

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (Research Center for Communications and Information Technology : ReCCIT) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 วงเงินงบประมาณ 132,538 บาท และขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำงานวิจัยชิ้นนี้



RCH  
QC  
861.2  
ช 2267

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....120292.....  
วัน, เดือน, ปี 13.02.2555..

b. 19936759  
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทสรุปย่อ

ทำการวัด และเก็บข้อมูลภาพไอโอโนแกรมจากสถานีไอโอโนซอนเดถูกติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เพื่อทำการวัดค่าพารามิเตอร์ 4 ตัว ประกอบด้วย (1) ความสูงของชั้นเอฟ ( $h'F$ ), (2) ค่าความถี่วิกฤตของชั้นเอฟสอง ( $foF2$ ), (3) แฟคเตอร์  $M(3000)$  ของชั้นเอฟสอง ( $M(3000)F2$ ) และ (4) ความสูงสูงสุดของชั้นเอฟสอง ( $hmF2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน และในแต่ละฤดูกาล จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์  $foF2$  และ  $hmF2$  ที่ทำการวัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ IRI (International Reference Ionosphere)

โครงการวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการออกเป็น 7 ขั้นตอน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. วัดค่าพารามิเตอร์  $h'F$ ,  $foF2$  และ  $MUF(3000)F2$  โดยใช้ไอโอโนซอนเดเทคนิค
3. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $M(3000)F2$  จากค่า  $MUF(3000)F2$
4. คำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $hmF2$  จากค่า  $M(3000)F2$
5. เปรียบเทียบค่า  $foF2$  และ  $hmF2$  ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI
6. วิเคราะห์ผล
7. สรุปและเขียนบทความวิจัย

## บทคัดย่อ

รายงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษา และวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ได้แก่ ความสูงของชั้น F ( $h'F$ ) ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $f_oF2$ ) 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) โดยใช้ไอโอโนซonde เทคนิคในการเก็บวัดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ประกอบด้วยค่าความสูงของชั้น F ( $h'F$ ) ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $f_oF2$ ) และค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 (MUF(3000)F2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยทำการบันทึก และวิเคราะห์ค่าจากภาพไอโอโนแกรม ซึ่งในรายงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมในทุกๆ 15 นาที จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์  $f_oF2$  และ MUF(3000)F2 มาทำการคำนวณหาค่าแฟคเตอร์ M(3000) F2 นอกจากนี้ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ( $hmF2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้มาจากการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ M(3000)F2 โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาระหว่างวัน และตามฤดูกาลของพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัว จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์  $f_oF2$  และ  $hmF2$  ที่วัดได้จริงมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (International Reference Ionosphere) โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป

## Abstract

This research report 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 research report, 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 base on the diurnal and seasonal variations. 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.

# สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทสรุปย่อ.....	II
บทคัดย่อ .....	III
คำย่อและสัญลักษณ์ .....	VI
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....</b>	<b>4</b>
2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของชั้นบรรยากาศ.....	4
2.2 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	5
2.3 เทคนิคไอโอโนซอนด์.....	6
2.3.1 ไอโอโนแกรม.....	9
2.4 แบบจำลองของ IRI.....	9
2.4.1 การประยุกต์ใช้งาน IRI.....	11
<b>บทที่ 3 วิธีการศึกษาวิจัย.....</b>	<b>13</b>
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย .....	13
3.1.1 ชุดเครื่องส่งและเครื่องรับ.....	14
3.1.2 สายอากาศ.....	14
3.1.3 คอมพิวเตอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลภาพไอโอโนแกรม.....	15
3.2 วิธีการเก็บข้อมูลจากไอโอโนแกรม .....	15

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผล .....	20
4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ .....	20
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ .....	22
4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ .....	24
4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	26
บทที่ 5 การเปรียบเทียบผลที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI .....	28
5.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่า foF2 ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก แบบจำลองของ IRI .....	28
5.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่า hmF2 ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก แบบจำลองของ IRI .....	32
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ .....	35
6.1 บทสรุป .....	35
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	38
6.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย .....	38
เอกสารอ้างอิง .....	39

## คำย่อและสัญลักษณ์

IRI	International Reference Ionosphere



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านดาวเทียมได้รับการประยุกต์ใช้ในงานหลาย ๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นในด้านการถ่ายทอดข่าวสาร ด้านการพยากรณ์อากาศ ด้านการทหาร การค้นหาทรัพยากรธรณี ฯลฯ แต่ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นก็ยังมีผลกระทบบางประการ เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศโลก โดยชั้นที่มีผลกระทบคือชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเห (refractive-index) ซึ่งมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูง เช่นความถี่ย่านเค-ยู (KU Band) เป็นต้น ส่วนผลกระทบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์คือ เกิดการหน่วงเวลาของสัญญาณ (time delay) การเกิดฟาราเดย์โรเตชัน (Faraday rotation) และผลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ (Scintillation) ทำให้ระดับสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดผลกระทบอย่างรุนแรงในช่วงความถี่ต่ำกว่า 2 กิกะเฮิรตซ์ โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศที่สัญญาณเดินทางผ่านในแต่ละระดับความสูงจากพื้นโลก ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่มีการเกิดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนภายในชั้นนั่นเอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น การสื่อสารโครงข่ายโทรศัพท์ผ่านดาวเทียม การแพร่กระจายสัญญาณภาพและเสียงโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม และการแพร่กระจายเสียงวิทยุผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น โดยการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ประกอบด้วย ค่าความสูงของชั้น F ( $h'F$ ) ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $foF2$ ) ค่าแฟคเตอร์  $M(3000)F2$  และค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ( $hmF2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ดังนั้นรายงานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษา และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ประกอบด้วยพารามิเตอร์  $h'F$ ,  $foF2$ ,  $M(3000)F2$  และ  $hmF2$  ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ฤดูกาล ตำแหน่งเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก และปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ โดยใช้ไอโอโนซอนด์เทคนิคในการทำการเก็บวัดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ (Low solar activity) นอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ foF2 และ hmF2 ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

รายงานวิจัยฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษา 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 รวมถึงจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ทั้ง 4 ตัวอย่างไร นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ foF2 และ hmF2 ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ IRI ต่อไป ซึ่งผลการวิจัยที่ได้รับนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม และระบบการสื่อสารทางวิทยุระยะไกลในย่านความถี่สูง

## 1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ใช้เทคนิคไอโอโนซอนเดในการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ h'F, foF2 และค่าความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 (MUF(3000)F2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการเก็บข้อมูลที่สถานีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 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

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

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

จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์  $M(3000)F2$  มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์  $hmF2$  ได้ดัง

สมการ

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

เมื่อ  $hmF2$  คือค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

#### 1.4 ขั้นตอนของการวิจัย

รายงานฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 7 ส่วน ด้วยกันคือ

ส่วนที่ 1 บทนำและความเป็นมา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

ส่วนที่ 2 กล่าวถึงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทฤษฎีพื้นฐานของเทคนิคไอโอโนซอนเด และทฤษฎีพื้นฐานของแบบจำลอง IRI (International Reference Ionosphere)

ส่วนที่ 3 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ส่วนที่ 4 กล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์  $h'F$  และ  $foF2$

ส่วนที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์  $M(3000)F2$  และ  $hmF2$

ส่วนที่ 6 กล่าวถึงการเปรียบเทียบค่า  $foF2$  และ  $hmF2$  ที่วัดได้จริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ IRI

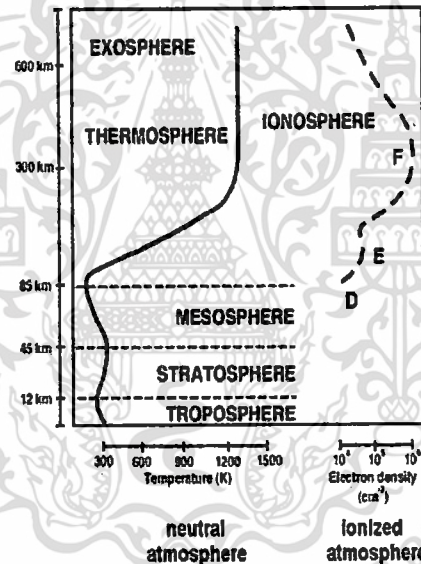
ส่วนที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศโลก หลักการของเทคนิคไอโอโนซอนเด และแบบจำลองของ IRI ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้มีความจำเป็นสำหรับการศึกษา และวิเคราะห์คุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณละติจูดต่ำ

### 2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศของโลกถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทเบื้องต้น คือ ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง (Neutral Atmosphere) และชั้นบรรยากาศที่เป็นไอออไนซ์ หรือเรียกว่าไอโอโนสเฟียร์ (Ionized Atmosphere) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การแบ่งประเภทของชั้นบรรยากาศ

สำหรับโครงสร้างของชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง สามารถจัดกลุ่มได้โดยใช้โพรไฟล์อุณหภูมิแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้นใหญ่ ๆ โดยชั้นที่อยู่บริเวณพื้นโลกจะเป็นชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ หรืออาจเรียกว่า Boundary Layer โดยในชั้นบรรยากาศนี้จะประกอบไปด้วยก๊าซชนิดต่าง ๆ รวมไปถึงฝุ่นละออง และมลภาวะที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ตลอดจน เมฆ ฝน ไอน้ำ หมอก หิมะ จะอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ทั้งสิ้น ซึ่งมีระยะความสูงเมื่อเทียบกับพื้นดินประมาณ 7 - 18 กิโลเมตร ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศในระยะแรกจะลดลงผกผันกับความสูงที่

เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา  $7^{\circ} \text{C/km}$  และที่ระดับความสูงประมาณ 10 กิโลเมตร (ที่ตำแหน่งโทรโพพอส : Tropopause) หรือที่จุดเริ่มต้นของชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ อุณหภูมิจะมีแนวโน้มแปรตามความสูง โดยการเพิ่มของอุณหภูมิไปตามความสูงนี้ เนื่องจากโอโซนมีการดูดซับรังสี UV บางส่วนที่แผ่จากดวงอาทิตย์ในระดับความสูงดังกล่าว ลักษณะเช่นนี้จะปรากฏจนถึงระดับความสูงที่ 50 กิโลเมตร (หรือที่ตำแหน่งสตราโตพอส:Stratopause) อุณหภูมิก็จะเริ่มลดลงซึ่งแปรผกผันกับความสูงที่เพิ่มขึ้นของชั้นบรรยากาศมีโซสเฟียร์อีกครั้ง และที่ระดับความสูงประมาณ 80 กิโลเมตร อุณหภูมิจะมีการลดลงอย่างฉับพลันและลดลงจนถึงระดับต่ำสุดที่ประมาณ  $-92^{\circ} \text{C}$  หลังจากจุดต่ำสุดของอุณหภูมิ (หรือหลังจากตำแหน่งมีโซพอส: Mesopause) นี้แล้ว อุณหภูมิจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนมีค่าที่คงที่ที่ประมาณ  $1,200^{\circ} \text{C}$  ณ ที่ระดับความสูงของชั้นบรรยากาศเทอร์โมสเฟียร์

