

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูง และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศ
ไอโอโนสเฟียร์ ณ สถานีวัดชุมพร ประเทศไทย

STUDY OF HEIGHT FLUCTUATION AND CRITICAL FREQUENCY OF
IONOSPHERE AT CHUMPON STATION THAILAND

วิภู ยามวินิจ
VIPHU YAMVINIJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-145

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูง และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศ
ไอโอโนสเฟียร์ ณ สถานีวัดชุมพร ประเทศไทย

STUDY OF HEIGHT FLUCTUATION AND CRITICAL FREQUENCY OF
IONOSPHERE AT CHUMPON STATION THAILAND



วิภู ยามวินิจ

VIPHU YAMVINIJ

เลขหมู่.....82878
เลขทะเบียน.....25 ก.ค. 2551
วัน,เดือน,ปี.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008 EN M-010-145

**STUDY OF HEIGHT FLUCTUATION AND CRITICAL FREQUENCY OF
IONOSPHERE AT CHUMPON THAILAND**

VIPHU YAMVINIJ

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

2008

KMITL-2008-EN-M-010-145

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูง และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
ณ สถานีวัดชุมพร ประเทศไทย
Study of Height Fluctuation and Critical Frequency of Ionosphere at
Chumpon Station Thailand

นักศึกษา นายวิภู ขามวินิจ

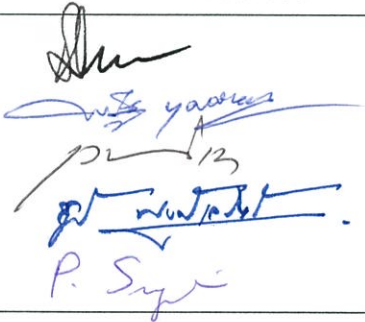
รหัสประจำตัว 47061071

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นिति

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร. โมไนย	ไกรฤกษ์	
ดร. พิสิฐ	บุญศรีเมือง	
รศ. เวช	วิเวก	
ผศ.ดร. ชูวงศ์	พงศ์เจริญพานิชย์	
ผศ.ดร. พรชัย	ทรัพย์นिति	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 2 พฤษภาคม 2551 เวลา 08.30-10.30 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร. รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่... ๒๑เดือน... พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๑.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูง และความถี่วิกฤตของชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ณ สถานีวัดชุมพร ประเทศไทย
นักศึกษา	นายวิภู ขามวินิจ
รหัสนักศึกษา	47061071
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูง และ ความถี่วิกฤตในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งเป็นชั้นที่มีความไม่สม่ำเสมออันเนื่องจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนมากที่สุด โดยใช้การสังเกตแบบไอโอโนซอน สถานีที่ตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง เส้นแวง 99.3 องศาตะวันออก เส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ทั้งนี้ได้ทำการสังเกต และ วิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลจากไอโอโนแกรมในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการในการศึกษา คือ ความสูงของชั้น F ($h'F$) , ความถี่วิกฤต (f_oF_2) และ สเปรด F (Spread F) หรือปรากฏการณ์การเกิดสเปรด F ในปี พ.ศ.2547 และ ปี พ.ศ.2548 ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้จะมีความแปรปรวนในช่วงของ Equinox และ ปรากฏการณ์การเกิดสเปรด F ทั้งหมดจะเกิดในช่วงเวลา กลางคืนและไปสิ้นสุดที่ก่อนรุ่งเช้าของอีกวันหนึ่ง

Thesis Title	Study of Height Fluctuation and Critical Frequency of Ionosphere at Chumpon Station Thailand
Student	Mr. Viphu Yamvinij
Student ID.	47061071
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assist.Prof.Dr. Pornchai Supnithi
Co-Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Hemmakorn

ABSTRACT

This thesis presents a study of ionospheric height fluctuation in the F-layer, which has the most irregularity of electron density in the ionosphere, in Thailand by using the ionosonde. The measurement location is at Chumphon campus of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang; longitude 99.3 °E and latitude 10.7 °N. Obtained ionograms are then analyzed to determine equatorial spread-F and related parameters such as height (h'F) and critical frequency (foF2). The data are collected from 2004 to 2005 for comparison of all parameters. The results show that Spread F only occurs at night time after sunset and finishes before sunrise. The irregularities of all parameters are more evident during equinox period.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และ รศ.นิภา ลีลารุจิ ที่คอยให้ชี้แนะอีกทั้งยังแนะนำและให้คำปรึกษาในการสอบมาจนถึงการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสามท่าน และขอขอบพระคุณ นาย ทิทัมพร บุญซึก และ นาย รุ่งชัย อัครวิริยะสุวร เป็นอย่างสูงสำหรับคำปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย และ คำแนะนำดี ๆ เกี่ยวกับงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณองค์กร NICT และ สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ ตลอดจนข้อมูล และ หนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยสื่อสารดาวเทียม พีๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณ นางสาวอิสตินี วงศาถันนกรที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิภู ยามวินิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและลักษณะโดยทั่วไปของชั้นบรรยากาศ.....	8
2.1 คุณลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศ.....	8
2.2 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	11
2.2.1 ชั้นย่อยต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	16
2.2.1.1 ชั้น D.....	16
2.2.1.2 ชั้น E ปกติ.....	17
2.2.1.3 ชั้น Sporadic-E.....	17
2.2.1.4 ชั้น F1, F2 และ F.....	18
2.2.2 ทฤษฎีการแพร่ของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	20
2.2.2.1 ความถี่ในการชนกันของอนุภาค.....	20
2.2.2.2 ความถี่พลาสมา.....	22
2.2.2.3 ความถี่วิกฤต.....	24
2.3 การวัดแบบเทคนิคไอโอโนซอน.....	26
2.4 การสื่อสารทางคลื่นฟ้า.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ทฤษฎีการส่งคลื่นสั้นในการสื่อสารระยะไกล.....	31
2.6 ปრაกฏการณ์สเปรดเอฟ.....	38
บทที่ 3 หลักการศึกษาวิจัย.....	40
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	40
3.2 ขั้นตอน และหลักการวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
3.2.1 การวิเคราะห์ความสูงชั้น F และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากไอโอโนแกรม.....	43
3.2.2 การวิเคราะห์ความสูงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ชั้น F ในช่วงเวลากลางวัน และ กลางคืน.....	44
3.2.2.1 วิธีการวิเคราะห์ และ อุปสรรคในการวัดค่าความสูงของชั้น F จาก ไอโอโนแกรม.....	45
3.2.2.2 วิธีการวิเคราะห์ และ อุปสรรคในการวัดค่าความถี่วิกฤต จาก ไอโอโนแกรม.....	50
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผล.....	58
4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F แบบช่วงเวลาในแต่ละวัน และแบบรายเดือน ปี พ.ศ.2547 และ ปี พ.ศ.2548.....	58
4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตในชั้นไอโอโนส เฟียร์ชั้น F ของแต่ละช่วงเวลาทั้งแบบรายวันและแบบรายเดือนในปีพ.ศ.2547 และ ปี พ.ศ.2548.....	65
4.3 ผลการวิเคราะห์การเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ของชั้นไอโอโนสเฟียร์ชั้น F และการ เปรียบเทียบจำนวนการเกิดสเปรด F ปี พ.ศ.2547 กับ ปี พ.ศ.2548.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....	90
ภาคผนวก.....	92
ภาคผนวก ก. การประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่สูง	93
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	98
ประวัติผู้เขียน.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของเครื่องมือในการวัดความสูงของชั้น F และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่ใช้ในการทดลอง.....	42

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นวิทยุผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์.....	2
1.2 การประยุกต์ใช้ของการแพร่กระจายคลื่นต่างๆ ในการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	3
1.3 ผลงานวิจัยการวิเคราะห์จำนวนเปอร์เซ็นต์การเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ที่บริเวณต่างๆ ในประเทศอินเดียตั้งแต่ปี ค.ศ.1998-1999.....	4
2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลกที่ความสูงต่างๆ.....	9
2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของส่วนประกอบหลักในชั้นบรรยากาศเทียบกับความสูง.....	10
2.3 การแบ่งประเภทของชั้นบรรยากาศในชั้นต้น.....	10
2.4 ระบบ Solar-terrestrial.....	11
2.5 เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก.....	12
2.6 ขบวนการไอโอไนซ์เซชัน.....	13
2.7 ขบวนการรวมตัวกันใหม่ของก๊าซออกซิเจนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	14
2.8 อัตราการเกิดขบวนการไอออไนซ์เซชันที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นอนุภาคของอากาศ และการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากดวงอาทิตย์.....	15
2.9 แบบจำลองของระดับความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์.....	16
2.10 การเปลี่ยนแปลงของความถี่วิกฤต (f_oF_1) ในช่วงเวลาและฤดูกาลต่างๆ.....	19
2.11 แผนที่คอนทัวร์ของค่า (f_oF_2) ในตำแหน่งต่างๆ ของโลก (เมกะเฮิรตซ์).....	20
2.12 ความถี่ของการชนกันของอิเล็กตรอนเทียบกับความสูง.....	21
2.13 แรงบนประจุในสนามไฟฟ้า E ของอนุภาคที่เกิดจากขั้วของแผ่นประจุไฟฟ้าธรรมชาติของพลาสมา.....	22
2.14 ความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุดกับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F_1 และ F_2	25
2.15 ภาพจำลองการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	26
2.16 คลื่นที่ใช้ในการมอดูเลตของเทคนิคไอโอโนซอน.....	27
2.17 การคำนวณเวลาหน่วงในการเดินทางของคลื่น.....	27
2.18 การเกิดคลื่นที่สอง (สัญญาณความถี่ Extraordinary) สะท้อนกลับมาที่เครื่องรับ.....	28
2.19 ภาพไอโอโนแกรมที่ปรากฏเป็นเส้นการสะท้อนที่แตกออกมาเป็นเส้นโค้ง 2 เส้น.....	29
2.20 คลื่นหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามกฎของสเนล.....	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 ภาพจำลองเส้นทางของคลื่นที่ไปกระทบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	30
2.22 ระยะเวลาที่เกิดจากสถานีส่งคลื่น ไปกระทบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	31
2.23 การเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กับจำนวนจุดดับ บนดวงอาทิตย์ (Sun Spot Number).....	33
2.24 ความสัมพันธ์ของ สคิปโซน (Skip Zone) ระยะทางของการสื่อสาร โดยใช้คลื่นฟ้า (Sky Wave) และระยะทางของคลื่นดิน (Ground Wave).....	35
2.25 ภาพจำลองการหาระยะทางที่การเดินทางของคลื่น โดยการสะท้อนชั้นไอโอโนสเฟียร์.....	36
2.26 การเดินทางของคลื่นเมื่อใช้ค่ามุมวิกฤตในการสะท้อนชั้นไอโอโนสเฟียร์ และการเดินทางของ คลื่นวิทยุที่ความถี่เดียวกันแต่มีการส่งทำมุมกับชั้นบรรยากาศต่างกัน.....	37
2.27 สาเหตุการเกิดสเปคตรัม F.....	38
3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และค่าความถี่วิกฤต..	40
3.2 สายอากาศโพลเด็คไดโพล.....	41
3.3 เครื่องส่งและเครื่องรับรุ่น SKI-96092 FM/CW Radar.....	42
3.4 แบบจำลองของระดับความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากไอโอโนแกรม.....	44
3.5 ภาพจำลองไอโอโนแกรมเวลากลางวัน.....	44
3.6 ภาพจำลองไอโอโนแกรมเวลากลางคืน.....	44
3.7 ภาพไอโอโนแกรมในเวลากลางวัน.....	44
3.8 ภาพไอโอโนแกรมในเวลากลางคืน.....	44
3.9 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการดูดกลืนคลื่น (Absorption).....	45
3.10 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่ชั้น F รวมตัวเป็นชั้นเดียว.....	45
3.11 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความสูง ($h'F$) โดยวิธี ไอโอโนซอน.....	46
3.12 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อมีการไอออไนซ์ของอิเล็กตรอนในชั้น E ที่ผิดปกติ.....	46
3.13 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่ชั้น F มีการแยกชั้นเกิดขึ้น.....	49
3.14 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่มีเส้นของการสะท้อนมีลักษณะคล้ายกันซ้อนเหลื่อมกันอยู่.....	49
3.15 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่มีการเกิดปรากฏการณ์สเปคตรัม F.....	50
3.16 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์และหาค่าความถี่วิกฤต.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.17 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดพายุแม่เหล็ก (Magnetic Storm).....	51
3.18 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดการลดทอน และ การแทรกสอด (Interference) ของคลื่น.....	52
3.19 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อคลื่นมีการสะท้อนที่ผิดไปจากปกติ.....	54
3.20 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในการวัดค่าความถี่วิกฤตเมื่อมีการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F..	56
4.1 องค์ประกอบสำคัญ และ วิธีการอ่านค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ชั้น F ที่ได้ จากภาพไอโอโนแกรมของวันที่ 13 เดือน เมษายน พ.ศ.2548.....	59
4.2 ตัวอย่างภาพความสูง ($h'F$) ใน 1 วันของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ซึ่งได้ข้อมูลมาจากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรม ของวันที่ 13 เมษายน พ.ศ.2548.....	59
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูง ($h'F$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F แบบรายวันใน ระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2547 และ พ.ศ.2548.....	60
4.4 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความสูง ($h'F$) สูงสุด และต่ำสุดรวมถึงค่าเฉลี่ยของ เดือน มกราคม พ.ศ.2547 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2548 แบบรายเดือนในช่วงเวลาต่าง ๆ.....	62
4.5 วิธีการอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากไอโอโนแกรมของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2548.....	65
4.6 ตัวอย่างภาพความถี่วิกฤต ($foF2$) ใน 1 วันของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่ได้ข้อมูล จากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมวันที่ 12 เมษายน พ.ศ.2548.....	66
4.7 ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤต ($foF2$) ของชั้นไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน ในระหว่างวันที่ 1- 5 มกราคม พ.ศ. 2547 และ วันที่ 1-5 มกราคม พ.ศ.2548.....	67
4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤต($foF2$) สูงสุด และต่ำสุดรวมถึงค่าเฉลี่ยของเดือน มกราคม พ.ศ.2547 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2548 แบบรายเดือนในช่วงเวลาต่าง ๆ.....	68
4.9 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ของชั้น F ที่มีความแปรปรวนมากในช่วงเวลากลางคืนของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548.....	72
4.10 การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ณ วันที่ 12 เมษายน พ.ศ.2548.....	73
4.11 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ขณะที่ยังไม่มีเกิดสเปรด F ณ วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2548.....	74

สารบัญรูป (ต่อ)

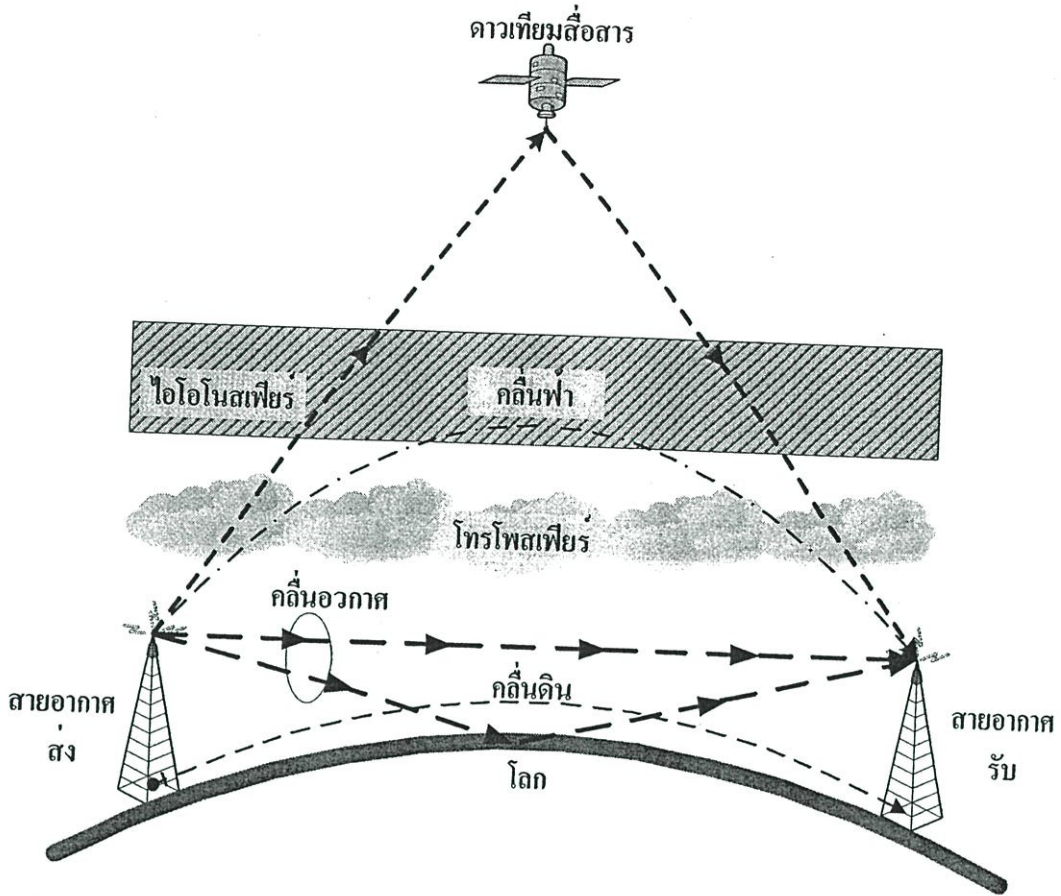
รูปที่	หน้า
4.12 การเปลี่ยนแปลงความสูง ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2548.....	75
4.13 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2548.....	76
4.14 ภาพไอโอโนแกรมแสดงการเกิด สเปรค F ใน เวลาต่าง ๆ ของวันที่ 4 มีนาคม พ. ศ.2548.....	77
4.15 ความถี่วิกฤต (f_oF2) ที่ได้จากไอโอโนแกรมเมื่อเกิด สเปรค F ใน เวลา ต่าง ๆ ของ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2548.....	78
4.16 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ในวันที่ 3 มีนาคม พ. ศ. 2548 (ที่มีปรากฏการณ์ สเปรค F) และ ในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ. ศ. 2548 (ที่ไม่มีปรากฏการณ์ สเปรค F).....	79
4.17 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรค F ในเดือนต่าง ๆ ของปีพ.ศ.2547.....	80
4.18 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรค F ในเดือนต่าง ๆ ของปีพ.ศ.2548.....	80
4.19 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรค F ในเวลาต่าง ๆทั้งหมดของปี พ.ศ.2547.....	81
4.20 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรค F ในเวลาต่าง ๆทั้งหมดของปี พ.ศ.2548.....	81

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

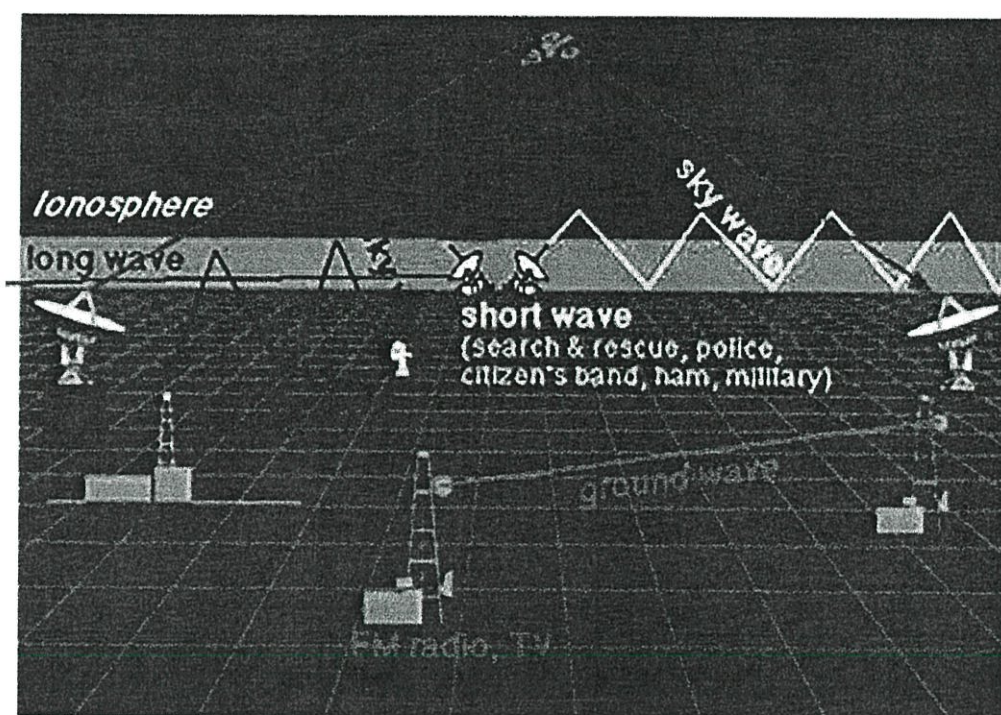
ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารโดยใช้การแพร่กระจายคลื่นวิทยุไม่ว่าจะเป็นคลื่นดิน (Ground Wave) คลื่นอวกาศ (Space Wave) คลื่นฟ้า (Sky Wave) หรือการสื่อสารผ่านดาวเทียมได้เข้ามา มีบทบาทต่อชีวิตประจำวันมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านข้อมูลข่าวสาร เช่นทางด้านการพยากรณ์ อากาศ ระบบโครงข่ายโทรศัพท์ระหว่างประเทศและภายในประเทศ ระบบแพร่ภาพกระจายเสียงของ รายการโทรทัศน์ในบริเวณชนบท ทั้งนี้คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น จะมีการแพร่ ออกไปในทุกทิศทาง คลื่นวิทยุเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถเดินทางไปได้ด้วยความเร็วแสง อย่างไรก็ตาม คลื่นวิทยุที่มีความถี่ไม่เท่ากันก็มีคุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นที่ไม่เหมือนกัน จึงทำให้มี อุปสรรคหรือผลกระทบอันเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณต่างกัน อาทิเช่น ในพื้นที่ที่ไกล ออกไปจากสถานีส่งคลื่นวิทยุก็จะมีแรงลดลง สัญญาณจึงอ่อนลง ฉะนั้นเครื่องรับที่อยู่ไกล เครื่องส่งมากกว่าย่อมรับสัญญาณได้แรงกว่า และคุณภาพของสัญญาณดีกว่าเครื่องรับที่อยู่ห่างออกไป จากเครื่องส่ง ทั้งนี้ รวมถึงสิ่งกีดขวางทางธรรมชาติก็มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น อีกทั้งการส่ง คลื่นสัญญาณผ่านหรือใช้ชั้นบรรยากาศโลกเป็นตัวแปรในการสื่อสารก็มีอุปสรรคกล่าวคือ ชั้น บรรยากาศที่สำคัญและมีผลกระทบต่อสื่อสารดังกล่าวประกอบด้วยชั้นบรรยากาศ 2 ชั้นบรรยากาศ หลักคือ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยผลกระทบจากชั้น บรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเห (Refractive Index) ที่มีผลต่อ การแพร่กระจายคลื่นย่านความถี่ Ku อันเป็นผลกระทบจากการดูดกลืนพลังงาน (Absorption) การกระเจิง (Scatter) ของคลื่นสัญญาณอันเนื่องมาจาก ฝน อีกทั้งยังมีผลต่อสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า 3 กิกะเฮิรตซ์ [1] รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับ กระแสลมโทรโพสเฟียร์ [2] ส่วนผลกระทบ อันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่น อิเล็กตรอน (Electron Density Irregularities) ทำให้เกิดการหน่วงเวลาของสัญญาณ (Time Delay) ซึ่งจะ ทำให้สัญญาณที่ส่งจากเครื่องส่งมาถึงเครื่องรับช้ากว่าการเดินทางของคลื่นในระยะทางตรง



รูปที่ 1.1 ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นวิทยุผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และไอโอโนสเฟียร์

ในบทความนี้จะมุ่งเน้นไปที่การสื่อสารแบบคลื่นฟ้ากล่าวคือ เหนือผิวโลกขึ้นไปประมาณ 50 ถึง 400 กิโลเมตร การแพร่รังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์จะทำให้อนุภาคของก๊าซในชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก แตกตัวเป็นไอออน (Ionization) เกิดประจุบวกและประจุลบ รวมทั้งอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) มากมาย ชั้นบรรยากาศที่โดนรังสีแล้วเกิดไอออนนี้ เรียกว่าชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางเข้าสู่ชั้นบรรยากาศนี้ จะถูกหักเหเนื่องจากสนามไฟฟ้าในลักษณะเดียวกันกับแสงถูกหักเหหรือสะท้อนผ่านกระจกเงา ระดับการหักเหของคลื่นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความถี่ของคลื่นที่เดินทางเข้ามาในชั้นบรรยากาศ ปริมาณความหนาแน่นของไอออนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ มุมที่คลื่นเดินทางสู่ชั้นไอโอโนสเฟียร์ และถ้าหากคลื่นมีความถี่พอเหมาะกับชั้นบรรยากาศ และมุมยังเข้าสู่ชั้นบรรยากาศถูกต้องคลื่นก็จะสามารถหักเหกลับมายังพื้นโลกได้อีก ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยชั้นไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่ประกอบไปด้วยกลุ่มพลาสมาไอโอไนซ์ (Ionised Plasma) ที่รวมตัวกันจนมีความหนาแน่นพอที่จะสะท้อนคลื่นวิทยุในความถี่ย่าน HF (High Frequency) และจะมีความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้น เนื่องจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในชั้น F ที่มีความแปรปรวนในเวลากลางคืน หรือหลังช่วงพระอาทิตย์ตกดินไปแล้ว [3]

จากสาเหตุดังกล่าวมีผลให้ความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความแปรปรวน ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ “สเปรด F” และเมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในไอโอโนแกรมได้อย่างชัดเจน เช่น ค่าความถี่วิกฤตจะไม่สามารถอ่านค่าได้เลย และการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความสูงจากไอโอโนแกรม จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติไปจากทุกวันที่ไม่มีปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้น ทั้งนี้อุปสรรคของการสื่อสารภาคพื้นเช่นระบบสัญญาณเอฟเอ็ม สาเหตุจะเกิดจากการแทรกสอดซึ่งอาจมาจากสถานีวิทยุข้างเคียงที่ใช้ค่าความถี่ของคลื่นพาห้ใกล้เคียงกันหรือใช้ความถี่ที่ทับกัน [4] โดยรูปที่ 1.2 จะแสดงรูปแบบการประยุกต์ใช้การแพร่กระจายคลื่นในรูปแบบต่างๆ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้เราจะเน้นไปที่ผลกระทบอันเนื่องจากการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งก็คือการสื่อสารด้วยคลื่นฟ้า (Sky wave)



รูปที่ 1.2 การประยุกต์ใช้ของการแพร่กระจายคลื่นต่างๆ ในการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

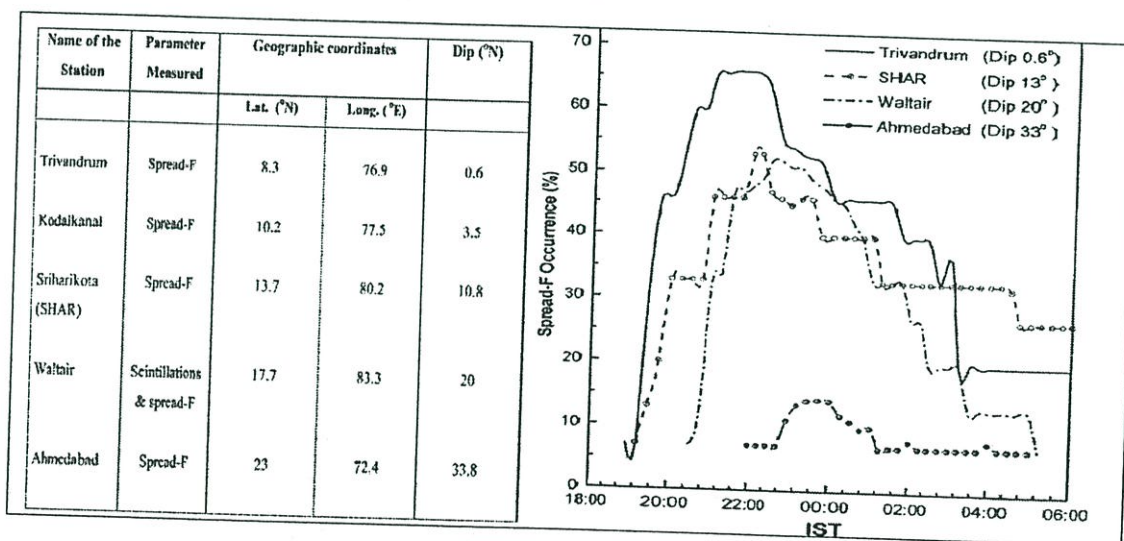
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูง และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กซึ่งก่อนหน้านี้มีผู้วิจัยมาก่อนแล้วโดยเป็นข้อมูลดังกล่าวเปรียบเทียบกับปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ของปี พ.ศ.2547 แต่ในงานวิจัยนี้จะเป็นการเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงความสูง ความถี่วิกฤต และการเกิดปรากฏการณ์ สเปรด F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ในปีพ.ศ.2547 และ ปี พ.ศ.2548 ว่ามีความแตกต่างกันมาก หรือ

น้อยเพียงใดอีกทั้งยังสามารถทำนายปรากฏการณ์สเปรด F ว่ามีการเกิดบ่อยครั้งในช่วงเดือนใดของปี โดยใช้การสังเกตแบบไอโอโนซอนโดยใช้ FM/CW Ionosonde โดยเครื่องจะทำการส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ 2-30 เมกะเฮิรตซ์ ผ่านสายอากาศขึ้นไปบนท้องฟ้า ความถี่บางความถี่จะสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กลับลงมา แต่บางความถี่จะทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ขึ้นไป ในการบันทึกค่าจะเริ่มทำการวัดใหม่ทุก 15 นาที ข้อมูลที่ได้จะเป็นรูปภาพไอโอโนแกรมแล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่อ่านค่าได้จากไอโอโนแกรมนั้น อีกทั้งได้ทำการสังเกตปรากฏการณ์สเปรด F ที่เกิดจากความแปรปรวนของความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในชั้น F ในเวลากลางคืนว่ามีการเกิดบ่อยครั้งเพียงใดเปรียบเทียบกับแบบรายเดือนของ ปีพ.ศ.2547 และ ปี พ.ศ. 2548

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาที่ผ่านมาของนักวิจัยหลายท่านพบว่าในบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะมีจำนวนการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ที่บ่อยครั้งและรุนแรงกว่าบริเวณอื่นๆ อย่างกรณีของผลงานวิจัยในประเทศอินเดีย[5] มีการวัดหาเปอร์เซ็นต์ของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F และ การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในสถานีที่มีละติจูดต่างๆ กันดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ผลงานวิจัยการวิเคราะห์จำนวนเปอร์เซ็นต์การเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ที่บริเวณต่างๆ ในประเทศอินเดียตั้งแต่ปี ค.ศ.1998 ถึง ปี ค.ศ.1999 [5]

จากผลงานวิจัยในประเทศอินเดียเป็นการวัดหาเปอร์เซ็นต์การเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในหลายสถานีที่และสามารถสรุปได้ว่าการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F เกิดเฉพาะในช่วงเวลากลางคืนและจะมีความรุนแรงมากบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลกเนื่อง ซึ่งบริเวณที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์มากเป็นผลให้ในตอนกลางวันมีปริมาณไอออนเป็นจำนวนมากซึ่งอาจส่งผลให้กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในชั้น F ที่มีความแปรปรวนในเวลา

กลางคืน หรือหลังช่วงพระอาทิตย์ตกดินแล้วจากผลดังกล่าวทำให้ความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความแปรปรวน ซึ่งจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ สเปรด F ทั้งนี้การเกิดสเปรด F นี้มีสาเหตุเดียวกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในเวลากลางคืน [6]

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

เราใช้หลักการวัดแบบไอโอโนซอนเพื่อคำนวณค่าของเวลาที่หน่วงไปซึ่งการวัดโดยใช้ไอโอโนซอนจะเป็นการส่งคลื่นขึ้นไปสะท้อนตั้งฉากกับระนาบความหนาแน่นของอิเล็กตรอน เพื่อหาค่าเวลาที่หน่วงไป (Delay time) ซึ่งค่าดังกล่าวที่ได้จะเปลี่ยนตามจุดของการสะท้อน จากนั้นนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาระยะทางหรือค่าความสูงของชั้นบรรยากาศ จะเห็นได้จากสมการที่ (1.1) และ (1.2) ซึ่งทำให้เราทราบเส้นความสูงหรือเส้นการสะท้อนปรากฏอยู่ในไอโอโนแกรม ทั้งนี้เส้นการสะท้อนของแต่ละชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ส่ง

$$S=CT \quad (1.1)$$

$$H=S/2 \quad (1.2)$$

เมื่อ	S	คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางไปสะท้อนชั้นบรรยากาศแล้วกลับมาที่เครื่องรับ มีหน่วยเป็นเมตร
	C	คือ ความเร็วแสง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที
	T	คือ เวลาที่หน่วง มีหน่วยเป็นวินาที
	H	คือ ความสูงของชั้นบรรยากาศ มีหน่วยเป็นเมตร

ทั้งนี้เราได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงและความถี่วิกฤตพร้อมไปกับการสังเกตลักษณะการเกิดสเปรด F ทั้งในแต่ละวันและในแต่ละเดือน พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์ของลักษณะการเกิดสเปรด F กับความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ รวมถึงการสังเกตความถี่วิกฤตที่ผ่านไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะนำไปสู่กระบวนการเลือกใช้ความถี่ที่เหมาะสมในแต่ละช่วงวันและเวลา แม้กระทั่งช่วงฤดูกาลของการสื่อสารด้วยย่านความถี่ HF (ช่วงความถี่ตั้งแต่ 2 เมกะเฮิร์ตซ์ จนถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์) จะเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ซึ่งจัดว่าเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการหาค่าความถี่ที่เหมาะสมในการสื่อสาร เนื่องจากเมื่อปรากฏการณ์สเปรด F เกิดขึ้นเราจะไม่สามารถทราบความถี่วิกฤตที่แน่นอนได้ ยิ่งไปกว่านั้นปรากฏการณ์สเปรด F จะเกิดบ่อยครั้งหรือยาวนานต่างกันขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดและช่วงเวลาที่เกิด ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมของการเกิดสเปรด F อันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะสังเกตได้จากภาพไอโอโนแกรมในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อ้างอิงผลการวัดของภาพไอโอโนแกรม 1 ภาพต่อ 15 นาที รวมทั้งสิ้นจะได้ภาพไอโอโนแกรมในแต่ละวันเท่ากับ 96 ภาพ โดยเกิดจากการใช้คู่มือการวัดภาพไอโอโนแกรมประกอบการสังเกตในแต่ละภาพ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงและความถี่วิกฤตพร้อมไปกับการสังเกตปรากฏการณ์เกิดสเปคตรัม F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F โดยใช้การสังเกตแบบไอโอโนซอน ซึ่งสถานีที่ได้ทำการสังเกตตั้งอยู่ที่ตำแหน่ง เส้นแวง 99.3 องศาตะวันออก เส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร โดยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์สังเกตการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องส่งและเครื่องรับ FM/CW Ionosonde และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2-30 เมกะเฮิร์ตซ์ จะถูกส่งผ่านสายอากาศขึ้นไปบนท้องฟ้าและจะเริ่มส่งความถี่ตั้งแต่ 2 เมกะเฮิร์ตซ์ และจะทำการเพิ่มความถี่ขึ้นทีละ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ทุก ๆ วินาทีจนถึงความถี่ 30 เมกะเฮิร์ตซ์ เป็น 1 รอบที่ทำการส่ง ในการบันทึกค่าจะเริ่มทำการวัดใหม่ทุกๆ 15 นาที โดยที่ความถี่แต่ละความถี่ที่ส่งขึ้นไปในชั้นบรรยากาศจะมีความยาวคลื่นต่างกันและ คชนี้หักเหต่างกัน ดังนั้นเมื่อคลื่นที่ถูกส่งขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ความถี่บางช่วงจะสะท้อนกลับลงมา และความถี่บางช่วงจะทะลุผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ขึ้นไป ทำให้เราสามารถทราบค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้จากการสะท้อนของคลื่น โดยทำการคำนวณจากระยะเวลาที่เริ่มต้นส่งคลื่นขึ้นไปแล้วสะท้อนชั้นบรรยากาศกลับมายังจุดที่ส่งคลื่นว่าใช้ระยะเวลาเท่าไร แล้วนำไปคำนวณเป็นสมการที่ (1.1) และ (1.2) ซึ่งในกรณีที่ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นจะทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในไอโอโนแกรมได้อย่างชัดเจน เช่น ค่าของค่าความถี่วิกฤตจะไม่สามารถอ่านได้ และการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าความสูงจากไอโอโนแกรม จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติไปจากทุกวันที่ไม่มีปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้น

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

- บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา
- บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างของชั้นไอโอโนสเฟียร์ กลไกทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นกับชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาการสื่อสารดาวเทียม และทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคไอโอโนซอน (Ionosonde Technique) ซึ่งใช้ในการวัดค่าความสูงและความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยแสดงออกมาในภาพไอโอโนแกรม
- บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้น F และความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์จากภาพไอโอโนแกรม

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้น F ความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และ
การเกิดสปรูด F ตามเวลาเป็นแบบรายวัน รายเดือน และรายปี

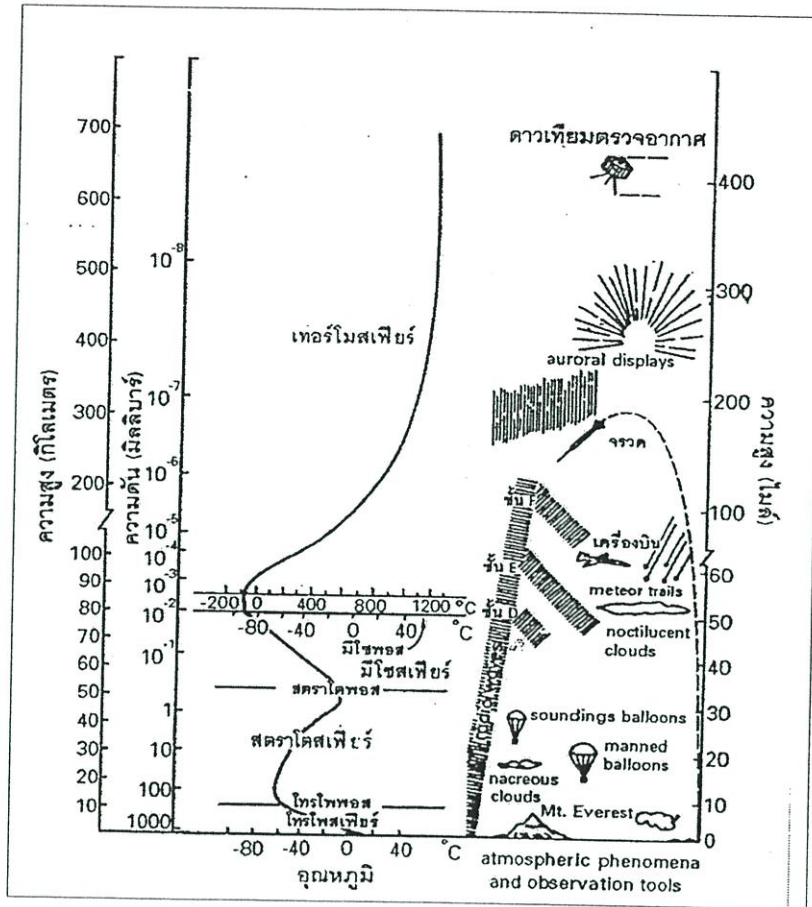
บทที่ 5 บทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและลักษณะโดยทั่วไปของชั้นบรรยากาศ

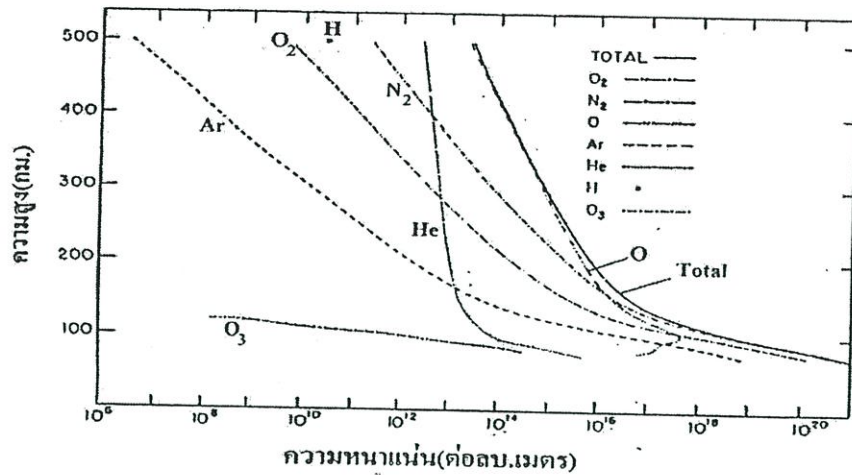
2.1 คุณลักษณะโดยทั่วไปของชั้นบรรยากาศ

โดยทั่วไปแล้วชั้นบรรยากาศของโลกในเบื้องต้นจะถูกแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง (Neutral Atmosphere) และชั้นบรรยากาศที่เป็นไอไอไนซ์ (Ionised Atmosphere) ทั้งนี้ในส่วนหนึ่งของชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางนั้นสามารถแบ่งชั้นได้โดยใช้โพรไฟล์อุณหภูมิซึ่งแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้นใหญ่ๆ ได้แก่ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ หรืออาจเรียกว่า Boundary Layer ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่เราใช้ดำรงชีวิตอยู่ โดยในชั้นบรรยากาศนี้จะประกอบไปด้วยก๊าซชนิดต่างๆ รวมไปถึงฝุ่นละอองมลภาวะที่มาจากแหล่งต่างๆ ตลอดจน เมฆฝน ไอน้ำ หมอก หิมะ จะอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ทั้งสิ้น โดยมีความสูงเมื่อเทียบกับพื้นดินจะอยู่ที่ประมาณ 7-18 กิโลเมตร และในชั้นนี้อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศในระยะแรกจะลดลงผกผันกับความสูงที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 7 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร [7] กล่าวคือที่ความสูงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิจะเย็นลง แต่ที่ระดับความสูงประมาณ 10 กิโลเมตร (ที่ตำแหน่งโทรโปพอส: Tropopause) หรือที่จุดเริ่มต้นของชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ อุณหภูมิจะมีแนวโน้มแปรตามความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มของอุณหภูมิตามความสูงนี้เกิดจากการที่โอโซนมีการดูดซับรังสี UV บางส่วนที่แผ่จากดวงอาทิตย์ที่ระดับความสูงดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้จะปรากฏจนถึงระดับความสูงที่ 50 กิโลเมตร (หรือที่ตำแหน่งสตราโตพอส: Stratopause) หลังจากตำแหน่งสตราโตพอสอุณหภูมิก็จะเริ่มลดลงแปรผกผันกับความสูงที่เพิ่มขึ้นของชั้นบรรยากาศมีโซสเฟียร์อีกครั้ง (เช่นเดียวกับชั้นโทรโปสเฟียร์) ที่ระดับความสูงประมาณ 80 กิโลเมตร โดยอุณหภูมิจะมีการลดลงอย่างฉับพลันและลดลงจนถึงระดับต่ำสุดที่ประมาณ -92 องศาเซลเซียส หลังจากจุดต่ำสุดของอุณหภูมินี้แล้ว (หรือหลังจากตำแหน่งมีโซพอส: Mesopause) อุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าคงที่อยู่ที่ประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ณ ที่ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศเทอร์โมสเฟียร์ซึ่งเป็นชั้นสุดท้ายที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงต่างๆ ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



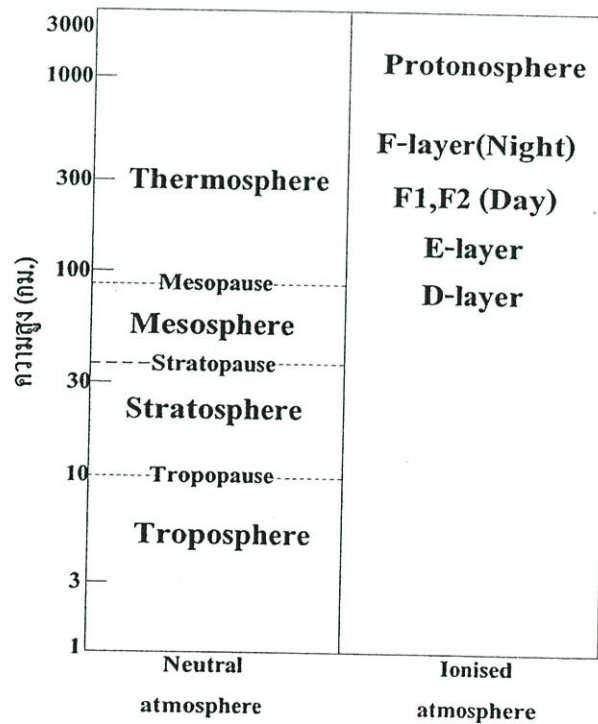
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลกที่ความสูงต่างๆ [8]

ในส่วนของชั้นบรรยากาศที่เป็นไอโอโนสเฟียร์สามารถแบ่งเป็นลักษณะได้โดยใช้ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอน เนื่องจากในสภาวะของชั้นบรรยากาศโลกนั้น โมเลกุลของออกซิเจนจะถูกทำให้แตกตัวด้วยรังสีจากดวงอาทิตย์ (UV และ X-rays) และรังสีคอสมิกโดยรังสี UV ที่มีขนาดความยาวคลื่นสั้นกว่า 175.9 mm ขบวนการนี้มีความไวมากทำให้สภาวะที่มีความแปรปรวน (Turbulence) ไม่สามารถรักษา O₂ หรือ O รวมตัวกันได้ ดังนั้นจำนวนความหนาแน่นของ O จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความสูงประมาณ 150 กิโลเมตร ดังนั้นที่ความสูงเหนือ 150 กิโลเมตรขึ้นไป ชั้นบรรยากาศส่วนนี้จึงมีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบหลักจึงถูกเรียกว่าชั้น F และนอกจากนี้ ที่ระดับความสูงขึ้นจะมีความหนาแน่นน้อยลงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของส่วนประกอบหลักในชั้นบรรยากาศเทียบกับความสูง [9]

ทั้งนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าชั้นบรรยากาศทั้ง 2 จะมีความแตกต่างของการแบ่งชั้นที่อยู่ภายใน เช่นชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางจะถูกแบ่งแยกกันโดยใช้โพสิทีฟอิเล็กตรอน ส่วนชั้นบรรยากาศที่เป็นไอโอไนซ์แบ่งแยกกันโดยใช้ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนเป็นหลัก โดยมีผลมาจากการที่โลกได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นตัวกระตุ้นโดยทำให้ก๊าซต่างๆ ที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศโลกเกิดการไอโอไนซ์ต่างกัน จึงทำให้ในแต่ละชั้นที่มีการแบ่งแยกกันอย่างชัดเจนดังรูปที่ 2.3

