

การวัดและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม ณ มุมเงยสูงในเขตร้อน

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF SATELLITE SIGNAL
ON HIGH ELEVATION ANGLE IN TROPICAL ZONE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-514-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวัดและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม ณ มุมเงยสูงในเขตร้อน

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF SATELLITE SIGNAL
ON HIGH ELEVATION ANGLE IN TROPICAL ZONE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-514-6

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49541
วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MEASUREMENT AND ANALYSIS OF SATELLITE SIGNAL ON
HIGH ELEVATION ANGLE IN TROPICAL ZONE**



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

2003

ISBN 974-324-514-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวัดและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม ณ มุมเงยสูง
ในเขตร้อน

นักศึกษา

นางสาววันวิสา ชัชวงษ์

รหัสประจำตัว

44061814

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ.

2546

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.อรลาภ แสงอรุณ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการวัดและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมขาลง โดยพิจารณาสาเหตุของการจางหายของสัญญาณคือ ซินทิลเลชัน และวิธีในการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยการใช้วิธีการประมวลผลสัญญาณทางดิจิทัลในการเก็บข้อมูล และแยกซินทิลเลชันขณะฝนตกออกจากการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งใช้วิธีทางสถิติในการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันซึ่งแสดงด้วยการอ่านค่าความต่างของค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของระดับสัญญาณ กับวิธีการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับสัญญาณในช่วงเวลาการคำนวณ และอัตราการสุ่มสัญญาณที่แตกต่างกันเพื่อหาวิธีในการแสดงซินทิลเลชันที่เหมาะสมตามสภาวะภูมิอากาศ สัญญาณที่ใช้ในการวิเคราะห์รับจากดาวเทียมไทยคม 2 ในย่านความถี่ซีแบนด์ (3.916 GHz) และย่านความถี่เคยูแบนด์ (12.260 GHz) ที่มุมเงยสูง 59.9 องศา ณ จุดรับสัญญาณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสร้างสูตรความสัมพันธ์ของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าสูงสุดและต่ำสุดของระดับสัญญาณได้ $\sigma_x = \alpha(P - P) + \beta$ โดยมีอัตราการสุ่ม ช่วงเวลาในการคำนวณ และสภาวะภูมิอากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Measurement and Analysis of Satellite Signal on High Elevation Angle in Tropical Zone
Student	Miss. Vanvisa Chutchavong
Student ID.	44061814
Degree	Master of Engineering
Programme	Information Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof .Ornlarp Sangaroon

ABSTRACT

This thesis presents the measurement and analysis on fading of satellite received signal, by focus scintillation phenomena and scintillation expression. A method based in Digital Signal Processing has been used to record data fluctuation dependence on the meteorological conditions, and used to separate rain fade and scintillation. The relation between standard deviation values and the peak to peak values are examined by statistical method in various of time period and various of sampling rate. The principle techniques finding the best expression method. The experiment has been performed in Thailand, at King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, in C-band and Ku-band on high elevation angle. The result of analysis shows the relationship between two methods is given by $\sigma_x = \alpha(P - P) + \beta$, when the sampling rate, time period and the meteorological condition are a variable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเป็นอย่างดีจาก รองศาสตราจารย์อรลภ แสงอรุณ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความ อนุเคราะห์จากท่านและกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง รวมถึงบิดา มารดา ที่คอยให้ความกรุณาและ กำลังใจ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ Prof.Dr. Yoshiaki Moriya ผู้เชี่ยวชาญจากมหาวิทยาลัยโตเกียว ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ทุกฉบับ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ชวลิต เบนญางคประเสริฐ ซึ่งให้คำแนะนำและคำ ปรึกษาในเรื่องการวิเคราะห์สัญญาณทางด้าน Digital Signal Processing ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภพินท์ อนันตรศิริชัย ซึ่งให้คำแนะนำและคำ ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตรวจสอบขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณจิตรีรัตน์ ชัชวงษ์ คุณศิริธร เบนญางคประเสริฐ คุณไพฑูรย์ รักเหลือ รวมทั้ง เพื่อนๆ Lab FDTD ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน งานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

วันวิสา ชัชวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ปραกฏการณ์ชั้นทึลเลชันของสัญญาณคววมเทียบ.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ชั้นบรรยากาศ.....	4
2.2.1 บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์.....	5
2.2.2 บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์.....	6
2.2.3 บรรยากาศชั้นเคโมสเฟียร์ และไอโอโนสเฟียร์.....	6
2.2.4 บรรยากาศชั้นเอ็กโซสเฟียร์.....	7
2.3 การจำแนกชนิดของชั้นทึลเลชัน.....	8
2.3.1 ชั้นทึลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	8
2.3.1.1 ผลกระทบเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศ.....	9
ไอโอโนสเฟียร์	
2.3.1.2 บริเวณที่เกิดชั้นทึลเลชันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ.....	10
ไอโอโนสเฟียร์	
2.3.1.3 คุณลักษณะของชั้นทึลเลชันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ.....	12
ไอโอโนสเฟียร์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2	ซินทิลเลชันแบบกึ่งพีริอด (Quasi-Periodic scintillation)..... 13
2.3.3	ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ 18
2.3.3.1	การเดินทางของคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์..... 18
2.3.3.2	ผลกระทบจากปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศ 20
	โทรโพสเฟียร์
2.3.3.3	คุณลักษณะของซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ .. 24
2.3.4	ผลกระทบจากปรากฏการณ์ลดทอนเนื่องจากฝน 25
2.3.4.1	รูปแบบการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจาก 26
	น้ำฝน
2.4	วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในสัญญาณดาวเทียม 28
2.4.1	วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ... 30
2.4.1.1	คำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสูตรทางสถิติ..... 30
2.4.1.2	คำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าดัชนี S_4 30
2.4.2	วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับ 31
	สัญญาณ
2.4.2.1	หาค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับ 31
	สัญญาณ
2.4.2.2	หาค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลง 31
2.4.3	แบบจำลองทำนายการเกิดซินทิลเลชันของ ITU-R 32
2.5	สรุป 33
บทที่ 3	การทดลองวัดสัญญาณและการวิเคราะห์ 34
3.1	บทนำ 34
3.2	รายละเอียดการวัด 34
3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ 38
3.3.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์ 38
3.3.2	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน 39
3.3.3	ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 ลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็น.....	43
3.4 การแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันจากปรากฏการณ์การลดทอน โดยใช้วงจรถองความถี่แบบปรับตัวได้.....	46
3.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัม.....	48
3.6 สรุป.....	51
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน.....	52
4.1 บทนำ.....	52
4.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง.....	52
4.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์.....	53
4.4 ผลการวิเคราะห์หาอัตราการสุ่มข้อมูลที่เหมาะสม.....	54
4.5 ผลการวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสม.....	56
4.6 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน.....	60
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในย่านความถี่ C.....	60
4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku ในขณะที่ท้องฟ้าแจ่มใส.....	65
4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku ที่แยกจากปรากฏการณ์การลดทอน ในขณะที่ฝนตก.....	69
4.7 สรุป.....	73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
เอกสารอ้างอิง.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	78
ภาคผนวก ก. ดาวเทียมไทยคม 2	79
ภาคผนวก ข. วงจรกรองความถี่แบบอะแคปทีฟไอไออาร์ดิจิตอล	82
ภาคผนวก ค. โปรแกรม QLMS Algorithm.....	85
ภาคผนวก ง. โปรแกรม VSQLMS Algorithm	87
ภาคผนวก จ. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงรายละเอียดบทความที่สามารถนำมาอ้างอิง	14
3.1 รายละเอียดของการทดลอง	34
4.1 แสดงอัตราการใช้ในการทดลอง	55
4.2 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลอง	57
4.3 สรุปค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้นของการเกิดชินทิลเลชันในย่านความถี่ C.....	64
4.4 สรุปค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้นของการเกิดชินทิลเลชันในย่านความถี่ Ku.....	68
ขณะท้องฟ้าแจ่มใส	
4.5 สรุปค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้นของการเกิดชินทิลเลชันในย่านความถี่ Ku.....	72
ขณะฝนตก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 แสดงผลของการลดทอนสัญญาณเนื่องจากมุมเงยของจานสายอากาศที่..... ความถี่ 13.6 GHz ที่เมืองพาลเลตโต	28
2.19 แสดงข้อมูลการเกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่บันทึก..... ในวันที่ 28 เมษายน 2520 ณ สถานีภาคพื้นดินประเทศไทย	29
2.20 เปรียบเทียบข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งแสดง ด้วยค่า S_4 index ในวันที่ 20 มีนาคม 2522 ณ สถานีภาคพื้นดินประเทศฮ่องกง	31
3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ.....	35
3.2 รูปถ่ายเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku.....	35
3.3 รูปถ่ายเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C.....	35
3.4 รูปถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku.....	35
3.5 รูปถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C.....	36
3.6 รูปถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมแบบดิจิทัล (OR100).....	36
3.7 ตัวอย่างสัญญาณซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C.....	36
3.8 ตัวอย่างสัญญาณซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku.....	37
3.9 ตัวอย่างสัญญาณการเกิดซินทิลเลชันพร้อมกับการลดทอนของระดับสัญญาณ..... ย่านความถี่ Ku	37
3.10 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดซินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียม..... ย่านความถี่ C ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2543	39
3.11 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดซินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียม..... ย่านความถี่ C ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2543	40
3.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดซินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียม..... ย่านความถี่ Ku ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน ปี พ.ศ. 2543	40
3.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดซินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียม..... ย่านความถี่ Ku ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2543	41
3.14 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดซินทิลเลชันเปรียบเทียบระหว่างปี 2542-2544 ใน..... ย่านความถี่ C	42
3.15 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดซินทิลเลชันเปรียบเทียบระหว่างปี 2542-2544 ใน..... ย่านความถี่ Ku	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน43 ข้อมูล บันทึกได้ในวันที่ 1 พฤษภาคม 2543 เวลา 20.27 น. ในย่านความถี่ C	
3.17 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน44 ข้อมูล บันทึกได้เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน และพฤษภาคม ปี 2543 ในย่านความถี่ C	
3.18 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน44 ข้อมูล บันทึกได้ในวันที่ 26 เมษายน 2544 เวลา 11.12 น. ในย่านความถี่ Ku	
3.19 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน45 ข้อมูล บันทึกได้เดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ปี 2544 ในย่านความถี่ Ku	
3.20 ตัวอย่างผลการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอน46 โดยใช้ อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ QLMS	
3.21 ตัวอย่างผลการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอน47 โดยใช้ อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ VSQMS	
3.22 แสดงสเปกตรัมของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียม48 (ก) สัญญาณในย่านความถี่ C ที่บันทึกได้วันที่ 30 เมษายน 2543 เวลาประมาณ 21.38 น. (ข) สัญญาณในย่านความถี่ Ku ที่บันทึกได้วันที่ 1 มิถุนายน 2544 เวลาประมาณ 14.20 น.	
3.23 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณอินพุตขณะเกิดฝนตกในรูป 3.20 (ก) และรูปที่ 3.21 (ก)49 ที่บันทึกได้ในวันที่ 24 สิงหาคม 2545	
3.24 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณซินทิลเลชันที่แยกจากสัญญาณอินพุตในรูป 3.20 (ข)50 และ รูป 3.21 (ข)	
3.25 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณการลดทอนที่แยกจากสัญญาณอินพุตในรูป 3.20 (ค)50 และ รูป 3.21 (ค)	
4.1 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน54 และค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ	
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชัน55 ย่านความถี่ C ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz 4 Hz 2 Hz 1 Hz 0.5 Hz และ 0.25 Hz	
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชัน56 ย่านความถี่ Ku ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz 4 Hz 2 Hz 1 Hz 0.5 Hz และ 0.25 Hz	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ C57 ในช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที	
4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku58 ในช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที	
4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชัน59 ย่านความถี่ C ที่ช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที	
4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชัน59 ย่านความถี่ Ku ที่ช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที	
4.8 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...61 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 8 Hz	
4.9 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...61 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 4 Hz	
4.10 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...62 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 2 Hz	
4.11 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...62 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 1 Hz	
4.12 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...63 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 0.5 Hz	
4.13 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...63 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 0.25 Hz	
4.14 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...65 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 8 Hz	
4.15 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...66 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 4 Hz	
4.16 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...66 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 2 Hz	
4.17 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...67 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 1 Hz	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...67 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 0.5 Hz	
4.19 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...68 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 0.25 Hz	
4.20 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...66 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 8 Hz	
4.21 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...70 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 4 Hz	
4.22 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...70 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 2 Hz	
4.23 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...71 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 1 Hz	
4.24 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...71 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 0.5 Hz	
4.25 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด...72 ของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 0.25 Hz	
4.26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละอัตราการสุ่มของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชัน.....73 ในย่านความถี่ C และ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส และขณะฝนตก	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการแพร่กระจายสัญญาณผ่านดาวเทียมมายังสถานีภาคพื้นดิน มักประสบปัญหาเรื่องการจางหายของสัญญาณ (Fading) [1] ซึ่งมีสาเหตุที่สำคัญคือ การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอย่างกะทันหันที่เรียกว่า ชินทิลเลชัน (scintillation) เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอหรือความไม่ราบเรียบของชั้นบรรยากาศ (atmosphere turbulent) [2] โดยสัญญาณที่รับได้ ณ จุดรับสัญญาณ อาจมีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด (amplitude scintillation) หรือ เฟส (phase scintillation) หรืออาจเกิดการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันทั้งทางแอมพลิจูดและเฟส นอกจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศแล้ว ยังมีส่วนประกอบอื่นที่ส่งผลให้เกิดชินทิลเลชันอีกก็คือ มุมเงยของจานสายอากาศ (elevation angle) ขนาดของจานสายอากาศ ความถี่ที่ใช้ งาน สนามแม่เหล็กโลก วัฏจักรของดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน แต่ละฤดูกาล และตำแหน่งละติจูด ณ จุดรับสัญญาณ เป็นต้น เนื่องจากสภาวะภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่รับสัญญาณดาวเทียมทั่วโลก จึงเกิดงานวิจัยกันอย่างกว้างขวางเพื่อแก้ปัญหาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากปรากฏการณ์ชินทิลเลชัน (scintillation phenomena) นี้ สำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อน (Tropical zone) มีอุณหภูมิสูงและมีฝนตกชุกตลอดปี จึงต้องเลือกตำแหน่งดาวเทียมมุมเงยสูงเพื่อลดเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นให้น้อยลง เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการเกิดชินทิลเลชัน [3] แต่เนื่องจากประเทศไทยมีอากาศร้อนตลอดเวลา ชินทิลเลชันก็ยังเป็นปัญหาที่สำคัญที่ต้องพิจารณาอย่างละเอียด จึงเป็นที่มาที่สำคัญของปัญหาในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมที่มุมเงยสูง ในเขตร้อนในวิทยานิพนธ์นี้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวัด และวิเคราะห์สัญญาณขาของดาวเทียมไทยคม 2 ณ ตำแหน่งมุมเงยสูง 59.9 องศา ณ สถานีรับในเขตร้อนในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์สัญญาณ คือ

1. ตรวจสอบผลกระทบที่เป็นสาเหตุของการจางหายของสัญญาณคือ การเกิดปรากฏการณ์ชินทิลเลชัน โดยตรวจสอบคุณลักษณะสเปกตรัมในการแกว่ง และโอกาสการเกิดในแต่ละเดือน ปี ในแต่ละฤดูกาล เพื่อเป็นข้อมูลเชิงสถิติอันเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบ
2. ศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการทาง Digital Signal Processing ในการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษาวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณดาวเทียม จากวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การแสดงด้วยค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ กับการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาอัตราการสุ่มข้อมูล และช่วงเวลาการคำนวณที่เหมาะสม โดยใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์หรือข้อมูลทางอุทกนิคมวิทยาเป็นหลัก

4. หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระดับสัญญาณขาลงถูกบันทึกตลอดเวลาเป็นแบบดิจิทัลมีค่าเป็นโวลต์ แต่ในจุดประสงค์ของการศึกษา ขนาดของสัญญาณแสดงในหน่วยของ เดซิเบล (dB) ดังนั้นระดับสัญญาณที่รับได้ถูกปรับเทียบ (calibrated) เป็นหน่วย dB และจะทำการวิเคราะห์ซินทิลเลชันที่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.5 dB ขึ้นไป

ในการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_x) ซึ่งถือเป็นตัวแปรที่สำคัญ โดยค่า σ_x จะแสดงเป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับสัญญาณที่รับได้ในรูปค่าเฉลี่ยของระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดังนี้

$$\sigma_x = \left(\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.1)$$

เมื่อ x_i คือระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง
 n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

โดยสมมติฐานนี้ เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน มีฝนตกชุกตลอดปี วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงแบ่งเงื่อนไขการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นข้อมูลขณะฝนตก และข้อมูลขณะอากาศแจ่มใส

ในกรณีการเกิดซินทิลเลชันขณะฝนตกจะมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นพร้อมกัน ในวิทยานิพนธ์ได้ทำการแยกซินทิลเลชัน และการลดทอนของสัญญาณออกจากกันด้วยวงจรกรองความถี่แบบดิจิทัลปรับตัวได้ (Adaptive IIR Digital Filter)

1.4 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยวิเคราะห์ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน โดยใช้ข้อมูลที่ทำการวัด และการทดลองในประเทศไทย โดยแบ่งรายละเอียดเนื้อหาในส่วนการศึกษาวิเคราะห์และทดลองดังนี้

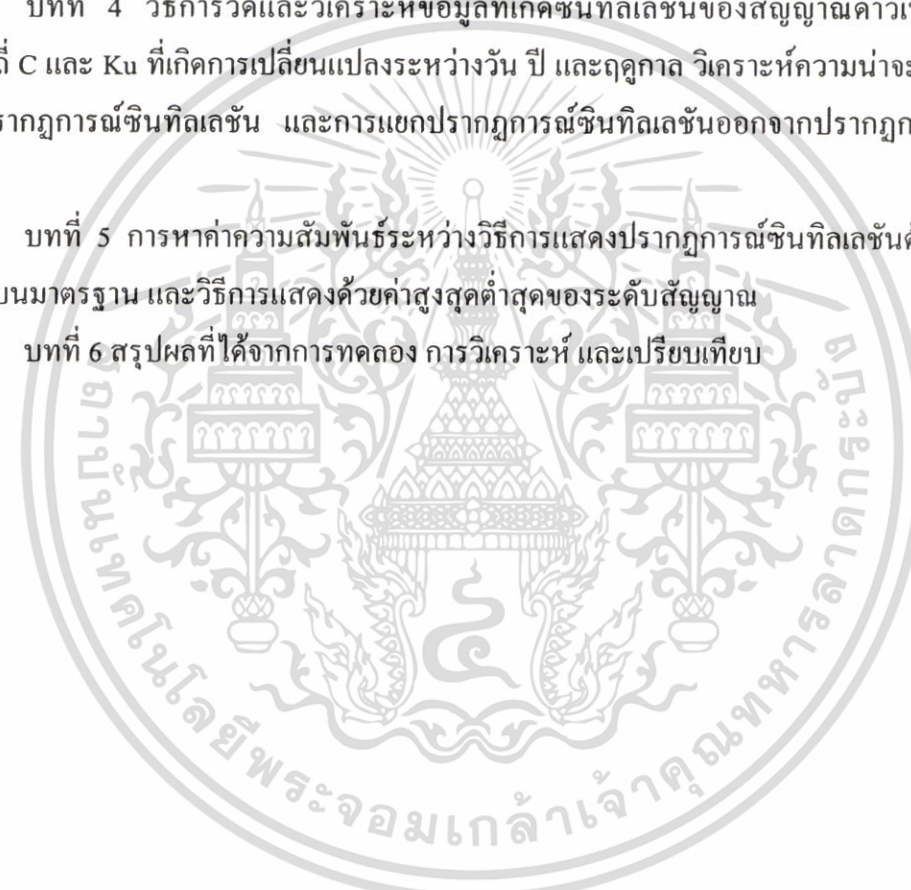
บทที่ 2 กล่าวถึงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ซึ่งในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ได้กล่าวถึงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันอันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้น F และซินทิลเลชันแบบกึ่งพีริยอดซึ่งเกิดจากชั้น Sporadic E ส่วนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ได้กล่าวถึงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน และปรากฏการณ์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากน้ำฝน

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลง (SI index) วิธีการแสดงด้วย CCIR model วิธีการแสดงด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิธีการแสดงด้วยค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

บทที่ 4 วิธีการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ C และ Ku ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน ปี และฤดูกาล วิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน และการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอน

บทที่ 5 การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิธีการแสดงด้วยค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

บทที่ 6 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง การวิเคราะห์ และเปรียบเทียบ



บทที่ 2

ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณดาวเทียม

2.1 บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านดาวเทียมมีส่วนสำคัญในการติดต่อสื่อสารอย่างมากและมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่นการแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม (ซึ่งจะใช้ความถี่ย่าน C และ Ku) การโทรศัพท์ติดต่อระหว่างประเทศ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ดาวเทียมเป็นสถานีฐาน (Satellite Mobile) ในการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมนั้นจะเกิดผลกระทบเนื่องจากความแปรปรวนของบรรยากาศชั้นต่าง ๆ ตลอดเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น (Radiowave Propagation) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นผลมาจากชั้นบรรยากาศหลัก 2 ชั้นบรรยากาศคือ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สภาวะความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศตลอดการแพร่กระจายคลื่นนั้นเป็นสาเหตุที่สำคัญของการจางหายของสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหันหรือที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (Scintillation Phenomena)” ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดของชั้นบรรยากาศและชนิดของปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณดาวเทียมในหัวข้อต่อไป

2.2 ชั้นบรรยากาศ

เนื่องจากโลกเราถูกห่อหุ้มด้วยชั้นบรรยากาศหรือชั้นต่าง ๆ และคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ดังนั้น ในการศึกษาการเดินทางของคลื่นวิทยุชั้นนั้นจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติของบรรยากาศชั้นต่าง ๆ ด้วย บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกเราเป็นแก๊สต่าง ๆ ที่ผสมคลุกเคล้ากันอยู่ในรูปของแก๊สผสม ซึ่งไม่ใช่สารประกอบทางเคมี (Chemical compound) หรือแก๊สเดี่ยวล้วน ๆ มีความยืดหยุ่นและการอัดตัวสูง ส่วนสำคัญอันเป็นองค์ประกอบคือแก๊สสองชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน (Nitrogen) และออกซิเจน (Oxygen) ส่วนแก๊สอื่น ๆ ที่รวมอยู่มีจำนวนน้อยมากในปริมาตรของอากาศแห้งบริสุทธิ์จำนวนหนึ่ง เมื่อเทียบอัตราส่วนผสมจะได้ดังนี้ คือ ไนโตรเจน 78.08% ออกซิเจน 20.95% อาร์กอน 0.93% และแก๊สอื่น ๆ ประมาณ 10 ชนิดอีก 0.04% ในทางปฏิบัติอัตราส่วนจำนวนนี้เราถือว่าเหมือนกันตลอดทุกส่วนของโลก และตลอดทุกระดับจนกระทั่งสูงขึ้นไปอย่างน้อย 12 ไมล์ [4]

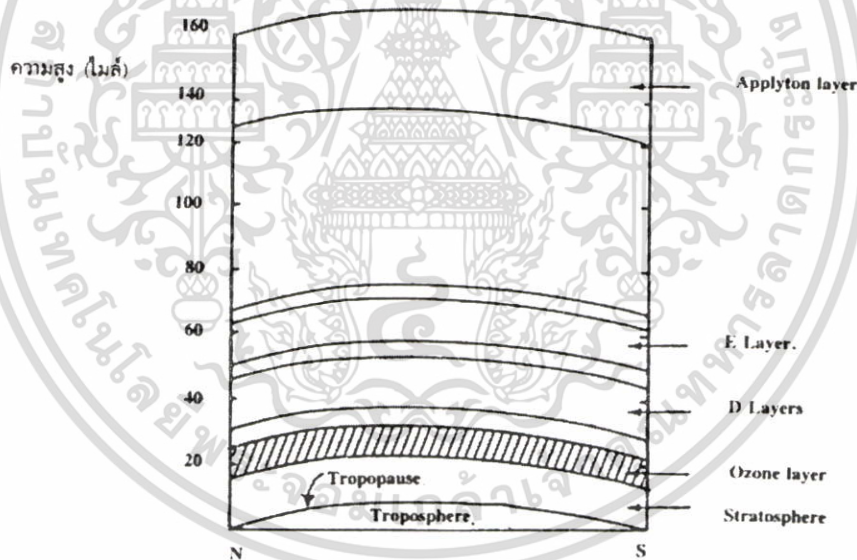
นอกจากแก๊สต่าง ๆ เหล่านี้ ไอน้ำนับว่าเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดทางวิชาอุตุนิยมวิทยา แม้ว่าจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย และมีการจับตัวอยู่ในระยะสูงไม่เกิน 4-5 ไมล์ก็ตาม แต่ไอน้ำนี้มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0-3% โดยปริมาตรและโดยทั่ว ๆ ไป เราถือว่าไอน้ำนี้เป็นแก๊สอิสระที่ผสมอยู่ในบรรยากาศ แม้ว่าจะมีลักษณะอากาศแจ่มใสก็ตามยังอาจมีการเกิดละอองน้ำเล็ก ๆ เป็นหมอก

หรือมีผงฝุ่นละอองกระจายรวมกับละอองน้ำอยู่ทั่วไป ถ้าจำนวนผงฝุ่นละอองมีมากจนทำให้ทัศนวิสัยเลวลง และจะเกิดเป็นลักษณะฟ้าหลัว

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกอยู่นั้นประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2.2.1 บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ตอนล่างสุดใกล้กับพื้นโลกเป็นชั้นบรรยากาศหนาแน่นมีเมฆ อุณหภูมิตอนล่างใกล้ผิวโลกสูงกว่าตอนบน ทำให้อากาศเคลื่อนที่ในแนวตั้ง มีการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง และยังประกอบด้วยความชื้นและฝุ่นละอองที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศทั้งหมด ลักษณะเด่นของบรรยากาศชั้นนี้คือความดันและความหนาแน่นจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น รวมทั้งอุณหภูมิจะค่อย ๆ ลดลงตามระดับความสูง ในบางกรณีอาจจะเกิดการหักกลับของอุณหภูมิ (Temperature inversion) ชั้นแคบ ๆ นี้เกิดจากการเย็นตัวของผิวดินโดยการแผ่รังสีหรือจากการที่อากาศอุ่นสัมผัสกับพื้นผิวที่เย็นกว่า การหักกลับของอุณหภูมิส่วนมากจะเกิดบริเวณเหนือภาคพื้นทวีปในฤดูหนาว และเกิดบริเวณเหนือภาคพื้นมหาสมุทรในฤดูร้อน [4]

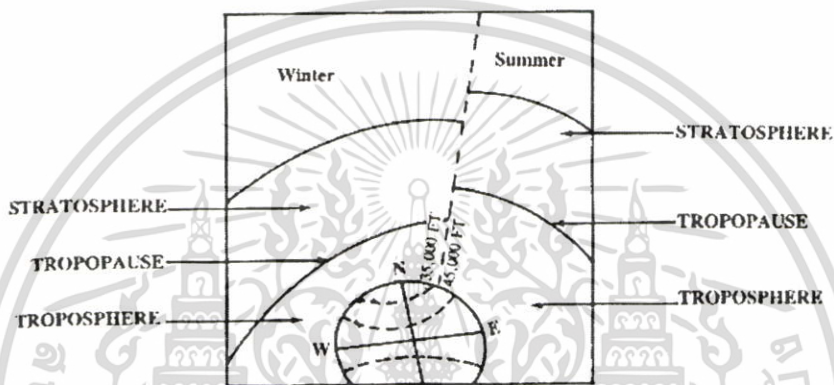


รูปที่ 2.1 แสดงถึงความสูงระดับต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ

ส่วนบนสุดของโทรโพสเฟียร์ เรียกว่า โทรโพพอส (Tropopause) ความสูงของระดับโทรโพพอสไม่คงที่แปรเปลี่ยนไปตามบริเวณและไม่มี ความต่อเนื่องดังรูปที่ 2.2 โทรโพพอสจะอยู่สูงที่สุดเหนือบริเวณเส้นศูนย์สูตรคือสูงประมาณ 18 กิโลเมตร และต่ำที่สุดเหนือบริเวณขั้วโลกคือสูงประมาณ 8 กิโลเมตรเท่านั้น นั่นคือ อุณหภูมิของอากาศชั้นล่าง สูงยิ่งขึ้นเท่าไรระดับของโทรโพพอสจะสูงขึ้นเท่านั้น อัตราเปลี่ยนของอุณหภูมิตามความสูงของบรรยากาศชั้นนี้มีค่าเฉลี่ยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 องศาเซลเซียสต่อกิโลเมตร ดังนั้นอุณหภูมิของโทรโพสเฟอจะมีค่าต่ำในบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร ซึ่งหมายความว่า อุณหภูมิต่ำสุดของบรรยากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์จะอยู่เหนือบริเวณเส้นศูนย์สูตร และมีค่าประมาณ -85 องศาเซลเซียส ณ ระดับความสูง 17 ถึง 20 กิโลเมตร ในทางตรงข้าม อุณหภูมิต่ำสุดของโทรโพสเฟอเหนือบริเวณขั้วโลกจะมีค่าประมาณ -60 องศาเซลเซียสที่ระดับความสูง 7 ถึง 10 กิโลเมตร โทรโพสเฟอจะสังเกตได้จากการหักกลับของอุณหภูมิเหนือระดับนี้ขึ้นไปอุณหภูมิกลับเพิ่มขึ้นตามความสูงแทนที่จะลดลงตามความสูง โทรโพสเฟอจึงเป็นระดับสูงสุดที่จำกัดการเกิดเมฆและพายุต่าง ๆ



รูปที่ 2.2 แสดงความสูงระดับต่าง ๆ ในบรรยากาศฤดูร้อน และฤดูหนาว

2.2.2 บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere)

การเคลื่อนไหวทางแนวตั้งของอากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์ จะค่อย ๆ ลดน้อยลงตามส่วนสูงที่เพิ่มขึ้นและหยุดลงตรงแนวแบ่งชั้นโทรโพสเฟอเหนือระดับนี้ขึ้นไปจะไม่มี การเคลื่อนตัว ในบริเวณเหนือระดับโทรโพสเฟอขึ้นไปเรียกว่า สตราโตสเฟียร์ ณ ระดับนี้สภาพอากาศจับตัวเป็นแผ่น โดยมีอาการเคลื่อนไหวและไหลทางแนวนอนแต่เพียงแนวเดียว

2.2.3 บรรยากาศชั้นสเฟอโรสเฟียร์ (Chemosphere) และไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere)

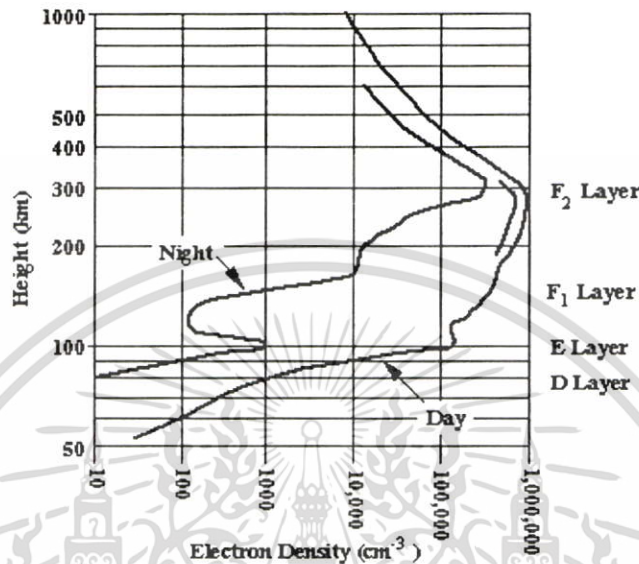
ในตอนต้นของศตวรรษที่ 19 ได้มีความคิดเกิดขึ้นที่จะใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารข้อมูลระยะทางไกล ในปี 1901 ได้ค้นพบชั้นบรรยากาศโลกที่สามารถสะท้อนคลื่นวิทยุ (Reflecting layer) หรือภายหลังได้ตั้งชื่อเป็นชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ได้ถูกค้นพบโดย Marconi ซึ่งค้นพบตอนที่เขาได้ส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกจากประเทศแคนาดาไปยังประเทศอังกฤษได้สำเร็จ

ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นในแต่ละระดับย่อยที่ความหนาแน่นอิเล็กตรอนมีค่าสูงสุดถูกเรียกว่า “ชั้น” (Layer) จำนวนของชั้น ความสูงของมัน และความรุนแรงที่มีต่อ Sky wave ที่ถูกทำให้เลี้ยวเบนไปจะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ในแต่ละเดือน และในแต่ละปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละชั้นย่อยจะมีความถี่วิกฤตซึ่งมีค่าเฉพาะในแต่ละชั้นของมันเอง

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แบ่งเป็นชั้นย่อยหลัก ๆ 3 ชั้นในช่วงเวลากลางวันคือ ชั้น E F1 และ F₂ [5] [6] นอกจากนี้ชั้นปกติเหล่านี้แล้วยังมีชั้นที่ต่ำกว่าชั้น E เรียกว่าชั้น D แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงชั้นย่อยของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากรูปอธิบายได้ว่าชั้น D มีขอบเขตอยู่ระหว่าง 50 ถึง 90 กิโลเมตร ในเวลากลางวันของชั้นนี้จะส่งผลเป็นอันมากต่อการลดทอนของคลื่นความถี่สูงในแถบขั้วโลก ในช่วงเวลากลางคืนชั้น F₁ และ F₂ จะรวมกันเป็นชั้นเดียวเรียกว่าชั้น F ส่วนชั้น D จะหายไปในช่วงกลางคืนเช่นกัน ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจะมีชั้นย่อยปรากฏอยู่เพียง 2 ชั้นหลัก ๆ คือ ชั้น E และชั้น F โดยปกติแล้วชั้น E จะถูกพบที่ความสูง 110 กิโลเมตร แต่อาจจะเปลี่ยนแปลงในช่วงความสูง 90 กิโลเมตร ถึง 140 กิโลเมตร ในทำนองเดียวกันชั้น F₁ จะวางตัวอยู่ที่ระดับความสูง 220 กิโลเมตร โดยที่ระดับความสูงนี้จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงเวลาระหว่างวัน และในแต่ละฤดูกาล ส่วนชั้น F₂ นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก คือ จะเปลี่ยนไปมาที่ระดับความสูง 250-400 กิโลเมตร

2.2.4 บรรยากาศชั้นเอ็กโซสเฟียร์ (Exosphere)

ชั้นนี้เป็นบรรยากาศรอบนอกที่สุดที่ห่อหุ้มโลก บรรยากาศในชั้นนี้จะค่อย ๆ กลืนกับอวกาศจนยากที่จะกำหนดลงไปได้ว่ามีขอบเขตเพียงใด นักอุตุนิยมวิทยาคำนวณขอบเขตของบรรยากาศชั้นเอ็กโซสเฟียร์นี้อยู่ระหว่าง 800 กิโลเมตร ถึง 1200 กิโลเมตรสูงจากพื้นโลก ส่วนขอบเขตสูงสุดไม่มีใครกำหนดได้ บรรยากาศในชั้นนี้บางมากมีปริมาณของแก๊สอยู่น้อยมากและเป็นแก๊สที่เบาบาง เช่น ไฮโดรเจน และฮีเลียม ซึ่งแก๊สทั้งสองสามารถกระเด็นหลุดไปในอวกาศได้อยู่เสมอ การเคลื่อน

ไหวมีลักษณะเปรียบคล้ายละอองและฟองน้ำบนยอดคลื่นในมหาสมุทรที่ปลิวลอยไปในอวกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การจำแนกชนิดของซินทิลเลชัน

ซินทิลเลชันที่สังเกตพบในการสื่อสารผ่านดาวเทียมแบ่งเป็น 2 ชนิด

- ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric scintillation)
- ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (Tropospheric scintillation)

2.3.1 ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะพิจารณาได้ว่าเป็นชั้นที่ประกอบด้วยแก๊สไอโอไนซ์ ชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่าพลาสมา โดยที่ในธรรมชาติชั้นนี้ประกอบด้วยประจุบวก (ไอออน) และประจุลบ (อิเล็กตรอน) ในปริมาณที่เท่ากัน ความไม่สม่ำเสมอของพลาสมาในชั้นบรรยากาศนี้เป็นตัวรบกวนหรือขัดขวางที่มีอิทธิพลอย่างมากในการเดินทางของสัญญาณคลื่น การติดต่อสื่อสารสัญญาณวิทยุ การเดินเรือและการนำร่องการบิน โดยทั่วไปแล้วความไม่สม่ำเสมอที่มีขนาดเล็กจะเกิดขึ้นภายหลังจากที่พระอาทิตย์ตกดินในแถบเส้นศูนย์สูตร ส่วนที่ละติจูดสูงจะเกิดบ่อยได้ทั้งเวลากลางวัน และเวลากลางคืน การเกิดความไม่สม่ำเสมอที่มีขนาดเล็กจะเกิดเป็นประจำตามช่วงเวลาการเกิดวัฏจักรสุริยะ ส่วนความไม่สม่ำเสมอที่มีขนาดใหญ่มีสาเหตุเกิดจากชั้น F ซึ่งมีผลกระทบต่อสัญญาณในช่วงความถี่สูง (HF) ที่มีความถี่อยู่ในช่วง 3-30 MHz โครงสร้างของการเกิดความไม่สม่ำเสมอจะมีรูปร่างคล้ายกล้วย หรือลิบของผลส้ม ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถสรุปคุณลักษณะของโครงสร้างของความไม่สม่ำเสมอตั้งแต่เริ่มก่อตัว การเคลื่อนที่ และการเสื่อมสลายลง เป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้ [6]