สำหรับชั้นบรรยากาศที่เป็นไอโอโนสเฟียร์ สามารถแบ่งเป็นลักษณะได้โดยใช้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน เนื่องจากชั้นบรรยากาศส่วนบนของโลกนั้นโมเลกุลของออกซิเจนจะถูกทำให้แตกตัวด้วยรังสี UV ที่มีขนาดความยาวคลื่นสั้นกว่า 175.9 nm ขบวนการนี้มีความไวมากทำให้สภาวะที่มีความแปรปรวน (Turbulence) ไม่สามารถรักษา  $\text{O}_2$  หรือ  $\text{O}$  รวมตัวกันได้ ดังนั้นจำนวนความหนาแน่นของ  $\text{O}$  จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับความสูงประมาณ 150 กิโลเมตร ดังนั้นที่ความสูงเหนือ 150 กิโลเมตรขึ้นไป ชั้นบรรยากาศส่วนนี้จึงมีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบหลักจึงถูกเรียกว่าชั้นบรรยากาศนั้น

## 2.2 ลักษณะทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ บริเวณที่พลาสมาเกิดการไอโอไนซ์ โดยมีขอบเขตประมาณ 50 กิโลเมตร ถึง 2000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก โดยมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นอยู่ที่  $10^{10}$ - $10^{12}$  อิเล็กตรอนต่อลูกบาศก์เมตร โดยเป็นชั้นที่มีการเกิดการไอโอไนซ์ และการไอโอไนซ์นี้จะเกิดไม่เท่ากันแล้วแต่ช่วงเวลา และ ระดับความสูงอีกทั้งยังขึ้นอยู่กับสภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดขบวนการไอโอไนซ์ (Ionization) เช่น ปริมาณของอิเล็กตรอน ปริมาณการชนกันของอิเล็กตรอนเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว การแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) รังสีคอสมิก (Cosmic) โดยเมื่อรังสีแพร่เข้าถึงชั้นบรรยากาศ จะทำให้จำนวนอนุภาคบางส่วนของอากาศนั้นกลายเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ รูปที่ 2.2 แสดงขบวนการไอโอไนซ์เซชัน (Ionization)



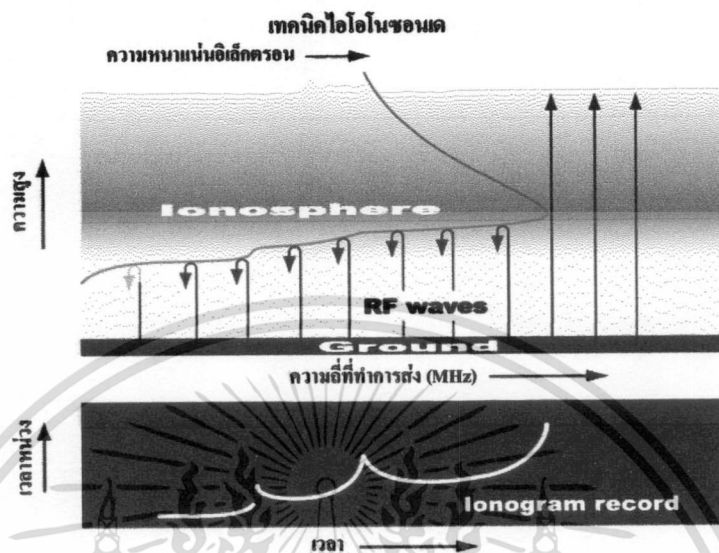
รูปที่ 2.2 ขบวนการไอโอไนซ์เซชัน

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถแบ่งเป็นชั้นย่อย ๆ ได้ 3 ชั้น คือชั้น D , E และ F ในชั้น D เป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นโลกต่ำที่สุด มีขอบเขตอยู่ระหว่าง 50 – 90 กิโลเมตร ซึ่งจะปรากฏให้เห็นได้เฉพาะเวลากลางวันและหายไปในช่วงกลางคืนเนื่องจากการรวมตัวกันใหม่ของอนุภาคมีค่าสูงสุด โดยจะส่งผลอย่างมากต่อการลดทอนของคลื่นความถี่สูงในแถบขั้วโลก ชั้นถัดมาคือชั้น E วางตัวอยู่เหนือชั้น D ที่ความสูง 90 – 140 กิโลเมตร มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ระดับความสูง 110 กิโลเมตร พบเห็นในช่วงกลางวันเนื่องจากการไอโอไนซ์ค่อนข้างมาก ส่วนในช่วงกลางคืนมีการไอโอไนซ์ที่น้อยมาก และในบางครั้งมีปรากฏการณ์การไอโอไนซ์ที่ผิดปกติในชั้นนี้เรียกว่า Sporadic-E แทนด้วยสัญลักษณ์ Es โดยเกิดจากการแทรกสอดอย่างรุนแรงของคลื่นย่าน VHF และเป็นการเกิดขึ้นเพียงชั่วคราวเท่านั้น โดยปกติจะมีรูปแบบคล้ายก้อนเมฆมีลักษณะเป็นหย่อม ๆ และจะเปลี่ยนแปลงขนาดตั้งแต่ 1 กิโลเมตร จนถึงหลาย ๆ รัศมีกิโลเมตร ชั้นต่อมาคือชั้น F ซึ่งเป็นชั้นย่อยบนสุดของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการไอโอไนซ์มากที่สุด แยกออกเป็น 2 ชั้นคือชั้น  $F_1$  และ  $F_2$  โดยชั้น  $F_1$  จะวางตัวอยู่ในระดับความสูงประมาณ 140 – 250 กิโลเมตร โดยมีค่าระดับความสูงเฉลี่ยคือ 220 กิโลเมตร สำหรับชั้น  $F_2$  เป็นชั้นที่วางตัวอยู่บนสุด โดยมีระดับความสูงอยู่ที่ 250 – 400 กิโลเมตร โดยจะสังเกตเห็นได้ทั้งสองชั้นในช่วงกลางวัน ส่วนในช่วงกลางคืนชั้น  $F_1$  และ  $F_2$  จะรวมตัวกัน โดยความสูงของชั้นเอฟนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงกลางคืน

### 2.3 เทคนิคไอโอโนซอนเด

เทคนิคไอโอโนซอนเด (หรือเรียกอีกชื่อว่า Ionospheric sounder) เป็นเทคนิคดั้งเดิมที่ใช้ในการตรวจสอบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เทคนิคนี้ยังคงถูกใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน โดยมีหลักการคล้ายคลึงกับเรดาร์ กล่าวคือ เมื่อมีการส่งคลื่นไปสะท้อนกับวัตถุขึ้นใดชั้นหนึ่งแล้ว จะสามารถทราบได้ว่าวัตถุชิ้นนั้นอยู่ห่างจากจุดที่ส่งคลื่นไปสะท้อนนั้นเป็นระยะทางเท่าใด โดยการคำนวณเวลาที่คลื่นเดินทางไปและกลับ แต่เทคนิคของไอโอโนซอนเดนั้นจะใช้ความถี่ในย่านที่มีค่า

ไม่สูงนัก และสามารถสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กลับมาที่ยังสายอากาศรับได้ และมีการส่งคลื่นแบบต่อเนื่องด้วย โดยในรูปที่ 2.3 แสดงภาพจำลองของการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองการส่งคลื่นไปสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของเทคนิคไอโอโนซอนเด

การหาความสูงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยสถานีการตรวจวัดจะทำการส่งคลื่นความถี่ย่าน HF (High Frequency) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2 - 30 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยการส่งและรับคลื่น จะทำการส่ง และรับคลื่นอย่างต่อเนื่อง โดยการมอดูเลชันจะใช้เทคนิคการมอดูเลชันคลื่นแบบต่อเนื่อง (Continuous wave - frequency modulation) โดยมีการเพิ่มความถี่แบบเชิงเส้นตามเวลา คลื่นที่ส่งขึ้นไปจะไปสะท้อนกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีกลุ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอน โดยมีสายอากาศที่รับ และส่งวางเป็นรูปกากบาทกันเป็นโดม และจากนั้นจะทำการคำนวณเวลาหน่วงในการเดินทางของคลื่น และทำการพล็อตเป็นภาพไอโอโนแกรม ซึ่งการคำนวณเวลาหน่วงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\Delta t = \frac{2}{c} h' \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า  $\Delta t$  คือค่าหน่วงเวลา ส่วนค่า  $h'$  คือค่าความสูงของชั้นบรรยากาศ และค่า  $c$  คือความเร็วแสง มีค่า  $c = 3 \times 10^8$  หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที

นอกจากการไอออไนซ์จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ระดับความสูง และสถานที่ตั้งของสถานีตรวจวัดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวัฏจักรสุริยะที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และความถี่วิกฤต

ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อีกด้วย โดยที่ค่าความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน ดังแสดงในสมการที่ 2.2

$$foF2 = 8.98\sqrt{N_{\max}} \quad \text{เฮิรตซ์} \quad (2.2)$$

โดยที่ค่า  $foF2$  คือความถี่วิกฤตของชั้น F2 และ  $N_{\max}$  คือค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ( $\text{el}/\text{m}^3$ ) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตของแต่ละชั้นจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล และวัฏจักรสุริยะ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.3 และ 2.4 ดังนี้

$$foE = 0.9[(180 + 1.44R)\cos\chi]^{0.25} \quad \text{เมกะเฮิรตซ์} \quad (2.3)$$

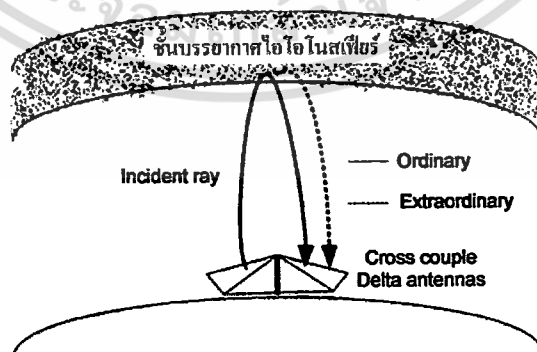
$$foF1 = (4.3 + 0.01R)\cos^{0.2}\chi \quad \text{เมกะเฮิรตซ์} \quad (2.4)$$

โดยที่ค่า  $foE$  คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น E, ค่า  $foF1$  คือค่าความถี่วิกฤตของชั้น F1 และค่า  $R$  คือจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ และ  $\chi$  คือมุมเซนิธของดวงอาทิตย์ หรือเป็นมุมที่วัดจากจุดกลางฟ้า ซึ่งสัมพันธ์กับมุมเงย ดังนี้

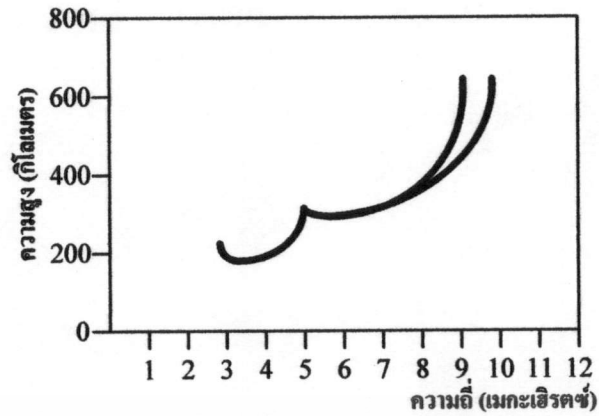
$$\text{Zenith} = 90^\circ - \text{มุมเงย} \quad (2.5)$$

โดยที่มุมเงยคือมุมที่วัดจากระนาบที่ผิวโลกไปยังดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมุมที่รังสีแสงอาทิตย์กระทำกับระนาบที่ผิวโลกนั่นเอง

