

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
ที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ VHF

ANALYSIS OF VHF SATELLITE SIGNAL AFFECTED BY
IONOSPHERIC AMPLITUDE SCINTILLATION



กิตติชัย วิเศษศิริ
KITICHAJ VISESSIRI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

รท.
ก ๖๗๖ ๗
๑๕๔๗

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

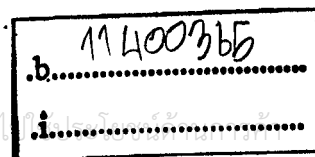
พ.ศ. ๒๕๔๗

เลขหมู่.....

ISBN 974-9709-66-7

เลขทะเบียน..... 51840

วัน,เดือน,ปี ๑๐ ก.ค. ๒๕๔๗



สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ANALYSIS OF VHF SATELLITE SIGNAL AFFECTED BY
IONOSPHERIC AMPLITUDE SCINTILLATION**



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

2004

ISBN 974-9709-66-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด
อย่างกะทันหันที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ VHF

นักศึกษา

นายกิตติชัย วิเศษศิริ

รหัสประจำตัว

45061231

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

พ.ศ.

2547

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ. นิภา สีสารุจิ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน โดยใช้ความถี่ในย่าน VHF ซึ่งเป็นย่านที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากปรากฏการณ์นี้โดยจะเกิดในระดับที่รุนแรงและยาวนานที่สุด ซึ่งในการศึกษาได้ทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม FLTSATCOM เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อการสื่อสารโดยเปรียบเทียบความรุนแรงตามเวลาและฤดูกาล โดยแบ่งเป็นการวิเคราะห์เชิงความถี่กับการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อศึกษารูปแบบของการเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณที่มีความสัมพันธ์กับระดับความรุนแรง โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยความหนาแน่นสเปกตรัมเชิงกำลัง (PSD) เพื่ออธิบายถึงความสัมพันธ์ทางด้านโดเมนความถี่ของสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในขณะที่เกิดปรากฏการณ์ ส่วนการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ความหนาแน่นความน่าจะเป็น(pdf)มาอธิบายถึงรูปแบบของการแจกแจงที่สามารถอธิบายลักษณะสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งค่าที่ได้บ่งบอกว่าปัญหาในการสื่อสารที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันคือการจางหายของสัญญาณ(Fading) ส่วนค่าพิสัยพลวัตของเครื่องรับที่เหมาะสมหาได้จากการใช้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม(cdf) ซึ่งข้อมูลทั้งหมดเมื่อประกอบกับการใช้แบบจำลองของ Moulisley-Vilar แล้วทำให้ได้ตัวแปรที่สามารถนำไปหาประสิทธิภาพของสัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของปรากฏการณ์นี้ นอกจากนี้งานวิจัยยังได้เสนอถึงวิธีลดความผิดพลาดคือการใช้สเปซไคเวอร์ซิตีที่สามารถทำให้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้นและมีอัตราบิดผิดพลาดน้อยลงนั้นหมายถึงการทำให้ระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้น

Thesis Title	Analysis of VHF Satellite Signal Affected by Ionospheric Amplitude Scintillation
Student	Mr. Kitichai Visessin
Student ID.	45061231
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineer
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Nipha Leeraruji
Thesis Co-Advisor	Assoc.Prof.Narong Hemmakorn

ABSTRACT

This thesis presents the analysis of ionospheric scintillation characteristics on VHF satellite signal. The received signal from FLTSATCOM Satellite is most affected by Amplitude scintillation that is variable diurnally and seasonally. Two types of analysis are introduced: Frequency-domain analysis and Statistical analysis. Autocorrelation Function is used to analyses irregularities characteristics such as scintillation rate and distance diversity for reducing fading from scintillation effect. The probability density function (pdf) and cumulative distribution function (cdf) are useful to describe approximate fading effect and Dynamic Range in order to improve the system degradation from scintillation effects. For long-term scintillation, these distribution models proposed by Moulsey-Vilar can describe the fluctuation using two parameters to analyze impacts of communication due to scintillation fading. Finally the thesis presents the use of Space Diversity to improve system performance in terms of higher signal-to-noise ratio (SNR) and bit error rate (BER).

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ดีก็เพราะอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.นิภา สีลารุจิ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนวความคิดที่เป็นประโยชน์ต่อทุกงานวิจัยที่ผ่านมาของข้าพเจ้า รวมถึงการต้อนรับอย่างอบอุ่นในวันแรกที่มาถึงซึ่งเป็นแรงบันดาลใจให้มีความตั้งใจที่จะทำงานอย่างเต็มที่ รวมทั้ง รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ สำหรับความกรุณาเอาใจใส่และเป็นตัวอย่างที่ดีของคนที่ตั้งใจทำงานอย่างจริงจังด้วย และขอขอบคุณ คุณชัชฌิมพร บุญซึก คุณอดิสร์ เดชารัตน์ คุณชจิตพรรณ มกระธัช คุณปัทมา พุ่มชูศักดิ์ คุณวราสิน ยาระนะ คุณภัทริยา ธีรภัทรไพบูลย์ และ อ.อนุชิต วงศ์กักรติกุล สำหรับความช่วยเหลือและทุกอย่างที่ถ่ายทอดแลกเปลี่ยนความรู้ให้ข้าพเจ้า รวมถึงน้องๆทุกคนในห้องปฏิบัติการวิจัยการสื่อสารดาวเทียม สำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT) ที่ให้ความสบายใจแก่ข้าพเจ้ามาตลอด และที่สำคัญห้องปฏิบัติการนี้ยังให้ความพร้อมทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ เอกสารความรู้ทางด้านชั้นบรรยากาศและการสื่อสารทั้งหมด ทั้งนี้ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในสถาบันแห่งนี้ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า และที่สำคัญต้องขอขอบพระคุณ Prof. Dr. Yoshiaki Moriya จาก Tokai University , และ Prof.Dr.Takashi Maruyama , Dr. Hisamitsu Minakoshi จาก Communication Research Laboratory (CRL), Japan ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย เทคนิคและแนวคิดทฤษฎีต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดเป็นงานวิจัยนี้ขึ้นมาได้ รวมถึงรูปภาพที่ได้นำมาใช้อธิบายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณกำลังใจจากที่บ้านได้แก่ บิดา มารดา สำหรับการสนับสนุนในทุกสิ่งทุกอย่าง และทุกๆคนในครอบครัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งคนที่ต้องขอกราบขอบพระคุณเป็นพิเศษคือ คุณย่า คุณอา ที่คอยให้กำลังใจและเลี้ยงดูข้าพเจ้ามาตลอด ท้ายสุดขอขอบคุณคุณวิภารัตน์ ตอชะกุล เป็นอย่างยิ่งสำหรับการช่วยเหลือที่ดีมาโดยตลอด

และสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัยจึงขอขอบคุณมา ณ. ที่นี้ด้วย

กิตติชัย วิเศษศิริ

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำและความเป็นมา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์	2
1.3 แนวความคิดและขอบเขตของงานวิจัย	3
บทที่ 2 การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	5
2.1 บทนำ	5
2.2 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	8
2.3 การปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศ	10
2.4 กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน.....	12
2.5 ความสัมพันธ์ของตำแหน่งและช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์.....	17
2.6 ดรรชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	17
2.7 สรุป	19
บทที่ 3 การทดลองและผลการทดลอง.....	20
3.1 บทนำ.....	20
3.2 รายละเอียดอุปกรณ์.....	21
3.3 จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	22
3.4 ผลการทดลองและการเปลี่ยนแปลงตามเวลากับฤดูกาล.....	23
3.5 การวิเคราะห์ระดับความรุนแรง.....	26
3.6 สรุป.....	34
บทที่ 4 การวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมทางด้านความถี่.....	35
4.1 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณดาวเทียม.....	36
4.3 ค่าอัตราสัมพันธ์เชิงเวลา.....	41
4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	43
4.5 สรุป.....	46
บทที่ 5 การวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	47
5.1 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม และฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น.....	47
5.2 การแจกแจงความน่าจะเป็น.....	48
5.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในระยะสั้น.....	51
5.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาว.....	58
5.5 สรุป.....	62
บทที่ 6 ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม.....	60
6.1 ช่วงเวลาการจางหายรวม.....	60
6.2 ความน่าเชื่อถือของข้อมูล.....	62
6.3 อัตราบิตผิดพลาด.....	63
6.4 สเปซไคเวอร์จิติ.....	68
6.5 สรุป.....	74
บทที่ 7 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
เอกสารอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก.....	80
(ก)วิธีการคำนวณความสัมพันธ์และการปรับแต่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	80
(ข)บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 รายละเอียดของระบบการทดลอง	20
3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรชนี S4 กับค่า Peak-to-Peak	30
4.1 แสดงค่าที่ได้จากค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม	38
4.2 แสดงค่าที่ได้จากฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์.....	43
4.3 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	44
5.1 แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม	58
5.2 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นความน่าจะเป็นระยะยาว	62
6.1 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราบิดผิดพลาด	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แสดงปัญหาของการสื่อสารเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....1
1.2	แสดงผลกระทบจากทั้ง 2 ชั้นบรรยากาศซึ่งมีผลกับความถี่ที่ใช้งานต่างกัน.....2
2.1	ลักษณะสัญญาณดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน.....5
2.2	สัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....6
2.3	แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศ GMS-5 ในสภาวะปกติ.....7
2.4	แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....7
2.5	แสดงปฏิกิริยาการไอโอไนสจากแสงอาทิตย์ (Photo Ionization).....8
2.6	แสดงปฏิกิริยาการกลับคืนสู่สภาวะเดิม (Recombination).....8
2.7	แสดงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในแต่ละระดับความสูง.....9
2.8	แสดงระดับความสูงและการปรากฏขึ้นของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....9
2.9	แสดงการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....11
2.10	แสดงภาพ 3 มิติของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน.....12
2.11	เวกเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทางแอมพลิจูดและเฟส.....15
2.12	แสดงบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมากที่สุด.....17
3.1	ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....21
3.2	แสดงวิธีการนำจำนวนครั้งการเกิดของปรากฏการณ์นี้.....22
3.3	แสดงผลการนับจำนวนครั้งที่ได้จากงานวิจัยตลอด 1 ปี.....23
3.4	แสดงระดับความรุนแรงของทุกเดือนในรอบ 1 ปี.....24
3.5	แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาของระดับความรุนแรงของเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545.....25
3.6	แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาของระดับความรุนแรงของเดือน มีนาคม พ.ศ. 2546.....26
3.7	แสดงช่วงเวลาและเปอร์เซ็นต์การเกิดของเหตุการณ์ทั้งหมด.....27
3.8	แสดงเส้นโครงร่างของช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์.....27
3.9	แสดงช่วงเวลามีค่า Peak-to-peak เท่ากันแต่ส่งผลกระทบต่อระบบไม่เท่ากัน.....28
3.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกับค่าดัชนี S4.....28
3.11	แสดงระดับสัญญาณและค่าดัชนี S4 ในวันที่รุนแรงที่สุด.....31
3.12	แสดงระดับสัญญาณและค่าดัชนี S4 ในวันที่ไม่รุนแรง.....31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 แสดงช่วงเวลาและระดับความรุนแรงของดรรชนี S4 ในช่วงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545 ถึง เดือนกันยายน พ.ศ. 2546.....	32
3.14 แสดงช่วงเวลาและค่าเฉลี่ยของระดับความรุนแรงดรรชนี S4 ตลอดระยะเวลา 1 ปี.....	34
4.1 แสดงการเปรียบเทียบในระดับที่ไม่รุนแรง S4 index < 0.5.....	37
4.2 แสดงการเปรียบเทียบในระดับที่รุนแรง S4 index > 0.5.....	37
4.3 แสดงค่าความชันที่เปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดในเวลาประมาณเที่ยงคืน.....	39
4.4 แสดงช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า n ตลอดระยะเวลา 1 ปี.....	40
4.5 แสดงฟังก์ชันอันดับสหสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความรุนแรง.....	42
4.6 แสดงค่าเวลาร่วมนัย (τ_c) ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความรุนแรง.....	42
4.7 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่คำนวณจากทั้ง 3 วิธี.....	44
4.8 แสดงการจำลองผลกระทบของภาพถ่ายจากดาวเทียมในกรณีที่ \bar{N}_0 มีความถี่สูง.....	45
4.9 แสดงการจำลองผลกระทบของภาพถ่ายจากดาวเทียมในกรณีที่ \bar{N}_0 มีความถี่ต่ำ.....	45
5.1 แสดงลักษณะการแจกแจงของสัญญาณดาวเทียม.....	49
5.2 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่เปลี่ยนแปลงตามความรุนแรง.....	52
5.3 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ S4 = 0.06.....	53
5.4 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ S4 = 0.48.....	53
5.5 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ S4 = 0.77.....	54
5.6 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ S4 = 1.17.....	54
5.7 แสดงค่าการแจกแจงสะสมที่เปลี่ยนแปลงตามความรุนแรง.....	57
5.8. แสดงระดับสัญญาณที่เป็นตัวแปรสุ่มในการวิเคราะห์ระยะสั้นและระยะยาว.....	58
5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาว.....	61
6.1 แสดงเวลาการจางหายในช่วงเดือนที่มีการจางหายที่รุนแรงมากกว่า -5 เดซิเบล.....	65
6.2 แสดงเวลาการจางหายในช่วงเดือนที่มีการจางหายไม่รุนแรง.....	65
6.3 แสดงความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่ลดลงเมื่อเกิดปรากฏการณ์ในช่วง 1 ปี.....	67
6.4 แสดงความเชื่อถือได้ของข้อมูลในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545.....	68
6.5 แสดงความเชื่อถือได้ของข้อมูลในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2546.....	68
6.6 แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มค่า M	71
6.7 เปรียบเทียบระดับการจางหายที่ดีขึ้นหลังจากใช้โดเวอร์ซิตี.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.8 เปรียบเทียบผลการทดลองจากเดือนมีนาคม 2545 และ เดือนสิงหาคม.....	73
6.9 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดบิตผิดพลาดที่ลดลงเมื่อใช้โคเดอวรีตี.....	74



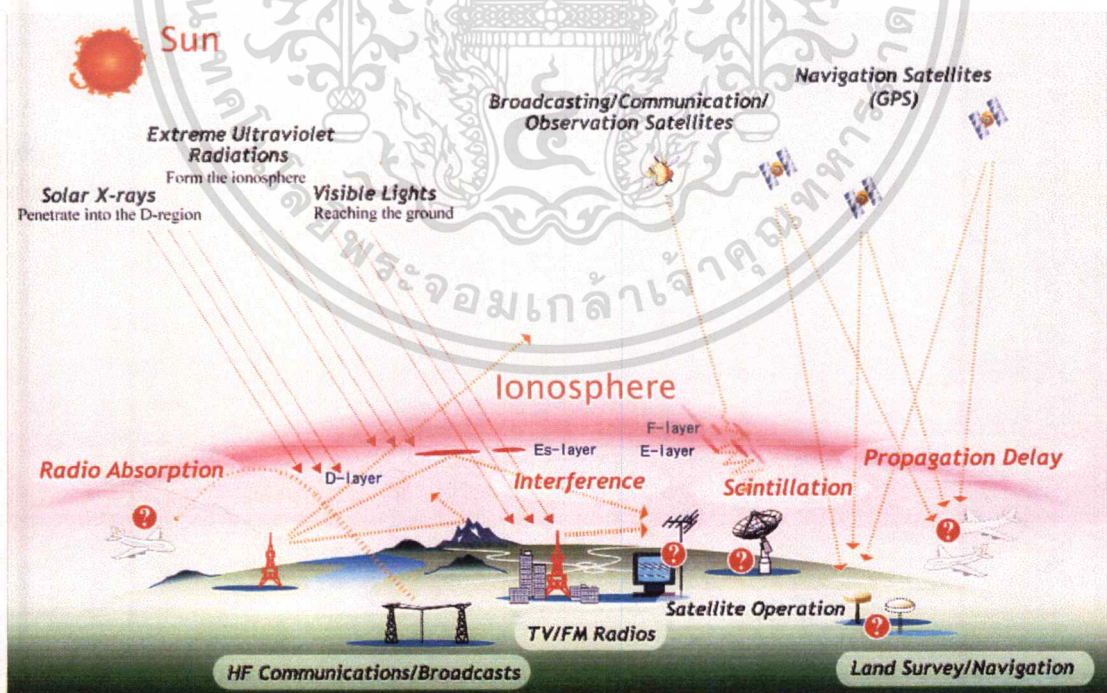
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านดาวเทียมเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานที่เพิ่มขึ้นทั้งในด้านการสื่อสารทั่วไปไม่ว่าจะเป็นการส่งสัญญาณภาพและเสียง (Broadcasting) หรือการให้บริการอินเทอร์เน็ตผ่านดาวเทียม แม้กระทั่งใช้งานทางการทหาร ซึ่งการพิจารณาความถี่ที่เหมาะสมต่อการใช้งานนั้นอาจประกอบจากหลายปัจจัย เช่น ขนาดของข้อมูล ความเร็วในการส่งข้อมูล รวมไปถึงความถูกต้องของข้อมูล ซึ่งการใช้งานในแต่ละความถี่ก็มีปัญหาที่แตกต่างกัน อย่างเช่นสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ความถี่สูง (Ku-Band หรือ Ka-Band) นั้น จะเกิดปัญหาจากการลดทอนของสัญญาณในขณะที่ฝนตก (Rain Attenuation) ผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น ส่วนสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ความถี่ต่ำจะได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งทำให้เกิดปัญหาหลายรูปแบบดังแสดงในรูป 1.1 ไม่ว่าจะเป็นความคลาดเคลื่อนของการบอกตำแหน่งในระบบนำร่อง (Navigation Satellites) หรือการแทรกสอด (Interference) ของสัญญาณวิทยุภาคพื้นดิน

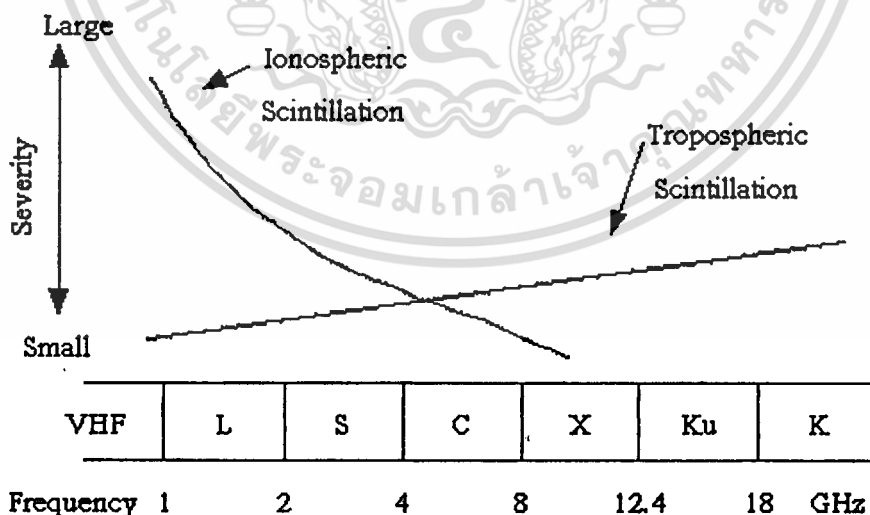


รูปที่ 1.1 แสดงปัญหาของการสื่อสารเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัญหาที่เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Amplitude Scintillation) โดยผลกระทบของปรากฏการณ์นี้จะส่งผลให้ระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้เพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งส่งผลเสียต่อระบบการสื่อสารทั้งทางด้านความถูกต้องของข้อมูล หรืออาจทำให้เกิดการเสียหายแก่ระบบและอุปกรณ์ที่สถานีภาคพื้นดินในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงขึ้น

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมนี้เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ปกติแล้วจะไม่มีการกล่าวถึงนัก แต่จากการวิจัยอย่างกว้างขวางในต่างประเทศพบว่าปรากฏการณ์นี้เป็นผลเสียต่อระบบการสื่อสารระหว่างอวกาศกับภาคพื้นดิน ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้ในการออกแบบระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมจึงได้มีการกำหนดไว้เป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งเรียกว่า Safety Factor หรือค่าส่วนเผื่อการเชื่อมต่อ (Link Margin) [8] ของระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปจากระดับปกติในเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ธรรมชาตินี้ เช่นเดียวกับตัวแปรอื่นที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นการลดทอนเนื่องจากกลุ่มก๊าซในชั้นบรรยากาศ(ออกซิเจน ไอน้ำ ผันทิมะ) [1] รวมทั้งผลกระทบจากการที่คลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีค่าดัชนีการหักเห (Reflection Index) แตกต่างกัน โดยในแต่ละชั้นบรรยากาศก็มีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะเฉพาะตัวที่ส่งผลกระทบต่อความถี่ต่างๆในการสื่อสารผ่านดาวเทียม เช่น ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) จะมีผลกระทบกับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ความถี่มากกว่า 4-8 GHz (C-Band) ขึ้นไป ส่วนความถี่ต่ำกว่านี้จะเกิดผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ดังรูปที่ 1.2 [7]



รูปที่ 1.2 แสดงผลกระทบจากทั้ง 2 ชั้นบรรยากาศซึ่งมีผลกับความถี่ที่ใช้งานต่างกัน

โดยโครงสร้างภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ประกอบไปด้วยกลุ่มอิเล็คตรอนที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งเรียกว่า กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็คตรอน(Irregularities) ซึ่งมักถูกพบในชั้น F และ Es ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณดาวเทียม ดังนั้นการศึกษาผลกระทบจากปรากฏการณ์จึงเลือกย่านความถี่ VHF ซึ่งเป็นความถี่ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในระดับที่รุนแรงและเกิดเป็นเวลานานที่สุด (จากรูปที่ 1.2) ซึ่งการค้นพบข้อมูลหรือทางแก้ไขจึงเป็นประโยชน์อย่างมากทั้งการศึกษาลักษณะเฉพาะของปรากฏการณ์นี้และผลกระทบต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมในปัจจุบัน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ VHF ภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังงานที่บันทึกไว้ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปในชววัน เวลา และฤดูต่างๆ ผลที่ได้ทำให้ทราบระดับความรุนแรงและช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์เพื่อหลีกเลี่ยงการส่งข้อมูลที่มีความสำคัญในช่วงเวลาเหล่านี้ และเมื่ออาศัยการวิเคราะห์ทางสถิติเข้ามาช่วยพิจารณาทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังงานสัญญาณที่แน่นอนซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบระบบและอุปกรณ์ให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมในบริเวณนี้

ความน่าสนใจอื่นที่ได้จากวิทยานิพนธ์ คือ การเข้าใจถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์รวมถึงโครงสร้างและคุณลักษณะของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็คตรอนไม่ว่าจะเป็นความเร็ว ทิศทาง หรือการเปลี่ยนแปลงทิศทางของกลุ่มอิเล็คตรอนนี้ และอาศัยการวิเคราะห์โครงสร้างทางความถี่ (Frequency Domain) โดยการนำเอาสัญญาณมาหาค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectrum Density: PSD) และค่าอัตสหสัมพันธ์เชิงเวลา (Time Autocorrelation) ซึ่งค่าทั้ง 2 นี้ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางความถี่ของสัญญาณดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

1.3 แนวความคิดและขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อให้ได้การสื่อสารที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจึงจำเป็นต้องศึกษาลักษณะของสิ่งรบกวนที่มีผลกระทบต่อระบบการสื่อสารซึ่งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันก็เป็นกรรบกวนสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบหนึ่งโดยการวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์ได้ใช้ทฤษฎีต่างๆมาประยุกต์

เพื่ออธิบายลักษณะและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ โดยแบ่งรายละเอียดและเนื้อหาของการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีและสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันโดยเริ่มต้นจากการทำความเข้าใจโครงสร้างและองค์ประกอบในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ รวมถึงอธิบายช่วงเวลาชั้น F ปรากฏขึ้นและหายไปซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน สุดท้ายจะอธิบายถึงค่าตัวแปรที่ใช้บอกระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์นี้ที่เรียกว่า ดรรชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Scintillation Index: S4)

บทที่ 3 กล่าวถึง การทดลองและผลการทดลอง โดยเริ่มจากรายละเอียดและลักษณะการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ ตามด้วยผลการทดลองทั้งหมดในระยะเวลา 1 ปีโดยพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์ของการเกิดกับเวลาและฤดูกาล รวมถึงวิเคราะห์สาเหตุของระดับความรุนแรงในเดือนต่างๆ สุดท้ายจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของดรรชนี S4 กับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณดาวเทียม

บทที่ 4 กล่าวถึง การวิเคราะห์โครงสร้างทางความถี่ของสัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของปรากฏการณ์นี้ โดยหาค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมและค่าอัตราสัมพันธ์เชิงเวลาเพื่ออธิบายโครงสร้างทางความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อหาค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Scintillation Rate) ซึ่งค่านี้สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเกิดปรากฏการณ์ที่รุนแรงมากขึ้นจะมีผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณในรูปแบบใด

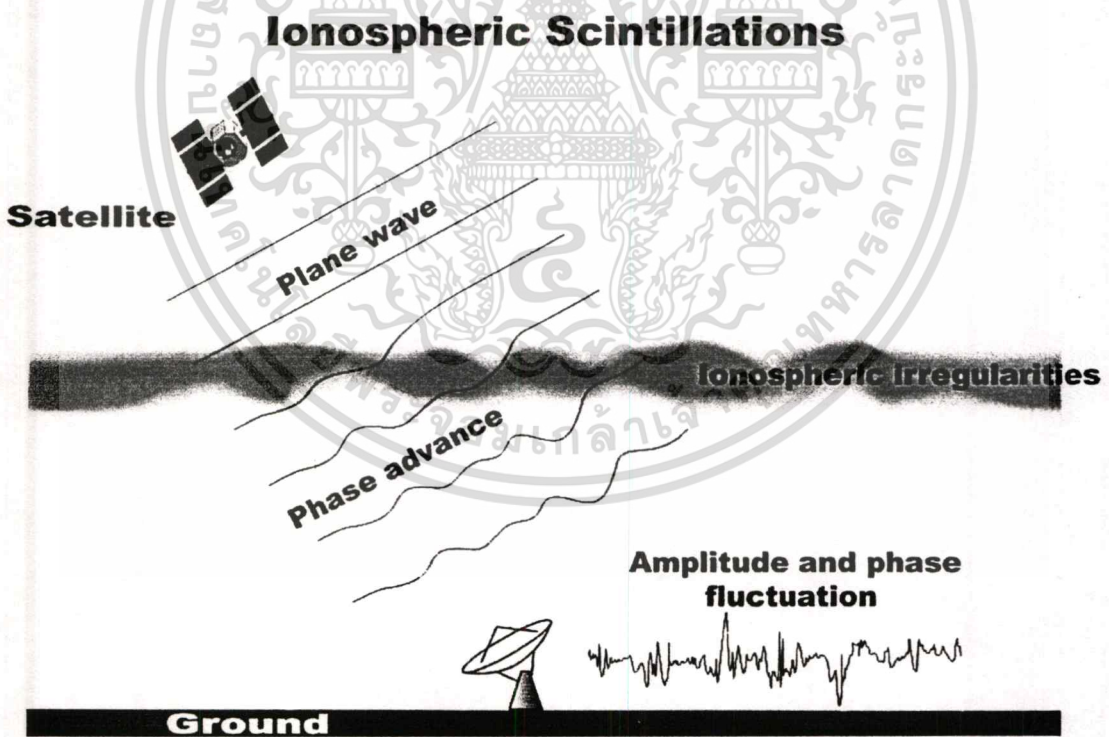
บทที่ 5 กล่าวถึง การวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมโดยใช้หลักทางสถิติเพื่อศึกษาลักษณะการแจกแจง (Distribution) ของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF) และ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) เพื่อหาค่าพิสัยพลวัต (Dynamic Range) ของเครื่องรับซึ่งเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการออกแบบระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม

บทที่ 6 กล่าวถึง ความน่าเชื่อถือของข้อมูลเมื่อสัญญาณดาวเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันว่ามีความเป็นไปได้แค่ไหนที่จะใช้การสื่อสารในช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์นี้ และได้แสดงค่าอัตราบิดผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่รุนแรงขึ้น และแสดงถึงการให้เทคนิคไดเวอร์ซิตีมาช่วยทำให้สัญญาณมีประสิทธิภาพดีขึ้น สุดท้ายในบทที่ 7 ได้สรุปและอธิบายแนวทางการพัฒนาต่อเพื่อที่จะทำให้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้ส่งผลกับการสื่อสารผ่านดาวเทียมน้อยที่สุด

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

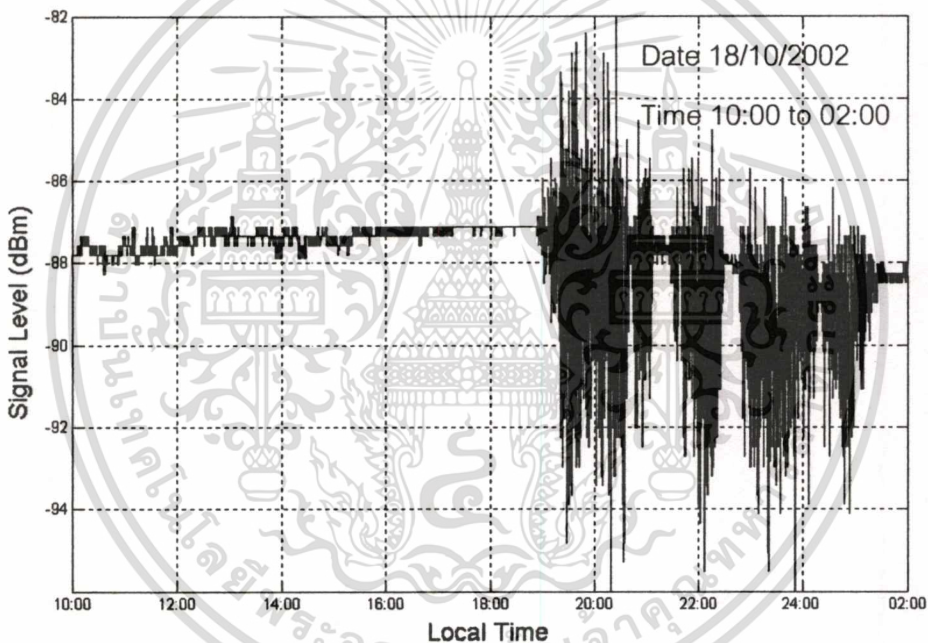
2.1 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงระดับกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมในช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Amplitude Scintillation) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการแทรกสอดกันของสัญญาณ (Interference Effects) โดยถ้าเป็นการสื่อสารภาคพื้นเช่นระบบสัญญาณเอฟเอ็มสาเหตุของการแทรกสอดอาจมาจากสถานีวิทยุข้างเคียงที่ใช้ค่าความถี่ของคลื่นพาห์ (Carrier) ที่ใกล้เคียงหรือใช้ความถี่ที่ทับกัน [5] แต่ในปรากฏการณ์นี้สัญญาณที่มาจากดาวเทียมก็คือสัญญาณของตัวเองโดยเกิดจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีค่าความหนาแน่นไม่เท่ากันดังรูปที่ 2.1 ทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Phase Advance ซึ่งจะทำให้ความเร็วของคลื่นระนาบ (Plane Wave) เพิ่มขึ้น ดังนั้นสัญญาณดาวเทียมที่รับได้จะมีเฟสแตกต่างกันซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับแอมพลิจูดและเฟสอย่างกะทันหัน



รูปที่ 2.1 ลักษณะสัญญาณดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน

การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณดาวเทียมในขณะที่เกิดปรากฏการณ์นี้แสดงในรูปที่ 2.2 เป็นระดับสัญญาณดาวเทียมของวันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2545 โดยเมื่อพิจารณาช่วงเวลา 10:00 – 18:00 น. ระดับสัญญาณ (Signal Level) มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระดับที่ไม่เกิน 0.5 – 1 dBp-p โดยถือว่าเป็นระดับสัญญาณปกติซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกิดจากคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกันหลายชั้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียม [9] แต่หลังจากเวลา 19:00 น. ระดับสัญญาณเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 01:30 น. ช่วงเวลานี้คือช่วงที่สัญญาณดาวเทียมได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ส่งผลให้ระดับกำลังงานเปลี่ยนไปจากระดับปกติถึง 15 dBp-p หลังจากนั้นระดับสัญญาณก็กลับสู่สภาวะปกติในเวลาประมาณ 02:00 น.

