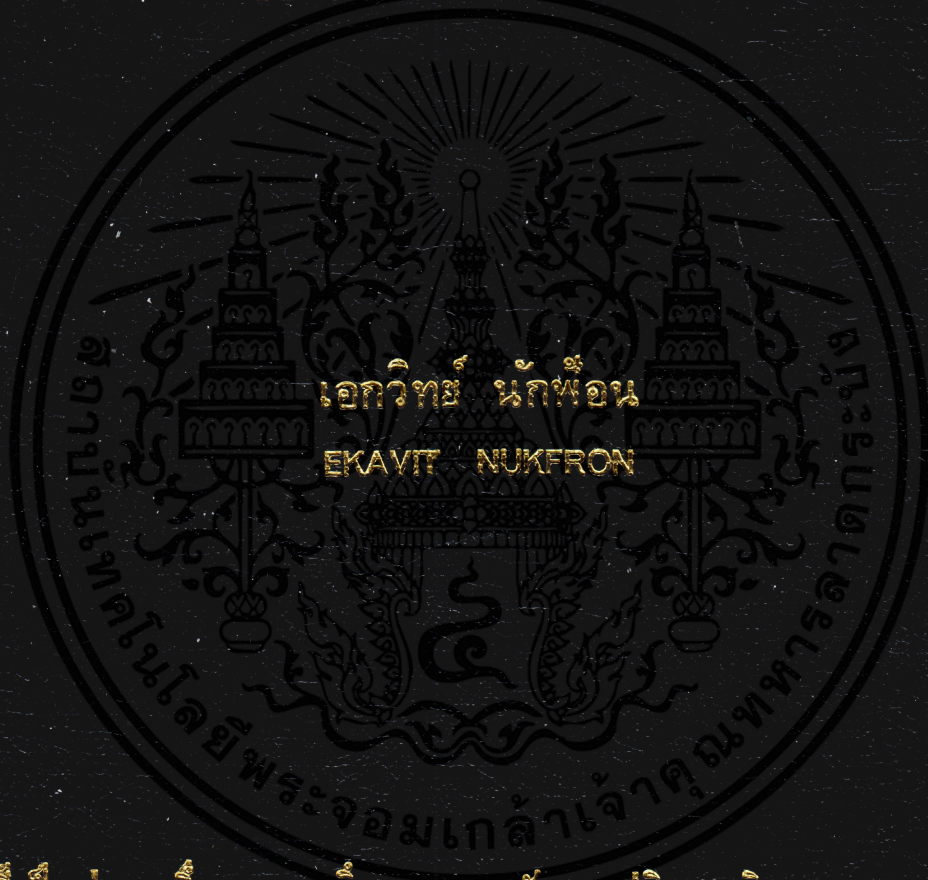


การใช้หลักการเรดิโอมิเตอร์ในการศึกษาการลดทอนสัญญาณ
อันเนื่องมาจากฝนในย่าน Ka-Band

THE STUDY OF KA-BAND RAIN ATTENUATION
BY RADIOMETER METHOD



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

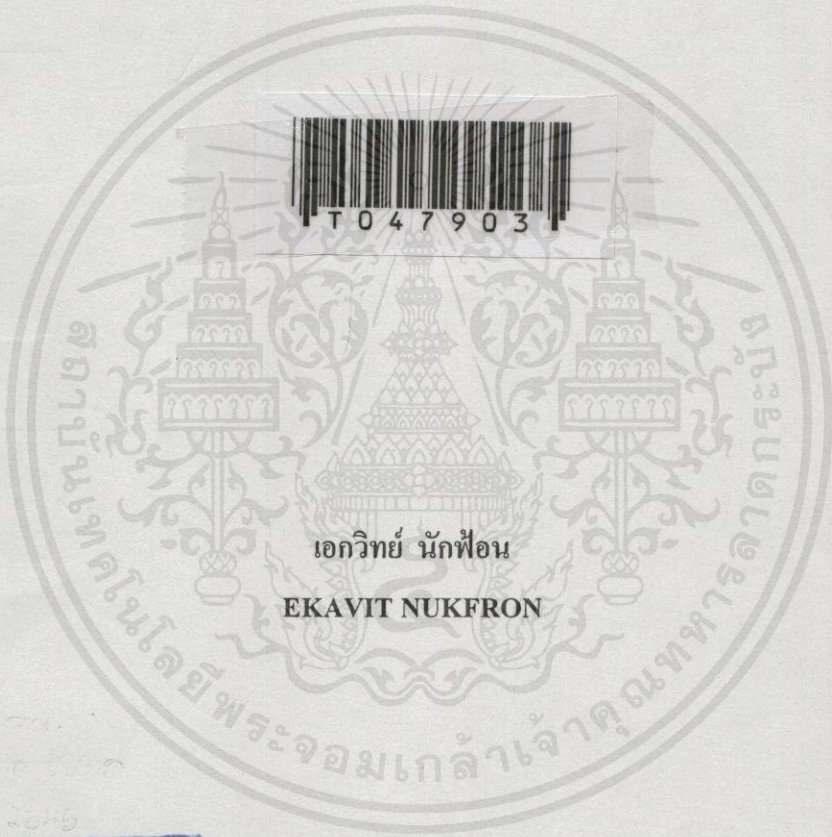
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-9546-21-0

การใช้หลักการเรดิโอมิเตอร์ในการศึกษาการลดทอนสัญญาณ
อันเนื่องจากฝนในย่านKa-Band

THE STUDY OF KA-BAND RAIN ATTENUATION
BY RADIOMETER METHOD



เอกวิทย์ นักร้อน
EKAVIT NUKFRON

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 47903
วัน, เดือน, ปี... 24 ส.ค. 2546

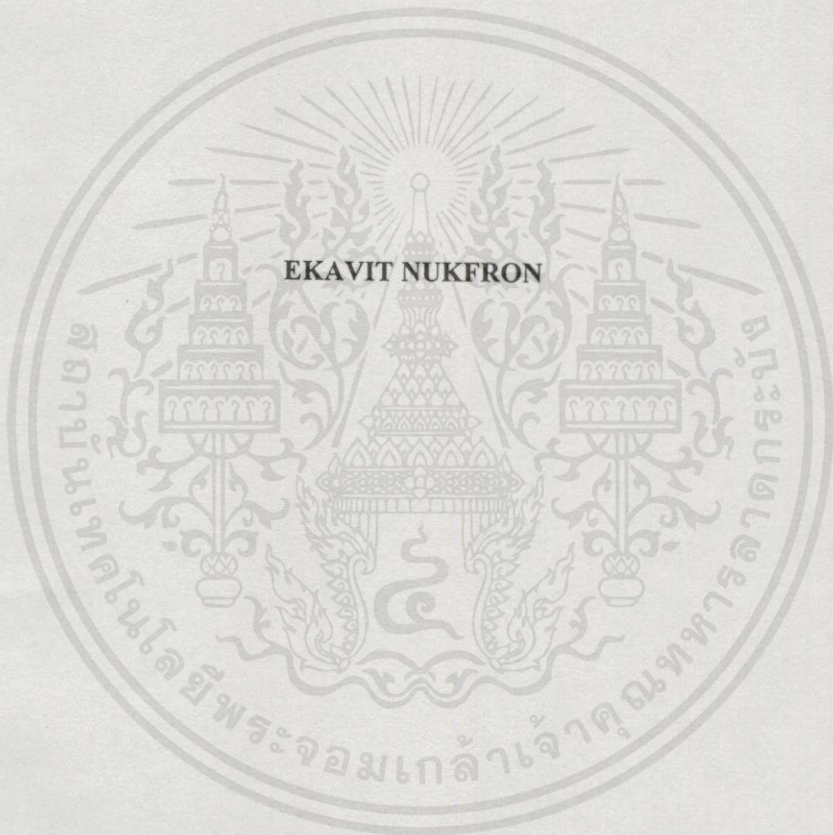
b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่สมควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2545

ISBN 974-9546-21-0

**THE STUDY OF KA-BAND RAIN ATTENUATION
BY RADIOMETER METHOD**



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก ISBN 974-9546-21-0 ingsเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้หลักการเรดิโอมิเตอร์ในการศึกษาการลดทอน สัญญาณ เนื่องจากฝนในย่าน Ka-band
ชื่อนักศึกษา	นายเอกวิทย์ นักฟ็อน
รหัสประจำตัว	42061408
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ณรงค์ เหมภรณ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band อันเนื่องมาจากฝน โดยทำการวัดสัญญาณแบบเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์ ทำการรับสัญญาณรบกวนที่อยู่ในบรรยากาศ ในย่านความถี่ Ka-Band แล้วนำมาแปลงเป็นค่าการลดทอนของสัญญาณโดยอาศัยสมการของเรดิโอ มิเตอร์ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วัดค่าการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่นอกการให้บริการของดาวเทียม ซึ่ง ข้อมูลค่าการลดทอนที่หาได้จะถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับการเกิดฝนตกทั้ง 3 เหตุการณ์คือ ก่อน เกิดฝนตก ขณะฝนตก และหลังจากฝนตก ว่าการลดทอนมิใช่เกิดเฉพาะขณะฝนตกเท่านั้น แต่ได้ เริ่มเกิดการลดทอนตั้งแต่เป็นเมฆฝน และหลังจากฝนตกแล้วก็สามารถเกิดการลดทอนขึ้นได้

สำหรับการลดทอนที่เกิดจากเมฆฝนจะเป็นการลดทอนที่มีค่าสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ตามการก่อ ตัวของเมฆฝนและจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เกิดฝนตกและหลังจากนั้นการลดทอนจะมีค่าคง ที่อยู่ในระดับเดิมก่อนที่จะค่อย ๆ ลดลง เป็นวัฏจักรสำหรับค่าการลดทอนในการเกิดฝนตก อัตรา การตกของฝนสูงสุดมีค่าประมาณ 200 mm/hr จะมีค่าการลดทอนที่รุนแรงประมาณ 25 dB สำหรับ เดือนที่มีการลดทอนรุนแรงที่สุดคือเดือนพฤษภาคมสำหรับเดือนที่อยู่นอกฤดูฝนเช่นเดือน มกราคม ก็สามารถเกิดการลดทอนได้เช่นกันแต่เกิดอยู่ในระดับต่ำซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยอื่นที่นอก เหนือจากฝน เช่น น้ำค้างในอากาศในช่วงกลางคืน หรือปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เป็นต้น

ข้อมูลและแนวโน้มของการเกิดการลดทอนนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับประเทศไทยในการ เปรียบใช้งานความถี่ในย่าน Ka-Band ซึ่งจะทำให้เกิดการใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Study of Ka-Band Rain Attenuation by Radiometer Method
Student	Mr.Ekavit Nukfron
Student ID.	42061408
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Narong Hemmakorn

ABSTRACT

The objective of this thesis is to investigate factors effect on attenuation at Ka-Band by applying radiometer method to receive noise signal at the outside service area from May 2001 – April 2002 (12 months) by analyzed data in 3 situations ; 1) before raining situation, 2) raining situation and 3) after raining situation.

The results of experiment reveal that attenuation are slowly increased according to rain cloud forming. Immediately increasing of attenuation will occur in raining situation and still at certain level after raining situation.

Maximum rain rate about 200 mm./hr in worse month period; October and November; cause attenuation about 25 dB while in January which is out of rainy season, the attenuation is in low level, as the result from quantity of dew in night time and humidity. The advantage of this study is attenuation factors data can prepare for supporting the use of Ka- Band signal in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถจัดทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากท่าน รศ.ณรงค์ เหมกรณ์ ,ท่าน รศ.นิภา ลีลาจุ , ศาสตราจารย์โยชิอากิ โมริยะ และศาสตราจารย์ ยามาตะ รวมไปถึง ผศ.ณัฐ จันทรศรป ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาที่ดีกับข้าพเจ้ามาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างมาก และขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาเป็นอย่างมากในการให้โอกาสและสนับสนุนในด้านการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอขอบคุณ น้องแบบ แม่หนู พี่หมาและเด็ก ๆ ทุก ๆ คนที่เป็นกำลังใจให้งานเสร็จไปด้วยดีแม้ว่าผู้เขียนจะเกิดความขี้เกียจในบางครั้งก็ตาม

และท้ายสุดข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายทิมมพร บุญซึก ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลเกี่ยวกับฝน, นายอศิรเดชรัตน์ ,นางสาวจิตพรธม มกรรัช และเพื่อน ๆ ในห้อง Satellite Communication Lab ทุกคน ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.....	3
1.3 สมมุติฐานและแนวคิดในการวิจัย.....	3
บทที่ 2 หลักการของวิธีการวัดแบบเรดิโอมิเตอร์.....	4
2.1 ทฤษฎีอุณหภูมิจึงญานรบกวน.....	4
2.2 หลักการเรดิโอมิเตอร์.....	6
2.3 เครื่องรับเรดิโอมิเตอร์.....	6
2.3.1 เครื่องรับแบบแอกทีฟเรดิโอมิเตอร์.....	7
2.3.2 เครื่องรับแบบพาสซีฟเรดิโอมิเตอร์.....	8
2.4 ความเที่ยงตรงในการรับสัญญาณ.....	14
2.5 หลักการทำงานเครื่องรับเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์.....	14
บทที่ 3 คุณลักษณะและระบบการเกิดฝน.....	21
3.1 กระบวนการเกิดน้ำฟ้า.....	21
3.2 ประเภทของน้ำฟ้า.....	23
3.3 แนวปะทะ.....	25
3.4 พายุหมุน.....	27
3.5 ร่องมรสุม.....	30
3.6 ลักษณะสมบัติของทางกายภาพของหยดฝน.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

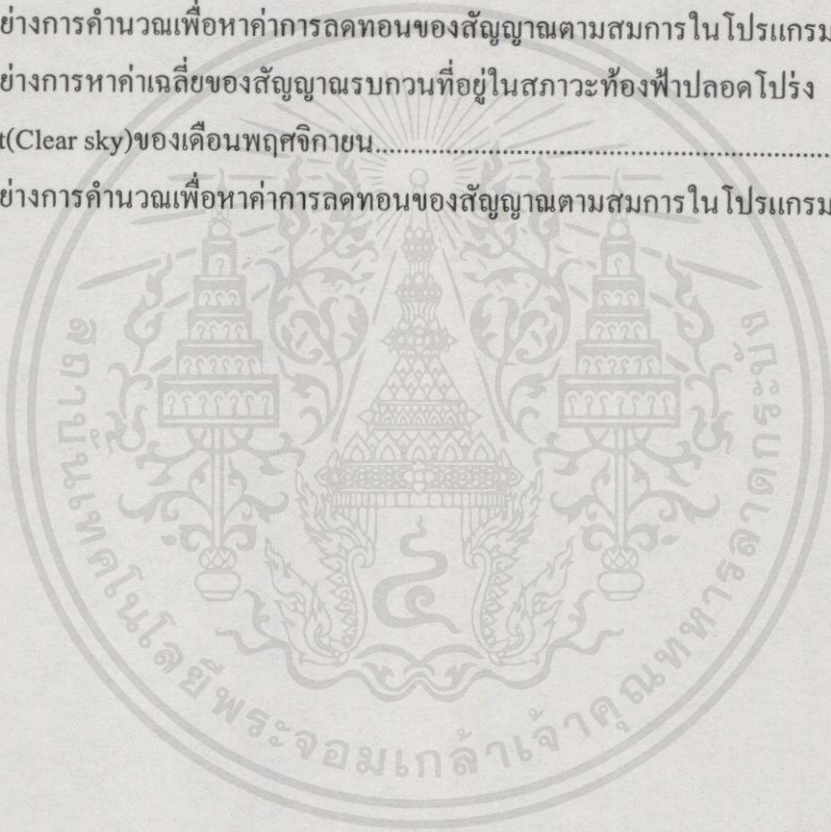
หน้า

3.7 การกระจายขนาดของหยดฝนที่อัตราการตกใด ๆ.....	36
บทที่ 4 อุปกรณ์การทดลองและผลการทดลอง.....	41
4.1 หลักการของการทดลอง.....	41
4.1.1 งานสายอากาศและ LNB.....	42
4.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.....	43
4.1.3 เครื่องบันทึกสัญญาณ.....	44
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	44
บทที่ 5 สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปงานวิจัย.....	79
5.1.1 การลดทอนที่เกิดจากฝน.....	79
5.1.2 การเกิดการลดทอนเนื่องจากปัจจัยอื่น.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	81
5.2.1 ทางด้านเทคนิค.....	81
5.2.2 ทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูล.....	81
บรรณานุกรม.....	82
ภาคผนวก.....	83
ก. โปรแกรมมาโครที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	84
ข. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....	113
ประวัติผู้เขียน.....	118

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าครุฑใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ของการกระจายขนาดในรูป Exponential ของหยดฝนแต่ละประเภท เสนอโดยJoss(1968).....	36
3.2 ร้อยละของปริมาตรของอนุภาคฝนที่มีขนาดในช่วงที่กำหนดต่อปริมาตรทั้งหมดที่ อัตราการตกต่างๆ	40
4.1 พารามิเตอร์ของชุดรับสัญญาณไทยคม 2 (Ku-Band).....	42
4.2 พารามิเตอร์ของชุดรับสัญญาณรบกวอน(Ka-Band).....	43
4.3 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณตามสมการในโปรแกรม Excel....	48
4.4 ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวอนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง Vout(Clear sky)ของเดือนพฤศจิกายน.....	50
4.5 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณตามสมการในโปรแกรม Excel....	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ค่าอุณหภูมิที่แพร่ออกมาเนื่องจากค่าการส่งผ่านพลังงานที่เกิดในตัวกลาง M.....5
2.2	หลักการศึกษาค้าววิธีเรดิโอมิเตอร์.....6
2.3	เครื่องรับแบบเอกทิฟเรดิโอมิเตอร์ เมื่อเครื่องรับอยู่ในทิศทางเดียวกับดวงอาทิตย์อุณหภูมิที่รับได้เท่ากับ $T_s \times e^{-A/4.34} + T_M (1 - e^{-A/4.34})$ และเมื่อเครื่องรับอยู่นอกทิศทางของดวงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ $T_M (1 - e^{-A/4.34})$8
2.4	เครื่องรับแบบพาสซีฟเรดิโอมิเตอร์.....9
2.5	การสอบเทียบระหว่างเครื่องวัดแบบเรดิโอมิเตอร์กับเครื่องรับดาวเทียมนำร่อง.....10
2.6	การวัดสัญญาณอุณหภูมิรบกวนด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์.....12
2.7	ความแตกต่างระหว่างวิธีเรดิโอมิเตอร์กับวิธีเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์.....15
2.8	การรับสัญญาณรบกวนในบรรยากาศในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง.....16
2.9	ตัวอย่างระดับสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง.....16
2.10	การรับสัญญาณรบกวนในสภาวะฝนตก.....17
2.11	ตัวอย่างระดับสัญญาณรบกวนในสภาวะฝนตก.....17
3.1	กระบวนการชนกันและการรวมตัวกันของหยดน้ำขนาดเล็ก.....22
3.2	กระบวนการเบอร์เจิน.....22
3.3	แนวปะทะอากาศอุ่น.....25
3.4	แนวปะทะอากาศเย็น.....26
3.5	วงจรชีวิตของคลื่นแนวปะทะอากาศ.....27
3.6	ตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุที่เกิดขึ้น.....27
3.7	อัตราส่วนร้อยละของจำนวนพายุที่ก่อตัวในละติจูดต่างๆ29
3.8	ขั้นตอนการเกิดพายุฟ้าคะนอง.....30
3.9	การเกิดร่องมรสุมในประเทศไทย.....31
3.10	ภาพถ่ายหยดน้ำขนาดต่างๆที่ความเร็วปลายตกอย่างอิสระ.....33
3.11	ภาพถ่ายหยดน้ำขนาดใหญ่ที่ตกอย่างอิสระ.....34
3.12	รูปร่างของหยดน้ำที่รัศมีต่างๆ คำนวณโดย Pruppacher and Pitter.....35
3.13	รูปหน้าตัดด้านข้างของหยดน้ำทรงกลมแบนขั้ว.....35
3.14	ความเร็วในการตกของหยดฝนน้ำต่างๆ กันที่ความสูง ตั้งแต่ 0.5 ถึง 20 เมตร Laws

เอกสาร (1943) สารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

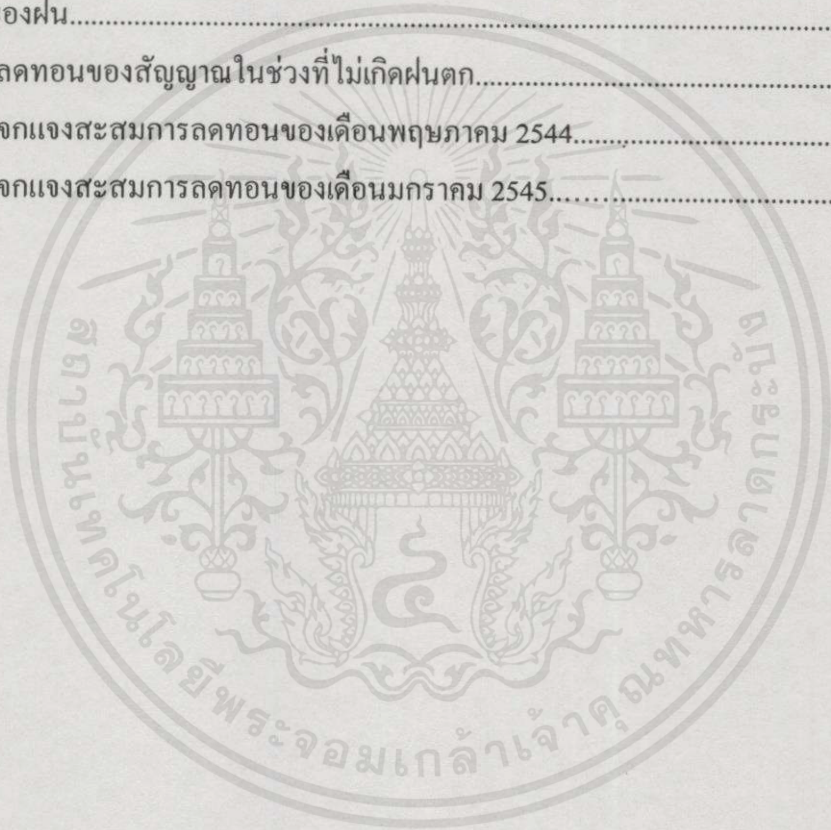
สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.15	การกระจายของหยดฝนในอากาศที่อัตราการตกของฝนจาก 0.25 ถึง 150 มิลลิเมตร ต่อชั่วโมงวัดโดย Laws and Parsons(1943).....	38
3.16	ตัวอย่างการกระจายของขนาดหยดฝนที่อัตราการตกของฝนต่างค่าคือ $R=46.4\text{mm/hr}(\Delta), 32.3\text{mm/hr}(\Lambda), 5.6-7.1\text{mm/hr}(\text{O}), 3.6\text{mm/hr}(\text{O}),$ $0.3-1.1\text{mm/hr}(\square)$ (Ugai et al.1977).....	38
4.1	หลักการทำงานของอุปกรณ์การทดลอง.....	41
4.2	ชุดของดาวเทียมไทยคม 2.....	42
4.3	ชุดรับสัญญาณรบกวน Ka-Band.....	42
4.4	เครื่องรับแบบ DX Receiver.....	43
4.5	เครื่องรับสัญญาณรบกวน ka-Band ที่มีแบนด์วิธ 250 KHz.....	43
4.6	เครื่องบันทึกสัญญาณ (Data Logger).....	44
4.7	ตำแหน่งของ Vout.....	45
4.8	แนวความคิดในการ калиเบรท.....	45
4.9	ระดับสัญญาณของ Vout(Black body).....	46
4.10	ระดับสัญญาณในสภาวะฝนตก Vout(Rain)ที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน.....	47
4.11	ตัวอย่างการรับสัญญาณ 24 ชั่วโมง.....	47
4.12	ความแตกต่างของระดับสัญญาณระหว่าง Vout (Rain)กับ Vout (Clear sky).....	48
4.13	ค่าการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ Ka-Band ที่สามารถหาได้ตามสมการ.....	49
4.14	ความแตกต่างของระดับสัญญาณระหว่าง Vout (Rain)กับ Vout (Clear sky) ในเดือนพฤศจิกายน.....	50
4.15	ค่า Vout (Clear sky)และค่าVout (Black body)ของเดือนต่างๆ.....	52
4.16	การลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band เมื่อนำมาวิเคราะห์เทียบกับอัตราการตก ของฝน.....	53
4.17	ระดับสัญญาณรบกวนที่สูงขึ้นในขณะที่ฝนยังไม่ตกแต่เนื่องจากเมฆฝนที่เริ่มก่อตัว.....	53
4.18	การลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band เมื่อนำมาวิเคราะห์เทียบกับอัตราการตก ของฝน.....	54
4.19	การลดทอนของสัญญาณที่ตรงกับฝนตก.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20	การลดทอนของสัญญาณหลังจากที่ฝนตกผ่านไปแล้ว..... 53
4.21	การเพิ่มของสัญญาณในช่วงสั้นๆ เกิดจากเมฆฝนที่ไม่ตกแต่ได้สลายตัวไป.....56
4.22	การเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณรบกวนในรอบ 24 ชั่วโมง.....56
4.23	ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ใน 24 ชั่วโมง.....57
4.24	การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band กับ สัญญาณดาวเทียมนำร่องของดาวเทียมไทยคม 2 ในย่าน Ku-Band.....57
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนในย่าน Ka-Band ที่หาได้จากสมการกับอัตราการตกของฝน.....58-72
4.26	การลดทอนของสัญญาณในช่วงที่ไม่เกิดฝนตก.....73-77
4.27	ค่าแจกแจงสะสมการลดทอนของเดือนพฤษภาคม 2544.....78
4.28	ค่าแจกแจงสะสมการลดทอนของเดือนมกราคม 2545.....78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีปริมาณตามต้องการในการติดต่อแลกเปลี่ยนข่าวสารมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีการแข่งขันทางด้านการให้บริการมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีระบบเชื่อมโยงที่สามารถรองรับปริมาณความต้องการดังกล่าวได้อย่างมีคุณภาพและมาตรฐานสากลยอมรับและระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมก็เป็นส่วนหนึ่งในการให้บริการด้านการสื่อสารที่ทั่วโลกให้การยอมรับเริ่มต้นโดยการสื่อสารในย่านความถี่ C-Band (6/4GHz) เนื่องจากเป็นความถี่ต่ำจึงมีปัจจัยที่เกิดผลกระทบต่อการรับสัญญาณน้อยมากแต่ต้องการงานสายอากาศที่มีขนาดใหญ่จึงจะทำให้สัญญาณที่รับมีคุณภาพดี นิยมใช้ในงานที่ต้องการความถูกต้องของข่าวสารสูงมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลต่ำ แต่ในปัจจุบันความต้องการในการสื่อสารและอัตราการส่งผ่านข้อมูลมีมากขึ้น จึงได้นำความถี่ในย่าน Ku-Band (14/12GHz) มาใช้งานเพื่อรองรับการใช้งานได้อย่างเพียงพอทำให้สามารถลดขนาดของงานสายอากาศลงได้และมีอัตราการส่งผ่านข้อมูลสูงขึ้นด้วย นิยมส่งสัญญาณในลักษณะเฉพาะพื้นที่ทำให้ค่า EIRP ต่อพื้นที่มีค่าสูงขึ้น แต่ในย่านความถี่สูงนี้มีผลกระทบต่อสัญญาณที่เกิดจากฝนค่อนข้างสูงดังนั้นการส่งสัญญาณความถี่สูงในประเทศไทยจึงประสบปัญหามากกว่าในทวีปยุโรปและอเมริกา เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนจึงมีหลายปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปัญหาซึ่งมีการศึกษาวิจัยการลดทอนของสัญญาณในย่านนี้จนสามารถนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ความต้องการในการสื่อสารยังคงมีต่อเนื่องเรื่อย ๆ จึงได้เริ่มนำสัญญาณในความถี่สูงในย่าน Ka-Band (30/20GHz) ซึ่งเป็นย่านความถี่ใหม่ที่เริ่มจะนำมาใช้งานเนื่องจากความหนาแน่นในช่องสัญญาณในย่าน C-Band และ Ku-Band ย่านความถี่สูงนี้ขนาดของงานสายอากาศจะมีขนาดเล็กมาก นิยมส่งสัญญาณในลักษณะพื้นที่ที่ขอบเขตเล็กมากหรือส่งแบบ DTH ในระบบเคเบิลทีวีซึ่งปัจจุบันในยุโรปนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายขึ้นเนื่องจากสภาพภูมิอากาศไม่เป็นอุปสรรคต่อการส่งสัญญาณนอกจากนี้อัตราการส่งผ่านข้อมูลอยู่ในระดับที่สูงมากด้วย จึงเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาใช้งานในด้านการสื่อสารผ่านดาวเทียมรวมทั้งเพิ่มเสถียรภาพในการสื่อสารขึ้นด้วย แต่เนื่องจากเป็นความถี่สูงจึงมีผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณสูงมากตามสภาวะแวดล้อม ดังนั้นจึงควรศึกษาและวิจัยการลดทอนในย่านนี้อย่างดีเสียก่อน เพื่อที่จะได้นำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต สำหรับในประเทศไทยมีโครงการที่จะเริ่มใช้ความถี่ย่าน Ka-Band ในดาวเทียม IP-Star ในปลายปี 2546 ซึ่งเป็นการใช้งานแบบบรอดแบนด์สำหรับงานทางด้านอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านดาวเทียม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงแนวโน้มของการเกิดการลดทอนของสัญญาณว่าจะเกิดใน

ช่วงใดและรุนแรงอย่างไร นอกจากนี้ยังจะพิจารณาถึงปัจจัยอื่นอีกซึ่งในลักษณะการใช้งานดาวเทียมจริงจะได้เผื่อค่าการชดเชยของระบบได้

ที่ความถี่ตั้งแต่ 10 GHz ขึ้นไปฝนเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้สัญญาณหรือข้อมูลขาดการติดต่อสื่อสารต้องสูญหายไป ขณะที่ฝนตกคงจะสังเกตได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้กันตามบ้านพักอาศัยความคมชัดของภาพจะลดลงตามอัตราการตกของฝนที่เพิ่มขึ้น และปัญหานี้จะเพิ่มมากขึ้นถ้ารับสัญญาณในย่าน Ka-Band อาจจะทำให้รับชมไม่ได้หรือสูญเสียการติดต่อสื่อสารไปชั่วขณะ นอกจากนี้การลดทอนในย่านความถี่ Ka-Band อาจจะมีไข้เกิดขึ้นเพียงในขณะที่ฝนตกเท่านั้น แต่อาจจะเกิดการลดทอนตั้งแต่ท้องฟ้าเริ่มมีเมฆฝนก่อตัวอยู่และหลังจากฝนตกอาจจะมีการลดทอนเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะวิเคราะห์ต่อไปว่าเหตุการณ์ในช่วงใดที่มีค่าการลดทอนมากที่สุด

สำหรับการวัดการวัดสัญญาณจากดาวเทียมเพื่อการศึกษาหาค่าการลดทอนของสัญญาณในย่านต่างๆ นั้นมีอยู่ 2 วิธีคือการวัดโดยตรงและการวัดโดยอ้อม

การวัดโดยตรงเป็นการศึกษาหาค่าการลดทอนโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมนำร่องที่ส่งมาจากดาวเทียมกล่าวคือเมื่อกลุ่มฝนพาดผ่านแนวเส้นทางเดิมของสัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณก็จะทำให้ทราบว่าสัญญาณลดทอนไปเท่าไรเกิดในช่วงเวลาใดสามารถสังเกตได้ทันทีจากการดูระดับสัญญาณ แต่หลักการแบบนี้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เมื่ออัตราการขยายของอุปกรณ์ที่อยู่บนตัวดาวเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือ กรณีดาวเทียมเกิดเคลื่อนที่ออกไปจากแนวตำแหน่งเดิมและการวิจัยด้วยวิธีนี้จะศึกษาวิจัยได้เฉพาะในพื้นที่การให้บริการของดาวเทียมเท่านั้น รวมทั้งมุมในการรับสัญญาณจะถูกจำกัดเฉพาะตำแหน่งที่ดาวเทียมอยู่เท่านั้นไม่สามารถที่จะเลือกวิจัยนอกเหนือไปจากตำแหน่งเดิมได้

การวัดโดยอ้อมเป็นการรับอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนในย่านต่างๆ ตามที่ต้องการที่อยู่ในบรรยากาศเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของสัญญาณรบกวนการลดทอนที่เกิดจากฝน โดยอาศัยว่าเมื่อตัวกลางมีการดูดกลืนกำลังงานของตัวกลางนั้น จะต้องมีการคายหรือแผ่กำลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อนหรือสัญญาณรบกวน รอบ ๆ ทิศทางของตัวกลาง เรียกว่าเป็นสัญญาณรบกวนในย่านความถี่นั้นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศแล้วนำมาเข้าสมการทางคณิตศาสตร์ของหลักการเรดิโอมิเตอร์เพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ใช้ในการวัดหาค่าการลดทอนของสัญญาณในพื้นที่นอกเขตการให้บริการของดาวเทียม

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ในสภาวะฝนตก โดยใช้หลักการเรดิโอมิเตอร์ในการวิจัยและจะทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณนำร่องในย่าน Ku-Band จากดาวเทียมไทยคม 2 ในสภาวะเดียวกัน สำหรับส่วนของ Ka-Band ทางผู้วิจัยจะทำการวัดสัญญาณรบกวนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ในบรรยากาศแทนการรับสัญญาณนำร่องของดาวเทียมโดยตรงแล้วจึงอาศัยสัญญาณรบกวนที่รับได้เข้าสมการทางคณิตศาสตร์ตามหลักการของเรดิโอมิเตอร์เพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

ขณะนี้มีการใช้ดาวเทียมกันอย่างแพร่หลายเพื่อการติดต่อสื่อสารรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่ในย่าน C-Band, Ku-Band ซึ่งในปัจจุบันก็มีความต้องการสื่อสารเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงควรทำการศึกษาการสื่อสารในย่าน Ka-Band เอาไว้ก่อน เพื่อเป็นการรองรับและขยายปริมาณความต้องการการสื่อสารในอนาคต แต่เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าการใช้คลื่นความถี่สูงในการติดต่อสื่อสาร มักจะประสบปัญหาการรบกวนของสภาวะแวดล้อมต่อคลื่นสัญญาณความถี่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดฝนตกขณะที่มีการติดต่อสื่อสารอยู่ เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการลดทอนในย่านนี้ ดังนั้นก่อนที่ประเทศไทยจะนำความถี่ Ka-Band มาใช้งานจึงต้องศึกษาลักษณะการแพร่กระจายคลื่นเมื่อเกิดฝนตกก่อนนำมาใช้งานเพราะว่าคลื่นในย่านนี้เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะการติดต่อภายในประเทศ เนื่องจากต้องส่งสัญญาณในลักษณะจำกัดขอบเขตพื้นที่บริการหรือส่งในพื้นที่เฉพาะที่นั่นทำให้เป็นการเพิ่ม EIRP สำหรับการติดต่อในประเทศ

1.3 สมมุติฐานและแนวคิดในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการรับสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band ในบรรยากาศสภาวะต่างๆ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับการรับสัญญาณนำร่องของดาวเทียมไทยคม 2 ที่อยู่ในย่าน Ku-Band โดยเฉพาะช่วงการลดทอนของสัญญาณนำร่องจากดาวเทียมในภาวะที่เกิดฝนตก จะมีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนย่าน Ka-Band เป็นการพิสูจน์ว่าการลดทอนของสัญญาณมีความสัมพันธ์กับสัญญาณรบกวนต่างๆ ในบรรยากาศจริง

นอกจากนี้ผู้วิจัยจะทำการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ในภาวะฝนตกในอัตราต่างกัน โดยจะนำค่าการลดทอนในย่าน Ka-Band ไปเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณนำร่องในย่าน Ku-Band จากไทยคม 2 ว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไร ข้อมูลที่ได้ในเชิงสถิติของการลดทอนจะประกอบด้วยข้อมูลความสัมพันธ์การลดทอนกับอัตราการตกของฝนรวมถึงข้อมูลแจกแจงสะสมการลดทอนและข้อมูลแจกแจงสะสมอัตราการตกของฝนที่เกิดขึ้นในคาบเวลาต่างๆ เป็นรายเดือนเพื่อแสดงถึงเดือนที่มีการลดทอนที่รุนแรงมากที่สุดและน้อยที่สุด และยังจะทำการวิเคราะห์ถึงเหตุการณ์ในการเกิดฝนตกคือ ก่อนเกิดฝนตก(ในขณะที่เมฆฝนเริ่มก่อตัว) ขณะเกิดฝนตก และหลังจากเกิดฝนตก ว่ามีการลดทอนในช่วงไหนบ้างและสูงสุดในช่วงใด รวมถึงการที่มีการลดทอนตอนกลางคืนในสภาวะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งว่ามีสาเหตุมาจากปัจจัยใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

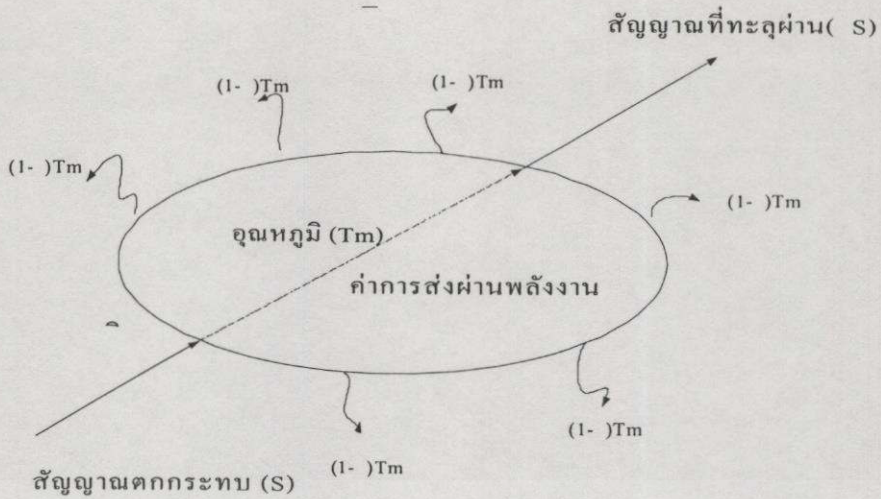
หลักการของวิธีการวัดแบบเรดิโอมิเตอร์

ในแบบจำลองต่างๆที่เคยมีการศึกษาไว้เพื่อการคำนวณค่าการลดทอนนั้นมีหลายรูปแบบจำลองและรูปแบบจำลองหนึ่งๆที่ได้รับความนิยมคือแบบจำลองของ ITU-R Model แต่แบบจำลองดังกล่าวยังให้ค่าความแม่นยำไม่มากพอเมื่อนำมาใช้ในภูมิอากาศร้อนชื้น และจากเอกสารการศึกษาหลาย ๆ ฉบับพบว่าการศึกษาจากข้อมูลในเชิงสถิติที่เกิดขึ้นจริงจากภูมิภาคนั้นจะทำให้ค่าความแม่นยำสูงมากกว่าการศึกษาในลักษณะของแบบจำลอง ดังนั้นในการศึกษาจึงต้องมีอุปกรณ์ที่จะนำมาทำการจัดเก็บข้อมูลค่าการลดทอนและข้อมูลฝน วิธีการที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกันสองแบบ แบบแรกคือการวัดโดยตรงโดยการวัดจากสัญญาณดาวเทียมนำร่อง (Satellite Beacon) ในความถี่และระดับสัญญาณที่คงค่าหนึ่งตลอดเวลาเมื่อมีฝนตกในแนวทางการเคลื่อนของสัญญาณ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนำร่องก็จะทราบถึงระดับความแรงของสัญญาณที่ถูกลดทอนลงไป สำหรับแบบที่สองเป็นการวัดโดยทางอ้อมด้วยการใช้อุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์ (Radiometer) ซึ่งจะกล่าวต่อไป

2.1 ทฤษฎีอุณหภูมิสัญญาณรบกวน

การวัดโดยทางอ้อมโดยใช้อุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์ (Radiometer) นั้นจะเป็นการวัดสัญญาณรบกวนที่อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน (Power Noise Temperature) อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีการส่งพลังงานผ่านตัวกลาง ๆ จะมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไปเพื่อเป็นการรักษาภาวะสมดุลของตัวกลางนั้น ซึ่งมันต้องมีการแผ่รังสีที่อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนออกมาเท่ากับพลังงานที่มันได้ดูดกลืนเข้าไป ซึ่งพลังงานความร้อนที่แผ่ออกมานั้นจะแผ่ออกมาในทุกทิศทางของตัวกลางนั้น ตามรูป 2.1 เมื่อตัวกลาง M ได้ดูดพลังงานเข้าไปจะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับอุณหภูมิ T_M และตัวกลางนี้จะมีค่าประสิทธิภาพในการดูดกลืนและคายพลังงานความร้อนออกมาเท่ากับ ประสิทธิภาพในการส่งผ่านพลังงาน (Fractional Transmissivity) ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เป็นการบอกถึงค่าพลังงานที่ตัวกลางนั้นได้ดูดกลืนเข้าไป ตัวอย่างเช่นถ้าค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัวกลางไม่มีการดูดกลืนเข้าไป พลังงานที่เข้าไปในตัวกลางสามารถผ่านไปทั้งหมด แต่ถ้าค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงตัวกลางมีการดูดกลืนพลังงานไว้ทั้งหมดพลังงานที่ส่งไปจึงไม่สามารถทะลุผ่านไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ค่าอุณหภูมิที่แพร่ออกมาเนื่องจากค่าการส่งผ่านพลังงานที่เกิดในตัวกลาง M