ในการส่งคลื่นขึ้นสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จะเกิดความถี่อีกความถี่หนึ่งสะท้อนกลับมาจากชั้นสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น จะเกิดความถี่อีกความถี่หนึ่งสะท้อนกลับมาจากชั้นสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้น เนื่องจากในชั้นจะมีแมกนีโตพลาสมา (Magnetoplasma) ทำให้คลื่นส่วนหนึ่งเดินทางเข้าไปได้เล็กน้อยแต่อีกส่วนสะท้อนกลับมาจากชั้นสะท้อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นคือความถี่สามัญ (Ordinary) ส่วนความถี่ที่เกิดขึ้นใหม่คือความถี่สามัญพิเศษ (Extraordinary) เมื่อนำมาพล็อตเป็นภาพไอโอโนแกรมจึงปรากฏเป็นเส้นโค้ง 2 เส้นที่มีค่าความถี่ต่างกัน โดยค่าความถี่สามัญพิเศษจะมีค่าสูงกว่าความถี่สามัญ (Ordinary) แสดง ดังรูปที่ 2.4



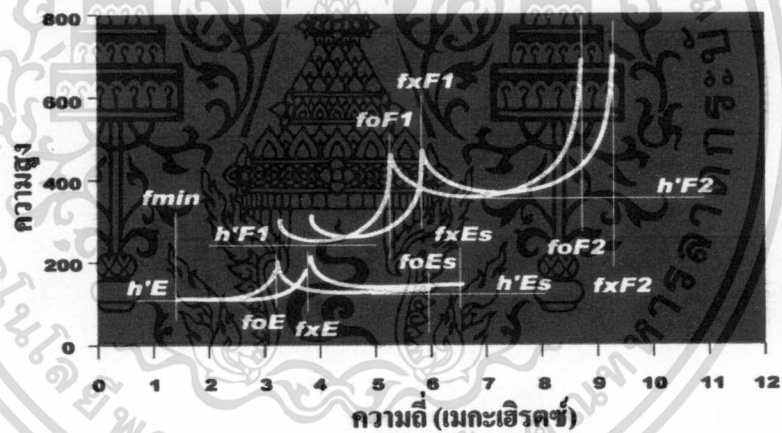
รูปที่ 2.4 การเกิดคลื่นอีกหนึ่งคลื่นสะท้อนกลับมาจากเครื่องรับ



รูปที่ 2.5 ภาพไอโอโนแกรมที่ปรากฏเป็นเส้นโค้ง 2 เส้น

### 2.3.1 ไอโอโนแกรม

ไอโอโนแกรม (Ionogram) คือภาพที่ใช้แสดงการสะท้อนของความถี่ที่ทำการส่ง และรับผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งได้จากเทคนิคไอโอโนซอนเด ซึ่งไอโอโนแกรมใช้ในการบ่งบอกโครงสร้างของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการทำงานการส่งคลื่นวิทยุ โดยเราสามารถอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากภาพไอโอโนแกรม ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากภาพไอโอโนแกรม

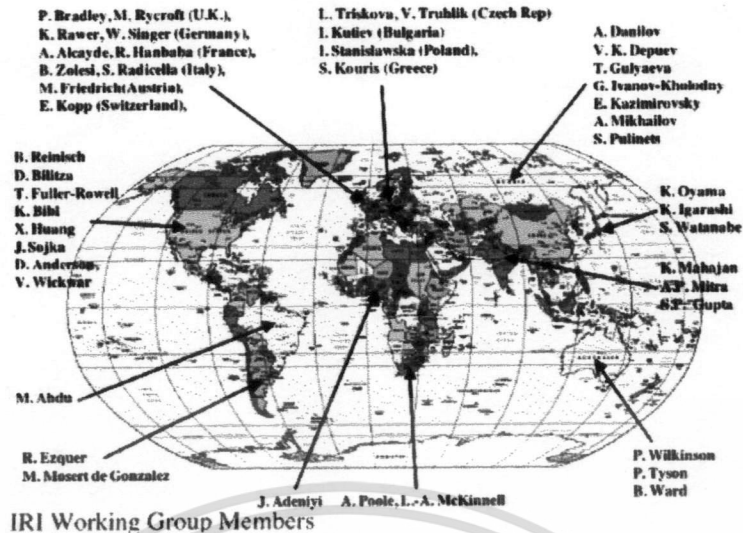
### 2.4 แบบจำลองของ IRI

แบบจำลองของ IRI (International Reference Ionosphere) เป็นมาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับข้อกำหนดของตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ความหนาแน่นอิเล็กตรอน และคุณสมบัติของชั้นต่างๆ เป็นต้น โดย IRI ได้รับการรับรองเป็นมาตรฐานสากลโดย the Committee On SPACe Research (COSPAR) และ the International Union of Radio Science (URSI) โดย Szuszczewics และคณะได้ทำการประเมินแบบจำลองหลายแบบเพื่อหา

แบบจำลองของ IRI ที่ดีที่สุด โดยในปี ค.ศ. 1999 URSI ได้รับรองให้แบบจำลองของ IRI เป็นมาตรฐานสากลสำหรับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่ง IRI ถูกพัฒนา และปรับปรุงโดยการรวมกลุ่มกันระหว่าง COSPAR และ URSI โดยเริ่มก่อตั้งขึ้นในปี 1978 โดยวัตถุประสงค์หลักในการรวมกลุ่มกัน มีดังนี้

1. เพื่อก่อตั้งรวมการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองมาตรฐานของตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และ อิออน, 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 สำหรับการกำหนดความเป็นมาของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สำหรับการศึกษากการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ และประโยชน์ต่างๆ

การรวมกลุ่มกันของ COSPAR และ URSI ประกอบไปด้วยทีมของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อทำการอธิบายความแตกต่างในแต่ละประเทศ ความแตกต่างในแต่ละเทคนิคที่ทำการวัด และความแตกต่างของปัญหาที่เกิดจากแบบจำลอง โดยปัจจุบันมีทะเบียนรายชื่อของคณะสมาชิกทั้งสิ้น 43 คณะ ในรูปที่ 2.7 แสดงการแพร่กระจายของสมาชิกจากทั่วโลกของการรวมกลุ่มกันระหว่าง COSPAR และ URSI บนแบบจำลองของ IRI



รูปที่ 2.7 สมาชิกจากทั่วโลกของการรวมกลุ่มระหว่าง COSPAR และ URSI บนแบบจำลองของ IRI

แบบจำลองของ IRI มีการแก้ไข และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และแบบจำลองของ IRI ได้ทำการปรับปรุงข้อมูลใหม่ครั้งล่าสุดภายในปี 2001 หรือเรียกว่า IRI-2001 นอกจากนี้แล้ว IRI ยังจัดให้มีการประชุมเชิงปฏิบัติการประจำปีขึ้นจำนวนหลายครั้ง เพื่อแลกเปลี่ยนความเห็นในการทำการแก้ไข และปรับปรุงแบบจำลองให้ดีขึ้น โดยมีสิ่งพิมพ์สำหรับการประชุมเชิงปฏิบัติการลงตีพิมพ์ครั้งแรกในหนังสือ Space Research และต่อมาใน Advance in Space Research

#### 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 เกี่ยวกับข้อมูลไอโอโนสเฟียร์ (Bilitza และคณะ, 1997)
- ERS ข้อมูลอย่างรวดเร็ว (ESA)
- ทำงานเกี่ยวกับข้อมูล Geosat Follow On (GFO) (Zhang และคณะ, 2002)

4) เมืองหลังชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สำหรับการประเมินของข้อมูลในการทำแผนที่ในแต่ละเทคนิค

- 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

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

โดยมีงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นจำนวนมากเกี่ยวกับ การเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำ การวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI อย่างไรก็ตามจากการศึกษาไม่พบว่ามี การศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำกรวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลอง ของ IRI ในบริเวณประเทศไทย แต่ก็พอมีการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอ โนสเฟียร์เช่นกัน ซึ่งถือว่าการศึกษาด้านนี้ยังขาดแคลนอยู่

## บทที่ 3

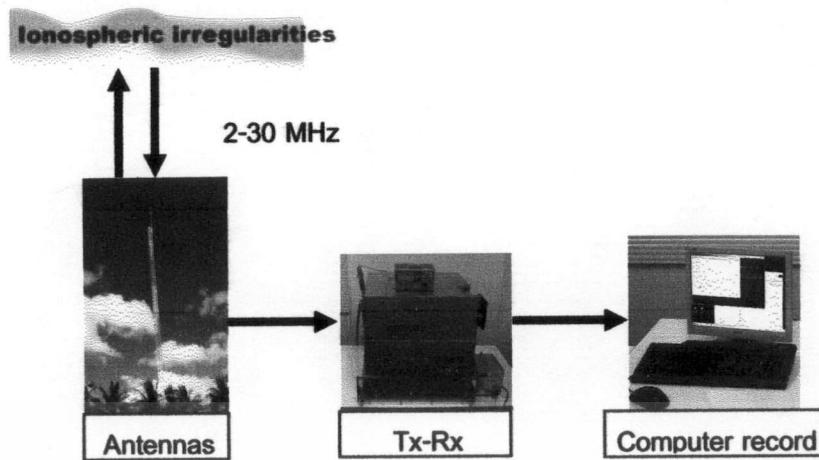
### วิธีการศึกษาวิจัย

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความสูงของชั้น F ( $h'F$ ) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $foF2$ ) และความถี่สูงสุดที่สามารถใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ( $MUF(3000)F2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เวลาต่างๆ กันนั้น ได้ทำการเก็บข้อมูลจากสถานีไอโอโนซอนเด ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ เส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และ ตำแหน่งเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ โดยในการเก็บข้อมูลใช้เครื่องส่งและรับคลื่น รุ่น SKI-96092 FM/CW ทำการส่ง และรับคลื่นในย่าน HF ผ่านสายอากาศ จากนั้นทำการรับคลื่นที่สะท้อนกลับเข้ามายังเครื่องรับ โดยเครื่องรับจะทำการเก็บข้อมูลเป็นภาพไอโอโนแกรมเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ โดยในรายงานฉบับนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อนำข้อมูลภาพไอโอโนแกรมมาทำการศึกษา และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $h'F$ ,  $foF2$  และ  $MUF(3000)F2$  ณ เวลาต่างๆ กัน ตารางที่ 3.1 แสดงตัวแปรต่างๆ ของการสังเกตโดยไอโอโนซอนเด ณ สถานีชุมพร

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ของการสังเกตโดยไอโอโนซอนเด ณ สถานีชุมพร

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 เมกะเฮิรตซ์
อัตราการเพิ่มความถี่	100 กิโลเฮิรตซ์ ต่อ วินาที
รอบการทำงาน	5 นาที
เสาอากาศ	สูง 27 เมตร
ชนิดสายอากาศ	Folded Dipole 2 ชั้น มีโพลาริไธตั้งฉากต่อกัน
ตำแหน่งของสถานี	เส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ เส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก เส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ



รูปที่ 3.1 ภาพรวมการทำงานของระบบไอโอโนซอนเด

รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบไอโอโนซอนเด 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 เมกะเฮิรตซ์ โดยมีการส่งความถี่แบบต่อเนื่อง (Continuous wave) และมีอัตราการเพิ่มความถี่ที่ส่งขึ้นไปทุกๆ 100 กิโลเฮิรตซ์ต่อวินาที ซึ่งใน 1 รอบของการทำงานจะใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที จากนั้นจะส่งข้อมูลซึ่งเป็นภาพไอโอโนแกรมไปทำการบันทึกที่คอมพิวเตอร์ แล้วจะทำการปรับสัญญาณนาฬิกา (Clock) ของเครื่องใหม่ในทุกๆรอบของการทำงาน โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรมในทุกๆ 15 นาที

