

การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku
STUDY AND ANALYSIS OF SATELLITE SIGNAL IN Ku-BAND

นายสุรศักดิ์ กฤษดาพาณิชย์
MR.SURASAK KITSADAWANICH

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

012772434

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2541

ISBN 974-622-086-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY AND ANALYSIS OF SATELLITE SIGNAL IN Ku-BAND



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

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องสมุดของสถาบันเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku
นักศึกษา นายสุรศักดิ์ กฤษดาวิชชัย
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ณรงค์ เหมภรณ์
ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2541

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่รับได้จากดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 ทางด้านขาลงในความถี่ย่าน Ku ซึ่งดาวเทียมไทยคม 1 ใช้การส่งสัญญาณโพลารไรซ์แนวนอน และดาวเทียมไทยคม 2 ใช้การส่งสัญญาณโพลารไรซ์แนวตั้ง ในการศึกษานี้จะทำการทดลอง และ วิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 2 กรณี กรณีแรก เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ ผลการวิเคราะห์พบว่า จำนวนครั้งเกิดการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และเกิดขึ้นมากในช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน โดยจำนวนครั้งการเกิดจะเกิดขึ้นมากในช่วงเวลาประมาณ 9:00-17:00น. และเกิดสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 13:00-15:00น. เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ ในช่วงฤดูร้อนโดยเฉพาะเดือนมีนาคมและเมษายนจะมีการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลากลางวันมากกว่าฤดูอื่น ส่วนในฤดูฝนจะเกิดปรากฏการณ์นี้ลดลงในช่วงเวลากลางวันเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่าในฤดูร้อน แต่จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเย็นและกลางคืน เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดจากฝนซึ่งเวลาดังกล่าวมักจะมีฝนตก กรณีที่สอง เป็นการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝน และเปรียบเทียบผลการลดทอนตลอดทั้งปีของสัญญาณที่บ้านที่กวดเวลาบนกระดานกราฟต่อเนื่อง กับวิธีการพยากรณ์ทางสถิติด้วยรูปแบบจำลองของ CCIR และ CETUC ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku แปรผันตรงกับอัตราการตกของฝน โดยถ้าอัตราการตกของฝนเท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเท่ากับ 3.3 เดซิเบลต่อกิโลเมตร และการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากการทดลองเป็นเวลา 1 ปี กับแบบจำลองของ CCIR และแบบจำลองของ CETUC พบว่าแบบจำลองของ CCIR ทำนายได้ไม่ค่อยใกล้เคียงนัก ในขณะที่แบบจำลองของ CETUC สามารถทำนายการลดทอนได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้มาก และยังพบว่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุดประมาณ 22 เดซิเบล ที่เปอร์เซ็นต์เวลาน้อยกว่า 0.001% ของเวลาสะสมตลอดปี นอกจากนี้ที่ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี ของเวลา อัตราการตกของฝนประมาณ 102 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้ระดับสัญญาณลดทอนลงไปประมาณ 15.4 เดซิเบล

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study and Analysis of Satellite Signal in Ku-band
Student	Mr. Surasak Kitsadawanich
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Narong Hemmakorn
Level of Study	Master of Engineering in Electrical Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1998

ABSTRACT

This thesis presents the studies of the down link satellite signal characteristic from Thaicom 1 and Thaicom 2, both transmissions are in Ku-band with different polarization. Thaicom 1 transmits in horizontal polarization while Thaicom 2 transmits in vertical polarization. The data are analyzed in two cases, the first is analyzed by the amplitude scintillation characteristics. The results of the scintillation phenomena in Ku-band is effected by troposphere and frequently occurred about 9:00 to 17:00 LT. and the period time that occurred maximum from 13:00 to 15:00 LT., because the varying depend of atmosphere temperature. In summer season, especially May and April will occur amplitude scintillation in day time more than the other season and in the rainy season, this phenomena will decrease in day time because of the temperature lower than the summer season, but the occurrence number of amplitude scintillation will increase in the evening and night, because of amplitude scintillation due to rainfall in the same time. And the second is analyzed by the receiving signal attenuation with respect to rain rate and compare with attenuation level through one year of signal that record continuously on strip chart with CCIR and CETUC model. The result of the attenuation levels of receiving signal from Ku-band are varied due to rain rate. If the rain rate about 100 mm./hr. then the received signal level decrease about 3.3 dB/km. A comparison between the measured values obtained from one-year measurement and predicted by CCIR and CETUC method, it can see that the CCIR method predicted no good relation while the CETUC method predicted good relation. The largest value of path attenuation by rainfall of is about 22 dB at the yearly cumulative percentage of time is less than 0.001% and the yearly cumulative percentage of time 0.01% the attenuation signal level decrease about 15.4 dB at rain rate about 102 mm./hr.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาและอนุเคราะห์ต่างๆ จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างสูง แต่

รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ ที่กรุณาให้แนวความคิดวิทยานิพนธ์, คำปรึกษา, คำแนะนำและตลอดจนความช่วยเหลือทุกด้าน

ศ. ดร. โยชิอากิ โมริยะ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการติดตั้งเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนเทคนิคการวัด

เจ้าหน้าที่กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลและเอกสารเกี่ยวกับสภาพทางอุตุนิยมวิทยา

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการทำวิจัยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนพี่น้องและเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน และให้กำลังใจทางด้านการศึกษามาโดยตลอด

สุรศักดิ์ กฤษดาวาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII

บทที่

1 บทนำ

ระบบการสื่อสารดาวเทียม.....	1
ที่มาของงานวิจัย.....	2
วัตถุประสงค์ในการวิจัย.....	5
การกำหนดความถี่ สำหรับการติดต่อสื่อสารดาวเทียม.....	6
การแบ่งชั้นบรรยากาศ.....	12
ลักษณะภูมิอากาศ และผลกระทบต่อสื่อสารดาวเทียมในประเทศไทย.....	16

2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนำ.....	24
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	24
ดาต้าล็อกเกอร์.....	28
แนวทางการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ.....	36
แนวทางการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku เนื่องจากฝน.....	39

3 การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม

บทนำ.....	43
ปรากฏการณ์การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	46

เอกสารนี้มีการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ระยะไอ46 นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	50
การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	51
วิธีการแสดงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	60
การคำนวณสถิติรายเดือนและระยะเวลาของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันที่มีมุมเงยต่ำกว่า 4°	64
ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงตลอดวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหัน.....	66
ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหัน.....	74
4 การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากน้ำฝนในความถี่ย่าน Ku	
บทนำ.....	85
คุณสมบัติของฝน.....	86
ชนิดของฝน.....	86
อาณาบริเวณที่ฝนตก.....	87
โครงสร้างของฝน.....	88
รูปทรงของเม็ดฝน.....	88
การกระจายขนาดเม็ดฝน.....	89
การกระจายอัตราการตกของฝน.....	92
การวัดปริมาณน้ำฝน.....	95
หน่วยที่ใช้ในการวัด.....	95
การติดตั้งเครื่องมือ.....	96
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก.....	96
วิธีการประมาณการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน.....	98
ลักษณะเฉพาะของลดทอนเนื่องจากน้ำฝน.....	111
การจางหายของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของการลดทอนเนื่องจากฝน	
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน.....	112
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
เปรียบเทียบผลการลดทอนที่วัดได้กับแบบจำลองของ CCIR และ CETUC.....	121
5 บทสรุป.....	126
บรรณานุกรม.....	130
ภาคผนวก.....	134
- ภาคผนวก ก. ข้อมูลของดาวเทียมไทยคม.....	135
- ภาคผนวก ข. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่นแอนท์-32 (ANT - 32).....	145
- ภาคผนวก ค. โปรแกรมแอสเซมบลีของดาดาล็อกเกอร์.....	148
- ภาคผนวก ง. CCIR TROPOSPHERIC SCINTILLATION MODEL.....	173
- ภาคผนวก จ. พื้นฐานการวิเคราะห์สำหรับการแสดงค่า aR^b ของการลดทอนเนื่องจากฝน.....	175
- ภาคผนวก ฉ. ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	178
ประวัติผู้เขียน.....	179

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1. แสดงข้อกำหนดการบริการด้านดาวเทียมโดย ITU.....	10
2. แสดงรายการดาวเทียมที่ใช้ในการให้บริการด้านโทรคมนาคมในบริเวณที่ 3.....	11
3. แสดงการแบ่งช่วงความถี่การสื่อสารดาวเทียม.....	12
4. แสดงส่วนประกอบปกติของอากาศบริสุทธิ์ ใกล้เคียงกับน้ำทะเล.....	14
5. แสดงลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	28
6. แสดงการกระจายขนาดเม็ดฝนที่เป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทั้งหมด.....	90
7. แสดงอัตราการตกของฝนของเขตภูมิอากาศฝน 15 เขต ของ CCIR.....	94
8. แสดงการกระจายขนาดเม็ดฝนใช้สำหรับการคำนวณการลดทอนเนื่องจากฝน.....	102
9. แสดงตัวอย่างของสัมประสิทธิ์และการลดทอนเฉพาะของฝน (การกระจายเม็ดฝนของ Marshall-Palmer ที่อุณหภูมิของฝนที่ 0 °C).....	104
10. แสดงสัมประสิทธิ์การลดทอนสำหรับการประมาณสัมประสิทธิ์ การลดทอนเฉพาะ γ เมื่อ $\gamma = kR^\alpha$	106
11. แสดงอัตราการตกของฝนของเขต N.....	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

หน้า

1. แสดงการตีโพลาไรซ์ของคลื่นวิทยุเมื่อแพร่กระจายผ่านตัวกลาง anisotropy.....	4
2. แสดงการตีโพลาไรซ์เนื่องจากการลดทอนที่แตกต่างกันระหว่างแกนหลักและแกนรองของเม็ดฝุ่นที่ไม่เป็นทรงกลม.....	4
3. แสดงดาวเทียมค้างฟ้า และแถบความถี่ของการทำงาน.....	7
4. แสดงเขตบริเวณการใช้สเปกตรัมการสื่อสารระหว่างประเทศ.....	9
5. แสดงแรงกระทำระหว่างดวงอาทิตย์กับสนามแม่เหล็กโลก.....	13
6. แสดงการแบ่งเบื้องต้นของชั้นบรรยากาศโลก.....	13
7. แสดงการกระจายของอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลก.....	15
8. แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือน.....	16
9. แสดงความดันบรรยากาศเฉลี่ยในแต่ละเดือน.....	18
10. แสดงจำนวนเมฆเฉลี่ยในแต่ละเดือน.....	18
11. แสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละเดือน.....	19
12. แสดงความดันไอน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน.....	19
13. แสดงทัศนวิสัยในแต่ละเดือน.....	20
14. แสดงการกระจายปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีในไทย.....	22
15. แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละเดือนในเขตกรุงเทพฯ.....	23
16. แสดงจานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียมยาน Ku.....	25
17. แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก.....	26
18. แสดงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมและเครื่องบันทึกสัญญาณ.....	26
19. แสดงบล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	27
20. แสดงบล็อกไดอะแกรมของดาวต้าล็อกเกอร์.....	29
21. แสดงอุปกรณ์ดาวต้าล็อกเกอร์.....	29
22. วงจรการเชื่อมต่อคีย์บอร์ดกับ 8255.....	30
23. แสดงการเชื่อมต่อของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนกับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	30
24. แสดงโฟลว์ชาร์ตของการรับคำสั่งจากคีย์บอร์ดค่าตัวเลข.....	31
25. แสดงโฟลว์ชาร์ตของการรับสัญญาณจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน.....	32
26. แสดงโฟลว์ชาร์ตของการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

27. แสดงไฟล์ชาร์ตของการส่งข้อมูลจาก RAM ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์.....	33
28. แสดงไฟล์ชาร์ตของการส่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์.....	34
29. แสดงไฟล์ชาร์ตของการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงกราฟ.....	35
30. แสดงอัตราการตกของฝนที่บันทึกได้ 19 พ.ค. 39.....	36
31. แสดงบล็อกไดอะแกรมการปรับระดับสัญญาณ.....	37
32. แสดงระดับสัญญาณที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน บันทึกได้ 2 พ.ค. 39.....	38
33. แสดงระดับสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน บันทึกได้ 11 พ.ค. 39.....	38
34. แสดงการสูญหายของสัญญาณและการแผ่รังสีความรบกวนด้วย fractional transmissivity (σ).....	40
35. แสดงการลดทอนของสัญญาณกับอัตราการตกของฝน 29 ก.ค. 39.....	42
36. แสดงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความสูงเหนือผิวโลก.....	47
37. แสดงการเปลี่ยนแปลงของชั้นต่างๆ ภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	49
38. แสดงการประมาณค่า N โดยใช้สมการเอ็กโปเนนเชียล.....	52
39. แสดงการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ โทรโพสเฟียร์ในแต่ละเดือน.....	55
40. แสดงการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	56
41. แสดงจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ในโพลาร์ไรซ์แนวตั้ง.....	57
42. แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันใน แต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ในโพลาร์ไรซ์แนวตั้ง.....	60
43. แสดงระดับสัญญาณที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน บันทึกได้ 18 มี.ค. 39.....	67
44. แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน.....	67
45. แสดงช่วงเวลาที่มีฝนตกในฤดูฝน.....	69
46. แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในเดือน ม.ค. ถึง ธ.ค. 39.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

47. แสดงการเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศเฉลี่ยตลอดวันในเดือน ม.ค. ถึง ธ.ค. 39.....	71
48. แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ตลอดวันในเดือน ม.ค. ถึง ธ.ค. 39.....	71
49. แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย.....	72
50. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยกับจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหันของเดือนเมษายน 2539.....	73
51. แสดงกราฟจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ตลอดเดือนเมษายน 2539.....	74
52. แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อน.....	76
53. แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝน.....	78
54. แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาว.....	80
55. แสดงกราฟจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ในช่วงฤดูร้อน.....	82
56. แสดงกราฟจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ในช่วงฤดูฝน.....	83
57. แสดงกราฟจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ในช่วงฤดูหนาว.....	84
58. แสดงรูปทรงของเม็ดฝนด้วยการประมาณช่วงขนาดเม็ดฝน.....	89
59. แสดงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรฝนทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับขนาดเม็ดฝน และอัตราการตกของฝน.....	91
60. แสดงคอนทัวร์ของสัมประสิทธิ์ β สำหรับการใช่แบบจำลองของ Rice-Holmberg.....	93
61. แสดงเขตภูมิอากาศฝนของ CCIR ทั่วโลก.....	95
62. แสดงลักษณะภายในของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก.....	97
63. แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก.....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

	หน้า
64. แสดงคุณลักษณะของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก.....	98
65. แสดงคลื่นตกกระทบบนปริมาตรทรงกลมของเม็ดฝนที่กระจายแบบสม่ำเสมอ.....	99
66. แสดงการลดทอนเฉพาะของฝนสำหรับการกระจายของเม็ดฝนทั้ง 3 วิธี.....	103
67. แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายการลดทอนเนื่องจากฝน.....	110
68. แสดงการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณกับอัตราการตกของฝน ในโพลาริซ์แนวอนน 1 ต.ค. 39.....	113
69. แสดงการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณกับอัตราการตกของฝน ในโพลาริซ์แนวตั้ง 6 ก.ย. 39.....	114
70. แสดงตัวอย่างการบันทึกการลดทอนของระดับสัญญาณได้ ในขณะที่ไม่สามารถ บันทึกอัตราการตกของฝนได้ 10 ก.ย. 39.....	115
71. แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณโพลาริซ์แนวตั้งเนื่องจากฝนอย่างรุนแรง และต่อเนื่อง บันทึกได้เมื่อ 29 เม.ย. 39.....	116
72. แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณโพลาริซ์แนวอนนเนื่องจากฝน รุนแรงสุดที่บันทึกได้เมื่อ 21 พ.ค. 39.....	117
73. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการลดทอนสัญญาณในโพลาริซ์แนวอนน และโพลาริซ์แนวตั้ง 23 ต.ค. 39.....	118
74. แสดงการลดทอนของสัญญาณโพลาริซ์แนวอนนเนื่องจากฝนที่มีการตกของฝน ในเวลากลางวันและกลางคืน.....	119
75. แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของ สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku.....	120
76. แสดงเขตภูมิอากาศฝนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ CCIR.....	122
77. แสดงสถิติการลดทอนสะสมของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนย่าน ความถี่ Ku (12.594 กิกะเฮิรตซ์).....	123
78. แสดงสถิติของอัตราการตกของฝนสะสมตลอดปี 2539.....	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ระบบการสื่อสารดาวเทียม

ในปัจจุบันการใช้บริการทางด้านการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการส่งสัญญาณในแนวสายตา (line of sight) ระหว่างสถานีภาคพื้นดินจะเกิดปัญหาเนื่องจากสิ่งกีดขวาง เช่น ตึกสูงบังสัญญาณ หรือ เป็นเพราะความโค้งของผิวโลก จึงไม่สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลๆ หรือ ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดได้ ส่วนการสื่อสารผ่านดาวเทียมสามารถส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ได้ตามต้องการแม้กระทั่งในทะเลหรือในชนบทที่ห่างไกล ดาวเทียมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด จำแนกตามแนวโคจรที่มันโคจรอยู่ คือ ดาวเทียมที่อยู่ในวงโคจรต่ำ (Low Orbit Satellite) มีวงโคจรเป็นรูปวงรีมีระนาบไม่แน่นอนตำแหน่งของตัวดาวเทียมเมื่อเทียบกับโลกไม่แน่นอน มักใช้งานในการสำรวจภูมิอากาศ ภูมิประเทศ แหล่งทรัพยากรธรณี และ งานจารกรรมทางทหาร ส่วนอีกชนิดคือ ดาวเทียมค้างฟ้า (Geostationary Satellite) เป็นดาวเทียมที่อยู่กับที่เมื่อเทียบกับโลกมีวงโคจรอยู่ในระนาบเดียวกับเส้นศูนย์สูตร อยู่สูงจากผิวโลกประมาณ 35,786 กิโลเมตร ดาวเทียมค้างฟ้าส่วนใหญ่ใช้ในการสื่อสารระหว่างประเทศ และภายในประเทศ เช่น ดาวเทียม ปลาปา เอเชียแซต ไทยคม เป็นต้น

ดาวเทียมไทยคม 1 และ ไทยคม 2 เป็นดาวเทียมของประเทศไทย มีประโยชน์ต่อประเทศอย่างมหาศาล เช่น ประหยัดเงินจำนวนมากในการสร้างสถานีเครือข่ายต่างๆ เปิดโอกาสโทรทัศน์สาธารณะชน เพื่อการศึกษา การบันเทิง ข่าวสาร การเชื่อมโยงเครือข่ายสื่อสารข้อมูล การส่งสัญญาณภาพ และเสียงแก่ธุรกิจเอกชนที่มีเครือข่ายขนาดใหญ่ ฯลฯ แต่เนื่องจากโลกกับดาวเทียมอยู่ห่างกันมากทำให้สัญญาณที่ส่งผ่านดาวเทียมนั้นต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกหลายชั้น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ เราจึงจำเป็นต้องศึกษา และวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมระหว่างสถานีภาคพื้นดิน (โดยเฉพาะภายในประเทศไทย) กับดาวเทียมไทยคม เพื่อที่จะได้นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขระบบ และจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการรับสัญญาณแบบออกอากาศจากดาวเทียม เป็นสิ่งที่น่าสนใจกล่าวคือการใช้จานสายอากาศขนาดเล็ก[1] (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40-80 เซนติเมตร) สามารถรับชมรายการโทรทัศน์ได้ ซึ่งอาศัยความก้าวหน้าทางเทคนิคของการส่งในรูปแบบดิจิทัล แต่ก็มีหลายปัญหาของการแพร่กระจายคลื่นผ่านบรรยากาศโลก ซึ่งจะมีชั้นบรรยากาศที่ผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นอย่างรุนแรงอยู่ 2 ชั้น คือ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (amplitude scintillation) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของระดับสัญญาณ และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน (rain attenuation) ทั้งสองปรากฏการณ์นี้จะเป็นผลเสียต่อระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมมาก ดังนั้นถ้าเราสามารถเก็บข้อมูลของสัญญาณนี้ได้ จะสามารถทำเป็นสถิติเพื่อใช้ในการทำนายปรากฏการณ์ทั้งสองได้ในอนาคต นอกจากนี้ยังนำมากำหนดเป็นตัวแปรเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมดวงต่อไปของไทยได้

ที่มาของงานวิจัย

ดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 ใช้ความถี่ในการติดต่อสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดิน 2 ย่าน คือ ย่าน C (4-6 กิกะเฮิรตซ์) และ ย่าน Ku (11-14 กิกะเฮิรตซ์) ในย่าน C ได้มีการศึกษาและวิเคราะห์รายละเอียดเกี่ยวกับการสื่อสารที่ใช้ในย่านนี้มากพอสมควร มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย และไม่สามารถที่จะขยายขยายการสื่อสารได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการรบกวนซึ่งกันและกันของดาวเทียมที่อยู่ติดกัน ดังนั้นจึงได้มีการใช้งานแถบความถี่ในย่านที่สูงขึ้น คือ ย่าน Ku แต่การศึกษาและการวิเคราะห์รายละเอียดเกี่ยวกับการสื่อสารที่ใช้ในย่านนี้ยังมีน้อยมาก ซึ่งข้อมูลที่มีส่วนใหญ่จะเป็นผลการทดลองของต่างประเทศ ผลที่ได้อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจากแต่ละประเทศมีภูมิประเทศ และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ประเทศไทยซึ่งอยู่ในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรจะได้รับผลกระทบเนื่องจากมีปริมาณฝนค่อนข้างมาก) จึงมีผลกระทบต่อการใช้งานความถี่ต่างกัน ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน และการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ทางด้านขาลง

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม ได้มีการศึกษาและวิจัยอย่างกว้างขวางทั้งในประเทศ และต่างประเทศ ว่าปรากฏการณ์นี้จะเป็นผลเสียต่อระบบสื่อสารระหว่างอวกาศกับพื้นดิน จึงได้มีการกำหนดไว้เป็นตัวแปรตัวหนึ่งในการออกแบบระบบ โดยการเผื่อค่าไว้ชดเชยกับค่าระดับสัญญาณที่เพิ่มหรือลดลงเกินระดับปกติที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์นี้ ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับตัวแปรอื่นๆ และชั้นบรรยากาศที่มีการค้นพบว่าเป็นชั้นที่สำคัญต่อการแพร่กระจายคลื่นดาวเทียม เช่น ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ซึ่งจากที่สัญญาณเดินทางผ่านตัวกลางที่มีองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกัน และมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่สม่ำเสมอ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งเฟส และแอมพลิจูดของคลื่นสัญญาณนั้นได้

ส่วนการลดทอนสัญญาณอันเนื่องมาจากฝน[2] เกิดจาก 3 สาเหตุหลักๆ คือ เกิดจากการดูดกลืนสัญญาณ (absorption) การแตกกระจายของคลื่น (scattering) อันเนื่องมาจากอนุภาคของเม็ดฝน และการดีโพลาไรซ์ (depolarization) เป็นผลทำให้เกิดครอสโพลาไรซ์ (cross polarization) ทางด้านรับ

- การดูดกลืนพลังงานเนื่องจากฝน เกิดจากหยดน้ำฝนแต่ละหยดเสมือนกับตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านจะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิด กระแสเคลื่อนที่ (displacement current) ขึ้น กระแสเคลื่อนที่นี้เองที่มีผลต่อการดูดกลืนพลังงานทั้งนี้เพราะการเกิดกระแสเคลื่อนที่นี้ต้องใช้พลังงาน ซึ่งนำมาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านนั่นเอง ดังนั้นที่ความถี่ของสัญญาณดาวเทียมยิ่งสูงก็จะทำให้เกิดกระแสเคลื่อนที่มากขึ้น ทำให้สัญญาณถูกดูดกลืนพลังงานมากขึ้นตาม

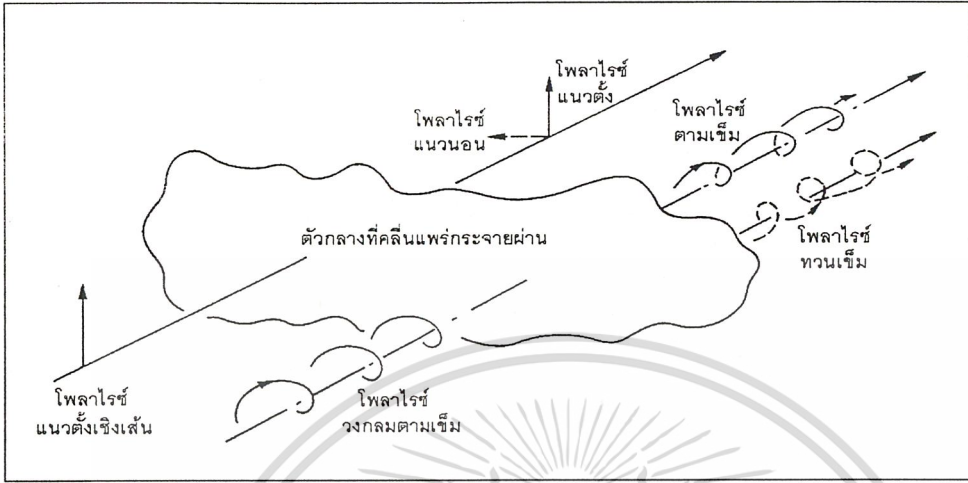
- การลดทอนกำลังเนื่องจากการแตกกระจายออกของคลื่น ฝนเป็นตัวการทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นซ็อน (secondary radiation) หรือการแตกกระจายออกของคลื่น ในทางปฏิบัติผลการแตกกระจายออกของคลื่นมีผลในการลดทอนกำลังอันเนื่องมาจากทิศทางของคลื่น กล่าวคือแทนที่คลื่นจะเดินทางไปในทิศทางเดียวกันหมด จะมีคลื่นบางส่วนที่แตกกระจายออกทุกทิศทาง

- การดีโพลาไรซ์ คือ การที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านตัวกลาง anisotropy (ตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหหลายค่า) แล้วทำให้แนวโพลาไรซ์ของสัญญาณที่รับได้ไม่ตรงกับแนวโพลาไรซ์ของสัญญาณส่ง ในภาพที่ 1 แสดงสัญญาณที่มีโพลาไรซ์แบบสมบรูณ์ 2 ชนิด คือ โพลาไรซ์เชิงเส้นแนวตั้ง และ โพลาไรซ์แนววงกลมตามเข็มนาฬิกา แพร่กระจายคลื่นผ่านตัวกลางแล้วออกอีกข้างหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการดีโพลาไรซ์ สัญญาณโพลาไรซ์เชิงเส้นขณะนั้นจะมีส่วนประกอบทั้งแนวเชิงเส้นตั้งฉากซึ่งกันและกัน และ สัญญาณโพลาไรซ์แนววงกลมมีส่วนประกอบทั้งแนวตามเข็มนาฬิกา

การดีโพลาไรซ์เกิดเนื่องจากคลื่นแพร่กระจายผ่านตัวกลาง anisotropy ถ้าตัวกลาง เช่น ฝน ประกอบไปด้วยเม็ดฝนที่สมมาตร (เม็ดฝนมีลักษณะเป็นทรงกลมสมบรูณ์) จะไม่มีการดีโพลาไรซ์เกิดขึ้นในกรณีนี้ฝนตกเบา ซึ่งสภาพเช่นนี้เป็นสภาพทั่วไป เพราะฉะนั้นสาเหตุการลดทอน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

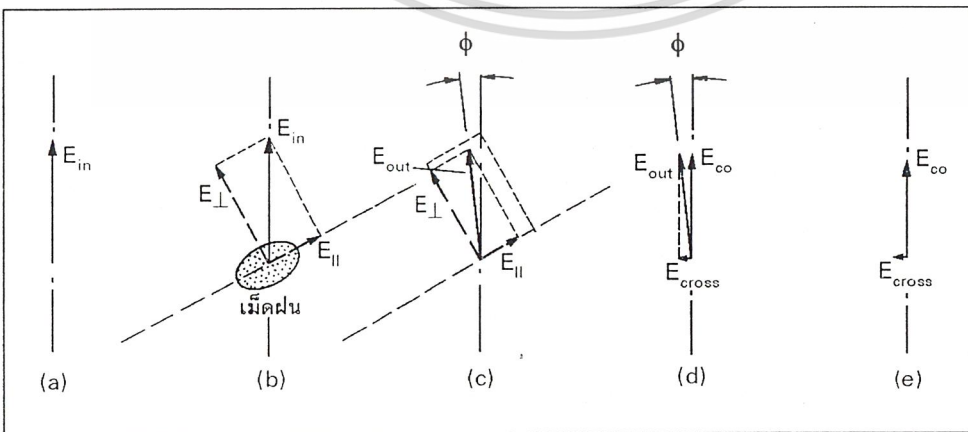
ภาพที่ 1



แสดงการตีโพลาไรซ์ของคลื่นวิทยุเมื่อแพร่กระจายผ่านตัวกลาง anisotropy

ก็จะเกิดจากการดูดกลืนและการแตกกระจายของคลื่นเท่านั้น แต่ในความเป็นจริงเม็ดฝนไม่เป็นทรงกลมอย่างสมมาตรเนื่องจากมีแรงจากลมมากระทำในขณะที่เกิดฝนตกหนัก ซึ่งจะทำให้สัญญาณโพลาไรซ์เชิงเส้นจากดาวเทียมไม่อยู่ในแนวแกนตั้งและแนวอนของแกนสมมาตรของเม็ดฝน มุมเอียงของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าตกกระทบที่เบี่ยงออกจากแกนสมมาตรของเม็ดฝนจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการตีโพลาไรซ์ของสัญญาณ ซึ่งในภาพที่ 2 จะแสดงตัวอย่างการตีโพลาไรซ์ของสัญญาณเชิงเส้นแนวตั้งที่เกิดจากการลดทอนไม่เท่ากันของแกนหลักและแกนรองของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลม

ภาพที่ 2



แสดงการตีโพลาไรซ์เนื่องจากการลดทอนที่ต่างกันระหว่างแกนหลักและ

แกนรองของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพ (a) แสดงเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่ตกกระทบ \vec{E}_i เป็นโพลาไรซ์แนวตั้งไม่มีส่วนประกอบในแนวนอน \vec{E}_i สามารถแตกออกเป็นสนามไฟฟ้าในแนวขนาน \vec{E}_\parallel กับแนวตั้งฉาก \vec{E}_\perp กับแกนหลักของเม็ดฝนตามลำดับดังในภาพ (b) \vec{E}_\parallel จะถูกลดทอนมากกว่า \vec{E}_\perp เนื่องจากเม็ดฝนในแนวแกนหลักมีขนาดยาวกว่าในแนวแกนรองจึงทำให้เกิดการลดทอนมากกว่า และเป็นผลให้เกิด \vec{E}_{out} ซึ่งเกิดจากการรวมกันของ \vec{E}_\parallel และ \vec{E}_\perp หลังจากถูกลดทอนมาแล้วแสดงในภาพ (c) มุมเอียง ϕ เป็นมุมที่เบี่ยงออกจากแนวแกนตั้ง ส่วน \vec{E}_{out} เมื่อถูกแตกแกนไปในแกนโพลาไรซ์เริ่มต้น ซึ่งจะได้เวกเตอร์โพลาไรซ์ในแนวเริ่มต้นคือ \vec{E}_{co} และเวกเตอร์โพลาไรซ์ในแนวตรงกันข้ามคือ \vec{E}_{cross} แสดงดังในภาพ (d) \vec{E}_{co} และ \vec{E}_{cross} เป็นเวกเตอร์เอาที่พุดที่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน แสดงในภาพ (e) จะสังเกตเห็นว่าการตีโพลาไรซ์เนื่องจากการลดทอนที่แตกต่างกันของ \vec{E}_\parallel และ \vec{E}_\perp จะทำให้เกิดส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าในแนวนอนด้วย ส่วนค่าที่จะแสดงการตีโพลาไรซ์มากน้อยเพียงใด จะหาได้จากค่าคลอสโพลาไรซ์เซชัน (cross polarization) ของสัญญาณ ซึ่งก็คือ ค่าที่แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนของขนาดสนามไฟฟ้าในทิศทางส่งต่อขนาดสนามไฟฟ้าในทิศทางอื่นที่ต้องฉากกับทิศทางส่งแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$XPD = 20 \log \left| \frac{E_{co}}{E_{cross}} \right| \quad \text{เดซิเบล} \quad (1.1)$$

เมื่อ XPD คือ cross polarization discrimination

จากสมการที่ 1.1 จะเห็นว่า ถ้าค่า XPD มีค่าสูงจะทำให้เกิดการลดทอนเนื่องจากการตีโพลาไรซ์ต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าค่า XPD มีค่าต่ำก็จะทำให้การลดทอนเนื่องจากการตีโพลาไรซ์สูงด้วย

วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

เพื่อรายงานผลการวิจัยโดยการทำการทดลอง รับสัญญาณดาวเทียมทางด้านขาลงย่านความถี่ Ku ของดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 ซึ่งดาวเทียมไทยคม 1 ใช้การส่งสัญญาณโพลาไรซ์ในแนวนอน (horizontal polarization) ในขณะที่ไทยคม 2 ใช้การส่งสัญญาณโพลาไรซ์แนวตั้ง (vertical polarization) โดยการรับสัญญาณทั้งสองโพลาไรซ์ของสัญญาณ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของสัญญาณในย่านนี้ ซึ่งจะทำกรวิเคราะห์เป็น 2 กรณี กรณีแรก เป็นการวิเคราะห์ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหันในลักษณะ จำนวนครั้ง และ ปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน แต่ละเดือน และแต่ละฤดูกาล เพื่อค้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลาใด และมีลักษณะอย่างไร เกิดรุนแรงมากน้อยเพียงใด ขึ้นกับโพลาริซ์ของสัญญาณหรือไม่ นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น ฯลฯ ว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรตัวใดทางอุตุนิยมวิทยา ส่วนกรณีที่สอง เป็นการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากน้ำฝนที่วัดได้จริงกับอัตราการตกของฝนว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไรเนื่องจากการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ Ku นี้ได้รับผลกระทบจากฝนค่อนข้างรุนแรงมาก และขึ้นอยู่กับโพลาริซ์หรือไม่ นอกจากนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองตลอดทั้งปี นำมาทำเป็นสถิติไว้เพื่อทำนายการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในอนาคต ซึ่งอาจนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้เพื่อกำหนดเป็นตัวแปรในการออกแบบกำลังงานบนดาวเทียมให้เหมาะสมกับการใช้งานภายในประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด หลังจากนั้นนำข้อมูลมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการพยากรณ์ของแบบจำลอง CCIR และ CETUC ว่ามีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองใด ถ้าใกล้เคียงกับแบบจำลองไหนก็สามารถใช้วิธีการพยากรณ์ของแบบจำลองนั้นใช้ในการทำนาย แต่ไม่ใกล้เคียงกับทั้งสองแบบจำลองก็ควรใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพราะข้อมูลที่ได้จากการทดลองภายในประเทศน่าจะใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าค่าที่ได้จากการพยากรณ์ทั้งสองวิธี

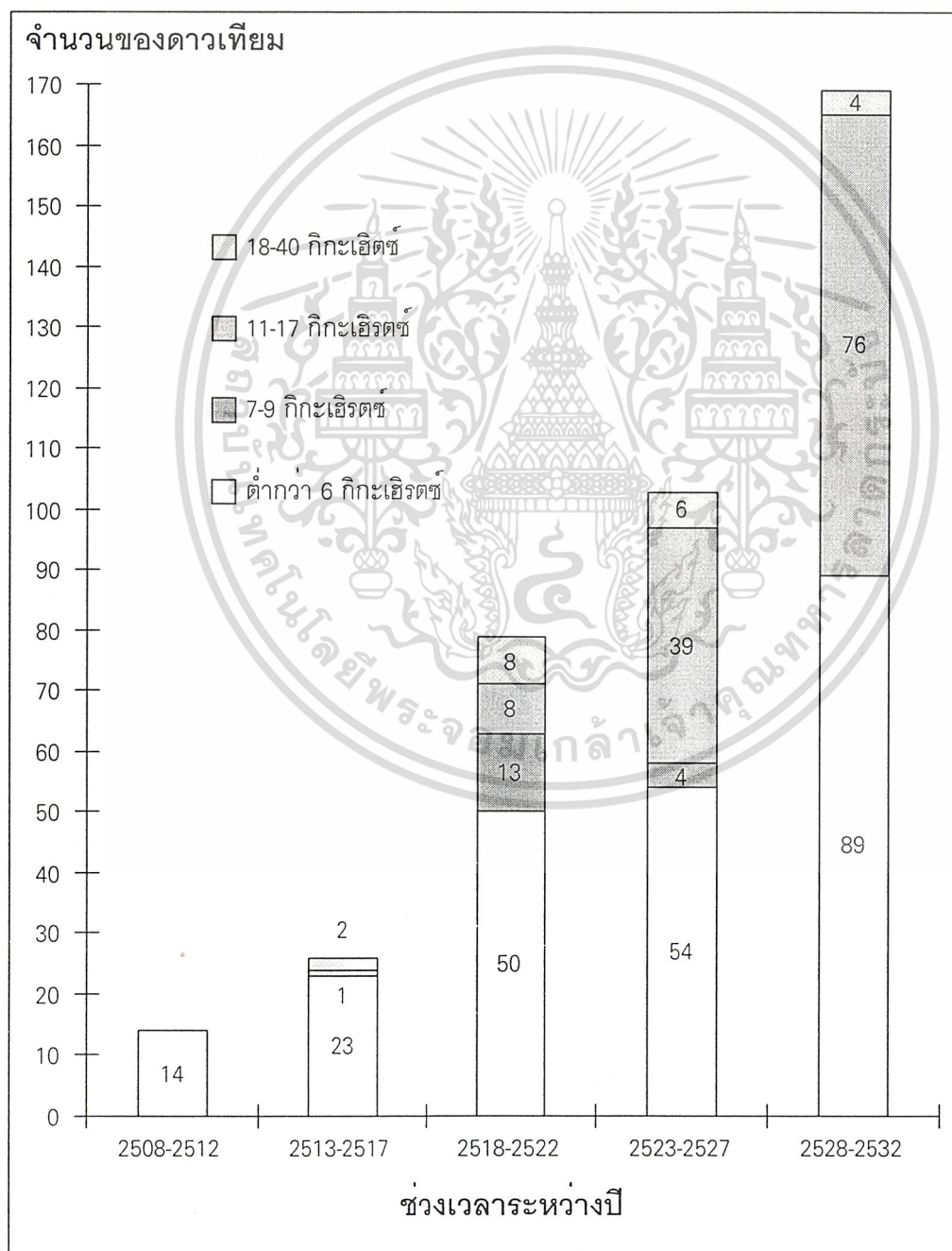
การกำหนดความถี่ สำหรับการติดต่อสื่อสารดาวเทียม

ความเจริญเติบโตของการสื่อสารผ่านดาวเทียมมีการใช้ประโยชน์กว่าเกือบ 40 ปีแล้ว การแบ่งแถบความถี่จึงเป็นเรื่องสำคัญเพื่อให้ใช้แถบความถี่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การพัฒนาการติดต่อสื่อสารดาวเทียมจำเป็นต้องทราบ และเข้าใจเกี่ยวกับปัจจัยการแพร่กระจายคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งมีอยู่ 3 แนวทางหลักในการพัฒนา[3] แนวทางแรก คือ การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการใช้ประโยชน์ของสเปกตรัมความถี่ในแถบความถี่ต่ำกว่า 6 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งถูกจำกัดโดยสภาพของความแออัด และการแบ่งความถี่ของสเปกตรัม ปัญหาเหล่านี้ต้องใช้การออกแบบระบบเพื่อบรรเทาความแออัด จึงต้องมองแถบความถี่ที่สูงขึ้น โดยการกำหนดความถี่สำหรับการบริการดาวเทียมแบบคงที่ (Fixed Satellite Service) ที่ความถี่ 14/12 กิกะเฮิร์ตซ์ และสำหรับการบริการดาวเทียมแบบออกอากาศ (Broadcasting Satellite Service) ที่ความถี่ 17/12 กิกะเฮิร์ตซ์ นอกจากนี้ในต่างประเทศมีการใช้ดาวเทียมแบบหลายๆ ปี้มที่ใช้แถบความถี่ 30/20 กิกะเฮิร์ตซ์ สำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลความเร็วสูง การกำหนดการบริการอื่นๆ อีกมาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาย เช่น การสำรวจโลก อุตุนิยมวิทยา และนาร่อง สามารถใช้ประโยชน์จากแถบความถี่ 10-100 กิกะเฮิรตซ์ ได้ แนวโน้มความถี่ที่ใช้งานที่สูงขึ้น แสดงในภาพที่ 3 ซึ่งแสดงจำนวนดาวเทียมและแถบความถี่ที่ใช้ในแต่ละช่วงเวลา[4] จากรูปจะเห็นว่าแถบความถี่ช่วง 11-17 กิกะเฮิรตซ์ มีการขยายตัวสูงสุด

ภาพที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงดาวเทียมดวงฟ้า และแถบความถี่ของการทำงาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางที่สอง คือ การติดต่อสื่อสารดาวเทียมมีแนวโน้มพัฒนาระบบดาวเทียมให้ใช้งานความถี่สูง เพื่อขยายความต้องการแบนด์วิดท์มากขึ้นให้เหมาะสมกับธุรกิจการกระจายข้อมูลข่าวสารไปสู่ชุมชน ในปัจจุบันการบริการดาวเทียมแบบคงที่ ใช้ความถี่แถบ 6/4 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งเหมาะสมกับการสื่อสารภายในประเทศ ระหว่างประเทศ ทั้งหมด 500 เมกะเฮิร์ตซ์ สำหรับแถบความถี่สูงกว่า 10 กิกะเฮิร์ตซ์ จะทำให้แบนด์วิดท์เพิ่มขึ้น การกำหนดความถี่ของ World Administrative Radio Conference (WARC) ได้กำหนดแบนด์วิดท์ 1,000 เมกะเฮิร์ตซ์ ในแถบ 14/12 กิกะเฮิร์ตซ์ 3.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ในแถบ 30/20 กิกะเฮิร์ตซ์ และ 3 กิกะเฮิร์ตซ์ ในแถบ 43/40 กิกะเฮิร์ตซ์ แบนด์วิดท์ทั้งหมดกำหนดเพื่อการบริการดาวเทียมแบบคงที่ ซึ่งกำหนดแถบความถี่ไว้เหนือกว่า 10 กิกะเฮิร์ตซ์

ส่วนแนวทางที่สาม คือ ในการเคลื่อนย้ายความถี่ใช้งานสูงขึ้น เกี่ยวกับการจำกัดตำแหน่งวงโคจร หรือ สล็อต ที่นำมาใช้ประโยชน์ในวงโคจรค้างฟ้า ดาวเทียมที่ใช้ความถี่เดียวกันจำเป็นต้องถูกแยกวงโคจรเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนซึ่งกันและกัน (interference) ของดาวเทียมที่ติดกันได้ มีการคิดเทคนิคต่างๆ เพื่อมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพของตำแหน่งดาวเทียมที่มีอยู่อย่างจำกัด เทคนิคเหล่านี้ได้แก่ การนำความถี่กลับมาใช้อีกครั้ง (frequency reuse) ไซต์ไดเวอร์ซิตี (site diversity) และ สปอตบีม (spot beam) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบในระหว่างสภาพอากาศที่เลวร้าย

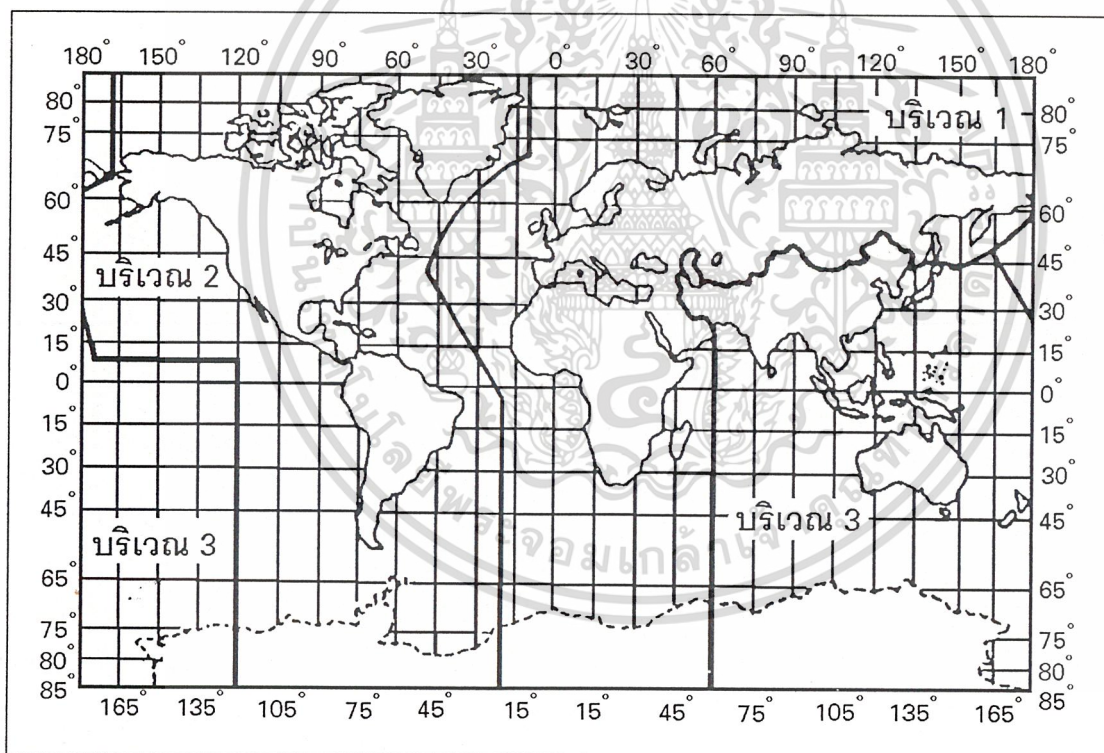
การออกแบบระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม จำเป็นต้องทราบการกำหนดความถี่ ผู้ออกแบบระบบจำเป็นต้องออกแบบภายใต้ข้อบังคับของนานาชาติ ความสัมพันธ์ และกฎเกณฑ์ภายในประเทศในการเลือกความถี่ การแพร่กระจายคลื่นที่กำลังงานที่ได้รับอนุญาต ตำแหน่งวงโคจร และปัจจัยอื่นซึ่งมักจะถูกกำหนดมาก่อน หรือจำกัดด้วยบริเวณที่ตั้ง ตามข้อตกลงระหว่างประเทศ ITU (International Telecommunications Union) ได้แบ่งส่วนของโลกออกเป็น 3 ส่วน หรือ 3 บริเวณ ดังภาพที่ 4 โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะให้เกิดมีการประสานการสื่อสารวิทยุระหว่างนานาชาติ โดยได้ทำการประชุมตกลงกันเพื่อร่างข้อกำหนดในการใช้ย่านความถี่ต่างๆ สำหรับในแต่ละงานไว้ โดยเฉพาะของแต่ละบริเวณ ทั้งนี้เพื่อที่จะให้เครื่องมือการสื่อสารแต่ละประเทศสร้างขึ้นใช้นั้นสามารถใช้ร่วมกันระหว่างประเทศในบริเวณนั้นได้ และทำให้ประเทศต่างๆ สามารถทำการสื่อสารซึ่งกันและกันได้โดยสะดวก สำหรับประเทศไทยอยู่บริเวณที่ 3

อนึ่งข้อตกลงการใช้สเปกตรัมการสื่อสารของ ITU นี้มีไว้สำหรับการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในบรรยากาศ หรือการสื่อสารวิทยุเท่านั้น ไม่รวมครอบคลุมไปถึงการสื่อสารตามสาย ที่ไม่มีการกระจายคลื่นไปในอากาศ ITU ได้แบ่งจำพวกของงานที่จะต้องมีการกำหนดย่านความถี่ของคลื่นไว้ 4 จำพวกใหญ่ๆ ด้วยกันคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. งานส่งกระจายเสียงทั่วไป (general broadcasting) ได้แก่ การส่งวิทยุสถานี AM, FM และ TV เป็นต้น
2. งานบอกทางหาฝั่ง (navigation beacons) ได้แก่ การกำหนดใช้ความถี่ที่ใช้สำหรับการกำหนดตำแหน่งและการหาฝั่งของเรือ
3. งานวิทยุสมัครเล่น (amateur radio) งานจำพวกนี้นอกจากวิทยุสมัครเล่นแล้ว ยังมีขอบเขตครอบคลุมไปถึงพวก CB (citizen communication band) ด้วย
4. งานการติดต่อขนส่ง (commercial transportation communication) ได้แก่ การใช้วิทยุติดต่อระหว่างรถยนต์ ระหว่างเรือ หรือวิทยุการบิน รวมทั้งวิทยุโทรทัศน์ด้วย

ภาพที่ 4



แสดงเขตบริเวณการใช้สเปกตรัมการสื่อสารระหว่างประเทศ

นอกจากนี้ตารางที่ 1 แสดงการให้บริการทางดาวเทียมกำหนดโดย ITU เพื่อใช้ประโยชน์ในการกำหนดความถี่ การระบุชื่อมีอยู่หลายชนิด และมีหลายส่วนที่ให้บริการเสริม สำหรับการบริการดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ก็เป็นการระบุชื่อของการบริการอื่นหนึ่ง เช่น การเคลื่อนที่ของการบินทางอวกาศ การเคลื่อนที่ภาคพื้นดิน และการเคลื่อนที่ในทะเล การให้บริการดาวเทียม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบค้างฟ้าที่จะเป็นการเชื่อมโยงการสื่อสารแบบจุดถึงจุด โดยสถานีภาคพื้นดินยังคงอยู่กับที่ในสถานที่นั้นๆ การใช้บริการของดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ จะครอบคลุมการเชื่อมโยงติดต่อสื่อสารแบบจุดถึงจุด โดยปลายทางด้านใดด้านหนึ่ง หรือ ทั้งสองที่ติดต่อกันอยู่มีการเคลื่อนที่ระหว่างการรับส่ง การให้บริการดาวเทียมแบบออกอากาศนั้น จะเป็นการเชื่อมโยงแบบจุดเดียวหรือหลายจุดโดยจะกำหนดให้มีการแพร่ไปทั่วพื้นที่ให้บริการมากมายหรือเฉพาะภูมิภาค

ในตารางที่ 2 แสดงการกำหนดความถี่นานาชาติของการให้บริการดาวเทียมแบบค้างฟ้า ในพื้นที่บริเวณที่ 3 ส่วนตารางที่ 3 แสดงการแบ่งแถบความถี่การสื่อสารดาวเทียม[5]

ตารางที่ 1

Aeronautical Mobile Satellite Service
 Aeronautical Radionavigation Satellite Service
 Amateur Satellite Service
 Broadcasting Satellite Service
 Earth Exploration Satellite Service
 Fixed Satellite Service
 Inter-Satellite Service
 Land Mobile Satellite Service
 Maritime Mobile Satellite
 Maritime Radionavigation Satellite
 Meteorological Satellite Service
 Mobile Satellite Service
 Radiodetermination Satellite Service
 Radionavigation Satellite Service
 Space Operations Service
 Space Research Service
 Standard Frequency Satellite Service

แสดงข้อกำหนดการบริการด้านดาวเทียมโดย ITU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2

Orbit	Inc.	Satellite Name	Operator/Country	Start	Bands	Pol.	TV	Standard
155 W	—	Statsionar 26	C.I.S.	Unknown	C3 or C4	RH	—	—
170 W	*	Stat. 10/Raduga 18	C.I.S.	1986	C3	RH	0	—
170.7 W	*	TDRS-F1	NASA [U.S.]	1983	C1/K	HP	0	—
174.5 W	—	TDRS-C	Columbia [U.S.]	1988	C1/K	HP	0	—
175 W	—	Pacstar 2	Taiwan/PNG	1994	C1/K2	—	—	—
177 W	*	INTELSAT V F1	INTELSAT	1981	C1/K3	CP/LP	0	—
180 E	*	INTELSAT V F8	INTELSAT	1984	C1/K3	CP/LP	9	PAL/NTS/CB-MAC
177 E	*	INTELSAT V F3	INTELSAT	1981	C1/K3	CP/LP	1	PAL/NTSC
174 E	±0.7°	INTELSAT V F10	INTELSAT	1985	C1/K3	CP/LP	2	PAL/NTSC
172 E	—	PacifiCom-1	TRW [U.S.]	1994	C1/K	LP	—	—
170 E	—	Unicom-1	Unicom Corp. [U.S.]	1995	C1/K	LP	—	—
168 E	—	PAS-5	PanAmsat [U.S.]	1994	C1/K	LP	—	—
167.5 E	—	Pacstar 1	Taiwan/PNG	1994	C1/K2	—	—	—
166 E	—	PAS-4	PanAmSat [U.S.]	1994	C1/K	LP	—	—
164 E	±0.1°	Aussat A3	Aussat [Australia]	1987	K2	LP	7	PAL/B-MAC
162 E	—	Superbird B-R	SCC [Japan]	1992	K2/Ka	LP	—	—
160 E	±0.1°	Aussat A1	Aussat [Australia]	1985	K2	LP	12	PAL/B-MAC
156 E	±0.1°	Aussat A2	Aussat [Australia]	1985	K2	LP	9	PAL/B-MAC
154 E	±0.1°	JCSat 2	Japan Sat Com	1990	K2	LP	12	NTSC/B-MAC
150 E	±0.1°	JCSat 1	Japan Sat Com	1989	K2	LP	19	NTSC/B-MAC
145 E	—	Statisonar 16	C.I.S.	Unknown	C3 or C4	RH	—	—
140 E	±1.1°	Stat. 7/Gorizont 18	C.I.S.	1989	C3/K5	RH	2	SECAM
138 E	—	Unicom-2	Unicom Corp. [U.S.]	1995	C1/K5	LP	—	—
136 E	±0.4°	CS-3B	Japan	1988	C1/Ka	CP	0	—
131.5 E	±0.1°	CS-3A	Japan	1988	C1/Ka	CP	0	—
128 E	*	Stat. 15/Raduga 21	C.I.S.	1987	C4	RK	0	—
118 E	±0.1°	Palapa B4	Perumtel [Indonesia]	1992	C1	LP	0	—
116 E	—	Koreasat 1&2	South Korea	1995	K	—	—	—
113 E	±0.1°	Palapa B2P	Perumtel [Indonesia]	1987	C1	LP	11	PAL/NTSC
110 E	—	BS-2H & BS-3B	Japan	1992	K1	RH	—	—
110 E	±0.1°	BS-2H & BS-3A	Japan	1986/91	K1	RH	3	NTSC
108 E	±0.1°	Palapa B2R	Perumtel [Indonesia]	1990	C1	LP	5	PAL
105.5 E	±0.1°	Asiasat 1	Hong Kong	1989	C1	LP	16	PAL
103 E	*	Statisonar 12	C.I.S.	1992	C3/K5	RH	1	SECAM
101.1 E	—	Thaicom A1	Thailand	1994	C1/K	LP	—	—
096.5 E	*	Stat. 14/Gorizont 19	C.I.S.	1989	C3/K5	RH	1	SECAM
093.5 E	—	Insat II-B	ISRO [India]	1992	C1/S	LP	—	—
090 E	*	Stat. 14/Gorizont 20	C.I.S.	1990	C3/K5	RH	2	SECAM
087.5 E	±0.1°	Chinasat 1	China	1988	C1	LP	4	PAL
085 E	*	Stat. 3/Raduga 20	C.I.S.	1987	C4	RH	2	SECAM
083 E	—	Insat II-A	ISRO [India]	1992	C1/S	LP	—	—
083 E	±0.1°	Insat 1-D	ISRO [India]	1990	C1/S	LP	2	PAL
080 E	*	Stat. 13/Gorizont 16	C.I.S./Intersputnik	1988	C3/K5	RH	2	SECAM
078.5 E	—	Thaicom A2	Thailand	1994	C1/K	LP	—	—
077.5 E	—	Asiasat 2	Hong Kong	1994	C1/K	LP	—	—
074 E	—	Insat II-C	ISRO [India]	1994	C1/S	LP	—	—
072 E	—	PAS-7	PanAmSat [U.S.]	1995	C1/K	LP	—	—
070 E	*	Stat. 20/Raduga 25	C.I.S.	1990	C4	RH	0	—
068 E	—	PAS-6	PanAmSat [U.S.]	1995	C1/K	LP	—	—

แสดงรายการดาวเทียมที่ใช้ในการให้บริการด้านโทรคมนาคมในบริเวณที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

ชื่อย่านความถี่	ช่วงความถี่	การใช้บริการดาวเทียม
VHF	30-300 MHz	Messaging
UHF	300-1000 MHz	Military, navigation mobile
L	1-2 GHz	Mobile, audio broadcast radiolocation
S	2-4 GHz	Mobile, navigation
C	4-8 GHz	Fixed
X	8-12 GHz	Military
Ku	12-18 GHz	Fixed, video broadcast
K	18-22 GHz	Fixed
Ka	27-40 GHz	Fixed, video broadcast intersatellite
m/m wave	> 40 GHz	Intersatellite

แสดงการแบ่งช่วงความถี่การสื่อสารดาวเทียม

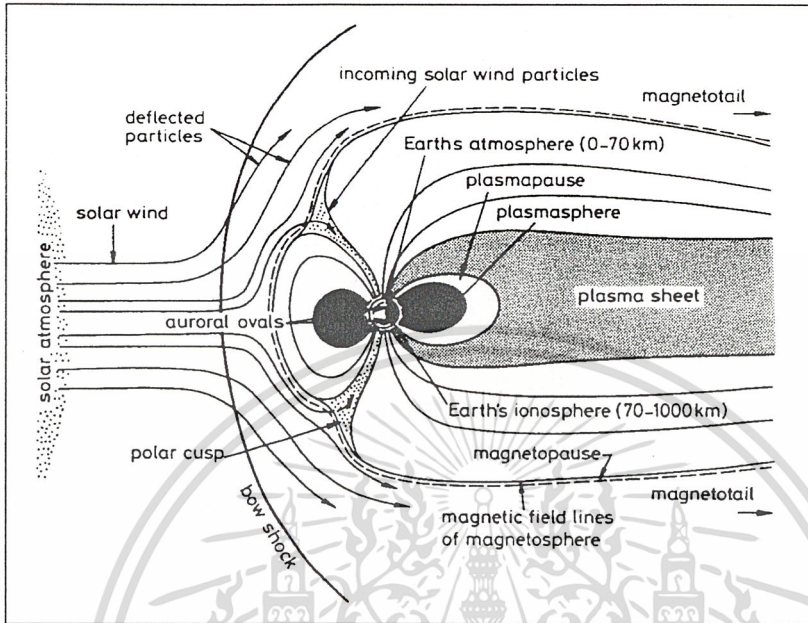
การแบ่งชั้นบรรยากาศ[6]

การที่โลกเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ และระดับพลังงานที่เปลี่ยนแปลงจากดวงอาทิตย์ จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบต่อบางส่วนของชั้นบรรยากาศของโลก อนุภาคจะพุ่งออกจากดวงอาทิตย์ด้วยแรงกระทำของดวงอาทิตย์กับสนามแม่เหล็กโลก กล่าวคือ แรงที่พุ่งออกด้วยอนุภาคเหล่านี้จะบีบสนามแม่เหล็กโลกบนด้านข้างไปทางดวงอาทิตย์และจะเกิดปรากฏการณ์ Bow shock (ดูภาพที่ 5) อนุภาคมักเกิดการไอออไนส์เป็นส่วนประกอบในชั้นบรรยากาศที่สูงกว่าของโลก จึงทำให้เกิดชั้นไอออไนส์ขึ้น

ชั้นบรรยากาศโลกถูกแบ่งออกเป็นจำนวนทรงกลม ซึ่งแบ่งออกเป็นเซลล์ของชั้นบรรยากาศรอบๆ โลกซึ่งมีความหนาแน่นแต่ละชั้น แต่ละเขต แบ่งออกเป็น 2 ประเภทเบื้องต้น คือ ชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง (neutral atmosphere) และ ชั้นบรรยากาศไอออไนส์ (ionized atmosphere) แสดงดังในภาพที่ 6

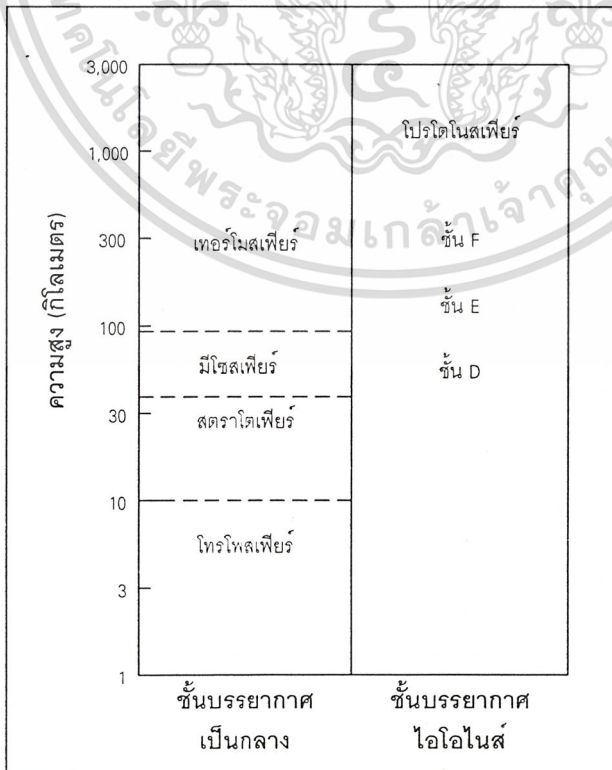
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5



แสดงแรงกระทำระหว่างดวงอาทิตย์กับสนามแม่เหล็กโลก

ภาพที่ 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงการแบ่งเบื้องต้นของชั้นบรรยากาศโลก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์และเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูงที่ต่ำกว่า 80 กิโลเมตร ก๊าซยังคงผสมกันดีและยังอยู่ในสัดส่วนเดียวกันโดยประมาณ ที่รู้จักกันดีคือ ไฮโมสเฟียร์ (ชั้นที่ยังเป็นเนื้อเดียว) ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นส่วนผสมหลักของชั้นบรรยากาศหลักในไฮโมสเฟียร์

ตารางที่ 4

Constituent gas	Gas symbol	Content (% by volume)	Molecular weight*
Nitrogen	N ₂	78.084	28.0134
Oxygen	O ₂	20.9476	31.9988
Argon	AR	0.934	39.948
!Carbon dioxide	CO ₂	0.0314	44.00995
Neon	NE	0.001818	20.183
Helium	He	0.000524	4.0026
Krypton	Kr	0.000114	83.80
Xenon	Xe	0.0000087	131.30
Hydrogen	H ₂	0.00005	2.01594
!Methane	CH ₄	0.0002	16.04303
Nitrous oxide	N ₂ O	0.00005	44.0128
!Ozone	O ₃	Summer : 0 to 0.0001 Winter : 0 to 0.000002	47.9982 47.9982
!Sulfur dioxide	SO ₂	0 to 0.0001	64.0628
!Nitrogen dioxide	NO ₂	0 to 0.000002	46.0055
!Ammonia	NH ₃	0 to trace	17.03061
!Carbon monoxide	CO	0 to trace	28.01055
!Iodine	I ₂	0 to 0.000001	253.8088

* On basis of C¹² isotope scale for which C¹² equals 12.0000

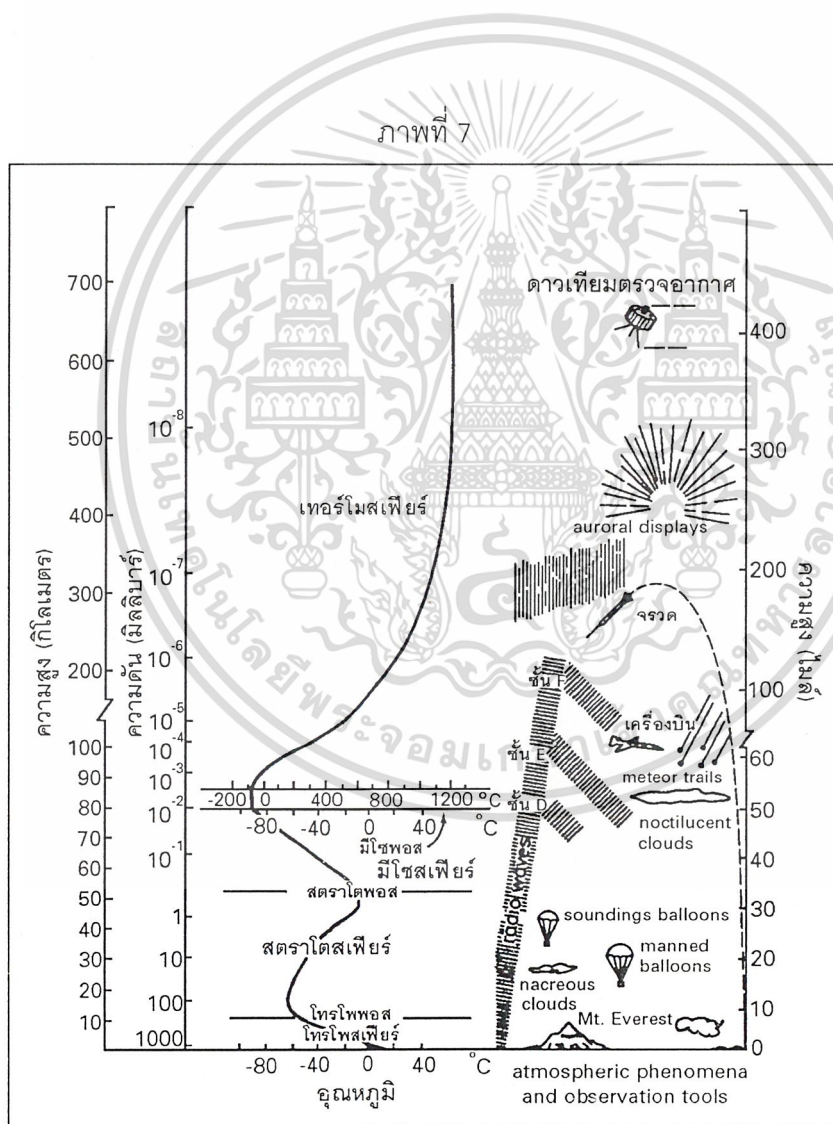
! The content of these gases may undergo significant variations from time to time or from place to place relative to the normal.

