

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง
การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน
ของสัญญาณดาวเทียม
AMPLITUDE SCINTILLATION OF
SATELLITE SIGNALS

หนังสืออ้างอิง
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด



นาย วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
MR. WISUIT ATIPORNTHUM

เลขหมู่
เลขทะเบียน 19824
วัน, เดือน, ปี 18 ส.ค. 2536

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2536

ISBN 974 - 621 - 017 - 3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AMPLITUDE SCINTILLATION OF
SATELLITE SIGNALS



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

1993

ISBN 974 - 621 - 017 - 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เสนอผลการวิเคราะห์เรื่องการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่าง กระทั่งหันของสัญญาณดาวเทียม ในด้านลักษณะ, จำนวนครั้งและปริมาณที่เกิดขึ้นในช่วง เวลาแต่ละวัน, แต่ละเดือนและแต่ละฤดูกาล เพื่อเปรียบเทียบและค้นหาว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นมากที่สุด ในช่วงใดและมีลักษณะอย่างไร โดยการรับและบันทึกสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชัน ทางแนวตั้งและแนวนอน กับสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku อย่างพร้อมกันและต่อเนื่องตลอดการทดลอง นี้ เพื่อเปรียบเทียบในกรณีที่มีความถี่, โพลาริเซชันและมุมเงยของจานสายอากาศที่ต่างกัน หลัก การวิเคราะห์เบื้องต้นที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เพื่อแยกผลที่เกิดขึ้น ในสัญญาณทั้งสามว่ามาจากชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์หรือชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ คือค่าดัชนี S_u ซึ่งแสดงเป็นค่าปริมาณการ เปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทั่งหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ด้วย และต้อง อาศัยการพิจารณาจาก ลักษณะสัญญาณที่บันทึกได้และคุณสมบัติของชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์และ ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ประกอบกัน ในแต่ละช่วง เวลาที่เกิดปรากฏการณ์นี้ จากผลการวิ เคราะห์ที่ได้ พบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด อย่างกระทั่งหันในสัญญาณดาวเทียมย่าน C ทั้งสอง โพลาริเซชันมากกว่าย่าน Ku ในลักษณะมีการ ชันลงแบบมีสัดส่วนกันอย่างรวดเร็วจากระดับปกติทางขนาดของสัญญาณ และพบว่าจำนวนครั้งและ ปริมาณการเปลี่ยนแปลงนี้ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 07.00 น. จะมากกว่าช่วง เวลาอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับเป็นช่วงเวลากการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศชั้นนี้ เอง ในขณะที่พบว่าชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด อย่างกระทั่งหัน ในลักษณะมีการชันลงแบบไม่มีสัดส่วนกันอย่างรวดเร็วจากระดับปกติทางขนาดของ สัญญาณดาวเทียมในย่าน C แบบโพลาริเซชันทางแนวนอนมากกว่าสัญญาณโพลาริเซชันทางแนว ตั้งและสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku โดยมีจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นมากที่สุดในช่วง เวลาที่สอดคล้องกับช่วง เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหในชั้นบรรยากาศนี้มากที่สุด คืออยู่ในช่วงเวลาประมาณ 07.00 ถึง 19.00 น. ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทั่งหันในขณะมีฝนตก พบว่า สัญญาณดาวเทียมทั้งสามนี้จะถูกลดทอนลง พร้อมกับมีการเปลี่ยนแปลงชันลงอย่างรวดเร็วทางขนาด อันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศด้วย โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กัช่วงเวลาว่าชั้นบรรยากาศ ใดมีผลมากกว่า และจากการใช้วิธีการพยากรณ์ทางสถิติด้วยรูปแบบจำลอง SAM และ CCIR แล้ว เปรียบเทียบกับผลการลดทอนในสัญญาณที่บันทึกได้ พบว่าค่าการลดทอนที่ได้จะใกล้เคียงกัน โดยค่า การลดทอนนั้นพบว่าขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝนและความถี่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

This thesis presents the analyzed results of amplitude scintillation characteristic, occurrence number and quantitatively of satellite signals. The comparison between scintillation of C band in vertical and horizontal polarization and Ku band satellite signals which received and recorded were continue in each periods. Using the S_4 index and discussion from the recorded signals and atmospheric characteristic to classify the scintillation effects is ionospheric or tropospheric effects. We found from the analyzed results that the ionospheric amplitude scintillation characteristic is the symmetrical waveform fluctuation, and both the polarization of C band satellite signals is more occurrence number than Ku band satellite signal, by maximum in the period from 7 p.m. to 7 a.m. on the next day. While the tropospheric amplitude scintillation characteristic is the unsystematic waveform fluctuation, and the horizontal polarization of C band signal is more occurrence number than other satellite signals, by maximum in the period from 7 a.m. to 7 p.m.. The amplitude scintillation characteristic of satellite signals in rainfall is the attenuation and fluctuation in the signals level. We found from comparison between the SAM and CCIR model with the recorded signals that the attenuated level of satellite signals is depending on the rainfall rates and frequencies.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ก็เพราะความกรุณาและความอนุเคราะห์ต่างๆ จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง แต่

1) รศ. ณรงค์ เหมกรณ์ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์นี้ ที่กรุณาให้แนวความคิดวิทยานิพนธ์, หลักการวิเคราะห์, คำปรึกษา, แนะนำและช่วยเหลือทุกๆ ด้าน ตลอดมา

2) หัวหน้าภาควิชาและอาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่กรุณาในด้านอุปกรณ์, เครื่องมือ, ชี้แนวทางเพิ่มเติม ทั้งในคำปรึกษา เอกสารและบทความวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้

3) รศ. โยชิอากิ โมริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยโตโก ประเทศญี่ปุ่น ที่กรุณาให้คำแนะนำด้านหลักการและเทคนิคการวัด

4) หัวหน้าภาควิชาและอาจารย์ทุกท่านของภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ที่กรุณาในด้านอุปกรณ์, เครื่องมือ, สถานที่ทำการทดลองเพิ่มเติม รวมทั้ง เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมอุปกรณ์ในการประมวลผลข้อมูลและจัดพิมพ์ เอกสารต่างๆ

5) กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กทม. ที่กรุณาให้ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และแนะแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติม มาตลอดการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์	2
1.3 หลักการวิเคราะห์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์	3
1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม	6
2.1 บทนำ	6
2.2 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม	8
บทที่ 3 การทดลองรับและวิเคราะห์ระดับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม	10
3.1 บทนำ	10
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	10
3.3 แนวทางการวิเคราะห์ระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม	15
บทที่ 4 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์	19
4.1 บทนำ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.2 ลักษณะทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียส์	19
4.3 การวิเคราะห์หาจำนวนครั้งและปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด อย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์ โดยใช้ S index	20
4.4 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจาก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์ที่เกิดขึ้นในย่าน C กับ Ku	47
บทที่ 5 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ โทร โฟส เฟียส์	53
5.1 บทนำ	53
5.2 ลักษณะทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ โทร โฟสเฟียส์	54
5.3 การวิเคราะห์หาจำนวนครั้งและปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด อย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทร โฟสเฟียส์ โดยใช้ CCIR Tropospheric Scintillation Model	54
5.4 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจาก ชั้นบรรยากาศโทร โฟสเฟียส์ที่เกิดขึ้นในย่าน C กับ Ku	61
บทที่ 6 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากฝนตก	73
6.1 บทนำ	73
6.2 ลักษณะทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเนื่องจากฝนตก	73
6.3 การวิเคราะห์หาระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนตก ด้วยวิธี SAM และ CCIR	74
6.4 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจาก ฝนตกที่เกิดขึ้นในย่าน C กับ Ku	91
บทที่ 7 บทสรุป	94

ภาคผนวก	102
- ภาคผนวก ก. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GWBASIC คำนวณหาค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์	102
- ภาคผนวก ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GWBASIC คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียส์	112
- ภาคผนวก ค. รูปแสดงตำแหน่งดาวเทียมดวงต่างๆ ในย่าน ITU ที่ 3	115
- ภาคผนวก ง. รูปแสดงบีมคลื่นของดาวเทียม Palapa-B2P	117
- ภาคผนวก จ. รูปแสดงบีมคลื่นของดาวเทียม Asiasat	119
- ภาคผนวก ฉ. รูปแสดงบีมคลื่นของดาวเทียม BS-3a	121
- ภาคผนวก ช. หนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูล	123
ประวัติผู้เขียน	126

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ ที่สำคัญเกี่ยวกับการทดลอง	15
ตารางที่ 6.1 อัตราการตกของฝนในเปอร์เซ็นต์ของเวลาค่าต่างๆ ในบริเวณทำการทดลอง	85
ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (dB) ทั้งสาม ที่วิเคราะห์จากวิธีต่างๆ เมื่อมีฝนตกในอัตราการตกเท่ากับ 33.7 มม./ชั่วโมง ในช่วงเวลาประมาณ 07.00น. ของวันที่ 22 มีค. 2536	93



สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 3.1	บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด	11
รูปที่ 3.2	ภาพถ่ายเครื่องรับสัญญาณทั้งหมดและเครื่องบันทึกสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง	11
รูปที่ 3.3	ภาพถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณขณะทำการบันทึกสัญญาณทั้ง 3 ช่องพร้อมกัน	12
รูปที่ 3.4	ภาพถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณย่าน Ku	12
รูปที่ 3.5	ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบตะแกรงขนาด $\Phi = 3$ เมตร	13
รูปที่ 3.6	ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบทึบขนาด $\Phi = 1.8$ เมตร	13
รูปที่ 3.7	ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบทึบขนาด $\Phi = 1.8$ เมตร	14
รูปที่ 3.8	ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบทึบขนาด $\Phi = 2.4$ เมตร	14
รูปที่ 3.9	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม	16
รูปที่ 3.10	คุณสมบัติของภาค AGC ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้	17
รูปที่ 4.1	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์	23
รูปที่ 4.2 (ก)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาไรเซชันทางแนวตั้ง	24
รูปที่ 4.2 (ข)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาไรเซชันทางแนวตั้ง	25
รูปที่ 4.2 (ค) และ (ง)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาไรเซชันทางแนวตั้ง	26
รูปที่ 4.2 (จ) และ (ฉ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาไรเซชันทางแนวตั้ง	27
รูปที่ 4.2 (ช)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาไรเซชันทางแนวตั้ง	28
รูปที่ 4.2 (ซ) และ (ฅ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาไรเซชันทางแนวตั้ง	29

รูปที่ 4.3	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง	30
รูปที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงของชั้นต่างๆ ภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	30
รูปที่ 4.5	การเปลี่ยนแปลงค่า N_{max} ของชั้นบรรยากาศ F_1 และ F_2	34
รูปที่ 4.6 (ก)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	35
รูปที่ 4.6 (ข) และ (ค)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	36
รูปที่ 4.6 (ง)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	37
รูปที่ 4.6 (จ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	38
รูปที่ 4.6 (ฉ) และ (ช)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	39
รูปที่ 4.6 (ซ) และ (ฅ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	40
รูปที่ 4.7	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน	41
รูปที่ 4.8 (ก)	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_4 \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน	42
รูปที่ 4.8 (ข) และ (ค)	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_4 \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน	43

รูปที่ 4.8 (ง) และ (จ)	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_d \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน	44
รูปที่ 4.8 (ฉ) และ (ช)	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_d \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน	45
รูปที่ 4.8 (ซ) และ (ฅ)	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_d \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน	46
รูปที่ 4.9	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเฉลี่ยในแต่ละเดือน	47
รูปที่ 4.10	ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_d \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน Ku ในเดือนต่างๆ	48
รูปที่ 4.11	อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536	49
รูปที่ 4.12	ปริมาณเมฆที่ปรากฏบนท้องฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536	49
รูปที่ 4.13	ปริมาณฝนตกรวมในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536	50
รูปที่ 4.14	ความดันไอน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2535 ถึง 2536	51
รูปที่ 4.15	ความดันบรรยากาศเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536	52
รูปที่ 4.16	ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536	52
รูปที่ 5.1	การเปลี่ยนแปลง ในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพเฟียร์ในแต่ละเดือน	57
รูปที่ 5.2 (ก)	การเปลี่ยนแปลง ในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพเฟียร์ ในเดือนพฤศจิกายนและธันวาคม 2535	58
รูปที่ 5.2 (ข)	การเปลี่ยนแปลง ในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพเฟียร์ ในเดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ 2536	59
รูปที่ 5.2 (ค)	การเปลี่ยนแปลง ในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพเฟียร์ ในเดือนมีนาคม ถึง กรกฎาคม 2536	60
รูปที่ 5.3 (ก)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	61
รูปที่ 5.3 (ข)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมใน	62

รูปที่ 5.3 (ค)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	63
รูปที่ 5.3 (ง)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	64
รูปที่ 5.3 (จ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	65
รูปที่ 5.3 (ฉ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	66
รูปที่ 5.3 (ช) และ (ซ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	67
รูปที่ 5.3 (ฅ)	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	68
รูปที่ 5.4	จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน	68
รูปที่ 5.5	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์	69
รูปที่ 6.1	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมในสภาพ ก) อากาศปลอดโปร่ง, ข) และ ค) ในขณะมีฝนตกในช่วงกลางวันและกลางคืน	75
รูปที่ 6.2	การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณที่บันทึกได้ขณะมีฝนตก	76
รูปที่ 6.3	ภาพทางเรขาคณิตแสดงความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คำนวณค่าการลดทอนเนื่องจากฝนด้วยวิธี SAM MODEL (C และ Ku คืองานสายอากาศรับสัญญาณ, 2 ย่านนี้)	79
รูปที่ 6.4 (ก)	ผลการวิเคราะห์ค่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน C (3.84 GHz) ที่เปอร์เซ็นต์ของ เวลาต่างๆ	86

รูปที่ 6.4 (ข)	ผลการวิเคราะห์ค่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน C (3.90 GHz) ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ	87
รูปที่ 6.4 (ค)	ผลการวิเคราะห์ค่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku (11.765 GHz) ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ	88
รูปที่ 6.5	ผลการวิเคราะห์ค่าระดับสัญญาณลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่อัตราการตกของฝนต่างๆ ของสัญญาณย่าน C (3.85075 GHz) เมื่อ 27 กย. 2533	90
รูปที่ 6.6	การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณที่บันทึกได้ขณะมีฝนตก	92
รูปที่ 7.1	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในสภาพอากาศปลอดโปร่งของสัญญาณดาวเทียม (ก) ย่าน Ku, (ข) ย่าน C	97



บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม เป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งที่โดยปกติจะไม่มีกล่าวถึงมากนัก แต่ได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางแล้วทั้งในประเทศและต่างประเทศพบว่าปรากฏการณ์นี้จะเป็นผลเสียต่อระบบการสื่อสารระหว่างอวกาศกับภาคพื้นดิน จึงได้มีการกำหนดไว้เป็นตัวแปรตัวหนึ่งในการออกแบบระบบ โดยการเผื่อค่าไว้ชดเชยกับค่าระดับสัญญาณที่อาจเพิ่มหรือลดลงเกินจากระดับปกติที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์นี้เช่นเดียวกับตัวแปรอื่นๆ ที่เกิดขึ้นในการแพร่กระจายคลื่นในระบบการสื่อสารแบบนี้ เช่น การลดทอนเนื่องจากสิ่งที่เป็นก๊าซในชั้นบรรยากาศ (เช่น ออกซิเจน และ ไอน้ำ), การลดทอนเนื่องจากของเหลวหรือของแข็ง (เช่น ฝน, หมอก, หิมะ, น้ำแข็ง), การตีโพลาไรเซชันของคลื่น, สิ่งรบกวนวิทยุต่างๆ, การเปลี่ยนแปลงในมุมหรือทิศทางของคลื่นที่มาถึงจุดรับ, ผลในทางความกว้างความถี่, การลดลงในอัตราขยายของสายอากาศเนื่องจากฝน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันพบที่เกิดขึ้นในบางครั้งบางคราว ไม่สม่ำเสมอ เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์นี้ โดยทั่วไปจึงมีการพิจารณาผลของปรากฏการณ์นี้ที่เกิดขึ้น ในลักษณะเป็นตัวแปรลำดับที่สอง โดยเฉพาะ สำหรับการเชื่อมโยงการสื่อสารผ่านอวกาศ [1, 2, 3]

ระบบการสื่อสารดาวเทียมเป็นระบบที่ลำคลื่นของสัญญาณต้องส่งผ่านอวกาศซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มีคุณสมบัติค่าดัชนีการหักเห และมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะภายในแต่ละชั้นแตกต่างกันหลายชั้นในระยะความสูงต่างๆ ตลอดความยาวของเส้นทางระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียมที่อยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 35,860 กิโลเมตร แต่ชั้นบรรยากาศที่มีการค้นพบว่าเป็นชั้นที่มีความสำคัญต่อการแพร่กระจายคลื่นดาวเทียม เช่น ชั้นบรรยากาศโทร โฟสเฟียส, ชั้นบรรยากาศไอ ไอ โนสเฟียส ซึ่งจากที่สัญญาณดาวเทียมต้องเดินทางผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีการหักเหและองค์ประกอบภายในที่แตกต่างกันและมีการเปลี่ยนแปลงอย่าง ไม่สม่ำเสมอ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางเฟสและขนาดของคลื่นสัญญาณนั้นๆ ได้

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของคลื่นสัญญาณความถี่หนึ่งๆ ถ้าเราค้นพบได้จะเป็นประโยชน์อย่างมากทั้งการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์นี้ในความเป็นจริง การศึกษาวิจัยในเรื่องนี้เคยมีการทำวิจัยมาแล้วอย่างมากมายและกว้างขวาง และมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่สรุปได้ในทางวิศวกรรมการเชื่อมโยงทางวิทยุความถี่นั้นๆ เช่นเดียวกับการศึกษาเรื่องรีโมตเซ็นซิงของชั้นบรรยากาศ [1, 2] ที่มีการศึกษาวิจัยและนำไปใช้งานกันอย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นดาวเทียมทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาย ดัง เช่นการออกแบบการเชื่อมโยงด้วยคลื่นไมโครเวฟและคลื่นมิลลิเมตรที่ต้องมีการกำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่จะเกิดขึ้นไว้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะระบบที่มีค่ามาร์จินหรือค่าเผื่อไว้ต่ำ, เมื่อสายอากาศที่ใช้มีขนาดเล็ก และเมื่อมุมเงยต่ำ และยังใช้เป็นข้อมูลในการคาดหมายเงื่อนไขที่จะเกิดเสียหายได้ในการปฏิบัติงานของส่วนการควบคุมกำลัง และในเทคนิคการกวดการสอดแทรกในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณเกิดขึ้นอย่างรุนแรง อีกทั้งในเทคนิครีโมตเซ็นซิงที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบันนี้เอง ก็มีจุดประสงค์และทดสอบโดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของคลื่นย่านไมโครเวฟและมิลลิเมตร เพื่อใช้แก้ไขตัวแปรทางอุทกนิยมวิทยา ดังเช่น ความเร็วลม, ความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างไกลาผลของชั้นบรรยากาศหรือเรียกว่า ชั้นบรรยากาศแบบเทอร์โมวลิ้นท์ เป็นต้น [1,2]

