

การศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่าน
ความถี่ เกยู

THE STUDY OF RAIN-ATTENUATION ON THAICOM 3 SATELLITE
SIGNAL IN Ku-BAND

อรรถสิทธิ์ เดชสงค์
ATTASIT DATSONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2634-2

การศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่าน
ความถี่ เคยู

THE STUDY OF RAIN ATTENUATION ON THAICOM 3 SATELLITE
SIGNAL IN Ku-BAND



อรรถสิทธิ์ เดชสงค์
ATTASIT DATSONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 63668
วัน,เดือน,ปี. 3 0 ส.ค. 2549

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2549

ISBN 974-15-2634-2

**THE STUDY OF RAIN ATTENUATION ON THAICOM 3 SATELLITE
SIGNAL IN Ku-BAND**

ATTASIT DATSONG

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

2006

ISBN 974-15-2634-2

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่านความถี่
เคยู
THE STUDY OF RAIN ATTENUATION ON THAICOM 3 SATELLITE
SIGNAL IN Ku-BAND

นักศึกษา นายอรรถสิทธิ์ เดชสงค์

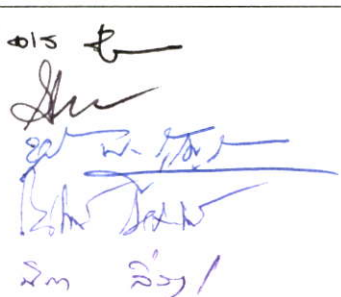
รหัสประจำตัว 46064117

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.นิภา ลีลารุจิ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จเร	สุรวัดน์ปัญญา	
ศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
ผศ.ดร.ชวงค์	พงศ์เจริญ พาณิชย์	
รศ.ณรงค์	เหมกรณ์	
รศ.นิภา	ลีลารุจิ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 พฤษภาคม 2549 เวลา 9.00-11.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-401)


บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียม
ไทยคม 3 ในย่านความถี่ เคยู

นักศึกษา

นายอรรถสิทธิ์ เศษสงค์

รหัสนักศึกษา

46064117

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโทรคมนาคม

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.นิภา ลีลาธุจิ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา และวิเคราะห์ ผลกระทบของการสื่อสารผ่านดาวเทียมใน ย่านความถี่ เคยู เนื่องจากฝนที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งตั้งอยู่ใน บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร ซึ่งสภาพภูมิอากาศในแถบนี้จะมีผลกระทบอย่างมากต่อการสื่อสารผ่าน ดาวเทียมในย่านความถี่เคยู โดยเฉพาะการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ซึ่งมีกระทบผล โดยตรงต่อคุณภาพของสัญญาณดาวเทียม การวัดสัญญาณนั้นจะทำการวัดสัญญาณตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548 ทำการเก็บข้อมูลระดับ สัญญาณดาวเทียมทางด้านขาลง และอัตราการตกของฝนไปพร้อม ๆ กันทุก ๆ 1 วินาที จาก การศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่เกิดฝนตกในช่วงเวลาตอนพลบค่ำเป็นส่วนมาก และอัตราการตกของฝน ที่มาก ๆ นั้นจะเกิดขึ้นเป็นช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และที่อัตราการตกของฝนที่น้อย ๆ นั้นจะเกิดขึ้นเป็น ระยะเวลาที่ยาวนานมาก ๆ ซึ่งระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องฝนที่มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 13 เดซิเบล และอัตราการตกของฝนสูงสุดเท่ากับ 170 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่ระยะเวลาการกระจาย สะสมในช่วง 1 ปีเท่ากับ 0.001 เปอร์เซนต์ เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับผลการลดทอนของสัญญาณ เนื่องฝนของแบบจำลอง ITU-R จะพบว่า ผลที่ได้จากการทดลองนั้น มีค่าต่ำกว่าแบบจำลองของ ITU-R ในเขต N และเขต P และจะนำข้อมูลเหล่านี้ไปออกแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณ ดาวเทียมเนื่องจากฝน เพื่อที่จะนำแบบจำลองนี้ไปทำนายผลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม

Thesis Title	The Study of Rain Attenuation on Thaicom 3 Satellite Signal in Ku-Band
Student	Mr. Attasit Datsong
Student ID.	46064117
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Nipha Leelariji
Thesis Co-advisor	Assoc.Prof. Narong Hemmakorn

ABSTRACT

This thesis presents the study and analysis of the rain attenuation on Thaicom 3 satellite signal in Ku-Band at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, where locate near the equatorial zone. The climate in this zone takes a severe effect in the satellite communication system in Ku-Band. Rain attenuation is the major effect that degrades the quality of satellite services. The analysis had been done by measuring the receiving signal level from Thaicom 3 for 24-hours a day from July 2004 to December 2005. The data of the received down link satellite signal and the rainfall rate are sampled at every 1 second. From measurement the rain event occurs in dusk, which high rain rate occur at short time, lower rain rate occur at longer time which caused rain attenuation maximum about 13 dB. The maximum rain rate 170 mm/hr at yearly cumulative distribution time is 0.001 percent. The comparison between measured rain attenuation and ITU-R model identifies that the values of measuring result are less than the values of ITU-R model in zone N and zone P. Furthermore, the analysis utilizes the measurement data to design the rain attenuation of satellite communication system in Ku-band model and employ this model to predict the impact of rain attenuation on satellite signal.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก รศ.นิภา ลีลารุจิ และ รศ.ณรงค์ เหมกรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้ง ในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ทั้งสองท่าน และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณฉิมพร บุญซึก และ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยสื่อสารควมเทียมและภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัยและคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อรรถสิทธิ์ เดชสงค์

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.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ผ่น.....	5
2.1.1 กระบวนการเกิดผ่น.....	5
2.1.1.1 กระบวนการชนกันและรวมตัวกัน.....	5
2.1.1.2 กระบวนการเบอร์เจอร์รอน.....	7
2.1.2 ประเภทของผ่น.....	8
2.1.2.1 ผ่นชั้นเดอรัสเตอร์ม.....	8
2.1.2.2 ผ่นท้องถิ่น.....	8
2.1.2.3 ผ่นไซโคลน.....	8
2.1.3 ลักษณะของผ่น.....	9
2.1.3.1 ผ่นละออง.....	9
2.1.3.2 ผ่นชุ่ม.....	9
2.1.3.3 ผ่นตกเป็นระยะ ๆ.....	9
2.1.3.4 ผ่นตกอย่างต่อเนื่อง.....	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.1.4 การวัดปริมาณน้ำฝน.....	10
2.2 ความถี่และความเข้มของสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม.....	11
2.2.1 ความถี่ที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม.....	11
2.2.2 ความเข้มของสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม.....	12
2.3 ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน.....	14
2.4 แบบจำลองของ ITU-R.....	20
2.5 แบบจำลองของ CRANE GLOBAL RAIN ATTENUATION.....	27
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ.....	32
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.1.1 งานสายอากาศและ LNB.....	32
3.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	33
3.1.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน.....	34
3.1.4 เครื่องนับปริมาณน้ำฝน.....	35
3.1.5 เครื่องค้ำล้อเกอร์.....	35
3.1.6 คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล.....	36
3.2 การแปลงข้อมูลจากระดับแรงดัน.....	37
3.2.1 การแปลงข้อมูลระดับแรงดันของฝนเป็นปริมาณการตกของฝน.....	37
3.2.2 การแปลงข้อมูลระดับแรงดันของสัญญาณดาวเทียมเป็นระดับสัญญาณดาวเทียม.....	38
3.3 การเปลี่ยนปริมาณสะสมของการตกของฝนให้เป็นอัตราการตกของฝน.....	39
3.3.1 อัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที.....	39
3.3.2 อัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 นาที.....	40
3.4 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายเดือนและรายปีของฝน.....	41
3.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายเดือน.....	41
3.4.2 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายปี.....	43
3.5 การหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนและรายปีของการลดทอนของสัญญาณ.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน.....	44
4.1 ปริมาณการตกของฝนและระยะเวลาในการตกของฝน.....	44
4.2 อัตราการตกของฝน.....	45
4.3 การกระจายสะสมของฝน.....	47
4.3.1 การกระจายสะสมของฝนรายเดือน.....	47
4.3.2 การกระจายสะสมของฝนรายปีของอัตราการตกของฝน.....	50
4.4 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน.....	51
4.4.1 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายเดือน.....	53
4.4.2 การกระจายสะสมรายปีของระดับการลดทอนของสัญญาณ.....	56
4.5 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนกับอัตราการตกของฝน.....	57
บทที่ 5 แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน.....	59
5.1 แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน.....	59
5.1.1 ระดับความสูงของฝน (h_R).....	60
5.1.2 ระยะทาง Slant-path (L_S).....	60
5.1.3 ระยะทางด้านแนวนอน (L_G).....	61
5.1.4 ห้อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ($R_{0.01}$).....	61
5.1.5 การลดทอนสัญญาณจำเพาะ (γ_R).....	63
5.1.6 แฟกเตอร์ที่ลดลงทางด้านแนวนอน ($r_{0.01}$).....	64
5.1.7 ระยะทางที่ได้รับผลกระทบจากฝน (L_E).....	65
5.1.8 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์.....	66
5.1.9 ทำนาค่าการลดทอนที่ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่าง ๆ.....	66
5.2 การหาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนตามแบบจำลอง ที่ได้จากการวิจัย.....	67
5.3 ผลการลดทอนของสัญญาณแบบจำลอง ITU-R.....	69
5.4 ผลการลดทอนของสัญญาณแบบจำลอง Crane.....	70
5.5 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดลอง.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	74
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	74
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
บรรณานุกรม.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารไมโครเวฟ.....12
2.2	ค่าคงที่ของตัวแปร N_0 และ \wedge19
2.3	ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวนอนของสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24.....23
2.4	ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวตั้งของสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24.....24
2.5	แสดงอัตราการตกของฝนในแต่ละโซน.....28
2.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ a และ b.....29
2.7	ค่าเฉลี่ยสะสมของขอบด้านบนและด้านล่าง.....30
3.1	ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบการวัด.....33
5.1	อัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....62

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	กระบวนการชนกันและรวมตัวกัน..... 6
2.2	การเพิ่มขนาดของหยดน้ำในก้อนเมฆ..... 6
2.3	กระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าในเมฆ..... 7
2.4	เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tripping bucket..... 10
2.5	แสดงย่านความถี่ “radio window”..... 11
2.6	การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการดูดกลืน..... 14
2.7	การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการกระจายของคลื่น..... 15
2.8	ระยะทางของสัญญาณที่ผ่านฝน..... 16
2.9	คลื่นวิทยุที่ผ่านเข้าไปในกลุ่มฝน..... 17
2.10	เส้นทางของสัญญาณผ่านดาวเทียม..... 21
2.11	ระดับความสูงของฝนที่ระดับอุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส (ITU-R P.839)..... 22
2.12	การแบ่งโซนของ ITU-R P.837-1..... 26
2.13	การแบ่งเขตพื้นที่ของแบบจำลอง Crane Global..... 27
2.14	ระดับความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ Isotherm..... 28
3.1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง..... 32
3.2	จานรับสัญญาณผ่านดาวเทียมย่าน Ku-Band..... 33
3.3	เครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมยี่ห้อ DANSAT รุ่น HR-727..... 34
3.4	เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิด Tipping Bucket..... 34
3.5	ภายในของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิด Tipping Bucket..... 35
3.6	เครื่องนับปริมาณน้ำฝน..... 35
3.7	เครื่องคาลิเบรตเตอร์..... 36
3.8	เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล..... 36
3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับปริมาณน้ำฝนที่วัดได้..... 37
3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับระดับความแรงของสัญญาณที่วัดได้..... 38
3.11	ปริมาณการตกของฝนสะสมที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที..... 39
3.12	ปริมาณการตกของฝนสะสมที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 นาที..... 40
3.13	ตัวอย่างของระยะเวลาการตกของฝนใน 1 เดือน..... 42
3.14	ตัวอย่างของระยะเวลาสะสมการตกของฝน..... 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ปริมาณการตกของฝนสะสมในแต่ละเดือน	44
4.2 ระยะเวลาในการตกของฝนสะสมในแต่ละเดือน	45
4.3 อัตราการตกของฝนในวันที่ 13 กรกฎาคม 2548 ที่อัตราการสุ่มทุก ๆ 1 วินาที	46
4.4 อัตราการตกของฝนในวันที่ 13 กรกฎาคม 2548 ที่อัตราการสุ่มทุก ๆ 1 นาที	46
4.5 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 วินาที ปีพ.ศ. 2547	47
4.6 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 วินาที ปีพ.ศ. 2548	48
4.7 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที ปีพ.ศ. 2547	49
4.8 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที ปีพ.ศ. 2548	49
4.9 การกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 วินาที	50
4.10 การกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที	51
4.11 ระดับของสัญญาณดาวเทียมที่วัดได้	52
4.12 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที	52
4.13 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 วินาที ของปี พ.ศ. 2547	53
4.14 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 วินาที ของปี พ.ศ. 2548	53
4.15 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 นาทีของปี พ.ศ. 2547	54
4.16 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 นาทีของปี พ.ศ. 2548	55
4.17 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 วินาที รายปี	56
4.18 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 นาที รายปี	57
4.19 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน	58
5.1 ลักษณะของแนวเส้นทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝน	59
5.2 ลักษณะของแนวเส้นทางที่ผ่านกลุ่มฝนที่มีมุมเงยของจานสายอากาศน้อยกว่า 5 องศา	60
5.3 ปริมาณการตกสะสมของฝนในแต่ละพื้นที่ในประเทศไทยของปี พ.ศ. 2548	62
5.4 ความสัมพันธ์ของความถี่กับการลดทอนของสัญญาณ	63
5.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของ k และ α	64
5.6 ระยะเวลาของผลกระทบต่อสัญญาณเนื่องจากฝน	65
5.7 ผลที่ได้จากแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน	68
5.8 ผลที่ได้จากแบบจำลองของ ITU-R	69
5.9 ผลที่ได้จากแบบจำลองของ Crane	70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10	เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดลอง 71
5.11	เปรียบเทียบแบบจำลองกับแบบจำลองอื่น ๆ 72

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันนี้การติดต่อสื่อสารมีความจำเป็นอย่างมาก ทำให้มีการพัฒนาทางด้านการสื่อสารอย่างรวดเร็ว เพื่ออำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกัน โดยการติดต่อสื่อสารนั้นมีอยู่หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การติดต่อสื่อสารที่ใช้สายเคเบิลเป็นตัวกลาง หรือการติดต่อสื่อสารที่ใช้อากาศเป็นตัวกลาง โดยเฉพาะการติดต่อสื่อสารที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางนั้นได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เพราะการติดต่อสื่อสารที่ใช้อากาศเป็นตัวกลางนั้นไม่จำเป็นต้องมีการใช้สายเชื่อมโยงให้ยุ่งยาก เพียงแค่มีเครื่องรับสัญญาณและเครื่องส่งสัญญาณก็สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้แล้ว แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางของเครื่องรับและเครื่องส่งสัญญาณอยู่ คือ เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นจะทำให้เครื่องรับไม่สามารถรับสัญญาณได้ เพราะระดับสัญญาณของภาครับที่รับสัญญาณได้นั้นมีกำลังลดลง และถ้าความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารของภาครับและภาคส่งสัญญาณมีความถี่ที่สูงขึ้น ก็จะทำให้ระยะทางของสถานีรับและสถานีส่งมีระยะทางที่สั้นลงไปอีก ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยดาวเทียมนั้นจะทำหน้าที่เป็นตัวทวนสัญญาณที่อยู่บนท้องฟ้า เมื่อเครื่องส่งทางภาคพื้นดินส่งสัญญาณขึ้นไปยังดาวเทียม ดาวเทียมก็จะรับสัญญาณและทำการขยายสัญญาณแล้วส่งลงมายังสถานีภาคพื้นดิน ถ้าต้องการให้การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมครอบคลุมทั่วโลกนั้นจะต้องใช้ ดาวเทียมในการติดต่อสื่อสารอย่างน้อย 3 ดวง ทำให้การสื่อสารผ่านดาวเทียมได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสาร ทางด้านข้อมูล ภาพหรือเสียง

การสื่อสารผ่านดาวเทียมในปัจจุบันนี้นิยมใช้ย่านความถี่อยู่ 3 ย่านด้วยกันคือ C-Band Ku-Band และ Ka-Band โดยย่านความถี่ C-Band จะมีความถี่ทางด้านขาขึ้น 6 กิกะเฮิรตซ์ และมีความถี่ทางด้านขาลง 4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งในย่านความถี่ C-Band จะมีผลกระทบต่อ การรับสัญญาณนั้นน้อยมาก แต่จะต้องใช้จานรับสัญญาณที่มีขนาดใหญ่มากจึงจะทำให้คุณภาพของสัญญาณดี แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้ความต้องการในการส่งผ่านข้อมูลที่มากขึ้นและอัตราการส่งข้อมูลที่เร็วขึ้น จึงได้นำย่านความถี่ Ku-Band มาใช้มีความถี่ทางด้านขาขึ้น 14 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ทางด้านขาลง 12 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อที่จะให้ได้อัตราการส่งข้อมูลที่เร็วขึ้นและมีขนาดของจานเล็กลง ทำให้สะดวกต่อการติดตั้งและการเคลื่อนย้าย แต่เนื่องจากความต้องการในการสื่อสารปัจจุบันนี้ยังเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จึงได้เริ่มใช้ย่านความถี่ Ka-Band มีความถี่ทางด้านขาขึ้น 30 กิกะเฮิรตซ์ และมีความถี่ทางด้านขาลง 20 กิกะเฮิรตซ์

ผลกระทบของการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นจะมีผลอย่างมากกับการสื่อสารที่ใช้ความถี่ที่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งผลกระทบเกิดขึ้นจากลักษณะตามธรรมชาติ เช่น ชั้นบรรยากาศ ก๊าซ และลักษณะอากาศบนพื้นโลก ไม่ว่าจะเป็นฝน โดยเฉพาะฝนนั้นจะมีผลกระทบอย่างมากต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมในย่านความถี่ Ku-Band และ Ka-Band ซึ่งสามารถทำให้การติดต่อสื่อสารขาดหายไปได้ โดยสามารถสังเกตได้จากเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม เมื่อเกิดฝนจะทำให้รับสัญญาณไม่ได้ในช่วงขณะหนึ่ง และเมื่อฝนหยุดตกหรืออัตราการตกของฝนลดลงจะทำให้สามารถรับสัญญาณได้ตามปกติ ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนนั้นจะต้องศึกษาอัตราการตกของฝน และระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแต่ละพื้นที่ เพื่อที่จะนำข้อมูลไปใช้สำหรับการออกแบบดาวเทียม โดยเฉพาะในย่านความถี่ Ku-Band ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่านความถี่เคยู เนื่องจากการสื่อสารผ่านดาวเทียมในย่านความถี่เคยู ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเพราะการสื่อสารที่ใช้ความถี่สูง ๆ นั้นจะทำให้สามารถส่งข้อมูลได้มากขึ้น และขนาดของจานรับสัญญาณผ่านดาวเทียมของสถานีภาคพื้นดินที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมมีขนาดเล็กลง ทำให้สะดวกต่อการติดตั้ง แต่เมื่อใช้ความถี่สูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อการสื่อสาร เช่น การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจะมีผลอย่างมากต่อระดับสัญญาณที่รับที่เครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียม โดยเฉพาะเครื่องรับที่ติดตั้งอยู่บริเวณที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เช่นประเทศไทย ซึ่งมีอัตราการตกของฝนที่สูง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ก็เพื่อศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่านความถี่เคยู และได้จัดทำแบบจำลองการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่เคยู เพื่อที่จะทำนายการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียม

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมนั้น จะมีความสัมพันธ์กันอัตราการตกของฝนกับความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร คือ อัตราการตกของฝนที่สูง ๆ นั้นจะทำให้ระดับการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมนั้นก็จะมากขึ้น แต่ถ้าอัตราการตกของฝนต่ำ ๆ ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมก็จะต่ำลง ส่วนความถี่ที่ใช้ในการสื่อสาร ถ้าความถี่สูงขึ้นระดับการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมก็จะเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วย นอกจากนี้ระดับการลดทอนนั้นจะสัมพันธ์กับระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝนด้วย ซึ่งระยะทางนั้นจะขึ้นอยู่กับมุมเงยของจานรับสัญญาณผ่านดาวเทียมด้วย เช่น ถ้าจานรับสัญญาณผ่านดาวเทียมมีมุมเงยที่สูงระยะทางของ

สัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝนก็จะน้อยลง แต่ถ้างานรับสัญญาณผ่านดาวเทียมมีมุมเงยที่ต่ำ ๆ ระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝนก็จะมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝน ความถี่ และมุมเงยของงานรับสัญญาณผ่านดาวเทียม

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ย่านความถี่เคยู นั้นนิยมใช้แบบจำลองอยู่ 2 แบบจำลองด้วยกันคือ แบบจำลองตามมาตรฐานของ ITU-R (International Telecommunications Union – Radio communications) และแบบจำลองของ Crane Global Rain Attenuation โดยทั้งสองแบบจำลองนี้ได้จัดทำแบบจำลองการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียม โดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นเขต แบบกว้าง ๆ หลายพื้นที่ด้วยกัน ด้วยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วน ๆ ทำให้แบบจำลองในแต่ละพื้นที่นั้นมีความละเอียดที่ไม่สูง จึงมีหลาย ๆ งานวิจัยด้วยกันที่ศึกษาและแก้ไขแบบจำลองของ ITU-R เช่น งานวิจัยการศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนในเขตพื้นที่แถบร้อนชื้นที่ประเทศบราซิล[1] โดยจะนำข้อมูลที่มีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันมาเปรียบ เพื่อศึกษาระดับการลดทอนของสัญญาณ และงานวิจัยแบบจำลองการลดทอนเนื่องจากฝนในเขตพื้นที่แถบร้อนชื้น โดยการแก้ไขแบบจำลองของ ITU-R [2] โดยจะนำข้อมูลทางด้านสถิติมาแก้ไขแบบจำลองของ ITU-R เพื่อที่จะให้ผลที่ได้ตามแบบจำลองนั้น ได้ผลที่ใกล้เคียงกับระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนมากที่สุด

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งใช้ย่านความถี่เคยู ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมในเขตพื้นที่ของกรุงเทพมหานครฯ โดยจะทำการศึกษารายละเอียดของสถิติของอัตราการตกของฝนที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และระดับการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่านความถี่เคยู เพื่อที่จะนำข้อมูลทางสถิติไปจัดทำแบบจำลองของการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 เนื่องจากฝนในย่านความถี่ เคยู

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีของฝน กระบวนการเกิดฝน ลักษณะของฝน ย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม วิธีการทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane Global Rain Attenuation

บทที่ 3 กล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้แต่ละอุปกรณ์ และวิธีการคำนวณค่าที่ได้จากการทดลองเพื่อไปทำการวิเคราะห์ผล

บทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นผลกระทบเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียม โดยจะวิเคราะห์ถึงอัตราการตกของฝนที่เป็นรายเดือนและรายปี ส่วนระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะวิเคราะห์ผลเป็นรายเดือนและรายปีเช่นเดียวกัน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการตกของฝนและระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน

บทที่ 5 กล่าวถึงการออกแบบจำลองการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียม วิธีการหาระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน ตามแบบจำลองที่ได้ออกแบบขึ้นและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากแบบจำลองของ ITU-R P.618 และ Crane Global Rain Attenuation

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และพื้นฐานของกระบวนการเกิดฝน ลักษณะประเภทต่าง ๆ ของฝน เครื่องมือที่ใช้สำหรับการวัดปริมาณน้ำฝน รวมทั้ง ยานความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารผ่านดาวเทียม ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน และวิธีการหาการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมจากแบบจำลอง ITU-R และ Crane Global Attenuation ด้วย

2.1 ฝน

2.1.1 กระบวนการเกิดฝน

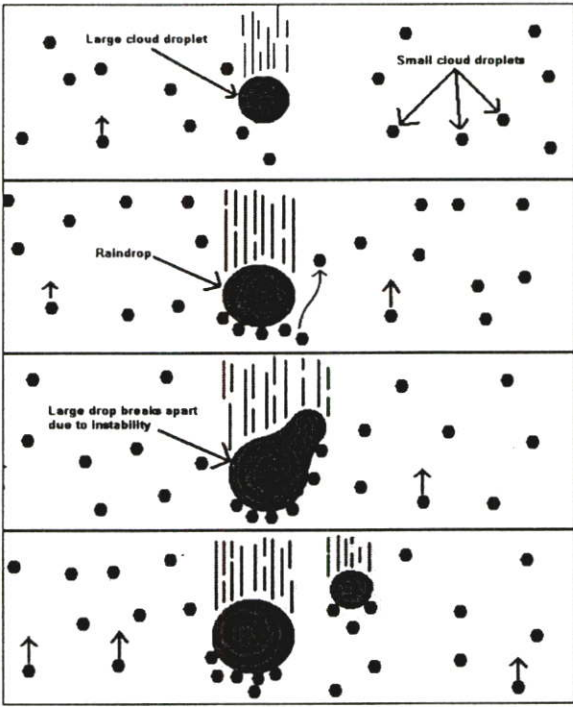
น้ำฟ้าต้องเกิดจากเมฆ ถ้าไม่มีเมฆจะไม่มีน้ำฟ้า แต่เมื่อมีเมฆไม่จำเป็นต้องมีน้ำฟ้าเสมอไป น้ำฟ้าเกิดจากการรวมตัวกันของเม็ดเมฆ (Cloud droplet) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก 0.1 - 0.2 มิลลิเมตร จำนวนเป็นล้านเม็ด โดยเม็ดเมฆนี้ยังไม่ตกลงสู่พื้นดิน เนื่องจากมีกระแสลมพัดขึ้นแนวตั้ง คอยต้านไว้ไม่ให้ตกลงมา ต่อเมื่อเม็ดเมฆรวมตัวกัน โดจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 1 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่านี้จะตกลงมาจากเมฆ สภาวะของน้ำฟ้าที่ตกลงมาจากท้องฟ้า อาจจะเป็นลักษณะของ ฝน ฝนละออง หรือ ลูกเห็บ การที่น้ำฟ้าจะตกลงมาเป็นสถานะใด ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ กระบวนการของหยดน้ำขนาดเล็ก ผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนเป็นฝนหรือลูกเห็บ มีอยู่ 2 กระบวนการ[3] คือ

2.1.1.1 กระบวนการชนกันและรวมตัวกัน (collision - coalescence process)

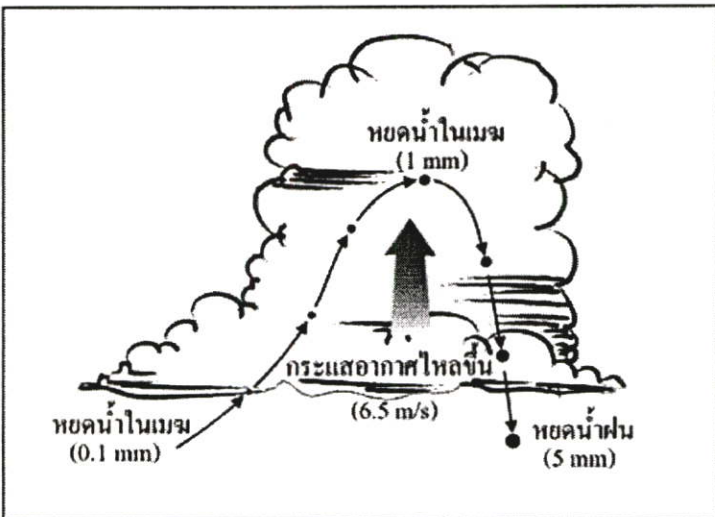
ในก้อนเมฆก้อนหนึ่งจะมีเม็ดเมฆ ขนาดต่าง ๆ หลายขนาด เม็ดเมฆขนาดใหญ่มีอัตราความเร็วมากกว่าขนาดเล็ก เม็ดเมฆจึงเคลื่อนที่เข้าชนเมฆขนาดเล็ก โดยเหตุนี้ เม็ดขนาดใหญ่และเล็กจึงชนกัน เกิดการรวมตัวมีขนาดใหญ่ยิ่งขึ้น เมื่อมีขนาดใหญ่มาก ก็อาจแยกออกเป็นขนาดกลาง มีการวิ่งชนกันกลายเป็น เม็ดน้ำขนาดใหญ่ขึ้น กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเรื่อยๆ เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ จนได้น้ำฟ้าจำนวนมากตกลงจากเมฆ ลักษณะเช่นนี้ จะเกิดจากเมฆที่มี อุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส เป็นเมฆอุ่นจึงเรียกน้ำฟ้าที่เกิดจากเมฆชนิดนี้ว่า น้ำฟ้าจากเมฆอุ่น (warm - cloud precipitation) มักเกิดในแถบโซนร้อน โดยกระบวนการชนกันและรวมตัวกันจะแสดงในรูปที่ 2.1

นอกจากนั้นกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) ยังช่วยให้เร่งอัตราการชนและรวมตัวให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อหยดน้ำมีขนาดใหญ่ประมาณ 1 มิลลิเมตร ซึ่งจะมีน้ำหนักมากพอที่จะชนะ

แรงพยุ่ง และตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก หยดน้ำที่ตกลงมาจากยอดเมฆชนและรวมตัวกับ
 หยดน้ำอื่นๆ ในขาลง ทำให้มีขนาดใหญ่และมีความเร็วมากขึ้นจนก็กลายเป็น
 “หยดน้ำฝน” (Rain droplets) ตกลงจากฐานเมฆ โดยมีขนาดประมาณ 2 - 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.2