### 3.1.2 สายอากาศ

เป็นสายอากาศชนิดโฟลด์ดิปโพล (Folded dipole) 2 ชั้น วางตัดขวางกันเป็นโดมโดยใช้เสาที่มีความสูง 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 เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องรับมาทำการคำนวณเวลาหน่วงของคลื่นที่สะท้อนกลับมาถึงเครื่องรับที่ทำการบันทึกค่าทุกๆ 15 นาที มาทำการสร้างเป็นภาพไอโอโนแกรม โดยมีการเก็บภาพเป็นไฟล์ .PNG จากนั้นใช้คอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งที่ติดตั้งไว้ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการดึงข้อมูลไฟล์ภาพไอโอโนแกรมที่บันทึกได้ ณ สถานีชุมพร มาเก็บไว้ในเครื่อง เพื่อที่จะทำการเก็บ และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการโดยใช้โปรแกรม Special scaling ต่อไป โดยในรายงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Special scaling เพื่อทำการเก็บวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากไฟล์ภาพไอโอโนแกรมจำนวน 3 ตัว ได้แก่ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 นั้นเอง

### 3.2 วิธีการเก็บข้อมูลจากไอโอโนแกรม

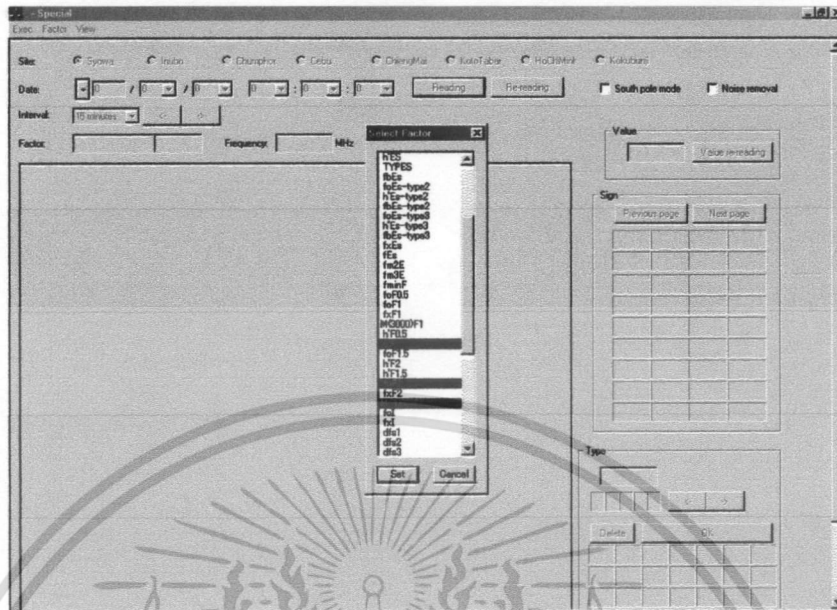
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ h'F, foF2 และ MUF(3000)F2 จากภาพไอโอโนแกรมที่ทำการบันทึกได้ ณ สถานีชุมพร โดยใช้โปรแกรม Special scaling ในการเก็บค่า ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

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



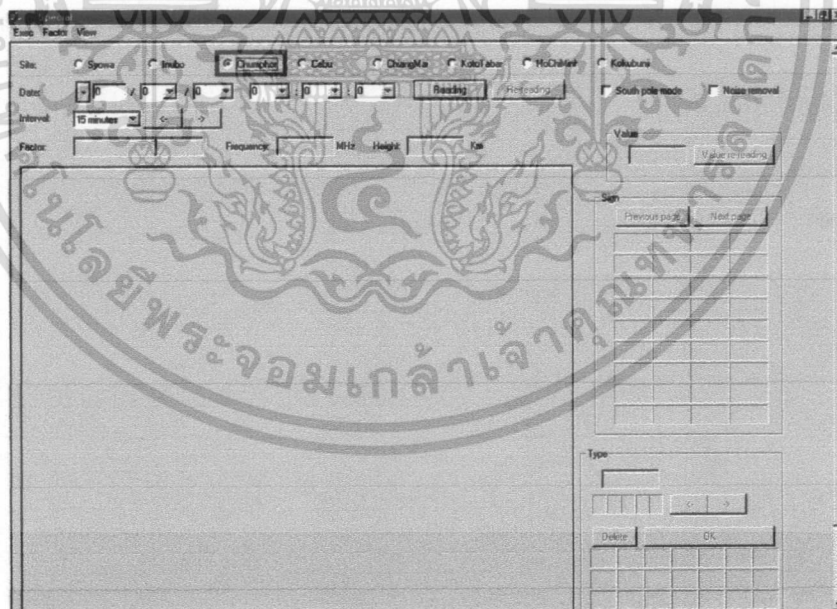
รูปที่ 3.2 ลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม Special scaling

2. เลือกพารามิเตอร์ที่ต้องการเก็บ โดยในรายงานวิจัยนี้ทำการเก็บค่าพารามิเตอร์จากไอโอโนแกรมจำนวน 3 ตัวคือ  $h'F$ ,  $foF2$  และ  $MUF(3000)F2$  แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเลือกค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม Special scaling

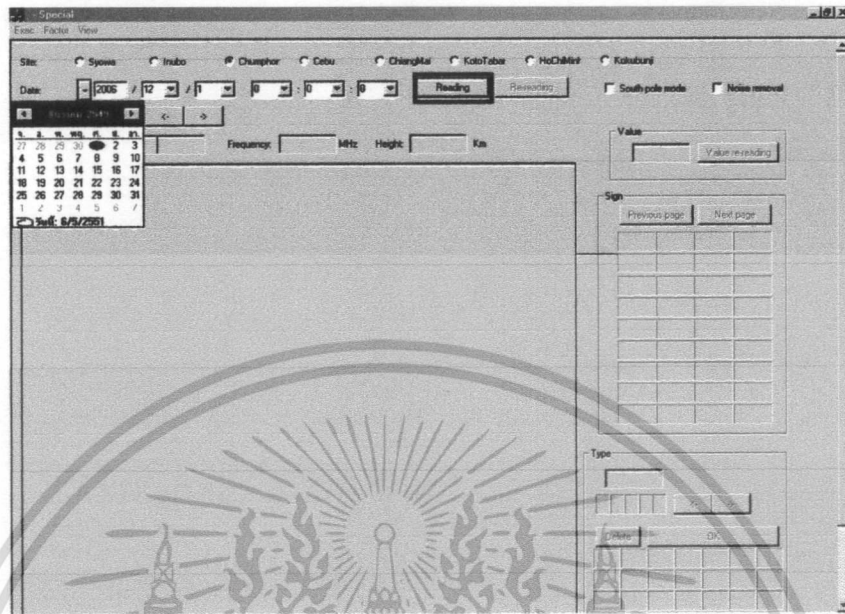
3. เลือกสถานี โดยในรายงานวิจัยนี้เครื่องวัดตั้งอยู่ที่ จังหวัดชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ



รูปที่ 3.4 การเลือกสถานีที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากโปรแกรม Special scaling

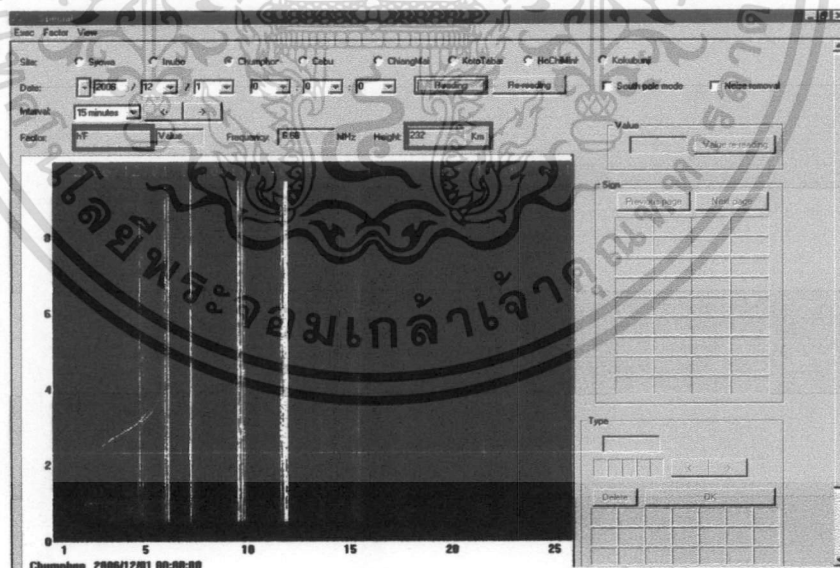
# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4. เลือกวัน เวลา และปีที่ต้องการเก็บ โดยจากรูปที่ 3.5 เป็นตัวอย่างการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวภายในวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 จากนั้นกด Reading เพื่อเริ่มอ่านค่า



รูปที่ 3.5 การเลือกวัน เดือน และปี ที่ต้องการทำการเก็บค่าพารามิเตอร์

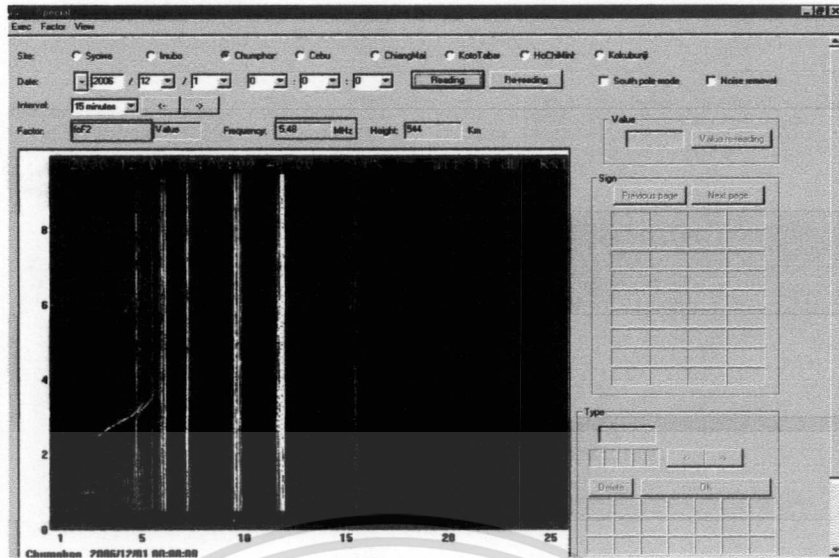
5. เริ่มเก็บวัดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว โดยโปรแกรมจะเริ่มเก็บจากค่าพารามิเตอร์ h'F ต่อด้วย foF2 และ MUF(3000)F2 ตามลำดับ แสดงดังรูปต่อไปนี้



