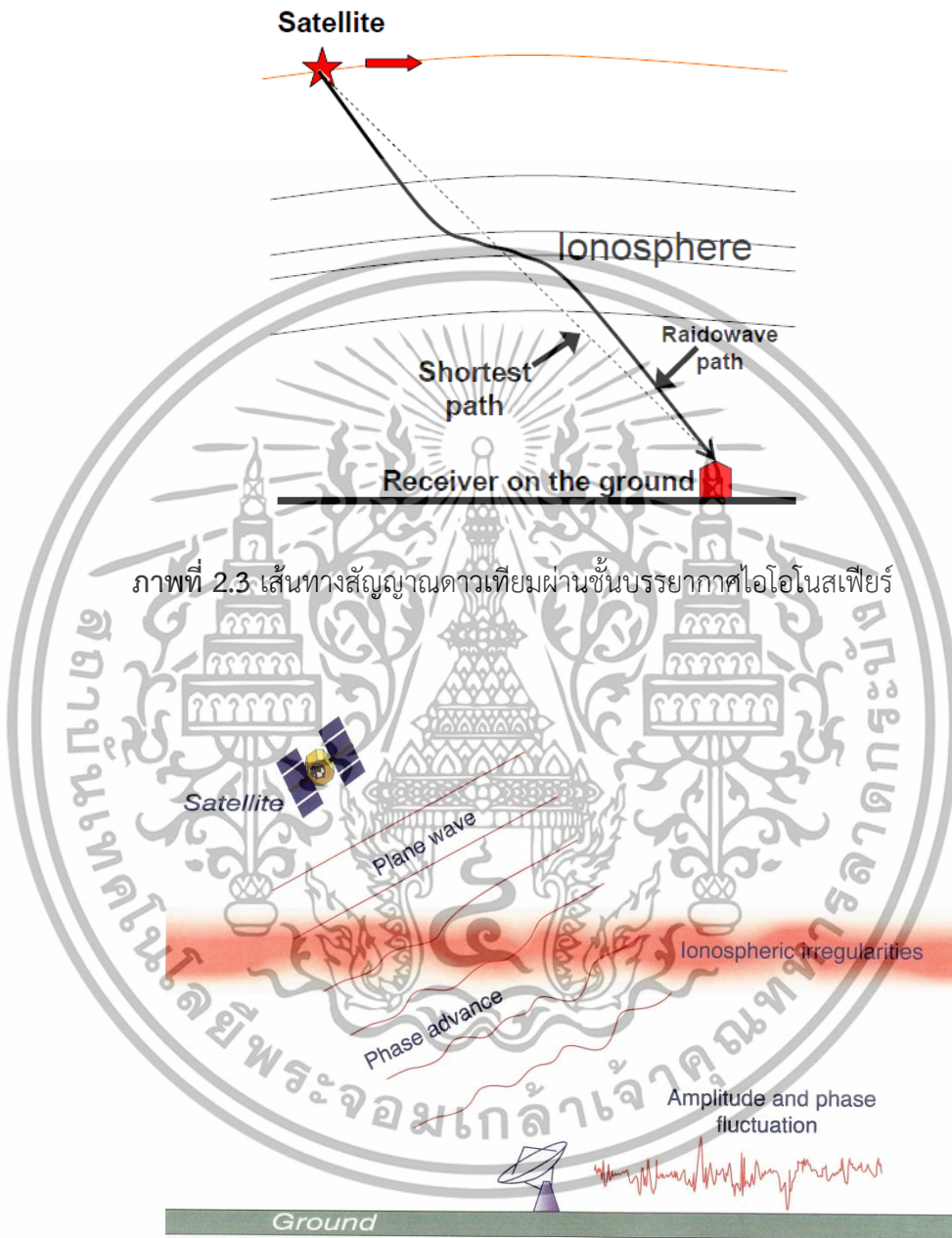


ภาพที่ 2.2 ผลกระทบของชั้นไอโอโนสเฟียร์ต่อระบบการสื่อสารและระบบนำร่อง

ความผิดปกติให้เกิดผลกระทบต่อคลื่นสัญญาณที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ยกตัวอย่างเช่น (1) ระบบการสื่อสารความถี่สูง (HF) (2) ระบบการสื่อสารดาวเทียมความเร็วสูง (3) ระบบดาวเทียมนำร่องจีพีเอส เป็นดาวเทียมระบุตำแหน่ง โดยในกรณีของสัญญาณความถี่สูงนั้น สัญญาณข้อมูลหรือเสียงที่ส่งไปสะท้อนจากชั้นนี้ จะเกิดการขาดหาย ทำให้ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ ส่วนในกรณีของสัญญาณดาวเทียม เมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเกิดการหักเหจากเส้นทางตรงดังแสดงในภาพที่ 2.3 (เส้นประ) อันเป็นผลมาจากการที่ดัชนีการหักเหบริเวณภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แตกต่างจากบริเวณภายนอกเนื่องจากปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ก่อให้เกิด (1) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดกระทันหันที่เรียกกันว่าปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (scintillation) ทำให้สัญญาณดาวเทียมมีสมรรถนะต่ำลงและในกรณีที่เลวร้าย สัญญาณอาจขาดหายได้ (out-of-lock)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
8
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเกิดซินทิเลชัน (scintillation)



ภาพที่ 2.3 เส้นทางสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

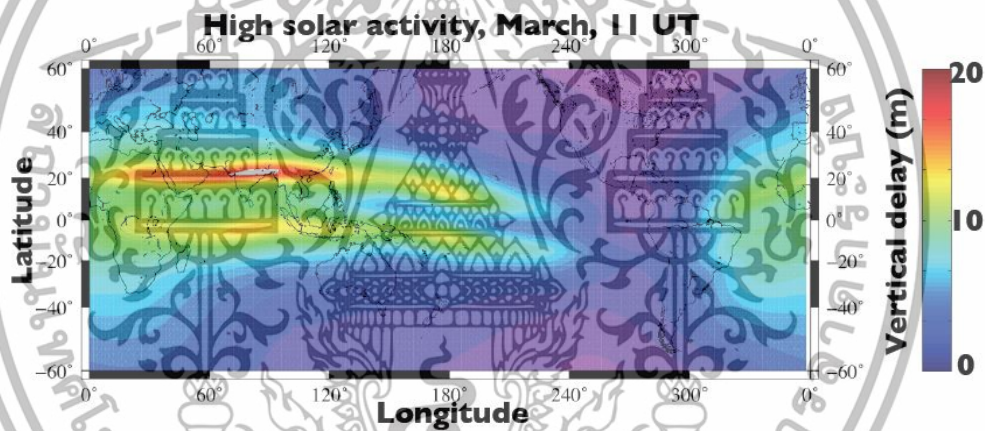
ภาพที่ 2.4 ปรากฏการณ์ซินทิเลชันไอโอโนสเฟียร์ [1]

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดกระทันหันหรือซินทิเลชัน (scintillation) [1] คือปรากฏการณ์ที่สัญญาณดาวเทียมมีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสเมื่อคลื่นสัญญาณเดินทางมาผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แสดงดังภาพที่ 2.4 ปรากฏการณ์ซินทิเลชันนี้มีผลกระทบต่อระบบสื่อสารดาวเทียมในย่าน UHF ตั้งแต่ 10 MHz จนถึง 6 GHz โดยเกิดจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่คงที่ในชั้น E และ F

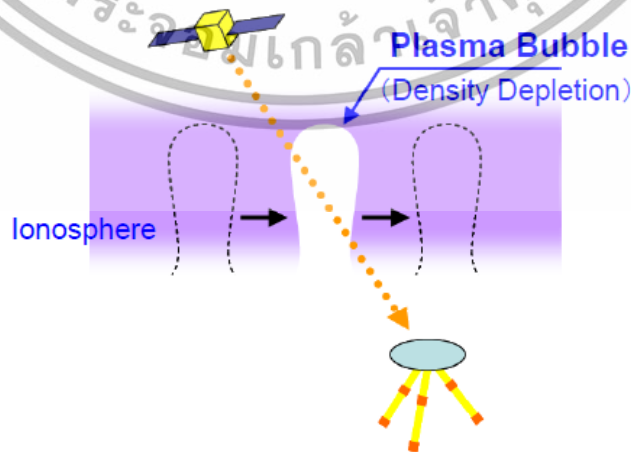
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 9
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เขต Equatorial Ionization Anomaly (EIA)

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขต Equatorial Ionization Anomaly (EIA) เป็นบริเวณที่อยู่ในเขต $\pm 15^\circ$ ของเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก (magnetic equator) แสดงดังภาพที่ 2.5 โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญคือความหนาแน่นอิเล็กตรอนจะถูกย้ายจากเขตเส้นศูนย์สูตรไปยังละติจูดที่สูงกว่า นอกจากนี้ในเขตเส้นศูนย์สูตรและละติจูดต่ำยังเป็นบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์ฟองพลาสมา (plasma bubble) ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นจากบริเวณด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์และกระจายสูงขึ้นและขยายไปตามเส้นแม่เหล็กโลกแสดงดังภาพที่ 2.6 ขนาดของฟองพลาสมามีขนาดได้ตั้งแต่ระดับร้อยเมตรไปจนถึงหลายร้อยกิโลเมตร และเกิดขึ้นหลายๆลูก โดยจะเคลื่อนตัวจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก ปรากฏการณ์นี้มักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ขึ้นเนื่องมาจากความไม่เสถียรบริเวณด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ความรุนแรงและสถิติการเกิดฟองพลาสมาโดยปกติจะพบมากในช่วงฤดูอิควิน็อกส์ คือเดือนมีนาคม เมษายน กันยายนและตุลาคม มากกว่าในช่วงเวลาอื่นๆของปี นอกจากนี้จะเกิดขึ้นในช่วงปีที่วัฏจักรสุริยมืดระดับสูง (high solar activity) มากกว่าปีที่วัฏจักรสุริยมืดระดับต่ำ



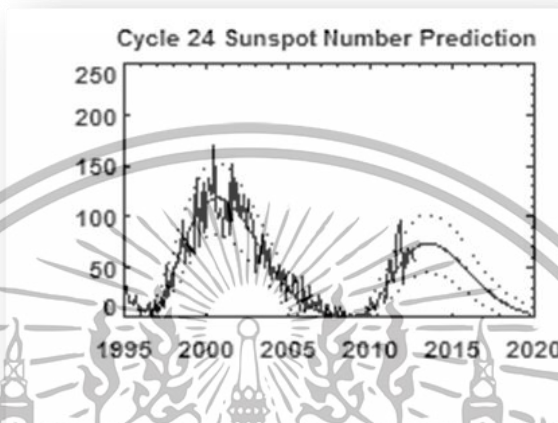
ภาพที่ 2.5 บริเวณ Equatorial Ionization Anomaly (EIA)



ภาพที่ 2.6 ฟองพลาสมาที่เกิดบริเวณด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