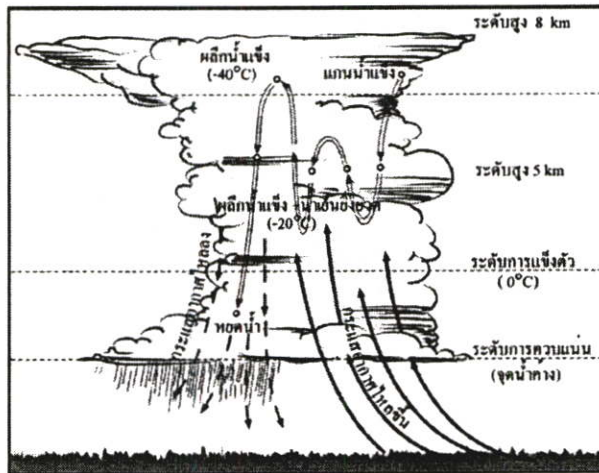
รูปที่ 2.1 กระบวนการชนกันและรวมตัวกัน



รูปที่ 2.2 การเพิ่มขนาดของหยดน้ำในก้อนเมฆ

2.1.1.2 กระบวนการเบอร์เจอร์อน (Bergeron process)

กระบวนการเบอร์เจอร์อนจะประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง ไอน้ำ และน้ำปนกันอยู่ ซึ่งทั้ง 3 สภาวะจะอยู่ด้วยกันในเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เรียกว่า น้ำเย็นยิ่งยวด (super cooled water) ซึ่งมีอยู่ในธรรมชาติเสมอ และเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ หยดน้ำเย็นยิ่งยวดนี้มีการรวมตัว กับผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากความดันไอน้ำอิ่มตัวในน้ำแข็งมีค่าน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นหยดน้ำ จึงมีการควบแน่นบนน้ำแข็ง และทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อผลึกน้ำแข็งโตพอ ก็จะตกลงจากเมฆ เป็นหิมะ แต่ถ้าอุณหภูมิจนของบรรยากาศสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส ก็อาจตกลงเป็นฝนได้ การเกิดน้ำฟ้าแบบนี้เกิดจากเมฆเย็น จึงเรียกว่าน้ำฟ้าจากเมฆเย็น (cold - cloud precipitation) มีนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการค้นพบกระบวนการนี้ 3 ท่าน คือ อัลเฟรดเวกเนอร์ (Alfred Wegener) ฟินเดเซน (Findeisen) และเบอร์เจอร์อน (Bergeron) บางครั้งจึงเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการเวกเนอร์ - เบอร์เจอร์อน - ฟินเดเซน (Wegener - Bergeron - Findeisen process)



รูปที่ 2.3 กระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าในเมฆ

เมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากพอที่จะชนะแรงพุง (Updraft) ก็จะตกลงมา ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และปะทะกับหยดน้ำเย็นยิ่งยวด ซึ่งอยู่ด้านล่างทำให้เกิดการเข็อกแข็งและรวมตัวให้ผลึกมีขนาดใหญ่ยิ่งขึ้นไปอีก นอกจากนั้นผลึกอาจจะปะทะกันเอง จนทำให้เกิดผลึกขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “เกล็ดหิมะ” (Snow flake) ในเขตอากาศเย็น หิมะจะตกลงมาถึงพื้นดิน แต่ในวันที่มีอากาศร้อน หิมะจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็น “ฝน” เสียก่อนแล้วจึงตกลงถึงพื้นดินดังรูปที่ 2.3

2.1.2 ประเภทของฝน

ชนิดของฝน จะสามารถบอกตามลักษณะที่ทำให้เกิดการเย็นตัว โดยการลอยตัวสูงขึ้นไป ได้ 3 แบบ [4] คือ

2.1.2.1 ฝนชั้นเคอร์สตอร์ม

ฝนชั้นเคอร์สตอร์มมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Convective หรือ thunder storm precipitation เป็นฝนแบบที่เกิดขึ้นทั่วไปในเขตร้อน (tropics) แต่ในเขตอบอุ่นก็อาจจะเกิดขึ้นได้บ้างในฤดูร้อน ทั้งนี้เป็นเพราะในวันที่อากาศร้อนนั้นอากาศบริเวณเหนือผิวโลก มักจะไม่เท่ากับอากาศบริเวณที่ติดกับผิวโลก ไอน้ำบริเวณผิวโลกจึงลอยตัวสูงขึ้นและเกิดการควบแน่นตามกระบวนการเย็นตัวแบบอะไดแบติกแบบหนึ่ง การที่ก้อนอากาศเหนือผิวโลกลอยตัวสูงขึ้นไม่ได้ก็เพราะว่าน้ำหนักของก้อนอากาศ จะเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับอุณหภูมิ

2.1.2.2 ฝนท้องถิ่น

ฝนท้องถิ่นมีชื่อเป็นภาษาอังกฤษว่า Orographic precipitation ฝนแบบนี้เกิดขึ้นเนื่องจาก warm air-mass ที่มีต้นกำเนิดจากแหล่งที่มีน้ำ ถูกบังคับให้ลอยตัวสูงขึ้นเพราะสภาพภูมิประเทศ ทำให้ก้อนอากาศเย็นตัว และเกิดการควบแน่นอะไดแบติก สภาพของภูมิประเทศที่สูงขึ้นนี้จะมีผลต่อการควบแน่น เพราะทำให้อุณหภูมิต่ำลงและอาจเกิดจากการขรุขระ (roughness) ของผิวภูมิประเทศ และพืชพรรณที่ขึ้นอยู่ทำให้ก้อนอากาศเกิดผสมคลุกเคล้ากันที่ การควบแน่นจึงง่ายขึ้น "ฝน" แบบนี้จะมีความหนักเบาต่ำ แต่จะตกสม่ำเสมอเกือบทั้งปี เนื่องจากสถานที่ตั้งที่ปริมาณฝนตกตลอดปีจึงมาก ตัวอย่างการเกิดฝนแบบนี้ ได้แก่ ภาคใต้ของประเทศไทย ภาคตะวันออก และภาคเหนือที่มีภูเขาสูง เป็นต้น

2.1.2.3 ฝนไซโคลน

ฝนไซโคลนมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Cyclonic precipitation กระบวนการเกิดฝนแบบนี้มีความคิดเห็นกันหลายกรณี แต่ที่เป็นเชื่อถือกันมากที่สุดก็คือ air-mass concept ถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถพิสูจน์ให้เห็นเด่นชัดนัก แต่แนวความคิดนี้เป็นที่พอใจของนักอุตุนิยมวิทยาหลายท่าน เพื่อความเข้าใจแจ่มแจ้งในเรื่องนี้ จำเป็นต้องรู้ความเป็นมาของการหมุนเวียนของบรรยากาศโดยทั่วไปเสียก่อน

กระบวนการเกิดไซโคลนตามแนวความคิดเกี่ยวกับ air-mass concept นี้ อธิบายได้ว่า เมื่อเกิดการควบแน่นในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร หรือแถบไหนก็ตาม เมฆหรือไอน้ำจะไม่ถูกควบแน่นจนหมด แต่จะยังมีไอน้ำที่เป็นก้อนอากาศอุ่นเหลืออยู่บ้าง ไอน้ำพวกนี้มีอุณหภูมิใกล้จุดน้ำค้าง แต่ไม่ควบแน่นและลอยอยู่ในระดับสูง โดยมักจะลอยไปอยู่ตามบริเวณขั้วโลกหรือที่อากาศเย็นมาก ๆ ก้อนอากาศก็จะกลายเป็นก้อนอากาศเย็น เนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ขั้วโลกนั้นมีน้อย ก้อนอากาศเย็นจึงไม่เคลื่อนย้ายไปได้ไกลนัก จะอยู่บริเวณนั้น ต่อมาก้อนอากาศบริเวณเส้นศูนย์สูตร ทั้งก้อนอากาศบริเวณใกล้พื้นดินและก้อนอากาศในระดับสูง จะมีการเคลื่อนย้ายเนื่องจากแรงเหวี่ยงของการหมุน

ของโลก แรงเหวี่ยงที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรนี้จะมีมาก สามารถพัดพาเอาก้อนอากาศอบอุ่นบริเวณใกล้ผิวโลก ไปตามทิศทางการหมุนของโลกได้ คือไปทางทิศตะวันออก แต่ก้อนอากาศอุ่นตอนบนเหนือผิวโลกขึ้นมาจะเฉียงไปทางขั้วโลกบ้าง ทั้งนี้เพราะแรงเหวี่ยงในที่สูงน้อยกว่าใกล้ผิวโลก ก้อนอากาศอุ่นที่เฉียงไปทางขั้วโลกนี้และจะไปเกิดคอนแทกคลูติง หรือการเย็นตัวในลักษณะของการสัมผัส กลายเป็นฝนได้ในที่สุด แต่เนื่องจากกระบวนการสัมผัสนี้รุนแรงมาก จึงทำให้เกิดการหมุนของก้อนอากาศเหมือนลักษณะของลมไซโคลอนนิก จึงเรียกว่าฝนไซโคลอน การเย็นตัวโดยสัมผัสกันแบบนี้จะทำให้เกิดบริเวณที่ผิวหน้าของก้อนอากาศอุ่นและเย็นสัมผัสกัน มีชื่อเรียกต่างกันไปดังนี้ คือ front, cold front, และ warm front

2.1.3 ลักษณะของฝน

ฝนที่ตกลงมานั้น ถ้าพิจารณาตามขบวนการเกิดฝน[5] สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.1.3.1 ฝนละออง(Drizzle)

ฝนละอองเป็นฝนที่ละอองน้ำหรือหยดน้ำที่มีขนาดเล็กมาก โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 มิลลิเมตรหรือเล็กกว่า เกิดจากเมฆตระกูลเมฆแผ่น คือเมฆสเตรตัส(Stratus) ที่อยู่ในระดับต่ำ ๆ ใกล้พื้นผิว บางครั้งแทบจะสัมผัสพื้นดิน ฝนประเภทนี้แสดงให้เห็นถึงความมีเสถียรภาพของอากาศ เพราะฝนละอองมักจะเกิดในกรณีที่ไม่มีกรยกตัวของอากาศในทางตั้ง ฝนละอองจะมีปริมาณไม่มากนัก และตกลงมาอย่างเป็นระเบียบ บางครั้งอาจวัดจำนวนไม่ได้แต่บางครั้งก็อาจวัดได้ถึง 1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โดยเฉพาะตามบริเวณชายฝั่งทะเลและภูเขา

2.1.3.2 ฝนชุก (Shower)

ฝนชุกเป็นฝนที่ตกในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ บนเนื้อที่ไม่กว้างขวางมาก เริ่มตกและหยุดได้ในทันทีทันใด และมีการเปลี่ยนแปลงความรุนแรงของฝนอย่างรวดเร็ว ฝนประเภทนี้จะตกจากเมฆตระกูลเมฆก้อนที่หนา เช่น เมฆคิวมูโลนิมบัส จึงเป็นลักษณะที่แสดงให้เห็นถึงความไม่มีเสถียรภาพของสภาพอากาศ และอาจมีลูกเห็บตกลงมาด้วยในกรณีที่มีการยกตัวของอากาศสูงขึ้นสู่เบื้องบนอย่างรวดเร็ว โดยทั่วไปหยดน้ำและอนุภาคของแข็งที่ตกลงมานั้นจะมีขนาดใหญ่

2.1.3.3 ฝนตกเป็นระยะ ๆ (Intermittent rain)

ฝนตกเป็นระยะ ๆ เป็นฝนที่ตกไม่ต่อเนื่องกัน โดยตกเป็นระยะ ๆ ตกแล้วหยุด หยุดแล้วตกใหม่อีก ฝนประเภทนี้เกิดจากเมฆแผ่น เช่น อัลโตสเตรตัส (Altostratus) และนิมโบสเตรตัส (Nimbostratus) ที่ปกคลุมท้องฟ้าอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน เป็นบริเวณกว้าง ๆ และมีการยกตัวของอากาศค่อนข้างช้า นอกจากนี้ยังมีลักษณะที่สำคัญที่แตกต่างจากฝน ชุก คือ ไม่เริ่มต้นและหยุดอย่างทันทีทันใดและไม่มีการกระจายของเมฆ จนกว่าฝนประเภทนี้จะหยุดไปโดยสิ้นเชิง ลักษณะอากาศแบบนี้ โดยปกติจะสัมพันธ์กับแนวปะทะอากาศหรือพายุหมุนที่ไม่ได้ผ่านบริเวณนั้นโดยตรง

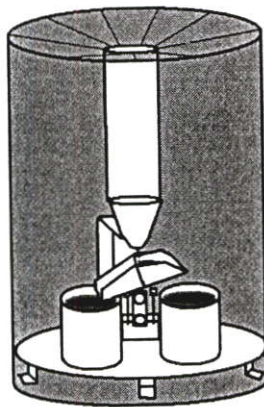
2.1.3.4 ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (Continuous rain)

ฝนตกอย่างต่อเนื่องเป็นฝนที่ตกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาที่นาน ๆ อาจตกตลอดทั้งตอนกลางวันและตอนกลางคืน ฝนหนาบ้าง บางบ้าง มักจะเกิดในขณะที่มีพายุหมุนพัดผ่านหรือลมมรสุมกำลังแรง หรือเวลาที่มีร่องความกดอากาศต่ำกำลังแรงพาดผ่าน

2.1.4 การวัดปริมาณน้ำฝน

การวัดปริมาณน้ำฝนก็เพื่อจะต้องการทราบจำนวนของฝนที่ตกลงมาและอัตราการตกของฝนในแต่ละปี วัน และเวลา นั้นๆ จากชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นดิน โดยการวัดนั้นจะทำการวัดปริมาณน้ำฝนที่โล่งแจ้ง ไม่มีอะไรมาปิดบัง

เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket [6] แสดงดังรูปที่ 2.4 มีหลักการทำงานกล่าวคือเมื่อฝนตก น้ำฝนจะตกลงสู่กรวยรับด้านบนของเครื่องวัด โดยที่ปากของกรวยนั้นจะมีริมฝีของกรวยอยู่ที่ตำแหน่ง แล้วจะไหลลงไประวมกันที่กระบอกเล็ก ๆ ที่ติดกันอยู่ทั้ง 2 ด้านที่มีขนาดที่เท่ากัน โดยจะสลับกันรับน้ำที่ไหลลงมาวมกัน คือเมื่อข้างใดข้างหนึ่งรับน้ำเต็มกระบอกก็จะเทน้ำทิ้งด้วยการยกอีกข้างหนึ่งขึ้นมารับน้ำแทน การสลับกันเทน้ำทิ้งแต่ละครั้งนั้นจะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ 1 ลูกเพื่อส่งไปยังเครื่องนับจำนวนต่อไป โดยปริมาณของกระบอกแต่ละข้างนั้นจะมีขนาดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร หรือ 0.25 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับสเปคของเครื่องมือั้นๆ



รูปที่ 2.4 เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket

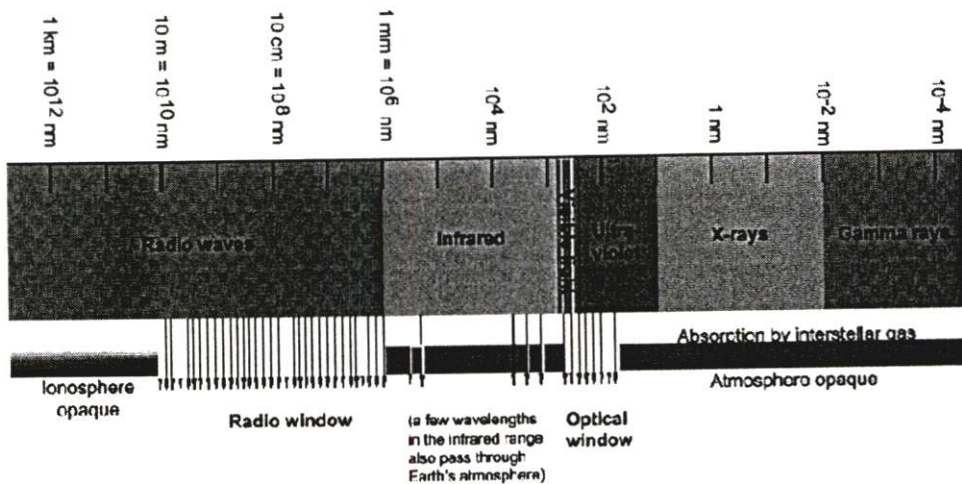
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ การตอบสนองที่เร็ว (Quick response type) เมื่อมีฝนตกเครื่องชนิดนี้จะรวมน้ำฝนไปที่กรวยซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 เซนติเมตร โดยน้ำจะไหลไปยังภาชนะแก้วที่มีน้ำ และน้ำมันบรรจุอยู่และจะถูกทำให้เป็นหยดน้ำด้วยปริมาณที่เท่ากันออกจากปลายท่อ ซึ่งจะมีปริมาณของหยดน้ำเท่ากับ 0.0083 เซนติเมตร โดยน้ำจะถูกตรวจจับทางอุปกรณ์ทางแสงที่ช่วงเวลา 1 นาที แล้วจะนำสัญญาณส่งต่อไปยังเครื่องนับและบันทึกด้วยเครื่องบันทึกต่อไป

2.2 ความถี่และความเข้มของสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม

2.2.1 ความถี่ที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียม

ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นจะต้องพิจารณาถึง การลดทอนเนื่องจากชั้นบรรยากาศเพราะถ้าใช้ความถี่ที่ต่ำก็จะเกิดการจางหาย เนื่องจากการดูดกลืนที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และถ้าใช้ความถี่ต่ำกว่าค่าความถี่วิกฤตก็จะเกิดการสะท้อนกลับที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์กลับมายังภาคพื้นดิน แต่ถ้าความถี่ที่ใช้นั้นสูงเกินไป เช่นความถี่ที่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ คลื่นก็就会被ดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศของโลก และจะเกิดการลดทอนสัญญาณเนื่องจากก๊าซ เมฆ หมอก และฝน

ดังนั้นจะต้องทำการเลือกช่วงความถี่ที่มีผลต่อการลดทอนที่น้อย โดยการเลือกความถี่นั้นทาง ITU-R ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะเรียกย่านความถี่นี้ว่า “Radio window” ตามรูปที่ 2.5 โดยเคิมได้กำหนดความถี่ไว้ตั้งแต่ 1 – 10 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นย่านความถี่เมื่อเปรียบเทียบกับย่านความถี่อื่น ๆ แล้วจะมีค่าระดับการลดทอนของสัญญาณที่น้อยกว่าย่านความถี่อื่น ๆ แต่เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีการใช้ย่านความถี่ในช่วง Radio window เป็นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องใช้ย่านความถี่ที่สูงกว่านี้ขึ้นไปอีก [7]



รูปที่ 2.5 แสดงย่านความถี่ “radio window” [8]

ส่วนความถี่ที่ใช้กับการสื่อสารผ่านดาวเทียม จะใช้หลักการเรียกชื่อคล้ายกับที่ใช้ในเรดาร์และไมโครเวฟ แต่ความถี่ที่ใช้งานอาจจะมีแตกต่างกันอยู่บ้าง ตามภารกิจและวิธีการใช้ความถี่ เช่น L-band, C-band, Ku-band, X-band, Ka-band ตามตารางที่ 2.1 ความถี่ที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันนี้คือย่าน C-band สัญญาณความถี่ขาขึ้น (Uplink) จะใช้ย่านความถี่ 6 กิกะเฮิรตซ์ และสัญญาณขาลง (Downlink) ใช้ย่านความถี่ 4 กิกะเฮิรตซ์ จึงนิยมเรียกว่า 6/4 กิกะเฮิรตซ์ ความถี่ C-band นี้อาจจะ

รบกวนกับการสื่อสารผ่านคลื่นไมโครเวฟบนภาคพื้นดินได้ง่าย ส่วนอีกย่านความถี่หนึ่งที่ใช้งานกันมากคือ Ku-band ใช้ความถี่ขาขึ้น 12- 14 กิกะเฮิรตซ์ และความถี่ขาลง 11 -12 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งนิยมใช้ในกิจการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยตรง (Direct Broadcast System: DBS) แต่มีข้อเสียหลัก ๆ ก็คือสัญญาณจะถูกลดทอนกำลังจากเมื่อดฝนค่อนข้างจะมาก ส่วนย่านความถี่ X-band ใช้ในกิจการทหาร ส่วนความถี่ย่าน Ka-band มีแนวโน้มจะนำมาใช้มากในอนาคต เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาคอนแอคชั่นของความถี่ที่ใช้งาน เช่น โครงการ IP-Star ของบริษัทไทยคม

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารไมโครเวฟ [9]

ย่านความถี่	ความถี่ (GHz)	ความยาวคลื่น (cm)
L-BAND	1 – 2	15 - 30
S-BAND	2 – 4	7.5 - 15
C-BAND	4 – 8	3.8 - 7.5
X-BAND	8 – 12	2.4 - 3.8
Ku-BAND	12 – 18	1.7 - 2.4
K-BAND	18 – 27	1.1 - 1.7
Ka-BAND	27 – 40	0.75 - 1.1
มิลลิเมตร	40-300	0.1 - 0.75

สำหรับความกว้างของแถบความถี่ (Bandwidth) การใช้งานปกติ C-band จะมีแถบความถี่กว้าง 500 เม็กกะเฮิรตซ์ โดยทั่วไปจะแบ่งได้ 12 ช่อง คาวเทียม (Transponder) จะมีแถบความถี่กว้างช่องละ 40 เม็กกะเฮิรตซ์ ซึ่งเพียงพอในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ได้ 1 ช่อง หรือส่งสัญญาณเสียงอนาล็อกได้ 1500 ช่องการสื่อสาร หรือสัญญาณโทรทัศน์ข้อมูลขนาด 50-10 เม็กกะบิต (Megabit) ได้ ความกว้างของแบนด์อาจจะกว้างขึ้นได้ถึง 1 กิกะเฮิรตซ์ หรือ 2 กิกะเฮิรตซ์ เช่นในย่านความถี่ EHF (Ka-band) ที่จะนำมาใช้ในอนาคต

โดยทั่วไปคาวเทียมแต่ละดวงจะถูกจำกัดด้วยความกว้างของความถี่ใช้งาน (Bandwidth) เช่น ย่านความถี่ C-band ซึ่งกว้าง 500 เม็กกะเฮิรตซ์ แบ่งได้ 12 ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ขนาดกว้าง 40 เม็กกะเฮิรตซ์ การทำให้คาวเทียมสามารถใช้งานได้มากขึ้นจะมีเทคนิคที่เรียกว่า ความถี่ซ้ำ (Frequency Re-use)

2.2.2 ความเข้มของสัญญาณที่ใช้ในระบบสื่อสารคาวเทียม

ปัจจุบันคาวเทียมสื่อสารเป็นแบบ Active คือ มีเครื่องขยายกำลังที่เรียกว่า ทรานสปอนเดอร์ อยู่บนตัวคาวเทียม โดยการส่งสัญญาณจากตัวคาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน (Earth Station)

ซึ่งสัญญาณจะถูกส่งจากงานสายอากาศของดาวเทียม แต่กระจายคลื่นผ่านอวกาศและรับโดยงานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียมของสถานีภาคพื้นดิน [10] โดยกำลังส่งออกจากดาวเทียม (Equivalent Isotropically Radiated Power: EIRP) สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$EIRP = P_t(dBw) - L_f + G_t \quad (dBw) \quad (2.1)$$

เมื่อ	EIRP	กำลังส่งออกจากดาวเทียม (dBw)
	P_t	กำลังส่งของดาวเทียม (dBW)
	L_f	การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่ง (dB)
	G_t	อัตราเพิ่มกำลังของงานสายอากาศส่ง (dB)

ส่วนกำลังของสัญญาณที่รับได้ P_R สามารถเขียนได้ตามสมการที่ 2.2

$$P_R = EIRP - L_s - L_a - L_R + G_{LNB} + G_r - L_{fr} \quad (dBw) \quad (2.2)$$

เมื่อ	P_R	กำลังของสัญญาณที่รับได้ (dBw)
	L_s	การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่างอิสระ (dB)
	L_a	การลดทอนเมื่อคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (dB)
	L_R	การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน (เมื่อไม่มีฝนเท่ากับ 0 dB) (dB)
	G_{LNB}	อัตราขยาย LNB ของงานสายอากาศรับ (dB)
	G_r	อัตราขยายของงานสายอากาศรับ (dB)
	L_{fr}	การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่งของภาครับสัญญาณ (dB)

ส่วนการการสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่างอิสระ(Free space propagation loss) L_s สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3

$$L_s = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (dB) \quad (2.3)$$

เมื่อ	d	ระยะทางจากดาวเทียมถึงงานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม (เมตร)
	λ	ความยาวคลื่น (เมตร)

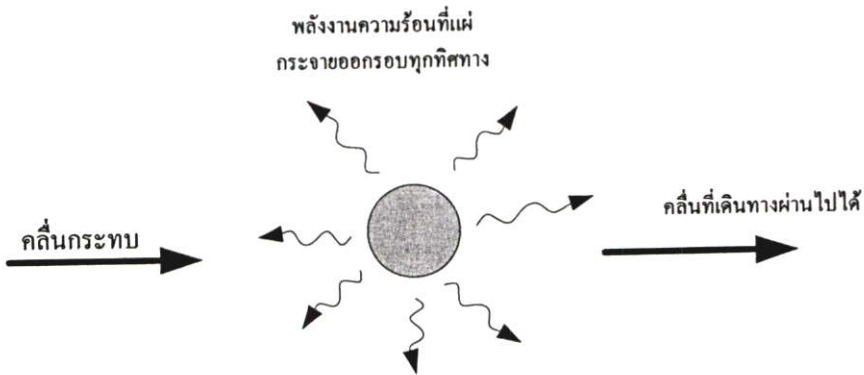
จากสมการที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าค่าการสูญเสียของการแผ่กระจายคลื่นในอวกาศ L_r จะมีค่ามากขึ้นผันแปรตามกำลังสองของระยะทางการแผ่กระจายคลื่น ดังนั้นการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่สถานีภาคพื้นดินควรมีงานสายอากาศที่มีอัตราขยายที่สูง เพื่อให้สามารถรับสัญญาณดาวเทียมที่มีกำลังที่ต่ำ ๆ ได้

2.3 ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน จะเกิดขึ้นในช่วงระยะทางระหว่างดาวเทียมกับงานสายอากาศรับเพราะในช่วงดังกล่าวจะส่งสัญญาณผ่านตัวกลางคือ อากาศ เพราะฉะนั้น เมื่ออากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงไปก็ทำให้คุณสมบัติของตัวกลางเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะเมื่อเกิดฝนจะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบการรับสัญญาณจากดาวเทียมที่ใช้ย่านความถี่ในการติดต่อสื่อสารมีความถี่ที่สูง ๆ [11][12][13] เช่น ย่านความถี่เคยู และ ย่านความถี่เคเอ ซึ่งจะมีสาเหตุหลัก ๆ อยู่ 3 ประการคือ

1) เกิดจากการดูดกลืนพลังงาน (Absorption)

การดูดกลืนพลังงานจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความยาวของคลื่นมีค่าที่ใกล้เคียงกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน เมื่อสัญญาณผ่านหยดฝนทำให้หยดฝนแต่ละหยดนั้นเปรียบเสมือนตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสกระจัด(Displacement Current) [14] ส่งผลให้พลังงานส่วนหนึ่งสูญหายไป ดังนั้นถ้าอัตราการตกของฝนที่สูงก็จะทำให้เกิดการสูญเสียเพิ่มขึ้น โดยลักษณะการดูดกลืนพลังงานนั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 2.6

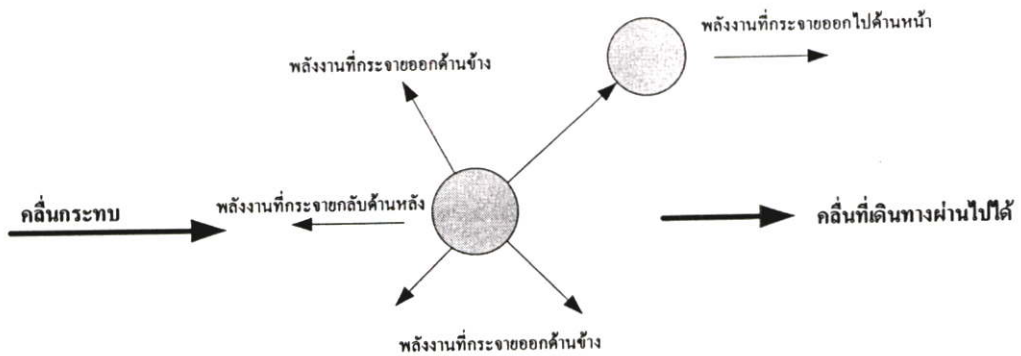


รูปที่ 2.6 การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการดูดกลืน

2) เกิดจากการแตกกระจายของคลื่น (Scattering)

การกระจายของคลื่นเกิดจาก คลื่นเดินทางไปกระทบกับหยดฝนจะทำให้คลื่นบางส่วนเกิดการแตกกระจายออกไปทิศทางต่าง ๆ รอบ ๆ หยดฝน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะของหยดฝน และทำ

ให้คลื่นที่ทะลุผ่านหยดฝนออกไปในทิศทางที่ตรงมีกำลังที่ลดลงไป ส่วนคลื่นที่สะท้อนกลับ ไปนั้น แล้วไปรวมกับสัญญาณตัวอื่น ซึ่งถ้าอยู่ในเฟสเดียวกันก็จะเสริมกัน แต่ถ้าคลื่นที่สะท้อนกลับนั้น ต่างเฟสกันก็จะทำให้สัญญาณเกิดการหักล้าง และการกระจายของคลื่นนั้นอาจทำให้ทิศทางของ คลื่นเปลี่ยนแปลง ไปเล็กน้อยได้ ซึ่งส่งผลทำให้ระดับกำลังที่งานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม นั้นมีค่าที่ลดลงไปได้ และระดับการลดทอนนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนด้วย โดยลักษณะ การกระจายของคลื่นนั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 2.7

