

ความใช้สอยได้ของสัญญาณเชื่อมโยงขาลงดาวเทียมไทยคม 3 เนื่องจากฝน ที่
อำเภอคลองใหญ่

DOWNLINK AVAILABILITY OF THAICOM 3 DUE TO RAIN AT
KLONG YAI



อดิเทพ ชัยสังข์
ADITEP CHAISANG

ว. ๑๑๕๓
๑๑๕๓

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 44058
วัน, เดือน, ปี..... 25 ๓.ค. 2545

b..... 11๒55๑36
i..... 1๒๒๒๖4๐3

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ พ.ศ.2545 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด ISBN 974-324-015-2 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DOWNLINK AVAILABILITY OF THAICOM 3 DUE TO RAIN AT
KLONG YAI**



**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**

2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก ISBN 974-324-015-2 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความใช้สอยได้ของสัญญาณเชื่อมโยงขาลงดาวเทียมไทยคม 3 เนื่องจากฝน ที่อำเภอคลองใหญ่
นักศึกษา	นายอดิเทพ ชัยสังข์
รหัสประจำตัว	40061061
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. ณรงค์ เหมกรณ์

บทคัดย่อ

ดาวเทียมไทยคม 3 เป็นดาวเทียมของประเทศไทยดวงล่าสุดที่ใช้งานช่องสัญญาณย่าน Ku การบริการสื่อสารรูปแบบต่าง ๆ เช่น การแพร่ภาพผ่านดาวเทียม โทรศัพท์จุดต่อจุด รวมถึงระบบประชุมทางไกลที่มีการใช้งานความถี่ในย่านนี้ ผลกระทบหลักที่มีต่อคุณภาพของสัญญาณ คือการลดทอนเนื่องจากฝน ผู้วิจัยพบว่าค่าเผื่อการเชื่อมโยงที่ได้จากเขตฝนของ ITU จะไม่เพียงพอสำหรับชดเชยการลดทอนในบางบริเวณของประเทศ ดังนั้นอัตราการตกและอัตราการลดทอนจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาจากปรากฏการณ์เหล่านี้ได้อย่างเหมาะสม จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือจัดเตรียมข้อมูลเพื่อแก้ไขการลดลงของคุณภาพสัญญาณในบริเวณที่ทำการวัด ผู้วิจัยได้วัดอัตราการตกของฝนและอัตราการลดทอนของสัญญาณขาลงความถี่ 12.292 GHz ที่อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด บริเวณนี้มีฝนตกหนักที่สุดในประเทศคือค่าเฉลี่ยประมาณ 4000 มม./ปี ข้อมูลถูกบันทึกครบถ้วนในปี พ.ศ. 2541 ตลอดทั้งปี เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองรายปีของ ITU พบว่าจะมีค่าสูงกว่า เช่นที่อัตราการตก 0.01 เปอร์เซนต์เวลา วัดได้ 220 มม./ชม. แต่แบบจำลอง ITU ได้ 150 มม./ชม. ในขณะที่อัตราการลดทอนที่ 0.05 เปอร์เซนต์เวลา วัดได้ 20 เดซิเบล แต่ ITU ได้ 16 เดซิเบล นอกจากนี้ผู้วิจัยยังหาอัตราส่วนคลื่นพาห้ต่อสัญญาณรบกวนได้ค่าเท่ากับ 19 เดซิเบล ในกรณีท้องฟ้าปลอดโปร่งและได้ค่าเท่ากับ 2 เดซิเบลเมื่อมีฝนตกที่ 84 มม./ชม. จากข้อมูลเหล่านี้เราจะได้ความใช้สอยได้สัญญาณขาลงในระบบสื่อสาร

Thesis Title	Downlink Availability of Thaicom3 due to Rain at Klong Yai
Student	Mr. Aditep Chaisang
Student ID.	40061061
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2002
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Narong Hemmarkorn

ABSTRACT

Thaicom 3 is the latest domestic satellite of Thailand using Ku-band Transponders. Many communication service such as DBS, point to point telephone and teleconference operate at this frequency. Rain attenuation is the major effect that degrade the quality of service. Thaicom 3 link budget base on ITU-R rain zone be founded that not enough to compensate this attenuation in some area of the country. Then rain rate and rain attenuation are the important data for designed engineer use to counteract this phenomenon suitably. The aim of this research is provide the important parameters to improve link availability degradation then we measured rain rate and rain attenuation of 12.292 GHz down link signal Khlung Yai. This area is the heaviest raining area in the country about 4000mm./year. Recorded data has been completed 1 year in 1998 when compare to ITU-R model we founded they higher than ITU such as at rain rate 0.01 time percentage, measured data is 220mm/hr but ITU model is 150mm/hr. Rain attenuation at 0.05 time percentage, measured data is 20dB but ITU model is 16 dB. Moreover we find carrier to noise ratio equal to 19 dB in the case of clear sky and 2 dB in case of 84 mm./hr. raining condition. From these data we can find downlink availability of communication system.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจากท่าน รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้สั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ กรมอุตุนิยมวิทยาและสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราดที่ กรุณาให้คำแนะนำและให้ใช้สถานที่เพื่อการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้องและผู้ใหญ่ที่เคารพนับถือทุกท่านที่ ให้แรงใจ สนับสนุนตลอดเวลา ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่ช่วยเหลือในคำแนะนำต่าง ๆ มาโดยตลอด สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อติเทพ ชัยสังข์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 ทำไมปัญหานี้จึงน่าสนใจ.....	1
1.3 หลักการที่มีอยู่เดิม.....	2
1.4 หลักการใหม่ที่น่าสนใจ.....	2
บทที่ 2 ฝนกับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม.....	3
2.1 การจัดแบ่งชั้นของบรรยากาศ แบ่งได้เป็นชั้น ๆ 4 ชั้น ดังนี้.....	3
2.1.1 โทรโปสเฟียร์ (Troposphere).....	3
2.1.2 สตราโตสเฟียร์(Stratosphere).....	3
2.1.3 บรรยากาศชั้นสูงสุด เค โมสเฟียร์และไอออน โนสเฟียร์.....	5
2.1.4 บรรยากาศชั้นสูงสุดเรียก เอ็กโซสเฟียร์ (Exosphere).....	5
2.2. ผลกระทบจากการหักเหผลกระทบต่อสัญญาณในสภาวะอากาศปลอดโปร่ง.....	6
2.2.1 ผลกระทบจากการหักเห.....	8
2.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าการหักเห (N) ตามความสูง.....	9
2.2.3 การโค้งงอของคลื่น (Ray bending).....	10
2.2.4 ผลกระทบจากการสะท้อน (Refractive).....	11
2.2.5 ผลกระทบจากการดูดกลืน (Absorbptive Effects).....	14
2.2.6 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน	15
บทที่ 3 สถานที่วัดอัตราการตกของฝนและสัญญาณดาวเทียม.....	17
3.1 การวัดน้ำฝนและดาวเทียม.....	17
3.1.1 การเขียนเส้นปริมาณฝน.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การตกของฝนในประเทศไทย.....	17
3.2 เครื่องมือวัดน้ำฝนที่ใช้ในปัจจุบัน.....	31
3.3 สถานที่และการติดตั้งเครื่องมือ.....	32
3.4 คาวเทียมไทยคม 3.....	33
บทที่ 4 การคำนวณหาระดับสัญญาณและคำแนะนำของ ITU.....	36
4.1 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุไมโครเวฟ.....	36
4.1.1 การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่าง.....	36
4.1.2 กำลังส่งของดาวเทียม (EIRP).....	37
4.1.3 กำลังที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ.....	37
4.2 สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ.....	37
4.2.1 ภาครามาตฐานโทรคมนาคม.....	42
4.3 คำแนะนำที่ ITU-R-PN.618-3 วิธีการทำนาย สำหรับออกแบบระบบสื่อสาร.....	42
4.4 คำแนะนำ ITU-R-PN.837-1 (การแบ่งเขตอัตราตกของฝน).....	45
4.5 คำแนะนำที่ ITU-R 839 (การแบ่งเขตความสูงของฝน).....	49
บทที่ 5 ผลการวัดอัตราตกของฝน.....	50
5.1 ผลการวัดอัตราตกของฝนเฉลี่ยรายปี.....	50
5.2 ผลการวัดอัตราตกของฝนรายเดือน.....	52
5.3 การแจกแจงอัตราตกของฝนรายเดือน.....	52
5.4 อัตราตกของเดือนที่เลวร้ายที่สุด.....	53
บทที่ 6 ความใช้สอยได้ของช่องสัญญาณดาวเทียมไทยคมขาลงและคำนวณค่า C/N.....	59
6.1 ความใช้สอยได้และการคำนวณค่า C/N.....	59
6.2 การประมาณค่าความจุช่องสัญญาณ.....	60
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย.....	66
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงถึงความสูงระดับต่างๆในบรรยากาศ.....	3
2.2 แสดงถึงความสูงระดับต่างๆ ในฤดูร้อน และ ฤดูหนาว.....	4
2.3 แสดงเขตน้ำหน้กของบรรยากาศ.....	4
2.4 การแผ่กระจาย สัณฐาน 3 รูปแบบ.....	6
2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ การสะท้อน ของชั้น บรรยากาศ.....	7
2.6 แสดงระยะระหว่าง โลก และ ดาวเทียม.....	7
2.7 มุมการสะท้อน ของ คลื่นที่ พื้นผิวดั้วน้ำ.....	9
2.8 มุมสะท้อนของคลื่นที่ผิวขรุขระ.....	13
2.9 แสดง สัมประสิทธิ์ ของการดูดกลืน.....	14
2.10 ค่าการลดทอนจำเพาะของก๊าซโทร โปสเฟียร์	15
3.1 ปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2494-2523	18
3.2 ปริมาณน้ำฝนเดือน มกราคมระหว่างปี พ.ศ.2494-2523.....	19
3.3 ปริมาณน้ำฝนเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	20
3.4 ปริมาณน้ำฝนเดือนมีนาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	21
3.5 ปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	22
3.6 ปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523	23
3.7 ปริมาณน้ำฝนเดือนมิถุนายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	24
3.8 ปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	25
3.9 ปริมาณน้ำฝนเดือนสิงหาคมเฉลี่ยระหว่างพ.ศ.2494-2523.....	26
3.10 ปริมาณน้ำฝนเดือนกันยายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523	27
3.11 ปริมาณน้ำฝนเดือนตุลาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	28
3.12 ปริมาณน้ำฝนเดือน พฤศจิกายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	29
3.13 ปริมาณน้ำฝนเดือน ธันวาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523.....	30
3.14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	31
3.15 EIRP CONTOUR ของดาวเทียมไทยคม 3.....	34
3.16 G/T CONTOURU ของไทยคม 3.....	34
3.17 ดาวเทียมไทยคม 3	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่างอิสระ	36
4.2 ระยะระหว่างโลกกับดาวเทียม	43
4.3 เขตฝนในทวีปอเมริกา	46
4.4 เขตฝนในทวีปยุโรป และแอฟริกา.....	47
4.5 เขตฝนในทวีปเอเชีย	48
5.1 ค่าอัตราการตกของฝนปี พ.ศ.....	50
5.2 ค่าอัตราการลดทอนปีพ.ศ. 2541.....	51
5.3 อัตราการตกที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ รายเดือนของปี พ.ศ. 2541.....	52
5.4 ค่าอัตราการตกสูงสุดของแต่ละเดือน.....	53
5.5 ค่าอัตราการตกของ worst month	53
5.6 ช่วงเวลาการตกเฉลี่ยและสูงสุดของฝน	54
5.7 การกระจายของระยะเวลาการตกของฝนรายวัน 12, 30, 42 มม./ชม.	54
5.8 การกระจายของระยะเวลาการตกของฝนรายวัน 60, 84 มม./ชม.....	55
5.9 ระยะเวลาการเกิดฝนตกเฉลี่ยรายเดือน 12, 30, 42 มม./ชม.....	55
5.10 ระยะเวลาการเกิดฝนตกเฉลี่ยรายเดือน 60, 84 มม./ชม.....	56
5.11 เวลาที่เกิดการตกของฝนรวมทั้งหมดของการเกิดแต่ละช่วงเวลา 12, 30, 42 มม./ชม.....	56
5.12 เวลาที่เกิดการตกของฝนรวมทั้งหมดของการเกิดแต่ละช่วงเวลา 60, 84 มม./ชม.....	57
6.1 อัตราการตกของฝนกับค่า C/N_0	62
6.2 อัตราการตกของฝนกับค่า C/N	62
6.3 อัตราบิทกับค่า C/N_0	63
6.4 อัตราการตกของฝนกับอัตราบิท.....	63
6.5 เปอร์เซนต์เวลาของค่า C/N_0	64
6.6 เปอร์เซนต์เวลาของอัตราบิท	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 อัตราการตกของฝนในเขตต่างๆ.....	45
6.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรค่าต่าง ๆ.....	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ของวิทยานิพนธ์

สำหรับประเทศไทยได้มีการนำความถี่ในย่าน Ku-band (14/12 GHz) มาใช้งานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากดาวเทียมไทยคม 1 มาถึงดาวเทียมไทยคม 2 และดาวเทียมไทยคม 3 ในปัจจุบัน ครอบคลุมบริการการสื่อสารหลายๆ รูปแบบ อาทิเช่น การบริการแพร่ภาพสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Direct to Home Broadcasting) บริการถ่ายทอดข่าวสดผ่านดาวเทียม (Satellite News Gathering Service) เป็นต้น แต่ปัญหาที่สำคัญของการสื่อสารในความถี่ย่านนี้คือ การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝน โดยเฉพาะในบริเวณที่อยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีการตกของฝนค่อนข้างหนัก จึงต้องมีการชดเชยพลังงานของสัญญาณที่ลดทอนไปด้วยค่าที่เหมาะสม ในประเทศไทยบริเวณอำเภอคลองใหญ่จังหวัดตราด เป็นบริเวณที่มีฝนตกมากที่สุดในประเทศไทย คือ มากกว่าปีละ 4,000 มิลลิเมตร ผู้ทำวิจัยจึงได้ไปติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีอุตุนิยมวิทยาอำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด เพื่อหาความสัมพันธ์ของอัตราการตกและการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม

1.2 ทำไมปัญหานี้จึงน่าสนใจ

การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเกิดเนื่องมาจากปรากฏการณ์ 2 แบบ คือ คือการดูดกลืน (absorb) และการกระจาย (scatter) การดูดกลืนนั้นพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อกระทบกับเม็ดฝนจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกลทำให้แก๊วดวงกลาง มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็นการสูญเสียพลังงานแก๊วดวงกลาง ส่วนการกระจายนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทิศทางของสัญญาณเมื่อคลื่นกระทบดวงกลาง การลดทอนนี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายส่วนประกอบกัน เช่นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเม็ดฝน ขนาด รูปทรง การกระจายของขนาด อุณหภูมิของเม็ดฝน รวมถึงความถี่ของสัญญาณ การโพลาไรซ์ ทิศทางที่กระทำกับเม็ดฝน เป็นต้น ผลของการลดทอนนี้จะทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณลดลง ส่วนเฟสจะไม่สามารถคาดเดาได้ คุณสมบัติและความเชื่อถือได้ในการเชื่อมโยงการสื่อสารมีค่าลดลง ดังนั้นในการออกแบบการสื่อสารของความถี่ในย่านนี้ต้องมีการเผื่อค่าชดเชยการลดทอนเนื่องจากฝนไว้อย่างเพียงพอ

สำหรับความน่าสนใจของปัญหานี้ ก็คือ เนื่องจากบริเวณ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราดเป็นบริเวณที่มีฝนตกหนักมากที่สุด ข้อมูลในบริเวณนี้จึงมีความสำคัญมากในการออกแบบการเชื่อมโยงการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ (Link Design) เพื่อนำไปกำหนด budget margins ที่ใช้ในการส่ง หรืออาจแก้ไขด้วยวิธีอื่นสำหรับการรับสัญญาณในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 หลักการที่มีอยู่เดิม

การวัดอัตราการตกของฝนและการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ต่าง ๆ เช่น Ku-band และที่เริ่มวัดกันในช่วงหลังนี้คือ ความถี่ในย่าน Ka-band (30/20 GHz) ที่เริ่มกระทำกันมานานแล้ว โดยเฉพาะ ในประเทศสหรัฐอเมริกา และทวีปยุโรป ซึ่งข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลกที่ได้ถูกรวบรวมไว้เป็นระยะเวลานานหลายสิบปี เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับออกแบบระบบสื่อสารดาวเทียม ITU (International Telecommunication Union) เป็นองค์กรหนึ่งที่ได้ศึกษารวบรวมข้อมูลจากที่ต่าง ๆ ทั่วโลกมาสร้างแบบจำลองการหาอัตราการตกของฝน และการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมในบริเวณต่าง ๆ ไว้เพื่อเป็นค่าอ้างอิงเวลาไปออกแบบระบบสื่อสาร การได้มาซึ่งแบบจำลองเหล่านี้มาจากการเก็บข้อมูลระยะยาวในรูปของสถิติและค่าที่นำมาคิดก็เป็นค่าที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างไม่แน่นอน (random variables) ทำให้ค่าอัตราการตกและอัตราการลดทอนที่หาได้จากแบบจำลองและค่าที่ทำการวัดได้จริงในบริเวณต่าง ๆ ทั่วโลกมีความคลาดเคลื่อนกันอยู่บ้าง โดยเฉพาะบริเวณที่มีการเก็บข้อมูลจริงเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ยังมีข้อมูลน้อยอยู่แบบจำลองของ ITU เป็นเพียงแบบจำลองหนึ่งเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองอื่น ๆ อีกเช่น Global model ของ Crane เป็นต้น อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ผลการทดลองที่ได้จะทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ ITU

1.4 หลักการใหม่ที่นำเสนอ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดอัตราการตกของฝนและการลดทอนของสัญญาณขาของดาวเทียมไทยคม 3 ณ สถานีรับ อำเภอลองใหญ่ จังหวัดตราด เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ ITU ประโยชน์ของค่าที่ได้จากการวัดจริงเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองของ ITU แล้วก็คือ ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลจะสูงขึ้น รวมทั้งสามารถอธิบายลักษณะ, พฤติกรรม รวมไปถึงการกระจายตัวลักษณะต่าง ๆ ของข้อมูลได้อีกด้วย กล่าวคือ แบบจำลองของ ITU จะกล่าวถึงลักษณะการตกและการลดทอนในลักษณะของข้อมูลสะสมรายปี ไม่สามารถอธิบายการกระจายของข้อมูลในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ แต่เมื่อวิจัย ทำการวัดเองแล้วยังได้เห็นการกระจายของข้อมูลในลักษณะต่าง ๆ ได้ เช่น การกระจายข้อมูลภายในเวลา 24 ชั่วโมง ว่าเกิดบ่อยในช่วงไหน ข้อมูลรายเดือนแต่ละเดือนมีการกระจายรายชั่วโมงเป็นอย่างไร, ความถี่ความบ่อยของอัตราการตกและอัตราการลดทอนแต่ละค่าเป็นต้น พฤติกรรมเหล่านี้จะมีประโยชน์มากยิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับข้อมูลการตกและลดทอนเฉพาะรายปี เพราะว่ายิ่งทราบข้อมูลละเอียดเราก็ยิ่งหาวิธีแก้ไขปัญหาได้หลากหลายและถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ทางผู้ทำวิจัยได้นำการคำนวณผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อช่องสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku ของดาวเทียมไทยคมเมื่อเกิดฝนตกเพื่อหาคุณภาพของสัญญาณที่ถูกลดทอนลงไปโดยคำนวณค่าอัตราส่วนคลื่นพาห์ต่อสัญญาณรบกวนของสัญญาณขาภายใต้เงื่อนไขท้องฟ้าปลอดโปร่งและสภาพที่มีฝนตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ฝนกับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม

2.1 การจัดแบ่งชั้นของบรรยากาศ แบ่งได้เป็นชั้น ๆ 4 ชั้นดังนี้

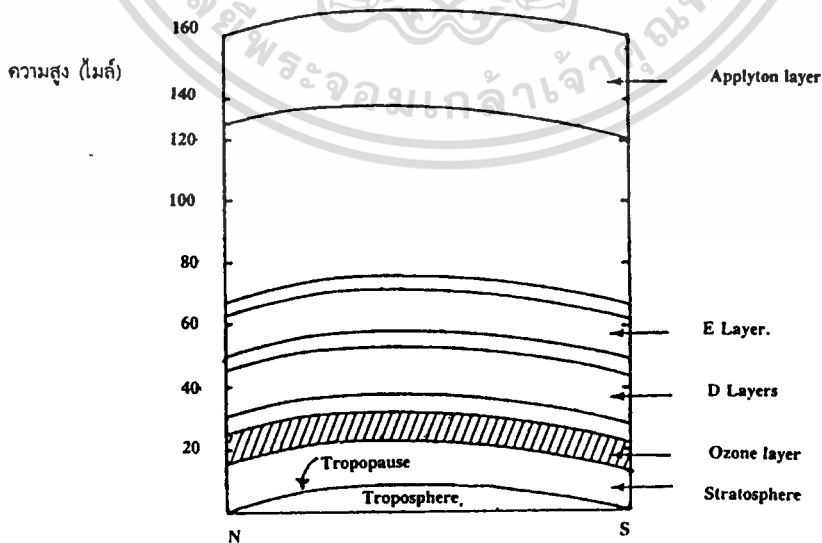
- บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere)
- บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere)
- บรรยากาศชั้นสูง แบ่งเป็น เคโมสเฟียร์ (Chemosphere) และไอออนโนสเฟียร์ (Ionosphere)
- บรรยากาศชั้นเอ็กโซสเฟียร์ (Exosphere)

2.1.1 โทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

คือระดับบรรยากาศใกล้ผิวโลกซึ่งมีมวลอากาศหนาแน่น กระแสอากาศมีการเคลื่อนไหวทั้งในทางตั้งและทางนอน มีการพาความร้อนด้วยการคลุกเคล้ากันของกระแสอากาศ ทำให้เกิดการลดลงของอุณหภูมิ ตามส่วนสูงอย่างรวดเร็วมีไอน้ำและความร้อนที่ถูกยกตัวขึ้นไปจากผิวโลกสู่ระยะพอสมควร ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ทางอุตุนิยมเกิดขึ้นอยู่ในชั้นบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์

2.1.2 สตราโตสเฟียร์ (Stratosphere)

การเคลื่อนไหวทางตั้งของอากาศในชั้นโทรโพสเฟียร์ จะค่อย ๆ ลดน้อยลงตามส่วนสูงที่เพิ่มขึ้นและ หยุดลงตรงแนวแบ่งชั้นโทรโพพอส เหนือระดับนี้ขึ้นไป จะไม่มีการเคลื่อนไหวในบริเวณเหนือ

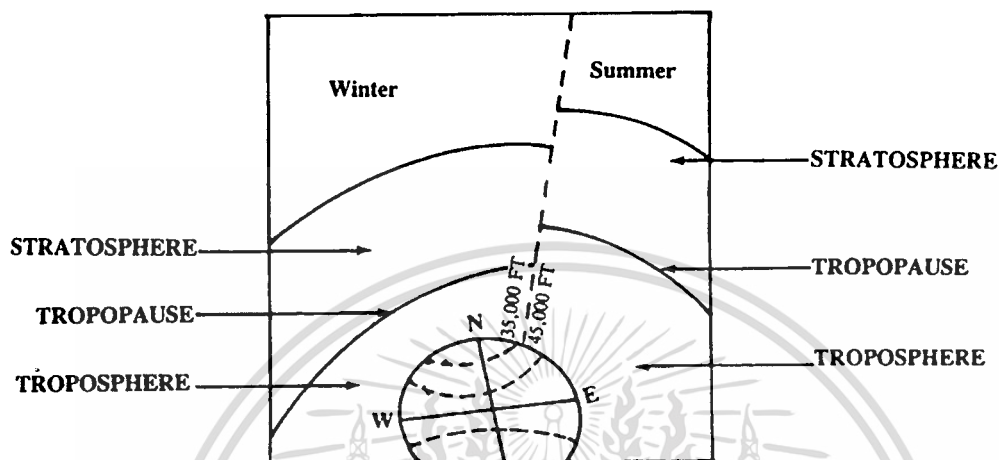


รูปที่ 2.1 แสดงถึงความสูงระดับต่างๆในบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

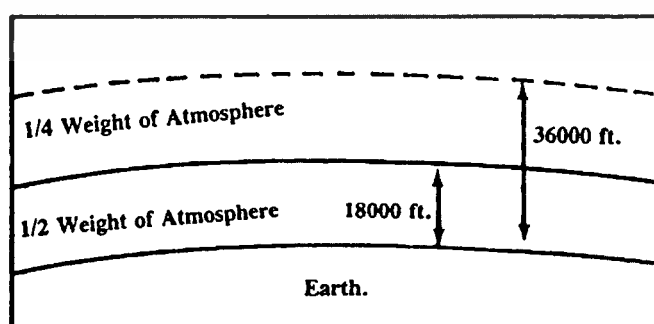
ระดับโทรโพพอสขึ้นไปเรียกว่า สตราโตสเฟียร์ ณ ระดับนี้สภาพอากาศจัดตัวเป็นแผ่น โดยมีอากาศเคลื่อนไหวและไหลทางนอนแต่เพียงแนวเดียว

ความสูงของแนวระดับ โทรโพพอส เปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 7.5 กิโลเมตร ที่บริเวณขั้วโลกทั้งสอง และ 12 กิโลเมตรที่บริเวณศูนย์สูตร ในฤดูร้อนอยู่สูงกว่าในฤดูหนาว และในบริเวณแอนติไซโคลน อยู่สูงกว่าบริเวณไซโคลน



รูปที่ 2.2 แสดงถึงความสูงของชั้นบรรยากาศระดับต่างๆ ในฤดูร้อน และ ฤดูหนาว

อุณหภูมิ ณ Tropopause บริเวณศูนย์สูตร จะมีค่าต่ำกว่าที่ขั้วโลกทั้งสอง เมื่อความสูงเพิ่มขึ้น บรรยากาศจะค่อย ๆ บางลงทีละน้อย น้ำหนักครึ่งหนึ่งของบรรยากาศทั้งหมดจะอยู่ในระยะสูงประมาณ 5.4 กิโลเมตรเหนือผิวโลก และน้ำหนักที่เหลืออีก 1 ใน 4 ของบรรยากาศจะอยู่สูงจากระดับ 5.4 กิโลเมตรขึ้นไป ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ¼ ของน้ำหนักบรรยากาศทั้งหมดอยู่ต่ำกว่าระดับ 10.8 กิโลเมตรส่วนที่เหลืออีก ¼ นั้นอยู่สูงกว่าระดับ 10.8 กิโลเมตรขึ้นไปจนถึงเขตที่ว่างเปล่าที่เรียกว่า สูญญากาศ (Space)



รูปที่ 2.3 แสดงเขตน้ำหนักของบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18,000 ฟุต ความสูงของระดับแนวโทรโพพอส ที่ขั้วโลกทั้งสองประมาณ 8.4 กิโลเมตร ความสูงนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเคลื่อนใกล้บริเวณศูนย์สูตร และจะมีความสูงประมาณ 16.5 กิโลเมตรในบริเวณศูนย์สูตร เพราะเหตุว่าบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ไม่มีเมฆและอยู่สูงพ้นระดับพายุทุกชนิดที่เกิดในตอนล่างของชั้นบรรยากาศจึงเป็นการสะดวกต่อการบินในระดับสูง เชื่อกันว่าในบรรยากาศชั้นนี้อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับสูงที่เพิ่มขึ้น (แต่เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีการค้นคว้าเกี่ยวกับบรรยากาศ ณ ระดับสูง ๆ และพบว่าเป็นอย่างนั้นจริง ๆ เพียงในฤดูใบไม้ผลิเท่านั้น แต่ในฤดูใบไม้ร่วงไม่เป็นเช่นนั้นเพราะบางเวลาอุณหภูมิจึงมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน) จากข้อมูลที่ได้แม้ว่าจะไม่สมบูรณ์เต็มที่ แต่แสดงว่าอุณหภูมิในระดับสูง 21 กิโลเมตร เป็นแบบอากาศดี (Fairly Uniform) โดยมีค่าอุณหภูมิของอากาศประมาณ -45°C ถึง -65°C ในระดับสูงสุดของชั้นสตราโตสเฟียร์นี้มีก๊าซโอโซนซึ่งทำหน้าที่ดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตส่วนใหญ่จากดวงอาทิตย์ไว้ รังสีนี้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ โอโซนในบริเวณชั้นนี้เป็นเสมือนแนวป้องกันอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต การดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ตในชั้นนี้ทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศในระดับนี้สูงถึง 76°C เขตของก๊าซโอโซนหนาแน่นนี้บางที่เรียกว่าชั้นโอโซนโนสเฟียร์ (Ozonosphere) ในบริเวณต่อจากเขตที่มีโอโซนหนาแน่นขึ้นไป อุณหภูมิของบรรยากาศจะลดลงตามระดับสูงอย่างรวดเร็วจนถึงเขตสูงสุดของบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ซึ่งสูงประมาณ 100 กิโลเมตรจากพื้นโลก

2.1.3 บรรยากาศชั้นสูงสุด เคมีสเฟียร์และไอออนโนสเฟียร์ (Chemosphere และ Ionosphere)