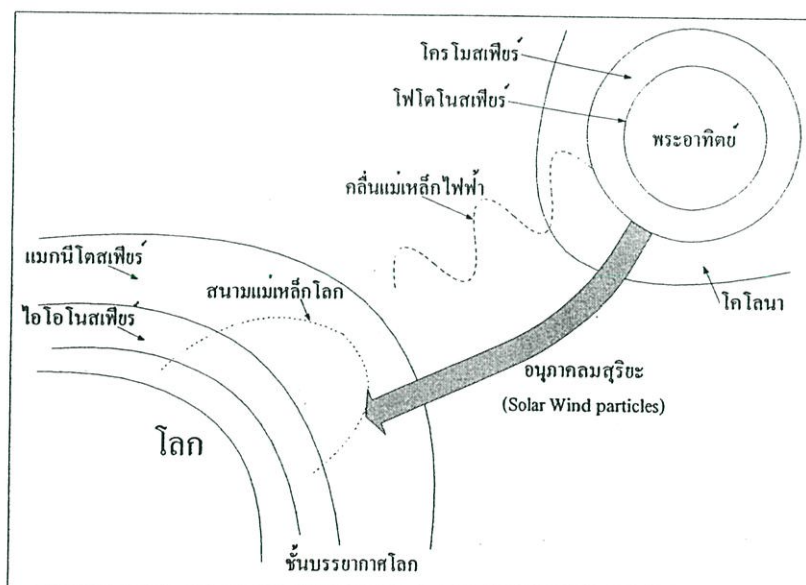


รูปที่ 2.3 การแบ่งประเภทของชั้นบรรยากาศในชั้นต้น [7]

2.2 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ความคิดที่จะใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารข้อมูลระยะไกลได้เริ่มต้นในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ในปี 1901 Marconi ได้ค้นพบชั้นบรรยากาศโลกที่สามารถสะท้อนคลื่นวิทยุ (Reflecting Layer) หรือภายหลังได้ตั้งชื่อเป็นชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งชั้นบรรยากาศดังกล่าวได้ถูกค้นพบตอนที่เขาส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกจากประเทศแคนาดาไปยังประเทศอังกฤษได้สำเร็จ และปีต่อมาเขาได้ทำการทดลองและพบว่าการส่งคลื่นสัญญาณในเวลากลางคืน มีระยะทางความไกลกว่าเวลากลางวัน ทำให้ได้ข้อสรุปเบื้องต้นว่าผลกระทบจากดวงอาทิตย์ผลต่อการสื่อสาร ภายหลังจึงกลายเป็นหัวข้อที่สำคัญในการศึกษา โดยได้มีการศึกษามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน และพัฒนาเป็นวิทยาศาสตร์แขนงใหม่คือ “Ionosphere Physics”

จากที่กล่าวไว้ข้างต้นชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ บริเวณที่พลาสมาเกิดการไอออไนซ์โดยมีขอบเขตประมาณ 50 กิโลเมตร ถึง 1,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ซึ่งจะมีโมเลกุลเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ถูกไอออไนซ์และยังพบว่าจะยังมีโมเลกุลที่เป็นกลางจำนวนมากเหลืออยู่ในชั้นที่อยู่สูงกว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ ชั้นพลาสมาสเฟียร์ (Plasmasphere) หรือ โปรโตโนสเฟียร์ (Protonosphere) ซึ่งยังคงมีปริมาณอิเล็กตรอนอิสระกระจายอยู่อย่างชัดเจน อิเล็กตรอนเหล่านี้คือสนามแม่เหล็กของโลกที่ทำหน้าที่ต่อต้านลมสุริยะ (Solar Wind) ดังรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงระบบ Solar Terrestrial รวมถึงการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์

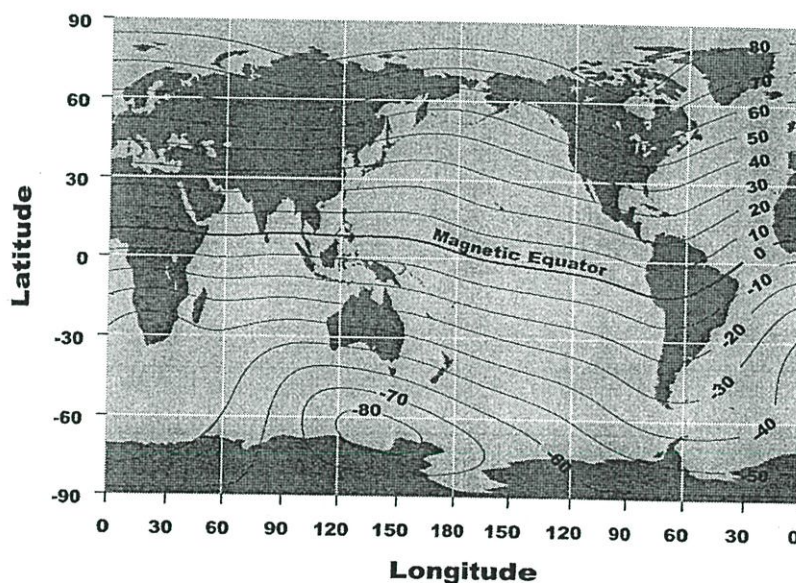


รูปที่ 2.4 ระบบ Solar Terrestrial

ขอบเขตที่กั้นระหว่างสนามแม่เหล็กโลกกับลมสุริยะเป็นที่ทราบกันดีโดยทั่วไปคือแมกนีโตพอส (magnetopause) โดยที่ระหว่างแมกนีโตพอสกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ก็คือชั้นบรรยากาศแมกนีโตสเฟียร์ซึ่งมีพฤติกรรมเป็น “Bow Wave” ที่ทำหน้าที่ต่อต้านลมสุริยะ และในชั้นนี้สนามแม่เหล็กมีบทบาทสำคัญในการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุ ในขณะที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีขบวนการรวมตัวกันอีกครั้งขณะการชน (Collision Recombination Process) ซึ่งเป็นขบวนการที่มีบทบาทมากที่สุด

การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์จะไปทำการไอโอไนซ์อนุภาคในชั้นบรรยากาศ ซึ่งความรุนแรงของการไอโอไนซ์นั้นเป็นฟังก์ชันผกผันกับระยะจากดวงอาทิตย์ไปยังชั้นบรรยากาศโลก หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือเป็นฟังก์ชันกับมุมซันิธ (Zenith Angle) ระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก [10] ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมุมซันิธน้อยลง ระยะทางจากดวงอาทิตย์ก็จะเข้าใกล้โลกมากขึ้นและทำให้การไอโอไนซ์เกิดรุนแรงยิ่งขึ้นด้วย

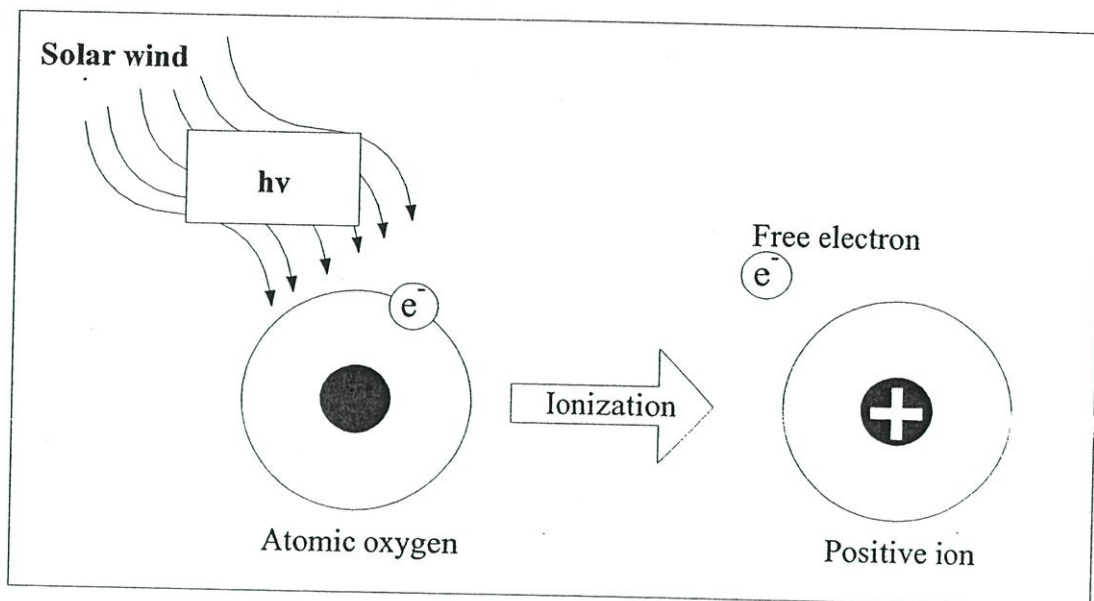
ดังนั้นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์มากที่สุดจะอยู่รอบ ๆ เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กของโลกแต่เนื่องจากแกนแม่เหล็กของโลกเลื่อนไปจากแกนหมุนของโลกเป็นมุมประมาณ 12 องศา จึงทำให้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กไม่ตรงกันกับเส้นศูนย์สูตรทางภูมิศาสตร์ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก [10]

นอกจากนั้นชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่มีการเกิดการไอโอไนซ์ ทั้งนี้การไอโอไนซ์จะเกิดไม่เท่ากันแล้วแต่ช่วงเวลา และ ระดับความสูง อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับสถานะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดขบวนการไอโอไนซ์ อาทิเช่น ปริมาณของอิเล็กตรอน ปริมาณการชนกันของอิเล็กตรอน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) รังสี

คอสมิก (Cosmic) และรังสีเอ็กซ์เรย์ (X-rays) หรือเรียกโดยรวมว่าโฟตอน ($h\nu$) โดยเมื่อรังสีแผ่เข้าถึงชั้นบรรยากาศจะทำให้จำนวนอนุภาคบางส่วนของอากาศนั้นกลายเป็นอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ ดังรูปที่ 2.5

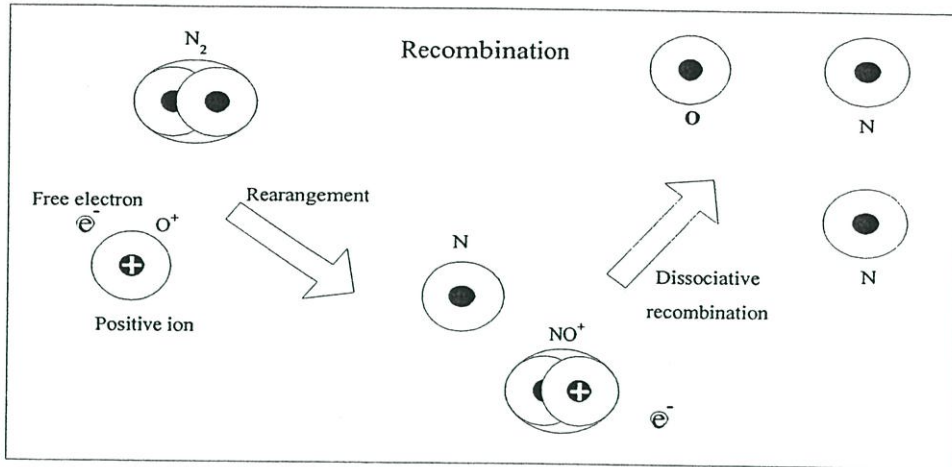


รูปที่ 2.6 ขบวนการไอออไนซ์เซชัน [3]

จากรูปที่ 2.6 อธิบายได้ว่าโฟตอน ที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทำให้โมเลกุลออกซิเจน (O_2) ที่เป็นส่วนประกอบหลักจะถูกไอออไนซ์ได้เป็นดังสมการที่ (2.1)



ผลที่ได้คือออกซิเจนจะสูญเสียอิเล็กตรอนไปทำให้กลายเป็นไอออนบวกซึ่งโมเลกุลที่ได้รับอิเล็กตรอนไปก็จะกลายเป็นไอออนประจุลบ และทั้งนี้แรงดูดกับแรงผลักรวมกันที่เกิดภายใต้แรงกระทำทางไฟฟ้าจะไปเปลี่ยนแปลงไอออนเหล่านี้ได้ง่าย ซึ่งโดยปกติแล้วในชั้นบรรยากาศจะเกิดการชนกันของไอออนและอะตอมต่างๆ ที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาทำให้เกิดขบวนการของเกิดการการรวมตัวกันใหม่ (Process of Recombination) อย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงขบวนการรวมตัวกันใหม่ของก๊าซออกซิเจนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

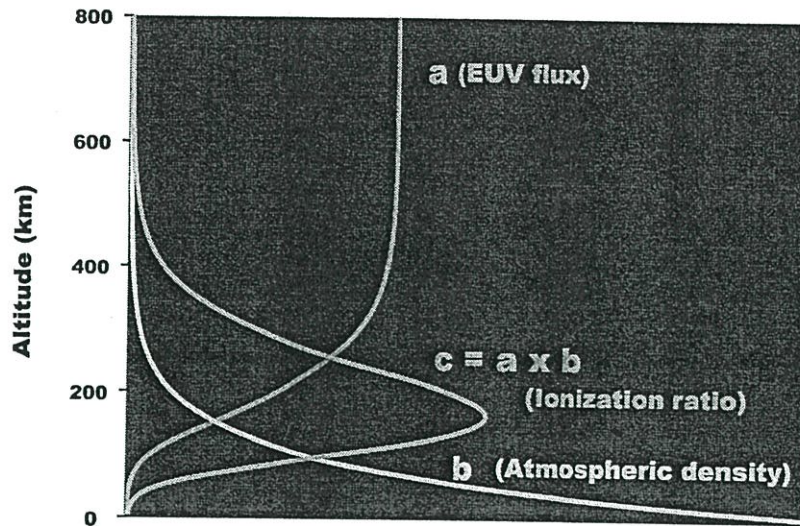


รูปที่ 2.7 ขบวนการรวมตัวกันใหม่ของก๊าซออกซิเจนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [3]

จากรูปที่ 2.7 สามารถอธิบายได้ว่าไอออนที่เกิดจากขบวนการไอโอไนซ์เซชันจะชนกับโมเลกุลที่เป็นกลาง (N_2) จะเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนพลังงานที่เป็นกลางดังสมการต่อไปนี้



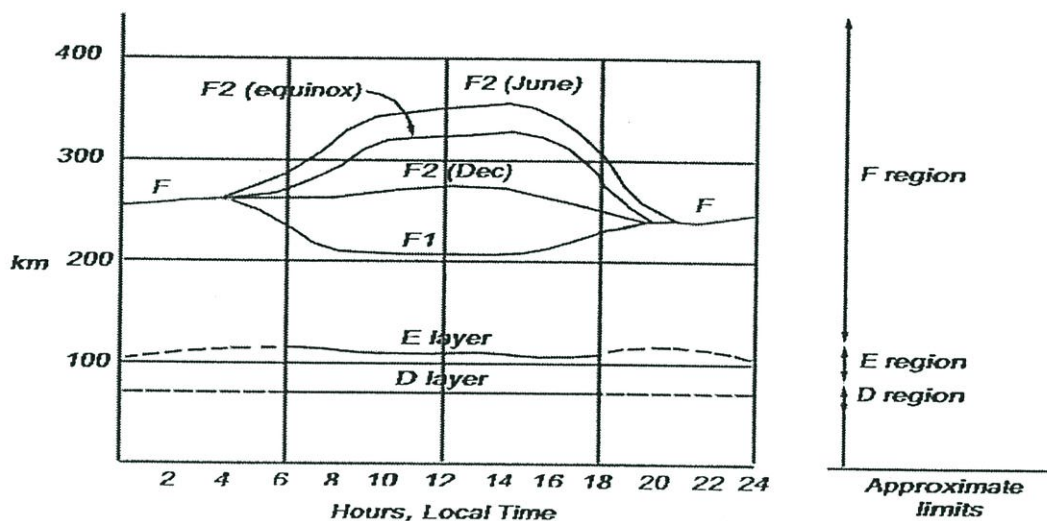
ดังนั้นโมเลกุลที่ถูกไอโอไนซ์จะไม่คงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ตลอดไป โดยจะมีโอกาสที่จะเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่อยู่ตลอดเวลาและ จะเป็นจำนวนที่มากโดยขึ้นอยู่กับระดับของชั้นบรรยากาศ เช่นในส่วนของชั้นบรรยากาศโลกที่ต่ำ (ความกดอากาศต้นสูง) ความถี่ในการชนกันมีค่อนข้างสูงจึงมีโอกาสที่จะทำให้เกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่อยู่เป็นจำนวนมาก และทั้งนี้โมเลกุลของอากาศจะคงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ในระยะเวลาสั้นกว่าชั้นบรรยากาศส่วนบน นอกจากนี้ในระดับความสูงช่วง 50-400 กิโลเมตรซึ่งก็คือระดับการวางตัวของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จะมีอนุภาคของอากาศมากตามสภาวะความกดอากาศ รวมถึงการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตของดวงอาทิตย์ที่เป็นไปอย่างเหมาะสมจะเอื้ออำนวยให้เกิดการไอโอไนซ์ขึ้น จึงกล่าวได้ว่าที่ความสูงในช่วง 50-400 กิโลเมตรนี้มีความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนสูงสุดดังรูปที่ 2.8 แสดงอัตราการเกิดขบวนการไอโอไนซ์เซชันที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นของอนุภาคของอากาศและการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากดวงอาทิตย์ แต่ในชั้นบรรยากาศส่วนบนดังนั้นในบริเวณที่มีความสูงมากกว่า 400 กิโลเมตรจะมีอนุภาคของอากาศที่เบาบาง ทำให้ความหนาแน่นของการไอโอไนซ์มีค่าต่ำมากถึงแม้ว่าจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากก็ตาม



รูปที่ 2.8 อัตราการเกิดขบวนการไอโอไนซ์เซชันที่สัมพันธ์กับความหนาแน่นของอนุภาคของอากาศ และการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานจากดวงอาทิตย์ [11]

เนื่องจากในแต่ละชั้นของชั้นบรรยากาศโลกมีความแตกต่างกันเนื่องจากก๊าซต่างๆ ที่ถูกไอโอไนซ์แตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากความสูงหรือความกดอากาศที่ต่างกันและนอกจากนี้ต้นกำเนิดที่ทำให้เกิดขบวนการไอโอไนซ์เซชันที่กล่าวไว้ในข้างต้นก็มีความแตกต่างกันด้วย ทำให้เวลาส่งสัญญาณความถี่ต่างกันจะเดินทางกลับมายังโลกจากความสูงของชั้นบรรยากาศที่ต่างกันด้วย จึงแสดงให้เห็นว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นไม่ได้มีเพียงชั้นเดียวดังนั้นในการไอโอไนซ์ที่ระดับต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละระดับย่อย ถูกเรียกว่า “ชั้น” (Layer) และทั้งนี้จำนวนชั้น หรือความสูงของแต่ละชั้น จะถูกแบ่งเป็นชั้นย่อยๆ ได้เป็น 3 ชั้นหลักๆ คือชั้น D E และ F ในชั้น D เป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นโลกต่ำที่สุด โดยที่ความสูงของชั้นนี้มีค่าประมาณ 70-90 กิโลเมตรและ ทั้งนี้จะสังเกตเห็นชั้น D ได้ในเวลากลางวันเท่านั้น เนื่องจากผลของปฏิกิริยาจากการไอโอไนซ์เซชันที่เกิดจากแสงอาทิตย์ และเนื่องจากแสงอาทิตย์นี้เองทำให้ไม่สามารถเห็นชั้น D ได้ในเวลากลางคืน ชั้นถัดมาคือชั้น E มีความสูงตั้งแต่ 90-140 กิโลเมตร จะสังเกตเห็นได้ในเวลากลางวันเท่านั้นเช่นกัน เพราะต้องอาศัยแสงอาทิตย์เช่นเดียวกับชั้น D จึงทำให้ไม่เห็นชั้นนี้ปรากฏในไอโอโนแกรม และในบางโอกาสชั้น E จะถูกบังด้วย Sporadic-E (Es) ซึ่ง Sporadic-E (Es) นี้เกิดจากการแทรกสอดอย่างรุนแรงของคลื่นย่าน VHF ชั้นต่อมาก็คือชั้น F จะมีระดับความสูงอยู่ที่ 140-400 กิโลเมตรจากพื้นดิน และชั้นนี้เป็นชั้นที่มีความสำคัญมากที่สุดในการศึกษาเนื่องจากมีผลต่อการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุในระยะไกล และเป็นชั้นที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์สเปรด F (Spread F) ที่มีอุปสรรคต่อการหาค่าความถี่วิกฤตในชั้น F นี้เองจะประกอบไปด้วยชั้น F1 และชั้น F2 ซึ่งสังเกตเห็นได้ทั้งสองชั้นในเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืนชั้น F1 และ F2 จะรวมตัวกันโดยความสูงของชั้น F นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในเวลากลางคืน ส่วนในเวลากลางวันความสูงของชั้นที่อ่านได้จากไอโอโนแกรมคือความสูงของ

ชั้น F1 เท่านั้น ค่าความสูงที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกันไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักจึงสนใจที่จะศึกษาความสูงของชั้นในเวลากลางคืนแสดงดัง รูปที่ 2.9 ในส่วนของความรุนแรงที่มีผลต่อสัญญาณที่ถูกทำให้เลี้ยวเบนไปก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ในแต่ละเดือนและ ในแต่ละปี โดยที่ในแต่ละชั้นย่อยจะมีความถี่วิกฤติซึ่งมีค่าเฉพาะในแต่ละชั้นนั้นๆ ซึ่งในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะถูกแบ่งเป็นชั้นย่อยๆ ได้ 3 ชั้นดังที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 2.9 แบบจำลองของระดับความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์

2.2.1 ชั้นย่อยต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.2.1.1 ชั้น D

ชั้น D เป็นชั้นที่จะปรากฏให้เห็นในไอโอโนแกรมเป็นชั้นที่ต่ำที่สุดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และ ชั้นนี้จะปรากฏให้เห็นในไอโอโนแกรมในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ เนื่องจากความหนาแน่นในการไอโอไนซ์จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนอยู่ในช่วงจาก 10^{14} และ 10^{16} อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร [10] และทั้งนี้ชั้น D จะจางหายไปจากไอโอโนแกรมเมื่อเวลากลางคืนหลังจากพระอาทิตย์เริ่มตกทั้งนี้เกิดจากขบวนการรวมตัวกันใหม่ของอนุภาคในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีค่าสูงมาก เนื่องจากความจริงที่ว่าความเข้มของการไอโอไนซ์นั้นจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของโลกกับดวงอาทิตย์ และหลังจากพระอาทิตย์ตก ขบวนการการรวมตัวกันใหม่ก็จะมีอัตราเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ชั้น D หายไปในเวลากลางคืน ในส่วนของบทบาทต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุของชั้น D คือ จะสามารถดูดกลืนพลังงานจากคลื่นที่ความถี่ MF, HF และ VHF ได้ เนื่องจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นนี้มีน้อยประมาณ 10^9 อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร จึงทำให้แค่มีผลกระทบเพียงทำให้เกิดการลดทอนของคลื่นสัญญาณ และสะท้อนสัญญาณในช่วงความถี่ LF และ VLF เนื่องจาก มีความถี่ในการชนกันของอิเล็กตรอนและอนุภาคที่เป็นกลางในอัตราที่สูง (ประมาณ 10^6 ครั้งต่อวินาที) [10] จึงไม่สามารถส่งผลกระทบต่อคลื่นวิทยุให้เลี้ยวเบนได้ และ ชั้น D นี้ยังได้อิทธิพลจากสนามแม่เหล็กโลก

ซึ่งชั้นนี้จะมีการดูดกลืนพลังงานของคลื่นความถี่ย่าน HF ในบริเวณใกล้ 20 องศาเหนือ และได้จากเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก

2.2.1.2 ชั้น E ปกติ

ชั้น E (ปกติ) จะมีความสูงอยู่ที่ 90-140 กิโลเมตร และเป็นชั้นที่มีความหนาของชั้นค่อนข้างบาง วางตัวอยู่เหนือ ชั้น D มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูง 110 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก และทั้งนี้ยังมีนักวิทยาศาสตร์สองคน คือ A.E. Kennelly ชาวอเมริกัน และ I.Heaviside ชาวอังกฤษ ได้ทำนายไว้ว่าชั้นนี้มีการไอโอไนซ์ที่หนาแน่นซึ่งแสดงพฤติกรรมคล้ายกระจกเงาสำหรับสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากลับมายังโลกด้วยการสะท้อนหรือหักเหของคลื่น ด้วยเหตุนี้ชั้น E จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “Kenelly Heaviside layer” และในเวลากลางวันจะมีการไอโอไนซ์ค่อนข้างสูง แต่ในเวลากลางคืนจะมีการไอโอไนซ์ที่อ่อนมาก ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันของชั้นนี้จะมีไม่มากแต่จะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเนื่องจากการทำมุมเอียงระหว่างตำแหน่งของโลกกับดวงอาทิตย์ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นนี้จะอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 4.5×10^5 อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงกลางวัน และมีค่าประมาณ 5×10^3 อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร ถึง 10^4 ในเวลากลางคืน [10] ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาโซล่า (Solar Activity) เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ของดวงอาทิตย์ และในส่วนของความถี่วิกฤตในบริเวณแถบละติจูดต่ำเวลากลางวันค่าความถี่วิกฤตของชั้น E (f_oE) จะอยู่ที่ 2 – 5 เมกะเฮิร์ตซ์ และค่านี้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในแต่ละวัน ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าตามเวลาท้องถิ่นและตามละติจูดต่างๆ ในการประมาณขั้นต้นของการหาค่าความถี่วิกฤตในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนจะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 2.3

2.2.1.3 ชั้น Sporadic-E

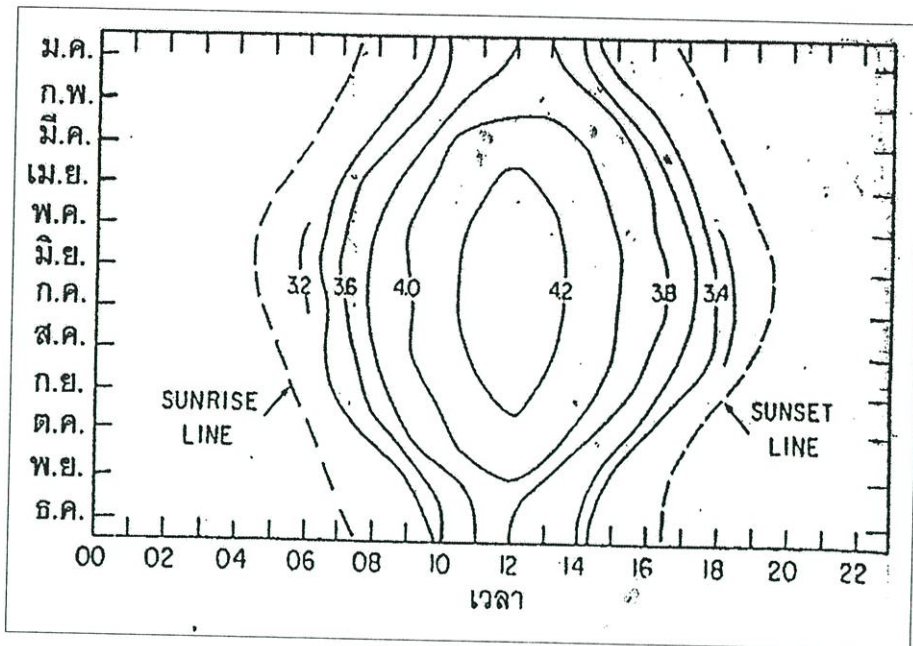
ในชั้น Sporadic-E เป็นชั้นที่ไม่เสถียร โดยจะเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้นจึงจัดว่าเป็นชั้นที่เกิดจากการไอโอไนซ์ที่ผิดปกติ ซึ่งจะแตกต่างจากชั้นที่มีความเสถียรเช่นชั้น D,E และ F โดยปกติชั้น Sporadic-E จะแทนด้วยสัญลักษณ์ E_s และในบริเวณขั้วโลกการเกิดชั้น Sporadic-E ส่วนใหญ่จะเกิดในเวลากลางคืน และ ไม่เป็นไปตามฤดูกาลที่เด่นชัดเหมือนในแถบบริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งจะมีการเกิดของชั้น E_s ที่มักเกิดในเวลากลางวันและ ความเป็นไปได้ในการเกิดชั้น E_s จะเพิ่มขึ้นตามละติจูดแม่เหล็ก ถึงแม้ว่าสาเหตุของการเกิดชั้น Sporadic-E นั้นยังคงไม่มีข้อมูลที่แน่นอนแต่จากการศึกษาพบว่าในการเกิดชั้น E_s ณ เวลาต่างๆ นั้นมาจากสาเหตุที่แตกต่างกัน เช่นการไอโอไนซ์ของอนุภาคอากาศเนื่องจากดาวตก การเคลื่อนย้ายในแนวตั้งของไอออนในก้อนเมฆ การรบกวนจากสนามแม่เหล็กโลกก็มีผลที่ทำให้เกิดการก่อตัวของชั้น E_s โดยลักษณะของชั้น E_s จะมีรูปร่างคล้ายก้อนเมฆอาจเป็นแบบห่อมๆ หรือยาวต่อเนื่องเป็นแผ่น ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 กิโลเมตร จนถึงหลายร้อยกิโลเมตร ทั้งนี้การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ จะไม่มีผลต่อการเกิดของชั้นนี้ ทั้งนี้ชั้น E_s เป็นชั้นที่มีความหนาแน่นของการไอโอไนซ์สูง ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนประมาณ 10 เท่าของชั้น E ปกติ มีความสูงอยู่ที่ 95 – 145 กิโลเมตร จะอยู่สูงกว่าชั้น E ปกติประมาณ 5 -10 กิโลเมตร.

ในการสื่อสาร โดยอาศัยหลักการสะท้อนด้วยคลื่นวิทยุย่านความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ในชั้นนี้จัดว่ามีความสำคัญ โดยการสะท้อนจะขึ้นอยู่กับปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นซึ่งมีการแปรผันค่อนข้างสูงทำให้ความถี่วิกฤตมีค่าผันผวนที่สูง โดยเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ค่าที่ต่ำกว่า 2 - 3 เมกะเฮิร์ตซ์จนถึงมากกว่า 30 เมกะเฮิร์ตซ์

2.2.1.4 ชั้น F_1, F_2 และ F

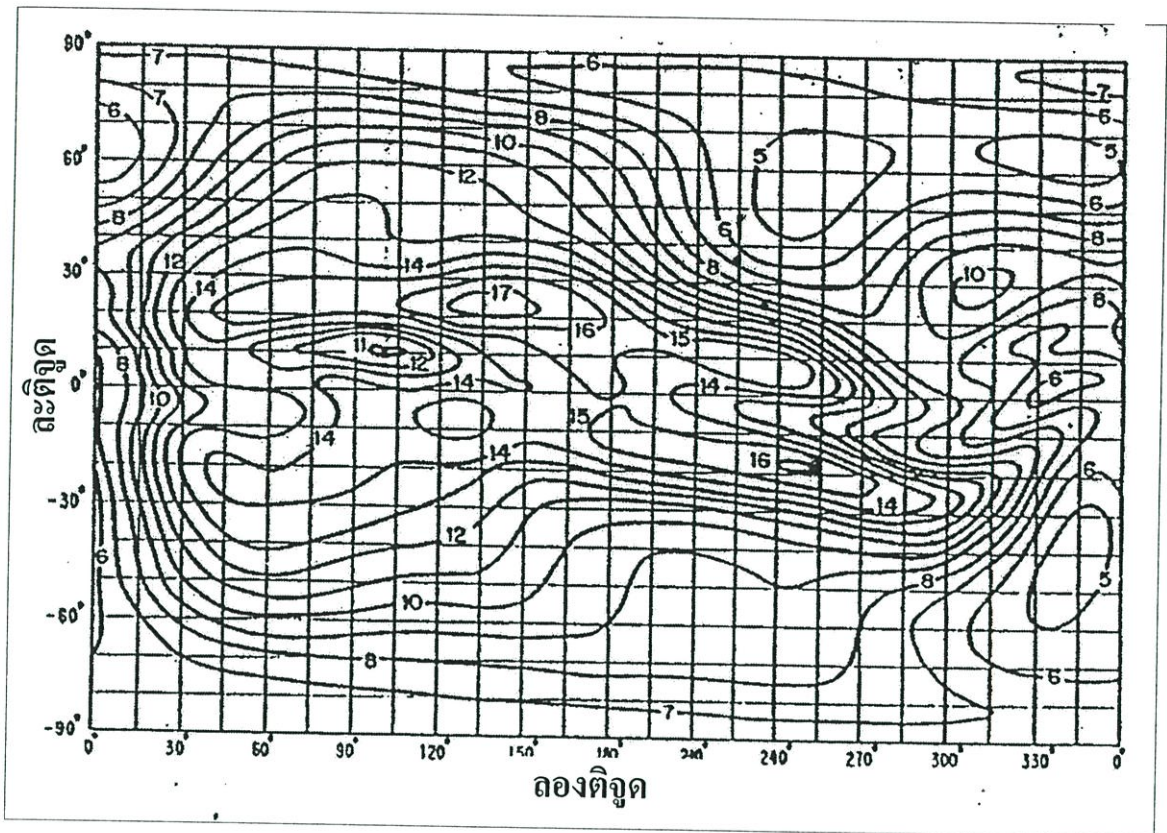
เป็นส่วนหนึ่งของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่วางตัวอยู่ในระดับความสูง 140 – 400 กิโลเมตรจากพื้นผิวโลก ค่าเฉลี่ยความสูงของชั้นนี้อยู่ที่ความสูง 230 กิโลเมตร ค้นพบโดยนาย Appleton โดยการทดลองส่งสัญญาณย่าน HF ไปในแนวตั้ง และให้ไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศชั้น F ทั้งนี้ชั้น F เป็นชั้นที่สังเกตได้ชัดเจนที่สุดในไอโอโนแกรมเนื่องจากการไอโอไนซ์ตลอดทั้งคืนอีกทั้งชั้น F เป็นชั้นย่อยบนสุดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการไอโอไนซ์มากที่สุดและ เป็นเพียงชั้นเดียวที่รักษาการไอโอไนซ์โดยไม่ขึ้นอยู่กับวันหรือฤดูกาลใดๆ ดังนั้นชั้น F จึงเป็นชั้นที่เอื้ออำนวยต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะทางไกลได้แม้ในยามกลางคืน สาเหตุมาจากที่ในชั้น F มีการไอโอไนซ์ในเวลากลางวันสูงมาก ดังนั้นจึงมีอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์แล้วเหลืออยู่ถึงแม้ว่าจะไม่ได้รับแสงอาทิตย์แล้วก็ตาม และอีกประการหนึ่งคือ ค่าความหนาแน่นของการไอโอไนซ์มีค่าสูงในขณะที่ค่าความหนาแน่นของอากาศมีไม่มากนักในระดับที่ความสูงนี้เพราะฉะนั้นโมเลกุลเกือบทั้งหมดในชั้นนี้จึงเป็น โมเลกุลที่ถูกไอโอไนซ์มาเรียบร้อยแล้ว นั่นคืออนุภาคที่อยู่ในรูปของอะตอมออกซิเจน ในส่วนของคุณลักษณะของชั้น F เวลากลางวันหลังจากพระอาทิตย์ขึ้นพบว่าชั้น F จะมีการแยกชั้นเป็น 2 ชั้น โดยเรียกว่าชั้น F_1 และ F_2 ปรากฏการณ์นี้จะพบตลอดปีในบริเวณละติจูดต่ำ (Low Latitude) และในฤดูร้อนบริเวณละติจูดสูง (High Latitude) และ ทั้งนี้การที่ชั้น F แยกชั้นเป็น F_1 และ F_2 นั้นเกิดจาก tidal effect และการเพิ่มของอุณหภูมิที่เป็นไปตามการเพิ่มขึ้นของความสูง [9]

ชั้น F_1 จะปรากฏขึ้นในช่วงเวลากลางวันและวางตัวอยู่ในระดับความสูงประมาณ 150 ถึง 260 กิโลเมตรโดยมีค่าระดับความสูงเฉลี่ย คือ 210 กิโลเมตร และมีความถี่วิกฤตอยู่ที่ 3 ถึง 7 เมกะเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้ความสูงและความถี่วิกฤตจะแปรเปลี่ยนไปตามกับฤดูกาลดังรูปที่ 2.10 การเกิดพายุไอโอโนสเฟียร์ที่มีสาเหตุมาจากจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยส่วนใหญ่แล้วคลื่นความถี่ HF จะทะลุผ่านชั้น F_1 ขึ้นไปสะท้อนชั้น F_2 แต่ก็มียบางครั้งที่ไม่สามารถทะลุไปสะท้อนชั้น F_2 ได้เพราะถูกสะท้อนไปตั้งแต่ชั้น F_1 และ เนื่องจากชั้น F_1 มีปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่มากพอเพียงจะทำให้เกิดการสะท้อน



รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของความถี่วิกฤต (f_oF_1) ในช่วงเวลาและฤดูกาลต่างๆ [12]

ในส่วน of ชั้น F_2 เป็นชั้นที่วางตัวอยู่บนสุดโดยมีระดับความสูงอยู่ที่ 230-450 กิโลเมตร เวลา กลางวันค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นนี้จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นย่อยอื่นๆ ของชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น ส่วนเวลากลางคืนชั้น F_1 กับ F_2 จะรวมตัวกันเกิด เป็นชั้น F และมีการลดระดับลงมา หรือ เพิ่มมาอยู่ที่ ประมาณ 290 ถึง 310 กิโลเมตรทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ ฤดูกาลในแต่ละปีว่าการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดดับของดวงอาทิตย์มีค่าสูงหรือต่ำเพียงใด ซึ่งจะมีผล ต่อเนื่องมาถึง Solar Activity ที่มีอิทธิต่อค่าความหนาแน่นของการไอโอไนซ์ กระแสลมของชั้น ไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งผลต่อการไอโอไนซ์ของชั้น F_2 รวมไปถึงอิทธิผลจากสนามแม่เหล็กโลก การแผ่รังสี UV และ รังสี X-ray จากดวงอาทิตย์ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F_1 , F_2 และ ชั้น F ทั้งสิ้น ในส่วน of ค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ช่วง 6 ถึง 9 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยจะมีค่ามากขึ้นใน แถบละติจูดต่ำอยู่ที่ประมาณ 5 ถึง 15 เมกะเฮิร์ตซ์ดังรูปที่ 2.11 ทั้งนี้สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของ ค่าความถี่วิกฤตชั้น F_2 นี้จะแตกต่างกับชั้นอื่นๆ คือจะไม่เป็นไปตามกฎ $\cos \chi$ (และ χ คือมุมซีนิธของ ดวงอาทิตย์ แต่จะถูกควบคุมโดยสนามแม่เหล็กโลก [12])



รูปที่ 2.11 แผนที่คอนทัวร์ของค่า (f_oF_2) ในตำแหน่งต่างๆ ของโลก (เมกะเฮิรตซ์) [12]

2.2.2 ทฤษฎีการแพร่ของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.2.2.1 ความถี่ในการชนกันของอนุภาค

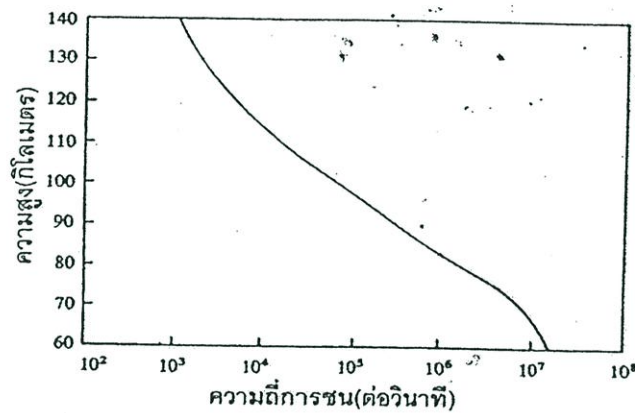
โดยปกติแล้วชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มักจะถูกพิจารณาอยู่ในรูปของก๊าซไอโอไนซ์ หรือที่เรียกว่าพลาสมา(Plasma) โดยพิจารณาพร้อมกับสนามแม่เหล็กโลก เมื่อคลื่นเดินทางผ่านพลาสมาไอออน จะมีการเคลื่อนที่แต่โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจะมีความเร็วสูงกว่าไอออนหนัก (Heavy Ions) และสูงกว่า นิวทรัล (Neutrals) แต่ความเร็วที่เกินไปนี้จะถูกทำให้หมดไปโดยการปล่อยรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่วนอีกทางก็คือความเร็วถูกลดไปอยู่ในรูปพลังงานความร้อน ในพลาสมาจะมีปริมาณความหนาแน่นของนิวทรัลสูงจึงเป็นสาเหตุของการเกิดการชนกันของอนุภาคที่เคลื่อนที่ การชนกันของอิเล็กตรอน นิวทรัล และ อิเล็กตรอน-ไอออน มีลักษณะยืดหยุ่น และการชนกันนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อระยะห่างของอนุภาคมีระยะเป็น $r_e + r_a$ โดย r_e และ r_a คือรัศมีของอิเล็กตรอนและนิวทรัลตามลำดับ (เมื่อสมมติให้อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม) เนื่องจาก $r_e \ll r_a$ ดังนั้นจำนวนการชนต่อวินาทีระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอม (V_{ea}) จึงได้เป็น [13]

$$V_{ea} = \frac{V_e}{l_e} = \pi r_a^2 n_a \left(\frac{3kT}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$l_e = (\pi r_a^2 n_a)^{-1} \quad (2.5)$$

$$V_e = \left(\frac{3kT}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

โดยที่ l_e คือค่าเฉลี่ย Free Path ของอิเล็กตรอน, V_e คือ Thermal Speed ของอิเล็กตรอน, k คือค่าคงที่ของ Boltzmann, T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน), m คือมวลของอิเล็กตรอน และ n_a คือค่าความหนาแน่นของอนุภาคนิวทรัล



รูปที่ 2.12 ความถี่ของการชนกันของอิเล็กตรอนเทียบกับความสูง [13]

เมื่ออิเล็กตรอนเข้าไปใกล้โมเลกุลของนิวทรัลจะก่อให้เกิดแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิตยขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ในทำนองเดียวกันเมื่ออิเล็กตรอนเข้าใกล้ไอออนแรงกูลอมบ์ (Coulomb Force) ที่เกิดขึ้นจะทำให้ความเร็วของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไป การชนกันของอนุภาคเป็นขบวนการที่ซับซ้อนมาก คำนึงในสมการ (2.4) จึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น เพราะยังต้องขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอิเล็กตรอน, ค่าความหนาแน่นโมเลกุล (Molecular Density), และรัศมีของอิเล็กตรอน ในการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าพื้นที่สัมผัสที่อนุภาคใช้ในการชนกันระหว่างอิเล็กตรอนนิวทรัลนั้นเป็นฟังก์ชันของพลังงานในอิเล็กตรอน รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการชนกันของอิเล็กตรอนต่อวินาที (V) กับความสูง (h)

ความถี่ในการชนกันของอิเล็กตรอนกับนิวทรัล (V_{en}), อิเล็กตรอนกับไอออน (V_{ei}), ไอออนกับนิวทรัล (V_{in}) และไอออนกับไอออน (V_{ii}) สามารถหาค่าประมาณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{en} = 5 \times 10^{-1} n_n T^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

$$V_{ci} = [34 + 8.36 \log(T^{3/2} / n_e^{1/2})] n_i T^{-3/2} \quad (2.8)$$

$$V_{in} = 3.35 \times 10^{-21} n_n / M^{1/2} \quad (2.9)$$

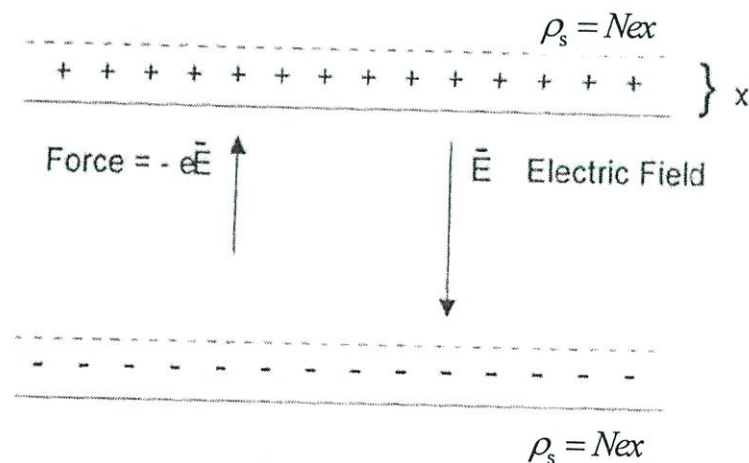
$$V_{ii} = 3.06 \times 10^{-14} V_{ci} / M^{1/2} \quad (2.10)$$

เมื่อ n_n , n_i , n_e คือ ค่าความหนาแน่นของนิวทริล, อีออนบวกและลบ และอิเล็กตรอนตามลำดับ M คือ ค่าเฉลี่ยมวลโมเลกุล และ T คือ อุณหภูมิ (เคลวิน)

2.2.2.2 ความถี่พลาสมา

ก๊าซไอโอไนซ์หรือพลาสมาในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในธรรมชาติจะประกอบด้วยประจุบวกและลบในปริมาณที่สมดุลกันดังนั้นมันจึงมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เราจะจำกัดขอบเขตโดยการศึกษาดูเฉพาะในกรณีพลาสมาประกอบด้วยจำนวนของอิเล็กตรอน (ประจุลบ, มวล m) ในปริมาณที่เท่ากับจำนวนของอีออนบวกประจุเดี่ยว (ประจุบวก, มวล M) ในพลาสมานั้นอิเล็กตรอนสามารถตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กภายนอก (B_0) ได้

พิจารณาแรงที่กระทำบนอิเล็กตรอนในแผ่นของพลาสมาที่มีความหนาแน่นน้อยๆ (x) มีก๊าซอิเล็กตรอนและก๊าซอีออนหนักประจุบวก ดังรูปที่ 2.13 โดยมีแรงบนอนุภาคประจุในสนามไฟฟ้า E ที่เกิดจากขั้วของแผ่นประจุไฟฟ้าธรรมชาติของพลาสมาและมีค่าความหนาแน่นประจุพื้นผิว (Surface Charge Density) คือ $\rho_s = Nex$ [คูมอมบ์ต่อตารางเมตร]



รูปที่ 2.13 แรงบนประจุในสนามไฟฟ้า E ของอนุภาคที่เกิดจากขั้วของแผ่นประจุไฟฟ้าธรรมชาติของพลาสมา [13]

เมื่อ N คือ ค่าความหนาแน่นของอนุภาคอิเล็กตรอนหรือไอออนบวก [จำนวนอนุภาคต่อลูกบาศก์เมตร]
 e คือ ประจุไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1.6×10^{-19} [คูลอมบ์]
 x คือ ค่าความหนาแน่นของแผ่นประจุไฟฟ้าธรรมชาติของพลาสมา [เมตร]
โดยมีค่าของสนามไฟฟ้าเป็น

$$E = -\frac{\rho_s}{\epsilon_0} = -\frac{Nex}{\epsilon_0} \quad (2.11)$$

$$F = m\ddot{x} = -eE \quad (2.12)$$

$$\ddot{x} = \frac{-e}{m} E = -\frac{Ne^2}{\epsilon_0 m} x \quad (2.13)$$

ในกรณีที่ ϵ_0 มีค่า Permittivity ของ Free Space เท่ากับ 8.85×10^{-12} [F/m] และค่า $\omega = 2\pi f$ ทำให้ได้ความเร็วเชิงมุมของพลาสมา ω_N เป็น

$$\omega_N^2 = 4\pi^2 f_N^2 = \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m} \quad (2.14)$$