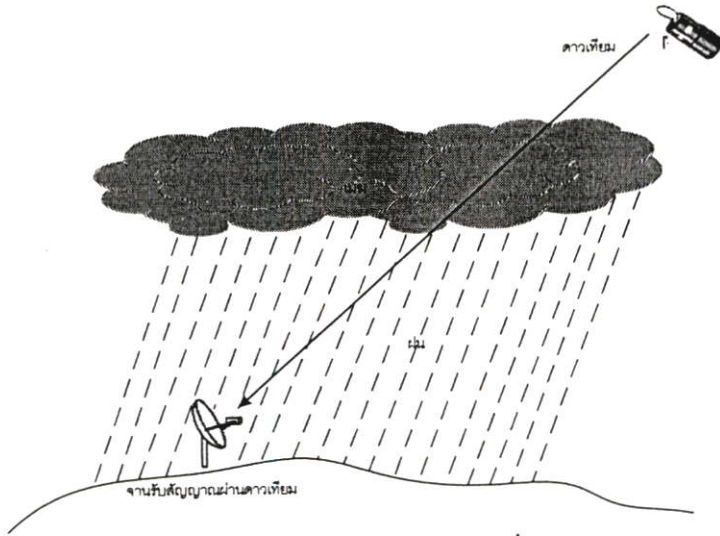


รูปที่ 2.7 การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการกระจายของคลื่น

3) การดีโพลาไรเซชัน (Depolarization)

การดีโพลาไรเซชันเกิดขึ้นเนื่องจากลักษณะของหยดฝนที่มีรูปทรงไม่สมบูรณ์ เมื่อมีลมพัด จะทำให้ลักษณะของหยดฝนไม่เป็นทรงกลมมากขึ้นไปอีก โดยเฉพาะกรณีที่มีฝนตกหนักมาก ๆ จะ ทำให้เม็ดฝนมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้การลดทอนของสัญญาณนั้นเพิ่มมากขึ้น

สำหรับระยะทางที่มีการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ถ้าระยะทางที่ไกลมาก ๆ ก็จะทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจะเพิ่มมากขึ้นตามระยะทางที่ผ่านกลุ่มฝน โดยขึ้นอยู่กับสถานที่ติดตั้งงานสายอากาศดาวเทียมนั้น ๆ หรือมุมเงยของงานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม ที่ทำมุมกับพื้นโลก โดยระยะทางดังกล่าวจะเรียกว่า Slant Path [15] สามารถดูได้จากรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ระยะทางของสัญญาณที่ผ่านฝน

ดังนั้นสามารถหาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้จากสมการที่ 2.4

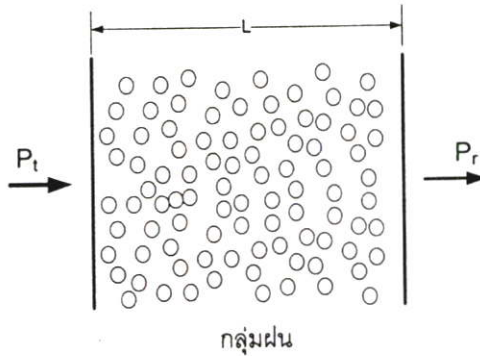
$$A = \int_0^L \alpha dx \quad \text{เดซิเบลต่อกิโลเมตร} \quad (2.4)$$

เมื่อ α เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนต่อระยะทาง ซึ่งจะคิดในหน่วยของ เดซิเบลต่อกิโลเมตร โดย x นั้นเป็นระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝนทั้งหมดจาก 0 กิโลเมตร จนถึง L กิโลเมตร โดยค่าการลดทอนนี้จะขึ้นอยู่กับ ดัชนีการหักเหเชิงซ้อนของเม็ดฝน ค่าความยาวคลื่น และรัศมีของเม็ดฝน ถ้าความยาวคลื่นมีความยาวมากกว่าหยดฝน การกระจายคลื่นก็จะ น้อยมากและถ้าความยาวคลื่นมีความยาวที่สั้นกว่าหยดฝนก็จะทำให้เกิดการกระจายคลื่นและการ ดูดกลืนที่มาก โดยความยาวคลื่นที่ยาวมาก ๆ นั้นจะมีความถี่ที่ต่ำและถ้าความยาวคลื่นสั้น ๆ จะมีความถี่ที่สูง ๆ การกระจายและการดูดกลืนที่มากจะเกิดขึ้นมาก เมื่อความถี่มากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน จึงต้องตั้งสมมุติฐานว่า เม็ดฝน แต่ละเม็ดนั้นจะมีลักษณะเป็นทรงกลมและความเข้มของคลื่นที่ลดลงเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล [16] เมื่อกลุ่มฝนมีระยะทางที่สัญญาณผ่าน L กิโลเมตร [16] สามารถดูได้จากรูปที่ 2.9 จะทำให้ได้ กำลังที่เครื่องรับได้ตามสมการ 2.5

$$P_r = P_t e^{-kl} \quad (2.5)$$

โดย P_r คือกำลังที่รับได้
 P_t คือกำลังงานที่ส่งเข้าไป

- k คือค่าสัมประสิทธิ์ของการลดทอน
- L คือระยะทางที่ผ่านกลุ่มฝน (Slant Path)



รูปที่ 2.9 กลิ่นวิฑูที่ผ่านเข้าไปในกลุ่มฝน

เมื่ออยู่ในรูปของการลดทอน (A) จะได้เป็น

$$A = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \quad \text{เดซิเบล} \quad (2.6)$$

เมื่อเปลี่ยนรูปจาก Logarithm ไปยัง เอ็กซ์โพเนนเชียล จะได้สมการ

$$A = kL \times 4.34 \quad \text{เดซิเบล} \quad (2.7)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจะได้ตามสมการที่ 2.8

$$k = pQ_i \quad (2.8)$$

เมื่อค่า p เป็นความหนาแน่นของหยดฝน และค่า Q_i เป็นค่ารวมของ Cross Section สามารถหาได้จากทฤษฎีการแตกกระจายของ MIE (Mie Efficiency Factor) ซึ่งจะอยู่ในฟังก์ชันของรัศมีของหยดฝน ความยาวคลื่น และดัชนีการหักเหของน้ำ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.9

$$Q_i = Q_s + Q_a = Q_i(r, \lambda, m) \quad (2.9)$$

เมื่อค่า Q_s เป็นค่า Cross Section เนื่องจากการสะท้อนของคลื่น ส่วน Q_a เป็นค่า Cross Section เนื่องจากการดูดกลืนของคลื่น การลดทอนนั้นจะเกิดขึ้นที่ทุก ๆ เม็ดของหยดฝน ดังนั้นจะต้องรวมทุก ๆ เม็ดของหยดฝนเข้าด้วยกัน แต่ขนาดของหยดฝนแต่ละหยดนั้นจะมีขนาดที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นในการหาค่าสัมประสิทธิ์ k จะต้องใช้การอินทิเกรตจากขนาดของหยดฝนตลอดแนวเส้นทาง

$$k = \int Q_i(r, \lambda, m) n(r) dr \quad (2.10)$$

เมื่อ $n(r)$ เป็นการกระจายของขนาดหยดฝน ซึ่งสามารถหา $n(r) dr$ ได้จากจำนวนของหยดฝนต่อปริมาตรฝน ดังนั้นสามารถหาค่าการลดทอนของสัญญาณต่อ 1 กิโลเมตรได้จากผลของค่า k ที่มีระยะทาง $L = 1$ กิโลเมตร

$$\alpha \left(\frac{dB}{km} \right) = 4.34 \int Q_i(r, \lambda, m) n(r) dr \quad (2.11)$$

โดยค่า Q_i (Cross-section) สามารถหาได้จาก

$$Q_i = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re}(a_n + b_n) \quad (2.12)$$

เมื่อ a_n และ b_n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ตามทฤษฎีการแตกกระจายของ MIE (Mie Efficiency Factor) แต่เนื่องจากการหาค่าตามสมการที่ 2.12 จะยากมาก เพื่อให้ง่ายขึ้นจึงพิจารณาตามเงื่อนไขของ Rayleigh scattering ซึ่งกำหนดให้ $2\pi r \ll \lambda$ จะได้ค่า a_n และ b_n ตามสมการที่ 2.13 และ 2.14

$$a_n = \frac{i}{4S} (m^2 - 1) \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right) + \dots \quad (2.13)$$

$$b_n = -\frac{2}{3} i \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right)^3 + \frac{1}{15} i \frac{m^4 - 1}{m^2 + 2} \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right)^5 + \dots \quad (2.14)$$

หรือสามารถหาค่า Q_i ได้จากสมการ

$$Q_i = \frac{8\pi^2}{\lambda} r^3 \operatorname{Im} \left[\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right] \quad (2.15)$$

ส่วนค่าของ $n(r)$ นั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 2.16

$$n(r) = N_o e^{-\wedge r} \quad (2.16)$$

เมื่อ r คือรัศมีของหยดฝน (มิลลิเมตร)

N_o, \wedge คือค่าคงที่ สามารถดูได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่ของตัวแปร N_o และ \wedge

ลักษณะการตกกระจาย	ตัวแปร N_o	ตัวแปร \wedge
Marshall-Palmer	8×10^3	$8.2R^{-0.21}$
Joss:		
drizzle	30×10^3	$11.4R^{-0.21}$
widespread rain	7×10^3	$8.2R^{-0.21}$
thunderstorm	1.4×10^3	$6R^{-0.21}$

เมื่อ R คืออัตราการตกของฝน

ดังนั้นจะได้ค่าการลดทอนของสัญญาณต่อ 1 กิโลเมตร

$$\alpha = 4.343 N_o \int Q_i(r, \lambda, m) e^{-\wedge r} dr \quad (2.17)$$

เมื่อคิดตลอดเส้นทางที่สัญญาณฝนกลุ่มฝนจะได้รับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนตามสมการ

$$A(\text{dB}) = 4.343 \int_0^L [N_o \int Q_i e^{-\wedge r} dr] dx \quad (2.18)$$

เนื่องจากการคำนวณหาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนตามวิธีการขั้นต้นนั้น จะต้องทราบถึงขนาดของเม็ดฝน ซึ่งยากมากที่จะสามารถหาขนาดของเม็ดฝนได้ ดังนั้นในการหา ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะใช้วิธีการทางด้านสถิติ เพื่อที่จะทำนายระดับการ ลดทอนของสัญญาณ โดยจะนำข้อมูลที่ทำการบันทึกไว้หลายๆ ปี มาวิเคราะห์ผล และออกแบบเป็น แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

2.4 แบบจำลองของ ITU-R

วิธีการคำนวณของ ITU-R P.618[17][18] เพื่อทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม โดย จะพิจารณาที่ 0.01% ของเวลาโดยมีค่าตัวแปรคือ

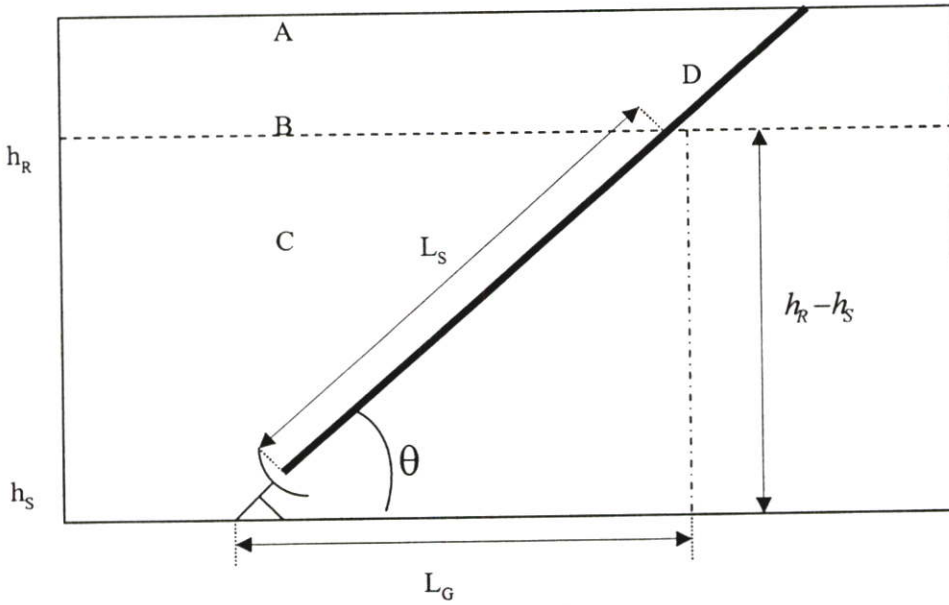
$R_{0.01}$	ค่าอัตราการตกของฝนที่ระยะเวลา 0.01% (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
h_s	ความสูงของงานสายอากาศรับที่เทียบกับระดับน้ำทะเล (กิโลเมตร)
θ	มุมเงยของงานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียม (องศา)
φ	ตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน
f	ความถี่ (GHz)

โดยลักษณะทางเรขาคณิตจะได้ตามรูปที่ 2.10

ขั้นตอนที่ 1. หาระดับความสูงของฝน h_R โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.11 (ITU-R P.839)

$$h_R = h_0 + 0.36 \text{ กิโลเมตร} \quad (2.19)$$

โดยค่า h_0 คือค่าความสูงที่ระดับความสูงที่ระดับอุณหภูมิเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส โดย สามารถดูค่า h_0 จากรูปที่ 2.11 ซึ่งประเทศไทยมีค่าเท่ากับ $h_R = 4.5 + 0.36$ จะได้เท่ากับ 4.8 กิโลเมตร



รูปที่ 2.10 เส้นทางของสัญญาณผ่านดาวเทียม

- A: ชั้นบรรยากาศ
- B: ระดับความสูงของฝน
- C: พื้นที่ที่ฝนตกลงมา
- D: แนวเส้นทางระหว่างจานสายอากาศรับกับดาวเทียม

ขั้นตอนที่ 2 สำหรับ $\theta \geq 5^\circ$ สามารถหาระยะทางของ L_s ได้จากความสูงของฝนตามสมการที่ 2.20

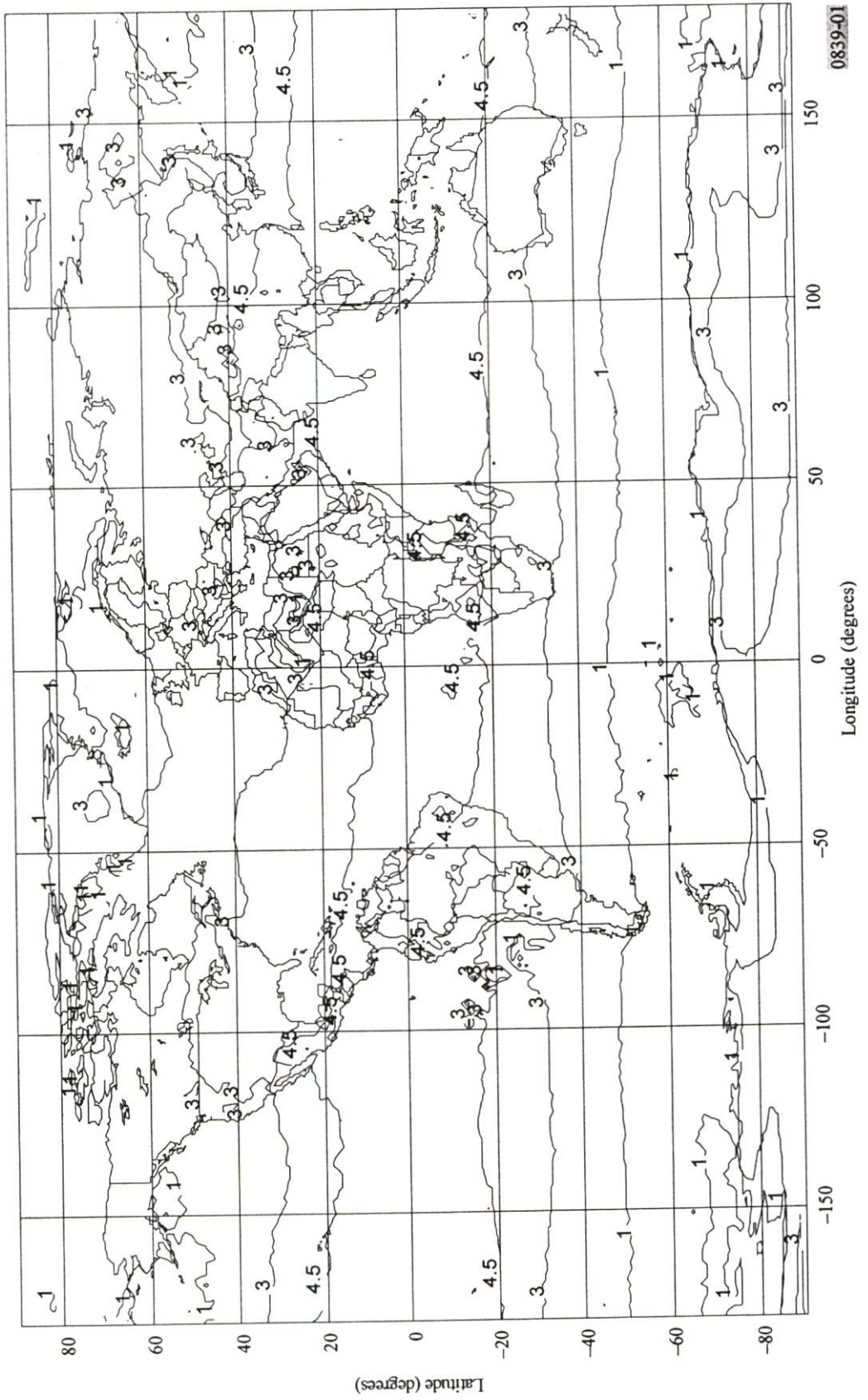
$$L_s = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.20)$$

สำหรับ $\theta < 5^\circ$ จะใช้สมการ 2.21

$$L_s = \frac{2(h_R - h_S)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.21)$$

เมื่อ R_e คือ Effective Earth Radius (ประมาณ 8,500 กิโลเมตร)

Yearly average 0° C isotherm height above mean sea level (km)



0839-01

รูปที่ 2.11 ระดับความสูงของพื้นที่ระดับอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (ITU-R P.839) [19]

ขั้นตอนที่ 3 จำนวนระยะแนวนอน L_G ของระยะทางที่สัญญาณผ่านฝนตามสมการ

$$L_G = L_S \cos \theta \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.22)$$

ขั้นตอนที่ 4 หารัศมีการตกของฝน $R_{0.01}$ คือมีระยะเวลาที่ฝนตก 0.01% โดยจะแบ่งเป็นแต่ละโซนพื้นที่ที่สามารถดูได้จากรูปที่ 2.12 กรุงเทพมหานครจะคิดโซน N และ โซน P มีอัตราการตกของฝนเท่ากับ 95 และ 145 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าการลดทอนจำเพาะ γ_R โดยสามารถดูได้จากสมการที่ 2.23 และ 2.24 ซึ่งได้มาจาก ITU-R P.838 [20][21] โดยจะมีค่า k และค่า α ซึ่งจะแยกเป็นแบบชั่วคราวแนวดิ่ง (V) และแนวนอน (H) มาแทนค่าในสมการ

$$\log k = \sum_{j=1}^3 \left(a_j \exp \left[- \left(\frac{\log f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right) + m_k \log f + c_k \quad (2.23)$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^4 \left(a_i \exp \left[- \left(\frac{\log f - b_i}{c_i} \right) \right] \right) + m_\alpha \log f + c_\alpha \quad (2.24)$$

f ความถี่ (GHz)

k, α ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวนอนหรือแนวดิ่ง

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวนอนของสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24

j, i	Parameter	a	b	c	m_k	c_k	m_α	c_α
j = 1		0.3364	1.127	0.2916	1.9925	-4.4123	-	-
2		0.7520	1.6644	0.5175				
3		-0.9466	2.8496	0.4315				
i = 1		0.5564	0.7741	0.4011	-	-	-0.08016	0.8993
2		0.2237	1.4023	0.3475				
3		-0.1961	0.5769	0.2372				
4		-0.02219	2.2959	0.2801				

ตารางที่ 2.4 ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวตั้งของสมการที่ 2.23 และสมการที่ 2.24

j, i	Parameter	a	b	c	m_k	c_k	m_α	c_α
j = 1		0.3023	1.1402	0.2826	1.9710	-4.4535	-	-
2		0.7790	1.6723	0.5694				
3		-1.0022	2.9400	0.4823				
i = 1		0.5463	0.8017	0.3657	-	-	-	0.8756
2		0.2158	1.4080	0.3636				
3		-0.1693	0.6353	0.2155				
4		-0.01895	2.3105	0.2938				

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \text{ เดซิเบล/กิโลเมตร} \quad (2.25)$$

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าแฟกเตอร์การลดลงในด้านแนวนอน $\gamma_{0.01}$ คือที่ 0.01 %

$$\gamma_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f} - 0.38(1 - e^{-2L_G})}} \quad (2.26)$$

ขั้นตอนที่ 7 หาค่าแฟกเตอร์ทางด้านแนวนอน $\nu_{0.01}$ คือที่ 0.01 %

$$\xi = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_G \gamma_{0.01}} \right) \text{ องศา} \quad (2.27)$$

สำหรับ $\xi > \theta$ $L_R = \frac{L_G \gamma_{0.01}}{\cos \theta}$ กิโลเมตร

อื่นๆ $L_R = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta}$ กิโลเมตร

ถ้า $|\phi| < 36^\circ$ $X = 36 - |\phi|$ องศา

อื่นๆ $X = 0$ องศา

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31(1 - e^{-\theta/(1+x)}) \frac{\sqrt{L_R \gamma_R}}{f^2} - 0.45 \right)} \quad (2.28)$$

ขั้นตอนที่ 8 หาระยะทางที่สัญญาณควมเทียมได้รับผลกระทบเนื่องจากฝน

$$L_E = L_R v_{0.01} \text{ กิโลเมตร} \quad (2.29)$$

ขั้นตอนที่ 9 ทำนาค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดฝน 0.01% จะได้จาก

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \text{ เดซิเบล} \quad (2.30)$$

ขั้นตอนที่ 10 ประมาณค่าการลดทอนที่เกิด ที่ 0.001% ถึง 5%

ถ้า $p \geq 1\%$ or $|\varphi| \geq 36^\circ$

$$\beta = 0 \quad (2.31)$$

ถ้า $p < 1\%$ or $|\varphi| < 36^\circ$ and $\theta \geq 25^\circ$

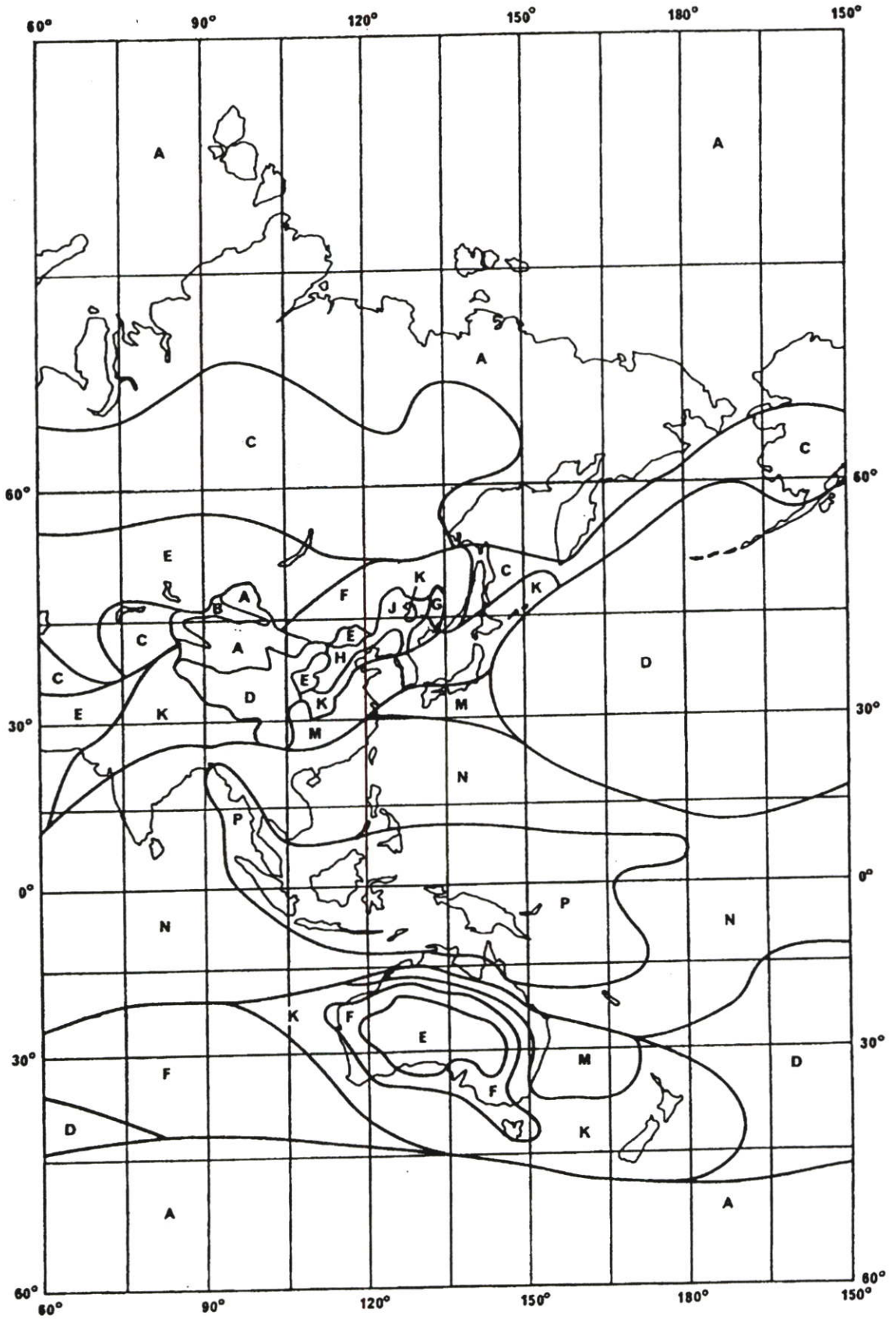
$$\beta = -0.005(|\varphi| - 36) \quad (2.32)$$

อื่นๆ

$$\beta = -0.005(|\varphi| - 36) + 1.8 - 4.25 \sin \theta \quad (2.33)$$

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta)} \text{ เดซิเบล} \quad (2.34)$$

วิธีการข้างต้นเป็นการประมาณค่าที่ได้จากการเก็บสถิติของช่วงระยะเวลาที่เกิดการลดทอนของสัญญาณ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับปริมาณที่วัดได้กับการทำนายก่อนข้างเป็นที่ยอมรับของ ITU-R

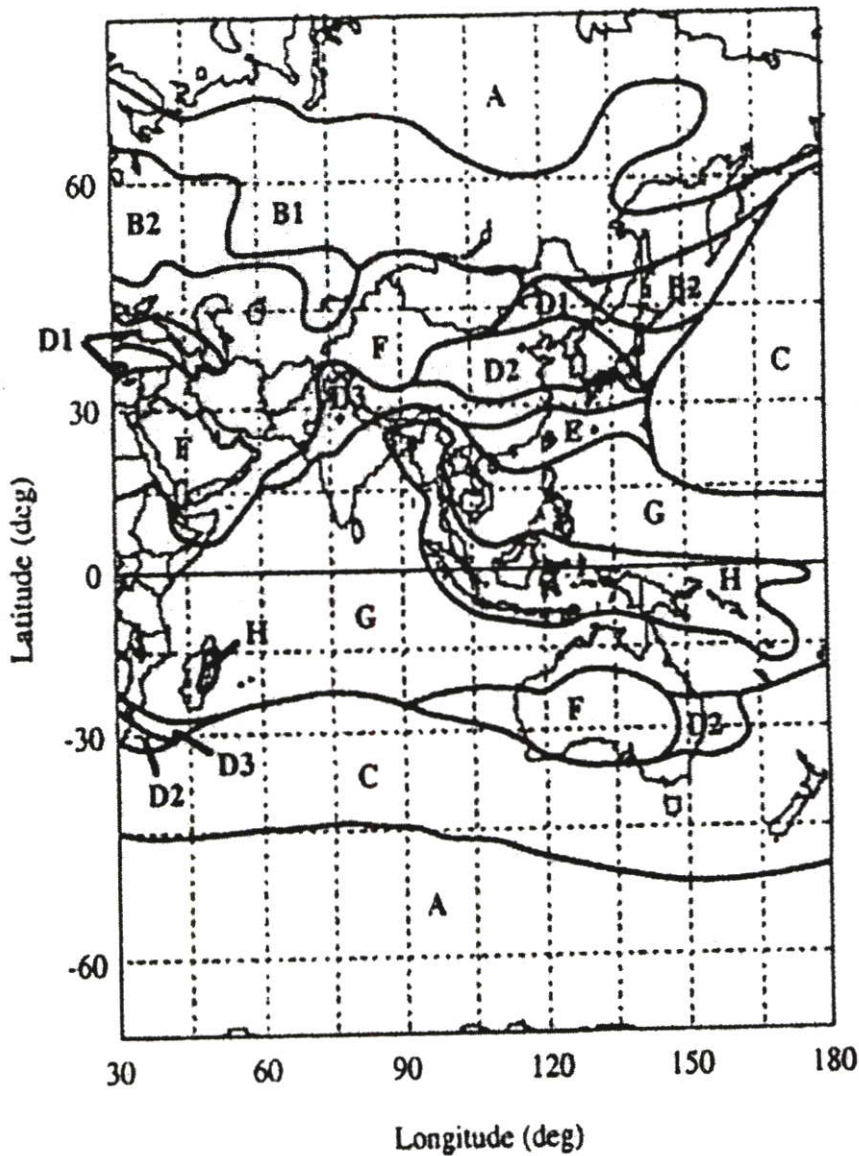


รูปที่ 2.12 การแบ่งโซนของ ITU-R P.837-1 [22][23]

2.5 แบบจำลองของ CRANE GLOBAL RAIN ATTENUATION

แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนของ Crane Global Attenuation [15][16] [24] เป็นแบบจำลองที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลทางสถิติในแต่ละบริเวณ โดยจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นเขต ๆ ด้วยกัน ซึ่งจะพิจารณาการแบ่งตามลักษณะของปริมาณที่ฝน โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาอัตราการตกของฝนแต่ละพื้นที่ ตั้งแต่การกระจายสะสมของฝนตั้งแต่ 2 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 0.001 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถดูได้จากตารางที่ 2.5 ซึ่งจะแบ่งอัตราการตกของฝนออกเป็นเขต ๆ โดยประเทศไทยนั้นจะอยู่ในเขตโซน G และ H ดูได้จากรูปที่ 2.13