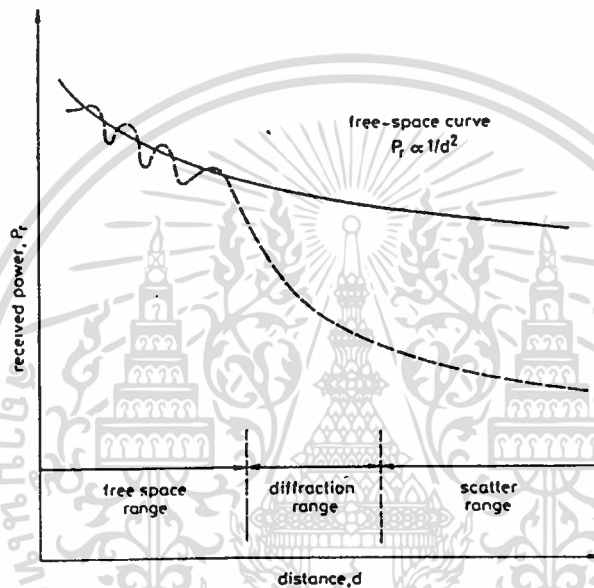
คือ บรรยากาศ ต่อจากชั้นสตราโตสเฟียร์ขึ้นไป ชั้นนี้อยู่สูง 95 กิโลเมตร ขึ้นไปจนถึงระดับสูงหลายร้อยกิโลเมตรอากาศในระดับสูง 95 กิโลเมตรขึ้นไปบางมาก ทำให้อิเล็กตรอนในอนุของก๊าซต่าง ๆ ได้รับความกระทบกระเทือนจากรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ โดยถูกแยกออกจากวงจรในแกนของปริมาณของก๊าซได้ง่าย การที่อิเล็กตรอนซึ่งมีประจุไฟฟ้าหลุดไปจากวงจร ทำให้ปริมาณของก๊าซเกิดความไม่สมดุลทางไฟฟ้า ปริมาณของก๊าซจะปรากฏอยู่โดยมีอิเล็กตรอนน้อยไป คือมีประจุไฟฟ้าบวกสูงกว่าประจุไฟฟ้าลบ ก๊าซในบรรยากาศชั้นนี้จึงกลายเป็นสื่อไฟฟ้าเรียกว่า ไอโอไนส์ (กรรมวิธีที่ทำให้มีอิเล็กตรอนน้อยลงไปในปริมาณของก๊าซ ทำให้ก๊าซกลายเป็นสื่อไฟฟ้าเรียกว่า Ionization) และนำมาใช้เรียกชื่อบรรยากาศในชั้นนี้ว่า ไอออนโนสเฟียร์ เป็นบริเวณที่เป็นสื่อไฟฟ้าในบรรยากาศจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในบรรยากาศชั้นสูงได้หลายอย่าง และมีชั้นอากาศที่สะท้อนคลื่นวิทยุอยู่หลายระดับ ไอออนโนสเฟียร์มีเขตสูงถึง 800 กิโลเมตรจากพื้นโลก

2.1.4 บรรยากาศชั้นเอ็กโซสเฟียร์ (Exosphere)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นนี้เป็นบรรยากาศรอบนอกที่สุดที่ห่อหุ้มโลก บรรยากาศในชั้นนี้จะค่อย ๆ กลืนกับอวกาศจนยากที่จะกำหนดลงไปได้ว่ามีขอบเขตเพียงใด นักอุตุนิยมวิทยาคำนวณเขตของบรรยากาศชั้นเอ็กโซเฟียร์นี้อยู่ระหว่างประมาณ 800 กิโลเมตร ถึง 1,200 กิโลเมตรสูงจากพื้นโลกส่วนขอบเขตสูงสุดไม่มีใครกำหนดได้ บรรยากาศในชั้นนี้บางมากมีปริมาณของก๊าซอยู่น้อยมากและเป็นก๊าซที่เบา เช่น ไฮโดรเจน และฮีเลียม จะกระเด็นหลุดไปในอวกาศได้อยู่เสมอการเคลื่อนไหวมีลักษณะเปรียบคล้ายละอองและฟองน้ำบนยอดคลื่นในมหาสมุทรที่ปลิวลอยไปในอากาศ

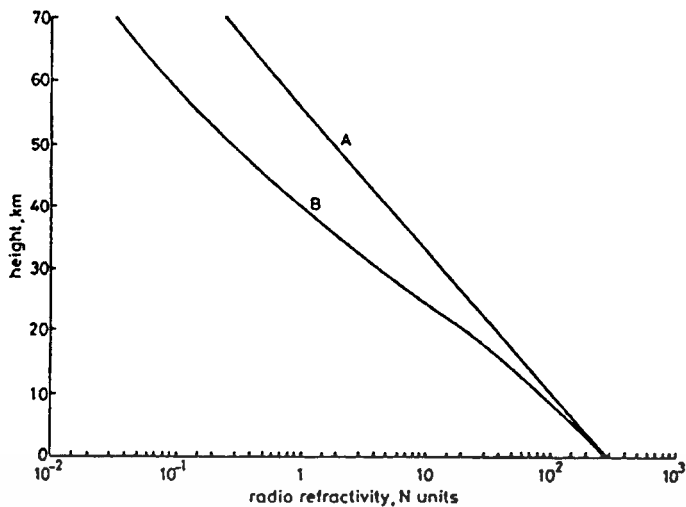
2.2 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศต่อสัญญาณดาวเทียมในสถานะอากาศปลอดโปร่ง



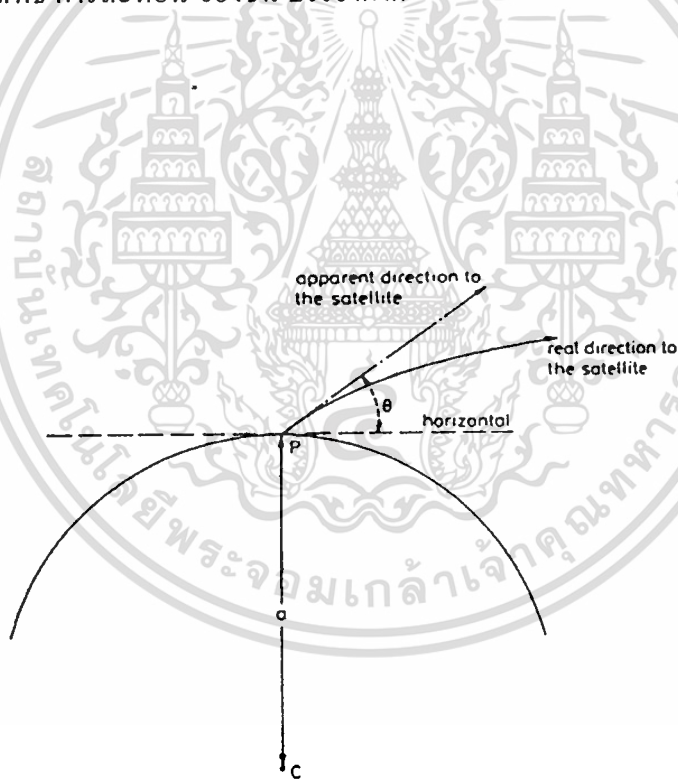
รูปที่ 2.4 การแผ่กระจาย สัญญาณ 3 รูปแบบ

ในปี พ.ศ. 2444 เมื่อ Guglielmo Marconi ประสบความสำเร็จในการส่งสัญญาณวิทยุข้ามมหาสมุทรแอตแลนติกยังไม่ได้มีการค้นคว้าอย่างจริงจังถึงลักษณะการแพร่กระจายของสัญญาณในชั้นบรรยากาศจนกระทั่งถึงปี ค.ศ. 1930 ที่ความถี่สูงกว่า 30 เมกกะเฮิร์ตเคยเชื่อกันโดยทั่วไปว่าสัญญาณจะเดินทางเป็นเส้นตรงโดยความเข้มจะลดลงตามระยะทางด้วยกฎการผกผันกำลังสอง ซึ่ง Marconi พบว่าความเชื่อนี้ไม่ถูกต้อง ในปี ค.ศ. 1932 เมื่อเขาสามารถส่งคลื่นความถี่ 30 เมกกะเฮิร์ตผ่านระยะสายตาได้หลายต่อหลายครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ค่าสัมประสิทธิ์ การสะท้อน ของชั้น บรรยากาศ



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางของคลื่นระหว่างโลกและดาวเทียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นที่ส่งออกไปในแนวนานกับพื้นโลกจะประกอบด้วยคลื่นที่เดินทางไปสองส่วนด้วยกัน คือ คลื่นตรง (direct wave) และคลื่นผิวดิน (ground wave) การเสริมและหักล้างกันของคลื่นสองส่วนนี้จะกลับไปกลับมาตามระยะทางจากสายอากาศ แอมพลิจูดจะขึ้น ๆ ลง ๆ จากขนาดที่ลดลงตามกฎการผกผันกำลังสอง นอกจากนี้สัญญาณยังสามารถสะท้อนจากชั้นบรรยากาศได้ด้วย (Tropospheric Scatter) ปรากฏการณ์เหล่านี้จะมีผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสัญญาณดาวเทียมอยู่บ้าง โดยเฉพาะที่มุมเงยต่ำๆ

การสะท้อนเกิดขึ้นเพราะคลื่นวิทยุจะเกิดการโค้งงอหรือเลี้ยวเบนขึ้น สำหรับคลื่นที่มีความถี่ในช่วงจิกะเฮิรต์จะถูกดูดคลื่นจากชั้นบรรยากาศทั้งในกรณีท้องฟ้าปลอดโปร่งและกรณีที่มีฝนตกในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลกระทบสภาพอากาศปกติที่มีต่อการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุส่วนหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงผลกระทบที่เกิดจากฝน

2.2.1 ผลกระทบจากการหักเห

ค่าดัชนีหักเห (Refractive Index : n)

อัตราส่วนของความเร็วในการเดินทางของคลื่นในสุญญากาศกับในตัวกลางที่พิจารณาจะเรียกว่าค่าดัชนีการหักเห N ของตัวกลาง ในอากาศที่แห้งและสะอาดของบรรยากาศชั้นล่างค่าดัชนีหักเหหาได้จาก

$$n(\text{อากาศแห้ง}) = 1 + 77.6(P/T) \times 10^{-6} \quad (2.1)$$

เมื่อ P เป็นความดันอากาศในหน่วยมิลลิบาร์ (mb) และ T เป็นอุณหภูมิสมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน ส่วนประกอบของก๊าซในบรรยากาศจะคงที่ตามความสูงและพื้นที่แต่ละแห่งจนถึงความสูงที่ระดับ 50 กิโลเมตรดังนั้นสมการ (2.1) สามารถใช้ได้ ในอากาศที่แห้งและสะอาดทุกแห่งทั่วโลก การมีอยู่ของไอน้ำจะมีผลทำให้ค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนไปคือ

$$n(\text{อากาศชื้น}) = 375000(e/T^2) - 5.6(e/T) \quad (2.2)$$

เมื่อ e เป็นความดันไอน้ำในหน่วยมิลลิบาร์ เทอมทั้งสองของสมการ 2.2 สามารถรวมกันได้เป็น

$$n = 373000(e/T^2) \quad (2.3)$$

กรณีอากาศแห้งและอากาศชื้นสามารถสรุปเป็นค่าดัชนีหักเหรวมดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n-1 = (77.6/T) \times (P+4810(e/T)) \times 10^{-6} \quad (2.4)$$

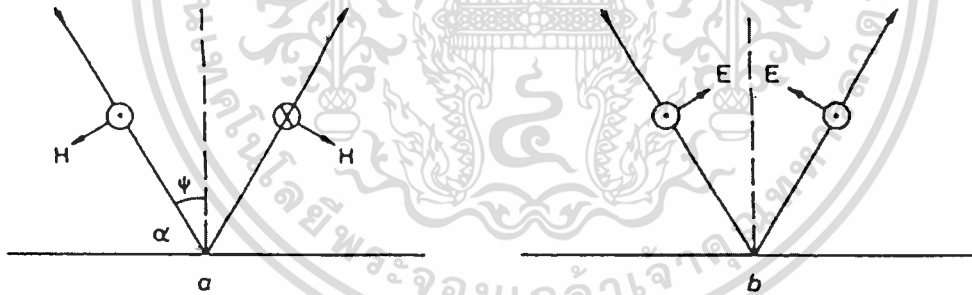
เราพบว่าการนำค่าดัชนีหักเหไปใช้งานจะง่ายขึ้นถ้าทำให้อยู่ในรูปของค่าการหักเห (Refractivity) N ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1 ล้านเท่าของค่าดัชนีการหักเหคือ

$$n = 1 + N \times 10^{-6} \quad (2.5)$$

หรือ

$$N = (77.6 / T) \times (P+4810(e/T)) \quad (2.6)$$

สมการที่ (2.6) จะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.5 % ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 GHz และให้ผลลัพธ์ที่มีทุก ๆ ย่านความถี่ N สามารถเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณบรรยากาศสูงและปริมาณอากาศน้อยที่ความเร็วหลายระดับ การเปลี่ยนแปลงค่า N เกิดจากความปั่นป่วนในชั้นบรรยากาศในระยะหลายกิโลเมตรเป็นเวลาหลายนาที่ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของกระจายสัญญาณดาวเทียม



รูปที่ 2.7 มุมการสะท้อน ของ คลื่นที่ พื้นผิวตัวนำ

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงค่าการหักเห (N) ตามความสูง

ความดัน, อุณหภูมิ และไอน้ำ จะลดลงตามความสูงจากสมการ 2.6 จะเห็นว่าทำให้ค่าการหักเหลดลง การเปลี่ยนแปลง N ตามความสูงจะมากและเร็วกว่าการเปลี่ยนแปลงในแนวราบยกเว้นกรณีที่มีลมพัดแรง รูปที่ 2.5 แสดงค่าการหักเหที่บรรยากาศชั้นล่างความสูงต่าง ๆ โดยเราจะเห็นว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหักเหจะลดลงประมาณแบบเอกโพเนนเชียล ถ้า N เป็นการหักเหที่ความสูง h จากระดับความสูงที่มีค่าการหักเห N_0 ดังนั้นการลดลงอย่างเอกโพเนนเชียลของการหักเหมีค่า

$$N = N_0 \times e^{-(h/H)} \quad (2.7)$$

H เป็นค่าคงตัว ทั่วไปแล้ว N_0 จะเป็นการหักเหที่พื้นโลกจากการศึกษาพบว่า median rate ของการเปลี่ยนแปลงค่า N จะมีค่า $-40N/km$ ITU-R ได้กำหนดค่า H ไว้ที่ $7.36 km$ ค่า N เฉลี่ยที่ผิวโลกเป็น 315 และค่ามีนของการเปลี่ยนแปลง N ที่ความสูงกิโลเมตรแรกไว้ที่ $-40N/km$ ดังนั้นจากการประมาณนี้สมการ 2.7 จะลดรูปเป็น

$$N = 315 \times e^{-(h/7.36)} \quad (2.8)$$

แผนที่โลกของค่าดัชนีหักเหจะกำหนดเป็นค่าการหักเหที่ระดับน้ำทะเล N_0 การเปลี่ยนเป็นค่าการหักเหที่ผิวดิน N_s สมการจะเป็นเช่นเดียวกับสมการที่ 2.7

$$N_s = N_0 \times e^{-(h/7.36)} \quad (2.9)$$

เมื่อ h_s เป็นความสูงของพื้นดินที่อยู่เหนือระดับน้ำทะเลสำหรับความชื้น ρ จะสัมพันธ์กับความดันไอน้ำ e ดังนี้

$$\rho = 216.5 \times (e/T) \quad (2.10)$$

การเปลี่ยนแปลงค่า N ตามความสูงนี้จะทำให้สัญญาณจากดาวเทียมไม่เดินทางเป็นเส้นตรง เรียกว่าเกิดการโค้งงอของคลื่น

2.2.3 การโค้งงอของคลื่น (Ray bending)

รูป 2.6 แสดงการโค้งงอของคลื่นเมื่อค่า N ในบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งของดัชนีหักเห dn/dh รัศมีความโค้งของการหักเห r มีค่า

$$1/r = -(1/n) \times (dn/dh) \times \cos \theta \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ θ เป็นมุมเงยตามปกติเครื่องหมายลบแสดงถึงการลดลงของดัชนีหักเหเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นในการสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดินเมื่อ θ เข้าใกล้ศูนย์ สมการ 2.11 จะง่ายขึ้นเป็น

$$1/r = -dn/dh \quad (2.12)$$

โดยเรากำหนดให้ n เป็น 1 ความแตกต่างของความโค้งระหว่างคลื่นนี้กับความโค้งของโลกหาได้จาก

$$(1/a) - (1/r) = (1/a) + (dn/dh) \quad (2.13)$$

เมื่อ a เป็นรัศมีโลกในการกำหนดความโค้งของคลื่นระหว่างสถานีภาคพื้นดินจะสมมุติว่าโลกมีความโค้งมากกว่าปกติทำให้สามารถกำหนดคลื่นเป็นเส้นตรงได้ดังรูป 2.4 ตารางที่ 2.1 จะเป็นค่า k ที่การเปลี่ยนแปลงการหักเหค่าต่าง ๆ ค่า k เป็นแฟคเตอร์ที่จะเปลี่ยนรัศมีจริงของโลกเป็นค่ารัศมีประสิทธิผล k_a โดย $k = 4/3$ ที่การหักเหเปลี่ยนแปลง $-40N/km$ เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบการสื่อสารระหว่างสถานีภาคพื้นดินโดยทั่วไป เมื่อ k เป็นอินฟินิตี้ และการเปลี่ยนแปลง N มีค่า $-157N/km$ ทำให้รัศมีของความโค้งคลื่นมีค่าเท่ากับรัศมีโลกในกรณีนี้คลื่นจะแพร่กระจายขนานไปกับพื้นโลกด้วยกระบวนการที่เรียกว่าดักคิง (ducting) การแพร่กระจายสัญญาณดาวเทียมมายังโลกนั้นจะเกิดดักคิงได้ต่อเมื่อมุมเงยต่ำกว่า 1 องศา และการเกิดการโค้งจะเกิดที่มุมเงยต่ำกว่า 10 องศา การเกิดโค้งจะไม่เกี่ยวกับความถี่แต่จะสัมพันธ์กับค่าการหักเหที่พื้นผิว การโค้งของคลื่นจะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบสื่อสารดังนี้

1. เกิด Defocusing
2. เกิดผลกระทบต่อมุมที่สัญญาณมาถึง (Angle of arrival)
3. การลดลงของอัตราขยายของสายอากาศ
4. เกิด phase advance

ปรากฏการณ์เหล่านี้ผู้ที่สนใจในรายละเอียดสามารถหาข้อมูล สมการคำนวณได้จากหนังสืออ้างอิงท้ายเล่ม และหนังสือเกี่ยวกับการแพร่กระจายคลื่นทั่วไป

2.2.4 ผลกระทบจากการสะท้อน

ผลกระทบที่เกิดจากสัญญาณในทิศทางต่าง ๆ (Multipath Effects) สามารถเกิดจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของชั้นบรรยากาศ แต่ในกรณีที่ตัวกลาง สองตัวมีค่าดัชนีหักเหต่างกันมากเช่นรอยต่อระหว่างอากาศกับพื้นดิน หรืออากาศกับน้ำ จะทำให้สัญญาณเกิดการสะท้อนขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทั้งในตัวกลางชนิดเดียวกันแต่ค่าดัชนี N ต่างกันมากโดยมีลักษณะการเกิดการสะท้อนเป็นท่อนำคลื่น (Ducting Layer) พลังงานและเฟสของคลื่นสะท้อนคุณสมบัติทางกลและทางไฟฟ้าของพื้นผิวที่สะท้อน การจะทำให้คลื่นสะท้อนมีพลังงานสูง องค์ประกอบการสะท้อนของคลื่นจะต้องมีความร่วมกัน (Coherent) ทำให้หน้าคลื่นมีขนาดสูงสุดดังนั้นแผ่นสะท้อนต้องเรียบ ถ้าตัวสะท้อนไม่เรียบทิศทางและเฟสจะอยู่ในลักษณะสุ่ม การสะท้อนในพื้นที่เรียบ เรียกว่าการสะท้อนพื้นเรียบ (specular reflection) การสะท้อนจากผิวขรุขระเรียกว่า การสะท้อนแปรลึกลับ (diffuse reflection)

การสะท้อนจากพื้นเรียบ

สัมประสิทธิ์การสะท้อน ρ หมายถึง

$$\rho = E_r/E_i \quad (2.14)$$

โดยที่ E และ E_i เป็นสนามไฟฟ้าสะท้อนและตกกระทบตามลำดับ e จะเป็นกับค่าความนำของตัวสะท้อนรวมทั้งโพลาริซชันของคลื่นที่ตกกระทบในที่นี้จะพิจารณาโพลาริซชันที่เป็นเส้นตรง (แนวตั้งและแนวนอน) โดยให้สนามไฟฟ้าแนวนอนตั้งฉากกับระนาบสะท้อนและขนานกับหน้าคลื่นสะท้อน สนามแม่เหล็กในแนวตั้งจะกำหนดให้ขนานกับหน้าคลื่นสะท้อนดังแสดงในรูป เราจะได้สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นโพลาริซชันแนวตั้ง เป็น

$$\rho_v = \frac{[k-j\sigma/\omega\epsilon_0]\sin\theta - [k-j\sigma/\omega\epsilon_0-\cos^2\theta]^{1/2}}{[k-j\sigma/\omega\epsilon_0]\sin\theta + [k-j\sigma/\omega\epsilon_0-\cos^2\theta]^{1/2}} \quad (2.15)$$

โดย k = ค่าไดอิเล็กตริกคงที่สัมพัทธ์

σ = ค่าคอนดักติวิตี, mhos/m

θ = มุมเงย (องศา)

ω = เฟอร์มิทวิตีของอากาศ (8.854×10) F/m

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ k ก็คือค่าเฟอร์มิทวิตีสัมพัทธ์ ϵ_r ในตัวกลางที่มีค่าความนำบางส่วน (partially conducting) ค่าเฟอร์มิทวิตีจะมีลักษณะเป็นค่าเชิงซ้อนโดยส่วนจริงจะเป็นส่วนของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและส่วนจินตภาพจะเป็นองค์ประกอบที่ทำให้พลังงานคลื่นเกิดการสูญเสียมุมตกกระทบที่ไม่ทำให้เกิดการสะท้อนจะเรียกว่า มุมบรูว์สเตอร์ (Brewster angle) มุมบรูว์สเตอร์ระหว่างรอยต่อของอากาศกับทะเลจะเพิ่มขึ้นที่ละน้อยเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

การสะท้อนจากพื้นผิวขรุขระ

การสะท้อนจากพื้นผิวเรียบจะทำให้ห้อยค์ประกอบส่วนต่าง ๆ มีเฟสที่ร่วมกันและมีแอมพลิจูดไม่ต่างกันนัก ถ้าผิวตัวสะท้อนไม่เรียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะลดลงในทิศทางเดียวกันกรณีผิวสะท้อนเรียบ ถ้าความไม่เรียบเพิ่มขึ้นความไม่ร่วมกันของคลื่นสะท้อนจะเพิ่มขึ้นด้วยมีความต่างกันมากขึ้นทั้งเฟสและแอมพลิจูดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างสุ่มตามความขรุขระของผิวสะท้อนอธิบายได้จากการกระจายของ Rayleigh (Raleigh distribution)

รูป 2.8 แสดงพื้นผิวสะท้อนที่มีความขรุขระแบบสุ่ม สมมติให้สัญญาณสะท้อนจากตำแหน่ง 2 จุดมีความสูงต่างกัน H ดังนั้นระยะคลื่นที่เดินทางต่างกัน (path lengths) $\Delta\lambda$ มีค่า

$$\Delta\lambda = LH \sin \theta \text{ เมตร} \quad (2.16)$$

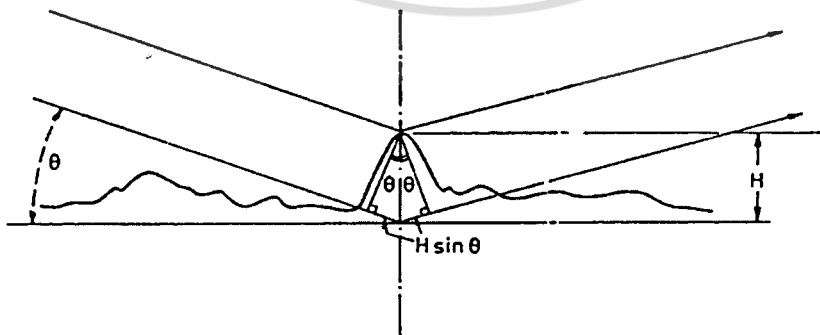
ทำให้มีเฟสต่างกัน $\Delta\phi$

$$\Delta\phi = (4\pi/\lambda) H \sin \theta \text{ องศา} \quad (2.17)$$

การรวมกันของคลื่นที่ทำให้ขนาดลดลง $\Delta\phi = \pi$ เอาไป แทนในสมการ 2.17 จะได้ระยะ H ที่ทำให้คลื่นรวมกันแล้วขนาดลดลงเป็น

$$H = \lambda/4 \sin \theta \text{ เมตร} \quad (2.18)$$

ถ้า H น้อยกว่าค่านี้นี้เราสามารถประมาณได้ว่าพื้นผิวนั้นเป็นผิวเรียบ



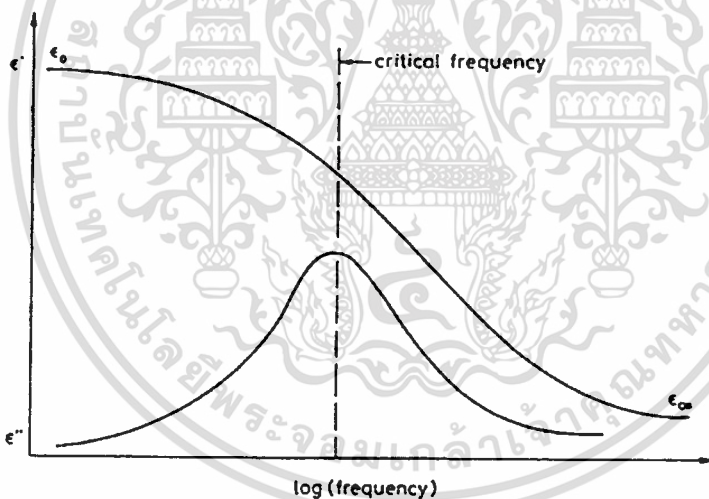
รูปที่ 2.8 มุมสะท้อนของคลื่นที่ผิวขรุขระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ผลกระทบจากการดูดกลืน (Absorbive Effects)

ในตัวกลางที่มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้บางส่วน การเดินทางผ่านของคลื่นวิทยุอธิบายได้จากค่าเพอร์มิทิวิตีเชิงซ้อน ถ้าในตัวกลางมีการสูญเสียค่าเราสามารถตัดส่วนจินตภาพออกไปได้สามารถหาพฤติกรรมได้จากค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ตัวกลางที่มีการสูญเสียค่าทั่วไปจะมีอะตอมหรือโมเลกุลที่สมมาตรแต่ถ้าโมเลกุลมีลักษณะไม่สมมาตรจะเกิดการหมุนในสนามไฟฟ้าและถือว่าเป็นโมเลกุลมีขั้ว โมเลกุลมีขั้วจะทำให้คลื่นที่เดินทางผ่านมีการสูญเสียมากกว่าปกติการสูญเสียนี้จะขึ้นกับความถี่ด้วย

องค์ประกอบสำคัญของบรรยากาศชั้นล่างประกอบด้วยก๊าซออกซิเจน, ไนโตรเจน และไอน้ำ ก๊าซออกซิเจนเป็นโมเลกุลพาราแมกเนติกจะเกิดการดูดกลืนพลังงานคลื่นที่ความถี่เฉพาะค่าหนึ่ง สำหรับน้ำและไอน้ำจะเป็นโมเลกุลมีขั้วการดูดกลืนเกิดจากการรีโซแนนซ์ของอิเล็กตริกไดโพลที่ความถี่วิกฤติถ้าส่วนจินตภาพ ϵ'' และส่วนจริง ϵ' ของเพอร์มิทิวิตีเชิงซ้อน ϵ^* ของโมเลกุลถูกพล็อตเทียบกับความถี่ ความถี่วิกฤติจะอยู่ที่ ϵ'' รูป 2.9 แสดงผลกระทบของโมเลกุลมีขั้วกับความถี่วิกฤติค่าเดียว ความถี่นี้จะแปรตามอุณหภูมิ



รูปที่ 2.9 แสดง สัมประสิทธิ์ ของการดูดกลืน

เส้นรีโซแนนซ์ของออกซิเจนและไอน้ำ

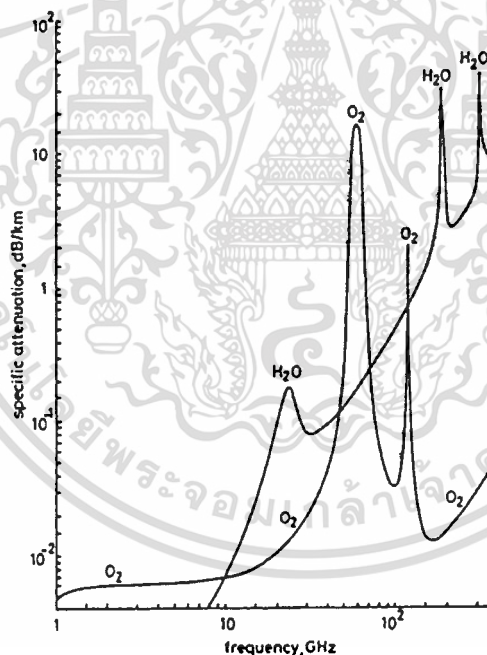
ออกซิเจนและไอน้ำจะเป็นตัวดูดกลืนพลังงานคลื่นอย่างดีโดยเฉพาะเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น โดยจะมีความถี่วิกฤติจำนวนหนึ่งทำให้เกิดรีโซแนนซ์ของการดูดกลืนขึ้น รูป 2.10 จะแสดงการลดทอนเฉพาะของไอน้ำและออกซิเจนที่ระดับน้ำทะเลตามแนวราบที่ความถี่และความดันค่าหนึ่ง

ความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 1% (1% ของโมเลกุลไอน้ำผสมกับ 99% ของโมเลกุลอากาศแห้ง) นอกจากออกซิเจนและไอน้ำแล้วยังมีการดูดกลืนจากก๊าซชนิดอื่น ๆ รวมทั้งหมดด้วยแต่ไม่มากเท่ากับก๊าซ 2 ชนิดนี้