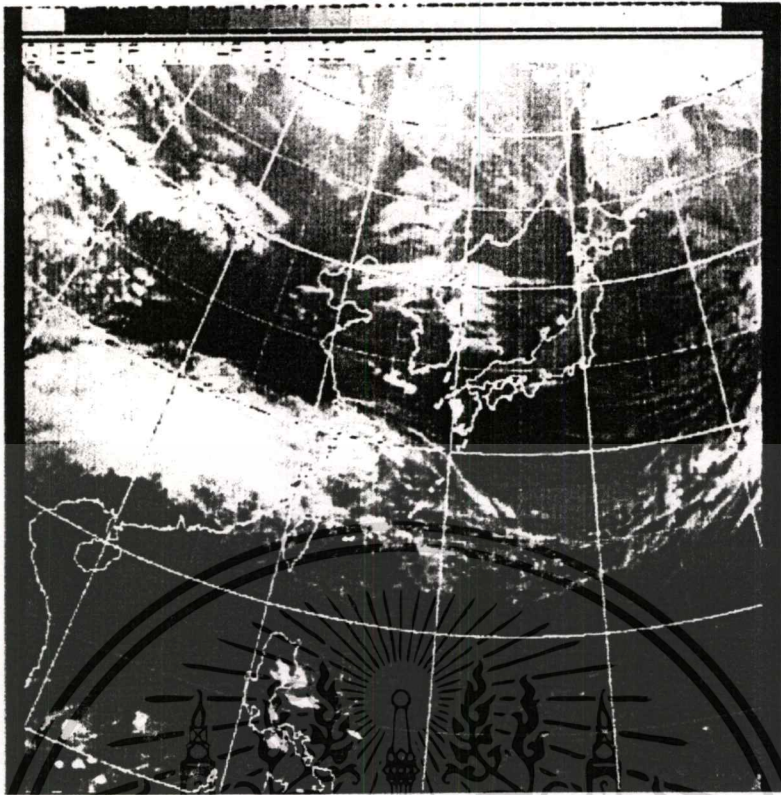


รูปที่ 2.2 สัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

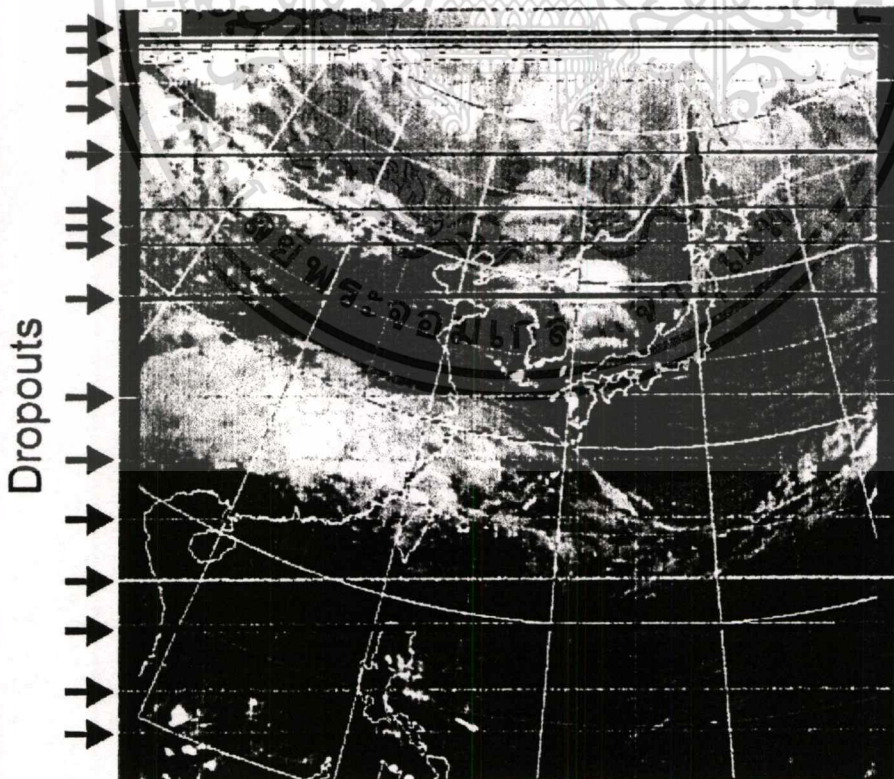
เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณภาพที่ลดลงในการใช้งานจริงของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากปรากฏการณ์นี้ วิทยานิพนธ์นี้จึงนำรูปที่เป็นภาพถ่ายจากดาวเทียม GSM-5 (Geostationary Meteorological Satellite-5 or Himawari-5) ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศ โดยในรูปที่ 2.3 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมที่รับได้ในสภาวะปกติ ส่วนในรูปที่ 2.4 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมที่รับได้ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของวันที่ 30 มีนาคม พ.ศ. 2545 ซึ่งจะเห็นได้ว่าภาพที่รับได้นั้นหายไปเป็นช่วง (Dropouts) ซึ่งเกิดจากการที่แอมพลิจูดของสัญญาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงจนเกินความสามารถของเครื่องรับจึงทำให้เราสูญเสียสัญญาณภาพในช่วงเวลา

ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



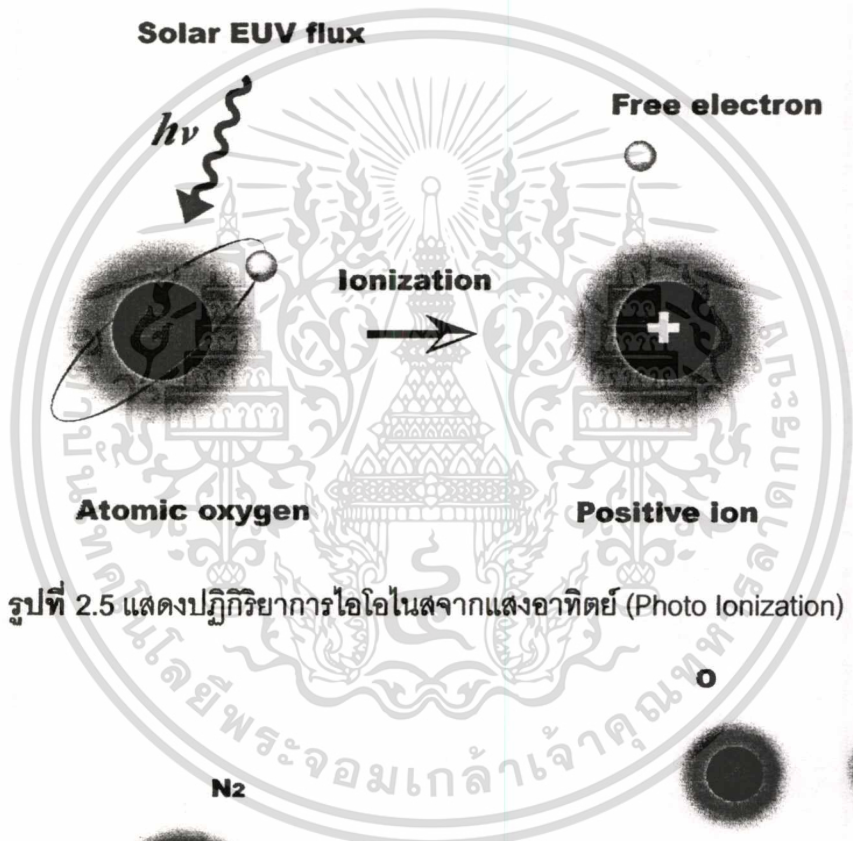
รูปที่ 2.3 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศ GMS-5 ในสภาวะปกติ



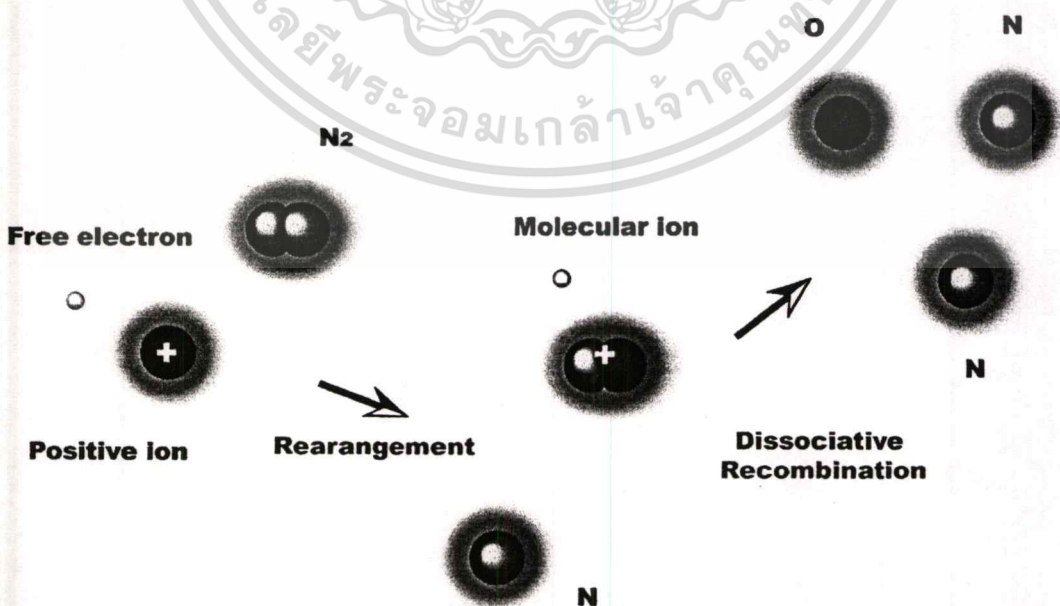
รูปที่ 2.4 แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่ประกอบไปด้วยกลุ่มพลาสมา (Plasma) ที่รวมตัวกันจนมีความหนาแน่นพอที่จะสะท้อนคลื่นวิทยุในความถี่ที่ต่ำกว่าย่าน HF [2] โดยอิเล็กตรอนอิสระ (Free electron) ในกลุ่มพลาสมาที่เกิดจากการที่อะตอมของก๊าซในธรรมชาติ เช่น อะตอมของก๊าซออกซิเจน (Atomic Oxygen) ที่ทำปฏิกิริยากับแสงอาทิตย์ (Solar EUV Flux) แล้วเกิดการแยกตัวระหว่างไอออนบวก (Positive ion) กับอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งเราเรียกปฏิกิริยานี้ว่าการไอโอไนสจากแสงอาทิตย์ (Photo Ionization) แสดงในรูปที่ 2.5 และจะกลับคืนสู่สภาวะก๊าซธรรมชาติอีกครั้งซึ่งปฏิกิริยานี้เรียกว่า การกลับคืนสู่สภาวะเดิม (Recombination) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



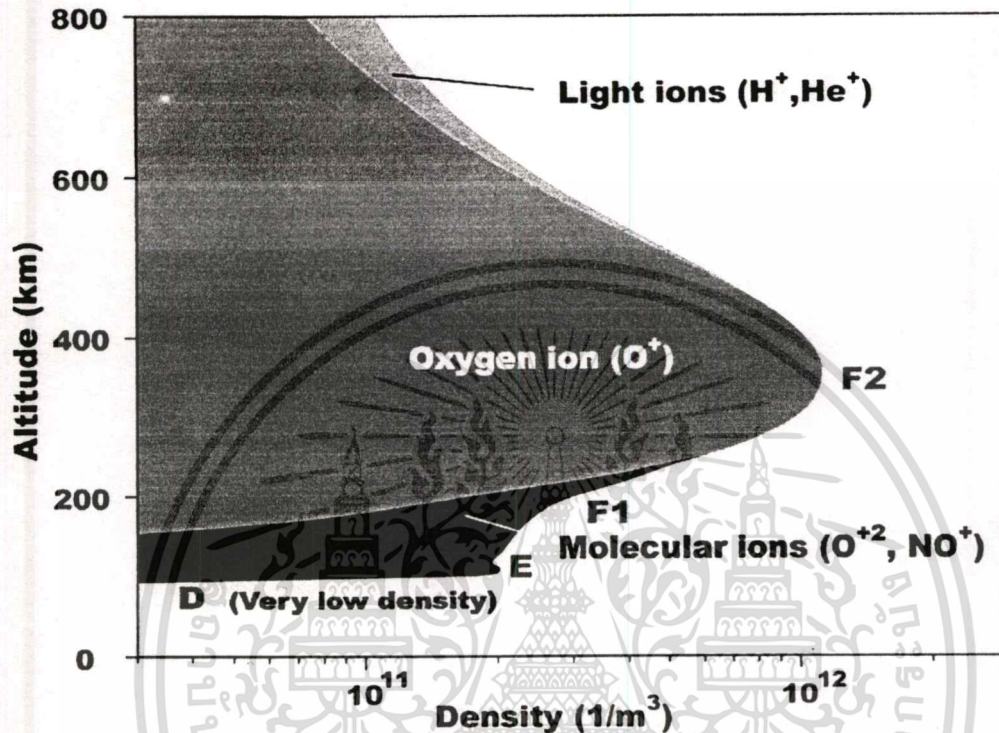
รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาการไอโอไนสจากแสงอาทิตย์ (Photo Ionization)



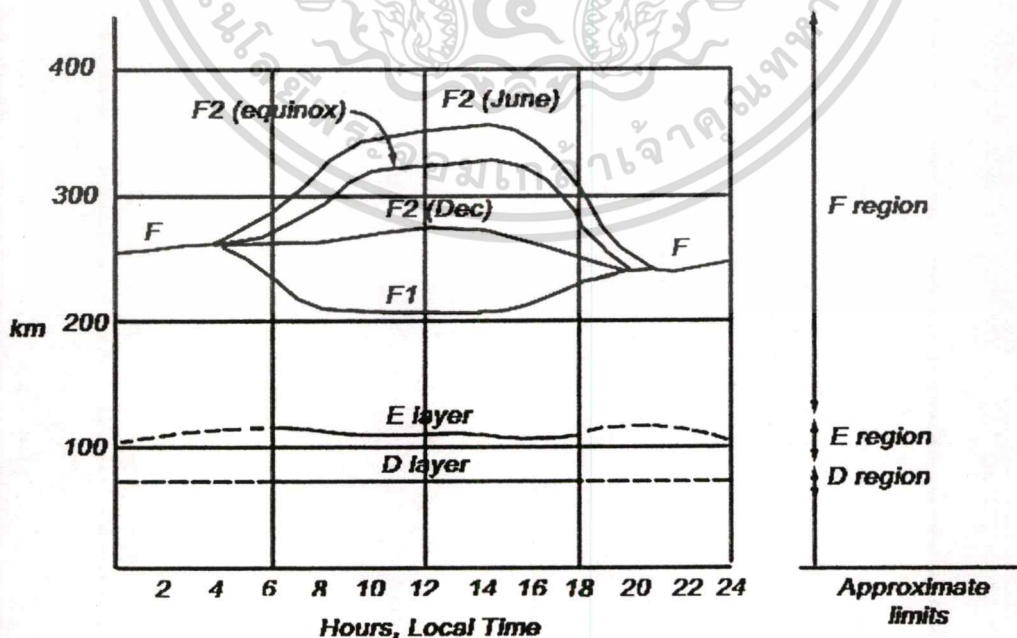
รูปที่ 2.6 แสดงปฏิกิริยาการกลับคืนสู่สภาวะเดิม (Recombination)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

โดยความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่เกิดนี้จากปฏิกิริยาเหล่านี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละระดับความสูงดังแสดงในรูปที่ 2.7 เมื่อพิจารณาจากรูปจะเห็นว่ามีความหนาแน่นมากที่สุดอยู่ในช่วงความสูงประมาณ 300 กิโลเมตรซึ่งเป็นระดับความสูงของชั้น F2 ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์



รูปที่ 2.7 แสดงความหนาแน่นอิเล็กตรอนในแต่ละระดับความสูง



รูปที่ 2.8 แสดงระดับความสูงและการปรากฏขึ้นของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้จะแบ่งออกเป็นชั้น D, E, F1 และ F2 ตามระดับความสูง โดยเริ่มจากชั้น D เป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นโลกต่ำสุด คือ อยู่ที่ความสูงเฉลี่ยประมาณ 70 กิโลเมตร ด้วยความหนาเฉลี่ยประมาณ 10 กิโลเมตร เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นผลจากปฏิกิริยาจากดวงอาทิตย์ดังที่กล่าวมาแล้ว จึงทำให้ในเวลากลางคืนชั้น D จะหายไป ดังแสดงในรูป 2.8

ชั้น E อยู่สูงขึ้นจากชั้น D โดยอยู่ที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร ด้วยความหนาประมาณ 25 กิโลเมตร ซึ่งชั้น E นี้จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับการสะท้อนของคลื่น HF ในเวลากลางวันและก็จะหายไปในเวลากลางคืนเช่นเดียวกับชั้น D

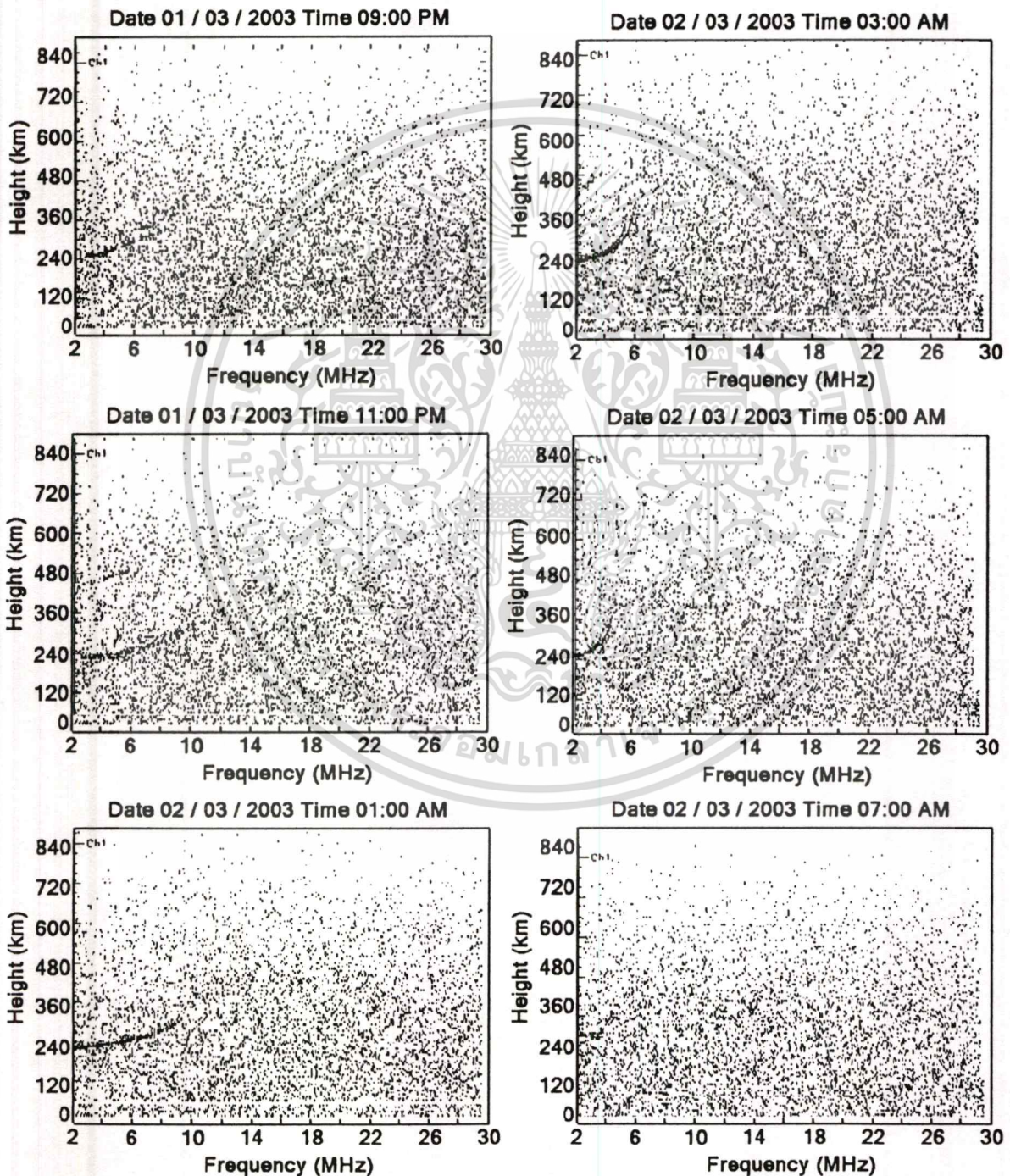
ชั้น F1 จะอยู่ที่ความสูงประมาณ 200 กิโลเมตรในเวลากลางวัน ด้วยความหนาประมาณ 20 กิโลเมตร ซึ่งคลื่นในย่านความถี่ HF บางส่วนอาจถูกสะท้อนจากชั้นนี้ แต่ส่วนมากจะผ่านไปเพื่อสะท้อนกับชั้น F2

ชั้น F2 เป็นชั้นที่มีความสำคัญมากในการเป็นตัวกลางสะท้อนคลื่น HF ด้วยความสูง 250 – 400 กิโลเมตรในเวลากลางวัน โดยอาจมีความหนาในบางครั้งสูงถึง 100 กิโลเมตร [9] ส่วนในเวลากลางคืนความสูงจะลดลงมาที่ระดับประมาณ 300 กิโลเมตรซึ่งจะรวมกับชั้น F1 กลายเป็นชั้น F โดยความสูงและความหนาแน่นของชั้น F2 นี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมาโดยจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น เวลา อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศ และรอบวัฏจักรสุริยะ (Solar Cycle) เป็นต้น

2.3 การปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศ

เป็นที่แน่ชัดว่าชั้น F ที่ปรากฏเวลากลางคืนไม่เหมือนกับชั้นอื่นๆ สิ่งนี้เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น ชั้นนี้เป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดถึงแม้ว่าจะไม่มีแสงอาทิตย์ที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาไอโอไนส (Photo Ionization รูปที่ 2.5) แล้วก็ตาม แต่ก็ยังคงปรากฏชั้น F ในเวลากลางคืนซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่มากจนกระทั่งปฏิกิริยาการกลับคืนสู่สภาวะเดิม (Recombination รูปที่ 2.6) นั้นไม่สามารถทำให้อิเล็กตรอนเหล่านี้หมดไปได้เหมือน ชั้น D และชั้น E จึงส่งผลให้ชั้น F ในเวลากลางคืนหลงเหลือกลุ่มอิเล็กตรอนที่มีขนาดแตกต่างกันไปเรามักเรียกกลุ่มอิเล็กตรอนนี้ว่า Plasma Bubble หรือ กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน (Irregularities) ซึ่งกลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้เป็นสาเหตุให้คลื่นระนาบของสัญญาณดาวเทียม (Plane Wave) ในรูปที่ 2.1 เดินทางด้วยความเร็วไม่เท่ากันและเมื่อสัญญาณเหล่านี้มาถึงเครื่องรับก็จะเกิดการแทรกสอดของสัญญาณทำให้ช่วงที่สัญญาณมีเฟสตรงกัน (In-Phase) ก็จะมีระดับกำลังงานสูงขึ้นหรือลดลง ซึ่งผลกระทบเหล่านี้มีสาเหตุมาจากลักษณะภายในของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลาการคืนดังที่กล่าวมาแล้ว

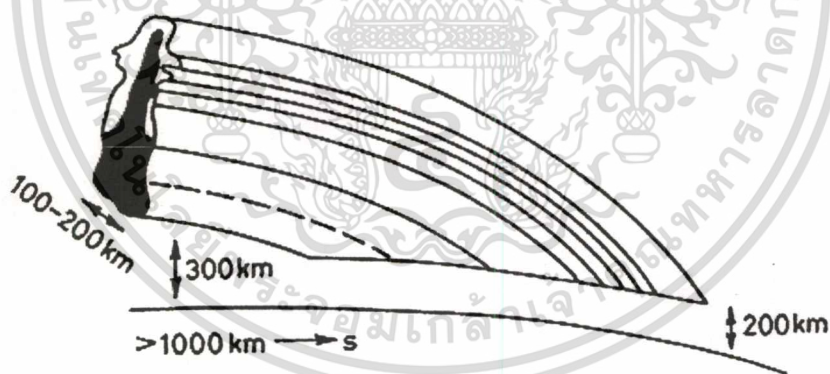
เพื่อแสดงให้เห็นถึงการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเอาข้อมูลจริงจากการวัดระดับความสูงของชั้นบรรยากาศด้วยวิธีที่เรียกว่า Ionosonde [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.9 มาอธิบายให้เห็นการปรากฏและหายไปของชั้นบรรยากาศในประเทศไทยโดยซึ่งสามารถเห็นได้ว่าชั้น F จะปรากฏขึ้นในเวลาหลังจากพระอาทิตย์ตกดินไปแล้ว และหายไปในช่วงเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้น ซึ่งช่วงเวลาเหล่านี้จะสอดคล้องกับการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ได้ในงานวิจัยโดยจะอธิบายอีกครั้งในบทที่ 3



รูปที่ 2.9 แสดงการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน (Irregularities)

กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนจะรบกวนสัญญาณดาวเทียมในเวลาเคลื่อนที่ผ่านแนวการสื่อสาร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำความเข้าใจลักษณะทางกายภาพของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนนี้ โดย (Aarons.1982) ได้แสดงให้เห็นว่ากลุ่มอิเล็กตรอนที่มีขนาดเล็ก (Small-Scale) หลายๆ กลุ่ม จะรวมตัวกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน (Large-Scale Patches) เมื่อเคลื่อนที่ขวางเส้นทางการเดินทางของคลื่นก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณดาวเทียมแล้วส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม โดยกลุ่มอิเล็กตรอนนี้เริ่มเกิดขึ้นหลังจากพระอาทิตย์ตกดินไปแล้วโดยกระบวนการเกิดได้อธิบายอยู่ในหัวข้อ 2.2 ด้วยเหตุผลนี้ทำให้ช่วงที่วัฏจักรสุริยะมีค่าสูงสุด (Solar Maximum) นั้นส่งผลให้ความหนาแน่นอิเล็กตรอนในเวลากลางวันมากจึงเกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนในเวลากลางคืนมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งกลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้จะเคลื่อนที่ตัดผ่านเส้นทางการเดินทางของคลื่นในระยะเวลา 20 นาทีถึงหลายชั่วโมง โดยลักษณะของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนนี้มีลักษณะเหมือนกล้วย หรือกลีบส้ม ดังแสดงรูปที่ 2.10 มีขนาดในทิศตะวันออกถึงทิศตะวันตก 100 - 200 กิโลเมตร มีความหนาประมาณ 50 กิโลเมตร และมีขนาดจากทิศเหนือถึงทิศใต้มากกว่า 1000 กิโลเมตร



รูปที่ 2.10 แสดงภาพ 3 มิติของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน

คุณลักษณะของการเกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนและการสลายตัว (Decay) รวมถึงลักษณะการเคลื่อนที่ที่สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. กลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้เกิดขึ้นหลังจากพระอาทิตย์ตกโดยแผ่กว้างไปทางทิศตะวันตก โดยมีขนาดจากทิศตะวันออกถึงทิศตะวันตกประมาณ 100 กิโลเมตรถึงหลายร้อยกิโลเมตร และมีความหนาประมาณ 50 กิโลเมตรถึงหลายร้อยกิโลเมตร อยู่สูงจากพื้นดิน 225 - 450 กิโลเมตร

2. กลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้จะลอยไปในทิศตะวันออกด้วยความเร็วจาก 100-200 เมตรต่อวินาที และภายหลังเที่ยงคืนการเคลื่อนที่ของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะหยุดลงและเคลื่อนที่กลับไปในทิศตะวันตก

3. กลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะมีอยู่ประมาณ 2 ชั่วโมงหรือบางครั้งอาจพบได้ถึง 8 ชั่วโมงโดยการวัดเวลานี้ใช้วิธีการศึกษาจากสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ตามการศึกษาผลกระทบจากสัญญาณดาวเทียมในช่วงวัฏจักรสุริยะต่ำและไม่รุนแรง (Low Sunspot Activity) กลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะสลายตัวภายหลังเที่ยงคืนในช่วงประมาณ 1 ชั่วโมง

การสื่อสารผ่านดาวเทียมทั่วไปมีข้อจำกัดเรื่องบริเวณเฟรสเนลที่ไม่ควรมีวัตถุใดเข้าไปกีดขวางบริเวณนี้ แต่การเคลื่อนตัวของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณเฟรสเนลดังกล่าว การศึกษาผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมจากปรากฏการณ์นี้จำเป็นต้องพิจารณารัศมีเฟรสเนลร่วมด้วย โดยรายละเอียดและที่มาของขอบเขตเฟรสเนลจะอธิบายอยู่ในหนังสือวิศวกรรมไมโครเวฟ[12] ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะอธิบายเพียงพอเข้าใจเท่านั้น โดยขอบเขตเฟรสเนลนี้ก็คือพื้นที่ในแนวการสื่อสารโดยมีระยะห่างจากสถานีส่งเป็น d_T และมีระยะห่างจากสถานีรับเป็น d_R โดยระยะห่างระหว่างสถานีส่งและรับกำหนดเป็น $d = d_T + d_R$ ดังนั้นเราจะได้รับรัศมีของเฟรสเนลลำดับที่หนึ่ง F_1 เป็นไปตามสมการ

$$F_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_T d_R}{d}} \quad (2.1)$$

แต่ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมระยะทาง d_T มีความยาวมากเมื่อเทียบกับระยะ d_R ดังนั้นรัศมีเขตเฟรสเนลลำดับที่หนึ่งจะพิจารณาเฉพาะระยะห่างจากสถานีรับ d_R โดยเขียนเป็นได้เป็นสมการ

$$F_1 = \sqrt{\lambda d_R} \quad (2.2)$$

บริเวณของเขตเฟรสเนลจะมีลักษณะเป็นวงกลมเมื่อมองในภาคตัดขวางและมีพื้นที่เป็น πF_1^2 ดังนั้นถ้ากลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนมีขนาดเป็น L แล้ว เมื่อพิจารณากรณีที่มีขนาดของกลุ่มอิเล็กตรอนมีขนาดเท่ากับบริเวณเฟรสเนล ($L = F_1$) และความสูงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมออยู่ที่ความสูงเท่ากับ z เหนือสถานีรับ โดยเมื่อเราเปลี่ยนสัญลักษณ์จากสมการ (2.2) จะได้เป็น

$$L = \sqrt{\lambda z} \quad (2.3)$$

ดังนั้นเราสามารถหาความสูงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอได้จากสมการ

$$z = \frac{L^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีหลักพื้นฐานมาจากการพิจารณาการกระจาย(Scatter) ของคลื่นในชั้นบรรยากาศเนื่องจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนที่เป็นรูปร่างรีที่มีขนาดเท่ากับ L โดยที่ขนาดของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้จะมีผลกระทบมากที่สุดก็ต่อเมื่อมีขนาดเท่ากับบริเวณขอบเขตเฟสเนลลำดับที่หนึ่ง ในกรณีที่มีขนาดเล็กกว่านี้ผลกระทบจะน้อยลงแต่ถ้าขนาดใหญ่กว่านี้ก็จะส่งผลกับบริเวณเฟสเนลลำดับที่มากขึ้น (F_2, F_3, F_4) ซึ่งอาจจะทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้ลดต่ำลงในลักษณะที่เป็นการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation) มากกว่า

ถ้าให้กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนเป็น ΔN_e ซึ่งก็คือค่าความเบี่ยงเบนของความหนาแน่นกลุ่มอิเล็กตรอน และความเบี่ยงเบนของค่าดรรชนีหักเห Δn จะสามารถหาได้จากสมการ

$$\Delta n = -40.3 \frac{\Delta N_e}{f^2} \quad (2.5)$$

ดังนั้นค่ากำลังสองเฉลี่ยของสมการ (2.5) จะได้

$$\overline{(\Delta n)^2} = 1.624 \times 10^3 \frac{\Delta N_e}{f^4} \quad (2.6)$$

สมการ (2.6) สามารถเขียนในอีกรูปแบบคือ

$$\frac{\overline{(\Delta n)^2}}{n} = \frac{1}{4\pi^2} r_e^2 \lambda^4 (\Delta N_e)^2 \quad (2.7)$$

โดยที่ r_e คือ รัศมีของอิเล็กตรอน (Electron Radius) (2.82×10^{-15} เมตร) ค่าเบี่ยงเบนเฟส (Phase Deviation) $\Delta \phi$ ของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอหนึ่งกลุ่มที่มีขนาด L คือ

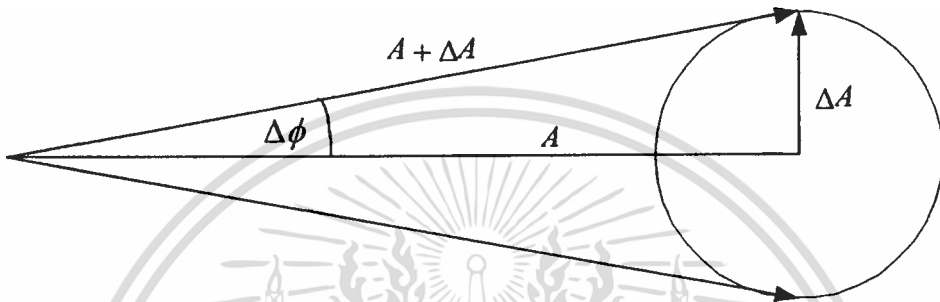
$$\Delta \phi = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)(L \Delta n) \quad (2.8)$$

โดยที่ $2\pi/\lambda$ เป็นค่าคงที่เฟส (Phase Constant) ถ้าเราพิจารณาความหนาของชั้น D ผลรวมของค่าเฉลี่ยกำลังสองของการเปลี่ยนแปลงเฟสที่ชั้นความหนา D และมุมตกกระทบ θ_z (มุม Zenith) จะเป็น

$$\overline{(\Delta \phi)^2} = 4r_e^2 \lambda^2 (\Delta N_e)^2 L D \sec \theta_z \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.9) สามารถบอกได้ว่าการเปลี่ยนแปลงเฟสจะเกิดขึ้นได้ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอโดยทันที แต่การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดจะเกิดขึ้นที่ระยะไกลออกไปจากได้ชั้นความไม่สม่ำเสมอนั้น โดยระยะที่จะทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันขึ้น (h) จะมีค่าเท่ากับระยะของเฟรสเนล $z = L^2 / \lambda$ ในทางปฏิบัติถ้าระยะ $h > \pi L^2 / \lambda$ จะเริ่มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน โดยรูปที่ 2.11 แสดงเวกเตอร์ความเกี่ยวเนื่องของการเปลี่ยนแปลงเฟสและการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด



รูปที่ 2.11 เวกเตอร์ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันทางแอมพลิจูดและเฟส

จากรูปที่ 2.11 $(\Delta A)^2 = (\Delta\phi)^2 A^2$ ดังนั้นจะได้

$$\left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2 = (\Delta\phi)^2 \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.10) บอกให้ทราบว่าความรุนแรงของปรากฏการณ์นี้จะมีค่ามากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากความสูงของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอถึงสถานีรับ แต่การเปลี่ยนแปลงทางเฟสนั้นจะเกิดขึ้นได้ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอทันที โดยที่ผลรวมของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เครื่องรับภาคพื้นดินจะเป็นการรวมกันขององค์ประกอบของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ถูกบกรวนและที่ไม่ถูกบกรวนอันเนื่องมาจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน กลไกที่ทำให้เกิดความแปรปรวนในความเข้มสนามไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากการตกกระทบของสนามไฟฟ้า เนื่องจากกระแสเหล่านี้มีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณรอบข้าง ดังนั้นกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนนี้จะเปรียบเสมือนสายอากาศที่มีรูปแบบการแพร่กระจายเป็นรูปกรวยโดยความกว้างลำบีมประมาณเท่ากับ λ/L ที่ระยะ d จากจุดสังเกตด้านล้างของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ โดยที่ $d \ll z$ และ z คือ ระยะเฟรสเนล (Fresnel Distance) จะมีเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของเฟสและการทับซ้อนของลำคลื่นเพียงจุดเดียว แต่สำหรับระยะทางไกลออกไป พื้นที่ของกรวยลำคลื่นจะทับซ้อนกันมากขึ้น และกลายเป็นเงื่อนไขของการบกรวนซึ่งก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

การประมาณของ Rytov ทฤษฎีการจำลองการเลี้ยวเบนของคลื่นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีอยู่หลายทฤษฎี โดยทฤษฎีที่สมบูรณ์สำหรับทุกเงื่อนไขนั้นยังไม่มี ในการหาคำตอบของสมการคลื่นนั้นจึงใช้ลักษณะการประมาณโดยกำหนดเงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป ภายใต้สมมุติฐานที่ว่า (1) ชั้นของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนมีความหนาแน่นน้อยมากเมื่อเทียบกับระยะทางที่คลื่นเดินทางไปยังเครื่องรับ (2) คาบของการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะช้ากว่าคาบเวลาของคลื่น และ (3) ขนาดของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น จากสมการคลื่นสเกลาร์ (Scalar Wave Equation) สมการการแพร่กระจายคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะเป็นดังสมการ

$$(\nabla^2 + k_0^2 n^2) U(\vec{r}) = 0 \quad (2.11)$$

โดย U จะแสดงถึงองค์ประกอบของความเข้มสนามไฟฟ้า $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ และ n คือ ดรรชนีหักเหของคลื่น ปริมาณสเกลาร์ U จะแสดงอยู่ในรูปเวกเตอร์ตำแหน่ง r ในกรณีที่มีการกระจายกระจายเกิดไม่รุนแรง การประมาณของ Rytov ในการหาคำตอบของสมการจะหาได้โดยกำหนดให้

$$U(\vec{r}) = U_0(\vec{r}) e^{\psi(\vec{r})} \quad (2.12)$$

โดยที่ $U(\vec{r})$ คือ องค์ประกอบของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่ปราศจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ โดย U_0 เป็นค่าเฉลี่ยของ $U(\vec{r})$ หรือ $U_0 = \langle U \rangle$ โดยทั่วไปแล้วฟังก์ชัน $\psi(\vec{r})$ จะเป็นจำนวนเชิงซ้อนซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\psi(\vec{r}) = X + jS \quad (2.13)$$

ค่า U และ U_0 สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของแอมพลิจูด A, A_0 และ ϕ, ϕ_0 ได้โดย

$$U(\vec{r}) = A e^{j\phi} \quad (2.14)$$

$$U_0(\vec{r}) = A_0 e^{j\phi_0} \quad (2.15)$$

ดังนั้นทำให้ได้ค่า X และ S ในสมการ (2.13) เป็น

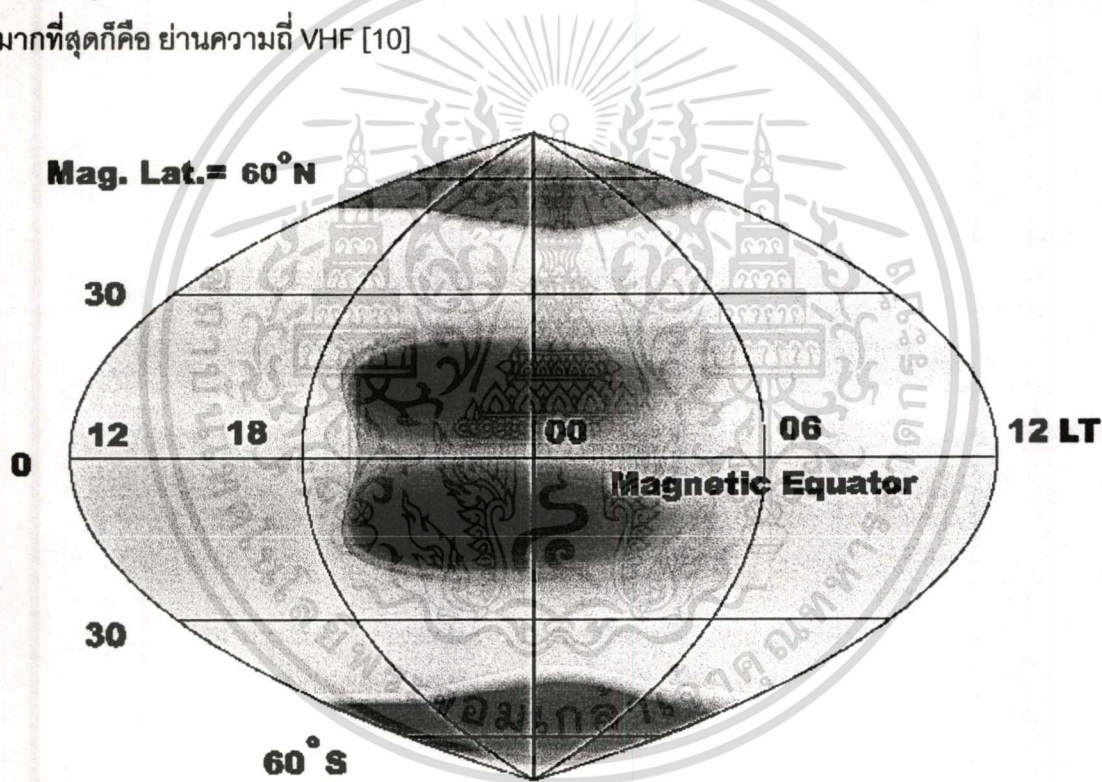
$$X = \ln \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad (2.16)$$

$$S = \phi - \phi_0 \quad (2.17)$$

ส่วนจริง X ของตัวแปร $\psi(\vec{r})$ จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าแอมพลิจูดเชิงลอการิทึมของ A ดังนั้นจึงเรียกค่า X ว่า การเปลี่ยนแปลงของล็อกแอมพลิจูด ส่วนจินตภาพ S ของ $\psi(\vec{r})$ แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงทางเฟส

2.5 ความสัมพันธ์ของตำแหน่งและช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้มีความสัมพันธ์กับแต่ละตำแหน่งบนโลกและช่วงเวลาที่เกิดแตกต่างกัน โดยหลายงานวิจัยสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆคือ บริเวณขั้วโลก และ บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ($\pm 20^\circ$) ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันหลังจากเวลา 18:00 น และสิ้นสุดลงที่เวลาประมาณ 06:00 น โดยความถี่ที่มีผลกระทบกับการเกิดปรากฏการณ์บริเวณนี้มากที่สุดก็คือ ย่านความถี่ VHF [10]



รูปที่ 2.12 แสดงบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมากที่สุด

2.6 ดรรชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (S4 Index)

ค่าที่แสดงถึงระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่นิยมใช้กันมาก คือ การอ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของระดับสัญญาณที่รับได้ (Peak-to-peak) แต่เนื่องจากค่านี้ไม่เหมาะกับการอธิบายความรุนแรงที่เกิดเป็นช่วงเวลาและเป็นตัวแปรสุ่มจึงมีการกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการหาที่ละเอียดยิ่งขึ้นที่เรียกว่า ดรรชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Scintillation Index) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้ คือ

2.6.1 ดรรชนี SI (SI Index)

ค่าดรรชนี SI เป็นการประมาณค่าความเข้มของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่ง่าย ๆ โดยมักใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันดับหนึ่ง (First-Order Analysis) กำหนดโดยสมการที่ (2.1) [1]

$$SI = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \quad (2.18)$$

โดยที่ P แทนค่ากำลังของสัญญาณในหน่วยเดซิเบล (dB) และเพื่อหลีกเลี่ยงสภาวะปรากฏการณ์ที่เกินจริง จึงพิจารณาค่ายอดที่สามจากค่าสูงสุดและต่ำสุด