แสดงส่วนประกอบปกติของอากาศบริสุทธิ์ ไกลระดับน้ำทะเล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความสูงสูงกว่า 80 กิโลเมตร ก๊าซจะแบ่งเป็นชั้นๆ ด้วยน้ำหนักของตัวมันเองและที่รู้จักกันดีคือ เฮตเทอร์โรสเฟียร์ ซึ่งไม่เป็นเนื้อเดียวกันที่ความสูงประมาณ 80 กิโลเมตร มีเพียง 0.0002% ของชั้นบรรยากาศทั้งหมด ที่ยังคงเป็นเนื้อเดียวกันอยู่เหนือความสูงนี้

พลังงานความร้อนมาถึงโลกจากดวงอาทิตย์ประมาณ 1.4 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร[7] มันเป็นพลังงานที่ใช้เป็นแรงขับเคลื่อนชั้นบรรยากาศที่เป็นกลาง อุณหภูมิโดยเฉลี่ยที่ผ่านชั้นบรรยากาศที่เป็นกลางจะไม่คงที่และไม่เป็นเนื้อเดียวกันขึ้นอยู่กับความสูง การกระจายทั่วไปขึ้นกับความสูงแสดงในภาพที่ 7



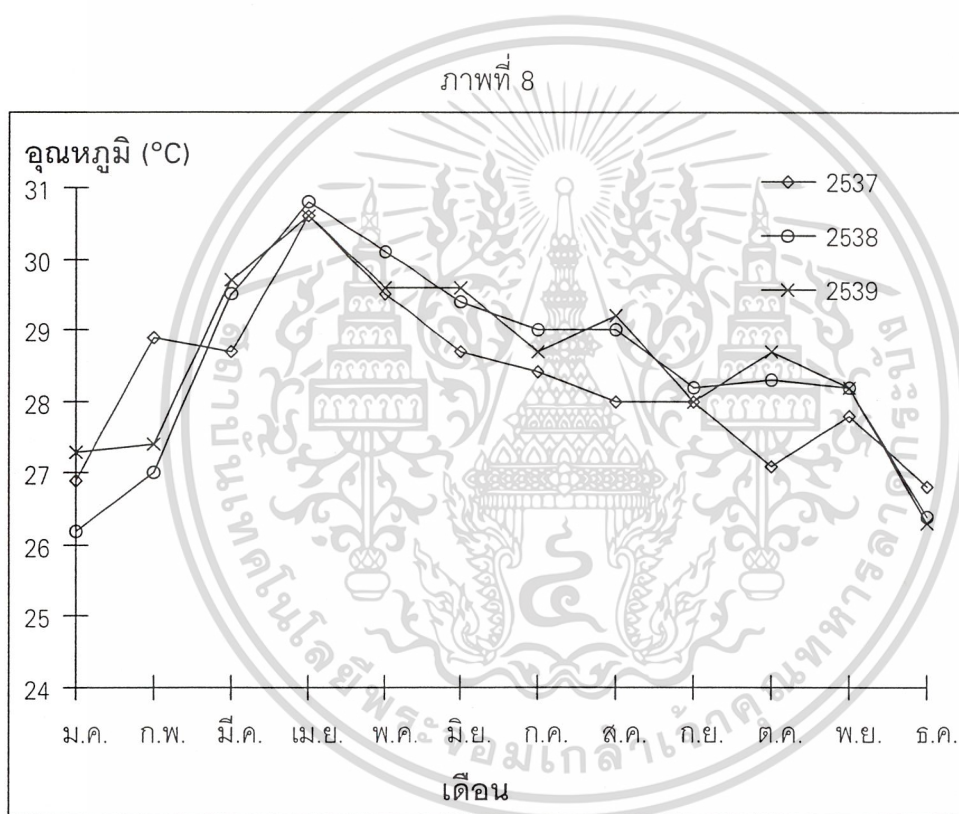
แสดงการกระจายของอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลก

ความร้อนของชั้นบรรยากาศที่ สตราโตพอส มีผลโดยตรงต่อการดูดกลืนรังสีอุตราไวโอเลตของดวงอาทิตย์ด้วยโอโซน[8] ชั้นนี้จึงมีความสำคัญมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หรือมีการสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใด
 วัตถุประสงค์ของเอกสารนี้ เพื่อเผยแพร่ความรู้แก่ผู้สนใจ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะภูมิอากาศ และผลกระทบต่อการสื่อสารดาวเทียมในไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศสูงตลอดปี แสดงดังภาพที่ 8 การที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงตลอดปีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งชั้นบรรยากาศที่สำคัญและมีผลกระทบต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียม แบ่งเป็น 2 ชั้นหลักๆ ดังนี้ คือ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์



แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือน

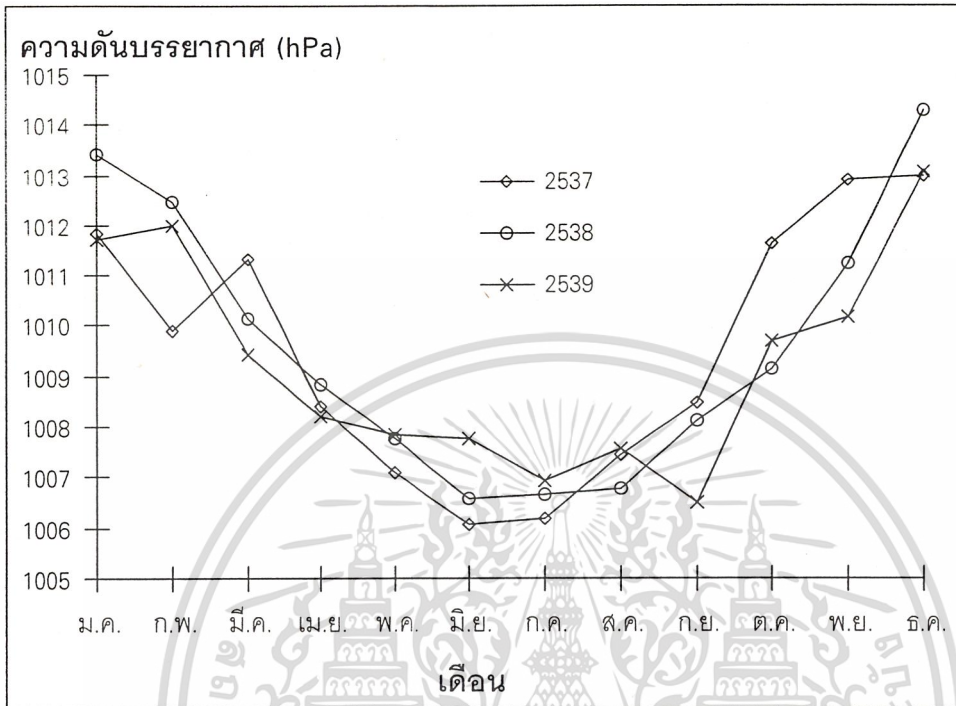
การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะมีค่ารุนแรง[9] และทำให้เกิดการจางหายอย่างหมดจน โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ลาดชันและเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเป็นส่วนมาก การเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน สามารถสังเกตได้ว่าจะเกิดขึ้นภายใน 2-3 วินาที หลังจากที่มีการจางหายของสัญญาณหนึ่ง เกิดขึ้นลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่มีการค้นพบจะมีการขึ้นๆ ลงๆ อย่างต่อเนื่องที่ค่าค่อนข้างสูงและเกิดซ้ำๆ ทำให้เกิดการจางหายเป็นระยะๆ พบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ลักษณะของการเกิดการจางหายทั้งหมดจุดอย่างซ้ำๆ เป็นการเริ่มต้นการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดไม่ว้ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างกะทันหัน และยังพบว่าในช่วงเวลากลางคืนความถี่ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะมีลักษณะเกิดเป็นระยะๆ นานๆ ครั้งมากกว่าในช่วงกลางวัน และทำให้การจางหายระดับต่ำเกิดขึ้นสลับกันไป รูปแบบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีหลายลักษณะ รูปแบบอันหนึ่งที่มีการค้นพบบ่อยๆ ระหว่างช่วงเวลาที่ค่าพลาสมาจากดวงอาทิตย์ต่ำคือ patchy nature การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันบนเส้นทางดาวเทียมอันหนึ่งจะเริ่มต้น และสิ้นสุดหลายๆ ครั้งในช่วงกลางคืน ตัวแปรที่สำคัญอันหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของความไม่สม่ำเสมอของชั้น F ที่ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันคือ แสงอาทิตย์ที่ซึ่งเป็นตัวกำหนดการปรากฏของชั้น F ที่เป็นชั้นบรรยากาศเทอร์ริวเลนท์ทางแนวตั้งนั่นเองทำให้ patchy nature จากชั้นนี้ มีการเริ่มต้นและหยุดลงอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลากลางคืนและก่อนเช้า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในบริเวณเส้นศูนย์สูตร พบว่าจะเกิดสูงสุดในช่วงอากาศที่ปลอดโปร่ง และพบว่าจะขึ้นอยู่กับค่าเส้นแวงและพลาสมาจากดวงอาทิตย์[9]

ส่วนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นโทรโพสเฟียร์ เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเห ก็เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในค่าอุณหภูมิ , ความดัน , ความชื้น และการกระจายออกไปในทางแนวตั้งของชั้นบรรยากาศนั่นเอง ซึ่งตัวแปรทั้งหมดนี้จะมีผลมากต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุ โดยสิ่งที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแบบตรงข้ามของอุณหภูมิ คือ ปกติอุณหภูมิจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้นแต่บางครั้งเกิดปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้น อันเกิดจากการกระจายความร้อนของโลก การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เวลา และสถานที่ตั้งที่ทำกรรับสัญญาณ[3] โดยพบว่าในช่วงฤดูฝนจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงสุดเมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่นๆ และในภาพที่ 9 ถึง 13 แสดงตัวแปรต่างๆ ทางอุตุนิยมวิทยาที่มีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละเดือนของแต่ละปี ซึ่งได้แก่ ความดันบรรยากาศ จำนวนเมฆ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันไอน้ำ และทัศนวิสัย ตามลำดับ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับจำนวนครั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรใด จะพิจารณาในหัวข้อถัดไป มีผู้ทำวิจัยและสรุปว่า สัญญาณย่าน Ku จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มีสาเหตุสำคัญ[10] อยู่ 2 ประการ คือ ค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ และ มีเมฆตัดผ่านเส้นทางที่คลื่นเดินทางผ่าน

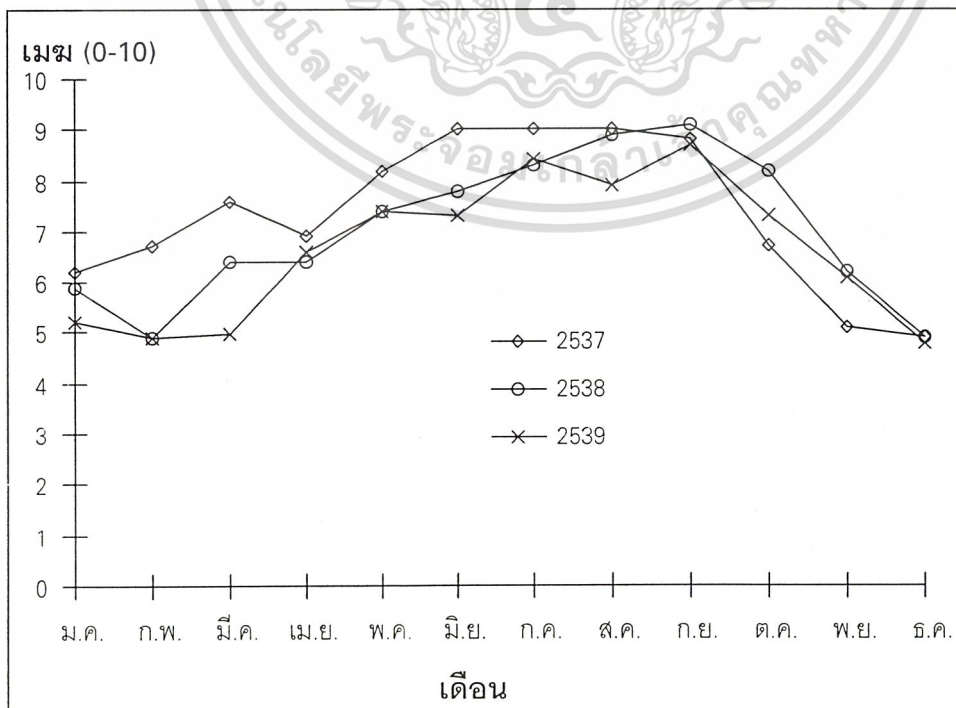
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 9



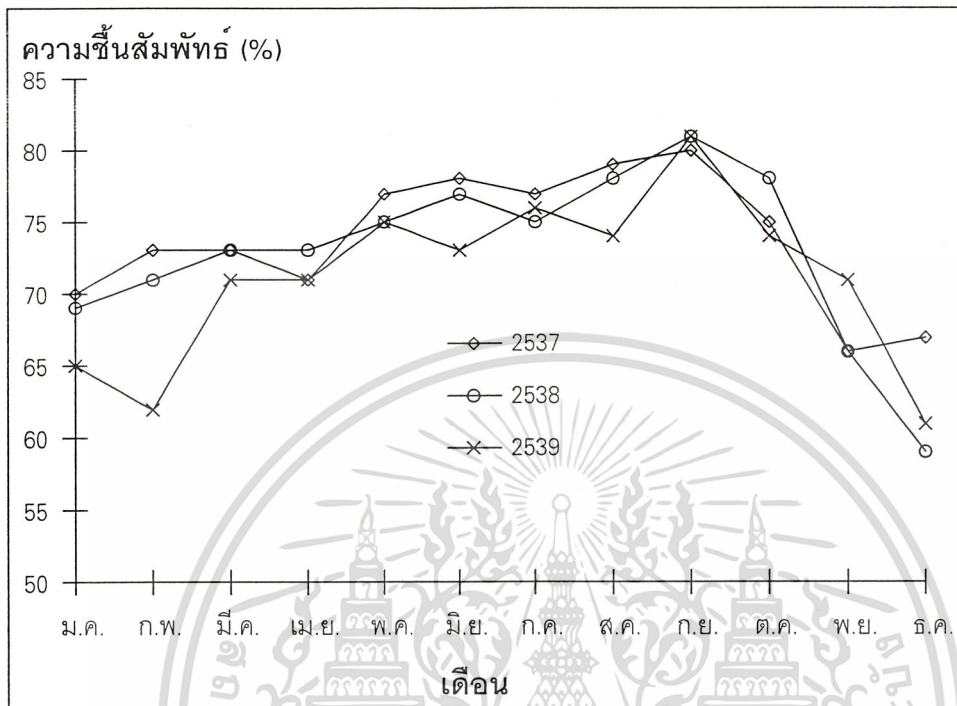
แสดงความดันบรรยากาศเฉลี่ยในแต่ละเดือน

ภาพที่ 10



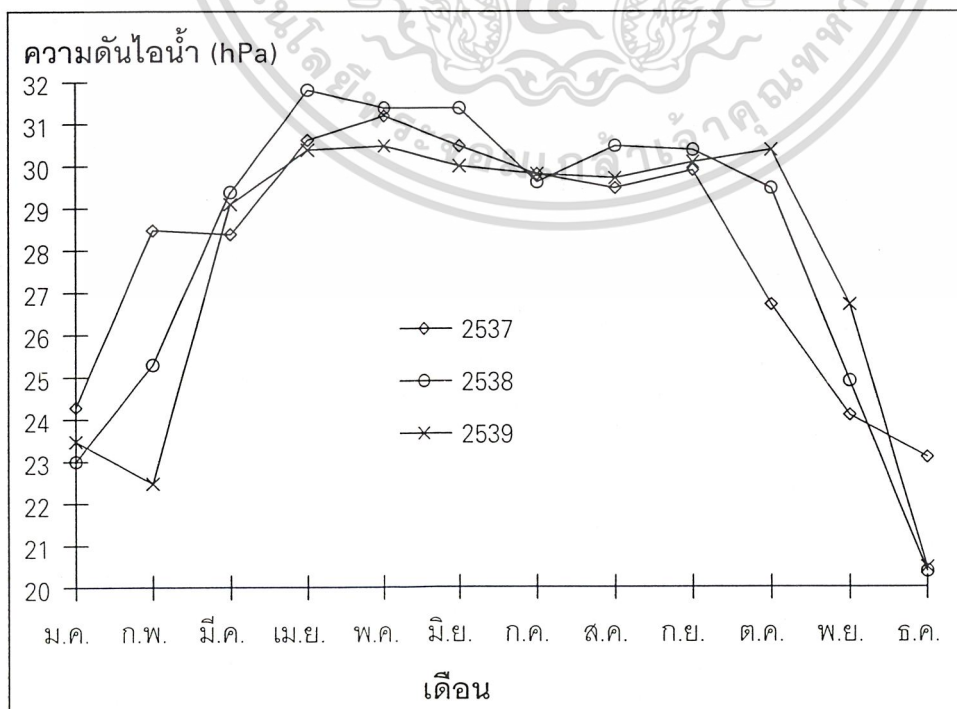
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงจำนวนเมฆเฉลี่ยในแต่ละเดือน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเบสลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 11



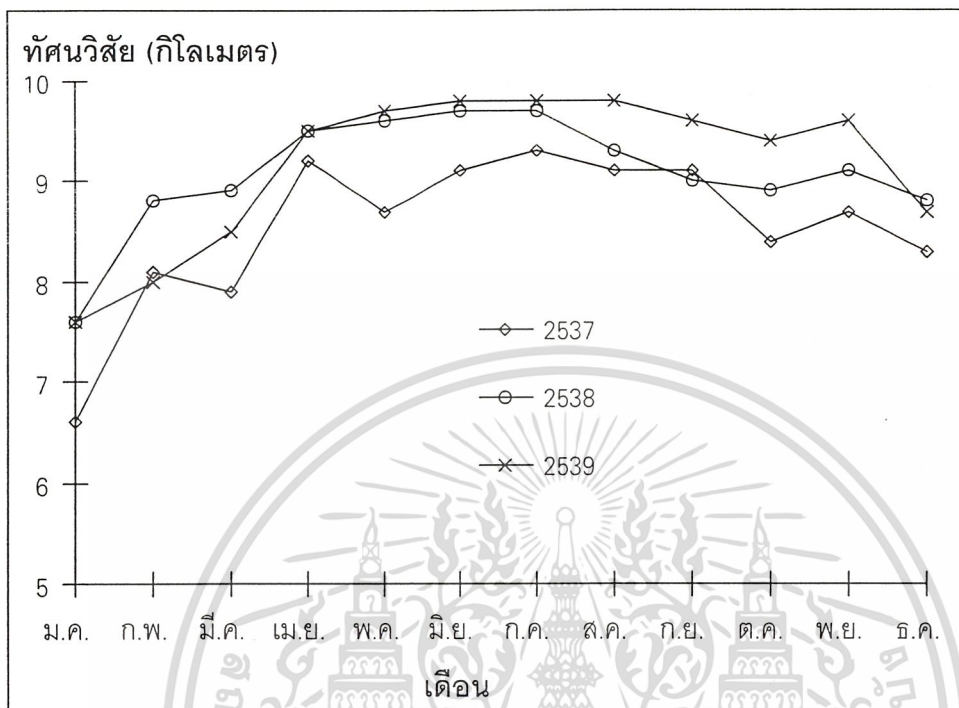
แสดงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละเดือน

ภาพที่ 12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุตบแต่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 13



แสดงทัศนวิสัยในแต่ละเดือน

สภาพภูมิอากาศของไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงได้รับผลกระทบจากลมมรสุม ทำให้อุณหภูมิส่วนใหญ่จะมีค่าคงที่ตลอดปี ลมมรสุมจะพัดผ่านอยู่ 2 ลักษณะด้วยกัน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็น 2 ฤดู คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง ในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้จะพัดนำความชื้นของอากาศจากทะเลจีนใต้ผ่านประเทศไทย ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดฝนตกทั่วประเทศ ดังแสดงปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีในภาพที่ 14 ในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดผ่าน ซึ่งนำความแห้งและอากาศเย็นมาจากประเทศจีน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดอากาศเย็นและแห้งในบริเวณภาคเหนือของไทย ส่วนในช่วงมีนาคมถึงพฤษภาคมจะเป็นช่วงฤดูร้อน เนื่องจากยังเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือโดยที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้นั้นยังไม่แรงพอ ทำให้ประเทศไทยมีอากาศร้อนอบอ้าวมาก ซึ่งพอจะแบ่งฤดูกาลของประเทศไทย ได้ดังนี้[11]

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กลางเดือนพฤษภาคม

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนพฤษภาคม ถึง กลางเดือนตุลาคม

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนตุลาคม ถึง กลางเดือนกุมภาพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ด้านการค้า

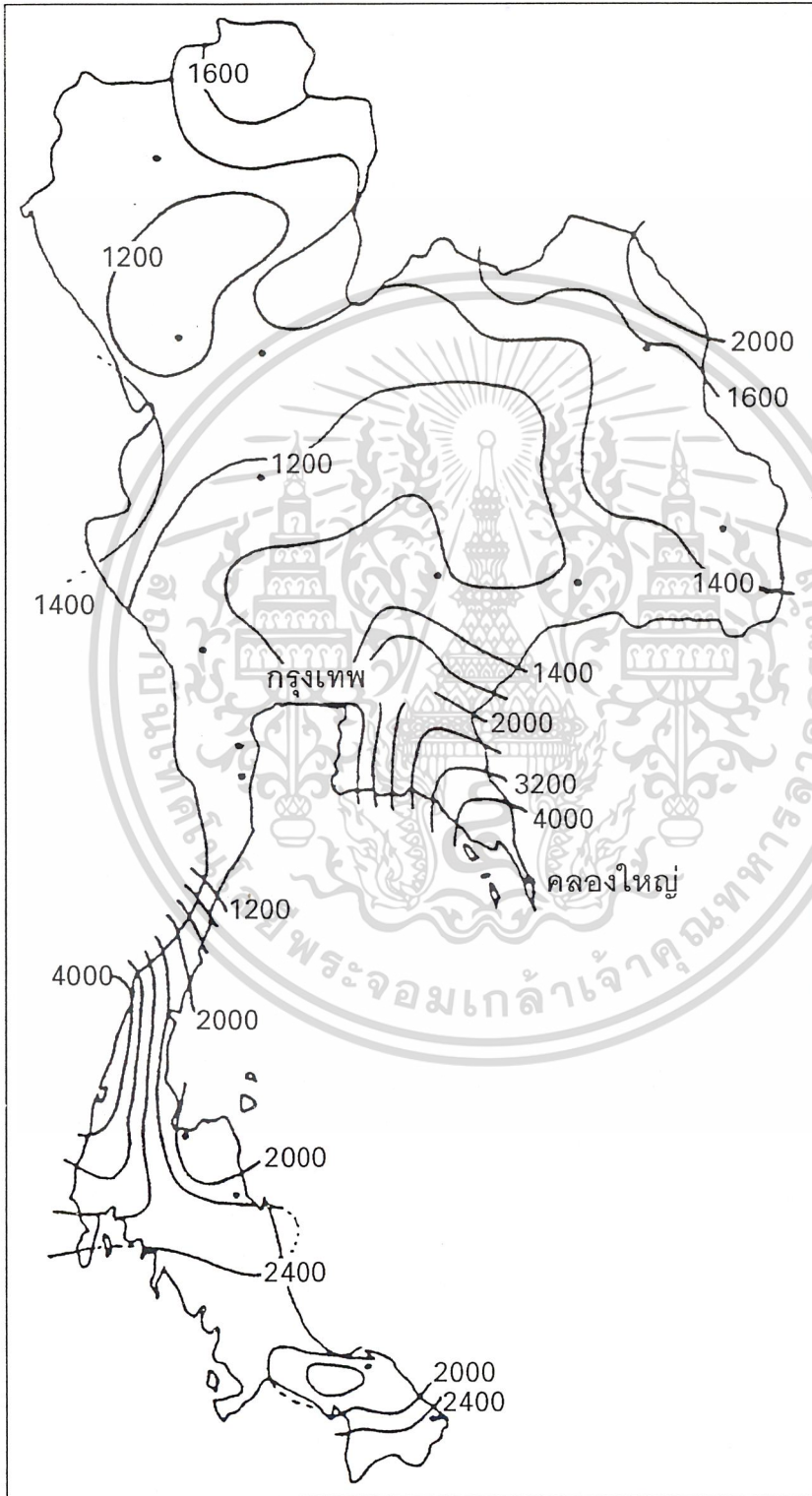
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระยะห่างระหว่างฤดูจะนานประมาณ 1-2 สัปดาห์ เรียกว่าช่วงเปลี่ยนฤดู อากาศจะแปรปรวนไม่แน่นอน

จากสภาพภูมิอากาศที่กล่าวข้างต้น และภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีค่อนข้างสูงมาก กล่าวคือจะมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,000-4,000 มิลลิเมตร [12] จากภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่า อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด จะมีปริมาณฝนมากที่สุดโดยเฉลี่ยคือ 4,000 มิลลิเมตรตลอดปี สาเหตุที่อำเภอคลองใหญ่มีปริมาณฝนมาก เนื่องลมทะเลที่พัดนำความชื้นจากทะเลพัดเข้าหาฝั่ง ประกอบกับด้านหลังของอำเภอคลองใหญ่มีแนวเทือกเขากัน ลมทะเลไม่สามารถพัดเอาความชื้นผ่านไปได้ จึงทำให้เกิดฝนตกตลอดทั้งปี ซึ่งเท่ากับปริมาณฝนในภาคใต้แถบตะวันตกแถว จังหวัดระนอง กระบี่ การที่ฝนตกมากขนาดนี้จะมีผลกระทบต่อการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่สูงกว่า 10 กิกะเฮิร์ตซ์ (เช่นย่านความถี่ Ku) รุนแรงมาก ส่วนบริเวณกรุงเทพ จะมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,400 มิลลิเมตร ตลอดปี ซึ่งถือว่าได้รับผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku เนื่องจากฝนอยู่ค่อนข้างมาก และในภาพที่ 15 แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยในแต่ละเดือนในเขตกรุงเทพ จากภาพจะเห็นได้ว่าในช่วงพฤษภาคมถึงตุลาคมจะมีปริมาณฝนมากซึ่งเกิดจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ที่พัดพาความชื้นจากทะเลจีนใต้มานั่นเอง ในความเป็นจริงแล้วปริมาณฝนตกไม่ได้มีผลกระทบโดยตรงต่อการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่สูงกว่า 10 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่สิ่งที่มีผลกระทบโดยตรงกับการลดทอนคือ อัตราการตกของฝน เพราะฉะนั้นการที่มีปริมาณฝนตกค่อนข้างมากโอกาสที่เกิดอัตราการตกของฝนก็จะสูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเก็บข้อมูลอัตราการตกของฝนเปรียบเทียบกับ การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku ซึ่งจะหากราฟความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณได้ ดังนั้น ถ้าทราบอัตราการตกของฝนก็จะทำให้ทราบ ระดับการลดทอนของสัญญาณด้วย นอกจากนี้ยังนำข้อมูลการลดทอนที่ได้ตลอดปี มาทำเป็นสถิติโดยนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของเวลาทั้งปี เพื่อใช้ในการทำนายเปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ว่ามีการลดทอนระดับไปเท่าไร เช่น ที่เปอร์เซ็นต์สะสมตลอดปีของเวลาน้อยกว่า 0.01% (ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อปี) จะมีค่าระดับการลดทอนสูงสุดกี่เดซิเบล ซึ่งข้อมูลนี้มีความสำคัญมากในแง่ของการกำหนดกำลังงานเพื่อชดเชยในกรณีที่เกิดฝนตกอย่างหนัก ข้อมูลที่ได้จะนำมาใช้ในการกำหนดค่า EIRP (Effective Isotropical Radiated Power) บนดาวเทียมเพื่อให้ใช้กำลังงานได้อย่างเหมาะสมที่สุดภายในประเทศ

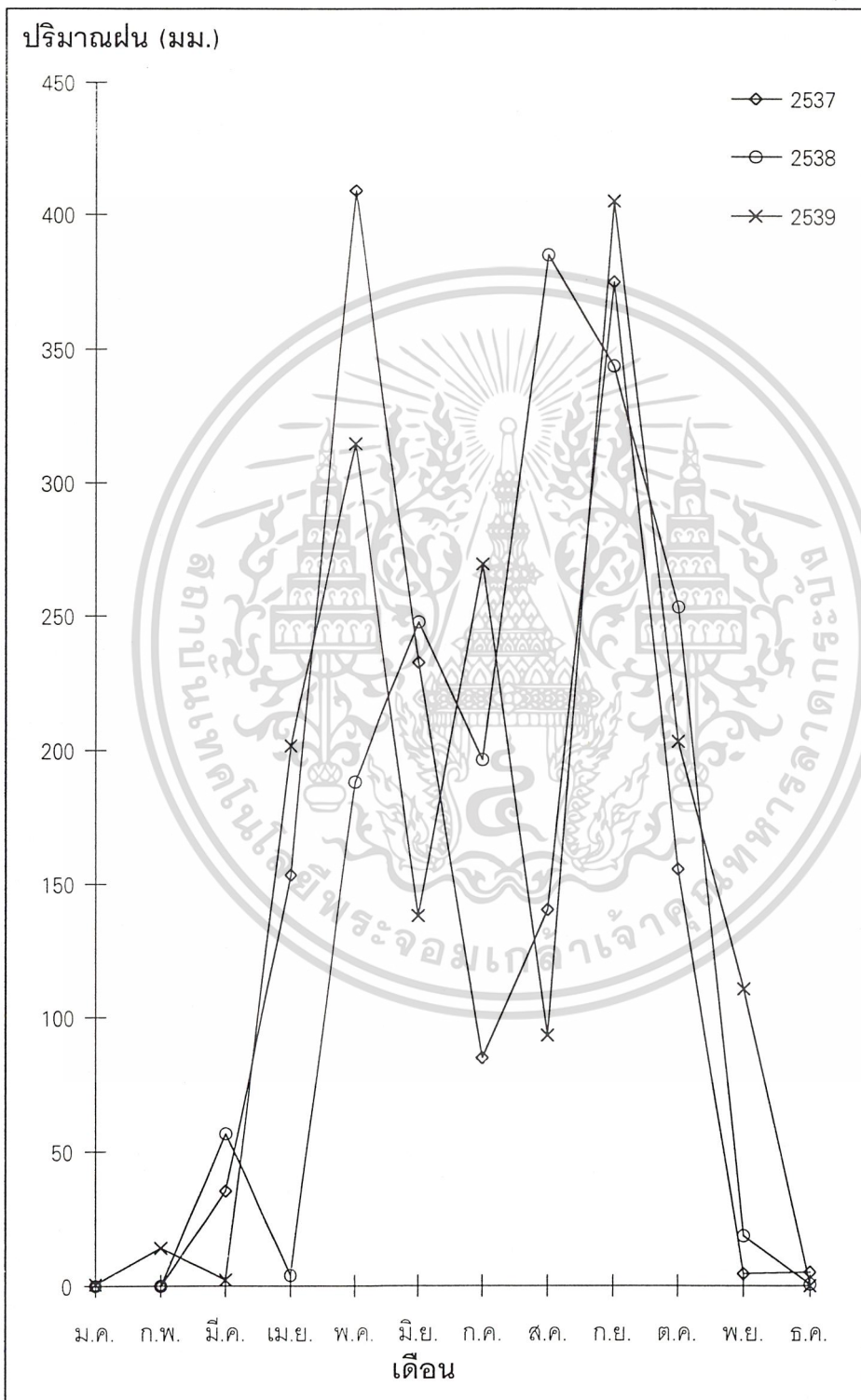
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงการกระจายปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีในไทย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้ในเฉพาะที่ที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทนำ

ดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 ใช้ความถี่ในการติดต่อสื่อสารกับสถานีภาคพื้นดิน 2 ย่าน คือ ย่าน C (4-6 กิกะเฮิรตซ์) และย่าน Ku (11-14 กิกะเฮิรตซ์) แถบความถี่ในย่าน C นั้นมีการศึกษาวิเคราะห์รายละเอียดเกี่ยวกับการสื่อสารที่ใช้ในย่านนี้มากพอสมควร และมีการใช้งานมานานแล้ว จึงทำให้แถบความถี่นี้ไม่เพียงพอกับความต้องการใช้งาน ดังนั้นจึงได้มีการใช้แถบความถี่ในย่านที่สูงขึ้นคือ ย่าน Ku และเนื่องจากดาวเทียมไทยคมใช้ความถี่ในย่าน Ku เป็นดวงแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ดังนั้นข้อมูลจากการศึกษาและการวิเคราะห์รายละเอียดเกี่ยวกับการสื่อสารที่ใช้ในย่าน Ku ในแถบภูมิภาคนี้จึงยังมีน้อยมาก ซึ่งข้อมูลที่มีส่วนใหญ่มักจะเป็นผลการทดลองของต่างประเทศ ผลที่ได้จากคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจากแต่ละประเทศมีภูมิประเทศและภูมิอากาศที่แตกต่างกัน จึงมีผลกระทบต่อการใช้งานความถี่ต่างกัน ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหันย่านความถี่ Ku ทางด้านขาลง ในลักษณะจำนวนครั้งที่เกิด ช่วงเวลาที่เกิดในแต่ละวัน ในแต่ละฤดู และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku ทางด้านขาลงโดยทำการพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเวลากับการลดทอนตลอดปี เปอร์เซ็นต์เวลากับอัตราการตกของฝนตลอดปี และอัตราการตกของฝนกับการลดทอนระดับของสัญญาณ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองนี้ทดลองที่อาคารภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานสายอากาศรับแบบออฟเซต (Offset) และเครื่องมือวัดปริมาณไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำฝนแบบคานกระดก (tipping bucket) จะอยู่บนตาตฟ้าของอาคารภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ดังแสดงในภาพที่ 16 และภาพที่ 17 ตามลำดับ โดยกรวยของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดกที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 20 เซนติเมตร และมีปริมาตรกระบอกเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร ส่วนเครื่องรับสัญญาณ (satellite receiver) และเครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) อยู่ในห้องทดลองแสดงดังภาพที่ 18 ดาวเทียมที่ทำการรับสัญญาณเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ และการลดทอนระดับของสัญญาณย่านความถี่ Ku เนื่องจากฝน คือ ดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 โดยสัญญาณที่รับได้ทั้งในระดับสัญญาณ และลักษณะรูปร่างสัญญาณจะบันทึกบนกระดาษกราฟแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณ จะทำการบันทึกสัญญาณตลอดเวลา ซึ่งจะทำการบันทึกผลการทดลองตั้งแต่เดือนมกราคม 2539 ถึง กรกฎาคม 2540

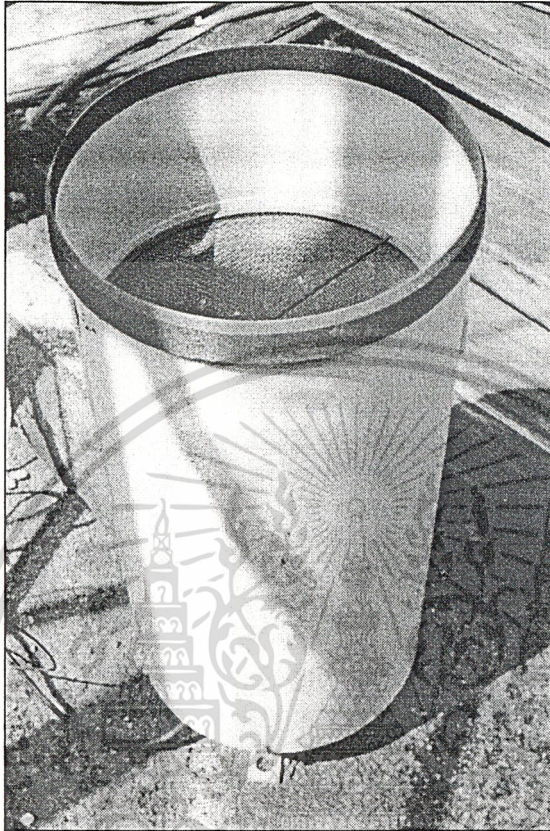
ภาพที่ 16



แสดงจานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku

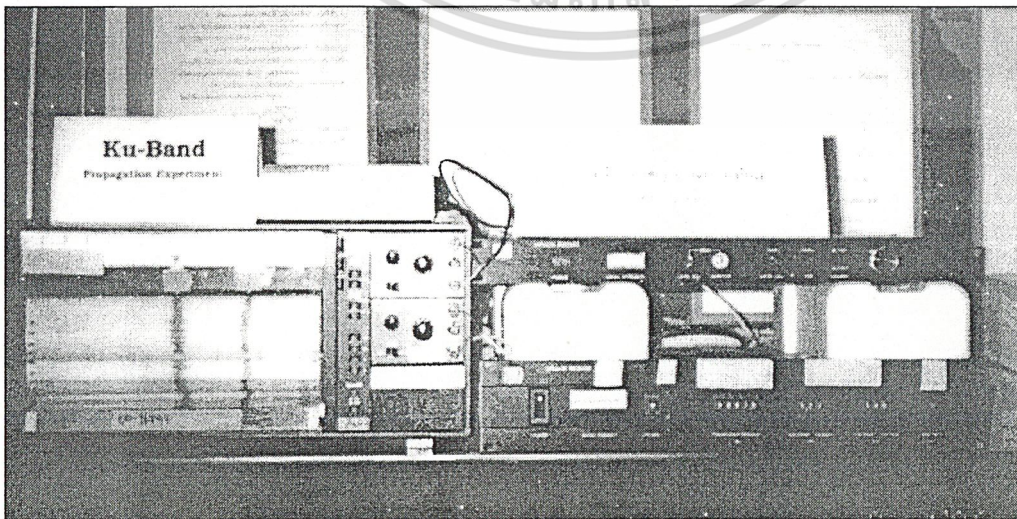
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 17



แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก

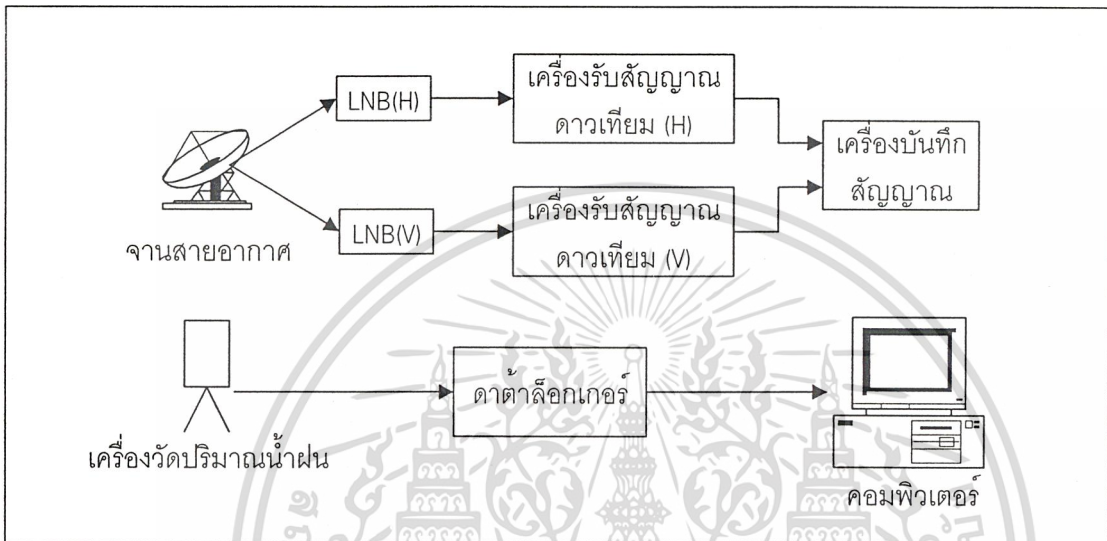
ภาพที่ 18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก และเครื่องบันทึกสัญญาณ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการรับสัญญาณย่าน Ku จากดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรมในภาพที่ 19

ภาพที่ 19



แสดงบล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จานสายอากาศที่ใช้ทดลองเป็นจานพาราโบลา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เมตร ซึ่งมี LNB สองโพลาไรซ์ ติดตั้งที่อาคารภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นรุ้ง $13^{\circ}45'36''$ เหนือ และเส้นแวง $100^{\circ}48'17''$ ตะวันออก โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 1 (ส่งสัญญาณโพลาไรซ์แนวอน) และไทยคม 2 (ส่งสัญญาณโพลาไรซ์แนวตั้ง) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นแวง 78.5 องศาตะวันออก ในมหาสมุทรอินเดีย โดยจานสายอากาศรับมีมุมเงย 59.9° และมุมอาซิมุท 239.6° สัญญาณดาวเทียมที่รับได้จะผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Block downconverter : LNB) ของแต่ละโพลาไรซ์ ซึ่งจะทำหน้าที่ขยายสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ให้มีระดับสูงขึ้นในขณะที่เดียวกันจะลดระดับของสัญญาณรบกวนลง หลังจากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณ RF ($12.25-12.75$ กิกะเฮิรตซ์) ความถี่สูงด้านขาลงจากดาวเทียมให้เป็นสัญญาณ IF (Intermediate Frequency) ความถี่ต่ำอยู่ในย่าน $1,050-1,550$ เมกะเฮิรตซ์ ผ่านออกจาก LNB เข้าสู่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม โพลาไรซ์ละเครื่อง จากนั้นจะนำสัญญาณจากภาค AGC ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันกระแสตรงของแต่ละเครื่องมาป้อนเข้าไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณสามารถบันทึกสัญญาณได้ 2 ช่อง ทำการบันทึกลักษณะของสัญญาณบนเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กระจายกราฟแบบต่อเนื่องตลอดเวลา ความเร็วที่ใช้ในการบันทึกนี้ก็คือ 20 เซ็นติเมตรต่อชั่วโมง ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เดียวกันจะทำการเก็บข้อมูลอัตราการตกของฝน โดยต่อเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ คานกระดกเข้ากับเครื่องดาดาล็อกเกอร์[13] ซึ่งเครื่องดาดาล็อกเกอร์สามารถทำการบันทึกได้ทั้ง ปริมาณน้ำฝน และอัตราการตกของฝน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากดาดาล็อกเกอร์มาถ่ายเข้าเครื่อง คอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์แล้วทำการพล็อตกราฟอัตราการตกของฝนต่อไป ลักษณะของ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองพอสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5

ดาวเทียมที่ใช้ในการทดลอง	ไทยคม1	ไทยคม2
ความถี่ที่รับ (modulated carrier)	12.594 กิกะเฮิร์ตซ์	12.594 กิกะเฮิร์ตซ์
โพลาริเซชัน	แนวนอน	แนวตั้ง
เส้นรุ้ง	13°45'36" เหนือ	
เส้นแวง	100°48'17" ตะวันออก	
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับ	50 เซนติเมตร Ø	
อัตราการขยายของจานสายอากาศรับ	34.5 เดซิเบล	
มุมเงย (elevation angle)	59.9°	
มุมอซิมูธ (azimuth angle)	239.6°	

แสดงลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

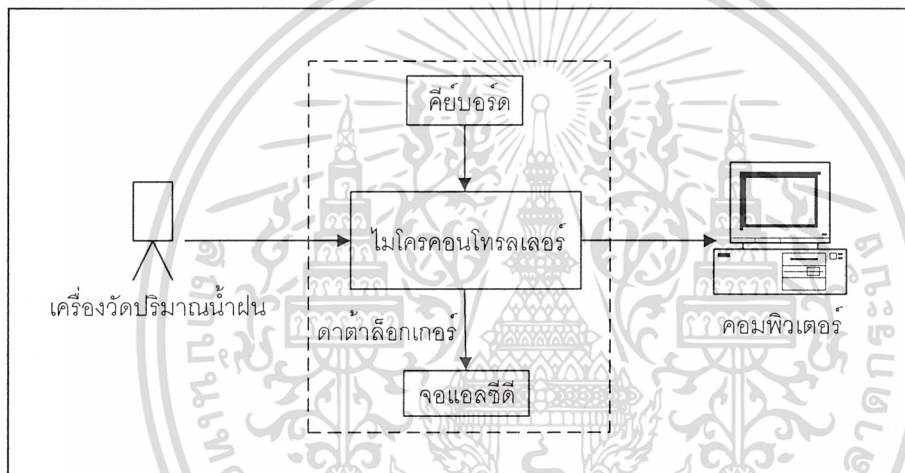
ดาดาล็อกเกอร์

ดาดาล็อกเกอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51(ดูภาคผนวก ข) มาประยุกต์ใช้กับเครื่องวัดน้ำฝนแบบคานกระดก ซึ่งสามารถเก็บปริมาณน้ำฝนและอัตราการตกของฝนได้ เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนจะให้สัญญาณออกมาเป็นพัลส์ แล้วส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเก็บข้อมูลเหล่านี้ไว้ในหน่วยความจำ ในการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลเทียบกับเวลาจริงโดยใช้คีย์บอร์ดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการตั้งเวลาในตอนเริ่มทำงาน และมีการแสดงผลบนจอแอลซีดี ซึ่งบนจอแอลซีดีจะแสดงผลตามเวลาจริงผลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ จะถูกถ่ายไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ และผ่านโปรแกรมในการวิเคราะห์ เพื่อแสดงออกมาเป็นกราฟ ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลอัตราการตกของฝนได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

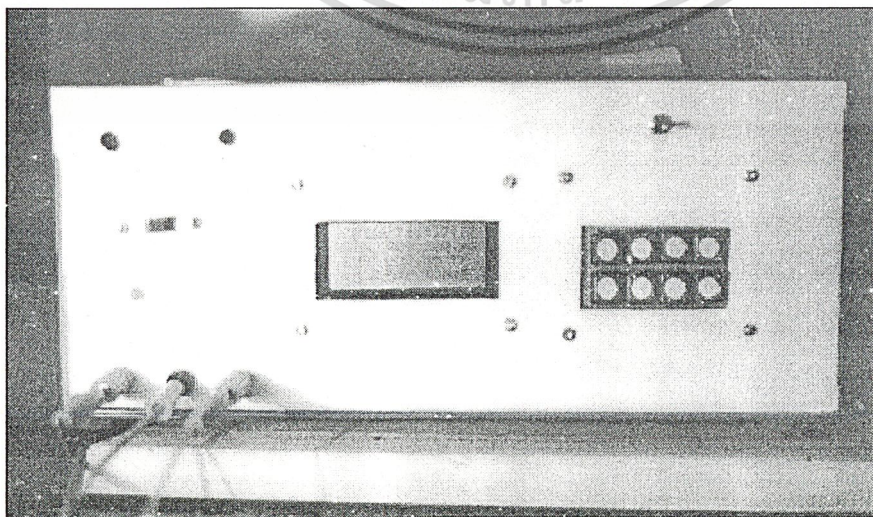
บล็อกไดอะแกรมของดาตาล็อกเกอร์ แสดงดังภาพที่ 20 โดยเมื่อเริ่มต้นการทำงาน จะมีการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดเพื่อนำไปใช้ตั้งเวลาและจะบันทึกปริมาณน้ำฝน และอัตราการตกของฝน เมื่อมีการส่งสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการส่งข้อมูลไปแสดงบนแอลซีดีโมดูลโดยข้อมูลจะแสดงได้ตามเวลาจริง ส่วนในภาพที่ 21 แสดงอุปกรณ์ดาตาล็อกเกอร์ หลังจากนั้นจะมีการนำข้อมูลที่เก็บได้ทำการส่งขึ้นไปเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงออกมาเป็นกราฟ

ภาพที่ 20



แสดงบล็อกไดอะแกรมของดาตาล็อกเกอร์

ภาพที่ 21

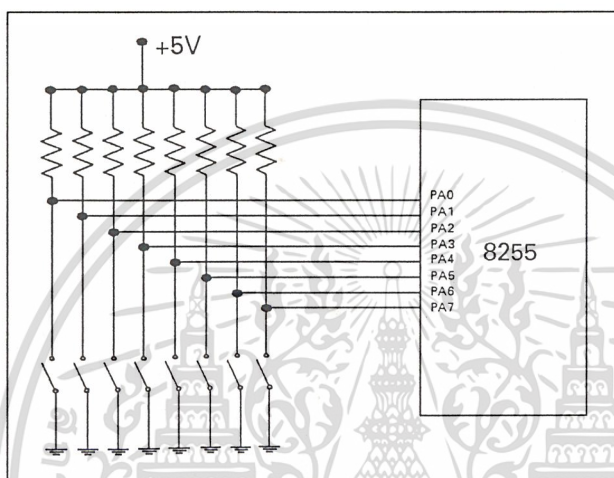


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงอุปกรณ์ดาตาล็อกเกอร์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อของคีย์บอร์ดกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการเชื่อมต่อนี้ทำการเชื่อมต่อสวิตช์ 8 ตัว โดยสวิตช์ 1 ตัว จะเชื่อมต่อกับพอร์ตของ 8255 1 ขา ดังนั้นสวิตช์ 8 ตัว ก็เชื่อมต่อกับขาของ 8255 ทั้งหมด 8 ขา นั่นคือใช้พอร์ต 8255 จำนวน 1 พอร์ต แสดงในภาพที่ 22

ภาพที่ 22

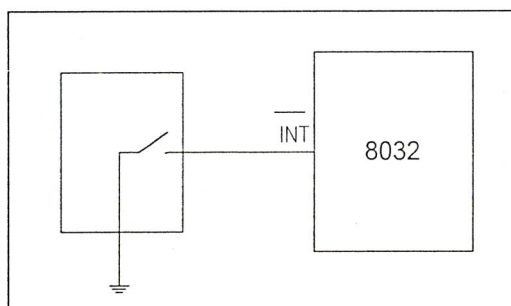


แสดงวงจรการเชื่อมต่อคีย์บอร์ดกับ 8255

การเชื่อมต่อของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนกับ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการเชื่อมต่อเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดกนั้น เป็นเหมือนกับสวิตช์ 1 ตัว โดยขาอินเตอร์รัปต์ของ 8032 จะแอกทีฟเมื่อลจิกเปลี่ยนจาก “1” เป็น “0” ดังนั้นเมื่อข้างหนึ่งของสวิตช์ต่อดลงกราวด์ อีกข้างหนึ่งต่อกับขาอินเตอร์รัปต์ของ 8032 เมื่อคานกระดก ก็จะเป็นเสมือนกับกดสวิตช์ ขาอินเตอร์รัปต์ก็จะต่อดลงกราวด์ ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น แสดงในภาพที่ 23

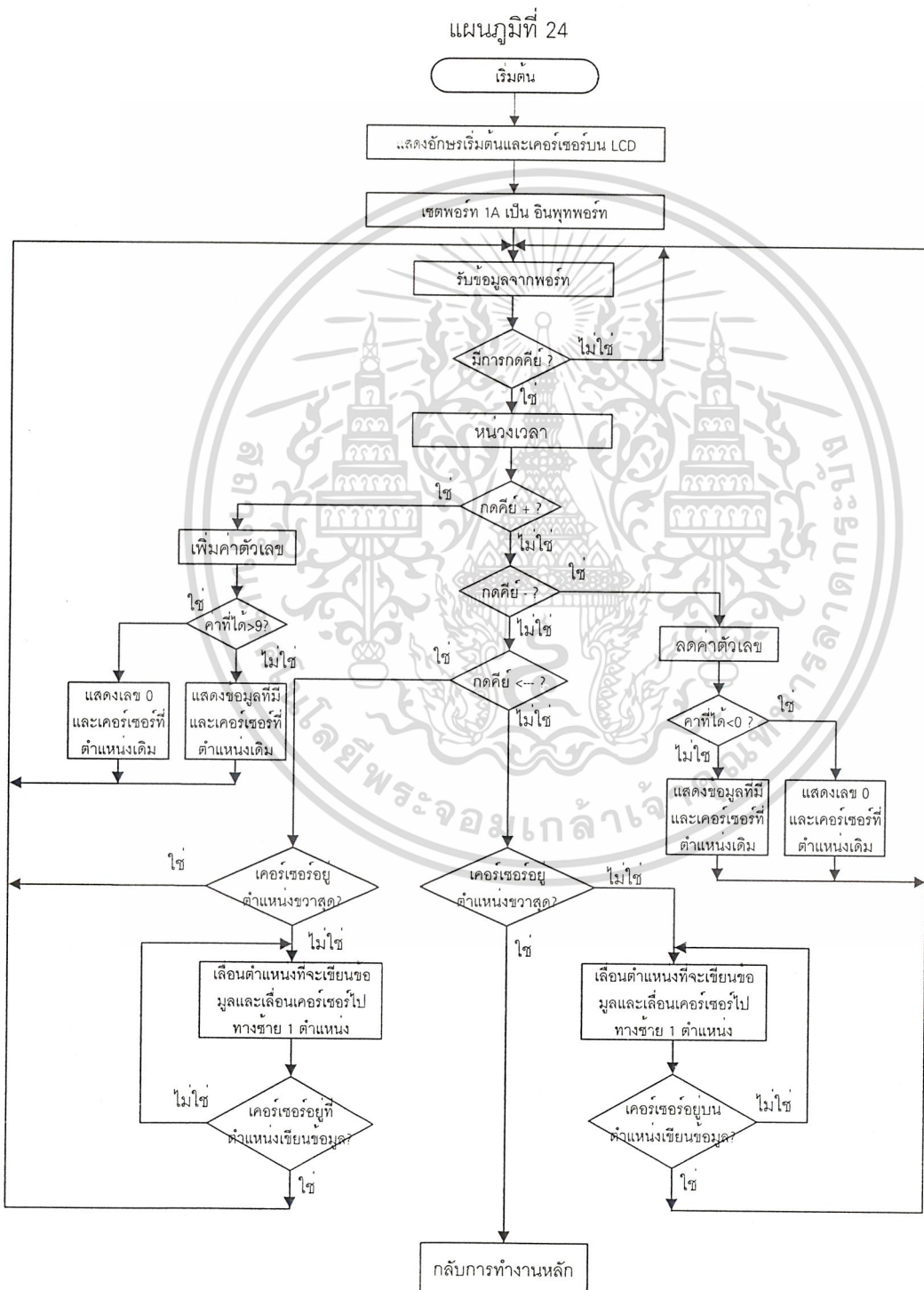
ภาพที่ 23



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่มีเหตุที่บังเอิญที่ และต้องยังอิงเงงใจ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมรับคีย์บอร์ดค่าตัวเลข

เป็นโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่ในการรับคีย์บอร์ดที่ต่อกับพอร์ตของ 8255 เพื่อรับคำสั่งและนำคำสั่งนั้นไปใช้ในการตั้งเวลา รวมทั้งการรับรหัสผ่าน แสดงในแผนภูมิที่ 24



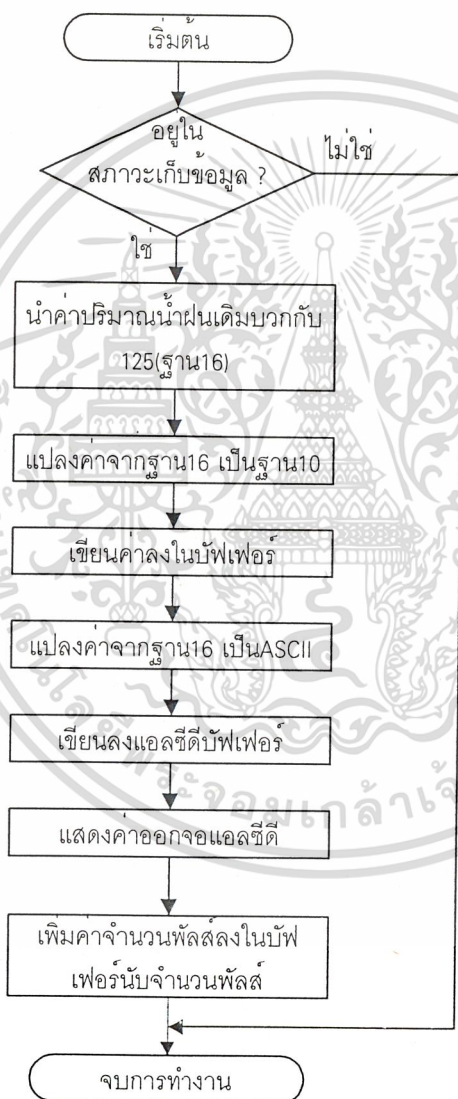
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงไฟลว์ชาร์ตของการรับคำสั่งจากคีย์บอร์ดค่าตัวเลข

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมการรับสัญญาณจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

เป็นโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่ในการรับสัญญาณจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งจะเป็นสัญญาณที่เข้ามาทำให้เกิดการอินเทอร์รัปต์ และทำการบันทึกข้อมูลของสัญญาณ แสดงในแผนภูมิที่ 25

แผนภูมิที่ 25



แสดงโฟลว์ชาร์ตของการรับสัญญาณจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน

โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน

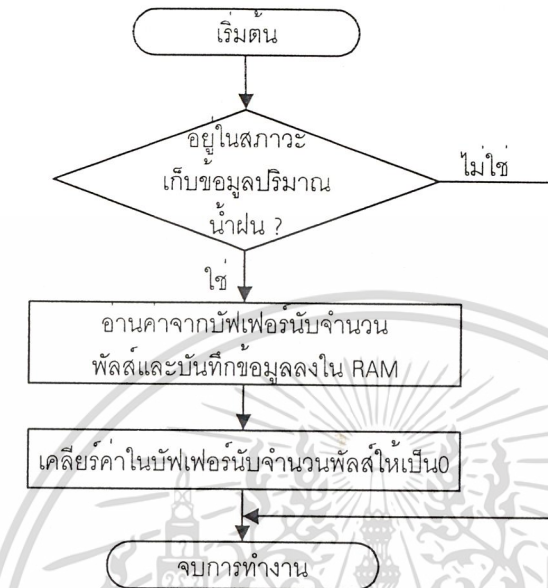
เป็นโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝนลงใน RAM แสดงในแผน

ภูมิที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 26

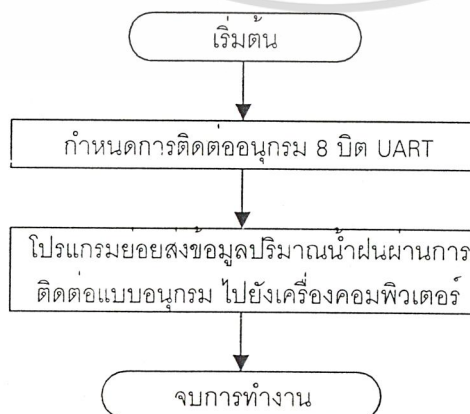


แสดงไฟลว์ชาร์ตของการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ไฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมการส่งข้อมูลจาก RAM ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

เป็นโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลจาก RAM ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงใน
แผนภูมิที่ 27

แผนภูมิที่ 27



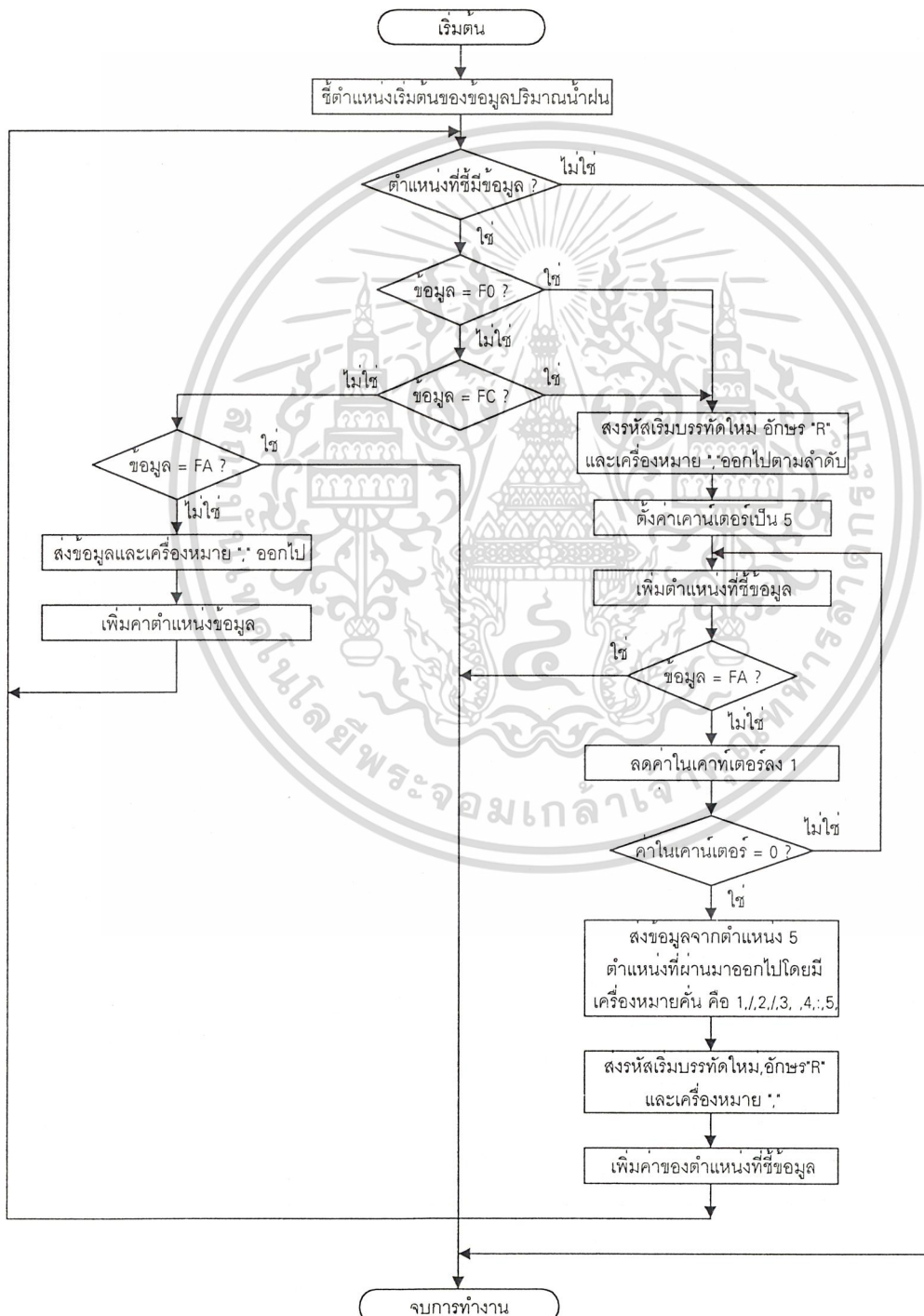
แสดงไฟลว์ชาร์ตของการส่งข้อมูลจาก RAM ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟลิวชาร์ตของโปรแกรมการส่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

เป็นโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์และส่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แสดงในแผนภูมิที่ 28

แผนภูมิที่ 28



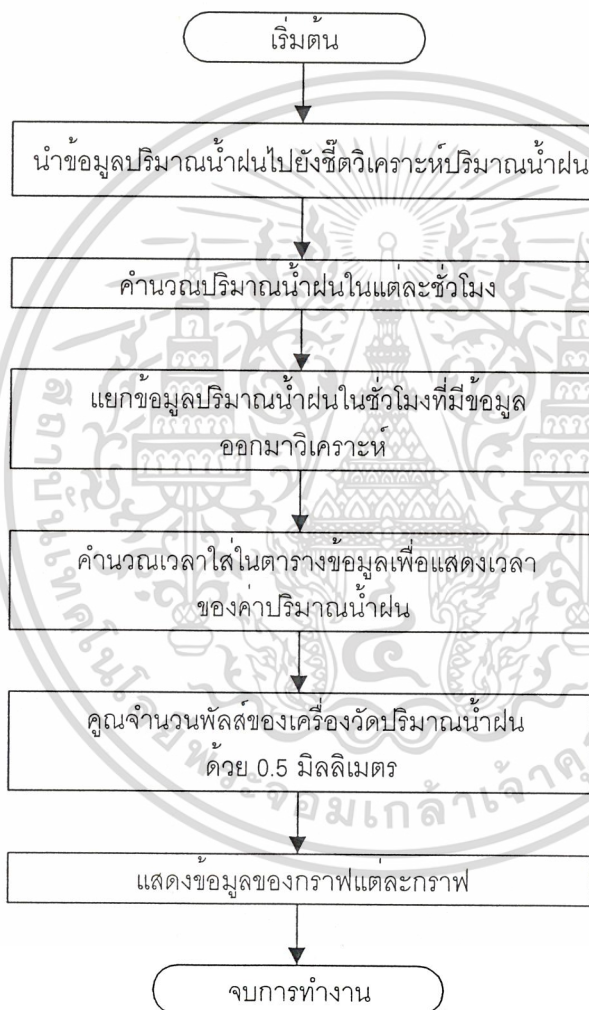
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงฟลิวชาร์ตของการส่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุขัดแย้งเนื้อหา และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงกราฟ

เป็นโปรแกรมย่อย ทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกและส่งมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว แสดงในแผนภูมิที่ 29

แผนภูมิที่ 29



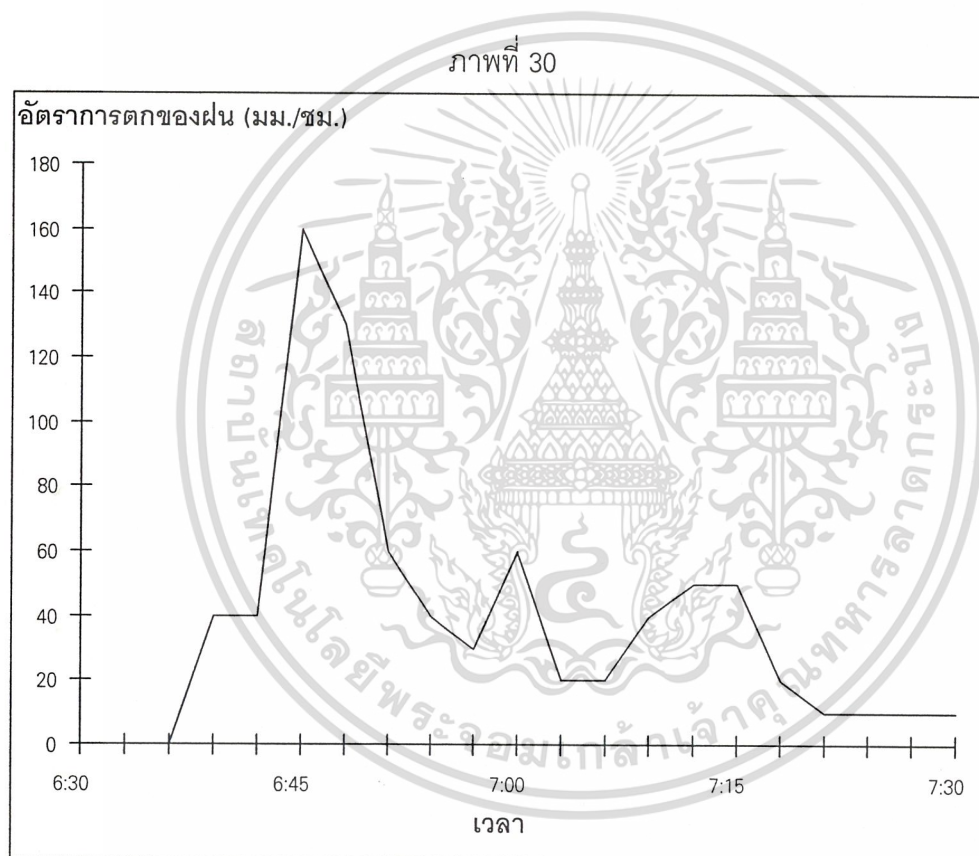
แสดงโฟลว์ชาร์ตของการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงกราฟ

การส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังเครื่องคอมพิวเตอร์

ในการส่งข้อมูลจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์มายังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์นั้น ใช้การติดต่อแบบอนุกรมโดยในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีโปรแกรมในการติดต่อแบบอนุกรมนี้เพื่อทำการส่งข้อมูลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านเครื่องคอมพิวเตอร์นั้นจะมีการรับข้อมูล โดยการใช้พอร์ตอนุกรมและโปรแกรมที่ใช้ในการรับข้อมูล คือ โปรแกรมเอ็กซ์ทอล์ค (XTALK) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำการรับส่งข้อมูลในแบบอนุกรม

จากนั้นเมื่อได้ข้อมูลมา ก็สามารถจะเรียกข้อมูลนั้น โดยใช้โปรแกรมเอ็กซ์เซลล์ (Excel) ได้ทันทีและทำการวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งในภาพที่ 30 เป็นตัวอย่างของผลการนำข้อมูลที่ได้จากคาร์ทาอีกรมาพล็อตลงในโปรแกรมเอ็กซ์เซลล์



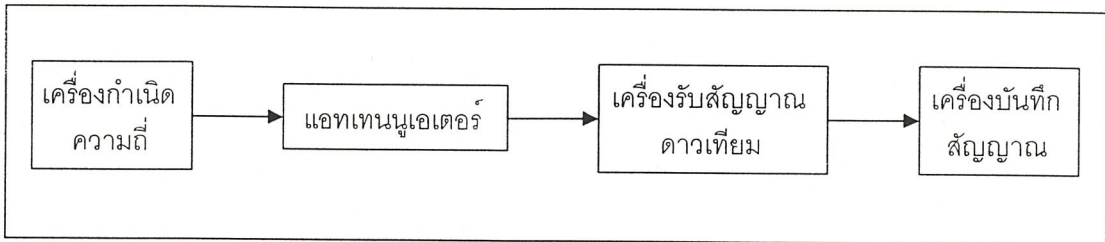
แสดงอัตราการตกของฝนที่บันทึกได้ 19 พ.ค. 39

แนวทางการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ

ก่อนจะทำการวัดระดับสัญญาณจะต้องมีการทำการปรับระดับสัญญาณก่อนเพื่อจะได้เอกสารที่เป็นเอกสารที่สมบูรณ์สำหรับการใช้แบบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ทราบระดับของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลง ภาพที่ 31 แสดงการปรับระดับสัญญาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 31



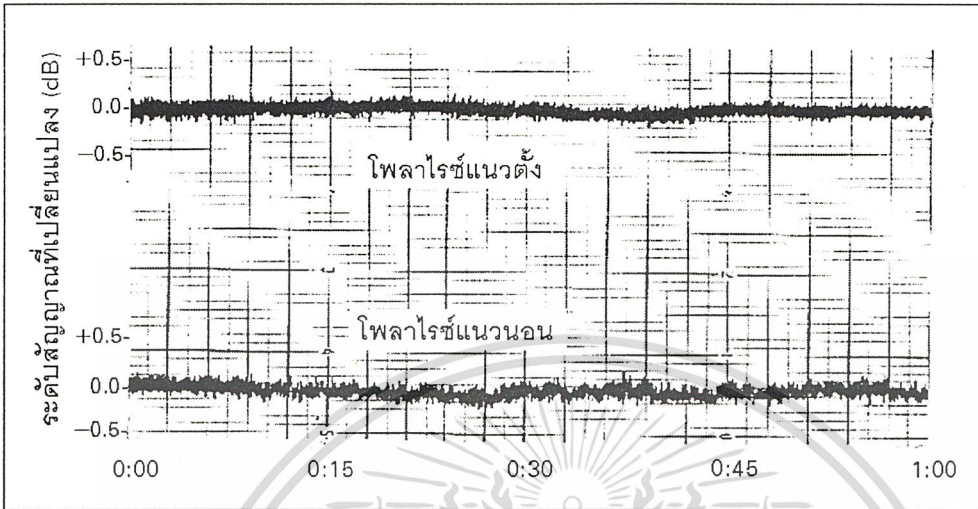
แสดงบล็อกไดอะแกรมการปรับระดับสัญญาณ

ในการคาริเบทสัญญาณนั้น ได้ทำการป้อนสัญญาณความถี่จากเครื่องกำเนิดความถี่ย่าน IF (1,050-1,550 เมกะเฮิรตซ์) โดยต่อผ่านแอทเทนนูเอเตอร์ (Attenuator) ไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากนั้นค่อยๆ เปลี่ยนความถี่จนกระทั่งสัญญาณที่รับได้ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมีค่าสูงสุด แล้วทำการปรับค่าที่แอทเทนนูเอเตอร์ให้ลดลงทีละ 1 เดซิเบล ในขณะที่เดียวกันเครื่องบันทึกสัญญาณซึ่งต่ออยู่กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมก็จะทำการบันทึกระดับสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงลดลงบนกระดาษกราฟต่อเนื่องที่อยู่ภายในเครื่องบันทึกสัญญาณได้

การพิจารณาสัญญาณช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน โดยปกติจะมีระดับการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ทางแอมพลิจูดอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.5 เดซิเบล ซึ่งถือว่าเป็นระดับปกติ อันเนื่องมาจากการเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกันหลายชั้น และการเคลื่อนที่ของตัวดาวเทียม ดังนั้นเพื่อความถูกต้องและกำจัดผลทางการลดทอนเข้ามาเกี่ยวข้อง จะเลือกวิเคราะห์ระดับสัญญาณที่รับได้ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกินกว่า 0.5 เดซิเบล และเปลี่ยนแปลงติดต่อกันนาน 3 นาทีขึ้นไป การทดลองนี้นับเป็นหนึ่งครั้งของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน(14) ซึ่งวิธีการนี้ต้องอาศัยการพิจารณาจากกราฟที่บันทึกสัญญาณอย่างต่อเนื่องกันไป ดังนั้นในหนึ่งชั่วโมงจะมีได้สูงสุด 20 ครั้ง ในค่าระดับสัญญาณที่รับได้จะแสดงในรูปโวลต์บนกระดาษบันทึก และปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของแต่ละชั่วโมง วัน และเดือน โดยในภาพที่ 32 เป็นตัวอย่างแสดงระดับสัญญาณที่รับได้ในระดับปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของระดับสัญญาณน้อยกว่า 0.5 เดซิเบล ทั้งสองโพลาริซ์ จึงไม่นับว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ส่วนในภาพที่ 33 เป็นตัวอย่างการแสดงผลการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกินกว่า 0.5 เดซิเบล ทั้งสองโพลาริซ์ ในลักษณะคล้ายคลึงกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดเกิน 0.5 เดซิเบล และเกิดต่อเนื่องกันเกิน 3 นาที จะนับเป็น 1 ครั้ง ดังนั้นในภาพที่ 33 จะเห็นว่าจะมีจำนวนครั้งการเกิด 20 ครั้ง ใน 1 ชั่วโมง

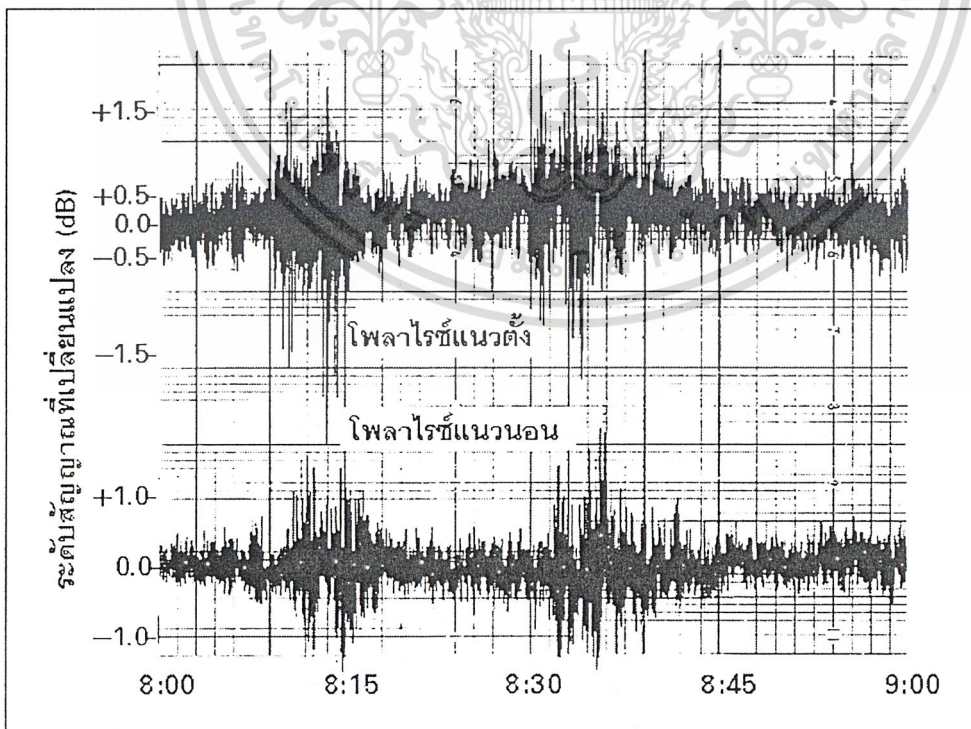
ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 32



แสดงระดับสัญญาณที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
บันทึกได้ 2 พ.ค. 39

ภาพที่ 33



แสดงระดับสัญญาณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
บันทึกได้ 11 พ.ค. 39
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku เนื่องจากฝน

ในการวัดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสามารถทำได้ ทั้งวิธีทางตรง และวิธีทางอ้อม ในวิธีทางอ้อมมักจะใช้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับการลดทอนนั้นก็คือ อุณหภูมิสัญญาณรบกวน (Noise Temperature) และแสดงให้เห็นถึงการลดทอนตามระยะทาง slant path (คือระยะทางในแนวเฉียงจากงานสายอากาศไปถึงความสูงของเมฆฝน คูภาพที่ 67 ประกอบ slant path ก็คือ L_s นั้นเอง) ส่วนในวิธีทางตรงจะวัดระดับของสัญญาณที่ผ่านตัวกลางที่ทำให้เกิดการลดทอน ทั้งสองวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน

ในวิธีทางอ้อมจะใช้หลักการดังต่อไปนี้[6] ตัวกลางที่ดูดกลืนพลังงานเข้าไป ถ้ามันอยู่ในสภาวะที่สมดุลกับสิ่งแวดล้อม มันก็จะแผ่รังสีความร้อนออกมาเท่ากับพลังงานที่มันดูดกลืนเข้าไป ซึ่งการแผ่รังสีความร้อนนี้จะเป็นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) ในภาพที่ 34 แสดงตัวกลาง M ได้ดูดกลืนพลังงานเข้าไปทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น T_m ประสิทธิภาพของการดูดกลืนพลังงานและการแผ่รังสีความร้อนออกมา สามารถอธิบายได้ด้วยค่า fractional transmissivity (σ) ของมัน ค่า fractional transmissivity ของตัวกลางจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ตกกระทบผ่านตัวกลางทะลุผ่านออกไปอีกข้างหนึ่ง เช่น ถ้าค่า fractional transmissivity มีค่าเป็น 0 ก็หมายความว่าตัวกลางดูดกลืนพลังงานอย่างสมบูรณ์ซึ่งจะไม่มีพลังงานผ่านตัวกลางออกมาได้เลย แต่มีค่าเท่ากับ 1 ก็หมายความว่าตัวกลางโปร่งใสอย่างสมบูรณ์ไม่มีการสูญเสียพลังงานเลย ดังนั้นพลังงานที่ผ่านเข้ามาในตัวกลางจะทะลุผ่านอีกข้างหนึ่งเท่ากับพลังงานที่ตกกระทบ

ในภาพที่ 34 กำลังงานของสัญญาณ S ผ่านทะลุตัวกลางที่ดูดกลืนพลังงานและแผ่พลังงานออกม่อีกด้านหนึ่งด้วยกำลังงานเท่ากับ σS ดังนั้นพลังงานที่ตัวกลางดูดกลืนก็จะต้องแผ่พลังงานความร้อนออกมาเท่ากับ $(1 - \sigma)T_m$ เพื่อทำให้เกิดสภาวะสมดุล ซึ่งอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่แผ่ออกมานั้นจะเป็นแบบไอโซโทรปิก จะทำให้สัญญาณที่รับได้จะมีอุณหภูมิสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถคำนวณได้จากค่า fractional transmissivity หรือ จากค่าการลดทอนของสัญญาณ

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสัญญาณรบกวน T_r มักจะอ้างถึงอุณหภูมิที่มันแผ่ออกมา ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น 2 สมการดังต่อไปนี้

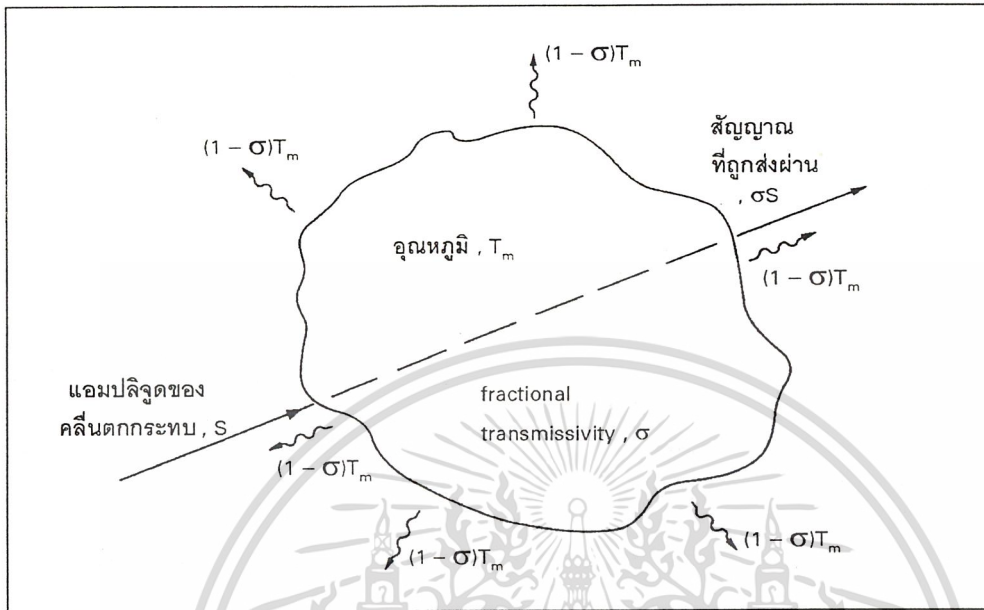
$$T_r = T_m \times (1 - \sigma) \quad \text{องศาเคลวิน} \quad (2.1)$$

และ

$$T_r = T_m \times (1 - e^{-A/4.34}) \quad \text{องศาเคลวิน} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 34



แสดงการสูญหายของสัญญาณและการแผ่รังสีความร้อนด้วย fractional transmissivity (σ)

เมื่อ A เป็นการลดทอนของสัญญาณ (เดซิเบล) การลดทอนมีความสัมพันธ์กับค่า fractional transmissivity คือ

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

ในสมการที่ 2.2 สามารถขยายขงสมการจะได้

$$A \text{ (เดซิเบล)} = 10 \log \left(\frac{T_m}{T_m - T_r} \right) \quad (2.4)$$

เมื่อ T_m เป็นอุณหภูมิประสิทธิภาพของตัวกลางที่ดูดกลืนพลังงาน และ T_r เป็นอุณหภูมิสัญญาณรบกวนที่วัดได้ ส่วน T_m หาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$T_m = 1.12 T_g - 50 \quad \text{องศาเซลเซียส} \quad (2.5)$$

T_g คือ อุณหภูมิของพื้นโลก (องศาเซลเซียส) ในสมการที่ 2.4 เป็นสมการที่ใช้ในอุดมคติของ เรดิโอเมเตอร์ (เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงกำลังงาน ของสัญญาณรบกวนหรืออุณหภูมิ ความสว่างของแหล่งกำเนิด) แต่ในความเป็นจริงจะต้องมีอุณหภูมิสัญญาณรบกวนอื่นอีก เช่น เลเซอร์ที่เป็นอิสระที่ส่งไปรับความถี่วิทยุที่อุณหภูมิพื้นหลังใช้ประโยชน์ด้านการค้า การที่ดวงอาทิตย์และดวงจันทร์มีโอกาสที่จะเคลื่อนที่อยู่นิ่งกับปริมาณสายอากาศเรดิโอ ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอมิเตอร์ จะทำให้อุณหภูมิสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเปลี่ยนสมการ 2.4 ให้เหมาะสมขึ้นจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$A(\text{เดซิเบล}) = 10 \log \frac{(T_m - T_{cs})}{(T_m - T_r)} \quad (2.6)$$

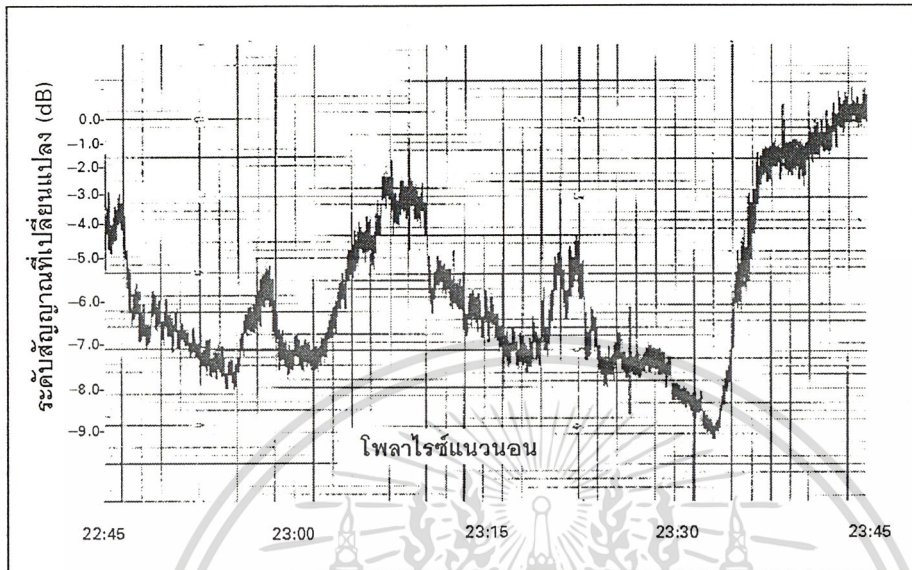
เมื่อ T_{cs} คือ clear-sky temperature[15] ปกติจะถูกกำหนดไว้ประมาณ 30 K

ในการวัดการลดทอนทางอ้อมโดยใช้เรดิโอมิเตอร์[16] นั้นมีข้อดี คือ ในกรณีที่ระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำ เนื่องจากฟูตปรินท์ที่ครอบคลุมพื้นที่ดังกล่าวมีค่า EIRP น้อย การวัดการลดทอนเนื่องจากฝนในทางตรงจึงทำไม่ได้ ดังนั้น วิธีที่ง่ายที่สุด คือ การวัดอุณหภูมิสัญญาณรบกวนด้วยเรดิโอมิเตอร์แล้วทำการคำนวณหาการลดทอนเนื่องจากฝน ซึ่งสะดวกและง่ายสำหรับการนำไปใช้งาน แต่จะมีข้อเสีย คือ ความถูกต้องของการวัดค่าการลดทอนเนื่องจากฝนด้วยเรดิโอมิเตอร์จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจนถึงประมาณ 10 เดซิเบล[17] เมื่อค่าการลดทอนมากกว่านั้นจะทำให้ข้อมูลที่วัดได้จากเรดิโอมิเตอร์ผิดพลาดจากความเป็นจริงค่อนข้างมาก นั่นก็หมายความว่าถ้าเกิดฝนตกหนักมากๆ การลดทอนก็จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งถ้าเกิดการลดทอนมีค่ามากกว่า 10 เดซิเบล แล้วจะไม่สามารถวัดการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้อย่างถูกต้อง

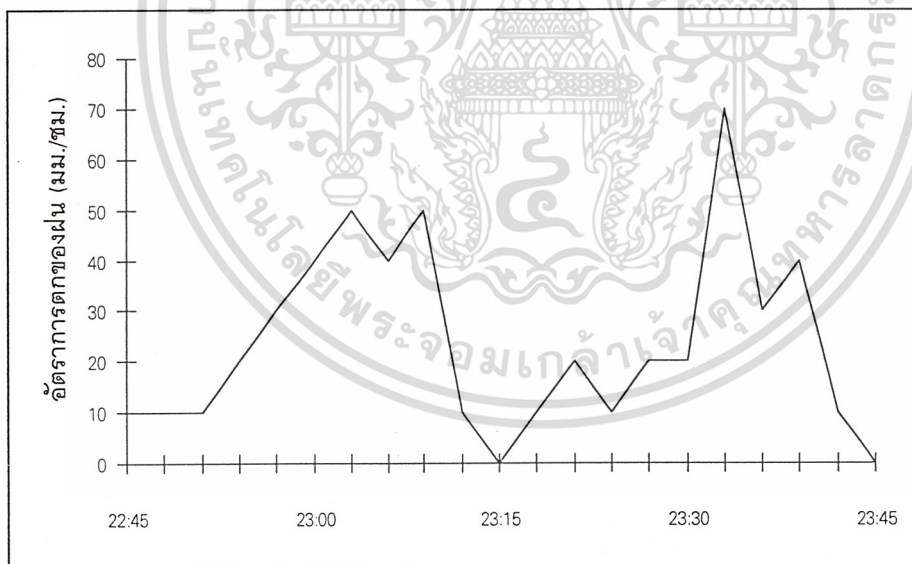
ส่วนการวัดการลดทอนของสัญญาณที่วัดได้โดยตรง คือ วิธีการวัดระดับสัญญาณที่ลดลงเนื่องจากฝนที่วัดได้จริง เปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝน ค่าระดับการลดทอนของสัญญาณที่วัดได้จะสูงกว่าและถูกต้องแม่นยำกว่าวิธีการวัดแบบเรดิโอมิเตอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อนชื้นมีปริมาณฝนเฉลี่ยตลอดปีสูงมาก ดังนั้น การลดทอนของระดับสัญญาณที่รุนแรงเนื่องจากการมีฝนตกหนัก ส่วนมากเกินกว่า 10 เดซิเบล ดังนั้นวิธีการวัดแบบเรดิโอมิเตอร์จึงไม่เหมาะสม ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการวัดโดยตรง สามารถวัดระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้สูงถึงประมาณ 22 เดซิเบล ข้อมูลการลดทอนที่ค่าสูงๆ นี้มีประโยชน์มากในแง่ของการชดเชยกำลังงานที่ต้องส่ง กล่าวคือ ถ้าเราทราบค่าการลดทอนสูงสุดเราก็สามารถชดเชยกำลังงานนั้นได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะว่าถ้าเราชดเชยกำลังงานต่ำไปก็จะทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ แต่ถ้าส่งกำลังงานสูงเกินไปก็จะทำสิ้นเปลืองกำลังงานมาก นอกจากนี้แนวทางการวิเคราะห์การพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนเปรียบเทียบกับระดับการลดทอนแสดงตัวอย่างในภาพที่ 35 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์เวลากับระดับการลดทอนจะแสดงในหัวข้อต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 35



(ก) การลดทอนระดับสัญญาณเนื่องจากฝน



(ข) อัตราการตกของฝน

แสดงการลดทอนของสัญญาณกับอัตราการตกของฝน 29 ก.ค. 39

จากภาพที่ 35 (ก) และ (ข) จะเห็นได้ว่าอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณที่ถูกลดทอนลงไปเนื่องฝน จะมีความสัมพันธ์กันโดยที่เวลาประมาณ 23:50 น. อัตราการตกของฝนประมาณ 70 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ทำให้ระดับสัญญาณลดลงไปประมาณ 9 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (scintillation) ของสัญญาณดาวเทียม หมายถึง การแกว่งขึ้นๆ ลงๆ อย่างรวดเร็วจากระดับปกติของสัญญาณนั้นๆ ตัวแปรของสัญญาณที่ถูกผลกระทบนี้ หมายถึง แอมพลิจูด เฟส มุมของคลื่นที่มาถึงที่จุดรับ และ โพลาริเซชันของคลื่น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับเวลาที่คลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ส่วนประกอบของชั้นบรรยากาศที่สัญญาณดาวเทียมใช้เดินทางผ่านในแต่ละระดับความสูงจากพื้นโลก จะให้ผลกระทบที่ต่างกันไปตามแต่ละคุณสมบัติของแต่ละชั้น แต่ที่มีผลชัดเจนและสำคัญคือ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยพบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นย่อยๆ และยังมีเปลี่ยนแปลงในการยังคงมีอยู่ของแต่ละชั้นย่อยๆ ต่างกันไปตามเวลาของแสงอาทิตย์ด้วย โดยเฉพาะประเทศในเขตศูนย์สูตร และใกล้เคียงย่อมได้รับผลกระทบค่อนข้างมาก ซึ่งในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันต่อสัญญาณดาวเทียมในช่วงความถี่สูงสุดประมาณ 6 กิกะเฮิรตซ์ ส่วนชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมเกิดเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหภายในชั้น ซึ่งมีผลกระทบต่อสัญญาณความถี่สูงกว่าประมาณ 3 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป

แอมพลิจูดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกที่มีสภาพภายในชั้นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน คือ ค่าดัชนีการหักเหต่างกัน โดยสถิติแล้วจะทำให้เกิดการขึ้นๆ ลงๆ ทางแอมพลิจูดของระดับสัญญาณเป็นช่วงสั้นๆ ประมาณ 0.1 ถึง 100 วินาที นอกจากนี้ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในชั้นบรรยากาศที่ปลอดภัย คือ อุณหภูมิ และความชื้น ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดแล้วก็จะทำให้สัญญาณที่เดินทางผ่านเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้ โดยขนาดการเปลี่ยนแปลงนั้นขึ้นอยู่กับมุมเงยของจานสายอากาศรับ ฤดูกาล โดยในฤดูร้อนจะสูงมากแต่จะต่ำในฤดูฝน ความแรงของสนามแม่เหล็กโลก และพบว่าสเปกตรัมกำลังของการเปลี่ยนแปลงในระดับนี้ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณจะขึ้นกับความถี่ นอกจากนี้ เมฆ ฝน ออกซิเจน และ ไอน้ำที่อยู่ในชั้นบรรยากาศก็จะเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้ โดยเฉพาะเมฆที่พัดผ่านเส้นทางการเชื่อมโยงแล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่รุนแรงมากได้

การใช้แถบความถี่สูงขึ้น ทำให้สามารถใช้จานสายอากาศรับที่มีขนาดเล็กกลงได้ การที่ใช้จานสายอากาศที่มีขนาดเล็กกลง การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอย่างกะทันหันจะรุนแรงยิ่งขึ้นสำหรับประเทศไทย ขณะฝนตกหนักจะเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณถึง 5 เดซิเบล [10] จะมีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์การเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณ ซึ่งโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นในสัดส่วนของการลดลงของขนาดจานสายอากาศ[18] ปรากฏการณ์การเกิดการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันสามารถแบ่งออกได้อย่างกว้างๆ 3 แบบตามสาเหตุการเกิด[19,20] คือ

- (1) สาเหตุเกิดจากความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
- (2) สาเหตุเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศในสภาพอากาศปลอดโปร่ง
- (3) สาเหตุเกิดจากเมฆฝนในขณะฝนตก

ผลการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมยานต่างๆ หลากๆ กรณี พบว่ารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เด่นชัดโดยส่วนมากที่ค้นพบบนเส้นทางการเชื่อมโยงการสื่อสารแบบสถานีภาคพื้นดินกับอวกาศ จะหมายถึง แอมพลิจูดของสัญญาณที่ส่ง[3] โดยทั่วไปบนเส้นทางขาลง เพราะความถี่ส่วนมากที่รายงานเป็นความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ขึ้นไป ผลของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่ค้นพบจะเหมือนกับที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนมาก

หลายๆ องค์กรณ์ได้ทำการทดลองวัดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันโดยใช้ดาวเทียม ATS-6 ที่ความถี่ 2, 20 และ 30 กิกะเฮิร์ตซ์ และดาวเทียมดวงอื่นส่งที่ความถี่ 4, 6 และ 7 กิกะเฮิร์ตซ์ การวัดแสดงให้เห็นอย่างกว้างๆ สำหรับมุมเงย 20° - 30° ในเขตภูมิภาคอากาศที่พอเหมาะ เช่น ยุโรป จีน การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในฤดูร้อน อยู่ในช่วง 1 dBp-p ในขณะที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง ในฤดูหนาวมีค่า 0.2-0.3 dBp-p และจะมีค่าสูง 2-6 dBp-p ในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะอยู่ในช่วงที่กว้าง คือ อยู่ในช่วง 0.5 ถึงมากกว่า 10 เฮิร์ตซ์ โดยระดับของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ในความถี่ การเปลี่ยนแปลงช้าๆ เกิดขึ้นเป็นเวลา 1 ถึง 3 นาที แล้วการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นตามมา ผลเหล่านี้เป็นสิ่งที่ถูกค้นพบเป็นส่วนมากและสอดคล้องในการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองทั้งหมด ส่วนการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ที่มากกว่าค่า 20 dBp-p หรือมากกว่านี้จะถูกค้นพบด้วยช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 2-3 วินาทีเท่านั้น

ได้มีการทดลองเปรียบเทียบลักษณะ และค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันระหว่างความถี่ 2 และ 30 กิกะเฮิร์ตซ์ จากดาวเทียม ATS-6 ที่เมืองโคลัมบัส รัฐโอไฮโอ ด้วยมุมเงย 4.95° และ 3.80° ทั้งสองความถี่ พบว่าที่มุมเงย 4.95° ความถี่ 30 กิกะเฮิร์ตซ์ มีค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันอยู่ในช่วง 10 dBp-p ส่วนที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ จะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 dBp-p ในขณะที่มุมเงยต่ำกว่าคือ 3.80° พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของทั้งสองความถี่ยังคงเหมือนเดิม คือ ที่ความถี่ 30 กิกะเฮิร์ตซ์ จะขึ้นลงรวดเร็วกว่าที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20 dBp-p และ 1 dBp-p ตามลำดับ และยังมีการทดลองในสัญญาณเดียวกันนี้ แต่วิเคราะห์เฉพาะในช่วงอากาศที่ปลอดภัยที่มุมเงย 44° พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดเฉลี่ย (mean amplitude variance : σ_x^2) ซึ่งอยู่ในความสัมพันธ์ของกฎกำลัง Cosecant ดังนี้

$$\sigma_x^2 = A(\text{cosec } \theta)^B \quad (3.1)$$

โดยที่ θ คือ มุมเงยของจานสายอากาศรับ ส่วน A และ B เป็นค่าสัมประสิทธิ์ ขึ้นกับความถี่และอุณหภูมิ

ในการทำงานเดียวกันการวัดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมที่ความถี่ 19 กิกะเฮิร์ตซ์ ด้วยดาวเทียม COMSTAR ทั้งการส่งสัญญาณโพลารไรซ์ในแนวนอนและการส่งสัญญาณโพลารไรซ์ในแนวตั้ง ที่มุมเงย 1 ถึง 10 องศา ถูกพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมาก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันไม่ขึ้นกับโพลาไรเซชันของสัญญาณเลย[3]

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเพิ่มขึ้น เมื่อมุมเงยของจานสายอากาศที่ใช้ต่ำลงอย่างเช่นผลการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว และจาก[21] ก็มีการทดลองเรื่องเดียวกันนี้ในอเมริกาเหนือ ยุโรป และ ญี่ปุ่น โดยได้ผลสรุปว่าภายใต้สภาพอากาศที่ปลอดภัยแล้วค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมากในค่ามุมเงยประมาณ 3 องศาหรือต่ำกว่านี้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเมื่อมีเมฆปรากฏอยู่ในเส้นทางก็เชื่อมโยงพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 ถึง 3 dBp-p[22] และพบว่าในช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนตัดผ่านเส้นทาง อัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะมีค่าคงที่ตลอดเวลานั้นที่ความถี่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 16 รอบต่อวินาที หรือ 0.27 เฮิร์ตซ์ นอกจากนี้ยังมีผลในทำนองเดียวกันนี้ในทำนองเดียวกันนี้สำหรับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เกิดจากเมฆ โดยมีผู้ทำการทดลองที่ 19 และ 28 กิกะเฮิร์ตซ์[23] พบปรากฏการณ์ที่เกิดจากเมฆนี้มากกว่า 1,000 ครั้ง ที่ความถี่ 28 กิกะเฮิร์ตซ์ ในช่วง 2 เดือนของฤดูร้อนของเมืองควราวฟอร์ดฮิลล์ มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ โดยพบว่าช่วงเวลาเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเป็นช่วงสั้นๆ ประมาณ 1 ถึง 3 วินาที เท่านั้น สำหรับการจางหายมากกว่า 1 dBp-p ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ เฉลี่ยประมาณ 0.3 เฮิร์ตซ์ และยังมีผลสรุปที่ได้จากการทดลองนี้ว่า มีความสอดคล้องอย่างมากกับความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน โดยความถี่ 28 กิกะเฮิร์ตซ์ มีค่าความแรงเป็น 1.2 เท่าของความถี่ 19 กิกะเฮิร์ตซ์ ผลอันนี้ตรงกันกับที่ ทฤษฎีเทอร์บิวเลนทกล่าวไว้ว่าความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะขึ้นกับความถี่ f ด้วยค่า $f^{7/12}$ ดังแสดงในสมการที่ 3.11

ปรากฏการณ์เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ในการสื่อสารโดยใช้ระบบดาวเทียม สำหรับประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร เช่น ประเทศไทย จะพบปัญหาหนึ่งซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาได้ คือ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ ซึ่งขึ้นกับ อเพอร์เจอร์ มุมเงยของจานสายอากาศ สถานที่ทำการวัดสัญญาณ ความถี่ที่ใช้ และตัวแปรต่างๆของจานสายอากาศ การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามชั้นบรรยากาศที่มีผลกระทบ[24]

1. เกิดจากความผิดปกติของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ รวมทั้งชั้น E_s และการกระจายของชั้น F ซึ่งมีผลกระทบต่อความถี่ย่าน C และย่านความถี่ต่ำอย่างมาก เรียกว่า dry scintillation
2. เกิดจากความผิดปกติของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ รวมทั้งปรากฏการณ์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศซึ่งเกิดจากเมฆฝน เรียกว่า wet scintillation

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่บริเวณชั้นที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุด คือ ชั้น F อยู่ที่ความสูงประมาณ 200 ถึง 400 กิโลเมตร ซึ่งเมื่อสัญญาณเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้ที่มีค่าความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของชั้นก็จะทำให้เกิดการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันได้ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะประกอบด้วย 3 ชั้นที่สำคัญ คือ ชั้น D, E, และชั้น F ตามลำดับความสูงจากพื้นโลก ดังแสดงในภาพที่ 36 โดยค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนแต่ละชั้นทั้ง 3 ชั้นเหล่านี้ จะมีค่าเพิ่มขึ้นไปตามความสูงที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดของแต่ละชั้น และที่ขอบระหว่างชั้นจะมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนคงที่ค่าหนึ่งและอาจลดลงในบางช่วง [26] ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นเหล่านี้จะมีค่าเปลี่ยนไปตามรอบแสงอาทิตย์ และจากการทดลองของ [3] ค้นพบว่า ที่ความถี่จาก 20 เมกะเฮิร์ตซ์ จนถึง 6 กิกะเฮิร์ตซ์ การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในย่าน VHF (30-300 เมกะเฮิร์ตซ์) การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันนี้สามารถค้นพบมากๆ ในย่านความถี่ต่ำกว่า 300 เมกะเฮิร์ตซ์ และพบว่าปรากฏการณ์นี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ความเชื่อถือในการปฏิบัติงานของระบบการสื่อสารในย่าน VHF ลดลง [3,27]

ภาพที่ 36



แสดงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเป็นฟังก์ชันกับความสูงเหนือผิวโลก

ชั้น Sporadic E (E_s) เป็นอีกชั้นหนึ่งในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่ที่มีความสูงประมาณ 110 กิโลเมตร เป็นเอกสารที่ส่งผ่านไว้สำหรับกระใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แม้ว่าจะปรากฏเป็นบางครั้งบางคราว บางสถานที่ [28] ลักษณะของชั้น E_s จะไม่วากรณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คล้ายกลุ่มเมฆของอิเล็คตรอนที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันสูงมากจากชั้นอื่นๆ จึงมีผลต่อการสะท้อนคลื่นโดยเฉพาะคลื่นสั้น[26] ส่วนชั้น F ที่มีความหนาแน่นอิเล็คตรอนสูงสุดดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นชั้นที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันต่อสัญญาณดาวเทียมมากกว่าชั้นอื่นๆ ชั้น F นี้จะปรากฏในเวลากลางคืนจากการรวมตัวของชั้น F_1 กับ F_2 แม้ว่าชั้น F นี้จะอยู่เฉพาะในเวลากลางคืนและเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและเวลา แต่พบว่าจะไม่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของดวงอาทิตย์เหมือนชั้นอื่นๆ แต่จะได้รับผลจากจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ ในบริเวณที่มีความหนาแน่นอิเล็คตรอนสูงสุดนั้น ในตอนกลางวันจะต่ำกว่าตอนกลางคืน และฤดูหนาวจะต่ำกว่าฤดูร้อน[29]

จาก[10] สรุปได้อย่างประมาณว่าสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ไม่ได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เลยถ้าระดับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นในย่าน C ไม่มากนัก และได้มีการอธิบายผลการทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจากความไม่สม่ำเสมอในชั้นนี้อาจเกิดขึ้นจากชั้น E_s และชั้น F และการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจากชั้น E_s ส่วนมากปรากฏในเวลากลางวัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เกิดจากชั้น F จะเกิดในเวลากลางคืนมากกว่าในเวลากลางวัน

ในภาพที่ 37 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของชั้นต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อแสดงคุณสมบัติของชั้นเหล่านี้ว่ามีผลอย่างไรต่อสัญญาณดาวเทียมที่ต้องเดินทางผ่าน และแสดงช่วงการปรากฏขึ้นของชั้น F คือในช่วงเวลาประมาณ 19:00 ถึง 07:00 น. ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงในจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนในแต่ละชั่วโมง ในภาพที่ 37 ชั้น D เป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นโลกต่ำสุด คืออยู่ที่ความสูงเฉลี่ย 80 กิโลเมตร ด้วยความหนาเฉลี่ย 10 กิโลเมตร ชั้นนี้ความเป็นไอโอโนสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับความสูงของดวงอาทิตย์เหนือขอบชั้นนี้ จึงทำให้ในเวลากลางคืน ชั้น D จะหายไป ชั้น D เป็นชั้นที่มีความสำคัญน้อยในการแพร่กระจายแบบจุดในย่าน HF (3-30 เมกะเฮิรตซ์) ขึ้นไป ชั้น E อยู่สูงขึ้นไปจากชั้น D อยู่ที่ความสูงประมาณ 110 กิโลเมตร ด้วยความหนาประมาณ 25 กิโลเมตร ชั้นนี้ก็หายไปในเวลากลางคืนเช่นเดียวกับชั้น D เนื่องจากการรวมตัวกันใหม่ของไอออนไปสู่โมเลกุล แต่ชั้นนี้จะมีผลการสะท้อนคลื่น HF ในเวลากลางวันเป็นบางส่วน

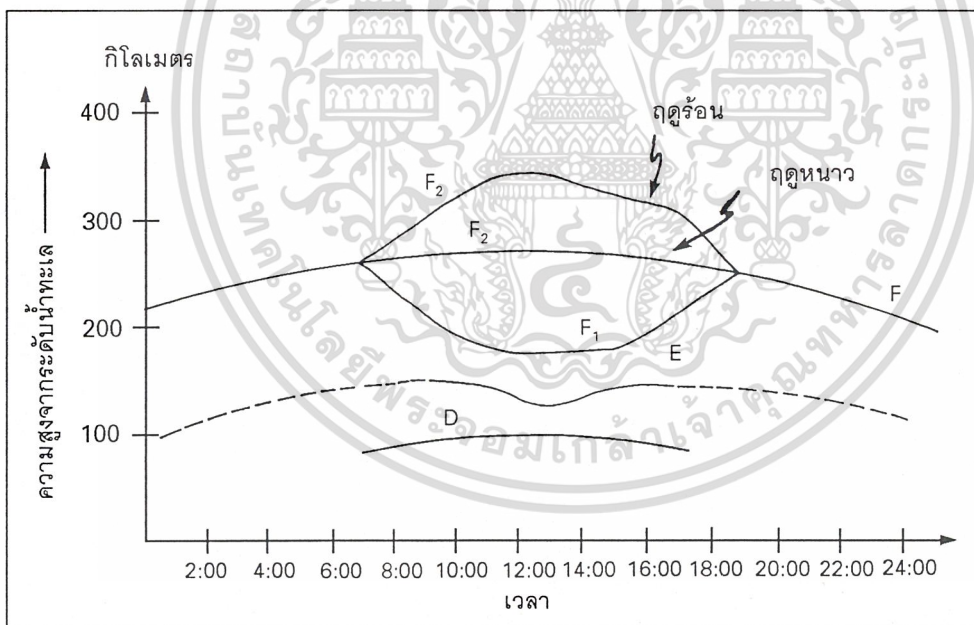
ชั้น F_1 จะอยู่ที่ความสูงประมาณ 200 กิโลเมตรในเวลากลางวัน และรวมตัวกับชั้น F_2 ในเวลากลางคืน ความหนาของชั้นนี้ในเวลากลางวันจะประมาณ 20 กิโลเมตร คลื่นย่าน HF บางส่วนอาจถูกสะท้อนจากชั้นนี้ แต่ส่วนมากจะผ่านชั้นนี้เพื่อสะท้อนจากชั้น F_2 ซึ่งชั้น F_2 เป็นชั้นที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปยังระบบอื่นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำคัญมากในการเป็นตัวกลางสะท้อนคลื่น HF โดยชั้นนี้มีความหนาสูงถึง 200 กิโลเมตรในบางครั้ง ด้วยความสูงในระยะจาก 250 ถึง 400 กิโลเมตรในเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืนจะตกลงสู่ความสูงประมาณ 300 กิโลเมตร ซึ่งจะรวมกับชั้น F_1 ความสูงและความหนาแน่นของชั้นนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยจะขึ้นอยู่กับเวลาของวันหนึ่งๆ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศและรอบแสงอาทิตย์ เป็นที่ชัดเจนที่สุดว่าชั้น F ปรากฏที่เวลากลางคืนไม่เหมือนกับชั้นอื่นๆ สิ่งนี้เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน คือเป็นเพราะชั้นนี้อยู่ที่ระดับความสูงสูงสุด ค่าไอไอในเซชั้นจึงมากที่สุด และด้วยเหตุผลที่สิ่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นบางส่วนสำหรับความเป็นไอไอในเซชั้น จึงยังคงเหลืออยู่ในเวลากลางคืนแม้จะเป็นบางส่วน และอีกเหตุผลหนึ่ง คือความหนาแน่นของไอไอในเซชั้นมีค่าสูงในชั้นนี้ ความหนาแน่นอากาศที่แท้จริงจึงไม่ใช่ค่าเดียวกัน ดังนั้นโมเลกุลส่วนใหญ่ในชั้นนี้เป็นไอไอในเซชั้น

ภาพที่ 37



แสดงการเปลี่ยนแปลงของชั้นต่างๆ ภายในชั้นบรรยากาศไอไอในสเฟียร์

จาก[24,25] พบว่าลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอไอในสเฟียร์ จะมีลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ แบบมีสัดส่วนกันจากระดับปกติอย่างรวดเร็วทางขนาดของสัญญาณเป็นส่วนมาก โดยพบว่าจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืนช่วงเวลาประมาณ 19:00 ถึง 07:00 น. จะมากกว่าในช่วงเวลากลางวัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ช่วงเวลาประมาณ 9:00 ถึง 16:00 น. โดยจะมากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 21:00 ถึง 23:00 น. ซึ่งไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลข้อนี้ได้สอดคล้องกับช่วงเวลากการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ปรากฏ 19:00-07:00 น. สำหรับสาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความหนาแน่นของไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางคืนนั้นมักจะไม่มีมาเสมอเท่ากับในเวลากลางวัน จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดขึ้น พบว่าไม่ขึ้นกับโพลาริเซชันของสัญญาณเลย และจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C จะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล กล่าวคือ ในฤดูร้อนพบว่ามีจำนวนครั้งมากที่สุดตลอดวัน และ มากกว่าในฤดูอื่น โดยขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของค่าของอุณหภูมิในแต่ละวัน

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นโทรโพสเฟียร์เกิดจากการขึ้นๆ ลงๆ ของค่าดัชนีการหักเหใน 2 ถึง 3 กิโลเมตรแรกของความสูง เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เปลี่ยนแปลงทุกวัน และเปลี่ยนแปลงกับเขตภูมิอากาศที่ตั้งอยู่ การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นโทรโพสเฟียร์ จะพบในการเชื่อมโยงแบบเส้นตรงแนวสายตา (line of sight) สูงถึง 10 กิกะเฮิรตซ์ และเส้นทางโลกกับอวกาศที่ความถี่สูงถึง 30 กิกะเฮิรตซ์

โครงสร้างของค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ สามารถพิจารณาเป็นชั้นๆ แนวนอน และเปลี่ยนแปลงเกิดกับชั้นบางๆ ซึ่งเปลี่ยนตามความสูง slant path ที่มุมเงยต่ำ จะต้องผ่านโครงสร้างชั้นที่มีของเหลวสูง ดังนั้น แนวโน้มที่ได้รับผลกระทบสำคัญที่สุดด้วยสภาพการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหอยู่ตลอดเวลาไปตามช่วงเวลา ฤดูกาล ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ จึงทำให้สัญญาณที่เดินทางผ่านมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาไปตามตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลง และชั้นบรรยากาศนี้จะมีผลกระทบค่อนข้างมากต่อย่านความถี่ VHF และ UHF ที่ใช้ระบบการเชื่อมโยงแบบเส้นตรงแนวสายตา (line of sight) ส่วนในย่านความถี่ C และ Ku ที่ใช้ระบบสื่อสารแบบเชื่อมโยงตัดผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เดินทางผ่านด้วย จากดัชนี $S_4[24]$ พบว่าสัญญาณที่ความถี่สูงกว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์น้อยกว่า ดังนั้นในย่านความถี่ Ku การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นก็เนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนใหญ่ และจาก[3] กล่าวว่ายิ่งความถี่สูงโดยปกติมากกว่า 2 กิกะเฮิรตซ์ ขึ้นไป ผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะคล้ายกับที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษ เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยอิสระอื่นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนมาก มีผู้ทำวิจัยและสรุปไว้ว่าสัญญาณย่าน Ku จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มีสาเหตุสำคัญอยู่ 2 ประการคือ 1) ผลจากการเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ 2) ผลจากการกระจัดกระจายของคลื่นขณะเคลื่อนที่ผ่านเม็ดฝน[30]

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

คุณสมบัติทั่วไปของค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เป็นที่ทราบกันว่าค่าดัชนีการหักเห (n) ที่ความถี่คลื่นวิทยุเป็นฟังก์ชันของ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความดันไอน้ำ อัตราส่วนของความเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านสุญญากาศต่อความเร็วในตัวกลางที่ถูกพิจารณา เรียกว่า ดัชนีการหักเห (n) ของตัวกลาง สำหรับอากาศแห้งในชั้นบรรยากาศที่ต่ำกว่า จะมีค่าดัชนีการหักเหดังต่อไปนี้

$$n(\text{dry}) = 1 + 77.6 (P/T) \times 10^{-6} \quad (3.2)$$

เมื่อ P คือ ความดันบรรยากาศมีหน่วยเป็นเฮกโตปาสกาล (hPa) และ T เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วยเคลวิน ส่วนประกอบของก๊าซของชั้นบรรยากาศค่อนข้างจะคงที่ ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศและความสูง ที่สูงถึง 50 กิโลเมตร สมการ 3.2 สามารถใช้ได้กับชั้นบรรยากาศที่แห้งทุกๆ ที่บนโลก อย่างไรก็ตามไอน้ำจะทำให้ค่าดัชนีการหักเหเปลี่ยนได้ ซึ่งค่าดัชนีการหักเหในเทอม 'wet' คือ

$$n(\text{wet}) = 375000 (e/T^2) - 5.6 (e/T) \quad (3.3)$$

เมื่อ e คือ ความดันไอน้ำ (hPa) สองเทอมในสมการ 3.3 ถูกรวมกันและประมาณได้เป็น

$$n(\text{wet}) = 373000 (e/T^2) \quad (3.4)$$

เทอม 'wet' และ 'dry' สามารถรวมกันได้ทางคณิตศาสตร์จะได้ค่าดัชนีการหักเหทั้งหมด (n) และจัดเรียงและรวมสมการสองเทอมจะได้

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งให้ภาครัฐ} \quad n = 1 + 77.6 (P/T) + 373000 (e/T^2) \times 10^{-6} \quad (3.5)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่า n มีค่าเข้าใกล้หนึ่งมากๆ และเพื่อความสะดวกในการใช้งานจึงมีการกำหนดค่า N ขึ้นมา เมื่อ N คือ refractivity เป็นหนึ่งล้านเท่าของค่าดัชนีการหักเหลดด้วยหนึ่งและมีหน่วยเป็น NU ดังสมการต่อไปนี้

$$N = (n - 1) \times 10^6 \quad (3.6)$$

นำสมการที่ 3.6 แทนลงในสมการที่ 3.5 จะได้

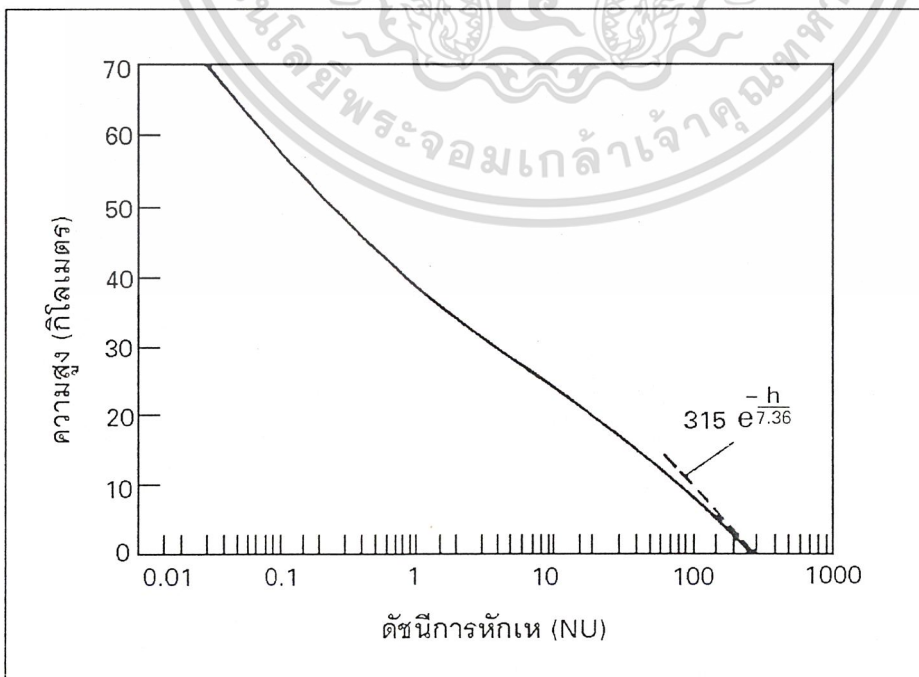
$$N = (77.6/T) \times (P + 4810 (e/T)) \quad (3.7)$$

สมการนี้ถูกต้องถึง 0.5% สำหรับความถี่สูงถึง 100 กิโลเฮิร์ตซ์

เนื่องจากค่า N จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงจากพื้นโลก สำหรับการใช้งานภายในไม่กี่กิโลเมตร จะสามารถใช้สมการแบบจำลองเอ็กโปเนนเชียล (ดูภาพที่ 38) ประมาณได้ดังต่อไปนี้[3]

$$N = 315 e^{-h/7.36} \quad (3.8)$$

ภาพที่ 38



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาของชั้น ไม่สมควรให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงการประมาณค่า N โดยใช้สมการเอ็กโปเนนเชียล
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหในช่วงค่าน้อยๆ ดังเช่นที่เกิดจากปรากฏการณ์ตรงข้ามของอุณหภูมิ หรือเทอร์บิวเล้นท์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของคลื่นวิทยุ การประมาณค่าปริมาณของระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศแบบเทอร์บิวเล้นท์ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทำได้โดยการสมมุติว่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ มีเพียงเล็กน้อยในชั้นบรรยากาศเทอร์บิวเล้นท์ที่มีความหนาแน่นเบาบาง และใช้การพิจารณาด้วยทฤษฎีเทอร์บิวเล้นท์[3] การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน (a) ก็จะได้ดังต่อไปนี้

$$a \text{ (เดซิเบล)} = \log r \quad (3.9)$$

r คือ ค่าของกำลังที่รับได้ การเปลี่ยนแปลงของ \log ของกำลังที่รับได้ (σ_x^2) หาได้จากสมการดังนี้

$$\sigma_x^2 = 42.25 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^{7/6} \int_0^L C_m^2(x) x^{5/6} dx \quad (3.10)$$

เมื่อ $C_m(x)$ คือ ค่าคงที่ของโครงสร้างดัชนีการหักเห

λ คือ ความยาวคลื่น

x คือ ระยะทางตามเส้นทาง

L คือ ความยาวของเส้นทางทั้งหมด

จากสมการ 3.10 จะเห็นได้ว่าค่าของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ขึ้นกับค่าของ $C_m(x)$ ซึ่งหาค่าได้ยากมาก และจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในรูปค่า r.m.s. (σ_x) จะเปลี่ยนตาม $f^{7/12}$ ซึ่งก็คือความสัมพันธ์ที่ว่าความถี่เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน อย่างเช่นผลการทดลองใน[3] พบว่าที่ความถี่ 10 กิกะเฮิร์ตซ์ ช่วงของ σ_x จะมีค่าประมาณ 0.1 ถึง 1 dB และที่ความถี่ 100 กิกะเฮิร์ตซ์ จะมีค่าประมาณ 0.38 ถึง 3.8 dB ดังนั้น เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ในที่นี้อาศัยรูปแบบจำลองของ CCIR ที่แสดงดังต่อไปนี้

$$\sigma_x = 0.025 f^{7/12} (\csc \theta)^{0.85} [G(z)]^{1/2} \quad (3.11)$$

โดยสมมุติว่าชั้นบรรยากาศแบบเทอร์บิวเล้นท์บางๆ เมื่อความสูงเฉลี่ย 1 กิโลเมตร และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอกเหนือไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า σ_x คือ ค่า r.m.s. ของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน, f คือ ความถี่ (กิกะเฮิร์ตซ์), θ คือ เมาวการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมเงยของจานสายอากาศรับ (องศา) และ $G(z)$ คือ แฟคเตอร์เฉลี่ยที่ขึ้นอยู่กับอะเพอร์เจอร์ของจานสายอากาศ (ดูภาคผนวก ง)

จากสมการที่ 3.7 เพื่อความสะดวกและเข้าใจง่าย จะใช้คำว่า ดัชนีการหักเหในหน่วยของ NU แทนคำว่า refractivity ซึ่งจะเขียนเป็น 'ดัชนีการหักเห (NU)', N_{wet} แทน $n(wet)$ และ N_{dry} แทน $n(dry)$ สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

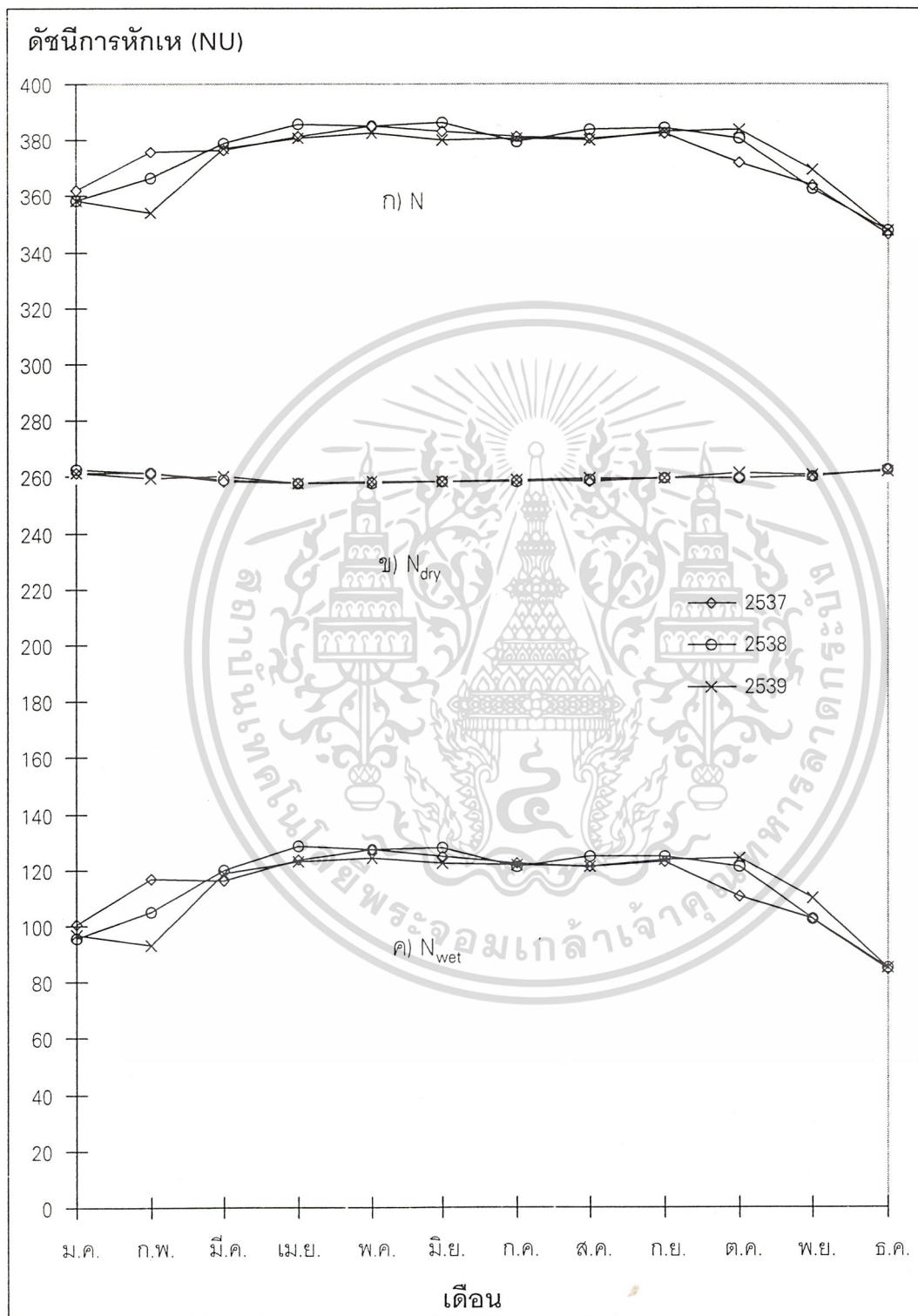
$$N = \left[77.6 \left(\frac{P}{T} \right) + \left[3.73 \times 10^5 \left(\frac{e}{T^2} \right) \right] \right] \quad (3.12)$$

$$= N_{dry} + N_{wet}$$

จากสมการ 3.12 แสดงให้เห็นว่าความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความดันไอน้ำ ดังแสดงในภาพที่ 8, 9 และ 12 ตามลำดับ และจากสมการที่ 3.12 สามารถนำมาพล็อตกราฟได้ดังในภาพที่ 39 ซึ่งแสดงค่าดัชนีการหักเห (NU) ของแต่ละเดือนในช่วงเวลาปี พ.ศ. 2537-2539 โดยภาพ (ข) เป็น N_{dry} , ภาพ (ค) เป็น N_{wet} จะเห็นได้ว่า N_{dry} มีค่าสูงกว่า N_{wet} ตลอด แต่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่าของ N_{wet} จะมากกว่า และจะเห็นว่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า N_{wet} คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ N ทั้งหมด ซึ่งจะเห็นว่าค่า N ในช่วง มีนาคมถึงตุลาคม จะมีค่าสูงกว่า มกราคมถึงกุมภาพันธ์ และ พฤศจิกายนถึงธันวาคม จากภาพที่ 40 (ก) ถึง (ค) จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม ค่าดัชนีการหักเห (NU) ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดวัน จะมีค่าอยู่ระหว่าง 370-390 ซึ่งสูงกว่า มกราคมถึงกุมภาพันธ์ และ พฤศจิกายนถึงธันวาคม ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 345-370 โดยสังเกตจากค่าต่ำสุดของเดือนมีนาคมถึงกรกฎาคม จะมีค่าดัชนีการหักเห (NU) อยู่ในช่วง 370-375 จะมีค่าสูงกว่าในเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์ และ พฤศจิกายนถึงธันวาคม คือ จะมีค่าดัชนีการหักเห (NU) อยู่ในช่วง 345-350 ซึ่งสอดคล้องกับภาพที่ 39 และพบว่าค่า N ของทุกเดือนในช่วงเวลาประมาณ 07:00 ถึง 22:00 น. จะต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น โดยต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 13:00 ถึง 16:00 น. ซึ่งผลที่ได้เมื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลากลางวันของสัญญาณย่าน Ku แบบโพลาไรซ์แนวตั้งในแต่ละเดือน แสดงดังในภาพที่ 41 (ก) ถึง (ค) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นมากในช่วงเวลาประมาณ 9:00 ถึง 17:00 น. และจะเกิดสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 13:00 ถึง 15:00 น. และเมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันกับค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ พบว่ามีค่า

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 39

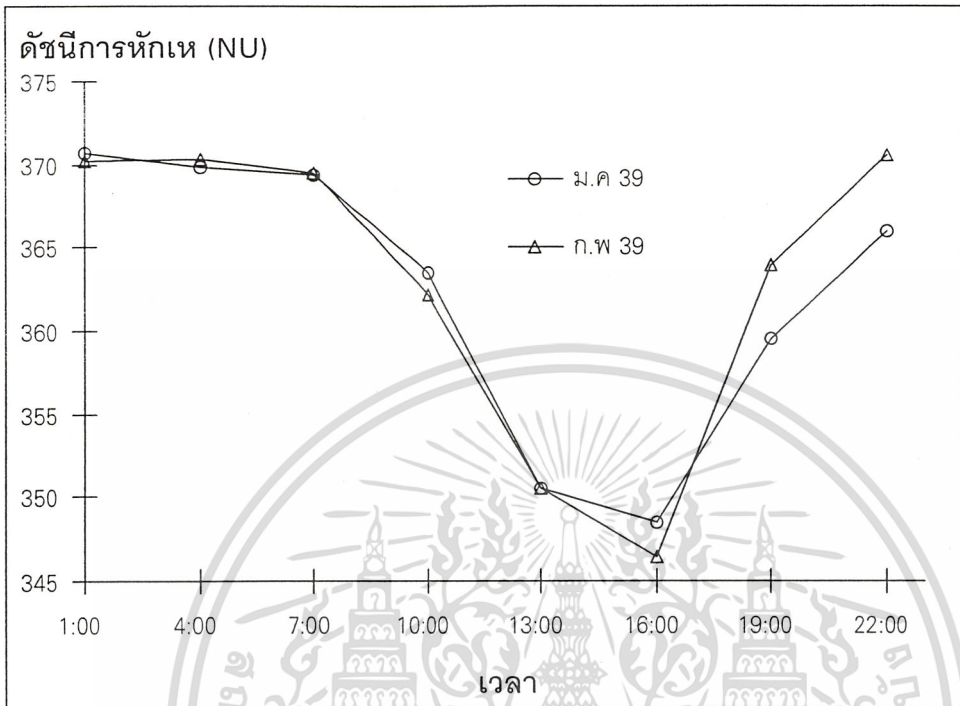


แสดงการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ

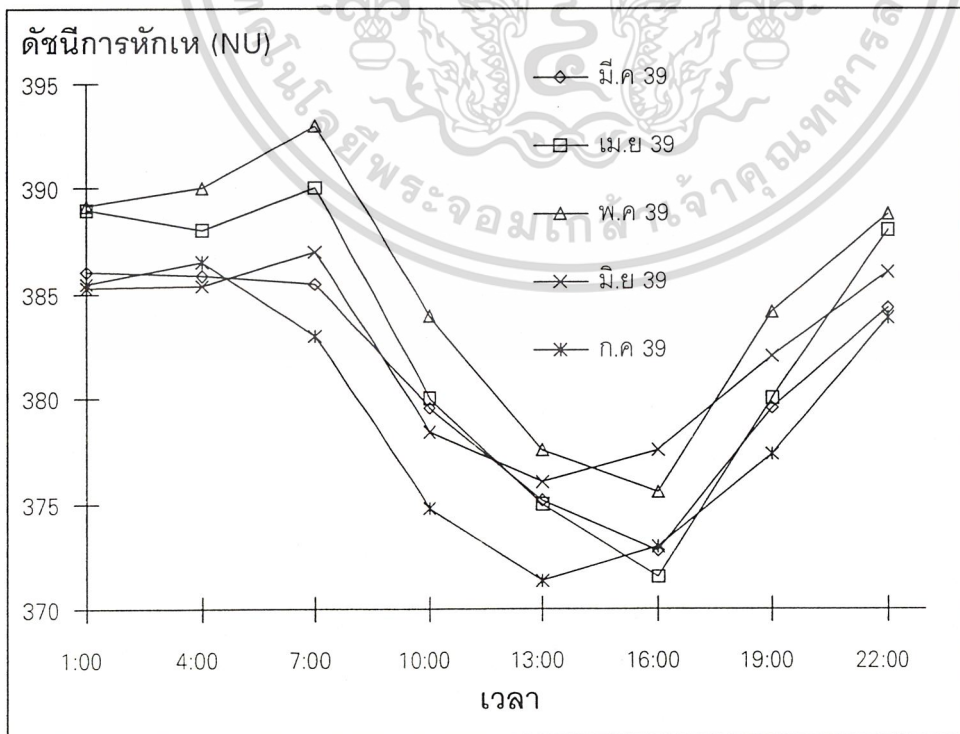
โทรโพสเฟียร์ในแต่ละเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 40

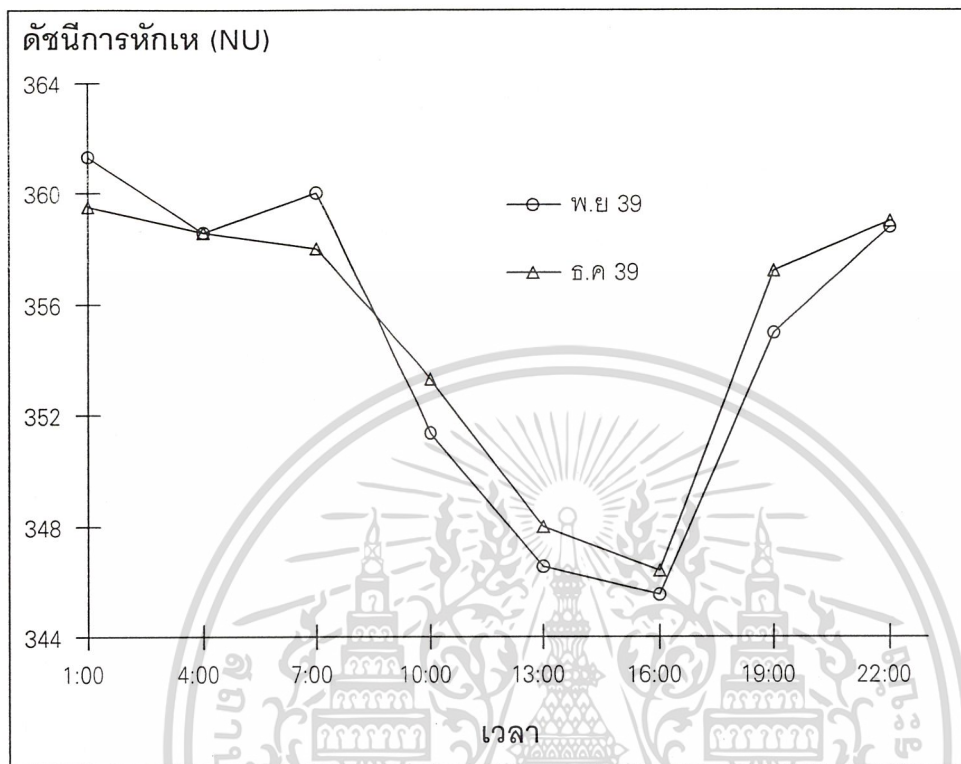


(ก) ม.ค. และ ก.พ. 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ(ข) มี.ค.ถึงก.ค. 39 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

