

การวิเคราะห์ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน
ในย่าน Ku

ANALYSIS OF RAIN FADE TIME IN KU BAND SATELLITE SIGNAL



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

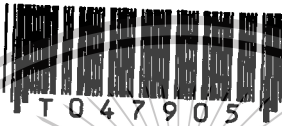
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-965-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน
ในย่าน Ku

ANALYSIS OF RAIN FADE TIME IN KU BAND SATELLITE SIGNAL



เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 47905
วัน, เดือน, ปี..... 27 ส.ค. 2546

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น
พ.ศ.2545

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-648-965-8

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ANALYSIS OF RAIN FADE TIME IN KU BAND SATELLITE SIGNAL



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้ **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ปี 2002 ทรัพย์สิน

อื่นทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ ISBN 974-648-965-8 ออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนในย่าน Ku ANALYSIS OF RAIN FADE TIME IN KU BAND SATELLITE SIGNAL
ชื่อนักศึกษา นายฤทธิกร ประโยชน์วินิช
รหัสประจำตัว 41061084
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ถวิล	พिंगมา	
รศ.ดร.โมไนย	ไกรฤกษ์	
รศ.นิภา	ลีลารุจิ	
รศ.ณรงค์	เหมกรณ์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 24 พฤษภาคม 2545 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น 4 (ห้อง E12-404)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัดชู)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา **คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย**

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าวันที่ 01 เดือน ๑๖ พ.ศ. ๒๕๔๖

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณดาวเทียมเนื่อง จากฝนใน ย่าน Ku
นักศึกษา	นาย กฤติกร ประโยชน์วนิช
รหัสประจำตัว	41061084
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอ การวิเคราะห์ปริมาณเวลา และความถี่ของการจางหายของสัญญาณดาวเทียมในย่าน Ku เนื่องจากฝน และนำเสนอ ข้อมูลความถี่ของการจางหายของสัญญาณ ของดาวเทียมไทยคม 2 ในพื้นที่เขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งในส่วนของวิเคราะห์ปริมาณเวลา และความถี่ของการจางหายของสัญญาณ ไม่เพียงได้นำเสนอปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเทียบกับเปอร์เซ็นต์เวลาใน 1 ปีเท่านั้น ได้มีการแบ่งช่วงเวลาที่สัญญาณลคทอนออกเป็น 5 ช่วง คือ 0.5-1 นาที, 1-2 นาที, 2-5 นาที และ 5-20 นาที เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะพฤติกรรมการลคทอนของสัญญาณได้ดียิ่งขึ้น

ในส่วนของความถี่ของการจางหายของสัญญาณ ได้มีการแบ่งช่วงการจางหายออกเป็น 3 ช่วง คือ 2-4.5 เดซิเบล, 4.5-7 เดซิเบล และ 7-11 เดซิเบล เพื่อศึกษาความแตกต่างของความถี่ที่ระดับการจางหายที่แตกต่างกัน และยังได้มีการคำนวณหาแบบจำลองขึ้นพื้นฐานของความสัมพันธ์แบบต่างๆอีกด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเป็นเวลา 2 ปี คือ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2542 ถึง เดือน มิถุนายน 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	Analysis of Rain Fade Time in Ku-Band Satellite Signal
Student	Mr.Kridikorn Prayochvanich
Student ID.	41061084
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Narong Hemmakorn

ABSTRACT

This thesis presents the analysis of rain fade time and frequency of occurrence in Ku-band satellite signal and fade slope of Ku-band satellite signal of Thaicom2 satellite in the area of Bangkok. In the part of rain fade time and frequency of occurrence, there is a division of the duration time in 5 periods: 0.5–1 minute, 1-2 minute, 2-5 minutes, 5-20 minutes and more than 20 minutes to study the difference of attenuation at each duration time.

In the section of fade slope analysis there is a division of the attenuation level in 3 periods: 2-4.5 dB, 4.5-7 dB and 7-11 dB to study the difference of fade slope at each attenuation period. There is a calculation to find the basic model for each relation too.

This thesis has been held and analyzed data for 2 years from July 1999 to June 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เป็นผลมาจากบุคคลหลายท่านด้วยกัน ขอขอบคุณคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้การสนับสนุนในทุกเรื่อง โดยเฉพาะเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีเสมอ ขอขอบคุณ รศ.ณรงค์ เหมกรณ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ อย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษา และคอยดูแลเอาใจใส่ตลอดมา

ขอขอบคุณ รศ.นิภา ลีลาสุทธิ, อาจารย์ อนุรักษ์ จันทร์ครบ, Prof.Dr.Moriya และ Prof.Dr.Yamada ที่ให้คำแนะนำซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณอดิสร์ เศษรัตน์ คุณประภาส มีาเทศ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในห้องทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 ฝนกับการลดทอนในย่าน Ku.....	4
2.2 แบบจำลองการหาค่าการลดทอนเนื่องจากฝนของ ITU-R.....	7
2.3 การหาแบบจำลองของ ITU-R เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้.....	11
2.4 ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน (Rain fade time).....	12
2.5 ความชันของการจางหายของสัญญาณ (Fade Slope).....	13
บทที่ 3 แนวทางการวิเคราะห์.....	15
3.1 แนวทางการวิเคราะห์ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน (Rain fade time).....	15
3.2 แนวทางการวิเคราะห์ความถี่ของการจางหายของสัญญาณ.....	17
3.3 แนวทางการวิเคราะห์ความชันของการจางหายของสัญญาณ(Fade Slope).....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลองและผลการทดลอง.....	20
4.1 การวัดและระบบการวัด.....	20
4.1.1 งานสายอากาศและ LNB.....	20
4.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	21
4.1.3 เครื่องบันทึกสัญญาณ.....	21
4.2 ผลการทดลอง.....	22
4.2.1 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายเทียบกับแบบจำลองของ ITU-R.....	22
4.2.2 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ.....	23
4.2.3 ความถี่ (จำนวนครั้ง) ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ.....	29
4.2.4 ค่าความชันของการจางหายของสัญญาณ (Fade Slope).....	34
4.2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐานของความล้มเหลวต่าง ๆ.....	37
บทที่ 5 บทสรุป.....	40
เอกสารอ้างอิง.....	42
ภาคผนวก.....	43
- ภาคผนวก ก. ข้อมูลของดาวเทียม ไทยคม 2.....	44
- ภาคผนวก ข. โปรแกรม Visual Basic ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเวลาและความถี่ ของการจางหายของสัญญาณ.....	50
- ภาคผนวก ค. ตัวอย่างกราฟการลดทอนของสัญญาณที่มีค่ามาก.....	56
- ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราการตกของฝนของเขตภูมิอากาศฝน 15 เขต ของ ITU-R.....	8
2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ $k_H, k_V, \alpha_H, \alpha_V$ ขึ้นอยู่กับความถี่.....	10
2.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของ ITU ของอุปกรณ์ที่ใช้.....	11
4.1 พารามิเตอร์ของระบบการวัด.....	23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของการลดทอน.....	5
2.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำนายการลดทอนเนื่องจากฝน.....	7
2.3 เขตภูมิอากาศฝนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ ITU-R.....	9
2.4 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหาย กับ การลดทอนที่ระดับต่าง ๆ.....	13
2.5 ตัวอย่างกราฟของความชันของการจางหายของสัญญาณ.....	14
3.1 กราฟแสดงลักษณะการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณ ที่มีการแบ่งช่วงเวลาต่าง ๆ.....	16
3.2 กราฟลักษณะการลดทอนที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดขึ้นด้วย.....	17
3.3 กราฟแสดงค่าความชันของสัญญาณ เทียบกับเปอร์เซ็นต์เวลาใน 1 ปี.....	19
4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัด.....	20
4.2 งานสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้ Dual LNB.....	20
4.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	21
4.4 แสดงภาพเครื่องบันทึกสัญญาณ.....	21
4.5 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายแต่ละปี เทียบกับแบบจำลองของ ITU-R เขตพื้นที่ N.....	22
4.6 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายเฉลี่ยจาก 2 ปี เทียบกับแบบจำลอง ITU-R เขตพื้นที่ N.....	22
4.7 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายรวมทั้งระดับการลดทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี เปรียบเทียบกับกันระหว่างเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543 กับ เดือน ก.ค.2543 - มิ.ย.2544.....	23
4.8 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่ สัญญาณจางหายเป็น 0.5 - 1 นาที.....	24
4.9 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่ สัญญาณจางหายเป็น 1-2 นาที.....	25
4.10 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่ สัญญาณจางหายเป็น 2-5 นาที.....	25
4.11 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่ สัญญาณจางหายเป็น 5-20 นาที.....	26

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณจางหายมากกว่า 20 นาที.....	26
4.13 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อนำช่วงเวลาที่สัญญาณจางหายในช่วงต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับกันของช่วงเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543.....	27
4.14 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนมาก ๆ เมื่อนำช่วงเวลาที่สัญญาณจางหายในช่วงต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับกันของช่วงเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543.....	27
4.15 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหาย โดยแยกเป็นแต่ละระดับการลดทอนที่ช่วงเวลา ต่างๆ.....	28
4.16 กราฟแสดงความถี่ของการจางหายที่เกิดขึ้นที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในรอบ 1 ปี.....	29
4.17 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 30 - 60 วินาที.....	30
4.18 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 1 - 2 นาที.....	30
4.19 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 2 - 5 นาที.....	31
4.20 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 5 - 20 นาที.....	31
4.21 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนมากกว่า 20 นาที.....	32
4.22 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อนำช่วงเวลาทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับกัน ของข้อมูลในช่วงเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543.....	32
4.23 กราฟแสดงจำนวนที่ครั้งสัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนที่ค่ามาก เมื่อนำช่วงเวลาทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับกัน ของข้อมูลเฉลี่ย 2 ปี.....	33
4.24 กราฟที่แสดงค่าความถี่ที่สัญญาณจางหายไปโดยแยกเป็นแต่ละระดับการลดทอน ที่ช่วงเวลาต่างๆ.....	34
4.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการลดทอนกับค่าความถี่ที่ได้.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
 เมื่ออยู่ใต้เห็นไปขอขบระเขินทานการค้ำ เมวการณตจๆ ทั้งสิ้น
 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์เวลาเทียบกับเวลาที่ฝนตกใน 1 ปี เทียบกับค่าความชื้นที่ระดับต่าง ๆ.....	35
4.27 กราฟแสดงค่าความชื้นที่ระดับต่าง ๆ เทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เวลาที่ฝนตกใน 1 ปี.....	36
4.28 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความชื้นของการจางหายของสัณฐานที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ กัน 3 ช่วง.....	37
4.29 กราฟแสดงแบบจำลองปริมาณเวลา (นาฬิกา) ที่สัณฐานจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี.....	38
4.30 กราฟแสดงแบบจำลองเปอร์เซ็นต์เวลาที่สัณฐานจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี.....	38
4.31 กราฟแสดงแบบจำลองความถี่ (จำนวนครั้ง) ที่สัณฐานจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี.....	39
4.32 กราฟแสดงแบบจำลองเปอร์เซ็นต์เวลาเทียบกับเวลาที่ฝนตก ที่ค่าความชื้นต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ ปริมาณความต้องการในการติดต่อแลกเปลี่ยนข่าวสารมีปริมาณเพิ่มขึ้นและมีการแข่งขันกันทางการให้บริการและราคา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบเชื่อมโยงที่สามารถรองรับปริมาณความต้องการดังกล่าวได้อย่างมีคุณภาพตามมาตรฐานสากลยอมรับและมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ และระบบการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมก็เป็นส่วนหนึ่งในการให้บริการด้านสื่อสารที่ทั่วโลกให้การยอมรับ โดยเฉพาะในย่านความถี่ C-band (6/4 GHz) ทั้งนี้เนื่องจากผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับย่านความถี่ที่สูงขึ้น แต่ในปัจจุบันนี้ย่านความถี่ดังกล่าวไม่สามารถตอบสนองปริมาณความต้องการในการใช้งานของสัญญาณได้อย่างเพียงพอ หลายประเทศจึงได้นำย่านความถี่ที่สูงขึ้น เช่น ย่านความถี่ Ku-band (14/12 GHz) มาใช้งานเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการใช้ช่องสัญญาณได้อย่างเพียงพอ สำหรับประเทศในภูมิภาคที่พัฒนาแล้ว เช่น ในภูมิภาคของกลุ่มประเทศยุโรปได้มีการศึกษาวิจัยผลการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ Ku-band นี้จนสามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่สำหรับประเทศไทยแล้ว ข้อมูลการศึกษาวิจัยในย่านความถี่ Ku-band ยังมีน้อยอยู่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สังเกตเห็นถึงปัญหาและอุปสรรคนี้จึงได้เป็นที่มาของการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในย่าน Ku-band

การสื่อสารดาวเทียมในย่าน KU นี้ ฝนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สัญญาณดาวเทียมลดทอน และเนื่องจาก ความน่าเชื่อถือของการสื่อสารดาวเทียม ขึ้นอยู่กับปริมาณเวลาที่ไม่สามารถติดต่อสื่อสารได้ อันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เทียบกับปริมาณเวลาการติดต่อสื่อสารทั้งหมด ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณเวลาการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นประโยชน์ ในการออกแบบระบบการติดต่อสื่อสารดาวเทียม

1.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาถึงลักษณะของความสัมพันธ์ของปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายไป (Rain Fade Time) ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที เทียบกับค่าการลดทอนที่ระดับต่าง ๆ ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

(2) เพื่อศึกษาถึงลักษณะความสัมพันธ์ของความถี่ที่สัญญาณลดทอนไป (Frequency of Occurrence) ซึ่งมีหน่วยเป็นครั้ง เทียบกับค่าการลดทอนที่ระดับต่าง ๆ ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(3) เพื่อศึกษาถึงลักษณะความสัมพันธ์ของความชันของการลดทอน (Fade Slope) ซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อวินาที กับปริมาณเวลาที่เกิดขึ้น ซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

(4) เพื่อให้ผลงานวิจัยที่ได้ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาออกแบบระบบการสื่อสารดาวเทียมย่าน Ku ในบริเวณนี้ได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สำหรับการศึกษาลักษณะความสัมพันธ์ของปริมาณเวลาที่สัญญาณลดทอนไปเทียบกับค่าการลดทอนที่ระดับต่าง ๆ ได้ทำการแบ่งช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอน (duration) ออกเป็น 5 ช่วง คือ 0.5-1 นาที, 1-2 นาที, 2-5 นาที, 5-20 นาที และมากกว่า 20 นาที เพื่อสามารถเข้าใจถึงลักษณะพฤติกรรมของการลดทอนของสัญญาณได้ดียิ่งขึ้น และ นำผลการทดลองที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองมาตรฐานของ ITU-R ด้วย และยังได้ทำการหาความถี่ของการลดทอนของสัญญาณที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เพื่อให้เราสามารถวิเคราะห์ได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับในส่วนของความชันของการจางหายของสัญญาณนั้น ได้ทำการแบ่งช่วงระดับการลดทอนออกเป็น 3 ช่วง คือ 2-4.5 เดซิเบล, 4.5-7 เดซิเบล และ 7-11 เดซิเบล เพื่อหาความแตกต่างระหว่างความชันที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการลดทอน ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลซึ่งผู้ที่ออกแบบระบบการสื่อสารดาวเทียมสามารถนำข้อมูลนี้ไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- (1) ศึกษาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการลดทอน เวลาและความถี่ที่สัญญาณลดทอน และความชันของการลดทอน
- (2) ทำการวัดระดับสัญญาณดาวเทียมไทยคม 2
- (3) วิเคราะห์สัญญาณที่วัดได้
- (4) สรุปและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) ทราบลักษณะความสัมพันธ์ของปริมาณเวลาที่สัญญาณลดทอนไปเทียบกับค่าการลดทอนที่ระดับต่าง ๆ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

(2) ทราบลักษณะความสัมพันธ์ของความถี่ที่สัญญาณลดทอนไป เทียบกับค่าการลดทอนที่ระดับต่าง ๆ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(3) ทราบลักษณะความสัมพันธ์ของความชันของการลดทอน กับปริมาณเวลาที่เกิดขึ้น และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐาน

(4) ได้ข้อมูลท้องถิ่น สำหรับการออกแบบข่ายเชื่อมโยงดาวเทียม ที่ใช้งานในย่านความถี่ Ku สำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ บทที่ 1 บทนำ ซึ่งกล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากรวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎี บทที่ 3 กล่าวถึง วิธีการดำเนินงานวิจัย บทที่ 4 กล่าวถึงอุปกรณ์การทดลองและผลของการทดลองที่ได้ และบทที่ 5 เป็นบทสรุป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ฝนกับการลดทอนในย่าน Ku [1]

การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนสำหรับในความถี่ย่าน Ku เกิดจากสาเหตุหลัก ๆ ด้วยกัน ซึ่งมี 3 ประการคือ

ประการแรก เกิดจากการดูดกลืนพลังงาน (Absorption) เกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นของคลื่นมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝน เปรียบเสมือนว่า เม็ดฝนเป็นตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านเม็ดฝน จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้มีกระแสกระจัดเกิดขึ้น (Displacement Current) นั่นคือ เมื่อมีกระแสเคลื่อนที่ข้อมจะทำให้เกิดการดูดกลืนพลังงานเกิดขึ้น ดังนั้นความถี่ที่สูง ยิ่งจะทำให้มีกระแสกระจัดมากขึ้นจึงทำให้เม็ดน้ำฝนต้องดูดกลืนพลังงานไว้มากยิ่งขึ้น

ประการที่ 2 เกิดจากการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) เมื่อกคลื่นเดินทางกระทบกับเม็ดฝน จะทำให้คลื่นบางส่วนเกิดการแตกกระจายออกทุกทิศทางของเม็ดฝน ทำให้สัญญาณที่ควรจะได้รับได้ในทิศทางที่ต้องการลดน้อยลงไป

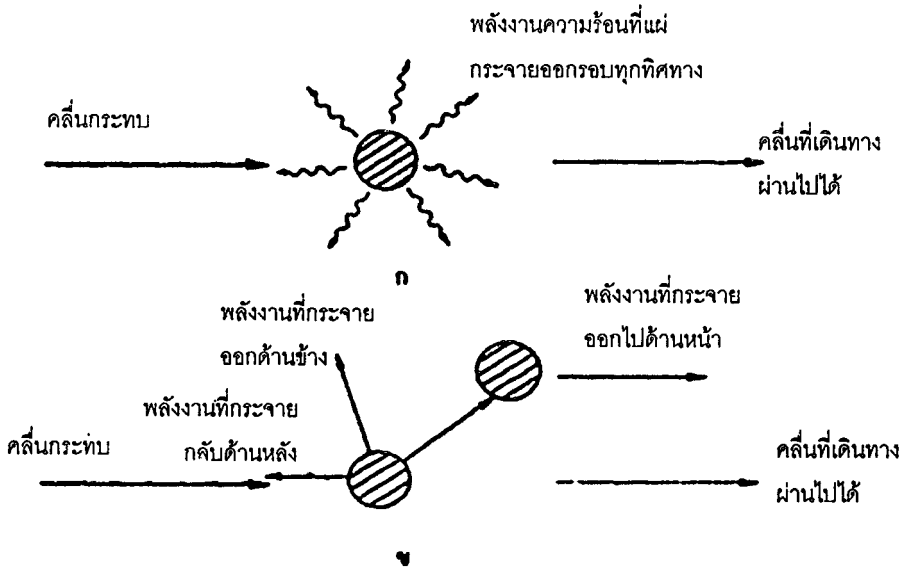
ประการที่ 3 การดีโพลาไรเซชัน (Depolarization) เนื่องจากเม็ดฝน มีลักษณะที่ไม่เป็นทรงกลมโดยสมบูรณ์ โดยเฉพาะขณะเมื่อฝนตกหนัก และมีลมพัดจะทำให้เม็ดฝนมีลักษณะไม่เป็นทรงกลมมากยิ่งขึ้น ส่งผลทำให้การลดทอนเพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วย

การลดทอนของสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่พิจารณาในส่วนของ การดูดกลืนและการกระจายที่เกิดจากฝน ตัวอย่างของการดูดกลืน เมื่อมีการส่งกำลังงานเข้าไปในวัตถุ (เม็ดฝน) วัตถุนั้นก็จะมีความร้อนเกิดขึ้นและจะมีการแผ่กระจายออกในทุกทิศทางรอบวัตถุนั้น ซึ่งวัตถุนั้นจะแผ่ความร้อนออกมาหรือเพิ่มขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของวัตถุนั้นว่ามีความสามารถในการดูดกลืนมากหรือน้อย ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ และกำลังงานที่เหลือส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านวัตถุนั้นไป ในส่วนการกระจายนั้น เป็นการกล่าวถึงกำลังงานที่ส่งเข้าไปกระทบกับวัตถุแล้วมีการสะท้อนและกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ เช่น การสะท้อนกลับหลัง เป็นการกระจายกำลังงานสวนทางกับทิศทางของกำลังที่ป้อนเข้าไป การกระจายออกด้านข้าง ซึ่งการกระจายในลักษณะนี้มีโอกาสที่จะไปรบกวนกับระบบสื่อสารอื่น ๆ ได้ และการกระจายแบบไปด้านหน้า สามารถจะเกิดขึ้นได้ทั้งแบบเสริมกัน (Coherent) และแบบหักล้างกัน (Incoherent) กับกำลังที่ส่งตามเข้าไปได้ ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นรูปที่แสดงการลดทอนที่เกิดจากการดูดกลืนและการกระจายไปในทิศทางที่ต่าง ๆ กัน

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของการลดทอน

ก. การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการดูดกลืน (Absorption)

ข. การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการแตกกระจาย (Scattering)

สมการค่าการลดทอน (Attenuation : A) ที่เกิดจากการดูดกลืนและการกระจายสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$A_{Total} = A_{Absorp} + A_{Scatter} \quad (2.1)$$

การลดทอนที่วุ่นขึ้นขึ้นอยู่กับ ดัชนีการหักเหเชิงซ้อน (Complex index of reflection) ของเม็ดฝน (m), ค่าความยาวคลื่น และรัศมีของเม็ดฝน

ถ้าขนาดของเม็ดฝนมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น การกระจายของคลื่น ก็จะมีน้อยมาก (ตามทฤษฎีการกระจายของแสง) โดยเฉพาะที่ความถี่ต่ำกว่า 10 GHz แต่เมื่อความถี่สูงขึ้น จะเป็นเหตุให้การกระจายและการดูดกลืนมากตามไปด้วย เมื่อเทียบกับขนาดของเม็ดฝนในการคำนวณเพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากเม็ดฝน ต้องมีการตั้งสมมติฐานว่า เม็ดฝนแต่ละเม็ดเป็นแบบทรงกลมและแต่ละเม็ดเป็นอิสระจากกัน และความเข้มของคลื่นลดลงเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลเมื่อคลื่นวิทยุผ่านกลุ่มฝน (L) ดังนั้น จะได้กำลังงานที่รับได้เป็น

$$P_r = P_t e^{-KL} \quad (2.2)$$

เมื่อ P_r คือ กำลังงานที่รับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

P_t คือ กำลังงานที่ส่งเข้าไป

ไม่อนุญาตให้เห็นชื่อบริษัทหรือชื่ออื่นที่เห็นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน

อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เนื้อหาที่สงวนลิขสิทธิ์ของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L คือ ระยะทางในแนว slant path

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อแสดงให้อยู่ในรูปของการลดทอน (A) จะได้

$$A = 10 \log p_t / p_r \quad (2.3)$$

$$A = KL \times 4.34 \quad (2.4)$$

$$K = Q_{Absorp} + Q_{Scatter} = Q_{Total}(r, \lambda, m) \quad (2.5)$$

ในการคำนวณหาค่าการลดทอนตลอดแนวเส้นทางการตกของฝน จำเป็นจะต้องรวมการลดทอนที่เกิดจากเม็ดฝนแต่ละเม็ดเข้าด้วยกัน แต่เนื่องจากรัศมีของเม็ดฝนแต่ละเม็ดไม่เท่ากัน การคำนวณสัมประสิทธิ์การลดทอน (K) จึงทำโดยวิธีการอินทิเกรตจากขนาดของเม็ดฝนตลอดเส้นทางดังนี้

$$K = \int Q_{Total} n(r) dr \quad (2.6)$$

Q_{Total} หาได้จากทฤษฎีการแตกกระจายของ Mie (Mie Efficiency Factor) และเมื่อกำหนดเงื่อนไขให้การลดทอนเทียบกับ 1 กิโลเมตร ($L=1$) จากสมการที่ (2.4) จะได้ค่าการลดทอนดังนี้

$$A = 4.34 \int Q_{Total} n(r) dr \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.7) เป็นเพียงแนวทางของทฤษฎีเท่านั้น ในความเป็นจริงเม็ดฝนไม่ได้เป็นทรงกลมโดยตลอด และการกระจายของเม็ดฝนไม่คงที่สม่ำเสมอตลอดแนว Slant Path ซึ่งมักจะแปรผันตามเวลา ตามฟังก์ชันในสมการที่ (2.7) จึงเป็นการยากที่จะหาค่าการลดทอนของสัญญาณให้ได้ค่าที่ถูกต้อง วิธีที่ดีที่สุด คือ การหาโดยใช้ข้อมูลที่ได้ในเชิงสถิติด้วยระยะเวลาที่นานพอสมควรจะทำให้ได้ค่าความแม่นยำมากกว่า

จากหลักการเบื้องต้นดังกล่าว ได้มีการศึกษากันต่อมาเรื่อย ๆ และได้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนกับอัตราการตกของฝน เป็นแบบเลขยกกำลัง (Power Equation)

$$\alpha = \beta R^b \quad \text{dB/km} \quad (2.8)$$

เมื่อ α คือ ค่าการลดทอน (dB/km)

และ R คือ อัตราการตกของฝน (mm/hr)

a และ b จะเปลี่ยนไปตามความถี่และอุณหภูมิเฉลี่ยของฝน จากการคำนวณหาค่า a และ b ตามเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ข้อมูลการศึกษาทดลองการกระจายเม็ดฝนของ Marshall and Palmer, Laws and Parsons และ Joss ไม่น่าจะเหมาะไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เมื่อกำหนดค่า a และ b

ที่อุณหภูมิ -10, 0, 20 องศาเซลเซียส ที่ความถี่ตั้งแต่ 1-1000 GHz ซึ่ง a และ b จะถูกแทนค่าด้วย k และ α ตามลำดับ สำหรับแบบจำลองของ ITU และหาได้จากตารางที่ 2.2 commercial use.