P_{\max} คือ ระดับกำลังของค่ายอดที่สามจากค่ายอดที่สูงสุดในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนด

P_{\min} คือ ระดับกำลังของค่ายอดที่สามจากค่ายอดที่ต่ำสุดในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนด

2.6.2 ดรรชนี S_4

Briggs และ Parkin (1963) ได้นำเสนอชุดของดรรชนีในเทอมของ S_1 , S_2 , S_3 และ S_4 โดยเฉพาะดรรชนี S_4 เป็นดรรชนีซึ่งมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาโดยสามารถหาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของกำลังสัญญาณที่รับได้หารด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) ของกำลังสัญญาณนั้นในหน่วยวัตต์ดังแสดงในสมการ (2.2)

$$S_4 = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (2.19)$$

โดยที่ σ_x คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

m_x คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Mean Value)

โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถหาได้จากสมการ (2.3) และสมการ (2.4) ตามลำดับ

$$m_x = \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.20)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.21)$$

โดยที่ x_i คือ ระดับสัญญาณที่รับได้ (Receive Signal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ในดรรชนี S_4 สามารถคำนวณได้โดยทำการเฉลี่ยสัญญาณในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งค่าดรรชนี S_4 ที่เท่ากับ 0.5 [1] จะเป็นตัวแบ่งระหว่างการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ไม่รุนแรง (Weak Scintillation) กับการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรง (Strong Scintillation) ซึ่งบางครั้งค่าดรรชนี S_4 อาจมากกว่า 1 ก็ได้

2.7 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันโดยเริ่มจากการอธิบายลักษณะการเดินทางของสัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่ปรากฏการณ์นี้ทำให้คุณภาพของการสื่อสารลดลงโดยแสดงภาพถ่ายจากดาวเทียม GPS-5 ซึ่งเป็นดาวเทียมสำรวจสภาพอากาศ ส่วนถัดมาอธิบายถึงโครงสร้างภายในรวมถึงปฏิกิริยาที่เป็นกระบวนการทำให้เกิดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เป็นสาเหตุหลักของปรากฏการณ์นี้ โดยปฏิกิริยาที่สำคัญมี 2 ส่วนคือปฏิกิริยาการไอโอไนสจากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศและปฏิกิริยาที่สองคือการกลับคืนสู่สภาวะเดิมซึ่งทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนหมดไป ดังนั้นถ้าอิเล็กตรอนมีความหนาแน่นมากก็จะทำให้ปฏิกิริยาที่สองไม่สามารถทำให้หมดไปได้จึงหลงเหลือกลุ่มอิเล็กตรอนอยู่ในเวลากลางคืนซึ่งเป็นสาเหตุให้สัญญาณดาวเทียมที่เดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนนี้เปลี่ยนแปลงความเร็วและเมื่อมาถึงสถานีรับจะทำให้สัญญาณเกิดการแทรกสอดกันซึ่งเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางคืนนั่นเอง ในส่วนท้ายอธิบายถึงวิธีบอกระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์นี้ซึ่งโดยปกติเรามักใช้ค่า Peak-to-peak ในการบอกระดับความรุนแรงของสัญญาณ แต่นั่นไม่เหมาะกับการบอกระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ที่เกิดเป็นช่วงเวลา โดยวิธีที่เหมาะสมกับการบอกความรุนแรงของปรากฏการณ์นี้เราที่เรียกว่าดรรชนีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (S_4 index)

บทที่ 3

การทดลองและผลการทดลอง

3.1 บทนำ

ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม FLTSATCOM (Fleet Satellite Communication System) ที่ใช้ความถี่ 244.165 MHz ในย่าน VHF โคจรอยู่ ณ ตำแหน่ง 71 องศาตะวันออกเหนือมหาสมุทรอินเดียซึ่งเป็นดาวเทียมชนิดอยู่กับที่ (Stationary orbit) ใช้งานทางด้านการทหารของกองทัพบกสหรัฐ และทำการติดตั้งจานสายอากาศรับแบบ Yagi Antenna ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยทำการวัดข้อมูลตลอด 24 ชม อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือน ตุลาคม ปี 2546 จนถึงปัจจุบัน

3.2 รายละเอียดอุปกรณ์

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของระบบการทดลอง

ชื่อดาวเทียม	FLTSATCOM
ตำแหน่งดาวเทียม	71 °E
ความถี่ที่ใช้งาน	244.165 MHz
โพลาริเซชัน	RHPC
ตำแหน่งสายอากาศรับ	100.8 ° E , 13.7 ° N
มุมเงย (Elevation angle)	52.15 °
มุมอะซิมูท (Azimuth angle)	247.53 °
ชนิดจานสายอากาศ	Yagi Antenna 10 Element
อัตราขยายสายอากาศ	13.2 dBi

อุปกรณ์ในการทดลองมีลักษณะการเชื่อมต่อดังรูป 3.1 โดยนำสัญญาณจากภาค AGC (Automatic Gain Control) ของเครื่องรับซึ่งเก็บบันทึกเป็นระดับแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า (Voltage) มาใช้งาน แต่ในการวิเคราะห์ระดับสัญญาณเราพิจารณากำลังสัญญาณในหน่วย เดซิเบล (dB) เป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องทำการปรับเทียบค่า (Calibrate) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกำลังสัญญาณ โดยสมการที่ใช้ปรับเทียบค่าคือ สมการการประมาณค่า (Interpolation) ซึ่งแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLTSATCOM

Frequency 244.165 MHz



71°E



Yagi Antenna



VHF Receiver



Computer Analyzer



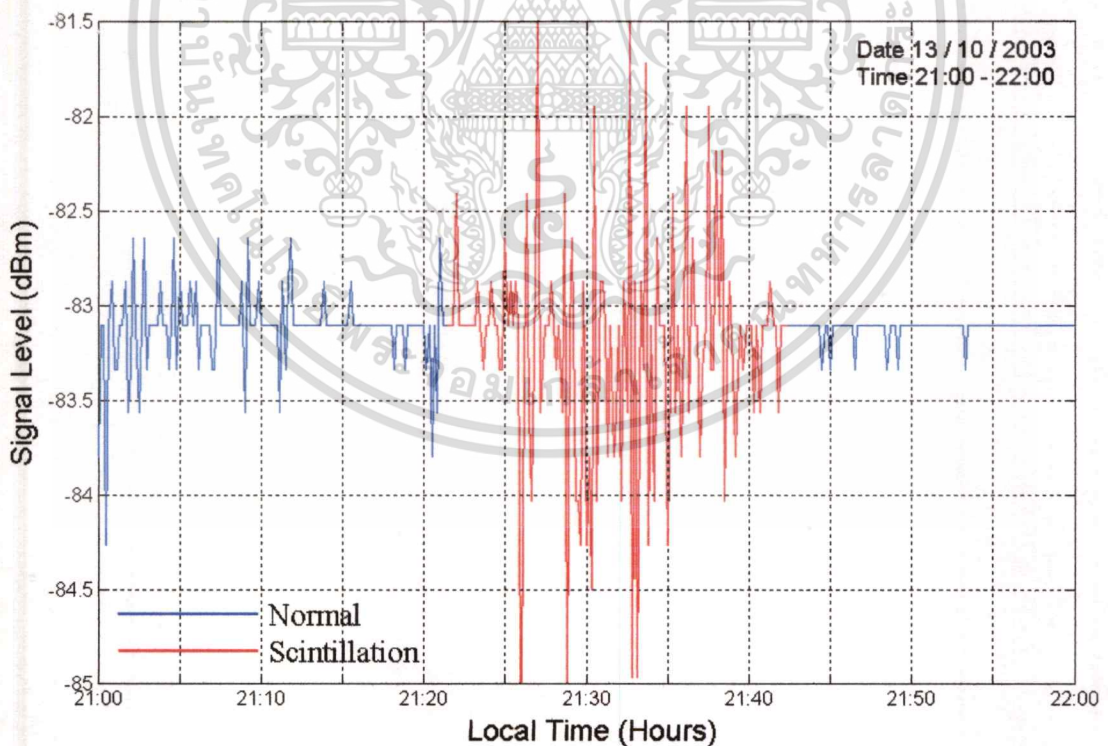
Data Recorder

รูปที่ 3.1 ลักษณะการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

การนับจำนวนครั้งการเกิด (Occurrence Number) ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาเมื่อระดับกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.5 dB ขึ้นไปและต่อเนื่องกันตลอด 5 นาที เนื่องจากปกติแล้วระดับสัญญาณดาวเทียมจะมีระดับการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือน้อยลงอยู่ในช่วง 0 - 0.5 dB ซึ่งถือว่าเป็นระดับปกติ โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นชั้นบรรยากาศหลายชั้น รวมถึงการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเคลื่อนตัวของดาวเทียมเองด้วย [9] ดังนั้นหลักการนับจำนวนครั้งการเกิดจะพิจารณาจากลักษณะสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงดังที่กำหนดไว้ข้างต้น นับเป็นการเกิด 1 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นสัญญาณดาวเทียมในวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ในช่วงเวลา 21:00 – 22:00 น. โดยในช่วง 20 นาทีแรกนั้นสัญญาณยังอยู่ในระดับปกติคือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.5 dB แต่หลังจากเวลา 21.20 ระดับสัญญาณเพิ่มขึ้นเกิน 0.5 dB และเกิดอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 21.43 ซึ่งรวมเวลาการเกิดทั้งหมดประมาณ 20 นาที หลังจากนั้นระดับสัญญาณจึงกลับสู่ระดับปกติ โดยเมื่อพิจารณาหลักการนับจำนวนครั้งตามที่กล่าวมาแล้ว สัญญาณดาวเทียมในรูป 3.2 นี้จะมีการเกิดการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดทั้งหมด 4 ครั้ง

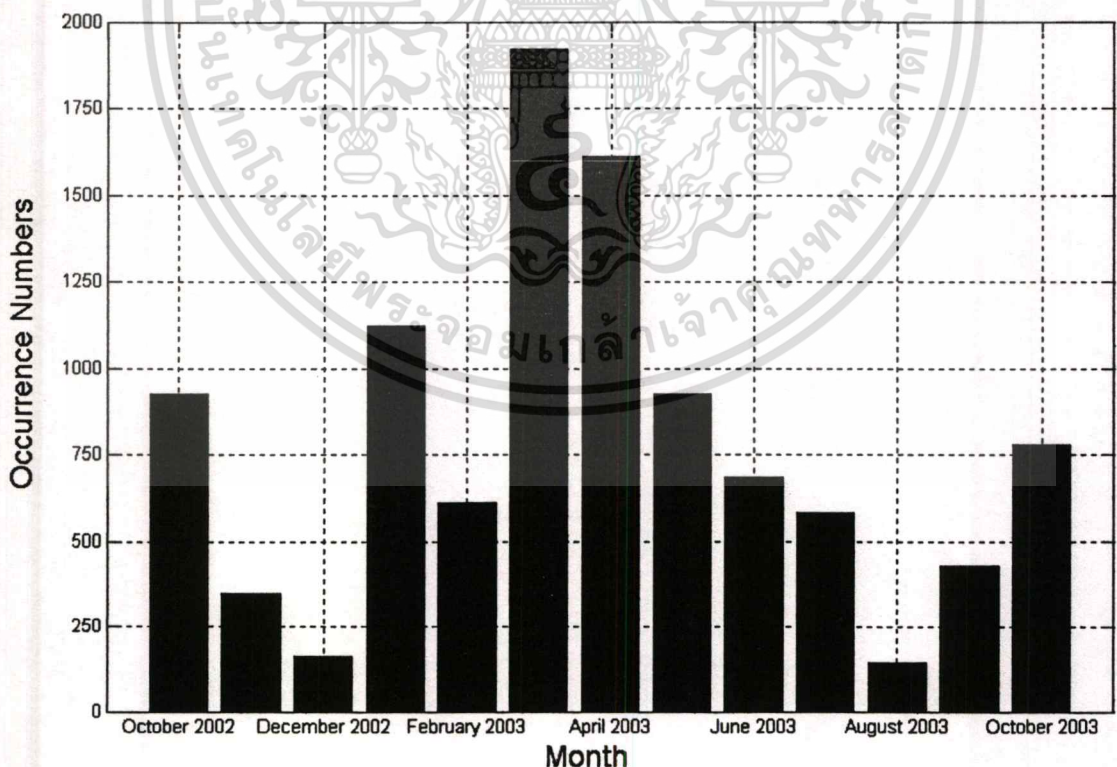


รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการนำจำนวนครั้งการเกิดของปรากฏการณ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ผลการทดลองและการเปลี่ยนแปลงตามเวลากับฤดูกาล

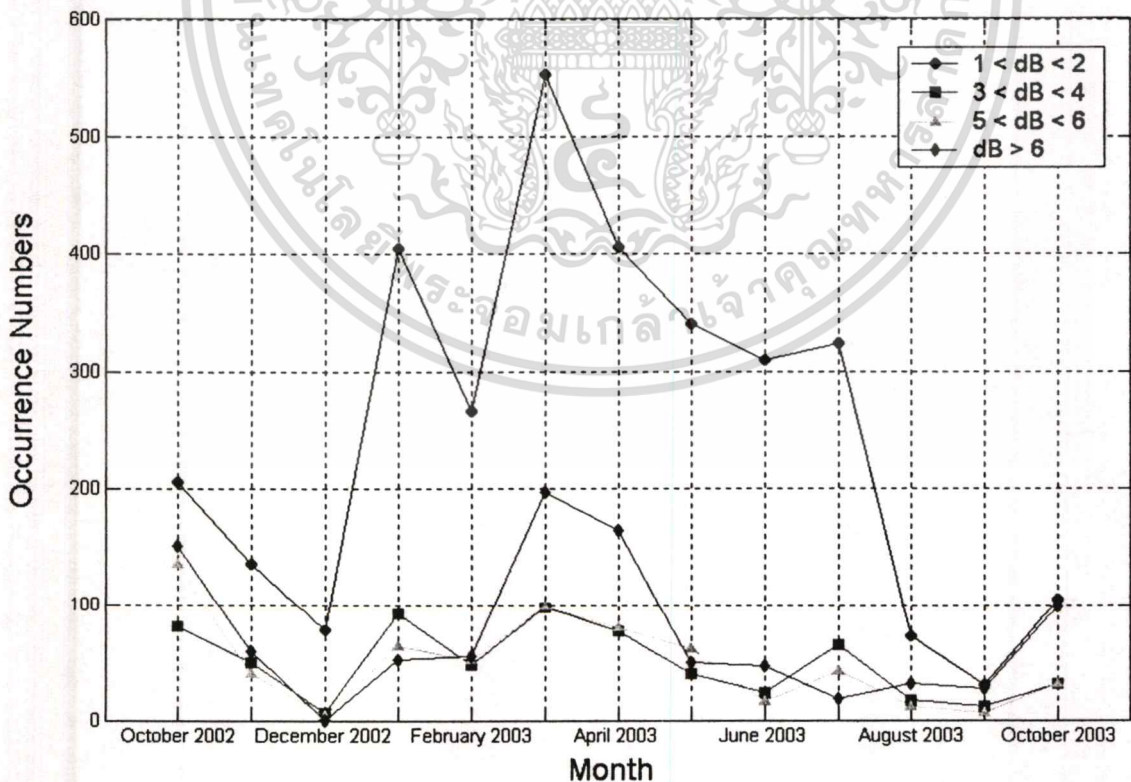
จากผลการทดลองการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในย่าน VHF โดยทำการทดลองตั้งแต่เดือน ตุลาคม ปี พ.ศ. 2545 จนถึงเดือน ตุลาคม ปี พ.ศ. 2546 มีจำนวนครั้งการเกิดทั้งหมด 10,305 ครั้ง ซึ่งเดือนที่เกิดมากที่สุดในรอบปี คือเดือน มีนาคม เป็นจำนวน 1,921 ครั้ง และเดือนที่เกิดน้อยที่สุดคือ สิงหาคม โดยเกิดขึ้นจำนวน 143 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งจำนวนครั้งการเกิดที่มากหรือน้อยนี้จะสอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ส่งผลกับโลกโดยแสงอาทิตย์นี้จะส่งผลให้มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศมากขึ้น(ดังที่อธิบายในบทที่ 2) ดังนั้นในช่วงฤดูร้อนซึ่งเป็นช่วงที่โลกอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุดก็จะส่งผลให้มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนมาก ส่วนในฤดูหนาวจะมีจำนวนครั้งการเกิดน้อยกว่าฤดูร้อนเนื่องจากมีช่วงเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน แต่ในช่วงฤดูหนาวนี้ก็มีเดือนที่มีจำนวนครั้งมากที่สุดซึ่งก็คือเดือน ตุลาคม ดังนั้นแสดงว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ไม่ได้ขึ้นกับระยะทางของดวงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นกับเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทั้งสองในแต่ละวันด้วย โดยเดือน มีนาคม และ ตุลาคมนี้ อยู่ในช่วงเดือนที่มีระยะเวลาในตอนกลางวันเท่ากับกลางคืนหรือที่เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า เดือน อีควิน็อกซ์ (Equinox) ซึ่งจากหลายงานวิจัย [7],[8],[9],[10] มีผลตรงกันว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันมากที่สุดจะอยู่ในเดือนEquinoxนี้



รูปที่ 3.3 แสดงผลการนับจำนวนครั้งที่ได้จากงานวิจัยตลอด 1 ปี

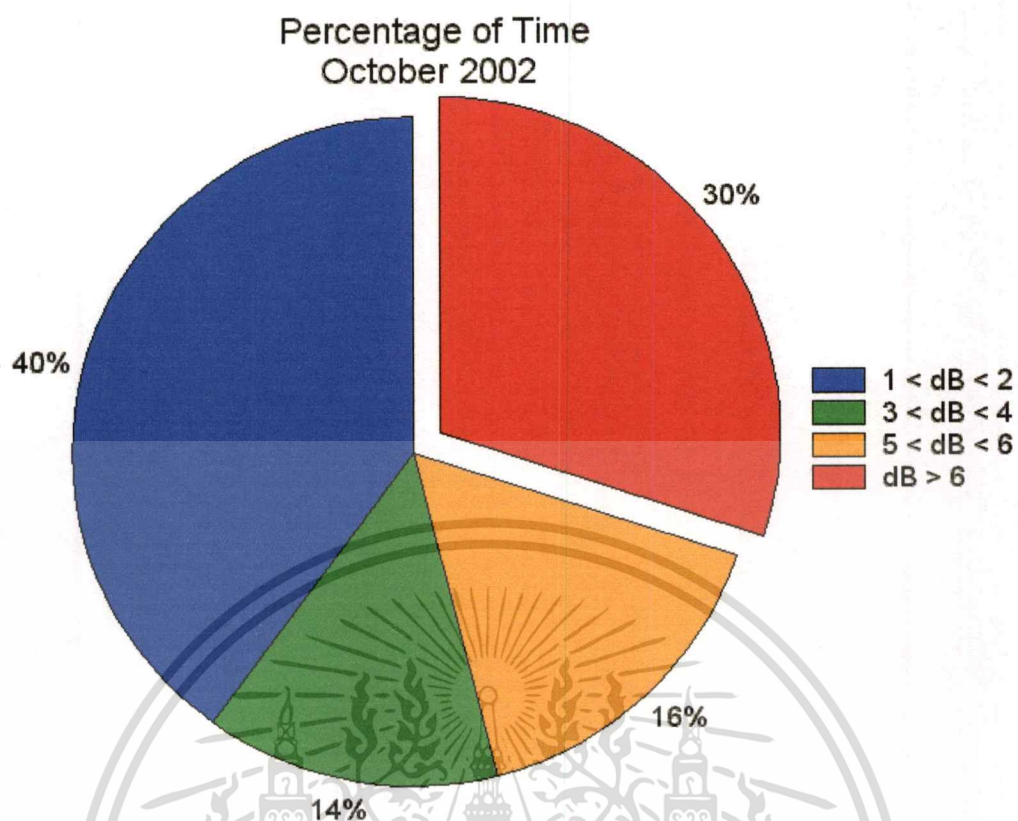
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณาระดับความรุนแรงของสัญญาณโดยแบ่งเป็น 4 ระดับดังรูปที่ 3.4 เห็นว่า ระดับความรุนแรงที่เกิดมากอยู่ในระดับ 1-2 dB ซึ่งมีจำนวนมากที่สุดในเดือน มีนาคม แต่กลับ น้อยที่สุดในเดือน กันยายน ดังนั้นการพิจารณาเฉพาะจำนวนครั้งการเกิดเพียงอย่างเดียววันนั้นอาจ ไม่เพียงพอจะสรุปความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดในรอบปีได้ จึง ต้องวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเกิดของระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งแสดงในรูป 3.5 และ 3.6 เป็นการเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดของระดับความรุนแรงต่างๆในแต่ละเดือนซึ่งแบ่งเป็น 4 ระดับ โดย ในรูปที่ 3.5 เป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545 ที่มีจำนวนครั้งการเกิด 927 ครั้งซึ่ง น้อยกว่าในรูปที่ 3.6 ที่เป็นเปอร์เซ็นต์การเกิดในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2546 ที่มีจำนวนครั้งการเกิด 1,921 ครั้ง แต่เมื่อพิจารณาระดับความรุนแรงที่มากกว่า 6 dB ซึ่งเป็นระดับที่ส่งผลกระทบต่อ สัญญาณมากที่สุดนั้นเกิดขึ้นในเดือน ตุลาคม 2545 ถึง 30 % ของช่วงเวลาทั้งหมด ในขณะที่ เดือน มีนาคม ซึ่งมีจำนวนครั้งการเกิดมากกว่ากลับมีเปอร์เซ็นต์การเกิดในระดับที่รุนแรงมีเพียง 16 % ของการเกิดทั้งหมด โดยการทดลองทั้งหมด 1 ปีสามารถสรุปลักษณะการเปลี่ยนแปลงตาม ฤดูกาลได้ว่ามีช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมากที่สุดทั้งทางด้านจำนวนครั้ง และทางด้านความรุนแรง คือเดือน มีนาคม และ ตุลาคม ตามลำดับส่วนการเปลี่ยนแปลงแอม พลิจูดอย่างกะทันหันน้อยที่สุดในรอบปีคือเดือน ธันวาคม และ สิงหาคม

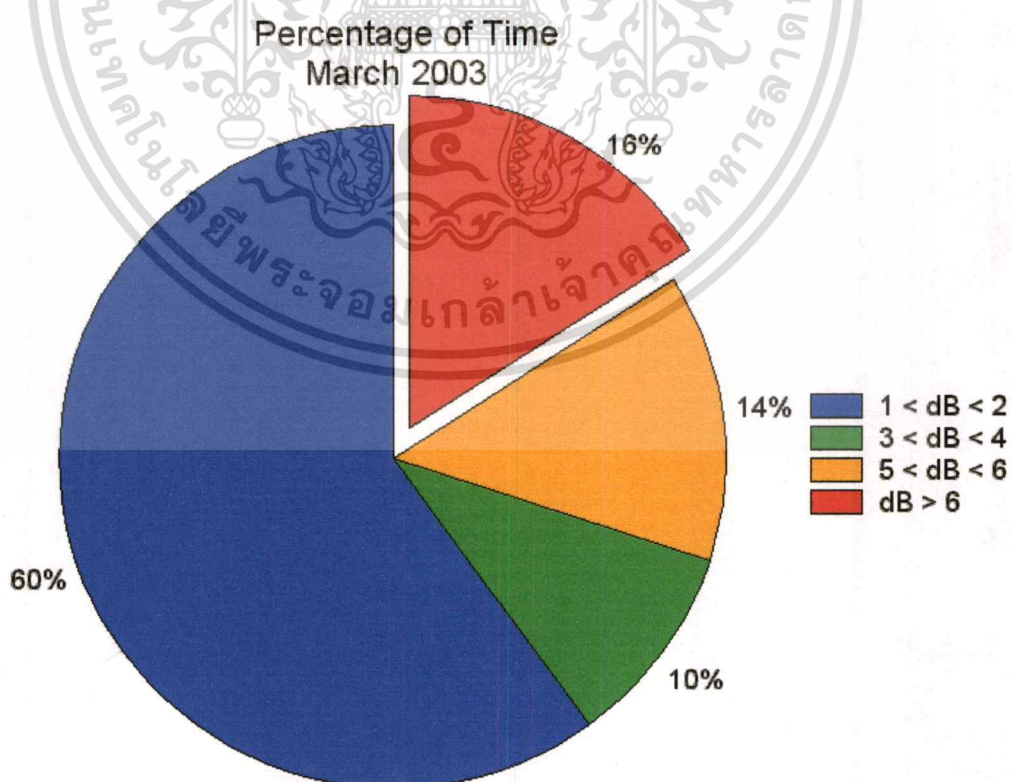


รูปที่ 3.4 แสดงระดับความรุนแรงของทุกเดือนในรอบ 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาของระดับความรุนแรงของเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545



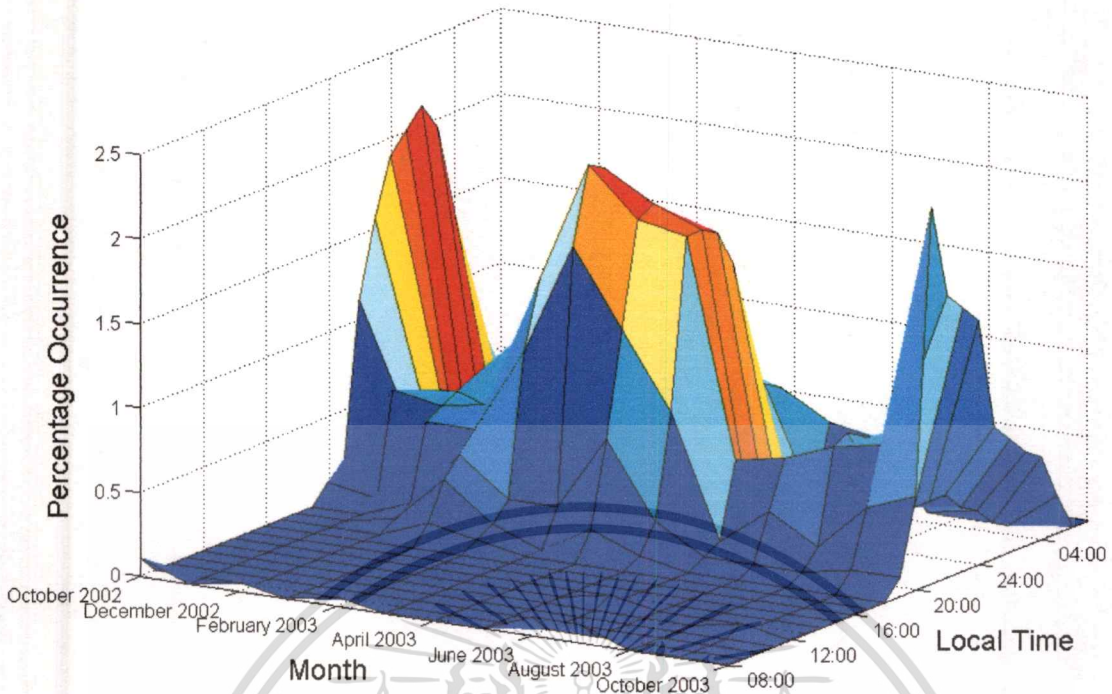
รูปที่ 3.6 แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาของระดับความรุนแรงของเดือน มีนาคม พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

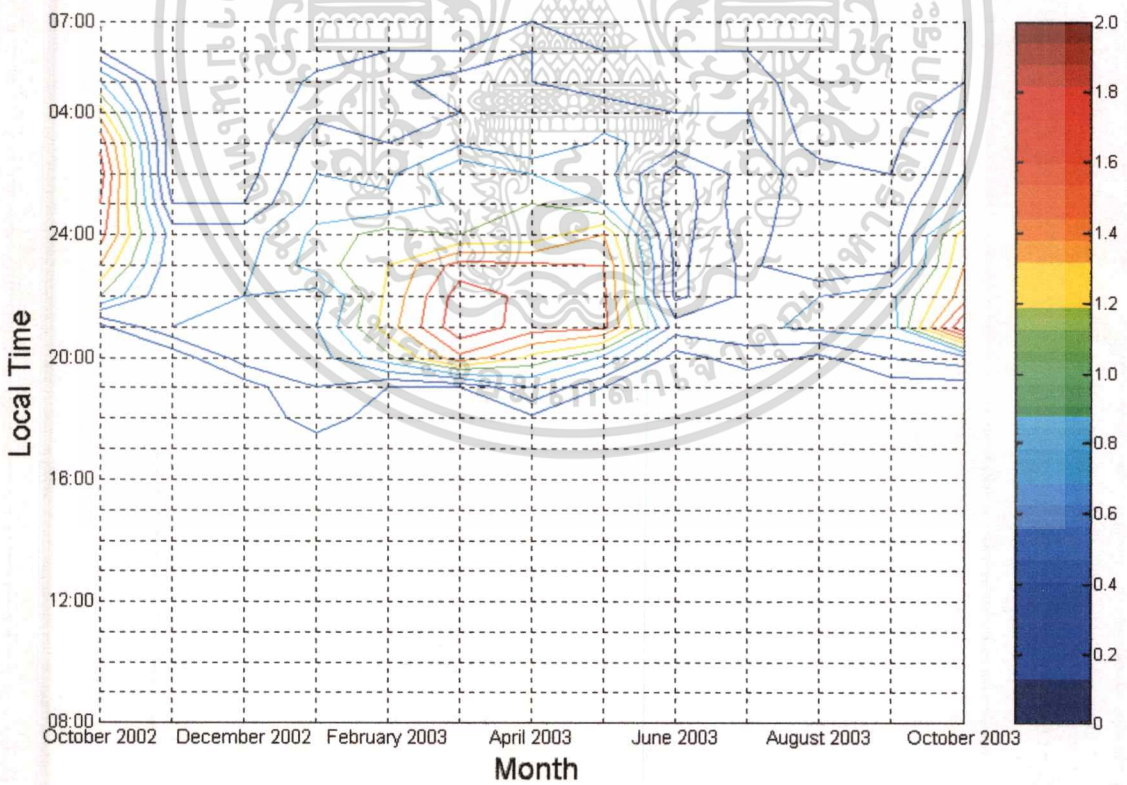
ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามเวลานั้นเมื่อพิจารณาผลการทดลองรูปที่ 3.7 แสดงให้เห็นว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในย่าน VHF นี้เกือบทั้งหมดจะเกิดหลังจากช่วงที่พระอาทิตย์ตกไปแล้วคือเวลาประมาณหลังจาก 18:00 น และเกิดอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลา 02:00 น ยิ่งถ้าเป็นเดือนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรุนแรงแล้วช่วงเวลาที่เกิดอาจเลยไปจนถึงเวลา 6:00-7:00 น โดยจะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 3.8 ในเดือน ตุลาคม และเดือน เมษายน เมื่อพิจารณาช่วงเวลากการเปลี่ยนระดับความรุนแรงจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่รวดเร็วและเพิ่มระดับความรุนแรงจากต่ำขึ้นไปจนถึงระดับสูงในช่วงเวลาไม่ถึง 1 ชม เช่น ในเดือนมีนาคม และ ตุลาคม ดังนั้นถ้าคุณสมบัติของเครื่องรับมีค่าพิสัยพลวัต (Dynamic Range) ไม่เพียงพอต่อการป้องกันการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในระดับนี้แล้ว ก็อาจส่งผลกระทบต่อข่าวสารหรือระบบอุปกรณ์ทางภาครับได้ ดังนั้นจากผลการทดลองเราจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาหลังจากพระอาทิตย์ตกซึ่งสอดคล้องกับปฏิกิริยาทั้งสองที่ได้อธิบายมาแล้ว ซึ่งช่วงเวลากการเกิดนี้ยังสัมพันธ์กับการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ด้วยดังนั้นเราสามารถสรุปได้ค่อนข้างแน่ชัดว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในเวลากลางคืนของย่านความถี่ VHF นี้เป็นผลมาจากการแทรกสอดของสัญญาณเนื่องจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนที่ตกค้างอยู่ในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

3.5 การวิเคราะห์ระดับความรุนแรง

ปัญหาเกี่ยวกับการบอกระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่บอกเป็นค่า Peak-to-peak ก็คือการเปลี่ยนแปลงระดับกำลังงานจากปรากฏการณ์นี้มักจะเกิดเป็นช่วงเวลา เช่น เกิดต่อเนื่องกันเป็นเวลา 5 - 10 นาทีขึ้นไป ดังนั้นในช่วงเวลา 10 นาทีนี้การเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสัญญาณมากน้อยเพียงใดเราไม่สามารถบอกได้จากค่า Peak-to-peak ดังเช่นรูปที่ 3.9 เป็นการแสดงสัญญาณที่จำลองขึ้นเพื่อแสดงเหตุการณ์ 2 ช่วงที่มีค่า Peak-to-Peak เท่ากัน แต่ในช่วงแรก(นาทีที่ 10 - 20) ผลการคำนวณครรชนี S4 ได้เท่ากับ 0.12 ถ้าระบบเครื่องรับสามารถระดับสัญญาณต่ำสุด(Threshold Level)ได้ประมาณ -1.5 dB ช่วงเวลานี้จะได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยเท่านั้นจากการที่สัญญาณลดลงจนเกิน -1.5 dB แต่ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาช่วงเวลาถัดไป(นาทีที่ 20-30)ผลการคำนวณค่าครรชนี S4 ได้เท่ากับ 0.23 ซึ่งมากกว่าช่วงเวลาแรก นั้นหมายความว่าถ้าเครื่องรับมีความสามารถเท่าเดิมแล้วเราจะไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ตลอดช่วงเวลา 10 นาทีที่เกิดปรากฏการณ์นี้เลย

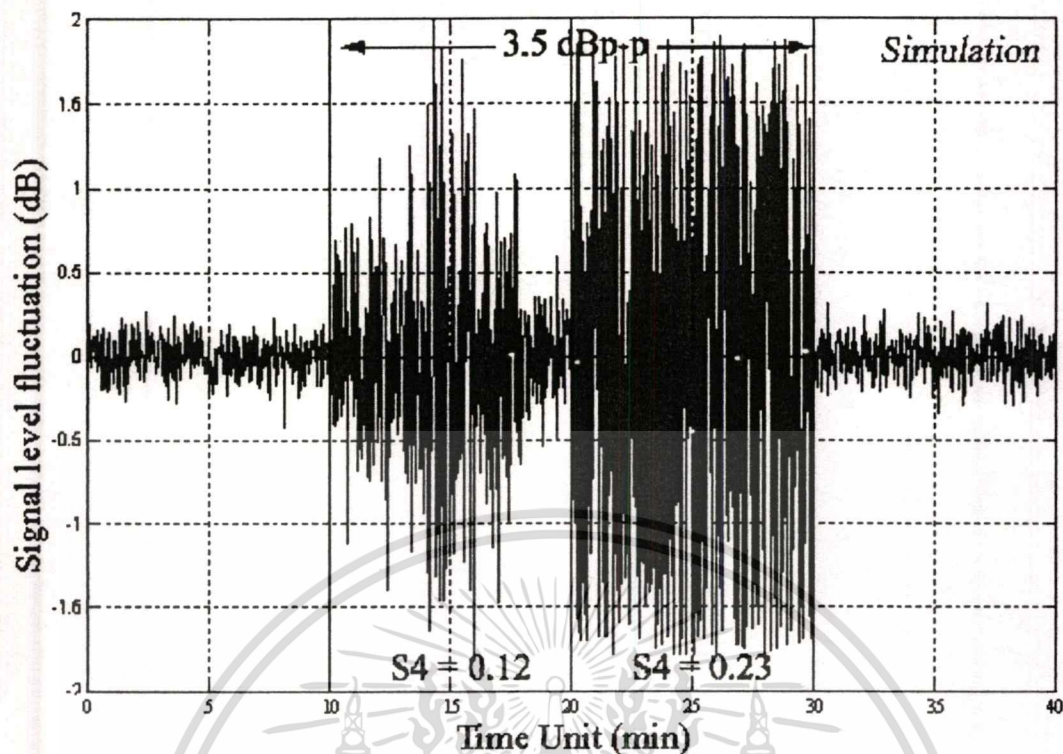


รูปที่ 3.7 แสดงช่วงเวลาและเปอร์เซ็นต์การเกิดของเหตุการณ์ทั้งหมด



รูปที่ 3.8 แสดงเส้นโครงร่างของช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์