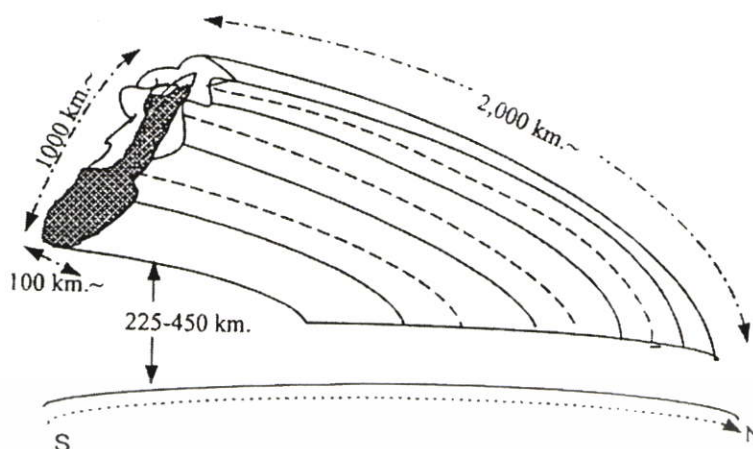
1. รูปแบบของแผ่นบาง ๆ (Patch) ภายหลังจากที่พระอาทิตย์ตกจะแผ่ขยายไปทางทิศตะวันตก จะเกิดการแตกแยกอย่างฉับพลันแล้วขยายไปในทิศทางจากตะวันออกไปตะวันตก มีขนาดประมาณ 100 หรือมากกว่า เป็นหลายร้อยกิโลเมตร แต่ขนาดที่เล็กที่สุดประมาณ 100 กิโลเมตร ส่วนการแผ่จากเหนือไปได้จะมีขนาดยาวประมาณ 2,000 กิโลเมตร

2. แผ่นบาง ๆ ที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอจะถูกปรับให้มีการแผ่ขยายกว้างออกไปในแนวเดียวกัน ซึ่งถ้าวัดในแนวตั้งขนาดของแผ่นจะกว้างประมาณ 50 กิโลเมตร ความเข้มสูงสุดของความไม่สม่ำเสมอจะอยู่ที่ความสูงประมาณ 225-450 กิโลเมตร ที่ขนาดของความไม่สม่ำเสมอประมาณ 1,000 กิโลเมตร

3. แผ่นบาง ๆ จะล่องลอยไปตามลมโดยหันหน้าไปทางทิศตะวันออกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 100-200 m/s ในแนวค้อย ๆ ลาดเอียงลงมา หลังจากดวงอาทิตย์ตก และหลังเที่ยงคืนพบว่าความไม่สม่ำเสมอที่จะเคลื่อนที่แบบไม่ต่อเนื่อง และมีทิศทางกลับกับในทิศทางเดิม โดยจะล่องลอยด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นไปทางทิศตะวันตก

4. อย่างไรก็ตามการศึกษารูปแบบของแผ่นของความไม่สม่ำเสมอ (Livingston *et.al.* 1980) พบว่า แผ่นบาง ๆ ที่เกิดขึ้นจะเสื่อมสลายไปหลังจากเที่ยงคืน จะเหลือความไม่สม่ำเสมอกระจัดกระจายภายในระยะ 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้าง 3 มิติของกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ

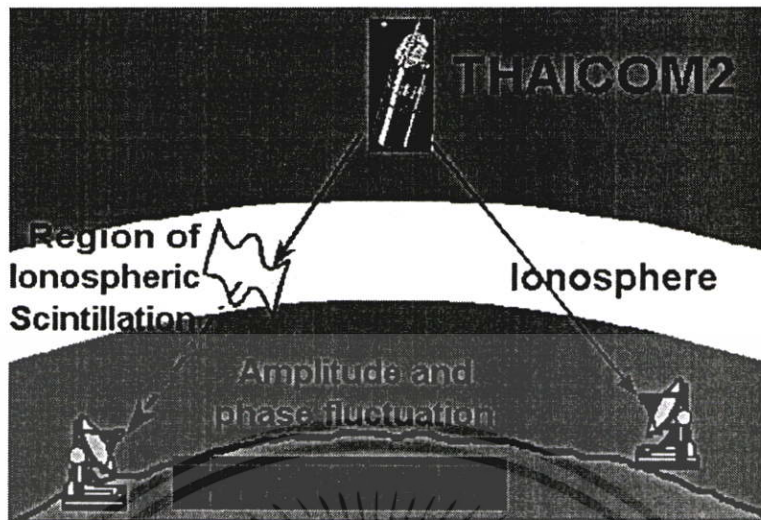
ผลจากความไม่สม่ำเสมอที่เกิดขึ้นในชั้น F ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอย่างรุนแรงเรียกว่า เป็นรูปแบบการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.3.1.1 ผลกระทบเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ซินทิลเลชันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Scintillation) มีสาเหตุจากความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในสเปกตรัม E (E_s) และการปรากฏขึ้นของชั้น F ขั้วขบวนการเดินทางผ่านของคลื่นวิทยุ โดยสัญญาณที่รับได้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งแอมพลิจูดและเฟส ดังรูปที่ 2.5 ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบสื่อสารระหว่างอวกาศกับภาคพื้นดินจึงได้มีการกำหนดไว้เป็นตัวแปรตัวหนึ่งในการออกแบบระบบ โดยการเผื่อค่าไว้สอดคล้องกับค่าระดับสัญญาณที่อาจเพิ่มหรือลดลงเกินจากระดับปกติที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์นี้ ลักษณะของการเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ สนามแม่เหล็กโลก วัฏจักรสุริยะ ช่วงเวลาในแต่ละวัน ฤดูกาล และตำแหน่งละติจูด ความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้น F ซึ่งเป็นชั้นที่ทำให้เกิดซินทิลเลชันขึ้นบริเวณแถบละติจูดสูงและแถบศูนย์สูตร โดยกลุ่มความไม่สม่ำเสมอจะอยู่ที่ระดับความสูง 250-400 กิโลเมตร และมักจะเกิดในเวลากลางคืน

เนื่องจากชั้น F เป็นชั้นที่มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดในค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุดซึ่งอยู่ที่ความสูงประมาณ 250-400 กิโลเมตร จึงเป็นชั้นที่มีผลทำให้เกิดซินทิลเลชันต่อสัญญาณความถี่มากกว่าชั้นอื่น ๆ ชั้น F นี้จะปรากฏในเวลากลางคืนจากการรวมตัวของชั้น F_1 กับ F_2 แม้ว่าชั้น F นี้จะปรากฏอยู่เฉพาะในเวลากลางคืน และเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและเวลา แต่พบว่าจะไม่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของดวงอาทิตย์เหมือนชั้นอื่น ๆ แต่จะได้รับผลจากจุดดับบนดวงอาทิตย์ ในบริเวณที่มีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุดนั้น ในตอนกลางวันจะต่ำกว่าตอนกลางคืน และฤดูหนาวจะต่ำกว่าฤดูร้อนและเป็นชั้นที่มีการเกิดปรากฏการณ์ขึ้นมากในบริเวณแถบละติจูดสูง และแถบเส้นศูนย์สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ผลกระทบจากความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม

ชั้น E_s ก็เป็นอีกชั้นหนึ่งที่มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร แต่จะปรากฏเป็นบางครั้งบางคราว บางสถานที่ เช่น บริเวณเส้นรุ้งอันเกิดจากผลของดาวตก ทางขั้วโลกเกิดจากแสงทางขั้วโลก ลักษณะของชั้น E_s จะคล้ายกลุ่มเมฆของอิเล็กตรอนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันสูงมากจากชั้นอื่น ๆ จึงมีผลต่อการสะท้อนคลื่น โดยเฉพาะคลื่นสั้นและซินทิลเลชันจากชั้นนี้ส่วนมากจะปรากฏในเวลากลางวัน นอกจากนี้ที่ความถี่ต่ำกว่าย่าน C จะพบปรากฏการณ์ซินทิลเลชันแบบครึ่งคาบ หรือกึ่งพีริอด (Quasi-Periodic scintillation) เนื่องจากชั้น E_s ที่เป็นสาเหตุของความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.3.1.2 บริเวณที่เกิดซินทิลเลชันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

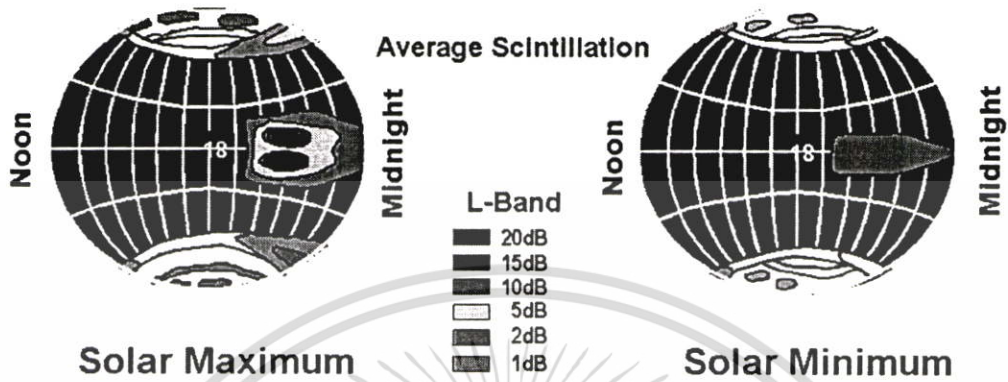
บริเวณตำแหน่งที่เกิดซินทิลเลชันแบ่งเป็น 3 บริเวณหลัก ๆ คือ บริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร (Equatorial scintillation) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ ± 20 องศา จากเส้นศูนย์สูตรสนามแม่เหล็กโลก ถัดมาคือบริเวณละติจูดสูง ๆ (High-latitude scintillation) และรวมไปถึงพื้นที่แถบขั้วแม่เหล็กโลกด้วย และบริเวณสุดท้ายคือ แถบละติจูดกลาง (Middle-latitude scintillation) และพื้นที่นอกเหนือจากนี้ ณ บริเวณทั้งสามนี้ซินทิลเลชันเกิดขึ้นมากที่สุดในเวลากลางคืน โดยที่บริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรจะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากดวงอาทิตย์ตกดิน แสดงดังรูปที่ 2.6 [6]

1) ซินทิลเลชันบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร

รูปที่ 2.6 เป็นลูกโลกแสดงการเกิดซินทิลเลชันในแต่ละบริเวณ พบว่าความรุนแรงในการเกิดปรากฏการณ์นี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางละติจูด ซึ่งในแถบละติจูดต่ำ (หรือบริเวณเส้นศูนย์สูตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นโซนที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณแถบละติจูดสูง แถบละติจูดกลางและแถบขั้วโลก และความรุนแรงของการเกิดนี้ได้แปรตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ด้วย

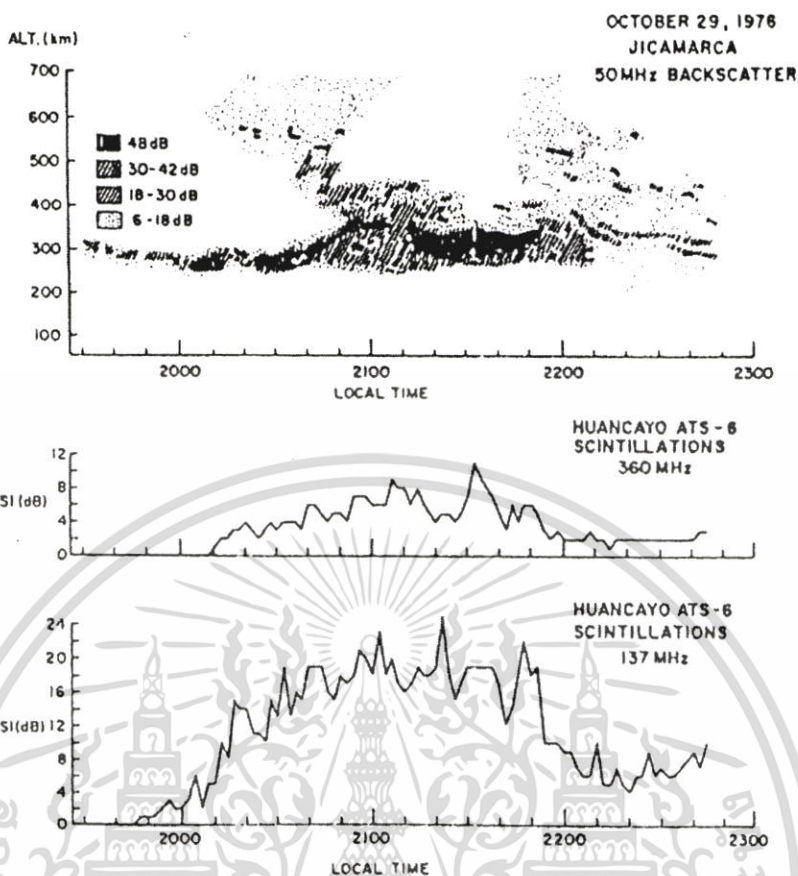


รูปที่ 2.6 แสดงความรุนแรงของการเกิดซินทิลเลชันในแต่ละบริเวณ

ในเวลากลางวันการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันจากความผิดปกติของค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในชั้น F ที่ระดับความสูงประมาณ 200 กิโลเมตรถึง 600 กิโลเมตร และสอดคล้องกับการปรากฏของชั้น F เรียกว่า Spike-type scintillation แต่อย่างไรก็ตามในเวลากลางวันก็พบว่าการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน แต่เป็นผลมาจากชั้น E_s คือชั้นที่มีสภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้นชั่วคราวของชั้น E อยู่ที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร แต่จะปรากฏเป็นครั้งคราว บางสถานที่และจะมีผลที่ความถี่ต่ำกว่าย่านดาวเทียม (โดยเฉพาะย่าน VHF) ซึ่งเป็นการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันแบบกึ่งพีริอดิก (Quasi-periodic scintillation) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

การสังเกตในระหว่างที่ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูง แสดงให้เห็นว่าค่าพีคของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันมีค่าสูงในแถบศูนย์สูตร เช่น การสังเกตในย่านความถี่ 4 GHz รับสัญญาณจากดาวเทียม COMSAT พบว่าการเกิดซินทิลเลชันถึง 9 dB

การเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันซึ่งสัมพันธ์กับการปรากฏขึ้นของกลุ่มความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ผิดปกติโดยมีลักษณะ โครงสร้างคล้ายขนนกหรือเรียกว่า “Plume-like structure” (ดังรูปที่ 2.5) ซึ่งจะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในช่วงค่ำ รูปที่ 2.7 แสดงการปรากฏขึ้นของ Plume-like structure ที่ไม่สม่ำเสมอในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตก ซึ่งวัดได้ที่ตำแหน่งใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก พบว่าการเคลื่อนที่หรือการแทนที่ของ Plume ที่มีขนาดเล็ก ๆ จำนวนมากอย่างผิดปกตินี้เป็นเหตุผลของความไม่สมมาตรของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.7 แสดงการปรากฏขึ้นของกลุ่มความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่ไม่สม่ำเสมอในช่วงเวลาหลังพระอาทิตย์ตก วัดได้ที่ตำแหน่งใกล้เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก

2) ชินทิลเลชันบริเวณแถบละติจูดสูง

การเกิดชินทิลเลชันบริเวณแถบละติจูดสูง จะเกิดรุนแรงในช่วงที่ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์มาก (Aarons 1985; Basu *et al.* 1985) ในบริเวณที่มีแสงอาทิตย์และแถบขั้วโลก พลังงานของอิเล็กตรอนที่รวมตัวกัน และกระแสน้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดความไม่สม่ำเสมอ ซึ่งความไม่สม่ำเสมอที่ทำให้เกิดชินทิลเลชัน อยู่ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 250-500 กิโลเมตร แต่สามารถขยายจากชั้น E ไปถึงความสูงที่ 1000 กิโลเมตร การเกิดชินทิลเลชันจะรุนแรงมากเมื่อใกล้เวลาเที่ยงคืน ในเดือนมีนาคม เมษายน และพฤษภาคม ในทางทิศเหนือของลูกโลก

ในแถบขั้วโลกการเกิดชินทิลเลชันจะเกิดรุนแรง แต่จะเบาบางกว่าในบริเวณที่มีแสงอาทิตย์ ซึ่งในการวิเคราะห์นั้นสามารถใช้ค่าดัชนี SI (SI index) ได้

2.3.1.3 คุณลักษณะของชินทิลเลชันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

คุณลักษณะของชินทิลเลชันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ขึ้นอยู่กับจุดดับบนดวงอาทิตย์ (Sun spot) เวลา และลักษณะทางภูมิศาสตร์ [5] ดังรายละเอียดต่อไปนี้ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์กับจุดดับบนดวงอาทิตย์

- มีความสัมพันธ์เล็กน้อยระหว่างการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันแต่ละเหตุการณ์ และการเกิดจุดดับของดวงอาทิตย์ประจำวัน
- มีความสัมพันธ์อย่างมากระหว่างการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันรายปี และการเกิดจุดดับของดวงอาทิตย์รายปี
- มีความสัมพันธ์อย่างมากระหว่างขนาดของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน และการเกิดจุดดับของดวงอาทิตย์รายเดือน

ความสัมพันธ์กับเวลา

- ลักษณะการเกิดซินทิลเลชันทุก ๆ 11 ปี จะสอดคล้องกับการเกิดวัฏจักรที่เกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์ ซึ่ง 1 วัฏจักรซึ่งใช้เวลา 11 ปี
- ค่าพีคของการเกิดซินทิลเลชันรายปี จะเกิดหลังจากช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์โคจรรอบเส้นศูนย์สูตรพอดี ทำให้มีกลางวันเท่ากับกลางคืน ซึ่งจะเกิดขึ้นในราววันที่ 21 มีนาคม กับวันที่ 22 กันยายน

- ค่าพีคของการเกิดซินทิลเลชันรายวัน มักจะเกิดหลังจากดวงอาทิตย์ตก

ความสัมพันธ์กับสภาพภูมิศาสตร์

- ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในย่านความถี่ GHz จะเกิดมากบริเวณ ± 30 องศา ของเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก สำหรับการสื่อสารด้วยดาวเทียมค้างฟ้า

2.3.2 ซินทิลเลชันแบบกึ่งพีเรียด (Quasi-Periodic scintillation)

ในสัญญาณกระจายเสียงวิทยุ โทรทัศน์ที่ส่งในแนวสายตา หรือภาคพื้นดิน โดยเฉพาะในย่านความถี่ VHF แบนด์ต่ำจะพบบ่อยครั้ง ซึ่งเป็นการสะท้อนคลื่นจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งลักษณะปรากฏการณ์ที่เกิดในการสื่อสารระบบดาวเทียม หรือภาคพื้นดินมีลักษณะคล้ายกันคือ มีการแกว่งขึ้น ๆ ลง ๆ ของสัญญาณคล้ายรูปซายน์จากค่าน้อย ๆ จนถึงยอดสูงสุดหรือต่ำสุดแล้วค่อย ๆ ลดลงสู่สภาวะปรกติอีกครั้ง บางครั้งเกิดนานหลายวินาทีด้วยขนาด dB ที่แตกต่างกัน นักวิจัยหลายท่านเรียกชื่อปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงขนาดของคลื่นลักษณะนี้ที่พบในสัญญาณดาวเทียมว่า ซินทิลเลชันแบบกึ่งพีเรียด (Quasi-periodic scintillation: QP) [8]

ซินทิลเลชันแบบกึ่งพีเรียด อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ความสูง 100-1,000 กิโลเมตร ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ ในบางเวลาที่ชั้น E ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงและเกิดขึ้นที่มีสภาวะผิดปกติเรียกว่าชั้น E_s ในสภาวะเช่นนี้การสื่อสารดาวเทียมที่ความถี่ต่ำ ๆ จากย่าน VHF ถึงย่าน L หรือ S จะสังเกตเห็น ซินทิลเลชัน แบบกึ่งพีเรียด ได้บ่อย ๆ แต่ในย่าน GHz นั้นไม่สามารถสังเกตเห็นปรากฏ

การณ์ซินทิลเลชันแบบกึ่งพีเรียดได้มากนัก ซึ่งโดยทั่วไปจะเกิดการแกว่งของระดับสัญญาณหลายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง ก่อนและหลังการลดลงของสัญญาณอย่างรุนแรง ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ ซินทิลเลชันแบบ Spike-type ”

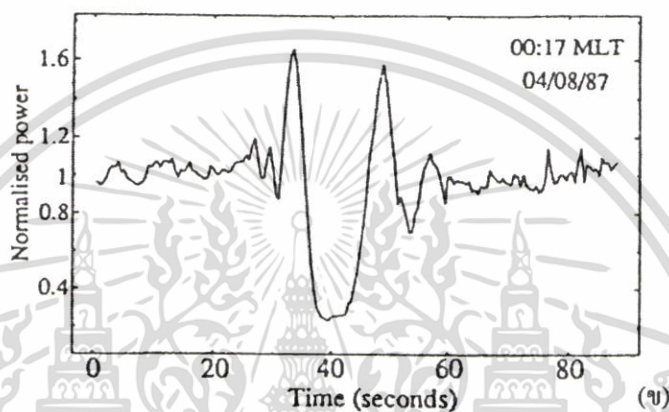
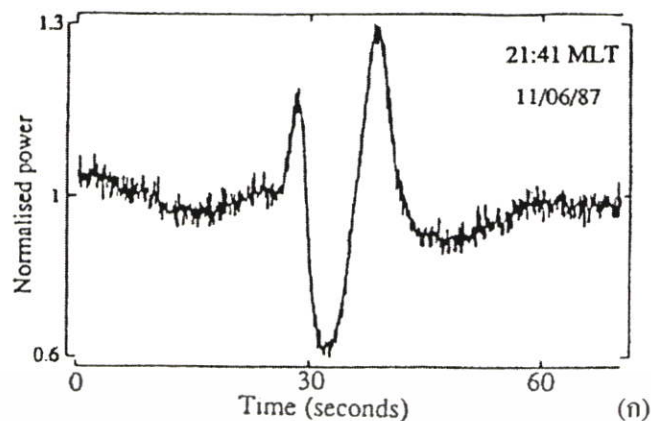
จากบทความเรื่อง Quasi-periodic scintillation event at souther auroral latitudes โดยนักวิจัยชื่อ *D.J.Rasch and E.Esswx* ประเทศออสเตรเลีย เมื่อปี 1993 ได้ทำการวิจัยสรุปเกี่ยวกับปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน แบบกึ่งพีเรียด ที่ความถี่ 244 MHz และ 1.5 GHz ในแอนตาร์กติกา เขาได้ยกตัวอย่างบทความในช่วงสามทศวรรษที่ผ่านมาซึ่งวิจัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์นี้มาเป็นตัวอ้างอิงประกอบในบทความ [8] ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้เขายังได้แบ่งประเภทของปรากฏการณ์ QP ตามรูปแบบการเกิดได้เป็น 3 ประเภท คือ

1). QPM (QP with central minimum) การเกิด QP ชนิดนี้จะเป็นเหตุให้สัญญาณมีการสูญเสียอยู่ในย่านระหว่าง 1 ถึง 10 dB หรือบางครั้งอาจสูงกว่า และโดยทั่วไปจะมีลักษณะการแปรปรวนของขนาดคล้ายสัญญาณซายน์แกว่งสลับกัน ขนาดของแอมพลิจูดจะเพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 3 dB เหนือระดับสัญญาณปกติ รูปที่ 2.8 (ก) และ (ข) แสดงตัวอย่างการเกิด QPM ที่ความถี่ 1.5 GHz และ 244 MHz ตามลำดับ และเหตุการณ์นี้พบมากที่ความถี่ VHF และ UHF ซึ่งสรุปได้จาก บทความวิจัยของ *Elkins and Slack, 1969 ; Davies and Whitehead, 1977* ที่ความถี่ 140 และ 360 MHz; *Hajkowicz et.al., 1981; Maruyama, 1991* ที่ละติจูดกลางความถี่ 1.5 และ 4 GHz ในลักษณะของ ‘spike’; *Moriya et.al., 1985, 1988; Karasawa et.al., 1985* ที่ออโรราละติจูด; *Essex and Rasch, 1988*

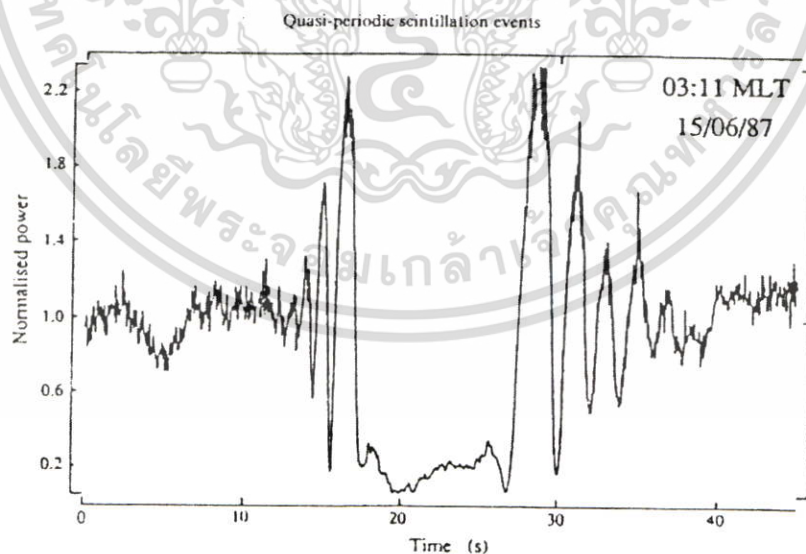
ตารางที่ 2.1 แสดงรายละเอียดบทความที่สามารถนำมาอ้างอิง

Description	Reference	Frequency
Regular, irregular and twinned rides	Dagg (1957)	79 MHz
Regular <i>Es</i> scintillation	Ireland and Preddey (1967)	20 and 40 MHz
<i>Es</i> -type scintillation	Basu and Das Gupta (1969)	40 MHz
Type 1 and type 2 fading	Elkins and Slack (1969)	137 and 230 MHz
Ringing irregularity or ‘ringer’	Slack (1972)	20, 40 and 136 MHz
Edge and strip events	Kelleher and Martin (1975)	40 MHz
QP A-and B-type scintillation	Hajkowicz (1976)	150 MHz
Type C (continuous) and type S (spike)	Karasawa <i>et.al.</i> (1985)	1.5 GHz
Types 1, 2, 3 and 4	Maruyama (1991)	136 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

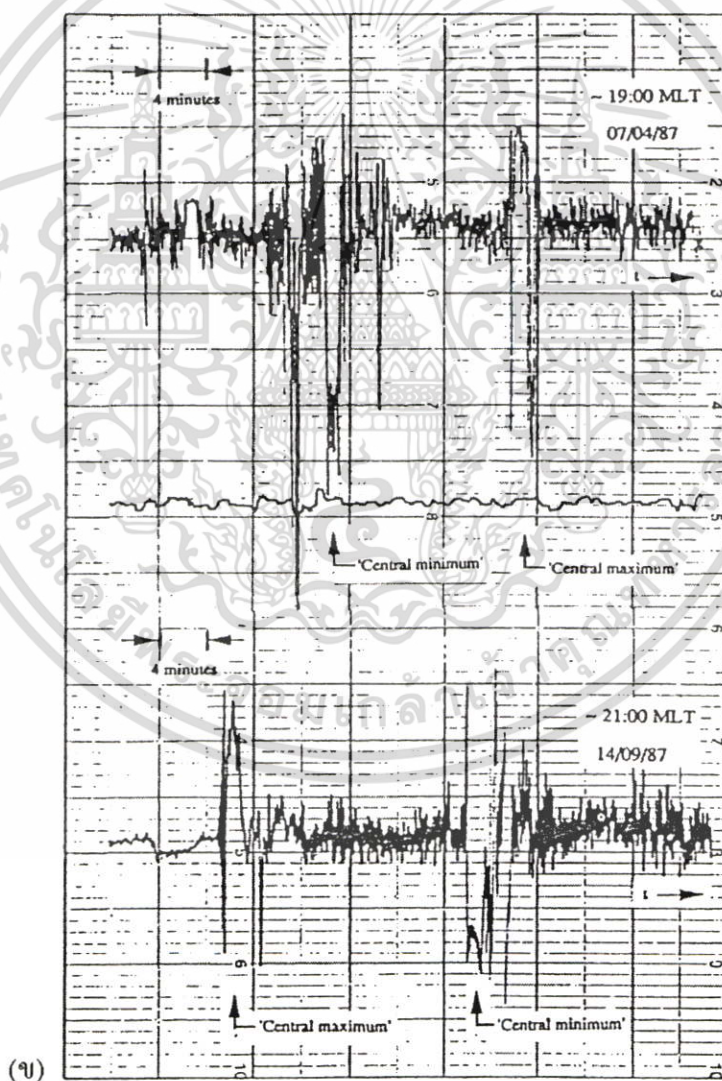
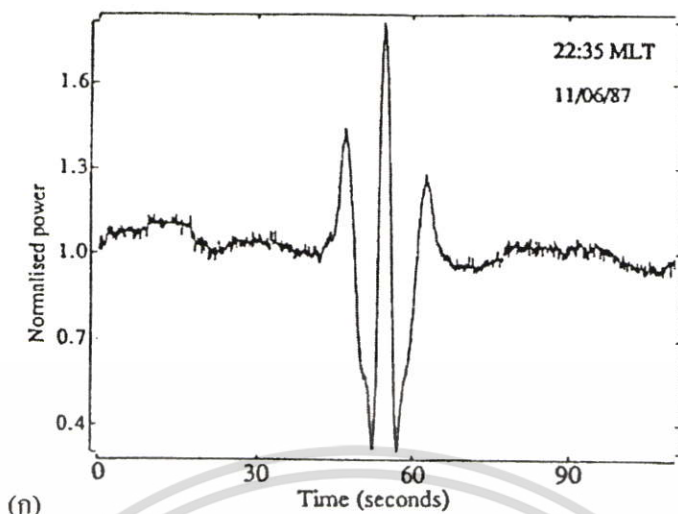


รูปที่ 2.8 (ก) แสดงตัวอย่าง QPM ('spike') ที่ความถี่ 1.5 GHz
(ข) แสดงตัวอย่าง QPM ที่ความถี่ 244 MHz



รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่าง QPEM ที่ความถี่ 244 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 (ก) แสดง QPMax ที่ความถี่ 1.5 GHz

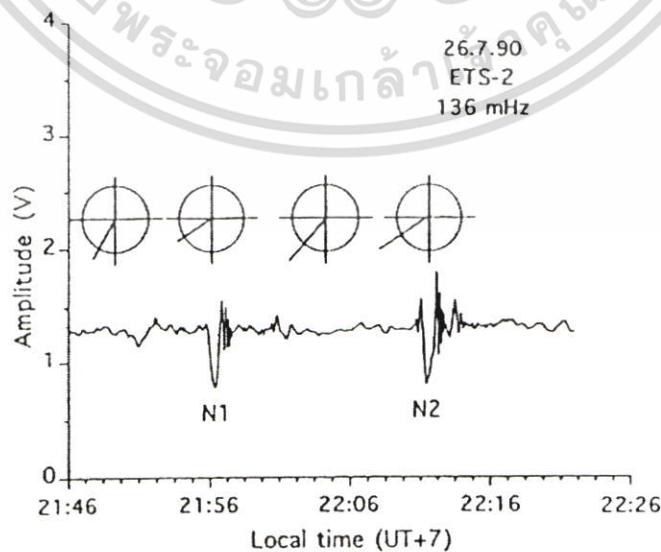
(ข) แสดงตัวอย่าง QPMax ที่เกี่ยวข้องกับ QPEM ที่ความถี่ 244 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). QPEM (QP with extended central minimum) QP ชนิดนี้เป็นเหตุให้มีการขยายช่วงเวลาหรือคาบเวลาในการเกิดมากกว่าชนิดแรก จะเป็นช่วงที่ไม่มีการแกว่งขึ้นลงของแอมพลิจูดและถูกลดทอนลงไปมากกว่า 10 dB จากระดับสัญญาณเดิม สัญญาณที่เกิดการแกว่งจะอยู่ก่อนหน้า และจากนั้นสัญญาณที่เกิด QP ส่วนที่น้อยที่สุดจะเกิดนานขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นการเกิด QPEM ที่ความถี่ 244 MHz ซึ่งสรุปได้จาก บทวิจัยของ *Slack, 1972; Elkins and Slack, 1969; Davies and Whitehead, 1977; Kelleher and Martin, 1975*; แต่ยังไม่มียางานว่าเกิด QPEM ที่ความถี่เหนือ 1 GHz

3). QP MAX (QP with central-maximum) QP ชนิดนี้จะมีคุณสมบัติคล้ายกับ QPM แต่จะมี central maximum แทนที่ central minimum ได้รับรายงานที่ละติจูดกลาง แสดงตัวอย่างการเกิดดังรูปที่ 2.10 โดยรูปที่ 2.10 (ก) แสดงตัวอย่างการเกิด central maximum ที่ความถี่ 1.5 GHz รูปที่ 2.10 (ข) แสดงตัวอย่างการเกิด central maximum ที่ความถี่ 244 MHz

จากบทความของ *E.L.Afraimovich, G.A.Zherebtsov, and V.N.Zvezdin* ในชื่อ “Characteristic of small-scale ionospheric irregularities as deduced from scintillation observations of radio signals from satellites ETS-2 and Polar Bear 4 at Irkutsk” [9] ได้กล่าวไว้ว่า “Scintillation” เกิดจากความผิดปกติ หรือความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ ขัดขวางการเดินทางของคลื่นวิทยุ (Radio wave) ซึ่งบางครั้งการบันทึกข้อมูลสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดอย่างกะทันหันอาจจะมีรูปแบบคล้ายกับรูปแบบการเลี้ยวเบนของเฟรสเนล ในกรณีนี้จะเกิดการแกว่งของสัญญาณเป็นคาบขึ้น ๆ ลง ๆ อย่างช้า ๆ และเรียกการเกิดชนิดนี้ว่า “QP Scintillation” เช่นกัน แต่เกิดจากการเลี้ยวเบน และการสะท้อน จากกลุ่มความไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดง QP-Scintillation ที่เกิดในวันที่ 26 กรกฎาคม 2531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยสรุปว่า การเปลี่ยนแปลงคลื่นวิทยุ โทรทัศน์อย่างกะทันหัน พบได้ในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม และระบบสื่อสารภาคพื้นดิน สัญญาณผ่านดาวเทียมขณะเดินทางมายังเครื่องรับภาคพื้นดิน ในย่านความถี่ VHF และ UHF มีโอกาสเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว เนื่องมาจากการเฟดดิ้งในสัญญาณตรง และสัญญาณสะท้อนบรรยากาศในชั้น E_s ซึ่งเกิดจากสภาวะความผิดปกติของบรรยากาศ นอกจากนี้อาจเกิดจากการสะท้อนคลื่นจากสิ่งกีดขวาง เช่น เครื่องบิน [10] และอาคารสิ่งก่อสร้าง ตลอดจนพื้นดิน หรือเกิดการรบกวนระหว่างช่วงคลื่นที่มีความไม่สม่ำเสมอ

2.3.3 ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

2.3.3.1 การเดินทางของคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

ในปี พ.ศ. 2444 เมื่อ Guglielmo Marconi ประสบความสำเร็จในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติก แต่ยังไม่ได้มีการค้นคว้าอย่างจริงจังถึงลักษณะการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศจนกระทั่งถึงปี พ.ศ. 2473 ที่ความถี่สูงกว่า 30 MHz เคยเชื่อกันโดยทั่วไปว่าสัญญาณจะเดินทางเป็นเส้นตรงโดยความเข้มจะลดลงตามระยะทางด้วยกฎผกผันกำลังสอง ซึ่ง Marconi พบว่าความเชื่อนี้ไม่ถูกต้อง ในปี พ.ศ. 2475 เมื่อเขาสามารถส่งคลื่นความถี่ 30 MHz พ้นระยะสายตาได้หลายต่อหลายครั้ง

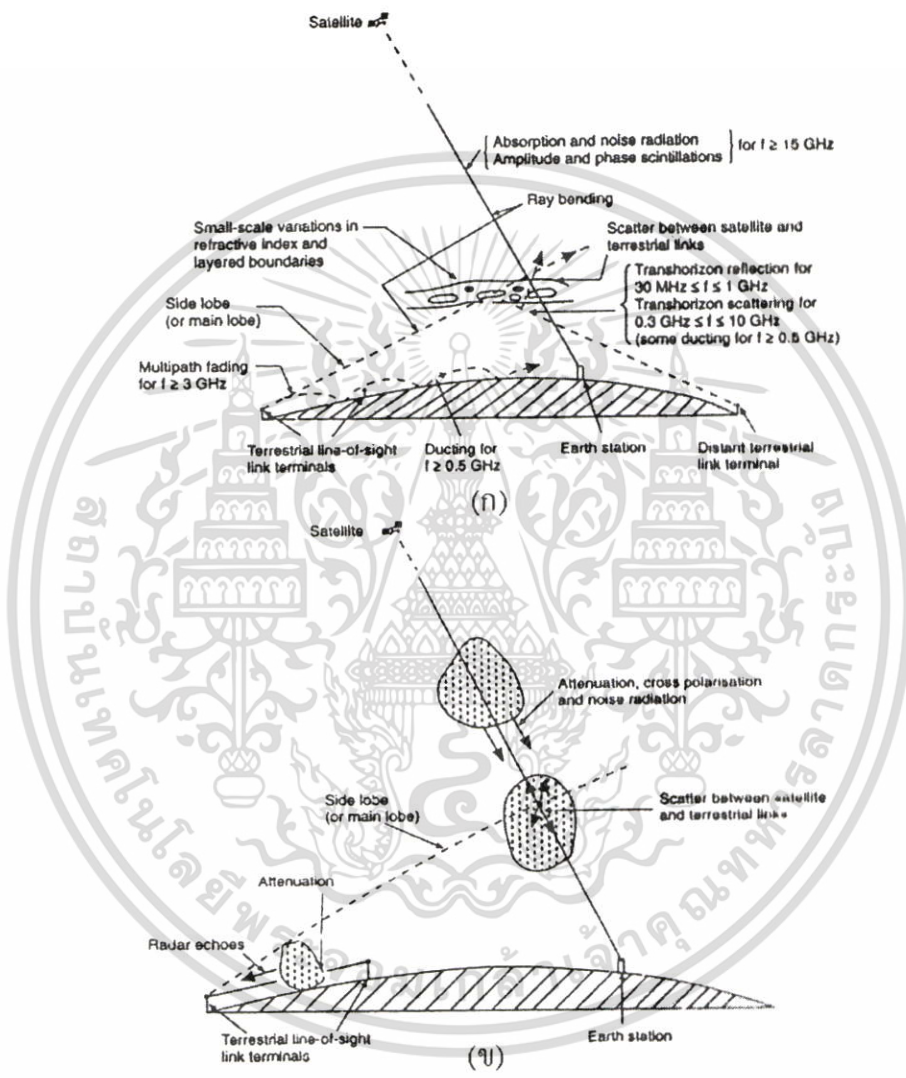
คลื่นที่ส่งออกไปแนวขนานกับพื้นโลกจะประกอบด้วยคลื่นที่เดินทางไปสองส่วนด้วยกัน คือ คลื่นตรง (Direct Wave) และคลื่นผิวดิน (Ground Wave) จักรรวมอยู่ในพวกเดียวกัน หรือบางทีเรียกว่า Tropospheric wave ซึ่งเป็นคลื่นที่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ สัญญาณที่เดินทางผ่านสามารถสะท้อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ได้ด้วย (Tropospheric Scatter) ปรากฏการณ์นี้จะมีผลกระทบต่อ การแพร่กระจายของสัญญาณผ่านดาวเทียมอยู่บ้าง โดยเฉพาะที่มุมเงยต่ำ ๆ ส่วนการสะท้อนที่เกิดขึ้นเป็นเพราะคลื่นวิทยุเกิดการโค้งงอหรือเลี้ยวเบนขึ้นสำหรับคลื่นที่ความถี่ในช่วง GHz จะถูกดูดกลืนจากชั้นบรรยากาศทั้งในกรณีท้องฟ้าปลอดโปร่ง และกรณีที่มีฝนตกซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป [7]