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (Tropospheric Scintillation Effects)

ความแปรปรวนขนาดเล็ก ๆ ของค่าดัชนีหักเหจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของแอมพลิจูดและเฟส ปรากฏการณ์นี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น (ลักษณะตรงนี้จะต่างกับ Ionospheric scintillation) คุณสมบัตินี้ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะแสดงได้ด้วยอัตราส่วน G/T G คืออัตราขยายของสายอากาศและ T เป็น noise temperature ของสายอากาศ การ Scintillation สามารถนำมาช่วยในการปรับแต่งการวัดค่า G/T

Tropospheric Scintillation จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมุมเงยของสายอากาศลดลงผลกระทบของสัญญาณดาวเทียม จากปรากฏการณ์นี้จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับผลกระทบอื่น ๆ โดยเฉพาะที่มุมเงยสูง ๆ



รูปที่ 2.10 ค่าการลดทอนจำเพาะของก๊าซโทรโปสเฟียร์

2.2.6 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน Tropospheric Scintillation

Effect

จากฐานข้อมูลทั่วโลกที่วัดกันเป็นระยะเวลานานทำให้สามารถสรุปลักษณะการเกิด Tropospheric Scintillation ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่ขึ้นกับลักษณะทางอคูนิยมวิทยา

- จะมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับอุณหภูมิและความชื้น โดยที่อุณหภูมิและความดันสูงจะมีแอมพลิจูดของการ scintillation สูงขึ้น
- สำหรับความสัมพันธ์กับลม นั้นพบว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นทำให้แอมพลิจูดของการ scintillation เพิ่มขึ้น และมีความสัมพันธ์เล็กน้อยกับทิศทางของลมในแนวตั้ง
- การเกิดฝนจะไม่กระทบต่อการเกิด scintillation จนกระทั่งการลดทอนของสัญญาณเกิน 5 dB คุณสมบัติที่ขึ้นกับช่วงเวลา
- จะสัมพันธ์อย่างมากกับวงรอบของฤดูกาลต่าง ๆ และมีความสัมพันธ์เล็กน้อยกับช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน โดยการเกิดจะมากในช่วงบ่ายอ่อน ๆ และช่วงกลางฤดูร้อนในเขตละติจูดปานกลาง ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะเกิดมากในช่วงฤดูฝน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

สถานที่วัดอัตราการตกของฝนและสัญญาณดาวเทียม

3.1 การวัดน้ำฝนและดาวเทียม

กล่าวโดยทั่วไปประเทศไทยมีฝนอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยตลอดปีประมาณ 1700 มิลลิเมตร หรือ 67 นิ้ว แต่มีบางส่วนของประเทศคือบริเวณตอนล่างของภาคเหนือและภาคกลาง โดยเฉพาะบริเวณที่อยู่หลังทิวเขาตะนาวศรี ตั้งแต่จังหวัดกาญจนบุรีถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์จะมีฝนเฉลี่ยค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ในบางปีอาจมีฝนไม่เกิน 1000 มิลลิเมตร หรือ 39 นิ้ว

บริเวณที่มีฝนชุกนั้นจะอยู่ตามชายฝั่งทะเลตะวันตกของภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดระนองลงไปจนถึงภูเก็ต และฝั่งทะเลตะวันออกของอ่าวไทยตั้งแต่จังหวัดระยองลงไปจะมีฝนตกมากในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ โดยเฉพาะที่จังหวัดระนองและอำเภอคลองใหญ่จะมีฝนเกินกว่า 4000 มิลลิเมตร หรือ 157 นิ้วเกือบทุกปี ส่วนในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะมีฝนชุกตามบริเวณชายฝั่งตะวันออกของภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป ซึ่งเป็นฤดูที่ภาคอื่น ๆ ของประเทศไม่ค่อยมีฝนตก บริเวณดังกล่าวจะมีฝนตกเกินกว่าปีละ 2000 มิลลิเมตร หรือ 79 นิ้ว ในบางปีอาจมีฝนเกินกว่า 2500 มิลลิเมตรหรือ 98 นิ้ว ได้

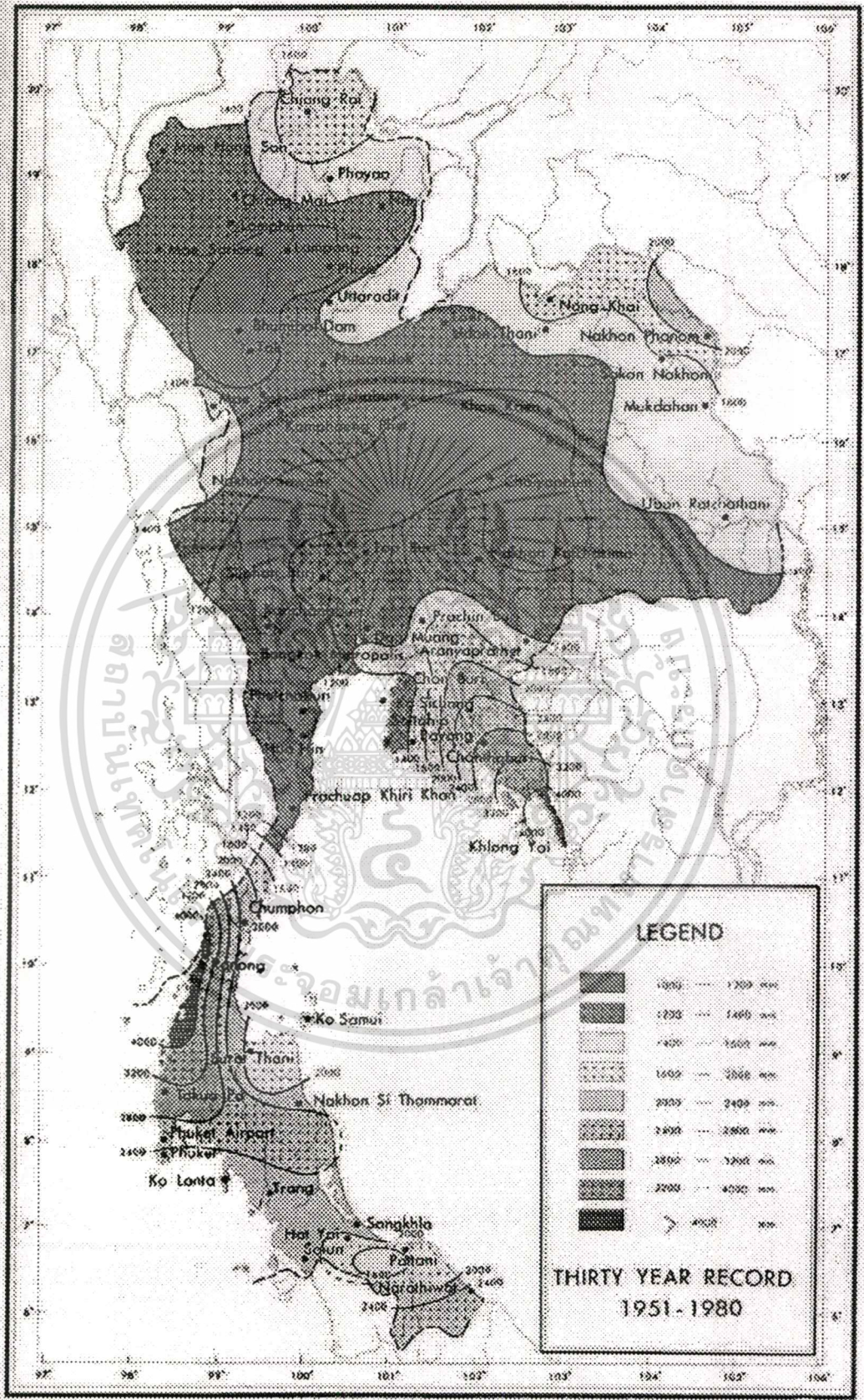
3.1.1 การเขียนเส้นปริมาณฝน

สถิติที่ใช้เขียนเส้นปริมาณฝนนี้ได้รวบรวมจากข้อมูลฝนในคาบ 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2494-2523 เนื่องจากข้อมูลนี้ได้จากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งตั้งอยู่บนพื้นราบ ฉะนั้นในการเขียนเส้นปริมาณฝนจึงได้พยายามให้สัมพันธ์กับอิทธิพลของภูเขา เพื่อให้ได้แผนที่ฝนที่ถูกต้องกับความเป็นจริงมากที่สุด

3.1.2 การตกของฝนในประเทศไทย

ในหลายปีที่ผ่านมาย่านความถี่ 10 GHz หรือสูงกว่าได้ถูกนำมาใช้สำหรับการสื่อสารดาวเทียม และแขนแลวิทยุประจำบ้านได้มีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นในประเทศต่าง ๆ ซึ่งได้คาดหวังว่าจะมีการใช้ความถี่สูงเพิ่มมากขึ้น ในประเทศไทยนั้นคลื่นวิทยุในย่าน C-band จะมีการลดทอนเป็นพัก ๆ ที่เกิดขึ้นจากฝนที่เรียกว่า ฝนไล่ช้าง ฝนตกหนักจะเกิดขึ้นช่วงเวลาอันสั้นและ ไม่ค่อยจะตกนานๆ เป็นชั่วโมง ประเทศในเขตเส้นศูนย์สูตร จะมีฝนไล่ช้างในช่วงฤดูฝน ฝนไล่ช้างจะเริ่มต้นอย่างรวดเร็วทันทีทันใด ด้วยลักษณะของฝนที่หนักและต่อเนื่องเป็นระยะเวลาเวลานานมากในช่วง 30-40 นาที ในพื้นที่ที่เป็นสถานที่ทางวิทยุอุตุนิยมวิทยา การตกของฝนอาจทำให้เกิดการลดทอนของคลื่นวิทยุชั่วคราวขึ้นได้ จากที่กล่าวมานี้เราจึงทำการเลือกที่จะทำการวัดอัตรา การตกของฝนอย่างต่อเนื่องตามเวลา ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือวัดน้ำฝนแบบต่าง ๆ ได้ถูกนำมาใช้แต่วัดการตกของฝนได้ดีพอใช้

ANNUAL RAINFALL

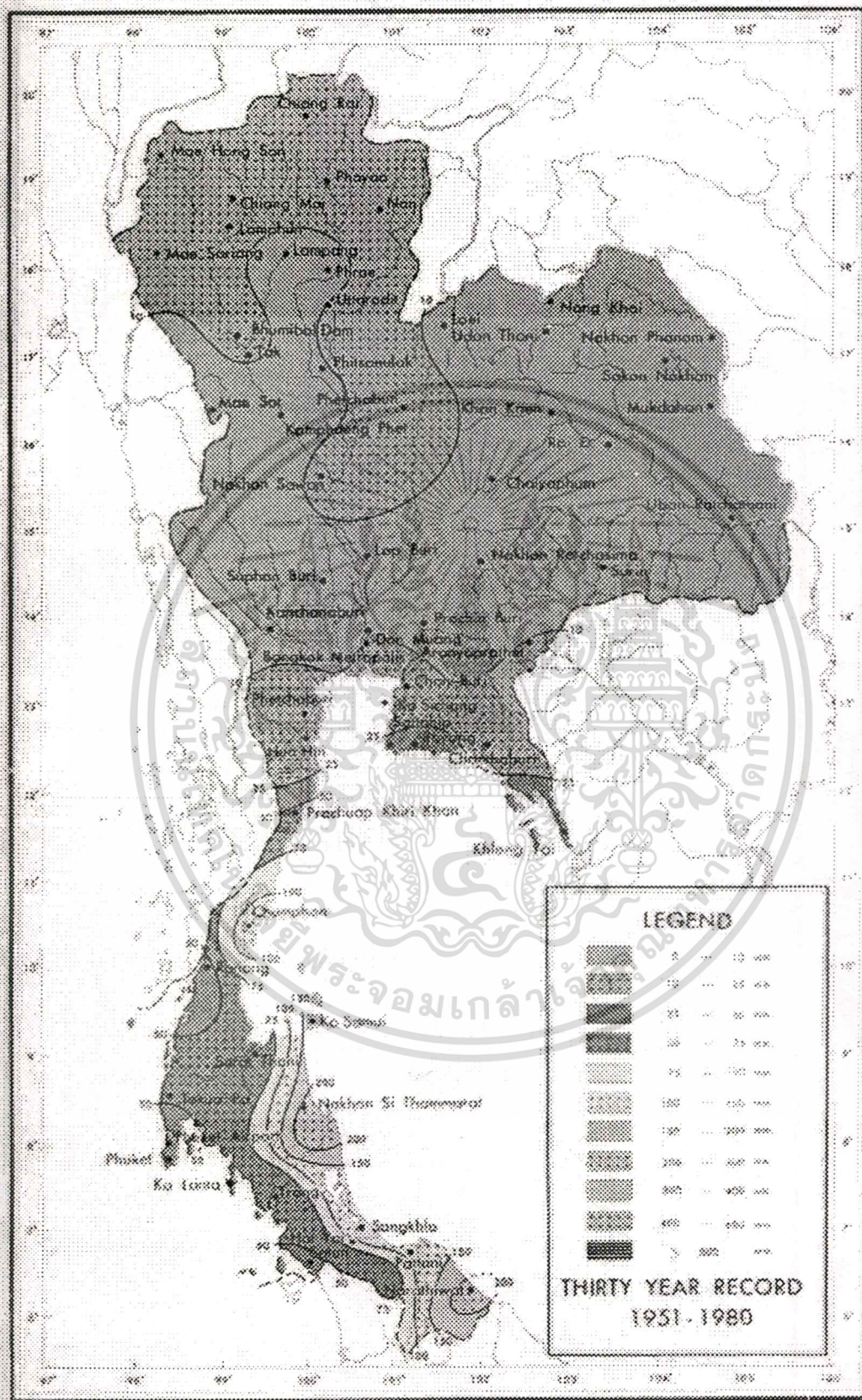


รูปที่ 3.1 ปริมาณน้ำฝนรายปีระหว่าง พ.ศ. 2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

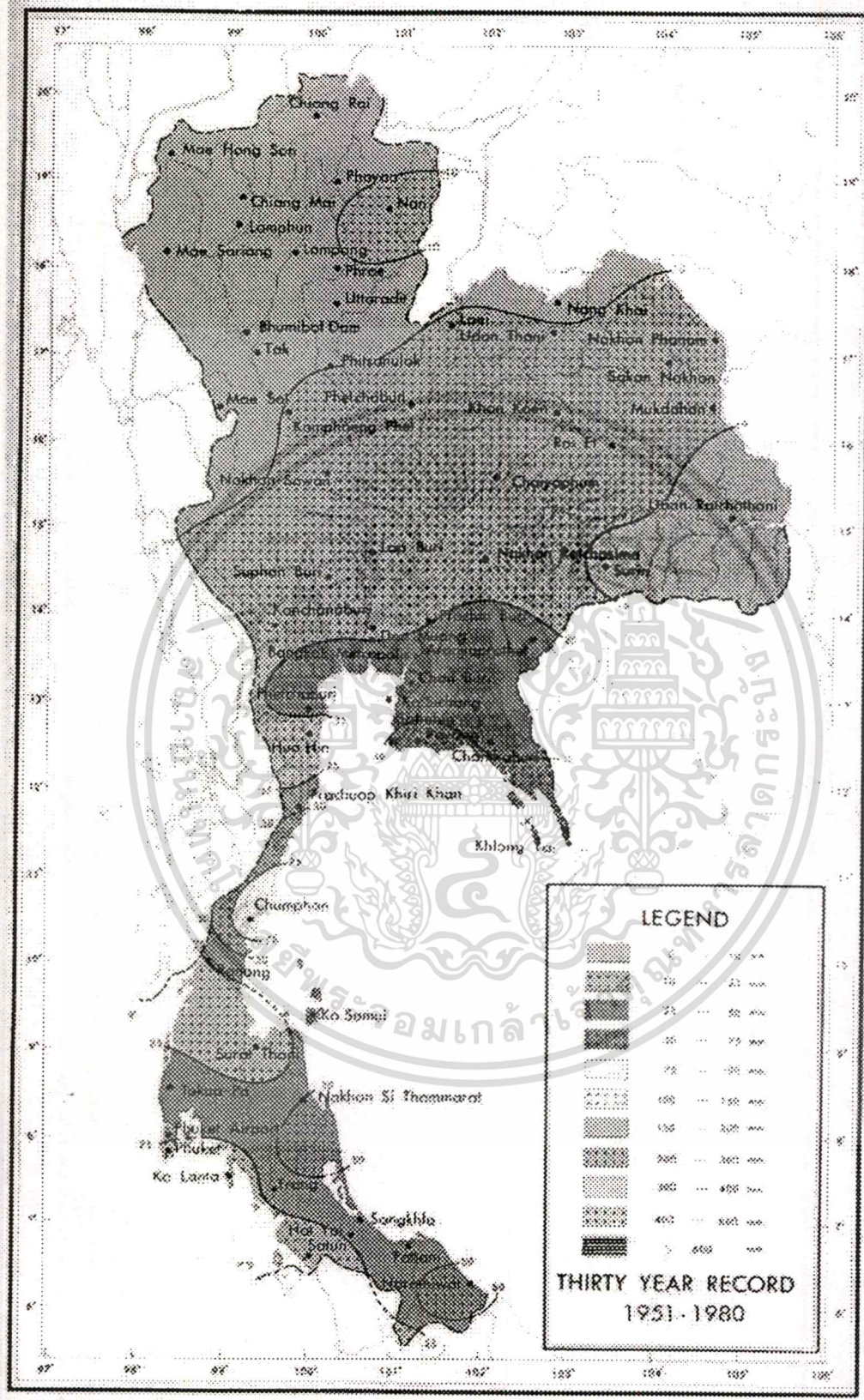
JANUARY



รูปที่ 3.2 ปริมาณน้ำฝนเดือน มกราคมระหว่างปี พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

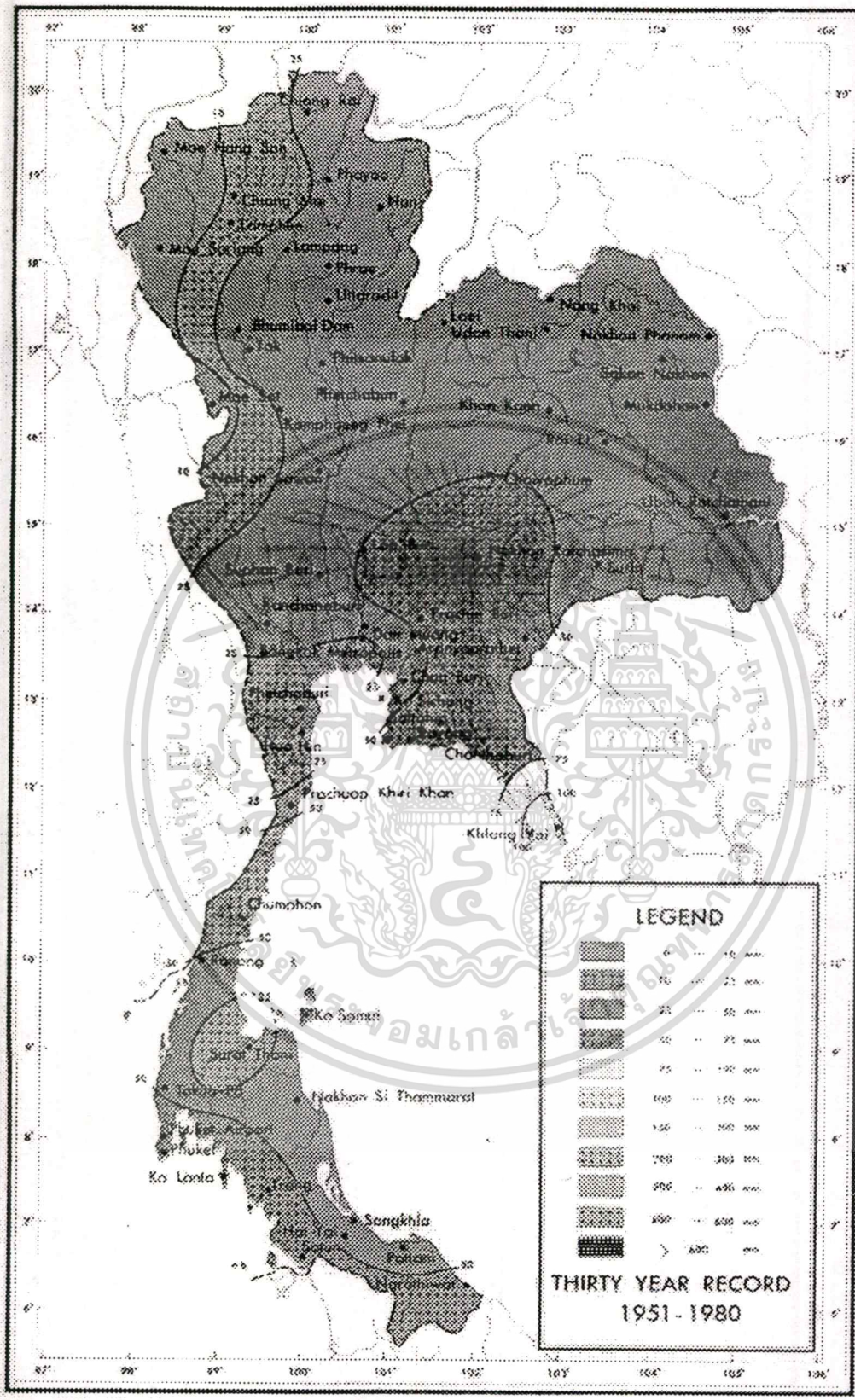
FEBRUARY



รูปที่ 3.3 ปริมาณน้ำฝนเดือนกุมภาพันธ์เฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

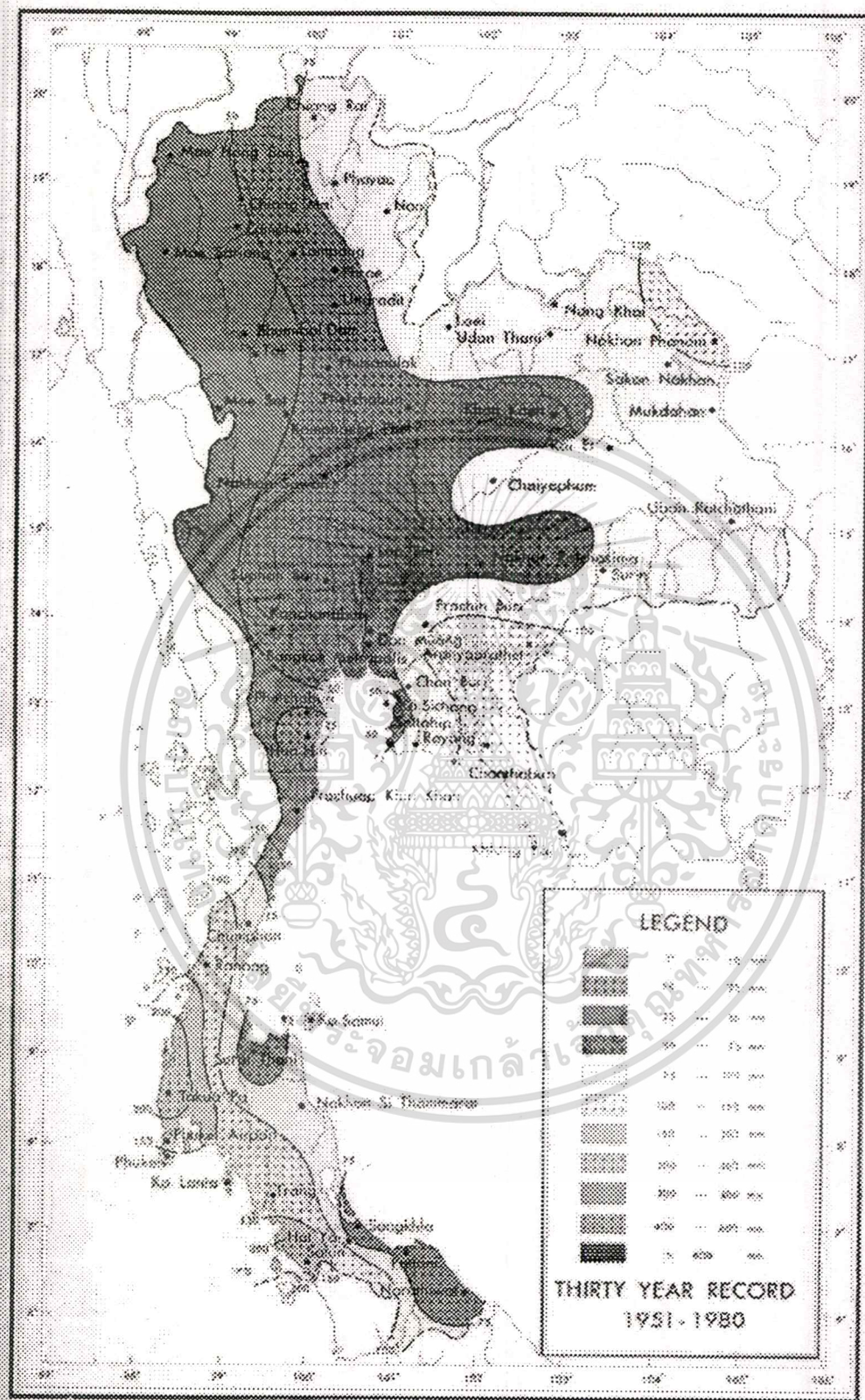
MARCH



รูปที่ 3.4 ปริมาณน้ำฝนเดือนมีนาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

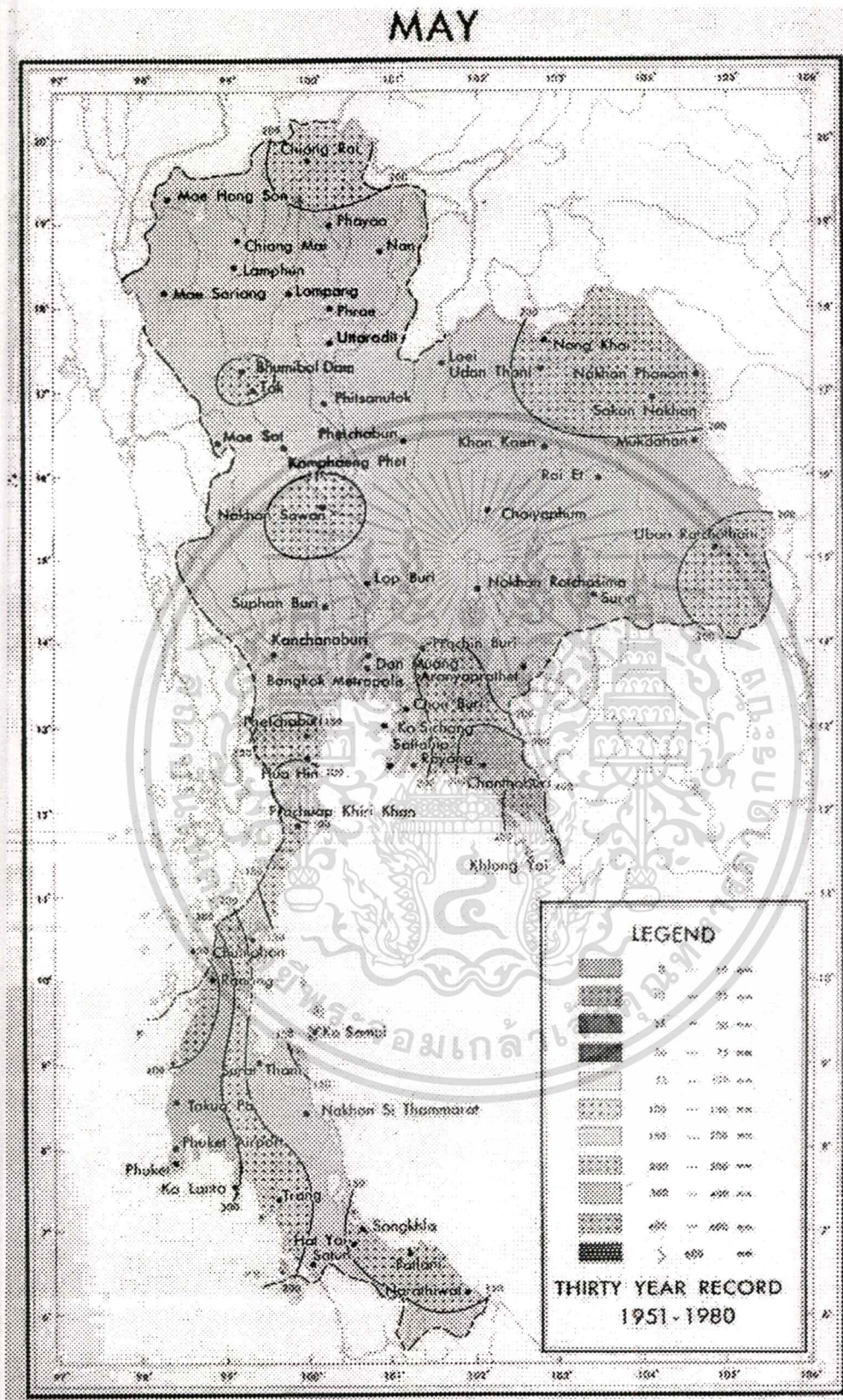
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APRIL



รูปที่ 3.5 ปริมาณน้ำฝนเดือนเมษายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