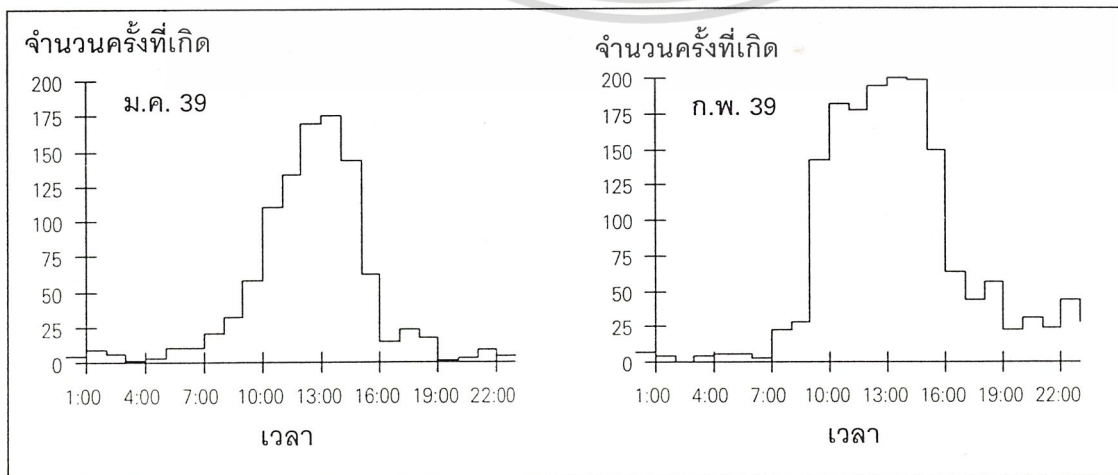
ภาพที่ 40 (ต่อ)



(ค) พ.ย. และ ธ.ค. 39

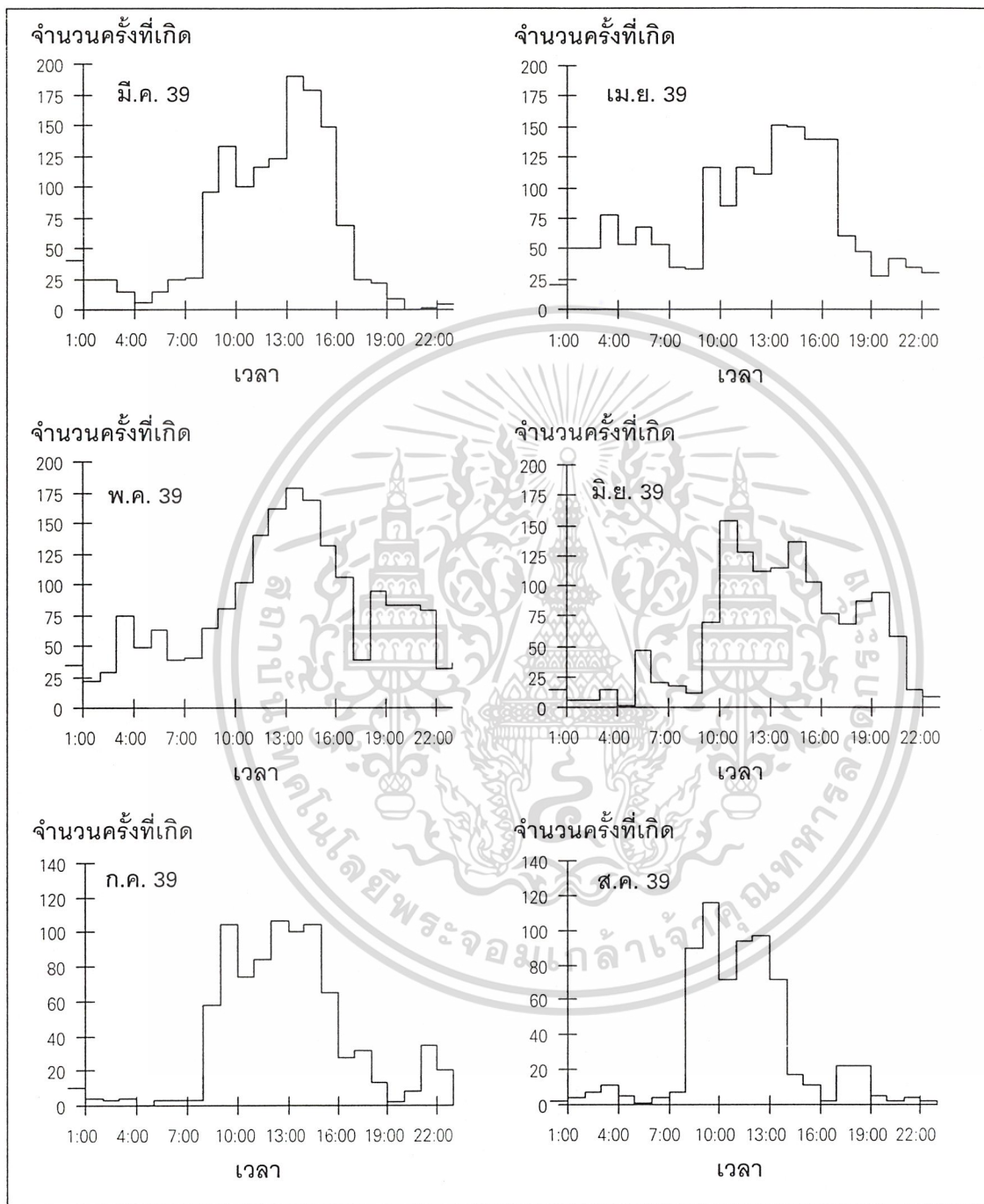
แสดงการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

ภาพที่ 41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ก) ม.ค. และ ก.พ. 39
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

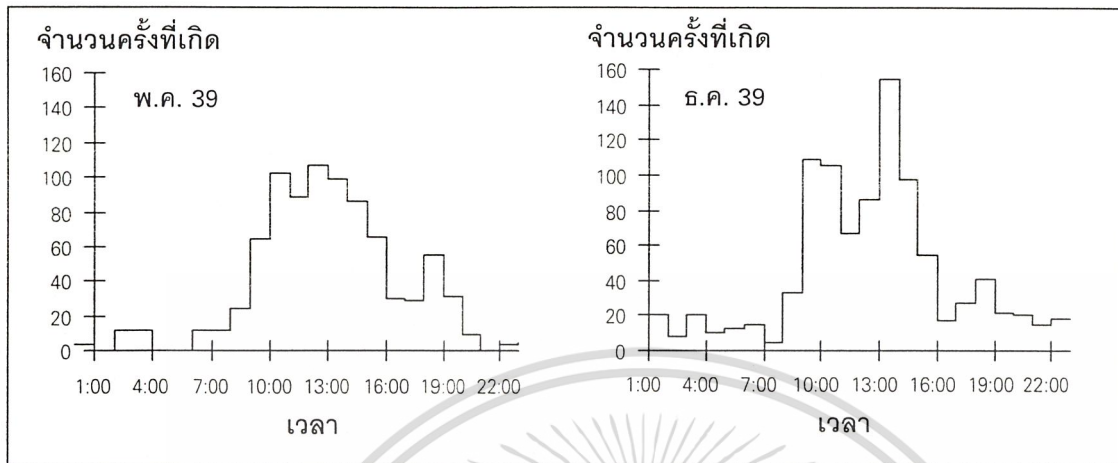
ภาพที่ 41 (ต่อ)



(ข) ม.ค. ถึง ส.ค. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 41 (ต่อ)



(ค) พ.ย. และ ธ.ค. 39

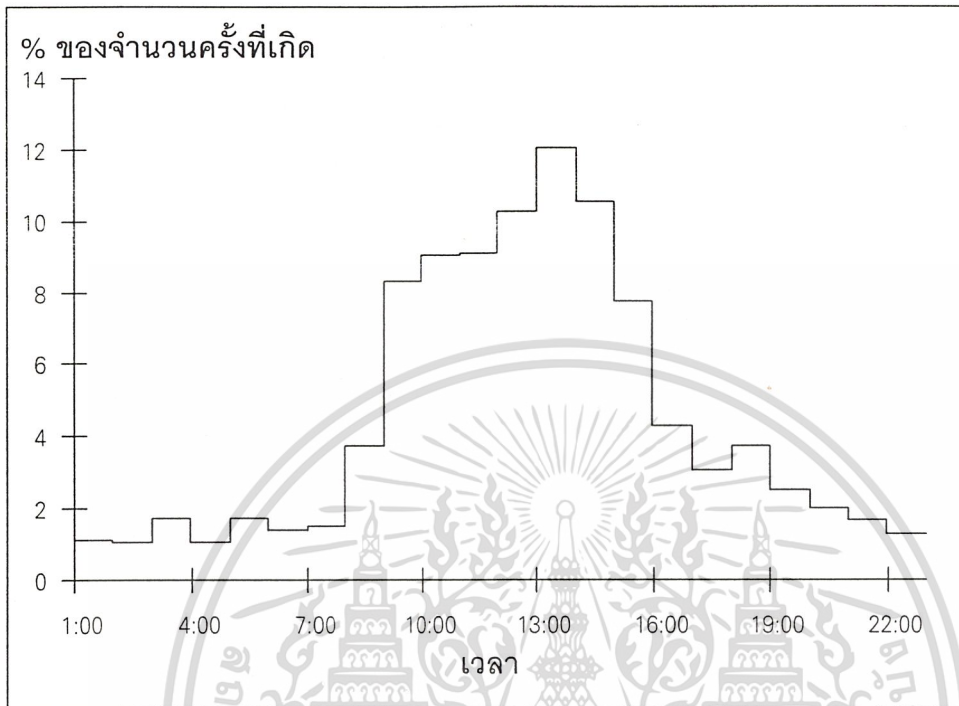
แสดงจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในโพลาริธแนล

เท่ากับ 0.782 จะเห็นได้วยังไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างแท้จริง และจาก[31] กล่าวไว้ว่า การเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีความสัมพันธ์ดีเยี่ยมกับ N_{wet} ของค่าดัชนีการหักเห (NU) ของชั้นบรรยากาศที่มุ่มเงยต่ำ (ต่ำกว่า 10 องศา) เนื่องจากการทดลองนี้มีมุมเงยประมาณ 60° ซึ่งถือว่าเป็นมุมเงยสูงมาก ดังนั้นความสัมพันธ์ของค่าดัชนีการหักเห (NU) กับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจึงมีค่าน้อย นอกจากนี้ที่มุ่มเงยสูงได้มีการรายงานจากผู้วิจัยว่าจะมีความสัมพันธ์ดีเยี่ยมกับอุณหภูมิ[20] ซึ่งจะพิจารณาในหัวข้อต่อไป

ในภาพที่ 41 (ก) ถึง (ค) แสดงให้เห็นว่าจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ในเดือนมีนาคมจะเกิดสูงกว่าในเดือนอื่นๆ ซึ่งจะเกิดประมาณเกือบ 200 ครั้ง ส่วนในเดือนพฤศจิกายนจะเกิดน้อยกว่าเดือนอื่นๆ คือประมาณ 100 ครั้ง นอกจากนี้ในภาพที่ 42 ยังแสดงค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งที่เกิดของเดือนมกราคมถึงธันวาคม 2539 พบว่าจำนวนครั้งที่เกิดในช่วงเวลาประมาณ 9:00-17:00 น. จะมีประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่เกิดทั้งหมด กล่าวคือจำนวนครั้งที่เกิดเฉลี่ยประมาณ 15 ครั้งต่อ 1 ชั่วโมง (1 ชั่วโมงมีจำนวนครั้งสูงสุด 20 ครั้งๆ 3 นาที) จึงสรุปได้ว่า การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku จะเกิดในช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 42



แสดงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ในโพลาร์ไรซ์แนวตั้ง

วิธีการแสดงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน[1]

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เป็นการแสดงช่วงการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณที่รับได้ ซึ่งมีหลายวิธีในการแสดงการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ เช่นเดียวกับหลากหลายวิธี ที่พยายามใช้ประโยชน์จากความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลข่าวสาร แม้ว่าในกรณีของการแพร่กระจายคลื่นในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะเกี่ยวข้องกับการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม คุณสมบัติทางไฟฟ้า (คือ ค่าดัชนีการหักเห) ของเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสถานีส่งและสถานีรับมีความอ่อนไหวมาก ดังนั้น สิ่งหนึ่งที่ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่ายในการสมมติฐานของการแพร่กระจายคลื่นในฟรีสเปซ (free space) ไปยังเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นจริง โดยปราศจากการมีอยู่ของ การหักเห การแตกกระจาย การดูดกลืนสัญญาณ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ ปัจจัยอื่นในการพิจารณา นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการติดต่อสื่อสารดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ (mobile satellite) ในพื้นที่ในเมืองและบนเส้นทางคลื่นไมโครเวฟที่สภาพอากาศไม่วุ่นวายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปรปรวน การเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลาของความเข้มสัญญาณที่รับได้สามารถจางหายได้ และสิ่งเหล่านี้เป็นสภาพที่ยอมรับว่าเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณ

วิธีการทางสถิติเป็นสิ่งจำเป็นในการแสดงให้เห็นการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของสนามไฟฟ้าของสัญญาณรับได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เพราะว่ามันเป็นไปไม่ได้ในการกำหนดความถูกต้องของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในอนาคต วิธีการทางสถิติเป็นการใช้ค่าเฉลี่ย การเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการแสดงการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของระดับสัญญาณ

พิจารณาวิธีการพื้นฐานที่ใช้แสดงทางสถิติที่ใช้มากในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่น คือ ค่าสูงสุดและต่ำสุดของระดับสัญญาณในช่วงเวลาที่กำหนด (Peak-to-peak value) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation value)

ค่า Peak-to-peak (P-P)

ระดับสัญญาณที่มีการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงอย่างมากขึ้นกับแฟคเตอร์ เช่น อะพอเจอร์ของจานสายอากาศ มุมเงยจานสายอากาศ สถานที่ติดตั้งจานสายอากาศ ความถี่ที่รับ และอื่นๆ การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมเกิดขึ้นเนื่องจากชั้นบรรยากาศหลักๆ 2 ชั้นคือ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ขึ้นกับสาเหตุพื้นฐานของปรากฏการณ์นั้นๆ การเกิดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สามารถแยกเป็นแถบที่เกิดปรากฏการณ์ได้ คือ แถบเส้นศูนย์สูตร แถบเส้นรุ้งกลาง และแถบเส้นรุ้งสูง บนพื้นฐานของแถบที่ปรากฏการณ์นั้นถูกสังเกต ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันขึ้นกับแสงอาทิตย์ที่เกิดจากจุดดับบนดวงอาทิตย์ การวัดการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน มีวิธีการอ่านค่า P-P ของการรับระดับสัญญาณที่ไม่มีกฎเกณฑ์ ค่า P-P สามารถแยกกว้างๆ เป็น 2 ชนิดคือ

1. Peak-to-peak

การเข้าใกล้อย่างหนึ่งในการกำหนดช่วงการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เป็นสิ่งที่ยากในการอ่านค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของระดับสัญญาณรับที่ไม่มีกฎเกณฑ์ วิธีการนี้ไม่เพียงง่ายในการนำไปใช้งาน มันยังใช้ได้ดีในการแทนลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน วิธีนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทุกชนิดของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันอย่างไรก็ตามการเข้าใกล้จะไม่ดีในการใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Scintillation Index

ในการทำงานเดียวกันกับการเข้าใกล้ P-P วิธี Scintillation Index (SI) มักถูกใช้ทั่วไปแทนลักษณะเฉพาะของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน SI ถูกนิยามเป็น

$$SI = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} \quad (3.13)$$

เมื่อ P คือ กำลังงาน

P_{\max} เป็นค่าสูงสุดอันดับ 3 จากค่าสูงสุด P_{\min} เป็นค่าต่ำสุดอันดับ 3 จากค่าต่ำสุด

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation value)

วิธีอื่นที่ใช้กันอย่างกว้างในการแทนที่ช่วงการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน คือการได้มาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับสัญญาณรับที่ไม่มีกฎเกณฑ์ มีจำนวนวิธีที่ใช้สำหรับการแทนที่ระดับการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ซึ่งวิธีพื้นฐานบนการเบี่ยงเบนมาตรฐาน ถูกเสนอแนะให้ใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน การเข้าใกล้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถแบ่งเป็น 2 วิธี

1. Standard deviation (σ_x)

ขนาดการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน คือ ค่าที่สำคัญสำหรับการแทนของดีกรีของการแตกกระจาย และเพราะว่ามันแสดงขนาดการกระจายแบบสุ่มรอบๆ ค่าเฉลี่ย มันสามารถแทนด้วย

$$\sigma_x = \left(\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

เมื่อ x_i เป็นค่าความแตกต่างระหว่างค่าสุ่มและ \bar{x} คือค่าเฉลี่ย, n คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง (σ_x^2) เรียกว่า variance

ในวิธีของ CCIR การเบี่ยงเบนมาตรฐาน อธิบายค่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันสามารถแสดงดังนี้

$$\sigma_{\text{pre}} = \sigma_{\text{ref}} f^n \frac{g(x)}{(\sin\theta)^b} \quad (3.15)$$

เมื่อ f คือ ความถี่ที่รับ (กิกะเฮิร์ตซ์)

n มีค่าเท่ากับ 7/12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีค่าเท่ากับ 1.2 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ คือ มุมเงย (องศา) และ $g(x)$ คือ ค่าเฉลี่ยจางสายอากาศ ค่า σ_{ref} ถูกกำหนดด้วย

$$\sigma_{ref} = 3.6 \times 10^{-3} + 1.03 \times 10^{-1} N_{wet} \quad (3.16)$$

เมื่อ N_{wet} เป็น wet term ของการหักเห (ดูสมการ 3.12) วิธีนี้ธรรมดาและแก้ไขได้ดี สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาวได้

2. S_4 index

หลักการนี้แยกผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันว่า เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์หรือโทรโพสเฟียร์โดยอาศัยสมการ S_4 index ซึ่งสมการนี้ใช้หาค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ด้วยดังนี้

$$S_4 = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (3.17)$$

เมื่อ σ_x เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังของสัญญาณที่รับได้

m_x เป็นค่าเฉลี่ยของกำลังที่รับได้

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง S_4 index กับความถี่^[9] ดังนี้

$$S_4 \propto f^{-1} \quad \text{สำหรับความถี่ 1.5 GHz ถึง 4 GHz}$$

$$S_4 \propto f^{-2} \quad \text{สำหรับความถี่ 4 GHz ขึ้นไป}$$

และจาก[3,26] จะได้ว่า

$$S_4 \propto f^{-1.5} \quad \text{สำหรับ Amplitude Scintillation}$$

$$S_4 \propto f^{-2} \quad \text{สำหรับ Phase Scintillation}$$

เพราะว่ามีหลายวิธีที่ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล ที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงกะทันหัน การเลือกวิธีการใดขึ้นอยู่กับให้นำไปใช้ให้เหมาะสมกับงาน ในการใช้งานปัจจุบัน มักจะใช้ค่า P-P เพราะง่ายและสะดวกในการคำนวณ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะเหมาะสมกับการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณสถิติรายเดือนและระยะยาวของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหันที่มุ่มงายมากกว่า 4°

เทคนิคทั่วไปของการทำนายการกระจายแบบสะสมของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่มุ่มงายสูงกว่า 4° จะแสดงตามสมการข้างล่างนี้ [38] ซึ่งมันจะขึ้นกับอุณหภูมิ t ($^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ H เฉลี่ยตลอดเดือน หรือมากกว่า และสภาพของเขตภูมิอากาศเฉพาะที่ตั้ง ค่าเฉลี่ยของ t และ H จะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล การกระจายของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ซึ่งอาจจะใช้การทำนายด้วยค่าเฉลี่ยของ t และ H ตลอดฤดูกาล ค่าของ t และ H อาจจะได้มาจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศของที่ตั้ง กระบวนการนี้ถูกทดสอบที่ความถี่ 7 และ 14 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างน้อยที่สุดที่ความถี่ 20 กิกะเฮิร์ตซ์

พารามิเตอร์ที่ต้องการสำหรับวิธีการนี้

t : อุณหภูมิผิวโลกเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$) ที่สถานที่ทำการทดลองสำหรับคาบเวลา 1 เดือน หรือ มากกว่า

H : ความชื้นสัมพัทธ์ผิวโลก (%) ที่สถานที่ทำการทดลองสำหรับคาบเวลา 1 เดือน หรือ มากกว่า

f : ความถี่ (กิกะเฮิร์ตซ์), $4 \leq f \leq 20$ กิกะเฮิร์ตซ์

θ : มุ่มงาย, $\theta \geq 4^{\circ}$

D : เส้นผ่าศูนย์กลางจานสายอากาศสถานีภาคพื้นดิน

η : ประสิทธิภาพจานสายอากาศ, ถ้าไม่ทราบให้กำหนดโดยประมาณคือ $\eta = 0.5$

ขั้นที่ 1 : เมื่อทราบค่า t , จากนั้นจะคำนวณหาความดันไอน้ำอิ่มตัว (e_s) ได้ดังสมการ

$$e_s = \frac{5854 \times 10^{(20-2950/(273+t))}}{(273+t)^5} \quad \text{เฮกโตปาสคาล} \quad (3.18)$$

ขั้นที่ 2 : คำนวณ wet term ของค่าดัชนีการหักเห (N), N_{wet} จากค่า e_s และ H

$$N_{\text{wet}} = \frac{3730 H e_s}{(273+t)^2} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 : คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแอมพลิจูดของสัญญาณ (σ_{ref}) ด้วยการอ้างอิงจาก

$$\sigma_{ref} = 3.6 \times 10^{-3} + 10^{-4} \times N_{wet} \quad \text{เดซิเบล} \quad (3.20)$$

ขั้นที่ 4 : คำนวณค่าระยะทางประสิทธิผล (L) กล่าวคือ

$$L = \frac{2 h_L}{\sqrt{\sin^2 \theta + 2.35 \times 10^{-4}} + \sin \theta} \quad \text{เมตร} \quad (3.21)$$

เมื่อ h_L คือความสูงของชั้นเทอร์บิวเลนต์ ค่าที่ใช้ คือ $h_L = 1000$ เมตร

ขั้นที่ 5 : ประมาณเส้นผ่าศูนย์กลางจานสายอากาศประสิทธิผล (D_{eff}) จากเส้นผ่าศูนย์กลางเรขาคณิต (D) และประสิทธิภาพจานสายอากาศ η

$$D_{eff} = \sqrt{\eta} D \quad \text{เมตร} \quad (3.22)$$

ขั้นที่ 6 : คำนวณแฟคเตอร์เฉลี่ยจานสายอากาศจาก

$$g(x) = \sqrt{3.86 (x^2 + 1)^{1/12}} \sin \left[\frac{11}{6} \arctan \frac{1}{x} \right] - 7.08 x^{5/6} \quad (3.23)$$

เมื่อ

$$x = 122 D_{eff}^2 (f / L) \quad (3.24)$$

เมื่อ f คือ ความถี่พาหะ (กิกะเฮิรตซ์)

ขั้นที่ 7 : คำนวณค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณสำหรับคาบที่พิจารณาและเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น

$$\sigma = \sigma_{ref} f^{7/12} \frac{g(x)}{(\sin \theta)^{12}} \quad (3.25)$$

ขั้นที่ 8 : คำนวณแฟคเตอร์เปอร์เซ็นต์เวลา (a(p)) สำหรับเปอร์เซ็นต์เวลา (p) ที่อยู่ในช่วง

$$0.01\% < p < 50\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} a(p) &= -0.061 (\log_{10} p)^3 + 0.072 (\log_{10} p)^2 \\ &= -1.71 \log_{10} p + 3.0 \end{aligned} \quad (3.26)$$

ขั้นที่ 9 : คำนวณการจางหายของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เปอร์เซ็นต์เวลา p ด้วย

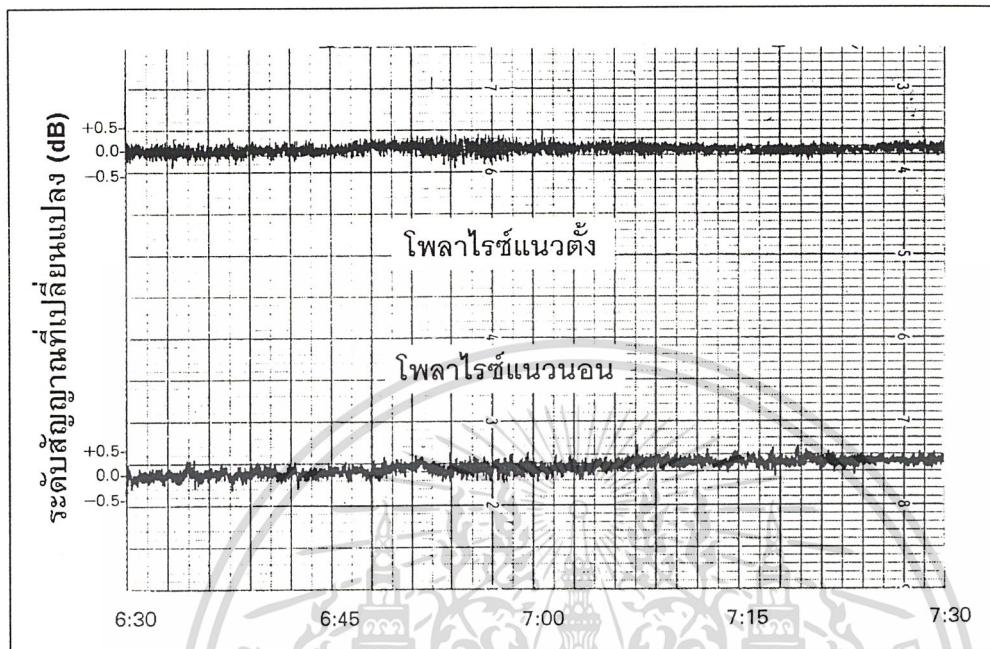
$$x(p) = a(p) \cdot \sigma \quad \text{เดซิเบล} \quad (3.27)$$

ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาวันของการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

ระดับสัญญาณที่รับได้ส่วนมากจะมีระดับที่ปกติ กล่าวคือ การแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ไม่เกิน 0.5 เดซิเบล ดังแสดงในภาพที่ 43 ส่วนการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของระดับสัญญาณรับเนื่องจากเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเกินกว่า 0.5 เดซิเบล แสดงดังภาพที่ 44 (ก) ถึง (ง) ในภาพที่ 44 (ก) แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าการเกิดจะไม่มีสัดส่วนกันก็ตาม ในภาพที่ 44 (ข) แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดไม่ต่อเนื่องในช่วงเวลาที่เกิดประมาณ 11:12 ถึง 11:39 น. จากภาพนี้จะเห็นได้ว่าการเกิดเพียง 9 ครั้งใน 1 ชั่วโมง ในภาพที่ 44 (ค) แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดอย่างรุนแรง คือ มีค่าถึง 4 dBp-p จากภาพ 44 (ก) ถึง (ค) จะสังเกตเห็นว่าเกิดในช่วงเวลากลางวันในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส เนื่องจากไม่มีอัตราการตกของฝนที่บันทึกได้ในขณะนั้น ส่วนในภาพที่ 44 (ง) แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากเมฆฝน จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันและการลดทอนระดับของสัญญาณเนื่องจากฝนเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน โดยที่ที่มีการลดทอนระดับของสัญญาณประมาณ 3 เดซิเบล ที่เวลา 17:24 น. ซึ่งเวลาดังกล่าวมีฝนตกเนื่องจากสามารถบันทึกอัตราการตกของฝนได้ สิ่งที่เกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดเนื่องจากฝนจะเกิดในช่วงเวลาตอนเย็นและกลางคืนในฤดูฝน เนื่องจากมักจะมีฝนตกในช่วงเวลาดังกล่าวในฤดูฝน ดังแสดงในภาพที่ 45 และข้อสังเกตอีกประการหนึ่งของภาพที่ 44 คือ ระดับการเปลี่ยนแปลงและรูปร่างลักษณะของสัญญาณในแนวโพลาริซ์แนวนอนและแนวตั้งมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมความถี่ย่าน Ku จะไม่ขึ้นกับโพลาริซ์ของสัญญาณเลย

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

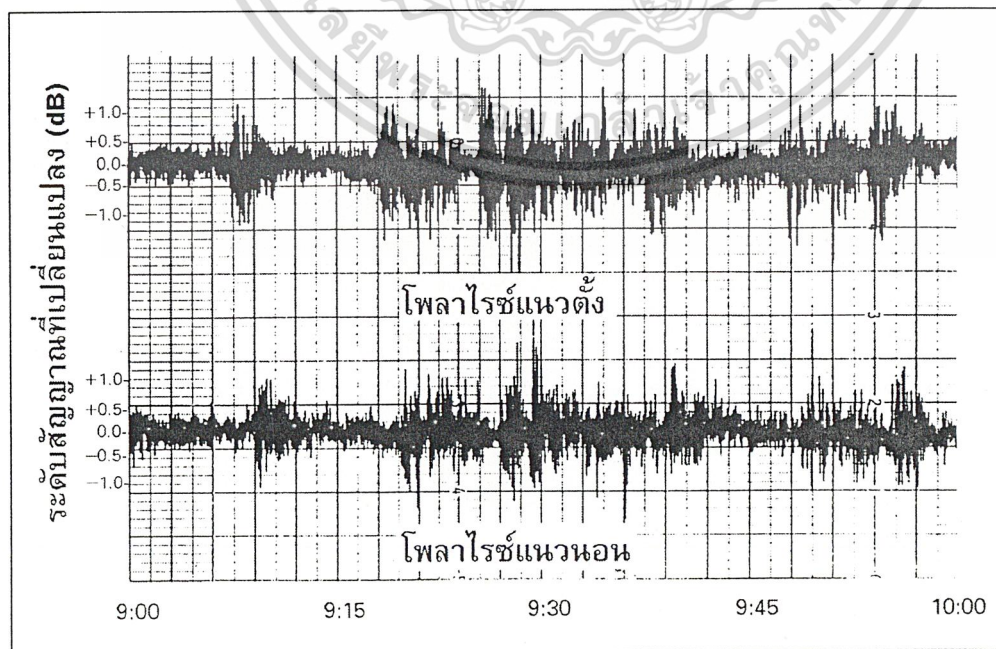
ภาพที่ 43



แสดงระดับสัญญาณที่ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

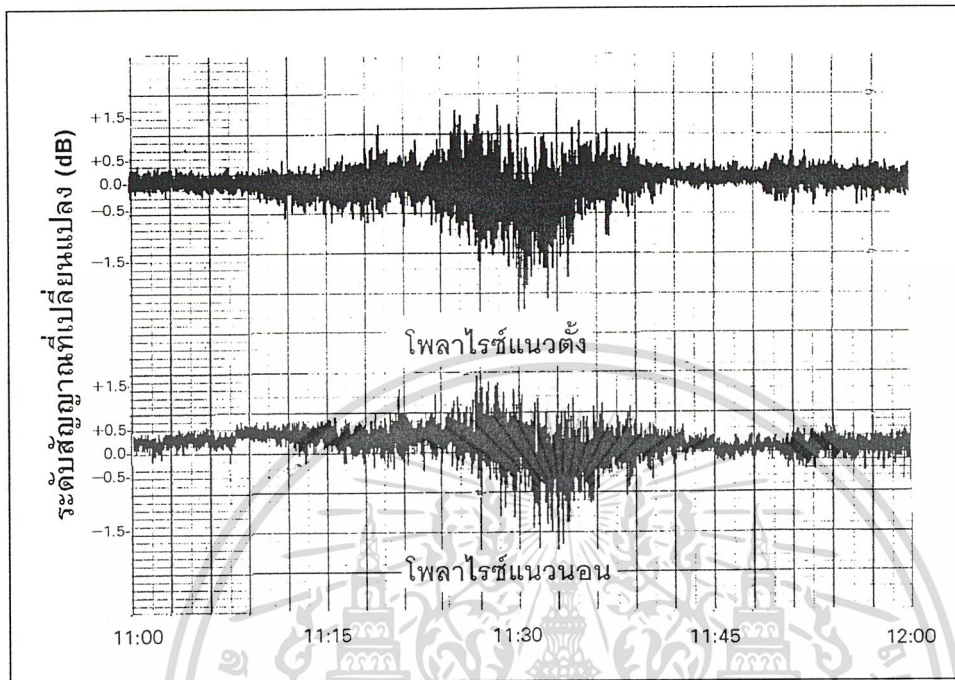
บันทึกได้ 18 มี.ค. 39

ภาพที่ 44

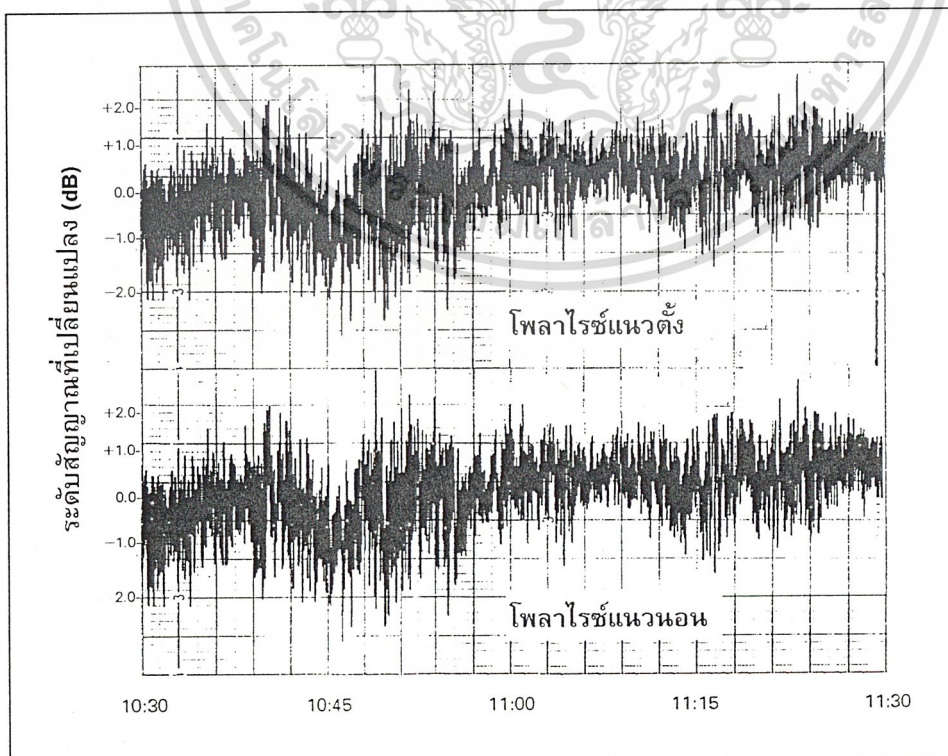


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ก) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอย่างต่อเนื่อง 5 พ.ค. 39
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 44 (ต่อ)

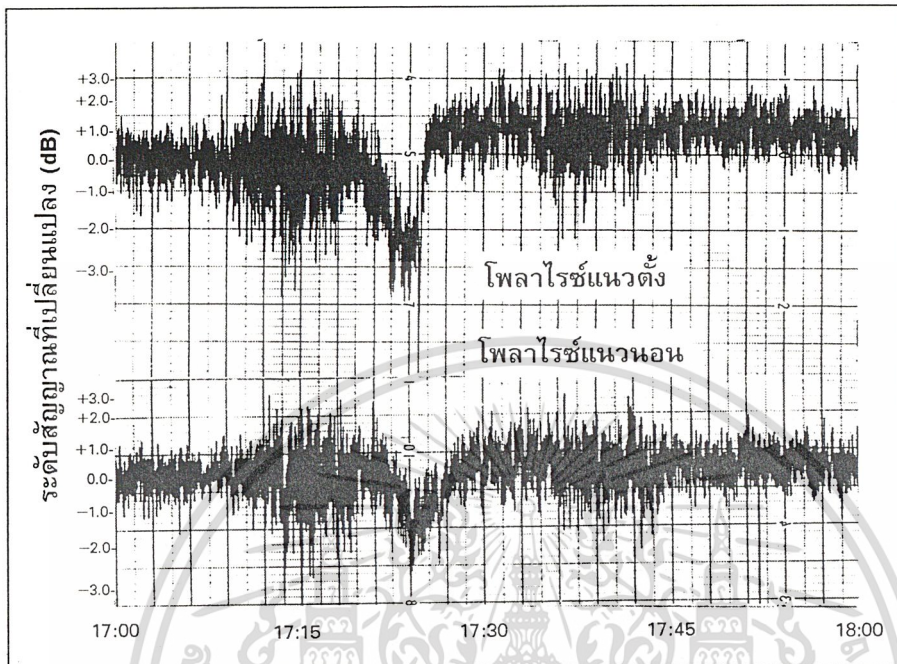


(ข) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่ไม่ต่อเนื่อง 8 พ.ค. 39



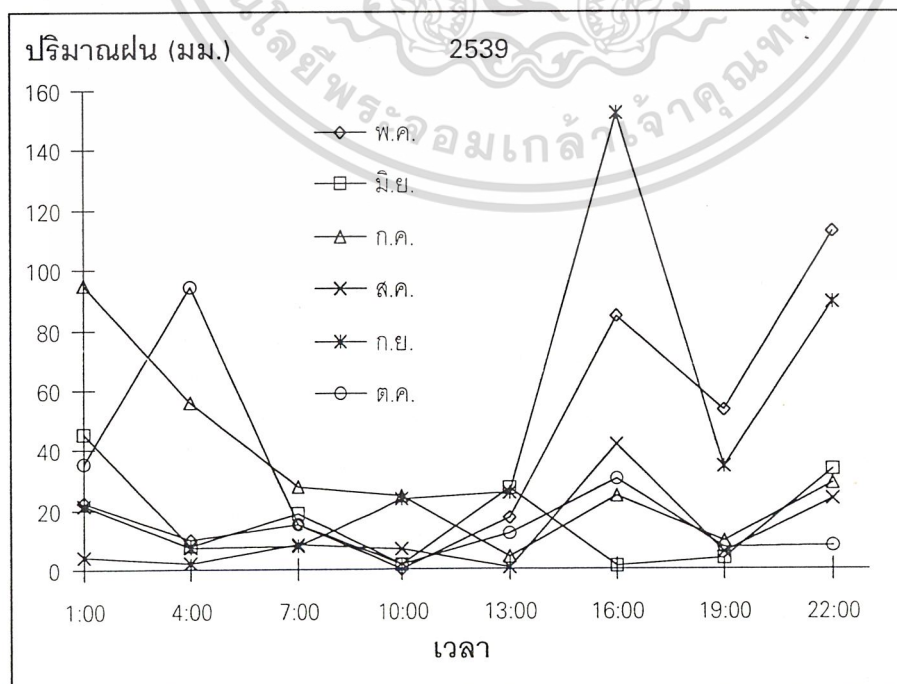
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ค) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันอย่างรุนแรงมาก 10 เม.ย. 39
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 44 (ต่อ)



(ง) การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นที่เกิดจากเมฆฝน 16 พ.ค. 39 แสดงรูปแบบต่างๆ ของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

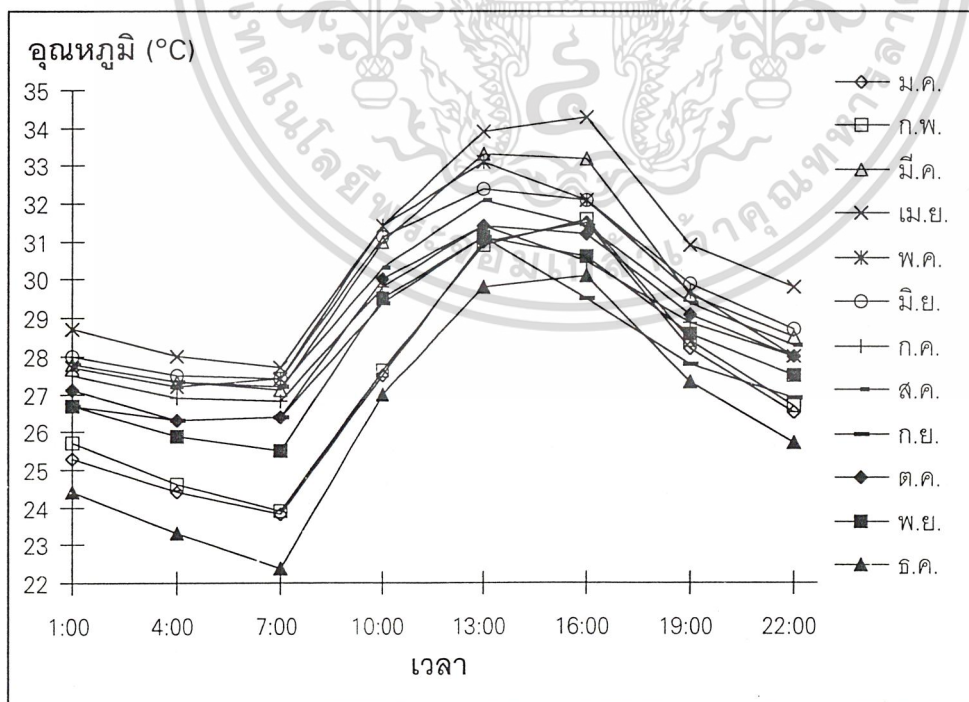
ภาพที่ 45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แสดงช่วงเวลาที่มีฝนตกในฤดูฝน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลื่นเดินทางจากดาวเทียมผ่านเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นจะเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันในวันที่อากาศแจ่มใส การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมักจะเกิดขึ้นบ่อยในเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืนจะเกิดขึ้นน้อย[32] ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดปรากฏการณ์นี้ (ภาพที่ 41) นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยาตลอดวัน ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ แสดงดังภาพที่ 46, 47 และ 48 ตามลำดับ พบว่ามีลักษณะคล้ายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดวันมากที่สุด และเมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เกิดกับ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ จะได้เท่ากับ 0.958, 0.593 และ 0.828 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์กับอุณหภูมิจะมีค่าสูงสุด ส่วนค่าความสัมพันธ์กับความดันบรรยากาศนั้นแทบไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ซึ่งเป็นการยืนยันว่าจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมความถี่ยาน Ku จะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิตลอดวัน

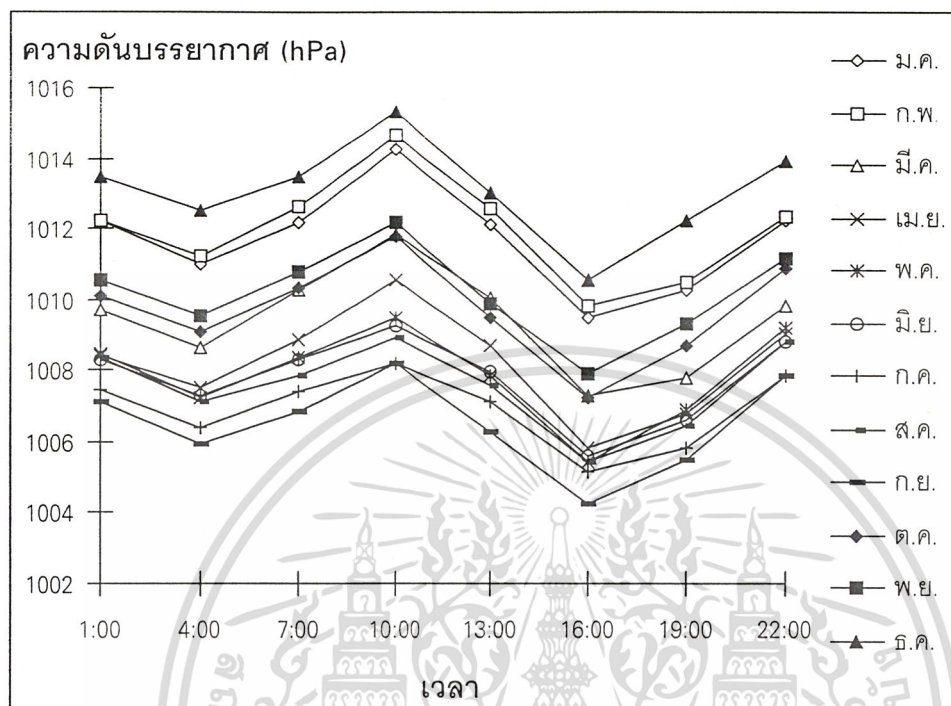
ภาพที่ 46



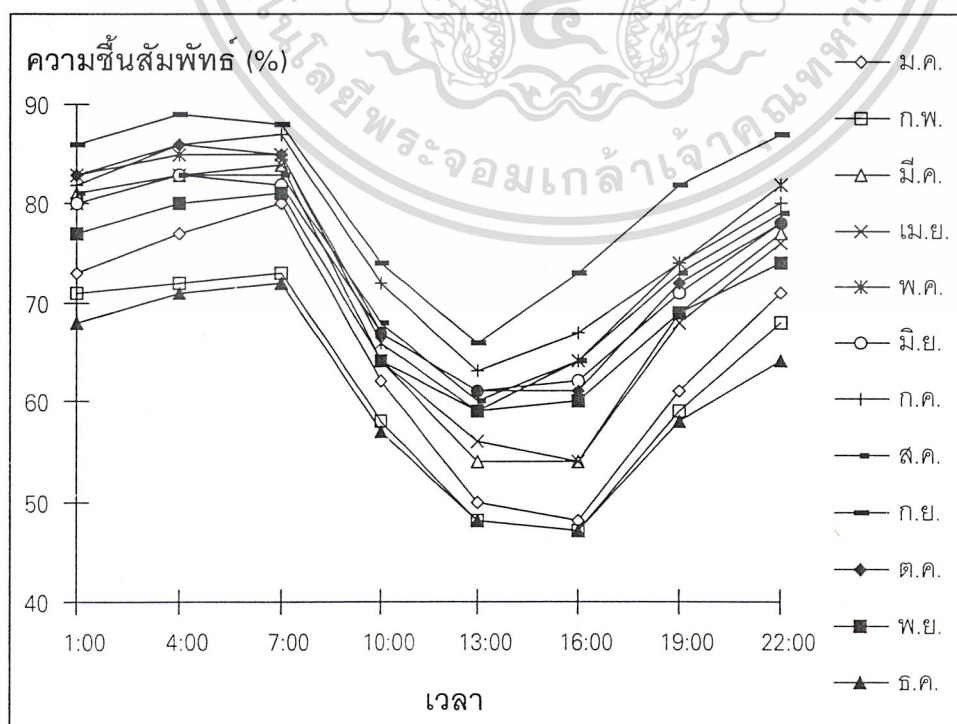
แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันในเดือน ม.ค. ถึง ธ.ค. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 47

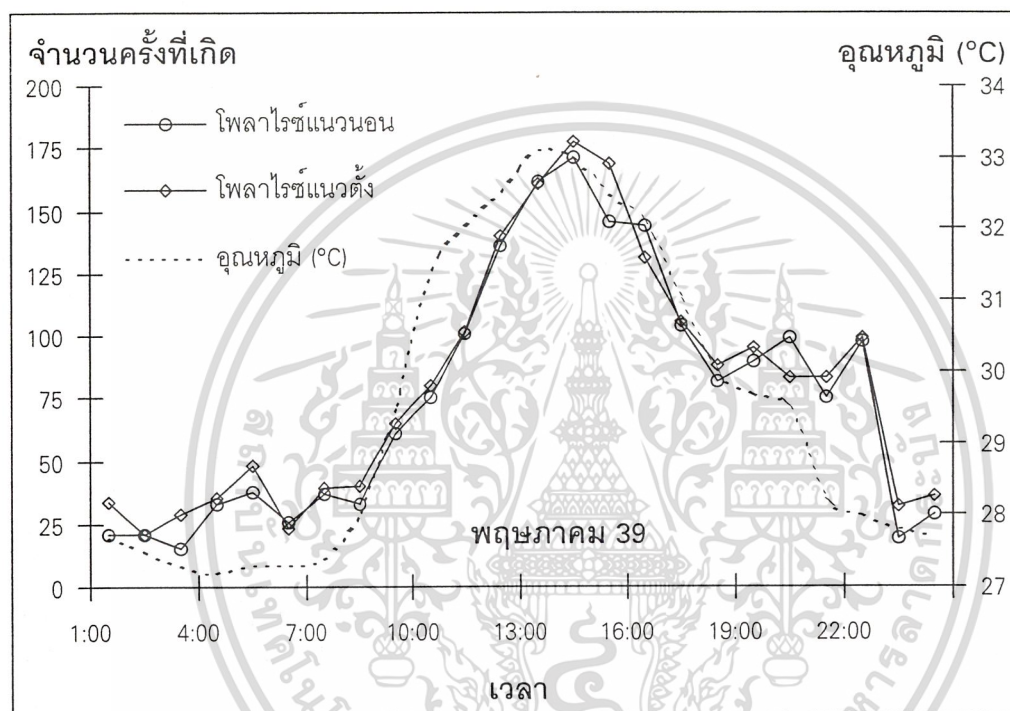


ภาพที่ 48



ดังนั้นจึงนำมาพล็อตลงในกราฟเดียวกันเพื่อหาความสัมพันธ์ของทั้งสอง จะได้ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงตลอดวันของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดวัน ซึ่งแสดงตัวอย่างในภาพที่ 49

ภาพที่ 49

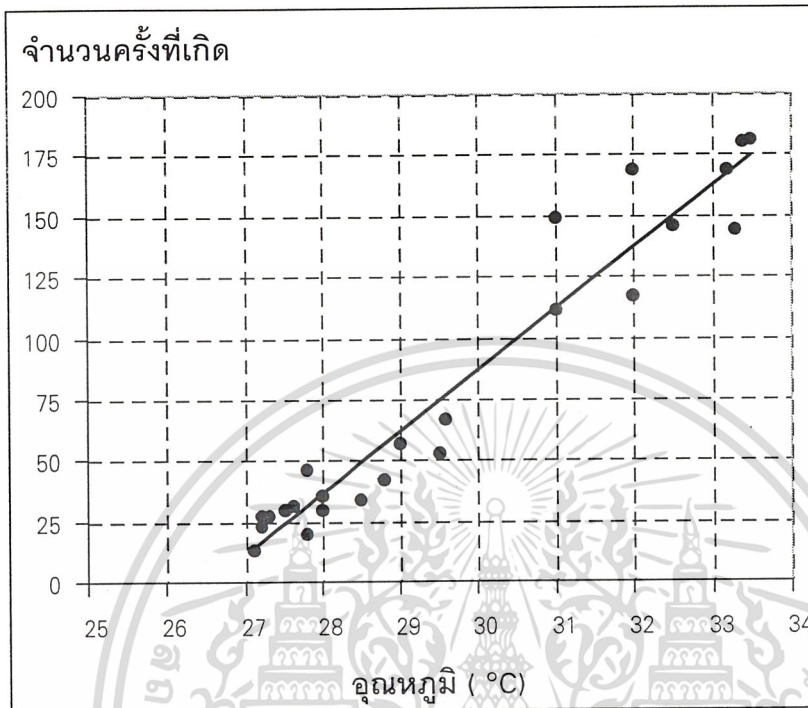


แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
เปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ย

ได้มีผู้วิจัย[32] ค้นพบว่าจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะขึ้นอยู่กับมุมเงยและอุณหภูมิ เมื่อมุมเงยสูงกว่า 45° จำนวนครั้งการเกิดจะมีความสัมพันธ์ดีเยี่ยมกับอุณหภูมิ แต่ถ้ามุมเงยต่ำกว่า 45° ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการเกิดกับอุณหภูมิจะแตกต่างกันและถ้ามุมเงยต่ำกว่า 10° จำนวนครั้งการเกิดจะมีความสัมพันธ์ดีเยี่ยมกับค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ผลการทดลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสัมพันธ์ดีเยี่ยมกับอุณหภูมิเนื่องจากจานสายอากาศที่ไ้รับมีมุมเงยสูงประมาณ 60° ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยข้างต้น ดังนั้นจึงนำมาหาความสัมพันธ์โดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันกับอุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนเมษายน ทั้งนี้เพราะว่าเดือนเมษายนจะมีอุณหภูมิสูงสุดในหนึ่งปี ซึ่งแสดงในภาพที่ 50

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 50



แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยกับจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลง
แอมพลิจูดอย่างกะทันหันของเดือนเมษายน 2539

เราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ ระหว่างจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด
อย่างกะทันหันกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่มมสูง ได้โดยกำหนดให้ $N =$ จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลง
แอมพลิจูดอย่างกะทัน และ $t =$ อุณหภูมิเฉลี่ย ($^{\circ}\text{C}$)

$$N = mx + C \quad (3.28)$$

เมื่อ m คือ ความชัน

C คือ ค่าคงที่

และจากภาพที่ 50 ก็จะหาค่า m และ C ได้เท่ากับ 25.095 และ -665 ตามลำดับ เพราะ
ฉะนั้นเมื่อแทนค่า m และ C ลงในสมการ 3.28 จะได้

$$N = 25.095 \times t - 665 \quad (3.29)$$

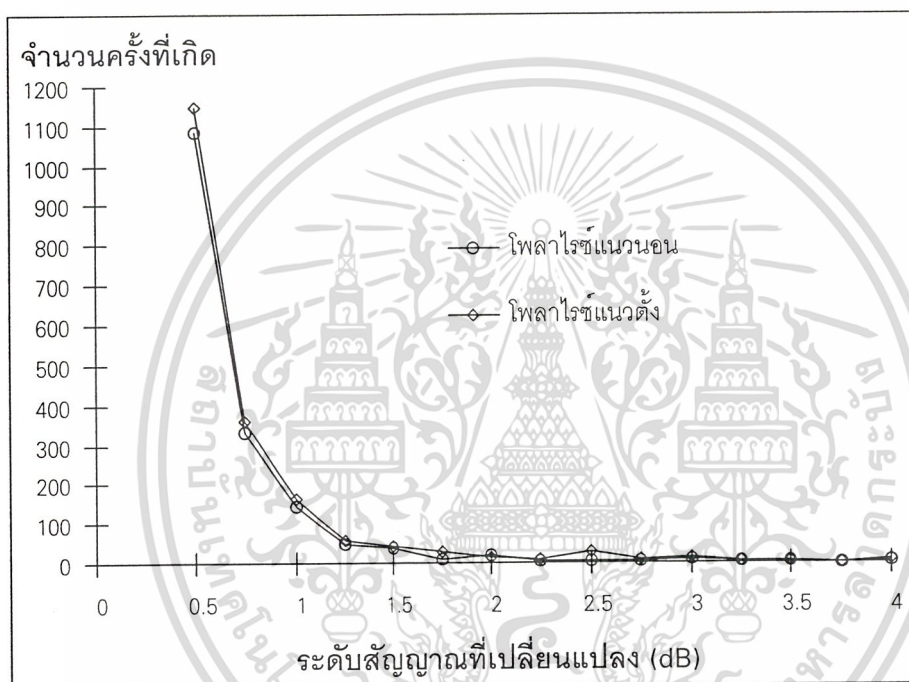
ซึ่งในสมการ 3.29 สามารถนำไปหาค่าจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด

อย่างกะทันหันหรืออุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อทราบตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอกาสการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยค่า peak to peak น้อยๆ จะมีมากกว่าโอกาสการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยค่า peak to peak มากๆ ซึ่งแสดงตัวอย่างในภาพที่ 51 จะเห็นได้ว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิน 0.5 เดซิเบล จะมีมากที่สุดโดยประมาณ 50-60% ของจำนวนครั้งการเกิดทั้งหมด

ภาพที่ 51



แสดงกราฟจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันตลอด
เดือนเมษายน 2539

ลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของการเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

จากหัวข้อที่แล้วทำให้ทราบว่า การเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ตลอดทั้งวันที่มีมุมเงยสูงจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิตลอดทั้งวันด้วย และจะเกิดในเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญของการเกิดปรากฏการณ์นี้ ในหัวข้อนี้จะศึกษาลักษณะเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันตามฤดูกาล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กาล จากภาพที่ 8 ซึ่งแสดงอุณหภูมิโดยเฉลี่ยในแต่ละเดือน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงที่สุดคือ

เมษายน และกันยายน ซึ่งทั้งสองเดือนนี้เกิดเหตุบ่อยครั้ง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

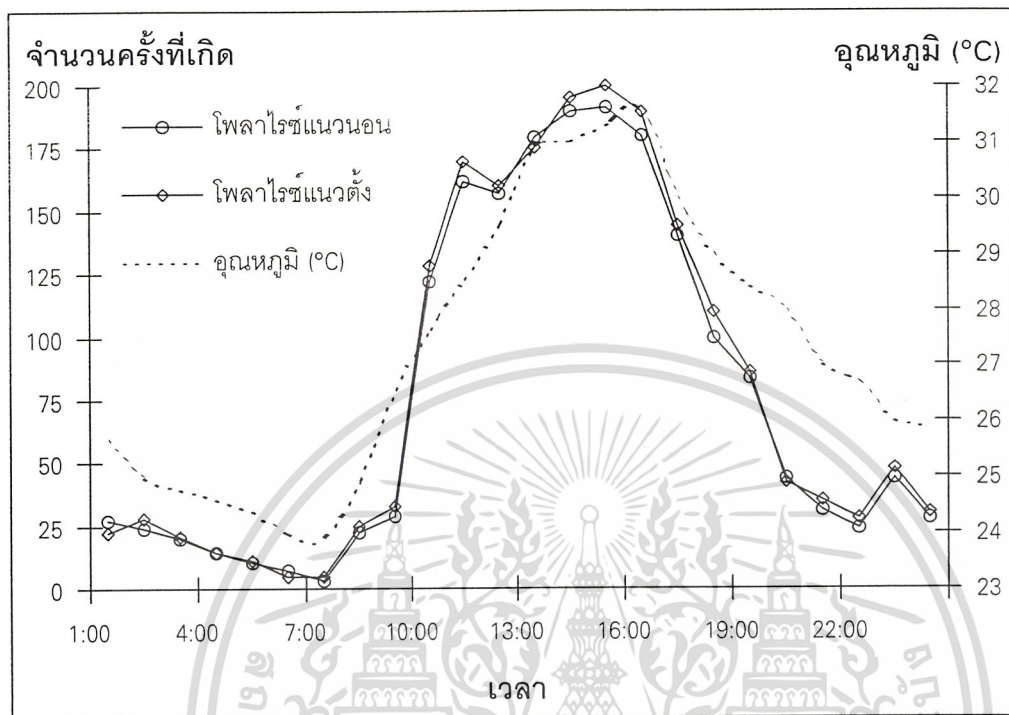
อยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนืออ่อนตัวลง ในขณะที่ลมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดพาความชื้นจากทะเลจีนใต้ยังมีกำลังไม่เพียงพอ ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ประเทศไทยมีอากาศร้อนอบอ้าวจึงทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูง ซึ่งทำให้จำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันสูงกว่าในฤดูกาลอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 52 (ก) ถึง (ง) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 33.5 °C จำนวนครั้งการเกิดจะประมาณ 170-190 ครั้ง ที่เวลา 13:00-15:00 น. ในฤดูฝนช่วงมิถุนายนถึงกันยายน ซึ่งเกิดจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดพาเอาความชื้นจากทะเลจีนใต้ลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดฝนตก และทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือนลดลงดังแสดงในภาพที่ 8 ผลดังกล่าวจะสอดคล้องกับจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน คือจำนวนครั้งที่เกิดในช่วงเวลากลางวันลดลงตามอุณหภูมิดังในภาพที่ 53 (ก) ถึง (ง) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 31.5 °C จำนวนครั้งที่เกิดประมาณ 100-120 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 13:00-15:00 น. และที่น่าสังเกตคือในภาพที่ 53 (ง) จำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของเดือนกันยายนจะเพิ่มขึ้นในตอนเย็นและค่ำ เนื่องจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากเมฆฝนตัดผ่าน ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาดังกล่าวมักมีฝนตกดังแสดงในภาพที่ 45 ส่วนในภาพที่ 54 (ก) ถึง (ง) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 29.5 °C จำนวนครั้งการเกิดประมาณ 100-120 ครั้ง ที่เวลาประมาณ 13:00-15:00 น. จำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงฤดูหนาวจะลดลงตอนปลายปี และเริ่มเพิ่มขึ้นประมาณช่วงต้นปี เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจากประเทศจีนพัดนำความแห้งและเย็นมาสู่ตอนบนของประเทศแต่กรุงเทพฯได้รับผลกระทบจากมรสุมดังกล่าวน้อยจึงทำให้อุณหภูมิยังสูงแต่ก็ต่ำกว่าฤดูอื่นๆ

จากภาพที่ 52, 53 และ 54 เป็นการเปรียบเทียบจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดขึ้นตลอดวันในฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดมากในเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืนจะมีจำนวนครั้งการเกิดน้อย เหมือนกันทุกเดือนโดยช่วงเวลาที่จำนวนครั้งที่เกิดมากคือช่วงเวลาประมาณ 9:00 ถึง 17:00 น. และจะเกิดสูงสุดประมาณช่วง 13:00 ถึง 15:00 น. นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันไม่ขึ้นกับโพลาริซ์ของสัญญาณเลย ซึ่งสามารถสังเกตได้จากจำนวนครั้งการเกิด กล่าวคือ สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ในแนวโพลาริซ์แนวตั้งจะมีความแรงในการเกิดมากกว่าสัญญาณในโพลาริซ์แนวนอนเล็กน้อย ทำให้จำนวนครั้งการเกิดโดยเฉลี่ยจะสูงกว่าโพลาริซ์แนวนอนเล็กน้อย แต่รูปร่างลักษณะและความสัมพันธ์ของการเกิดจะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก

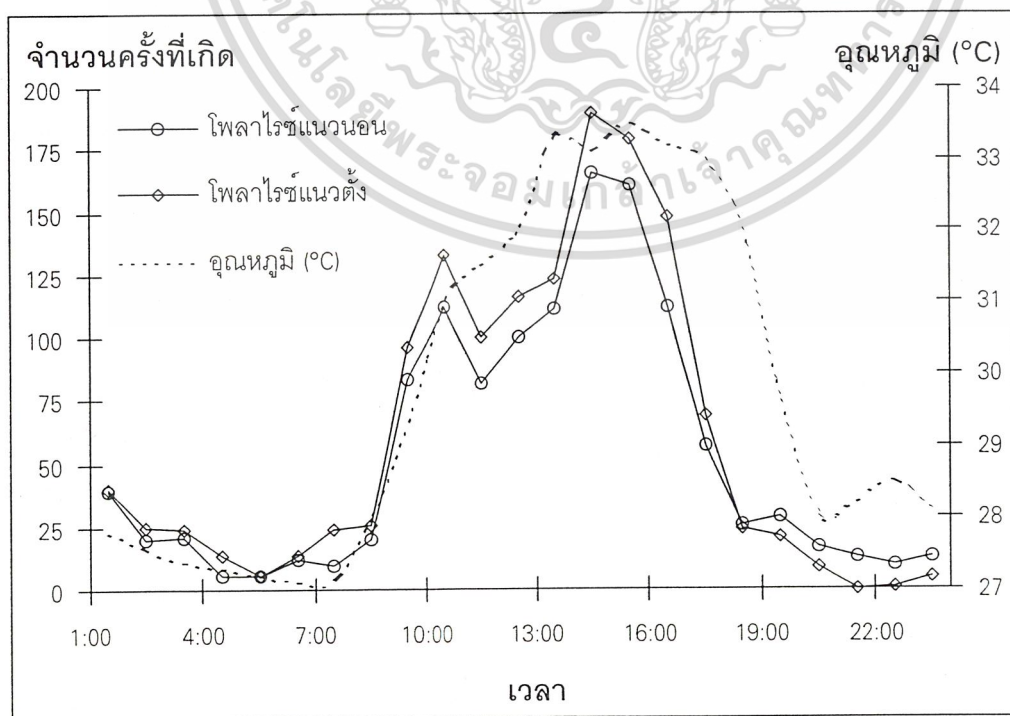
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 52

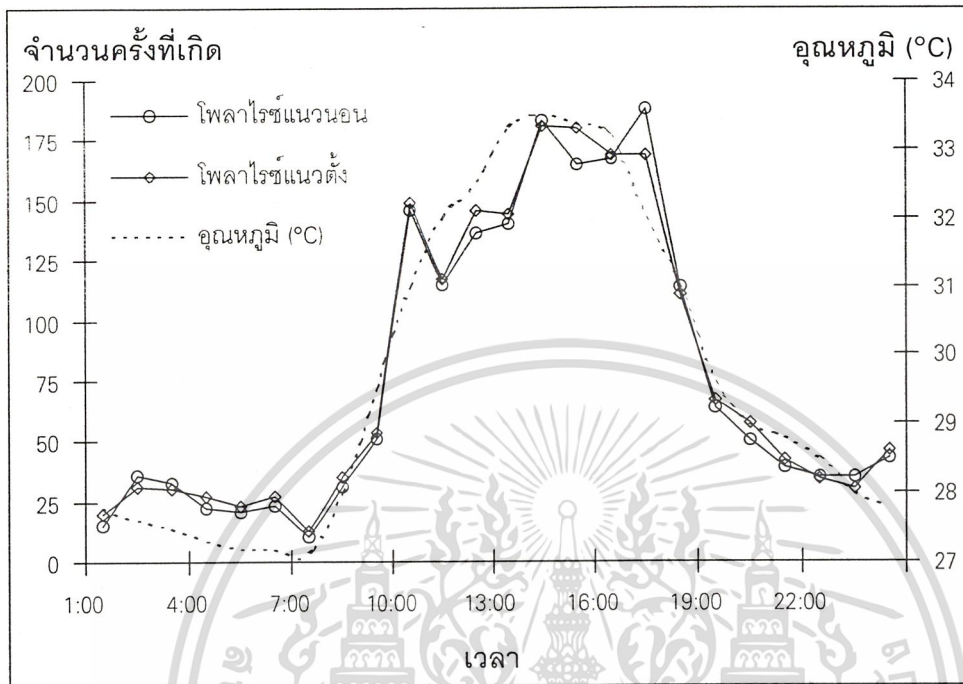


(ก) กุมภาพันธ์ 39

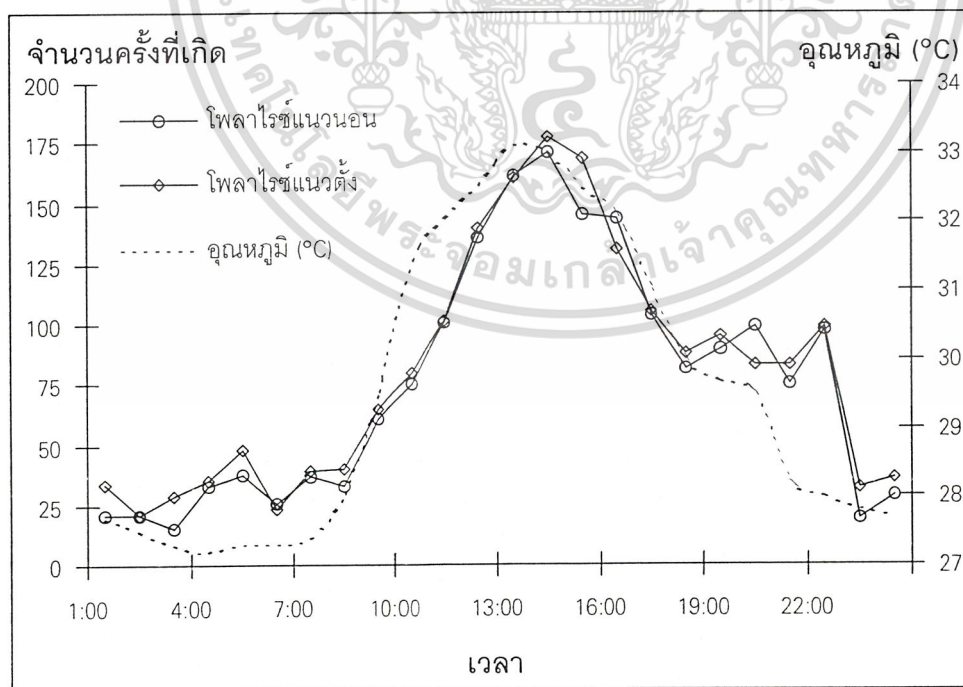


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ข) มีนาคม 39
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 52 (ต่อ)