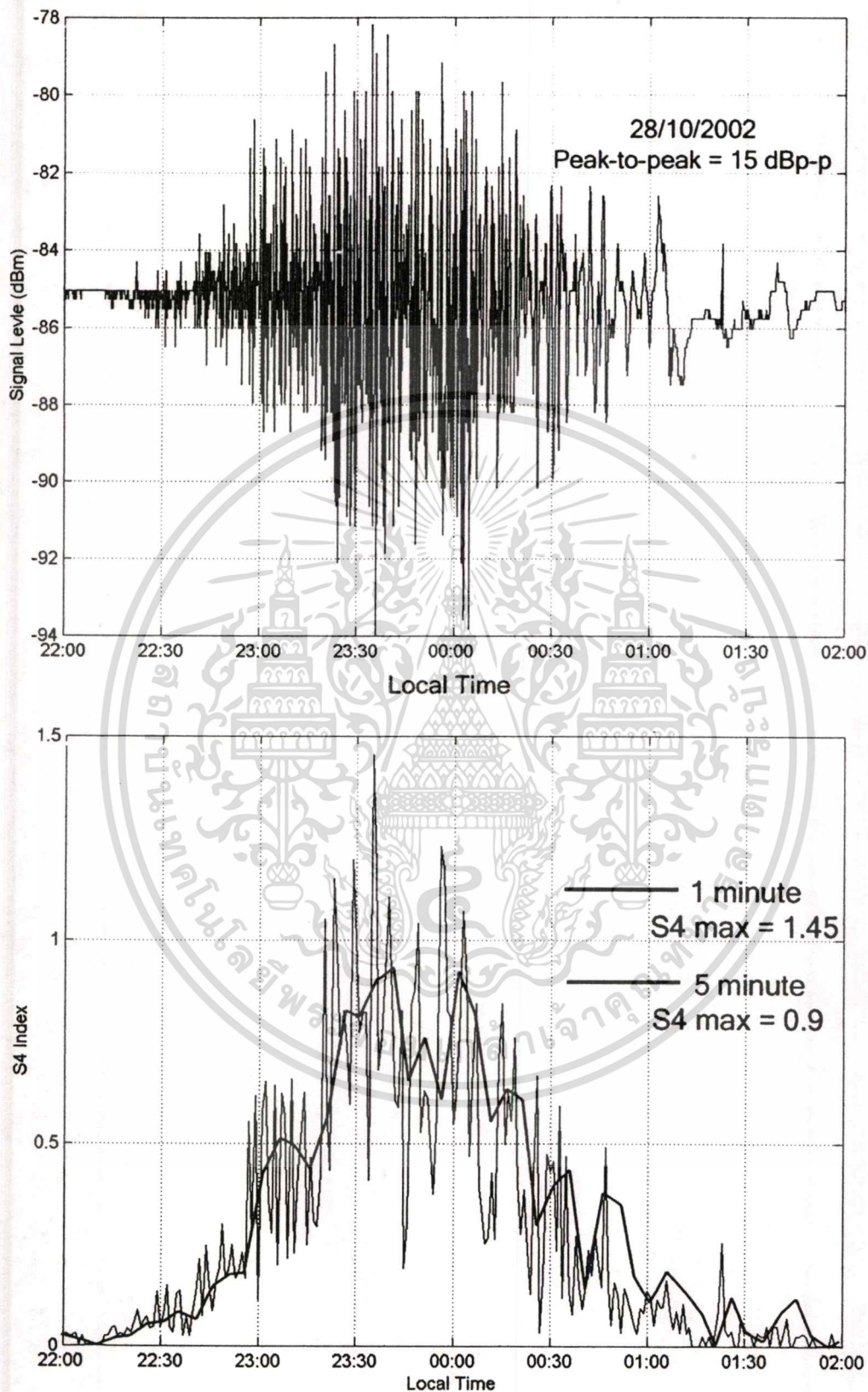
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงช่วงเวลาที่มียค่า Peak-to-peak เท่ากันแต่ส่งผลกระทบต่อระบบไม่เท่ากัน

ดังนั้นค่าดัชนี S_4 ที่คำนวณได้จะเป็นค่าที่แสดงถึงผลกระทบที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้ได้มากกว่า ซึ่งเป็นสาเหตุให้การวิจัยส่วนใหญ่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะใช้ค่าดัชนี S_4 นี้เป็นตัวบอกระดับความรุนแรงของเหตุการณ์

แต่การใช้ค่าดัชนี S_4 นั้นเมื่อสังเกตจากสมการ (2.2) จะเห็นได้ว่าถ้าเราพิจารณาในช่วงเวลาที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปเราจะได้ค่าดัชนี S_4 ที่ไม่เท่ากัน ซึ่งจากหลายงานวิจัยได้สรุปช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับการนำมาหาค่าดัชนี S_4 คือช่วงเวลา 3-5 นาที เนื่องจากถ้าใช้ช่วงเวลาที่สั้นเกินไปเราจะไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของระดับความรุนแรงที่มีสาเหตุมากจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน [10] แต่ถ้าใช้ช่วงเวลาที่ยาวมากเกินไปจะเกิดปัญหาเรื่องความถูกต้องของเวลาการเกิดดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งในรูปแบบเป็นสัญญาณดาวเทียมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในวันที่ 28 ตุลาคม 2545 ส่วนรูปล่างเป็นการแสดงค่าดัชนี S_4 ของเหตุการณ์เดียวกันนี้โดยใช้เวลาในการคำนวณทุก 1 นาที จะเห็นว่าค่าดัชนี S_4 เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะสัมพันธ์กับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณดาวเทียม แต่ถ้าเพิ่มเวลาในการคำนวณค่าดัชนี S_4 จาก 1 นาที เป็น 5 นาทีแล้ว ช่วงเวลาของค่าสูงสุด (S_4 index peak) จะคลาดเคลื่อนโดยเพิ่มมากขึ้นจากเวลา 23.35 น (คำนวณทุก 1 นาที) เป็น 23.40 น (คำนวณทุก 5 นาที)



รูปที่ 3.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกับค่าดัชนี S4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าเพิ่มช่วงเวลาในการคำนวณค่าดรรชนี S4มากกว่านี้เช่น 10-15 นาที ค่า S4 ที่ได้จะมีค่าน้อยลงและมีความคลาดเคลื่อนทางเวลามากจนไม่สามารถบอกเวลาที่เกิดรุนแรงที่สุดได้อย่างถูกต้อง ด้วยเหตุผลนี้ทาง ITU-R จึงได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างการบอกความรุนแรงเป็นค่าดรรชนี S4 และค่า Peak-to-peak ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (3.1) และตารางที่ 3.2 เป็นค่าที่คำนวณได้จากสมการ (3.1)

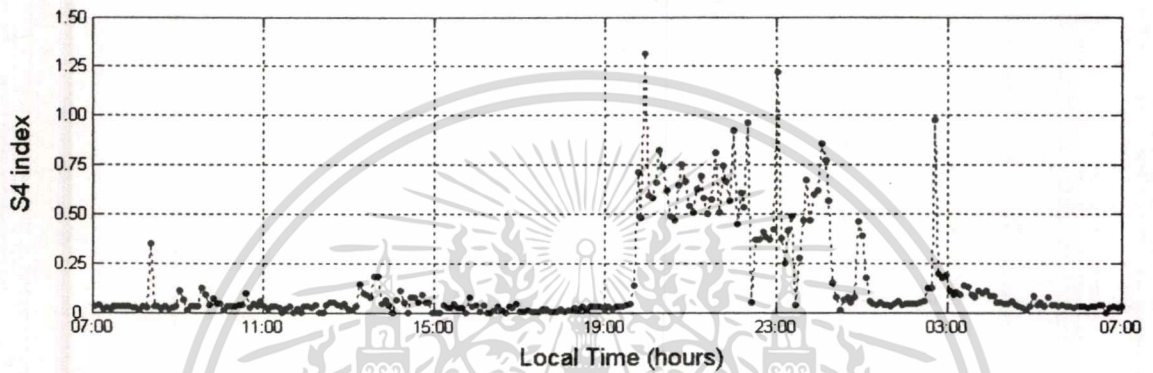
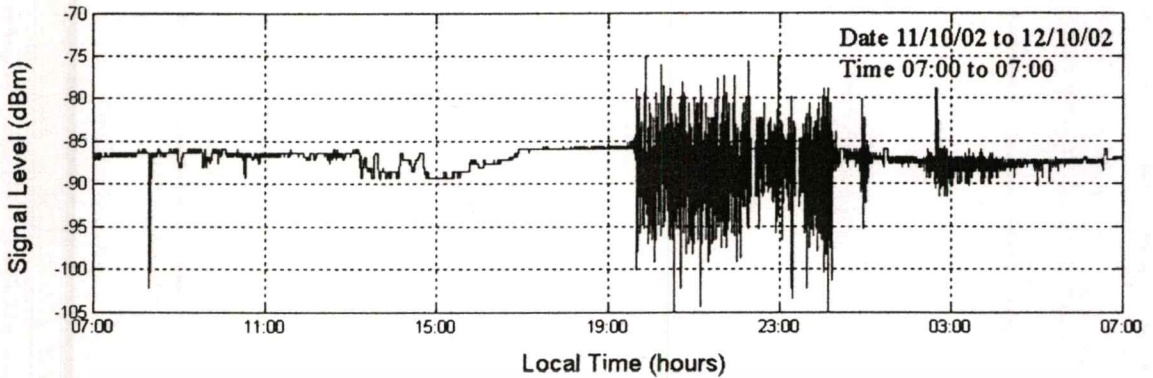
$$P_{fluc} = 27.5 \times S_4^{1.26} \quad (3.1)$$

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดรรชนี S4 กับค่า Peak-to-Peak

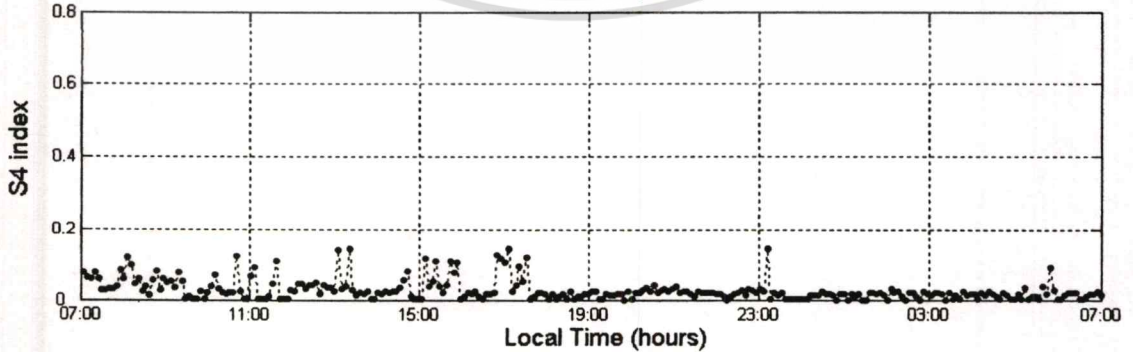
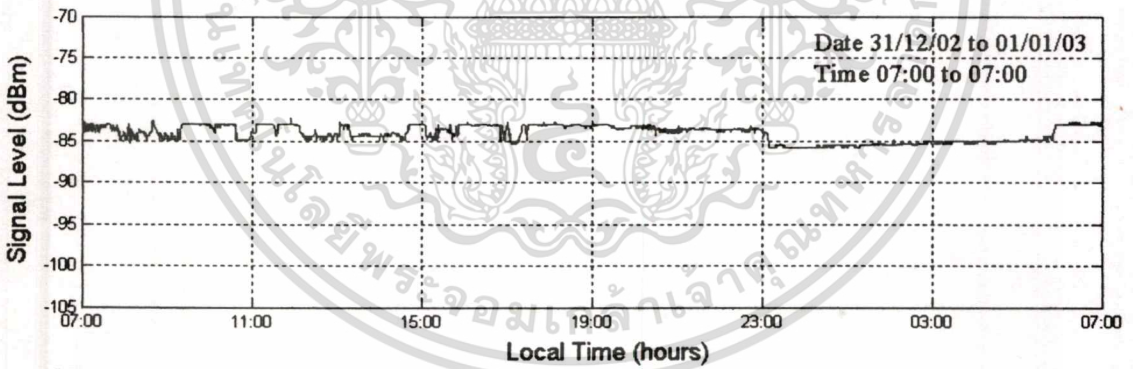
ค่าดรรชนี S4	Peak-to-Peak	ค่าดรรชนี S4	Peak-to-Peak
0.1	1.5	0.7	17
0.2	3.5	0.8	20
0.3	6	0.9	24
0.4	8.5	1.0	27.5
0.5	11	1.1	31
0.6	14	1.2	34.6

โดยผลการคำนวณค่าดรรชนี S4 ของวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2545 ดังแสดงในรูปที่ 3.11 นั้นพบว่ามียกระดับรุนแรงมากที่สุดประมาณ 25 เดซิเบล และมีค่าดรรชนี S4 ประมาณ 1.25 สำหรับกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ไม่รุนแรงดังแสดงในรูป 3.12 ซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2545 ที่มีระดับดรรชนี S4 ประมาณ 0.1 ส่วนในรูปที่ 3.13 และ 3.14 เป็นการแสดงช่วงเวลาและระดับความรุนแรงของดรรชนี S4 ในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2545 จนถึง เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2546 ส่วนในรูปที่ 3.14 เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยระดับความรุนแรงของดรรชนี S4 ที่คำนวณได้ในเวลา 1 ปี ซึ่งระดับความรุนแรงของดรรชนี S4 และช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์ทั้งหมดที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.4 คือช่วงเวลาการเกิดส่วนใหญ่เกิดหลังจากเวลา 18:00 น. จนถึง 02:00 น. ซึ่งเวลาการเกิดปรากฏการณ์นี้จะสอดคล้องกับการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และมีระดับความรุนแรงมากในช่วงเดือน กันยายน-ตุลาคม และ เดือนมีนาคม-เมษายน ซึ่งช่วงเวลานี้อยู่ในช่วงของเดือนEquinox (Autumnal Equinox และ Vernal Equinox) ซึ่งเป็นเดือนที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดในรอบปีโดยกลุ่มนี้เองที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

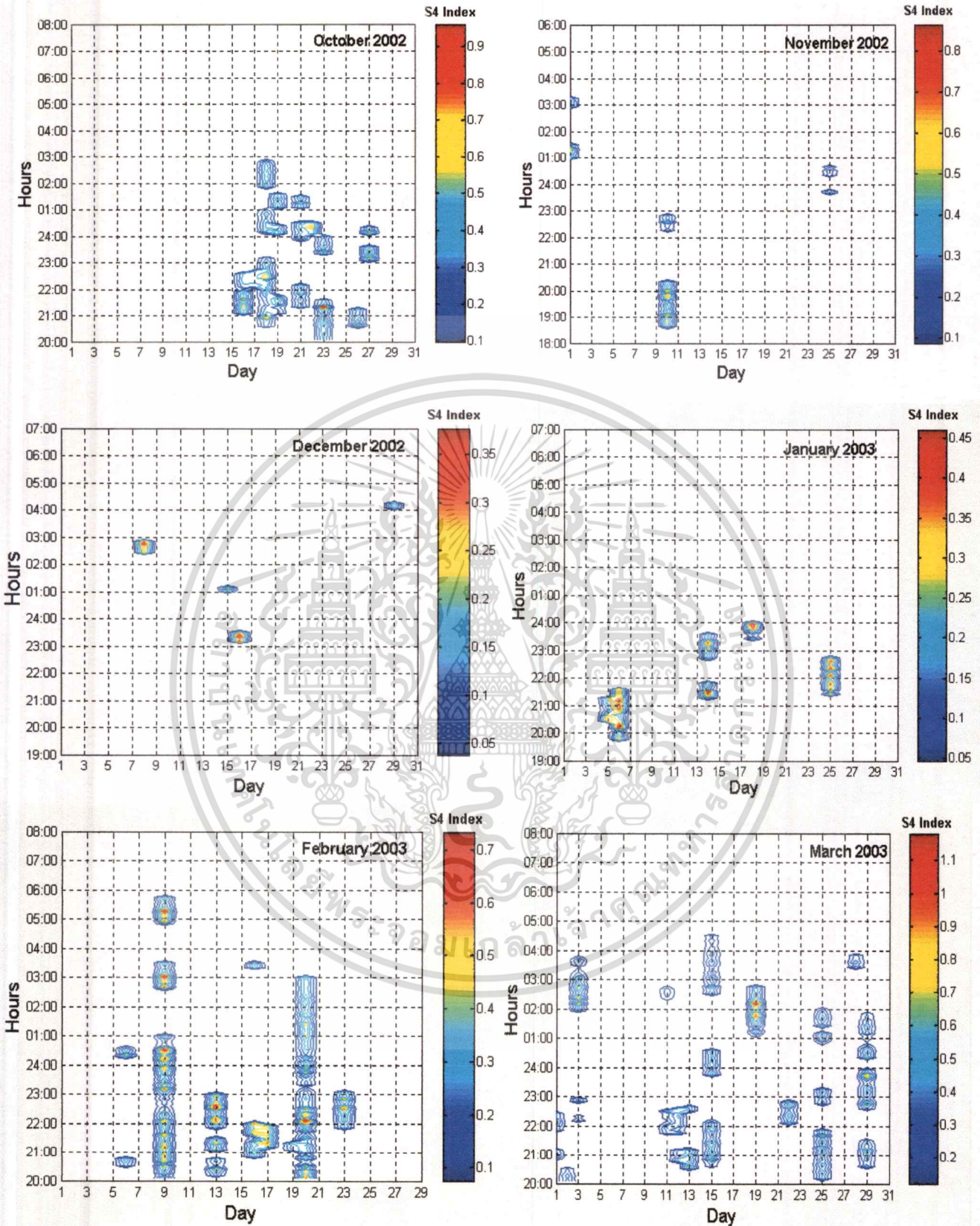


รูปที่ 3.11 แสดงระดับสัญญาณและค่าดัชนี S4 ในวันที่รุนแรงที่สุด



รูปที่ 3.12 แสดงระดับสัญญาณและค่าดัชนี S4 ในวันที่ไม่รุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

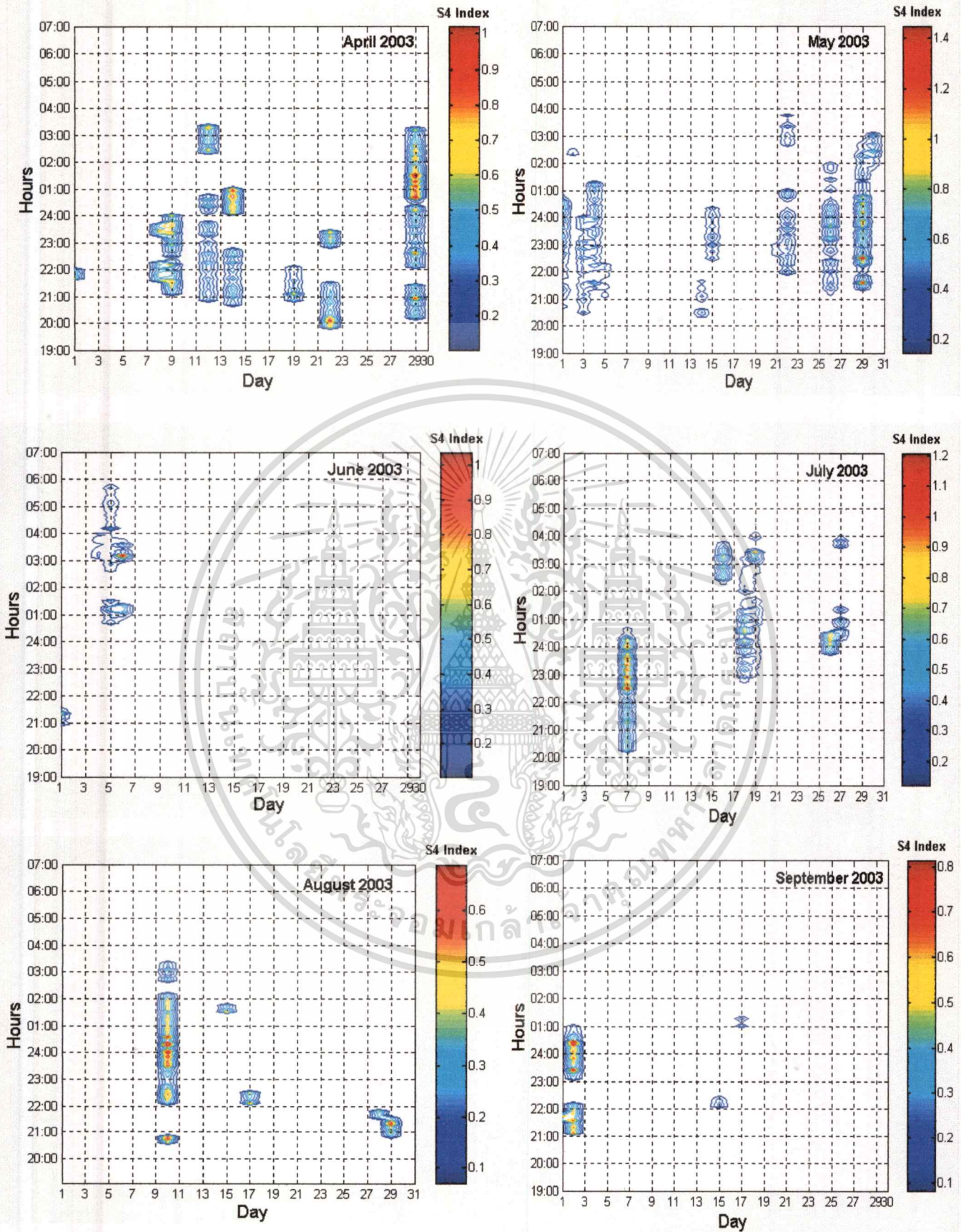


รูปที่ 3.13 แสดงช่วงเวลาและระดับความรุนแรงของดรรชนี S4 ในช่วงเดือน ตุลาคม

พ.ศ. 2545 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

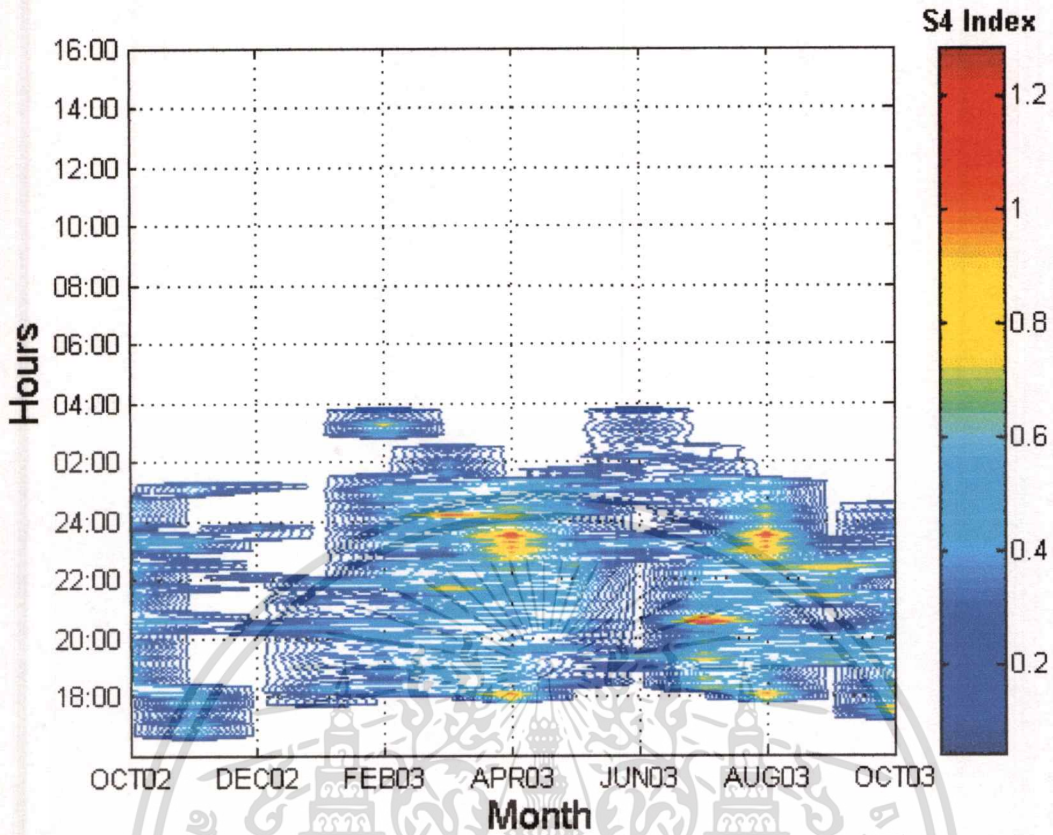
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงช่วงเวลาและระดับความรุนแรงของดรรชนี S4 ในช่วงเดือน เมษายน

พ.ศ. 2546 ถึง เดือน กันยายน พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงช่วงเวลาและค่าเฉลี่ยของระดับความรุนแรงดรรชนี S4 ตลอดระยะเวลา 1 ปี

3.6 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองโดยอธิบายถึงลักษณะการเชื่อมต่อและการนำเอาข้อมูลออกมาใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงอธิบายการปรับเทียบค่าก่อนนำไปใช้งานซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังงานสัญญาณถูกแสดงอยู่ในภาคผนวก(ก) ต่อมาได้อธิบายวิธีการนับจำนวนครั้งการเกิดของปรากฏการณ์นี้โดยถือว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด 1 ครั้งก็ต่อเมื่อระดับสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.5 dB และเกิดอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลา 5 นาที ซึ่งจากผลการทดลองตลอดระยะเวลา 1 ปีปรากฏว่ามีจำนวนครั้งมากที่สุดในเดือน มีนาคม และเดือน ตุลาคม โดยจะเกิดในช่วงหลังจากพระอาทิตย์ตกดินไปแล้ว ซึ่งสอดคล้องปรากฏการณ์หลายอย่าง เช่น การปรากฏขึ้นของชั้น F ในชั้นไอโอโนสเฟียร์ โดยเดือนทั้งสองอยู่ในช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ระยะเวลาในตอนกลางวันเท่ากับตอนกลางคืนหรือที่เรียกว่าอิกวinox (Equinox) ส่วนหลังของบทนี้อธิบายถึงค่าที่ใช้บอกระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เหมาะสมกว่าการใช้ค่า Peak-to-peak ก็คือค่าดรรชนี S4 ซึ่งค่านี้เหมาะกับการบอกความรุนแรงที่เกิดในช่วงเวลาที่เรากำลังพิจารณา โดยในบทที่ 4 และบทที่ 5 หลังจากนั้นส่วนใหญ่จะใช้ค่าดรรชนี S4 เป็นตัวบอกระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมทางด้านความถี่

การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นเมื่อส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของสัญญาณดาวเทียมในโครงสร้างทางเวลา (Time Domain) ดังนั้นจึงน่าจะมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติของสัญญาณนี้ในโครงสร้างทางความถี่ (Frequency Domain) ด้วย ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำสัญญาณดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมาวิเคราะห์โดยหาความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density: PSD) ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางความถี่ของสัญญาณว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร

4.1 ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม

ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมเป็นสิ่งสำคัญที่จะแสดงคุณลักษณะการแจกแจง (Distribution) กำลังงานของสัญญาณดาวเทียมในโดเมนความถี่ ตามทฤษฎีการหาลำดับกำลังงานของสัญญาณใด ๆ ต้องมีการกำหนดคาบเวลา (Period: T) ที่แน่นอนซึ่งการหาลำดับเฉลี่ยของสัญญาณ $f(t)$ ใดๆภายในช่วงเวลา T ที่กำหนด สามารถหาได้โดยสมการ

$$P = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(t) dt \quad (4.1)$$

แต่ในทางปฏิบัติสัญญาณดาวเทียมที่รับได้นั้นเป็นสัญญาณสุ่ม (Random Signal) เราจึงไม่สามารถที่จะกำหนดค่าที่แน่นอนของมันได้ถึงแม้ว่าเราจะรู้ข้อมูลของมันมาแล้วมากเพียงใดก็ตาม แต่ถ้ากำหนดให้ T มีค่าจำกัดด้วยเงื่อนไข

$$f_T(t) = f(t) p\left(\frac{t}{T}\right) \quad (4.2)$$

โดยที่ $p\left(\frac{t}{T}\right)$ คือ ฟังก์ชันเกต (Unit Gate Function) ซึ่งจะเห็นว่า $f_T(t)$ ก็คือสัญญาณดาวเทียม $f(t)$ ที่มีค่าอยู่ในช่วงเวลา T ที่กำหนด ดังนั้น $f_T(t)$ นี้จึงมีค่าพลังงานที่จำกัดและสามารถนำมาหาฟูเรียร์ (Fourier) ของตัวมันเองได้ โดยอาศัยทฤษฎีของพาร์เซวาล (Parseval's Theorem) สำหรับสัญญาณมีคาบและใช้ความสัมพันธ์ในสมการ (4.2) แทนในสมการที่ (4.1) ทำให้สามารถหาลำดับเฉลี่ยของสัญญาณได้ตามสมการ

$$P = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_T^2(t) dt = \frac{1}{2\pi T} \sum_{-\infty}^{\infty} |F_T(\omega)|^2 d\omega \quad (4.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงแม้ในกรณีนี้ $F_T(\omega)$ จะไม่ใช่การแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณดาวเทียม $f(t)$ ก็ตามแต่เมื่อขยายช่วงเวลาให้มีค่ามากขึ้นไปสู่อินฟินิตี้ คือ ใช้ค่า $\lim_{T \rightarrow \infty} F_T(\omega)$ แล้วก็จะพบว่าค่าลิมิตนี้จะมีค่าเข้าใกล้ค่า $f(t)$ ในที่สุดทำให้กล่าวได้ว่า $\lim_{T \rightarrow \infty} F_T(\omega)$ นี้จะมีค่าลิมิตไปสู่ค่า $F(\omega)$ ดังนั้นเราจะได้ว่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณดาวเทียม $f(t)$ คือ

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T} d\omega \quad (4.4)$$

โดยการพิจารณาพจน์ $\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T}$ ของสมการ (4.4) ซึ่งก็คือฟังก์ชันความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียม $f(t)$ นั้นเอง ซึ่งกำหนดสัญลักษณ์เป็น $S_f(\omega)$ และมีหน่วยเป็นวัตต์-วินาที (Watt-sec) หรือ เดซิเบลต่อเฮิรตซ์ (dB/Hz) ซึ่งค่านี้แสดงให้เราถึงการกระจายกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม $f(t)$ ที่ความถี่ต่างในโดเมนความถี่ ดังนั้นสมการความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียมสามารถกำหนดได้เป็น

$$S_f(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F_T(\omega)|^2}{T} \quad (4.5)$$

ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถจะทำการวัดโดยใช้ช่วงเวลา T ให้ยาวนานเป็นอนันต์ได้ ดังนั้นจึงทำได้เพียงใช้ระยะเวลา T ให้มีค่านานพอสมควรให้การหาค่า $F_T(\omega)$ แต่จะทำการทำซ้ำหลายๆ ครั้งแล้วนำผลเหล่านั้นมาหาค่าเฉลี่ยถึงจะนำไปใช้งานต่อไป [5]

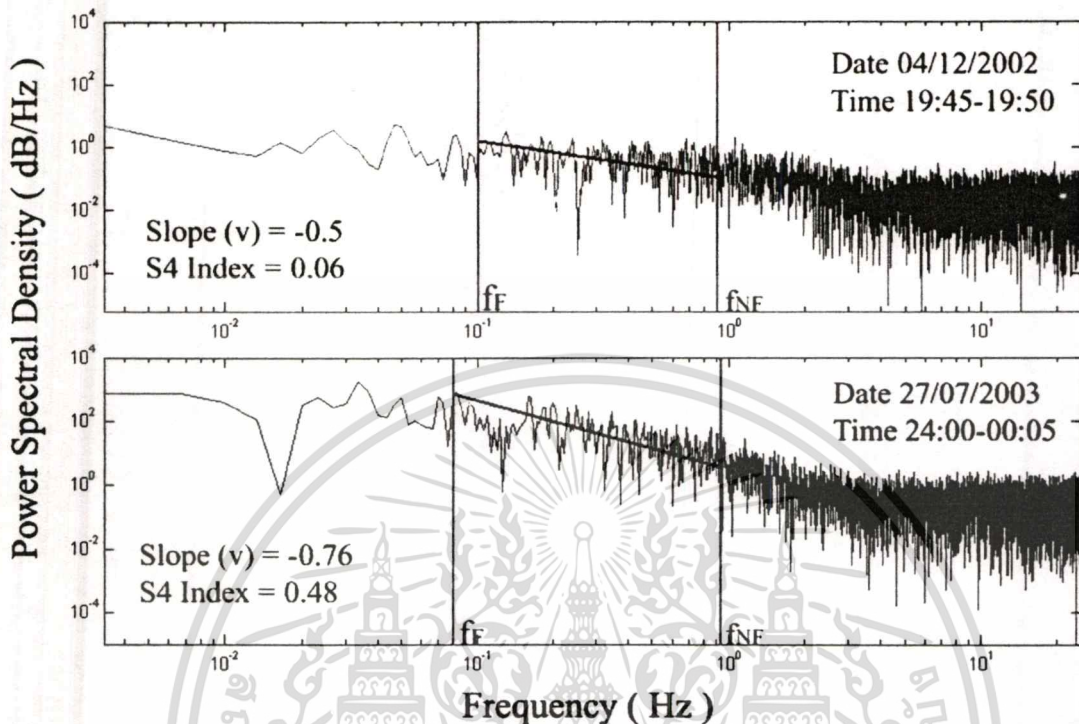
4.2 ผลการวิเคราะห์ทางความถี่ของสัญญาณดาวเทียม

การหาความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณดาวเทียมนั้นสามารถบอกผลกระทบของสัญญาณว่ามีลักษณะเป็นอย่างไรเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ซึ่ง PSD ที่ได้จะแบ่งความถี่เป็น 3 ส่วน คือ

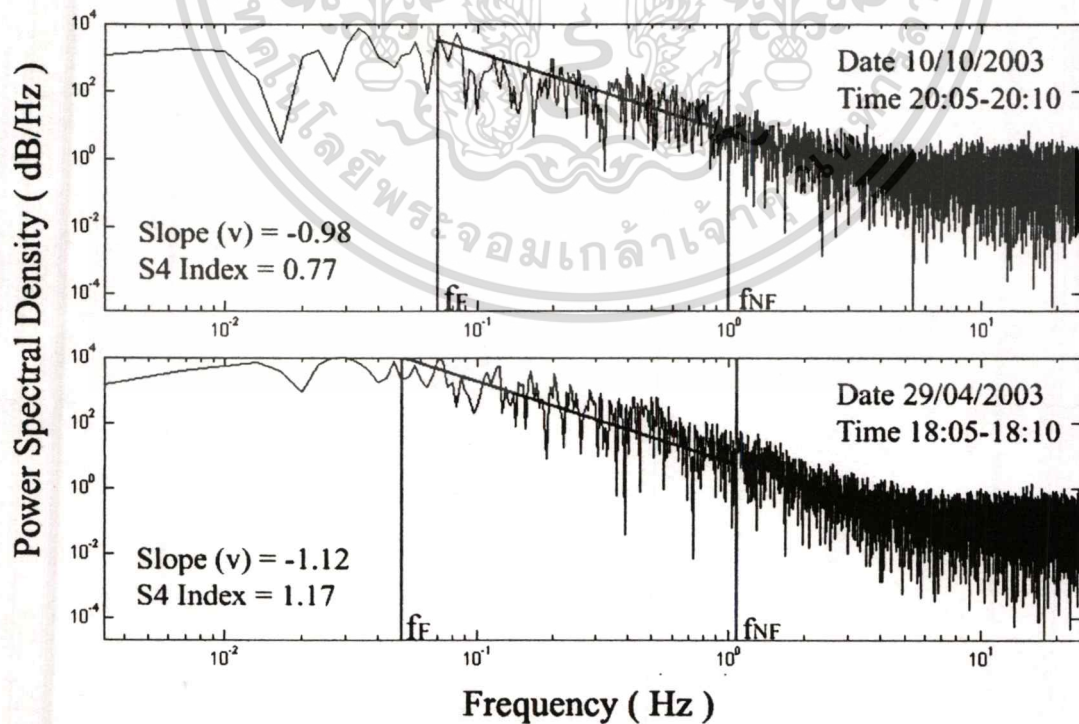
1. ส่วนความถี่ต่ำ (Flat Low Frequency)
2. ส่วนความถี่สูง (High Frequency roll-off)
3. ส่วนความถี่สัญญาณรบกวน (Noise floor)

โดยจุดที่ความถี่เริ่มเปลี่ยนจากความถี่ต่ำเป็นความถี่สูงนั้น เราเรียกความถี่นี้ว่า ความถี่เฟรสเนล (Fresnel Frequency: f_F) และจุดที่ความถี่เปลี่ยนจากความถี่สูงเป็นความถี่สัญญาณรบกวนเรียกว่า ความถี่เริ่มสัญญาณรบกวน (Noise floor Starting: f_{NF}) ซึ่งความถี่ทั้งสองนี้มีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันดังแสดงในรูป

ที่ 4.1 และ 4.2 โดยในรูปเป็นการนำสัญญาณดาวเทียมในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในระยะเวลา 5 นาทีที่ช่วงเวลาและระดับความรุนแรงที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบในระดับที่ไม่รุนแรง S4 index < 0.5



รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบในระดับที่รุนแรง S4 index > 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในรูปที่ 4.1 เป็นการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมในระดับที่ไม่รุนแรง (S4 Index < 0.5) ซึ่งจากรูปเห็นว่าเมื่อระดับ S4 เพิ่มขึ้นจาก 0.06 เป็น 0.48 นั้น นอกจากค่าความหนาแน่นของกำลังงาน (dB/Hz) จะมีระดับเพิ่มขึ้นแล้ว เมื่อพิจารณาที่แกนความถี่จะเห็นได้ว่าความถี่สัญญาณรบกวน (f_{NF}) ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่ความถี่เฟรสนเอล (f_F) มีค่าน้อยลง โดยความเปลี่ยนแปลงของ f_F นี้จะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมในระดับที่รุนแรง (S4 Index > 0.5) โดยเมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มจาก 0.77 เป็น 1.17 แล้วเห็นได้ว่าความถี่เฟรสนเอล (f_F) ลดลงไปอย่างเห็นได้ชัดซึ่งค่าที่ได้จากค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมนี้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม

วัน/เดือน/ปี	S4 Index	ความชัน (ν)	Spectral index (n)	ความถี่เฟรสนเอล	ความถี่สัญญาณรบกวน	BW $f_{NF} - f_F$
04/12/02	0.06	-0.50	0.875	0.042	0.85	0.808
27/07/03	0.48	-0.76	0.942	0.038	0.85	0.812
10/10/03	0.77	-0.98	0.995	0.034	0.90	0.866
29/04/03	1.17	-1.12	1.031	0.026	0.91	0.884

ค่าที่ได้จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อระดับความรุนแรงมากขึ้นทำให้ความชัน (ν) มีค่ามากขึ้นด้วยนั้นหมายความว่าเมื่อเกิดระดับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่รุนแรงขึ้นจะส่งผลให้ระดับความหนาแน่นกำลังงาน (dB/Hz) เพิ่มขึ้นในโดเมนความถี่ตามไปด้วย โดย Yeh and Liu (1982) ได้เสนอว่าความรุนแรงของดรรชนี S4 นี้ น่าจะมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็คตรอนตามสมการ

$$S_4 \rightarrow f^{-n} \quad (4.6)$$

โดยที่ n คือ ดรรชนีกำลังเชิงสเปกตรัมของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็คตรอน (Power spectrum index of Irregularities: n) เมื่อพิจารณาค่าความชัน (ν) ของความหนาแน่นกำลังเชิงที่ได้จากตาราง 4.1 เราสามารถหาค่าดรรชนีกำลังเชิงสเปกตรัมได้ด้วยความสัมพันธ์ตามสมการ

