

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	2
1.5 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 โครงสร้างชั้นบรรยากาศของโลก	5
2.2 ปริมาณอิเล็กตรอนรวมในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	7
2.3 ดาวเทียม GPS	10
2.4 ทฤษฎีการวัดปริมาณอิเล็กตรอนรวมในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	11
2.5 ทฤษฎีการวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	14
2.6 ผลของสนามแม่เหล็กโลกที่มีต่ออิเล็กตรอนในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	15
2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล TEC ด้วยวิธี ARMA	17
2.7.1 การกำหนดรูปแบบ ARMA ให้กับข้อมูล	21
2.7.2 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ ARMA	24
2.7.3 การตรวจสอบความถูกต้องสำหรับวิธี ARMA	24
2.7.4 การพยากรณ์ล่วงหน้าด้วยวิธี ARMA	25
2.8 การวิเคราะห์ข้อมูล TEC ด้วยวิธีการถดถอย	26
2.8.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น	26

2.8.2	การวิเคราะห์การถดถอยแบบเส้นโค้ง	30
บทที่ 3	การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณอิเล็กตรอนรวมในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	34
3.1	รูปแบบการบันทึกข้อมูล TEC	34
3.2	การนำข้อมูล TEC ไปใช้ในการวิเคราะห์	37
3.3	การเปลี่ยนตารางการรับสัญญาณดาวเทียม GPS	38
3.4	การใช้โปรแกรม MATLAB	41
3.5	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล TEC กับค่าทางอุตุนิยมวิทยา	45
3.6	การวิเคราะห์ข้อมูล TEC ด้วยวิธี ARMA	48
3.7	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล TEC กับ ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	58
3.7.1	รูปแบบการบันทึกข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	58
3.7.2	การวิเคราะห์ข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	60
3.7.3	การใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างข้อมูล TEC และค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	62
3.8	แบบจำลอง IRI	64
3.8.1	การคำนวณหาค่า TEC โดยใช้แบบจำลอง IRI-95	65
3.8.2	การประมวลผลและสั่งงานโปรแกรม IRI-95 ด้วยภาษาฟอร์แทรนบนยูนิกซ์	68
3.8.3	การวิเคราะห์ข้อมูล TEC ด้วยแบบจำลอง IRI-95 ด้วยโปรแกรม MATLAB	71
บทที่ 4	ผลการวิจัย	73
4.1	ผลการวิเคราะห์การทำนายข้อมูล TEC ด้วยวิธี ARMA และแบบจำลอง IRI-95	78
4.2	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	120
4.2.1	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2541	134
4.2.2	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541	138
4.2.3	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541	138

4.2.4	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนเมษายน พ.ศ. 2541	145
4.2.5	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2541	149
4.2.6	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2541	149
4.2.7	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2541	154
4.2.8	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2541	154
4.2.9	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนกันยายน พ.ศ. 2541	159
4.2.10	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนตุลาคม พ.ศ. 2541	159
4.2.11	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2541	165
4.2.12	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก โดยใช้ข้อมูลเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541	165
4.3	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล TEC กับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	170
4.4	ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของข้อมูล TEC ตามเวลาในแต่ละเดือน	172
บทที่ 5 บทสรุป		178
5.1	สรุปผลการวิจัย	178
5.2	ปัญหาและการแก้ไขปัญหา	179
5.3	ข้อเสนอแนะ	183
เอกสารอ้างอิง		185
ภาคผนวก		189
ประวัติผู้เขียน		218

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 เทคนิคการวัดปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน	8
2.2 ลักษณะของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน	22
2.3 สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติและช่วงวิกฤติสำหรับการทดสอบแบบ t	29
2.4 สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติและช่วงวิกฤติสำหรับการทดสอบแบบ F ในกรณีที่มีตัวแปรอิสระ 3 ชุด	30
2.5 สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติและช่วงวิกฤติสำหรับรูปแบบ การถดถอยแบบเส้นโค้งอันดับที่ 3	32
3.1 ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	61
3.2 ค่าดัชนี C_p ที่ได้จากการวัดระดับของดัชนี a_p	62
3.3 ค่าแฟลคที่ต้องใช้ในรูทินย่อย IRIS13	67
4.1 การกำหนดรูปแบบให้กับข้อมูล TEC รายเดือนทั้ง 12 เดือน	103
4.2 ค่าประมาณพารามิเตอร์สำหรับรูปแบบที่กำหนดในตารางที่ 4.1	105
4.3 ค่าสถิติ Q และค่าวิกฤติของการทำนายข้อมูล TEC รายเดือน โดยใช้รูปแบบในตารางที่ 4.1	106
4.4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ระหว่างข้อมูล TEC ที่ได้จากการทดลอง กับค่าที่ได้จากการทำนายด้วยวิธีการ ARMA และค่าที่ได้จากการทำนายด้วย แบบจำลอง IRI-95	119