จากรูปที่ 2.1 สมมติให้กำลังงานที่อยู่ในรูปสัญญาณ S ถูกส่งผ่านเข้าไปในตัวกลาง M และเมื่อตัวกลางมีการดูดกลืนจะต้องมีการกำลังงานไว้ส่วนหนึ่งที่เหลือจะทะลุผ่านตัวกลางออกมามีค่าเท่ากับ (σS) ดังนั้นในส่วนที่มีการดูดกลืนจะต้องมีการดูดกลืนจะต้องมีการถ่ายเทออกมาในรูปของความร้อน (Radiate Temperature : T_r) มีค่าเท่ากับ $(1-\sigma)T_M$ เพื่อตัวกลางนั้นจะได้อยู่ในสภาวะสมดุล ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่าการลดทอนได้ดังนี้

$$T_r = (1-\sigma)T_M \quad (2.1)$$

เมื่อ $\sigma = e^{-A/4.34}$

$$T_r = (1 - e^{-A/4.34})T_M \quad (2.2)$$

เมื่อ A เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณ (dB) ซึ่งสัมพันธ์กับค่า σ ดังสมการ 2.3

$$A = 10 \text{Log}(1/\sigma) \quad (2.3)$$

ในสมการที่(2.3) เมื่อย้ายสมการจะได้สมการค่าการลดทอนเชิงจินตภาพโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบอื่น ๆ ที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = 10 \text{Log} \left(\frac{T_M}{T_M - T_r} \right) \quad (2.4)$$

เมื่อ T_M คือค่าอุณหภูมิของตัวกลางที่เกิดจากการดูดกลืนกำลังงานซึ่งขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของโลก (Ground temperature) T_r เป็นองค์ประกอบหลัก

2.2 หลักการเรดิโอมิเตอร์

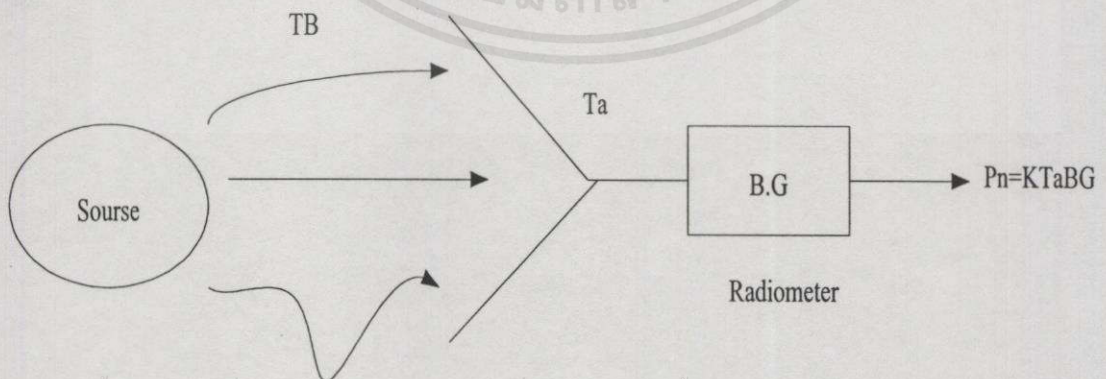
อุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์เป็นเครื่องรับชนิดหนึ่งที่ต้องอาศัยตัวกลางเป็นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิ เช่น ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และอื่นๆ ในย่านความถี่ใดความถี่หนึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการนำไปใช้งาน ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ในช่วงที่เกิดฝนตก ดังนั้นอุปกรณ์ของเรดิโอมิเตอร์ จะต้องอยู่ในย่านความถี่ Ka-Band และมีแหล่งกำเนิดอุณหภูมิคือ กลุ่มฝน แหล่งกำเนิดอุณหภูมิโดยทั่วไปมักจะเรียกว่าอุณหภูมิ แสงสว่าง (Brightness Temperature) ตามรูปที่ 2.2

ค่ากำลังงานของสัญญาณรบกวน (P_n) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากแหล่งกำเนิดอุณหภูมิสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$P_n = K T_a B G \quad (2.5)$$

โดย

- P_n คือ กำลังงานของสัญญาณรบกวน (Watts)
- K คือ ค่าคงที่ของ Boltz man = $1.38 * 10^{-23}$ J/K
- T_a คือ อุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่งานสายอากาศรับได้
- B คือ ค่าแบนด์วิธของสัญญาณที่เครื่องรับ (Hz)
- G คือ อัตราการขยาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไปว่ากรณีใดว่ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 รูปที่ 2.2 หลักการศึกษาคู่ด้วยวิธีเรดิโอมิเตอร์

สำหรับเครื่องรับเรดิโอมิเตอร์ ที่ใช้งานด้านโทรคมนาคมเพื่อหาค่าการลดทอนในแนวการแพร่ของคลื่นสัญญาณ (Slant path) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แอกทีฟ เรดิโอมิเตอร์ (Active Radiometer)
2. พาสซีฟ เรดิโอมิเตอร์ (Passive Radiometer)

2.2.1 แอกทีฟเรดิโอมิเตอร์

จะเป็นการวัดค่าอุณหภูมิแสงสว่าง (Brightness Temperature) ที่อาศัยหลักแหล่งกำเนิดอุณหภูมิจากดวงอาทิตย์โดยอุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์จะถูกรอกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ได้ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ดังนั้นจึงเรียกว่าเป็นเครื่องรับแบบ Sun-Tracking Radiometer ค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่งานสายอากาศรับได้ (T_a) หาจากสมการ

$$T_a = T_s \times e^{-A/4.34} \quad (2.6)$$

T_s คือ อุณหภูมิแสงสว่างจากดวงอาทิตย์

A คือ ค่าการลดทอนตลอดเส้นทาง

อุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่งานสายอากาศรับได้จะเปลี่ยนแปลงตามขนาดของการลดทอนในเส้นทางนั้น ๆ ตามสมการที่(2.6) หากในเส้นทางการเดินทางของสัญญาณมีการลดทอนเกิดขึ้นสูง ค่าอุณหภูมิที่งานสายอากาศรับได้จะสูงตามไปด้วยเช่นกัน และตามที่แสดงในรูปที่ 2.3 อุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์ นอกจากจะรับค่าอุณหภูมิแสงสว่างจากดวงอาทิตย์แล้วยังมีการรับอุณหภูมิที่เกิดตามหลักการของ Kirchhoff Law กล่าวคือ เมื่อตัวกลาง (เมฆ) เข้าไปอยู่ในเส้นทางของแหล่งกำเนิดที่เป็นอุณหภูมิของแสงสว่าง(ดวงอาทิตย์) ตัวกลางนั้นย่อมจะมีการดูดกลืนแล้วส่วนหนึ่งก็จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อนและแพร่กระจายออกมารอบ ๆ ตัวกลางนั้น อุณหภูมิที่แพร่กระจายออกมารอบ ๆ ตัวกลางนั้นถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดอุณหภูมิอีกชนิดหนึ่ง สำหรับในด้านโทรคมนาคมเรียกว่าเป็นอุณหภูมิสัญญาณรบกวน (Sky Noise Temperature) ดังนั้นอุณหภูมิที่งานสายอากาศรับได้ทั้งหมดจึงเท่ากับ

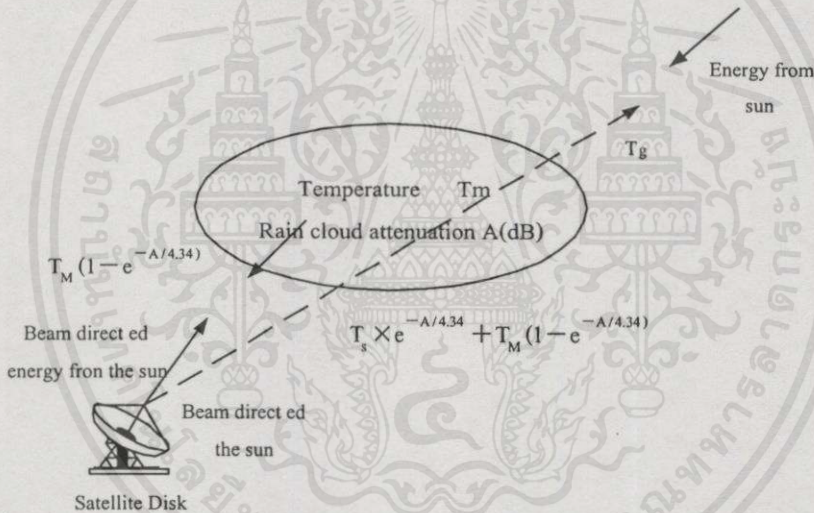
$$T_a = T_s \times e^{-A/4.34} + T_M(1 - e^{-A/4.34}) \quad (2.7)$$

จะเห็นว่าในเทอมที่สองของสมการ(2.7) ค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่แพร่ออกมาจากกลุ่มฝนจะมีค่าเท่ากับสมการที่(2.2) เนื่องจากเป็นการศึกษาการลดทอนของสัญญาณ โดยอาศัยแหล่ง

กำเนิดสัญญาณจากดวงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องตัดแหล่งสัญญาณที่เกิดจากกลุ่มฝนทิ้งไป ดังนั้นในสมการที่(2.7) เทอมที่สองจะถูกละเลยสามารถทำได้คือ

1. ใช้ Feed horn สองตัวอยู่ในงานสายอากาศใบเดียวกัน Feed ตัวแรกจะรับสัญญาณในทิศทางจากแหล่งกำเนิดที่มาจากดวงอาทิตย์ และ Feed ตัวที่สอง จะรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิดอื่น เมื่อนำมาทำการคำนวณเปรียบเทียบกันจะทำให้สามารถทราบถึงค่าการลดทอนที่มาจากแหล่งดวงอาทิตย์ได้
2. ใช้ Feed horn ตัวเดียวแต่บังคับให้งานรับสัญญาณในทิศทางของดวงอาทิตย์ครั้งหนึ่ง และรับสัญญาณในทิศทางอื่นครั้งหนึ่ง ตามรูปที่ 2.3 ค่าความแตกต่างที่ได้จะทำให้ทราบถึงค่าเทอมที่สองของสมการ(2.7) ได้

ตามวิธีการวัดแบบเอกทีเพริโอมิเตอร์ จะมีความยุ่งยากในการติดตามการเคลื่อนที่เนื่องจากดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่คงที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจึงไม่สะดวกในการปรับทิศทางของอุปกรณ์งานรับสัญญาณให้อยู่ในแนวเดียวกับดวงอาทิตย์ อีกทั้งในเวลากลางวันก็ไม่สามารถวัดค่าการลดทอนได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการวัดแบบพาสซีฟแทน



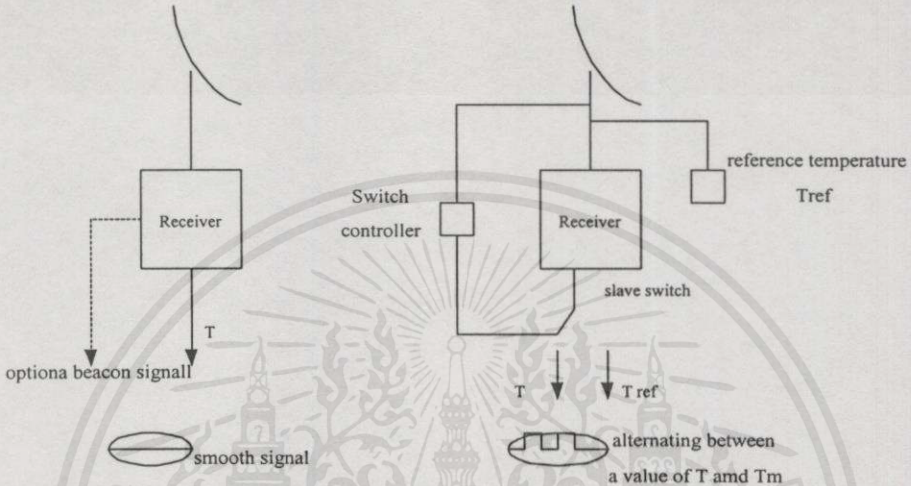
รูปที่ 2.3 เครื่องรับแบบเอกทีเพริโอมิเตอร์ เมื่อเครื่องรับอยู่ในทิศทางเดียวกับดวงอาทิตย์อุณหภูมิที่รับได้เท่ากับ $T_s \times e^{-A/4.34} + T_M (1 - e^{-A/4.34})$ และเมื่อเครื่องรับอยู่นอกทิศทางของดวงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ $T_M (1 - e^{-A/4.34})$

2.2.2 เครื่องรับแบบพาสซีฟเรดิโอมิเตอร์

การวัดด้วยหลักการของเครื่องรับแบบพาสซีฟ จะเป็นการวัดสัญญาณที่แพร่ออกมาจากตัวกลางในรูปของอุณหภูมิสัญญาณรบกวนตามที่ได้กล่าวมา ทฤษฎีอุณหภูมิสัญญาณรบกวนซึ่งเครื่องรับแบบพาสซีฟเรดิโอมิเตอร์ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบคือ แบบ DC และ แบบ Switch และต่อมาในภายหลังได้มีการเปลี่ยนชื่อเรียกใหม่ว่า Total power และ Dick radiometer ตามรูปที่ 2.4

ในรูปที่ 2.4 ก เป็นเครื่องรับแบบ Total power สัญญาณที่รับได้จะมีความผิดพลาดขึ้นได้เมื่อเครื่องรับได้รับเอาสัญญาณอย่างอื่นเข้ามาด้วยเช่นสัญญาณรบกวนจากดาวเทียมหรือจากควมอาทิตย์ เนื่องจากเครื่องรับแบบนี้ไม่มีภาครับสัญญาณอ้างอิง (Reference Temperature) จึงไม่สามารถแยกสัญญาณได้ว่าเป็นสัญญาณที่ต้องการหรือไม่

ในรูปที่ 2.4 ข เป็นเครื่องรับแบบ Dick Radiometer เครื่องรับจะรับสัญญาณที่รับได้จากค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวน (Sky Noise Temperature) มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงด้วยความเร็วประมาณ 1 kHz ซึ่งจะทำให้สามารถลดการผิดพลาดจากการไปรับเอาสัญญาณอื่นเข้ามาได้



รูปที่ 2.4 เครื่องรับแบบพาสซีฟเรดิโอมิเตอร์

เนื่องจากการศึกษาผลการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝน ดังนั้นเป้าหมายของรายละเอียดจึงต้องมุ่งไปที่กลุ่มฝนและการศึกษาด้วยหลักการของเรดิโอมิเตอร์นั้นเป็นการศึกษาในแบบทางอ้อมโดยการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่กลุ่มฝนแพร่ออกมาให้อยู่ในรูปค่าการลดทอนด้วยการใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย และการที่จะทราบถึงค่าอุณหภูมิสัญญาณรบกวน (Sky Noise Temperature) ที่จะเกิดขึ้นจะต้องทราบว่าค่าอุณหภูมิที่กลุ่มฝนได้ดูดกลืนเข้าไป (Physics Temperature of absorbing medium) T_M มีค่าเพียงใด ซึ่งค่าอุณหภูมิที่ตัวกลาง (กลุ่มฝน) ได้ดูดกลืนเข้าไบนั้นจะมีเข้ามาหลายทิศทางเช่น จากอุณหภูมิพื้นโลก จากท้องฟ้า รวมถึงกลุ่มดาว ก๊าซต่างๆ โดยหลักแล้วจะต้องคำนึงถึงความร้อนของพื้นโลกเป็นสำคัญ ตามที่ได้กล่าวไปแล้วในเรื่องของการเกิดฝนว่าเมื่อเกิดอากาศร้อนที่ผิวโลกเมื่อลอยตัวขึ้นไปกระทบกับอากาศที่เย็นกว่าบนท้องฟ้า แล้วจะมรผลให้เกิดเป็นกลุ่มฝนและตกลงมาเป็นเม็ดฝนในที่สุด ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิของกลุ่มฝนจึงขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของพื้นโลกเป็นสำคัญซึ่งสามารถหาค่าอุณหภูมิที่ตัวกลางได้ดูดกลืนเข้าไปโดยการนำเครื่องรับเรดิโอมิเตอร์ไปทำการสอบเทียบกับเครื่องรับดาวเทียมนำร่องที่อยู่ในความถี่เดียวกันและต้องทำการวัดเปรียบเทียบในเวลาเดียวกันด้วย โดยการวางเครื่องรับทั้งสองไว้ใน

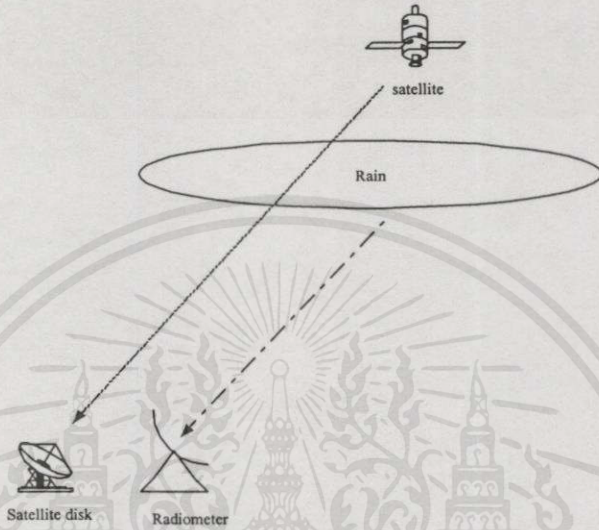
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจบริเวณใกล้เคียงกันแล้วใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์คำนวณจากค่าการลดทอนทั่ววัดได้จากเครื่องไมวากรณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ลดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

รับดาวเทียมนำร่องไปให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิที่ตัวกลางมีการดูดกลืนไว้ T_M โดยประมาณแล้วฝนในเขตร้อนชื้นจะมีค่าอุณหภูมิ T_M ประมาณ 280 K หรือสามารถหาได้จากสมการ

$$T_M = 1.12T_g - 50 \quad (2.8)$$

โดย

T_g คือ อุณหภูมิบริเวณพื้นโลก



รูปที่ 2.5 การสอบเทียบระหว่างเครื่องวัดแบบเรดิโอมิเตอร์กับเครื่องรับสัญญาณนำร่องจากดาวเทียม

ค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นจากตลอดแนวของการแพร่กระจายของคลื่นสำหรับอุปกรณ์ของเรดิโอมิเตอร์เป็นค่าการลดทอนที่เกิดในอุดมคติเท่านั้น ยังไม่คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดจากงานสายอากาศ และสัญญาณอื่นที่เข้ามาทางงานสายอากาศ เช่น สัญญาณรบกวนจากพื้นดินหรือสัญญาณรบกวนจากกลุ่มดาวต่าง ๆ ส่วนอุณหภูมิสัญญาณรบกวนจากดวงอาทิตย์ หรือดวงจันทร์สามารถแก้ไขได้

ผลกระทบที่เกิดจากงานรับสัญญาณเนื่องจากในทิศทางของงานรับสัญญาณประกอบด้วย Main lobe และ Side lobe จึงทำให้งานสายอากาศรับสัญญาณรบกวนเข้ามาในทุกทิศทางส่วนของ Main lobe นอกจากการรับสัญญาณรบกวนที่แพร่ออกจากกลุ่มฝน T_r แล้วส่วนหนึ่งจะไปรับสัญญาณรบกวนจากกลุ่มดาวต่าง (Sky Temperature) T_{sp} เข้ามาด้วย ส่วนของ Side lobe นั้นมีโอกาสจะไปรับค่าอุณหภูมิรบกวนจากพื้นดิน (Earth Temperature) T_g เข้ามาด้วย

เมื่อกำหนดให้อัตราส่วนของ Main lobe ของงานสายอากาศมีค่าเท่ากับ X ดังนั้นสัดส่วนในทิศทางของ Side lobe จึงเท่ากับ $1-X$ (X มีค่าประมาณ 0.9) ดังนั้นอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่งานสายอากาศที่รับได้ (Antenna temperature) T_a ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_a = XT_r + XT_{sp} + (1 - X)T_g \quad (2.9)$$

ในขณะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งไม่มีฝนตก (Clear Sky Temperature) T_{cs} ค่าอุณหภูมิ สัญญาณรบกวนที่มาจากกลุ่มดาวต่าง ๆ รวมกับค่าอุณหภูมิที่มาจากพื้นดินรวมแล้วประมาณ 30 K สามารถเขียนเป็นสมการ

$$T_{cs} = XT_{sp} + (1 - X)T_g \quad (2.10)$$

เมื่ออุณหภูมิที่แพร่กระจายออกมาจากกลุ่มฝนตามสมการ(2.1) จะได้

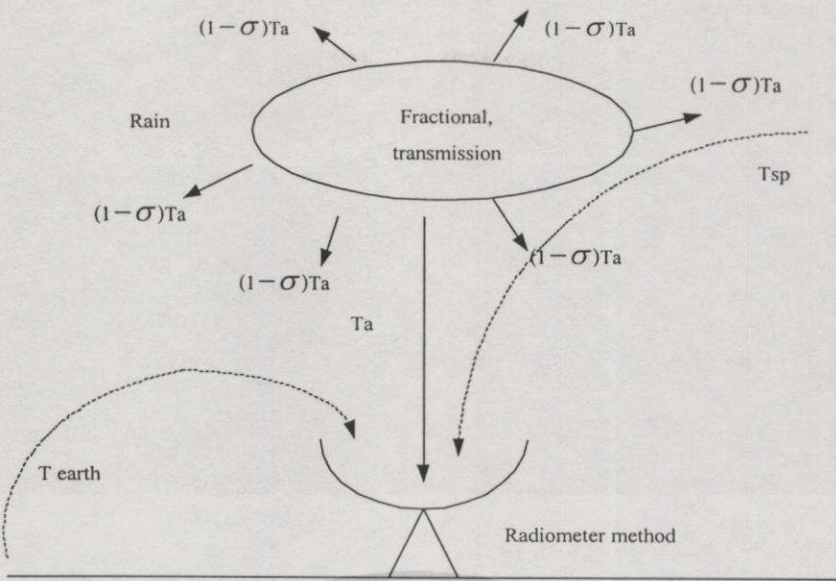
$$T_a = X(1 - \sigma)T_M + T_{cs} \quad (2.11)$$

จากค่าการลดทอนในอุดมคติในสมการที่(2.4) เมื่อนำผลของงานสายอากาศเข้ามารวมด้วย จะได้สมการใหม่ที่ใช้ในการหาค่าการลดทอน

$$A = 10 \text{Log} \left[\frac{T_M - T_{cs}}{T_M - T_a} \right] \quad (2.12)$$

หากงานสายอากาศสามารถรับอุณหภูมิที่แพร่ออกมาจากตัวกลางเข้ามาอยู่ในทิศทางของงานสายอากาศได้หมดทั้ง Main lobe และ Side lobe โดยที่ไม่มีอุณหภูมิอื่นเข้ามาจะทำให้ T_a มีค่าเท่ากับ T_r ตรงตามค่าอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การวัดสัญญาณอุณหภูมิรบกวนด้วยเครื่องรับเรดิโอมิเตอร์

รูปที่ 2.6 เป็นการอธิบายอีกแนวทางหนึ่งในการที่จะทำความเข้าใจในหลักการของเรดิโอมิเตอร์ได้ง่ายขึ้น โดยมีเครื่องรับแบบเรดิโอมิเตอร์ที่มีการรับสัญญาณรบกวนเข้ามาทางจานเสาอากาศในหลายทิศทางดังนั้นในการคำนวณจะต้องแยกสัญญาณรบกวนอื่น ที่ไม่ใช่สัญญาณรบกวนที่เกิดจากกลุ่มฝนออก และสมการหาค่าการลดทอนสามารถหาได้ดังนี้

$$T_a = X \left\{ T_M \left(\frac{L-1}{L} \right) + \frac{T_{sp}}{L} \right\} + (1-X) T_{earth} \quad (2.13)$$

T_a คือ อุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่ตัวกลางแพร่ออกมาและสามารถรับได้ด้วยจานเสาอากาศของอุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์

L คือ ค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสีย (Loss factor)

T_M คือ อุณหภูมิทางกายภาพของตัวกลาง (K)

X คือ อัตราส่วนของการรับสัญญาณจาก Main Lobe

$1-X$ คือ อัตราส่วนของการรับสัญญาณจาก Side Lobe

T_{earth} คือ อุณหภูมิโลก (K)

T_{sp} คือ สัญญาณรบกวนที่เกิดจากกลุ่มดาวบนท้องฟ้า เมฆ หมอก และก๊าซ ต่างๆ

ในขณะที่ไม่มีฝนตกท้องฟ้าปลอดโปร่งค่าการสูญเสีย (Loss) ที่เกิดจากฝนจึงไม่เกิด ($L=1$) อุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่รับได้ (T_a) จึงเท่ากับอุณหภูมิสัญญาณรบกวนขณะไม่มีฝนตกท้องฟ้าปลอดโปร่ง (T_{cs}) ดังนั้นเขียนสมการใหม่เป็น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_{cs} = X\left(\frac{T_{sp}}{L}\right) + (1-X)T_{earth} \quad (2.14)$$

สำหรับอุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์ ขณะรับสัญญาณรบกวนเมื่อห้องฟ้าปลอดโปร่งไม่มีฝนตกจะมีสัญญาณรบกวนเล็กน้อยที่เข้ามาทางลำคลื่นทางด้านหน้าของจานสายอากาศ เช่น ใอน้ำ และสัญญาณรบกวนจากกลุ่มดาว นอกจากนี้ยังสัญญาณรบกวนจากพื้นดินที่เข้ามาทางคลื่นด้านข้าง ซึ่งถ้ารวมปัจจัยทั้งสองทางแล้วจะมีค่าประมาณ 30 K ในย่านความถี่สูงค่า สัญญาณรบกวนที่เกิดจากกลุ่มดาวเมฆและหมอกจะไม่ค่อยมีผลต่อสัญญาณมากนักแต่จะมีผลต่อย่านความถี่ต่ำ เมื่อแทนสมการ (2.14) ลงในสมการ (2.13) จะได้

$$T_a = X\left\{T_M\left(\frac{L-1}{L}\right)\right\} + T_{cs} \quad (2.15)$$

ในขณะที่มีฝนตกค่าการสูญเสียจะเพิ่มขึ้น ($L \gg 1$) ทำให้ T_a เข้าใกล้ T_M มากขึ้นจัดรูปสมการใหม่ให้ $T_a = T_M$ จะได้

$$T_M = XT_M + T_{cs} \quad (2.16)$$

แทนค่า $XT_M = T_M - T_{cs}$ ในสมการ (2.15) จะได้

$$T_a = (T_M - T_{cs})\left(\frac{L-1}{L}\right) + T_{cs} \quad (2.17)$$

จัดสมการใหม่

$$T_a - T_{cs} = (T_M - T_{cs})\left(\frac{L-1}{L}\right) \quad (2.18)$$

จัดสมการที่ (2.18) ให้อยู่ในรูปอัตราส่วนค่าการสูญเสีย (Loss factor) F

$$L = \left(\frac{T_M - T_{cs}}{T_M - T_a}\right) \quad (2.19)$$

ดังนั้นจึงสามารถกำหนดค่าการลดทอนได้ดังสมการที่ (2.20) เมื่อ A คือค่าการลดทอนของสัญญาณ

$$A = 10 \text{Log} \left(\frac{T_M - T_{cs}}{T_M - T_a} \right) \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ความเที่ยงตรงในการรับสัญญาณ

ความแม่นยำ ของการวัดด้วยอุปกรณ์พาสซีฟเรดิโอมิเตอร์ จะถูกจำกัดอยู่ในช่วงประมาณ 1dB ซึ่งค่าความแม่นยำจะลดลงตามค่าการลดทอนที่เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การวัดด้วยอุปกรณ์แอคทีฟเรดิโอมิเตอร์ จะอยู่ในช่วงประมาณ 15 dB โดยค่าความแม่นยำของการศึกษาด้วยอุปกรณ์เรดิโอมิเตอร์แบบพาสซีฟ ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าอุณหภูมิ T_M ของตัวกลางและจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและสภาพภูมิประเทศ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 275 ถึง 285 K สำหรับในภูมิภาคเขตร้อนในแถบเส้นศูนย์สูตร T_M จะมีค่าเท่ากับ 280 K

ตามรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 เมื่ออุณหภูมิ T_a สูงขึ้นจะทำให้ค่าการลดทอนเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และเมื่อพิจารณาที่ค่าอุณหภูมิ T_M ต่างๆ กัน จะเห็นว่าขณะที่อุณหภูมิ T_a เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้เห็นถึงค่าการลดทอนที่เบี่ยงเบนเพิ่มมากขึ้น จากสมการที่ 2.12 เมื่ออุณหภูมิ T_{CS} เท่ากับ 30K และอุณหภูมิ T_M เท่ากับ 275K, 280K, 285K, 290K ตามลำดับ จะทำให้ทราบถึงค่าความผิดพลาดสูงสุดของการลดทอนได้ ซึ่งจะเห็นว่าที่การลดทอนเพิ่มขึ้นจะมีผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงตามไปด้วย

สำหรับค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องวัดอัตราการตกของฝน เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา

1. ความคลาดเคลื่อนจากระยะห่างของการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการตกของฝน เนื่องจากการวัดปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาทางการแพร่ของคลื่นนั้นไม่สามารถจะติดตั้งเครื่องวัดอัตราการตกของฝนตลอดแนวของระยะทั้งหมดดังนั้นจึงมีโอกาสที่ฝนอาจจะตกในตำแหน่งที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องวัดอัตราการตกของฝน จึงทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่จะนำมาคำนวณหาค่าการลดทอนได้

2. ความคลาดเคลื่อนจากการทำงานของเครื่องวัดอัตราการตกของฝนที่เป็นแบบคานโยก (Tipping bucket) มีการทำงานทางกลศาสตร์จะทำให้คานกระดกไม่สามารถตอบสนอง การตกของฝนที่อัตราการตกต่ำ ๆ และที่อัตราการตกของฝนสูงๆ ได้ดีเท่าที่ควรทำให้คลาดเคลื่อนได้

2.5 หลักการทำงานเครื่องรับเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์

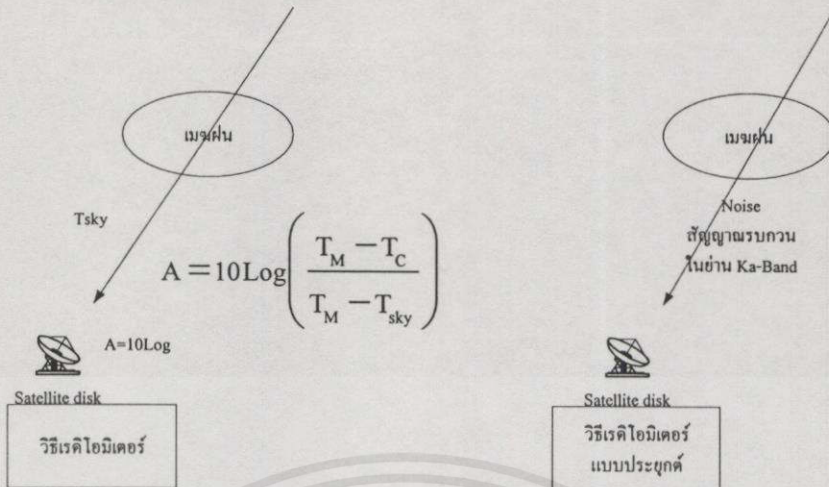
ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นวิธีเรดิโอมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปตามสมการ

$$A = 10 \log \left(\frac{T_M - T_C}{T_M - T_{sky}} \right) \quad \text{เราสามารถหาค่าการลดทอนของสัญญาณจากการวัด } T_{sky} \text{ ของ}$$

บรรยากาศตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงกับค่า T_{sky} แต่วิธีการเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์นี้จะเปลี่ยนจากการวัดค่า T_{sky} มาเป็นการหาความเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนที่อยู่ในบรรยากาศย่านความถี่ Ka-Band ซึ่งจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 สภาวะคือ สภาวะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกรหัสห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky) และขณะมีฝนตก (Rain) ทั้งสองสภาวะมีความสัมพันธ์กันในเชิง
ด้านพลังงานรบกวนที่ส่งออกกลุ่มเมฆฝน



รูปที่ 2.7 ความแตกต่างระหว่างวิธีเรดิโอมิเตอร์กับวิธีเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์

สภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง เป็นภาวะที่สภาพท้องฟ้าไม่มีเมฆฝน ทิศนวิสัยดี สามารถมองเห็นได้ไกลประมาณ 3-4 กิโลเมตร หรือสังเกตได้จากเครื่อง Metrological โดยดูจากความชื้นสัมพันธ์ ความเร็วลม การแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ เป็นภาวะที่สัญญาณรบกวนที่อยู่ในบรรยากาศมีระดับคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากเนื่องจากไม่มีปัจจัยในการเพิ่มระดับของสัญญาณรบกวนในบรรยากาศ ซึ่งจะใช้เป็นสัญญาณรบกวนอ้างอิงสมการที่(2.21)เป็นสมการพลังงานสัญญาณรบกวนในขณะท้องฟ้าปลอดโปร่ง

$$N_{(Clearsky)} = K T_B B \quad (2.21)$$

$N_{(Clear sky)}$ = สัญญาณรบกวนในขณะท้องฟ้าปลอดโปร่ง

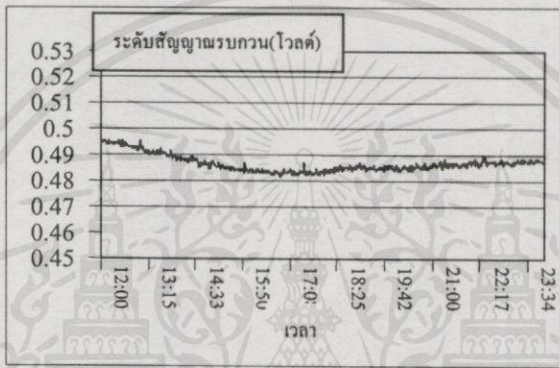
K = Boltz man constant

T_B = อุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่รอบงานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การรับสัญญาณรบกวนในบรรยากาศในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างระดับสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง

สภาวะฝนตก ท้องฟ้ามีเมฆฝนจะมีการคายพลังงานรบกวนออกมากลุ่มเมฆฝน ทำให้ระดับสัญญาณรบกวนจะมีค่าสูงขึ้นกว่าระดับสัญญาณรบกวนอ้างอิงขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนและระยะเวลาการตกในพื้นที่

$$N_{rain} = KT_B B + \left(1 - \frac{1}{L}\right) KT_M B \tag{2.22}$$

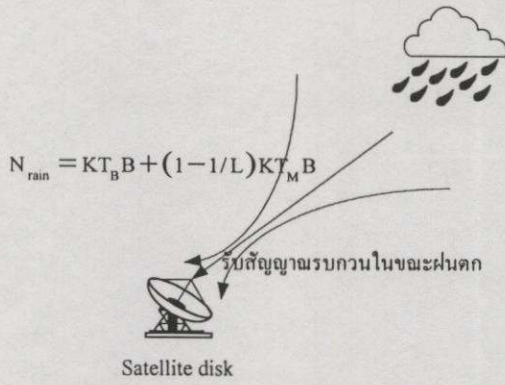
N_{rain} = สัญญาณรบกวนในขณะที่ฝนตก

L = ค่าการสูญเสีย (Loss factor)

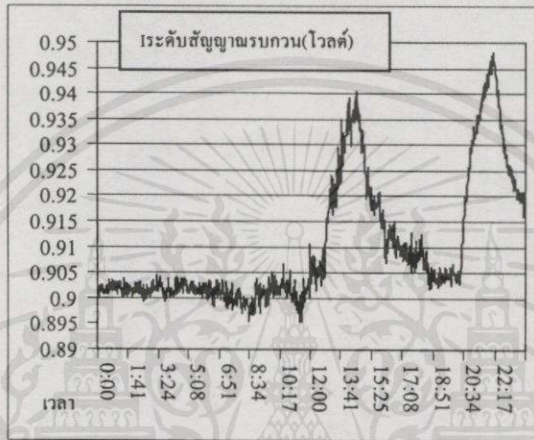
$T_M = 1.12 Tg - 50$

Tg = อุณหภูมิรอบงานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การรับสัญญาณในสภาวะฝนตก



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างระดับสัญญาณรบกวนในสภาวะฝนตก

จากสมการที่(2.22) ในส่วนของ $K T_B B$ เป็นการอ้างอิงระดับสัญญาณรบกวนก่อนที่ฝนจะตก ส่วนเทอมของ $\left(1 - \frac{1}{L}\right) K T_M B$ เป็นส่วนที่มาจากคายพลังงานของกลุ่มเมฆฝนในขณะฝนตก ซึ่งในสมการนี้จะมีค่าการสูญเสีย L เป็นตัวที่ช่วยบอกว่ามีการสูญเสียพลังงานไปเท่าไรในเหตุการณ์หนึ่งครั้ง จากสมการทั้ง 2 สภาวะจะเห็นว่าความแตกต่างกับสมการเรดิโอมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่จึงพิสูจน์สมการของทั้งสองสภาวะกับสมการเรดิโอมิเตอร์เดิมที่ใช้กันอยู่

T_{sky} = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในบรรยากาศตามการคายและดูดพลังงานของกลุ่มก้อนเมฆ (Sky Noise Temperature)

T_C = อุณหภูมิรบกวนที่มาจากดาว (Cosmic Temperature)

T_M = อุณหภูมิรบกวนสายอากาศ (Medium Temperature)

L = ค่าการสูญเสียอันเนื่องมาจากฝน (Loss Factor) เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของกรมการศึกษานอกโรงเรียน กระทรวงศึกษาธิการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

K = Boltz's man Constant $1.38 \cdot 10^{-23}$ ไม่ทำการตีพิมพ์ซ้ำ ลิขสิทธิ์ห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

B = แบนด์วิธของเครื่องรับ

$$N = KT_{sky} B = KT_{sky} B + \frac{KT_c B}{L} + \left[1 - \frac{1}{L}\right] KT_M B$$

$$KT_{Ssky} B = KT_{sky} B + \frac{KT_c B}{L} + \left[1 - \frac{1}{L}\right] KT_M B$$

$$T_{sky} - T_M = \frac{T_c - T_M}{L}$$

$$L = \frac{T_c - T_M}{T_{sky} - T_M}$$

$$L = \frac{T_M - T_c}{T_M - T_{sky}}$$

จาก

$$A = 10 \text{Log} L$$

$$A = 10 \text{Log} \left[\frac{T_M - T_c}{T_M - T_{sky}} \right]$$

จากการพิสูจน์ทำให้ทราบถึงความถูกต้องของสมการของสองสถานะซึ่งให้ค่าสุดท้ายเช่นเดียวกับสมการเรดิโอเมเตอร์ที่ใช้กันทั่วไป ซึ่งจะทำการหาค่าการลดทอนของวิธีเรดิโอเมเตอร์แบบประยุกต์ต่อไป จากสมการที่ (2.21)

$$N_{clearsky} = KT_B B$$

สามารถหาค่า T_B จาก

$$T_B = \frac{N_{clearsky}}{KB} \quad (2.23)$$

และจากสมการที่ (2.22)

$$N_{rain} = KT_B B + \left(1 - \frac{1}{L}\right) KT_M B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ต้องการที่จะหาค่า L ซึ่งเป็นค่าการสูญเสียเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left[1 - \frac{1}{L} \right] = \frac{N_{rain} - K T_B B}{K T_M B}$$

$$\frac{1}{L} = 1 - \left[\frac{N_{rain} - K T_B B}{K T_M B} \right]$$

$$L = \frac{1}{1 - \left(\frac{N_{rain} - K T_B B}{T_M K B} \right)}$$

แทนค่า T_B ลงในสมการ

$$L = \frac{1}{1 - \left(\frac{N_{rain} - K \left(\frac{N_{clearsky}}{K B} \right) B}{T_M K B} \right)}$$

$$L = \frac{1}{1 - \left(\frac{N_{rain} - N_{clearsky}}{T_M K B} \right)}$$

$$L = \frac{1}{1 - \left(\frac{\Delta N}{T_M K B} \right)} \tag{2.24}$$

จากสมการที่(2.24) จะได้ค่าการสูญเสียทำให้สามารถหาค่าการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ Ka-Band ได้จากสมการ $A = 10 \text{Log} L$

$$A = 10 \text{Log} L$$

แทนค่า L ในสมการ

$$A = 10 \text{Log} \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{\Delta N}{T_M K B} \right)} \right) \tag{2.25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า A ที่ได้จากสมการที่(2.25) เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ที่หาได้จากการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band ทั้งสองสถานะซึ่งอาศัยหลักการของเรดิโอมิเตอร์แต่ได้เปลี่ยนแปลงสมการ โดยการเปลี่ยนมาพิจารณาสัญญาณรบกวนรบกวนของคลื่นสัญญาณที่อยู่ในบรรยากาศแทนการพิจารณาค่า T_{sky}

ค่าการลดทอนที่สามารถคำนวณมีค่าเหมือนกับค่าการลดทอนที่หาได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมนำร่องที่ส่งมาจากดาวเทียมจึงนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่นอกเขตการให้บริการมีขอบเขตการยอมรับอยู่ที่ 10dB ซึ่งจะน้อยกว่าการลดทอนที่วัดโดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