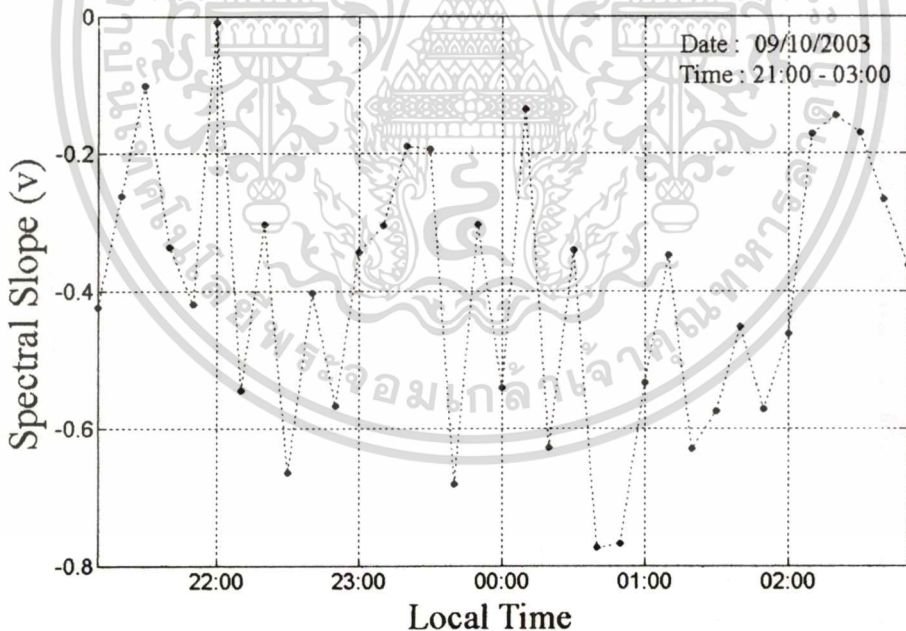
$$n = \frac{3 - \nu}{4} \quad (4.7)$$

และในขณะเดียวกันความกว้างของส่วนความถี่สูง (High Frequency roll-off Path bandwidth: BW) ก็มากขึ้นซึ่งหาได้จากผลต่างระหว่างความถี่เฟรสนและความถี่สัญญาณรบกวนตามสมการ

$$BW = f_{NF} - f_F \quad (4.8)$$

โดยที่ความถี่เฟรสนที่เปลี่ยนแปลงตามความรุนแรงนี้เป็นตัวแปรที่สำคัญที่สามารถนำไปคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.4

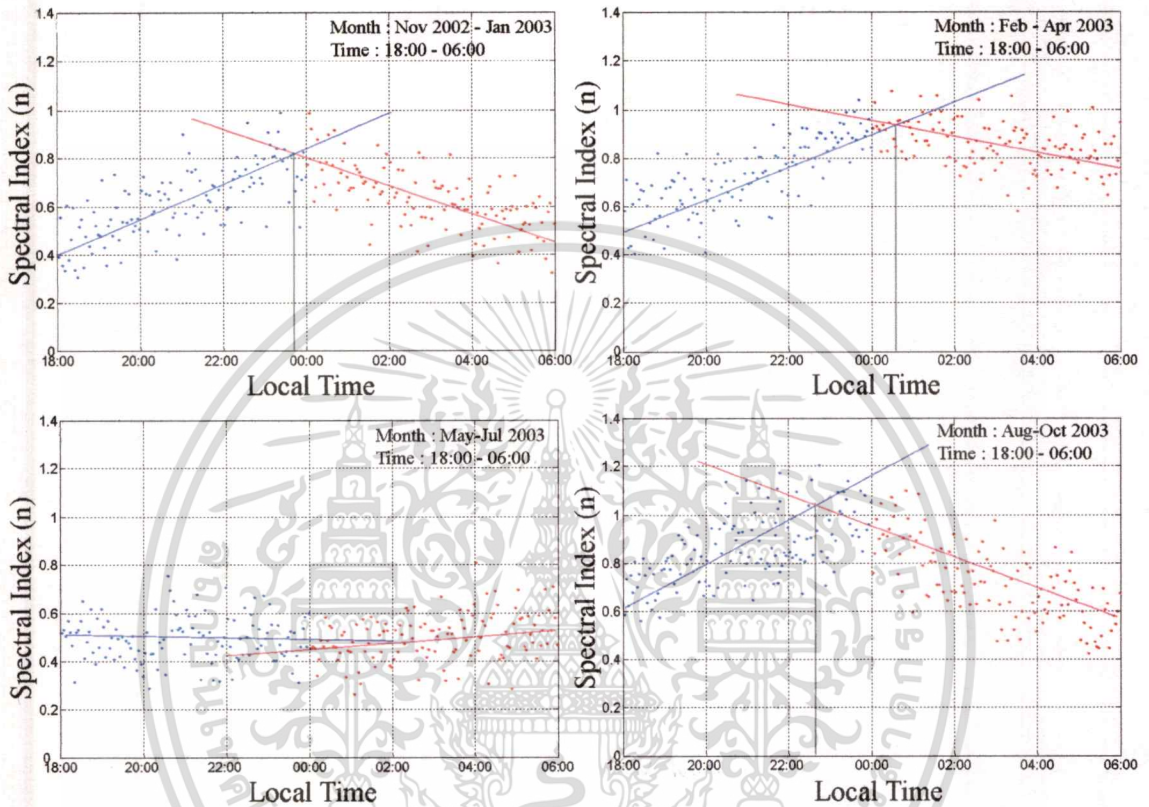
เราสามารถทราบข้อมูลของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กทรอนิกส์ได้จากภาวะวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆจะมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อกลุ่มความไม่สม่ำเสมอนี้เคลื่อนที่ผ่านแนวการสื่อสารดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรจากความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 จึงมีความสัมพันธ์กับลักษณะการเคลื่อนที่ของกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์เช่นการเปลี่ยนทิศทางหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ เพื่อศึกษาข้อมูลของกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์นี้จึงนำเอาค่าความชัน (v) และค่าครรชนกำลังเชิงสเปกตรัม (n) ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมาศึกษาลักษณะการเคลื่อนตัวของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความชันที่เปลี่ยนแปลงจากค่าสูงสุดในเวลาประมาณเที่ยงคืน

โดยในรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงค่าความชันที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 21:00 -03:00 น ของวันที่ 9 ตุลาคม โดยใช้ข้อมูลทุก 10 นาทีมาหาค่าความหนาแน่นสเปกตรัมเชิงกำลังเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความชันนี้ โดยจากรูปเห็นได้ว่าค่าความชันในช่วงเวลาเอกลก่อนเที่ยงคืนมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดที่เวลา 00:03 น หลังจากนั้นค่าความชันที่ได้ก็ค่อยๆลดลงและไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสังเกตช่วงเวลาที่ค่าความชันเริ่มลดลงนั้นจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนทิศทางของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจะมีการเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันออกหลังจากพระอาทิตย์ตกโดยจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาเที่ยงคืนหลังจากนั้นก็เคลื่อนที่กลับไปทางทิศตะวันตกอีกครั้ง(Mollen.et.al.1988)



รูปที่ 4.4 แสดงช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่า n ตลอดระยะเวลา 1 ปี

ดังนั้นเมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชันมีความสอดคล้องกับการเปลี่ยนทิศทางของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอแล้ว ค่า n จึงสามารถบอกลักษณะนี้ได้เช่นกันโดยในรูปที่ 4.4 เป็นการนำค่า n ที่ได้จากการทดลองโดยใช้ข้อมูลทุก 10 นาทีมาทำการหาช่วงเวลาที่ความชันของกราฟ n มีการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมาย ซึ่งลักษณะของการเคลื่อนตัวจากที่ได้จากการพิจารณาค่า n ที่ได้นี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะที่แตกต่างกัน คือ ช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมนั้นค่า n ส่วนใหญ่จะเพิ่มขึ้นจนถึงเวลาประมาณเที่ยงคืนหลังจากนั้นจะค่อยๆลดลงอย่างสม่ำเสมอค่อนข้างคงที่โดยจุดสีน้ำเงินจะแทนค่า n ที่หาได้ก่อนช่วงเวลา 00:00 น. และ จุดสีแดงจะแทนค่า n ที่หาได้หลังจากเวลา 00:00 น. เป็นต้นไป นั้นหมายความว่าช่วงเดือนนี้กลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กทรอนิกส์จะเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันออกจนถึงเวลาประมาณเที่ยงคืนแล้วจะลดความเร็วลง หลังจากนั้นก็จะเคลื่อนตัวกลับไปทางทิศตะวันตกซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีแต่ในเดือนที่เกิดการ

เปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในระดับที่รุนแรงเช่นช่วงเดือน กุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นลักษณะการเคลื่อนที่จะแตกต่างออกไปโดยที่ค่า n ที่ได้จะค่อยๆเพิ่มขึ้นและยังคงเพิ่มต่อไปแม้กระทั่งเลยเวลาเที่ยงคืนไปแล้วซึ่งหลังจากนั้นค่า n ก็ยังคงอยู่หรือลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนตัวของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ทรอนอาจหยุดหรือใช้เวลามากขึ้นในการเปลี่ยนทิศทาง ดังนั้นการเคลื่อนที่กลับไปยังทิศตะวันตกอาจเกิดหลังจากเลยเวลาหลังเที่ยงคืนไปแล้ว[1] ลักษณะที่สามเป็นช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม ค่า n ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายความชันโดยเกิดอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 22.00 น แล้วจึงลดลงตามปกติแสดงว่ากลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กทรอนิกส์ทรอนจะเคลื่อนที่กลับในเวลาที่เร็วกว่าส่งผลให้ในช่วงเดือนตุลาคมเกิดการเปลี่ยนแปลงในเวลาที่เร็วกว่าเดือนอื่นๆ ลักษณะสุดท้ายค่า n ที่ได้มีค่าใกล้เคียง 0.5 ตลอดช่วงที่ทำการวิเคราะห์แล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมายของความชันเลยอาจเป็นเพราะช่วงเดือนนี้เป็นช่วงที่มีระดับความรุนแรงในระดับต่ำค่า n ที่ได้จึงไม่สามารถเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงได้อย่างเด่นชัด

4.3 ค่าอัตสหสัมพันธ์เชิงเวลา (Time Autocorrelation: $R_x(\tau)$)

ค่าอัตสหสัมพันธ์เชิงเวลานี้ถึงแม้ไม่ได้อธิบายสัญญาณในโดเมนความถี่ก็ตามแต่มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัม โดยค่าผลการแปลงฟูเรียร์(Fourier) ของค่าอัตสหสัมพันธ์เชิงเวลาของสัญญาณก็คือค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมของสัญญาณนั้น ดังสมการ

$$R_x(\tau) \leftrightarrow S_f(\omega) \quad (4.9)$$

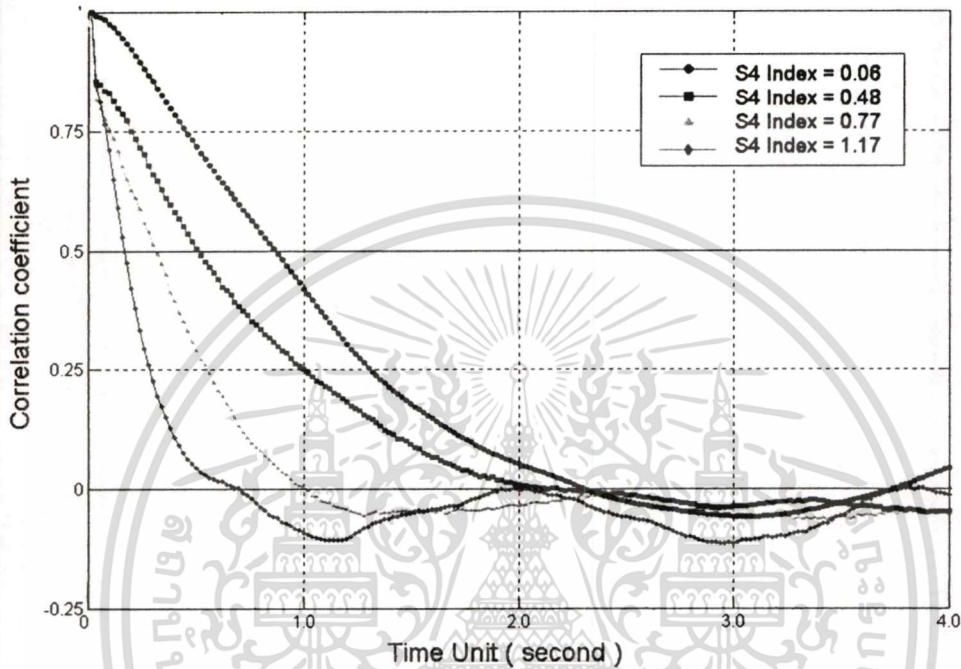
ค่าอัตสหสัมพันธ์เชิงเวลานั้นเป็นค่าที่ใช้บอกความเหมือนกัน(Matching) ของสัญญาณตัวเดียวกันที่เลื่อนเวลาออกไปทีละ τ หน่วย ซึ่งมีการนิยามดังสมการ

$$R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t)f(t+\tau)dt \quad (4.10)$$

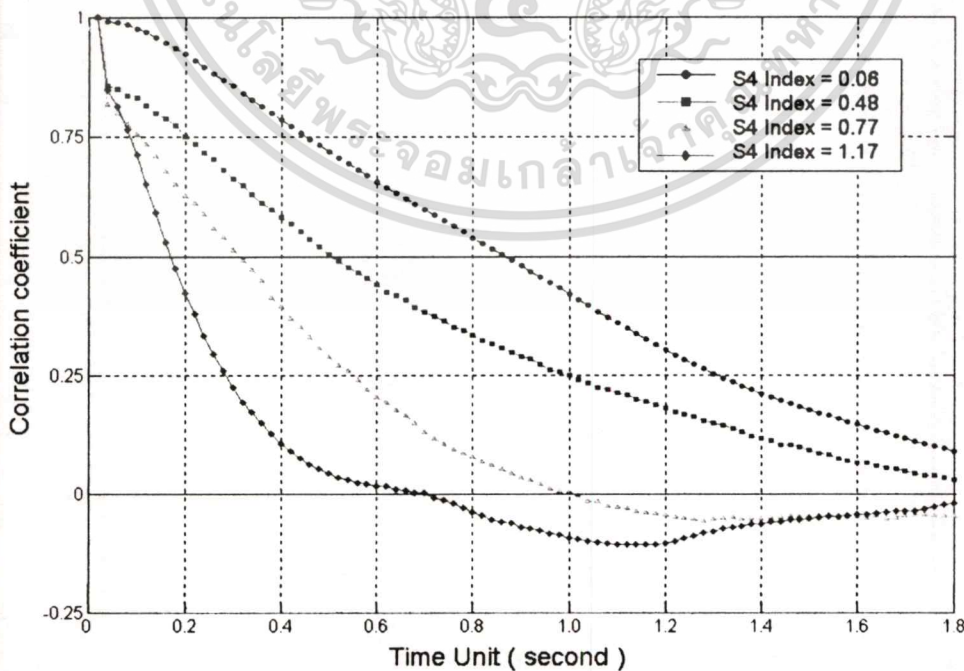
ซึ่งผลการทดลองในรูป 4.5 เป็นการนำสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในเหตุการณ์เดียวกับการหาค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมในรูป 4.1 และ 4.2 มาหาค่าอัตสหสัมพันธ์ โดยตัวแปรที่สำคัญในรูปที่ 4.5 คือช่วงเวลาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ลดลง 50 % จากค่าสูงสุด ซึ่งเรียกช่วงเวลานี้ว่า ช่วงสหสัมพันธ์ (Correlation Interval) หรือ เวลาร่วมนัย (Coherent Time: τ_c)

โดยในการวิเคราะห์หาค่าเวลาร่วมนัยนั้นจะพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาที่ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สัมพันธ์เป็น 0.5 เท่านั้น ซึ่งรูปที่ 4.6 นั้นแสดงเฉพาะช่วงเวลาที่เรากำลังต้องการหาค่า τ_c ของทั้ง 4 เหตุการณ์ซึ่งผลที่สังเกตได้คือ การเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะขึ้นอยู่กับระดับ

ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ซึ่งเห็นได้จากการเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับที่ไม่รุนแรง S4 Index เท่ากับ 0.06 ค่าเวลาร่วมนัยที่ได้อยู่ที่ 0.84 วินาที และค่าเวลานี้จะน้อยลงเมื่อมีระดับความรุนแรงมากขึ้น เช่นที่ระดับ S4 index มีค่า 1.17 เวลาร่วมนัยที่ได้คือ 0.18 วินาที ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าค่าเวลาร่วมนัยนี้มีแนวโน้มว่าจะมีค่าน้อยลงเมื่อระดับความรุนแรงมากขึ้น โดยค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์แสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 แสดงฟังก์ชันอัตโนมัติสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความรุนแรง



รูปที่ 4.6 แสดงค่าเวลาร่วมนัย (τ_c) ที่เปลี่ยนแปลงตามระดับความรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมอุตุนิยมวิทยา หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมอุตุนิยมวิทยา ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ได้จากฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์

วัน/เดือน/ปี	ระดับความรุนแรง (S4 index)	หน่วยเวลา (τ)	เวลาร่วมนัย (τ_c)
04/12/02	0.06	9	0.84
27/07/03	0.48	16	0.52
10/10/03	0.77	26	0.32
29/04/03	1.17	42	0.18

4.4 อัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

จากการหาค่าความหนาแน่นเชิงสเปกตรัมในหัวข้อที่ 4.2 นั้นเมื่อพิจารณาค่าความชัน (v) ที่เพิ่มมากขึ้นนั้นหมายความว่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมจะมีกำลังแรงขึ้นที่บริเวณความถี่ต่ำ และเมื่อประกอบกับค่า BW ที่มากขึ้นก็แสดงว่าเมื่อเหตุการณ์มีความรุนแรงมากขึ้นนั้นทำให้สัญญาณมีความถี่ฮาร์โมนิก(Harmonic)ทางด้านซ้าย(ความถี่ต่ำ)เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในทุกๆ ระดับความรุนแรงก็จะมีส่วนประกอบของความถี่ที่แตกต่างกันออกไปซึ่งเป็นการยากที่จะบอกได้ว่าแต่ละเหตุการณ์มีความถี่เท่าไร จึงได้มีการหาค่าเฉลี่ยความถี่ของเหตุการณ์นั้นโดยเรียกค่าเฉลี่ยนี้ว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Scintillation Rate) ซึ่งสามารถหาได้จากวิธีที่เรียกว่า Mean Crossing Technique ตามสมการ (4.11) [23]

$$\frac{N}{N_0} = \frac{N(A_t \rightarrow \pm A_{average})}{2 \times period(sec)} \quad (4.11)$$

โดยที่ A_t คือ ระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงที่เวลา t ใดๆ

$A_{average}$ คือ ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณ

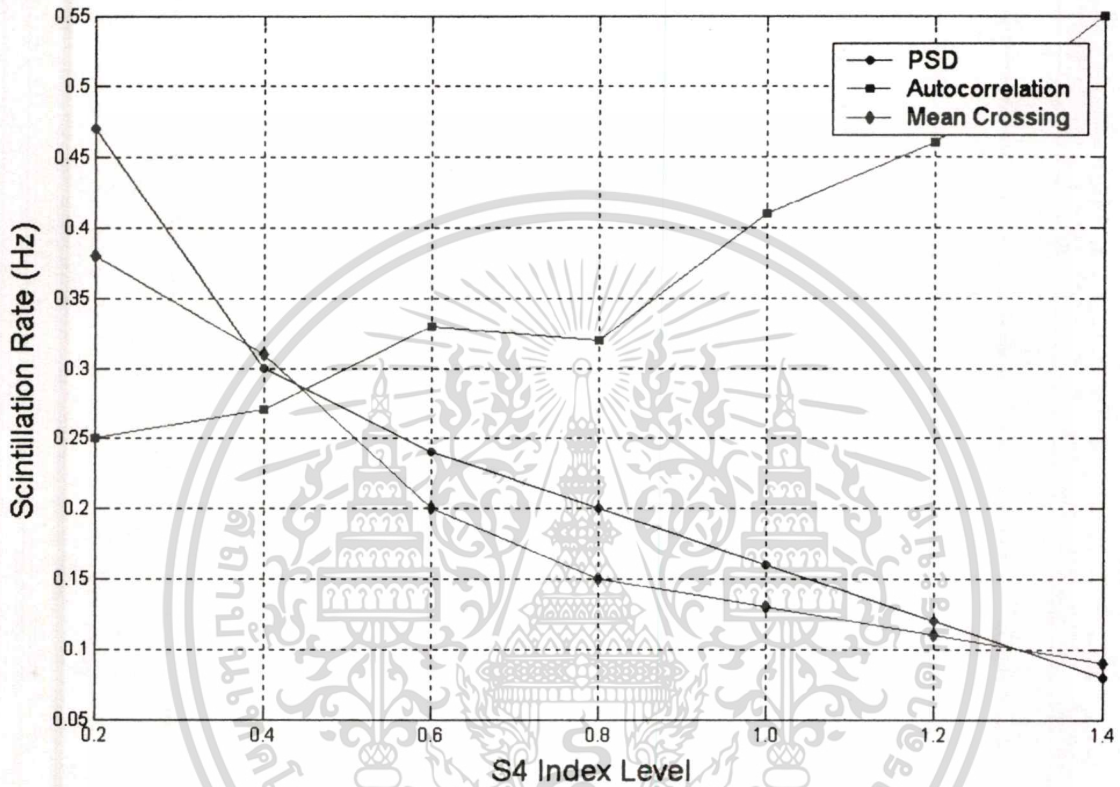
ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (N_0) ที่คำนวณจากสมการ (4.11) แสดงในตารางที่ 4.3 โดยหาจากเหตุการณ์ที่มีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกันหลายเหตุการณ์แล้วทำการเฉลี่ยค่าจำนวนครั้งที่ตัดผ่านศูนย์ (N) โดยเปรียบเทียบกับค่า N_0 ที่หาได้จากวิธีอื่นๆอีก 2 วิธีคือการใช้ค่าความถี่เฟรสนอล (f_{NF}) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนาแน่นเชิงสเปกตรัม(PSD) และการใช้ค่าเวลาร่วมนัย (τ_c) จากการหาค่าอัตโนมัติสหสัมพันธ์เชิงเวลามาคำนวณโดยค่า N_0 จากทั้งสองวิธีนี้สามารถหาได้ตาม สมการ (4.12) และสมการ (4.13) ตามลำดับ [10]

$$N_0 = f_{NF} \times 1.577 \quad (4.12)$$

$$N_0 = \frac{1}{\tau_c \times f_{sampling}} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $\tau_c \times f_{sampling}$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

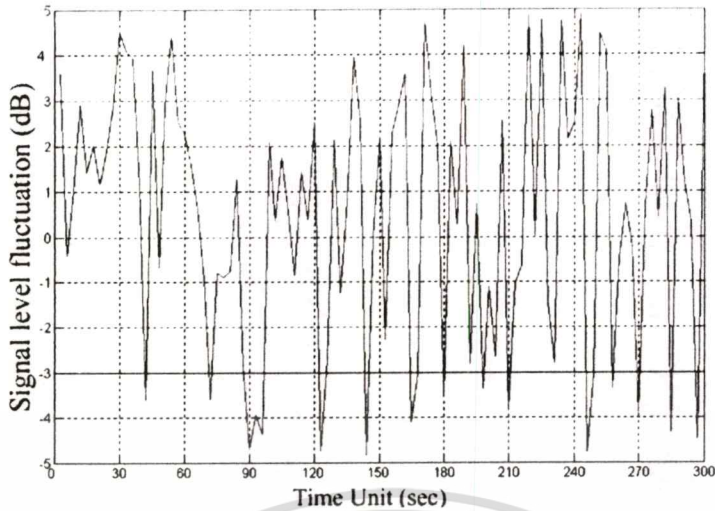
จากค่าในตาราง 4.3 เห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่หาได้จากวิธี Mean crossing Technique กับค่าที่คำนวณได้จากวิธีความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมนั้นมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (\bar{N}_0) ต่ำลงเมื่อระดับความรุนแรงมากขึ้น ตรงกันข้ามกับผลที่คำนวณได้จากเวลาร่วมนัยของฟังก์ชันอัตโนมัติที่มีค่า \bar{N}_0 สูงขึ้นเมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.7



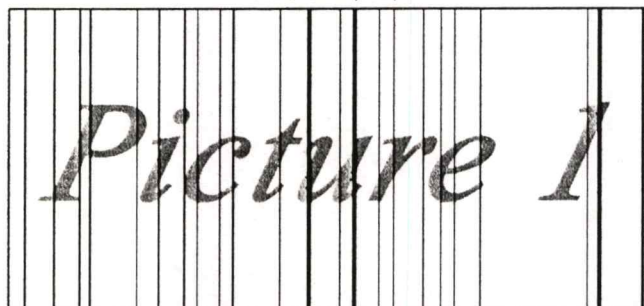
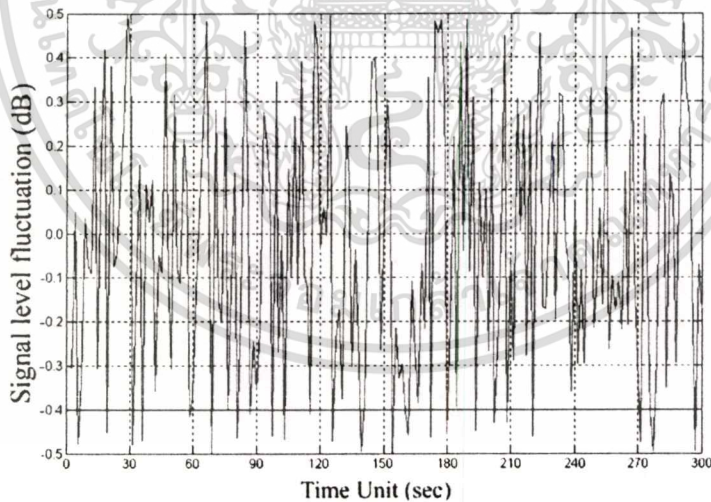
รูปที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่คำนวณจากทั้ง 3 วิธี

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ระดับความรุนแรงเฉลี่ย (S4 index)	จำนวน N ที่ตัดผ่าน 0 (ครั้ง)	f_{NF} (Hz)	τ_c (Sec)	Scintillation Rate : \bar{N}_0 (Hz)		
				Mean Crossing	PSD	Auto Correlation
0.2	228	0.298	0.8	0.38	0.47	0.25
0.4	186	0.196	0.77	0.31	0.31	0.26
0.6	120	0.152	0.59	0.20	0.24	0.34
0.8	90	0.127	0.65	0.15	0.20	0.31
1.0	84	0.102	0.49	0.14	0.16	0.41
1.2	78	0.076	0.44	0.13	0.12	0.46
1.4	54	0.051	0.36	0.10	0.08	0.55



รูปที่ 4.8 แสดงการจำลองผลกระทบของภาพถ่ายจากดาวเทียมในกรณีที่มี N_0 มีความถี่สูง



เอกสารรูปที่ 4.9 แสดงการจำลองผลกระทบของภาพถ่ายจากดาวเทียมในกรณีที่มี N_0 มีความถี่ต่ำ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราไม่สามารถสรุปได้ว่าวิธีไหนเป็นการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ถูกต้องที่สุด แต่เมื่อพิจารณาทฤษฎีของการหาค่าฟังก์ชันอัตโนมัติซึ่งเป็นการบอกคุณลักษณะความเหมือนกันของสัญญาณในช่วงเวลาใดๆ จึงไม่ค่อยเหมาะกับการนำมาอธิบายอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งมีลักษณะเปลี่ยนไปตามเวลาและระดับความรุนแรง ในขณะที่ทฤษฎีของความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมนั้นเป็นการอธิบายว่ามีกำลังงานอยู่ในส่วนไหนของความถี่ฮาร์โมนิกต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นสัญญาณในขณะนั้น ซึ่งความหมายนี้น่าจะใช้อธิบายโครงสร้างทางความถี่ได้มากกว่าและเมื่อประกอบกับผลที่ได้จากการใช้ Mean Crossing Technique แล้วทำให้เราสามารถสรุปแนวโน้มของค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันได้ว่าเมื่อเกิดปรากฏการณ์ที่รุนแรงเพิ่มขึ้น (S4 index มากขึ้น) ค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (\bar{N}_0) จะมีความถี่ต่ำลง นั่นแสดงว่าเราจะสูญเสียข้อมูลในเวลานานขึ้นเมื่อปรากฏการณ์นี้มีความรุนแรงมากขึ้น เพื่อความเข้าใจจะสมมุติว่าเรามีระบบการสื่อสารที่ใช้ส่งข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่งผลกระทบจากการสูญเสียข้อมูลที่นานขึ้นเนื่องจากความถี่ของ \bar{N}_0 ที่ต่ำลงจะปรากฏเป็นนี้แถบสีดำซึ่งก็คือช่วงที่สัญญาณลดลงจนเกินระดับต่ำสุดของเครื่องรับ (เส้นสีแดง) โดยในรูปที่ 4.8 จะแสดงการจำลองภาพที่รับได้ในกรณีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ไม่รุนแรงซึ่งค่า \bar{N}_0 มีความถี่สูงทำให้ภาพที่รับได้มีช่วงเวลาการจางหาย (Fade) น้อยกว่าในรูปที่ 4.9 ที่เป็นการจำลองในกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงกว่าซึ่งค่า \bar{N}_0 มีความถี่ต่ำจึงส่งผลให้ช่วงเวลาการจางหายมากขึ้นโดยแถบสีดำที่ปรากฏในกรณีหลังนี้จะมีช่วงกว้างกว่าในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ในระดับที่ไม่รุนแรง

4.5 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันซึ่งมีความถี่ในช่วงที่ระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้นและลดลงไม่ใช่ความถี่ของสัญญาณดาวเทียมนั้นๆ โดยในส่วนแรกได้ใช้การหาค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมเพื่อดูลักษณะการกระจายกำลังงานในโดเมนความถี่โดยตัวแปรสำคัญที่หาได้จากวิธีนี้คือค่าความถี่เฟรสเนลซึ่งนำมาคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ในส่วนถัดมาทำการหาค่าเวลาร่วมกันจากฟังก์ชันอัตโนมัติโดยค่าที่ได้นี้จะน้อยลงเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงขึ้น ท้ายสุดค่าที่คำนวณได้จากวิธีทั้งสองถูกนำมาคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความถี่ในการเกิดปรากฏการณ์นี้ โดยผลที่ได้ทำให้ทราบว่าเมื่อปรากฏการณ์นี้มีความรุนแรงมากขึ้นจะทำให้ช่วงเวลาที่เราจะสูญเสียสัญญาณมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

การวิเคราะห์ทางสถิติของ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

การศึกษาลักษณะจากปรากฏการณ์ธรรมชาติที่มีต่อสัญญาณดาวเทียมนั้นไม่ว่าจะเป็นฝน หรือการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้น ตัวแปรสำคัญมักมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นการวิเคราะห์ทางสถิติจะทำให้เราทราบลักษณะของตัวแปรสุ่มนี้ซึ่งก็คือระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ โดยในบทนี้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ในระยะสั้นซึ่งใช้ข้อมูลทุก 5 นาที นำมาหาค่าฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Density Function: pdf) เพื่อศึกษาลักษณะการแจกแจงของระดับแอมพลิจูดที่ความรุนแรงต่างๆว่ามีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และใช้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function: cdf) เพื่อศึกษาค่าพิสัยพลวัตของระบบเครื่องรับที่เหมาะสม ส่วนหลังเป็นการวิเคราะห์ในระยะยาวซึ่งใช้ข้อมูลทุก 3 เดือนมาทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาลักษณะต่อประสิทธิภาพสัญญาณ เช่น อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน(Signal-to-Noise)และอัตราบิดผิดพลาด (BER)ซึ่งอธิบายอยู่ในบทถัดไป

5.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

โอกาสการเกิดของตัวแปรสุ่ม X ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ x ถูกนิยามว่าเป็น ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ของตัวแปรสุ่ม X และใช้สัญลักษณ์เป็น $F_x(x)$ ตามคำนิยามนี้เมื่อเขียนในเชิงคณิตศาสตร์จะได้ตามสมการ [5]

$$F_x(x) = P(X \leq x) \tag{5.1}$$

เพราะว่าค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมนั้นมีรากฐานอยู่บนเนื้อหาของความน่าจะเป็นจึงมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

$$0 \leq F_x(x) \leq 1 \tag{5.2}$$

$$F(\infty) = 1 \tag{5.3}$$

$$F(-\infty) = 0 \tag{5.4}$$

สำหรับกรณีที่ตัวแปรสุ่มเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง(Discrete) $X = X(\lambda_i)$ ซึ่งก็คือสัญญาณที่ถูกแซมปลิง(Sampling)ที่ทุกๆค่า i ดังนั้นถ้าความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม X_i คือ P_i แล้วเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมก็สามารถหาได้จากการรวมความน่าจะเป็นทั้งหมดในทุกตำแหน่งของ i ดังแสดงในสมการ

$$F_x(x) = \sum_i P_i u(x - x_i) \quad (5.5)$$

ค่าอนุพันธ์ของ $F_x(x)$ เมื่อเทียบกับ x นี้จะนิยามแทนด้วย $P_x(x)$ ดังสมการ

$$\frac{dF_x(x)}{dx} = P_x(x) \quad (5.6)$$

ฟังก์ชัน $P_x(x)$ นี้มีชื่อว่า ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น ของตัวแปรสุ่ม X และอาศัยคุณสมบัติ $F(\infty) = 1$ ดังนั้นจะได้

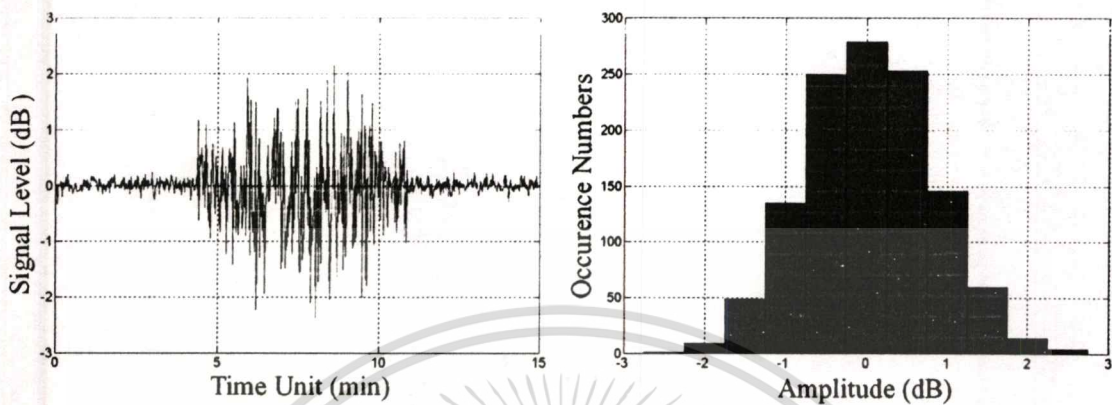
$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} P_x(x) = 1 \quad (5.7)$$

นั่นหมายความว่าพื้นที่ใต้กราฟของค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเราคิดตลอดช่วงจาก $-\infty$ ถึง ∞ นั่นเอง

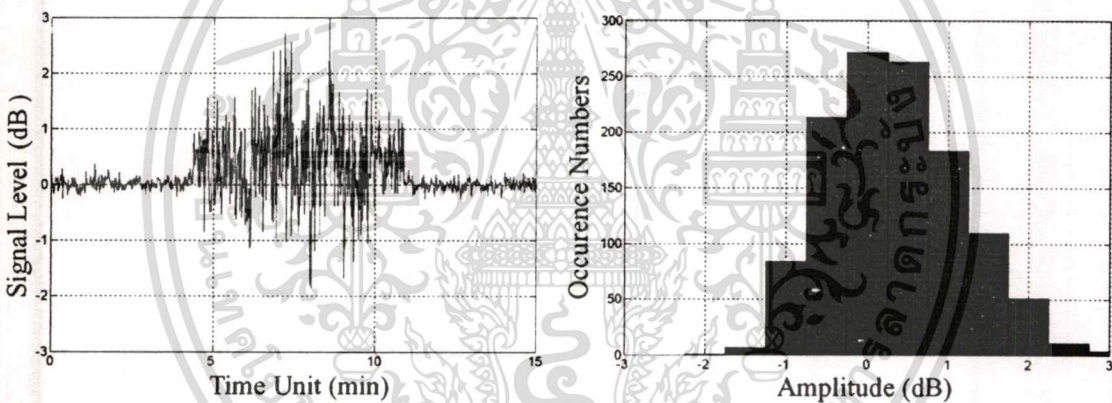
5.2 การแจกแจงความน่าจะเป็น

การหาค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันทำให้ทราบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณโดยทวิเคราะห์เริ่มจากกำหนดให้ $x(t)$ เป็นระดับแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาแล้วนำสัญญาณมาหา Histogram เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ โดยทั่วไปการแจกแจงของ Histogram มี 2 ลักษณะคือ การแจกแจงแบบสมมาตร (Symmetric) ซึ่งจำนวนสัญญาณที่เพิ่มจากระดับปกติจะมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกับจำนวนสัญญาณที่ลดลง ยกตัวอย่างการจำลองสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในรูปที่ 5.1(ก) ถ้าระดับสัญญาณปกติเป็น 0 เดซิเบลเมื่อวิเคราะห์ Histogram ที่ได้จะเห็นว่าจำนวนครั้งที่เกิดระดับแอมพลิจูด 1 เดซิเบล ($x = 1 \text{ dB}$) นั้นมีประมาณ 250 ครั้ง ซึ่งจะใกล้เคียงกับจำนวนการเกิดที่ระดับแอมพลิจูด -1 เดซิเบล ($x = -1 \text{ dB}$) ซึ่งการแจกแจงที่มีลักษณะสมมาตรนี้มักถูกเรียกว่า การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ส่วนการแจกแจงอีกรูปแบบหนึ่งคือ การแจกแจงแบบไม่สมมาตร (Asymmetric) ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณทางด้านบวกมากกว่าการลดลงของสัญญาณทางด้านลบดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ข) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะทำให้เกิดปัญหาทางด้านเกิดการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation) ตรงกันข้ามกับกรณีที่มีการลดลงของสัญญาณด้านลบมากกว่าการเพิ่มขึ้นของสัญญาณด้านบวก ดังแสดงในรูปที่ 5.1(ค) ที่จะส่งผลกระทบต่อทางด้านการจางหายของสัญญาณ (Fading) โดยโอกาส

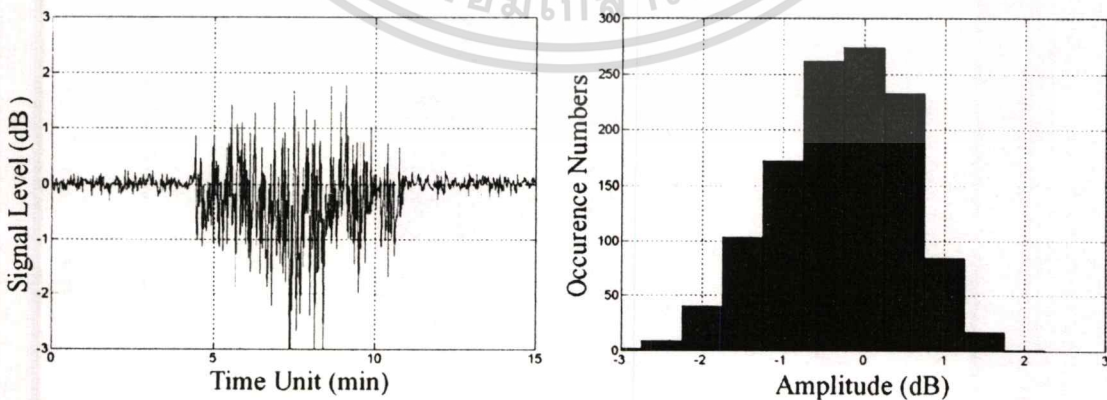
ที่จะเกิดปัญหาทั้งสองนี้ก็คือเมื่อระดับสัญญาณเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงจนเกินค่าพิสัยพลวัตของเครื่องรับทำให้ระบบสูญเสียข้อมูลข่าวสารในช่วงเวลานั้นซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดและทำให้ความน่าเชื่อถือของการสื่อสารลดลง



(ก) แสดงการแจกแจงแบบสมมาตรของสัญญาณดาวเทียม



(ข) จำนวนการแจกแจงแบบไม่สมมาตรของสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมากกว่าระดับปกติ



(ค) จำนวนการแจกแจงแบบไม่สมมาตรของสัญญาณที่ลดลงต่ำกว่าระดับปกติ

รูปที่ 5.1 แสดงลักษณะการแจกแจงของสัญญาณดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การแจกแจงแบบปกติ

การแจกแจงแบบปกติหรือมีอีกชื่อที่รู้จักคือ การแจกแจงแบบเกาส์ (Gaussian distribution) เป็นการแจกแจงที่พบเห็นทั่วไปในการพิจารณาความน่าจะเป็นในทางสถิติ ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบสมมาตรโดยการกำหนดลักษณะของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบเกาส์นั้นขึ้นกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชุดข้อมูลนั้นซึ่งแสดงได้ดังสมการ

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2\right] \quad (5.8)$$

โดยที่ m คือ ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณดาวเทียม x (Mean level)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับสัญญาณ (Standard Deviation)

อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นกับฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมการ (5.7) จะสามารถหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมซึ่งเป็นการรวมความน่าจะเป็นแบบสะสมจนถึงค่า x ที่เราต้องการดังแสดงในสมการ

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{t-m}{\sigma}\right)^2\right] dt = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x-m}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right] \quad (5.9)$$

ดังนั้นในการหาความน่าจะเป็นสะสมที่มีค่ามากกว่า x จึงต้องใช้ค่า $F(x)$ ที่ได้ลบออกจากความน่าจะเป็นตลอดช่วงซึ่งสามารถหาความน่าจะเป็นสะสมแบบเกาส์ได้จาก $1 - F(x)$.

