

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2
ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศ
ไอโอโนสเฟียร์บริเวณละติจูดต่ำ

STUDY OF THE F-REGION HEIGHT, THE F2 PEAK CRITICAL
FREQUENCY, M(3000) F2 FAVOR AND THE F2 PEAK HEIGHT OF
IONOSPHERE AT LOW LATITUDE REGION



นรเสฏฐ์ วิชัยพานิชย์
NORASET WICHAIPANICH

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-129

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2
ค่าแฟกเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศ
ไอโอโนสเฟียร์บริเวณละติจูดต่ำ

STUDY OF THE F-REGION HEIGHT, THE F2 PEAK CRITICAL
FREQUENCY, M(3000)F2 FACTOR AND THE F2 PEAK HEIGHT OF
IONOSPHERE AT LOW LATITUDE REGION



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะของระบบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMUTL-2008-EN-M-010-129

**STUDY OF THE F-REGION HEIGHT, THE F2 PEAK CRITICAL
FREQUENCY, M(3000)F2 FACTOR AND THE F2 PEAK HEIGHT OF
IONOSPHERE AT LOW LATITUDE REGION**



**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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMUTL-2008-EN-M-010-129 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ค่าแฟกเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณละติจูดต่ำ
Study of The F-region Height, the F2 Peak Critical Frequency, M(3000) F2 Factor and the F2 Peak Height of Ionosphere at Low Latitude Region

นักศึกษา นายนรเสฏฐ์ วิชัยพาณิชย์

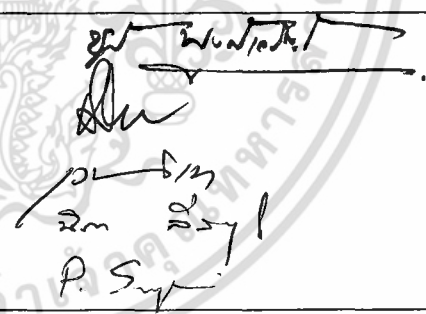
รหัสประจำตัว 48060913

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นिति

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชวรงค์	พงศ์เจริญพาณิชย์	
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
รศ.เวช	วิเวก	
รศ.นิภา	ลีลาจุฑิ	
ผศ.ดร.พรชัย	ทรัพย์นिति	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 2 พฤษภาคม 2551 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบรับรองนี้เป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณละติจูดต่ำ
นักศึกษา	นายรณเสถียร วิชัยพาณิชย์
รหัสนักศึกษา	48060913
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้แก่ ความสูงของชั้น F ($h'F$) ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ($foF2$) ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยสถานีตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตั้งอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ เส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ ซึ่งตั้งอยู่ในแถบละติจูดต่ำ (Low latitude) โดยใช้ไอโอโนซอนเดเทคนิคในการเก็บวัดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ประกอบด้วยค่าความสูงของชั้น F ($h'F$) ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ($foF2$) และค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ($MUF(3000)F2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยทำการบันทึก และวิเคราะห์ค่าจากภาพไอโอโนแกรม ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมในทุกๆ 15 นาที จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ มาทำการคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ M(3000) F2 นอกจากนี้ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้มาจากการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ M(3000)F2 โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาระหว่างวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะของพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัว จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และ $hmF2$ ที่วัดได้จริงมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (International Reference Ionosphere) โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป

Thesis Title	Study of the F-region height changes, the F2 peak critical frequency, M(3000)F2 factor and the F2 peak height of ionosphere at low latitude region
Student	Mr. Noraset Wichaipanich
Student ID.	48060913
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunications Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Pornchai Supnithi
Co-Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Hemmakorn

ABSTRACT

This thesis proposes to study and analyze of ionosphere characteristic parameters consists of the F region height ($h'F$), the F2 peak critical frequency ($foF2$), the M(3000)F2 factor and the F2 peak height ($hmF2$) of ionosphere. The ionosonde station is located at Chumphon campus of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Thailand on geographic latitude $10.7^{\circ}N$, longitude $99.37^{\circ}E$, and magnetic latitude $3.22^{\circ}N$, located at low latitude station. By using ionosonde technique for collecting the parameters including of the F region height ($h'F$), the F2 peak critical frequency ($foF2$), and the F2-layer maximum usable frequency for 3000 km ($MUF(3000)F2$). There are collected and analyzed on Ionogram. In this thesis, the ionogram was analyzed every 15 minutes. The $foF2$ and $MUF(3000)F2$ parameters were computed for the M(3000)F2 factor that derived the F2 peak height ($hmF2$) of ionosphere. The measured data coverage from January 2004 to December 2006 for low solar activity was analyzed comparison on the diurnal, monthly, seasonal period, and solar activity. Moreover, the $foF2$ and $hmF2$ parameters were compared with the International Reference Ionosphere (IRI-2001) model predictions. The advantage of the studying will be used for improvement the IRI model.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ. ณรงค์ เหมกรรม ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และ รศ. นิภา ลีลารุจิ หัวหน้าห้องปฏิบัติการสื่อสารดาวเทียม ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสามท่าน และขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ นาย ทิฆัมพร บุญซึก และนายรุ่งชัย อัดตะวิริยะสุวรรณ เป็นอย่างมากสำหรับคำแนะนำที่มีประโยชน์ต่องานวิจัย รวมถึงการให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัย

I would like to express my deeply many thanks to Prof. Masabumi Kawamura and Prof. Maho Nakamura from Ionosphere and Radio Propagation Group National Institute of Information and Communications Technology 4-2-1 Nukui-kita, Tokyo 184-8795 Japan, for all advises and very good support me concerning about my paper and thesis.

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า ขอขอบคุณองค์กร NICT และสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ ตลอดจนข้อมูล และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านในห้องปฏิบัติการสื่อสารดาวเทียม และในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกท่านในนามชมรมกีฬาฟุตบอลท่าวัง ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ตา ยาย และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นรเสฏฐ์ วิชัยพาณิชย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	6
2.1 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศโลก.....	6
2.1.1 ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง.....	7
2.1.2 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	7
2.2 วัฏจักรสุริยะ.....	12
2.3 เทคนิคไอโอโนซอนเด.....	14
2.3.1 ไอโอโนแกรม.....	18
2.4 แบบจำลองของ IRI.....	20
2.4.1 การประยุกต์ใช้งาน IRI.....	25
2.5 การแบ่งฤดูกาล.....	26
2.6 สรุป.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3	วิธีการศึกษาวิจัย.....	28
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.1.1	ชุดเครื่องส่งและเครื่องรับ.....	29
3.1.2	สายอากาศ.....	30
3.1.3	คอมพิวเตอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพไอโอโนแกรม.....	30
3.2	วิธีการเก็บข้อมูลจากไอโอโนแกรม.....	30
3.2.1	ตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์ $h'F$ จากไอโอโนแกรม.....	31
3.2.2	ตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์ $foF2$ จากไอโอโนแกรม.....	37
3.2.3	ตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 จากไอโอโนแกรม.....	44
3.3	วิธีการใช้โปรแกรม Special Scaling.....	48
บทที่ 4	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ความถี่วิกฤตของชั้น F2 และความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	53
4.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	53
4.1.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน.....	54
4.1.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน.....	56
4.1.3	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล.....	57
4.1.4	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี.....	59
4.2	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	60
4.2.1	ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน.....	63
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล.....	64
4.2.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี.....	66
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	67
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แบบรายวัน.....	67
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แบบรายเดือน.....	69
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล.....	71
4.3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แบบรายปี.....	73
บทที่ 5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	74
5.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	74
5.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน.....	76
5.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล.....	78
5.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี.....	80
5.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2ของชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	81
5.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน.....	81
5.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน.....	83
5.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล.....	84
5.2.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี.....	86
บทที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤต และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัด ได้จริงกับค่าที่ทำนายได้ จากแบบจำลองของ IRI.....	87
6.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัด ได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI.....	87
6.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ที่ทำการวัด ได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001.....	88
6.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	91

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI.....	95
6.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001.....	96
6.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอ โนสเฟียร์.....	98
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
บรรณานุกรม.....	106
ภาคผนวก.....	111
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	112
ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เหตุการณ์สำคัญๆ ของการปรับปรุง IRI.....	21
2.2 การประชุมเชิงปฏิบัติการของ IRI และสิ่งตีพิมพ์.....	23
3.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการสังเกตโดยไอโอโนซอนเด ณ สถานีชุมพร.....	28
4.1 ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549.....	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IX อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การแบ่งประเภทของชั้นบรรยากาศโลก.....	6
2.2 ขบวนการไอออโนสเฟียร์.....	8
2.3 ขบวนการรวมตัวกันใหม่.....	8
2.4 เส้นรุ้งแม่เหล็กบนแผนที่ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์.....	10
2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	10
2.6 จุดดับบนดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	12
2.7 วัฏจักรสุริยะตั้งแต่ปี ค.ศ. 1964 ถึง ปี ค.ศ. 2020.....	14
2.8 ภาพจำลองการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของเทคนิค ไอโอโนซอนเด.....	15
2.9 การเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กับปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์.....	16
2.10 การเกิดคลื่นอีกหนึ่งคลื่นสะท้อนกลับมาที่เครื่องรับ.....	17
2.11 ภาพไอโอโนแกรมที่ปรากฏเป็นเส้นโค้ง 2 เส้น.....	18
2.12 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากภาพ ไอโอโนแกรม.....	18
2.13 ภาพไอโอโนแกรมของวิธี Topside และ Bottomside.....	19
2.14 สมาชิกจากทั่วโลกของการรวมกลุ่มระหว่าง COSPAR และ URSI บนแบบจำลองของ IRI.....	21
2.15 การแบ่งช่วงฤดูกาลโดยการขีดตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....	27
3.1 เครื่องส่งและเครื่องรับรุ่น SKI-96092 FM/CW Radar.....	29
3.2 สายอากาศชนิดโพลีเอสเตอร์ไดโพล.....	29
3.3 ภาพจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากไอโอโนแกรม.....	31
3.4 ภาพจำลองไอโอโนแกรมในเวลากลางวัน.....	32
3.5 ภาพจำลองไอโอโนแกรมในเวลากลางคืน.....	32
3.6 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อมีการไอออไนซ์ของอิเล็กตรอนในชั้น E มากกว่าปกติ.....	32
3.7 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการดูดกลืนคลื่น.....	34
3.8 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในเวลากลางคืนและเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ.....	35
3.9 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดพายุแม่เหล็ก (Magnetic storm).....	37
3.10 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดการลดทอน และการแทรกสอดของคลื่น.....	38
3.11 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อคลื่นมีการสะท้อนที่ผิดไปจากปกติ.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อมีการเกิดปรากฏการณ์สเปรดเอฟ.....	43
3.13 ภาพจำลองของ MUF แฟคเตอร์สไลเดอร์.....	44
3.14 ภาพจำลองการใช้งานของ MUF แฟคเตอร์สไลเดอร์.....	44
3.15 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในการวัดค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบต่างๆ.....	45
3.16 ลักษณะหน้าตาของโปรแกรม Special Scaling.....	48
3.17 การเลือกค่าพารามิเตอร์ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 จากโปรแกรม Special Scaling.....	49
3.18 การเลือกสถานที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากโปรแกรม Special Scaling.....	49
3.19 การเลือกวัน เดือน และปี ที่จะทำการเก็บค่าพารามิเตอร์จาก โปรแกรม Special scaling.....	50
3.20 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Special scaling (ก) ค่า h'F (ข) ค่า foF2 และ (ค) ค่า MUF(3000)F2.....	50
4.1 ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน ระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549.....	54
4.2 Contour plot ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	56
4.3 ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549.....	57
4.4 การเปรียบเทียบค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549.....	59
4.5 ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549.....	61
4.6 Contour plot ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	63
4.7 ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549.....	64
4.8 การเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549.....	66
4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายวัน ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549.....	67
4.10 Contour plot ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นาเบไซบระเษชนต่านการค้ำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ XI อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549.....	71
4.12 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549.....	73
5.1 ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549.....	75
5.2 Contour plot ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	77
5.3 ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549.....	78
5.4 การเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549.....	80
5.5 ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549.....	81
5.6 Contour plot ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	83
5.7 ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549.....	84
5.8 การเปรียบเทียบค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549.....	86
6.1 Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนาย ได้จากโมเดล IRI_{URSI} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้ จาก IRI_{URSI} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549...	89
6.2 Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนาย ได้จากโมเดล IRI_{CCIR} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้ จาก IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549...	91
6.3 Contour plot ของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ก) IRI_{URSI} และ (ข) IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.4 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} ในแต่ละฤดูกาล ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	93
6.5 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในแต่ละฤดูกาล ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	93
6.6 Contour plot ของ (ก) ค่าความสูงสูงสุดเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำกรวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จากโมเดล IRI_{CCIR} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	96
6.7 Contour plot ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่า $hmF2$ จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพรในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549.....	98
6.8 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในแต่ละฤดูกาล ณ สถานีชุมพร ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549.....	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในตอนต้นของศตวรรษที่ 19 ได้เกิดความคิดที่จะใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารข้อมูลระยะทางไกลเกิดขึ้น โดยในปี ค.ศ. 1901 Marconi ได้ค้นพบว่าชั้นบรรยากาศของโลกสามารถสะท้อนคลื่นวิทยุได้ (Reflecting layer) หรือภายหลังได้ตั้งชื่อเป็นชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) โดยเขาได้ทำการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกจากประเทศแคนาดาไปยังประเทศอังกฤษได้สำเร็จ และในปีต่อมาเขาได้ค้นพบว่าสามารถทำการส่งคลื่นสัญญาณในเวลากลางคืนได้ไกลกว่าในเวลากลางวัน ดังนั้นผลกระทบจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อการสื่อสารคลื่นวิทยุจึงกลายมาเป็นหัวข้อสำคัญที่มีการศึกษากันอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน และเป็นวิทยาศาสตร์แขนงที่เรียกว่า "Ionosphere Physics" [1]

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือบริเวณที่พลาสมาเกิดการไอออไนซ์ มีขอบเขตประมาณ 50 กิโลเมตร ถึง 2,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก โดยระดับของการไอออไนซ์ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และระดับความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับสถานะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดขบวนการไอออไนซ์ด้วย โดยชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถแบ่งเป็นชั้นย่อย ๆ ได้ 3 ชั้น คือชั้น D, E, F1 และ F2 ในเวลากลางคืนชั้น F1 และ F2 จะรวมตัวกันเหลือเป็นชั้น F เพียงชั้นเดียว โดยชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการติดต่อสื่อสารทางวิทยุระยะไกลในย่านความถี่สูง นอกจากนี้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ยังมีความสำคัญต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมอีกด้วย

อย่างไรก็ตามในการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น ยังมีผลกระทบบางประการ คือ เกิดการหน่วงเวลาทำให้สัญญาณเดินทางมาถึงจุดรับสัญญาณช้ากว่าการเดินทางของคลื่นในระยะทางตรง การเกิดฟาราเดย์โรเตชัน (Faraday rotation) ซึ่งทำให้มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณนั้นเกิดการหมุนไปจากมุมเดิม และผลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ (Scintillation) ทำให้ระดับสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดผลกระทบอย่างรุนแรงในช่วงความถี่ต่ำกว่า 2 กิกะเฮิรตซ์ โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศที่สัญญาณเดินทางผ่านในแต่ละระดับความสูงจากพื้นโลก ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่มีการเกิดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนภายในชั้นนั่นเอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อตรงต่อคุณภาพของการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น การสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายโทรศัพท์ผ่านดาวเทียม การแพร่กระจายสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม การสื่อสารโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียม การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติโดยภาพถ่ายผ่านดาวเทียม การระบุตำแหน่งพิกัดของโลกผ่านดาวเทียม และการแพร่กระจายเสียงวิทยุผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น โดยการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความสูงของชั้น F ($h'F$) ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ($foF2$) ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ และค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

โดยมีบทความจำนวนมากที่ถูกตีพิมพ์ โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$, $M(3000)F2$ และ $hmF2$ ที่มีความเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [25] – [35] รวมถึงการเปรียบเทียบระหว่างค่า $foF2$ และ $hmF2$ ที่ได้จากการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI (International Reference Ionosphere) [36]-[46] ส่วนงานวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในไทย ส่วนมากจะทำการวิเคราะห์ค่า $h'F$ [47] และการเกิดสเปคด-เอฟ [48] เท่านั้น ส่วนการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่า $foF2$, $M(3000)F2$ และ $hmF2$ รวมถึงการเปรียบเทียบค่า $foF2$ และ $hmF2$ ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ยังไม่มีการทำวิจัยมาก่อนในประเทศไทย

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษา และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$, $M(3000)F2$ และ $hmF2$ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ฤดูกาล ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก และปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ โดยใช้ไอโอโนซอนเดเทคนิคในการทำการเก็บวัดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ (Low solar activity) นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และ $hmF2$ ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษา และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ($h'F$) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ($foF2$) แฟคเตอร์ $M(3000)F2$ และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณละติจูดต่ำ ณ ประเทศไทย โดยได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้แบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และรายปี อีกทั้งยังศึกษาว่าช่วงเวลา และฤดูกาลต่างๆ รวมถึงจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาทิตย์ มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวอย่างใด นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ foF2 และ hmF2 ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป ซึ่งผลการวิจัยที่ได้รับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม และระบบการสื่อสารทางวิทยุระยะไกลในย่านความถี่สูง

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาของนักวิจัยที่ผ่านมา [25]-[46] พบว่า การเกิดความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ อันเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศนั้นจะมีความรุนแรงในบริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก (Equatorial latitude) บริเวณละติจูดต่ำ (Low latitude) รวมถึงบริเวณขั้วโลก และความรุนแรงนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspot Number) อีกด้วย โดยส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณดาวเทียมในช่องความถี่ต่ำกว่า 2 กิกะเฮิรตซ์ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ h'F, foF2, M(3000)F2 และ hmF2 โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถานีไอโอโนซอนเดซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ ณ ประเทศไทย ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นปีที่มีปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงคาดการณ์ว่าความแปรปรวนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนภายในชั้นจะมีค่าต่ำ และผลกระทบที่มีต่อการแพร่กระจายสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความรุนแรงน้อย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ใช้เทคนิคไอโอโนซอนเดในการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ h'F, foF2 และค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 (MUF(3000)F2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการเก็บข้อมูลที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ณ ตำแหน่ง เส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ เส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ foF2 และ MUF(3000)F2 มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ M(3000)F2 ได้ดังสมการต่อไปนี้ [2]

$$M(3000)F2 = \frac{MUF(3000)F2}{foF2} \quad (1.1)$$

โดยที่ค่า M(3000)F2 คือค่าแฟกเตอร์ M(3000) ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ค่า MUF(3000)F2 คือค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 และค่า foF2 คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ $M(3000)F2$ มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ $hmF2$ ได้ดังสมการ [3]

$$hmF2 = \left(\frac{1490}{M(3000)F2} \right) - 176 \text{ กิโลเมตร} \quad (1.2)$$

เมื่อ $hmF2$ คือค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษา และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$, $M(3000)F2$ และ $hmF2$ โดยทำการเก็บข้อมูลที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ซึ่งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ โดยใช้ไอโอโนซอนเดเทคนิคในการเก็บวัดข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และรายปีของพารามิเตอร์แต่ละตัว นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และ $hmF2$ ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI อีกด้วย โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบนี้จะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ พื้นฐานเกี่ยวกับวัฏจักรสุริยะ ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคไอโอโนซอนเด (Ionosonde Technique) และทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลอง IRI (International Reference Ionosphere)

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูลค่าความสูงของชั้น F, ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 และค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3000 กิโลเมตรของชั้น F2 จากภาพไอโอโนแกรม

บทที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้น F ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 และค่าความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่วัดได้จากไอโอโนแกรม ตามเวลาแบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และรายปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้จากการคำนวณ ตามเวลาแบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และรายปี

บทที่ 6 กล่าวถึงการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤต และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

บทที่ 7 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

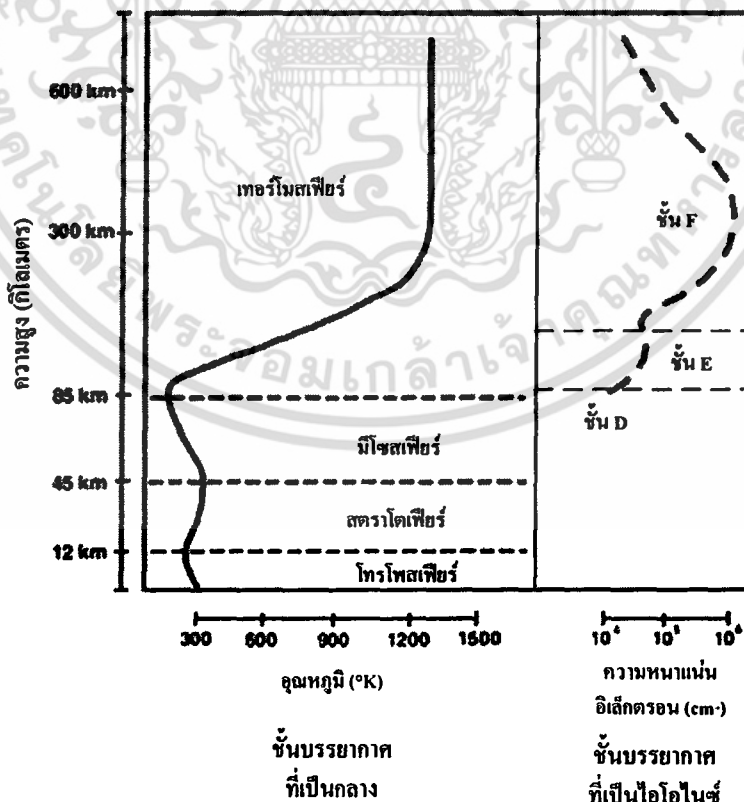
บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศโลก วัฏจักรสุริยะ หลักการของเทคนิคไอโอโนสเฟียร์ และแบบจำลองของ IRI ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้มีความจำเป็นสำหรับการศึกษา และวิเคราะห์คุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณละติจูดต่ำ รวมถึงการแบ่งฤดูกาลด้วย

2.1 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศโลก

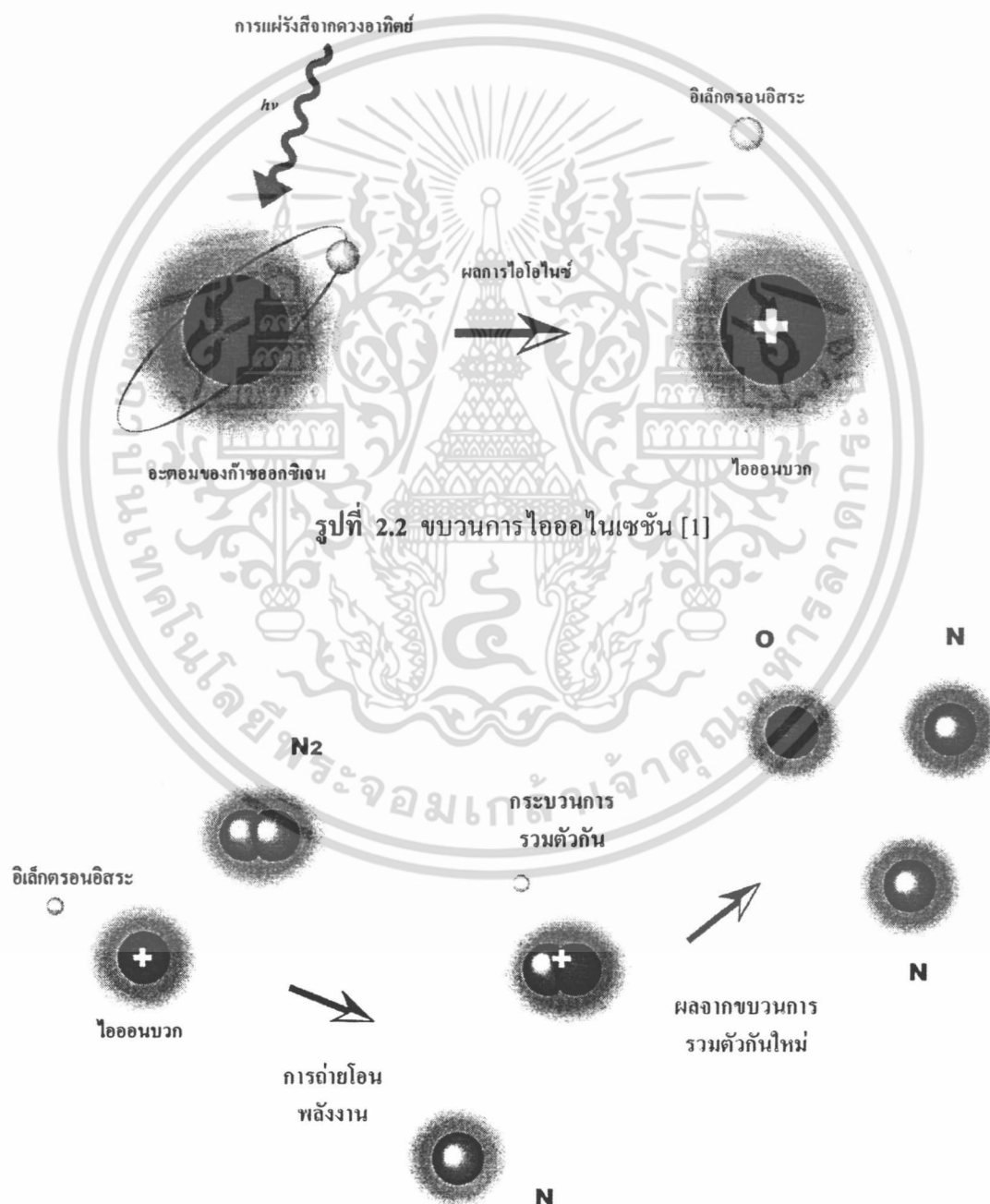
ชั้นบรรยากาศของโลกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทเบื้องต้น คือ ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง (Neutral Atmosphere) และชั้นบรรยากาศที่เป็นไอออไนซ์ (Ionized atmosphere) หรือเรียกอีกชื่อว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยโครงสร้างของชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางสามารถจัดกลุ่มได้โดยใช้โทรโพสเฟียร์ ในขณะที่ชั้นบรรยากาศที่เป็นไอออไนซ์สามารถแบ่งลักษณะได้โดยใช้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของชั้นบรรยากาศโลก [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่อะตอมของก๊าซออกซิเจน (Atomic oxygen) ทำปฏิกิริยากับแสงอาทิตย์ (Solar EUV Flux) แล้วเกิดการแยกตัวระหว่างไอออนบวก (Positive ion) กับอิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) ซึ่งเราเรียกปฏิกิริยานี้ว่าการไอออไนซ์จากแสงอาทิตย์ (Photo ionization) โดยการไอออไนซ์นี้จะเกิดไม่เท่ากันแล้วแต่ช่วงเวลา และระดับความสูง อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับสถานะที่อำนวยความสะดวกการเกิดขบวนการไอออไนซ์ เช่น ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ปริมาณการชนกันของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว การแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) รังสีคอสมิก (Cosmic) โดยเมื่อรังสีแพร่เข้าถึงชั้นบรรยากาศจะทำให้จำนวนอนุภาคบางส่วนของอากาศนั้นกลายเป็นอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ รูปที่ 2.2 แสดงขบวนการไอออไนซ์เซชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เท่านั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 ขบวนการรวมตัวกันใหม่ [1]

จากรูปที่ 2.2 สามารถอธิบายได้ว่าโมเลกุลของออกซิเจนอะตอม (O) ที่เป็นส่วนประกอบหลักจะถูกไอออไนซ์โดยโฟตอน ($h\nu$) จากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังสมการ



โดยผลผลิตที่ได้คือ อิเล็กตรอนอิสระ และโมเลกุลซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนหนึ่งตัวหลุดออกไปทำให้กลายเป็นไอออนประจุบวก (โมเลกุลที่ได้รับอิเล็กตรอนไปก็จะกลายเป็นไอออนประจุลบ) ไอออนเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายภายใต้แรงทางไฟฟ้า เช่น แรงดูด หรือแรงผลัก โดยปกติแล้วอิเล็กตรอน และอะตอมต่างๆ ของก๊าซจะเคลื่อนที่ไปมาตลอดจึงมีการชนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีขบวนการการรวมตัวกันใหม่ (Process of recombination) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.3

จากรูปที่ 2.3 อธิบายได้ว่าไอออนที่เกิดจากขบวนการไอออไนซ์ชนกับโมเลกุลที่เป็นกลาง (N_2) จะเกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนพลังงาน หรือการแลกเปลี่ยนประจุและจะรวมตัวใหม่กับอิเล็กตรอน แยกตัวได้เป็น โมเลกุลที่เป็นกลาง ดังนี้

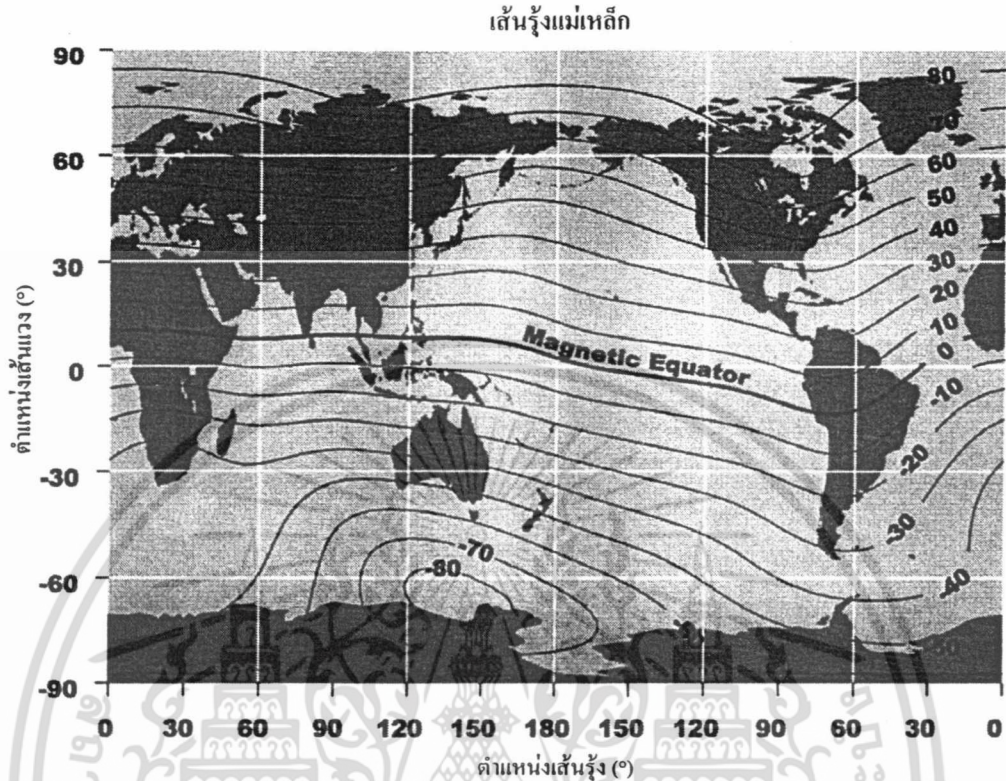


ดังนั้น โมเลกุลหนึ่ง โมเลกุลที่ถูกไอออไนซ์ จะไม่คงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ตลอดไป โดยในส่วนของชั้นบรรยากาศโลกที่ต่ำ (ความกดดันสูง) จะมีการชนกันของอนุภาคดี่มากจึงมีโอกาสเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่มาก ดังนั้น โมเลกุลของอากาศจะคงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ในระยะเวลาสั้นกว่าชั้นบรรยากาศส่วนบน นอกจากนี้แล้วรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ได้ถูกดูดซับไปเป็นจำนวนมากแล้วโดยชั้นบรรยากาศส่วนบน ดังนั้นในบริเวณที่มีความสูงต่ำกว่า 50 กิโลเมตร จะมีการไอออไนซ์เกิดขึ้นน้อยมาก ในทางกลับกันที่ความสูงมากกว่า 400 กิโลเมตรนั้นมีอนุภาคของอากาศที่เบาบาง ทำให้ความหนาแน่นของการไอออไนซ์มีค่าต่ำมากถึงแม้ว่าจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากก็ตาม ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าชั้นบรรยากาศในระดับความสูงในช่วง 50-400 กิโลเมตรซึ่งก็คือระดับการวางตัวของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีปริมาณอนุภาคของอากาศ สภาพความกดดันอากาศ และการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตของดวงอาทิตย์เป็นไปอย่างเหมาะสมเอื้ออำนวยให้เกิดการไอออไนซ์ขึ้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ณ ความสูงในช่วงนี้มีความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนสูงสุด

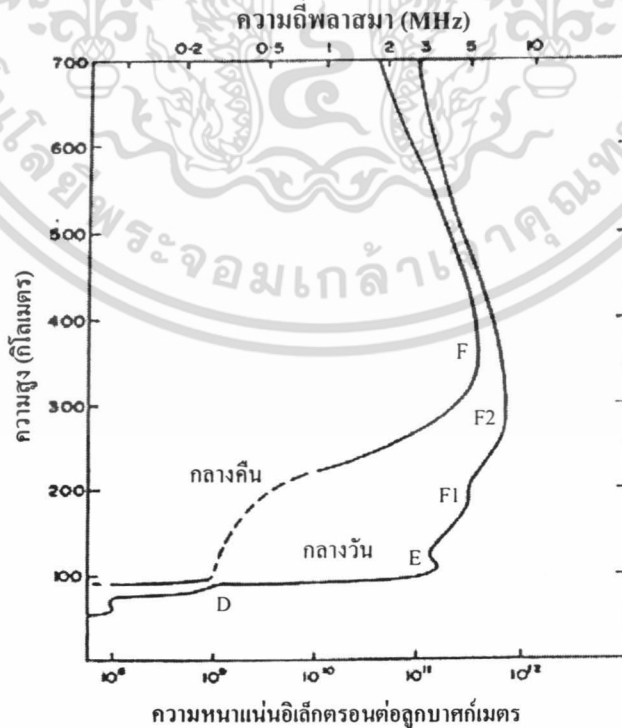
การแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์จะไปทำการไอโอไนซ์อนุภาคในชั้นบรรยากาศ ซึ่งความรุนแรงของการไอโอไนซ์ เป็นฟังก์ชันผกผันกับระยะจากดวงอาทิตย์ไปยังชั้นบรรยากาศโลก หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือเป็นฟังก์ชันกับมุมซิมิธิ (Zenith angle) ของดวงอาทิตย์กับโลก ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมุมซิมิธิน้อยลงระยะทางจากดวงอาทิตย์ก็จะเข้าใกล้โลกมากขึ้น และทำให้การไอโอไนซ์เกิดรุนแรงยิ่งขึ้นด้วย ดังนั้นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์มากที่สุดจะอยู่รอบๆ เส้นศูนย์สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กของโลก รวมถึงบริเวณละติจูดต่ำด้วย แต่เนื่องจากแกนแม่เหล็กของโลกขีฟที่ไปจากแกนหมุนของโลกเป็นมุมประมาณ 12° จึงทำให้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กจะไม่ตรงกันกับเส้นศูนย์สูตรทางภูมิศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เส้นรุ้งแม่เหล็กบนแผนที่ตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ [7]



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [5] ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถแบ่งเป็นชั้นย่อยหลักๆ ได้ 3 ชั้น คือชั้น D, E และ F ตามระดับความสูง และความหนาแน่นของอิเล็กตรอนภายในชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยเริ่มจากชั้น D ซึ่งเป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นโลกต่ำที่สุด มีขอบเขตอยู่ระหว่าง 50 ถึง 90 กิโลเมตร ซึ่งจะปรากฏให้เห็นได้เฉพาะเวลากลางวัน และหายไปในเวลากลางคืน เนื่องจากการรวมตัวกันใหม่ของอนุภาคมีค่าสูงสุด โดยมีค่าความหนาแน่นในการไอออไนซ์จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน และค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนอยู่ในช่วงจาก 10^8 และ 10^{10} อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร [5] เป็นชั้นที่มีบทบาทต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ คือ จะดูดกลืนพลังงานจากคลื่นที่ความถี่ MF, HF และ VHF และมันยังสะท้อนสัญญาณในช่วงความถี่ LF และ VLF เนื่องจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นนี้มีไม่เพียงพอ (ประมาณ 10^9 el/m^3) และมีความถี่ในการชนกันของอิเล็กตรอนและอนุภาคที่เป็นกลางที่อัตราที่สูง (ประมาณ 10^6 ครั้งต่อวินาที) จึงไม่สามารถส่งผลกระทบต่อคลื่นวิทยุให้เลี้ยวเบนได้ ดังนั้นจึงมีผลกระทบแก่การลดทอนของคลื่นสัญญาณเมื่อเดินทางผ่านชั้นนี้ และเนื่องจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนต่ำนี้ทำให้ไม่สามารถศึกษาได้ด้วยวิธีไอโอโนซอนเด แต่ใช้เทคนิคอื่นได้ เช่น การกระจัดกระจายไม่รวมใน (Incoherent scatter) การวัดโดยใช้จรวด Wave interaction และอื่นๆ

ชั้นถัดมาคือชั้น E วางตัวอยู่เหนือชั้น D ที่ความสูง 90 ถึง 140 กิโลเมตร มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูง 110 กิโลเมตร พบเห็นในเวลากลางวันเนื่องจากมีการไอออไนซ์ค่อนข้างมาก ส่วนในเวลากลางคืนมีการไอออไนซ์ที่น้อยมาก โดยความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นนี้อยู่ในช่วงประมาณ 10^7 ถึง 4.5×10^5 el/m^3 ในช่วงเวลากลางวัน และมีค่าประมาณ 5×10^5 el/m^3 ในเวลากลางคืน ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์ ซึ่งชั้น E นี้จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับการสะท้อนของคลื่น HF ในเวลากลางวัน ในบางครั้งมีปรากฏการณ์การไอออไนซ์ที่ผิดปกติในชั้น E เรียกว่า Sporadic-E แทนด้วยสัญลักษณ์ Es โดยเกิดจากการแทรกสอดอย่างรุนแรงของคลื่นย่าน VHF และเป็นการเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น โดยปกติจะมีรูปแบบคล้ายก้อนเมฆมีลักษณะเป็นหย่อมๆ และจะเปลี่ยนแปลงขนาดตั้งแต่ 1 กิโลเมตร จนถึงหลายๆ ร้อยกิโลเมตร การเกิดขึ้น และความเข้มของการไอออไนซ์จะไม่มีความสัมพันธ์กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยการเกิดขึ้นนี้ไม่สามารถทำนายได้ และยังสามารถพบได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน หรือในฤดูใดๆ ก็ได้ ชั้น Es E เป็นชั้นที่บางมากแต่มีความหนาแน่นของการไอออไนซ์สูง (ความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าเกือบ 10 เท่า ของชั้น E ปกติ) และจะปรากฏที่ใดก็ได้ในระยะความสูงตั้งแต่ 90-120 กิโลเมตร ซึ่งชั้น Es นี้มีความสำคัญในการสะท้อนคลื่นวิทยุในย่านความถี่ต่ำกว่า 100 เมกะเฮิรตซ์

ชั้นต่อมาคือชั้น F ซึ่งเป็นชั้นย่อยบนสุดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการไอออไนซ์มากที่สุด และเป็นเพียงชั้นเดียวที่รักษาการไอออไนซ์โดยไม่ขึ้นกับวัน หรือฤดูกาลใดๆ ชั้น F เป็นชั้นที่อำนาจต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะทางไกลได้แม้ในยามกลางคืน การปรากฏขึ้นได้ของชั้น F ในเวลากลางคืนเนื่องมาจากว่าชั้น F เป็นชั้นบนสุดที่มีการไอออไนซ์สูงมาก ดังนั้นจึงมีการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

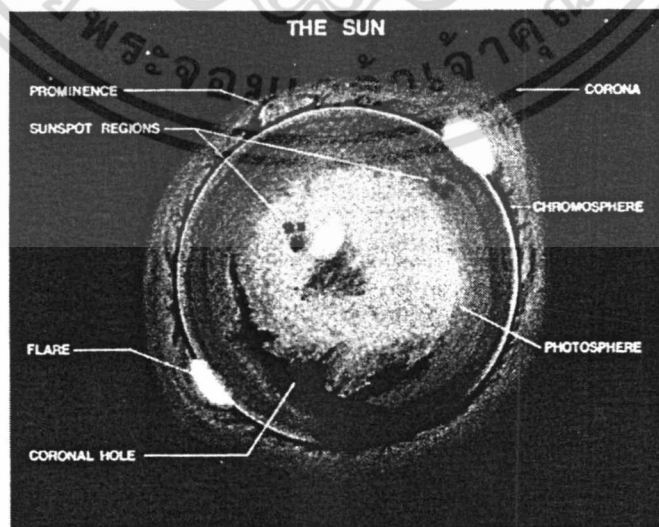
อนุภาคที่ถูกไอออไนซ์แล้วเหลืออยู่แม้ไม่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์แล้วก็ตาม และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือค่าความหนาแน่นในการไอออไนซ์มีค่าสูงในขณะที่ค่าความหนาแน่นของอากาศมีไม่มากนัก ความสูงระดับนี้ ดังนั้น โมเลกุลเกือบทั้งหมดในชั้นนี้จึงเป็น โมเลกุลที่ถูกไอออไนซ์ โดยอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ในการก่อตัวขึ้นเป็นชั้นนี้ คือ อะตอมของออกซิเจน

ในช่วงเวลากลางวันชั้น F จะแยกออกเป็น 2 ชั้นคือชั้น F1 และ F2 โดยปรากฏการณ์นี้จะพบตลอดปีในบริเวณละติจูดต่ำ และปรากฏเฉพาะฤดูร้อนเท่านั้นในบริเวณละติจูดสูง โดยชั้น F1 จะวางตัวอยู่ในระดับความสูงประมาณ 140 ถึง 250 กิโลเมตร โดยมีค่าระดับความสูงเฉลี่ยคือ 220 กิโลเมตร ส่วนชั้น F2 เป็นชั้นที่วางตัวอยู่บนสุดโดยมีระดับความสูงอยู่ที่ 250 ถึง 400 กิโลเมตร โดยในช่วงเวลากลางวันค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้น F2 นี้จะมีค่ามากที่สุดในการวัดชั้นย่อยอื่นๆ ทั้งหมดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ส่วนในช่วงเวลากลางคืนชั้น F1 และ F2 จะรวมตัวกันเป็นชั้น F และมีระดับความสูงประมาณ 300 กิโลเมตร โดยการเปลี่ยนแปลงความสูงและความหนาแน่นของชั้น F2 นี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น เวลา อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศและรอบวัฏจักรสุริยะ เป็นต้น

ชื่อของชั้น D, E, F1, F2 และอื่นๆ นั้นถูกตั้งโดย Sir E. Appleton ผู้ซึ่งได้ทำงานวิจัยทางด้านนี้ไว้เป็นอันมาก จึงเป็นที่ทราบกันว่านอกจากเรียกว่าชั้น F แล้วยังสามารถเรียกว่า "Appleton layer" ส่วนชื่อของชั้น E นั้นเรียกได้อีกชื่อคือ "Kenelly Heaviside layer" โดยชื่อเหล่านี้ถูกตั้งขึ้นหลังจากที่พวกเขาได้เป็นผู้ค้นพบนั่นเอง

2.2 วัฏจักรสุริยะ

ปริมาณความเข้มในการเกิดการไอโอไนซ์ นอกจากจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ระดับความสูง และตำแหน่งที่ตั้งบนโลกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspot Number) ด้วย



รูปที่ 2.6 จุดดับบนดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [2]