คุณลักษณะและระบบของการเกิดฝน

การลดทอนและการเปลี่ยนแปลงโพลาริเซชันที่เป็นผลมาจากบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ จะถูกพิจารณาสาเหตุจากคุณลักษณะของฝนทั้งในเชิงมหภาคและจุลภาค คุณลักษณะเชิงมหภาค ได้แก่ ขนาด การกระจายและการเคลื่อนที่ของกลุ่มฝน ความสูงระดับชั้นที่กลายเป็นไอ (melting layer) และปริมาณเก็คน้ำแข็งที่เกิดขึ้น คุณลักษณะเชิงจุลภาค ได้แก่ การกระจายของขนาดหยดฝน ความหนาแน่นและความเป็นทรงกลมแบนขั้วของทั้งหยดฝนและเกร็ดน้ำแข็ง ผลกระทบโดยรวมทั้งสองคุณลักษณะนี้นำไปสู่ค่าการแจกแจงสะสมของค่าการลดทอน โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณลักษณะและกระบวนการที่ก่อให้เกิดฝนขึ้นในภาพรวมดังนี้

3.1 กระบวนการการเกิดน้ำฟ้า

น้ำฟ้า (Precipitation) เกิดจากการรวมตัวของเม็ดเมฆ (Cloud droplet) ซึ่งมีขนาดเล็กมาก 0.1-0.2 มิลลิเมตร หรือ 10-20 ไมครอน จำนวนเป็นล้านเม็ดเพื่อกลายเป็นหยดฝนตกลงสู่พื้นดิน ฉะนั้นน้ำฟ้าจึงหมายถึงอนุภาคที่เป็นน้ำ หรือน้ำแข็งที่ตกจากฟ้าลงสู่ดิน ได้แก่ ฝน หิมะ และลูกเห็บ การเกิดน้ำฟ้าพิจารณาจากสาเหตุและกระบวนการเกิดได้ดังนี้

3.1.1 กระบวนการรวมตัวของหยดน้ำขนาดเล็ก

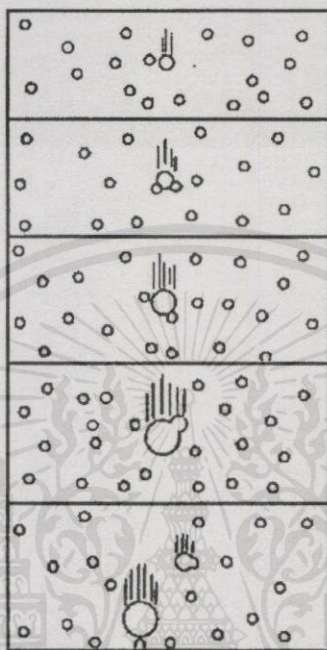
(Collision – Coalescence Process)

หยดน้ำในเมฆจะมีขนาดแตกต่างกันหลายขนาด หยดน้ำขนาดใหญ่จะมีอัตราความเร็วมากกว่าหยดน้ำขนาดเล็ก เมื่อวิ่งชนกัน ก็จะดึงหยดน้ำขนาดเล็กมารวมกันเป็นหยดน้ำเดียวกัน เมื่อมีขนาดใหญ่มากก็อาจแยกออกเป็นหยดน้ำขนาดกลาง มีการวิ่งชนกันกลายเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่ขึ้น กระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่องเรื่อยๆจนได้หยดฝนจำนวนมากตกลงจากเมฆ ลักษณะเช่นนี้จะเกิดจากเมฆที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0°C เป็นเมฆอุ่นจึงเรียกน้ำฟ้าที่เกิดจากเมฆชนิดนี้ว่าเป็น น้ำฟ้าจากเมฆอุ่น (Warm-cloud precipitation) มักเกิดในแถบโซนร้อน

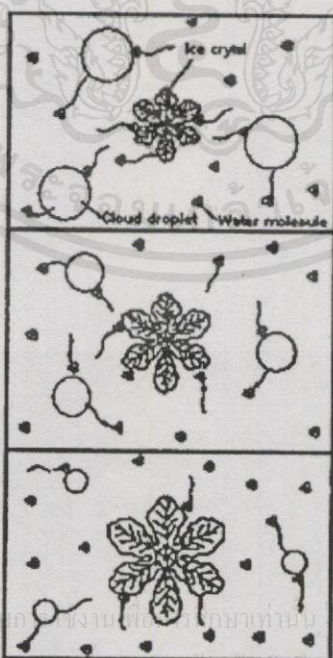
3.1.2 กระบวนการเบอร์เจอร์อน (Bergeron Process)

กระบวนการนี้เกิดขึ้นในเมฆเย็นซึ่งประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง น้ำที่มีความเย็นอาจมีอุณหภูมิต่ำกว่า -40°C เรียกว่าน้ำซูเปอร์คูล (Supercool water) หยดน้ำซูเปอร์คูลนี้มีการรวมตัวกับผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความกดไอน้ำอิ่มตัวมีค่าน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นอากาศอิ่มตัวจึงต้องมีการอิ่มตัวยิ่งขึ้น (Supersaturate) ในหยดน้ำแข็งจึงมีการควบแน่นบนน้ำแข็งและทำให้ผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้น ขณะเดียวกันหยดน้ำมีการระเหย ผลึกน้ำแข็งโตพอที่จะตกจากเมฆเป็นหิมะ

แต่ถ้าอุณหภูมิของบรรยากาศสูงกว่า 0°C ก็อาจเป็นฝนได้ การเกิดน้ำฟ้าแบบนี้เกิดจากเมฆเย็น จึงเรียกว่าน้ำฟ้าจากเมฆเย็น (Cold-cloud precipitation) มีนักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการค้นพบกระบวนการนี้ 3 ท่านคือ อัลเฟรด เวกเนอร์ (Alfred Wegener) ฟินเดเซน (Findezen) และ เบอร์เจอร์รอน (Bergeron) บางครั้งจึงเรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการเวกเนอร์-เบอร์เจอร์รอน-ฟินเดเซน (Wegener- Bergeron-Findezen)



รูปที่ 3.1 กระบวนการชนกันและการรวมตัวของหยดน้ำขนาดเล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 กระบวนการเบอร์เจอร์รอน

3.2 ประเภทของน้ำฟ้า

น้ำฟ้าในบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะตรวจพบเฉพาะฝนและลูกเห็บเล็กน้อย ส่วนบริเวณทางเหนือและใต้ของเส้นสูตรศูนย์นอกจากฝนและลูกเห็บแล้วยังจะพบหิมะ ฝน น้ำแข็งและอื่น ๆ อีกด้วย

3.2.1 ฝน (Rain)

เป็นน้ำฟ้าที่อยู่ในสถานะของเหลว เป็นรูปหยดน้ำที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-7 มิลลิเมตร มีความเร็วมากกว่า 10 ฟุต/วินาที หยดน้ำที่มีขนาดใหญ่จะเกิดจากเมฆ (Cumuliform) ที่มีความหนาหลายกิโลเมตร สามารถแบ่งย่อยเป็น 3 ประเภทคือ ฝนชนิดเบา (Light rain) ฝนชนิดปานกลาง (Moderate rain) ฝนชนิดหนัก (Heavy rain)

3.2.2 ฝนละออง (Drizzle)

เป็นน้ำฟ้าที่ประกอบด้วยหยดน้ำขนาดเล็กมากอยู่ชิดกันอย่างเป็นระเบียบ ขนาดหยดมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร มักเกิดจากเมฆแผ่น (Stratiform) ซึ่งหนาถึงสามร้อยเมตร ถ้ากระแสอากาศไหลขึ้นอ่อนมาก ฝนละอองก็จะตกถึงพื้นและตกเป็นบริเวณกว้าง

3.2.3 ลูกเห็บ (Hail)

เป็นก้อนน้ำแข็งมักจะไม่ใช่มองเห็นเป็นฝ่ำขาวๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-50 มิลลิเมตร หรือบางครั้งอาจมีขนาดใหญ่กว่านี้ ลูกเห็บที่ตกลงสู่พื้นดินเกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัสซึ่งมีขนาดใหญ่ก่อตัวสูงมาก ลูกเห็บมักเกิดขึ้นบ่อยในระหว่างพายุฟ้าคะนอง ลูกเห็บจะตกลงมาถึงพื้นดินต้องผ่านอากาศหลายกิโลเมตรที่อุณหภูมิสูงกว่า 0°C อาจทำให้ลูกเห็บละลายก่อนถึงพื้นดิน จึงไม่ค่อยตรวจพบลูกเห็บในบริเวณเส้นศูนย์สูตร

3.2.4 หิมะ (Snow)

เป็นน้ำฟ้าที่อยู่ในรูปผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) ส่วนมากมีรูปร่างเป็นกึ่งหรือแขนง หรือรูปดาว ผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยมเกิดจากการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

ผลึกรูปกึ่งหรือแขนงปะปนกับผลึกที่ไม่เป็นรูปกึ่งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -5°C ผลึกรวมเข้ากันเป็นก้อนเรียก เกร็ดหิมะ (Snowflake)

3.2.5 เกล็ดหิมะ (Snow Grain)

เป็นเมล็ดน้ำแข็งขนาดเล็กมาก มีสีขาวทึบแสงอาจจะแบนหรือยาวเรียว ขนาดโดยทั่วไปมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2-5 มิลลิเมตร เปราะร่วม โดยปกติถ้าอุณหภูมิจากอากาศมีค่าประมาณ 0°C มักเกิดฝนชู่วร่วมกับเกล็ดหิมะหรือฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ไอซ์เพลทเลท (Ice pellet)

เป็นก้อนน้ำแข็งโปร่งใสหรือโปร่งแสง รูปร่างกลมหรือรูปกรวยหรือไม่แน่นอน มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร มักกระดอนเมื่อกระทบกับพื้นและมีเสียงดังประกอบด้วยฝนที่กลายเป็นน้ำแข็ง หรือเกล็ดหิมะที่ละลายตัวแล้วแข็งใหม่ มักเกิดขึ้นใกล้ผิวโลกหรือก้อนกลมของหิมะที่มีชั้นบาง ๆ ของน้ำแข็งห่อหุ้มไว้

3.2.7 ไอซ์ปริซึม (Ice prism)

เป็นผลึกน้ำแข็งที่ไม่เป็นกึ่งก้าน แต่เป็นรูปเข็มเป็นลำ เป็นแผ่นขนาดเล็กมากจนสามารถแขวนลอยในอากาศได้ ผลึกเหล่านี้อาจตกลงมาจากเมฆหรือท้องฟ้าที่ไม่มีเมฆก็ได้สามารถมองเห็นได้เมื่อสะท้อนแสงอาทิตย์ แสงวาวแวบแบบผงเพชรจึงเรียกว่า ผุ่นเพชร (diamond dust) ปรากฏการณ์แบบนี้มักจะเกิดในแถบขั้วโลกขณะที่อุณหภูมิของอากาศต่ำมาก และมวลอากาศมีเสถียรภาพ

3.2.8 มวลอากาศ

มวลอากาศ (Air mass) หมายถึงอากาศก้อนเดียวกันที่มีสมบัติเหมือนกันพื้นที่ปกคลุมอยู่และอยู่ในระดับเดียวกัน ภายในมวลอากาศมีอุณหภูมิและความชื้นเดียวกัน มวลอากาศอาจมีขนาดใหญ่มากครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1600 ตารางกิโลเมตร หนาหลายกิโลเมตร สิ่งที่ควบคุมคุณสมบัติของมวลอากาศได้แต่รังสีดวงอาทิตย์และลักษณะภูมิประเทศ มวลอากาศที่มีแหล่งกำเนิดเหนือทวีปจะมีสมบัติแตกต่างจากมวลอากาศในละติจูดสูง บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงความกดอากาศต่ำ มวลอากาศจะลอยตัวสูงขึ้นเสมอ ทำให้มวลอากาศไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนในบริเวณนี้ ส่วนบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำความกดอากาศสูงมวลอากาศจะอยู่รวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ จึงกล่าวได้ว่ามวลอากาศมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงแล้วจึงเคลื่อนตัวออกจากบริเวณเดิมเสมอ ในการแบ่งมวลอากาศจะแบ่งตามแหล่งกำเนิดในละติจูดนั้นเป็นชื่อมวลอากาศแบ่งเป็น 4 ประเภทคือ

1. มวลอากาศขั้วโลก (Polar air mass : P)
2. มวลอากาศอาร์ติกหรือแอนตาร์ติก (Arctic air mass or Antarctic air mass)
3. มวลอากาศโซนร้อน (Tropical air mass)
4. มวลอากาศแถบเส้นศูนย์สูตร (Equatorial air mass)

และมีการแบ่งย่อยตามแหล่งกำเนิดเหนือมหาสมุทร (Maritime air mass:m) เป็นมวลอากาศความชื้นสูง ส่วนมวลอากาศที่มีแหล่งกำเนิดเหนือทวีป (Continental air mass) เป็นมวลอากาศแห้ง เช่น มวลอากาศขั้วโลกเหนือมหาสมุทร:mp มวลอากาศโซนร้อน:ct เป็นต้น มวลอากาศมีการเคลื่อนที่จากแหล่งกำเนิดเสมอ เมื่อเคลื่อนที่ไปบริเวณใหม่อุณหภูมิและความชื้นจะเปลี่ยนไปตามลักษณะของบริเวณใหม่ที่มวลอากาศปกคลุม ถ้ามวลอากาศเคลื่อนที่ไปที่ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณเดิมและทำให้มวลอากาศบริเวณใหม่มีอุณหภูมิสูงไปด้วยเป็นมวลอากาศอุ่น (Warm air

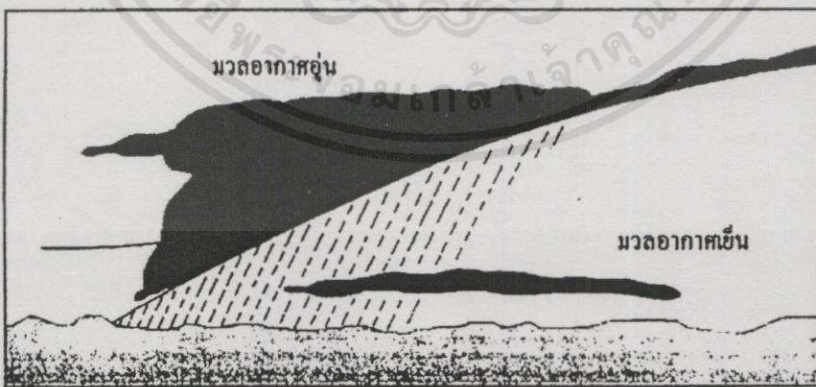
mass:w) เมื่อมวลอากาศเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดไปยังบริเวณใหม่ มวลอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะและภูมิประเทศของบริเวณใหม่ และต่อมาจะกลายเป็นมวลอากาศใหม่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม โดยการเปลี่ยนแปลงจะเริ่มจากระดับต่ำๆ ก่อนแล้วมวลอากาศใหม่ที่มีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิมโดยการเปลี่ยนแปลงระดับต่ำๆ ก่อนแล้วมวลอากาศจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของมวลอากาศลักษณะและภูมิประเทศของบริเวณใหม่ และความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของมวลอากาศเดิมกับอุณหภูมิของบริเวณใหม่

3.3 แนวปะทะ (Front)

หมายถึงบริเวณที่ติดต่อกันระหว่างมวลอากาศสองก้อน ซึ่งมีสมบัติแตกต่างกัน เมื่อมวลอากาศเย็นและมวลอากาศอุ่นพบกันจะเกิดแนวปะทะระหว่างมวลอากาศทั้งสอง โดยปกติมวลอากาศอุ่นซึ่งเบาและมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะอยู่มวลอากาศเย็น แนวปะทะมีความกว้างตั้งแต่ 60 กิโลเมตรขึ้นไป ส่วนใหญ่มีความกว้าง 150- 400 กิโลเมตร แนวปะทะเกิดจากระบบลมทำให้มวลอากาศเย็นจากบริเวณหนึ่งเบียดตัวเข้าหามวลอากาศอุ่นจากอีกบริเวณหนึ่งเช่นเดียวกับลมทำให้แนวปะทะสลายตัวได้แนวปะทะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

3.3.1 แนวปะทะอากาศอุ่น (warm front)

เกิดขึ้นเมื่อมวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้าแทนที่มวลอากาศเย็นกว่า แนวอากาศที่พบกันเรียกว่าแนวปะทะอุ่น มวลอากาศเย็นหนักและมีความหนาแน่นมากกว่าจะจมตัวอยู่เบื้องล่าง มวลอากาศอุ่นจึงยกตัวสูงขึ้นของมวลอากาศอุ่นในแนวตั้ง 1 หน่วย ทุก ๆ ระยะทางตามแนวนอน 100 หน่วย แนวปะทะอากาศอุ่นอาจมีความลาดชัน 1:80 หรือ 1:200 ก็ได้ อากาศมีเสถียรภาพจะเกิดเมฆแผ่น (Stratiform cloud) หน้าแนวปะทะต่อเนื่องกันถึงระดับสูง ระดับสูงจะเป็นเซอร์รัส ถัดลงมาจะเป็นเซอร์โรสเตรตัส อัลโตสเตรตัส สเตรตัส และ นิมโบสเตรตัส ตามลำดับ ทำให้ฝนเม็ดเล็กตกกระจายเป็นบริเวณกว้างกินเวลานาน

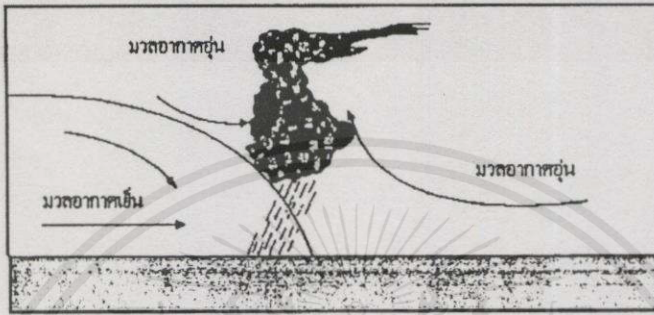


รูปที่ 3.3 แนวปะทะอากาศอุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 แนวปะทะอากาศเย็น (Cold front)

เกิดขึ้นเมื่อมวลอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าแทนที่มวลอากาศอุ่น มวลอากาศเย็นจะดันให้มวลอากาศอุ่นยกตัวสูงขึ้นตามแนวลาดเอียงของมวลอากาศเย็น แนวอากาศที่พบกันเรียกว่า แนวปะทะอากาศเย็นมีความชันมากกว่าแนวปะทะอากาศอุ่นคือประมาณ 1:50 แนวปะทะอากาศเย็นอาจมีความลาดชัน 1:40 ถึง 1:80 ก็ได้ อากาศอุ่นที่ยกตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเมฆก้อนได้แก่ เมฆคิวมูลัส และคิวมูโลนิมบัส อาจทำให้แปรปรวน เกิดฝนตกหนักเป็นบริเวณแคบ ๆ กินเวลาสั้น ๆ หรือเกิดพายุฟ้าคะนอง



รูปที่ 3.4 แนวปะทะอากาศเย็น

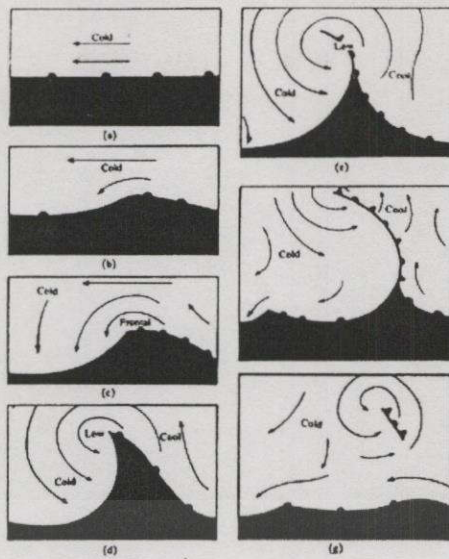
3.3.3 แนวปะทะอากาศคงที่ (Stationary front)

เกิดขึ้นเมื่อแนวปะทะอากาศไม่มีการเคลื่อนที่เป็นเวลาหลายชั่วโมง หรือหลายวันสลายตัวไปหรือมีการเคลื่อนที่อีกครั้งเป็นแนวที่มวลอากาศอุ่นมาพบกับมวลอากาศเย็น แต่ไม่มีการเคลื่อนที่เข้าแทนที่กัน แนวที่พบกันยังคงอยู่ที่เดิม จึงเรียกแนวปะทะอากาศคงที่

3.3.4 แนวปะทะอากาศรวม (Occluded front)

เกิดขึ้นเมื่อมวลอากาศพบกัน 3 แบบ คือมวลอากาศอุ่น มวลอากาศเย็น และมวลอากาศที่เย็นกว่าจะเกิดเป็นแนวปะทะอากาศรวมแบบเย็น และแนวปะทะอากาศอุ่น แนวปะทะอากาศรวม

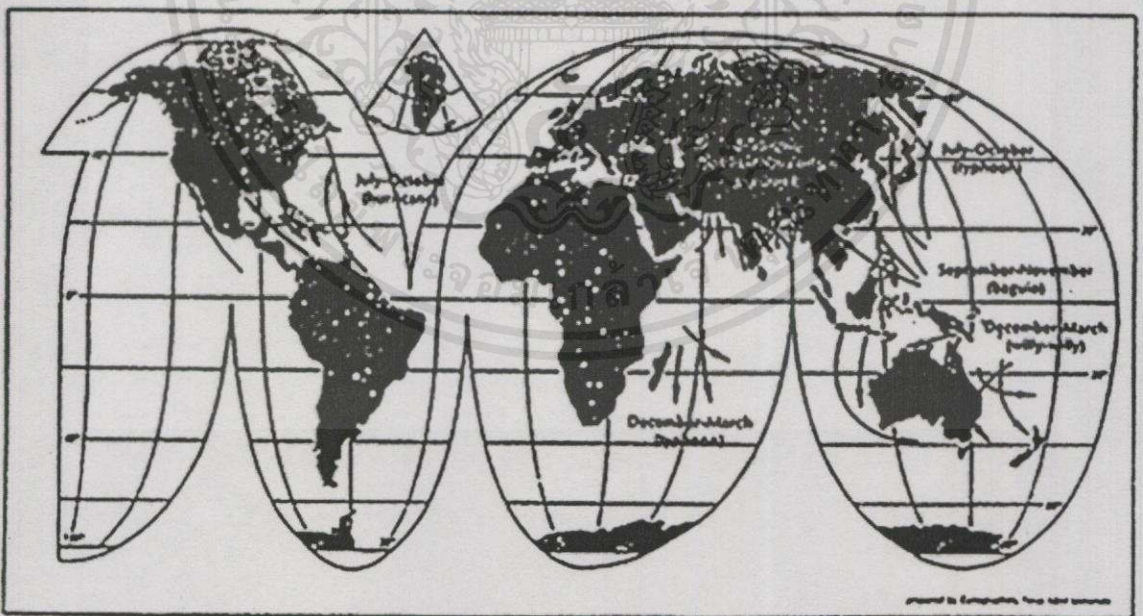
แบบเย็นเกิดขึ้นเมื่อมวลอากาศที่อยู่หลังแนวปะทะอากาศเย็น มีอุณหภูมิต่ำกว่ามวลอากาศที่อยู่ใต้แนวปะทะอากาศอุ่น ส่วนแนวปะทะอากาศรวมแบบอุ่นจะมีลักษณะต่างกันคือ มวลอากาศที่อยู่หลังแนวปะทะอากาศเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่ามวลที่อยู่ใต้แนวปะทะอากาศอุ่น



รูปที่ 3.5 วงจรชีวิตของคลื่นแนวปะทะอากาศ

3.4 พายุหมุน

พายุหมุนมีแหล่งกำเนิดจากบริเวณห่อความกดอากาศต่ำกำลังแรง ส่วนมากเกิดขึ้นเหนือทะเลและมหาสมุทรใกล้เส้นศูนย์สูตรบริเวณละติจูด 23 องศาเหนือและใต้ มีอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงกว่า 26 C ขึ้นไป และมีปริมาณไอน้ำสูง พายุนี้เกิดในทุกมหาสมุทร ยกเว้นมหาสมุทรแอนตาร์กติก ได้พายุหมุนทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกใต้ องค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้จัดประเภทพายุหมุนตามความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางของพายุคือ



รูปที่ 3.6 ตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของพายุที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. พายุดีเปรสชัน (Depression) เป็นพายุที่มีกำลังอ่อนที่มีความเร็วลมสูงสุดไม่เกิน 33 น็อต หรือ 63 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
2. พายุโซนร้อน (Tropical storm) เป็นพายุหมุนกำลังปานกลางที่มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลาง 34-63 น็อต หรือ 1.18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. พายุไต้ฝุ่น (Typhoon) เป็นพายุที่มีความรุนแรงที่สุด ที่มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางมากกว่า 64 น็อต ขึ้นไป หรือ 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

พายุหมุนที่เกิดในแต่ละบริเวณจะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันได้แก่ พายุหมุนที่เกิดในบริเวณอ่าวเบงกอลและมหาสมุทรอินเดีย เรียกว่า ไซโคลน (Cyclone) ซึ่งจะเกิดในช่วงเมษายนถึงมิถุนายน หรือตุลาคมถึงพฤศจิกายน พายุหมุนที่เกิดขึ้นในบริเวณมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือ ทะเลแคริบเบียน อ่าวเม็กซิโกเรียกว่า เฮอริริเคน (Hurricane) ซึ่งจะเกิดในช่วงกรกฎาคมถึงตุลาคม พายุหมุนที่เกิดขึ้นในหมู่เกาะฟิลิปปินส์เรียกว่าบาเกียว ซึ่งจะเกิดในช่วงกันยายนถึงพฤศจิกายน

การก่อตัวของพายุหมุนส่วนมากเกิดจากคลื่นตะวันออก (Easterly wave) หมายถึง บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก ส่วนมากในละติจูดต่ำประมาณ 5-20 องศาเหนือและใต้ อยู่นอกเขตเส้นศูนย์สูตรและไม่เคยตรวจพบพายุหมุนเกิดที่เส้นศูนย์สูตรเลย ประมาณ 65% ของพายุหมุนเกิดที่ละติจูด 10-20 องศาเหนือและใต้ ประมาณ 22% เกิดที่ละติจูด 3-10 องศาเหนือและใต้ และประมาณ 18% เกิดเหนือละติจูด 20 องศาเหนือและใต้ บริเวณนี้เป็นบริเวณโซนร้อนจึงมักเรียกพายุโซนร้อนหรือพายุเขตร้อนหรือไซโคลนในเขตร้อน ลักษณะที่สำคัญของพายุหมุนบริเวณใจกลางพายุเป็นบริเวณเล็กๆ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-50 กิโลเมตร เรียกว่าตาพายุเป็นเขตลมอ่อน อากาศค่อนข้างดี

พายุหมุนที่มีความเร็วสูงสุดที่เรียกว่าไต้ฝุ่นมีพลังงานมหาศาล ซึ่งเกิดจากพลังงานความร้อนแฝง ไอน้ำในทะเลกลั่นตัวเป็นน้ำก่อให้เกิดพายุฟ้าคะนอง ฝนตกหนัก ลมแรง คลื่นจัดและอุทกภัย พายุหมุนจะสลายตัวหรือลดความเร็วลมเมื่อเคลื่อนเข้าสู่ฝั่งทวีป ภูเขา หรือพบกับมวลอากาศเย็นทำให้พลังงานลดลงกลายเป็นพายุโซนร้อนหรือดีเปรสชัน

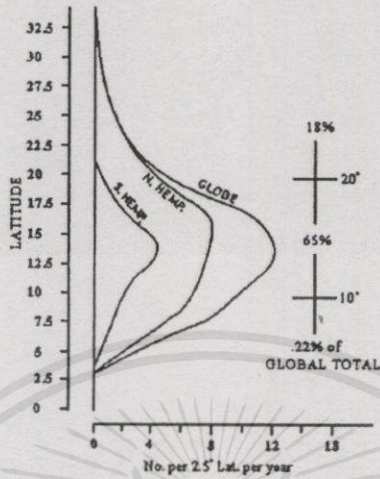
3.4.1 พายุฟ้าคะนอง

พายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm) เป็นลมกระโชกแรงเริ่มก่อตัวจากเมฆคิวมูลัส เมื่อก่อตัวสูงขึ้นเนื่องจากกระแสอากาศมีการขยายตัวขึ้นอย่างรุนแรงอากาศร้อนความชื้นสูงอากาศไร้เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข จึงทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้นๆ และขยายตัวใหญ่ขึ้นกลายเป็นเมฆคิวมูนิมบัส ซึ่งในที่สุดกลายเป็นเมฆที่ทำให้เกิดฟ้าแลบ ฟ้าร้อง แบ่งออกเป็น 3 ชั้นตอน คือ

3.4.1.1 ชั้นก่อตัว (Cumulus stage)

เมฆคิวมูลัสก้อนเล็กเริ่มขยายตัวมีกระแสอากาศไหลขึ้นจากฐานเมฆ ด้วยอัตราเร็วประมาณ 26 ฟุตต่อวินาที ภายในเมฆคิวมูลัสประกอบด้วยหยดน้ำขนาดเล็กมีการรวมตัวกันเป็นขนาดใหญ่ขึ้น

แล้วตกลงสู่เบื้องล่าง แต่กระแสอากาศทำให้หยคน้ำขนาดใหญ่แตกเป็นหยคน้ำขนาดเล็กอีกแล้ววกตัวสู่เบื้องบน ภายในก้อนเมฆคิวมูลัสต่ำ ๆ จึงประกอบด้วยหยคน้ำ ส่วนระดับสูงถึงระดับจุดเยือกแข็ง จะประกอบด้วยเกล็ดน้ำแข็งและหิมะ ชั้นนี้กินเวลาประมาณ 10-15 นาที

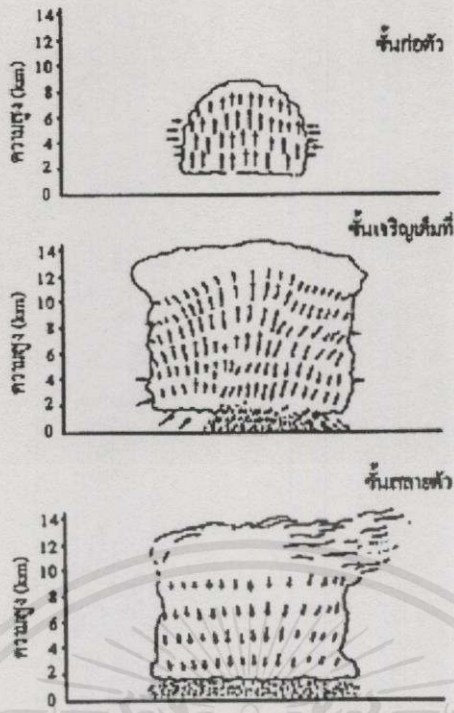


รูปที่ 3.7 อัตราส่วนร้อยละของจำนวนพายุหมุนที่ก่อตัวในละติจูดต่างๆ

3.4.1.2 ชั้นสลายตัว (Dissipating Stage)

ภายในคิวมูโลนิมบัส ไม่มีกระแสอากาศไหลขึ้น มีแต่กระแสอากาศไหลลงจากระดับต่ำถึงระดับสูง จนกระแสลมหยุดพัด ฝนและหิมะหยุดตก พายุฟ้าคะนองค่อย ๆ หดไป อุณหภูมิของก้อนเมฆก็ค่อย ๆ ปรับเท่ากับบริเวณใกล้เคียง อุณหภูมิสูงขึ้นทุกอย่างเข้าสู่สภาพปกติ กินเวลาประมาณ 30 นาที รวมเป็นเวลาของการเกิดพายุฟ้าคะนองนานประมาณ 1-2 ชั่วโมง การเกิดพายุฟ้าคะนองเกิดขึ้นได้ 3 ประเภทคือ พายุฟ้าคะนองเกิดจากมวลอากาศ พายุฟ้าคะนองเกิดจากแนวปะทะ และพายุฟ้าคะนองเกิดบริเวณภูเขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ชั้นตอนการเกิดพายุฟ้าคะนอง

พายุฟ้าคะนองเกิดจากมวลอากาศ เกิดขึ้นจากโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้พื้นดินรับความร้อนตาม อากาศเหนือพื้นดินจึงมีการยกตัวลอยสูงขึ้นเป็นเมฆคิวมูลัสและสามารถพัฒนากลายเป็นพายุฟ้าคะนองได้ ในตอนบ่ายและเย็น

พายุฟ้าคะนองเกิดจากแนวปะทะอาจเกิดจากแนวปะทะอากาศเย็น หรือแนวปะทะอากาศอุ่นก็ได้ ถ้าเกิดจากแนวปะทะอากาศเย็นจะมีลักษณะอากาศเย็นเคลื่อนที่เข้าไปใต้อากาศอุ่นตัวให้มวลอากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้นและเย็นตัวลงกลายเป็นพายุฟ้าคะนอง ถ้าเกิดจากแนวปะทะอากาศอุ่นจะมีลักษณะมวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่อยู่เหนือมวลอากาศเย็นทำให้มวลอากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้น เย็นตัวลงและขยายตัวกลายเป็นพายุฟ้าคะนองได้

พายุฟ้าคะนองเกิดบริเวณภูเขา เกิดจากการที่มวลอากาศยกตัวสูงขึ้นตามความลาดชันของภูเขา มวลอากาศจะเย็นลงตัวและขยายตัวออก กลายเป็นพายุฟ้าคะนอง ซึ่งมีความร้ายแรงกว่า 2 แบบที่กล่าว คือ เมฆจะก่อตัวแนวตั้งสูงมาก อากาศปั่นป่วนมาก

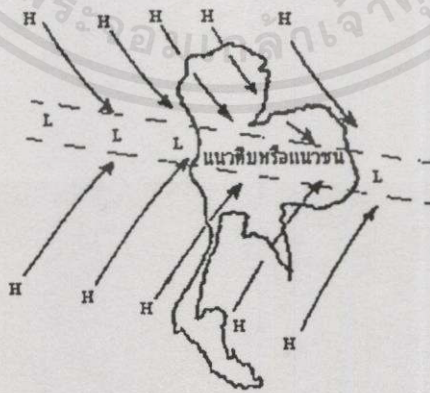
3.5 ร่องมรสุม (Monsoon Trough)

หมายถึงแนวความกดอากาศต่ำที่ทำให้เกิดฝน ซึ่งเป็นลักษณะอากาศของประเทศไทย แนวความกดอากาศต่ำนี้อยู่ในแนวตะวันตกและตะวันออก เป็นร่องที่อยู่ระหว่างความกดอากาศสูงทางเหนือและใต้ใกล้แถบศูนย์สูตร บางครั้งเรียกว่า แนวปะทะแห่งเขตร้อน (InterTropical Convergence Zone หรือ ITCZ) จึงมีลมพัดจากบริเวณความกดอากาศสูงทางเหนือและใต้เข้าสู่ร่องมรสุม ร่องมรสุมมีการเปลี่ยนตำแหน่งตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปทางเหนือ

ร่องมรสุมก็จะเคลื่อนที่ตามไปทางเหนือด้วย ตรงกันข้ามเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปทางใต้ร่องมรสุมก็จะเคลื่อนที่ตามไปทางใต้ด้วย การเคลื่อนที่ของร่องมรสุมจะไม่สูงเท่าละติจูดที่ดวงอาทิตย์อยู่ แต่ร่องมรสุมจะอยู่ใกล้แถบเส้นศูนย์สูตรตามหลังดวงอาทิตย์เสมอ การเคลื่อนที่ของร่องมรสุมทำให้บริเวณนั้นเปลี่ยนทิศทางการรับลมทันทีเช่น เมื่อร่องมรสุมเคลื่อนที่ไปทางเหนือ บริเวณนี้เคยรับลมเหนือจะเปลี่ยนไปเป็นรับลมใต้ทันที แต่ถ้าร่องมรสุมเคลื่อนที่ไปทางใต้ บริเวณนี้เคยรับใต้ก็เปลี่ยนมารับลมเหนือทันทีเช่น จึงกล่าวได้ว่าร่องมรสุมเป็นสาเหตุการเปลี่ยนมรสุม

บริเวณความกดอากาศต่ำที่มีกระแสอากาศพัดเข้าหากันจากเหนือและใต้ ทำให้อากาศบริเวณนั้นถูกยกตัวลอยสูงขึ้น ขยายตัวออกและเย็นลงกลายเป็นเมฆและฝน บริเวณร่องมรสุมจึงมีเมฆมากและฝนตกชุก กระแสอากาศที่พัดเข้าหากันเรียกว่า แนวตีบ หรือ แนวชนกันของกระแสลม มีชื่อแนวปะทะ เมื่อมีการชนกันส่วนหนึ่งจะรวมกันพัดไปทางแนวนอน อีกส่วนมีการยกตัวลอยสูงขึ้น เนื่องจากแนวชนกันนี้ไม่แน่นอนจะเกิดขึ้นเวลาใด ขึ้นอยู่กับกระแสอากาศที่พัดสอเข้าหากัน จำนวนไอน้ำและแนวชนนี้อยู่ยาวนานเพียงไรจะทำให้เกิดฝนตกหนักและนานตามไปด้วย

สำหรับประเทศไทยร่องมรสุมเกิดจากการปะทะกันของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้เกิดกระแสอากาศไหลขึ้นข้างบน จึงเกิดฝนตกเป็นบริเวณกว้างหลายกิโลเมตรจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก และแนวเหนือใต้กินบริเวณเป็นร้อยกิโลเมตร ถ้าแนวชนกันยังแคบฝนจะตกหนักและมีฟ้าคะนองด้วย ถ้าร่องมรสุมเกิดอยู่ยาวนาน ฝนจะตกติดต่อกันอาจเกิดน้ำท่วมได้ ประเทศไทยมักจะได้รับฝนจากร่องมรสุมนี้มากและสม่ำเสมอ ร่องมรสุมเคลื่อนที่ตามซีกว่าการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ประมาณ 1 เดือน เมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านภาคกลางของประเทศไทย จากใต้ไปทางเหนือในเดือนเมษายน ร่องมรสุมก็จะเคลื่อนที่ผ่านบริเวณเดียวกันนี้ในเดือนพฤษภาคม และเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านภาคกลางจากเหนือไปทางใต้ในเดือนสิงหาคม ร่องมรสุมก็จะเคลื่อนที่ผ่านในบริเวณนี้ในเดือนกันยายน



รูปที่ 3.9 การเกิดร่องมรสุมในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางครั้งเพื่อเป็นการสะดวกในการวิเคราะห์ระดับอัตราการตกของฝน อาจจำแนกประเภทของฝนได้ดังนี้

3.5.1 ฝนแบบสเตรติฟอรัม (Stratiform rain)

ส่วนใหญ่ฝนลักษณะนี้เป็นฝนที่เกิดในบริเวณพื้นที่ละติจูดตอนกลาง ซึ่งมีลักษณะการแผ่ ออกในแนวระดับกว้างแผ่ออกเป็นร้อยกิโลเมตร มีช่วงเวลากการตกเกินกว่า 1 ชั่วโมง และมีอัตราการตกของฝนประมาณ 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ฝนประเภทนี้มักเกิดในฤดูใบไม้ผลิ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำที่เย็นลงในระดับความสูงตั้งแต่ 4-6 กิโลเมตร สำหรับในระบบสื่อสาร ฝนประเภทนี้จะทำให้อัตราการตกของฝนเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ค่า Link margin อาจจำเป็นต้องการเกินค่าการลดทอนที่สอดคล้องกับอัตราการตกของฝน 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

3.5.2 ฝนแบบคอนเวกทีฟ (Convective rain)

ฝนแบบคอนเวกทีฟเกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของลมแนวตั้ง ยังผลให้เกิดการเคลื่อนย้าย และรวมตัวของเมฆในแนวตั้ง การไหลของกลุ่มฝนนี้จะเกิดในเซลล์ซึ่งแผ่กว้างในแนวระดับออกไปหลายกิโลเมตร เซลล์ของฝนจะขยายขึ้นในแนวตั้งมีความสูงมากกว่าระดับเฉลี่ยของชั้นน้ำแข็งเนื่องจากการสร้างผนังสูงอากาศ (convective upwelling) จากการเคลื่อนที่ของแนวปะทะและการเคลื่อนไหลลาดไปของเซลล์ฝนไปตามแนวปะทะ จึงมักทำให้ระดับอัตราการตกของฝนขึ้นสูงในช่วงเวลาหลาย ๆ นาที เท่านั้น

3.5.3 ฝนแบบไซโคลน (Cyclone Storm)

พายุไซโคลนแถบโซนร้อนเป็นพายุที่มักพัดผ่านบริเวณคาบสมุทรตะวันออก (Eastern Seaboard) ในระหว่างเดือนสิงหาคมถึงตุลาคมของทุกปี พายุหมุนนี้โดยทั่วไปจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางของเซลล์ฝนระหว่าง 5-200 กิโลเมตร เคลื่อนตัวด้วยความเร็วประมาณ 10-20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ชั้น Melting layer ขักระดับสูงขึ้นถึงประมาณ 8 กิโลเมตรและมีอัตราการตกของฝนสูงมากกว่า 25 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

3.6 ลักษณะสมบัติทางกายภาพเฉพาะของหยดฝน

ที่อัตราการตกของฝนค่าใด ๆ หยดฝนแต่ละหยดมีขนาดไม่เท่ากัน โดยที่การกระจายของขนาดและอัตราการตกของฝนจะมีความสัมพันธ์กัน ขนาดที่แตกต่างกันเป็นปัจจัยที่ทำให้รูปร่างของแต่ละหยดฝนต่างกัน เมื่อพิจารณารวมกับปัจจัยแวดล้อมอื่น เช่น ความเร็วและทิศทางลม จะส่งผลให้ความเร็วและแนวการวางตัวของหยดฝนแต่ละหยดแตกต่างกันด้วย เนื่องจากในสภาพบรรยากาศจริงปัจจัยแวดล้อมมีความผันแปรไม่แน่นอนตลอดเวลา ทำให้ลักษณะสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ของหยดฝนมีค่าไม่คงที่ด้วย แต่เพื่อความเข้าใจในสภาพหยดฝนมีค่าไม่คงที่ แต่เพื่อความเข้าใจในสภาพโดยรวมจึงพิจารณาได้ดังนี้

ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

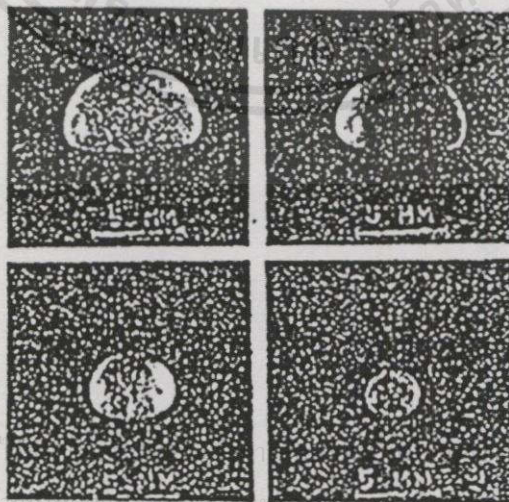
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ขนาดและรูปร่างของหยดฝน

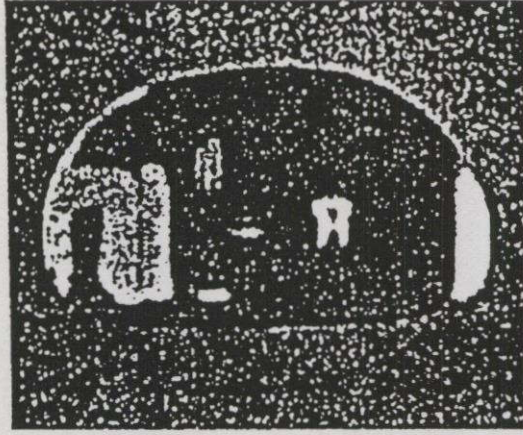
Magono(1954) ได้ศึกษารูปร่างของหยดฝนที่ตกอย่างอิสระในอากาศนิ่ง (Stagnant air) โดยการถ่ายภาพหยดน้ำขนาดต่างๆ กัน ที่ถูกปล่อยให้ตกอย่างอิสระที่ระดับความสูง 12 เมตร ในอุโมงค์ลมแนวตั้ง (vertical wind tunnel) ซึ่งที่ระดับความสูงนี้เพียงพอที่ความเร็วในการตกจะมีค่าเท่ากับความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระของหยดน้ำ (Laws 1943) ผลการศึกษาพบว่าหยดน้ำขนาดต่างกันมีรูปร่างไม่เหมือนกัน รูปที่ 3.10 ถ่ายโดย Magono แสดงให้เห็นว่าหยดน้ำขนาดเล็กมีรูปร่างหน้าตัดค่อนข้างกลม และเมื่อขนาดหยดน้ำใหญ่ขึ้นรูปร่างหน้าตัดด้านข้างจะรีมากขึ้น ประมาณรูปร่างหยดน้ำว่าเป็นรูปร่างทรงกลมแบนขั้ว (oblate spheroid) ที่ฐานหรือขั้วล่างของหยดค่อนข้างแบนราบ ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายโดย Laws 1943 ดังแสดงในรูป 3.10 โดยที่ตัวเลขขนาดที่กำกับรูปหยดน้ำแต่ละรูปเป็นรัศมีของทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับหยดน้ำ (Equivolume sphere radius)

การคำนวณรูปร่างที่แท้จริงของหยดน้ำเป็นเรื่องที่ลำบาก เนื่องจากต้องทราบค่าความดันภายในและภายนอกของหยดฝน Proppacher และ Piter(1971) ใช้วิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการคำนวณสมการสมดุลของความดันได้ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความดันของผิววัตถุเกร็งและความดันภายนอกของหยดน้ำที่ตกอย่างอิสระ ผลการคำนวณรูปร่างของหยดฝนที่มีขนาดต่างๆ กัน ในทางทฤษฎีเป็นไปดังรูป 3.11

ในสภาพบรรยากาศจริงจำนวนหยดฝนขนาดใหญ่มีอยู่น้อย ทำให้หยดฝนที่มีรูปทรงแบนขั้วและมีฐานแบนราบมาก ๆ จึงมีน้อยตามไปด้วย ดังนั้นจึงพอประมาณรูปร่างของหยดฝนว่าเป็นทรงกลมแบนขั้วสมบูรณ์ (Absolutely oblate spheroid) โดยการประมาณเช่นนี้ ลักษณะความรีของรูปหน้าตัดด้านข้างสามารถแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างความยาวครึ่งแกนรองต่อความยาวครึ่งแกนหลักของวงรี หรืออัตราส่วนระหว่าง C และ B ดังในรูป 3.11 โดยการนิยามความรีเช่นนี้ ความรีของหยดน้ำมีค่าน้อยกว่า 1 และหยดน้ำมีความรีมากถ้าอัตราส่วนระหว่าง C และ B มีค่าน้อย



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายหยดน้ำขนาดต่าง ๆ ที่ความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระ

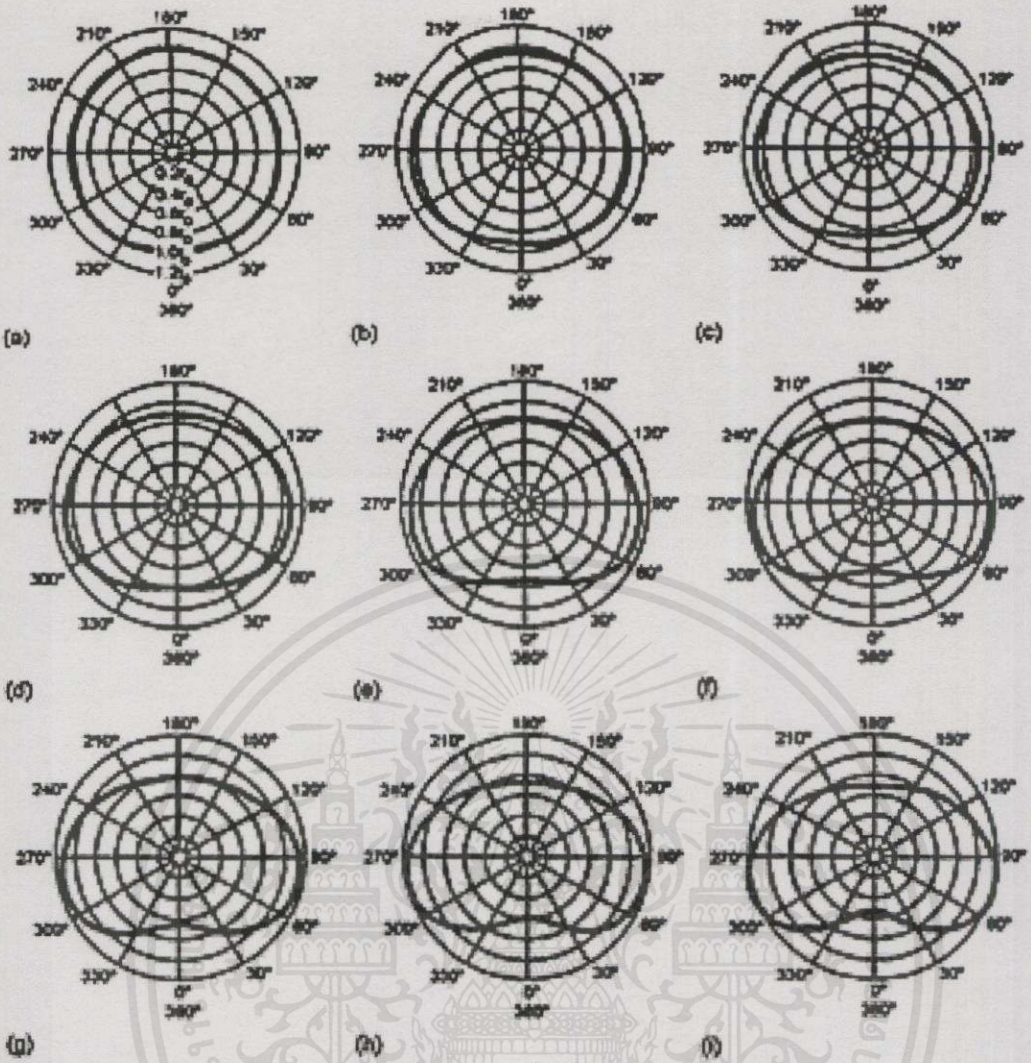


รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายหยดน้ำขนาดใหญ่ที่ตกอย่างอิสระในอากาศหนึ่ง laws(1941)

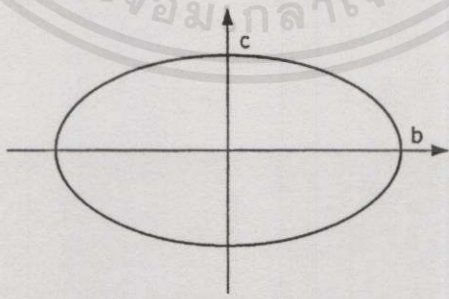
3.6.2 ความเร็วปลายในการตกของหยดฝน

โดยสมมุติฐานที่ว่า ลมมีลักษณะเป็นชั้น ๆ ที่ขนานกับแนวระดับ ดังนั้นองค์ประกอบของแรงในแนวตั้งที่กระทำต่อหยดฝนแต่ละหยดมีเพียงแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงต้านการเคลื่อนที่จากอากาศเท่านั้น เมื่อหยดฝนตกลงมาในระดับหนึ่งแรงต้านจากอากาศจะเท่ากับแรงเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก หยดฝนจะมีความเร็วในแนวตั้งคงที่ โดยเรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วปลายในการตก หยดฝนที่มีขนาดแตกต่างกัน นอกจากจะมีรูปร่างที่แตกต่างกันแล้วยังมีความเร็วปลายที่แตกต่างกันด้วย การศึกษาเกี่ยวกับความเร็วปลายในการตกของหยดฝน โดยการวัดความเร็วในการตกอย่างอิสระของหยดน้ำฝนอุโมงค์ลมแนวตั้ง (Laws 1943) แสดงให้เห็นว่าเมื่อปล่อยหยดน้ำออกจากอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดหยด หรือกำหนดให้ความเร็วเริ่มต้นของหยดน้ำเป็นศูนย์ หยดน้ำขนาดใหญ่จะใช้ระยะทางในการเร่งความเร็วให้ถึงความเร็วปลายในการตกมากกว่าหยดน้ำขนาดเล็ก และหยดน้ำขนาดใหญ่จะมีขนาดของความเร็วปลายในการตกมากกว่าหยดน้ำขนาดเล็ก แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของความเร็วในการตกจะค่อย ๆ ลดลง ในรูปที่ 3.13 ซึ่งเป็นผลมาจากการทดลองโดย (Laws 1943) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับความสูงที่เพียงพอที่ทำให้หยดน้ำทุกขนาด มีความเร็วปลายในการตกอยู่ที่ประมาณ 12 เมตร (Magono 1954) ความสูงของเมฆฝนจึงสูงมากเพียงพอที่จะทำให้ระยะทางส่วนใหญ่ที่หยดฝนเดินทางอยู่ในอากาศ หยดฝนมีความเร็วเท่ากับความเร็วปลายในการตก ขนาด รูปร่าง และความเร็วปลายในการตกของหยดฝนเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำฝนและอัตราการตกของฝน ซึ่งเป็นปัจจัยในการกำหนดค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

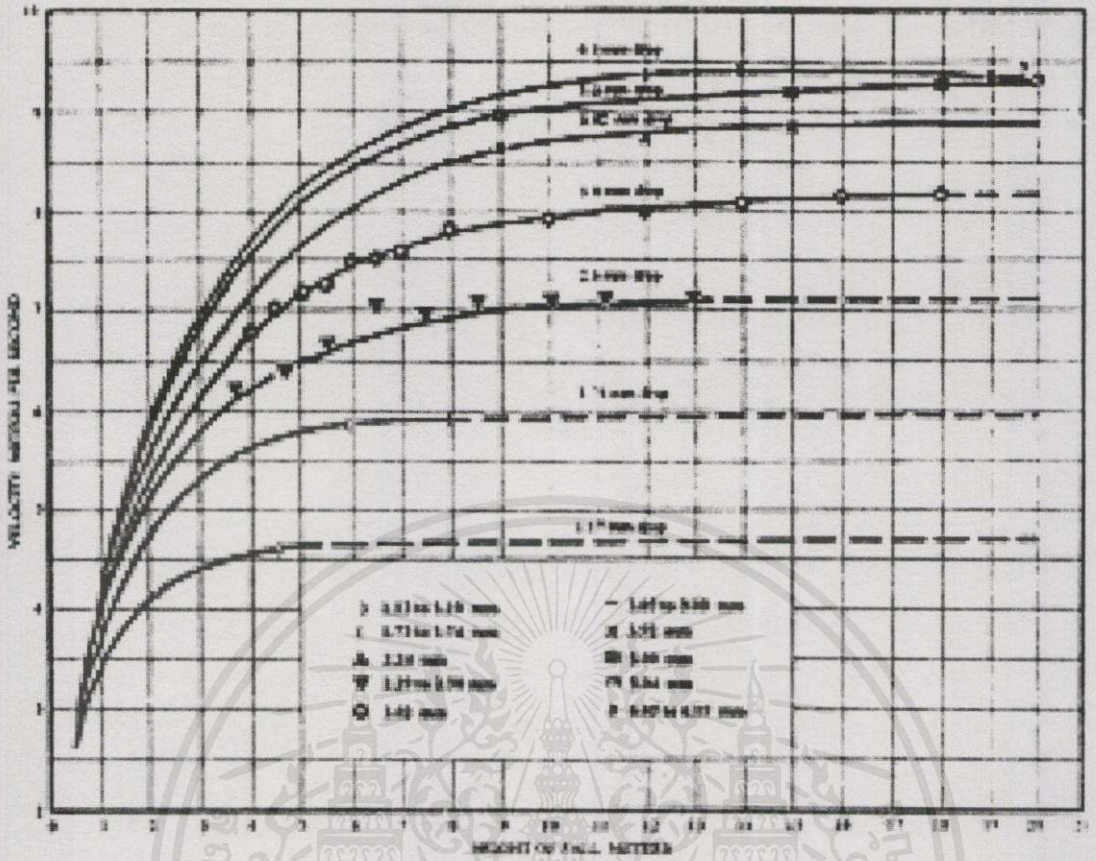


รูปที่ 3.12 รูปร่างของหยดน้ำที่รัศมีต่างๆ กำหนดโดย Pruppacher และ Pitter เทียบกับหยดรัศมีทรงกลมที่มีปริมาตรเท่ากับหยดน้ำ



รูปที่ 3.13 รูปหน้าตัดด้านข้างของหยดน้ำทรงกลมแบนขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ความเร็วในการตกของหยดฝนน้ำต่างๆ กันที่ความสูง ตั้งแต่ 0.5 ถึง 20 เมตร Laws(1943)

3.7 การกระจายขนาดของหยดฝนที่อัตราการตกใด ๆ

หยดฝนที่อัตราการตกใด ๆ จะมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกันทำให้รูปร่างของหยดฝนมีลักษณะที่แตกต่างกันตามที่ได้กล่าวมาและปริมาณของหยดฝนแต่ละขนาดที่กระจายอยู่ในการตกของฝนที่อัตราการตกค่าต่างๆ ต่อพื้นที่จะไม่เท่ากัน การศึกษาการเดินทางของคลื่นผ่านกลุ่มฝนนั้นมักจะใช้การกระจายของหยดฝนรูปแบบของ Laws และ Parsons(1943) และรูปแบบของ Marshall และ Palmer(1948)

ข้อมูลการกระจายขนาดของหยดฝนแบบ Laws และ Parsons แสดงอยู่ในรูปร้อยละของปริมาณของหยดฝนที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่กำหนดต่อปริมาตรฝนทั้งหมด โดยการแบ่งช่วงขนาดหยดฝนเป็น 28 ช่วง จากขนาด 0 ถึง 7 มิลลิเมตร ช่วงละ 0.25 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3.1 ขนาดของหยดฝนที่ได้จาก Laws และ Parsons นี้ได้จากการทดลองวัดขนาดเม็ดแป้ง ที่จับตัวแข็งเนื่องจากหยดน้ำที่ตกลงมาบนถาดผิง แล้วอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองกำหนดหาขนาดหยดฝน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวนวิชาวิศวกรรมโยธาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกมหาวิทยาลัยได้

Marshall และ Palmer ได้เสนอความสัมพันธ์ในรูป Exponential เพื่อใช้แสดงการกระจายขนาดของหยดฝนที่อัตราการตกค่าใด ๆ โดยการกำหนดการกระจายขนาดในรูปของหยดฝนที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่กำหนดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหยดฝนกับอัตราการตกของฝนแสดงดังสมการ

$$n(a)da = N_0 e^{-\Delta a} da \quad \text{m}^3 \quad (3.1)$$

โดยที่

$$N_0 = 16 \times 10^3 \quad \text{m}^{-3} \text{mm}^{-1} \quad (3.2)$$

และ

$$\Delta = 8.2R^{-0.21} \quad \text{mm}^{-1} \quad (3.3)$$

เมื่อ $n(a)da$ คือ จำนวนหยดฝนที่มีขนาดใหญ่อยู่ในช่วงที่กำหนดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร R หมายถึง อัตราการตกของฝนในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr) และ a หมายถึงรัศมีกลางของหยดฝนในหน่วยมิลลิเมตรที่ประมาณว่าหยดฝนมีรูปร่างทรงกลม หรือหมายถึงรัศมีกลางของทรงปริมาตรเท่ากับหยดฝนที่กำลังพิจารณา สำหรับ da ในสมการ(3.1) จะเป็นความกว้างของช่วงหยดฝนที่กำหนด หรือก็คือ หยดฝนที่มีรัศมี a ในช่วง da จะหมายถึงหยดฝนที่มีรัศมีตั้งแต่ $a - \frac{da}{2}$ จน

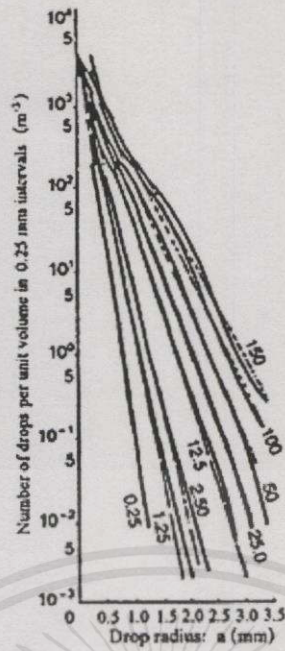
ถึง $a + \frac{da}{2}$

จำนวนหยดฝนขนาดต่างๆ ต่อหน่วยปริมาตรที่เป็นฟังก์ชันของอัตราการตกของฝนในรูปที่

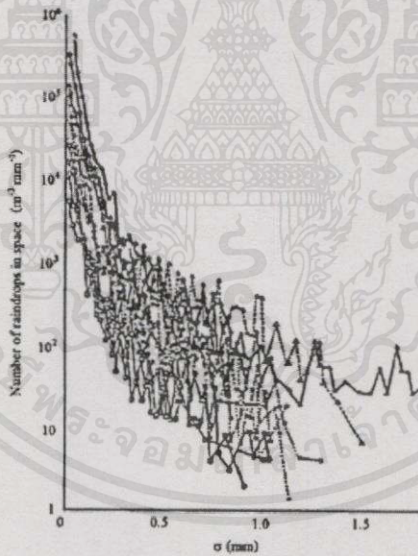
3.14

การกระจายของหยดฝนนอกจากจะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนแล้วยังขึ้นอยู่กับประเภทของฝนด้วย Joss(1968) ได้แสดงให้เห็นถึงการกระจายขนาดของหยดฝน 3 ลักษณะแบ่งตามประเภทของฝนคือ ฝนตกปรอยๆ (drizzle) ฝนตกกระจายเป็นพื้นที่กว้าง (widespread) และฝนพายุฟ้าคะนอง (thunderstorm) โดยที่ Joss (1968) ได้นำเสนอการกระจายของขนาดหยดฝนในรูป Exponential เช่นเดียวกับ Marshall และ Palmer แต่กำหนดพารามิเตอร์ให้ต่างออกไปสำหรับแต่ละประเภทของฝน ค่าพารามิเตอร์สำหรับฝนแต่ละประเภทแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การกระจายของหยดฝนในอากาศที่อัตราการตกของฝนจาก 0.25 ถึง 150 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง วัดโดย Laws and Parsons(1943) -----วัดโดย Marshall and Palmer(1948)



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการกระจายของขนาดหยดฝน ที่อัตราการตกของฝนต่างค่าคือ $R=46.4\text{mm/hr}$ (Δ), 32.3mm/hr (Λ), $5.6-7.1\text{mm/hr}$ (\circ), 3.6mm/hr (\circ), $0.3-1.1\text{mm/hr}$ (\square) (Ugai et al .1977)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ของการกระจายขนาดในรูป Exponential ของหยดฝนแต่ละประเภท โดย Joss(1968)

ประเภทของฝน	$M_0(\text{m}^3 \text{mm}^{-1})$	$\Delta(\text{mm}^{-1})$
ฝนตกปรอย ๆ(drizzle)	6×10^4	$11.4R^{-0.21}$
ฝนตกกระจายเป็นพื้นที่กว้าง(Widespread)	1.4×10^4	$8.2R^{-0.21}$
ฝนพายุคะนอง(Thunderstorm)	2.8×10^4	$6R^{-0.21}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเส้นผ่าศูนย์กลาง ของหยดฝน (mm)	อัตราการตกของฝน (mm./hr)							
	0.254	1.27	2.54	12.7	25.4	50.8	101.6	152.4
	ปริมาณของหยดฝนต่อปริมาตรทั้งหมด							
0.00-0.25	1	0.5	0.3	0.1	0	0	0	0
0.25-0.50	6.6	2.5	1.7	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.50-0.75	20.4	7.9	5.3	1.8	1.3	1	0.9	0.8
0.75-1.00	27	16	10.7	3.9	2.5	2	1.7	1
1.00-1.25	23.1	21.1	17.1	7.6	5.1	3.4	2.9	2.5
1.25-1.50	13.7	18.9	18.3	11	7.5	5.4	3.9	3.4
1.50-1.75	5.5	12.4	14.5	13.5	10.9	7.1	4.9	4.2
1.75-2.00	2	8.1	11.6	14.1	11.8	9.2	6.2	5.1
2.00-2.25	1	5.4	7.4	11.3	12.1	10.7	7.7	6.6
2.25-2.50	0.5	3.2	4.7	9.6	11.2	10.6	8.4	6.9
2.50-2.75	0.2	1.7	3.2	7.7	8.7	10.3	8.7	7
2.75-3.00	0	0.9	2	5.9	6.9	8.4	9.4	8.2
3.00-3.25	0	0.6	1.3	4.2	5.9	7.2	9	9.5
3.25-3.50	0	0.4	0.7	2.6	5	6.2	8.3	8.8
3.50-3.75	0	0.2	0.4	1.7	3.2	4.7	6.7	7.3
3.75-4.00	0	0.2	0.4	1.3	2.1	3.8	4.9	6.7
4.00-4.25	0	0	0.2	1	1.4	2.9	4.1	5.2
4.25-4.50	0	0	0.2	0.8	1.2	1.9	3.4	4.4
4.50-4.75	0	0	0	0.4	0.9	1.4	2.4	3.3
4.75-5.00	0	0	0	0.4	0.7	1	1.7	2
5.00-5.25	0	0	0	0.2	0.4	0.8	1.3	1.6
5.25-5.50	0	0	0	0.2	0.3	0.6	1	1.3
5.50-5.75	0	0	0	0	0.2	0.5	0.7	0.9
5.75-6.00	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	0.7
6.00-6.25	0	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.5
6.25-6.50	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.5
6.50-6.75	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5
6.75-7.00	0	0	0	0	0	0	0	0.3

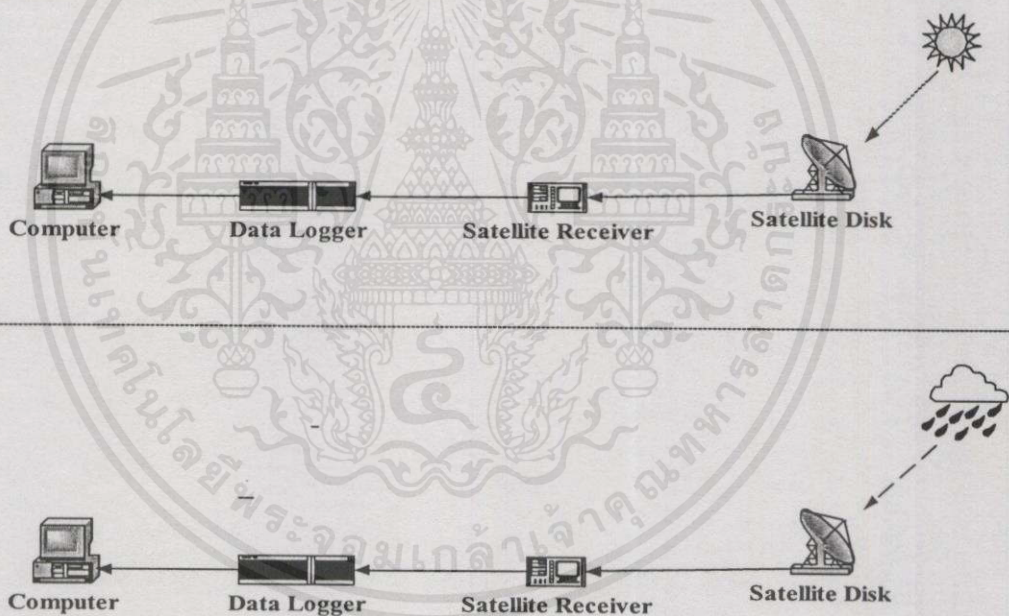
ตารางที่ 3.2 ร้อยละของปริมาณของอนุภาคฝนที่มีขนาดในช่วงที่กำหนดต่อปริมาตรทั้งหมดที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ อัตรา การตกต่างๆ กัน ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การทดลองและผลการทดลอง

4.1 หลักการของการทดลอง

การวิจัยนี้จะใช้การวัดแบบเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์แทนการวัดแบบเรดิโอมิเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป โดยจะทำการวัดสัญญาณรบกวนในย่านความถี่ Ka-Band ที่อยู่ในบรรยากาศทั้งในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งและสภาวะฝนตก แล้วจึงนำมาคำนวณหาค่าการลดทอนของความถี่ในย่าน Ka-Band ตามสมการของเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนในพื้นที่เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องในขณะที่ฝนตกทำให้มีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนซึ่งจะเป็นค่าการลดทอนของสัญญาณในภาวะเดียวกัน นอกจากนี้ยังจะเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ที่สามารถคำนวณได้กับสัญญาณในย่าน Ku-Band ที่วัดจากสัญญาณดาวเทียมนำร่องของดาวเทียมไทยคม 2 เพื่อให้เห็นภาวะที่เกิดการลดทอนพร้อม ๆ กันแต่ตามหลักการสัญญาณในย่าน Ka-Band จะมีค่าการลดทอนมากกว่า



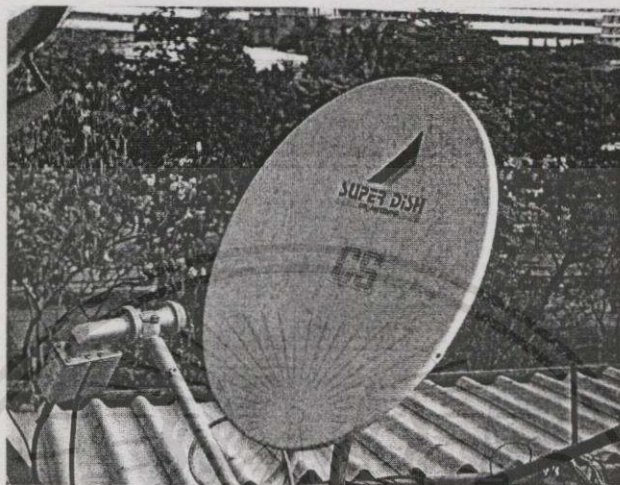
รูปที่ 4.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์การทดลอง

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ามีเครื่องรับสัญญาณ 2 ชุด คือชุดรับสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band ตามหลักการของเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์ ส่วนอีกชุดหนึ่งจะเป็นการรับสัญญาณดาวเทียมนำร่องจากดาวเทียมไทยคม 2 เพื่อเป็นเปรียบเทียบช่วงเวลาที่เกิดการลดทอนว่าใกล้เคียงอย่างไร และอีกส่วนหนึ่งจะมีเครื่องวัดอัตราการตกของฝนติดตั้งในบริเวณพื้นที่เดียวกัน โดยทำการทดลองบริเวณตึกโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.1.1 งานสายอากาศและLNB

งานสายอากาศและ LNB ของการทดลองครั้งนี้จะมีสองชุดเพื่อรับสัญญาณที่ต่างกันแต่ตั้งที่บริเวณและตำแหน่งเดียวกันเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบกันได้

4.1.1.1 ชุดของดาวเทียมไทยคม 2 (Ku-Band)เป็นงานสายอากาศแบบออฟพีดิเรกทอราโบลาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตรมีอัตราขยาย 34.5 dB ดังแสดงในรูปที่ 4.2

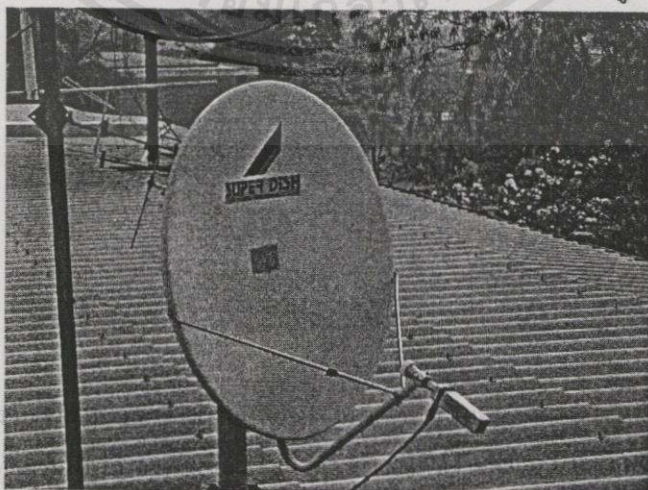


รูปที่ 4.2 ชุดของดาวเทียมไทยคม 2

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ของชุดรับสัญญาณดาวเทียมไทยคม 2 (Ku-Band)

ดาวเทียม	ไทยคม 2
ความถี่	12.954 GHz
งานสายอากาศ	0.5 m ϕ อัตราขยาย 34.5 dB โพลาริซตั้ง
มุมเงย	59.6 องศา

4.1.1.2 ชุดรับสัญญาณรบกวนKa-Band เป็นงานสายอากาศแบบออฟพีดิเรกทอราโบลาร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เมตร และมี LNB ทำงานที่ความถี่ 20 GHz ดังรูปที่ 4.3



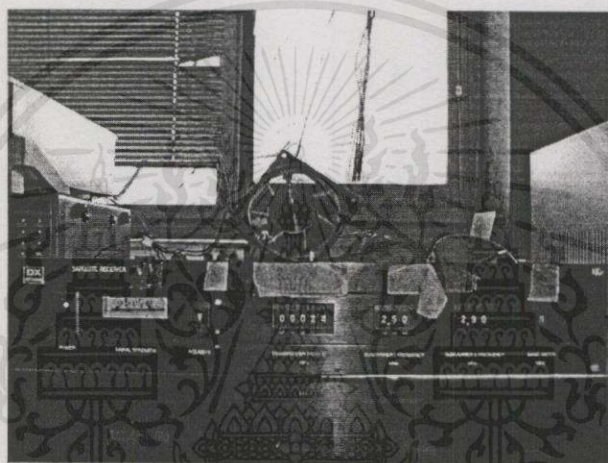
รูปที่ 4.3 ชุดรับสัญญาณรบกวน Ka-Band

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของชุดรับสัญญาณรบกวน Ka-Band

ดาวเทียม	ไม่มี(รับสัญญาณรบกวน)
ความถี่	LNB ทำงานที่ 20 GHz
จานสายอากาศ	0.8 เมตร
มุมมอง	59.6 องศา

4.1.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ในการทดลองจะมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสองเครื่องดังแสดงในรูปที่ 4.4 เป็นเครื่องรับที่รับสัญญาณดาวเทียมนำร่องจากดาวเทียมไทยคม 2 (Ku-Band)



รูปที่ 4.4 เครื่องรับแบบ DX Receiver

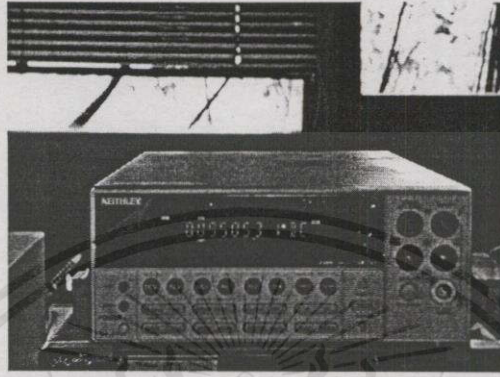


รูปที่ 4.5 เครื่องรับสำหรับรับสัญญาณรบกวน Ka-Band ที่มีแบนด์วิธ 250 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 เครื่องบันทึกสัญญาณ

การบันทึกสัญญาณจะบันทึกข้อมูลด้วยระบบดิจิทัลผ่านเครื่อง Data logger แล้วทำการเก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 วินาทีพร้อมกันทั้งข้อมูลทั้ง 2 ส่วนแล้วนำมาเฉลี่ยเป็นข้อมูลทุกๆ 1 นาที ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บจะถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Excel เพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณKa-Band ตามสมการของวิธีเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์



รูปที่ 4.6 เครื่องบันทึกสัญญาณ (Data Logger)

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนของสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band

จากข้อมูลที่เราจัดเก็บได้จะมีสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งและสภาวะฝนตกและทำให้ทราบถึงค่า ΔN ของทั้งสองสภาวะ ตามสมการของเรดิโอมิเตอร์แบบประยุกต์แล้ว

$$N_{(\text{Clearsky})} = K T_B B$$

และ

$$N_{\text{rain}} = K T_B B + \left(1 - \frac{1}{L}\right) K T_M B$$

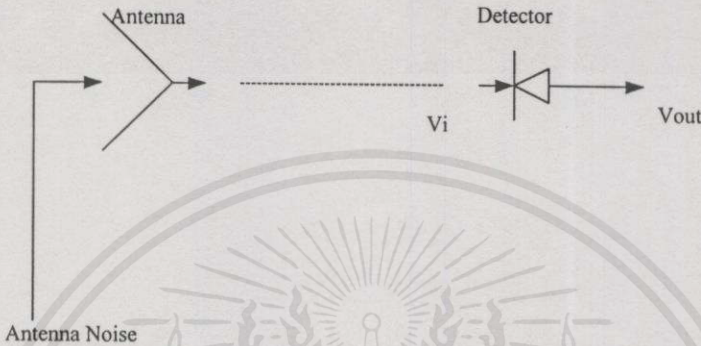
เมื่อเราทราบถึงสัญญาณรบกวนทั้งสองสภาวะแล้วจึงสามารถหาค่าของ L (ค่าการสูญเสีย) ได้ และจาก

$$A = 10 \log L$$

ทำให้เราหาค่าการลดทอนได้จากการหาค่า L ตามสมการของสภาวะฝนตกข้อมูลที่ได้จะถูกทำการคาลิเบรทเพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาการเกิดการลดทอนของทั้งสองย่านความถี่ การคาลิเบรทของสัญญาณรบกวนสามารถทำได้โดยการหาความสัมพันธ์เป็นเอกซโพเนนเชียลระหว่าง V_{out} (Black body), $V_{\text{out}}(\text{Rain})$, และ $V_{\text{out}}(\text{Clear sky})$ จากสมการของความสัมพันธ์

$$L = \left(\frac{V_{out}(\text{Blackbody}) - V_{out}(\text{Clearsky})}{V_{out}(\text{Blackbody}) - V_{out}(\text{Rain})} \right)$$

ตามแนวความคิดนี้เป็นการหาอัตราส่วนของความแตกต่างระหว่างสัญญาณรบกวนในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งกับสัญญาณรบกวนในสภาวะที่จุดอึมตัว(สภาวะที่สัญญาณรบกวนมีค่าสูงที่สุดที่มีไช่จากฝนตกแต่เกิดจากการนำวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นหมด(Absorb)ไปวางหน้า LNB ทำให้สัญญาณรบกวนที่รับได้ยกระดับของสัญญาณสูงขึ้น)แล้วทำการสังเกตว่ามีค่าสูงที่สุด ณ ค่าเท่าใด เพื่อที่จะนำมาเป็นค่าสำหรับการคาลิเบรทต่อไป

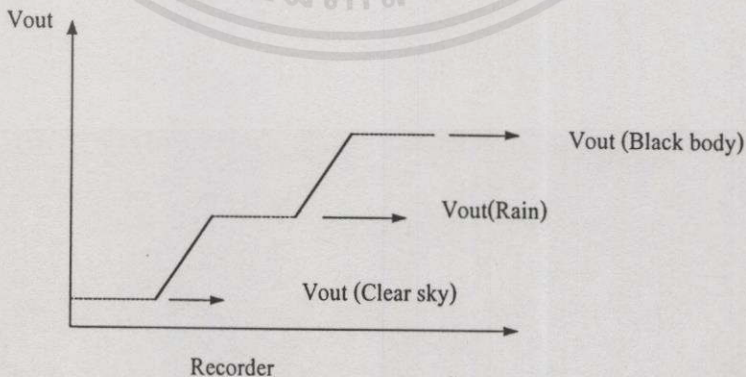


รูปที่ 4.7 ตำแหน่งของ Vout

Vout(Black body) เป็นระดับสัญญาณรบกวนที่มีค่าสูงที่สุดหรือใกล้จุดอึมตัวของระดับสัญญาณรบกวนซึ่งสามารถทำได้โดยการนำวัสดุไปปิดจานสายอากาศหรือหน้าตัว LNB เพื่อให้จานสายอากาศอยู่ในสภาวะที่ Absorb หมดให้ระดับของสัญญาณอยู่ในระดับที่มีค่าสูงที่สุด

Vout(Clear sky) เป็นระดับสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง

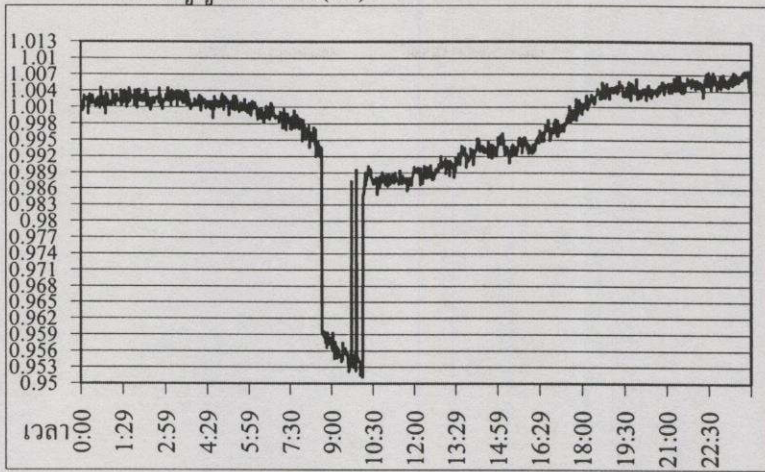
Vout(Rain) เป็นระดับสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะฝนตกหรือมีเมฆฝนมาก



รูปที่ 4.8 แนวความคิดในการคาลิเบรท

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสัญญาณรบกวน(dB)



รูปที่ 4.9 ระดับสัญญาณของ Vout(Black body)

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าระดับสัญญาณของ Vout (Black body) มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ 1.007 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุดที่ทำการคลาดเบรททั้งหมด 6 วันจากวันที่ 13 กุมภาพันธ์ถึง 18 กุมภาพันธ์ 2545 ซึ่งได้ทำการเลือกค่า Vout (Black body) ที่ค่า 1.007 โวลต์ จากนั้นจะทำการหาค่า Vout (Clear sky) ของเดือนกุมภาพันธ์ โดยการหาค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งทั้งเดือนกุมภาพันธ์ Vout(Clear sky) เพื่อที่จะใช้เป็นค่าพื้นฐานที่ใช้กับเดือนกุมภาพันธ์ได้ทั้งเดือน

จากตัวอย่างในเดือนกุมภาพันธ์จะเห็นว่ามียกระดับสัญญาณ Vout(Black body) อยู่ที่ 1.007 โวลต์ และระดับสัญญาณในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง Vout(Clear sky) ที่ 0.965 โวลต์ จะสามารถหาค่าความแตกต่างระหว่าง Vout(Black body) กับ Vout (Clear sky) โดย