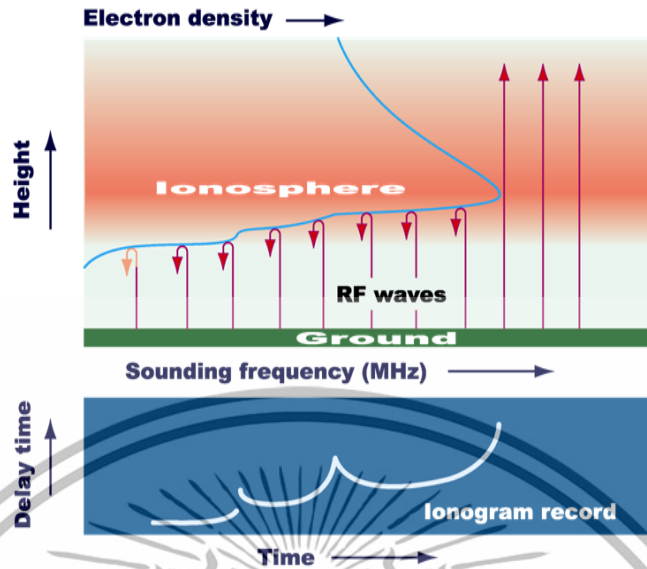
ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างค่าจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ซึ่งบ่งบอกความรุนแรงในวัฏจักรสุริยะรอบที่ 24 จะพบว่าค่าสูงสุดอยู่ในช่วงปี 2013 หลังจากนั้นค่าค่อยๆลดลง หนึ่งรอบของวัฏจักรสุริยะมีระยะเวลาประมาณ 11 ถึง 12 ปี



ภาพที่ 2.7 จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ในวัฏจักรสุริยะรอบที่ 24

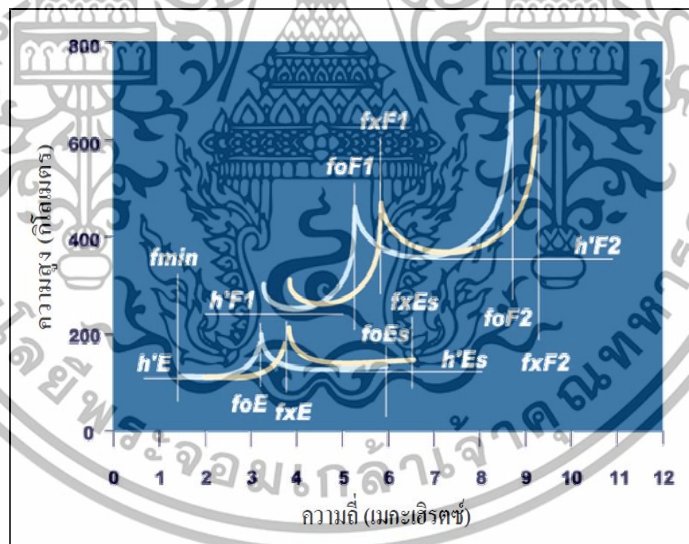
2.4 ระบบไอโอโนซอนด์ (ionosonde)

พารามิเตอร์สำคัญต่อความถี่ที่สามารถใช้งานได้ ได้แก่ ความถี่วิกฤต (critical frequency) หรือ foF2 และ ความสูงสูงสุดของชั้นเอฟหรือ h'F2 ความถี่วิกฤตคือความถี่สูงสุดที่ส่งขึ้นไปแล้วยังสะท้อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์กลับลงมาถึงเครื่องรับ ส่วนค่า h'F2 คือความสูงสูงสุดก่อนที่ความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นเอฟจะลดลง ดังนั้นวิธีการหนึ่งในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ foF2 และ h'F2 ทำได้โดยการติดตั้งสถานีไอโอโนซอนด์ ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องส่งสัญญาณความถี่สูง เครื่องรับสัญญาณ และสายอากาศ หลักการทำงานของเครื่องไอโอโนซอนด์คือการส่งพัลส์สัญญาณความถี่ 2-30 MHz ขึ้นไปบนท้องฟ้าและรับสัญญาณที่สะท้อนลงมา โดยในแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 5 นาที แสดงดังภาพที่ 2.8 ความถี่สูงสุดสะท้อนลงมานั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ ดังนั้นจึงขึ้นอยู่กับแต่ละเวลาในแต่ละวัน ระยะเวลาในการเดินทางของคลื่นสัญญาณจากการส่งไปยังการรับสัญญาณ สามารถนำไปใช้คำนวณความสูงที่สะท้อนลงมา ภาพไอโอโนแกรมเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (หน่วย km) ที่สะท้อนลงมาของแต่ละความถี่ (หน่วย MHz)



ภาพที่ 2.8 หลักการทำงานของเครื่องไอโอโนซอนด์

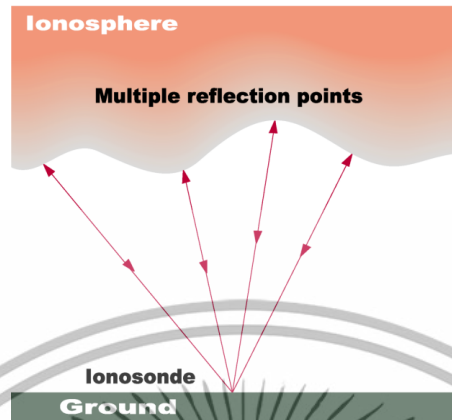
ภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมและของค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ที่สามารถวิเคราะห์ได้



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมและของค่าพารามิเตอร์

ความผิดปกติบริเวณด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์นั้นทำให้สัญญาณที่ส่งขึ้นไปเกิดการสะท้อนจากหลายจุด ดังนั้นในภาพไอโอโนแกรมที่ได้รับจะปรากฏหลายๆ เส้นที่ใกล้กัน หากมีความรุนแรงมากขึ้นจะทำให้เกิดการภาพที่ดูมัวไม่ชัดเจนเรียกเหตุการณ์นี้ว่า สเปรดเอฟ (Spread F) ภาพที่ 2.10 แสดงปรากฏการณ์นี้

Spread F



ภาพที่ 2.10 ความผิดปกติด้านล่างของชั้นไอโอโนสเฟียร์

2.5 ปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนสุทธิ (Total electron content)