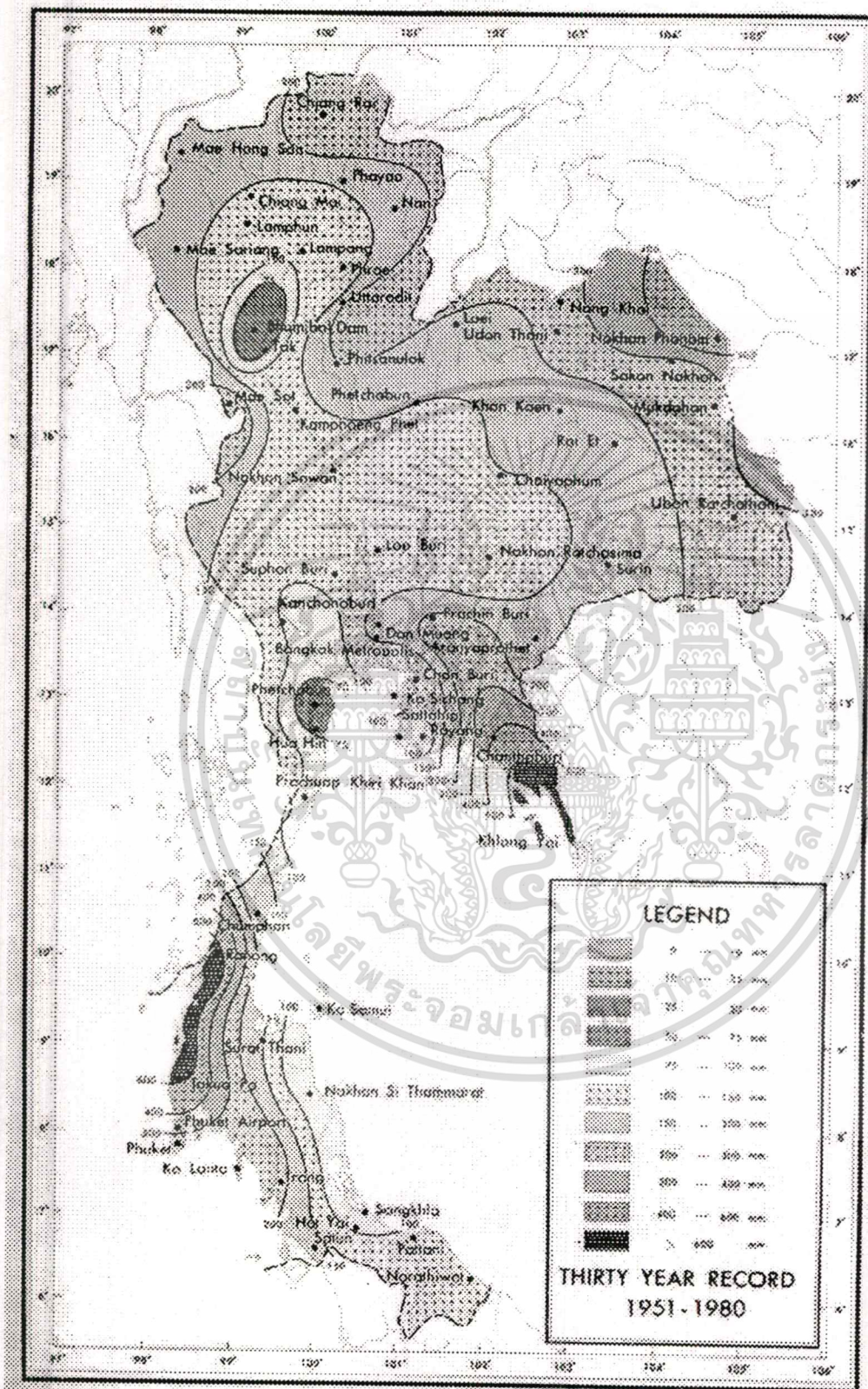
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ปริมาณน้ำฝนเดือนพฤษภาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

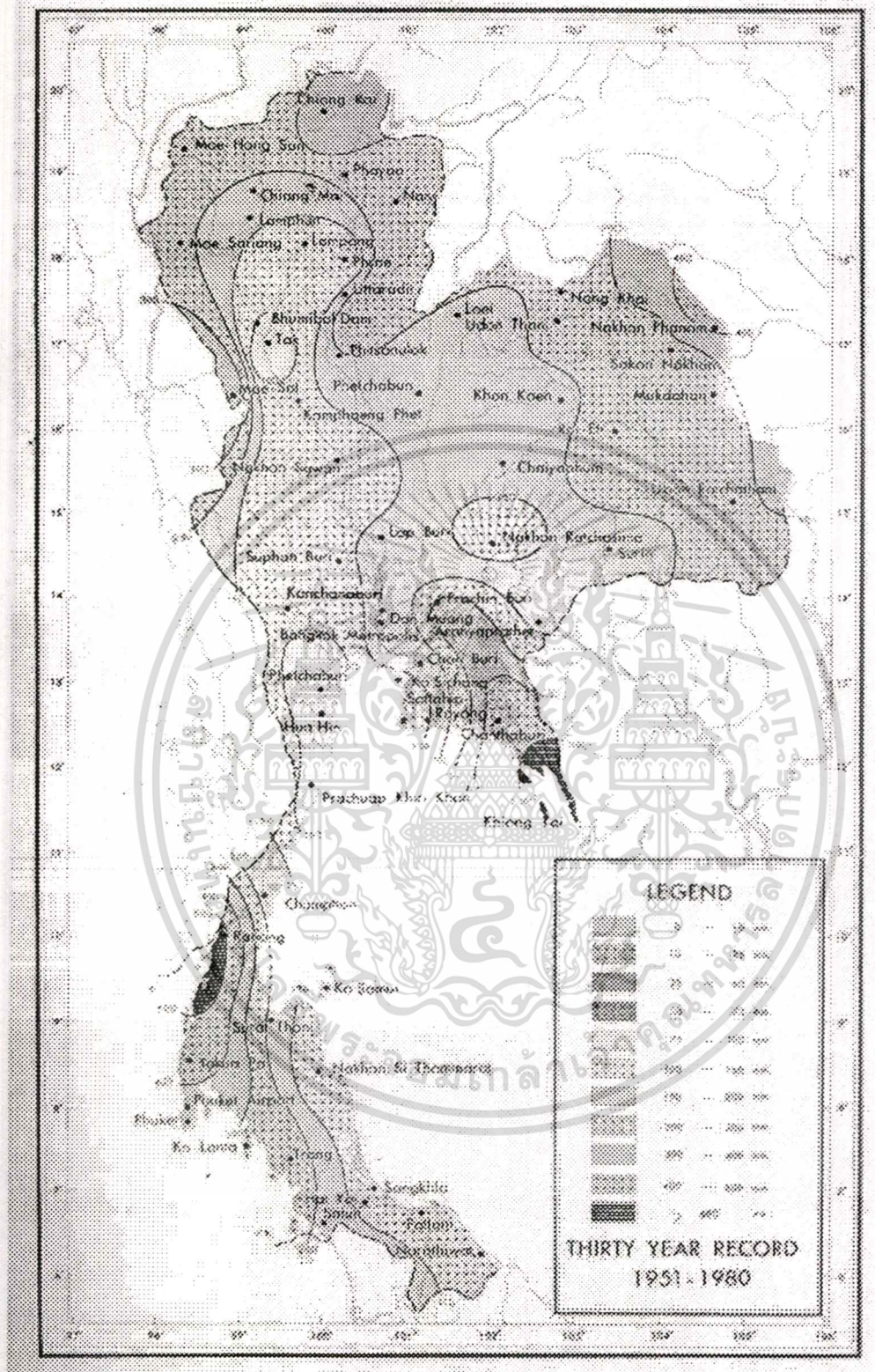
JUNE



รูปที่ 3.7 ปริมาณน้ำฝนเดือนมิถุนายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

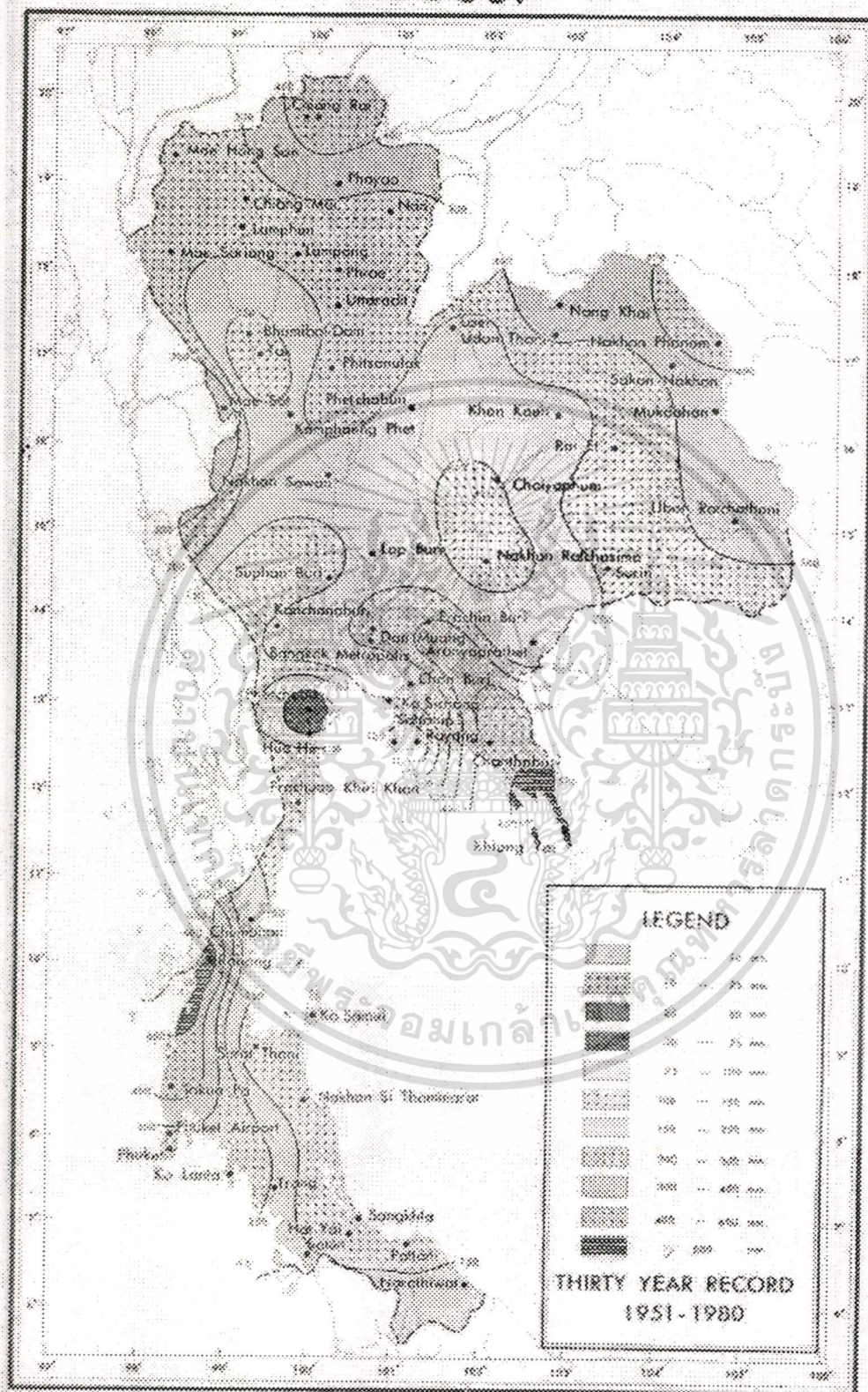
JULY



รูปที่ 3.8 ปริมาณน้ำฝนเดือนกรกฎาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

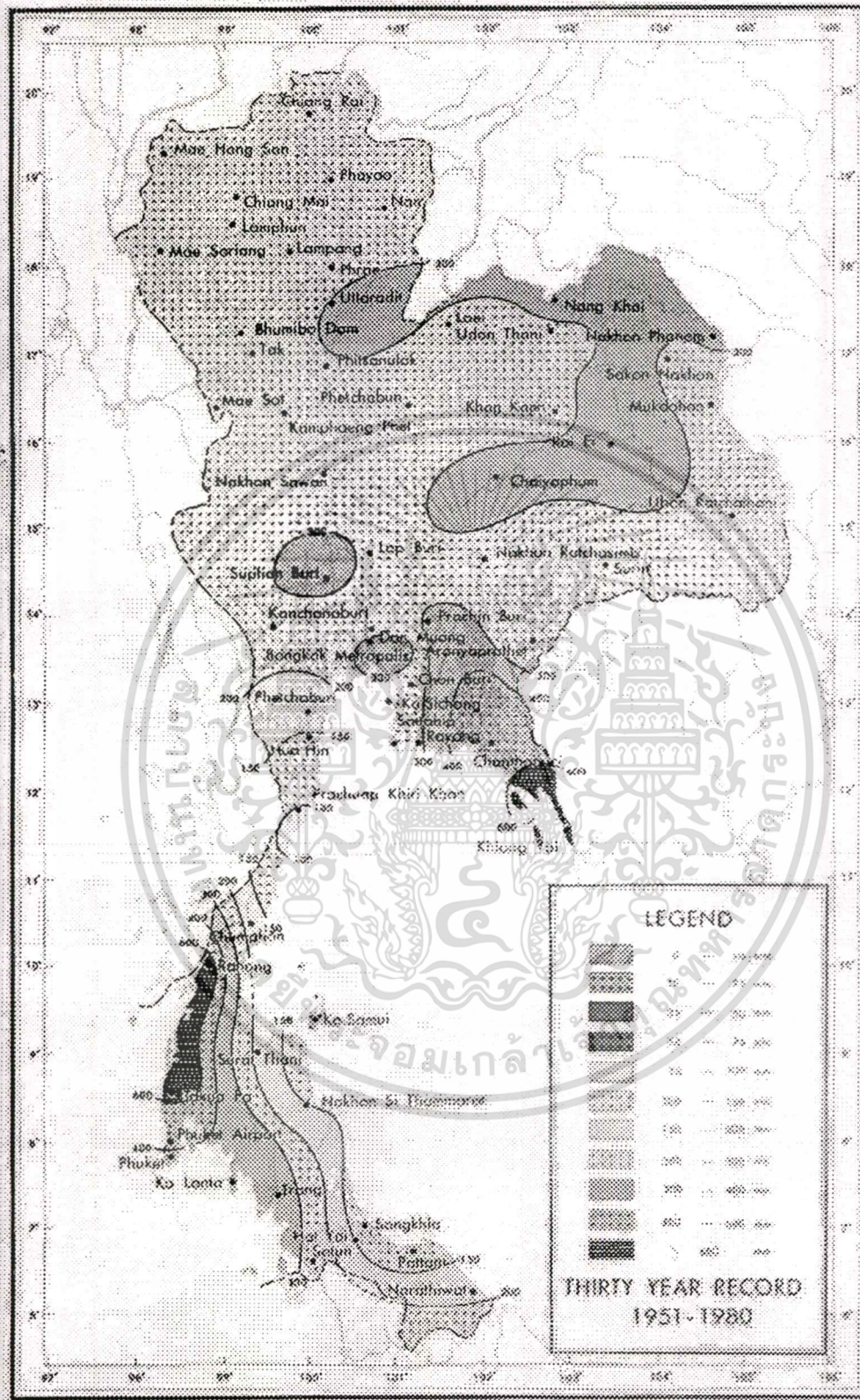
AUGUST



รูปที่ 3.9 ปริมาณน้ำฝนเดือนสิงหาคมเฉลี่ยระหว่างพ.ศ.2494-2523

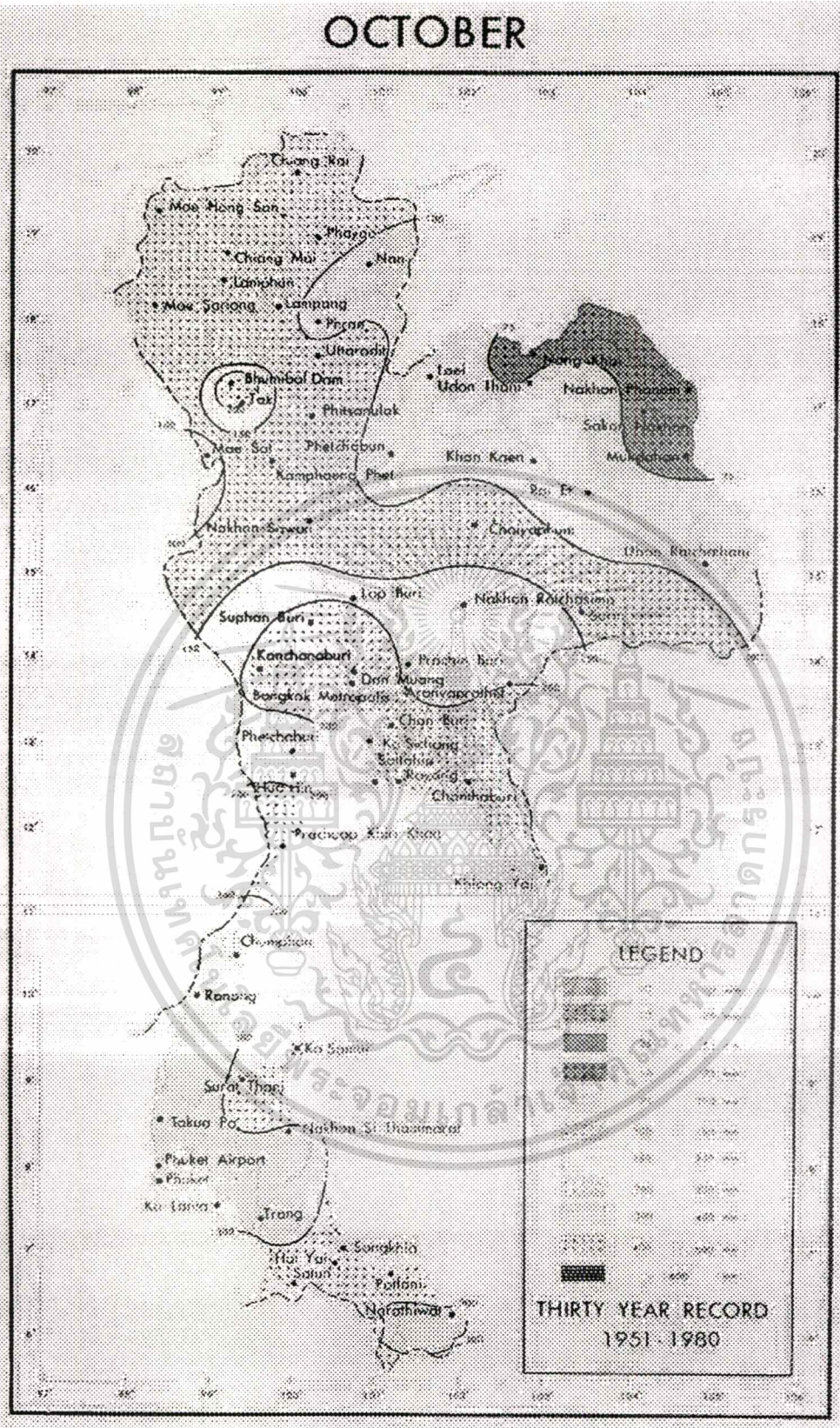
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SEPTEMBER



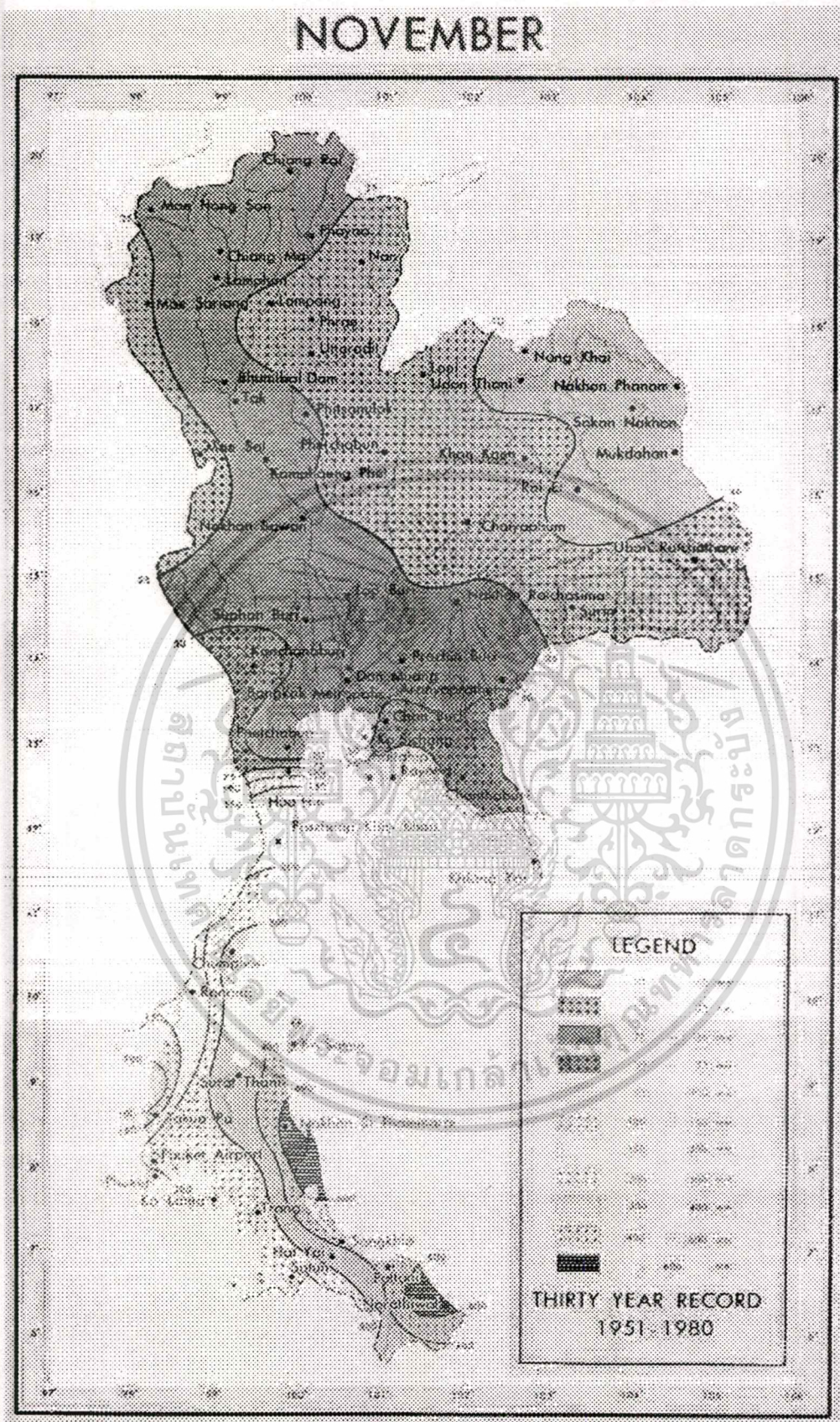
รูปที่ 3.10 ปริมาณน้ำฝนเดือนกันยายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ปริมาณน้ำฝนเดือนตุลาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

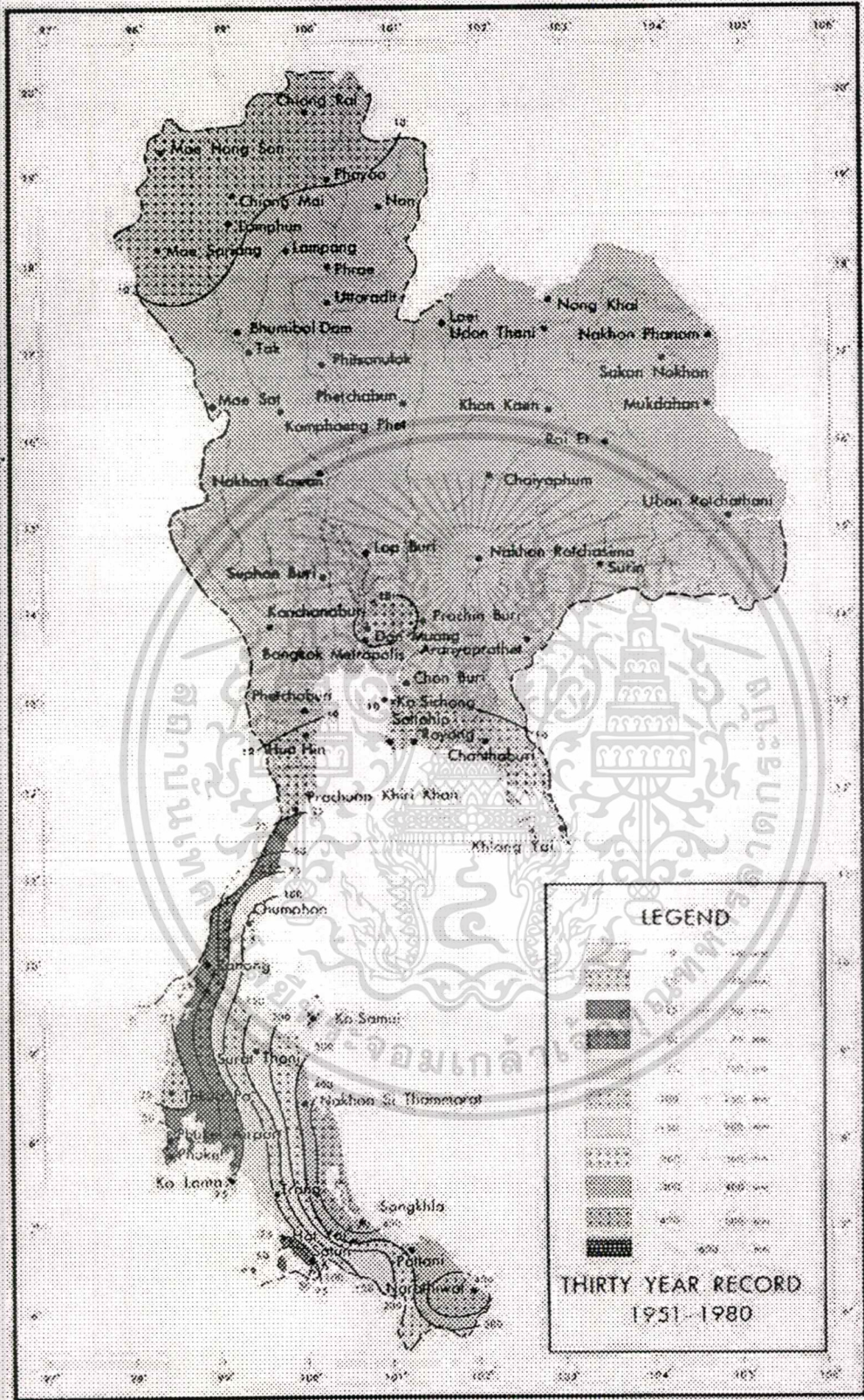
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ปริมาณน้ำฝนเดือน พฤศจิกายนเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DECEMBER



รูปที่ 3.13 ปริมาณน้ำฝนเดือน ธันวาคมเฉลี่ยระหว่าง พ.ศ.2494-2523

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือวัดน้ำฝนที่ใช้ในปัจจุบัน

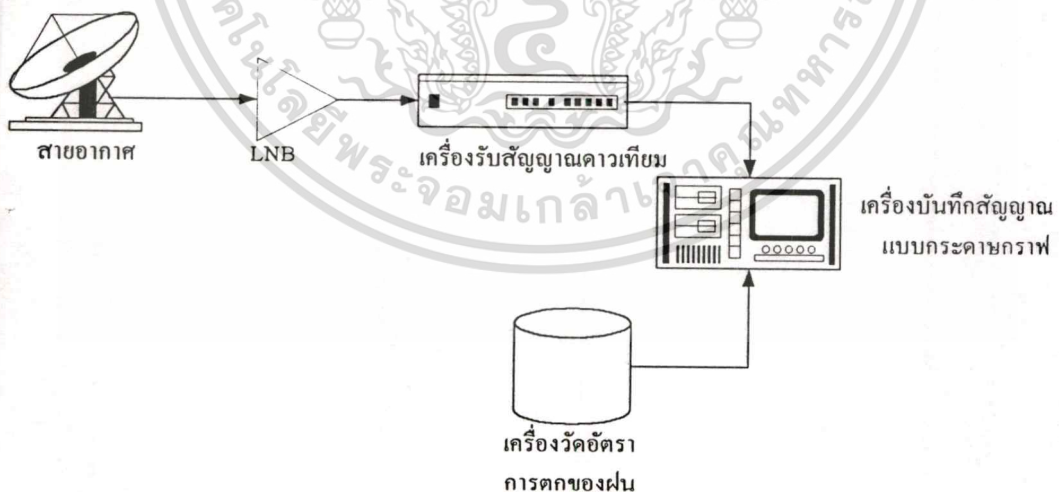
สำหรับเครื่องมือวัดน้ำฝนที่มีใช้กันในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด โดยมีหลักการทำงานคุณสมบัติเฉพาะของเครื่อง ข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป เครื่องวัดน้ำฝนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเป็นแบบ tipping bucket

เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ Tipping bucket เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบ tipping bucket มีหลักการทำงานกล่าวคือเมื่อมีฝนตก น้ำฝนจะตกลงสู่กรวยรับน้ำฝน (collector) ซึ่งมีรัศมีของกรวยที่คงที่อยู่ที่ค่าหนึ่งจากนั้นน้ำฝนจะไหลลงสู่กระบอกเล็ก ๆ ที่ติดกันอยู่ 2 อัน โดยมีปากของกระบอกที่ตรงข้ามกันเพื่อสลับกันใส่น้ำและเทน้ำเมื่อข้างหนึ่งข้างใดเต็ม ซึ่งจำนวนการตกของฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนชนิดนี้เท่ากับ nV เมื่อค่า V เป็นปริมาณของกระบอก และ n คือจำนวนครั้งที่น้ำฝนถูกเทออก (จำนวนพัลส์) และเมื่อค่า V เป็นค่าคงที่ทำให้ค่า n เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ V โดยจำนวนของการตกของฝน n จะไปกระตุ้นการทำงานของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (reed switch) ที่เกิดจากแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านในขณะที่กระบอกกำลังกระดกเทน้ำ โดยการสวิตช์ของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าจะนำไปแปลงเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุด F to V converter เพื่อทำการบันทึกด้วยเครื่อง Recorder ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงปริมาณการตกของฝนที่วัดได้ ซึ่งเครื่องชนิดนี้มักจะตอบสนองต่อฝนถึงที่ระดับ 0.5 มิลลิเมตร เครื่องมือวัดแบบ Tipping bucket ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าบริเวณขอบของกรวยรับน้ำฝนจะออกแบบให้มีความบางมาก ๆ เพื่อให้มีการวัดค่าได้เที่ยงตรงยิ่งขึ้น โดยจะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าอัตราการตกของฝน (rain rate) กับค่าความผิดพลาด (error) เมื่อใช้กระบอกรับน้ำที่ค่าประมาณ 0.5 และ 1 มม./พัลส์ โดยจากการทดลองจะพบว่าค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้นถ้าใช้กระบอกรับน้ำที่ใหญ่ขึ้น สาเหตุสำคัญก็คือเกิดการกระชอกของน้ำในขณะที่กระบอกกระดกเทน้ำ และสำหรับย่านการวัดที่พอใช้งานได้ของเครื่องมือวัดแบบ tipping bucket นี้จะอยู่ในช่วง rain rate 0-200 mm/hr