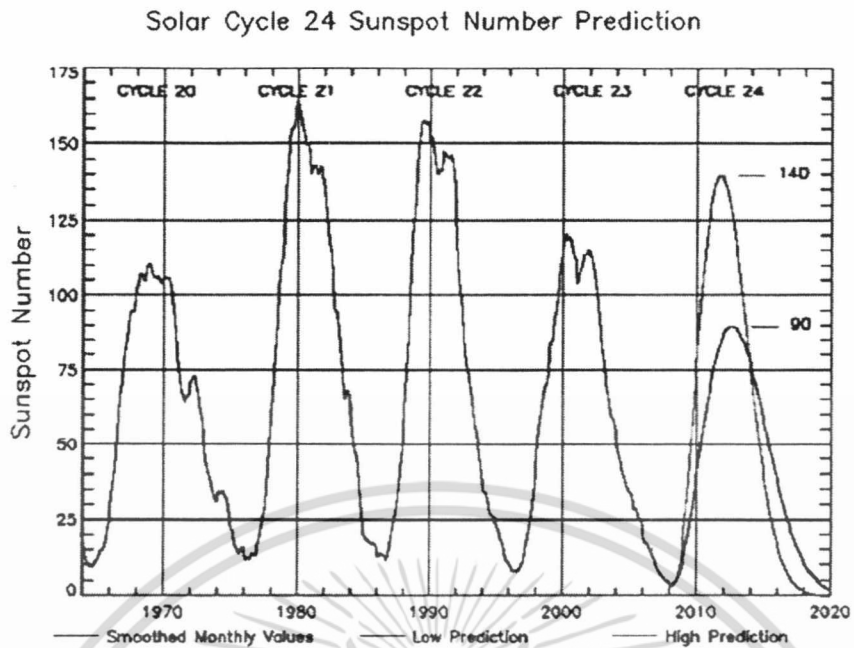
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sunspot) ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Theophrastus ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวดวงอาทิตย์ มีลักษณะเป็นจุดดำมืดดำรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถมองเห็นได้ง่ายๆ โดยการใช้ฉากรับภาพจากกล้องโทรทรรศน์หรือกล้องสองตา จุดดับบนดวงอาทิตย์เกิดขึ้นที่ชั้นโฟโตสเฟียร์ โดยขนาดของจุดดำมีตั้งแต่ขนาดเล็กจนบางที่อาจมีพื้นที่หลายพันล้านตารางกิโลเมตร เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันของจุดดำ โครงสร้างของจุดดับบนดวงอาทิตย์มิได้มีลักษณะดำมืดแต่เพียงอย่างเดียว หากพิจารณาดูดีๆ แล้ว จะพบว่าแต่ละจุดจะมีลักษณะซ้อนกันสองชั้น โดยจุดดำชั้นใน (Umbra) จะมีสีดำเข้ม ส่วนจุดดำชั้นนอก (Penumbra) ซึ่งล้อมรอบอยู่จะมีลักษณะจางกว่า และมีรูปร่างเป็นเส้นในแนวรัศมี ดูเผินๆ แล้วจุดดำของดวงอาทิตย์จะคล้ายกับลูกตาของคน โดยจุดดำชั้นในแทนม่านตา ส่วนชั้นนอกแทนม่านตา โดยทั่วไปแล้วพื้นที่ส่วนจุดดำชั้นนอกมักมีพื้นที่มากกว่า บางครั้งอาจมากถึง 80% ของพื้นที่จุดดำทั้งหมด บริเวณจุดดำชั้นนอกเป็นบริเวณที่มีการไหลของแก๊สจากบริเวณจุดดำชั้นใน ไปสู่พื้นที่นอกจุดดำ เมื่อแก๊สไหลออกไปนอกจุดดำชั้นนอกแล้วก็จะเปลี่ยนทิศพุ่งขึ้นตั้งฉากกับผิวของดวงอาทิตย์จนถึงชั้นโครโมสเฟียร์ (บรรยากาศที่อยู่เหนือพื้นผิวของดวงอาทิตย์) หลังจากนั้นจึงย้อนกลับพุ่งลงในใจกลางของจุดดำอีกครั้งเป็นวัฏจักรต่อไป

การกระจายตัวของจุดดำนั้น มักพบว่าจุดดำมักเกิดขึ้นเป็นคู่หรือรวมกลุ่มเป็นกระจุกใหญ่จำนวนมากๆ แต่จุดดำคู่จะพบได้มากกว่า ส่วนจุดดำที่ขึ้นเดี่ยวๆ จะไม่พบมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่าจุดดับบนดวงอาทิตย์มีการเกิดขึ้น และสลายตัวตลอดเวลา การเกิดจุดดำนั้นค่อนข้างจะไม่แน่นอน แต่โดยปกติแล้วจุดดำแต่ละจุดจะมีอายุประมาณ ไม่เกินสองสัปดาห์ แต่ก็อาจมีบางจุดที่มีอายุยาวนานนับเดือนก็เป็นได้ การที่จุดดับบนดวงอาทิตย์มีลักษณะดำมืดทั้งนี้เพราะพื้นผิว ณ จุดนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณพื้นผิวดวงอาทิตย์ส่วนอื่นๆ คือ บริเวณจุดดำชั้นในจะมีอุณหภูมิประมาณ 4,000 องศาเซลวิน ส่วนบริเวณรอบๆ หรือชั้นโฟโตสเฟียร์จะมีอุณหภูมิสูงถึง 6,000 องศาเซลวิน ส่วนบริเวณจุดดำชั้นนอกนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าโฟโตสเฟียร์เพียงเล็กน้อย คือประมาณ 5,600 องศาเซลวิน [8]

จุดดำนี้จะมีการหมุนไปตามการหมุนของดวงอาทิตย์ และถูกกำหนดลักษณะโดยความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีค่าสูงถึง 0.4 เทสลา (4,000 G) และจุดดำนี้จะเกิดเป็นคู่ที่มีขั้วแม่เหล็กที่ตรงกันข้ามกัน ทำให้เกิดการไหลวนของสนามแม่เหล็กออกมาจากโคโรนา หรือผิวของดวงอาทิตย์ และสนามแม่เหล็กนี้เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ บนดวงอาทิตย์ซึ่งทำให้ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าแปรเปลี่ยนไป โดยการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเป็นคาบหรือที่เรียกว่า วัฏจักรสุริยะ หรือวัฏจักรของแสงอาทิตย์ (Solar cycle) ซึ่งก็คือการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar flux) ที่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบหนึ่งวัฏจักรประมาณ 11.1 ปี รูปที่ 2.7 แสดงวัฏจักรสุริยะตั้งแต่ค.ศ. 1964 ถึงค.ศ. 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วัฏจักรสุริยะตั้งแต่ค.ศ. 1964 ถึงค.ศ. 2020 [9]

การเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ ทางสุริยะ มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ ที่ค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงเป็นเหตุหนึ่งส่งผลให้ค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าสูงขึ้นในแต่ละชั้นย่อยของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่ปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าปกติ

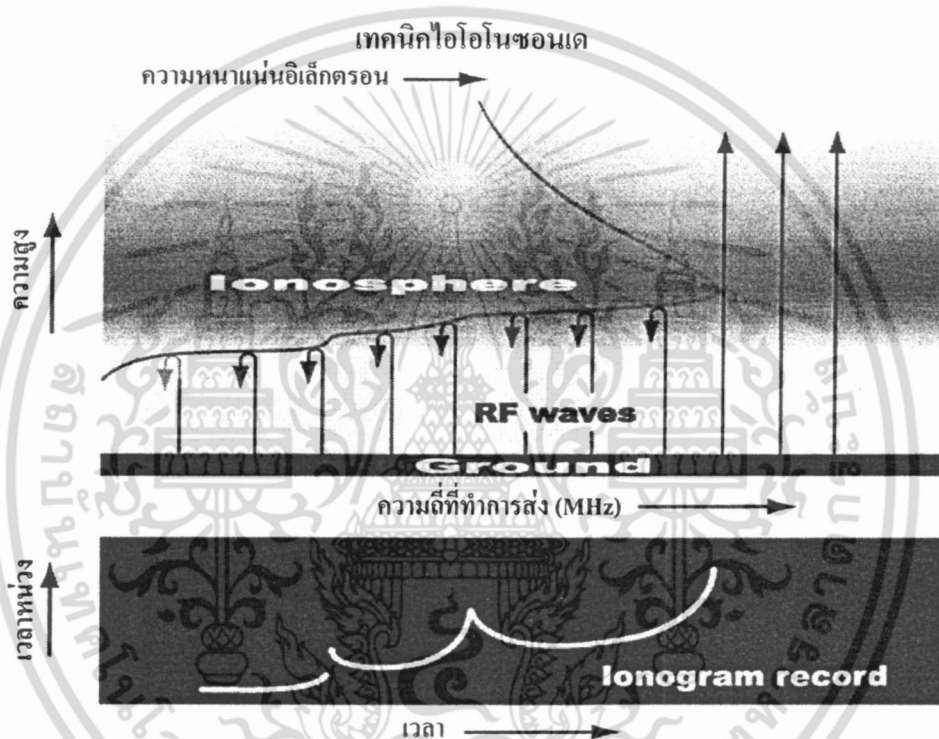
2.3 เทคนิคไอโอโนซอนเด

ย้อนกลับไปภายในหนึ่งศตวรรษที่ผ่านมา ความก้าวหน้าของการทำความเข้าใจเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถเห็นได้จากการพัฒนาเครื่องตรวจวัด ซึ่งสร้างข้อมูลที่ใช้เป็นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งเครื่องตรวจวัดที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งนั่นก็คือ ไอโอโนซอนเด (Ionosonde)

พัฒนาการของไอโอโนซอนเดมีมาอย่างต่อเนื่อง โดยพบว่าถูกใช้ในช่วงของสงครามโลกครั้งที่ 2 จากทั้งสองฝ่าย โดยใช้สำหรับการทำนายการสื่อสารทางวิทยุคลื่นสั้น ซึ่งพบร่องรอยของสถานีสังเกตการณ์แห่งแรกในประเทศอังกฤษ แต่การพัฒนาระบบถูกสร้าง และดำเนินการในวอชิงตัน ดีซี ประเทศสหรัฐอเมริกา โดย Berkner และคณะ [11] ในปี ค.ศ. 1936 โดยเขาใช้ความคิดอันหลักแหลมของ Gilliland ที่นำการแกว่งไปมาไปใช้กับเครื่องรับและเครื่องส่ง โดยเป็นการแกว่งไปมาทางความถี่ผสมกับสัญญาณความถี่พัลส์ IF เพื่อผลิตความถี่ส่งออกไป ความถี่ที่รับเข้ามาจะผสมกับความถี่ที่แกว่งไปมาเพื่อผลิตความถี่ IF สำหรับทำการขยายเพิ่มขึ้น หลังจากสงครามโลกสิ้นสุดลงก็ได้มีการพัฒนาไอโอโนซอนเดมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า เมื่อนักผู้จัดทำเห็นว่าประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคไอโอโนซอนเด (หรือเรียกอีกชื่อว่า Ionospheric sounder) เป็นเทคนิคดั้งเดิมที่ใช้ในการตรวจสอบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เทคนิคนี้ยังคงถูกใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยมีหลักการคล้ายคลึงกับเรดาร์ กล่าวคือ เมื่อมีการส่งคลื่นไปสะท้อนกับวัตถุชั้นใดชั้นหนึ่งแล้วจะสามารถทราบได้ว่าวัตถุชั้นนั้นอยู่ห่างจากจุดที่ส่งคลื่นไปสะท้อนนั้นเป็นระยะทางเท่าใด โดยการคำนวณเวลาที่คลื่นเดินทางไปและกลับ แต่เทคนิคของไอโอโนซอนเดนั้นจะใช้ความถี่ในย่านที่มีค่าไม่สูงนัก และสามารถสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กลับมายังสายอากาศรับได้ และมีการส่งคลื่นแบบต่อเนื่องด้วย โดยในรูปที่ 2.8 แสดงภาพจำลองของการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



รูปที่ 2.8 ภาพจำลองการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของเทคนิคไอโอโนซอนเด [11]

การหาความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยสถานีการตรวจวัดจะทำการส่งคลื่นความถี่ย่าน HF (High Frequency) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2 - 30 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยการส่งและรับคลื่นจะทำการส่ง และรับคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยการมอดูเลชันจะใช้เทคนิคการมอดูเลชันคลื่นแบบต่อเนื่อง (Continuous wave – frequency modulation) โดยมีการเพิ่มความถี่แบบเชิงเส้นตามเวลา คลื่นที่ส่งขึ้นไปจะสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีกลุ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอน โดยมีสายอากาศที่รับ และส่งวางเป็นรูปกากบาทกันเป็นโดม และจากนั้นจะทำการคำนวณเวลาหน่วงในการเดินทางของคลื่น และทำการพล็อตเป็นภาพไอโอโนแกรม ซึ่งการ

คำนวณเวลาหน่วงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของท่าน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta t = \frac{2}{c} h' \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า Δt คือค่าหน่วยเวลา ส่วนค่า h' คือค่าความสูงของชั้นบรรยากาศ และค่า c คือความเร็วแสง มีค่า $c = 3 \times 10^8$ หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

นอกจากการไอออไนซ์จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ระดับความสูง และสถานที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวัฏจักรสุริยะที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อีกด้วย โดยที่ค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการที่ 2.5 [1]

$$foF2 = 8.98 \sqrt{N_{\max}} \quad \text{เฮิร์ตซ์} \quad (2.5)$$

โดยที่ค่า $foF2$ คือความถี่วิกฤตของชั้น F2 และ N_{\max} คือค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (el/m^3) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของแต่ละชั้นจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.6 และ 2.7 ดังนี้

$$foE = 0.9 \left[(180 + 1.44R) \cos \chi \right]^{0.25} \quad \text{เมกะเฮิร์ตซ์} \quad (2.6)$$

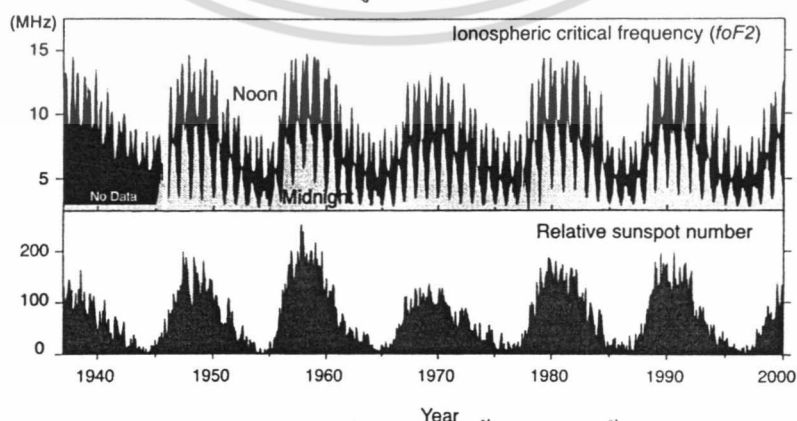
$$foF1 = (4.3 + 0.01R) \cos^{0.2} \chi \quad \text{เมกะเฮิร์ตซ์} \quad (2.7)$$

โดยที่ค่า foE คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น E, ค่า $foF1$ คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น F1 และค่า R คือจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ และ χ คือมุมเซนิตของดวงอาทิตย์ หรือเป็นมุมที่วัดจากจุดกลางฟ้า ซึ่งสัมพันธ์กับมุมเงย ดังนี้

$$\text{Zenith} = 90^\circ - \text{มุมเงย} \quad (2.8)$$

โดยที่มุมเงยคือมุมที่วัดจากระนาบที่ผิวโลกไปยังดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมุมที่รังสีแสงอาทิตย์กระทำกับระนาบที่ผิวโลกนั่นเอง

โดยปกติแล้วปริมาณของจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ กับความถี่วิกฤตของชั้น F มีการเปลี่ยนแปลงแบบแปรผันตามกันดังแสดงในรูปที่ 2.9

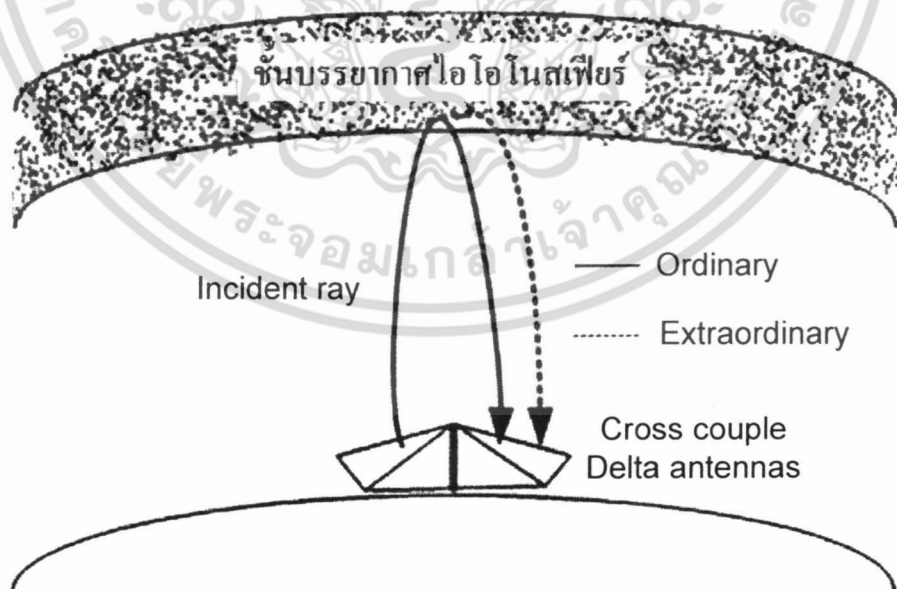


รูปที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กับปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ [1] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งคลื่นขึ้นสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จะเกิดความถี่อีกความถี่หนึ่งสะท้อนกลับมาด้วยเนื่องจากในชั้นจะมีแมกนีโตพลาสมา (Magnetoplasma) ทำให้คลื่นส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปได้เล็กน้อยแต่อีกส่วนสะท้อนกลับมาเลย โดยที่ความถี่จริงที่สะท้อนกลับมานั้นคือความถี่สามัญ (Ordinary) ส่วนความถี่เกิดขึ้นใหม่คือความถี่สามัญพิเศษ (Extraordinary) ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระที่มีผลมาจากแรงของสนามไฟฟ้า eE , และ แรงของสนามแม่เหล็กโลก $e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ ส่งผลทำให้ค่าไดอิเล็กตริกเชิงซ้อน (Complex dielectric) มีสองค่าคือ \pm โดยที่สมการของ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกเชิงซ้อน (Complex dielectric constant) แสดงดังสมการ 2.9 ในรูปที่ 2.10 แสดงการสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วเกิดความถี่อีกความถี่สะท้อนกลับมา ซึ่งจะมีค่าความถี่สูงกว่าความถี่สามัญ (Ordinary) ทำให้เครื่องรับสามารถรับความถี่กลับมาได้ 2 ความถี่ เมื่อนำมาพล็อตเป็นภาพไอโอโนแกรมจึงปรากฏเป็นเส้นโค้ง 2 เส้นที่มีค่าความถี่ต่างกัน ดังรูปที่ 2.11

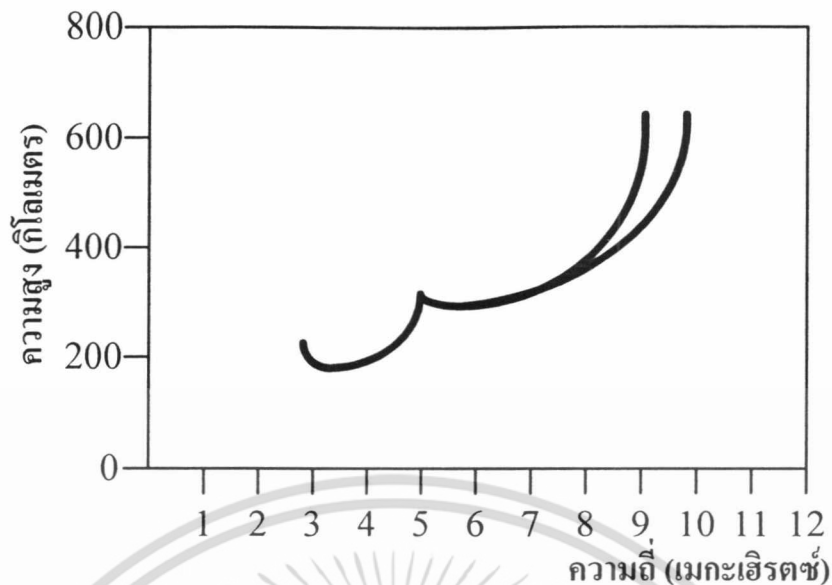
$$\epsilon_r^* = 1 - \frac{\omega_c^2}{\omega(\omega_c \pm \omega_H - j\nu)} \quad (2.9)$$

โดยที่ค่า $\omega_c^2 = Ne^2 / \epsilon_0 m$, $\omega_H = 2\pi f_H$ ค่า f_H คือความถี่ Gyromagnetic ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานที่ และ ν คือ ความถี่ในการชนของอิเล็กตรอน (Electron collision frequency) [12]



รูปที่ 2.10 การเกิดคลื่นอีกหนึ่งคลื่นสะท้อนกลับมาที่เครื่องรับ

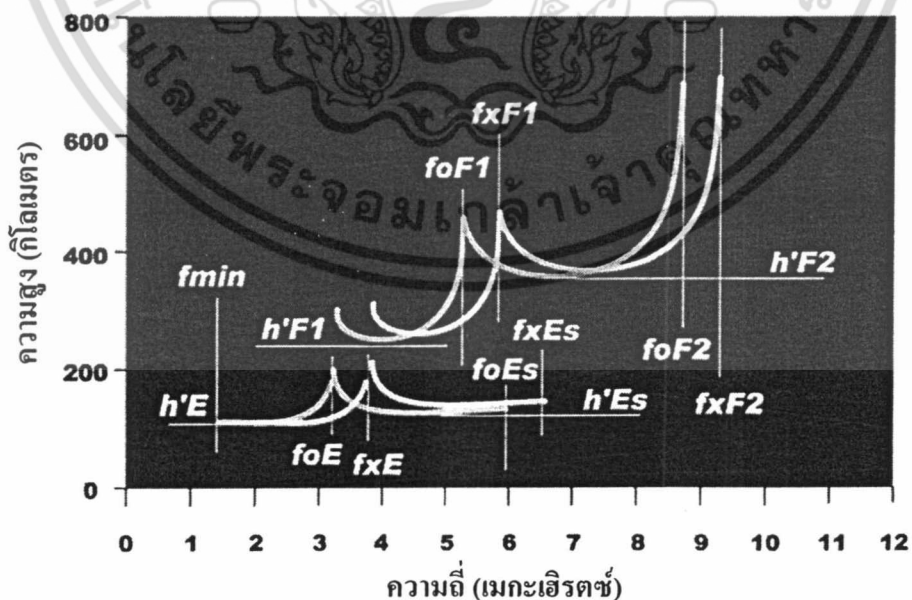
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ภาพไอโอโนแกรมที่ปรากฏเป็นเส้นโค้ง 2 เส้น

2.3.1 ไอโอโนแกรม

ไอโอโนแกรม (Ionogram) คือภาพที่ใช้แสดงการสะท้อนของความถี่ที่ทำการส่ง และรับผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งได้จากเทคนิคไอโอโนซอนด์ ซึ่งไอโอโนแกรมใช้ในการบ่งบอกโครงสร้างของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการทำนายการส่งคลื่นวิทยุ [1] โดยเราสามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากภาพไอโอโนแกรม ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.12

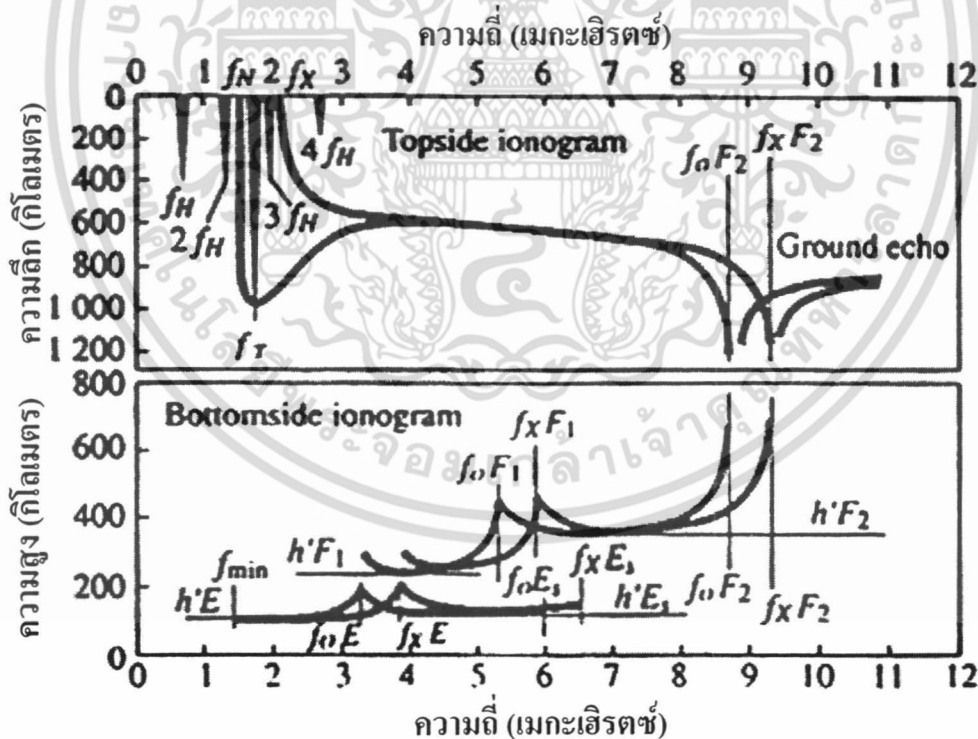


รูปที่ 2.12 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากภาพไอโอโนแกรม [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่สามารถอ่านได้จากไอโอโนแกรม โดยในชั้น E จะประกอบไปด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้ (1) ความสูงของชั้น E ($h'E$), (2) ความสูงของชั้น E_s ($h'Es$), (3) ความถี่วิกฤตสามัญของชั้น E (foE) และ (4) ความถี่วิกฤตวิสามัญของชั้น E (fxE) ส่วนในชั้น F จะประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้ (1) ความสูงชั้น F ($h'F$), (2) ความสูงชั้น F2 ($h'F_2$), (3) ความถี่วิกฤตสามัญของชั้น F1 (foF_1), (4) ความถี่วิกฤตวิสามัญของชั้น F1 (fxF_1), (5) ความถี่วิกฤตสามัญของชั้น F2 (foF_2) และ (6) ความถี่วิกฤตวิสามัญของชั้น F2 (fxF_2) โดยชั้น E และ F1 จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในช่วงเวลากลางวัน ส่วนชั้น D เป็นชั้นที่มีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนต่ำ จึงไม่สามารถอ่านค่าการสะท้อนของชั้นจากไอโอโนแกรมได้

ไอโอโนแกรมสามารถแบ่งเป็นวิธีการวัดได้ 2 วิธีคือวิธีที่ทำการวัดจากข้างล่างขึ้นข้างบน หรือเรียกว่าวิธี Bottomside และวิธีที่ทำการวัดจากข้างบนลงข้างล่างหรือเรียกว่า Topside โดยวิธีที่เราทำการศึกษาใช้วิธี Bottomside คือส่งคลื่นความถี่ 2-30 เมกะเฮิร์ตซ์ ขึ้นไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศแล้วคำนวณค่าหน่วงเวลาออกมานั้นเอง ส่วนวิธี Topside มีหลักการคล้ายกับวิธี Bottomside แต่จะเปลี่ยนจากการส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินไปเป็นการส่งสัญญาณจากดาวเทียม ในรูปที่ 2.13 แสดงภาพของไอโอโนแกรมของวิธี Topside และ Bottomside



รูปที่ 2.13 ภาพไอโอโนแกรมของวิธี Topside และ Bottomside [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แบบจำลองของ IRI

แบบจำลองของ IRI (International Reference Ionosphere) เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับข้อกำหนดของตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ความหนาแน่นอิเล็กตรอน และอุณหภูมิของชั้นต่างๆ เป็นต้น โดย IRI ได้รับการรับรองเป็นมาตรฐานสากลโดย the Committee On SPACe Research (COSPAR) และ the International Union of Radio Science (URSI) โดย Szuszczewics และคณะได้ทำการประเมินแบบจำลองหลายแบบเพื่อหาแบบจำลองของ IRI ที่ดีที่สุด โดยในปี ค.ศ. 1999 URSI ได้รับรองให้แบบจำลองของ IRI เป็นมาตรฐานสากลสำหรับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่ง IRI ถูกพัฒนา และปรับปรุงโดยการรวมกลุ่มกันระหว่าง COSPAR และ URSI โดยเริ่มก่อตั้งขึ้นในปี 1978 [18] โดยวัตถุประสงค์หลักในการรวมกลุ่มกัน มีดังนี้

1. เพื่อก่อตั้งรวมการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองมาตรฐานของตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และอิออน, อุณหภูมิ และอัตราความเร็ว เป็นต้น โดยแบบจำลองต้องอาศัยพื้นฐานโดยใช้การสังเกตข้อมูลที่มีอยู่บนพื้นดินและแหล่งข้อมูลของอวกาศ
2. เพื่อหาความแตกต่างระหว่างแหล่งกำเนิดข้อมูล โดยทีมงานของ IRI ต้องทำการแลกเปลี่ยนข้อมูล และสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูลซึ่งมีรากฐานแตกต่างกัน
3. เพื่อปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยโดยใช้ข้อมูลใหม่ๆ ในขณะที่ข้อมูลเก่าถูกใช้ในการประเมินค่าและใช้ประโยชน์อื่นๆ
4. เพื่อการให้ความร่วมมือกันของ COSPAR และ URSI โดย COSPAR สนใจในส่วนของสภาพแวดล้อมของโลก สำหรับการประเมินค่าผลกระทบที่เกิดจากสภาพแวดล้อมบนยานอวกาศ และการสังเกตในอวกาศ ส่วน URSI ให้ความสนใจในส่วนของความหนาแน่นอิเล็กตรอน สำหรับการกำหนดความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สำหรับการศึกษาระเบิดกระจายคลื่นวิทยุ และประโยชน์ต่างๆ

การรวมกลุ่มกันของ COSPAR และ URSI ประกอบไปด้วยทีมของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อทำการอธิบายความแตกต่างในแต่ละประเทศ ความแตกต่างในแต่ละเทคนิคที่ทำการวัด และความแตกต่างของปัญหาที่เกิดจากแบบจำลอง โดยปัจจุบันมีทะเบียนรายชื่อของคณะสมาชิกทั้งสิ้น 43 คณะ ในรูปที่ 2.14 แสดงการแพร่กระจายของสมาชิกจากทั่วโลกของการรวมกลุ่มกันระหว่าง

COSPAR และ URSI บนแบบจำลองของ IRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 สมาชิกจากทั่วโลกของการรวมกลุ่มระหว่าง COSPAR และ URSI บนแบบจำลองของ IRI [21]

แบบจำลองของ IRI มีการแก้ไข และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง [15]-[20] โดยมีเหตุการณ์สำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และแบบจำลองของ IRI ได้ทำการปรับปรุงข้อมูลใหม่ครั้งล่าสุดภายในปี 2001 หรือเรียกว่า IRI-2001 นอกจากนี้แล้ว IRI ยังจัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการประจำปีขึ้นจำนวนหลายครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เพื่อแลกเปลี่ยนความเห็นในการทำการแก้ไข และปรับปรุงแบบจำลองให้ดีขึ้น โดยมีสิ่งพิมพ์สำหรับการประชุมเชิงปฏิบัติการลงตีพิมพ์ครั้งแรกในหนังสือ Space Research และต่อมาใน Advance in Space Research

ตารางที่ 2.1 เหตุการณ์สำคัญ ของการปรับปรุง IRI [21]

ปี ค.ศ.	เหตุการณ์	รายละเอียด	สื่อกลาง
1968	COSPAR ก่อตั้ง IRI WG	โดยมี Karl Rawer ดำรงตำแหน่งประธาน	
1969	URSI เข้าร่วมร่วกลุ่ม		
1972	ทำการสร้างตารางในขั้นต้น	ตัวแปรต่างๆ ของ IRI ในแต่ละสถานที่ที่เลือก	รายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

1973	COSPAR จัดประชุมสัมมนาที่ Konstanz ประเทศเยอรมนี [15]	แนะนำข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับแบบจำลองของชั้น D	
1978	รายงานพิเศษของ URSI (IRI-79) [16]	การครอบคลุมทั่วโลกสำหรับความหนาแน่นแผ่นที่ของ CCIR สำหรับ foE, foF1, foF2 และ M(3000)F2	รายงานรหัส ALGOL และ FORTRAN บนแถบบันทึกเสียงและบัตรรายการ
1981	ศูนย์กลางข้อมูลทั่วโลกสำหรับรายงานทางฟิสิกส์เกี่ยวกับดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อโลก (IRI-79) [17]		กราฟและตารางของตัวแปรต่างๆ ของ IRI
1986	IRI-86 บนแผ่นดิสก์สำหรับใช้บนคอมพิวเตอร์ส่วนตัว	ครอบคลุมทั่วโลกสำหรับอุมหภูมิที่ตั้งอยู่บน AE-C, D, -E และข้อมูล AEROS-A, -B	แผ่นดิสก์เกี่ยวกับโปรแกรมการทำงานของ DOS
1990	รายงานของ National Space Science Data Center (NSSDC) [18]	แผนที่ URSI สำหรับ foF2	การกู้ข้อมูลจากเอกสารสำคัญของ NSSDC ด้วยวิธี ftp นิรนาม และใช้ประโยชน์สำหรับเชื่อมต่อการคำนวณในส่วนของการออนไลน์ข้อมูลของ NSSDC และบริการข่าวสาร (NODIS)
1995	IRI-95 ออนไลน์ (IRI Web)	การปรับปรุงที่ละติจูดแม่เหล็กต่ำ	IRI-Web ทำการคำนวณและพล็อตตัวแปรต่างๆ ของ IRI บนอินเทอร์เน็ต
1999	มติของ URSI	IRI ได้รับการยอมรับเป็นมาตรฐานสากลสำหรับชั้นไอโอโนสเฟียร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

2001	IRI-2001 เกี่ยวกับการปรับปรุงต่างๆ และตัวแปรใหม่ๆ [20]	การปรับปรุงชั้น D และ F1 รวมถึงพายุและแบบจำลองของจักรวาล ตัวแปรใหม่ได้แก่ F1 prob, equat, vert, ion drift	
------	--	---	--

ตารางที่ 2.2 การประชุมเชิงปฏิบัติการของ IRI และสิ่งตีพิมพ์ [21]

ปี	สถานที่จัดงาน	หัวข้อ	สิ่งตีพิมพ์
1971 ⁺	Seattle, USA		Space Res. XII, 1229-1335, 1972
1973	Konstanz, FRG	Measurements and Results of Lower Ionosphere	Akademie-Verlag, Berlin, 1974
1974 ⁺	Sao Paulo, Brazil		Space Res. XV, 295-334, 1975
1980 ⁺	Budapest, Hungary	IRI-79	WDC-A-STP, UAG-90, 1984
1982 ⁺	Ottawa, Canada	The Upper Atmosphere of the earth and planets	Adv. Space Res. (ASR) 2(10) 1982
1983	Stara Zagora, Bulgaria	Towards an improve IRI	(ASR) 4(1) 1984
1984 ⁺	Graz, Austria	Models of the atmosphere and Ionosphere	(ASR) 5(7) 1985
1985	Louvain, Belgium	IRI – status 1985/86	(ASR) 5(10) 1985
1986 ⁺	Toulouse, France	IRI – status 1986/87	(ASR) 7(6) 1987
1987	Novgorod, Russia	Ionosphere Informatics	(ASR) 8(4) 1988
1988 ⁺	Espoo, Finland	Ionosphere Informatics and Empirical Modeling	(ASR) 10(8) 1990
1989	Abingdon, UK	Development of IRI-90	(ASR) 10(11) 1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามเห็นชอบหรือคัดค้านการตีพิมพ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

1990 ⁺	The Hague, Netherlands	Enlarged Space and Ground data base for	(ASR) 11(10) 1991
1991	Athens, Greece	Adv. In Global/Reg. Descript. Of Ionospheric Parameter	(ASR) 12(7) 1992
1992 ⁺	Washington, DC, USA	Ionospheric Models	(ASR) 13(3) 1993
1993	Trieste, Italy	Off Median Phenomena and IRI	(ASR) 14(12) 1994
1994 ⁺	Hamburg, FRG	The High Latitudes in the IRI	(ASR) 16(1) 1995
1995	New Delhi, India	Low and Equat. Latitude in IRI	(ASR) 18(6) 1996
1996 ⁺	Birmingham, UK	Descript. Of Ionospheric Storm Effects and Irregularities	(ASR) 20(9) 1997
1997	Kuhlungsborn, Germany	New Develops. In Ionospheric Modeling and Prediction	(ASR) 22(6) 1998
1998 ⁺	Nagoya, Japan	Lower Ionosphere: Measurements and Models	(ASR) 25(1) 2000
1999	Lowell, MA, USA	IRI – Workshop 1999	(ASR) 27(1) 2001
2000 ⁺	Warsaw, Poland	Modeling the Topside Ionosphere and Plasmasphere	(ASR) 29(6) 2002
2001	Soa Jose Dos Campos, Brazil	Description of the Low Latitude Ionosphere in the IRI	(ASR) 31(3) 2003
2002 ⁺	Houston, Texas, USA	Improved Ionosphere Specification and Forecast	ASR in press
2003	Grahamstown, South Africa	Quantifying ionospheric variability	ASR in preparation

⁺ แสดงการประชุมของ IRI ในช่วงการรวมกลุ่มของคณะกรรมการบน Space Research

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การประยุกต์ใช้งาน IRI

IRI ถูกประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง ดังต่อไปนี้

1) มาตรฐานสำหรับการประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรม

- IRI ถูกใช้เป็นมาตรฐานในองค์การ NASA
- IRI เป็นแบบจำลองมาตรฐานของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในหนังสือคู่มือระบบวิศวกรรมของ the European Cooperation for Space Standardization (ECSS, 1997)
- IRI ถูกพิจารณาภายใต้มาตรฐาน ISO สำหรับตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
- IRI เป็นแบบจำลองชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ใช้ใน ESA/ESTEC ของ Space Environment Information System (SPENVIS) และในเว็บไซต์ MSFC ของ Space Environment Effects (SEE)

2) เครื่องมือสำหรับการประยุกต์ใช้ในการศึกษา

- ผลรวมปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอน (Total Electron Content: TEC) ของ IRI ทั่วโลก
- ความหนาแน่นอิเล็กตรอนแบบภาพ 3 มิติซึ่งใช้ใน AVS (Watari และคณะ, 2003)

3) การแก้ไขสำหรับเครื่องมือวัดความถี่ดาวเทียม

- การเก็บข้อมูลเป็นเวลานานของความสูงผิวน้ำทะเล (แผนงาน Pathfinder) ปรับปรุง IRI เกี่ยวกับข้อมูล ไอโอโนซอนเด (Bilitza และคณะ, 1997)
- ERS ข้อมูลอย่างรวดเร็ว (ESA)
- ทำงานเกี่ยวกับข้อมูล Geosat Follow On (GFO) (Zhang และคณะ, 2002)

4) เมื่องหลังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สำหรับการประเมินของข้อมูลในการทำแผนที่ในแต่ละเทคนิค

- ทดสอบขั้นตอนการเปลี่ยนการวัดของ GPS ไปเป็น TEC
- การวัดการตกลงของ TEC จาก NSSDC (Ciraolo และ Spalla, 2002)
- ความน่าเชื่อถือของวิธีการ Tomographic

แบบจำลองของ IRI สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิดตามความแตกต่างของชุดคำสั่งของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการทำนายความถี่วิกฤต (f_oF_2) และความสูงสูงสุดของชั้น F2 (h_mF_2) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าจุดดับบนดวงอาทิตย์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบบจำลองที่ถูกพัฒนา และรับรองโดย The International Radio Consultative Committee (CCIR, 1966)
2. แบบจำลองที่ถูกพัฒนา และรับรองโดย The International Union of Radio Science (URSI, 1989)

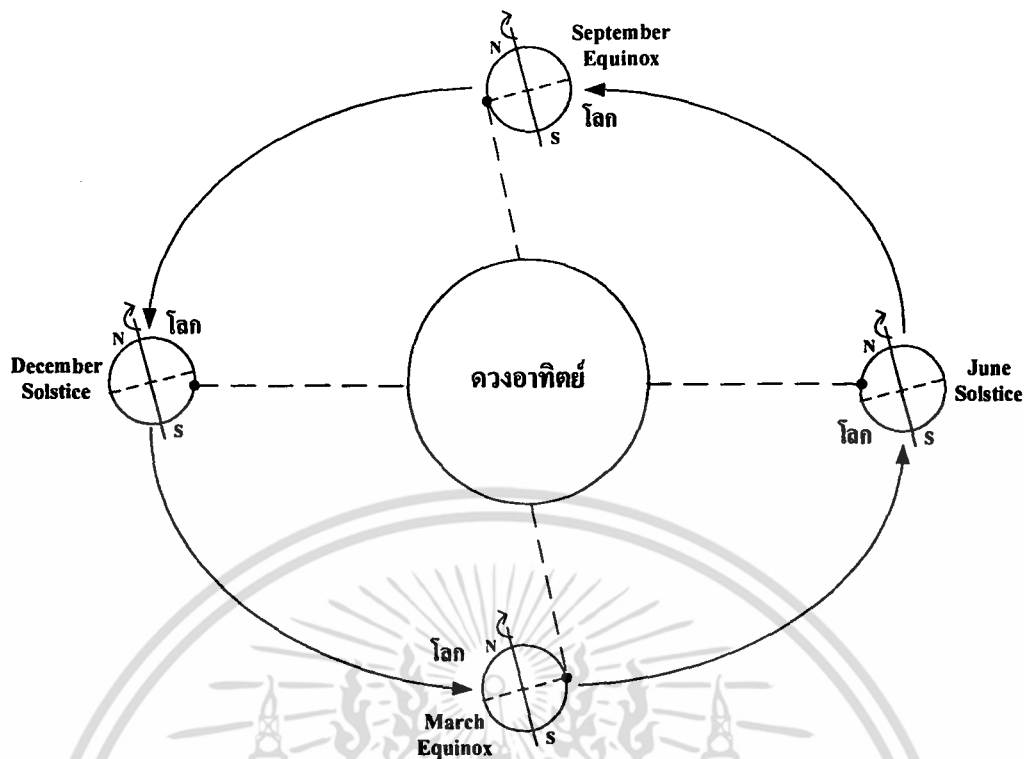
โดยมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นจำนวนมากเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI [36] - [46] อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาไม่พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ในบริเวณประเทศไทย แต่ก็พอมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอ โอ โนสเฟียร์เช่นกัน [47] – [49] ซึ่งถือว่าการศึกษาทางด้านนี้ยังขาดแคลนอยู่

2.5 การแบ่งฤดูกาล

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการแบ่งฤดูกาลภายในแต่ละปีที่ทำการศึกษาออกเป็น 4 ฤดูกาล โดยการนำค่าในช่วงเวลาทุกๆ 15 นาทีที่ทำการวัดตลอดระยะเวลา 3 เดือนมาทำการหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าแต่ละฤดูกาลออกมา ซึ่งประกอบด้วย

1. March Equinox ประกอบด้วยเดือนกุมภาพันธ์, มีนาคม และเมษายน
2. June Solstice ประกอบด้วยเดือนพฤษภาคม, มิถุนายน และกรกฎาคม
3. September Equinox ประกอบด้วยเดือนสิงหาคม, กันยายน และตุลาคม
4. December Solstice ประกอบด้วยเดือนพฤศจิกายน, ธันวาคม และมกราคม

โดยในการแบ่งฤดูกาลนี้จะยึดจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นหลัก ซึ่งเราทราบกันว่า แกนแม่เหล็กของโลกเลื่อนไปจากแกนหมุนของโลกเป็นมุมประมาณ 12 องศา และโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ซึ่ง 1 รอบ ใช้เวลา 365 วัน หรือ 1 ปี นอกจากนี้ยังหมุนรอบตัวเอง โดย 1 รอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง หรือเท่ากับ 1 วันนั่นเอง ดังนั้นเราจึงสามารถแบ่งช่วงฤดูกาลต่างๆ โดยยึดจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 การแบ่งช่วงฤดูกาลโดยการปีัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์