อีกตัวแปรหนึ่งที่นิยมใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้แก่ ปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (total electron content) หรือ TEC [1-4] บ่งบอกถึงความหนาแน่นพลาสมาหรืออิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศนี้ (หน่วย: $\text{electrons}/\text{m}^2$) ซึ่งแปรผันตามค่าห้วงเวลาของสัญญาณดาวเทียม ในการวัดปริมาณอิเล็กตรอนสุทธิ (Total Electron Content: TEC) ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แสดงดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์การวัดค่า TEC

```

2.11 OBSERVATION DATA G (GPS) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2007Jun25 20100301 23:59:48UTC PGM / 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 2.12 ไฟล์ RINEX และข้อมูลจีพีเอสสองความถี่

สัญญาณจีพีเอสสองความถี่ที่รับได้นั้น จะถูกเก็บอยู่ในไฟล์ RINEX ซึ่งเป็นฟอร์แมตมาตรฐาน โดยปกติค่าที่บันทึกได้แก่ pseudorange ของทั้งสองความถี่คือ P1, P2 และเฟส L1, L2 ภาพที่ 8.12 แสดงตัวอย่างไฟล์ RINEX และข้อมูลจีพีเอสสองความถี่ เครื่องรับจีพีเอสที่ทางทีมวิจัยใช้อยู่จะมีการอัปเดตไฟล์นี้ทุกๆ 1 วินาที และ 30 วินาที

การคำนวณค่า TEC อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อคลื่นสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านตัวกลางที่มีดัชนีหักเห n มีแอมพลิจูดเท่ากับ

$$u(t) = U(t) \cos \left\{ 2\pi f \left(\frac{x}{c_p} - t \right) \right\} = U \cos \left\{ 2\pi f \left(\frac{nx}{c} - t \right) \right\} \quad (1)$$

โดยที่ U - แอมพลิจูด, f - ความถี่, c - ความเร็วแสง, c_p - ความเร็วเฟส, x - ระยะทาง ดัชนีหักเหของคลื่นสำหรับความถี่ในช่วง VHF ขึ้นไปมีความสัมพันธ์กับกับความถี่ และความหนาแน่นของอิเล็กตรอน N (m^{-3}) นั่นคือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$\psi = \frac{2\pi f}{c} L - \frac{\pi A}{cf} \int N ds + \eta \quad (3)$$

โดยที่ η คือค่า bias ของเฟสในระบบซึ่งไม่ทราบค่า ถ้าให้ $TEC = \int N ds$ ดังนั้น (3) กลายเป็น

$$\psi = \frac{2\pi f}{c} L - \frac{\pi A}{Cf} TEC \quad (4)$$

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

$$\Phi = \frac{\psi_1}{p} - \frac{\psi_2}{q} = \frac{\pi A}{f_r C} \left(\frac{1}{q^2} - \frac{1}{p^2} \right) TEC + \eta \quad (5)$$

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

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{f_{d1}}{p} - \frac{f_{d2}}{q} = \frac{\pi A}{f_r C} \left(\frac{1}{q^2} - \frac{1}{p^2} \right) \frac{d}{dt} TEC \quad (6)$$

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

$$VTEC = STEC \times \cos \chi, \quad (7)$$

โดยที่มุมอะซิมูท χ คำนวณได้จาก

$$\chi = \arcsin \left(\frac{R_E \cos \alpha}{R_E + h} \right), \quad (8)$$

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

$$TEC = (STEC - b_s - b_r) \times \cos \chi, \quad (9)$$

เมื่อ b_r คือค่าประมาณของ bias เครื่องรับจีพีเอส b_s คือค่าประมาณของ bias ดาวเทียมซึ่งได้จากเครือข่าย GEONET มหาวิทยาลัยเกียวโต ซึ่งเป็นเครือข่ายวัดข้อมูลจีพีเอส สร้างขึ้นโดย Geographical Survey Institute (GSI) ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจำนวนมากกว่า 1000 เครื่องติดตั้งทั่วประเทศญี่ปุ่น [Miyazaki et al., 1997] ค่าประมาณของ bias จากเครื่องรับจีพีเอสคำนวณได้หลายวิธีแต่ยังเป็นหัวข้อวิจัยที่ได้รับความสนใจอยู่ในปัจจุบัน โดยมีวิธีการประมาณที่แตกต่างกันระหว่างกรณีที่มีเครื่องรับจำนวนมาก วิธีหนึ่งในการประมาณสำหรับเครื่องรับเครื่องเดียว ทำได้โดยอาศัยการคำนวณความเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำสุด [4] ภาพที่ 2.13 แสดงค่า vertical TEC ที่ได้หลังจากการปรับค่า bias ของเครื่องรับออก จะเห็นว่าค่า TEC ที่ได้จากดาวเทียมแต่ละดวงใกล้เคียงกัน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.13 (ก) ค่า slant TEC และ (ข) ค่า vertical TEC ที่มีการปรับค่าด้วย $b_r = 0.5$ ns

บทที่ 3

ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาเทคนิคของระบบไอโอโนซอนด์แบบดิจิทัลที่กองทัพเรือใช้งาน

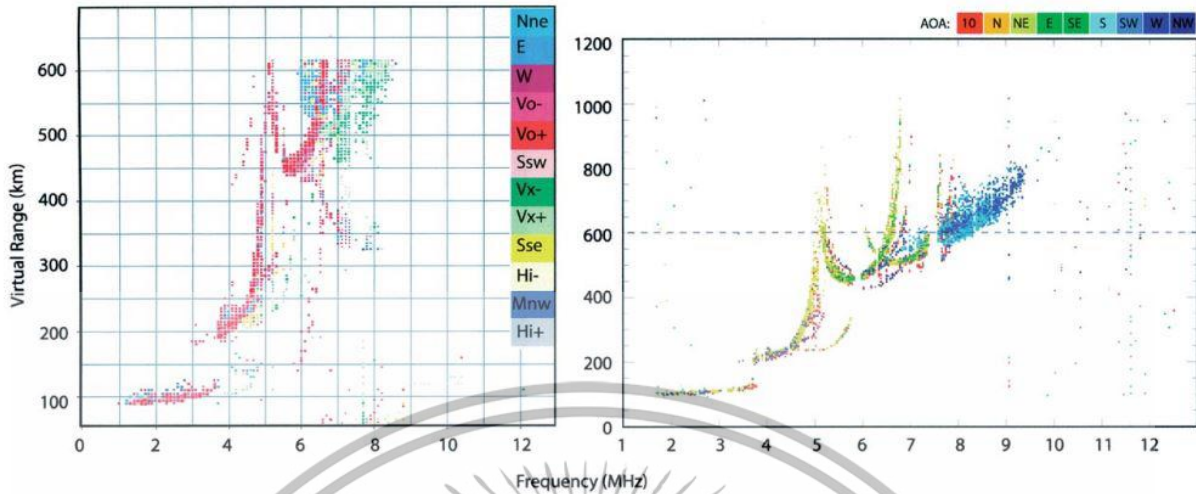
อุปกรณ์ของระบบไอโอโนซอนด์ประกอบด้วยเครื่องส่ง และเครื่องรับสัญญาณในช่วย HF โดยสามารถส่งสัญญาณแนวตั้ง หรือแนวเฉียงก็ได้ สำหรับกองทัพเรือ และที่สถานีชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นั้นจะทำการสังเกตการณ์ค่าและชั้นบรรยากาศไอโอสเฟียร์ โดยส่งสัญญาณแนวตั้งเท่านั้น

ในปัจจุบัน ทางกองทัพเรือ และทางมีการใช้งานอุปกรณ์ไอโอโนซอนด์ ที่แตกต่างกับที่สถานีชุมพร โดยทางกองทัพเรือใช้ระบบไอโอโนซอนด์แบบดิจิทัล CADI จากประเทศแคนาดา แต่ที่สถานีชุมพร ใช้ระบบ FMCW ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของระบบ CADI เปรียบเทียบกับระบบ DPS-4

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์เครื่องไอโอโนซอนด์ชนิด CADI

ค่าสำคัญ	DPS-4	CADI
Tx power/antenna	2x150 W/cross-rhombic	1x600 W/single-delta
Rx antenna	Corss-loop	Slope-dipole
Tx polarization	Elliptical left or right	Linear
Rx polarization	Circular left or right	Linear
Interferometer	Equilateral triangle 60 m	Square 20x20 m
Max PRF	200 Hz	40 Hz
Min PRF	50 Hz/N multiplexed	40 Hz/N averaged
Height resolution	2.5, 5, 10 km	3 km
Frequency range	1-40 MHz	1-20 MHz

ในระบบ CADI นั้น ตัวอย่างรูปไอโอโนแกรม (Ionogram) ที่วัดสัญญาณความถี่ในช่วง HF สะท้อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์นั้น จะแสดงดังภาพที่ 3.1 อย่างไรก็ดี ทางกองทัพเรือไม่ได้จัดซื้อซอฟต์แวร์ในการอ่านค่าต่างๆ



ภาพที่ 3.1 ภาพไอโอโนแกรมจากเครื่อง CADI

ภาพที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ติดตั้งที่สถานีชุมพร และ จังหวัดชลบุรี ตามลำดับ

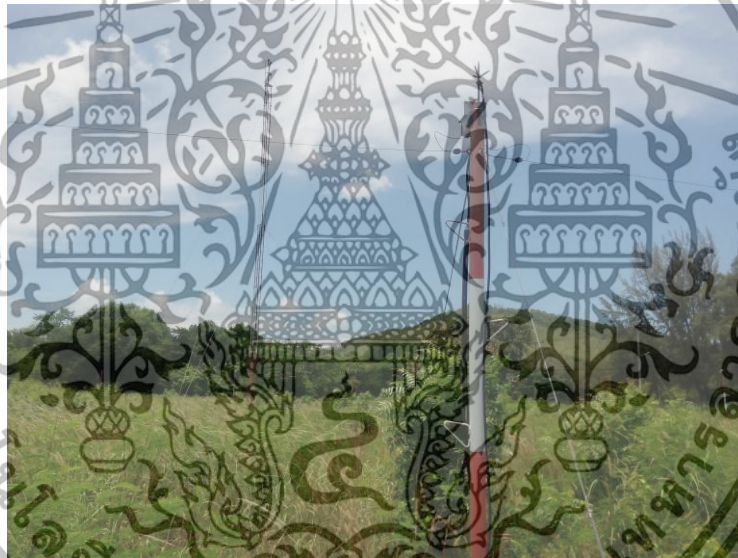


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



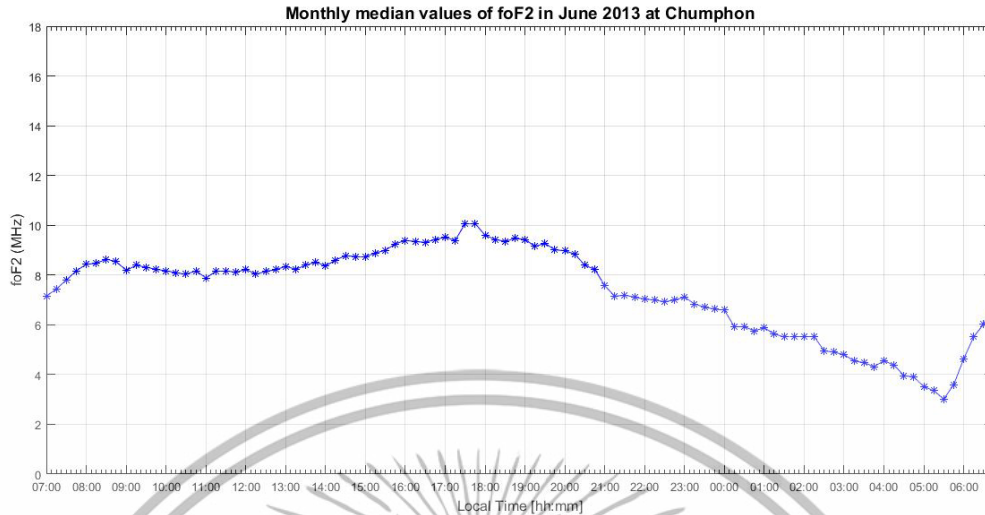
(ค)

ภาพที่ 3.2 (ก) ที่ตั้งสายอากาศสถานีชุมพร (ข) พื้นที่ตั้งเครื่องรับ-ส่งที่สถานีชลบุรี (กองทัพเรือ) และ (ค) ที่ตั้งสายอากาศสถานีชลบุรี (กองทัพเรือ)

3.2 ผลการศึกษาสถิติการเกิดสเปรดเอฟ

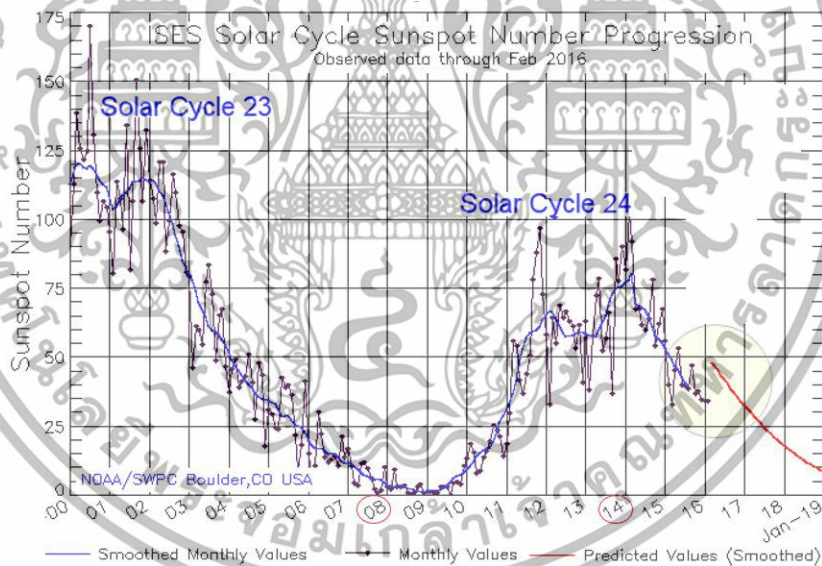
ในช่วงที่ผ่านมาได้ทำการวิเคราะห์ค่าความถี่วิกฤต foF2 และ Spread F ที่สถานีชุมพร โดยทำการเปรียบเทียบในช่วงปี 2008 (Low solar activity) และ 2013 (High solar activity) ตามลำดับ รูปที่ 3.3 แสดงค่ามัธยฐานรายเดือน (monthly median) สำหรับ foF2 ของเดือนมิถุนายน 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



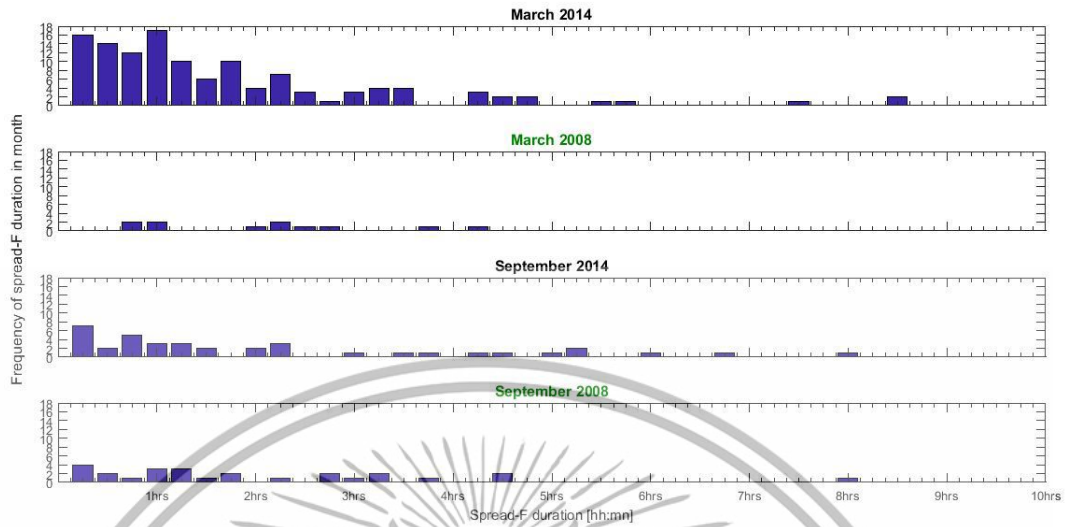
ภาพที่ 3.3 ค่า foF2 ที่สถานีชุมพร เดือนมิถุนายน ปี 2013

ภาพที่ 3.4 แสดง Sunspot number ของปี 2008 และปี 2013 ตามลำดับ



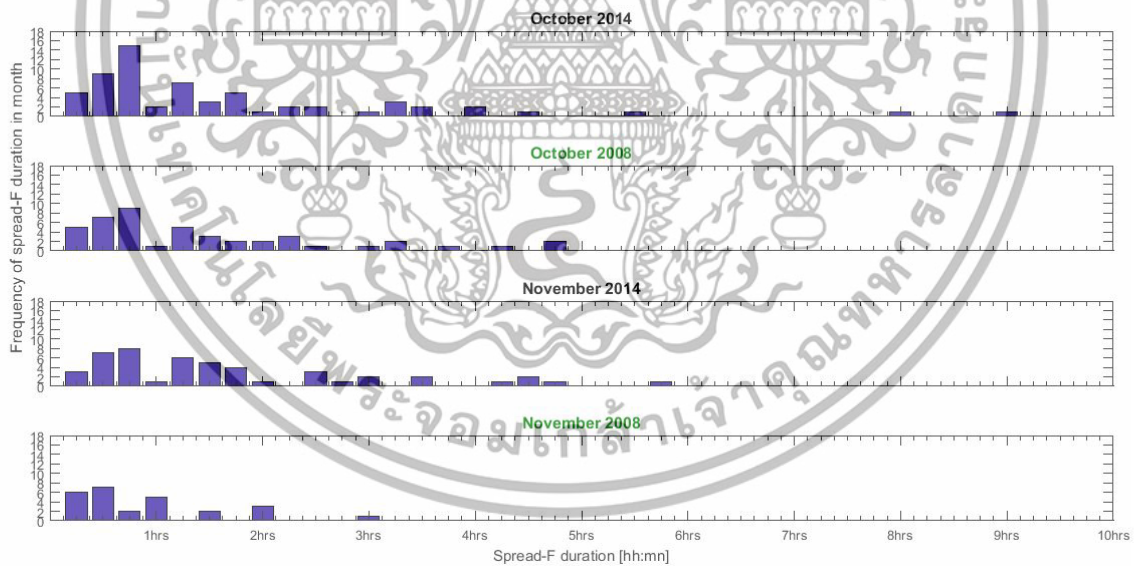
ภาพที่ 3.4 ค่า Sunspot ปี 2008 และ ปี 2013

สำหรับค่า Spread F ในปี 2008 และปี 2013 นั้นแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยปี 2008 เป็นช่วง low solar activity แต่ปี 2014 เป็นช่วง high solar activity โดยเห็นได้ชัดเจนว่าในปี 2014 นั้นการเกิดสเปรดเอฟ มีสูงกว่าในปี 2008 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนมีนาคม สำหรับเดือนกันยายนั้นการเกิด สเปรดเอฟจะมีค่าน้อยกว่าเดือนมีนาคม โดยส่วนใหญ่แล้วระยะเวลาการเกิดสเปรดเอฟอยู่ในช่วง 1-3 ชั่วโมง



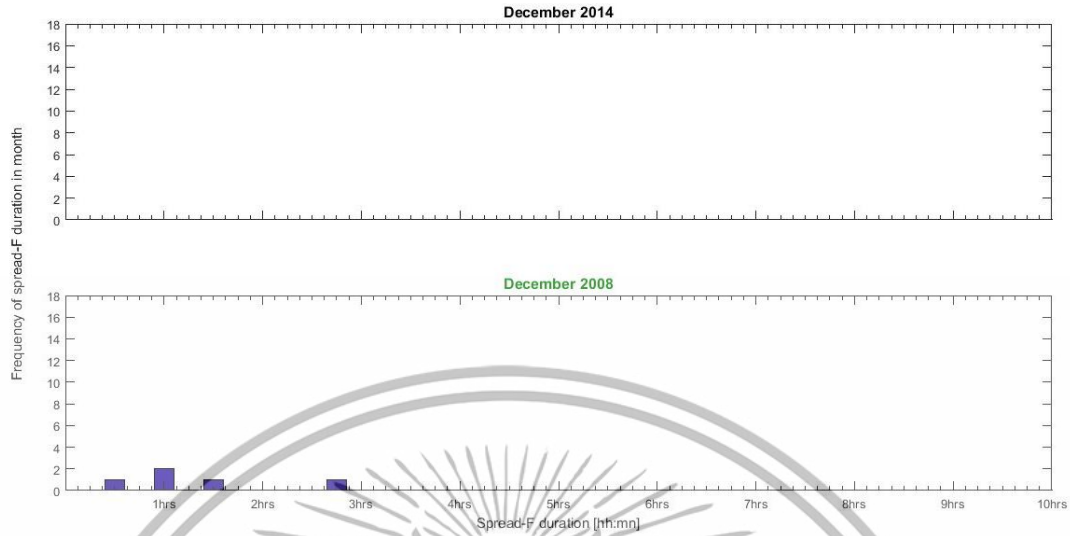
ภาพที่ 3.5 สถิติการเกิดสเปรดเอฟในเดือนมีนาคม และกันยายน ปี 2008 และ 2014

ภาพที่ 3.6 แสดงสถิติของสเปรดเอฟในเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน ปี 2008 และ ปี 2014 โดยพบว่าการเกิดสเปรดเอฟในเดือนตุลาคม มากกว่าเดือนพฤศจิกายนในทั้ง 2 ปี



ภาพที่ 3.6 สถิติการเกิดสเปรดเอฟในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายนปี 2008 และ 2014

ภาพที่ 3.7 แสดงสถิติการเกิดสเปรดเอฟในเดือนธันวาคม ปี 2008 และ 2014 จะเห็นว่าการเกิดน้อยมากเมื่อเทียบกับการเกิดในเดือนอื่นๆ โดยไม่เกิดสเปรดเอฟในปี 2014 เลย

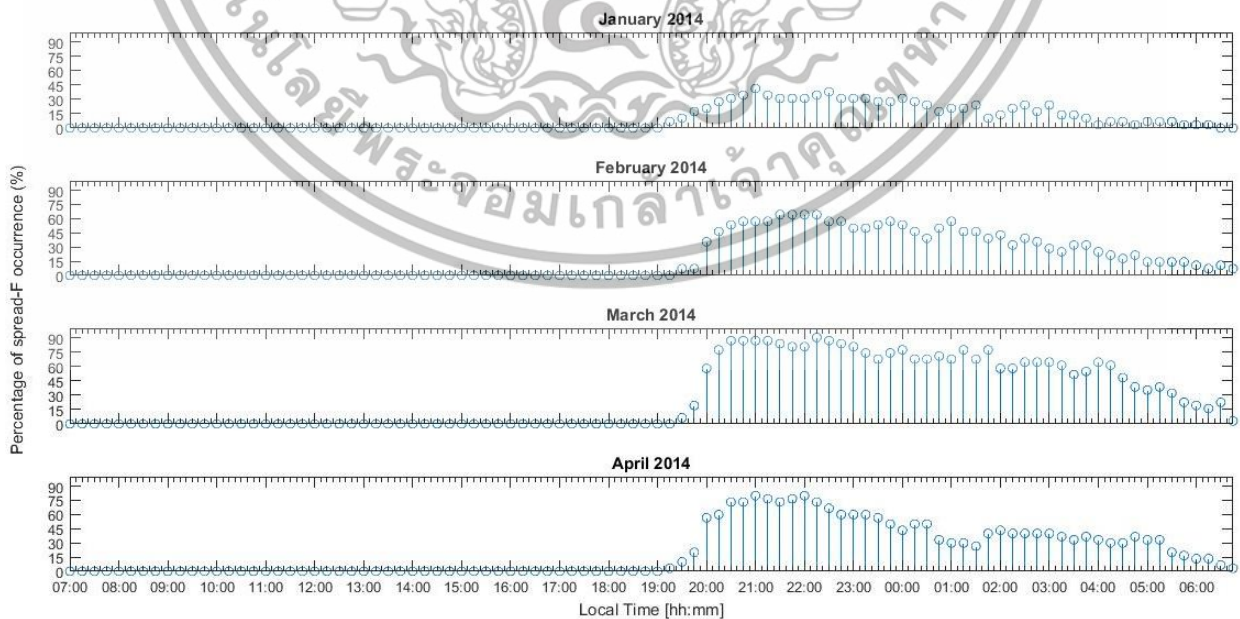


ภาพที่ 3.7 สถิติการเกิดสเปรดเอฟในเดือนธันวาคมปี 2008 และ 2014

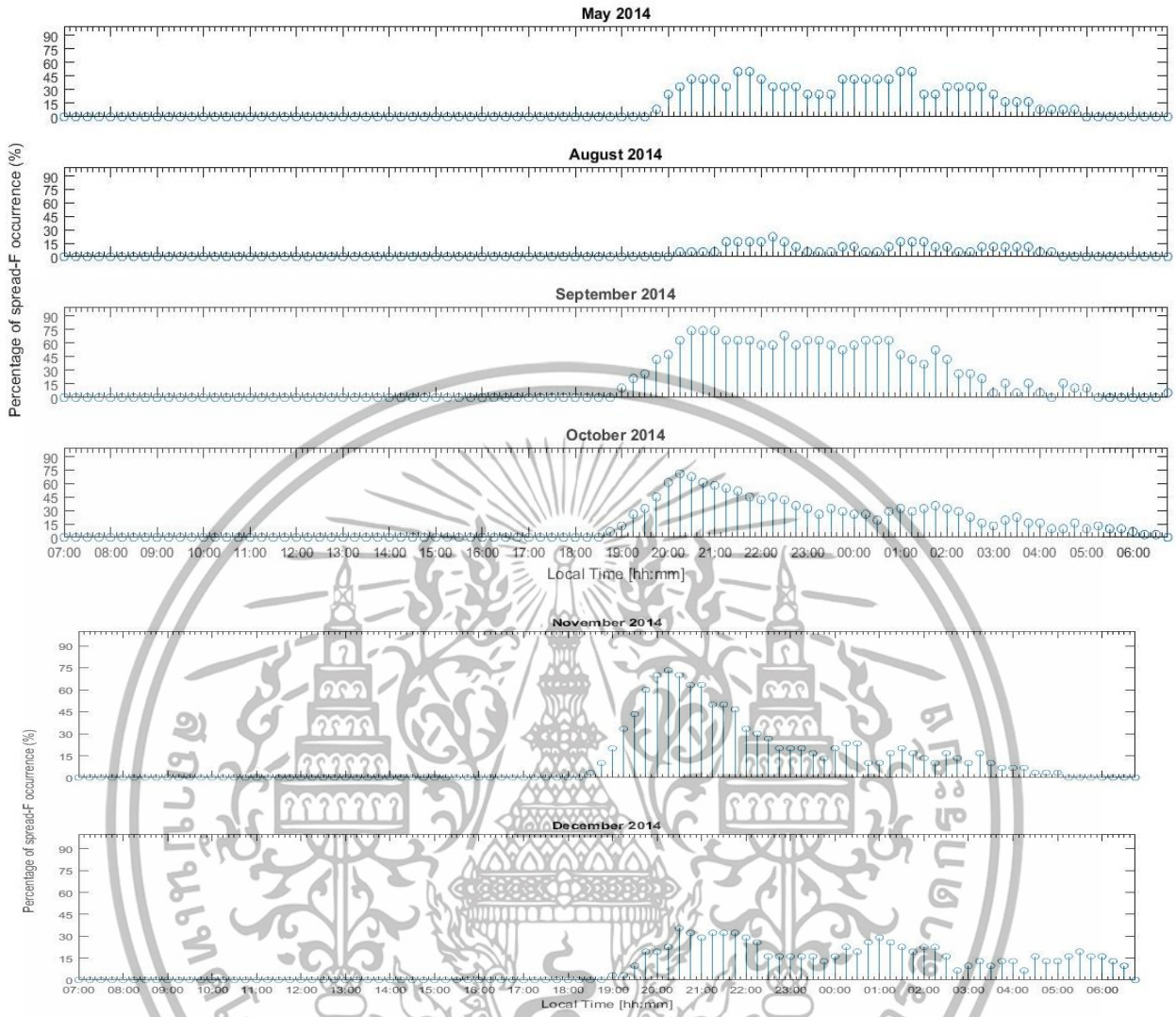