แบบอื่นๆเช่น เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบการตอบสนองที่เร็ว (Quick response type) เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบการตอบสนองเร็ว น้ำฝนจะถูกรวบรวมไว้โดยกรวยซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ซึ่งน้ำจะไหลไปยังภาชนะแก้วที่มีน้ำและน้ำมันบรรจุอยู่และจะถูกทำให้เป็นหยดน้ำด้วยปริมาณที่เท่ากันออกจากปลายท่อ สำหรับเครื่องวัดน้ำฝนชนิดนี้ที่มีขายในปัจจุบัน จะมีปริมาตรของหยดน้ำเท่ากับ 0.0083 cm โดยหยดน้ำจะถูกตรวจนับโดยอุปกรณ์ทางแสงที่ช่วงเวลา 1 นาทีหรือในเวลาที่สูงมากเพื่อนำสัญญาณที่ตรวจนับได้ส่งต่อไปยังเครื่องนับ (counter) แล้วจึงนำไปบันทึกด้วยเครื่อง Recorder เพื่อทราบถึงอัตราการตกของฝนใน 1 นาทีหรือในหนึ่งเวลาใด ๆ

3.3 สถานที่และการติดตั้งเครื่องมือ

การวิจัยครั้งนี้ได้ติดตั้งเครื่องมือที่สถานีอุตุนิคมวิทยาตราด (คลองใหญ่) เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีฝนตกมากที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศไทย จากสถิติที่เก็บไว้พบว่ามียุทธิน้ำฝนมากที่สุด ใน 1 เดือนคือ 2,072.4 มิลลิเมตร เมื่อ พ.ศ. 2507 ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด ใน 1 ปี 6005.5 มิลลิเมตร เมื่อ พ.ศ. 2504 และฝนน้อยที่สุดใน 1 ปี 3241.8 มิลลิเมตร เมื่อ พ.ศ. 2511 มีตำแหน่งอยู่ที่ ละติจูด 11 องศา 46 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 102 องศา 53 ลิปดาตะวันออก ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล 2 เมตร สภาพทางภูมิศาสตร์ด้านหน้าติดทะเลอ่าวไทยฝั่งตะวันออก ด้านหลังติดเทือกเขาบรรทัด จึงเป็นเขตรับลมโดยเฉพาะในฤดูมรสุม เริ่มติดตั้งเครื่องมือตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2540 จนถึงปัจจุบันในบทความนี้จะนำข้อมูลการลดทอนที่วัดได้ที่อัตราการตกของฝนค่าต่าง ๆ มาวิเคราะห์ โดยจะรับสัญญาณของดาวเทียมไทยคม 3 ที่อยู่ ณ ตำแหน่ง 78.5 องศาตะวันออกมีมุมเงย 58.7 องศาและมุมกวาด 244.6 องศา ความถี่ของสัญญาณ 12.292 GHz มีการโพลาไรซ์แบบแนวนอนเครื่องบันทึกสัญญาณแบบกระดาษกราฟ และเครื่องวัดอัตราการตกของฝนเป็นแบบ tipping bucket การตรวจสอบค่าลดทอนที่ได้ จะใช้แบบจำลองของ ITU 2 แบบจำลองคือ Recommendation 839 จะเป็นการหาความสูงของฝนในเขตต่าง ๆ ของโลกแบ่งตามตำแหน่งของเส้นละติจูด เพื่อหา ระยะทางที่สัญญาณเดินทางผ่านฝน



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.4 ดาวเทียมไทยคม 3

คุณสมบัติของดาวเทียมไทยคม 3

ผู้ผลิต	Aerospatiale, France
ยานขนส่ง	Spacebus-3000
น้ำหนักดาวเทียม	2800 กิโลกรัม
อายุการใช้งาน	14 ปี
การควบคุมเสถียรภาพ	3-Axis stabilized
ตำแหน่งในวงโคจร	78.5°E
จำนวนช่องสัญญาณ	24 C-Band (36 MHz),

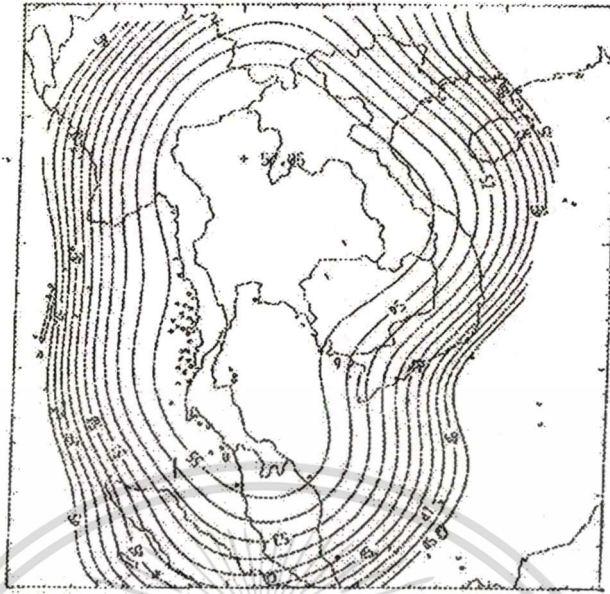
ผู้ส่ง
วันที่

12 Ku-Band (36 MHz) และ
2 Ku-Band (54 MHz)
Arianespace, France
17 April 1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ku -BAND THAILAND BEAM

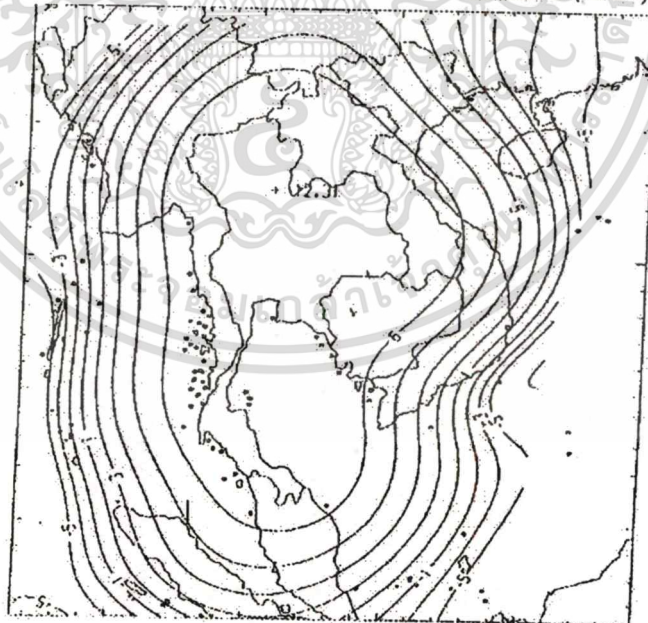
EIRP Contours (dBW)



รูปที่ 3.15 EIRP CONTOUR ของดาวเทียมไทยคม 3

Ku -BAND THAILAND BEAM

G/T Contours (dB/K)

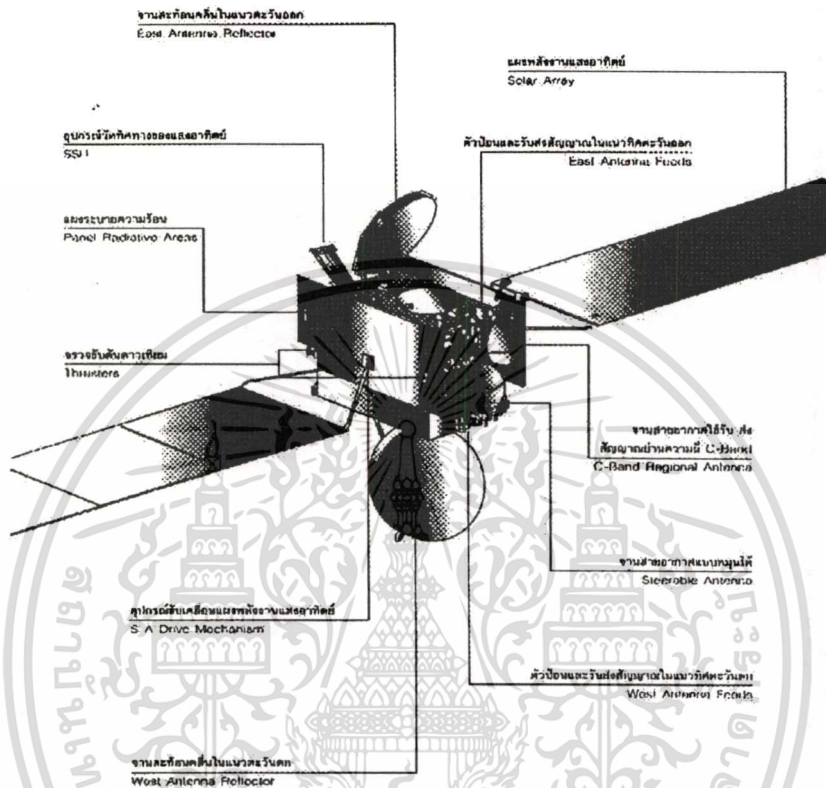


รูปที่ 3.16 G/T CONTOUR ของดาวเทียมไทยคม 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบ ของดาวเทียมไทยคม 3 ASSEMBLY OF THAICOM 3

Model : SPACEBUS 3000A



รูปที่ 3.17 ดาวเทียมไทยคม 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การคำนวณหาระดับสัญญาณและคำแนะนำของ ITU

4.1 การแพร่กระจายคลื่นวิทยุไมโครเวฟ

4.1.1 การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่าง

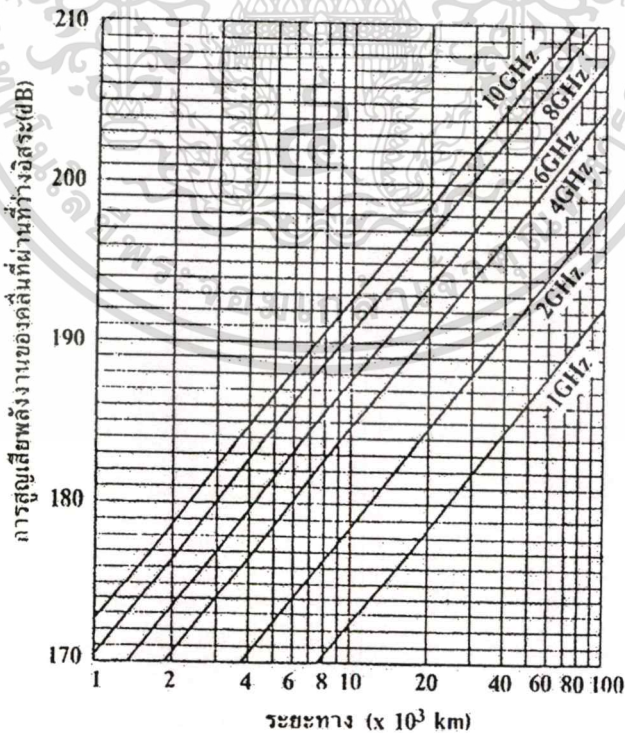
การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่าง คือการสูญเสียพลังงานคลื่นวิทยุขณะแพร่กระจายผ่านอากาศหรืออวกาศ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางและความถี่ ซึ่งหาได้ดังสูตรต่อไปนี้

$$L_s = 10 \log (4\pi d / \lambda)^2 \quad \text{dB} \quad (4.1)$$

ในที่นี้ d : ระยะทาง (เมตร)

λ : ความยาวคลื่น (เมตร)

รูปต่อไปนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและการสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่าง
อิสระ



รูปที่ 4.1 การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่างอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 กำลังส่งของดาวเทียม (EIRP)

กำลังส่งออกที่งานสายอากาศหมายถึง กำลังส่งออกที่ออกจากสายอากาศทางด้านส่ง ซึ่งเป็นผลรวมของกำลังของเครื่องส่ง การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่งระหว่างเครื่องส่งถึงงานสายอากาศ อัตราเพิ่มกำลังของงานสายอากาศ ซึ่งอัตราการเพิ่มกำลังของงานสายอากาศนี้เป็นการเปรียบเทียบกำลังที่ส่งจากงานสายอากาศเทียบกับกำลังที่ส่งได้เมื่อใช้สายอากาศแบบมีทิศทางส่งรอบตัวเป็นสายอากาศส่ง

กำลังส่งออกมีผล คำนวณ ได้ดังนี้

$$EIRP = P_t - L_n + G_t \text{ (dBW)} \quad (4.2)$$

เมื่อ P_t : กำลังของเครื่องส่ง(dB) = $10 \log P$ (W)

L_n : การสูญเสียที่เกิดจากระบบสายส่ง (dB)

G_t : อัตราเพิ่มกำลังของงานสายอากาศส่ง (dB)

EIRP นี้คิดในหน่วยของ dBm ก็ได้ ถ้าเราคิดกำลังของเครื่องส่ง อยู่ในหน่วยของมิลลิวัตต์ คือ $10 \log P$ (mW)

4.1.3 กำลังที่รับได้ทางด้านเครื่องรับ P_r

กำลังของคลื่นพาหะที่รับได้ทางเครื่องรับ ที่ทางเข้าของเครื่องรับบนดาวเทียม หรือเครื่องรับสถานีภาคพื้นดินกำหนดโดย

$$P_r = EIRP - L_s - L_a + G_r - L_r \text{ (dB}_m) \quad (4.3)$$

เมื่อ EIRP = กำลังส่ง (dB_m)

L_s : การสูญเสียพลังงานของคลื่นเมื่อส่งผ่านที่ว่างอิสระ (dB)

L_a : การลดทอนเมื่อคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (dB)

G_r : อัตราเพิ่มกำลังของงานสายอากาศรับ (dB)

L_r : การสูญเสียของระบบสายส่งทางด้านรับ (dB)

4.2 สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (The International Telecommunication Union)

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) เป็นองค์การระหว่างประเทศที่ก่อตั้งมาตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 ปัจจุบันเป็นองค์กรชำนาญพิเศษของสหประชาชาติ เป็นองค์การระหว่างประเทศที่สร้างกฎเกณฑ์และกฎหมายการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างประเทศ โดยเฉพาะกฎ

เกณฑ์ที่จะนำไปควบคุมการเข้าถึง (Access to) และการใช้ประโยชน์จากวงโคจรดาวเทียมทั้งหลายของประเทศต่างๆ

วัตถุประสงค์หลักโดยทั่วไปของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศคือ

- 1) เพื่อที่จะให้มีการพัฒนาและดำรงไว้ซึ่งความร่วมมือระหว่างประเทศระหว่างสมาชิกของสหภาพ อันจะทำให้มีการวิวัฒนาการและใช้ประโยชน์ระบบสื่อสารโทรคมนาคมอย่างเหมาะสม
- 2) เพื่อที่จะส่งเสริมและให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิค ต่อประเทศกำลังพัฒนาในเรื่องที่เกี่ยวกับการสื่อสารโทรคมนาคม รวมทั้งให้การช่วยเหลือดำเนินการด้านวัสดุอุปกรณ์ เงินทุน
- 3) ส่งเสริมให้มีการพัฒนาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อให้มีการพัฒนาทางด้านควบคุม หรือการใช้งานที่ได้ผลที่ดีที่สุดของเทคโนโลยีใหม่ เพื่อให้มีการบริการที่ดีที่สุด
- 4) เพื่อเป็นองค์กรกลางประสานงาน กิจกรรมต่างๆของสมาชิก

ความรับผิดชอบเพื่อให้บรรลุจุดมุ่งหมายเหล่านี้ ITU มีภาระที่ต้องรับผิดชอบในด้านการสื่อสารดาวเทียมคือ

- 1) กำหนดที่ตั้งเกี่ยวกับช่องสัญญาณ (Bands) ของความถี่คลื่นสัญญาณดาวเทียม การแบ่งปันความถี่ การขอลงทะเบียนคลื่น ตำแหน่งที่ตั้งของวงโคจร
- 2) พยายามประสานงานจัดการปัญหาที่เกิดจากการแทรกสอดรบกวนกันของคลื่นสัญญาณระหว่างสถานีต่างๆ ให้มีการใช้ความถี่อย่างคุ้มค่า
- 3) ดูแลให้มีการถ่ายทอดความร่วมมือ ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค อุปกรณ์ ไปยังประเทศกำลังพัฒนา

โครงสร้างของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ

โครงสร้างของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศประกอบด้วยองค์กรที่สำคัญ 7 องค์กรหลัก ที่เป็นหน่วยงานในการดำเนินการของITU ประกอบด้วย

- 1) ที่ประชุมใหญ่ผู้แทนผู้มีอำนาจเต็ม (The Plenipotentiary Conference) เป็นองค์กรที่มีอำนาจสูงสุดของITU โดยประกอบด้วยตัวแทนของประเทศต่างๆที่เป็นสมาชิกของITU และจัดให้มีการประชุมกันทุกสี่ปี เป็นองค์กรที่สร้างนโยบายต่างๆ เป็นองค์กรทางการเมืองที่วางนโยบายให้องค์กรภายใน ITU ปฏิบัติตาม หน่วยงานนี้ยังมีอำนาจในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงอนุสัญญาสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ โดยเฉพาะในโครงการระยะยาว นอกจากนี้ยังมีอำนาจในการเลือกสภาบริหาร (Administrative Council) อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สภการบริหาร (Council) เมื่อก่อนเรียกสภการบริหาร (Administrative Council) ประกอบด้วยสมาชิก 41 คนจากประเทศสมาชิกจากทั่วทุกภูมิภาค มีการประชุม 1 ครั้งต่อปี หน้าที่หลักของสภการบริหารคือจะกระทำในฐานะของหน่วยงานที่สร้างนโยบาย โดยเฉพาะในช่วงเวลาสมัยประชุมของที่ประชุมใหญ่ผู้มีอำนาจเต็ม สภการบริหารจะเสนอร่างแผนงาน โครงการงานต่างๆ และผลที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานตามแผนที่ได้วางไว้

3) สำนักงานเลขาธิการ (The General Secretariat) หน่วยงานนี้จะดำเนินการด้านการบริหารและดูแลทางด้านการเงินของITU มีเลขาธิการเป็นผู้ดูแล เลขาธิการถูกเลือกโดยที่ประชุมใหญ่ผู้มีอำนาจเต็มทุกๆ 4 ปี

4) ที่ประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยการโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (World Conference on International Telecommunications) หน่วยงานนี้ตั้งขึ้นมาแทนที่หน่วยงานเก่าคือที่ประชุมบริหารระดับโลกว่าด้วยการโทรเลขและโทรศัพย์ (The World Administrative Telegraph and Telephone Conference) โดยที่ประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยการโทรคมนาคมระหว่างประเทศจะจัดให้มีการประชุมเพื่อพิจารณาถึงปัญหาพิเศษต่างๆ ที่เกี่ยวกับโทรศัพย์และโทรเลขทุก 2 ปี

5) ภาคการวิทยุคมนาคม (The Radiocommunication Sector) ได้มีมติที่ 1 ของการประชุม Addition Plenipotentiary Conference ที่กรุงเจนีวา เมื่อปี ค.ศ. 1992 ได้กำหนดว่า นับตั้งแต่การประชุมใหญ่ผู้แทนผู้มีอำนาจเต็มที่กรุงเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1994 ถึงสิ้นสุดลงให้ประธาน (Director) ของ CCIR ไปปฏิบัติหน้าที่ในฐานะประธานของสำนักงานการวิทยุคมนาคม (The Radiocommunication Bureau) และให้สมาชิกหรือคณะกรรมการ (Member) ของ The International Frequency Registration Board (IFRB) ไปปฏิบัติหน้าที่ในคณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (RRB) แทน ซึ่งทำให้ IFRB ยังคงมีส่วนช่วยเหลือหรือดำเนินงานของตนที่เกี่ยวกับข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RRs) ต่อไปโดยหน้าที่ของ IFRB ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- 1) หน้าที่เกี่ยวกับคณะกรรมการ (Board) IFRB จะเปลี่ยนไปเป็นหน้าที่ของคณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (RRB) แทน และ
- 2) หน้าที่ในด้านเลขานุการ (Secretarial) นั้น ทางสำนักงานการวิทยุคมนาคม (RCB) ก็จะทำหน้าที่แทน

นอกจากนี้แล้วมีข้อมติอื่นๆ ที่ได้กำหนดขึ้น ในการประชุม APC ในปี ค.ศ. 1992 กำหนดให้เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานของ CCIR, CCITT และ IFRB ไปปฏิบัติงานในสำนักงานแห่งใหม่ด้วย นอกจากนี้ภาคการวิทยุคมนาคม (RS) ยังประกอบไปด้วยหน่วยงานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ :

ก. ที่ประชุมใหญ่ระดับโลกและระดับภูมิภาคว่าด้วยวิทยุคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(World and Regional Radiocommunication Conference)

ที่ประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (World Radiocommunication Conference) จัดให้มีการประชุมทุก 2 ปี โดยมีการประสานงานกับที่ประชุมระดับโลกของสมัชชาวิทยุคมนาคม (The World Radiocommunication Assembly) การประชุมใหญ่ระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (WRC) นี้ได้มาแทนที่การประชุม World Administrative Radio Conferences (WARCs) หน้าที่หลักของ WRC คือการที่จะดำเนินการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RRs) โดยอยู่ภายใต้หลักการของระเบียบวาระการประชุมที่ได้กำหนดและได้รับการยอมรับโดยสภานิติการที่ได้ดำเนินการปรึกษาแล้วกับบรรดาสมาชิกทั้งหลาย ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ขั้นตอนในการแก้ไขข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RRs) นี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญ แต่เมื่อพิจารณาถึงขั้นตอนแล้วจะเห็นว่า มีความยุ่งยากและล่าช้าอยู่ การประชุมระดับโลกว่าด้วยวิทยุคมนาคม (WRC) ครั้งแรกได้ถูกจัดขึ้นที่ กรุงเจนีวา เมื่อวันที่ 15-19 พฤศจิกายน ค.ศ. 1993 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้ข้อเสนอแนะแก่สภานิติการของ ITU เกี่ยวกับระเบียบวาระการประชุมของ WRC 1995 รวมถึงการพิจารณาเกี่ยวกับข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RRs) ด้วย สำหรับการประชุมใหญ่ระดับภูมิภาคว่าด้วยวิทยุคมนาคม [Regional Radiocommunication conferences (RRC)] นั้น ได้จัดให้มีการประชุมเป็นบางครั้งบางคราว เพื่อจัดการเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะในเรื่องที่เกี่ยวกับการวิทยุคมนาคมภูมิภาค การประชุมใหญ่ระดับภูมิภาคว่าด้วยวิทยุคมนาคม (RRC) นี้ได้มาแทนที่การประชุมของ Regional Administrative Radio Conferences

ข. ที่ประชุมสมัชชาวิทยุคมนาคม (Radiocommunication Assembly)

ที่ประชุมสมัชชาวิทยุคมนาคมจะรวบรวมหลักเกณฑ์พื้นฐานทางด้านเทคนิคสำหรับการประชุม WRC โดยจะเป็นหน่วยงานสุดท้ายในการให้ความเห็นชอบต่อโปรแกรมการทำงานของกลุ่มที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิทยุคมนาคม (Study Groups) กลุ่มต่าง ๆ และเป็นผู้ตัดสินใจว่าสิ่งใดมีความควรที่จะทำการศึกษาวិชาก่อนโดยกลุ่มศึกษาวิจัย (Study Groups) นี้จะประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญทั้งหลาย จากภาครัฐและเอกชนซึ่งจะศึกษาถึงปัญหาทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวกับวิทยุคมนาคม เช่น เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากสเปกตรัมของคลื่นความถี่วิทยุ และวงโคจรสถิตย์ (GSO) ฯลฯ

ที่ประชุมสมัชชาวิทยุคมนาคม (RA) จะพิจารณารายงานการศึกษาวิชาของกลุ่มศึกษาวิจัย (The Study Groups) ว่าจะให้ความเห็นชอบ ให้นำไปแก้ไขเปลี่ยนแปลงหรือปฏิเสธข้อเสนอแนะที่ทางกลุ่มศึกษาวิจัยได้เสนอมานอกจากนี้แล้วสมัชชาฯ ยังคงมีอำนาจในการตัดสินใจในการจัดตั้งให้ดำเนินการศึกษาต่อหรือสั่งยกเลิกกลุ่มศึกษาวิจัยที่ตนเองได้ก่อตั้งขึ้นมา ซึ่งหน้าที่เหล่านี้ของสมัชชาฯ เมื่อก่อน เดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1993 คณะกรรมการที่ปรึกษาการวิทยุระหว่างประเทศ (CCUR) จะเป็นผู้รับผิดชอบดำเนินการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. คณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (The Radio Regulations Board)

คณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (RRB) จะเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่แทน IFRB ในปี ค.ศ. 1993 คณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุประกอบไปด้วยสมาชิก 9 คน ที่ได้รับการคัดเลือกจากที่ประชุมใหญ่ผู้แทนผู้มีอำนาจเต็ม โดยสมาชิกของ RRB ที่ได้รับการคัดเลือกจะทำหน้าที่เสมือนเป็นผู้ดูแลหรือผู้ปกครอง (The Custodians) ที่สร้างความมั่นใจหรือความเชื่อถือนั่นในสังคมระหว่างประเทศ มิใช่ทำหน้าที่เป็นตัวแทนของภูมิภาคหรือของประเทศที่สมาชิกเหล่านั้นได้มีภูมิลำเนาอยู่นอกจากนี้แล้วสมาชิกของ RRB ที่ได้รับการคัดเลือกเข้ามานั้น ไม่สามารถที่จะไปทำหน้าที่เป็นตัวแทนของชาติตนในการเข้าประชุมอื่นๆ ใน ITU ได้อีก เพราะว่าสมาชิกของ RRB ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวแทนของ RRB อยู่แล้ว

สำหรับหน้าที่หลักของคณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (RRB) นั้น ประกอบด้วย :

- (1) ทำการพิจารณาและให้ความเห็นชอบเกี่ยวกับหลักเกณฑ์ของระเบียบการที่จะนำมาใช้ในการกำหนดการจดทะเบียนขอใช้คลื่นความถี่วิทยุ
- (2) พิจารณาปรึกษาเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นและไม่สามารถแก้ไขได้ โดยการใช้หลักเกณฑ์ของระเบียบการพิจารณาที่กำหนดไว้
- (3) กระทำหน้าที่ทั้งหลายที่เกี่ยวกับการกำหนด การจัดสรรและการใช้ประโยชน์จากคลื่นความถี่วิทยุและวงโคจรสถิติ (GSO) อย่างเท่าเทียมกัน
- (4) พิจารณาเกี่ยวกับรายงานที่ได้รับมาจากประธานของ RCB ที่เกี่ยวกับผลของการตรวจสอบในกรณีของความเสียหายที่เกิดจากการแทรกสอดรบกวนกันของคลื่นสัญญาณ โดยทาง RRB จะทำข้อเสนอแนะไปให้หลังจากที่ได้ดำเนินการพิจารณารายงานนั้นแล้ว

เมื่อพิจารณาถึงหน้าที่หลักของคณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (RRB) นี้แล้ว จะเห็นได้ว่าเกี่ยวข้องกับกรเข้าใช้ประโยชน์ (Access to use) จากคลื่นความถี่วิทยุและวงโคจรดาวเทียม โดยเฉพาะวงโคจรสถิติ ซึ่งจะพิจารณาถึงกระบวนการในการเข้าใช้ประโยชน์นี้ในบทที่ 4 ต่อไป

ง. สำนักงานการวิทยุคมนาคม (The Radiocommunication Bureau)

มาตราที่ 12.1 ของอนุสัญญาปี ค.ศ. 1992 ได้ให้อำนาจแก่ประธานของสำนักงานการวิทยุคมนาคม (RCB) เพื่อรวบรวมจัดการและประสานงานเกี่ยวกับเครือข่ายของภาคการวิทยุคมนาคม และเมื่อได้พิจารณาเกี่ยวกับ RCB แล้ว จะเห็นได้ว่า ประธานของ RCB นั้น มีความรับผิดชอบ ดังนี้ คือ :

- (1) ประมวลผลข้อมูลข่าวสารที่ได้รับมาจากฝ่ายบริหาร เป็นต้นว่า หนังสือที่เรียกร้องให้มีการพิจารณาเกี่ยวกับการประสานงานร่วมกัน (co-ordination) และหนังสือเรียกร้องเกี่ยวกับข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RRS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2) เพื่อเป็นไปตามข้อบังคับวิทยุระหว่างประเทศ (RRS) สำนักงานการวิทยุคมนาคมต้องรักษามันท์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณากำหนดให้ใช้คลื่นความถี่วิทยุ และตำแหน่งที่ตั้งดาวเทียมในวงโคจรสถิตย์และวงโคจรอื่นๆ รวมทั้งเก็บรักษาข้อมูลล่าสุดของการจดทะเบียนขอใช้คลื่นความถี่ระหว่างประเทศ (The Master International Frequency Register)
- (3) ตรวจสอบข้อเรียกร้องเกี่ยวกับปัญหาการแทรกสอดรบกวนกันของคลื่นวิทยุ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องดำเนินการตรวจสอบรวมทั้งทำรายงานเสนอ โดยทำเป็นร่างข้อเสนอแนะของฝ่ายบริหารเพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาของคณะกรรมการกฎข้อบังคับวิทยุ (RRB)