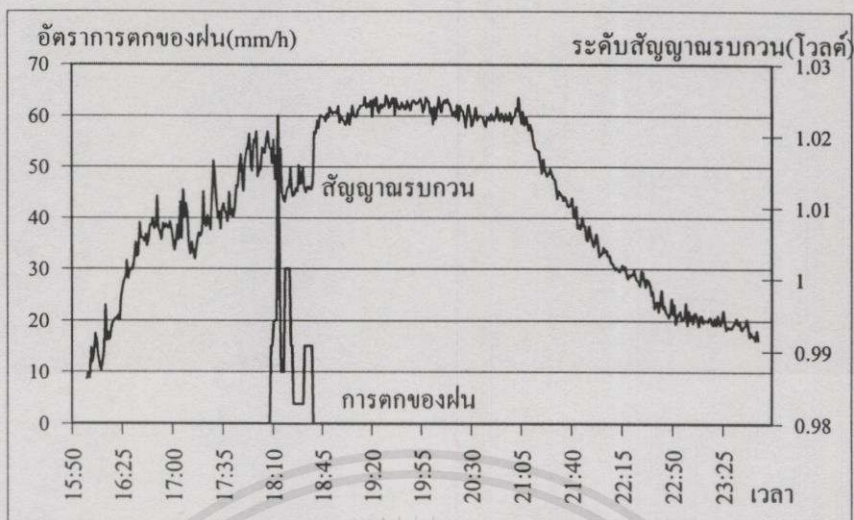
$$1.007 - 0.965 = 0.04272 \text{ โวลต์}$$

สำหรับค่า Vout (Clear sky) ที่มีค่าเท่ากับ 0.965 โวลต์นั้นสามารถหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งทั้งเดือนกุมภาพันธ์เพื่อที่จะทำให้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับใช้แทนค่าสมการเพื่อหาค่าการลดทอน แต่ค่านี้จะสามารถใช้ได้เฉพาะเดือนกุมภาพันธ์เท่านั้น สำหรับเดือนอื่น ๆ จะต้องทำการหาค่า Vout(Clear sky) ใหม่จากการหาค่าเฉลี่ยสำหรับเดือนนั้นๆ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

เมื่อได้ค่าที่จำเป็นสำหรับการหาค่าการลดทอนจึงสามารถเริ่มหาได้จากสมการ

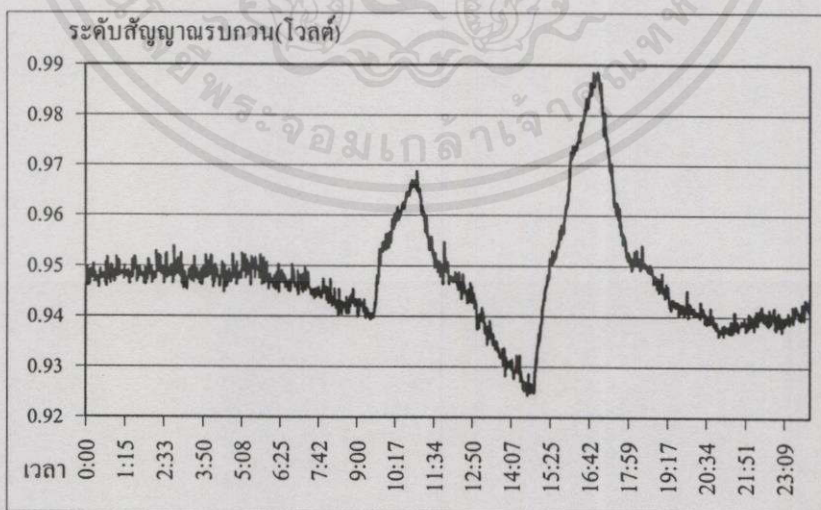
$$L = \left(\frac{Vout(Blackbody) - Vout(Clearsky)}{Vout(Blackbody) - Vout(Rain)} \right) \text{ โดยค่า } Vout(Black\ body) = 1.007, Vout$$

(Clearsky) = 0.965 สำหรับค่า Vout (Rain) นั้นจะต้องทำการพิจารณาเป็นรายวันว่าเหตุการณ์ไหนที่ระดับสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นจากระดับสัญญาณรบกวนปกติจะไม่สามารถหาค่าใดค่าหนึ่งมาเป็นตัวแทนได้ ดังนั้นสำหรับค่า Vout(Rain) นี้จะเป็นแล้วแต่กรณีแต่จะอยู่บนพื้นฐานที่ใช้ Vout(Black body) และ Vout(Clear sky) ใช้ค่าเดียวกัน



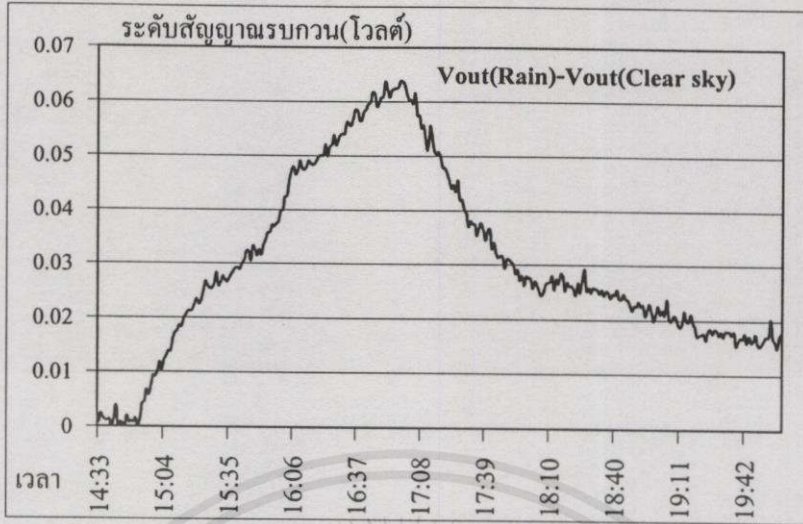
รูปที่ 4.10 ระดับสัญญาณในสภาวะฝนตก $V_{out}(Rain)$ ที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

ในรูปเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนในสภาวะที่ฝนตกจะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนจะสังเกตได้ว่าสัญญาณรบกวนมีการเพิ่มขึ้นก่อนที่จะฝนจะตกเนื่องมาจากการก่อตัวของเมฆฝนก็ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ได้แล้วและหลังจากที่ฝนหยุดตกระดับสัญญาณรบกวนก็ไม่ได้กลับมาระดับเดิมแต่ยังคงที่อยู่จนค่อย ๆ ลดระดับลงมาซึ่งเป็นการลดทอนหลังจากฝนหยุดตก จะเห็นได้ว่าการลดทอนอยู่ 3 เหตุการณ์คือ ก่อนเกิดฝนตก ขณะฝนตก และหลังจากฝนตกแล้ว



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการรับสัญญาณ 24 ชั่วโมง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวอย่างระดับสัญญาณรบกวนที่ทำการรับตลอด 24 ชั่วโมงจะสามารถเห็นการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนได้อย่างชัดเจนซึ่งเป็นสภาวะที่เกิดการลดทอน



รูปที่ 4.12 ความแตกต่างของระดับสัญญาณระหว่าง Vout (Rain) กับ Vout (Clear sky)

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณตามสมการในโปรแกรม Excel

Time	noise ka	reff	noise n cal	top	down	L	A		Time	ATTEN
10:56:35	0.936322	0.917768	0.958011	0.040243	0.021689	1.855457	0.268451		10:56:35	2.6845
10:57:37	0.935996	0.917768	0.958011	0.040243	0.022015	1.827964	0.261968		10:57:37	2.6196
10:58:38	0.938453	0.917768	0.958011	0.040243	0.019558	2.057666	0.313375		10:58:38	3.1337
10:59:40	0.937857	0.917768	0.958011	0.040243	0.020154	1.996805	0.300336		10:59:40	3.0033
11:00:42	0.941215	0.917768	0.958011	0.040243	0.016796	2.39593	0.379474		11:00:42	3.7947
11:01:44	0.938999	0.917768	0.958011	0.040243	0.019012	2.116705	0.32566		11:01:44	3.2566
11:02:46	0.941496	0.917768	0.958011	0.040243	0.016515	2.436725	0.386807		11:02:46	3.8680
11:03:48	0.942531	0.917768	0.958011	0.040243	0.01548	2.599593	0.414905		11:03:48	4.1490
11:04:50	0.94505	0.917768	0.958011	0.040243	0.012961	3.104906	0.492048		11:04:50	4.9204
11:05:51	0.947822	0.917768	0.958011	0.040243	0.010189	3.949768	0.596572		11:05:51	5.9657
11:06:53	0.950038	0.917768	0.958011	0.040243	0.007973	5.047473	0.703074		11:06:53	7.0307
11:07:55	0.947806	0.917768	0.958011	0.040243	0.010206	3.943266	0.595856		11:07:55	5.9585
11:08:57	0.950049	0.917768	0.958011	0.040243	0.007962	5.054574	0.703685		11:08:57	7.0368
11:09:59	0.949841	0.917768	0.958011	0.040243	0.00817	4.925885	0.692484		11:09:59	6.9248
11:11:01	0.950246	0.917768	0.958011	0.040243	0.007765	5.182748	0.71456		11:11:01	7.1456
11:12:03	0.953367	0.917768	0.958011	0.040243	0.004644	8.66615	0.937826		11:12:03	9.3782

Time เป็นเวลาที่ทำการบันทึกสัญญาณรบกวนทุก ๆ 10 วินาทีแล้วแล้วหาค่าเฉลี่ยทุก ๆ

1 นาที

Noise ka ข้อมูลที่ทำการบันทึก

Reff noise ค่าของสัญญาณรบกวนอ้างอิง Vout(Clear sky) ประจำเดือนพฤศจิกายน
 N Cal ค่าของสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะอิมิตัว Vout(Blackbody) เป็นประจำเดือนพฤศจิกายน

$$L = \left(\frac{Vout(Blackbody) - Vout(Clearsky)}{Vout(Blackbody) - Vout(Rain)} \right)$$

Top เป็นค่าของ Vout(Black body) - Vout (Clear sky)

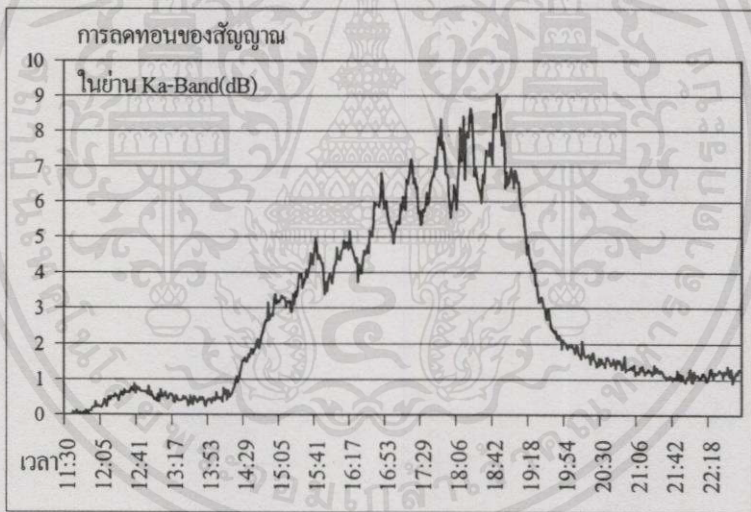
Down เป็นค่าของ Vout(Black body) - Vout (Rain)

L = Top/Down

จากสมการ A = 10 Log L

A = เป็นค่าของ Log L

Attenuation = 10 × LogL



รูปที่ 4.13 ค่าการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ Ka-Band ที่สามารถหาได้ตามสมการ

เนื่องจากในรูปที่ 4.13 เป็นค่าการลดทอนที่หาได้จากสมการในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งไม่มีฝนตก การลดทอนนี้จึงเป็นเนื่องจากปัจจัยอื่นซึ่งจะกล่าวต่อไป

เมื่อเรหาค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ในเดือนกุมภาพันธ์ 2545 ได้แล้ว สำหรับเดือนอื่น ๆ ก็จะมีลักษณะที่คล้ายกันเพียงแต่เปลี่ยนค่าของ Vout (Black body) และ Vout (Clear sky) โดยเราจะใช้ค่าความแตกต่างระหว่าง Vout(Black body) กับ Vout (Rain) ในเดือนกุมภาพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 0.04272 โวลต์เป็นค่าที่ใช้หาค่า Vout (Black body) ในเดือนอื่น สำหรับใน

เดือนพฤศจิกายน 2544 ซึ่งจะขอยกเป็นตัวอย่างในการหาความสัมพันธ์กับค่าความแตกต่างระหว่าง $V_{out}(\text{Clear sky})$ กับ $V_{out}(\text{Black body})$ เราสามารถหาค่าระดับของ $V_{out}(\text{Clear sky})$ ได้ 0.915291 โวลต์ โดยการหาค่าเฉลี่ยของค่าสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งทั้งเดือนพฤศจิกายน จากนั้นจึงนำค่าความแตกต่างที่หาได้ไปรวมเพื่อเป็นค่า $V_{out}(\text{Black body})$ สำหรับเดือนมกราคม

$$0.915291 + 0.04272 = 0.958011 \text{ โวลต์}$$

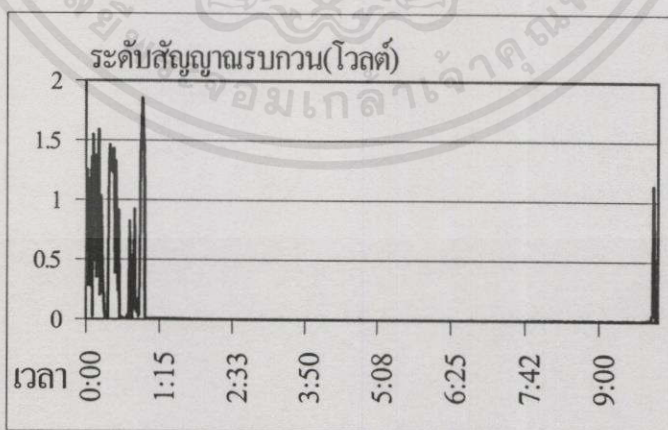
ดังนั้นสำหรับในเดือนพฤศจิกายนจึงมีค่า $V_{out}(\text{Black body})$ เท่ากับ 0.958011 โวลต์ และค่า $V_{out}(\text{Clear sky})$ 0.915291 โวลต์ จึงสามารถแทนค่าในสมการ $L = \left(\frac{V_{out}(\text{Blackbody}) - V_{out}(\text{Clearsky})}{V_{out}(\text{Blackbody}) - V_{out}(\text{Rain})} \right)$

$$L = \left(\frac{V_{out}(\text{Blackbody}) - V_{out}(\text{Clearsky})}{V_{out}(\text{Blackbody}) - V_{out}(\text{Rain})} \right)$$

ได้

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่ง $V_{out}(\text{Clear sky})$ ของเดือนพฤศจิกายน

reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise	reffnoise
0.897104	0.897104	0.917768	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.92481	0.924675	0.924675	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.90977	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799
0.897104	0.890661	0.917768	0.920657	0.90977	0.897559	0.91298	0.939706	0.92481	0.924675	0.935189	0.897109	0.930799



รูปที่ 4.14 ความแตกต่างของระดับสัญญาณระหว่าง $V_{out}(\text{Rain})$ กับ $V_{out}(\text{Clear sky})$ ในเดือนพฤศจิกายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

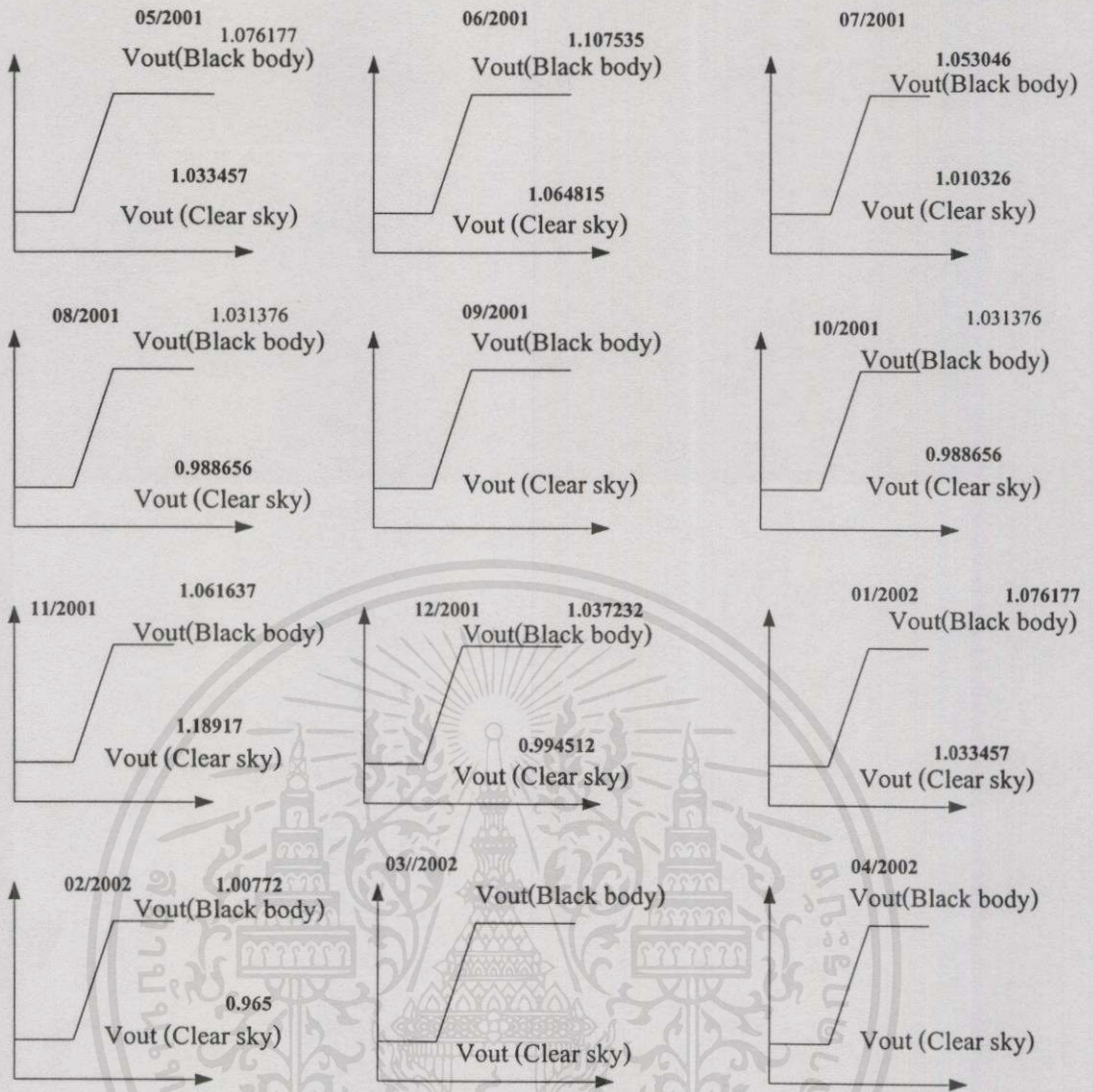
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างการคำนวณเพื่อหาค่าการลดทอนของสัญญาณตามสมการใน โปรแกรม Excel

time	noise ka	reff noise	n cal	top	down	L	A			Time	ATTENUA
0:00:30	1.754865	0.505556	0.958011	0.452455	0.796854	0.567802	-0.2458			0:00:30	-2.45803
0:01:22	1.340021	0.500556	0.958011	0.457455	0.38201	1.197495	0.078274			0:01:22	0.782736
0:02:13	0.780577	0.500556	0.958011	0.457455	0.177435	2.578163	0.41131			0:02:13	4.113103
0:03:05	1.319218	0.500556	0.958011	0.457455	0.361207	1.266462	0.102592			0:03:05	1.025922
0:03:57	1.859064	0.500556	0.958011	0.457455	0.901053	0.507689	-0.2944			0:03:57	-2.94402
0:04:48	0.528167	0.500556	0.958011	0.457455	0.429845	1.064234	0.027037			0:04:48	0.27037
0:05:50	2.050494	0.500556	0.958011	0.457455	1.092483	0.41873	-0.37807			0:05:50	-3.78066
0:06:52	1.827424	0.500556	0.958011	0.457455	0.869413	0.526165	-0.27888			0:06:52	-2.78878
0:07:54	1.87454	0.500556	0.958011	0.457455	0.916529	0.499117	-0.3018			0:07:54	-3.01798
0:08:56	0.850627	0.500556	0.958011	0.457455	0.107384	4.26	0.62941			0:08:56	6.294096
0:09:58	1.317548	0.500556	0.958011	0.457455	0.359537	1.272345	0.104605			0:09:58	1.046048
0:10:59	1.948978	0.500556	0.958011	0.457455	0.990967	0.461625	-0.33571			0:10:59	-3.35711
0:12:01	2.086599	0.500556	0.958011	0.457455	1.128588	0.405334	-0.39219			0:12:01	-3.92187
0:13:03	0.703805	0.500556	0.958011	0.457455	0.254206	1.799546	0.255163			0:13:03	2.551629
0:14:05	1.536153	0.500556	0.958011	0.457455	0.578142	0.79125	-0.10169			0:14:05	-1.01686
0:15:07	1.221144	0.500556	0.958011	0.457455	0.263133	1.738493	0.240173			0:15:07	2.401731
0:16:09	0.85597	0.500556	0.958011	0.457455	0.102041	4.483047	0.651573			0:16:09	6.515732
0:17:11	0.585676	0.500556	0.958011	0.457455	0.372335	1.228612	0.089415			0:17:11	0.894146
0:18:12	0.509428	0.500556	0.958011	0.457455	0.448583	1.019777	0.008505			0:18:12	0.085054

ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บผลการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณรบกวนมาตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมีนาคม 2545 เป็นเวลา 11 เดือน สำหรับเดือนอื่นก็เป็นวิธีเดียวกับเดือน มกราคมคือหา Vout (Clearsky) ที่มาจากการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่อยู่ในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งทั้งเดือนแล้วจึงนำไปรวมกับค่าความแตกต่างระหว่าง Vout (Clear sky) กับ Vout (Black body) ที่หาได้จากเดือนกุมภาพันธ์จึงจะสามารถหาค่า Vout (Black body) ที่สามารถใช้ได้กับเดือนนั้น ๆ จากนั้นจึงสามารถหาค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ได้ สำหรับการหาค่าการลดทอนวิธีนี้การคาลิเบรทเพื่อหาระดับของ Vout (Black body) และ การหาค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณรบกวนในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งมีความสำคัญมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิรอบข้างตัวจานสายอากาศมีผลทำให้ระดับสัญญาณในการคาลิเบรทมีการแกว่งตัวขึ้นลงไม่เสถียรเท่าที่ควร ดังนั้นในการหาค่า Vout (Black body) นั้นควรจะกระทำทิ้งไว้เป็นเวลาหลาย ๆ วัน เพื่อดูระดับสัญญาณที่ใกล้จุดอิ่มตัวอย่างชัดเจน

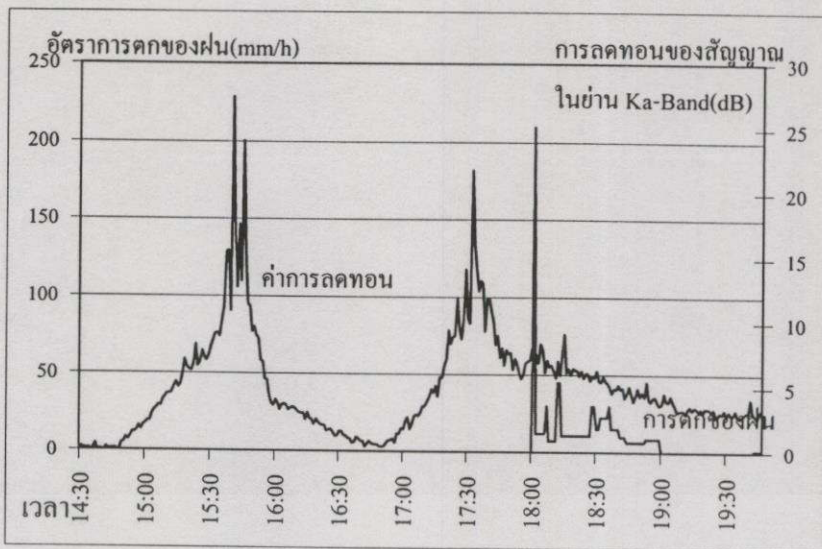
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่า Vout (Clear sky) และค่า Vout (Black body) ของเดือนต่างๆ

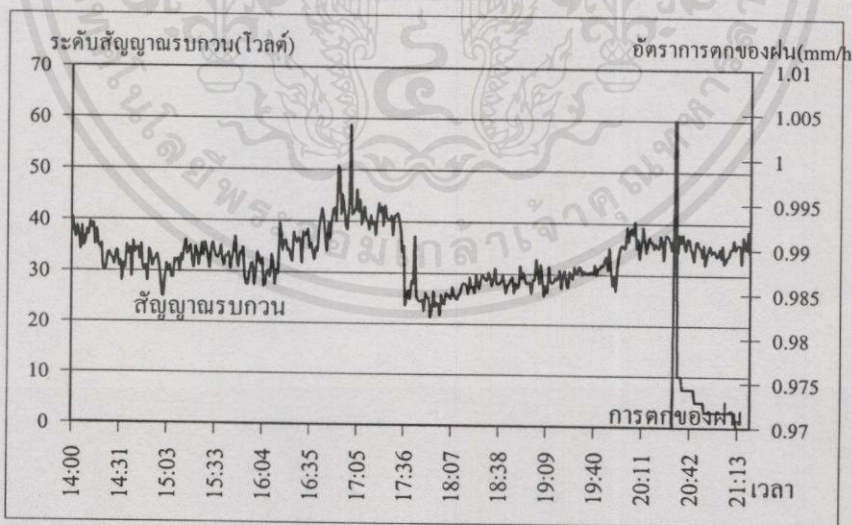
เมื่อสามารถแปลงสัญญาณรบกวนที่รับได้เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ได้แล้วก็จะนำวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์กับอัตราการตกของฝนซึ่งในปี 2544 นั้นเป็นปีที่ฤดูฝนมีฝนตกน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมีฝนตกหนักในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายนเท่านั้น ปริมาณที่ฝนตกหนักที่สุดที่วัดได้ประมาณ 180 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงในเดือนพฤศจิกายน โดยค่าของอัตราการตกของฝนจะทำการเก็บข้อมูลโดยเครื่องเก็บน้ำฝนแบบ Tripping Bugget ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าการลดทอนที่สามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



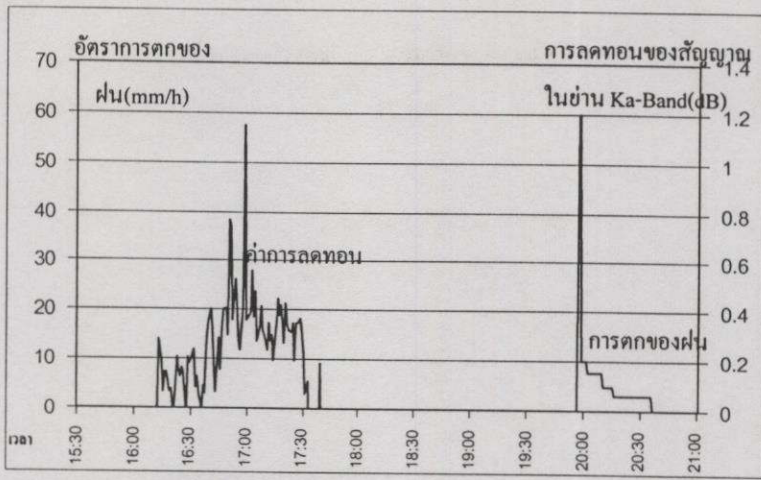
รูปที่ 4.16 การลดทอนของสัญญาณ ในย่าน Ka-Band เมื่อนำมาวิเคราะห์เทียบกับอัตราการตกของฝน

จากรูปที่ 4.16 เป็นตัวอย่างในกรณีที่มีฝนตกหนักถึง 180 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเป็นระยะเวลานานจะสังเกตได้ว่าการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band ก่อนฝนจะตกลงมาเนื่องจากฝนตกครั้งนี้มีการก่อตัวของเมฆฝนเป็นระยะเวลานานทำให้เกิดการคายและดูดพลังงานตามบทที่ 2 มีผลให้รับสัญญาณรบกวนที่รับมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่เมฆฝนก่อตัวดังนั้นการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band นี้มีผลกระทบตั้งแต่เมฆฝนเริ่มก่อตัวมิใช่มีการลดทอนเฉพาะตอนฝนตกเท่านั้นตามสัญญาณของ Ku-Band



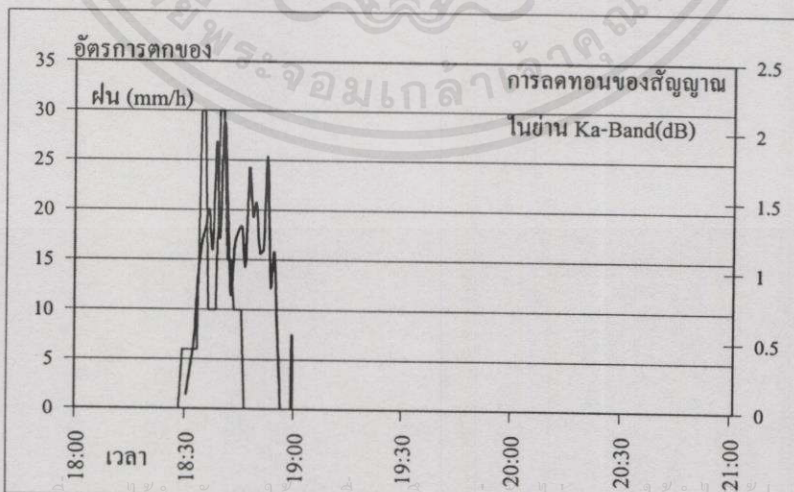
รูปที่ 4.17 ระดับสัญญาณรบกวนที่สูงขึ้นในขณะที่ฝนยังไม่ตกแต่เนื่องจากเมฆฝนที่เริ่มก่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ในรูปเป็นการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนเนื่องจากการก่อตัวของเมฆฝนซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัญญาณในย่านความถี่สูงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศเป็นอย่างมาก



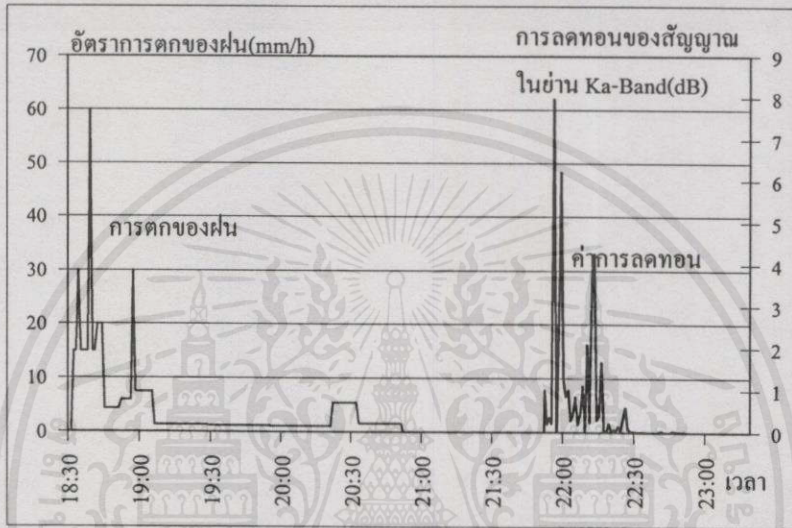
รูปที่ 4.18 การลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band เมื่อนำมาวิเคราะห์เทียบกับอัตราการตกของฝน

จากรูปก็เป็นอีกเหตุการณ์หนึ่งที่มีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการตกของฝน จึงสามารถคาดคะเนได้ว่าการลดทอนในย่าน Ka-Band นี้เป็นเมฆฝนที่เริ่มก่อตัวที่อิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณสูงกว่าในย่าน Ku-Band ที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเฉพาะที่ฝนตกเท่านั้น จากการสังเกตค่าการลดทอนของสัญญาณที่มีอิทธิพลจากเมฆฝนมีค่าสูงเท่ากับในเฉพาะที่เกิดฝนตก ดังนั้นจึงมีอีกปัจจัยที่ไม่สามารถละเลยได้ในการลดทอนในย่าน Ka-Band บางครั้งเมื่อสังเกตดูระดับสัญญาณรบกวนในช่วงเช้าของช่วงฤดูฝนในสภาวะท้องฟ้าที่ปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆฝนในระยะใกล้ที่สังเกตได้แต่สัญญาณรบกวนที่รับได้มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ แต่ช่วงบ่ายจะมีฝนตกดังนั้นจึงเชื่อว่าสัญญาณรบกวนที่รับได้มีความไวต่อการดูดและคายพลังงานของบรรยากาศสูงทำให้สามารถจับการเปลี่ยนแปลงในภาวะที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ในการตรวจจับแนวโน้มการตกของฝนในอนาคต



รูปที่ 4.19 การลดทอนของสัญญาณที่ตรงกับฝนตก

เป็นการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในสถานะที่ฝนตกตามแนวความคิดเดิมที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณทั้งในย่าน Ku-Band และ Ka-Band นอกเหนือจากการลดทอนก่อนฝนตกและขณะฝนตกแล้ว ในบางเหตุการณ์เมื่อฝนตกได้ผ่านไปแล้วแต่ระดับสัญญาณรบกวนไม่กลับมาอยู่ในสถานะเดิมแต่จะกลับมาในระดับสัญญาณเดิมเมื่อผ่านไปแล้วหลายชั่วโมง นั้นหมายถึงมีการลดทอนของสัญญาณหลังจากที่เกิดฝนตกจะเกิดในสถานะที่ฝนตกหนัก เนื่องจากเมื่อมีฝนตกหนักก็จะมี ความชื้นสูงในบรรยากาศและความชื้นก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดทอนในย่านความถี่สูง

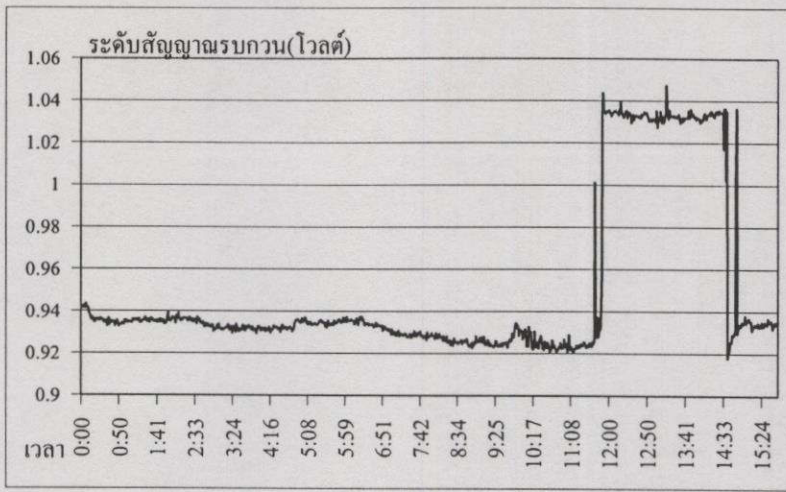


รูปที่ 4.20 การลดทอนของสัญญาณหลังจากที่ฝนตกผ่านไปแล้ว

ดังนั้นเมื่อพิจารณาช่วง 3 เหตุการณ์ในขณะฝนตกคือ ก่อนเกิดฝนตก ขณะฝนตก และหลังเกิดฝนตก จะมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นทั้ง 3 เหตุการณ์แตกต่างจากแนวความคิดเดิมที่ว่า การเกิดการลดทอนของสัญญาณในย่าน Ka-Band นั้นจะมีลักษณะการเกิดคล้ายๆ กับการลดทอนในย่าน Ku-Band แต่จะมีการลดทอนที่รุนแรงกว่า ก็จะเกิดขึ้นในสถานะที่ฝนกำลังตกเท่านั้น แต่จากการวิเคราะห์แล้วพบว่าสัญญาณในย่านความถี่ Ka-Band จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศมากกว่าสัญญาณในย่าน Ku-Band นอกเหนือจากปัจจัยการเกิดฝนตกที่คิดว่าเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการลดทอนแล้วทางผู้วิจัยคิดว่าความชื้นในบรรยากาศก็มีอิทธิพลใกล้เคียงกับการเกิดฝนซึ่งจะกล่าวต่อไป

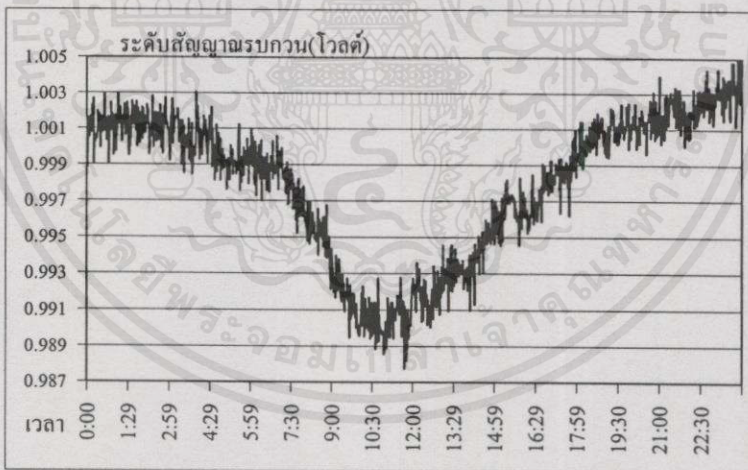
นอกจากนี้ยังมีเมฆฝนที่ก่อตัวในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ แต่ไม่เกิดฝนตกแต่สัญญาณรบกวนสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้จะสังเกตจากการเพิ่มขึ้นและการแปรปรวนของสัญญาณของระดับสัญญาณในระยะเวลาสั้น ๆ แล้วกลับคืนสู่ระดับสัญญาณเดิม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



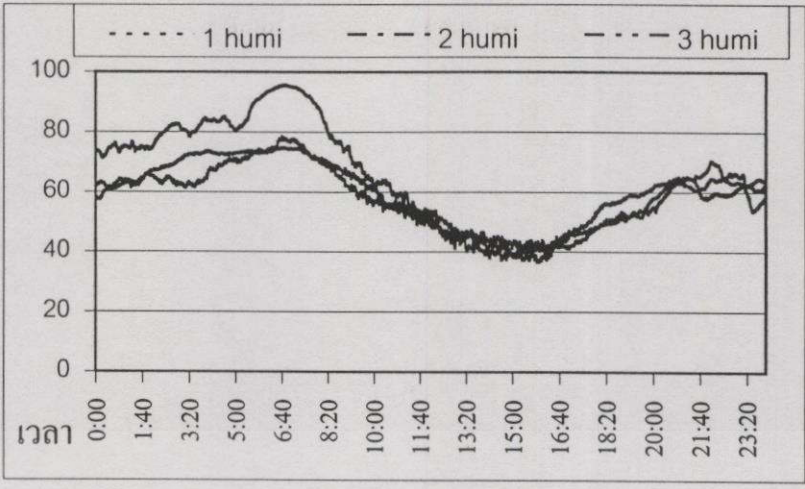
รูปที่ 4.21 การเพิ่มของสัญญาณในช่วงสั้นๆ เกิดจากเมฆฝนที่ไม่ตกแต่ได้สลายตัวไป

ผู้วิจัยยังพบว่าในการรับสัญญาณรบกวนนี้มีระดับสัญญาณรบกวนในสภาวะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Nclear sky) ในตอนกลางคืนสูงกว่าค่าในตอนกลางวัน กล่าวคือเมื่อสังเกตในสภาวะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky) สัญญาณรบกวนที่รับได้จะมีระดับสัญญาณรบกวนในตอนกลางคืนจะมีค่าสูงกว่าในตอนกลางวันและจะมีค่าสูงสุดประมาณ 24.00น. และจากนั้นระดับสัญญาณจะค่อย ๆ ลดลงมาจนต่ำสุดที่เวลาประมาณ 15.00น และจะเริ่มขึ้นใหม่ในช่วงเวลาถัดไป

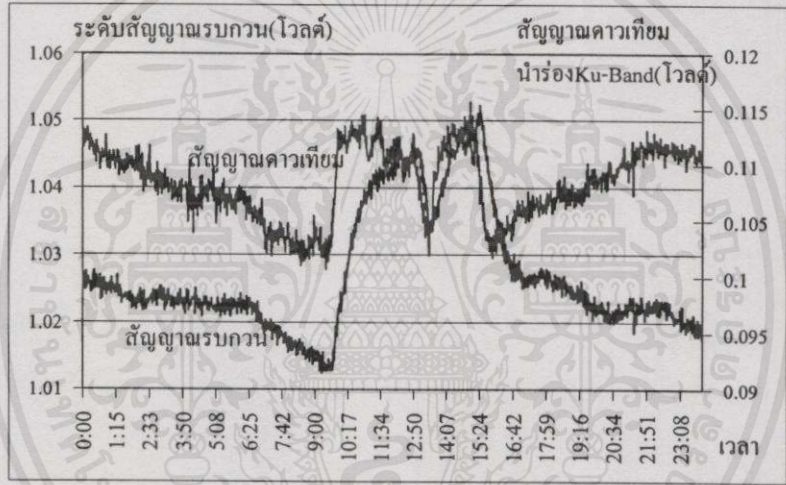


รูปที่ 4.22 การเพิ่มขึ้นและลดลงของสัญญาณรบกวนในรอบ 24 ชั่วโมง

จากรูป 4.22 วิเคราะห์ได้ว่าสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนในสภาวะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง (Clear sky) เกิดมาจากน้ำค้างที่เกิดในตอนกลางคืน ถ้ามีแนวความคิดว่าน้ำค้างก็คือหยดน้ำที่เป็นละอองเล็กๆ ที่ตกลงมาเสมือนเป็นฝนที่ตกลงมาแต่มีปริมาณที่น้อยกว่าและอิทธิพลของความชื้นในบรรยากาศประกอบกันทำให้ระดับของสัญญาณเพิ่มขึ้น และในตอนกลางวันระดับของสัญญาณจะลดลงเป็นช่วงที่ความชื้นมีค่าต่ำสุดของวันพอดี