สำหรับช่วงเวลากการเกิดสเปรดเอฟสูงสุดในแต่ละเดือนได้แก่

- เดือนมีนาคม ระยะเวลา 8 ชั่วโมงครึ่ง
- เดือนกันยายน ระยะเวลา 8 ชั่วโมง
- เดือนตุลาคม ระยะเวลา 9 ชั่วโมง
- เดือนพฤศจิกายน ระยะเวลา 5.45 ชั่วโมง

ภาพที่ 3.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดสเปรดเอฟในแต่ละเดือนในปี 2014

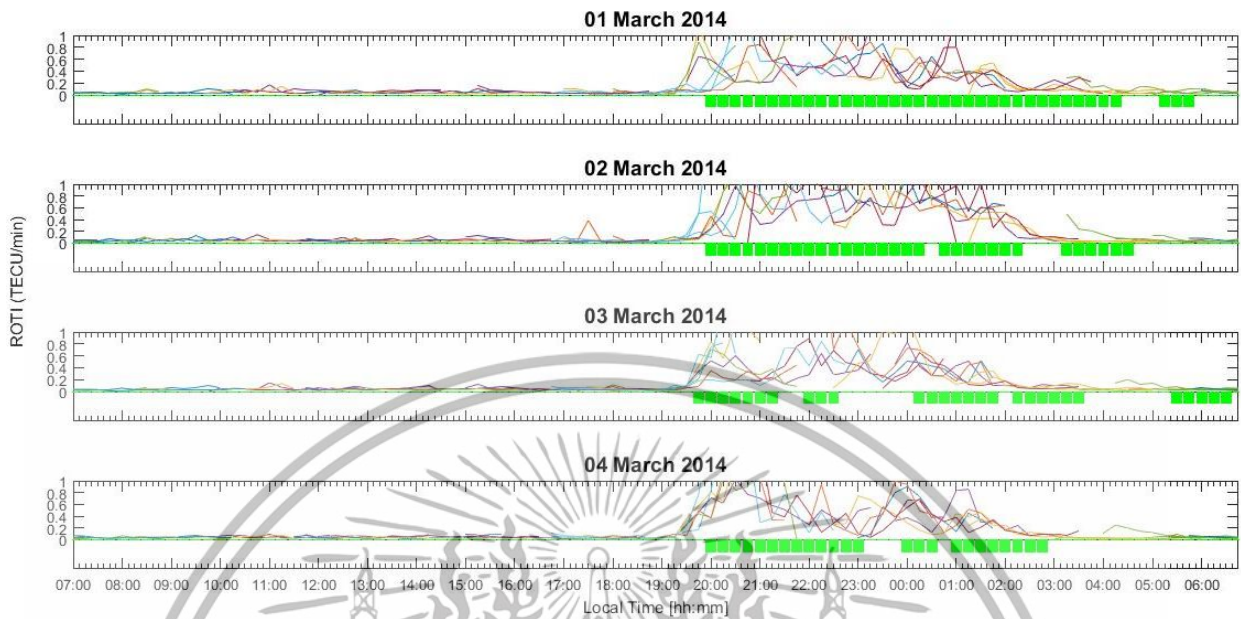


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



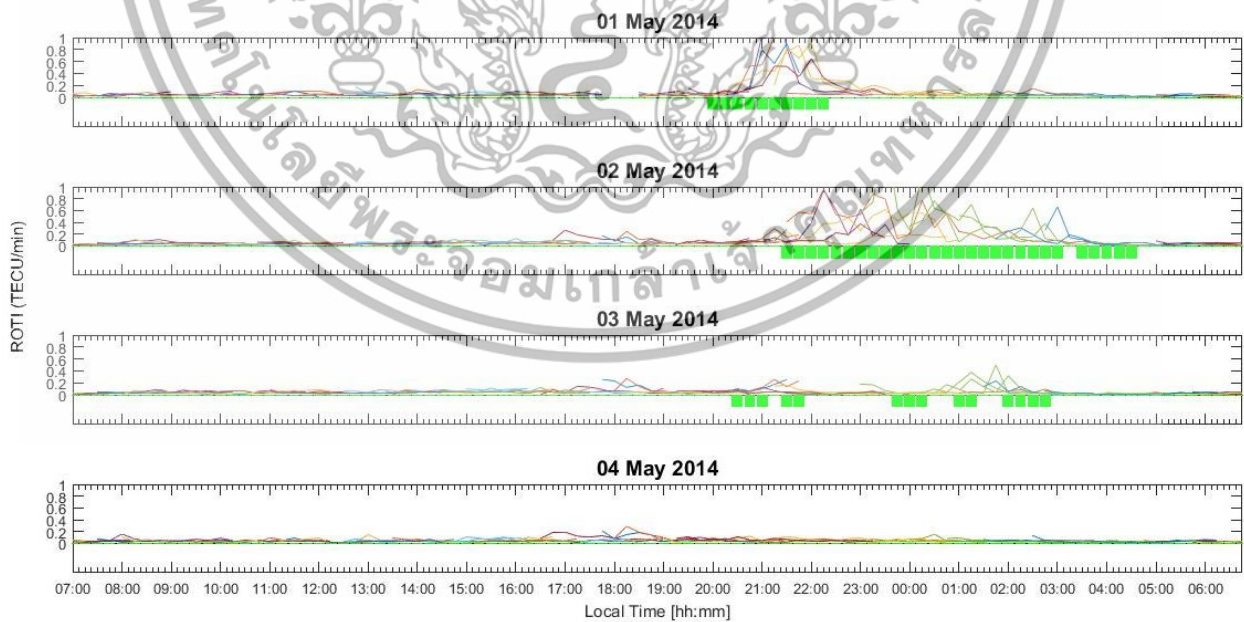
ภาพที่ 3.8 เปอร์เซนต์การเกิดสเปรดเอฟในแต่ละเดือนในปี 2014

ภาพที่ 3.9 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบการเกิดสเปรดเอฟ กับค่า ROTI ในวันที่ 1 ถึง 4 มีนาคม ปี 2014 โดยพบว่า การเกิดสเปรดเอฟมักจะเกิดหลังจากที่ค่า ROTI ที่กระโดดสูงขึ้น ในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 06.00 น. โดยหลังจากที่ค่า ROTI ลดลงแล้ว ก็ยังพบว่าเกิดสเปรดเอฟต่อไปอีกระยะหนึ่ง



ภาพที่ 3.9 การเปรียบเทียบการเกิดสเปรดเอฟ กับค่า ROTI ในวันที่ 1 ถึง 4 มีนาคม ปี 2014

ภาพที่ 3.10 แสดงผลในทำนองเดียวกันสำหรับบางวันในเดือนพฤษภาคม 2014 จะพบว่าเมื่อไม่มีความผิดปกติในชั้นไอโอโซเฟียร์ การเกิดสเปรดเอฟก็จะลดลงด้วยเช่นกัน โดยในวันที่ 4 พฤษภาคม นั้น ค่า ROTI ต่ำมากและไม่มีความผิดปกติใดๆ



ภาพที่ 3.10 การเปรียบเทียบการเกิดสเปรดเอฟ กับค่า ROTI ในวันที่ 1 ถึง 4 พฤษภาคม ปี 2014

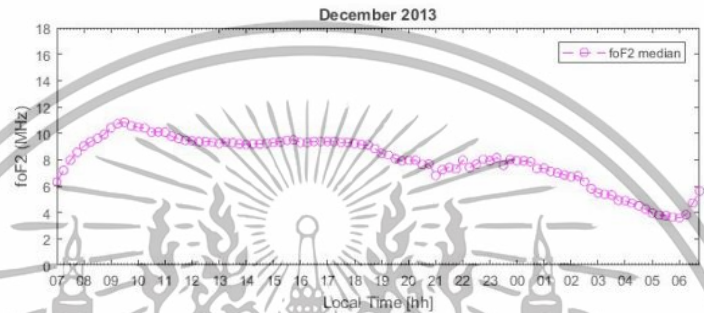
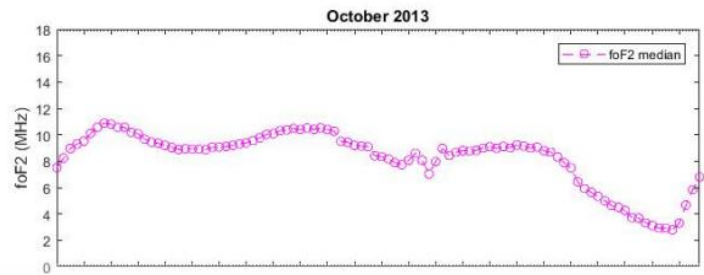
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ผลการศึกษาความถี่วิกฤตชั้นเอฟ (foF2) และความสูงชั้นเอฟ (h'F)

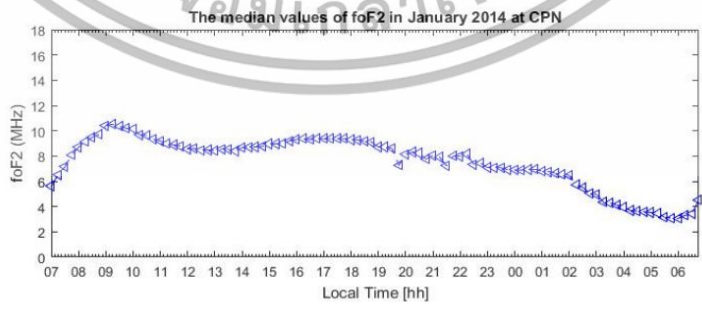
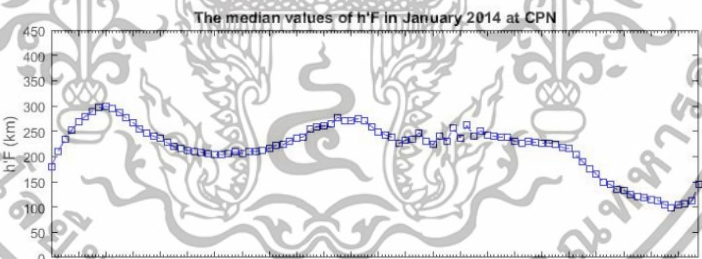
ในการศึกษาความถี่วิกฤตชั้นเอฟ (foF2) และความสูงชั้นเอฟ (h'F) นั้นได้จากสเกลค่าบนภาพไอโอโนแกรม ซึ่งได้รับทุกๆ 15 นาที ภาพที่ 3.11 และภาพที่ 3.12 แสดงค่าที่ได้ในเดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ปี 2013 โดยพบว่าค่า h'F มักจะยกตัวสูงขึ้นในช่วงเช้า เย็น และเวลาเที่ยงคืน หลังจากเวลาเที่ยงคืนมักจะลดลงจนถึงช่วงเช้าตรู่ ค่าต่ำสุดเท่ากับ 100 km และค่าสูงสุดเท่ากับ 320 km โดยมีความแปรปรวนในเดือนตุลาคมมากกว่าเดือนธันวาคม ทั้งนี้เนื่องจากเดือนตุลาคมอยู่ในช่วงอิควิน็อกซ์ ในภาพที่ 3.12 พบว่าค่า foF2 มีลักษณะคล้ายคลึงกับ h'F มักจะลดลงจนถึงช่วงเช้าตรู่ ค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 MHz และค่าสูงสุดเท่ากับ 11 MHz



ภาพที่ 3.11 ค่า h'F ในเดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ปี 2013



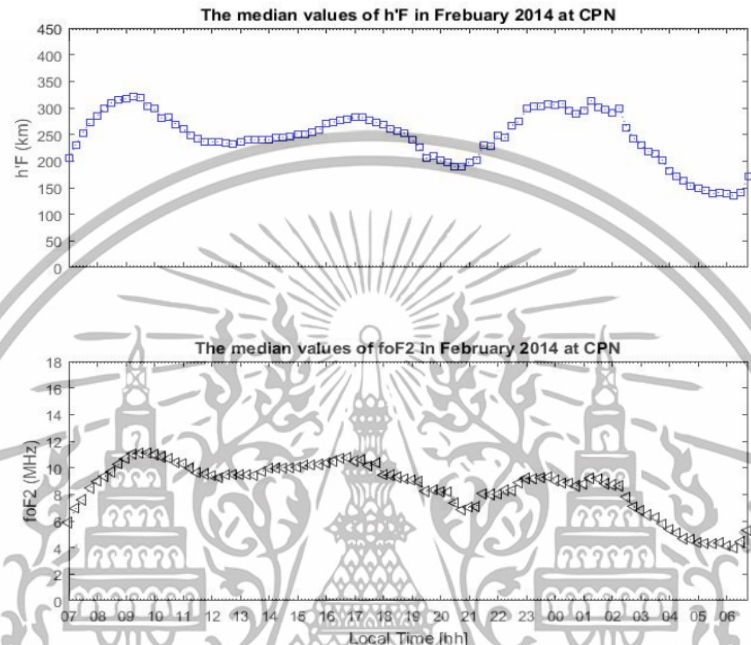
ภาพที่ 3.12 ค่า foF2 ในเดือนตุลาคม และเดือนธันวาคม ปี 2013



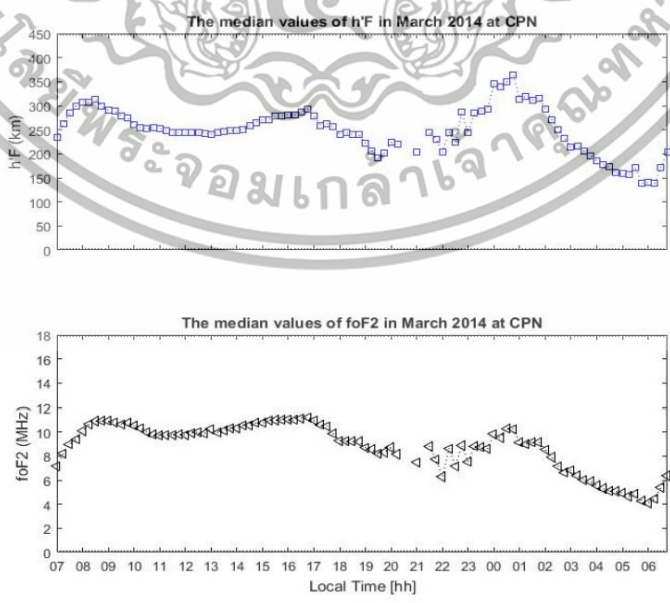
ภาพที่ 3.13 ค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร เดือนมกราคม ปี 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.13 ถึง 3.15 ทำการเปรียบเทียบค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร ในเดือนมกราคมถึงเดือน มีนาคม ปี 2014 โดยพบว่ามีความแปรปรวนในช่วงเวลาประมาณ 20.00 LT ในเดือนมีนาคม มีความแปรปรวน สูงสุด ค่า h'F สูงสุดในเดือนมีนาคมเกือบถึง 350 km

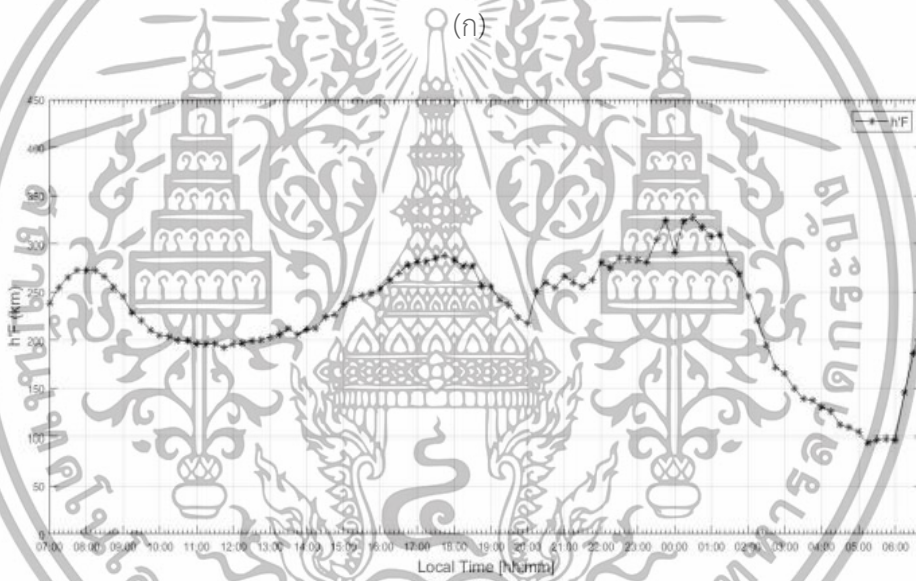
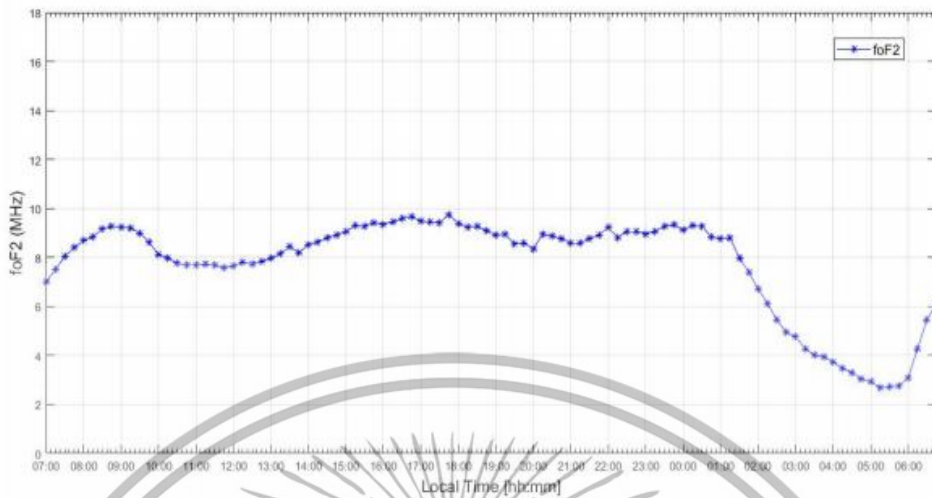


ภาพที่ 3.14 ค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร เดือนกุมภาพันธ์ ปี 2014



ภาพที่ 3.15 ค่า foF2 และ h'F ที่สถานีชุมพร เดือนมีนาคมปี 2014

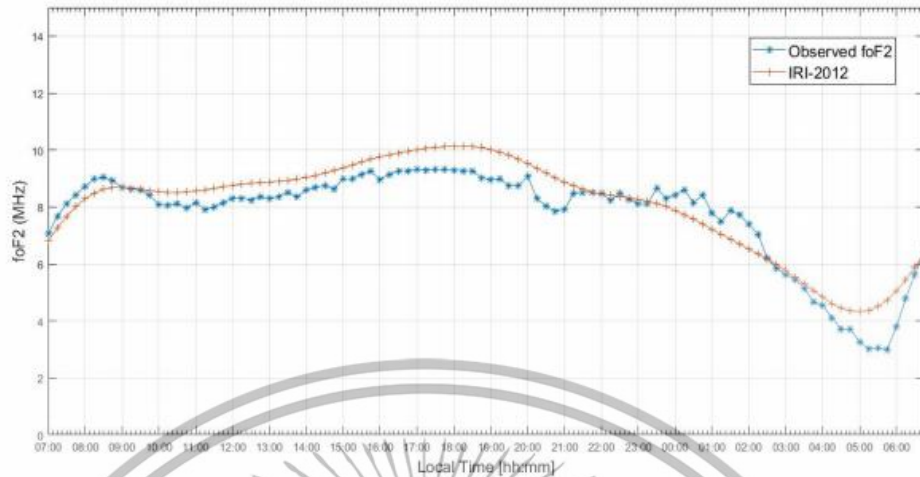
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.16 (ก) ค่า foF2 และ (ข) ค่า h'F ที่สถานีชุมพร เดือนกันยายนปี 2013

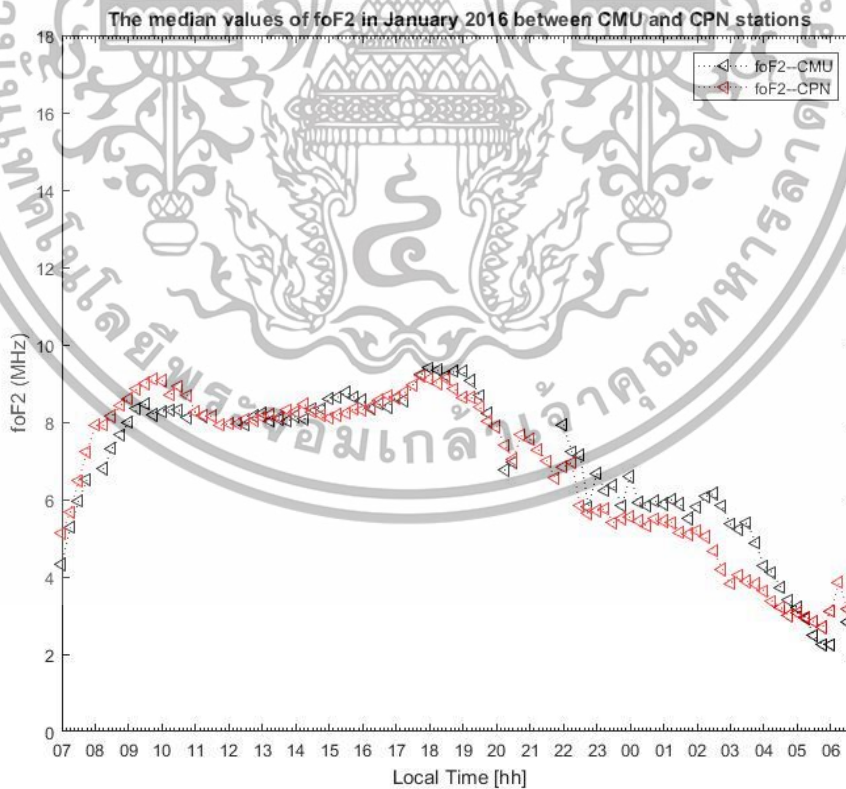
ภาพที่ 3.16 แสดงค่า foF2 และ ค่า h'F ที่สถานีชุมพร ในเดือนกันยายนปี 2013 พบว่าค่า foF2 สูงสุดเกิดขึ้นที่เวลาประมาณ 1700 LT เท่ากับ 9.6 MHz มีการลดค่าอย่างรวดเร็วหลังจากเวลา 01.00 LT สำหรับ h'F นั้น ที่เวลาประมาณ 1700 LT มีค่าเท่ากับ 275 km โดยมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณเที่ยงคืน หลังจากนั้นมีการลดค่าลงอย่างรวดเร็วไปที่ 100 km เลยทีเดียว ในเวลา 3 ชั่วโมงครึ่ง