และทั้งนี้เมื่อ f_N คือค่าความถี่พลาสมาซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับประจุ [2] จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$f_N^2 = \frac{Ne^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m} \approx 80.6N \quad (2.15)$$

$$f_N = 8.98\sqrt{N} \quad (2.16)$$

ในทำนองเดียวกันเราสามารถหาความถี่พลาสมาไอออนประจุเดียว (f_{Ni}) ได้จาก

$$\omega_{Ni}^2 = 4\pi^2 f_{Ni}^2 = \frac{Nie^2}{\epsilon_0 M} \quad (2.17)$$

จาก (2.14) แทน $4\pi^2 \epsilon_0 = \frac{Ne^2}{f_N^2 m}$ ลงใน (2.17) จะได้

$$f_{Ni} = f_N \left(\frac{m}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.18)$$

เมื่อให้ค่าความหนาแน่นอนุภาคอิเล็กตรอน (N) เท่ากับความหนาแน่นอนุภาคไอออนบวก (N_+) และ m, M คือ มวลของอิเล็กตรอนและไอออนบวกตามลำดับ

พลาสมาเป็นก๊าซที่มีประจุทางไฟฟ้าซึ่งในอะตอมแต่ละอะตอมจะมีอิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว หลุดออกมาโดยที่เหลือในอะตอมพลาสมาจะเป็นประจุบวกในธรรมชาติความถี่พลาสมาจะประกอบด้วยทั้งความถี่อิเล็กตรอนและความถี่ไอออนบวก แต่ในความถี่สัญญาณหนึ่งๆ นั้นจะถูกครอบคลุมโดยอิเล็กตรอนอิสระเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้ความถี่พลาสมานั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นอิเล็กตรอนอย่างเดียว ดังนั้นจากนี้ไปจะกำหนดให้ N คือ ความหนาแน่นอิเล็กตรอน (el/m^3)

2.2.2.3 ความถี่วิกฤต

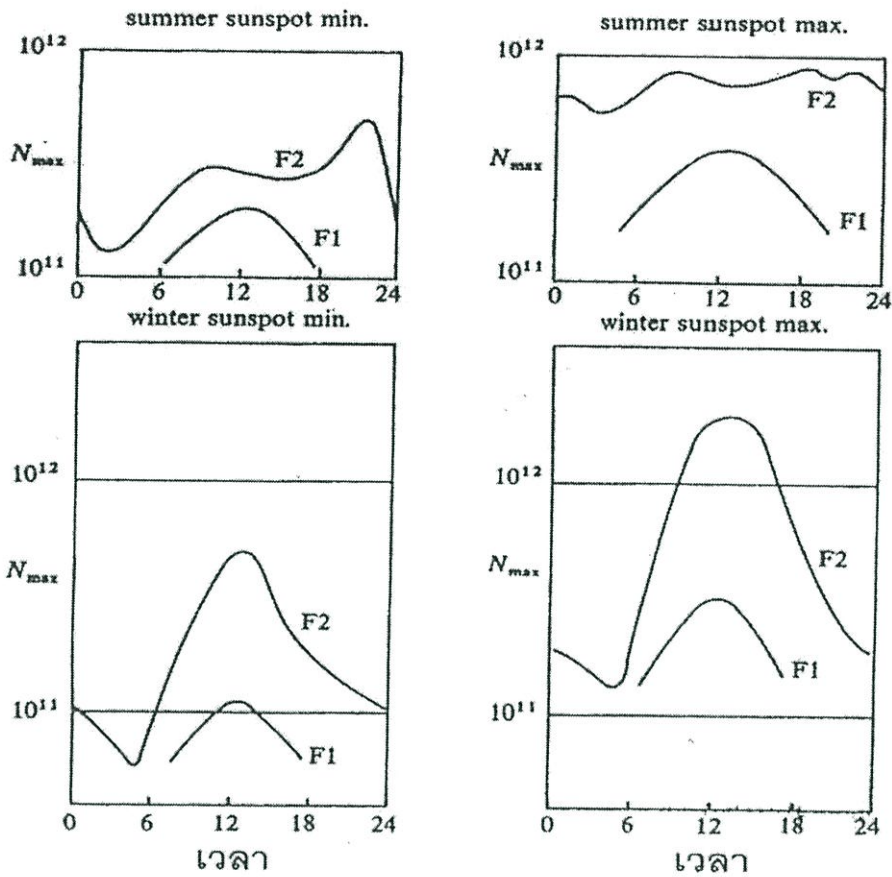
จากความถี่พลาสมา (f_N) เราสามารถหาความถี่วิกฤต (f_0) ของคลื่นสัญญาณได้โดยอ้างอิงจากดัชนีการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (n) และเมื่อ f คือ ความถี่ของคลื่นสัญญาณ [เฮิร์ตซ์] จะได้

$$n = \sqrt{1 - \frac{f_N^2}{f^2}} = 0 \quad (2.19)$$

เมื่อส่งคลื่นขึ้นไปในแนวตั้งไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เราสามารถหาค่าความถี่วิกฤตได้จากค่าความถี่ที่สูงที่สุดที่มีการหักเหเพียงเล็กน้อยและเมื่อส่งคลื่นความถี่สูงกวานี้จะทะลุผ่านชั้นบรรยากาศทำให้มีดัชนีของการหักเหเท่ากับ 0 โดยถือว่าเป็นค่าความถี่สูงสุดซึ่งก็คือ ค่าความถี่วิกฤตจากสมการ (2.19) จึงสามารถเปรียบเทียบได้ว่าความถี่วิกฤตมีค่าเท่ากับความถี่พลาสมาดังสมการ (2.20)

$$f_0 = f_N = 9\sqrt{N_{\max}} \quad (2.20)$$

ทั้งนี้ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีชั้นย่อยต่างๆ ที่มีคุณสมบัติของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุด (N_{\max}) ที่มีค่าเฉพาะชั้นนั้นๆ โดยในแต่ละที่และ ในแต่ละช่วงเวลาก็มีค่าเฉพาะแตกต่างกันออกไปซึ่งมีผลทำให้ค่าความถี่วิกฤตก็จะมีค่าเฉพาะในแต่ละชั้นย่อยที่ใช้สัญลักษณ์แทนเป็น f_0E, f_0F_1 และ f_0F_2 ซึ่งค่าของสัญลักษณ์ทั้งหมดนี้จะมีค่าไม่คงที่โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวัน และ ในแต่ละฤดูกาลโดยจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ และทั้งนี้ในรูปที่ 2.14 จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุด กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F_1 และ F_2



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุดกับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F₁ และ F₂ [14]

“Ionosonde” เป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้สำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตตามความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์ของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนอิสระในแต่ละระดับความสูงของชั้นย่อยได้ โดยอุปกรณ์นี้จะทำหน้าที่ส่งคลื่นวิทยุที่มีพัลส์สั้นในแนวตั้งไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และทำการบันทึกเวลาหน่วงระหว่างการส่งและการรับ เมื่อทราบค่าความเร็วในการแพร่กระจายคลื่นและระยะตำแหน่งที่คลื่นสะท้อนจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณ พัลส์ของคลื่นวิทยุในระยะเริ่มต้นจะมีความถี่ค่อนข้างต่ำเพื่อทำการทดสอบซ้ำๆ โดยเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้นและพล็อตค่าความสูงที่คลื่นสะท้อนกับค่าความถี่ที่ระดับความสูงนั้นๆ กราฟที่พล็อตนี้เรียกว่า “Ionogram”

คลื่นที่ส่งแบบเอียงขึ้นไปด้วยมุมตกกระทบ(θ_i) ไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วเกิดการสะท้อนที่ความถี่ที่สูงขึ้นจากความสัมพันธ์

$$\sin \theta_i = \sqrt{1 - \left(\frac{f_N}{f}\right)^2} \quad (2.21)$$

$$f_N = f_0 \quad (2.22)$$

$$\sin \theta_i = \sqrt{1 - \left(\frac{f_0}{MUF}\right)^2} \quad (2.23)$$

เมื่อ MUF คือ Maximum Usable Frequency สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

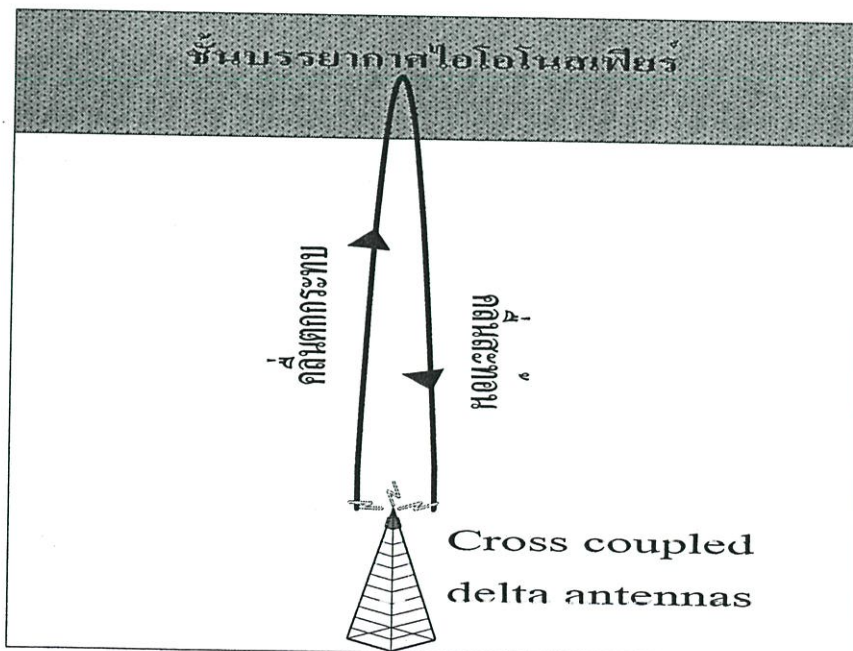
$$MUF = f_0 \sec \theta_i \quad (2.24)$$

แต่ค่าสูงสุดของมุมตกกระทบที่ทำให้ MUF มีค่ามากที่สุด คือ ประมาณ 74° [15] ดังนั้นสมการ (2.24) จะเขียนได้เป็น

$$MUF = 3.6 f_0 \quad (2.25)$$

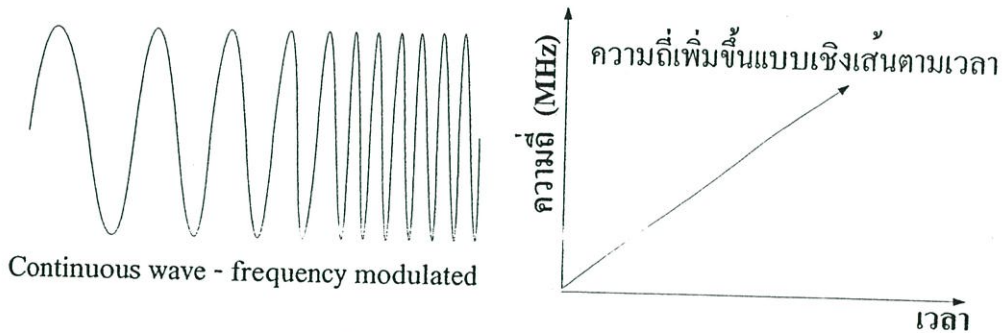
2.3 การวัดแบบเทคนิคไอโอโนซอน

หลักการของเทคนิคไอโอโนซอนจะมีลักษณะคล้ายกับวิธีการของเรดาร์ นั่นคือเราสามารถทราบระยะห่างของวัตถุที่ต้องการได้โดยวัดจากการเดินทางไปและกลับของระยะที่คลื่นสะท้อนจากจุดที่ส่งกับวัตถุที่ต้องการ แต่เทคนิคไอโอโนซอนนั้นจะใช้ความถี่ที่มีค่าต่ำ โดยลักษณะของคลื่นต่อเนื่องจะถูกส่งขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และสะท้อนกลับมาที่เสาสัญญาณรับได้ดังรูปที่ 2.15



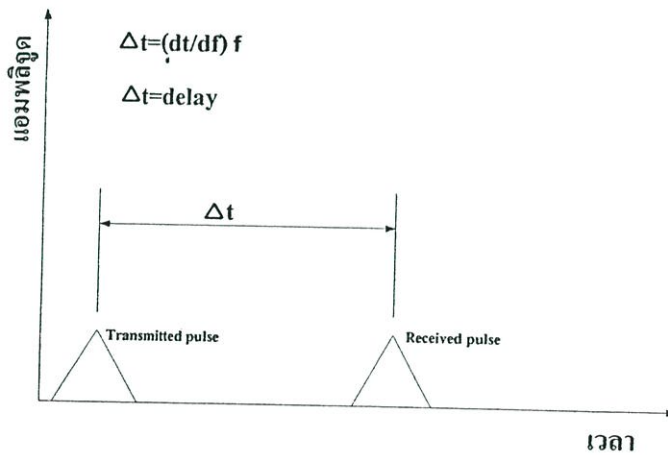
รูปที่ 2.15 ภาพจำลองการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

อาจกล่าวได้ว่าการวัดค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำได้โดยการส่งความถี่ย่าน HF (High Frequency) ซึ่งมีความถี่ระหว่าง 2 -30 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตซึ่งจะส่งคลื่นในลักษณะคลื่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Wave Frequency Modulation) และเพิ่มความถี่แบบเชิงเส้นตามเวลาดังรูปที่ 2.16 [16]



รูปที่ 2.16 คลื่นที่ใช้ในการมอดูเลตของเทคนิคไอโอโนซอน

คลื่นจะถูกส่งขึ้นไปยังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีกลุ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอนซึ่งมีสายอากาศวางตัววางตัดกันเป็นโคมคอยทำหน้าที่รับส่ง จากนั้นจะทำการคำนวณเวลาหน่วงในการเดินทางของคลื่นดังรูปที่ 2.17 แล้วทำการพลอตกราฟไอโอโนแกรมต่อไป

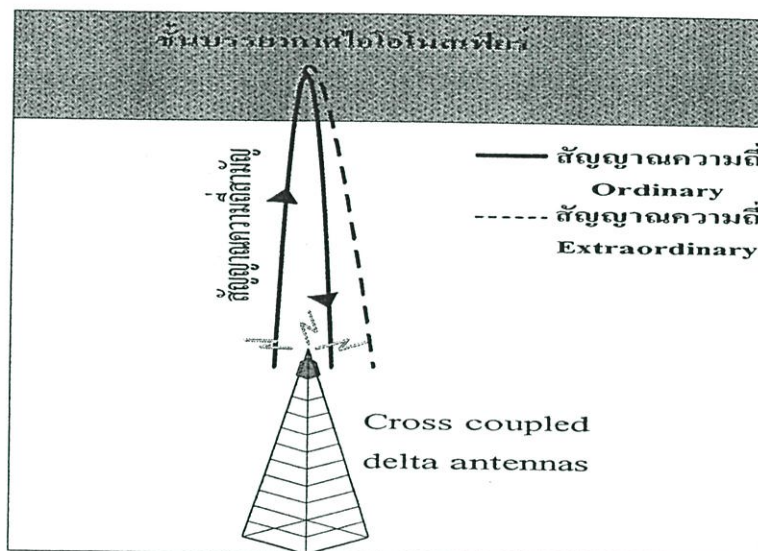


รูปที่ 2.17 การคำนวณเวลาหน่วงในการเดินทางของคลื่น

กำหนดให้ค่าหน่วงเวลาเป็น Δt และค่าความสูง h' ของชั้นบรรยากาศที่ต้องการคำนวณจะได้สมการดังนี้

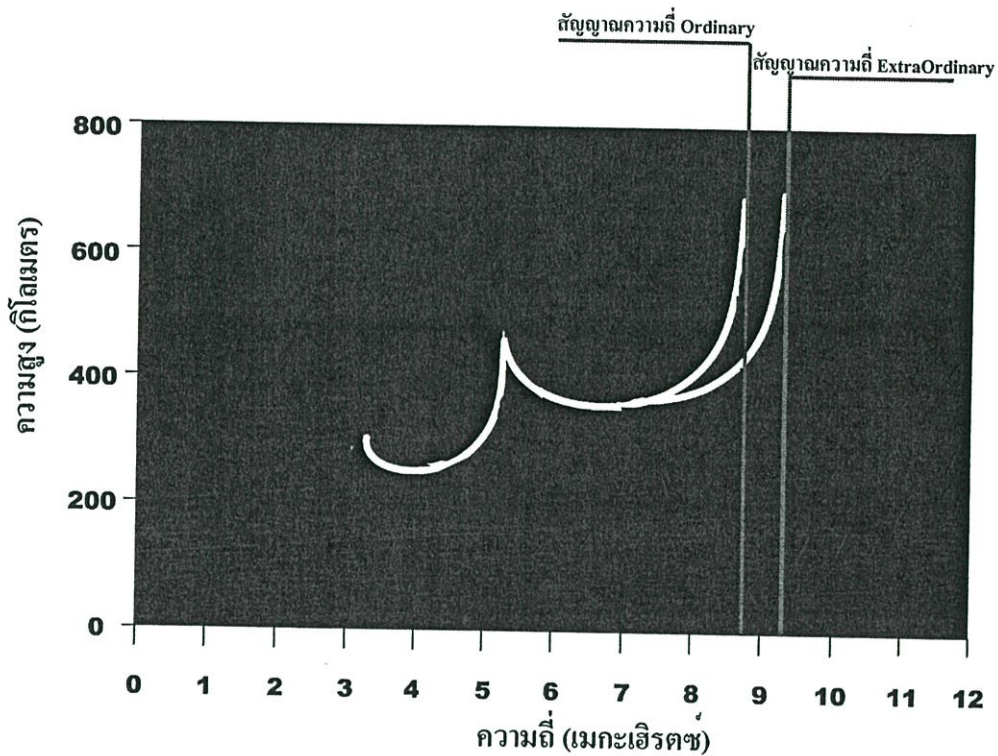
$$\Delta t = \frac{2}{c} h' \tag{2.44}$$

การส่งคลื่นไอโอโนสเฟียร์ขึ้นไปในชั้นบรรยากาศจะเกิดความถี่อีกชนิดหนึ่งสะท้อนกลับออกมาด้วย เพราะในชั้นบรรยากาศดังกล่าวมีแมกนีโตพลาสมา (Magnetoplasma) ที่ทำให้คลื่นส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปได้เพียงเล็กน้อยแต่ส่วนที่เหลือกลับไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้และทำการสะท้อนกลับออกมา ซึ่งความถี่ที่สะท้อนกลับออกมานั้นเราเรียกว่า ความถี่ Ordinary และความถี่ที่เกิดขึ้นมาใหม่เราจะเรียกว่า ความถี่ Extraordinary นั้นเอง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้สืบเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลสืบเนื่องมาจากแรงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า eE , และ แรงของสนามแม่เหล็กโลก $ev \times B$ ส่งผลทำให้เกิดค่าไดอิเล็กตริกเชิงซ้อน (Complex Dielectric Constant)[17] ที่แสดงถึงการสะท้อนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วเกิดเป็นความถี่อีกชนิดหนึ่งสะท้อนกลับมา โดยความถี่ดังกล่าวจะมีค่าความถี่สูงกว่าค่าความถี่ Ordinary ทำให้เครื่องรับสามารถรับความถี่กลับมาได้สองความถี่ และเมื่อนำมาพลอตเป็นภาพไอโอโนแกรมจะปรากฏเป็นเส้นโค้งสองเส้นที่มีค่าความถี่ต่างกันดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การเกิดคลื่นที่สอง (สัญญาณความถี่ Extraordinary) สะท้อนกลับมาที่เครื่องรับ

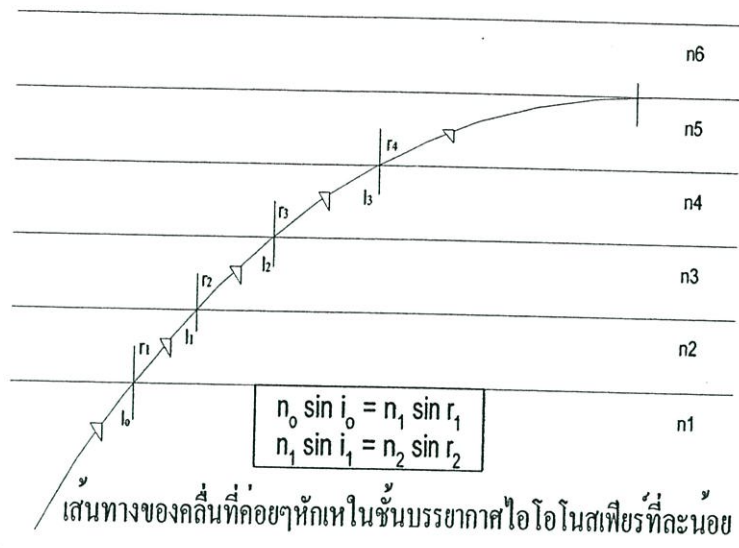
รูปที่ 2.18 แสดงการสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วเกิดความถี่อีกความถี่สะท้อนกลับมา ซึ่งจะมีค่าความถี่สูงกว่าความถี่ Ordinary ทำให้เครื่องรับสามารถรับความถี่กลับมาได้ 2 ความถี่ เมื่อนำมาพล็อตเป็นภาพไอโอโนแกรมจึงปรากฏเป็นเส้นโค้งของการสะท้อน 2 เส้นที่มีค่าความถี่ต่างกันดังรูปที่ 2.19



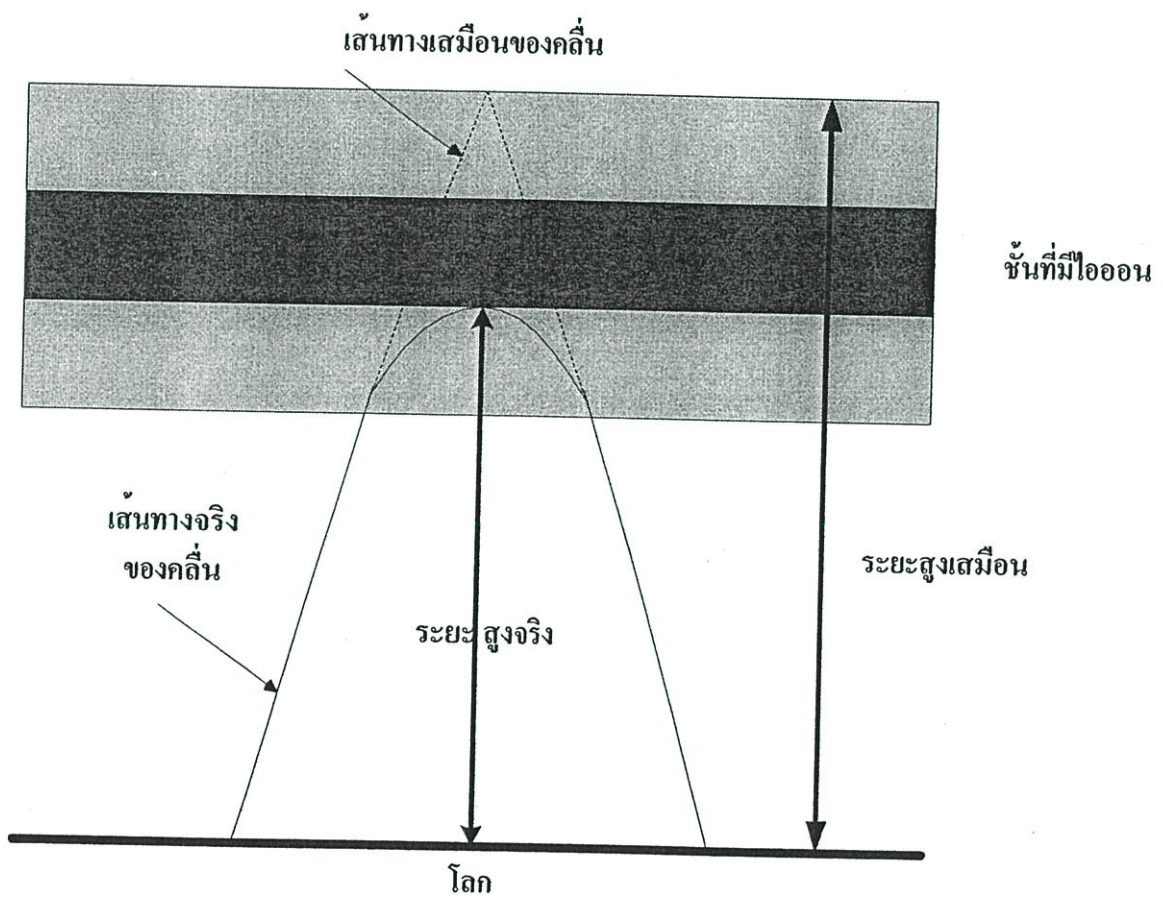
รูปที่ 2.19 ภาพไอโอโนแกรมที่ปรากฏเป็นเส้นการสะท้อนที่แตกออกมาเป็นเส้นโค้ง 2 เส้น

2.4 การสื่อสารทางคลื่นฟ้า

การสื่อสารทางคลื่นฟ้านี้ค่อนข้างซับซ้อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จากรูปที่ 2.20 จะเห็นว่าคลื่นค่อยๆ หักเหกลับลงมาจากชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ละน้อย มิใช่เป็นการหักเหแบบหักมุมแต่เป็นการ โค้งลงอย่างช้า ๆ ซึ่งจะเรียกว่าการหักเหเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [17] อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกโดยจะสมมุติว่าคลื่นได้สะท้อนหรือเสมือนกับว่าสะท้อนมาจากชั้นความสูงตามเส้นประ ระยะความสูงของชั้นบรรยากาศซึ่งเสมือนว่าสะท้อนคลื่นลงมานั้น เรียกว่า “ความสูงเสมือน (Virtual Height)” จากรูปที่ 2.21 ระยะความสูงเสมือนของชั้นไอโอโนสเฟียร์คำนวณได้จากการยิงคลื่นของพัลส์ความถี่ต่างๆ ขึ้นไปตรงๆ ในลักษณะแนวตั้งและให้สะท้อนกลับมายังโลก เมื่อความถี่ของคลื่นสูงขึ้นไปเกินค่าหนึ่งคลื่นจะไม่สะท้อนกลับมา ความถี่ค่านี้เรียกว่าความถี่วิกฤต (Critical Frequency) ฉะนั้นเมื่อส่งคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าความถี่วิกฤตขึ้นไปในแนวตั้งคลื่นก็จะไม่สะท้อนกลับมายังโลกความถี่วิกฤตนี้เปลี่ยนแปลงไปตามชั้นไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งไม่แน่นอน

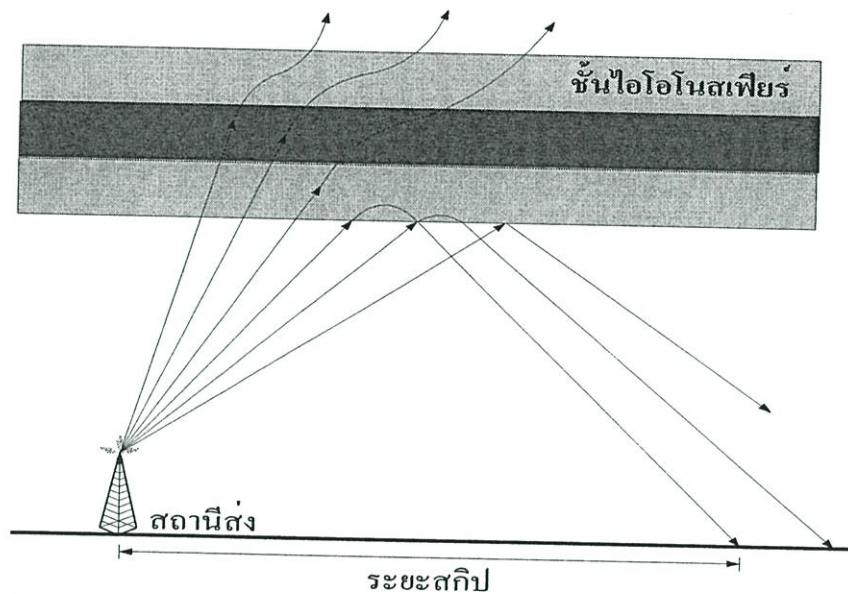


รูปที่ 2.20 คลื่นหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามกฎของสเนล



รูปที่ 2.21 ภาพจำลองเส้นทางของคลื่นที่ไปกระทบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

หากสมมุติว่า เรายังคลื่นขึ้นไปเป็นมุมเฉียง (แทนที่จะเป็นแนวตั้ง) คลื่นก็จะเดินทางในชั้นไอโอโนสเฟียร์นานขึ้น ดังนั้นการหักเหจะเกิดได้มากขึ้นซึ่งหมายความว่าคลื่นที่มีความสูงสูงกว่าความถี่วิกฤตจะสะท้อนกลับสู่โลกได้ถ้ายังคลื่นเป็นมุมเฉียง อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดอื่นๆ อีกกล่าวคือถ้าเรายังคลื่นเป็นมุมที่สูงขึ้นเกินค่าๆ หนึ่งจนทำให้คลื่นไม่สะท้อนกลับมา มุมนี้เรียกว่า “มุมวิกฤต” จากรูปที่ 2.22 จะสังเกตได้ว่าเมื่อมุมยิงต่ำลงระยะทางติดต่อสื่อสารจะไกลขึ้นระยะทางนี้เรียกว่า “ระยะสคิป (Skip Distance)” ฉะนั้นระยะสคิปจะไกลที่สุดก็ต่อเมื่อใช้มุมยิงต่ำที่สุดและใช้คลื่นที่มีความหักเหสูงสุด



รูปที่ 2.22 ระยะสคิปที่เกิดจากสถานีส่งคลื่นไปกระทบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.5 ทฤษฎีการส่งคลื่นสั้นในการสื่อสารระยะไกล

สัญญาณวิทยุคลื่นสั้นเราสามารถเรียกอีกอย่างว่า คลื่นในย่าน HF (High Frequency) ซึ่งจะมีความถี่เริ่มจาก 2-30 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยคลื่นจะสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเปรียบเสมือนกระจกสะท้อนคลื่นในช่วงเวลากลางวันการสะท้อนจะใช้งานได้น้อยมากเนื่องจากการสะท้อนได้เพียง 100 กิโลเมตรเท่านั้น ในที่นี้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะอยู่เหนือชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (มีความสูงจากพื้นโลกตั้งแต่ 55.8 กิโลเมตร ถึง 483.6 กิโลเมตร) ซึ่งโดยปรกติคลื่นจะสะท้อนจากตัวกลางหนึ่งไปยังอีกตัวกลางหนึ่ง ซึ่งคลื่นวิทยุจะสะท้อนเมื่อเดินทางผ่านชั้นต่างๆ ของชั้นบรรยากาศ โดยที่ชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีความสูงของชั้นตั้งแต่ 100 กิโลเมตรขึ้นไป ดังนั้นเมื่ออัตราส่วนของดัชนีหักเหของสองตัวกลางมีค่ามากพอ คลื่นจะสามารถสะท้อนได้เปรียบเสมือนแสงที่สะท้อนกับกระจก [16]

การแพร่ของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถอธิบายได้โดยการใช้ความถี่ที่เหมาะสมตามความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ยังมีอีกหลายๆ หลักการที่ใช้อธิบายวิธีการของ Heaviside และ Kennally แต่ Professor Appleton และผู้ร่วมวิจัยได้ค้นพบว่า ไม่ได้มีเพียงชั้นเดียวที่สามารถสะท้อนคลื่นได้แต่มีถึงสองชั้น โดยการทดลองครั้งแรกในปี ค.ศ. 1925 โดยได้ทำการทดลองร่วมกับ Pulse wave, Breit และ Tuve ในสหรัฐอเมริกา การทดลองดังกล่าวประสบความสำเร็จในการพิสูจน์ทฤษฎีที่คลื่นวิทยุความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ สามารถทำการสื่อสารได้ระยะทาง 300 กิโลเมตร ซึ่งการกำหนดชื่อของชั้นบรรยากาศที่มีการไอโอไนซ์ถูกกำหนดชื่อโดย E.V. Appleton โดยชั้นที่ต่ำที่สุดจะมีความสูงตั้งแต่ 60-90 กิโลเมตร เราจะเรียกชั้นนี้ว่า ชั้น D ชั้นนี้เป็นชั้นที่มีความไม่แน่นอนและเป็นส่วนหนึ่งของชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอน จะเกิดขึ้นต่อเมื่อเวลาที่ไม่มีการแผ่รังสี และจะเกิดการรวมกลับอย่างรวดเร็ว ปริมาณการไอโอไนซ์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของแสงอาทิตย์ และ ชั้นบรรยากาศจะทำการดูดซับพลังงานจากคลื่นวิทยุโดยเฉพาะที่ความถี่ย่าน 3 เมกะเฮิรตซ์ และ 7 เมกะเฮิรตซ์

เราจะใช้การไอโอไนซ์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในการสื่อสารระยะไกล ซึ่งย่านของวิทยุที่นำไปใช้ได้แก่ย่าน 3.5, 7, 14, 21 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งความสูงของชั้นจะมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแต่ละช่วงเวลาในแต่ละปีและตำแหน่งของเส้นรุ้งของช่วงเวลาใน 1 วัน โดยที่ค่าความเปลี่ยนแปลงนี้จะเริ่มตั้งแต่ความสูงที่ 200 ถึง 400 กิโลเมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วัฏจักรสุริยะที่จะส่งผลต่อความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนตามสมการที่ (2.46)

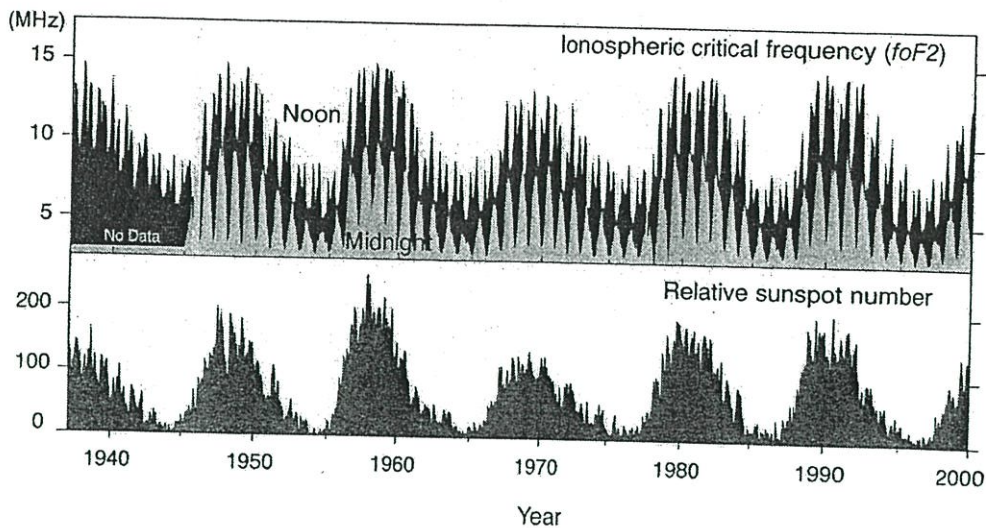
$$f_0 = 9\sqrt{N_{\max}} = \frac{\omega_c}{2\pi} \quad (2.46)$$

โดยให้ค่า N_{\max} (อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร) เป็นค่าความหนาแน่นสูงสุดของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ของแต่ละชั้นนั้นจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและวัฏจักรสุริยะ โดยแสดงเป็นสมการที่ 2.47 และ 2.48

$$f_0 E = 0.9[(180 + 1.44R) \cos \chi]^{0.25} \quad \text{MHz} \quad (2.47)$$

$$f_0 F_1 = (4.3 + 0.01R) \cos^{0.2} \chi \quad \text{MHz} \quad (2.48)$$

ค่า $f_0 E$ แสดงถึงค่าความถี่วิกฤตของชั้น E และค่า $f_0 F_1$ คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น F_1 ค่า R คือจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์และ χ คือมุมซิมิทของดวงอาทิตย์ (Zenith Angle of the Sun) [16] โดยที่ปริมาณของจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์จะแปรผันตามกับค่าความถี่วิกฤตของชั้น F ทำให้ความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยช่วงเวลาของวัฏจักรสุริยะซึ่งมีช่วงเวลา 11 ปีในแต่ละรอบวัฏจักร [19] ดังแสดงได้จากรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sun Spot Number) [3]

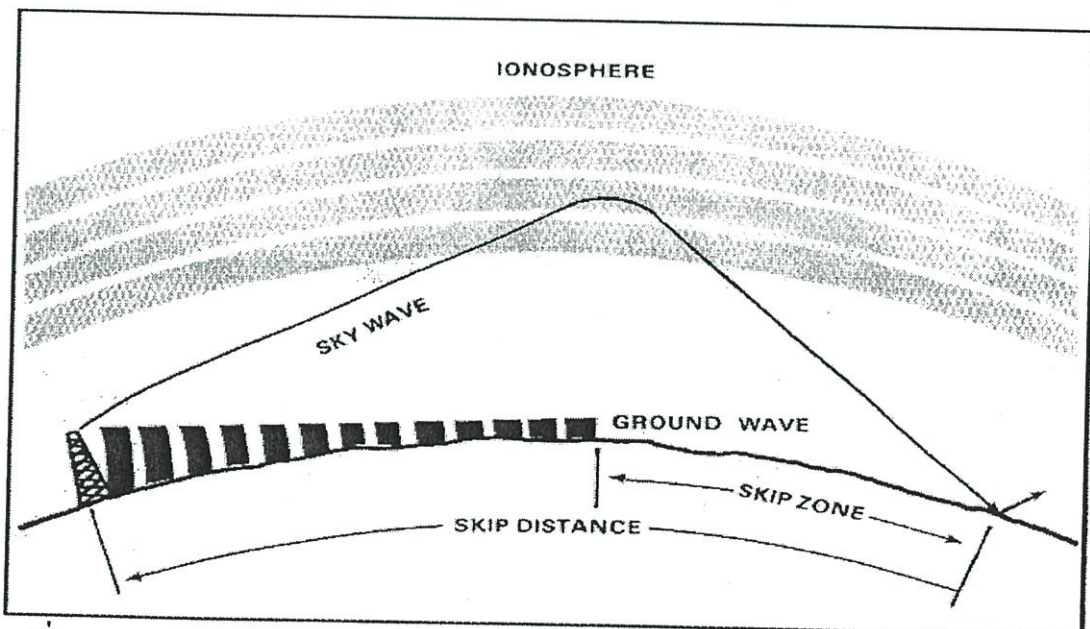
ในเวลากลางวันชั้น D จะดูดซับความถี่ในย่าน 1.8 เมกะเฮิร์ตซ์มากหรือเราจะเรียกย่านนี้ว่า ความยาวคลื่น 16 เมตร และถ้ามีมุมที่ทำให้คลื่นสะท้อนมากพอที่จะทำให้สัญญาณไม่ส่งผ่านชั้น F และถูกจำกัดพื้นที่ในการส่งอีกด้วย ในทางกลับกันในเวลากลางคืนชั้น D จะหายไปอย่างรวดเร็วและในการติดต่อสื่อสารจะใช้ชั้น F_2 Layer Skip แทน

อย่างไรก็ตามข้อจำกัดในการแพร่ของคลื่นในย่านนี้นั้นจะเกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เป็นตัวกลางในการเดินทางของคลื่นและสัญญาณรบกวนที่เกิดจากมนุษย์ โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้นและพื้นที่บริเวณละติจูดกลาง (Mid Latitude) จะมีพายุแม่เหล็กเป็นเหตุให้ระดับสัญญาณรบกวนมีค่าสูงในหน้าร้อนและหน้าหนาว ในช่วงเวลาเย็นเหมาะที่จะใช้ความถี่ในย่านนี้ติดต่อสื่อสารระยะทางไกลๆ ได้ดี แต่สายอากาศที่ใช้ส่งและรับสัญญาณนั้นต้องเป็นสายอากาศที่รับสัญญาณคลื่นได้ดีและสามารถขจัดคลื่นรบกวนได้ด้วย

ความถี่ย่าน 3.5 เมกะเฮิร์ตซ์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ย่านความยาวคลื่น 80 เมตร เป็นความถี่ที่ต่ำที่สุดของย่าน HF มีคุณสมบัติคล้ายกับความถี่ย่าน 1.8 เมกะเฮิร์ตซ์ คือในเวลากลางวันจะถูกดูดซับโดยชั้น D แต่ไม่มากเท่ากับย่าน 1.8 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อส่งสัญญาณด้วยมุมที่มีค่าสูงสัญญาณจะสามารถส่งผ่านไปยังชั้น E และชั้น F ได้ ในทางทฤษฎีระยะทางในการสื่อสารของความถี่ย่านนี้ในเวลากลางวันจะถูกจำกัดที่ 400 กิโลเมตร สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นก็จะเหมือนในย่าน 1.8 เมกะเฮิร์ตซ์ คือเป็นการเกิดโดยการรบกวนจากชั้นบรรยากาศ ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารในย่านนี้จะได้ไกลถึง 800 กิโลเมตร โดยชั้นชั้น E และ F ในย่านความถี่ที่ 7 เมกะเฮิร์ตซ์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในการสะท้อนคลื่น การใช้ความถี่เพื่อการสื่อสารในย่านนี้ให้ได้ระยะทางไกลๆ นั้นจะใช้ชั้น F_2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ความถี่ย่าน 10 เมกะเฮิร์ตซ์หรือความถี่ย่าน 30 เมตร เป็นความถี่ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถใช้การสื่อสารได้ทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดยปกติจะสามารถส่งคลื่นไปได้ไกลถึง 3000 กิโลเมตรในเวลากลางวัน โดยจะใช้ชั้น F_2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในการสะท้อนคลื่นตลอดทั้ง 24 ชั่วโมง นอกจากนี้ในการสื่อสารโดยใช้คลื่นสั้นจะประหยัดกว่าการใช้ดาวเทียมเนื่องจากไม่ต้องจองช่องสัญญาณในการเข้าถึงและสามารถส่งข้อมูลไปกับคลื่นวิทยุในระยะทางไกลๆ ดังนั้นจึงมีการศึกษาชั้นไอโอโนสเฟียร์เพื่อใช้ในการสื่อสารโดยใช้คลื่นสั้น อย่างไรก็ตามการรับส่งของคลื่นสั้นนั้นข้อมูลที่ส่งออกไปนั้นควรเป็นข้อมูลที่ไม่เป็นความลับ เพราะคนที่มีความถี่รับที่ตั้งอยู่ในระยะที่สามารถรับคลื่นที่เราส่งไปได้นั้น เพียงแค่ปรับเครื่องรับให้มีความถี่ระดับเดียวกันก็สามารถทราบข้อมูลของผู้ส่งได้ ในการแก้ปัญหาของการแพร่ของคลื่นจะทำได้โดยใช้ไคเวอร์ซิตี (Diversity) ในการจัดสรรระบบสื่อสารแบบไร้สายจะจัดการความถี่ให้ครอบคลุมในย่านความถี่สูง (High Frequency) หรือ คลื่นสั้น (Short Wave) ผู้ให้บริการจะสามารถเลือกช่องสัญญาณเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในทุกการให้บริการ

ในสภาวะปกติการส่งข้อมูล โดยใช้ความถี่ย่าน HF จะไม่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลถึง 200 กิโลเมตร เพราะการส่งด้วยคลื่นดิน (Ground Wave) จะถูกบังสัญญาณด้วยความโค้งของโลก ดังเห็นได้จากรูปที่ 2.24 จะแสดงความสัมพันธ์ของระยะทางของการสื่อสารโดยใช้คลื่นฟ้า (Sky Wave) โดยที่ Skip Distance คือ ระยะทางที่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณครั้งแรกจากจุดที่ส่งถึงจุดที่สามารถรับสัญญาณได้ (ระยะทางนี้จะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ทำการส่ง มุมที่ใช้ในการส่ง และ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เป็นตัวสะท้อนคลื่น) รวมทั้งระยะทางที่คลื่นดินส่งสัญญาณไปถึง



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ของ สกิปโซน (Skip Zone) ระยะทางของการสื่อสารโดยใช้คลื่นฟ้า (Sky Wave) และระยะทางของคลื่นดิน (Ground Wave)

สคิปโชน เป็นระยะทางจากจุดที่สามารถรับคลื่นดินได้ถึงเป็นจุดแรกที่สะท้อนกลับมาของคลื่นฟ้า โดยที่ระยะทางดังกล่าวจะเป็นระยะทางที่ไม่สามารถรับสัญญาณได้ หรือเรียกว่ามีระดับสัญญาณอ่อนมาก ระยะของสคิปโชนนี้จะขึ้นอยู่กับระยะทางของคลื่นดินและระยะทางของการสื่อสารโดยใช้คลื่นฟ้า หากในการสื่อสารคลื่นฟ้าและคลื่นดินเกิดมีค่าใกล้เคียงกันจะทำให้เกิดการจางหาย (Fading) ที่รุนแรงของสัญญาณ โดยที่สัญญาณจากคลื่นฟ้าจะแรงกว่าสัญญาณจากคลื่นดินและมีเฟสที่ต่างกัน

จากรูปที่ 2.25 การเดินทางของคลื่นวิทยุที่สะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไปยังเครื่องรับนั้น จะขึ้นอยู่กับมุมในการส่งขึ้นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศว่าคลื่นที่มีค่าความถี่เท่านี้จะสามารถส่งคลื่นไปได้ระยะทางไกลที่สุดเท่าไร โดยสามารถคำนวณหาค่าระยะทางส่งได้จากสมการที่ (2.49)

$$\tan \theta_i = \frac{d}{2} = \frac{d}{2h} \quad (2.49)$$

จากสมการข้างบนตามสูตร

$$\tan \theta_i = \sqrt{(\sec^2 \theta_i - 1)} \quad (2.50)$$

โดยที่

$$\sec \theta_i = \frac{f_0}{f} \quad (2.51)$$

นำค่า $\tan \theta_i$ และ $\sec \theta_i$ มาแทนในสมการที่ (2.44) จะได้

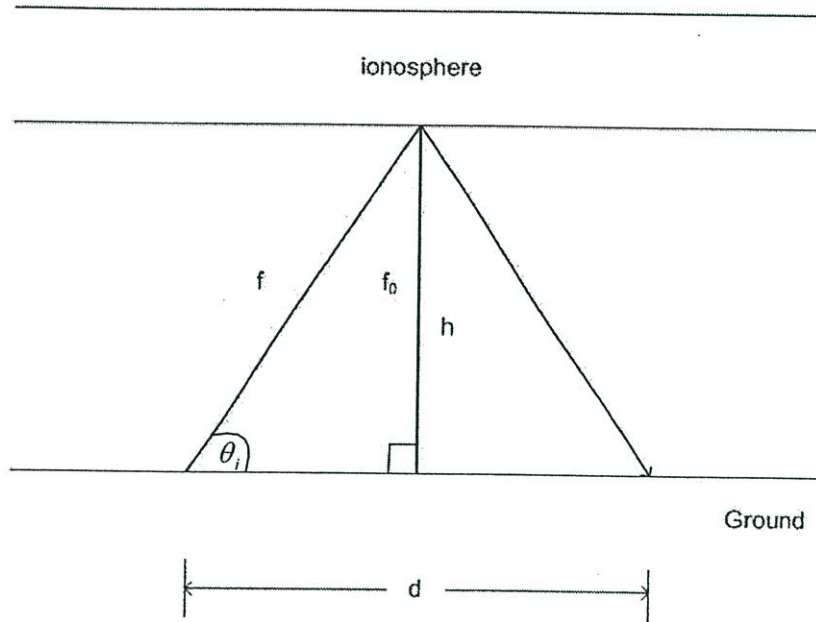
$$d = 2h \sqrt{\left(\frac{f_0}{f}\right)^2 - 1} \quad (2.52)$$