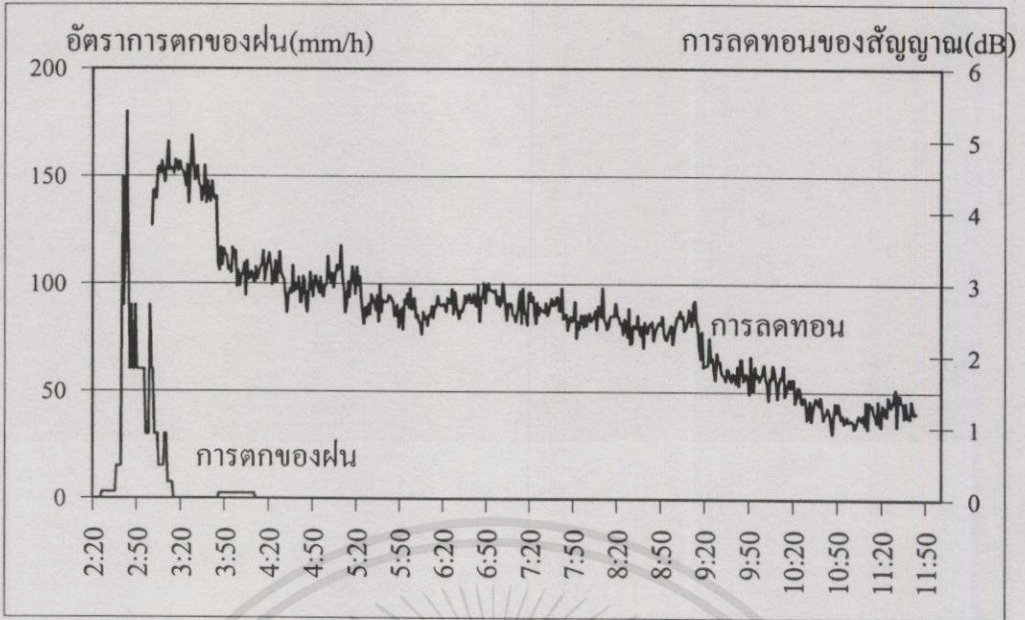
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ใน 24 ชั่วโมง



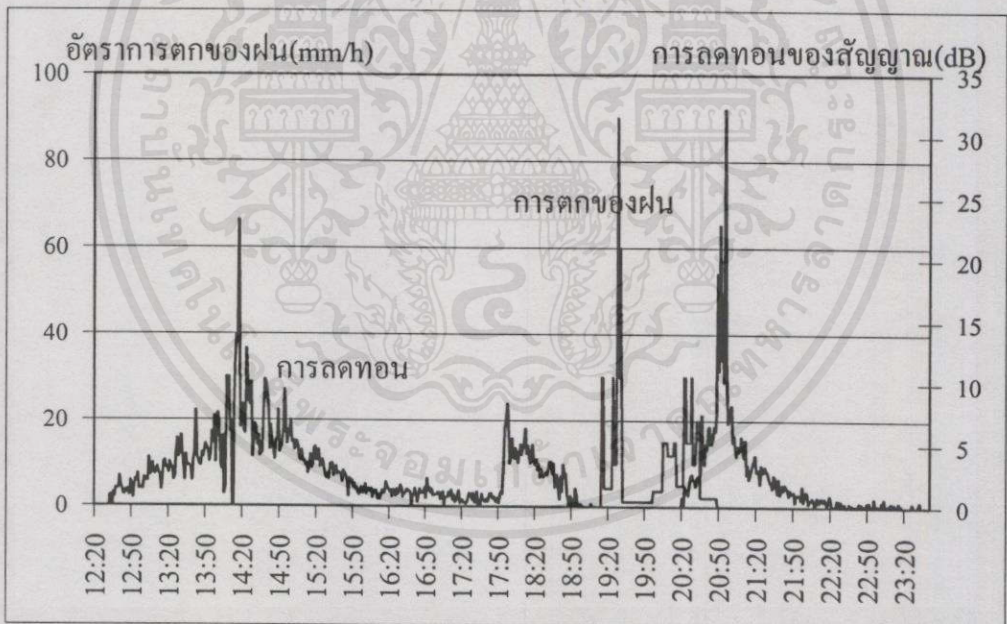
รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณรบกวนในย่าน Ka-Band กับ สัญญาณดาวเทียมนำร่องของดาวเทียมไทยคม 2 ในย่าน Ku-Band

จะเห็นในรูป4.24ว่าเป็นการแปรปรวนของสัญญาณรบกวนเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณดาวเทียมในย่าน Ku-Band ในขณะที่เกิดฝนตกสังเกตได้ว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของสัญญาณรบกวนนั้นหมายถึงเกิดการลดทอนในสัญญาณย่าน Ka-Band ตั้งแต่เวลาประมาณ 9.30น แต่การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมนำร่องในย่าน Ku-Band จะเกิดการลดทอนในขณะที่ฝนตกเท่านั้นคือเวลาประมาณ13.00น ซึ่งเกิดภายหลังนานหลายชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

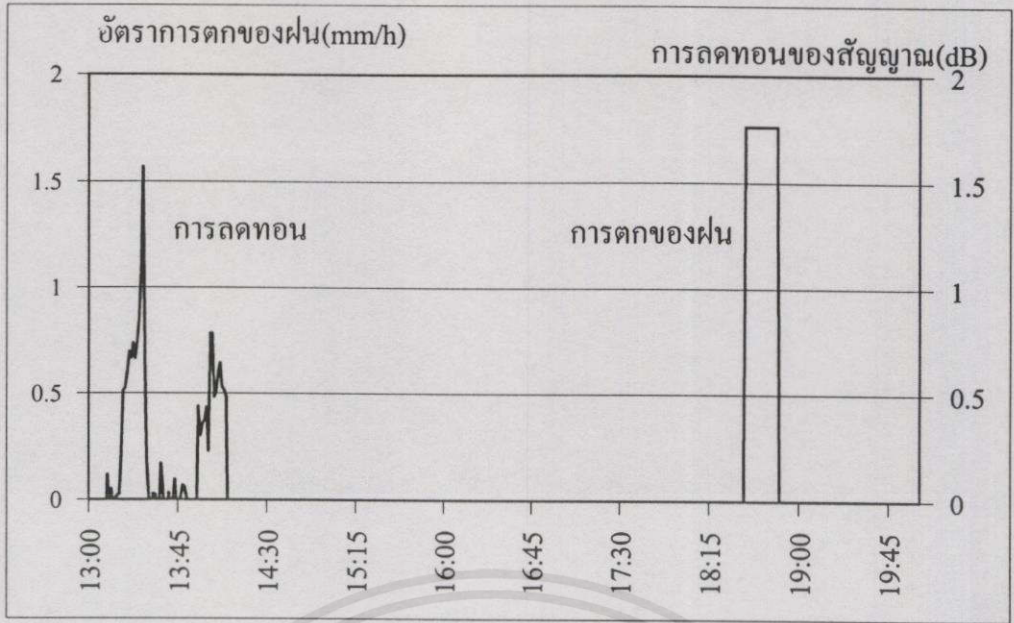


(ก) 3 พฤษภาคม 2544

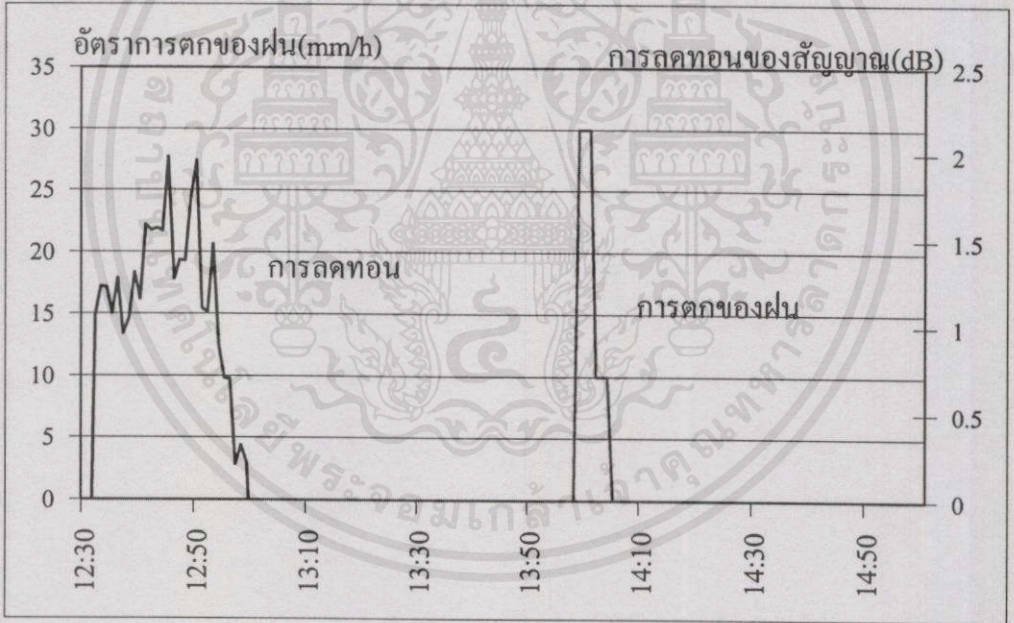


(ข) 9 พฤษภาคม 2544

รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนในย่าน Ka-Band ที่หาได้จากสมการกับอัตราการตกของฝน เป็นเอกสารที่สวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



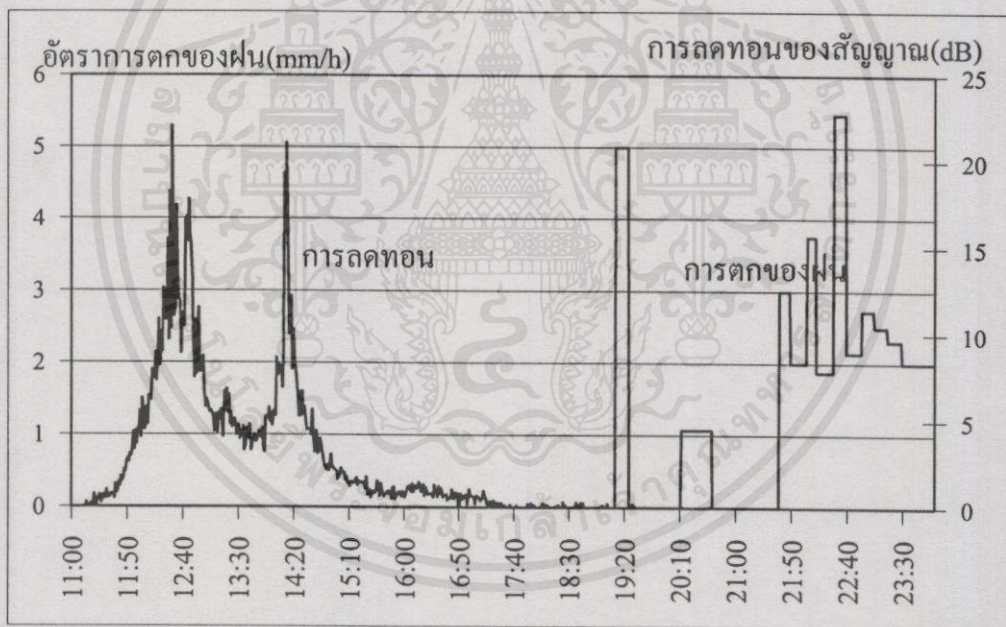
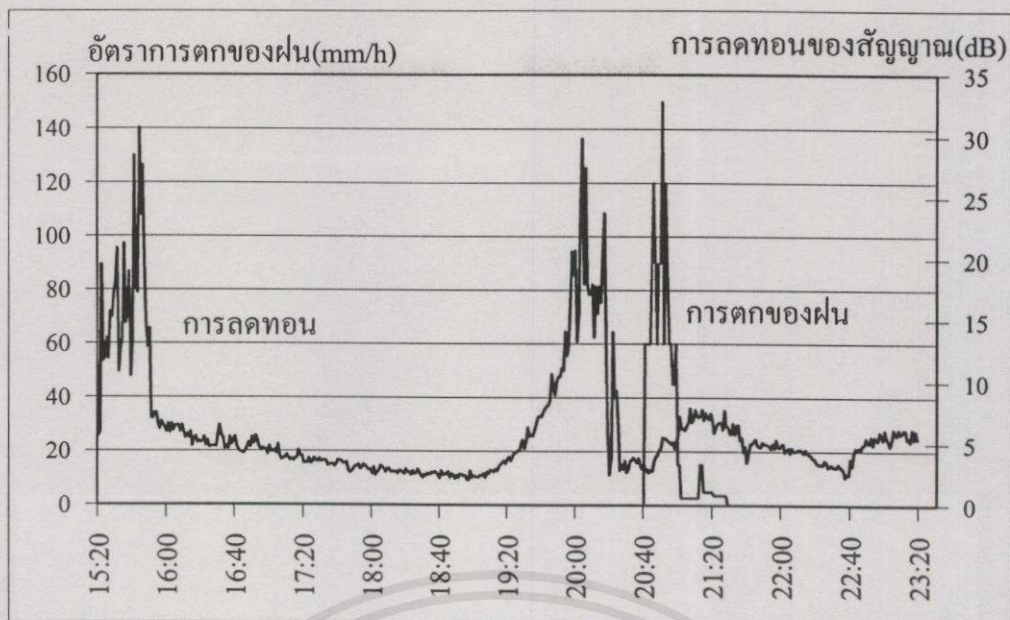
(ค). 12 พฤษภาคม 2544



(ง) 13 พฤษภาคม 2544

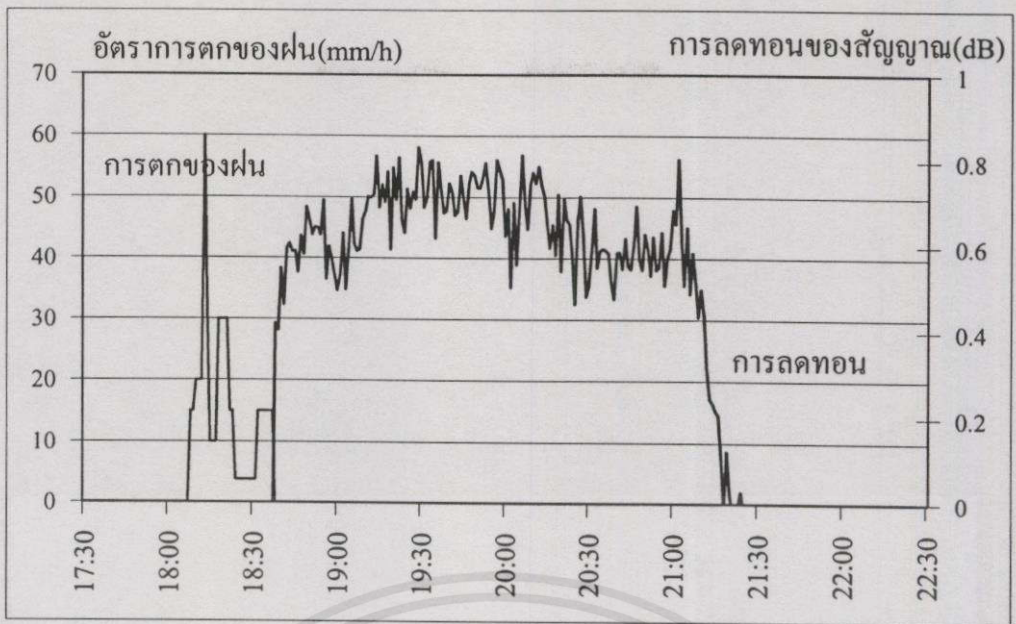
รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

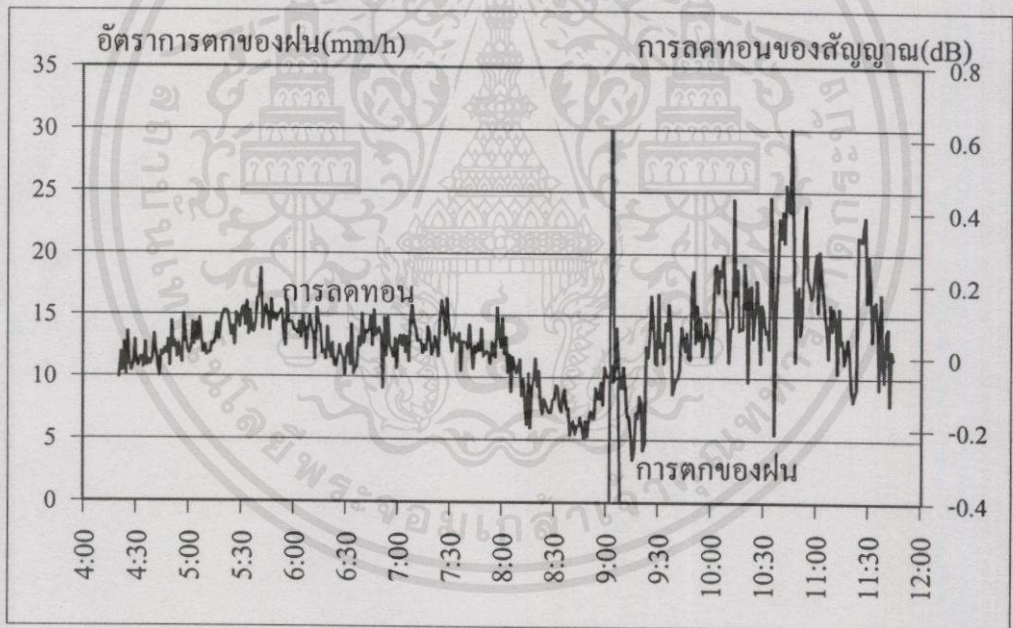


รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



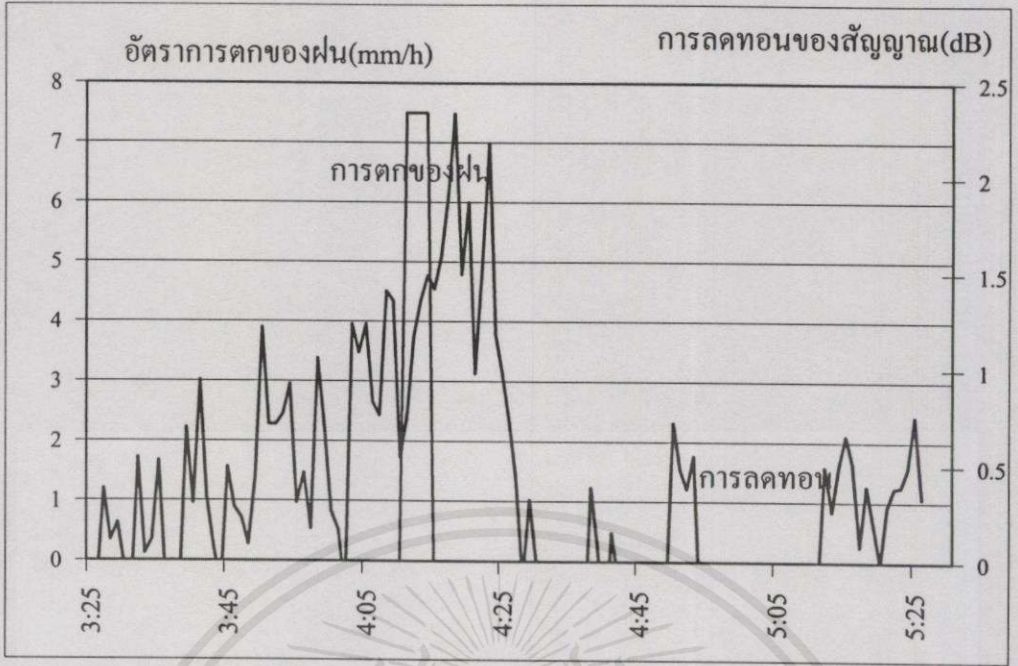
(ช) 26 พฤษภาคม 2544



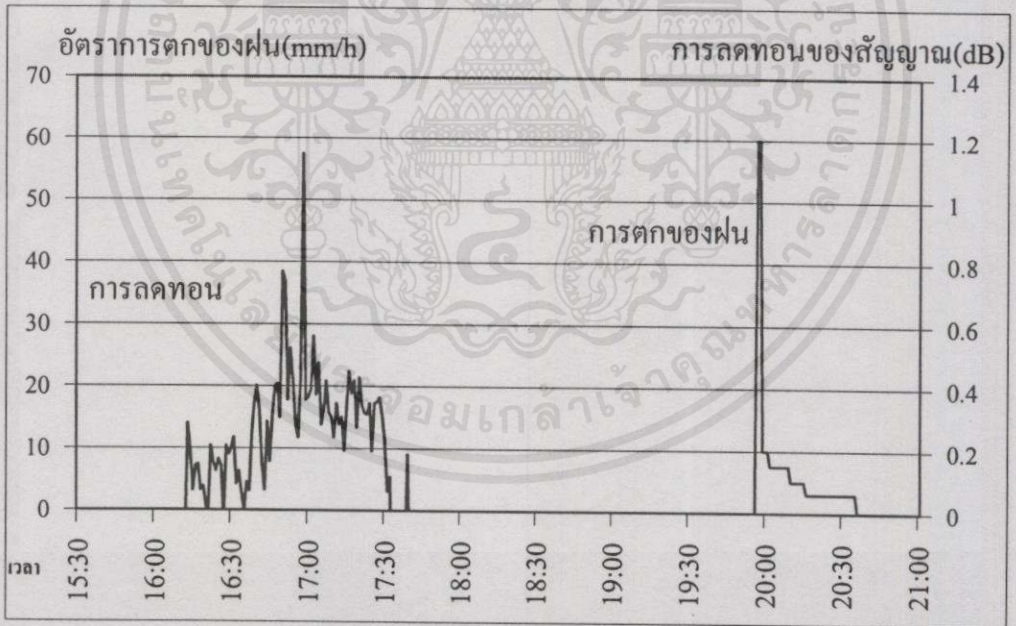
(ช) 31 พฤษภาคม 2544

รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



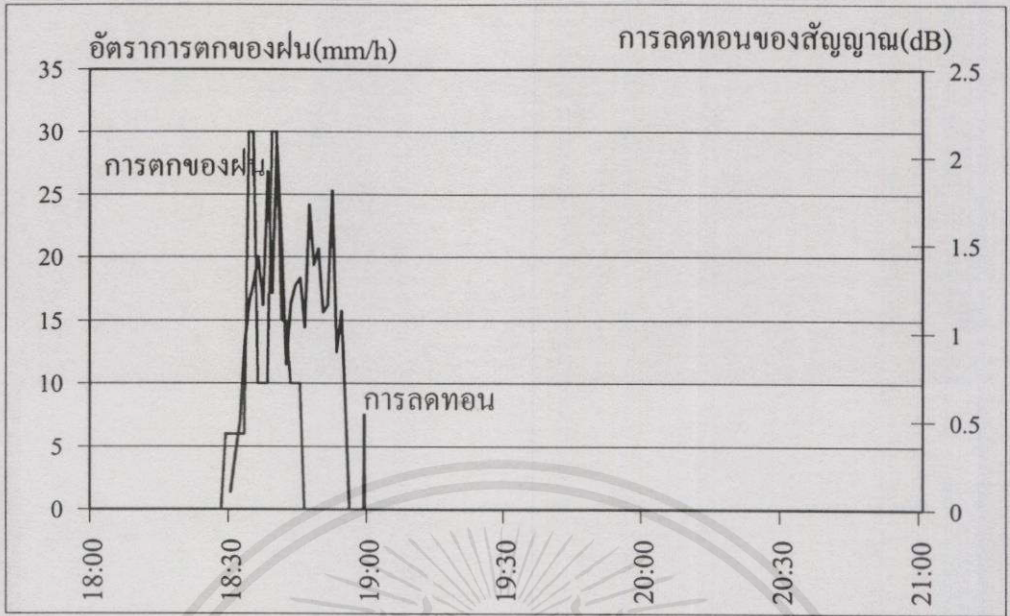
(ฉ) 3 มิถุนายน 2544



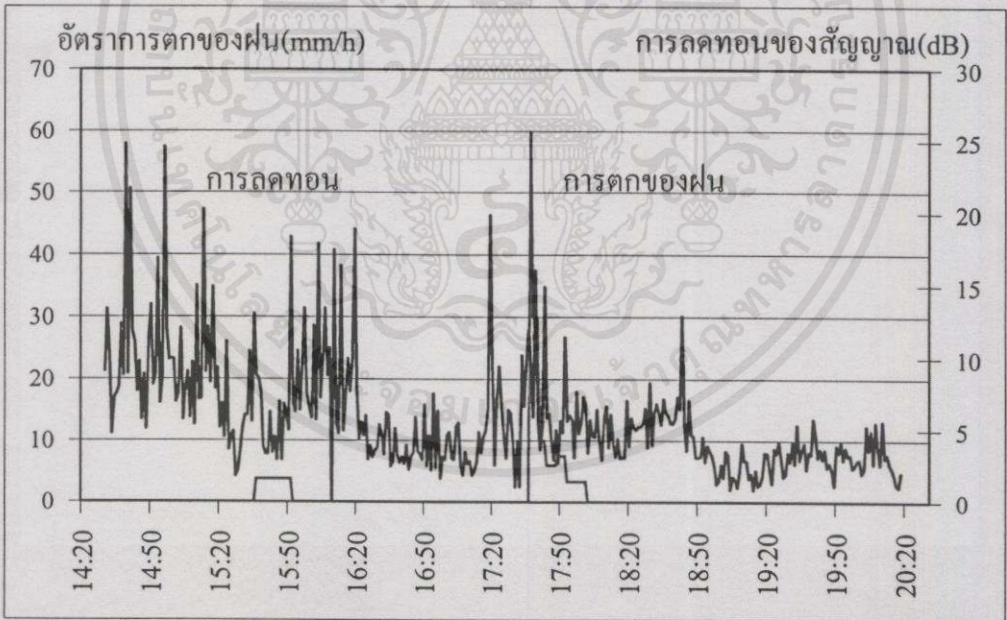
(ญ) 29 กรกฎาคม 2544

รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



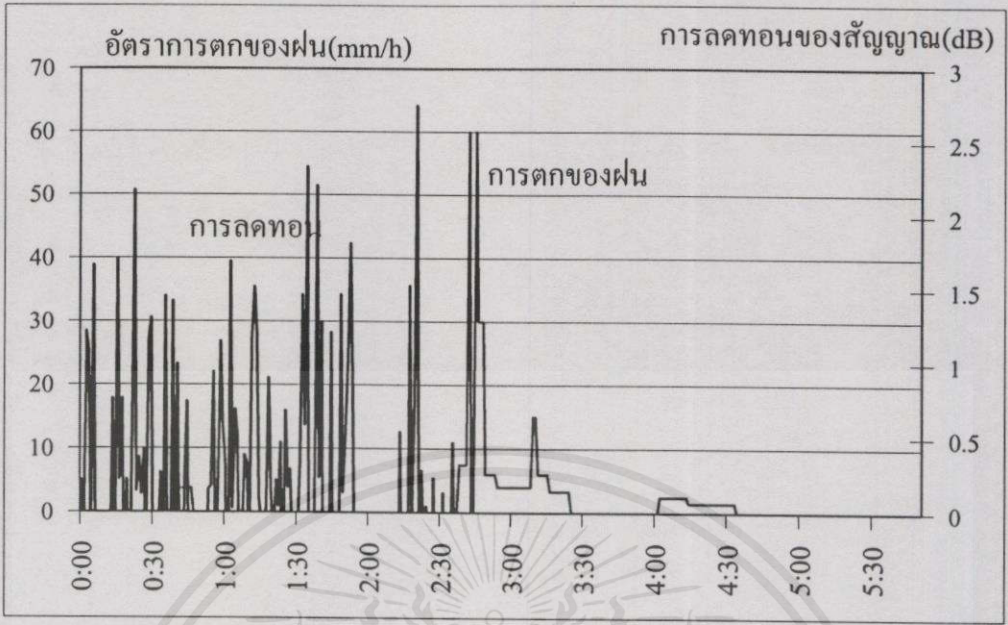
(ฎ) 1 สิงหาคม 2544



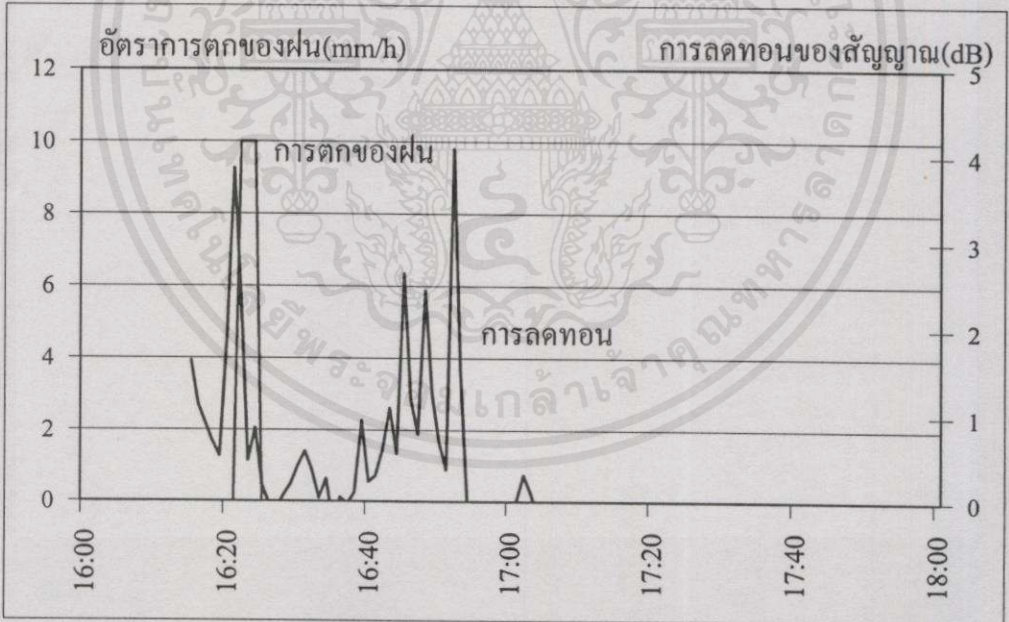
(ฎ) 5 สิงหาคม 2544

รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



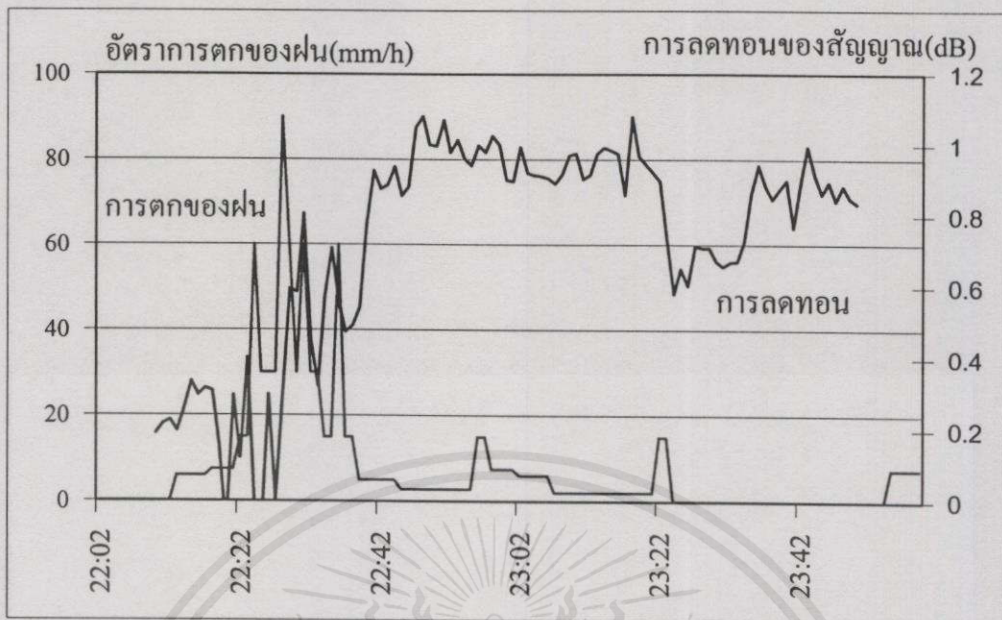
(จ) 6 สิงหาคม 2544



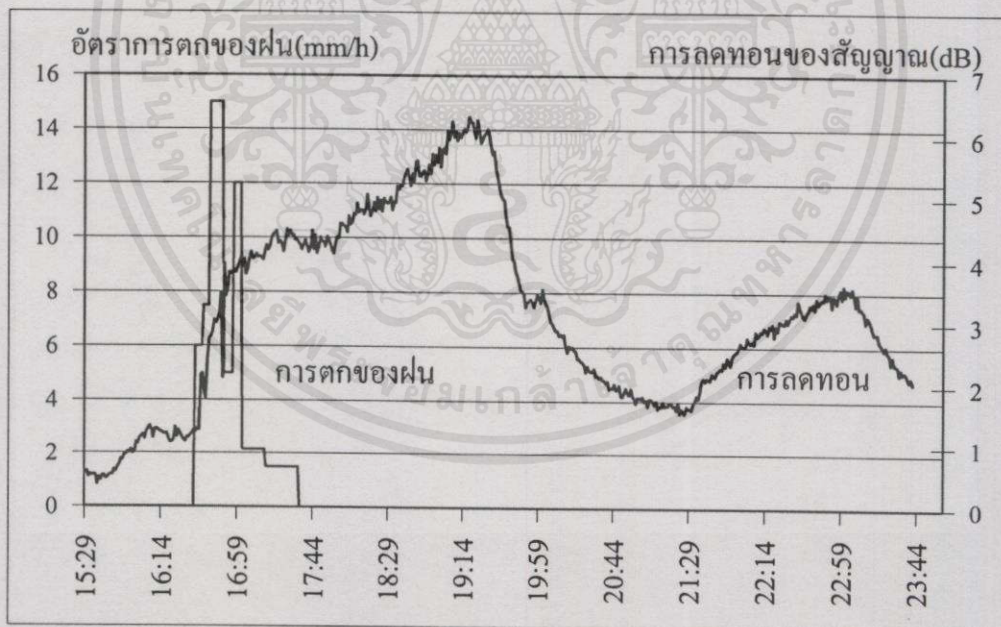
(ข) 7 สิงหาคม 2544

รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



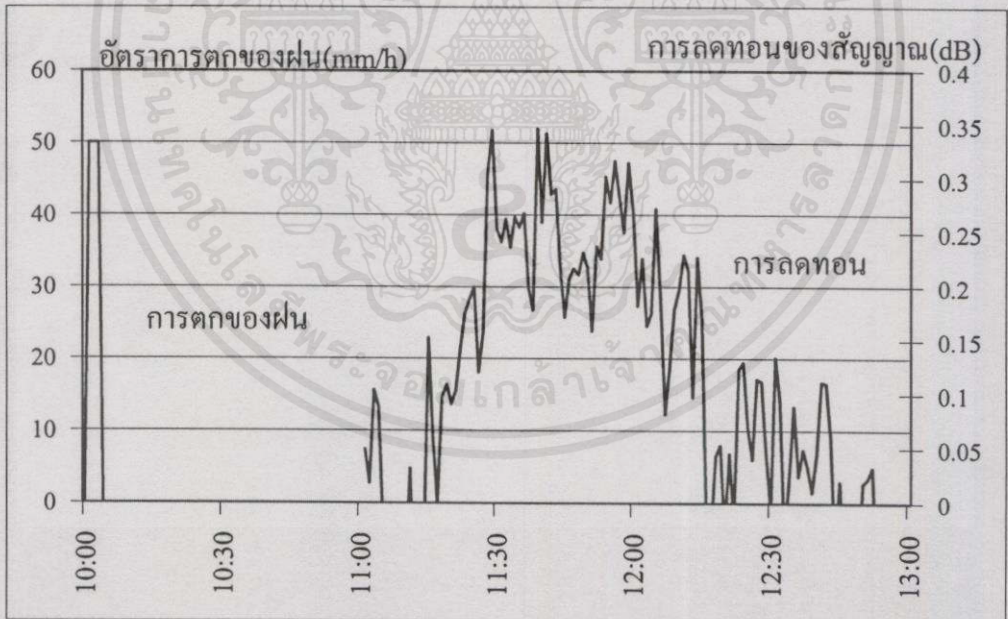
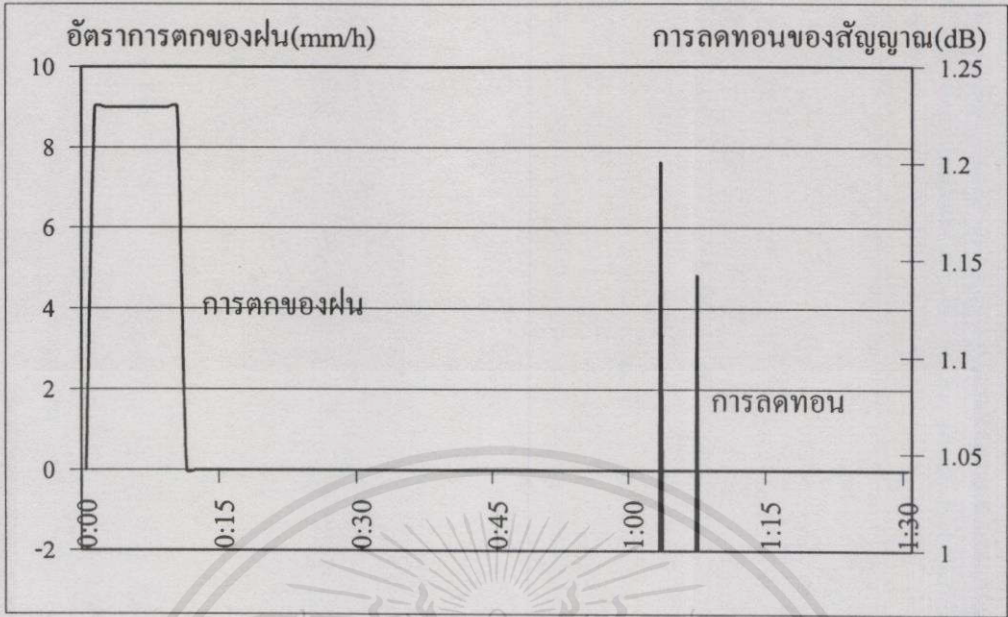
(ต) 13 สิงหาคม 2544



(ณ) 14 สิงหาคม 2544

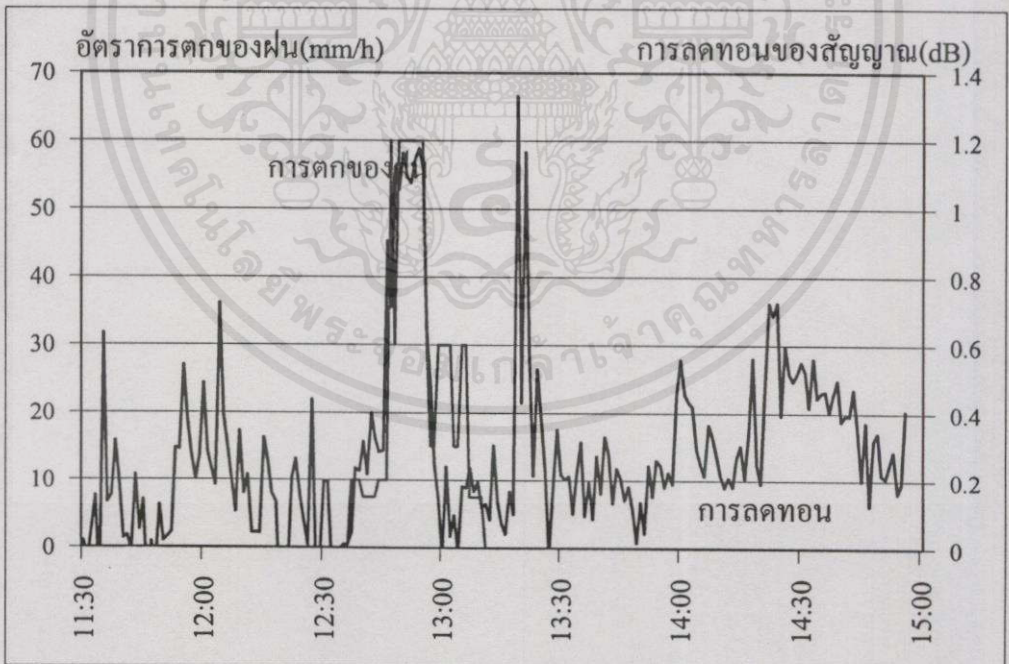
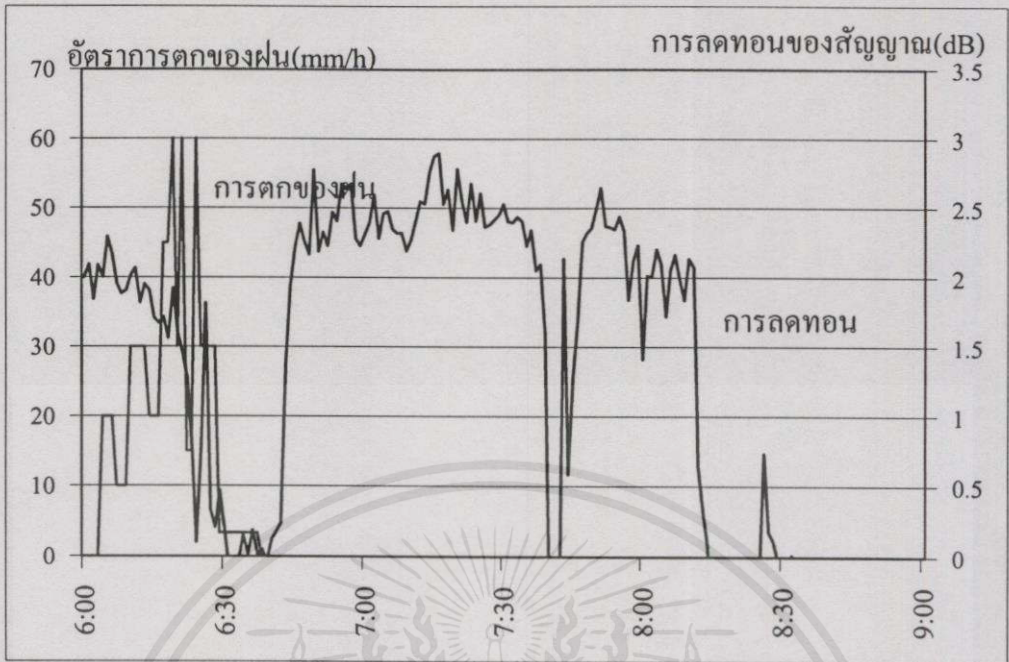
รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