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรายงานผลวิจัย โดยการทดลอง, การศึกษาและการวิเคราะห์ ลักษณะและค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku โดยในส่วนสัญญาณย่าน C ทำการวิจัยใน 2 รูปแบบโพลาริเซชัน คือ แบบแนวนอนและแนวตั้ง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างการเกิดปรากฏการณ์ในสัญญาณดาวเทียมย่านที่ใช้กันมากในการสื่อสารผ่านดาวเทียมคือย่าน C และ Ku โดยในการทำการทดลองวิจัยจะทำการรับสัญญาณและบันทึกลักษณะและค่าระดับสัญญาณทั้ง 2 ย่านนี้รวม 3 ช่องสัญญาณพร้อมกันและอย่างต่อเนื่องตลอดการทำวิจัยนี้ แล้วแยกพิจารณาเป็นแต่ละกรณี โดยอาศัยคุณสมบัติธรรมชาติของการปรากฏและผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม ของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่ในเส้นทางของสัญญาณทั้งสาม และอาศัยการพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงในระดับสัญญาณที่บันทึกไว้ ในช่วงเวลาแต่ละวัน, แต่ละเดือน, แต่ละช่วงฤดูกาล ที่แตกต่างกันไปแต่ละกรณีรวมทั้งพิจารณาจากสภาพอากาศของสถานที่ทำการทดลองนี้ว่ามีสภาพอย่างไรฝนตกหรือไม่ ซึ่งผลการวิจัยที่จะได้รับนี้ จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อระบบการสื่อสารดาวเทียมที่อีกไม่นานในราวปลายปี 2536 ประเทศไทยเราก็จะมีดาวเทียมเป็นของเราเองที่มีชื่อว่า THAIKOM โดยการวิจัยในที่นี้สิ่งที่ได้รับคือ ทำให้เราทราบถึงคุณลักษณะและความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku ที่เกิดขึ้นในบริเวณทำการทดลอง ซึ่งพบว่าขึ้นอยู่กับเวลาในแต่ละวันที่สอดคล้องกับการมีและไม่มีของชั้นบรรยากาศที่สำคัญต่อการสื่อสาร, ฤดูกาล, ความถี่, มุมเงย และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจานสายอากาศที่ได้รับคลื่นความถี่นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 หลักการวิเคราะห์ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์

เนื่องจากสัญญาณดาวเทียมที่เราทำการรับและบันทึกทางกระตาศกราฟตลอดเวลานั้น โดยปกติจะมีระดับการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ทางแอมพลิจูดในช่วง 0 ถึง 0.5 dBp-p ซึ่งถือว่าเป็นระดับปกติ อันเนื่องมาจากการเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกันหลายชั้น และการเคลื่อนที่ของตัวดาวเทียม เราจึงมีหลักการวิเคราะห์โดยการจำกัดค่าการเปลี่ยนแปลงที่จะนำมาวิเคราะห์เฉพาะในกรณีที่ระดับของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.5 dB. ขึ้นไป และเลือกกรณีที่เกิดขึ้นนานตั้งแต่ 5 นาทีขึ้นไปเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการลดทอนจากสาเหตุต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่องนี้ได้ และหลักการนับจำนวนครั้งของการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน ก็อาศัยการพิจารณาจากลักษณะสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงในระดับและเป็นเวลาต่อเนื่องกันดังกำหนดไว้ข้างต้นนับเป็น 1 ครั้งที่เกิด แล้วนับสะสมทีละ 1 ชั่วโมง (ซึ่งใน 1 ชั่วโมงใดๆ จะมีจำนวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันได้มากที่สุด 12 ครั้ง นั่นเอง)

หลักการแยกผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันว่า เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์หรือไอโอโนสเฟียร์โดยอาศัยสมการ S index [3] ซึ่งสมการนี้ใช้หาค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ด้วย ดังนี้

$$S_d = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (1.1)$$

เมื่อ σ_x = การเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังที่รับได้
 m_x = ค่าเฉลี่ยของกำลังที่รับได้

ซึ่งเราสามารถสรุปได้ว่า การเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีความสัมพันธ์ระหว่าง S index กับความถี่ [4] ดังนี้

$$\begin{aligned} S_d &\propto f^{-1} && \text{สำหรับที่ความถี่ } 1.5 \text{ GHz ถึง } 4 \text{ GHz} \\ S_d &\propto f^{-2} && \text{สำหรับที่ความถี่ } 4 \text{ GHz ขึ้นไป} \end{aligned}$$

และจาก [3,5] เราได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สำหรับ σ_x จากสมการที่ 1.2 ถือเป็นตัวแปรพื้นฐานที่สำคัญของการวิจัยนี้ โดยใช้การวิเคราะห์มาจาก CCIR Tropospheric Scintillation Model [3] ซึ่งค่า σ_x จะแสดงเป็นค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังที่รับได้ในรูปค่าเฉลี่ย (r.m.s.) ของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมนั้นๆ บนเส้นทางดาวเทียม ดังนี้

$$\sigma_x \text{ (dB)} = 0.025 f^{7/12} [\csc \theta]^{0.85} [G(Z)]^{1/2} \quad (1.2)$$

โดย $G(Z)$ คือ ค่าตัวคูณอย่างเฉลี่ยที่ขึ้นอยู่กับขนาดรับสัญญาณของจานสายอากาศ

$$G(Z) = \begin{cases} 1.0 - 1.4 Z, & 0 < Z < 0.5 \\ 0.5 - 0.4 Z, & 0.5 < Z < 1 \\ 0.1, & 1 < Z \end{cases} \quad (1.3)$$

ตัวแปร Z หาได้จาก

$$Z = 0.685 \frac{D}{\sqrt{L/f}} \quad (1.4)$$

ส่วน L คือ ความยาวของเส้นทางในแนวเฉียงสู่ชั้นบรรยากาศแบบเทอร์บิวเลนต์ที่บางๆ ในแนวนอน หาได้จาก

$$L = \left[\sqrt{0.017 + 72.25 \sin^2 \theta} - 8.5 \sin \theta \right] \times 10^6 \quad (1.5)$$

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานสายอากาศ , ในหน่วยเมตร

f = ความถี่ที่ใช้ , ในหน่วยกิกะเฮิรตซ์

θ = มุมเงยของจานสายอากาศ , ในหน่วยองศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งรายละเอียดเนื้อหาในส่วนการวิเคราะห์ลักษณะ, จำนวนครั้งที่เกิด และปริมาณของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม ออกเป็นบทๆ ตามสาขาที่เกิดขึ้น ซึ่งเราแยกออกเป็นแต่ละสาเหตุจากชั้นบรรยากาศที่อยู่ในเส้นทางดาวเทียมและที่สำคัญๆ ได้ตามลำดับนี้ S ในสมการที่ 1.1 ดังกล่าวไปแล้ว ดังนั้นเนื้อหาในส่วนการทดลองและการวิเคราะห์จะมีดังนี้

เนื้อหาบทที่ 4 วิเคราะห์หาลักษณะ, จำนวนครั้งที่เกิดและปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์ ที่เกิดขึ้นต่อสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku

เนื้อหาบทที่ 5 วิเคราะห์หาลักษณะ, จำนวนครั้งที่เกิดและปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียส์ ที่เกิดขึ้นต่อสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku

ส่วนเนื้อหาบทที่ 6 เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากฝนตก ซึ่งอยู่ในลักษณะการลดทอนต่อสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku เพื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงในสภาพอากาศที่ปลอดภัยไปรงทั่วไป

บทที่ 2

การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม

2.1 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน (Scintillation) เป็นการอธิบายถึงเงื่อนไขของการขึ้นๆ ลงๆ อย่างรวดเร็วของตัวแปรของสัญญาณคลื่นวิทยุหนึ่งๆ จากความไม่สม่ำเสมอที่ขึ้นอยู่กับเวลาของเส้นทางการส่งผ่านคลื่นนั้นๆ ซึ่งตัวแปรของสัญญาณที่ถูกกระทบนี้หมายถึงแอมพลิจูด, เฟส, มุมของคลื่นที่มาถึงจุดรับและ โพลาริเซชันด้วย

การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันสามารถเกิดขึ้นได้ทั้ง จากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่อคลื่นความถี่สูงถึงประมาณ 6 กิกะเฮิรตซ์ ในขณะที่ความไม่สม่ำเสมอของค่าดัชนีการหักเหที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ทำให้เกิดปรากฏการณ์ในย่านความถี่สูงกว่าประมาณ 3 กิกะเฮิรตซ์ ขึ้นไปได้