4.2.1. ภาคการมาตรฐานโทรคมนาคม (The Telecommunication Standardization Sector)

เช่นเดียวกับภาคการวิทยุ จนกระทั่งถึงวันที่กำหนดไว้ ณ ที่ประชุมใหญ่ผู้แทนผู้มีอำนาจเต็มที่กรุงเจนีวา ให้ประธานของ CCITT ไปปฏิบัติหน้าที่เป็นประธานของสำนักงานการมาตรฐานโทรคมนาคม โดยร่วมมือปฏิบัติงานกับประธานของสำนักงานวิทยุคมนาคม เพื่อที่จะทำให้มั่นใจได้ว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างใหม่ขององค์กรต่าง ๆ ของ ITU นั้นมีความลงตัวและ สามารถดำเนินการต่อไปได้เป็นอย่างดีและจะเป็นผลดีต่อสังคมโลก

ภาคการมาตรฐานโทรคมนาคมนี้จะดำเนินกิจกรรมต่างๆ ทั้งหมดแทน CCITT และ CCIR ที่เคยทำมาก่อน ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการมาตรฐาน (The Standardization Activities) หน้าที่ขององค์กรนี้โดยทั่วไปแล้วก็เพื่อที่จะศึกษาเกี่ยวกับประเด็นทางด้านเทคนิค ทางการปฏิบัติงาน และการจัดเก็บอัตราค่าให้บริการต่าง ๆ เกี่ยวกับการสื่อสาร โทรคมนาคม รวมทั้งทำการรวบรวมข้อเสนอแนะต่างเพื่อประโยชน์ของการมาตรฐานโทรคมนาคมทั่วโลก ซึ่งรวมถึงการให้ข้อเสนอแนะที่เกี่ยวกับการเชื่อมโยงกันของระบบวิทยุในเครือข่ายการติดต่อสื่อสารโทรคมนาคมสาธารณะ หรือในเครือข่ายพิเศษอื่น ๆ แต่ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับทางด้านเทคนิคและการปฏิบัติงานในเรื่องการวิทยุคมนาคมจะดำเนินการโดยภาคการวิทยุคมนาคม สำหรับภาคการมาตรฐานโทรคมนาคมประกอบด้วย :

4.3 คำแนะนำที่ ITU-R PN.618-3 ข้อมูลการแพร่กระจายและวิธีการทำนายสำหรับออกแบบระบบสื่อสารระหว่างโลกและอวกาศ สิ่งที่พิจารณาและแนะนำคือ

การออกแบบระบบสื่อสารระหว่างโลก และอวกาศ จำเป็นจะต้องมีข้อมูลการแพร่กระจายและวิธีการทำนายที่ดีพอ วิธีการทำนายที่พัฒนาขึ้นนี้ได้จัดเตรียมข้อมูลที่สำคัญในการวางแผน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบสื่อสารระหว่างโลก และอวกาศ วิธีการนี้ได้ทดสอบกับข้อมูลจริงในหลาย ๆ พื้นที่พบว่ามีความถูกต้องพอเพียงในการออกแบบระบบเป็นส่วนใหญ่

การคำนวณสถิติการลดทอนสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนจากอัตราการตกของฝน ณ จุดหนึ่ง กระบวนการต่อไปนี้ได้ทำการประมาณค่าสถิติระยะนานของการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน ณ จุดที่มีข้อมูลอัตราการตก ได้ความถี่จนถึง 30 กิกะเฮิร์ต โดยต้องทราบค่าต่าง ๆ ดังนี้

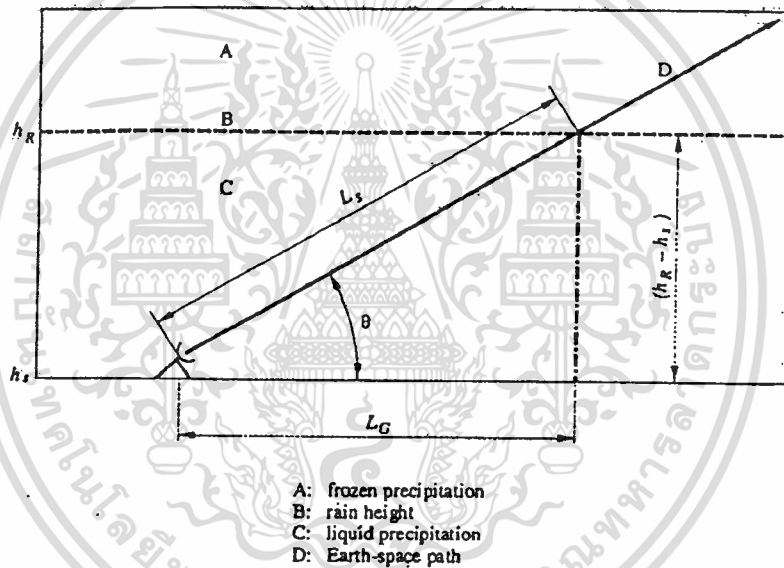
$R_{0.01}$: อัตราการตกของฝน ณ จุดนั้นเฉลี่ยเวลา 0.01% ของปี (มม./ชม)

h_r : ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของสถานีภาคพื้นดิน (กม.)

θ : มุมเงย (องศา)

ϕ : ตำแหน่งเส้นแวงของสถานีภาคพื้นดิน (องศา)

f : ความถี่ (กิกะเฮิร์ตซ์)



รูปที่ 4.2 ระยะทางระหว่างโลกกับดาวเทียม

A : ความสูงเหนือระดับเมฆฝน

B: ระยะความสูงฝน

C: บริเวณฝน

D: ทิศทางไปยังดาวเทียม

ต่อไปนี้เป็นขั้นตอนการคำนวณหา $R_{0.01}$ และ $A_{0.01}$ และ A ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ

ขั้นที่ 1. คำนวณความสูงเมฆฝน h_r ที่สถานีภาคพื้นแต่ละจุด ϕ

$$h_R \text{ (กม.)} = \begin{cases} 3.0 + 0.028 \varphi & \text{กรณี } 0 \leq \varphi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075 (\varphi - 36) & \text{กรณี } \varphi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (4.4)$$

ขั้นที่ 2. ที่ $\theta \geq 5^\circ$ คำนวณ L_s จาก

$$L_s = (h_r - h_s) / \sin \theta \quad \text{กม.} \quad (4.5)$$

ที่ $\theta \geq 5^\circ$ จะใช้สูตรดังนี้

$$L_s = 2 (h_r - h_s) / (\sin^2 \theta + (2 (h_r - h_s) / R_e))^{1/2} + \sin \theta \quad \text{กม.} \quad (4.6)$$

ขั้นที่ 3. คำนวณระยะในแนวราบ $L_G = L_s \cos \theta$ กม.

ขั้นที่ 4. ใช้ข้อมูล $R_{0.01}$ จากคำแนะนำที่ ITU-R PN.837

ขั้นที่ 5. คำนวณประกอบการลดทอน $r_{0.01}$ สำหรับ $R_{0.01}$

$$r_{0.01} = 1/1 + L_G / L_0 \quad (4.7)$$

โดยที่ $L_0 = 35 \exp(-0.015 R_{0.01})$

ขั้นที่ 6. ใช้ค่าการลดทอนเฉพาะ = γ_R โดยใช้สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นกับความถี่ในคำแนะนำ ITU-R PN.838 และอัตราการตกของฝน $R_{0.01}$ ที่ประมาณได้จากขั้นที่ 4

$$\gamma_R = k (R_{0.01})^\alpha \quad \text{เดซิเบล / กม.} \quad (4.8)$$

ขั้นที่ 7. การลดทอนที่ทำนายที่ 0.01% เวลาใน 1 ปีได้จาก

$$A_{0.01} = \gamma_R L_s r_{0.01} \quad \text{เดซิเบล} \quad (4.9)$$

ขั้นที่ 8. ค่าลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาอื่นหาได้จาก

$$A_p / A_{0.01} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043/\log p)} \quad (4.10)$$

4.4 คำแนะนำ ITU-R PN.837-1

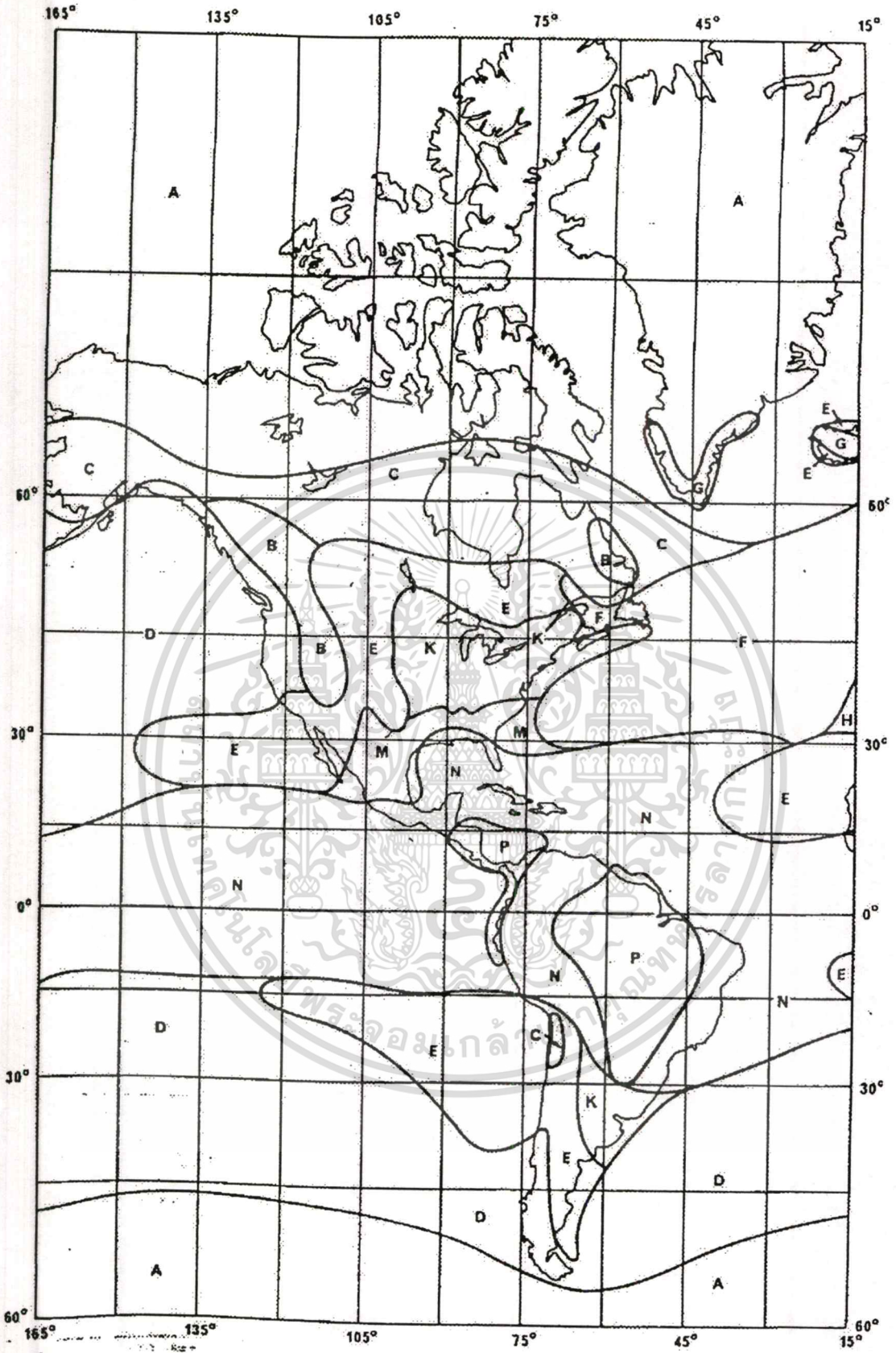
มีข้อพิจารณาและคำแนะนำดังนี้คือ

- ข้อมูลสถิติของฝนเพื่อใช้ในการคำนวณการลดทอน และการแพร่ของสัญญาณ
- ข้อมูลอัตราการตกของฝนบริเวณต่าง ๆ ทั่วโลก
- แบ่งเขตฝนออกเป็น 3 บริเวณใหญ่ ๆ คือเขตทวีปอเมริกาเหนือและใต้ เขตทวีปยุโรปและแอฟริกา เขตทวีปเอเชียและแปซิฟิก

ตารางที่ 4.1 อัตราการตกของฝนในเขต ต่าง ๆ (มม. / ชม.)

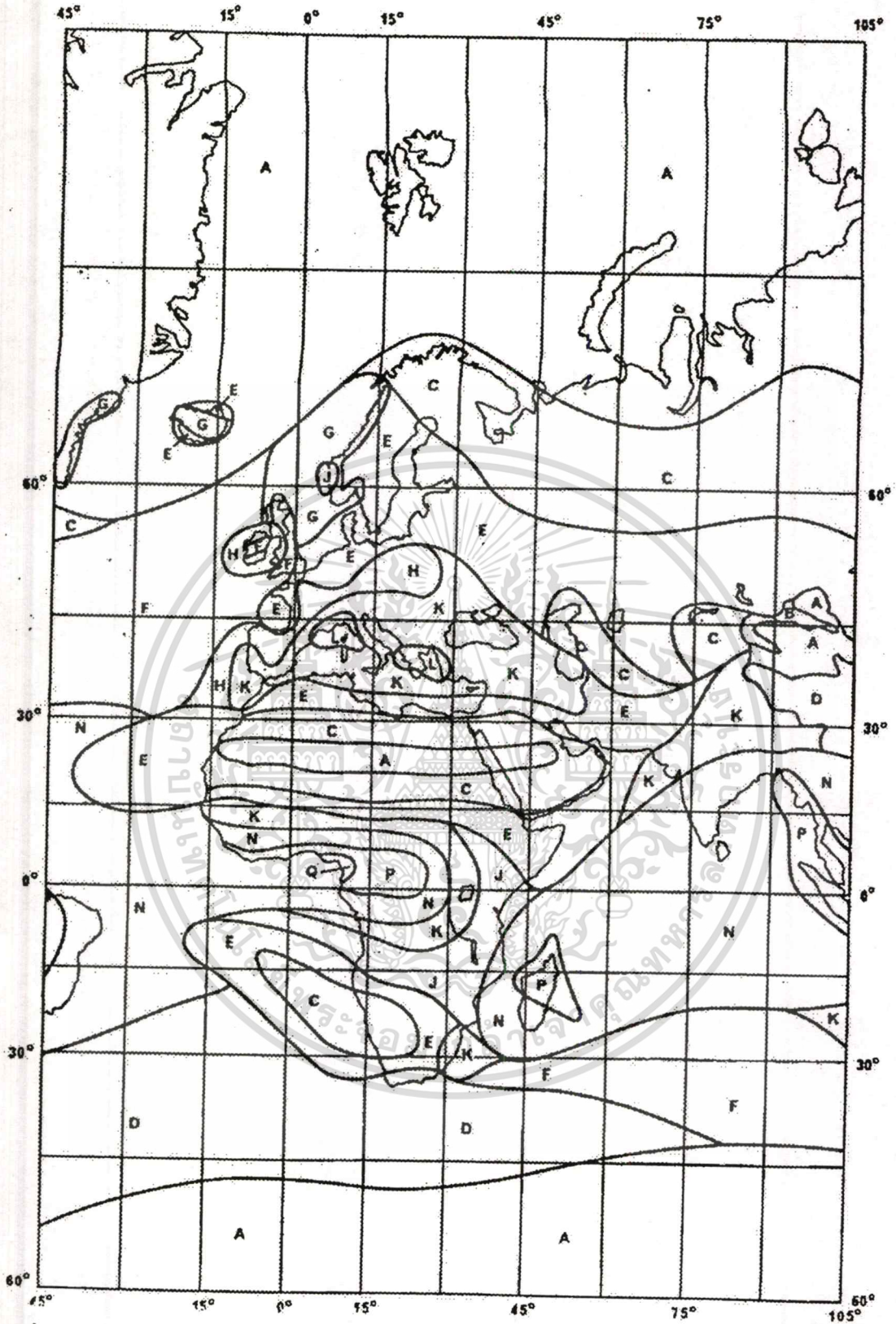
Rain climatic zones															
Rainfall intensity exceeded (mm/h)															
Percentage of time (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

ในตารางนี้จะบอกค่าเปอร์เซ็นต์เวลาของอัตราการตกของฝนในบริเวณต่างๆที่แทนด้วยตัวอักษร จากนั้นนำไปเทียบกับแผนที่ในรูปที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 อีกครั้ง



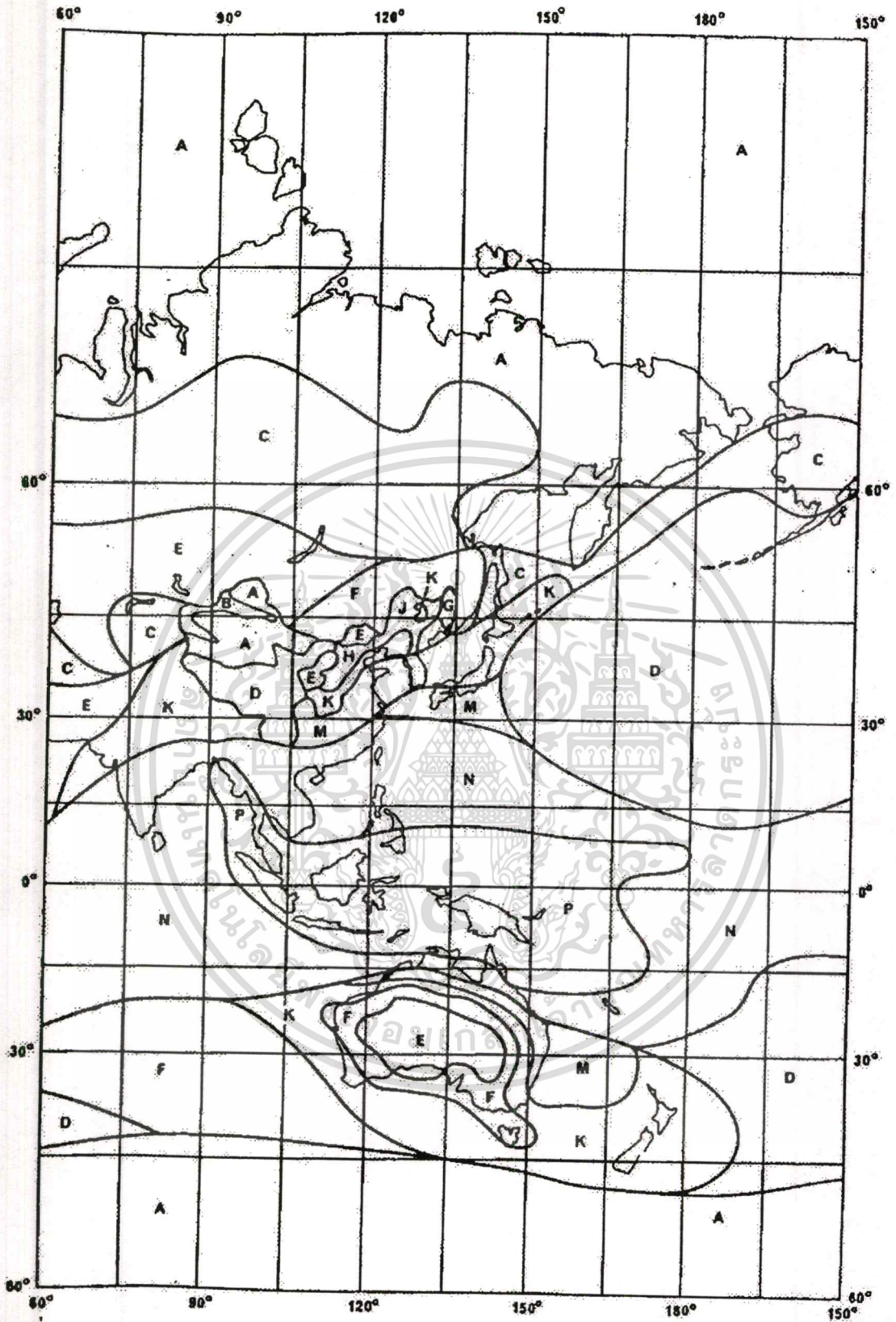
รูปที่ 4.3 เขตฝนในทวีปอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เขตฝนในทวีปยุโรป และแอฟริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เขตฝนในทวีปเอเชีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 คำแนะนำที่ ITU-R 839

พิจารณาและแนะนำระยะความสูงของฝนมีความจำเป็นต่อแบบจำลองของการทำนายค่าต่าง ๆ ในการออกแบบระบบสื่อสารในอวกาศ ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$h_{FR} = \begin{cases} 5-0.075(\varphi - 23) & \text{ที่ } \varphi > 23 \text{ ชีกโลกเหนือ} \\ 5 & \text{ที่ } 0 \leq \varphi \leq 23 \text{ ชีกโลกเหนือ} \\ 5 & \text{ที่ } 0 \geq \varphi \geq -21 \text{ ชีกโลกใต้} \\ 5 + 0.1(\varphi + 21) & \text{ที่ } -71 \leq \varphi \leq -21 \text{ ชีกโลกใต้} \\ 0 & \text{ที่ } \varphi < -71 \text{ ชีกโลกใต้} \end{cases} \quad (4.11)$$

h_{FR} มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

φ เป็นละติจูด (องศา)



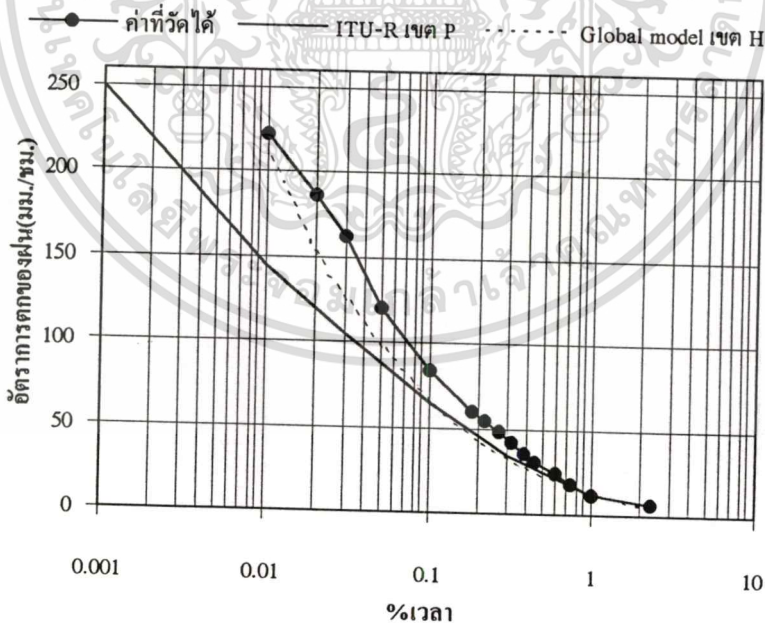
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการวัดอัตราการตกของฝน

5.1 ผลการวัดอัตราการตกของฝนที่ได้

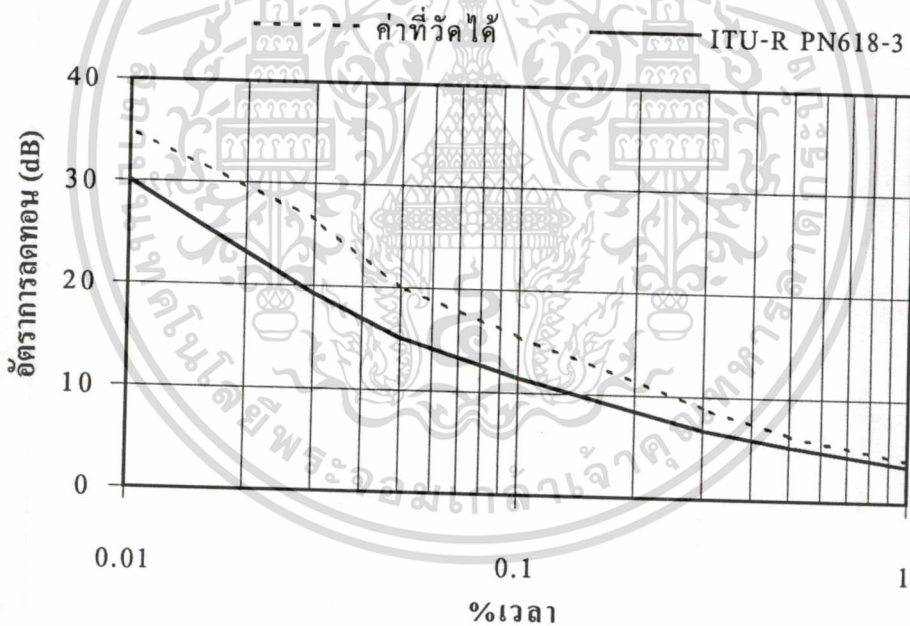
สถิติรายปี (annual statistics) ของอัตราการตกของฝนแสดงค่าอยู่ในกราฟรูปที่ 5.1 ในรูปนี้ นอกจากค่าที่วัดได้ที่สถานีอุตุนิยมหาวิทยาลัยราชภัฏ (คลองใหญ่) แล้วยังแสดงค่าอัตราการตกของฝนตามการแบ่งเขตในคำแนะนำของ ITU-R PN.837-1 Characteristics of Precipitation for Propagation Modelling ซึ่งในพื้นที่อำเภอคลองใหญ่จะคาบเกี่ยวกับเขต N และ P แต่ค่าที่ได้วัดจริงถือว่าสูงมาก จึงนำค่าอัตราการตกในเขต P มาทำการเปรียบเทียบ อีกแบบจำลองหนึ่งคือ Global Rain Rate Climate Model ซึ่งคาบเกี่ยวในเขต G กับ H และได้นำค่าอัตราการตกในเขต H มาทำการเปรียบเทียบ ในรูปนี้จะแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนและเวลาที่เกิด เวลาจะเป็นเปอร์เซ็นต์ในเวลา 1 ปี หมายถึง 1 ปีจะมี 525,600 นาที เวลา 0.01% คือ 52 นาทีเป็นต้น ส่วนค่าอัตราการตกของฝนจะเป็นค่าอัตราการตกรวมกับค่าอัตราการตกที่สูงกว่า เช่นจากกราฟที่อัตราการตก 162 มม./ชม. จะมีเวลาในการตก 0.03% ของเวลา 1 ปี หมายความว่าใน 1 ปี จะมีอัตราการตกของฝน 162 มม./ชม. และสูงกว่านี้ เกิดขึ้นเป็นเวลา 156 นาทีเป็นต้น



รูปที่ 5.1 ค่าอัตราการตกของฝนปี พ.ศ. 2541

สำหรับค่าอัตราการตกที่ค่อนข้างมีความสำคัญมากค่าหนึ่ง คืออัตราการตกที่ 0.01% เวลา หรือ $R_{0.01}$ การเชื่อมโยงสัญญาณที่ต้องการความเชื่อถือได้สูง เช่น ต้องมีความน่าเชื่อถือที่ 99.99% ของเวลา ค่าอัตราการตกที่ต้องนำไปชดเชยคือค่า $R_{0.01}$ ซึ่งเป็นค่าอัตราการตกที่สูง การชดเชยพลังงานในการส่งก็ต้องสูงตามไปด้วย ส่วนค่าอัตราการตกที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่ำเช่น $R_{0.1}$ หมายถึงเมื่อนำไปคิออกแบบจะมีความเชื่อถือได้ 99.9% ของเวลาใน 1 ปี สำหรับเปอร์เซ็นต์เวลาต่าง ๆ นั้น ITU หาอัตราการตกในแบบจำลอง PN.837-1 (คูบทที่ 3)ไว้ที่ 0.001, 0.003, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์เวลา ส่วนแบบจำลอง Global Model จะมากกว่าคือมีการกำหนดค่าที่ 0.002, 0.005, 0.02, 0.05, 0.2, 0.5, 2, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น

จากกราฟรูปที่ 5.1 พบว่าค่าที่ทำกรวัดได้จะมีดังนี้ $R_1 = 12$ มม./ชม., $R_{0.5} = 30$ มม./ชม., $R_{0.3} = 42$ มม./ชม., $R_{0.1} = 84$ มม./ชม., $R_{0.03} = 162$ มม./ชม. และ $R_{0.01} = 222$ มม./ชม. ค่าที่ได้เหล่านี้ถือว่าสูงมาก คือสูงกว่าเขตฝนที่สูงที่สุดของทั้ง 2 แบบจำลองที่นำมาเปรียบเทียบให้ดู วิศวกรสื่อสารโทรคมนาคมจะให้ความสนใจค่าความละเอียดของการออกแบบในช่วง 0.3% ถึง 0.01% เวลา