2.2 แบบจำลองการหาค่าการลดทอนเนื่องจากฝนของ ITU-R [2]

ต่อมาภายหลัง ITU-R ได้นำมาทำการรวบรวมแบบจำลองต่าง ๆ ขึ้นใหม่ในความถี่ตั้งแต่ 1-400 GHz โดยแทนค่าใหม่ให้ $a = k$ และ $b = \alpha$ ซึ่งมาตรฐานการคำนวณของ ITU-R มีความสะดวกง่าย และเป็นที่ยอมรับ สมการมาตรฐานของ ITU-R มีขั้นตอนดังนี้ และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำนายการลดทอนเนื่องจากฝน

ขั้นที่ 1. กำหนดความสูงประสิทธิภาพของเมฆฝน H_R ซึ่งสามารถคำนวณได้จากเส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน (ϕ)

$$H_R (\text{km}) = \begin{cases} 4.0 & , 0 < \phi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\phi - 36), & \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (2.9)$$

ขั้นที่ 2. หาค่า L_s (slant path)

$$\text{สำหรับ } \theta \geq 5^\circ \quad L_s = \frac{(H_R - H_S)}{\sin \theta} \quad \text{km} \quad (2.10)$$

$$\text{สำหรับ } \theta < 5^\circ \quad L_s = \left[\frac{2(H_R - H_S)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(H_R - H_S)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} \right] \quad \text{km} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ทุกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
เมื่อ H_S คือ ความสูงของสถานีภาคพื้นดินเหนือระดับน้ำทะเล (กิโลเมตร)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และ R_c คือ รัศมีของโลก (กิโลเมตร)

ขั้นที่ 3 คำนวณโปรเจกชันตามแนวอนของ slant path

$$L_G = L_S \cos \theta \quad \text{km} \quad (2.12)$$

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าแฟกเตอร์การลดทอน ($r_{0.01}$) ใช้สำหรับ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.045L_G} \quad (2.13)$$

ส่วนค่าแฟกเตอร์การลดทอน ($r_{0.01}$) ใช้สำหรับ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี ที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14 [3]

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + L_S \cos \theta / L_0} \quad (2.14)$$

โดยที่

$$L_0 = ae^{-bR_{0.01}} \quad (2.15)$$

สำหรับความถี่ระหว่าง 10 ถึง 20 GHz ค่า $a = 35$ และ $b = 0.015$ เป็นค่าที่ดีที่สุด ในเทอมของความผิดพลาดเฉลี่ย

ขั้นที่ 5 หาอัตราการตกของฝนที่เกินกว่า 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี ($R_{0.01}$) โดยหาได้จากตารางที่ 2.1 ซึ่งกรุงเทพฯ จะอยู่ในเขต N ดังแผนที่ของเขตภูมิอากาศฝนในรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 อัตราการตกของฝน (มิลลิเมตร/ชั่วโมง) ของเขตภูมิอากาศฝน 15 เขต ของ ITU-R [4]

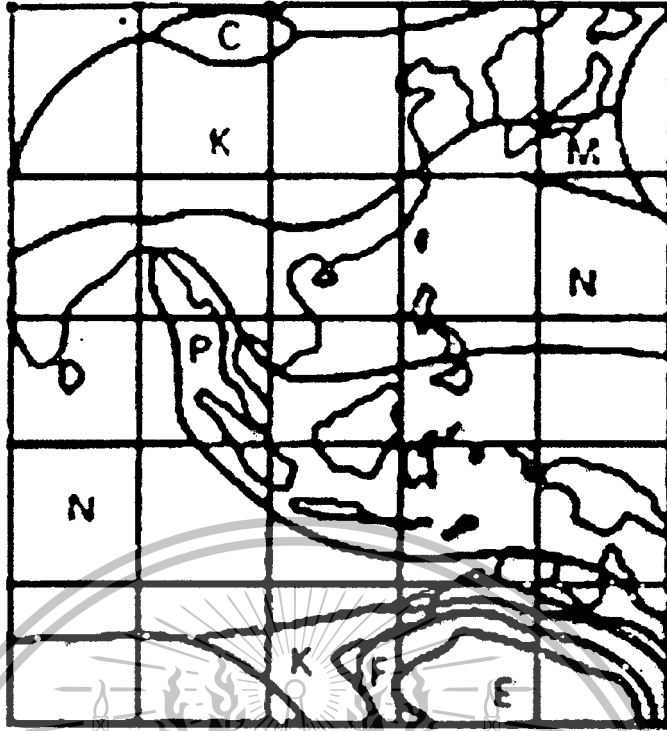
เขต %เวลา	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12
0.3	0.8	2.0	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	85	145
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0.001	22	32	42	42	70	78	85	83	55	100	150	120	180	250

เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เมื่อก่อนหน้านี้

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 เขตภูมิอากาศฝนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ ITU-R

ขั้นที่ 6 หาค่าการลดทอนเฉพาะ γ_R

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad (2.16)$$

ค่า k และ α เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับความถี่ หาได้จากตารางที่ 2.2 สำหรับสัญญาณที่มีโพลาไรเซชันเป็นแบบเชิงเส้น และสำหรับสัญญาณที่การโพลาไรเซชันไม่เป็นเชิงเส้น ค่า k และ α สามารถคำนวณได้ด้วยสมการต่อไปนี้ [5]

$$k = \frac{[k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos \tau]}{2} \quad (2.17)$$

$$\alpha = \frac{[k_H \alpha_H + k_V \alpha_V]}{2k} + \frac{[(k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos \tau]}{2k} \quad (2.18)$$

$$\tau = \arctan\left(\frac{\tan \delta}{\sin \beta}\right) \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น

เมื่อ θ คือมุม elevation

อีกที่ τ คือการโพลาไรเซชันมุมเอียงกับแนวระดับ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

δ คือ เส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน (เป็นบวกเหนือเส้นศูนย์สูตรและเป็นลบต่ำกว่าเส้นศูนย์สูตร)

β คือ เส้นแวงของดาวเทียม ลบกับ เส้นแวงของสถานีภาคพื้นดิน (เส้นแวงแสดงในหน่วยองศา ตะวันออก)

และอัตราการตกของฝน $R_{0.01}$ นำมาจากขั้นตอนที่ 5

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ $k_H, k_V, \alpha_H, \alpha_V$ ขึ้นอยู่กับความถี่ [5]

Freq. (GHz)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	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	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

ขั้นที่ 7 การลดทอนที่เกินกว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.01% ตลอดปี จำนวนได้จาก

$$A_{0.01} = \gamma_R L_S r_{0.01} \quad (2.20)$$

ขั้นที่ 8 สำหรับการลดทอนที่มีค่าเกินกว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลาอื่นของค่าเฉลี่ยตลอดปี ในช่วง 0.001% - 1% อาจประมาณค่าไว้ดังนี้

$$\frac{A_p}{A_{0.01}} = 0.12 p^{-(0.546+0.043 \log p)} \quad (2.21)$$

ขั้นที่ 9 ถ้าต้องการทราบค่า p เมื่อทราบค่า A_p แล้ว อาจคำนวณได้จากการย้ายข้างสมการ 2.21

$$p = 10^{11.628(-0.546 + \sqrt{0.298 + 0.172 \log(A_{0.01}/A_p)})} \quad (2.22)$$

ภายใต้เงื่อนไขที่

$$A_{0.01}/A_p \geq 0.15 \quad (2.23)$$

2.3 การหาแบบจำลองของ ITU-R เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้

เราสามารถคำนวณเพื่อหาแบบจำลองของ ITU-R ได้จากสมการต่าง ๆ ในบทที่ 2 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีค่าดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 2.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองของ ITU-R ของอุปกรณ์ที่ใช้ [6]

ความถี่ที่รับ	12.594 GHz
โพลาริเซชัน	แนวตั้ง
เส้นรุ้ง	13°45'36" เหนือ
เส้นแวง	100°48'17" ตะวันออก
ความสูงของสถานีภาคพื้นดินเหนือน้ำทะเล	34 เมตร
มุมเงย (elevation angle)	59.5°
มุมอซิมูท (azimuth angle)	239.6°

โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นที่ 1 จากสมการที่ 2.9 จะได้ $H_R = 3.385$ กิโลเมตร

ขั้นที่ 2 จากสมการที่ 2.10 จะได้ $L_S = 3.89$ กิโลเมตร

ขั้นที่ 3 จากสมการที่ 2.12 จะได้ $L_G = 1.95$ กิโลเมตร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นที่ 4 จากสมการที่ 2.13 จะได้ $r_{0.01} = 0.812$

ขั้นที่ 5 ค่าอัตราการตกของฝน $R_{0.01} = 95$ มิลลิเมตร/ชั่วโมง

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ชัดเจนว่า เขตภูมิอากาศฝนของประเทศไทย แบ่งออกเป็นสองเขต คือ เขต N และเขต P ในส่วนของเขต P นั้น จะอยู่ในแถบภาคใต้ของประเทศ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เขต N เนื่องจากเขต N นี้ จะครอบคลุมพื้นที่ของกรุงเทพมหานครขึ้นไปยังตอนเหนือของประเทศ ซึ่งอัตราการตกของฝนจะมีค่า ตามตารางที่ 2.1 ซึ่งก็คือ 95 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงนั่นเอง

ขั้นที่ 6 จากสมการที่ 2.16 จะได้ $\gamma_R = 3.968$

โดยที่ $k = 0.0168$ และ $\alpha = 1.200$ โดยหาได้จากตารางที่ 2.2 โดยดูที่ความถี่ 12 GHz ซึ่ง $k = k_r$ และ $\alpha = \alpha_r$ เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมจากไทยคม 2 เป็นโพลาริเซชันแนวตั้ง

ขั้นที่ 7 จากสมการที่ 2.17 จะได้ $A_{0.01} = 12.53$ เดซิเบล

ขั้นที่ 8 จากสมการที่ 2.18 จะได้ $A_p = 1.503 p^{-(0.546+0.043 \log p)}$

เมื่อ p คือ ค่า % เวลาใด ๆ ซึ่งค่า A_p สามารถนำไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง

2.4 ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน (Rain fade time)

เนื่องจากว่า ปริมาณเวลาที่สัญญาณดาวเทียมจางหายหรือลุดทอนไป เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากอย่างหนึ่งในการออกแบบระบบการสื่อสารดาวเทียม เนื่องจากมีผลต่อความน่าเชื่อถือของระบบการสื่อสาร ดังจะแสดงได้โดยสมการ [7]

$$\text{Availability} = (100 - \text{unavailability}) \% \quad (2.17)$$

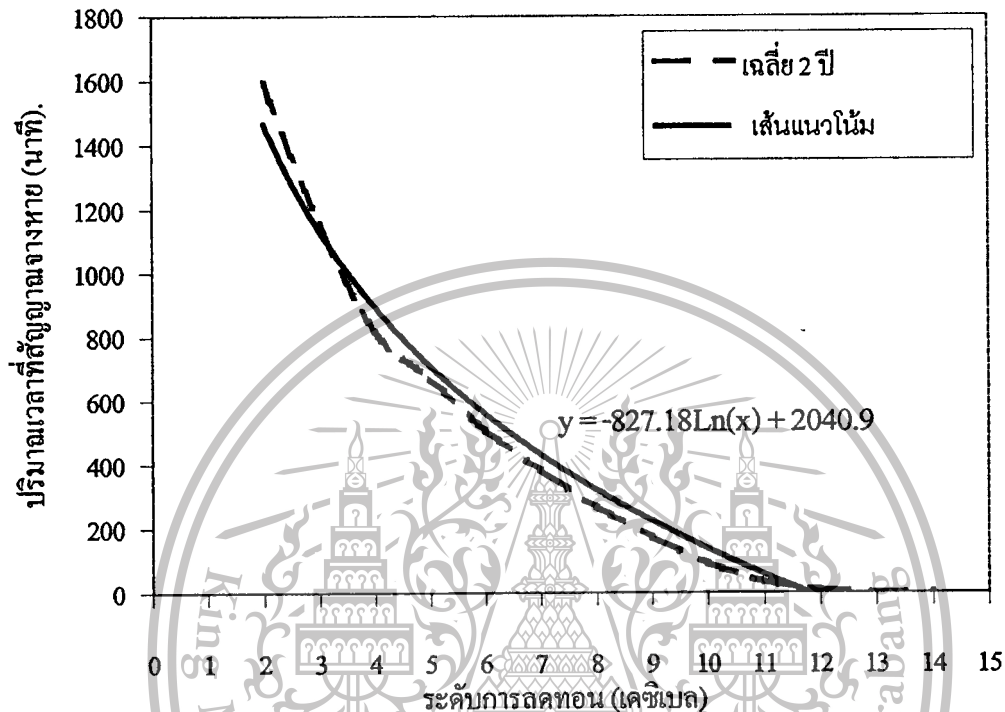
เมื่อ
$$\text{Unavailability} = \frac{\text{unavailable time}}{\text{require time}} \times 100 \% \quad (2.18)$$

เมื่อ require time (เวลาที่ต้องการ) คือ ช่วงเวลาระหว่างที่ผู้ใช้บริการต้องการใช้บริการการสื่อสารข้อมูล และ unavailable time (เวลาที่ไม่น่าเชื่อถือ) คือ ปริมาณเวลาสะสมที่ไม่สามารถให้บริการได้ในช่วงเวลาผู้ใช้บริการต้องการใช้บริการ

ความไม่น่าเชื่อถือในที่นี้ เกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ความไม่น่าเชื่อถือที่เกิดจากอุปกรณ์ และจากการสูญเสียพลังงานในขณะคลื่นเดินทาง ซึ่งความไม่น่าเชื่อถือที่เกิดจากอุปกรณ์ จะต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2 % ของเวลาตลอดทั้งปี ส่วนความไม่น่าเชื่อถือที่เกิดจากการเดินทางของคลื่นนั้น จะต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.2% ของแต่ละเดือน และต้องมีค่าไม่มากกว่า 0.1% ของแต่ละปี

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การศึกษาถึงลักษณะ และปริมาณการจางหายของสัญญาณจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหาย (วินาที) กับ ระดับการลดทอนที่ระดับต่าง ๆ (เดซิเบล) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4

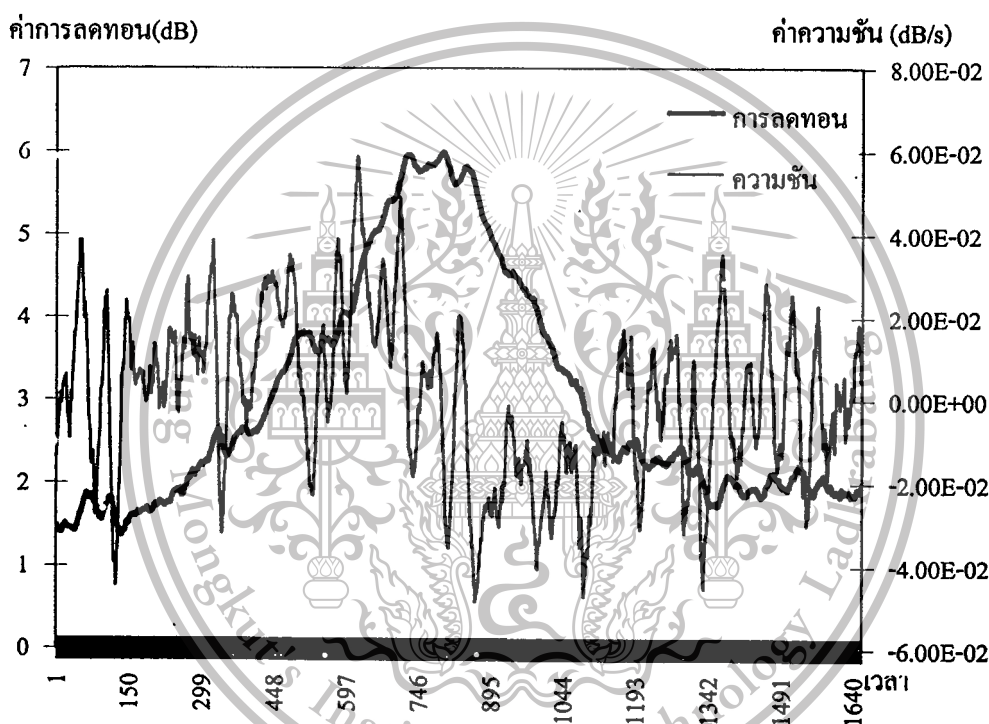


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหาย กับ การลดทอนที่ระดับต่าง ๆ

2.5 ความชันของการจางหายของสัญญาณ (Fade Slope)

ที่สถานีส่งสัญญาณความถี่วิทยุภาคพื้นดิน มีหน้าที่ในการควบคุมและดูแลกำลังส่งของสัญญาณความถี่วิทยุให้สามารถทำงานได้ตามปกติ และโดยปกติ จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวคอยควบคุมกำลังส่ง ซึ่งจะใช้วิธีการควบคุมการเพิ่มหรือลดกำลังส่งอย่างอัตโนมัติ (Automatic gain control) ซึ่งจะใช้หลักการของการควบคุมป้อนย้อนกลับ (Feedback control) ซึ่งสามารถทำงานได้ดี เมื่อความเร็วของการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณไม่มากนัก เช่น ฝนตกไม่หนักมาก หรืออาจเกิดการลดทอนจากปรากฏการณ์อื่น ๆ แต่สำหรับกรณีที่ความเร็วของการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณมีค่ามาก โดยเฉพาะเวลาที่ฝนตกหนัก ๆ หรือกล่าวอีกอย่างก็คือ ความชันของการลดทอนหรือจางหายมีค่ามาก จะทำให้อุปกรณ์ควบคุมการเพิ่มกำลังส่งอย่างอัตโนมัติไม่สามารถปรับค่ากำลังส่งให้ทันกับความเร็วจากการลดทอนได้ ทำให้เกิดความผิดพลาดของการติดต่อสื่อสารข้อมูลได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความไม่น่าเชื่อถือให้กับระบบการสื่อสารความถี่วิทยุ

ดังนั้น ถ้าเรามีข้อมูลที่เป็นสถิติของลักษณะความชันของการจางหายของสัญญาณ และมีการออกแบบวงจรที่คอยควบคุมการเพิ่มหรือลดกำลังส่งของสัญญาณ โดยนำข้อมูลส่วนนี้มาเป็นส่วนหนึ่งของการพิจารณาในการเพิ่มหรือลดกำลังส่ง ว่าควรเพิ่มหรือลดมากเท่าไร จึงจะสามารถทำให้ระบบการสื่อสารสามารถให้บริการต่อไปได้ ก็จะทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบสื่อสารควมเทียมมีค่ามากขึ้น รูปที่ 2.5 เป็นตัวอย่างกราฟของความชันของการจางหายของสัญญาณ เทียบกับ ค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยที่ AFS ก็ค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นซึ่งมีหน่วยเป็นเดซิเบล โดยช่วงที่ค่าความชันเป็นบวก เป็นช่วงเวลาที่ระดับสัญญาณลดลง (การลดทอนเพิ่มขึ้น) และช่วงที่ค่าความชันเป็นลบ เป็นช่วงที่ระดับสัญญาณเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟของความชันของการจางหายของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

แนวทางการวิเคราะห์

3.1 แนวทางการวิเคราะห์ปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน (Rain fade time)

อย่างที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 ว่าปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน เป็นข้อมูลที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบระบบการติดต่อสื่อสารดาวเทียม และการกำหนดช่วงเวลาที่นำเชื่อถือได้นั้น จะมีการนำเอาช่วงเวลาที่สัญญาณจางหายแต่ละครั้งมาพิจารณาด้วย เช่น ถ้าสัญญาณจางหายไปเป็นช่วงเวลาที่น้อยมาก เราอาจไม่นับว่าช่วงนั้น เป็นช่วงที่ไม่นำเชื่อถือ ดังนั้น ลักษณะการวิเคราะห์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ไม่เพียงเพื่อให้สามารถใช้ในการพิจารณาในการออกแบบได้เท่านั้น แต่ยังวิเคราะห์เพื่อให้ทราบลักษณะการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ด้วย

ดังนั้น ไม่เพียงทำการหาปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝนเท่านั้น แต่ได้ทำการแบ่งช่วงเวลา (duration) ที่สัญญาณลดทอนที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ออกเป็น 5 ช่วงคือ 30-60 วินาที, 1-2 นาที, 2-5 นาที, 5-20 นาที และมากกว่า 20 นาที เพื่อสามารถเข้าใจถึงลักษณะพฤติกรรมลดทอนของสัญญาณได้ดีขึ้น [8]

รูปที่ 3.1 เป็นรูปที่ใช้แสดงวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝนที่ได้ทำการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 5 ช่วง ในการวิเคราะห์นั้น เราต้องทำการตั้งค่าอ้างอิงที่แต่ละระดับการลดทอน คือ ตั้งแต่ 2-14 เดซิเบล แล้วทำการนับช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนมากกว่าค่านั้น จนถึงเวลาที่สัญญาณเพิ่มขึ้นจนเกินค่านั้น แล้วนำช่วงเวลาที่ได้นี้ แยกออกเป็น 5 ช่วง ทำเช่นนี้เรื่อยไป แล้วนำช่วงเวลาทั้งหมดที่ได้มาบวกกัน เช่น จากรูป ที่ระดับการลดทอนที่มากกว่า 8 เดซิเบล สัญญาณช่วงที่ลดลงต่ำกว่า 8 เดซิเบล มีทั้งหมด 4 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 เป็นระยะเวลาประมาณ 6 นาที ช่วงนี้จะถูกนับรวมอยู่ในช่วงเวลา 5 -20 นาที