ค่า d คือ ระยะทางจากจุดที่ส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ถึงจุดที่รับคลื่นที่สะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มาแล้ว

ค่า h คือ ความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ขณะที่ส่งคลื่นขึ้นไปสะท้อน

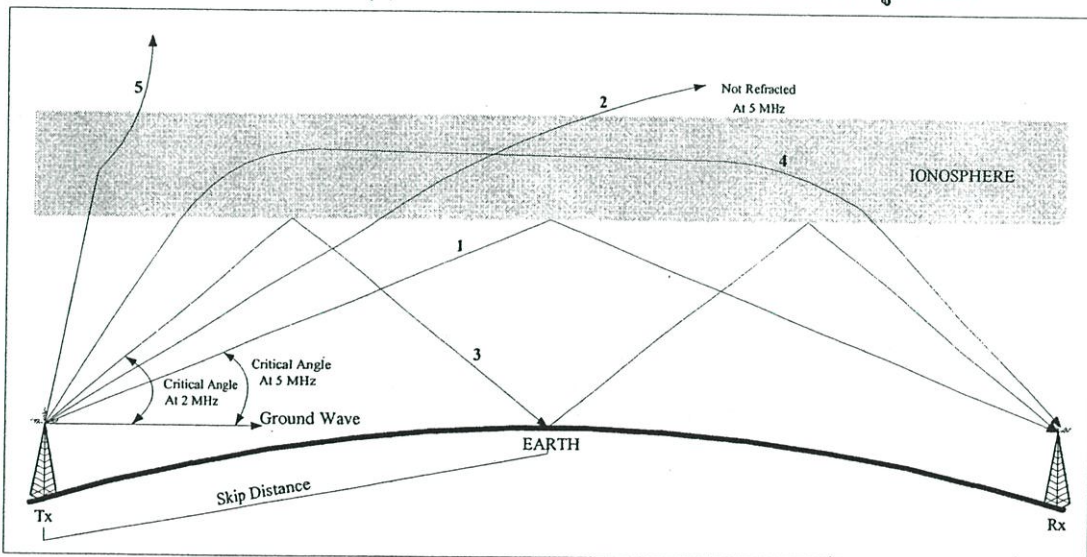
ค่า f คือ ความถี่ที่ใช้ส่งคลื่น (โดยที่ค่า $f < f_0$)

ค่า f_0 คือ ความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ [16]



รูปที่ 2.25 ภาพจำลองการหาระยะทางที่การเดินทางของคลื่น โดยการสะท้อนชั้นไอโอโนสเฟียร์

โดยที่ค่ามุมที่สูงที่สุดที่ทำกับพื้น โลกที่สามารถส่งคลื่นวิทยุไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศเรียกว่า “ค่ามุมวิกฤต” ถ้าค่ามุมของสายอากาศส่งมีค่ามากกว่านี้จะทำให้คลื่นวิทยุผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ และ เมื่อทำการส่งคลื่นวิทยุโดยใช้ความถี่เดียวกันแต่ถ้าใช้มุมในการสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่ต่างกัน การเดินทางของคลื่นวิทยุที่ไปสะท้อนชั้นบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเดินทางของคลื่นเมื่อใช้ค่ามุมวิกฤตในการสะท้อนชั้นไอโอโนสเฟียร์และการเดินทางของคลื่นวิทยุที่มีความถี่เดียวกันแต่มีการส่งทำมุมกับชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 2.26 เส้นหมายเลข 1 เป็นการส่งคลื่นวิทยุที่ค่ามุมวิกฤตความถี่ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ไปถึงเสา รับได้ในระยะทางที่ไกลที่สุดแต่แถบจะไม่แทรกเข้าไปในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เมื่อทำการเพิ่ม

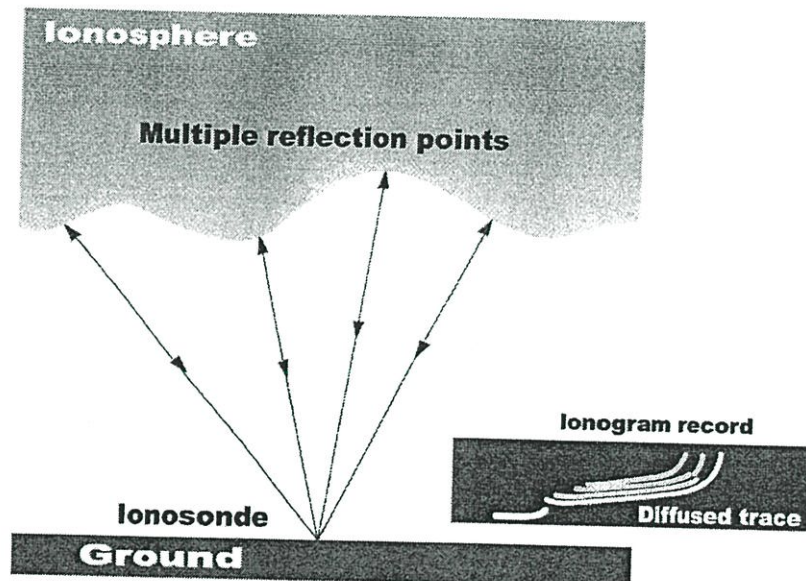
ค่ามุมในการส่งไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ค้างเส้นหมายเลข 2 จะสังเกตได้ว่าคลื่นวิทยุมีการแทรกเข้าไปในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แล้วทะลุออกไปโดยไปสะท้อนกลับลงมาที่ชั้นบรรยากาศแต่ละสังเกตได้ว่าในเส้นหมายเลข 3 เป็นการส่งคลื่นวิทยุที่ค่ามุมวิกฤตความถี่ 2 เมกะเฮิรตซ์ โดยจะมีการสะท้อนสองครั้งโดยคลื่นจะสะท้อนกับพื้นโลก และ เดินทางไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อีกครั้ง ซึ่งจะทำให้คลื่นสามารถเดินทางไปยังเครื่องรับได้ และทั้งนี้เมื่อทำการเพิ่มค่ามุมที่ส่งให้สูงขึ้นไปอีกคลื่นจะสามารถแทรกเข้าไปในชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่มีการไอโอไนซ์สูงที่สุดและจะทำให้มีการสะท้อนกลับลงมาค้างเส้นหมายเลข 4 ส่วนในเส้นหมายเลข 5 มุมที่ทำการส่งคลื่นวิทยุจะมากกว่าค่ามุมวิกฤตโดยเกือบจะตั้งฉากกับพื้นโลกคลื่นจะทะลุชั้นไอโอโนสเฟียร์ออกไป

2.6 ปรากฏการณ์สเปรด F (Spread F)

ขบวนการไอโอไนซ์เข้มข้นกับโมเลกุลของออกซิเจนในเวลากลางวันนั้นมาจากอิทธิพลของแสงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และจะเกิดการรวมกลับในเวลาที่ไม่มีความเข้มแสงอาทิตย์ เหตุการณ์ดังกล่าวจะทำให้ประจุความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์เกิดการแปรปรวนในเวลากลางคืน ซึ่งเวลาดังกล่าวจะไม่มีไอโอไนซ์ของอิเล็กตรอนเนื่องจากไม่มีแสงของดวงอาทิตย์ และปรากฏการณ์นี้เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเกิดในเวลากลางคืนเช่นเดียวกับการเกิดสเปรด F ที่เกิดจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน โดยสังเกตปรากฏการณ์นี้ได้จากการวัดแบบเทคนิคไอโอโนซอน

การวัดแบบเทคนิคไอโอโนซอน จะทำการวัดค่าหนึ่งช่วงเวลาของคลื่นที่ส่งขึ้นไปสะท้อนกับระนาบความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่มีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 2.27 การเกิดสเปรด F [20] เกิดจากการส่งคลื่นจากจุดหนึ่งไปสะท้อนกับระนาบความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนแล้วกลับมาที่เดิม ระยะที่คงที่ๆ ได้จะเปลี่ยนตามจุดสะท้อนโดยทำการลากเส้นการสะท้อนที่ได้จากการคำนวณค่าหนึ่งช่วงเวลาลงในไอโอโนแกรม จะเห็นปรากฏการณ์นี้ได้เมื่อเกิดการสะท้อนในชั้น F ของไอโอโนสเฟียร์

Spread F



รูปที่ 2.27 สาเหตุการเกิดสเปรด F [20]

ความผิดปกติของชั้นไอโอโนสเฟียร์จะเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของการวัดในสเกลที่ต่างกันมากๆ และรวมกับการเกิดการสะท้อนกันในหลายๆ จุด จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ สเปรด F และเกิดการกระเจิงของคลื่นที่สะท้อนโดยความผิดปกติของโครงสร้างของชั้น

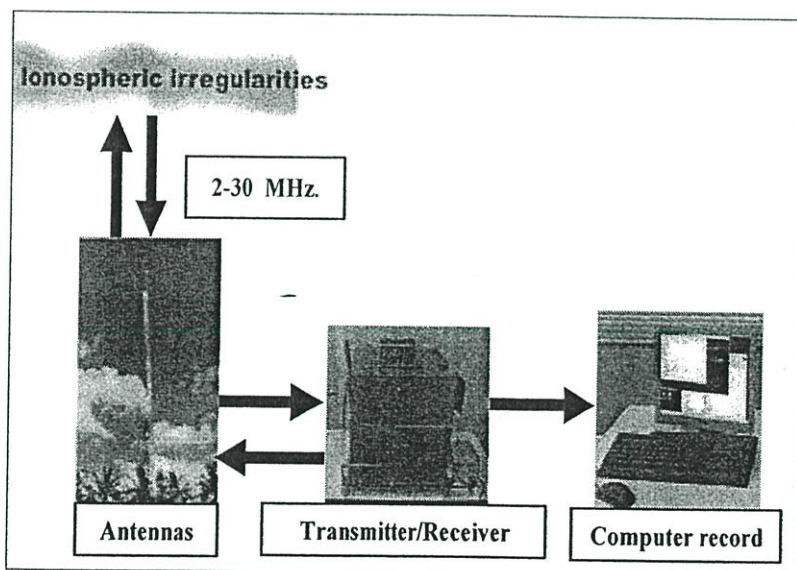
ไอโอโนสเฟียร์ที่มีสเกลเป็นครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นของความถี่ที่ถูกส่งขึ้นไป แนวโน้มความผิดปกติดังกล่าวจะเกิดขึ้นตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อคลื่นไปกระทบกับสนามแม่เหล็กก็จะเกิดการกระเจิงมาก [5] การวัดแบบเทคนิคไอโอโนซอน จะทำให้สามารถสังเกตทิศทางเคลื่อนตัวของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ และสาเหตุของการเกิดความเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันได้

บทที่ 3

หลักการศึกษาวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

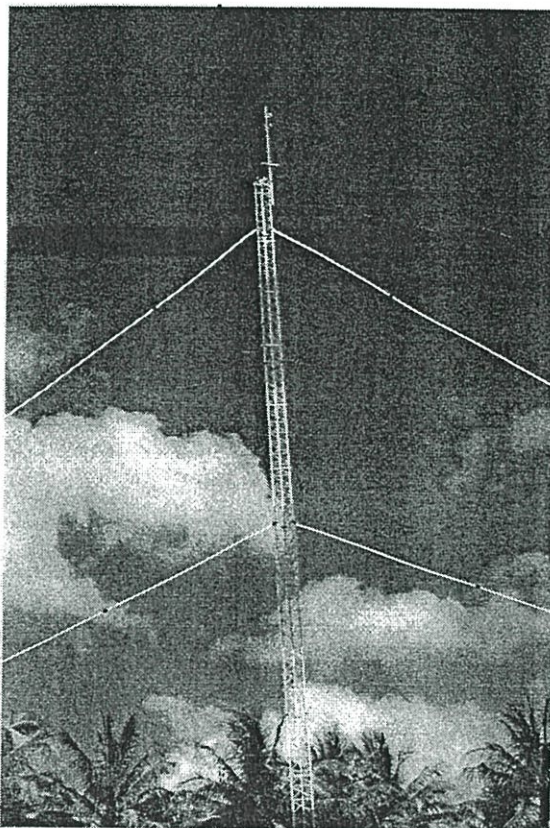
สำหรับการวิจัยการเปลี่ยนแปลงความสูงและความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ รวมถึง การศึกษาการเกิดสเปคตรัม F ได้มีการติดตั้งเครื่องรับและส่งคลื่นในย่าน HF รุ่น SKI-96092 FM/CW Radar ซึ่งถูกติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพร (ตำแหน่ง เส้นลองติจูด 99.3 องศาตะวันออก เส้นละติจูด 10.7 องศาเหนือ) โดยเครื่องจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นภาพไอโอโนแกรมและทำการบันทึกข้อมูลภาพดังกล่าวในทุกๆ 15 นาทีโดยเก็บเป็นไฟล์ชนิด PNG การเก็บข้อมูลดังกล่าวเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548 อนึ่งข้อมูลที่เป็นไฟล์ภาพไอโอโนแกรมนี้จะนำมาวิเคราะห์หาค่าความสูงของชั้น F และค่าความถี่วิกฤตการเกิดสเปคตรัม F ณ เวลาต่างๆ ของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ดังรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และความถี่วิกฤตของงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และความถี่วิกฤต

1) สายอากาศ

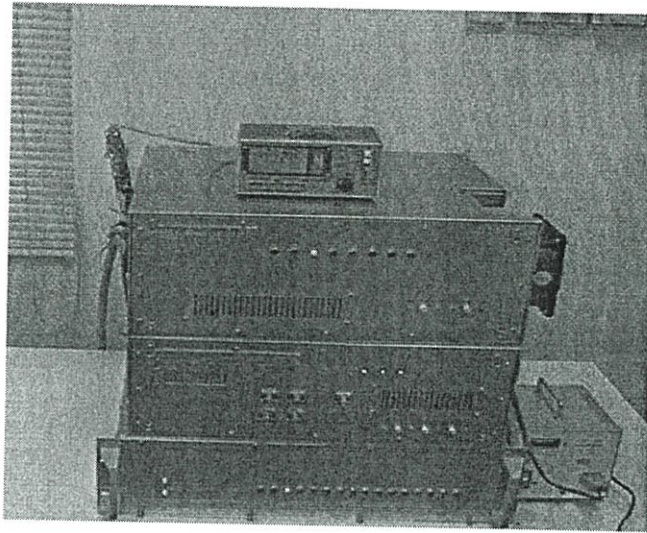
สายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศชนิด โฟลด์ดีดไดโพล (Folded Dipole) 2 ชั้น วางตั้งขวางกันเป็นโดม โดยใช้เสาที่มีความสูง 27 เมตรเป็นตัวยึดสายอากาศซึ่งสายอากาศชั้นที่ทำการส่งคลื่นขึ้นไปยังชั้น ไอโอโนสเฟียร์จะมีมุมการ โพลาริซของคลื่นตั้งฉากกับสายอากาศชั้นที่ทำการรับคลื่นที่สะท้อนลงมายังพื้นโลก



รูปที่ 3.2 สายอากาศโฟลด์ดีดไดโพล

2) ชุดเครื่องส่งและเครื่องรับ

ชุดเครื่องส่งและเครื่องรับเป็นชนิดคลื่นความถี่ย่าน 2 - 30 เมกะเฮิร์ตซ์ รุ่น SKI-96092 FM/CW Radar ซึ่งมีลักษณะการส่งคลื่นแบบต่อเนื่อง (Continuous Wave) และมีการเพิ่มความถี่ที่ส่งขึ้นไปในอัตรา 100 กิโลเฮิร์ตซ์ต่อวินาที โดยการทำงานของกรสวீป (Sweep) 1 รอบ จะมีความถี่ระหว่าง 2 - 30 เมกะเฮิร์ตซ์และจะใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที ข้อมูลที่ได้จะถูกส่งไปทำการบันทึกที่คอมพิวเตอร์เพื่อที่จะทำการปรับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของเครื่องใหม่ในทุกๆ รอบของการทำงาน



รูปที่ 3.3 เครื่องส่งและเครื่องรับรุ่น SKI-96092 FM/CW Radar

3) คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลภาพไอโอโนแกรม

เมื่อได้ข้อมูลที่เกิดจากการคำนวณเวลาหน่วงของคลื่นที่สะท้อนกลับมาในทุกๆ 15 นาทีจากเครื่องรับ จากนั้นจะนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการสร้างเป็นภาพไอโอโนแกรมโดยการจัดเก็บภาพเป็นไฟล์ .PNG

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของเครื่องมือในการวัดความสูงของชั้น F และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่ใช้ในการทดลอง

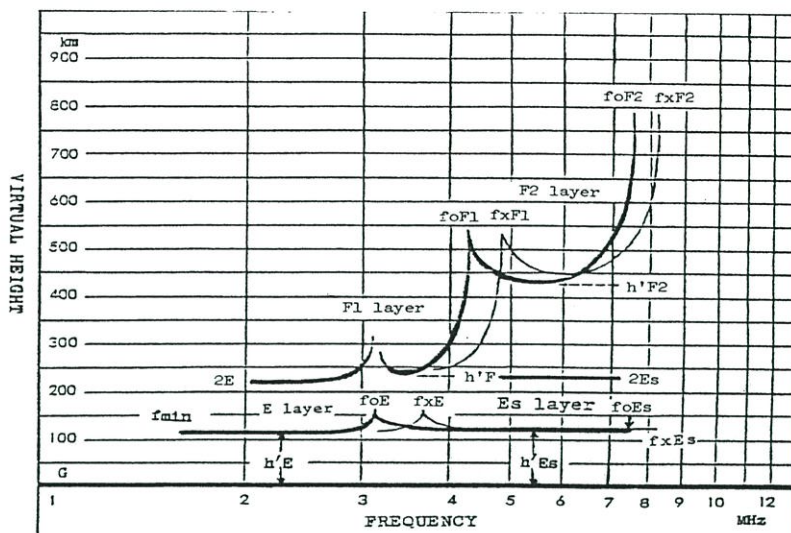
เสาอากาศ	สูง 27 เมตร
ชนิดสายอากาศ	Folded Dipole 2 ชั้น ซึ่งโพลาริซตั้งฉากต่อกัน
ตำแหน่งของสถานี	เส้นลองจิจูด 99.3 องศาตะวันออก เส้นละติจูด 10.7 องศาเหนือ
เครื่องรับและส่งคลื่น	SKI-96092 FM/CW Radar
การ Sweep ความถี่	Digital Direct Synthesizer
Power	20 วัตต์

3.2 ชั้นตอน และหลักการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.1 การวิเคราะห์ความสูงและค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากไอโอโนแกรม

การติดตั้งสถานีตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นได้จัดทำขึ้นที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร ณ ตำแหน่งเส้นลองจิจูด 99.3 องศาตะวันออก เส้นละติจูด 10.7 องศาเหนือ โดยสถานีตรวจดังกล่าวได้ติดตั้งแล้วเสร็จเมื่อเดือน มีนาคม 2546 อีกทั้งได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์สังเกตการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งประกอบด้วยเครื่องส่งและเครื่องรับ FM/CW Ionosonde เครื่องคอมพิวเตอร์เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยในงานวิจัยนี้จะใช้คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2-30 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่งผ่านสายอากาศขึ้นไปบนท้องฟ้าซึ่งการส่งความถี่นั้นจะส่งตั้งแต่ 2 เมกะเฮิร์ตซ์ และจะทำการเพิ่มความถี่ขึ้นครั้งละ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ในทุกๆ หนึ่งวินาทีจนถึงความถี่ที่มีค่า 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ใน 1 รอบที่ทำการส่ง โดยในการบันทึกค่านั้นจะเริ่มทำการวัดใหม่ทุกๆ 15 นาที เนื่องจากความถี่ที่ส่งขึ้นไปในชั้นบรรยากาศมีความยาวคลื่นและดัชนีหักเหที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อความถี่ถูกส่งขึ้นไปยังบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ ความถี่บางช่วงจะสะท้อนกลับลงมาและมีความถี่บางช่วงจะทะลุผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ออกไป ทำให้ไม่สามารถทราบค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้จาก การสะท้อนของคลื่น ซึ่งเกิดจากการคำนวณระยะเวลาที่เริ่มต้นส่งคลื่นขึ้นไป สะท้อนชั้นบรรยากาศแล้ว กลับมายังจุดที่ส่งคลื่นว่าใช้ระยะเวลาเท่าไร

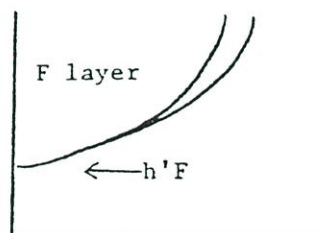
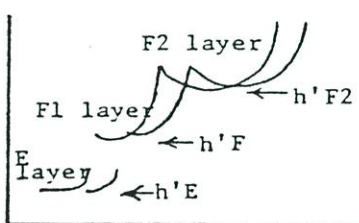
ข้อมูลที่ได้มานั้นจะอยู่ในรูปของไอโอโนแกรมซึ่งต้องมาทำการวิเคราะห์โดยใช้คู่มือการอ่านค่า จากภาพไอโอโนแกรมว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีค่าเป็นเท่าไร โดยในการทดลองนี้จะสนใจใน พารามิเตอร์ของความสูงของชั้น F ($h'F$) และ ความถี่วิกฤต ($foF2$) ซึ่งทั้งสองพารามิเตอร์นี้มีความเกี่ยวข้องกับความเร็วของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางวัน การอ่านค่าความสูง และ ความถี่วิกฤตจากรูปไอโอโนแกรมจะสังเกตได้ดังรูปที่ 3.4



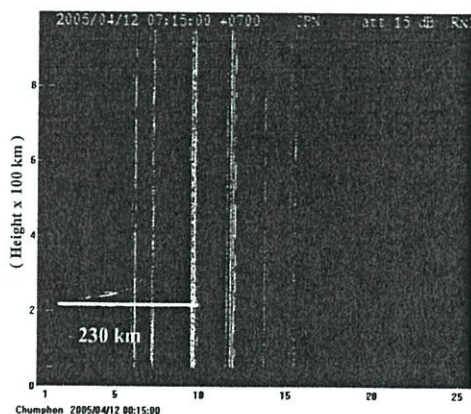
รูปที่ 3.4 แบบจำลองของระดับความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากไอโอโนแกรม [22]

3.2.2 การวิเคราะห์ความสูง ชั้น F และ ในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน

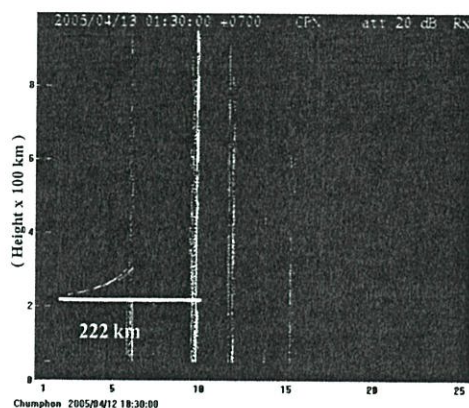
การวัดค่าความสูงของชั้น F นั้นสามารถวัดได้จากส่วนของเส้นโค้งที่ต่ำที่สุดที่ขนานกับแกนนอนของภาพที่ได้จากไอโอโนแกรม โดยให้แกนนอนเป็นแกนของความถี่ที่มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ และในแกนตั้งจะเป็นแกนของความสูงจากพื้น โลกที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ในเวลากลางวันและเวลากลางคืนการปรากฏชั้นต่างๆ ของไอโอโนสเฟียร์จะแตกต่างกัน โดยที่ในเวลากลางวันชั้น F จะมีการแตกตัวเป็นสองชั้นและในเวลากลางคืนจะรวมตัวกันเป็นชั้นเดียวดังรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ สำหรับภาพจำลองไอโอโนแกรมดังรูปที่ 3.7 และ 3.8ตามลำดับ



รูปที่ 3.5 ภาพจำลองไอโอโนแกรมเวลากลางวัน รูปที่ 3.6 ภาพจำลองไอโอโนแกรมเวลากลางคืน



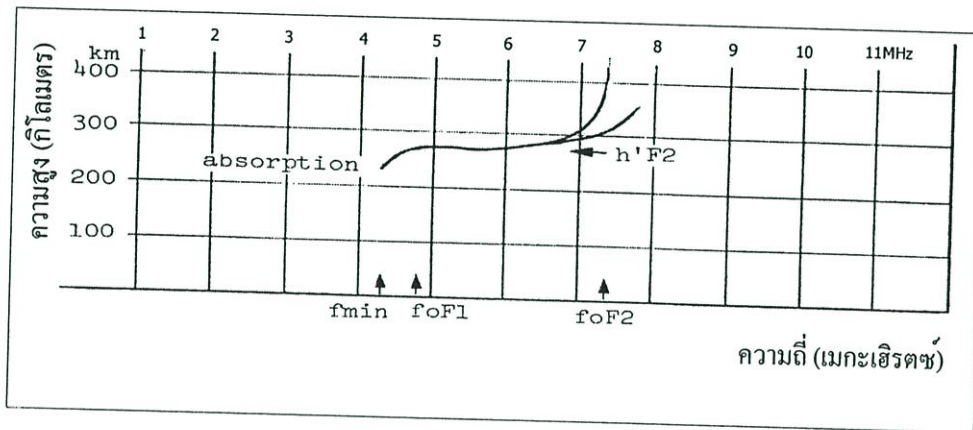
รูปที่ 3.7 ภาพไอโอโนแกรมในเวลากลางวัน



รูปที่ 3.8 ภาพไอโอโนแกรมในเวลากลางคืน

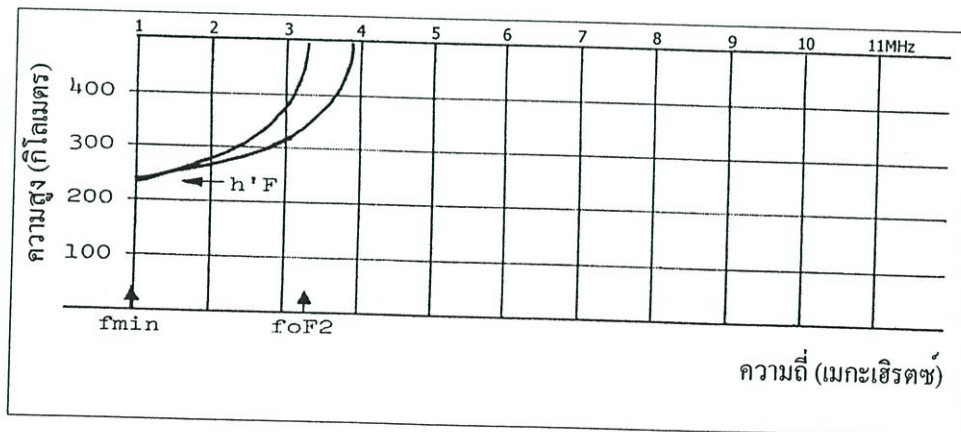
การพิจารณาไอโอโนแกรมในแต่ละช่วงเวลาก็จะมีการพิจารณาในแต่ละรูปแบบแตกต่างกัน โดยจะใช้คู่มือการสังเกตรูปแบบของภาพไอโอโนแกรมเป็นเครื่องมือในการอ้างอิง ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณา 2 พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญคือ ความสูงของชั้น F และความถี่วิกฤตของชั้น F โดยจะแสดงการพิจารณาในแต่ละกรณีซึ่งสามารถสังเกตพบได้บ่อยดังนี้

3.2.2.1 วิธีการวิเคราะห์ และ อุปสรรคในการวัดหาค่าความสูงของชั้น F จากไอโอโนแกรม



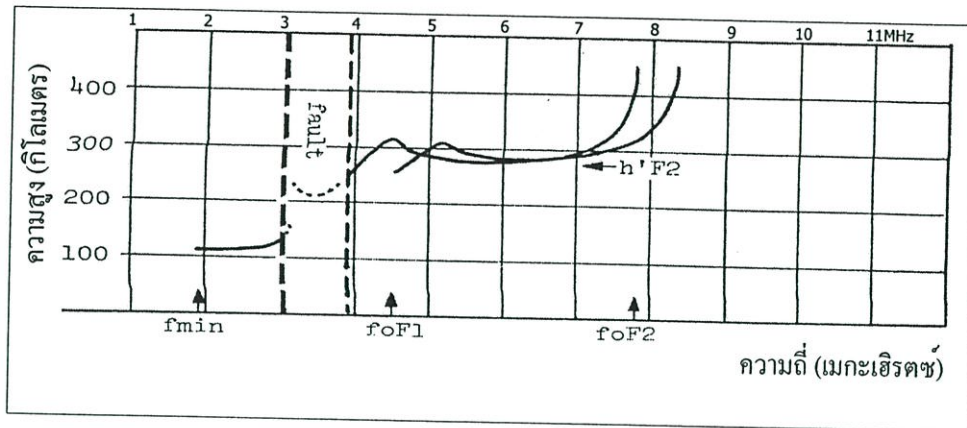
รูปที่ 3.9 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการดูดกลืนคลื่น (Absorption) [22]

ในรูปที่ 3.9 เป็นภาพตัวอย่างจากคู่มือการอ่านค่าไอโอโนแกรมแสดงถึงการดูดกลืน (Absorption) โดยการดูดกลืนดังกล่าวถือเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์หาค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F กล่าวคือในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 4 เมกะเฮิรตซ์ คลื่นจะถูกดูดซับโดยชั้น D ทำให้คลื่นไม่สามารถสะท้อนกลับมาถึงเครื่องรับ จึงไม่สามารถเห็นเส้นการสะท้อนของชั้น F ทำให้ไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความสูงได้ [23] ทั้งนี้จะใช้สัญลักษณ์คือ B เพื่อแสดงถึงการดูดกลืน



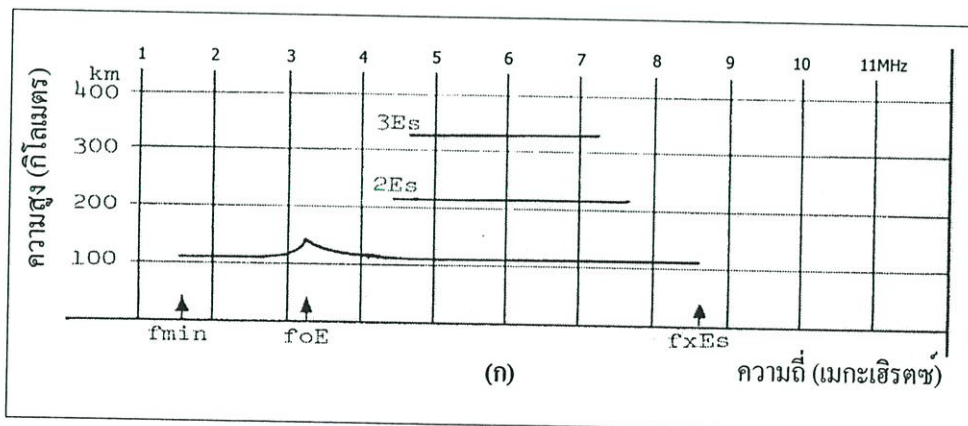
รูปที่ 3.10 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่ชั้น F รวมตัวเป็นชั้นเดียว [22]

จากรูปที่ 3.10 เป็นไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในระยะเวลาหลังจากดวงอาทิตย์ตก ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2 โดยที่ชั้น F จะรวมตัวกันเป็นชั้นเดียว ในการวิเคราะห์การหาค่าความสูง ($h'F$) จะไม่ขนานกับแกนนอนของไอโอโนแกรมทำให้ยากต่อการระบุความสูงที่ชัดเจนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ในที่นี้จะใช้ EE เป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอก

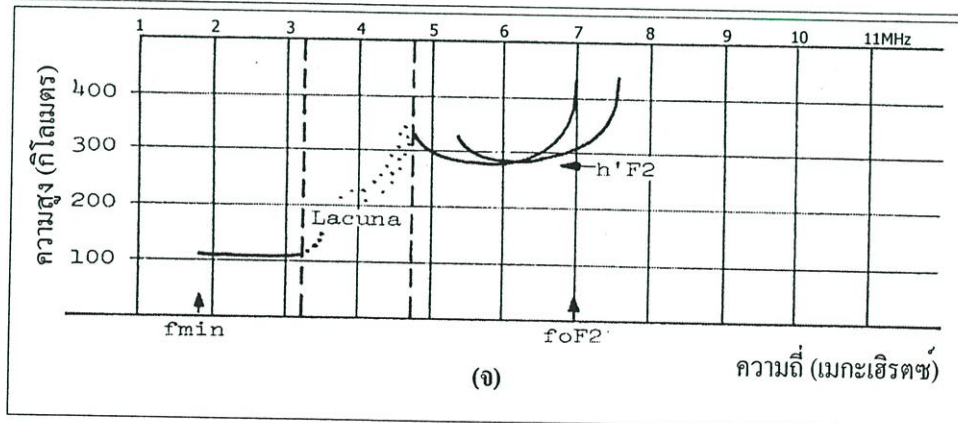
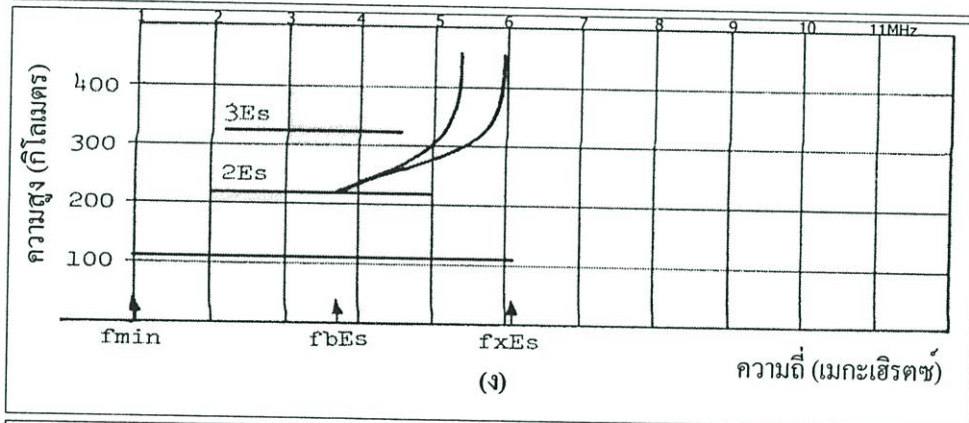
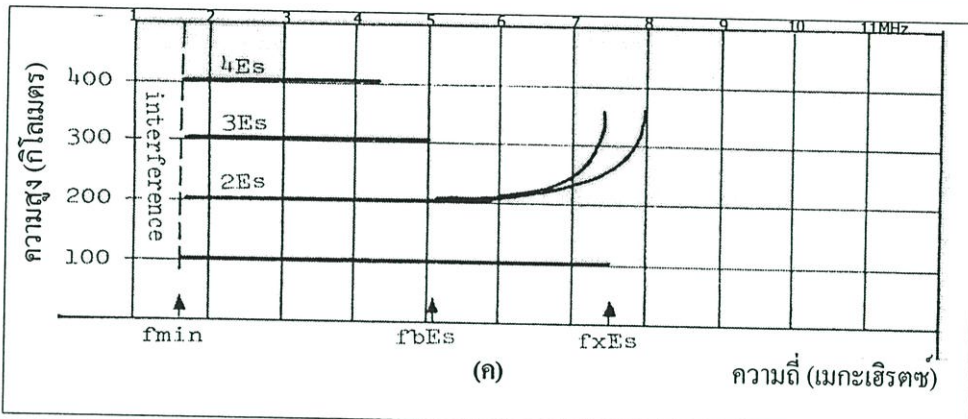
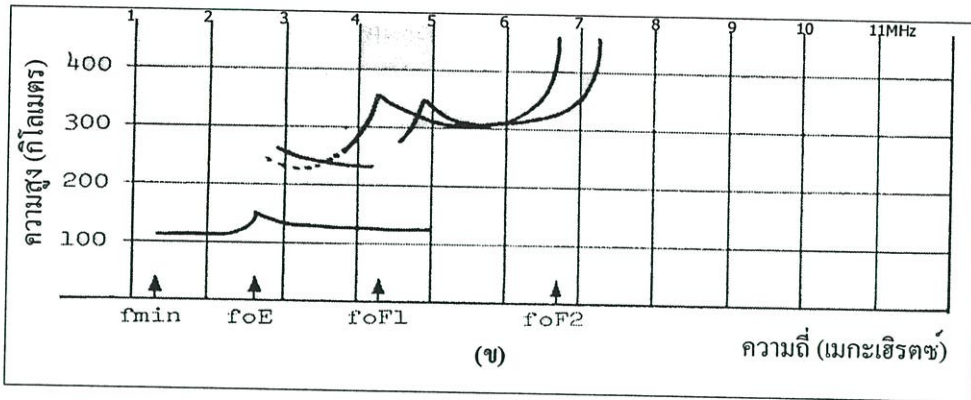


รูปที่ 3.11 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในกรณีที่ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความสูง ($h'F$) โดยวิธีไอโอโนซอน [22]

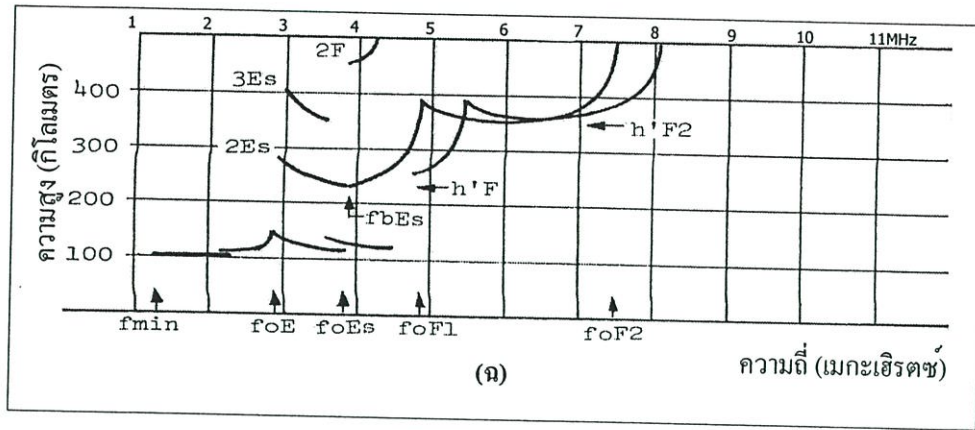
ในรูปที่ 3.11 เป็นภาพไอโอโนแกรมที่แสดงถึงการวัดเส้นการสะท้อนโดยในรูปนี้ความสูงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ไม่สามารถทราบค่าความสูง ($h'F$) ได้ เนื่องจากเส้นประที่เกิดจากการสะท้อนถูกดูดกลืนหรืออาจทะลุหายไป ทำให้ในช่วงที่ใช้ในการหาค่าความสูง ($h'F$) หายไปซึ่งในกรณีนี้จะใช้สัญลักษณ์ C



รูปที่ 3.12 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อมีการไอออไนซ์ของอิเล็กตรอนในชั้น E ที่ผิดปกติ [22]



รูปที่ 3.12 (ต่อ)



รูปที่ 3.12 (ต่อ)

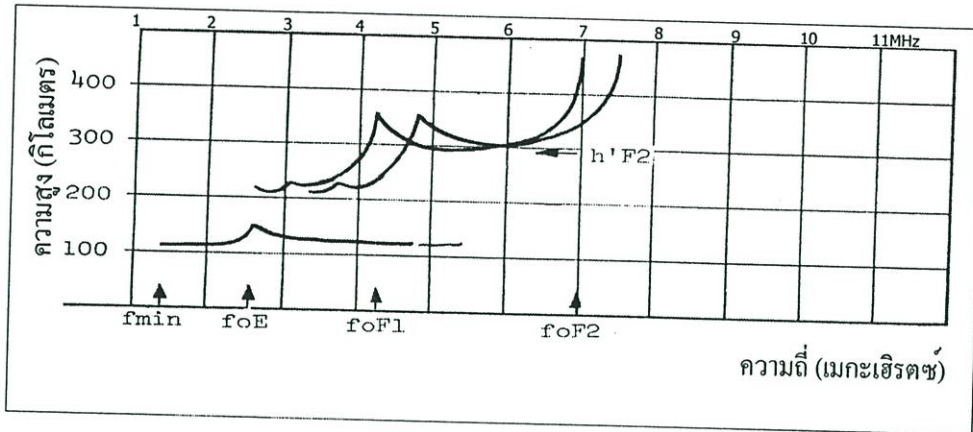
จากรูปที่ 3.12 (ก) เป็นภาพตัวอย่างจากคู่มือการอ่านค่าไอโอโนแกรมที่แสดงถึงการเกิด Sporadic E ซึ่งก็คือ ในชั้น E มีการไอโอไนซ์ของอิเล็กตรอนมากกว่าปกติ จึงทำให้ไม่สามารถเห็นชั้น F ที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ในบทความนี้ และลักษณะภาพเช่นนี้จะเกิดบ่อยครั้งในช่วงเดือน เมษายน ถึง มิถุนายน ซึ่งจะเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งในการวิเคราะห์หาค่าความสูงและความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F และหากไม่สามารถวิเคราะห์หรือหาค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่ชัดเจนได้จากคู่มือการอ่านภาพไอโอโนแกรมได้สัญลักษณ์ในการวิเคราะห์เป็นตัวอักษร A ที่ค่าของความสูง ($h'F$)

ในส่วนของรูปที่ 3.12 (ข) จะสามารถเห็นชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ได้แต่จะไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความสูงของชั้น F ได้เนื่องจากชั้น E ที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่ามาบดบังทั้งที่โดยปกติแล้วจะมีค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นน้อยกว่าชั้น F ทำให้เส้นประที่ใช้ในการอ่านความสูง ($h'F$) จึงไม่เกิดขึ้น

ในรูปที่ 3.12 (ค) เป็นภาพแสดงการวิเคราะห์ความสูงของชั้น E และ F โดยในชั้น E จะมีความสูงเป็น 2 เท่าของระยะความสูงปกติซึ่งจะอยู่ที่ประมาณ 110 กิโลเมตร โดยการวิเคราะห์หาค่าความสูงจะมีความยากในการแยกแยะให้ชัดเจนระหว่างชั้น E กับ ชั้น F ซึ่งในรูปนี้ความสูงของชั้น F จะอยู่ที่ 200A กิโลเมตร ส่วนของ รูปที่ 3.12 (ง) เป็นภาพตัวอย่างจากคู่มือการอ่านค่าไอโอโนแกรม โดยจะมีวิธีการอ่านคล้ายกับภาพ 3.12 (ค) แต่จะแตกต่างกันที่ รูปที่ 3.12 (ง) จะไม่มีการแทรกสอดเนื่องจากสัญญาณรบกวนที่มีความถี่เดียวกัน (Interference) และทั้งนี้ความสูงจะใช้สัญลักษณ์ E เพิ่มเติมเข้าไปเป็น 220 EA

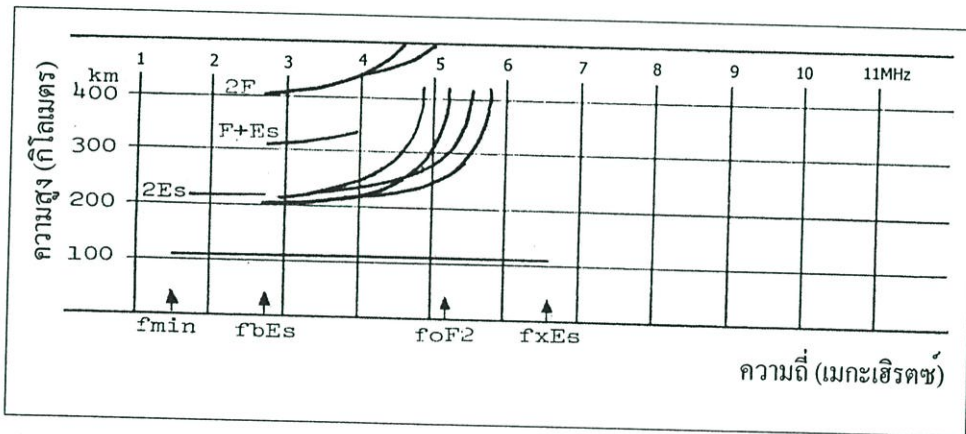
ส่วนในรูปที่ 3.12 (จ) เป็นภาพไอโอโนแกรมที่แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์ Lacuna ซึ่งเกิดจากกระบวนการไอโอไนซ์ในชั้น E ที่มีการแพร่กระจายในระดับความสูงที่สูงขึ้นจนมาบดบังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ทำให้ไม่สามารถทราบค่าความสูง ($h'F$) ได้ โดยในที่นี้จะสัญลักษณ์ Y แทนที่ค่าของความสูง ($h'F$) ปรากฏการณ์ดังกล่าวมักเกิดในเวลากลางวันเช่นเดียวกับรูปที่ 3.11 (ค) ที่เป็นภาพไอโอโนแกรมที่เกิดจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับมีค่าพลังงานแรง จึงเกิดการ

สะท้อนกลับมามากครั้งทำให้เห็นเป็นชั้น E หลายชั้น แต่ก็สามารถวิเคราะห์และหาค่าความสูง ($h'F$) โดยในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 230 กิโลเมตร



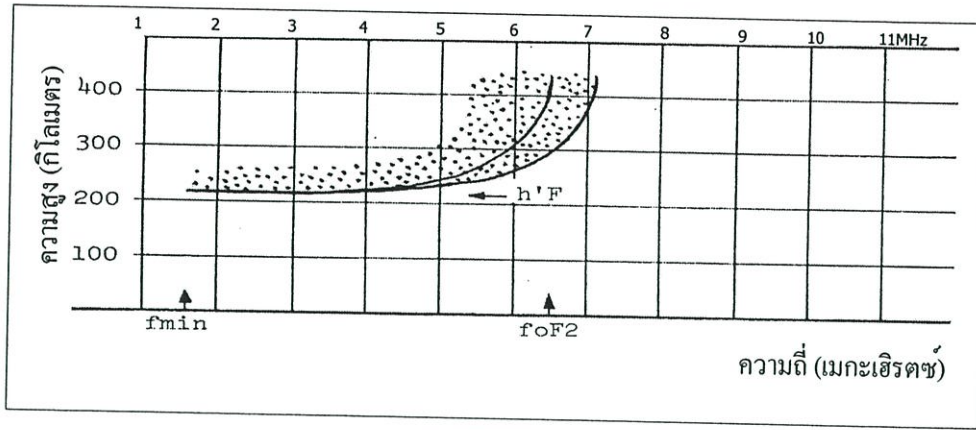
รูปที่ 3.13 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่ชั้น F มีการแยกชั้นเกิดขึ้น [22]