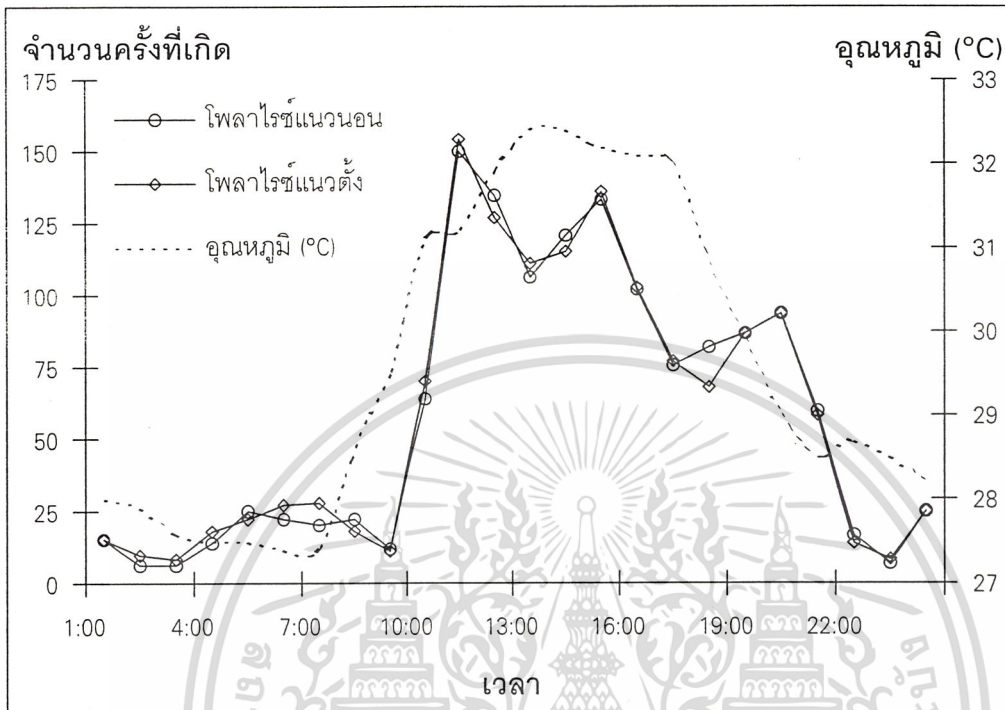
(ก) เมษายน 39



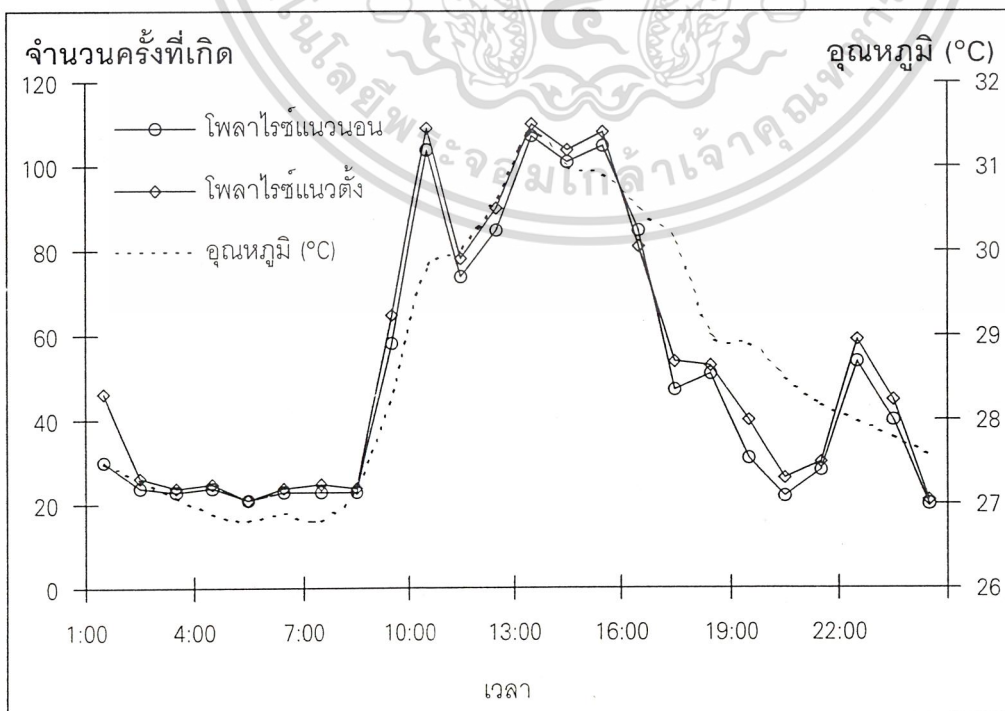
(ง) พฤษภาคม 39

แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นหากไม่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 53

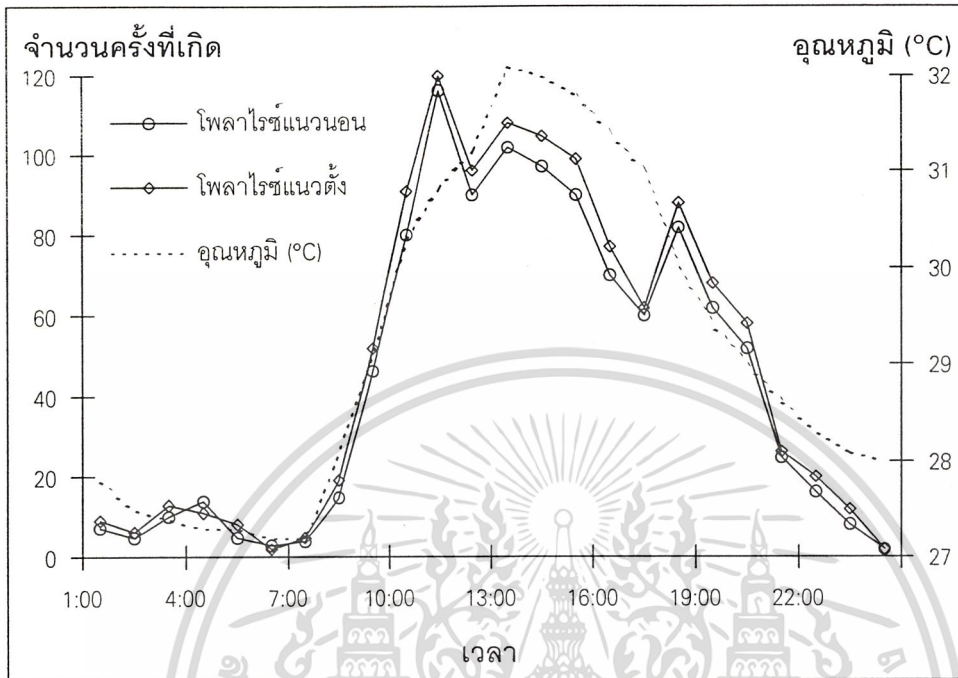


(ก) มิถุนายน 39

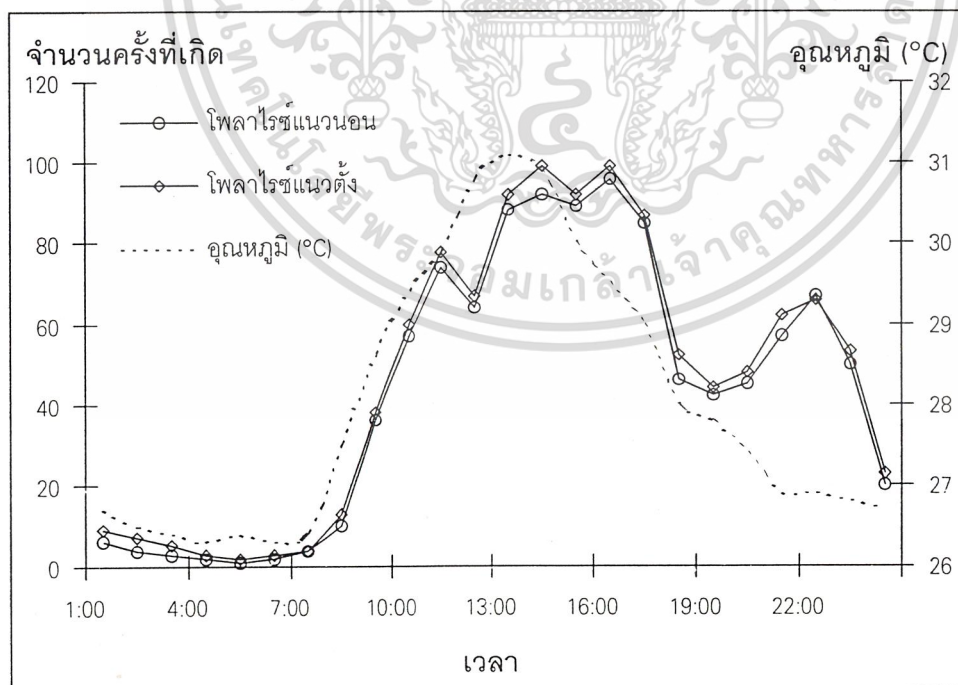


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ข) กรกฎาคม 39
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 53 (ต่อ)



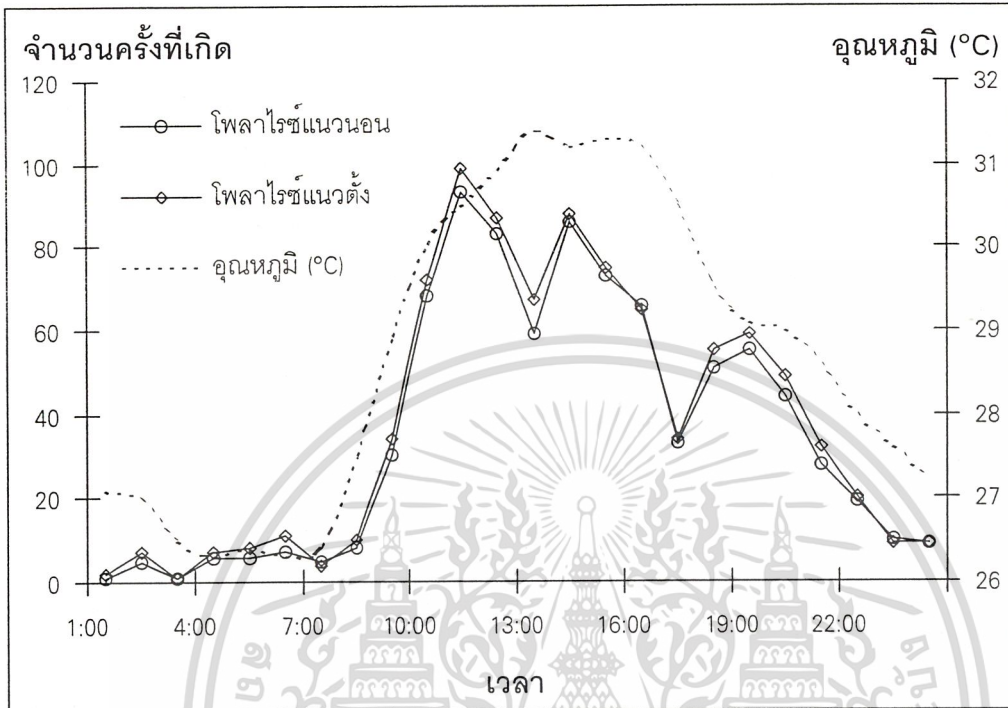
(ค) สิงหาคม 39



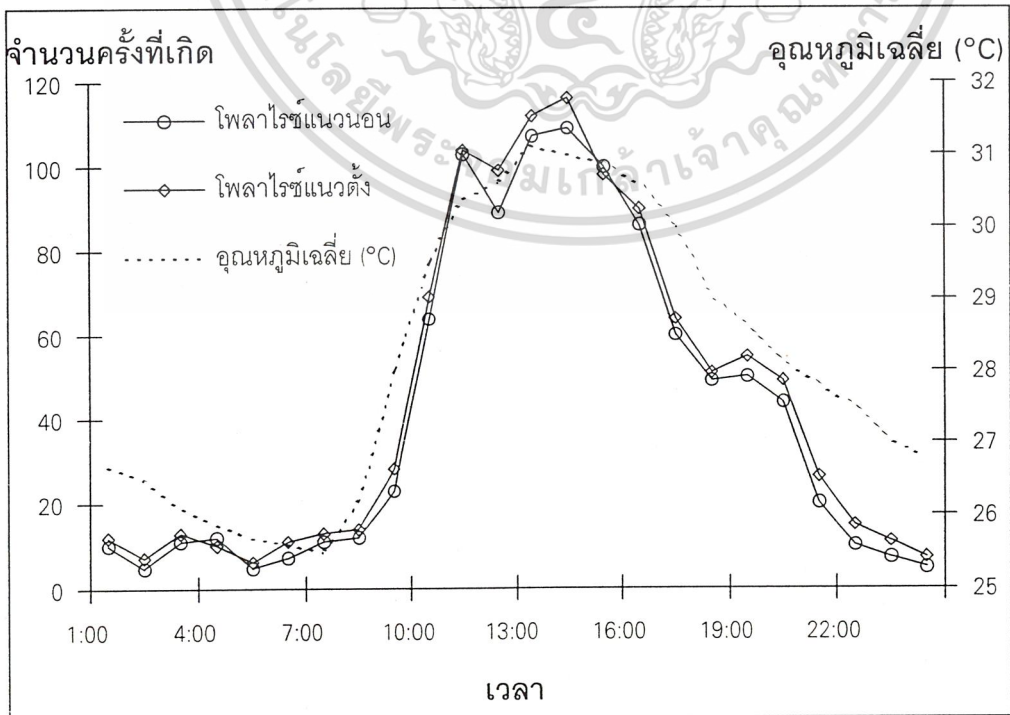
(ง) กันยายน 39

แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 อย่างกะทันหันเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูฝน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

ภาพที่ 54

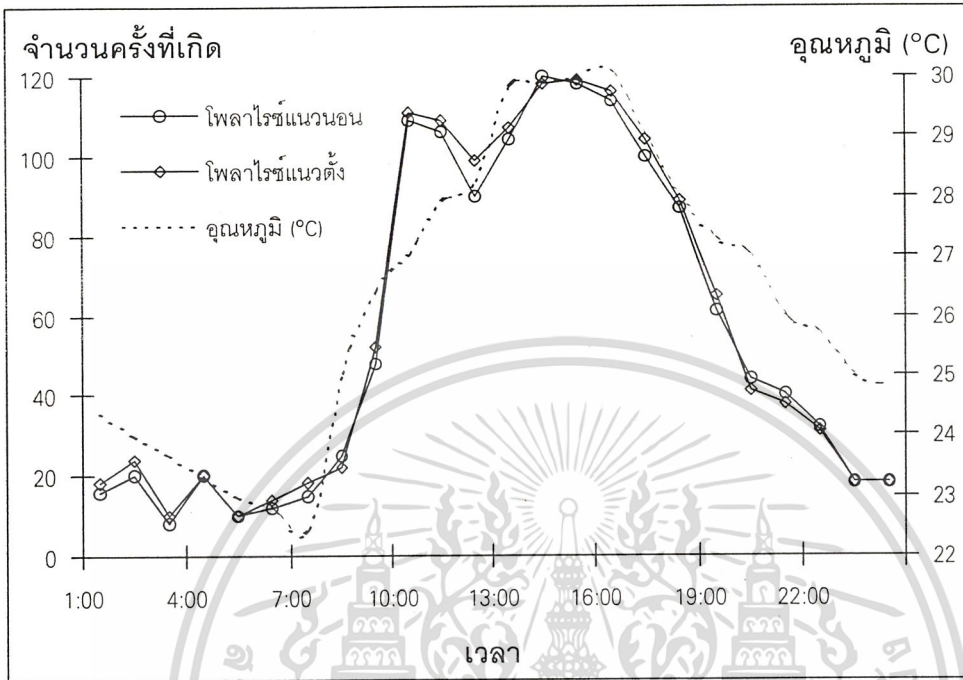


(ก) ตุลาคม 39

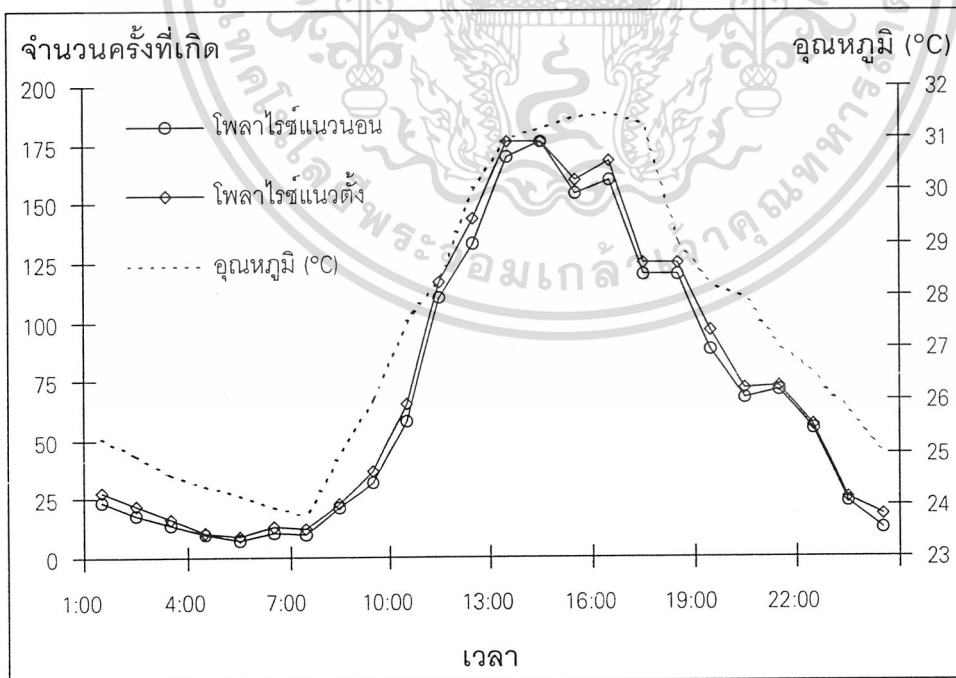


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ข) พฤศจิกายน 39
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 54 (ต่อ)



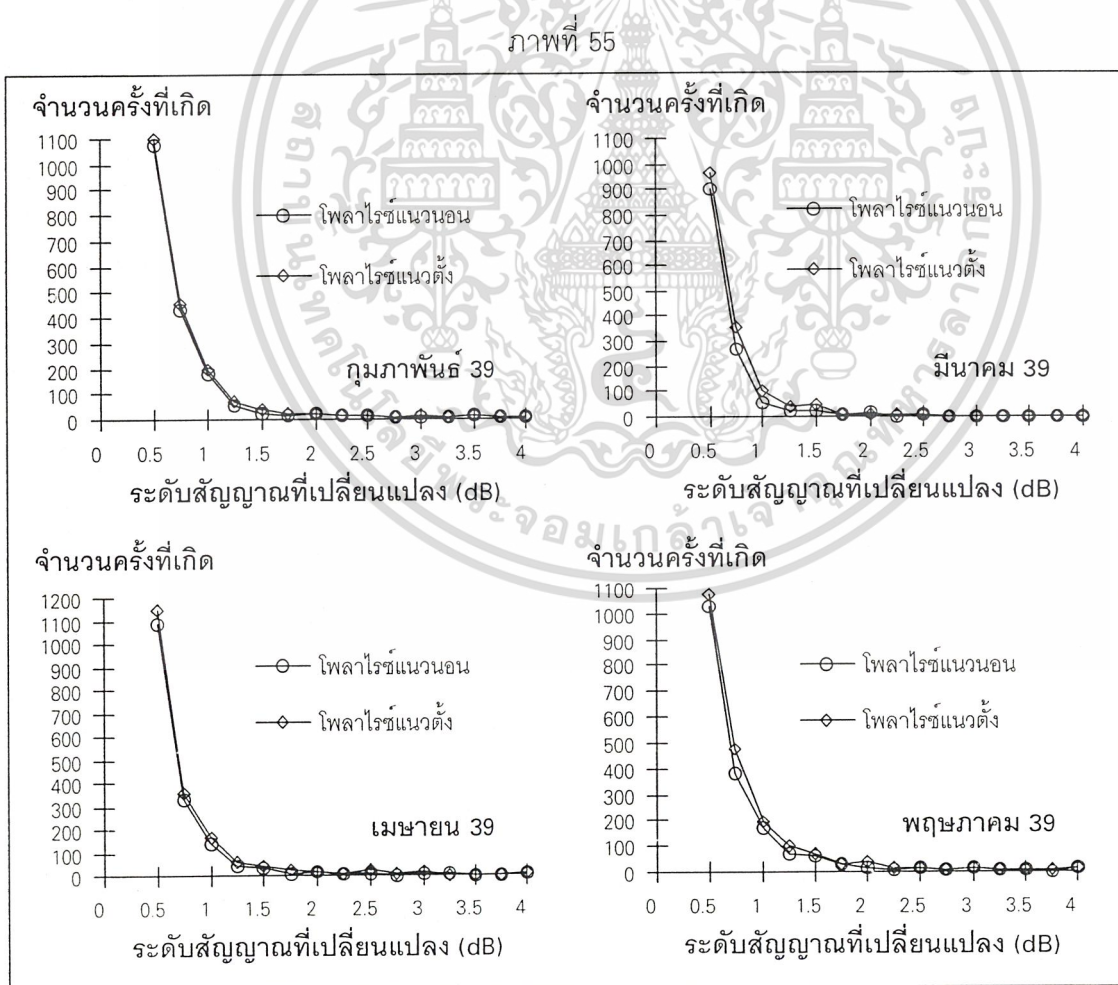
(ค) ธันวาคม 39



(ง) มกราคม 40

แสดงการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวันของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 อย่างกะทันหันหรือเปรียบเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาว
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

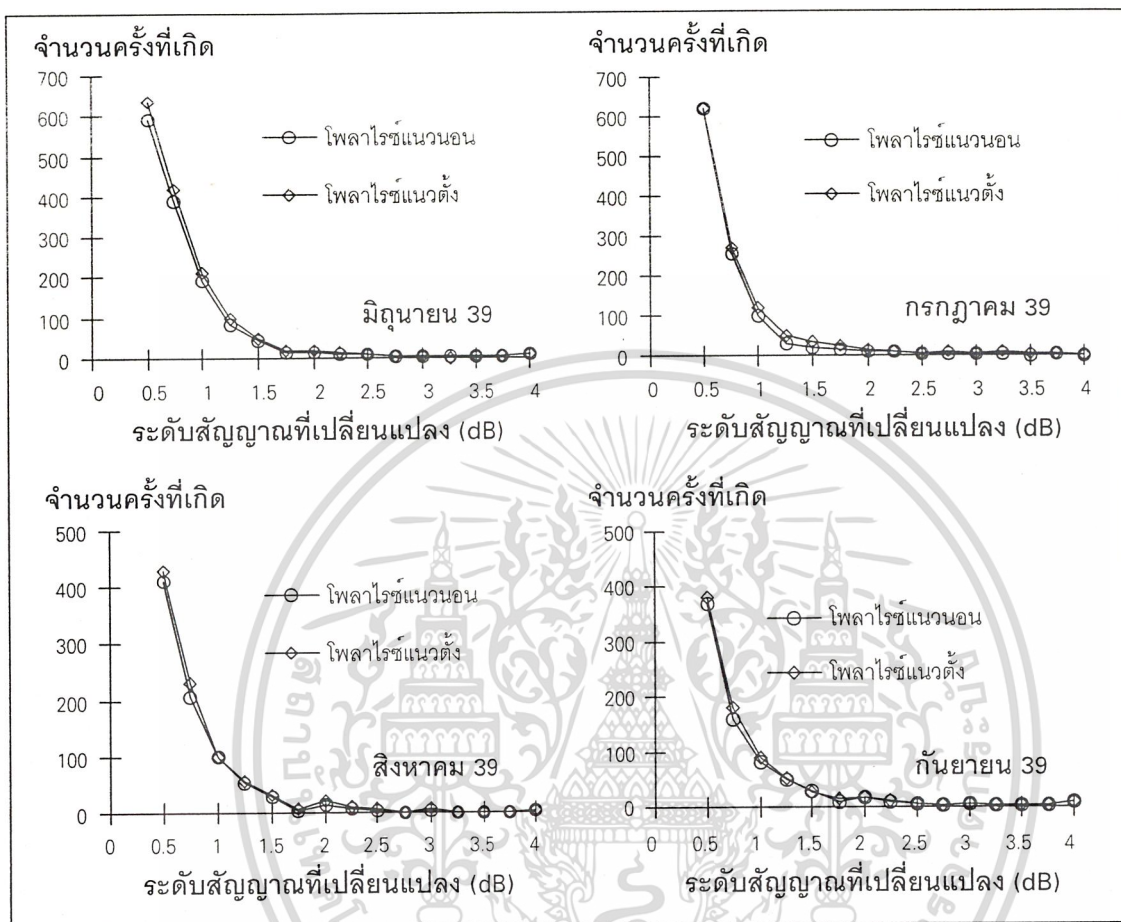
นอกจากนี้ความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปิจูดอย่างกะทันหันกับความแรงของการเกิดจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือนด้วย ซึ่งแสดงดังในภาพที่ 55, 56 และ 57 ในภาพที่ 55 แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนครั้งการเกิดกับความแรงในฤดูร้อนคือเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม จะเห็นว่าจำนวนครั้งการเกิดที่เกินกว่า 0.5 เดซิเบล ในเดือนเมษายน จะมีจำนวนครั้งการเกิดสูงสุดคือประมาณ 1200 ครั้ง ในภาพที่ 56 ในฤดูฝนแสดงให้เห็นว่าจากเดือนมิถุนายนถึงกันยายน จำนวนครั้งการเกิดมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิของแต่ละเดือนซึ่งในเดือนกันยายนจะมีจำนวนครั้งการเกิดเพียง 400 ครั้ง ส่วนในภาพที่ 57 ในฤดูหนาวอุณหภูมิจะเริ่มต่ำลงในเวลาปลายเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนธันวาคม จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้นในเดือนมกราคม ส่งผลให้จำนวนครั้งการเกิดที่เกินกว่า 0.5 เดซิเบล มีค่าสูงขึ้นประมาณ 700 ครั้ง ซึ่งจะมีจำนวนครั้งการเกิดทั้งหมดนี้จะสอดคล้องกับภาพที่ 52, 53 และ 54 ตามลำดับ



แสดงจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมปิจูดอย่างกะทันหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการในช่วงฤดูร้อนศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 56

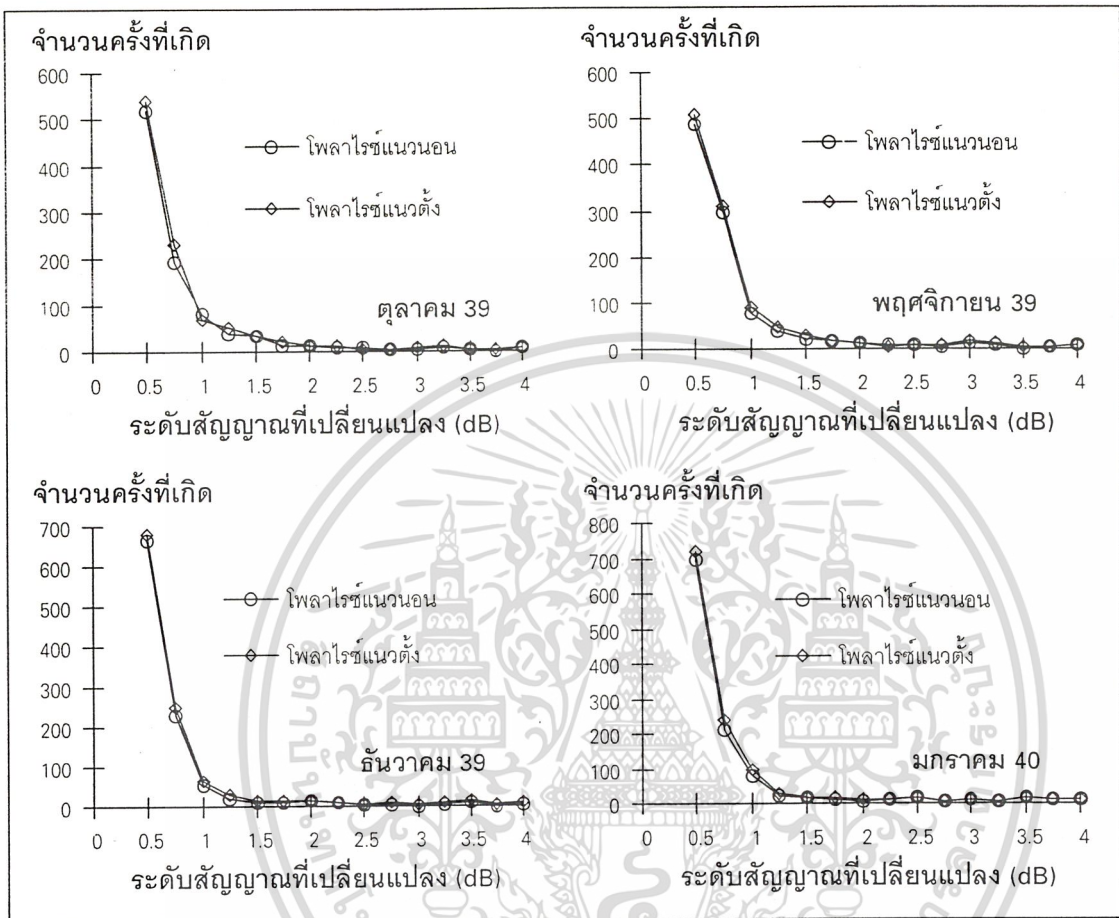


แสดงจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
ในช่วงฤดูฝน

จากภาพที่ 55 , 56 และ 57 เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันทั้งหมดกับความแรงของการเกิด ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2539 ถึง มกราคม 2540 พบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 เดซิเบล เป็นส่วนมาก โดยประมาณ 58.1 เปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนในช่วง 1 ถึง 2 เดซิเบล , 2 ถึง 3 เดซิเบล และที่มากกว่า 3 เดซิเบล จะมีค่าประมาณ 32.17% , 7.925% และ 1.783% ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 57



แสดงจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
ในช่วงฤดูหนาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากน้ำฝนในความถี่ย่าน Ku

บทนำ

การสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งใช้เชื่อมโยงข่ายสื่อสารภาคพื้นดิน การสื่อสารดาวเทียมและใช้ในระบบควบคุมระยะไกลบางชนิด ความแน่นอนของระบบสื่อสาร ส่วนใหญ่จะมีผลกระทบจากการที่มีฝนตก ในเส้นทางการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟ โดยเฉพาะความถี่ที่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ ฝนจะมีอิทธิพลต่อการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟอย่างมาก เม็ดฝนจะมีผลกระทบต่อคลื่นอยู่ 3 ประการด้วยกัน ประการที่หนึ่ง การเปลี่ยนขั้วคลื่น (depolarization) ในการที่จะเพิ่มความจุของช่องสัญญาณในระบบสื่อสารดาวเทียมนั้น ถ้าหากไม่เพิ่มแบนด์วิดท์แล้วก็จะทำได้โดยการส่งคลื่นให้ขั้วคลื่นตั้งฉากกันจะเป็นแบบลิเนียร์ในแนวตั้งและแนวนอนหรือแบบวงกลมหมุนซ้ายและหมุนขวาก็ได้ เป็นการส่งคลื่นความถี่เดียวกันไปในเส้นทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามการนำความถี่มาใช้ใหม่โดยการให้ขั้วคลื่นตั้งฉากกันนั้น อุปสรรคขัดขวางแนวความคิดนี้ คือ การเปลี่ยนขั้วคลื่นเมื่อคลื่นผ่านไปบริเวณที่มีฝนตกอันเป็นผลมาจากลักษณะรูปร่างของเม็ดฝนไม่เป็นทรงกลม ทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณที่ส่งไป ผลกระทบประการที่สอง คือ การดูดกลืนพลังงานเกิดขึ้นเมื่อความยาวคลื่นสั้นลงจนขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝนสัญญาณไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนมากขึ้น และผลประการที่สาม คือ การกระจายคลื่น เกิดขึ้นเมื่อคลื่นกระทบเม็ดฝนแล้วพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในเม็ดฝน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน อีกส่วนหนึ่งจะกระจายออกมา ผลของทั้งสองประการหลังนี้จะป็นกรณี ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณขึ้นทำให้สัญญาณที่ควรจะได้รับได้ในทิศทางที่ต้องการลดน้อยลง และบางครั้งจากการที่เกิดการกระจายของสัญญาณที่ส่งจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมกระจายออกไปรบกวนข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินที่ใช้ความถี่เดียวกันได้

สำหรับประเทศไทยมีความต้องการใช้การสื่อสารภายในประเทศผ่านดาวเทียม และการสื่อสารภาคพื้นดินไปยังส่วนต่างๆ ของประเทศ เหตุด้วยที่ประเทศไทยอยู่ในบริเวณเขตร้อนชื้น มีปริมาณการตกของฝนตลอดปี เฉลี่ยแล้วอยู่ระหว่าง 1,000 - 5,000 มิลลิเมตร ตามส่วนต่างๆ ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเทศดังแสดงในภาพที่ 14 จึงเป็นข้อที่น่าสนใจที่ช่วยการสื่อสารภายในประเทศ จะได้รับผลกระทบจากปริมาณของฝนที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก

ในปัจจุบันการสื่อสารผ่านดาวเทียมได้เจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว แถบความถี่ที่มีการนำมาใช้งานมากที่สุดคือแถบความถี่ในย่าน C เนื่องจากสัญญาณถูกลดทอนเนื่องจากฝนน้อย แต่ตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจรค้างฟ้ามีจำนวนจำกัด ดังนั้นจึงไม่สามารถเพิ่มดาวเทียมที่ใช้งานในย่านความถี่ C ได้ เพราะจะทำให้เกิดการรบกวนซึ่งกันและกัน (Interference) ของดาวเทียมที่อยู่ติดกันจึงจำเป็นต้องใช้แถบความถี่สูงขึ้น ซึ่งได้แก่ความถี่ย่าน Ku แต่เนื่องจากความจริงที่ว่าสัญญาณย่าน Ku จะถูกลดทอนอย่างรุนแรงเนื่องจากฝนจึงไม่เหมาะนำมาใช้งานในเขตร้อนชื้นและเขตร้อนชื้นเขตร้อนชื้น เช่นประเทศไทย แต่ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงจำเป็นต้องใช้แถบความถี่ย่าน Ku ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับการลดทอนระดับของสัญญาณ เพื่อสามารถกำหนดค่าเผื่อค่าของระดับสัญญาณได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดมีฝนตกหนัก และจะทำระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันการศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีของการลดทอนด้วยฝนและวิธีประมาณโดยอาศัยสถิติมีมากมายหลายหน่วยงาน[33] การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนบนช่องสัญญาณดาวเทียมมักจะถูกประมาณด้วยอัตราการตกของฝนที่สถานีที่ทำการทดลอง การปรับปรุงความถูกต้องสามารถประมาณลักษณะของการลดทอนด้วยฝนอย่างถูกต้อง สิ่งที่สำคัญคือการเก็บข้อมูลการลดทอนเนื่องจากฝนให้มากขึ้น แต่ขณะนี้การรวบรวมข้อมูลของการลดทอนเนื่องจากฝนบนช่องสัญญาณดาวเทียมไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการทำนาย ในบทนี้จะทำการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนกับอัตราการตกของฝนและเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมตลอดปีกับการลดทอนของสัญญาณเปรียบเทียบกับวิธีการทำนายของ CCIR และ CETUC

คุณสมบัติของฝน

ชนิดของฝน[34]

โดยทั่วไปฝนสามารถจะแบ่งออกเป็นแบบใหญ่ๆ ได้สองแบบด้วยกัน คือ แบบ stratiform และ แบบ convective ฝนแบบแรกเป็นแบบที่เกิดจากการเปลี่ยนผลึกน้ำแข็ง และเกล็ดหิมะมาเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะมีอัตราการตกของน้ำฝนต่ำอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 มม./ชม. จะมีความหนาของ ชั้นฝนคงที่และชั้นรอยต่อระหว่างที่เกิดหิมะกลายเป็นหยดน้ำจะมีความหนาประมาณ 400-500 เมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นชั้นที่ผลต่อการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์เป็นสำคัญ ชั้นนี้เรียกว่า bright band จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเยือกแข็งประกอบด้วยอนุของเมฆฝนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20-40 ไมโครเมตร จำนวนมาก ส่วนฝนแบบ convective เป็นแบบที่เกิดจากการชนกันของเมฆฝนทำให้เมฆฝนเพิ่มปริมาณมากขึ้น และกลายเป็นหยดน้ำของเมฆฝนชนิดนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-40 ไมโครเมตร

การเกิดฝนนั้นจะเกิดจากทั้งสองแบบพร้อมกัน ซึ่งฝนที่เกิดจากแบบ stratiform จะมีอาณาบริเวณกว้างในแนวระดับเพราะว่าเมฆฝนแบบนี้สูงจากพื้นดินหลายกิโลเมตร และอัตราการตกจะเบาบาง แต่ระยะเวลาในการตกนาน ส่วนในกรณีของฝนแบบ convective ลักษณะการตกจะขยายออกไปทั่วในแนวตั้งและแนวระดับ ระยะทางเกือบ 10 กิโลเมตร หรือมากกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกหนักในเวลาสั้น เมื่อรวมฝนทั้งสองแบบนี้เข้าด้วยกันแล้ว จะเป็นผลให้เกิดฝนตกหนักในระยะเวลาที่ยาวนาน

CCIR ได้แบ่งขนาดอัตราการตกของฝนไว้ดังนี้[35]

ฝนตกเล็กน้อย (drizzle)	0.25 มม./ชม.
ฝนตกเบาบาง (light rain)	1.0 มม./ชม.
ฝนตกพอประมาณ (moderate rain)	4.0 มม./ชม.
ฝนตกหนัก (heavy rain)	16.0 มม./ชม.
ฝนตกหนักมาก (very heavy rain)	100 มม./ชม.

อาณาบริเวณที่ฝนตก[36]

การที่จะทราบอาณาบริเวณที่ฝนตกนั้น ส่วนสำคัญอยู่ที่ปริมาณของเมฆฝนว่าจะมีมากเท่าไรและทิศทางของลมที่จะพัดฝนให้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่าใด จากการศึกษาและตรวจสอบโดยสถานีอุตุนิยมวิทยาพบว่าระดับความสูงของเมฆฝนนั้น 50% จะอยู่ในระดับความสูง 5-6 กิโลเมตร และอาจจะสูงอีก 16 กิโลเมตร และการเคลื่อนของเมฆฝนจะอยู่ในช่วง 35-40 กม./ชม. ระยะเวลาที่ฝนตกแต่ละครั้งพบว่า ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกนั้นคิดเฉลี่ย 50% แล้ว สำหรับอัตรา 20 มม./ชม. จะมีฝนตกอยู่ประมาณ 6 นาที สำหรับอัตราที่มากกว่า 50 มม./ชม. จะมีฝนตกอยู่ประมาณ 4 นาที เมื่อนำไปสัมพันธ์กับความเร็วของฝนแล้ว 50% ของบริเวณที่มีฝนตกหนักจะมีอาณาบริเวณถึง 3 กิโลเมตร ในทิศทางลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของฝน (rain structure)

โครงสร้างของฝนเปลี่ยนแปลงตามภูมิประเทศ ปัจจัยท้องถิ่น เช่น ปริมาณการสะสมของฝน ชนิดและความสัมพันธ์การเกิดของโครงสร้างฝนที่แตกต่างกัน (คือ แบบ stratiform, แบบ convective, แบบผสมกัน) การขยายในแนวตั้งและแนวนอนของเซลล์ของฝน ผลกระทบทั้งหมดนี้สามารถทำนายความสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นตามเส้นทางระหว่างโลกกับดาวเทียมได้

ลักษณะเฉพาะของเซลล์ฝน โดยทั่วไปพบว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของอาณาบริเวณฝนตกจะลดลงเมื่ออัตราการตกของฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางนี้จะอยู่ประมาณ 2-5 กิโลเมตร

ความสูงของโครงสร้างฝนเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการแพร่กระจายคลื่นผ่านระยะทาง slant path เนื่องจากขอบเขตของความสูงฝนทางแนวตั้งเป็นสิ่งสำคัญต่อการลดทอนของสัญญาณ ข้อมูลเรดาร์แสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีการสะท้อน (reflectivity) ของเซลล์ฝนเกือบจะคงที่จากผิวโลกไปถึงความสูงที่มีค่าดัชนีการสะท้อนสูงสุด เซลล์ฝนสามารถทำเป็นแบบจำลองของแท่งยูนิฟอร์ม (uniform) ไปจนถึงความสูงของค่าดัชนีการสะท้อนสูงสุด ซึ่งความสูงนี้จะสมมุติให้เท่ากับความสูงของชั้นที่ยังเป็นน้ำที่เป็นของเหลว (ฝน) ที่ความสูงกว่านี้ จะสมมุติเป็น เกล็ดน้ำแข็ง เกล็ดหิมะ และเกล็ดหิมะที่หลอมละลาย

ฝนแบบ stratiform จะแสดงลักษณะเฉพาะ ของชั้นที่มีค่าดัชนีการสะท้อนสูงสุด (เรียกว่า bright band) เมื่อยิงเรดาร์ผ่านทะลุฝน, bright band จะประกอบไปด้วยเกล็ดหิมะ และเกล็ดหิมะที่หลอมละลายที่สามารถสมมุติว่ามีอยู่จริงเหนือชั้นฝนที่เป็นของเหลว ดังนั้น ทั้งเซลล์ฝนแบบ convective และโครงสร้างฝนแบบ stratiform จะเกิดที่ความสูงของฝนสูงสุดที่สามารถกำหนดด้วยการวัดดัชนีการสะท้อนของเรดาร์ ความสูงของฝนสูงสุดนี้ถูกพิจารณาว่าเป็นความสูงที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส (0°C isotherm)

รูปทรงของเม็ดฝน (Drop shapes)





เม็ดฝนที่มีขนาดเล็กนั้นจะมีลักษณะเป็นทรงกลม แต่เมื่อฝนมีอัตราการตกหนักแล้วขนาดของเม็ดฝนจะโตขึ้นและรูปร่างจะผิดรูปไปจากทรงกลม ซึ่งเกิดจากแรงต้านอากาศ และเม็ดฝนขนาดใหญ่รูปร่างจะไม่คงที่แน่นอนจะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาจนกว่าที่จะแตกกระจายออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ รูปทรงที่แท้จริงของเม็ดฝนที่เวลาขณะใดขณะหนึ่ง จะเป็นการรวมกันระหว่างแรงดึงดูดผิวและแรงต้านอากาศ สำหรับเม็ดฝนที่มีขนาดเล็กมาก (เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 170 ไมโครเมตร) แรงดึงดูดผิวจะมีค่ามากกว่าแรงต้านอากาศภายใต้สภาวะลมต่างๆ ไป ขนาดเม็ดฝนเกือบจะเป็นทรงกลม (spherical) แต่ถ้าวัดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 170 และ 500 ไมโครเมตร ภาคตัดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเม็ดฝนจะเป็นวงรี ในขณะที่ เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 500 และ 2,000 ไมโครเมตร ด้านบนจะมีลักษณะมนส่วนด้านล่างจะมีลักษณะแบน ส่วนชนิดสุดท้ายที่ฐานของเม็ดฝนจะกลมวง ซึ่งเรียกรูปปร่างแบบนี้ว่า Pruppacher and Pitter สามารถสรุปรูปทรงของเม็ดฝนได้ในภาพที่ 58 จะสังเกตเห็นว่า เมื่ออ้างถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลมแล้ว จะใช้เส้นผ่าศูนย์กลางที่มีปริมาตรเท่ากับขนาดเม็ดฝนที่เป็นทรงกลม

ภาพที่ 58

<u>shape</u>	<u>drop</u>	<u>equivolumetric diameter (D)</u>
spherical		$D \leq 170 \mu\text{m}$
spheroidal		$170 \mu\text{m} \leq D \leq 500 \mu\text{m}$
flattened spheroidal		$500 \mu\text{m} \leq D \leq 2000 \mu\text{m}$
Pruppacher and Pitter		$2000 \mu\text{m} \leq D$

แสดงรูปทรงของเม็ดฝนด้วยการประมาณช่วงขนาดเม็ดฝน

การกระจายขนาดเม็ดฝน (Drop-size distributions)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและการกระจายขนาดเม็ดฝน คือ

$$N_{(D)} = N'_{(D)} / V_{(D)} \quad (4.1)$$

เมื่อ $N'_{(D)}$ คือ จำนวนของเม็ดฝนต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อการเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยในเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ที่ภาคตัดขวางของพื้นที่หนึ่งหน่วยของอุปกรณ์วัด, $V_{(D)}$ คือ ความเร็วลม และ $N_{(D)}$ คือ การกระจายขนาดเม็ดฝน (จำนวนของเม็ดฝนที่มีอยู่จริง ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลาง D และ D+dD ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) โดยทั่วไป การวัดการกระจายขนาดเม็ดฝนจะวัดที่พื้นดิน ดังนั้นจึงกำหนด ตัวห้อย g จะใช้สำหรับกรวัดที่พื้นดิน ในการประมาณการกระจายขนาดเม็ดฝนที่ความสูง h จะมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$N_{h(D)} = N_{g(D)} \times [V_{g(D)} / V_{h(D)}] \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $N_{h(D)}$, $N_{g(D)}$ คือ การกระจายขนาดเม็ดฝนที่ความสูง h และที่พื้นดิน

$V_{h(D)}$, $V_{g(D)}$ คือ ความเร็วลมที่ความสูง h และที่พื้นดิน

การวัดการกระจายขนาดเม็ดฝนครั้งแรกครอบคลุมขนาดเม็ดฝนถูกเสนอโดย Laws and Parsons แสดงในตารางที่ 6

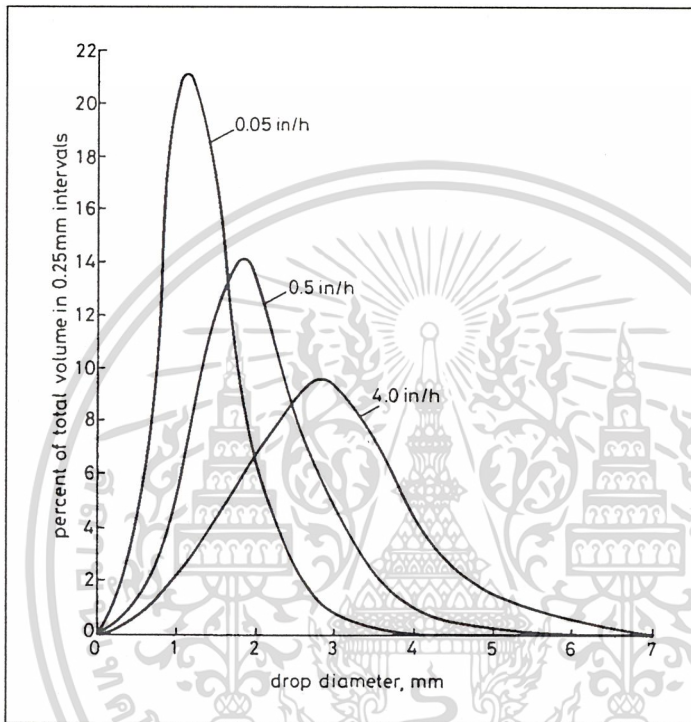
ตารางที่ 6

Drop-diameter limits	Rainfall-rate (in/h)							
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0
mm mm								
0.00-0.25	1.0	0.5	0.3	0.1	0	0	0	0
0.25-50	6.6	2.5	1.7	0.7	0.4	0.2	0.1	0.1
0.50-75	20.4	7.9	5.3	1.8	1.3	1.0	0.9	0.9
0.75-1.00	27.0	16.0	10.7	3.9	2.5	2.0	1.7	1.6
1.00-1.25	23.1	21.1	17.1	7.6	5.1	3.4	2.9	2.5
1.25-1.50	12.7	18.9	18.3	11.0	7.5	5.4	3.9	3.4
1.50-1.75	5.5	12.4	14.5	13.5	10.9	7.1	4.9	4.2
1.75-2.00	2.0	8.1	11.6	14.1	11.8	9.2	6.2	5.1
2.00-2.25	1.0	5.4	7.4	11.3	12.1	10.7	7.7	6.6
2.25-2.50	0.5	3.2	4.7	9.6	11.2	10.6	8.4	6.9
2.50-2.75	0.2	1.7	3.2	7.7	8.7	10.3	8.7	7.0
2.75-3.00	0	0.9	2.0	5.9	6.9	8.4	9.4	8.2
3.00-3.25	0	0.6	1.3	4.2	5.9	7.2	9.0	9.5
3.25-3.50	0	0.4	0.7	2.6	5.0	6.2	8.3	8.8
3.50-3.75	0	0.2	0.4	1.7	3.2	4.7	6.7	7.3
3.75-4.00	0	0.2	0.4	1.3	2.1	3.8	4.9	6.7
4.00-4.25	0	0	0.2	1.0	1.4	2.9	4.1	5.2
4.25-4.50	0	0	0.2	0.8	1.2	1.9	3.4	4.4
4.50-4.75	0	0	0	0.4	0.9	1.4	2.4	3.3
4.75-5.00	0	0	0	0.4	0.7	1.0	1.7	2.0
5.00-5.25	0	0	0	0.2	0.4	0.8	1.3	1.6
5.25-5.50	0	0	0	0.2	0.3	0.6	1.0	1.3
5.50-5.75	0	0	0	0	0.2	0.5	0.7	0.9
5.75-6.00	0	0	0	0	0.2	0.3	0.5	0.7
6.00-6.25	0	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.5
6.25-6.50	0	0	0	0	0	0.2	0.5	0.5
6.50-6.75	0	0	0	0	0	0	0.2	0.5
6.75-7.00	0	0	0	0	0	0	0	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงการกระจายขนาดเม็ดฝนที่เป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณทั้งหมด ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 6 จะเห็นว่าอัตราการตกของฝนที่สูงขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝนมีขนาดปานกลาง ผลการทดลองนี้จะเห็นได้ชัดเมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดงในภาพที่ 59

ภาพที่ 59



แสดงเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรฝนทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับขนาดเม็ดฝน และอัตราการตกของฝน

ในตารางที่ 6 ไม่ได้อธิบายผลการทดลองในทางคณิตศาสตร์ ต่อมาการวัดของ Marshall and Palmer ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอ็กโปเนนเชียล เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานดังสมการต่อไปนี้

$$N_{g(D)} = N_0 e^{-\lambda D} \quad (4.3)$$

เมื่อ N_0 และ λ เป็นสัมประสิทธิ์ที่ถูกเลือกให้เหมาะสมกับการวัดการกระจายขนาดเม็ดฝน เทอม N_g และ N_0 มีหน่วยเป็น $\text{mm}^{-1} \text{m}^{-2}$ ในขณะที่ λ มีหน่วยเป็น mm^{-1} เทอม N_0 ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8000 และ λ มีค่าเป็น $4.1R^{-0.21}$ เมื่อ R คือ อัตราการตกของฝนมีหน่วยเป็น มม./ชม.

ผลลัพธ์ต่อมาแสดงให้เห็นว่าการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียลสามารถอธิบายได้อย่างสมเหตุสมผล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผลกับขอมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดเม็ดฝนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ส่วนค่า

สัมประสิทธิ์ยังไม่เหมาะสม

ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงแก้ไขการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียลใหม่ โดยสมมติว่าเม็ดฝนมีขนาดเป็นทรงกลม คือ

$$N_{g(D)} = N_0 e^{-3.67D/D_0} \quad (4.4)$$

ในการกระจายนี้ ค่าจำกัดที่สูงกว่า (D_{max}) และต่ำกว่า (D_{min}) บนขนาดเม็ดฝนถูกกำหนด, เทอมของ D_0 ถูกตั้งค่าไว้อย่างน้อยที่สุดเท่าของขนาด D_{min} และไม่ใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งของขนาด D_{max} เพื่อเป็นการแน่ใจว่าครึ่งหนึ่งของเม็ดฝนจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า D_0 นั่นคือ D_0 เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝนปริมาตรปานกลาง สำหรับการกระจายของ Marshall and Palmer

$$D_0 = 0.89 R^{0.21} \quad (4.5)$$

โดยทั่วไป เม็ดฝนจะไม่เป็นทรงกลม ดังนั้นจึงมีการกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางที่มีค่าเท่ากับเม็ดฝนที่เป็นทรงกลม D_g นำไปแทนในสมการ 4.4 จะได้

$$N_{g(D)} = N_0 e^{-3.67D_g/D_0} \quad (4.6)$$

ซึ่งสมการนี้ คือ การกระจายขนาดเม็ดฝนของ Marshall and Palmer ถูกพบว่าสามารถอธิบายได้ดีมากกับข้อมูลระยะยาว เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการคำนวณการเสียหายของการแพร่กระจายคลื่น

การกระจายอัตราการตกของฝน (Rain rate distributions)

ในบทความของ Rice and Holmberg ได้แบ่งการตกของฝนเป็น 2 ชนิด เพื่อใช้สำหรับทำนายสถิติอัตราการตกของฝนจากการสะสมฝนที่ตกทั้งหมดเฉลี่ยตลอดปี ฝนทั้งสองชนิดถูกกำหนดให้เป็นฝนไหมด 1 (M_1) และไหมด 2 (M_2) ในฝนไหมด 1 จะประกอบไปด้วยอัตราการตกของฝนที่สูงซึ่งจะเป็นจำพวก convective และฝนฟ้าคะนอง สำหรับไหมด 2 คือ ฝนชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่แบบ convective ดังนั้นปริมาณการสะสมของฝนเฉลี่ยตลอดปี (M) จะได้เป็น

$$M = M_1 + M_2 \quad \text{มิลลิเมตร} \quad (4.7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ β ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของการสะสมปริมาณฝนแบบ convective กับ การสะสมปริมาณฝนทั้งหมดจะได้

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

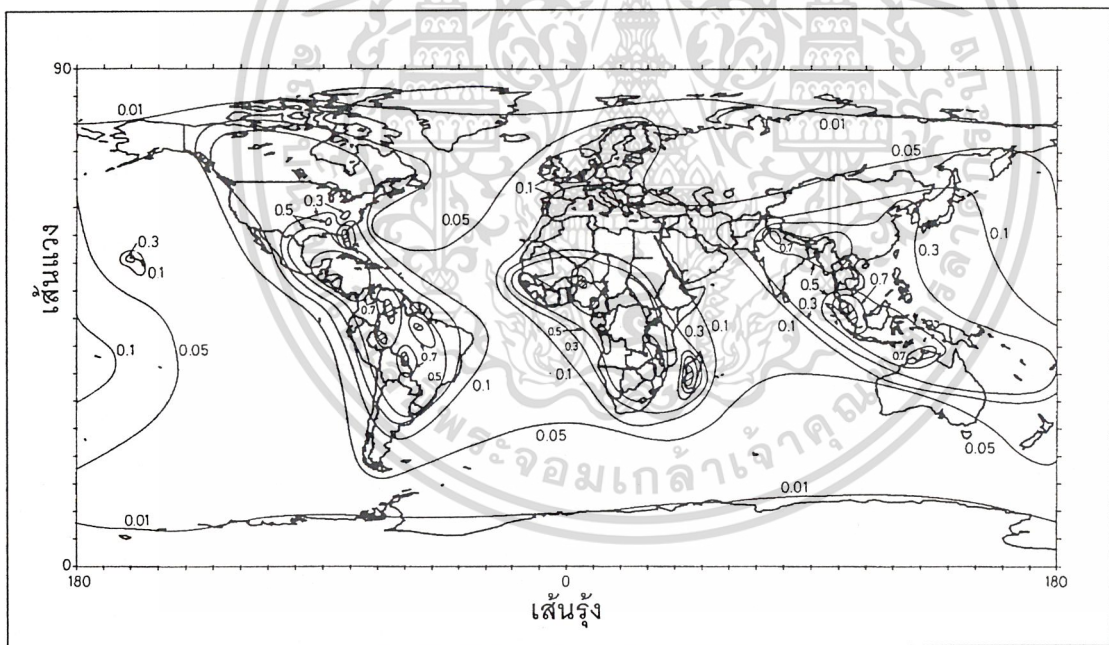
$$\beta = \frac{M_1}{M} \quad (4.8)$$

เพื่อให้ค่า M และ β ง่ายขึ้น Rice and Holmberg ได้เสนอสูตรที่ให้จำนวนชั่วโมงในเวลาเฉลี่ย 1 ปี ที่อัตราการตกของฝน (R) ในหน่วย มม./ชม.

$$T_1 = M \times \{0.03\beta \times e^{(-0.03R)} + 0.2 \times (1 - \beta)[e^{(-0.258R)} + 1.86 \times e^{(-1.63R)}]\} \text{ ชั่วโมง} \quad (4.9)$$

ตัวห้อย 1 ของ T คือ ค่าคงที่เวลา (time constant) ของ 1 นาที ที่ใช้ในการวัดอัตราการตกของฝน ในภาพที่ 60 แสดงคอนทัวร์ (contour) ของ β ทั่วโลก

ภาพที่ 60



แสดงคอนทัวร์ของสัมประสิทธิ์ β สำหรับการใช่แบบจำลองของ Rice-Holmberg

CCIR ได้ทำให้เหมาะสมโดยใช้สูตรของ Rice-Holmberg และตั้งเป็นเขตภูมิอากาศฝน 15 บริเวณ แต่ละบริเวณจะมีลักษณะการกระจายของอัตราการตกของฝนที่เฉพาะของแต่ละบริเวณ ซึ่งค่าการกระจายอัตราการตกของฝนแสดงในตารางที่ 7 และเส้นที่แบ่งเขตภูมิอากาศฝนแสดงในภาพที่ 61

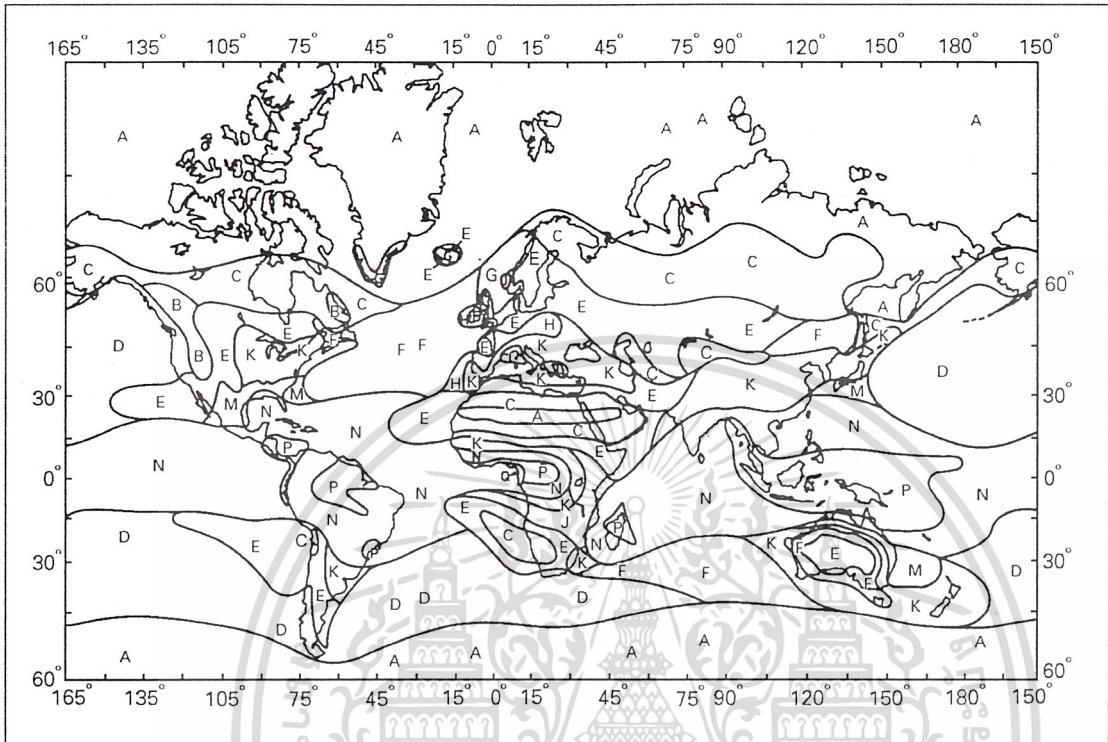
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7

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

แสดงอัตราการตกของผงของเขตกาศณ 15 เเทต ของ CCIR

ภาพที่ 61



แสดงเขตภูมิอากาศฝนของ CCIR ทั่วโลก

การวัดปริมาณน้ำฝน

หน่วยที่ใช้ในการวัด

การวัดจำนวนน้ำฝนนั้นใช้วัดเป็นความสูงของน้ำฝนที่ตกลงมาในเนื้อที่จำกัดอันหนึ่ง โดยคิดเสียน้ำฝนนั้นไม่มีการระเหยหรือไหลซึมไปไหน โดยที่เรารู้เนื้อที่ของปากถังตั้งนั้นเมื่อเราต้องการวัดความสูงหรือความลึกของน้ำฝน เราก็สามารถใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัดความสูงได้หรือจะทำได้สำหรับตวงน้ำฝนต่างหากก็ได้ หน่วยที่ใช้วัดจำนวนน้ำฝนที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้วัดเป็น มิลลิเมตร การอ่านค่าของจำนวน น้ำฝนต้องวัดให้ได้ใกล้เคียงถึง 0.2 มิลลิเมตร สำหรับจำนวนน้ำฝน 10 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า แต่ถ้าจำนวนน้ำฝนมากกว่านี้ ยอมให้ได้ค่าใกล้เคียง 2% ของจำนวนฝนทั้งหมด ในบางประเทศใช้หน่วยที่วัดเป็นนิ้ว ซึ่งเทียบค่าได้ 1 นิ้ว เท่ากับ 25.4 มิลลิเมตรก็นับว่าถูกต้องดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การติดตั้งเครื่องมือ[37]

ปรากฏว่าจำนวนน้ำฝนที่จะเข้าไปในถังนั้นขึ้นอยู่กับลมประการหนึ่ง วิธีการในการติดตั้งเครื่องมือประการหนึ่ง และความสูงของบรรดาสิ่งที่อยู่แวดล้อมอีกประการหนึ่ง ค่าที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นเหตุมาจากลม และส่วนใหญ่เป็นลมหวนรอบๆ ถึงวัดฝนนั้น กระแสอากาศไหลขึ้นทำให้ได้จำนวนฝนน้อยลง และกระแสอากาศไหลลงทำให้ได้จำนวนฝนมากขึ้นกว่าความเป็นจริง ถ้ายังมีลมหวนอย่างแรงและบ่อยๆ จำนวนฝนที่ได้ก็ยิ่งน้อยกว่าความเป็นจริงยิ่งขึ้น ความแรงและความถี่ของลมหวนนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของลมอย่างหนึ่ง ลักษณะโดยทั่วไปของพื้นดินรอบๆ เครื่องวัดอย่างหนึ่ง ความห่างและความสูงของสิ่งแวดล้อมเครื่องวัดอย่างหนึ่งและความสูงของเครื่องซึ่งตั้งอยู่เหนือระดับพื้นดินอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบผลการตรวจของสถานีต่างๆ ว่าเป็นอย่างไร ในเมื่อสถานีต่างๆ เหล่านี้ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือเป็นแบบเดียวกัน สำหรับประเทศไทยเรากำหนดให้ติดตั้งไว้บนพื้นดิน

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket)

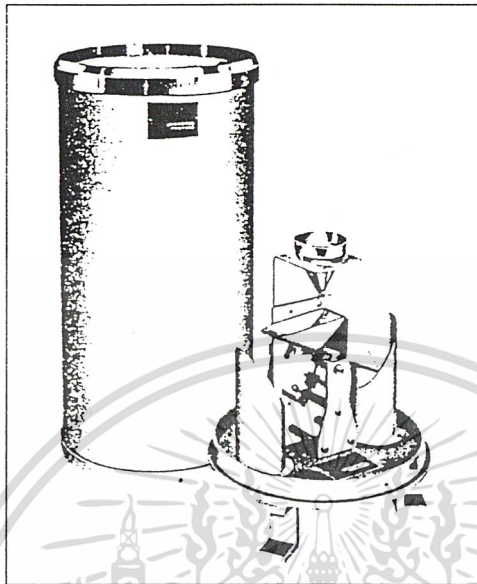
เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (ดูภาพที่ 62) นี้ใช้เพื่อวัดปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาซึ่งสามารถติดตั้งไว้ภายนอกอาคารได้ และทำการต่อด้วยสายเคเบิลเพื่อเข้าไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารซึ่งวิธีนี้จะไม่ทำให้กระดกบันทึกสัญญาณเปียกได้ เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดกมีหลักการทำงาน[4] ดังภาพที่ 63 กล่าวคือ เมื่อมีฝนตก น้ำฝนจะตกลงสู่กรวยรับน้ำฝน ซึ่งมีรัศมีคงที่อยู่ค้ำหนึ่งจากนั้นน้ำฝนจะไหลลงสู่กระบอกเล็กๆ ที่ติดกันอยู่ 2 อัน โดยมีปากของกระบอกที่ตรงกันข้ามเพื่อสลัดกันให้น้ำ และ เทน้ำเมื่อข้างหนึ่งข้างใดเต็มซึ่งปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนชนิดนี้เท่ากับ nV เมื่อ V เป็นปริมาตรของกระบอก และ n คือจำนวนครั้งที่น้ำฝนถูกเทออก (คือจำนวนพัลส์) ในขณะที่กระบอกเทน้ำออก แท่งแม่เหล็กที่ติดอยู่กับกระบอกจะเคลื่อนที่ไปกระตุ้นการทำงานของสวิตซ์หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (reed switch) โดยการสวิตซ์ของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดแปลงความถี่เป็นแรงดัน (F to V converter) จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องบันทึกสัญญาณ (recorder) เพื่อบันทึกที่ระดับแรงดัน เมื่อมีฝนตกลงมา เครื่องวัดน้ำฝนชนิดนี้จะส่งสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นระดับแรงดันมาบันทึกที่เครื่องวัดสัญญาณ ดังนั้นจึงทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำฝน และ อัตราการตกของฝน

การกระดกของกระบอกรับน้ำจะมีเวลาในการทำงานที่แน่นอนประมาณ 0.2 วินาที เมื่อน้ำเต็มที่ข้างหนึ่งคานก็จะกระดกแล้วเทน้ำลงไป ส่วนในภาพที่ 64 แสดงคุณลักษณะของเครื่องวัดน้ำฝนแบบคานกระดก โดยการเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราการตกของฝนกับความผิดพลาด เมื่อใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

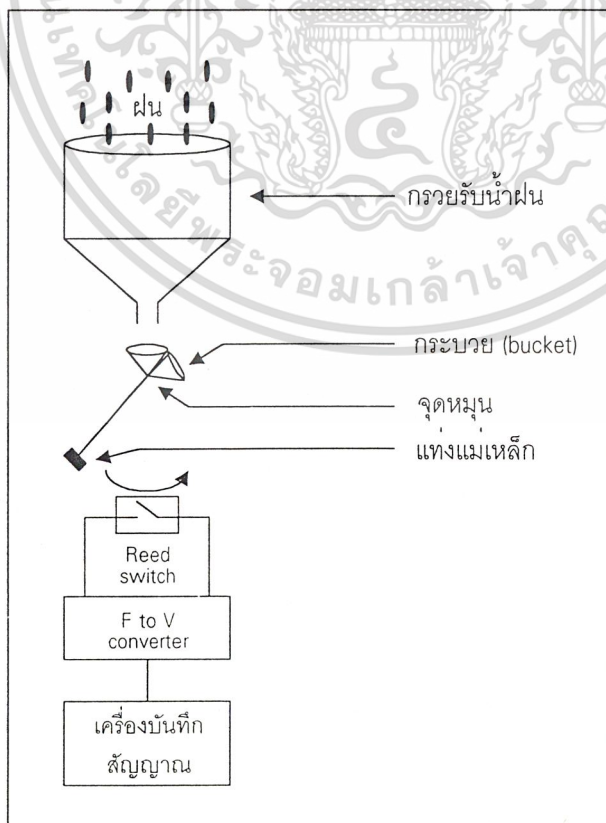
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 62



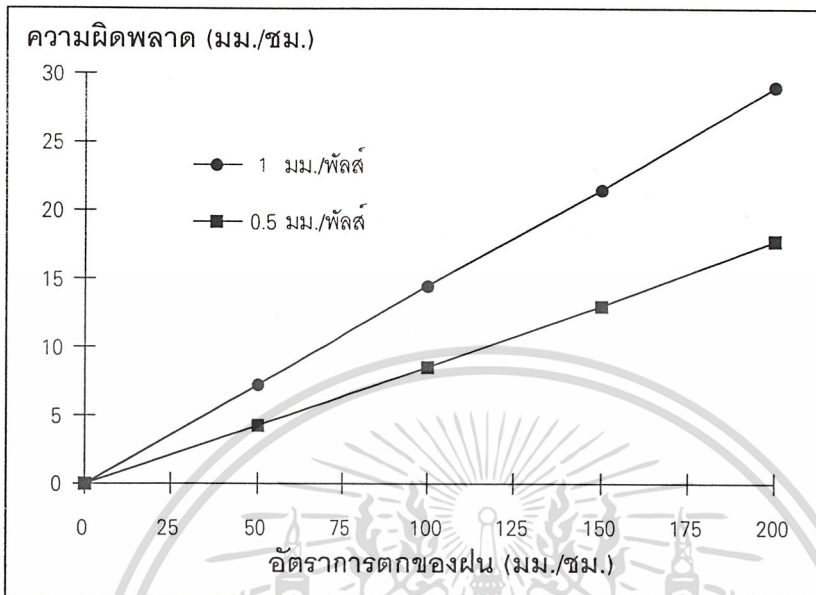
แสดงลักษณะภายในของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก

ภาพที่ 63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แสดงโครงสร้างของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 64



แสดงคุณลักษณะของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก

จากภาพที่ 64 จะเห็นได้ว่า ถ้าใช้เครื่องวัดน้ำฝนแบบคานกระดกที่มีขนาดกระบอกเล็กกว่า (0.5 มม./พัลส์) จะทำให้ความผิดพลาดในการวัดน้อยกว่าที่อัตราการรดของฝนเดียวกัน (สาเหตุสำคัญก็คือการระเหยของน้ำในขณะที่กระบอกกระดกเทน้ำทิ้ง) แต่ถ้าใช้ขนาดกระบอกน้ำฝนเล็กเกินไป ก็ไม่สามารถวัดอัตราการรดของฝนที่ตกหนักมากๆ ได้ เนื่องจากเมื่อฝนตกหนักมากๆ จะทำให้ที่กระบอกของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนดินที่น้ำทิ้งไม่ทัน ทำให้เกิดความผิดพลาดอย่างสูง

วิธีการประมาณการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

ทฤษฎีการสังเกตโดยการวัดสัญญาณที่พื้นโลก เพื่อคำนวณหาค่าการลดทอนของฝนที่ความยาวคลื่นเซ็นติเมตร ได้มีการพัฒนาหาค่าการลดทอนเนื่องจากฝน โดยตั้งสมมุติฐาน 3 ข้อดังต่อไปนี้ที่อธิบายธรรมชาติของการแพร่กระจายคลื่น

1. ความเข้มของคลื่นลดลงแบบเอ็กโปเนนเชียล เมื่อคลื่นแพร่กระจายผ่านปริมาตรของฝน
2. เม็ดฝนถูกสมมุติเป็นทรงกลม

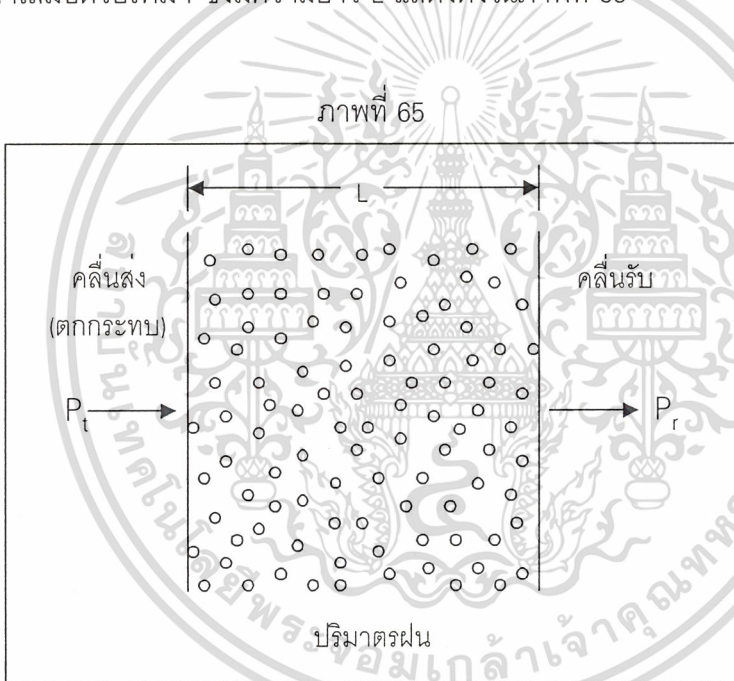
เอกสารนี้เป็นเอกสารเชิงวิชาการที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
3. เม็ดฝนแต่ละเม็ดเป็นอิสระต่อกัน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสมมุติฐานข้างต้น สามารถนำมาใช้กำหนดในการหาค่าการลดทอนของการแพร่กระจายคลื่นผ่านปริมาตรฝน ซึ่งมีความยาว L สามารถแสดงได้ดังนี้

$$A = \int_0^L \alpha \, dx \quad (4.10)$$

เมื่อ α คือ ค่าการลดทอนเฉพาะของปริมาตรฝน มีหน่วยเป็นเดซิเบลตอกิโลเมตร และการอินทิเกรตตามเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น จาก $x = 0$ ถึง $x = L$

เมื่อพิจารณาคลื่นระนาบของกำลังงานส่ง P_t ตกกระทบบนปริมาตรของเม็ดฝนทรงกลมกระจายแบบสม่ำเสมอด้วยรัศมี r ซึ่งมีความยาว L แสดงดังในภาพที่ 65



แสดงคลื่นตกกระทบบนปริมาตรทรงกลมของเม็ดฝนที่กระจายแบบสม่ำเสมอ

กำลังงานรับจะเป็น P_r

$$P_r = P_t e^{-kL} \quad (4.11)$$

เมื่อ k เป็นสัมประสิทธิ์การลดทอนของปริมาตรฝน การลดทอนของคลื่นมักแสดงในหน่วยของเดซิเบล จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A(\text{เดซิเบล}) = 10 \log \frac{P_t}{P_r} \quad (4.12)$$

เปลี่ยนล็อกการิทึมเป็นฐาน e และนำสมการ 4.11 แทนลงใน 4.12 จะได้

$$A(\text{เดซิเบล}) = 4.343 \text{ kL} \quad (4.13)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอน k แสดงดังต่อไปนี้

$$k = \rho Q_t \quad (4.14)$$

เมื่อ ρ เป็นความหนาแน่นเม็ดฝน คือ เป็นจำนวนเม็ดฝนต่อหน่วยปริมาตร และ Q_t คือ ค่าการลดทอนที่ภาคตัดขวางของเม็ดฝน แสดงในหน่วยพื้นที่, Q_t เป็นผลรวมของการแตกกระจายของคลื่นที่ภาคตัดขวางของเม็ดฝน (Q_s) และการดูดกลืนของคลื่นที่ภาคตัดขวางของเม็ดฝน (Q_a) การลดทอนที่ภาคตัดขวางเป็นฟังก์ชันของรัศมีของเม็ดฝน (r), ความยาวคลื่น (λ) และ ดัชนีการหักเหเชิงซ้อนของเม็ดฝน (m) นั่นคือ

$$Q_t = Q_s + Q_a = Q_t(r, \lambda, m) \quad (4.15)$$

ความเป็นจริงนั้นเม็ดฝนมีรัศมีไม่สม่ำเสมอ และสัมประสิทธิ์การลดทอนจำเป็นต้องถูกกำหนดด้วยการอินทิเกรตตลอดทั้งขนาดเม็ดฝน คือ

$$k = \int Q_t(r, \lambda, m) n(r) dr \quad (4.16)$$

เมื่อ $n(r)$ เป็นการกระจายขนาดเม็ดฝน และ $n(r) dr$ สามารถตีความหมายว่าเป็นจำนวนเม็ดฝนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรภายในรัศมีระหว่าง r และ $r+dr$.