คลื่น VHF และ UHF มีการเดินทางเป็นแบบ Troposphere wave ดังนั้น ดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีผลต่อการเดินทางของคลื่น ดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น ละอองไอน้ำในบรรยากาศ หรืออาจจะเป็นเมฆและฝน ซึ่งมีผลมากต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุ

การไอโอไนซ์ของแก๊สในบรรยากาศภายในชั้นโทรโพสเฟียร์มีน้อยมาก หรือแทบจะมองไม่เห็น แต่การไอโอไนซ์จะมีมากเมื่อระดับความสูงสูงขึ้น เช่น ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (60-1000 กิโลเมตร) ซึ่งในชั้นนี้จะมีผลกระทบต่อ การเดินทางของคลื่นวิทยุที่ความถี่ต่ำกว่า 30 MHz แต่ไม่ค่อยจะมีผลกระทบที่ความถี่สูง ๆ แต่อย่างไรก็ตามมันอาจเกิดการแทรกสอด (Interference) ในคลื่นวิทยุ เป็นเหตุให้เกิดการจางหาย ของสัญญาณที่ภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุในโทรโพสเฟียร์ นั้นนอกจากการเปลี่ยนแปลงตรงกันข้าม (Inversion Layer) ของอุณหภูมิแล้วก็ยังมี การเคลื่อนที่แบบหมุน (Eddy Motion) ของอากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการจางหายของคลื่นวิทยุ และการกระจายของคลื่นวิทยุ (Scatter) ในย่าน UHF เพราะการเคลื่อนที่แบบหมุนของอากาศจะทำให้ดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศเปลี่ยนแปลง [7]



รูปที่ 2.12 ผลกระทบบางประการจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น

- (ก) ผลกระทบจากแก๊สในชั้นบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเห
- (ข) ผลกระทบที่เกิดจากเมฆและฝน (ส่งผลต่อย่านความถี่ที่สูงกว่า 3 GHz)

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่ความถี่สูงกว่า 30 MHz จะเกิดปรากฏการณ์ที่เป็นผลกระทบต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุ คือ (ก) จะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ของค่าดัชนีการหักเห (Refraction Index) เป็นสาเหตุทำให้คลื่นเกิดการกระจัดกระจาย (Scatter) ได้ (ข) จะเกิดการก่อดัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการวิจัยเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นตามแนวขวางของค่าดัชนีหักเห เป็นเหตุให้เกิดการสะท้อน และ (ค) การขยายของเกรเดียนต์แบบลบเป็นเหตุให้เกิดการดักดึง (Ducting) ขบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างคลื่นหนึ่งกับคลื่นอื่น ๆ การสะท้อนส่วนมากจะเกิดผลกระทบที่ย่านความถี่ระหว่าง 30 ถึง 100 MHz และการดักดึงส่วนมากจะส่งผลกระทบกับย่านความถี่ที่เหนือ 1000 MHz แต่อย่างไรก็ตามยังมีการจัดกระจายไปข้างหน้า (Forward scattering) ของกำลังสัญญาณคลื่นวิทยุจะเกิดที่ย่านความถี่ 3-10 GHz [11]

ค่าดัชนีการหักเหที่มีขนาดใหญ่ที่อยู่สูงเป็นเหตุให้เกิดการโค้งงอของคลื่นวิทยุซึ่งสามารถเกิดได้ทุกย่านความถี่ที่มุมเงยต่ำ ส่วนผลกระทบที่เกิดจากค่าดัชนีการหักเหที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นจะมีอิทธิพลต่อย่านความถี่ที่เหนือกว่า 3 GHz โดยเกิดจากฝนที่ตกหนัก และที่ความถี่มากกว่า 15 GHz จะเกิดการลดทอนมีสาเหตุจาก ออกซิเจน และ ไอน้ำ ในอากาศเป็นสำคัญ ส่วนการดูดกลืนสัญญาณเนื่องจากฝนและแก๊สในบรรยากาศจะเกี่ยวกับการแพร่กระจายสัญญาณรบกวนเชิงความร้อน (Thermal Noise) ผลกระทบทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.12 (ก) และ (ข) ซึ่งเป็นการแสดงผลกระทบบางประการของการเดินทางของคลื่นวิทยุผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่เกิดขึ้นทั้งในสภาพอากาศปลอดโปร่ง (Clear air) และในสภาพอากาศที่มีเมฆ (ฝน) ตามลำดับ

2.3.3.2 ผลกระทบจากปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric Scintillation Effects) [5]

เมื่อชั้นบรรยากาศสงบนิ่งไม่เกิดความแปรปรวน พบว่าค่าดัชนีการหักเหจะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ จากจุดสูงสุดและจะช้ามากขึ้นเมื่อมันวางตัวในแนวขวาง การโค้งงอของคลื่นและคลื่นหลายวิถี (Multipath) ที่มีมุมเงยต่ำเป็นไปได้ว่าอาจเกิดในสภาวะบรรยากาศที่สงบราบเรียบ เมื่อเกิดลมจะเป็นเหตุให้บรรยากาศเกิดการแปรปรวนในลักษณะเป็นชั้น ๆ และเป็นเหตุให้ค่าดัชนีการหักเหเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ของค่าดัชนีการหักเหที่มีขนาดเล็กในทิศทางเดียวกับการแพร่กระจายคลื่นเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดและเฟสอย่างกะทันหัน ซึ่งพบในการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ภาครับ ผลกระทบจากซินทิลเลชันจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น (ลักษณะนี้จะต่างกับซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์) คุณสมบัติของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะแสดงได้ด้วยอัตราส่วน G/T เมื่อ G คืออัตราการขยายของสายอากาศและ T เป็น noise temperature ของสายอากาศ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพการทำงานของภาครับ

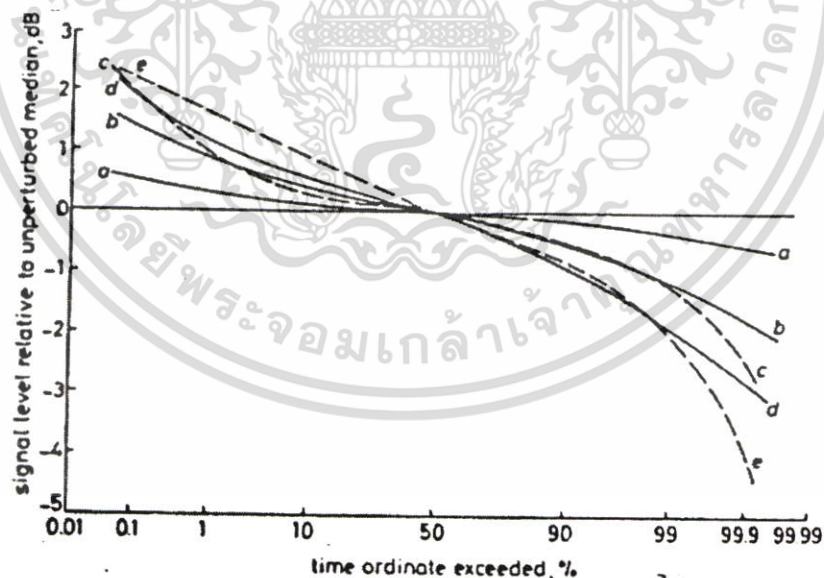
ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะเกิดที่มุมเงยต่ำมากกว่ามุมเงยสูงเมื่อเปรียบเทียบกัน วิธีแก้ไขปัญหานี้คือ แหล่งกำเนิดสัญญาณจะต้องส่งสัญญาณอย่างเพียงพอที่จะนำไปใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดปรากฏการณ์นี้ เพราะมันมีผลกระทบต่อการศึกษาผ่านดาวเทียม และการตรวจตราภาคพื้นดิน ซึ่งทำให้สัญญาณเกิดความเสียหายได้ ถึงแม้ว่าอาจจะน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสาเหตุอื่น ๆ

ในกรณีของการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่ใช้สายอากาศขนาดใหญ่มากที่ความถี่ 4 และ 6 GHz จะสามารถช่วยลดผลกระทบจากการเกิดปรากฏการณ์ซินทิเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

1). การวัดที่ละติจูดสูง

ที่ละติจูดสูงกว่า 70 องศา มุมเงยของดาวเทียมค้างฟ้าประมาณ 11 องศา และ ลดลงเหลือ 0 องศา ที่ละติจูด 82 องศา การวัดที่ละติจูดนี้เงื่อนไขของสภาพอากาศมีผลมากเช่น ความแรงของลม และอุณหภูมิค่า ส่วนการทดลองที่ทำในย่านความถี่ 4 และ 6 GHz ที่มุมเงย 1 องศา และรับสัญญาณดาวเทียมจาก ANIK LES INTEL SAT และ SYMPHONIE ที่ประเทศแคนาดาและนอร์เวย์นั้น จากการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าที่สภาพอากาศหนาว และความชื้นต่ำที่ละติจูดสูงนั้นจะมีผลกระทบต่อการศึกษาซินทิเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากการวัดที่ละติจูดสูงและละติจูดกลางที่มุมเงยเดียวกัน พบว่าที่ละติจูดสูงจะเกิดการจางหายในช่วงฤดูหนาว ส่วนละติจูดกลางจะเกิดในช่วงฤดูร้อนแสดงดังรูปที่ 2.13 แสดงการกระจายตัวขององศาของระดับสัญญาณซึ่งเราจะเห็นว่าไม่สมมาตร อธิบายได้ว่าอาจจะเกิดจากผลกระทบจากอุปกรณ์ที่ใช้ หรือคลื่นหลายวิถี (Multipath)



รูปที่ 2.13 แสดงการกระจายตัวของระดับสัญญาณที่มุมเงยในช่วง 5-6 องศา ความถี่ 7.3 GHz ที่ประเทศแคนาดา แสดงให้เห็นว่าขึ้นอยู่กับฤดูกาล

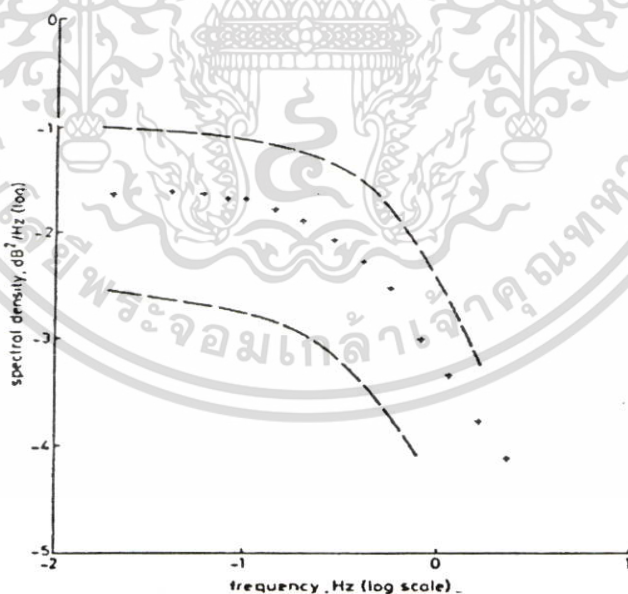
การวัดที่ละติจูดสูงแบบช่วงระยะเวลายาว จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของซินทิเลชัน อุณหภูมิและความชื้นเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ในสภาพอากาศที่อบอุ่นซึ่งมีฝนเป็นสาเหตุ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญที่ทำให้การแพร่กระจายคลื่นเกิดความเสียหาย วิธีแก้เราต้องควบคุมกำลังส่งขาขึ้นที่ต้องการ หรือสลับสัญญาณระหว่าง 2 ภาครับหรือภาคส่งที่ดำเนินการอยู่ในไดเวอร์ซิติ เราจะเห็นว่าอัตรา การซินทิลเลชันเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสามารถวิเคราะห์โดยใช้สเปกตรัมได้

2). การวิเคราะห์สเปกตรัม

จากการวัดข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันในช่วงฤดูร้อนเป็นเวลา 3 เดือน ในปี 2523 ที่ความถี่ 11.8 และ 11.6 GHz รับสัญญาณจากดาวเทียม OTS เพื่อทดลองหาส่วนประกอบความถี่ของการเกิด ซินทิลเลชัน รูปที่ 2.14 แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลัง (power-density spectrum)

จากรูปจะเห็นว่าค่าความถี่เฟรสเนลหรือความถี่วิกฤตอยู่ราว ๆ ประมาณ 0.3 Hz มีการลด ลงด้วยสโลป $-8/3$ เช่นเดียวกับสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังของซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอ โอนอสเฟียร์ จากการวิจัยที่มุมเงย 6.9 องศา ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ที่การทดลองในย่านความถี่ที่ 6.2 GHz ที่มุมเงย 6.9 องศา และที่ 11.2 GHz มุมเงย 8.9 องศา และ 7.1 องศา ได้ความถี่วิกฤตที่มีค่า ต่ำมาก คือ 0.06 Hz (สำหรับมุมเงยต่ำ) ซึ่งจากการวิจัยของบทวิจัยอื่น ๆ สามารถสรุปได้ว่าที่มุมเงย ต่ำจะเกิดซินทิลเลชันกว้างกว่า หรือใหญ่กว่าที่มุมเงยสูง และสโลปของการเกิดซินทิลเลชันที่มุม เงยต่ำ และมุมเงยสูงมีค่าเดียวกันคือ สโลป $-8/3$ แต่จะต้องไม่มีผลกระทบจากฝนรวมอยู่ด้วย ดังนั้นเราจึงต้องทำการแยก wet และ dry ของซินทิลเลชันออกจากกัน

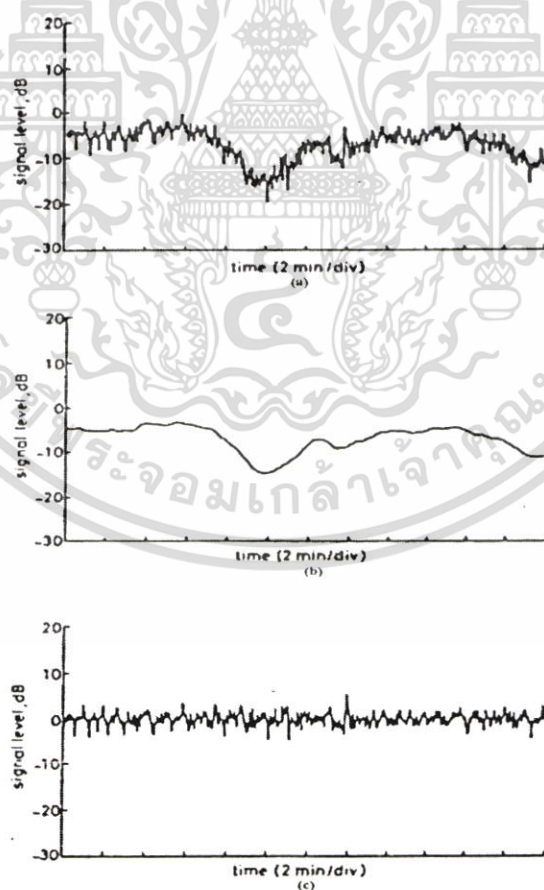


รูปที่ 2.14 แสดงสเปกตรัมความหนาแน่นกำลังที่ความถี่ 11.6 GHz ของการวัดการเกิดซินทิลเลชัน ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

3). การแยก wet และ dry ของซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

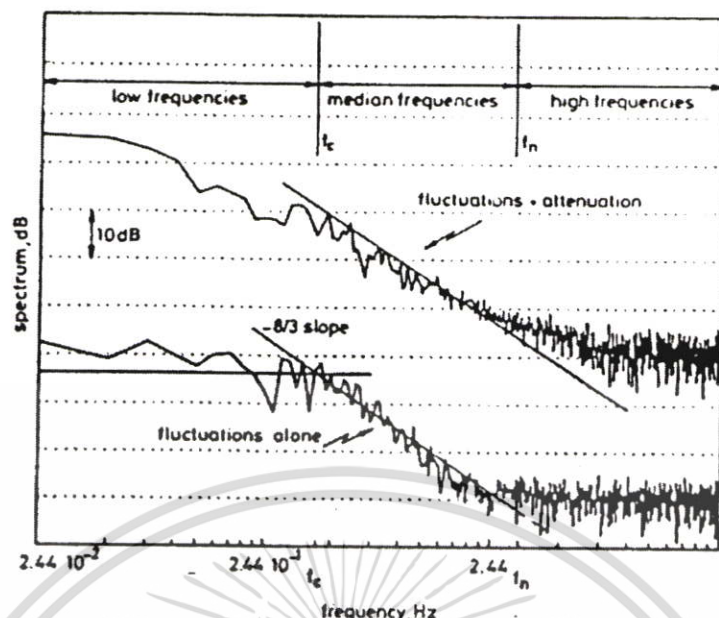
การแบ่งแยก wet และ dry ของซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ จะปรากฏอยู่ในข้อมูลขณะที่เกิดฝนตก เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการทดลองพบว่าการเกิดฝนจะทำให้แอมพลิจูดลดลง หรือเกิดการจางหายของระดับสัญญาณ จากรายงานการวิจัย 3 ฉบับในปี 1985 โดยใช้ดาวเทียม OTS และ INTELSAT ทำการพิสูจน์เรื่องฝนว่าทำให้เกิดการลดขนาดของซินทิลเลชัน ค่าเฉลี่ยของการลดทอนจะมากกว่า 5 dB และค่าความถี่วิกฤตไม่เปลี่ยนแปลงและสโลปที่ได้คือ $-8/3$ ซึ่งเป็นสโลปที่เกิดซินทิลเลชัน รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณอินพุตที่เกิดขณะที่ฝนตกซึ่งมีทั้งปรากฏการณ์การลดทอนและปรากฏการณ์ซินทิลเลชันพร้อมกัน สัญญาณเอาต์พุตที่เกิดการลดทอน และสัญญาณที่เกิดซินทิลเลชัน รูปที่ 2.16 แสดงสโลป $-8/3$ ของสัญญาณที่เกิดซินทิลเลชันหลังจากแยกฝนออกไปแล้ว

การวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน หรือ Dry scintillation (ซินทิลเลชันขณะท้องฟ้าปลอดโปร่ง) เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะพบว่ามีกระจายแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution)



รูปที่ 2.15 แสดงการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอนเนื่องจากฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างสเปกตรัมของโทรโพสเฟียร์ซินทิลเลชันที่ปราศจากผลกระทบเนื่องจากการลดทอนของฝน

2.3.3.3 คุณลักษณะของซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

จากข้อมูลทั่วโลกที่วัดกันเป็นระยะเวลานานทำให้สามารถสรุปคุณลักษณะการเกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ได้ดังนี้

คุณลักษณะที่ขึ้นกับลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

- มีความสัมพันธ์อย่างมากกับอุณหภูมิและความชื้น โดยที่อุณหภูมิและความชื้นสูงจะมีผลทำให้ขนาดของการเกิดซินทิลเลชันสูงขึ้น
- สำหรับความสัมพันธ์กับลมที่พบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้ขนาดของการซินทิลเลชันเพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เล็กน้อยกับทิศทางของลมในแนวตั้ง

- การเกิดฝนจะไม่กระทบต่อการเกิดซินทิลเลชันจนกว่าจะมีการลดทอนของสัญญาณเกิน 5 dB

คุณลักษณะที่ขึ้นกับช่วงเวลา

- มีความสัมพันธ์อย่างมากกับวงจรของฤดูกาลต่าง ๆ และมีความสัมพันธ์เล็กน้อยกับช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยการเกิดจะมากในช่วงบ่ายอ่อน ๆ และช่วงกลางฤดูร้อนในเขตละติจูดปานกลาง ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะเกิดมากในช่วงฤดูฝน

คุณลักษณะที่ขึ้นกับภูมิศาสตร์

- จะมีความสัมพันธ์ส่วนใหญ่กับอุณหภูมิและความชื้นที่สูง ดังนั้นการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะขึ้นอยู่กัจุด โดยที่ละติจูดสูงในฤดูหนาวจะมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศและจะมีการเปลี่ยนแปลงทางขนาดของซินทิลเลชันที่ต่ำ และ ไม่ปรากฏว่าขึ้นกับ

ลองดูจุด

คุณลักษณะที่ขึ้นกับความถี่

- เมื่อใช้สายอากาศแบบเดียวกันในการวัดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่ 2 ความถี่หรืออาจจะมากกว่าสองความถี่ พบว่าจะมีความสัมพันธ์สูงกับแบนด์วิทที่มีขนาดใหญ่มาก และความสัมพันธ์จะสูงมากระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเกิดซินทิลเลชันที่ 2 ความถี่ในพื้นที่และเวลาเดียวกัน

- อัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดช้ากว่า ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และค่าความถี่วิกฤตจะต่ำกว่า ส่วนสโลป $-8/3$ จะไม่ขึ้นกับมุมเงยและความถี่ ส่วนค่าความถี่วิกฤตและอัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาดจะเปลี่ยนแปลงตามมุมเงย

2.3.4 ผลกระทบจากปรากฏการณ์ลดทอนเนื่องจากฝน [5]

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ความต้องการใช้งานด้านการติดต่อสื่อสารนับวันจะขยายจำนวนความต้องการเพิ่มขึ้น สำหรับการสื่อสารด้วยระบบไมโครเวฟนั้นที่ย่านความถี่ของไมโครเวฟย่านต่ำ ๆ มีการใช้กันอย่างแพร่หลายจนไม่เพียงพอต่อความต้องการ คือไม่สามารถที่จะขยายจำนวนช่องสัญญาณให้มากขึ้นได้ จึงได้ขยายระบบไมโครเวฟโดยการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น

เมื่อความถี่สูงขึ้นจะทำให้สัญญาณคลื่นเกิดการลดทอนในชั้นบรรยากาศได้มากและยังมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นด้วย การลดทอนของสัญญาณคลื่น โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากฝนมากกว่าสาเหตุอื่น ขนาดของการลดทอนของสัญญาณคลื่นจะมีค่าน้อยเมื่อใช้ความถี่ที่ต่ำ แต่เมื่อความถี่ที่ใช้สูงกว่า 10 GHz แล้ว ขนาดของการลดทอนของสัญญาณคลื่นจะมีค่าสูง

การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนสำหรับย่านความถี่ Ku เกิดจากสาเหตุหลัก ๆ ด้วยกัน 3 ประการ คือ

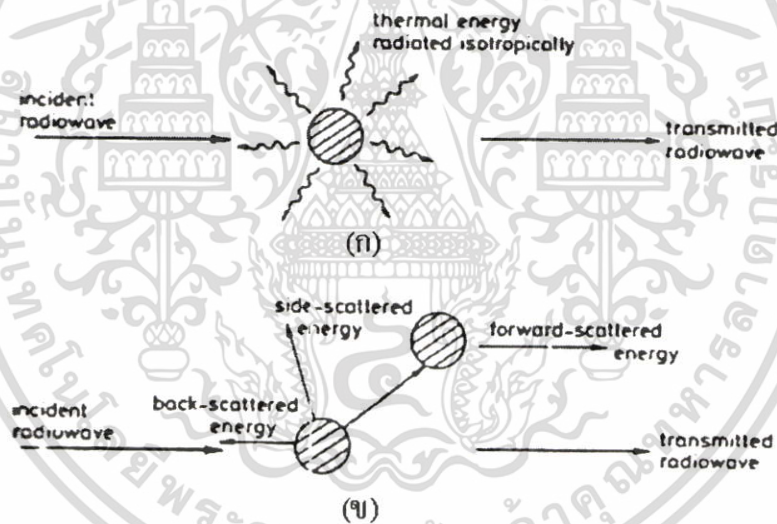
1. เกิดจากการดูดกลืนพลังงาน (Absorption) เกิดขึ้นเมื่อความยาวของคลื่นมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝนเปรียบเสมือนว่าเม็ดฝนเป็นตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อคลื่นแม่เหล็กเดินทางผ่านเม็ดฝนจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำมีกระแสเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น นั่นคือเมื่อมีกระแสเคลื่อนที่ย่อมจะทำให้เกิดการดูดกลืนพลังงานไว้มากยิ่งขึ้น

2. เกิดจากการกระจายของคลื่น (Scattering) เมื่อคลื่นเดินทางกระทบเม็ดฝนจะทำให้คลื่นบางส่วนเกิดการแตกกระจายออกไปทุกทิศทุกทางของเม็ดฝนทำให้สัญญาณที่ควรจะได้รับได้ในทิศทางที่ต้องการลดน้อยลงไป หรือการกระจายของคลื่นในลักษณะดังกล่าวนี้ สัญญาณบางส่วนอาจเกิดการแทรกสอด (Interference) กับข่ายการสื่อสารอื่น ๆ ที่อยู่ในความถี่เดียวกันนี้ได้

3. เกิดจากการดีโพลาไรซ์เซชัน (Depolarization) เนื่องจากเม็ดฝนมีลักษณะที่ไม่เป็นทรงกลมโดยสมบูรณ์ โดยเฉพาะขณะเมื่อฝนตกแรง และมีลมพัดจะทำให้เม็ดฝนมีลักษณะไม่เป็นทรงกลมมากยิ่งขึ้นด้วยเป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 เป็นการแสดงโครงสร้างการลดทอนที่เกิดจากการดูดกลืนและการกระจายไปในทิศทางต่าง ๆ ซึ่งอธิบายได้ว่า ในส่วนของการดูดกลืนเมื่อมีการส่งกำลังงานเข้าไปในวัตถุ (เม็ดฝน) วัตถุนั้นก็จะมีความร้อนเกิดขึ้นและจะมีการแผ่กระจายออกในทุกทิศทางทางรอบวัตถุนั้น ซึ่งวัตถุนั้นจะแผ่ความร้อนออกมามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของวัตถุนั้นว่ามีความสามารถในการดูดกลืนมากหรือน้อยตามกฎของ Kirchhoff's laws และกำลังงานที่เหลือส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านวัตถุนั้นไป ในส่วนการกระจายนั้น เป็นการกล่าวถึงกำลังงานที่ส่งเข้าไปกระทบกับวัตถุแล้วมีการสะท้อนกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ เช่น Back Scattering เป็นการกระจายกำลังงานสวนทางกับกำลังงานที่ป้อนเข้าไป Side Scattering คือกำลังงานจะมีการกระจายออกไปด้านข้าง ซึ่งการกระจายในลักษณะนี้มีโอกาสที่จะไปรบกวนระบบสื่อสารอื่น ๆ ได้ และการกระจายแบบ Forward Scattering นั้นจะเกิดขึ้นหลังการกระจายของกำลังงานในอันดับที่หนึ่งผ่านไปแล้ว Forward Scattering สามารถจะเกิดขึ้นได้ทั้งแบบเสริม (Coherent) และแบบหักล้าง (Incoherent) กับกำลังงานที่ส่งเข้าไป



รูปที่ 2.17 (ก) การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการดูดกลืน (Absorption)

(ข) การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการกระจาย (Scattering)

2.3.4.1 รูปแบบการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากน้ำฝน [3]

การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมในลักษณะอากาศปกตินั้น ต่างจากการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมขณะที่มีฝนตกมาก เพราะคลื่นความถี่ที่กระจายจะถูกบดบังด้วยสายฝน รวมทั้งเมฆฝนที่หนา ก็ยังเป็นอุปสรรคต่อการทะลุผ่านของสัญญาณคลื่นอีกด้วย

1) ปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลระยะยาวของสถิติอัตราฝนตกจะถูกวัดน้ำฝน โดยเกจวัดน้ำฝน จากข้อมูลของการท
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นชอบที่จะยื่นคำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลองพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนตามเส้นทาง (α) และอัตราฝนตกที่จุดหนึ่ง (R) จะไม่แน่นอน ถ้าได้มาจากฐานข้อมูลระยะสั้นของอัตราฝนตกที่จุดนั้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก 2 ปัจจัย หลักคือ

- การลดทอนจากฝนไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝน แต่ยังขึ้นอยู่กับการกระจายของขนาดและมุมของเม็ดน้ำฝนที่ไม่เป็นทรงกลม นั่นคือการกระจายของขนาดเม็ดน้ำฝนและมุมในรูปแบบต่าง ๆ จะให้ค่าการลดทอนที่ต่างกันอย่างมาก สำหรับอัตราฝนตกที่กำหนดค่าหนึ่งสำหรับฐานข้อมูลระยะยาวนั้น มักนิยมใช้การกระจายของขนาดเม็ดฝนโดยเฉลี่ยของ Laws และ Parsons เป็นหลักในการคำนวณ

- โครงสร้างในอากาศของฝนที่ตก และระดับความสูงของระดับเยือกแข็ง (น้ำ) จะไม่มีความแน่นอน โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและตำแหน่งละติจูด การวัดระยะสั้นของอัตราฝนตกที่จุดหนึ่ง ไม่เพียงพอที่จะกำหนดหรือคาดเดาเขตของฝนในอากาศ ณ ช่วงการวัดนั้นได้

ค่าการลดทอนของฝนตามเส้นทางแปรของคลื่นไมโครเวฟ เป็นฟังก์ชันที่ซับซ้อนของอัตราฝนตกที่ไม่สม่ำเสมอตามเส้นทาง การกระจายขนาดเม็ดฝน รูปร่างและทิศทางการหันของเม็ดฝน อัตราเร็ว ทิศทางและเกรเดียนต์ของลมในบริเวณ อุณหภูมิของฝน เนื่องจากการวิเคราะห์ดังกล่าวค่อนข้างซับซ้อน (แม้แต่รูปแบบในระยะยาว) แต่ในการใช้งานทางวิศวกรรม ต้องการวิธีที่แม่นยำและง่ายในการใช้ จึงได้มีการพัฒนารูปแบบลักษณะของการกระจายการลดทอนจากฝนในระยะยาว ซึ่งจะถูกคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของเส้นทางและข้อมูลอัตราฝนตกที่หามาได้

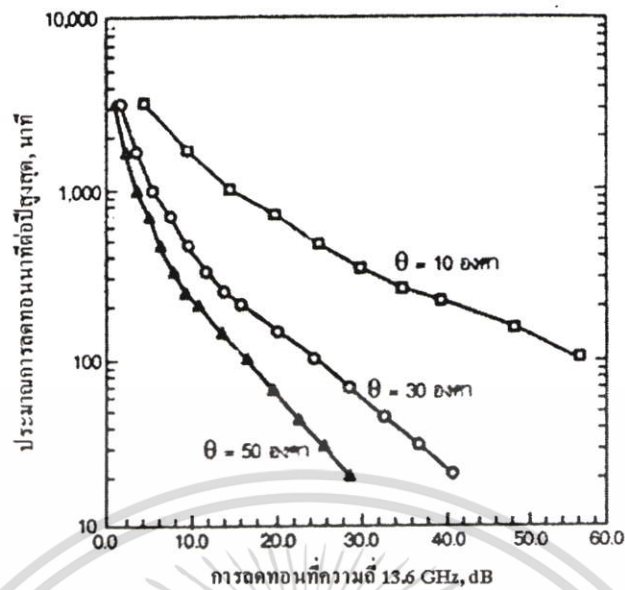
สถิติการลดทอนจากฝนตามเส้นทางโลกถึงความเทียม ได้ถูกรวบรวมจากจุดต่าง ๆ หลายจุด โดยการใช้เรดิโอมิเตอร์ (Radiometer) และการลดทอนด้วยสัญญาณบีคอน (beacon) การกระจายระยะยาว (≥ 20 ปี) ของอัตราการตกของฝนแบบ 5 min point (อัตราฝนตกแบบ 5 min point คือค่าเฉลี่ยของอัตราการตกของฝนที่เปลี่ยนแปลงอย่างไม่แน่นอนในช่วงเวลา 5 นาที) จาก 200 แห่ง ในสหรัฐฯ ได้ถูกรวบรวมไว้เช่นกัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโดยรูปแบบอย่างง่ายนี้ จะสอดคล้องอย่างดีกับข้อมูลที่ได้จากการวัดที่รัฐอิลลินอยส์ จอร์เจีย และนิวเจอร์ซีย์ การคำนวณจะแสดงให้เห็นหนทางที่จะสามารถลดเวลาในการใช้ระบบไม่ได้เนื่องจากฝน หรือ ลดค่าการจางหายของสัญญาณที่ต้องการเพื่อให้ได้ความน่าเชื่อถือที่กำหนด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกตำแหน่งของความเทียมเพื่อที่จะเพิ่มมุมเงยให้มากที่สุด

2) ผลกระทบจากมุมเงย

ความยาวของเส้นทางแปรของคลื่น โดยเฉลี่ย (ที่ได้รับผลกระทบจากฝน) จะเพิ่มขึ้นถ้ามุมเงยลดลง รูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นว่าการลดมุมเงยไม่ช่วยในการเพิ่มความเชื่อถือของระบบ ดังนั้นหนทางที่จะแก้ปัญหาจะต้องเลือกตำแหน่งความเทียมเพื่อที่จะเพิ่มมุมเงยให้มากที่สุด ซึ่งจะเป็นสิ่งสำคัญอย่างที่สุดสำหรับสถานีที่อยู่ในบริเวณที่มีฝนตกหนักดังเช่นฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของ

สหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 แสดงผลของการลดทอนสัญญาณเนื่องจากมุมเงยของงานสายอากาศที่ความถี่ 13.6 GHz ที่เมืองพาลเมตโต

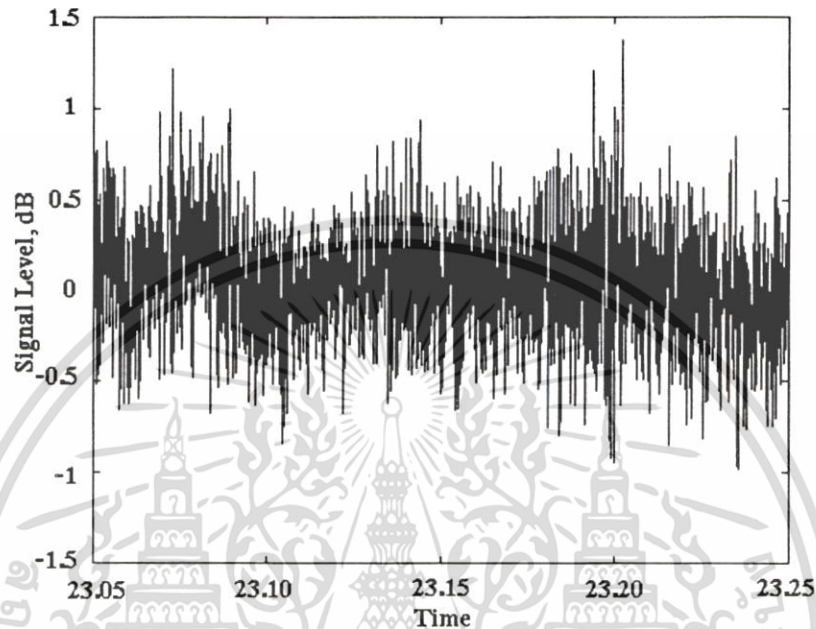
จากที่กล่าวมาข้างต้นก็พอจะสรุปได้ว่า การที่จะทำการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมในพื้นที่ที่มีฝนตกหนักและบ่อย ก็ทำได้โดยการเลือกตำแหน่งของดาวเทียม และการเพิ่มมุมเงยของงานสายอากาศ

2.4 วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในสัญญาณดาวเทียม

วิธีซึ่งแสดงหรือชี้ให้เห็นช่วงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอย่างกะทันหัน หรือซินทิลเลชันของสัญญาณดาวเทียมในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบเงื่อนไขแต่ละข้ออย่างละเอียด เพื่อเป็นข้อมูลที่สำคัญในการพัฒนาระบบและเป็นข้อพิจารณาในการควบคุมกำลังส่งอย่างเหมาะสม โดยคาดการณ์จากข้อมูลแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหันของสัญญาณในช่วงเวลาที่เกิดในแต่ละวัน ความรุนแรงของซินทิลเลชันในสัญญาณดาวเทียมขึ้นอยู่กับเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยาของความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ [2] จึงมีการนำเสนอวิธีการต่าง ๆ ในการทำนายลักษณะการเกิดซินทิลเลชันกันอย่างกว้างขวาง [12] [13] [14] [15] โดยเปรียบเทียบผลการทำนายกับผลการทดลองที่ได้จากการวัดสัญญาณ ณ เวลาที่เกิดจริง ที่แสดงโดยการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลกับวิธีการอ่านค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ อย่างไรก็ตามย่อมมีความแตกต่างในเงื่อนไขต่าง ๆ ของการวัด และการคำนวณ รวมถึงลักษณะภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในย่านความถี่สูง ในบทวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการวัดและแสดงการเกิดซินทิลเลชันจากบทวิจัยอื่น รวมทั้งตรวจสอบเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อนำเสนอต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการที่ใช้ในการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือวิธีการแสดงด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation value) และวิธีอ่านค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณหรือพีคทูพีค (Peak to peak value)