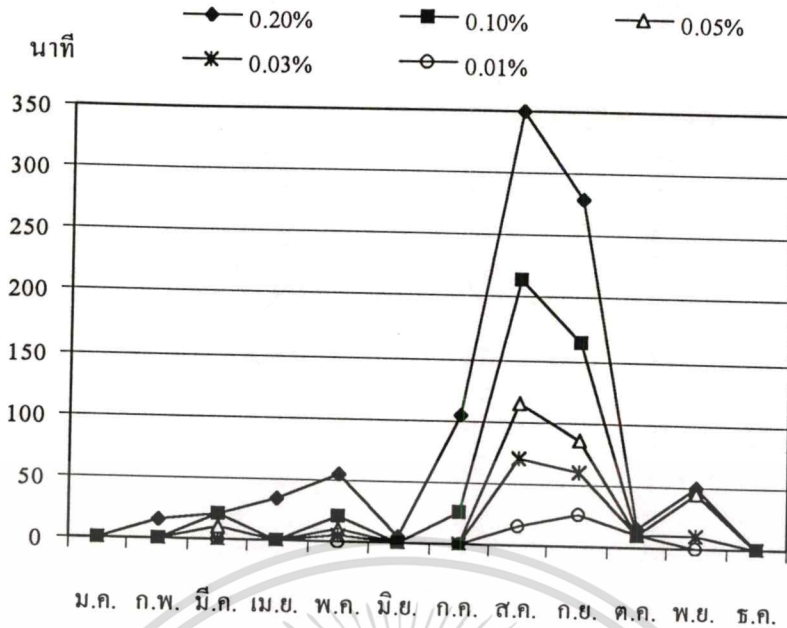


รูปที่ 5.2 ค่าอัตราการลดทอนปีพ.ศ.2541

ผลในรูปที่ 5.2 วัดได้จากงานรับขนาด 70 ซม. ความถี่ 12.271 GHz มุมเงย 57

องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



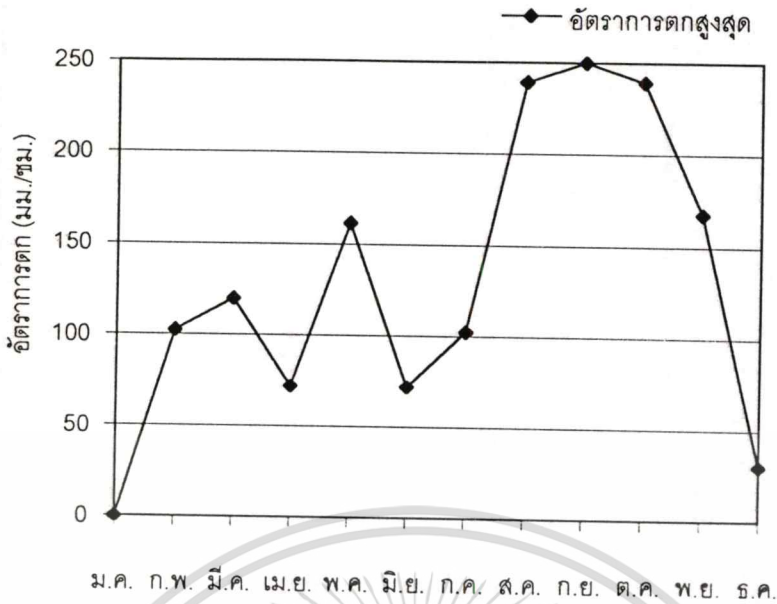
รูปที่ 5.3 อัตราการตกที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ รายเดือนของปี พ.ศ. 2541

5.2 ผลการวัดอัตราการลดทอน

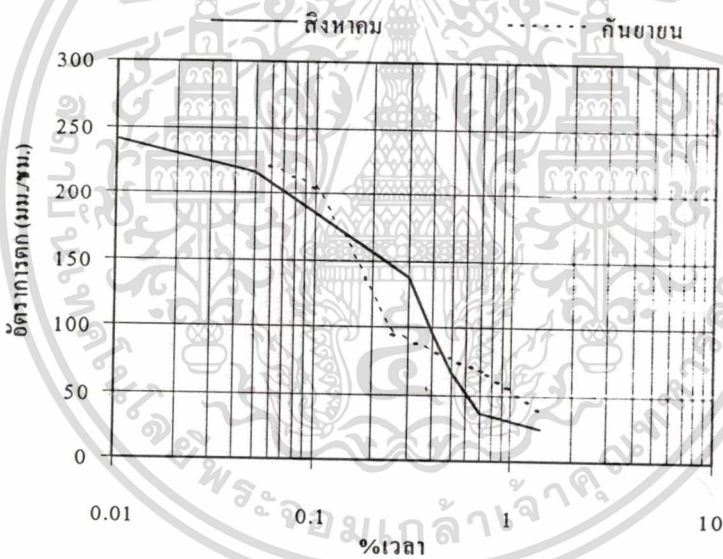
กราฟในรูปที่ 5.2 แสดงค่าการลดทอนรายปีที่วัดได้เปรียบเทียบกับค่าคำนวณตามแบบจำลองของ ITU-R PN 618-3(คูบที่ 3) ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาดราด (คลองใหญ่) สำหรับค่าการลดทอนนี้ตัวแปรที่เรานำมาใช้พิจารณาเพื่อใช้ศึกษาลักษณะและคำนวณในแบบจำลอง เช่น ความสูงจากระดับน้ำทะเล มุมเงยของสายอากาศ ความถี่ ชนิดของการโพลาไรซ์ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 จากกราฟจะเห็นว่าค่าลดทอนที่วัดได้ในช่วง 0.3%, 0.1%, 0.05%, 0.03% และ 0.01% ของเวลามีค่า 8.9 dB, 15.5 dB, 20.1 dB, 26.5 dB และ 35 dB ตามลำดับ สำหรับค่าที่ได้จาก ITU-R rec. PN.618-3 ที่เปอร์เซ็นต์เวลาเดียวกันคือ 6.7 dB, 11.43 dB, 15.15 dB, 19.26 dB และ 30.1 dB ตามลำดับ

5.3 การแจกแจงอัตราการตกของฝนรายเดือน

กราฟรูปที่ 5.3 จะแจกแจงเวลาการเกิดอัตราการตกค่าต่างๆ แยกเป็นรายเดือนโดยแสดงค่าอัตราการตกที่ $R_{0.2}$, $R_{0.1}$, $R_{0.05}$, $R_{0.03}$ และ $R_{0.01}$ ถ้าต้องการทราบตัวเลขอัตราการตกเหล่านี้ดูได้จากกราฟรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าฝนส่วนใหญ่จะตกหนักในเดือนสิงหาคมและกันยายน ในสองเดือนนี้เมื่อพิจารณาที่ $R_{0.03}$ จะเห็นว่าเดือนสิงหาคมจะสูงกว่าประมาณ 20 นาฬิกาแต่ $R_{0.01}$ เดือนกันยายนจะสูงกว่าประมาณ 10 นาฬิกา กราฟนี้ช่วยให้เราเลือกเดือนที่มีปัญหาในการเชื่อมโยงการสื่อสารมากที่สุด เนื่องจากฝน(worst month) ที่อัตราการตกของฝนค่าต่างๆ ได้



รูปที่ 5.4 ค่าอัตราการตกสูงสุดของแต่ละเดือนในปี พ.ศ. 2541

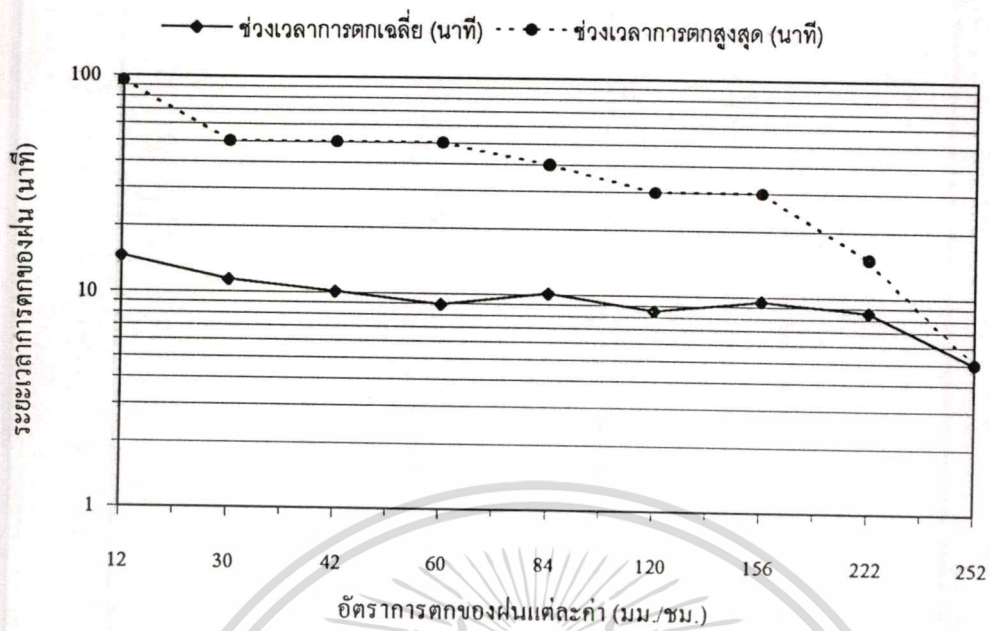


รูปที่ 5.5 ค่าอัตราการตกของฝนในเดือนที่ตกหนักที่สุด (worst month)

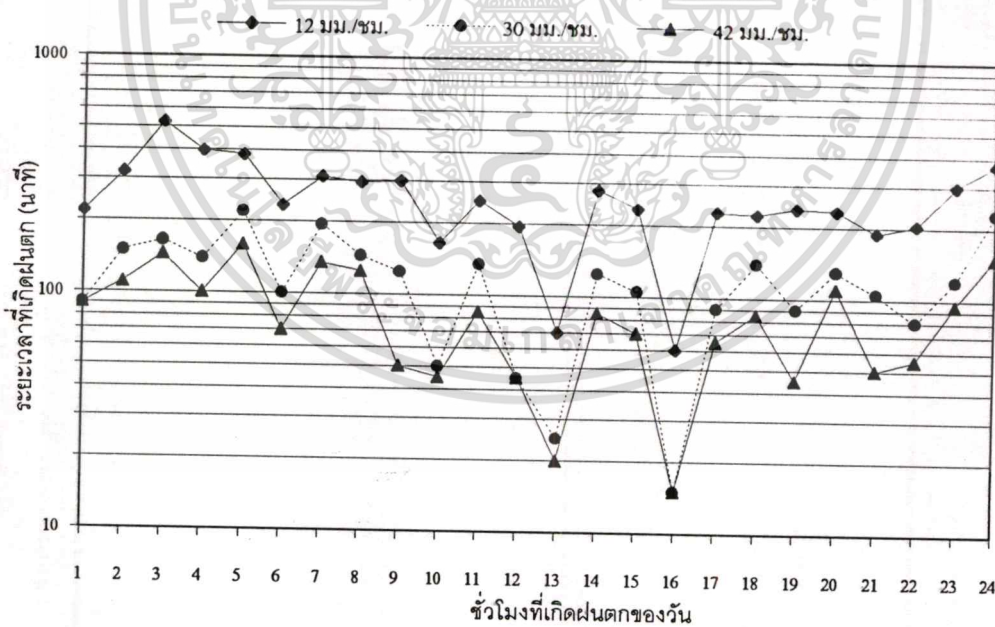
5.4 อัตราการตกของฝนในเดือนที่ตกหนักที่สุด(worst month)

กราฟรูปที่ 5.4 แสดงถึงอัตราการตกสูงสุดในแต่ละเดือน กราฟ รูปที่ 5.5 จะแสดงเปอร์เซ็นต์เวลาของอัตราการตก (ซึ่งเป็นอัตราการตกสะสมแบบเดียวกับรูปที่ 5.1) ของเดือนสิงหาคมและเดือนกันยายน จะเห็นว่าที่ 1.4% เดือนสิงหาคมจะมีอัตราการตกที่ต่ำกว่า ที่ 0.2% เวลาเดือนสิงหาคมจะมีอัตราการตก 156 มม./ชม. ส่วนเดือนกันยายนมีค่า 120 มม./ชม. ส่วนที่ 0.05% และ 0.06% ทั้ง 2 เดือนจะใกล้เคียงกันที่ 220มม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

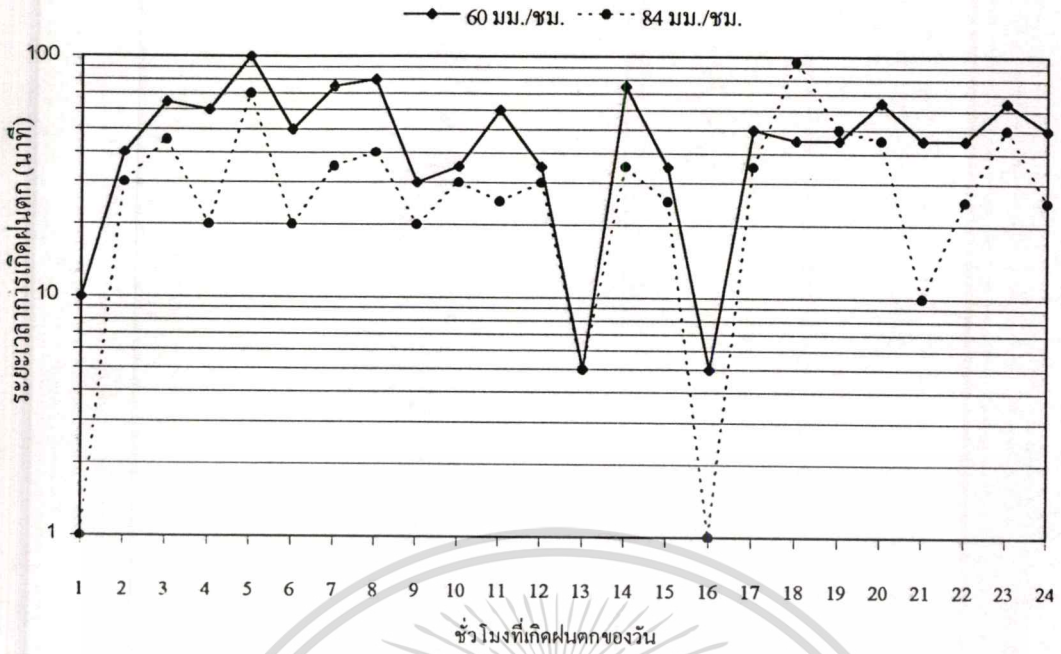


รูปที่ 5.6 ช่วงเวลาการตกเฉลี่ยและสูงสุดของฝิ่น

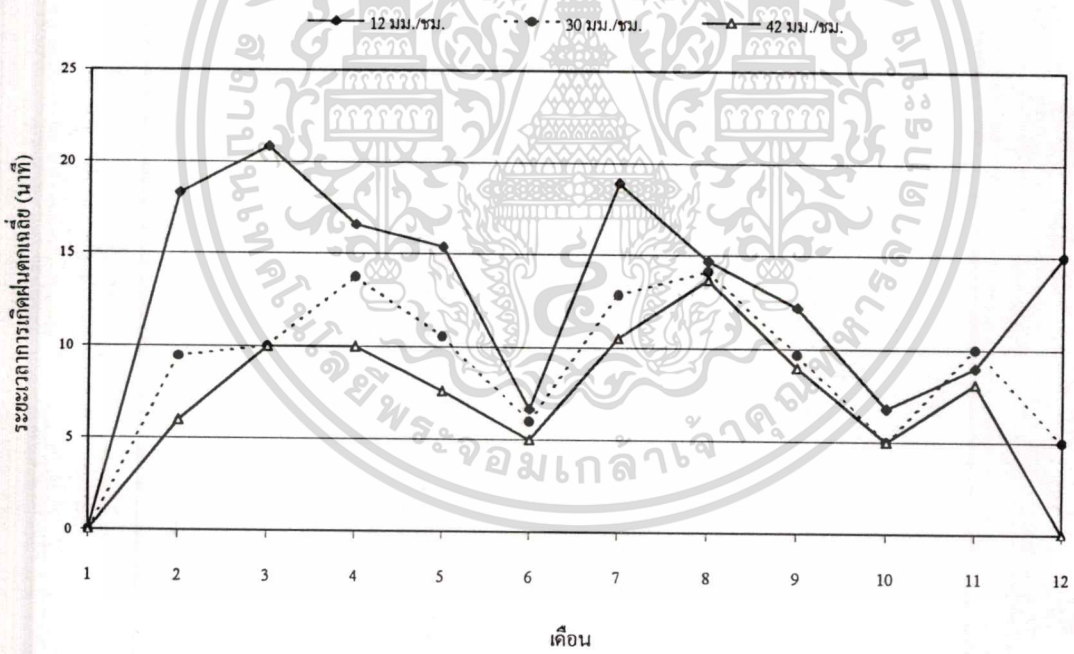


รูปที่ 5.7 การกระจายของระยะเวลาการตกของฝิ่นรายวัน 12, 30, 42 มม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

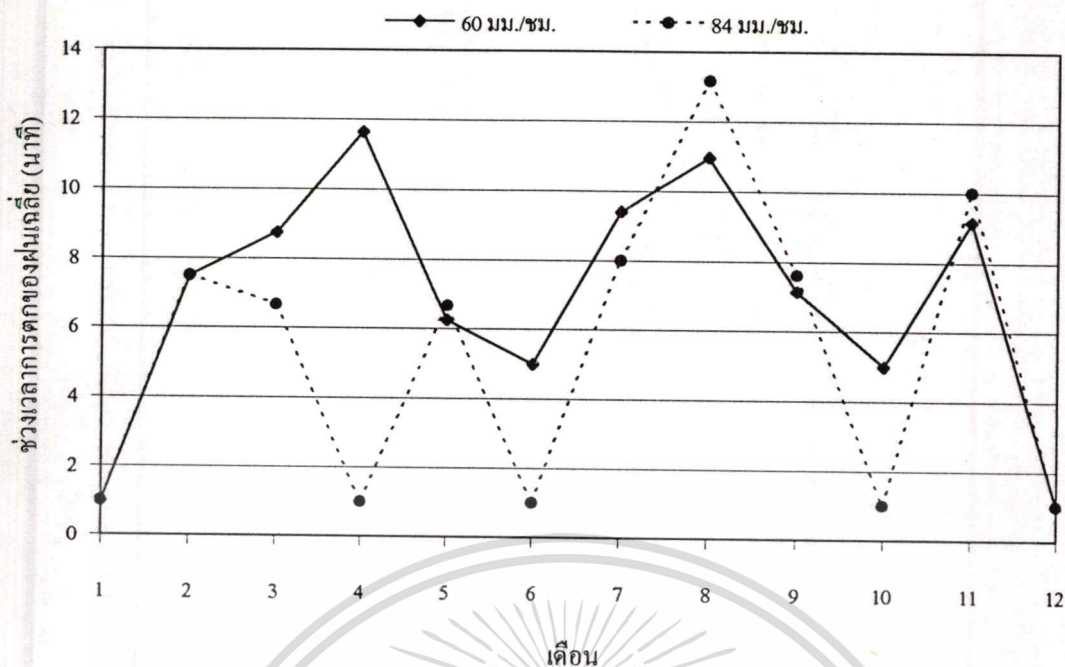


รูปที่ 5.8 การกระจายของระยะเวลาการตกของฝนรายวัน 60, 84 มม./ชม.

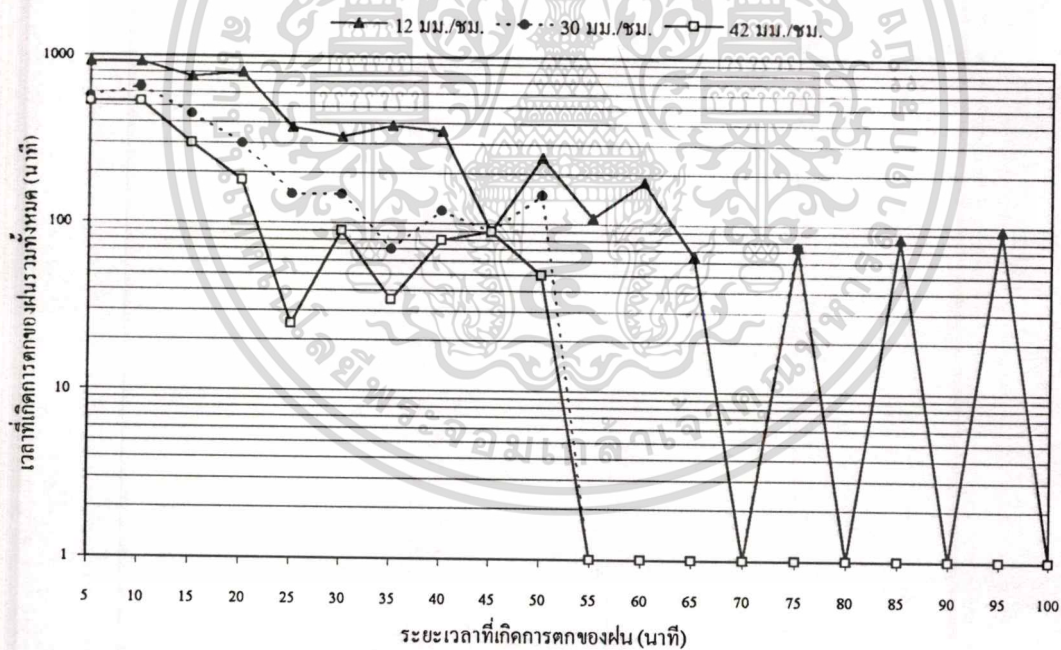


รูปที่ 5.9 ระยะเวลาการเกิดฝนตกเฉลี่ยรายเดือน 12, 30, 42 มม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

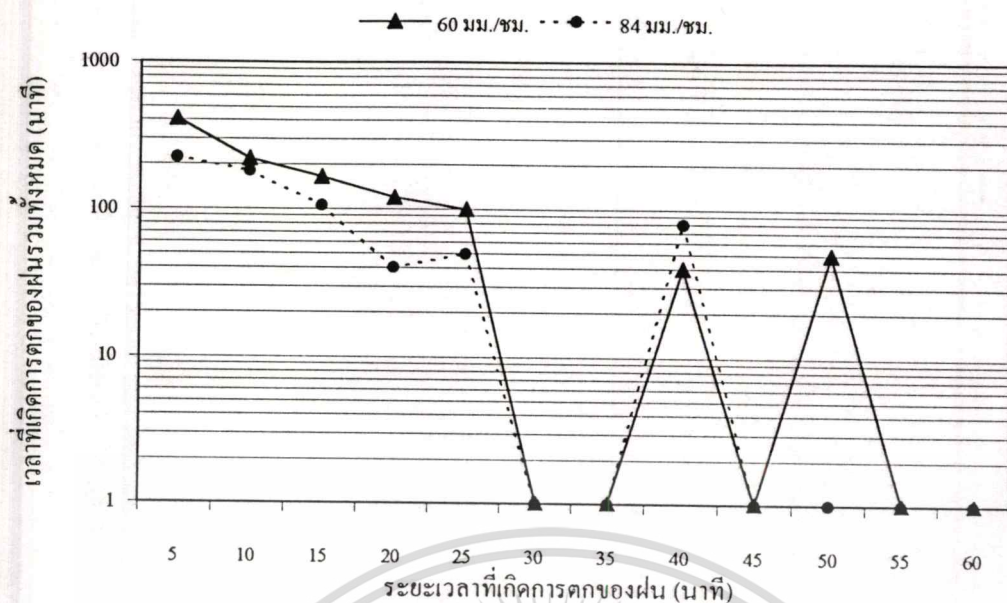


รูปที่ 5.10 ระยะเวลาการเกิดผลตกละยรายเดือน 60, 84 มม./ชม.



รูปที่ 5.11 เวลาที่เกิดการตกของฝรวมทั้งหมดของการเกิดแต่ละช่วงเวลา 12, 30, 42 มม./ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 เวลาที่เกิดการตกของฝนรวมทั้งหมดของการเกิดแต่ละช่วงเวลา 60, 84 มม./ชม.

กราฟรูปที่ 5.6 แสดงถึงค่าอัตราการตกเฉลี่ยของฝนแต่ละค่าและช่วงเวลาที่ตกสูงสุดของฝนแต่ละค่า เช่น ฝน 12 มม./ชม. ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาการตกตลอดทั้งปีคือประมาณ 16 นาที ระยะเวลาการตกสูงสุดของ 12 มม./ชม.คือ 100 นาที อัตราการตกของฝนที่ 84 มม./ชม. มีเวลาในการตกเฉลี่ยแต่ละครั้งเป็น 10 นาที ในขณะที่ช่วงเวลาการตกสูงสุดเป็น 30 นาที

รูปที่ 5.7 และ 5.8 แสดงการกระจายของระยะเวลาการตกของฝนรายวัน ของอัตราการตกของฝนค่า 12 มม./ชม 30 มม./ชม 42 มม./ชม 60 มม./ชมและ 84 มม./ชมในรูปที่ 5.7 ฝนค่า 12 มม./ชม ใน ชม.ที่ 1 คือตั้งแต่เวลา 0.00น. ถึง 01.00 น. ตลอดทั้งปีจะเกิดขึ้นประมาณ 220 นาที เป็นต้น รูปที่ 5.8 ฝน 84 มม./ชม.ที่ชั่วโมงที่ 16 คือตั้งแต่เวลา 15.00 ถึง 16.00น. รวมทั้งปีแทบจะไม่เกิดเลยคือประมาณ 0-1 นาที

รูปที่ 5.9 และรูปที่ 5.10 เป็นระยะเวลาการเกิดฝนตกเฉลี่ยรายเดือนที่ 12 มม./ชม 30 มม./ชม 42 มม./ชม 60 มม./ชมและ 84 มม./ชม รูปที่ 5.9 ในเดือนที่ 1 หรือเดือนมกราคมจะไม่มีฝนตกเลย แต่เดือนที่ 2 ฝน 12 มม./ชม. จะมีเวลาการเกิดเฉลี่ย 1 ครั้งกินเวลานานประมาณ 18 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น รูปที่ 5.10 ฝน 84 มม./ชมจะมีช่วงเวลาการตกเฉลี่ยในเดือน 10 หรือเดือนตุลาคมเป็น 5 นาที ส่วนฝน 60 มม./ชม. ในเดือน 5 จะมีช่วงเวลาการตกเฉลี่ยประมาณ 5 นาทีเศษ

รูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 เป็นความสัมพันธ์ของการเกิดฝนรวมของช่วงเวลาค่าต่างๆของอัตราการตกของฝนแต่ละค่า เช่นฝน 12 มม./ชม. ที่เกิดครั้งละ 10 นาที จะมีเวลาการเกิดรวมทั้งปีเป็น 900 นาที แต่ฝน 12 มม./ชม. ที่เกิดครั้งละ 30 นาทีจะมีเวลาการเกิดรวมทั้งปีเป็น 240 นาที

กราฟแสดงค่าอัตราการตกของฝนในรูปแบบต่างๆ มีประโยชน์ในการนำไปออกแบบระบบการสื่อสารดาวเทียมต่างๆกันไป ยิ่งเรารวบรวมข้อมูลดิบได้ละเอียดเท่าใดก็จะยิ่งนำไปออกแบบ ตัดสินใจได้หลากหลายขึ้น ในบทท้ายๆจะแสดงการนำข้อมูลเหล่านี้ไปใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ความใช้สอยได้ของช่องสัญญาณดาวเทียมไทยคมขาลงและ การคำนวณค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณรบกวน

6.1 ความใช้สอยได้และการคำนวณค่าอัตราส่วนคลื่นพาร์ตต่อสัญญาณรบกวน(C/N)

ความใช้สอยได้ของระบบในการส่งสัญญาณ หมายถึง เปอร์เซ็นต์เวลาที่ระดับสัญญาณมีความแรงไม่ต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ ความใช้สอยได้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การใช้สอยได้ในส่วนของอุปกรณ์และสัญญาณขาลงซึ่งถูกลดทอนจากฝน ในการสื่อสารระบบดิจิทัล ระดับสัญญาณจะถูกกำหนดด้วยค่า อัตราความผิดพลาดบิต(BER) จากความหมายนี้เราต้องทราบพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งระดับการมอดูเลต ซึ่งในหัวข้อนี้เราจะกำหนดระดับสัญญาณไว้ที่ค่า C/N เท่านั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญในการคำนวณ C/N มีดังนี้[5]

สูตรคำนวณค่า C/N มีดังนี้

$$[C/N]_d = EIRP - L + G/T + 10 \log [k] - obo \quad \text{dBHz} \quad (6.1)$$

$$[C/N]_d = [C/N]_d - 10 \log [BW] \quad \text{dB} \quad (6.2)$$

$$T_s = T_m (1 - 10^{-\frac{L}{10}}) \quad \text{K} \quad (6.3)$$

1. ความถี่กลางของทรานสปอนเดอร์มีค่า $F_c = 12.271 \text{ GHz}$
2. แบนด์วิดธ์ของทรานสปอนเดอร์ ของดาวเทียมไทยคม 3 ช่องที่วัดสัญญาณมีค่า $BW = 36 \text{ MHz}$
3. EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) หมายถึงระดับสัญญาณที่หน้างานดาวเทียมแบบมีทิศทาง EIRP ขาลง มีค่า $EIRP = 57.1 \text{ dBW}$ จากคุณสมบัติดาวเทียม EIRP Contour ในบทที่ 3
4. สายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $D = 0.69 \text{ ม.}$
5. L คือการลดทอนของสัญญาณในที่นี้ มี 2 ค่าคือการลดทอนเนื่องจากระยะทางหรือ Free Space Loss, L_s และการลดทอนเนื่องจากฝน Rain Loss, L_r
6. k คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann (Boltzmann's constant) มีค่า $1.37 \times 10^{-23} = -228.6 \text{ dB (W/HzK)}$
7. obo คือค่า output backoff ของแอมพลิไฟเออร์บนดาวเทียมไทยคม 3 มีค่า 4 dB
8. T_m คือสัญญาณรบกวนที่เกิดจากฝน

ในสมการที่ (6.1) ค่า L หมายถึง การลดทอน เนื่องจาก ปรากฏการณ์ต่างๆ แต่ผลกระทบหลักจะมาจากปรากฏการณ์ 2 ชนิดคือ free space loss และการลดทอนเนื่องจากฝน obo(output back off) มีค่า 4 dB เมื่อฝนตก sky noise temperature จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับการลดทอนตามสมการที่ (6.3) T_m เป็นอุณหภูมิประสิทธิภาพของฝนใน PN 618-3 มีค่า 260 K ทำให้ G/T ลดลงตามการลดทอนเล็กน้อยตามระดับความหนักเบาของฝนเครื่องรับสัญญาณสามารถวัดการลดทอนได้เพียง 20 dB ตามรูปที่ 5.2 การลดทอนนี้เกิดขึ้นที่อัตราการตกของฝนประมาณ 97 มม./ ชม. ที่ 0.05% เวลา ขณะที่ 0.01% เวลา มีค่า 250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มม./ชม. ซึ่งการลดทอนจะอยู่ในช่วง 35-40 dB รูปที่ 6.1 เป็นความสัมพันธ์ของอัตราการตกของฝนและ C/N_0