จากรูปที่ 3.13 จะพบว่าชั้น F มีการแตกตัวเป็น 2 ชั้น คือชั้น F_1 และ ชั้น F_2 ในกรณีนี้มักเห็นได้บ่อยครั้งในช่วงเวลากลางวัน และทั้งนี้ถึงแม้ว่าจะมีชั้นบรรยากาศก่อนหน้ามาบดบังแต่ก็ยังสามารถทราบค่าความสูง ($h'F$) และ ($h'F_2$) ได้



รูปที่ 3.14 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่มีเส้นของการสะท้อนมีลักษณะคล้ายกันซ้อนเหลื่อมกันอยู่ [22]

จากภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.14 เป็นภาพที่มีเส้นการสะท้อนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F โดยมีลักษณะเส้นโค้งที่มีลักษณะคล้ายกันซ้อนกันอยู่ซึ่งเส้นโค้งดังกล่าวเกิดมาจากความถี่ Oblique ที่เครื่องรับ ทั้งนี้ค่าความสูง ($h'F$) จะอยู่ที่ 200 กิโลเมตร ส่วนค่าความสูง ($h'F$) ที่เกิดจากความถี่ Oblique คือ 210 กิโลเมตร

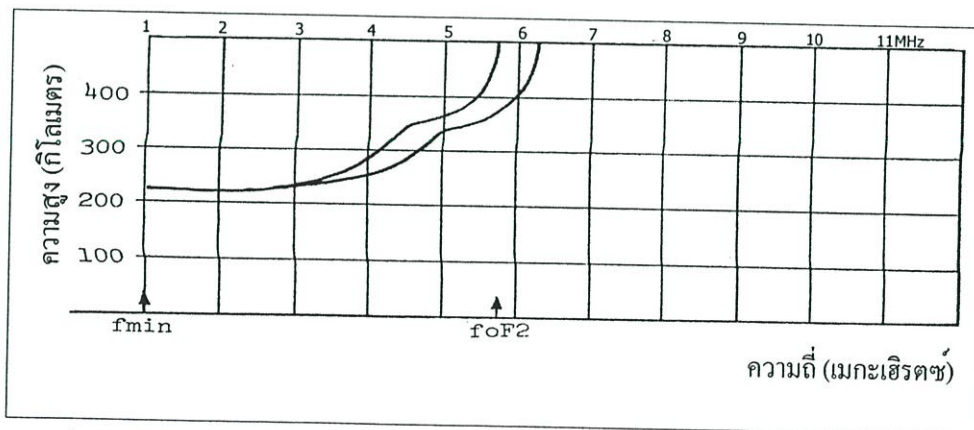


รูปที่ 3.15 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่มีการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F [22]

จากภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.15 แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์ สเปรด F ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนหลังพระอาทิตย์ตกดินทั้งสิ้น และ จะเกิดขึ้นบ่อยครั้งขึ้นอยู่กับ วัน เวลาและฤดูกาล ทั้งนี้ในส่วนของรายละเอียดของการเกิดสเปรด F จะกล่าวในบทที่ 4

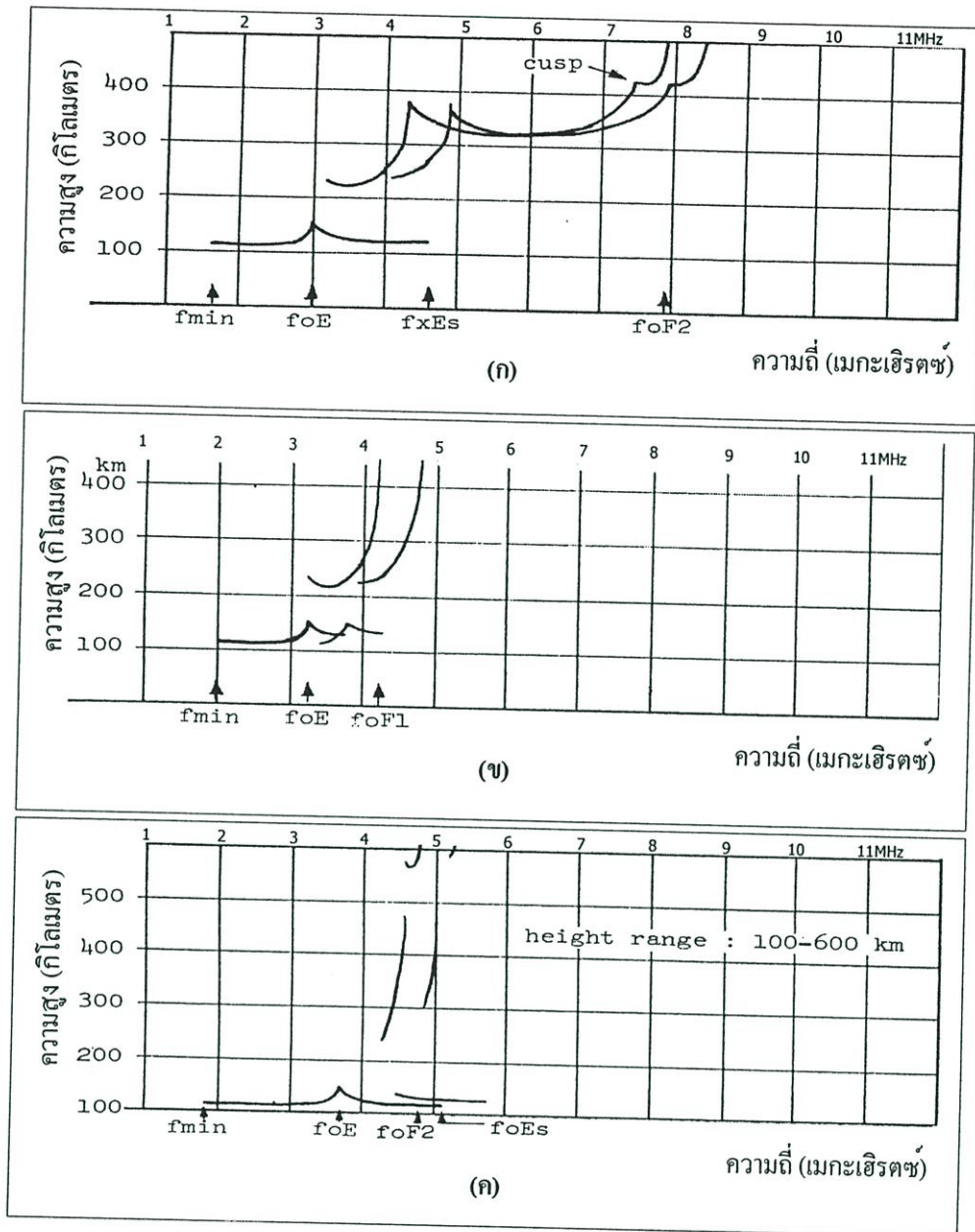
3.2.2.2 วิธีการวิเคราะห์ และ อุปสรรคในการวัดค่าความถี่วิกฤต จากไอโอโนแกรม

ความถี่วิกฤตของ F นั้นสามารถทำการวัดได้จากส่วนโค้งแรกที่ตั้งฉากกับแกนนอนของไอโอโนแกรมซึ่งมีหน่วยเป็นเมกะเฮิร์ตซ์ ตัวอย่างของการพิจารณาค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ดูได้จากรูปที่ 3.16 โดยจะใช้สัญลักษณ์ เป็น (f_oF_2) และการพิจารณาค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F จะมีรูปแบบของการพิจารณาและวิเคราะห์รวมถึงอุปสรรคต่างๆ ที่เกิดจากสาเหตุที่ต่างกัน โดยจะมีความเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนของชั้น F ซึ่งประโยชน์ของค่าความถี่วิกฤตนั้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2



รูปที่ 3.16 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์และหาค่าความถี่วิกฤต [22]

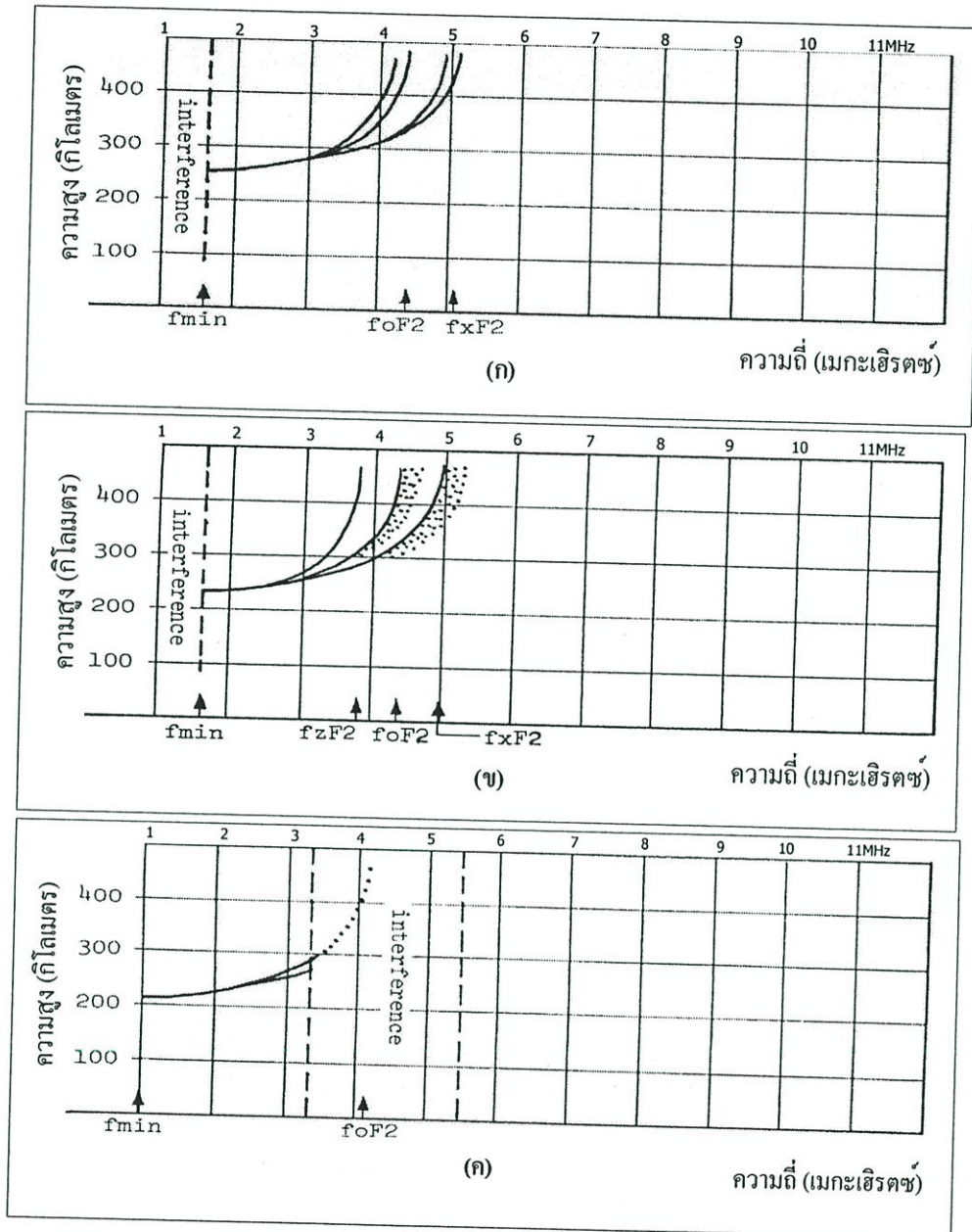
ในรูปที่ 3.16 เป็นตัวอย่างที่แสดงถึงการวิเคราะห์ในการหาค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) ซึ่งในภาพนี้เป็นภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในเวลากลางคืน ในกรณีนี้มีค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) เท่ากับ 5.7 เมกะเฮิร์ตซ์



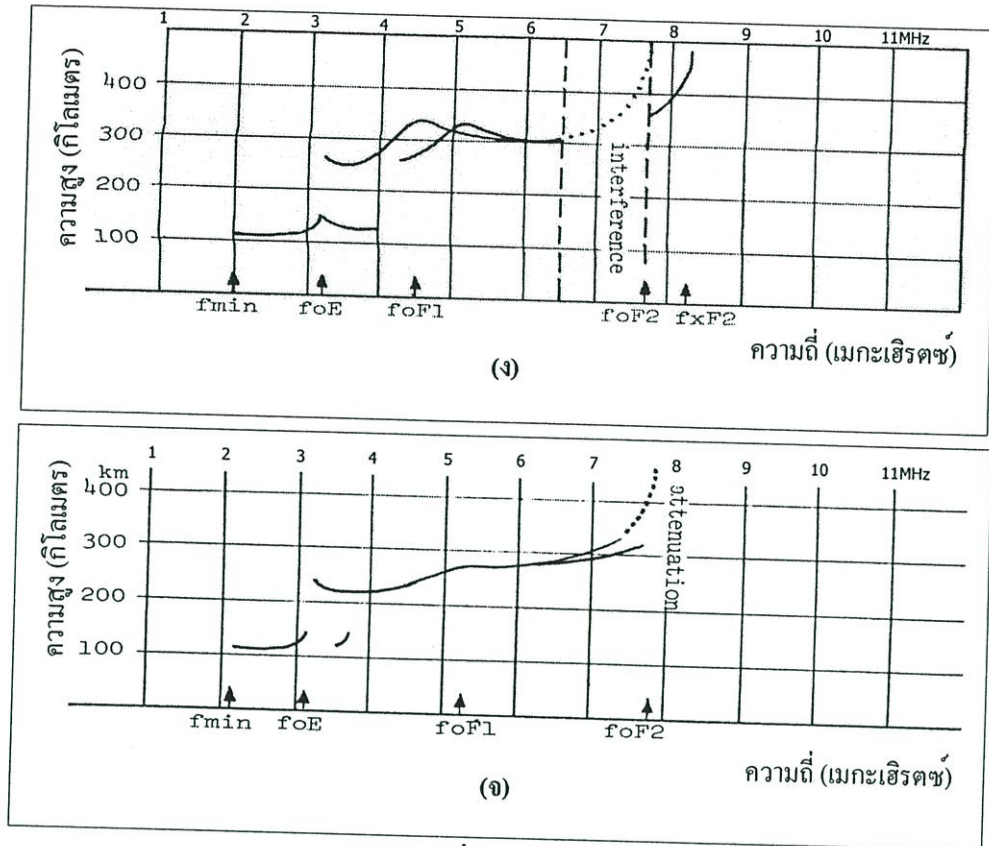
รูปที่ 3.17 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดพายุแม่เหล็ก (Magnetic Storm) [22]

จากรูปที่ 3.17 (ก),(ข),(ค) เป็นภาพตัวอย่างจากคู่มือการอ่านค่าไอโอโนแกรมที่แสดงถึงการเกิดพายุแม่เหล็ก (Magnetic Storm) ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแปรปรวนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Disturbances) ในรูป 3.17 (ก) แสดงถึงความผิดปกติที่รอยหยัก (Cusp) ตอนปลาย ซึ่งเกิดขึ้นใกล้กับค่าความถี่วิกฤตเล็กน้อยแต่ไม่มีผลกระทบอะไรที่เป็นอุปสรรคในการวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤต สามารถหาค่าได้เท่ากับ 7.9 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการเกิดพายุแม่เหล็ก ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F2 จะมีค่าลดลงเท่ากับในชั้น F1 หรือในบางครั้งอาจลดลงจนน้อยกว่าชั้น F1 ก็เป็นได้ดังรูปที่ 3.17 (ข) ทั้งนี้ค่าความถี่วิกฤตที่อ่านได้จะใช้สัญลักษณ์ FG มีค่าความถี่วิกฤต (f_{oF2}) คือ 4.2 EG ใน

ส่วนของภาพไอโอโนแกรมรูปที่ 3.17 (ค) จะเป็นภาพที่เกิดหลังจากรูปที่ 3.17 (ข) โดยในรูปนี้จะไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ชั้น F2 ได้แต่สามารถวิเคราะห์และหาค่าความถี่วิกฤตได้ ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 4.7 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 3.18 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดการลดทอน และการแทรกสอด (Interference) ของคลื่น [22]

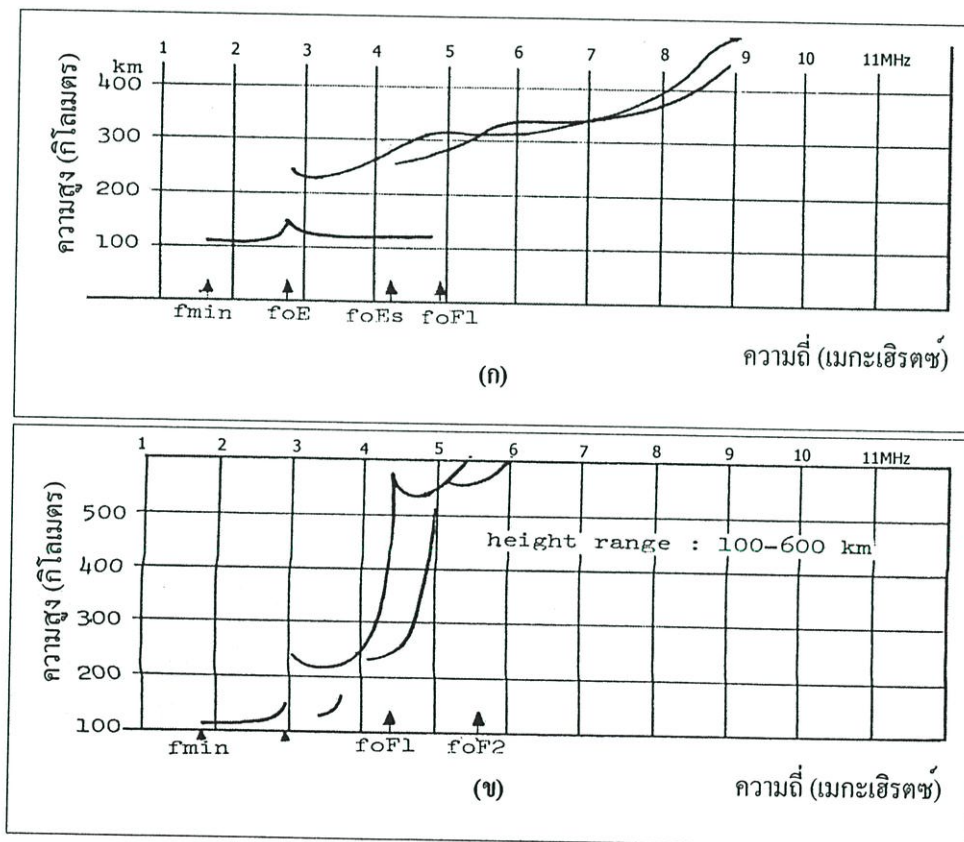


รูปที่ 3.18(ต่อ)

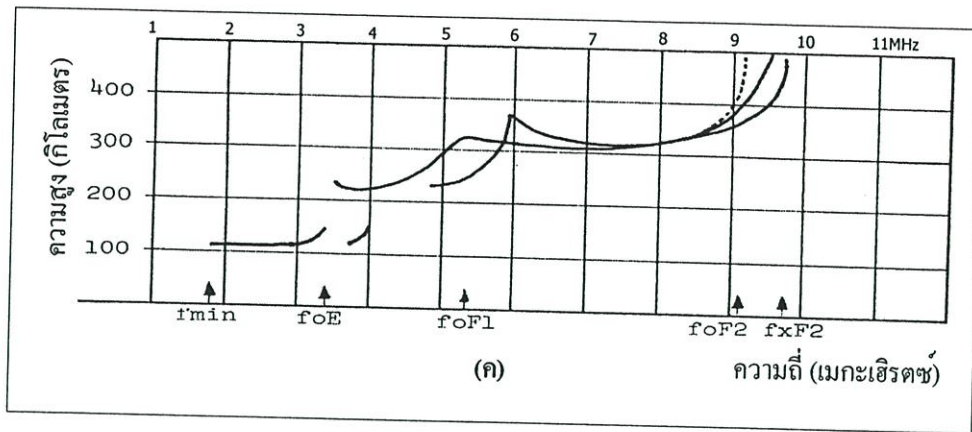
จากภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.18 เป็นภาพที่แสดงถึงการลดทอนอันเนื่องมาจากการแทรกสอดที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืนทั้งหมด ซึ่งเป็นอุปสรรคในการวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตโดยในรูปที่ 3.18 (ก) ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ประกอบด้วยความถี่ 2 ส่วนคือ ความถี่ Ordinary และ ความถี่ ExtraOrdinary โดยความถี่ Ordinary จะอยู่ที่ 4.2 และ 4.4 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนความถี่ ExtraOrdinary จะอยู่ที่ 4.8 และ 5.1 เมกะเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้จะใส่สัญลักษณ์ V สำหรับค่าที่สูงกว่าของทั้งสองความถี่ คือ 4.4V และ 5.1V เพื่อบ่งบอกถึงชั้นไอโอโนสเฟียร์มีลักษณะหรือรูปร่างเป็นแบบง่าม (Fork) โดยในภาพนี้ค่าความถี่วิกฤตที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ค่า 4.4 V

ในรูปที่ 3.18 (ข) เป็นภาพที่นอกจากจะเป็นตัวอย่างหนึ่งที่แสดงถึงอุปสรรคอันเนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณภายนอกที่เครื่องรับสามารถรับเข้าได้ด้วยแล้วยัง และ ยังเกิดปรากฏการณ์สเปกตรัม F เพิ่มเข้ามาอีกด้วย โดยทั้งนี้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะประกอบไปด้วยความถี่ 3 ส่วนคือ ความถี่ Ordinary ความถี่ ExtraOrdinary และความถี่แมกนีโตอิเล็กทโรนิก (Magneto-electronic) ที่มีค่าเท่ากับ 3.8 เมกะเฮิร์ตซ์ ทั้งนี้ค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะอยู่ระหว่างค่าความถี่ ExtraOrdinary และค่าความถี่แมกนีโตอิเล็กทโรนิก โดยอยู่ที่ 4.4ZF ซึ่งสัญลักษณ์ Z จะแสดงถึงความถี่แมกนีโตอิเล็กทโรนิก ที่อยู่ในโหมด Z และสัญลักษณ์ F แสดงถึงการเกิด สเปกตรัม F ชนิด F-type ในรูปที่ 3.18 (ค) ก็เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งที่แสดงถึงอุปสรรคอันเนื่องจากการแทรกสอดของสัญญาณภายนอก กล่าวคือ จะทำให้การวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตเกิดการคลาดเคลื่อน โดยจากภาพ

จะสังเกตได้ว่าเส้นความถี่ที่ใช้หาค่าความถี่วิกฤตถูกบังคับ จึงจำเป็นจะต้องหาค่าความถี่วิกฤตที่ต่ำที่สุดก่อนเกิดการแทรกสอดของสัญญาณ ซึ่งก็คือที่ระดับ 3.3 เมกะเฮิร์ตซ์จนถึงรอยที่เส้นโค้งหายไปกลายเป็นเส้นประคือที่ 4.1 เมกะเฮิร์ตซ์ ถ้าระยะห่างระหว่าง 2 ค่านี้ไม่ถึง 20% ของความถี่ที่สูงที่สุดที่สามารถเห็นได้จากภาพไอโอโนแกรม จะถือว่าความถี่วิกฤตของภาพนี้คือ 3.3 DS โดยที่สัญลักษณ์ D จะแสดงถึงการคลาดเคลื่อน และสัญลักษณ์ S แสดงถึงการแทรกสอด แต่ถ้าเป็นในกรณีที่ไม่สามารถหาค่าความถี่วิกฤตที่เกิดจากการแทรกสอดจะได้สัญลักษณ์ S เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ในส่วนของรูปที่ 3.18 (ง) เป็นการแทรกสอดจนทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตที่ชัดเจนได้ โดยในช่วงความถี่ที่เกิดการแทรกสอดจะอยู่ที่ระหว่าง 6.5 – 7.7 เมกะเฮิร์ตซ์ จากเส้นประจะเห็นว่าค่าความถี่วิกฤตอยู่ที่ 7.7 JS ซึ่งสัญลักษณ์ J จะแสดงถึงช่วงของการแทรกสอดที่มาบังคับช่วงที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตพอดี ส่วนรูปที่ 3.18 (จ) เป็นภาพไอโอโนแกรมที่แสดงถึงการลดทอนอันเนื่องจากสัญญาณที่กลับเข้ามาในเครื่องรับ ทำให้การวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตอาจมีการคลาดเคลื่อนไป โดยในรูปนี้ค่าความถี่วิกฤตจะอยู่ที่ 7.8 R โดยที่สัญลักษณ์ R แสดงถึงการลดทอน



รูปที่ 3.19 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อคลื่นมีการสะท้อนที่ผิดไปจากปกติ [22]

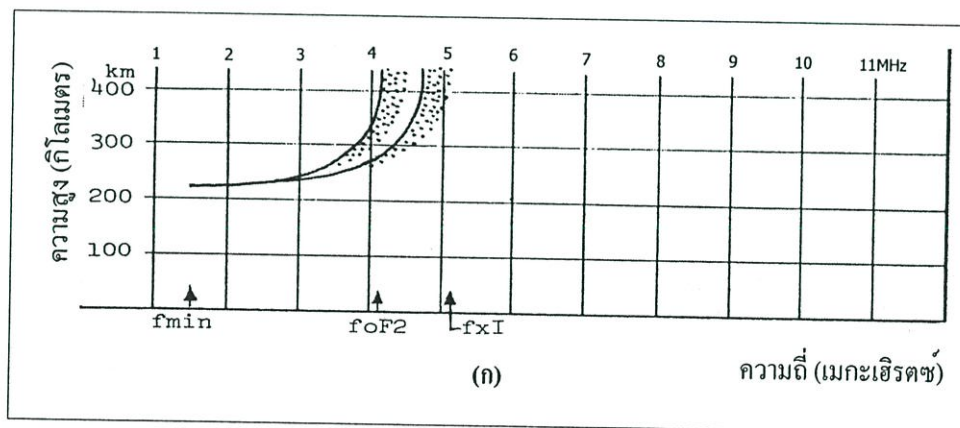


รูปที่ 3.19 (ต่อ)

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.19 (ก),(ข),(ค) เป็นภาพตัวอย่างที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและเกิดในช่วงเวลา กลางวัน ภาพดังกล่าวจะเกิดจากการสะท้อนของคลื่นที่ผิดไปจากปกติซึ่งจัดว่าเป็นอุปสรรคในการ วิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ อย่างไรก็ตามในรูปที่ 3.19 (ก) เส้นของ โด่งของการสะท้อนจะมีความผิดปกติอยู่ที่ประมาณ 9 เมกะเฮิรตซ์ และจะสังเกตเห็นได้ว่าความถี่ที่เกิดจาก การสะท้อนนั้น เป็นการสะท้อนในแนวเฉียง (Oblique) ไม่ได้เป็นการสะท้อนในแนวตั้งฉาก ทำให้ใน บางเวลาการสะท้อนในลักษณะนี้จะทำให้การวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตแบบไอโอโนซอนไม่สามารถ หาค่าได้ หรือไม่สามารถหาค่าที่แน่นอนได้ ส่วนภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.19 (ข) มีความผิดปกติ เนื่องจากความสูงของชั้น F2 มีความสูงจากพื้นดินมากถึง 560 กิโลเมตรทำให้การวิเคราะห์หาค่า ความถี่วิกฤตอาจคลาดเคลื่อนได้ ในกรณีนี้ค่าความถี่วิกฤตจะอยู่ที่ 5.6 U เมกะเฮิรตซ์โดยให้ สัญลักษณ์ U แทนเครื่องหมายที่บอกว่าขอบเขตความสูงของชั้น F2 นั้นมีค่ามากกว่าปกติ ในรูปที่ 3.2 (ค) จะมีความผิดปกติอันเนื่องมาจากความถี่ Ordinary กับความถี่ ExtraOrdinary มีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ เป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เนื่องจากการหา ค่าความถี่วิกฤตเกิดจากการนำค่าความต่างระหว่างความถี่ ExtraOrdinary ซึ่งมีค่าอยู่เท่ากับ 9.8 เมกะเฮิรตซ์ กับความถี่ Ordinary ค่าอยู่เท่ากับ 9.45เมกะเฮิรตซ์ แล้วคูณด้วย 2 จากนั้นก็นำไปลบออก จากความถี่ ExtraOrdinary จะได้ความถี่วิกฤตเท่ากับ 9.1 เมกะเฮิรตซ์

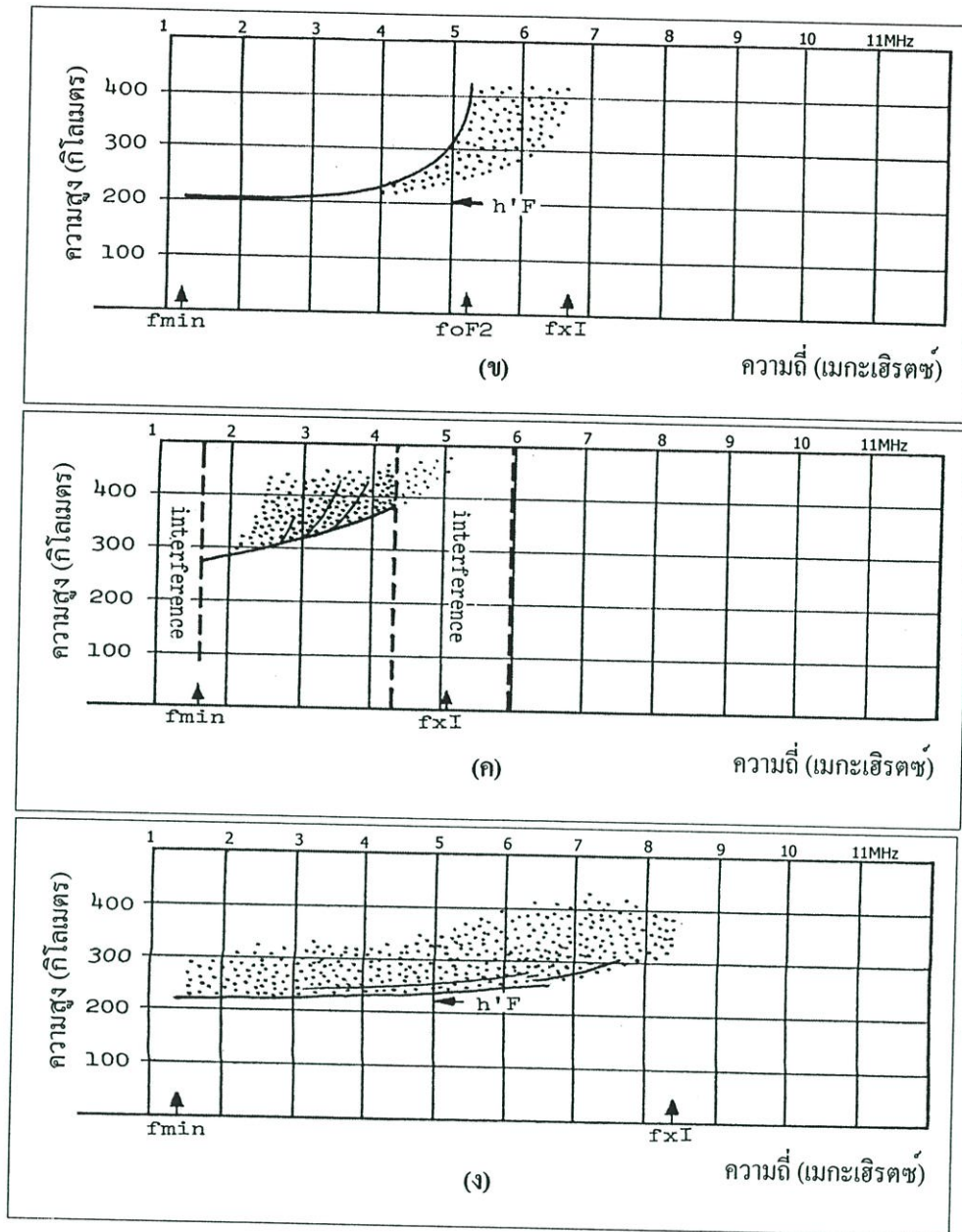
รูปตัวอย่างภาพที่ใช้ไอโอโนแกรมต่อไปจากนี้จะเป็นรูปที่แสดงถึงการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนส เฟียร์นั้นมีด้วยกันอยู่ 2 ชนิด คือชนิดที่เรียกว่า “F-type” และ “Q-type” แต่ละชนิดจะมีสาเหตุของการ เกิดที่เหมือนกัน แต่มีรูปแบบคุณลักษณะที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีสาเหตุมาจากการส่งคลื่น ขึ้นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลาที่เกิดความแปรปรวนของอิเล็กตรอนภายในชั้น โดยที่คลื่นความถี่เดียวกันที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับจะมีเวลาหน่วงที่แตกต่างกัน และมีการสะท้อน กลับมาในหลายทิศทาง อีกทั้งยังเกิดการซ้อนทับที่ความถี่เดียวกันทำให้เกิดเป็นชั้นความสูงที่แตกต่าง กันซ้อนทับกัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นในภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.20 (ก) , (ข) , (ค) , (ง) เป็น

ตัวอย่างภาพที่เกิดปรากฏการณ์ สเปรด F โดยในรูปที่ 3.20 (ก) เป็นการเกิดสเปรด F [21] ชนิดที่เรียกว่า “F-type” ในการพิจารณาค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้จะอ้างอิงที่เส้นโค้งหลักภายใน ที่สามารถหาเส้นที่ปรากฏอย่างชัดเจน ในรูปนี้ค่าความถี่วิกฤตคือ 4.1 F เมกะเฮิร์ตซ์ (สัญลักษณ์ F คือการบอกว่าเกิดสเปรด F ชนิด F-type) ส่วนในกรณีที่เส้นโค้งภายในที่ใช้อ้างอิงปรากฏไม่ชัดเจนก็จะไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตได้ซึ่งในกรณีนี้มักเกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่ากรณีที่เห็นเส้นโค้งชัด ส่วนในรูปถัดมาคือ รูปที่ 3.20 (ข) ก็เป็นการเกิดสเปรด F ชนิด F-type เพียงแต่ช่วงที่เกิดสเปรด F จะกว้างกว่า คือจะอยู่ที่ช่วงประมาณตั้งแต่ความถี่ 4 ถึง 6.8 เมกะเฮิร์ตซ์ และในการอ่านค่าค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้อ่านได้จากเส้นโค้งหลักภายในที่มีความชัดเจน ค่าที่ได้อ่านได้คือ 5.2 F เมกะเฮิร์ตซ์ แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่สามารถวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตจากภาพไอโอโนแกรมรูปนี้ได้เนื่องจาก เส้นโค้งที่ใช้ในการสังเกตความถี่วิกฤตไม่ชัดเจน ซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป ส่วนในรูปที่ 3.20 (ค) ก็เป็นการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ชนิด F-type เพียงแต่จะมีการเกิดการแทรกสอดของสัญญาณเข้ามาด้วยเกิดในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 1.7 เมกะเฮิร์ตซ์ และในช่วงความถี่ 4.3 เมกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป แต่ในกรณีนี้ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้ได้เช่นกัน โดยจะใช้สัญลักษณ์ F ส่วนรูปที่ 3.20 (ง) เป็นการเกิดสเปรด F ชนิด Q-type โดยมีความรุนแรงของการเกิดความแปรปรวนของอิเล็กตรอนภายในชั้นที่มากกว่า การเกิดสเปรด F ชนิด F-type มีผลทำให้ช่วงในการเกิด สเปรด F ในแนวนอนมีช่วงกว้างมากกว่า ซึ่งในกรณีนี้จะกว้างถึง 30 กิโลเมตรและจะเพิ่มขึ้นไปในแนวแกนความถี่อย่างช้าๆ โดยจะมีช่วงความถี่ที่เกิดตั้งแต่ความถี่ 1.4 ถึง 8.4 เมกะเฮิร์ตซ์ ในกรณีนี้จะไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตได้ โดยกำหนดให้ใช้สัญลักษณ์ Q



รูปที่ 3.20 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในการวัดค่าความถี่วิกฤตเมื่อมีการเกิดปรากฏการณ์ สเปรด F

[22]



รูปที่ 3.20 (ต่อ)

จากตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมในบทนี้จะเห็นว่ามีมีความเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาค่าความสูงและความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทั้งสิ้น รวมไปถึงอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ต่างๆ ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งมีผลทำให้การวิเคราะห์หาค่าดังกล่าวได้ไม่สามารถทำได้ชัดเจน ทั้งนี้ได้นำข้อมูลไปจัดรูปแบบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดรูปแบบรายวัน รายเดือน รายปี และ ตามฤดูกาล รวมไปถึงความสัมพันธ์กับสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ สเปรด F ซึ่งจะกล่าวแสดงในบทต่อไปคือบทที่ 4 ในส่วนของบทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

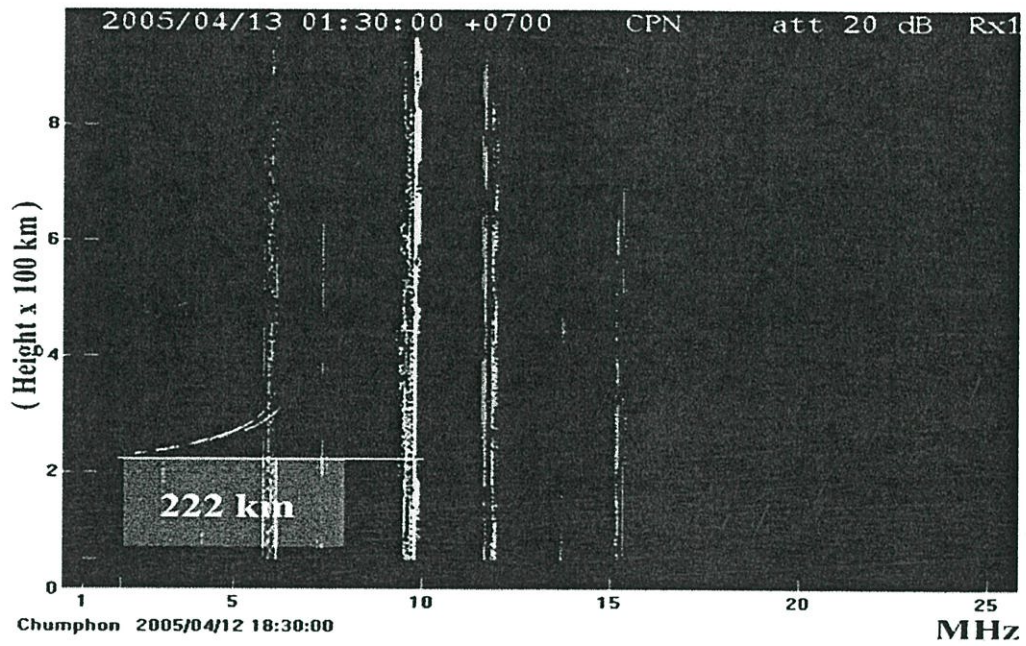
บทที่ 4

การวิเคราะห์ผล

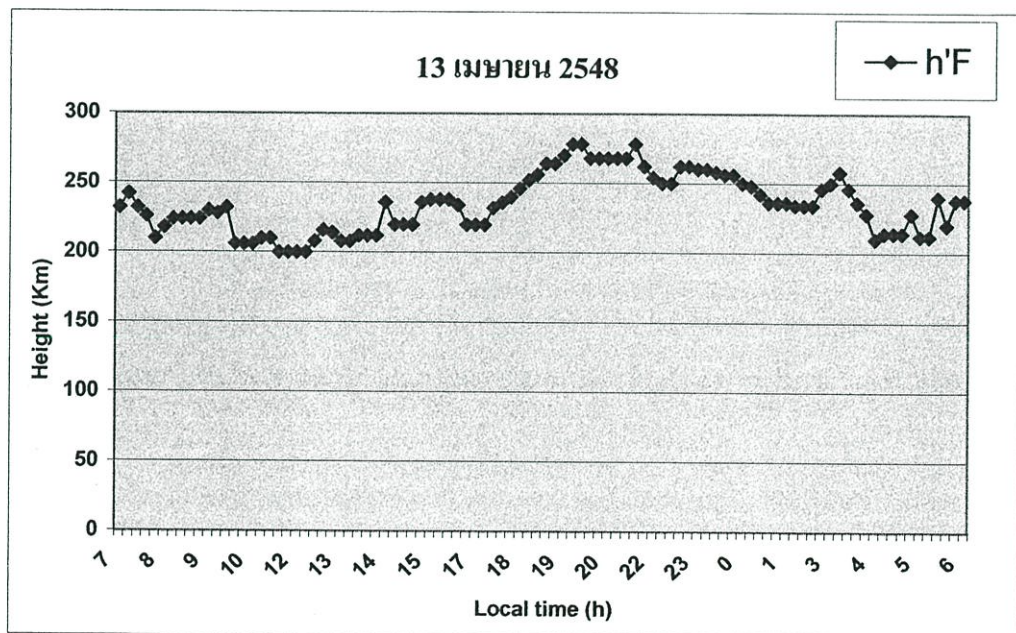
ในบทนี้เราจะกล่าวถึงผลของพารามิเตอร์ที่ได้จากไอโอโนแกรม ในที่นี้จะมีพารามิเตอร์ อยู่ 2 ตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมคือค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ($h'F$) และค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (f_oF2) ซึ่งทั้งสองพารามิเตอร์นี้มีความเกี่ยวข้องกับกลไกการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ของชั้นไอโอโนสเฟียร์ และยังสามารถใช้ในการสังเกตการเคลื่อนตัวของชั้นไอโอโนสเฟียร์ว่ามีการเคลื่อนตัวอย่างไร โดยจะทำให้ทราบได้ว่ากลุ่มความหนาแน่นที่ผิดปกติของชั้นไอโอโนสเฟียร์มีลักษณะการเคลื่อนตัวเป็นอย่างไร และจากผลการทดลองที่เก็บได้ในทางสถิตินั้นยังมีประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาในเรื่องการทำนายค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศในเวลาต่างๆ อีกทั้งในบทความนี้ยังศึกษาและเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ผลของปรากฏการณ์สเปรด F ที่เกิดจากความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางคืน โดยผลการทดลองทั้งหมดจะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F และค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ รวมถึงการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ที่มีการแจกแจงชนิดรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และแบบรายปี โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นข้อมูลในเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 ทั้งนี้จะไม่มีข้อมูลความสูงและความถี่วิกฤตในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 เนื่องมาจากเครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ในระหว่างการซ่อมแซมจึงไม่มีข้อมูลในเดือนดังกล่าว

4.1 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F แบบช่วงเวลาในแต่ละวัน และแบบรายเดือน ปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548

ผลของงานวิจัยนี้ได้มีการเก็บข้อมูลที่ได้จากภาพไอโอโนแกรมทุก 15 นาทีตลอด 24 ชั่วโมง โดยที่ในหนึ่งวันจะมีข้อมูลภาพทั้งหมด 96 ภาพซึ่งเกิดจากการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ปี คือ ปี พ.ศ. 2547 และปี พ.ศ. 2548 โดยมีภาพไอโอโนแกรมที่ต้องวิเคราะห์ทั้งสิ้น 70,565 ภาพ รูปที่ 4.1 จะแสดงถึงคุณลักษณะและวิธีการวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F จากไอโอโนแกรมของวันที่ 13 เดือน มกราคม พ.ศ. 2548 โดยเวลาด้านล่างของรูปจะแสดงเวลาแบบ GMT ซึ่งต่างจากเวลาด้านบนของรูปจะแสดงเวลาเป็นแบบ Local ทั้งนี้เวลา GMT จะเร็วกว่าอยู่ 7 ชั่วโมง

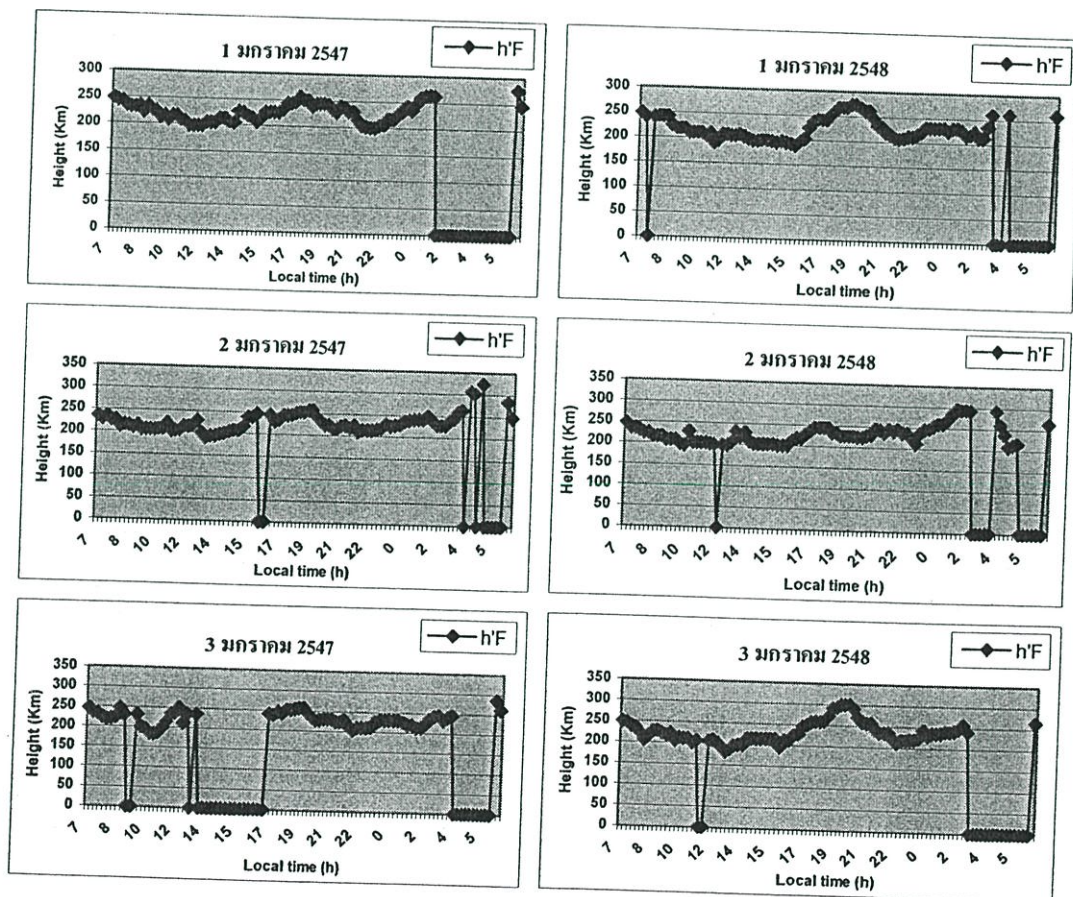


รูปที่ 4.1 องค์ประกอบสำคัญ และ วิธีการอ่านค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่ได้จากภาพไอโอโนแกรมของวันที่ 13 เดือน เมษายน พ.ศ.2548