2.6 สรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการใช้เทคนิคไอโอโนซอนเด (หัวข้อ 2.3) ในการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย ความสูงของชั้น F ($h'F$) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ($foF2$) และความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร $MUF(3000)F2$ โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีการแพร่กระจายคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และขึ้นอยู่กับวัฏจักรสุริยะ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องทราบทฤษฎีพื้นฐานของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และวัฏจักรสุริยะดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ จากนั้นทำการนำค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ มาทำการหาค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ (จากสมการที่ 1.1) เพื่อนำค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ไปทำการคำนวณหาความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) (จากสมการที่ 1.2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ต่อจากนั้นจะนำค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และ $hmF2$ ไปทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ IRI ต่อไป โดยวิธีการเก็บวัดค่าพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ จากไอโอโนแกรมทำการอธิบายในบทที่ 3 ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ แสดงในบทที่ 4 ตามด้วยผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ $M(3000)F2$ และ $hmF2$ ซึ่งได้จากการคำนวณแสดงในบทที่ 5 และบทที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าตัวแปร $foF2$ และ $hmF2$ ที่วัดได้จริงเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ในบทสุดท้ายเป็นสรุปผลและข้อเสนอแนะแสดงในบทที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการศึกษาวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ($h'F$) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ($foF2$) และความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตรของชั้น F2 ($MUF(3000)F2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เวลาต่างๆ กันนั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลจากสถานีไอโอโนซอนเด ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ เส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และตำแหน่งเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ โดยในการเก็บข้อมูลใช้เครื่องส่งและรับคลื่น รุ่น SKI-96092 FM/CW ทำการส่ง และรับคลื่นในย่าน HF ผ่านสายอากาศ จากนั้นทำการรับคลื่นที่สะท้อนกลับเข้ามายังเครื่องรับ โดยเครื่องรับจะทำการเก็บข้อมูลเป็นภาพไอโอโนแกรมเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อนำข้อมูลที่เป็นภาพไอโอโนแกรมนี้มาทำการศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ ณ เวลาต่างๆ กัน ในตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรต่างๆ ของการสังเกตโดยไอโอโนซอนเด ณ สถานีชุมพร

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการสังเกตโดยไอโอโนซอนเด ณ สถานีชุมพร [25]

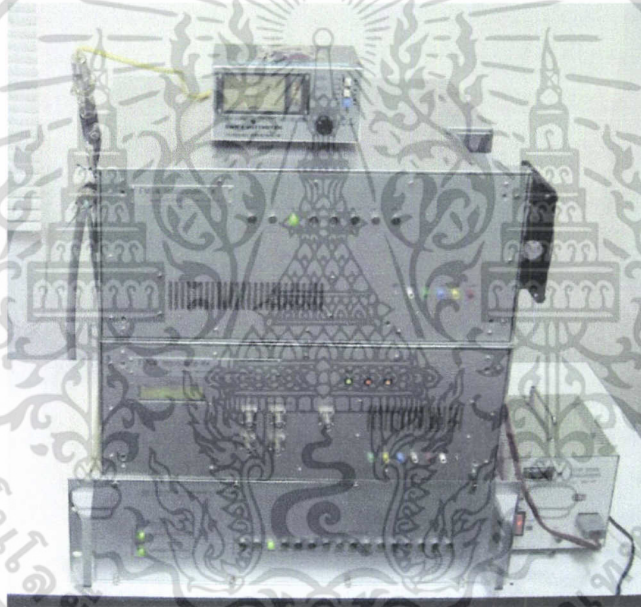
ระบบ	Frequency Modulated-Continuous Wave (FM-CW) with pseudo-random Tx/Rx switching
เครื่องรับและส่งคลื่น	SKI-96092 FM/CW Radar
กำลังสูงสุดของเครื่องส่ง	20 วัตต์
กำลังเฉลี่ยของเครื่องส่ง	10 วัตต์
ย่านความถี่	2 ถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์
อัตราการเพิ่มความถี่	100 กิโลเฮิร์ตซ์ ต่อ วินาที
รอบการทำงาน	5 นาที
เสาอากาศ	สูง 27 เมตร
ชนิดสายอากาศ	Folded Dipole 2 ชั้น มีโพลาริซตั้งฉากต่อกัน
ตำแหน่งของสถานี	เส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ เส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก เส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

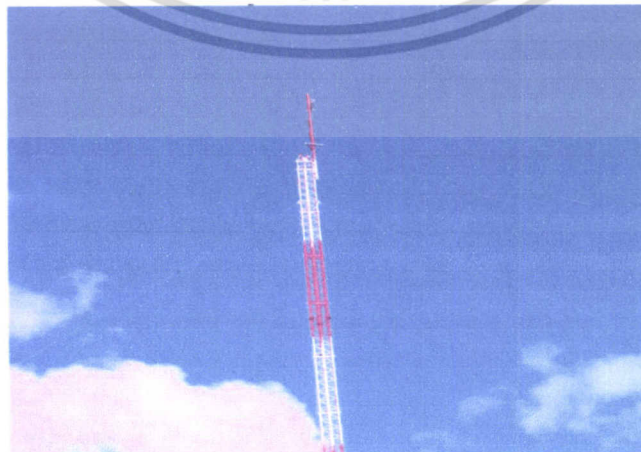
โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) ชุดเครื่องส่งและเครื่องรับ (2) สายอากาศ และ (3) คอมพิวเตอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพไอโอโนแกรม โดยสามารถแสดงรายละเอียดต่างๆ ได้ดังนี้

3.1.1 ชุดเครื่องส่งและเครื่องรับ

เครื่องส่งและเครื่องรับเป็นรุ่น SKI-96092 FM/CW Radar (รูปที่ 3.1) โดยทำการส่ง และรับคลื่นในย่านความถี่ตั้งแต่ 2 - 30 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยมีการส่งความถี่แบบต่อเนื่อง (Continuous wave) และมีอัตราการเพิ่มความถี่ที่ส่งขึ้นไปทุกๆ 100 กิโลเฮิร์ตซ์ต่อวินาที ซึ่งใน 1 รอบของการทำงานจะใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที จากนั้นจะส่งข้อมูลซึ่งเป็นภาพไอโอโนแกรมไปทำการบันทึกที่คอมพิวเตอร์ แล้วจะทำการปรับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของเครื่องใหม่ในทุกๆรอบของการทำงาน โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมในทุกๆ 15 นาที



รูปที่ 3.1 เครื่องส่งและเครื่องรับรุ่น SKI-96092 FM/CW Radar [23]



รูปที่ 3.2 สายอากาศชนิดโพเลตเตดไดโพล [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สายอากาศ

เป็นสายอากาศชนิดโฟลด์เด็คไดโพล (Folded dipole) 2 ชั้น วางตัดขวางกันเป็นโคมโดยใช้เสาที่มีความสูง 27 เมตรเป็นตัวยึดสายอากาศ (รูปที่ 3.2) ซึ่งที่ต้องใช้เสาที่มีความสูง 27 เมตร ก็เพื่อหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ เป็นต้น โดยเสานี้ยังมีความสูงมากก็จะยิ่งดี แต่เนื่องจากที่สถานีชุมพรนั้นอยู่ใกล้กับสนามบินจึงทำการติดตั้งเสาสูงเพียง 27 เมตรเท่านั้น เพื่อไม่ให้กีดขวางทางขึ้น-ลงของเครื่องบิน ส่วนสายอากาศชั้นที่ทำการส่งคลื่นขึ้นไปยังชั้นไอโอโนสเฟียร์จะวางตั้งฉากกับสายอากาศชั้นที่ทำการรับคลื่นที่สะท้อนลงมายังพื้นโลก

3.1.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพไอโอโนแกรม

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลมีจำนวน 2 เครื่อง โดยเครื่องแรกทำการติดตั้งไว้ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ซึ่งเป็นสถานที่ติดตั้งสถานีไอโอโนซอนเด เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับ มาทำการคำนวณเวลาหน่วงของคลื่นที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับ ที่ทำการบันทึกค่าทุกๆ 15 นาที มาทำการสร้างเป็นภาพไอโอโนแกรม โดยมีการเก็บภาพเป็นไฟล์ .PNG จากนั้นใช้คอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งที่ติดตั้งไว้ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการทำการดึงข้อมูลไฟล์ภาพไอโอโนแกรมที่บันทึกได้ ณ สถานีชุมพร มาเก็บไว้ในเครื่อง เพื่อที่จะทำการเก็บ และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการโดยใช้โปรแกรม Special scaling ต่อไป โดยในวิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม Special scaling เพื่อทำการเก็บวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากไฟล์ภาพไอโอโนแกรมจำนวน 3 ตัว ได้แก่ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ นั่นเอง

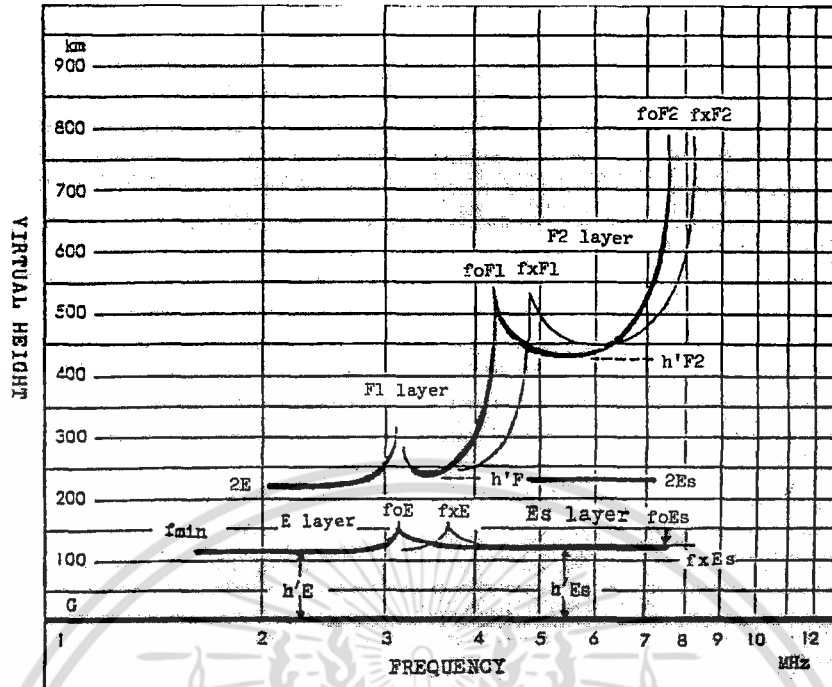
เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลไฟล์ภาพไอโอโนแกรมจากทั้ง 2 สถานที่นี้ จำเป็นต้องมีพื้นที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล (Hard disk) เป็นจำนวนมาก เนื่องจากไฟล์ภาพไอโอโนแกรมที่ทำการเก็บได้จะมีขนาดใหญ่มากเมื่อทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลาหลายๆ ปี

3.2 วิธีการเก็บข้อมูลจากไอโอโนแกรม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ จากไอโอโนแกรมที่ทำการบันทึกได้ ณ สถานีชุมพร โดยการเก็บค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวนี้ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Special scaling ในการเก็บค่า อย่างไรก็ตามในส่วนต่อไปจะนำเสนอตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยใช้คู่มือการอ่านค่าจากภาพไอโอโนแกรม [13]-[14] ก่อน ส่วนการเก็บค่าโดยใช้โปรแกรม Special scaling จะทำการนำเสนอในหัวข้อที่ 3.3 ต่อไป

ภาพไอโอโนแกรมที่ได้จากเทคนิคไอโอโนซอนเดสามารถทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



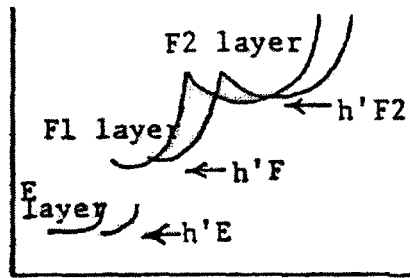
รูปที่ 3.3 ภาพจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากไอโอโนแกรม [13]

รูปที่ 3.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากไอโอโนแกรม ประกอบด้วย ความสูง ความถี่วิกฤต และความถี่วิกฤตพิเศษ ของชั้น E ($h'E$, foE , fxE) ชั้น Es ($h'Es$, $foEs$, $fxEs$) ชั้น F1 ($h'F$, $foF1$, $fxF1$) และชั้น F2 ($h'F2$, $foF2$, $fxF2$) ตามลำดับ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้สนใจค่าพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัว ได้แก่ $h'F$, $foF2$ และ $MUF(3000)F2$ ซึ่งตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยใช้คู่มือการอ่านค่าจากภาพไอโอโนแกรม [13]-[14] สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

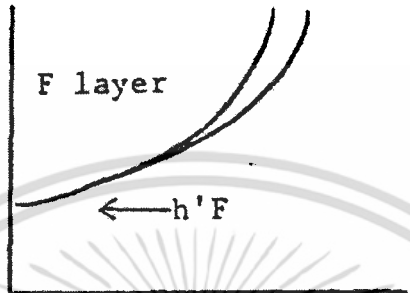
3.2.1 ตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์ $h'F$ จากไอโอโนแกรม

ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือที่รู้จักกันในสากลจะใช้สัญลักษณ์ $h'F$ นั้น มีประโยชน์ต่อการสื่อสารเนื่องจากเมื่อความสูงของชั้น F มีการเลื่อนตัวสูงขึ้นหรือต่ำลง จะมีผลต่อการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณในระยะใกล้หรือไกล ซึ่งเห็นได้จากในช่วงกลางวัน ความสูงของชั้น F มีระดับสูงทำให้สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ในระยะทางไกลกว่าในช่วงกลางคืน เนื่องจากความสูงของชั้น F มีค่าต่ำกว่าในช่วงกลางคืนนั่นเอง โดยความสูงของชั้น F นี้สามารถทำการวัดได้จากส่วนของเส้นโค้งที่ต่ำที่สุดที่ขนานกับแกนนอนของภาพที่ได้จากไอโอโนแกรม โดยที่แกนนอนจะเป็นแกนของความถี่ที่มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ และในแกนตั้งจะเป็นแกนของความสูงจากพื้นโลกที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ในเวลากลางวัน และเวลากลางคืนการปรากฏของชั้นต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะแตกต่างกัน โดยที่ในเวลากลางวันชั้น F จะมีการแตกตัวเป็นสองชั้น และในเวลากลางคืนจะรวมตัวกันเป็นชั้นเดียว ดังรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและจะมีความผิดตามกฎหมายลิขสิทธิ์

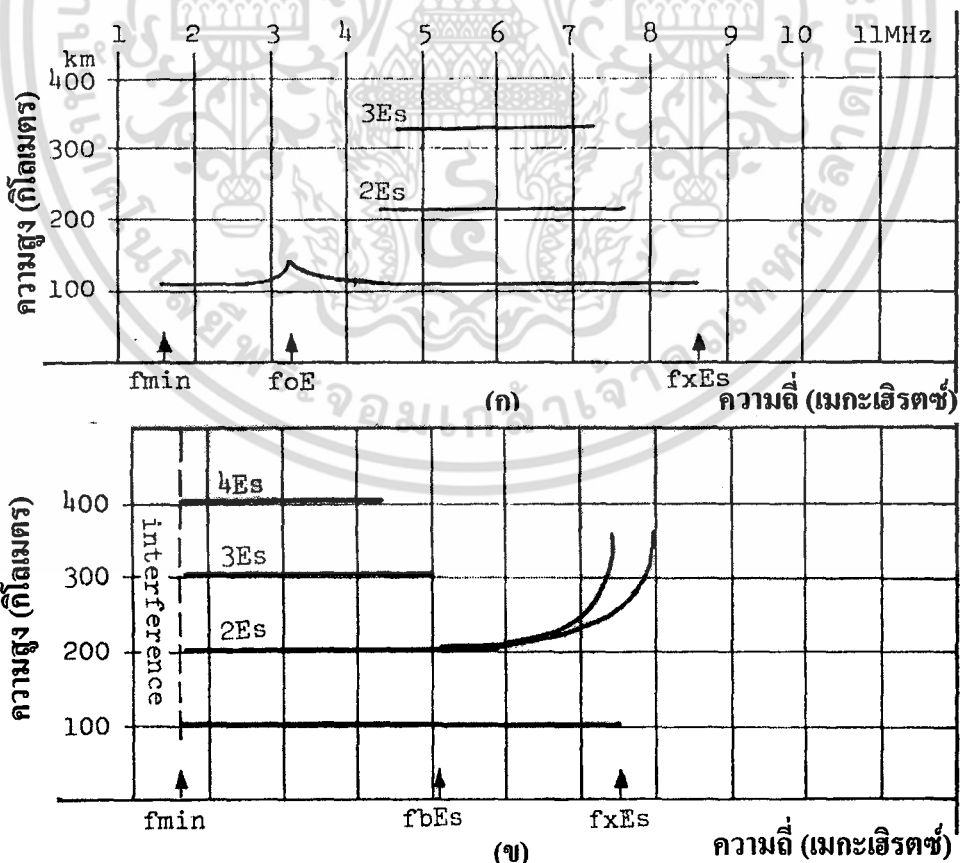


รูปที่ 3.4 ภาพจำลองไอโอโนแกรมในเวลากลางวัน [13]



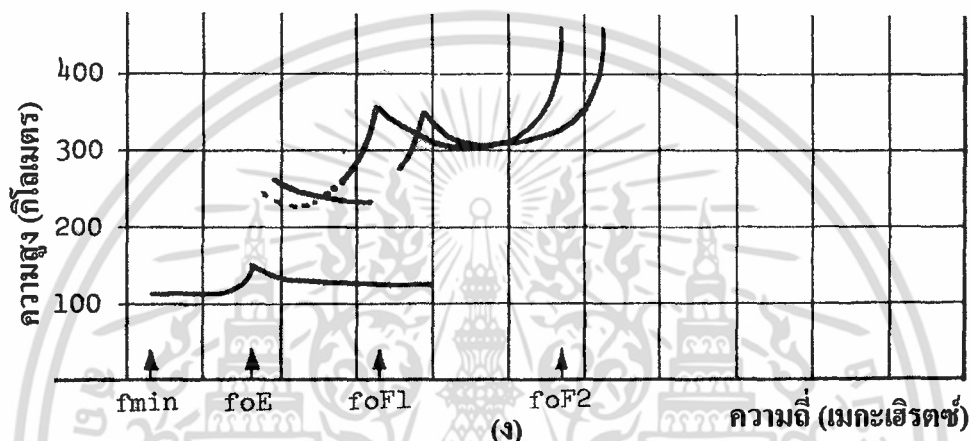
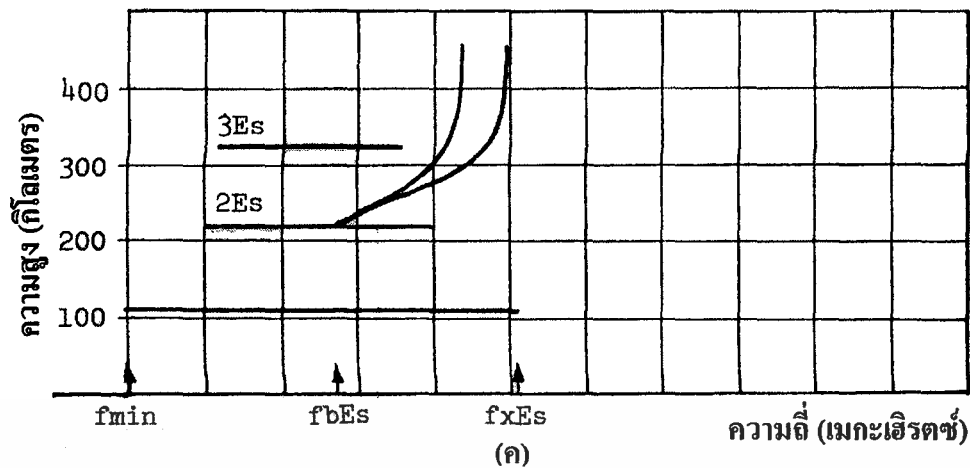
รูปที่ 3.5 ภาพจำลองไอโอโนแกรมในเวลากลางคืน [13]

ในการพิจารณาไอโอโนแกรมในแต่ละเวลา ซึ่งจะมีการพิจารณาในแต่ละรูปแบบไม่เหมือนกันโดยจะใช้ Manual ionogram เป็นเครื่องมือในการอ้างอิง [13] โดยในส่วนต่อไปจะทำการแสดงตัวอย่างการพิจารณาในแต่ละกรณีที่สามารถสังเกตพบได้บ่อย ดังนี้



รูปที่ 3.6 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อมีการไอออไนซ์ของอิเล็กตรอนในชั้น E มากกว่าเอกสารนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าปกติ [13]

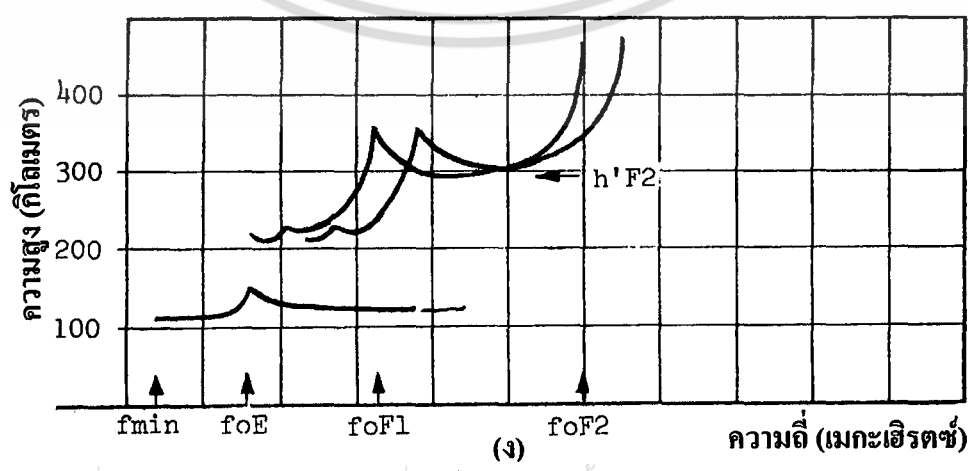
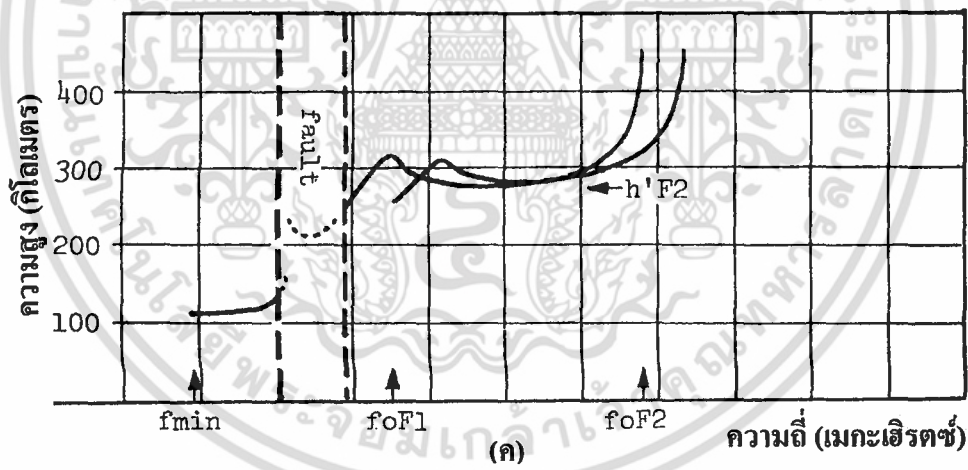
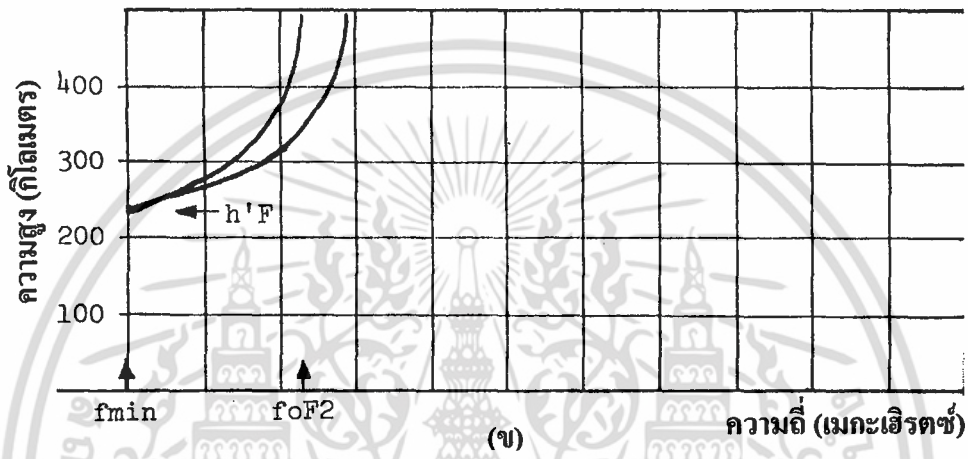
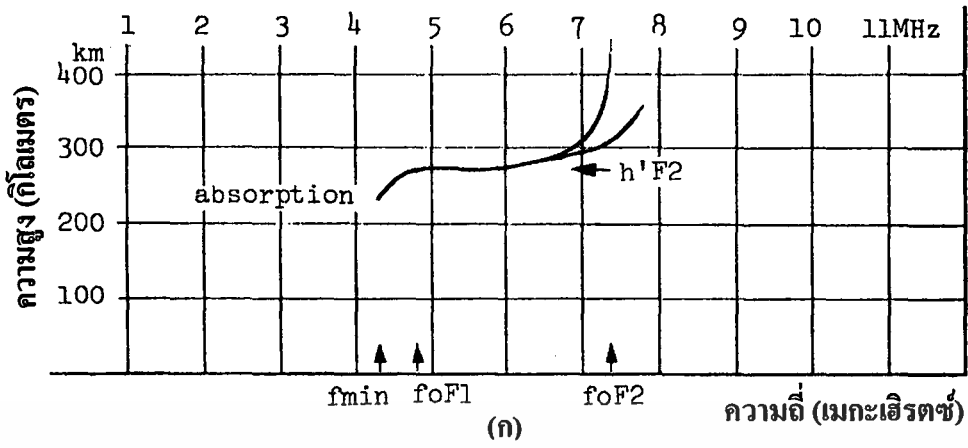
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 (ต่อ)

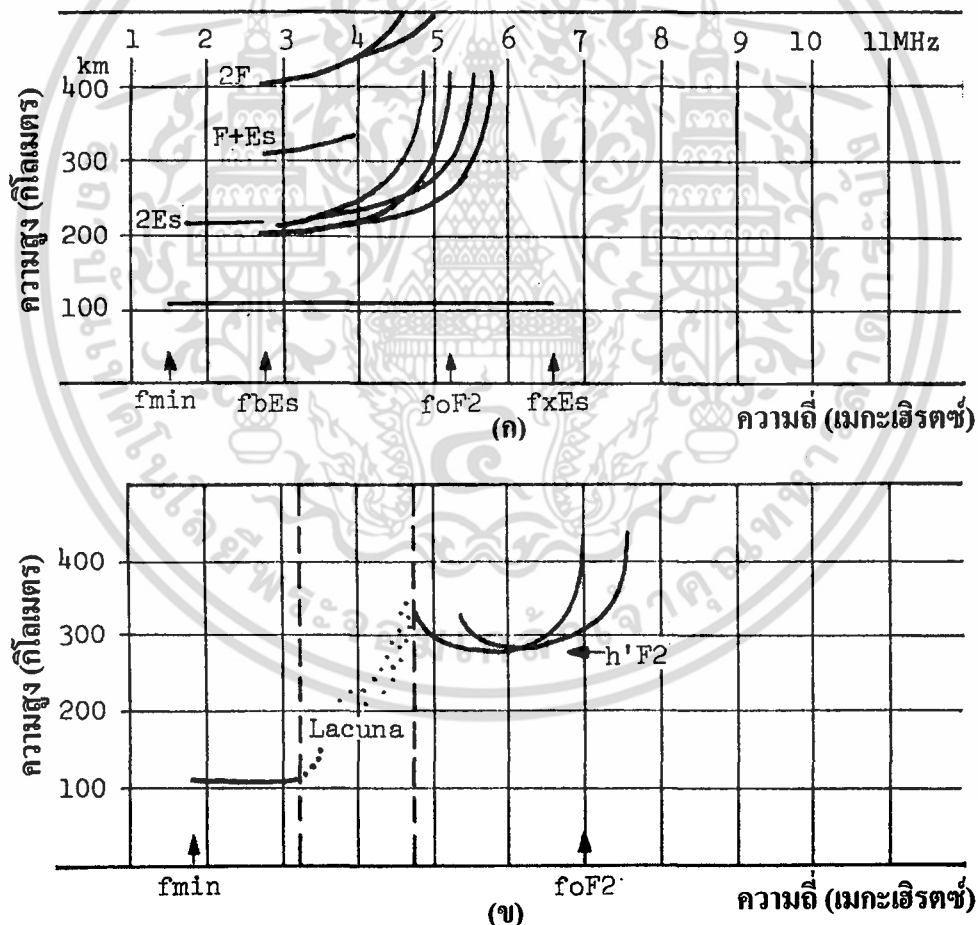
จากรูปที่ 3.6 (ก) แสดงตัวอย่างของภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นบ่อยในฤดูร้อนช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม ซึ่งจะเกิด Sporadic E บ่อยครั้ง โดยที่การเกิด Sporadic E นี้จะทำให้ไม่สามารถเห็นชั้น F ได้จากไอโอโนแกรม เนื่องจากถูกบดบังโดยชั้น E เพราะในเวลานั้นมีการไอออไนซ์ของอิเล็กตรอนในชั้น E มากกว่าปกติ โดยจากรูป 3.6 (ก) จะไม่สามารถวัดค่า $h'F$ ได้ แต่จะใส่สัญลักษณ์ A เพื่อเป็นที่ทราบกันว่าชั้น F ถูกบดบังโดย sporadic E ในรูปที่ 3.6 (ข) แสดงตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่พบได้บ่อยครั้งในช่วงก่อน และหลังพระอาทิตย์ตก การวิเคราะห์ค่าความสูงของชั้น F จะต้องระมัดระวังในการแยกแยะระหว่างความสูงของชั้น F กับชั้น Es ที่มี ความสูงเป็น 2 เท่าของ E จริงๆ โดยที่ค่าความสูงของชั้น F ในรูปนี้คือ 200A ในรูปที่ 3.6 (ค) การอ่านค่าไอโอโนแกรมในกรณีนี้จะคล้ายกับรูปที่ 3.6 (ข) แต่ค่าความสูงจะใส่สัญลักษณ์ E เพิ่มเข้าไปเมื่อไม่สามารถแยกแยะค่า $h'F$ ออกจากการสะท้อนในครั้งที่ 2 ของชั้น Es ได้ ดังนั้นค่า $h'F$ ในรูป 3.6 (ค) จะมีค่า 220 EA ในรูปที่ 3.6 (ง) โดยปกติแล้วความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น E จะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น F แต่ในกรณีนี้ก็จะไม่สามารถทราบค่า $h'F$ ได้เหมือนกันเนื่องจากโดนชั้น E ซึ่งมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่ามาบดบัง ทำให้ไม่สามารถวัดค่า $h'F$ ได้แต่จะใส่สัญลักษณ์ A ไว้แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



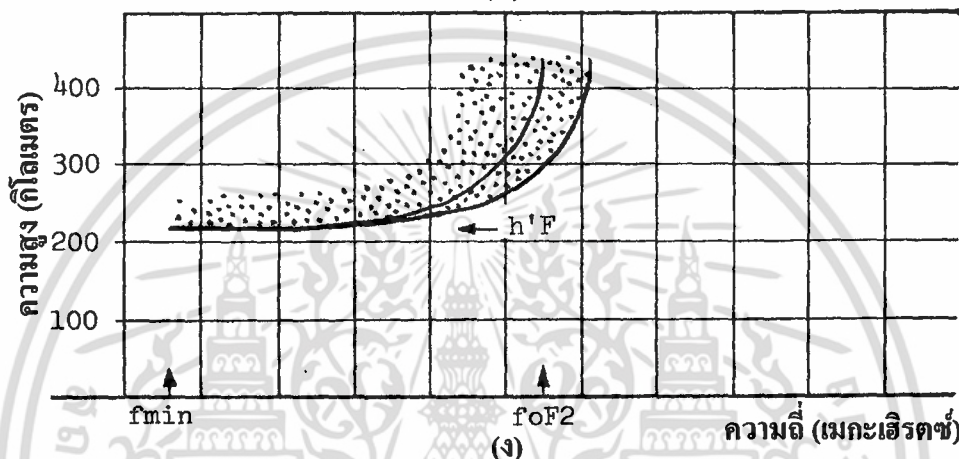
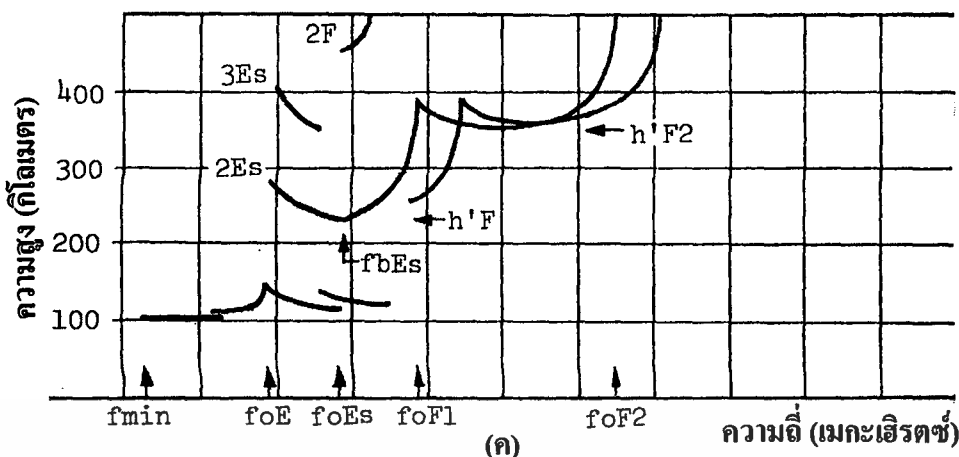
รูปที่ 3.7 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการดูดกลืนคลื่น [13] เอกสารนี้เผยแพร่โดยเอกสารที่ควรไปร้องขอที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารของกรมการสื่อสารทหารอากาศ กองบัญชาการกองทัพอากาศ กองทัพอากาศ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.7 (ก) เป็นตัวอย่างกรณีที่เกิดการดูดกลืนคลื่น (Absorption) ที่รุนแรง ในช่วงความถี่ที่ต่ำกว่า 4.3 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งจะถูกลดทอนโดยชั้นบรรยากาศไปหมดจนไม่สามารถสะท้อนมายังเครื่องรับ จึงไม่สามารถเห็นเส้นโค้งบริเวณ $h'F$ ได้ทั้งหมด สัญลักษณ์ที่ใสเมื่อเกิดการดูดกลืน คือ B ในรูปที่ 3.7 (ข) เป็นตัวอย่างไอโอโนแกรมที่พบได้บ่อยในช่วงเวลากลางคืน โดยที่ชั้น F จะรวมตัวกันเป็นชั้นเดียวเวลาตอนนี้ $h'F$ จะไม่ขนานกับแกนนอนของไอโอโนแกรม โดยจะใช้ $E E$ เป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอก ในรูปที่ 3.7 (ค) จะไม่สามารถทราบค่า $h'F$ ได้เนื่องจากเป็นความผิดพลาดของการวัดแบบไอโอโนซอนเด โดยในกรณีนี้จะใช้สัญลักษณ์ C เมื่อเกิดความผิดพลาดของการวัดแบบไอโอโนซอนเด ดังนั้นในรูป 3.7 (ค) ค่า $h'F$ จะมีค่าเท่ากับ C ในรูปที่ 3.7 (ง) เป็นตัวอย่างไอโอโนแกรมที่พบได้บ่อยในช่วงเวลากลางวัน โดยจะพบว่าชั้น F มีการแตกตัวเป็น 2 ชั้น คือชั้น F1 และ ชั้น F2 ถ้าพบไอโอโนแกรมดังในภาพนี้จะสามารถทราบค่าความสูงของชั้น F1 และชั้น F2 ได้



รูปที่ 3.8 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในเวลากลางคืนและเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



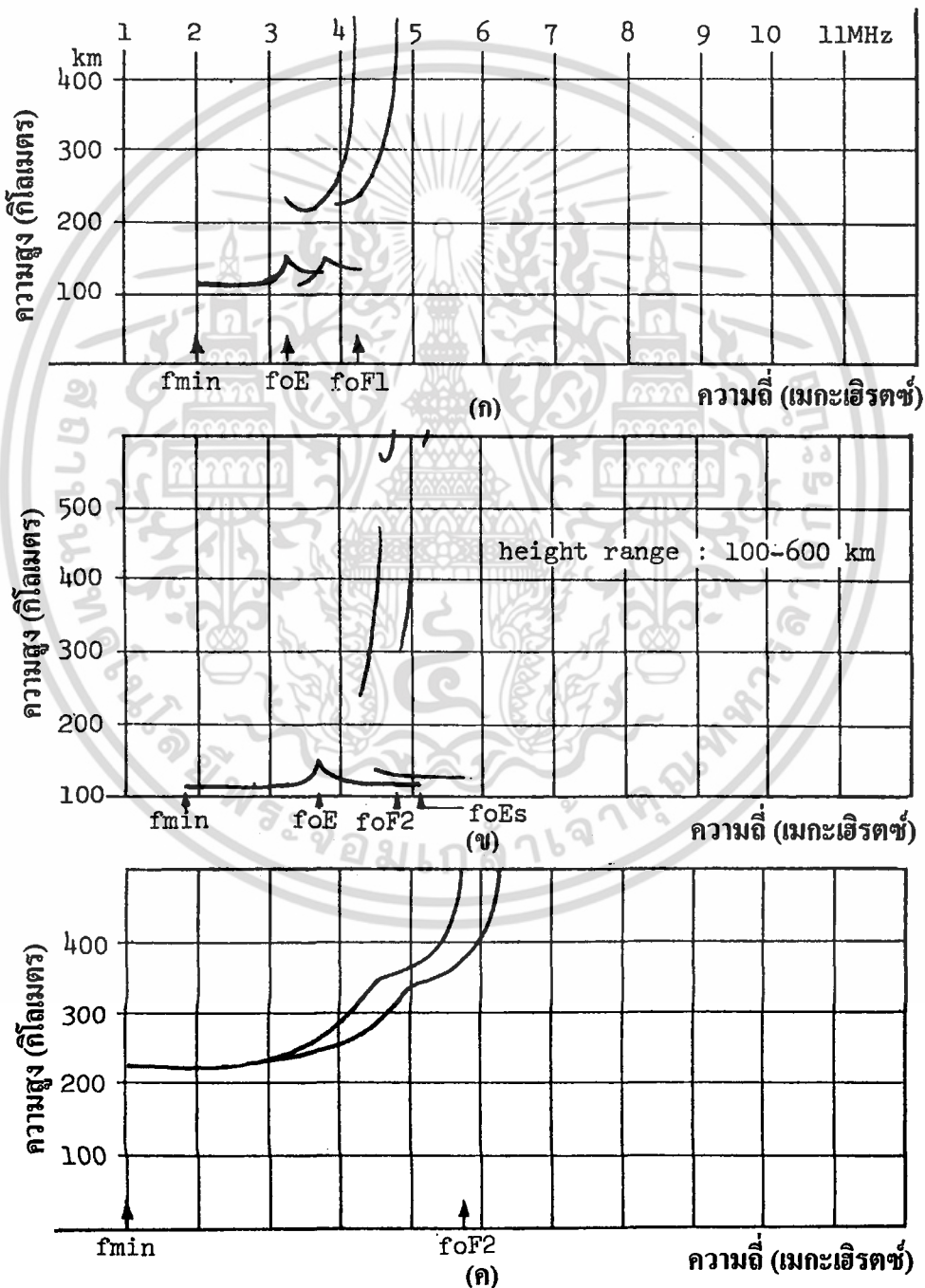
รูปที่ 3.8 (ต่อ)

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.8 (ก) นี้ เป็นตัวอย่างภาพที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืน เส้นโค้งที่เกิดขึ้นมาซ้อนกันเกิดขึ้นมาจากความถี่ Oblique ที่เครื่องสามารถรับเข้ามาได้ด้วย ซึ่งค่าของ $h'F$ ของคลื่นที่ส่งขึ้นไปจริงๆ จากรูปนี้คือ 200 กิโลเมตร ส่วนค่า $h'F$ ที่มาจากความถี่ Oblique คือ 210 กิโลเมตรจะสังเกตได้ว่ามีลักษณะของเส้นโค้งที่พล็อตออกมาจากไอโอโนแกรมคล้ายกัน ส่วนในรูปที่ 3.8 (ข) เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางวัน (ตัวอย่างการเกิดภาพไอโอโนแกรมในช่วงกลางวัน และกลางคืนแสดงดังรูปที่ 3.4 และ 3.5) ในรูปนี้จะมีปรากฏการณ์ การเกิดช่องว่าง (Lacuna) เกิดขึ้นโดยที่เกิดมาจากชั้น E และแพร่กระจายสูงขึ้นมายังชั้น F1 จึงทำให้ไม่สามารถสังเกตชั้น F1 ได้ โดยจะใช้สัญลักษณ์ Y ที่ค่าของ $h'F$ ในรูปที่ 3.8 (ค) เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางวันเช่นกัน โดยในรูปนี้จะสังเกตเห็นชั้น E เป็นหลายชั้น เนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับมีค่าพลังงานที่แรง ทำให้เกิดการสะท้อนกลับมาหลายครั้งทำให้เห็นเป็นชั้น E หลายชั้น ค่า $h'F$ ในรูปนี้คือ 230 กิโลเมตร รูปที่ 3.8 (ง) เป็นภาพไอโอโนแกรมเมื่อมีการเกิดปรากฏการณ์ สเปรคเฮฟ ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดเฉพาะในเวลากลางคืนเท่านั้น โดยจะใช้สัญลักษณ์ Q กำกับไว้ด้วย โดยจากรูปที่ 3.8 (ง) ค่า $h'F$ จะมีค่าเท่ากับ 215 Q กิโลเมตรนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

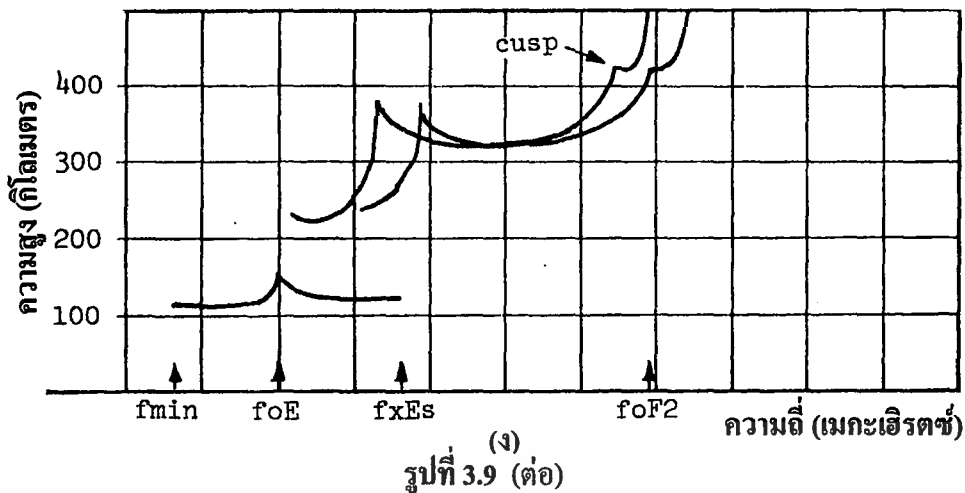
3.2.2 ตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์ foF2 จากไอโอโนแกรม

ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือที่รู้จักกันในสากลจะใช้สัญลักษณ์ foF2 โดยความถี่วิกฤตของชั้น F2 นี้มีประโยชน์กับการนำไปใช้ในการสื่อสารทางวิทยุในระยะไกล นอกจากนั้นแล้วยังมีความเกี่ยวข้องกับค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงสุดของชั้น F ด้วย ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 สามารถวัดได้จากส่วนโค้งแรกที่ตั้งฉากกับแกนนอนของไอโอโนแกรม ตัวอย่างของการพิจารณาค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ จากภาพไอโอโนแกรม ณ เวลาต่างๆที่สามารถพบได้บ่อยมีดังนี้