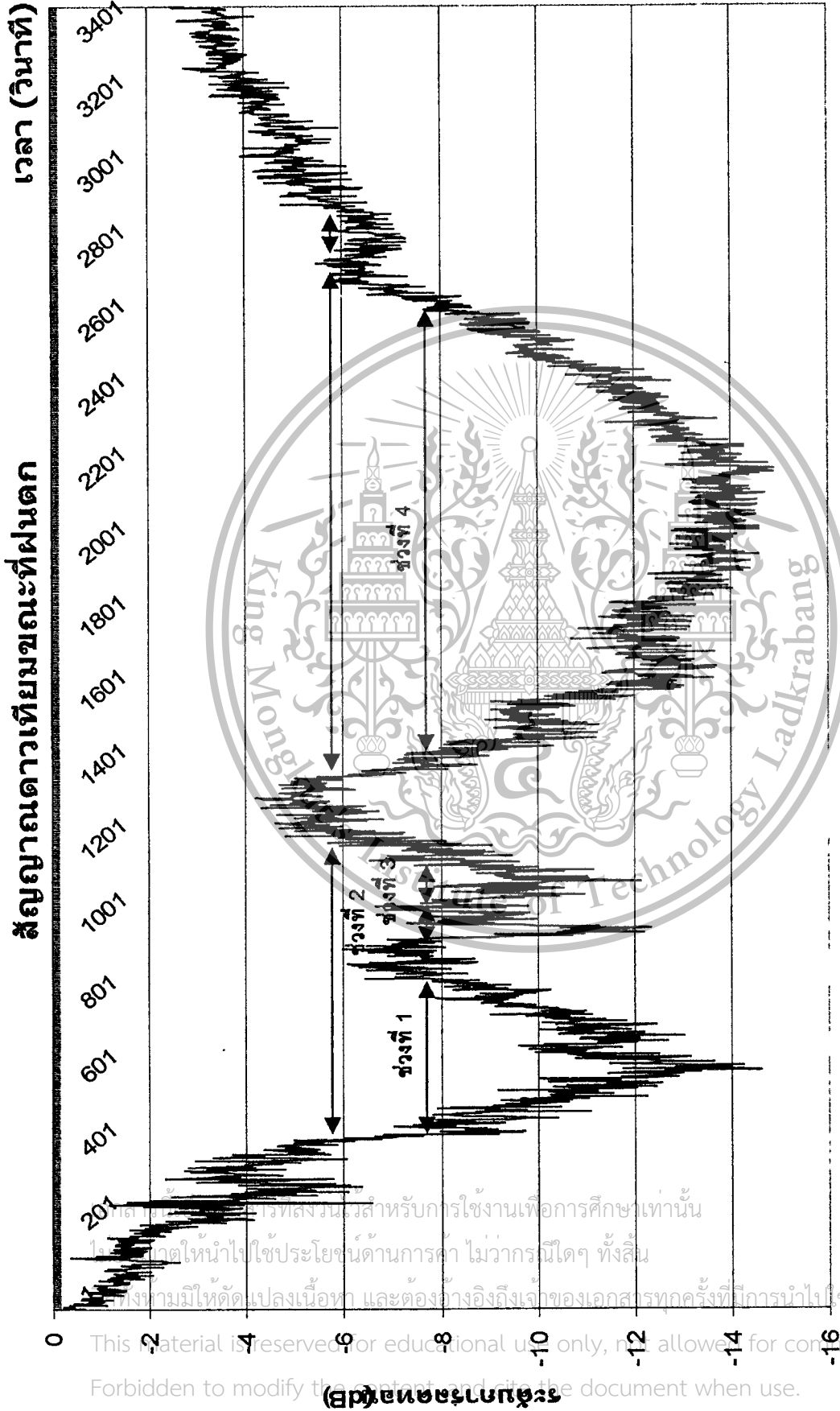
ช่วงที่ 2 และ 3 เป็นระยะเวลาประมาณ 2 นาที ช่วงนี้จะถูกนับรวมอยู่ในช่วงเวลา 2 - 5 นาที

ช่วงที่ 4 เป็นระยะเวลาประมาณ 18 นาที ช่วงนี้จะถูกนับรวมอยู่ในช่วงเวลา 5 -20 นาที

ทำวิธีนี้กับช่วงเวลาอื่น ๆ ตลอดทั้งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ แล้วนำแต่ละช่วงเวลามารวมเข้าด้วยกัน เช่น จากตัวอย่างข้างบน นำเวลาในช่วงที่ 1 และช่วงที่ 4 มาบวกกัน คือ $6+18=24$ นาที หรือ 1,800

วินาที โดยเวลาที่นำมาบวกกันนั้น ต้องอยู่ในช่วงเวลาที่มีการลดทอนใน 5 ช่วงที่แบ่งไว้เหมือนกัน

คือ 30-60 วินาที, 1-2 นาที, 2-5 นาที, 5-20 นาที และมากกว่า 20 นาที โดยค่ารวมของเวลาที่ได้นี้ เป็นค่ารวมที่ระดับการลดทอนแต่ละค่า เช่น ที่ระดับการลดทอนมากกว่า 8 เดซิเบล



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงลักษณะการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณเวลาการจางหายของสัญญาณที่มีการแบ่งช่วงเวลาต่างๆ

สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น
โปรดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น
สงวนลิขสิทธิ์ให้เด็ดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

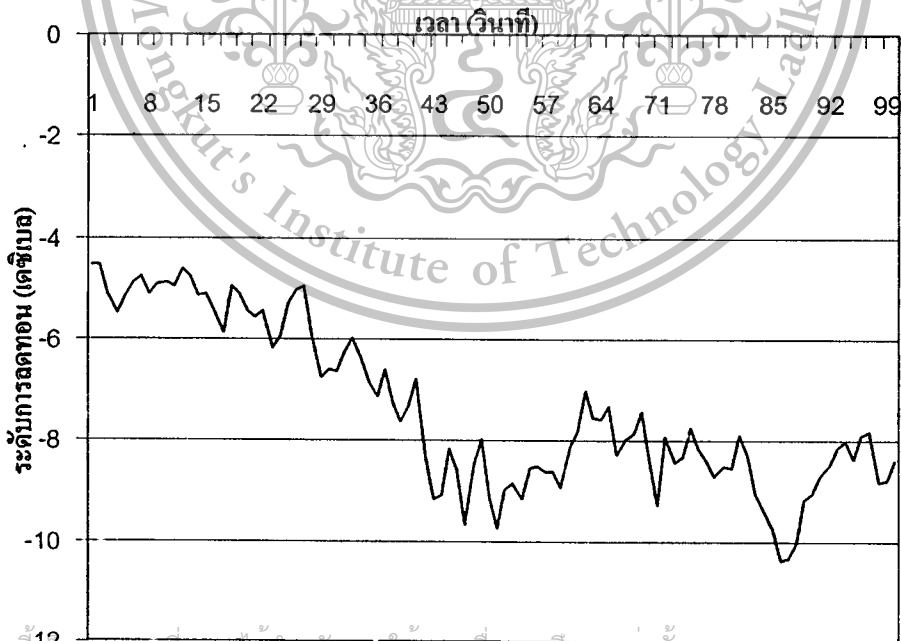
3.2 แนวทางการวิเคราะห์ความถี่ของการจางหายของสัญญาณ

นอกจากนี้แล้ว ในงานวิจัยนี้ ยังได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหา ค่าความถี่ในการเกิดการจางหายของสัญญาณที่ระดับต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ กันอีกด้วย (frequency of occurrence) ซึ่งทำได้โดยการนับจำนวนครั้งที่สัญญาณลดทอนเกินระดับสัญญาณที่เราต้องการทราบ แล้วนำจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นมารวมกัน ก็จะได้ค่าความถี่ในการเกิดการจางหายของสัญญาณที่ระดับต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ กันออกมา โดยค่าความถี่นี้ ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณาความน่าเชื่อถือของระบบสื่อสารดาวเทียมเช่นเดียวกัน เพราะค่าความถี่นี้ จะบอกให้ทราบว่า สัญญาณจะจางหายมากกว่ากี่เดซิเบลไปกี่ครั้งในรอบ 1 ปี เช่น จะทำให้ทราบว่า สัญญาณจะจางหายไปมากกว่า 7 เดซิเบล เป็นจำนวน 32 ครั้ง เป็นต้น

3.3 แนวทางการวิเคราะห์ความชันของการจางหายของสัญญาณ [9]

ความชันของการจางหาย คือ อัตราของการเปลี่ยนแปลงของการลดทอน มีหน่วยเป็น (dB/s) ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางเพื่อจะทราบถึงลักษณะของค่าความชันของการจางหายของสัญญาณดาวเทียมในย่าน Ku

เนื่องจาก สัญญาณดาวเทียมในย่าน Ku ทั่วไป ได้รับผลกระทบ ไม่เพียงแต่การตกของฝนเท่านั้น แต่ยังได้รับผลกระทบจาก การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหัน (scintillation) อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดของค่าความชันที่คำนวณมาได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

รูปที่ 3.2 กราฟลักษณะการลดทอนที่มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิดขึ้นด้วย อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ดังนั้น ในการหาค่าความชันของการจางหายของสัญญาณเนื่องจากฝน จึงต้องมีกำจัดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหันออกไป โดยการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณควมเทียมที่แต่ละวินาทีก่อน แล้วจึงค่อยนำค่าเฉลี่ยที่ได้ มาหาค่าความชันของการจางหายของสัญญาณต่อไป

ในงานวิจัยนี้ มีการเก็บข้อมูลด้วยอัตรา 2 ค่า ต่อเวลา 1 วินาที และค่าเฉลี่ยของสัญญาณจะคำนวณในช่วงเวลา 10 วินาที ดังนั้น เราจึงได้สูตรคำนวณค่าเฉลี่ยของสัญญาณควมเทียมที่วินาทีต่างๆ เป็น

$$\bar{A}_i = \left(\frac{1}{20} \right) \left(\sum_{i=1}^{i+10} A_i \right) \quad (\text{เดซิเบล}) \quad (3.1)$$

เมื่อ A_i คือ ค่าการลดทอนที่ตำแหน่งเวลาต่าง ๆ (เดซิเบล)

\bar{A}_i คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการลดทอนที่ตำแหน่งเวลาต่าง ๆ

ความชันของการจางหายของสัญญาณ (Fade Slope : FS) ก็คือ ความแตกต่างระหว่างระดับการลดทอนของสัญญาณที่ตำแหน่งเวลา 2 ตำแหน่ง ในหน่วยเดซิเบลหารด้วยระยะเวลาระหว่างข้อมูลทั้ง 2 ตำแหน่งนั้น ซึ่งค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณที่ตำแหน่งเวลาต่าง ๆ เพื่อหาค่าความชันของการจางหายของสัญญาณ ก็คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการลดทอนที่ได้จากสมการที่ 3.1 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะคำนวณภายในเวลา 10 วินาที สมการที่ 3.2 เป็นสมการที่ใช้หาค่าความชันของการจางหายของสัญญาณ

$$FS_i = \left(\frac{1}{10} \right) (\bar{A}_{i+10} - \bar{A}_{i-9}) \quad (\text{เดซิเบล/วินาที}) \quad (3.2)$$

รูปที่ 3.3 เป็นตัวอย่างกราฟซึ่งแสดงลักษณะของค่าความชันของการจางหายของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 3.2 เทียบกับเปอร์เซ็นต์เวลาในระยะเวลา 1 ปี โดยจะเห็นได้ว่าความชันที่มีค่ามาก จะเกิดขึ้นเป็นปริมาณเวลาที่มากกว่า ความชันที่มีค่าน้อย

และในงานวิจัยนี้ ยังได้มีการวิเคราะห์ค่าความชัน ที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 2-4.5 เดซิเบล, 4.5 – 7 เดซิเบล และ 7-11 เดซิเบล อีกด้วย เพื่อจะได้ทราบถึงความแตกต่างของค่าความชัน ที่ระดับการลดทอนต่างกัน

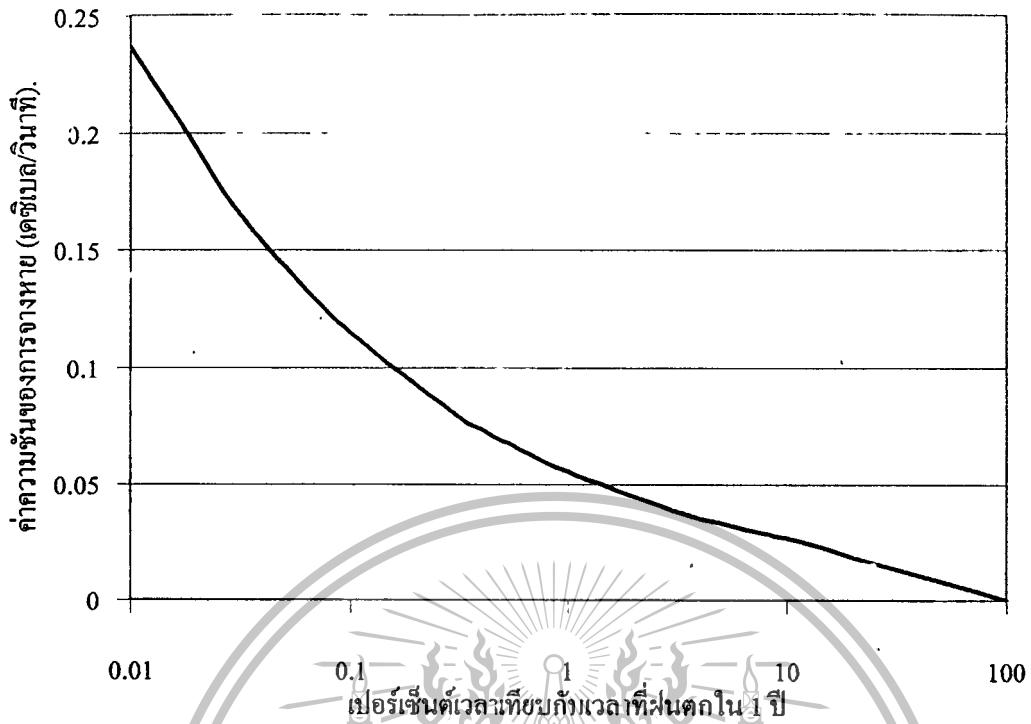
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงค่าความชันของสัญญาณ เทียบกับเปอร์เซ็นต์เวลาใน 1 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

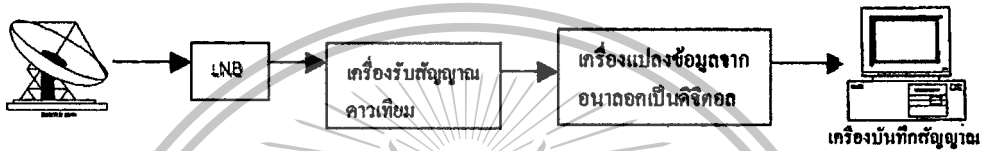
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

อุปกรณ์การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดและระบบการวัด

ระบบการวัดสัญญาณดาวเทียมในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งได้ทำการวัดสัญญาณโพลาริซ์แนวตั้ง จากดาวเทียมไทยคม 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบการวัด

4.1.1 งานสายอากาศและ LNB

งานสายอากาศที่ใช้เป็นแบบออฟเซตพาราโบลา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง $13^{\circ}45'36''$ เหนือ และเส้นแวง $100^{\circ}48'17''$ ตะวันออก โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 2 ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นแวง 78.5 องศาตะวันออก เหนือมหาสมุทรอินเดีย (รายละเอียดของดาวเทียมไทยคม 2 ดูได้จากภาคผนวก) โดยงาน สายอากาศรับมีมุมเงย 59.9 องศา และมุมอซิมุส 239.6 องศา มีอัตราขยาย 34.5 เดซิเบล โดยติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ LNB 1 คู่ ซึ่งตั้งจากซึ่งกันและกัน โดยติดตั้งอยู่บนชั้นดาดฟ้า ตึกของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ไม่อนุญาตให้นำไป

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 งานสายอากาศออฟเซตพาราโบลาที่ใช้ Dual LNB allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของระบบการวัด

ดาวเทียม	ไทยคม 2 (78.5° E)
ความถี่ที่ใช้	12.594 GHz
ระบบงานสายอากาศ	เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร อัตราขยาย 34.5 dB, โพลาริเซชันคู่
มุมเงย	59.6 องศา

4.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

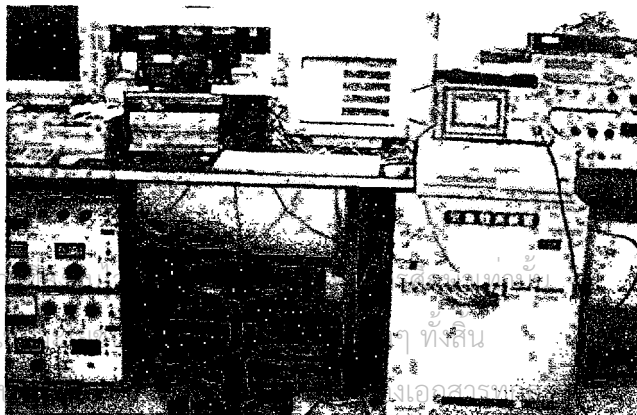
ในงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบอนาล็อก เพื่อรับสัญญาณจาก LNB ระดับสัญญาณที่รับได้ จะปรากฏออกมาในรูปของระดับแรงดันไฟตรง แสดงดังรูปที่ 4.3 หลังจากนั้นจะถูกนำไปเปลี่ยนไปสัญญาณดิจิทัล แล้วนำไปบันทึกในเครื่องบันทึกสัญญาณซึ่งใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวบันทึกสัญญาณ



รูปที่ 4.3 ลักษณะการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

4.1.3 เครื่องบันทึกสัญญาณ

การบันทึกระดับสัญญาณในงานวิจัยนี้ จะบันทึกสัญญาณด้วยระบบดิจิทัล ซึ่งประกอบด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล data acquisition HP 3307A, คอมพิวเตอร์ และซอฟต์แวร์ Benchlink โดยกำหนดให้ระบบสุ่มสัญญาณวินาทีละ 2 ครั้ง ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดเก็บเป็นแฟ้มในคอมพิวเตอร์และนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Excel และ Visual Basic



เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่อนุญาตให้นำไป
อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแ

ทั้งสิ้น

นำไปได้

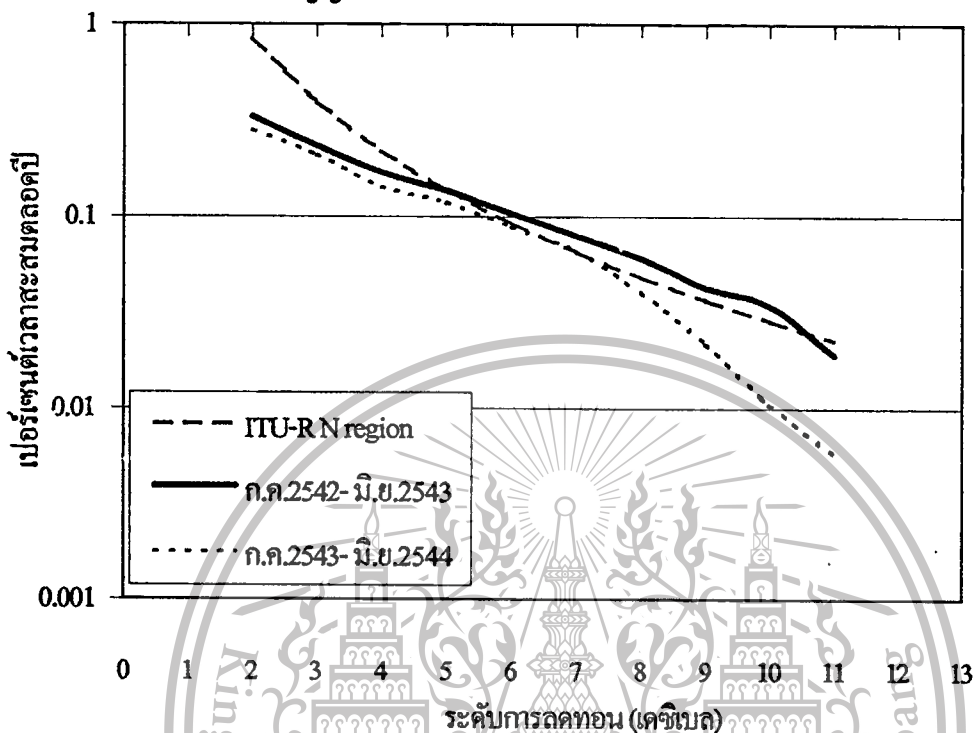
รูปที่ 4.4 แสดงภาพเครื่องบันทึกสัญญาณ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

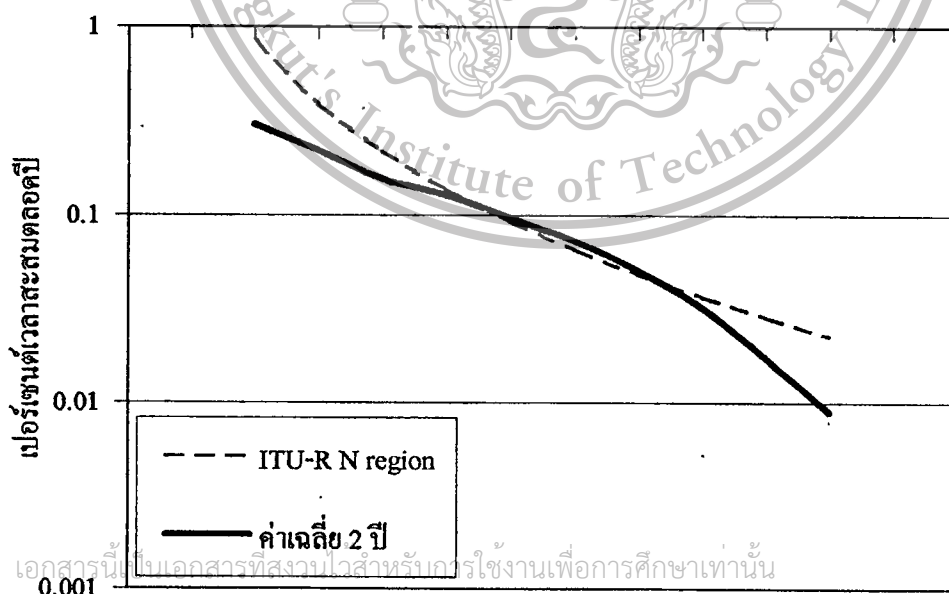
4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ จะแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

4.2.1 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายเทียบกับแบบจำลองของ ITU-R



รูปที่ 4.5 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายไปแต่ละปี เทียบกับแบบจำลองของ ITU-R เขตพื้นที่ N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อสู้อิเล็กทรอนิกส์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