ภาพที่ 3.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า foF2 ที่วัดได้และจากแบบจำลอง IRI 2012 ที่สถานีชุมพร เดือนสิงหาคมปี 2013 พบว่าแบบจำลอง IRI-2012 ให้ค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ในช่วงเย็นและเช้านี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



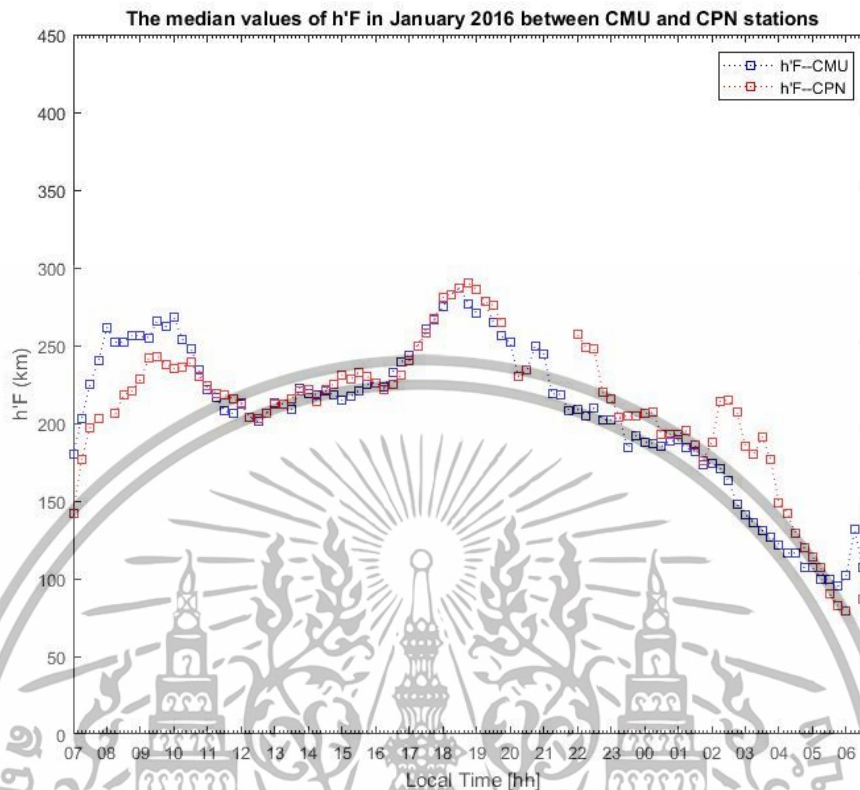
ภาพที่ 3.17 ค่า foF2 ที่วัดได้และจากแบบจำลอง IRI 2012 ที่สถานีชุมพร เดือนสิงหาคมปี 2013

ภาพที่ 3.18 แสดงการเปรียบเทียบค่า foF2 ที่สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ ปี 2016 โดยพบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่ค่า foF2 ที่สถานีชุมพรมีค่าสูงกว่าในช่วงเช้าตรู่ และมีค่าต่ำกว่าในช่วงค่ำ ตามลำดับ



ภาพที่ 3.18 การเปรียบเทียบค่า foF2 ที่สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ เดือนมกราคม ปี 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



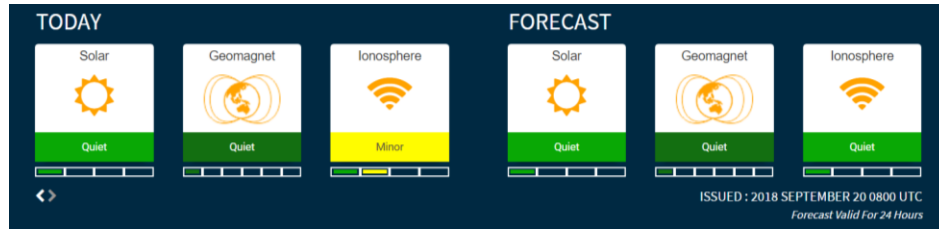
ภาพที่ 3.19 การเปรียบเทียบค่า $h'F$ ที่สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ ในเดือนมกราคม ปี 2016

ภาพที่ 3.19 แสดงการเปรียบเทียบค่า $h'F$ ที่สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ ในเดือนมกราคม ปี 2016 โดยพบว่ามีความใกล้เคียงกัน แต่ค่า $h'F$ ที่สถานีชุมพรมีค่าสูงกว่าในช่วงหลังเที่ยงคืน และมีค่าต่ำกว่าในช่วงเช้าตรู่ตามลำดับ

3.4 การประยุกต์ใช้พารามิเตอร์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สำหรับผู้ใช้งาน

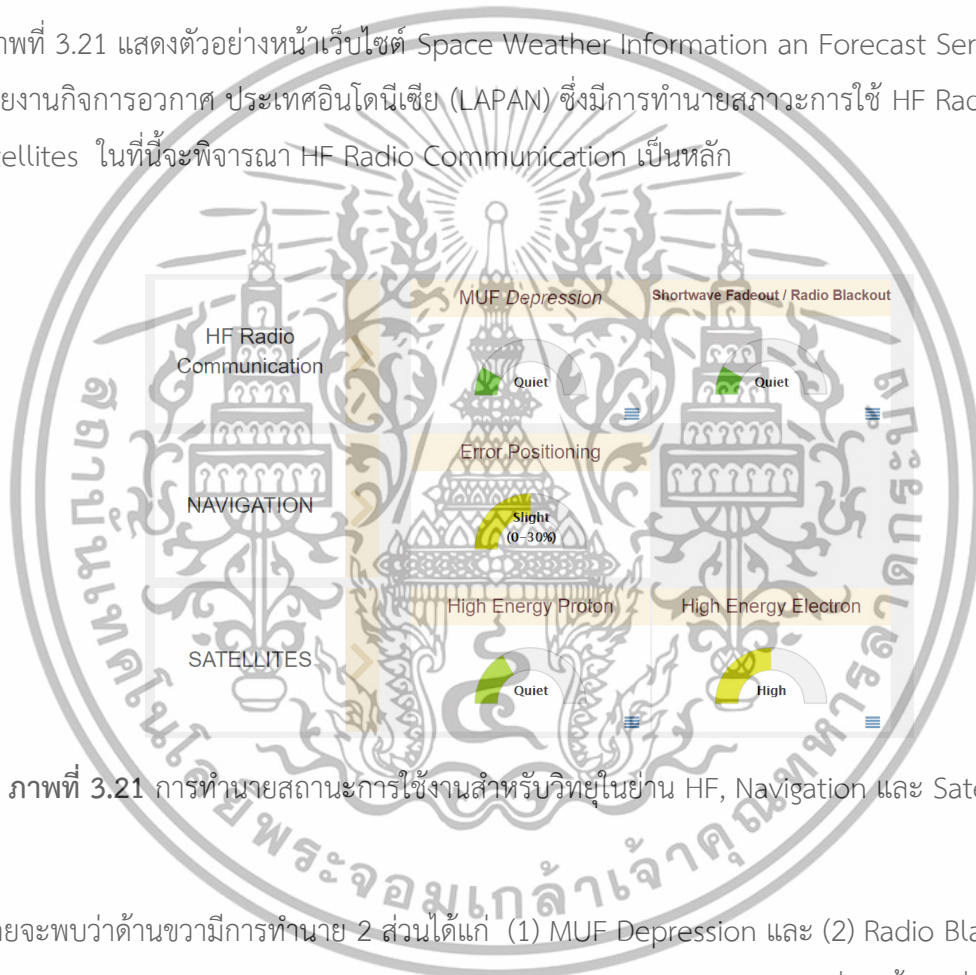
ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ของพารามิเตอร์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ความถี่วิกฤต (f_oF_2) ความถี่ใช้งานสูงสุด (MUF) เป็นต้น เพื่อประโยชน์ผู้ใช้งานย่านความถี่สูง (HF) เช่น กองทัพอากาศ การบินพลเรือน เรือประมง เป็นต้น ภาพที่ 3.20 แสดงสถานะอวกาศในส่วน Solar Geomagnetic และ Ionosphere ของวันนี้ (วันที่ 25 กันยายน 2018) และค่าที่ทำนายสำหรับอีก 24 ชั่วโมงข้างหน้า โดยในวันนี้มีระดับ minor หมายความว่า มีค่า f_oF_2 ที่ระดับ 30% ต่ำกว่าค่ามัธยฐาน (median) ย้อนหลัง 27 วัน และมีค่า f_{min} ในระดับที่สูงกว่าค่ามัธยฐานเท่ากับ 30% นอกจากนี้พบว่าเหตุการณ์สเปรดเอฟพินเวลา 30 นาที และมีเหตุการณ์ Sporadic E เกิดขึ้นในเวลากลางวันและกลางคืนอีกด้วย พบว่ามีค่าเฉลี่ย W-index เท่ากับ 3 และดัชนี S_4 แสดงเหตุการณ์ซินทิเลชัน ต่ำกว่า 0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.20 สถานะอวกาศในส่วน Solar Geomagnetic และ Ionosphere ของวันนี้ และค่าที่ทำนาย

ภาพที่ 3.21 แสดงตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ Space Weather Information and Forecast Services (SWIFTS) ของหน่วยงานกิจการอวกาศ ประเทศอินโดนีเซีย (LAPAN) ซึ่งมีการทำนายสถานะการใช้ HF Radio, Navigation และ Satellites ในที่นี้จะพิจารณา HF Radio Communication เป็นหลัก



ภาพที่ 3.21 การทำนายสถานะการใช้งานสำหรับวิทยุในย่าน HF, Navigation และ Satellites

โดยจะพบว่าด้านขวามีการทำนาย 2 ส่วนได้แก่ (1) MUF Depression และ (2) Radio Blackout สำหรับ MUF Depression เป็นวัดค่า Maximum Usable Frequency (MUF) ที่เกิดขึ้นจะต่ำกว่าค่ามัธยฐานหรือไม่

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในโครงการวิจัยนี้ ทีมวิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย โดยมีผลการดำเนินงานคือ ได้ทำการสำรวจสถานีไอโอโนซอนด์ของกองทัพเรือ ที่จังหวัดชลบุรี ซึ่งพบว่าทางกองทัพเรือมีการติดตั้งสถานีไอโอโนซอนด์แบบดิจิทัลจำนวน 2 สถานี ที่จังหวัดชลบุรี และจังหวัดพังงา แต่ที่ไม่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งขาดซอฟต์แวร์ในการประมวลผลภาพไอโอโนแกรมที่ได้ สำหรับการวิเคราะห์สถิติการเกิดสเปรดเอฟ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากสถานีชุมพร ในช่วงปี 2008 2013 และ 2014 พบว่าอัตราการเกิดสเปรดเอฟพบมากในช่วงเดือนมีนาคม และเดือนกันยายน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่า ROTI พบว่ามักจะเกิดหลังจากที่ค่า ROTI เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนค่า foF2 และ h'F ได้ทำการศึกษาในช่วงปี 2013, 2014 และ 2016 พบว่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงกลางวัน จนถึงค่าสูงสุดที่เวลาประมาณ 1700 LT โดยหลังจากเวลาเที่ยงคืนมีการลดค่าลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง IRI 2012 พบว่ายังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ประมาณ 1-2 MHz ในช่วงเวลากลางวัน และหลัง 2200 LT ผลลัพธ์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานในย่านความถี่สูง (HF) ในอนาคต