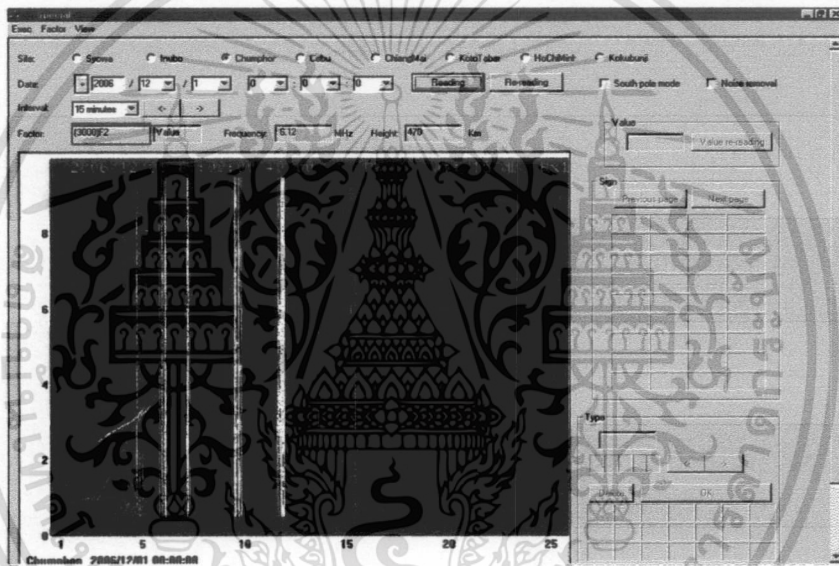
(ก)

รูปที่ 3.6 การวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Special scaling

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



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.6 (ต่อ)

จากรูปที่ 3.6 (ก) แสดงตัวอย่างการเก็บผลค่า  $h'F$  ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ในเวลา 07.00 น. จากสถานีชุมพร ซึ่งการวัดค่า  $h'F$  จากโปรแกรมสามารถทำได้โดยการนำเส้นไปสัมผัสจุดที่ต่ำที่สุดที่ขนานกับแนวนอน ซึ่งจากรูปค่า  $h'F$  ที่วัดได้มีค่า 232 กิโลเมตร ในรูปที่ 3.6 (ข) เป็นตัวอย่างการวัดค่า  $foF2$  ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ในเวลา 07.00 น. จากสถานีชุมพร โดยการวัดค่า  $foF2$  จากโปรแกรม Special สามารถทำได้โดยนำเส้นแกนตั้งไปสัมผัสกับเส้นของความถี่สามัญ ซึ่งจากรูป ค่า  $foF2$  ที่ทำการวัดได้มีค่า 5.48 เมกะเฮิรตซ์นั่นเอง ส่วนในรูปที่ 3.6 (ค) เป็นตัวอย่างการวัดค่า  $MUF(3000)F2$  ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2549 ในเวลา 07.00 น.



จากสถานีพิมพ์ โดยการวัดค่า MUF(3000)F2 จากโปรแกรม Special สามารถทำได้โดยการนำเส้นส่วนโค้งของโปรแกรมไปสัมผัสกับเส้นส่วนโค้งของความถี่สามัญ ส่วนค่า MUF(3000)F2 ที่วัดได้สามารถดูได้จากการทำงานบันทึกแล้วเปิดดูจาก wordpad โดยจากรูป (ค) ค่า MUF(3000)F2 มีค่า 17.2 เมกะเฮิรตซ์

การเปลี่ยนแปลงของภาพไอโอโนแกรมในแต่ละช่วงเวลา ในแต่ละวัน หรือแต่ละเดือนจะแตกต่างกันออกไป โดยในรายงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลค่าพารามิเตอร์ทั้ง 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 นั้นเอง



## บทที่ 4 การวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากภาพไอโอโนแกรม โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้มีพารามิเตอร์จำนวน 3 ตัวที่ได้มาจากการวิเคราะห์ภาพไอโอโนแกรม ได้แก่ ความสูงของชั้น F ( $h'F$ ) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $foF2$ ) และความถี่สูงสุดที่ใช้งานได้ที่ระยะทาง 3,000 กิโลเมตร ของชั้น F2 ( $MUF(3000)F2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากสถานีไอโอโนซอนเดที่ติดตั้ง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง 10.7 องศาเหนือ ตำแหน่งเส้นแวง 99.37 องศาตะวันออก และตำแหน่งเส้นรุ้งแม่เหล็ก 3.22 องศาเหนือ ซึ่งตั้งอยู่ในแถบละติจูดต่ำ ต่อจากนั้นจะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์  $M(3000)F2$  และความสูงสูงสุดของชั้น F2 ( $hmF2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยพารามิเตอร์  $M(3000)F2$  ได้มาจากการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์  $foF2$  และพารามิเตอร์  $MUF(3000)$  ดังสมการ

$$M(3000)F2 = \frac{MUF(3000)F2}{foF2} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $M(3000)F2$  คือค่าแฟคเตอร์  $M(3000)F2$  ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จากนั้นสามารถหาค่าพารามิเตอร์  $hmF2$  ได้จากการประยุกต์สูตรการคำนวณของ Shimazaki ซึ่งได้มาจากการหาค่าความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์  $M(3000)F2$  ดังสมการ

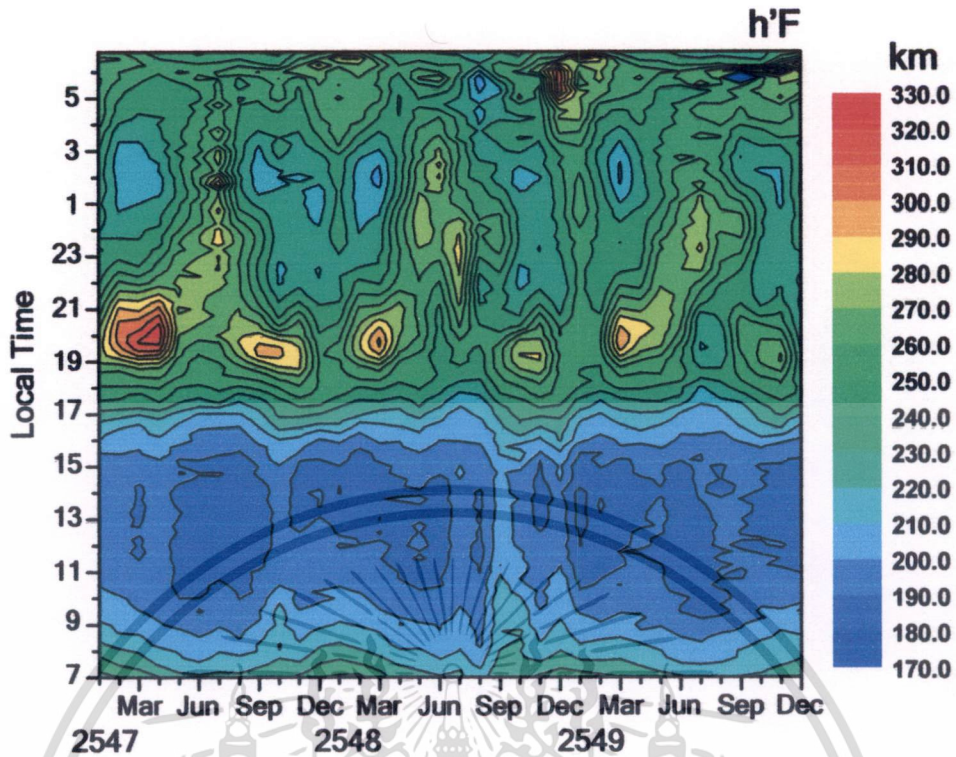
$$hmF2 = \left( \frac{1490}{M(3000)F2} \right) - 176 \quad (4.2)$$

เมื่อ  $hmF2$  คือค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [km]

การเก็บวัดข้อมูลจะเก็บตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ แบบรายวัน และตามฤดูกาล โดยสามารถแบ่งฤดูกาลออกเป็น 4 ฤดูกาล ได้แก่ March equinox (กุมภาพันธ์, มีนาคม และเมษายน), June solstice (พฤษภาคม, มิถุนายน และกรกฎาคม), September equinox (สิงหาคม, กันยายน และตุลาคม), December solstice (พฤศจิกายน, ธันวาคม และมกราคม) ซึ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงได้ดังนี้

### 4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ในหัวข้อนี้แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 Contour plot ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.1 แสดง contour plot ค่าความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยจากรูปที่ 4.1 พบว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเลื่อนตัวลดต่ำลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือเวลาประมาณ 06.00 น. จนมีระดับต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน โดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 09.00 น. ถึง 15.00 น. จะมีระดับการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 170 กิโลเมตร ถึง 210 กิโลเมตร จากนั้นจะเลื่อนตัวสูงขึ้นจนมีระดับสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. ส่วนในช่วงกลางคืนระดับความสูง จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 220 กิโลเมตร ถึง 310 กิโลเมตร และจะลดระดับต่ำลงอีกครั้ง ในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นนั่นเอง โดยจากรูปที่ 4.1 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

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าความสูงของชั้น 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 เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 00.00 น. จากนั้นจะค่อยๆ ลดระดับต่ำลงมา และเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นเช่นเดียวกัน ในฤดูกาล September equinox และ December solstice ความสูงของชั้น F จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกันในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการศึกษาพบว่า 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. นี้จะมีค่าต่ำกว่าปีอื่นๆ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2549 เป็นปีที่ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ โดยค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ของปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549 แสดงในตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าความสูงของชั้น F นี้มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์นั่นเอง

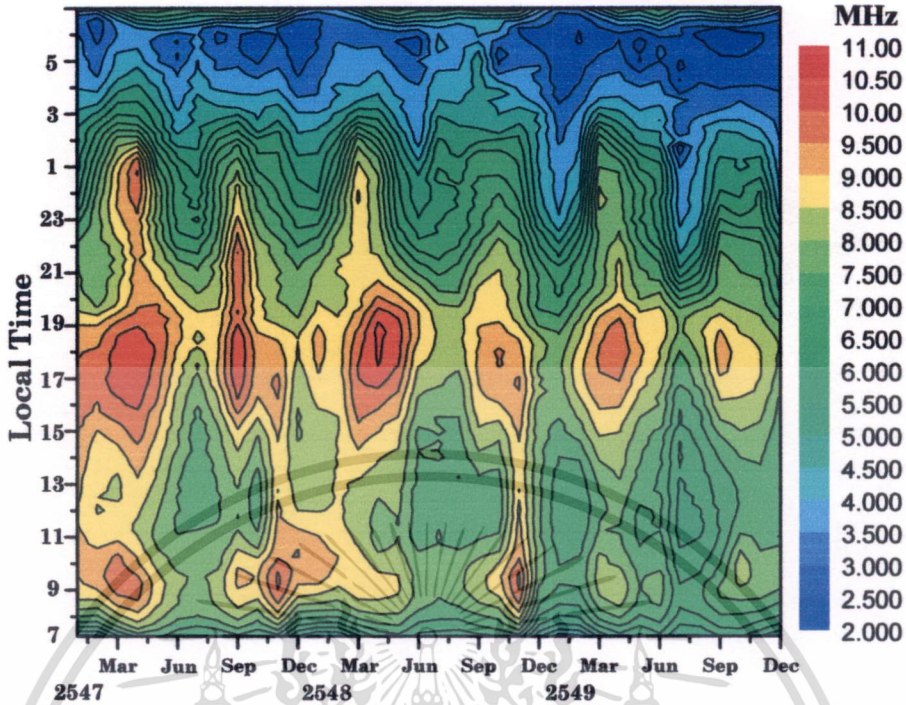
ตารางที่ 4.1 ปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ในปี พ.ศ. 2547 ถึง ปี พ.ศ. 2549

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

#### 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากผลการทดลองที่ได้ทำการเก็บข้อมูลจากภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 15 นาที และทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $f_oF_2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 จนถึงปี พ.ศ. 2549 ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2