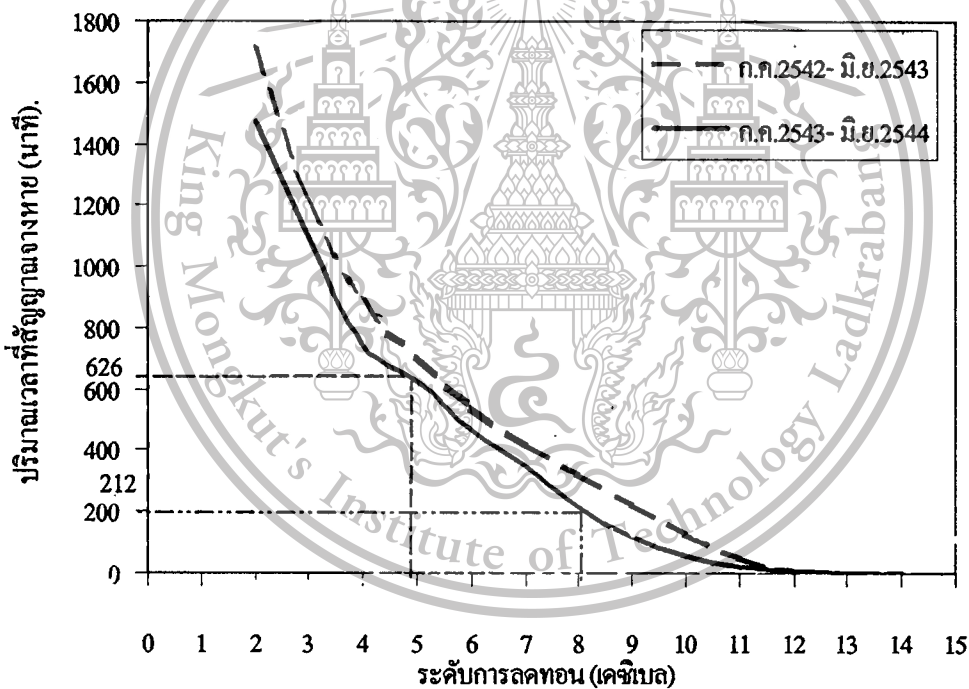
รูปที่ 4.6 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางเฉลี่ยจาก 2 ปี เทียบกับแบบจำลอง ITU-R เขตพื้นที่ N
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่า ระหว่างเดือน ก.ค.2542 – มิ.ย.2543 นั้น จะมีการตกของฝนมากกว่า ระหว่างเดือน ก.ค.2543 – มิ.ย.2544 และมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองของ ITU-R ในเขตพื้นที่ N ซึ่งสถานที่ทำการทดลอง (กรุงเทพมหานคร) ก็อยู่ในเขตพื้นที่ N นี้ สำหรับในช่วงเดือน ก.ค.2543 ถึง มิ.ย.2544 นั้นที่ช่วงระดับการลดทอนประมาณ 9 – 11 เดซิเบลมีค่าเปอร์เซ็นต์เวลาน้อยกว่าแบบจำลองของ ITU-R เป็นเพราะฝนที่ตกหนักเกิดขึ้นน้อยกว่าในช่วงเดือน ก.ค.2542 ถึง มิ.ย.2543

ส่วนรูปที่ 4.6 นั้น เป็นการนำเอาข้อมูลทั้ง 2 ปี มาหาค่าเฉลี่ย แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองของ ITU-R จะเห็นได้ว่า ที่ระดับการลดทอน 4 – 9 เดซิเบล จะมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2.2 ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ

จากการทดลอง จะทำให้ได้กราฟในรูปที่ 4.7 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหาย มีหน่วยเป็น นาที กับระดับการลดทอนต่าง ๆ



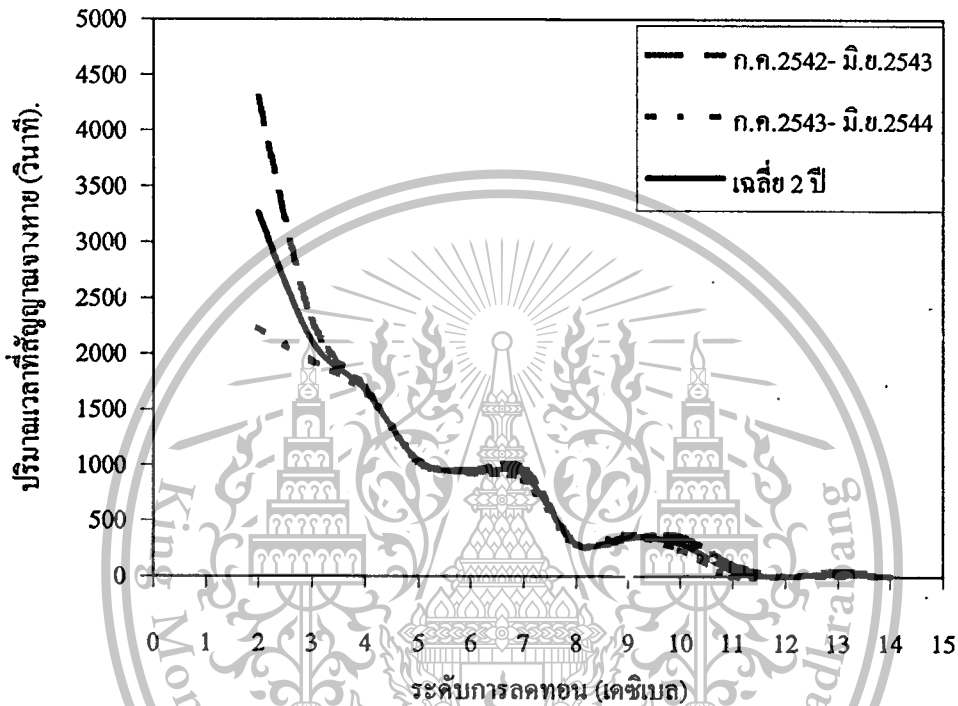
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายรวมทั้งระดับการลดทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี
เปรียบเทียบกันระหว่างเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543 กับ เดือน ก.ค.2543 - มิ.ย.2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ในรูปที่ 4.7 เป็นกราฟที่ทำให้เราทราบได้ว่า ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายไปมีค่าเท่าไรในเวลา 1 ปี อีกทั้งการลดทอนมากกว่าระดับการลดทอนต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น จะบอกให้เราทราบว่า สัญญาณควมเทียบลดทอนมากกว่า 5 เดซิเบลเป็นปริมาณเวลา 626 นาที ใน 1 ปี หรือ สัญญาณควมเทียบลด

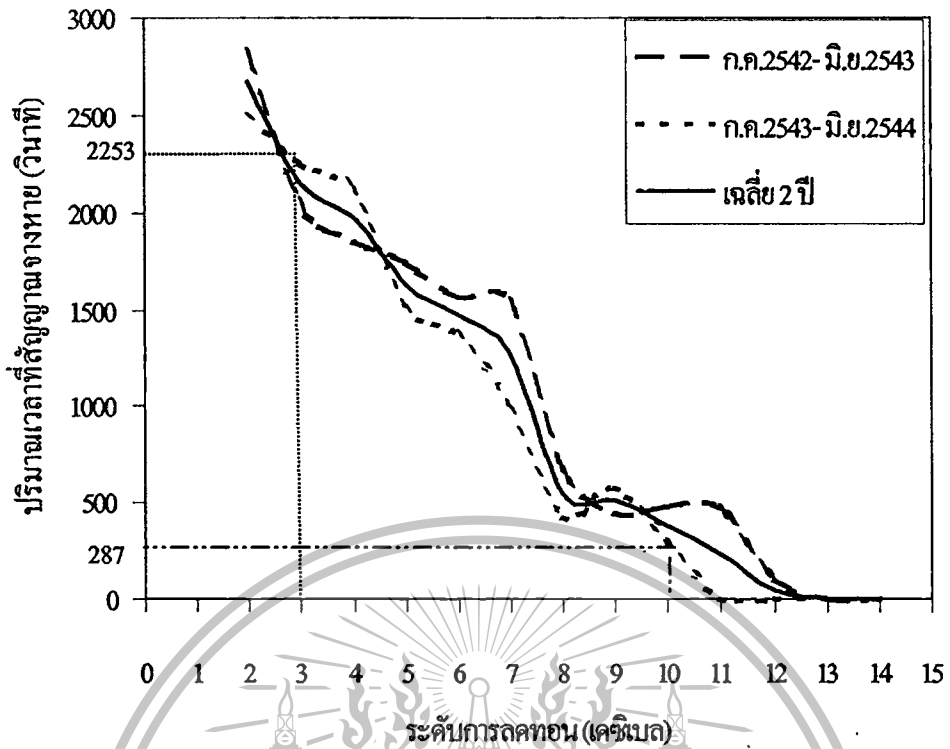
ทอนมากกว่า 8 เดซิเบล เป็นปริมาณเวลา 212 นาที ใน 1 ปี เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูล ซึ่งข้อมูลนี้เป็นปัจจัยหนึ่ง ในการออกแบบ ระบบการสื่อสารดาวเทียม และเรายังสังเกตได้อีกว่า ที่ระดับการลดทอนที่สูงขึ้น ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายก็ลดลง ดังเช่นแสดงดังกราฟในรูป

ส่วนกราฟในรูปที่ 4.8 – รูปที่ 4.12 เป็นผลการทดลองที่ได้จากแบ่งช่วงเวลาที่สัญญาณจางหายไปออกเป็น 4 ช่วง เพื่อจะสังเกตความแตกต่างของแต่ละช่วง

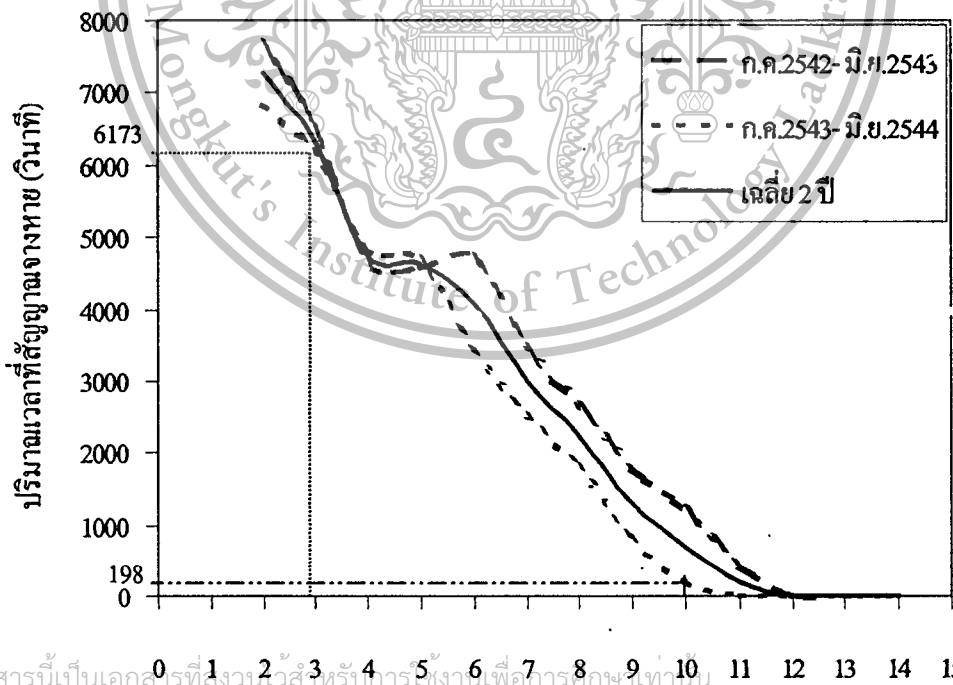


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณจางหายเป็น 0.5 - 1 นาที

โดยส่วนมากแล้ว ลักษณะการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่มาก ๆ นั้น จะเกิดขึ้นเป็นเวลานานมากนั้ ในลักษณะตรงกันข้ามกัน ลักษณะการลดทอนที่น้อย ๆ นั้น มักจะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาที่นานกว่า เช่น ในรูปที่ 4.9 และ 4.10 ที่ระดับการลดทอนมาก คือที่ 10 เดซิเบล จะเห็นได้ว่า ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายในรูปที่ 4.9 (ช่วงเวลา 1-2 นาที) จะมีค่า 287 วินาที ในขณะที่ในรูปที่ 4.10 (ช่วงเวลา 2-5 นาที) มีค่า 198 วินาที ส่วนที่การลดทอนน้อย คือที่ 3 เดซิเบล จะเห็นได้ว่า ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายในรูปที่ 4.9 จะมีค่า 2253 วินาที ส่วนในรูปที่ 4.10 มีค่า 6173 วินาที และซึ่งถ้าพิจารณาจากผลการทดลองในส่วนนี้เรียบร้อยแล้ว อาจดูเหมือนว่ามีบางช่วงของข้อมูลที่ ไม่ค่อยสอดคล้องกับสมมติฐานนี้มากนัก ซึ่งเมื่อเราทำการพิจารณาพร้อมกับส่วนของความถี่ของการเกิดการลดทอนในช่วงต่าง ๆ (ซึ่งจะแสดงผลในส่วนต่อไป) แล้วก็จะสนับสนุนสมมติฐานนี้มากขึ้น

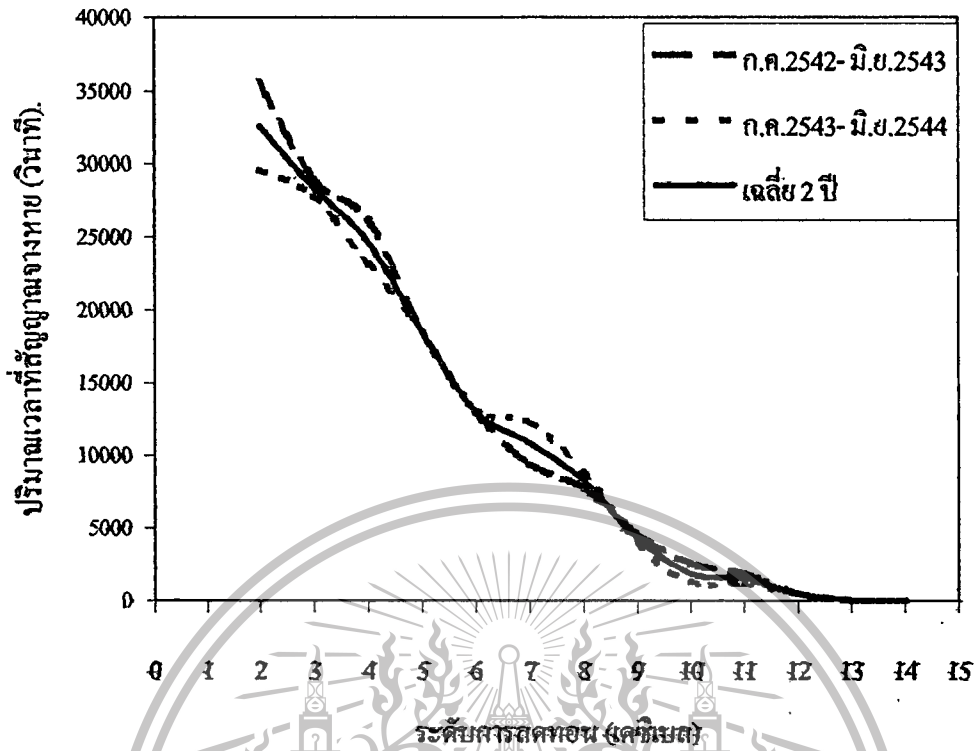


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สูญญางงหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สูญญางงหายเป็น 1-2 นาที

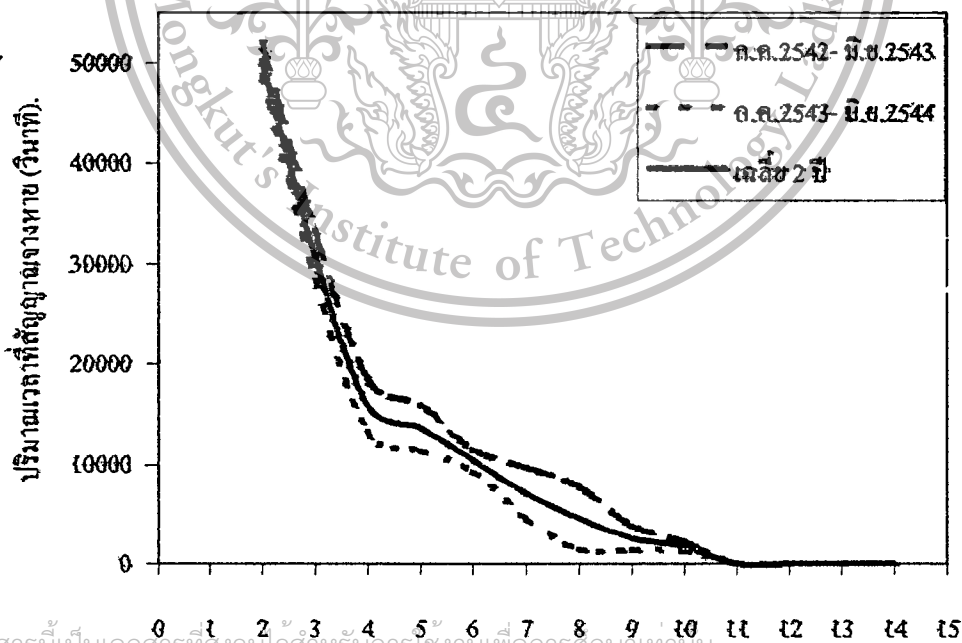


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สูญญางงหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สูญญางงหายเป็น 2-5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วากรณใดๆ ทั้งสิ้น
 This material is intended for personal use only, not allowed for commercial use.
 Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาจะงาหมายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาจะงาหมายอื่น 5-20 นาที

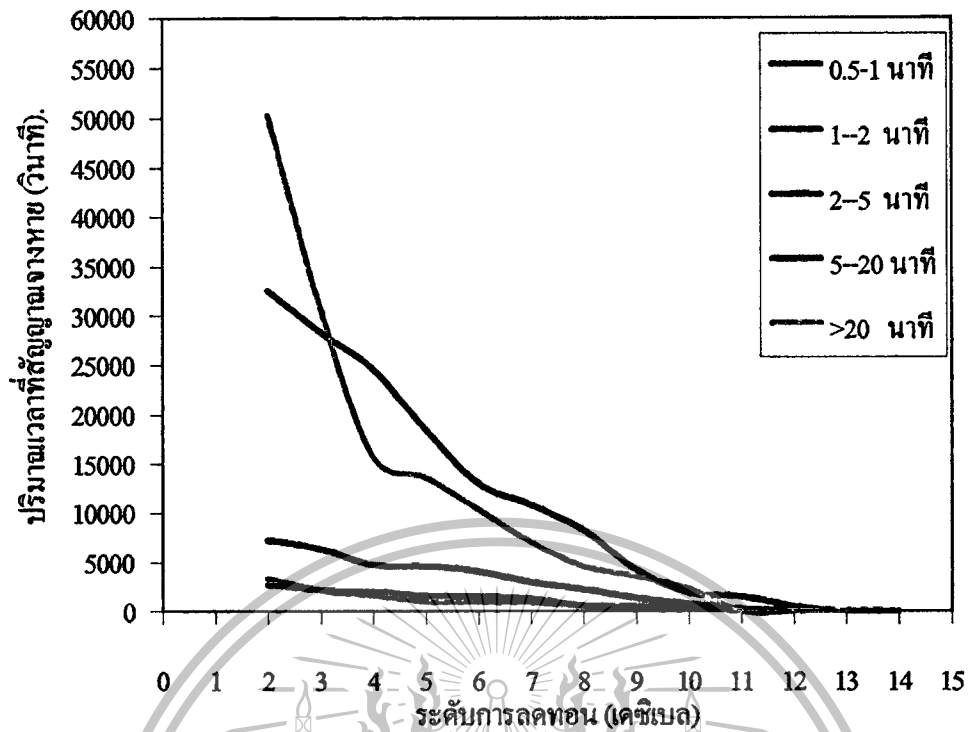


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ระดับสารลดทอน (เคมเบส)

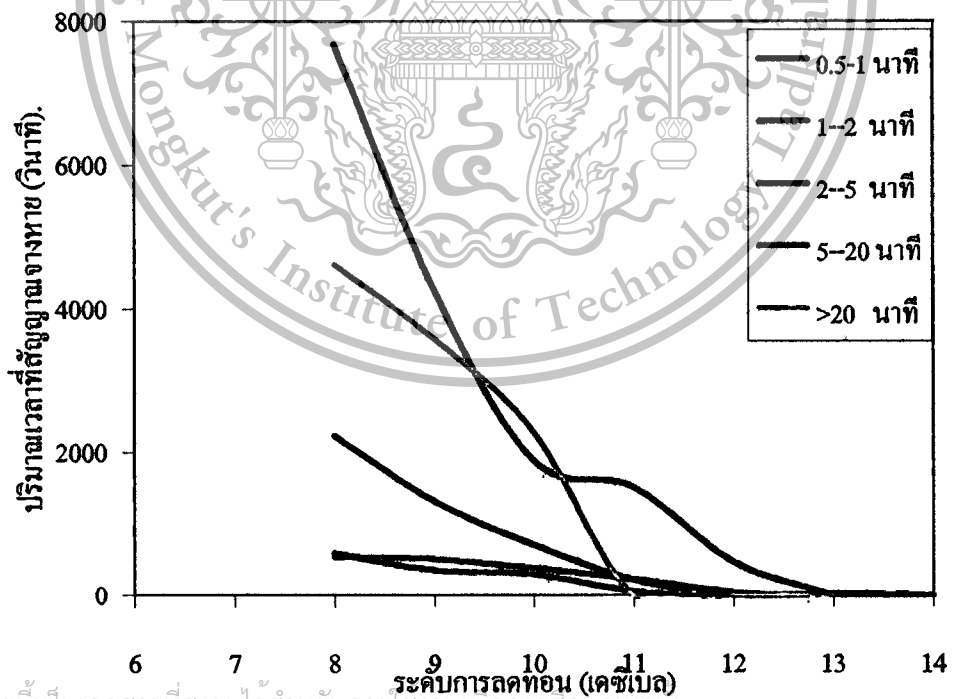
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใด ๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาจะงาหมายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาจะงาหมายมากกว่า 20 นาที



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อนำช่วงเวลาที่สำคัญจางหายในช่วงต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับกันของช่วงเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543



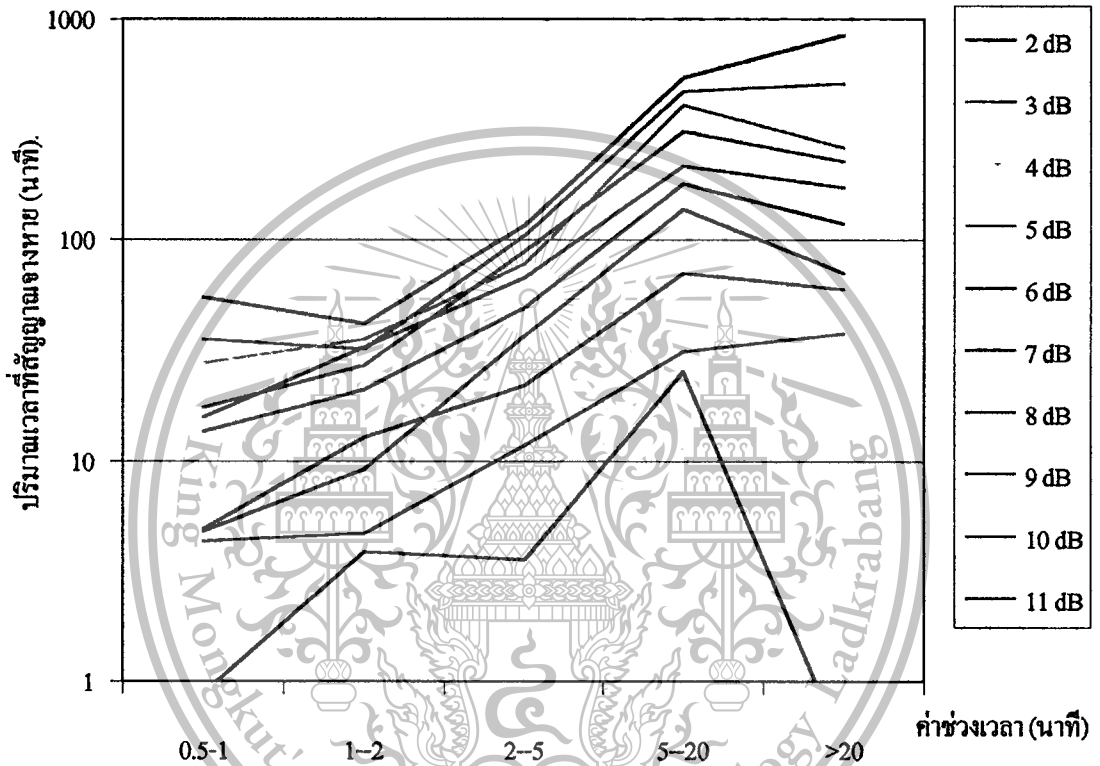
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนมาก ๆ เมื่อนำช่วงเวลาที่สำคัญจางหายในช่วงต่าง ๆ มาเปรียบเทียบกับกันของช่วงเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.13 ให้สังเกตจากกราฟช่วง 5-20 นาที และช่วงที่มากกว่า 20 นาที ทำให้เราเห็นได้ชัดเจนขึ้นว่า ที่ระดับการลดทอนน้อย ๆ ประมาณ 2-4 เดซิเบล กราฟช่วงที่มากกว่า 20 นาที จะมีปริมาณเวลามากกว่า แต่ถ้าที่ระดับการลดทอนมากขึ้นกว่าช่วงนี้ กราฟช่วง 5-20 นาที จะมีค่ามากกว่า แสดงว่า ฝนที่ตกหนัก ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนมากนั้น จะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาที่น้อยกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนขึ้นในรูปที่ 4.14 และที่ระดับการลดทอนน้อย ๆ จะเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาที่น้อยกว่า

