



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษา วิเคราะห์และโมเดลค่าความถี่วิกฤต (f_oF_2) ความสูงชั้นเอฟ (h_mF_2) และเหตุการณ์สเปรดเอฟ (Spread F) ในบริเวณ Equatorial Ionospheric Anomaly
Analysis and Models of Critical Frequency (f_oF_2), Maximum Peak Height of F2 Layer (h_mF_2) and Spread F in the Equatorial Ionospheric Anomaly Region

รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ

นายณรเศรษฐ์ วิชัยพาณิชย์

นายศราวุธ รุ่งเรืองวชิเอก

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษา วิเคราะห์และโมเดลค่าความถี่วิกฤต (foF2) ความสูงชั้นเอฟ (hmF2) และเหตุการณ์สเปรดเอฟ (Spread F) ในบริเวณ Equatorial Ionospheric Anomaly
Analysis and Models of Crititcal Frequency (foF2), Maximum Peak Height of F2 Layer (hmF2) and Spread F in the Equatorial Ionospheric Anomaly Region

รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ

นายณรเศรษฐ์ วิชัยพาณิชย์

นายศราวุธ รุ่งเรืองวิจิเอก

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555

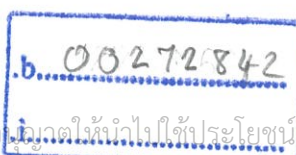
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขา.....

เลขทะเบียน 140749

วันเดือนปี 24/1/55



สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	I
สารบัญตาราง.....	II
สารบัญภาพ.....	III
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	4
2.2 ระบบการวัดไอโอโนซอนด์ (ionosonde).....	5
2.3 ภาพไอโอโนแกรม.....	8
2.4 ผลงานวิจัยก่อนหน้านี้.....	11
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	12
3.1 ข้อมูลที่ใช้และกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล.....	12
3.2 ผลการวิเคราะห์.....	13
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย.....	19
บรรณานุกรม.....	20
ประวัตินักวิจัย.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตำแหน่งของสถานีไอโนซอนด์ทั้งสามแห่ง.....	12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ตำแหน่งของสถานีวัดในโครงการ SEALION.....	4
2.2 ตัวอย่างค่า foF2 และ hmF2.....	5
2.3 ระบบเครื่องวัดไอโอโนซอนด์.....	6
2.4 เทคนิคไอโอโนซอนด์และภาพไอโอโนแกรม.....	7
2.5 ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่ได้รับจากสถานีชุมพร.....	9
2.6 รูปแบบของสเปกตรัมตามมาตรฐาน INAG.....	9
2.7 ตัวอย่างไอโอโนแกรมที่แสดงถึงเหตุการณ์สเปกตรัมชนิด F-type และ R-type.....	10
2.8 ตัวอย่างไอโอโนแกรมที่แสดงถึงเหตุการณ์สเปกตรัมที่จังหวัดชุมพร.....	11
3.1 ค่ามัธยฐานของ foF2 และ hmF2 ที่สถานีชุมพรตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007.....	14
3.2 ค่ามัธยฐานของ foF2 และ hmF2 ที่สถานีเชียงใหม่ตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007.....	16
3.3 ค่ามัธยฐานของ foF2 และ hmF2 ที่สถานีโกโตต้างตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007.....	17
3.4 การเปรียบเทียบของค่า foF2 ของทั้งสามสถานี.....	18
3.5 การเปรียบเทียบของค่า hmF2 ของทั้งสามสถานี.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษา วิเคราะห์และโมเดลค่าความถี่วิกฤต (foF2) ความสูงชั้นเอฟ (hmF2) และเหตุการณ์สเปรดเอฟ (Spread.F) ในบริเวณ Equatorial Ionospheric Anomaly แหล่งเงิน เงินงบประมาณรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

ประจำปีงบประมาณ 2555..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 80,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2554 ถึง 30 กันยายน 2555.....

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

..... รองศาสตราจารย์ ดร. พรชัย ทรัพย์นิธิ (หัวหน้าโครงการ)

..... นายณเรศรุชฎ วิชัยพาณิชย์ (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

..... นายศราวุธ รุ่งเรืองวชิเอก (ผู้ร่วมโครงการวิจัย)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษเปรียบเทียบค่าความถี่วิกฤต (foF2) และความสูงชั้นเอฟสอง (hmF2) จากสามสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณ EIA โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงที่ปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง 2550 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน ฤดูกาล และเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองไอโอโนสเฟียร์อ้างอิงนานาชาติ เวอร์ชันปี 2007 (IRI-2007) ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างผลที่วัดได้กับผลที่ได้จากแบบจำลอง IRI จะเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงแบบจำลอง IRI ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากการวิเคราะห์พบว่าแบบจำลอง IRI-2007 ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง แต่เมื่อศึกษาอย่างละเอียดจะเห็นว่าความใกล้เคียงในเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน สำหรับ foF2 นั้น แบบจำลอง IRI ให้ค่าใกล้เคียงกับสถานีโกโตตานิยามากที่สุด ให้ค่าสูงกว่าความเป็นที่สถานีชุมพร และให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงที่สถานีเชียงใหม่ นอกจากนี้ค่า foF2 ในเวลากลางวันที่สถานีเชียงใหม่และโกโตตานิยามีค่าสูงกว่าที่สถานีชุมพร ซึ่งอธิบายได้จากทำเลที่ตั้งในเขต Equatorial Ionospheric Anomaly สำหรับค่า hmF2 แบบจำลอง IRI ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในเวลากลางวัน สำหรับในเวลากลางคืนแบบจำลอง IRI-2007 ให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงที่สถานีชุมพร แต่ให้ค่าสูงเกินไปที่สถานีที่เหลืออีกสองแห่ง

คำสำคัญ : ความถี่วิกฤตชั้นเอฟ ความสูงชั้นเอฟ แบบจำลอง IRI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Analysis and Models of Critical Frequency (foF2), Maximum Peak Height of F2 Layer (hmF2) and Spread F in the Equatorial Ionospheric Anomaly Region
Researcher: Assoc. Prof. Dr. Pornchai Supnithi, Mr. Noraset Wichaipanich, Mr. Sarawoot Rungraengwajake
Faculty: Engineering **Department:** Telecommunications Engineering

ABSTRACT

In this work, we analyze the critical frequency of F2 layer (foF2) and the maximum bottomside F2 layer height (hmF2) at three stations in the Equatorial Ionospheric Anomaly (EIA) region in Southeast Asia, that is, Chiangmai, Chumphon, both in Thailand, and Kototabang, Indonesia. The data are during from 2004-2007, the periods of low solar activity. The analyze observational data are then compared with the prediction from the IRI-2007 model. It is found that the IRI model gives a similar trend to the observation. Among the three stations, the model is closest to the Kototabang station. Overall, it overestimates the data obtained at Chumphon station, but underestimates those obtained from Chiangmai station. In addition, during daytime, the foF2 values at Chumphon station are lower than those at the two other stations due to their relative locations the EIA region. But for nighttime, the values are all three stations are at the similar levels.

Keywords : critical frequency of F2 layer, maximum bottomside F2 layer height, equatorial ionospheric anomaly, IRI model

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Dr. Tsutomu Nagatsuma, Dr. Tsugawa และ Dr. Takashi Maruyama และ นักวิจัยท่านอื่นๆ ในหน่วยงาน Space Weather Environment and Informatics Laboratory, National Institute of Information and Communication Technology, Japan ที่ให้การช่วยเหลือและคำแนะนำหัวข้อวิจัยในด้านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ รวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่สถานี วัดชุมพร การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากทุนวิจัยด้วยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงประมาณ 80 กิโลเมตรถึง 1200 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นชั้นบรรยากาศที่เกิดการไอออไนส์ (ionized) มีปริมาณไอออนและอิเล็กตรอนจำนวนมาก ความแปรปรวนของประจุเหล่านี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบสื่อสาร เมื่อคลื่นสัญญาณเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ยกตัวอย่างเช่น (1) ระบบการสื่อสารดาวเทียมความเร็วสูงซึ่งจัดเป็นการสื่อสารไร้สายแบนด์กว้าง (broadband wireless) ประเภทหนึ่ง และ (2) ระบบดาวเทียมจีพีเอสเป็นดาวเทียมระบุตำแหน่ง เป็นต้น เมื่อสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเกิดการหักเหจากเส้นทางตรง ทั้งนี้เนื่องจากดัชนีการหักเหภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีค่าที่แตกต่างจากบริเวณภายนอก เป็นผลมาจากปริมาณความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่สม่ำเสมออันก่อให้เกิด (1) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดกระทันหันที่เรียกกันว่า ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (scintillation) ทำให้สัญญาณดาวเทียมจะมีสมรรถนะต่ำลงหรือในกรณีที่เลวร้ายสัญญาณอาจขาดหายไป (out-of-lock) และ (2) การหน่วงเวลาไม่ปกติ (irregular delay) มีผลกระทบต่อ การรับ-ส่งข้อมูลผ่านดาวเทียม การสื่อสารระหว่างเครื่องบินและดาวเทียม รวมทั้งความแม่นยำของการระบุตำแหน่งของดาวเทียมจีพีเอส เป็นต้น

การศึกษาความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นำไปสู่การพัฒนาโมเดลไอโอโนสเฟียร์ในระดับนานาชาติ โมเดลที่นิยมนำมาใช้งานได้แก่ โมเดล International Reference Ionosphere (IRI) ซึ่งบันทึกค่ามัธยฐานในแต่ละเดือน (monthly median) พารามิเตอร์ต่างๆ อาทิ เช่น ความถี่วิกฤตชั้นเอฟสอง (critical frequency of F2 layer: foF2) ความสูงสูงสุดของชั้นเอฟสอง (peak height of F2 layer: hmF2) ความหนาแน่นอิเล็กตรอน อุณหภูมิอิเล็กตรอน เป็นฟังก์ชันของความสูง ตำแหน่งละติจูด ลองจิจูดและจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ คณะทำงานร่วมระหว่างองค์กร International Union of Radio Science (URSI) และ Committee on Space Research (COSPAR) ได้พัฒนาโมเดลนี้และมีการปรับปรุงเป็นระยะ นับตั้งแต่การสร้างโมเดล IRI ในปี 1978 เวอร์ชันล่าสุดของโมเดลนี้คือ โมเดล IRI 2007 โมเดล IRI อาศัยฟังก์ชันวิเคราะห์ (analytic function) ในการคำนวณกราฟความหนาแน่นอิเล็กตรอนชั้นเอฟสอง พารามิเตอร์ที่

สำคัญสองค่าได้แก่ ความถี่วิกฤตชั้นเอฟสอง (foF2) และความสูงสูงสุดของชั้นเอฟสอง (hmF2) อ้างอิงกับค่าเฉลี่ยรายเดือนของจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Rz12)

ในปัจจุบันโมเดล IRI ที่ใช้มีสองประเภทได้แก่ ประเภท CCIR และ URSI โดยพัฒนาซอฟต์แวร์แตกต่างกัน ประเภท CCIR เก็บค่า foF2, hmF2 และ M(3000)F2 ที่ได้จากเครือข่ายเครื่องไอโอโนซอนด์ทั่วโลก จำนวน 150 สถานี ข้อมูลบันทึกไว้ในสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ที่อยู่ในรูปของฟังก์ชัน Legendre มีตัวแปรคือ ละติจูด ลองจิจูด และละติจูดแม่เหล็ก สำหรับประเภท URSI สัมประสิทธิ์ของโมเดลได้มาจากข้อมูลจาก 180 สถานีทั่วโลกและสามารถทำนายพารามิเตอร์ของชั้นไอโอโนสเฟียร์เหนือพื้นน้ำ เช่นมหาสมุทรได้

จากการที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ร่วมมือกับหน่วยงาน National Institute of Information and Communication Technology (NICT) ผ่านโครงการ Southeast Asia Low Latitude Ionospheric Observation Network (SEALION) มาตั้งแต่ปี 2545 เครื่องวัดไอโอโนซอนด์ที่ติดตั้ง ณ ทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านโครงการ SEALION นี้มีจำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานีชุมพร และสถานีเชียงใหม่ในประเทศไทย และสถานีโคโคตาบังในประเทศอินโดนีเซีย ถูกใช้เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในการวัด foF2 และ hmF2 ณ ตำแหน่งหนึ่ง ๆ พบว่าค่าที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามวัน เวลา ฤดูกาล ปี (เทียบกับปีสุริยะ โดยในหนึ่งรอบเป็นเวลา 11 ปี) นอกจากนี้ยังมีค่าแตกต่างกันระหว่างโซนต่าง ๆ ในโลก โดยจะความแปรปรวนที่สุดในโซนที่เรียกว่า Equatorial Ionization Anomaly (EIA) เป็นบริเวณที่อยู่ในเขต $\pm 15^\circ$ ของเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กโลก (magnetic equator) และโซนขั้วโลก เป็นที่ทราบกันดีว่า ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขต EIA นี้ อย่างไรก็ตาม การศึกษาค่า foF2 และ hmF2 ในบริเวณ EIA มีไม่มากในโลก ข้อมูลในโมเดล IRI ส่วนใหญ่มาจากละติจูดกลางมากกว่าละติจูดล่างและเขตเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กและมีการสังเกตการณ์มากกว่า 50 ปี สำหรับประเทศไทยนั้นการวิจัยในสาขานี้เพิ่งเริ่มต้นได้ไม่นาน ข้อมูลที่วัดและวิเคราะห์มีความสำคัญต่อการพัฒนาโมเดล IRI เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เมื่อสองปีก่อน (ปี 2552) ทางห้องวิจัยได้เข้าร่วมการประชุมปรับปรุงโมเดล IRI ที่การประชุมวิชาการ IRI 2009 workshop ที่เมือง Kagoshima ประเทศญี่ปุ่น นับเป็นครั้งแรกที่มีนักวิจัยไทยเข้าร่วมงานดังกล่าว