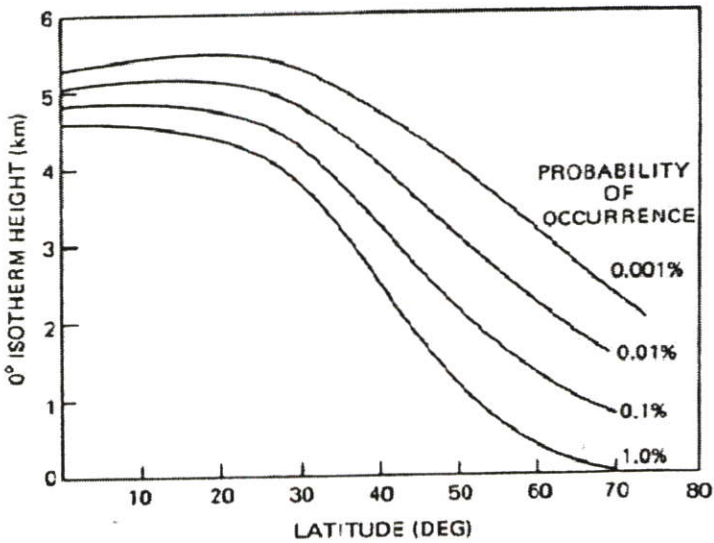


รูปที่ 2.13 การแบ่งเขตพื้นที่ของแบบจำลอง Crane Global

ตารางที่ 2.5 อัตราการตกของฝนในแต่ละโซน

โซน เปอร์เซ็นต์เวลา	A	B	C	D1	D2	D3	E	F	G	H
0.001	28	54	80	90	102	127	164	66	129	251
0.005	19	26	41	50	64	81	117	34	85	178
0.01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0.05	8	9.5	11	16	22	31	52	8.0	33	77
0.1	6.5	6.8	7.2	11	15	22	35	5.5	22	51
0.5	2.5	2.7	2.8	4.0	5.2	7.0	8.5	2.4	7.0	13
1	1.7	1.8	1.9	2.2	3.0	4.0	4.0	1.7	3.7	6.4
2.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.8	2.5	2.0	1.1	1.6	2.8

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ Isotherm H(p) ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระดับความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ Isotherm

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า D แต่ละเปอร์เซ็นต์ ตามสมการที่ 2.35
ถ้ามุมเงยของจานรับมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 องศา

$$D = \frac{H(p) - G}{\tan \theta} \quad (2.35)$$

สำหรับมุมของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่น้อยกว่า 10 องศา

$$D = R_e \sin^{-1} \left[\frac{\cos \theta}{H(p) + R_e} \left(\sqrt{(G + R_e)^2 \sin^2 \theta + 2R_e(H(p) - G) + H^2(p) - G^2} - (G + R_e) \sin \theta \right) \right] \quad (2.36)$$

เมื่อ R_e คือ Effective Earth Radius (ประมาณ 8,500 กิโลเมตร)

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ที่ความถี่และ โพรไฟเรเซชัน ของสัญญาณที่ทำการรับ โดยสามารถดูได้จากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าสัมประสิทธิ์ของ a และ b

ความถี่ (GHz)	a_h	a_v	b_h	b_v
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.00065	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.2
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.00

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ได้มาจาก อัตราการตกของฝน R_p ของแต่ละเปอร์เซ็นต์

$$d = 3.8 - 0.6 \ln R_p \quad (2.37)$$

$$x = 2.3 R_p^{-0.17} \quad (2.38)$$

$$y = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad (2.39)$$

$$U = \frac{\ln(xe^{Yd})}{d} \quad (2.40)$$

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนแต่ละเปอร์เซ็นต์เวลา โดยจะมีเงื่อนไขของตามระยะทางของ Slant path

ถ้า $0 < D \leq d$:

$$A(p) = \frac{aR_p^b}{\cos \theta} \left[\frac{e^{Ubd} - 1}{Ub} \right] \quad (2.41)$$

ถ้า $d < D \leq 22.5$

$$A(p) = \frac{aR_p^b}{\cos \theta} \left[\frac{e^{Ubd} - 1}{Ub} - \frac{xe^{Ybd}}{Yb} + \frac{X^b e^{YbD}}{Yb} \right] \quad (2.42)$$

ถ้า $D > 22.5$ การคำนวณหาค่า $A(p)$ ด้วยค่า 22.5 จะใช้ค่าอัตราการตกของฝนใช้ R'_p แทนค่า R_p ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$p' = p \left[\frac{22.5}{D} \right] \quad (2.43)$$

ขั้นตอนที่ 7. ประมาณค่าขอบเขตด้านบนและด้านล่างค่าเฉลี่ยเวลาสะสม จะได้ตามตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าเฉลี่ยสะสมของขอบด้านบนและด้านล่าง

เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่อปี	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
1.0	± 39
0.1	± 32
0.01	± 32
0.001	± 39

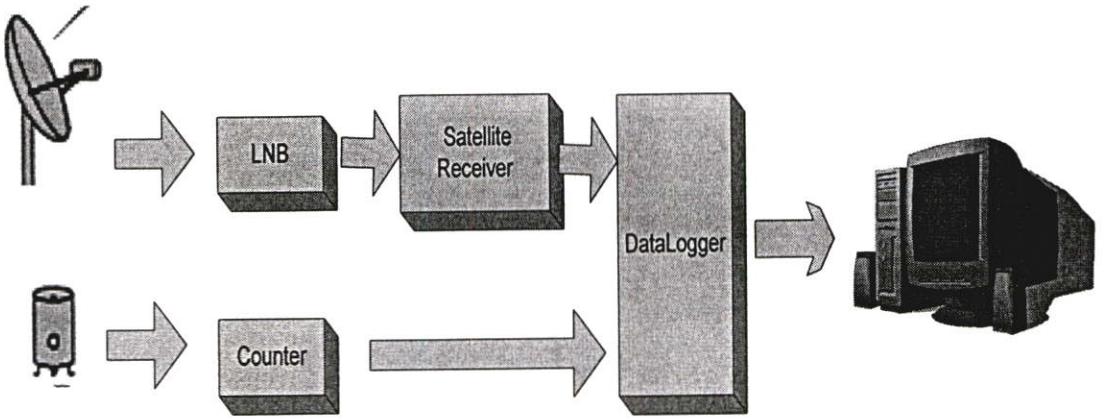
เช่น ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ได้จากการทำนายได้ 10 เดซิเบล ที่ 0.01 เปอร์เซนต์ ต่อปี จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยด้านบนและด้านล่าง ± 32 เปอร์เซนต์ หมายความว่า ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง 6.8 เดซิเบล ถึง 13.2 เดซิเบล

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

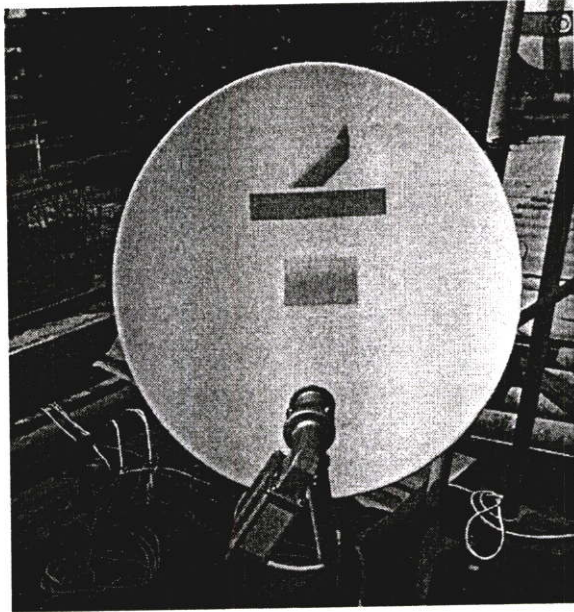
ระบบที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณและอัตราการตกของฝนนั้น จะประกอบด้วย 4 ส่วน ตามรูปที่ 3.1 โดยจะมีอุปกรณ์ 2 ชุดคือ วัดระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับจากดาวเทียม ไทยคม 3 และอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการวัดปริมาณการตกของฝน เมื่อได้ข้อมูลทั้ง 2 แล้วจะนำ ข้อมูลนี้ไปทำการบันทึกลงคอมพิวเตอร์ต่อไป โดยจะแสดงรายละเอียดของแต่ละอุปกรณ์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 งานสายอากาศและ LNB (low-noise block converter)

งานสายอากาศย่านความถี่เคยู ที่ใช้นี้จะเป็นงานสายอากาศแบบ ออฟเซ็ทพาราโบลา ซึ่ง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร โดยมีอัตราการขยายสัญญาณ 34.5 เดซิเบล ตำแหน่งที่ตั้งงาน รับสัญญาณดาวเทียมอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยติดตั้งอยู่บน ชั้นคานฟ้า ของตึกภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง $13^{\circ}45'36''$ เหนือ และ ที่ตำแหน่งเส้นแวง $100^{\circ}48'17''$ ตะวันออก โดยทำการวัดสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 3 ซึ่งอยู่ที่ ตำแหน่งเส้นแวง 78.5 องศาตะวันออก เหนือมหาสมุทรอินเดีย โดยงานสายอากาศรับสัญญาณ ดาวเทียมมีมุมเงย 59.81 องศาและมุมกวาด 239.6 องศาเหนือ และ LNB ที่ใช้นั้นจะทำงานที่ความถี่ 11.2 กิกะเฮิรตซ์ ตามรูปที่ 3.2 และสามารถดูค่าพารามิเตอร์ได้ตามตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 งานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียมย่าน Ku-Band

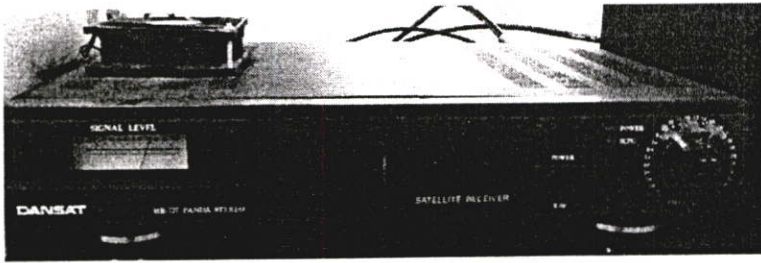
ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบการวัด

ดาวเทียม	ไทยคม 3
ตำแหน่งดาวเทียม	78.5 องศาตะวันออก
โพลาริเซชัน	แนวนอน
ชนิดงานสายอากาศ	ออฟเซตพาราโบลา
อัตราการขยายของงานสายอากาศ	34.5 เดซิเบล
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางงานสายอากาศ	0.5 เมตร
มุมเงย	59.81 องศา
มุมกวาด	239.62 องศา
ความสูงงานสายอากาศ	15 เมตร(เหนือระดับน้ำทะเล)
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน	Tipping Bucket
อัตราการเก็บข้อมูล	1 วินาที

3.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

เครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ เคยูบี หรือ DARSAT รุ่น HR-727 โดยจะรับสัญญาณมาจาก LNB ที่ติดตั้งอยู่กับงานรับสัญญาณดาวเทียม และจะแปลงระดับความแรงของสัญญาณออกมาเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า

กระแสดตรง เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแสดงตามรูปที่ 3.3



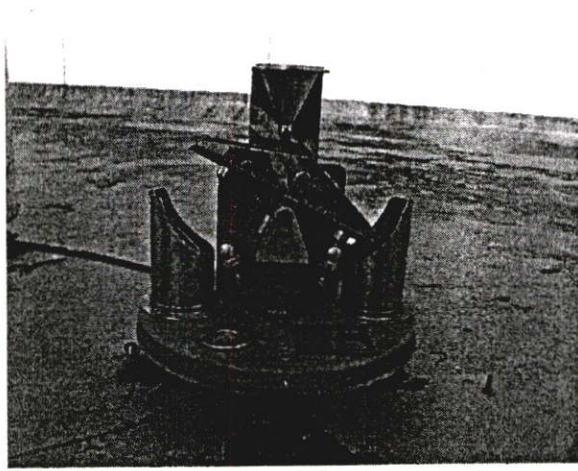
รูปที่ 3.3 เครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมยี่ห้อ DANSAT รุ่น HR-727

3.1.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้จะเป็น Tipping Bucket แสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งภายในเครื่องจะประกอบด้วย กระบวยตวงปริมาณน้ำฝน 2 กระบวยด้วยกันดังรูปที่ 3.5 การตวงนั้นจะเริ่มจาก กระบวยที่ 1 ทำการตวงเมื่อตวงปริมาณน้ำฝนเต็มแล้วก็จะเทน้ำทิ้ง และกระบวยที่ 2 ก็จะทำหน้าที่ ขึ้นมารับน้ำแทนกระบวยที่ 1 เมื่อกระบวยที่ 2 เต็มก็จะเทน้ำและให้กระบวยที่ 1 ขึ้นมารับน้ำแทนจะทำสลับกันไปมาเรื่อย ๆ ส่วนปริมาณการตวงแต่ละครั้งนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของกระบวย และขนาดของพื้นที่ ที่รับน้ำฝนเข้ามา โดยการตวงแต่ละครั้งนั้นจะได้เป็นสัญญาณพัลส์ 1 ลูก ซึ่งจะเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร โดยเมื่อได้สัญญาณ 1 พัลส์ก็จะนำไปเข้าที่เครื่องนับปริมาณน้ำฝนต่อไป



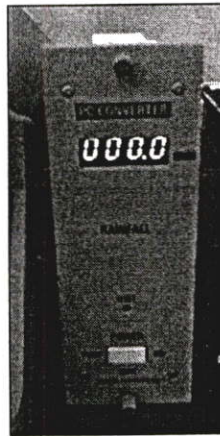
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิด Tipping Bucket



รูปที่ 3.5 ภายในของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิด Tipping Bucket

3.1.4 เครื่องนับปริมาณน้ำฝน

เครื่องนับปริมาณการตกของฝน โดยการนับปริมาณการตกของฝนนั้นจะเป็นแบบสะสม ปริมาณน้ำฝน โดยเมื่อเครื่องนับปริมาณน้ำฝนได้รับสัญญาณพัลส์ 1 ลูก ก็จะทำการนับจำนวนครั้ง ละ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะเท่ากับปริมาณของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน และจะแปลงปริมาณน้ำฝนที่วัด ได้นั้น ไปเป็นระดับแรงดัน



รูปที่ 3.6 เครื่องนับปริมาณน้ำฝน

3.1.5 เครื่องค้ำค้ำล็อกเกอร์

เครื่องค้ำค้ำล็อกเกอร์ เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนข้อมูลที่เป็นระบบอะนาล็อกให้เป็น ระบบดิจิทัล โดยการควบคุมของคอมพิวเตอร์ผ่านสาย RS-232 โดยจะมีจำนวนช่องทางด้าน อินพุตทั้งหมด 10 ช่องด้วยกัน แต่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะใช้เพียงแค่ 2 ช่องเท่านั้น เพื่อให้ได้อัตราการ

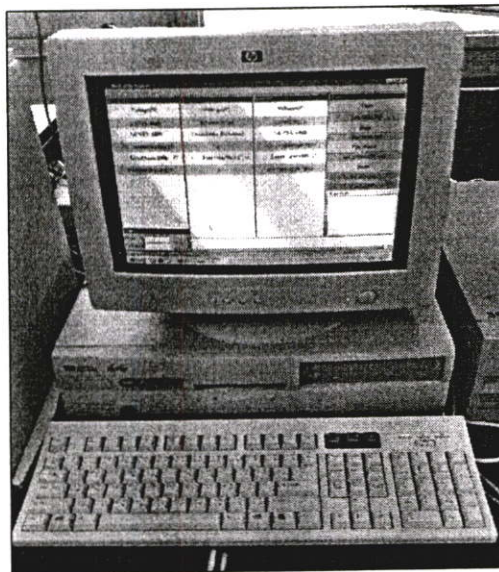
เก็บข้อมูลที่สูงขึ้น เครื่องจะทำการวัดสัญญาณออกมาเป็นระดับแรงดัน แล้วทำการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.7 เครื่องดาค่าล็อกเกอร์

3.1.6 คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล

คอมพิวเตอร์ที่ใช้จะเป็นคอมพิวเตอร์ทั่วไป โดยจะใช้สำหรับการบันทึกข้อมูล ปริมาณน้ำฝนสะสมและระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม โดยข้อมูลที่คอมพิวเตอร์รับเข้ามาทางสาย RS-232 จะเป็นข้อมูลที่เป็นระดับแรงดัน โดยการบันทึกข้อมูลนั้นจะใช้โปรแกรมในการบันทึกข้อมูล โดยโปรแกรมจะทำการเปลี่ยนระดับแรงดันของสัญญาณให้เป็นระดับความแรงของสัญญาณที่อยู่ในหน่วยของ เดซิเบล และระดับแรงดันของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนให้เป็นหน่วยของ มิลลิเมตร โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที และไฟล์ที่ได้นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นวันละ 2 ไฟล์ เป็นไฟล์ชนิด CSV ซึ่งสามารถเปิดกับโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลได้

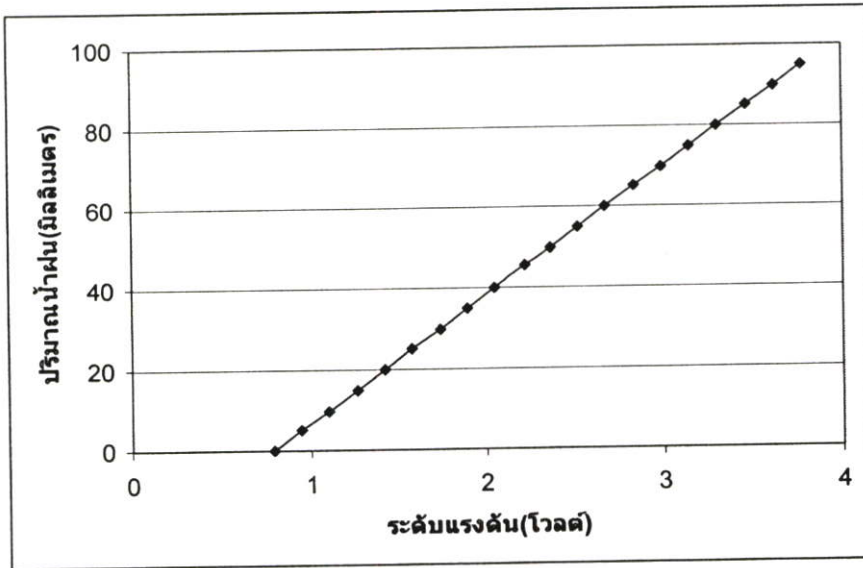


รูปที่ 3.8 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล

3.2 การแปลงข้อมูลจากระดับแรงดัน

3.2.1 การแปลงข้อมูลระดับแรงดันของฝ่นเป็นปริมาณการตกของฝ่น

การแปลงข้อมูลของฝ่นที่ได้จากการบันทึก ซึ่งเป็นลักษณะการเก็บข้อมูลที่เป็นระดับแรงดัน แต่ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องใช้ข้อมูลที่เป็นอัตราการตกของฝ่นที่มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เพราะฉะนั้นจะต้องทำการแปลงระดับแรงดันให้เป็นหน่วยมิลลิเมตรก่อน โดยสามารถดูความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและปริมาณน้ำฝ่นได้จากกราฟที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับปริมาณน้ำฝ่นที่วัดได้

จากรูปที่ 3.9 หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับปริมาณน้ำฝ่น โดยใช้สมการเส้นตรงจะได้ตามสมการที่ 3.1

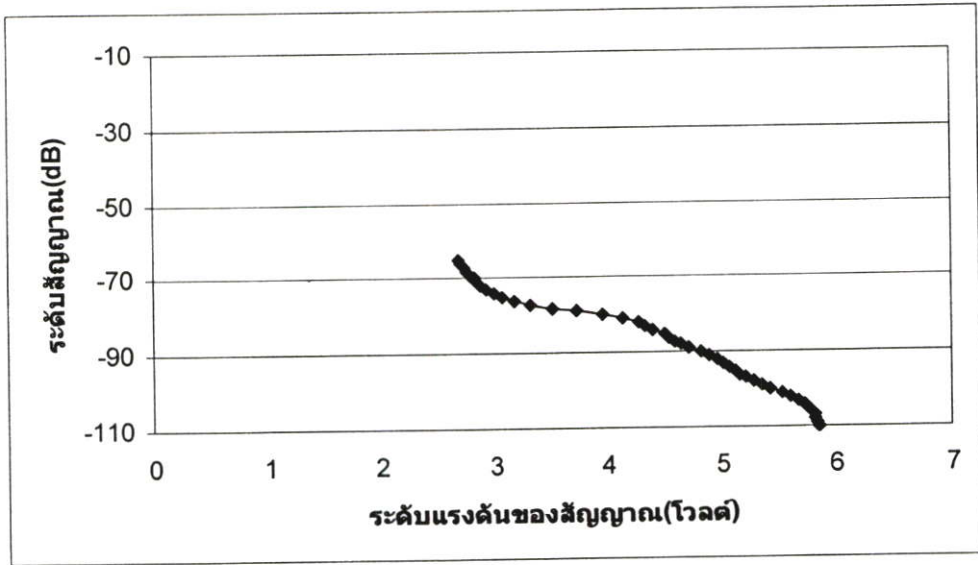
$$R_v = -25.13 + 31.77v \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (3.1)$$

เมื่อ R_v คือปริมาณการตกของฝ่น (มิลลิเมตร)
 v คือระดับแรงดันที่วัดได้ (โวลต์)

เมื่อได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและปริมาณการตกของฝ่นจะนำค่าดังกล่าวไปแทนลงในโปรแกรมบันทึกข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูล เป็นปริมาณการตกของฝ่นที่มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร แล้วจะนำข้อมูลที่ได้ไปบันทึกและทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.2.2 การแปลงข้อมูลระดับแรงดันของสัญญาณดาวเทียมเป็นระดับสัญญาณดาวเทียม

เนื่องจากข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์นั้นจะเป็นระดับแรงดันของสัญญาณดาวเทียม แต่ในการใช้งานนั้นจะต้องทำการแปลงระดับแรงดันให้เป็นระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียม ที่มีหน่วยเป็น เดซิเบล การแปลงระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่เป็นระดับแรงดันให้เป็นหน่วยของเดซิเบลนั้น จะต้องหาความสัมพันธ์ระดับแรงดันให้เป็นระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่มีหน่วยเป็นเดซิเบลตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับระดับความแรงของสัญญาณที่วัดได้

จากรูปที่ 3.10 จะได้ความสัมพันธ์ของระดับแรงดันและระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่มีหน่วยเป็น เดซิเบล โดยจะได้สมการที่ 3.2

$$A = -1451.7 + 2993.4x - 2332.8x^2 + 897.79x^3 - 184.19x^4 + 19.334x^5 - 0.8181x^6 \quad (\text{dBw}) \quad (3.2)$$

เมื่อได้สัญญาณดาวเทียมแล้วก็จะไปทำการหาระดับสัญญาณในช่วงเวลาของท้องฟ้าโปร่งใส (Clear Sky) หรือระดับความแรงของสัญญาณในช่วงที่ไม่มีฝน ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่มีผลกระทบต่อระดับความแรงของสัญญาณน้อยมากหรือไม่มี การหาระดับของสัญญาณดังกล่าวเพื่อใช้สำหรับเป็นจุดอ้างอิงในการหาค่าระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม โดยค่าที่อ่านได้เท่ากับ -70 เดซิเบล เพราะฉะนั้นเวลาที่เกิดฝนระดับสัญญาณอ้างอิงลบกับระดับสัญญาณที่วัดได้ก็จะได้เป็นระดับการลดทอนของสัญญาณตามสมการที่ 3.3

$$L_r = P_{ref} - P \quad (\text{dB}) \quad (3.3)$$

L_r คือระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน (dB)

P คือระดับของสัญญาณที่วัดได้ (dBw)

P_{ref} คือระดับสัญญาณอ้างอิง (ในงานวิจัยนี้ใช้ -70 เดซิเบล) (dBw)

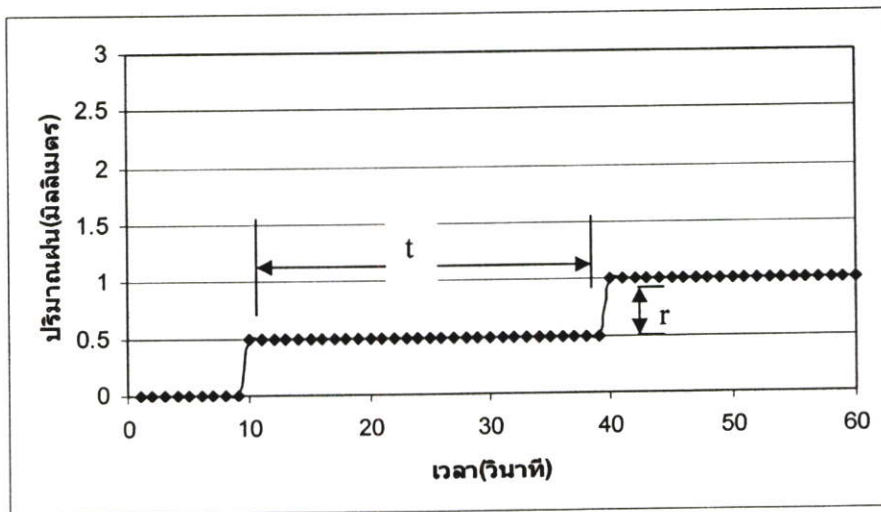
เมื่อได้ข้อมูลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.3 การเปลี่ยนปริมาณสะสมของการตกของฝนให้เป็นอัตราการตกของฝน

เนื่องจากการเก็บข้อมูลที่บันทึกไว้นั้นเป็นปริมาณสะสมของการตกของฝนที่อยู่ในหน่วยของ มิลลิเมตรและทำการบันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที แต่ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะต้องเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนที่อยู่ในหน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

3.3.1 อัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที

การหาช่วงระยะเวลาที่ฝนตกนั้นหรือหาช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสะสมของการตกของฝน ตามรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ปริมาณการตกของฝนสะสมที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นได้ว่าที่เวลา 10 วินาทีนั้น จะมีปริมาณของฝนเพิ่มขึ้นและจะเกิดขึ้นอีกครั้งที่ 40 วินาที เป็นปริมาณ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งในช่วงระยะเวลาดังกล่าวแสดงว่าฝนตก ดังนั้นสามารถหาปริมาณการตกของฝนเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาดังกล่าวได้จากสมการที่ 3.4 และอัตราการ

ตกของฝนที่ต้องการนั้นต่อ 1 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นจะต้องทำจากหน่วยวินาทีให้เป็น ต่อ 1 ชั่วโมง โดยการคูณ 1 ชั่วโมงที่อยู่ในหน่วยวินาทีเข้าไป ซึ่งเท่ากับ 3600 วินาที

$$R = \frac{0.5}{t} \times 3600 \text{ มิลลิเมตรต่อชั่วโมง} \quad (3.4)$$

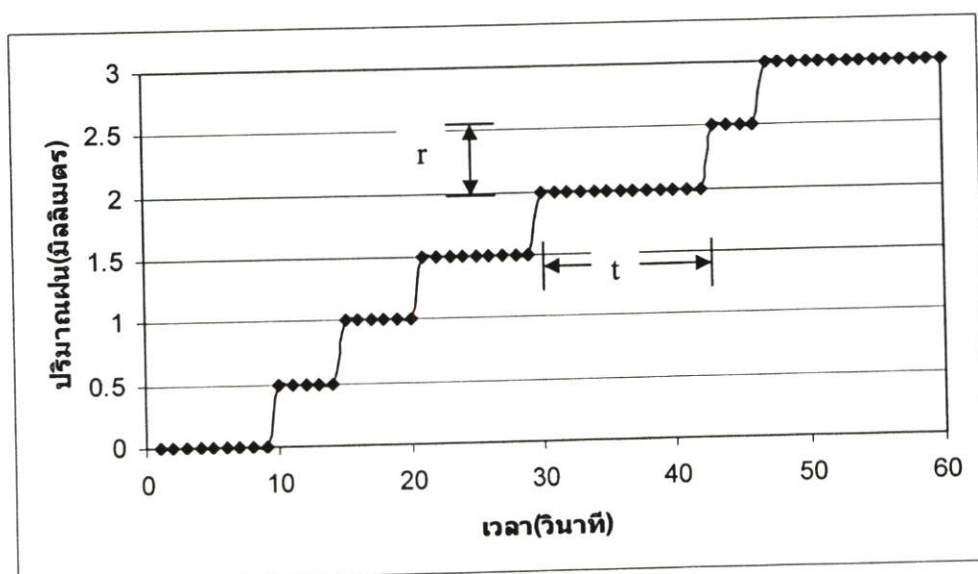
เมื่อ R คืออัตราการตกของฝนที่วัดได้ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

t คือระยะเวลาที่ฝนตกในช่วงเวลานั้น ๆ (วินาที)

เนื่องจากการหารระยะเวลาที่ฝนตกนั้น ถ้าสั้นก็จะหมายความว่า มีอัตราการตกของฝนที่สูง แต่ถ้าระยะที่การตกของฝนนั้นยาวก็จะหมายความว่า มีอัตราการตกของฝนที่ต่ำ หรือไม่มีฝนตก ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว เพราะฉะนั้นถ้าระยะเวลาที่ไม่มีปริมาณการตกของฝนเพิ่มขึ้น มากกว่า ช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถือว่าในช่วงระยะเวลาดังกล่าวไม่มีฝนตก เพราะอัตราการตกของฝนที่คำนวณได้นั้นจะเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้นซึ่งน้อยมาก ๆ