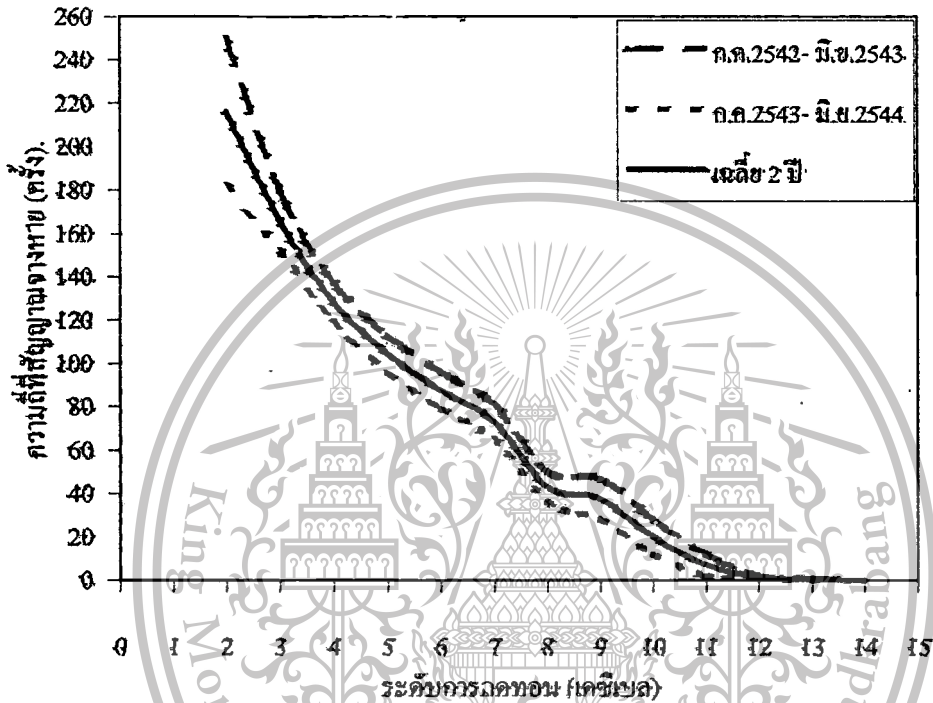


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายโดยแยกเป็นแต่ละระดับการลดทอนที่ช่วงเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าที่ระดับการลดทอนสูง ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายจะมากกว่า และจะสังเกตได้ว่า ข้อมูลที่อยู่ระหว่างช่วงเวลา 5-20 นาที และมากกว่า 20 นาที ของระดับการลดทอนที่ค่อนข้างมาก ปริมาณเวลาจะลดลง แต่ระหว่างช่วงเวลาอื่น ๆ ปริมาณเวลาอาจจะเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่ได้หมายความว่า การลดทอนที่มากจะเกิดขึ้นเป็นเวลานาน แต่แท้จริงแล้วจะต้องนำค่าความถี่ในการเกิดมาพิจารณาด้วย ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนขึ้นในรูปที่ 4.24 ต่อไป ซึ่งจะอยู่ในส่วนถัดไป

4.2.3 ความถี่ (จำนวนครั้ง) ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ

ความถี่ หรือ จำนวนครั้งที่สัญญาณจางหายไป เป็นข้อมูลที่มิใช่ประโยชน์ที่ทึ่งให้เราทราบถึง การลดทอนที่ระดับต่าง ๆ เกิดขึ้นกี่ครั้งในเวลา 1 ปี ซึ่งถ้านำมาพิจารณาพร้อมกับปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายก็จะทำให้เราทราบข้อมูลที่ละเอียดขึ้น ในรูปที่ 4.16 เป็นกราฟของความถี่ของการจางหายที่เกิดขึ้นที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในรอบ 1 ปี



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความถี่ของการจางหายที่เกิดขึ้นที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในรอบ 1 ปี

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ระดับการลดทอนที่มากจะเกิดขึ้นน้อยกว่าระดับการลดทอนที่น้อย

และในเอกสารทดลองนี้ ได้มีกราฟแสดงช่วงเวลาที่มีสัญญาณลดทอนน้อยเป็น 5 ช่วงด้วย เพื่อให้เราสามารถทราบข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.17 – รูปที่ 4.21

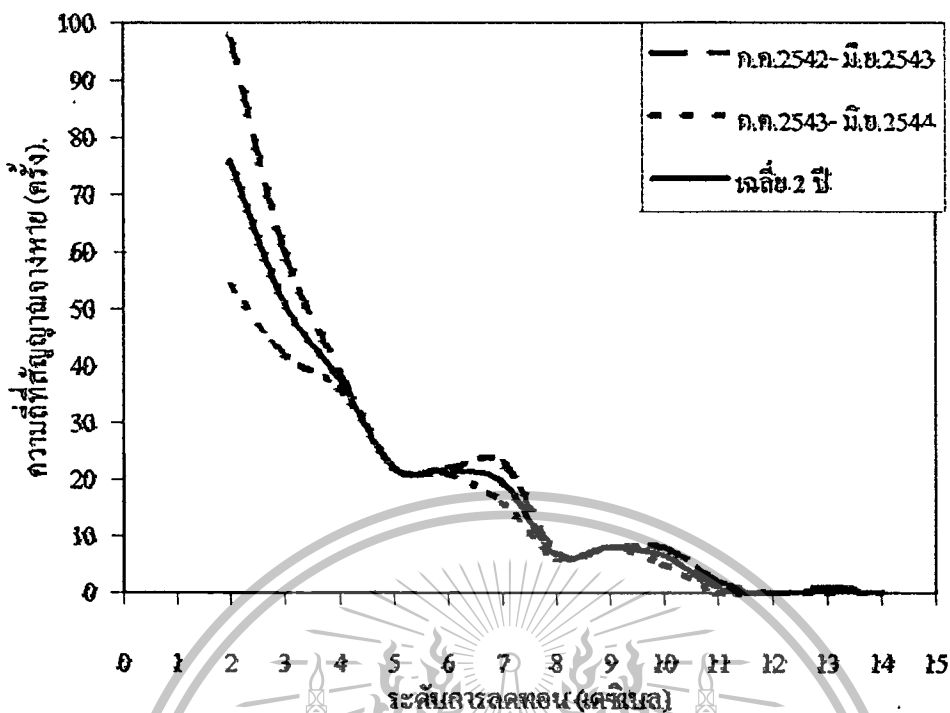
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

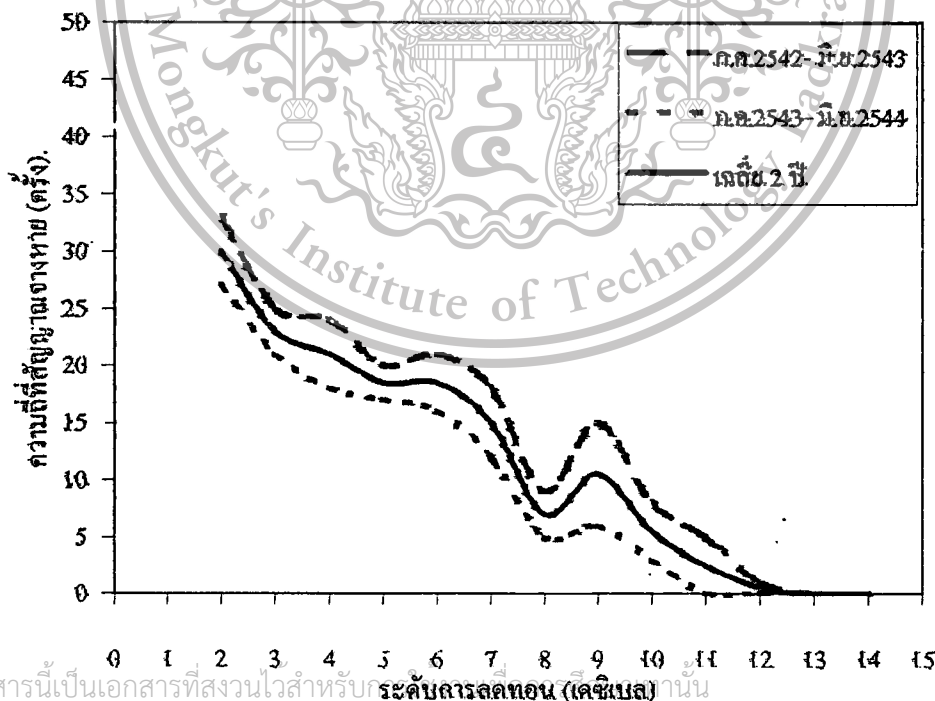
อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



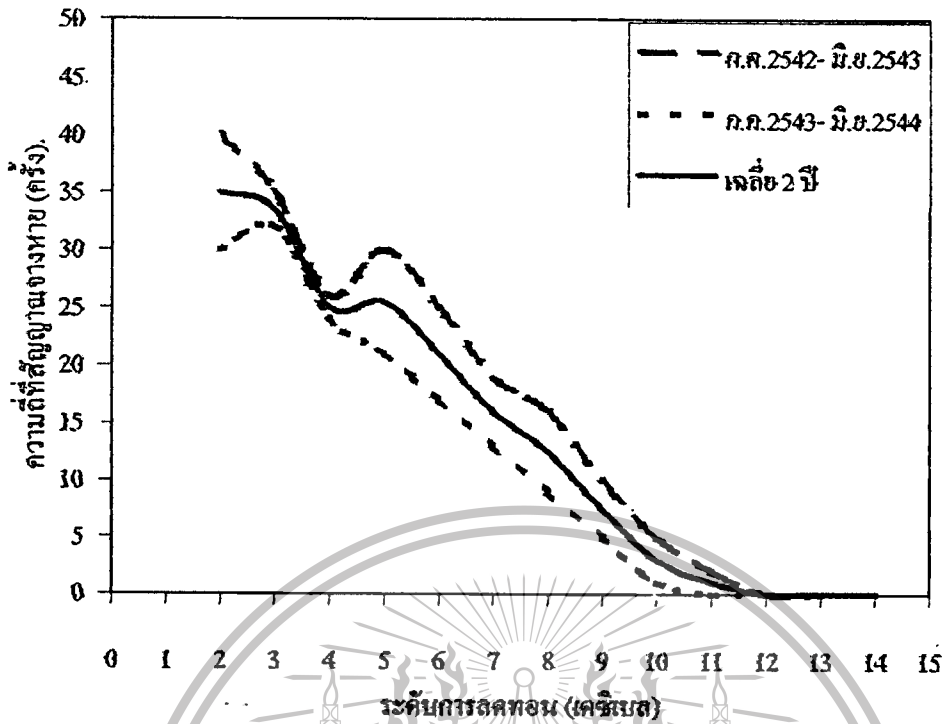
รูปที่ 4.17 กราฟที่แสดงความถี่ที่ถูกต้องจากหลายที่ระดับการลดทอนต่างๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 0.5-1 นาที.



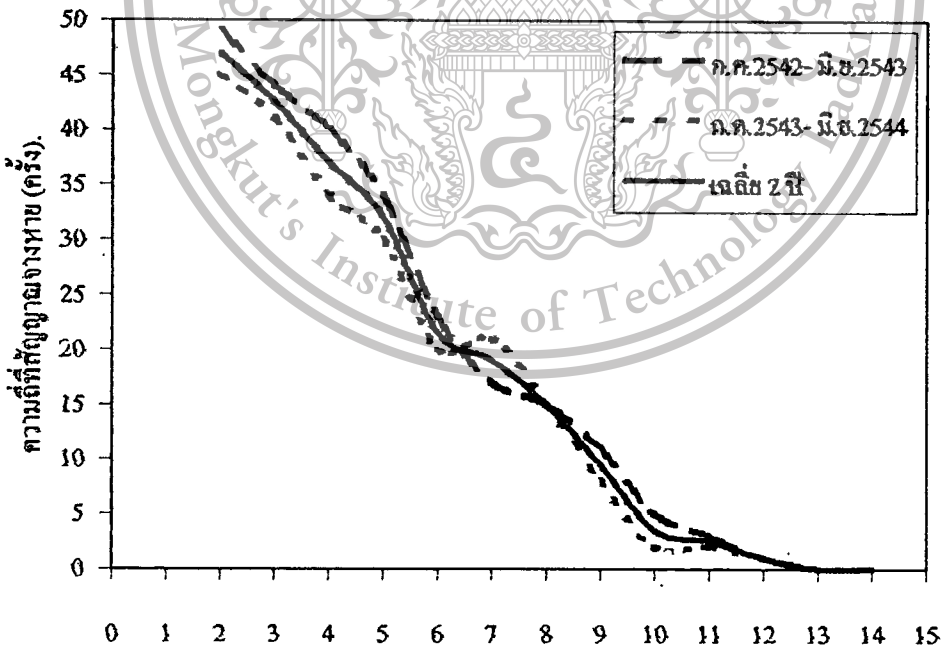
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับระดับการลดทอน (เดซิเบล) นั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 4.18 กราฟที่แสดงความถี่ที่ถูกต้องจากหลายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 1-2 นาที



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่างๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 2-5 นาที



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่างๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนเป็น 5-20 นาที

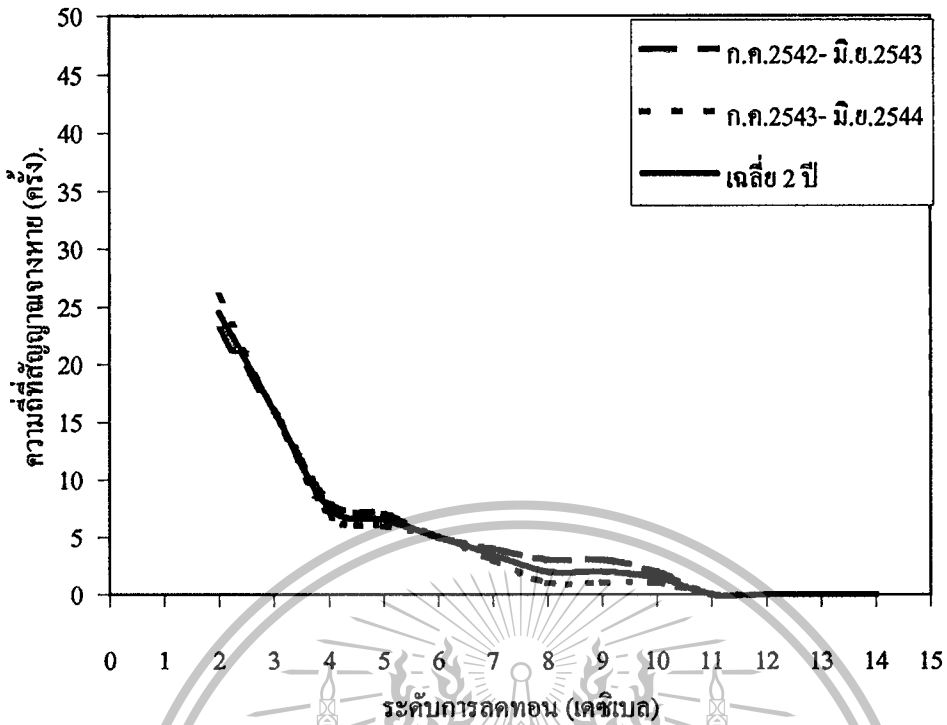
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับระดับการลดทอน (เดซิเบล) เท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

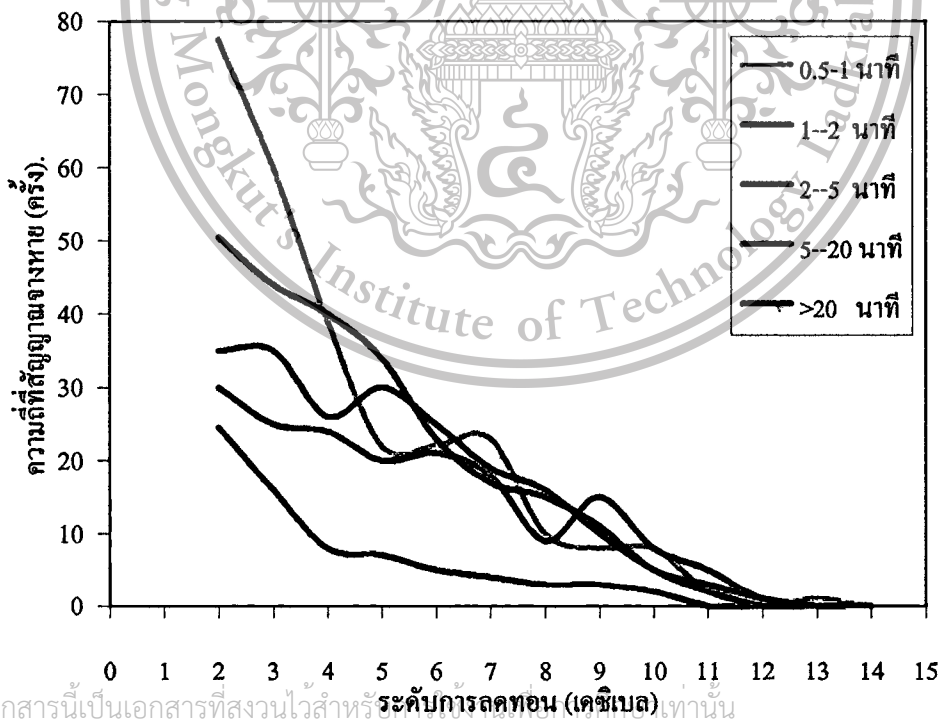
สิ่งทั้งห้ามีให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรงำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนมากกว่า 20 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับระดับการลดทอน (เดซิเบล) เท่านั้น

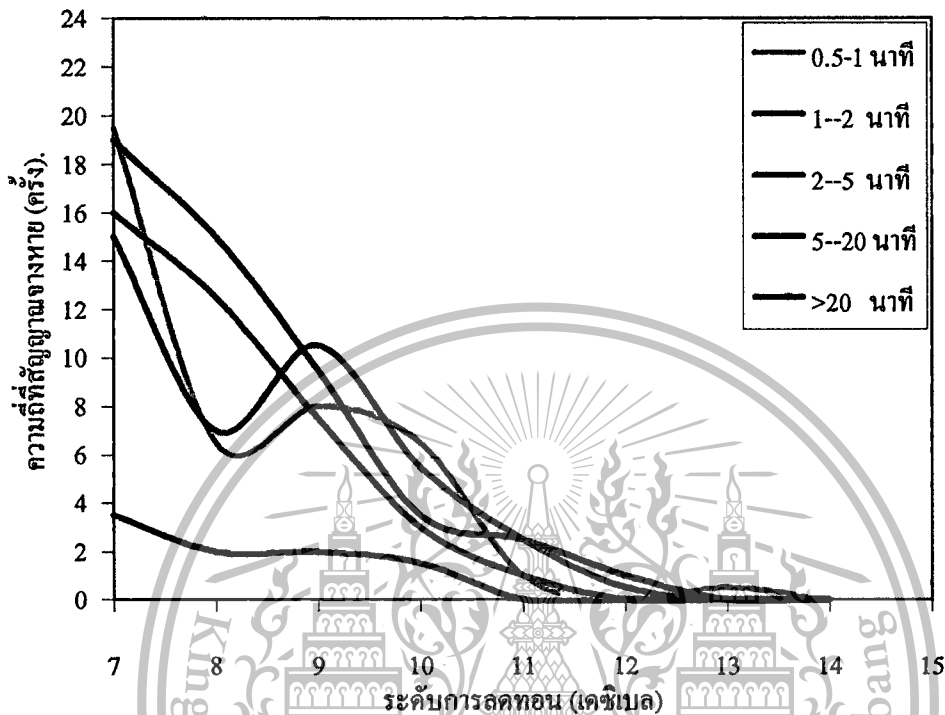
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ เมื่อนำช่วงเวลาที่ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน ของข้อมูลในช่วงเดือน ก.ค.2542 - มี.ย.2543

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า ที่ระดับการลดทอนต่ำ ความถี่ของการจางหายของสัญญาณจะมากกว่าที่ระดับการลดทอนสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายไป



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงจำนวนที่ครั้งสัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนที่ค่ามาก เมื่อนำช่วงเวลาทั้งหมดมาเปรียบเทียบกัน ของข้อมูลเฉลี่ย 2 ปี

ส่วนในรูปที่ 4.23 ได้นำส่วนที่ระดับการลดทอนมากมายให้เห็น ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้เราเห็นว่า ระดับการลดทอนสูง ๆ จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ บ่อยกว่าที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลานาน ๆ เช่น ที่ระดับการลดทอน 10 เดซิเบล ความถี่ของช่วงเวลาที่สั้นกว่า จะมีค่ามากกว่า ความถี่ของช่วงเวลาที่ช่วงยาวกว่า

ส่วนในรูปที่ 4.24 เป็นกราฟที่แสดงความถี่ที่สัญญาณจางหายโดยแยกเป็นแต่ละระดับการลดทอนที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งถ้าใช้ประกอบกับกราฟในรูปที่ 4.15 จะทำให้เราสามารถเข้าใจลักษณะการจางหายของสัญญาณได้ดีขึ้น

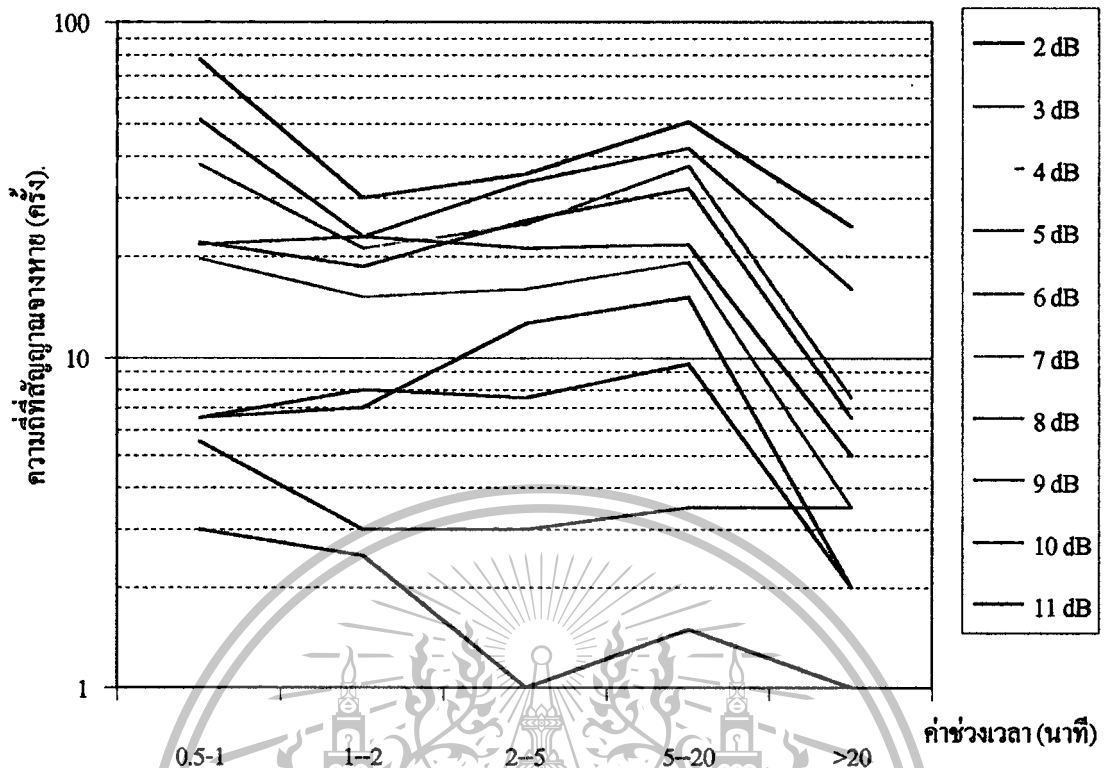
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.24 กราฟที่แสดงค่าความถี่ที่สัญญาณจางหายไปโดยแยกเป็นแต่ละระดับการลดทอน ที่ช่วงเวลาต่างๆ

จากกราฟในรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า ที่ระดับการลดทอนที่สูง ๆ เช่นที่ 10 เดซิเบล หรือ 11 เดซิเบล จะมีความถี่ในการจางหายลดลง เมื่อช่วงเวลาที่ถูกแบ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณา ประกอบกับกราฟในรูปที่ 4.15 ทำให้เราเข้าใจมากขึ้นว่า ถึงแม้ว่า ที่ระดับการลดทอนมาก ปริมาณเวลาที่สัญญาณที่ลดทอนไปที่อาจเพิ่มขึ้นตาม ช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น (0.5 –1, 1-2, 2-5, 5-20 และ > 20 นาที) แต่นั่นก็ไม่ได้หมายความว่า จะมีความถี่ที่เกิดขึ้นมากกว่าเสมอไป

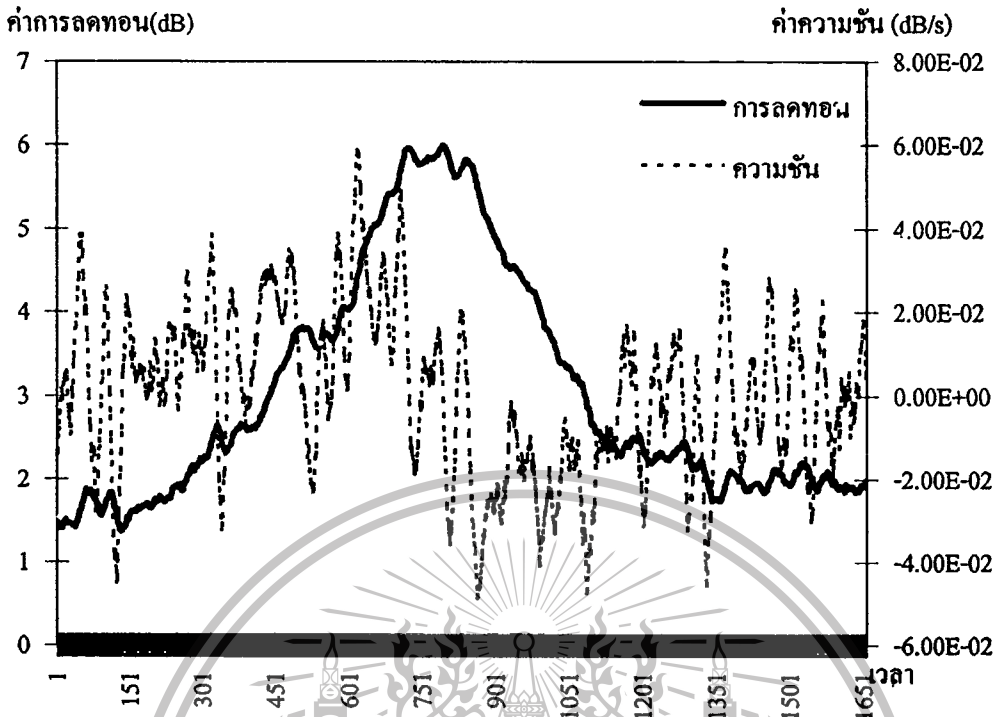
4.2.4 ค่าความชันของการจางหายของสัญญาณ (Fade Slope)

อย่างที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ว่าค่าความชันของสัญญาณ สามารถคำนวณได้จากผลต่างของระดับสัญญาณ 2 ตำแหน่งของเวลา หาค่าด้วยระยะระหว่างตำแหน่งเวลาทั้งสอง ซึ่งได้ผลการทดลองในรูปที่ 4.23 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างการลดทอน (เดซิเบล) กับ ค่าความชันของการจางหาย (เดซิเบล/วินาที) ซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ 2 พฤษภาคม 2544

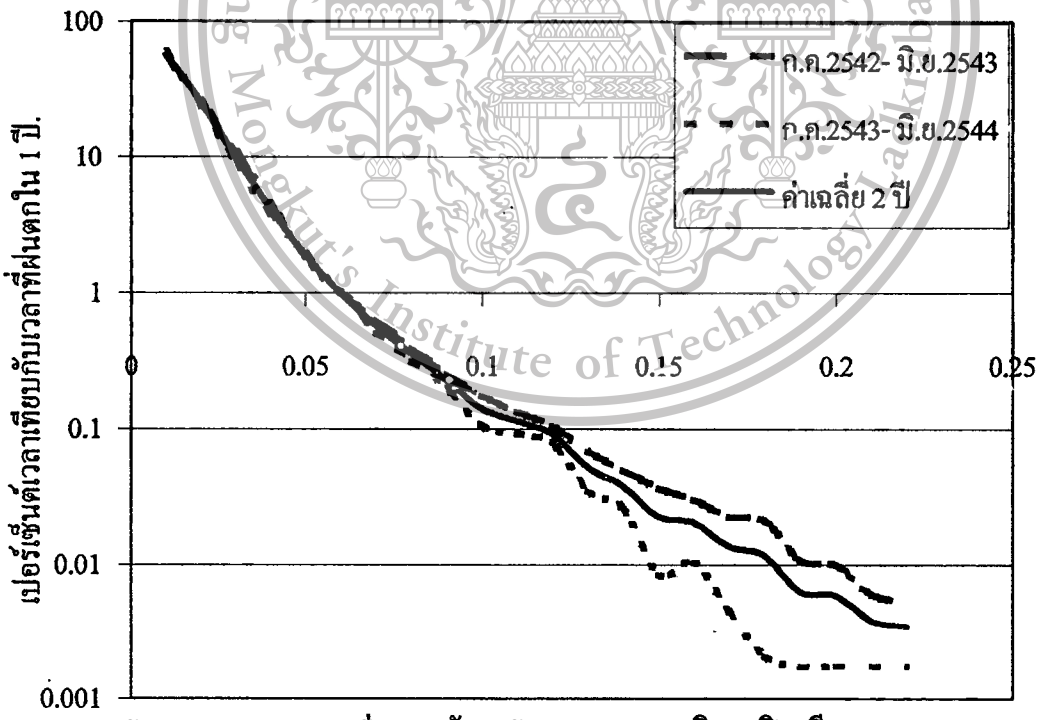
อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่างการลดทอนกับค่าความชันที่ได้



ค่าความชันของการงายหาย (เดซิเบล/วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

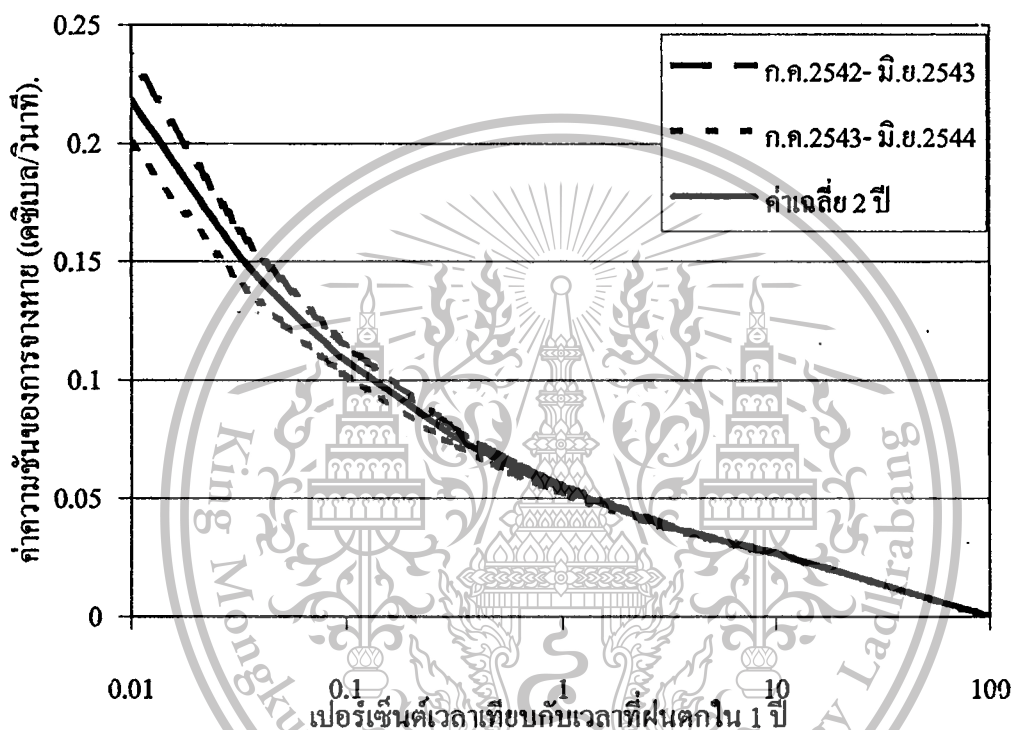
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์เวลาเทียบกับเวลาที่ฝนตกใน 1 ปี เทียบกับค่าความชันที่ระดับ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กราฟในรูปที่ 4.26 จะสังเกตเห็นว่า ยิ่งค่าความชันมากขึ้น เปรอร์เซ็นต์เวลาจะลดลง แสดงให้เห็นว่า ค่าความชันที่มากจะเกิดขึ้นน้อยกว่าค่าความชันที่น้อย

ส่วนในรูปที่ 4.27 จะมีลักษณะคล้ายกับรูปที่ 4.26 แต่ได้มีการสลับแกนกัน เพื่อสามารถหาค่าความชันได้เมื่อเราสามารถค่าเปอร์เซ็นต์เวลา ซึ่งสังเกตได้ว่า จะมีค่าความชันสูงสุดไม่เกิน 0.25 เดซิเบล/วินาที ซึ่งเป็นช่วงที่เหมือนกันกับคณณวิชัยอื่นที่ได้ทำมาแล้ว ดังในรูปที่ 3.3 ในย่านความถี่ 12 GHz หรือ ย่าน Ku



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงค่าความชันที่ระดับต่าง ๆ เทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์เวลาที่ฝนตกใน 1 ปี

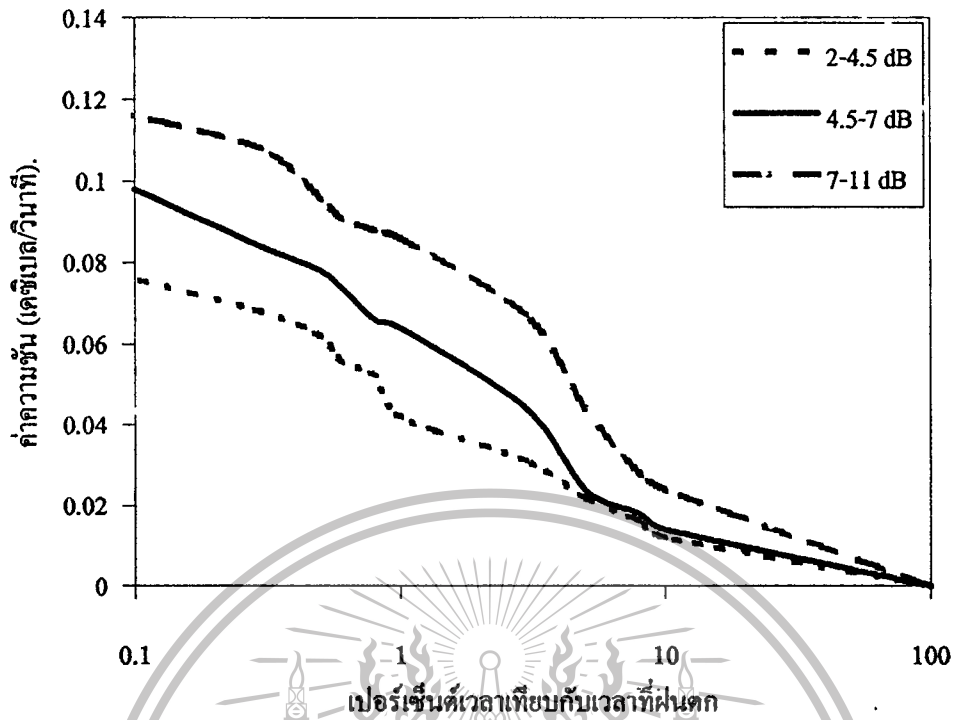
ในส่วนของค่าความชันของการจางหายนั้น ยังได้มีการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างกันระหว่างค่าความชันที่ระดับการลดทอนที่แตกต่างกัน โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วง 2-4 เดซิเบล, ช่วง 4.5-7 เดซิเบล และ ช่วง 7-12 เดซิเบล ที่เราแบ่งช่วงที่ 3 ให้มีช่วงการลดทอนมากกว่า ก็เพราะปริมาณข้อมูลในช่วงที่ 3 มีน้อยนั่นเอง ซึ่งได้มีการลองวิเคราะห์โดยแบ่งช่วงออกเป็นลักษณะอื่นแล้ว แต่การแบ่งลักษณะนี้ จะทำให้เราสามารถเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนที่สุด และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของข้อมูล ซึ่งผลการวิเคราะห์ก็ได้ออกมาเป็นกราฟในรูปที่ 4.28

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



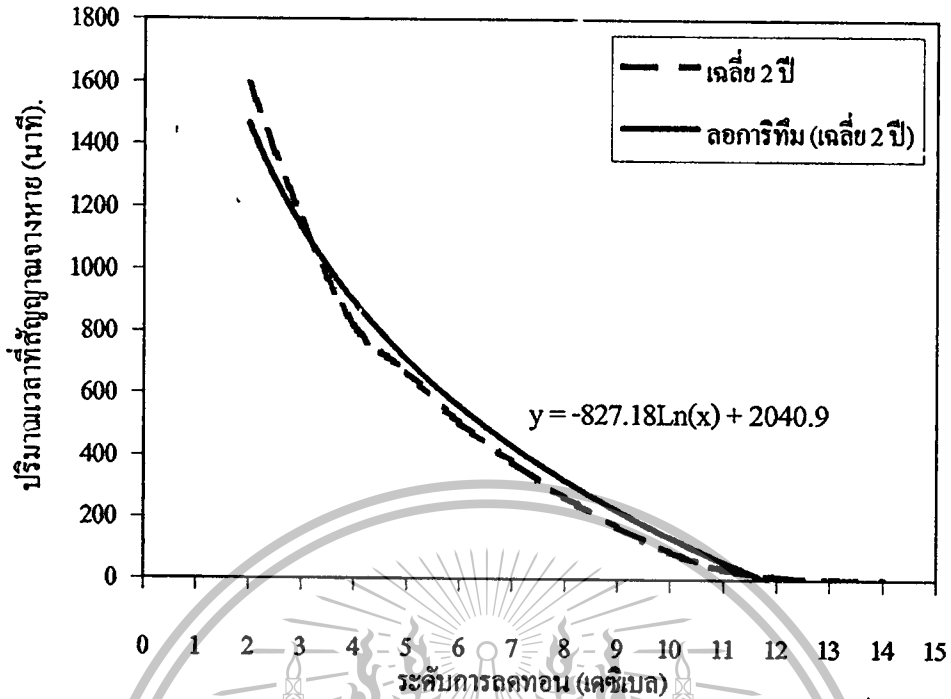
รูปที่ 4.28 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความชันของการจางหายของสัญญาณที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ กัน 3 ช่วง

จากกราฟในรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่า ที่ระดับการลดทอนมากกว่า จะมีค่าความชันของการจางหายมากกว่าน้อย ที่เปอร์เซ็นต์เวลาเท่ากัน

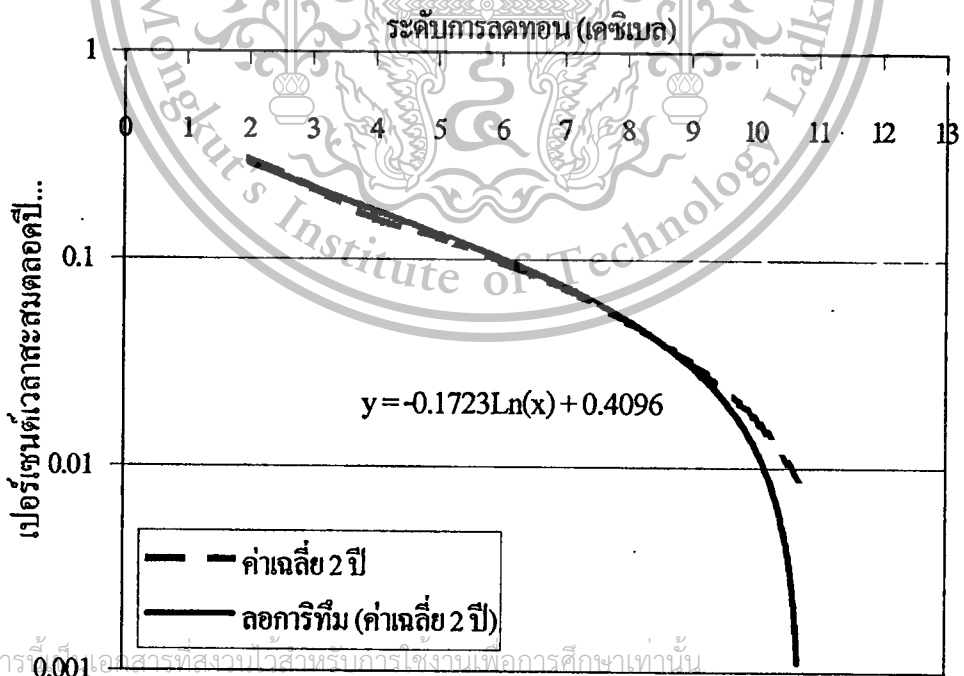
จากการวิเคราะห์ค่าความชันของสัญญาณ เรายังพบว่า ความชันที่มีค่าเป็นบวก จะมีค่ามากกว่าความชันที่มีค่าเป็นลบ และพบอีกว่า ปริมาณเวลาที่ความชันมีค่าเป็นบวก จะมีค่าใกล้เคียงกันกับปริมาณเวลาที่ความชันมีค่าเป็นลบ โดยที่ปริมาณเวลาที่ความชันมีค่าเป็นลบจะมากกว่าเล็กน้อย เช่น เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบเวลาทั้งหมด ในเดือน ก.ค.2542 - มิ.ย.2543 เวลาที่ความชันเป็นบวกคิดเป็น 49.40% ในเดือน ก.ค.2543 - มิ.ย.2544 เป็น 49.02% หรือต่างกันประมาณ 3 ชั่วโมงกว่า

4.2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขั้นพื้นฐานของความสัมพันธ์ต่าง ๆ.

แบบจำลองที่จะนำเสนอต่อไปนี้ เกิดจากการวิเคราะห์ข้อมูลเป็นเวลา 2 ปี คือ ในช่วงระหว่างเดือน 7 ปี 2542 ถึง เดือน 6 ปี 2544 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำมาหาแบบจำลอง โดยจะมีแบบจำลองทั้งหมด 4 แบบจำลอง คือ ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ, เปอร์เซ็นต์เวลาที่สัญญาณจางหายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ, ความถี่ของการจางหายของสัญญาณที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ และ เปอร์เซ็นต์เวลาเทียบกับเวลาที่ฝนตกที่ความชันของการจางหายระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.29 – รูปที่ 4.32



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงแบบจำลองปริมาณเวลา (นาที) ที่สูญจางหายที่ระดับการลตทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี



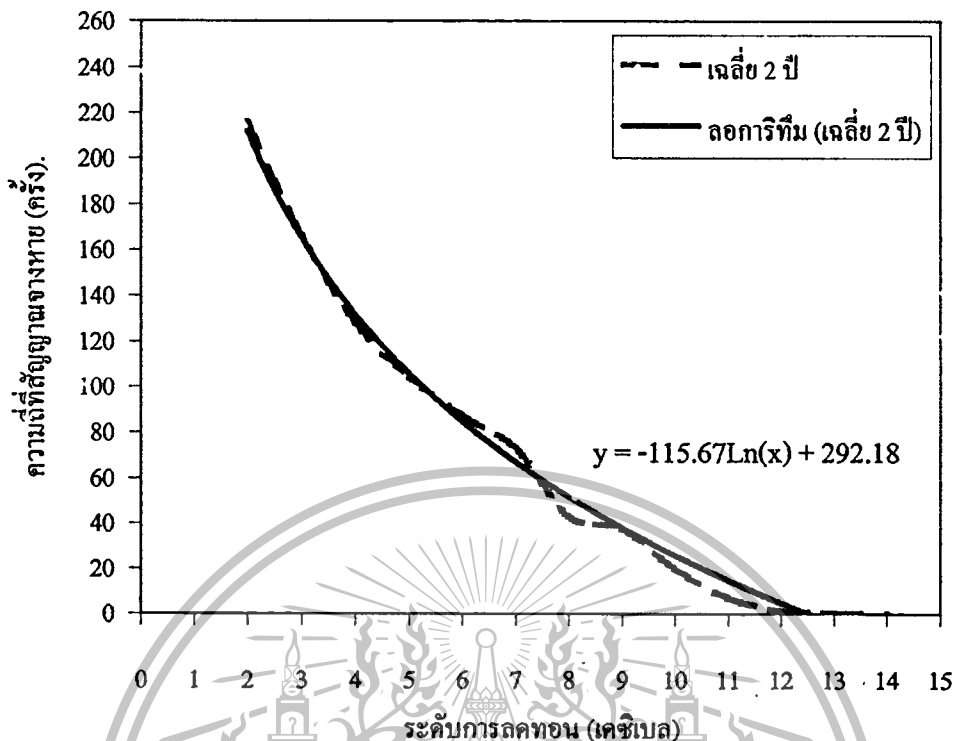
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้จางนเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