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่บันทึกในวันที่ 28 เมษายน 2520 ณ สถานีภาคพื้นดินประเทศไทย

รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Scintillation) ที่ความถี่ 3.916 GHz โดยรับสัญญาณ ณ สถานีเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังสถานี ประเทศไทย ในวันที่ 4 มิถุนายน 2543 ที่มุมเงย 59.9 องศา โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 2 ซึ่งตั้งอยู่ในตำแหน่งวงโคจรค้างฟ้าที่ 78.5 องศาตะวันออกเหนือมหาสมุทรอินเดีย จะเห็นว่าค่าการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหันหนึ่งครั้งจากระดับค่าเฉลี่ยพีค (peak) ของระดับสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงจากค่าที่น้อยกว่า 0.5 dB ไปจนถึงมากกว่า 1.5 dB จากระดับค่าเฉลี่ย จากรูปค่าการเปลี่ยนแปลงจากพีคสูงสุดถึงพีคต่ำสุด หรือค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณอ่านได้ประมาณ 2.5 dB การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณดังกล่าวนี้ พบว่าสามารถเกิดขึ้นติดต่อกันได้มากกว่า 10 นาที ซึ่งเป็นปัญหาในการเชื่อมต่อระบบการส่งสัญญาณผ่านดาวเทียม

ในการบรรยายถึงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน จะเห็นได้ชัดว่าระดับของสัญญาณที่ขึ้น ๆ ลง ๆ มีลักษณะสุ่มไม่แน่นอน ดังนั้นจึงต้องคิดค้นวิธีการทำนายหรือวิธีการแสดงปรากฏการณ์นี้ อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การเก็บข้อมูลเป็นสิ่งจำเป็นในการอธิบายลักษณะการแกว่งของสนามไฟฟ้าที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอย่างกะทันหัน เนื่องจากไม่สามารถกำหนดเวลาการเกิดที่แน่นอนได้ จึงต้องใช้วิธีประมาณค่าจากข้อมูล และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการแสดงการแกว่ง

การใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน มีวิธีการหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่นิยมใช้ในการแสดงซินทิลเลชัน 2 วิธีคือ

2.4.1.1 คำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากสูตรทางสถิติ [16] [17]

$$\sigma_x = \left(\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

ซึ่ง σ_x คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_i คือระดับสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง

n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.4.1.2 คำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าดัชนี S_4 (S_4 Index)

Briggs and Parkin ได้นำเสนอวิธีหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทำนายด้วยค่าดัชนี S_4 (S_4 Index) ซึ่งเขียนเป็นสมการในเชิงคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$S_4 = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (2.2)$$

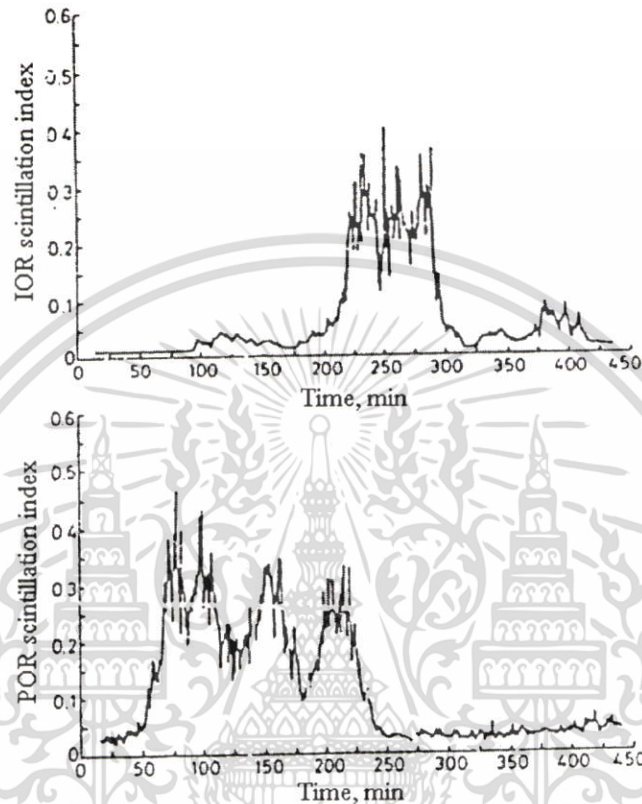
ซึ่ง σ_x คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลัง (Power) ที่รับได้

m_x คือ ค่าเฉลี่ยของกำลัง (Power) ที่รับได้

ค่าพารามิเตอร์ S_4 สามารถหาค่าเฉลี่ยได้ตามช่วงเวลาต่าง ๆ อย่างเหมาะสม รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการพล็อตข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันด้วยค่า S_4 index บันทึกได้ที่สถานีภาคพื้นดินประเทศฮ่องกง รับสัญญาณจากดาวเทียมอินเทลแซทที่มีพื้นที่ครอบคลุมของงานสายอากาศอยู่เหนือมหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรแปซิฟิก ที่มุมเงย 27.8 องศา และ 19.2 องศา ตามลำดับ จากรูปจะเห็นว่าเกิดการล่าช้า (delay) ระหว่างสัญญาณที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหันของการเชื่อมโยงสัญญาณเหนือมหาสมุทรอินเดีย (IOR) และมหาสมุทรแปซิฟิก (POR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสัญญาณการเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหัน IOR จะล่าช้ากว่าสัญญาณที่เกิดใน POR แต่สัญญาณในย่าน POR จะมีจำนวนครั้งของการเกิดซินทิลเลชันมากกว่าย่าน IOR และระดับการแกว่งอย่างรุนแรงเกิดบ่อยครั้งกว่า



รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งแสดงด้วยค่า S_4 index ในวันที่ 20 มีนาคม 2522 ณ สถานีภาคพื้นดินประเทศฮ่องกง

2.4.2 วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

วิธีการอ่านค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณที่ใช้กันมี 2 วิธี

2.4.2.1 หาค่าความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

วิธีการอ่านค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ทำได้โดยกำหนดย่านการเปลี่ยนแปลง ซึ่งวิธีนี้สามารถนำไปใช้ได้กับการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณทุกชนิด ง่ายและสะดวกในการคำนวณ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ในช่วงเวลายาว เนื่องจากมีข้อจำกัดในการกำหนดย่านการเปลี่ยนแปลงนั่นเอง [16] [17]

2.4.2.2 หาค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลง (Scintillation Index)

ค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลง (Scintillation Index : SI) แสดงดังสมการ (2.3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$SI = \frac{(P_{\max} - P_{\min})}{(P_{\max} + P_{\min})} \quad (2.3)$$

ซึ่ง P_{\max} คือ ค่าพีคสูงสุดอันดับที่ 3 จากค่าสูงสุด (บางครั้งอาจใช้ค่าพีคที่สี่)

P_{\min} คือ ค่าพีคต่ำสุดอันดับที่ 3 จากค่าต่ำสุด (บางครั้งอาจใช้ค่าพีคที่สี่)

ค่าดัชนีการเปลี่ยนแปลงหรือ SI มักจะถูกใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันในสัญญาณดาวเทียม เพราะง่ายและไม่สลับซับซ้อน แต่วิธีนี้ก็ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ในช่วงเวลา ยาว เนื่องจากมีข้อจำกัดในการกำหนดขบวนการเปลี่ยนแปลงในพีคที่สี่เท่านั้น

2.4.3 แบบจำลองทำนายการเกิดซินทิลเลชันของ ITU-R

มีการสร้างแบบจำลองทำนายการเปลี่ยนแปลงของซินทิลเลชันหลายแบบจำลองที่นิยมใช้ และทำนายได้ใกล้เคียงที่สุด คือแบบจำลองของ Kawasara และ ITU-R ตัวอย่างแบบจำลองการเกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ของ ITU-R แสดงได้ดังสมการ (2.4) ครอบคลุมการวัดที่มุมเงยตั้งแต่ในย่าน 4 องศา ถึง 32 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศระหว่าง 3 ถึง 36 เมตร ที่ย่านความถี่ 7-14 GHz เหมาะกับสภาพภูมิอากาศหลายอย่างที่แตกต่างกัน [Crane, 1976b; Lo et al., 1984; Rucker and Ortgies, 1985; Karasawa et al., 1988a, b; Banjo and Vilar, 1986] แบบจำลองนี้ใช้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานในสมการ (2.5) ในการทำนายปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน [18] โดยมีค่า $g(x)$ ตามสมการ (2.6) ค่า L ตามสมการที่ (2.10)

$$\sigma_{pre} = \frac{\sigma_{ref} f^n g(x)}{(\sin \theta)^b} \quad (2.4)$$

ซึ่ง f คือ ความถี่ที่ใช้ (GHz)

n มีค่าเท่ากับ 7/12

b มีค่าเท่ากับ 1.2

θ คือ มุมเงยของงานสายอากาศ (องศา)

$$\sigma_{ref} = 3.6 \times 10^{-3} + 1.03 \times 10^{-4} N_{wet} \quad (2.5)$$

N_{wet} คือ เทอมของสมการการหักเห ซึ่งเป็นเทอมที่ 2 ของสมการใน Report 563

$g(x)$ คือ ฟังก์ชันเฉลี่ยของสายอากาศ ที่คิดค้นโดย Haddon and Vilar, 1986;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g(x) = \sqrt{3.86(x^2 + 1)^{\frac{11}{12}} \sin\left(\frac{11}{6} \arctan\left(\frac{1}{x}\right)\right) - 7.08x^{\frac{5}{6}}} \quad (2.6)$$

$$x = 0.0584 \frac{D_{eff}^2 k}{L} \quad (2.7)$$

$$D_{eff} = \sqrt[3]{\eta} \quad (2.8)$$

$$k = \frac{2\pi f}{c} \quad (2.9)$$

$$L = \frac{2h}{\sqrt{\sin^2 \theta + (2h/R_e) + \sin \theta}} \quad (2.10)$$

- เมื่อ c คือความเร็วแสง (m/s)
 D คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศ (m)
 η คือความมีประสิทธิภาพของสายอากาศ
 L คือความยาวของเส้นทางในแนวเฉียงสู่ชั้นบรรยากาศแปรปรวน (Turbulent)
 R_e คือรัศมีของโลก ($R_e = 8.5 \times 10^6$ m)
 h คือความสูงของชั้นบรรยากาศแปรปรวน (m)

ความสูงของชั้นบรรยากาศแปรปรวนสามารถแปรเปลี่ยนตามฤดูกาล [Rucker and Dintelmann, 1983] และสภาพภูมิอากาศ แต่อย่างไรก็ดีการขึ้นอยู่กัสภาพภูมิอากาศนั้นน้อยมาก จึงสามารถสมมติค่า $h = 1000$ m ได้

2.5 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงชั้นบรรยากาศที่เป็นสาเหตุที่สำคัญของการเกิดซินทิลเลชันที่ทำให้สัญญาณดาวเทียมเกิดการจางหาย ชนิดของซินทิลเลชันในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมซึ่งแบ่งตามชั้นบรรยากาศที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบสัญญาณและการวัดสัญญาณที่ละติจูดต่าง ๆ การวิเคราะห์สเปกตรัมการแกว่ง การแยก wet และ dry ซินทิลเลชัน ออกจากกันด้วยความถี่วิกฤตที่มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นการยากที่จะสร้างวงจรกรองความถี่แบบแอนาล็อกได้ ผลกระทบจากขนาดของมุมเงย และสุดท้ายพูดถึงวิธีการแสดงการเกิดซินทิลเลชัน พร้อมยกตัวอย่างแบบจำลองที่สำคัญ ๆ ที่พัฒนาภายใต้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลองวัดสัญญาณและการวิเคราะห์

3.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการทดลองวัดสัญญาณมาลงจากดาวเทียมไทยคม 2 ซึ่งรับสัญญาณความถี่สองย่านความถี่คือ C และ Ku ณ สถานีรับคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการบันทึกสัญญาณตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2542 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2545 สัญญาณที่ได้จากการทดลองวัดจะถูกนำไปตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดซินทิลเลชัน และเงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา ตรวจสอบเงื่อนไขในการสุ่มตัวอย่าง ช่วงเวลาในการคำนวณเพื่อการแสดงการเกิดซินทิลเลชันที่เหมาะสมในหัวข้อต่อไป

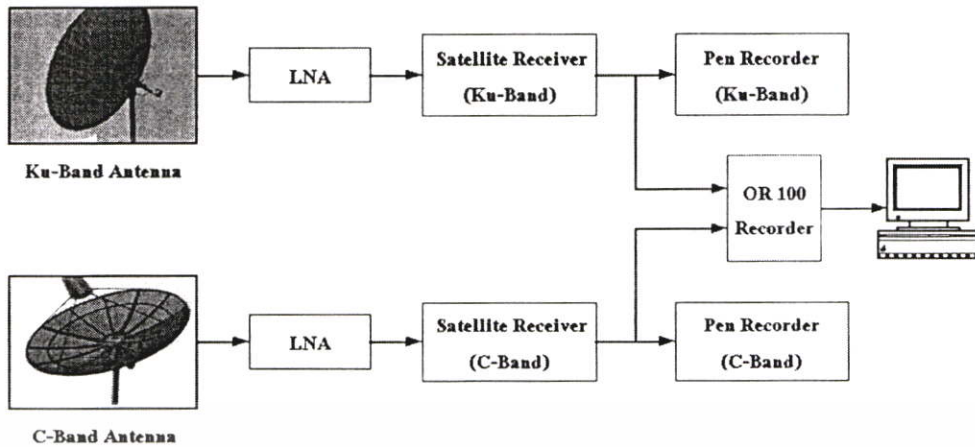
3.2 รายละเอียดการวัด

รายละเอียดของระบบแสดงดังตารางที่ 3.1 อุปกรณ์การทดลองทั้งหมดที่ใช้ในการรับและบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมนั้น แสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.1 จากบล็อกไดอะแกรมสัญญาณผ่านดาวเทียมที่รับเข้ามาจะผ่านวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier: LNA) ไปยังเครื่องรับสัญญาณ (Satellite Receiver) ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณผ่านดาวเทียมเป็นสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของการทดลอง

พารามิเตอร์พื้นฐาน	ย่านความถี่ C	ย่านความถี่ Ku
ดาวเทียม	Thaicom 2	Thaicom 2
ตำแหน่งงานดาวเทียม	78.5° E	78.5° E
ตำแหน่งสถานีรับภาคพื้นดิน	13°38'17"N 100.8°38'17"E	13°38'17"N 100.8°38'17"E
มุมเงย	59.9°	59.9°
ความถี่ขาลง	3.916 GHz	12.260 GHz
ขนาดจานสายอากาศ	2.50 m	30 cm offset
อัตราการแซมปิ้ง	125 mSec	125 mSec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบ

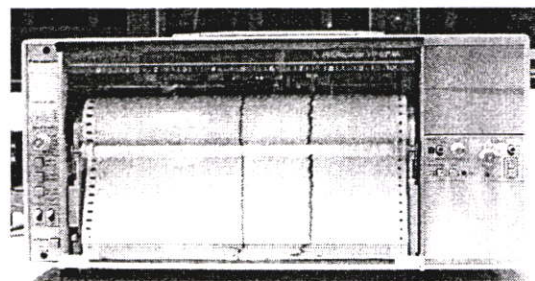
รูปที่ 3.2 แสดงเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku และ รูปที่ 3.3 แสดงเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C จากนั้นสัญญาณจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณแบบแอนะล็อก หรือแบบปากกา (Pen Recorder) ลงบนกระดาษกราฟอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 3.4 เป็นรูปถ่ายของเครื่องบันทึกสัญญาณในย่านความถี่ Ku และ รูปที่ 3.5 เป็นรูปถ่ายของเครื่องบันทึกสัญญาณในย่านความถี่ C หรือการบันทึกสัญญาณแบบดิจิทัล (OR100) ซึ่งใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 3.6 ตัวอย่างสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างกะทันหัน แสดงในรูปที่ 3.7 รูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.2 รูปถ่ายเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku

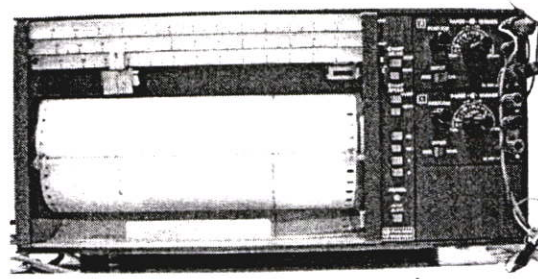


รูปที่ 3.3 รูปถ่ายเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C

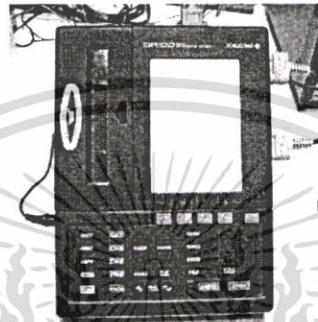


รูปที่ 3.4 รูปถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku

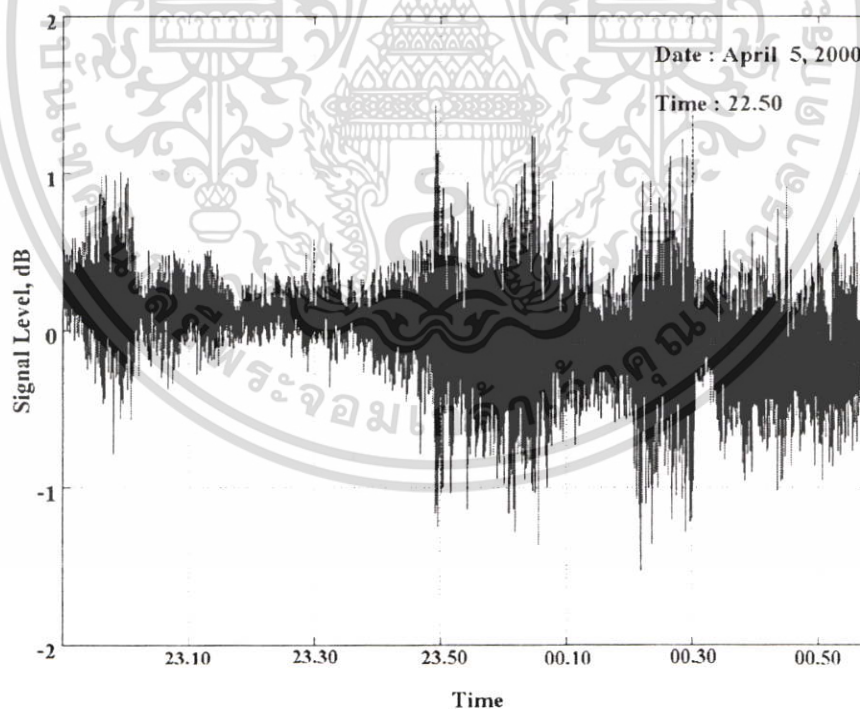
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รูปถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C

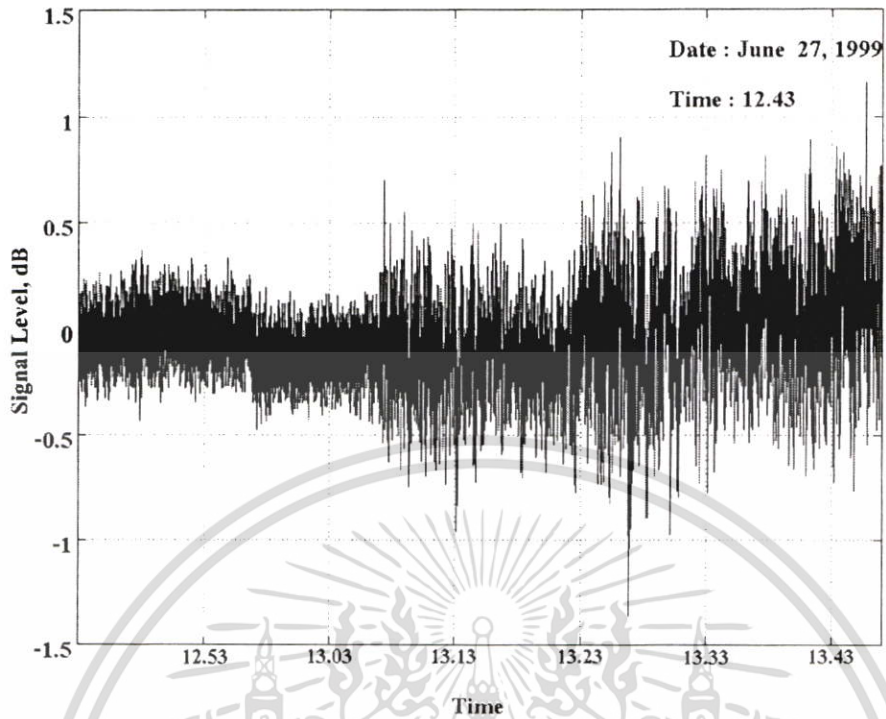


รูปที่ 3.6 รูปถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณผ่านดาวเทียมแบบดิจิทัล (OR100)

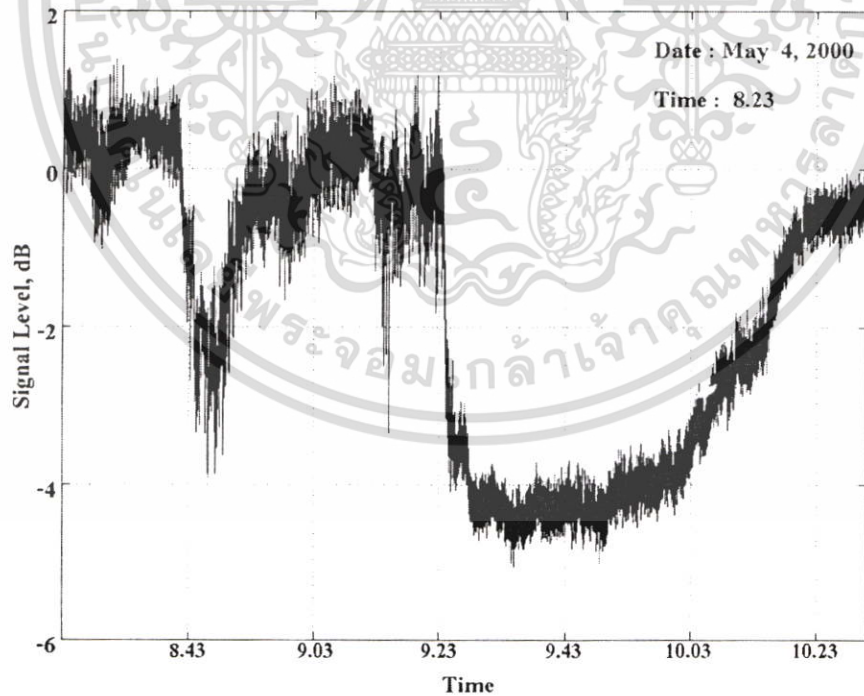


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างสัญญาณซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างสัญญาณการเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างสัญญาณที่เกิดซินทิลเลชันพร้อมกับการลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากน้ำฝนในย่านความถี่ Ku

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 เป็นตัวอย่างของสัญญาณในย่านความถี่ C จากดาวเทียมไทยคม 2 ส่วนหนึ่งที่บันทึกได้ในวันที่ 5 เมษายน 2543 ในเวลาประมาณ 22.50 น. จากรูปนี้สังเกตได้ว่าในเวลาประมาณ 23.30 น. ระดับสัญญาณยังถือว่าปกติ คือ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงต่ำ ๆ น้อยกว่า 0.5 dB จนกระทั่งเวลา 23.40 น. จะเห็นว่าระดับสัญญาณจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วมาก และมีลักษณะนี้เกิดขึ้น ๆ กันนานประมาณ 30 นาที ซึ่งลักษณะที่แสดงนี้คือ ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณที่จะนำมาวิเคราะห์

รูปที่ 3.8 เป็นตัวอย่างของสัญญาณในย่านความถี่ Ku จากดาวเทียมไทยคม 2 ส่วนหนึ่งที่บันทึกได้ในวันที่ 27 มิถุนายน 2542 ในเวลาประมาณ 12.43 น. ในสภาพอากาศปลอดโปร่ง เป็นสัญญาณที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันที่นำมาวิเคราะห์ จากสัญญาณในรูปที่ 3.7 และ รูป 3.8 กล่าวได้ว่าลักษณะของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C ที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะขึ้น ๆ ลง ๆ ทางขนาดของสัญญาณแบบมีสัดส่วนกันจากระดับปกติอย่างรวดเร็วส่วนลักษณะของสัญญาณที่เกิดปรากฏการณ์นี้ในย่านความถี่ Ku จะมีลักษณะการขึ้น ๆ ลง ๆ ทางขนาดของสัญญาณแบบไม่มีสัดส่วนกันจากระดับปกติ

ส่วนรูปที่ 3.9 เป็นตัวอย่างสัญญาณที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันพร้อมการลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku ในวันที่ 4 พฤษภาคม 2543 ในเวลาประมาณ 8.23 น. เห็นได้ว่าฝนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียม ที่ซึ่งมีลักษณะและค่าการเปลี่ยนแปลงจะต่างจากการเปลี่ยนแปลงในสภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง

3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ และผลการวิเคราะห์

3.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์

จากการรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 2 ตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2 ช่วงเวลาการสุ่มข้อมูล (Data sampling) ถูกเซตไว้ที่ 125 msec ผู้วิจัยเลือกกรณีที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ของระดับสัญญาณที่บันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.5 dB ขึ้นไป และเมื่อสัญญาณมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นและต่ำลงอย่างรวดเร็วซ้ำ ๆ กัน นานเกิน 5 นาที จึงจะนับว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง ในการวิจัยได้กำหนดช่วงเวลาการสุ่มของข้อมูลไว้ที่ 8 จุดต่อวินาทีหรือ 0.8 เฮิร์ตซ์ เพื่อให้มั่นใจว่าระบบจะทำงานได้ดีถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว นำข้อมูลที่ได้นี้มาคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_x) ทุก ๆ 1 นาที สำหรับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุด (V_{p-p}) โดยคำนวณจากค่าความต่างของค่าต่ำสุดและสูงสุดของข้อมูลทุก 1 นาที เช่นเดียวกัน

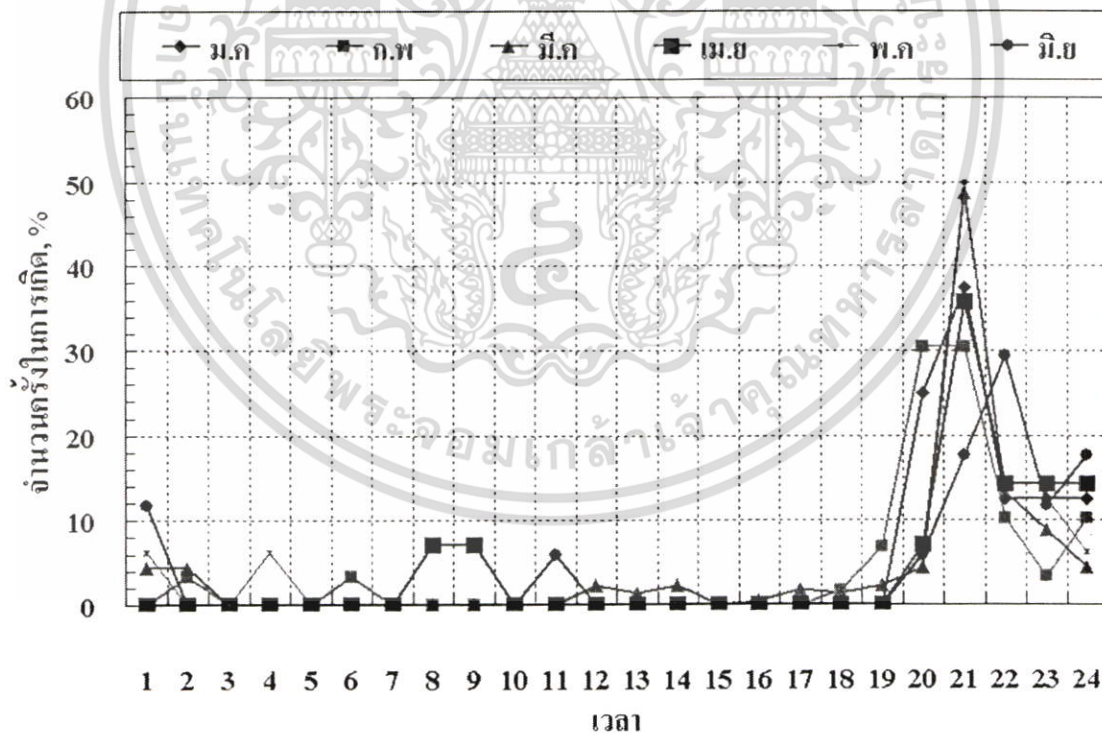
เนื่องจากสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณต่างกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ จำเป็นต้องแบ่งเงื่อนไขออกเป็น 2 ข้อคือ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ ขณะสภาพอากาศเอกสตรีนี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แจ่มใส และการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ ขณะฝนตก

ในขณะที่ฝนตกจะเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน และปรากฏการณ์การลดทอนพร้อมกัน ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการแยกปรากฏการณ์ทั้งสองออกจากกัน โดยใช้วงจรกรองความถี่แบบปรับตัว ได้ ตามรายละเอียดในภาคผนวก ข.

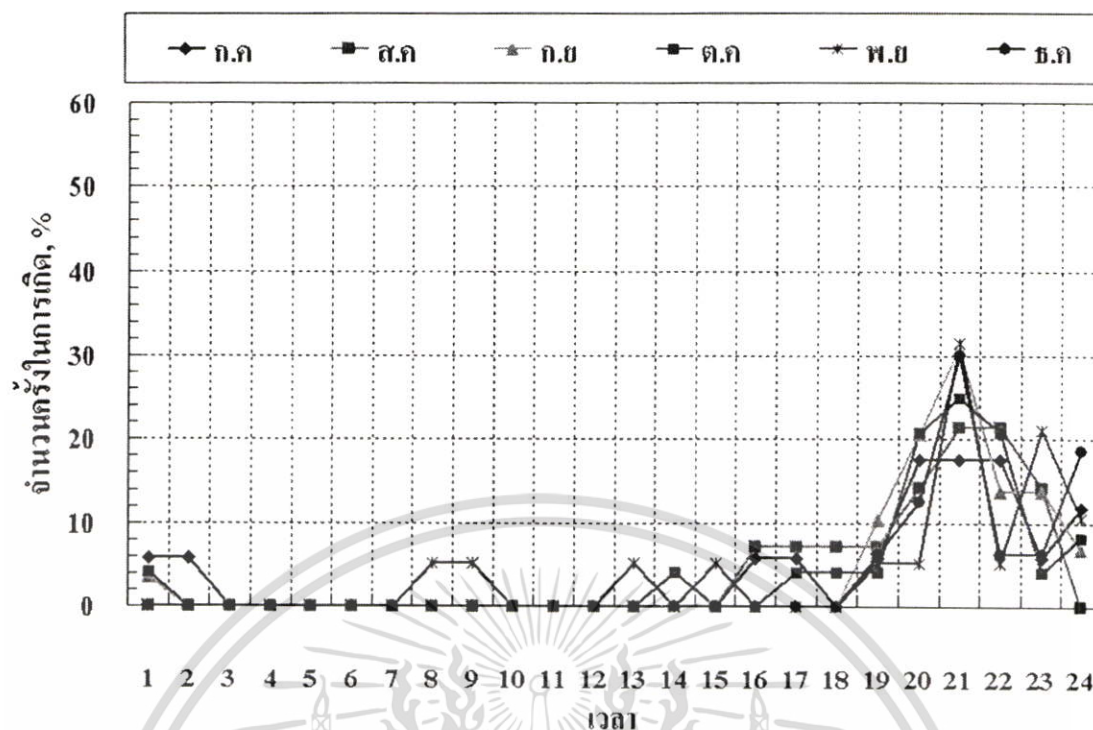
3.3.2 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงระหว่างวัน

กราฟรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C ซึ่งสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์และแสดงในที่นี้จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ อย่างรวดเร็วที่มีค่าตั้งแต่ 0.5 dB ขึ้นไป อย่างต่อเนื่องกันแต่ละชั่วโมง และครอบคลุมฤดูกาลในประเทศไทย คือใช้ข้อมูลในปี 2543 ตลอดทั้งปี กล่าวได้ว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดสูงสุดจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 02.00 น. และพบมากที่สุดที่เวลา 21.00 ถึง 22.00 น. ของทุกเดือน จากผลอันนี้พบว่าสอดคล้องกับช่วงเวลาการปรากฏขึ้นของชั้น F คือ ช่วงเวลาประมาณ 20.00 น. และจะหายไปในเวลาประมาณ 05.00 น.