3.3.2 อัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 นาที

การหาอัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 นาทีนั้นจะได้มาจากข้อมูลที่อัตราการสุ่มทุก ๆ วินาทีมาทำการสุ่มข้อมูลใหม่สามารถดูได้จากรูปที่ 3.12 เมื่อได้ข้อมูลแล้วนำมาหาค่าอัตราการตกของฝน ซึ่งวิธีการนั้นเหมือนกับอัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที แต่จะเปลี่ยนสมการเป็นสมการที่ 3.5



รูปที่ 3.12 ปริมาณการตกของฝนสะสมที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 นาที

$$R = \frac{r}{t} \times 60 \text{ มิลลิเมตรต่อชั่วโมง} \quad (3.5)$$

- R คืออัตราการตกของฝนที่วัดได้ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
 r คือปริมาณการตกของฝนในช่วงเวลานั้น ๆ
 t คือระยะเวลาที่ฝนตกในช่วงเวลานั้น ๆ (วินาที)

จากสมการที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าจะนำค่า 60 นาทีเข้าไปคูณกับสมการ เพื่อให้จะได้อัตราการตกของฝนเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วนระยะเวลาสูงสุดที่จะนำมาคำนวณนั้นจะใช้ 1 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับ การหาอัตราการตกของฝนที่อัตราการสูมข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที และเมื่อได้อัตราการตกของฝนแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวนี้ไปวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

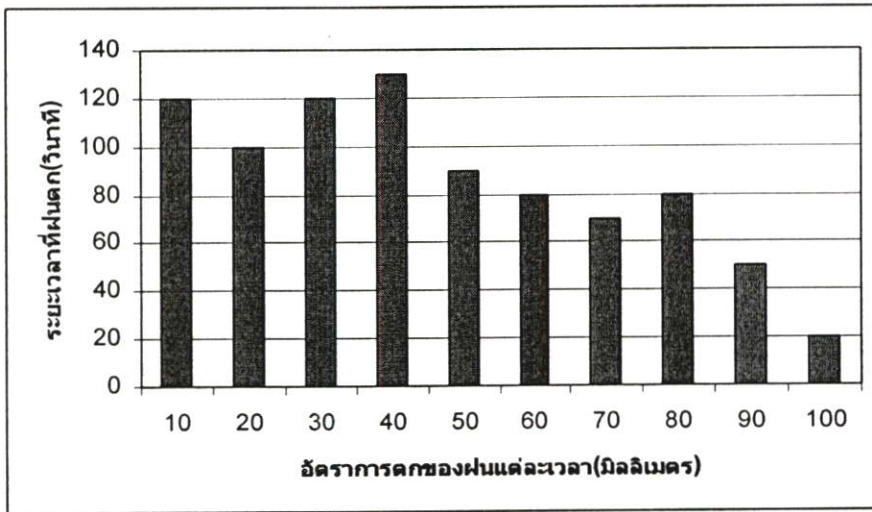
3.4 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายเดือนและรายปีของฝน

เนื่องจากอัตราการตกของฝนนั้น จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการตกของฝนด้วย คือ ถ้าฝนตกเป็นระยะเวลาที่นาน โดยปกติแล้วจะมีอัตราการตกของฝนที่ต่ำๆ และถ้าระยะเวลาการตกของฝนตกหนักนั้น โดยปกติแล้วจะตกเป็นระยะเวลาสั้นเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ผลของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจะต้องทำเป็นเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมก่อน โดยจะแบ่งเป็นเวลาสะสมรายเดือนกับเวลาสะสมรายปีดังต่อไปนี้

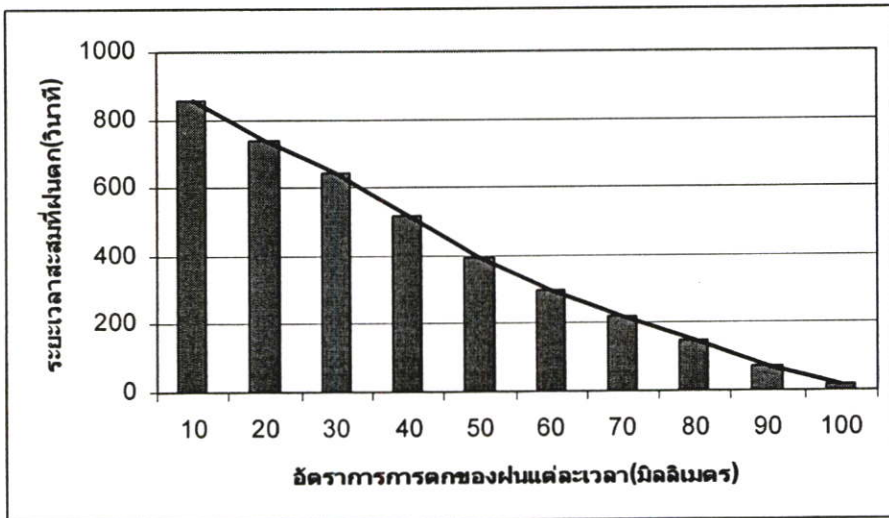
3.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายเดือน

การหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนนั้น จะเป็นข้อมูลที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละเดือนว่าเป็นอย่างไร โดยการหาเปอร์เซ็นต์รายเดือนนั้นจะต้องทราบเวลาทั้งหมดในแต่ละเดือนที่อยู่ในหน่วยวินาที อย่างเช่น เดือนมกราคมมี 31 วัน ก็จะเท่ากับ 2592000 นาที ซึ่งในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนวันของแต่ละเดือนนั้น เมื่อได้ระยะเวลาทั้งหมดในแต่ละเดือนแล้วจึงหาอัตราการตกของฝนว่าเป็นระยะเวลาเท่าไรในแต่ละเดือน โดยแสดงให้เห็นตามรูปที่ 3.13 ซึ่งเป็นตัวอย่างของระยะเวลาการตกของฝน

เมื่อได้ระยะเวลาการตกของฝนแล้วจะต้องนำค่าดังกล่าวไปหารระยะเวลาสะสม โดยจะรวมอัตราการตกของฝนที่มากกว่าและเท่ากับอัตราการตกของฝนที่จะหาเข้าด้วยกัน จากรูปที่ 3.13 จะทำให้ได้ในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างของระยะเวลาการตกของฝนใน 1 เดือน



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างของระยะเวลาสะสมการตกของฝน

เมื่อได้ระยะเวลาสะสมของแต่ละอัตราการตกของฝนแล้ว ก็จะนำค่าดังกล่าวไปหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมของรายเดือน โดยใช้สมการที่ 3.6

$$P_R = \frac{t_R}{t_m} \times 100 \quad (3.6)$$

- เมื่อ P_R คือเปอร์เซ็นต์สะสมที่อัตราการตกของฝน (R) นั้น ๆ
 t_R คือเวลาสะสมที่อัตราการตกของฝน (R) นั้น ๆ (วินาที)
 t_m คือเวลารวมในแต่ละเดือน (วินาที)

3.4.2 การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายปี

การหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสมรายปี เพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ผลที่เป็นรายปี โดยวิธีการนั้นจะเหมือนกับการหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เป็นรายเดือน แต่จะเปลี่ยนจากระยะเวลารวมทั้งหมดที่เป็นรายเดือน ก็จะเป็นระยะเวลาสะสมทั้งหมดที่เป็นรายปี ซึ่งจะสามารถหาได้จากสมการที่ 3.7

$$P_R = \frac{t_R}{t_y} \times 100 \quad (3.7)$$

- เมื่อ P_R คือเปอร์เซ็นต์สะสมที่อัตราการตกของฝน (R) นั้น ๆ
 t_R คือเวลาสะสมที่อัตราการตกของฝน (R) นั้น ๆ (วินาที)
 t_y คือระยะเวลารวมทั้งหมดในแต่ละปี (วินาที)

3.5 การหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนและรายปีของการลดทอนของสัญญาณ

การหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนและรายปีของการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม เนื่องจากฝน นั้นจะมีวิธีการหาที่เหมือนกันกับการหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมรายเดือนและรายปีของอัตราการตกของฝน แต่จะแตกต่างกันตรงที่อัตราการตกของฝนนั้นจะเปลี่ยนเป็น ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

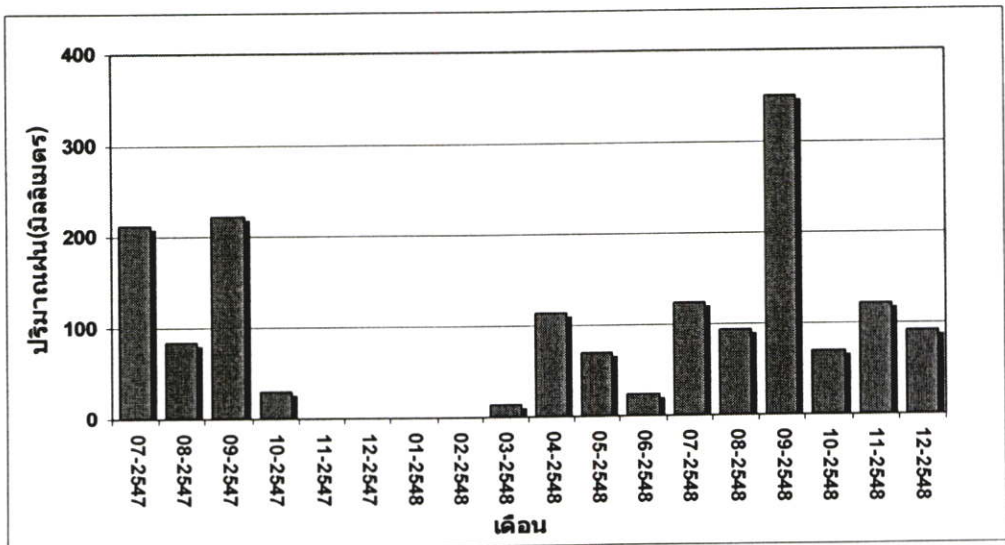
บทที่ 4

ผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน

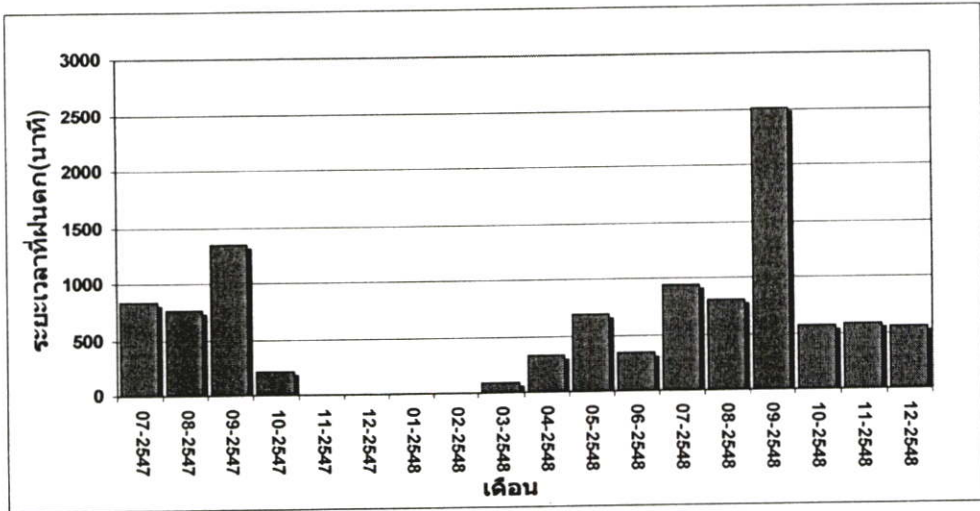
ผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน เป็นผลกระทบโดยตรงที่เกิดจากฝน เมื่อมีฝนตกก็จะทำให้ระดับของสัญญาณนั้นจะลดลงตามระดับความแรงของฝน ความถี่ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร และระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝน ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึง ปริมาณการตกของฝน อัตราการตกของฝน และระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน ซึ่งจะเป็นข้อมูลทางด้านสถิติ

4.1 ปริมาณการตกของฝนและระยะเวลาในการตกของฝน

ปริมาณการตกของฝนนั้นจะคิดเป็นรายเดือน โดยจะเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละเดือนว่ามีปริมาณการตกของฝนนั้นเป็นอย่างไร โดยปกติแล้วฝนจะตกมากในช่วง ฤดูฝนคือในช่วงระยะเวลา 5 - 6 เดือนตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม จนถึงเดือนตุลาคม ของทุกปี แต่เนื่องจากการตกของฝนนั้นจะไม่ค่อยถูกต้องตามฤดูกาล ซึ่งจะทำให้การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนเปลี่ยนแปลงตามช่วงระยะเวลาการตกของฝนด้วย ในรูปที่ 4.1 แสดงปริมาณการตกของฝนในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548 ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเดือน กันยายน พ.ศ. 2548 นั้นจะเป็นเดือนที่มีปริมาณการตกของฝนมากที่สุด ประมาณ 350 มิลลิเมตร ส่วนช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 นั้นจะไม่มีปริมาณการตกของฝนเลย



รูปที่ 4.1 ปริมาณการตกของฝนสะสมในแต่ละเดือน



รูปที่ 4.2 ระยะเวลาในการตกของฝนสะสมในแต่ละเดือน

จากรูปที่ 4.2 เป็นระยะเวลาในการตกของฝนในแต่ละเดือน ซึ่งระยะเวลาในการตกของฝนนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายกับปริมาณการตกของฝนคือ ถ้าปริมาณการตกของฝนมากระยะเวลาในการตกของฝนของเดือนนั้น ๆ ก็จะมากด้วย อย่างเช่นในเดือน กันยายน พ.ศ. 2548 มีปริมาณการตกของฝนมากที่สุดประมาณ 350 มิลลิเมตร และมีระยะเวลาการตกของฝนมากที่สุด ประมาณ 2500 นาที

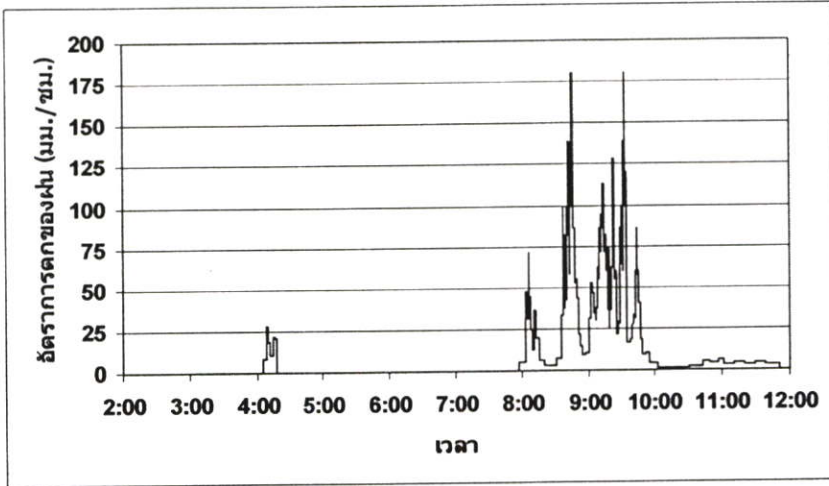
ดังนั้นปริมาณการตกของฝนในแต่ละเดือนแต่ละปีนั้นๆ ก็จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับปีนั้นๆ มีพายุหรือมรสุมเข้าหรือไม่ ทำให้ไม่สามารถคาดคะเนได้ว่าฝนจะตกในช่วงไหนบ้าง ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพภูมิอากาศแต่ละปีนั้น

4.2 อัตราการตกของฝน

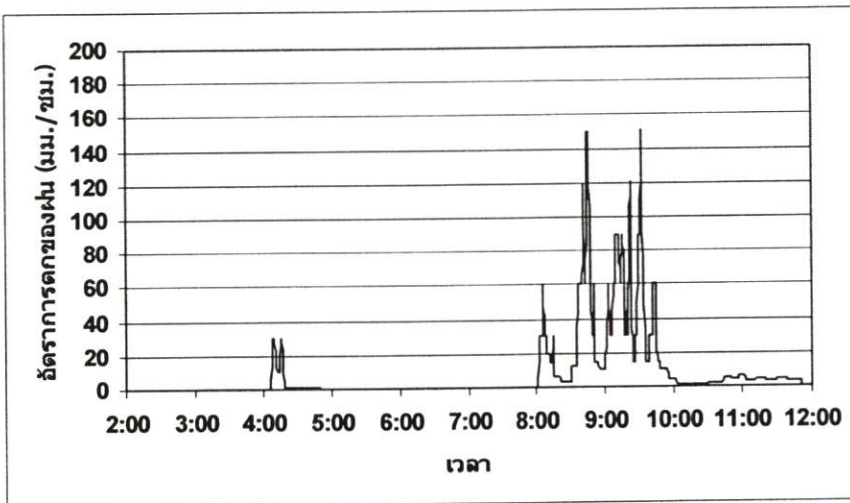
อัตราการตกของฝนนั้นโดยทั่วไปแล้วจะคิดในสัดส่วนต่อชั่วโมงและในสัดส่วนของนาที่ แต่เนื่องจากในสัดส่วนของนาที่นั้นจะมีค่าที่น้อยมาก ๆ เมื่อมีอัตราการตกของฝนที่น้อย เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ใช้ในสัดส่วนต่อชั่วโมง เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ผล โดยการวิเคราะห์อัตราการตกของฝนนั้นจะแบ่งเป็นรายวัน รายเดือน รายปี และจะแบ่งแยกออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนของอัตราการสู่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที และ 1 นาทีด้วย เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วการบันทึกข้อมูลฝนนั้นจะทำการบันทึกที่ทุก ๆ นาที แต่เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้นจึงได้ทำการบันทึกข้อมูลที่ทุก ๆ 1 วินาที ดังต่อไปนี้

อัตราการตกของฝนนั้นจะไม่มีค่าถ้าไม่มีฝน และจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความแรงของฝน โดยการตกของฝนจะเกิดขึ้นเป็นช่วง ๆ เวลา โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นอัตราการตกของฝนที่อัตราการสู่มข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที โดยช่วงเวลาที่ฝนตกสูงสุดเท่ากับ 175 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็น

ระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น ฉะนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าอัตราการตกของฝนที่สูงๆ นั้นจะมีช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งกลับกับอัตราการตกของฝนที่น้อยๆ จะมีช่วงระยะเวลาที่นาน ด้วยความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ จึงจะพิจารณาในส่วนของอัตราการตกของฝนกับการกระจายสะสมของเวลาแทนช่วงระยะเวลาแต่ละช่วง



รูปที่ 4.3 อัตราการตกของฝนในวันที่ 13 กรกฎาคม 2548 ที่อัตราการสุ่มทุก ๆ 1 วินาที



รูปที่ 4.4 อัตราการตกของฝนในวันที่ 13 กรกฎาคม 2548 ที่อัตราการสุ่มทุก ๆ 1 นาที

จากรูปที่ 4.4 จะเป็นอัตราการตกของฝนที่อัตราการสุ่มข้อมูลทุก ๆ 1 นาที ซึ่งจะมีอัตราการตกของฝนสูงสุดเพียง 150 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น และเมื่อดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอัตราการตกของฝนแล้วจะเห็นได้ว่า ที่อัตราการสุ่มทุก ๆ 1 วินาทีนั้นจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลง

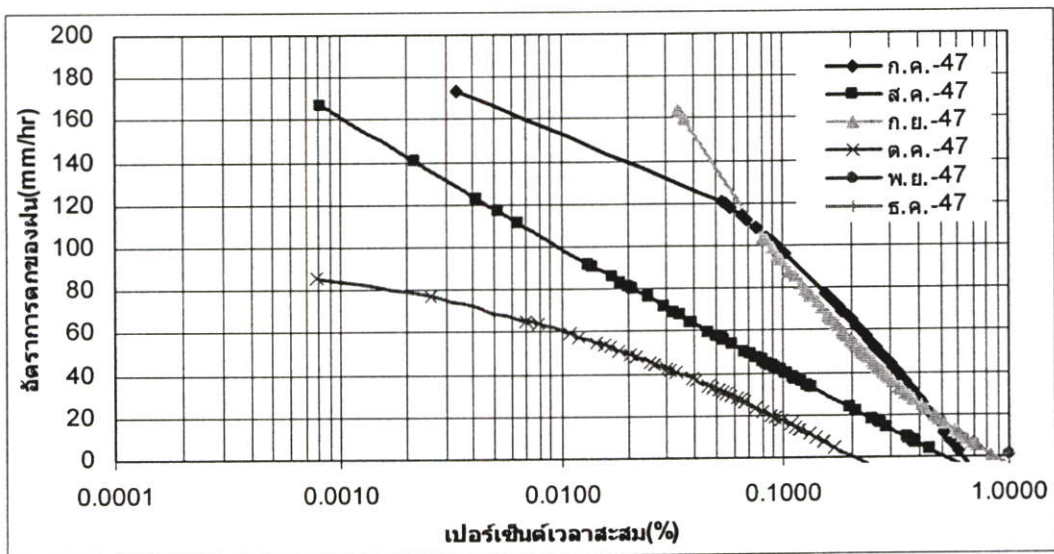
ที่มากกว่าอัตราการสุ่มทุก ๆ 1 นาที เพราะฉะนั้นข้อมูลที่เก็บทุก ๆ 1 วินาทีจะมีความละเอียดของข้อมูลที่มากกว่าแบบอัตราการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที

4.3 การกระจายสะสมของฝน

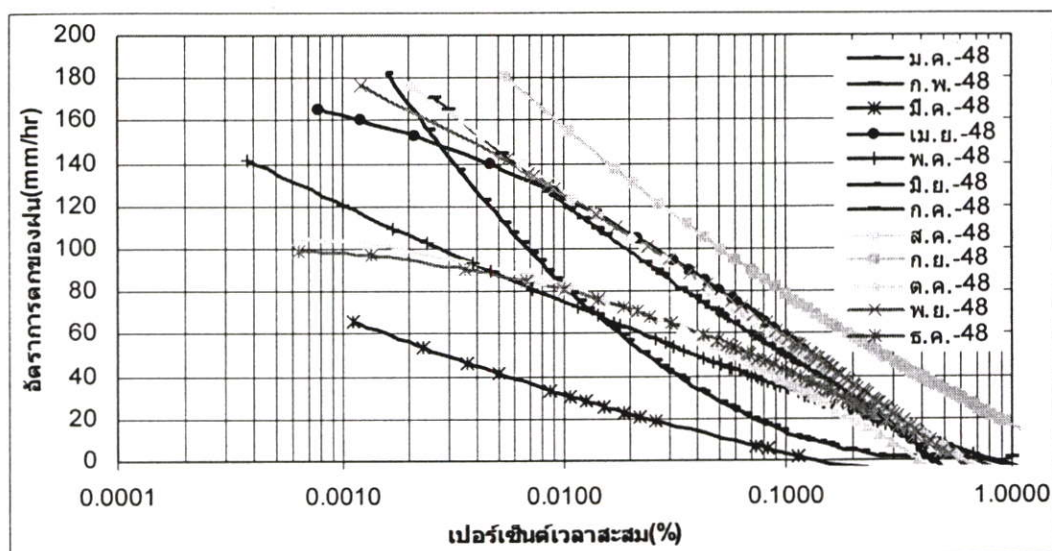
อัตราการตกของฝน ที่ได้จากการวิจัยนั้นจะเปรียบเทียบระยะเวลากับอัตราการตกของฝน เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลจะต้องทำระยะเวลาให้เป็นระยะเวลาสะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าอัตราการตกของฝนที่สูง ๆ นั้นจะมีช่วงระยะเวลาที่สั้น ซึ่งกลับกับอัตราการตกของที่น้อยจะมีช่วงระยะเวลาที่นาน สมมุติว่า อัตราการตกของฝนที่น้อยกว่า 11 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงมีระยะเวลาที่ฝนตก 10 นาที ก็จะนำค่าระยะเวลา 10 นาทีไปหาเปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งหมดจะทำให้ได้ค่าการกระจายเวลาสะสมที่อัตราการตกของฝน 10 มิลลิเมตร

4.3.1 การกระจายสะสมของฝนรายเดือน

การหาค่าการกระจายสะสมของฝนรายเดือน หาได้จากระยะเวลาที่อัตราการตกของฝนน้อยกว่าค่าที่จะหา รวมกันแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา โดยระยะเวลาทั้งหมดที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก 1 นาที เท่ากับ 43200 นาที สำหรับเดือนที่มี 30 วัน ส่วนเดือนที่มี 31 วันเท่ากับ 44640 นาที



รูปที่ 4.5 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 วินาที ปีพ.ศ. 2547



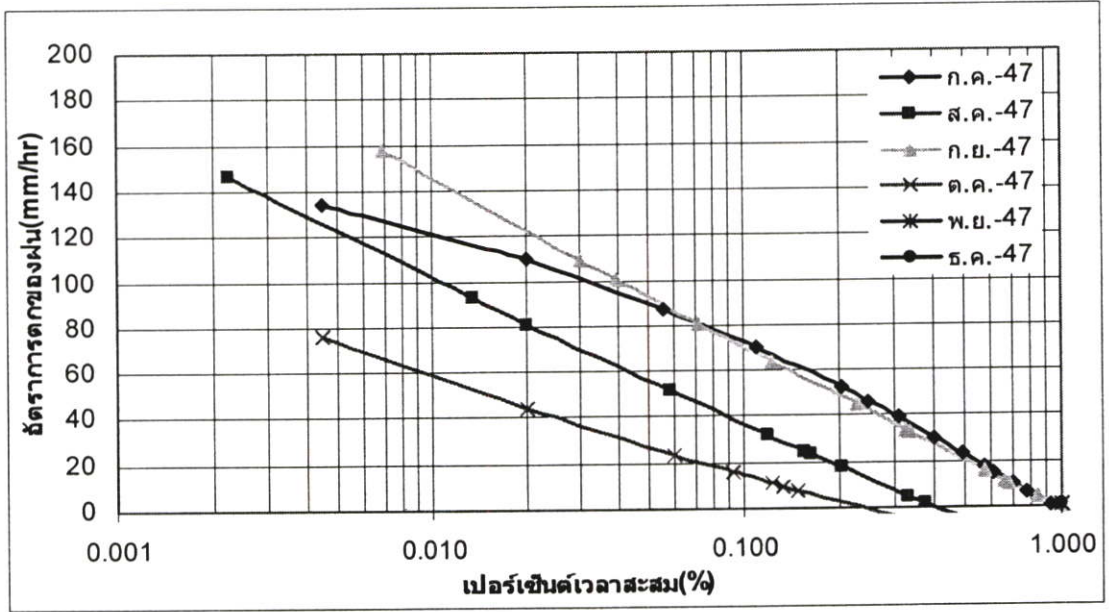
รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 วินาที ปีพ.ศ. 2548

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์เวลาของการกระจายสะสมที่เป็นแบบรายเดือนอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที โดยในรูปที่ 4.5 นั้นจะเป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547 จนถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2547 จะเห็นได้ว่ามีข้อมูลเพียง 4 เดือนเท่านั้น ก็คือในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2547 และเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2547 นั้นไม่มีข้อมูลเพราะในช่วงเดือนดังกล่าวไม่มีฝนตก ส่วนในรูปที่ 4.6 นั้น เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 จะไม่มีข้อมูลเช่นเดียวกันเพราะไม่มีฝนตก โดยทั้ง 2 รูปนี้ อัตราการตกของฝนสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 170 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเดือนที่มีอัตราการตกของฝนสูงสุดคือ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2548 และเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 ซึ่งในเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 นั้นจะมีระยะเวลาในการตกของฝนที่ยาวนานที่สุดด้วย และยังมีปริมาณการตกของฝนมากที่สุดด้วยเช่นกัน

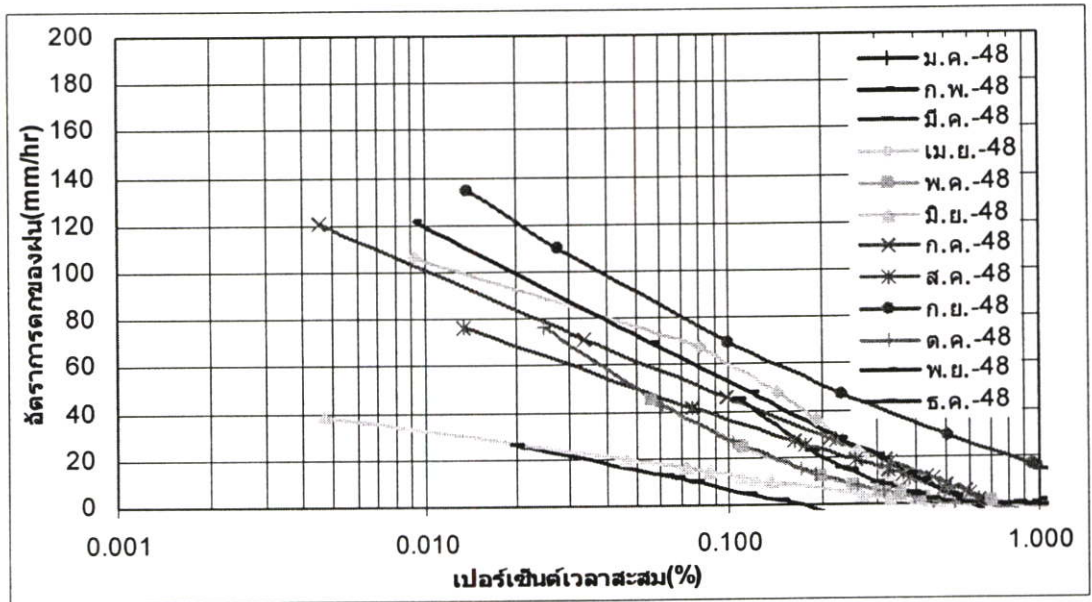
สำหรับเปอร์เซ็นต์เวลาของการกระจายสะสมแบบรายเดือน ที่อัตราการเก็บข้อมูลที่ทุก ๆ 1 นาที นั้นจะแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 โดยในรูปที่ 4.7 นั้นจะเป็นข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2547 และในรูปที่ 4.8 นั้นจะเป็นข้อมูลในเดือนมกราคม ถึง เดือนธันวาคม ของปี พ.ศ. 2548