จาก [5] กล่าวสรุปไว้ว่าโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่ว่าสภาพอากาศจะปลอดโปร่งหรือมีฝน แต่ถ้ามีฝนตกนั้น การเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ในระดับของสัญญาณ จะเกิดขึ้นในลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่ประกอบด้วยการลดทอนในระดับของสัญญาณที่เกิดขึ้นจากฝนด้วย ดังนั้นการพิจารณาเรื่องนี้ต้องแยกพิจารณาเป็นเฉพาะกรณีไปเมื่อข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันค้นพบในขณะที่มีฝนตก

จาก [3] มีการสรุปผลการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่านต่างๆ หลายๆ กรณี พบว่ารูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่เด่นชัดโดยส่วนมากที่ค้นพบบนเส้นทางการเชื่อมโยงการสื่อสารแบบสถานีภาคพื้นดินกับอวกาศ จะหมายถึงทางแอมพลิจูดของสัญญาณที่ส่ง โดยทั่วไปบนเส้นทางซาลง เพราะความถี่ส่วนมากที่รายงานเป็นความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป ผลของการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่ค้นพบจะเหมือนกับที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนมาก

หลายๆ บทความขององค์การต่างๆ ได้รายงานผลการทดลองเรื่องการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันโดยใช้ดาวเทียม ATS-6 ที่ความถี่ 2, 20 และ 30 กิกะเฮิรตซ์ และในเส้นทางการดาวเทียมอื่นๆ ที่ความถี่ 4, 6 และ 7 กิกะเฮิรตซ์ [6] พบว่าผลสรุปจะแสดงความสอดคล้องกันอย่างกว้างๆ คือ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันที่มุมเงยสูง (20-30 องศา) ในภูมิภาคที่อยู่ที่ระหว่างเขตหนาวกับเขตร้อน เช่น ยุโรป และจีน การเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันจะอยู่ในค่าช่วง 1 dBp-p ขณะสภาพท้องฟ้าปลอดโปร่งในฤดูร้อน, 0.2-0.3 dB ในฤดูหนาว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-6 dB ในตอนมีเมฆ และพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะอยู่ในช่วงที่กว้าง ที่ความถี่ของการขึ้นๆ ลงๆ ในช่วง 0.5 ถึงมากกว่า 10 เฮิรตซ์ โดยระดับของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ในความถี่การเปลี่ยนแปลงต่ำๆ เกิดขึ้นก่อนเป็นเวลา 1 ถึง 3 นาที แล้วการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่ขึ้นลงอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นตามมา ผลเหล่านี้เป็นสิ่งที่ถูกค้นพบเป็นส่วนมากและสอดคล้องกันในการทดลองทั้งหมด ส่วนการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ที่มากกว่าค่า 20 dB หรือมากกว่านั้นจะถูกค้นพบด้วยช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 2-3 วินาทีเท่านั้น

จาก [3, 7] มีการทดลองเปรียบเทียบลักษณะและค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันระหว่างความถี่ 2 และ 30 กิกะเฮิรตซ์ จากดาวเทียม ATS-6 ที่เมือง โคโลม บัส, โอไฮโอ ด้วยมุมเงย 4.95° และ 0.38° พบว่าที่มุมเงย 4.95° สัญญาณความถี่ 30 กิกะเฮิรตซ์ มีค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันอยู่ในช่วงประมาณ 10 dBp-p ส่วนความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์ จะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 dBp-p ในขณะที่ที่มุมเงยต่ำกว่าคือ 0.38° พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของทั้งสองความถี่นั้นยังคงเหมือนเดิม คือ ของความถี่ 30 กิกะเฮิรตซ์จะขึ้นลงรวดเร็วกว่าของ 2 กิกะเฮิรตซ์ แต่ค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะเพิ่มขึ้นคือประมาณ 20 dBp-p และ 1 dBp-p ตามลำดับ และยังมีทดลองในสัญญาณเดียวกันนี้ แต่วิเคราะห์เฉพาะในช่วงอากาศที่ปลอดโปร่งที่มุมเงย 44° พบว่าการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดเฉลี่ยจะอยู่ในรูปสมการมุมเงยที่แสดงเป็นค่าผิดพลาด r.m.s. ที่น้อยที่สุด ซึ่งอยู่ในความสัมพันธ์ของกฎกำลัง Cosecant (กล่าวไว้ในสมการที่ 4.7 ของบทที่ 4) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ที่ความถี่ 2 กิกะเฮิรตซ์: } \sigma_{A2} &= 10^{-4.9} [\text{csc}(\theta)]^{1.62 \pm .2} \\ \text{ที่ความถี่ 30 กิกะเฮิรตซ์: } \sigma_{A30} &= 10^{-4.3} [\text{csc}(\theta)]^{2.14 \pm .3} \end{aligned}$$

ซึ่งจากที่ได้ข้างต้นนี้แสดงว่าค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด (dB) ของสัญญาณดาวเทียมที่มีความถี่สูงกว่าจะมีค่าสูงกว่า ในมุมเงยเดียวกันและสภาพอากาศปลอดโปร่ง และถ้าเปรียบเทียบผลที่ได้กับค่าคำนวณทางทฤษฎีจะพบว่าอยู่ในช่วงผิดพลาดที่กำหนด คือเท่ากับ 1.833 สำหรับทฤษฎีชั้นบรรยากาศเทอร์โมสเฟียร์ของ Kolmogorov และได้เท่ากับ 1.7 สำหรับรูปแบบจำลองหาค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของ CCIR ในสมการที่ 1.2

การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน พบว่าไม่ได้ขึ้นอยู่กับโพลาริเซชันของสัญญาณดาวเทียมเลย โดยจากผลการทดลองใน [3, 8] ที่มีการทดลองในความถี่ 19 กิกะเฮิรตซ์ ด้วยดาวเทียม COMSTAR โดยใช้สัญญาณความถี่เดียวกันนี้ใน 2 โพลาริเซชัน คือแบบแนวตั้งและแนวนอน

ทดลองพร้อมๆ กันที่มุมเงยจาก 1° ถึง 10° ingsaradik พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างกระทันหันของสัญญาณทั้งสอง โฟลาไรเซชันจะเหมือนกันเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งผู้ทำการทดลองนี้ได้สรุปผลอันนี้ไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะไม่ขึ้นอยู่กับเรื่อง โฟลาไรเซชันของสัญญาณ

การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะเพิ่มขึ้น เมื่อมุมเงยของงานสายอากาศที่ใช้ต่ำลง อย่างเช่นผลการทดลองที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว และจาก [6] ก็มีการทดลองเรื่องเดียวกันนี้ในอเมริกาเหนือ, ยุโรป และญี่ปุ่น โดยได้ผลอย่างสรุปว่าภายใต้สภาพอากาศที่ปลอดโปร่งแล้วค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะเพิ่มขึ้นอย่างรุนแรงมากในค่ามุมเงยประมาณ 3 องศาหรือต่ำกว่านี้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเมื่อมีเมฆปรากฏอยู่ในเส้นทางการเชื่อมโยงพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นจากประมาณ 0.5 dBp-p ถึง 3 dBp-p [9] และพบว่าในช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนตัดผ่านเส้นทาง อัตราการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจะมีค่าคงที่ตลอดเวลานั้นที่ความถี่ประมาณ 16 รอบต่อวินาทีหรือ 0.27 เฮิรตซ์ นอกจากนี้ยังมีผลในทำนองเดียวกันนี้สำหรับการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดจากเมฆ โดยมีผู้ทำการทดลองที่ 19 และ 28 กิกะเฮิรตซ์ [10] พบปรากฏการณ์ที่เกิดจากเมฆนี้มากกว่า 1,000 ครั้ง ที่ความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ ในช่วง 2 เดือนของฤดูร้อนของเมืองคราวฟอร์ดฮิลล์, มลรัฐนิวเจอร์ซีย์ โดยพบว่าช่วงเวลาเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 1 ถึง 3 วินาที เท่านั้น สำหรับการจางหายมากกว่า 1 dBp-p ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ เฉลี่ยประมาณ 0.3 เฮิรตซ์ และยังมีผลสรุปไว้ว่า การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันไม่ได้ขึ้นอยู่กับโฟลาไรเซชันของสัญญาณอีกด้วย แอมพลิจูดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในขณะใดๆ ที่ความถี่ 19 และ 28 กิกะเฮิรตซ์ ในเส้นทางการเชื่อมโยงเดียวกันนี้ สรุปได้จากผลการทดลองนี้ว่ามีความสอดคล้องอย่างมากในค่าความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน โดยที่ความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ มีความแรงเป็น 1.2 เท่าของความถี่ 19 กิกะเฮิรตซ์ ผลอันนี้ตรงกันกับที่ทฤษฎีเทอร์บิวเล้นท์กล่าวไว้ว่าความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะขึ้นอยู่กับความถี่ (f) ด้วยค่า $f^{7/12}$ ดังแสดงในสมการที่ 1.2 บทที่ 1

2.2 สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม

ปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่ทำการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ เราสามารถแบ่งตามสาเหตุการเกิดและพบค่าที่สูงและมากครั้ง ทั้งอาศัยข้อสรุปตามผลการวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.1 ทั้งหมด [3, 4, 11, 12] จึงแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