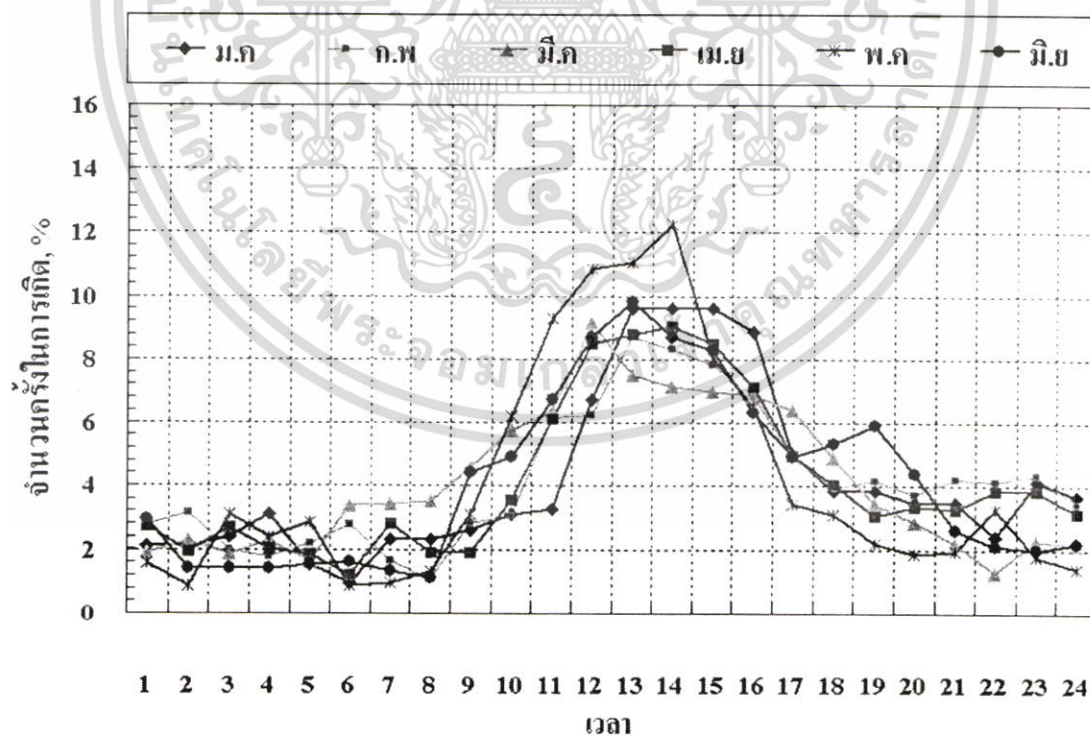


รูปที่ 3.10 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดซินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน ปี 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

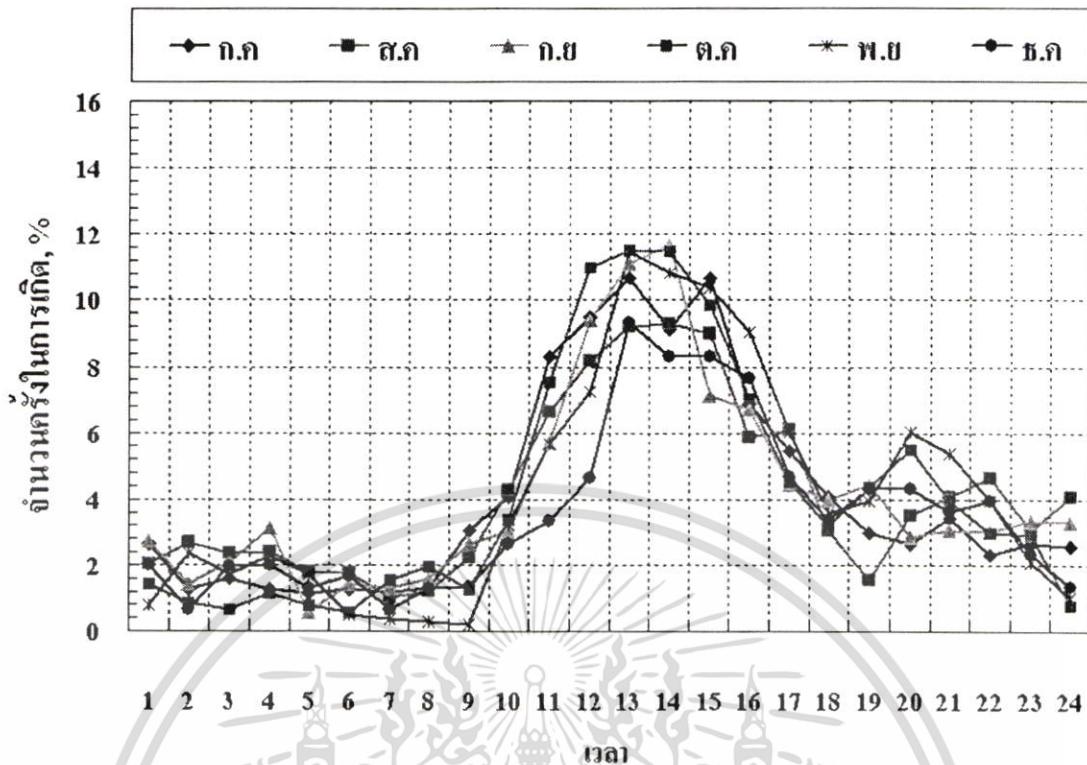


รูปที่ 3.11 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดชินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม ปี 2543



รูปที่ 3.12 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดชินทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนมิถุนายน ปี 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



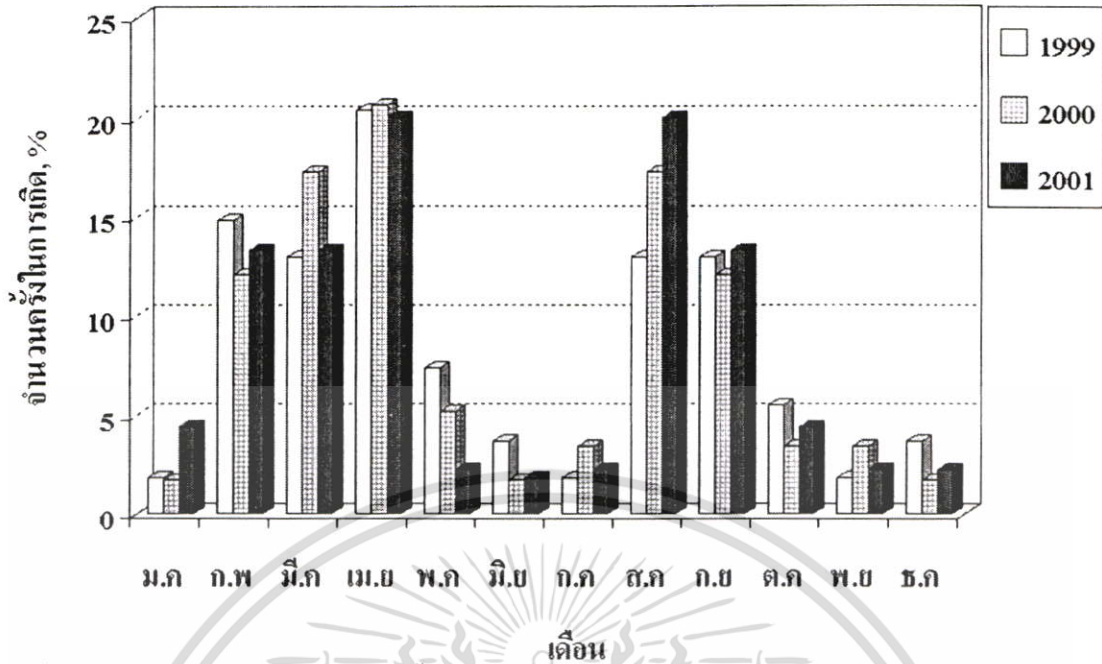
รูปที่ 3.13 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดชั้นทิลเลชันในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม ปี 2543

กราฟรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 แสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku ซึ่งลักษณะของข้อมูลที่น่าวิเคราะห์และแสดงเหมือนกัน จาก [19] กล่าวว่าในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในย่านความถี่ C มากกว่า Ku หรือสรุปได้อย่างประมาณว่าสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku ไม่ได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เล็กระดับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในย่าน C ไม่น่ามากนัก ในบทวิจัยนี้จึงขอกล่าวเฉพาะผลกระทบที่ได้รับจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นส่วนใหญ่มิสาเหตุสำคัญอยู่ 2 ประการคือ มีเมฆตัดผ่านคลื่นที่เดินทางและดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ [19] จากรูปจะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางขนาดอย่างกะทันหันจะเกิดมากในช่วงเวลาประมาณ 11.00 ถึง 15.00 น. ของทุกเดือน

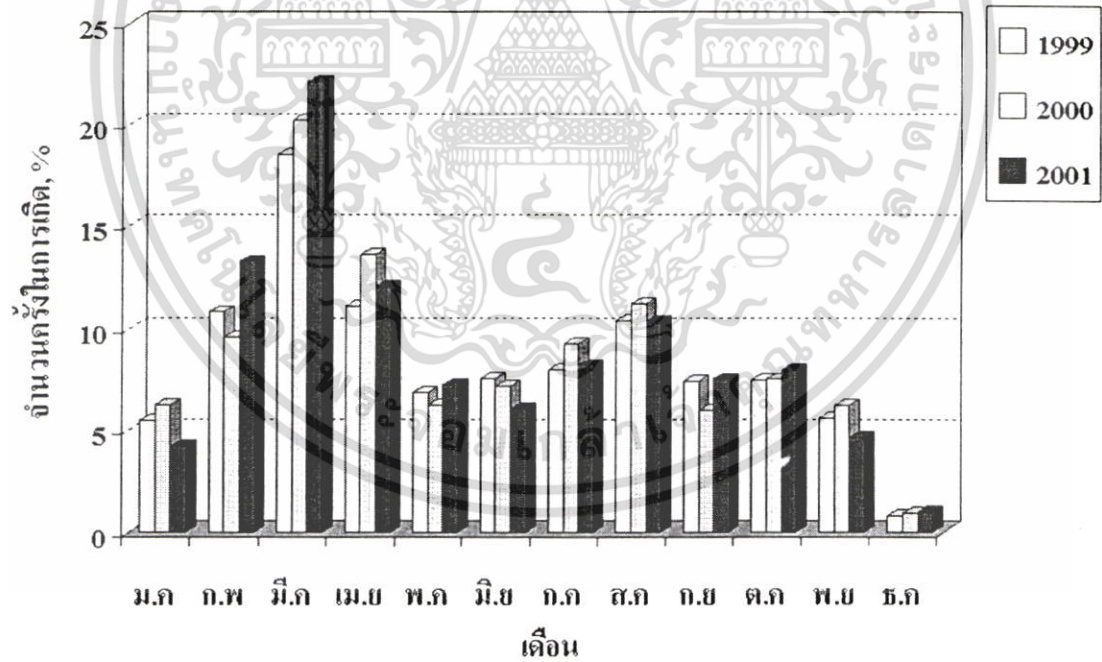
3.3.3 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

รูปที่ 3.14 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดชั้นทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ C เปรียบเทียบในปี พ.ศ. 2542-2544 พบว่าจะเกิดขึ้นสูงในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน แต่ในช่วงฤดูร้อนจะมีจำนวนครั้งในการเกิดมากตลอดวันและมากกว่าช่วงฤดูอื่น ๆ โดยขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดชนิดพิเศษเปรียบเทียบระหว่างปี 2542- 2544 ในย่านความถี่ C



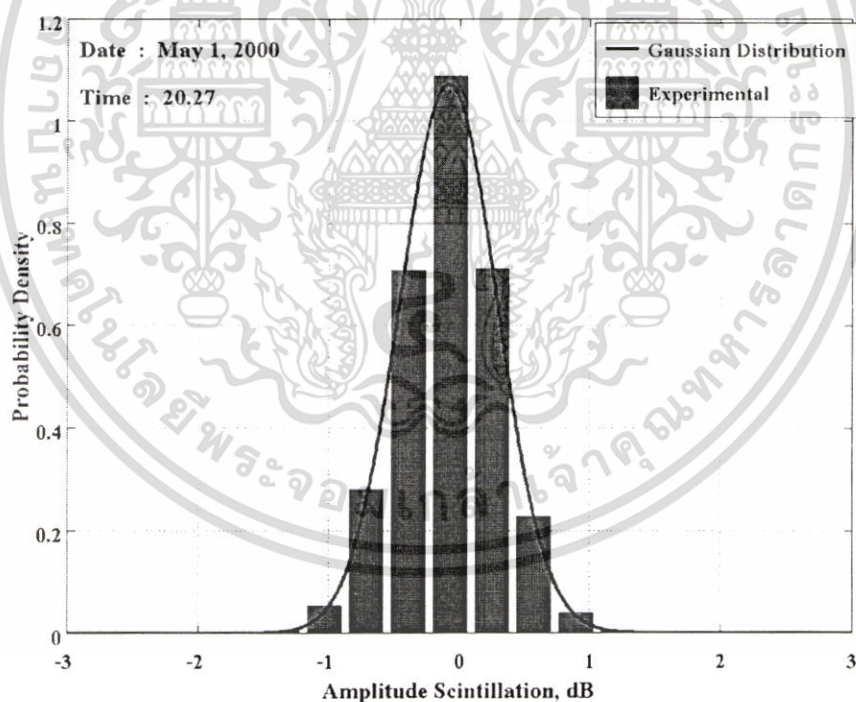
รูปที่ 3.15 แสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดชนิดพิเศษเปรียบเทียบระหว่างปี 2542- 2544 ในย่านความถี่ Ku

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

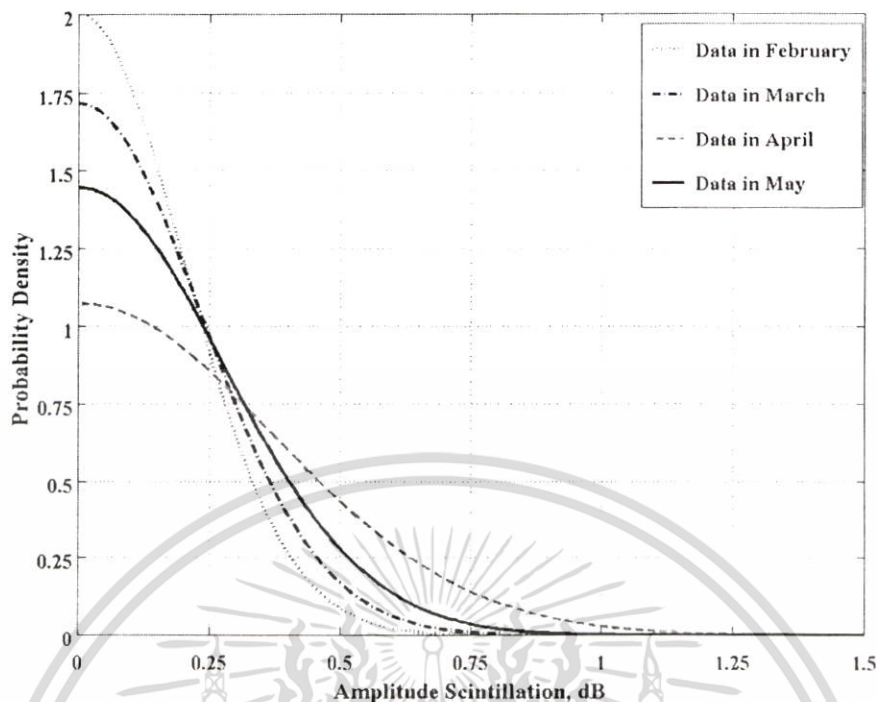
รูปที่ 3.15 เป็นการแสดงเปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku เปรียบเทียบในปี 2542-2544 เช่นเดียวกับรูปที่ 3.14 พบว่า ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันจะเกิดมากในฤดูร้อนตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน

3.3.4 ลักษณะความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density)

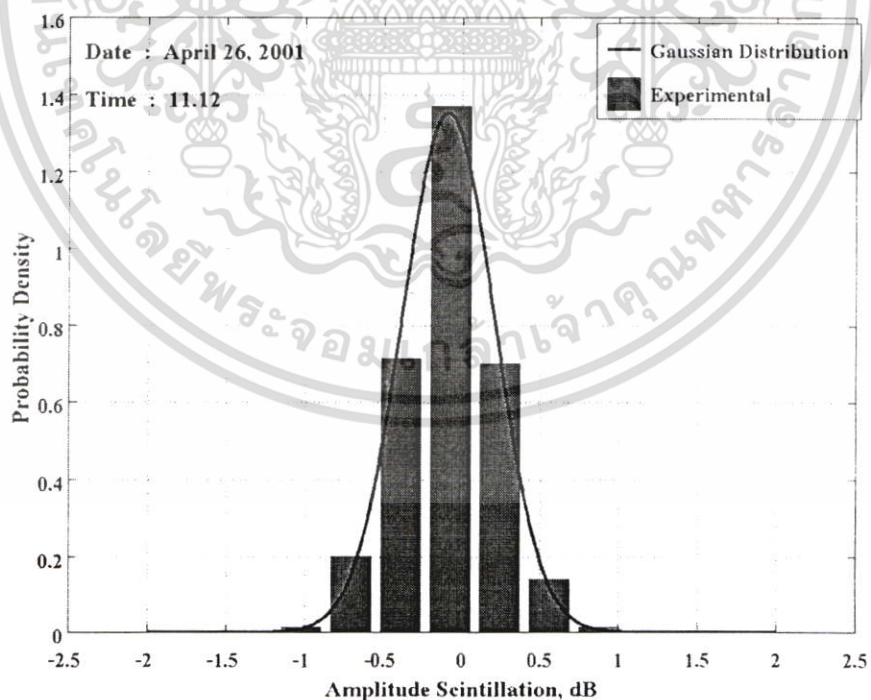
ในหัวข้อนี้กล่าวถึงลักษณะฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของสัญญาณที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในช่วงเวลาสั้น ๆ (Short-term) ของย่านความถี่ C และ Ku โดยจะพิจารณาว่าความหนาแน่นความน่าจะเป็นของปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในช่วงเวลาสั้น ๆ นี้มีลักษณะของฟังก์ชันความน่าจะเป็นอย่างไร จากการทดลองนำข้อมูลมาพล็อตกราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นพบว่า สัญญาณที่พล็อตได้จากฮิสโตแกรมซึ่งเป็นผลมาจากสัญญาณจริงมีความใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) หรือบางครั้งเรียกว่าการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่งลักษณะเฉพาะของการแจกแจงแบบเกาส์เซียนคือจะสมมาตรกันทางซ้ายและขวาของค่าเฉลี่ย [20]



รูปที่ 3.16 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ข้อมูลบันทึกได้ในวันที่ 1 พฤษภาคม 2543 เวลา 20.27 น. ในย่านความถี่ C

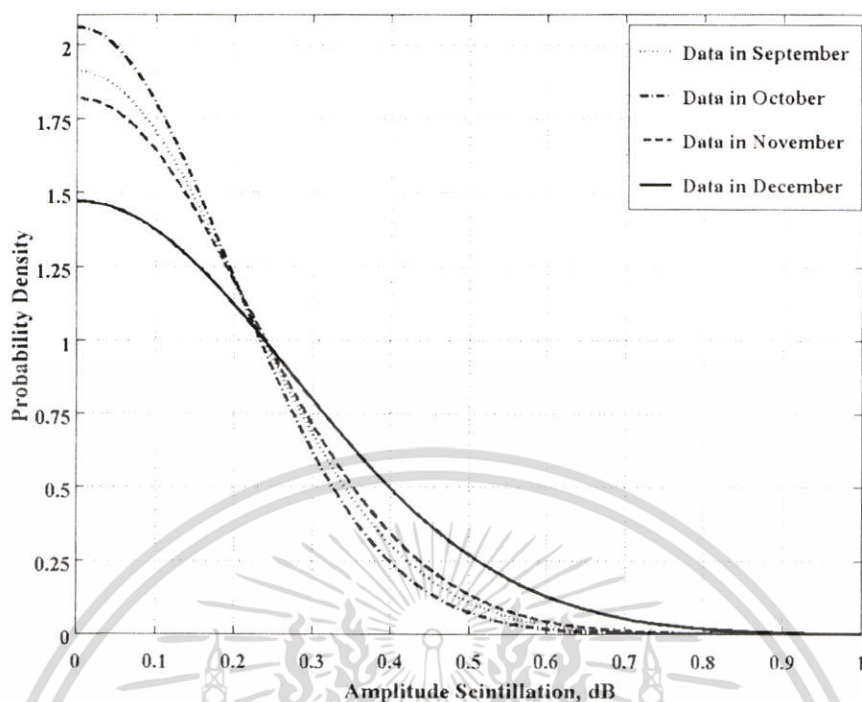


รูปที่ 3.17 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ข้อมูลบันทึกได้เดือนกุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน และพฤษภาคม ปี 2543 ในย่านความถี่ C



รูปที่ 3.18 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ข้อมูลบันทึกได้ในวันที่ 26 เมษายน 2544 เวลา 11.12 น. ในย่านความถี่ Ku

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 กราฟความน่าจะเป็นของข้อมูลเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ข้อมูลบันทึกได้เดือนกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ปี 2544 ในย่านความถี่ Ku

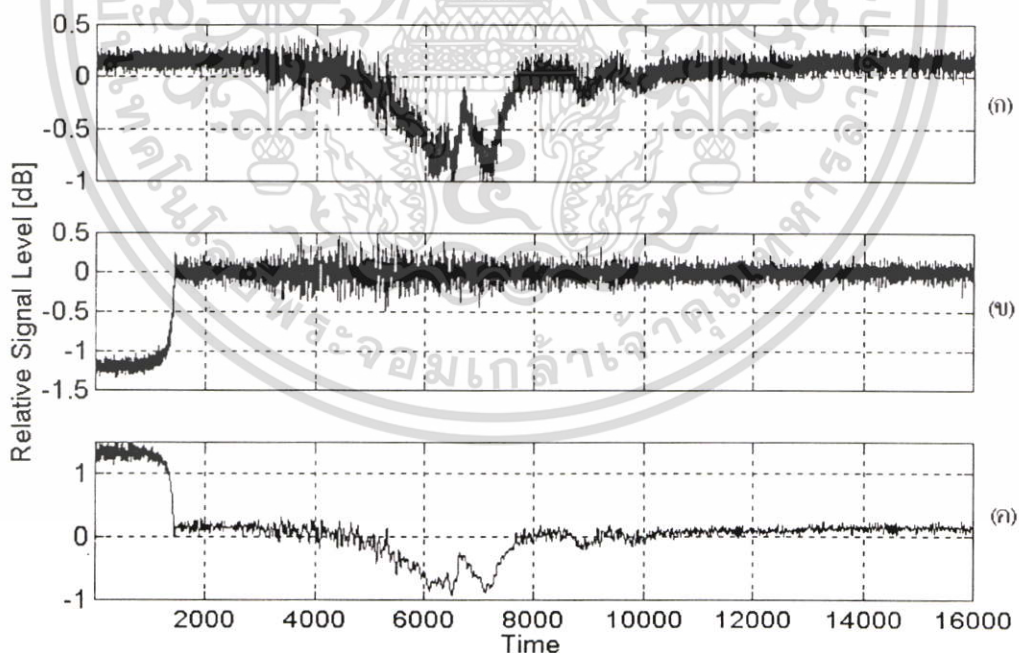
จากรูปที่ 3.16 เป็นการนำตัวอย่างข้อมูลมาพล็อตกราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน โดยการเลือกตัวอย่างเหตุการณ์การเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณของย่านความถี่ C ในวันที่ 1 พฤษภาคม 2543 เวลา 20.27 น. ช่วงเวลาการเกิดนาน 42 นาที ลักษณะของกราฟฮิสโตแกรมที่ได้จากสัญญาณจริงจะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ส่วนรูปที่ 3.17 เป็นการนำตัวอย่างเหตุการณ์การเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณของย่านความถี่ C ในเดือน กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน และพฤษภาคม ปี 2543 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกัน

รูปที่ 3.18 เป็นการนำตัวอย่างข้อมูลมาพล็อตกราฟความหนาแน่นความน่าจะเป็นเทียบกับกราฟฟังก์ชันการแจกแจงแบบเกาส์เซียน โดยการเลือกตัวอย่างเหตุการณ์การเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณของย่านความถี่ Ku ในวันที่ 26 เมษายน 2544 เวลา 11.12 น. ช่วงเวลาการเกิดนาน 42 นาที ลักษณะของกราฟฮิสโตแกรมที่ได้จากสัญญาณจริงจะใกล้เคียงกับการแจกแจงแบบเกาส์เซียน ส่วนรูปที่ 3.19 เป็นการนำตัวอย่างเหตุการณ์การเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณของย่านความถี่ Ku ในกันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม ปี 2544 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกัน

3.4 การแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันจากปรากฏการณ์การลดทอน โดยใช้วงจรกรองความถี่แบบปรับค่าได้

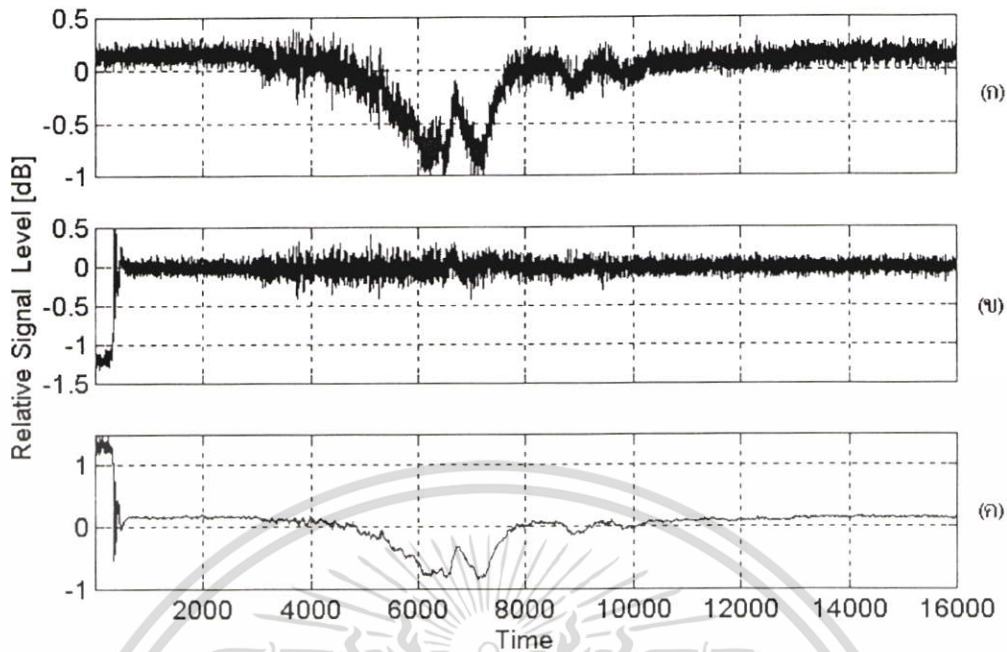
ในการวิเคราะห์การจางหายของสัญญาณผ่านดาวเทียมในย่านความถี่สูงกว่า 10 GHz พบว่าสาเหตุของการจางหายที่สำคัญเกิดจากปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และจากปรากฏการณ์การลดทอนในระดับสัญญาณที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำฝน ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองปรากฏการณ์นี้มักเกิดขึ้นในช่วงเวลาเดียวกันขณะที่มีฝนตกหนัก ดังนั้นจึงต้องแยกวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากการลดทอนระดับสัญญาณเนื่องจากน้ำฝนออกจากผลกระทบเนื่องจากการปรากฏการณ์ซินทิลเลชันเพื่อประโยชน์ในการออกแบบควบคุมกำลังส่งได้อย่างถูกต้อง [21]

ในวิทยานิพนธ์นี้ นำการประยุกต์ใช้งานตัวกรองความถี่ผ่านแบบอะแดปทีฟไอโอไออาร์ ดิจิตอล (Adaptive IIR Digital filter) มาใช้ในการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและปรากฏการณ์การลดทอนสัญญาณเนื่องจากน้ำฝนออกจากกัน ซึ่งการทำงานของอะแดปทีฟอัลกอริทึมที่นำมาใช้คือ Least Mean Square which modify by Quantizing gradient (QLMS) algorithm และ Variable step-size QLMS (VSQLMS) algorithm (รายละเอียดภาคผนวก ข) จากการจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์และการทดลองที่เวลาจริงพบว่าอัลกอริทึมทั้งสองนี้สามารถแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอนในสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ [22]



รูปที่ 3.20 ตัวอย่างผลการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอน โดยใช้ อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ QLMS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างผลการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอน โดยใช้ อะแดปทีฟอัลกอริทึมแบบ VSQMS

ในรูปที่ 3.20 เป็นตัวอย่างการนำสัญญาณผ่านดาวเทียมที่บันทึกได้ขณะฝนตกซึ่งเกิด ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณพร้อมกัน ในวันที่ 24 สิงหาคม 2545 มาผ่านวงจรกรองความถี่แบบอะแดปทีฟไอไออาร์ QLMS อัลกอริทึม รูป 3.20 (ก) แสดงสัญญาณอินพุตที่เกิดทั้งสองปรากฏการณ์พร้อมกัน รูปที่ 3.20 (ข) แสดงผลการแยกปรากฏ การณ์ซินทิลเลชันออกจากสัญญาณอินพุต โดยใช้ตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแดปทีฟไอไออาร์ (Adaptive IIR high pass filter) QLMS อัลกอริทึม ส่วนรูปที่ 3.20 (ค) แสดงผลการแยกปรากฏ การณ์การลดทอนในระดับสัญญาณเนื่องจากฝนออกจากสัญญาณอินพุต โดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำ ผ่านแบบอะแดปทีฟไอไออาร์ (Adaptive IIR low pass filter) QLMS อัลกอริทึม โดยปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ $\rho = 0.965$, $\mu = 0.001$

ในรูปที่ 3.21 เป็นตัวอย่างการนำสัญญาณที่เกิดในวันเดียวกันกับรูปที่ 3.20 มาผ่านวงจร กรองความถี่แบบอะแดปทีฟไอไออาร์ VSQMS อัลกอริทึม รูป 3.21 (ก) แสดงสัญญาณอินพุตที่เกิด ทั้งสองปรากฏการณ์พร้อมกัน รูปที่ 3.21 (ข) แสดงผลการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจาก สัญญาณอินพุต โดยใช้ตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแดปทีฟไอไออาร์ (Adaptive IIR high pass filter) VSQMS อัลกอริทึม ส่วนรูปที่ 3.21 (ค) แสดงผลการแยกปรากฏการณ์การลดทอนใน ระดับสัญญาณเนื่องจากฝนออกจากสัญญาณอินพุต โดยใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอะแดปทีฟ ไอไออาร์ (Adaptive IIR low pass filter) VSQMS อัลกอริทึม โดยปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

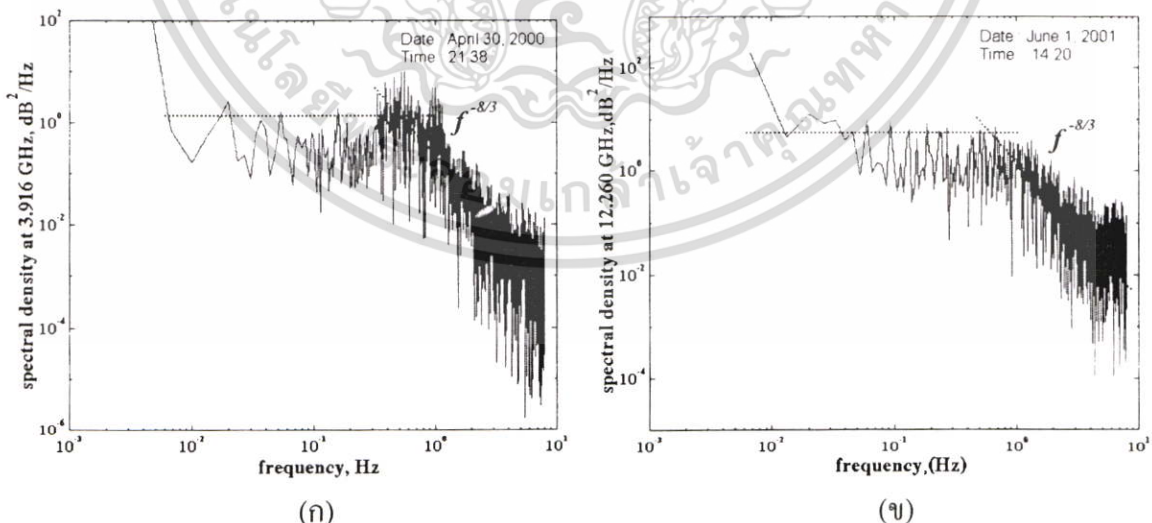
ดังนี้ คือ $\rho = 0.965$, $\alpha = 0.98$, $K = 0.955$, $\beta = 0.001$ สัญญาณที่ผ่านวงจรกรองความถี่แบบ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะแคทีฟไอโออาร์ทั้งสองอัลกอริทึมสามารถนำมาวิเคราะห์หาสเปกตรัมของสัญญาณได้ การวิเคราะห์สเปกตรัมของสัญญาณจะทำให้เราทราบค่าความถี่คัตออฟ (Frequency cutoff) เพื่อใช้ในการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณออกจากกัน ซึ่งในบทวิจัยนี้เราใช้วงจรกรองความถี่แบบอะแคทีฟไอโออาร์เข้าช่วย ซึ่งมีข้อดีคือสามารถหาค่าความถี่คัตออฟที่เหมาะสมได้ด้วยตัวเองทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการพล็อตหรือวิเคราะห์หาค่าความถี่คัตออฟด้วยสเปกตรัม และผลของสโลปที่ได้พบว่ามีความถูกต้องเช่นเดียวกัน

3.5 การวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัม (Power Spectral Density)

ในหัวข้อนี้เป็นนำสัญญาณที่ผ่านการวิเคราะห์ หรือการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอน โดยใช้วงจรกรองความถี่แบบปรับค่าได้ในหัวข้อที่ 3.4 มาทำการวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัม (PSD) ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้ทฤษฎีฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม (Fast Fourier Transform: FFT)

การแปลงฟูเรียร์เต็มหน่วย หรือในตำราบางเล่มก็ใช้คำว่า การแปลงฟูเรียร์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform) ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลซึ่งอยู่ในโดเมนเวลาไปเป็นสัญญาณที่อยู่ในโดเมนความถี่ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการแปลงฟูเรียร์เต็มหน่วยเป็นการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่ การแปลงฟูเรียร์เต็มหน่วยนี้มีวิธีการในการคำนวณที่ซับซ้อนมีจำนวนครั้งในการคำนวณมาก และใช้เวลาในการคำนวณมาก ต่อมาเพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงได้พัฒนาวิธีการแปลงให้เร็วขึ้น ซึ่งเรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว หรือฟาสต์ฟูเรียร์ทรานฟอร์ม (Fast Fourier Transform: FFT) นั่นเอง



รูปที่ 3.22 แสดงสเปกตรัมของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณผ่านดาวเทียม

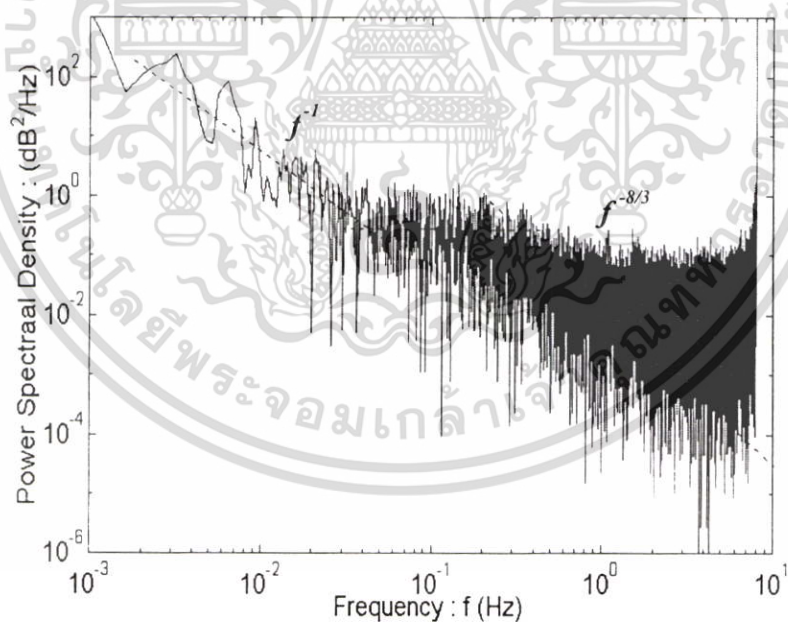
(ก) สัญญาณในย่านความถี่ C ที่บันทึกได้วันที่ 30 เมษายน 2543 เวลาประมาณ 21.38 น.

(ข) สัญญาณในย่านความถี่ Ku ที่บันทึกได้วันที่ 1 มิถุนายน 2544 เวลาประมาณ 14.20 น.

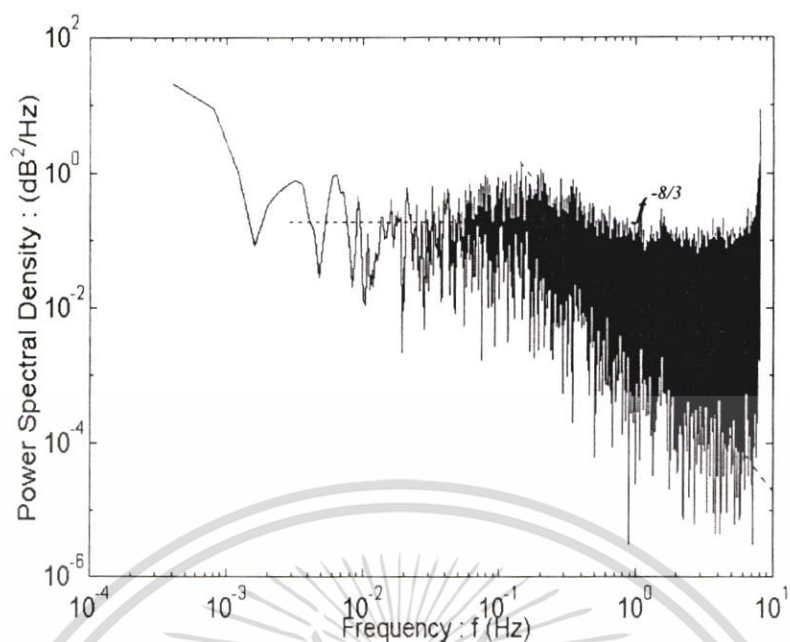
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.22 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบสเปกตรัมของสัญญาณการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในย่านความถี่ C ที่บันทึกได้วันที่ 30 เมษายน 2543 เวลาประมาณ 21.38 น. และ Ku ที่บันทึกได้วันที่ 1 มิถุนายน 2544 เวลาประมาณ 14.20 น. เป็นเวลานาน 10 นาที ด้วยอัตราการสุ่ม 8 จุดต่อวินาที จะเห็นว่าสอดคล้องกับทฤษฎีสเปกตรัมของ Kolmogoro (Kolmogoro spectrum) คือจะเกิดสโลป $-80/3$ dB/decade ($-8/3$) ทั้งในย่านความถี่ C และ Ku ซึ่งเป็นสโลปของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน [23] และจากรูปสเปกตรัมมีส่วนที่ราบเรียบของเส้นตรง (flat portion) ปรากฏอยู่ระหว่าง 0.003 เฮิรซ์ ถึง 0.3 เฮิรซ์ จากนั้นจะตามด้วยสโลป $-8/3$ ดังนั้นเราสามารถหาค่าความถี่ตัดได้ [24] [25]

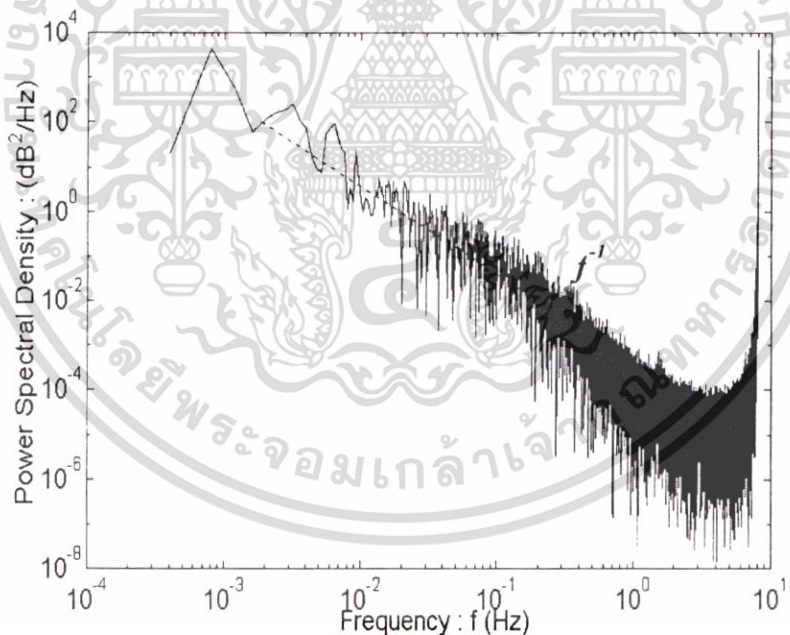
รูปที่ 3.23 เป็นสเปกตรัมของสัญญาณผ่านดาวเทียมที่บันทึกได้ขณะฝนตกซึ่งเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณพร้อมกัน บันทึกได้ในวันที่ 24 สิงหาคม 2545 ซึ่งก็คือสัญญาณอินพุตในรูปที่ 3.20 (ก) และ รูป 3.21 (ก) จากการวิเคราะห์ทราบว่า มีสองปรากฏการณ์เกิดขึ้นพร้อมกันคือ ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันจากการวิเคราะห์พบว่ามีสโลปเป็น $-8/3$ และปรากฏการณ์การลดทอนที่เกิดจากฝนมีสโลปเป็น -20 dB/decade หรือ สโลป -1 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยสเปกตรัมสอดคล้องตามทฤษฎีสเปกตรัมของ Kolmogoro



รูปที่ 3.23 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณอินพุตขณะเกิดฝนตกในรูป 3.20 (ก) และรูปที่ 3.21 (ก) ที่บันทึกได้ในวันที่ 24 สิงหาคม 2545



รูปที่ 3.24 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณซินทิลเลชันที่แยกจากสัญญาณอินพุตในรูป 3.20 (ข) และรูป 3.21 (ข)



รูปที่ 3.25 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณการลดทอนที่แยกจากสัญญาณอินพุตในรูป 3.20 (ค) และรูป 3.21 (ค)

จากรูปที่ 3.24 แสดงสเปกตรัมของปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน หลังผ่านวงจรกรองความถี่สูงแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ QLMS และ VSQLMS อัลกอริทึม จะได้สโลปเป็น $-8/3$ [22] ซึ่งถูกต้องตามหลักทฤษฎีสเปกตรัมของ Kolmogoro และสรุปได้ว่าสโลปของการเกิดซินทิลเลชัน ขณะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ท้องฟ้าแจ่มใส กับ ขณะฝนตกมีสโลปเดียวกัน คือ สโลป $-8/3$ ส่วนรูปที่ 3.25 แสดงสเปกตรัมของปรากฏการณ์การลดทอน หลังผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ QLMS และ VSQMS อัลกอริทึม จะได้สโลปเป็น -1 [22] ซึ่งผลจากการกรองจะเหลือสโลปเพียงสโลปเดียวคือสโลปที่เกิดจากฝน นั่นเอง