### foF2obs



รูปที่ 4.2 Contour plot ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.2 แสดง contour plot ค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยจากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความถี่เพิ่มขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือช่วงเวลา 06.00 น. และมีค่าลดลงเล็กน้อยในเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 13.00 น. จากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตก หรือช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 19.00 น. หลังจากพระอาทิตย์ตกแล้วความถี่วิกฤตจะมีค่าลดลงจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ ความถี่วิกฤตของชั้น F2 จึงจะมีค่าสูงขึ้นอีกครั้ง และจากรูปพบว่า ค่าความถี่วิกฤตในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตกของเดือนมีนาคม เมษายน กันยายน และตุลาคมของ แต่ละปีทำการศึกษามีค่าสูงกว่าในเดือนอื่นๆ และค่าความถี่วิกฤตมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นในทุกๆ เดือนของปีทำการศึกษา

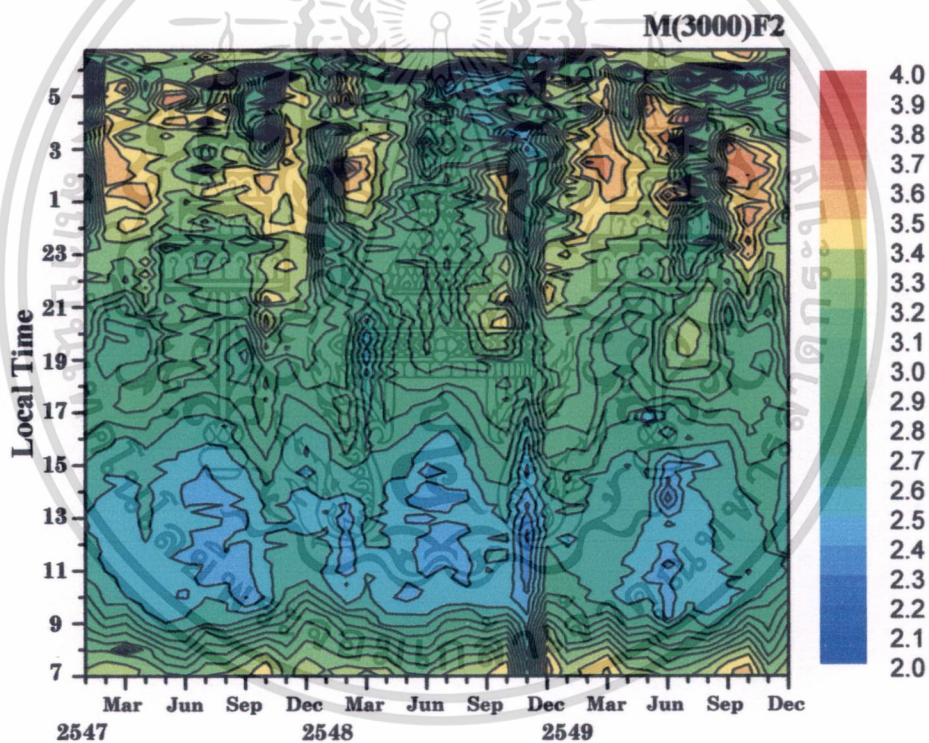
เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าค่าความถี่วิกฤตในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 19.00 น. จะมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูกาล March equinox และตามปกติหลังจากพระอาทิตย์ตก ค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าลดลง แต่ในช่วงฤดูกาล March equinox ค่าความถี่วิกฤตในช่วงเวลา ประมาณ 22.00 น. จนถึง 02.00 น. มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากในช่วงฤดูกาลนี้ จะเกิดความแปรปรวนของอิเล็คตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มากกว่าในช่วงฤดูกาลอื่นๆ นั่นเอง โดย

ในปี พ.ศ. 2547 ความแปรปรวนของอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงเวลาดังกล่าวของฤดูกาล March equinox จะสูงกว่าในปีอื่น ๆ

นอกจากนี้ความถี่วิกฤตของชั้น F2 จะมีค่าสูงต่ำตามปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์ ในที่นี้พบว่าในปี พ.ศ. 2547 ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ตกของเดือนมีนาคมมีค่าความถี่วิกฤตสูงสุดถึง 11 เมกะเฮิรตซ์ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์มากกว่าปี พ.ศ. 2548 และ พ.ศ. 2549 ดังแสดงในตารางที่ 4.1 นั้นเอง

#### 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถทำการคำนวณหาค่าได้จากสมการที่ 4.1 ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.3 Contour plot ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.3 แสดง contour plot ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยจากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 มีค่าลดลงในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และจะค่อยๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น.

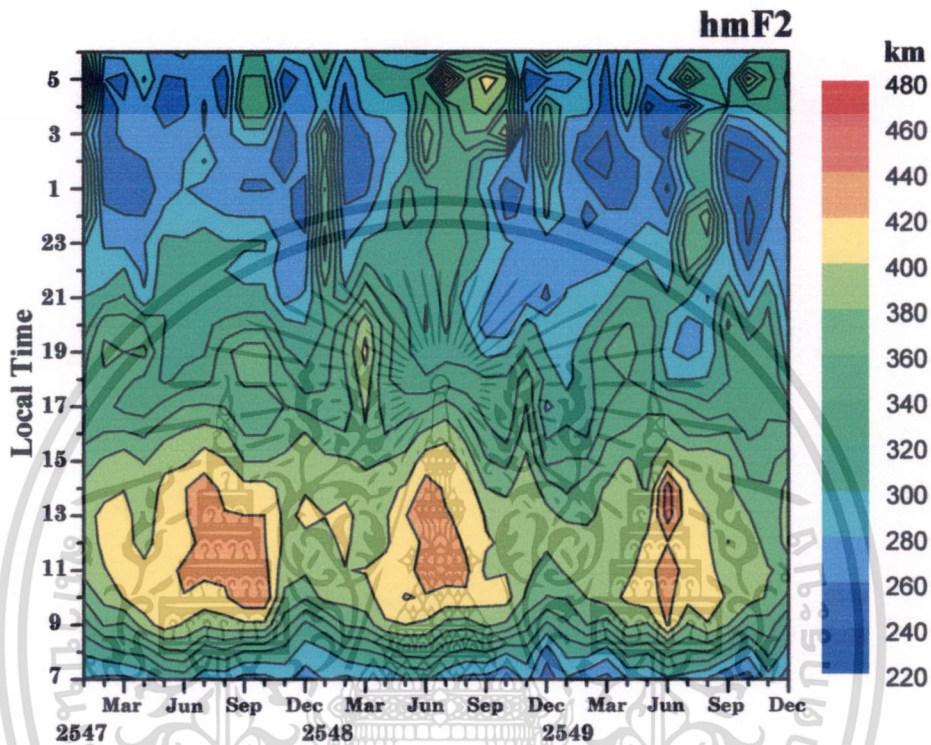
ถึง 13.00 น. จากนั้นค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน โดยค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าลดลงอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่นั้นเอง เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในแต่ละเดือนพบว่า ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวันในทุกๆ เดือนของทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษ โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 3.0 ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีค่าสูงโดยเฉพาะในช่วงเวลาประมาณ 00.00 น. ถึง 04.00 น. โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 3.1 ถึง 3.8 โดยการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จะมีลักษณะคล้ายกันในทุกๆ เดือน ของทั้ง 3 ปีที่ได้ทำการศึกษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าในช่วงเวลากลางวันการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของทั้ง 4 ฤดูกาลจะมีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 3.4 ส่วนในช่วงเวลากลางคืนจนถึงช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในแต่ละฤดูกาลจะมีความแตกต่างกัน โดยในช่วงกลางคืนค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ของฤดูกาล March equinox จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาประมาณ 01.00 น. ถึง 03.00น. และในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นจะเป็นช่วงที่ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในแต่ละฤดูกาลจะมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น บางช่วงเวลาไม่สามารถทำการเก็บค่าพารามิเตอร์ MUF(3000)F2 และ foF2 จากไอโอโนแกรมได้ เนื่องจากความถี่ที่ส่งขึ้นไปทะลุชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ออกไปหมด โดยจะเกิดขึ้นบ่อยมาก ทำให้เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวมาคำนวณเพื่อหาค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 จึงส่งผลให้ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นนี้มีการแกว่งขึ้นลงอย่างรุนแรงนั่นเอง นอกจากนี้ได้สังเกตพบว่าค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 ในทุกช่วงเวลาของฤดูกาล September equinox และ December solstice จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการศึกษา

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการศึกษาพบว่าในช่วงเวลากลางวันการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ 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

#### 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ความสูงสูงสุดของชั้น F2 (hmF2) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถทำการคำนวณค่าได้จากสมการที่ 4.2 โดยในหัวข้อนี้ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.4 Contour plot ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 4.4 แสดง contour plot ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 โดยจากรูปที่ 4.4 พบว่าค่า hmF2 จะมีค่าสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงกลางวัน หรือช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.00 น. จากนั้นค่า hmF2 จะมีค่าค่อยๆ ลดลงจนถึงในช่วงก่อนพระอาทิตย์ ค่ำ hmF2 จึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า hmF2 ในแต่ละเดือนพบว่าค่า hmF2 ในช่วงเวลา 10.00 น. ถึง 14.00 น. นี้จะมีค่าสูงในทุกๆ เดือน โดยเฉพาะในช่วงเดือนมิถุนายน กรกฎาคม ค่า hmF2 ตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ได้ทำการศึกษามีค่าสูงกว่าในเดือนอื่นๆ โดยมีค่า hmF2 สูงถึง 460 กิโลเมตร ส่วนในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้นนั้น ส่วนใหญ่ค่า hmF2 จะมีค่าต่ำในทุกๆ เดือนที่เราได้ทำการศึกษา โดยค่า hmF2 จะมีค่าอยู่ระหว่าง 220 กิโลเมตร ถึง 300 กิโลเมตร ยกเว้นในช่วงบางเดือนอาจมีค่า hmF2 สูงถึง 420 กิโลเมตร

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าในช่วงเวลากลางวัน ค่า  $hmF2$  ของฤดูกาล June solstice จะมีค่าสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าในช่วงเวลาประมาณ 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

นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่า  $hmF2$  ตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ทำการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยสังเกตได้จากรูปที่ 4.4 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

และในบทต่อไปจะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า  $foF2$  และ  $hmF2$  ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

## บทที่ 5

### การเปรียบเทียบผลที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

ในบทนี้กล่าวถึงผลของค่าความถี่วิกฤต ( $foF2$ ) และความสูงสูงสุด ( $hmF2$ ) ของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริง เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 (International Reference Ionosphere) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยข้อมูลค่าพารามิเตอร์  $foF2$  และ  $hmF2$  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 นั้นเอง และทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวอีกด้วย โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้ใช้แบบจำลองของ IRI ที่ถูกปรับปรุงในปี ค.ศ. 2001 หรือเรียกว่า IRI-2001 การทำการศึกษากการเปรียบเทียบดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองของ URSI และ CCIR ต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปออกแบบ หรือพัฒนาระบบการติดต่อสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เช่น การรับ - ส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่สูง (High frequency) ฯลฯ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 5.1 การเปรียบเทียบระหว่างค่า $foF2$ ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