ค่าการลดทอนเฉพาะในหน่วยเดซิเบลต่อกิโลเมตร ได้จากสมการที่ 4.13 และแทนค่า k จากสมการที่ 4.16 ลงไป ด้วยค่า L เท่ากับ 1 กิโลเมตร

$$\alpha \left(\frac{\text{เดซิเบล}}{\text{กิโลเมตร}} \right) = 4.343 \int Q_t(r, \lambda, m) n(r) dr \quad (4.17)$$

ผลลัพธ์ข้างบนเป็นการแสดงให้เห็นถึงการลดทอนเนื่องจากฝนบนขนาดเม็ดฝน ขึ้นกับขนาดการกระจายขนาดเม็ดฝน, อัตราการตกของฝน และการลดทอนที่ภาคตัดขวาง หนึ่งในสามตัวแปรจะเป็นลักษณะเฉพาะของโครงสร้างฝนเพียงตัวเดียว คลื่นเดินทางผ่านภาคตัดขวางของเม็ดฝนแล้วทำให้เกิดการลดทอน ขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิของการลดทอนเนื่องจากฝนที่จะถูกกำหนด ตัวแปรทั้งหมดแสดงการขึ้นกับเวลา และการเปลี่ยนแปลงทางอากาศ ซึ่งจะไม่ถูก

ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดหรือทำนายโดยตรง ดังนั้น การวิเคราะห์การลดทอนเนื่องจากฝนส่วนมาก จำเป็นต้องวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาค่าการสูญเสียเนื่องจากฝนบนระบบการสื่อสาร

การแกสมการที่ 4.17 ต้องหาค่า Q_t และ $n(r)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของขนาดเม็ดฝน, Q_t หาได้จากทฤษฎีการแตกกระจายของ Mie (สำหรับคลื่นระนาบที่แพร่กระจายคลื่นเป็นทรงกลม) ซึ่งจะได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_t = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \operatorname{Re} [a_n + b_n] \quad (4.18)$$

เมื่อ a_n และ b_n เป็นสัมประสิทธิ์การแตกกระจายของ Mie ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงซ้อนของ r , λ และ m ส่วน Re หมายถึงส่วนจริง

สมการ 4.18 ยิ่งยากอยู่ในการคำนวณดังนั้นจึงทำให้ง่ายขึ้นโดยกำหนดให้อยู่ภายใต้สถานะนี้คือ

$$2\pi r \ll \lambda \quad (4.19)$$

นั่นคือขนาดเม็ดฝนน้อยกว่า ความยาวคลื่นมากๆ สถานะนี้รู้จักกันในนามของการประมาณของ Rayleigh ใช้ได้กับความถี่ระหว่าง 40 และ 80 กิกะเฮิร์ตซ์ ภายใต้สถานะนี้ การลดทอนที่ภาคตัดขวางลดรูปเป็น (ดูภาคผนวก จ)

$$Q_t = \frac{8\pi^2}{\lambda} r^3 \operatorname{Im} \left[\frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right] \quad (4.20)$$

เมื่อ Im เป็นส่วนจินตภาพ

หลายๆ หน่วยงานได้ศึกษาการกระจายของขนาดเม็ดฝนซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราการตกของฝนและชนิดของพายุ และการกระจายขนาดเม็ดฝนถูกค้นพบว่าจะแทนด้วยสมการเอ็กโปเนนเชียลได้ดี ซึ่งจะอยู่ในรูปแบบ

$$n(r) = N_0 e^{-Br} = N_0 e^{-(cR^{-d})r} \quad (4.21)$$

เมื่อ R เป็นอัตราการตกของฝน (มม./ชม.) และ r เป็นรัศมีของเม็ดฝน (มม.) ส่วนค่า N_0 , B , c และ d เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการสังเกตกำหนดจากการกระจายของการวัด

มี 3 ทฤษฎีของการกระจายเม็ดฝนที่ใช้อ้างอิงมากที่สุดได้แก่ Laws and Parsons, Marshall and Palmer และ Joss and Waldvogel การกระจายของเม็ดฝนของ Laws and Parsons จะทำการวัดเอกสารเป็นเอกสารทศวรรษไวสำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าโดยตรง และแสดงคาลงในตารางจากค่าอัตราการตกของฝนเฉพาะจาก 0.25 ถึง 150 มม./ชม.

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการกระจายขนาดเม็ดฝนของ Marshall-Palmer และ Joss ได้จากการวัดเรดาร์และค่าคงที่ ที่ได้จากการสังเกตของสมการ 4.21 สำหรับการกระจายขนาดเม็ดฝนเหล่านี้แสดงในตารางที่ 8 การกระจายขนาดเม็ดฝนของ Joss ยังแยกชนิดของฝนออกเป็น 3 ชนิด ในขณะที่การกระจายขนาดเม็ดฝนของ Marshall-Palmer รวมการวัดทั้งหมดเป็นการกระจายเม็ดฝนชนิดเดียว ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าการกระจายของ Marshall-Palmer จะเหมือนกับของ Joss ในกรณีของฝนแบบปานกลาง

ตารางที่ 8

การกระจายของเม็ดฝน	ค่าคงที่ที่ได้จากการสังเกต	
	$N_0 \cdot \left(\frac{1}{\text{m}^2} \frac{1}{\text{mm}} \right)$	$B \cdot \left(\frac{1}{\text{mm}} \right)$
Marshall-Palmer	8×10^3	$8.2 R^{-21}$
Joss :		
เล็กน้อย	30×10^3	$11.4 R^{-21}$
ปานกลาง	7×10^3	$8.2 R^{-21}$
หนักมาก	1.4×10^3	$6 R^{-21}$

R คือ อัตราการตกของฝน (มม./ชม.)

แสดงการกระจายขนาดเม็ดฝนใช้สำหรับการคำนวณการลดทอนเนื่องจากฝน

ค่าการลดทอนเฉพาะจากสมการที่ 4.17 สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

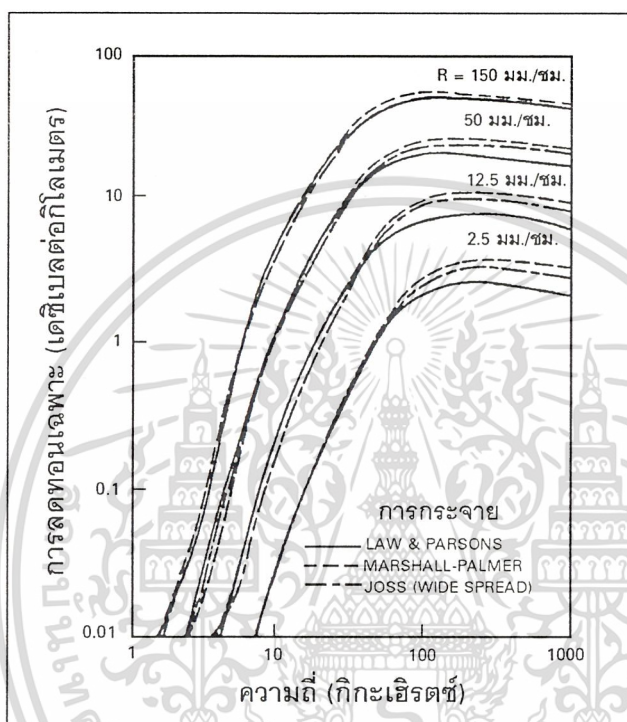
$$\alpha \left(\frac{\text{เดซิเบล}}{\text{กิโลเมตร}} \right) = 4.343 N_0 \int Q_t(r, \lambda, m) e^{-B r} dr \quad (4.22)$$

เมื่อ Q_t ได้จากสมการที่ 4.18 หรือ 4.20 สมการอินทิกรัลข้างบนสามารถแก้ด้วยนัมเมอริคอลสำหรับค่าเฉพาะของดัชนีการหักเห ความถี่ และการกระจายขนาดเม็ดฝน ในภาพที่ 66 แสดงการลดทอนเฉพาะจาก 1 ถึง 1,000 กิกะเฮิร์ตซ์ ที่อัตราการตกของฝนเฉพาะ 4 ค่า ด้วยการแก้สมการอนุกรมของสัมประสิทธิ์การแตกกระจายคลื่นของ Mie สำหรับการกระจายขนาดเม็ดฝนทั้ง 3 ทฤษฎี อธิบายข้างบน

การคำนวณทำที่อุณหภูมิฝน 20 °C จากภาพจะเห็นว่า การลดทอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นฟังก์ชันของความถี่สูงถึง 60 กิกะเฮิร์ตซ์ แต่เมื่อความถี่สูงกว่านี้ค่าการลดทอนจะไม่ค่อยเพิ่ม ออกสารเป็นเอกสารที่ส่งไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าขึ้นและคอนข้างคงที่ จะมีความแตกต่างเล็กน้อยในผลของการกระจายเม็ดฝนทั้ง 3 ทฤษฎี ที่ความถี่ต่างกันเท่าๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลแปลกประหลาด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่า 30 กิกะเฮิรตซ์ ในขณะที่ความถี่สูงกว่า การกระจายของ Marshall-Palmer และ Joss ให้ค่าสูงกว่า เนื่องจากจำนวนเม็ดฝนขนาดเล็กๆ มีจำนวนมากกว่า

ภาพที่ 66



แสดงการลดทอนเฉพาะของฝนสำหรับการกระจายของเม็ดฝนทั้ง 3 วิธี

การลดทอนเนื่องจากฝนทั้งหมดสำหรับเส้นทางทั้งหมดได้มาจากการอินทิเกรตค่าการลดทอนเฉพาะทั้งหมดตลอดคลุมเส้นทางทั้งหมด L จากสมการ 4.11 และ 4.22 จะได้

$$A(\text{เดซิเบล}) = 4.343 \int_0^L \left[N_0 \int Q_i e^{-Br} dr \right] dx \tag{4.23}$$

เมื่อการอินทิเกรต x ตลอดเส้นทางปริมาตรฝนในทิศทางแพร่กระจายคลื่น โดยทั่วไป ทั้งค่า Q_i และ การกระจายของเม็ดฝนจะเปลี่ยนแปลงตามเส้นทางและการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จำเป็นต้องรวมไปในกระบวนการอินทิเกรตด้วย การกำหนดการเปลี่ยนแปลงเส้นทางแพร่กระจายคลื่นนั้นยากมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เส้นทาง slant path ถึงดาวเทียมค้างฟ้า เราจึงจำเป็นต้องประมาณการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ให้มีแนวโน้มมาเป็นทางสถิติ เพื่อพัฒนาการใช้ประโยชน์แบบจำลองสำหรับทำนายการลดทอนเนื่องจากฝน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีการวัดการลดทอนเนื่องจากฝนบนเส้นทางบนพื้นโลกเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนบนเส้นทางนั้น สามารถสังเกตเห็นว่าค่าการลดทอนเฉพาะควรจะถูกประมาณด้วยสมการดังต่อไปนี้ได้ดี

$$\alpha \left(\frac{\text{เดซิเบล}}{\text{กิโลเมตร}} \right) = aR^b \quad (4.24)$$

เมื่อ R คือ อัตราการตกของฝน (มม./ชม.) ส่วน a และ b เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิ ค่าคงที่ a และ b แทนด้วยพฤติกรรมที่ซับซ้อนของการแทนที่อย่างสมบูรณ์ของการลดทอนเฉพาะด้วยสมการ 4.22 การแสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายสำหรับการลดทอนและอัตราการตกของอัตราการตกของฝนสังเกตโดยการวัดโดยตรง อย่างไรก็ตาม หลายๆ การวิจัยที่เข้ามาได้แก่ของ Olsen , Rogers และ Hodge ได้แสดงการวิเคราะห์พื้นฐานของการแสดงค่า aR^b ในภาคผนวก จ. แสดงการพัฒนาของพื้นฐานการวิเคราะห์ aR^b สัมประสิทธิ์ a และ b สำหรับความถี่ต่างๆ ที่น่าสนใจสำหรับการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม ถูกพัฒนาโดย Olsen, Rogers, และ Hodge สำหรับอุณหภูมิของฝนที่ 0 °C ตัวอย่างการลดทอนเฉพาะที่แต่ละความถี่ที่อัตราการตกของฝน 10, 50 และ 100 มม./ชม. แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9

ความถี่ (กิกะเฮิรตซ์)	สัมประสิทธิ์		การลดทอนเฉพาะ (เดซิเบลต่อกิโลเมตร)		
	a	b	R = 10	R = 50	R = 100
2	0.000345	0.891	0.003	0.1011	0.021
4	0.00147	1.016	0.015	0.078	0.158
6	0.00371	1.124	0.049	0.30	0.657
12	0.0215	1.136	0.29	1.83	4.02
15	0.0368	1.118	0.48	2.92	6.34
20	0.0719	1.097	0.90	5.25	11.24
30	0.180	1.043	2.05	11.0	22.7
40	0.302	0.972	3.39	16.2	31.8
94	1.402	0.744	7.78	25.8	43.1

แสดงตัวอย่างของสัมประสิทธิ์และการลดทอนเฉพาะของฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (การกระจายเมล็ดฝนของ Marshall-Palmer ที่อุณหภูมิของฝนที่ 0 °C)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการค้นพบค่า a, b ของการกระจายขนาดเม็ดฝนของ Marshall and Palmer, Laws and Parsons, และ Joss ที่อุณหภูมิต่ำ -10, 0 และ 20 °C สำหรับความถี่ 1 ถึง 1,000 กิกะเฮิรตซ์ ข้อมูลเหล่านี้ถูกเปลี่ยนด้วย CCIR และทำขึ้นใหม่สำหรับความถี่ช่วง 1 ถึง 400 กิกะเฮิรตซ์ ในสูตรของ CCIR ได้ใช้ตัวแปร k แทน ตัวแปร a , ตัวแปร α แทน b และ ตัวแปร γ แทนตัวแปร α ซึ่งจะเขียนใหม่ได้เป็น

$$\gamma = k \times R^\alpha \quad \text{เดซิเบลตอกิโลเมตร} \quad (4.25)$$

ตารางที่ 10 แสดงค่า k และ α ที่ 20 °C ใช้การกระจายขนาดเม็ดฝนของ Laws and Parsons

สำหรับค่า k_H , k_V หรือ α_H , α_V ที่ความถี่ที่ไม่มีอยู่ในตาราง สามารถทำการอินเตอร์โพลชัน (Interpolation) ได้ โดยที่ค่าของ k จะอินเตอร์โพลชันแบบล็อกการิทึม ส่วนค่า α จะทำการอินเตอร์โพลชันแบบเชิงเส้น

ถ้าค่า k₁ , k₂ และ α₁ , α₂ (ทั้งโพลาริเซชันแนวนอนและแนวตั้ง) ตอบสนองความถี่ f₁ , f₂ กระบวนการอินเตอร์โพลชันต้องการความถี่ f ดังนั้นจะได้มาด้วย

$$k_{(f)} = \log^{-1} \left\{ \log \left[\frac{k_2}{k_1} \right] \times \frac{\log \left(\frac{f}{f_1} \right)}{\log \left(\frac{f_2}{f_1} \right)} + \log (k_1) \right\} \quad (4.26)$$

และ

$$\alpha_{(f)} = \left\{ [\alpha_2 - \alpha_1] \times \frac{\log \left(\frac{f}{f_1} \right)}{\log \left(\frac{f_2}{f_1} \right)} + \alpha_1 \right\} \quad (4.27)$$

สำหรับโพลาริเซชันที่ไม่เป็นทั้งแนวนอนและแนวตั้ง แต่จะมีมุมทิว (τ) ทำกับแนวนอน ผลลัพธ์ของค่า k และ α สามารถคำนวณได้จาก

$$k = \left[\frac{k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos \tau}{2} \right] \quad (4.28)$$

$$\alpha = \left[\frac{k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos \tau}{2} \right] \quad (4.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ θ เป็นมุมเงยของ slant path ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสำหรับโพลาริเซชันแบบวงกลม ค่า τ จะมีค่าเท่ากับ 45°

ตารางที่ 10

ความถี่ (กิกะเฮิรตซ์)	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

แสดงสัมประสิทธิ์การลดทอนสำหรับการประมาณสัมประสิทธิ์
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
การลดทอนเฉพาะ γ เมื่อ $\gamma = kR$
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบดาวเทียมสื่อสารส่วนใหญ่ มักใช้โพลาไรซ์เชิงเส้น เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะอยู่ใน
 เพลนของเส้นศูนย์สูตร (horizontal polarization) หรือ ตั้งฉากกับเพลนของเส้นศูนย์สูตร (vertical
 polarization) เมื่ออ้างอิงจุด sub-satellite (เป็นจุดที่อยู่บนผิวโลกที่เกิดจากการลากเส้นตรงระหว่าง
 ดาวเทียมมายังจุดศูนย์กลางของโลก) จุด sub-satellite ของดาวเทียมค้างฟ้าตอบสนองกับเส้นแวง
 บนเส้นศูนย์สูตร ที่ซึ่งเป็นตำแหน่งของดาวเทียมค้างอยู่กับที่ ถ้าสถานีภาคพื้นดินไม่อยู่บนเส้นเมริ
 เดียน คือเส้นแวงของตำแหน่งดาวเทียม เพลนของเวกเตอร์โพลาไรซ์เชิงเส้นจะแตกต่างจากโพลา
 ริซ์แนวนอนและแนวตั้งของท้องถิ่นที่สังเกตที่สถานี การหมุนของเพลนของโพลาไรซ์ขึ้นจากโพลา
 ริซ์ท้องถิ่นเราเรียกว่ามุมทิว (τ) มุมทิวทำกับแนวนอนจะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\tau = \arctan \left(\frac{\tan \delta}{\sin \beta} \right) \quad (4.30)$$

เมื่อ δ คือ เส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน (เป็นบวกเหนือเส้นศูนย์สูตร และเป็นลบต่ำกว่าเส้น
 ศูนย์สูตร) และ β คือ เส้นแวงของดาวเทียมลบกับเส้นแวงของสถานีภาคพื้นดิน (เส้นแวงแสดงใน
 หน่วยองศาตะวันออก)

สำหรับการออกแบบช่องสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม ค่าที่เผื่อต่ำ
 (margin) สำหรับการลดทอนด้วยฝนจะถูกตั้งไว้ก่อน ดังนั้นมันคือสิ่งจำเป็นมากในการคำนวณค่า
 สถิติการลดทอนช่วงเวลาเปอร์เซ็นต์น้อยๆ สำหรับเส้นทางที่ถูกลดทอนเกินกว่าระดับที่ตั้งไว้
 0.1% ของเวลา (ประมาณ 9 ชั่วโมงต่อปี) และ 0.01% ของเวลา (ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อปี) แต่สภาพ
 ฝนตกเปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลา และอวกาศ, และที่เวลาเดียวกัน การกระจายของขนาดเม็ดฝน ซึ่ง
 มีอิทธิพลต่อการดูดกลืนคลื่น และการแตกกระจายคลื่นเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงด้วย ดังนั้น มัน
 เป็นการยากที่จะนำทฤษฎีมาวิเคราะห์ บ่อยครั้งที่การลดทอนด้วยฝนจะประมาณด้วยแนวทางการ
 วิเคราะห์ข้อมูลของปรากฏการณ์บนชั้นบรรยากาศ และการสังเกตข้อมูลของการแพร่กระจายคลื่น
 เป็นระยะเวลาหลายๆ ในวิธีทั้งหมดของการประมาณการลดทอนด้วยฝน มีหลายวิธี ซึ่งจะถูกนำไป
 ใช้ และวิธีทั้งหมดนี้จะต้องใช้ข้อมูลอัตราการตกของฝนที่สถานีที่ทำการวัด เพื่อนำมาเป็นตัวแปร
 หนึ่ง ในการป้อนเข้าไปในแบบจำลองที่ใช้สำหรับการทำนาย

ในการคำนวณการลดทอนเนื่องจากฝนมีหลายวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับที่ตั้งสถานีที่วัดการตกของ
 ฝน ซึ่งจะถูกนำมาเป็นพารามิเตอร์ของการลดทอนด้วยฝน โดยประมาณมาตรฐานการคำนวณของ
 CCIR มีความสะดวก และง่าย และเป็นที่ยอมรับด้วยการศึกษาที่เห็นได้ชัดเจน เพราะการประมาณ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกต้องกว่าวิธีอื่น การคำนวณสถิติระยะยาวของการลดทอนของฝนที่ระยะ slant path ของท้องถิ่น ตัวแปรข้างล่างนี้จำเป็นต้องทราบ

$R_{0.01}$ คือ อัตราการตกของฝนที่ท้องถิ่นสำหรับ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี (มม./ชม.)

H_S คือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของสถานีภาคพื้นดิน (กิโลเมตร)

θ คือ มุมเงยของจานสายอากาศรับ (องศา)

ϕ คือ ค่าสัมบูรณ์เส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน (องศา)

f คือ ความถี่ (กิกะเฮิรตซ์)

สมการมาตรฐานของ CCIR[38] ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้ ซึ่งสามารถใช้ทำนายการลดทอนเนื่องจากฝนจนถึงความถี่สูงสุด 30 กิกะเฮิรตซ์

ขั้นที่ 1 : คำนวณความสูงประสิทธิผลของเมฆฝน H_R สามารถคำนวณจากเส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน

$$H_R \text{ (กิโลเมตร)} = \begin{cases} 3.0 + 0.028 \phi & , 0 < \phi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075 (\phi - 36) & , \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (4.31)$$

ขั้นที่ 2 : สำหรับ $\theta \geq 5^\circ$ ความยาว path length (L_S) ได้ความสูงของเมฆฝนแสดงดังภาพที่ 67 จะได้

$$L_S \text{ (กิโลเมตร)} = \frac{(H_R - H_S)}{\sin \theta} \quad (4.32)$$

สำหรับ $\theta < 5^\circ$ เพื่อความถูกต้องมากขึ้นควรใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$L_S = \left[\frac{2(H_R - H_S)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(H_R - H_S)}{R_e} \right)^{1/2}} + \sin \theta \right] \quad (4.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 : คำนวณโปรเจกชันตามแนวอนของ slant path (L_G)

$$L_G = L_S \cos \theta \quad (4.34)$$

ขั้นที่ 4 : แฟคเตอร์การลดลง ($r_{0.01}$) ใช้สำหรับ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปีสามารถคำนวณได้

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.045 L_G} \quad (4.35)$$

ส่วนแฟคเตอร์การลดลง ($r_{0.01}$) ใช้สำหรับ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี ที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน
ขั้นที่สามารถคำนวณจาก

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + L_S \cos \theta / L_0} \quad (4.36)$$

โดยที่ L_0 สามารถคำนวณได้จาก

$$L_0 = a e^{-bR_{0.01}} \quad (4.37)$$

สำหรับความถี่ระหว่าง 10 และ 20 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่า $a = 35$ และ $b = 0.015$ เป็นค่าที่ดีที่สุด
เทอมของความผิดพลาดเฉลี่ย

ขั้นที่ 5 : อัตราการตกของฝนที่เกินกว่า 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี ($R_{0.01}$) ไม่สามารถหาได้จาก
ข้อมูลท้องถิ่น การประมาณสามารถหาได้จากแผนที่ของเขตรัฐมิอากาศฝนดังในภาพที่ 61

ขั้นที่ 6 : ค่าการลดทอนเฉพาะ γ_R หาได้จากค่า k และ α ซึ่งเป็นค่า ส.ป.ส. ขึ้นกับความถี่หาได้
จากสมการ 4.28 และ 4.29 ซึ่งค่า k_H , k_V , α_H , α_V หาได้จากตารางที่ 10 และ อัตราการตกของฝน
 $R_{0.01}$ ถูกกำหนดจากขั้นที่ 5 จะได้

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad (4.38)$$

ขั้นที่ 7 : การลดทอนที่เกินกว่าที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.01% ตลอดปี คำนวณได้

$$A_{0.01} = \gamma_R L_S r_{0.01} \quad (4.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 8 : การลดทอนที่มีค่าเกินกว่าที่เปอร์เซ็นต์อื่นของค่าเฉลี่ยตลอดปีในช่วง 0.001%-1% อาจประมาณได้ดังนี้

$$\frac{A_p}{A_{0.01}} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \log p)} \tag{4.40}$$

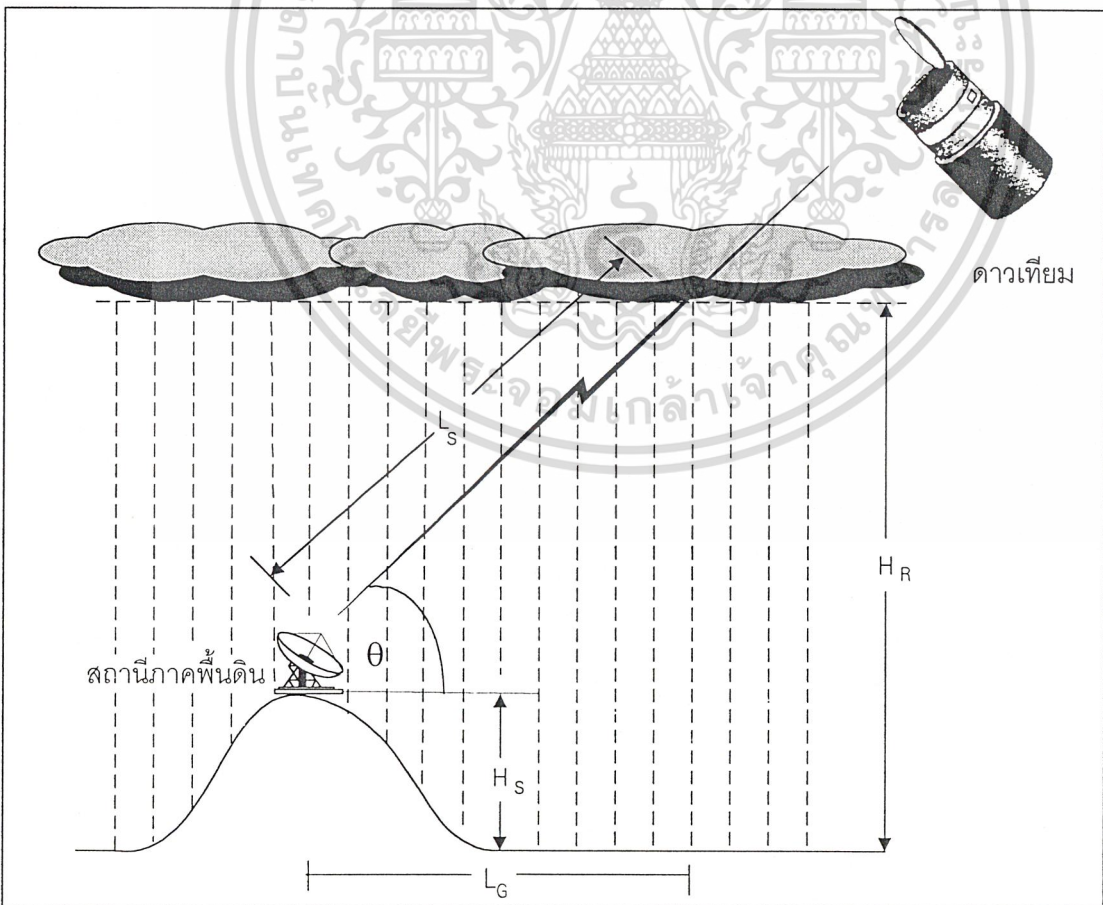
ขั้นที่ 9 : ถ้าต้องการทราบค่า p เมื่อทราบค่า A_p แล้วอาจคำนวณได้จากการย้ายข้างสมการ 4.40

$$p = 10^{11.628 \left(-0.546 + \sqrt{0.298 + 0.172 \log (0.12 A_{0.01}/A_p)} \right)} \tag{4.41}$$

ภายใต้เงื่อนไขที่

$$A_{0.01} / A_p \geq 0.15 \tag{4.42}$$

ภาพที่ 67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่ใช้ในการทำนายนการลดทอนเนื่องจากฝนให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลอง CETUC

วิธีการทำนายการลดทอนของ slant path เนื่องจากฝนในเขตร้อนชื้น และ ในแถบเส้นศูนย์สูตร ได้มีการพัฒนามาบนพื้นฐานของผลการทดลอง และ สร้างสมการขึ้นเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั่วโลก จากข้อมูลที่ได้ทำการทดลองพิจารณาจำนวน 281 สถานีที่ทำการวัด[15] และ ข้อมูลบางส่วนរបแบบจำลอง CCIR สามารถนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการทำนายการลดทอนได้

จุดประสงค์ของวิธีการนี้ยังคงแนวความคิดของเซลล์ของฝนมีขนาดเท่ากัน ใช้เหมือนกับวิธีของ CCIR ในปัจจุบัน ความยาว (L_0) และความสูง (H_R) ของเซลล์ฝนเท่ากันเป็นฟังก์ชันของเปอร์เซ็นต์ของเวลา (p) และ อัตราการตกของฝนเกินที่เปอร์เซ็นต์ของเวลานี้ (R_p)

$$L_0(R_p, p) = 200 \times \left[1 + R_p^{(0.425 - 0.089 \log p)} \right]^{-1} \quad (4.43)$$

$$H_R(R_p, p) = (3.849 + 0.334 \log p) [1 + e^{-0.2 R_p}] \quad (4.44)$$

ค่าการลดทอนที่เกินกว่า (A_p) ที่เปอร์เซ็นต์เวลา p คือสมการดังต่อไปนี้

$$A_p \text{ (เดซิเบล)} = k R_p^\alpha \frac{L_s}{1 + \frac{L_s \cos \theta}{L_0}} \quad (4.45)$$

ความยาว slant path (L_s) เป็นฟังก์ชันของความสูงประสิทธิผลของฝน H_R , มุมเงย θ และความสูงของที่ตั้งสถานีภาคพื้นดิน H_s หาได้จากสมการ 4.32

สัมประสิทธิ์การลดทอนเฉพาะ k และ α สามารถหาค่าได้เหมือนกับแบบจำลองของ CCIR

ลักษณะเฉพาะของการลดทอนเนื่องจากน้ำฝน

การลดทอนสัญญาณดาวเทียม เนื่องจากฝนเกิดขึ้นจากเม็ดฝนแต่ละเม็ดดูดกลืนพลังงานของคลื่นสัญญาณดาวเทียมนั้นไป แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในเม็ดฝนและคลื่นบางส่วนอาจถูกสะท้อนจากเม็ดฝน ทำให้เกิดการแตกกระจายของคลื่นออกไปจากเส้นทางการแพร่กระจายที่กำหนด การชนกันระหว่างคลื่นกับเม็ดฝนนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของเม็ดฝนหรืออัตราการตกของฝน ซึ่งในภาพที่ 68 แสดงตัวอย่างการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku เปรียบเทียบกับ

อัตราการตกของฝน ในโพลาร์ไรซ์แนวนอนของดาวเทียมไทยคม 1 จะเห็นได้ว่าที่เวลาประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 2:24 น. ระดับการลดทอนของสัญญาณลดลงประมาณ 9.5 เดซิเบล ที่อัตราการตกของฝน

ไม่ทราบแน่ชัด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 70 มม./ชม. ในขณะที่ภาพที่ 69 แสดงตัวอย่างการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku เปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนในโพลาริซ์แนวตั้งของดาวเทียมไทยคม 2 แสดงระดับการลดทอนของสัญญาณลดลงประมาณ 12 เดซิเบล ที่อัตราการตกของฝนประมาณ 70 มม./ชม. เวลาประมาณ 15:48 น.

ภาพที่ 70 แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณที่บันทึกได้แต่อัตราการตกของฝนกลับบันทึกไม่ได้ ซึ่งจะเห็นว่าในภาพ (ก) ช่วงเวลา 13:30-13:39 น. เกิดการลดระดับของสัญญาณต่างๆ ที่ช่วงเวลาเดียวกัน ในภาพ (ข) กลับไม่สามารถบันทึกอัตราการตกของฝนของฝนได้ เป็นเพราะว่าฝนอาจจะตกบริเวณ slant path (ประมาณ 3-4 กิโลเมตร) จึงทำให้สัญญาณที่รับได้มีระดับลดลงแต่บันทึกอัตราการตกของฝนในขณะนั้นไม่ได้

ภาพที่ 71 แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณโพลาริซ์แนวตั้งเนื่องจากฝนอย่างรุนแรงและต่อเนื่อง บันทึกได้เมื่อ 29 เม.ย. 39 ซึ่งจากภาพจะเห็นว่าที่เวลาประมาณ 4:30 น. ระดับการลดทอนจะประมาณ 17 เดซิเบล

ภาพที่ 72 แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณโพลาริซ์แนวนอนเนื่องจากฝนรุนแรงที่สุดที่สามารถบันทึกได้ในวันที่ 21 พ.ค. 39 ซึ่งจากภาพจะเห็นว่าที่เวลาประมาณ 12:49 น. ระดับการลดทอนสูงสุดประมาณ 22 เดซิเบล

ในภาพที่ 73 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์การลดทอนของสัญญาณระหว่างโพลาริซ์แนวนอนกับโพลาริซ์แนวตั้ง ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ ที่คล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่เวลาประมาณ 12:35 น. จะมีระดับการลดทอนประมาณ 7 เดซิเบล เหมือนกัน และสามารถสรุปได้ว่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ไม่ขึ้นกับโพลาริซ์ของสัญญาณเลย

การจางหายของสัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของการลดทอนเนื่องจากฝนกับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน

แม้ว่าการลดทอนเนื่องจากฝนจะมีผลกระทบที่เด่นกว่าที่ความถี่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะไม่สามารถละเลยได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุมเงยที่ต่ำกว่า 10 องศา ในกรณีนี้ การจางหายของสัญญาณทั้งหมดถูกประมาณด้วย

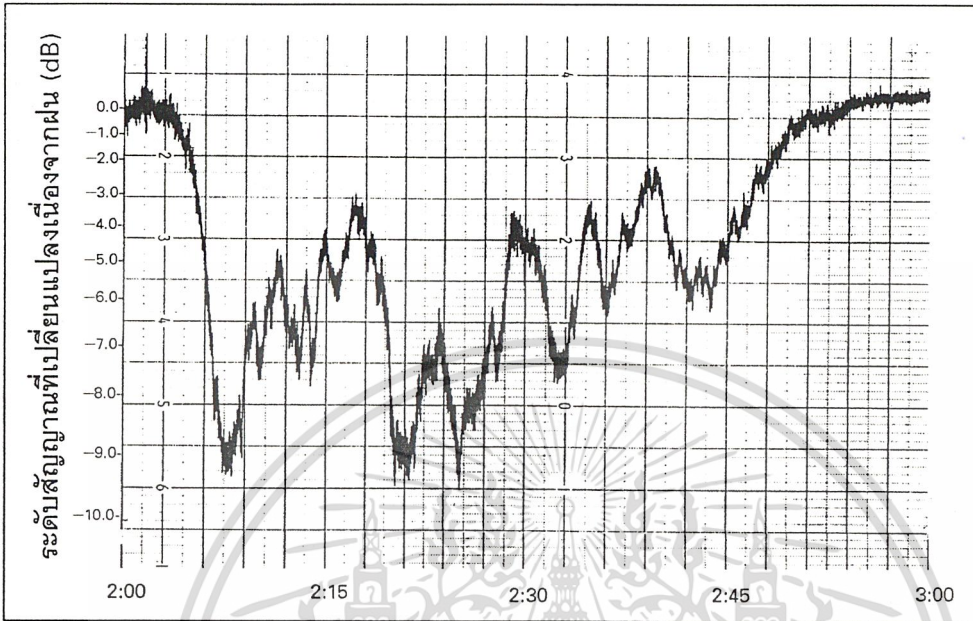
$$A(p) = \sqrt{A_R^2(p) + A_S^2(p)} \quad \text{เดซิเบล} \quad (4.46)$$

A คือ การลดทอนทั้งหมดที่รวมการดูดกลืนสัญญาณเนื่องจากก๊าซด้วย (เดซิเบล)

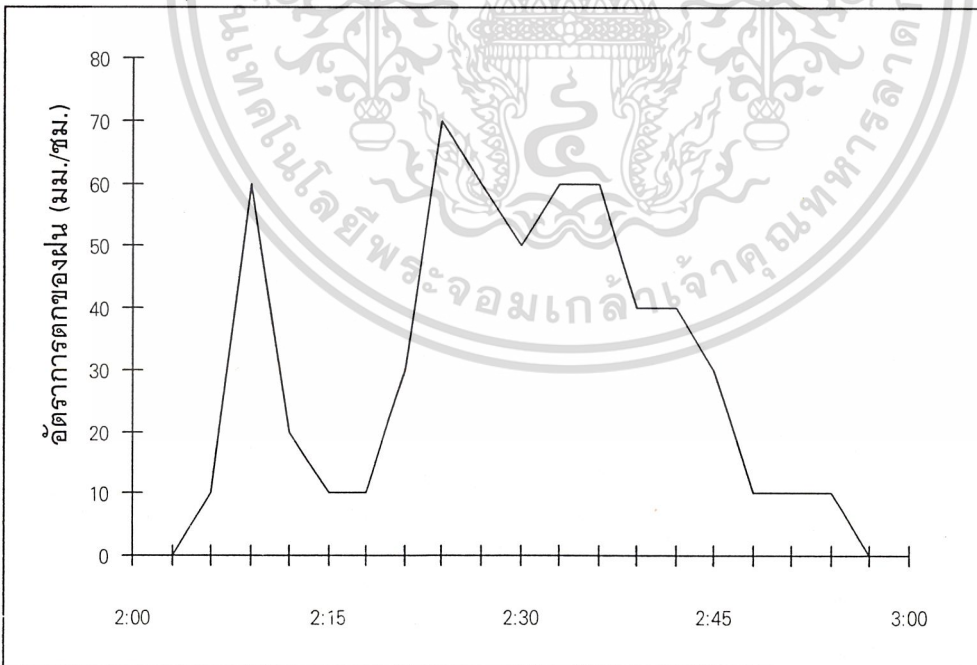
A_R คือ การลดทอนเนื่องจากฝน (เดซิเบล)

A_S คือ การจางหายของสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (เดซิเบล)

ภาพที่ 68



(ก) การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน

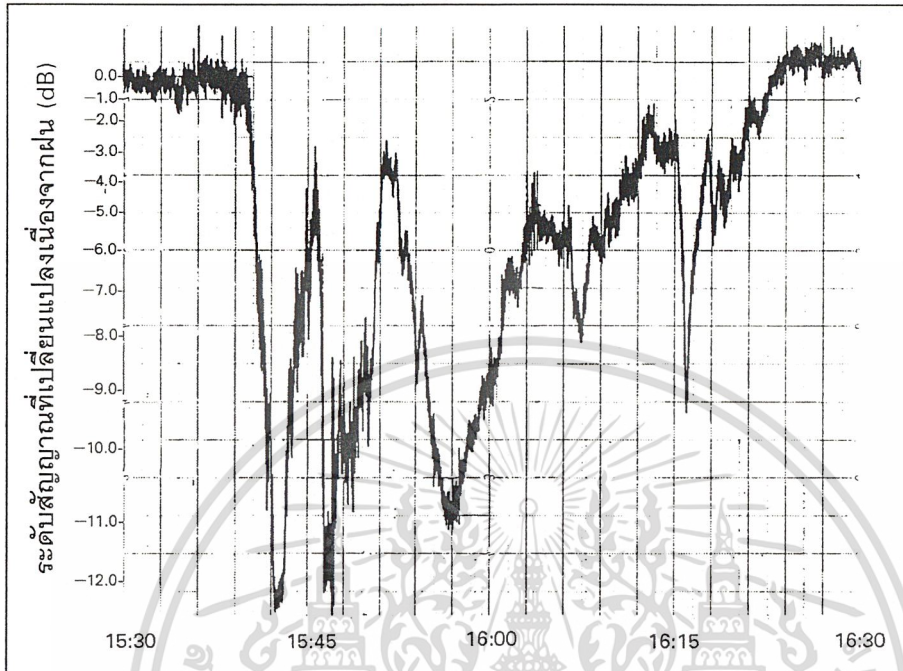


(ข) อัตราการตกของฝน

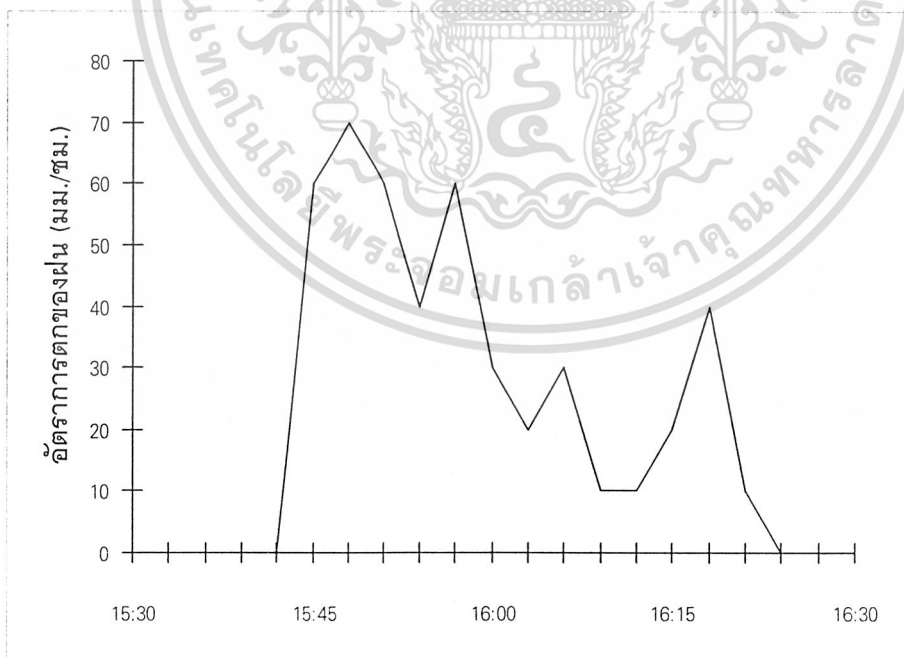
แสดงการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณกับอัตราการตกของฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในเวลาใดก็ได้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 69



(ก) การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน

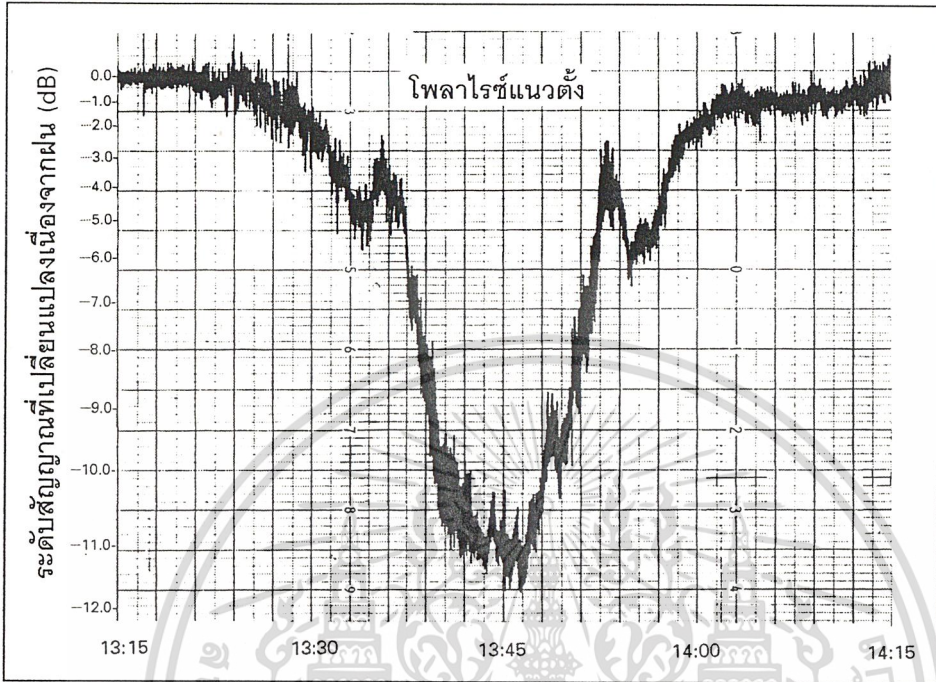


(ข) อัตราการตกของฝน

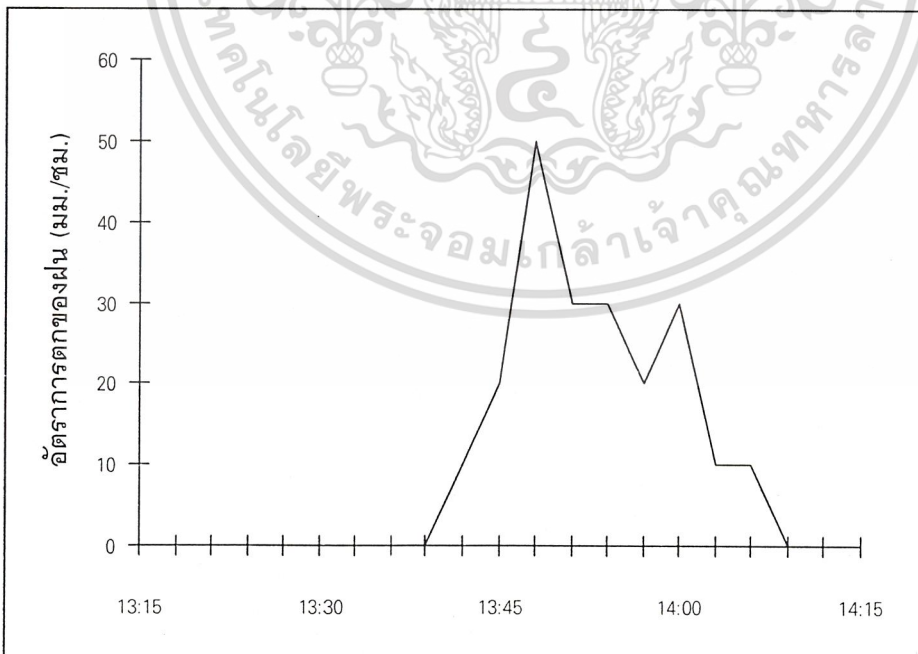
แสดงการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณกับอัตราการตกของฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับในพริตวอร์คเน็ตเวิร์ก 6 ก.ย. 39 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 70



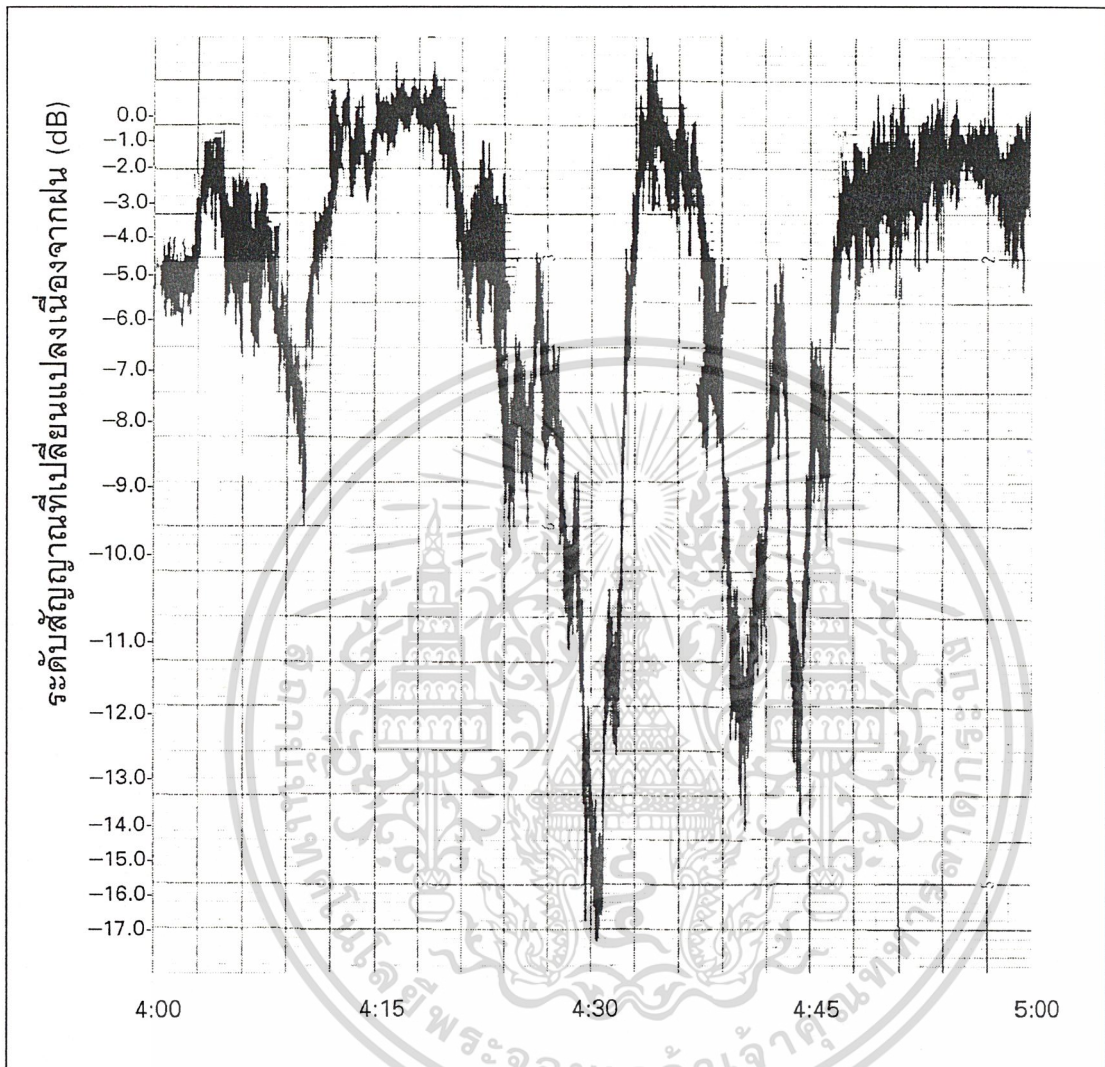
(ก) การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน



(ข) อัตราการตกของฝน

แสดงตัวอย่างการบันทึกการลดทอนของระดับสัญญาณได้ ในขณะที่ไม่สามารถ
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาคู่ขนาน ไม่นับผูกพันกับเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่ง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุใดแต่สิ่งนี้ที่ และดยังไปยังถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

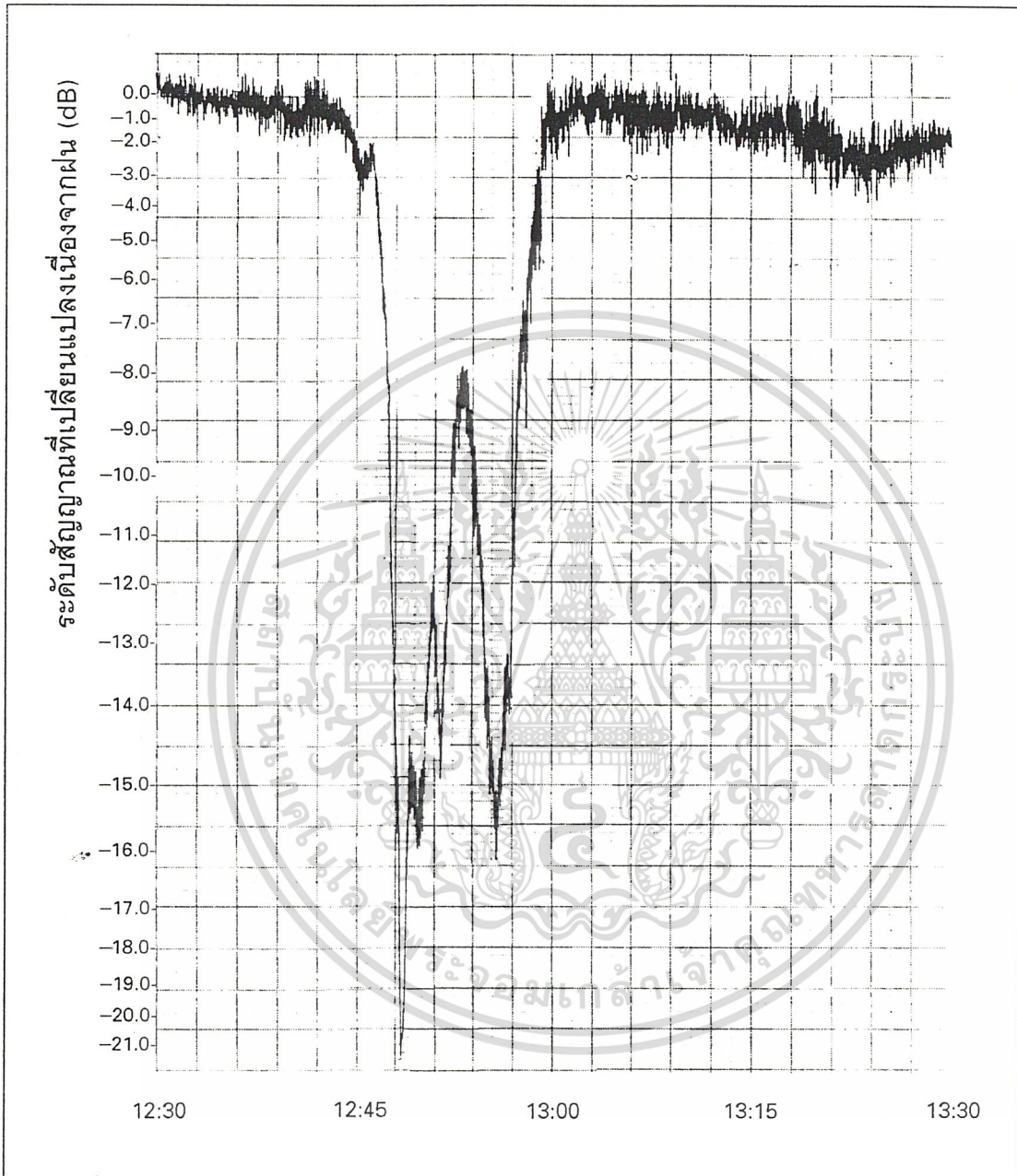
ภาพที่ 71



แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณโพลาริซ์แนวตั้งเนื่องจากฝนอย่างรุนแรง
และต่อเนื่อง บันทึกได้เมื่อ 29 เม.ย. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

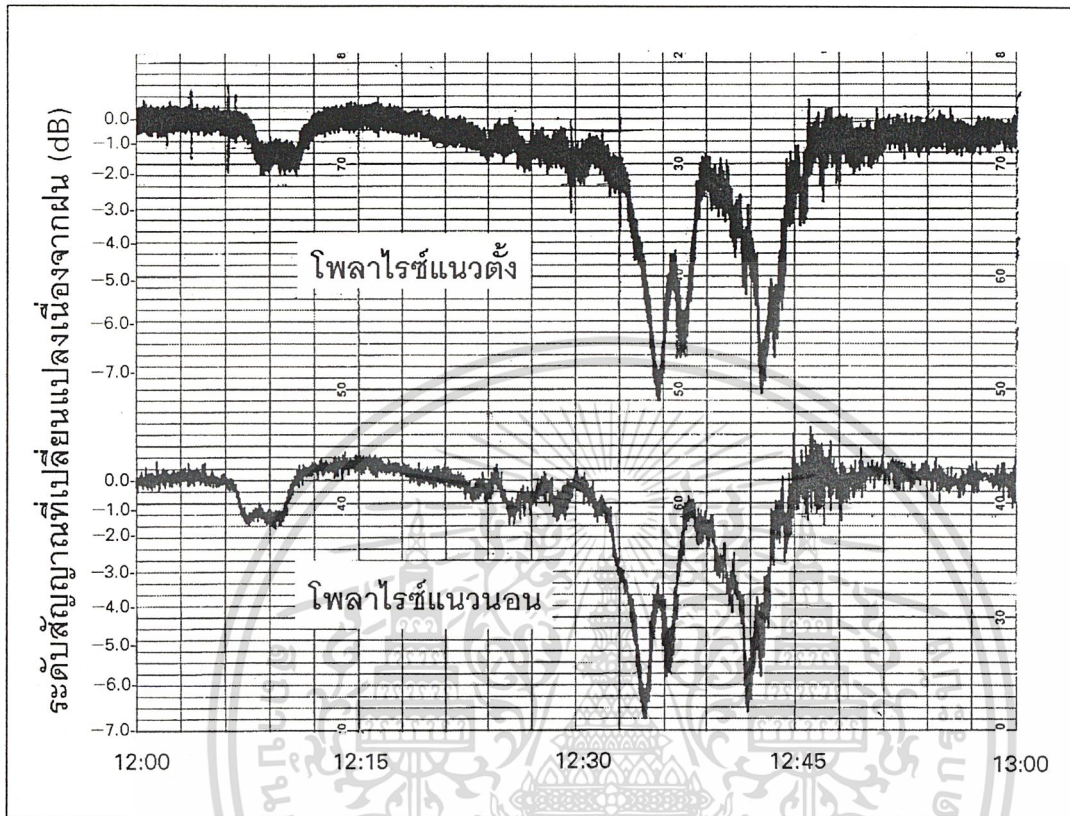
ภาพที่ 72



แสดงตัวอย่างการลดทอนระดับสัญญาณโพลาริไรซ์แนวนอนเนื่องจากฝนรุนแรงสุด
ที่บันทึกได้เมื่อ 21 พ.ค. 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 73

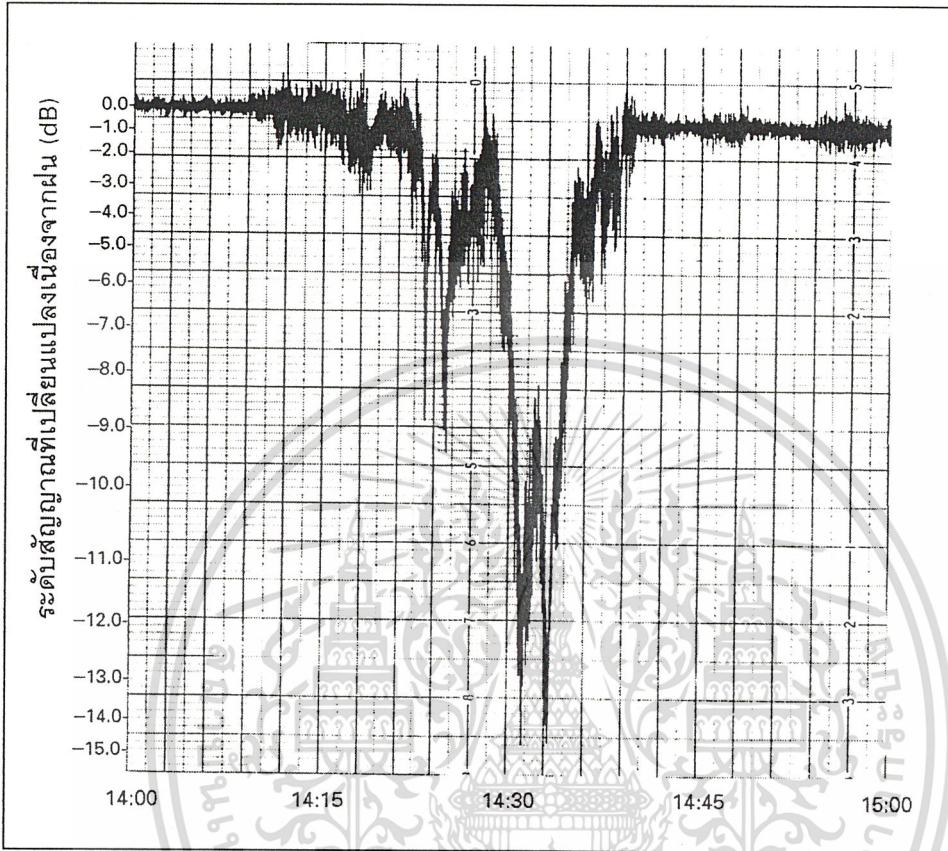


แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับการลดทอนสัญญาณในโพลาริซแนวนอน
และโพลาริซแนวดิ่ง 23 ต.ค. 39