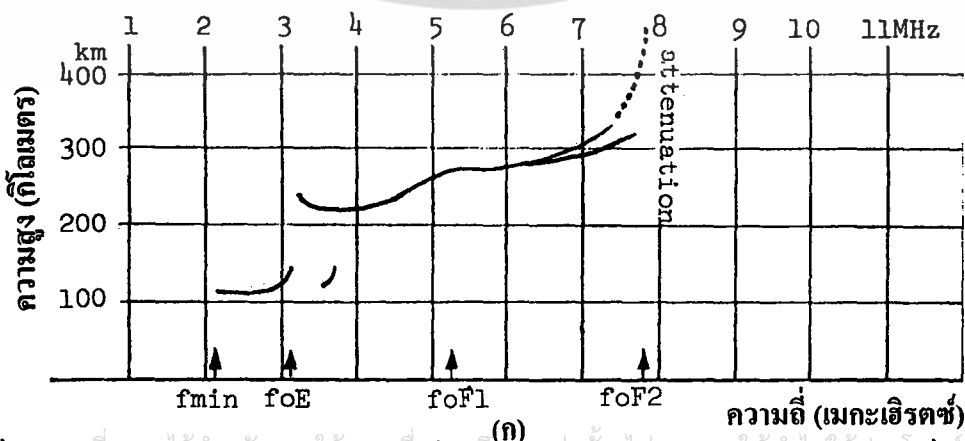
รูปที่ 3.9 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดพายุแม่เหล็ก (Magnetic storm) [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากหน่วยงานต้นทาง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

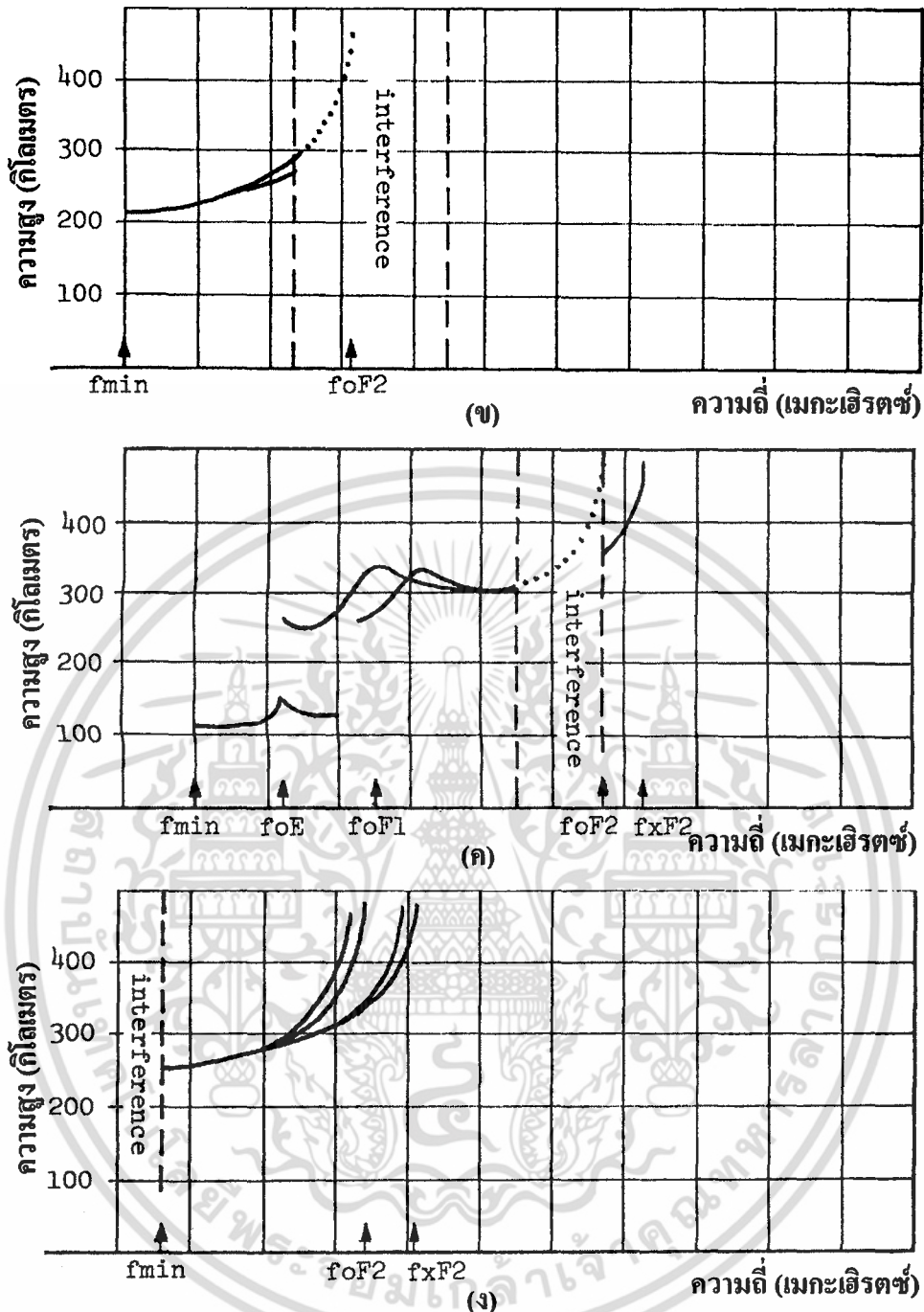


รูปที่ 3.9 (ต่อ)

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.9 (ก) เป็นตัวอย่างรูปที่ไม่ได้พบเห็นได้บ่อยนัก โดยจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อชั้นไอโอโนสเฟียร์เกิดความแปรปรวน (Ionospheric disturbances) เนื่องจากการเกิดพายุแม่เหล็ก (Magnetic storm) ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น F2 มีค่าลดลงจนมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น F1 หรืออาจลดลงจนมีค่าน้อยกว่าในชั้น F1 ค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่สามารถหาได้จากไอโอโนแกรม จะใส่สัญลักษณ์ EG (E คือ มีค่าน้อย) โดยที่ค่า foF2 คือ 4.2 EG เมกะเฮิรตซ์ ข้อควรระวังของการสังเกตในกรณีนี้ก็คือน่าจะคล้ายกับรูปที่ 3.8 ซึ่งจะมีการอธิบายในส่วนถัดไป ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.9 (ข) เป็นตัวอย่างภาพที่เกิดหลังจากรูปที่ 3.9 (ก) ได้เกิดไปแล้ว ความสูงของชั้น F2 จะไม่สามารถหาค่าได้ ค่าความถี่วิกฤตในรูปนี้จะมีค่า 4.7 เมกะเฮิรตซ์ ในรูปที่ 3.9 (ค) เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่เกิดในเวลากลางคืน (ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมในเวลากลางคืนดูได้จากรูปที่ 3.5) ในกรณีนี้จะสังเกตค่าความสูงของชั้น F และค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ได้อย่างชัดเจน โดยที่ค่าความถี่วิกฤตในรูปนี้คือ 5.7 เมกะเฮิรตซ์ ส่วนรูปที่ 3.9 (ง) เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางวัน (ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมในเวลากลางวันดูได้จากรูปที่ 3.4) โดยในรูปนี้จะมีคุณสมบัติ คือ มีรอยหยัก (Cusp) เกิดขึ้นใกล้กับค่าความถี่วิกฤตเล็กน้อยแต่ไม่เป็นผลกระทบอะไร ค่าความถี่วิกฤตในรูปนี้จะมีค่า 7.9 เมกะเฮิรตซ์



รูปที่ 3.10 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อเกิดการลดทอน และการแทรกสอดของคลื่น [13] เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อเผยแพร่ความรู้แก่ประชาชนโดยไม่มุ่งหวังกำไร อย่างไรก็ตามการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 3.10 (ต่อ)

รูปที่ 3.10 (ก) นี้เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่ทำการอ่านค่าความถี่วิกฤตจะเกิดความคลาดเคลื่อนไปบ้าง เนื่องจากเกิดการลดทอนของสัญญาณที่กลับเข้ามาที่เครื่องรับจึงไม่สามารถเห็นได้หมดโดยค่าของความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในรูปแบบนี้คือ 7.8 R เมกะเฮิร์ตซ์ สัญลัษณ์ R แสดงถึงมีการเกิดสัญญาณลดทอน ในรูปที่ 3.10 (ข) ก็เช่นกันจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการในการอ่านค่าความถี่วิกฤต โดยในรูปนี้เกิดจากการแทรกสอดของสัญญาณภายนอกที่เครื่องรับสามารถรับเข้ามาได้ด้วย ซึ่งเหตุการณ์ดังในรูปที่ 3.10 (ข) นี้จะเกิดขึ้นในเวลา กลางคืน การพิจารณาค่าของความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ทำได้โดยดูจากค่าความถี่วิกฤตที่

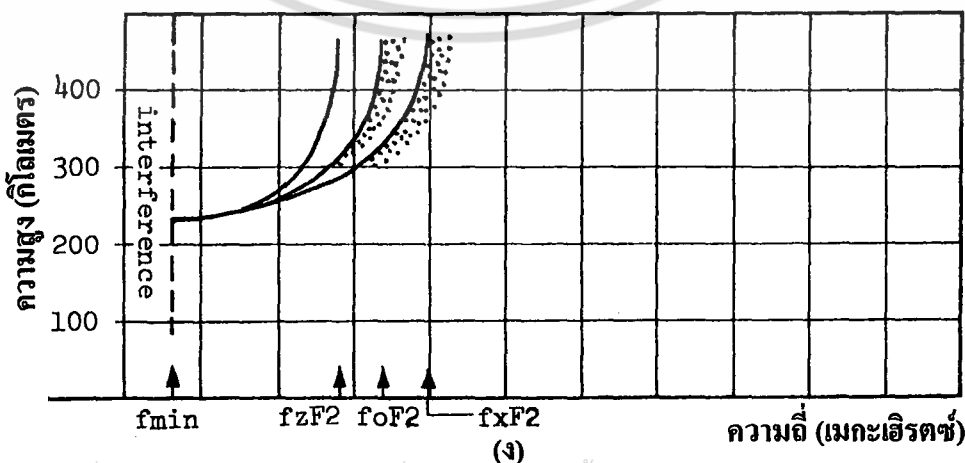
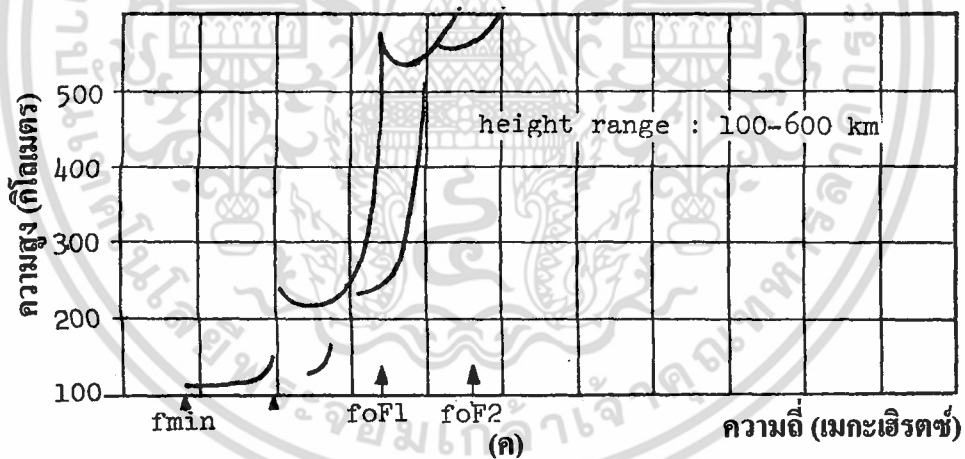
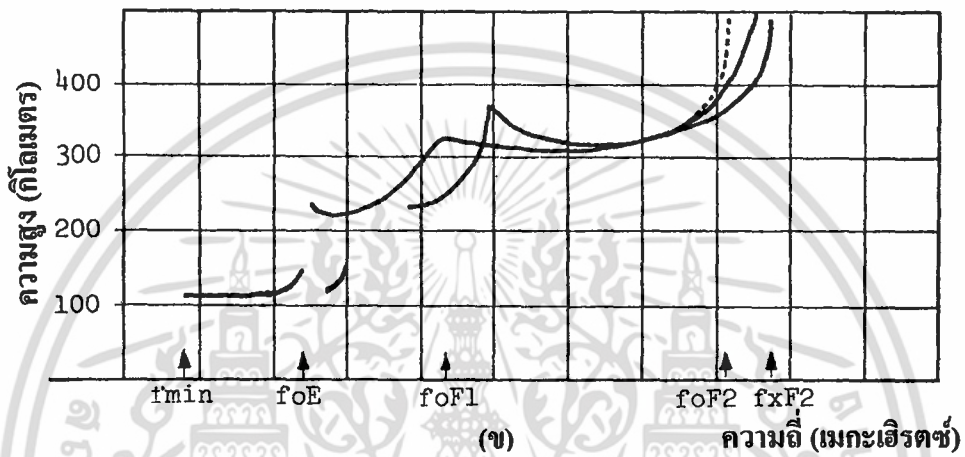
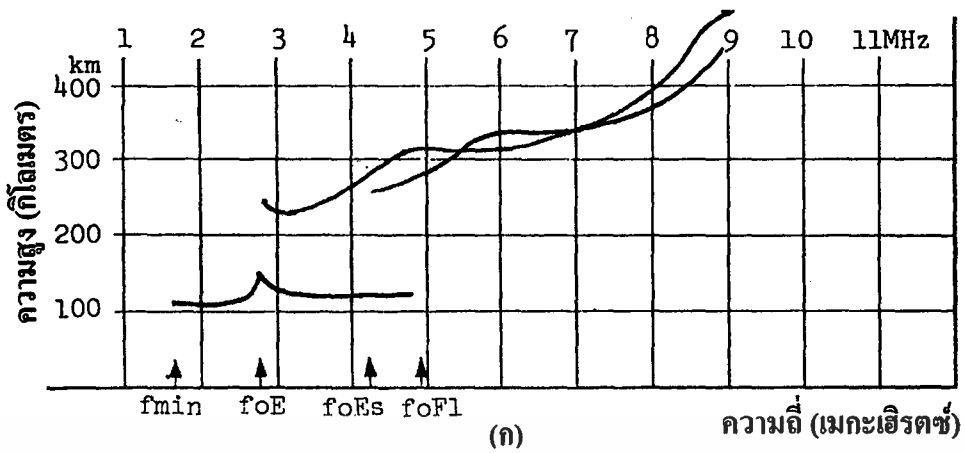
เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้

ต่ำที่สุดก่อนที่จะเกิดการแทรกสอดของสัญญาณ คือ 3.3 เมกะเฮิร์ตซ์ จนถึงรอยที่เส้นโค้งนั้นจะหายไปคือ 4.1 เมกะเฮิร์ตซ์ ถ้าระยะห่างระหว่าง 2 ค่านี้ไม่เกิน 20% ของค่าความถี่ที่สูงที่สุดคือ 4.1 เมกะเฮิร์ตซ์ ค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่อ่านได้คือ 3.3 DS เมกะเฮิร์ตซ์ (สัญลักษณ์ D คือเกิดความคลาดเคลื่อน และ สัญลักษณ์ S คือ เกิดการแทรกสอดของสัญญาณ) ถ้าค่าความต่างของ 2 ค่าความถี่ที่ได้กล่าวมานั้นเกิน 20% ของค่าความถี่ที่สูงที่สุดจะไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้ โดยจะใส่สัญลักษณ์ S ไว้เฉยๆคืออ่านค่าไม่ได้เนื่องจากเกิดการแทรกสอดของสัญญาณ ในรูปที่ 3.10 (ค) ก็เกิดการแทรกสอดของสัญญาณทำให้ค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ไม่ชัดเจน สังเกตได้จากช่วงความถี่ 6.5 – 7.7 เมกะเฮิร์ตซ์ จะเกิดการแทรกสอด ค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ของรูปนี้คือ 7.7 JS เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนในรูปถัดมาคือรูปที่ 3.10 (ง) เป็นภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืน โดยในรูปนี้ชั้น F ที่สังเกตได้จะมีรูปร่างเป็นง่าม (Fork) โดยที่ความถี่จะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นความถี่สามัญ (Ordinary) และ ความถี่สามัญพิเศษ (Extraordinary) ช่วงที่มีความถี่สูงกว่ามีความถี่เป็น 4.4 และ 5.1 เมกะเฮิร์ตซ์ ตามลำดับ และช่วงที่มีความถี่ต่ำกว่ามีค่า 4.2 และ 4.8 เมกะเฮิร์ตซ์ คู่ที่มีความถี่สูงกว่าคือส่วนที่จะทำการอ่านค่าโดยจะใส่สัญลักษณ์ V เป็นตัวบอกว่าชั้นไอโอโนสเฟียร์มีรูปร่างเป็นง่าม และเกิด 2 ช่วงความถี่ในไอโอโนแกรม โดยค่าความถี่วิกฤตในรูปนี้ก็คือ 4.4 V เมกะเฮิร์ตซ์ นั่นเอง

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.11 (ก) ความถี่วิกฤตในรูปนี้จะมีค่าสูงแต่รูปร่างของเส้นโค้งของไอโอโนแกรมจะมีความผิดปกติที่บริเวณความถี่ประมาณ 9 เมกะเฮิร์ตซ์ ถ้าความถี่ที่เกิดขึ้นนั้นมาจากการสะท้อนจากแนวเฉียง ไม่ได้เกิดการสะท้อนในแนวที่ตั้งฉากกับพื้นโลก ในบางเวลาอาจทำให้ค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดแบบไอโอโนซอนเดเทคนิคนั้นหายไปหรืออาจจะพบได้ แต่ค่านั้นจะไม่นำมาอ่านเป็นค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่เวลานั้นเนื่องจากไม่ใช่ค่าที่เกิดจากการสะท้อนในแนวตรง แต่ในภาพไอโอโนแกรมนี้สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตได้คือ 9.0 EY เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนในรูปที่ 3.11 (ข) เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางวันแต่ในรูปนี้จะมีความผิดปกติตรงที่ความถี่สามัญกับความถี่สามัญพิเศษมีค่าใกล้เคียงกัน โดยเมื่อเกิดเหตุการณ์อย่างนี้ขึ้น การอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในรูปนี้ต้องนำค่าความต่างระหว่างความถี่สามัญพิเศษ กับความถี่สามัญแล้วทำการหารด้วย 2 จากนั้นก็นำไปลบออกจากความถี่สามัญ จะได้เป็นค่าความถี่วิกฤตของภาพนี้ ซึ่งแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$foF2 = (f_x F2 - fB / 2) \quad \text{เมกะเฮิร์ตซ์} \quad (3.1)$$

โดยที่ค่า $f_x F2$ คือค่าความถี่สามัญพิเศษ และค่า fB คือค่าของความถี่สามัญ ซึ่งจากตัวอย่างในรูปที่ 3.11 (ข) ค่าความถี่วิกฤตที่ได้จะมีค่า 9.1 เมกะเฮิร์ตซ์



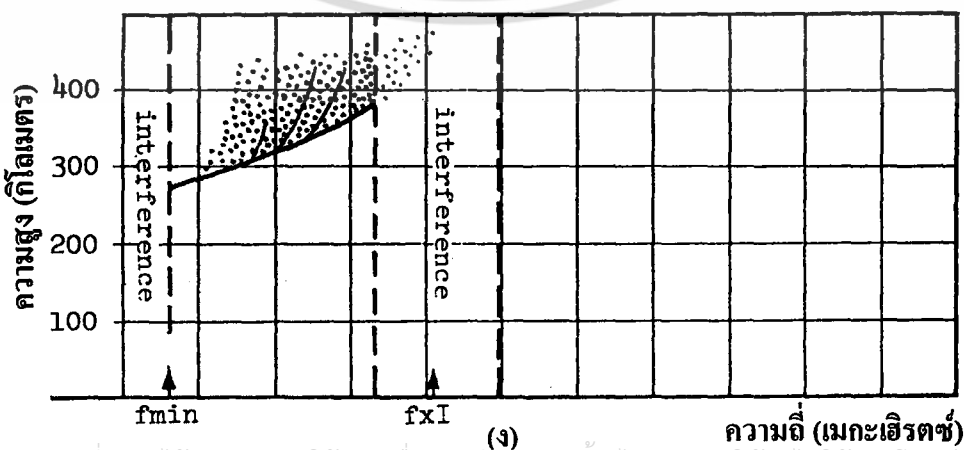
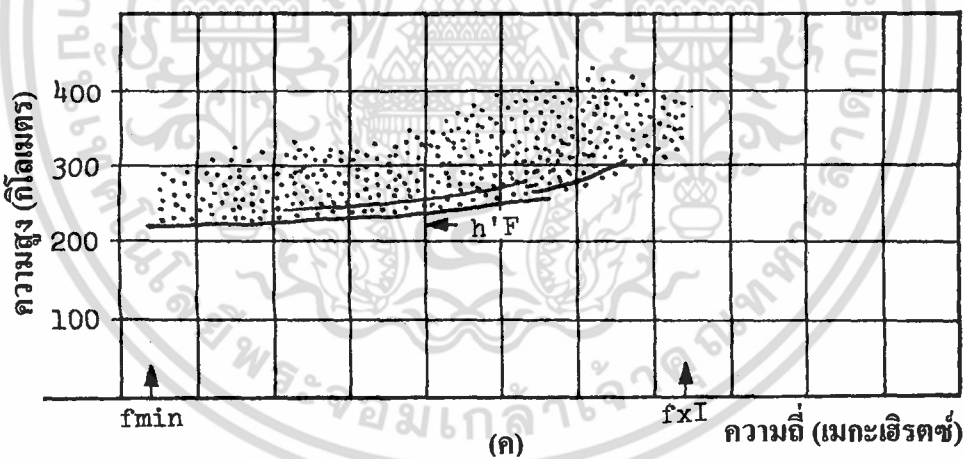
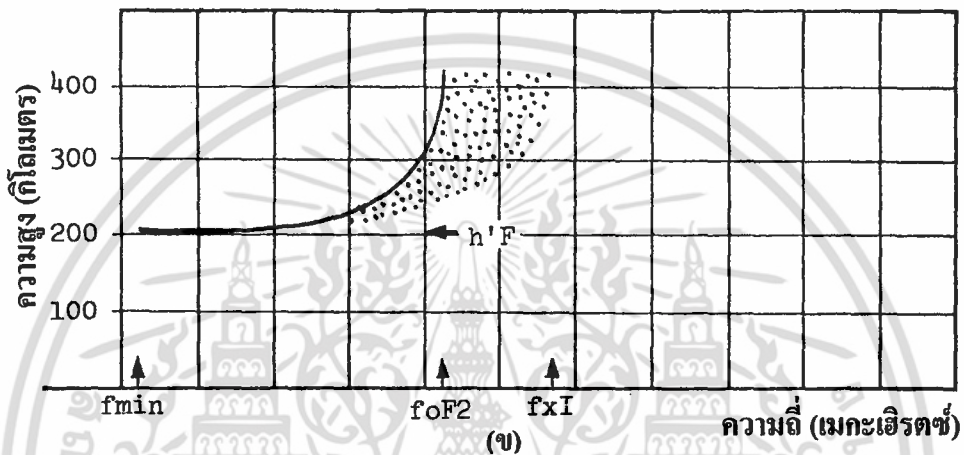
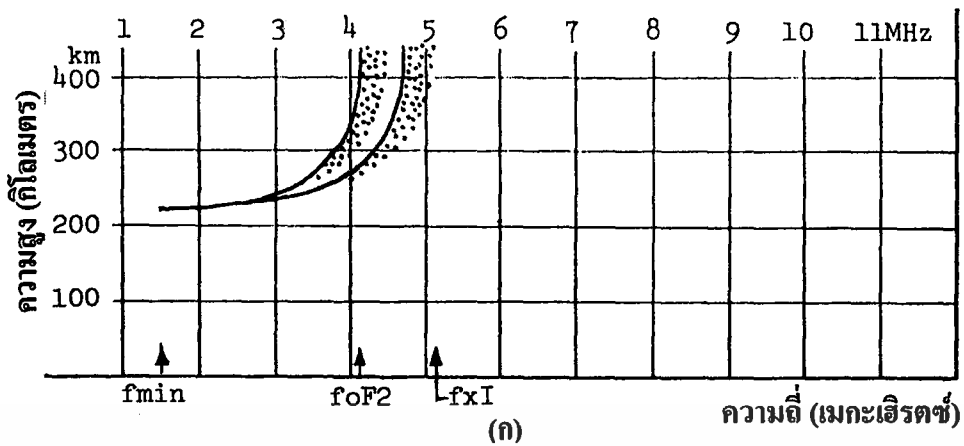
รูปที่ 3.11 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อคลื่นมีการสะท้อนที่ผิดไปจากปกติ [13]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.11 (ค) ก็เกิดเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นอีกเมื่อความสูงของชั้น F2 มีค่าความสูงจากพื้นดินถึง 540 กิโลเมตร แต่การอ่านค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้ไม่มีผลกระทบอะไรมากนักกับเหตุการณ์นี้โดยค่าความถี่วิกฤตในรูปนี้จะมีค่า 5.6 U เมกะเฮิร์ตซ์ โดยที่สัญลักษณ์ U คือเครื่องหมายที่บอกว่าขอบเขตความสูงของชั้น F2 นั้นมีค่ามากกว่าปกติ ในภาพ 3.11 (ก), (ข), (ค) ล้วนแต่เป็นภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางวันทั้งสิ้น ส่วนในรูปที่ 3.11 (ง) ภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืน ซึ่งในภาพนี้จะมีการเกิด สเปรคเฮฟ เกิดขึ้น โดยในภาพนี้จะมีค่าความถี่เกิดขึ้นพร้อมกัน 3 ความถี่ ก็จะมีค่าความถี่แมกนีโตอิเล็กทรอนิกส์ (Magneto-electronic) (z mode) เพิ่มเข้ามาซึ่งโดยปกติแล้วจะพบแค่ 2 ความถี่คือ ความถี่สามัญ และ ความถี่วิสามัญ โดยที่ความถี่แมกนีโตอิเล็กทรอนิกส์ จากภาพไอโอโนแกรมนี้มีค่าความถี่ 3.8 เมกะเฮิร์ตซ์ และจะเกิด สเปรคเฮฟ ในความถี่สามัญ และ ความถี่วิสามัญ ค่าความถี่วิกฤตของชั้นไอโอโนสเฟียร์ในรูปนี้คือ 4.4 ZF เมกะเฮิร์ตซ์ โดยจะสังเกตได้ว่าจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าความถี่วิสามัญ กับ ความถี่แมกนีโตอิเล็กทรอนิกส์

ไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.12 (ก), (ข), (ค), (ง) ทั้งหมดนี้เป็นตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่มีการเกิด สเปรคเฮฟ ทั้งหมดซึ่งเวลาในการเกิดนี้ก็เกิดขึ้นในเวลากลางคืนทั้งสิ้น ในรูปที่ 3.12 (ก) เป็นการเกิด สเปรคเฮฟ ชนิดที่เรียกว่า F-type (โดยที่การเกิด สเปรคเฮฟ มีการจำแนกการเกิดเป็น 2 ชนิด) ปรากฏการณ์นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อส่งคลื่นขึ้นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลาที่เกิดความแปรปรวนของอิเล็กตรอนภายในชั้น โดยที่คลื่นความถี่เดียวกันที่สะท้อนกลับมายังเครื่องรับจะมีเวลาหน่วงที่แตกต่างกัน ซึ่งมีการสะท้อนกลับมาในหลายทิศทางและเกิดการซ้อนทับที่ความถี่เดียวกันทำให้เกิดเป็นชั้นความสูงที่แตกต่างกันซ้อนทับกันในภาพไอโอโนแกรม ในการพิจารณาค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้จะอ้างอิงตรงเส้นโค้งหลักภายใน ที่มีเส้นที่ปรากฏอย่างชัดเจนและอ่านค่านั้นเช่น ในรูปนี้ค่าความถี่วิกฤตคือ 4.1 F เมกะเฮิร์ตซ์ สัญลักษณ์ F คือการบอกว่าเกิด สเปรคเฮฟ ชนิด F-type ส่วนในรูปถัดมาคือ รูปที่ 3.12 (ข) ในรูปนี้มีการเกิดปรากฏการณ์ สเปรค-เฮฟ ชนิด F-type เช่นกันแต่ช่วงที่เกิด สเปรคเฮฟ ในแนวตั้งจะกว้างกว่ารูปแรก คือมีช่วงที่เกิดตั้งแต่ความถี่ประมาณ 5.2 ถึง 6.7 เมกะเฮิร์ตซ์ การอ่านค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้อ่านได้จากเส้นโค้งหลักภายในที่มีความชัดเจน ค่าที่ได้ อ่านได้คือ 5.2 F เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนรูปที่ 3.12 (ค) นั้นเป็นการเกิด สเปรคเฮฟ ชนิด Q-type คือช่วงในการเกิด สเปรคเฮฟ ในแนวนอนจะมีช่วงกว้างมากกว่า 30 กิโลเมตร และจะค่อยๆเพิ่มขึ้นไปในแนวแกนความถี่อย่างช้าๆ โดยมีช่วงความถี่ที่เกิดตั้งแต่ความถี่ 1.4 ถึง 8.4 เมกะเฮิร์ตซ์ ในกรณีนี้จะไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตได้ โดยจะใช้สัญลักษณ์ Q ในรูปที่ 3.12 (ง) จะมีการเกิดการแทรกสอดของสัญญาณเข้ามาด้วยในช่วงความถี่ ต่ำกว่า 1.7 เมกะเฮิร์ตซ์และในช่วงความถี่ 4.3 เมกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป แต่ในกรณีนี้การเกิด สเปรคเฮฟ จะเป็นชนิด F-type แต่ก็ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตจากรูปนี้ได้เช่นกัน โดยจะใช้สัญลักษณ์ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

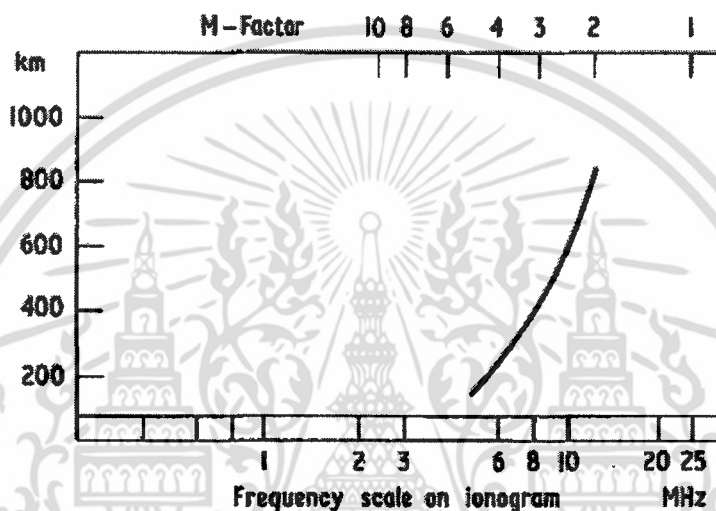


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.12 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมเมื่อมีการเกิดปรากฏการณ์สเปรดเอฟ [13]
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

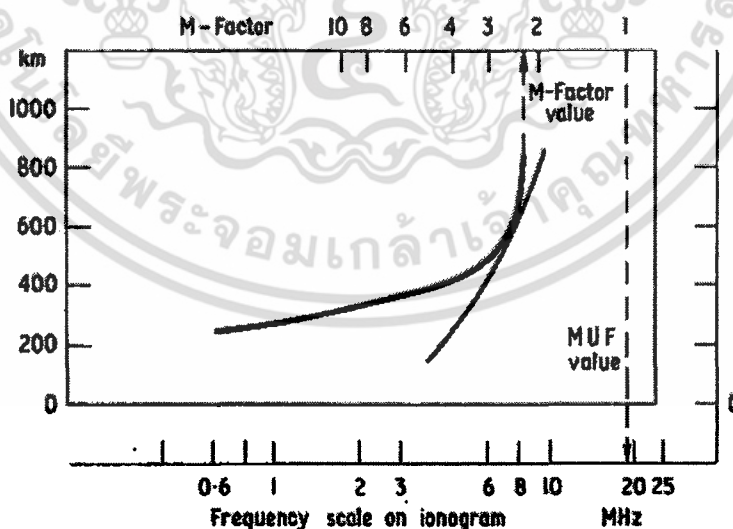
3.2.3 ตัวอย่างการเก็บค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 จากไอโอโนแกรม

ความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือที่รู้จักกันในสากลจะใช้สัญลักษณ์ MUF(3000)F2 โดยที่ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 นี้มีความเกี่ยวข้องกับค่าพารามิเตอร์ foF2 ซึ่งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ถูกนำไปใช้ในการหาค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ดังแสดงในสมการที่ (1.1)

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 สามารถวัดได้จากเส้นสัมผัสที่ทาบบกับส่วนโค้งของค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 จากภาพไอโอโนแกรมได้พอดี ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และ 3.14 ตามลำดับ



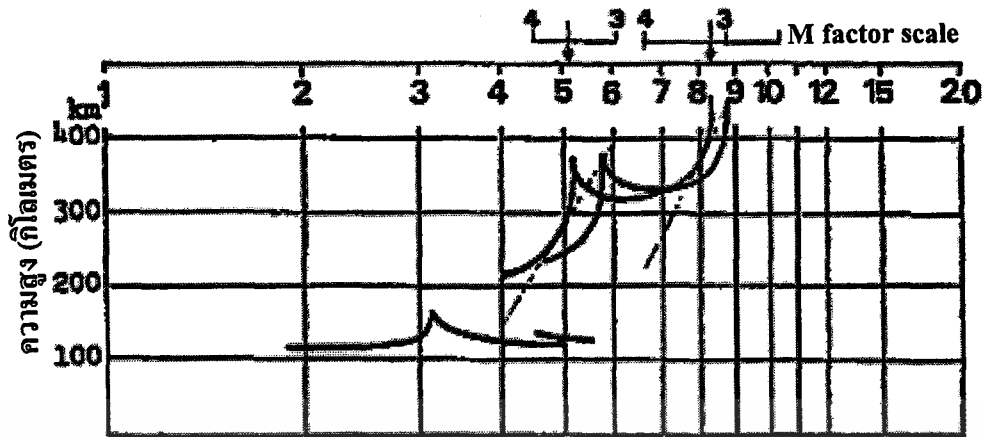
รูปที่ 3.13 ภาพจำลองของ MUF แฟคเตอร์สไลเดอร์ [13]



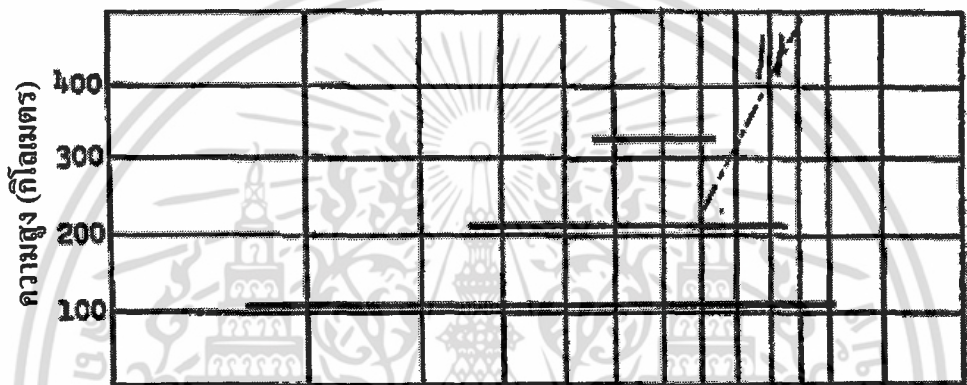
รูปที่ 3.14 ภาพจำลองการใช้งานของ MUF แฟคเตอร์สไลเดอร์ [13]

ตัวอย่างของการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ของชั้นไอโอโนสเฟียร์ จากภาพ

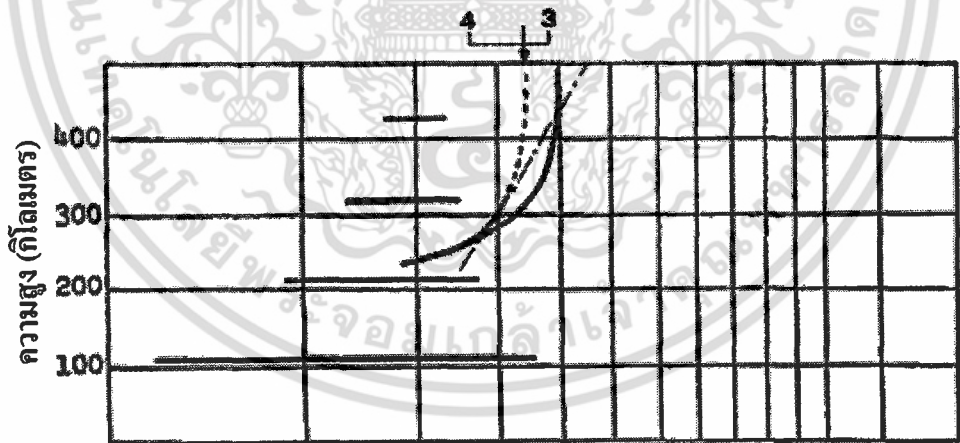
ไอโอโนแกรม ณ เวลาต่างๆ ที่สามารถพบได้บ่อยมีดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)



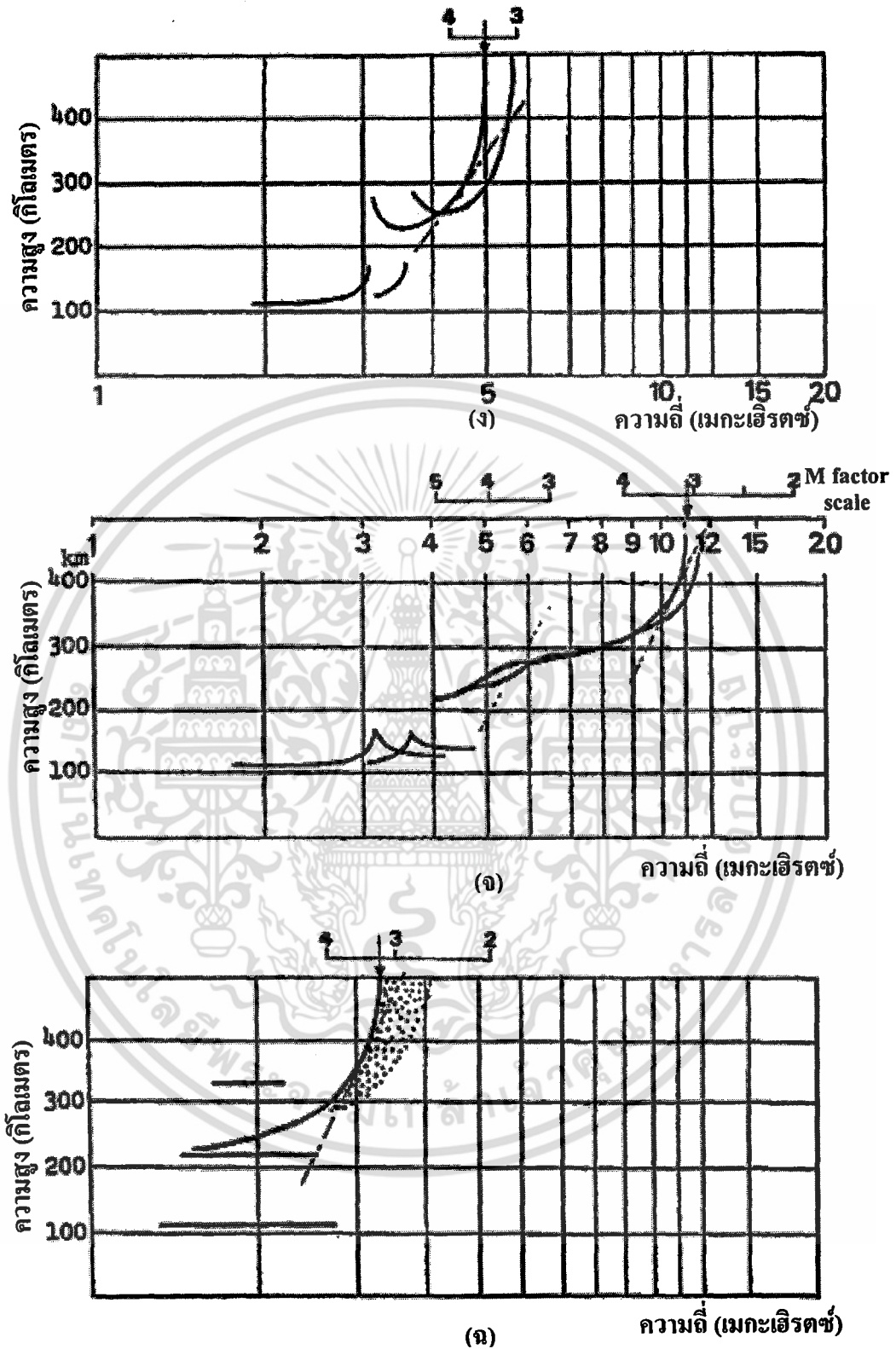
(ข) ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)



(ค) ความถี่ (เมกะเฮิรตซ์)

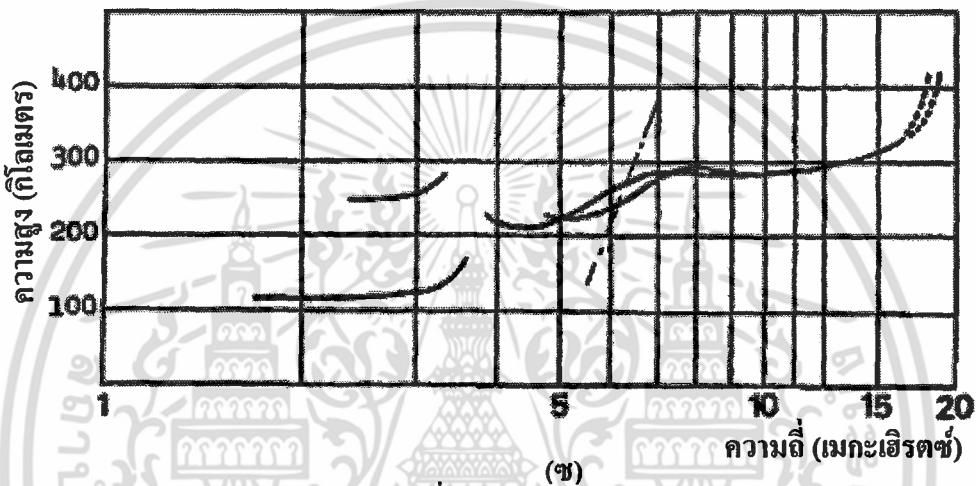
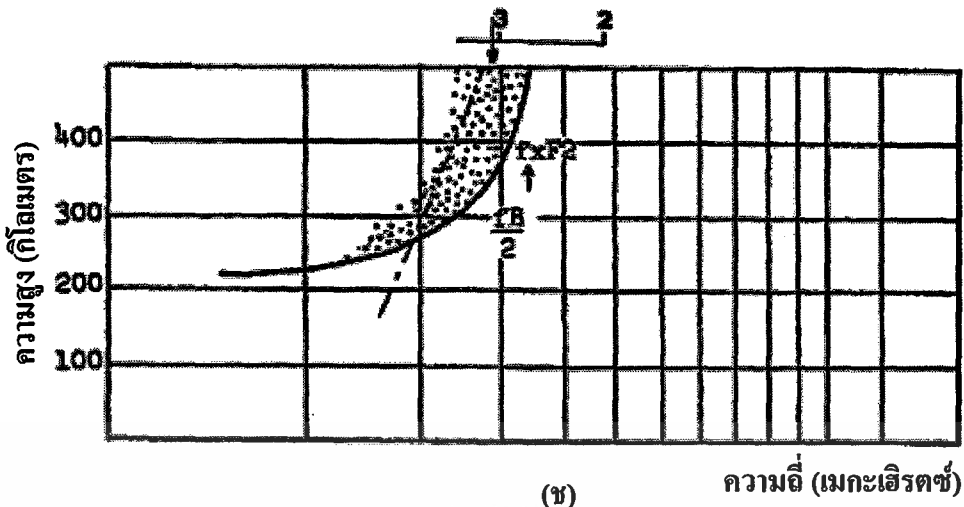
รูปที่ 3.15 ภาพจำลองของไอโอโนแกรมในการวัดค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบต่างๆ [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 (ต่อ)