5.2.2 การแจกแจงแบบนาคากามิ

การแจกแจงแบบนาคากามิ (Nakagami-m Distribution) มีลักษณะเป็นการแจกแจงที่ใช้งานหลากหลายโดยสามารถปรับรูปให้เป็นที่ทั้งแบบสมมาตรและแบบไม่สมมาตรจึงเป็นที่ยอมรับและมักถูกใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการจางหายของการสื่อสารแบบเคลื่อนที่ (Mobile Communication) [11] เนื่องจากสามารถปรับค่าตัวแปร (m -coefficient) ให้เหมาะสมกับสภาวะต่างๆได้ดี ดังนั้นการแจกแจงแบบนาคากามิจึงถูกนำมาวิเคราะห์ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของสัญญาณดาวเทียม (Rec. ITU-R PN.1057.1994) ที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วย โดยมีสมการทางคณิตศาสตร์เป็น

$$p(x) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} x^{2m-1} e^{-\frac{m}{\Omega}x^2} \quad (5.10)$$

$$m = \left(\frac{\Omega}{x^2 - \Omega}\right)^2 = \frac{1}{S_4^2} \geq \frac{1}{2} \quad (5.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Ω คือค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณกำลังสอง (x^2) และสัมประสิทธิ์ m คือตัวแปรที่ปรับค่าได้ซึ่งในกรณีนี้ค่า m จะแปรตามระดับความรุนแรงของปรากฏการณ์หรือค่าดรรชนี S4 ส่วนค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมในแบบนาคากามีมีลักษณะตามสมการ

$$F(x) = \int_0^x p(x)dt = \frac{\Gamma(m, mI)}{\Gamma(m)} \quad (5.12)$$

โดย $\Gamma(m)$ คือ แกมมาฟังก์ชัน (Gamma Function) และ $\Gamma(m, mI)$ คือ แกมมาฟังก์ชันที่ต้องอาศัยเงื่อนไขจากตัวแปรอื่นหรือที่เรียกว่า Incomplete Gamma Function

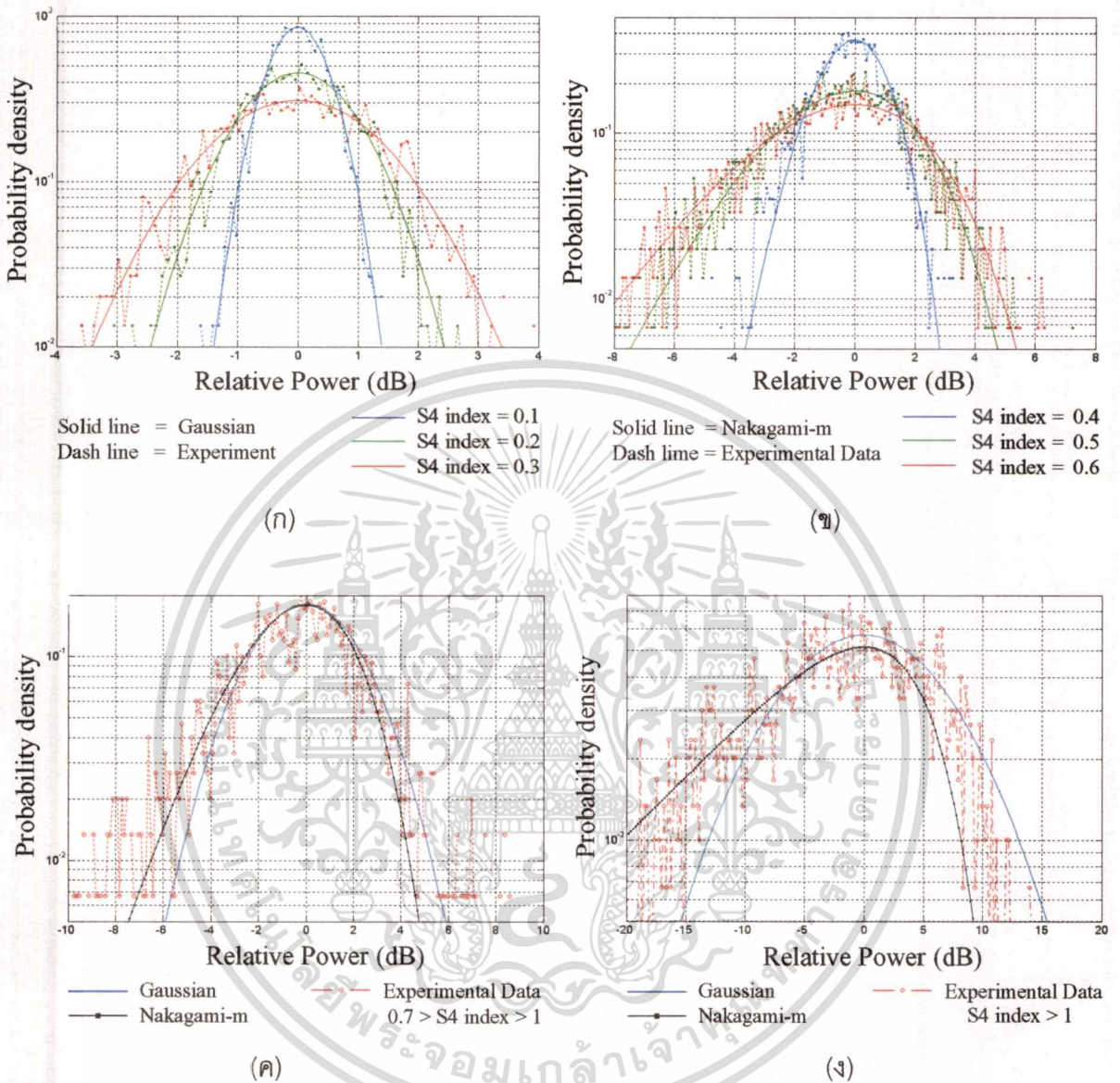
5.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในระยะสั้น

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กทรอนิกส์อนเป็นสาเหตุให้ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งเราไม่สามารถรู้ค่าที่แน่นอนได้เราเรียกกระบวนการในลักษณะนี้ว่าการสุ่มแบบไม่คงที่(Non-Stationary) ดังนั้นหากเราพิจารณาช่วงเวลาสั้นเพียงพอเพื่อกำหนดสมมุติฐานให้การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กทรอนิกส์อนไม่ส่งผลกระทบต่อผลกระทบน้อยที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความรุนแรงแล้ว สภาวะในช่วงเวลานี้ก็จะมีลักษณะคล้ายกระบวนการสุ่มแบบคงที่ (Quasi-Stationary) นั้นหมายความว่าความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่วิเคราะห์ในระยะสั้นจะมีค่าคงที่เพื่อที่จะสามารถหาค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของระดับความรุนแรงที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่เกิดปรากฏการณ์ขึ้น

5.3.1 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น

ผลการหาค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของงานวิจัยนี้แสดงอยู่ในรูปที่ 5.2 โดยแสดงการแจกแจงของระดับแอมพลิจูดสัญญาณเมื่อระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีค่าหรือค่าดรรชนี S4 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.1 จนถึง 1.0 ซึ่งในขณะที่ระดับความรุนแรงเปลี่ยนแปลงจาก 0.1 – 0.3 ลักษณะการแจกแจงที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์ดังในรูปที่ 5.2(ก) และเมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นมากกว่า 0.4 ลักษณะการแจกแจงจะเข้าใกล้การแจกแจงแบบนาคากามิดังในรูปที่ 5.2(ข) ที่แสดงให้เห็นเมื่อระดับS4เพิ่มจาก 0.4 – 0.6 ซึ่งหลังจากนั้นเมื่อระดับความรุนแรงของดรรชนีS4มากขึ้นเกิน 0.7 ดังรูปที่ 5.2 (ค) การแจกแจงที่ได้จะต้องแยกกันพิจารณาโดยเริ่มจากการพิจารณาการแจกแจงทางด้านบวกจะมีลักษณะเข้าใกล้การแจกแจงแบบเกาส์ ส่วนทางด้านลบจะมีลักษณะเข้าใกล้นาคากามิซึ่ง

ความสัมพันธ์แบบนี้จะมีอยู่จนถึงระดับความรุนแรงดรชนี S4 มีค่ามากกว่า 1 โดยที่ระดับความรุนแรงนี้จะไม่สามารถอธิบายได้ด้วยการแจกแจงทั้งสองแบบ

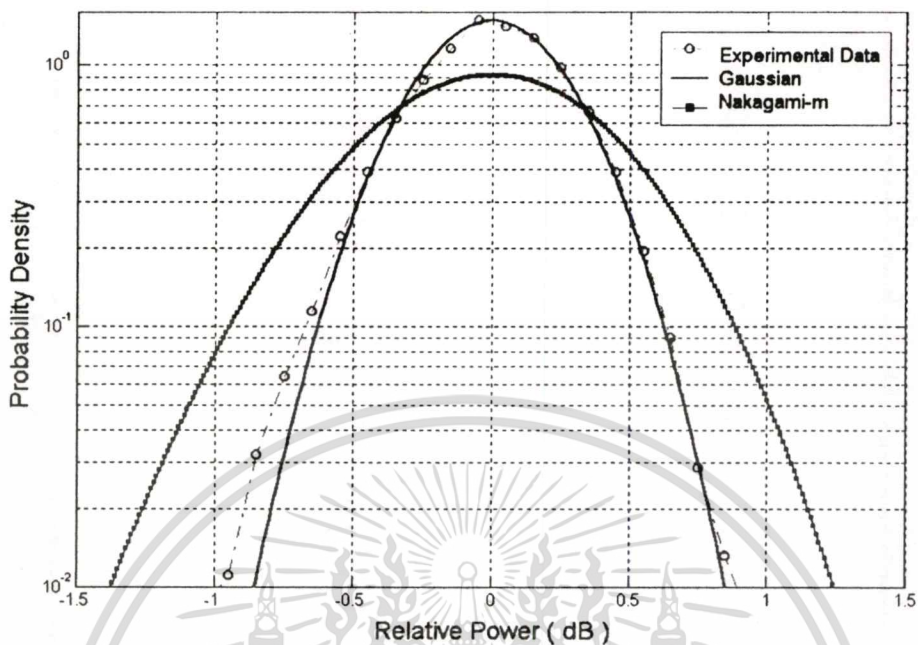


รูปที่ 5.2 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่เปลี่ยนแปลงตามความรุนแรง

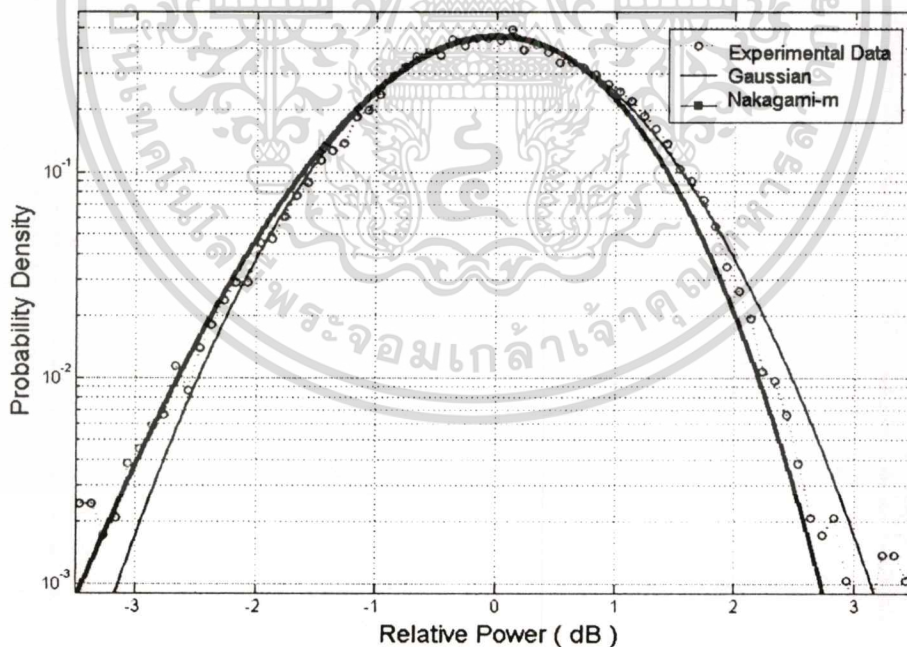
จากผลการทดลองสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงลักษณะฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นตามระดับดรชนีความรุนแรงของการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (S4 index) ได้เป็น 4 ระดับดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ไม่รุนแรงโดยมีค่าดรชนี S4 ในระดับ 0.1 - 0.4 ค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ได้จะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์ดังในรูปที่ 5.3 ซึ่งแสดงค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณดาวเทียมในขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ระดับดรชนี S4 เท่ากับ 0.06 จะเห็นได้ว่าการแจกแจงที่ได้ทั้งทางด้านบวกและลบมีค่าระดับ

สัญญาณมากที่สุดอยู่ที่ค่าประมาณ $\pm 9dB$ ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

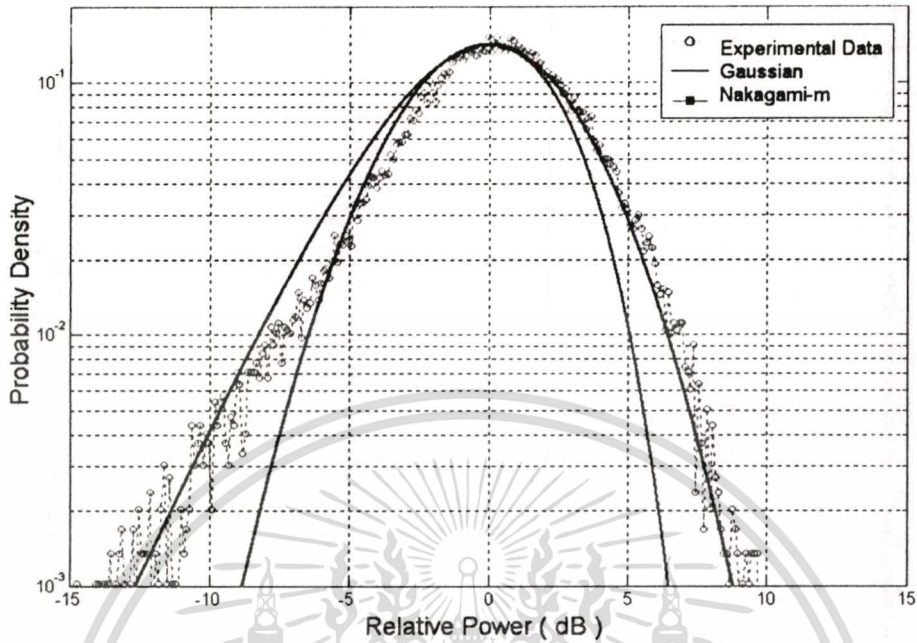


รูปที่ 5.3 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ $S_4 = 0.06$

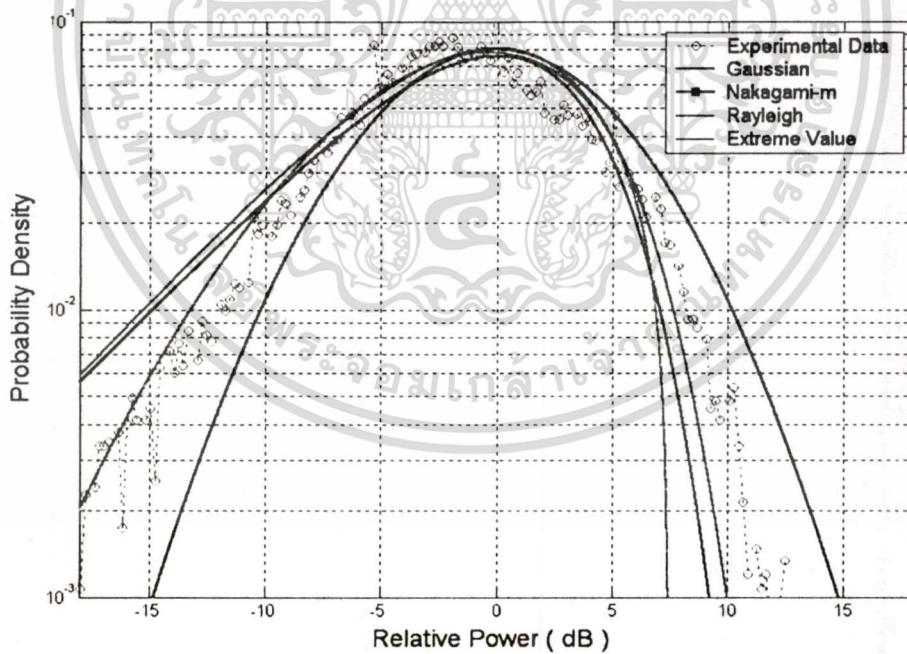


รูปที่ 5.4 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ $S_4 = 0.48$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ $S_4 = 0.77$



รูปที่ 5.6 แสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับ $S_4 = 1.17$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแจกแจงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบนาคาคามิโดยมีระดับดรรชนี S_4 ประมาณ 0.4 – 0.7 ซึ่งผลการทดลองรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะค่าการแจกแจงจากเดิมที่ใกล้เคียงแบบเกาส์มาเป็นใกล้เคียงการแจกแจงแบบนาคาคามิ ซึ่งในรูปใช้ตัวอย่างสัญญาณดาวเทียมที่มีดรรชนีความรุนแรง S_4 เท่ากับ 0.48 โดยพิจารณาความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านบวกก่อนซึ่งผลการทดลองมีค่าประมาณ 2.9 dB เมื่อเปรียบเทียบกับทั้งการแจกแจงทั้งแบบเกาส์และนาคาคามิซึ่งมีค่าทางด้านบวกเท่ากับ 3.2 dB และ 2.8 dB ตามลำดับ ค่าจากการแจกแจงทั้งสองใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองจึงยังไม่สามารถกำหนดได้ว่าผลการทดลองมีลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็นเข้าใกล้การแจกแจงแบบใด แต่เมื่อพิจารณาความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านลบจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าผลการทดลองมีลักษณะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบนาคาคามิมากกว่าการแจกแจงแบบเกาส์

3. เมื่อระดับความรุนแรงมีค่าดรรชนี S_4 มากกว่า 0.7 จะต้องแบ่งการพิจารณาซึ่งจากผลการทดลองรูปที่ 5.5 เป็นการแสดงการแจกแจงของสัญญาณที่ระดับดรรชนี S_4 เท่ากับ 0.77 ซึ่งเป็นระดับที่รุนแรง สามารถเห็นได้ว่าค่าทางด้านบวกของความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบนาคาคามิมีระดับแอมพลิจูดที่ระดับ 7 dB ในขณะที่ผลการทดลองนั้นมีค่าประมาณ 9 dB ซึ่งใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์ แต่เมื่อพิจารณาความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านลบผลการทดลองที่ได้กลับใกล้เคียงกับแบบนาคาคามิที่มีระดับแอมพลิจูดประมาณ -13 dB ซึ่งแบบเกาส์มีระดับแอมพลิจูดเพียง -9 dB เท่านั้น ดังนั้นการอธิบายลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับความรุนแรงนี้จึงเป็นการรวมเอาลักษณะของการแจกแจงทั้งสองแบบมาไว้ด้วยกัน

4. ลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ระดับความรุนแรงมากกว่า 1 นั้นจากผลการทดลองไม่สามารถอธิบายได้ด้วยการแจกแจงแบบเกาส์และนาคาคามิ โดยผลการทดลองรูปที่ 5.6 เป็นการแสดงความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ระดับความรุนแรงมากที่สุดของการทดลองย่านความถี่ VHF โดยพิจารณาความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านบวกค่าผลการทดลองอยู่ที่ประมาณ 11 dB ซึ่งค่าการแจกแจงแบบเกาส์นั้นสูงเกินไป โดยอยู่ที่ระดับ 15 dB ในขณะที่ค่าการแจกแจงแบบนาคาคามินั้นอยู่ที่ 8 dB ซึ่งก็น้อยเกินไป และเมื่อพิจารณาค่าทางด้านลบก็เช่นกันนั่นคือไม่เข้าใกล้การแจกแจงของทั้งสองแบบโดยที่แบบเกาส์และแบบนาคาคามิมีระดับแอมพลิจูดอยู่ที่ -15 dB และ -25 dB ตามลำดับ ซึ่งความหนาแน่นความน่าจะเป็นจากผลการทดลองอยู่ที่ -20 dB ดังนั้นเพื่อต้องการหาการแจกแจงที่สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลการทดลองจึงได้มีการนำเอาการแจกแจงที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลการทดลองมาเปรียบเทียบ โดยเริ่มจากการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านบวกของผลการทดลองมากที่สุดคือ การแจกแจงแบบ Extreme Value Distribution มีรูปร่างเป็นไปตามสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(\frac{x-m}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)\right) \quad (5.13)$$

โดยที่ m คือ ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณดาวเทียม x (Mean level)

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับสัญญาณ (Standard Deviation)

ส่วนการแจกแจงที่ใกล้เคียงกับความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านลบของผลการทดลองมากที่สุดคือ การแจกแจงแบบ Rayleigh Distribution มีรูปร่างเป็นไปตามสมการ

$$p(x) = \frac{x}{q^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2q^2}\right) \quad (5.14)$$

$$q = \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (5.15)$$

โดยที่ q คือ ตัวแปรที่กำหนดรูปร่างของการแจกแจงแบบ Rayleigh Distribution โดยมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณดาวเทียม x ส่วนค่า n คือ จำนวนของระดับสัญญาณทั้งหมด (จำนวนชุดข้อมูล) ที่นำมาวิเคราะห์

จากผลการทดลองทั้งหมดรวมกับการสรุปรูปแบบของฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่เปลี่ยนแปลงตามตรรกะ S4 ทั้ง 4 ลักษณะสามารถสรุปได้ว่าค่าการแจกแจงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนั้นเมื่อเกิดในระดับที่ไม่รุนแรงจะมีลักษณะเป็นแบบสมมาตร (Symmetric) คล้ายลักษณะการแจกแจงแบบเกาส์ แต่เมื่อระดับความรุนแรงมากขึ้น ค่าทางด้านบวกจะเพิ่มขึ้นจากระดับปกติเล็กน้อยแต่ในขณะที่ค่าทางด้านลบกลับลดลงมากอย่างเห็นได้ชัด นั้นหมายความว่าเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในระดับที่รุนแรงสัญญาณดาวเทียมจะมีแอมพลิจูดที่ลดลงจากระดับสัญญาณปกติมากกว่าการเพิ่มของแอมพลิจูด ดังนั้นปัญหาของสัญญาณดาวเทียมที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้จะมีปัญหาทางการจางหายของสัญญาณ (Fading) มากกว่าปัญหาที่จะเกิดจากการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation)

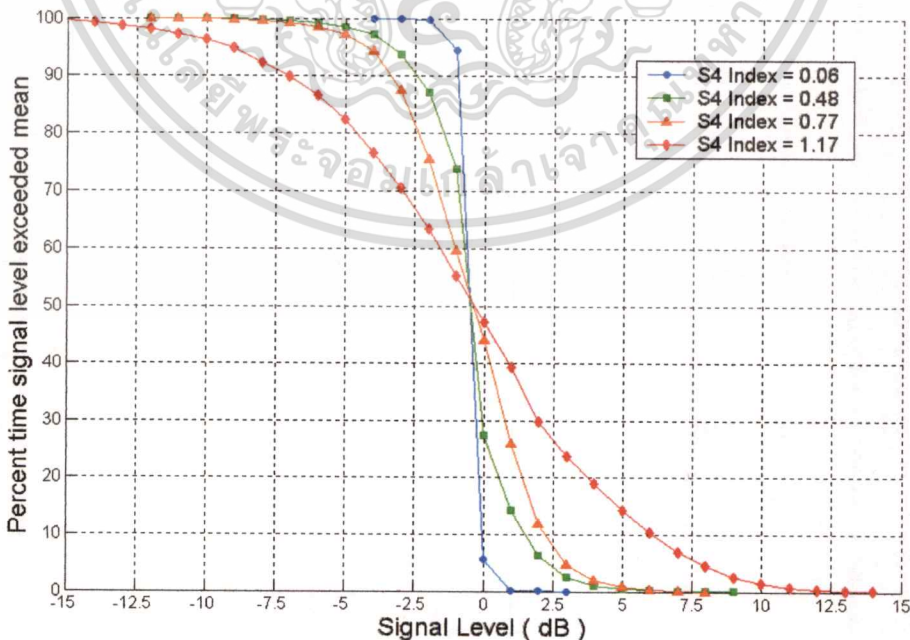
5.3.2 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

หลังจากที่เราทราบลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณดาวเทียมเมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้แล้ว เหตุการณ์ทั้ง 4 นั้นยังสามารถบอกค่าตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการออกแบบระบบอุปกรณ์ของการสื่อสารผ่านดาวเทียมทางด้านรับ ซึ่งได้แก่ ค่าระดับสัญญาณสูงสุด (Peak Enhancement) และค่าระดับสัญญาณต่ำสุด (Maximum fade) โดยค่าทั้งสองนี้แสดงให้เห็นว่าที่ระดับความรุนแรงต่างๆจะมีระดับแอมพลิจูดเกิดขึ้นมากที่สุดและน้อยที่สุดเพียงใด ส่วนตัวแปรที่

ลำดับอีกค่าหนึ่งคือ ค่าพิสัยพลวัต (Dynamic Range) ซึ่งสามารถหาได้จากค่า 5% ของค่าสูงสุด (5% Peak) ลบด้วยค่า 95% ของค่าต่ำสุด (95% Fade) ดังสมการ

$$Dynamic\ Range = 5\% \text{ peak} - 95\% \text{ fade} \tag{5.16}$$

โดยอาศัยความสัมพันธ์ตามสมการ (5.7) เราสามารถหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณดาวเทียมที่ระดับความรุนแรงต่างกันได้ดังรูปที่ 5.7 โดยเริ่มต้นที่เหตุการณ์ในระดับที่ไม่รุนแรงกรณี S4 เท่ากับ 0.06 เห็นว่าลักษณะฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ได้สามารถบอกค่าระดับสัญญาณสูงสุดและค่าระดับสัญญาณต่ำสุดที่เกิดขึ้นที่ระดับความรุนแรงนี้ซึ่งก็ได้คือ $\pm 2\text{dB}$ แต่เมื่อระดับความรุนแรงของกรณี S4 เพิ่มมากขึ้นค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ได้จะมีค่าความชันลดลง เช่นเมื่อระดับความรุนแรงกรณี S4 เพิ่มขึ้นเป็น 0.48 ค่าระดับสัญญาณสูงสุดที่ได้คือ 5 dB ในขณะที่ค่าระดับสัญญาณต่ำสุดที่ได้คือ -7.5 dB ซึ่งก็เป็นไปตามลักษณะของการแจกแจงแบบนาคามีที่สรุปไว้ในกราฟหาค่าฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นในหัวข้อก่อนหน้านี้ และเมื่อพิจารณาการแจกแจงสะสมที่ระดับความรุนแรงกรณี S4 มีค่าสูงสุดคือ 1.17 นั้นมีระดับสัญญาณสูงสุดที่ 12.5 dB และมีระดับสัญญาณต่ำสุด -15 dB นั้นหมายความว่าระบบต้องการค่าพิสัยพลวัตมากขึ้นเพื่อจะคงความสามารถในการรับสัญญาณเมื่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมีระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น ซึ่งหาค่าพิสัยพลวัตจากการทดลองนี้ที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดอยู่ที่ระดับ S4 = 1.17 ดังนั้นถ้ามีการออกแบบระบบทางด้านรับจะต้องมีค่าพิสัยพลวัตไม่ต่ำกว่า 18 dB เป็นต้น ซึ่งค่าที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.7 แสดงค่าการแจกแจงสะสมที่เปลี่ยนแปลงตามความรุนแรง

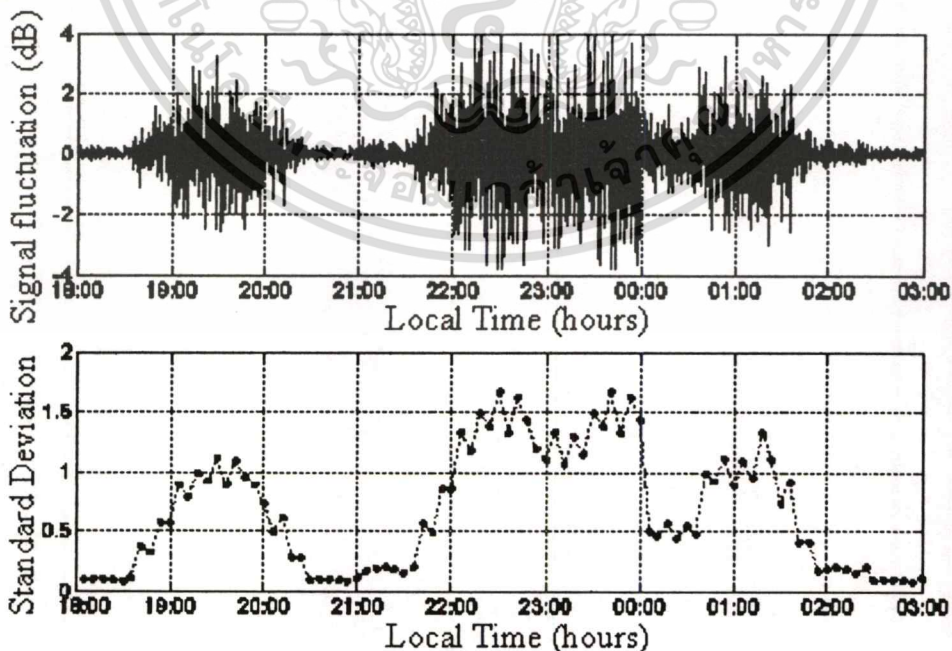
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม

เหตุการณ์	S4 index	Peak Enhancement	Fade Maximum	5% Peak	95% Fade	Dynamic Range
04/12/02	0.06	2	-2	1	-1	2
27/07/03	0.48	4.5	-6	2	-3	5
10/10/03	0.77	6	-7.5	3	-4	7
29/04/03	1.17	12.5	-15	8	-10	18

5.4 การวิเคราะห์ความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาว

ในหัวข้อ 5.3 เราได้ทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะสั้นโดยนำข้อมูลทุก 5 นาทีของเหตุการณ์ที่เราสนใจมาพิจารณา ซึ่งในหัวข้อนี้เราจะเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลในระยะยาวโดยใช้เหตุการณ์ทุก 3 เดือน ดังนั้นข้อมูล 1 ปีจึงถูกแบ่งออกเป็น 4 ช่วงคือ เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน เดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม และเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม และนำมาหาค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวโดยก่อนหน้านี้ในการวิเคราะห์ระยะสั้นตัวแปรสุ่มที่ใช้คือค่าระดับกำลังสัญญาณตามรูปที่ 5.8 (บน) ซึ่งสามารถใช้ในหน่วยของเดซิเบล (dB) หรือเนเปอร์ (Neper) ก็ได้ [8] แต่ในการวิเคราะห์ระยะยาวจะใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังงานสัญญาณ (σ_x) ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มที่เปลี่ยนแปลงตามความรุนแรงของระดับสัญญาณดังรูปที่ 5.8 (ล่าง)



รูปที่ 5.8 (บน) แสดงระดับสัญญาณที่เป็นตัวแปรสุ่มในการวิเคราะห์ระยะสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (ล่าง) แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เป็นตัวแปรสุ่มในการวิเคราะห์ระยะยาว ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในระยะยาวเริ่มต้นจากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน กำหนดให้เป็น $A(t)$ และระดับแอมพลิจูดของสัญญาณในช่วงเวลาปกติที่ไม่มีการจางหาย กำหนดเป็น A_0 ซึ่งจากทฤษฎีการประมาณค่าของ Rytov จะได้ความสัมพันธ์ของสัญญาณ $A(t)$ และ A_0 นี้เป็น

$$A(t) = A_0 \exp(\chi(t)) \quad (5.17)$$

โดยที่ $\chi(t)$ คือ ตัวแปรสุ่มที่เป็นฟังก์ชันทางเวลาของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณไปจากระดับปกติและมีหน่วยเป็นเนเปอ์ แต่ในการทดลองระดับสัญญาณที่ได้จากการบันทึกมีหน่วยเป็นเดซิเบล $X(t)$ ดังนั้นต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานในหน่วยเดซิเบลและเนเปอ์ตามสมการ

$$X(t) = 20 \log_{10} \left(\frac{A(t)}{A_0} \right) = 8.686 \chi(t) [dB] \quad (5.18)$$

ดังนั้นเมื่อทำการหาความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวโดยพิจารณาให้ค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณดาวเทียมเป็นศูนย์ ซึ่งวิธีนี้ถูกเสนอโดย Moulisley-Villar ที่เป็นการนำค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะสั้น $p(\chi, \sigma_x)$ คูณด้วยความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $p(\sigma_x)$ ของสัญญาณดาวเทียมแล้วทำการอินทิเกรตตามสมการ (5.19) เราจะได้ความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวของสัญญาณดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเป็น $p(\chi)$

$$\langle p(\chi) \rangle = \int_0^{\infty} p(\sigma_x) p(\chi, \sigma_x) d\sigma_x \quad (5.19)$$