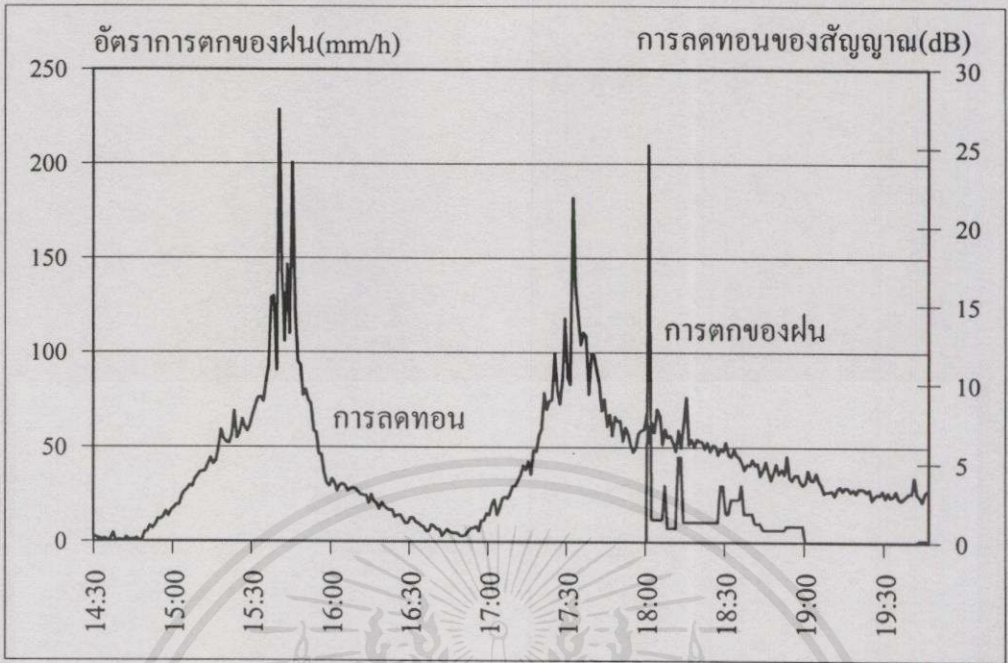


รูปที่ 4.25 (ต่อ)

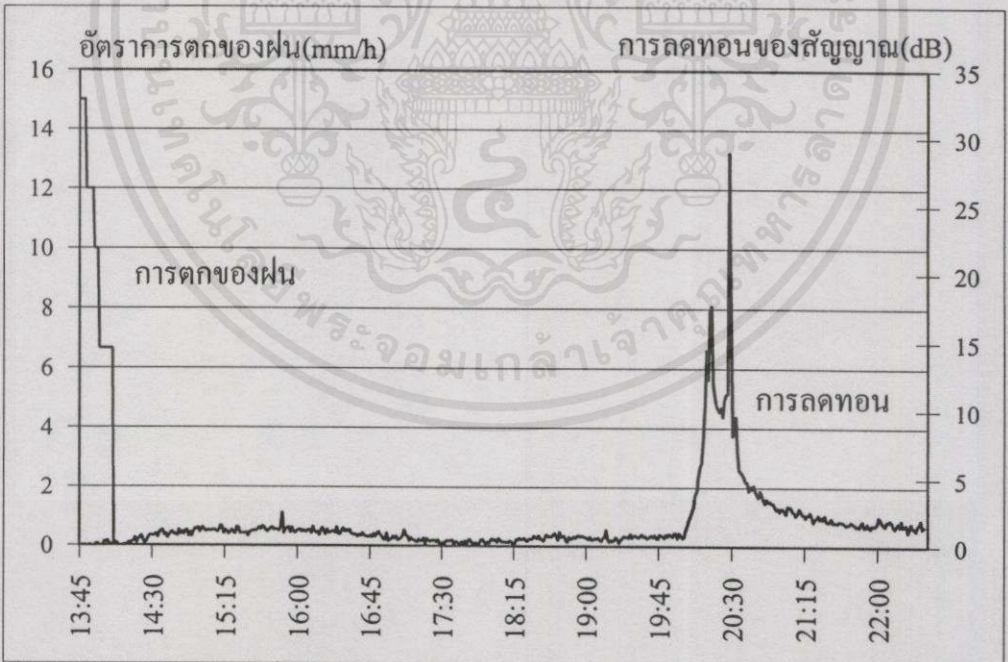
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ท) 9 กันยายน 2544 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.25 (ต่อ) อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

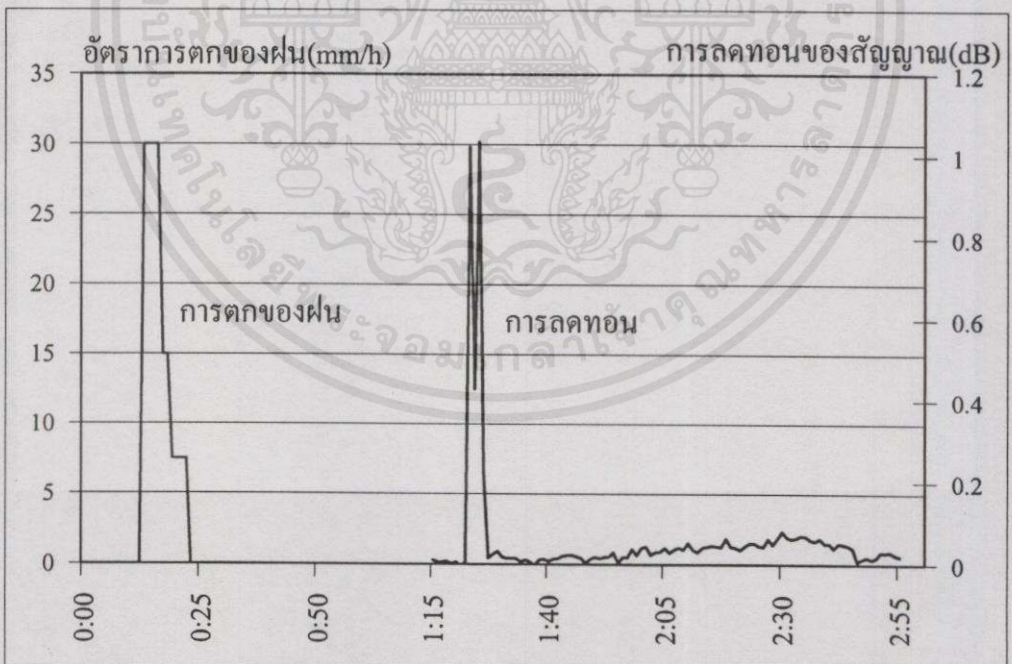
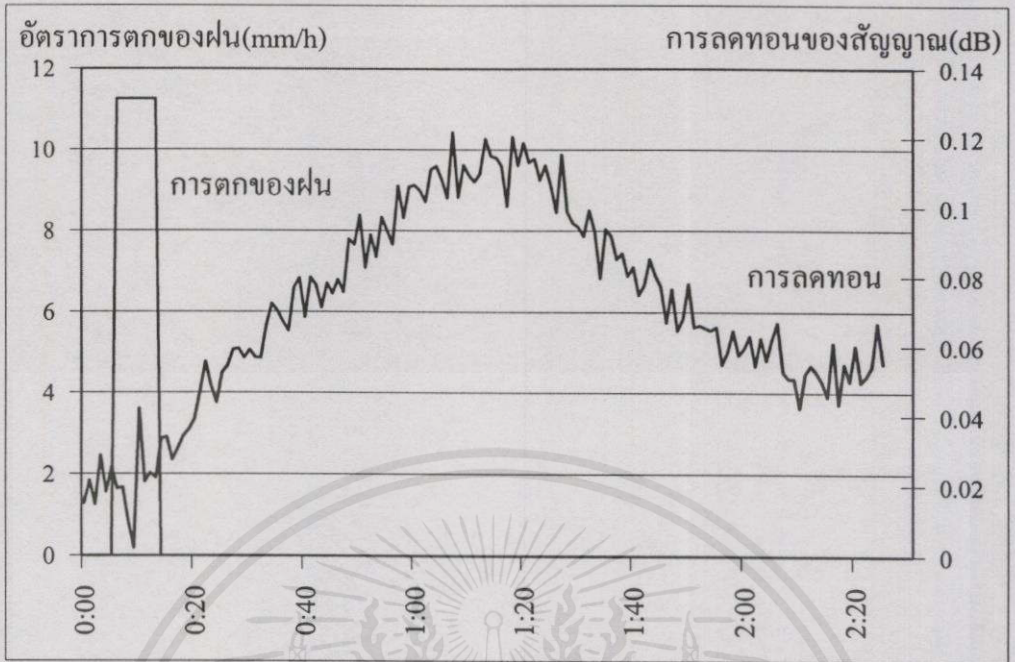


(ข) 12 กันยายน 2544

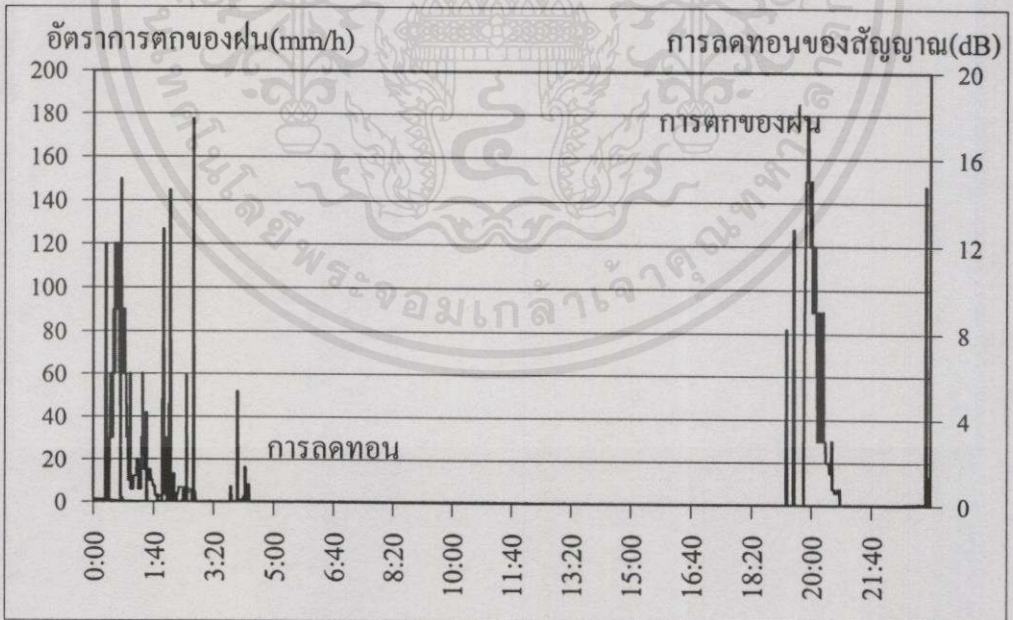
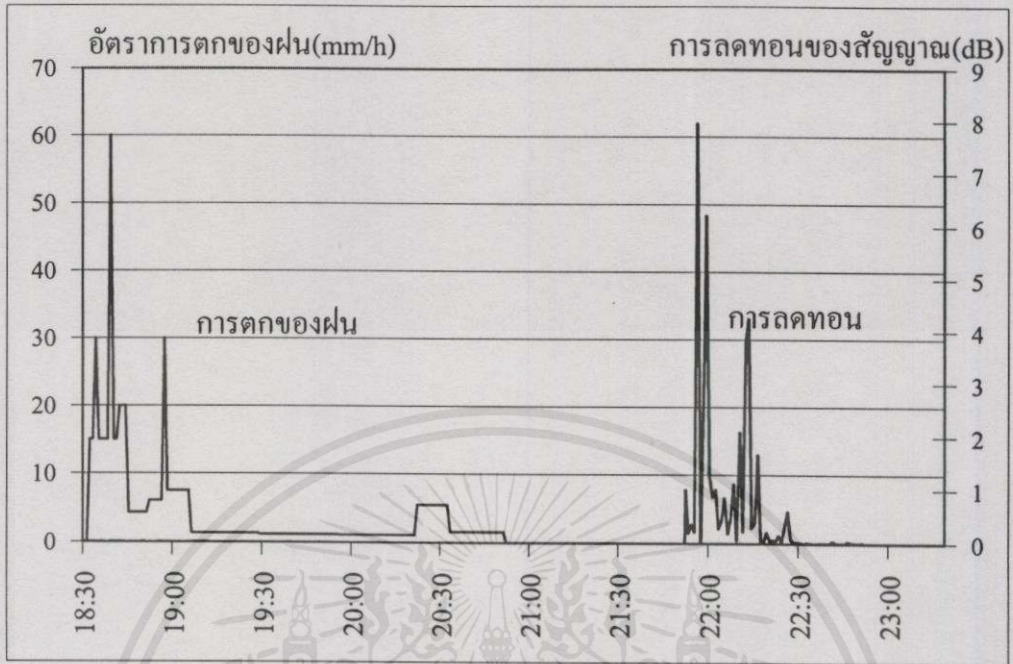


(ง) 13 กันยายน 2544

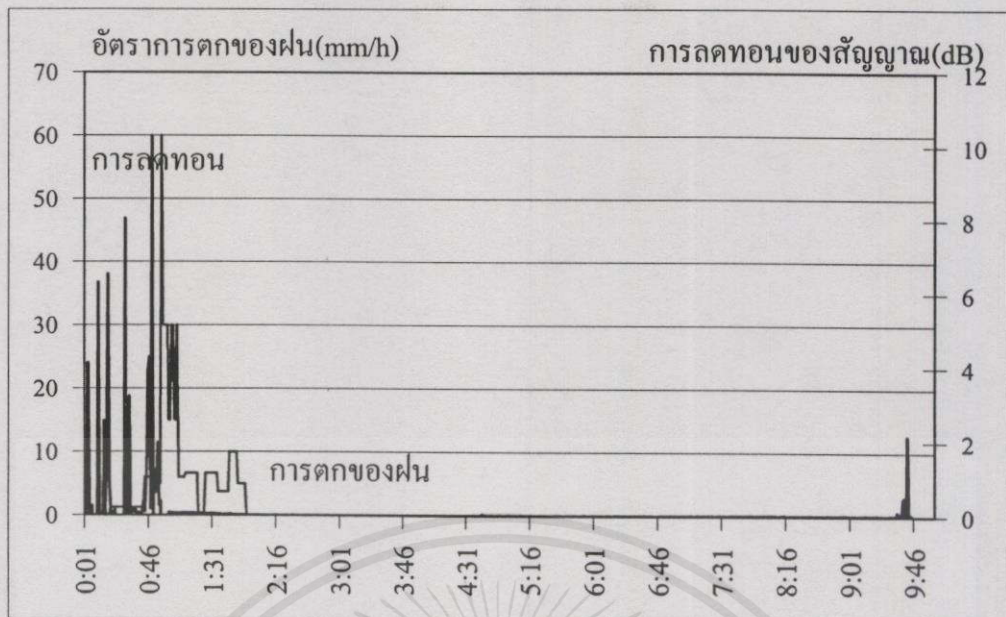
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของกรมฯ เป็นเอกสารที่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.25 (ต่อ) อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



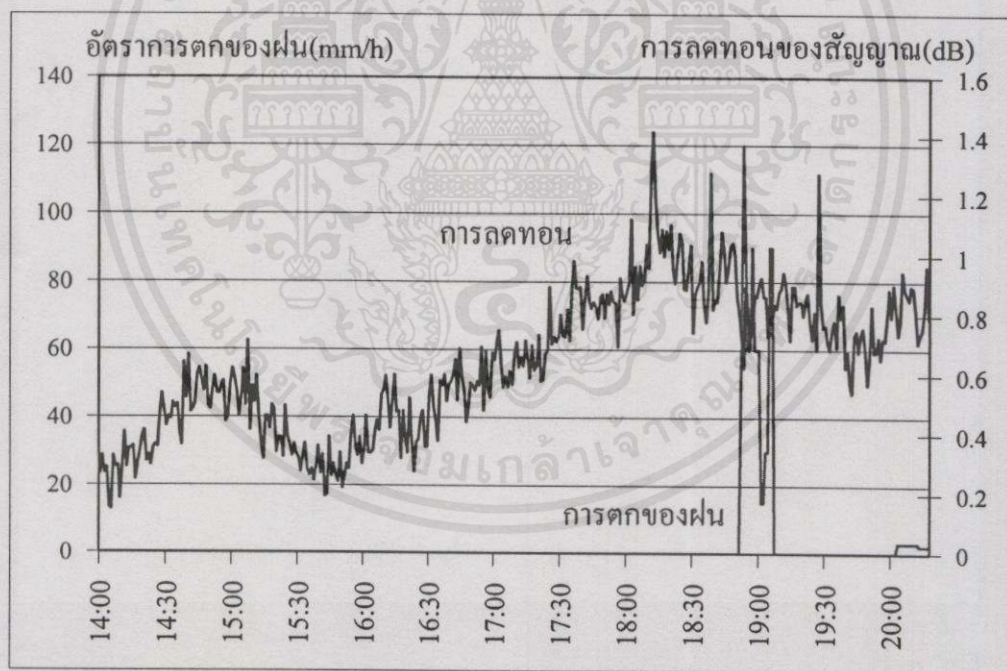
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้(ป) 18 กันยายน 2544 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.25 (ต่อ) อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ (ศ) 23 กันยายน 2544 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.25 (ต่อ) อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



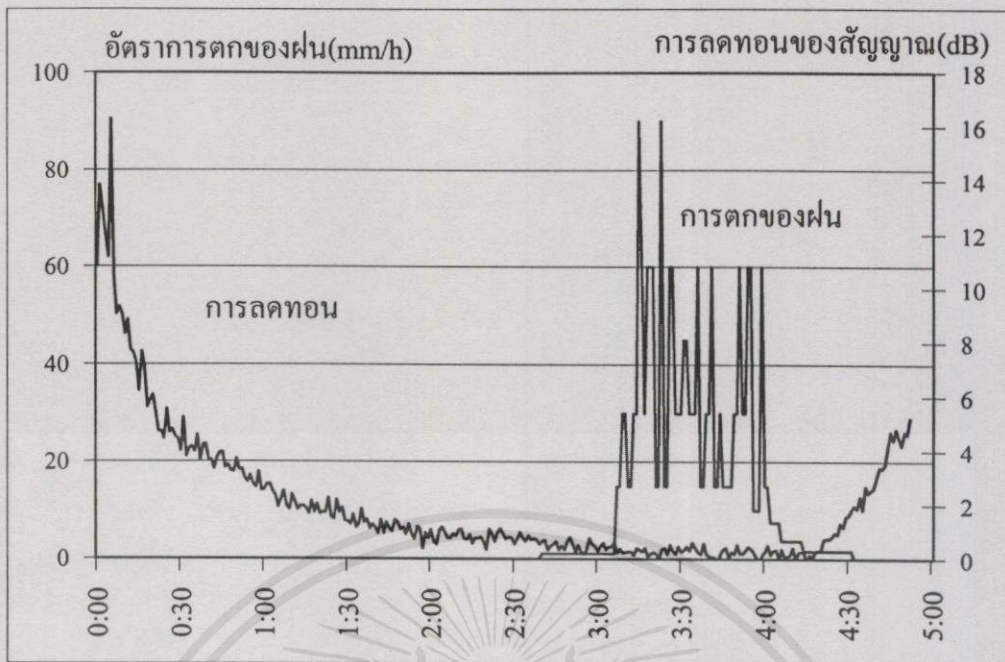
(จ) 24 กันยายน 2544



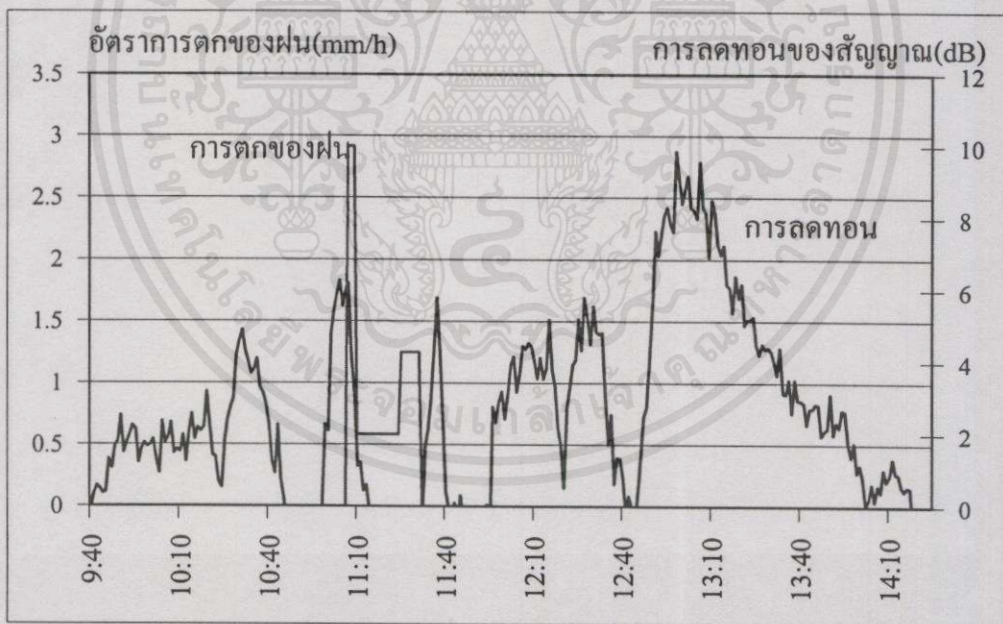
(ข) 27 กันยายน 2544

รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



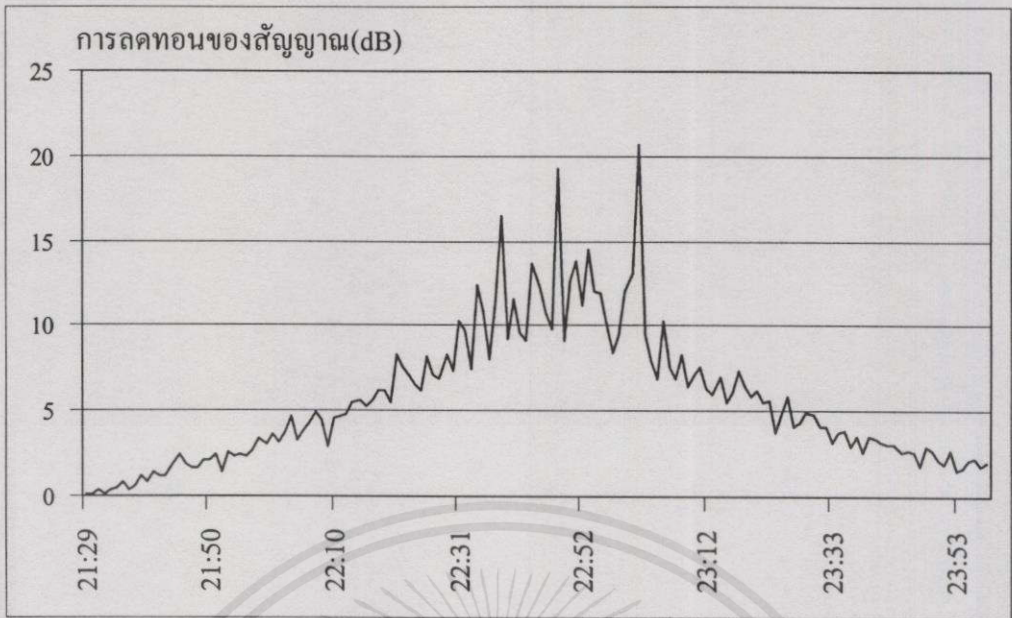
(ก) 30 กันยายน 2544



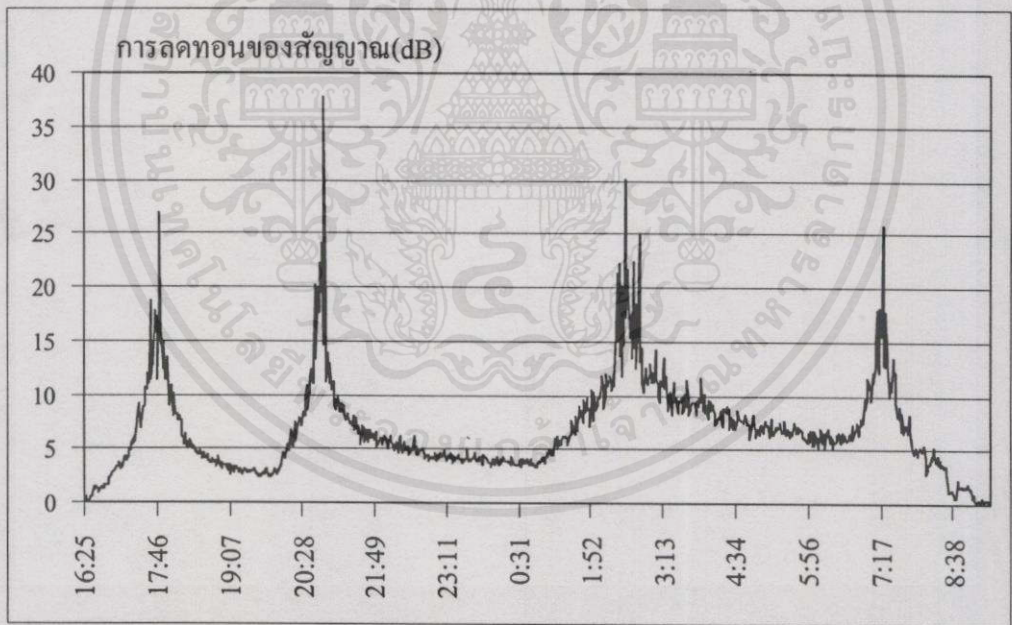
(ม) 13 พฤศจิกายน 2544

รูปที่ 4.25 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



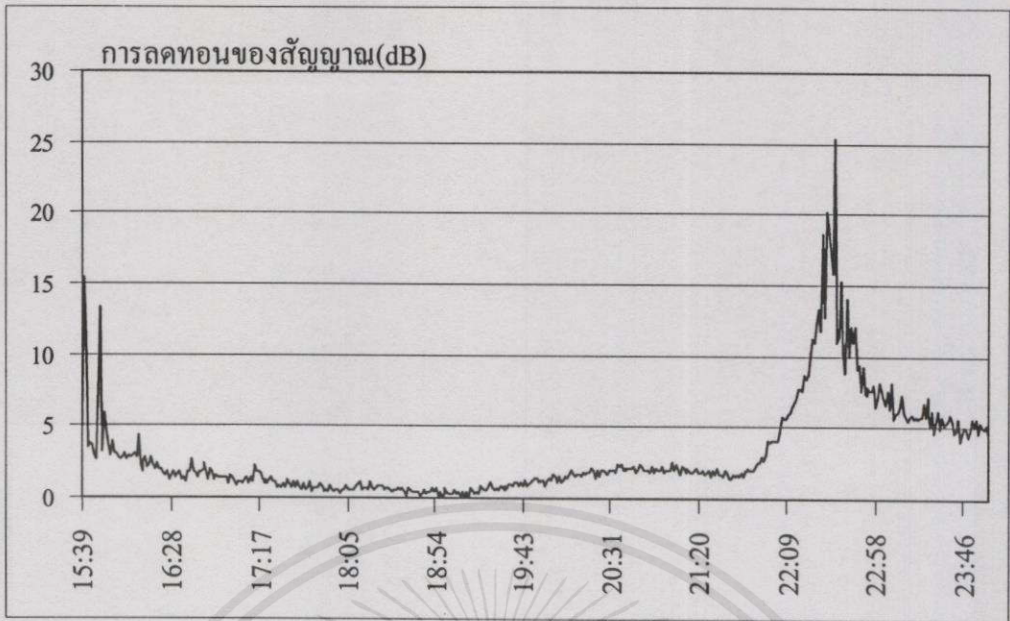
(ก) 6 พฤษภาคม 2544



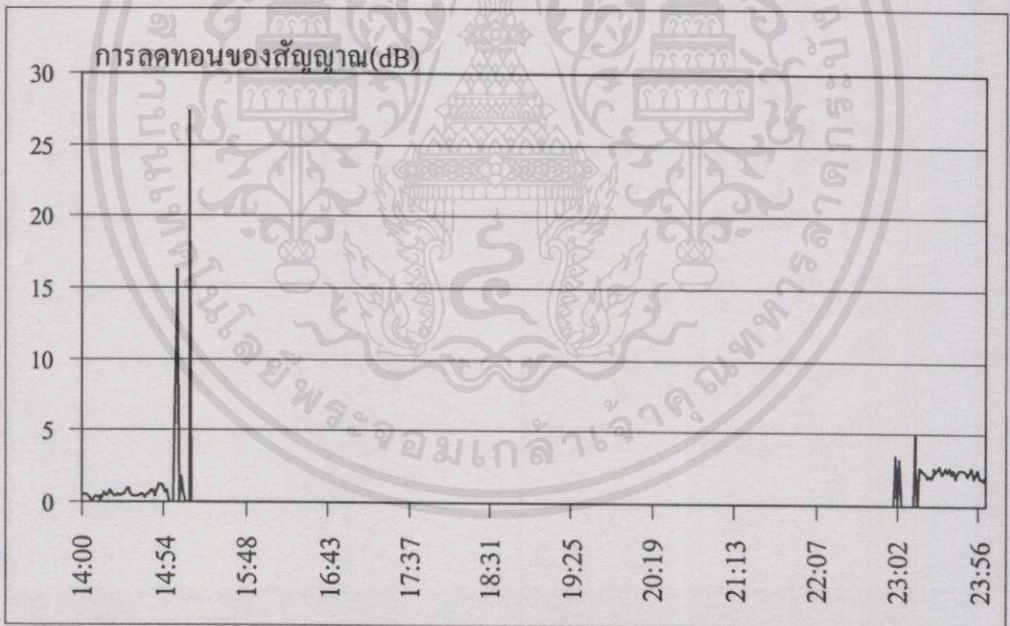
(ข) 10 พฤษภาคม 2544

รูปที่ 4.26 การลดทอนของสัญญาณในช่วงที่ไม่เกิดฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



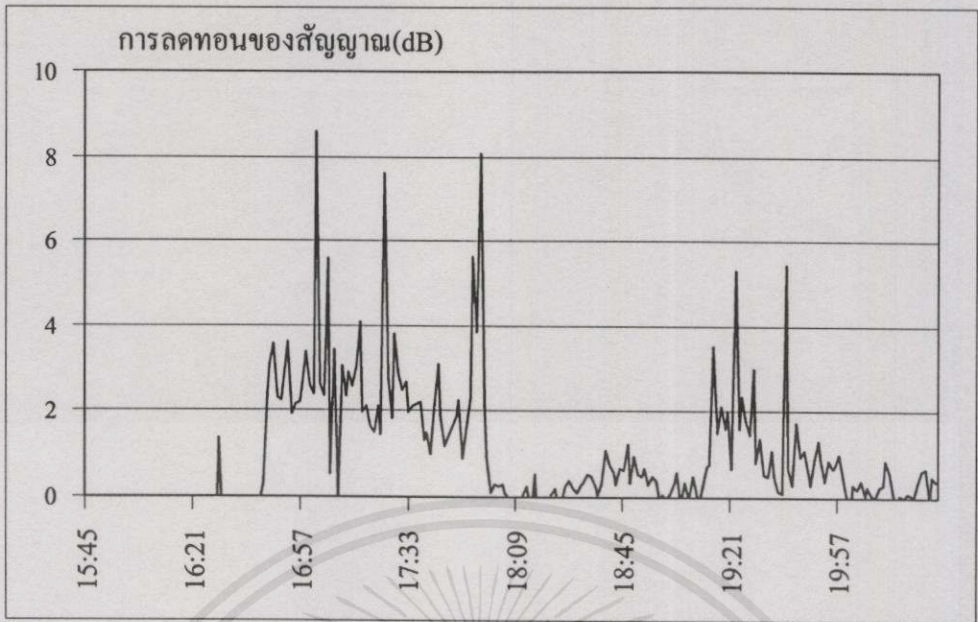
(ค) 14 พฤษภาคม 2544



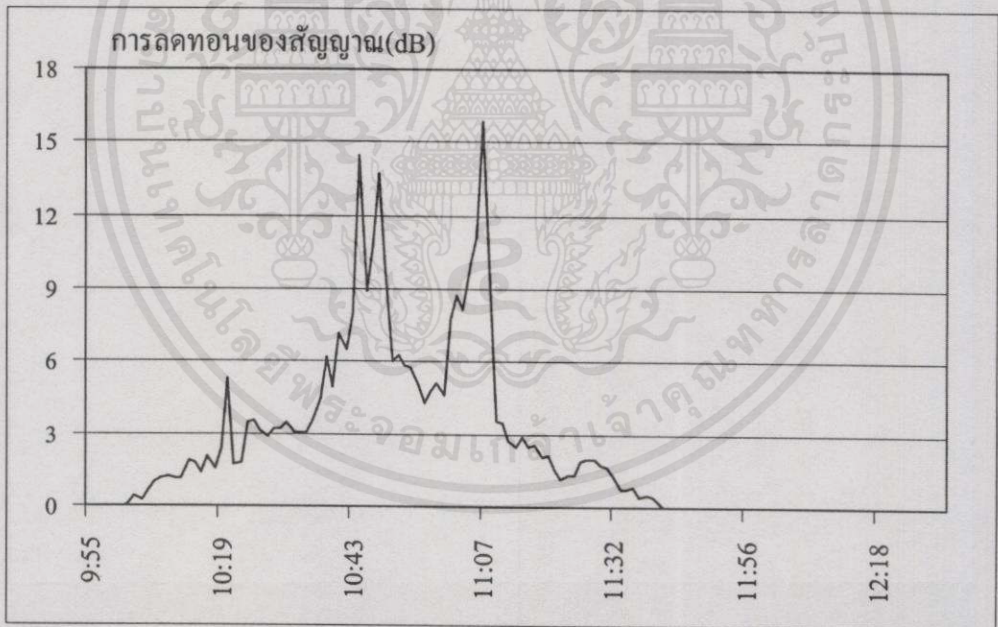
(ง) 1 มกราคม 2545

รูปที่ 4.26 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



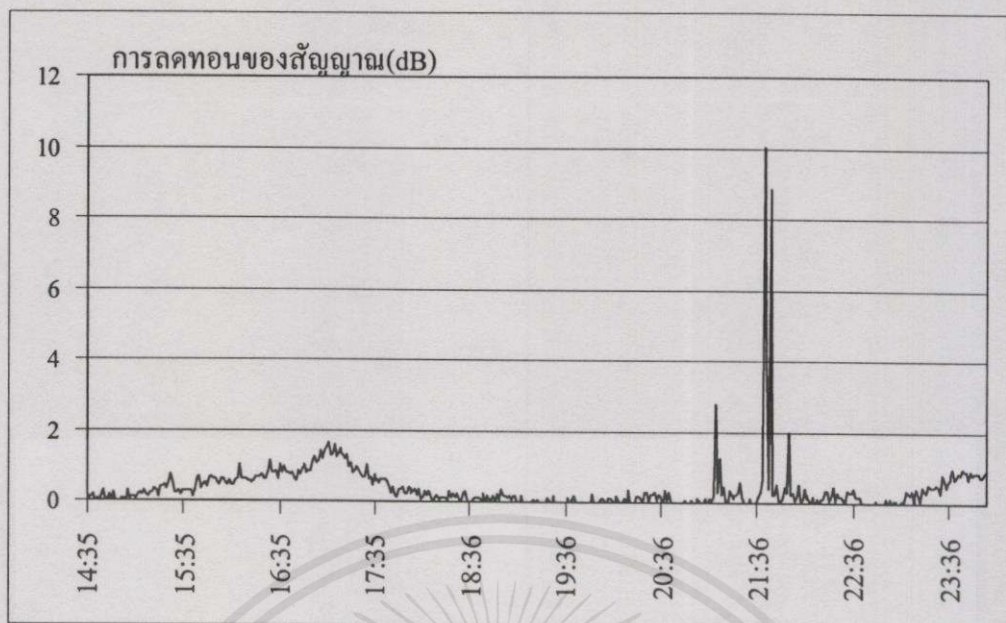
(จ) 2 มกราคม 2545



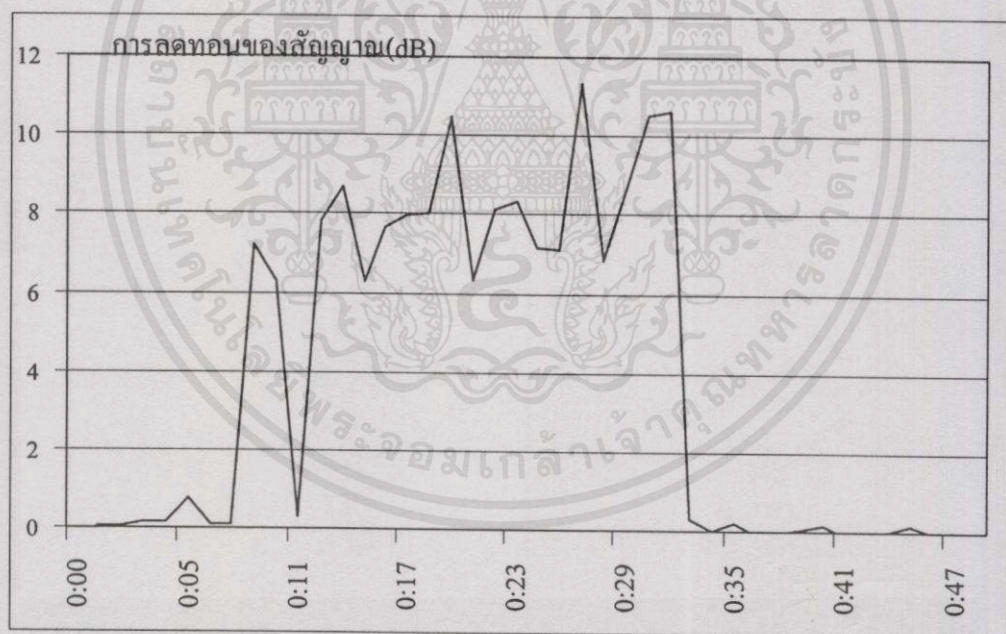
(ข) 4 มกราคม 2545

รูปที่ 4.26 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



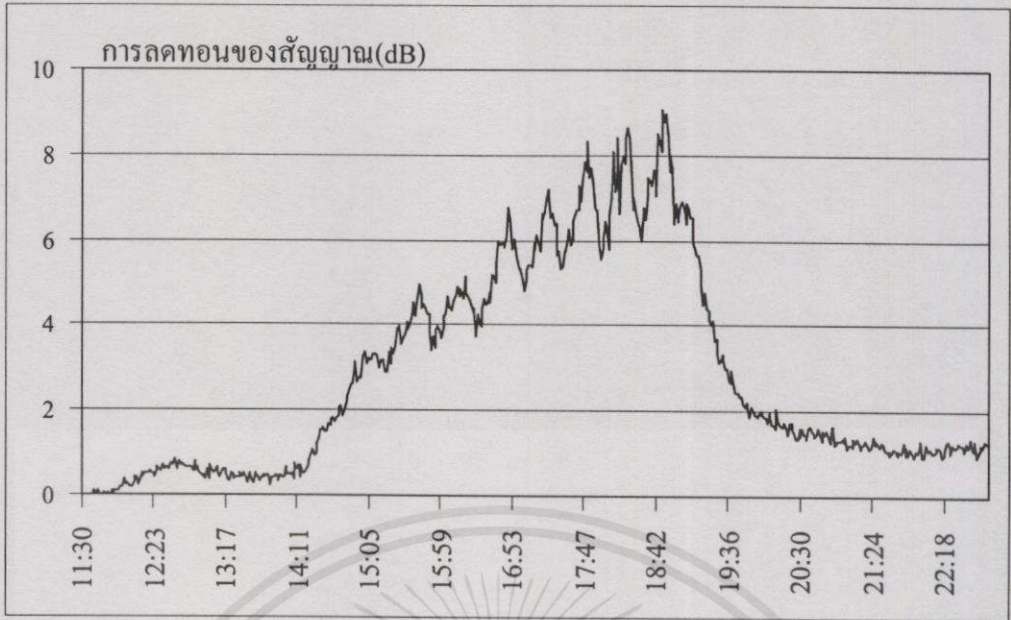
(ช) 6 มกราคม 2545



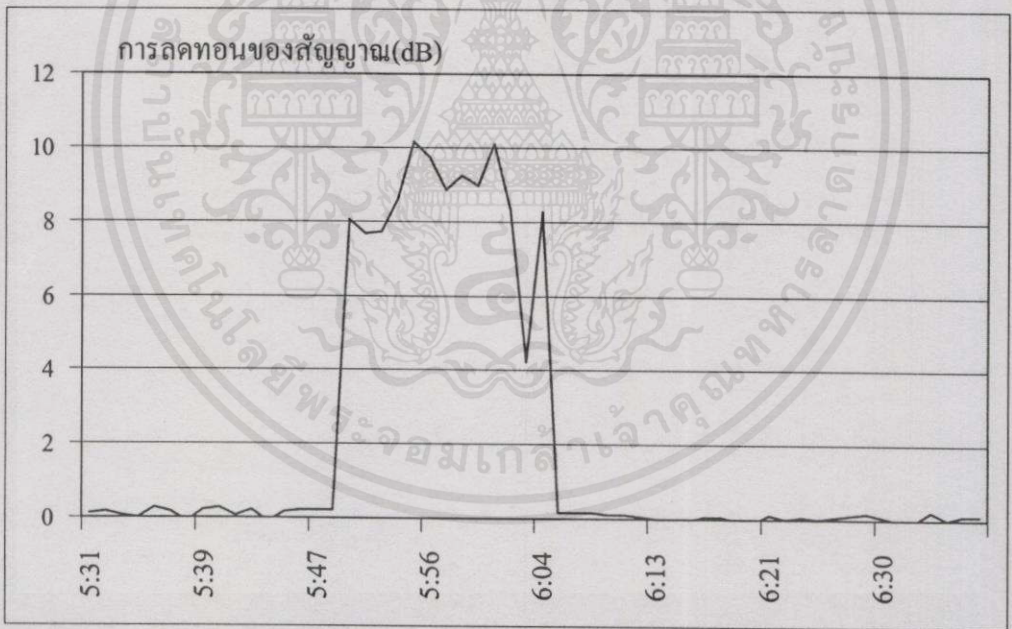
(ช) 1 กุมภาพันธ์ 2545

รูปที่ 4.26 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



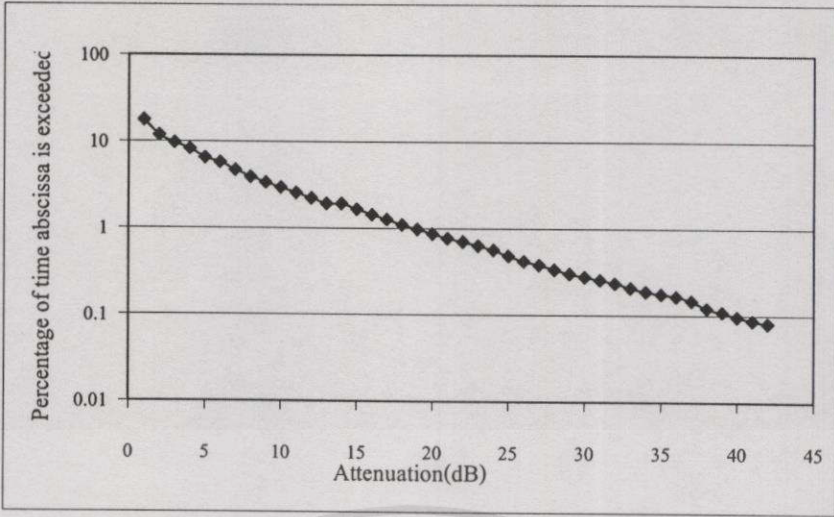
(ฉ) 3 กุมภาพันธ์ 2545



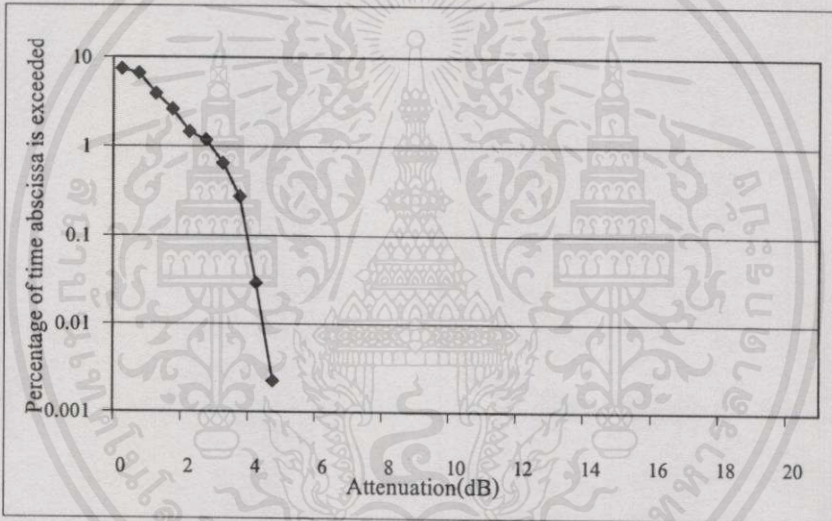
(ญ) 5 กุมภาพันธ์ 2545

รูปที่ 4.26 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ค่าแจกแจงสะสมการลดทอนของเดือนพฤษภาคม 2544