3.6 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการตรวจสอบผลกระทบที่เป็นสาเหตุของการจางหายของสัญญาณ คือ การเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในย่านความถี่ C และ Ku โดยตรวจสอบโอกาสการเกิดในแต่ละวัน เดือน ในแต่ละฤดูกาล เพื่อเป็นข้อมูลเชิงสถิติอันเป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. โอกาสการเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณในย่านความถี่ C ในระหว่างวันจะเกิดมากในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 02.00 น. ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับช่วงเวลาการปรากฏขึ้นของชั้น F ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจะเกิดมากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน แต่ในฤดูร้อนจะพบมากกว่าในฤดูอื่นๆ
2. โอกาสการเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณในย่านความถี่ Ku ในระหว่างวันจะเกิดมากในช่วงเวลาประมาณ 11.00 ถึง 16.00 น. ซึ่งมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากแสงแดด ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจะเกิดมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมหรือในฤดูร้อนนั่นเอง
3. การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเกิดซินทิลเลชันในย่านความถี่ C และ Ku ในช่วงเวลาสั้น ๆ พบว่าข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันของสัญญาณมีการกระจายตัวทางสถิติใกล้เคียงกับการกระจายแบบเกาส์เซียน เมื่อพิจารณาทั้งสองย่านความถี่พบว่าการกระจายตัวแบบเดียวกัน

ในบทนี้ได้เสนอวิธีการใหม่โดยนำการประยุกต์ทาง Digital Signal Processing มาช่วยในการวิเคราะห์สัญญาณในกรณีการเกิดซินทิลเลชันขณะฝนตกจะมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นพร้อมกัน ซึ่งจะทำการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณ โดยการใช้งานวงจรกรองความถี่ผ่านแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ดิจิทัล ด้วยอัลกอริทึม QLMS และ VSQMS ผลที่ได้ พบว่า การใช้ตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ QLMS และ VSQMS อัลกอริทึม สามารถแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากสัญญาณอินพุตได้ และการใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ QLMS และ VSQMS อัลกอริทึมสามารถแยกปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณออกจากสัญญาณอินพุตได้ และสามารถนำผลมาวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัมได้ถูกต้อง คือจะได้สโลป $-8/3$ สำหรับปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ทั้งในขณะท้องฟ้าแจ่มใส และขณะฝนตก ส่วนสโลป -1 สำหรับปรากฏการณ์การลดทอน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีสเปกตรัมของ Kolmogoro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของวิธีการแสดง ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน

4.1 บทนำ

วิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในสัญญาณผ่านดาวเทียม ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในระดับสากล คือ การคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation value) และวิธีคำนวณค่าความต่างของค่าสูงสุดและต่ำสุดของระดับสัญญาณ (Peak to peak value) แต่ไม่มีบทวิจัยใดยืนยันหรือตรวจสอบอัตราการสุ่มข้อมูล และช่วงเวลา (Time Interval) ที่เหมาะสมในการคำนวณ ในบทวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงทั้งสอง เพื่อเสนอวิธีที่มีประสิทธิภาพและง่ายที่สุด โดยใช้ข้อมูลการเกิดซินทิลเลชันในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ย่านความถี่ C และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ย่านความถี่ Ku โดยเลือกอัตราการสุ่มข้อมูลตั้งแต่ 125 msec 250 msec 500 msec 1 sec 2 sec และ 4 sec และเลือกช่วงเวลาการคำนวณเป็น 1 นาที 2 นาที 3 นาที 4 นาที 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติในการคาดคะเนแนวโน้มของข้อมูล โดยค่าทั้งสองต้องมีค่าสหสัมพันธ์ที่ดี ซึ่งสามารถนำมาสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ได้ด้วยค่าความชันของเส้นตรง

4.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Analysis)

การถดถอยเป็นวิธีการทางสถิติที่นำเอาข้อมูลมาสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นตรงจะมีลักษณะการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม ซึ่งใช้สัญลักษณ์ Y และตัวแปรอิสระ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ X เพียงตัวเดียวให้อยู่ในรูปแบบเชิงเส้นตรง ในการวิจัยเป็นการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามคือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวแปรอิสระคือ ค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ซึ่งในทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนเป็นสูตรความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองได้ดังสมการที่ (4.1)

$$\sigma_x = \alpha(V_{p-p}) + \beta \quad (4.1)$$

ซึ่ง σ_x คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

V_{p-p} คือ ค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิจัยจะเลือกเฉพาะข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันของสัญญาณ ในย่านความถี่ C และ Ku มาหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ซึ่งหาได้จากหัวข้อที่ 2.4.1.1 และ 2.4.2.1 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าตัวแปรทั้งสองมาหาค่าความสัมพันธ์ หรือหาความชัน (Slope) ของเส้นการถดถอย (α) และค่าที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y (β) ดังสมการที่ (4.2) และ (4.3)

$$\alpha = \frac{n \sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i \cdot (\sigma_x)_i - \sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i \cdot \sum_{i=1}^n (\sigma_x)_i}{n \sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\sigma_x)_i \right)^2} \quad (4.2)$$

$$\beta = \overline{\sigma_x} - \alpha \overline{(V_{p-p})} \quad (4.3)$$

เมื่อ α คือ ค่าความชัน (Slope) ของเส้นการถดถอย หรือเรียก α ว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์

β คือ ค่าที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y

4.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

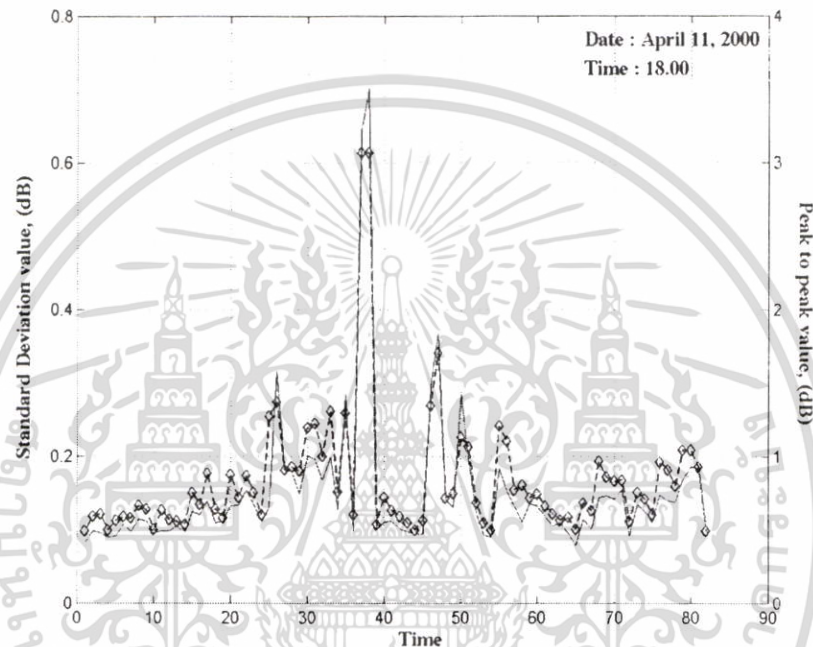
ในการวิเคราะห์การถดถอยที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จะต้องทำการดูว่าตัวแปรอิสระหรือค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม หรือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือไม่ แต่ในการวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะอาศัยข้อมูลในลักษณะเดียวกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด

สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรงจะใช้สัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation) เป็นตัววัดความสัมพันธ์ ซึ่งใช้สัญลักษณ์ γ ถือเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงระดับ และทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชุด ซึ่งหาได้จากสูตรของ Pearson ดังนี้

$$\gamma = \frac{n \sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i \cdot (\sigma_x)_i - \sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i \cdot \sum_{i=1}^n (\sigma_x)_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n (V_{p-p})_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n (\sigma_x)_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n (\sigma_x)_i \right)^2}} \quad (4.4)$$

เมื่อ γ คือสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์

ในการวิจัยพบว่าค่าตัวแปรทั้งสองค่าคือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างความระหว่างค่าทั้งสอง พบว่าค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณเพิ่มขึ้น ระดับสัญญาณที่แสดงด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก็จะเพิ่มตามด้วย ในอัตราที่ใกล้เคียงกันตลอดช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์จะมีค่าเป็นบวก และในการวิจัยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.85-0.999 [16]



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ

4.4 ผลการวิเคราะห์หาอัตราการสุ่มข้อมูลที่เหมาะสม

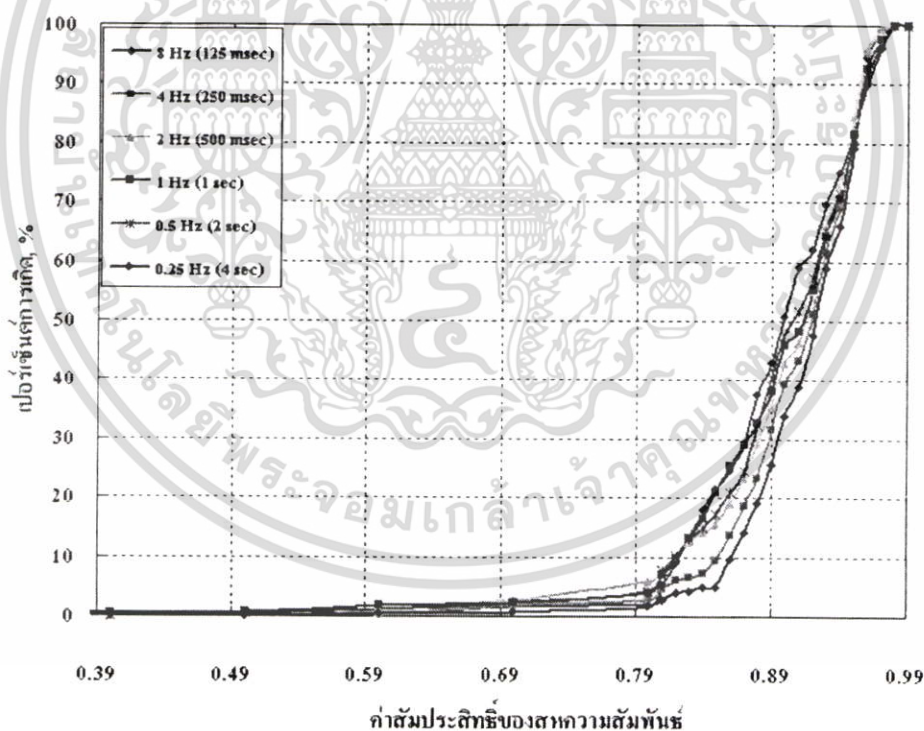
ในการรับสัญญาณผ่านดาวเทียม THAICOM 2 ซึ่งรับสัญญาณความถี่ในสองย่านด้วยกันคือ C และ Ku มาวิเคราะห์ มีการกำหนดช่วงเวลาในการสุ่มของข้อมูลไว้ที่ 8 จุดต่อวินาที หรือ 8 Hz ดังนั้นใน 1 นาทีจะสุ่มข้อมูลได้ 480 จุด เพื่อให้มั่นใจว่าระบบจะทำงานได้ดีถึงแม้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นคุณลักษณะของเครื่องที่ตั้งในการรับสัญญาณ แต่การวิจัยในหัวข้อนี้ต้องการที่จะวิเคราะห์หาอัตราสุ่มของข้อมูลที่เหมาะสม เพื่อนำสัญญาณที่อัตราการสุ่มที่เหมาะสมไปใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ซึ่งจะตรวจสอบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่คืออยู่ในช่วง 0.85-0.999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองได้นำข้อมูลในช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณในย่านความถี่ C และ Ku ที่บันทึกได้ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2543 โดยการกำหนดเงื่อนไขอัตราการสุ่มที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 มาวิเคราะห์หาอัตราการสุ่มที่เหมาะสม โดยใช้การตรวจสอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์

ตารางที่ 4.1 แสดงอัตราการสุ่มที่ใช้ในการทดลอง

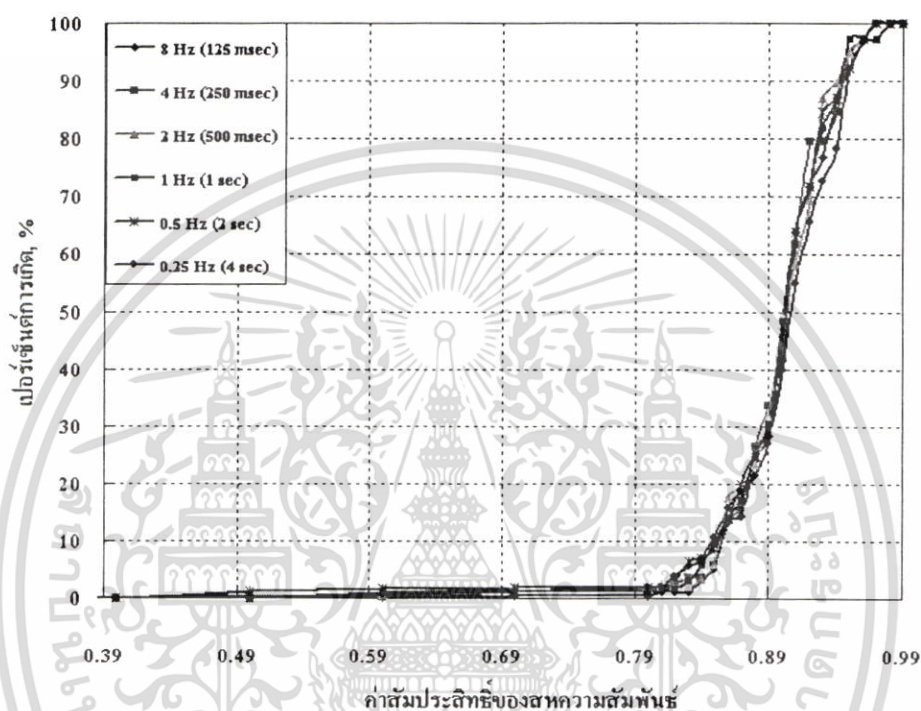
อัตราการสุ่ม	ความถี่การสุ่ม	เวลาการสุ่ม
1 นาที / 480 จุด	8 Hz	125 msec
1 นาที / 240 จุด	4 Hz	250 msec
1 นาที / 120 จุด	2 Hz	500 msec
1 นาที / 60 จุด	1 Hz	1 sec
1 นาที / 30 จุด	0.5 Hz	2 sec
1 นาที / 15 จุด	0.25 Hz	4 sec



รูปที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ C ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz 4 Hz 2 Hz 1 Hz 0.5 Hz และ 0.25 Hz

รูปที่ 4.2 แสดงแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลซินทิลเลชันในย่านความถี่ C ที่อัตราการสุ่มต่าง ๆ จากการทดลองเงื่อนไขอัตราการสุ่มข้อมูลทีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

125 msec 250 msec 500 msec 1 sec 2 sec และ 4 sec ดังตารางที่ 4.1 พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่ดีคืออยู่ในช่วงระหว่าง 0.85-0.999 เป็นส่วนมาก ดังนั้นในการตั้งเครื่องเพื่อรับสัญญาณดาวเทียมไม่จำเป็นต้องตั้งที่ความละเอียดในการสุ่มถึง 480 จุดต่อวินาทีหรือ 8 Hz (125 msec) เพราะจะทำให้เปลืองกระดาษที่ใช้ในการบันทึก (Record) และเปลืองหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz 4 Hz 2 Hz 1 Hz 0.5 Hz และ 0.25 Hz

รูปที่ 4.3 แสดงแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลซินทิลเลชันในย่านความถี่ Ku ที่เงื่อนไขอัตราการสุ่มเช่นเดียวกัน ซึ่งผลที่ได้เหมือนกับในย่านความถี่ C คือให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่ดีในช่วงระหว่าง 0.85-0.999

4.5 ผลการวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสม

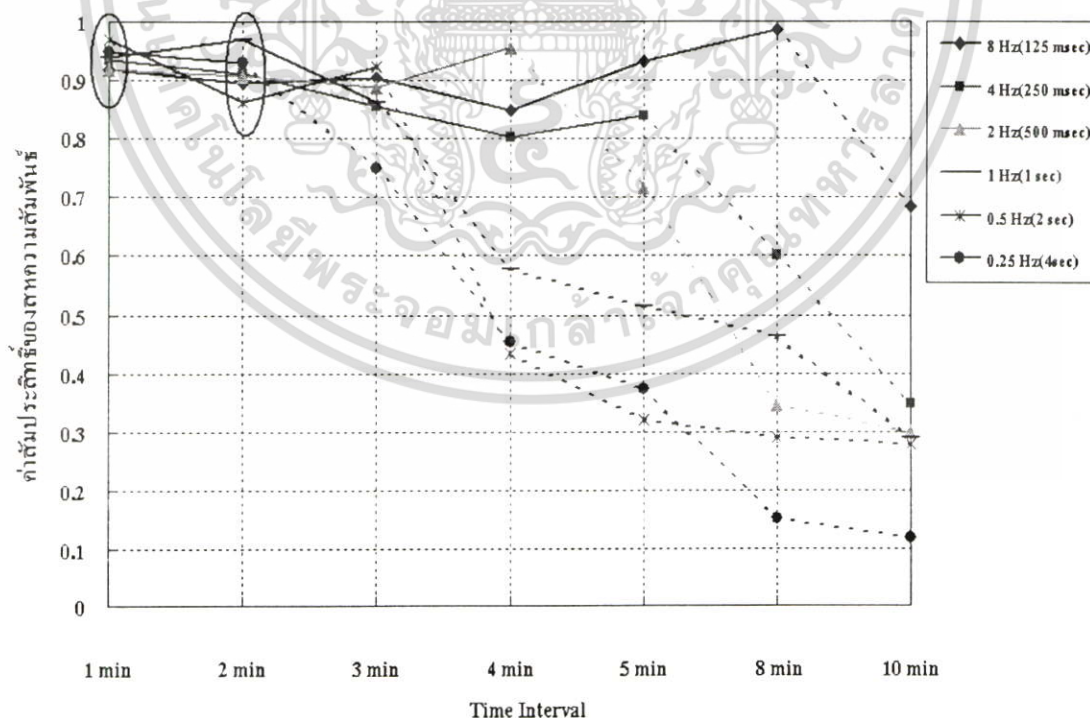
ในหัวข้อนี้จะทำการทดลองต่อเนื่องจากหัวข้อที่ 4.4 หลังจากวิเคราะห์หาอัตราการสุ่มที่เหมาะสมได้แล้ว ก็จะมาวิเคราะห์หาช่วงเวลา (Time Interval) ที่เหมาะสมเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ และนำไปใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองในหัวข้อต่อไป ซึ่งจะตรวจสอบโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีอยู่ในช่วง 0.85-0.999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองได้นำข้อมูลในช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณในย่านความถี่ C และ Ku ที่บันทึกได้ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2543 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2543 มาคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณของทุก ๆ ช่วงเวลา ซึ่งการกำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.2

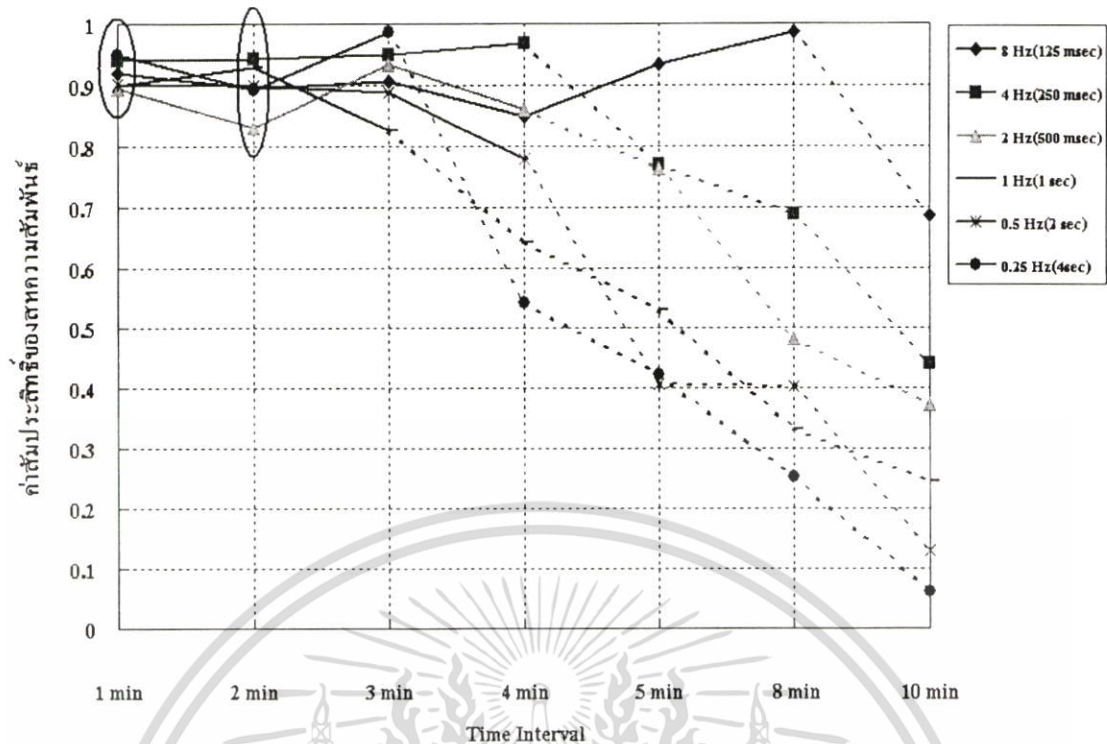
ตารางที่ 4.2 แสดงช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลอง

8 Hz (125 msec)	4 Hz (250 msec)	2 Hz (500 msec)	1 Hz (1 sec)	0.5 Hz (2 sec)	0.25 Hz (4 sec)
1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที	1 นาที
2 นาที	2 นาที	2 นาที	2 นาที	2 นาที	2 นาที
3 นาที	3 นาที	3 นาที	3 นาที	3 นาที	3 นาที
4 นาที	4 นาที	4 นาที	4 นาที	4 นาที	4 นาที
5 นาที	5 นาที	5 นาที	5 นาที	5 นาที	5 นาที
8 นาที	8 นาที	8 นาที	8 นาที	8 นาที	8 นาที
10 นาที	10 นาที	10 นาที	10 นาที	10 นาที	10 นาที



รูปที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ C ในช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที

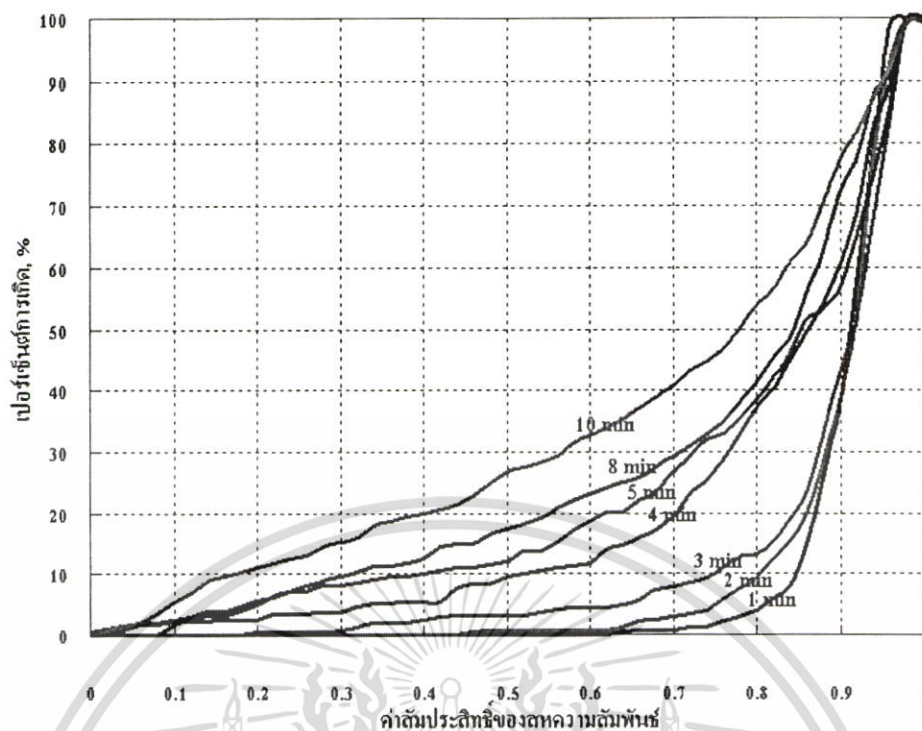
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



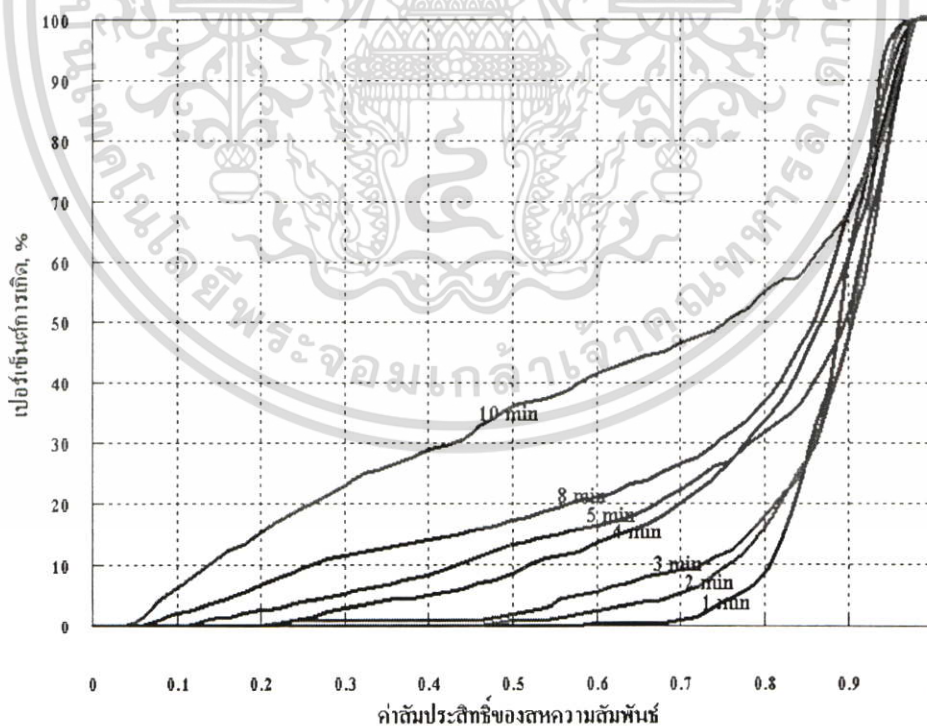
รูปที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดขึ้นที่เลขย่านความถี่ Ku ในช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที

รูปที่ 4.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดขึ้นที่เลขย่านความถี่ C ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าอัตราการสุ่ม 8 Hz จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีในช่วงเวลา 1 ถึง 8 นาที อัตราการสุ่ม 4 Hz จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีในช่วงเวลา 1 ถึง 5 นาที อัตราการสุ่ม 2 Hz จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีในช่วงเวลา 1 ถึง 4 นาที อัตราการสุ่ม 1 Hz จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีในช่วงเวลา 1 ถึง 3 นาที อัตราการสุ่ม 0.5 Hz จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีในช่วงเวลา 1 ถึง 3 นาที และอัตราการสุ่ม 0.25 Hz จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีในช่วงเวลา 1 ถึง 2 นาที สรุปก็คือถ้าอัตราการสุ่มยังมีความละเอียดมาก เช่น ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz ช่วงเวลาที่จะยาวขึ้น แต่ถ้าอัตราการสุ่มมีความละเอียดน้อย ช่วงเวลาจะสั้น

รูปที่ 4.5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดขึ้นที่เลขย่านความถี่ Ku ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ สรุปได้เช่นเดียวกัน คือถ้าอัตราการสุ่มมีความละเอียดมาก ในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณในทุก ๆ ช่วงเวลาจะยาวขึ้น แต่ถ้าอัตราการสุ่มมีความละเอียดน้อย ก็จะใช้ช่วงเวลาในการคำนวณค่าทั้งสองที่สั้นลง ซึ่งดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์



รูปที่ 4.6 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ C ที่ช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที



รูปที่ 4.7 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku ที่ช่วงเวลา 1 ถึง 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แสดงแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ C ในแต่ละช่วงเวลา จากรูปจะเห็นว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณทุก ๆ 1 นาที จะมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีมากอยู่ในช่วง 0.85-0.999 กล่าวคือแทบจะไม่มีเกิดการเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ไม่ดีเลย ส่วนช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณทุก ๆ 2 นาที 3 นาที 4 นาที 5 นาที 8 นาที และ 10 นาที จะเริ่มมีเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ในช่วง 0.1-0.8 ค่อนข้างมากตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ไม่ดี ไม่สามารถนำมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณในหัวข้อต่อไปได้ ซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.85-0.999 เท่านั้น

รูปที่ 4.7 แสดงแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku จากรูปจะให้ผลเหมือนกัน ดังนั้นสรุปได้ว่าช่วงเวลาที่ควรจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณคือ ช่วงเวลา 1 นาที

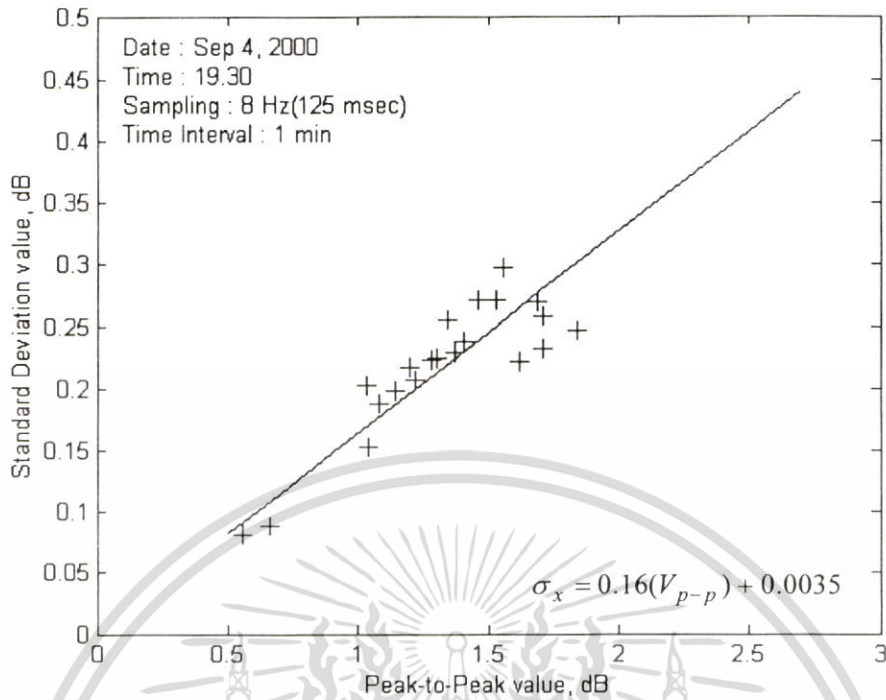
4.6 ผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวคิดใหม่เพิ่มขึ้น โดยได้ทำการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับวิธีการแสดงด้วยค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ โดยตรวจสอบคุณลักษณะของทั้งสองวิธีด้วยการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์หรือค่าความชันของเส้นการถดถอยนั่นเอง เพื่อคาดคะเนแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งสูตรความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง แสดงดังสมการที่ (4.1) โดยที่ข้อมูลทั้งสองที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีค่าสหสัมพันธ์ที่ดี

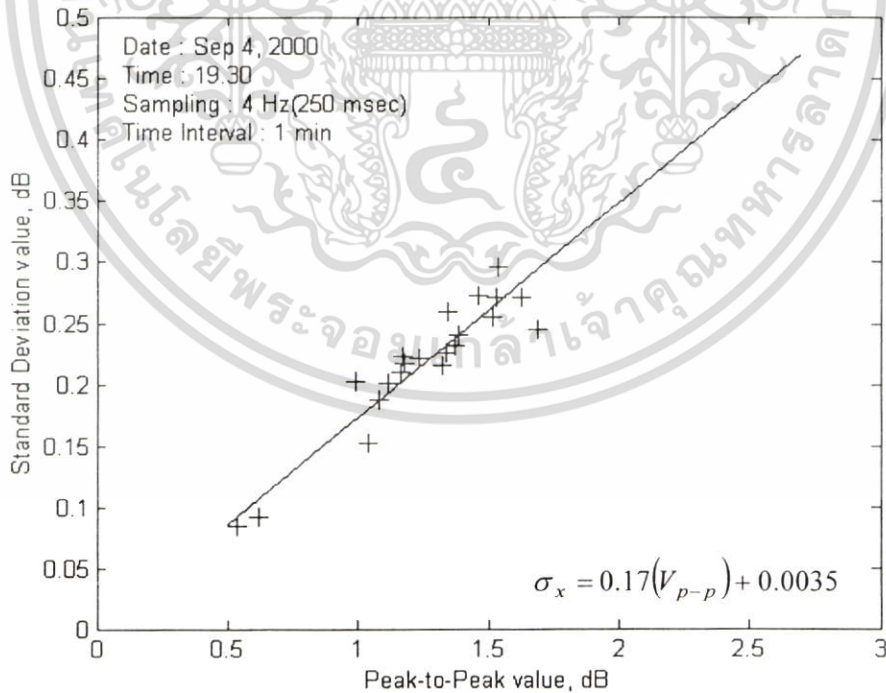
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ในย่านความถี่ C

การทดลองหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันของสัญญาณย่านความถี่ C จะเลือกข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันในอัตราการสุ่มที่ 8 Hz (125 msec) 4 Hz (250 msec) 2 Hz (500 msec) 1Hz (1 sec) 0.5 Hz (2 sec) และ 0.25 Hz (4 sec) และช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณทุก ๆ 1 นาทีของทุกอัตราการสุ่มสาเหตุที่เลือกเงื่อนไขนี้มาทำการทดลอง เพราะจากการวิเคราะห์หาอัตราการสุ่มที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 4.4 พบว่าทุกอัตราการสุ่มมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดี และการวิเคราะห์หาช่วงเวลาที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 4.5 พบว่าช่วงเวลา 1 นาทีจะมีแนวโน้มการเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดีมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

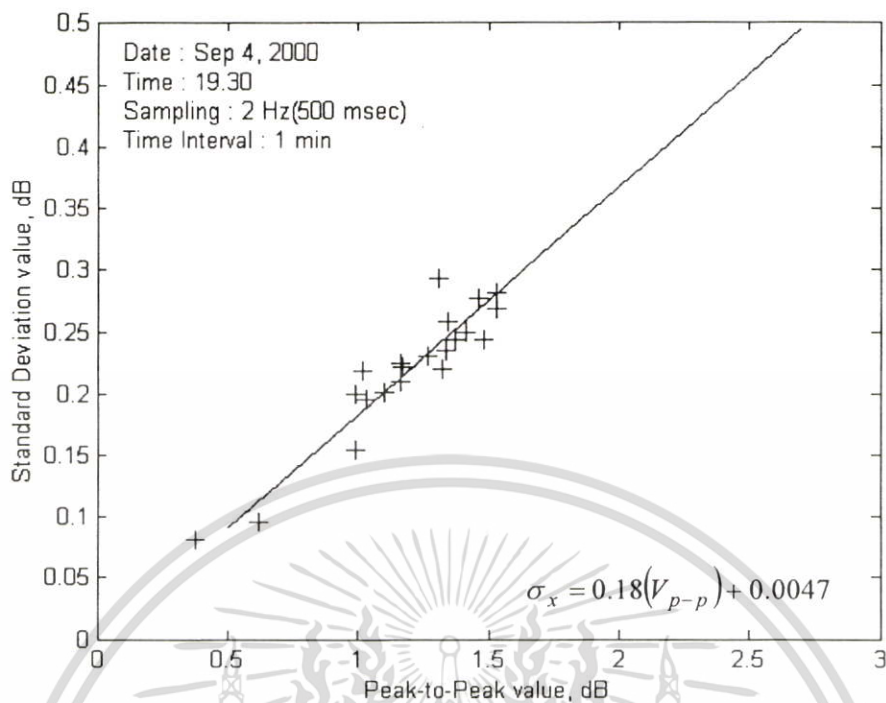


รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 8 Hz

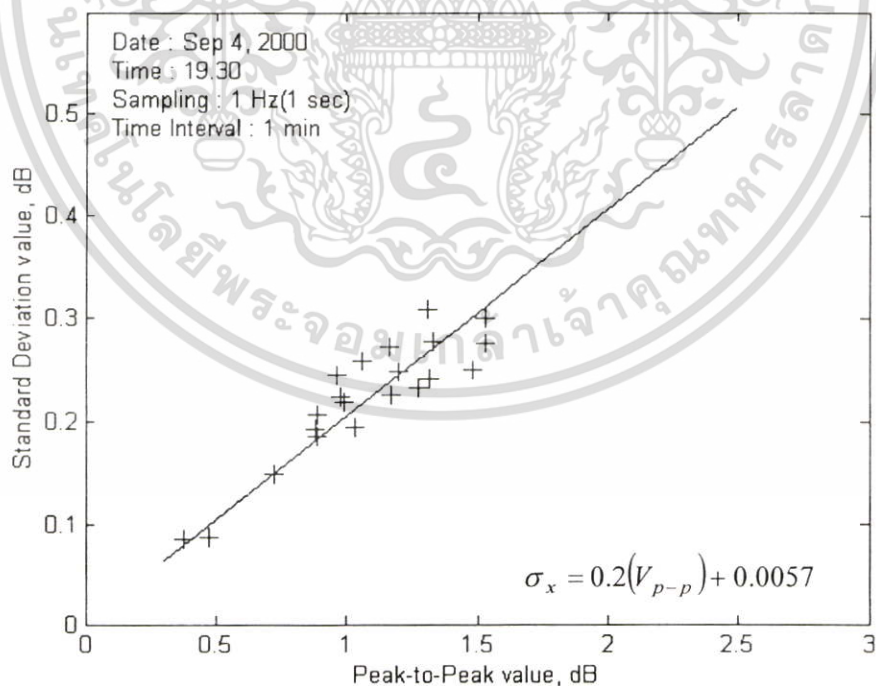


รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 4 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