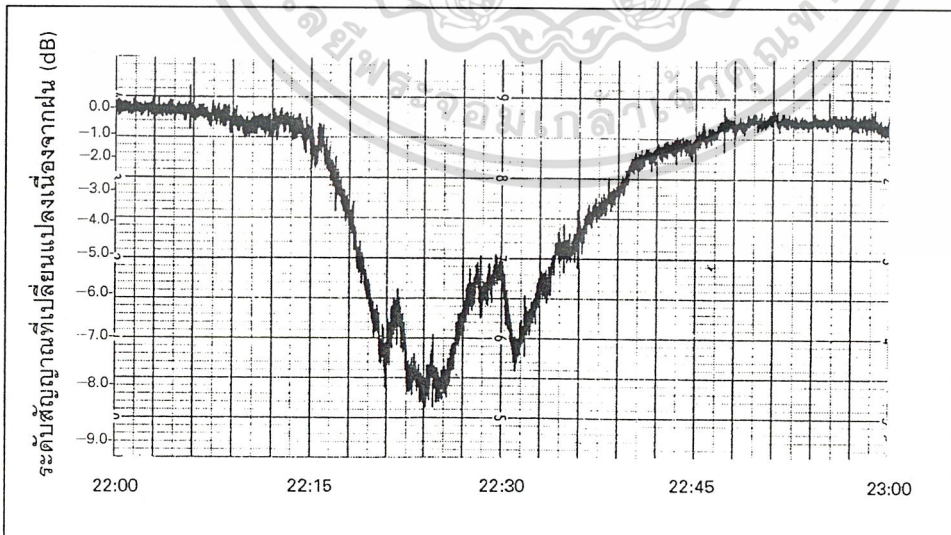
นอกจากนี้ในภาพที่ 74 ยังแสดงการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่มีการตกของฝน
ในเวลากลางวัน ดังในภาพ (ก) จะเห็นว่าในขณะที่สัญญาณถูกลดทอนลงไปในนั้นจะเกิดการเปลี่ยน
แปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วย ส่วนในภาพ (ข) จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่าง
กะทันหันในขณะที่สัญญาณถูกลดทอนไป เนื่องจากฝนตกเกิดขึ้นในเวลากลางคืน สาเหตุเพราะว่า
อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ในเวลากลางวันจะสูงกว่าในเวลากลางคืน ซึ่งสอดคล้อง
กับผลการทดลองของ[39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 74



(ก) กลางวัน 3 พ.ค. 39

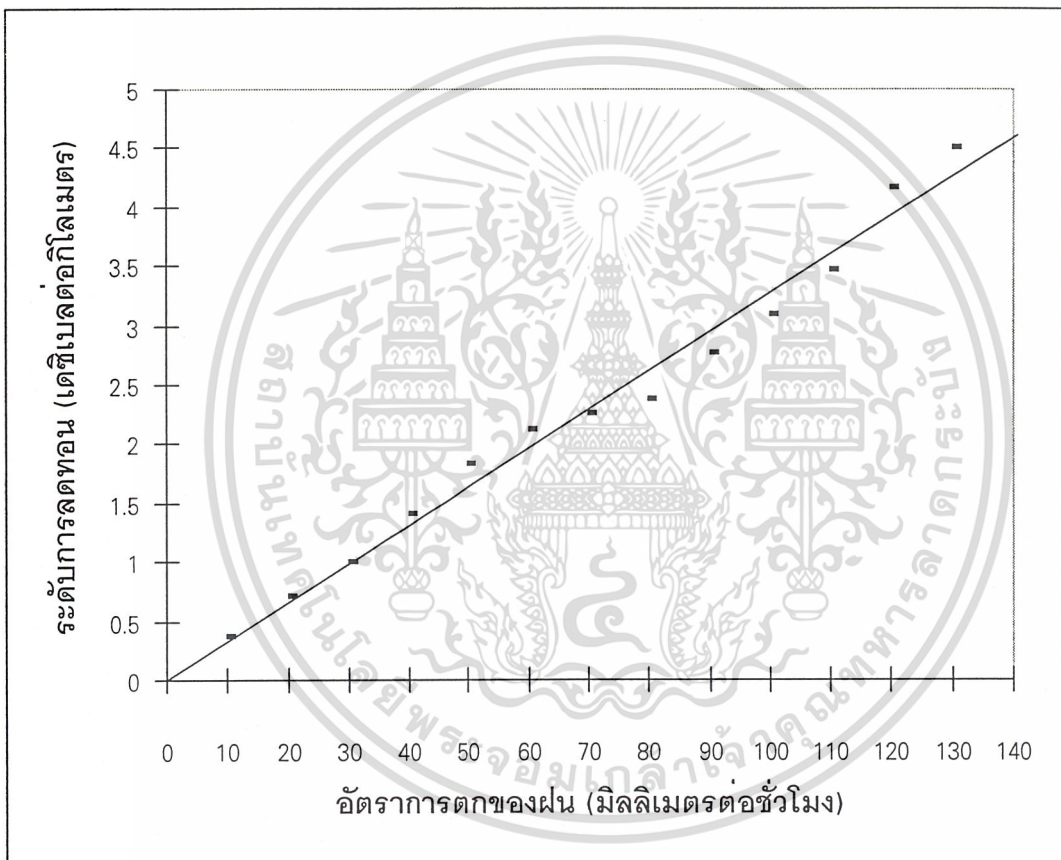


(ข) กลางคืน 1 ต.ค. 39

แสดงการลดทอนของสัญญาณโฟลาไรซ์แนวอนเนื่องจากฝนที่มีการตกของฝน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ในเวลากลางวันและกลางคืน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาถึงลักษณะการตกของฝนที่มีผลกระทบต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมย่านความถี่ Ku ทำการเก็บข้อมูลการลดทอนของสัญญาณเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2539 ทำให้สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku[40,41] ได้ดังภาพที่ 75

ภาพที่ 75



แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku

จากภาพที่ 75 จะเห็นได้ว่าระดับการลดทอนสัญญาณ จะแปรผันตรงกับอัตราการตกของฝน ซึ่งก็หมายความว่าถ้าฝนตกหนักมากๆ สัญญาณก็จะตกลงมากเช่นกัน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าฝนมีอิทธิพลต่อการลดทอนของสัญญาณย่าน Ku มาก โดยถ้าเกิดมีฝนตกหนักประมาณ 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ก็จะทำให้สัญญาณตกลงไปประมาณ 3.3 เดซิเบลต่อกิโลเมตร ซึ่งกราฟนี้สามารถนำไปใช้ได้ทุกส่วนในประเทศไทย เนื่องจากค่าการลดทอนเดซิเบลต่อกิโลเมตรนี้ คิดจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ถูกลดทอนทั้งหมดหารด้วยระยะ slant path (3.89 กิโลเมตร) ที่กรุงเทพฯ ดังนั้นถ้าจะใช้ในการทำนายการลดทอนที่จังหวัดอื่นเพียงแค่ระยะทาง slant path ของจังหวัดนั้นๆ ก็สามารถคำนวณการลดทอนของสัญญาณทั้งหมดที่จังหวัดนั้นๆ ได้

เปรียบเทียบผลการลดทอนที่วัดได้กับแบบจำลองของ CCIR และ CETUC

จากรูปแบบจำลองของ CCIR สามารถนำมาคำนวณหาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ทำนายการลดทอนในอนาคตได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 : จากสมการที่ 4.31 จะได้	$H_R =$	3.385	กิโลเมตร
ขั้นที่ 2 : จากสมการที่ 4.32 จะได้	$L_S =$	3.89	กิโลเมตร
ขั้นที่ 3 : จากสมการที่ 4.34 จะได้	$L_G =$	1.95	กิโลเมตร
ขั้นที่ 4 : จากสมการที่ 4.36 จะได้	$r_{0.01} =$	0.812	
ขั้นที่ 5 : ค่าอัตราการตกของฝน	$R_{0.01} =$	95	มิลลิเมตรต่อชั่วโมง

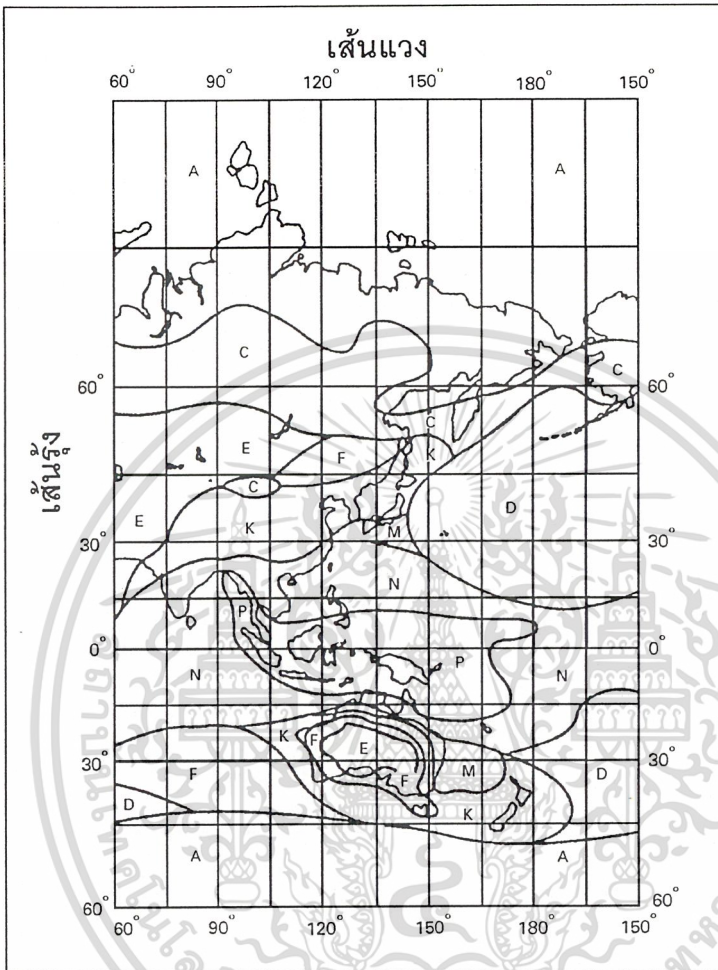
ภาพที่ 76 จะเห็นได้ชัดว่าเขตภูมิอากาศฝนของประเทศไทยแบ่งออกเป็นสองเขต คือ เขต N และ เขต P ในเขต P นั้น จะอยู่ในแถบภาคใต้ของประเทศ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เขต N เนื่องจากเขตนี้จะอยู่แถบกรุงเทพมหานครขึ้นไปยังตอนเหนือของประเทศ ซึ่งค่าอัตราการตกของฝนที่ % เวลาต่างๆ ของเขต N แสดงในตารางที่ 11

ขั้นที่ 6 : จากสมการที่ 4.38 จะได้	$\gamma_R =$	4.824	เดซิเบลต่อกิโลเมตร
โดยที่ $k = 0.0209$ และ $\alpha = 1.200$ หาได้จากสมการที่ 4.28 และ 4.29			
ขั้นที่ 7 : จากสมการที่ 4.39 จะได้	$A_{0.01} =$	15.23	เดซิเบล
ขั้นที่ 8 : จากสมการที่ 4.40 จะได้	$A_p =$	$1.828 p^{-(0.546+0.043 \log p)}$	

เมื่อ p คือ ค่า % เวลาใดๆ ซึ่งค่า A_p สามารถนำไปพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 76



แสดงเขตภูมิอากาศฝนแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ของ CCIR

ตารางที่ 11

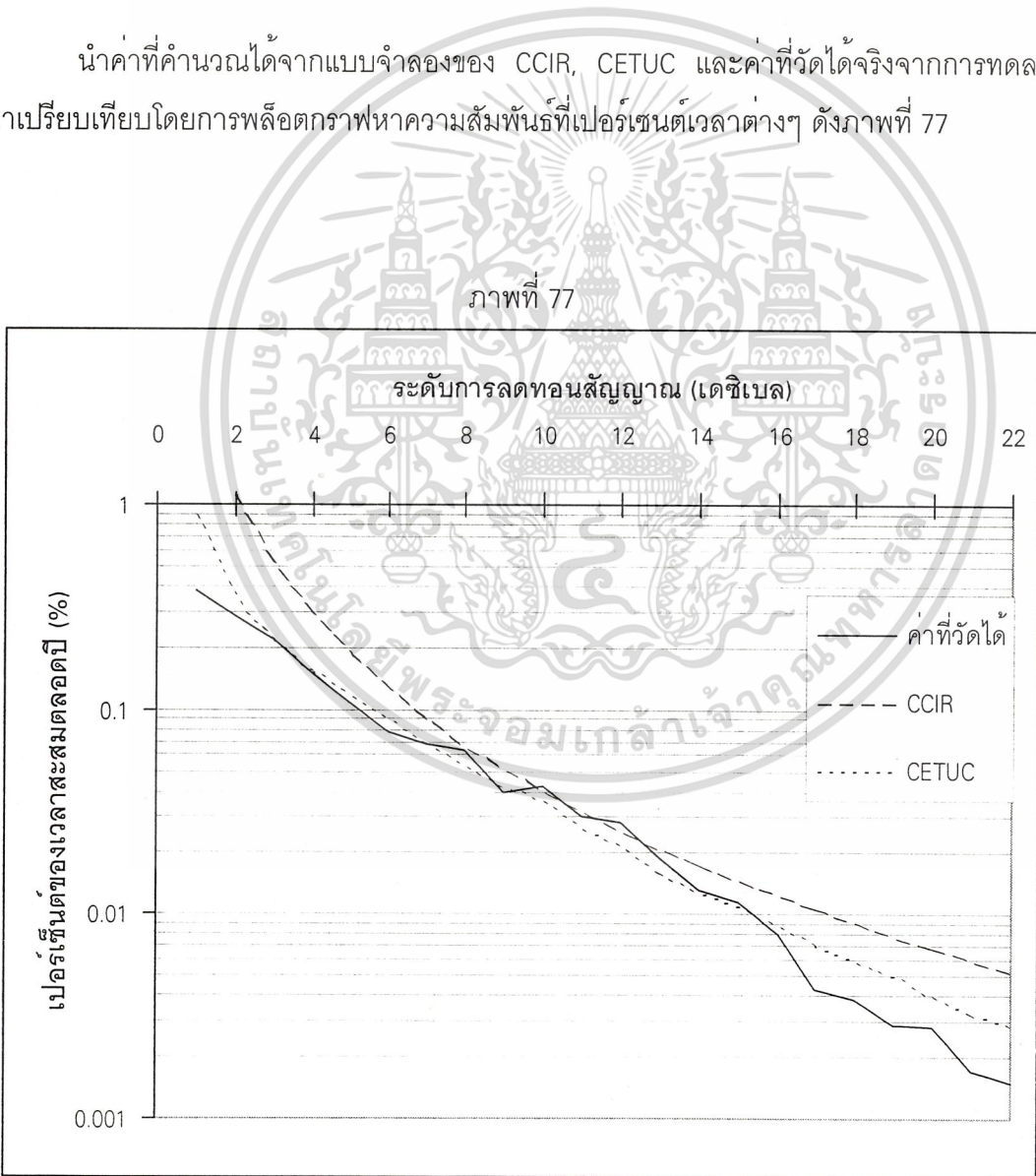
เปอร์เซ็นต์ของเวลา	อัตราการตกของฝนที่เกินกว่า (มม./ชม.)
1.0	5
0.3	15
0.1	35
0.03	65
0.01	95
0.003	140
0.001	180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปแบบจำลองของ CETUC ซึ่งเป็นแบบจำลองของประเทศบราซิลซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรเหมือนกับไทย ค่าตัวแปรต่างๆ จะหาได้ดังต่อไปนี้

จากสมการที่ 4.43 จะได้	$L_0(R_p, p) = 12.063$	กิโลเมตร
จากสมการที่ 4.44 จะได้	$H_R(R_p, p) = 3.81$	กิโลเมตร
จากสมการที่ 4.32 จะได้	$L_S = 3.65$	กิโลเมตร
และจากสมการที่ 4.45 จะได้	$A_p = 15.64$	เดซิเบล

นำค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ CCIR, CETUC และค่าที่วัดได้จริงจากการทดลอง มาเปรียบเทียบโดยการพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ดังภาพที่ 77



แสดงสถิติการลดทอนสะสมของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนย่าน

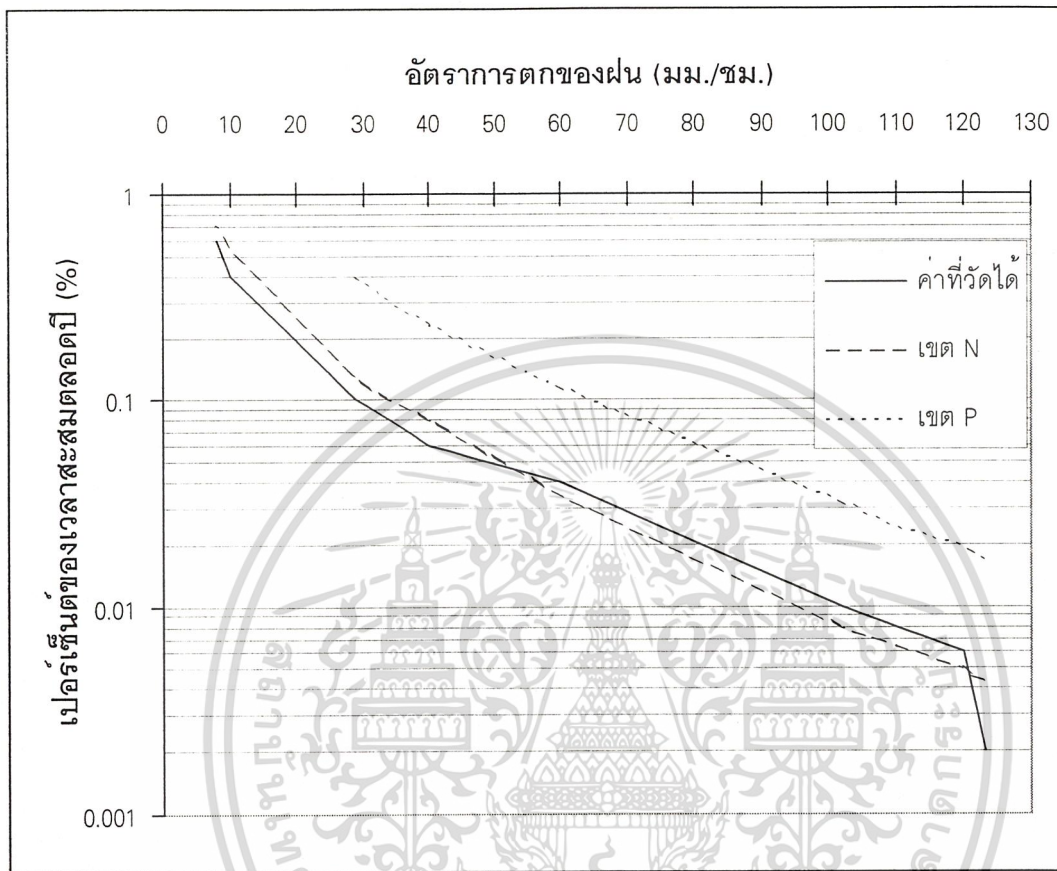
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความถี่ Ku (12.594 กิกะเฮิรตซ์) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 77 จะเห็นว่าเส้นที่บคือผลที่ได้จากการทดลองตลอดปี ตั้งแต่เดือนมกราคมถึง ธันวาคม 2539 , เส้นประยาว คือ วิธีการทำนายการลดทอนของแบบจำลอง CCIR ส่วนเส้นประสั้น คือ วิธีการทำนายการลดทอนของแบบจำลอง CETUC จากภาพนี้จะเห็นได้ว่า แบบจำลองของ CCIR ทำนายได้ไม่ค่อยใกล้เคียงนัก กล่าวคือ ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.001-0.01% และ 0.1-1.0% แบบจำลอง CCIR จะทำนายการลดทอนสูงกว่าค่าที่วัด ในขณะที่ช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.01-0.1% แบบจำลองของ CCIR จะทำนายการลดทอนที่ต่ำกว่าค่าที่วัดได้ ส่วนแบบจำลองของ CETUC สามารถทำนายการลดทอนได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้มาก กล่าวคือ ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.01-1% เส้นกราฟเกือบทับกันสนิท แต่ในช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.001-0.01% จะทำนายการลดทอนสูงกว่าแต่ก็ยังไม่ใกล้เคียงกับแบบจำลองของ CCIR นอกจากนี้จะเห็นว่าค่าระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุด คือ ประมาณ 22 เดซิเบล ที่เปอร์เซ็นต์เวลาน้อยกว่า 0.001% ดังนั้นแบบจำลองของ CETUC สามารถนำไปใช้ในการทำนายการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝนในเขตศูนย์สูตรหรือเขตร้อนชื้น (เช่น ประเทศไทย) ได้ดี ส่วนในภาพที่ 78 แสดงสถิติของอัตราการตกของฝนสะสมตลอดปี 2539

ในภาพที่ 78 เส้นที่บ คือ ค่าอัตราการตกของฝนที่ได้จากการทดลอง เส้นประยาว และเส้นประสั้น คือ การทำนายอัตราการตกของฝนของ CCIR ในเขต N และ P ตามลำดับ จากภาพนี้จะเห็นว่าอัตราการตกของฝนที่ทำกรวัดจะใกล้เคียงกับเขต N มากกว่าเขต P ซึ่งจะเห็นว่าเขต P จะประมาณอัตราการตกของฝนสูงกว่าผลการทดลองมาก

ที่ 0.01% ของเวลา จะได้อัตราการตกของฝนที่เกินกว่า 102 มม./ชม. ($R_{0.01}$ ของการทดลองเท่ากับ 102 มม./ชม.) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่อยู่ระหว่างเขตภูมิอากาศฝนแบบ N (95 มม./ชม.) และ P (145 มม./ชม.) และจากการเปรียบเทียบกราฟจากภาพที่ 77 กับภาพที่ 78 ที่เปอร์เซ็นต์เวลาเดียวกัน คือที่ 0.01% อัตราการตกของฝนประมาณ 102 มม./ชม. จะทำให้ระดับสัญญาณลดทอนลงไปประมาณ 15.4 เดซิเบล

ภาพที่ 78



แสดงสถิติของอัตราการตกของฝนสะสมตลอดปี 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

จากการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku (11-14 กิกะเฮิรตซ์) พบว่าปัญหาของการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่นี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 กรณีใหญ่ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ (amplitude scintillation) และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน (rain attenuation) ซึ่งจะแยกการสรุปได้ดังต่อไปนี้

กรณีแรก คือ การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม หมายถึง ลักษณะสัญญาณที่มีการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ อย่างรวดเร็วทางแอมพลิจูด ซึ่งสาเหตุเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศที่ขึ้นอยู่กับเวลาของเส้นทางการส่งผ่านคลื่นนั้นๆ ชั้นบรรยากาศหลักๆ ที่มีผลต่อการส่งผ่านของคลื่นได้แก่ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ในชั้นไอโอโนสเฟียร์จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นย่อยๆ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันต่อสัญญาณดาวเทียมในช่วงความถี่สูงสุดประมาณ 6 กิกะเฮิรตซ์ ส่วนชั้นโทรโพสเฟียร์เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีหักเหและอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสัญญาณความถี่สูงกว่าประมาณ 3 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป [3] ดังนั้นความถี่ย่าน Ku จึงได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะไม่พิจารณาผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เพราะมีผลกระทบน้อยมาก และสามารถสรุปเป็นข้อๆ ดังนี้

1. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่จะมีลักษณะการแกว่ง ขึ้นๆ ลงๆ แบบไม่มีสัดส่วนกันจากระดับปกติอย่างรวดเร็ว

2. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku จะไม่ขึ้นอยู่กับโพลาไรเซชันเลย กล่าวคือ ระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณของคลื่นโพลาไรซ์แนวตั้งจะมีความแรงกว่าโพลาไรซ์แนวนอนเล็กน้อย แต่ลักษณะการเกิดและจำนวนครั้งการเกิดมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. จำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ จำนวนครั้งที่เกิดจะสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศมากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากการหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่เกิดกับอุณหภูมิเฉลี่ยและจำนวนครั้งที่เกิดกับค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศพบว่ามีค่าเท่ากับ 0.958 และ 0.782 ตามลำดับ

4. จำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันส่วนมากจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันมากกว่าในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดวัน กล่าวคือ อุณหภูมิจะค่อยๆ สูงขึ้นในเวลาตอนเช้าและค่อยๆ ลดลงในเวลาตอนเย็น ส่วนในเวลากลางคืนนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำลงและค่อนข้างคงที่ จึงทำให้มีจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันน้อย ซึ่งเวลาที่เกิดมากที่สุดอยู่ในช่วงประมาณ 9:00 ถึง 17:00 น. และจะเกิดสูงสุดในช่วงเวลา 13:00 ถึง 15:00 น.

5. วิธีการแสดงการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน นั้น มีอยู่หลายวิธี แต่วิธีพื้นฐานที่ใช้มากในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่น คือ ค่าสูงสุดและต่ำสุดของระดับสัญญาณในช่วงเวลาที่กำหนด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดต่ำสุดเป็นวิธีที่ง่ายในการนำไปใช้งานแต่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูลระยะยาวได้

6. นอกจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดจากชั้นโทรโพสเฟียร์ จะเกิดขึ้นตามอุณหภูมิในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสแล้ว ยังเกิดขึ้นมากจากเมฆฝนอีกด้วย ซึ่งจำนวนครั้งการเกิดจะเพิ่มขึ้นในเวลาตอนเย็นและค่าเนื่องจากมักจะมีฝนตกบ่อยในช่วงฤดูฝนคือประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม

7. โอกาสการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยค่า peak to peak น้อยๆ จะมากกว่าโอกาสการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วยค่า peak to peak มากๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเกิน 0.5 เดซิเบล จะมีมากที่สุดโดยประมาณ 50-60% ของการเกิดทั้งหมด

8. จำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ในช่วงฤดูร้อน (โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนมีนาคมและเมษายน) จะมากกว่าในช่วงฤดูฝนและฤดูหนาว ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อนจะสูงสุดและค่อยๆ ลดลงไปในฤดูฝนและจะต่ำสุดตอนปลายปี และค่อยๆ เพิ่มขึ้นในช่วงต้นปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนกรณีที่สอง คือ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตรมีปริมาณฝนเฉลี่ย 1,000 ถึง 4,000 มิลลิเมตรต่อปี การลดทอนสัญญาณอันเนื่องจากฝนจะมีผลกระทบต่อระบบการสื่อสารในย่านความถี่นี้มาก ซึ่งเกิดจาก 3 สาเหตุหลักๆ คือ เกิดจากการดูดกลืนสัญญาณ (absorption) การแตกกระจายของคลื่น (scattering) อันเนื่องมาจากอนุภาคของเม็ดฝน และการดีโพลาไรซ์ (depolarization) เป็นผลทำให้เกิดครอสโพลาไรซ์ (cross polarization) ทางด้านรับ สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku แปรผันตรงกับอัตราการตกของฝน โดยที่ถ้าอัตราการตกของฝนเท่ากับ 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณเท่ากับ 3.3 เดซิเบลต่อกิโลเมตร
2. การตกลงของระดับสัญญาณที่เกิดขึ้นในขณะที่บันทึกข้อมูลฝนไม่ได้ เป็นเพราะว่าฝนอาจจะตกในบริเวณ slant path จึงทำให้สัญญาณที่รับได้มีระดับลดลงแต่ในขณะที่เดียวกันกลับบันทึกการตกของฝนไม่ได้
3. การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่มีการตกของฝนในเวลากลางวัน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันด้วย ส่วนในเวลากลางคืนจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เนื่องจากอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ในเวลากลางวันมีค่าสูงกว่าในเวลากลางคืน
4. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณที่เกิดจากการลดทอนเนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku ของสัญญาณโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอน พบว่า จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก จึงสามารถสรุปได้ว่า การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku จะไม่ขึ้นกับโพลาไรซ์เซชันของสัญญาณเลย

5. แบบจำลองของ CCIR ทำนายการลดทอนเนื่องจากฝนได้ไม่ค่อยใกล้เคียงนัก กล่าวคือ ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.001-0.01% และ 0.1-1% แบบจำลอง CCIR จะทำนายการลดทอนสูงกว่าค่าที่วัด ในขณะที่ช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.01-0.1% แบบจำลองของ CCIR จะทำนายการลดทอนที่ต่ำกว่าค่าที่วัดได้ ส่วนแบบจำลองของ CETUC สามารถทำนายการลดทอนได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้มาก กล่าวคือ ที่ช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.01-1% เส้นกราฟเกือบทับกันสนิท แต่ในช่วงเปอร์เซ็นต์เวลา 0.001-0.01% จะทำนายการลดทอนสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงแต่ก็ยังใกล้เคียงกว่าแบบจำลองของ CCIR

6. การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนสูงสุด คือ ประมาณ 22 เดซิเบล ที่เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมตลอดปีน้อยกว่า 0.001% (ประมาณ 5.3 นาที) ของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ที่ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี จะได้อัตราการตกของฝนที่เกินกว่า 102 มม./ชม. ($R_{0.01}$ ของการทดลองนี้เท่ากับ 102 มม./ชม.) ซึ่งจะเห็นได้ว่า เป็นค่าที่อยู่ระหว่างเขตภูมิอากาศฝนแบบ N (95 มม./ ชม.) และ P (145 มม./ชม.) แต่จะมีค่าอัตราการตกของฝนที่เกินกว่าใกล้เคียงกับเขต N มากกว่า

8. ที่เปอร์เซ็นต์เวลาเดียวกัน คือที่ 0.01% ของเวลาสะสมตลอดปี (ประมาณ 1 ชั่วโมงต่อปี) อัตราการตกของฝนประมาณ 102 มม./ชม. จะทำให้ระดับสัญญาณลดทอนลงไปประมาณ 15.4 เดซิเบล

9. สำหรับประเทศไทย การลดทอนเนื่องจากฝนที่มีค่าน้อยๆ สามารถใช้แบบจำลองของ CETUC ทำนายได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. A. A. Aboudabra, Y. Moriya and M. Itda., "The Signal Level Indication Method for Tropospheric Scintillation of Ku-Band", pp. 17-36, TOKAI UNIV, 1996.
2. สุทธิชัย นพนาศิพงษ์, "การลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟเนื่องจากฝน", วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2529.
3. Louis J. Ippolito Jr., *Radiowave Propagation in Satellite Communications*, New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
4. พิเศษ เสนาะล้ำ, "การวิเคราะห์ลักษณะการตกของฝนที่มีผลกระทบต่อสัญญาณไมโครเวฟ", วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2538.
5. Wilbur L. Pritchard, Henri G. Snyderhoud and Robert A. Nelson, "Satellite Communication Systems Engineering", Prentice-Hall, Inc. A Simon & Schuster Company Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.
6. J. E. Allnutt, *Satellite to ground radiowave propagation, Theory, practice and system impact at frequencies above 1 GHz*, Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom, 1989.
7. BRAY, W. R., *Satellite Communication systems*, Post Office Elec. Eng. J., 1962, 55, pp. 97-104.
8. MILLER, A., and ANTHES, R. A., *Meteorology* Charles E. Merrill Publishing Co., 4th. edn., 1981
9. Jules Aarons, *Equatorial Scintillations : Areview*, IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. AP-25, No.5 (1977), pp. 729-736.
10. T. Paungma, N. Hemmakron, Y. Moriya and M. Teramoto, "Scintillation Characteristics as Seen in Ku-band Observed in Bangkok", Proceeding of 13th International Telecommunication Symposium, pp. 305-310, 1992.
11. สุกิจ เย็นทรวง , กัยแล้ง , กรุงเทพ , กรมอุตุนิยมวิทยา , 2534.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. P. Sanorlum, T. Paungma, M. Sukkawem, I. Arungsrisangchai, and Y. Moriya, "THAICOM Satellite Plans and Rainfall Intensity Characteristics of Thailand", 1993 Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technology (ASPITT'93), 1993.
13. รุ่งเพชร ฉัตรวิริยวงศ์, วรพงษ์ โชคชัยภักดี และ วดีน บุญมา, "เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติแบบเคลื่อนที่" ปรินฤณานิพนธ์สำหรับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539.
14. สุรศักดิ์ กฤษดาวาณิชย์, ประเสริฐ เคนพันคอ, กาญจน์ เหล่าพิพัฒนา และณรงค์ เหมกรณ์, "การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 , หน้า 285-289, 22-24 พฤศจิกายน 2538.
15. M. S. Pontes, L. A. R. S. Mello and R. S. L. Souza, "A Review of Ku-Band Radiometric Measurements in Brazil", Proceeding of 1993 International on Radio Propagation (ISRP'93), pp. 198-201, Beijing, China.
16. สามารถ สิงห์โสดา, ราชันย์ เหล็กกล้า, และ ณรงค์ เหมกรณ์, "การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากน้ำฝนในความถี่ย่าน KU", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16 , หน้า 158-161, 2536.
17. R. Lekkla, L. S. Loong, E. Siswanto, J. Wachja and S. McCormick, "Rain Attenuation Measurements in SOUTH-EAST Asia", Proceeding of 1993 International on Radio Propagation (ISRP'93), pp. 202-205, Beijing, China.
18. Project COST 205, Scintillation in Earth-satellite link, Alta Frequentza, Vol. 54, No. 3, May-June, 1985.
19. Y. Moriya and H. Sakurada, "Scintillation Characteristics of Ku-band Small-aperture Antenna used in Japan", Proceeding of 12th (1990) International Telecommunication Symposium, Taiwan, pp. 377-381, 1990.
20. Tawil Paungma, "Study on Antenna and Propagation in the Satellite Communication Receiving System", Thesis for the degree Doctor in Electrical Engineering., Tokai University, 1995.
21. CCIR, Report 564-2. "Propagation Data Required for Space Telecommunication System", Propagation in Non-Ionized Media, Vol. V, Recommendations and Reports of the CCIR-1982, (1982), pp. 331-373.

22. Ippolito L. J., "ATS-6 Millimeter Wave Propagation and Communications Experiments at 20 and 30 GHz" , *IEEE Transactions on Aerospace and Electronics Systems*, vol. AES-11 No.6 (1975), pp. 1067-1083.
23. Cox D. C., Aronold, H.W. and Hoffman, H.H., "Observation of Cloud-Produced Amplitude Scintillation on 19 and 28 GHz Earth-Space Paths" , *Radio Science*, vol 16, No. 15 (1981), pp. 885-907.
24. วิสุทธิ์ อธิพรธรรม, "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม" *วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2536.
25. N. Hemmakorn, N. Leelaruij, S. Kitsadawanich, Y. Moriya, "The Characteristics of C-band Satellite signal at Low Elevation Propagation", *Proceedings of the 1997 Thailand-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation (TJSAP'97)*, May 21-22, pp. 3-10, KMITL, Thailand.
26. Branka Vucetic and Jun Du, "Channel Modeling and Simulation in Satellite Mobile Communication Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in communications*, vol.10, No.8, pp. 1209-1218, 1992.
27. Ting-i Wang., "Ground-Based Line-of-Sight Optical Remote Sensing for Atmospheric Parameters", *Research Topics in Electromagnetic wave Theory*, John Wiley & Sons, (1981), pp. 323-327.
28. อภินันท์ มัณยานนท์, *การเดินทางของคลื่นวิทยุ*, กรุงเทพฯ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2527.
29. George Kennedy, *Electronic Communication Systems*, Singapore :McGraw-Hill, 1987.
30. G. Ortgies, "Amplitude Scintillations Occurring Simultaneously with Rain Attenuation on Satellite Links in the 11-GHz Band", *IEE Conf Publ*, (248), pp. 72-76, 1985.
31. Y. Karasawa, K. Yasukawa and M. Yamada, "Tropospheric Scintillation in the 14/11 GHz Band on Earth-Space Paths with Low Elevation Angles", *IEEE, Trans. on Ant. and Propagation*, Vol. AP-36, No.4, pp. 563-569, 1988.
32. N. Hemmakorn, T. Paungma, H. Sakurada and Y. Moriya., "Tropospheric Scintillation Characteristics in High Elevation Angle Propagation Path", *Proceeding of 1993 International on Radio Propagation (ISRP'93)*, pp. 222-225, Beijing, China.

33. J. KANG, H. ECHIGO, K. OHNUMA, Y. NEMOTO, S. NISHIDA and R. SATO, "Observations of Rain Attenuation in Ku band Satellite Channel by VSAT System, Proceeding of 14th International Telecommunication Symposium, pp. 141-145, 1994, TAIPEI, TAIWAN.
34. เวช วิเวก, "การคำนวณอัตราฝนตกจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อการศึกษาการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟ", วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2523.
35. R. F White, "Engineering considerations for microwave communications system" Lenkurt Electric Co., Inc. USA., pp. 48, June, 1970.
36. K. Morita and M. Yamada, Radio wave propagation through precipitation, J. IECE. (Japan), vol. 60, No. 4, 1977.
37. S. Ugui, Notes on the oil method and data, Sophia University, Japan, 1977.
38. นาวาโทไสว สวรรณพงศ์, คู่มือเครื่องมือตรวจอากาศ, กรมอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพฯ.
39. Rec. ITU-R PN.618-3, "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunications systems", Propagation in Non-ionized Media, 1994 PN Series Media, pp. 329-343.
40. Timothy Pratt and Charles W. Bostian., Satellite Communications Canada, John Wiley & Sons, 1986.
41. สุรศักดิ์ กฤษดาภาณีชัย จักรพันธ์ แก้วพิบูลย์ และ ณรงค์ เหมกรณ "การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรม ไฟฟ้า ครั้งที่ 19, หน้า 19-23, 7-8 พฤศจิกายน 2539.
42. S. Kitsadawanich, N. Hemmakorn, Y. Moriya, "The Characteristic of Satellite Signal in Ku-band measured from THAICOM", Proceedings of the 1997 Thailand-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation (TJSAP'97), May 21-22, pp. 11-19, KMITL, Thailand.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลของดาวเทียมไทยคม

ดาวเทียมไทยคม 1 และ ไทยคม 2

จำนวนทรานสปอนเดอร์ :	12 ทรานสปอนเดอร์ โดยแบ่งออกเป็น - ย่านความถี่ C-band 10 ทรานสปอนเดอร์ สํารอง 2 (ความถี่ขาขึ้น 6 GHz และความถี่ขาลง 4 GHz) - ย่านความถี่ Ku-band 2 ทรานสปอนเดอร์ สํารอง 1 (ความถี่ขาขึ้น 14 GHz และความถี่ขาลง 12 GHz)
ความแรงของสัญญาณดานขาลง (Downlink) :	ย่านความถี่ C-band 37 dBW. ย่านความถี่ Ku-band 51 dBW.
ตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม :	ไทยคม1 78.5 องศาตะวันออก ไทยคม2 78.5 องศาตะวันออก
อยู่สูงจากระดับพื้นดินเหนือเส้นศูนย์สูตร :	35,786 กิโลเมตร
อายุของดาวเทียม :	15 ปี (ต่ำสุด 13.5 ปี)
ผู้ผลิตดาวเทียม :	บริษัท HUGHES AIRCRAFT ประเทศสหรัฐอเมริกา ขณะอยู่วงโคจรสูง 6.76 เมตร กว้าง 2.16 เมตร จานสายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 เมตร
ผู้ส่งดาวเทียม :	บริษัท Ariancespace ประเทศฝรั่งเศส ด้วยจรวด เอเรียล 4 จากฐานยิงที่เมืองคูรู เฟรนช์เกียนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 อากาศยานฝรั่งเศส
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่นของดาวเทียม :

HS-376

น้ำหนัก :

มีน้ำหนัก 1,080 กิโลกรัม บนโลกก่อนทำการส่ง
เมื่อขึ้นวงโคจรหนัก 627 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการ
ใช้งานหนัก 439 กิโลกรัม

ระบบติดตามและสั่งการ :

ควบคุมจากสถานีภาคพื้นดิน ที่ทำการกรม
ไปรษณีย์โทรเลข ถ. รัตนธิเบศร์ จ. นนทบุรี
ประเทศไทย

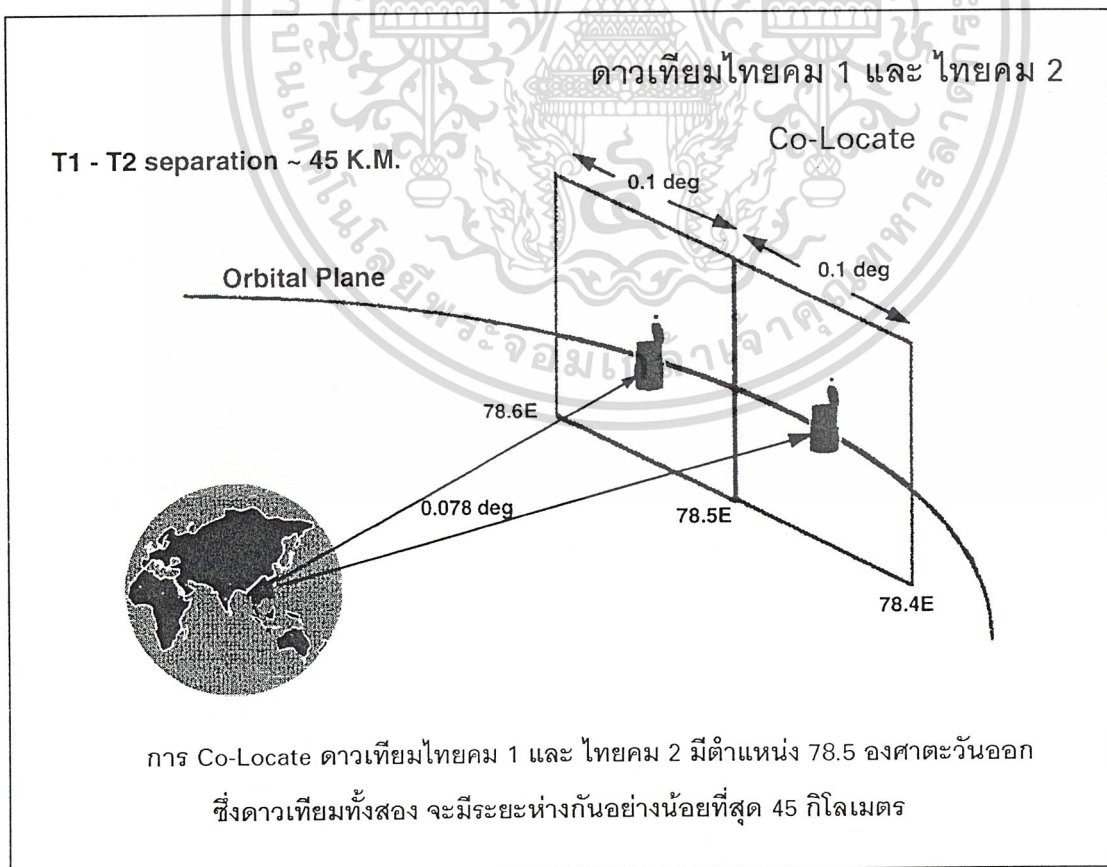
ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า :

ใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบซิลิคอน บนผิวทรงกระบอก
รอบตัวดาวเทียมสามารถจ่ายไฟฟ้าได้ 700 วัตต์
เมื่อเริ่มใช้งานระบบที่สอง ใช้แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล
ไฮโดรเจนเมื่อเกิดสุริยุปราคาจะหมุนรอบตัวเอง
55 รอบใน 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

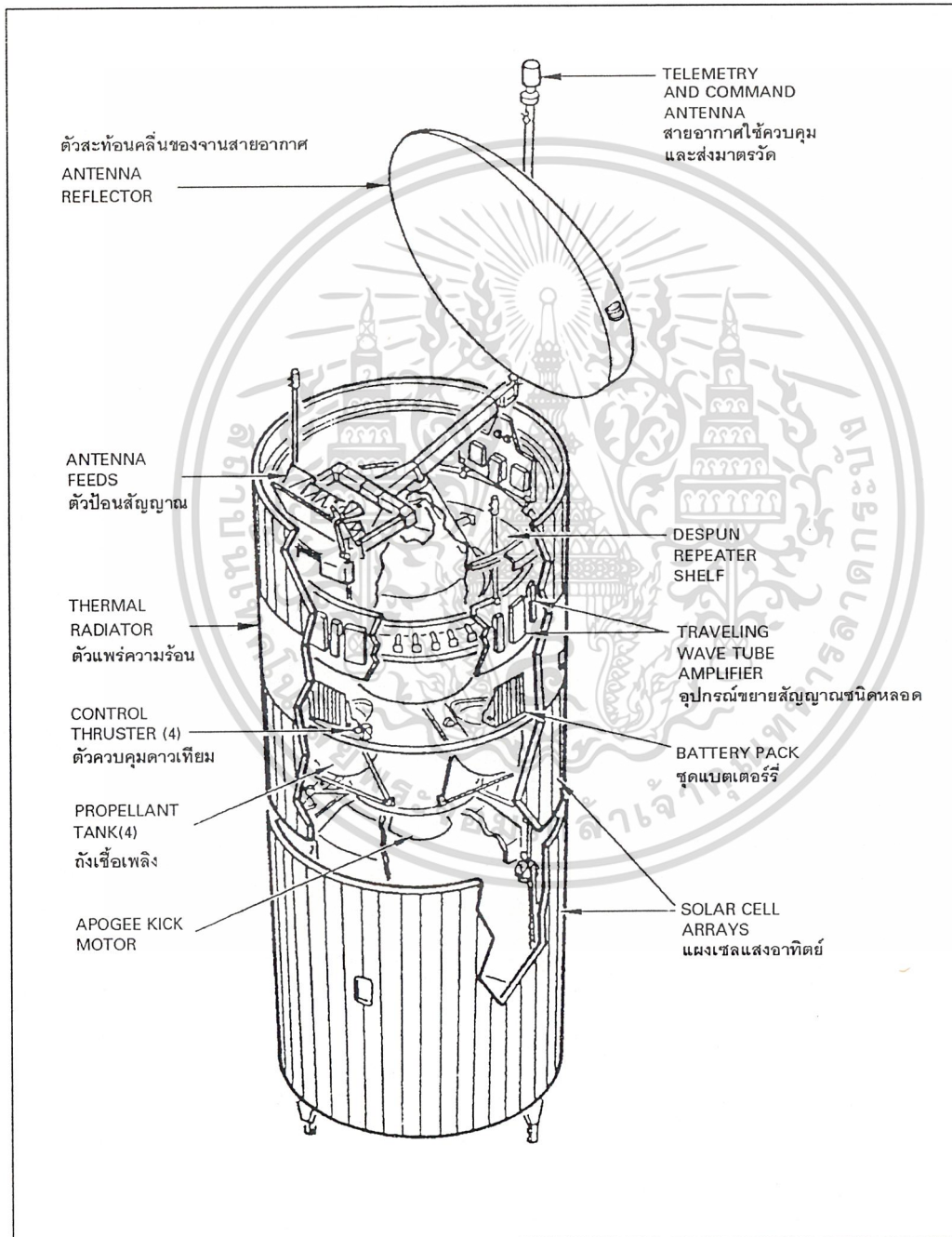
การใช้วงโคจรร่วมกัน หรือ Co-Locate

ในทางปฏิบัติ การที่ดาวเทียม 2 ดวง ใช้ตำแหน่งโคจรร่วมกัน หรือ Co-Locate นั้น ไม่ได้หมายความว่าดาวเทียมจะอยู่ซ้อนกันในตำแหน่งเดียวกัน แต่หมายถึง ดาวเทียมไทยคม 1 จะอยู่บริเวณ $78.55^\circ \pm$ มากหรือน้อยได้ไม่เกิน 0.05° และดาวเทียมไทยคม 2 จะอยู่บริเวณ $78.45^\circ \pm$ มากหรือน้อยกว่าได้ไม่เกิน 0.05° ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการ Co-Locate ดาวเทียมไทยคม 1 และดาวเทียมไทยคม 2 คือเทคนิคที่เรียกว่า “MEAN LONGITUDE SEPARATION” ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกดาวเทียมทั้ง 2 ดวงให้ห่างกันมากที่สุดในแนวตะวันออก-ตก หรือในแนวลองจิจูด เทคนิคนี้จะทำให้ดาวเทียมไทยคม 1 และไทยคม 2 ซึ่งเคลื่อนที่ไปด้วยกันมีระยะห่างในแนวลองจิจูดถึง 45 กิโลเมตร หรืออย่างน้อยที่สุด 0.06 องศา ด้วยระยะห่างดังกล่าว จึงทำให้โอกาสที่จะชนกันนั้นแทบไม่มีเลย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างดาวเทียมไทยคม HS-376



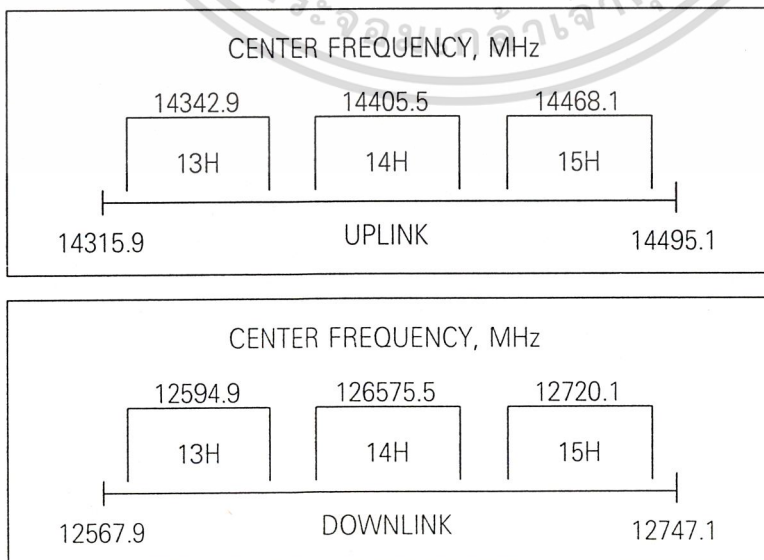
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยคม 1

ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารย่านความถี่ Ku-band

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

Ku-band Frequency and Polarization Plan

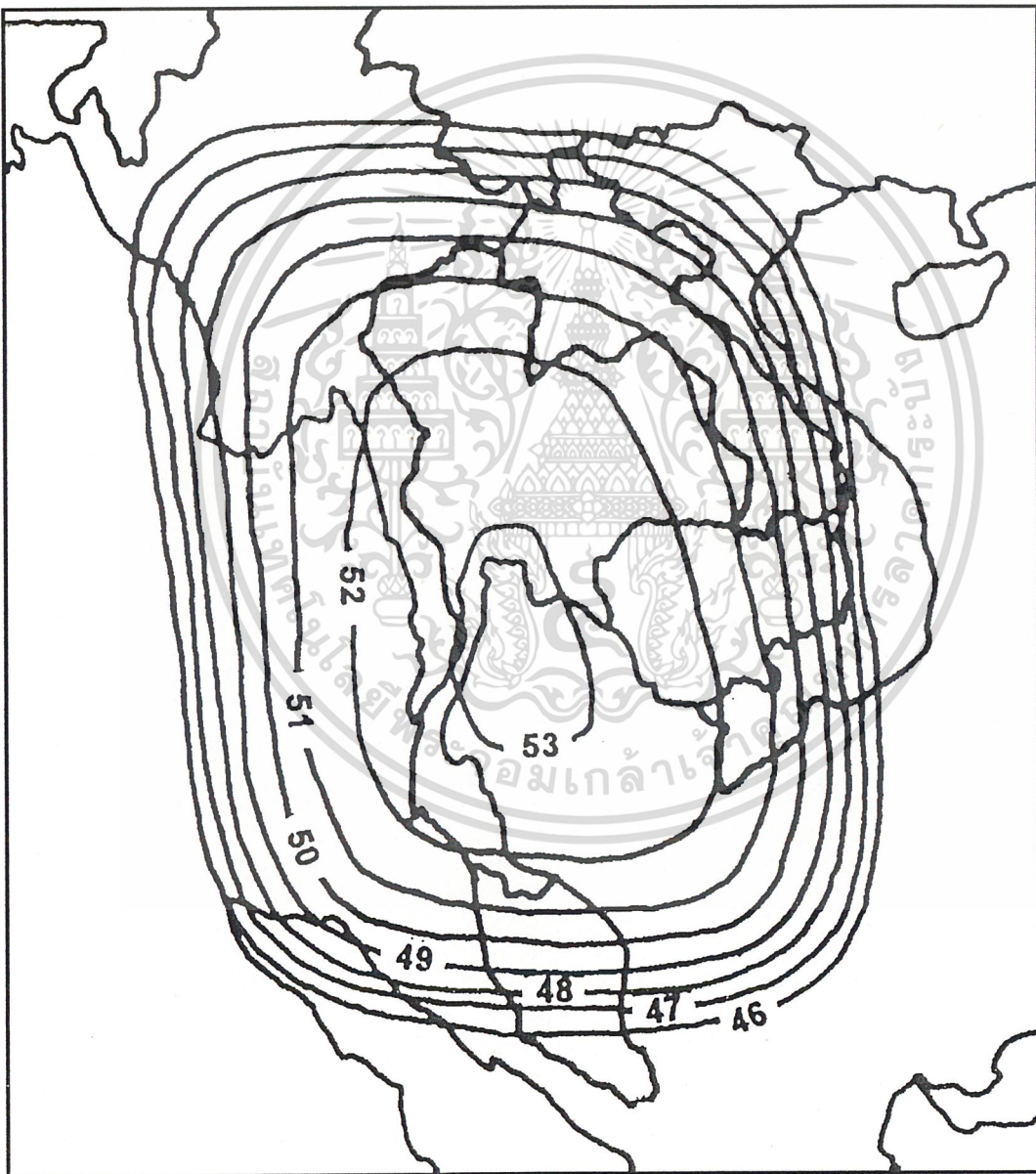


H = HORIZONTAL POLARIZATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามและตีพิมพ์อย่างเป็นทางการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยคม 1

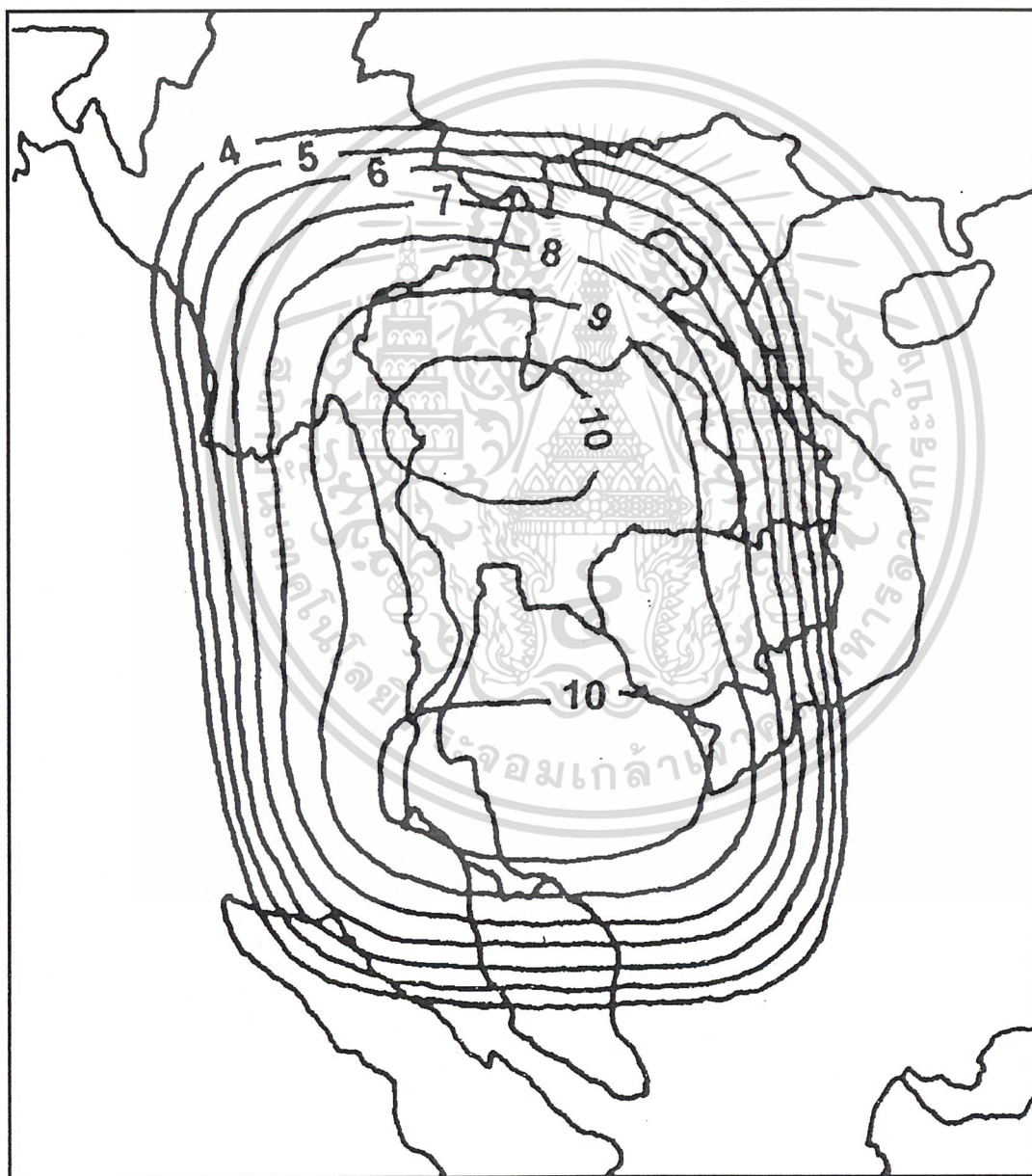
Ku-band Coverage EIRP Contours (dBW)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยคม 1

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



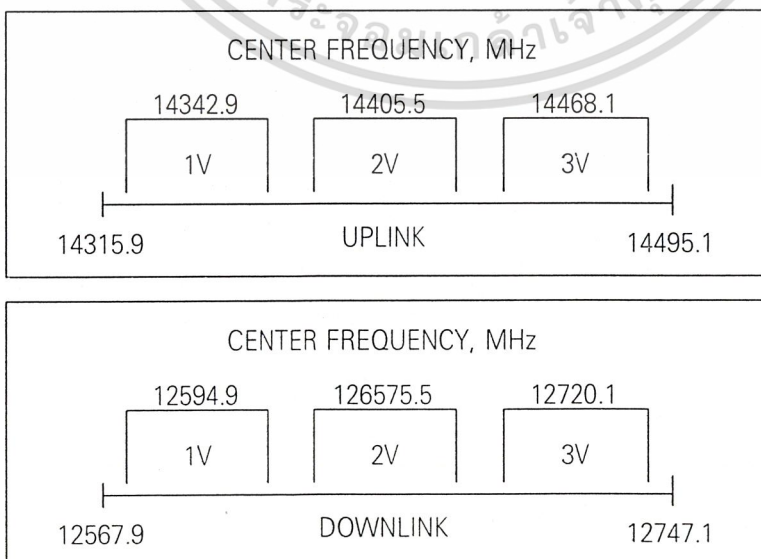
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยคม 2

ลักษณะเฉพาะของระบบสื่อสารย่านความถี่ Ku-band

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

Ku-band Frequency and Polarization Plan

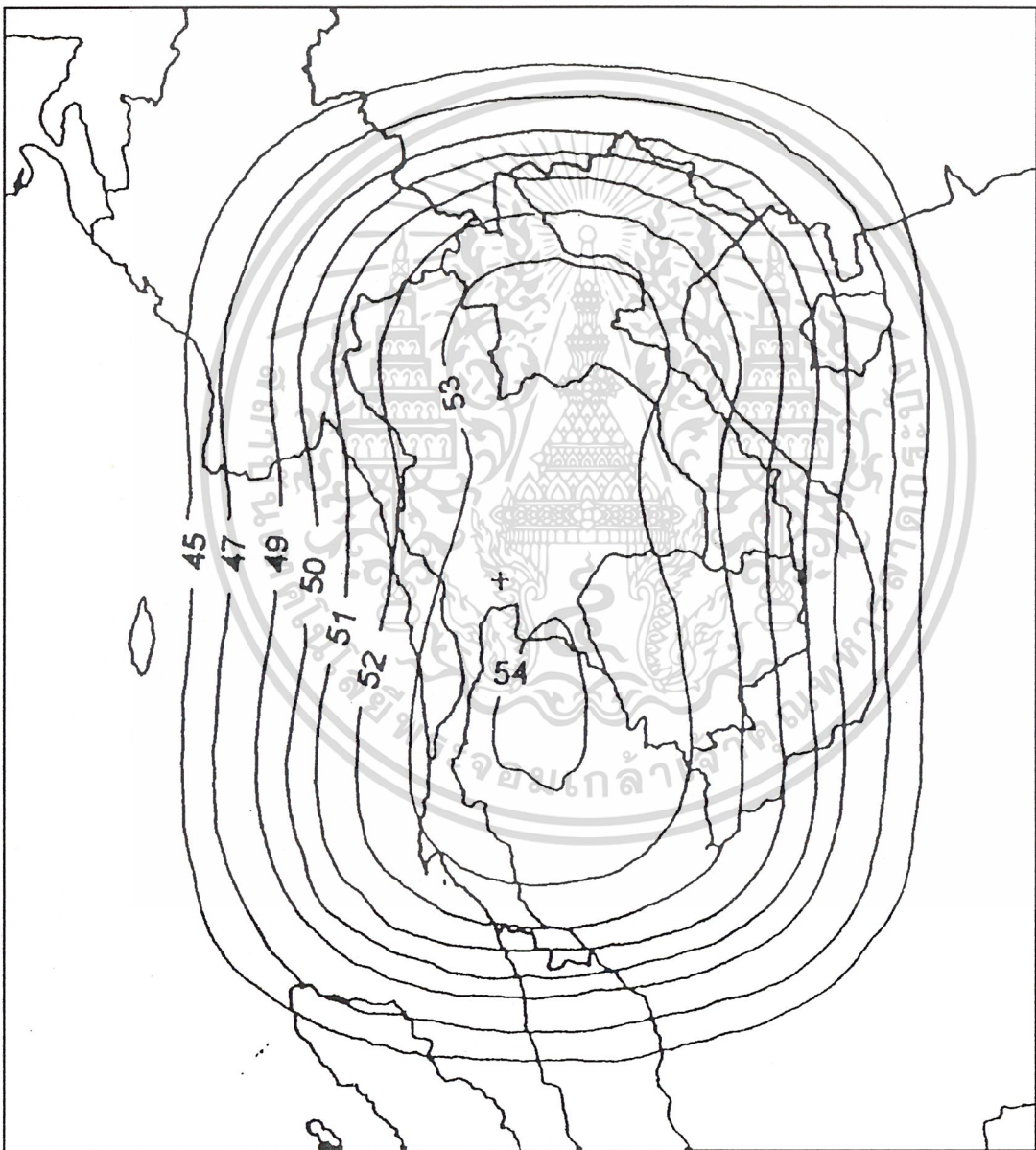


V = VERTICAL POLARIZATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยคม 2

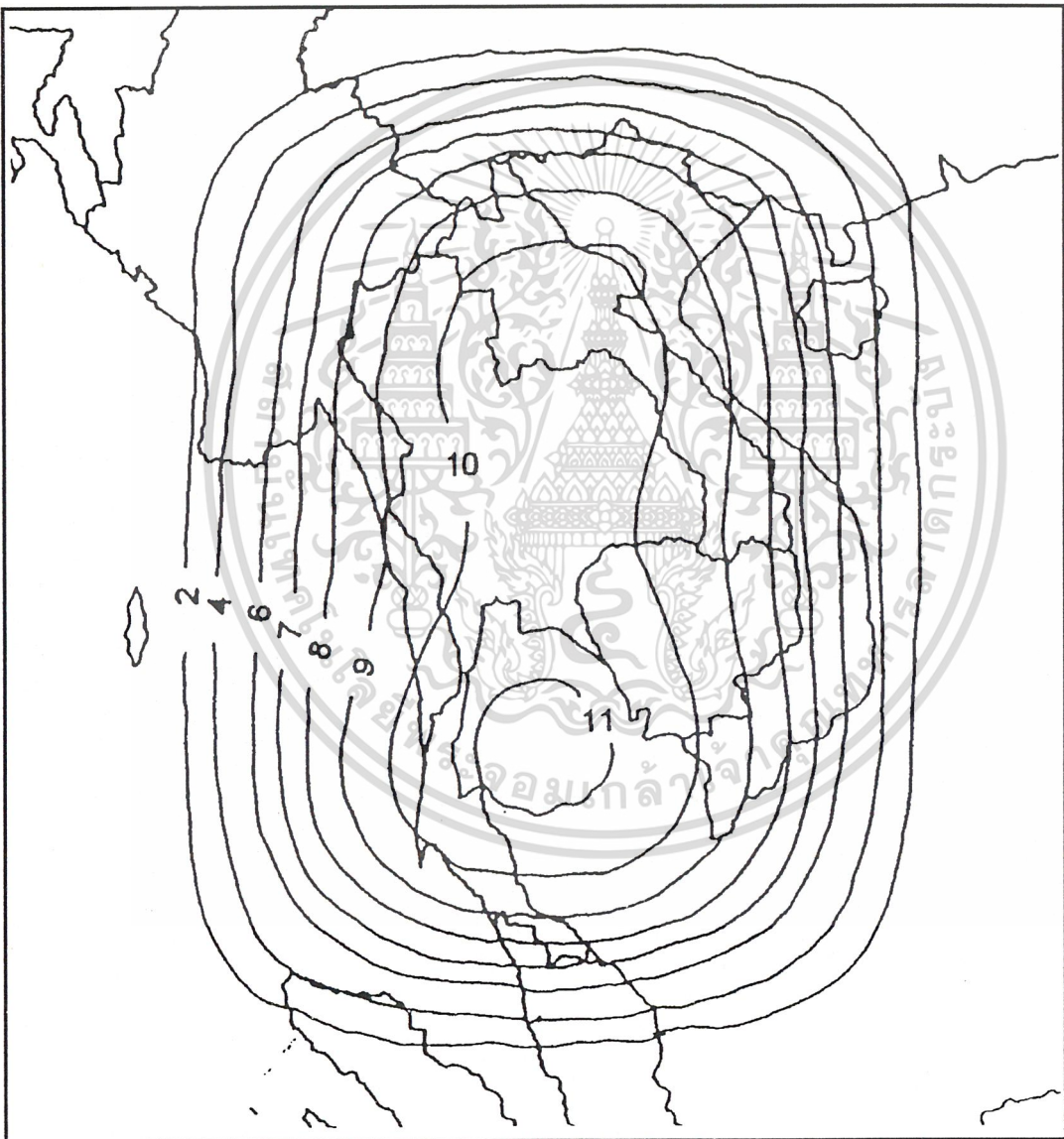
Ku-band Coverage EIRP Contours (dBW)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทยคม 2

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น แอนท์ - 32 (ANT - 32)