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาเปรียบเทียบค่า foF2 hmF2 จากสามสถานที่ที่ตั้งอยู่ในบริเวณ EIA โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงที่ปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง 2550 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน ฤดูกาล และเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลอง International Radio Ionosphere 2007 (IRI-2007) ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาการ

เปรียบเทียบระหว่างผลที่วัดได้กับผลที่ได้จากแบบจำลอง IRI จะเป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงแบบจำลอง IRI ในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ค่า $foF2$ จากสามสถานีวัดในบริเวณ EIA ได้แก่ เชียงใหม่ ชุมพร และโกโตต้างแบบรายวัน ฤดูกาลและรายปี
2. เปรียบเทียบผลที่ได้รับกับโมเดลนานาชาติ IRI-2007
3. นำเสนอผลการศึกษากับคณะทำงานโมเดล IRI-2007 ในระดับนานาชาติ เพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์ค่าความถี่วิกฤต $foF2$ และ $hmF2$ ของสามสถานีวัดในบริเวณ EIA ได้แก่ เชียงใหม่ ชุมพร และโกโตต้างแบบรายวัน ฤดูกาลและรายปี ระหว่างปี พ.ศ. 2547 ถึง 2550

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าความถี่วิกฤต $foF2$ และ $hmF2$ โดยอาศัยภาพไอโอโนแกรม และสมการ จากนั้นวิเคราะห์ค่ามัธยฐานรายเดือน ร่วมกับการใช้ค่าจากแบบจำลอง IRI-2007

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล $foF2$ และ $hmF2$ ที่วัดได้จากสามสถานีในเขต EIA
2. การแสดงถึงศักยภาพของนักวิจัยสถาบันในการมีส่วนร่วมปรับปรุงโมเดลนานาชาติ IRI 2007
3. การตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิชาการฉบับเต็มในวารสารวิชาการระดับนานาชาติที่มี impact factor ในฐานข้อมูล ISI

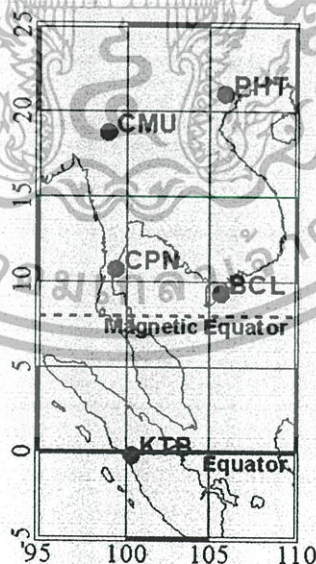
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

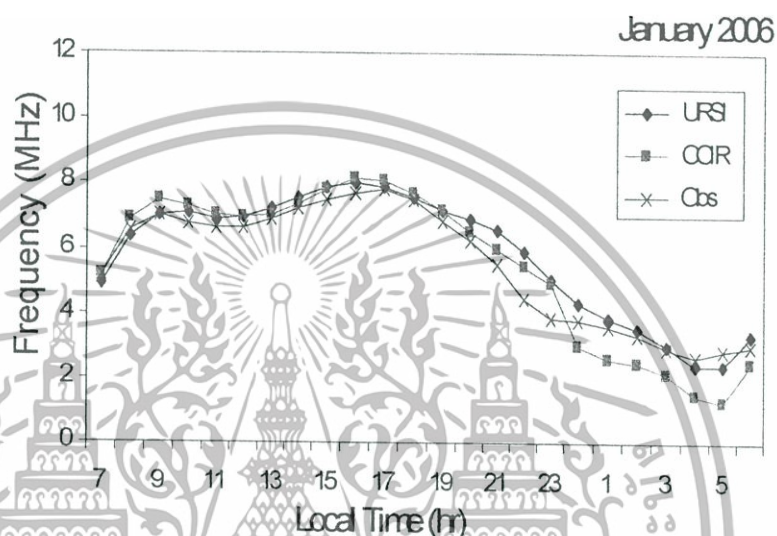
ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีระดับความสูงตั้งแต่ประมาณ 80 กิโลเมตรถึง 400 กิโลเมตรจากพื้นโลก จัดเป็นชั้นบรรยากาศที่ไม่เป็นกลาง มีประจุจำนวนมากและความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่คงที่ โดยเฉพาะในชั้นย่อย E และ F โดยจะมีค่ามากขึ้นจากชั้น D จนถึงชั้น F แล้วค่อย ๆ ลดลง ความแปรปรวนดังกล่าวนี้มีความรุนแรงมากในบริเวณเส้นศูนย์สูตรและขั้วโลก การศึกษาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และผลกระทบต่อระบบสื่อสารจึงมีความสำคัญอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การเกิดซินทีสิสชั้นมีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมทำให้เกิดการแกว่งของแอมพลิจูดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดาวเทียมจีพีเอส อาจเกิดการหลุดของสัญญาณ ในภาพที่ 2.1 ตำแหน่งของสถานีเชียงใหม่ (CMU) สถานีชุมพร (CPN) ประเทศไทย และสถานีโกโตต้าง (Kototabang: KTB) ประเทศอินโดนีเซีย ที่อยู่ภายใต้โครงการ SEALION ซึ่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ได้เข้าร่วม



ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งของสถานีวัดในโครงการ SEALION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

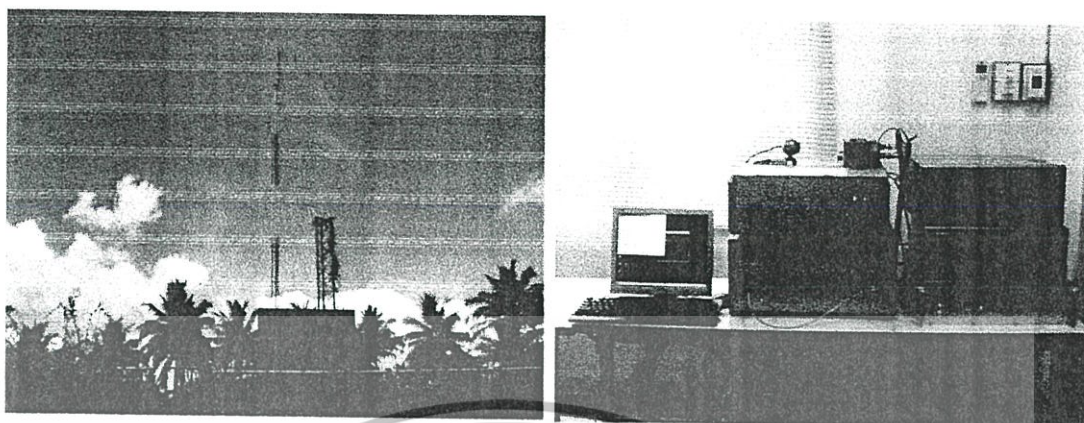
ในภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของค่า foF2 ที่วัดได้ ณ จังหวัดชุมพร ในเดือนมกราคมปี 2006 จะเห็นว่าค่าจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในตอนกลางวันและลดลงในตอนกลางคืน อย่างไรก็ตาม ค่าที่แน่นอนยังไม่สามารถทำนายได้ และมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับวัน เวลา ฤดูกาล ปี และจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์



ภาพที่ 2.2 ตัวอย่างค่า foF2 และ hmF2

2.2 ระบบการวัดไอโอโนซอนด์ (ionosonde)

ระบบการวัดไอโอโนซอนด์ประกอบด้วย 2 ส่วนได้แก่ สายอากาศที่ตั้งอยู่ภายนอก และเครื่องมือวัดภายใน สำหรับสถานีชุมพร เครื่องไอโอโนซอนด์ตั้งอยู่ที่วิทยาเขตชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแสดงภาพที่ 2.3 โดยรูปที่ 2.3(ก) และ (ข) แสดงเสาอากาศไดโพล และเครื่องรับ-ส่งสัญญาณและคอมพิวเตอร์ประมวล ตามลำดับ

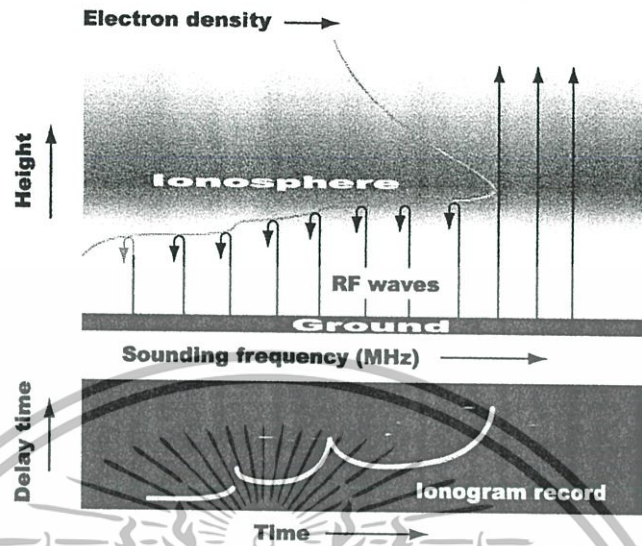


ภาพที่ 2.3 ระบบเครื่องวัดไอโอโนซอนด์ (ก) เสาอากาศ และ (ข) เครื่องรับ-ส่งสัญญาณและคอมพิวเตอร์ประมวลผล

หลักการทำงานของเครื่องไอโอโนซอนด์แสดงดังภาพที่ 2.4 เครื่องไอโอโนซอนด์เป็นแบบ CW (continuous wave) จะทำการส่งสัญญาณความถี่ในย่าน HF (high frequency) โดยเริ่มจาก 2 MHz ถึง 30 MHz จีงครบ 1 รอบ เครื่องรับสัญญาณจะวัดการหน่วงเวลาระหว่างการส่งและรับแต่ละความถี่ นำไปคำนวณความสูง โดยปกติเมื่อเพิ่มความถี่จะได้ความสูงเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่เพิ่มขึ้นจนถึงความสูงหนึ่งๆ จากนั้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว พารามิเตอร์ที่สำคัญมี 2 ค่าได้แก่ ความถี่วิกฤตหรือ f_oF_2 และความสูงสูงสุดของชั้นเอฟหรือ h_mF_2 ความถี่วิกฤต f_oF_2 คือความถี่สูงสุดที่สะท้อนจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ส่วนค่า h_mF_2 คือความสูงสูงสุดก่อนที่ความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นเอฟจะลดลง ในกระบวนการวัดพารามิเตอร์เหล่านี้จะแสดงในภาพที่เรียกว่าไอโอโนแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ionospheric Observation Technique (Ionosonde)



ภาพที่ 2.4 เทคนิคไอโอโนซอนด์และภาพไอโอโนแกรม

ค่าแฟกเตอร์การส่งคลื่น (Propagation Factor) หรือ $M(3000)F2$ คำนวณได้จาก

$$M(3000)F2 = \frac{MUF(3000)F2}{foF2} \tag{2.1}$$

โดย $foF2$ คือความถี่วิกฤตของชั้นเอฟสอง และ $MUF(3000)F2$ คือความถี่ใช้งานสูงสุดที่สะท้อนจากชั้นเอฟสองของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งจะรับได้ที่ระยะทาง 3000 กิโลเมตร
ค่า $hmF2$ คำนวณจาก [11]

$$hmF2 = \frac{1490}{M(3000)F2} - 176 \tag{2.2}$$

และ [12]

$$hmF2 = \frac{1490}{M(3000)F2 + \Delta M} - 176, \tag{2.3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ΔM คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\Delta M &= f_1 \cdot f_2 / (foF2/foE - f_3) + f_4, \\ f_1 &= 0.00232 \cdot Rz12 + 0.222, \\ f_2 &= 1 - Rz12/150 \cdot \exp(-(\psi/40^\circ)^2), \\ f_3 &= 1.2 - 0.0116 \cdot \exp(Rz12/41.84), \\ f_4 &= 0.096 \cdot (Rz12 - 25)/150,\end{aligned}\tag{2.4}$$

โดยที่ ψ คือละติจูดแม่เหล็ก foE คือความถี่วิกฤตชั้น E และ Rz12 คือจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์เฉลี่ยสิบสองเดือน ผลต่างระหว่างค่า foF2 ที่วัดได้กับค่าจากโมเดล IRI คำนวณได้จาก

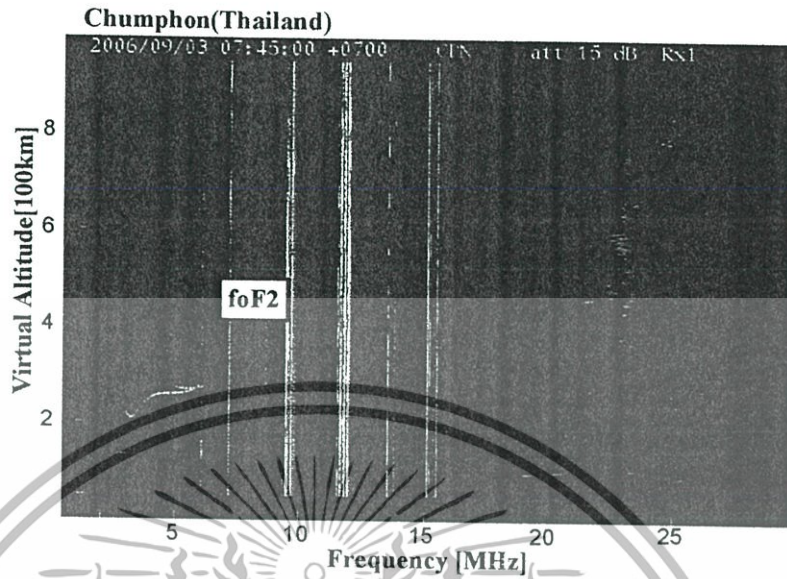
$$\Delta foF2 = foF2_{IRI} - foF2_{OBS},\tag{2.5}$$