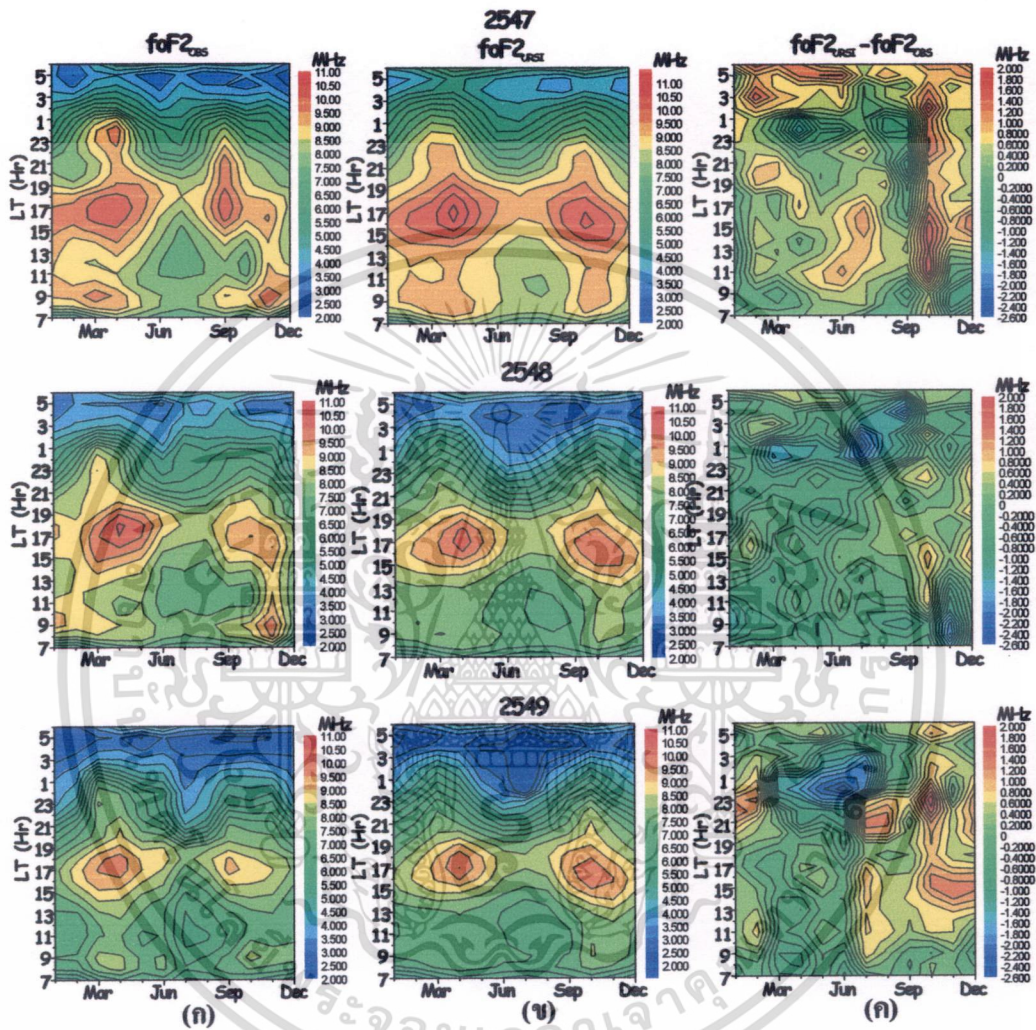
ในหัวข้อนี้แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $foF2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI จากการศึกษาจะใช้ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยในแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง และค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 เพื่อหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta foF2 = foF2_{IRI} - foF2_{OBS} \quad (5.1)$$

โดยที่  $\Delta foF2$  คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI ค่า  $foF2_{IRI} = foF2_{URSI}$  เมื่อใช้แบบจำลองของ URSI และ

$foF2_{IRI} = foF2_{CCIR}$  เมื่อใช้แบบจำลองของ CCIR ค่า  $foF2_{OBS}$  คือค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริง โดยในรายงานวิจัยนี้แบบจำลองของ IRI-2001 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของ URSI และ CCIR ในการทำนายค่าความถี่วิกฤตของชั้น F2 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

โดยค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้



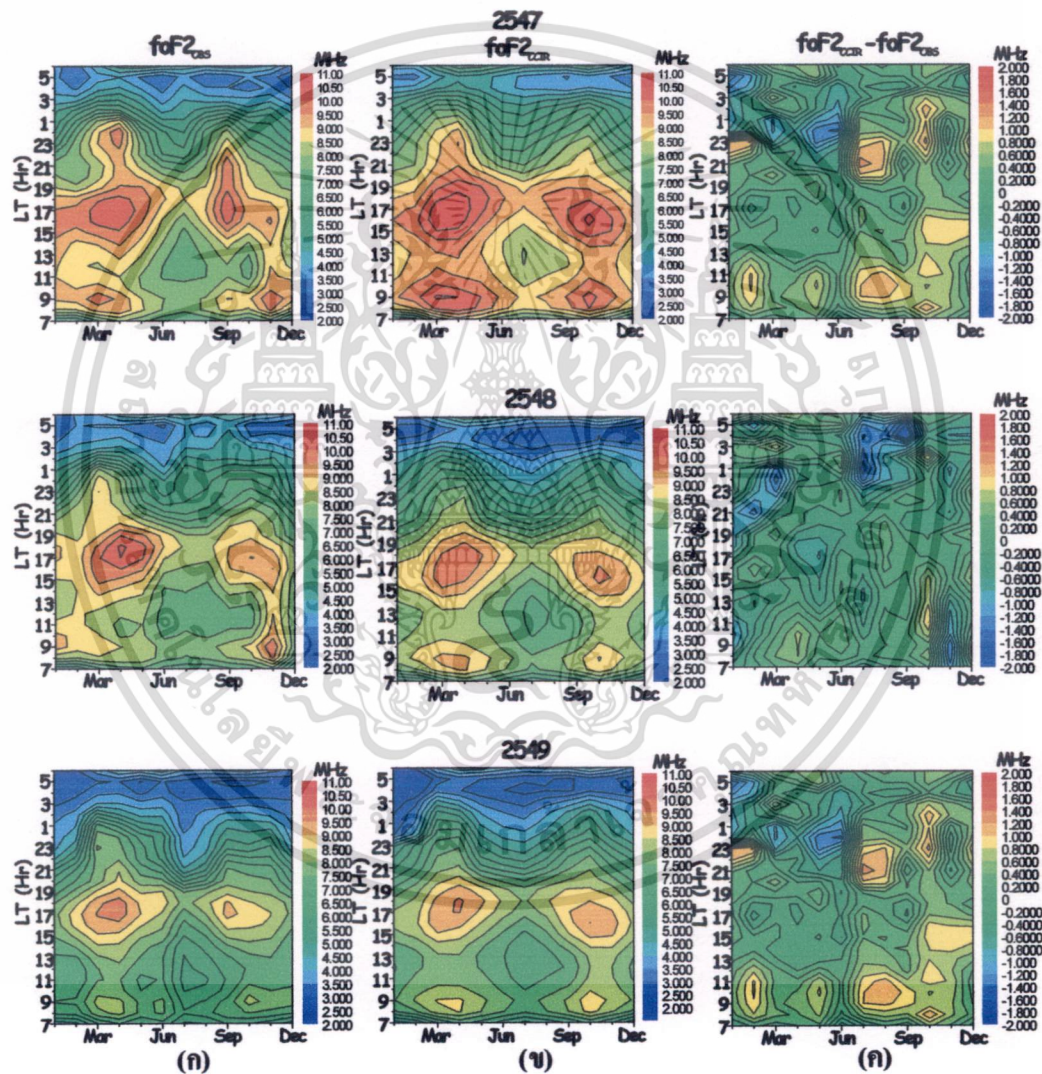
รูปที่ 5.1 Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จากโมเดล  $IRI_{URSI}$  และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก  $IRI_{URSI}$  ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 5.1 แสดง Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง ณ สถานีชุมพร (ข) ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  ในช่วง

ระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 5.1(ก) พบว่าค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงมีค่าสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วงเวลาประมาณ 06.00 น. จากนั้นมีค่าลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลากลางวัน ก่อนจะเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในช่วงหลังพระอาทิตย์ตก หรือในช่วงเวลาประมาณ 17.00 - 20.00 น. หลังจากนั้นค่าความถี่วิกฤตจะค่อยๆ มีค่าลดลงในช่วงเวลากลางคืน จนมีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วงเวลาประมาณ 03.00 - 06.00 น. และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงพระอาทิตย์ขึ้นของเช้าวันใหม่ นั่นเอง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแบบฤดูกาลพบว่าค่าความถี่วิกฤตในช่วงหลังพระอาทิตย์ตกมีค่าสูงในฤดูกาล March equinox และ September equinox โดยมีค่าสูงสุดในฤดูกาล March equinox ส่วนในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นค่าความถี่วิกฤตจะมีค่าต่ำสุดในทุกๆ ฤดูกาล เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤตในแต่ละปีพบว่าค่าความถี่วิกฤตในปี พ.ศ. 2547 จะมีค่าสูงกว่าปีอื่นๆ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2547 มีค่าปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์สูงกว่าปีอื่นๆ ที่ทำการศึกษา ในรูปที่ 5.1(ข) ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  มีลักษณะคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงในรูปที่ 5.1(ก) เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 5.1(ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  พบว่า ในปี พ.ศ. 2547 ค่าความแตกต่างมีค่าเป็นบวก (ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  มีค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง) ในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน 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 เมกะเฮิรตซ์ จนถึง 2.0 เมกะเฮิรตซ์

ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  แสดงในรูปที่ 5.2(ข) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงในรูปที่ 5.2(ก) กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  ในรูปที่ 5.2(ข) พบว่าค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน ในรูปที่ 5.2(ค) แสดงค่าความแตกต่าง

ระหว่างค่าความถี่วิกฤตที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปีคล้ายกับในรูปที่ 5.1(ค) อย่างไรก็ตามค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  ในรูปที่ 5.2(ค) มีค่าอยู่ในช่วง  $\pm 2$  เมกะเฮิรตซ์ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤตที่ทำการวัดได้จริงกับแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  และ  $IRI_{CCIR}$  ในช่วงที่ปฏิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำพบว่า ทั้ง  $IRI_{URSI}$  และ  $IRI_{CCIR}$  ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำการวัดได้จริง ณ สถานีชุมพร แต่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  ให้ค่าใกล้เคียงกว่าค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  เล็กน้อย



รูปที่ 5.2 Contour plot ของ (ก) ค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำการวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จากโมเดล  $IRI_{CCIR}$  และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก  $IRI_{CCIR}$  ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึง

เดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

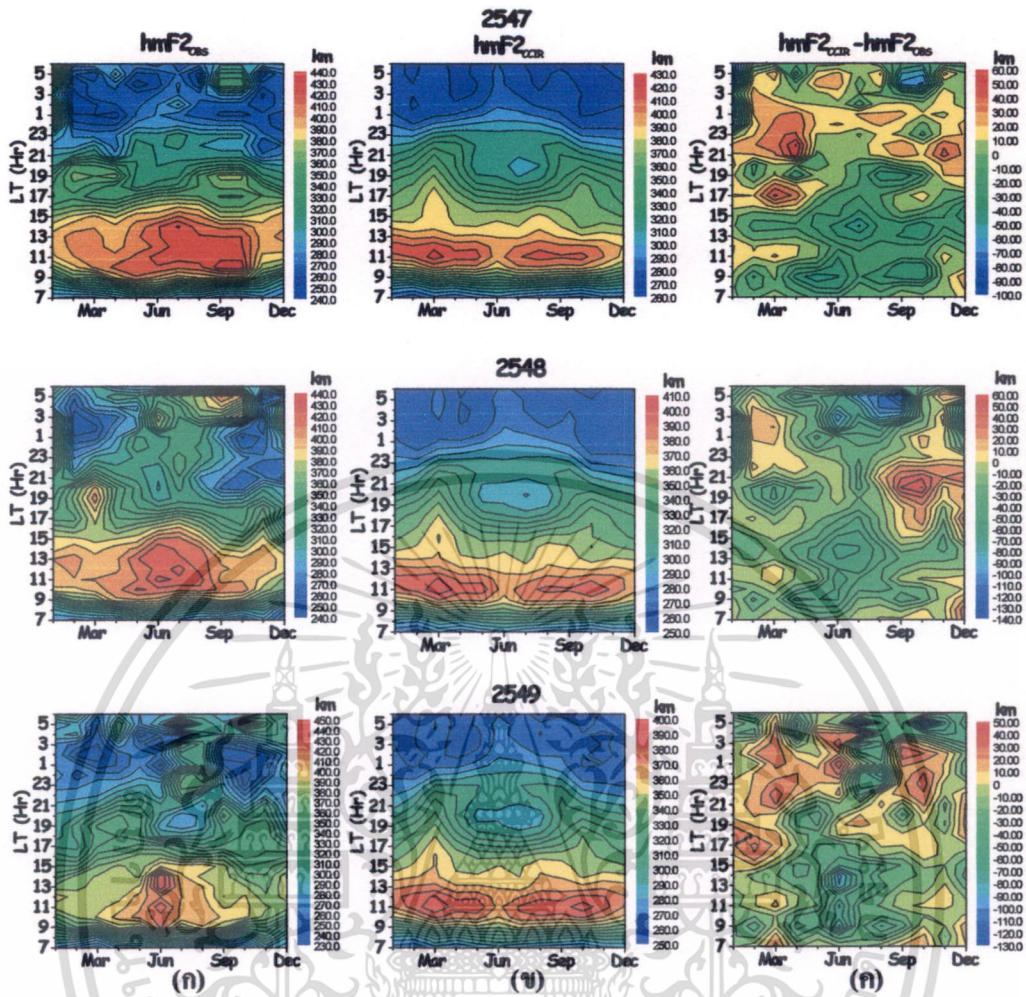
## 5.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่า $hmF2$ ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI

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

$$\Delta hmF2 = hmF2_{IRI} - hmF2_{OBS} \quad (5.3)$$

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

โดยค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดที่ทำการวัดได้จริง กับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 Contour plot ของ (ก) ค่าความสูงสูงสุดเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำกรวัดได้จริง (ข) ค่าที่ทำนายได้จากโมเดล  $IRI_{CCR}$  และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก  $IRI_{CCR}$  ณ สถานีชุมพร ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549

รูปที่ 5.3 แสดง Contour plot ของ (ก) ค่าความสูงสูงสุดเฉลี่ยแต่ละเดือนที่ทำกรวัดได้จริง ณ สถานีชุมพร (ข) ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCR}$  และ (ค) ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสูงสูงสุดที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCR}$  ในช่วงระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึงปี พ.ศ. 2549 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ (low solar activity) เมื่อทำการพิจารณาในรูปที่ 5.3 (ก) และ (ข) พบว่าค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ที่ทำกรวัดได้จริงและค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCR}$  มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกัน กล่าวคือ ค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น หรือในช่วง

เวลา 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 ในช่วงเวลากลางวันจะมีค่าสูงสุดในขณะที่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลอง  $IRI_{CCIR}$  จะมีค่าความสูงสูงสุดในฤดูกาล March equinox และ September equinox ส่วนในช่วงเวลากลางคืนค่าความสูงสูงสุดของทั้งคู่ มีค่าต่ำสุดในช่วงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นในทุกๆ ฤดูกาลของทั้ง 3 ปีที่ทำการศึกษา ในรูปที่ 5.3(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

ในส่วนต่อไปจะเป็นบทสรุป และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการศึกษาคุนลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

## บทที่ 6

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 บทสรุป

การแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะทางไกล และการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ซึ่งทั้ง 2 ระบบนี้มีการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยในบางช่วงเวลาอาจเกิดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของอิเล็คตรอนภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบที่มีการสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ดังที่ได้กล่าวถึงในความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาในบทที่ 1 ดังนั้นการทำความเข้าใจเกี่ยวกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อนำไปออกแบบ และพัฒนาระบบที่มีการติดต่อสื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยในรายงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษา และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ประกอบด้วยค่าความสูงของชั้น F ( $h'F$ ) ความถี่วิกฤตของชั้น F2 ( $f_oF2$ ) ค่าแฟคเตอร์ M(3000)F2 และค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ( $hmF2$ ) ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยทำการติดตั้งสถานีไอโอโนซอนเด ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร ประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณละติจูดต่ำ เพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในปี พ.ศ. 2547 ถึง พ.ศ. 2549 ซึ่งเป็นช่วงที่ปฏิริยาจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

##### 1) พารามิเตอร์ $h'F$

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

## 2) พารามิเตอร์ foF2

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 และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลง ในแต่ละปีพบว่าค่าพารามิเตอร์ foF2 มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามค่าปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์ โดยจากการศึกษาจะพบว่าค่า foF2 ภายในปี พ.ศ. 2547 จะมีค่าสูงกว่าในปีอื่นๆ ในทุกช่วงเวลา

## 3) พารามิเตอร์ M(3000)F2

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 นอกจากนี้ยังพบว่า ค่า M(3000)F2 นี้มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์อีกเช่นกัน

## 4) พารามิเตอร์ hmF2

การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ hmF2 จะมีค่าสูงขึ้นในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น และมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน หรือในช่วงเวลาประมาณ 10.00 น. ถึง 14.00 น. จากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงเวลากลางคืน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเช้าของวันใหม่นั้นเอง เมื่อทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลพบว่าในช่วงเวลากลางวันค่าในช่วงฤดูกาล June solstice มีค่าสูงกว่าฤดูกาลอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า hmF2 ในช่วงเวลาประมาณ 17.00 น. ถึง 20.00 น. ของช่วงฤดูกาล March equinox จะมีค่าสูงขึ้นอย่างผิดปกติ ซึ่งช่วงเวลานี้เป็นช่วงที่ค่า h'F มีค่าสูงสุดด้วย เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 ในแต่ละปีพบว่าค่าความสูงสูงสุดของชั้น F2 มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตามปริมาณจุดดับบนดวงอาทิตย์

นอกจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์  $h'F$ ,  $foF2$ ,  $M(3000)F2$  และ  $hmF2$  แล้ว ในบทที่ 5 ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า  $foF2$  และ  $hmF2$  ที่ทำการวัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ได้ผลดังนี้

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า  $foF2$  ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก IRI ได้ผลดังนี้

1. โดยปกติค่า  $foF2$  ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ไม่ว่าจะ เป็นแบบจำลองของ URSI หรือ CCIR จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา คล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $foF2$  ที่ทำการวัดได้จริง
2. ค่า  $foF2$  ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{URSI}$  และ  $IRI_{CCIR}$  ส่วนใหญ่ให้ค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริงในทุกๆ ช่วงเวลาของทั้ง 4 ฤดูกาล ยกเว้นในช่วงเวลา ก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของช่วงฤดูกาล 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 ซึ่งทำการตั้งสถานีในบริเวณทิศตะวันตกของทวีปแอฟริกา

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่า  $hmF2$  ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จาก  $IRI_{CCIR}$  ได้ผลดังนี้

1. โดยปกติค่า  $hmF2$  ที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ  $IRI_{CCIR}$  จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาคคล้ายกันกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $hmF2$  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  $hmF2$  ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI-2001 ณ ชุมพร ให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chou และ Lee อีกด้วย

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

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

## 6.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ในการทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะมีประโยชน์ในเรื่องการรับ-ส่งคลื่น โดยพบว่าเมื่อความสูงของชั้น F เลื่อนตัวสูงขึ้นในช่วงกลางวันจะทำให้สามารถทำการรับ-ส่งคลื่นไปได้ในระยะทางไกล และเมื่อความสูงของชั้น F เลื่อนตัวต่ำลงในช่วงเวลากลางวันจะทำให้ทำการรับ-ส่งคลื่นได้ในระยะใกล้ ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจึงสามารถทำการรับ-ส่งคลื่นได้ไกลกว่าในช่วงเวลากลางวันนั่นเอง ในการทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ foF2 มีประโยชน์อย่างมากต่อระบบสื่อสารวิทยุระยะไกลในย่านความถี่สูง โดยในการรับ-ส่งคลื่นในย่านความถี่สูงนี้ยังมีหน่วยงานจำนวนมากใช้งานอยู่ไม่ว่าจะเป็น ความถี่ที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมทางทหาร ความถี่ที่ใช้ในการเดินเรือ ความถี่ที่ใช้ในกิจการวิทยุการบินของกรมการบินพาณิชย์ รวมถึงคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานด้าน RF-ID (Radio Frequency Identification) เป็นต้น

การทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า foF2 และ hmF2 ที่วัดได้จริงกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองของ IRI เนื่องจากแบบจำลองของ IRI ซึ่งประกอบไปด้วย IRI<sub>URSI</sub> และ IRI<sub>CCIR</sub> นั้นจะทำการส่งทีมผู้เชี่ยวชาญไปทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในสถานที่ต่างๆ ทั่วโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ไม่ว่าจะ เป็นในบริเวณละติจูดสูง กลาง หรือต่ำ รวมถึงในแถบเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กด้วย จากนั้นแบบจำลองทั้ง 2 ตัวนี้จะทำการทำนายค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ในแต่ละสถานที่บนพิภพของโลก ซึ่งสถานที่ชุมพร ประเทศไทย เป็นบริเวณละติจูดต่ำ ซึ่งยังไม่ได้มีการทำการเก็บวัดข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จริง เป็นเพียงการทำนายจากแบบจำลองเท่านั้น ซึ่งโดยจากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทั้ง 2 ตัวนี้ (URSI และ CCIR) จะให้ค่าสูงกว่าค่าที่ทำการวัดได้จริง ดังนั้นผลที่ได้จากรายงานวิจัยนี้จึงเห็นควรให้มีการปรับปรุงค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองทั้ง 2 เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดในการนำไปใช้งานต่อไป

## 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] N. Wakai, H. Ohyama and T. Koizumi. **MANUAL OF IONOGRAM SCALING**. Third Version. Communications Research laboratory. Tokyo, Japan, 1987.
- [9] M. Nakamura. **Quick Reference of Manual Scaling for SPECIAL scaling from Manual of Ionogram Scaling**. Communications Research laboratory. Tokyo, Japan, 2003.
- [10] D. Bilitza. **International Reference Ionosphere 1990**. National Space Science Data Center, Report 90-22, Greenbelt, Maryland, USA, 1990.
- [11] 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.
- [12] D. Bilitza, "International Reference Ionosphere 2000," **Radio Sci.**, Vol. 36, pp. 261-275, 2001.
- [13] T. Maruyama, "Ionosphere and Thermosphere," **Journal of Communications Research Laboratory**, Vol. 49, No.3, 2002
- [14] CCIR Report 725-3, "Ionospheric Properties", **Reports of the CCIR, 1990; Vol. VI propagation in Ionized Media**, (ITU, Geneva, 1990).