รูปที่ 4.28 ค่าแจกแจงการสะสมการลดทอนของเดือนมกราคม 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษามานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปงานวิจัย

5.1.1 การลดทอนที่เกิดจากฝน

จากในบทที่ 4 ได้ทำการแสดงถึงค่าการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ Ka-Band แล้วทางผู้วิจัยจะทำการแบ่งการลดทอนของช่วงการเกิดฝนตกเอาไว้ 3 เหตุการณ์ คือ

1. ช่วงระยะเวลาก่อนฝนตกช่วงที่เป็นเมฆฝน
2. ช่วงที่ฝนตก
3. ช่วงเวลาหลังฝนตก

5.1.1.1 ช่วงระยะเวลาก่อนฝนตกหรือช่วงที่เป็นเมฆฝน

เป็นช่วงที่มีค่าการลดทอนเพิ่มขึ้นอย่างช้าและต่อเนื่องจะมีค่าน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณการก่อตัวของเมฆฝนแต่ส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับสูง เป็นการลดทอนที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศในการคายและดูดพลังงานของก้อนเมฆ มีการลดทอนในระยะเวลาสั้นก่อนที่ฝนจะตกในบางกรณีสามารถคาดการณ์ฝนตกล่วงหน้าได้ในช่วงเวลา 2-3 ชั่วโมงล่วงหน้าโดยสังเกตจากระดับสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในขณะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง ซึ่งในช่วงนี้มักจะถูกละเลยในการพิจารณา ดังนั้นในการที่จะนำสัญญาณ Ka-Band มาใช้ควรพิจารณาถึงการลดทอนในช่วงนี้เป็นสำคัญนอกเหนือจากในขณะที่ฝนตกแล้ว เพราะเป็นการลดทอนที่ไม่สามารถสังเกตได้จากสภาพอากาศ เนื่องจากเมฆฝนรวมตัวไกลเกินกว่าที่จะสังเกตได้ซึ่งในย่านความถี่ Ku-Band ไม่ประสบปัญหาการลดทอนในช่วงระยะเวลาก่อนเกิดฝนตก

นอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ในการคาดการณ์ฝนตกได้ล่วงหน้าเพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมในการทำการวิจัยเกี่ยวกับฝนตกหรือทำการสังเกตการลดทอนในช่วงที่ฝนตกได้

5.1.1.2 ช่วงฝนตก

ในช่วงนี้จะมีการลดทอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เกิดฝนตกลงมาขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝน แต่ระดับของการลดทอนจะไม่เพิ่มสูงขึ้นจากช่วงที่ก่อนฝนตกมากนัก ซึ่งแตกต่างกับการลดทอนของสัญญาณ Ku-Band จะเกิดการลดทอนอย่างรวดเร็ว สำหรับการลดทอนในย่านความถี่ Ka-Band ระยะเวลาการตกของฝนก็มีส่วนสำคัญในการพิจารณาการลดทอนซึ่งการตกในระยะเวลานานแต่มีอัตราการตกที่ต่ำจะเห็นการลดทอนได้อย่างชัดเจนมากกว่าอัตราการตกของฝนที่สูงแต่ระยะสั้นซึ่งในกรณีนี้การลดทอนในช่วงก่อนเกิดฝนตกจะมีค่าการลดทอนมากกว่าในขณะฝนตก

ดังนั้นในช่วงฝนตกนี้การลดทอนของสัญญาณ Ka-Band จะมีลักษณะคล้ายๆ กับการลดทอนในย่าน Ku-Band แต่จะมีความรุนแรงกว่า

5.1.1.3 ช่วงเวลาหลังฝนตก

ตามแนวความคิดเดิมไม่ให้ความสำคัญในช่วงเวลานี้เท่าที่ควร มีการวิเคราะห์ว่าการลดทอนจะหายไปเมื่อฝนหยุดตกเท่านั้น แต่จากการสังเกตระดับสัญญาณรบกวนหลังฝนตกพบว่าระดับสัญญาณยังคงคงที่อยู่ในระดับที่สูงหมายถึงยังคงมีการลดทอนอยู่หลังจากฝนหยุดตกแล้วซึ่งการลดทอนจะค้างสภาวะนี้เอาไว้ประมาณ 2-3 ชั่วโมงเป็นผลอันเนื่องมาจากความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศหลังการเกิดฝนตก ซึ่งสำหรับความถี่สูงแล้วก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการลดทอนได้เช่นกัน

ดังนั้นในช่วงนี้จะมีความแตกต่างกันระหว่าง การลดทอนในย่าน Ku-Band และ Ka-Band อย่างชัดเจน แนวความคิดที่ว่า การลดทอนทั้งสองย่านความถี่นี้มีลักษณะการเกิดที่คล้ายกันแต่จะมีความรุนแรงกว่านั้นจึงเป็นไปได้ เพราะในย่านความถี่สูงกว่าจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงบรรยากาศมากกว่า

5.1.1.4 สรุปการลดทอนที่เกิดจากฝน

การลดทอนที่เกิดจากฝนสำหรับในย่านความถี่ Ka-Band เป็นปัจจัยหลัก ซึ่งการลดทอนสามารถเกิดได้ทั้ง 3 ช่วงเหตุการณ์ การลดทอนในขณะที่เป็นเมฆฝนควรให้ความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากการลดทอนที่มีระยะเวลาและมีการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นในการที่จะนำสัญญาณ Ka-Band มาใช้งานในประเทศไทยซึ่งควรจะพิจารณาถึงการลดทอนใน 3 ช่วงเหตุการณ์ให้ละเอียดเสียก่อน

สำหรับเดือนที่มีการลดทอนรุนแรงที่สุด คือเดือนตุลาคมเดือนพฤศจิกายน ซึ่งเป็นท้ายฤดูฝน แต่สำหรับเดือนที่อยู่นอกเหนือฤดูฝนก็เกิดการลดทอนได้เช่นกัน ดังจะกล่าวต่อไป

5.1.1.5 ข้อเสนอแนะในการพิจารณาการลดทอนที่เกิดจากฝน

การที่จะพิจารณาการลดทอนในสภาวะฝนตกนั้น ไม่สามารถสังเกตได้จากเครื่องวัดอัตราการตกของฝนแต่เพียงอย่างเดียวแต่ควรทำการตั้งรับสัญญาณรบกวนจากบรรยากาศด้วยเป็นการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณรบกวนของบรรยากาศ

5.1.2 การเกิดการลดทอนเนื่องจากปัจจัยอื่น

นอกเหนือจากการลดทอนจากฝนแล้ว ในย่านความถี่สูงปริมาณไอน้ำในอากาศหรือความชื้นสัมพัทธ์ก็มีส่วนเช่นกันดังจะเห็นจากค่าการลดทอนที่อยู่นอกฤดูฝนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ปริมาณไอน้ำในอากาศ

ระดับสัญญาณรบกวนเมื่อสังเกตในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งแล้ว ระดับสัญญาณรบกวนในตอนกลางคืนจะมีค่าสูงกว่าในตอนกลางวันหมายถึงจะมีค่าการลดทอนในตอนกลางคืนมากกว่าตอนกลางวัน เนื่องจากน้ำค้างในตอนกลางคืนซึ่งเปรียบเสมือนหยดฝนเล็ก ๆ จำนวนมากที่ตกลงมาซึ่งในประเด็นนี้ไม่เกิดขึ้นในสัญญาณ Ku-Band และระดับสัญญาณจะลดลงมาอยู่ในสภาวะปกติในตอนกลางวัน

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

5.2.1 ทางด้านเทคนิค

การรับสัญญาณรบกวนจากบรรยากาศมีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดการผิดพลาดได้เช่นต้องสามารถแยกสัญญาณรบกวนได้ว่ามาจากภายนอกหรือภายในระบบ ซึ่งถ้าไม่สามารถแยกได้ข้อมูลอาจคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากสัญญาณรบกวนภายในระบบอาจมาเพิ่มสัญญาณรบกวนนอกระบบจนทำให้มีค่าเกินจริง การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในระบบควรจะทำให้มีสัญญาณรบกวน(noise)น้อยที่สุด สำหรับค่าแบนด์วิธของเครื่องรับควรจะมีค่าสูงมาก 10 MHz เป็นต้นไปเพื่อจะทำให้รับสัญญาณได้อย่างราบเรียบและเป็นการเพิ่มระดับสัญญาณรบกวนพื้นฐานให้สูงขึ้นด้วย

5.2.2 ทางด้านการวิเคราะห์ข้อมูล

ควรทำการบันทึกข้อมูลอย่างละเอียดเสียก่อนแล้วนำมาค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ต้องการทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น สำหรับปัจจัยที่ให้ความสนใจในการวิเคราะห์เป็นพิเศษคือ เหตุการณ์ช่วงก่อนและหลังฝนตกที่มีการลดทอนเป็นอย่างไร โดยเฉพาะหลังฝนตกที่มีสาเหตุมาจากความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศควรทำการหาความสัมพันธ์กับการลดทอน นอกจากนี้ในฤดูหนาวการที่มีหมอกหนาในตอนเช้าก็น่าเป็นปัจจัยทำให้เกิดการลดทอนได้เช่นกัน

บรรณานุกรม

ธวัชชัย พฤษะวัน. ฝน กรุงเทพฯ : กรมอุตุนิยมวิทยา 2534

วิไลศักดิ์ ตั้งเจริญ อุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์วิสุทท์. 2540

R.Lekkkla, P Prapinmongkolkarn, P. Hetrakul, and K.S.Mccormick “**Results of 92-94 Ku-Band site diversity experiment at low elevation angle in Thailand**” Proceeding of 2nd Asia Pacific Conference on Communication, Osaka, Japan 1995. Pp720-725

R..Lekkla, P Prapinmongkolkarn, and K.S.Mccormick “**Analysis of rain intensity Asia over 3 years**” Proceeding of URSI Commission F Open Symposium on Climatic Parameter in Radiometer Propagation Prediction Ottawa, Canada, 1998

J.E.Allnutt .**Satellite-to-Ground Radiowave Propagation**, London United Kingdom: Peter Peregrinus Ltd. 1898

Brussaard, G and Rogers, D.V.1990 .”**Propagation Considerations in Satellite Communication System..**” Proceeding IEEE.78(7) : 1547-1551

CCIR 1978.”**Propagation Data Required for Space Telecommunications System .**” Report 564 in Vol 5. **Recommendations and Reports of the CCIR 1978.**Genva : International Telecommunication union

Louis , J Ippolito . 1986 **Radiowave Propagation in Satellite Communications.** New York : Van Nostrand Reinhold Company Inc. ISBN : 0-442-24011-2.

Recommendations 838, **Specific Attenuation model for rain for use in prediction method** 1997.

Pratt, Timothy. **Satellite Communications** United State of America : John Wiley and Sons, Inc 1986

N.Skou. “ **Microwave radiometer System**” United State of America : Artech hour, Inc 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมมาโครที่ใช้ในวิทยานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 มาโครสำหรับการหาค่าการลดทอนของสัญญาณจากระดับสัญญาณรบกวน

แมโคร3 แมโคร

' บันทึกแมโคร 2/3/02 โดย Ekavit

' แป้นลัด: Ctrl+d

Columns("K:K").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

Columns("U:U").Select

ActiveSheet.Paste

Range("Q5").Select

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("020203AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveSheet.ChartObjects("แผนภูมิ 1").Activate

Windows("020203AM.xls").SmallScroll ToRight:=3

ActiveWindow.Visible = False

Windows("020203AM.xls").Activate

Columns("V:V").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("010923AM ตรงกับฝนครีป.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("V1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

Range("W1").Select

Application.CutCopyMode = False

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ActiveCell.FormulaR1C1 = "top"
Range("W2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=ABS(RC[-1]-RC[-2])"
Range("W2").Select
Selection.Copy
Range("W3:W439").Select
ActiveSheet.Paste
Range("X1").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "down"
Range("X2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=ABS(RC[-2]-RC[-4])"
Range("X2").Select
Selection.Copy
Range("X3:X439").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=2
Range("Y1").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "L"
Range("Y2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-2]/RC[-1]"
Range("Y2").Select
Selection.Copy
Range("Y3:Y439").Select
ActiveSheet.Paste
End Sub

```

Sub แมโคร4()

- ' เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ' แมโคร4 แมโคร
- ' ไม่ควรพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
- ' วันที่กแมโคร 2/3/02 โดย Ekavit

' เป็นลัด: Ctrl+f

Range("Z1").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "A"

Range("Z2").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "=LOG(RC[-1])"

Range("Z2").Select

Selection.Copy

Range("Z3:Z208").Select

ActiveSheet.Paste

Range("AA1").Select

Application.CutCopyMode = False

ActiveCell.FormulaR1C1 = "ATTENUATION"

Range("AA2").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "=10*RC[-1]"

Range("AA2").Select

Selection.Copy

Range("AA3:AA208").Select

ActiveSheet.Paste

Range("AC8").Select

End Sub

Sub แมโคร5()

' แมโคร5 แมโคร

' บันทึกแมโคร 2/3/02 โดย Ekavit

' เป็นลัด: Ctrl+g

Columns("S:S").Select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Application.CutCopyMode = False

เป็นการผิดกฎหมายหากมีการนำเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Selection.Copy

```

Columns("AC:AC").Select
ActiveSheet.Paste
Columns("AA:AA").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Cut
Range("AD1").Select
ActiveSheet.Paste
End Sub

```

ก.2 มาโครสำหรับการหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนในสภาวะท้องฟ้าปลอดโปร่งของ ทั้งเดือน

Sub แมโคร7()

' แมโคร7 แมโคร

' บันทึกแมโคร 8/3/02 โดย Ekavit

' เป็นลัด: Ctrl+j

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011101AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("B1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011102AM.xls").Activate

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("B1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011103AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("C1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011104AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=13

Columns("U:U").Select

Range("U698").Activate

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มาตรา ๖๖ แห่งกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

Range("D1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011105AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("E1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011106AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("F1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011107AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14

Columns("U:U").Select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Range("U703").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("G1").Select
ActiveSheet.Paste

```

```

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011108AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Columns("U:U").Select
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("H1").Select
ActiveSheet.Paste

```

```

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011109AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Columns("U:U").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal

```

```
Range("I1").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ากกรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011110AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=13

Columns("U:U").Select

Range("U698").Activate

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("J1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011111AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("K1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011112AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในกรณีที่มีการนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("L1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011113AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
Columns("U:U").Select
```

```
Range("U703").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("M1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011114AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Columns("U:U").Select
Selection.Copy
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("N1").Select
```

ActiveSheet.Paste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
```

Windows("011115AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("O1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011116AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=13

Columns("U:U").Select

Range("U698").Activate

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("P1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011117AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แม้ว่ากรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("Q1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011118AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("R1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011119AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14

Columns("U:U").Select

Range("U703").Activate

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("S1").Select

ActiveSheet.Paste

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011120AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("T1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011121AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Columns("U:U").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("U1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011122AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=13

Columns("U:U").Select

Range("U698").Activate

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ควรเผยแพร่ไปยังสื่อสังคมออนไลน์ที่มีผลต่อบริษัทและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("V1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011123AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Columns("U:U").Select
Application.CutCopyMode = False
```

```
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("X1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011124AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Columns("U:U").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("X1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011125AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้ทำกรณใดๆทั้งสิน ยกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Columns("U:U").Select
Range("U703").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("Y1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
```

```
Windows("011126AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
Columns("U:U").Select
Range("U703").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("Z1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
```

```
Windows("011128AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
Columns("U:U").Select
```

```
Range("U703").Activate
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
Selection.Copy
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("AB1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011129AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
Columns("U:U").Select
```

```
Range("U703").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("AC1").Select
ActiveSheet.Paste
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011130AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14
Columns("U:U").Select
```

```
Range("U703").Activate
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("Book2").Activate
```

```
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
```

```
Range("AD1").Select
```

```
ActiveSheet.Paste
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในวงกว้างใดๆทั้งนี้ อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011131AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=14

Columns("U:U").Select

Range("U703").Activate

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("Book2").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("AE1").Select

ActiveSheet.Paste

End Sub

ก.3 โปรแกรมสำหรับการทำงาน Cumulative ของแต่ละเดือน

Sub แม่โคร6()

' แม่โคร6 แม่โคร

' บันทึกแม่โคร 5/3/02 โดย Ekavit

' แป้นัดค: Ctrl+h

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011201AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.LargeScroll Down:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 บริการพิมพ์เอกสารทั้งหมดของเรามีให้ฟรีแบบเงื่อนไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("A1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011202AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.LargeScroll Down:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("B1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011203AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.ScrollRow = 1
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มาจากหนังสือพิมพ์ อีเมลที่มีลิขสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
```

Range("C1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011204AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("D1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011205AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("E1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011206AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.LargeScroll Down:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("F1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011207AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.ScrollRow = 1
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("G1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011208AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในกรณีที่ละเมิดลิขสิทธิ์ สิ่งนี้ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("H1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011209AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("I1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011210AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.LargeScroll Down:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("J1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
```

```

Windows("011211AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.ScrollRow = 1
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("K1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011212AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("L1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011213AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("M1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011214AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.LargeScroll Down:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("N1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011215AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.ScrollRow = 1

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("O1").Select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

แม้ว่ากรรมใดๆทั้งสน ออกทั้งห้ามมิให้คิดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011216AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("P1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011217AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("Q1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011218AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หมายความว่า ห้ามนำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.LargeScroll Down:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("R1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011219AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.ScrollRow = 1

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("S1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011220AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("T1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011221AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("U1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011222AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.LargeScroll Down:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

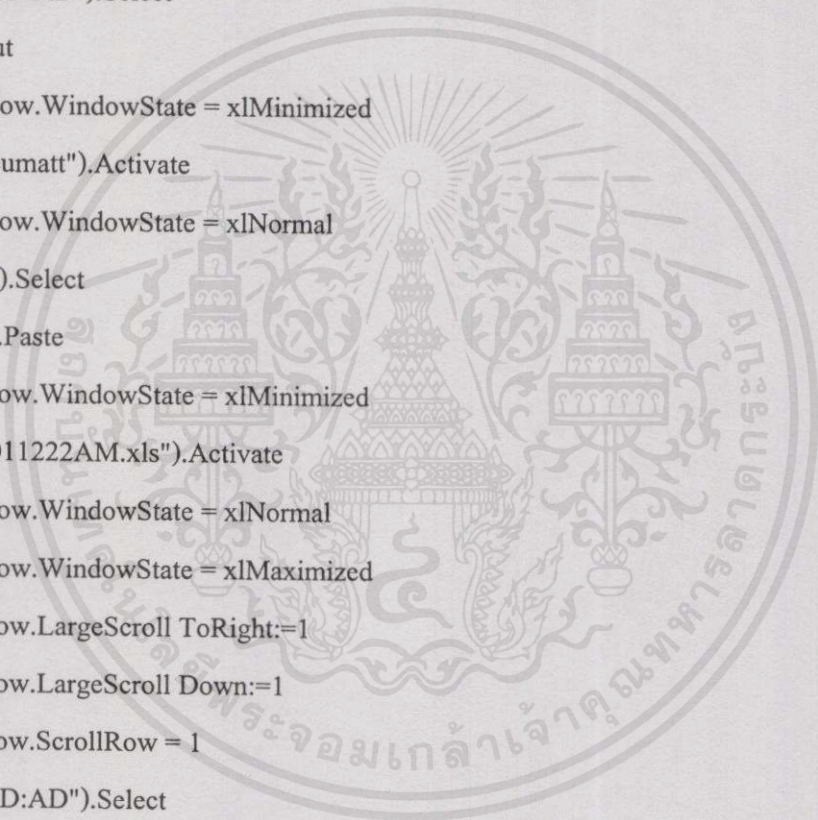
ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("V1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011223AM.xls").Activate



การเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.ScrollRow = 1

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("W1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011224AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("X1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011225AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ณาการที่มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ได้คิดแปลลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("Y1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011226AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.LargeScroll Down:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("Z1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011227AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.ScrollRow = 1

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("AA1").Select

ActiveSheet.Paste

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มีทั้งแบบที่ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011228AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("AB1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011229AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.ScrollRow = 1

Columns("AD:AD").Select

Selection.Cut

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("sumatt").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

Range("AC1").Select

ActiveSheet.Paste

ActiveWindow.WindowState = xlMinimized

Windows("011230AM.xls").Activate

ActiveWindow.WindowState = xlNormal

ActiveWindow.WindowState = xlMaximized

ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1

ActiveWindow.LargeScroll Down:=1

```

ActiveWindow.ScrollRow = 1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("AD1").Select
ActiveSheet.Paste
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("011231AM.xls").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
ActiveWindow.WindowState = xlMaximized
ActiveWindow.ScrollRow = 1
ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=1
Columns("AD:AD").Select
Selection.Cut
ActiveWindow.WindowState = xlMinimized
Windows("sumatt").Activate
ActiveWindow.WindowState = xlNormal
Range("AE1").Select
ActiveSheet.Paste
End Sub

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wave propagation experiment at Ka-Band

Ekavit Nukfron
Tikumporn Boonchank

Adit Decharat
Narong Hemmakorn

Department of Telecommunication Engineering, Faculty of Engineering and
Research center for communication and Information technology (ReCCIT)
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL) Bangkok, Thailand
Phone (662)737-3000 (3348) e-mail: khnarong@kmitl.ac.th

ABSTRACT

Nowadays, the need for satellite communication is growing rapidly, that's why. The signal of satellite was increased to 6/4 GHz in C-band and 14/12 GHz in Ku-band. However, the new satellite technology, the signal 30/20 GHz in Ka-band was used. So, this paper concentrated in wave propagation in new coming technology by focus on the receiving of Ka-band signal from COMETS, the low earth orbit satellite. First period of this project start in rainy season for 4 months. The finding indicated that Beacon, the received signal, had attenuation 8 dB in rainy 300 mm/h. In the beginning of the experiment (pilot project) about high frequency signal analysis; to study the probability to use the signal in Ka-band in Thailand.

Keywords: Ka-band, Thailand, Wave Propagation, Beacon, Tracking system

Frequency	Bandwidth	Service
VHF	30 - 300 MHz	messaging
UHF	300 - 1000 MHz	Navigation mobile
L1	2 GHz	Mobile, audio broadcast
S2	4 GHz	Mobile and navigation
X4	8 GHz	Fdx e
Ku	8 - 14 GHz	Military
K12	18 GHz	Video broadcast
Ka	27-40GHz	Fixed
m/m wave	>40 GHz	Intersatellite

Table 1 Rang of frequency in satellite

I INTRODUCTION

There are a lot of frequency band in a satellite communication but the most popular is C-band (6/4 GHz) since 1980 wide bandwidth 500 MHz. It was the communication via satellite in the beginning. After need for communication was increasing, the newer frequency, known as Ku-band (14/12GHz) wide bandwidth 500MHz. The advantage of this band is we can reduce the antenna disk, that never been before. However, Ku-band have a lot of factor in propagation such as, the rain can absorb the wave rebounding in Ionosphere.

Ka-band (30/20GHz) wide bandwidth 1000 MHz is the new choice, we can transmit the signal in spot beam format and the antenna size is smaller.

The high level of attenuation in Ka-band come from many factors such as, rain rate, snow and dust. Moreover, CCIR ranking located Thailand in zone N (tropical zone), known as the plenty of problem in using high frequency area. If used this band in Thailand, must study seriously about the factor that cause effect to communicate.

Percent of Time	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
1 <	0	0	5	0	7	2	0	6	1	7	3	2	8	1
0 . 3	0	8	2	2	8	4	5	2	4	5	7	4	1	3
0 . 1	2	5	8	6	8	1	2	1	0	2	0	2	1	5
0 . 0	5	5	9	1	3	1	2	1	5	2	0	1	8	2
0 . 0	1	8	1	2	5	9	2	2	8	3	0	3	2	3
0 . 0	0	5	1	4	2	1	2	6	2	9	1	5	4	5
0 . 0	0	1	2	2	3	2	4	2	7	0	7	6	5	8

Table 2 CCIR zone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

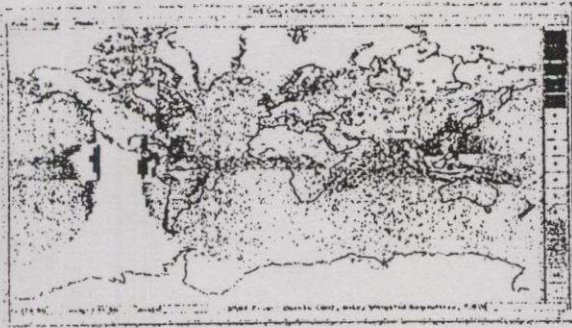


Figure 1 SSRT Link Margins 97 Availability, worst-month weather[2]

In Europe and America, Ka-band was popular and used in wide spread because there are a lot of satellite to transmit the signal. The Ka-band frequency are used for cable TV (DTH) in North America. The benefits of this band we can reduce the antenna dish, transmit the signal in spot beam format and make high EIRP in service area. In a while, in Asia, there are only research and study about Ka-band because they haven't got a lot of satellite, transmit the signal at 30/20 GHz, Especially in Asia Pacific, there are a lot of factors in attenuation more than Europe and America.

COMETS[3], satellite used in high frequency development and research in Japan. It is the low earth orbit satellite which transmit signal at 23.3875 GHz..

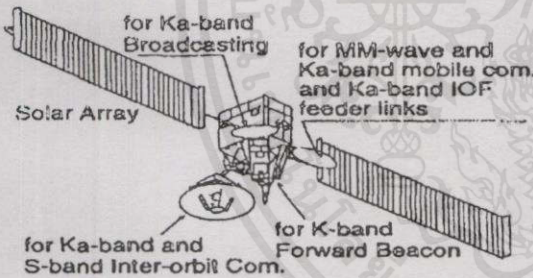


Figure 2 Conceptual sketch of COMETS

Inter-Orbit Communications Equipment (ICE)	
Frequency	inter-orbit Ka-band and S-band
	feeder-link Ka-band
Antenna	inter-orbit 3.6 m in diameter
	feeder-link 2.0 m in diameter
Ka-band Forward Beacon (KFB)	
Frequency	F1/F2 23.3875/23.540
Polarization	RHCP / LHCP
EIRP	27.1 dBW @ 10

Table 3 Characteristics of COMETS (Section Inter-Orbit Communication Equipment) ICE

II BASIC PHYSICS

An empirically-derived expression for the total rain attenuation, $A_{(dB)}$, experienced on a slant path, at the elevation angle ϕ is determined from the specific attenuation $\alpha_{(dB)}$ by[4-7]

$$A_{(dB)} = \frac{L(R)}{\sin \theta} \alpha \tag{1}$$

where $\alpha = a(f) R^{b(f)}$ (dB/ Km)

R = Rain rate (mm/h)

$L(R)$ = Rain rate dependent slant path (Km)

$a(f)$ = 0.0719 at $f = 20$ GHz, 0.186 at $f = 30$ GHz

$b(f)$ = 1.097 at $f = 20$ GHz, 1.043 at $f = 30$ GHz

The rain drops are assumed to be spherical water drops, which both scatter and absorb energy from incident radio wave.

Rain attenuation can also determined (up to 10dB) from sky brightness temperature measurements, which also provide a cross check on the beacon-attenuation measurements. When properly calibrated, the radiometer measurement gaseous attenuation in the clear-sky condition, in an absolute sense. During rain, radiometrically-derived attenuation contains the contribution due to both gaseous and rain attenuation. Therefore, if the predicate attenuation exceeds a threshold set for clear-sky conditions, then the hydrometeor effect (attenuation to rain) and the gaseous attenuation can be separated. The sky-brightness temperature, T_{sky} at Ka-band, due largely to signal absorption, is governed by the following approximate relationship.

$$ARD = 10 \text{Log} \left[\frac{T_m - T_c}{T_m - T_{sky}} \right] \tag{2}$$

where[8] T_m is the radiated medium temperature (275K) and T_c is the cosmic background temperature (3K). The attenuation relative to free space (AFS) is them computed using

$$AFS = ACA - AGA \tag{3}$$

Where AGA is the attenuation due to gaseous absorption and is to ARD when it is not raining. When it is raining ARD is dominated by precipitation absorption and not gaseous absorption. If ARD exceeds a threshold value of AT, then AGA is equal to the threshold value. At 20 and 30 GHz the sky noise temperature is assumed to be 110K.

Exact determination of rain medium temperature is a subject of further research. At Ka-

band, the super cooled cloud liquid and water-vapor interaction play a micro-physical role in signal absorption. The importance of super cooled cloud liquid in the remote sensing of precipitation, using the top of atmosphere brightness temperature measurement in the frequency range 19-85 GHz.

In some applications, such as satellite-uplink power control, frequency scaling of attenuation is required. The measurement attenuation, A_1 (dB) at frequency f_1 , is used to estimate attenuation, A_2 (dB) at f_2 by using

$$A_2 \text{ (dB)} = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^n A_1 \text{ (dB)} \quad (4)$$

where n varies from 1.7-2.2. The value of n depends on the drops size distribution and, hence, a unique value of n does not hold throughout a rain event, because the drop-size distribution changes. Hysteresis effect in instantaneous frequency scaling of attenuation, on 20 and 30 GHz satellite links.

The dynamics of rain induce fading on satellite radio link is a subject of increasing interest, for adaptive applications of coding and up link-power control, in low-margin system such as VSATs. Fade slope is a measure of the range of change of attenuation, and it has the units of dB/sec. One could assume that the majority of the energy transferred through two high gain antenna passes through a volume, defined by the first Fresnel Zone, which a prolate ellipsoid with a and b as minor and major axes. If it is then possible to evaluate the fade slope, in terms of rain rate and drop velocity, as following

$$\frac{dA(t)}{dt} = 15 \times 10^3 a(f) R^k \bar{V} \left(\frac{b}{a} \right) \left[1 - \left(\frac{a - t\bar{V}}{a} \right)^2 \right] \text{ (dB/s)} \quad (5)$$

where $A(t)$ = Rain attenuation as a function of time

$a(f)$ and $b(f)$ = defined in (1)

R = Rain rate

\bar{V} = weight average of the drop velocity

a = minor axis of the ellipsoid

b = major axis of the ellipsoid

t = time

Drop terminal velocity range from about 2 to 9 m/s, for drop sizes from 0.05 to 0.07 cm [8]

III EXPERIMENT DESIGN

The signal receive system of COMETS, the low earth orbit satellite, is tracking system [9]. The

antenna dish can move upon the orbit but each of orbit route is uncertainly. Thus, the need for using computer to calculate the orbit is necessary. And put satellite parameter in program for the accurate result. This experiment shows methodology in calculate the satellite orbit in Thailand. (3-4 orbits per day).

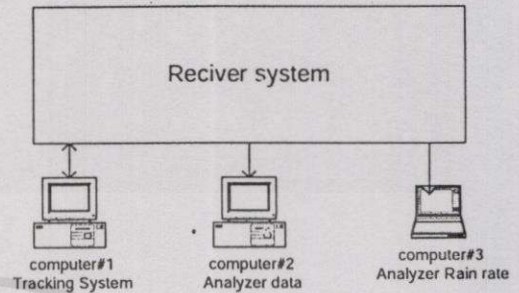


Figure 3 Computer control system

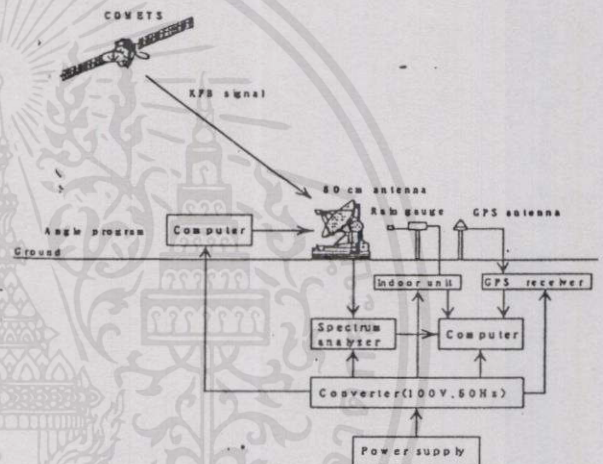


Figure 4 Whole system

In figure 4, install the tracking system and rain gauge, located at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMILT), Bangkok, Thailand (100°48'17" longitude and 13°45'36" latitude) The computer was to calculate orbit and using time of satellite. After that, turn the antenna to the calculate direction and received Beacon signal then antenna follow the satellite orbit until the end of foot-print in Thailand, the second calculate will occur. The computer will record signal every second and keep rain data altogether.

IV EXPERIMENTS RESULTS

The computer record level Beacon and rain rate in second to time can calculate, and random all data in every minute plot show figure 5. Data of rain rate maximum can receive to 300 mm/h and level beacon maximum -76 dBm.

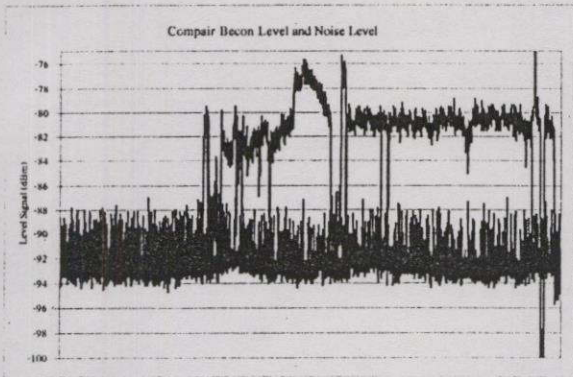


Figure 5 Display level signal

Normally, the stand by system in receiver signal, noise level of frequency is about 93 dBm .In figure5 show Beacon signal receiver at 80 dBm for month July 16,1998

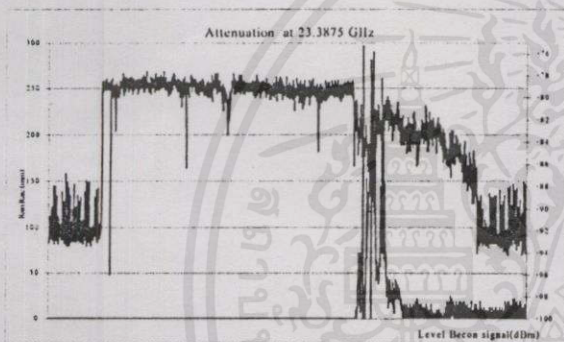


Figure 6 23.045 GHz Beacon attenuation

Display attenuation for the month of July 19,1998. The attenuation to 8 dB at rain rate 300 mm/h

V CONCLUSION

The result reveal obviously that rain rate is the important factor for signal attenuation in using Ka-band in Thailand. The data record indicate the signal attenuation decrease to 8 dB in 300 mm of rain rate, that normally occur in Tropical area. However, other factor can effect Ka-band signal then the experimental and keeping data in a long term must be continued for the propagation in using Ka-band frequency in Thailand.

VI REFERENCE

1. S. Kitsadawanich " Study And Analysis Of Satellite signal In Ku-Band"1998, Thesis submitted, Scholl of Graduate studies, KMITL, Bangkok, Thailand.

2. G.Fitzgerald, G Bostrom " GBS Date Mapper: Modeling Worldwide Availability of Ka-band Links Weather Data"1999, IEEE.
3. H. Wakama, H Saito, S Yamamoto "COMETS Experiments For Ka-band and Millimeter wave Advanced Mobile Satellite Communications", 1998, IEEE.
4. D. Chakraborty, F Davarion, W.L.Stutzman " The Ka-band Propagation Measurement Campaign at JPL",1993, IEEE Antennas and propagation Magazine, Vol 35, No1, February
5. A.Mugnnai, E.A.Smith, " Radiative Transfer to Space through a Precipitating Cloud at Microwave Frequency Part I Model Description", J.appl.Meteor, 27, p. 1055-1073,1998
6. J.Vivekanandan, J Turk, V.N.Bringi " Ice Water Path Estimation and Characteristization Using Microwave Radio metry", J.Appl Meteor, 30 p. 1407-1421,1991
7. L.J.Ippolito, Jr. Radiowave Propagation in Sayellite Communication
8. J.Beaaver, J Turk, V N Bringi " Ka-band Propagation Measurements From The Advanced Communication Technology Satellite (ACTS).
9. E.nukfron, N jumkrob, N .Hemmakorn " Satellite Tracking System Using Keplerian Orbit Element, 21st Electrical Engineering Conference, Bangkok, Thailand, 1998

ประวัติผู้เขียน

นายเอกวิทย์ นักฟ้อน อยู่บ้านเลขที่ 158/9 ถ.บางกรวย-ไทรน้อย .ต.บางกรวย จ. นนทบุรี
เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม 2519 ปัจจุบันอายุ 26 ปี จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอน
ปลายจากโรงเรียนวัดราชบพิธ กรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาในระดับปริญญาตรีในหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ.2540 จากนั้น
ได้เข้ารับการศึกษต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง ในปี พ.ศ. 2541 ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้