คุณสมบัติของบอร์ด แอนท์ - 32

1. เป็นบอร์ดคอนโทรลเลอร์ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS - 51 (8031 / 8032) ใช้ CPU เบอร์ 80C32 ทำงานที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 11.0592 เมกะเฮิร์ตซ์
2. ใช้งานหน่วยความจำบนบอร์ดได้ 3 ตำแหน่งด้วยกัน คือ
 - เป็นหน่วยความจำโปรแกรม (PROGRAM MEMORY) ใช้กับ EPROM ขนาด 8 ถึง 32 กิโลไบต์ เบอร์ 2764 , 27128 หรือ 27256
 - เป็นหน่วยความจำข้อมูล (DATA MEMORY) ใช้กับ RAM ขนาด 8 กิโลไบต์ เบอร์ 6264 หรือ 32 กิโลไบต์ เบอร์ 62256 สามารถแบคอัพข้อมูลได้โดยใช้แบตเตอรี่ลิเธียม
 - เป็นหน่วยความจำโปรแกรมและข้อมูล (PROGRAM AND DATA MEMORY) ใช้กับ EPROM , RAM หรือ EEPROM ขนาด 8 ถึง 32 กิโลไบต์ โดยใช้ EPROM เบอร์ 2764 , 27256 ใช้ RAM เบอร์ 6264 , 62256 หรือ EEPROM เบอร์ 2864 (A) , 28256 (A)
3. มีพอร์ต อินพุต / เอาท์พุต เบอร์ 8255 จำนวน 2 ตัว (48 บิต) สำหรับต่อไปใช้งานภายนอก
4. มีพอร์ต แอลซีดี สำหรับการต่อใช้งานกับ แอลซีดี แบบดอทเมตริก (DOT MATRIC)
5. มีวงจรถูกเชื่อมต่อบนบอร์ดกับ RS232 (SERIAL INTERFACE DRIVER RS232) ด้วยชิพเบอร์ MAX232 สำหรับการต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
6. มีวงจรถูกเชื่อมต่อกับไมโคร (WATCHDOG TIMER) , เพาเวอร์อัพ / ดาวน์ รีเซ็ต (POWER UP / DOWN RESET) ด้วยชิพเบอร์ MAX691
7. มีวงจรถูกเชื่อมต่อกับนาฬิกาจริง ใช้ชิพเบอร์ DS1202
8. มีคอนเนคเตอร์สำหรับ พอร์ต 1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเฉพาะ
9. มีคอนเนคเตอร์สำหรับระบบบัต
10. สามารถเลือกเบอร์ และชนิดหน่วยความจำ หรือกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ของบอร์ดได้ด้วยจัมป์เปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ้างอิงตำแหน่งพอร์ต 8255 ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นชิพพอร์ตแบบขนานที่เป็นที่นิยมใช้งานกันมากมาย สำหรับบอร์ดนี้ใช้พอร์ต 8255 จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่เป็นพอร์ตทำให้มีพอร์ตอินพุต / เอาท์พุตถึง $24 \times 2 = 48$ บิต โดยแบ่งเป็นพอร์ตใช้งาน 1 และ 2 มีตำแหน่งแอดเดรสดังนี้

พอร์ตใช้งาน 1

พอร์ต A	ตำแหน่งแอดเดรส	$F800H + 00H = F800H$
พอร์ต B	ตำแหน่งแอดเดรส	$F800H + 01H = F801H$
พอร์ต C	ตำแหน่งแอดเดรส	$F800H + 02H = F802H$
คอนโทรลพอร์ต	ตำแหน่งแอดเดรส	$F800H + 03H = F803H$

พอร์ตใช้งาน 2

พอร์ต A	ตำแหน่งแอดเดรส	$FC00H + 00H = FC00H$
พอร์ต B	ตำแหน่งแอดเดรส	$FC00H + 01H = FC01H$
พอร์ต C	ตำแหน่งแอดเดรส	$FC00H + 02H = FC02H$
คอนโทรลพอร์ต	ตำแหน่งแอดเดรส	$FC00H + 03H = FC03H$

ก่อนที่จะใช้งานพอร์ต 8255 จะต้องทำการกำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต A, B และ C ให้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุต โดยทำการเขียนค่า คอนโทรลโค้ด ไปที่คอนโทรลพอร์ต

การอ้างอิงตำแหน่งพอร์ตแอลซีดีโมดูล ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีแอลซีดีพอร์ต ให้สำหรับการต่อใช้งานโดยสามารถต่อเข้ากับ แอลซีดี โมดูลแบบคอตแมทริกได้ทันที ซึ่งจะใช้ขาสัญญาณทั้งหมด 14 ขา และสำหรับการใช้งาน แอลซีดีพอร์ตนั้น จะมีการจัดวงจรในแบบ เมโมรี่แม็พ ซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่าย โดยจะมองเห็นตำแหน่งต่างๆ ที่สรุปได้ดังนี้

แอดเดรส	ลักษณะของพอร์ตที่ติดต่อกับ
FA00H	สำหรับเขียนคำสั่ง (RS = 0, RW = 0)
FA01H	สำหรับอ่านค่าไม่ว่าง (RS = 0, RW = 1)
FA02H	สำหรับเขียนข้อมูล (RS = 1, RW = 0)
FA03H	สำหรับอ่านข้อมูล (RS = 1, RW = 1)

การอ่านค่าแอลซีดี แบบคอตแมทริกนี้ จะสามารถเลือกรุ่นใดๆ ก็ได้ โดยมีจำนวนตัวอักษรต่อบรรทัดและจำนวนบรรทัดตามที่ต้องการ เพราะสายสัญญาณที่ใช้จะใช้แบบเดียวกันหมด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะแตกต่างกันที่โปรแกรมเท่านั้น การนับหมายเลขขั้วต่อของแอลซีดีพอร์ต จะไม่เหมือนการนับ
ทั่วๆ ไป

ภาพที่ ข-1

0000H	U2 (0000H-7FFFH) CODE PROGRAM EPROM 2764 27128 27256	U3 (0000H-7FFFH) DATA MEMORY RAM (backup) 6264 62256	
8000H	U4 (8000H-F7FFFH) EPROM 2764 27256	CODE AND DATA MEMORY EEPROM 2864 28256	RAM 6264 62256
F800H	U10 (F800H-F9FFFH)	8255 USER PORT 1	
FA00H	(FA00H-FBFFFH)	LCD PORT	
FC00H	U11 (FC00H-FDFFFH)	8255 USER PORT 2	
FE00H	RESERVE		
FFFFH			

แสดงแผนที่ของหน่วยความจำของบอร์ดแอนท์-32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมแอสเซมบลีของดาต้าล็อกเกอร์

```

; FILENAME      AX1.ASM
; DESCRIPTION   GET START TIME FROM KEYBOARD (UP-DOWN KEYBOARD)
;              & REAL TIME TO LCD MODULE
;              & GET INTERRUPT SIGNAL TO SUB ROUTINE
;              & VALUE OF RAIN TO LCD MODULE
;              & WRITE DATA TO RAM
;              & UPLOAD DATA TO PC
;              & PASSWORD FOR CLEAR RAM
; HARDWARE     - ANT-32 V3.0 FULL OPTION
;              - DS1202
;              - LCD164 STN
; ASSEMBLER    SXA51
; SOFTWARE ENG. CHATWIRIYAWONG R.
;              KMIT'L #32
; ***** VARIABLE *****
; ***** PORT *****
DATABI EQU P1.4
CLKBIT EQU P1.5
RSTBIT EQU P1.6
; ***** PARAMETER *****
LCDWRC EQU 0FA00H ;LCD WRITE INSTRUCTION
LCDRDC EQU 0FA01H ;LCD READ INSTRUCTION (CHECK BUSY FLAG)
LCDWRD EQU 0FA02H ;LCD WRITE DATA
LCDRDD EQU 0FA03H ;LCD READ DATA
2P1A EQU 0F800H ;USER PORT 1 PORT A
P1B EQU 0F801H ;USER PORT 1 PORT B
P1C EQU 0F802H ;USER PORT 1 PORT C
P1P EQU 0F803H ;USER PORT 1 CONTROL PORT
P2A EQU 0FC00H ;USER PORT 2 PORT A
P2B EQU 0FC01H ;USER PORT 2 PORT B
P2C EQU 0FC02H ;USER PORT 2 PORT C
P2P EQU 0FC03H ;USER PORT 2 CONTROL PORT
BRAT96 EQU 0FDH ;9600
ADLINE1 EQU 80H ;ADDRESS LINE1
ADLINE2 EQU 0COH ;ADDRESS LINE2
ADLINE3 EQU 90H ;ADDRESS LINE3
ADLINE4 EQU 0DOH ;ADDRESS LINE4
; ***** INTERNAL RAM *****
ORG 00H
DS 8 ;REGISTOR BANK-0
SYSSTK: DS 24
DISBUF: DS 64 ;DISPLAY BUFFER (SEGMENT CODE)
SECBUF: DS 1 ;SECOND BUFFER
MINBUF: DS 1 ;MINUTE BUFFER
HOURBUF: DS 1 ;HOUR BUFFER
TIMLCD: DS 1 ;TIME FOR TURN OFF LCD
RAIN: DS 4 ;VALUE RAIN
PULSE: DS 1 ;PULSE OF RAIN IN EACH MINUTE
STATUS: DS 1 ;STATUS BUFFER
RHADRAM: DS 1 ;RAM ADDRESS (RAIN)
RLADRAM: DS 1 ;RAM ADDRESS
DISBUFS: DS 16 ;DISPLAY BUFFER
CLEAR: DS 1 ;CLEAR BUFFER
SIZEGAGE: DS 2 ;RAIN GAGE SIZE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่มีการเผยแพร่ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

; ***** RESET *****
      ORG          0000H
      SJMP        MAIN
      ORG          0003H
      LJMP        INTER0

      ORG          000BH
      RETI

      ORG          0013H
      LJMP        INTER1

      ORG          001BH
      RETI

      ORG          0023H
      RETI

; ***** MAIN *****
MAIN:  MOV          R2,#80H          ;POWER UP DELAY
RES1:  MOV          R3,#0
      DJNZ         R3,$
      DJNZ         R2,RES1
      MOV          SP,#SYSSTK
      MOV          R0,#08H          ;CLEAR INT-RAM (ALL)
RES4:  MOV          R2,#INTEND-08H
      MOV          @R0,#0
      INC          R0
      DJNZ         R2,RES4
      LCALL        LCDINI          ;LCD INITIALIZE
      MOV          R2,#15          ;DELAY
      LCALL        DTSEC
      LCALL        CURSOF
      LCALL        CLRDIS          ;CLEAR DISPLAY
      MOV          DPTR,#7FFEh      ;OLD ADDRESS BEFORE TURN OFF
      MOVX         A,@DPTR
      MOV          RHADRAM,A
      INC          DPTR
      MOVX         A,@DPTR
      MOV          RLADRAM,A
      MOV          TIMLCD,#02H      ;SET START TIME FOR LCD
      MOV          CLR,#02H         ;SET 2 PULSE FOR CLEAR
      MOV          STATUS,#00H      ;CLEAR STATUS
      LCALL        DEMO
      LCALL        GAGESIZE
      LCALL        SCHAR_LCD       ;SET CHARACTER ON LCD DISPLAY
      LCALL        KEYBOARD        ;GET START TIME FROM KEYBOARD
      LCALL        WR_START_TIME
      MOV          IE,#10000000B
      SETB         IE.2
      MOV          A,STATUS          ;KEEP STATUS LCD FOR CHECKING
      SETB         ACC.7
      MOV          STATUS,A
      MOV          DISBUF+44,#00H   ; USE FOR RATE SUB
      MOV          DISBUF+45,#00H
      MOV          DISBUF+46,#00H
; ***** LOOP *****
RTC:   MOV          DPTR,#P1A        ;GET DATA FROM KEYBOARD
      MOVX         A,@DPTR
      CJNE         A,#00H,KL1
      SJMP        RTC0
KL1:   CJNE         A,#11111111B,KL ;CHECH KEYBOARD
RTC0:  MOV          R2,#81H          ;READ TIME LOOP
      LCALL        RTCRD
      MOV          A,R3              ;SECOND
      CJNE         A,SECBUF,RTC1
      SJMP        RTC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KL:      LJMP      KEYLOOP

RTC1:    MOV       SECBUF,A
          LCALL    HTOA
          MOV      DISBUF+14,R2
          MOV      DISBUF+15,R3
          MOV      R2,#83H           ;MINUTE
          LCALL    RTCRD
          MOV      A,R3
          CJNE     A,MINBUF,RTC2
          LJMP     RTC3
RTC2:    MOV       MINBUF,A
          LCALL    HTOA
          MOV      DISBUF+11,R2
          MOV      DISBUF+12,R3
          JNB      IE.0,RTC20        ;ABOUT KEEPING RAIN DATA
          PUSH     DPH
          PUSH     DPL
          MOV      DPH,RHADRAM
          MOV      DPL,RLADRAM
          MOV      A,PULSE
          LCALL    HTODL
          LCALL    CH_RAM
          MOV      RHADRAM,DPH
          MOV      RLADRAM,DPL
          POP      DPL
          POP      DPH
          MOV      DISBUF+44,#'m'
          MOV      DISBUF+45,#'/'
          MOV      DISBUF+46,#'h'
          LCALL    LCDSL3
          MOV      DISBUF+44,#00H    ; USE FOR RATE SUB
          MOV      DISBUF+45,#00H
          MOV      DISBUF+46,#00H
          MOV      DISBUF+37,#'0'
          MOV      DISBUF+38,#'0'
          MOV      DISBUF+39,#'0'
          MOV      DISBUF+41,#'0'
          MOV      PULSE,#00H

RTC20:
RTC21:   DJNZ     TIMLCD,RTC3        ;ABOUT TURN OFF LCD
          LCALL    DISPOF
          MOV      A,STATUS
          CLR      ACC.7
          MOV      STATUS,A
          MOV      CLR,#02H         ;SET 2 PULSE FOR CLEAR
          MOV      DISBUF+56,#'R'
          MOV      DISBUF+57,#'A'
          MOV      DISBUF+58,#'M'
          LCALL    LCDSL4

RTC3:    MOV      R2,#85H           ;HOUR
          LCALL    RTCRD
          MOV      A,R3
          CJNE     A,HOURBUF,RTC31
          SJMP     RTC4
RTC31:   MOV      HOURBUF,A
          LCALL    HTOA
          MOV      DISBUF+8,R2
          MOV      DISBUF+9,R3
          JNB      IE.0,RTC4
          LCALL    KEEPFC

RTC4:    MOV      R2,#87H           ;DATE
          LCALL    RTCRD
          MOV      A,R3
          LCALL    HTOA

```

```

MOV          DISBUF,R2
MOV          DISBUF+1,R3

RTC43:      MOV          R2,#89H          ;MONTH
            LCALL       RTCRD
            MOV         A,R3
            LCALL       HTOA
            MOV         DISBUF+2,R2
            MOV         DISBUF+3,R3
            MOV         R2,#8DH        ;YEAR
            LCALL       RTCRD
            MOV         A,R3
            LCALL       HTOA
            MOV         DISBUF+4,R2
            MOV         DISBUF+5,R3

RTC5:       MOV          DISBUF+6,#' '
            MOV          DISBUF+7,#'T'
            MOV          DISBUF+10,#':'
            MOV          DISBUF+13,#':'
            MOV          DPTR,#7FFEH
; **** OLD ADDRESS BEFORE TURN OFF
            MOV          A,RHADRAM
            MOVX         @DPTR,A
            INC          DPTR
            MOV          A,RLADRAM
            MOVX         @DPTR,A
            LCALL       LCDSL1
            LCALL       LCDSL2
            LCALL       LCDSL4
            LJMP        RTC

; ***** DEMO *****
DEMO:       MOV          DISBUF,#' '
            MOV          DISBUF+1,#' '
            MOV          DISBUF+2,#' '
            MOV          DISBUF+3,#' '
            MOV          DISBUF+4,#' '
            MOV          DISBUF+5,#'M'
            MOV          DISBUF+6,#'O'
            MOV          DISBUF+7,#'B'
            MOV          DISBUF+8,#'I'
            MOV          DISBUF+9,#'L'
            MOV          DISBUF+10,#'E'
            MOV          DISBUF+11,#' '
            MOV          DISBUF+12,#' '
            MOV          DISBUF+13,#' '
            MOV          DISBUF+14,#' '
            MOV          DISBUF+15,#' '
            MOV          DISBUF+16,#' '
            MOV          DISBUF+17,#' '
            MOV          DISBUF+18,#' '
            MOV          DISBUF+19,#' '
            MOV          DISBUF+20,#' '
            MOV          DISBUF+21,#' '
            MOV          DISBUF+22,#'D'
            MOV          DISBUF+23,#'A'
            MOV          DISBUF+24,#'T'
            MOV          DISBUF+25,#'A'
            MOV          DISBUF+26,#' '
            MOV          DISBUF+27,#' '
            MOV          DISBUF+28,#' '
            MOV          DISBUF+29,#' '
            MOV          DISBUF+30,#' '
            MOV          DISBUF+31,#' '
            MOV          DISBUF+32,#' '

```



```

; ***** KEYLOOP *****
; LOOP FOR CHECK DATA FROM KEYBOARD
KEYLOOP: ORL      A,#01001111B
          CJNE    A,#11111111B,CH_HKEY
          LJMP    RTCO
CH_HKEY:  MOV     TIMLCD,#02H      ;SET TIME FOR TURN OF LCD
          LCALL  KDELAY
          CJNE    A,#11101111B,CH_LCD ;CHECK DATA FROM KEYBOARD
ONLCD:   LCALL  DISPON           ;TURN ON LCD
          MOV     A,STATUS        ;KEEP STATUS LCD FOR CHECKING
          SETB   ACC.7
          MOV     STATUS,A
          LJMP   RTCO

CH_LCD:  MOV     R7,A             ;CHECK LCD STATUS
          MOV     A,STATUS
          JB     ACC.7,CH_CRAM
          LJMP   RTCO
CH_CRAM: MOV     A,R7             ;CHECK CLEAR RAM
          CJNE    A,#01111111B,CH_ORAI
          MOV     DISBUF+56,#'C'
          MOV     DISBUF+57,#'L'
          MOV     DISBUF+58,#'R'
          LCALL  LCDSL4
          DJNZ   CLR,CR
          LJMPL CLR,CLRRAM
CR:      LJMP   RTCO

CH_ORAI: JB     IE.0,OFFRAIN        ;CHECK KEEPING DATA STATUS
          MOV     A,STATUS        ;CHECK RAM OF RAIN
          JB     ACC.4,ONR
          MOV     DPH,RHADRAM     ;RAM ADDRESS
          MOV     DPL,RLADRAM
          MOV     A,#0F0H        ;KEEP START CODE, DATE AND TIME
          LCALL  CH_RAM
          LCALL  K_DT            ;KEEP DATE & TIME
          MOV     RHADRAM,DPH
          MOV     RLADRAM,DPL
          SETB   IE.0
          MOV     RAIN,#00H      ;CLEAR VALUE OF RAIN ON LCD
          MOV     RAIN+1,#00H
          MOV     RAIN+2,#00H
          MOV     RAIN+3,#00H
          MOV     PULSE,#00H    ;CLEAR PULSE BUFFER
          MOV     DISBUF+22,#'0'
          MOV     DISBUF+23,#'0'
          MOV     DISBUF+24,#'0'
          MOV     DISBUF+25,#'0'
          MOV     DISBUF+27,#'0'
          MOV     DISBUF+28,#'0'
          LCALL  LCDSL2
          LCALL  KEEPING
          LCALL  LCDSL4
          LJMP   RTCO

OFFRAIN: CLR     IE.0
          MOV     DPH,RHADRAM     ;RAM ADDRESS
          MOV     DPL,RLADRAM
          MOV     A,PULSE
          LCALL  HTODL
          LCALL  CH_RAM
          MOV     RHADRAM,DPH
          MOV     RLADRAM,DPL
          LCALL  NONKEEP
          LCALL  LCDSL4
          LJMP   RTCO

ONR:     LJMP   RTCO
CLRRAM:  CLR     IE.0            ;WHILE RUN CLEAR RAM PROGRAM

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CLR          IE.2                ;DON'T GET INTERRUPT
PUSH        ACC
PUSH        00H
PUSH        01H
PUSH        02H
PUSH        03H
PUSH        04H
PUSH        05H
PUSH        06H
PUSH        07H
MOV         DISBUFS,#'P'          ;PASSWORD
MOV         DISBUFS+1,#'A'
MOV         DISBUFS+2,#'S'
MOV         DISBUFS+3,#'S'
MOV         DISBUFS+4,#'W'
MOV         DISBUFS+5,#'O'
MOV         DISBUFS+6,#'R'
MOV         DISBUFS+7,#'D'
MOV         DISBUFS+8,#' '
MOV         DISBUFS+9,#' '
MOV         DISBUFS+10,#' '
MOV         DISBUFS+11,#' '
MOV         DISBUFS+12,#' '
MOV         DISBUFS+13,#' '
MOV         DISBUFS+14,#' '
MOV         DISBUFS+15,#' '
LCALL      LCDSLS
MOV         DISBUFS+9,#'0'
MOV         R0,#DISBUF
MOV         R1,#DISBUFS+9

GET:        MOV         DPTR,#P1A          ;GET DATA FROM KEYBOARD
           MOVX        A,@DPTR
           CJNE        A,#00H,GETJ
           SJMP        GET

GETJ:       ORL         A,#11110100B
           CJNE        A,#11111111B,GETCH
           SJMP        GET                ;LOOP FOR GET DATA

GETCH:     LCALL      KDELAY              ;DELAY
           CJNE        A,#11111110B,GETCH1
           MOV         A,@R1              ;INCREMENT NUMBER
           INC         A
           CJNE        A,#3AH,GETS11
           MOV         A,#30H

GETS11:    MOV         @R1,A
           LCALL      LCDSLS              ;SHOW DATA IN LINE S
           SJMP        GET

GETCH1:    CJNE        A,#11111101B,GETCH2
           MOV         A,@R1              ;DECREMENT NUMBER
           DEC         A
           CJNE        A,#2FH,GETS21
           MOV         A,#39H

GETS21:    MOV         @R1,A
           LCALL      LCDSLS
           SJMP        GET

GETCH2:    CJNE        R1,#DISBUFS+15,GETS4 ;CHECK POSITION
           MOV         A,@R1
           CJNE        A,#'6',UNCORRECT
           DEC         R0
           MOV         A,@R0
           CJNE        A,#'5',UNCORRECT    ;CHECK PASSWORD
           DEC         R0
           MOV         A,@R0
           CJNE        A,#'4',UNCORRECT
           DEC         R0

```

```

MOV          A,@R0
CJNE        A,#'3',UNCORRECT
DEC         R0
MOV         A,@R0
CJNE        A,#'2',UNCORRECT
DEC         R0
MOV         A,@R0
CJNE        A,#'1',UNCORRECT
DEC         R0
MOV         A,@R0
CJNE        A,#'0',UNCORRECT
SJMP        CLRAM1                ;PASSWORD IS CORRECT (CLEAR)

GETS4:      MOV          A,@R1                ;SHIFT RIGHT
MOV         @R0,A
MOV         @R1,#0FFH
INC         R1
INC         R0
MOV         @R1,#'0'
LCALL       LCDSLS
LJMP

; ***** UNCORRECT *****

UNCORRECT: SETB        IE.2
MOV         DISBUFS,#' '
MOV         DISBUFS+1,#' '
MOV         DISBUFS+2,#' '
MOV         DISBUFS+3,#'U'
MOV         DISBUFS+4,#'N'
MOV         DISBUFS+5,#'C'
MOV         DISBUFS+6,#'O'
MOV         DISBUFS+7,#'R'
MOV         DISBUFS+8,#'R'
MOV         DISBUFS+9,#'E'
MOV         DISBUFS+10,#'C'
MOV         DISBUFS+11,#'T'
MOV         DISBUFS+12,#' '
MOV         DISBUFS+13,#' '
MOV         DISBUFS+14,#' '
MOV         DISBUFS+15,#' '
LCALL       LCDSLS
LCALL       KDELAY
LCALL       KDELAY
MOV         CLER,#02H
MOV         DISBUF+56,#'R'
MOV         DISBUF+57,#'A'
MOV         DISBUF+58,#'M'
POP         07H
POP         06H
POP         05H
POP         04H
POP         03H
POP         02H
POP         01H
POP         00H
POP         ACC
LCALL       LCDSL4
SETB       IE.2
LJMP       RTC0

```

```
; *****CLEAR*****
```

```

CLRAM1:    MOV         DISBUFS+9,#' '
MOV         DISBUFS+10,#'O'
MOV         DISBUFS+11,#' '
MOV         DISBUFS+12,#'K'
MOV         DISBUFS+13,#' '

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่สิ่งนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV          DISBUFS+14,#' '
MOV          DISBUFS+15,#' '
LCALL       LCDSLS
LCALL       KDELAY
LCALL       KDELAY
MOV          DPTR,#0000H
MOV          A,#0EEH
CLEAR:      MOVX          @DPTR,A          ;CLEAR RAM
INC         DPTR
MOV         R6,DPH
CJNE       R6,#80H,CLEAR
MOV         A,STATUS          ;CLEAR STATUS FOR STARTING
CLR        ACC.3
CLR        ACC.4
MOV        STATUS,A
CLR        IE.0          ;CLEAR OPERATING RAIN DATA
MOV        DISBUF+48,#'N' ;CLEAR LCD FOR STARTING
MOV        DISBUF+49,#'O'
MOV        DISBUF+50,#'N'
MOV        DISBUF+51,#'K'
MOV        DISBUF+52,#'E'
MOV        DISBUF+53,#'E'
MOV        DISBUF+54,#'P'
MOV        DISBUF+55,#' '
MOV        DISBUF+56,#'R'
MOV        DISBUF+57,#'A'
MOV        DISBUF+58,#'M'
MOV        DISBUF+59,#'='
MOV        DISBUF+60,#'E'
MOV        DISBUF+61,#'M'
MOV        DISBUF+62,#'P'
MOV        DISBUF+63,#'T'
LCALL       LCDSL4
MOV        RAIN,#00H
MOV        RAIN+1,#00H
MOV        RAIN+2,#00H
MOV        RHADRAM,#00H ;SET ADDRESS RAM FOR START
MOV        RLADRAM,#00H
MOV        CLER,#02H
POP        07H
POP        06H
POP        05H
POP        04H
POP        03H
POP        02H
POP        01H
POP        00H
POP        ACC
SETB       IE.2
LJMP       RTC0

D7OH:      PUSH        06H
           PUSH        07H
           MOV         R7,A
           SWAP        A
           ANL         A,#0FH
           MOV         B,#0AH
           MUL         AB
           MOV         R6,A
           MOV         A,R7
           ANL         A,#0FH
           ADD         A,R6
           POP         07H
           POP         06H
           RET

```

```

K_DT:  PUSH      02H
      PUSH      03H
      MOV       R2,#89H           ;MONTH
      LCALL    RTCRD
      MOV      A,R3
      LCALL    CH_RAM
      MOV      R2,#87H           ;DATE
      LCALL    RTCRD
      MOV      A,R3
      LCALL    CH_RAM
      MOV      R2,#8DH           ;YEAR
      LCALL    RTCRD
      MOV      A,R3
      LCALL    CH_RAM
      MOV      R2,#85H           ;HOUR
      LCALL    RTCRD
      MOV      A,R3
      LCALL    CH_RAM
      MOV      R2,#83H           ;MINUTE
      LCALL    RTCRD
      MOV      A,R3
      LCALL    CH_RAM
      POP      03H
      POP      02H
      RET

```

```

; ***** CH_RAM *****
; CHECK RAM (RAIN)

```

```

CH_RAM: MOVX    @DPTR,A
      INC     DPTR
ch_sram:MOV    R2,DPH
      MOV    R3,DPL
      CJNE  R3,#00H,BELOW
      CJNE  R2,#10H,RAM2
      MOV   DISBUF+60,#'1'
      MOV   DISBUF+61,#'/'
      MOV   DISBUF+62,#'8'
      MOV   DISBUF+63,#' '
      LCALL LCDSL4
      RET
BELOW:  LJMP   CH_RAM1

```

```

RAM2:  CJNE  R2,#20H,RAM3
      MOV   DISBUF+60,#'2'
      MOV   DISBUF+61,#'/'
      MOV   DISBUF+62,#'8'
      MOV   DISBUF+63,#' '
      LCALL LCDSL4
      RET

```

```

RAM3:  CJNE  R2,#30H,RAM4
      MOV   DISBUF+60,#'3'
      MOV   DISBUF+61,#'/'
      MOV   DISBUF+62,#'8'
      MOV   DISBUF+63,#' '
      LCALL LCDSL4
      RET

```

```

RAM4:  CJNE  R2,#40H,RAM5
      MOV   DISBUF+60,#'4'
      MOV   DISBUF+61,#'/'
      MOV   DISBUF+62,#'8'
      MOV   DISBUF+63,#' '
      LCALL LCDSL4
      RET

```

```

RAM5:  CJNE  R2,#50H,RAM6

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม้วารณิต์ ทัั้งสิ้น อีกทัั้งห้ามมิเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครัั้งที่มีการนำป้ใช้

```

MOV          DISBUF+60, #'5'
MOV          DISBUF+61, #'/'
MOV          DISBUF+62, #'8'
MOV          DISBUF+63, #' '
LCALL       LCDSL4
RET

RAM6:  CJNE          R2, #60H, RAM7
        MOV          DISBUF+60, #'6'
        MOV          DISBUF+61, #'/'
        MOV          DISBUF+62, #'8'
        MOV          DISBUF+63, #' '
        LCALL       LCDSL4
        RET

RAM7:  CJNE          R2, #70H, CH_RAM1
        MOV          DISBUF+60, #'7'
        MOV          DISBUF+61, #'/'
        MOV          DISBUF+62, #'8'
        MOV          DISBUF+63, #' '
        LCALL       LCDSL4
        RET

CH_RAM1: CJNE          R3, #0CDH, CH_RAM2
        CJNE          R2, #79H, CH_RAM2
        MOV          DISBUF+60, #'1'
        MOV          DISBUF+61, #'D'
        MOV          DISBUF+62, #'A'
        MOV          DISBUF+63, #'Y'
        LCALL       LCDSL4
        RET

CH_RAM2: CJNE          R3, #0BBH, CH_RAM3
        CJNE          R2, #7FH, CH_RAM3
        MOV          DISBUF+60, #'1'
        MOV          DISBUF+61, #'h'
        MOV          DISBUF+62, #'r'
        MOV          DISBUF+63, #'.'
        LCALL       LCDSL4
        RET

CH_RAM3: CJNE          R3, #0FDH, CON
        CJNE          R2, #7FH, CON
CON:    SJMP          FURAM
CON:    RET

; ***** FURAM *****
; FULL RAM

FURAM: MOV          A, #0FAH
        MOVX         @DPTR, A
        LCALL       NONKEEP
        MOV          DISBUF+60, #'F'
        MOV          DISBUF+61, #'U'
        MOV          DISBUF+62, #'L'
        MOV          DISBUF+63, #'L'
        MOV          A, STATUS
        SETB         ACC.4
        SETB         ACC.7
        MOV          STATUS, A
        MOV          TIMLCD, #02H
        LCALL       DISPON
        LCALL       LCDSL4
        CLR          IE.0
        LJMP        RTC3

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อตรวจสอบเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ; ***** SET CHARACTER ON LCD DISPLAY SUB *****
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SCHAR_LCD: MOV      R0,#DISBUF+8
MOV      R7,#40
CLRB:  MOV      @R0,#'0'
INC      R0
DJNZ    R7,CLRB
MOV      DISBUF,#'0'
MOV      DISBUF+1,#'d'
MOV      DISBUF+2,#'m'
MOV      DISBUF+3,#'m'
MOV      DISBUF+4,#'y'
MOV      DISBUF+5,#'y'
MOV      DISBUF+6,#' '
MOV      DISBUF+7,#'T'
MOV      DISBUF+10,#':'
MOV      DISBUF+13,#':'
MOV      DISBUF+16,#'V'
MOV      DISBUF+17,#'A'
MOV      DISBUF+18,#'L'
MOV      DISBUF+19,#'U'
MOV      DISBUF+20,#'E'
MOV      DISBUF+21,#' '
MOV      DISBUF+26,#'.'
MOV      DISBUF+29,#' '
MOV      DISBUF+30,#'m'
MOV      DISBUF+31,#'m'
MOV      DISBUF+32,#'R'
MOV      DISBUF+33,#'A'
MOV      DISBUF+34,#'T'
MOV      DISBUF+35,#'E'
MOV      DISBUF+36,#' '
MOV      DISBUF+37,#'0'
MOV      DISBUF+38,#'0'
MOV      DISBUF+39,#'0'
MOV      DISBUF+40,#' '
MOV      DISBUF+41,#'0'
MOV      DISBUF+42,#' '
MOV      DISBUF+43,#'m'
MOV      DISBUF+44,#'m'
MOV      DISBUF+45,#'/'
MOV      DISBUF+46,#'h'
MOV      DISBUF+47,#'r'
LCALL   NONKEEP
MOV      DISBUF+55,#' '
LCALL   RAMEMPTY
MOV      DPL,#00H
MOV      A,RHADRAM
ANL     A,#0F0H
MOV      DPH,A
LCALL   CH_SRAM
RET

```

```
; ***** NONKEEP SUB *****
```

```

NONKEEP: MOV      DISBUF+48,#'N'
MOV      DISBUF+49,#'O'
MOV      DISBUF+50,#'N'
MOV      DISBUF+51,#'K'
MOV      DISBUF+52,#'E'
MOV      DISBUF+53,#'E'
MOV      DISBUF+54,#'P'
RET

```

```
; ***** KEEPING SUB *****
```

```

KEEPING: MOV      DISBUF+48,#'K'
MOV      DISBUF+49,#'E'
MOV      DISBUF+50,#'E'
MOV      DISBUF+51,#'P'

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV          DISBUF+52, #'I'
MOV          DISBUF+53, #'N'
MOV          DISBUF+54, #'G'
RET

```

```
; ***** RAM EMPTY SUB *****
```

```

RAMEMPTY:
MOV          DISBUF+56, #'R'
MOV          DISBUF+57, #'A'
MOV          DISBUF+58, #'M'
MOV          DISBUF+59, #'='
MOV          DISBUF+60, #'E'
MOV          DISBUF+61, #'M'
MOV          DISBUF+62, #'P'
MOV          DISBUF+63, #'T'
RET

```

```
; ***** GAGESIZE *****
; GET SIZE OF RAINGAGE
```

```

GAGESIZE:
MOV          R1, #64
MOV          R0, #DISBUF
CLRLOOP:
MOV          @R0, #' '
INC          R0
DJNZ        R1, CLRLOOP
MOV          DISBUF+16, #'S'
MOV          DISBUF+17, #'I'
MOV          DISBUF+18, #'Z'
MOV          DISBUF+19, #'E'
MOV          DISBUF+21, #'O'
MOV          DISBUF+22, #'F'
MOV          DISBUF+24, #'R'
MOV          DISBUF+25, #'A'
MOV          DISBUF+26, #'I'
MOV          DISBUF+27, #'N'
MOV          DISBUF+28, #'G'
MOV          DISBUF+29, #'A'
MOV          DISBUF+30, #'G'
MOV          DISBUF+31, #'E'
MOV          DISBUF+36, #'0'
MOV          DISBUF+37, #'.'
MOV          DISBUF+38, #'0'
MOV          DISBUF+39, #'0'
MOV          DISBUF+40, #'0'
MOV          DISBUF+42, #'m'
MOV          DISBUF+43, #'m'
LCALL        LCDSL2
LCALL        LCDSL4
LCALL        CURSON
LCALL        CURSHM
LCALL        LCDSL1
LCALL        LCDSL3
MOV          R1, #DISBUF+38
MOV          R7, #0AH
LCALL        SETCURS

```

```

GOT:  MOV          DPTR, #P1A          ;GET DATA FROM KEYBOARD
      MOVX         A, @DPTR
      CJNE        A, #00H, GOTJ
      SJMP

```

```

GOTJ: ORL          A, #11110100B
      CJNE        A, #11111111B, GOTCH

```

```

      SJMP        GOT          ;LOOP FOR GET DATA
      LCALL       KDELAY      ;DELAY
      GOTCH:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE      A, #1111110B, GOTCH1
MOV       A, @R1                ; INCREMENT NUMBER
INC       A
CJNE      A, #3AH, GOTS11
MOV       A, #30H

GOTS11:   MOV       @R1, A
          LCALL      LCDSL3        ; SHOW DATA IN LINE 3
          LCALL      SETCURS
          SJMP       GOT

GOTCH1:   CJNE      A, #11111101B, GOTCH2
          MOV       A, @R1                ; DECREMENT NUMBER
          DEC       A
          CJNE      A, #2FH, GOTS21
          MOV       A, #39H

GOTS21:   MOV       @R1, A
          LCALL      LCDSL3
          LCALL      SETCURS
          SJMP       GOT

GOTCH2:   CJNE      R1, #DISBUF+40, GOTS4    ; CHECK POSITION
          MOV       R2, DISBUF+36
          MOV       R3, DISBUF+38
          LCALL      ATOH
          MOV       SIZEGAGE, A
          MOV       R2, DISBUF+39
          MOV       R3, DISBUF+40
          LCALL      ATOH
          MOV       SIZEGAGE+1, A
          RET

GOTS4:    INC       R1                ; SHIFT RIGHT
          DEC       R7
          LCALL      CURR
          LJMPL     GOT

; ***** SET CURSOR *****
; SET CURSOR FOR GET SIZE OF RAINGAGE

SETCURS:  MOV       A, R7
          MOV       R6, A

SETCURS1: LCALL      CURL
          DJNZ     R6, SETCURS1
          RET

; ***** KEYBOARD SUB *****
; GET START TIME FROM KEYBOARD

KEYBOARD: LCALL      LCDSL2
          LCALL      LCDSL3
          LCALL      LCDSL4
          LCALL      LCDSL1
          LCALL      CURSON
          LCALL      CURSHM
          MOV       DPTR, #P1P        ; INITIAL I/P PORT FOR KEYBOARD
          MOV       A, #92H
          MOVX      @DPTR, A
          MOV       R1, #DISBUF
          MOV       R5, #0            ; POSITION IN LINE
          SJMP      SHOL

KEY:      MOV       DPTR, #P1A        ; GET DATA FROM KEYBOARD

```

```

MOVX          A,@DPTR
CJNE          A,#00H,KEYJ
SJMP          KEY
KEYJ:  ORL          A,#11110000B
        CJNE          A,#11111111B,KEYCH
        SJMP          KEY          ;LOOP FOR GET DATA
KEYCH:  LCALL         KDELAY        ;DELAY
        CJNE          A,#11111110B,KEYCH1
        SJMP          KEYS1        ;INCREMENT NUMBER
KEYCH1:  CJNE          A,#11111101B,KEYCH2
        SJMP          KEYS2        ;DECREMENT NUMBER
KEYCH2:  CJNE          A,#11111011B,KEYS4 ;SHIFT RIGHT CURSOR
        SJMP          KEYS3        ;SHIFT LEFT CURSOR

; ***** KEY DELAY *****

KDELAY:  PUSH          04H
        PUSH          06H
        PUSH          07H
        MOV           R6,#0
        MOV           R7,#0
        MOV           R4,#3
KDEL:   DJNZ          R6,KDEL
        DJNZ          R7,KDEL
        DJNZ          R4,KDEL
        POP           07H
        POP           06H
        POP           04H
        RET

; ***** INCREMENT NUMBER *****

KEYS1:  MOV           A,@R1
        INC           A
        CJNE          A,#3AH,KEYS11
        MOV           A,#30H
KEYS11:  MOV           @R1,A
        SJMP          SHOL        ;SHOW DATA IN LINE1

; ***** DECREMENT NUMBER *****

KEYS2:  MOV           A,@R1
        DEC           A
        CJNE          A,#2FH,KEYS21
        MOV           A,#39H
KEYS21:  MOV           @R1,A
        SJMP          SHOL

; ***** SHOW LINE *****

SHOL:   MOV           SECBUF,R5
        MOV           R6,SECBUF
        LCALL         LCDSL1        ;SHOW LCD LINE1
        LCALL         CURSHM
        CJNE          R6,#0,SHC     ;SHOW CURSOR AT LCD BUFFER POSITION
        SJMP          KEY
SHC:    LCALL         CURR
        DJNZ          R6,SHC
        SJMP          KEY

; ***** SHIFT LEFT CURSOR *****

KEYS3:  CJNE          R1,#DISBUF,KEYS31 ;CHECK POSITION OF CURSOR AND BUFFER
        LJMPL         KEY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

KEYS31:
    LCALL    CURL
    DEC     R1
    DEC     R5
    CJNE    R5,#6,KEYS32
    SJMP    KEYS31

KEYS32:
    CJNE    R5,#7,KEYS33
    SJMP    KEYS31

KEYS33:
    CJNE    R5,#10,KEYS34
    LJMP    KEYS31

KEYS34:
    CJNE    R5,#13,KEYS35
    LJMP    KEYS31

KEYS35:
    LJMP    KEY

; ***** SHIFT RIGHT CURSOR *****

KEYS4:  CJNE    R1,#DISBUF+15,KEYS41
        LCALL    CURSOF
        RET

KEYS41: LCALL    CURR
        INC     R1
        INC     R5
        CJNE    R5,#6,KEYS42
        SJMP    KEYS41

KEYS42:
    CJNE    R5,#7,KEYS43
    SJMP    KEYS41

KEYS43:
    CJNE    R5,#10,KEYS44
    SJMP    KEYS41

KEYS44:
    CJNE    R5,#13,KEYS45
    SJMP    KEYS41

KEYS45:
    MOV     @R1,#'0'
    SJMP    SHOL

; ***** WRITE TIME TO DS1202 SUB *****
; WRITE START TIME TO DS1202 ( REAL TIME CHIP )

WR_START_TIME:
    CLR     RSTBIT
    SETB    CLKBIT
    LCALL   RTCDL           ;DELAY
    MOV     R2,#8EH        ;WRITE PROTECT = 0
    MOV     R3,#0
    LCALL   RTCWR          ;WRITE TO DS1202
    MOV     R2,DISBUF+14   ;SECOND
    MOV     R3,DISBUF+15
    LCALL   ATOH           ;ASCII TO HEX
    MOV     R2,#80H
    MOV     R3,A
    LCALL   RTCWR
    MOV     R2,DISBUF+11   ;MINUTE
    MOV     R3,DISBUF+12
    LCALL   ATOH
    MOV     R2,#82H
    MOV     R3,A
    LCALL   RTCWR
    MOV     R2,DISBUF+8    ;HOUR
    MOV     R3,DISBUF+9
    LCALL   ATOH
    MOV     R2,#84H
    MOV     R3,A

```

```

LCALL    RTCWR
MOV      R2,DISBUF          ;DATE
MOV      R3,DISBUF+1
LCALL    ATOH
MOV      R2,#86H
MOV      R3,A
LCALL    RTCWR
MOV      R2,DISBUF+2      ;MONTH
MOV      R3,DISBUF+3
LCALL    ATOH
MOV      R2,#88H
MOV      R3,A
LCALL    RTCWR
MOV      R2,DISBUF+4      ;YEAR
MOV      R3,DISBUF+5
LCALL    ATOH
MOV      R2,#8CH
MOV      R3,A
LCALL    RTCWR
MOV      R2,#8EH          ;WRITE PROTECT = 1
MOV      R3,#80H
LCALL    RTCWR
RET

LCDSL1:  MOV      A,#ADLINE1      ;DISPLAY TIME ADDRESS LINE1
MOV      R0,#DISBUF
LCALL    LCDINTS
RET

LCDSL2:  MOV      A,#ADLINE2      ;DISPLAY TIME ADDRESS LINE2
MOV      R0,#DISBUF+16
LCALL    LCDINTS
RET

LCDSL3:  MOV      A,#ADLINE3      ;DISPLAY TIME ADDRESS LINE3
MOV      R0,#DISBUF+32
LCALL    LCDINTS
RET

LCDSL4:  MOV      A,#ADLINE4      ;DISPLAY TIME ADDRESS LINE4
MOV      R0,#DISBUF+48
LCALL    LCDINTS
RET

LCDSLS:  PUSH     ACC
PUSH     00H
MOV      A,#ADLINE4          ;DISPLAY TIME ADDRESS LINE S
MOV      R0,#DISBUFS
LCALL    LCDINTS
POP      00H
POP      ACC
RET

HTOA:    PUSH     ACC
SWAP     A
LCALL    HTOAS
MOV      R2,A
POP      ACC
LCALL    HTOAS
MOV      R3,A
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

HTOAS: ANL ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE      A, #0AH, $+3
JNC
ORL
RET
HTOAS1: SUBB      A, #9
ORL
RET
ATOH:   MOV      A, R2
LCALL   ATOHS
SWAP
MOV     R2, A
MOV     A, R3
LCALL   ATOHS
ORL
RET

ATOHS:  CJNE     A, #'A', $+3
JC
ADD     A, #9
ATOHS1: ANL     A, #0FH
RET
RTCWR:  CLR     CLKBIT           ;CLK=0
LCALL   RTCDL
SETB    RSTBIT           ;RST=1
LCALL   RTCDL
MOV     A, R2           ;COMMAND
LCALL   RTCWRC
MOV     A, R3           ;DATA
LCALL   RTCWRC
CLR     RSTBIT           ;RST=0
LCALL   RTCDL

RTCWRC: MOV     R4, #8           ;WRITE COMMAND/DATA
RTCWRC1: RRC
MOV     DATABI, C
SETB    CLKBIT           ;RISING EDGE CLOCK
LCALL   RTCDL
CLR     CLKBIT
LCALL   RTCDL
DJNZ   R4, RTCWRC1
RET

RTCDDL: MOV     R5, #4           ;DELAY
DJNZ   R5, $
RET

RTCRD:  CLR     CLKBIT           ;CLK=0
LCALL   RTCDL
SETB    RSTBIT           ;RST=1
LCALL   RTCDL
MOV     A, R2           ;COMMAND
LCALL   RTCWRC
MOV     R4, #8           ;READ DATA
CLR     A
RTCRD1: CLR     CLKBIT
LCALL   RTCDL
MOV     C, DATABI
RRC
SETB    CLKBIT
LCALL   RTCDL
DJNZ   R4, RTCRD1
MOV     R3, A
CLR     RSTBIT           ;RST=0
LCALL   RTCDL
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCDINI: LCALL      FUNSET      ;FUNCTION SET
        LCALL      CLRDIS     ;CLEAR DISPLAY
        LCALL      DISPON     ;ON DISPLAY
        RET

CLRDIS: MOV        A, #01H
        LCALL      LCDWI
        RET

CURSHM: MOV        A, #02H
        LCALL      LCDWI
        RET

CURSON: MOV        A, #00001110B
        LCALL      LCDWI
        RET

DISPON:
CURSOF: MOV        A, #00001100B
        LCALL      LCDWI
        RET

DISPOF: MOV        A, #00001000B
        LCALL      LCDWI
        RET

CURL:   MOV        A, #00010000B
        LCALL      LCDWI
        RET

CURR:   MOV        A, #00010100B
        LCALL      LCDWI
        RET

FUNSET: MOV        A, #00111000B ;FUNCTION SET
        LCALL      LCDWI
        RET

LCDINTS:
        PUSH       02H
        LCALL      LCDWI      ;LOAD ONE LINE
        MOV        R2, #16    ;16 CHAR.
LCDINTS1:
        MOV        A, @R0     ;DISPLAY BUFFER
        LCALL      LCDWD     ;WRITE DATA
        INC        R0
        DJNZ      R2, LCDINTS1
        POP        02H
        RET

LCDWI:  PUSH       DPH
        PUSH       DPL
        MOV        DPTR, #LCDWRC
        MOVX      @DPTR, A
        MOV        DPTR, #LCDRDC
        MOV        A, @DPTR   ;WAIT FOR BF=0
        JB        ACC.7, LCDWI1
        POP        DPL
        POP        DPH
        RET

LCDWD:  PUSH       DPH
        PUSH       DPL
        MOV        DPTR, #LCDWRD
        MOVX      @DPTR, A
        MOV        DPTR, #LCDRDC

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX      A,@DPTR      ;WAIT FOR BF=0
JB        ACC.7,LCDWD1
POP       DPL
POP       DPH
RET
DTSEC:    MOV          R3,#179
DTSEC1:   MOV          R4,#0
          DJNZ        R4,$
          NOP
          NOP
          DJNZ        R3,DTSEC1
          DJNZ        R2,DTSEC
          RET

```

```

;***** INTO *****
;PROGRAM INTERRUPT FROM INTO PIN

```

```

INTERO:  PUSH        ACC
          PUSH        B
          PUSH        00H
          PUSH        02H
          PUSH        03H
          PUSH        07H
          PUSH        DPH
          PUSH        DPL
          PUSH        PSW
          LCALL       KDELAY

```

```

;***** ABOUT LCD *****

```

```

MOV      R0,#RAIN+3
MOV      A,@R0
ADD      A,SIZEGAGE+1
LCALL   HTODL      ;HEX TO DECIMAL LOW BIT WITH CARRY
LCALL   HTODH      ;HEX TO DECIMAL HIGH BIT WITH CARRY
MOV      DISBUF+28,R2 ;WRITE TO LCD BUFFER
MOV      R0,#RAIN+2 ;ON NEXT POSITION
MOV      A,@R0
ADD      A,SIZEGAGE
LCALL   HTODL
LCALL   HTODH
MOV      DISBUF+25,R2
MOV      DISBUF+27,R3
MOV      R0,#RAIN+1 ;ON NEXT POSITION
MOV      A,@R0
LCALL   HTODL
LCALL   HTODH
MOV      DISBUF+23,R2
MOV      DISBUF+24,R3
MOV      R0,#RAIN
MOV      A,@R0
LCALL   HTODL
LCALL   HTOA
MOV      DISBUF+22,R3
LCALL   LCDSL2      ;LCD SHOW LINE2

```

```

;***** RATE *****

```

```

MOV      R7,#06H
RATE1:   MOV      R0,#DISBUF+46 ;ON NEXT POSITION
          MOV      A,@R0
          ADD      A,SIZEGAGE+1
          LCALL   HTODL
          LCALL   HTODH
          DJNZ    R7,RATE1
          MOV      DISBUF+41,R2
          MOV      R7,#06H

```

```

RATE2:   MOV      R0,#DISBUF+45 ;ON NEXT POSITION
          MOV      A,@R0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการแก้ไข ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ADD          A, SIZEGAGE
LCALL       HTODL
LCALL       HTODH
DJNZ       R7, RATE2
MOV        DISBUF+38, R2
MOV        DISBUF+39, R3
MOV        R7, #06H

RATE3: MOV    R0, #DISBUF+44      ;ON NEXT POSITION
MOV        A, @R0
LCALL     HTODL
LCALL     HTODH
DJNZ     R7, RATE3
MOV      DISBUF+37, R3

; ***** ABOUT DATA *****
INC      PULSE
POP      PSW
POP      DPL
POP      DPH
POP      07H
POP      03H
POP      02H
POP      00H
POP      B
POP      ACC
RETI

; ***** HEX TO DECIMAL LOW BIT WITH CARRY *****
HTODL: SWAP  A          ;CONVERT HEX TO DECIMAL WITH CARRY
CJNE    A, #9FH, IN1
SJMP    IN11
IN1:    JC    IN11
ADD     A, #61H      ;CARRY TO NEXT POSITION
IN11:   SWAP  A
RET

; ***** HEX TO DECIMAL HIGH BIT WITH CARRY *****
HTODH: CJNE  A, #9FH, IN2
SJMP    IN21
IN2:    JC    IN21
DEC     R0
MOV     B, @R0      ;CARRY TO NEXT POSITION
INC     B
MOV     @R0, B
INC     R0
ADD     A, #60H
IN21:   MOV   @R0, A
LCALL   HTOA        ;CONVERT HEX TO ASCII
RET

; ***** INT1 *****
;PROGRAM INTERRUPT FROM INT1 PIN
;SERIAL RS232 FOR LOAD DATA FROM RAM TO PC

INTER1: PUSH  PSW
        PUSH  07H
        PUSH  06H
        PUSH  05H
        PUSH  04H
        PUSH  03H
        PUSH  02H
        PUSH  01H
        PUSH  00H
        PUSH  ACC
        PUSH  DPL

```

```

PUSH          DPH
LCALL         KDELAY
MOV          A,STATUS          ;ON LCD
SETB        ACC.7
MOV         STATUS,A
MOV         TIMLCD,#02H
LCALL        DISPON

;*****INITIAL SERIAL*****
CLR         TR1                ;TR1 IS IN TCON
MOV         TMOD,#00100000B    ;SET TIMER1 MODE 2
MOV         TH1,#BRAT96       ;SET BAUDRATE 9600 BPS
MOV         TL1,#BRAT96
SETB        TR1                ;TIMER1 ON
ANL         PCON,#7FH         ;SMOD = 0
MOV         SCON,#01010000B   ;SERIAL 8 BIT UART MODE

; ***** SERIAL OUT *****
MOV         DPTR,#0000H        ;ADDRESS IN RAM
CLR         TI
MOV         SBUF,#'0'
JNB         TI,$
CLR         TI
MOV         SBUF,#'1'
JNB         TI,$
MOV         A,SIZEGAGE
LCALL        HTOA
CLR         TI
MOV         SBUF,R3
JNB         TI,$
MOV         A,SIZEGAGE+1
LCALL        HTOA
CLR         TI
MOV         SBUF,R2
JNB         TI,$
CLR         TI
MOV         SBUF,R3
JNB         TI,$
LCALL        SENDJU
SERIAL:

; ***** CHECK DATA *****
CH_DA: MOVX  A,@DPTR
        CJNE A,#0EEH,CH_COD
        SJMP IEND

CH_COD:CJNE A,#0F0H,CH_FC
DMYOUT:LCALL CRRET          ;*****
        LCALL LFEED        ;*****
        MOV   R7,#05H
        MOV   R3,DPH        ; KEEP ADDRESS
        MOV   R2,DPL
CHELO:  INC   DPTR          ; LOOP FOR CHECK CODE 'FA'
        MOVX  A,@DPTR
        CJNE A,#0FAH,COUNT
        SJMP IEND

COUNT: DJNZ  R7,CHELO
        MOV   DPL,R2        ; RETURN ADDRESS
        MOV   DPH,R3
        INC   DPTR        ; SEND DATE,MONTH,YEAR AND TIME
        LCALL DOUT
        LCALL SENDST
        INC   DPTR
        LCALL DOUT
        LCALL SENDST
        INC   DPTR

```

```

LCALL      DOUT
LCALL      SENDSP
INC        DPTR
LCALL      DOUT
LCALL      SENDSEMI
INC        DPTR
LCALL      DOUT
LCALL      SENDJU
LCALL      CRRET
LCALL      LFEED
INC        DPTR
LJMP      SERIAL

CH_FC: CJNE      A, #0FCH, CH_FA
      SJMP      DMYOUT

CH_FA: CJNE      A, #0FAH, CH_DA1 ;*****CH_DA1 => CH_FF
      SJMP      IEND

CH_DA1: LCALL     DOUT
      LCALL     SENDJU
      INC      DPTR
      LJMP     SERIAL

IEND:  MOV      DISBUF+6, #' '
      MOV      DISBUF+7, #'T'
      MOV      DISBUF+10, #' ':
      MOV      DISBUF+13, #' ':
      POP      DPH
      POP      DPL
      POP      ACC
      POP      00H
      POP      01H
      POP      02H
      POP      03H
      POP      04H
      POP      05H
      POP      06H
      POP      07H
      POP      PSW
      RETI

; ***** DATA OUT *****

DOUT:  CLR      TI
      MOVX     A, @DPTR
      LCALL    HTOA ;CONVERT DATA HEX TO ASCII
      MOV      SBUF, R2 ;MOVE DATA TO SBUF
      JNB     TI, $
      CLR     TI
      MOV      SBUF, R3
      JNB     TI, $
      RET

; ***** SEND SEMICOLON *****

SENDSEMI:
      CLR      TI ;SEND ':'
      MOV      SBUF, #' ':
      JNB     TI, $
      RET

; ***** SEND CODE , *****

SENDJU: CLR      TI ;SEND ', '
      MOV      SBUF, #' ',
      JNB     TI, $

```

```
; ***** SEND CODE / *****
```

```
SENDST: CLR      TI
          MOV      SBUF, #'/'
          JNB      TI, $
          RET
```

```
; ***** CARRAIGE RETURN *****
```

```
CRRET: CLR      TI
          MOV      SBUF, #0DH
          JNB      TI, $
          RET
```

```
; ***** LINE FEED *****
```

```
LFEED: CLR      TI
          MOV      SBUF, #0AH
          JNB      TI, $
          RET
```

```
; ***** SEND CODE ' ' *****
```

```
SENDSP: CLR     TI
          MOV     SBUF, #' '
          JNB     TI, $
          RET
```

```
INTER11:
```

```
  PUSH  PSW
  PUSH  07H
  PUSH  06H
  PUSH  05H
  PUSH  04H
  PUSH  03H
  PUSH  02H
  PUSH  01H
  PUSH  00H
  PUSH  ACC
  PUSH  DPL
  PUSH  DPH
  LCALL KDELAY
  MOV   A, STATUS ;ON_LCD
  SETB ACC.7
  MOV   STATUS, A
  MOV   TIMLCD, #02H
  LCALL DISPON
```

```
;*****INITIAL SERIAL*****
```

```
  CLR      TR1 ;TR1 IS IN TCON
  MOV      TMOD, #00100000B ;SET TIMER1 MODE 2
  MOV      TH1, #BRAT96 ;SET BAUDRATE 9600 BPS
  MOV      TL1, #BRAT96
  SETB     TR1 ;TIMER1 ON
  ANL     PCON, #7FH ;SMOD = 0
  MOV     SCON, #01010000B ;SERIAL 8 BIT UART MODE
  MOV     DPTR, #6BEEH
  MOV     R7, #0FFH
```

```
TOY:  LCALL  DOUT
      INC   DPTR
      DJNZ  R7, TOY
      MOV  DISBUF+6, #' '
      MOV  DISBUF+7, #'T'
      MOV  DISBUF+10, #' ': '
      MOV  DISBUF+13, #' ': '
      POP  DPH
      POP  DPL
```

POP	ACC
POP	00H
POP	01H
POP	02H
POP	03H
POP	04H
POP	05H
POP	06H
POP	07H
POP	PSW
RETI	

END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.

CCIR TROPOSPHERIC SCINTILLATION MODEL

ในภาคผนวกนี้จะแสดงรายละเอียดที่ละเอียดของ CCIR tropospheric scintillation model โดยการสมมุติชั้นเทอร์โมสเฟียร์บางๆ ที่ความสูงเฉลี่ย 1 กิโลเมตร และประมาณค่าที่ได้จากการสังเกตเพื่อกำหนดการแกว่งขึ้นๆ ลงๆ ของแอมพลิจูดจากทฤษฎีเทอร์โมสเฟียร์ที่ใช้เป็นแบบจำลอง

แบบจำลองกำหนดการเบี่ยงเบนมาตรฐานของล็อกการรบกวนของกำลังงานรับ ซึ่งเป็นการวัดของค่า r.m.s. ของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของคลื่นที่ส่งผ่านบนเส้นทางดาวเทียม แบบจำลองสามารถใช้ได้กับทุกๆ มุมเงย และใกล้เคียงกับการวัดที่ความถี่ถึง 30 กิโลเฮิรตซ์

ตัวแปรอินพุตที่ต้องการ

เส้นผ่าศูนย์กลางงานสายอากาศ (เมตร)

ความถี่ที่ใช้งาน (กิกะเฮิรตซ์)

มุมเงย θ (องศา)

ขั้นที่ 1 กำหนด L เป็นความยาว slant path ในแนวเฉียงสู่ชั้นบรรยากาศเทอร์โมสเฟียร์ที่บางๆ ในแนวนอน หาได้จาก

$$L = \left[\sqrt{0.017 + 72.25 \sin^2 \theta - 8.5 \sin \theta} \right] \times 10^6 \quad (\text{ง-1})$$

ขั้นที่ 2 กำหนดตัวแปร z จาก

$$z = 0.685 \frac{D}{\sqrt{\frac{L}{f}}} \quad (\text{ง-2})$$

ขั้นที่ 3 กำหนดแฟคเตอร์เฉลี่ยที่ขึ้นอยู่กับอะพอร์เจอร์ของงานสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(z) = \begin{cases} 1.0 - 1.4z, & 0 < z < 0.5 \\ 0.5 - 0.4z, & 0.5 < z < 1 \\ 0.1 & 1 < z \end{cases} \quad (ง-3)$$

ขั้นที่ 4 ค่า r.m.s ของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน σ_x

$$\sigma_x = 0.025 f^{7/12} [\csc \theta]^{0.85} [G(z)]^{1/2} \quad (ง-4)$$

ตัวอย่างการคำนวณของดาวเทียมไทยคม

$$D = 0.50 \text{ เมตร}$$

$$f = 12.594 \text{ กิกะเฮิรตซ์}$$

$$\theta = 59.9^\circ$$

ขั้นที่ 1

$$L = \left[\sqrt{0.017 + 72.25 \sin^2 59.9} - 8.5 \sin 59.9 \right] \times 10^6 \\ = 1156 \text{ เมตร}$$

ขั้นที่ 2

$$z = 0.685 \frac{0.5}{\sqrt{1156}} = 0.0357$$

ขั้นที่ 3

$$G(z) = 1.0 - 1.4(0.0357) = 0.95$$

ขั้นที่ 4

$$\sigma_x = 0.025 (12.594)^{7/12} [\csc 59.9]^{0.85} [0.95]^{1/2} \\ = 0.12 \text{ เดซิเบล}$$

ค่า r.m.s ของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันคำนวณด้วยแบบจำลองควอ

ไรต์คาบเดการทดลองที่ยาวนาน (หลายๆ เดือน) ซึ่งจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

พื้นฐานการวิเคราะห์สำหรับการแสดงค่า aR^b ของการลดทอนเนื่องจากฝน

การลดทอนเฉพาะเกิดจากฝนบนเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นถูกประมาณด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$\alpha \left(\frac{\text{เดซิเบล}}{\text{กิโลเมตร}} \right) = aR^b \quad (\text{จ-1})$$

เมื่อ R คือ อัตราการตกของฝน (มม./ชม.) และ a และ b เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิ ในภาคผนวกนี้พื้นฐานการวิเคราะห์สำหรับความสัมพันธ์นี้ถูกพัฒนาจากการอธิบายขั้นสูงของการลดทอนเนื่องจากฝนบนเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น

การพิจารณาการลดทอนเฉพาะในเทอมของการลดทอนภาคตัดขวาง Q_t และการกระจายขนาดเม็ดฝน $n(r)$ ได้จากสมการ 4.22

$$\alpha \left(\frac{\text{เดซิเบล}}{\text{กิโลเมตร}} \right) = 4.343 N_0 \int Q_t(r, \lambda, m) e^{-\beta r} dr \quad (\text{จ-2})$$

เมื่อดูจากสมการ 4.21 จะได้

$$B = cR^{-d}$$

ในสมการเหล่านี้ Q_t เป็นการลดทอนที่ภาคตัดขวาง, r เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน, λ เป็นความยาวคลื่น, m เป็นค่าดัชนีการหักเหของเม็ดฝน, R เป็นอัตราการตกของฝน (มม./ชม.), และ N_0 , c และ d เป็นค่าคงที่ที่ได้จากการสังเกต

การลดทอนที่ภาคตัดขวางนำมาจากสมการที่ 4.18

$$Q_t = \frac{\lambda^2}{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \text{Re} [a_n + b_n] \quad (\text{จ-3})$$

ในขอบเขตที่ $2\pi r \ll \lambda$ คือที่สภาวะการแตกกระจายคลื่นของ Rayleigh นำมาประยุกต์ใช้กับ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a_1 \cong \frac{i}{4S} (m^2 - 1) \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right)^5 + \dots$$

$$b_1 = -\frac{2}{3} i \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right)^3 + \frac{1}{15} i \frac{m^4 - 1}{m^2 + 2} \left(\frac{2\pi r}{\lambda} \right)^5 + \dots$$

มีเพียงเทอมแรกของ b_1 เท่านั้นที่สำคัญเมื่อเทียบกับเทอมอื่น ดังนั้น

$$Q_i = \frac{\lambda}{2\pi} 3 \operatorname{Re} b_1$$

หรือ

$$Q_i = \frac{8\pi^2}{\lambda} r^3 \operatorname{Im} \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \quad (\text{จ-4})$$

เมื่อ Re เป็นส่วนจริง และ Im เป็นส่วนจินตภาพ

เมื่อกำจัดค่า Q_i ออกจากสมการ โดยนำสมการ จ-4 แทนลงใน จ-2

$$\alpha = 4.343 N_0 \frac{8\pi^2}{\lambda} \left[\operatorname{Im} \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right] \int_0^\infty r^3 e^{-B r} dr \quad (\text{จ-5})$$

ค่าอินทิกรัลจะมีค่าเท่ากับ

$$\int_0^\infty r^3 e^{-B r} dr = \frac{6}{B^4} - \frac{1}{B} r^3 e^{-B r} \quad (\text{จ-6})$$

ค่าที่เหมาะสมของอัตราการตกของฝน R และ ขนาดเม็ดฝน r ด้วยการสมมุติการกระจายขนาดเม็ดฝน เทอมสองในการอินทิกรัลจะถูกตัดทิ้งเมื่อเปรียบเทียบกับเทอมแรกแสดงในตารางที่ จ-1

อินทิกรัลลดรูปเป็น $6/A^4$ และสมการที่ จ-5 จะกลายมาเป็น

$$\alpha = \frac{4.343 N_0 48\pi^2 \operatorname{Im} \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}}{\lambda c^4} R^{4d}$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ $\alpha = \frac{a}{R^b}$ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ปร (จ-7) บนด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ-1 การเปรียบเทียบเทอมในการอินทิกรัล

$$\int_0^{\infty} r^3 e^{-B r} dr = \frac{6}{B^4} - \frac{1}{B} r^3 e^{-B r}$$

\uparrow \uparrow
 เทอม 1 เทอม 2

$B = 820R^{-2.1}$ (การกระจายเม็ดฝนของ Marshall-Palmer)

อัตราการตกของฝน (มม./ชม.)	รัศมีของเม็ดฝน (มม.)	เทอม 1	เทอม 2
0.25	0.25	2.28×10^{-2}	1.74×10^{-16}
	0.75		7.08×10^{-39}
	1.25		4.9×10^{-62}
1	0.25	7.31×10^{-2}	2.38×10^{-13}
	0.75		1.00×10^{-29}
	1.25		7.27×10^{-47}
10	0.25	0.566	1.01×10^{-9}
	0.75		2.84×10^{-19}
	1.25		1.37×10^{-29}
25	0.25	1.09	1.11×10^{-8}
	0.75		2.62×10^{-18}
	1.25		1.06×10^{-24}
50	0.25	1.96	5.27×10^{-8}
	0.75		2.10×10^{-18}
	1.25		1.43×10^{-21}
100	0.25	3.50	2.066×10^{-7}
	0.75		9.48×10^{-11}
	1.25		7.45×10^{-19}
200	0.25	6.27	6.87×10^{-7}
	0.75		2.6×10^{-11}
	1.25		1.69×10^{-16}

เมื่อ

$$a = \frac{4.343 N_0 \ 48\pi^2 \ \text{Im} \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2}}{\lambda \ c^4} \tag{จ-8}$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$b = 4d \tag{จ-9}$$

ภาคผนวก จ.

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. “การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku”, การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 , หน้า 285-289, 22-24 พฤศจิกายน 2538.
2. “การวัดการเปลี่ยนแปลงจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์โดยใช้ดาวเทียม GPS”, การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 , หน้า 290-295, 22-24 พฤศจิกายน 2538.
3. “Ionospheric Total Electron Content Observation with the GPS chain in THAILAND during the October 24, 1995 Total Solar Eclipse”, Workshop for data comparison and results for the October 24, 1995 Total Solar Eclipse , pp. 51-54, May 6-8, 1996, Taiwan.
4. “การศึกษาและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่าน Ku”, การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 , หน้า 19-23 , 7-8 พฤศจิกายน 2539.
5. “การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ขณะเกิดปรากฏการณ์สุริยุปราคา”, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 35 หน้า 362-368 , กุมภาพันธ์ 2540.
6. “The Characteristics of C-band Satellite Signal at Low Elevation Propagation”, Proceeding of the 1997 Thailand-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation , May 21-22, pp. 3-10, KMITL, Thailand.
7. “The Characteristics of Satellite Signal in Ku-band measured from THAICOM”, Proceeding of the 1997 Thailand-Japan Joint Symposium on Antennas and Propagation , May 21-22, pp. 11-19, KMITL, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นาย สุรศักดิ์ กฤษดาภาณิชย์
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2515
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถานที่สำเร็จการศึกษา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2537
รางวัลหรือทุนที่เคยได้รับ	ทุนสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ (ส.ว.ท.ช.) บัณฑิตวิทยาลัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้