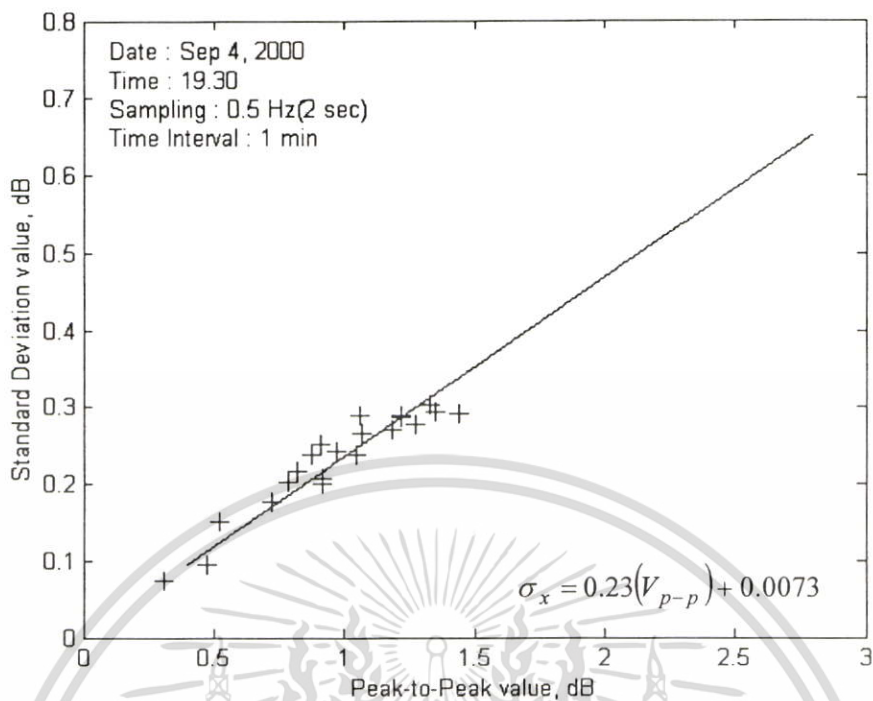


รูปที่ 4.10 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 2 Hz

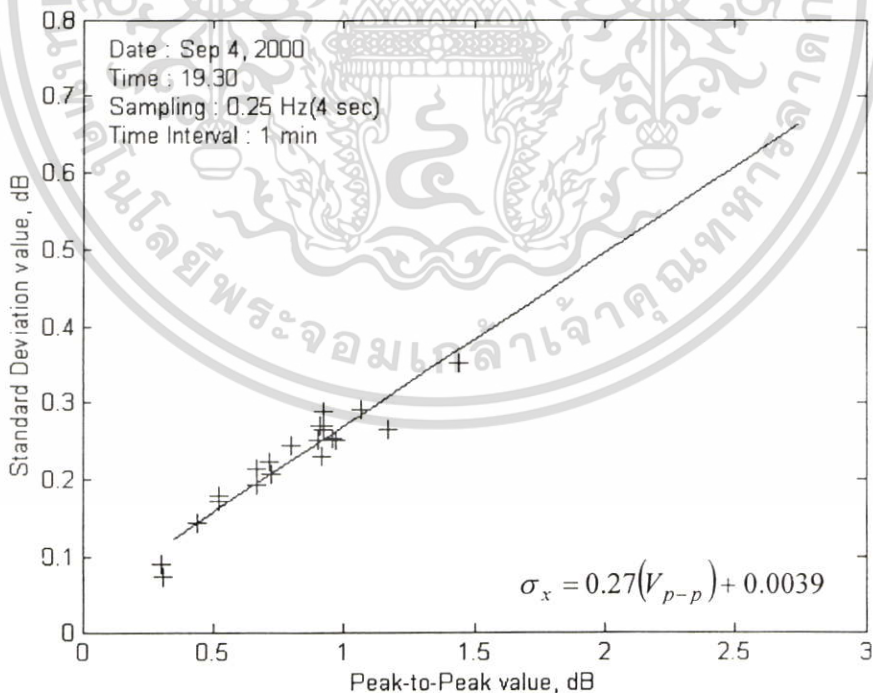


รูปที่ 4.11 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 1 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 0.5 Hz



รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C อัตราการสุ่ม 0.25 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 ถึงรูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันย่านความถี่ C ที่บันทึกได้ ในวันที่ 4 กันยายน พ.ศ. 2543 เวลาประมาณ 19.30 น. ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz 4 Hz 2 Hz 1 Hz 0.5 Hz และ 0.25 Hz ตามลำดับ และใช้ช่วงเวลาในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หาได้จากหัวข้อ 2.4.1.1) กับค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ (หาได้จากหัวข้อ 2.4.2.1) ทุก ๆ 1 นาที ความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองสามารถเขียนเป็นสูตรความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (4.5)

$$\sigma_x = \alpha(V_{p-p}) + \beta \quad (4.5)$$

จากการทดลองข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันจำนวน 186 เหตุการณ์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (α) ของแต่ละอัตราการสุ่มมีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้น ของการเกิดซินทิลเลชันในย่านความถี่ C

อัตราการสุ่ม	α	β	γ
8 Hz (125 msec)	0.16	0.001-0.1	0.85-0.999
4 Hz (250 msec)	0.17	0.001-0.1	0.85-0.999
2 Hz (500 msec)	0.18	0.001-0.1	0.85-0.999
1 Hz (1 sec)	0.20	0.001-0.1	0.85-0.999
0.5 Hz (2 sec)	0.23	0.001-0.1	0.85-0.999
0.25 Hz (5 sec)	0.27	0.001-0.1	0.85-0.999

สรุปได้ว่าวิธีการแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน โดยหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\sigma_x = 0.16(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.17(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการสุ่ม 4 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.18(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการสุ่ม 2 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.20(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการสุ่ม 1 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.23(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการสุ่ม 0.5 Hz}$$

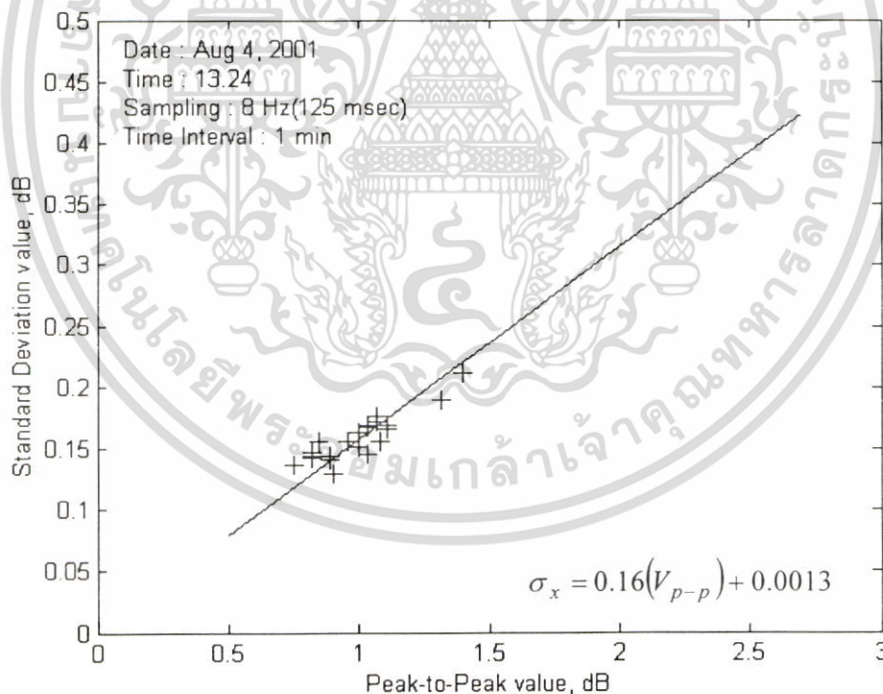
$$\sigma_x = 0.27(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการสุ่ม 0.25 Hz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

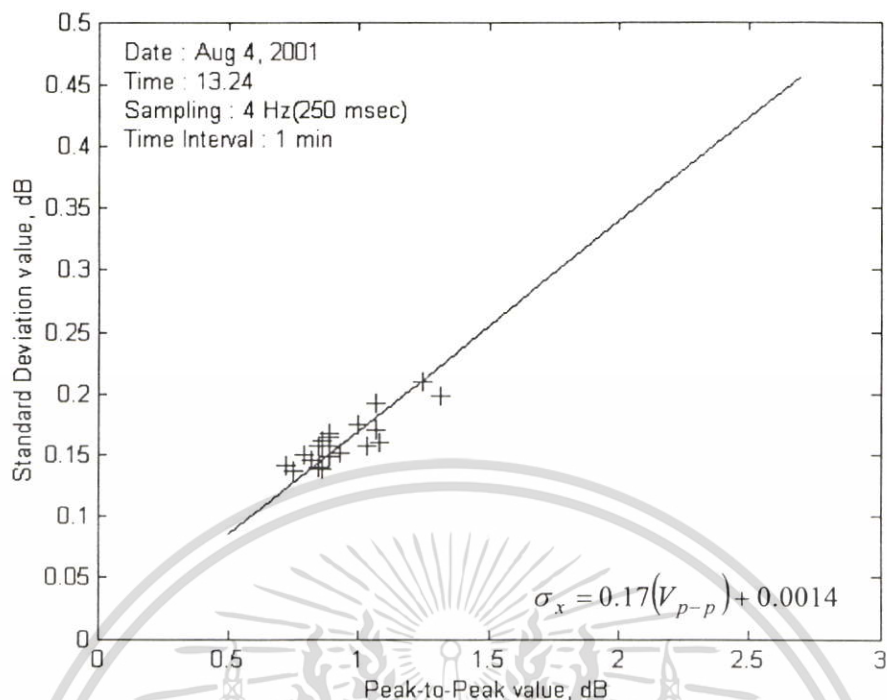
4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์คลื่นที่เลขชั้นย่านความถี่ Ku ในขณะท้องฟ้าแจ่มใส

การทดลองหาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดคลื่นที่เลขชั้นของสัญญาณย่านความถี่ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส ที่อัตราการสุ่มข้อมูล 8 Hz (125 msec) 4 Hz (250 msec) 2 Hz (500 msec) 1 Hz (1 sec) 0.5 Hz (2 sec) และ 0.25 Hz (4 sec) และช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณทุก ๆ 1 นาทีของทุกอัตราการสุ่ม เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.6.1

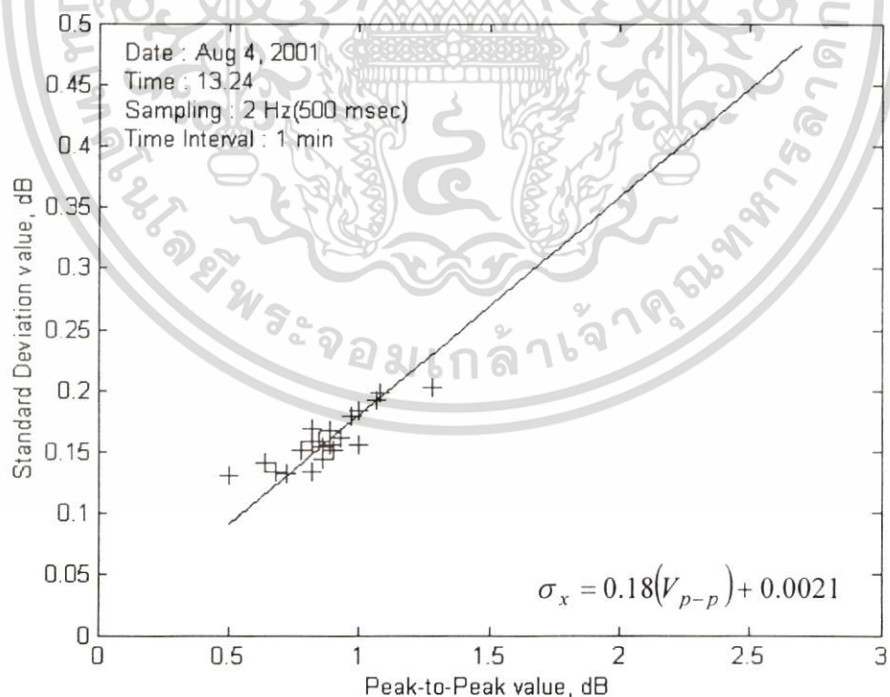
จากรูปที่ 4.14 ถึงรูปที่ 4.19 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ของข้อมูลที่เกิดคลื่นที่เลขชั้นย่านความถี่ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส ที่บันทึกได้ในวันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2544 เวลาประมาณ 13.24 น. ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz 4 Hz 2 Hz 1 Hz 0.5 Hz และ 0.25 Hz ตามลำดับ และช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณทุก ๆ 1 นาที ความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองสามารถเขียนเป็นสูตรความสัมพันธ์ได้เหมือนกับสมการที่ (4.5)



รูปที่ 4.14 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 8 Hz

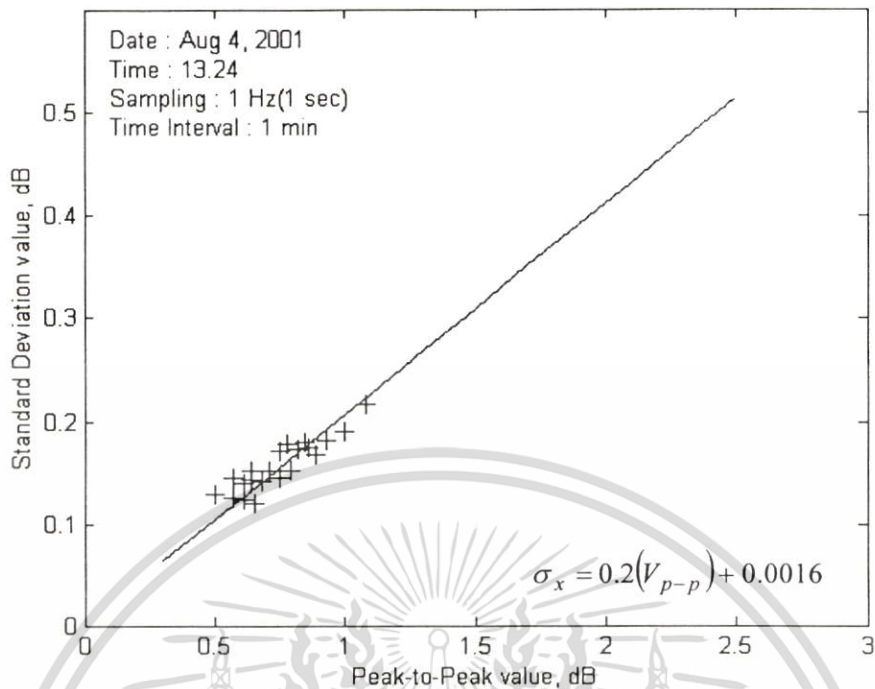


รูปที่ 4.15 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 4 Hz

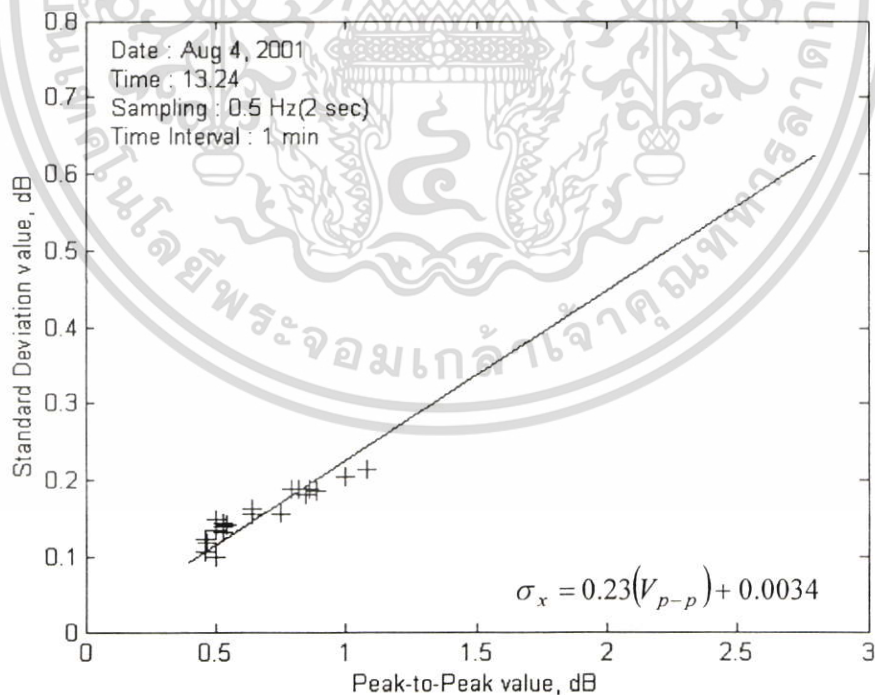


รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 2 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

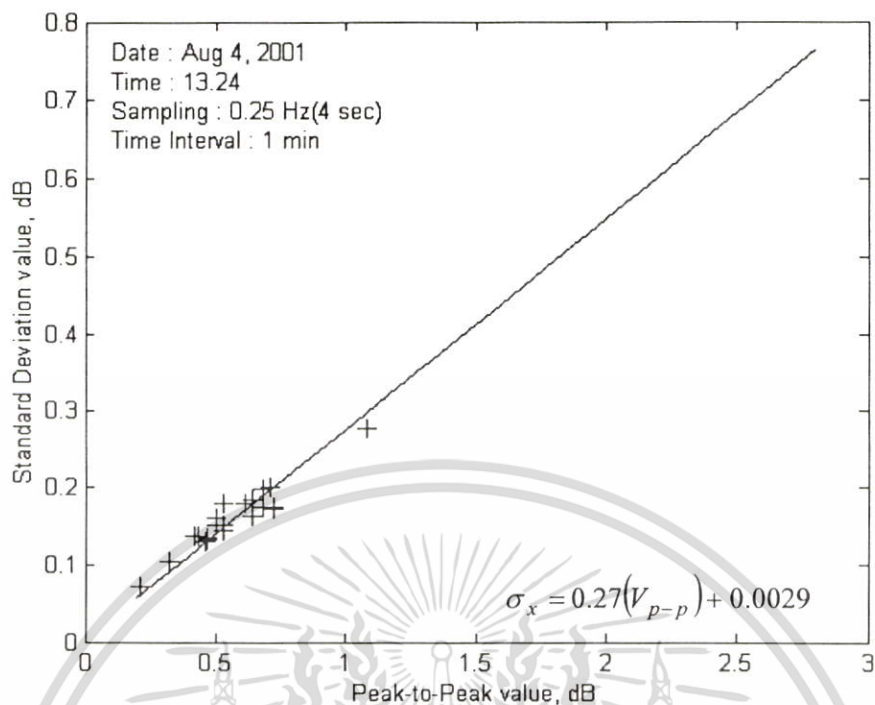


รูปที่ 4.17 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 1 Hz



รูปที่ 4.18 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku อัตราการสุ่ม 0.25 Hz

จากการทดลองข้อมูลจำนวน 134 เหตุการณ์ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (α) ของแต่ละอัตราการสุ่มได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้น ของการเกิดซินทิลเลชันในย่านความถี่ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส

อัตราการสุ่ม	α	β	γ
8 Hz (125 msec)	0.16	0.001-0.1	0.85-0.999
4 Hz (250 msec)	0.17	0.001-0.1	0.85-0.999
2 Hz (500 msec)	0.18	0.001-0.1	0.85-0.999
1 Hz (1 sec)	0.20	0.001-0.1	0.85-0.999
0.5 Hz (2 sec)	0.23	0.001-0.1	0.85-0.999
0.25 Hz (4 sec)	0.27	0.001-0.1	0.85-0.999

สรุปวิธีการแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันขณะท้องฟ้าแจ่มใสเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_x = 0.16(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.17(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 4 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.18(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 2 Hz}$$

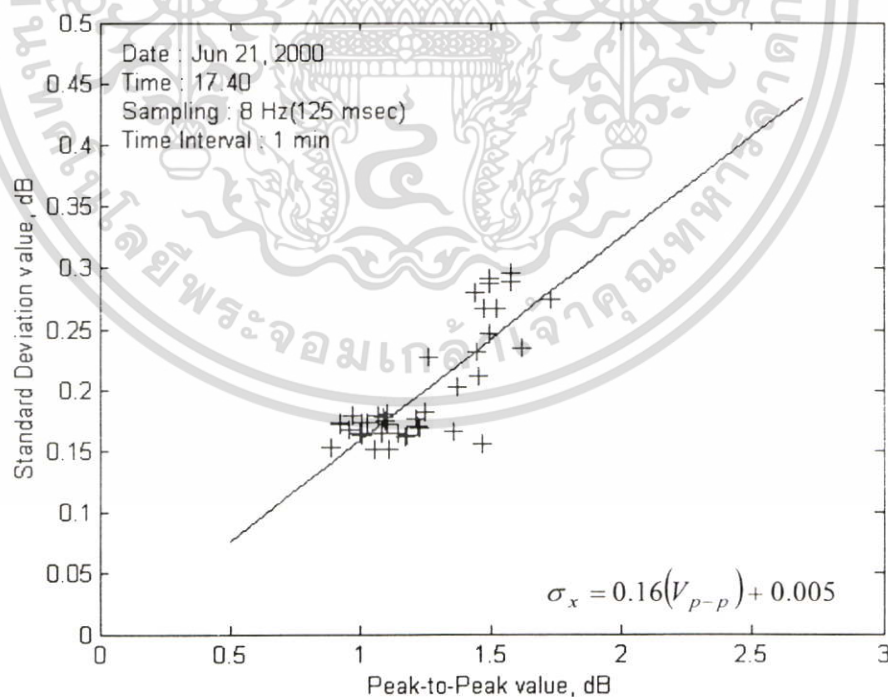
$$\sigma_x = 0.20(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 1 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.23(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 0.5 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.27(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 0.25 Hz}$$

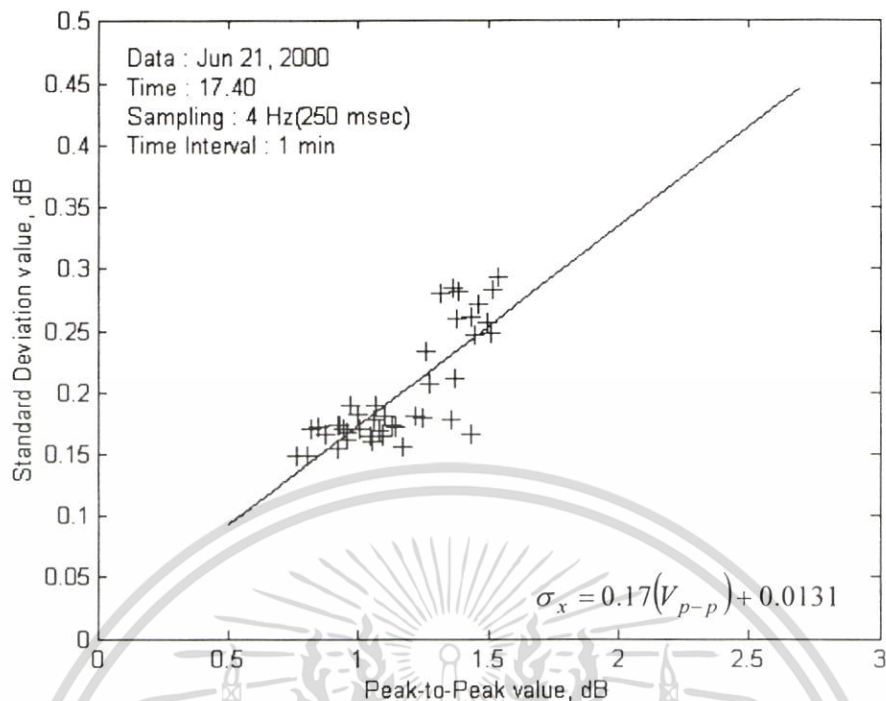
4.6.3 ผลความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku ที่แยกจากปรากฏการณ์การลดทอน ในขณะที่ฝนตก

ข้อมูลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณในขณะที่มีฝนตก ซึ่งจะเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันพร้อมกับปรากฏการณ์การลดทอน ซึ่งในการทดลองต้องการเฉพาะปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ดังนั้นจึงต้องนำสัญญาณที่เกิดขณะฝนตกมาผ่านการแยกทั้งสองปรากฏการณ์ออกจากกัน โดยใช้วงจรกรองความถี่แบบปรับค่าได้ (ในหัวข้อที่ 3.4) โดยจะนำสัญญาณที่ผ่านการแยกแล้วมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ โดยใช้เงื่อนไขอัตราการสุ่ม และช่วงเวลาในการทดลองเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.6.2

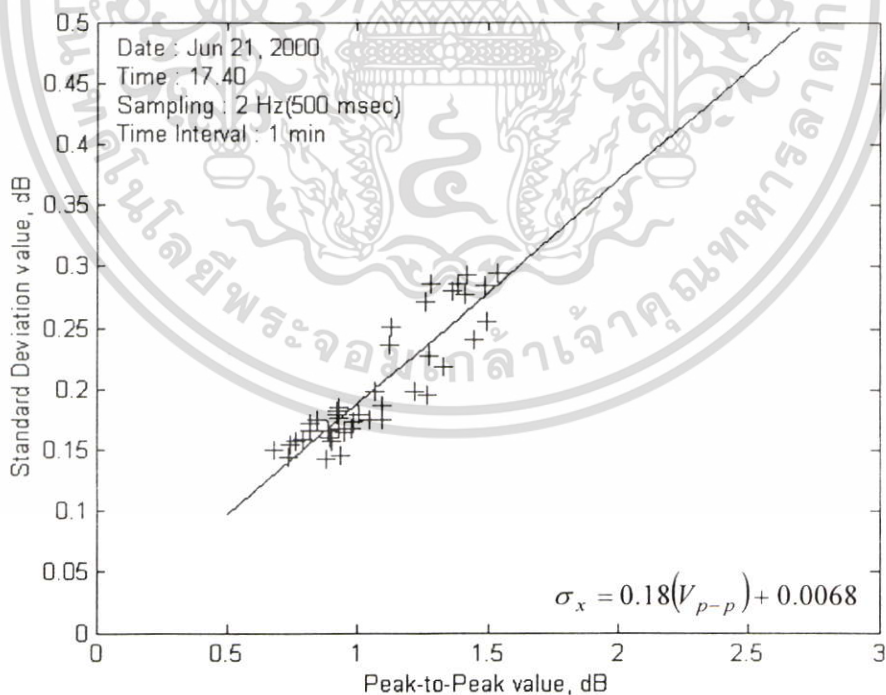


รูปที่ 4.20 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 8 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

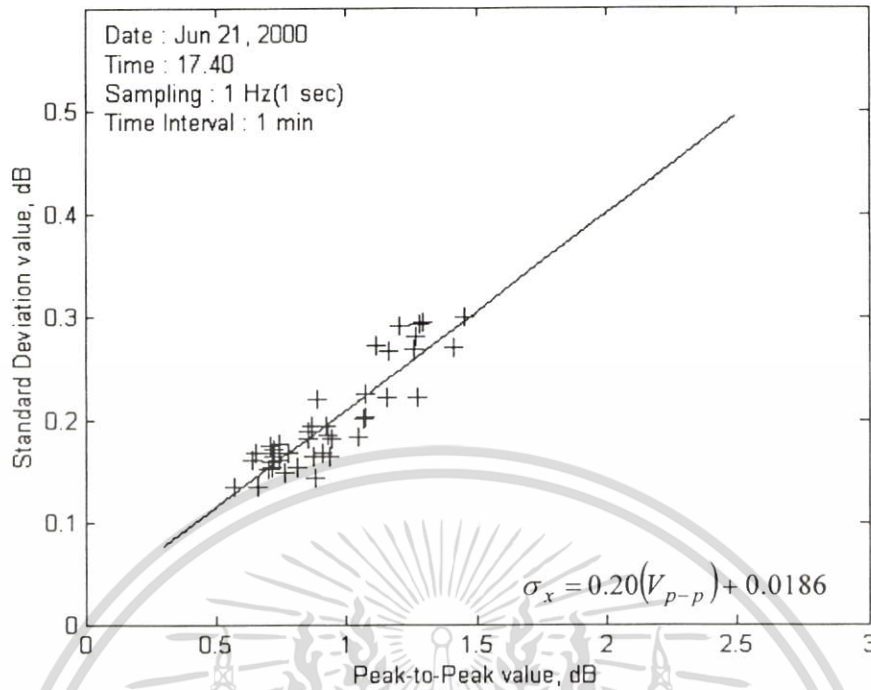


รูปที่ 4.21 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 4 Hz

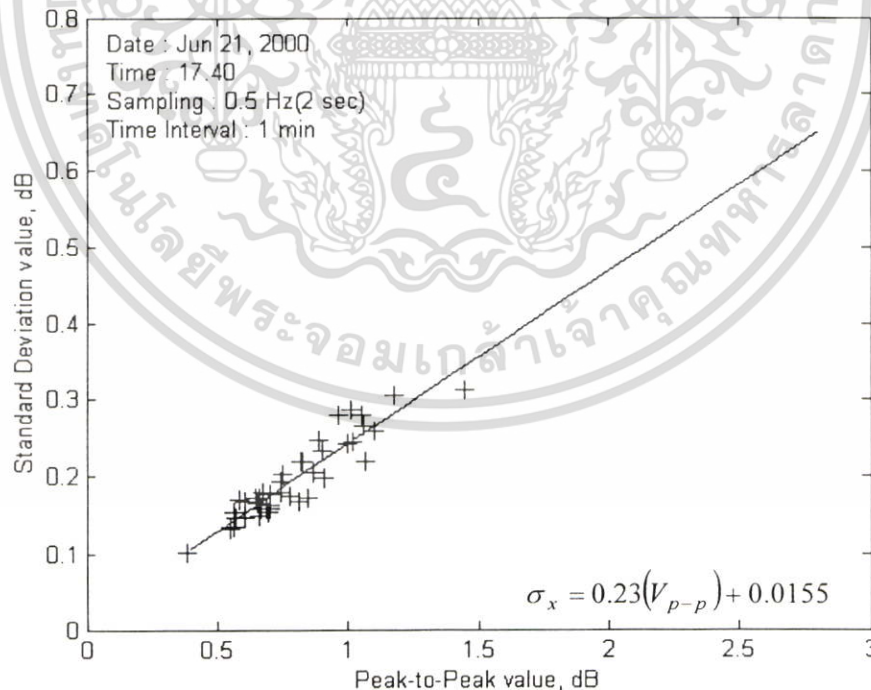


รูปที่ 4.22 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 2 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

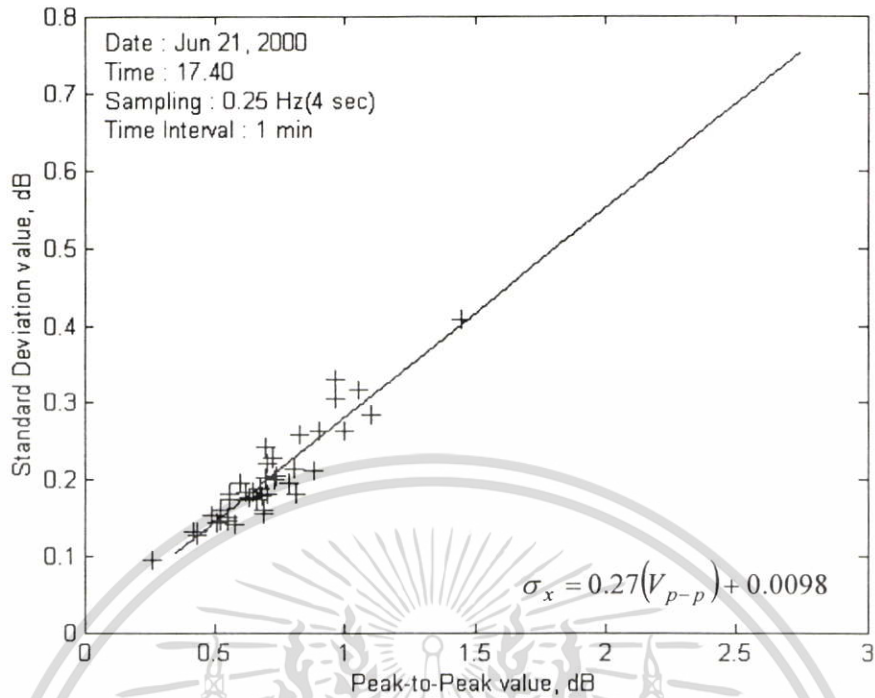


รูปที่ 4.23 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 1 Hz



รูปที่ 4.24 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 0.5 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก อัตราการสุ่ม 0.25 Hz

จากการทดลองข้อมูลจำนวน 59 เหตุการณ์ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (α) ของแต่ละอัตราการสุ่มได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าพารามิเตอร์ของสมการถดถอยเชิงเส้น ของการเกิดซินทิลเลชันในย่านความถี่ Ku ขณะฝนตก

อัตราการสุ่ม	α	β	γ
8 Hz (125 msec)	0.16	0.001-0.1	0.85-0.999
4 Hz (250 msec)	0.17	0.001-0.1	0.85-0.999
2 Hz (500 msec)	0.18	0.001-0.1	0.85-0.999
1 Hz (1 sec)	0.20	0.001-0.1	0.85-0.999
0.5 Hz (2 sec)	0.23	0.001-0.1	0.85-0.999
0.25 Hz (4 sec)	0.27	0.001-0.1	0.85-0.999

สรุปวิธีการแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันขณะฝนตก เป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_x = 0.16(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 8 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.17(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 4 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.18(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 2 Hz}$$

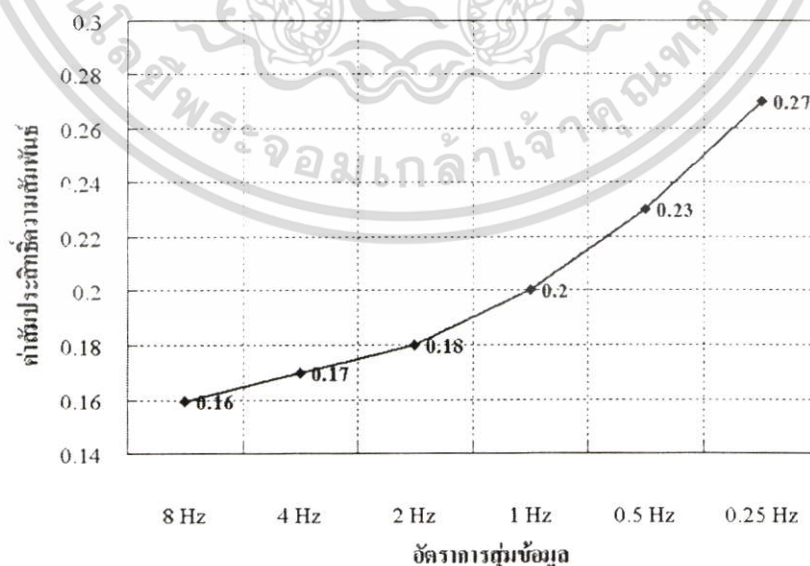
$$\sigma_x = 0.20(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 1 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.23(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 0.5 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.27(V_{p-p}) + \beta \text{ ที่อัตราการสุ่ม 0.25 Hz}$$

4.7 สรุป

ในบทนี้กล่าวถึงการนำสัญญาณที่ได้จากการทดลองวัดมาตรฐานตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดซินทิลเลชัน และตรวจสอบเงื่อนไขในการสุ่มตัวอย่าง ช่วงเวลาในการคำนวณเพื่อการแสดงการเกิดซินทิลเลชันที่เหมาะสม สรุปได้ว่า อัตราการสุ่มข้อมูล และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ คือ อัตราการสุ่มที่ 8 Hz (125 msec) 4 Hz (250 msec) 2 Hz (500 msec) 1 Hz (1 sec) 0.5 Hz (2 sec) และ 0.25 Hz (4 sec) ที่ช่วงเวลา 1 นาที จากการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสองสามารถใช้เป็นวิธีการแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันได้อีกวิธีหนึ่ง โดยมีสูตรความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองในทางคณิตศาสตร์คือ $\sigma_x = \alpha(V_{p-p}) + \beta$ โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับอัตราการสุ่ม และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการทดลอง และพบว่าทั้ง 3 กรณี คือการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันย่านความถี่ C ซินทิลเลชันย่านความถี่ Ku ในขณะที่ท้องฟ้าแจ่มใส และขณะฝนตก พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ที่เหมือนกัน แสดงดังรูป



รูปที่ 4.26 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ในแต่ละอัตราการสุ่ม ของข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชัน

ในย่านความถี่ C และ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส และขณะฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวัดและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันที่เกิดขึ้นในสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 2 ในย่านความถี่ C (3.916 GHz) และ Ku (12.260 GHz) ในสภาพภูมิอากาศ และภูมิประเทศในเขตร้อน (Tropical Zone) โดยเฉพาะประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร มีอากาศร้อนตลอดเวลา มีฝนตกชุกตลอดปี ทำให้ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันนี้มาก

ผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ มีหลายประการที่สำคัญ ๆ ซึ่งแยกออกเป็นข้อ ๆ ดังนี้

1. การเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C ในระหว่างวันจะเกิดมากในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 02.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาการปรากฏขึ้นของชั้น F ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจะเกิดมากในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน แต่ในฤดูร้อนจะพบสูงกว่าในฤดูอื่น ๆ

2. การเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku ในระหว่างวันจะเกิดมากในช่วงเวลาประมาณ 11.00 ถึง 16.00 น. ซึ่งมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากแสงแดด ส่วนการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลจะเกิดมากในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคมหรือในฤดูร้อนนั่นเอง

3. การวิเคราะห์ลักษณะความน่าจะเป็นของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันในสัญญาณผ่านดาวเทียมย่านความถี่ C และ Ku ในช่วงเวลาสั้น (short term) พบว่าข้อมูลที่เกิดซินทิลเลชันของสัญญาณมีการกระจายตัวทางสถิติใกล้เคียงกับการกระจายแบบเกาส์เซียน

4. การแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากน้ำฝน โดยการประยุกต์ใช้งานวงจรกรองความถี่ผ่านแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ ซึ่งใช้อัลกอริทึม QLMS และ VSQLMS ในการแยกทั้งสองปรากฏการณ์ออกจากกัน ผลที่ได้พบว่าการใช้วงจรกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ QLMS และ VSQLMS สามารถแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากสัญญาณอินพุตได้ และการใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอะแคปทีฟไอโออาร์ QLMS และ VSQLMS สามารถแยกปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณออกจากสัญญาณอินพุตได้

5. การวิเคราะห์ความหนาแน่นกำลังงานเชิงสเปกตรัม พบว่าปรากฏการณ์ซินทิลเลชันที่เกิดในย่านความถี่ C และ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส กับขณะฝนตก มีสโลปเป็น -8 และสโลป -1 สำหรับปรากฏการณ์การลดทอนเนื่องจากน้ำฝน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีสเปกตรัมของ Kolmogoro

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การวิเคราะห์หาอัตราการแซมปิ้งโดยกำหนดให้มีการสุ่มข้อมูลที่ 8 Hz (125 msec) 4 Hz (250 msec) 2 Hz (500 msec) 1 Hz (1 sec) 0.5 Hz (2 sec) และ 0.25 Hz (4 sec) ทั้งในย่านความถี่ C และ Ku พบว่าทุกอัตราการสุ่มที่ใช้ในการทดลองมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดี คือ ระหว่าง 0.85-0.999

7. การวิเคราะห์หาช่วงเวลาในการนำไปคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าแรงดันสูงสุดของระดับสัญญาณ พบว่าที่ช่วงเวลา 1 นาทีเป็นช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่ใช้ในการคำนวณ เพราะว่ามีเปอร์เซ็นต์การเกิดค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดี อยู่ในช่วง 0.85-0.999 มากที่สุด

8. การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับวิธีการแสดงปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ สามารถใช้เป็นวิธีการแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันได้อีกวิธีหนึ่ง โดยมีสูตรความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองในทางคณิตศาสตร์คือ $\sigma_x = \alpha(V_{p-p}) + \beta$ สามารถสรุปโดยรวมได้ดังนี้

- ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์จะต้องมีค่าสัมประสิทธิ์ของสหสัมพันธ์ที่ดี คืออยู่ระหว่าง 0.85-0.999

- ค่าที่เส้นถดถอยตัดแกน Y (β) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.001-0.1

- ความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการแสดงการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันด้วยค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับค่าแรงดันสูงสุดต่ำสุดของระดับสัญญาณ ในย่านความถี่ C และ Ku ขณะท้องฟ้าแจ่มใส และขณะฝนตก มีสูตรความสัมพันธ์คือ

$$\sigma_x = 0.16(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการแซมปิ้ง 8 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.17(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการแซมปิ้ง 4 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.18(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการแซมปิ้ง 2 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.20(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการแซมปิ้ง 1 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.23(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการแซมปิ้ง 0.5 Hz}$$

$$\sigma_x = 0.27(V_{p-p}) + \beta \quad \text{ที่อัตราการแซมปิ้ง 0.25 Hz}$$

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในบทวิจัยนี้ใช้สัญญาณที่รับจากจานสายอากาศเพียงขนาดเดียว และที่มุมเงยสูงเท่านั้นทั้งย่านความถี่ C และ Ku มาทำการทดลอง ทำให้ไม่เกิดการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการเปลี่ยนขนาดของจานสายอากาศ และมุมเงยสูง กลาง ตำแหน่ง ในย่านความถี่เดียวกัน ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์และตรวจสอบผลกระทบที่เป็นสาเหตุของการจางหายของสัญญาณ คือปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Louis J. Ippolito Jr. **Radiowave Propagation in satellite Communication**. New York : Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1986.
- [2] Max M. J. L. van de Kamp. et. al. "Frequency Dependence of Amplitude scintillation." IEEE Transactions on Antennas and Propagation. , vol. 47, January 1999. Pp. 77-85
- [3] รัชชัย อินทุโส. **การสื่อสารดาวเทียม**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. 2537.
- [4] สุวพันธ์ นิลายน. **อุตุนิยมวิทยา**. ครั้งที่พิมพ์ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.
- [5] J.E. Allnutt. **Satellite to Ground Radiowave Propagation**. London : Peter Peregrinus. 1989.
- [6] Davies Kenneth. **Ionospheric Radio**. London : Peter Peregrinus. 1989.
- [7] อภินันท์ มัชฌิมานนท์. **การเดินทางของคลื่นวิทยุ**. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2527.
- [8] D.J.Rasch and E.Essex. "Quasi-periodic scintillation events at southern auroral latitudes." Journal of Atmospheric , Vol. 56, No. 8, 1994. pp. 949-960.
- [9] E.L. Aframovich. et. al. "Characteristics of small-scale ionospheric irregularities as deduced from scintillation observations of radio signals from satellites ETS-2 and Polar Bear 4 at Irkutsk." Radio Science, Vol. 29, No. 4, July-August 1994. pp. 839-855.
- [10] นิภา ลีลาธุจี. "ปรากฏการณ์เบี่ยงเบนคลื่นแบบกึ่งพีเรียดในสัญญาณโทรทัศน". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [11] M.P.M. HaLL. et. al. **Propagation of Radiowaves**. London : The institution of Electrical Engineers. 1996.
- [12] Rec. ITU-R. 618-7, "Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunication systems", 2000
- [13] Y.karasawa, M. Yamada. et. al. "A New Prediction method for tropospheric scintillation on earth-space paths." IEEE Trans. Antennas Propagation. Vol. 36, November 1988, pp. 1608-1614.
- [14] I.E. Otung. "Prediction of Tropospheric Amplitude Scintillation on a Satellite Link." IEEE Trans. Antennas Propagation., vol. 44, December 1996, pp. 1600-1608

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] G. Ortgies. "Prediction of Slant-Path Amplitude Scintillation from meteorological Parameters." Proc. Of Int. Symp. On Radio Propagation. Beijing, China, Aug. 1993
- [16] V.Chutchavong. et. al. "Measurement and Examination of the Relation Between Scintillation Expression Methods." Cosmosquare International Education and training Center. July 18-22, 2001. pp. 421.
- [17] J.Nakasuwan. et. al. "Prediction Method for Scintillation Expression Converting Based on Local Measurement of Meteorological Parameters." The Merging Decade of Communication Systems and Information Technology. November 14-16, 2001. pp. 650-653.
- [18] CCIR Report 718-3, "Effects of tropospheric refraction on radio-wave propagation", **Report of the CCIR**, 1990; Volume V Propagation in non-ionized Media, (ITU, Geneva, 1990)
- [19] วิสุทธิ อธิพรธรรม. "การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [20] บัณฑิต วิจารณ์อารยานันท์. **หลักการไฟฟ้าสื่อสาร**. ครั้งที่พิมพ์ 6. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2539.
- [21] E.Otung. et. al. "Extraction Scintillations from Satellite Beacon Propagation Data." IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol. 46, No. 10, October 1998. pp. 1580-1581.
- [22] V.Chutchavong. et. al. "On Application of QLMS and VSQLMS Adaptive Digital Filter in Satellite Communication System." Instrument and Control Automation and System Engineers. October 16-19, 2002. pp. 1512-1516.
- [23] D.Vanhoenacker-Janvier and H.Vasseur. "Prediction of Scintillation Effects on Satellite Communications Above 10 GHz." IEE Proc.-Microw Antennas Propagation ., Vol. 142, No. 2, April 1995. pp. 102-108.
- [24] Emilio Matricciani. et. al. "Relationship Between Scintillation and Rain attenuation." Radio Science, Vol. 31, No. 2, March-April 1996. pp. 273-279.
- [25] Victor Roquet Lloret. et. al. "Spectral Characteristics of Propagation Impairments on Experimental Earth-Space Links at Ka And V Bands." 11th International Conference on Antennas and Propagation, No. 480, April 17-20, 2001. pp. 556-559.



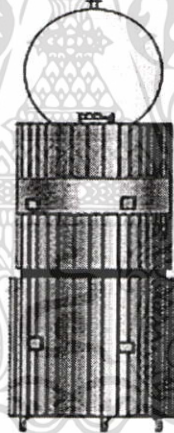
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ดาวเทียมไทยคม 2

1. คุณสมบัติของดาวเทียมไทยคม 2

ดาวเทียมไทยคม 2 เป็นดาวเทียมรุ่นแรกของโครงการดาวเทียมไทยคม เป็นดาวเทียมรุ่น HS-376 ผลิตโดย บริษัท ฮิวจ์ แอร์คราฟท์ ประเทศสหรัฐอเมริกาหรือบริษัท โบอิง ในปัจจุบัน พื้นที่ การให้บริการย่านความถี่ C-Band ของดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2 ครอบคลุม ประเทศไทย ลาว กัมพูชา เมียนมาร์ เวียดนาม มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ เกาหลี ญี่ปุ่น และชายฝั่งตะวันออกของ ประเทศจีน โดยมีความแรงของสัญญาณด้านขาลง (Down Link) ณ ประเทศไทย 36 dBW (เดซิเบลวัตต์) ส่วนพื้นที่การให้บริการในย่านความถี่ Ku-Band ของดาวเทียมไทยคม 1A และดาวเทียมไทยคม 2 ครอบคลุมประเทศไทยและประเทศในแถบอินโดจีน โดยมีความแรงของสัญญาณ ด้านขาลง (Down Link) 50 dBW (เดซิเบลวัตต์)



รูปที่ ก.1 ดาวเทียมไทยคม

ตารางที่ ก1. คุณสมบัติของดาวเทียมไทยคม 2

การออกแบบ	ดาวเทียมรุ่น HS-376 แบบ Dual spin
กำลัง	800 วัตต์
น้ำหนักขณะส่งขึ้นวงโคจร	1,080 กิโลกรัม
มวลในวงโคจร	เมื่อเริ่มใช้งานจะมีน้ำหนัก 629 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการใช้งาน จะมีน้ำหนัก 450 กิโลกรัม
อายุการใช้งาน	15 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

จำนวนช่องสัญญาณ	ย่านความถี่ C มีจำนวน 10 ทรานสพอนเดอร์ โดยความถี่ของช่องสัญญาณของดาวเทียมอยู่ที่ 36 เม็กกะเฮิร์ตซ์ ย่านความถี่ Ku มีจำนวน 3 ทรานสพอนเดอร์ โดยความถี่ของช่องสัญญาณอยู่ที่ 54 เม็กกะเฮิร์ตซ์
ความกว้างของช่องสัญญาณ	ย่านความถี่ C เท่ากับ 500 MHz ย่านความถี่ Ku เท่ากับ 250 MHz
ตำแหน่งวงโคจร	78.5 องศาตะวันออก
บริษัทนำส่งดาวเทียม	บริษัทเอเรียนสเปซ ประเทศฝรั่งเศส
วันให้บริการ	ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม 2537 เริ่มให้บริการในเดือนธันวาคม 2537

ส่วนประกอบ ของดาวเทียมไทยคม 1A, 2

ASSEMBLY OF THAICOM 1A, 2

Model : HS-4376

ดาวเทียมไทยคม 1A และ 2 เป็นดาวเทียมไทยคมรุ่นแรก

ที่ประเทศไทยได้พัฒนาขึ้น

โดยอาศัยความร่วมมือจากบริษัทเอเรียนสเปซ ประเทศฝรั่งเศส

และบริษัทเอเรียนสเปซ ประเทศฝรั่งเศส ในประเทศไทย

ใช้โมดูลและชิ้นส่วนประกอบดาวเทียมไทยคมรุ่นแรก

และระบบสื่อสารแบบดาวเทียม

ระบบโมดูลและชิ้น

ส่วนประกอบดาวเทียมไทยคม

ตัวควบคุมดาวเทียม

เป็นระบบที่ประกอบด้วยโมดูลควบคุมดาวเทียม
ที่ติดต่อกับโลก

อุปกรณ์รับและกระจายสัญญาณ

บนดาวเทียม

ชุดแบตเตอรี่

ชุดควบคุมดาวเทียม

ตัวควบคุมดาวเทียม ใช้เพื่อรับและส่งคำสั่ง

ไปยังดาวเทียมไทยคม 1A และ 2

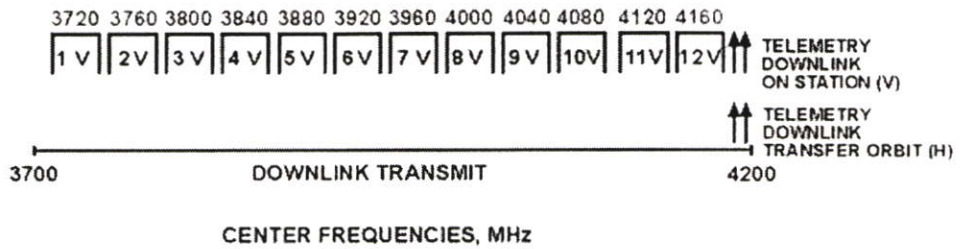
วงจรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของดาวเทียม

จากวงจรควบคุมดาวเทียมไทยคม 1A และ 2

รูปที่ ก.2 แสดงส่วนประกอบของดาวเทียมไทยคม

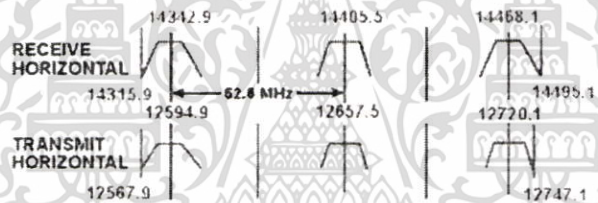
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THAICOM 2 C-BAND FREQUENCY AND POLARIZATION PLAN



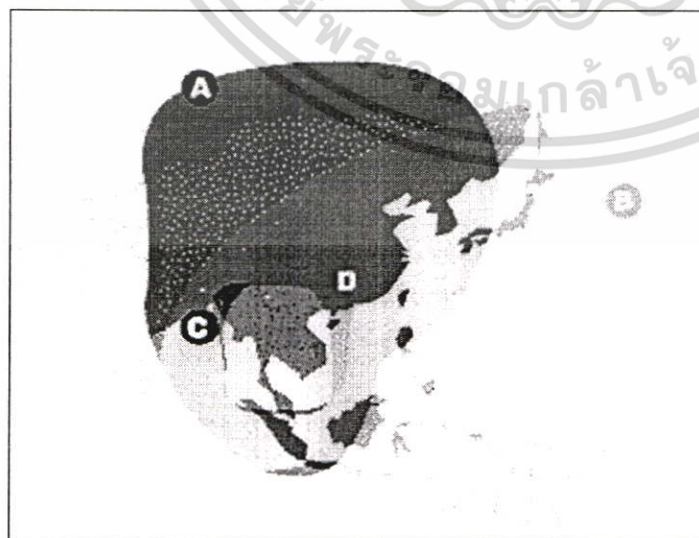
V = VERTICAL POLARIZATION
H = HORIZONTAL POLARIZATION

THAICOM 2 KU-BAND FREQUENCY AND POLARIZATION PLAN



รูปที่ ก.3 แสดงทรานสพอนเดอร์ในย่านความถี่ C และ Ku

2. พื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 2



- (A) THAICOM-1A
C-Band Regional Beam
- (B) THAICOM-2
C-Band Regional Beam
- (C) THAICOM-1A
Ku-Band Spot Beam
- (D) THAICOM-2
Ku-Band Spot Beam

รูปที่ ก.4 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

วงจรรองความถี่แบบอะแดปทีฟไออาร์ดิจิตอล

กำหนดให้สัญญาณอินพุต $x(n)$ คือระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ขณะฝนตก โดยบันทึกการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ 8 จุดต่อวินาที โดยที่เราไม่ทราบความถี่ของการเปลี่ยนแปลงของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน และปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากน้ำฝน ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณอินพุตผ่านตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแดปทีฟ IIR จะสามารถแยกปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันออกจากระดับสัญญาณได้ ในทำนองเดียวกันถ้าป้อนสัญญาณอินพุตผ่านตัวกรองความถี่ต่ำแบบอะแดปทีฟ IIR จะสามารถแยกการลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากน้ำฝนออกมาได้

1. ตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแดปทีฟ IIR (Adaptive IIR High-Pass Filter)

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองความถี่สูงผ่าน แสดงดังสมการ (ข.1)

$$H(z) = \frac{z^{-1} + a(n)}{1 + \rho a(n)z^{-1}} \quad (\text{ข.1})$$

เมื่อ $a(n)$ คือ Variable coefficient ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -2 ถึง 2 และ ρ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เป็นค่า Constant coefficient สำหรับอะแดปทีฟดิจิตอลฟิลเตอร์ จากสมการ (ข.1) จะได้เอาต์พุตของตัวกรองความถี่สูงเขียนสมการในขอบเขตของเวลาได้ตามสมการ (ข.2) และดิฟเฟอเรนเชียลเอาต์พุต ได้ดังสมการ (ข.3)

$$y(n) = x(n-1) - a(n)x(n) + \rho a(n)y(n-1) \quad (\text{ข.2})$$

$$\frac{\partial y(n)}{\partial a} = -x(n) + \rho y(n-1) \quad (\text{ข.3})$$

การใช้ Quantizing Gradient อัลกอริทึม เข้าช่วยจะสามารถลดเวลาในการคำนวณลงได้ ที่เรียกว่า QLMP อัลกอริทึมจะได้เป็นสมการใหม่

$$a(n+1) = a(n) - \mu \cdot \text{sgn}\{y(n) \cdot g(n)\} \quad (\text{ข.4})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $\text{sgn}(x) = x/|x|$, μ เป็น Step size parameter

ส่วน VSQMLS อัลกอริทึม สามารถทำการปรับค่า Step Size $\mu(n)$ ได้ดังสมการ (ข.5)

$$a(n+1) = a(n) - \mu(n) \cdot y(n) \cdot g(n) \quad (\text{ข.5})$$

$$\varphi(n) = \alpha\varphi(n-1) + (1-\alpha)y(n)y(n-1) \quad (\text{ข.6})$$

$$\mu(n+1) = \kappa\mu(n) + \beta\varphi^2(n) \quad (\text{ข.7})$$

เมื่อค่าพารามิเตอร์ $0 < \kappa < 1$, $\beta > 0$, $\mu(n+1)$ และ $0 < \alpha < 1$

2. ตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอะแดปทีฟ IIR (Adaptive IIR Low-Pass Filter)

ฟังก์ชันถ่ายโอนของตัวกรองความถี่ต่ำผ่านแสดงดังสมการ (ข.8)

$$H(z) = \frac{z^{-1} - a(n)}{1 - \rho a(n)z^{-1}} \quad (\text{ข.8})$$

ในการแสดงของสมการตัวกรองความถี่จัตตอลอะแดปทีฟ นี้จะทำเช่นเดียวกับสมการของตัวกรองความถี่สูงผ่านแบบอะแดปทีฟ IIR จะได้สมการเอาต์พุตและดิฟเฟอเรนเชียลเอาต์พุตดังสมการ (ข.9) (ข.10) ตามลำดับ

$$y(n) = x(n-1) - a(n)x(n) + \rho a(n)y(n-1) \quad (\text{ข.9})$$

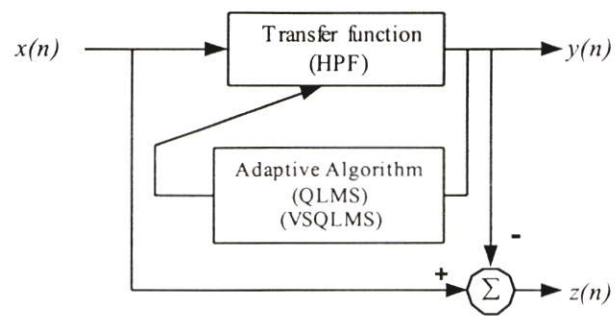
$$\frac{\partial y(n)}{\partial a} = -x(n) + \rho y(n-1) \quad (\text{ข.10})$$

3. บล็อกไดอะแกรมของตัวกรองความถี่แบบอะแดปทีฟ IIR

จากบล็อกไดอะแกรม $x(n)$ คือสัญญาณอินพุตดังกล่าวข้างต้น $y(n)$ เป็นเอาต์พุตซึ่งเป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่แยกจากอินพุต $z(n)$ เป็นการลดทอนในสัญญาณที่แยกจาก $x(n)$ ด้วยตัวกรองความถี่ต่ำ อธิบายดังสมการที่ (ข.11)

$$z(n) = x(n) - y(n) \quad (\text{ข.11})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 แสดงบล็อกโคอะแกรมของตัวกรองความถี่แบบอะแดปทีฟ IIR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

โปรแกรม QLMS Algorithm

```

clc;
load data.m;% load data attenuation
p=1;
u=0.001;
N=length(DATATEST');
n=0:N-1;
rh0=0.965;
data=data(:,:');
x=data;
x1=mean(x);
x2=x-x1;
subplot(3,1,1);
plot(x2);
axis ([0 20000 -3 1]);
y=zeros(size(x));
a=zeros(1,N+2);
dy=zeros(size(x));
for k=3:N-1;
    y(k)=-x(k-1)-a(k)*x(k)-rh0*a(k)*y(k-1);
    dy(k)=-x(k)-rh0*y(k-1);
    a(k+1)=a(k)-u*sign(y(k))*dy(k);
end
subplot(3,1,2);
plot(y);
grid;
axis ([0 20000 -3 1]);
z=x2-y;
subplot(3,1,3);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

plot(z);grid;

axis ([0 20000 -3 1]);



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

โปรแกรม VSQLMS Algorithm

```

clc;
clf;
load data.m; % load data attenuation
N=length(data');
n=0:N-1;
data=data(:,:);
x=data;
x1=mean(x);
x2=x-x1;
subplot(3,1,1);
plot(x2);
axis ([0 20000 -5 2.5]);
grid;
y=zeros(size(x2));
a=zeros(1,N+2);
dy=zeros(1,N+2);
pp=zeros(1,N+1);
sigma=0.989;
alpha=0.955;
r=0.43*ones(1,N+1);
gam=0.000006;
rho=0.965;
for k=3:N-1;
    y(k)=-x(k-1)-a(k)*x(k)-rho*a(k)*y(k-1);
    dy(k)=-x(k)-rho*y(k-1);
    pp(k+1)=sigma*pp(k)+(1-sigma)*y(k)*y(k-1);
    r(k+1)=alpha*r(k)+gam*pp(k)^2;
    a(k+1)=a(k)-r(k)*y(k)*dy(k);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end
subplot(3,1,2);
plot(y);axis ([0 20000 -5 2.5]);
grid;
z=x2-y;
subplot(3,1,3);
plot(z);axis ([0 20000 -5 2.5]);
grid;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] V.Chutchavong, O.Sangaroon, K.Janchitrapongvej, J.Nakasuwan and Y.Moriya.,
 “Measurement and Examination of the Relation between Ionospheric Scintillation
 Expression Methods in Equatorial Region.” International Symposium on Electromatic
 Compatibility. May 21-24, 2002 Beijing, China. pp.327-330.
- [2] O.Sangaroon, V.Chutchavong, J.Nakasuwan, J.Griwan, C.Benjangkaprasert and Y.Moriya.,
 “On Application of QLMS and VSQLMS Adaptive Digital Filter in Satellite
 Communication System.” Instrument and Control Automation and System Engineers.
 October 16-19, 2002. pp. 1512-1516.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2002 3rd International Symposium on Electromagnetic Compatibility

May 21-24, 2002 Beijing, China

Edited by
ZHANG Linchang
WEN Yinghong



IEEE
Networking
the World™



IEEE
PRESS



人民邮电出版社
PEOPLES POSTS &
TELECOMMUNICATIONS
PUBLISHING HOUSE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Measurement and Examination of the Relationship between Ionospheric Scintillation Expression Methods in Equatorial Region

V.Chutchavong*,O.Sangaroon*,K.Janchitrapongvej*,J.Nakasuwan** andY.Moriya***

*Research Center for Communication and Information Technology
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand 10520, E-mail:Ksornlar@kmitl.ac.th, kai_2521@hotmail.com

**Faculty of Engineering, Rajamangala Institute of Technology, Pratuptane, Thailand 12110

***1117 Kitakaname, Hiratsuka, Kanakawa

School of Engineering, Tokai University, Japan, 259-1292

Abstract: This paper examines the method for converting among scintillation expression methods, peak to peak values method and standard deviation values method, by using local measurement of meteorological parameters. Part I focus on tropospheric scintillation related to 12.260 GHz measurements at an elevation angle of 59.9°. Part II focus on ionospheric scintillation describes 3.916 GHz observations made on three years periods at KMITL, Bangkok, Thailand. The principle techniques finding the good correlation coefficient ranging from 0.900 to 0.999. As a result extremely the relationship between two methods is given by $\sigma_x = \alpha(p-p) + \beta$, where α is 0.14.

I. Introduction

Karasawa et-al [1] presented a prediction method for the calculation of standard deviation σ of signal variation. This method has come to be extensively used in the recent. Meanwhile, the technique of deriving a peak-to-peak value [P-P] has even longer history of use. One advantage of this latter approach is that it permits measurements to be made very simply without requiring any special measurement requirement. However, no examination of the relation between two scintillation expression methods. Thus we investigated the relationship between two approaches. We monitoring the downlink signal from Thai satellite in Thailand which is situate near equator, temperature always high all year and frequently heavy rainfall. We examined the scintillation phenomena, troposphere scintillation in part I [2] and ionosphere scintillation in this part.

II. Scintillation Expression Methods

There are two methods to express the magnitude of fluctuation scintillation, one is peak to peak values, read the maximum to minimum of receiving levels in any desired time. This method are easy to calculate and grasp, it can be applied to all types of scintillation. However this approach is not well applied to the analysis of long period. The other is to express ionospheric scintillation, the following two methods are used in addition to the peak to peak method [3] [4] [5]. Method using the S index can be presented by the following formula [6]:

0-7803-7277-8/02/\$10.00 ©2002 IEEE.

$$S_4 = \frac{\sigma_r}{m_x}$$

where, σ_x is the standard deviation of received signal power and m_x is the mean value. The other method, which employed the SI index,

$$SI = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max} + P_{min}}$$

where, P_{max} is the third peak value counted from the highest one, and P_{min} is the third lowest value counted from the lowest level.

The scintillation process is assumed to be a Zero-mean process with fluctuations about that mean. It can be represented by [5]

$$\sigma_x = \left(\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Where x is the difference between the random value
 x is the mean value
 n is the whole number of Data

In this paper we have report and discussed experimental result by this formula and compare with [P-P] value. It can be seen that the correlation between the two sets of values has a good coincidence

III. Overview of Collected Data

Table 1
Principal system parameters

Satellite	Thaicom2
Location of ground station	13°45'36"N 108°48'17"E
Location of satellite	78.5°E
Downlink frequency	3.916 GHz
Elevation angle	59.9°
Receive antenna type	Parabolic
Antenna Diameter	2.50 m
Data Sampling Rate	80 mS

Ionospheric scintillation are most prevalent in the equatorial region, and during periods of high sunspot activity. The results of selected data acquired from 1999-2001, Thaicom2 satellite received signals were performed at King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang, Bangkok, Thailand. The configuration of the earth stations used in this study is presented in table 1.

A. Seasonal variations

The example of the record signal in presence of severe of ionosphere occurring in night time shows in Figure1.

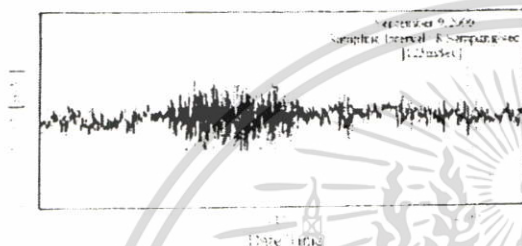


Figure1. Shows an example of the record signal in presence of severe of ionospheric scintillation occurring in night time.

We examined the level fluctuation of Ionosphere scintillation that arise in the observation periods from September,1999 to February,2001 in terms of standard deviation and peak to peak values using period of one minute (480 sample).Histogram of the level fluctuation in percentage during month of our observation period have show in Figure 2.

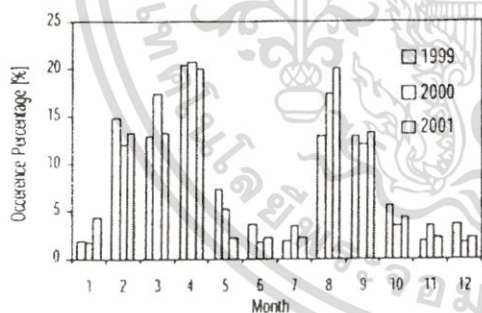


Figure2. Shows the level fluctuation in percentage of ionospheric scintillation on three year periods (1999-2001)

Figure2. shows histogram of the signal level fluctuation occurring at 3.916 GHz during 1999-2001. From Figure2. Shows the various fad depths. The ionosphere minimize during the summer months so that the annual variation becomes most conspicuous.

Figure3 shown the seasonal variation of amplitude fluctuation in each months. The pattern of all

fluctuation range varied hourly. We seen that the amplitude of ionosphere scintillation strength in night time period. The maximum occurrence number id 7.00-11.00 pm. However, in some days there was the ionosphere scintillation occurring in the morning or before evening due to irregularity structure.

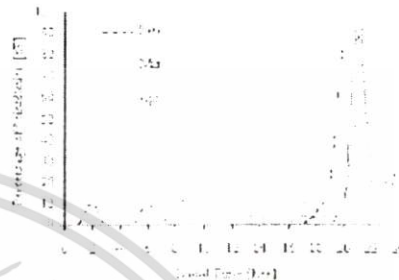


Figure 3. shown the percentage of diurnal variation of the mean value of Ionosphere scintillation

B. Statistical Distribution of Scintillation Parameters.

The Gaussian distribution is obtained to a continuous variable of any signal. The probability is the type of [6]

$$p_x = e^{-T(x)}$$

where $T(x)$ is a non-negative second degree polynomial. If as parameters we used the mean, m and the standard deviation, σ then p_x is written in the usual way:

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

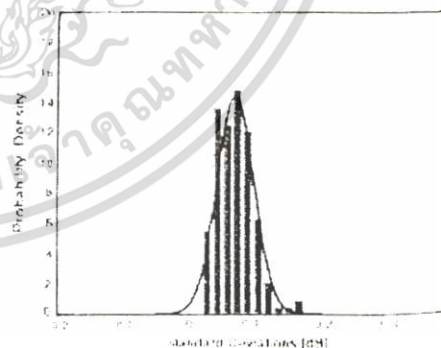


Figure4. Shows the example of histogram of the scintillation mean standard deviation(σ) at 3.916 GHz. Histogram intervals are linear scale, best-fitting long-term PDF is also indicated by solid line.

Histogram of δx express in linear scale, grouping the one year data set with respects to month on the seasons. Figure4 shows histogram of with respect to summer seasons only the month of March. Form 20 events, the mean value of standard deviation about 1.0-1.5 dB.

IV. Converting Method

The correlation coefficients between [P-P] values and standard deviation and the each property were investigated. It was confirmed that excellent correlation. The correlation coefficient γ ranging from 0.900 to 0.999. As the results, the relationship in [P-P] value and standard deviation value is given by [7] [8] :

$$\sigma_x = \alpha(\rho - \rho) + \beta$$

When

$$\alpha = \frac{n \sum_{i=1}^n (\rho - \rho) \cdot \sigma_x - \sum_{i=1}^n (\rho - \rho) \cdot \sum_{i=1}^n \sigma_x}{n \sum_{i=1}^n (\rho - \rho)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \sigma_x \right)^2}$$

$$\beta = \sigma_x - \alpha(\rho - \rho)$$

Figure5. Shows one example of excellent correlation between the [P-P] value and standard deviation value obtain from 30 example ionospheric scintillation which are most prevalent in the equatorial regions, measured in 2001, groping three year data set on an hourly basis with respect to month, only the month of April are shown.

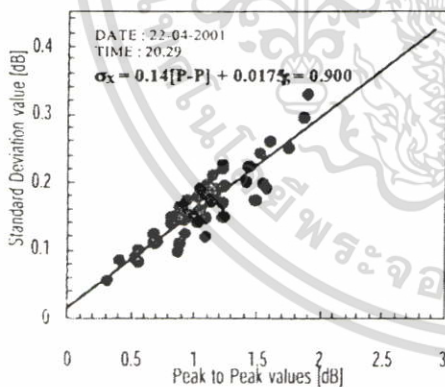


Figure5.shows the correlation between standard deviation corresponding peak to peak value in April, 2001

Figure6.shows one example of excellent correlation between the [P-P] value and standard deviation

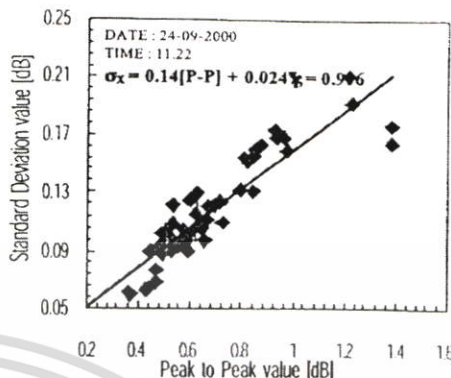


Figure6.shows the correlation between standard deviation corresponding peak to peak value on clear days in September, 2000

value, base on the measurement data obtained from 12.260 GHz, troposphere scintillation which occurring in clear sky, groping two year data set an hourly basis with respect to month, only the month of September, 2000 are shown. It seen to be that, the value of α is the number 0.14 at 12.260 GHz, the same as the value α at 3.916 GHz.

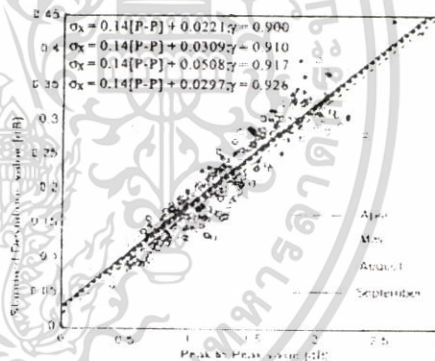


Figure7. month by month correlation between standard deviation and peak to peak value, in 2001.

Figure7. shows the same as Figure5. But comparing month by month of data recording in March, April, August and September. The relationship is given by:

$$\sigma_x = 0.14[P-P] + 0.0221; \gamma = 0.9 \text{ in March}$$

$$\sigma_x = 0.14[P-P] + 0.0309; \gamma = 0.91 \text{ in April}$$

$$\sigma_x = 0.14[P-P] + 0.0508; \gamma = 0.917 \text{ in August}$$

$$\sigma_x = 0.14[P-P] + 0.0297; \gamma = 0.926 \text{ in September}$$

Figure8. shows the Figure5. But measuring year by year. The relationship are given by:

$$\sigma_X = 0.14[P-P] + 0.0175; \gamma = 0.90 \text{ in 1999}$$

$$\sigma_X = 0.14[P-P] + 0.0260; \gamma = 0.90 \text{ in 2000}$$

$$\sigma_X = 0.14[P-P] + 0.0255; \gamma = 0.958 \text{ in 2001}$$

From the experiment are shows in Figure5, Figure7 and Figure8. It seen to be that, the value of α is the number 0.14 and β is values ranging 0.002-0.05

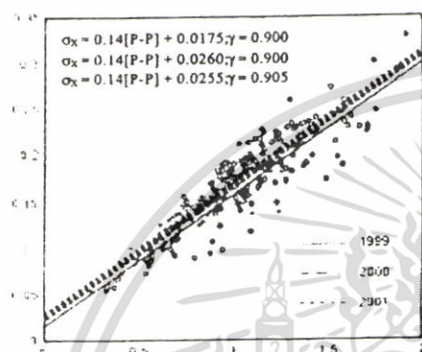


Figure8. year by year correlation between standard deviation and peak to peak value, in 2001.

V. Conclusion

This analysis is finding the excellent correlation coefficient and the relation between (P-P) values and standard deviation value for suggests the method for converting among two approaches. The relationship is given by $\sigma_X = \alpha(p-p) + \beta$. The principal finding as follows:

1. Based on an analysis of three-year data, excellent correlation coefficients were obtained ranging from 0.900 to 0.999.

2. The relationship between (p-p) and standard deviation values for ionosphere scintillation occurring in night time during clear sky represented by $\sigma_X = 0.14 (P-P) + \beta$ where β has ranging from 0.002-0.05. It is the same as the relation between two approached for troposphere scintillation during clear sky in KU-band [2].

3. Comparison with the data measuring in JAPAN [9]. Shows the same relationship in case of scintillation with out rain .

4. From this paper and [2] [10] , we can conclude that the relation between two approach are independent on frequency and any location.

5. The relation between (p-p) and standard deviation values are dependent on phase scintillation [2] [9], must be describes.

REFERENCE

- [1] Y.Karasawa, M.Yamada, and J.E.Allnutt, " A new prediction method for tropospheric scintillation on earth-space paths," IEEE Trans. Antennas Propagation., vol. 36, pp. 1608-1614, Nov. 1988
- [2] J.Nakasuwan, V.Chutchavong, O.Sangaroon, C.Benjankaprasert and Y.Moriya, " Prediction method for scintillation expression converting based on local measurement of meteorological parameter," Proceedings of ISCIT international symposium communications and Information Technology, pp. 650-653, Nov. 2001
- [3] V.I. Tatarski, Wave Propagation in a Turbulent Medium (trans. R.A. Silverman). New York: McGraw-Hill, 1961
- [4] J.W. Strohbehn, "Line-of-sight wave propagation through the turbulent atmosphere," Proc.IEEE, vol. 56, pp. 1301-1318, Aug. 1968.
- [5] A. Ishimaru, Wave Propagation and Scattering in Random Media. New Work: Academic, 1978
- [6] ITU International Telecommunication Union, "Effects of Tropospheric Refraction on Radio-wave Propagation," CCIR international radio consultative committee, report 718-3. 1978-1982-1986-1990.
- [7] Ferguson, George A and Takane, Yoshio, "Statistical Analysis in Psychology and Education" McGraw-Hill International Edition, 1989
- [8] Abdulrahman Ail Aboudabra, Y.Moriya, and M.Iida, "The Signal Level Indication Method for Tropospheric Scintillation of Ku-Band," Proceedings of the school of Engineering, Tokai University, vol. XXI (1996)
- [9] V.Chutchavong, O.sangaroon, N.Anantrasirichai, J.Nagamwiwit, K.Janchitraponvej and Y.Moriya, " Measurement and examination of the relation between scintillation expression methods," Progress In Electromagnetics Research Symposium 2001 Proceedings, pp 421, Jul. 2001

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	น.ส.วันวิสา ชัชวงษ์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2521
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2544
การศึกษาปัจจุบัน	ระดับปริญญาโท
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานระหว่างศึกษา	มีบทความตีพิมพ์ทั้งสิ้น 2 บทความ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้