- (1) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส
- (2) เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของดัชนีการหักเหในสภาพอากาศที่ปลอดโปร่ง
- (3) ในขณะฝนตกที่มีลักษณะการลดทอนของระดับสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสาเหตุสำคัญและลักษณะทั่วไป เช่น ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันทางสถิติของการหักเหทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ทางแอมพลิจูดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำการเชื่อมโยงทางไมโครเวฟผ่านชั้นบรรยากาศของโลก เป็นช่วงเวลาสั้นๆ (0.1 ถึง 100 วินาที) [2], ในช่วงอากาศที่ปลอดโปร่ง การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ อย่างมากของอุณหภูมิและความชื้น, การเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีขององค์ประกอบภายในชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการดูดซับคลื่น (เช่น ออกซิเจน, ไอน้ำ) จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของคลื่นที่เดินทางผ่านเมื่อความถี่ที่ใช้อยู่ในย่านดูดซับพอดี, และถ้าปรากฏเมฆในเส้นทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะพบว่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงมากและมากกว่าในช่วงอากาศที่ปลอดโปร่ง [1, 2], ส่วนกรณีที่มีฝนตกจะมีผลต่อคลื่นในลักษณะการลดทอนโดยค่าจะขึ้นอยู่กับการตกของฝนและความถี่ที่ใช้



บทที่ 3

การทดลองรับและวิเคราะห์ระดับการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม

3.1 บทนำ

ในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยทำการทดลองเพื่อค้นหาลักษณะและค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอนและแนวตั้งที่รับจากดาวเทียม Palapa-B2P และจากดาวเทียม Asiasat ตามลำดับ และย่าน Ku ที่รับจากดาวเทียม BS-3a โดยดาวเทียมทั้ง 3 ดวงนี้โคจรอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรที่ความสูงประมาณ 35,860 กิโลเมตร และเป็นลักษณะดาวเทียมแบบโคจรอยู่กับที่ ที่ใช้แพร่สัญญาณโทรทัศน์ตลอด 24 ชั่วโมง

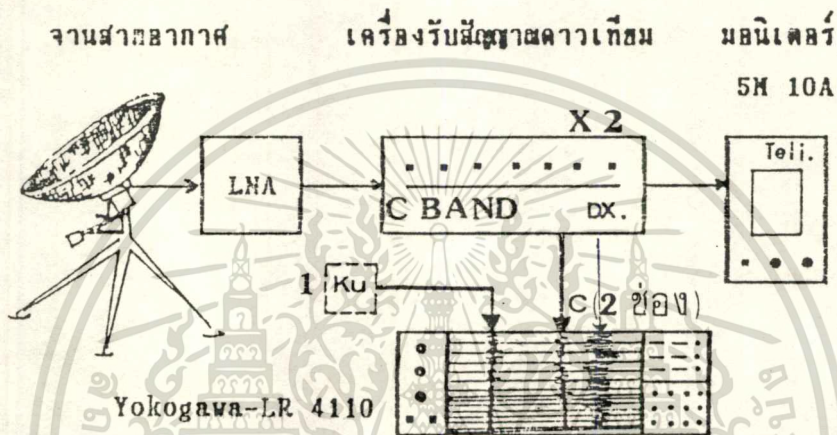
การรับและบันทึกบนกระดาษกราฟในสัญญาณทั้งสามจะทำการอย่างต่อเนื่องกันตลอดเวลาทำการทดลองคือตั้งแต่เดือนมีนาคม 2533 ถึง กรกฎาคม 2536 เพื่อทำการเปรียบเทียบในเรื่องย่านความถี่ต่อผลการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นในแต่ละชนิด

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองทั้งหมดที่ใช้ในการรับและบันทึกสัญญาณดาวเทียมทั้ง 3 ช่องสัญญาณนั้นแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมรวมได้ดังรูปที่ 3.1 และภาพถ่ายในรูปที่ 3.2 ที่เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องทดลอง ซึ่งจัดแสดงในรูปทั้งสองและรูปที่ 3.3 การบันทึกสัญญาณจะบันทึกพร้อมกันทั้ง 3 ช่องสัญญาณด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณบนกระดาษกราฟแบบต่อเนื่อง ในอัตราสัญญาณ 5 นาที ต่อความยาวกระดาษ 1 เซนติเมตร โดยสัญญาณทั้ง 3 ที่บันทึกเป็นสัญญาณที่มาจากภาค AGC ของเครื่องรับสัญญาณแต่ละช่องถูกกรองความถี่ก่อนบันทึกให้อยู่ในความถี่ช่วง 0 ถึง 1 เฮิรตซ์ ส่วนการแสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้บนเครื่องบันทึกนี้จะแสดงได้อย่างพร้อมๆ กัน ทั้ง 3 ช่องสัญญาณ ในทุกๆ 1 วินาทีบนหน้าปัทม์เครื่องแบบตัวเลข และทุกๆ 1 ชั่วโมงบนกระดาษกราฟ ในส่วนเครื่องรับสัญญาณที่อยู่บนเครื่องบันทึกสัญญาณ ดังรูปที่ 3.2 และ 3.4 เป็นเครื่องรับย่าน Ku และอีก 2 เครื่องที่เป็นยี่ห้อและชนิดเดียวกัน ที่มีเครื่องโทรทัศน์ตั้งอยู่ข้างบนในรูปที่ 3.2 เป็นเครื่องรับย่าน C โดยคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องรับทั้ง 3 เครื่องนี้เหมือนกัน

ในช่วงตลอดเวลาทำการทดลองรับและบันทึกสัญญาณดังกล่าวข้างต้น มีการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณโดยตรงจากดาวเทียมขึ้นทั้งสามความถี่ในบริเวณเดียวกัน คือ ตั้งจานสายอากาศพาราโบลาแบบตะแกรงที่ใช้รับสัญญาณย่าน C จากดาวเทียม Palapa-B2P และแบบทึบที่ใช้รับสัญญาณย่าน Ku จากดาวเทียม BS-3a บนดาวฟ้าตึก 3 ชั้นของภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. (รูปที่ 3.5 และ 3.6) ในช่วงเริ่มการทดลองจนถึงเดือนพฤศจิกายน 2535 และตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2535 ถึง กรกฎาคม 2536 มีการทดลองโดยตั้งจานสายอากาศเพิ่มเติมบนดาดฟ้าของตึกคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. ด้วยจานสายอากาศแบบทึบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.8 เมตร (รูปที่ 3.7) 2 จานเพื่อใช้รับสัญญาณย่าน C จากดาวเทียม Asiasat (จานที่มีคำว่า Ver.) และจากดาวเทียม Palapa-B2P (จานที่มีคำว่า Hor.) อยู่ที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 13.9 เมตร ส่วนรูปที่ 3.8 เป็นจานสายอากาศแบบทึบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.4 เมตร ตั้งอยู่บนตึกเดียวกับรูปที่ 3.7 แต่อยู่ชั้นที่สองซึ่งสูงจากพื้นประมาณ 8.9

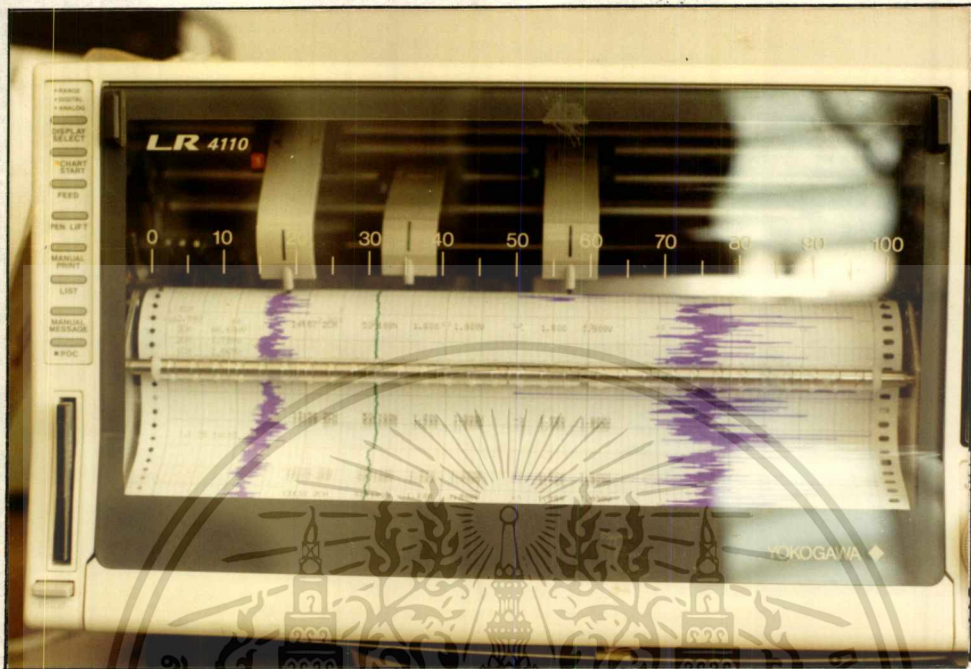


รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด



รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายเครื่องรับสัญญาณทั้งหมดและเครื่องบันทึกสัญญาณที่ใช้ในการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เห็นใบระเบียบด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร เพื่อใช้รับสัญญาณย่าน Ku จากดาวเทียม BS-3a ตำแหน่งที่ตั้งของจานสายอากาศทั้งหมด
อยู่ที่เส้นรุ้ง $13^{\circ} 45' 37''$ เหนือ กับเส้นแวง $100^{\circ} 48' 19''$ ตะวันออก