นั่นหมายความว่าลักษณะการแจกแจงของความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาว $p(\chi)$ นี้จะขึ้นกับการแจกแจงในระยะสั้นด้วย โดยการแจกแจงในระยะสั้นที่นำมาคูณในสมการ (5.19) เป็นประยุกต์ใช้การแจกแจงแบบเกาส์ให้เป็นตัวควบคุมลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาว โดยเพิ่มตัวแปรสุ่มที่เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเข้าไปในสมการเกาส์แล้วให้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าศูนย์ เราจะได้ค่า $p(\chi, \sigma_x)$ ที่เป็นไปตามสมการ

$$p(\chi, \sigma_x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\chi^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (5.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่การพิจารณาตัวแปรสุ่มในระยะยาวด้วยวิธีของ Moulty-Vilar ได้เสนอให้ใช้ค่าตัวแปรสุ่มที่เป็นค่า $\ln \sigma_x^2$ แทนการใช้ค่า σ_x ดังนั้นค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของเกาส์ที่มีการใช้ตัวแปรสุ่ม $\ln \sigma_x^2$ สามารถหาได้จากสมการ

$$p(\ln \sigma_x^2) = \frac{1}{\sigma_\sigma \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\left(\frac{(\ln \sigma_x^2 - \ln \sigma_m^2)}{2\sigma_\sigma^2}\right)^2\right) \quad (5.21)$$

โดยที่ σ_σ และ σ_m จะเป็นตัวแปรที่กำหนดลักษณะของการแจกแจงของความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวโดยหาได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังงานสัญญาณ (σ_x) ตามสมการ (5.22) และ (5.23) ตามลำดับ

$$\sigma_\sigma = \sigma(\ln \sigma_x^2) \quad (5.22)$$

$$\ln \sigma_m^2 = \overline{\ln \sigma_x^2} \quad (5.23)$$

เพื่อความสะดวกในหาความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ใช้ตัวแปรสุ่มต่างกันจึงอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มทั้งสองซึ่งเราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของ σ_x ได้จากค่าความน่าจะเป็นของ $\ln \sigma_x^2$ ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้ โดยที่กำหนด $y = g(x)$

$$P_y(y) = \frac{P_x(x)}{|g'(x)|} \quad (5.24)$$

โดยที่ $P_y(y)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม σ_x

$P_x(x)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม $\ln \sigma_x^2$

$g'(x)$ คืออนุพันธ์ของฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่ม σ_x กับตัวแปรสุ่ม $\ln \sigma_x^2$

ดังนั้นถ้ากำหนดให้ $y = \sigma_x$ และ $x = \ln \sigma_x^2$ เราสามารถหาค่าอนุพันธ์ $g'(x)$ ได้เป็น

$$g'(x) = \frac{dy}{dx} = \frac{\sqrt{\exp(x)}}{2} = \frac{\sigma_x}{2} \quad (5.25)$$

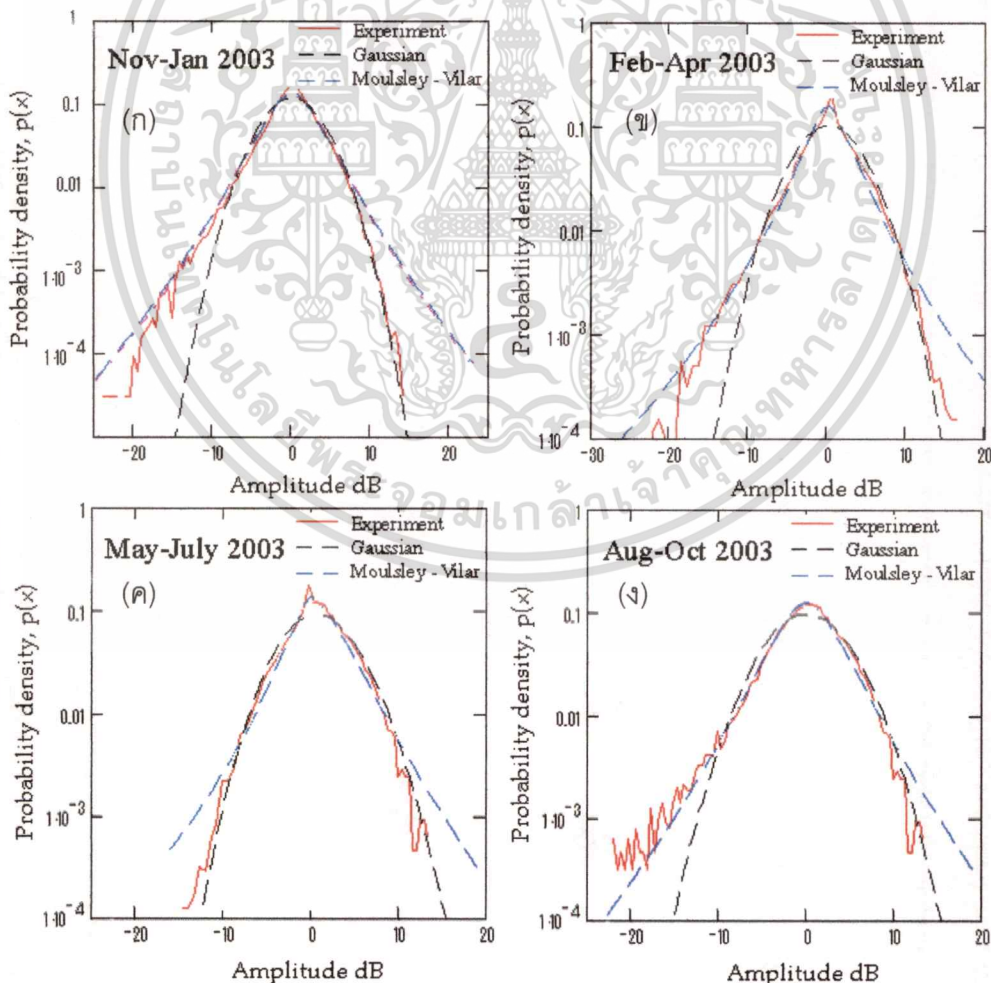
เมื่อแทนสมการ (5.21) และ (5.25) ลงในสมการ (5.24) เราจะได้ค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม σ_x เป็นไปตาม

$$p(\sigma_x) = \frac{1}{\sigma_\sigma \sigma_x} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln \sigma_x^2 - \ln \sigma_m^2)^2}{2\sigma_\sigma^2}\right] \quad (5.26)$$

จากนั้นรวมความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะสั้นแบบเกาส์ที่มีตัวแปรสุ่มเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในสมการ (5.20) กับความหนาแน่นความน่าจะเป็นของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในสมการ (5.26) เข้าด้วยกันตามสมการที่ (5.19) เราจะได้สมการความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวตามวิธีของ Moulsey-Vilar ดังนี้

$$p(x) = \frac{1}{\sigma_\sigma \pi} \int_0^\infty \frac{1}{\sigma_x^2} \exp \left[-\frac{\chi^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(\ln(\sigma_x^2 / \sigma_m^2))^2}{2\sigma_\sigma^2} \right] d\sigma_x \quad (5.27)$$

โดยที่ค่า σ_σ และ σ_m ของเหตุการณ์ทั้ง 4 ช่วงสามารถหาได้ตามสมการ (5.22) และ (5.23) ซึ่งเป็นการนำสัญญาณดาวเทียมมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ_x โดยตัวแปรเหล่านี้แสดงอยู่ในตารางที่ 5.2 ซึ่งการแจกแจงค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นระยะยาว $p(x)$ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 เป็นการแสดงค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นจากผลการทดลอง เปรียบเทียบกับความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบเกาส์และการแจกแจงของ Moulsey-Vilar



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนาแน่นความน่าจะเป็นระยะยาว

ช่วงเดือน	σ_σ	σ_m
พฤศจิกายน-มกราคม	1.125	2.815
กุมภาพันธ์-เมษายน	1.199	3.917
พฤษภาคม-กรกฎาคม	0.896	2.738
สิงหาคม-ตุลาคม	1.254	3.719

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวที่ได้จากรูปนั้นมีลักษณะคล้ายกันคือการแจกแจงด้านลบที่มีลักษณะเข้าใกล้การแจกแจงแบบเกาส์โดยมีระดับแอมพลิจูดอยู่ที่ประมาณ 10-15 dB ตลอดทั้งปีนั้นหมายความว่า การสื่อสารในย่าน VHF ในบริเวณนี้ จะมีการเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณเมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ประมาณ 15 dB ถ้าเครื่องรับมีค่าพิสัยพลวัตที่สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นในระดับนี้ได้ก็หลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการอิ่มตัวของสัญญาณ (Saturation) ในขณะที่ค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นทางด้านลบที่มีลักษณะเข้าใกล้การแจกแจงแบบเกาส์นั้นมีอยู่เฉพาะเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคมเท่านั้น นอกเหนือจากนี้ ในเดือนอื่นๆ ค่าความน่าจะเป็นของระดับแอมพลิจูดจะเข้าใกล้การแจกแจงของ Moulisy-Vilar ซึ่งหมายความว่าระบบต้องเตรียมค่าพิสัยพลวัตทางด้านลบมากกว่า -20 dB สำหรับการสื่อสารในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมดังแสดงในรูปที่ 5.9 (ง) จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 5.3 ทำให้เรารู้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่รุนแรงมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าที่ได้ปรากฏอยู่ทางด้านลบมากกว่า ด้วยเหตุผลเดียวกันเมื่อเราเปรียบเทียบช่วงเดือนที่เกิดปรากฏการณ์มากที่สุดคือ เดือนมีนาคม และเดือนตุลาคม จากในรูป 5.9(ข) และ 5.9(ง) ตามลำดับ ทำให้ทราบว่าในช่วงเดือนตุลาคมมีโอกาสที่จะเกิดปัญหาทางการจางหายของสัญญาณ (Fading) มากที่สุดในรอบปี ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวนี้สอดคล้องกับการวิเคราะห์จำนวนครั้งและระดับความรุนแรงในบทที่ 3 ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าช่วงมีนาคมซึ่งอยู่ในฤดูร้อนอาจเป็นช่วงที่เกิดปรากฏการณ์มากที่สุด แต่ช่วงที่มีความรุนแรงมากที่สุดจะอยู่ในเดือน ตุลาคม ซึ่งเป็นฤดูหนาวของปี

5.5 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมภายใต้อิทธิพลของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้มีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ทางสถิติมาอธิบายโดยเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ในระยะสั้นซึ่งเป็นการนำข้อมูลที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความรุนแรงต่างๆในช่วงเวลา 5 นาทีมาวิเคราะห์ โดยผลที่ได้ปรากฏว่าเมื่อระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้นลักษณะการแจกแจงจะปรากฏทางด้านลบมากกว่านั้นแสดงว่าจะเกิดปัญหาในเรื่องการจางหายของสัญญาณเมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ในระดับที่รุนแรง ส่วนต่อมาทำการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นสะสมซึ่งค่าที่ได้สามารถนำไปหาค่าพิสัยพลวัตของเครื่องรับโดยผลการทดลองทำให้ทราบว่าค่าพิสัยพลวัตมากที่สุดที่จะสามารถรับสัญญาณขณะเกิดปรากฏการณ์นี้คือ 18 เดซิเบล ทำยสุดได้ทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นความน่าจะเป็นในระยะยาวโดยนำข้อมูลทุก 3 เดือนมาทำการวิเคราะห์โดยได้ยกตัวอย่างช่วงเดือนที่น่าสนใจคือช่วงเดือน ตุลาคม และช่วงเดือน มีนาคม จากค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นที่ได้เข้าใกล้การแจกแจงแบบเกาส์ทางด้านบวกและทางด้านลบจะเข้าใกล้แบบจำลองของ Moulisley-Vilar ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์สอดคล้องกับจำนวนครั้งและระดับความรุนแรง ดังนั้นจึงสามารถบอกได้ว่าช่วงเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่ปรากฏการณ์นี้จะส่งผลกระทบต่อการสื่อสารมากทางด้านจางหายมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลกระทบของการจางหายที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม

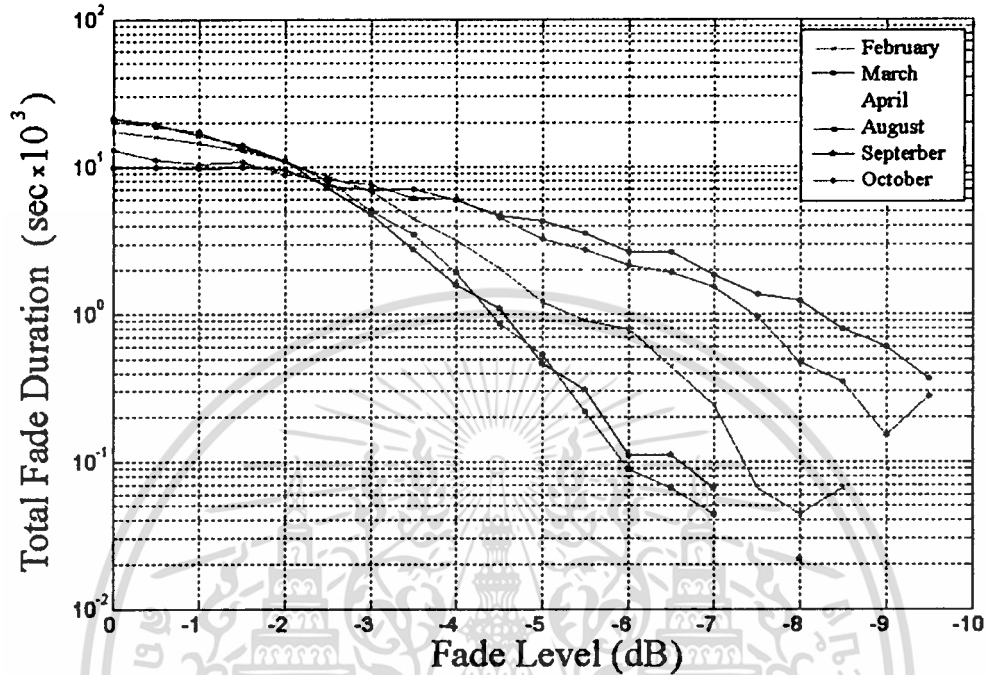
การศึกษาค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นในบทที่ 5 ทำให้ทราบว่าปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้เกิดปัญหาทางการจางหายของสัญญาณซึ่งเป็นปัญหาสำคัญทางการสื่อสาร ดังนั้น การศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับการจางหาย เช่น ช่วงเวลาการจางหาย(Fade duration) ความเชื่อถือได้ของข้อมูล(Message Reliability) รวมถึง อัตราบิตผิดพลาด(Bit Error Rate) นั้น สามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพของการสื่อสารภายใต้อิทธิพลของปรากฏการณ์นี้ โดยใช้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ในบทก่อนซึ่งได้แก่ อัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน(Scintillation Rate) มาคำนวณหาช่วงเวลาการจางหายรวมทั้งแยกวิเคราะห์ในแต่ละเดือน ในขณะที่เดียวกันก็สามารถบอกค่าความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อความยาวข้อมูลเพิ่มขึ้น เมื่อประกอบกับการนำข้อมูลในระยะยาวมาคำนวณค่าอัตราบิตผิดพลาดก็สามารถบอกถึงระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่เปลี่ยนไป ทำให้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการสื่อสาร โดยการวิเคราะห์อัตราบิตผิดพลาดยังสามารถบอกค่าเผื่อการเชื่อมต่อ(Link Margin)ที่เหมาะสมกับการสื่อสารที่ใช้ความถี่ VHF ในเดือนที่เกิดปรากฏการณ์นี้รุนแรงที่สุด สุดท้ายเป็นการนำเสนอวิธีการปรับปรุงสัญญาณด้วยการใช้โคเดอวอร์ซิติที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารดีขึ้น

6.1 ช่วงเวลาการจางหายรวม (Total Fade Duration)

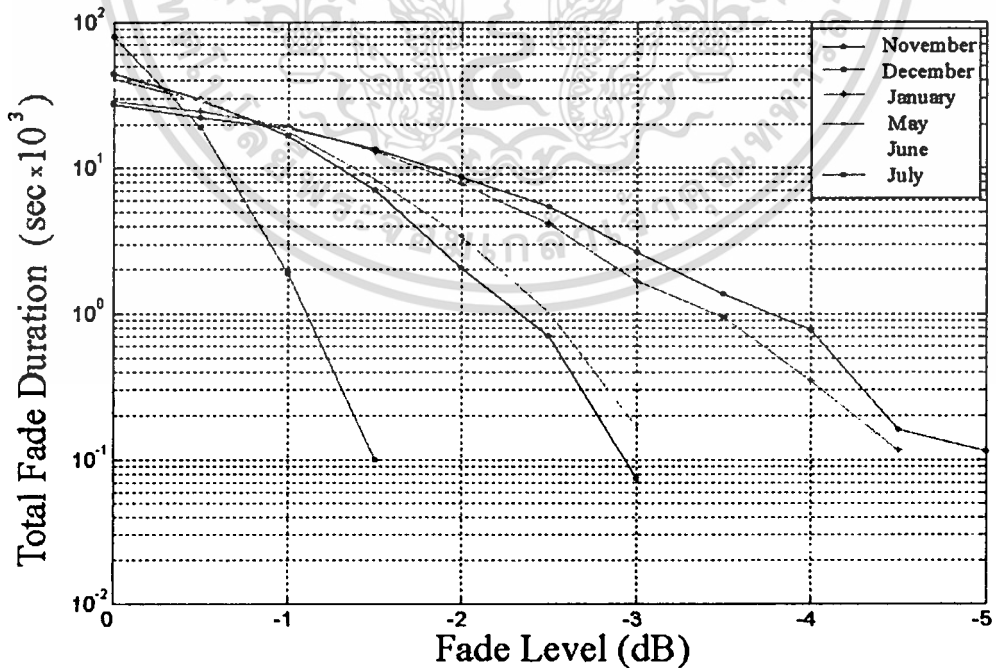
การวิเคราะห์ช่วงเวลาการจางหายนั้นใช้วิธี *Level crossing Technique* ที่นำเสนอโดย (Whitney and Basu, 1977) โดยทำการวัดระดับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงไปจากระดับปกติ ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการนับจำนวนครั้งของระดับสัญญาณในระดับแอมพลิจูดที่ต้องการ เช่น ระบบที่มีความสามารถในการรับสัญญาณต่ำสุดที่ -5 เดซิเบล(Threshold Level = -5 dB) เราจะสามารถหาช่วงเวลาการจางหายโดยใช้เทคนิคนี้ในการนับจำนวนแอมพลิจูดที่ลดลงต่ำกว่าระดับ Threshold Level ว่าเกิดขึ้นกี่ครั้งตลอดช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ และเมื่อวิเคราะห์รวมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่สามารถบอกถึงคาบเวลาของความถี่การแกว่งทั้งหมดได้เมื่อนำมาลบกับช่วงเวลาแอมพลิจูดของสัญญาณลดลงต่ำกว่า -5 เดซิเบล ซึ่งเป็นช่วงที่ระบบไม่สามารถทำการสื่อสารได้เราก็จะได้ช่วงเวลาที่เกิดการจางหายในระดับที่สัญญาณลดลงต่ำกว่า -5 เดซิเบลนั่นเอง

โดยการวิเคราะห์ในแต่ละเดือนจะใช้ข้อมูลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันทุก 10 นาทีตลอดทั้งเดือนมาทำการหาค่าเวลาการจางหายรวม(Total Fade Duration) ซึ่งจากการทดลองสามารถแบ่งช่วงเดือนที่เกิดการจางหายได้เป็น 2 ช่วง คือช่วงเดือนที่มีการจางหายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า -5 เดซิเบล คือเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายนและเดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคมดังแสดงในรูป 6.1 ส่วนช่วงที่มีการจางหายน้อยกว่า -5 เดซิเบล คือเดือนพฤศจิกายนถึงมกราคมและเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคมโดยแสดงในรูป 6.2



รูปที่ 6.1 แสดงเวลาการจางหายในช่วงเดือนที่มีการจางหายที่รุนแรงมากกว่า -5 เดซิเบล



รูปที่ 6.2 แสดงเวลาการจางหายในช่วงเดือนที่มีการจางหายไม่รุนแรง(น้อยกว่า -5 เดซิเบล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อพิจารณาในช่วงเดือนตุลาคมและเดือนมีนาคมในรูปที่ 6.1 ซึ่งทั้งสองเดือนมีระดับจำนวนครั้งการเกิดมากที่สุด ในจำนวนเดือนทั้งหมด และแม้ว่าเดือนมีนาคมจะมีจำนวนครั้งของการเกิดสูงกว่าเดือนตุลาคมแต่เมื่อพิจารณาช่วงเวลาการจางหายเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันโดยเฉพาะที่ระดับ -9 ถึง -9.5 เดซิเบล ช่วงเวลาของทั้งสองเดือนมีค่าใกล้เคียงกันมากทั้งที่จำนวนครั้งการเกิดปรากฏการณ์นี้ของเดือนมีนาคมมีจำนวนค่อนข้างมากกว่าเดือนตุลาคมอยู่พอสมควร ดังนั้นการสื่อสารในเดือนตุลาคมถึงแม้จะมีการเกิดปรากฏการณ์นี้น้อยกว่าแต่มีช่วงเวลาการจางหายรวมใกล้เคียงเดือนมีนาคม ซึ่งจากผลการหาช่วงเวลาการจางหายรวมสามารถสรุปได้ว่าเดือนที่จะสูญเสียข้อมูลมากที่สุด 3 อันดับแรกได้แก่ มีนาคม ตุลาคม และ เมษายน ตามลำดับ

6.2 ความเชื่อถือได้ของข้อมูล (Message Reliability %)

การสื่อสารผ่านดาวเทียมในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอาจทำให้เราสูญเสียข้อมูลข่าวสารได้ถ้าระดับแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงนั้นน้อยจนเกินระดับต่ำสุดของเครื่องรับ (Threshold Level) ซึ่งการวิเคราะห์หาความเชื่อถือได้ของข้อมูลในช่วงเวลาที่เกิดการจางหายนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.1) โดยใช้ช่วงเวลาทั้งหมดเทียบกับช่วงเวลาที่สัญญาณเกิดการจางหาย ซึ่งค่าความเชื่อถือได้ของข้อมูลจะขึ้นกับระดับต่ำสุดของเครื่องรับด้วย

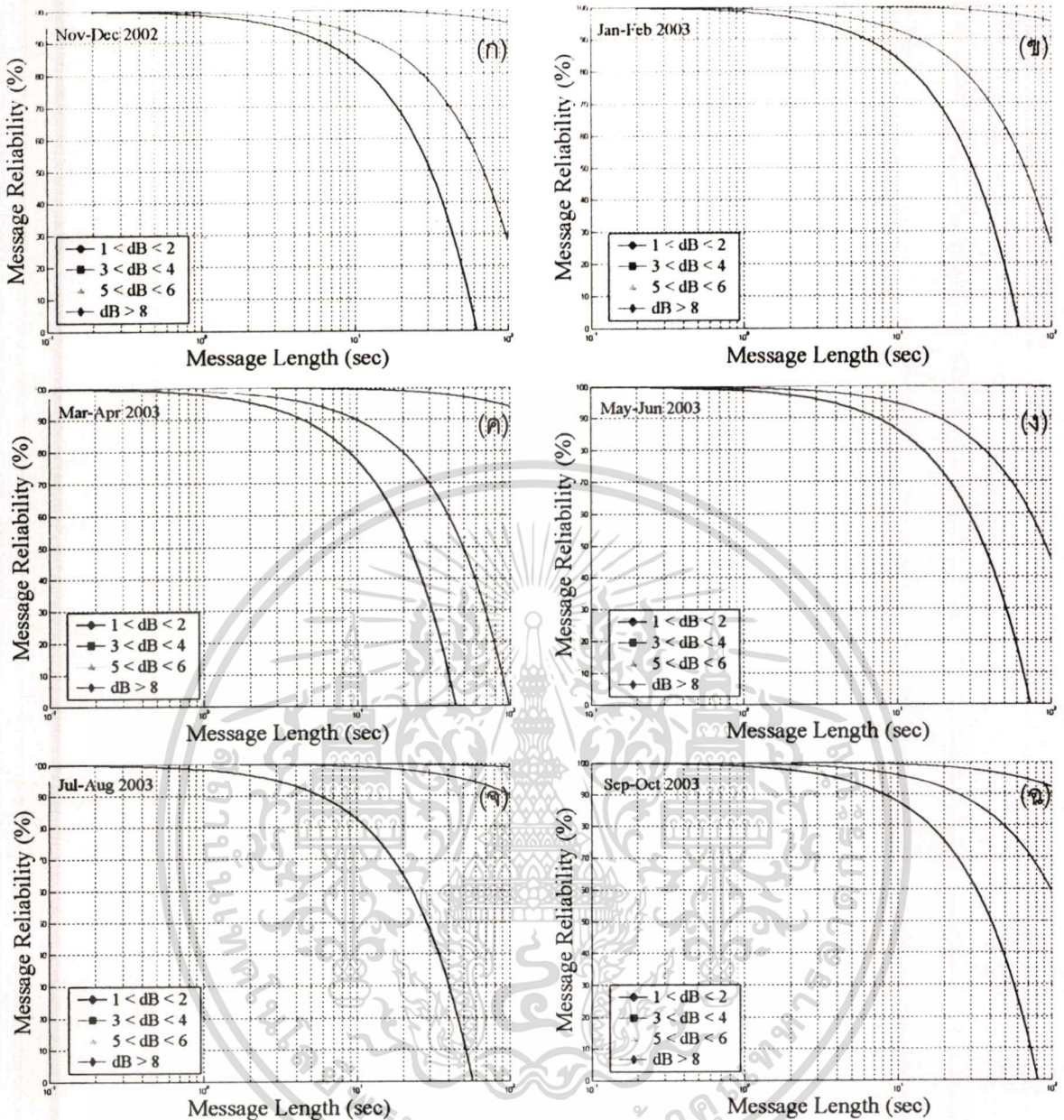
$$\% \text{Reliability} = \frac{\text{Total Time} - (\sum T_{\text{fade}} (T \geq T_0) + n_{\text{fade}} (T < T_0) T_0)}{\text{Total Time}} \times 100\% \quad (6.1)$$

โดยที่ T_{fade} คือ ช่วงเวลาการจางหายที่เท่ากับหรือมากกว่าความยาวข้อมูล T_0

n_{fade} คือ จำนวนครั้งของการจางหายที่น้อยกว่าความยาวข้อมูล T_0

Total Time คือ ช่วงเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสื่อสาร

โดยค่าความเชื่อถือได้ที่ได้ตลอด 1 ปี แสดงอยู่ในรูปที่ 6.3 โดยทำการวิเคราะห์ทุก 2 เดือน เนื่องจากต้องการข้อมูลที่มากพอที่จะสรุปลักษณะการแจกแจงของกราฟให้มีค่าถูกต้องที่สุดโดยสังเกตได้ว่าถ้าเครื่องรับระดับมี Threshold Level ไม่มากเช่น -1 เดซิเบล เมื่อเกิดการจางหายในระดับที่มากกว่านี้การส่งข้อมูลจะมีความถูกต้องลดลง ตรงกันข้ามกับถ้าเครื่องรับมีความสามารถในการสื่อสารมากกว่า (Threshold Level > 6 dB) เมื่อเกิดความรุนแรงในระดับเดียวกันก็ยังคงประสิทธิภาพในการสื่อสารไว้ได้มากกว่า นั่นหมายความว่าในการส่งข้อมูลแบบดิจิทัลเราสามารถส่งข้อมูลที่มีความยาวมากขึ้นได้โดยยังมีความเชื่อถือได้เท่าเดิม

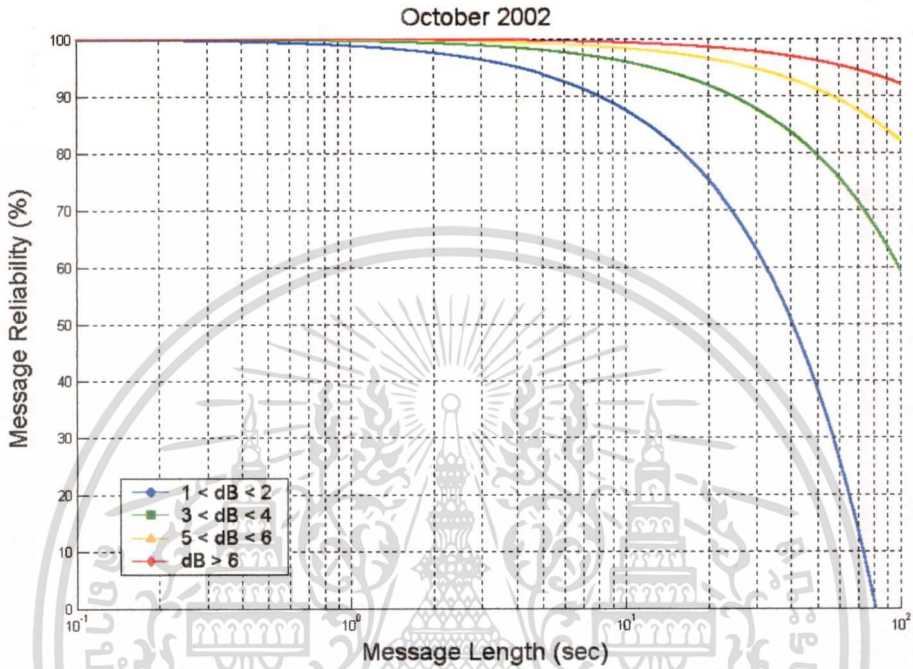


รูปที่ 6.3 แสดงความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่ลดลงเมื่อเกิดปรากฏการณ์ในช่วง 1 ปี

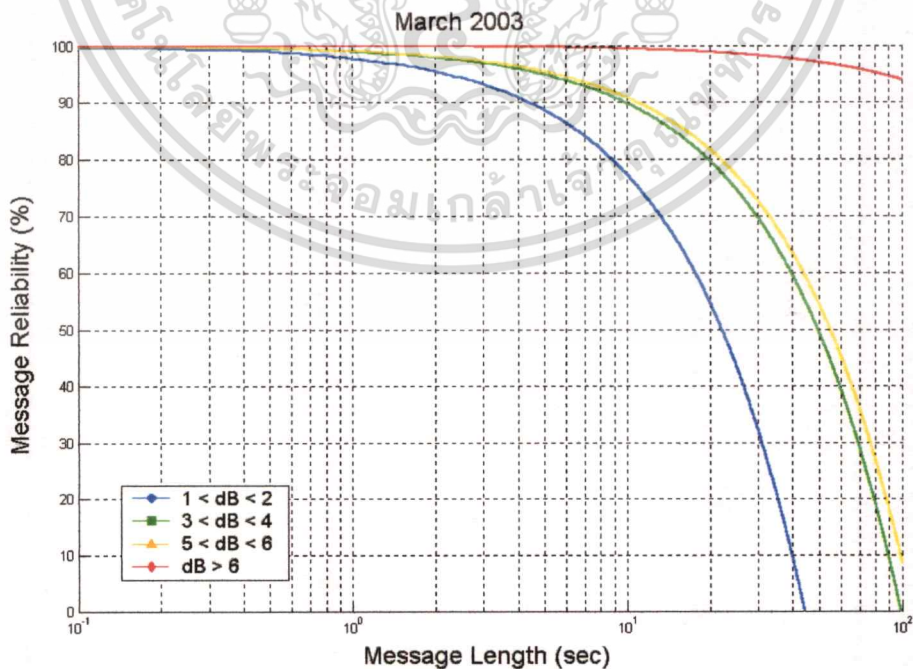
ส่วนในรูปที่ 6.4 และ 6.5 เป็นการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ของข้อมูลของเดือนตุลาคม พ.ศ. 2545 กับเดือน มีนาคม พ.ศ. 2546 จากรูปทั้งสองเห็นได้ว่าถ้าระบบเครื่องรับระดับต่ำสุดที่น้อยกว่า -6 dB แล้ว ความเชื่อถือได้ของการสื่อสารในเดือนมีนาคมจะน้อยกว่าตุลาคม นั้นหมายถึงเราจะสูญเสียข้อมูลมากในเดือนมีนาคมถ้าเครื่องรับมีประสิทธิภาพต่ำแต่ในกรณีที่เครื่องรับมีความสามารถทนต่อปรากฏการณ์ที่ระดับความรุนแรงสูงแล้ว การสื่อสารในเดือนตุลาคมนั้นจะมีความผิดพลาดมากกว่าเดือนมีนาคม ดังแสดงในเส้นสีแดงโดยสมมุติว่าต้องการความถูกต้องของข้อมูลที่ 95 % ในเดือนมีนาคมเราสามารถส่งข้อมูลที่มีความยาวได้ประมาณ 90-100 วินาทีต่อ 1 ชุดข้อมูล ในขณะที่เดือนตุลาคมถ้าต้องการส่งให้มีความถูกต้อง 95 % เท่ากัน

ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะต้องส่งข้อมูลที่มีความยาวน้อยกว่า 60 วินาที ซึ่งความยาวของการส่งข้อมูลที่น้อยนี้จะส่งผลให้ความเร็วในการส่งข้อมูลของเดือนตุลาคมน้อยลงด้วย และถ้ายังคงให้ความยาวข้อมูล 90-100 วินาทีในเดือนตุลาคมต่อไปจะส่งผลให้ความเชื่อถือได้จะลดลงเหลือ 91-93 % ซึ่งอาจทำให้เกิดอัตราบิดผิดพลาดที่มากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการสื่อสารลดลง



รูปที่ 6.4 แสดงความเชื่อถือได้ของข้อมูลในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2545



รูปที่ 6.5 แสดงความเชื่อถือได้ของข้อมูลในเดือน มีนาคม พ.ศ. 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 สเปซไดเวอร์ซิตี (Space Diversity)

ระบบสื่อสารที่ใช้คลื่นวิทยุส่งผ่านชั้นบรรยากาศของโลกส่วนใหญ่จะประสบกับปัญหาของการจางหาย(Fading) โดยเฉพาะเมื่อระยะทางมากกว่า 5 กิโลเมตร การจางหายเป็นปรากฏการณ์ที่ระดับแอมพลิจูดสัญญาณหรือเฟสของสัญญาณที่สายอากาศรับได้มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติตัวกลางของเส้นทางที่คลื่นส่งผ่าน ถ้าระดับสัญญาณที่รับได้ต่ำกว่าค่า Threshold Level ของระบบก็จะทำให้คุณภาพของสัญญาณที่ตรวจจับ (Detection) ออกมาลดต่ำลงอย่างรวดเร็วซึ่งสาเหตุของการจางหายนั้นมีหลายประการด้วยกันไม่ว่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงค่า K แฟกเตอร์[12] ซึ่งส่งผลให้ทิศทางของการส่งผ่านของคลื่นหักเหออกไปหรือการเกิดวัตถุที่มีลักษณะคล้ายท่อนำคลื่นในเส้นทางที่คลื่นส่งผ่านซึ่งจะทำให้ความเร็วกลุ่มหรือความเร็วเฟสเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งในกรณีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้ก็เกิดจากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอนซึ่งเปรียบเสมือนตัวนำคลื่นชนิดหนึ่งที่จะส่งผลกระทบต่อสัญญาณ รวมทั้งการที่มีฝนตกและหมอกกลางจัดในแนวทางการแพร่กระจายคลื่นด้วยก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดการจางหายของสัญญาณด้วย

เนื่องจากปรากฏการณ์การจางหายนี้มีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มอย่างหนึ่ง ดังนั้นการพิจารณาผลการของการจางหายจึงใช้หลักการทางสถิติเป็นหลักตั้งที่วิเคราะห์ในบทที่ 5 ส่วนในเชิงของการออกแบบระบบเราจะต้องพิจารณาว่าจะเผื่อค่ามารจินสำหรับการจางหาย(Fade Margin) หรืออาจเรียกว่าค่าเผื่อการเชื่อมต่อ (Link Margin) ที่เหมาะสม ค่าเผื่อการเชื่อมต่อที่ต้องการขึ้นอยู่กับความเสี่ยงที่เรายอมรับได้และคุณสมบัติของเส้นทางที่คลื่นส่งผ่าน ค่าความเสี่ยงนี้มักพิจารณาในรูปของเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ระบบสามารถทำงานได้ (Time availability) เช่น ถ้าต้องให้เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวนี้เป็น 99 % ก็แสดงว่าเรายอมรับความเสี่ยง 1 % เป็นต้น

การเผื่อค่าการเชื่อมต่อหรือค่ามารจินของการจางหายดังที่กล่าวมานี้ในทางเทคนิคจะทำได้ 3 แนวทางด้วยกันคือ

(ก) ลดระยะทางของการสื่อสารเพื่อลดค่าการสูญเสียในอวกาศ(Free Space Lose) เพื่อให้ระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนมีค่าสูงขึ้น

(ข) เผื่อความสามารถของอุปกรณ์เอาไว้ ซึ่งจะได้ทำได้โดยเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ (Antenna Gain) เลือกใช้เครื่องรับที่มีคุณสมบัติดีขึ้นเช่นมีค่าพิสัยพลวัต (Dynamic Range) ที่สูงขึ้นหรืออาจต้องเพิ่มกำลังส่งของเครื่องส่ง

(ค) ใช้ไดเวอร์ซิตี โดยทั้งสามแนวทางที่กล่าวมานี้ล้วนแต่เพิ่มต้นทุนของระบบทั้งสิ้น ยกตัวอย่างเช่น

- แบบ (ก) นั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากดาวเทียมเป็นแบบวงโคจรอยู่กับที่แบบ