โดยที่ $foF2_{IRI} = foF2_{URSI}$ สำหรับโมเดล URSI, $foF2_{IRI} = foF2_{CCIR}$ สำหรับโมเดล CCIR และ $foF2_{OBS}$ แทนค่า foF2 ที่วัดได้ นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลง foF2 คำนวณได้จาก

$$CV = \frac{|foF2_{IRI} - foF2_{OBS}|}{foF2_{OBS}} \times 100\%,\tag{2.6}$$

2.3 ภาพไอโอโนแกรม

ภาพไอโอโนแกรมคือภาพที่เครื่องไอโอโนซอนด์แสดงผลตรวจเช็คสถานะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่สถานีชุมพรได้รับภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 15 นาที เมื่อได้รับแล้วต้องมีการสเกลหรือตรวจสอบค่าที่ต้องการจากภาพไอโอโนแกรม ยกตัวอย่างเช่น ความถี่ foF2 สามารถดูได้จากความถี่สูงสุดของเส้นด้านซ้ายที่ปรากฏในแกนนอน และความสูงสูงสุดในแกนตั้งนั้นคือ hmF2 ในภาพจะสังเกตเห็นแถบเส้นสีเหลืองหรือม่วง ซึ่งอาจจะเป็นสัญญาณรบกวนจากย่านอื่นหรือเป็นเพียงนอยส์ อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่ไม่ปกติเมื่อมีความแปรปรวนของความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นเอฟ ภาพไอโอโนแกรมจะไม่แสดงเส้นสะท้อนได้อย่างชัดเจน แต่เส้นสะท้อนจะแผ่เป็นแถบคลื่น เหตุการณ์นี้เรียกว่าสเปรดเอฟ (spread F) เหตุการณ์สเปรดเอฟแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ สเปรด



ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างภาพไอโอโนแกรมที่ได้รับจากสถานีชุมพร



Fig. 2.22 Range spread. Type Q

ภาพที่ 2.6 รูปแบบของสเปกตรัมตามมาตรฐาน INAG

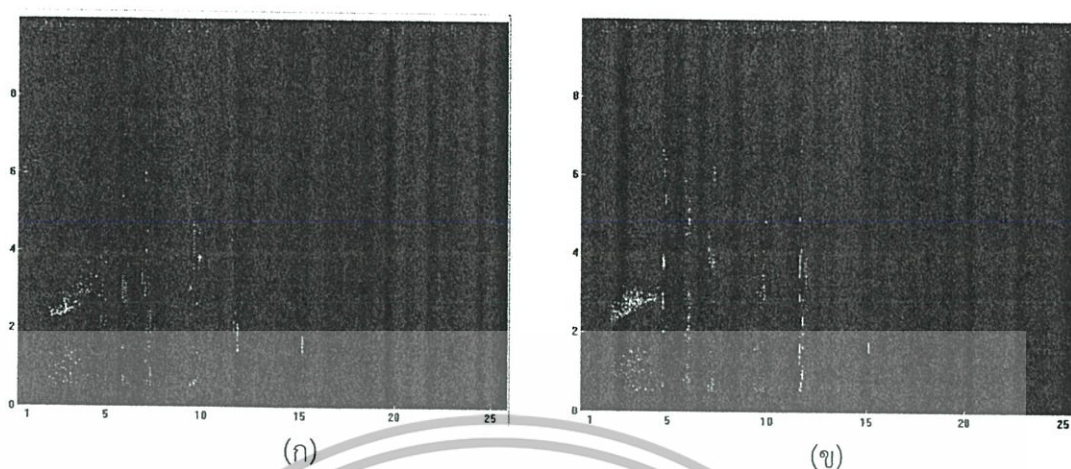
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอฟที่เกิดในแนวความถี่ (F-type) และสเปกตรัมเอฟที่เกิดในแนวความสูง (R-type หรือ Q-type) ภาพที่ 2.6 แสดงรูปแบบของสเปกตรัมเอฟที่เป็นได้ตามมาตรฐาน Ionosonde Network Advisory Group (INAG) ภาพที่ 2.7 แสดงตัวอย่างไอโอโนแกรมที่แสดงถึงเหตุการณ์สเปกตรัมเอฟชนิด F-type และ R-type ที่พบณ สถานีชุมพร



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างไอโอโนแกรมที่แสดงถึงเหตุการณ์สเปกตรัมเอฟชนิด F-type และ R-type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างไอโอโนแกรมที่แสดงถึงเหตุการณ์สเปรดเอฟชนิด (ก) F-type และ (ข) R-type ที่จังหวัดชุมพร

ภาพที่ 2.8 ตัวอย่างไอโอโนแกรมที่แสดงถึงเหตุการณ์สเปรดเอฟชนิด (ก) F-type และ (ข) R-type ที่จังหวัดชุมพร

2.4 ผลงานวิจัยก่อนหน้านี้

โมเดล International Reference Ionosphere หรือโมเดล IRI สร้างขึ้นจากข้อมูลที่วัดได้จริง สามารถใช้แสดงค่ามัธยฐานรายเดือนของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ได้แก่ ความหนาแน่นอิเล็กตรอน อุณหภูมิอิเล็กตรอน อุณหภูมิไอออนและส่วนประกอบของไอออน ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 50 ถึง 1500 กิโลเมตร เมื่อให้ค่าตำแหน่ง เวลาและตัวเลขจุดดับบนดวงอาทิตย์ รายละเอียดของโมเดล IRI แสดงไว้ใน Bilitza, (1990, 2001) นอกจากนี้มีบทความก่อนหน้านี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่า foF2 และ hmF2 ที่วัดได้กับโมเดล IRI เช่น Adeniyi et al., (2003), Obrou et al., (2003), Batista and Abdu, (2004), Zhang et al., (2004, 2007), Bertoni et al., (2006), Abdu et al., (2006), Lee and Reinisch, (2006), Chou and Lee, (2008), Ratovsky et al., (2009), Wichaipanich et al., (2010)

บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ข้อมูลที่ใช้และกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ได้มาจากการรวบรวมข้อมูลที่วัดได้จริงจากสถานีวัดไอโอโนซอนด์ทั้งสามแห่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ สองสถานีในประเทศไทยคือ ชุมพรและเชียงใหม่ (10.72°N, 99.37°E, dip angle: 3.0°N) และหนึ่งสถานีในประเทศอินโดนีเซีย คือ โกโตตาบัง (Kototabang) (0.2°S, 100.32°E, dip angle: 10.1°S) สถานีชุมพรตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก ในขณะที่อีกสองสถานีตั้งอยู่บริเวณด้านเหนือและใต้ของบริเวณความผิดปกติการไอโอไนซ์ศูนย์สูตร (equatorial ionization anomaly) หรือบริเวณ EIA สถานีทั้งสามแห่งนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ SEALION (Southeast Asia Low-latitude Ionospheric Network ionosondes) (Maruyama et al., 2007) ตำแหน่งของแต่ละสถานีแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยใช้เครื่องไอโอโนซอนด์แบบ FM/CW ซึ่งทำการสร้างภาพไอโอโนแกรมทุกๆ 5 นาที

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งของสถานีไอโอโนซอนด์ทั้งสามแห่ง

Station	Geographic location		Dip latitude	Country
	Latitude	Longitude		
Chiang Mai	18.76°	98.93°	12.7°	Thailand
Chumphon	10.72°	99.37°	3.0°	Thailand
Kototabang	-0.2°	100.3°	-10.1°	Indonesia
Phu Thuy	21.03°	105.96°	15.6°	Vietnam
Bac Lieu	9.30°	105.71°	1.5°	Vietnam
Cebu	10.35°	123.91°	3.09°	Philippines

ในโครงการวิจัยนี้ ทำการวิเคราะห์ค่ามัธยฐานรายชั่วโมง รายเดือนของพารามิเตอร์ foE, foF2 และ M(3000)F2 โดยการสเกลค่าจากภาพไอโอโนแกรมในช่วงที่กิจกรรมบนดวงอาทิตย์มีค่าต่ำ ในช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2007 แล้วคำนวณค่า hmF2 ด้วยสมการของ Bilitza (1990) จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากโมเดล IRI-2007 model ในกรณีของค่า foF2 จะใช้ตัวเลือกแบบทั้ง CCIR และ URSI ของโมเดล IRI-2007 แต่ในกรณีของ hmF2 จะใช้ตัวเลือกแบบ CCIR เท่านั้น นอกจากนี้จะคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของ foF2 (Δ foF2(%)) ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายได้จากโมเดล IRI-2007 จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta foF2(\%) = \frac{foF2_{IRI} - foF2_{OBS}}{foF2_{OBS}} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ $foF2_{IRI} = foF2_{CCIR}$ สำหรับชนิด CCIR option และ $foF2_{OBS}$ คือค่า $foF2$ ที่วัดได้จริง ในทำนองเดียวกัน เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของ $hmF2(\Delta hmF2(\%))$ ระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่ทำนายได้จากโมเดล IRI-2007 คำนวณได้จาก

$$\Delta hmF2(\%) = \frac{hmF2_{IRI} - hmF2(M3000F2_{OBS})}{hmF2(M3000F2_{OBS})} \times 100\% \quad (2)$$

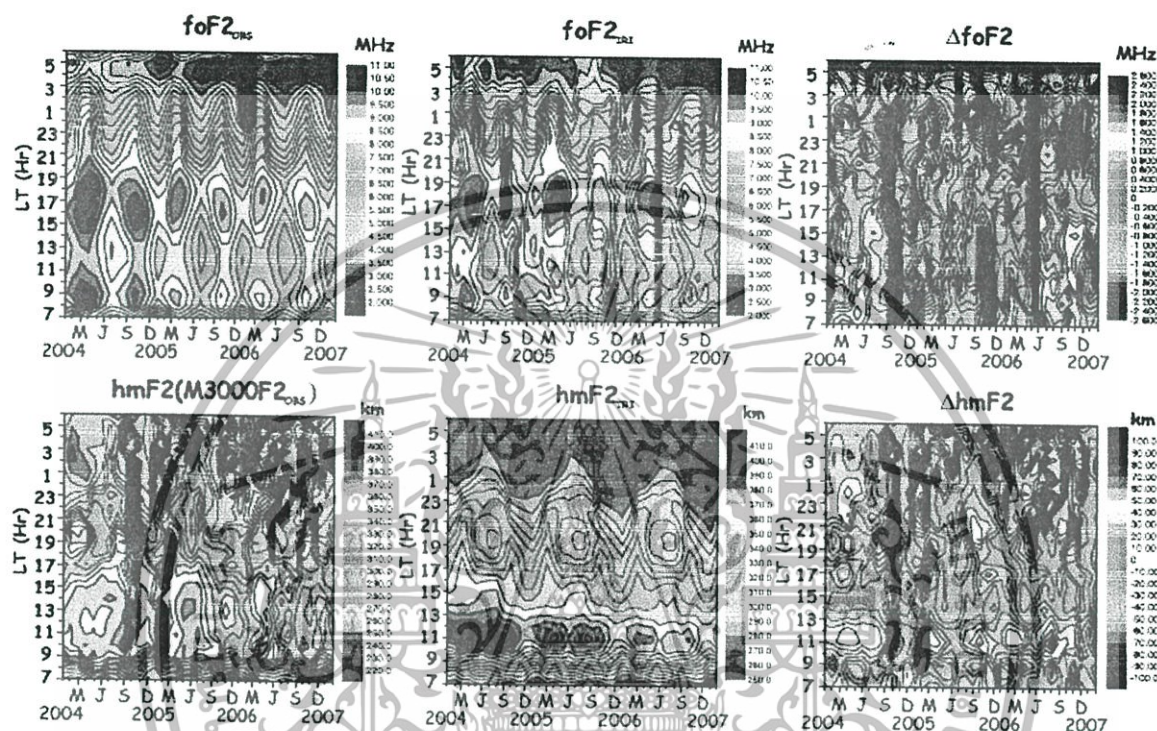
โดยที่ $hmF2_{IRI} = hmF2_{CCIR}$ สำหรับชนิด CCIR option และ $hmF2(M3000F2_{OBS})$ คือค่า $hmF2$ ที่คำนวณจากค่า $M(3000)F2$ ด้วยสมการของ Bilitza (1990)

นอกจากนี้แบ่งข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ออกเป็น 4 ฤดูกาลได้แก่ อีควิน็อกซ์กันยายน (เดือนกันยายนและตุลาคม) โซลสติสธันวาคม (พฤศจิกายน, ธันวาคม, มกราคมและกุมภาพันธ์) อีควิน็อกซ์มีนาคม (มีนาคม, เมษายน) และโซลสติสมิถุนายน (พฤษภาคม, มิถุนายน, กรกฎาคม, สิงหาคม)

3.2 ผลการวิเคราะห์

รูปที่ 3.1 แสดงผลการพล็อตแบบคอนทัวร์ของค่ามัธยฐานรายชั่วโมง รายเดือนของค่า $foF2$ (ด้านบน) และ $hmF2$ (ด้านล่าง) เทียบกับเวลาที่ท้องถิ่น (LT) และตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007 ที่สถานีวัดชุมพร รูปด้านซ้ายคือข้อมูลที่วัดได้ รูปกลางคือค่าที่ได้จากแบบจำลอง IRI (CCIR) และรูปซ้ายคือผลต่างระหว่างข้อมูลที่วัดได้กับค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR) จะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูลที่วัดได้และค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR) มีแนวโน้มเดียวกันในแต่ละวันโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาพระอาทิตย์ตกดิน (17:00-19:00 LT) และต่ำสุดในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จะเห็นได้ชัดว่าเกิดปรากฏการณ์ noon-biteout ในช่วงเวลาเที่ยงวัน นอกจากนี้ค่าในช่วงฤดูอิกวิ น็อกซ์จะมี ค่าสูงสุดแต่ในช่วงโซลสติสจะมีค่าต่ำสุด นอกจากนั้นค่า $foF2$ ขึ้นอยู่กับกิจกรรมบนดวงอาทิตย์โดยมีค่าลดลงจากปี 2004 ไปถึงปี 2007 รูปขวามือในรูปที่ 1 แสดงค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้ ($\Delta foF2 = foF2_{IRI} - foF2_{OBS}$) พบว่าในปี 2004 และ 2006 แบบจำลอง IRI มีค่าเกินจากค่า $foF2$ ที่วัดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูอิกวิ น็อกซ์ ในปี 2005