สารบัญภาพ

รูป	หน้า	
2.1	เลขอร์และการเปลี่ยนแปลงในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์	6
2.2	คำจำกัดความของปริมาณอิเล็กตรอนรวม (Total Electron Content)	12
2.3	ลักษณะการติดตั้งเครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	14
2.4	เส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็กโลก	16
3.1	ฟังก์ชัน writeDataBinary.c ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล TEC แบบไบนารี	35
3.2	โปรแกรมการกำหนดชนิดของตัวแปร	35
3.3	โปรแกรมภาษาซีบนยูนิกซ์ที่ใช้ในการสลับที่ไบต์ส่วนหัวและไบต์ส่วนหาง	36
3.4	โปรแกรมการเปลี่ยนตารางการรับสัญญาณดาวเทียม	38
3.5	ผลการทำนายข้อมูล TEC โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยทุกๆ 30 นาที ในช่วงวันที่ 1-9 ตุลาคม พ.ศ. 2541 จากข้อมูลจริง ด้วยวิธี ARMA	40
3.6	ผลการทำนายข้อมูล TEC ในรูปที่ 3.4 ด้วยวิธีการถดถอยแบบเชิงเส้น ที่มีตัวแปรอิสระเป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	41
3.7	เมนูหลักที่ใช้ในการวิจัยเกี่ยวกับการจำลองแบบปริมาณอิเล็กตรอนรวม	42
3.8	เมนูย่อยที่ใช้ในการรับข้อมูล TEC จากเพิ่มข้อมูล ไบนารี	43
3.9	การจัดเรียงไดเรกทอรีสำหรับข้อมูล TEC	44
3.10	แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล TEC กับ (ก) อุณหภูมิ (ข) ความชื้นสัมพัทธ์ (ค) ความเร็วลม (ง) ความกดอากาศ	46
3.11	เมนูฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูล TEC ด้วยค่าทางอุนิยมวิทยา	47
3.12	การเปลี่ยนแปลงของ TEC ในช่วงเวลา 00:00 UT วันที่ 21 มกราคม พ.ศ. 2541 ถึงเวลา 23:59 UT วันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2541	49
3.13	เมนูฟังก์ชันสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี ARMA	49
3.14	เมนูสำหรับการทำนายหรือพยากรณ์ค่า TEC ล่วงหน้า	50
3.15	อ่านข้อมูลรหัสแอสกีด้วยโปรแกรม SPSS	51
3.16	การกำหนดรูปแบบการอ่านรหัสแอสกีให้กับโปรแกรม SPSS	52
3.17	ผลการกำหนดค่าตัวแปรในหน้าต่างการกำหนดรูปแบบของการอ่านข้อมูลรหัสแอสกีด้วยโปรแกรม SPSS	53
3.18	การสร้างหน้าต่างภาษาของโปรแกรม SPSS	54