ภาพไอโอโนแกรมในรูปที่ 3.15 (ก) เป็นภาพไอโอโนแกรมที่เกิดขึ้นในเวลากลางวันของช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนกรกฎาคม ทำให้เราสามารถทำการบันทึกข้อมูลของชั้น F1 และ F2 ได้อย่างชัดเจน โดยนำเส้นสเกลไปทับกับส่วนโค้งของชั้น F1 และ F2 นั้นเอง รูปที่ 3.15 (ข) แสดงภาพไอโอโนแกรมที่ถูกบดบังด้วยชั้น Es ทำให้ไม่สามารถทำการเก็บวัดค่าข้อมูลได้ โดยจะใส่สัญลักษณ์ A เพื่อเป็นที่ทราบกันว่าชั้น F1 ถูกบดบังด้วยชั้น Es นั้นเอง ในรูปที่ 3.15 (ค) แสดงภาพไอโอโนแกรมที่เกิดในช่วงเวลากลางคืน โดยในชั้น F จะพบเพียงช่วงที่เป็นความถี่สามัญพิเศษ (Extraordinary) อย่างชัดเจน ส่วนความถี่สามัญ (Ordinary) จะสูญหายไป โดยค่า $foF2$ จะถูกคาดการณ์จาก f_xF2 ดังสมการที่ 3.1 โดยค่า $M(3000)F2$ ที่ได้จะเหมือนกับกรณีการเกิดของ $foF2$ ดังรูปที่ 3.11 (ข) นั้นเอง ในรูปที่ 3.15 (ง) แสดงภาพไอโอโนแกรมที่ไม่สามารถบันทึกค่าจากชั้น F2 ได้ โดยจากรูปเป็นร่องรอยของชั้น F1 ส่วนชั้น F2 ในที่นี้รู้จักกันในชื่อของเงื่อนไข G (G condition) โดยที่ $foF2$ มีค่าต่ำลงไปจนถึงค่า $foF1$ หรืออาจจะต่ำกว่า โดยในที่นี้จะใส่สัญลักษณ์ G เพื่อเป็นที่ทราบกัน รูปที่ 3.15 (จ) แสดงภาพไอโอโนแกรมที่สามารถทำการวัดค่าในชั้น F2 ได้ตามปกติ แต่ส่วนโค้งในชั้น F1 ไม่ค่อยชัดเจน โดยจะใส่สัญลักษณ์ L เพื่อเป็นที่ทราบกัน ในรูปที่ 3.15 (ฉ) เป็นภาพไอโอโนแกรมในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเกิดปรากฏการณ์สเปิร์ดเอฟ

เอกสารนี้... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้น โดยจะทำการวัดจากขอบด้านในของค่าความถี่ซึ่งพอมองเห็นได้ชัดเจน โดยจะใส่สัญลักษณ์ F ไว้ด้วย รูปที่ 3.15 (ข) คล้ายกับรูปที่ 3.15 (ค) แต่เปลี่ยนเป็นการวัดจากขอบที่อยู่รอบนอกแทน โดยค่า foF2 อนุมานได้จาก $fxF2$ และจะมีการใส่สัญลักษณ์ J และ F ไว้ด้วย และในรูปที่ 3.15 (ข) แสดงภาพไอโอโนแกรมที่ไม่สามารถทำการบันทึกค่าได้ที่ความถี่สูงกว่า 16.7 เมกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากความกว้างความถี่ไม่ควรสูงเกินกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ของค่า foF2

3.3 วิธีการใช้โปรแกรม Special Scaling

หลังจากที่เราได้ทราบรูปแบบพื้นฐานการอ่านค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว ได้แก่ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 จากไอโอโนแกรมที่พบได้บ่อยในช่วงเวลาต่างๆ โดยการใช้คู่มือการอ่านค่าจากภาพไอโอโนแกรมในหัวข้อที่ 3.2 แล้ว ในหัวข้อนี้ทำการนำเสนอการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว โดยใช้โปรแกรม Special scaling ซึ่งวิธีการใช้งานโปรแกรม Special scaling ในการเก็บค่าพารามิเตอร์ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 มีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

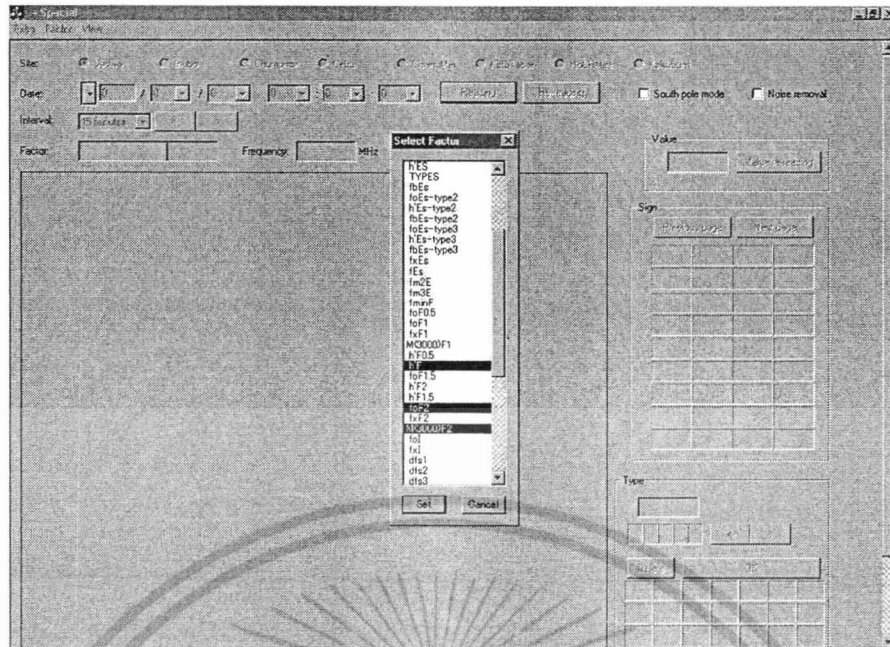
1. ทำการเปิดโปรแกรม Special-10C -2000-eng.exe ซึ่งติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.16 ลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม Special scaling

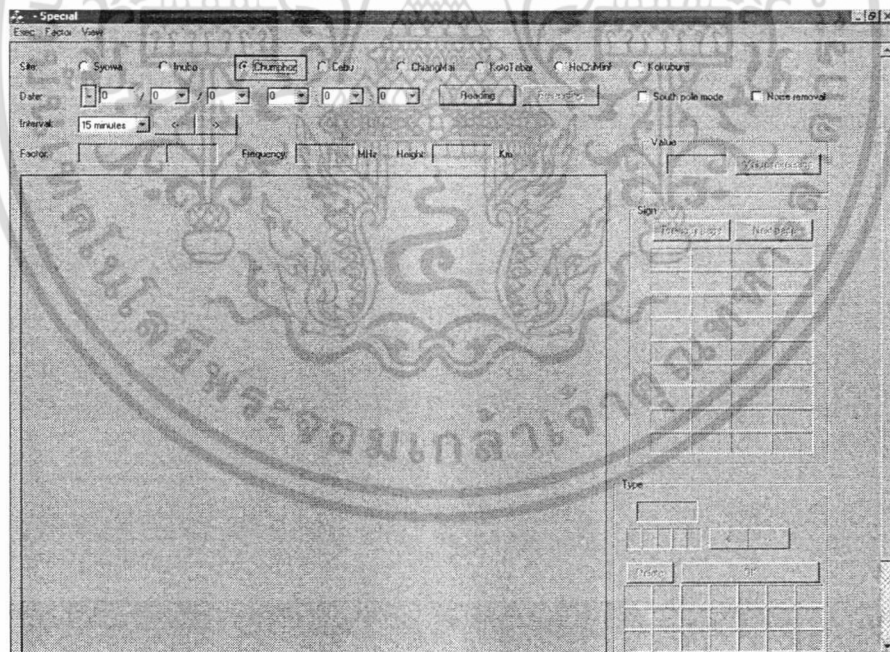
2. ทำการเลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการเก็บ โดยในวิทยานิพนธ์นี้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์จากไอโอโนแกรมจำนวน 3 ตัวคือ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 สามารถแสดงดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การเลือกค่าพารามิเตอร์ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 จากโปรแกรม Special scaling

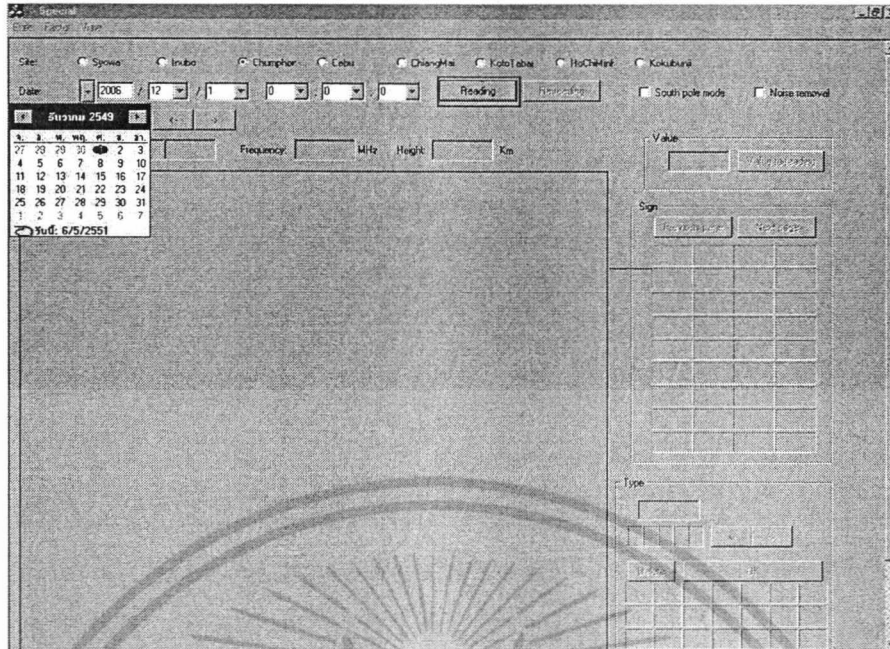
3. ต่อจากนั้นทำการเลือกสถานี โดยในวิทยานิพนธ์นี้เครื่องวัดตั้งอยู่ที่ จังหวัดชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ



รูปที่ 3.18 การเลือกสถานีที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากโปรแกรม Special scaling

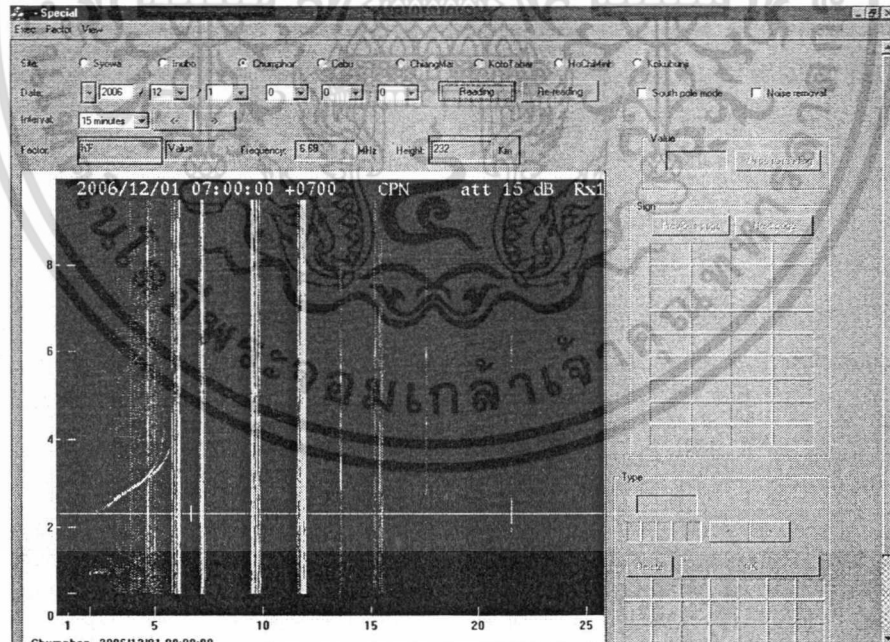
4. จากนั้น ทำการเลือกวัน เวลา และปีที่ต้องการเก็บ โดยจากรูปเป็นตัวอย่างการเก็บ ข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวภายในวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 จากนั้นกด Reading

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อเริ่มอ่านค่า ซึ่งสามารถแสดงดังรูปต่อไปนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การเลือกวัน เดือน และปี ที่จะทำการเก็บค่าพารามิเตอร์จาก โปรแกรม Special scaling

5. เริ่มทำการเก็บวัดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว โดยโปรแกรมจะเริ่มเก็บจากค่าพารามิเตอร์ h'F ต่อด้วย foF2 และ MUF(3000)F2 ตามลำดับ แสดงดังรูปต่อไปนี้

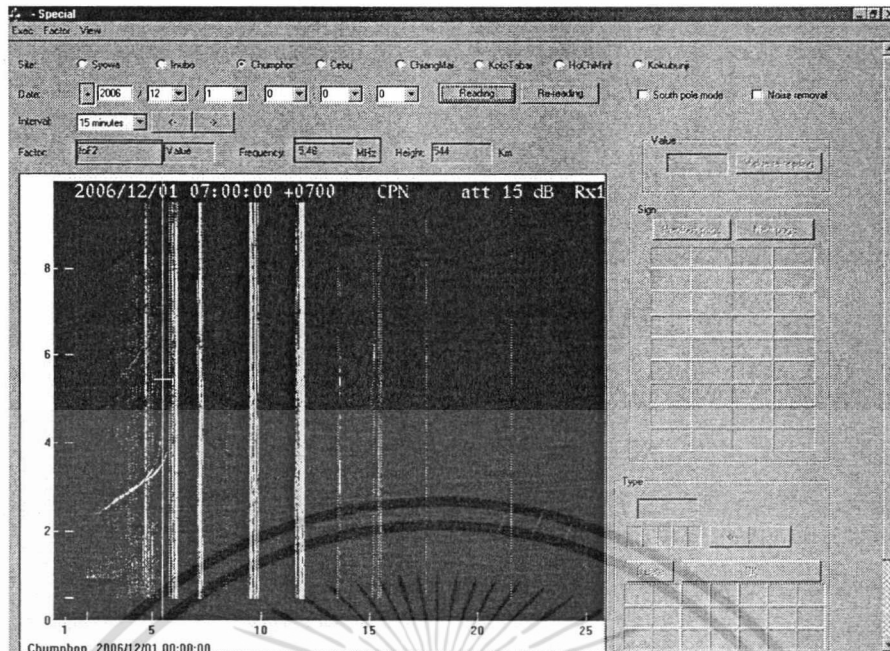


(ก)

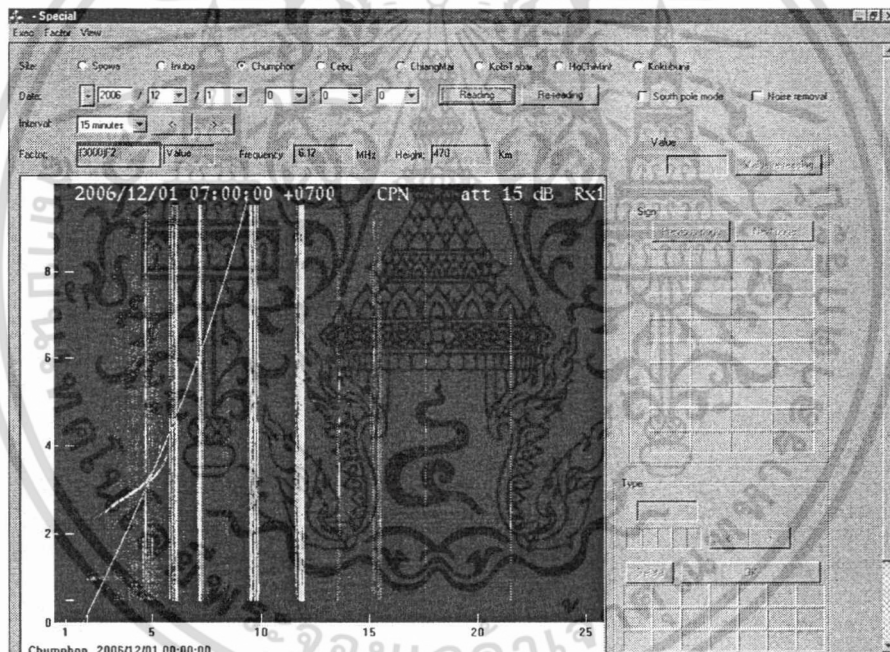
รูปที่ 3.20 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Special scaling

(ก) ค่า h'F, (ข) ค่า foF2 และ (ค) ค่า MUF(3000)F2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.20 (ต่อ)

จากรูปที่ 3.20 (ก) แสดงตัวอย่างการเก็บผลค่า $h'F$ ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ในเวลา 07.00 น. จากสถานีชุมพร ซึ่งการวัดค่า $h'F$ จากโปรแกรมสามารถทำได้โดยการนำเส้นไปสัมผัสจุดที่ต่ำที่สุดที่ขนานกับแนวนอน (อธิบายในหัวข้อ 3.2.1) ดังแสดงในรูปที่ 3.20 (ก) ซึ่งจากรูปค่า $h'F$ ที่วัดได้มีค่า 232 กิโลเมตร ในรูปที่ 3.20 (ข) เป็นตัวอย่างการวัดค่า $foF2$ ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ในเวลา 07.00 น. จากสถานีชุมพร โดยการวัดค่า $foF2$ จากโปรแกรม Special สามารถทำได้โดยนำเส้นแกนตั้งไปสัมผัสกับเส้นของความถี่สามัญ (อธิบายในหัวข้อ 3.2.2) ดังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงในรูปที่ 3.20 (ข) ซึ่งจากรูป ค่า $foF2$ ที่ทำการวัดได้มีค่า 5.48 เมกะเฮิร์ตซ์ นนเอง ส่วนในรูปไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ 3.20 (ก) เป็นตัวอย่างการวัดค่า MUF(3000)F2 ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ในเวลา 07.00 น. จากสถานีชุมพร โดยการวัดค่า MUF(3000)F2 จากโปรแกรม Special สามารถทำได้โดยการนำเส้นส่วนโค้งของโปรแกรมไปสัมผัสกับเส้นส่วนโค้งของความถี่สามัญ (อธิบายในหัวข้อ 3.2.3) ดังแสดงในรูปที่ 3.20 (ก) นั่นเอง ส่วนค่า MUF(3000)F2 ที่วัดได้สามารถดูได้จากการทำการบันทึกแล้วเปิดดูจาก wordpad โดยจากรูป (ก) ค่า MUF(3000)F2 มีค่า 17.2 เมกะเฮิรตซ์

การเปลี่ยนแปลงของภาพไอโอโนแกรมในแต่ละช่วงเวลา ในแต่ละวัน หรือแต่ละเดือน จะแตกต่างกันออกไป ซึ่งได้ทำการยกตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่พบเห็นได้บ่อยในช่วงเวลาต่างๆ ของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 แล้วในหัวข้อที่ 3.2.1 ถึง 3.2.3 ตามลำดับ

ในวิทยานิพนธ์ทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวจากไอโอโนแกรมในช่วงทุกๆ 15 นาที โดยใช้โปรแกรม Special scaling ในการเก็บข้อมูล ดังนั้นภายใน 1 วันจะประกอบด้วยภาพไอโอโนแกรมจำนวน 96 รูป ที่ต้องทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลภายในระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ต่อจากนั้น นำค่าที่ทำการเก็บได้ซึ่งเป็นไฟล์ .awk มาทำการเขียน Macro ใน Microsoft Excel เพื่อดึงค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวออกมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน รายเดือน ฤดูกาล และรายปีต่อไป ซึ่งผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว แสดงไว้ในบทที่ 4 นั่นเอง

บทที่ 4

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ความถี่วิกฤตของชั้น F2 และความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

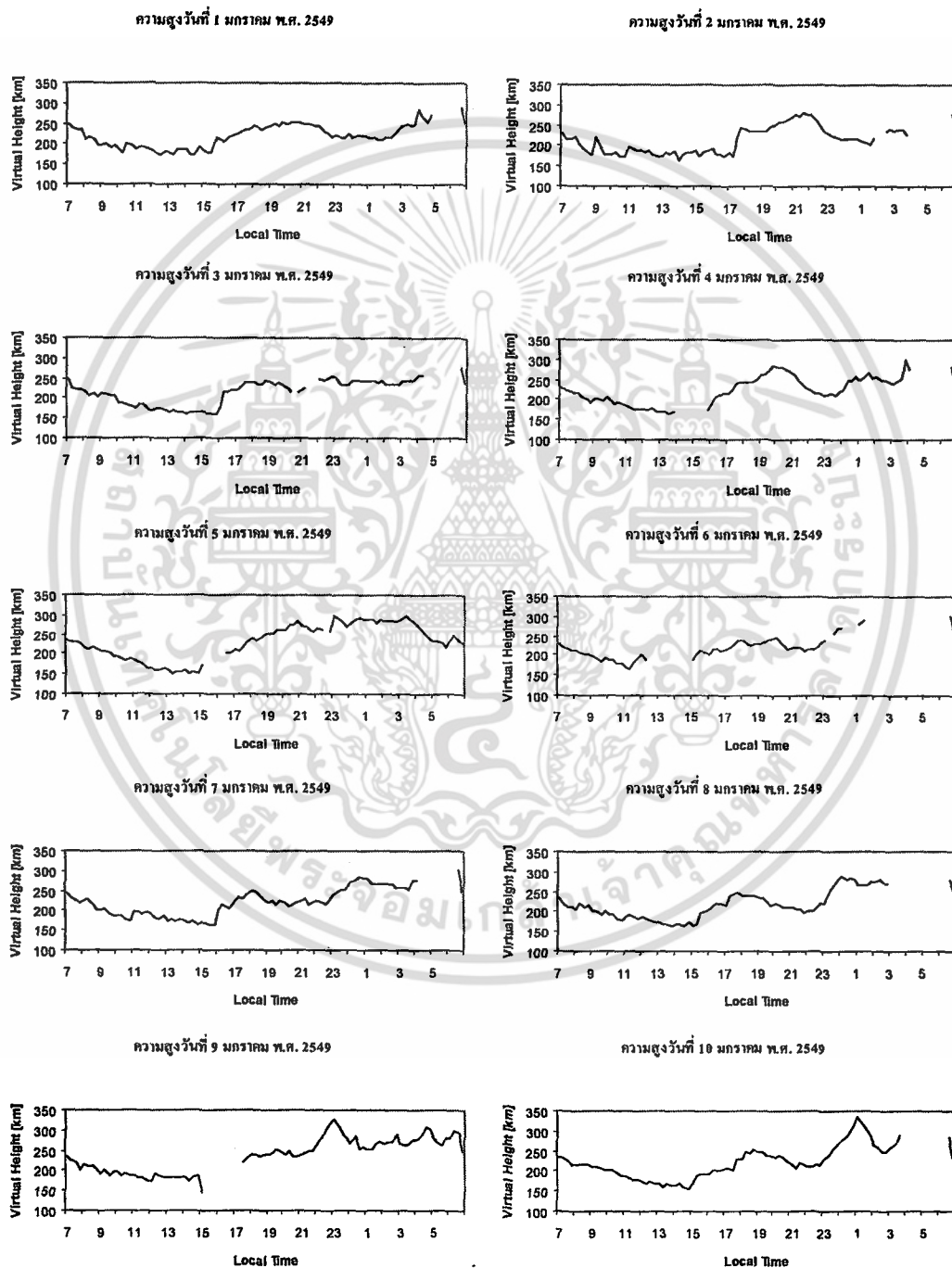
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากภาพไอโอโนแกรม โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัวที่ได้มาจากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรม ประกอบด้วย ความสูงของชั้น F ($h'F$) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 (f_oF2) และความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ($MUF(3000)F2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถานีไอโอโนซอนเด ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ ตำแหน่งเส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และตำแหน่งเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ ซึ่งตั้งอยู่ในแถบละติจูดต่ำ (Low latitude) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงปีที่มีปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ (Low solar activity) เพื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวนี้ แบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และแบบรายปี ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากผลการทดลองที่ได้ทำการเก็บข้อมูลจากภาพไอโอโนแกรม และทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของชั้น F ($h'F$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากสถานีไอโอโนซอนเด ซึ่งตั้งอยู่ที่ จังหวัดชุมพร ประเทศไทย สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แบบรายเดือน ตามฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ แสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างวัน โดยได้นำผลตัวอย่างของวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 มาแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

ระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

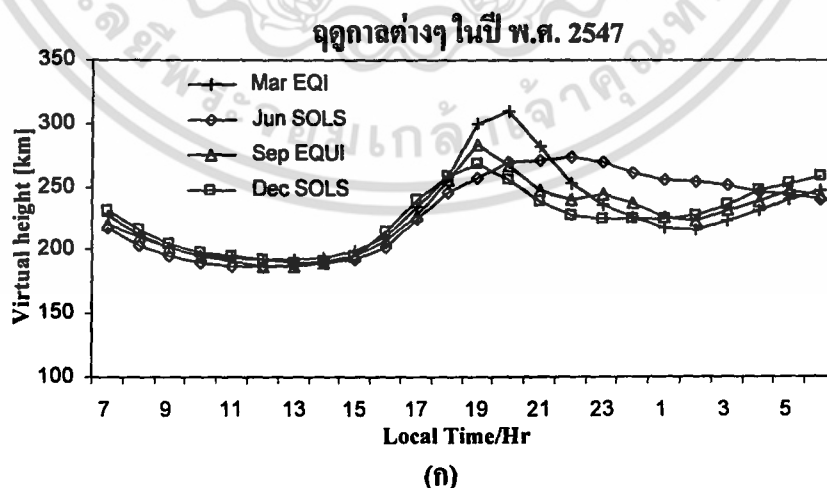
จากรูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวันในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 ซึ่งค่าที่นำมาแสดงในแต่ละกราฟนี้ ได้มาจากการทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมที่ช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที โดยข้อมูลที่นำมาแสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F แบบรายวันนี้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งเท่านั้น โดยจากรูปที่ 4.1 สังเกตพบว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ในแต่ละวันที่นำมาแสดงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือความสูงของชั้น F จะค่อยๆ เลื่อนตัวต่ำลงมาในช่วงตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้น (Sunrise) หรือเวลาประมาณ 06.00 น. จนมีระดับต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก (Pre sunset) หรือช่วงเวลาประมาณ 15.00 น. ถึง 17.00 น. หลังจากนั้นความสูงของชั้น F จะค่อยๆ เลื่อนตัวสูงขึ้นจนถึงช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ในแต่ละวันจะเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F สามารถอธิบายได้จากกลไกทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ เมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นจะทำให้เกิดขบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) ภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (หัวข้อ 2.1.2) ส่งผลให้ปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นมีค่ามาก และมีการแพร่กระจายในระดับความสูงที่ต่ำลงมา ดังนั้นเมื่อทำการส่งคลื่นความถี่ไปสะท้อนกับชั้น F จะพบว่า ในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นระดับความสูงของชั้น F จะลดต่ำลงมา และเมื่อพระอาทิตย์ตกชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะไม่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ (Recombination) ภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (หัวข้อ 2.1.2) ส่งผลให้ในระดับความสูงต่ำๆ ไม่เกิดการไอออไนซ์ แต่จะมีการไอออไนซ์ในระดับความสูงที่มากขึ้น จึงทำให้ความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงหลังจากพระอาทิตย์ตกมีระดับสูงขึ้นนั่นเอง โดยขบวนการรวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนภายในชั้นเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือเรียกว่าปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ (Spread-F) โดยปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนเท่านั้น โดยจากรูปที่ 4.1 ในวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2549 เป็นวันที่มีการเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ในช่วงเวลาประมาณ 22.00 น. จนถึง 00.00 น. จะสังเกตเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ จะทำให้ความสูงของชั้น F เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ โดยมีระดับความสูงถึง 330 กิโลเมตร และจากรูปที่ 4.1 พบว่าในแต่ละกราฟจะมีข้อมูลบางส่วนขาดหายไป ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่ไม่สามารถทำการอ่านค่าความสูงของชั้น F จากไอโอโนแกรมได้ ทำให้ข้อมูลในช่วงดังกล่าวนี้มีการขาดหายไป โดยสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความสูงของชั้น F ได้ นั้น เกิดจากการที่มีสัญญาณภายนอกของคลื่นในย่านความถี่สูงแทรกสอดเข้ามา ซึ่งจะมีสัญญาณแรงและบดบังช่วงของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่าพารามิเตอร์นั้น จึงทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นได้ หรืออีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ชั้น E บดบังชั้น F หรือเรียกว่า Sporadic E (Es) ซึ่งมักเกิดในช่วงเวลากลางวัน ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละเดือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน โดยความสูงของชั้น F จะเลื่อนตัวลดต่ำลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือเวลาประมาณ 06.00 น. จนมีระดับต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 09.00 น. ถึง 15.00 น. จะมีระดับการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 170 กิโลเมตร ถึง 210 กิโลเมตร จากนั้นจะเลื่อนตัวสูงขึ้นจนมีระดับสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ส่วนในช่วงกลางคืนระดับความสูงจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 220 กิโลเมตร ถึง 310 กิโลเมตร และจะลดระดับต่ำลงอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นนั่นเอง โดยจากรูปที่ 4.2 พบว่าความสูงของชั้น F ภายในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ของช่วงเดือนมีนาคม เมษายน กันยายน และตุลาคม จะมีระดับสูงกว่าในเดือนอื่นๆ โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2547 ความสูงในช่วงเดือนมีนาคม และเมษายน ช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. นี้จะมีระดับสูงถึง 330 กิโลเมตร ส่วนในช่วงเวลากลางวันนั้น ความสูงของชั้น F จะมีค่าต่ำในทุกๆ เดือนที่ทำการเก็บข้อมูล

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล

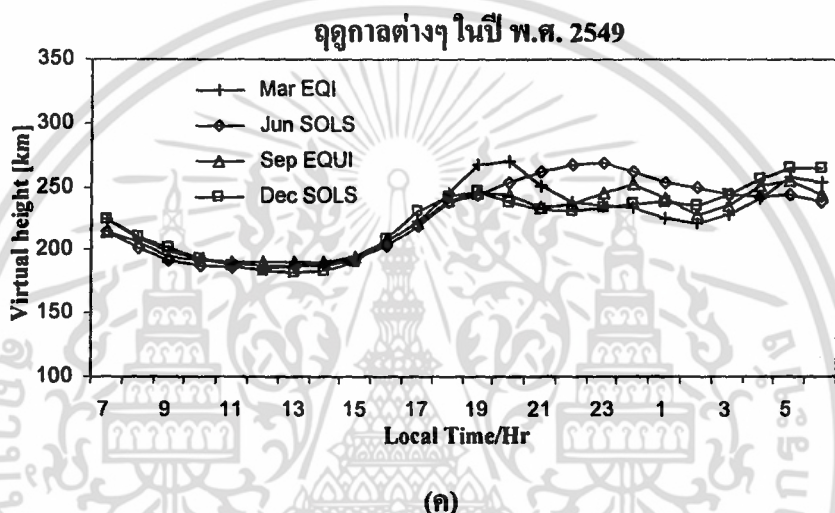
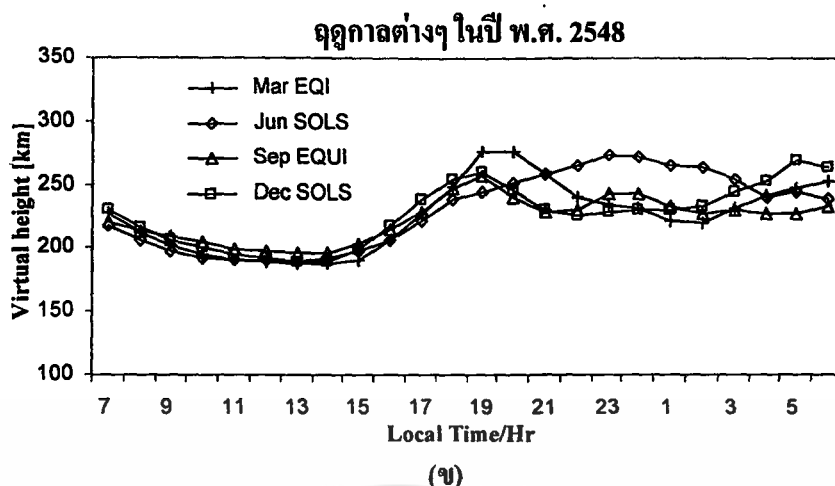
ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ช่วงฤดูกาลในแต่ละปีที่ทำการศึกษา (หัวข้อที่ 2.5) คือ ช่วง March equinox (ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม และเมษายน) ช่วง June solstice (ช่วงเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และกรกฎาคม) ช่วง September equinox (ช่วงเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคม) และช่วง December solstice (ช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม และมกราคม) แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล

(ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 (ค) ปี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (ต่อ)

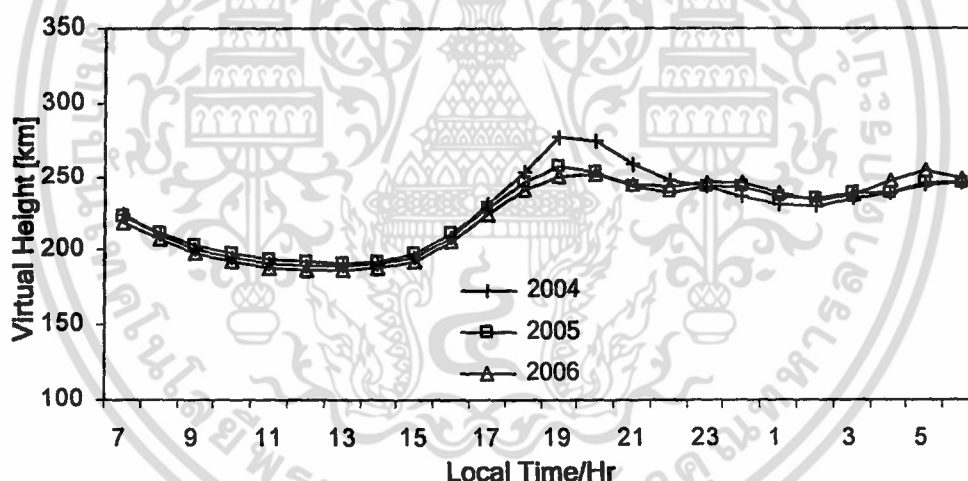
รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 4.3 (ก), (ข) และ (ค) พบว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ในแต่ละฤดูกาลจะมีค่าใกล้เคียงกันมากในช่วงเวลากลางวัน โดยมีระดับการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 170 กิโลเมตร ถึง 230 กิโลเมตร และหลังจากช่วงเวลา 17.00 น. เป็นต้นไป จะสังเกตเห็นได้ว่าความสูงของชั้น F ในแต่ละฤดูกาลจะมีค่าแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยในฤดูกาล March equinox ความสูงของชั้น F จะมีค่าสูงสุดในเวลาประมาณ 20.00 น. จากนั้นจะค่อยๆ ลดระดับต่ำลงมา และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ส่วนในฤดูกาล June Solstice ความสูงของชั้น F จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในเวลาประมาณ 00.00 น. จากนั้นจะค่อยๆ ลดระดับต่ำลงมา และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นเช่นเดียวกัน ในฤดูกาล September equinox และ December solstice ความสูงของชั้น F จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกันในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น การที่ความสูงของชั้น F ในแต่ละฤดูกาลมีค่าแตกต่างกันในช่วงเวลากลางคืนนั้น

เอกสารนี้เป็นผลมาจากการที่โลกมีการโคจรรอบดวงอาทิตย์ โดย 1 รอบใช้เวลา 365 วัน และโลกมีการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

หมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ดังนั้นในแต่ละช่วงฤดูกาลจะมีระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกไม่เท่ากัน ส่งผลให้มีการเกิดขบวนการไอออโนสเฟียร์ และขบวนการรวมตัวกันใหม่เกิดขึ้นไม่เท่ากันในแต่ละฤดูกาล ส่งผลทำให้การเกิดความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความรุนแรงไม่เท่ากัน โดยช่วงที่มีความแปรปรวนรุนแรงมากที่สุดจะเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์มีตำแหน่งตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก และความแปรปรวนนี้จะเกิดเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าในฤดูกาล March equinox ซึ่งเป็นช่วงที่พระอาทิตย์มีตำแหน่งตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรโลก จะมีความสูงในช่วงเวลา 20.00 น. สูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ นั่นเอง

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความสูงเฉลี่ยของชั้น F ภายในปี พ.ศ. 2547 จนถึงปี พ.ศ. 2549 จากรูปพบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงเฉลี่ยของชั้น F ในแต่ละปีมีแนวโน้มคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน กล่าวคือ ความสูงของชั้น F จะลดระดับต่ำลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และเพิ่มสูงขึ้นหลังจากช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. จนมีระดับสูงสุดในเวลาประมาณ 20.00 น. จากนั้นระดับความสูงจะลดลงมาจนถึงเวลาประมาณ 03.00 น. และมีระดับสูงขึ้นอีกครั้งในช่วง

ก่อนพระอาทิตย์ขึ้น เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความสูงเฉลี่ยของชั้น F ตลอดระยะเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ปีจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F จะมีระดับที่ใกล้เคียงกันมากในเวลากลางวันและกลางคืน ยกเว้นในช่วงเวลาประมาณ 18.00 น. ถึง 22.00 น. ความสูงเฉลี่ยของชั้น F จะมีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่ความสูงเฉลี่ยของชั้น F มีค่าสูงสุด โดยในปี พ.ศ. 2547 ความสูงเฉลี่ยของชั้น F ในช่วงเวลานี้จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 เป็นปีที่ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าปีอื่นๆ ในทางกลับกันค่าความสูงเฉลี่ยของชั้น F ในปี พ.ศ. 2549 ช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. นี้จะมีค่าต่ำกว่าในปีอื่นๆ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2549 เป็นปีที่ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ โดยค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ของปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549 แสดงในตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความสูงของชั้น F นี้มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์นั่นเอง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549 [8]

ปีที่ทำการศึกษา	พ.ศ. 2547	พ.ศ. 2548	พ.ศ. 2549
ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์	55	37	22

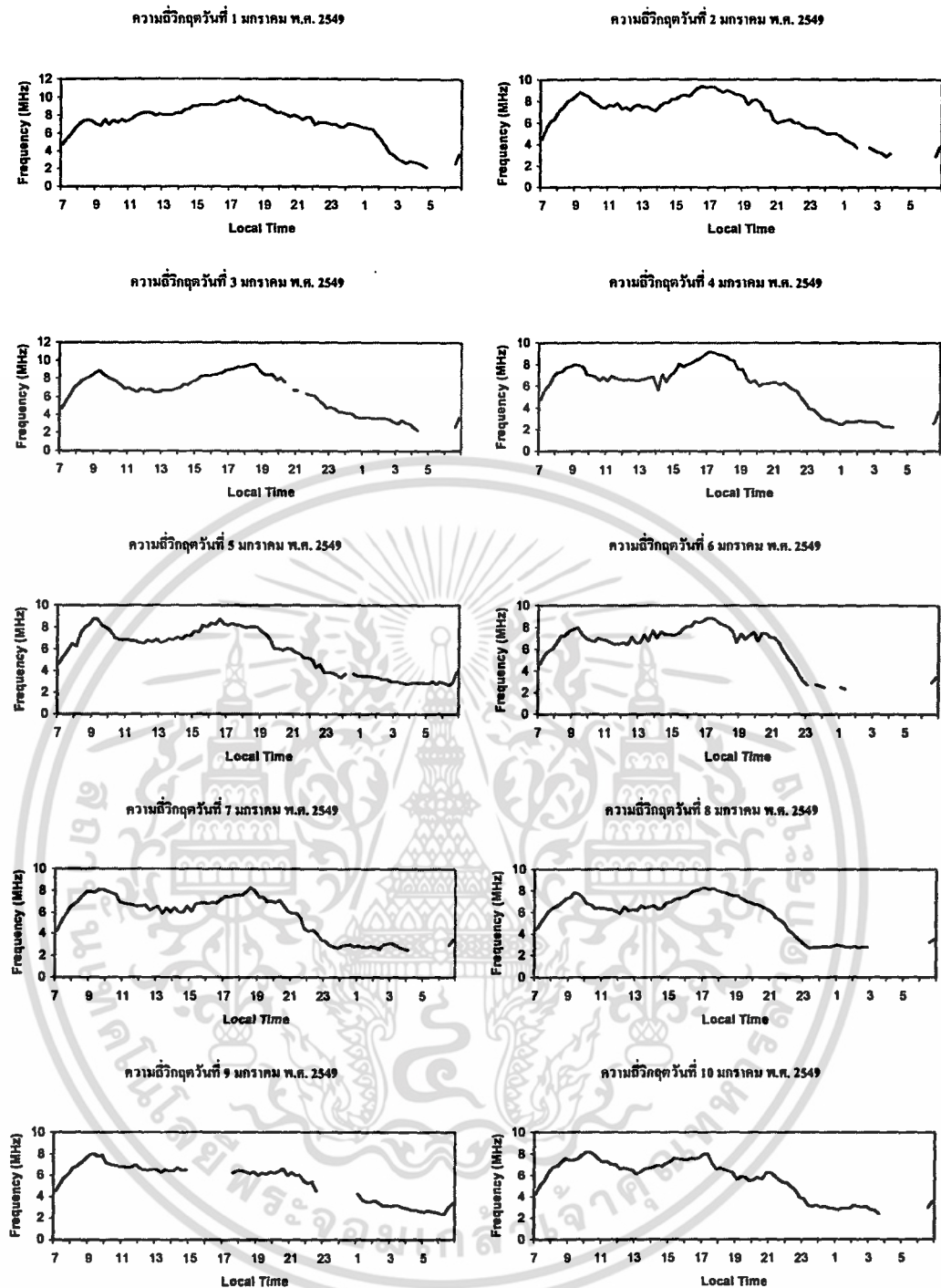
4.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F₂ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากผลการทดลองที่ได้ทำการเก็บข้อมูลจากภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 15 นาที และทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F₂ (foF₂) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 จนถึงปี พ.ศ. 2549 โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แบบรายเดือน ตามฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ สามารถแสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F₂ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F₂ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างวัน โดยได้นำตัวอย่างของวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 มาแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F₂ แบบรายวัน แสดงดังรูปที่

4.5



รูปที่ 4.5 ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน
ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549

จากรูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 แบบรายวัน ระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 ซึ่งค่าที่นำมาแสดงในแต่ละกราฟนี้ได้มาจากการทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมที่ช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที โดยข้อมูลที่นำมาแสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 แบบรายวันนี้เป็นข้อมูลเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น โดยจากรูปที่ 4.5 สังเกต
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นการใช้เอกสารนี้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