แบบจำลอง IRI มีค่าใกล้เคียงกับค่า foF2 ที่วัดได้ในเวลากลางวัน แต่ให้ค่าต่ำกว่าในช่วงเวลาเที่ยงคืนถึงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง 2.6 ถึง 2.6 MHz



ภาพที่ 3.1 ค่ามัธยฐานของ foF2 และ hmF2 ที่สถานีชมพรตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007 รูปด้านซ้ายคือข้อมูลที่วัดได้ รูปกลางคือค่าที่ได้จากแบบจำลอง IRI (CCIR) และรูปซ้ายคือผลต่างระหว่างข้อมูลที่วัดได้กับค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR)

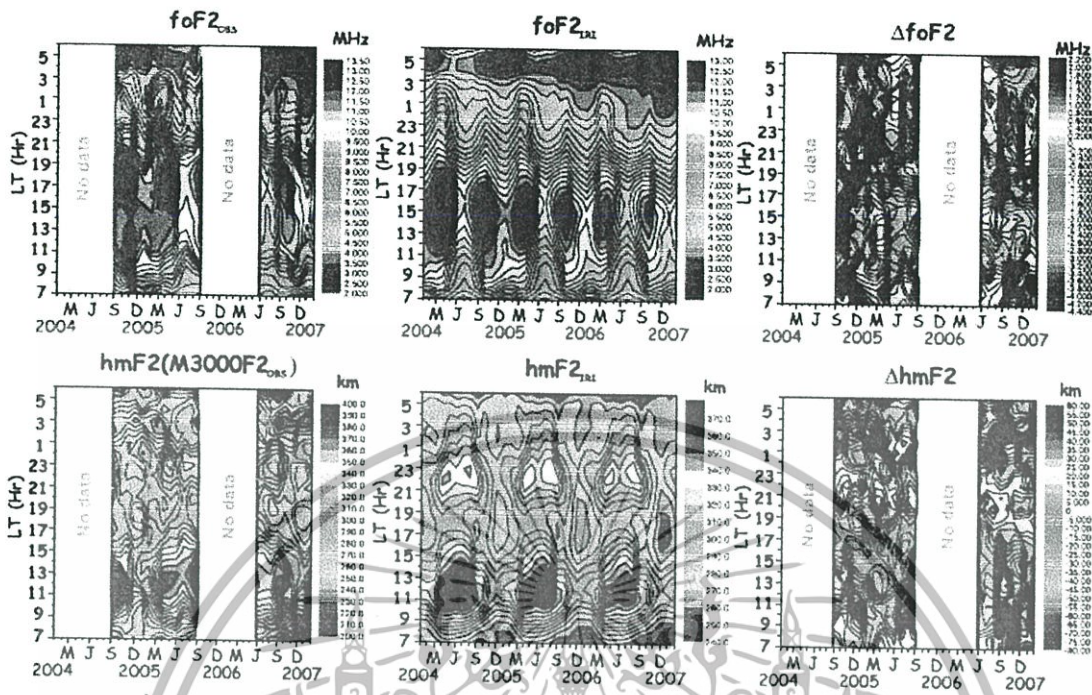
สำหรับค่า hmF2 จะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูลที่วัดได้ hmF2(M3000F2_{OBS}) และค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR) มีแนวโน้มเดียวกันในแต่ละวันโดยมีค่าสูงสุดในเวลากลางวัน และต่ำสุดในช่วงเวลาก่อนพระอาทิตย์ ค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้ ($\Delta hmF2 = hmF2_{IRI} - hmF2(M3000F2_{OBS})$) ค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR) มีแนวโน้มเดียวกันกับค่าที่วัดได้ในช่วงกลางวันยกเว้นเวลาเที่ยงในช่วงฤดูอิควิน็อกซ์ ที่แบบจำลอง IRI ให้ค่าสูงกว่าความเป็นจริง ในช่วงเวลากลางคืน แบบจำลอง IRI มีค่าต่ำกว่าในช่วงเวลา 22:00-05:00 LT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าในปี 2004 และ 2006 แบบจำลอง IRI มีค่าเกินจากค่า foF2 ที่วัดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในช่วงฤดูอิควิน็อกซ์ ในปี 2005 แบบจำลอง IRI มีค่าใกล้เคียงกับค่า foF2 ที่วัดได้ในเวลา กลางวัน แต่ให้ค่าต่ำกว่าในช่วงเวลาที่ยังคืนถึงก่อนพระอาทิตย์ขึ้น ค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่ได้จาก แบบจำลองกับค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง -100 ถึง 100 km

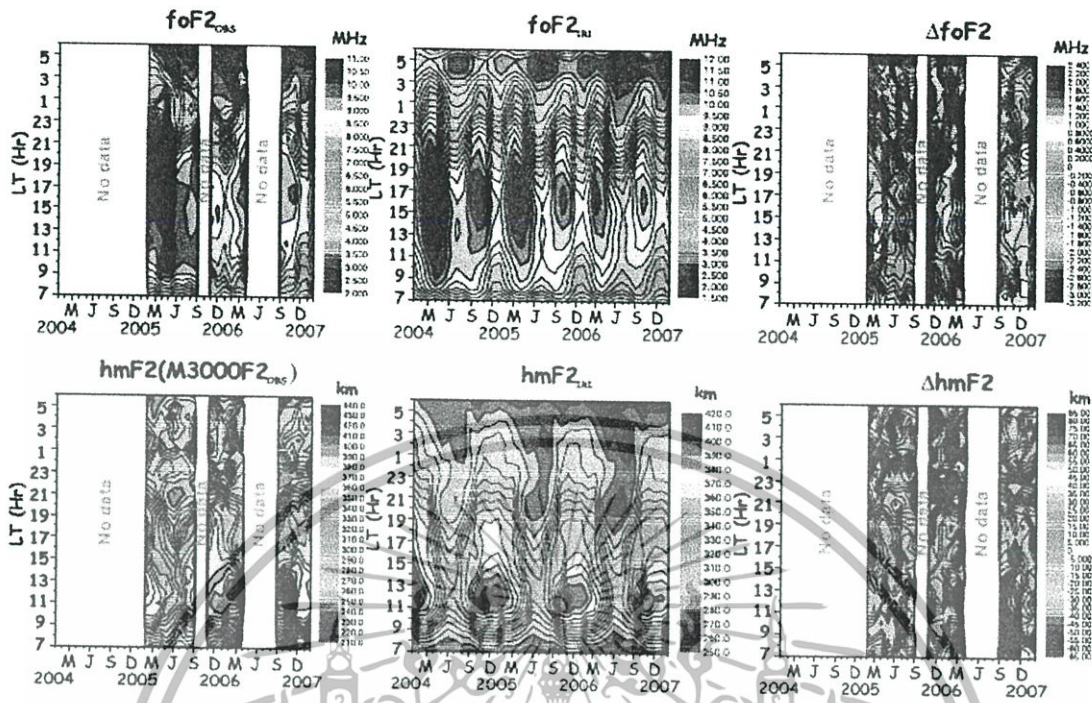
ภาพที่ 3.2 เหมือนรูปที่ 1 แต่เป็นผลจากสถานีวัดเชียงใหม่ โดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง ค่าที่ได้จากแบบจำลอง IRI กับค่าที่วัดได้ จะเห็นว่ามิข้อมูลบางส่วนขาดหายไปได้แก่ จากเดือน มกราคมถึงสิงหาคม 2004 และตุลาคม 2005 ถึงพฤษภาคม 2006 พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ของ foF2 และ hmF2 มีความคล้ายคลึงกัน สำหรับ foF2 แบบจำลอง IRI ให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงโดยส่วนใหญ่ ยกเว้นช่วงเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้น แต่ให้ค่าสูงกว่าความเป็นจริงในบางกรณีในเวลาช่วงบ่าย สำหรับ hmF2 นั้นแบบจำลอง IRI ให้ค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงในช่วงเวลากลางวันโดยรวม ยกเว้นช่วงเวลา 11:00-14:00 LT ในฤดูอิควิน็อกซ์กันยายน ค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัด ได้ได้อยู่ในช่วง -80 ถึง 60 km

ในภาพที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า foF2 และ hmF2 ของสถานีโกโตตางังใน ช่วงเวลาเดียวกัน ข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม 2004 ถึงมกราคม 2005 และเดือนตุลาคม ถึง พฤศจิกายน 2005 และเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนสิงหาคม 2006 มีไม่ครบเนื่องจากการซ่อมแซม อุปกรณ์ แบบจำลอง IRI มีค่าใกล้เคียงกับค่า foF2 ที่วัดได้ในเวลากลางวัน ยกเว้นช่วงฤดูอิควิน็อกซ์มีนาคม เมื่อแบบจำลองให้ค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริง และในเวลา 19:00-21:00 LT ในฤดู โสลตติสมิถุนายน เมื่อแบบจำลองให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ค่าเบี่ยงเบนระหว่างค่าที่ได้จาก แบบจำลองกับค่าที่วัดได้อยู่ในช่วง -3.4 ถึง 2.4 MHz



ภาพที่ 3.2 คำนวณฐานของ foF2 และ hmF2 ที่สถานีเชียงใหม่ตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007 รูปด้านซ้ายคือข้อมูลที่วัดได้ รูปกลางคือค่าที่ได้จากแบบจำลอง IRI (CCIR) และ รูปซ้ายคือผลต่างระหว่างข้อมูลที่วัดได้กับค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR)

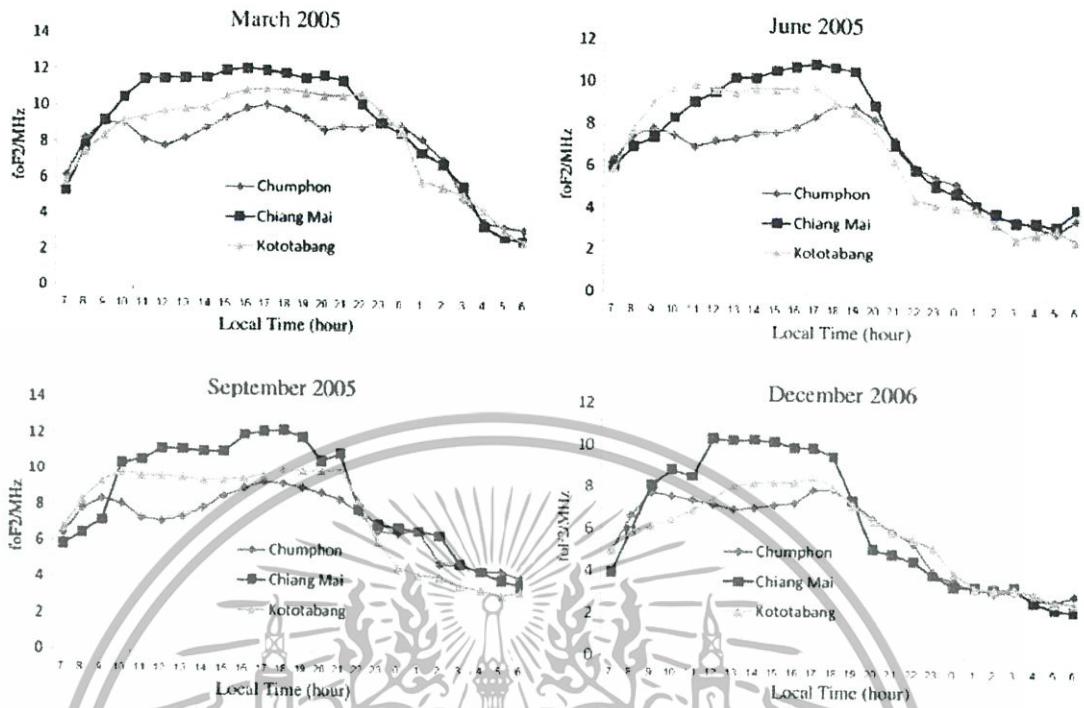
ภาพที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบของค่า foF2 ของทั้งสามสถานีในเดือนมีนาคม มิถุนายน และกันยายน 2005 และเดือนธันวาคม 2006 ค่า foF2 ในเวลากลางวันของสถานีเชียงใหม่จะสูงกว่าที่สถานีอื่นๆ และค่าจากสถานีเชียงใหม่และโกโตตาบังมีค่าสูงกว่าที่สถานีชุมพร ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเขต EIA นั่นเอง แต่ในเวลากลางคืนค่าที่ได้ของทั้งสามสถานีมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จะเห็นปรากฏการณ์ noon biteout อย่างชัดเจนในเวลากลางวันที่สถานีวัดชุมพรในทุกเดือน แต่จะไม่พบที่ในช่วงเดือนอควีน็อกซ์ที่สถานีเชียงใหม่และโกโตตาบัง