3.19	การเขียนภาษา SPSS เพื่อสร้างจุดเวลาและคาบให้กับข้อมูล TEC	54
3.20	การเลือกคำสั่งในการประมาณค่าพารามิเตอร์ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี ARMA โดยใช้โปรแกรม SPSS	55
3.21	หน้าต่างการกำหนดค่าตัวแปรและอันดับ สำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี ARMA โดยใช้โปรแกรม SPSS	56
3.22	ตัวอย่างการกำหนดค่าตัวแปรและอันดับสำหรับการวิเคราะห์ด้วยวิธี ARMA	56
3.23	ฟังก์ชัน writeDataBinary.c ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก แบบไบนารี	59
3.24	เมนูฟังก์ชันการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น โค้งด้วยข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก	63
3.25	เมนูฟังก์ชันที่ใช้ในการเลือกตัวแปรอิสระสำหรับการวิเคราะห์แบบการถดถอยเชิงเส้น โค้ง	63
3.26	ตัวอย่างกราฟแสดงผลการทำนายด้วยวิธีการถดถอยเชิงเส้น โค้ง	64
3.27	ตัวอย่างโปรแกรมสั่งงานการคำนวณหาค่า TEC ด้วยแบบจำลอง IRI-95	69
3.28	การแปลโปรแกรมที่ต้องใช้ในการรันแบบจำลอง IRI-95	69
3.29	การสร้างไฟล์ที่ต้องใช้ในการรันแบบจำลอง IRI-95	70
3.30	ตัวอย่างผลการรัน โปรแกรม irit13_test	70
3.31	การคัดลอกไฟล์ output.iri	71
3.32	เมนูฟังก์ชันการวิเคราะห์ข้อมูล TEC ด้วยแบบจำลอง IRI-95	71
4.1	ข้อมูล TEC เฉลี่ยทุก 30 นาทีในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541	74
4.2	ข้อมูล TEC เฉลี่ยทุก 30 นาทีในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2541	75
4.3	ข้อมูล TEC เฉลี่ยทุก 30 นาทีในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2541	76
4.4	ข้อมูล TEC เฉลี่ยทุก 30 นาทีในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541	77
4.5	กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง กราฟความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของข้อมูล TEC ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2541	79
4.6	กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง กราฟความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วนของข้อมูล TEC ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541	80

- 4.27 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง กราฟความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
ของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน
ของผลต่างฤดูกาลของข้อมูล TEC ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2541 101
- 4.28 กราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง กราฟความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
ของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองบางส่วน
ของผลต่างฤดูกาลของข้อมูล TEC ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541 102
- 4.29 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนมกราคม พ.ศ. 2541 107
- 4.30 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541 108
- 4.31 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2541 109
- 4.32 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนเมษายน พ.ศ. 2541 110
- 4.33 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2541 111
- 4.34 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2541 112
- 4.35 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2541 113
- 4.36 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2541 114
- 4.37 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนกันยายน พ.ศ. 2541 115
- 4.38 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2541 116
- 4.39 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2541 117
- 4.40 ค่า TEC ที่ทำนายได้ด้วยวิธี ARMA และค่า TEC ที่ได้จาก
แบบจำลอง IRI-95 โดยใช้ข้อมูลในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541 118

4.71	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 6-8 สิงหาคม พ.ศ. 2541	156
4.72	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 20-25 สิงหาคม พ.ศ. 2541	157
4.73	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 26-29 สิงหาคม พ.ศ. 2541	158
4.74	การทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 3-6 กันยายน พ.ศ. 2541	160
4.75	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 24-26 กันยายน พ.ศ. 2541	161
4.76	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 1-2 ตุลาคม พ.ศ. 2541	162
4.77	การทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 7-10 ตุลาคม พ.ศ. 2541	163
4.78	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 18-20 ตุลาคม พ.ศ. 2541	164
4.79	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 6-14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541	166
4.80	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2541	167
4.81	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 25-26 ธันวาคม พ.ศ. 2541	168
4.82	ผลการทำนายข้อมูล TEC ด้วยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแต่ละองค์ประกอบ โดยใช้ข้อมูลในช่วงวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ. 2541	169
4.83	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล TEC และค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก ในแนวนอนในช่วงวันที่ 1-12 พฤศจิกายน พ.ศ. 2541	171
4.84	การเปลี่ยนแปลงข้อมูล TEC ตามเวลาในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2541	173
4.85	การเปลี่ยนแปลงข้อมูล TEC ตามเวลาในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541	174
4.86	การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลกในแนวนอนตามเวลา ในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2541	175

4.87	การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโลก ในแนวนอนตามเวลา ในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2541	176
5.1	การแก้ไขเวลาให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบยูนิกซ์	181
5.2	ผลการใช้คำสั่ง "rs -l"	182
5.3	ตัวอย่างข้อความในแฟ้มข้อมูล log_get_data	183