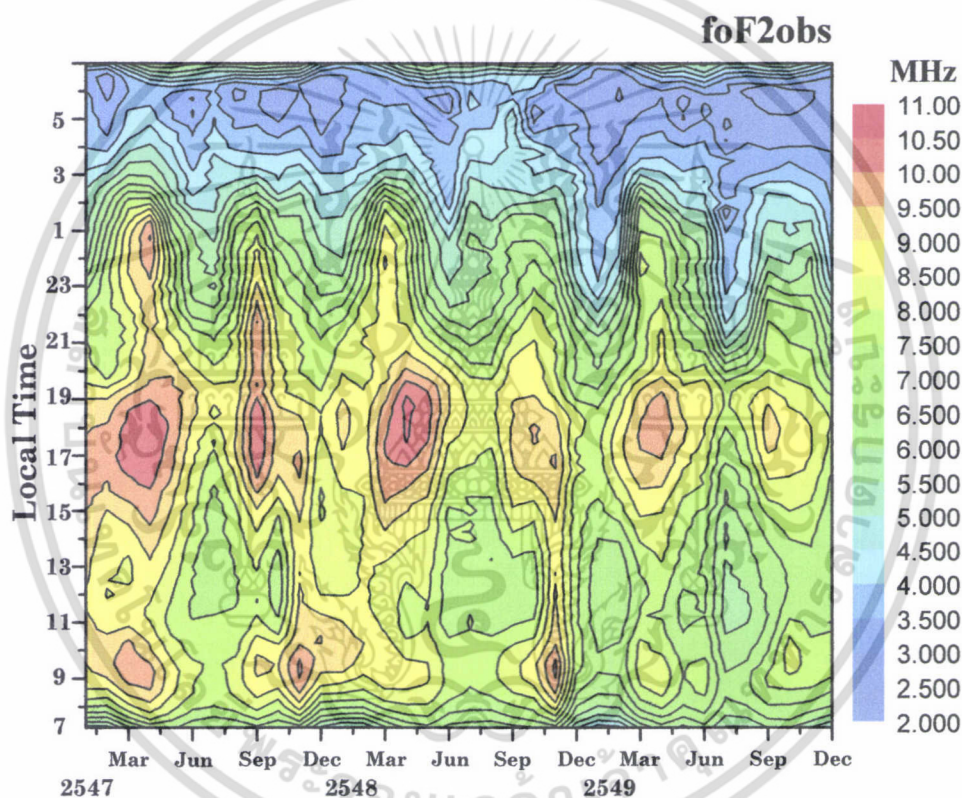
พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ในแต่ละวันที่นำมาแสดงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วงเวลา 06.00 น. จนถึงเวลา 09.00 น. จากนั้นจะมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. และเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตกความถี่วิกฤตของชั้น F2 จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ ค่าความถี่วิกฤตจึงจะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง สาเหตุที่ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ สามารถอธิบายได้จากกลไกทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ เมื่อชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดขบวนการไอออโนเซชัน(หัวข้อ 2.1.2) ส่งผลให้ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนสาเหตุที่ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีค่าลดลงในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 13.00 น. เนื่องจากมีการพัดพาอิเล็กตรอนไปในทิศทางอื่น (bite out) ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในบริเวณสถานที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก ทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของบริเวณดังกล่าวมีจำนวนลดลง ส่งผลให้ค่าความถี่วิกฤตมีค่าลดต่ำลงด้วย และเมื่อการพัดพาอิเล็กตรอนถึงจุดอิมพัลส์ค่าความถี่วิกฤตของชั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก หรือในช่วงเวลาประมาณ 17.00-19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะไม่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ (หัวข้อ 2.1.2) ส่งผลให้ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีค่าลดลง โดยการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์จะเกิดเป็นกลุ่มก้อนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ หรือเรียกว่าปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ (Spread-F) โดยปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนเท่านั้น จากรูปในวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2549 เป็นวันที่มีการเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ในช่วงเวลาประมาณ 23.00 น. จนถึง 01.00 น. โดยในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ความถี่วิกฤตของชั้น F2 จะไม่สามารถทำการวัดค่าจากไอโอโนแกรมได้ ซึ่งค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อชั้นบรรยากาศได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อีกครั้งในช่วงเช้าของวันใหม่ นั้นเอง และจากรูปจะสังเกตเห็นว่าในแต่ละกราฟมีส่วนที่ข้อมูลขาดหายไปเป็นผลมาจากการที่ไอโอโนแกรมไม่สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ ทำให้ข้อมูลมีการขาดหายไปบางส่วน โดยสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ได้นั้น เกิดจากการที่มีสัญญาณภายนอกของคลื่นในย่านความถี่สูงแทรกสอดเข้ามาซึ่งจะมีสัญญาณแรง และบดบังช่วงของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นจึงทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นได้ หรืออีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ชั้น E บดบังชั้น F ซึ่งมักเกิดในช่วงเวลากลางวัน หรืออาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ นอกจากนี้ในบางช่วงเวลากลิ่นที่ทำการส่งไปจะไม่สะท้อนกลับลงมา กล่าวคือคลื่นที่ส่งไปจะทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมด โดยเหตุการณ์นี้มักจะเกิดในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 จากไอโอโนแกรมได้เช่นกัน

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Contour plot ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

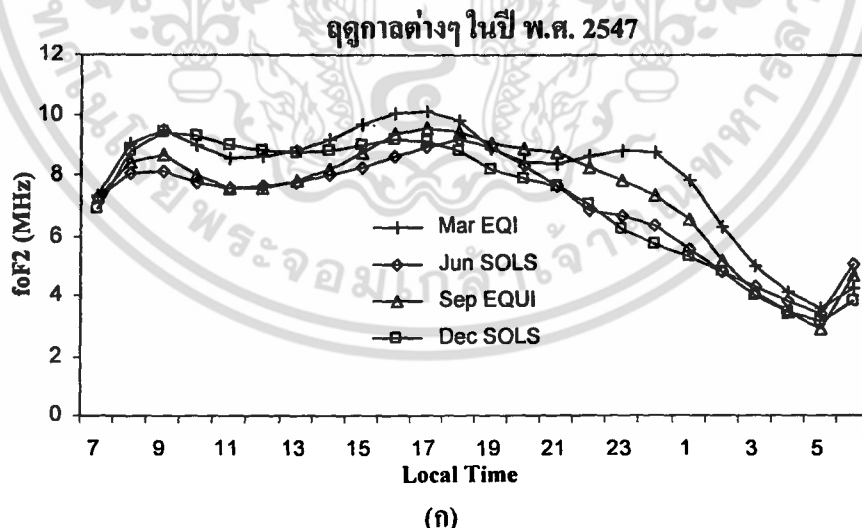
รูปที่ 4.6 แสดง contour plot ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 เฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยทำการเฉลี่ยค่าความถี่วิกฤต ณ เวลานั้นๆ ของแต่ละวันภายในระยะเวลา 1 เดือน ออกมาเป็นค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากรูปพบว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละเดือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน กล่าวคือ มีค่าความถี่เพิ่มขึ้นในช่วงพระ

อาทิตย์ขึ้น หรือช่วงเวลา 06.00 น. และมีค่าลดลงเล็กน้อยในเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ภายใต้การพิจารณาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และอยู่ภายใต้เงื่อนไขการห้ามการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก หรือช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตกแล้วความถี่วิกฤตจะมีค่าลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ ความถี่วิกฤตของชั้น F2 จึงจะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง และจากรูปพบว่าค่าความถี่วิกฤตในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตกของเดือนมีนาคม เมษายน กันยายน และตุลาคมของแต่ละปีที่ทำการศึกษาจะมีค่าสูงกว่าในเดือนอื่นๆ และค่าความถี่วิกฤตมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นในทุกๆ เดือนของปีที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ความถี่วิกฤตของชั้น F2 จะมีค่าสูงต่ำตามปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์ในที่นี้พบว่าในปี พ.ศ. 2547 ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตกของเดือนมีนาคมมีค่าความถี่วิกฤตสูงสุดถึง 11 เมกะเฮิร์ตซ์ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มากกว่าปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2549 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 นั้นเอง

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล

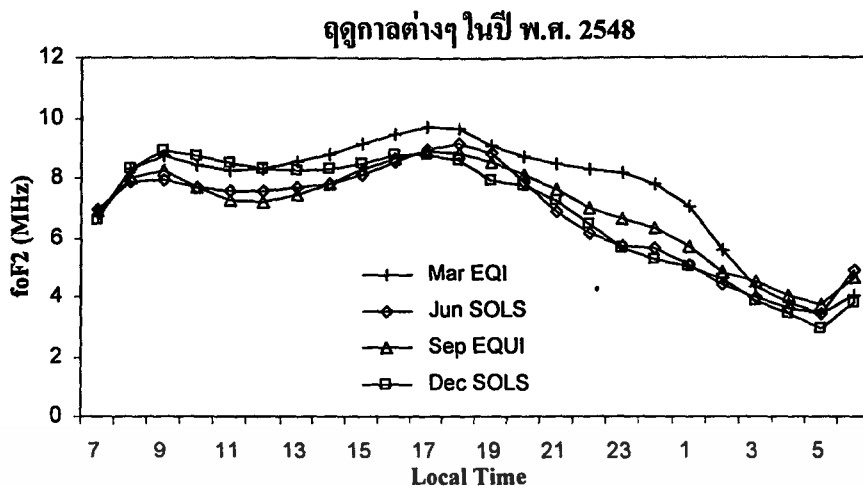
ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล โดยในวิทยานิพนธ์นี้มีการแบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาลในแต่ละปีที่ทำการศึกษา คือ ช่วง March equinox, ช่วง June solstice, ช่วง September equinox และช่วง December solstice แสดงดังรูปที่ 4.7



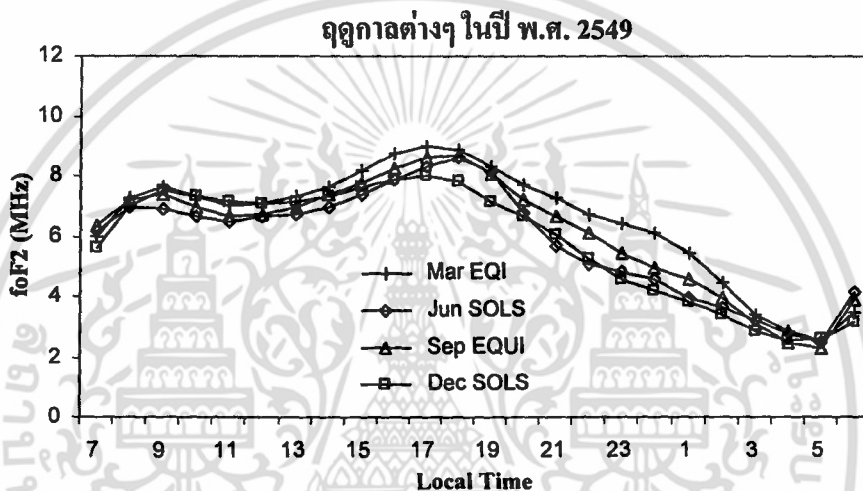
รูปที่ 4.7 ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล

(ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 (ค) ปี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.7 (ต่อ)

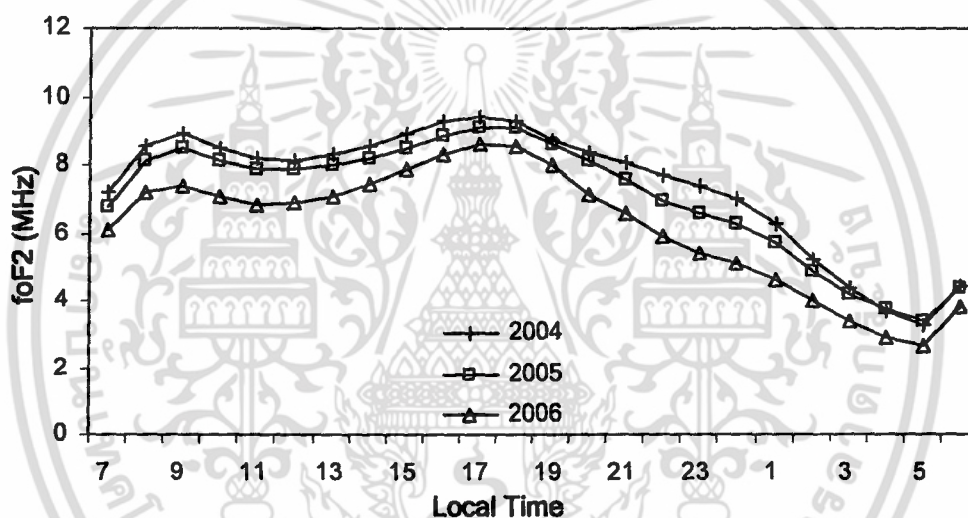
รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549 ตามลำดับ พบว่าในรูปที่ 4.7 (ก), (ข) และ (ค) มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันคือมีค่าความถี่เพิ่มขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก หลังจากพระอาทิตย์ตกค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ ค่าความถี่วิกฤตของชั้นจึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าค่าความถี่วิกฤตในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 19.00 น. จะมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูกาล March equinox และตามปกติหลังจากพระอาทิตย์ตกค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าลดลง แต่ในช่วงฤดูกาล March equinox ค่าความถี่วิกฤตในช่วงเวลาประมาณ 22.00 น. จนถึง 02.00 น. มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

เนื่องจากในช่วงฤดูกาลนี้ จะเกิดความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มากกว่าในช่วงฤดูกาลอื่นๆ นั่นเอง โดยในปี พ.ศ. 2547 ความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้นเอกสารถูกบันทึกไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานมานี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นานมานี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงเวลาดังกล่าวของฤดูกาล March equinox จะสูงกว่าในปีอื่น ๆ ส่วนในปี พ.ศ. 2549 จะไม่ค่อยพบความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในช่วงเวลาดังกล่าวของฤดูกาล March equinox เนื่องจากในปี พ.ศ. 2549 เป็นปีที่มีปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ ทำให้เกิดความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

4.2.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 เฉลี่ยในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของทั้ง 3 ปีมีแนวโน้มคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตแบบรายวัน และจะสังเกตเห็นว่าในปี พ.ศ. 2547 ค่าความถี่วิกฤตมีค่าสูงสุดในทุกๆ ช่วงเวลา และค่อย ๆ ลดต่ำลงในปี พ.ศ. 2548 จนกระทั่งมีค่าต่ำสุดในปี พ.ศ. 2549 สาเหตุที่ค่าความถี่วิกฤตมีการเปลี่ยนแปลงลดต่ำลงเป็นผลมาจากปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ในแต่ละปีมีค่าต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 จะแปรผันโดยตรงกับค่าปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์ คือเมื่อปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่ามาก จะทำให้ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีค่าสูง และเมื่อปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าน้อย จะทำให้ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีค่าต่ำนั่นเอง

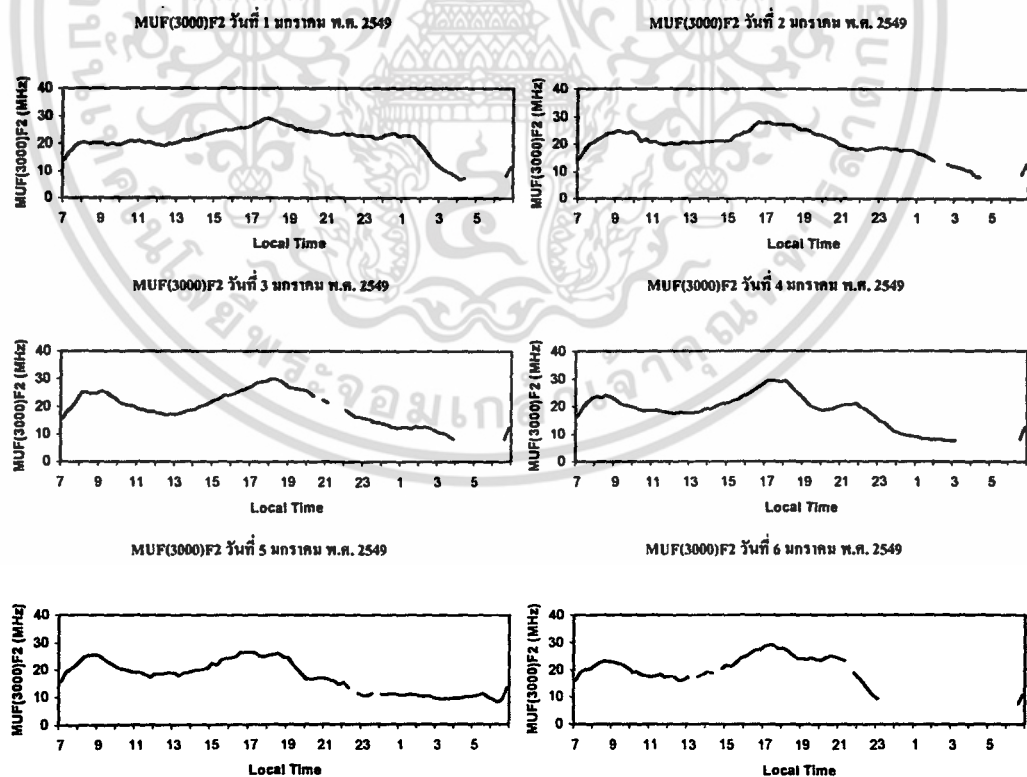
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากผลการทดลองที่ได้ทำการเก็บข้อมูลจากภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 15 นาที และทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 (MUF(3000)F2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 จนถึงปี พ.ศ. 2549 โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แบบรายเดือน ตามฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ สามารถแสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

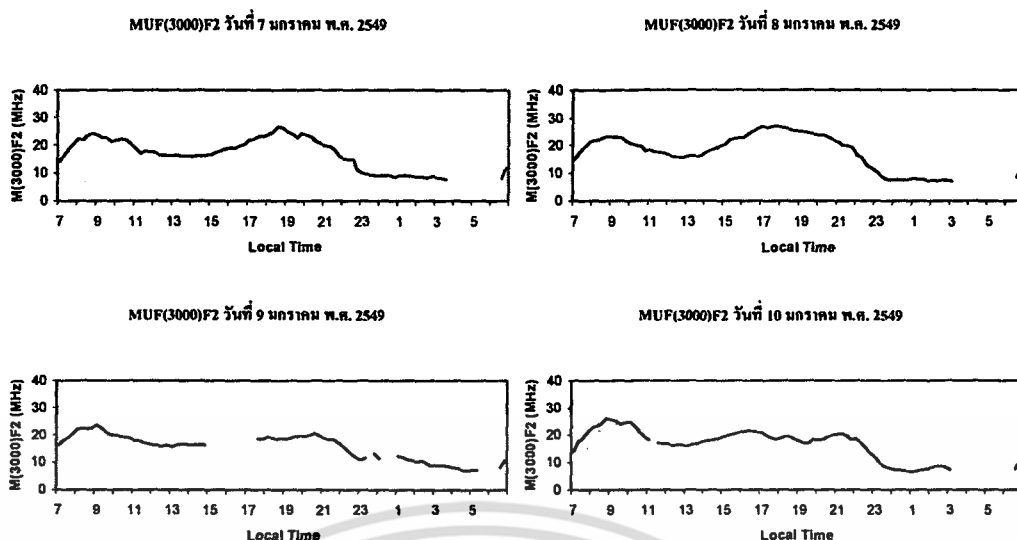
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่ค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 (Maximum Usable Frequency for 3,000 km: MUF(3000)F2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างวัน โดยได้นำตัวอย่างของวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 มาแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายวัน
ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



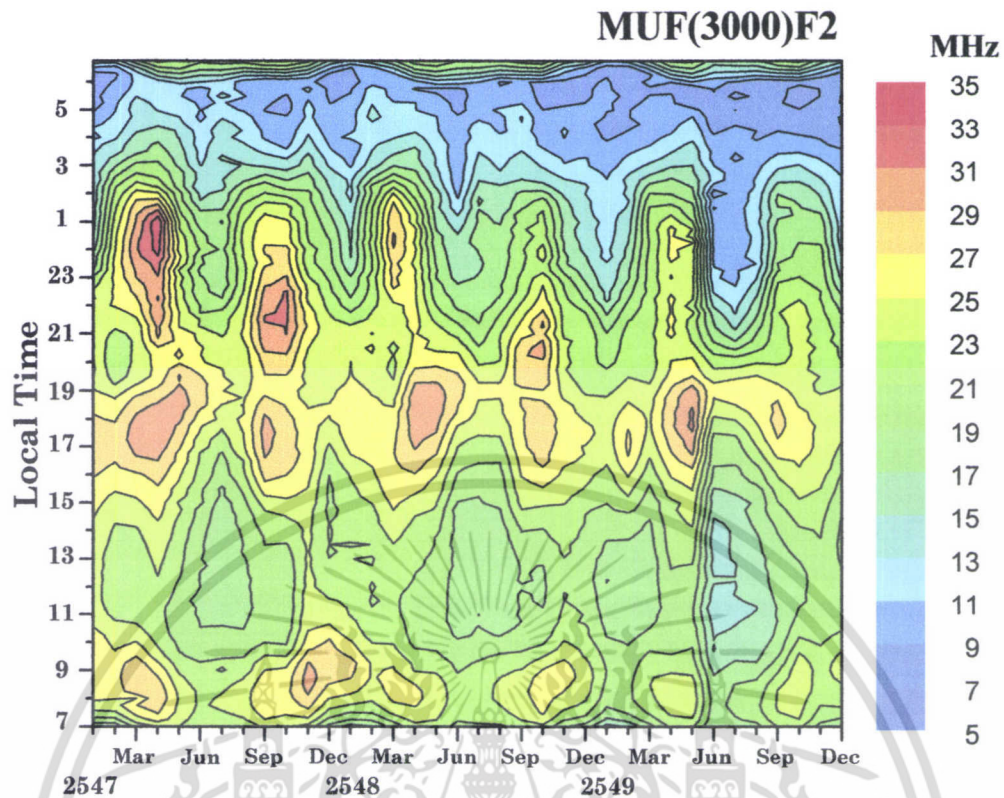
รูปที่ 4.9 (ต่อ)

จากรูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายวันระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 ซึ่งค่าที่นำมาแสดงในแต่ละกราฟนี้ได้มาจากการทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมที่ช่วงเวลาทุกๆ 15 นาที โดยข้อมูลที่นำมาแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายวันนี้เป็นข้อมูลเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น โดยจากรูปที่ 4.9 สังเกตพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในแต่ละวันที่นำมาแสดงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือ ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือ ในเวลาประมาณ 06.00 น. และมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก หรือช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตกแล้วค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ ค่า MUF(3000)F2 จึงจะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 นั้นเอง เพียงแต่ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 จะมีค่าสูงกว่าค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 เนื่องจากค่า MUF(3000)F2 เป็นการส่งคลื่นในแนวความยาววิถี (Path length) ไปในระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ส่วนค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 เป็นการคลื่นไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศในแนวตั้ง ดังนั้นค่า MUF(3000)F2 จึงมีค่าสูงกว่าค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 นั้นเอง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในช่วงเวลาต่างๆ สามารถอธิบายได้จากกลไกทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ เมื่อชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดขบวนการไอออไนเซชัน(หัวข้อ 2.1.2) ส่งผลให้ค่า MUF(3000)F2 ในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นมีค่าสูงขึ้น ส่วนสาเหตุที่ค่า MUF(3000)F2 มีค่าลดลงในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 13.00 น. เนื่องมาจากการพัดพาอิเล็กตรอนไปในทิศทางอื่น (Bite out) ซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในบริเวณสถานที่ที่ตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก ทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ของบริเวณดังกล่าวมีจำนวนลดลง ส่งผลให้ค่าความถี่วิกฤตมีค่าลดต่ำลงด้วย และเมื่อการพัคพาอิเล็คตรอนถึงจุดอิมตัว ค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตกหรือในช่วงเวลาประมาณ 17.00-19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะไม่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ (หัวข้อ 2.1.2) ส่งผลให้ค่า MUF(3000)F2 มีค่าลดลง โดยการรวมตัวกันของอิเล็คตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์จะเกิดเป็นกลุ่มก้อนซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็คตรอนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ หรือเรียกว่าปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ โดยปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในเวลากลางคืนเท่านั้น จากรูปในวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2549 เป็นวันที่มีการเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ในช่วงเวลาประมาณ 23.00 น. จนถึง 01.00 น. โดยในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ค่า MUF(3000)F2 ก็จะสามารถทำการวัดค่าจากไอโอโนแกรมได้เช่นเดียวกับความถี่วิกฤตของชั้น F2 ซึ่งค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อชั้นบรรยากาศได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์อีกครั้งในช่วงเช้าของวันใหม่ นั่นเอง และจากรูปจะสังเกตเห็นว่าในแต่ละกราฟมีส่วนที่ข้อมูลขาดหายไปเป็นผลมาจากการที่ไอโอโนแกรมไม่สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ ทำให้ข้อมูลมีการขาดหายไปบางส่วน โดยสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ได้นั้น เกิดจากการที่มีสัญญาณภายนอกของคลื่นในย่านความถี่สูงแทรกสอดเข้ามาซึ่งจะมีสัญญาณแรง และบดบังช่วงของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นจึงทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นได้ หรืออีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ชั้น E บดบังชั้น F ซึ่งมักเกิดในช่วงเวลากลางวัน หรืออาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ ในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้ นอกจากนี้ในบางช่วงเวลาค้นที่ทำการส่งไปจะไม่สะท้อนกลับลงมา กล่าวคือคลื่นที่ส่งไปจะทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปทั้งหมด โดยเหตุการณ์นี้มักจะเกิดในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 จากไอโอโนแกรมได้เช่นกัน

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายเดือนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 4.10



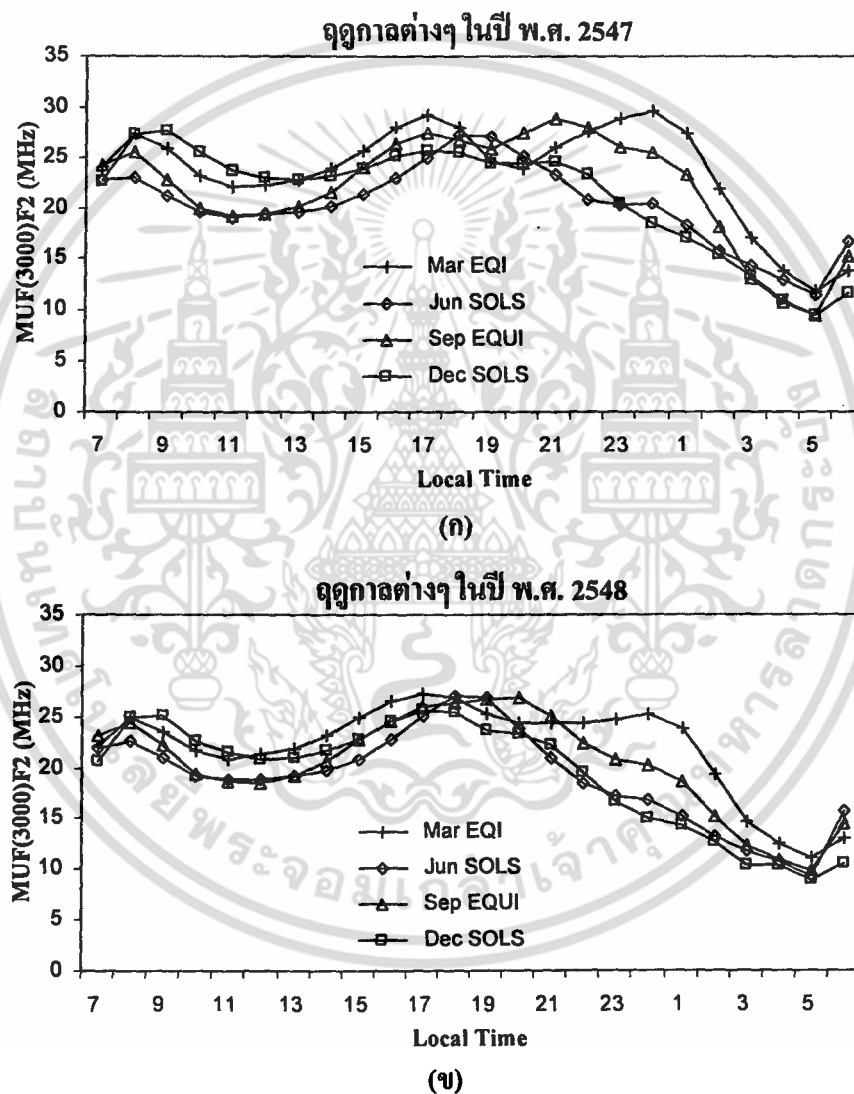
รูปที่ 4.10 Contour plot ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.10 แสดง contour plot ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 เฉลี่ยในแต่ละเดือน โดยทำการเฉลี่ยค่า MUF(3000)F2 ณ เวลานั้นๆ ของแต่ละวันภายในระยะเวลา 1 เดือน ออกมาเป็นค่า MUF(3000)F2 เฉลี่ยรายเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากรูปพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า MUF(3000)F2 ในแต่ละเดือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน กล่าวคือค่า MUF(3000)F2 จะเพิ่มขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือช่วงเวลา 06.00 น. และมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก หรือช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตกแล้วค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ค่า MUF(3000)F2 จึงจะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง และจากรูปพบว่าค่า MUF(3000)F2 ในเดือนมีนาคม เมษายน กันยายน และตุลาคมของทุกปีในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตกจะมีค่าสูงกว่าเดือนอื่นๆ และในช่วงเดือนดังกล่าวนี้เอง ค่า MUF(3000)F2 ในช่วงเวลาประมาณ 23.00 น. ถึง 01.00 น. จะมีค่าสูงผิดปกติ โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2547 มีค่าสูงถึง 35 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าต่ำในทุกๆเดือนของปีที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ยังพบว่าค่า MUF(3000)F2 จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์เหมือนกันกับค่าความสูง

ของชั้น F และค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อีกด้วย
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสำนักงานวิทยุแห่งชาติ ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้อำนวยการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

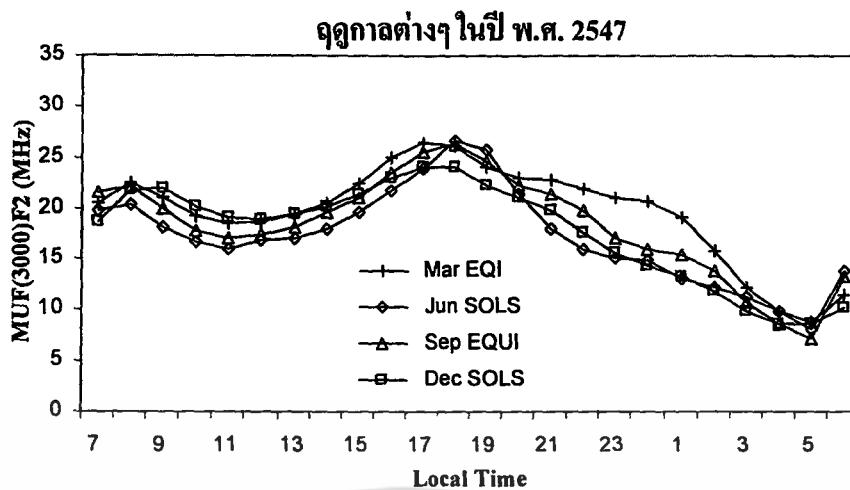
4.3.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F₂ ตามฤดูกาล โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาลในแต่ละปีที่ทำการศึกษา คือ ช่วง March equinox, ช่วง June solstice, ช่วง September equinox และช่วง December solstice แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F₂ ตามฤดูกาล
(ก)ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 (ค) ปี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.11 (ต่อ)

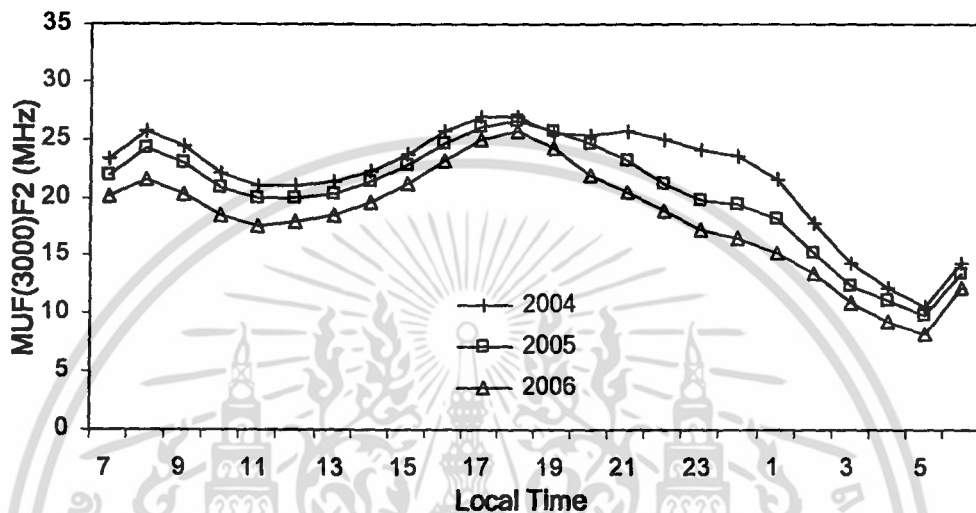
รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549 ตามลำดับ พบว่าในรูปที่ 4.11 (ก), (ข) และ (ค) มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่า MUF(3000)F2 คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน กล่าวคือค่า MUF(3000)F2 มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก โดยหลังจากพระอาทิตย์ตกแล้วค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ ค่า MUF(3000)F2 จึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าค่า MUF(3000)F2 ในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 19.00 น. จะมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูกาล March equinox และตามปกติหลังจากพระอาทิตย์ตกค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าลดลง แต่ในช่วงฤดูกาล March equinox และ September equinox ค่า MUF(3000)F2 ในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ถึง 02.00 น. จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงฤดูกาลดังกล่าวนี้ จะเกิดความแปรปรวนของอิเล็คตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มากกว่าในช่วงฤดูกาลอื่นๆ นั่นเอง โดยในปี พ.ศ. 2547 ความแปรปรวนของอิเล็คตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงเวลาดังกล่าวของฤดูกาล March equinox จะสูงกว่าในปีอื่น ๆ ส่วนในปี พ.ศ. 2549 ไม่ค่อยพบความแปรปรวนของอิเล็คตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงดังกล่าวของฤดูกาล March equinox และ September equinox เนื่องจากในปี พ.ศ. 2549 เป็นปีที่มีปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ ความแปรปรวนของอิเล็คตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จึงมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า MUF(3000)F2 ตามฤดูกาล มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 นั่นเอง แต่ค่า MUF(3000)F2 จะมีค่าสูงกว่าค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 โดยค่า MUF(3000)F2 ในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 19.00 น. มีค่าเฉลี่ยสูงถึง 30 เมกะเฮิร์ตซ์ ในขณะที่ความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าวเพียง 10 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี

ในหัวข้อนี้ แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งในการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ทำการศึกษามีแนวโน้มคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 แบบรายวัน และมีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 เพียงแต่การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 จะมีค่าสูงกว่าดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3.1 นั้นเอง และจากรูปจะสังเกตเห็นว่าในปี พ.ศ. 2547 ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ ในทุกๆ ช่วงเวลา เนื่องมาจากในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์สูงกว่าในปีอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 นั้นเอง โดยส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 ในเวลาประมาณ 20.00 น. ถึง 02.00 น. เกิดความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศอย่างเห็นได้ชัด ส่วนในปี พ.ศ. 2549 มีการเกิดความแปรปรวนน้อย เนื่องจากเป็นปีที่มีปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าต่ำนั่นเอง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่า MUF(3000)F2 มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ $h'F$ และ $foF2$

บทที่ 5

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 และ ความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 และความสูงสูงสุดของชั้น F2 (hmF2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นปีที่มีปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าปานกลางจนถึงต่ำตามลำดับ เพื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล และแบบรายปี โดยพารามิเตอร์ M(3000)F2 ได้มาจากการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ foF2 และพารามิเตอร์ MUF(3000) ดังสมการ[2]

$$M(3000)F2 = \frac{MUF(3000)F2}{foF2} \quad (5.1)$$

เมื่อค่า M(3000)F2 คือค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ค่า MUF(3000)F2 คือค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 และค่า foF2 คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [MHz]

ค่าพารามิเตอร์ MUF(3000) และ foF2 ได้มาจากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมโดยเทคนิคไอโอโนโซนเดคดังแสดงในบทที่ 4 นอกจากนี้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ hmF2 ได้จากการประยุกต์สูตรการคำนวณของ Shimazaki [3] ซึ่งได้มาจากการหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ M(3000)F2 แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$hmF2 = \left(\frac{1490}{M(3000)F2} \right) - 176 \quad (5.2)$$

เมื่อ hmF2 คือค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [km]

5.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้น บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

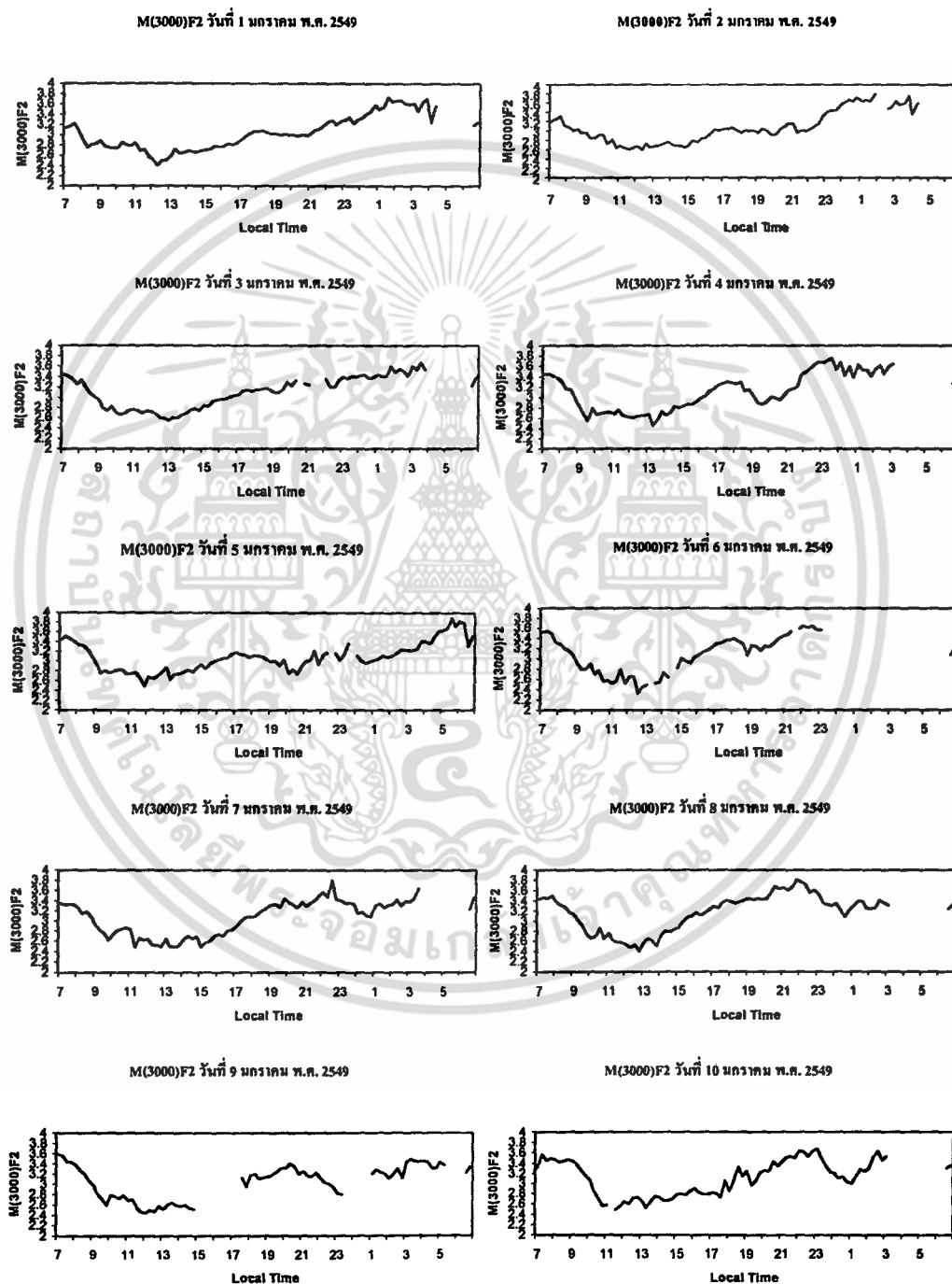
ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถทำการคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ 5.1 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล

และวัฏจักรสุริยะ แสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างวัน โดยได้นำตัวอย่างของวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 มาแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

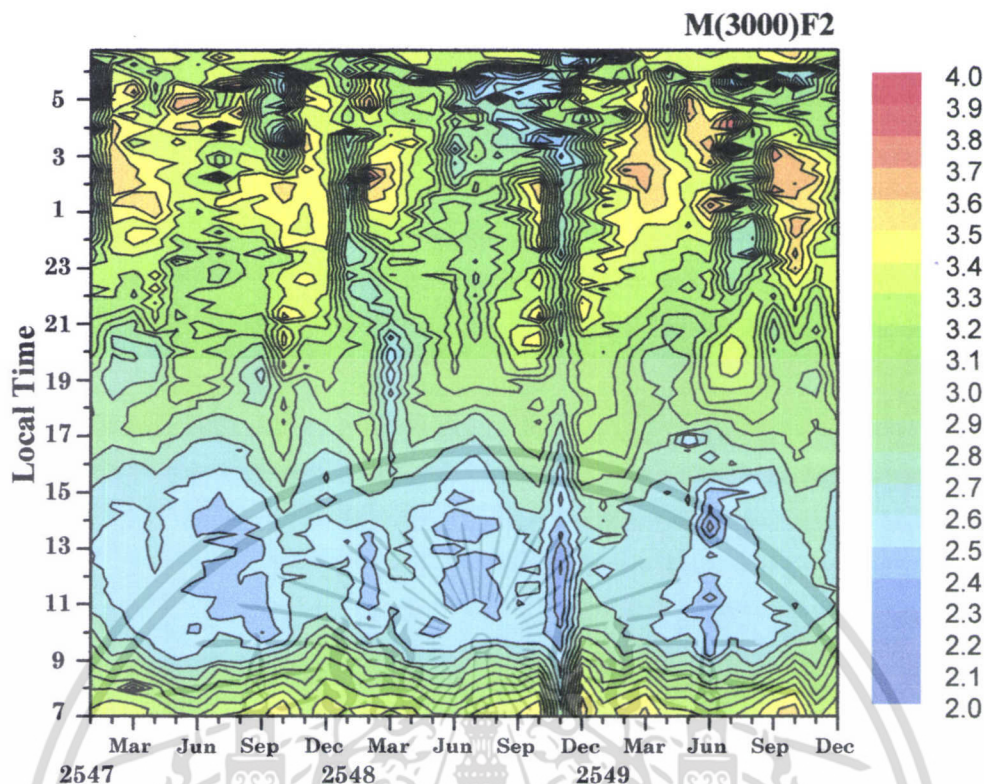
ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงแฟลคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวันในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 โดยค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 นี้ได้มาจากการคำนวณหาความสัมพันธ์จากค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 และ foF2 (จากสมการที่ 5.1) ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ได้มาจากสถานีไอโอโนซอนด์ซึ่งตั้งอยู่ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในแถบละติจูดต่ำ โดยทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมในทุกๆ 15 นาที โดยข้อมูลที่น่ามาแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 แบบรายวันนี้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งเท่านั้น โดยจากรูปที่ 5.1 สังเกตพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 ในแต่ละวันที่นำมาแสดงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 มีค่าลดลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วงเวลาประมาณ 06.00 น. และค่อยๆ ลดต่ำลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน และค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าลดลงอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ นั่นเอง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 นี้จะมีลักษณะผกผันกับการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 และ foF2 โดยทั่วไปค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 ในช่วงเวลากลางวันจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 3.0 และจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงหลังจากพระอาทิตย์ตก จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน โดยในบางวันอาจมีค่าสูงถึง 3.9 และจากรูปจะสังเกตเห็นว่าในแต่ละกราฟมีส่วนที่ข้อมูลขาดหายไป อันเป็นผลมาจากการที่ไอโอโนแกรมไม่สามารถทำการบันทึกค่าของพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 และ foF2 ตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้ง 2 ตัวได้ในช่วงเวลาดังกล่าว ทำให้เมื่อนำมาทำการคำนวณหาค่าแฟลคเตอร์ M(3000)F2 ข้อมูลในช่วงดังกล่าวนี้จึงขาดหายไป โดยสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ได้นั้น เกิดจากการที่มีสัญญาณภายนอกของคลื่นในย่านความถี่สูงแทรกสอดเข้ามาซึ่งจะมีสัญญาณแรง และบดบังช่วงของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นจึงทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์นั้นได้ หรืออีกกรณีหนึ่งอาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ชั้น E บดบังชั้น F (Sporadic E) ซึ่งมักเกิดในช่วงเวลากลางวัน หรืออาจเกิดจากการเกิดปรากฏการณ์ สเปรดเอฟ (Spread-F phenomenon) ในช่วงเวลากลางคืน ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 และ foF2 จากไอโอโนแกรมได้เช่นกัน

5.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟลคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟลคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากสถานีไอโอโนซอนด์ ซึ่งตั้งอยู่ที่ชุมพร ประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 5.2