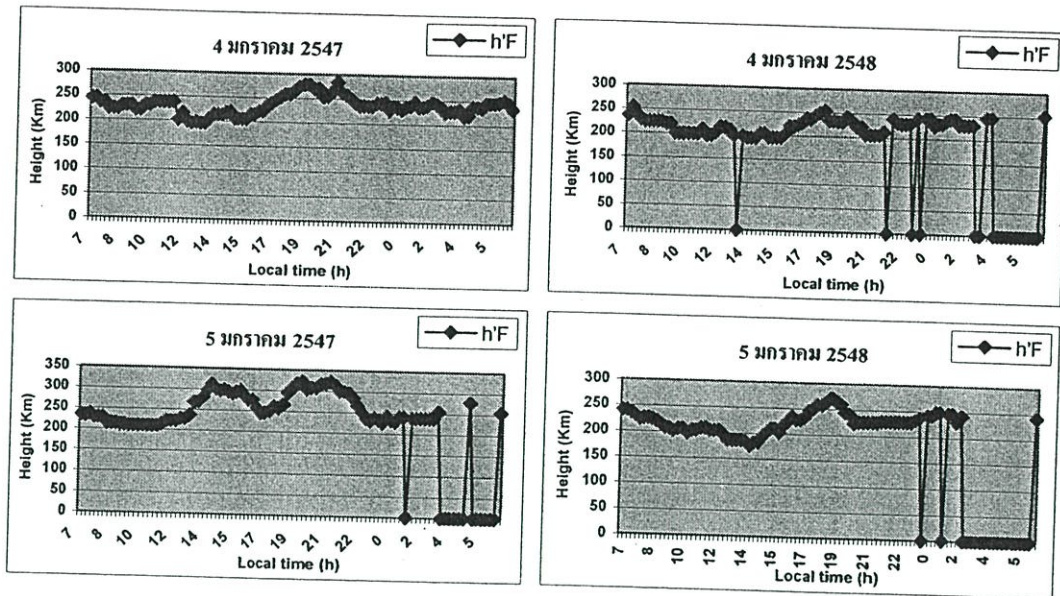


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างภาพความสูง ($h'F$) ใน 1 วันของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ซึ่งได้ข้อมูลมาจากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรม ของวันที่ 13 เมษายน พ.ศ.2548

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าแกนตั้งของรูปคือความสูงที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ส่วนแกนนอนเป็นค่าความถี่ที่มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ ทั้งนี้เราจะให้ความสนใจไปที่เส้นโค้งสีเหลืองซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยการสวิตช์ความถี่ ทั้งนี้วิธีการอ่านค่าความสูงจะทำได้โดยนำเส้นแนวนอนไปแตะจุดที่ต่ำสุดของเส้นโค้งสีเหลืองซึ่งเป็นเส้นการสะท้อนที่เกิดจากการส่งคลื่นไปกระทบกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วส่งกลับลงมาที่ตัวรับ (โดยวิธีการส่งคลื่นได้กล่าวไว้ในบทที่ 3) ส่วนแถบสีเหลืองที่ตั้งฉากกับรูปดังกล่าวเป็นสัญญาณรบกวนจากความถี่ย่านที่มีการใช้งานจากระบบอื่นที่เครื่องรับสามารถรับได้ ทั้งนี้จะได้เป็นข้อมูลค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่ได้จากการอ่านค่าความสูงของภาพไอโอโนแกรมแล้วนำมาพล็อตเป็นกราฟตัวอย่างดังรูปที่ 4.2 ซึ่งข้อมูลที่ได้ในแต่ละค่าที่พล็อตในแต่ละกราฟนั้นเกิดจากการพล็อตทุกๆ 15 นาทีของกรวัดค่าไอโอโนแกรมในหนึ่งภาพ โดยข้อมูลที่นำมาแสดงการเปลี่ยนแปลงรายวันนี้เป็นเพียงข้อมูลส่วนหนึ่งเท่านั้น และจากที่ได้การวิเคราะห์ภาพ จำเป็นจะต้องวิเคราะห์ทั้งสิ้น 70,565 ภาพ และเมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบตัวอย่างผลการเปลี่ยนแปลงความสูงแบบรายวันของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ของวันที่ 1-5 เดือน มกราคม พ.ศ.2547 กับ พ.ศ.2548 ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความสูง ($h'F$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F แบบรายวันในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2547 และ พ.ศ.2548

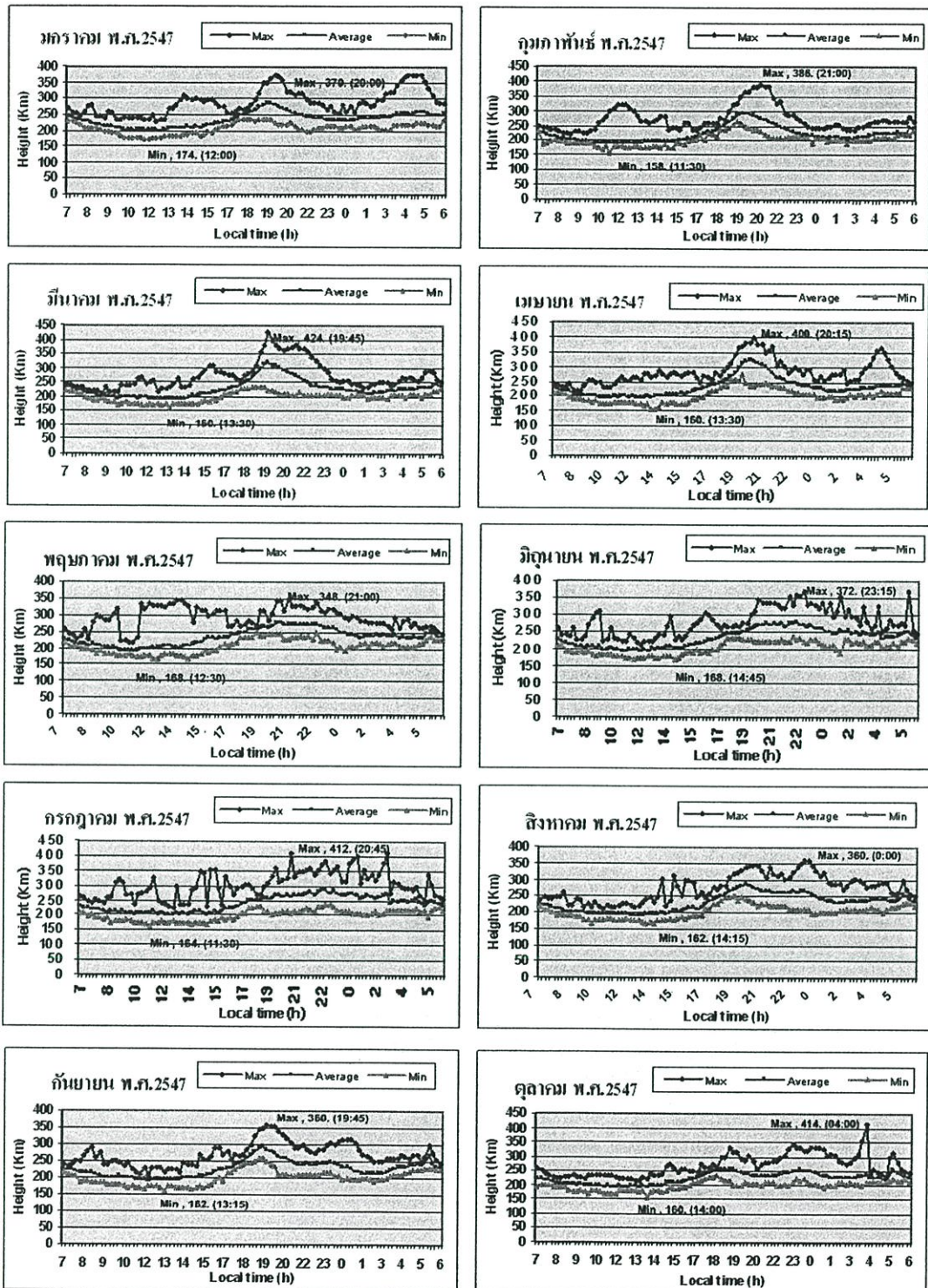


รูปที่ 4.3 (ต่อ)

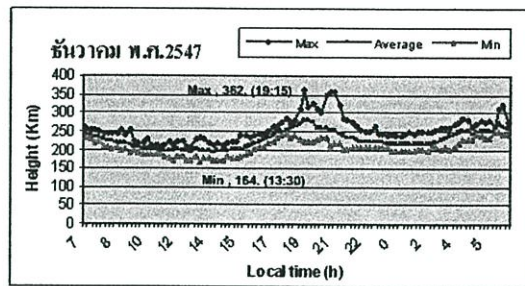
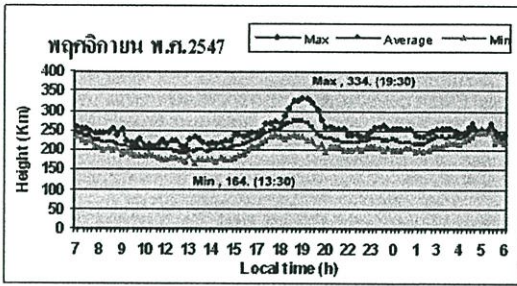
จากรูปที่ 4.3 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์ชั้น F แบบรายวันในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2547 และ พ.ศ.2548 จะสังเกตได้ว่าการวิเคราะห์ค่าความสูงที่อ่านได้จากไอโอโนแกรมบางครั้งจะไม่สามารถอ่านค่าความสูงได้เนื่องจากในบางช่วงเวลาที่ส่งไปจะทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปทั้งหมด กล่าวคือจะเกิดการหายไปของชั้น F (เหตุการณ์นี้จะเกิดในตอนที่มีประอาทิตย์ใกล้ขึ้น)หรือในบางครั้งความถี่ที่ส่งขึ้นไปถูกบดบังด้วยชั้นบรรยากาศก่อนชั้น F นอกจากนี้การที่มีสัญญาณภายนอกของคลื่นในย่าน HF แทรกสอดเข้ามาจะเป็นลักษณะของสัญญาณที่แรง ซึ่งจะทำให้บดบังช่วงของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นผลที่ได้จะไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ได้ ทำให้เวลาที่นำข้อมูลมาพล็อตในกราฟความสูงจะมีค่าเท่ากับ 0 กิโลเมตร อีกทั้งค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F นั้นในเวลากลางวันจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก อย่างไรก็ตามค่าความสูงจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงคือมีความสูงมากขึ้นรวมทั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ โดยเริ่มขึ้นในช่วงเวลาเย็นหลังจากที่ดวงอาทิตย์ตกดิน (ตั้งแต่เวลา 17.00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 01.00 น.) เนื่องจากกลไกทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ เมื่อไม่มีแสงอาทิตย์แล้วในชั้นไอโอโนสเฟียร์จะเกิดการรวมตัวกัน (Recombination) ของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นที่มีการแตกตัว (ไอไอไนซ์) ในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากพลังงานจากแสงอาทิตย์จะกลับมาจับเป็นกลุ่มก่อนทำให้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ F มีการรวมตัวเป็นชั้นเดี่ยวแล้วลอยสูงขึ้น ซึ่งกลุ่มก้อนของอิเล็กตรอนที่เกิดจากการรวมตัวกันนี้จะทำให้เกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [25] โดยข้อมูลที่น่ามาเสนอนั้นจะเกี่ยวข้องกับการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ซึ่งในที่นี้จะกล่าวไว้ในหัวข้อการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F

ส่วนต่อไปจะแสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทั้งหมดเป็นแบบรายเดือนและผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงเฉลี่ย ความสูงสูงสุด ความสูง

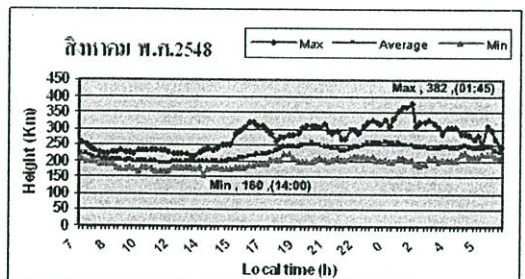
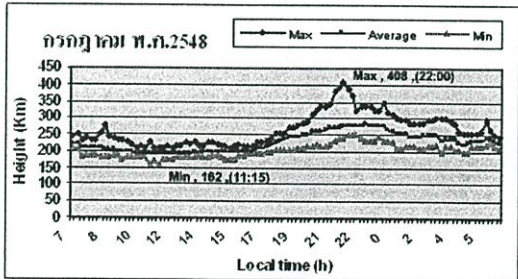
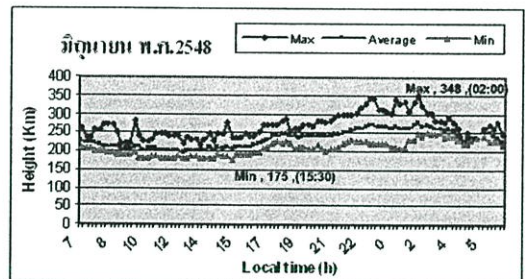
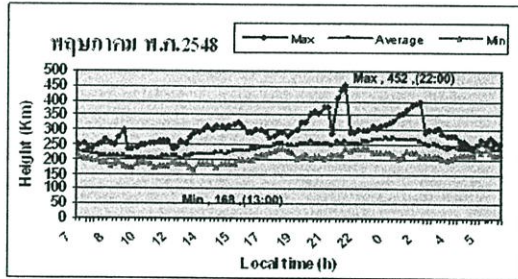
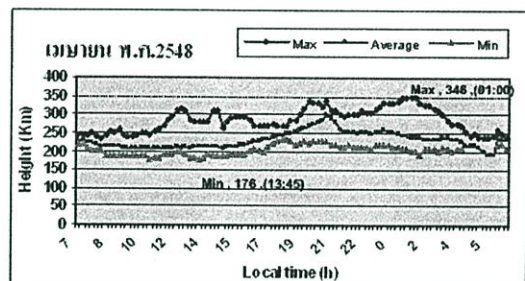
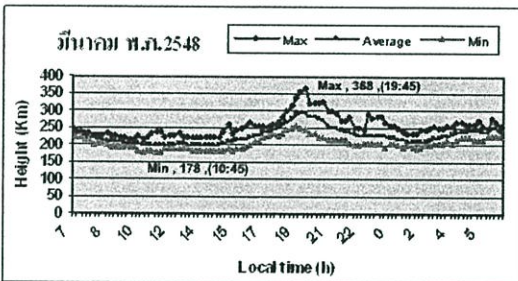
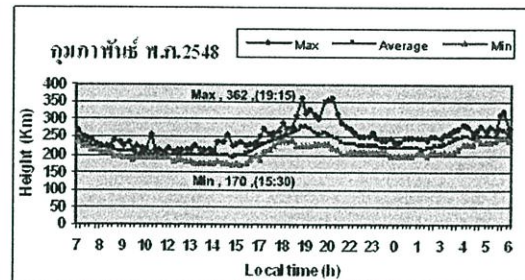
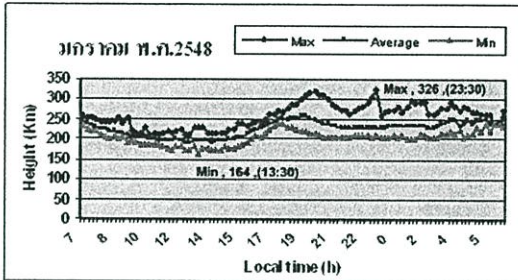
ต่ำสุด รวมทั้งวิเคราะห์หาค่าระดับความสูงที่สูงที่สุดและต่ำที่สุดในเดือนนั้นๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกันในแต่ละเดือนตั้งแต่ เดือน มกราคม พ.ศ.2547 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ.2548 ดังรูปที่ 4.4



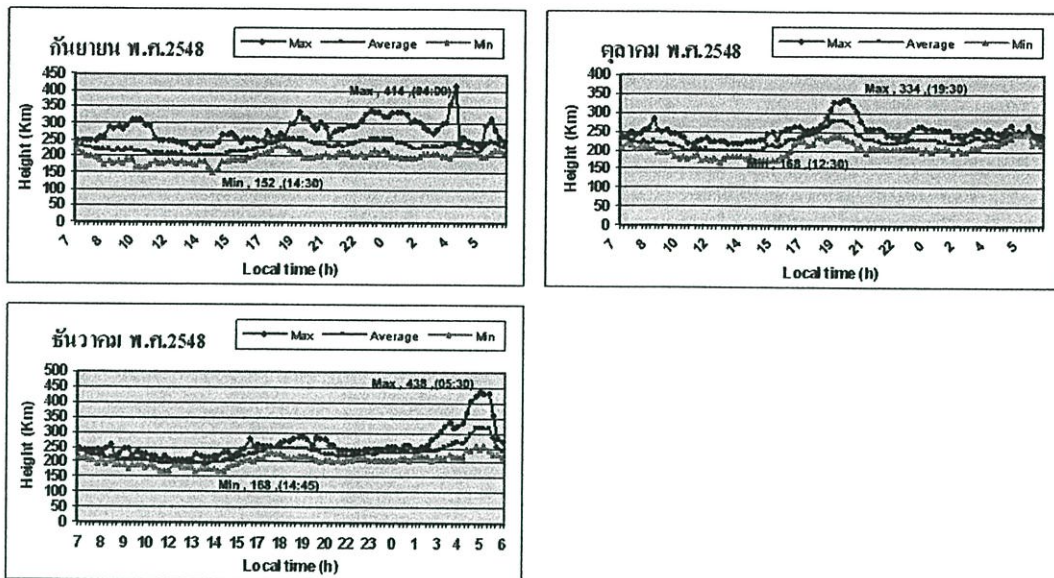
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่าความสูง ($h^{\prime}F$) สูงสุด และ ต่ำสุด รวมถึงค่าเฉลี่ยของเดือน มกราคม พ.ศ.2547 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2548 แบบรายเดือนในช่วงเวลาต่าง ๆ



(ก)



รูปที่ 4.4 (ต่อ)



(ข)

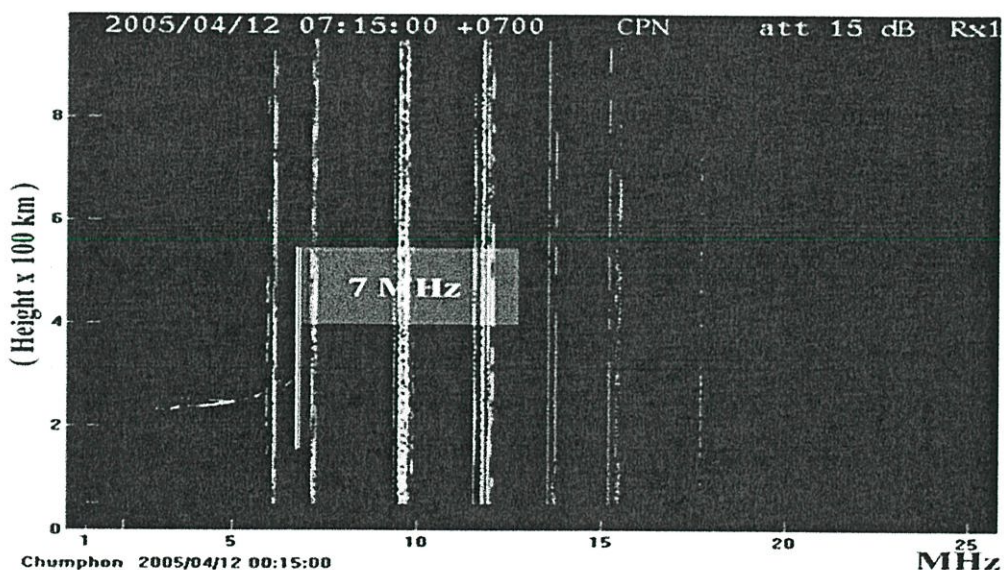
รูปที่ 4.4 (ต่อ)

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในปี พ.ศ.2547 และปี พ.ศ.2548 แบบรายเดือนในช่วงเวลาต่าง ๆ จะพบว่าระดับค่าการเปลี่ยนแปลงความสูงเฉลี่ย (The Average Height) และระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำสุด (The Minimum Height) ในปี พ.ศ.2547 และปี พ.ศ.2548 จะมีลักษณะใกล้เคียงกันเกือบจะทุกเดือน กล่าวคือระดับความสูงตั้งแต่เวลา 7.00 น. จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลาประมาณ 13.00 น. จากนั้นจะค่อยๆ ใต้ระดับขึ้นไปจนถึงเวลาประมาณ 20.00 น. และจะค่อยๆ ใต้ระดับลงมาที่เวลาประมาณ 03.00 น. แล้วค่อยๆ ใต้ระดับขึ้นอีกเล็กน้อยจนถึงเวลาประมาณ 5.00 น. โดยที่ยังคง ใต้ระดับลงอีกเล็กน้อยอย่างต่อเนื่องและไปจบที่เวลา 7.00 น. ในวันรุ่งขึ้นของอีกวันหนึ่ง ทั้งนี้ยกเว้นเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2548 ที่ระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงเฉลี่ย (The Average Height) และระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงต่ำสุด มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีจุดที่น่าสังเกตคือในช่วงเดือนมีนาคม เดือนเมษายน เดือนกันยายน และในช่วงเดือนตุลาคม ค่าความสูงเฉลี่ยสูงสุดของชั้น F จะมีค่าถึง 300 กิโลเมตร โดยค่าที่ได้ในเดือนอื่น ๆ ของทั้งปี พ.ศ.2547 และพ.ศ.2548 จะสูงขึ้นไปไม่ถึงค่าความสูงเฉลี่ยสูงสุดดังกล่าว จากเหตุการณ์ดังกล่าวเราจะเรียกช่วงเดือนนี้เป็นช่วงเดือน Equinox (เป็นช่วงที่เวลากลางวัน และเวลากลางคืนยาวนานเท่ากัน) กล่าวได้ว่าเป็นช่วงของเดือนที่ชั้นบรรยากาศมีความแปรปรวนมากที่สุด จึงส่งผลกระทบต่อทำให้ความสูงของชั้น F มีการเลื่อนขึ้นไปสูงกว่าปกติ [26] แต่ถึงอย่างไรก็ตามผลการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่เหมือนกันของทั้ง 2 ปีคือความสูงที่สูงที่สุดจะอยู่ในช่วงเวลากลางคืนทั้งหมด โดยที่ความสูงจากพื้นดินที่สูงที่สุดของชั้น F ในปี พ.ศ. 2547 จะปรากฏในเดือนมีนาคมเวลา 19.45 น. มีค่าความสูงอยู่ที่ 424 กิโลเมตร ส่วนในปี พ.ศ.2548 จะปรากฏในเดือน พฤษภาคม เวลา 22.00 น. โดยมีค่าความสูงอยู่ที่ 452 กิโลเมตร ทั้งนี้ระดับค่าความสูงที่ต่ำที่สุดในปี พ.ศ.2547 ปรากฏที่เดือน กุมภาพันธ์ เวลา 11.00 น. มีความสูงอยู่ที่ 158 กิโลเมตร และใน

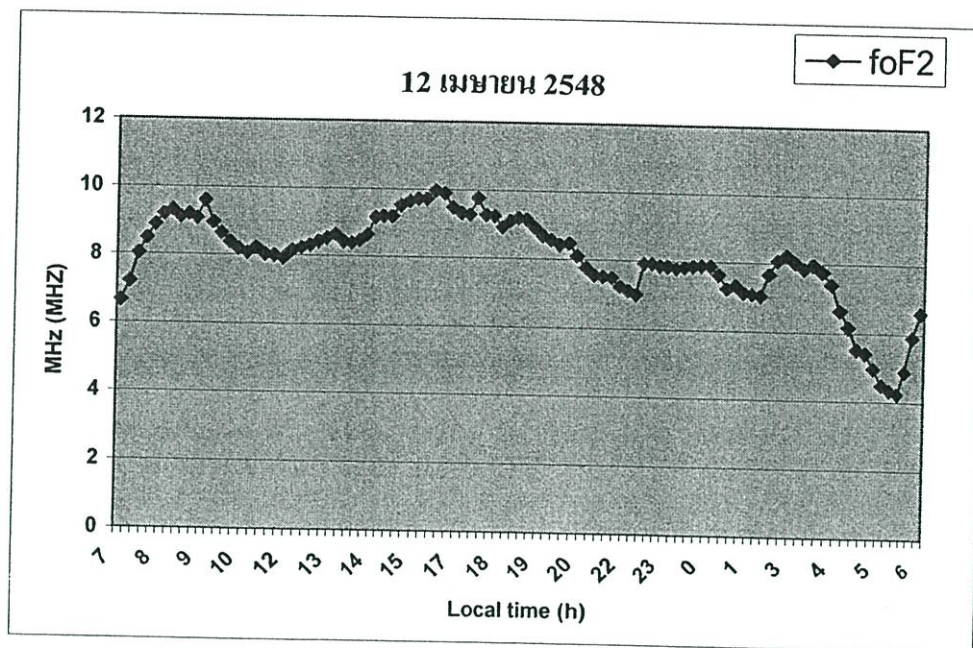
ปีพ.ศ.2548 จะปรากฏในเดือนกันยายน เวลา 13.00 น. โดยมีค่าความสูงอยู่ที่ 152 กิโลเมตร ทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าค่าความสูงที่ต่ำที่สุดจะเกิดในช่วงเวลากลางวันทั้งหมด และที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือระดับการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุด (The Maximum Height) ในปี พ.ศ.2547 และปี พ.ศ.2548 นั้นแทบจะไม่มี ความคล้ายกันเลย เนื่องจากความแปรปรวนของระดับความสูงสูงสุดในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ชั้น F มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในแต่ละวัน ทำให้การรวมผลระดับความสูงสูงสุดที่เป็นแบบรายเดือนนั้นมีคุณลักษณะพิเศษที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละเดือน และ ยังส่งผลเกี่ยวเนื่องไปถึงการเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “สเปรด F” ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อตอนท้ายของบท

4.2 ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตในชั้นไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ของแต่ละช่วงเวลาทั้งแบบรายวันและแบบรายเดือนในปี พ.ศ.2547และปี พ.ศ.2548

ในหัวข้อนี้จะกล่าวเน้นในเรื่องของการอ่านค่าความถี่วิกฤตที่ได้จากภาพไอโอโนแกรม จากที่กล่าวไว้ตั้งแต่ต้นผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 15 นาทีตลอด 24 ชั่วโมง โดยใน 1 วันจะมีข้อมูลภาพทั้งหมด 96 ภาพ ซึ่งรายละเอียดของภาพที่ใช้ในการวัดค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F จะเห็นได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.5 โดยเวลาด้านล่างของรูปจะแสดงเวลาแบบ GMT ซึ่งต่างจากเวลาด้านบนของรูปจะแสดงเวลาเป็นแบบ Local ทั้งนี้เวลา GMT จะเร็วกว่าอยู่ 7 ชั่วโมง

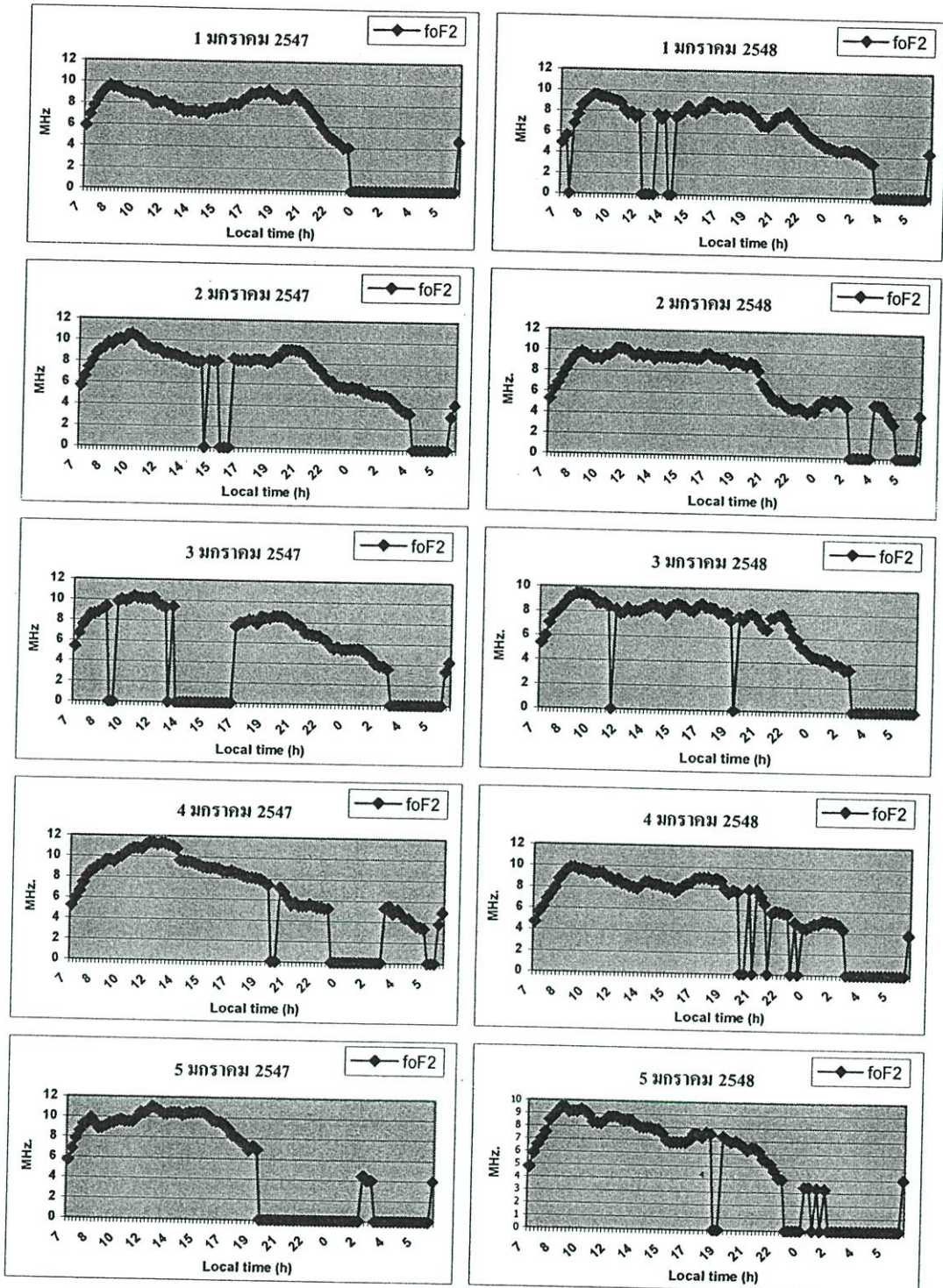


รูปที่ 4.5 วิธีการอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จากไอโอโนแกรมของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2548



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างภาพความถี่วิกฤต (foF2) ใน 1 วันของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่ได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมวันที่ 12 เมษายน พ.ศ.2548

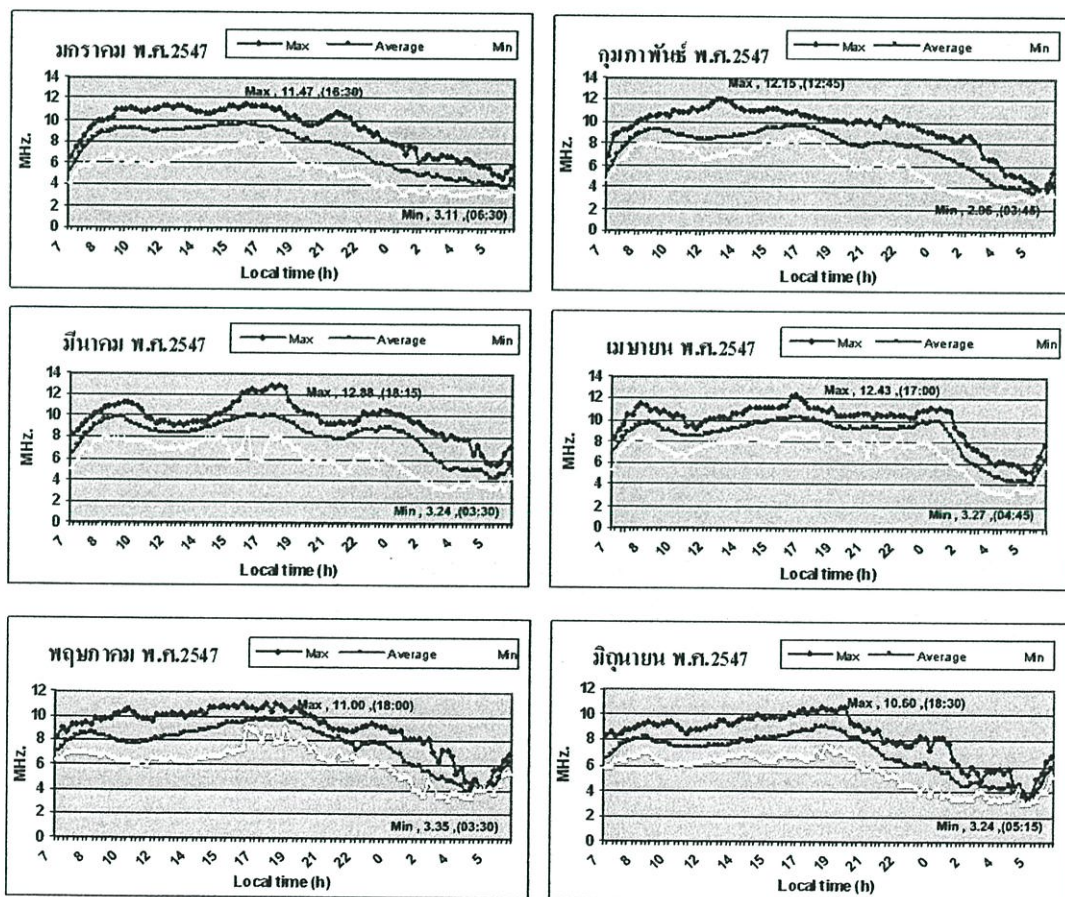
จากรูปที่ 4.5 เป็นวิธีการวัดค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เราจะให้ความสนใจไปที่เส้นโค้งสีเหลือง เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แต่ในครั้งนี้ จะนำเส้นแนวตั้งไปและปลายเส้นการสะท้อนที่ได้จากค่าความถี่วิกฤตน้อยสุดที่ได้จากภาพไอโอโนแกรม และอีกเส้นหนึ่งเป็นค่าความถี่ที่มากที่สุดซึ่งเกิดจากการส่งคลื่นไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ดังที่กล่าวไว้ในตอนต้น ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากการอ่านค่าความถี่วิกฤตในภาพไอโอโนแกรมจากโปรแกรม Special Scaling แล้วนำมาพล็อตเป็นกราฟตัวอย่างดังรูปที่ 4.6 โดยค่าที่พล็อตได้ในแต่ละกราฟนั้นเกิดจากการวัดค่าที่มาจากไอโอโนแกรมที่เกิดจากการนำข้อมูลมาพล็อตทุกๆ 15 นาทีต่อ 1 ภาพ จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่นำมาแสดงการเปลี่ยนแปลงรายวันนี้เป็นข้อมูลเพียงส่วนเดียวเท่านั้น และจากที่กล่าวไว้ในตอนต้นของบทว่าจำเป็นจะต้องวิเคราะห์ภาพเหล่านี้เป็นจำนวนทั้งสิ้น 70,565 ภาพ อย่างไรก็ตามในส่วนที่กล่าวมานี้เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤต โดยทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบตัวอย่างผลการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตแบบรายวันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ของวันที่ 1-5 เดือน มกราคม พ.ศ.2547 และ วันที่ 1-5 เดือน มกราคม พ.ศ.2548 จะได้ผลดังรูปที่ 4.7



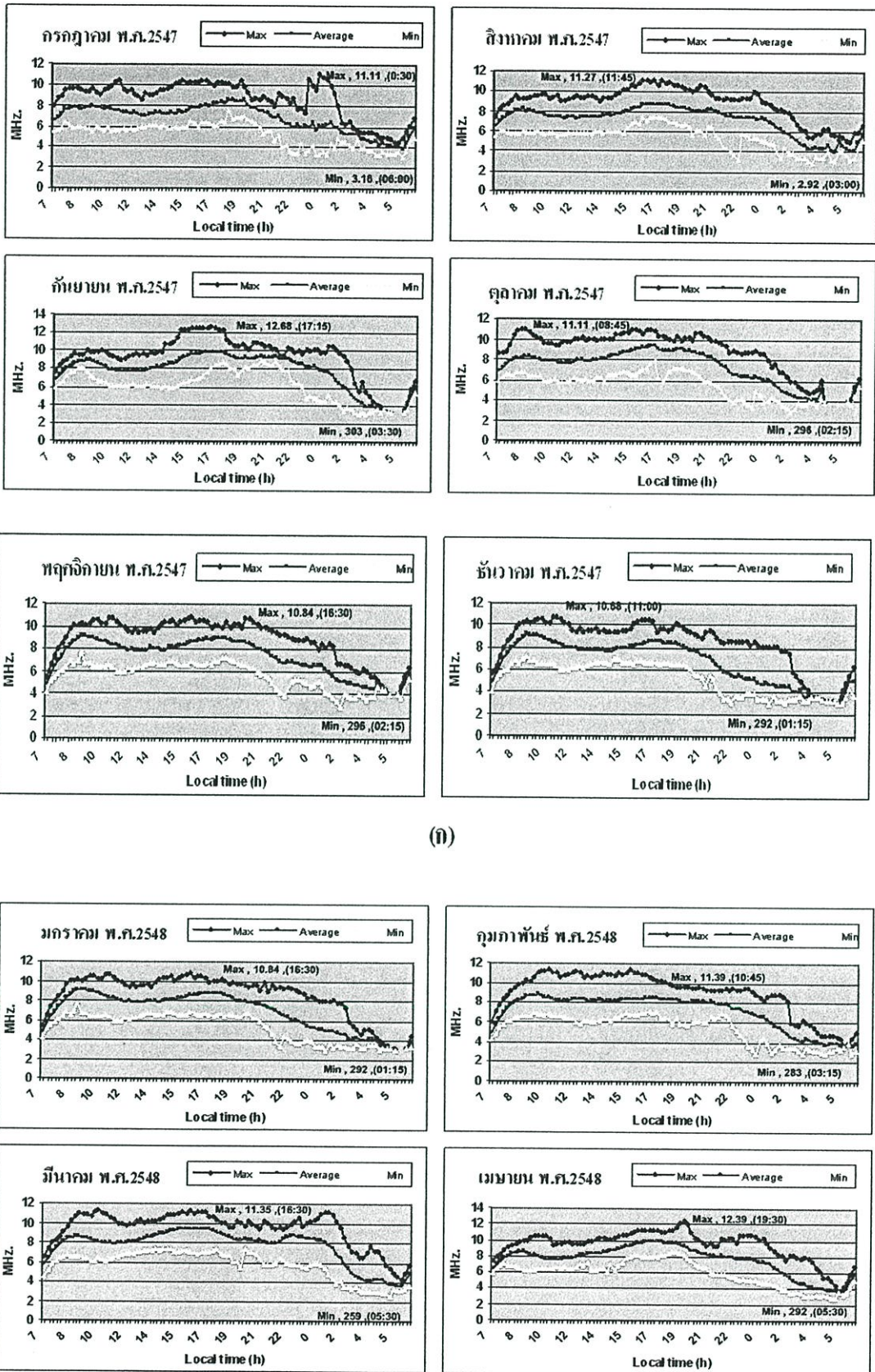
รูปที่ 4.7 ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤต (foF2) ของชั้นไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน ในระหว่างวันที่ 1-5 มกราคม พ.ศ. 2547 และ วันที่ 1-5 มกราคม พ.ศ.2548

จากรูปที่ 4.7 เป็นภาพแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์แบบรายวันในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2547 และ 1 ถึง 5 มกราคม พ.ศ.2548 ถัดไป จะเป็นส่วนที่อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทั้งหมดในแบบราย

เดือน โดยค่าที่ได้จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าในการวัดค่าความถี่วิกฤตที่อ่านได้จากไอโอโนแกรมบางครั้งไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตได้ซึ่งมีสาเหตุมาจากกรณีที่ค่าความสูงไม่ปรากฏ (การไม่มีเส้นการสะท้อนเกิดขึ้นในภาพไอโอโนแกรม) เช่นในบางเวลากลางคืนที่ส่งไปจะทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปทั้งหมดดังที่กล่าวไว้แล้วในตอนต้น (ในหัวข้อของการวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F) ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตได้ ซึ่งเวลานำมาพล็อตในกราฟของค่าความถี่วิกฤตจะเห็นว่าค่าเท่ากับ 0 เมกะเฮิรตซ์ อีกทั้งโดยส่วนใหญ่ค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางวันของแต่ละวันจะมีการเคลื่อนไหวในระดับสูงขึ้นและจะตกลงในช่วงเวลากลางคืน อย่างไรก็ตามในบางวันช่วงเวลาที่ตอนเย็นหรือหลังจากที่ดวงอาทิตย์เริ่มตกดินตั้งแต่เวลา 17.00 น. เป็นต้นไปจนถึงเวลา 20.00 น. ค่าความถี่วิกฤตจะเกิดการแปรปรวนโดยจะมีค่ากระเพื่อมขึ้นลงเล็กน้อยก่อนจะตกลงในช่วงหลังจาก 20.00 น. ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดระดับการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตเฉลี่ย ความถี่วิกฤตมากที่สุด และค่าความถี่วิกฤตน้อยสุด อีกทั้งยังได้ทำการวิเคราะห์หาค่าความถี่วิกฤตที่มากที่สุด และน้อยสุดในเดือนนั้นๆ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกันในแต่ละเดือน โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือน มกราคม พ.ศ.2547 ถึง เดือน ธันวาคม พ.ศ.2548 ดังรูปที่ 4.8

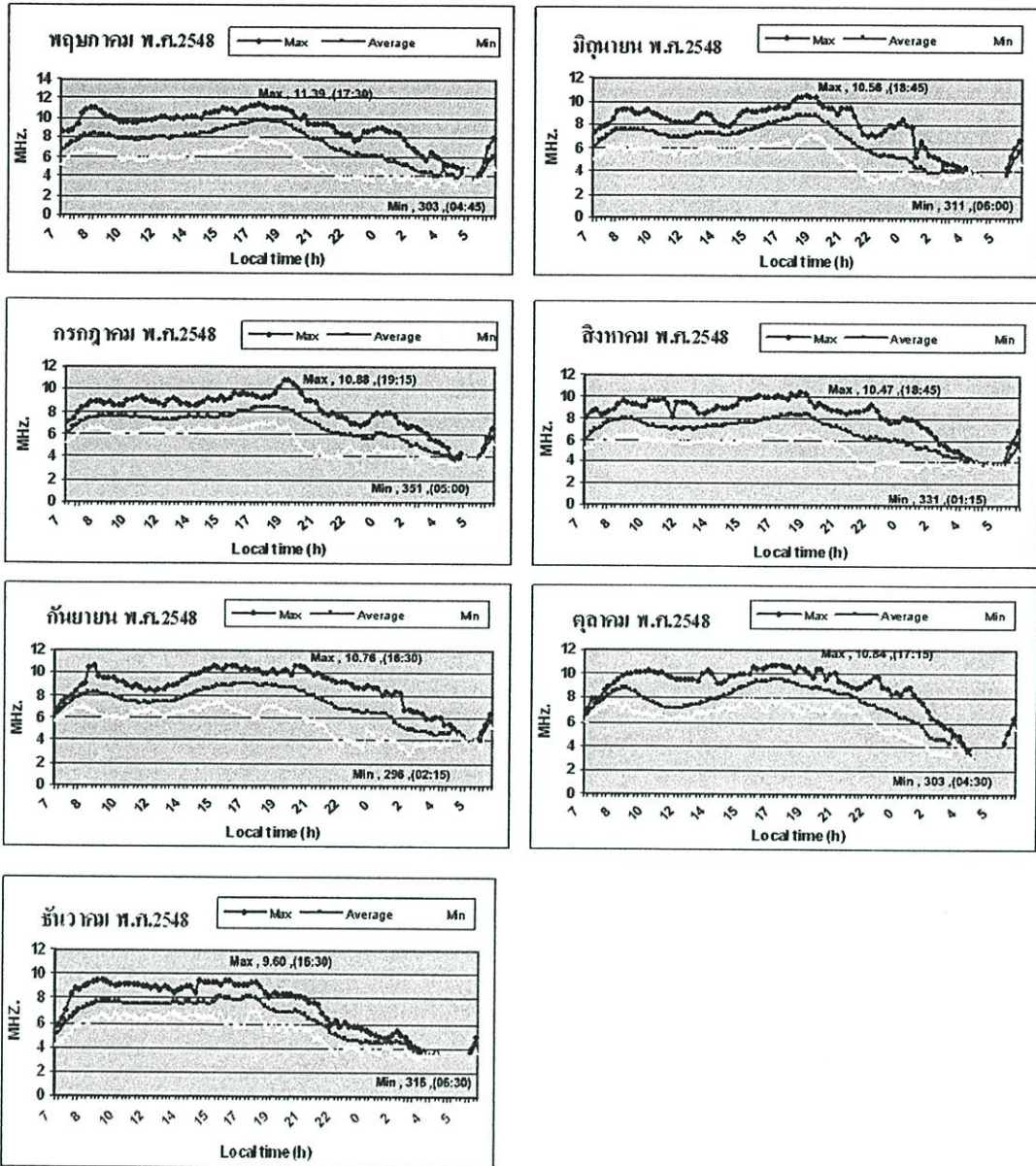


รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตสูงสุด และต่ำสุดรวมถึงค่าเฉลี่ยของเดือน มกราคม พ.ศ.2547 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2548 แบบรายเดือนในช่วงเวลาต่างๆ



(ก)

รูปที่ 4.8 (ต่อ)



(ข)

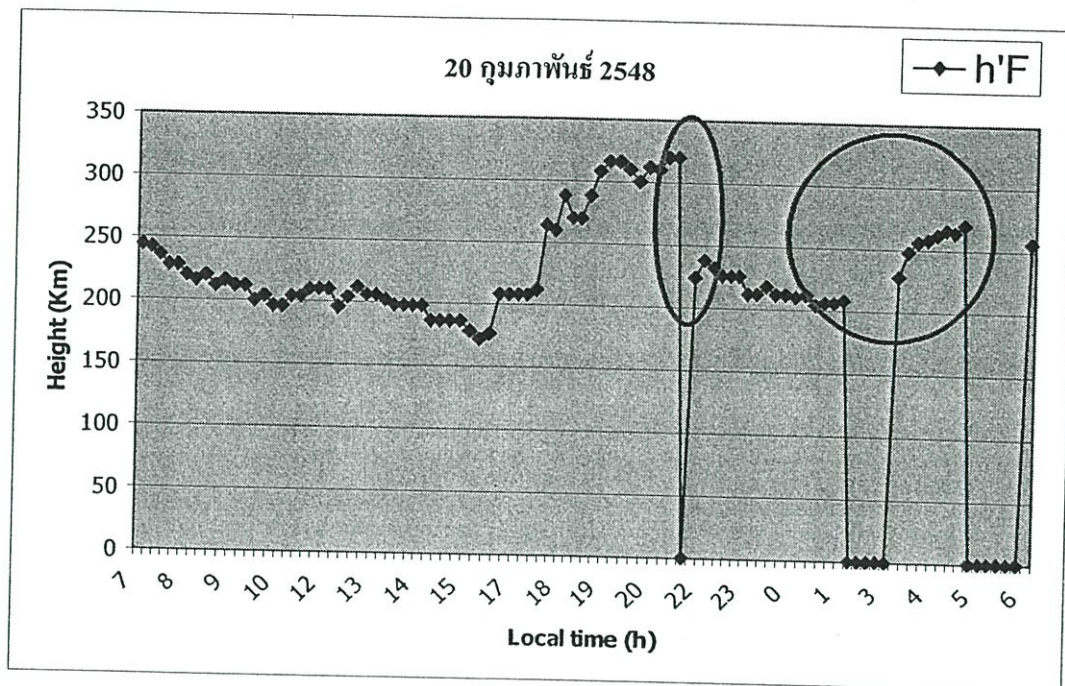
รูปที่ 4.8 (ต่อ)