6.2 การประมาณค่าความจุของสัญญาณ

วิธีที่ดีในการออกแบบสื่อสัญญาณสิ่งแรกที่เราควรคำนึงถึงคือ การประมาณค่าความจุของสัญญาณ ซึ่งการประมาณที่กำหนดขึ้นโดย Shannon เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการพิจารณาระบบ ถ้าช่องสัญญาณที่พิจารณามีโอกาสสูงที่จะเสียหายจากการจางหายของสัญญาณ (Fading) ความจุของมันจะเปลี่ยนแปลงตามคุณสมบัติของตัวกลางที่สัญญาณแพร่กระจายผ่าน เราสามารถกล่าวได้ว่าความจุของสัญญาณจะแปรเปลี่ยนไปตามกระบวนการ การจางหายซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างสุ่ม (Random)

ในบทความนี้เราสมมุติ ช่องสัญญาณเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous) มีสัญญาณรบกวนแบบ Additive White Guassian Noise (AWGN) ช่องสัญญาณพิจารณาจากดาวเทียมไทยคม 3 ดังที่กล่าวมาข้างต้น เราสมมุติระบบเป็นช่องสัญญาณไม่เข้ารหัส มีการมอดูเลทแบบ BPSK และ QPSK ค่า roll off factor ของวงจร กรองสัญญาณมีค่า 0.5 ทำให้เราหาอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของทรานสปอนเดอร์ขนาดแบนด์วิดท์ 36 MHz จากเอกสารอ้างอิง

$$R_b = B / (1+\rho) \quad \text{b/s for BPSK} \quad (6.4)$$

$$R_b = 2B / (1+\rho) \quad \text{b/s for QPSK} \quad (6.5)$$

จากนั้นเราได้ความสัมพันธ์ระหว่าง C/N และอัตราการส่งข้อมูล R_b จาก

$$[C/N_0] = [E_b/N_0] + [R_b] \quad \text{dBHz} \quad (6.6)$$

$$[R_b] = 10 \log R_b \quad \text{dBb/s} \quad (6.7)$$

E_b/N_0 คือพลังงานต่อบิตของสัญญาณ BPSK และ QPSK C/N_0 คือ อัตราส่วนความหนาแน่นของสเปกตรัมสัญญาณรบกวนที่ต้องการสำหรับส่งข้อมูลของสัญญาณ BPSK และ QPSK ที่อัตราบิตนั้น เมื่อ E_b/N_0 คงที่และ C/N_0 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ต้องการ R_b จะลดลงตาม C/N_0 เราจะได้ค่าของ E_b/N_0 ของสัญญาณ BPSK และ QPSK ตามคำแนะนำของ ITU R F-1101 "characteristic of digital radio-relay system below about 17 GHz" มีค่าเหมือนกันที่ 10.5 dB ที่ $BER = 10^{-6}$ คงที่โดยเราจะใช้ค่าประสิทธิภาพสเปกตรัมในการคำนวณของ BPSK (1b/s/Hz) และ QPSK (2b/s/Hz) ด้วย roll of factor ที่ 0.5 ดังนั้นอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดสำหรับสัญญาณทั้งสองแบบคือ 24 และ 48 Mbps ตามลำดับ จากสมการที่ (6.6) เราได้ค่า C/N_0 ที่ต้องใช้กับอัตราการส่งข้อมูลที่ 24 และ 48 Mbps ตามลำดับและในขณะเดียวกันเราก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะรู้ค่าของอัตราบิตเมื่อ C/N_0 ลดลงด้วย ρ เป็นคุณสมบัติความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรฟิลเตอร์ในตัวมอดูเลเตอร์มีค่า 0.5 B คือแบนวิดท์มีค่า 36 MHz R_b ความจุช่องสัญญาณ (Mbps)

รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า C/N_0 กับค่าอัตราการตกของฝนเราจะเห็นว่าที่อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด ในสภาพอากาศแจ่มใสหรือมีฝนตกเล็กน้อยประมาณ 5-6 มม./ชม. ระบบเครื่องรับของเรารับสัญญาณดาวเทียมมาลงจากดาวเทียมไทยคม 3 ได้ประมาณ 96 เดซิเบลเฮิร์ต (dB) เมื่อฝนตกมากขึ้นสัญญาณจะลดลงเป็นสัดส่วนกับอัตราการตกของฝน ระบบเครื่องรับของเราจะวัดสัญญาณได้ต่ำสุดที่ประมาณ 75 เดซิเบลเฮิร์ต ถ้าอยากให้ระบบสามารถวัดระดับสัญญาณที่ต่ำกว่านี้ได้ อาจทำได้ด้วยการเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ เป็นต้น

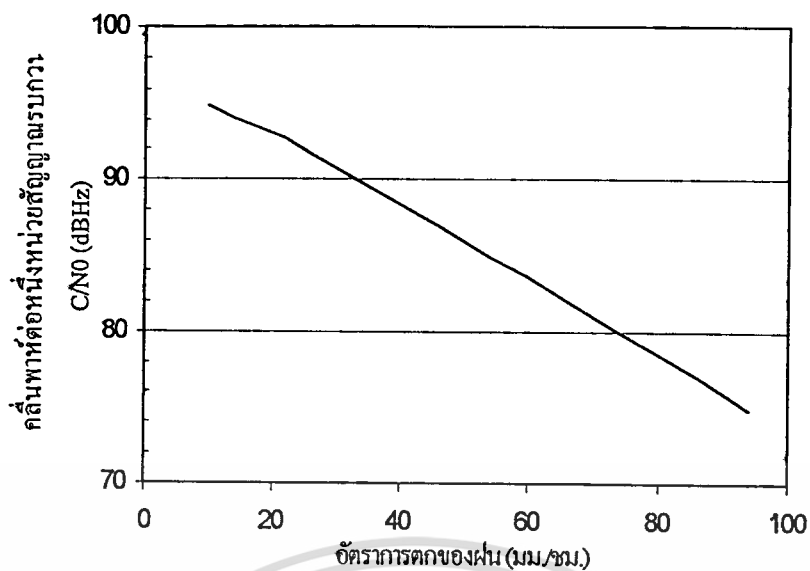
รูปที่ 6.2 มีลักษณะคล้ายรูปที่ 6.1 แต่แสดงระดับสัญญาณด้วยค่า C/N ค่านี้จะขึ้นกับความกว้างแถบความถี่ที่ใช้งาน (Bandwidth) งานสายอากาศขนาดประมาณ 70 ซม. ในสภาพอากาศปรกติจะมีค่า C/N ประมาณ 17-19 เดซิเบล

รูปที่ 6.3 เป็นการเปรียบเทียบบิตเรทกับค่า C/N_0 ทั้งระบบการมอดูเลตแบบ BPSK และ QPSK ตามทฤษฎีถ้า C/N_0 สูงอัตราการส่งควรสูงตามไปด้วยในลักษณะต่างๆกัน จากรูปพิจารณาสัญญาณ BPSK จะเห็นว่าอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของช่องสัญญาณนี้มีค่า 24 Mbps และเริ่มลดลงไปเรื่อยๆเป็นสัดส่วนกับค่า C/N_0 ที่ลดลงตั้งแต่ 86 dBHz ในขณะที่สัญญาณ QPSK ต้องการระดับสัญญาณสูงกว่าในการส่งข้อมูลที่อัตรา 48 Mbps คือที่ 89 dBHz แต่น่าสังเกตว่าสัญญาณทั้งสองจะมีอัตราการส่งข้อมูลเท่ากันที่ค่า C/N_0 ตั้งแต่ 83 dBHz ลงไป

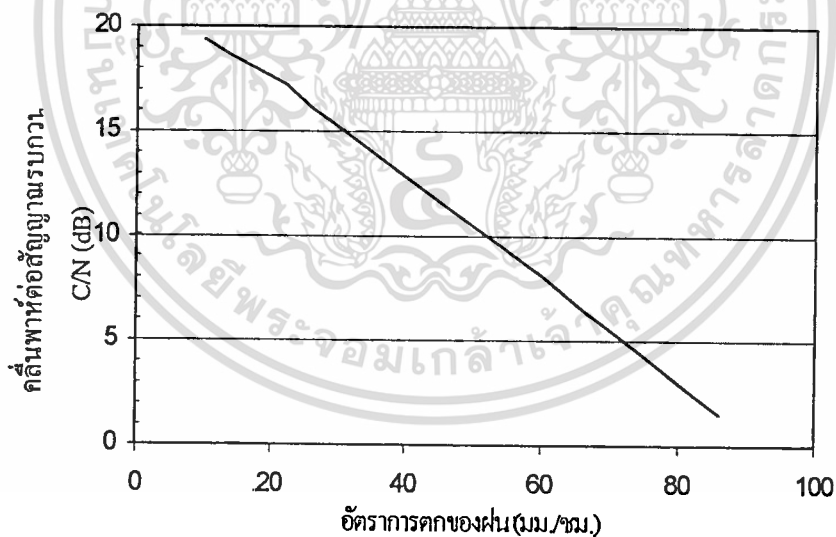
รูปที่ 6.4 เป็นการเปรียบเทียบอัตราการตกของฝนกับอัตราการส่งข้อมูลแบบ BPSK และ QPSK ดังที่ได้แสดงวิธีคำนวณค่าต่างๆไว้แล้ว จะเห็นว่าในระบบของเราสัญญาณ QPSK จะเริ่มถูกลดทอนไปที่อัตราการตกของฝนมีค่า 40 มม./ชม. ในขณะที่สัญญาณ BPSK ที่ส่งได้ช้ากว่าแต่มีข้อดีคือรักษาอัตราการส่งได้ดีกว่า ทนทานต่อการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝนได้สูงกว่าคือเริ่มถูกรบกวนช่องสัญญาณที่อัตราการตกสูงประมาณ 55-56 มม./ชม.

รูปที่ 6.5 แสดงเปอร์เซ็นต์เวลาของค่า C/N_0 พิจารณาว่าค่าสูงสุดของระบบที่เกิดขึ้นได้คือ 96 dBHz ที่เปอร์เซ็นต์เวลาหนึ่งและเมื่อเกิดฝน ค่า C/N_0 ก็จะเริ่มลดลงตามค่าอัตราการตกที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ เช่นอัตราการตกของฝนที่ 0.6 % ค่า C/N_0 สูงสุดจะมีค่าประมาณ 92 dBHz

รูปที่ 6.6 เราจะเห็นว่าสัญญาณ QPSK ที่ 0.4 เปอร์เซ็นต์เวลาของฝนขึ้นไปจะไม่มีผล แต่สัญญาณ BPSK จะมีผลตั้งแต่ 0.2 เปอร์เซ็นต์เวลาขึ้นไป

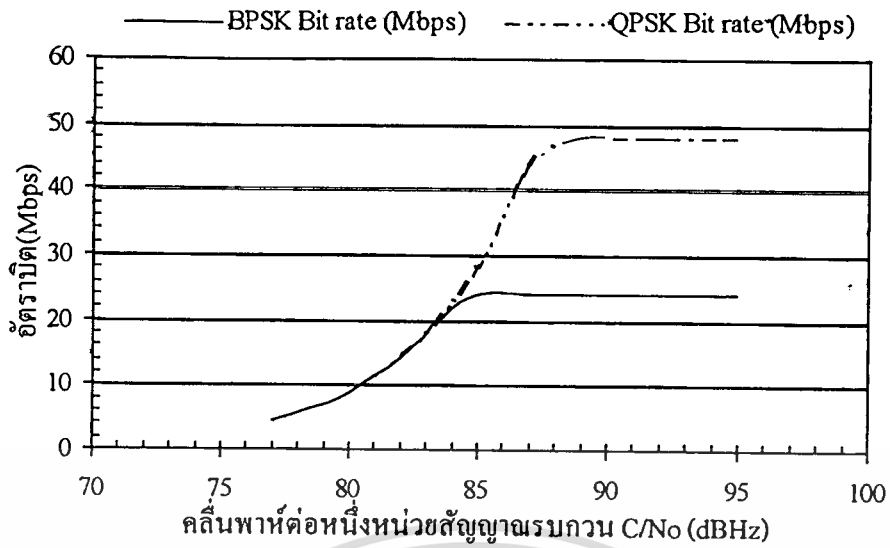


รูปที่ 6.1 อัตราารตกของฝนกับค่า C/N_0

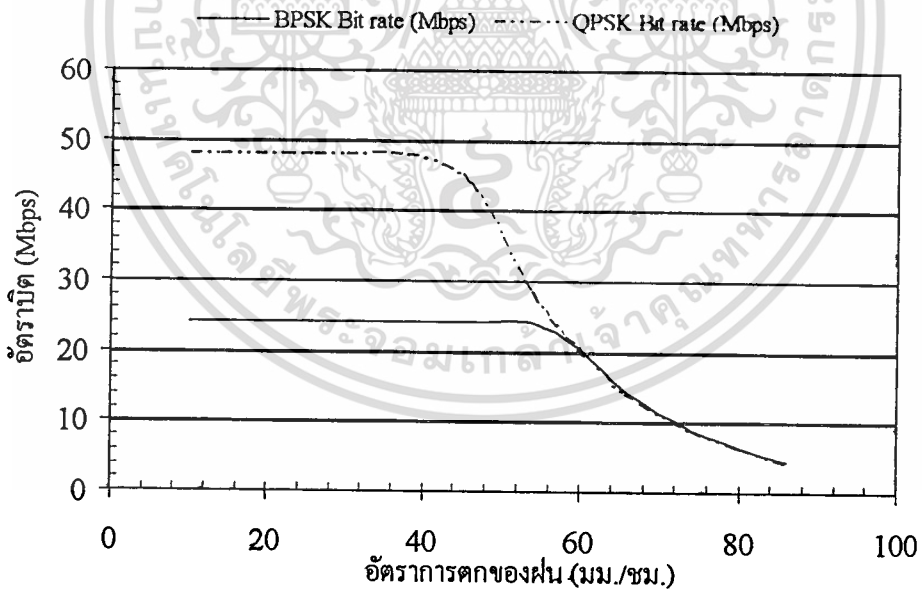


รูปที่ 6.2 อัตราารตกของฝนกับค่า C/N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

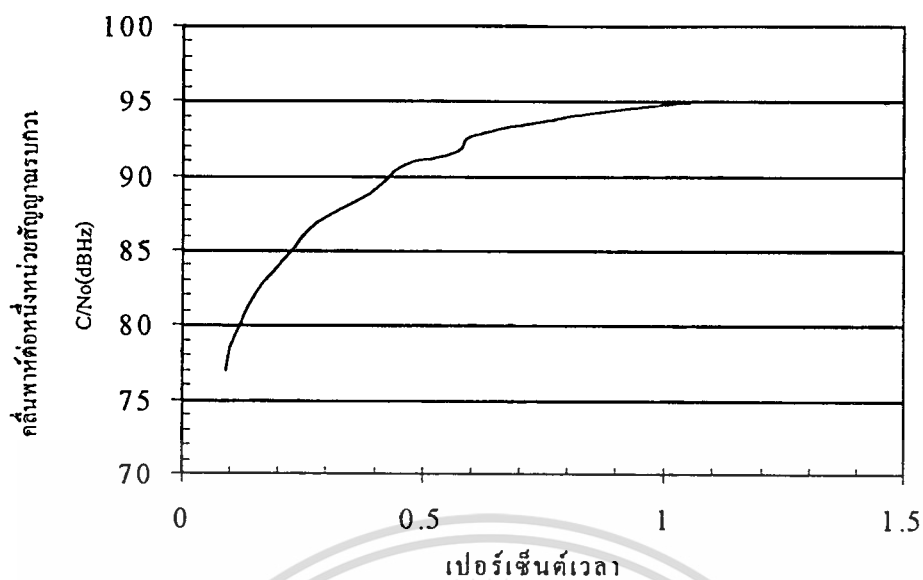


รูปที่ 6.3 อัตราบิตกับค่า C/N₀.

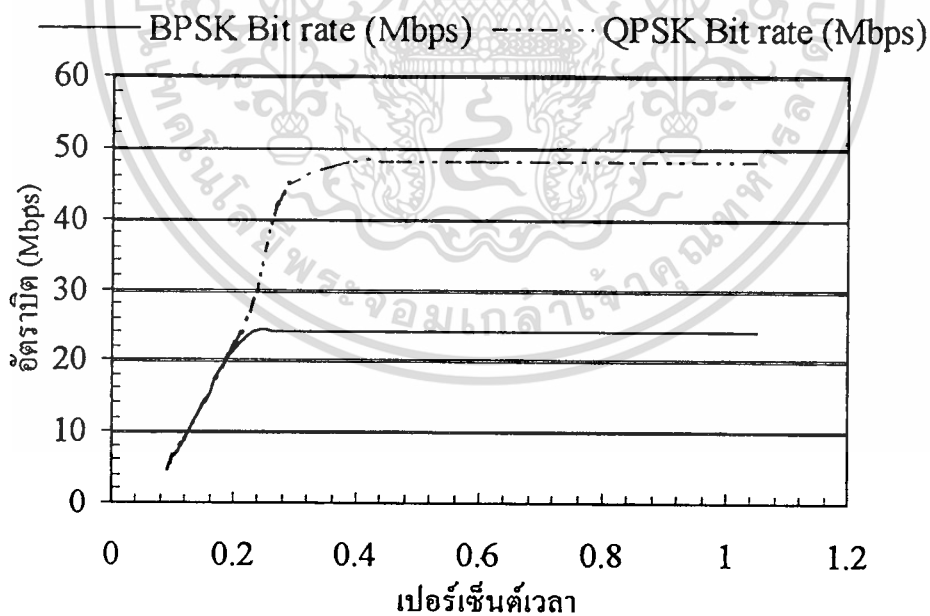


รูปที่ 6.4 อัตราการตกของฝนกับอัตราบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 เปอร์เซ็นต์เวลาของค่า C/N₀



รูปที่ 6.6 เปอร์เซ็นต์เวลาของอัตราบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรค่าต่าง ๆ

เปอร์เซ็นต์เวลา	อัตราการตกของฝน (มม./ชม.)	อัตราการลดทอนของฝน (มม./ชม.)	C/No (dBHz)	C/N (dB)
1.05	10	1.8	94.9	19.4
0.83	14	2.6	94.1	18.6
0.6	22	4.3	92.7	17.2
0.57	26	5.1	91.6	16.1
0.46	30	6	90.7	15.2
0.39	38	7.9	88.8	13.3
0.28	46	9.8	86.9	11.4
0.23	54	11.7	85	9.5
0.19	60	13.1	83.6	8.1
0.15	66	14.7	82	6.5
0.12	74	16.7	80	4.5
0.1	80	18.2	78.5	3
0.09	86	19.7	77	1.5
0.08	94	21.8	74.9	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัย

สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (The International Telecommunication Union : ITU) ได้กำหนดการเชื่อมโยงระหว่างตัวพีดีเคอร์ ไว้ว่าเป็นการเชื่อมโยงสัญญาณดาวเทียมระหว่างจุดที่กำหนดบนพื้นโลกไปยังดาวเทียมในอวกาศ พารามิเตอร์ที่สำคัญยิ่งสองค่าในการวางแผนและออกแบบการเชื่อมโยงนี้คือ คุณภาพของสัญญาณหรือเข้าใจกันโดยทั่วไปว่าคือค่า อัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Noise Ratio : C/N) ซึ่งจะต้องสูงพอที่จะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ในการให้บริการการสื่อสารรูปแบบต่างๆ โดยแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์เวลาที่สามาถสื่อสารในระดับคุณภาพสัญญาณที่ยอมรับได้ใน 1 ปี อีกพารามิเตอร์หนึ่งที่ต้องพิจารณาคือค่าอัตราส่วนคลื่นพาทต่อสัญญาณรบกวน (Carrier to Interference Ratio) : ซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่ได้พิจารณาถึงเนื่องจากช่องสัญญาณที่ใช้เป็นช่องสัญญาณเดี่ยวใช้แบนวิดธ์เต็มทรานสพอนเดอร์ของดาวเทียมไทยคม 3 พอดีคือ 36 MHz

ในการทดลองครั้งนี้ผู้ทำวิจัยได้นำเสนอรายละเอียดข้อมูลของอัตราการตกของฝนต่อเวลาซึ่งบางส่วนเป็นผลทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณในฝน เราพบว่าเดือนที่มีปัญหามากที่สุดคือเดือนกันยายนและสิงหาคมการวัดอัตราการตกของฝนและการลดทอนของสัญญาณในฝนจะสูงกว่าการแบ่งเขตฝนของ ITU และ Global Model สิ่งที่เราได้จากการทดลองบอกเราว่าในช่วงสองเดือนที่มีปัญหานี้ถ้าใช้การส่งสัญญาณที่ย่านความถี่สูงสัญญาณจะมีโอกาสถูกลดทอนโดยฝน เช่น ความถี่ของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ย่าน Ku ความถี่ 12.271 GHz สำหรับข้อมูลการตกของฝนที่เราวัดได้สามารถบันทึกได้สูงที่ 0.01% เวลาของอัตราการตกของฝนประมาณ 250 มม./ชม. ดังนั้นการลดทอนของสัญญาณควรจะเป็น 35-40 dB ในขณะที่ข้อมูลการวัดการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนวัดได้เพียง 20 dB ที่ 0.05%เวลา หลังจากนั้นเราจะประมาณการค่า C/N จากสมการเชื่อมโยงทั่วไปเราก็หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนและ C/N ได้ ท้ายสุดเราประมาณค่าความจุของสัญญาณโดยกำหนดระบบอย่างง่ายคือ BPSK และ QPSK ที่ยังไม่เข้ารหัสบนช่องสื่อสารต่อเนื่องและมีสัญญาณรบกวนแบบ AWGN

การนำข้อมูลไปใช้งานในการออกแบบ เช่น เราทราบข้อมูลของอัตราการตกของฝนที่ 60 มม./ ชม.ว่ามีลักษณะการตกอย่างไรและต้องการหาความสัมพันธ์ต่อระดับสัญญาณดาวเทียม จากตารางและรูปกราฟในบทที่ 6 เราก็จะทราบถึงระดับสัญญาณ C/N และ C/N_0 ว่ามีค่าเท่าไรและทราบว่ามีเกิดการเกิดระดับสัญญาณขนาดนี้ในช่วงเวลาไหนบ้าง จากกราฟการแจกแจงช่วงเวลาในการตกของฝนรูปแบบต่างในบทที่ 5 และจะทำนายได้คร่าวๆว่าในช่วงเวลาไหน จะต้องชดเชยพลังงานกี่ dB หรือช่วงเวลาไหน ความใช้สอยได้ของสัญญาณจะมีค่าเท่าไร หรือบางทีบางช่วงเวลาต้องการความใช้สอยได้สูงอาจต้องตัดสินใจลดความจุของช่องสัญญาณลง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองวิจัยนี้มีสิ่งที่เป็นข้อจำกัดในงานวิจัย ทำให้ผลการค้นคว้ามีข้อจำกัดซึ่งในการวิจัยขั้นต่อไป ควรปรับปรุงเพิ่มเติมให้ข้อมูลมีความถูกต้องน่าเชื่อถือได้มากขึ้น ข้อมูลการวิเคราะห์ที่ได้จะยิ่งใกล้เคียงกับผลกระทบจริงมากขึ้นที่พอจะสรุปได้ดังนี้

1. อุปกรณ์วัดน้ำฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket) ที่ใช้มีความละเอียดและการตอบสนองต่ำ คือมีความละเอียดเพียง 0.5 มม./พัลส์ บางครั้งฝนที่เบาบางกว่าน้ำฝนจะเติมกระบอกทำให้เวลาการตกที่บันทึกมีความคลาดเคลื่อนได้ เครื่องวัดการตกของฝนรุ่นใหม่มีความละเอียดถึง 0.1, 0.05, 0.01 มม./พัลส์
2. ค่าอินทิเกรชันใหม่หรือเวลาในการรวบรวมข้อมูลน้ำฝนใน 1 ครั้งที่ค่อนข้างสูง ในที่นี้เราใช้ค่าเวลา 5 นาที ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดที่ ITU ขอมรับสำหรับการเอาไปใช้ออกแบบการเชื่อมโยงในย่านความถี่ Ku เนื่องจากเครื่องบันทึกเป็นแบบกระดาษกราฟ ซึ่งปัจจุบันการบันทึกข้อมูลที่ลงบนเครื่อง Data Logger สามารถบันทึกผลได้ทุกวินาที ข้อมูลยิ่งละเอียดเรายิ่งอ่านค่าได้ถูกต้องทั้งปริมาณความหนักของฝน และช่วงเวลาที่เกิด การนำค่าไปชดเชยจะยิ่งถูกต้องขึ้น โดยเฉพาะในย่านความถี่ Ka
3. ข้อมูลสะสมรายปียังเป็นข้อมูลเพียงปีเดียว การที่จะทำนายหรือประเมินค่าอัตราการตกของฝนให้ถูกต้องแม่นยำมากที่สุดนั้น ควรใช้ข้อมูลหลายๆปีที่วัดได้จริงมาทำการหาค่าเฉลี่ย วิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ขณะนี้ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้ทำการเก็บข้อมูลอัตราการตกของฝนต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน
4. ขนาดงานสายอากาศที่ใช้ในการวิจัยมีอัตราขยายสัญญาณที่ค่อนข้างต่ำคือมีขนาดเล็กเพียง 69 เซนติเมตรเท่านั้น เป็นงานสายอากาศที่รับสัญญาณของเคเบิลทีวีผ่านดาวเทียมทั่วไป ทำให้วัดสัญญาณที่ถูกลดทอนได้ที่ระดับประมาณ 19 dB เท่านั้น
5. การมอดูเลชัน ที่นำมาเป็นตัวอย่างเป็นการมอดูเลชันขั้นต้นคือแค่อยู่ในระดับสัญญาณ BPSK และ QPSK เท่านั้นทำให้ปริมาณความจุช่องสัญญาณค่อนข้างจะน้อย ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมจริงมีการใช้ลำดับขั้นการมอดูเลชันที่สูงกว่านี้เช่น 8PSK หรือ 16 QAM และยังมีมอดูเลชันแบบไม่เป็นเชิงเส้นอีกด้วย
6. การวิจัยนี้ไม่ได้้นำการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) มาวิเคราะห์ การนำเทคนิคนี้มาใช้จะช่วยเพิ่มคุณภาพของช่องสัญญาณที่ถูกลดทอนได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Glenn Arnold and Tai-Wu Kao, "Rain attenuation in EHF Satellite Communications", IEEE Proceeding, Pacific Rim conference on Communications, Computer and Signal processing, pp.153-156, 1995.
- [2] J.E Allnut, "Satellite to ground radio wave propagation", Peter Peregrinus Ltd., pp 153-168, 1989
- [3] ITU-R rec. 837-1, "Characteristics of precipitation for propagation modelling", ITU-PN series, 1994
- [4] Robert K. Crane; "Electromagnetic wave propagation through rain", John Wiley & Sons Inc., pp.110-119, 1996
- [5] ITU-R rec. 618-3, "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-Space telecommunications systems, ITU PN-Series 1994.
- [6] J.Kang, H.Echigo, K.Ohnuma, S.Nishida and R.Sato, "Three year measurement by VSAT System and CCIR Estimation for Rain attenuation in Ku-band Satellite channel", IEICE transaction on communication vol. E79-B No.5, pp.722-726, May 1996.
- [7] กรมอุตุนิยมวิทยา , สถานีอุตุนิยมวิทยาดรสด (คลองใหญ่), "รายงานอุตุนิยมวิทยา". กระทรวงคมนาคม , 2540 -*2541
- [8] บริษัทชินวัตรเซทเทลไลท์จำกัด, "ข้อมูลดาวเทียมไทยคม 3", 2538
- [9] J.T. Ong, C.N. Zhu and Y.K.Lee, "Ku-band satellite beacon attenuation and rain rate measurements in Singapore comparison with ITU-R models", 100th International conference on Antennas and Propagation, IEE, pp.153-156 vol.2, 1997.
- [10] ITU-R rec581-2 "The concept of worst month", ITU PN series 1994
- [11] ชูเกียรติ น้อยฉิม , " กฎหมายระหว่างประเทศกับการสื่อสารผ่านอวกาศ" , สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย , หน้า 25-35 , 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

[1]อดิเทพ ชัยสังข์ และ ณรงค์ เหมกรณ์, "อัตราการตกของฝนและการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านKu ณ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด", การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 , กุมภาพันธ์ 2543, หน้า 72-79

[2] Aditep Chaisang and Narong Hemakorn , "Downlink Availability of Thaicom 3 Satellite Due to Rain Fading at Klong Yai Ground Station" , TENCON 2000 IEEE Proceedings Conference , Malaysia ,September 2000,pp. I 106-I107

[3] Aditep Chaisang , Samart Singsoda , Supatra Tongkasem , Kamol Phongarm and Narong Hemakorn , "Channel Capacity Estimation of Thaicom 3 Satellite from Rain Statistics at Klong Yai " , WPMC`00 Conference Proceedings , Bangkok , November 2000, pp.154-157.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ผู้เสนอผลงาน	นายอดิเทพ ชัยสังข์
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2531 ถึง พ.ศ. 2532 บริษัทวิทยาคม จำกัด พ.ศ. 2532 ถึง พ.ศ. 2533 บริษัทแปซิฟิก เมดิคอลซัพพลาย จำกัด พ.ศ. 2533 ถึง พ.ศ. 2536 บริษัทอิรยามา จำกัด พ.ศ. 2536 ถึง พ.ศ. 2538 บริษัทกิจชัยการแพทย์จำกัด พ.ศ. 2539 ถึง พ.ศ. 2543 บริษัทต้นธารนสาร จำกัด
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2533 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประสบการณ์หรือ ความเชี่ยวชาญพิเศษ	การแพร่กระจายของสัญญาณควมเทียมการประกอบและทดสอบวงจรรวม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้