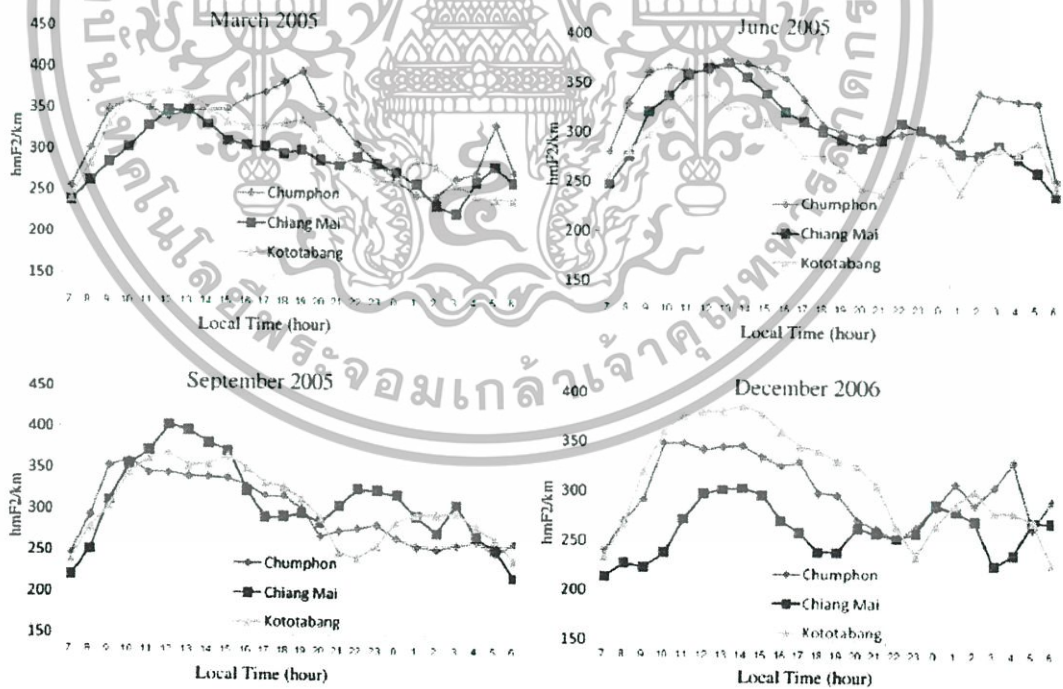
ภาพที่ 3.3 ค่ามัธยฐานของ foF2 และ hmF2 ที่สถานีโกโตตางัง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2004 ถึง กุมภาพันธ์ 2007 รูปด้านซ้ายคือข้อมูลที่วัดได้ รูปกลางคือค่าที่ได้จากแบบจำลอง IRI (CCIR) และ รูปซ้ายคือผลต่างระหว่างข้อมูลที่วัดได้กับค่าจากแบบจำลอง IRI (CCIR)

ภาพที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบของค่า hmF2 ของทั้งสามสถานี พบว่าที่สถานีชุมพร มีค่าในเวลากลางวันสูงกว่าที่สถานีอื่นๆ ในเดือนมีนาคมและมิถุนายน 2005 ในขณะที่ ค่า hmF2 ที่สถานีโกโตตางังมีค่าในเวลากลางวันสูงกว่าที่สถานีอื่นๆ ในเดือนกันยายน 2005 และธันวาคม 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 การเปรียบเทียบของค่า foF2 ของทั้งสามสถานี



ภาพที่ 3.5 การเปรียบเทียบของค่า hmF2 ของทั้งสามสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่า foF2 hmF2 จากสามสถานีที่ตั้งอยู่บริเวณ EIA ได้แก่สถานีเชียงใหม่ ชุมพรและโกโตตบบัง โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงที่ปฏิบัติการจากดวงอาทิตย์มีค่าต่ำตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 ถึง 2550 เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแบบรายวัน ฤดูกาล และเปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลอง IRI-2007 ในภาพรวมพบว่าแบบจำลองนี้ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง แต่เมื่อศึกษาอย่างละเอียดจะเห็นว่า ความใกล้เคียงในเวลากลางวันมากกว่าเวลากลางคืน สำหรับ foF2 นั้น แบบจำลอง IRI ให้ค่าใกล้เคียงกับสถานีโกโตตบบังมากที่สุด ให้ค่าสูงกว่าความเป็นที่สถานีชุมพร และให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงที่สถานีเชียงใหม่ สำหรับค่า hmF2 แบบจำลอง IRI ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงในเวลากลางวัน สำหรับในเวลากลางคืนแบบจำลอง IRI ให้ค่าต่ำกว่าความเป็นจริงที่สถานีชุมพร แต่ให้ค่าสูงเกินไปที่สถานีที่เหลืออีกสองแห่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- Adeniyi, J.O., Bilitza, D., Radicella, S.M., Willoughby, A.A. Equatorial F2-Peak Parameters In The IRI Model. *Adv. Space Res.* 31 (3), 507-512, 2003.
- Abdu, M.A., Batista, I.S., Reinisch, B.W., Sobral, J.H.A., Carrasco, A.J. 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.* 37, 1007-1017, 2006.
- Batista, I. S., Abdu, M.A. Ionospheric variability at Brazilian low and equatorial latitude: comparison between observations and IRI model. *Adv. Space Res.* 34, 1894-1900, 2004.
- Bertoni, F., Sahai, Y., Fagundes, P.R., Pillat, V.G., Guedes, F. B., Abalde, J.R. IRI-2001 model predictions compared with ionospheric data observed at Brazilian low latitude stations. *Ann. Geophys.* 24, 2191-2200, 2006.
- Bilitza, D. The International Reference Ionosphere 1990, National Space Science Data Center, NSSDC/WDC-A-R&S Reports 90-22, Green belt, Maryland, November 1990.
- Bilitza, D. International Reference Ionosphere 2000. *Radio Sci.*, 36 (2), 261-275, 2001.
- Bilitza, D., and Reinisch, B.W., International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters. *Adv. Space Res.* 42, 599-609, 2008.
- Chuo, Y. J., Lee, C. C. Ionospheric variability at Taiwan low latitude station: Comparison between observations and IRI-2001 model. *Adv. Space Res.* 43, 673-681, 2008.
- Lee, C.C., Reinisch, B.W. Quiet-condition hmF2, NmF2, and B0 variations at Jicamarca and comparison with IRI-2001 during solar maximum. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 68, 2138-2146, 2006.
- Maruyama, T., Kawamura, M., Saito, S., Nozaki, K., Kato, H., Hemmakorn, N., Boonchuk, T., Komolmis, T., Ha Duyen, C. "Low latitude ionosphere-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- thermosphere dynamics studies with ionosonde chain in Southeast Asia," *Ann. Geophys.* 25, 1569-1577, 2007.
- McNamara, L.F., Retterer, J.M., Abdu, M.A., Batista, I.S., Reinisch, B.W. F2 peak parameters, drifts and spread-F derived from digizonde ionograms for the COPEX campaign in Brazil. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 70, 1144-1158, 2008.
- Obrou, O.K., Bilitza, D., Adeniyi, J.O., Radicella, S.M. Equatorial F2-Layer Peak Height And Correlation With Vertical Ion Drift And M(3000)F2. *Adv. Space Res.* 31 (3), 513-520, 2003.
- Ratovsky, K.G., Oinats, A.V., Medvedev, A.V. Diurnal and seasonal variations of F2 layer characteristics over Irkutsk during the decrease in solar activity in 2003-2006: observations and IRI-2001 model predictions. *Adv. Space Res.* 43, 1806-1811, 2009.
- Wichaipanich, N., Supnithi, P., Ishii, M., Maruyama, T., Ionospheric variations at Thailand equatorial latitude station: comparison between observations and IRI-2001 model predictions. *Adv. Space Res.* 45, 284-293, 2010.
- Zhang, M.L., Shi, J.K., Wang, X., Wu, S.Z., Zhang, S.R. Comparative study of ionospheric characteristic parameters obtained by DPS-4 digizonde with IRI2000 for low latitude station in China. *Adv. Space Res.* 33, 869-873, 2004.
- Zhang, M. L., Shi, J. K., Wang, X., Shang, S.P., Wu, S. Z. Ionospheric behavior of the F2 peak parameters foF2 and hmF2 at Hainan and comparisons with IRI model predictions. *Adv. Space Res.* 39, 661-667, 2007.

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายพรชัย ทรัพย์นิธิ

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Doctor of Philosophy	Electrical Engineering	Georgia Institute of Technology, USA	2002
Master of Science	Electrical Engineering	University of Southern California, USA	1997
Bachelor of Science	Electrical Engineering	University of Rochester, USA	1995

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ การออกแบบระบบการสื่อสารดิจิทัล

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

1. Y. Suppakhun, P. Supnithi, Y. Okamoto, Y. Nakamura and H. Osawa, "Performance Improvement System for Perpendicular Magnetic Recording with Thermal Asperity," *IEICE Transaction on Electronics, accepted, 2011.* (impact factor = 0.608)
2. S. Osaklang, A. Kaewrawang, A. Kruesubthaworn, V. Ungvichian, P. Supnithi and A. Siritariwat, "A Practical Crosstalk Reduction Technique Applied to High-Density Hard Disk Interconnecting Assembly Traces," *IEEE Transaction on Magnetics, accepted, 2011* (impact factor = 1.061).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. K. Watthanasangmechai, P. Supnithi, S. Lerkvaranyu, T. Maruyama, "TEC prediction with neural network for Thailand equatorial latitude station," *Earth Planets Space*, *accepted*, 2011. (impact factor = 1.074)
4. W. Phakpisut, P. Supnithi, L. M.M. Myint and T. Sopon, "Serial schedulings for LDPC decoders and the performances in the bit patterned media systems with media noise," *IEEE Transaction on Magnetics*, *accepted*, 2011, (impact factor = 1.061)
5. P. Supnithi, K. Bunsri, and M. Novid, "Improved Bit Error Rate from Head/Media Optimization in Perpendicular Magnetic Recording Systems, *IEEE Transaction on Magnetics*, *to appear*, July 2011, (impact factor = 1.061).
6. P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Equatorial magnetic variation of ionospheric slab thickness observations at Chumphon, ", *Earth Planets Space*, *Accepted*, 2011. (impact factor = 1.074)
7. P. Supnithi, W. Phakpisut and W. Singhaudom, "Improved Iterative Processing to Combat Pseudo-Cycles in Perpendicular Magnetic Recording," *IEICE on Fundamentals*, vol. E94-A, No.6, pp.1441-1448 , June 2011. (impact factor = 0.366)
8. C. Warisarn, P. Kovintavewat, and P. Supnithi, "Modified Per-Survivor Processing (MPSP) timing recovery for magnetic recording channels," *IEICE Transaction on Electronics*, vol. E94-C, No.3, pp.xxx, Mar. 2011. (impact factor = 0.535)
9. P. Kenpankho, P. Supnithi, T. Tsugawa and T. Maruyama, "Comparison of GPS TEC measurements with IRI TEC prediction at an equatorial latitude station, Chumphon, Thailand, " *Earth Planets Space*, vol. 63, pp. 365-370, 2011. (impact factor = 1.074)
10. N. Wichaipanich, P. Supnithi, M. Ishii and T. Maruyama, "Thailand low and equatorial F2-layer peak electron density and comparison with IRI-2007 model," *Earth Planets Space*, 2011. (impact factor = 1.074)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายศรารุณี รุ่งเรืองวชิเอก.....

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมโทรคมนาคม	สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	2552

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายณรเศรษฐ์ วิชัยพาณิชย์.....

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	วิศวกรรมโทรคมนาคม	มหาวิทยาลัยราชวมงคล ธัญบุรี	2546
วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต	วิศวกรรมโทรคมนาคม	สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง	2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Advances in Space Research

The Official Journal of the Committee on Space Research (COSPAR),
a Scientific Committee of the International Council for Science (ICSU)

Includes COSPAR's Information Bulletin, Space Research Today

The COSPAR publication Advances in Space Research (ASR) is an open journal covering all areas of space research including: space studies of the Earth's surface, meteorology, climate, the Earth-Moon system...

[View full aims and scope](#)

Editor-in-Chief: J. Lastovicka

[View full editorial board](#)

Impact Factor 1.178
5-Year Impact Factor: 1.066
Imprint: ELSEVIER
ISSN: 0273-1177

Guidelines

Ways to Use Journal Articles Published by Elsevier: A Practical Guide

Helping you get published: Watch our informative webcasts

[VIEW ALL](#)

Most Cited Articles

International Reference Ionosphere 2007: Improvements and new parameters
Bilitza, D. | Reinisch, B.W.

Temporal gravity field models inferred from GRACE data
Lemoine, J.-M. | Bruinsma, S. | ...

Historical sunspot observations: A review
Vaquero, J.M.

[VIEW ALL](#)

Recent Articles

Late stages of stellar evolution – Herschel’s contributions
Leen Decin

Modeling and analysis of floating performances of stratospheric semi-rigid airships
Xiaojian Li | Xiande Fang | ...

The future role of relay satellites for orbital telerobotics
Enrico Stoll | Jürgen Letschnik | ...

[VIEW ALL](#)

Most Downloaded Articles

1. Future of Space Astronomy: A global Road Map for the next decades
Pietro Ubertini | Neil Gehrels | ...

2. New results on planetary lightning
Yoav Yair

3. Soil carbon distribution and site characteristics in hyper-arid soils of the Atacama Desert: A site with Mars-like soils
Julio E. Valdivia-Silva | Rafael Navarro-González | ...

Special Issues

Solar Variability, Cosmic Rays and Climate
Volume 50, Issue 6 (2012)

Advances in theory and observation of solar system dynamics – I
Volume 49, Issue 11 (2012)

SOLAR SAILING: CONCEPTS, TECHNOLOGY, AND MISSIONS
Volume 48, Issue 11 (2011)

[VIEW ALL](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
journals.elsevier.com/advances-in-space-research/ ห้ามการเผยแพร่ หักสิทธิ์ในลิขสิทธิ์ที่ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Comparison of ionosphere characteristic parameters obtained by ionosonde with IRI-2007 model over Southeast Asia

N. Wichaipanich^a, P. Supnithi^{a,*}, T. Tsugawa^b, T. Maruyama^b, T. Nagatsuma^b

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

^b Space Weather and Environment Informatics Laboratory, Applied Electromagnetic Research Institute, National Institute of Information and Communications Technology, Nukui-kita, 4-2-1, Koganei, Tokyo 183-8795, Japan

Abstract

In this work, the foF2 and hmF2 parameters at the conjugate points near the magnetic equator of Southeast Asia are studied and compared with the International Reference Ionosphere (IRI) model. Three ionosondes are installed nearly along the magnetic meridian of 100°E; one at the magnetic equator, namely Chumphon (10.72°N, 99.37°E, dip angle 3.0°N), and the other two at the magnetic conjugate points, namely Chiang Mai (18.76°N, 98.93°E, dip angle 12.7°N) and Kototabang (0.2°S, 100.30°E, dip angle 10.1°S). The monthly hourly medians of the foF2 and hmF2 parameters are calculated and compared with the predictions obtained from the IRI-2007 model from January 2004 to February 2007. Our results show that: the variations of foF2 and hmF2 predicted by the IRI-2007 model generally show the similar feature to the observed data. Both parameters generally show better agreement with the IRI predictions during daytime than during nighttime. For foF2, most of the results show that the IRI model overestimates the observed foF2 at the magnetic equator (Chumphon), underestimates at the northern crest (Chiang Mai) and is close to the measured ones at the southern crest of the EIA (Kototabang). For hmF2, the predicted hmF2 values are close to the hmF2(M3000F2_{obs}) during daytime. During nighttime, the IRI model gives the underestimation at the magnetic equator and the overestimation at both EIA crests. The results are important for the future improvements of the IRI model for foF2 and hmF2 over Southeast Asia region.