- แบบ (ข) เป็นวิธีที่สมควรที่สุดแต่ถ้าการแก้ไขทั้งหมดนั้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบแล้ว จึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่เรียกว่า ไดเวอร์ซิตี โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ไดเวอร์ซิตีเชิงความถี่ (Frequency Diversity) โดยแยกใช้ความถี่ในการส่ง 2 ความถี่เป็น f_1, f_2 เนื่องจากคุณสมบัติของคลื่นที่ความถี่ต่างกันจะมีผลกระทบที่แตกต่างกันทำให้ในเวลาที่มีความถี่ f_1 เกิดการจางหายก็จะให้ความถี่ f_2 ในการส่งข้อมูลแทน ส่วนไดเวอร์ซิตีแบบที่สองคือ การใช้ สเปซไดเวอร์ซิตี (Space Diversity) เนื่องจากการใช้ไดเวอร์ซิตีเชิงความถี่ต้องการเครื่องส่งและเครื่องรับ 2 ชุดเพื่อให้ระบบทำงานที่ความถี่ต่างกันได้ ซึ่งสเปซไดเวอร์ซิตีก็เช่นกันแต่เป็นการใช้สายอากาศ 2 ชุดติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่คาดว่าถ้าชุดหนึ่งรับคลื่นได้ต่ำอีกชุดหนึ่งคงจะรับคลื่นได้สูง ในกรณีของการสื่อสารด้วยระบบไมโครเวฟเรามักติดตั้งจานสายอากาศไว้ที่ความสูงต่างกัน เพราะการเลี้ยวเบนของคลื่นนั้นจะอยู่ในแนวตั้ง ความสูงที่ต่างกันนี้โดยทั่วไปจะใช้ค่าประมาณ 200λ หรือมากกว่านั้น [12] เช่นในการใช้ความถี่ VHF ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตร จะต้องมีความสูงที่ต่างกันประมาณ 200 เมตร เป็นต้น

การหาประสิทธิภาพของสัญญาณดาวเทียมด้วยการใช้ไดเวอร์ซิตีนั้นสามารถจะใช้ในการวิเคราะห์ระยะสั้นเท่านั้นโดยถือว่าการเปลี่ยนแปลงภายในชั้นบรรยากาศไม่ส่งผลกับความรุนแรงหรือในอีกทางหนึ่งคือต้องใช้ข้อมูลที่เก็บมานานเพียงพอเพื่อกำหนดคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงภายในของชั้นบรรยากาศได้ โดยการคำนวณจะเริ่มที่การตั้งสมมติฐานให้ระบบปราศจากสัญญาณรบกวน (Completely noise free estimates) หรือ (noiseless) และกำหนดให้ชุดจานสายอากาศรับที่เพิ่มเข้าไปมีจำนวน M ชุดซึ่งเป็นตัวแปรที่เรียกว่า Diversity Branches: M โดยการวิเคราะห์จะใช้สัญญาณดาวเทียมที่รับได้นำมาหาค่าเฉลี่ยสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Averaged SNR: Γ_i) โดยที่ $i=1, \dots, M$ และกำหนดให้ γ_i เป็นค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในแต่ละชุดจานสายอากาศ (M) โดยที่ค่าอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่ผ่านกระบวนการไดเวอร์ซิตีแล้ว (Output SNR: γ) ก็คือการรวมกันของ γ_i ในแต่ละชุดจานสายอากาศที่ต่อเข้าด้วยกันเป็นระบบไดเวอร์ซิตีดังสมการ

$$\gamma = \sum_{i=1}^M \gamma_i \quad (6.2)$$

ซึ่งเราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นของการค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ได้ดังนี้

$$\text{prob}(\gamma < x) = \prod_{i=1}^M [1 - e^{-x/\Gamma_i}] \quad (6.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็น

$$p(\gamma) = \frac{d}{d\gamma} \prod_{i=1}^M [1 - e^{-\gamma/\Gamma_i}] \quad (6.4)$$

และถ้าค่าเฉลี่ยอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนในแต่ละชุดจานสายอากาศ (Γ_i) มีค่าเท่ากันโดยกำหนดให้เป็น Γ แล้วจะได้

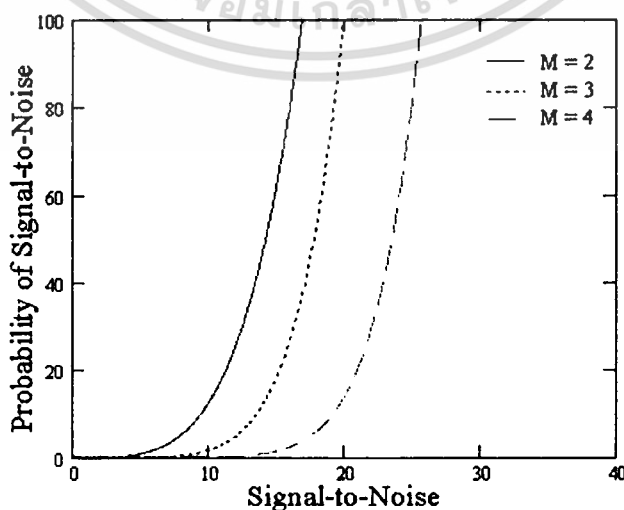
$$\Gamma_i = \Gamma \quad (6.5)$$

$$p(\gamma) = \frac{M}{\Gamma} e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}} \left[1 - e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}} \right]^{M-1} \quad (6.6)$$

โดยสามารถเขียนในรูปของความน่าจะเป็นระยะสั้นได้ตามสมการ

$$p(\gamma) = \frac{1}{(M-1)!} \frac{\gamma^{M-1}}{\Gamma^M} e^{-\frac{\gamma}{\Gamma}} \quad (6.7)$$

โดยที่ค่าความน่าจะเป็นนี้จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มค่า M เข้าไปดังแสดงในรูปที่ 6.6 ซึ่งเป็นการแสดงค่าจำนวนชุดจานสายอากาศที่เพิ่มเข้าไปในระบบไดเวอร์ซิตี ซึ่งสามารถเห็นได้ว่าเมื่อค่า M เท่ากับ 2 แล้วทำการกำหนดค่าความน่าจะเป็นให้คงที่เท่ากับ 40% เราจะได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเท่ากับ 15 เดซิเบล ในขณะที่ถ้าเพิ่มชุดจานรับสัญญาณเข้าไปเป็น 3 ชุด ($M=3$) เราจะได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่มากขึ้นเกือบ 20 dB แล้วถ้าเพิ่ม M เป็น 4 ชุด เราจะได้ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่มากกว่าระดับ 20 dB นั้นหมายความว่าถ้าเราเพิ่มจำนวนของจานสายอากาศที่ภาครับมากขึ้นก็จะทำให้เรามีระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเพื่อไปชดเชยในกรณีสัญญาณเกิดการลดต่ำลงจนทำให้เกิดการจางหายของระบบขึ้น



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 6.6 แสดงค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่มากขึ้นเมื่อเพิ่มค่า M ด้านการคำนวณว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โดยใช้ผลการทดลองเป็นการนำเอาสัญญาณก่อนและหลังการใช้เทคนิคโดเวอร์ซิติมาเปรียบเทียบบันดรูปที่ 6.7 เป็นการจำลองระดับสัญญาณเพื่อแสดงให้เห็นว่าสัญญาณก่อนการใช้โดเวอร์ซิติ (รูปบน) มี Histogram ทางด้านลบมากกว่าซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการจางหาย ซึ่งหลังจากใช้โดเวอร์ซิติที่เพิ่มจำนวนชุดจานอากาศเข้าไป 1 ชุด ($M=2$) จะเห็นได้ว่าระดับการจางหายที่สังเกตได้จาก Histogram ลดลง ส่วนในรูปที่ 6.8 และ 6.9 เป็นข้อมูลจริงในเดือนที่มีการจางหายมากที่สุดและน้อยที่สุดซึ่งก็คือเดือน มีนาคมและ เดือนสิงหาคมตามลำดับ โดยเริ่มจากเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการจางหายที่เกิดในระดับ Threshold Level ต่างๆดังรูปที่ 6.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าจำนวนครั้งการจางหายมีค่าลดลงจากเดิมโดยในเดือนสิงหาคม(เส้นสีน้ำเงิน)จำนวนครั้งการจางหายของสัญญาณที่ใช้โดเวอร์ซิติแล้วจะมีค่าต่างกันไม่มากนัก ในขณะที่เดือนมีนาคม(เส้นสีแดง)ส่วนที่เกิดการจางหายรุนแรงจะมีจำนวนครั้งลดลงอย่างชัดเจน

โดยจำนวนครั้งของการจางหายที่ลดลงนี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีขึ้นซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยค่าอัตราบิตผิดพลาดที่ลดลง ซึ่งการคำนวณเริ่มจากนำเอาค่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลแบบ CPSSK มาคูณกับการแจกแจงระยะยาวของ Moulisley-Vilar เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นอัตราบิตผิดพลาด (Probability of BER) โดยสามารถหาได้จากสมการ

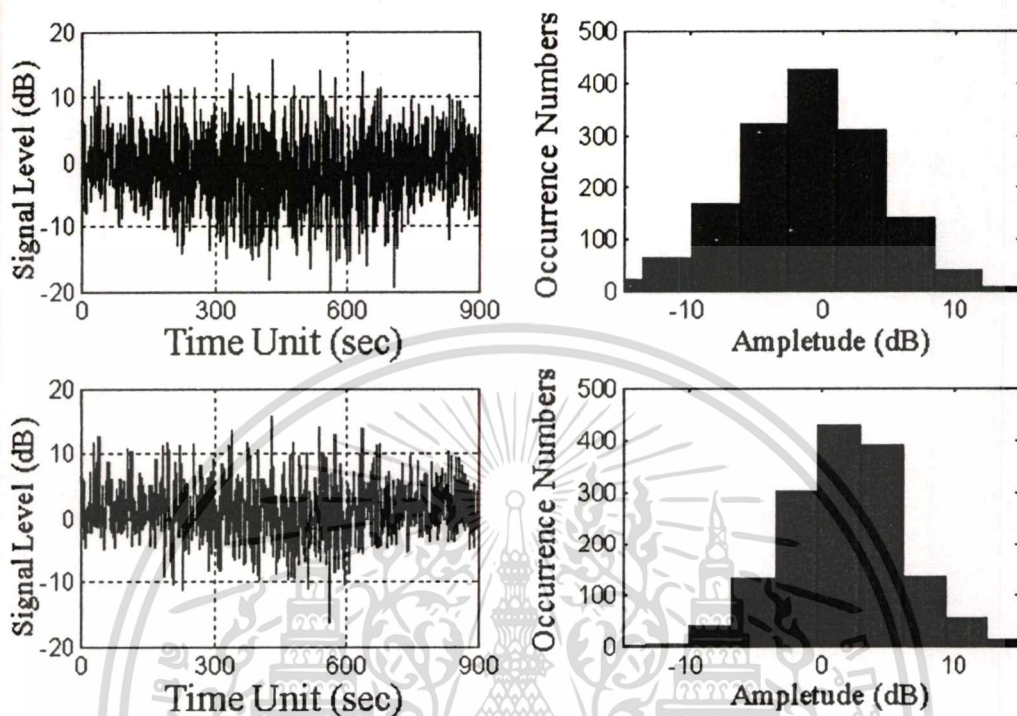
$$P_b(\gamma) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} p(\gamma) e^{-\alpha\gamma} d\gamma \quad (6.8)$$

โดยที่ α จะเท่ากับ $1/2$ เมื่อเป็น Non-coherent FSK และ α เท่ากับ 1 เมื่อเป็น differentially coherent PSK ท้ายสุดจากสมการที่ (6.8) สามารถเขียนอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนจากทุกชุดจานสายอากาศ (γ_i) ได้ตามสมการ

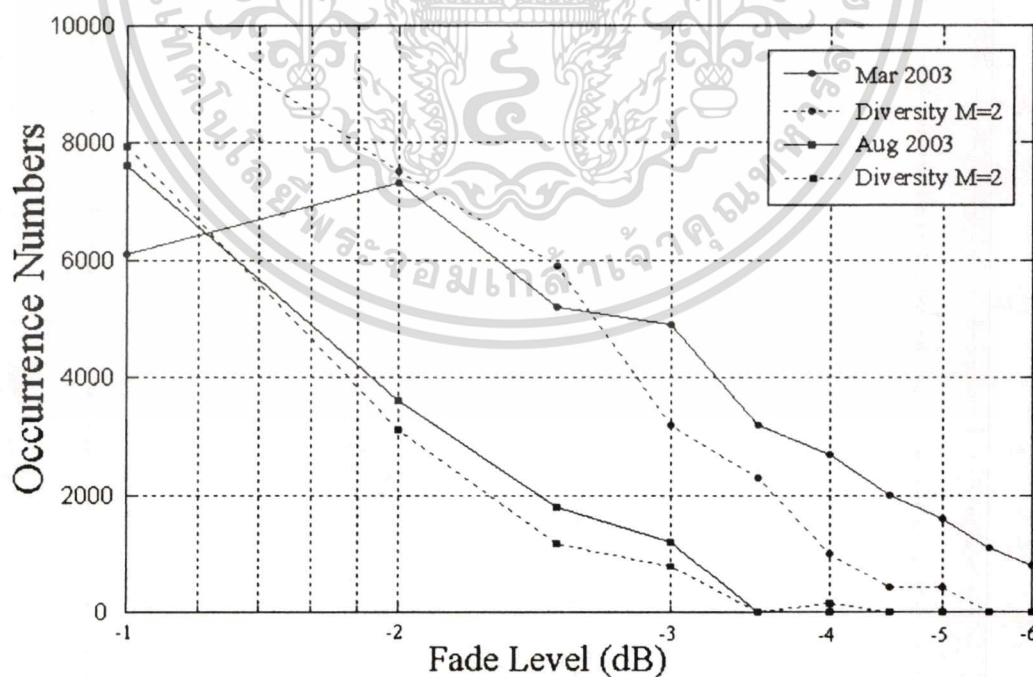
$$\begin{aligned} P_b(\gamma) &= \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \dots \int_0^{\infty} \exp\left[-\alpha \sum_{i=1}^M \gamma_i\right] p(\gamma_1) \dots p(\gamma_M) d\gamma_1 \dots d\gamma_m \quad (6.9) \\ &= \frac{1}{2} \prod_{i=1}^M \int_0^{\infty} e^{-\alpha\gamma_i} p(\gamma_i) d\gamma_i = \frac{1}{2} \prod_{i=1}^M \int_0^{\infty} e^{-\alpha\gamma_i} \frac{1}{\Gamma_i} e^{-\gamma_i/\Gamma_i} d\gamma_i \\ &= \frac{1}{2} \prod_{i=1}^M \frac{1}{1 + \alpha\Gamma_i} \end{aligned}$$

โดยค่าความน่าจะเป็นในระยะยาวเป็นการใช้การแจกแจงของ Moulisley-Vilar เป็นตัวกำหนดลักษณะ $P_b(\gamma)$ ดังแสดงในรูปที่ 6.9 โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้โดเวอร์ซิติแล้วความน่าจะเป็นผิดพลาดที่ได้อาจต่ำลง เช่นในเดือนสิงหาคม ถ้าค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนคงที่ประมาณ 20 dB แล้ว สัญญาณดาวเทียมที่ไม่ใช้โดเวอร์ซิติจะมีโอกาสเกิดอัตราบิตผิดพลาดมากกว่าในกรณีที่ใช้โดเวอร์ซิติ โดยผลการทดลองนี้ทำให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีขึ้นหลังจากการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปขอประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เทคนิคได้เวอริซิติ โดยค่าตัวแปร σ_σ และ σ_m ที่ใช้คำนวณในรูปที่ 6.9 เป็นการนำสัญญาณหลังจากที่ปรับปรุงด้วยการใช้ไดเวอริซิติมาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อหาค่า σ_σ และ σ_m ของสัญญาณชุดใหม่ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยค่าตัวแปรทั้งหมดแสดงในตาราง 6.1



รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบระดับการจางหายที่ดีขึ้นหลังจากใช้ไดเวอริซิติ

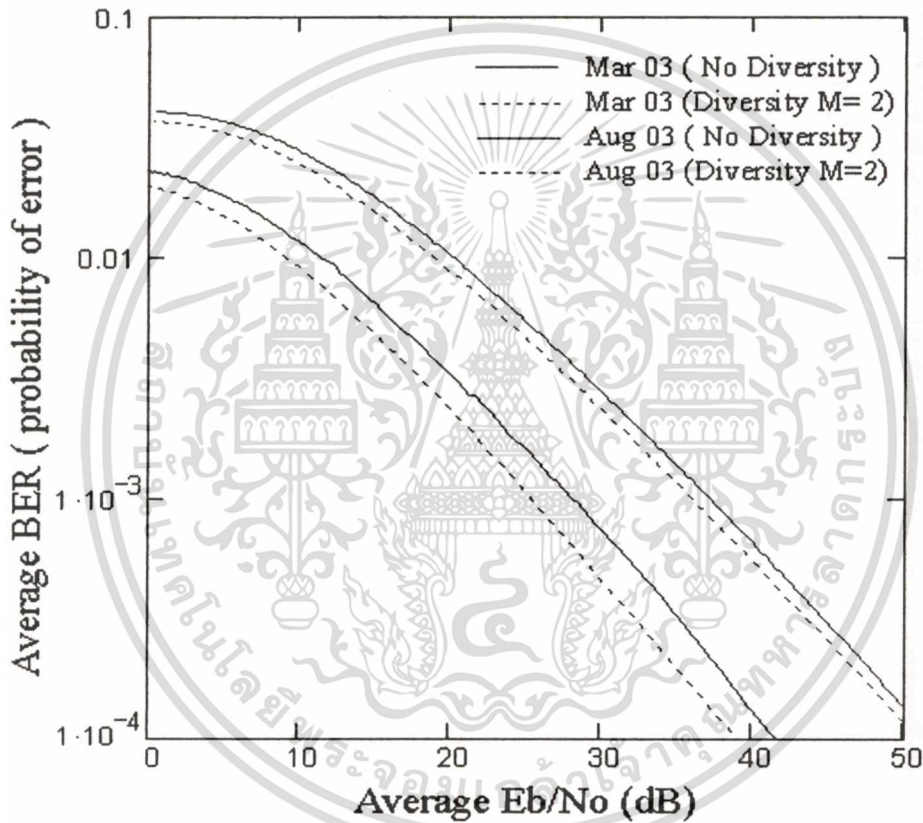


รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบผลการทดลองจากเดือนมีนาคม 2545 และ เดือนสิงหาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราบิดผิดพลาด

ช่วงเวลาการสื่อสาร		σ_σ	σ_m
มีนาคม 2003	No Diversity	0.22	4.92
	Diversity M = 2	0.25	4.01
สิงหาคม 2003	No Diversity	0.11	3.01
	Diversity M = 2	0.14	2.44



รูปที่ 6.9 แสดงความน่าจะเป็นของการเกิดบิดผิดพลาดที่ลดลงเมื่อใช้ไดเวอร์ซิตี

6.4 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงผลกระทบของปรากฏการณ์ที่มีสัญญาณดาวเทียมโดยส่วนแรกเป็นการแสดงช่วงเวลาการจางหายใน 1 ปีโดยเดือนมีนาคมเป็นเดือนที่มีการจางหายของสัญญาณมากที่สุด ส่วนค่าความเชื่อถือได้ในแต่ละเดือนจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องรับว่ามี Threshold Level เท่าไรซึ่งค่าความเชื่อถือได้นี้แสดงให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะเกิดความผิดพลาดเนื่องจากใช้ความยาวข้อมูลมากเกินไป จากนั้นในส่วนของความน่าจะเป็นของอัตราบิดผิดพลาดแสดงให้เห็นว่าระบบมีความต้องการค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนที่มากเพื่อรักษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพในการสื่อสารขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่รุนแรง ถ้าไม่เช่นนั้นโอกาสที่จะเกิดการผิดพลาดของการส่งข้อมูลจะมีมากขึ้นตามไปด้วย สุดท้ายแสดงการใช้เทคนิคที่เรียกว่า ไดเวอร์ซิตีมาปรับปรุงสัญญาณโดยทำการจำลองสัญญาณที่คาดว่าจะรับได้จากจานสายอากาศอีกชุด มาทำให้ระดับการจางหายของสัญญาณโดยรวมดีขึ้นซึ่งสามารถดูได้จากค่าอัตราบิดผิดพลาดที่ลดลง นั้นหมายถึงการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเมื่อใช้เทคนิคสเปซไดเวอร์ซิตีเข้ามาช่วยแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการสื่อสารดีขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาลักษณะและสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในย่านความถี่ VHF ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดเนื่องจากสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอจึงทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงเฟสและแอมพลิจูด เมื่อสัญญาณนี้เดินทางมาถึงสถานีรับภาคพื้นดินก็จะเกิดการรบกวนระหว่างสัญญาณปกติกับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสนี้ ทำให้ระดับแอมพลิจูดของสัญญาณเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วไปจากระดับปกติส่งผลให้เกิดปัญหาในเวลาที่ระดับสัญญาณเพิ่มขึ้นหรือลดลงจนเกินความสามารถของเครื่องรับเป็นผลให้ประสิทธิภาพของการสื่อสารลดลง

โดยผลการวิจัยที่ทำในระยะเวลา 1 ปีสามารถสรุปจำนวนครั้งของปรากฏการณ์ว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็น 4 ช่วงโดยสามารถแบ่งได้ดังนี้ ช่วงที่เกิดปรากฏการณ์นี้มากที่สุดจะเริ่มในเดือน กุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน หลังจากนั้นในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคมการเกิดปรากฏการณ์นี้จะลดลงจนต่ำสุดในเดือนสิงหาคม หลังจากนั้นในเดือนกันยายนการเกิดปรากฏการณ์นี้จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งจนมากที่สุดในเดือนตุลาคม นั่นคือปรากฏการณ์จะเกิดมากอยู่ 2 ครั้งในรอบปี โดยในฤดูร้อนจะเกิดมากในเดือนมีนาคม และในฤดูหนาวจะเกิดมากในเดือนตุลาคม ส่วนช่วงที่เกิดน้อยอีก 2 ช่วงคือเดือนธันวาคมกับเดือนสิงหาคม โดยในการทดลองสังเกตว่าจำนวนครั้งการเกิดของปรากฏการณ์นี้จะบอกถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพจึงทำการเปรียบเทียบความรุนแรงของเดือนที่เกิดปรากฏการณ์นี้มากที่สุดคือเดือนมีนาคมและเดือนตุลาคม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าในเดือนมีนาคมถึงแม้จะเกิดจำนวนครั้งของปรากฏการณ์มากกว่าแต่ความรุนแรงในเดือนตุลาคมเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะมีความรุนแรงมากกว่า ดังนั้นการสื่อสารที่มีระบบเครื่องรับไม่ดี(ค่าพิสัยพลวัตต่ำ)อาจเกิดปัญหาจากปรากฏการณ์นี้ในทั้งสองเดือน แต่ถ้าระบบเครื่องรับมีประสิทธิภาพดีแล้ว เดือนที่จะส่งผลต่อการสื่อสารมากที่สุดคือเดือนตุลาคม โดยช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นหลังจากพระอาทิตย์ตกไปแล้วประมาณ 1-2 ชั่วโมง และเกิดอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลาเที่ยงคืนจากนั้นกลุ่มความไม่สม่ำเสมอก็จะเปลี่ยนทิศหรือสลายตัวไปโดยเวลาการเกิดนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล โดยในฤดูหนาวซึ่งอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมเวลาการเกิดปรากฏการณ์นี้จะเลื่อนมาเกิดเร็วกว่าในช่วงฤดูร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาการไอโอโนสจากแสงอาทิตย์(Photo Ionization)ซึ่งจะสิ้นสุดหลังจากปราศจาก

แสงอาทิตย์(EUV Solar)ดังนั้นในฤดูร้อนที่มีระยะเวลากลางวันยาวนานกว่าจะส่งผลให้เกิดกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของอิเล็กตรอน(Irregularities)ในเวลากลางคืนเกิดขึ้นช้ากว่าในฤดูหนาว ซึ่งความรุนแรงและช่วงเวลาที่ทดลองใน 1 ปีสามารถสรุปได้ดังนี้ จำนวนครั้งของการเกิดปรากฏการณ์ทั้งหมด 10.305 ครั้ง โดยอยู่ในเดือนมีนาคมถึง 1,921 ครั้งโดยมีระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 เดซิเบล(1-3 dBp-p)ซึ่งคิดเป็น 60 % ของเหตุการณ์ทั้งหมดในเดือนนั้น ส่วนในเดือนตุลาคมเกิดเหตุการณ์นี้ 927 ครั้งซึ่งมีระดับความรุนแรงมากกว่า 6 เดซิเบล (6 dBp-p)อยู่มากถึง 30 % ของการเกิดทั้งหมด ซึ่งช่วงเวลาที่เกิดความรุนแรงนี้จะเกิดในช่วงเวลาประมาณ 23:00 น. ซึ่งเกิดขึ้นเร็วกว่าในเดือนมีนาคมที่เกิดเมื่อเวลาประมาณ 24:00 น.

โดยการวิเคราะห์โครงสร้างทางความถี่สรุปได้จากการหาค่าความหนาแน่นกำลังเชิงสเปกตรัมและค่าฟังก์ชันอัตโนมัติสหสัมพันธ์ว่าความถี่การแกว่งของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด(Scintillation Rate) นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระดับความรุนแรงมากขึ้น โดยสังเกตได้จากสเปกตรัมที่แผ่กว้างออกเมื่อตรวจวัดความรุนแรง S4 มีค่ามากขึ้น และเมื่อนำมาหาค่าความถี่ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (Scintillation Rate) ที่ลดลงเมื่อ S4 มากขึ้น นั้นแสดงว่าเมื่อความรุนแรงมีค่าเพิ่มขึ้น สัญญาณดาวเทียมที่รับได้จะเกิดการแกว่งที่ช้าลงจึงส่งผลให้เวลาที่สูญเสียเนื่องจากสัญญาณมีระดับสูงหรือต่ำกว่าค่าพิสัยพลวัตเพิ่มมากขึ้นทำให้เราเสียข้อมูลในการสื่อสารมากขึ้นนั่นเอง

การวิเคราะห์ทางสถิติเป็นหลักที่ใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ที่คาดเดาได้ยากอย่างเช่นปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้ โดยการทดลองที่ใช้การหาฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น(pdf)สรุปได้ว่าลักษณะการแจกแจงความน่าจะเป็นนี้มีค่าแบบสมมาตรเมื่อเกิดปรากฏการณ์ในระดับที่ไม่รุนแรง ($S4 < 0.5$) ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงจะส่งผลให้สัญญาณมีค่าความหนาแน่นทางด้านลบเพิ่มขึ้นมากกว่าทางด้านบวก ซึ่งการวิเคราะห์นี้สามารถบอกให้รู้วาระบบควรหาทางป้องกันปัญหาที่จะเกิดจากการจางหายของสัญญาณเนื่องจากปรากฏการณ์นี้ซึ่งป้องกันได้โดยให้เครื่องรับมีประสิทธิภาพดีขึ้นนั้นก็คือมีค่าพิสัยพลวัตที่มากขึ้น โดยผลจากการหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม(cdf)บอกให้ทราบถึงค่าพิสัยพลวัตที่ระบบต้องการเพื่อรักษาประสิทธิภาพของการสื่อสารในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ระดับความรุนแรง S4 มากกว่า 1 ว่าต้องมีค่าพิสัยพลวัตไม่ความต่ำกว่า 18 เดซิเบล

การวิเคราะห์ผลกระทบที่มีต่อการสื่อสารแสดงให้เห็นเวลาการจางหายที่มากที่สุดในเดือนมีนาคมและตุลาคมซึ่งสอดคล้องกับจำนวนครั้งของปรากฏการณ์ รวมถึงความน่าเชื่อถือของข้อมูลเพื่อแสดงให้เห็นถึงโอกาสที่จะเกิดการสูญเสียข้อมูลถ้าใช้ข้อมูลที่มีความยาวมากเกินไป ส่วนค่าอัตราบิดผิดพลาดที่แสดงให้เห็นว่าเมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นจะทำให้สัญญาณมีค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อ

สัญญาณรบกวนต่ำลงส่งผลให้มีอัตราบิดผิดพลาดมากขึ้น โดยวิธีการแก้ไขให้ระบบยังคงรักษาระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเอาไว้ก็คือการใช้ไดเวอร์ซิตี(Diversity) ซึ่งก็คือการติดตั้งงานสายอากาศรับอีกชุดเพื่อลดผลกระทบในช่วงเวลาที่สัญญาณจากชุดงานสายอากาศแรกเกิดการจางหาย โดยผลการทดลองโดยเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังใช้ไดเวอร์ซิตีสรุปได้ว่า จะทำให้สัญญาณมีระดับสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้นส่งผลให้อัตราบิดผิดพลาดลดลงนั่นก็คือระบบจะยังคงมีประสิทธิภาพในการสื่อสารขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันดีขึ้น

ปัญหาของการอธิบายปรากฏการณ์นี้ก็คือ ต้องการข้อมูลที่ยาวนานเพียงพอซึ่งอาจต้องใช้เวลาเป็นสิบปีถึงจะสามารถดูการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะของวัฏจักรสุริยะที่มีการเปลี่ยนแปลงทุก 11 ปี (Solar Cycle every 11 year) จึงจะสามารถทำนายลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับปัจจัยหลายด้านนี้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และปัญหาอีกอย่างหนึ่งก็คือการทดลองนี้เป็นเพียงการรับสัญญาณนำร่องของดาวเทียมเพื่อศึกษาระดับแอมพลิจูดที่เปลี่ยนแปลงไปโดยที่เราไม่สามารถดูลักษณะจริงของสัญญาณหลังจากที่ถอดรหัสแล้วว่าเปลี่ยนแปลงมาน้อยเพียงใด ดังนั้นหลายตัวอย่างในงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำผลที่ได้จากการทดลองมาทำการจำลองตามทฤษฎี ด้วยเหตุผลนี้ถ้าการวิจัยมีการใช้ดาวเทียมที่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ เมื่ออาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เช่น ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดที่ลดลงเมื่อความรุนแรงมากขึ้นจะส่งผลกระทบจริงในลักษณะใด หรือแม้กระทั่งคุณภาพของข้อมูลภาพหรือเสียงหลังจากที่ใช้ไดเวอร์ซิตีแล้วจะดีขึ้นมาน้อยเพียงใดเรายังไม่สามารถอธิบายในเชิงปฏิบัติได้ แต่ทฤษฎีและผลการทดลองนี้มีประโยชน์ต่อการศึกษาหรือออกแบบระบบในบริเวณนี้อย่างมาก ซึ่งทางสถาบันเองก็ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากปรากฏการณ์นี้ในแทบทุกย่านความถี่แล้ว เหลือเพียงการเก็บข้อมูลให้ได้มากเพื่อการทำนายหรือการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้งานจริงในอนาคตเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Allnutt J. E. Satellite to Ground Radiowave Propagation Theory, Practice and System Impact at Frequencies above 1 GHz. London: Peter Peregrinus Ltd. 1989.
- [2] Tadanori Ondoh & Katsuhide Marubashi eds. "Science of Space Environment". Japan: IOS Press.2000
- [3] Kenneth Davies. Ionospheric Radio. Peter Peregrinus Ltd. 1990, London, United Kingdom
- [4] Athanasios Papoulis. Probability, Random Variables and Stochastic Processes. 3rd Ed.Singapore: McGraw-Hill, Inc. 1991.
- [5] วิวัฒน์ กิรานนท์. วิศวกรรมการสื่อสาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : อักษรสยามการพิมพ์. 2540
- [6] Decharat A., Makaratat K., Hemmakorn N., and Junkrob N., "Observation of L band Equatorial scintillation". Proc. 2000 Asia-Pacific Symposium on Broadcasting and Communication, Bangkok, Thailand, Dec.2000.pp 202-206
- [7] สมพงษ์ สุภร์แก้วดอนม. "การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแถบความถี่ C ที่มุมเงยต่ำ". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546
- [8] อติศร์ เดชาวัฒน์. "การศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันต่อประสิทธิภาพการสื่อสารดาวเทียมย่านความถี่ L". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545
- [9] วิสุทธิ์ อธิพรธรรม. "การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2536
- [10] Khajitpan Makaratat. "Analysis of 1.694 GHz Ionospheric Scintillations and its Impaction Satellite Communication system" Master thesis, Master of engineering in Electrical Engineering. School of Graduate Studies. King mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. 2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] Neji Youssef, "Fade Statistics in Nakagami Fading Environments"
- [12] บัณฑิต วจน์อารยานนท์. "วิศวกรรมไมโครเวฟ". พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539
- [13] J.G.Proakis. Digital Communication. 4th Ed. Singapore: McGraw-Hill, Inc .2001.
- [14] Hemmakorn N., Leelaruji N., Kitsadawanich S., Kawaguchi H. and Moriya Y. "The Characteristics of C-Band Satellite Signal at Low Elevation Propagation." Technical Report of IEICE. pp.97-23. 1997.
- [15] I.Guttman.and S. S. Wiks. Introductory Engineering Statistics, New York: John Wiley & Sons. 1965
- [16] Kamilo Feher. Telecommunication Measurements, Analysis, and Instrumentation. New Jersey: Prentice-Hall. 1987
- [17] อรอนงค์ เพชรนิ่ม. "การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม" วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542
- [18] Banerjee P.K., Dabas R. S.and Reddy B.M."C and L band Transionospheric Scintillation Experiment: Some Results for Application to Satellite Radio System." Radio Science., Vol 27, no. 6, Nov-Dec.1992. pp.955-969.
- [19] Banjo, O.P. and Vilar, E. 1989. "Binary Error Probabilities on Earth-Space Paths Subject to Scintillation Fading." Electron.Lett. 21(7) : 296-297.
- [20] Sklar, B. 1988. Digital Communications Fundamentals and Applications. New York : Prentice. Hall,Inc.
- [21] Whitney, H. E. and Basu, S. 1977. "The Effect of Ionospheric Scintillation on VHF/UHF Satellite Communication." Radio Science. 12(1) : 123-133.

ภาคผนวก ก

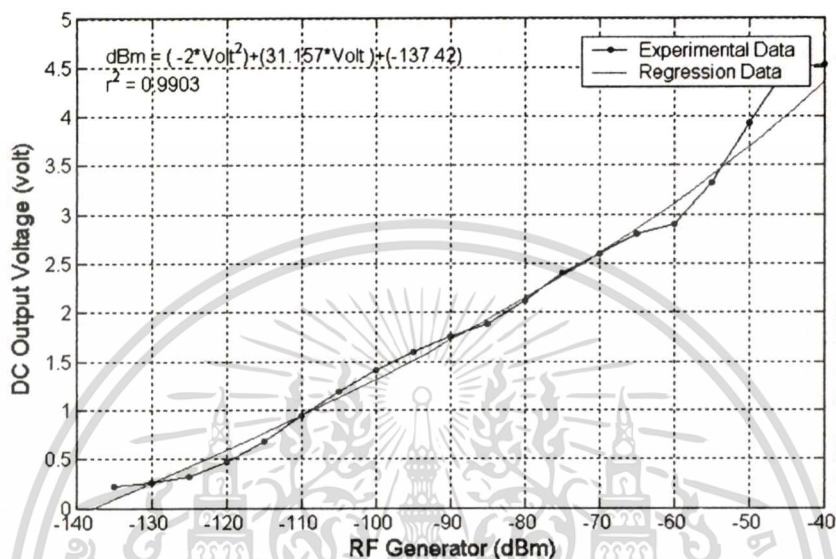
ข้อมูลที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ นำสัญญาณจากภาค AGC (Automatic Gain Control) ของเครื่องรับซึ่งเก็บบันทึกเป็นระดับแรงเคลื่อนทางไฟฟ้า (Voltage) มาใช้งาน แต่ในการวิเคราะห์ระดับสัญญาณเราพิจารณากำลังสัญญาณในหน่วย เดซิเบล (dB) เป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องทำการปรับเทียบค่า (Calibrate) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับกำลังสัญญาณ โดยทำการต่อเครื่องรับกับเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยลดระดับกำลังงานที่ละ 5 dBm เพื่อบันทึกระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงไปตามกำลังงานที่ลดลง ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1ก โดยจะเห็นว่าเมื่อลดระดับกำลังงานจากเครื่องกำเนิดสัญญาณลงเหลือ -30 dBm แล้วระดับแรงดันที่ออกจากภาค AGC ของเครื่องรับจะไม่เพิ่มขึ้นไปจากระดับ 4.5 โวลท์ นั่นคือจุดอิ่มตัว (Saturation) ของเครื่องรับเครื่องนี้ ซึ่งในการใช้งานจริงถ้ากำลังงานสัญญาณในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเพิ่มขึ้นมากกว่า -30 dBm จะทำให้เราไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ด้วยเครื่องรับชุดนี้

ตารางที่ 1ก. แสดงค่าที่ได้จากการปรับเทียบค่าของเครื่องรับ VHF

dBm	Volt	dBm	Volt
-135	0.22	-80	2.11
-130	0.25	-75	2.40
-125	0.32	-70	2.60
-120	0.47	-65	2.80
-115	0.67	-60	2.90
-110	0.94	-55	3.32
-105	1.19	-50	3.93
-100	1.41	-45	4.5
-95	1.60	-40	4.52
-90	1.75	-35	4.52
-85	1.88	-30	4.5223

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$dBm(t) = [-2 \times Volt(t)^2] + [31.157 \times Volt(t)] + [-137.42] \quad (1n)$$



รูปที่ 1ก. แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานสัญญาณและระดับไฟกระแสดตรง

ส่วนวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับกำลังงานนั้นจะใช้วิธีประมาณค่าในช่วงกำลังสาม โดยใช้ Program MATLAB 6 ในการหาค่าความสัมพันธ์ด้วยวิธีการถดถอยแบบกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Regression) เพื่อหาฟังก์ชันหรือสมการโพลีโนเมียลกำลัง n ใดๆ ที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มข้อมูลที่กำหนดมาให้ ซึ่งในการหาความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองนี้สมการที่ให้ความถูกต้องมากที่สุดคือสมการกำลังสาม ($n = 3$) โดยให้ความถูกต้อง 99.03 % ดังแสดงในสมการ 1ก แสดงฟังก์ชันความสัมพันธ์ของระดับแรงดันที่เวลา t ใดๆกับระดับกำลังงานสัญญาณดาวเทียม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายกิตติชัย วิเศษศิริ
วันเดือนปีเกิด	15 ตุลาคม พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
การศึกษาระดับปริญญาตรี	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2544

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] K.Visessiri ., V. Torchakul , N.Leeraruji, N.Hemmakorn.,” Analyze VHF Satellite Signal Effected by Amplitude Scintillation " The Third International Symposium on Communicaiton and Information Technologies, Sep 2003. pp.471-474.