จากข้อมูลที่ได้จากอัตราการเก็บข้อมูลที่ทุก ๆ 1 นาทีนั้น จะมีอัตราการตกของฝนที่ต่ำกว่าอัตราการเก็บข้อมูลที่ทุก ๆ 1 วินาที ตัวอย่าง เช่น ของเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 ที่อัตราการเก็บข้อมูลที่ทุก ๆ 1 วินาที นั้นจะได้ประมาณเท่ากับ 170 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง แต่ที่อัตราการเก็บข้อมูลที่ทุก ๆ 1 นาที นั้นจะได้ประมาณเท่ากับ 135 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันอยู่ประมาณ 45 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สาเหตุที่ได้ค่าแตกต่างกันเพราะว่า เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการทดลองนั้นมีขนาดของกระบอกที่ใหญ่ทำให้ข้อมูลที่ได้อาจจะไม่มีความละเอียด ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้น จะต้องใช้อัตราการเก็บข้อมูลที่สูงขึ้นหรือไม่ ก็ต้องใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่มี

ความละเอียดมาก ๆ เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นไปอีก ดังนั้นในการวิเคราะห์จะใช้เฉพาะค่าที่ได้จากอัตราการเก็บข้อมูลทีละทุก ๆ 1 วินาที



รูปที่ 4.7 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที ปีพ.ศ. 2547



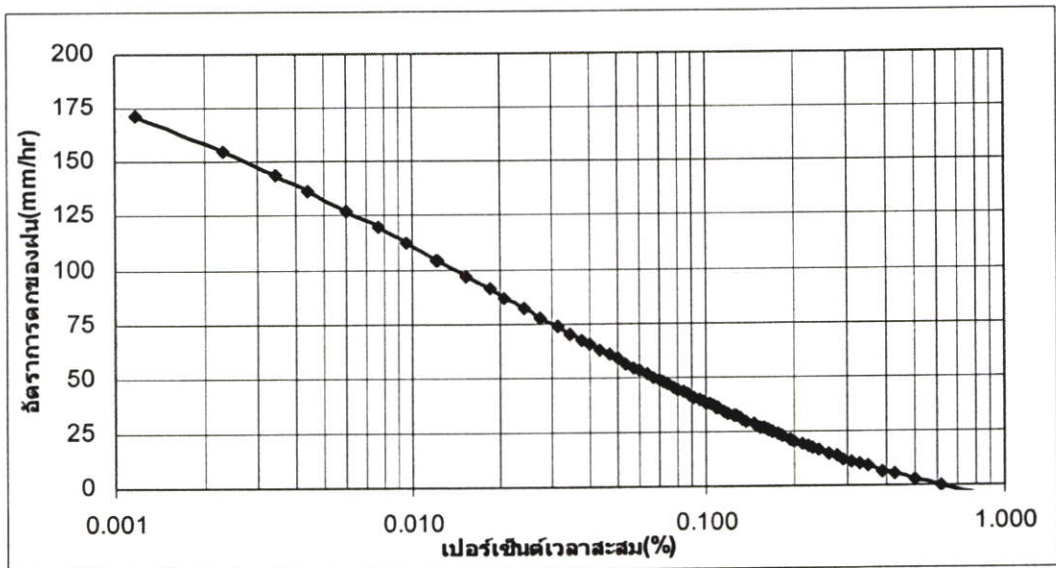
รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมรายเดือนที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที ปีพ.ศ. 2548

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากรูปทั้ง 4 รูปนี้จะพบว่า ที่เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมมาก ๆ นั้นจะมีอัตราการตกของฝนที่ต่ำๆ แต่ที่เปอร์เซนต์เวลาการกระจายสะสมน้อย ๆ นั้น จะมี

อัตราการตกของฝนที่สูง ๆ อย่างเช่น เดือน กันยายน พ.ศ. 2548 นั้น ของอัตราการบันทึกข้อมูลทีทุก ๆ 1 วินาที ที่ 1 เปอร์เซ็นต์จะได้ค่าอัตราการตกของฝนโดยประมาณเท่ากับ 17 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง แต่ที่ 0.1 เปอร์เซ็นต์จะได้ค่าอัตราการตกของฝนโดยประมาณเท่ากับ 70 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าที่ระยะเวลาการตกของฝนนาน ๆ นั้นจะมีอัตราการตกของฝนที่ต่ำๆ และถ้าระยะเวลาในการตกของฝนเป็นระยะเวลาสั้นๆ นั้นจะมีอัตราการตกของฝนที่สูงขึ้นตามลำดับ

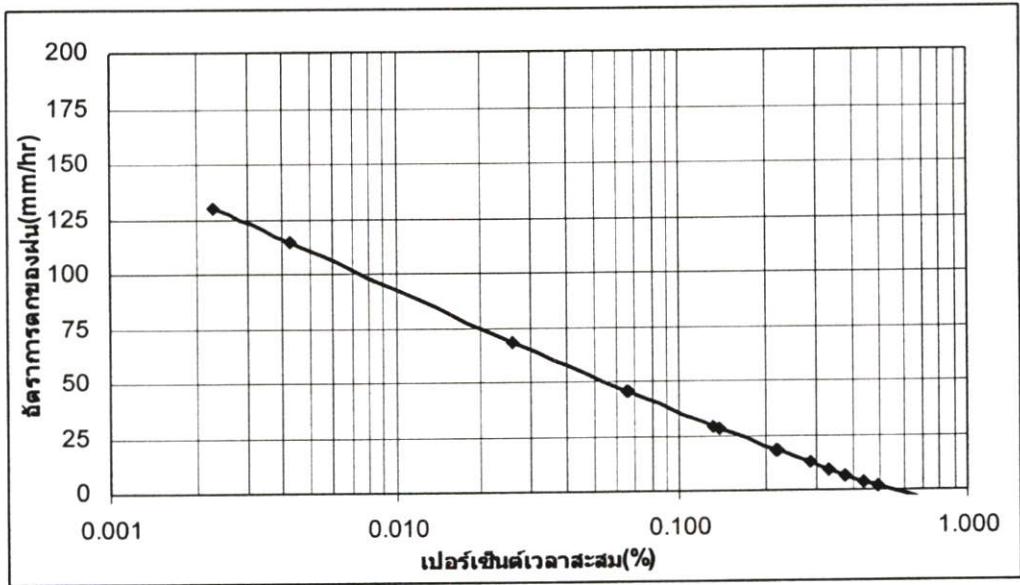
4.3.2 การกระจายสะสมของฝนรายปีของอัตราการตกของฝน

การกระจายสะสมของฝนรายปี นั้นจะนำข้อมูลทั้ง 12 เดือนหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมเพื่อที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ เป็นรายปีเนื่องจากข้อมูลที่เป็นรายเดือนนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ เดือนจึงทำให้ยากต่อการนำไปวิเคราะห์ ในการหาค่าการกระจายสะสมของฝนรายปี หาได้จากการนำข้อมูลทั้งปีหาค่าเฉลี่ยที่เกิดฝน แต่ละอัตราการตกของฝน



รูปที่ 4.9 การกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 วินาที

จากรูปที่ 4.9 เป็นการกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที ซึ่งอัตราการตกของฝนสูงสุดประมาณ 175 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมประมาณ 0.001 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นมาก ๆ

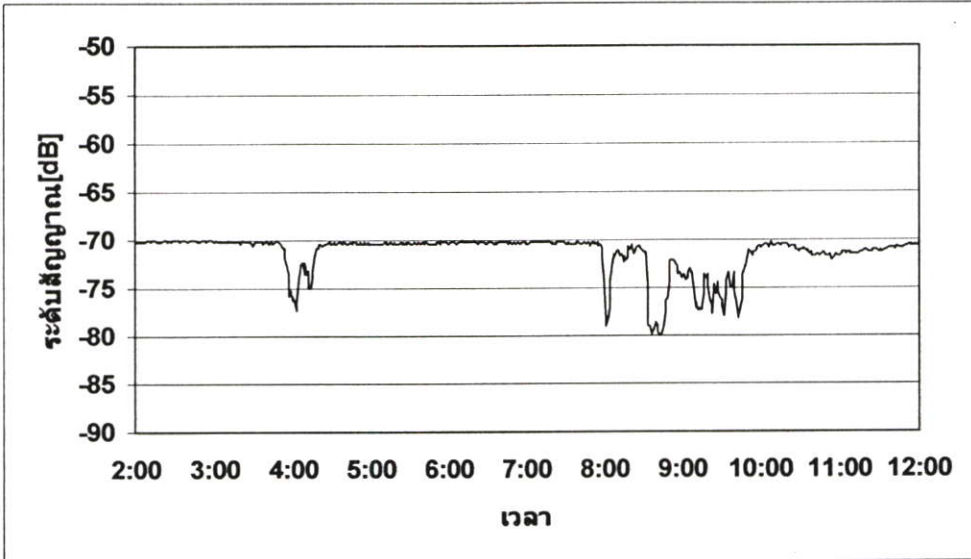


รูปที่ 4.10 การกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูล 1 นาที

จากรูปที่ 4.10 เป็นการกระจายสะสมรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที โดยอัตราการตกของฝนที่สูงสุดประมาณ 125 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมประมาณ 0.002 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอัตราการเก็บข้อมูลทีละทุก ๆ 1 วินาที จะพบว่าข้อมูลที่เก็บทุก ๆ 1 วินาทีนั้นจะมีอัตราการตกของฝนที่สูงกว่า เช่น ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ 0.010 เปอร์เซ็นต์ อัตราการตกของฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีนั้นจะเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง แต่เมื่อไปดูที่อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเก็บข้อมูล ทุก ๆ 1 นาที จะมีอัตราการตกของฝนประมาณ 90 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างกันมากถึง 55 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สาเหตุที่ทำให้ค่าแตกต่างกันมากนั้นได้กล่าวไปแล้วในขั้นต้น ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ ข้อมูลที่ได้จากอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที

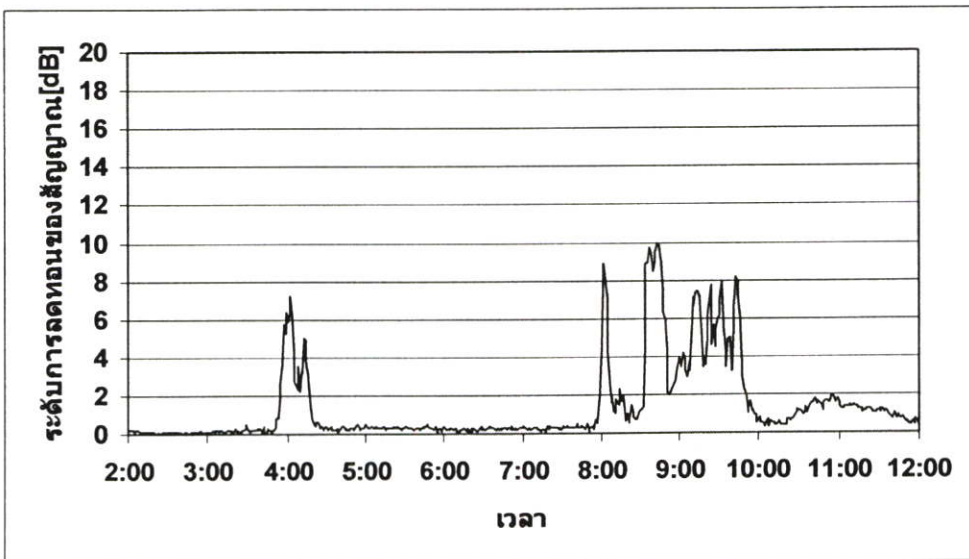
4.4 การลดทอนของสัญญาณควาเทียมเนื่องจากฝน

การรับสัญญาณผ่านควาเทียมนั้น โดยปกติแล้วสัญญาณที่รับได้นั้นจะอยู่ในหน่วยของ เดซิเบล ซึ่งจะมีระดับความแรงของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับกำลังส่งของเครื่องส่งบนตัวควาเทียม อย่างเช่น สัญญาณที่รับได้ของควาเทียมไทยคม 3 ในสภาพอากาศที่เป็นปกตินั้นจะมีค่าอยู่ที่ -70 เดซิเบล แต่เมื่อเกิดการลดทอนของสัญญาณควาเทียมเนื่องจากฝนนั้นจะทำให้ระดับสัญญาณควาเทียมลดลงไปอยู่ที่ประมาณ -80 เดซิเบล ซึ่งขึ้นอยู่กับ การลดทอนของสัญญาณว่าจะมากหรือน้อยเพียงใด โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ระดับของสัญญาณดาวเทียมที่วัดได้

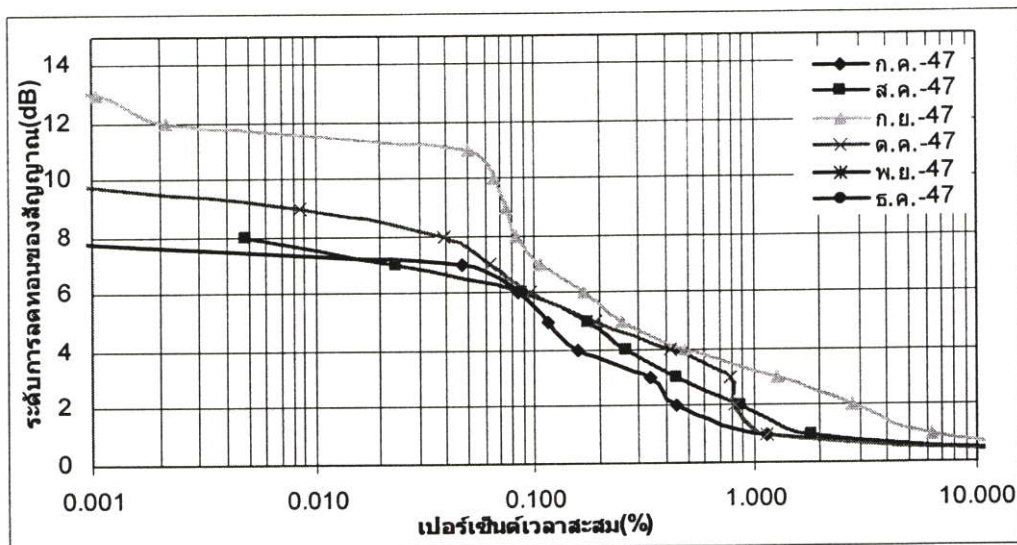
จากรูปที่ 4.11 เป็นระดับสัญญาณดาวเทียมของดาวเทียมไทยคม 3 และในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนั้นมีการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนขึ้น แต่ในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะใช้ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 4.12 ซึ่งเป็นระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที ที่ได้จาก รูปที่ 4.11 จะเห็นว่าในช่วงระยะเวลาประมาณ 3 : 50 น. ถึง 4: 30 น. และ 8:00 ถึง 12:00 น. นั้นมีการลดทอนของสัญญาณขึ้นเนื่องจากฝน โดยระดับการลดทอนของสัญญาณสูงสุด 10 เดซิเบล



รูปที่ 4.12 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที

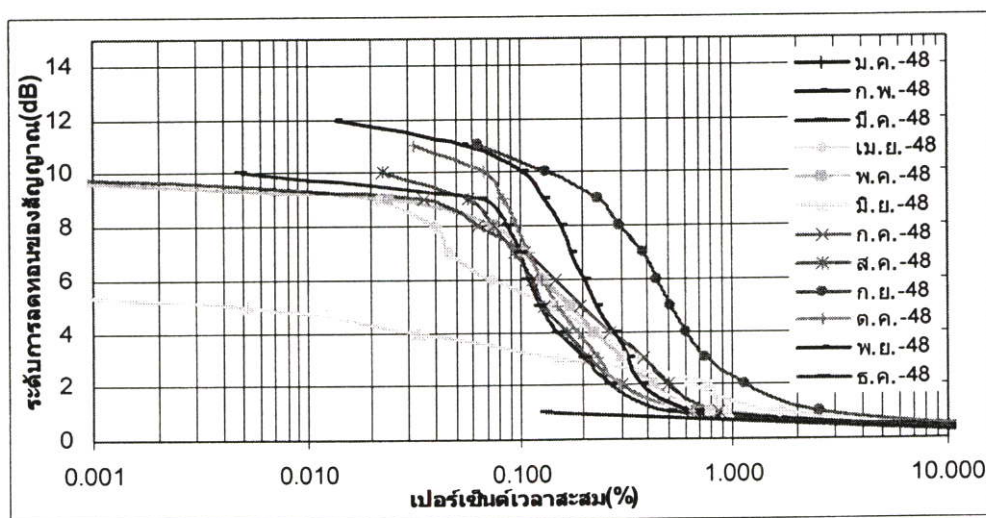
4.4.1 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนรายเดือน

การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนรายเดือน เป็นข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ผลในแต่ละเดือน เพื่อรู้ว่าเดือนไหนระดับการลดทอนเป็นเท่าไร ซึ่งระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในแต่ละเดือนนั้นจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝนแต่ละเดือนด้วย



รูปที่ 4.13 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 วินาที ของปี พ.ศ. 2547

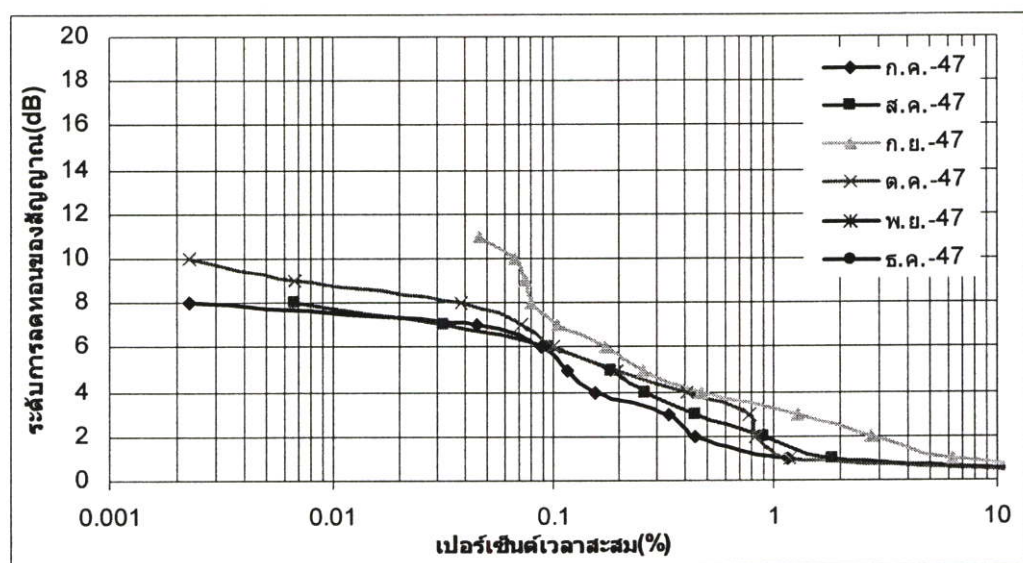
จากรูปที่ 4.13 เป็นการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน ที่อัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 โดยจะเห็นว่าเดือนกันยายน นั้นจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณมากที่สุดประมาณ 13 เดซิเบล และจะมีอยู่ 2 เดือนที่ไม่มีข้อมูลการลดทอนคือ เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 เนื่องจากไม่มีฝนตก



รูปที่ 4.14 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 วินาที ของปี พ.ศ. 2548

จากรูปที่ 4.14 เป็นการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน ที่อัตราการเก็บข้อมูล ทุกๆ 1 วินาทีระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยระดับการลดทอนของสัญญาณสูงสุดอยู่ที่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 และเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 ซึ่งมึระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนโดยประมาณ 12 เดซิเบล เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่า ข้อมูลของ ปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2548 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2547 นั้นจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 13 เดซิเบล

การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่มีอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที โดยจะแสดงดังรูปต่อไปนี้

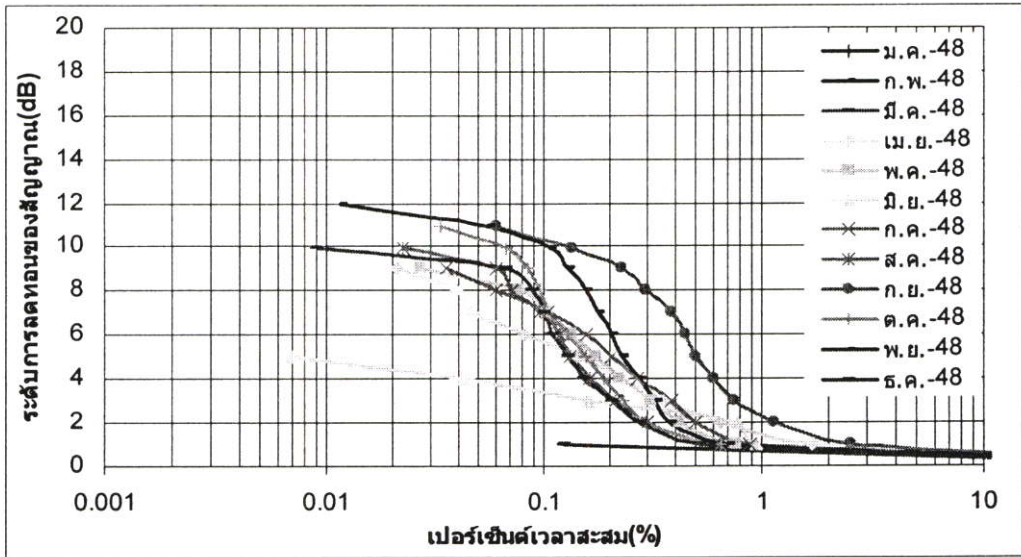


รูปที่ 4.15 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 นาทีของปี พ.ศ. 2547

จากรูปที่ 4.15 เป็นระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที ซึ่งเป็นข้อมูลของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 โดยจะไม่มีข้อมูล 2 เดือนคือเดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม พ.ศ. 2547 โดยทั้ง 2 เดือนนี้เป็นเดือนที่ไม่มีการตกของฝน จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเดือนกันยายน พ.ศ. 2547 นั้นจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นมากที่สุดประมาณ 11 เดซิเบล แต่มีช่วงระยะเวลาการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ยาวนาน คือ มีค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.045 เปอร์เซ็นต์

ส่วนในรูปที่ 4.16 เป็นระดับการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาทีซึ่งเป็นข้อมูลจากเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยเดือนมกราคม และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 นั้นจะไม่มีข้อมูลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม

เนื่องจากฝน เนื่องจากในช่วงเดือนดังกล่าวไม่มีฝน ส่วนระดับการลดทอนของสัญญาณที่มากที่สุด ประมาณ 12 เดซิเบล ในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 เป็นระยะเวลาประมาณ 0.01 เปอร์เซนต์



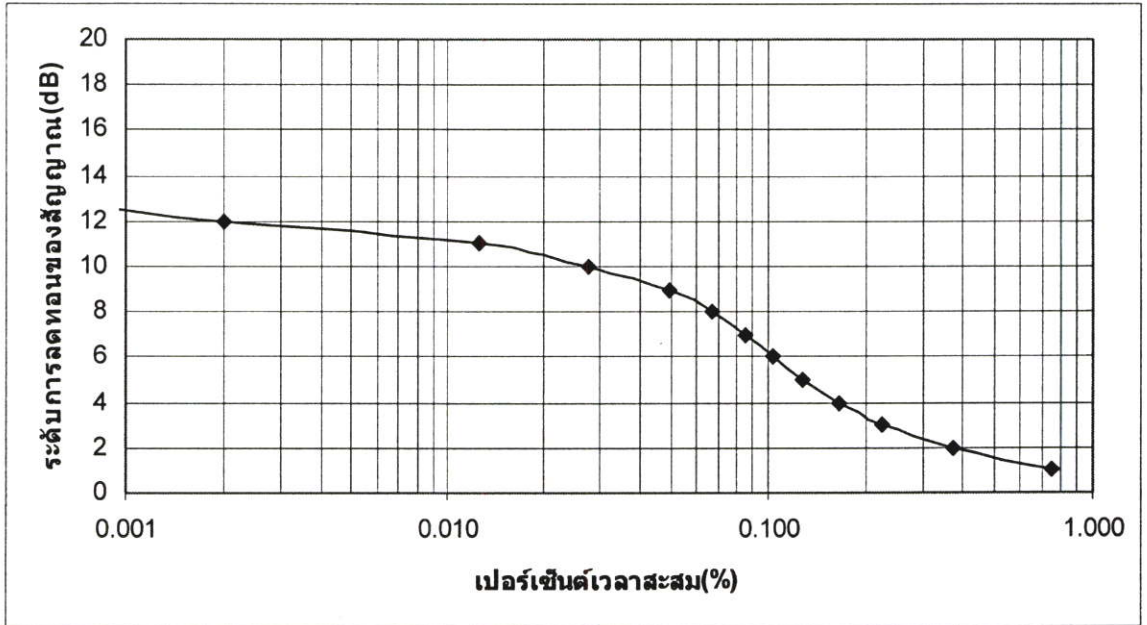
รูปที่ 4.16 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 นาทีของปี พ.ศ. 2548

จากข้อมูลทั้งหมดของการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที จะพบว่าในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 มีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนมากที่สุด ประมาณ 12 เดซิเบล

เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีและที่ทุก ๆ 1 นาที จะพบว่าข้อมูลที่มีอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ วินาทีนั้นจะมีระดับการลดทอนมากที่สุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2547 โดยมีระดับการลดทอนของสัญญาณประมาณ 13 เดซิเบล และในส่วนของอัตราการเก็บข้อมูลที่ทุก ๆ 1 นาที นั้นจะมีระดับการลดทอนมากที่สุดในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2548 จะมีระดับการลดทอนประมาณ 12 เดซิเบลเท่านั้น ซึ่งจะแตกต่างกับข้อมูลที่มีอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที แต่เมื่อไปดูที่เดือนกันยายน พ.ศ. 2548 นั้นจะพบว่าจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเพียง 11 เดซิเบลเท่านั้นเอง ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ค่าที่ได้นั้นแตกต่างกัน เพราะว่าอัตราการบันทึกข้อมูลนั่นเอง เพราะฉะนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ข้อมูลที่มีอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดที่สูงมากขึ้น

4.4.2 การกระจายสะสมรายปีของระดับการลดทอนของสัญญาณ

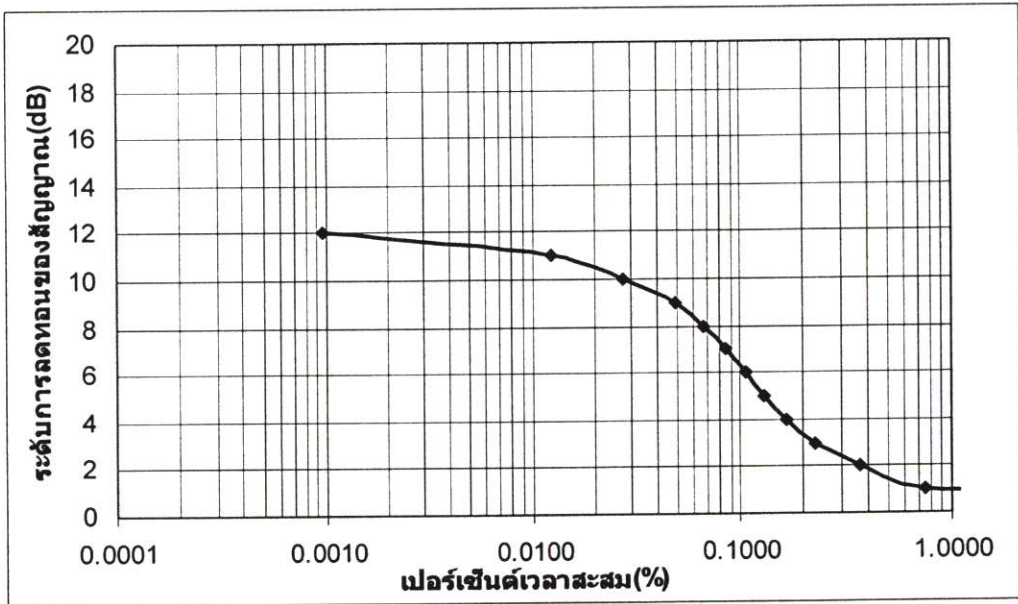
การกระจายสะสมรายปีของระดับการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากฝน จะนำข้อมูลทั้ง 12 เดือนมาหาค่าเฉลี่ยสะสม โดยจะนำข้อมูล ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นรายปีนั้น ๆ



รูปที่ 4.17 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน 1 วินาที รายปี

จากรูปที่ 4.17 เป็นการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากฝนรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที โดยระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 13 เดซิเบล ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมประมาณ 0.001 เปอร์เซ็นต์

ส่วนระดับการลดทอนของสัญญาณผ่านดาวเทียมเนื่องจากฝนรายปีที่อัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาทีนั้นจะแสดงในรูปที่ 4.18 โดยระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 12 เดซิเบล ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.001 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการลดทอนสูงสุดแล้วจะแตกต่าง โดยประมาณ 1 เดซิเบล และเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่ต่ำสุดจะมีค่าที่แตกต่างกันด้วย แต่เป็นค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่าแตกต่างกันนั้นเพราะว่าอัตราการเก็บข้อมูล ด้วยเนื่องจากความแตกต่างของอัตราการเก็บข้อมูลอยู่ที่ 60 ข้อมูล ทำให้ผลที่ได้นั้นมีความแตกต่างกันด้วย แต่ก็ไม่ได้แตกต่างกันมากเท่าไรสำหรับระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน



รูปที่ 4.18 การลดทอนของสัญญาณควาเทียมเนื่องจากฝน 1 นาที รายปี

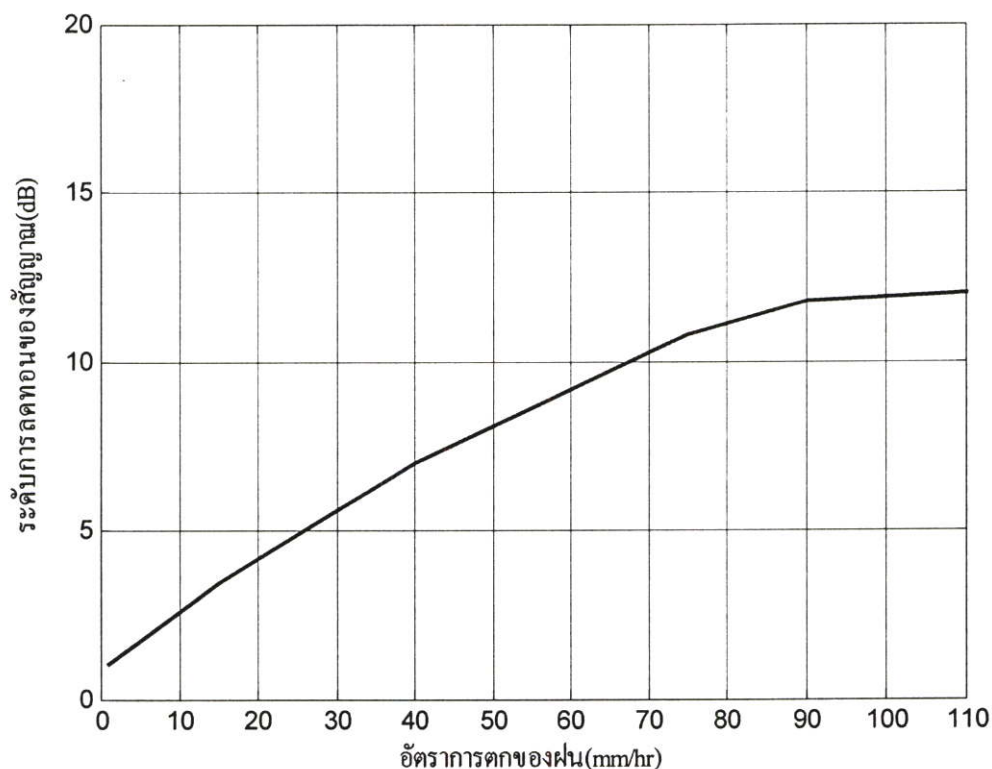
การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมลดลง คืออย่างเช่น ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมจากรูปที่ 4.18 ที่ 0.1 เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 6 เดซิเบลแต่เมื่อระยะเวลาสะสมลดลงเป็น 0.001 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากับ 12 เดซิเบล ซึ่งหมายความว่า การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูง ๆ นั้นจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาสั้นเท่านั้น และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนต่ำจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลานาน ๆ ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝนที่ได้กล่าวไว้ในขั้นต้นแล้ว

4.5 การลดทอนของสัญญาณควาเทียมเนื่องจากฝนกับอัตราการตกของฝน

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนและอัตราการตกของฝนที่เป็นรายปี ต่างก็จะมี ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เวลาสะสม ดังนั้นสามารถหาระดับการลดทอนของฝนได้จาก อัตราการตกของฝนได้ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมใด ๆ เช่น ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการตกของฝนเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 ของ ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเท่ากับ 11 เดซิเบล เพราะฉะนั้นจะทำให้ทราบที่อัตราการตกของฝน 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง นั้นจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเท่ากับ 11 เดซิเบล โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 4.19

จากรูปที่ 4.19 เป็นความสัมพันธ์ของอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณ เนื่องจากฝนที่ เปอร์เซ็นต์ต่าง ๆ เมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าระดับการลดทอนของ สัญญาณเนื่องจากฝนก็จะเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับเช่น ที่อัตราการตกของฝน 175 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

จะได้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนประมาณ 13 เดซิเบล และที่อัตราการตกของฝน 40 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะได้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนโดยประมาณ 7 เดซิเบล



รูปที่ 4.19 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน

สำหรับค่าที่จะนำไปใช้ในการทำนายผลของแบบจำลองต่าง ๆ นั้นจะนำค่าที่ระยะเวลาสะสม 0.01 เปอร์เซนต์ ซึ่งจะได้อัตราการตกของฝนเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเท่ากับ 11 เดซิเบล สำหรับสาเหตุที่ต้องคิดที่ 0.01 เปอร์เซนต์ในระยะเวลาหนึ่งปีนั้น เมื่อคิดเป็นระยะเวลาประมาณ 56 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การติดต่อสื่อสารกันไม่ได้ในระยะเวลา 1 ปีและเมื่อคิดในทางกลับกันจะมีระยะเวลาที่ติดต่อสื่อสารกันได้เท่ากับ 99.99 เปอร์เซนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรภาพของระบบการสื่อสาร แต่ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการสื่อสารด้วยว่าจะยอมรับได้ที่กี่เปอร์เซนต์

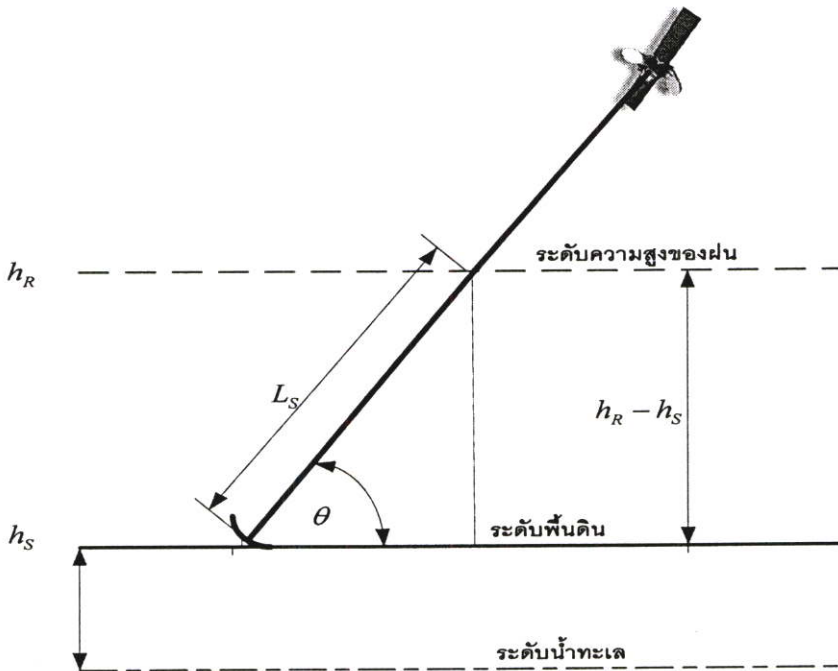
บทที่ 5

แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

แบบจำลองของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน เป็นการทำนายระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่าง ๆ โดยในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบแบบจำลองของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ กรุงเทพมหานครฯ และบริเวณใกล้เคียงที่มีอัตราการตกของฝนใกล้เคียงกัน โดยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติ และเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ ITU-R และ Crane ด้วย

5.1 แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

แบบจำลองของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน จะได้มาจากข้อมูลทางสถิติที่บันทึกไว้ โดยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปแก้ไขแบบจำลองของ ITU-R P.618-8 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ทำการบันทึกมากที่สุด



รูปที่ 5.1 ลักษณะของแนวเส้นทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝน

เมื่อ ค่า h_R คือ ระดับความสูงของฝน (กิโลเมตร)

h_S คือ ระดับความสูงของงานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียม (กิโลเมตร)

5.1.1 ระดับความสูงของฝน (h_R)

ระดับความสูงของฝนนั้น โดยแต่ละพื้นที่จะมีความสูงของฝนที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 5.1

$$h_R = h_0 + 0.36 \text{ กิโลเมตร} \quad (5.1)$$

โดย h_0 หรือระดับความสูงที่อุณหภูมิกอากาศ 0 องศาเซลเซียส ของประเทศไทยจะได้เท่ากับ 4.5 กิโลเมตร โดยสามารถดูได้จากมาตรฐานของ ITU-R P.839 ดังนั้นความสูงของระดับฝนจะได้เท่ากับ 4.86 กิโลเมตร

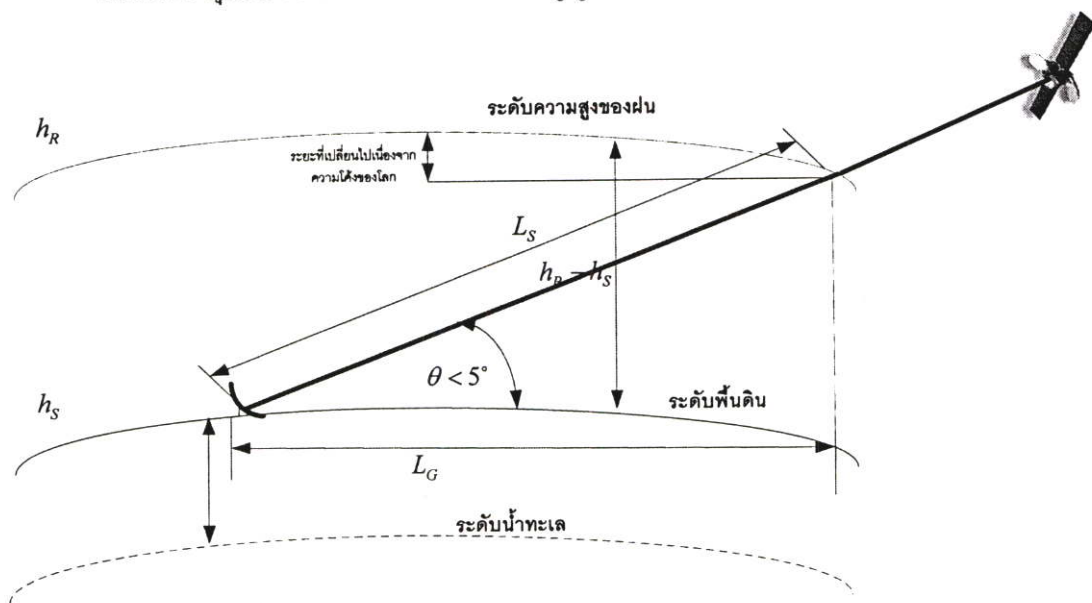
5.1.2 ระยะทาง Slant-path (L_S)

ระยะทาง Slant path เป็นระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝน โดยในการหาระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝนนั้นจะแยกออกเป็น 2 กรณี สาเหตุที่ต้องแยกเป็น 2 กรณีเพราะความโค้งของโลกจะมีผลมาก เมื่อมุมเงยของจานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียมมีมุมเงยที่ต่ำ ๆ

กรณีที่ 1 มุมเงยของจานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียมมากกว่าหรือเท่ากับ 5 องศา

$$L_S = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \text{ กิโลเมตร} \quad (5.2)$$

กรณีที่ 2 มุมเงยของจานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียมน้อยกว่า 5 องศา



รูปที่ 5.2 ลักษณะของแนวเส้นทางที่ผ่านกลุ่มฝนที่มีมุมเงยของจานสายอากาศน้อยกว่า 5 องศา

สำหรับในกรณีที่มีมุมเงยของงานสายอากาศรับที่น้อยกว่า 5 องศาจะทำให้ระยะทางของสัญญาณที่ผ่านกลุ่มฝนนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามความโค้งของผิวโลก ตามรูปที่ 5.2 ดังนั้นจะต้องใช้สมการที่ 5.3 โดยพิจารณาความโค้งของผิวโลกด้วย

$$L_S = \frac{2(h_R - h_S)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e}\right)^{1/2} + \sin \theta} \text{ กิโลเมตร} \quad (5.3)$$

เมื่อ R_e คือ Effective Earth Radius (ประมาณ 8,500 กิโลเมตร)

โดยจากการทดลองมุมเงยของงานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม 59.81 องศา ซึ่งจะต้องใช้ในกรณีที่ 1 และค่า $h_S = 0.015$ กิโลเมตร เพราะฉะนั้นจะได้ค่าระยะทาง L_S เท่ากับ 5.605 กิโลเมตร

5.1.3 ระยะทางด้านแนวนอน(L_G)

ระยะทางด้านแนวนอนคือ ระยะทางบนพื้นผิวโลกตามแนวระนาบผิวดิน สามารถหาได้จาก ระยะทางของ Slant path ตามสมการที่ 5.4 โดยการหาระยะทางด้านแนวนอนนั้น เพื่อจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาระยะทางของสัญญาณที่ได้รับผลกระทบจากกลุ่มฝน ซึ่งจะได้ระยะทางของ L_G เท่ากับ 2.818 กิโลเมตร

$$L_G = L_S \cos \theta \text{ กิโลเมตร} \quad (5.4)$$

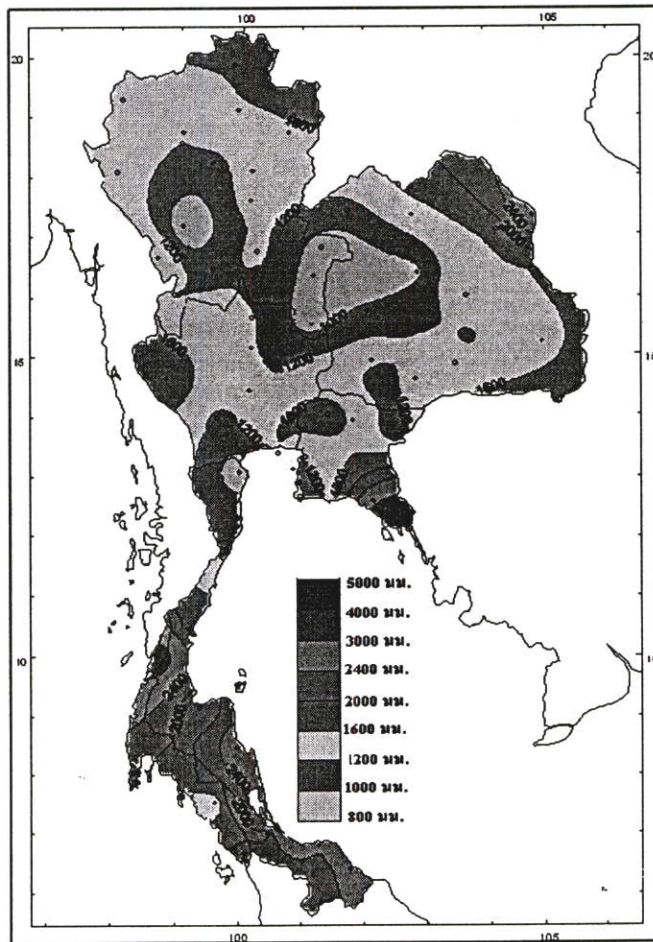
5.1.4 อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซนต์($R_{0.01}$)

อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซนต์ในช่วงระยะเวลาสะสมหนึ่งปี สามารถหาได้จากข้อมูลที่ทำการเก็บข้อมูลจากตารางที่ 5.1 สำหรับสาเหตุที่ต้องคิดที่ 0.01 เปอร์เซนต์ นั้นเมื่อคิดเป็นระยะเวลาประมาณ 56 นาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่การติดต่อสื่อสารกันไม่ได้ในระยะเวลา 1 ปีและเมื่อคิดในทางกลับกันจะมีระยะเวลาที่ติดต่อสื่อสารกันได้เท่ากับ 99.99 เปอร์เซนต์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรภาพของระบบการสื่อสาร แต่ก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะการสื่อสารด้วยว่าจะยอมรับได้ที่กี่เปอร์เซนต์

ตารางที่ 5.1 อัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เปอร์เซ็นต์เวลา %	อัตราการตกของฝน(มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)
1	0
0.5	2
0.1	32
0.05	95
0.01	110

สำหรับพื้นที่ที่สามารถใช้ข้อมูลนี้ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนและปริมาณการตกของฝนในแต่ละพื้นที่ไป โดยทั่วไปแล้วบริเวณที่ใกล้เคียงกันก็สามารถใช้ได้ เพื่อที่จะให้เห็นถึงปริมาณการตกของฝนในแต่ละพื้นที่สามารถดูได้จากรูปที่ 5.3 ซึ่งเป็นปริมาณการตกของฝนในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างไร

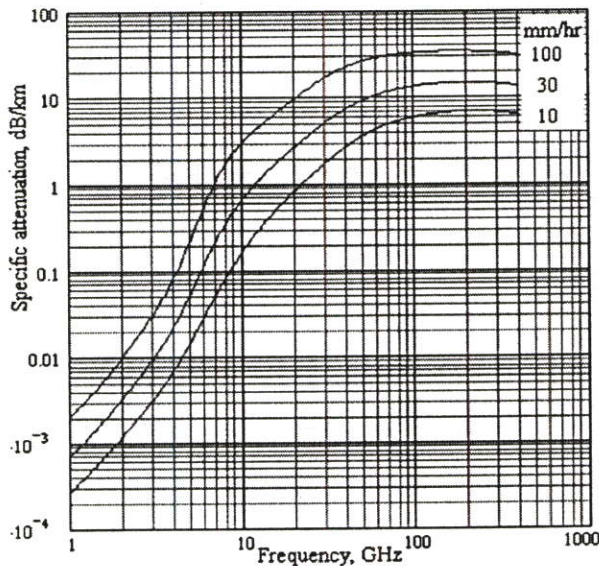


รูปที่ 5.3 ปริมาณการตกสะสมของฝนในแต่ละพื้นที่ในประเทศไทยของปี พ.ศ. 2548 [25]

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าปริมาณการตกของฝนตลอดปีที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเท่ากับ 1600 มิลลิเมตร ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมดังรูป ดังนั้นการใช้งานของอัตราการตกของฝนนี้จะได้ในบริเวณพื้นที่ ที่มีพื้นที่ติดกับบริเวณที่ทำการทดลอง เนื่องจากมีปริมาณการตกของฝนใกล้เคียงกัน

5.1.5 การลดทอนสัญญาณจำเพาะ (γ_R)

ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจำเพาะ (γ_R) เป็นระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนต่อ 1 กิโลเมตร โดยค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนจะขึ้นกับความถี่และโพลาไรเซชันของคลื่นที่รับสัญญาณ ความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เกิดจากความถี่ที่ใช้สามารถดูได้จากรูปที่ 5.4 เมื่อความถี่ของสัญญาณเพิ่มขึ้นจะทำให้ความยาวคลื่นสั้นลงไปทำให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกับขนาดของหยดฝนมากยิ่งขึ้น เป็นผลให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเพิ่มมากขึ้นตามความถี่ และยังขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนด้วย อย่างเช่น ที่อัตราการตกของฝน 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่ความถี่ 1 กิกะเฮิรตซ์ จะได้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน 0.009 เดซิเบลต่อกิโลเมตร แต่เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 100 กิกะเฮิรตซ์ จะได้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเท่ากับ 30 เดซิเบลต่อกิโลเมตร



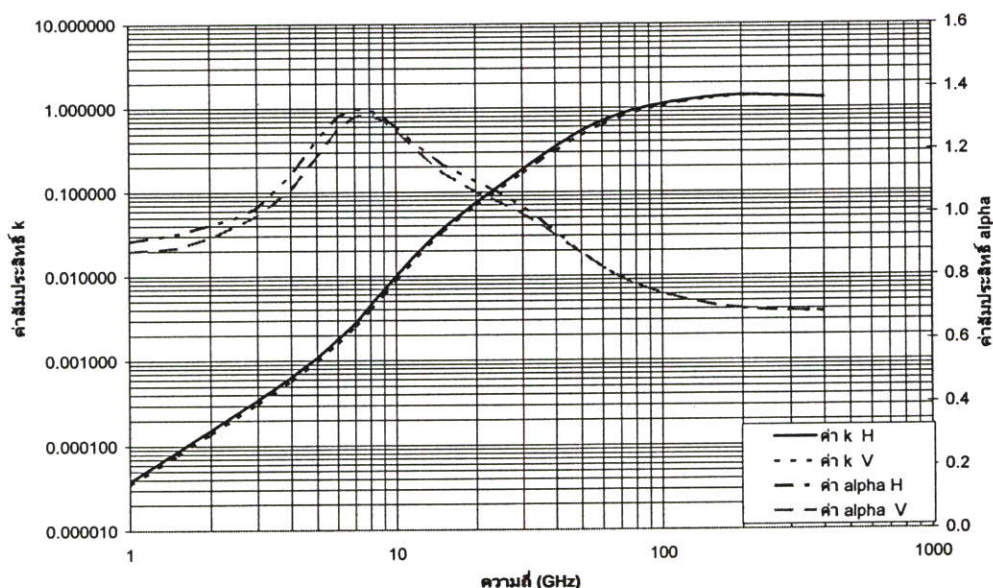
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของความถี่กับการลดทอนของสัญญาณ [26]

ดังนั้นสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และโพลาไรเซชันได้จากสมการที่ 5.5 ซึ่งเป็นสมการของ ITU-R P.838

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \text{ เดซิเบล/กิโลเมตร} \quad (5.5)$$

เมื่อ k, α คือค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวนอนหรือแนวตั้งของการลดทอนจำเพาะ

โดยค่า k และ ค่า α นั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 5.5 โดยจะแบ่งโพลาริเซชันในด้านแนวนอน (H) และทางด้านแนวตั้ง (V) หรือสามารถดูได้จาก ITU-R P.838 ในการทดลองค่าของ k จะได้เท่ากับ 0.0168 ส่วนค่า α ได้กับ 1.1994 และอัตราการตกของฝนที่ได้จากการทดลองเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ เพราะฉะนั้นเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 5.5 จะได้ค่าของ γ_R เท่ากับ 4.717 เดซิเบลต่อกิโลเมตร



รูปที่ 5.5 ค่าสัมประสิทธิ์ของ k และ α

5.1.6 แฟคเตอร์ที่ลดลงทางด้านแนวนอน ($r_{0.01}$)

ค่าแฟคเตอร์ที่ลดลงทางด้านแนวนอนเป็นค่าแฟคเตอร์ที่สามารถหาได้จากค่าของ L_E และค่า L_G ในรูปที่ 5.6 เนื่องจากค่า L_G นั้นจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระยะทางของ L_E โดยค่าแฟคเตอร์ทางด้านแนวนอน[21][22] สามารถหาได้จากสมการที่ 5.6

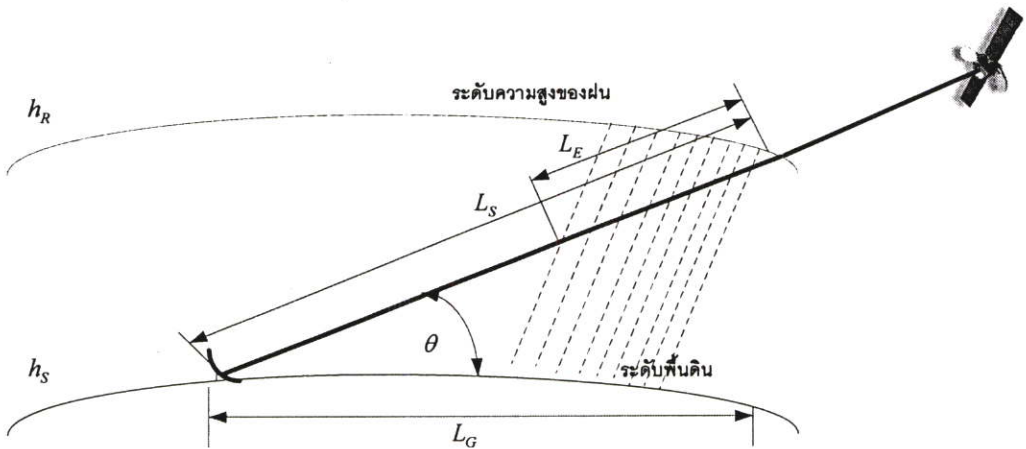
$$r_{0.01} = \frac{L_E}{L_G} \quad (5.6)$$

โดยค่า $r_{0.01}$ ที่ได้นั้นจะเป็นค่าคงที่ ที่ได้จากระยะทางของ L_E ที่ทำการทดลอง ณ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ของระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน จะได้ค่าตามสมการที่ 5.7

$$r_{0.01} = 0.827 \quad (5.7)$$

5.1.7 ระยะทางที่ได้รับผลกระทบจากฝน (L_E)

ระยะทางที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากฝน[27][28]นั้น คือระยะทางที่ได้รับผลกระทบจากฝนจริง เนื่องจากบางครั้งระยะทาง L_S ไม่ได้มีฝนตกผ่านตลอดเส้นทาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีระยะทางของ L_S มีระยะทางที่ยาวมาก ๆ จะมีโอกาสที่จะเกิดฝนขึ้นตลอดแนวเส้นทางของ L_S นั้นได้น้อยมาก โดยจะแสดงตามรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ระยะทางของผลกระทบต่อสัญญาณเนื่องจากฝน

เพราะฉะนั้นสามารถหาค่าของ L_E จากระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ระยะเวลาสะสม 0.01 เปอร์เซนต์และการลดทอนสัญญาณจำเพาะ ซึ่งจะได้ตามสมการที่ 5.8 ซึ่งจากการทดลองค่าของระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเท่ากับ 11 เดซิเบล และจะได้ค่าของ L_E เท่ากับ 2.543 กิโลเมตร

$$L_E = \frac{A}{\gamma_R} \text{ กิโลเมตร} \quad (5.8)$$

หรือ

$$L_E = r_{0.01} \cdot L_G \text{ กิโลเมตร} \quad (5.9)$$

5.1.8 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์

ค่าของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ของระยะเวลาสะสม 1 ปี จากผลคูณของค่าระยะที่สัญญาณผ่านกลุ่มฝน L_E กับการลดทอนสัญญาณจำเพาะ γ_R ซึ่งจะได้ตามสมการที่ 5.10

$$A_{0.01} = L_E \cdot \gamma_R \quad \text{เดซิเบล} \quad (5.10)$$

5.1.9 ทำนายค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่างๆ

เมื่อได้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์แล้ว สามารถนำค่าดังกล่าวไปทำนายผลที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ได้ โดยรูปแบบของสมการแบบโพลิโนเมียลระดับที่สาม โดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด [29][30] ตามสมการที่ 5.11

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3 \quad (5.11)$$

ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของ b_0, b_1, b_2 และ b_3 จะใช้สมการ โพลิโนเมียลระดับที่สาม เป็นสมการชุดหนึ่งประกอบด้วย 4 สมการดังนี้

$$\sum y = b_0 \sum x + b_1 \sum x^2 + b_2 \sum x^3 + b_3 \sum x^4 \quad (5.12)$$

$$\sum xy = b_0 \sum x^2 + b_1 \sum x^3 + b_2 \sum x^4 + b_3 \sum x^5 \quad (5.13)$$

$$\sum x^2y = b_0 \sum x^3 + b_1 \sum x^4 + b_2 \sum x^5 + b_3 \sum x^6 \quad (5.14)$$

$$\sum x^3y = b_0 \sum x^4 + b_1 \sum x^5 + b_2 \sum x^6 + b_3 \sum x^7 \quad (5.15)$$

ในการหาระดับการลดทอนของสัญญาณที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ นั้น จะใช้สัดส่วนของการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ กับระดับการลดทอนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ แต่เนื่องจากความสัมพันธ์ของสัดส่วนการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่าง ๆ กับระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ นั้นมีความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้น จะต้องทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปเชิงเส้นก่อน โดยการปรับตัวแปร $A(p)/A_{0.01}, p$ ให้อยู่ในรูป Logarithm ก่อน โดยจะกำหนดให้ $\log(A(p)/A_{0.01})$ เป็นตัวแปรตาม(y) ส่วน $\log(p)$ เป็นตัวแปรอิสระ(x) แล้วนำค่าไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ตามสมการที่ 5.12-5.15 จะได้ค่าสัมประสิทธิ์

ของ b_0, b_1, b_2 และ b_3 โดยจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R Square) เท่ากับ 96.6 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสมการโพลีโนเมียลระดับที่สองจะพบว่าสมการโพลีโนเมียลระดับที่สี่และห้าจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบกับสมการโพลีโนเมียลระดับที่สี่และห้า จะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ใกล้เคียงกันต่างกันเพียง 0.1 เปอร์เซนต์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ จึงเลือกใช้สมการโพลีโนเมียลระดับที่สาม แล้วนำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้ไปแทนลงในสมการที่ 5.11

$$y = -1.049 - 1.009x - 0.311x^2 - 0.032x^3 \quad (5.16)$$

เมื่อแทนค่า y ด้วย $\log\left(\frac{A(p)}{A_{0.01}}\right)$ และ x ด้วย $\log p$ จะได้สมการเป็น

$$\log\left(\frac{A(p)}{A_{0.01}}\right) = -1.049 - 1.009\log(p) - 0.311(\log p)^2 - 0.032(\log p)^3 \quad (5.17)$$

$$\frac{A(p)}{A_{0.01}} = 0.0893 p^{-(1.009+0.311\log p+0.032(\log p)^2)} \quad \text{เดซิเบล} \quad (5.18)$$

ดังนั้นสามารถหาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ ตามสมการที่ 5.19

$$A(p) = 0.0893 A_{0.01} p^{-(1.009+0.311\log p+0.032(\log p)^2)} \quad \text{เดซิเบล} \quad (5.19)$$

เมื่อ p คือเปอร์เซ็นต์เวลา (%)

$A(p)$ คือระดับการลดทอนของสัญญาณที่ p

$A_{0.01}$ คือระดับการลดทอนของสัญญาณที่ 0.01 เปอร์เซนต์

5.2 การหาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนตามแบบจำลองที่ได้จากการวิจัย

การหาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน โดยสามารถนำอัตราการตกของฝนที่ให้ใน ตารางที่ 5.1 มาทำนาย หรือนำอัตราการตกของฝนที่ได้จากการวัดก็ได้ นั้นมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาระดับความสูงของฝน (h_R) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 5.1

ขั้นตอนที่ 2 หาความยาวของเส้นทางที่สัญญาณผ่านฝน (L_s) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 5.2-5.3

ขั้นตอนที่ 3 หาระยะทางด้านแนวนอน (L_G) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 5.4