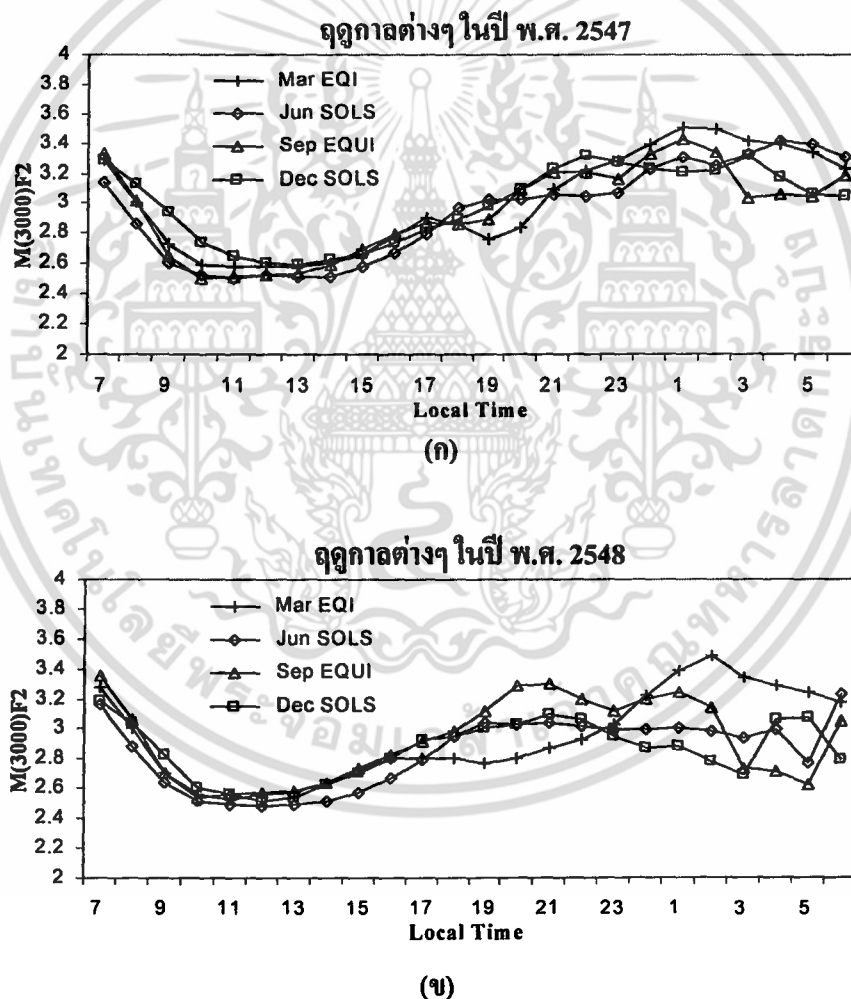
รูปที่ 5.2 Contour plot ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 5.2 แสดง Contour plot ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เฉลี่ยในแต่ละเดือนภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยจากรูปพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เฉลี่ยในแต่ละเดือนจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน กล่าวคือ ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 มีค่าลดลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน โดยค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าลดลงอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ นั่นเอง เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในแต่ละเดือนพบว่า ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวันในทุกๆ เดือนของทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษา โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 3.0 ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าสูง โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 00.00 น. ถึง 04.00 น. โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 3.1 ถึง 3.8 โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีลักษณะคล้ายกันในทุกๆ เดือน ของทั้ง 3 ปี ที่ได้ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

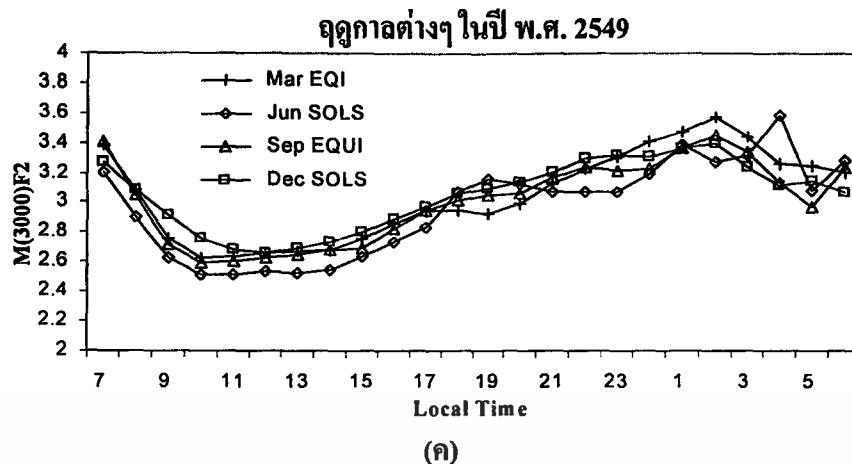
5.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล โดยทำการเก็บคำนวณข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยในวิทยานิพนธ์นี้มีการแบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาลในแต่ละปีที่ทำการศึกษา คือ ช่วง March equinox ช่วง June solstice ช่วง September equinox และช่วง December solstice แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล
(ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 (ค) ปี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



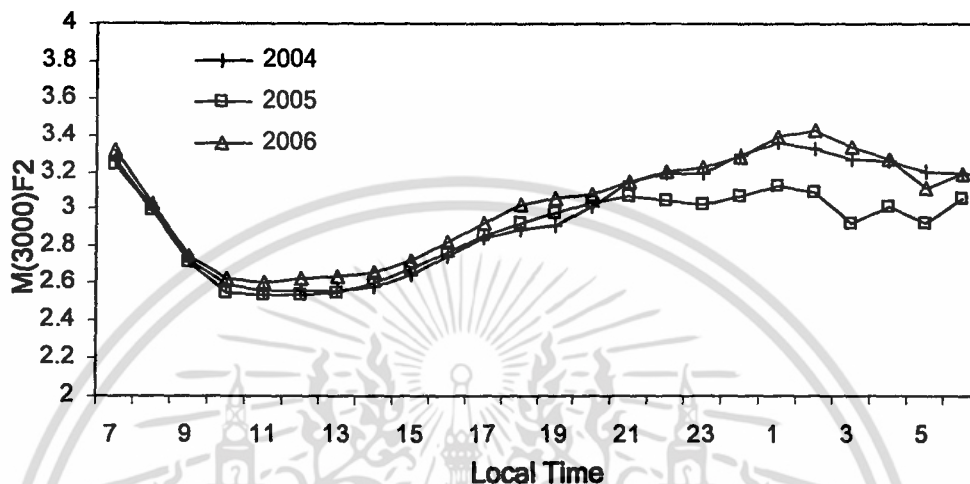
รูปที่ 5.3 (ต่อ)

รูปที่ 5.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549 ตามลำดับ พบว่าในรูปที่ 5.3 (ก), (ข) และ (ค) มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน กล่าวคือ ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ มีค่าลดลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น โดยค่อยๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน และค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ นี้จะมีค่าลดลงอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่นั้นเอง และเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ตามฤดูกาลพบว่า ในช่วงเวลากลางวันการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ของทั้ง 4 ฤดูกาลจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 3.4 ส่วนในช่วงเวลากลางคืนจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ในแต่ละฤดูกาลจะมีความแตกต่างกัน โดยในช่วงกลางคืนค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ของฤดูกาล March equinox จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาประมาณ 01.00 น. ถึง 03.00 น. และในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นจะเป็นช่วงที่ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ในแต่ละฤดูกาลจะมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น บางช่วงเวลาไม่สามารถทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ $MUF(3000)F_2$ และ f_oF_2 จากไอโอโนแกรมได้ เนื่องจากความถี่ที่ส่งขึ้นไปทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปหมด โดยจะเกิดขึ้นบ่อยมาก ทำให้เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวมาคำนวณเพื่อหาค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ จึงส่งผลให้ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นนี้มีการแกว่งขึ้นลงอย่างรุนแรงนั่นเอง นอกจากนี้ได้สังเกตพบว่าค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ในทุกช่วงเวลาของฤดูกาล September equinox และ December solstice จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549

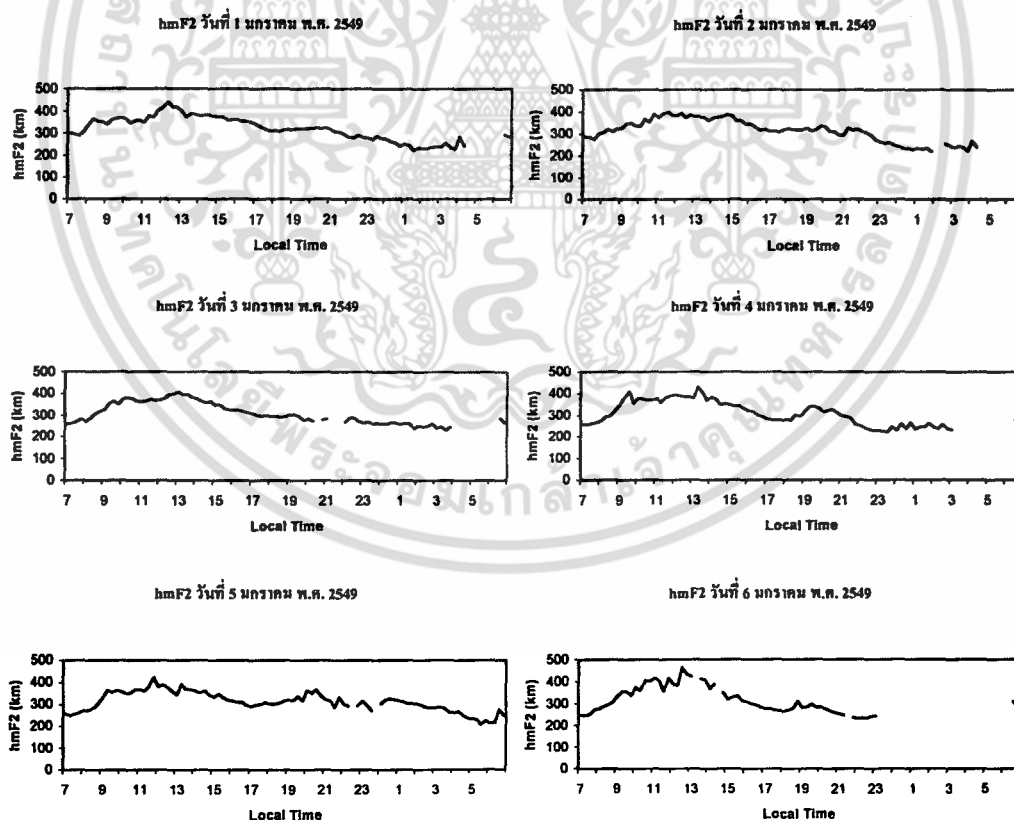
รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในปีพ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 นี้เป็นค่าเฉลี่ย ณ เวลาต่างๆ ในระยะเวลา 12 เดือนของปีนั้นๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 แบบรายวัน และเมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 แบบรายปีพบว่า ในช่วงเวลากลางวันการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของทั้ง 3 ปีที่ได้ทำการศึกษามีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันมาก ส่วนในช่วงเวลากลางคืน หรือหลังจากช่วงเวลาประมาณ 18.00 น. เป็นต้นไป ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะเริ่มมีความแตกต่างกัน โดยในปี พ.ศ. 2547 ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในช่วงกลางคืนจะมีค่าสูงกว่าในปีอื่น ๆ ส่วนในปี พ.ศ. 2548 และปี พ.ศ. 2549 ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในช่วงกลางคืนจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน ยกเว้นในช่วงเวลาประมาณ 02.00 ถึง 05.00 น. ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในปี พ.ศ. 2548 จะมีค่าต่ำกว่า ปี พ.ศ. 2549 โดยสามารถสรุปได้ว่าค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์นั่นเอง

5.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ความสูงสูงสุดของชั้น F2 (hmF2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถทำการคำนวณค่าได้จากสมการที่ 5.2 โดยในหัวข้อนี้ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นารเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แบบรายเดือน ตามฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ แสดงได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

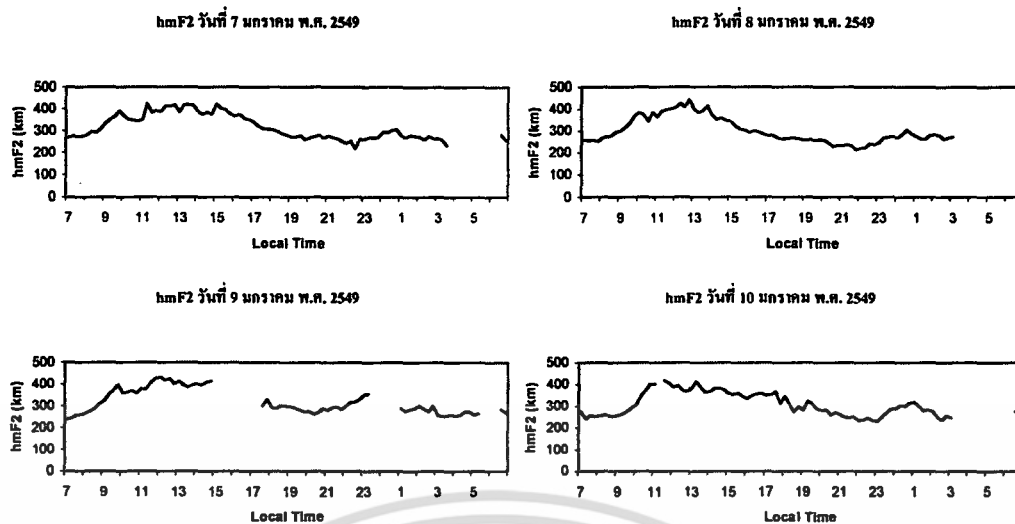
ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระหว่างวัน โดยได้นำตัวอย่างของวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 มาแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน แสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวัน

ในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 (ต่อ)

จากรูปที่ 5.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($h_m F_2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวันในระหว่างวันที่ 1 ถึง วันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2549 โดยค่าพารามิเตอร์ $h_m F_2$ นี้ได้มาจากการคำนวณหาความสัมพันธ์จากค่าพารามิเตอร์ $M(3000)F_2$ ดังแสดงในสมการที่ 5.2 โดยข้อมูลที่นำมาแสดงการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายวันนี้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งเท่านั้น จากรูปที่ 5.5 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $h_m F_2$ ในแต่ละวันที่นำมาแสดงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันคือ พารามิเตอร์ $h_m F_2$ จะมีค่าค่อยๆ สูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วงเวลาตั้งแต่ 06.00 น. จนมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน หรือในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นค่า $h_m F_2$ จะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น และค่า $h_m F_2$ นี้จะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ นั่นเอง การเปลี่ยนแปลงค่า $h_m F_2$ ในแต่ละช่วงเวลาสามารถอธิบายได้จากกลไกทางฟิสิกส์ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กล่าวคือ เมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะเกิดขบวนการไอออไนเซชันขึ้น (หัวข้อที่ 2.1.2) ส่งผลทำให้ค่า $h_m F_2$ ในช่วงตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นรวมถึงในช่วงเวลากลางวันจะมีค่าสูงนั่นเอง และในช่วงหลังจากพระอาทิตย์ตก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะไม่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จึงเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่ (หัวข้อที่ 2.1.2) เป็นผลทำให้ค่า $h_m F_2$ ในช่วงเวลากลางคืนมีค่าลดต่ำลงมา โดยค่า $h_m F_2$ จะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งก็ต่อเมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าของวันใหม่ นั่นเอง และจากรูปจะสังเกตเห็นว่าในแต่ละกราฟมีข้อมูลบางส่วนขาดหายไป อันเป็นผลมาจากการที่ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F_2$ ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้ไม่มีค่า กล่าวคือ ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถเก็บวัดค่า $MUF(3000)F_2$ และ f_oF_2 จากไอโอโนแกรมได้โดยอาจเป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น การเกิด สเปรดเอฟ การเกิด

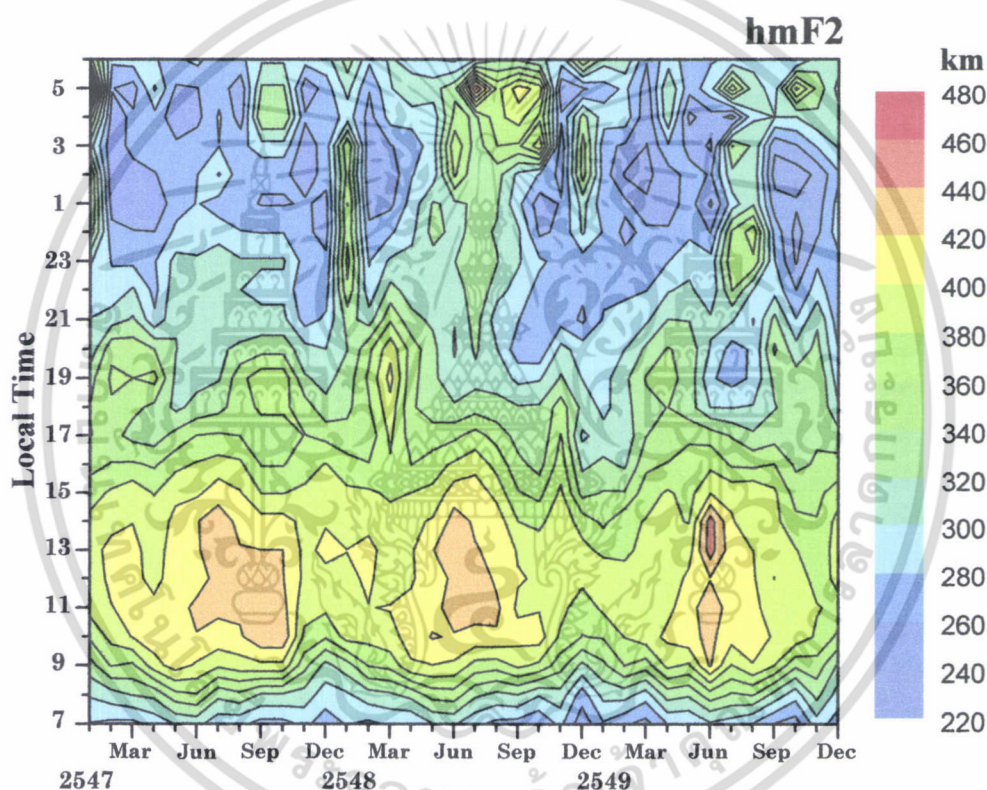
เอกสาร Sporadic E การเกิดการแทรกสอดสัญญาณจากภายนอกในย่าน HF เป็นต้น ซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลทำให้ไม่สามารถเก็บค่า MUF(3000)F2 และ foF2 ได้ ส่งผลให้เมื่อนำค่าแฟกเตอร์ M(3000)F2 มาทำการคำนวณหาค่า hmF2 ในช่วงเวลาดังกล่าวจึงมีข้อมูลขาดหายไปนั่นเอง

5.2.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือน

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายเดือนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 Contour plot ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 5.6 แสดง Contour plot ค่า hmF2 เฉลี่ยภายในแต่ละเดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากรูปพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ในแต่ละเดือนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน กล่าวคือ ค่า hmF2 จะมีค่าสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน หรือช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.00 น. จากนั้นค่า hmF2 จะมีค่าค่อยๆ ลดลงจนถึงในช่วงก่อนพระอาทิตย์ ค่า hmF2 จึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

อีกครั้ง เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ในแต่ละเดือนพบว่าค่า hmF2 ในช่วงเวลา

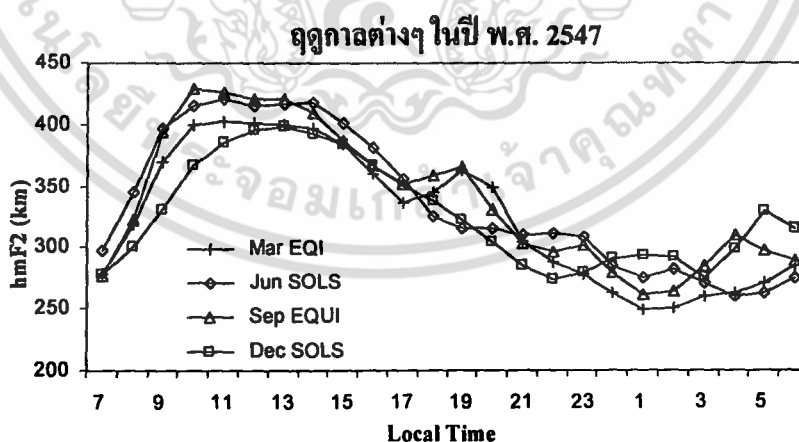
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.00 น. ถึง 14.00 น. นี้จะมีค่าสูงในทุกๆ เดือน โดยเฉพาะในช่วงเดือนมิถุนายน กรกฎาคม ค่า hmF2 ตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการศึกษามีค่าสูงกว่าในเดือนอื่นๆ โดยมีค่าค่า hmF2 สูงถึง 460 กิโลเมตร ส่วนในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นนั้น ส่วนใหญ่ค่า hmF2 จะมีค่าต่ำในทุกๆ เดือนที่เราได้ทำการศึกษา โดยค่า hmF2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 220 กิโลเมตร ถึง 300 กิโลเมตร ยกเว้นในช่วงบางเดือนอาจมีค่า hmF2 สูงถึง 420 กิโลเมตร นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ทำการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยสังเกตได้จากรูปที่ 5.6 กล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2547 ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ในช่วงกลางวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.00 น. ของช่วงเดือนมิถุนายน กรกฎาคมนี้จะมีค่าสูงกว่าในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2549 เมื่อทำการเปรียบเทียบในช่วงเดือนเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าในปี พ.ศ. 2548 และปี พ.ศ. 2549 นั่นเอง

5.2.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล

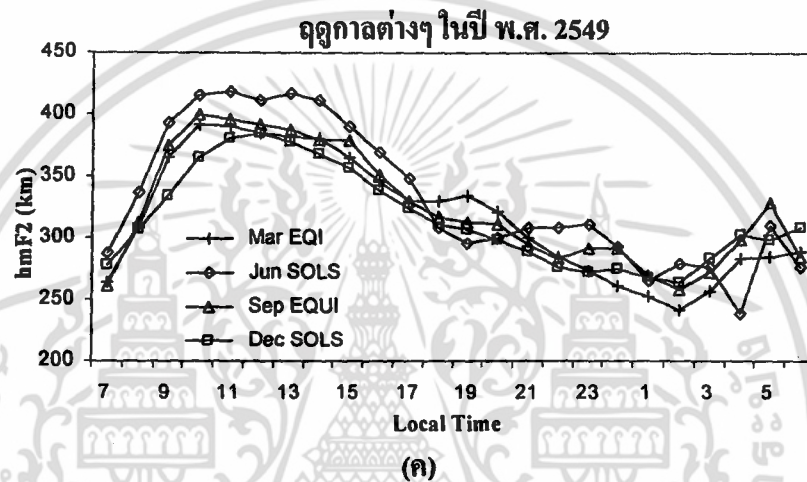
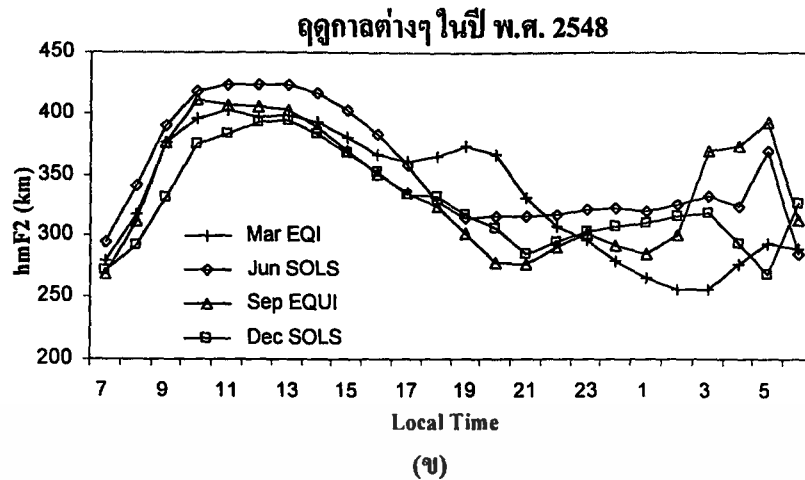
ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ตามฤดูกาล โดยในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาลในแต่ละปีที่ทำการศึกษาคือ ช่วง March equinox ช่วง June solstice ช่วง September equinox และช่วง December solstice แสดงดังรูปที่ 5.7



(ก)

รูปที่ 5.7 ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตามฤดูกาล
(ก)ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 (ค) ปี พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



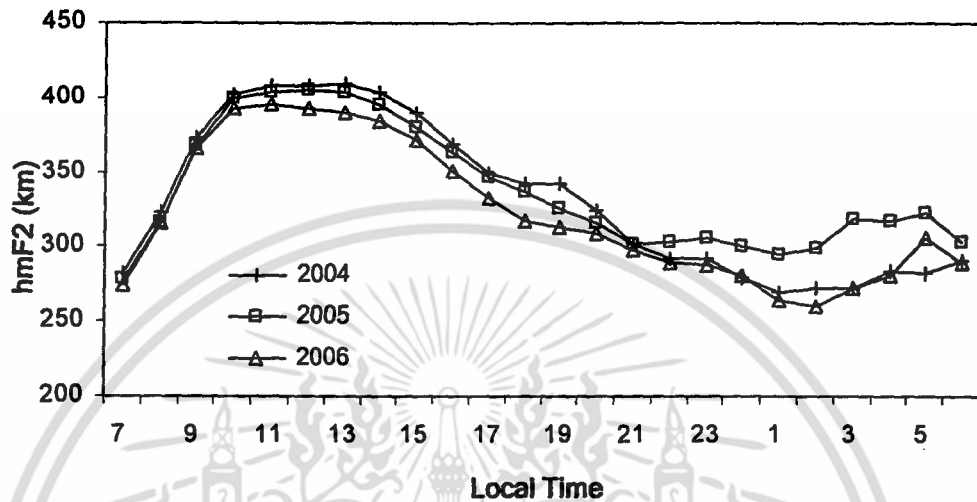
รูปที่ 5.7 (ต่อ)

รูปที่ 5.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $hmF2$ ตามฤดูกาล (ก) ปี พ.ศ. 2547 (ข) ปี พ.ศ. 2548 และ (ค) ปี พ.ศ. 2549 ตามลำดับ พบว่าในรูปที่ 5.3 (ก), (ข) และ (ค) มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $hmF2$ คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวันคือ $hmF2$ จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.00 น. จากนั้นค่า $hmF2$ จะมีค่าค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ค่า $hmF2$ จึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลพบว่า ในช่วงเวลากลางวัน ค่า $hmF2$ ของฤดูกาล June solstice จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าเป็นช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 20.00 น. ค่า $hmF2$ ของฤดูกาล March equinox จะมีค่าสูงเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ เนื่องจากปกติค่า $hmF2$ ในช่วงเวลานี้จะมีค่าลดลง ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับที่ค่า $h'F$ มีค่าสูงสุดด้วยเช่นกัน โดยปกติค่า $hmF2$ ในแต่ละฤดูกาลจะมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันสังเกตได้จากในปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2549 ส่วนในปี พ.ศ. 2548 ค่า $hmF2$ ในช่วงเวลากลางคืนจะมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล โดยในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ค่า $hmF2$ ในฤดูกาล September solstice จะมีค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบบรายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549

รูปที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ hmF2 โดยเป็นค่าเฉลี่ยภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งจากรูปพบว่า การเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ของทั้ง 3 ปีมีแนวโน้มคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 แบบรายวัน และเมื่อทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ในแต่ละปีจะพบว่า ในช่วงเวลากลางวัน ค่า hmF2 ภายในปี พ.ศ. 2547 จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องจากภายในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์สูง กว่าในปีอื่นๆ ที่ทำการศึกษา นอกจากนี้ค่า hmF2 ในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 21.00 น. ยังมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ภายในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2549 ณ ช่วงเวลานี้จะมีค่า hmF2 ลดลง เนื่องจากทั้ง 2 ปีเป็นช่วงที่มีปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าน้อย จึงส่งผลต่อความแปรปรวนของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์น้อย ทำให้ค่า hmF2 ในช่วงนี้มีค่าลดลงตามปกติ นั่นเอง ส่วนในช่วงกลางคืนจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ค่า hmF2 ภายในปี พ.ศ. 2548 จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่า hmF2 มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับพารามิเตอร์ $h'F$, f_oF_2 , $MUF(3000)F_2$ และ $M(3000)F_2$ ที่ได้กล่าวไปแล้วนั่นเอง

และในบทต่อไปจะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า f_oF_2 และ hmF2 ที่ทำการวัดได้จริง

กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤต และความสูงสูงสุดของ ชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับ ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

ในบทนี้กล่าวถึงผลของค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) และความสูงสูงสุด (h_mF_2) ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริง เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (International Reference Ionosphere) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยข้อมูลค่าพารามิเตอร์ f_oF_2 และ h_mF_2 ได้มาจากสถานีไอโอโนซอนเดซึ่งตั้งอยู่ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ ตำแหน่งเส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และตำแหน่งเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ ซึ่งตั้งอยู่ในแถบละติจูดต่ำ เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวที่ทำการวัดได้จริงเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ แบบ URSI และ CCIR นั่นเอง และทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวอีกด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบจำลองของ IRI ที่ถูกปรับปรุงในปี พ.ศ. 2544 หรือเรียกว่า IRI-2001 การทำการศึกษการเปรียบเทียบดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ URSI และ CCIR ต่อไป ซึ่งจะ เป็นประโยชน์ต่อการนำไปออกแบบ หรือพัฒนาระบบการติดต่อสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น การรับ - ส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูง (High frequency) เป็นต้น ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

6.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

ในหัวข้อนี้แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 (f_oF_2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI จากการศึกษาจะใช้ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง และค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta foF2 = foF2_{IRI} - foF2_{OBS} \quad (6.1)$$

โดยที่ $\Delta foF2$ คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ค่า $foF2_{IRI} = foF2_{URSI}$ เมื่อใช้แบบจำลองของ URSI และ $foF2_{IRI} = foF2_{CCIR}$ เมื่อใช้แบบจำลองของ CCIR ค่า $foF2_{OBS}$ คือค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริง โดยในวิทยานิพนธ์นี้แบบจำลองของ IRI-2001 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ URSI และ CCIR ในการทำนายค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ในส่วนต่อมาแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สามารถได้ดังสมการต่อไปนี้

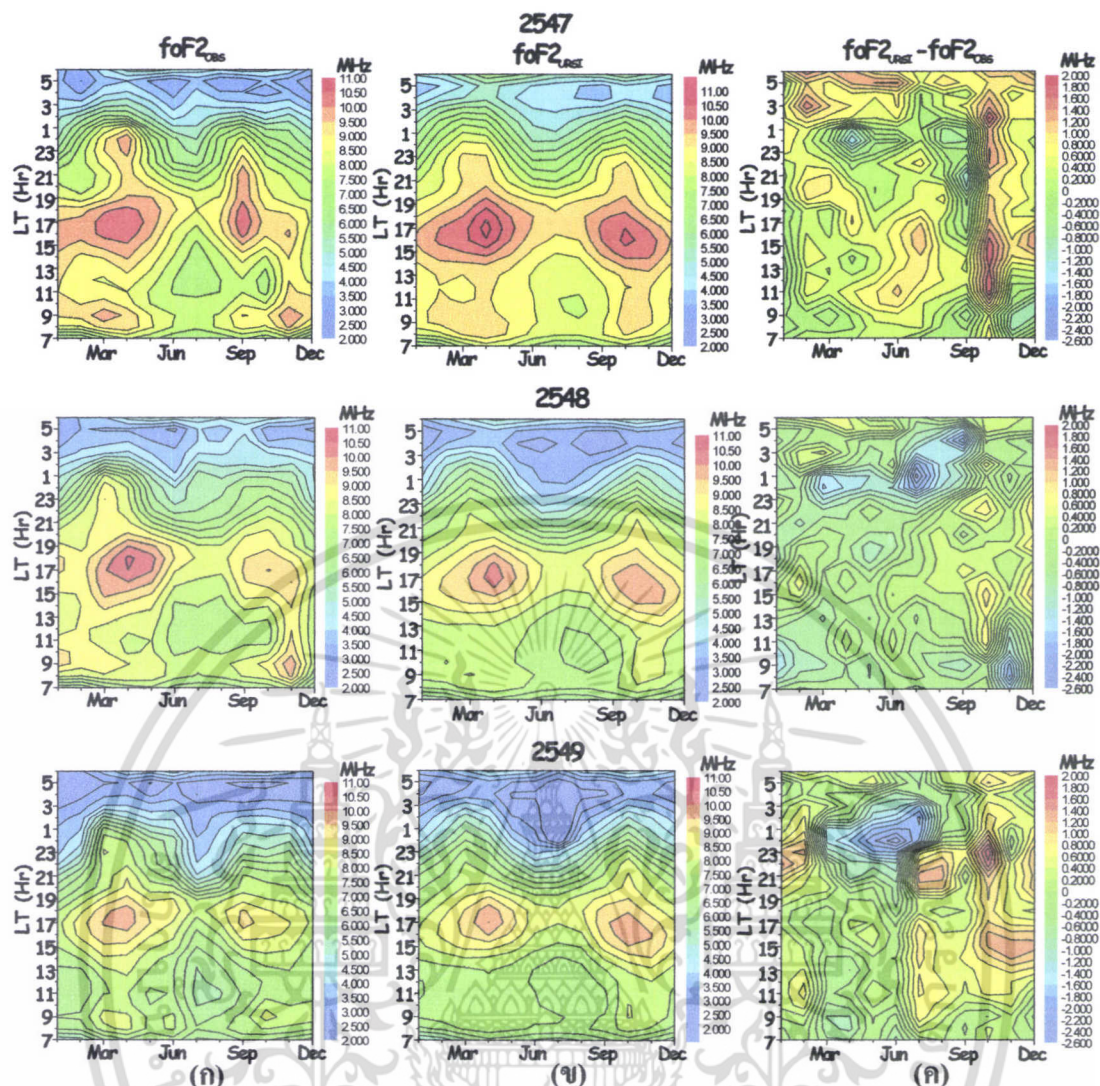
$$CV = \frac{|foF2_{IRI} - foF2_{OBS}|}{foF2_{OBS}} \times 100\% \quad (6.2)$$

โดยที่ CV (the foF2 coefficient of variation) คือค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

โดยค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตสามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

6.1.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001

ในหัวข้อนี้เสนอผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (สมการที่ 6.1) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 6.1 Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จาก โมเดล IRI_{URSI} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI_{URSI} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

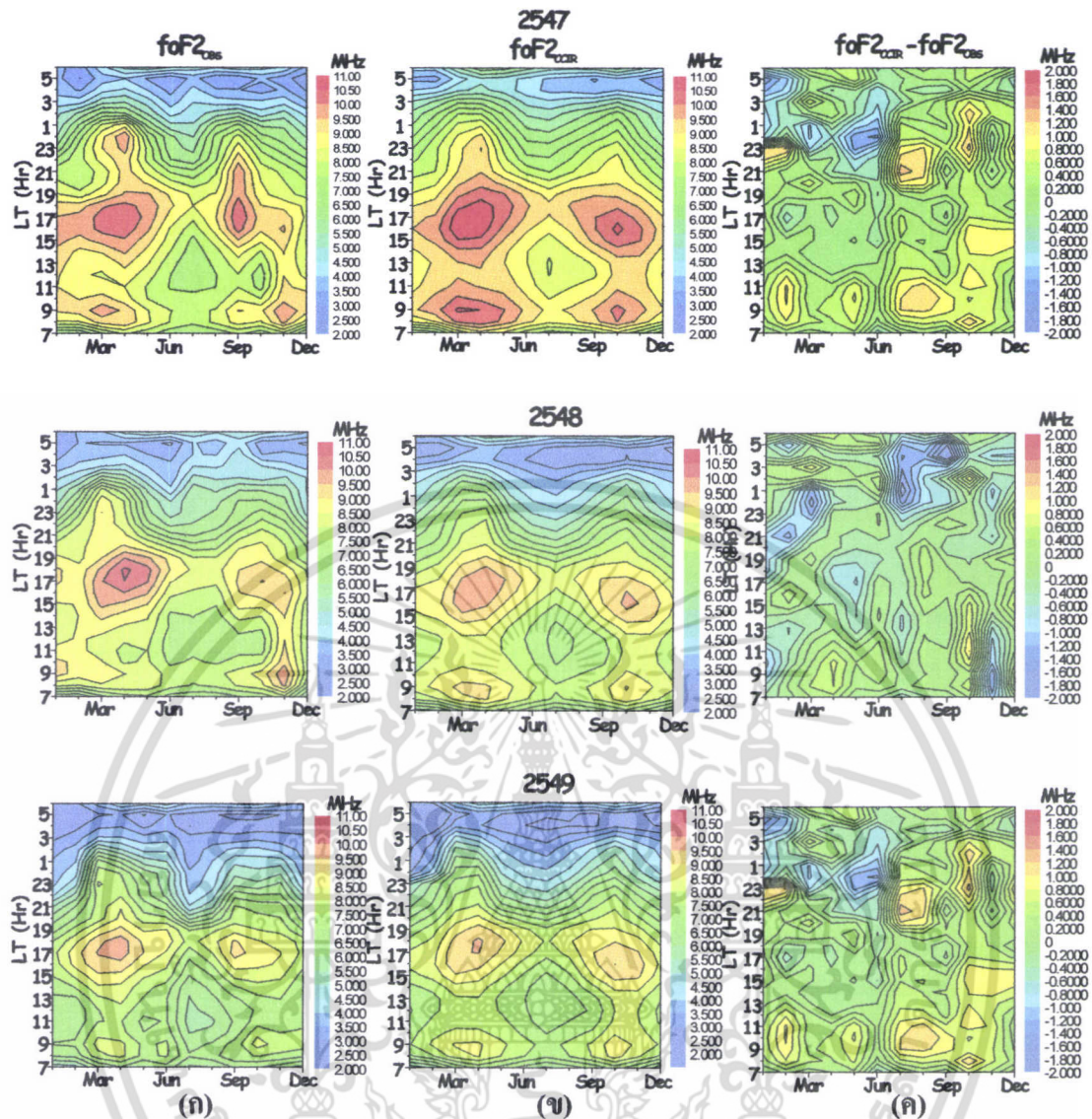
รูปที่ 6.1 แสดง Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง ณ สถานีชุมพร (ข) ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} ในช่วงระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 6.1(ค) พบว่าค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงมีค่าสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นหรือในช่วงเวลาประมาณ 06.00 น. จากนั้นมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลากลางวัน ก่อนจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงหลังพระอาทิตย์ตก หรือในช่วงเวลาประมาณ 17.00 – 20.00 น. หลังจากนั้นค่าความถี่วิกฤตจะค่อยๆ มีค่าลดลงในช่วงเวลากลางคืน จนมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นหรือในช่วงเวลาประมาณ 03.00 - 06.00 น. และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในนามของกรมอุตุนิยมวิทยาเพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช้าวันใหม่นั้นเอง ส่วนสาเหตุที่ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 มีการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ได้อธิบายในหัวข้อที่ 4.2 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแบบฤดูกาลพบว่า ค่าความถี่วิกฤตในช่วงหลังพระอาทิตย์ตกมีค่าสูงในฤดูกาล March equinox และ September equinox โดยมีค่าสูงสุดในฤดูกาล March equinox ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าต่ำสุดในทุกๆ ฤดูกาล เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตในแต่ละปีพบว่าค่าความถี่วิกฤตในปี พ.ศ. 2547 จะมีค่าสูงกว่าปีอื่นๆ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์สูงกว่าปีอื่นๆ ที่ทำการศึกษา ในรูปที่ 6.1(ข) ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} มีลักษณะคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงในรูปที่ 6.1(ก) เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 6.1(ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} พบว่า ในปี พ.ศ. 2547 ค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวก (ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} มีค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง) ในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน ในทุกๆ ฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูกาล September equinox จะมีค่าสูงกว่าฤดูกาลอื่นๆ ส่วนในปี พ.ศ. 2548 ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในช่วงเวลากลางวันในทุกๆ ฤดูกาล และพบว่าในช่วงเวลาหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้า (Post-midnight) ค่าความแตกต่างมีค่าเป็นลบ (ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} มีค่าต่ำกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง) ในช่วงฤดูกาล March equinox และ June solstice และในปี พ.ศ. 2549 ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในช่วงเวลากลางวันในทุกๆ ฤดูกาล ยกเว้นในช่วงฤดูกาล September equinox และ December solstice พบว่าค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวก ส่วนในช่วงเวลากลางคืนพบว่าค่าความแตกต่างมีค่าเป็นลบในช่วงเวลาหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้าของช่วงฤดูกาล March equinox และ June solstice ส่วนในช่วงฤดูกาล September equinox และ December solstice พบว่าค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวก โดยค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} มีค่าอยู่ในช่วง -2.6 เมกะเฮิร์ตซ์ จนถึง 2.0 เมกะเฮิร์ตซ์

ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} แสดงในรูปที่ 6.2(ข) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงในรูปที่ 6.2(ก) กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในรูปที่ 6.2(ข) พบว่าค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน ในรูปที่ 6.2(ค) แสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีคล้ายกับในรูปที่ 6.1(ค) อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในรูปที่ 6.2(ค) มีค่าอยู่ในช่วง ± 2 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤตที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} ในช่วงที่ปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำพบว่า ทั้ง IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำการวัดได้จริง ณ สถานีชุมพร แต่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ให้ค่าใกล้เคียงกว่าค่าที่

เอกสารที่นำมาใช้ศึกษาเป็นแบบจำลองของ IRI_{URSI} เล็กน้อยศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

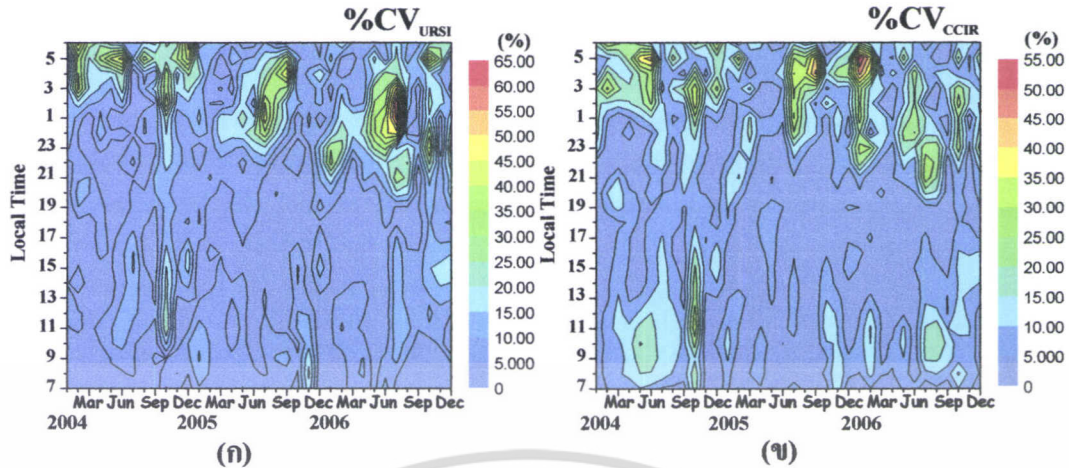


รูปที่ 6.2 Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จากโมเดล IRI_{CCIR} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

6.1.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ในหัวข้อนี้นำเสนอ ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (สมการที่ 6.2) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ณ สถานีชุมพร ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

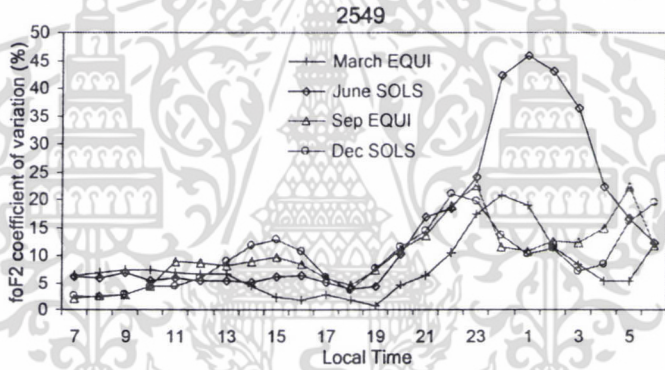
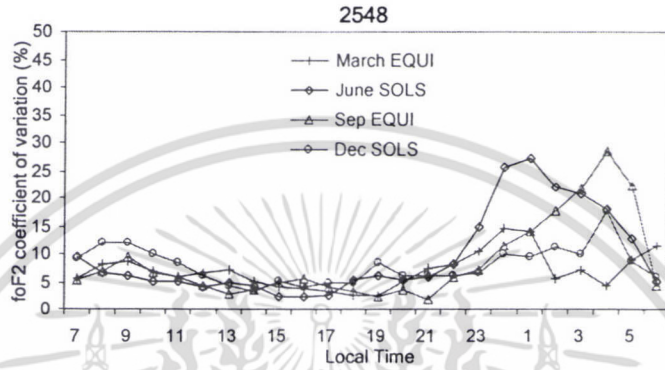
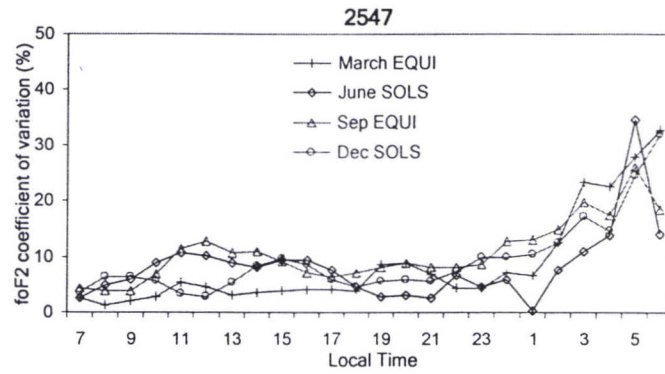