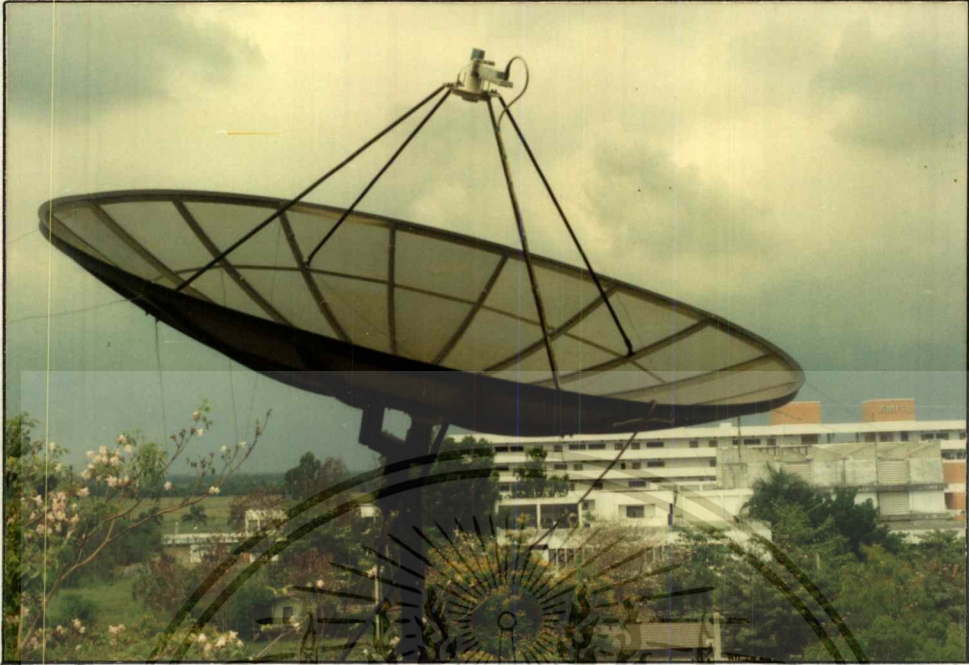


รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณขณะทำการบันทึกสัญญาณทั้ง 3 ช่องพร้อมกัน



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเครื่องบันทึกสัญญาณและเครื่องรับสัญญาณย่าน Ku

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบตะแกรงขนาด $\Phi = 3$ เมตร



รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบทึบขนาด $\Phi = 1.8$ เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบทึบขนาด $\Phi = 1.8$ เมตร



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายจานสายอากาศพาราโบลาแบบทึบ ขนาด $\Phi = 2.4$ เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าต่างๆ ที่สำคัญเกี่ยวกับการทดลอง

รายการ	C		Ku
	ดาวเทียม	Palapa-B2P	Asiasat
ตำแหน่งดาวเทียมในเส้นศูนย์สูตร	113°E	105.5°E	110°E
ความถี่ที่รับ (GHz)	3.84	3.90	11.765
โพลาริเซชัน	H	V	RHC
ขนาดของสายอากาศรับ (Ø)	1.8 m.	1.8 m.	2.4 m.
อัตราขยายของสายอากาศรับ (dB)	38.2	38.2	47
มุมเงยของสายอากาศรับ	68.53°	72.94°	70.63°

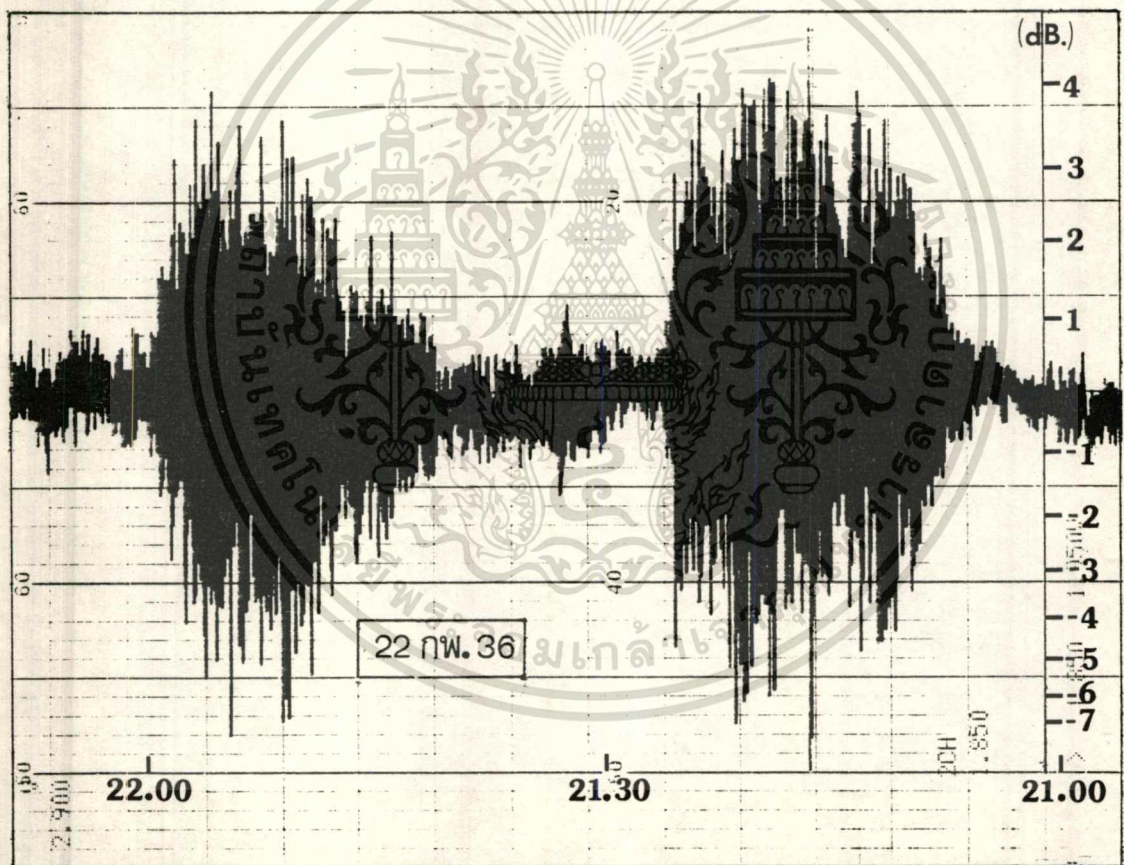
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดบางส่วนในชื่อและค่าพื้นฐานต่างๆ ที่สำคัญ ของ การทดลองนี้ โดยแบ่งแสดงเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือย่านความถี่ C และ Ku ซึ่งค่าต่างๆ ที่แสดงนี้ ใช้คำนวณในสมการและแสดงอ้างอิงส่วนต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในส่วนรายการโพลาริเซชัน ที่แสดงเป็นตัวย่อความหมายเป็นดังนี้ H คือ โพลาริเซชันทางแนวนอน, V คือ โพลาริเซชัน ทางแนวตั้ง และ RHC คือ โพลาริเซชันแบบวงกลมชนิดหมุนไปทางขวามือ

3.3 แนวทางการวิเคราะห์ระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณ ดาวเทียม

การวิเคราะห์หาระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาว เทียมย่าน C และ Ku ผู้วิจัยเลือกกรณีที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากลักษณะการเปลี่ยนแปลง ขึ้นๆ ลงๆ ของสัญญาณที่บันทึกไว้บนกระดาษกราฟแบบต่อเนื่อง ที่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.5 dB. ขึ้นไป ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 1.3 และเมื่อสัญญาณมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นและ ต่ำลงอย่างรวดเร็วซ้ำๆ กัน นาน 5 นาทีขึ้นไปจึงจะนับว่าเกิดการเปลี่ยนแปลง 1 ครั้ง ดังรูปที่ 3.9 เป็นตัวอย่างของสัญญาณย่าน C จากดาวเทียม Palapa ส่วนหนึ่งที่บันทึกไว้เมื่อวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2536 ในเวลาประมาณ 21.00-22.00 น. จากรูปนี้ สังเกตในเวลาประมาณ 21.00 น. ระดับสัญญาณยังถือว่าปกติ คือ เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงต่ำๆ น้อยกว่า 0.5 dB. จนกระทั่ง 21.05 น. จะเห็นว่าระดับสัญญาณจะเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างรวดเร็วมาก และมีลักษณะขึ้นๆ ลงๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นโดยใช้ประโยชน์จากการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ซ้ำได้โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นานถึงประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งลักษณะที่แสดงนี้คือปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณที่จะนำมาวิเคราะห์ ส่วนระดับการเปลี่ยนแปลงในรูปนี้ มีค่าสูงสุดประมาณ 12 dBp-p ที่เวลาประมาณ 21.18 น. และจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในรูปนี้ ก็จะมี 12 ครั้งหรือเกิดขึ้นตลอดช่วงเวลาที่แสดง สำหรับสเกลที่ใช้เปรียบเทียบและแสดงค่า dBp-p ในรูปที่ 3.9 และรูปอื่นๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้จากการปรับแต่งด้วยวิธีการเพิ่มและลดระดับสัญญาณจากสถานีส่งที่ละ 1 dB แล้วทางด้านรับของการวิจัยนี้สังเกตและบันทึกระดับสัญญาณที่รับได้ไว้ ส่วนการทดลองในย่าน Ku และการหาค่าเฉลี่ยในระดับสัญญาณที่รับได้และค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมทั้ง 3 ได้อาศัยเปรียบเทียบจากคุณสมบัติของภาค AGC ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ ด้วย