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถดูได้จากตารางที่ 5.1

ขั้นตอนที่ 5 หาการลดทอนของสัญญาณจำเพาะ (γ_R) ตามสมการที่ 5.5

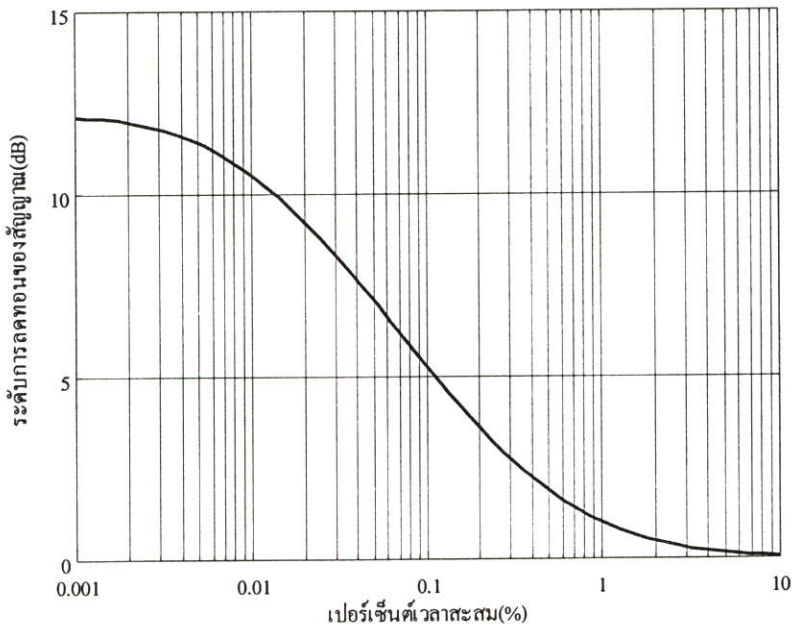
ขั้นตอนที่ 6 หาแฟลคเตอร์ที่ลดลงทางด้านแนวนอน ($r_{0.01}$) ตามสมการที่ 5.7

ขั้นตอนที่ 7 หาระยะทางที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากฝน (L_E) ตามสมการที่ 5.9

ขั้นตอนที่ 8 หาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ($A_{0.01}$) ตามสมการที่ 5.10

ขั้นตอนที่ 9 หาระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ ($A_{(p)}$) ตามสมการที่ 5.19

เมื่อทำการหาระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนจากแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลที่ได้ทำการวิจัยผลคือ ใช้ดาวเทียมไทยคม 3 มุมเงยของงานสายอากาศรับเท่ากับ 59.81 องศา และอัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะได้ผลแสดงในรูปที่ 5.7

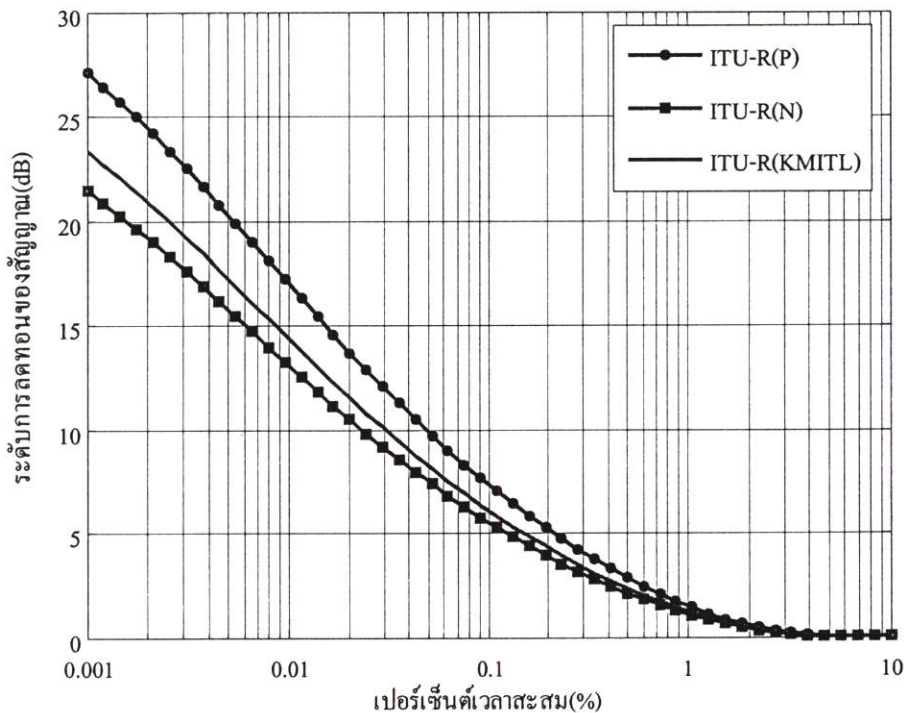


รูปที่ 5.7 ผลที่ได้จากแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

5.3 ผลการลดทอนของสัญญาณแบบจำลอง ITU-R

ผลของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ได้ตามแบบจำลองของ ITU-R นั้นจะแบ่งพื้นที่ออกแบ่งโซนพื้นที่ โดยที่กรุงเทพมหานคร นั้นถูกแบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ด้วยกันคือ โซน N และ โซน P โดยโซน N นั้นมีอัตราการตกของฝนเท่ากับ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงที่เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ และที่ โซน P นั้นจะมีอัตราการตกของฝนเท่ากับ 145 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ที่เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ และได้นำอัตราการตกของฝนที่ได้จากการวิจัยไปทำนายผลตามแบบจำลองของ ITU-R ด้วย โดยใช้อัตราการตกของฝนเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เมื่อนำไปคำนวณตามแบบจำลองโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยวิธีการคำนวณตามแบบจำลองของ ITU-R นั้นได้แสดงไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะได้ผลตามรูปที่ 5.8

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนของ โซน P นั้นจะมีระดับการลดทอนที่มากกว่า โซน N เพราะอัตราการตกของฝนของโซน P นั้นมีอัตราการตกของฝนที่มากกว่า โดยที่เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์จะมากกว่า 4 เดซิเบล ส่วนผลที่ได้จากการนำอัตราการตกที่ได้จากการวิจัยนั้นจะอยู่ระหว่างโซน P และ โซน N เนื่องจากปริมาณฝนที่วัดได้นั้นจะอยู่ระหว่าง โซน N และ โซน P

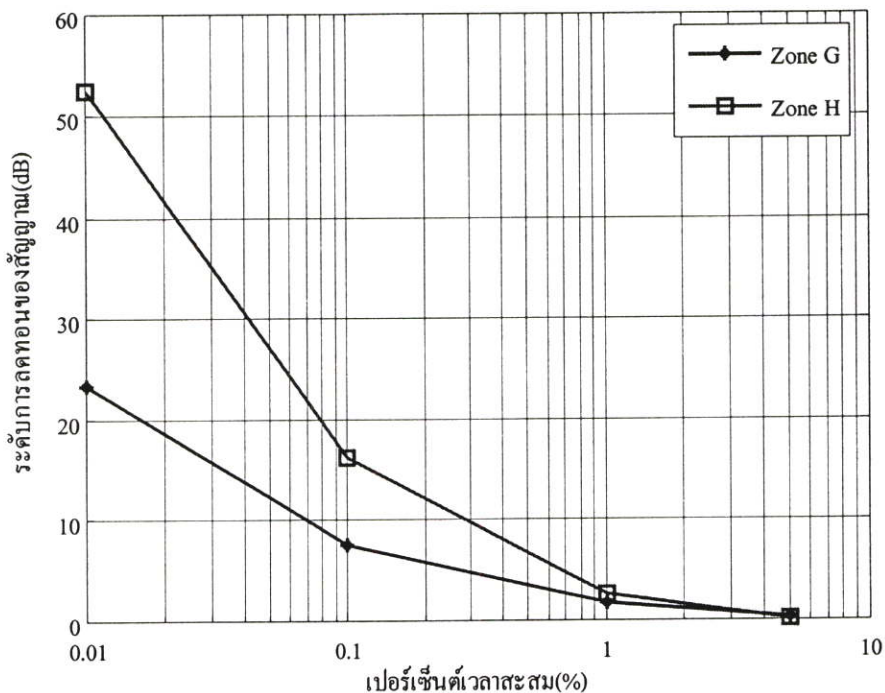


รูปที่ 5.8 ผลที่ได้จากแบบจำลองของ ITU-R

5.4 ผลการลดทอนของสัญญาณแบบจำลอง Crane

ผลของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนตามแบบจำลองของ Crane โดยแบบจำลองของ Crane นั้นได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นแต่ละโซนพื้นที่ เช่นเดียวกับแบบจำลองของ ITU-R โดยกรุงเทพมหานครนั้นได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 โซนคือโซน G และ โซน H รูปที่ 2.13 โดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นโซนนั้นก็เนื่องจาก อัตราการตกของฝนสะสมในแต่ละพื้นที่นั้นไม่เท่ากัน เช่น ที่โซน G อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากับ 67 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วนพื้นที่เขตโซน H อัตราการตกของฝนนั้นจะเท่ากับ 147 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่าในโซน G และโซน H นั้นมีอัตราการตกของฝนที่แตกต่างกันมากถึง 80 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นในพื้นที่ ที่ทำการวิจัยนั้นมีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้นได้สูงมาก ๆ เมื่อได้อัตราการตกของฝนแล้วสามารถนำค่านี้ไปทำนายระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้ ตามแบบจำลองของ Crane โดยจะใช้ค่าพารามิเตอร์ตามพื้นที่ ที่ได้ทดลอง โดยวิธีการคำนวณนั้นสามารถดูได้จากบทที่ 2 ซึ่งได้อธิบายการคำนวณตามแบบจำลองของ Crane ไว้อย่างละเอียด เมื่อคำนวณเรียบร้อยแล้วจะได้ผลตามรูปที่ 5.9 ซึ่งจะแสดงผลของโซน G และโซน H

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนทั้ง 2 โซนนั้นมีค่าที่แตกต่างกันมาก เช่นที่เวลาสะสม 0.01 เปอร์เซ็นต์ ของโซน G นั้นจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนประมาณ 25 เดซิเบล แต่เมื่อไปดูที่โซน H ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นจะสูงถึงประมาณ 55 เดซิเบล ซึ่งทำให้ค่าที่ได้นั้นมีโอกาสที่จะผิดพลาดได้สูงอย่างมากเพราะตำแหน่งที่ทำการทดลองนั้นอยู่ระหว่างตำแหน่งของโซนทั้ง 2 โซน

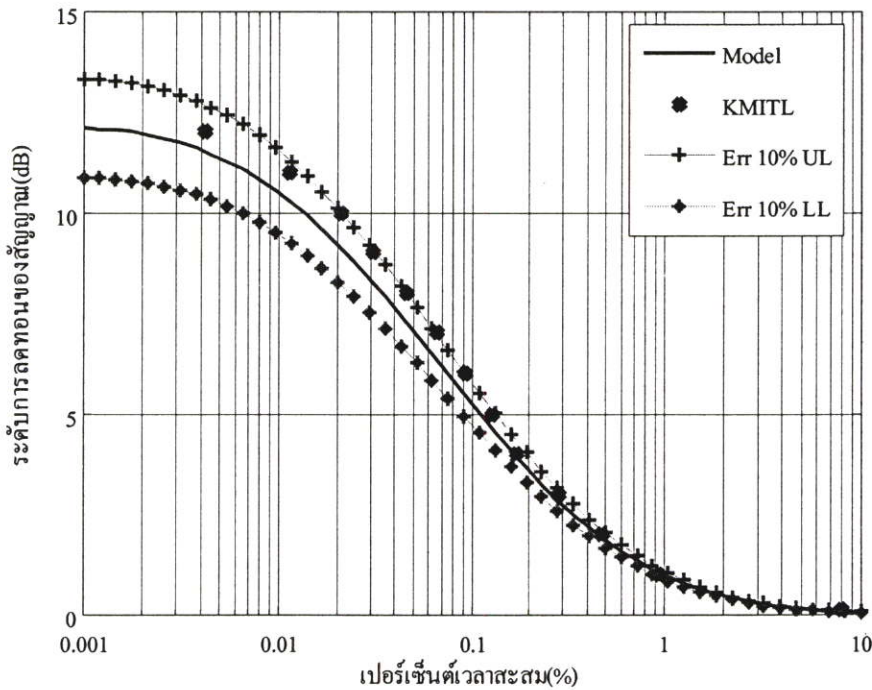


รูปที่ 5.9 ผลที่ได้จากแบบจำลองของ Crane

5.5 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการวิจัย

การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้ทำการออกแบบและผลที่ได้จากการวิจัยนั้น เพื่อให้เห็นค่าผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ได้ออกแบบนั้นจะมีความผิดพลาดอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ของระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน และด้วยเนื่องจากการวิจัยนั้นมีค่าระดับการลดทอนได้สูงสุดอยู่ที่ 14-15 เดซิเบลทำให้ผลที่ได้จากการวิจัยที่ได้เกิน 14-15 เดซิเบลนั้นมีโอกาสที่จะผิดพลาดได้สูง ดังนั้นแบบจำลองนี้จะใช้ได้ดีสำหรับการกระจายสะสมของเปอร์เซ็นต์เวลาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 0.01 เปอร์เซ็นต์ โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างการวิจัยและผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นสามารถดูได้จากรูปที่ 5.10

จากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองนั้นจะอยู่ในช่วงของ 10 เปอร์เซ็นต์ของแบบจำลอง เช่นที่ 0.1 เปอร์เซ็นต์ของเวลาสะสม ผลที่ได้จากการทดลองจะได้เท่ากับ 5.5 เดซิเบล และเมื่อไปดูผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นจะได้ประมาณ 5.2 เดซิเบล ซึ่งค่าที่ได้นั้นต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง แต่เมื่อไปดูที่เปอร์เซ็นต์ผิดพลาดที่ 10 เปอร์เซ็นต์ด้านล่างแล้วค่าที่ได้จากการทดลองก็ยิ่งมากกว่า

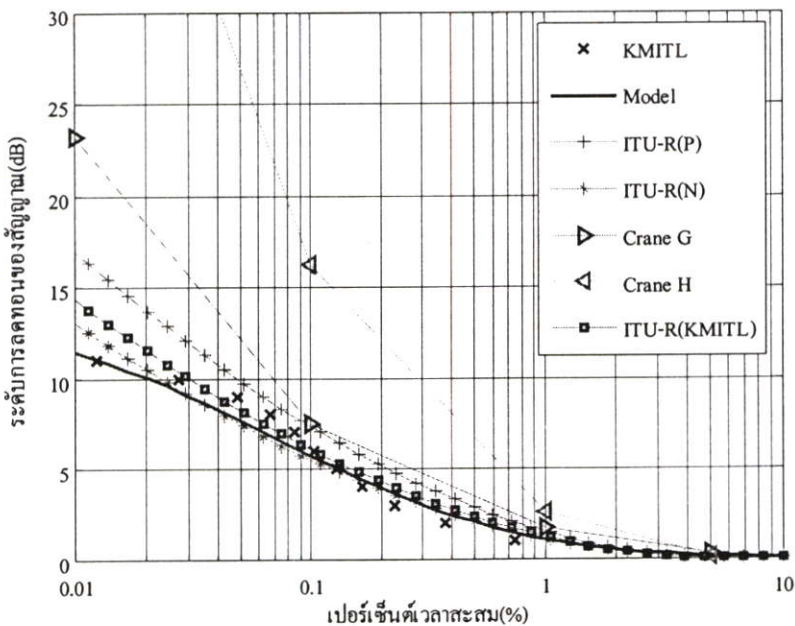


รูปที่ 5.10 เปรียบเทียบแบบจำลองกับผลการทดลอง

สำหรับการเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น ๆ นั้นจะสามารถดูได้จากรูปที่ 5.11 โดยแบบจำลองที่ทำการเปรียบเทียบจะมี แบบจำลองของ ITU-R แบบจำลอง Crane และผลที่ได้จากการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งหมดแล้วจะพบว่า แบบจำลองของ Crane โซน H นั้นมีระดับการลดทอนที่มากที่สุด ซึ่งผลที่ได้ก็นั้นแตกต่างจากระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ได้จากการทดลองเป็นอย่างมาก โดยผลที่มีความแตกต่างกันอย่างมากเพราะอัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมที่วัดได้จากการทดลองนั้นจะได้เท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง แต่แบบจำลองของ Crane นั้นจะได้ถึง 147 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ส่วนสาเหตุอีกประการหนึ่งเกิดจากความผิดพลาดของแบบจำลอง Crane และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Crane ในโซน G จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากโซน G นั้นมีจากระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้นน้อยกว่า โซน H เนื่องจากอัตราการตกของฝนในโซน H นั้นจะได้เท่ากับ 67 มิลลิเมตรที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นเอง ทำให้ค่าที่ได้จากโซน H นั้นมีค่าน้อยกว่าโซน G แต่ค่าที่ได้นั้นก็ยิ่งมากกว่าระดับการลดทอนที่ทดลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ ITU-R ทั้ง 3 แบบ จะพบว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง ITU-R นั้นมีค่าที่มากกว่าแบบจำลองที่ได้จัดทำขึ้นและผลที่ได้จากการทดลอง แต่จะใกล้เคียงกับโซน N มากที่สุด เนื่องจากอัตราการตกของฝนในโซน N เท่ากับ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงและเมื่อเปรียบเทียบกับผลของ ITU-R ที่ได้จากการนำอัตราการตกของฝน 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งได้จากการทดลองนั้นจะพบว่าค่าที่ได้จาก ITU-R นั้นก็ยังมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่สูงกว่า เพราะฉะนั้นถึงแม้ว่าค่าของอัตราการตกของฝนที่ได้ในโซน N นั้นต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลองก็ยังมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่มากกว่า



รูปที่ 5.11 เปรียบเทียบแบบจำลองของงานวิจัยกับแบบจำลองอื่น ๆ

สรุปแบบจำลองที่ได้จัดทำขึ้นจะใช้ได้ดีกับบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับสถานที่ ที่ทำการทดลอง โดยจะพบว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ได้จากการทดลองนั้นไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาสะสมที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 0.01 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแบบจำลองนี้ได้นำค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเครื่องรับสัญญาณที่ทำการทดลองนั้นมีระดับการลดทอนของสัญญาณได้สูงสุด 14- 15 เดซิเบล ซึ่งจะได้ระยะเวลาสะสมเท่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระดับการลดทอนที่สูงกว่านี้จะทำให้ได้ระยะเวลาสะสมที่ลดลงไปอีก ซึ่งไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ทำให้ระยะเวลาสะสมของแบบจำลองที่น้อยกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์นั้นมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้สูง และเนื่องจากแบบจำลองนี้ได้นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งมีมุมเงยของงานสายอากาศรับที่สูง ดังนั้นการใช้งานในแบบจำลองนี้ควรจะใช้กับงานที่มีมุมเงยมากกว่า 50 องศา ซึ่งจะเหมาะสมกับดาวเทียมไทยคม 3

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับผลกระทบของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่านความถี่ เคยู เนื่องจากฝนที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้ทำการเก็บข้อมูลของอัตราการตกของฝนสะสมและระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน เป็นระยะเวลา 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2547 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2548 และได้จัดทำแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

สำหรับการทดลองนั้นจะทำการเก็บข้อมูลฝนและระดับของสัญญาณดาวเทียมที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการเก็บข้อมูลฝนนั้นเก็บเป็นปริมาณการตกของฝนสะสมที่มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร โดยจะบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที เมื่อได้ปริมาณการตกของฝนแต่ละเวลาแล้วจะนำค่าที่ได้นั้นไปหาอัตราการตกของฝนต่อชั่วโมงต่อไป ส่วนระดับสัญญาณที่ได้นั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณอ้างอิง โดยสัญญาณอ้างอิงนั้นจะเป็นสัญญาณในช่วงท้องฟ้าโปร่งใสจะได้เท่ากับ -70 เดซิเบล ซึ่งจะนำระดับสัญญาณที่วัดได้ในช่วงที่มีฝนไปลบกับระดับสัญญาณอ้างอิงนี้จะได้เป็นระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

จากการวิจัยนั้นพบว่าปริมาณการตกของฝนสะสมสูงสุดในเดือนกันยายน พ.ศ.2548 เท่ากับ 350 มิลลิเมตร ส่วนระยะเวลาในการเกิดฝนนั้นจะมีระยะเวลาที่ยาวนานที่สุดในเดือนกันยายน พ.ศ. 2548 เท่ากับ 2500 นาที และจะพบว่าในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2547 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2547 และเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 ถึงกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548 นั้นไม่มีฝนตก ส่วนอัตราการตกของฝนรายปีสูงสุดที่อัตราการบันทึกทุก ๆ 1 วินาทีนั้นจะอยู่ที่ 170 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที จะอยู่ที่ 130 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที สูงสุดเท่ากับ 13 เดซิเบล ส่วนที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาทีนั้นจะเท่ากับ 12 เดซิเบล ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการตกของฝนและระดับการลดทอนของสัญญาณที่เก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีจะมากกว่าอัตราการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เนื่องจากความละเอียดของข้อมูลที่บันทึกนั้นมากกว่า 60 เท่า ทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องมากกว่าที่อัตราการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที

เมื่อได้ข้อมูลของการลดทอนของสัญญาณและอัตราการตกของฝนทางด้านสถิติแล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวไปออกแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน เพื่อที่จะทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน โดยวิธีการทำนายการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนนั้น เริ่มต้นจากการหาอัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์แล้วนำค่าที่ได้นั้นไปทำนายระดับการลดทอนของ

สัญญาณที่ 0.01 เฮอร์เซ็นต์ และเมื่อได้ระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 0.01 เฮอร์เซ็นต์แล้วจะนำค่าที่ได้นี้ไปทำนายระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ 10 เฮอร์เซ็นต์ถึง 0.01 เฮอร์เซ็นต์ต่อไป

เมื่อนำผลที่ได้จากงานวิจัยเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ Crane ในโซน G และ H โดยที่โซน G และโซน H มีอัตราการตกของฝน 67 และ 147 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับที่ 0.01 เฮอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยจะได้เท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงที่ 0.01 เฮอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวิจัยนั้นจะมีอัตราการตกของฝนอยู่ระหว่างทั้ง 2 โซน และเมื่อเปรียบเทียบระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนของ Crane ทั้ง 2 โซนนั้นจะมีระดับการลดทอนของสัญญาณที่สูงกว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ทั้ง ๆ ที่โซน G มีอัตราการตกของฝนที่ต่ำกว่า ส่วนแบบจำลองของ ITU-R ในโซน N และโซน P นั้น จะมีอัตราการตกของฝนที่ 0.01 เฮอร์เซ็นต์เท่ากับ 95 และ 145 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราการตกของฝนที่ได้จากการวิจัยที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเท่ากับ 110 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง อัตราการตกของฝนที่ได้จากการวิจัยนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่างทั้ง 2 โซน โดยระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนที่ได้จากแบบจำลองของ ITU-R จะมีระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่มากกว่าผลที่ได้จากงานวิจัยทั้ง ๆ ที่โซน N นั้นมีอัตราการตกของฝนที่ต่ำกว่า และเมื่อนำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับแบบจำลองของงานวิจัยนี้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้จากงานวิจัยนี้มากที่สุด โดยจะมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดนั้นไม่มากกว่า ± 10 เฮอร์เซ็นต์ แต่ผลที่ได้จากแบบจำลองของงานวิจัยนี้จะได้เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมในช่วง 0.01 เฮอร์เซ็นต์ ถึง 10 เฮอร์เซ็นต์ และใช้กับมุมเงยของงานสายอากาศที่มากกว่า 50 องศา ซึ่งจะเหมาะสมสำหรับดาวเทียมไทยคม 3 ที่มีสถานที่ติดตั้งงานสายอากาศรับอยู่ในประเทศไทย

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลนั้นเป็นเพียงเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมทั่วไป ทำให้ไม่สามารถรับระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่สูง ๆ ได้ ดังนั้นเครื่องรับสัญญาณผ่านดาวเทียมนั้นควรจะเป็นเครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณที่มีระดับการลดทอนของสัญญาณที่สูง ๆ ได้ ส่วนการวัดปริมาณการตกของฝนนั้นควรจะเป็นเครื่องวัดที่มีความละเอียดที่สูง โดยในการวิจัยนี้จะใช้ขนาดถ้วยตวง 0.5 มิลลิเมตร ดังนั้นควรจะใช้เครื่องวัดที่มีขนาดของถ้วยตวงที่น้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

สำหรับระยะเวลาของการบันทึกข้อมูลของการทดลองนี้จะใช้ระยะเวลา 1 ปี กับ 6 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่น้อย ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากที่สุด ควรจะเป็นข้อมูลที่บันทึกไว้หลาย ๆ ปี ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ส่วนตำแหน่งในการทดลองนั้นควรจะใช้ตำแหน่งหลาย ๆ ตำแหน่ง แล้วนำค่าที่ได้แต่ละตำแหน่งมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความแตกต่างกัน และหากตำแหน่งไหนที่มีลักษณะของข้อมูลเหมือนกันก็จัดให้อยู่โซนเดียวกัน

บรรณานุกรม

- [1] M.S. Pontes, L. da Silva Mello, R.S.L. de Souza, "Reviwe od Rain Attenuation Studies in Tropical and Equatorial Regions in Brazil", ICICS, 2005
- [2] Mandeep Singh Jit Singh, Syed Idris Syed Hassan, Mohd Fadzil Ain, "Proposed Rain Attenuation Model Revised From ITU Used For Prediction In Tropical Climates" ,ICICS, 2005.
- [3] The LESA Project. "**Cloud Precip.**" [Online]. Available.:
http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm
- [4] เอกวิทย์ นักพ็อน. 2545. "การใช้หลักการเรดิโอมิเตอร์ในการศึกษาการลดทอนสัญญาณอันเนื่องมาจากฝนในย่าน KA-BAND." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [5] ปราณี ว่องวิฑูวส. **ฝนในประเทศไทย**. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์วิสุทซ์. 2540
- [6] ทิฆัมพร บุญซึก. 2545. "การศึกษาผลกระทบของสภาพภูมิอากาศต่อการสื่อสารดาวเทียมระบบคิดิจิตอลในย่านความถี่ KU." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] ณรงค์ เหมกรณ์. **การสื่อสารดาวเทียม**. กรุงเทพมหานคร. :ม.ป.ท. ม.ป.ป.
- [8] NASA. "**The Effects of Earth's Upper Atmosphere on Radio Signals.**" [Online].
 Available.: <http://radiojove.gsfc.nasa.gov/class/educ/radio/tran-rec/exerc/iono.htm>
- [9] Dennis Roddy. **Satellite Communications**. New York. :Mcgraw-Holl. 2001.
- [10] ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคลการ. 2533. **หลักการระบบสื่อสาร**. กรุงเทพมหานคร. หจก.เอช-เอ็นการพิมพ์.
- [11] Koji Yasakawa, Matsuichi Yamada, "The 11.9 GHz rain attenuation and site diversity effect on the earth-space paths of low elevation angles", Radio Science Volume 20 Number 6 ,1985.
- [12] T.Boonchuk, "The rain Attenuation Characteristic at 12.7 GHz on Earth-Space Path in Bangkok", Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology (ReCCIT), 2003.

- [13] Julius Goldhirsh, "Cumulative Slant Path Rain Attenuation Statistics Associated with the Comstar Beacon at 28.56 GHz for Wallops Island", IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. AP-27, No. 6, November 1979.
- [14] อติเทพ ชัยสังข์. 2545. "ความชื้นสอยได้ของสัญญาณเชื่อมโยงขาลงดาวเทียมไทยคม 3 เนื่องจากฝน ที่อำเภอคลองใหญ่." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [15] Robert K. Crane. **Electromagnetic Wave Propagation Through Rain.** New York. :John wiley & Sons. 1996.
- [16] Louis J. Ippolito Jr. **Radiowave Propagation in Satellite Communications.** New York.: Vanv nostrand reinhold. 1986.
- [17] Recommendation ITU-R P.618-7. "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication system." 2001.
- [18] Recommendation ITU-R P.618-8. "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication system." 2003.
- [19] Recommendation ITU-R P.839-3. "Rain height model for prediction methods".2001.
- [20] Recommendation ITU-R P.838-2. "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods." 2003.
- [21] Recommendation ITU-R P.838-3. "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods." 2005.
- [22] Recommendation ITU-R P.837-1. "Characteristics of precipitation for propagation modeling." 1994.
- [23] Recommendation ITU-R P.837-4. "Characteristics of precipitation for propagation modeling." 2003.
- [24] R.A. Harris. "Radiowave Propagation Modelling for SatCom Services at Ku-Band and Above" Netherlands. : European Space Agency. 2002.
- [25] กรมอุตุนิยมวิทยา. "แผนที่แสดงปริมาณฝนรวม." [Online]. Available.: http://www.tmd.go.th/program/map_year05.php
- [26] Ofcom. "**Rain modelling for Radio system planning.**" [Online]. Available.: <http://www.rainmap.rl.ac.uk/pdfs/Bacon.pdf>

- [27] O.P.N. Calla and J.S. Purohit. **“Study of effect of rain and dust on Propagation of Radio Wave at Millimeter Wavelength.”** [Online]. Available. :
[http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA05/pdf/F01.7\(01586\).pdf](http://www.ursi.org/Proceedings/ProcGA05/pdf/F01.7(01586).pdf)
- [28] M.S. Pontes. **“Statistical Behaviour of the Effective Rain Hight in the Tropics.”**
[Online]. Available. :
<http://ieeexplore.ieee.org/iel3/3160/13851/00640053.pdf?arnumber=640053>
- [29] Al-Khafaji, Amir Wadi. **Numerical Methods in Engineering Practice.** New York. CBS. 1986.
- [30] Hines, William W. **Probability and statistics in engineering and management science.** New York : John Wiley, c1990

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอรรถสิทธิ์ เชนสงค์
วัน เดือน ปีเกิด	24 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดพัทลุง
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 77 หมู่ที่ 5 ตำบลชัยบุรี อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง 93000
ปริญญาตรี	สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษาพ.ศ. 2545
ความชำนาญเฉพาะด้าน	ระบบโทรคมนาคม การสื่อสารผ่านดาวเทียม
งานวิจัยที่ตีพิมพ์	

- [1] Attasit Datsong, Donekeo Lakanchanh, Narong Hemmakorn, Nipha Leelaruji, "The Rain Attenuation in Ku-Band Satellite Signal at Bangkok", ICICS ,2005, pp.1165-1168.