บทที่ 5

สรุปผลผลิตงานวิจัย

ในบทนี้ทำการสรุปผลผลิตงานวิจัยที่ได้รับจากโครงการวิจัยนี้ ได้แก่ บทความวิชาการในการประชุมวิชาการ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการทั้งหมด

5.1.1. บทความวิชาการในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ (ที่มี Impact Factor) จำนวน 4 ฉบับ
ไม่มี

5.1.2 บทความวิชาการในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ จำนวน 2 ฉบับ

- 1) P. Thammavongsy , P. Supnithi, W. Phakphisut, "A Preliminary Neural Network Model for Range Spread-F Events at Chumphon Station, Thailand," ISCIT 2018, Bangkok, Thailand, 2018.
- 2) N.Tonkasem, P. Supnithi and W.Phakphisut, "New Receiver Bias Calculation for Total Electron Content (TEC), in Bangkok, Thailand," ECTI-CON 2018, Chiangrai, Thailand, 18-21 July, 2018.

5.1.3 แหล่งทุน/ความช่วยเหลือจากภายนอก

- ทุนวิจัยจาก National Institute of Informaiton and Communication Technology (NICT) ประเทศญี่ปุ่น

บรรณานุกรม

- [1] T. Maruyama, **Science of Space Environment.** Tadanori Ondoh and KatsushideMarubashi 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. Leelarujij, N. Hemmakorn, "Observation of ionospheric height changes at Chumphon near the magnetic equator" ICICS Conference, pp. 1169-1172, 2005.
- [20] V. Yamvinij, N. Hemmakorn, N. leelarujij, 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. Mä and T. Maruyama, "Derivation of TEC and estimation of instrumental biases from GEONET in Japan", *Ann. Geophys.* Vol. 21 , pp2083-2093.
- [23] P. Kenpankho, K. Watthanasangmechai, P.Supnithi, "Solar and Latitude Dependence of TEC in Thailand," *Proceeding. ISAP.*, 2009.
- [24] 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.

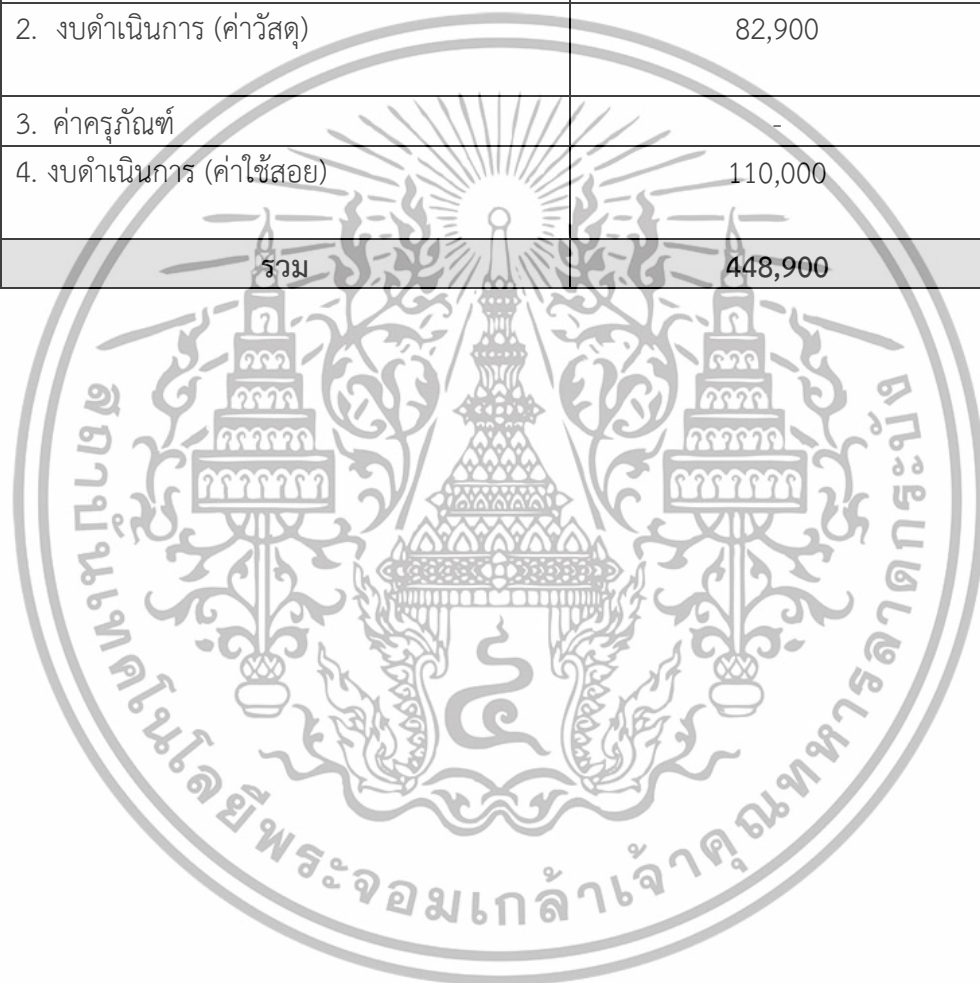


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานโครงการวิจัย

รายการ	จำนวนเงิน
	จำนวนเงิน
1. งบบุคลากร	256,000
2. งบดำเนินการ (ค่าวัสดุ)	82,900
3. ค่าครุภัณฑ์	-
4. งบดำเนินการ (ค่าใช้สอย)	110,000
รวม	448,900



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

(ตามแนบ)

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ก..การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- 1) P. Thammavongsy, P. Supnithi, W. Phakphisut, "A Preliminary Neural Network Model for Range Spread-F Events at Chumphon Station, Thailand," ISCIT 2018, Bangkok, Thailand, 2018.
- 2) N.Tonkasem, P. Supnithi and W.Phakphisut, "New Receiver Bias Calculation for Total Electron Content (TEC), in Bangkok, Thailand," ECTI-CON 2018, Chiangrai, Thailand, 18-21 July, 2018.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ นายพรชัย ทรัพย์นิธิ Mr. Pornchai Supnithi
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1015 02028 22 4
3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
4. สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ลาดกระบัง กทม. 10520 โทรศัพท์ 081-618-5151 อีเมล ksupornc@kmitl.ac.th
เว็บไซต์ <http://www.kmitl.ac.th/~ksupornc/index.htm>
5. 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
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Atmospheric Study, Communication System, Signal Processing, Error Correction Codes