© 2012 COSPAR. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

Keywords: Conjugate points; foF2; hmF2; IRI model; Solar activity

1. Introduction

The F2 layer is the uppermost layer of the ionosphere which is the most effective layer for long distance radio communication in HF band. However, the variations of the F2-layer near the magnetic equator result from a complex physical system. Therefore, the study of the equatorial F2-layer variability plays a very important role for HF radio propagation. The F2-layer critical frequency (foF2) and the peak height (hmF2) are used for managing and designating the maximum usable frequency (MUF) of

HF communication systems. Both parameters are manually scaled from the bottomside ionograms recorded by the FM/CW ionosonde and are used for developments and improvements of the empirical ionospheric models. These models are essential tools for estimation and/or prediction of ionospheric parameters, which are used for many research, engineering and educational efforts. The International Reference Ionosphere (IRI) is one of the most widely used empirical ionospheric models. It describes the monthly median values of the electron density, electron temperature, ion temperature and ion composition at the altitude approximately from 50 km to 1500 km, for a given location, time and sunspot number. IRI is updated yearly during special IRI workshops. For more details of the IRI model, see Bilitza (1990, 2001). Many authors have reported results of the comparisons between observed

* Corresponding author. Tel.: +66 2 329 8000; fax: +66 2 329 4554.
E-mail addresses: ksupornc@kmitl.ac.th, s1060038@kmitl.ac.th (P. Supnithi), tsugawa@nict.go.jp (T. Tsugawa), tmaru@nict.go.jp (T. Maruyama), tnagatsu@nict.go.jp (T. Nagatsuma).

and IRI predicted foF2 and hmF2 values, such as Adeniyi et al. (2003), Obrou et al. (2003), Batista and Abdu (2004), Zhang et al. (2004, 2007), Bertoni et al. (2006), Abdu et al. (2006), Lee and Reinisch (2006), Chuo and Lee, (2008), Ratovsky et al., (2009), Wichaipanich et al., (2010) and others. In this work, we compare the values of foF2 and hmF2, which are manually scaled from the bottomside ionograms recorded by the FM/CW ionosonde from Southeast Asia at Chumphon, Chiang Mai and Kototabang, with the IRI-2007 model predictions (Bilitza and Reinisch, 2008). This is a continuity of the previous study (Wichaipanich et al., 2010) on foF2 measurements at the equatorial latitude station in Thailand. The data and analysis method is described in Section 2 followed by results and discussions in Section 3. Finally, in Section 4, the conclusions are made.

2. Data and methodology

The data used in this work are collected at three ionosonde stations in Southeast Asia, including two stations in Thailand, namely Chumphon (10.72°N, 99.37°E, dip angle: 3.0°N) and Chiang Mai (18.76°N, 98.93°E, dip angle: 12.7°N), and one station in Indonesia, namely Koto Tabang (0.2°S, 100.32°E, dip angle: 10.1°S). Chumphon is located close to the magnetic equator, but Chiang Mai and Kototabang are close to the northern and southern crests of the equatorial ionization anomaly (EIA) region, respectively. These are 3 of the 6 Southeast Asia Low-latitude Ionospheric Network (SEALION) ionosondes (Maruyama et al., 2007) installed by the National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan. SEALION is an ionospheric observation network having the Conjugate Point Equatorial Experiment (COPEX) in Southeast Asia. It includes the northern and southern hemispheres and around the magnetic equator. The parameters for SEALION ionosonde stations are summarized in Table 1. The FM/CW (frequency modulated-continuous wave) ionosonde routinely records the ionograms every 5 min to observe the ionosphere at Southeast Asian region.

In this study, the monthly hourly medians of foE, foF2 and M(3000)F2 obtained from manually scaled ionograms during the low solar activity period, January 2004 – February 2007, are used to derive the hmF2 parameter using the Bilitza (1990) empirical formulation and then to compare with the IRI-2007 model predictions. For com-

parison between the observation and the model, both the URSI and CCIR options of the IRI-2007 model are used to predict the foF2 values while only the CCIR option is used for the hmF2 values. The values from the IRI-2007 model can be downloaded from the site: http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri_vitmo.php. The previous study (Wichaipanich et al., 2010) shows that the CCIR option produces a smaller range of the deviation than the URSI option at Chumphon. Therefore, in this work only the comparison with the CCIR option for the foF2 and hmF2 parameters are shown.

The percentage deviation of foF2 ($\Delta\text{foF2}(\%)$) between the observations and the IRI prediction are defined as

$$\Delta\text{foF2}(\%) = \frac{\text{foF2}_{\text{IRI}} - \text{foF2}_{\text{OBS}}}{\text{foF2}_{\text{OBS}}} \times 100\%, \quad (1)$$

where $\text{foF2}_{\text{IRI}} = \text{foF2}_{\text{CCIR}}$ for CCIR option and foF2_{OBS} is the foF2 observations obtained from the ionosonde stations.

The percentage deviation of hmF2 ($\Delta\text{hmF2}(\%)$) between observations and the IRI model predictions are computed from

$$\Delta\text{hmF2}(\%) = \frac{\text{hmF2}_{\text{IRI}} - \text{hmF2}(\text{M3000F2}_{\text{OBS}})}{\text{hmF2}(\text{M3000F2}_{\text{OBS}})} \times 100\%, \quad (2)$$

where $\text{hmF2}_{\text{IRI}} = \text{hmF2}_{\text{CCIR}}$ for CCIR option and $\text{hmF2}(\text{M3000F2}_{\text{OBS}})$ is the hmF2 values derived from the M(3000)F2 values by using the Bilitza (1990) formula.

To examine the seasonal variation, the observational data and prediction are grouped into 4 seasons: September equinox (September and October), December solstice (November, December, January and February), March equinox (March and April), and June solstice (May, June, July and August).

3. Results and discussions

3.1. Results at the equatorial station

Fig. 1 shows the contour plots of the monthly hourly median of foF2 (on the upper side of the figures) and hmF2 (lower panels) values from January 2004 to February 2007 at Chumphon. The left panels are the observed data and the middle panels shows the results from the IRI/CCIR model. The differences between observations and IRI predicted parameters are shown on the right panels.

For foF2, both the observed foF2 and the IRI model predictions show a similar trend in diurnal variation with the highest values at sunset hours (17:00–19:00 LT) and the lowest level occurring at pre-sunrise hours. On the other hand, a bite-out phenomenon occurs around noon time hours. For seasonal variation, both the observed and predicted foF2 values exhibit the same trend and show the highest peaks during the equinox seasons and the lowest peaks during the solstice seasons. Moreover, the foF2

Table 1
Parameter for SEALION ionosonde stations

Station	Geographic location		Dip latitude	Country
	Latitude	Longitude		
Chiang Mai	18.76°	98.93°	12.7°	Thailand
Chumphon	10.72°	99.37°	3.0°	Thailand
Kototabang	-0.2°	100.3°	-10.1°	Indonesia
Phu Thuy	21.03°	105.96°	15.6°	Vietnam
Bac Lieu	9.30°	105.71°	1.5°	Vietnam
Cebu	10.35°	123.91°	3.09°	Philippines

Please cite this article in press as: Wichaipanich, N., et al. Comparison of ionosphere characteristic parameters obtained by ionosonde with IRI-2007 model over Southeast Asia. J. Adv. Space Res. (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.018>

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า และต้องอ้างอิงถึงวารสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

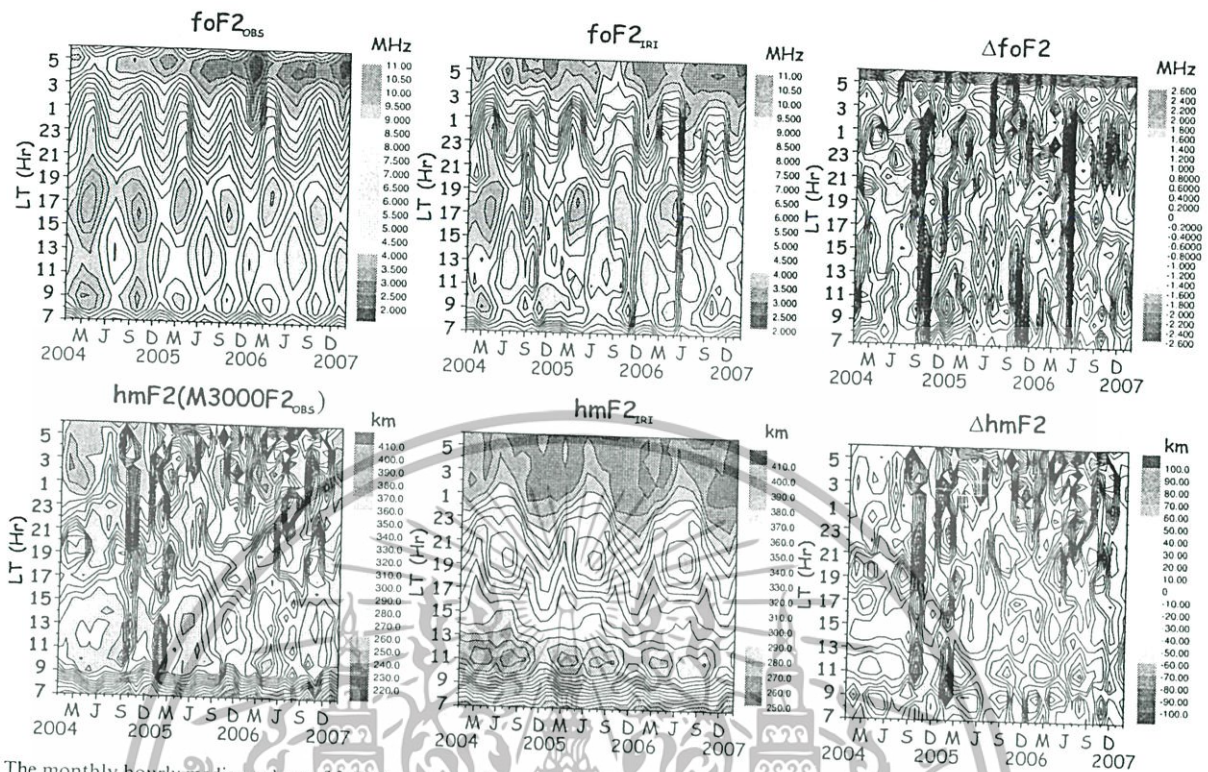


Fig. 1. The monthly hourly median values of foF2 (upper panels) and hmF2 (lower panels) at Chumphon during January 2004 to February 2007. The left panels refer to the observed data and the middle panels refer to the values from IRI/CCIR model. In the right panels the difference between the observations and IRI model is plotted.

values show an evident solar activity dependence with the values higher in 2004 and lower in 2007. The upper right-hand side panels of Fig. 1 illustrate the deviations of the modeled from the observed foF2 values ($\Delta foF2 = foF2_{IRI} - foF2_{OBS}$). In 2004 and 2006, the IRI model overestimates the observed foF2 for all of the days especially during the equinox seasons. In 2005, however, the IRI model gives the foF2 values close to the observed ones during daytime hours, but it gives an underestimation the measured from midnight to pre-sunrise hours. The largest deviations between the observed and modeled values are ± 2.6 MHz.

It can be seen that the hmF2 values from the IRI/CCIR model generally show a similar trend to the hmF2

(M3000F2_{OBS}) values, with the maximum values at daytime and the minimum ones around the pre-sunrise hours. The deviations of the IRI model from the observed hmF2 ($\Delta hmF2 = hmF2_{IRI} - hmF2(M3000F2_{OBS})$) are shown on the lower right-hand side panels of Fig. 1. Generally, the IRI model gives the hmF2 values close to the hmF2(M3000F2_{OBS}) during daytime except around the noontime during the equinox seasons, when the IRI model overestimates the measured ones. At nighttime, the IRI model underestimates the hmF2(M3000F2_{OBS}) during 22:00–05:00 LT. The largest deviations between the modeled and the observed hmF2(M3000F2_{OBS}) are ± 100 km.

The yearly median values of the percentage deviation for foF2 and hmF2 parameters at Chumphon are shown on

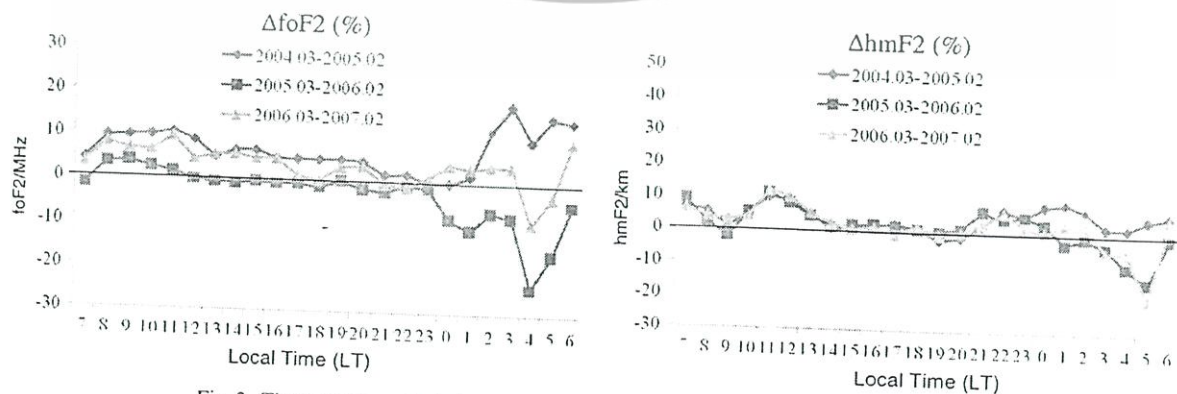


Fig. 2. The percentage deviation of foF2 (left panel) and hmF2 (right panel) at Chumphon.

the left and right panels of Fig. 2, respectively. On the left panel, the foF2 percentage deviations, ΔfoF2 (%), for the three years show a similar feature in that the ΔfoF2 (%) values vary between -2 and $+10\%$ from the morning to midnight hours with the lowest values at 23:00 LT. However, the difference is evident from midnight to pre-sunrise hours: the ΔfoF2 (%) ranges between 0 and $+20\%$ in 2004, between -25 and 0% in 2005, and in the range of ± 10 in 2006. On the right panel, the hmF2 percentage deviation, ΔhmF2 (%), varies in the range of $\pm 10\%$ from the morning to the midnight hours. From midnight to pre-sunrise hours, the ΔhmF2 (%) values vary around 2 – 10% in 2004 and -20 to 0% in 2005 and 2006.