รูปที่ 4.8 เป็นภาพแสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในปี พ.ศ.2547 และ ปีพ.ศ.2548 ชนิดรายเดือนในช่วงเวลาต่าง ๆ จะพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่วิกฤตเฉลี่ย (The Average of Critical Frequency) ของทั้งสองปีมีลักษณะคล้ายกันเกือบจะทุกเดือน ยกเว้นในเดือนธันวาคมของทั้งสองปีเท่านั้นที่มีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อยในช่วงเวลา 7.00 น ถึง 12.00น. ทั้งนี้รูปแบบของการเลื่อนระดับขึ้นลงของค่าความถี่วิกฤตจะมีลักษณะคล้ายกันกล่าวคือ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 7.00 น. ค่าความถี่วิกฤตจะเลื่อนระดับขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 9.00 น. จากนั้นจะเลื่อนระดับลงมาที่เวลาประมาณ 12.00 น. หลังจากนั้นค่าความถี่วิกฤตจะค่อย ๆ ได้ระดับขึ้นไปจนหยุดอยู่ที่เวลา 18.00 น. ต่อมาก็จะไ้ระดับลงมาถึงเวลาประมาณ 5.00 น. และหลังจากนั้นจึงได้ระดับขึ้น

ไปอยู่ที่ใกล้เคียงกันกับตอน 7.00 น. โคนจะยกเว้นในช่วงเดือนมีนาคม เดือนเมษายน เดือนกันยายน และในช่วงเดือนตุลาคมของทั้ง สองปีซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างไปจากเดิม กล่าวคือ ในช่วงเวลาเย็นคือตั้งแต่เวลา 18.00 น. ระดับค่าความถี่วิกฤตจะมีการเลื่อนระดับสูงขึ้นไปอีกหนึ่งครั้งเป็นอย่างน้อย ซึ่งปรกติจะต้องลดระดับลงมาเรื่อย ๆ จนถึงเวลา 5.00 น. เนื่องมาจากในช่วงเดือนดังกล่าวเป็นช่วงเดือน Equinox (ช่วงที่เวลากลางวันและเวลากลางคืนยาวนานเท่ากัน) กล่าวได้ว่าเป็นช่วงเดือนที่ชั้นบรรยากาศมีความแปรปรวนมากที่สุด [26] และทั้งนี้ในช่วงเดือนดังกล่าวยังส่งผลให้ระดับค่าความถี่วิกฤตสูงสุด (The Maximum of Critical Frequency) และระดับค่าความถี่วิกฤตน้อยสุด (The Minimum of Critical Frequency) มีความแตกต่างไปจากระดับค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ย ซึ่งโดยปกติค่าที่ได้จะต้องสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตามที่น่าสนใจคือ ค่าความถี่วิกฤตที่น้อยที่สุดของแต่ละเดือนจะอยู่ในช่วงกลางคืนหรือรุ่งเช้าทั้งหมด (ตั้งแต่เวลา 24.00 น. จนถึงช่วง 6.30 น.) แต่ในทางกลับกันค่าความถี่วิกฤตที่มากที่สุดกลับไม่มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาในแต่ละวันเลย ซึ่งในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการเกิดปรากฏการณ์ สเปรด F

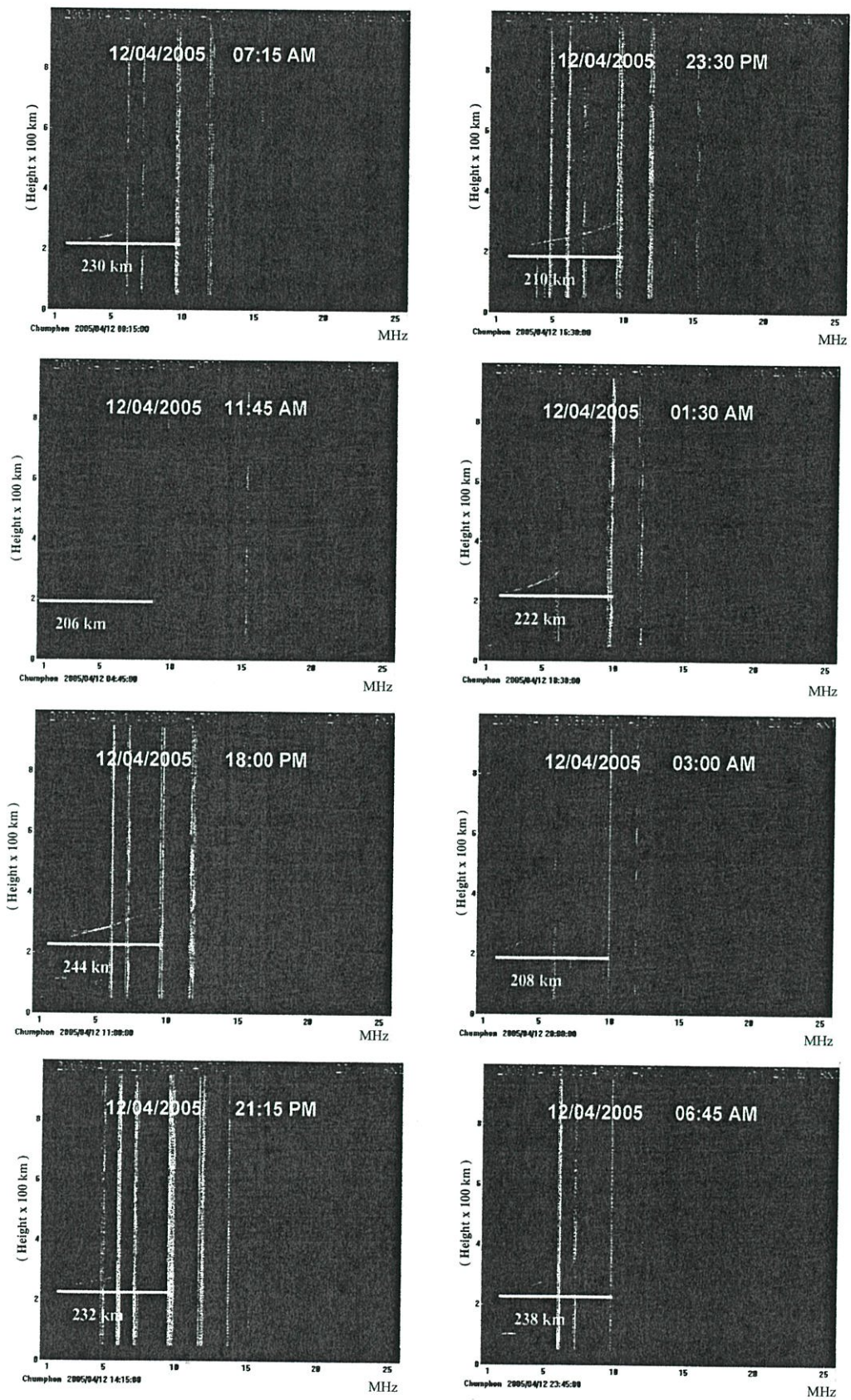
4.3 ผลการวิเคราะห์การเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ของชั้นไอโอโนสเฟียร์ชั้น F และการเปรียบเทียบจำนวนการเกิดสเปรด F ปี พ.ศ.2547 กับ ปี พ.ศ.2548

ผลการทดลองที่นำมาทำการวิเคราะห์นั้นเป็นผลได้จากการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2548 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2548 โดยข้อมูลที่ได้เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงความสูง และค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอ โอ โนสเฟียร์ในชั้น F ผลที่ได้จากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่ระดับความสูงมีความแปรปรวนโดยส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเวลากลางคืน (ประมาณ 19:00 น. ถึง 04:00 น.) ดูได้จากตัวอย่างในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับการสังเกตช่วงเวลาการเกิดของสเปรด F



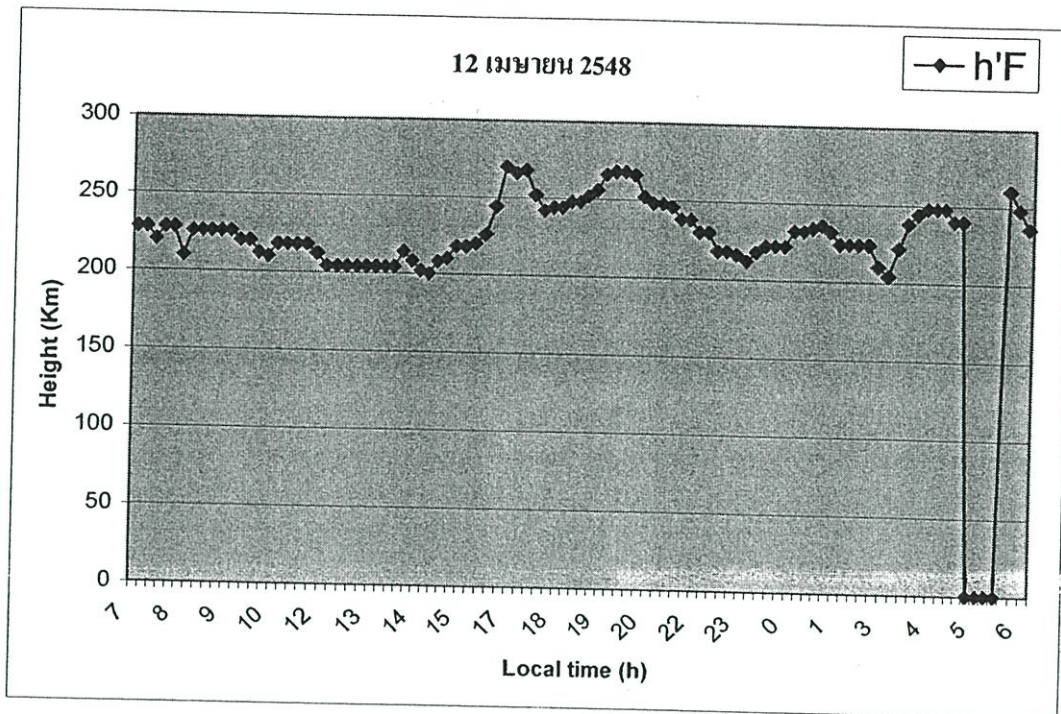
รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความสูง (h'F) ของชั้น F ที่มีความแปรปรวนมากในช่วงเวลากลางคืนของวันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

จากการสังเกตค่าความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศชั้น F ถ้าระดับความสูงมีความแปรปรวนไม่มากก็จะไม่เกิดสิ่งผิดปกติ กล่าวคือยังไม่เกิดปรากฏการณ์สเปรด F ดังรูปที่ 4.10 ภาพแสดงการวิเคราะห์ระดับความสูงที่ได้จากกราฟไอโอโนแกรม และรูปที่ 4.11 เป็นภาพแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความสูงขณะปกติ ณ วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2548 ในช่วงเวลาต่างๆ กัน



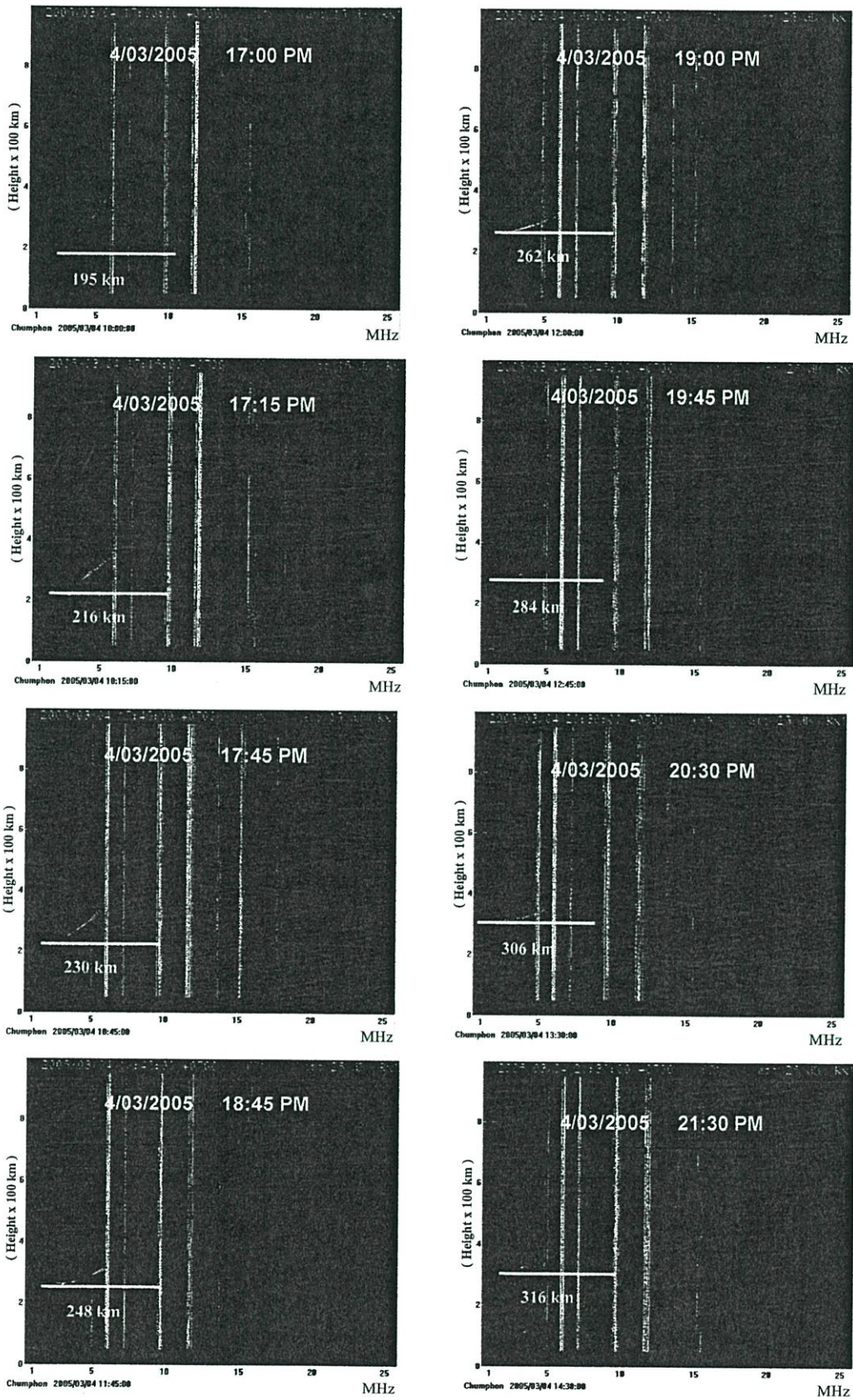
รูปที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ณ วันที่ 12 เมษายน

พ.ศ.2548



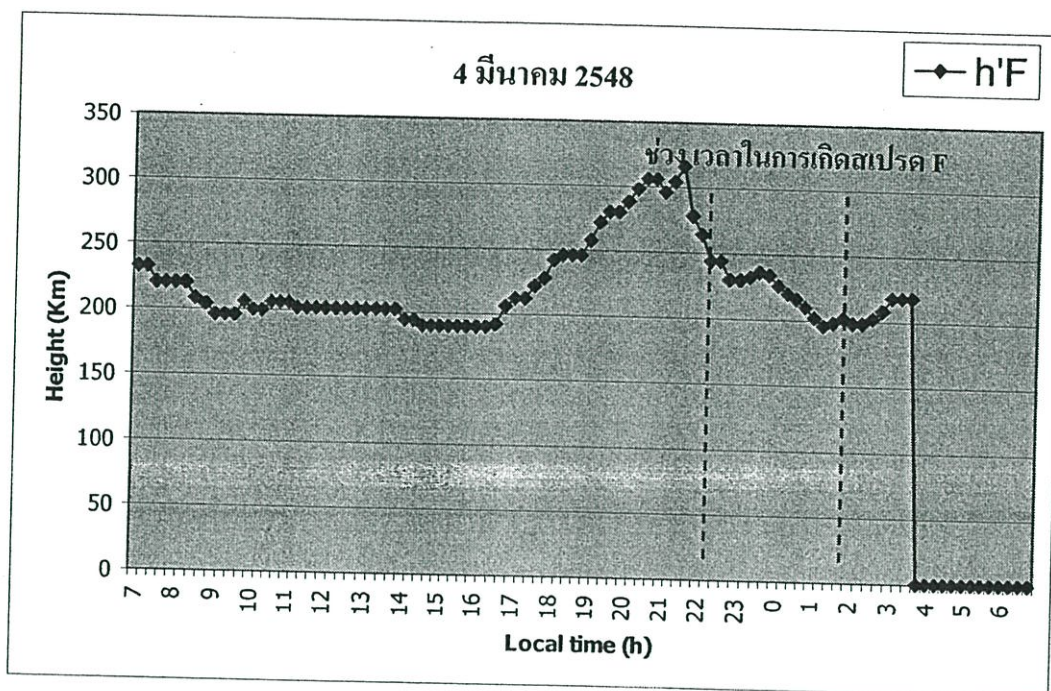
รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ของชั้น F ที่ยังไม่มีเกิดการปรากฏการณ์ สเปิร์ด F ณ วันที่ 12 เมษายน พ.ศ. 2548

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงวันที่ยังไม่มีเกิดการเกิดสเปิร์ด F ซึ่งจะสังเกตได้จาก การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ในรูปที่ 4.11 ในช่วงเวลา 19:00 น.-04:00 น. กราฟที่ได้เป็นกราฟ การเปลี่ยนแปลงที่ยังไม่มีเกิดการเกิดสเปิร์ด F ใดๆก็ตามในวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2548 นั้น มีการเกิด ปรากฏการณ์สเปิร์ด F เกิดขึ้นในช่วงเวลา 22:30 น.-24:00 น. จะสังเกตได้จากภาพไอโอโนแกรมการ เปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F จะมีค่าความผิดปกติเกิดขึ้น กล่าวคือความสูงของชั้น F จะเลื่อนขึ้นไป สูงกว่าปกติโดยที่ค่าความแปรปรวนของความสูงที่ผิดปกตินี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 19:00 น.- 04:00 น. ดังจะเห็นได้ดังรูปที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13 (เส้นประจะแสดงช่วงเวลาที่การเกิดของ สเปิร์ด F)



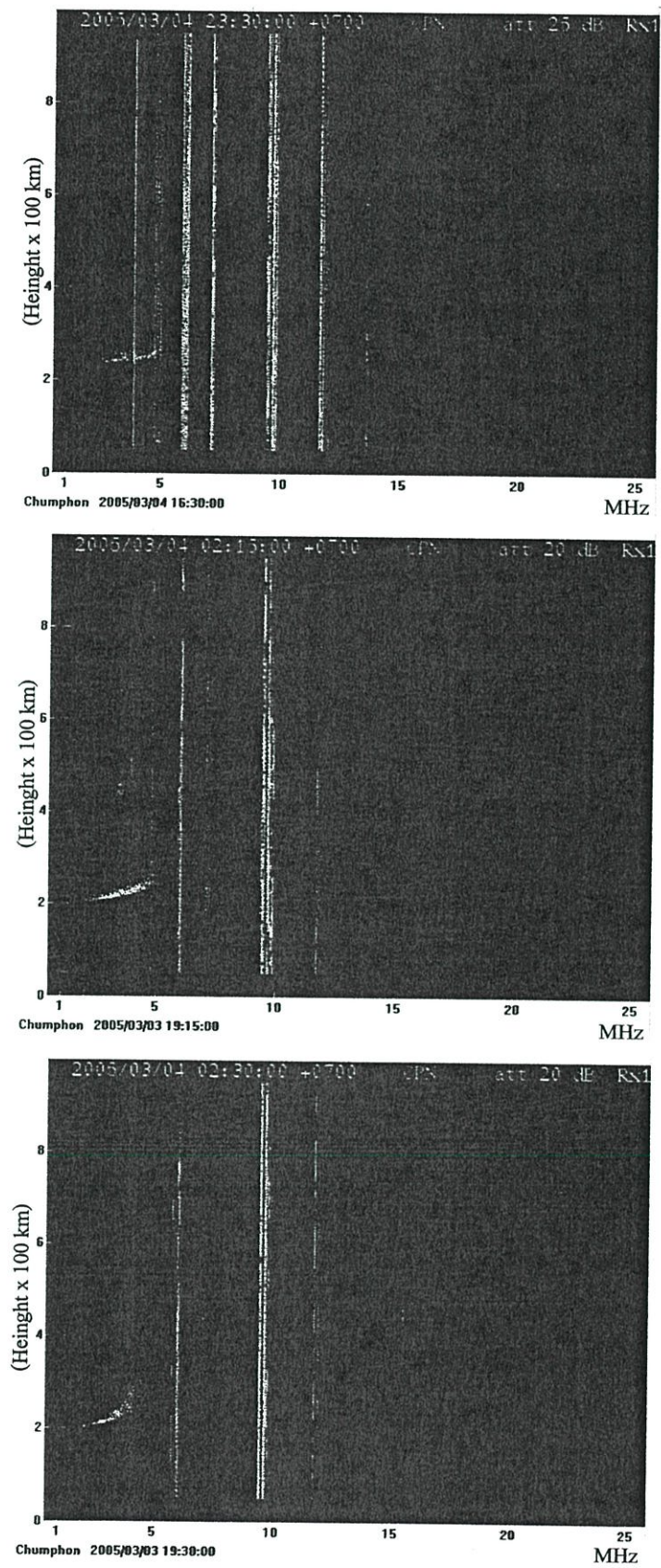
รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ณ วันที่ 4 มีนาคม

พ.ศ. 2548



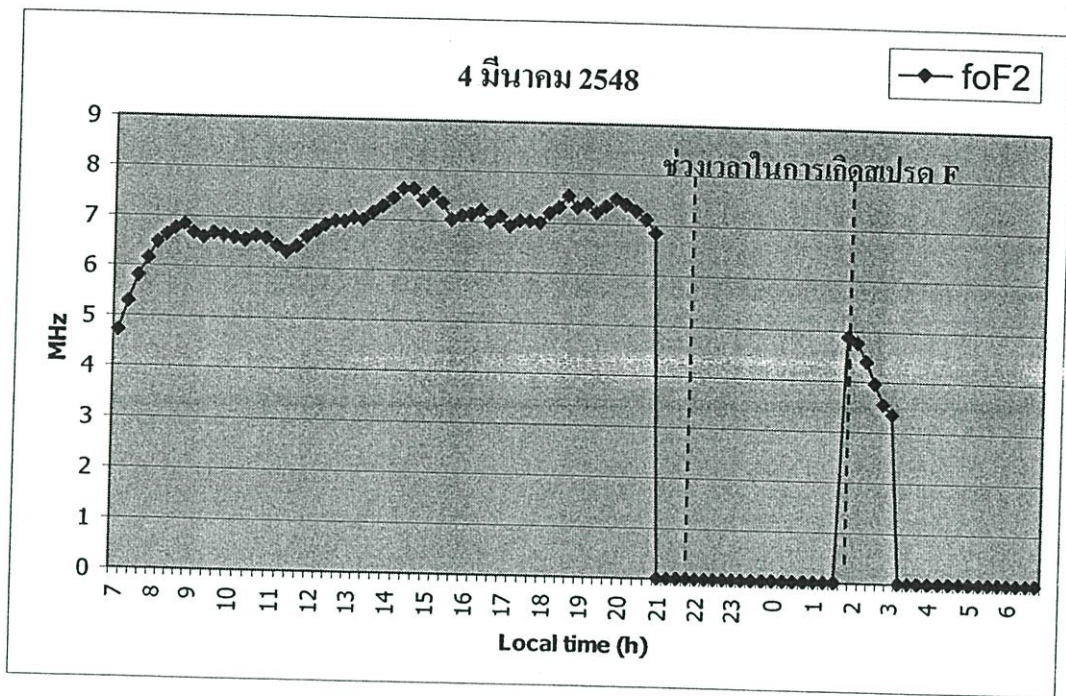
รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2548

จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 แสดงการเกิดปรากฏการณ์สเปคตร F ในเวลา 22.30-02.30 น. ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลานี้การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F มีการเลื่อนขึ้นไปสูงมากกว่าปกติโดยมีระดับค่าความสูงสูงสุดอยู่ที่ 316 กิโลเมตรที่เวลา 21.30 น. แต่อย่างไรก็ตามช่วงเวลาที่เกิดสเปคตร F นั้นจะปรากฏขึ้นหลังจากความสูงที่สูงที่สุดได้ผ่านพ้นไปแล้ว นอกจากนี้ในขณะที่เกิด สเปคตร F เราจะไม่สามารถทราบค่าความถี่วิกฤตได้ จะเห็นได้จากรูปที่ 4.14



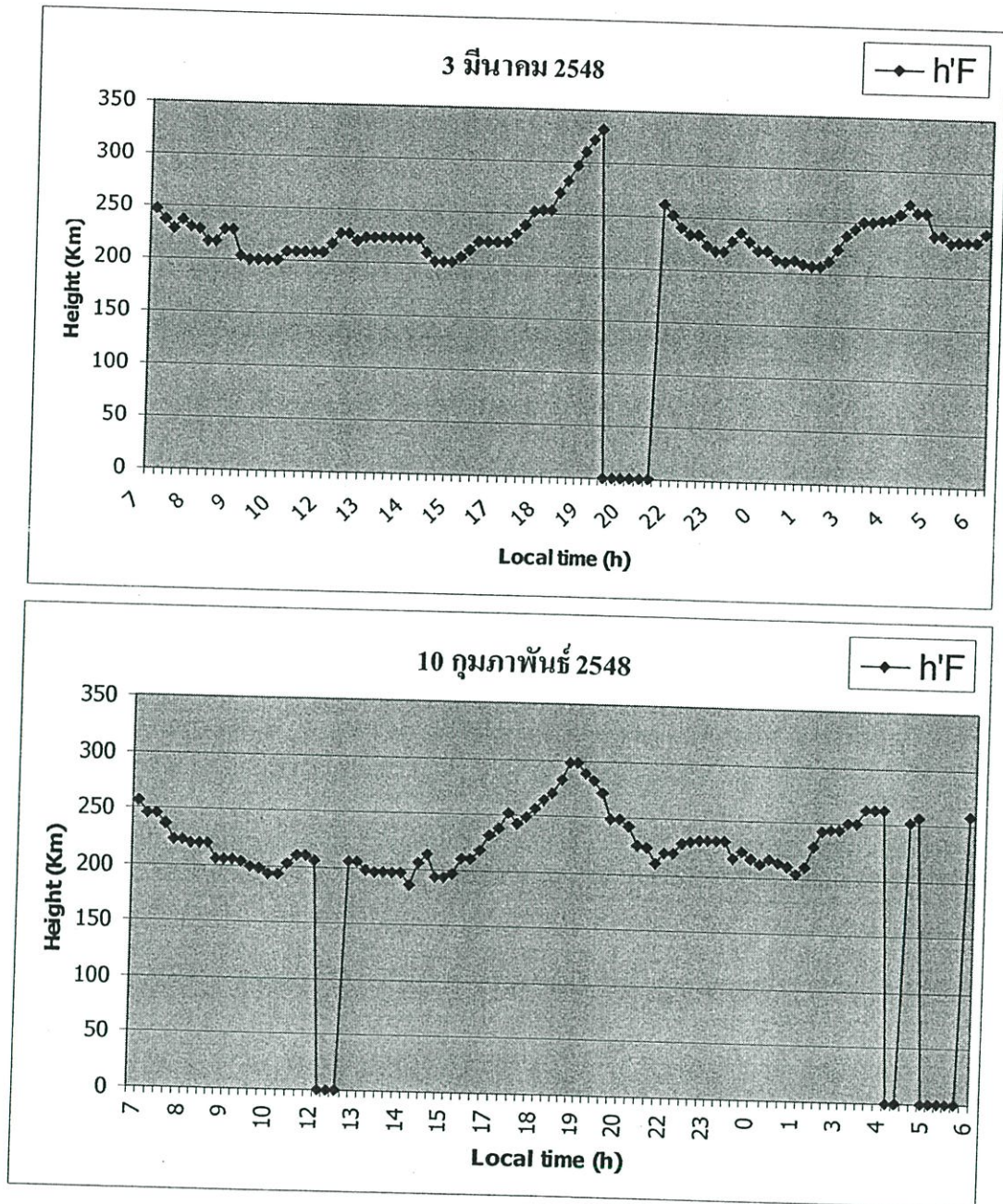
รูปที่ 4.14 ภาพไอโอโนแกรมแสดงการเกิด สเปกตรัม F ใน เวลาต่างๆ ของวันที่ 4 มีนาคม พ. ศ.2548

ความถี่วิกฤตที่ได้มาจากการวิเคราะห์ไอโอโนแกรมในช่วงเวลากลางวันจะมีค่าตั้งแต่ 6-13 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่เมื่อเกิด สเปรด F จะเห็นได้ว่าตั้งแต่เวลา 22:30 น.-02:30 น. จะไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตที่แน่นอนจากไอโอโนแกรมได้จึงไม่สามารถนำข้อมูลมาพล็อตเป็นกราฟ ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ความถี่วิกฤต (foF2) ที่ได้จากไอโอโนแกรมเมื่อเกิดสเปรด F ในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2548

จากรูปที่ 4.15 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2548 ความสูงของชั้น F จะมีการเปลี่ยนแปลงความสูงที่ผิดปกติมากที่สุดสาเหตุเนื่องมาจากในบางวันการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F แทบจะไม่มี ความผิดปกติเลย แต่ในบางวันความสูงของชั้น F มีการเลื่อนขึ้นไปถึงความสูงจากพื้นดินถึง 368 กิโลเมตร ซึ่งในช่วงเวลาที่ความสูงของชั้น F ได้เลื่อนขึ้นไปแบบผิดปกตินั้นต่อมามักจะตามมาด้วยช่วงที่มีการเกิดของ สเปรด F

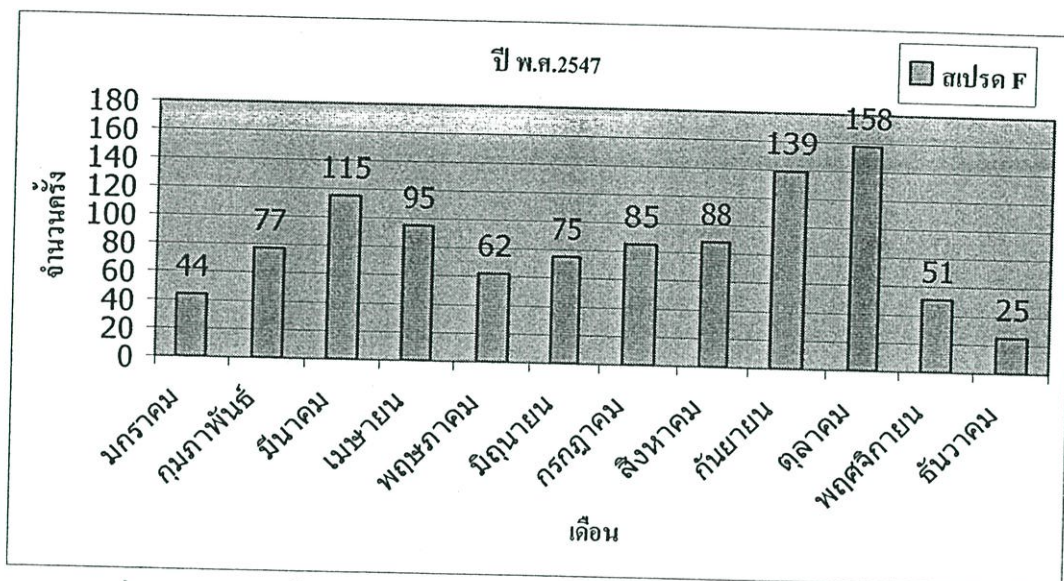


รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความสูง ($h'F$) ในวันที่ 3 มีนาคม พ. ศ. 2548 (ที่มีปรากฏการณ์ สเปรด F) และในวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ. ศ. 2548 (ที่ไม่มีปรากฏการณ์ สเปรด F)

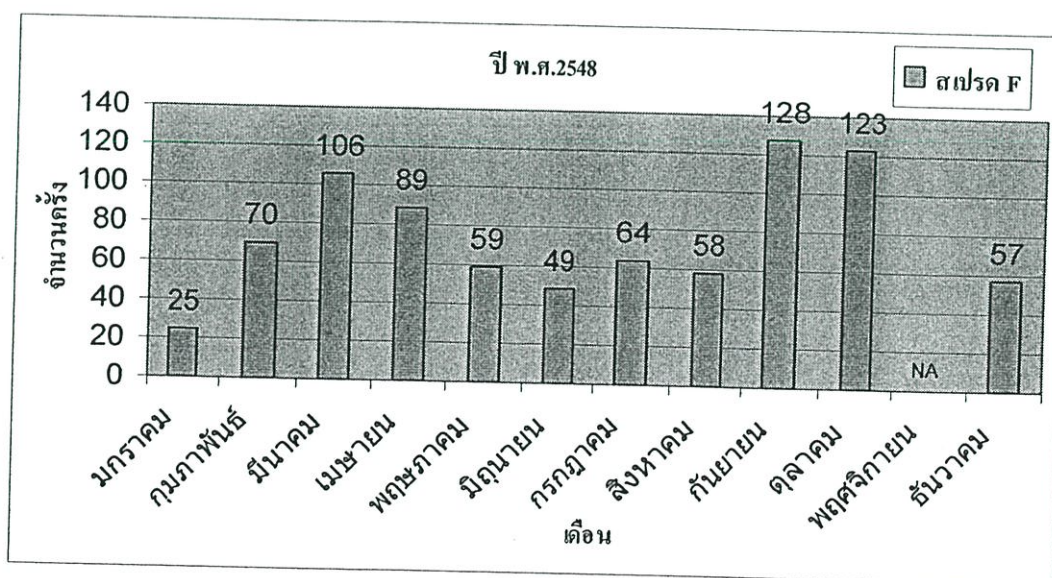
จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงในเดือน กุมภาพันธ์ พ. ศ. 2548 ในแต่ละวันนั้นมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือในวันที่ 3 มีนาคม พ. ศ. 2548 (เวลา 19.30 น.) มีระดับความสูงถึง 348 กิโลเมตร และในเวลาต่อมาความสูงตกลงมาที่ 267 กิโลเมตร (เวลา 21.30 น.) ซึ่งความต่างระดับของความสูงดังกล่าวเป็นผลทำให้เกิดปรากฏการณ์สเปรด F และในขณะเดียวกันวันที่ 10 กุมภาพันธ์ พ. ศ. 2548 ระดับความสูงจะมีการค่อย ๆ ใต้ระดับขึ้นและลงอย่างปกติ โดยที่

ระดับความสูงสูงสุด (The Maximum Height) จะอยู่ที่ 298 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความสูงเฉลี่ยในแต่ละเดือนนี้ จะมีความสัมพันธ์กับการเกิด สเปรด F โดยสามารถวิเคราะห์ได้ 3 สาเหตุคือ

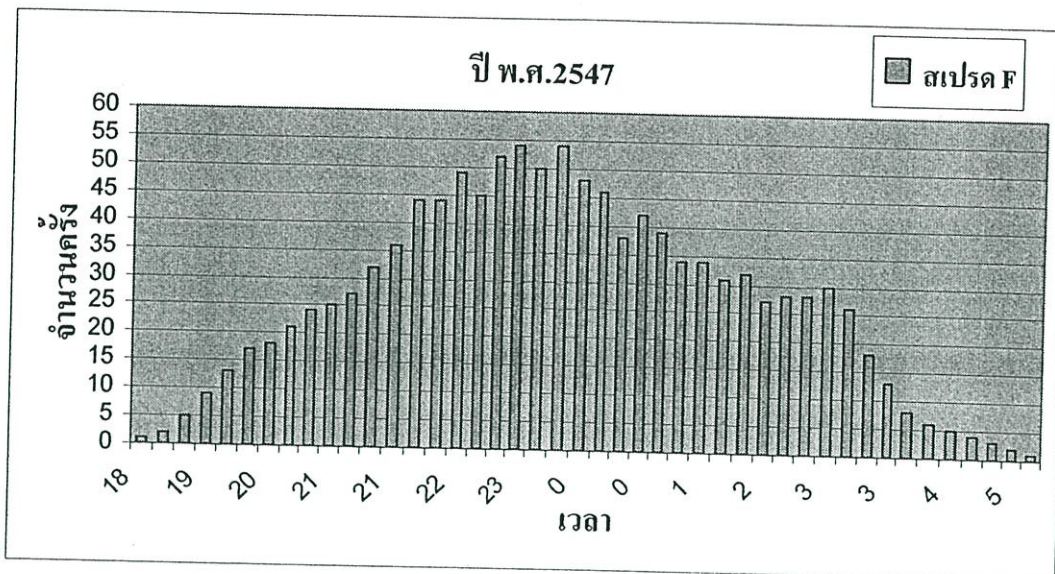
1. เมื่อระดับค่าความสูงมีการเพิ่มขึ้น ไปสูงมากกว่า 300 กิโลเมตรและที่ช่วงที่ตกลงมาห่างจากเดิมมากกว่า 30 กิโลเมตร
2. ระดับค่าความสูงมีความแปรปรวนมากในช่วงเวลากลางคืน
3. ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตที่แน่นอนจากภาพไอโอโนแกรมในช่วงเวลาที่เกิดสเปรด F ในการวิเคราะห์การเกิดสเปรด F นั้นในผู้วิจัยจะนับการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F เป็น 1 ครั้งใน 1 ภาพไอโอโนแกรมที่ปรากฏทุก ๆ 15 นาที



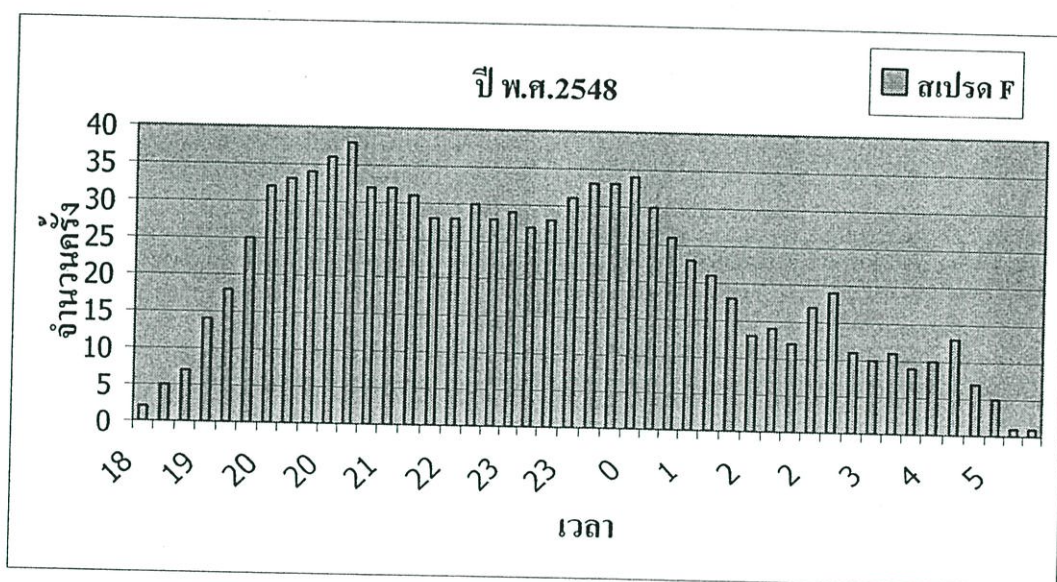
รูปที่ 4.17 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในเดือนต่างๆ ของปี พ.ศ.2547



รูปที่ 4.18 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในเดือนต่างๆ ของปี พ.ศ.2548



รูปที่ 4.19 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในเวลาต่างๆ ทั้งหมดของปี พ.ศ.2547



รูปที่ 4.20 จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ในเวลาต่างๆ ทั้งหมดของปี พ.ศ.2548

จากภาพรูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงถึงจำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าในช่วงเดือน Equinox (เดือน มีนาคม, เมษายน, กันยายน และ ตุลาคม) จะมีจำนวนครั้งของการเกิดสเปรด F สูงกว่าเดือนอื่น ๆ เนื่องจากในเดือนดังกล่าวมีความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สูงที่มีสาเหตุมาจากจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ [27] อีกทั้งยังส่งผลให้เดือนดังกล่าวมีความแปรปรวนหรือมีการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่มากกว่าเดือนอื่น ๆ ทั้งนี้ในปี พ.ศ.2547 เดือนที่มีจำนวนสเปรด F มากที่สุดคือเดือน ตุลาคม โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 158 ครั้ง ตามมาด้วยเดือน กันยายน มีนาคม และเมษายน โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 139, 115, และ 95 ครั้ง ตามลำดับ ส่วนเดือนที่มีจำนวนสเปรด F น้อยที่สุดคือเดือน

ธันวาคมมีจำนวนทั้งสิ้น 25 ครั้ง ตามมาด้วยเดือน มกราคม พฤศจิกายน พฤษภาคม โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 44, 51, และ 62 ครั้งตามลำดับ ส่วนในปี พ.ศ.2548 เดือนที่มีจำนวนสเปรด F มากสุดคือเดือน กันยายน โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 128 ครั้ง ตามมาด้วยเดือน ตุลาคม มีนาคม และเมษายน โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 123, 106, และ 89 ครั้ง ตามลำดับ ส่วนเดือนที่มีจำนวนสเปรด F น้อยที่สุดคือเดือนมกราคม โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 25 ครั้ง ตามมาด้วยเดือน มิถุนายน ธันวาคม สิงหาคม โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 49, 57, และ 58 ครั้งตามลำดับ (ทั้งนี้จะไม่นับเดือนพฤศจิกายนเนื่องจากในเดือนดังกล่าวเครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ระหว่างการซ่อมแซมจึงไม่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ได้) หากนำรูปที่ 4.17 และรูปที่ 4.18 มาเปรียบเทียบกันจะสังเกตได้ว่าจำนวนการเกิดสเปรด F ในปีพ.ศ.2547 จะมากกว่าปีพ.ศ.2548 อยู่ 186 ครั้ง คือ ในปีพ.ศ.2547 มีการเกิดสเปรด F ทั้งหมด 1,014 ครั้ง และในปีพ.ศ.2548 มีทั้งสิ้น 828 ครั้ง ซึ่งเกือบจะทุกเดือนของปีพ.ศ.2547 จำนวนสเปรด F จะมีมากกว่า ปี พ.ศ.2548 ยกเว้นเดือนธันวาคมของปีพ.ศ.2548 เท่านั้นที่มีค่าสเปรด F มากกว่า หากวิเคราะห์เฉพาะช่วงเดือน Equinox แบบเปรียบเทียบกันลักษณะเดือนต่อเดือนของทั้งสองปีจะสังเกตได้ว่าปี พ.ศ.2547 จะมีจำนวนสเปรด F มากกว่าปี พ.ศ.2548 อย่างไรก็ตามทั้งนี้จะสังเกตได้ว่าช่วงเดือนที่มีจำนวนครั้งของการเกิดสเปรด F มากหรือน้อยมีผลมาจากความแปรปรวนของการเคลื่อนระดับความสูงในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ซึ่งเป็นไปตามผลงานวิจัยที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อของการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ว่าในเดือนใดที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F อย่างรุนแรง อย่างกะทันหัน หรือมีความแปรปรวนมาก ก็จะส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ สเปรด F

จากรูปที่ 4.19 และ รูปที่ 4.20 แสดงจำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์สเปรด F โดยในปี พ.ศ.2547 จำนวนสเปรดจะมีค่ามากที่สุดอยู่ที่เวลา 23.15 น และ 23.45 น. โดยมีจำนวนทั้งสิ้น 54 ครั้ง และน้อยที่สุดอยู่ที่เวลา 05.30 น. และ 08.45 น. มีจำนวนทั้งสิ้น 1 ครั้ง ที่น่าสนใจคือลักษณะของกราฟในปี พ.ศ.2547 จำนวนสเปรด F มีแนวโน้มเริ่มเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเริ่มตั้งแต่เวลา 08.45 จนถึงช่วงเวลา 23.45 น. และจะเริ่มลดลงจนถึงเวลา 05.30 น. โดยกราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายรูปประฆังคว่ำ ในส่วนของปี พ.ศ.2548 จำนวนสเปรด F ที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. มีจำนวนทั้งสิ้น 38 ครั้ง และน้อยที่สุดอยู่ที่เวลา 5.30 น. และ 18.30 น. คือ มีจำนวนทั้งสิ้น 1 และ 2 ครั้ง ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าในปี พ.ศ.2548 จำนวนสเปรด F ตั้งแต่เวลา 18.30 น.ถึง 21.00 น.จะมีลักษณะของกราฟที่ชันมาก โดยเริ่มจากจำนวน 2 ครั้งจนมีค่ามากไปถึง 38 ครั้ง และจะตกลงมาที่เวลา 21.15 น. คือมีจำนวนทั้งสิ้น 32 ครั้ง จากนั้นจะมีการสลับขึ้นลงไปมาจนขึ้นไปอีกครั้งที่เวลา 03.00 น. มีจำนวนทั้งสิ้น 34 ครั้ง แล้วจะค่อยๆ ลดลงมาจนอยู่ที่เวลา 02.30 น. มีจำนวนทั้งสิ้น 12 ครั้ง จากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนไปหยุดอยู่ที่เวลา 03.00 น.แล้วลดลงมาจนถึง 05.30 น. อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าการเกิดสเปรด F ของทั้ง 2 ปีจะเกิดเฉพาะช่วงเวลากลางคืนหลังจากที่พระอาทิตย์ตกดินและไปสิ้นสุดที่ตอนรุ่งเช้าทั้งสิ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และการสังเกตการเกิดปรากฏการณ์สเปคตรัม F จากภาพไอโอโนแกรม โดยวิธีการที่ใช้คือเทคนิคไอโอโนซอนในการวัดข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวได้มาจาก สถานีหอดูดาวในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพร ตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 ถึง พ.ศ.2548 จากการศึกษา และ วิจัยพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ในช่วงเวลากลางวันจะไม่มี การเลื่อนระดับขึ้นลงมาก นักกล่าวคือมีความแปรปรวนน้อยแต่การเปลี่ยนแปลงระดับค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในเวลาประมาณ 17.00 น.จนไปสูงที่สุดซึ่งอยู่ในช่วง ประมาณ 22.00 น. หลังจากนั้นจะมีการเลื่อนระดับขึ้นลงสลับกันไปเล็กน้อยจนถึงรุ่งเช้าของอีกวันหนึ่ง (05.00น) อย่างไรก็ตามในช่วงเดือน มีนาคม และ เมษายน รวมไปถึงเดือนกันยายน และเดือนตุลาคมซึ่งจัดว่าอยู่ในเดือน Equinox ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ในเวลากลางวันและโดยเฉพาะในเวลากลางคืนจะมีความแปรปรวนมากกว่าเดือนอื่น ๆ ซึ่งมีสาเหตุมากจากการเลื่อนระดับขึ้นลงที่รุนแรงกว่า โดยจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์สเปคตรัม F ทั้งนี้ถ้าเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ของปี พ.ศ.2547 กับปี 2548 จะพบว่าในปี พ.ศ.2547 การเปลี่ยนแปลงความสูงจะมีการเลื่อนระดับขึ้นลงที่รุนแรงมากกว่า ปี พ.ศ.2548 ทั้งกลางวันและ กลางคืน โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเดือน Equinox จะมีความรุนแรงมากเป็นพิเศษ

ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F กับ การเกิดปรากฏการณ์สเปคตรัม F จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่มีความผิดปกติ กล่าวคือมีความแปรปรวนหรือมีการเลื่อนระดับขึ้นลงอย่างรุนแรง ซึ่งปรากฏการณ์ลักษณะเช่นนี้จะเกิดเฉพาะในเวลากลางคืนเท่านั้น คือตั้งแต่ช่วงเวลา 18.45 น. จนถึง 05.30 น. และจะเกิดบ่อยในช่วงเดือน Equinox ซึ่งเป็นมาจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความแปรปรวนนั่นเอง โดยจะส่งผลกระทบต่อคลื่น HF ที่ทำการส่งขึ้นไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้ค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้ในช่วงเวลานั้นเกิดความคลาดเคลื่อนในการวัด ทั้งนี้ความสูงที่สูงที่สุดที่สุดของปี พ.ศ.2547 จะอยู่ในระดับที่ 424 กิโลเมตร ในวันที่ 25 มีนาคม เวลา 19.45 น. และปี พ.ศ.2548 อยู่ที่ระดับ 452 กิโลเมตร ณ วันที่ 30 พฤษภาคม เวลา 22.00 น. ส่วนความสูงที่ต่ำที่สุดของปี พ.ศ.2547 จะอยู่ที่ระดับ 158 กิโลเมตร ณ วันที่ 1 กุมภาพันธ์ เวลา 11.30 น. และ ปี 2548 จะอยู่ที่ 152 กิโลเมตร ณ วันที่ 30 กันยายน เวลา 14.30 น.

การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยส่วนใหญ่แล้วในช่วงเวลาตอนเย็นจะเป็นช่วงที่ค่าความถี่วิกฤตมีค่าสูงที่สุด คือจะมีค่าสูงที่สุดในช่วงเวลาประมาณ

17.00 น. ถึง 19.00 น. และจะมีค่าลดลงในเวลากลางคืน เมื่อนำมาพิจารณาเป็นฤดูกาลนั้นพบว่า ค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าสูงที่สุดในช่วง Equinox เช่นเดียวกับค่าความสูงของชั้น F แต่ตามปกติแล้ว ค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าลดลงหลังจากที่ดวงอาทิตย์ตกดินเนื่องจากไม่มีการไอโอโนสเฟียร์ของอิเล็กตรอนซึ่ง ทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ลดลง ความถี่จึงมีค่าต่ำลงทั้งนี้ ความถี่วิกฤตที่มีค่ามากที่สุดของปี พ.ศ.2547 จะมีค่าอยู่ที่ 12.88 เมกะเฮิรตซ์ ณ วันที่ 10 มีนาคม เวลา 18.15 น. และ ปี พ.ศ.2548 จะอยู่ที่ 12.39 เมกะเฮิรตซ์ ในวันที่ 22 เมษายน เวลา 19.30 น. และความถี่ วิกฤตที่น้อยที่สุดของปี พ.ศ.2547 จะอยู่ที่ 2.92 เมกะเฮิรตซ์ ณ วันที่ 31 สิงหาคม เวลา 03.00 น. กับ วันที่ 23 ธันวาคม เวลา 01.15 น. และปี พ.ศ.2548 จะมีค่าอยู่ที่ 2.59 เมกะเฮิรตซ์ ณ วันที่ 11 มีนาคม เวลา 05.30 น.

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กับการเกิดสเปกตรัม F จะเกิดขึ้นเมื่อมีปรากฏการณ์สเปกตรัม F โดยจะส่งผลทำให้ค่าความถี่วิกฤตมีหลายค่า และจะไม่สามารถทราบค่าที่แน่นอนได้เลย ทั้งนี้เราจะเห็นได้จากภาพไอโอโนแกรมว่ามีการกระเจิง บริเวณที่ใช้ในการระบุจุดหรือวิเคราะห์ค่าที่แน่นอนของความถี่วิกฤต ทั้งนี้เนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ มีความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้น เมื่อเวลาส่งคลื่นความถี่หนึ่งขึ้นไปกระทบจะ เกิดการสะท้อนกลับมาหลายความถี่ทำให้เวลาเครื่องรับอ่านค่าความถี่วิกฤตได้หลายค่า

การเกิดปรากฏการณ์สเปกตรัม F จากการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าทั้งหมดจะเกิดในเวลากลางคืน หลังพระอาทิตย์ตกดินและไปสิ้นสุดที่ตอนรุ่งเช้า ทั้งนี้จากการเปรียบเทียบจำนวนการเกิดสเปกตรัม F ของ ปี พ.ศ.2547 กับปี พ.ศ.2548 พบว่าจำนวนสเปกตรัม F เมื่อเทียบกันเดือนต่อเดือนของปี พ.ศ.2547 นั้นมีค่า มากกว่า ปี พ.ศ.2548 อยู่มาก แต่ที่เหมือนกันคือในช่วงเดือน Equinox จำนวนการเกิดสเปกตรัม F จะมีค่า สูงด้วยกันทั้งคู่จึงสามารถสรุปได้ว่า ถ้าในเดือนใดมีการเปลี่ยนแปลงระดับค่าความสูงของชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ชั้น F ที่สูง ก็จะบ่งบอกได้ว่ามีโอกาสเกิดปรากฏการณ์สเปกตรัม F ได้มาก โดย ในปี พ.ศ.2547 จำนวนสเปกตรัม F จะมีค่ามากที่สุดอยู่ที่เวลา 23.15 น. และ 23.45 น. มีจำนวนทั้งสิ้น 54 ครั้ง และน้อยที่สุดที่ยังมีการเกิดสเปกตรัม F อยู่ที่เวลา 05.30 น. และ 08.45 น. มีจำนวนทั้งสิ้น 1 ครั้ง ในปี พ.ศ. 2548 จำนวนสเปกตรัม F ที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่เวลา 21.00 น. มีจำนวน ทั้งสิ้น 38 ครั้ง และน้อยที่สุดที่ยังมี การเกิดสเปกตรัม F อยู่ที่เวลา 5.30 น. คือมีจำนวนทั้งสิ้น 1 ครั้ง

อย่างไรก็ตามถ้ามีสถานีตรวจวัดหลายจุดเพื่อใช้ในการวัดค่าความสูงของชั้น F ของชั้น ไอโอโนสเฟียร์จะทำให้สามารถนำไปสังเกตการณ์การเคลื่อนที่ของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของชั้น ไอโอโนสเฟียร์ได้และทั้งนี้ควรจะพัฒนาโปรแกรมในการวิเคราะห์ค่าความสูงและความถี่วิกฤตของชั้น ไอโอโนสเฟียร์ที่อ่านหรือวิเคราะห์ที่ประมวลผลจากไอโอโนแกรมให้เป็นระบบอัตโนมัติ เพื่อลด เวลาในการใช้ทรัพยากรมนุษย์ในการวิเคราะห์ข้อมูล และหากสถานีเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลายาวนานจะ ทำให้สามารถทำนายการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างกะทันหัน

บรรณานุกรม

- [1] Louis J. Ippolito Jr. "Radiowave propagation in satellite communications," Newyork : Van Nostrand Reinhold Company. 1986
- [2] M.P.M Hall, L.W. Barclay and M.T. Hewitt, "Propagation of Radiowaves," Short Run Press Ltd., London, 1996
- [3] Tadanori Ondoh & Katsuhide Marubashi eds. "Science of Space Environment", Japan: IOS Press.2000
- [4] วิวัฒน์ กิรานนท์. "วิศวกรรมการสื่อสาร." พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อักษรสยามการพิมพ์. 2540
- [5] Rama Rao,P.V. S.,D. S.V.V.D.Prasad , K.Niranjan , G.Uma , S.Gopi Krishna , and K.Venkateswarlu . "Multistation Studies on SpreaF and VHF Scintillations in the Indian Sector."TAO.,Vol . 15 , No.4 , 667-681 .2004.
- [6] Jonathan Nichols, Andrew Hansen, Todd Walter and Per Enge. "High Latitude Measurements of Ionospheric Scintillation Using the NSTB", Proceedings of ION GPS99., 1999.
- [7] M.C. Kelly, "The Earth's Ionosphere Plasma Physics and Electrodynamics," Academic Press,INC.: San Diego, 1989
- [8] อรณรงค์ เพชรน้อม. "การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.2542.
- [9] K. D. Prasad, "Antenna and wave propagation," Tech India Publications, New Delhi.
- [10] Allnutt J. E. Satellite to Ground Radiowave Propagation Theory, "Practice and System Impact at Frequencies above 1 GHz", London: Peter Peregrinus Ltd. 1989.
- [11] Davies K. "Ionospheric Radio", London : Peter Peregrinus Ltd. 1990
- [12] D. Kenneth, "Ionospheric Radio", Peter Penegrinus, 1989.
- [13] J. Griffiths, "Radio Wave Propagation and Antennas An Introduction," Prentice-Hall International., 1993
- [14] David H. Hathaway. "The Solar Activity." [online]. Available :<http://www.sec.noaa.gov/swn/>
- [15] R.E Collin. "Antenna and Radiowave Propagation." MC-Graw-Hill , 1985.
- [16] "Electrical Engineering Training Series," [Online]. Available

- [17] B.Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, “**Global Positioning System**”, Third edition, Springer-verlag Wien, New York, 1994.
- [18] A. Picquenard, “**Radio Wave Propagation**,” The Macmillan Press Ltd., London, 1974
- [19] Marshall Space Flight Center “**Solar Cycle Update**.” [Online]. Available :
<http://www.scc.noaa.gov/1998>.
- [20] กิติชัย วิเศษศิริ. “การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ VHF”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547
- [21] T. Maruyama, “**Ionospheric Radio Propagations**”, Science of Space Environment, 2001
- [22] N. Wakai, H. Ohyama and T. Koizumi, “**Example of typical ionogram**”, MANUAL OF IONOGRAM SCALING Third Version ,1987
- [23] N. Wakai, “**Nomogram for easy readout of the night-time absorption**”, CCIR IWP 6/1, Document 12.
- [24] รุ่งชัย อัดดวิริยะสุวรรณ. “การศึกษาคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ห่มพรใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549
- [25] T. Maruyama, K. Nozaki, M. Yamamoto and S. Fukao, “**Ionospheric height changes at two closely separated equatorial stations and implications in spread F onsets**”,
- [26] T.Maruyama, “**Ionosphere and Thermosphere**”, Journal of Communications Research Laboratory Vol.49 No.3, 2002.
- [27] B. Jayachandan, T. N. Krishnankutty and T. L. Gulyaeva, “**Clibatology of ionospheric slab thickness**,” Ann. Geophys. Vol.22, pp 25-33, 2004.
- [28] น.อ. อำนาจ ทองรอด. “ปัญหาของการติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ HF ของสถานีที่เคลื่อนที่ และเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสาร” [Online]. Available : www.navy.mi.th

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การประยุกต์ใช้งานในย่านความถี่สูง (HF)

การติดต่อสื่อสารในระยะไกลโดยใช้ความถี่ย่าน HF (High Frequency)

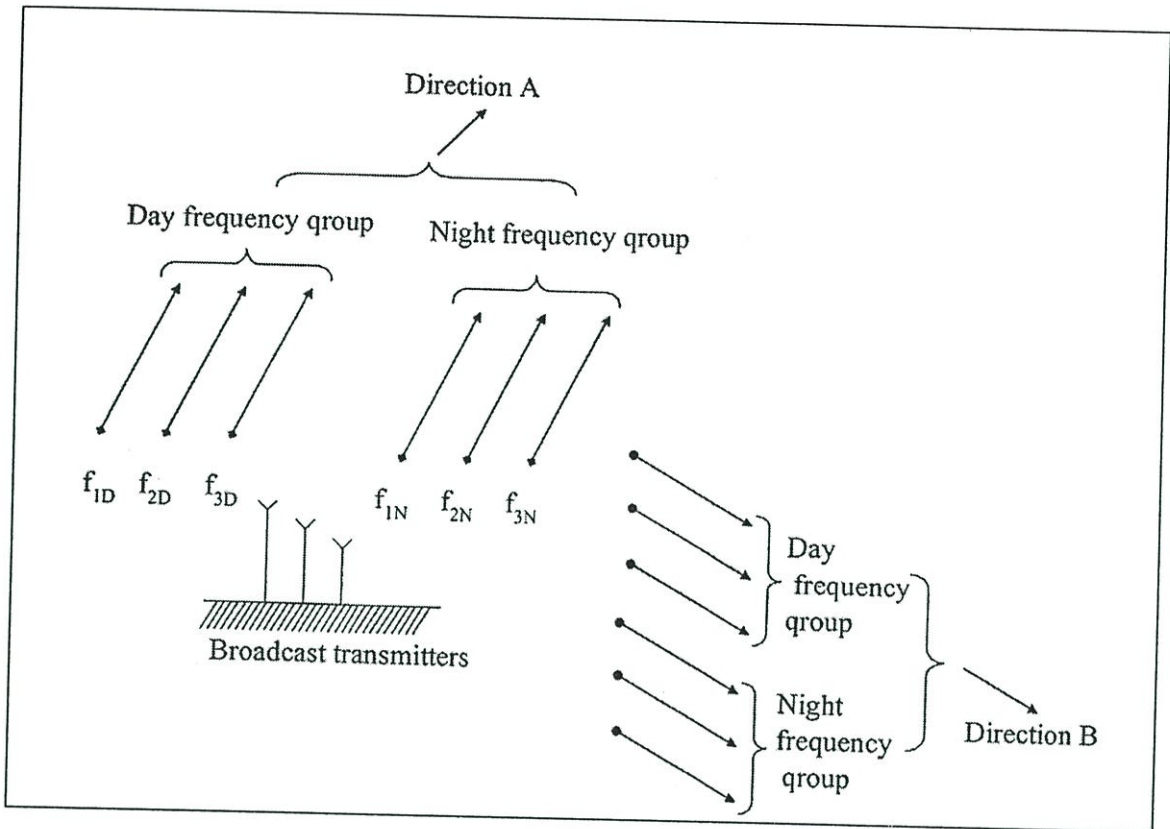
การติดต่อสื่อสารในระยะไกลครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างจะสามารถทำได้โดยอาศัยหลักการแพร่กระจายคลื่นแบบคลื่นฟ้า (Sky Wave) อย่างไรก็ตามการสื่อสารในรูปแบบนี้จำเป็นต้องเลือกใช้งานความถี่และมุมเงยของจานสายอากาศส่ง และรับให้เหมาะสมกับสภาพของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละเวลาแล้ว ยังพบปัญหาเนื่องจากเวลาสัญญาณคลื่นวิทยุที่ถูกหักเหจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กลับลงมายังพื้นโลกจะถูกลดทอนขนาด หรือ ในโอกาสอาจพบปัญหาที่เรียกว่า Multipath Propagation เมื่อคลื่นวิทยุเกิดการสะท้อนมากกว่าหนึ่งครั้งภายในชั้นบรรยากาศส่งผลให้เกิดการจางหายของสัญญาณ (Fading) ขึ้นที่เครื่องรับวิทยุ ในการติดต่อสื่อสารย่าน HF ของสถานีเคลื่อนที่ (Mobile Station) ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าวทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีประจำที่ (Fixes Station) ประสบปัญหาเป็นอย่างมาก หรือแม้แต่การติดต่อสื่อสารด้วยกันเองในที่นี้สถานีเคลื่อนที่จะหมายถึงเรือในทะเล และสถานีประจำจะหมายถึงสถานีฝั่ง

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฝั่งกับเรือจะมี 3 ลักษณะคือ

1. จากสถานีฝั่ง – สถานีเรือ (Fixed - to - Mobile)
2. จากสถานีเรือ – สถานีฝั่ง (Mobile - to - Fixed)
3. จากสถานีเรือ – สถานีเรือ (Mobile - to - Mobile)

1. การติดต่อสื่อสารจากสถานีฝั่ง – สถานีเรือ (Fixed - to - Mobile)

โดยส่วนใหญ่แล้วหากเป็นการสื่อสารทางเดียวจะใช้รูปแบบการกระจายข่าว (Broadcast System Format) โดยสถานีฝั่งจะใช้เครื่องส่งวิทยุกำลังส่งสูง และสามารถเลือกใช้สายอากาศแบบบังคับทิศ (Directional Antenna) ในการแพร่กระจายคลื่นวิทยุไปยังพื้นที่ต่างๆ เพื่อส่งข่าวสารให้กับหน่วยเรือได้ในเวลาเดียวกันได้ รูปที่ ๑ แสดงถึงรูปแบบการกระจายข่าว โดยการใช้ความถี่ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา

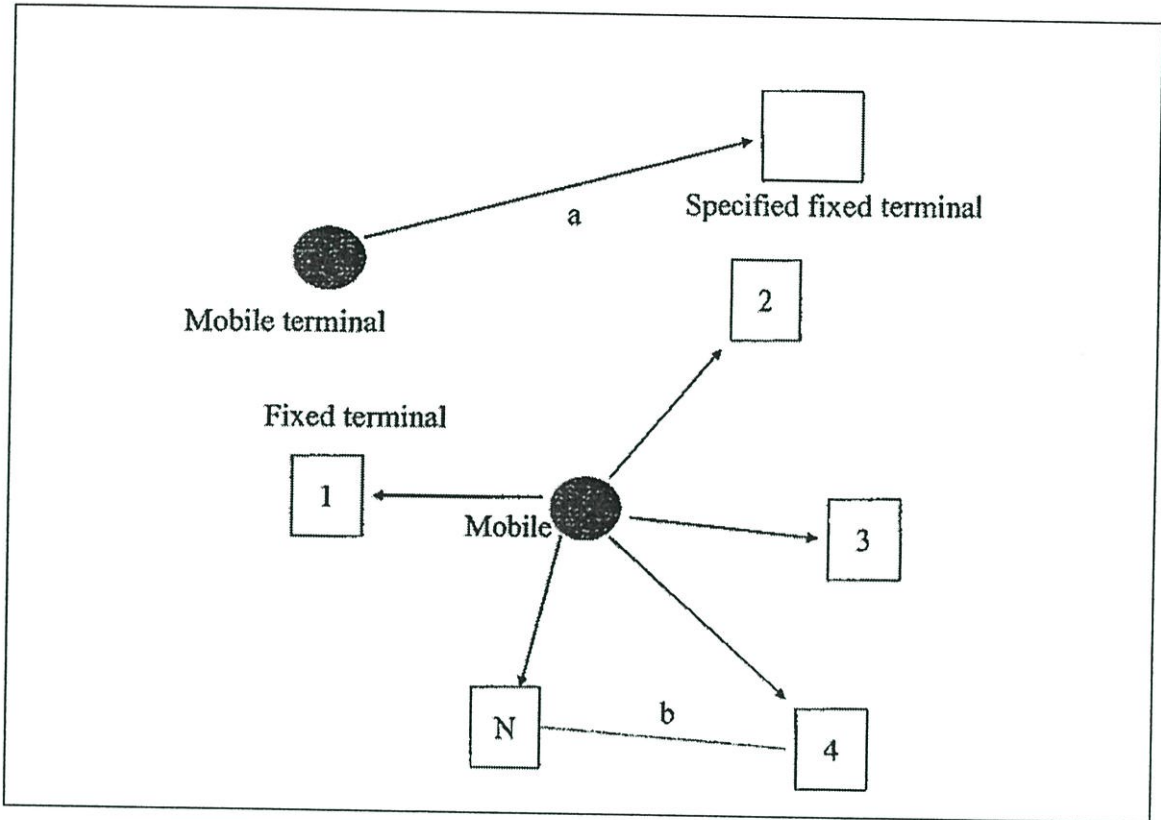


รูปที่ ๑ รูปแบบการส่งกระจายข่าว [28]

จำนวนชุดความถี่ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงเวลาในแต่ละวันเพื่อให้สอดคล้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อที่จะทราบระยะทางสื่อสารที่สามารถทำให้ตำบลหรือสถานีฐานติดต่อสื่อสารกับสถานีเรือได้ตลอดวัน สำหรับการกระจายข่าวในพื้นที่ที่แตกต่างกันสามารถกระทำได้โดยการเลือกใช้สายอากาศที่มีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นในตำแหน่งที่ต้องการ ทั้งนี้การส่งโดยทั่วไปจะนิยมส่งแบบ Narrowband Frequency Shift Keying (NFSK) อย่างไรก็ตาม ในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีเรือกับสถานีฝั่งหากมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลในปริมาณมากแล้ว จำเป็นจะต้องเลือกใช้ความถี่ที่หวังผลได้ในการติดต่อ (Optimum Working Frequency: OWF) เพื่อให้สามารถติดต่อได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับ OWF สามารถคำนวณหรือหาตัวแปรมาวิเคราะห์การบริหารความถี่ได้ด้วยวิธีแบบ Real - Time Channel Evaluation ซึ่งการบริหารความถี่แบบนี้จะใช้วิธีการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุตั้งแต่ 2 - 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เพื่อตรวจสอบว่าในขณะนั้นมีคลื่นวิทยุความถี่ใดบ้างที่สามารถสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กลับลงมายังพื้นโลกได้ วิธีนี้ถือว่ามีที่น่าเชื่อถือสูง โดยใช้อุปกรณ์ Ionosonde และวิธีการที่เรียกว่า เทคนิคไอโอโนซอน (Ionosonde Technic)

2.การติดต่อสื่อสารจาก เรือ ไปยังสถานีฝั่ง (Mobile – to Fixed Links)

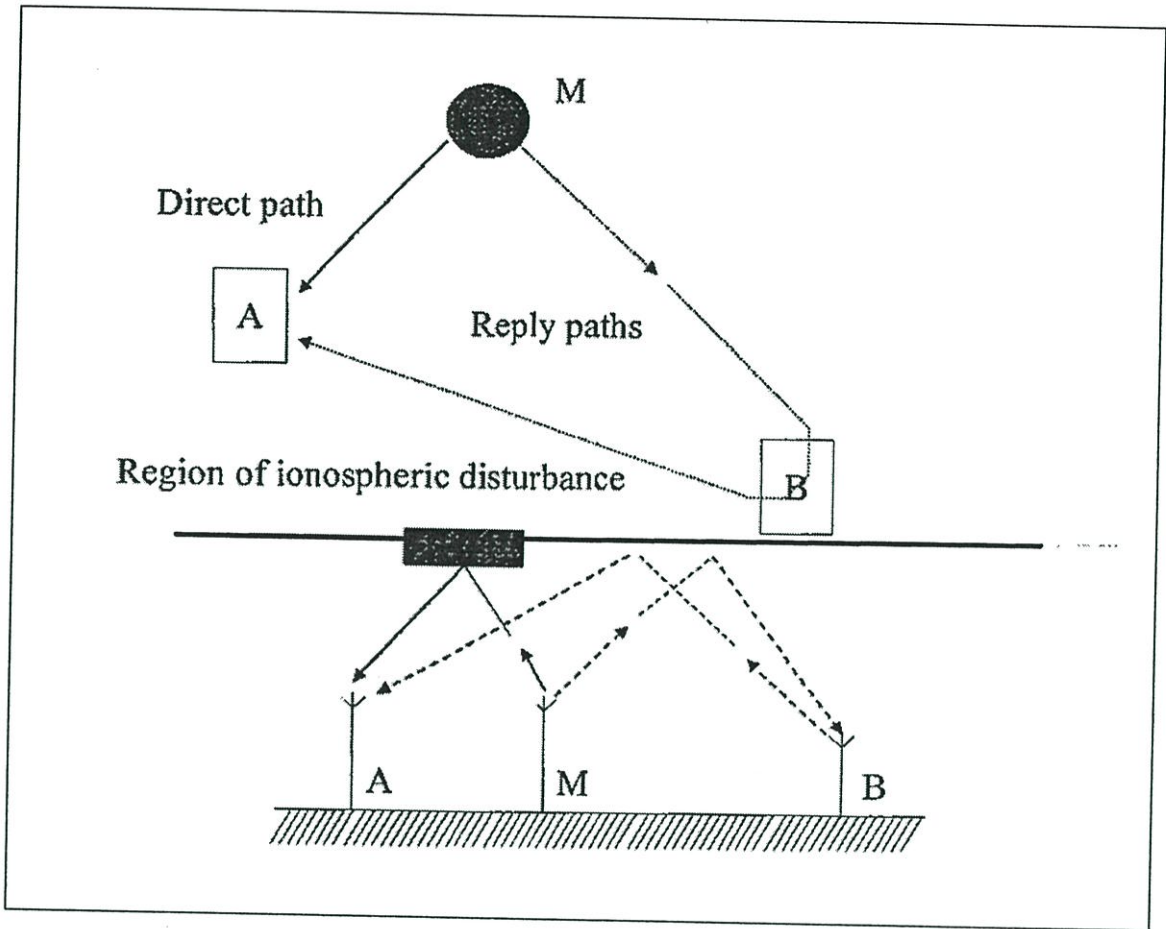
ความสำเร็จในการติดต่อสื่อสารจากสถานีเรือไปยังสถานีฝั่งจะมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนสถานีฝั่งที่ติดตั้งกระจายอยู่ในระบบเครือข่าย โดยทั่วไปรูปแบบพื้นฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ การติดต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่งสถานี ดังแสดงในรูปที่ ๒(a) หรือแบบที่เรือสามารถติดต่อไปยังสถานีฝั่งได้มากกว่าหนึ่งสถานี โดยอาศัยการเชื่อมต่อระหว่างสถานีฝั่งด้วยกัน ตามรูปที่ ๒(b)



รูปที่ ๒ (a,b) การติดต่อสื่อสารจากสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฝั่ง [28]

ในรูปที่ ๒(a) แสดงการติดต่อระหว่างสถานีเรือกับสถานีฝั่ง รูปแบบการติดต่อสื่อสารดังกล่าวมีความลำบากเนื่องจากไม่สามารถสื่อสารได้ต่อเนื่องตลอดเวลาเพราะเรือมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้ทิศทางการแพร่กระจายคลื่น และความสามารถในการรับสัญญาณเปลี่ยนไปตามเส้นทางเดินเรือ นอกจากนี้หากใช้ความถี่ที่ไม่เหมาะสมในการติดต่อกันแล้วก็ยากที่จะสื่อสารกันระหว่างเรือกับสถานีฝั่งแห่งเดียว ในรูปที่ ๒(b) แสดงถึงกรณีที่มีสถานีฝั่งมากกว่าหนึ่งสถานีในเครือข่ายที่สามารถติดต่อกับเรือได้ รูปแบบดังกล่าวกองทัพเรือประเทศอังกฤษได้เลือกใช้ในกรณีเมื่อเรือรบต้องการติดต่อกับสถานีชายฝั่งที่ติดตั้งกระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆ รอบโลก ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการติดต่อสื่อสารของเรือรบที่อยู่ในตำบลที่ต่างๆ รอบโลกให้สามารถติดต่อมายังสถานีชายฝั่งใดๆ ได้โดยอาศัยการเชื่อมต่อกันระหว่างสถานีชายฝั่ง โดยเรือสามารถเลือกติดต่อกับสถานีฝั่งที่มีขีดความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับสถานีเรือได้ โดยที่สถานีชายฝั่งนั้นสามารถส่งผ่านข้อมูลข่าวสารที่รับได้จากเรือส่งต่อไปยังผู้รับปลายทางที่เรือต้องการติดต่อได้โดยอาศัยตัวกลางย่านความถี่ HF

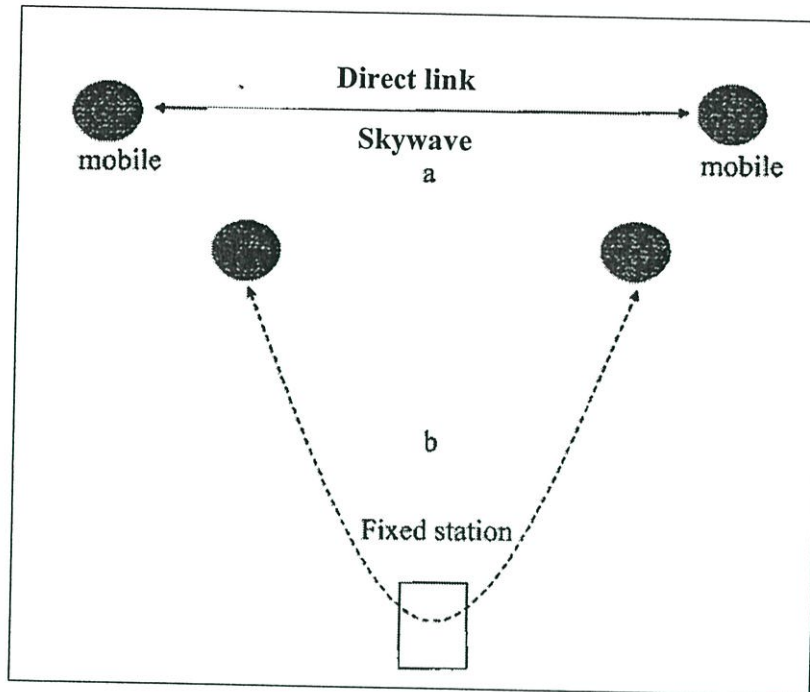
อย่างไรก็ตามเรือสามารถสื่อสารกับสถานีฝั่งที่ต้องการติดต่อได้โดยผ่านสถานีตัวกลางในการสื่อสาร ซึ่งรูปแบบนี้เรียกว่า การรีเลย์สัญญาณ (Relaying) ดังรูปที่ ๔



รูปที่ ๔ วิธีการรีเลย์สัญญาณ [28]

จากรูปที่ ๔ เมื่อเรืออยู่ที่ตำแหน่ง M ต้องการติดต่อกับสถานีฝั่ง A สามารถติดต่อกับสถานี A ได้โดยตรงหรือจะติดต่อผ่านสถานี B ที่เป็นสถานีรีเลย์ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วรูปแบบการสื่อสารนี้มีข้อดีในกรณีที่เส้นทางการติดต่อระหว่างเรือกับสถานี A โดยตรงถูกรบกวนโดยปรากฏการณ์ สเปรด F ที่เกิดมาจากความแปรปรวนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทั้งนี้ทำให้เรือต้องติดต่อไปยังสถานี B แล้วใช้สถานี B เป็นตัวผ่านไปยังสถานี A นอกจากนี้แล้วการติดต่อโดยตรงจากสถานี M ไปยัง A อาจถูกจำกัดด้วยประสิทธิภาพในการส่งด้วยความถี่ต่ำเนื่องจากขีดความสามารถของสายอากาศเรือที่ถูกจำกัดด้วยสภาพทางกายภาพซึ่งมีขนาดของสายอากาศที่ไม่เหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการติดต่อ หากเส้นทางการติดต่อระหว่างเรือกับสถานี B ไกลขึ้น การใช้ความถี่ที่สูงขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งจากสายอากาศของเรือได้ดียิ่งขึ้น

3. การติดต่อสื่อสารระหว่างเรือกับเรือ (Mobile – to – Mobile Links)



รูปที่ ๕ (a,b) การติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีเคลื่อนที่ [28]

รูปแบบแรกเป็นการติดต่อระหว่างสถานีโดยตรงที่อาศัยคลื่นฟ้า สำหรับข้อจำกัดพื้นฐานของสถานีเรือที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 1 ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสารเป็นอย่างมากระหว่างสถานีเรือกับเรือด้วยกัน อย่างไรก็ตาม การติดต่อระหว่างเรือกับเรือในระยะหลายร้อยกิโลเมตรผ่านตัวกลางชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยใช้คลื่นฟ้าจะอาศัยหลักการสะท้อนคลื่นวิทยุจากชั้นบรรยากาศในแนวตั้ง (Near Vertical Incident Sky Wave : NVIS) โดยใช้สายอากาศที่มีโพลารไรเซชันในแนวนอน (Horizontally Polarized Antenna) จะทำให้การสื่อสารโดยตรง (Direct Link) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพดังรูปที่ ๕ (a) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ที่จำกัดของเรือทำให้การติดตั้งสายอากาศที่มีคุณสมบัติดังกล่าวกระทำได้ลำบาก อีกทั้งโครงสร้างของเรือยังส่งผลกระทบต่อการแพร่คลื่นในมุมสูงในการส่งแบบคลื่นฟ้า อีกด้วยดังนั้นทางเลือกในการติดต่อสื่อสารในรูปแบบก่อนหน้านี้สามารถกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน ตามรูป ๕ (b) เรือสามารถติดต่อผ่านสถานีชายฝั่งที่เป็นสถานีรีเลย์ในระยะไกลได้โดยอาศัยคลื่นฟ้า และใช้ความถี่ที่เหมาะสมกับสายอากาศรวมถึงสภาพของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีนี้จะสามารถติดตั้งอุปกรณ์ได้อย่างเต็มที่บริเวณสถานีฝั่งซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการสื่อสารในแบบที่หลากหลายมากขึ้นการใช้งานในการแพร่กระจายคลื่นย่าน HF ด้วยวิธีการส่งแบบ คลื่นฟ้า นั้นสามารถใช้ประโยชน์ในการติดต่อสื่อสารระยะไกลโดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลระหว่างสถานีเรือกับฝั่งอยู่ที่ 75 – 300 Bps สำหรับอัตราการรับส่งที่มากที่สุดจะอยู่ที่ 2-4 Kbps

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. V. Yamvinij, N. Hemakorn, N. Leelaruji, and P. Supnithi, "The Spread F Phenomenon of The Ionosphere in Thailand," Networks and Communication Systems (NCS'2005), pp.527-038, Chiang Mai, Thailand, March 29-31, 2006.

THE SPREAD F PHENOMENON OF THE IONOSPHERE IN THAILAND

Viphu Yamvinij, Narong Hemakorn, Nipa Leelarujji, and Pornchai Supnithi
 Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Theory
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 3 Moo 2, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520
 Thailand

vipyam487@hotmail.com, klnipa@kmitl.ac.th, khnarong@kmitl.ac.th, pornchai@telecom.kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a study of ionospheric height fluctuation in the F-layer, which has the most irregularity of electron density in the ionosphere, in Thailand by using the ionosonde. The measurement location is at Chumpon campus of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang: longitude 99.3 °E and latitude 10.7 °N. Obtained ionograms are then analyzed to determine equatorial spread-F and related parameters such as height ($h'F$) and critical frequency (f_oF_2). The data are collected during the first 6 month of 2005. The results show that Spread F only occurs at night time and has the highest frequency in February and March, similar to the occurrence of amplitude scintillation in the ionosphere.

KEY WORDS

Ionospheric Height, Ionogram, Critical frequency, and Equatorial spread-F

1. Introduction

Satellite communication plays an important role in daily life such as in data transmission, weather forecasting and others. An impediment is, however, the signal distortion due to wave propagation through the troposphere and ionosphere. It is well known [1] that the irregularity in the ionosphere can be studied from parameters such as the height change and critical frequency of the F-layer. The ionosphere, approximately 50-2000 kilometers above the earth surface, contains the oxygen which ionizes resulting into free electrons and ions. The ionization level differs depending on the time and height of the ionosphere. Three layers in the ionosphere are the D-layer, E-layer, and F-layer as shown in Fig. 1. The F-layer can also be divided into F1 and F2 layers. They result in ionospheric irregularity which causes distortion in the signals going through the ionosphere. The phenomenon occurs mostly at night with short duration of less than an hour long. Previous work [2] studies the height change of the Ionosphere at Chumpon campus as well, but in this paper, we analyze the occurrence of the Spread F phenomenon in relation with the height change. In Section II, we review the ionosonde measurement and spread F. The measurement setup is described in Section III, followed by Results and Discussions in Section IV. Finally, in Section V, we conclude this article.

2. Measurement By Ionosonde and Spread F

The measurement using the ionosonde records the time delay of the transmitted signal, orthogonal to the horizontal plane of the electron density. The measured values vary by the reflection points of the ionosphere. The ionogram can then be obtained from such time delay as shown in Fig. 3. The horizontal axis is the frequency of the transmitted signal in MHz and the vertical axis shows the height in kilometers. The curves on the left hand side show the reflection of the pilot signals from mostly the E and F layers. It can be observed that ionosphere lets radio signals go through at certain frequencies only. The yellowish vertical shades are due to the background noise. Consider the lower curve, on the right tip separates into two smaller curves. The phenomenon called *Spread F* is the result of irregularity in the ionosphere, i.e., fluctuation of electron density. The severity of the structure of the ionosphere, in general, follows the equatorial magnetic lines of the earth (latitude of 15-10°), i.e., more fluctuation occurs near the equatorial magnetic regions.

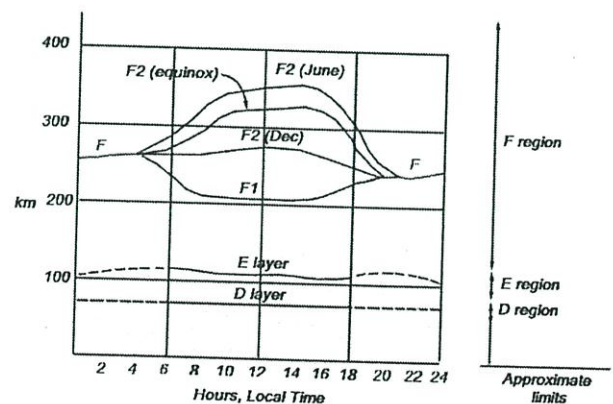


Fig. 1. Classification of the regions in the ionosphere

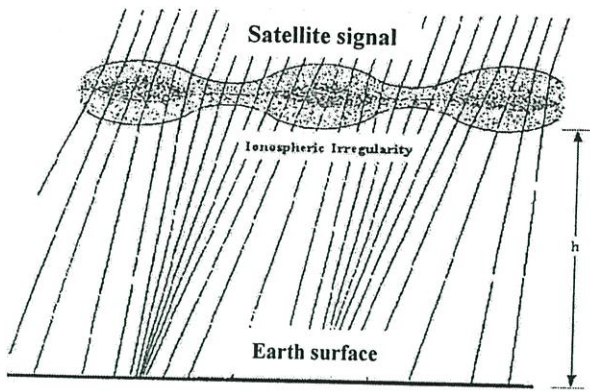


Fig. 2. Signal propagation through electron irregularity in the ionosphere.

Each transmitted frequency corresponds to different wavelength, and hence, different refraction index. Not all frequencies will penetrate the ionosphere, thus, the maximum frequency which reflects from the ionosphere can be extracted. The height of the ionosphere can also be computed from the total roundtrip time of the transmitted signal to the ionosonde.

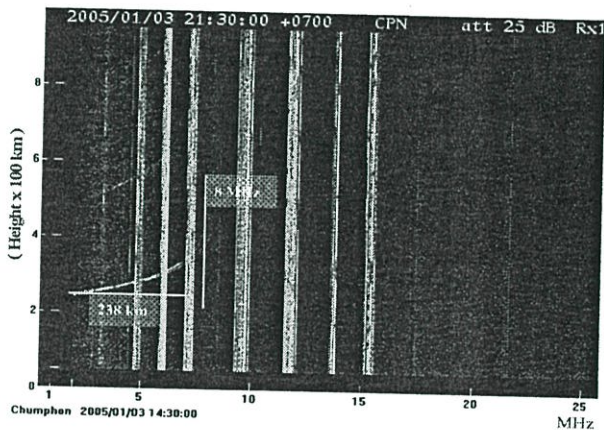


Fig.3. Ionograms obtained from the ionosonde

Fig. 4. The Source of Spread F

3. Experimental Setup

The ionospheric monitoring station is located at longitude 99.3°E and latitude 10.7°N at the Chumpon campus of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), 500 km south of Bangkok in Chumpon province. The equipment is setup to monitor the height fluctuation of the ionosphere. The measurement system consists of FM/CW Ionosonde, PCs for data collection and analysis. The data are then automatically uploaded to Bangkok campus of KMITL.

The ionosonde transmits the signal of radio frequency in the range of 2-30 MHz as illustrated in Fig. 5. For each round, the transmitted starts from 2 MHz and increases the frequency with an increment of 100 KHz each second until 30 MHz is reached. The new round of data collection starts at every 15 minutes.

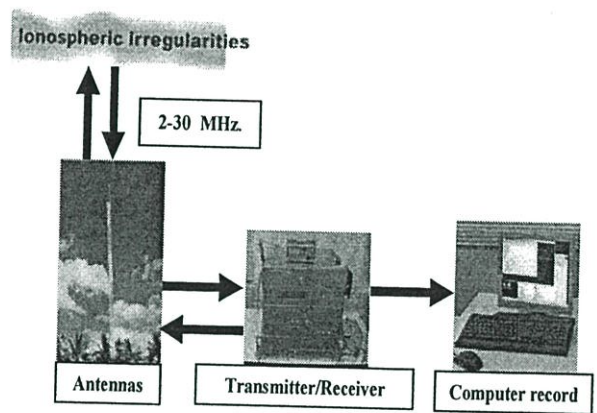


Fig. 5. Equipment setup at the Ionospheric height monitoring station, located Chumpon campus (99.3°E, 10.7 °N)

4.Measurement Results and Discussions

The data is collected during a period of 6 months from January 2005 to June 2005. The curves appearing on the ionograms come in many patterns, each represents different scenarios in the ionosphere. One can extract various parameters with observation of the ionogram and the use of manual on hand. Here, we are most interested in 2 parameters: Height of F-layer ($h'F$) and Critical frequency (f_oF_2). We observe that the changes of height of F layer occurs at high level during night time as shown in Fig. 6. For example, on February 7, 2005, the maximum $h'F$ is 368 km and lowest at 200 km between 07.00 hr – 06.45 hr of the next day. Note that on the graph, some points are missing and show the height of 0 km because of lack of data. The reasons for this are due to many factors, for example, glitch in the ionosonde and during before sunrise, all frequencies will penetrate the ionosphere. In addition, the layer before F layer occasionally blocks all the frequencies before the signals reaches the F layer.

The Spread F phenomenon occurs when a drastic change of $h'F$ appears on the ionogram. On some days, the parameter $h'F$ rarely changes, on others, $h'F$ moves up higher than normal and when followed by a drastic drop of height, the Spread F then occurs. The comparison can be seen in Fig. 6 and Fig. 7.

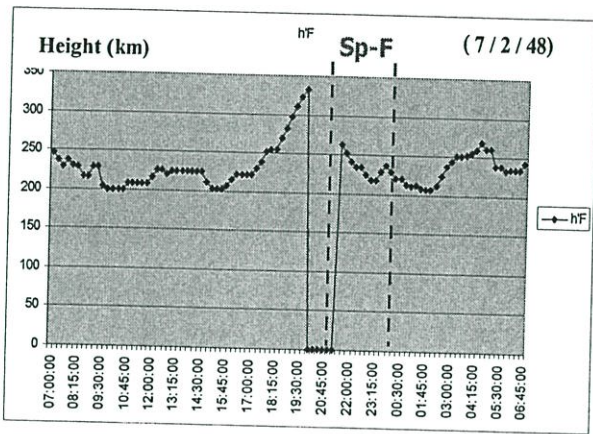


Fig. 6. Height of F-layer and Spread F on 7/2/2005

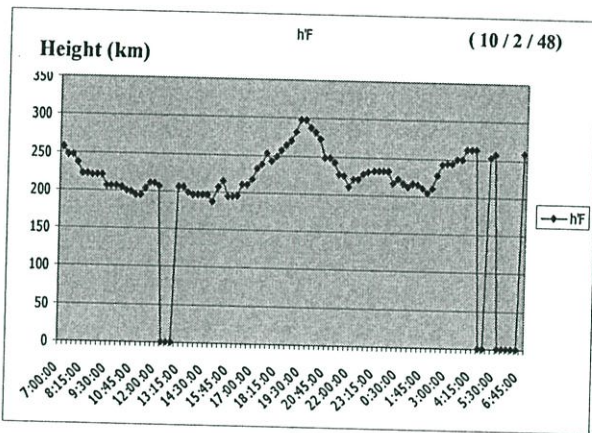


Fig. 7. Height of F-layer and non-Spread F on 10/2/2005

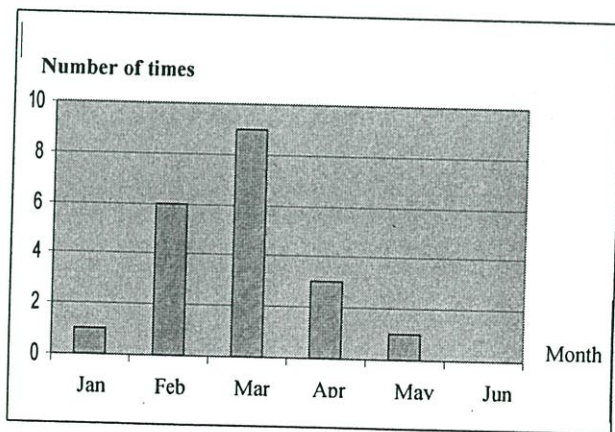


Fig. 8. The frequency of occurrence of Spread F from January - June 2005

The occurrence of Spread F during the period of 6 months are shown in Fig. 8. The maximum amount of Spread F occurs is 9 times in March, followed by February. The minimum amount of Spread F occurs in January. No Spread F occurs at all in June.

It can be implied that higher average $h'F$ leads to more occurrences of Spread F. The months with low average $h'F$ may thus not see the Spread F at all. In addition, Spread F appears at night only as seen in Fig. 9.

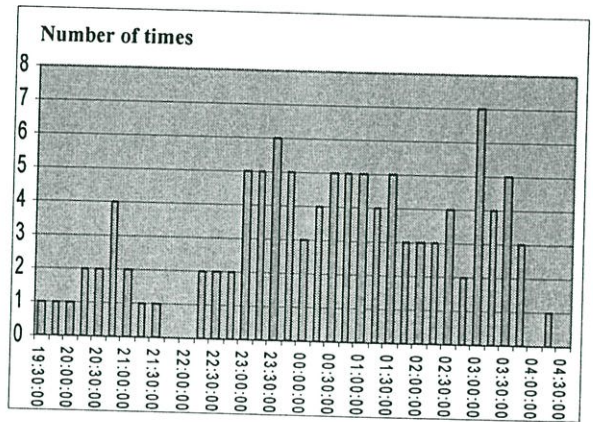


Fig. 9. The total occurrences of Spread F as seen during night time from January - June 2005

5. Conclusions

In this paper, we have analyzed the occurrences of Spread F using the ionosonde located at Chumpon campus of KMITL, south of Bangkok. The data collection is from January to June 2005. The height of F layer drastically changes in February and March. Spread F only occurs at night time which is the similar period which amplitude scintillation occurs. This point, however, needs to be confirmed with measured data. As for future work, we aim to collect more data of both phenomena from the same location and establish the relationship between amplitude scintillation and Spread F phenomenon.

Acknowledgments

The authors are grateful to NICT for the necessary equipment and for the Research Center for Communication and Information Technology (ReCCIT) for the use of facility.

References

- [1] Takashi Maruyama, "Ionosphere and Thermosphere," Journal of Communications Research Laboratory Vol. 49, No.3, 2002.
- [2] Rungchai Attaviriyasuvorn, "Study of Height Change in the Ionosphere at Chumporn campus," KMITL Journal, King Mongkut's Institute of Technology, 2547

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายวิภู ขามวินิจ
วันเดือนปีเกิด	19 ตุลาคม พ.ศ. 2523
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
การศึกษาระดับปริญญาตรี	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2547

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] V. Yamvinij, N. Hemakorn, N. Leelaruji, and P. Supnithi, “**The Spread F Phenomenon of The Ionosphere in Thailand,**” Networks and Communication Systems (NCS’2005), pp.527-038, Chiang Mai, Thailand, March 29-31, 2006.