รูปที่ 6.3 Contour plot ของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ก) IRI_{URSI} และ (ข) IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

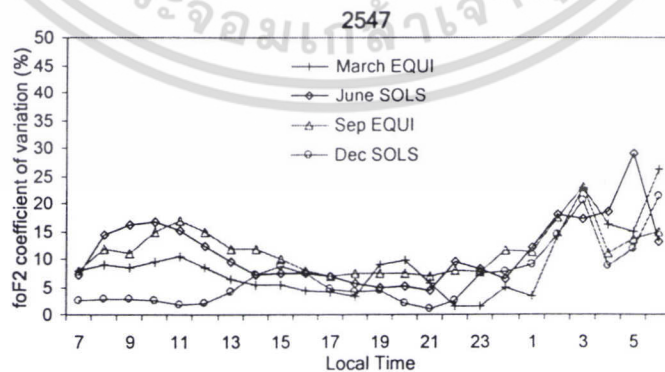
รูปที่ 6.3 แสดง Contour plot ของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ก) IRI_{URSI} และ (ข) IRI_{CCIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากรูปที่ 6.3(ก) พบว่าทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} มีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 – 15 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในช่วงบางเดือนอาจมีค่าสูงถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้า (Post-midnight) มีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 20 – 45 เปอร์เซ็นต์ โดยในบางเดือนอาจมีค่าสูงถึง 65 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 6.3(ข) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} มีค่าการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับรูปที่ 6.3(ก) อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตในช่วงหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้าของรูปที่ 6.3(ข) มีค่าสูงสุดเพียง 55 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ในส่วนต่อไป แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตในแต่ละฤดูกาล โดยทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากสถานีชุมพร โดยในวิทยานิพนธ์นี้มีการแบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาลในแต่ละปีทำการศึกษาคือ ช่วง March equinox (ช่วงเดือน กุมภาพันธ์, มีนาคม และเมษายน), ช่วง June solstice (ช่วงเดือน พฤษภาคม, มิถุนายน และกรกฎาคม), ช่วง Sep equinox (ช่วงเดือน สิงหาคม, กันยายน และตุลาคม) และช่วง Dec solstice (ช่วงเดือน พฤศจิกายน, ธันวาคม และมกราคม) ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

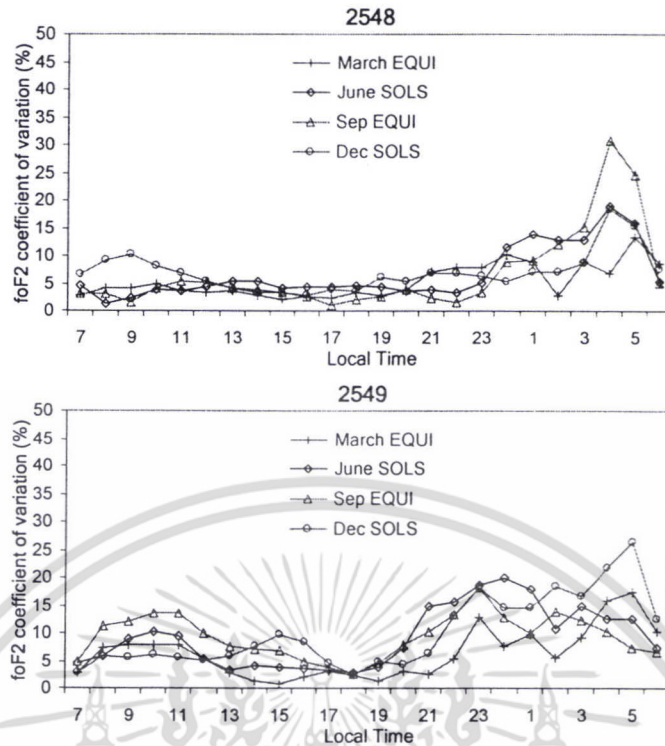


รูปที่ 6.4 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} ในแต่ละฤดูกาล ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549



รูปที่ 6.5 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในแต่ละฤดูกาล ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 (ต่อ)

ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} ของทั้ง 4 ฤดูกาลภายในปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2549 แสดงในรูปที่ 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ โดยปกติค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของทั้ง IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลคล้ายคลึงกัน จากรูปที่ 6.4 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 3-10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางคืน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าสูงสุดในช่วงหลังเที่ยงคืน โดยมีค่าสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในฤดูกาล June solstice ในช่วงหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้ามืดมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ ตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ทำการศึกษา โดยเฉพาะในฤดูกาล June solstice ภายในปี พ.ศ. 2549 มีค่าสูงสุด จากรูปที่ 6.5 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2-15 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าต่ำสุดในช่วงหลังพระอาทิตย์ตก โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2-7 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลากลางคืน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์ โดยจะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น โดยมีค่าสูงสุดถึง 35 เปอร์เซ็นต์ โดยในช่วงเวลากลางวันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของทั้ง 4 ฤดูกาลมีค่าใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ทำการศึกษา ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของฤดูกาล June solstice ภายในปี พ.ศ. 2547 ฤดูกาล September equinox ภายในปี พ.ศ. 2548 และ December solstice ภายในปี พ.ศ. 2549 จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปได้ว่าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Adeniji et al. (2003) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบว่า ค่าความถี่วิกฤตที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 จะให้ค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงทั้งในช่วงเวลากลางวัน และในช่วงเวลากลางคืน ยกเว้นในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของฤดูกาล March equinox และ June solstice ในปี พ.ศ. 2548 และปี พ.ศ. 2549 อย่างไรก็ตามในช่วงเวลากลางวันค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตที่ได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงที่ได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงที่ได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} จะมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงที่ได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI}

6.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

ในหัวข้อนี้แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ได้มาจากค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ จากการประยุกต์สูตรของ Shimazaki กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI จากการศึกษาจะใช้ค่าความสูงสูงสุดเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง และค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta hmF2 = hmF2_{IRI} - hmF2_{OBS} \quad (6.3)$$

โดยที่ $\Delta hmF2$ คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ค่า $hmF2_{IRI} = hmF2_{CCIR}$ เมื่อใช้แบบจำลองของ CCIR และค่า $hmF2_{OBS}$ คือค่าความสูงสูงสุดที่ทำการวัดได้จริง โดยในวิทยานิพนธ์นี้แบบจำลองของ IRI-2001 จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ CCIR ในการทำนายค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2

ในส่วนต่อมาแสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (the $hmF2$ coefficient of variation) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$CV = \frac{|hmF2_{IRI} - hmF2_{OBS}|}{hmF2_{OBS}} \times 100\% \quad (6.4)$$

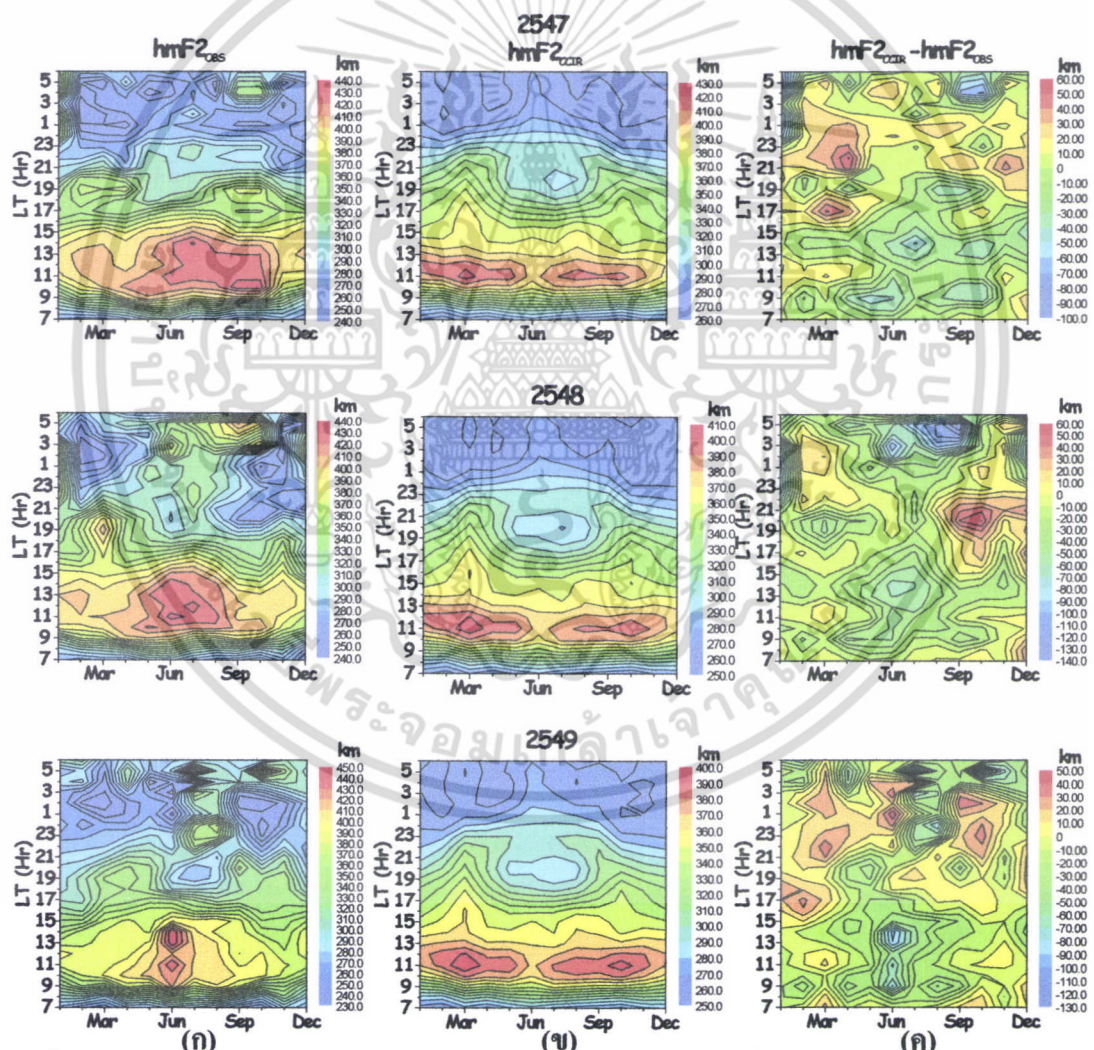
โดยที่ CV (the $hmF2$ coefficient of variation) คือค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI และค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดสามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

6.2.1 ผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001

ในหัวข้อนี้เสนอผลการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (สมการที่ 6.3) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 6.6 Contour plot ของ (ก) ค่าความสูงสูงสุดเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จากโมเดล IRI_{CIR} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI_{CIR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

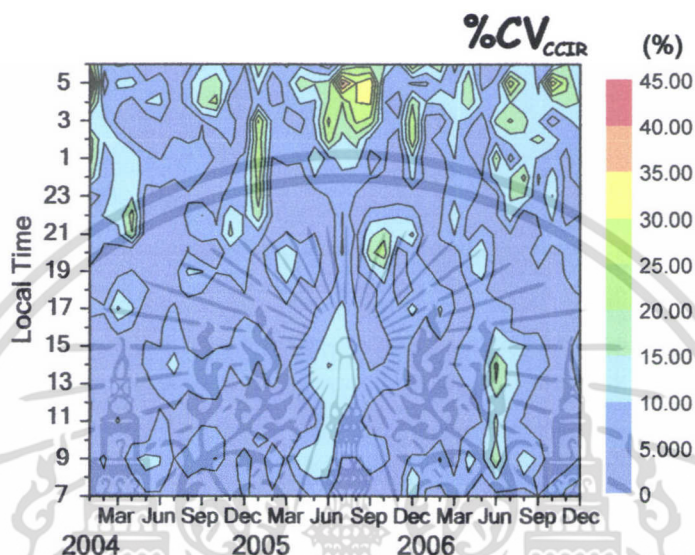
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.6 แสดง Contour plot ของ (ก) ค่าความสูงสูงสุดเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง ณ สถานีชุมพร (ข) ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในช่วงระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ (low solar activity) เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 6.1(ก) และ (ข) พบว่าค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริงและค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วงเวลา 06.00 น. โดยเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน หรือในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.000 น. หลังจากนั้นค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 จะมีค่าความสูงลดลง โดยค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษาค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริงในฤดูกาล June solstice ในช่วงเวลากลางวันจะมีค่าสูงสุด ในขณะที่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลอง IRI_{CCIR} จะมีค่าความสูงสูงสุดในฤดูกาล March equinox และ September equinox ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าความสูงสูงสุดของทั้งคู่ มีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นในทุกๆ ฤดูกาลของทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษา ในรูปที่ 6.6(ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} พบว่าตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ทำการศึกษา ค่าความสูงสูงสุดที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในช่วงเวลากลางวันในทุกๆ ฤดูกาล โดยมีค่าความแตกต่างอยู่ระหว่าง -10 กิโลเมตร ถึง +20 กิโลเมตร ส่วนในช่วงเวลากลางคืนพบว่า ในปี พ.ศ. 2547 ค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวก (ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} มีค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง) ยกเว้นในฤดูกาล September equinox และ December solstice ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นมีค่าความแตกต่างเป็นลบ (ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} มีค่าต่ำกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง) ส่วนในปี พ.ศ. 2548 พบว่าในช่วงเวลากลางคืนค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวกในทุกๆ ฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูกาล September equinox จะมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูกาลอื่นๆ ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นในช่วงฤดูกาล June solstice และ September equinox มีค่าความแตกต่างเป็นลบ และในปี พ.ศ. 2549 พบว่าค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวกในทุกๆ ฤดูกาล ยกเว้นในช่วงฤดูกาล June solstice และ September equinox ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นมีค่าความแตกต่างมีค่าเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ในหัวข้อนี้นำเสนอ ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (สมการที่ 6.4) โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ณ สถานีชุมพร ได้ผลดังนี้

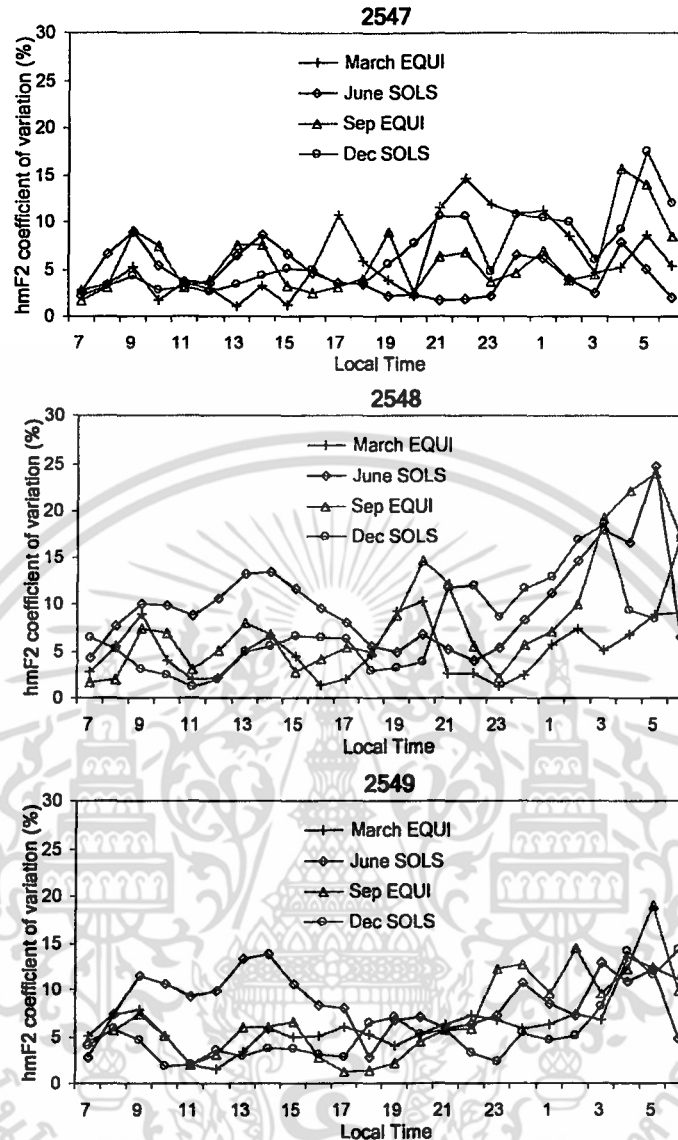


รูปที่ 6.7 Contour plot ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 จากแบบจำลองของ IRI_{CCR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 6.7 แสดง Contour plot ของค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากแบบจำลองของ IRI_{CCR} ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากรูปที่ 6.7 พบว่าทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษามีค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCR} มีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0 – 10 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นในช่วงบางเดือนอาจมีค่าสูงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้า (Post-midnight) มีการเปลี่ยนแปลงระหว่าง 20 – 45 เปอร์เซ็นต์ โดยในบางเดือนอาจมีค่าสูงถึง 65 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนต่อไป แสดงผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ในแต่ละฤดูกาล โดยทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 จากสถานีชุมพร โดยในวิทยานิพนธ์นี้แบ่งช่วงการพิจารณาตามฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาลในแต่ละปีที่ทำการศึกษา คือ ช่วง March equinox ช่วง June solstice ช่วง September equinox และช่วง December solstice ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.8 ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ในแต่ละฤดูกาล ณ สถานีหุมพร ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549

รูปที่ 6.8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ซึ่งได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ของทั้ง 4 ฤดูกาลภายในปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2549 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ภายใน 3 ปีที่ทำการศึกษามีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2-10 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลากลางคืน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 10-20 เปอร์เซ็นต์ และจะมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น โดยมีค่าสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาแบบฤดูกาล พบว่าในช่วงเวลากลางวันของฤดูกาล June solstice มีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูกาลอื่นๆ โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2548 และปี พ.ศ. 2549 มีค่าสูงถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของฤดูกาล September เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

equinox มีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ เมื่อทำการพิจารณาเป็นรายปีพบว่าในปี พ.ศ. 2548 สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ

สามารถสรุปได้ว่าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ การเปรียบเทียบระหว่างค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chou และ Lee (2007) โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พบว่า ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในช่วงเวลากลางวันในทุกๆ ฤดูกาล ส่วนในช่วงเวลากลางคืนพบว่าค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (CCIR) มีค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง ยกเว้นในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของฤดูกาล September equinox และ December solstice ในปี พ.ศ. 2547 ฤดูกาล June solstice และ September equinox ในปี พ.ศ. 2548 และปี พ.ศ. 2549 ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (CCIR) มีค่าต่ำกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤต และค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอ โอ โนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 โดยปกติพบว่าค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำการทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ให้ผลดีกว่าค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001

ในส่วนต่อไปจะเป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการศึกษาคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอ โอ โนสเฟียร์

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะทางไกล และการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ซึ่งทั้ง 2 ระบบนี้มีการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยในบางช่วงเวลาอาจเกิดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบที่มีการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ดังที่ได้กล่าวถึงในความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในบทที่ 1 ดังนั้นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อนำไปออกแบบ และพัฒนาระบบที่มีการติดต่อสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ประกอบด้วยค่าความสูงของชั้น F ($h'F$) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 (f_oF2) ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ และค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยพารามิเตอร์ $h'F$, f_oF2 และ $MUF(3000)F2$ ได้มาจากการทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมของเทคนิคไอโอโนซอนเดตต์แสดงในบทที่ 3 ส่วนหลักการของเทคนิคไอโอโนซอนเดตต์กล่าวไว้ในบทที่ 2 และผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวที่วัดได้จากไอโอโนแกรมสามารถแสดงดังบทที่ 4 โดยทำการติดตั้งสถานีไอโอโนซอนเดตต์ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ เพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $h'F$ จะมีค่าลดลงในช่วงตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 09.00 น. ถึง 15.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าสูงสุดในเวลาประมาณ 20.00 น. จากนั้นระดับความสูงลดต่ำลงมาในช่วงกลางคืน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่า ในเวลากลางวัน ค่าพารามิเตอร์ $h'F$ จะมีค่าใกล้เคียงกันในทุก 4 ฤดูกาล ส่วนในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ค่าพารามิเตอร์ $h'F$ ในช่วงฤดูกาล March equinox จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีพบว่าความสูงของชั้น F มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยในการศึกษานี้ ค่า $h'F$ ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2549 จะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ยกเว้นในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ค่าพารามิเตอร์ $h'F$ ภายในปี พ.ศ. 2547 จะมีค่าสูงกว่าปีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $foF2$ จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้น และลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาประมาณ 09.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนมีค่าสูงสุดในช่วงหลังพระอาทิตย์ตก หรือช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 20.00 น. และจะมีค่าลดลงในช่วงกลางคืนจนมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าค่าพารามิเตอร์ $foF2$ ภายในฤดูกาล March equinox ในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 20.00 น. จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ นอกจากนี้ในช่วงเวลาประมาณ 22.00 น. ถึง 02.00 น. ของช่วงฤดูกาล March equinox นี้จะมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ฤดูกาลอื่นๆ มีค่าต่ำลดลง ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่าพารามิเตอร์ $foF2$ จะมีค่าต่ำสุดในทุกๆ ฤดูกาล และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีพบว่าค่าพารามิเตอร์ $foF2$ มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยจากการศึกษาจะพบว่าค่า $foF2$ ภายในปี พ.ศ. 2547 จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ ในทุกช่วงเวลา

การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $MUF(3000)F2$ นี้จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $foF2$ ไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน รายเดือน ตามฤดูกาล หรือรายปี แต่ค่าพารามิเตอร์ $MUF(3000)F2$ จะมีค่าสูงกว่าค่าพารามิเตอร์ $foF2$ และพบว่าค่าพารามิเตอร์ $MUF(3000)F2$ จะมีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับค่าพารามิเตอร์ $h'F$ และ $foF2$

ในบทที่ 5 นำเสนอการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ และค่าความสูงสูงสุดของชั้น $F2$ ($hmF2$) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ เป็นอัตราส่วนระหว่างพารามิเตอร์ $MUF(3000)F2$ กับค่าพารามิเตอร์ $foF2$ นอกจากนี้ค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ ยังถูกใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ $hmF2$ ด้วย ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ สามารถสรุปได้ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ จะมีค่าลดลงเมื่อพระอาทิตย์ขึ้นจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน หรือในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน หรือในช่วงเวลาประมาณ 01.00 น. ถึง 04.00 น. เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในแต่ละฤดูกาลพบว่าค่าแฟคเตอร์ $M(3000)F2$ จะมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ฤดูกาลภายในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน ค่า $M(3000)F2$ จะมีค่าแตกต่างกัน โดยค่าของฤดูกาล March equinox ในช่วงกลางคืน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 01.00 น. ถึง 03.00 น. จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ และในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่า $M(3000)F2$ ในแต่ละฤดูกาลจะมีค่าแตกต่างกันอย่างมาก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 นอกจากนี้ยังพบว่าค่า $M(3000)F2$ นี้มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์อีกเช่นกัน

การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $hmF2$ จะมีค่าสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน หรือในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.00 น. จากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงเวลากลางคืน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเช้าของวันใหม่นั้นเอง เมื่อทำการพิจารณาการ

เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าในช่วงเวลากลางวันค่าในช่วงฤดูกาล June solstice มีค่าสูงกว่าค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤดูกาลอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า $hmF2$ ในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 20.00 น. ของช่วงฤดูกาล March equinox จะมีค่าสูงขึ้นอย่างผิดปกติ ซึ่งช่วงเวลานี้เป็นช่วงที่ค่า $h'F$ มีค่าสูงสุดด้วย เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ในแต่ละปีพบว่าค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์

นอกจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ $h'F$, $foF2$, $MUF(3000)F2$, $M(3000)F2$ และ $hmF2$ แล้ว ในบทที่ 6 ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า $foF2$ และ $hmF2$ ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ได้ผลดังนี้

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า $foF2$ ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI ได้ผลดังนี้

1. โดยปกติค่า $foF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ไม่ว่าจะ เป็นแบบจำลองของ URSI หรือ CCIR จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาคือคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่า $foF2$ ที่ทำการวัดได้จริง
2. ค่า $foF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} ส่วนใหญ่ให้ค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริงในทุกๆ ช่วงเวลาของทั้ง 4 ฤดูกาล ยกเว้นในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของช่วงฤดูกาล March equinox และ June solstice ภายในปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2549
3. ในช่วงที่ปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ ค่า $foF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำการวัดได้จริง แต่ค่า $foF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกว่าเล็กน้อย

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่า $foF2$ ที่วัดได้จริงจากสถานีที่ ชุมพร ในช่วงที่ปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 พบว่าให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Adeniyi และคณะ [38] ซึ่งทำการตั้งสถานีในบริเวณทิศตะวันตกของทวีปแอฟริกา

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า $hmF2$ ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI_{CCIR} ได้ผลดังนี้

1. โดยปกติค่า $hmF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาคือคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่า $hmF2$ ที่ทำการวัดได้จริง
2. ค่า $hmF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในช่วงเวลากลางวัน ส่วนในช่วงเวลากลางคืน พบว่าค่า $hmF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI_{CCIR} ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าค่า $hmF2$ ที่ทำการวัดได้จริง ยกเว้นในฤดูกาล September equinox และ December solstice ของปี พ.ศ. 2547 ฤดูกาล June solstice และ September equinox ของปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2549

นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า $hmF2$ ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก

แบบจำลองของ IRI-2001 ณ ชุมพร ให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chou และ Lee [46] อีกด้วย นอกจากนี้การคำนวณค่า $foF2$ และ $hmF2$ ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 นี้ ยังสามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการวัดได้จริงอีกด้วย

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า foF2 และ hmF2 ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 โดยปกติพบว่าค่า hmF2 ที่ทำการทำนายจากแบบจำลองของ IRI-2001 ให้ผลดีกว่าค่า foF2 ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001

- ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ

ในการทำการศึกษาศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะมีประโยชน์ในเรื่องการรับ-ส่งคลื่น โดยพบว่าเมื่อความสูงของชั้น F เลื่อนตัวสูงขึ้นในช่วงกลางคืนนั้นจะทำให้สามารถทำการรับ-ส่งคลื่นไปได้ในระยะทางไกล และเมื่อความสูงของชั้น F เลื่อนตัวต่ำลงในช่วงเวลากลางวันจะทำให้ทำการรับ-ส่งคลื่นได้ในระยะใกล้ ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจึงสามารถทำการรับ-ส่งคลื่นได้ไกลกว่าในช่วงเวลากลางวันนั่นเอง

ในการทำการศึกษาศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 มีประโยชน์อย่างมากต่อระบบสื่อสารวิทยุระยะไกลในย่านความถี่สูง โดยจากผลการวิเคราะห์ค่า MUF(3000)F2 ในระยะเวลา 3 ปี ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 4.12 พบว่าถ้าเราต้องการรับ-ส่งคลื่นความถี่ให้ใช้งานได้จริงตลอดทั้งช่วงกลางวันและกลางคืน ต้องใช้ความถี่ที่มีค่าต่ำกว่า 10 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่ถ้าเราทำการรับ-ส่งความถี่ที่มีค่า 15 เมกะเฮิร์ตซ์ จะสามารถทำการรับ-ส่งคลื่นความถี่ได้จริงในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ส่วนในช่วงเวลากลางคืนตั้งแต่ช่วง 00.00 น. ไปจนถึง 06.00 น. จะไม่สามารถทำการรับ-ส่งคลื่นได้ เป็นต้น ซึ่งในการออกแบบระบบการรับ-ส่งคลื่นวิทยุนี้ เราต้องได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ซึ่งทาง กทช. จะจัดสรรความถี่ใช้งานมาให้เราหนึ่งความถี่ โดยในที่นี้สมมติให้ที่ 15 เมกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นในการรับ-ส่งคลื่นวิทยุที่เราจะทำการออกอากาศได้ก็จะอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00 น. ไปจนถึงเวลา 00.00 น. หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะไม่สามารถทำการรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ โดยถ้าต้องการทำการรับ-ส่งคลื่นในช่วงหลังจากนี้ต้องใช้ความถี่อีกความถี่ซึ่งก็คือที่ความถี่ 10 เมกะเฮิร์ตซ์นั่นเอง ระบบจึงจะสามารถทำการรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ในช่วงหลังเที่ยงคืนจนถึงเช้า โดยในการรับ-ส่งคลื่นในย่านความถี่สูงนี้ยังมีหน่วยงานจำนวนมากใช้งานอยู่ไม่ว่าจะเป็น ความถี่ที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมทางทหาร ความถี่ที่ใช้ในการเดินเรือ ความถี่ที่ใช้ในกิจการวิทยุการบินของกรมการบินพาณิชย์ รวมถึงคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานด้าน RF-ID (Radio Frequency Identification) เป็นต้น

การทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า foF2 และ hmF2 ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI เนื่องจากแบบจำลองของ IRI ซึ่งประกอบไปด้วย IRI_{URSI} และ IRI_{CCIR} นั้นจะทำการส่งทีมผู้เชี่ยวชาญไปทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในสถานที่ต่างๆ ทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ไม่ว่าจะเป็นในบริเวณละติจูดสูง กลาง หรือต่ำ รวมถึงในแถบเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กด้วย จากนั้นแบบจำลองทั้ง 2 ตัวนี้จะทำการทำนายค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในแต่ละสถานที่บนพิภพของโลก ซึ่งสถานีหุมพร ประเทศไทย เป็นบริเวณละติจูดต่ำ ซึ่งยังมีได้มีการทำการเก็บวัดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จริง เป็นเพียงการทำนายจาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองเท่านั้น ซึ่งโดยจากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทั้ง 2 ตัวนี้ (URSI และ CCIR) จะให้ค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง ดังนั้นผลที่ได้จากวิทยานิพนธ์นี้จึงเห็นควรให้มีการปรับปรุงค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทั้ง 2 เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดในการนำไปใช้งานต่อไป

- ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยประเภทนี้ คือ

ควรจะมีการพัฒนาโปรแกรมการเก็บค่าพารามิเตอร์จากไอโอโนแกรมให้เป็นอัตโนมัติ เพื่อความสะดวก รวดเร็ว และความถูกต้องแม่นยำในการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และควรทำการเก็บวัดข้อมูลให้ครบใน 1 รอบวัฏจักร หรือ 11 ปี เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วงที่ปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่า สูง ปานกลาง และต่ำ นอกจากนี้ควรทำการเก็บวัดข้อมูลจากหลายๆ สถานที่เพื่อดูการเคลื่อนตัวของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือนำพารามิเตอร์เหล่านี้ไปใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ต่อไป อาทิเช่น นำไปหาค่าความหนาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tadanori Ondoh and Katsuhide Marubashi eds. **Science of Space Environment**. Tokyo : Ohmsha, Ltd. 2000.
- [2] K. Davies. **Ionospheric Radio**. London : Peter Peregrinus, Ltd. 1990.
- [3] T. Shimazaki, "World-wide daily variations in the height of the maximum electron density of the ionospheric F2 layer," **S. Radio Res. Labs.**, Vol. 2, pp. 85-97, January 1955.
- [4] M.C. Kelley. **The Earth's Ionosphere Plasma Physics and Electrodynamics**. London : ACADEMIC PRESS, INC. 1989.
- [5] M.P.M Hall, L.W. Barclay and M.T. Hewitt. **Propagation of Radiowaves**. London : Short Run Press Ltd. 1996.
- [6] R.E. Collin. **Antenna and Radiowave Propagation**. Mc-Graw-Hill. 1985.
- [7] J.E. Allnutt. **Satellite to ground radiowave propagation theory, practice and system impact at frequencies above 1 GHz**. London : Peter Peregrinus. 1989.
- [8] คาราศาสตร์เพื่อคนไทย "Sunspot number," [Online]. Available : <http://www.prc.ac.th/Astronomy/sunspot.htm>
- [9] NOAA Space Environment Center "Solar Cycle" [Online]. Available : <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/SC24/index.html>
- [10] J. Louis and Jr. Ippolito. **Radiowave propagation in satellite communications**. Newyork : Van Nostrand Reinhold Company. 1986.
- [11] K. Bibl, "Evolution of the ionosonde," **Annali Di Geofisica.**, Vol. 41, No. 5-6, pp. 667-680, November-December 1998.
- [12] A. Picquenard. **Radio Wave Propagation**. London : The Macmillan Press Ltd. 1974.
- [13] N. Wakai, H. Ohyama and T. Koizumi. **MANUAL OF IONOGRAM SCALING**. Third Version. Communications Research laboratory. Tokyo, Japan, 1987.
- [14] M. Nakamura. **Quick Reference of Manual Scaling for SPECIAL scaling from Manual of Ionogram Scaling**. Communications Research laboratory. Tokyo, Japan, 2003.
- [15] Rawer, K. (ED), "Methods and Measurements and Results of Lower Ionosphere Structure," **Akademie-Verlag, Berlin, GDR**, 1974.
- [16] K. Rawer, J. Lincoln and R. Conkright. **International Reference Ionosphere**. URSI, Brussels, 1978.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] K. Rawer, J. Linkorn and R. Conkright, "International Reference Ionosphere, IRI-79," Report UAG-82, World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics, Boulder, Colorado, USA, 1981.
- [18] D. Bilitza. **International Reference Ionosphere 1990**. National Space Science Data Center, Report 90-22, Greenbelt, Maryland, USA, 1990.
- [19] D. Bilitza, S. Bhardwaj, and C. Koblinsky, "Improved IRI predictions for the GEOSAT time period," *Adv. Space Res.*, Vol. 20, No. 9, pp.1755-1760, 1997.
- [20] D. Bilitza, "International Reference Ionosphere 2000," *Radio Sci.*, Vol. 36, pp. 261-275, 2001.
- [21] D. Bilitza, "35 years of International Reference Ionosphere – Karl Rawer’s legacy," *Adv. in Radio Sci.*, pp. 283-287, 2004.
- [22] วิวัฒน์ กิรานนท์. "วิศวกรรมการสื่อสาร." พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อักษรสยามการพิมพ์. 2540
- [23] รุ่งชัย อัดตวิริยะสุวรรณ. "การศึกษาคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่หุ่มพรไถ้บริเวณเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549
- [24] อรอนงค์ เพชรนิ่ม. "ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542
- [25] S. Saito and T. Maruyama, "Ionospheric height variations observed by ionosondes along magnetic meridian and plasma bubble onsets," *Ann. Geophys.*, Vol. 24, pp. 2991-2996, 2006.
- [26] T. Maruyama, M. Kawamura, S. Saito, K. Nozaki, H. Kato, N. Hemmakorn, T. Boonchuk, T. Komolmis, and C. Ha Duyen, "Low latitude ionosphere-thermosphere dynamics studies with ionosonde chain in Southeast Asia," *Ann. Geophys.*, Vol. 25, pp. 1596-1577, 2007.
- [27] T. Maruyama, K. Nozaki, M. Yamamoto and S. Fukao, "Ionospheric height changes at two closely separated equatorial stations and implications in spread F onsets," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics.*, Vol. 64, pp.1557-1563, 2002.
- [28] S.S. Kouris, and D.N. Fotiadis, "Ionospheric variability: a comparative statistical study," *Adv. Space Res.*, Vol. 29, No. 6, pp. 977-985, 2002.

- [29] R.G. Ezquer, M. Mosert, and R.J. Corbella, "Variability of critical frequency and M(3000)F2 at Tucuman and San Juan," **ICTP Conference**, pp. 85-94, 2002.
- [30] J.O. Adeniyi, A.A. Willoughby, and S.M. radicella, "Variability in Equatorial foF2," **ICTP Conference**, pp. 79-84, 2002.
- [31] O.K. Obrou, D. Bilitza, J.O. Adeniyi, and S.M. Radicella, "Equatorial F2-Layer Peak Height and Correlation with Vertical Ion Drift and M(3000)F2," **Adv. Space Res.**, Vol. 31, No. 3, pp. 513-520, 2003.
- [32] M.L. Zhang, J.K. Shi, X. Wang, and S.M. Radicella, "Ionospheric variability at low latitude station: China," **Adv. Space Res.**, Vol. 34, pp. 1860-1868, 2004.
- [33] D. Bilitza, O.K. Obrou, J.O. Adeniyi, and O. Oladipo, "Variability of foF2 in the equatorial ionosphere" **Adv. Space Res.**, Vol. 34, pp. 1901-1906, 2004.
- [34] R.S. Dabas, N. Sharma, M.G.K. Pillai, and A.K. Gwal, "Day-to-day variability of equatorial and low latitude F-region ionosphere in the Indian zone," **Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics**, Vol. 68, pp. 1269-1277, 2006.
- [35] G.I. Gordienko, I.N. Fedulina, D. Altadill, and M.G. Shepherd, "Upper ionosphere variability over Alma-Ata and Oservatorio Del Ebro using the Δf_oF2 data obtained during the winter/spring period of 2003-2004," **Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics**, accepted 23 May 2007.
- [36] R.Hanbaba, "Statistical use of ionosonde data for IRI," **Adv. space Res.**, Vol. 15, No. 2, pp. 17-22, 1995.
- [37] P.V. Kishcha, "Short-term prediction of ionospheric peak parameters and TEC by the updated IRI model," **Adv. Space Res.**, Vol. 20, No. 9, pp. 1733-1740, 1997.
- [38] J.O. Adeniyi, D. Bilitza, S.M. Radicella, and A.A. Willoughby, "Equatorial F2-Peak Parameters in the IRI Model," **Adv. Space Res.**, Vol. 31, No. 3, pp. 507-512, 2003.
- [39] N.K. Sethi, R.S. Dabas, Lakha Singh, V.K. Vohra, B. Veenadhari, and S.C. Garg, "Results of foF2 and Ne-h profiles at low latitude using recent digital ionosonde observations and their comparison with IRI-2000" **Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics**, Vol. 65, pp. 749-755, 2003.
- [40] I.S. Batista, and M.A. Abdu, "Ionospheric variability at Brazilian low and equatorial latitudes: comparison between observations and IRI model," **Adv. Space Res.**, Vol. 34, pp. 1894-1900, 2004.

- [41] J.O. Adeniyi, O.A. Oladipo, and S.M. Radicella, "Variability of foF2 and comparison with IRI Model For an equatorial station," **The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics**, 2005.
- [42] M.A. Abdu, I.S. Batista, B.W. Reinisch, J.H.A. Sobral, and A.J. Carrasco, "Equatorial F region evening vertical drift, and peak height, during southern winter months: A comparison of observational data with the IRI descriptions," **Adv. Space Res.**, Vol. 37, pp. 1007- 1017, 2005.
- [43] F. Bertoni, Y. Sahai, W.L.C. Lima, P.R. Fagundes, V.G. Pillat, F. Becker-Guedes, and J.R. Abalde, "IRI-2001 model predictions compared with ionospheric data observed at Brazilian low latitude stations," **Ann. Geophys.**, Vol. 24, pp. 2191-2200, 2006.
- [44] M.L. Zhang, J.K. Shi, X. Wang, S.P. Shang, and S.Z. Wu, "Ionospheric behavior of the F2 peak parameters foF2 and hmF2 at Hainan and comparisons with IRI model predictions," **Adv. Space Res.**, Vol. 39 pp. 661-667, 2007.
- [45] N.K. Sethi, R.S. Dabas, and Y. Ninawe, "foF2 variability over New Delhi during different solar cycle conditions and comparison with IRI-2001 model," **Adv. Space Res.**, Vol. 40, pp. 855-860, 2007.
- [46] Y. J. Chuo and C. C. Lee, "Ionospheric variability at Taiwan low latitude station: Comparison between observations and IRI-2001 model," **Adv. Space Res.**, accept April 2007.
- [47] R. Attaviriyasuwon, T. Boonchuk, N. Leelaruji and N. Hemmakorn, "Observation of ionospheric height changes at Chumphon near the magnetic equator," **ICICS Conference**, pp. 1169-1172, 2005.
- [48] V. Yamvinij, N. Hemmakorn, N. Leelaruji and P. Supnithi, "The spread F phenomenon of the ionosphere in Thailand," **The IASTED International Conference NETWORKS AND COMMUNICATION SYSTEMS**, pp.467-469, March 2006.
- [49] N. Wichaipanich, R. Attaviriyasuwon, N. Hemmakorn and P. Supnithi, "Ionospheric variability of foF2 at low latitude station, Thailand," **The 2007 ECTI International Conference**, vol. 2, No. 2, pp. 967-970, 2007.
- [50] N. Wichaipanich, T. Boonchuk, N. Leelaruji, N. Hemmakorn and P. Supnithi, "Comparison between foF2 observations and IRI-2001 model predictions at Thailand equatorial latitude station," **The 2008 ECTI International Conference**, accepted March 2008.

- [51] K. Rawer and R. Eyfrig, "Improving the M(3000)-hmF2 relation," **Adv. Space Res.**, Vol. 33, pp. 878-879, 2004.
- [52] K.A. Hughes. **CCIR and ITU Technical Cooperation with special emphasis on worldwide propagation studies.** CCIR. Pp. 694-697. Switzerland.
- [53] T.L. Gulyaeva, "Half-century of radio probing of the ionosphere," **Conference publication 411, IEE**, pp. 231-234, 1995.
- [54] T. Maruyama, "Ionospheric Radio Propagations," **Science of Space Environment**, 2001.
- [55] N. Wakai, "Nomogram for easy readout of the night-time absorption", **CCIR IWP 6/1**, Document 12.
- [56] T. Maruyama, "Ionosphere and Thermosphere," **Journal of Communications Research Laboratory**, Vol. 49, No.3, 2002
- [57] CCIR Report 725-3, "Ionospheric Properties", **Reports of the CCIR, 1990**; Vol. VI propagation in Ionized Media, (ITU, Geneva, 1990).
- [58] H. Rishbeth, and M. Mendillo, "Patterns of F2-layer variability," **J.Atmos. Solar-Torres. Phys.** Vol. 63, pp. 1661-1680, 2001.

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. N. Wichaipanich, R. Attaviriyasuwon, N. Hemmakorn, P. Supnithi, “**Ionospheric variability of foF2 at low latitude station, Thailand,**” The 2007 ECTI International Conference, Vol. 2, pp. 967-970, 2007.
2. N. Wichaipanich, T. Boonchuk, N. Leelaruji, N. Hemmakorn, P. Supnithi, “**Comparison between foF2 observations and IRI-2001 model predictions at Thailand equatorial latitude station,**” the 2008 ECTI International Conference, accepted March 2008.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ผู้เขียน นายนรเสฏฐ์ วิชัยพานิชย์
- วัน เดือน ปีเกิด 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2526
- สถานที่เกิด จังหวัดลพบุรี
- ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
วิชาเอก วิศวกรรมไฟฟ้า - โทรคมนาคม
- สถานศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2548
- งานวิจัยที่สนใจ การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- สถานที่ทำการวิจัย ห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารดาวเทียม (Satellite Communication Lab.)
สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- งานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
1. N. Wichaipanich, R. Attaviriyasuwon, N. Hemmakorn, P. Supnithi, “**Ionospheric variability of foF2 at low latitude station, Thailand,**” The 2007 ECTI International Conference, Vol. 2, pp. 967-970, 2007.
 2. N. Wichaipanich, T. Boonchuk, N. Leelaruji, N. Hemmakorn, P. Supnithi, “**Comparison between foF2 observations and IRI-2001 model predictions at Thailand equatorial latitude station,**” the 2008 ECTI International Conference, accepted March 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้