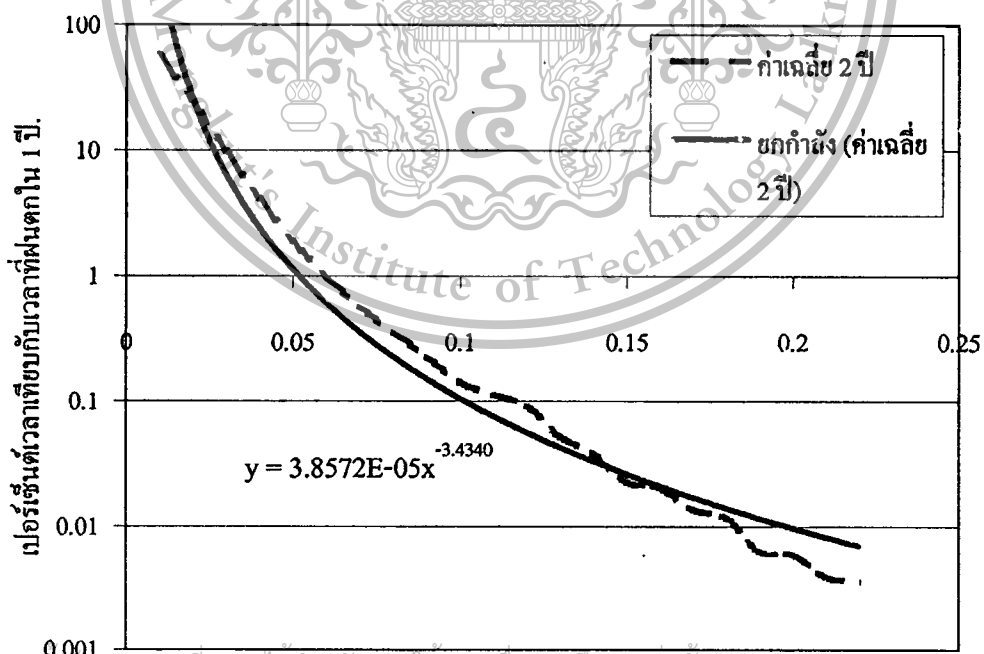
อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.30 กราฟแสดงแบบจำลองเปอร์เซนต์เวลาที่สูญจางหายที่ระดับการลตทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงแบบจำลองความดี (จำนวนครั้ง) ที่สัญญาจะจ่ายที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ ในเวลา 1 ปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.32 กราฟแสดงแบบจำลองเปอร์เซ็นต์เวลาที่เทียบกับเวลาที่ฝนตก ที่ค่าความชื้นต่างๆ ในเวลา 1 ปี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับสัญญาณดาวเทียมในย่าน Ku (12-14 GHz) ที่ได้รับผลกระทบจากฝน เกิดการลดทอน หรือ จางหายไป สามารถสรุปได้ออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ โดยใน ส่วนแรก จะกล่าวถึง ปริมาณเวลา และความถี่ ที่สัญญาณจางหายไปที่ระดับการลดทอนต่าง ๆ และ ในส่วนที่ 2 จะกล่าวถึง ความชันของการจางหายของสัญญาณ

ในส่วนแรก สรุปได้เป็นข้อ ๆ ดังนี้ว่า

1. ปริมาณเวลาที่สัญญาณจางหายไปจะลดลงเมื่อระดับการลดทอนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายความว่า ระดับการลดทอนที่สูง จะเกิดขึ้นน้อยกว่า ระดับการลดทอนที่ต่ำกว่า
2. ความถี่ที่สัญญาณจางหายไป จะมีลักษณะเดียวกันกับปริมาณเวลาที่จางหายไป ซึ่งหมายความว่า ระดับการลดทอนสูงจะเกิดขึ้นน้อยครั้งกว่าที่ระดับการลดทอนต่ำ
3. เมื่อเราพิจารณาในกรณีที่มีการแบ่งช่วงเวลาที่สัญญาณลดทอนออกเป็นช่วง ๆ ทั้ง 5 ช่วง เราสรุปได้ว่า

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล จำเป็นต้องพิจารณาทั้งปริมาณเวลาและความถี่ (จำนวนครั้ง) ที่สัญญาณจางหาย ควบคู่กันไป ถ้าเราพิจารณาแต่เพียงปริมาณเวลา อาจทำให้การวิเคราะห์เกิดความผิดพลาดได้ เช่น ข้อมูลของปี 2543-2544 ช่วงเวลาที่มากกว่า 20 นาที มีปริมาณเวลาที่สัญญาณลดทอนมากกว่า 10 เดซิเบล ถึง 1263 วินาที แต่เกิดขึ้นแค่ครั้งเดียวใน 1 ปี ที่สัญญาณลดทอนมากกว่า 10 เดซิเบล แต่ฝนตกหนักมากเป็นเวลานาน ซึ่งไม่ค่อยพบมากนัก นำข้อมูลนี้ มาเทียบกับ ช่วง 0.5-1 นาที ซึ่งมีปริมาณเวลาที่สัญญาณลดทอนมากกว่า 10 เดซิเบล เพียงแค่ 237 วินาที แต่เกิดขึ้น 5 ครั้งใน 1 ปี จึงต้องพิจารณาควบคู่กันไป

3.2 ระดับการลดทอนที่สูง มักจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้น ๆ ในทำนองเดียวกัน ระดับการลดทอนที่ต่ำ มักจะเกิดขึ้น เป็นระยะเวลาที่นานกว่า

ในส่วนที่ 2 ซึ่งคือ ส่วนของความชันของการจางหายนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความชันที่มาก เกิดขึ้นเป็นปริมาณเวลา ที่น้อยกว่า ความชันที่น้อย
2. ที่ระดับการลดทอนสูงชัน ความชันก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน
3. ปริมาณเวลาที่ความชันเป็นบวก และ เป็นลบจะมีค่าใกล้เคียงกัน ต่างกันประมาณ 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ต่อระยะเวลา 1 ปี

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. ความชันที่มีค่าเป็นบวก จะมีค่ามากกว่า ความชันที่มีค่าเป็นลบ ในการเกิดฝนตกแต่ละครั้ง เพราะว่าการลดลงของสัญญาณเนื่องจากการตกของฝน จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว มากกว่า การที่ระดับสัญญาณเพิ่มขึ้นกลับสู่ระดับปกติ เมื่อฝนหยุดตก
5. ความชันของการจางหายในความถี่ย่าน Ku จะมีค่าสูงสุดอยู่ประมาณที่ 0.25 เดซิเบล/วินาที ดังนั้น ในการออกแบบระบบการสื่อสารดาวเทียมในย่าน Ku ซึ่งได้รับผลกระทบอย่างมากอันเนื่องมาจากการตกของฝน จึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบอย่างดี เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยข้อมูลที่ได้จากวิทยานิพนธ์ ก็เป็นข้อมูลส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบ การคำนวณกำลังส่ง ให้เหมาะสม สำหรับพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร รวมทั้งยังได้สร้างแบบจำลองขึ้นพื้นฐานขึ้น ของความสัมพันธ์ลักษณะต่าง ๆ ขึ้นด้วย เพื่อจะสามารถเป็นประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] คุณิต โบศรี. “วิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในย่าน KU-BAND ด้วยอุปกรณ์ RADIO METER ที่มุมเงย 90 องศา.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [2] Recommendations ITU-R PN.618-3 Propagation data and prediction methods required for the design of earth-space telecommunications systems, 1997
- [3] J.E. Allnutt. **Sattellite-to-ground radiowave propagation** London : Peter Peregrinus Ltd. 1989, pp. 231-233
- [4] Recommendations ITU-R PN.837-1 Characteristics of precipitation for propagation modelling, 1997
- [5] Recommendations ITU-R PN.838 Specific attenuation model for rain for use in prediction methods, 1997
- [6] สุรศักดิ์ กลุขควาณิชย์ “ การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณความถี่มย่าน Ku ” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541.
- [7] Recommendations ITU-R S.579-4 Availability objectives for a hypothetical reference circuit and a hypothetical reference digital path when used for telephony using pulse code modulation, or as part of an integrated services digital network hypothetical reference connection, in the fixed-satellite service, 1997
- [8] Ahmad Safaai-Jazi, Haroon Ajaz and Warren L. Stutzman. “Empirical Models for Rain Fade Time on Ku- and Ka-Band Satellite Links.” IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION. vol 43, no. 12, December 1995, pp.1411-1415
- [9] B.Nelson and W.L.Stutzman. “Fade slope on 10 to 30 GHz earth-space communication links- measurements and modelling.” IEE Proc.-Microw. Antennas Propagation. vol 143, no. 4, August 1996, pp 353 - 357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลของดาวเทียมไทยคม 2

จำนวนทรานสปอนเดอร์	12 ทรานสปอนเดอร์ โดยแบ่งออกเป็น - ย่านความถี่ C-band 10 ทรานสปอนเดอร์ สำหรับ 2 (ความถี่ขาขึ้น 6 GHz และความถี่ขาลง 4 GHz) - ย่านความถี่ Ku-band 2 ทรานสปอนเดอร์ สำหรับ 1 (ความถี่ขาขึ้น 14 GHz และความถี่ขาลง 12 GHz)
ความแรงของสัญญาณด้านขาลง (Downlink) ย่านความถี่ C-band	37 dBW
	ย่านความถี่ Ku-band 51 dBW
ตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม	78.5 องศาตะวันออก
อยู่สูงจากระดับพื้นดินเหนือเส้นศูนย์สูตร	35,786 กิโลเมตร
อายุของดาวเทียม	15 ปี (ต่ำสุด 13.5 ปี)
ผู้ผลิตดาวเทียม	บริษัท HUGHES AIRCRAFT ประเทศสหรัฐอเมริกา วงโคจรสูง 6.76 เมตร กว้าง 2.16 เมตร งานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร
ผู้ส่งดาวเทียม	บริษัท Ariancespace ประเทศฝรั่งเศส ด้วยจรวด เอเรียล 4 จากฐานยิงที่เมืองกูรู เฟร็แร็ชเกียหน้า อาณานิคม ฝรั่งเศส
รุ่นของดาวเทียม	HS-376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
น้ำหนัก เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่นำมาใช้ซ้ำ หักสิทธิ์
 อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้ง
เมื่อนำขึ้นวงโคจรหนัก 627 กิโลกรัม
เมื่อสิ้นสุดการใช้งานหนัก 439 กิโลกรัม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ระบบติดตามและสั่งการ

ควบคุมจากสถานีภาคพื้นดิน ที่ทำการกรมไปรษณีย์
โทรเลข ถ.รัตนวิเบศร์ จ.นนทบุรี ประเทศไทย

ระบบจ่ายพลังงาน ไฟฟ้า

ใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบซิลิคอน บนผิวทรงกระบอก
รอบตัวดาวเทียมสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ 700 วัตต์ เมื่อ
เริ่มใช้งานระบบที่สอง ใช้แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล
ไฮโดรเจน เมื่อเกิดสุริยุปราคา จะหมุนรอบตัวเอง
55 รอบใน 1 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

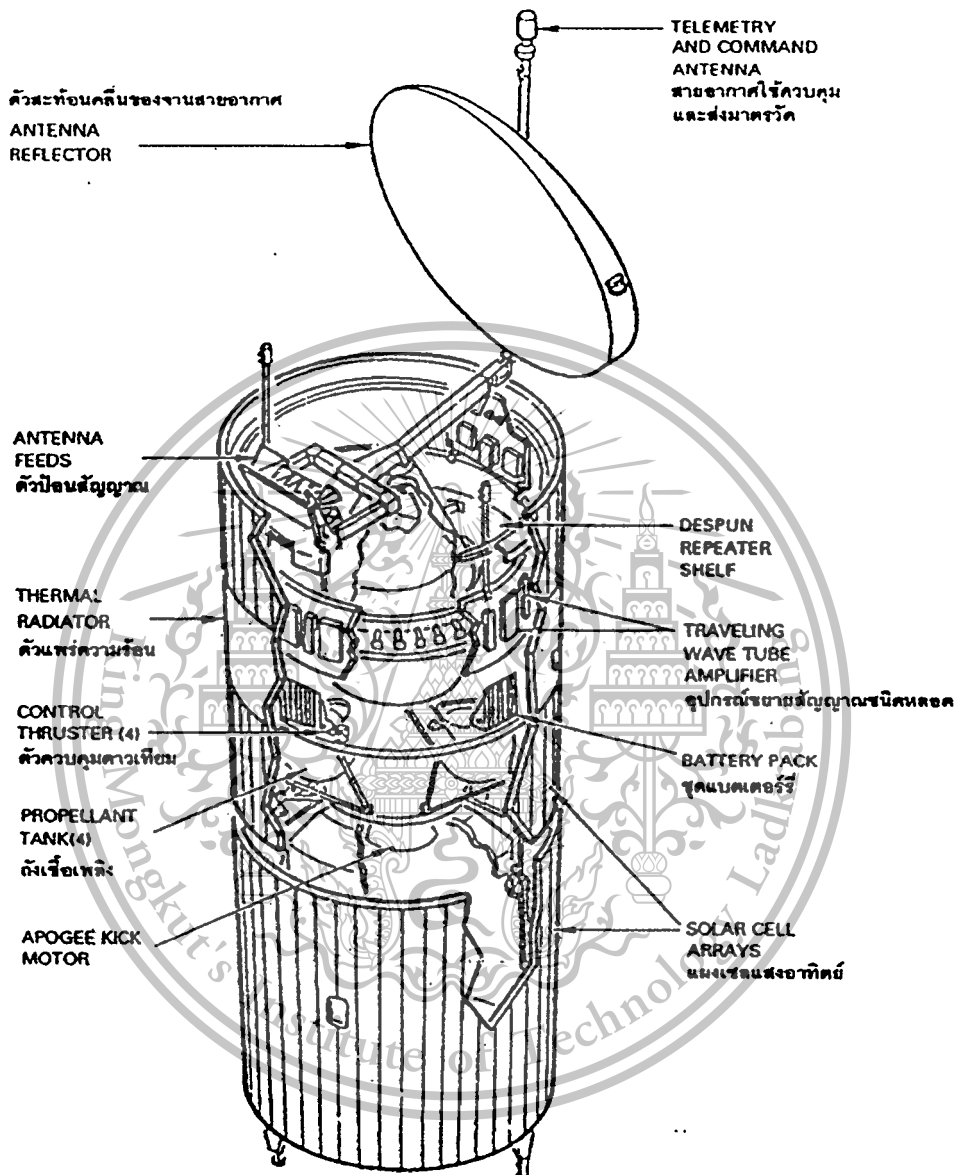
ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โครงสร้างของดาวเทียมไทยคม HS-376



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

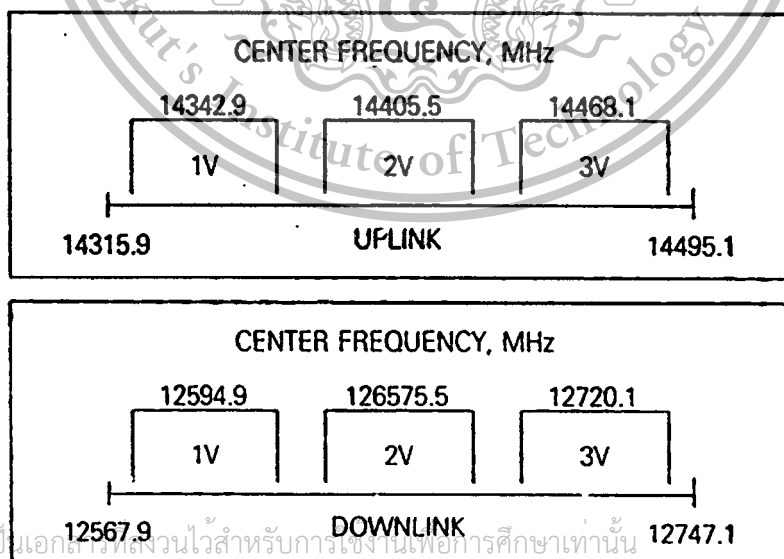
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไทยคม 2

ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารย่านความถี่ Ku-band

Number of Transponders	2
Back-up Transponders	1
Bandwidth	54 MHz
Receive side (Up-link)	14,315.9 – 14,495.1 MHz (Vertical) 12,567.9 - 12,741.1 MHz (Vertical)
TWTA Power	47 Watt
Saturated Flux Density (SFD)	$(72 + G/T)$ dBW/m ² at min. gain setting
Gain Adjustment	2 dB steps over the range of 14 dB
Receiver redundancy	2 for 1

Ku-band Frequency and Polarization Plan



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้ V = VERTICAL POLARIZATION กรณีใดๆ ทั้งสิ้น

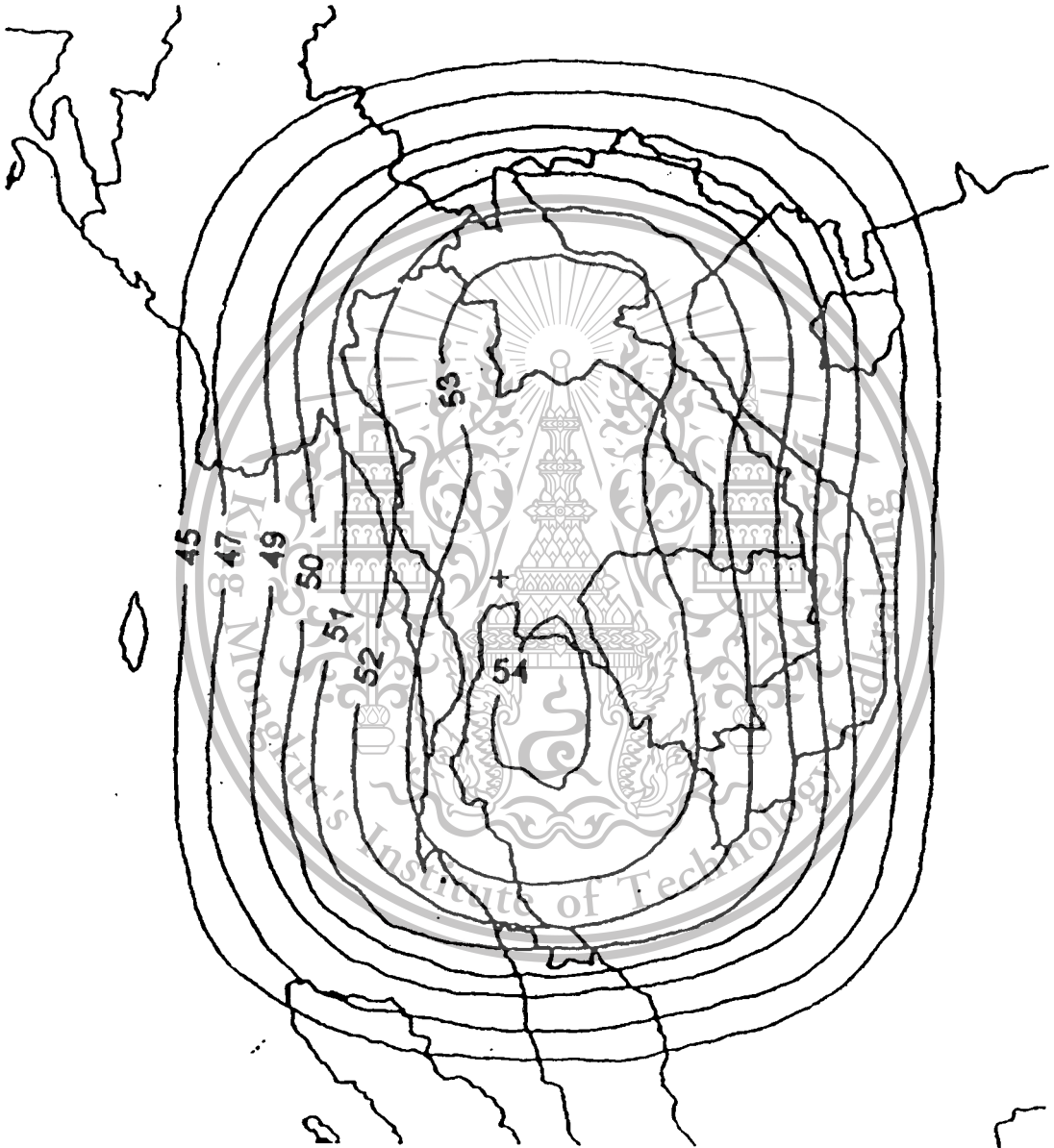
อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไทยคม 2

Ku-band Coverage EIRP Contours (dBW)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

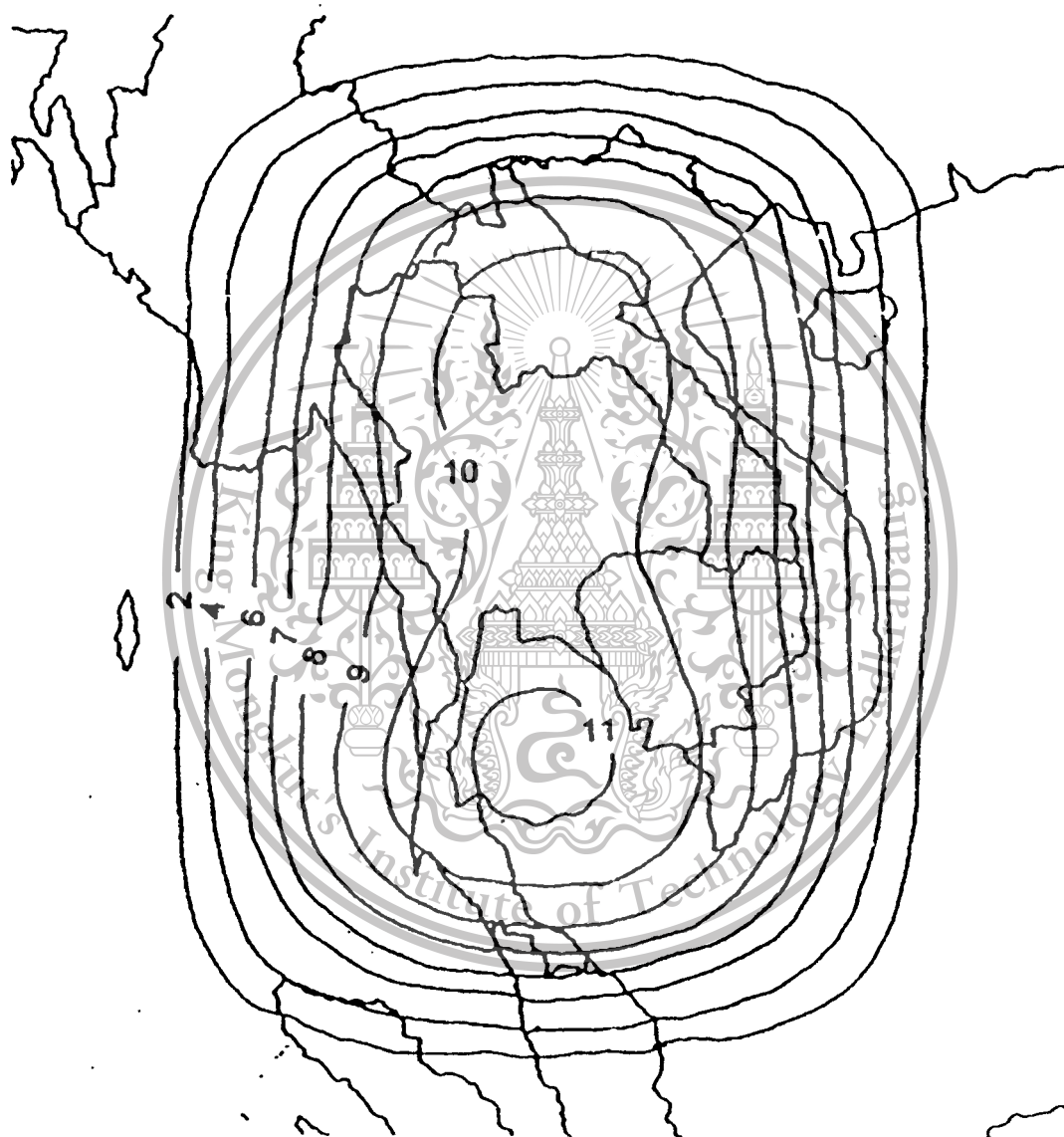
อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไทยคม 2

Ku-band Coverage G/T Contours (dB/K)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข.