3.2. Results at the northern crest of the EIA

Fig. 3 shows that contour plots for Chiang Mai station and depicts the comparison between the IRI predictions and observed data in the same period of time. There is a lack of data from January to August 2004 and October 2005 to May 2006. From Fig. 3, most of the results show that the trends of the modeled and the observed foF2 and hmF2 variations are similar. The differences between IRI predictions and foF2 observation (ΔfoF2) are shown on the upper right-hand side panels. Most of the results show that the IRI model underestimates the observed foF2 for all local times and months except during sunrise hours and, in some cases, in the afternoon, when the IRI model overestimates the observation. The deviations

between the observed and modeled values range between -4.4 and $+2.2$ MHz. The lower right-hand side panels show the deviations between IRI and hmF2(M3000F2_{OBS}). Generally, the IRI overestimates the hmF2(M3000F2_{OBS}) data for most time of the day except during 11:00–14:00 LT in the September equinox season, when the IRI underestimates the hmF2(M3000F2_{OBS}). The largest deviations between the observed and modeled values range between -80 and $+60$ km.

Fig. 4 shows the yearly median values of the ΔfoF2 (%) and ΔhmF2 (%) at Chiang Mai. It can be seen that the ΔfoF2 (%) values vary between -25 and 0% for all local time except during post-sunrise hours (06:00–09:00 LT), when the ΔfoF2 (%) ranges between 0 and $+50\%$. For the ΔhmF2 (%), the values vary between -10 and $+20\%$, the lowest values occur around afternoon hours with the highest levels at pre-sunrise hours. Furthermore, the ΔhmF2 (%) is generally smaller than the ΔfoF2 (%) for most of the days.

3.3. Results at the southern crest of the EIA

Similarly, we compare the observed foF2 and hmF2 with the IRI/CCIR model at Kototabang during the same periods, and the results are shown in Fig. 5. The data from January 2004 to January 2005, October to November 2005 and May to August 2006 are scarce. On the left and middle panels, most of the results show similar trends in variations between IRI and observations of foF2 and hmF2. From

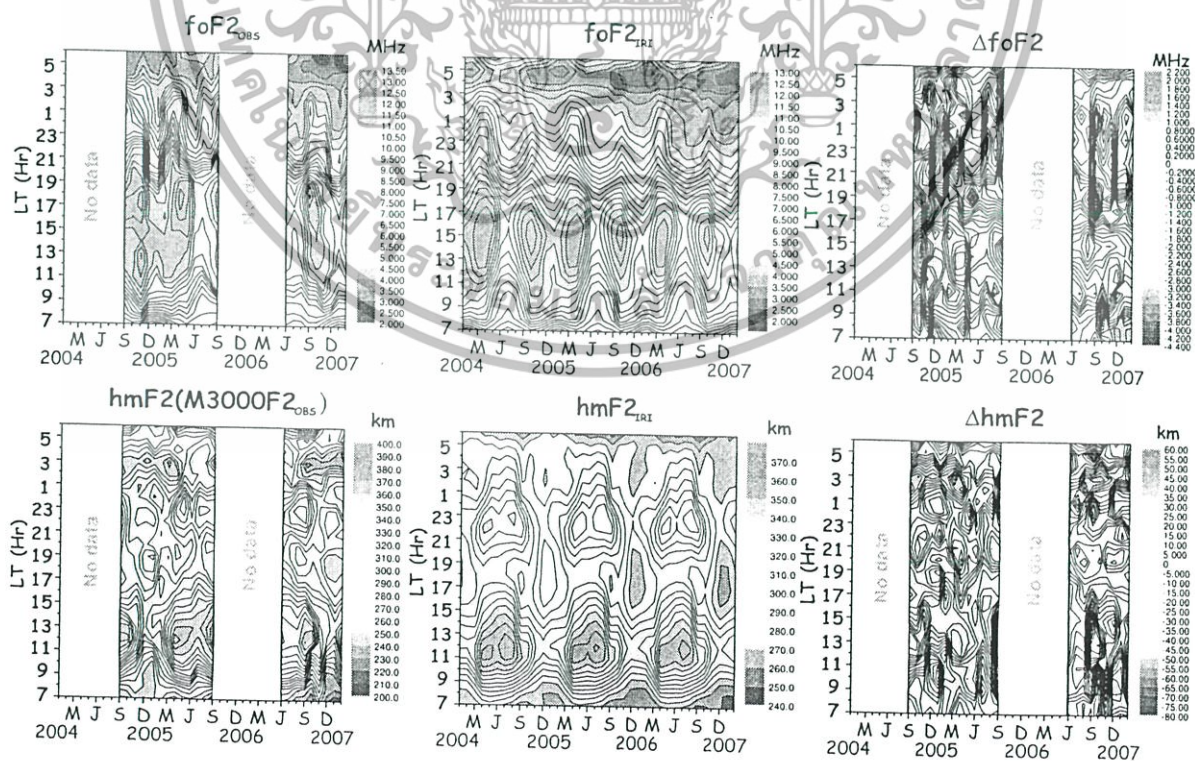


Fig. 3. Same as Fig. 1 but for Chiang Mai.

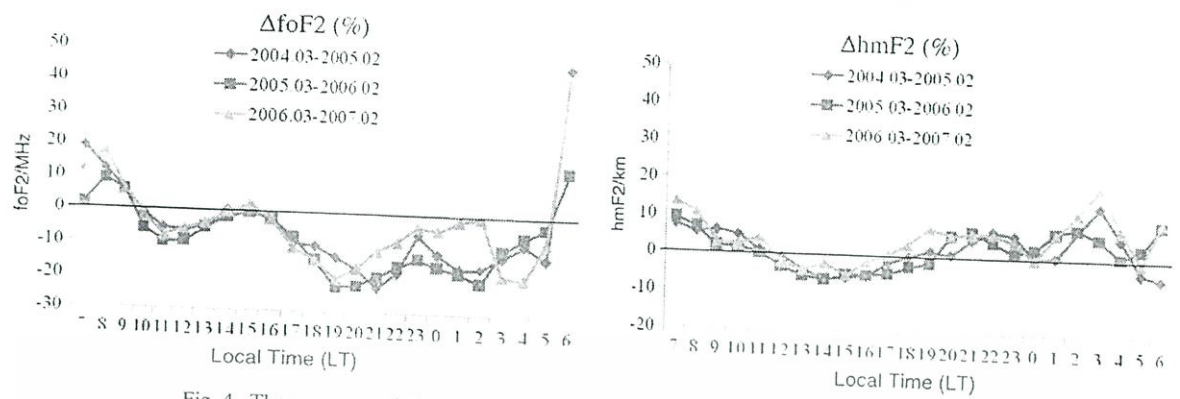


Fig. 4. The percentage deviation of foF2 (left panel) and hmF2 (right panel) at Chiang Mai.

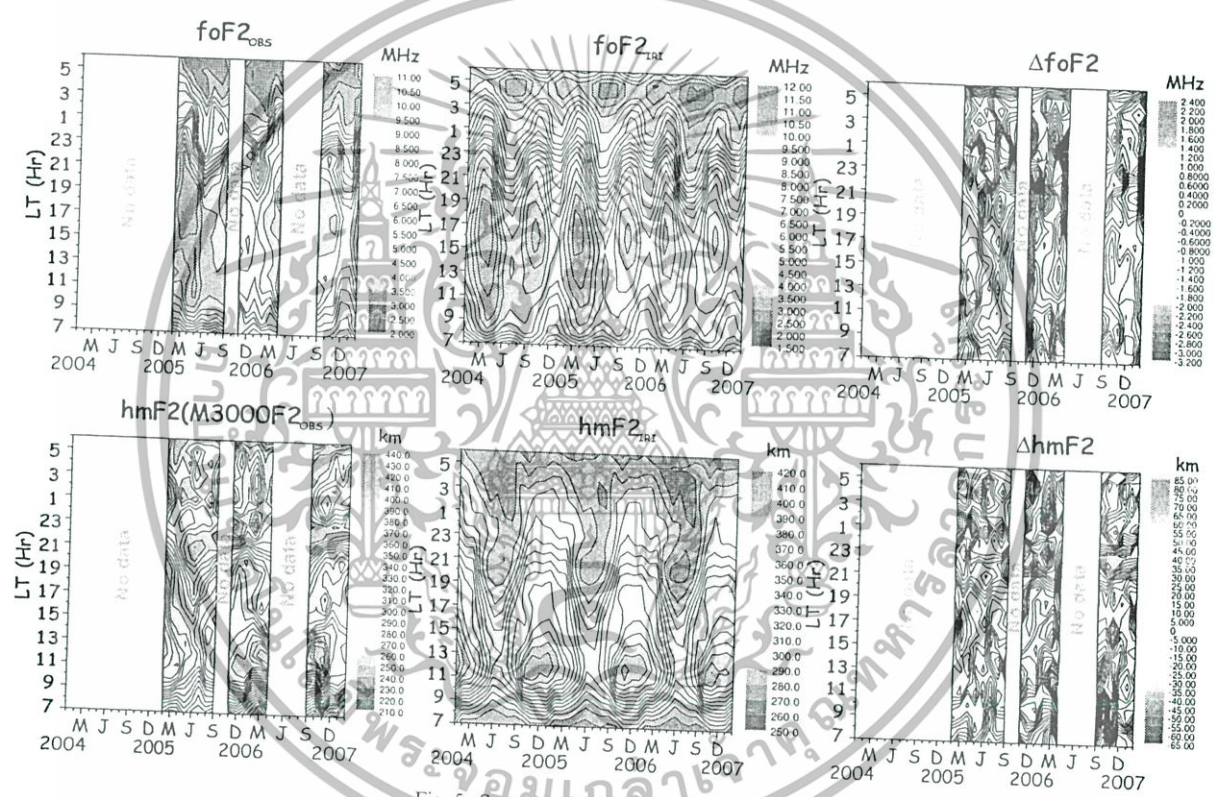


Fig. 5. Same as Fig. 1 but for Kototabang.

the upper right-hand side panels, the IRI model predicts the foF2 values close to the observations for most time of the day except during March equinox season, when it overestimates the observed foF2, and during 19:00-21:00 LT in June solstice season, when it underestimates the measured ones. The deviations between the observed and modeled values range from -3.2 to +2.4 MHz. The deviations for hmF2 are shown on the lower right-hand side panels of Fig. 5. The good predictions are provided by the IRI model for all local times and months except during the hours of 11:00-15:00 LT in some seasons, when the model underestimates the hmF2(M3000F2_{OBS}) values and during the hours of 21:00-01:00 LT in December solstice seasons, when it underestimates the hmF2(M3000F2_{OBS}). The devi-

ations between the observed and modeled values range from -65 to +85 km.

Fig. 6 shows the 12-month median values of the ΔfoF2 (%) and ΔhmF2 (%) at Kototabang. It can be seen that both the plots of ΔfoF2 (%) and ΔhmF2 (%) indicate the good agreement between the measurement and the IRI model during daytime. However, the largest ΔfoF2 (%) and ΔhmF2 (%) values are found from midnight to sunrise hours. For ΔfoF2 (%), the values range between -15 and +45% while the ΔhmF2 (%) values vary from -10 to +23%.

For all the three stations, the variations of foF2 and hmF2 predicted by the IRI-2007 model generally show the similar feature as the observed data. Furthermore, for both parameters, the agreement during daytime is generally

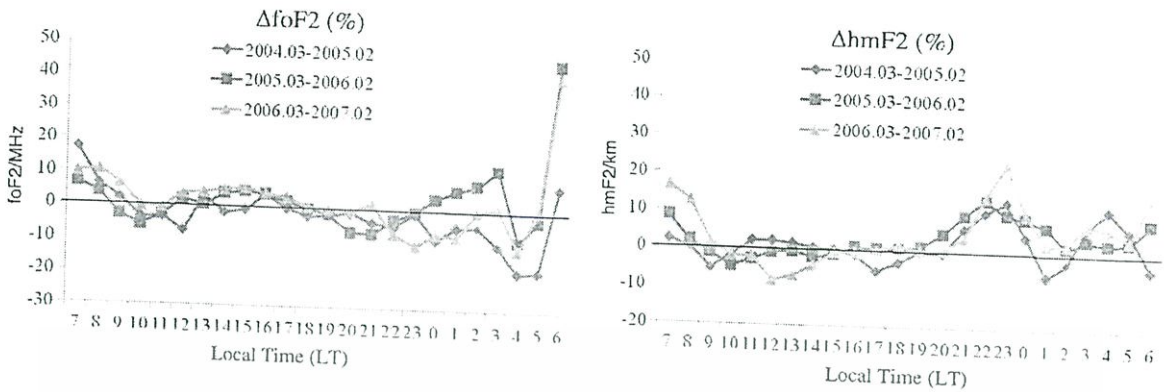


Fig. 6. Same as Fig. 2 but for Kototabang.

better than during nighttime. For foF2, most of the results show that the IRI model overestimates the observed foF2 at the magnetic equator (Chumphon), but it underestimates at the northern crest (Chiang Mai) while it is close to the measured ones at the southern crest of the EIA (Kototabang). For hmF2, the IRI model gives hmF2 values close to the hmF2(M3000F2_{OBS}) during daytime. During nighttime, the IRI model underestimates at the magnetic equator, but it overestimates at both EIA crests.