7. 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 Mobile Communication 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 Technology 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 Cryptosystem with FPGA	6	1 year (2005)	Leader

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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. ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
9. มูลนิธิโทรแห่งประเทศไทย

เอกสารวิชาการ - วารสารวิชาการ

1. Y. Suppakun, 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 Pseu-do 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 Fadings 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 นางสาวใจ กลิ่นงาม Mrs. Somjai Klinngam
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 3020 00105 39 6
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กทม. 10220
โทรศัพท์ 089-124-3589 อีเมล somjai.klinngam.g@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา

วศ.บ. (วิศวกรรมโทรคมนาคม) 2542	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
วศ.ม. (วิศวกรรมโทรคมนาคม) 2550	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วศ.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า)	กำลังศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารวิชาการและงานประชุมวิชาการ

1. Athiwat Chiablaem, Pornchai Supnithi, **Somjai Klinngam**, Chaiwat Panachart, Apithep Saekow, Prasert Kenpankho, Kornyanat Watthanasangmechai, Tatsuhiro, Takuya Tsugawa and Mamoru Ishii, "Estimation of the single GPS-receiver bias using the gradient descent algorithm," **International Conference on the Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2016)**, Chiang Mai, June 28 – July 1, 2016.
2. **Somjai Klinngam**, Pornchai Supnithi, Sarawoot Rungraengwajake, Takuya Tsugawa, Mamoru Ishii and Takashi Maruyama, "The occurrence of equatorial spread-F at conjugate stations in Southeast Asia," **Advances in Space Research**, vol. 55, pp. 2139-2147, 2015.
3. **Somjai Klinngam**, Pornchai Supnithi, Athiwat Chiablaem, Takuya Tsugawa, Mamoru Ishii and Takashi Maruyama, "Data Assimilation for Regional TEC Estimation and Mapping over Thailand," **International Reference Ionosphere (IRI) 2105 Workshop**, Bangkok, Thailand, November 2-13, 2015.
4. **Somjai Klinngam**, Pornchai Supnithi, Takuya Tsugawa, Mamoru Ishii and Takashi Maruyama, "Solar Activity Variation of Equatorial Spread-F Observed in Thailand," **International Technical Conference on Circuit/Systems Computer and Communications (ITC-CSCC 2014)**, Phuket, Thailand, July 1-4, 2014.
5. **Somjai Klinngam**, Pornchai Supnithi, Narongsak Manositthichai, Kasemsuk Sepsirisuk, Takuya Tsugawa and Takashi Maruyama, "The Statistics of Equatorial Spread-F at the Conjugate Stations in Southeast Asia," **Joint International Conference on Information and Communication Technology, Electronic and Electrical Engineering (JICTEE2014)**, Chiang Rai, Thailand, March 5-8, 2014.

6. **Somjai Klinngam**, Pornchai Supnithi, Sunti Tuntrakool, Takuya Tsugawa, Takashi Maruyama and Tsutomu Nagatsuma “The Occurrence of Equatorial Spread-F at the Conjugate Stations in Southeast Asia,” **International Reference Ionosphere (IRI) 2013 Workshop**, Olsztyn, Poland, June 24-28, 2013.
7. **Somjai Jantarantai** and Pornchai Supnithi, “The Effect of Nonlinear Blanking to Impulsive Noise Cancellation in OFDM Systems,” **International Conference on the Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2006)**, Ubon Ratchathani, Thailand, May 10-13, 2006.
8. **Somjai Jantarantai** and Pornchai Supnithi, “Improved Iterative Detector for OFDM Communication Systems with Impulsive Noise,” **International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2005)**, Beijing, China, 2005.