โปรแกรม Visual Basic ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเวลาและความถี่ของการจางหายของสัญญาณ

```

Dim frequency(2 To 20, 1 To 5) As Integer
Dim sum(2 To 20, 1 To 5) As Single
Dim range(1 To 5) As String
Dim con As ADODB.Connection
Function loadData(fileName As String, ByRef quantity As Long) As Variant
    Dim file As Integer
    Dim i As Long
    Dim data(60000) As Variant
    file = FreeFile
    i = 0
    Open fileName For Input As #file
    Do While Not EOF(file)
        i = i + 1
        Input #file, data(i)
    Loop
    quantity = i
    loadData = data
End Function

```

```
Private Sub CommandClear_Click()
```

```
    Dim db As Integer
```

```
    Dim rangeNo As Integer
```

```
    For db = 2 To 20
```

```
        For rangeNo = 1 To 5
```

```
            Call UpdateData(CStr(db), range(rangeNo), 0, 0)
```

```
        Next rangeNo
```

```
    Next db
```

นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

```
End Sub
```

ยกเว้นห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Private Sub CommandContinue_Click()

Dim dbInput

Dim LastInLoop As Boolean

Dim NowInLoop As Boolean

Dim n As Long

Dim i As Long

Dim time As Single

Dim countTime As Integer

Dim countFrequency As Integer

Dim dbCompare As Integer

Call getLastResult

dbInput = loadData(TextFilePath.Text, n)

countTime = 0

For dbCompare = 2 To 20

For i = 1 To n

If dbInput(i) >= dbCompare Then

NowInLoop = True

Else

NowInLoop = False

End If

If NowInLoop Then

countTime = countTime + 1

End If

If (Not NowInLoop) And (LastInLoop) Then

time = countTime / 2

If time >= 30 And time < 60 Then สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

frequency(dbCompare, 1) = frequency(dbCompare, 1) + 1

sum(dbCompare, 1) = sum(dbCompare, 1) + time

End If

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

If time >= 60 And time < 120 Then

frequency(dbCompare, 2) = frequency(dbCompare, 2) + 1

sum(dbCompare, 2) = sum(dbCompare, 2) + time

End If

If time >= 120 And time < 300 Then

frequency(dbCompare, 3) = frequency(dbCompare, 3) + 1

sum(dbCompare, 3) = sum(dbCompare, 3) + time

End If

If time >= 300 And time < 1200 Then

frequency(dbCompare, 4) = frequency(dbCompare, 4) + 1

sum(dbCompare, 4) = sum(dbCompare, 4) + time

End If

If time >= 1200 Then

frequency(dbCompare, 5) = frequency(dbCompare, 5) + 1

sum(dbCompare, 5) = sum(dbCompare, 5) + time

End If

countTime = 0

End If

LastInLoop = NowInLoop

Next i

Next dbCompare

Call saveResult

End Sub

Private Sub CommandOpenDialog_Click()

CommonDialog1.ShowOpen

TextFilePath.Text = CommonDialog1.fileName

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

Private Sub CommandShowResult_Click() ราคา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

Dim range As String แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dim db As String

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
db = ComboDb.Text
```

```
range = ComboRange.Text
```

```
If db = "All" Or db = "Select Db" Then
```

```
    db = ""
```

```
End If
```

```
If range = "All" Or range = "Select Range" Then
```

```
    range = ""
```

```
End If
```

```
Set MSHFlexGrid1.DataSource = getData(db, range)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Call setCombo
```

```
    Call connectResult
```

```
    range(1) = "30"
```

```
    range(2) = "60"
```

```
    range(3) = "120"
```

```
    range(4) = "300"
```

```
    range(5) = "1200"
```

```
End Sub
```

```
Sub getLastResult()
```

```
    Dim db As Integer
```

```
    Dim rangeNo As Integer
```

```
    Dim rs As ADODB.Recordset
```

```
    Set rs = getData()
```

```
    For db = 2 To 20
```

```
        For rangeNo = 1 To 5
```

```
            frequency(db, rangeNo) = rs.Fields("frequency")
```

```
            sum(db, rangeNo) = rs.Fields("sum")
```

```
            rs.MoveNext
```

```
        Next
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
Next
```

```
End Sub
```

```
Sub setCombo()
```

```
Dim i As Integer
```

```
ComboDb.AddItem "All"
```

```
For i = 2 To 20
```

```
ComboDb.AddItem i
```

```
Next
```

```
ComboRange.AddItem "All"
```

```
ComboRange.AddItem "30"
```

```
ComboRange.AddItem "60"
```

```
ComboRange.AddItem "120"
```

```
ComboRange.AddItem "300"
```

```
ComboRange.AddItem "1200"
```

```
End Sub
```

```
Sub connectResult()
```

```
Set con = New ADODB.Connection
```

```
con.ConnectionString = "Provider=MSDASQL.1;Persist Security Info=False;Extended Properties=Excel Files;DBQ=" & App.Path & "result.xls;DriverId=790;MaxBufferSize=2048;PageTimeout=5;"
```

```
con.Open
```

```
End Sub
```

```
Function getData(Optional db As String, Optional range As String) As ADODB.Recordset
```

```
Dim rs As ADODB.Recordset
```

```
Dim sql As String
```

```
Set rs = New ADODB.Recordset
```

```
sql = "select * from result"
```

```
If db <> "" Or range <> "" Then
```

```
sql = sql & " where"
```

```
End If
```

```
If db <> "" Then เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น
```

```
sql = sql & " db = " & db ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น
```

```
If range <> "" Then ยืนยันว่ามีสิทธิ์เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
```

```
sql = sql & " and"
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

End If
End If

If range <> "" Then
    sql = sql & " range = " & range
End If

sql = sql & " order by db,range"

rs.ActiveConnection = con
rs.CursorLocation = adUseClient
rs.CursorType = adOpenForwardOnly
rs.Open sql
Set getData = rs
End Function

Sub UpdateData(db As String, range As String, frequency As Integer, sum As Single)
    Dim rs As ADCDB.Recordset
    Dim sql As String
    Set rs = New ADODB.Recordset
    sql = "Update result set frequency = " & frequency &
    ",sum = " & sum & " where db = " & db & " and range = " & range
    rs.ActiveConnection = con
    rs.CursorLocation = adUseClient
    rs.CursorType = adOpenForwardOnly
    rs.Open sql
    Set rs = Nothing
End Sub

Sub saveResult()
    Dim db As Integer
    Dim rangeNo As Integer
    For db = 2 To 20
        For rangeNo = 1 To 5
            Call UpdateData(CStr(db), range(rangeNo), frequency(db, rangeNo), sum(db, rangeNo))
        Next rangeNo
    Next db
End Sub

```

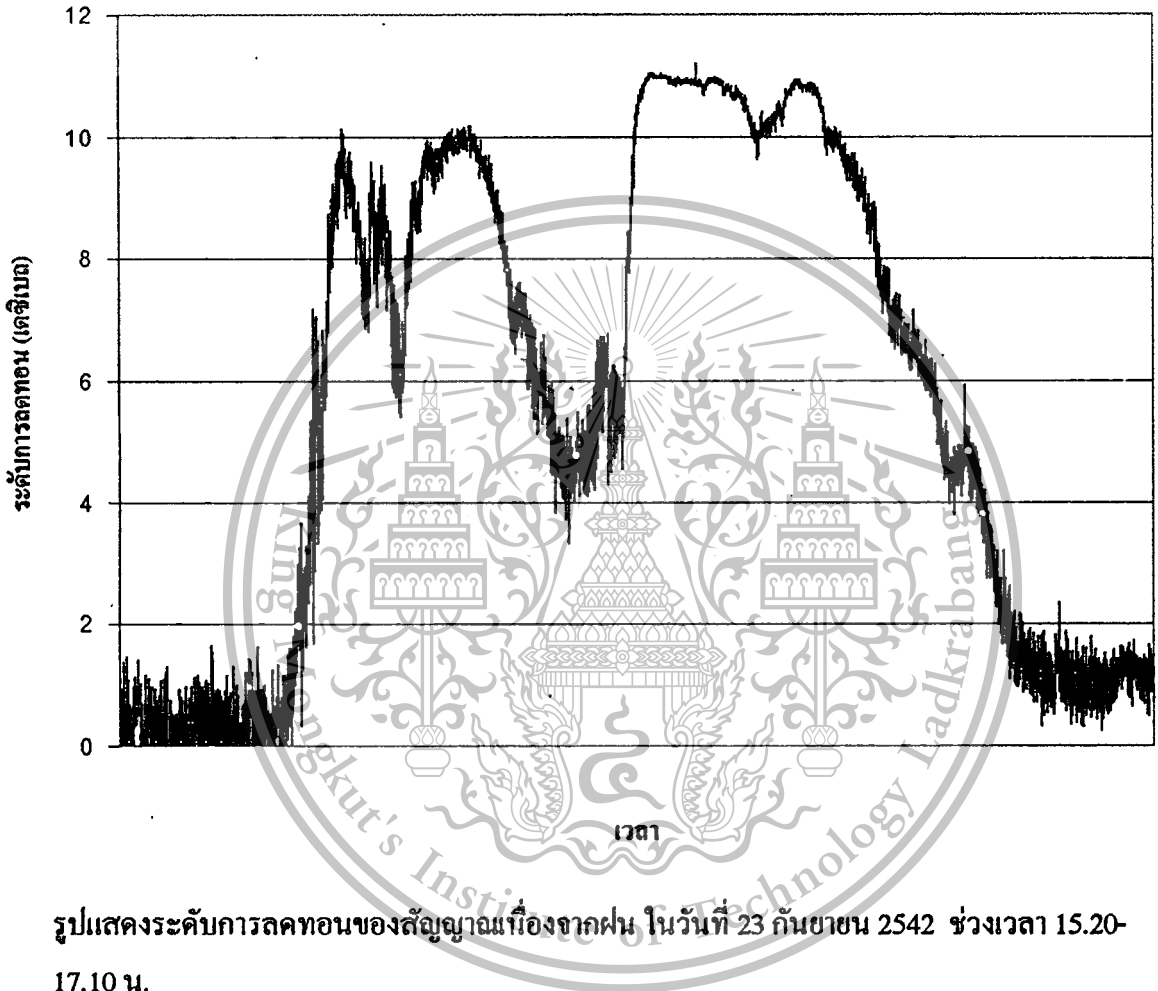
วิทยาลัยฯ หวังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น
 ยกเว้นหากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างกราฟการลดทอนของสัญญาณที่มีค่ามาก



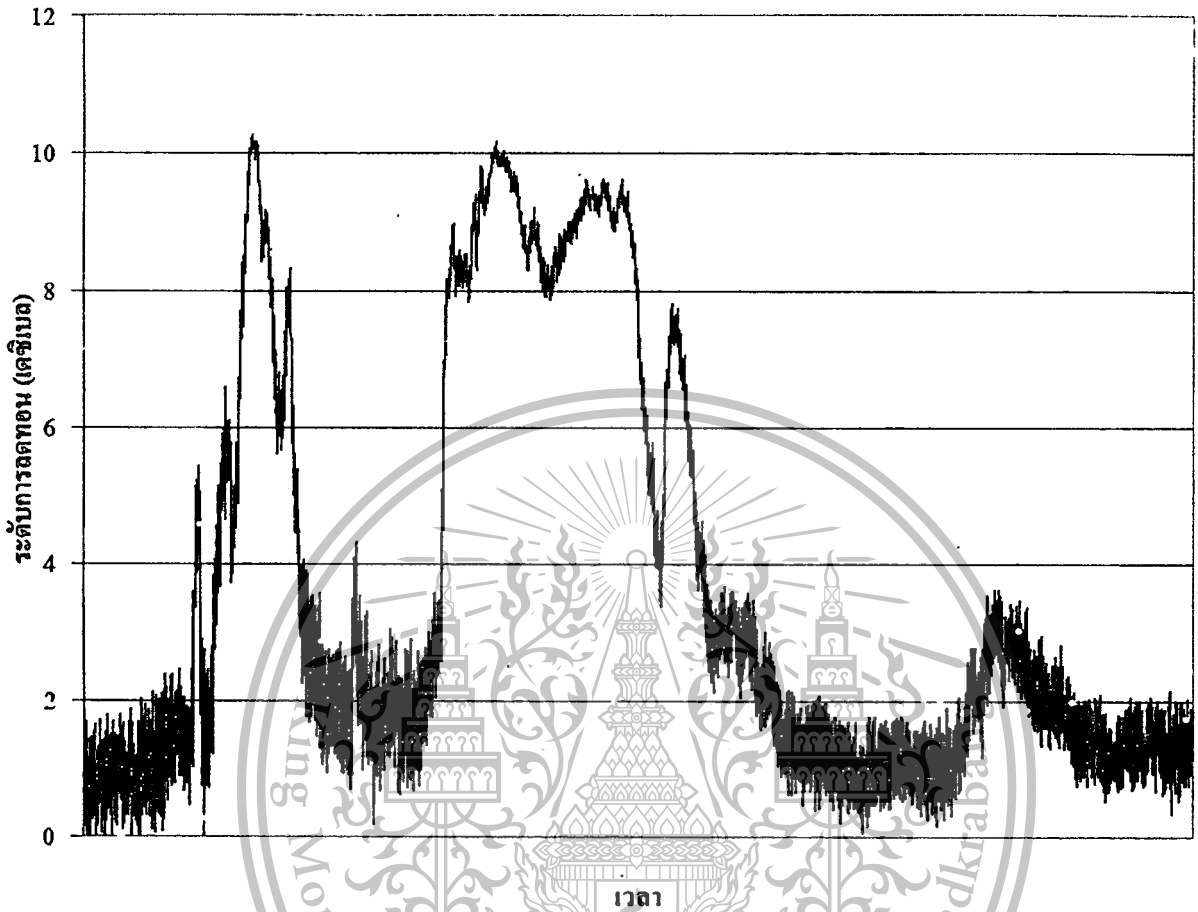
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปแสดงระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ในวันที่ 11 ตุลาคม 2542 ช่วงเวลา 13.50-16.10 น.

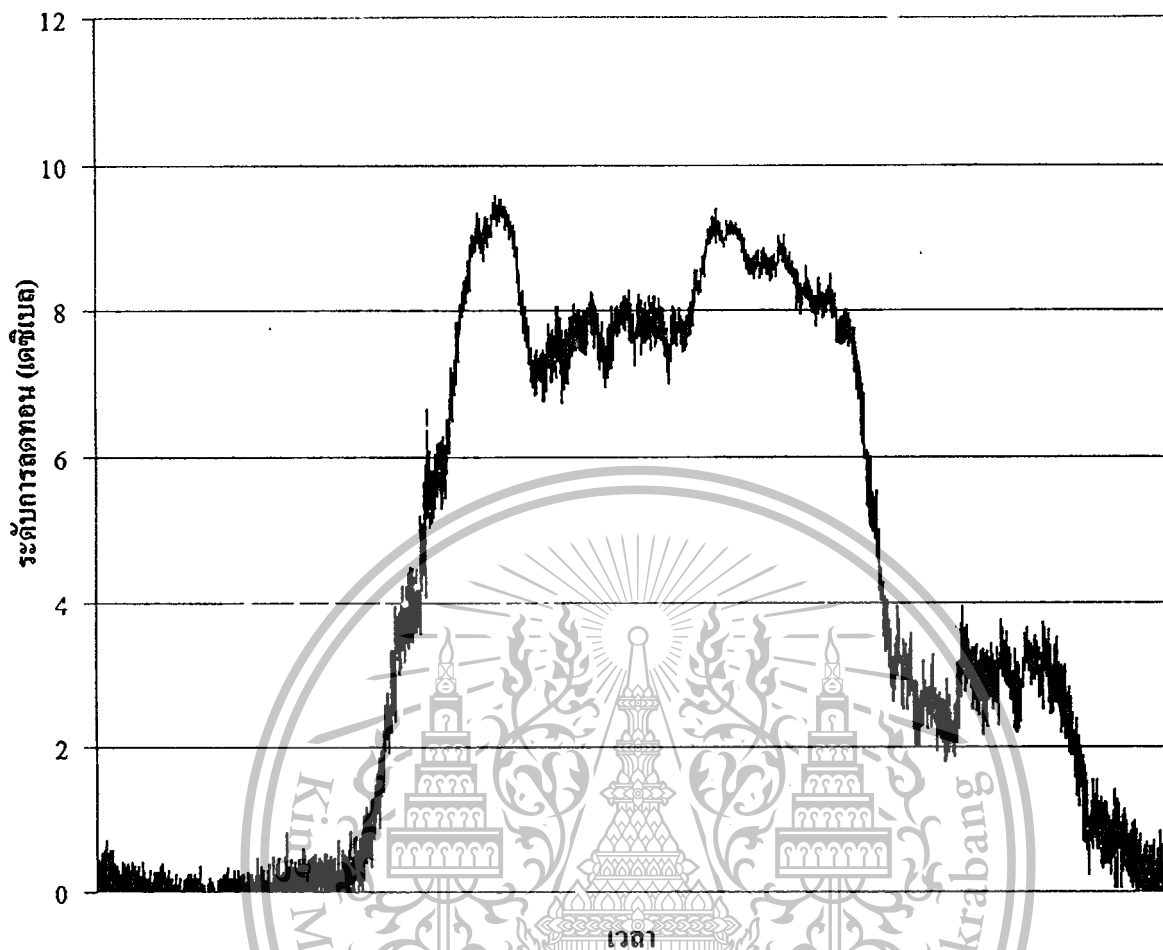
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปแสดงระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ในวันที่ 8 สิงหาคม 2543 ช่วงเวลา 03.40-05.30 น.

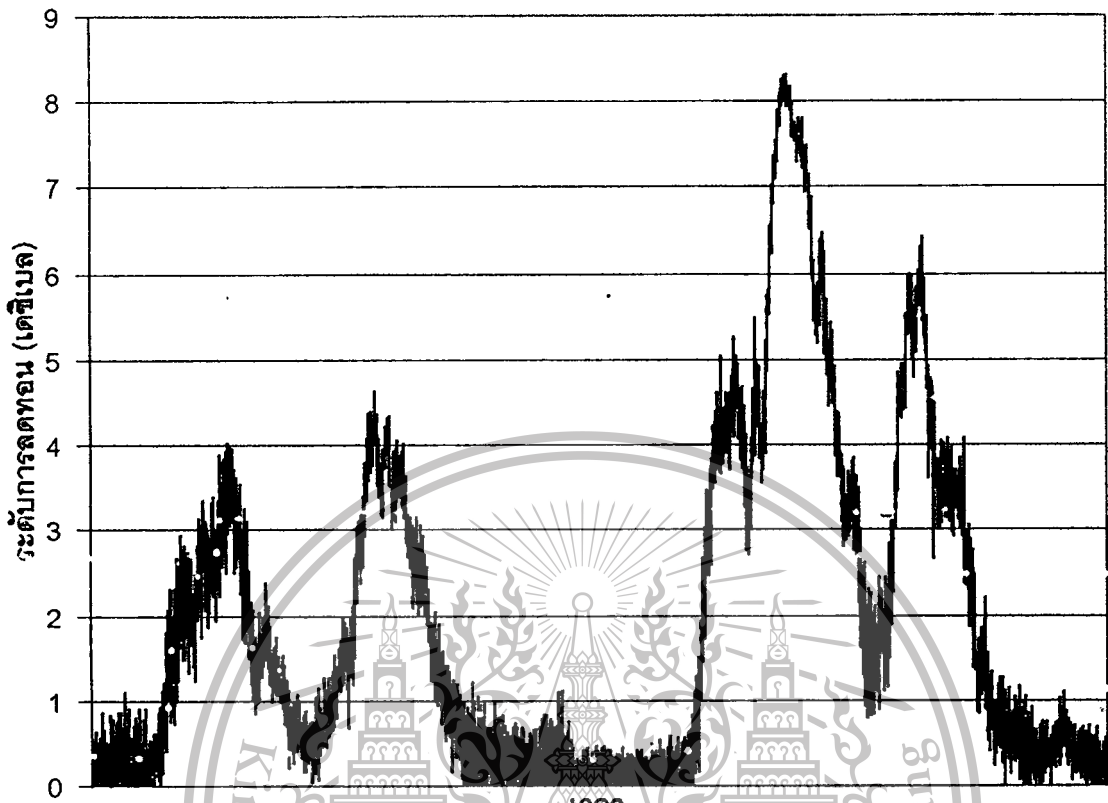
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปแสดงระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ในวันที่ 4 พฤษภาคม 2544 ช่วงเวลา 01.00-05.00 น.

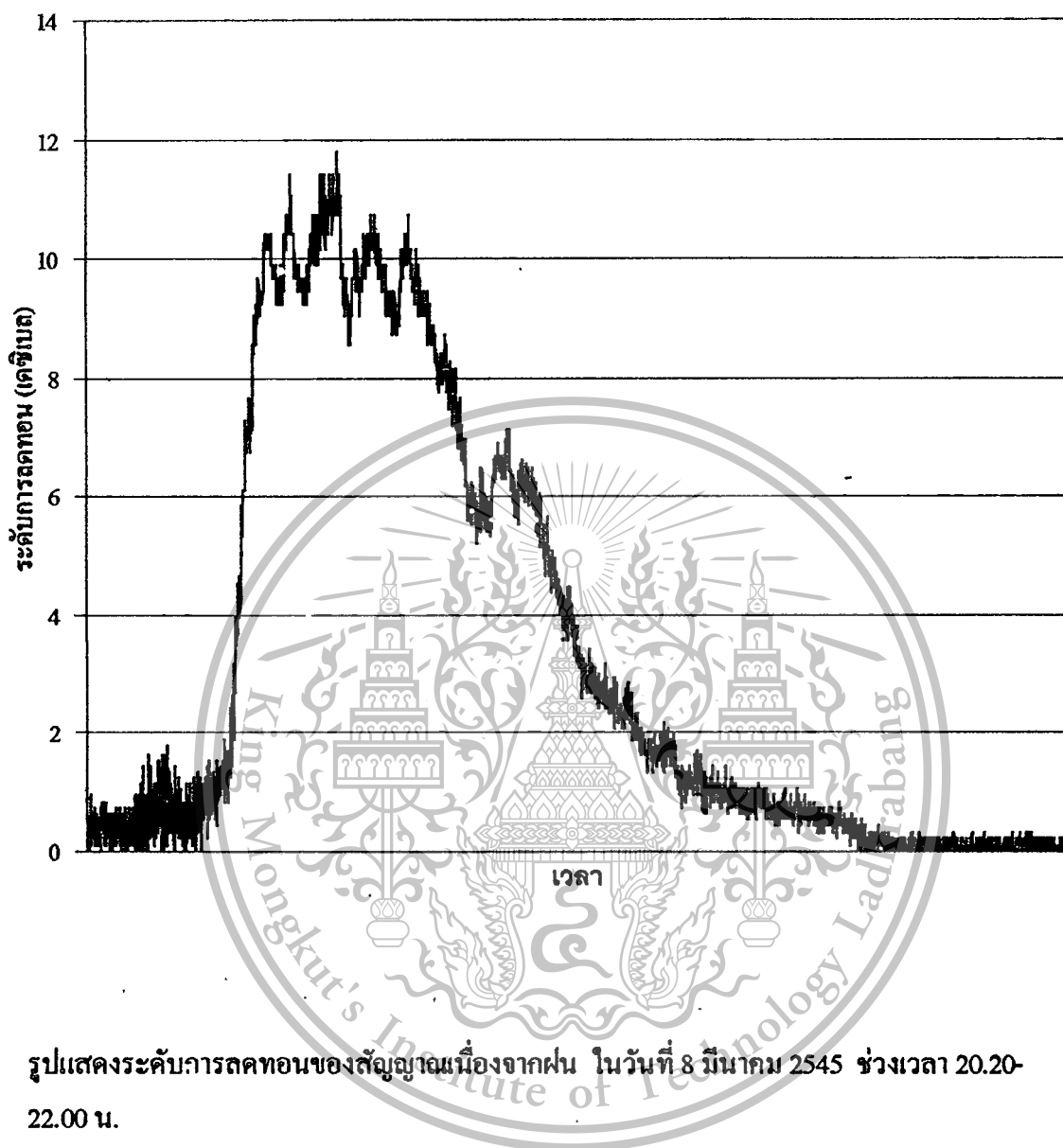
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

Rain Fade Duration in Ku-Band Satellite Signal,

2001 International Symposium on Communications and Information Technology : ISCIT 2001 ,
November 14-16, 2001 Chiang Mai, Thailand

Rain Fade Time in Ku-Band Satellite Signal,

2000 Asia-Pacific Symposium on Broadcasting Conference : APSBC 2000
December 21-23, 2000 Bangkok, Thailand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน

นายกฤติกร ประโยชน์วนิช เกิดเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2521 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2540 จากนั้นในปีการศึกษา 2541 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเดียวกัน ในระหว่างการศึกษาปริญญาโท มีบทความตีพิมพ์ทั้งสิ้น 2 บทความ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.