In summary, the difference between the IRI model and the observed data indicates an area of improvement of the IRI model in the Southeast Asia sector for the foF2 and hmF2 parameters. One reason for this may be due to the fact that the original model was based by the worldwide

network of ionosondes which are mostly installed at mid and high-latitude areas.

3.4. Comparison of foF2 and hmF2 from three stations

Fig. 7 shows the comparison of the observed foF2 among the three sites in terms of the daily hourly median of foF2 values in March, June and September in 2005, and December in 2006. A similar trend is found in the observed foF2 values at the three stations. However, most of the results show that the observed foF2 at Chiang Mai appears much higher than those at other stations for daytime, but for nighttime, the observed foF2 at three sites are almost identical. Furthermore, a bite-out phenomenon

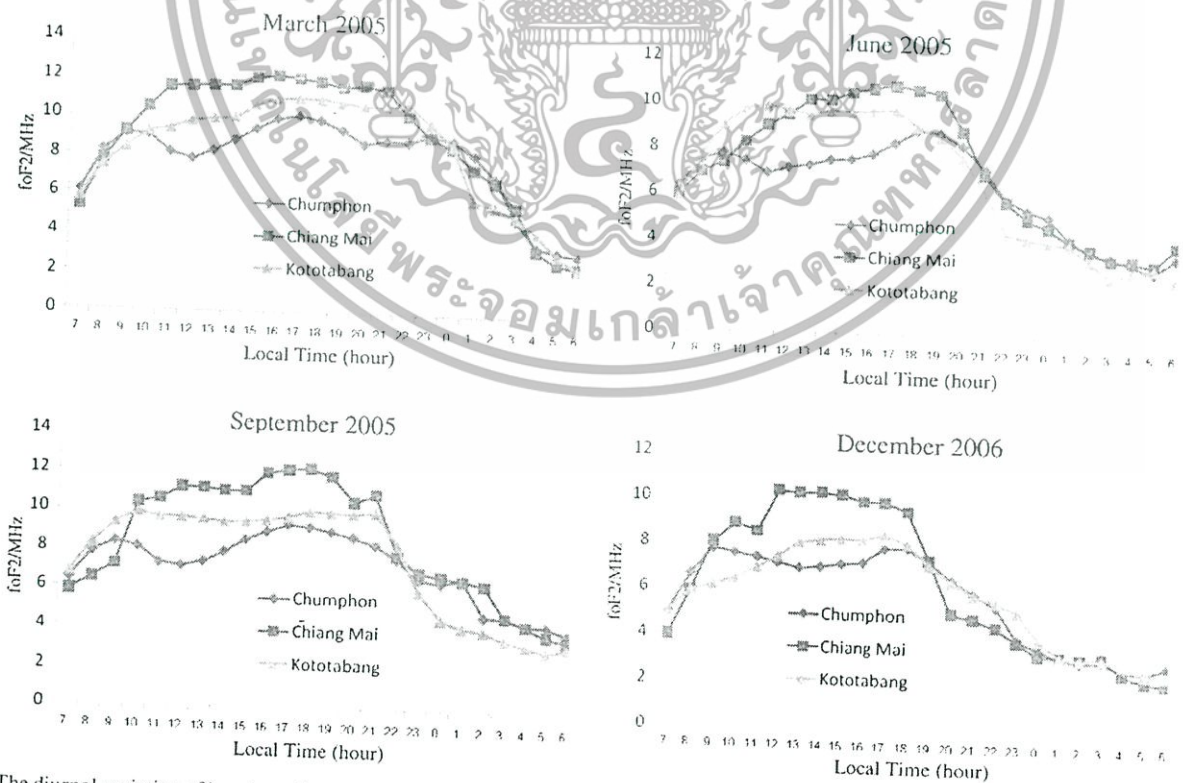


Fig. 7. The diurnal variation of hourly medians of the observed foF2 from three stations over March, June and September in 2005, and December in 2006.

Please cite this article in press as: Wichaipanich, N., et al. Comparison of ionosphere characteristic parameters obtained by ionosonde with IRI-2007 model over Southeast Asia. J. Adv. Space Res. (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.018>

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

is clearly seen during noontime at the magnetic equator (Chumphon) for all months, but it rarely occurs during equinox months at the EIA crests (Chiang Mai and Kototabang).

Fig. 8 shows the hmF2 parameter. Generally, the hmF2 values at Chumphon station during daytime are higher than those at other stations during March and June in 2005. Meanwhile, the hmF2 values at Kototabang are higher than those at other stations for September in 2005 and December in 2006. During nighttime, the hmF2 values from three stations show a fluctuation particularly from midnight to pre-sunrise hours. In addition, it is found that the best agreement between the observation and the IRI model occurs at Kototabang station.

The differences of foF2 and hmF2 values at three sites can be explained by the Equatorial Ionization Anomaly (Anderson, 1973). The behavior of the F2 layer at low and equatorial latitudes is peculiar, when compared with the other latitudes. At the magnetic equator, the eastward electric field during the day causes in the F-layer peak height to increase but the peak density to decrease. On the other hand, the peak height decreases while the peak density increases at the crest of the anomaly which is located at approximately 15° north and south of the magnetic equator, this is termed as the equatorial ionization anomaly (EIA). Chumphon is located close to the magnetic equator, while Chiang Mai and Kototabang are located at north and south of the EIA crests. Therefore higher foF2 at median values at Chiang Mai and Kototabang, and higher hmF2 at Chumphon are seen. In addition, the results show

an asymmetry in the variation of foF2 and hmF2 values since the observed foF2 at Chiang Mai are generally larger than those at Kototabang while the hmF2 values at Kototabang are generally higher than those observed at Chiang Mai. The locations of these three stations in relation to the Equatorial Ionization Anomaly explains the differences in the foF2 and hmF2 parameters among the three stations.

Our results are similar to other studies in the magnetic equator (Adeniyi et al., 2003; Obrou et al., 2003; Batista and Abdu, 2004; Abdu et al., 2006) and low-latitude stations (Batista and Abdu, 2004; Bertoni et al., 2006; Zhang et al., 2004, 2007; Chuo and Lee, 2008) in that the variations of foF2 and hmF2 predicted by the IRI-2007 model generally show the similar feature as the observed data. Furthermore, both parameters show that the agreement between observations and predictions during daytime is generally better than during nighttime. Most of these studies show the foF2 values predicted by the IRI model overestimates the observation at the magnetic equator while it underestimates the measured ones at the anomaly crest. However, our results show a slight difference from the other studies in that the IRI gives foF2 close to the observed foF2 at Kototabang station which is located close to the southern crest of the equatorial ionization anomaly. For hmF2, our results show that the IRI model predicts the hmF2 values well during daytime, but the disagreement is evident at nighttime. At the magnetic equator, our results are similar to the studies of Batista and Abdu (2004). Abdu et al. (2006) in that the IRI model underestimates the



Fig. 8. Same as Fig. 7 but for hmF2 parameter.

Please cite this article in press as: Wichaiapanich, N., et al. Comparison of ionosphere characteristic parameters obtained by ionosonde with IRI-2007 model over Southeast Asia. J. Adv. Space Res. (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.018>

ไม่ว่าการมีเดาทั้งสิน ออกทงหามมีให้ดตแบบลงเนื้อทำ และดองอางอองงเงจของเดสสารทคครั้งที่มีการนำไปใช้

observed data at pre-sunrise hours, but it overestimates during daytime. For low-latitude regions, our results are similar to study of Chuo and Lee (2008) in that the underestimation occurs at afternoon time. However, our results are opposite to the studies of Zhang et al. (2007). Chuo and Lee, (2008) in that they found that the model underestimates during nighttime while our results show the IRI model overestimates the hmF2 values. The best agreement between observations and predictions occurs at Kototabang station when compared with the other stations. At the conjugate points, our results show a similar agreement with the study of McNamara et al. (2008) on the F2-layer peak parameters at the magnetic conjugate points in Brazil. During daytime, the observed foF2 at the northern anomaly crest are larger than those at other stations, but the hmF2 values at the magnetic equator are higher than those at anomaly crests. However, some differences are observed during nighttime, when they found that the observed foF2 at the magnetic equator are smaller than those at anomaly crests while our results are almost identical at three sites. On the other hand, they found that the hmF2 values at the magnetic equator are higher than those at anomaly crests while our results show a fluctuation especially during midnight to pre-sunrise hours.

4. Conclusions

The monthly hourly median values of the foF2 and hmF2 parameters for one station at the magnetic equator and the other two at the magnetic conjugate points in Southeast Asia sector are analyzed and compared with the IRI-2007 model, from January 2004 to February 2007. Generally, the variations of foF2 and hmF2 predicted by the IRI-2007 model show the similar feature as the observed data. Both the foF2 and hmF2 parameters show the agreement during daytime is generally better than during nighttime. For foF2, most of the results show that the IRI model overestimates the observed foF2 at the magnetic equator (Chumphon), but it underestimates at the northern crest (Chiang Mai) while it is close to the measured ones at the southern crest of the EIA (Kototabang). For hmF2, the IRI model gives hmF2 values close to the hmF2(M3000F2_{OBS}) during daytime. During nighttime, the IRI model underestimates at the magnetic equator but it overestimates at both EIA crests.

Acknowledgements

In this research work, the financial support from the Telecommunications Research and Industrial Development Institute (TRIDI), office of the National Broadcasting and Telecommunications Commission (NBTC) fund (Grant No.PHD/004/2552) to Mr. Noraset Wichaipanich and Assoc. Prof. Dr. Pornchai Supnithi is acknowledged. In addition, it is financially supported in part by Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand. We would like to thank the Space

weather and environment informatics laboratory, National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan, for the equipment and technical support. In addition, we are grateful to the anonymous reviewers and the editor for the comments and suggestions which greatly help improve this manuscript.

References

- Adeniyi, J.O., Bilitza, D., Radicella, S.M., Willoughby, A.A. Equatorial F2-peak parameters in the IRI model. *Adv. Space Res.* 31 (3), 507–512, 2003.
- Abdu, M.A., Batista, I.S., Reinisch, B.W., Sobral, J.H.A., Carrasco, A.J. 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.* 37, 1007–1017, 2006.
- Anderson, D.N. A theoretical study of the ionosphere F region equatorial anomaly-I. *Theory. Planet. Space Sci.* 21, 409–419, 1973.
- Batista, I.S., Abdu, M.A. Ionospheric variability at Brazilian low and equatorial latitude: comparison between observations and IRI model. *Adv. Space Res.* 34, 1894–1900, 2004.
- Bertoni, F., Sahai, Y., Fagundes, P.R., Pillat, V.G., Guedes, F.B., Abalde, J.R. IRI-2001 model predictions compared with ionospheric data observed at Brazilian low latitude stations. *Ann. Geophys.* 24, 2191–2200, 2006.
- Bilitza, D. The International Reference Ionosphere 1990, National Space Science Data Center, NSSDC/WDC-A-R&S Reports 90–22. Greenbelt, Maryland, November, 1990.
- Bilitza, D. International reference ionosphere 2000. *Radio Sci.* 36 (2), 261–275, 2001.
- Bilitza, D., Reinisch, B.W. International reference ionosphere 2007: improvements and new parameters. *Adv. Space Res.* 42, 599–609, 2008.
- Chuo, Y.J., Lee, C.C. Ionospheric variability at Taiwan low latitude station: comparison between observations and IRI-2001 model. *Adv. Space Res.* 42 (4), 673–681, 2008.
- Lee, C.C., Reinisch, B.W. Quiet-condition hmF2, N_{min}F2, and B0 variations at Jicamarca and comparison with IRI-2001 during solar maximum. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 68, 2138–2146, 2006.
- Maruyama, T., Kawamura, M., Saito, S., Nozaki, K., Kato, H., Hemmakorn, N., Boonchuk, T., Komolmis, T., Ha Duyen, C. Low latitude ionosphere-thermosphere dynamics studies with ionosonde chain in Southeast Asia. *Ann. Geophys.* 25, 1569–1577, 2007.
- McNamara, L.F., Retteger, J.M., Abdu, M.A., Batista, I.S., Reinisch, B.W. F2 peak parameters, drifts and spread-F derived from digisonde ionograms for the COPEX campaign in Brazil. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 70, 1144–1158, 2008.
- Obrou, O.K., Bilitza, D., Adeniyi, J.O., Radicella, S.M. Equatorial F2-layer peak height and correlation with vertical ion drift and M(3000)F2. *Adv. Space Res.* 31 (3), 513–520, 2003.
- Ratovsky, K.G., Oinats, A.V., Medvedev, A.V. Diurnal and seasonal variations of F2 layer characteristics over Irkutsk during the decrease in solar activity in 2003–2006: observations and IRI-2001 model predictions. *Adv. Space Res.* 43, 1806–1811, 2009.
- Wichaipanich, N., Supnithi, P., Ishii, M., Maruyama, T. Ionospheric variations at Thailand equatorial latitude station: comparison between observations and IRI-2001 model predictions. *Adv. Space Res.* 45, 284–293, 2010.
- Zhang, M.L., Shi, J.K., Wang, X., Wu, S.Z., Zhang, S.R. Comparative study of ionospheric characteristic parameters obtained by DPS-4 digisonde with IRI2000 for low latitude station in China. *Adv. Space Res.* 33, 869–873, 2004.
- Zhang, M.L., Shi, J.K., Wang, X., Shang, S.P., Wu, S.Z. Ionospheric behavior of the F2 peak parameters foF2 and hmF2 at Hainan and comparisons with IRI model predictions. *Adv. Space Res.* 39, 661–667, 2007.

Please cite this article in press as: Wichaipanich, N., et al. Comparison of ionosphere characteristic parameters obtained by ionosonde with IRI-2007 model over Southeast Asia. *J. Adv. Space Res.* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2012.06.018>

ไม่ว่ากรรมใดทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้