รูปที่ 3.9 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม

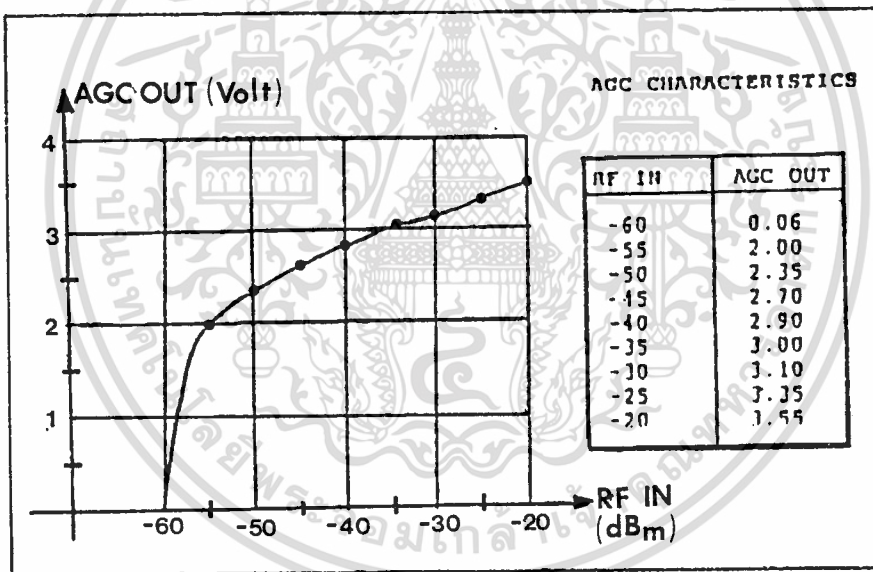
การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณที่รับได้เพื่อหาปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจากสมการที่ 1.1 ชั้นแรกของการวิเคราะห์เราทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดและค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังที่รับได้ การวิเคราะห์ขั้นนี้เราใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงหรือเรียกว่าวิธีอินเทอร์โพลเลชัน (interpolation) ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยกำหนดค่าฟังก์ชันในระ

เอกรงค์เป็นวงกลมที่วางตัวรับสัญญาณในวงที่การเรียงตัวกันไม่สม่ำเสมอในตำแหน่งรับสัญญาณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หว่างข้อมูลหนึ่งกับอีกข้อมูลหนึ่ง และเพื่อแสดงค่าประมาณที่มีลักษณะเรียบและต่อเนื่องที่แต่ละจุดของข้อมูลที่ได้จากคุณสมบัติของภาค AGC ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ดังรูปที่ 3.10 ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีคิวบิกสไปน์อินเทอร์โพลेशन (Cubic Spline Interpolation) โดยอาศัยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา GWBASIC (แสดงไว้ในภาคผนวก ก.) เข้ามาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลนี้ ซึ่งการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ ฟังก์ชันในระหว่างจุดของข้อมูล $[x_i, x_{i+1}]$ จะถูกกำหนดด้วยโพลีโนเมียลอันดับ 3 คือ $P(x)$ ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ [13, 14]

1. $P(x), P'(x), P''(x)$ มีลักษณะต่อเนื่องในระหว่าง $[x_i, x_{i+1}]$
2. $P(x_i) = f(x_i); 0 \leq i \leq n$ นั่นคือ $P(x)$ จะอินเทอร์โพลेट $f(x)$ ในระหว่าง $[x_i, x_{i+1}]$
3. $P(x)$ เป็นโพลีโนเมียลอันดับ 3 ในระหว่างจุดของข้อมูล $[x_i, x_{i+1}]$; $0 \leq i \leq n-1$



รูปที่ 3.10 คุณสมบัติของภาค AGC ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้

สมการที่ 3.1 แสดงค่าคิวบิกสไปน์โพลีโนเมียลในระหว่างจุดของข้อมูล $[x_i, x_{i+1}]$

ดังนี้

$$P_i(x) = y_i + a_{1i}(x - x_i) + a_{2i}(x - x_i)^2 + a_{3i}(x - x_i)^3 \quad (3.1)$$

และค่าของสัมประสิทธิ์ a_{1i}, a_{2i}, a_{3i} จะหาได้จากสมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาก่อนนำออกจำหน่ายหรืออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

4.1 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมนี้ คือลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ อย่างรวดเร็วทางแอมพลิจูดของสัญญาณที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยจากเอกสารอ้างอิงที่ [15] มีการทดลองและค้นพบลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในย่านความถี่ 136 ถึง 1600 เมกะเฮิรตซ์ สรุปได้ว่าปรากฏการณ์นี้ถือเป็นสิ่งสำคัญต่อเสถียรภาพของระบบการสื่อสารดาวเทียม และมีการศึกษาในชื่อเรื่อง "equatorial ionospheric effects" [1] ในสัญญาณย่าน VHF ถึงย่าน L ของดาวเทียม Aerosat และย่าน L ของดาวเทียม Marisat พบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับเวลาในแต่ละวัน, เงื่อนไขค่าความแรงของแม่เหล็ก, ตำแหน่งละติจูด และลองจิจูด ซึ่งส่วนประกอบของชั้นบรรยากาศนี้ที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันขึ้น

4.2 ลักษณะทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากเอกสารอ้างอิงที่ [15] กล่าวสรุปไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรจะมีค่ารุนแรง และทำให้เกิดการจางหายอย่างหมดจด โดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ลาดชันและเปลี่ยนอย่างรวดเร็วเป็นส่วนมาก การเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันสามารถสังเกตได้ว่าจะเกิดขึ้นภายใน 2-3 วินาที หลังจากมีการจางหายของสัญญาณหนึ่งๆ เกิดขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่มีการค้นพบในเอกสารอ้างอิงนี้จะมีการขึ้นๆ ลงๆ อย่างต่อเนื่องที่ค่าค่อนข้างสูงและจะเกิดซ้ำๆ ทำให้เกิดการจางหายเป็นระยะๆ พบว่าลักษณะของการเกิดการจางหายที่หมดจดอย่างซ้ำๆ เป็นการเริ่มต้นของการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน และยังพบว่าในช่วงเวลากลางคืน ความถี่ของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะมีลักษณะเกิดเป็นระยะๆ นานๆ ครั้งมากกว่ากลางวัน และทำให้การจางหายระดับต่ำเกิดขึ้นเป็นระยะสลับกันไป

รูปแบบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีหลายลักษณะ รูปแบบอันหนึ่งที่มีการค้นพบบ่อยๆ ระหว่างช่วงเวลาที่มียาค่าพิกซ์จางดวงอาทิตย์ต่ำ คือ Patchy nature การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันบนเส้นทางดาวเทียมอันหนึ่งจะเริ่มต้นและสิ้นสุดหลายๆ ครั้งในเวลากลางคืน ตัวแปรที่สำคัญอันหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของความไม่สม่ำเสมอของชั้น F ที่ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน คือแสงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิตซ์ที่ซึ่งเป็นตัวกำหนดการปรากฏของชั้น F ที่เป็นส่วนบรรยากาศแบบเทอร์มิวเลนต์ทางแนวตั้งนั่นเองทำให้ patchy nature จากชั้นนี้ มีการเริ่มต้นและหยุดลงอย่างไม่สม่ำเสมอตลอดช่วงเวลากลางคืนและก่อนเช้า

การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่มีการทดลองและค้นพบโดย [15] ในเวลากลางวัน พบว่าจะมีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงประมาณ 2 dBp-p และจะเกิดขึ้นสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน และสิงหาคมถึงตุลาคม และการทดลองที่ความถี่สูง 40 เมกะเฮิรตซ์ จากดาวเทียม ATS-6 พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะคล้ายกันในแต่ละวัน แต่ค่าจะสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน

การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีผู้ทำการทดลองและพบว่า จะเกิดขึ้นสูงสุดในช่วงอากาศที่ปลอดโปร่ง และพบว่าจะขึ้นอยู่กับค่าลองจิจูดและค่าพิกซ์จากดวงอาทิตย์ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลนี้และความสัมพันธ์ของพิกซ์จากดวงอาทิตย์ แสดงอยู่ในการทดลองของ [15] จากการใช้ดาวเทียม ATS-3 ที่ความถี่สูง 137 เมกะเฮิรตซ์

4.3 การวิเคราะห์หาจำนวนครั้งและปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์ โดยใช้ S index

การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันอันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์ เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีในค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่บริเวณชั้นที่มีความหนาแน่นสูงสุดคือ ชั้น F ซึ่งอยู่ที่ความสูงประมาณ 200-400 กิโลเมตร ซึ่งเมื่อสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของชั้นก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันได้ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์จะประกอบด้วย 3 ชั้นที่สำคัญๆ คือ ชั้น D, E และ F ตามลำดับความสูงจากพื้นโลก โดยค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในแต่ละชั้นทั้ง 3 เหล่านี้ จะมีค่าเพิ่มขึ้นไปตามความสูงที่เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดของแต่ละชั้น และที่ขอบระหว่างชั้นจะมีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนคงที่ค่าหนึ่งและอาจลดลงในบางช่วง [16] ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นเหล่านี้จะมีค่าเปลี่ยนไปตามรอบของแสงอาทิตย์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในค่าแอมพลิจูดของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์มีลักษณะต่าง ๆ กันดังมีผลการทดลองใน [3] พบว่าจะมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงสูงในพื้นที่ย่านเส้นศูนย์สูตร, ที่ตำแหน่งละติจูดสูงๆ และในช่วงเวลาที่มีการกระตุ้นจากการเกิดจุดดับบนดวงอาทิตย์ค่าสูงๆ และมีการทดลองและค้นพบว่า ที่ย่านความถี่จาก 20 เมกะเฮิรตซ์ จนถึง 6 กิกะเฮิรตซ์ การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในย่าน VHF (30-300 เมกะเฮิรตซ์) การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันนี้สามารถค้นพบมากๆ ในย่านความถี่ต่ำกว่า 300 เมกะเฮิรตซ์ และ

พบว่า ปรากฏการณ์นี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ความเชื่อถือในการปฏิบัติงานของระบบการสื่อสารในย่าน VHF ลดลง [1, 3]

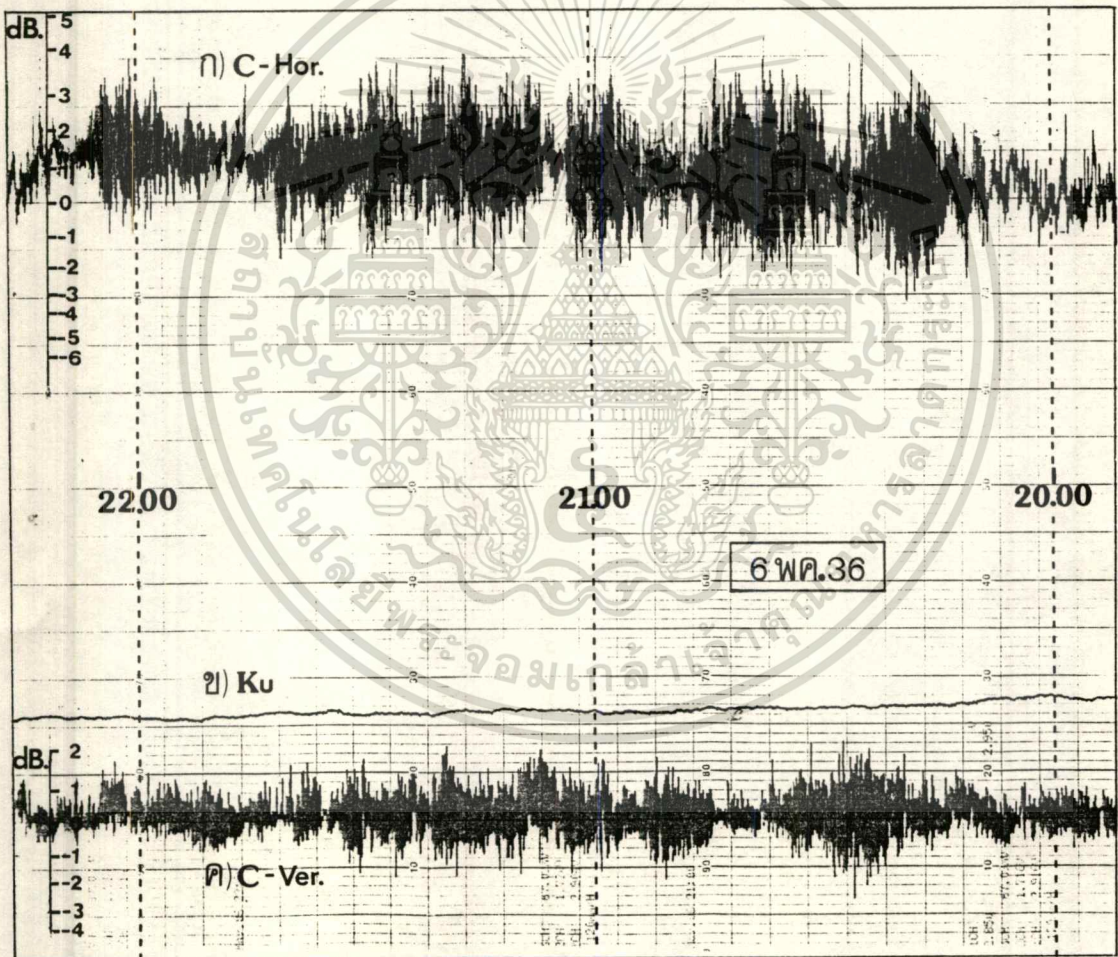
ชั้น Sporadic E (E_s) เป็นอีกชั้นหนึ่งในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่อยู่ที่มีความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร แต่จะปรากฏเป็นบางครั้งบางคราว บางสถานที่ เช่น บริเวณเส้นรุ้งอันเกิดจากผลของดาวตก, ทางขั้วโลกเกิดจากแสงทางขั้วโลก [17] ลักษณะของชั้น E_s จะคล้ายกลุ่มเมฆของอิเล็กตรอนที่มีค่าความหนาแน่นแตกต่างกันสูงมากจากชั้นอื่นๆ จึงมีผลต่อการสะท้อนคลื่นโดยเฉพาะคลื่นสั้น [16] ส่วนชั้น F ที่มีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุดดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นชั้นที่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันต่อสัญญาณดาวเทียมมากกว่าชั้นอื่นๆ ชั้น F นี้จะปรากฏในเวลากลางคืนจากการรวมตัวของชั้น F_1 กับ F_2 แม้ว่าชั้น F นี้จะอยู่เฉพาะในเวลากลางคืนและเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและเวลา แต่พบว่าจะไม่เปลี่ยนแปลงสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของดวงอาทิตย์เหมือนชั้นอื่นๆ แต่จะได้รับผลจากจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ ในบริเวณที่มีค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนสูงสุดนั้น ในตอนกลางวันจะต่ำกว่าตอนกลางคืนและฤดูหนาวจะต่ำกว่าฤดูร้อน [18]

จากหัวข้อ 1.3 เราทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี S_u กับความถี่แล้วว่า ในย่านความถี่ 1.5 ถึง 4 กิกะเฮิรตซ์ จะมีค่า S_u มากกว่าในย่านความถี่ที่สูงกว่านี้ ซึ่งในการวิจัยนี้ เพื่อการวิเคราะห์หาผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku ก็อาศัยจากความสัมพันธ์นี้ ซึ่งได้ว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในย่าน C มากกว่าย่าน Ku หรือสรุปได้ประมาณว่าสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ไม่ได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เลยถ้าระดับการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นในย่าน C ไม่มากนัก [4] และจาก [4] นี้ มีการอธิบายผลการทดลองเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจากความไม่สม่ำเสมอในชั้นนี้อาจเกิดขึ้นจากชั้น E_s และชั้น F และการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจากชั้น E_s ส่วนมากปรากฏในเวลากลางวัน ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดจากชั้น F จะเกิดในกลางคืนมากกว่าในกลางวัน ซึ่งจากผลข้างต้นนี้แสดงว่าในประเทศไทย การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เกิดขึ้นในกลางวันจะมีจำนวนน้อยทั้งในย่าน C และ Ku และช่วงเวลาการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันอย่างต่อเนื่องในช่วงกลางวัน พบว่าจะเป็นเวลาช่วงสั้นๆ และรูปลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ จะคล้ายกันทั้งสองย่านเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นการยากต่อการหาว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นในกลางวัน มีสาเหตุจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์หรือ โทร โพลส เฟียร์ ดังผลจากการวิเคราะห์จากสัญญาณที่บันทึกได้ในงานวิจัยนี้ พบว่าสัญญาณ

ดาวเทียมย่าน C จากดาวเทียม Asiasat มีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้น เหมือนกันตลอดวันเป็นส่วนใหญ่ เพียงแต่จำนวนที่เกิดและระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของ สัญญาณในกลางคืนจะมากกว่าตลอดการทดลอง ส่วนของสัญญาณย่าน C จากดาวเทียม Palapa พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงในกลางวันจะต่างจากกลางคืนและต่างจากของสัญญาณจากดาวเทียม Asiasat และพบว่าเป็นลักษณะที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ โทรโพลเฟียลส์ จึงแยกวิเคราะห์ไปเป็นผลจากชั้นบรรยากาศโทรโพลเฟียลส์ ซึ่งได้วิเคราะห์และอธิบายไว้ในบทที่ 5 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณย่าน C อันเนื่องมาจาก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียลส์จะมีรูปลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแบบมีสัดส่วนกัน ดังรูปที่ 3.9 ในบทที่ 3 และรูปที่ 4.1 ในรูปที่ 4.1 เป็นสัญญาณบางส่วนที่บันทึกได้ตลอดการทดลอง ที่มี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นแบบนี้เป็นส่วนมากในช่วงกลางคืน คือ ดังรูปเวลาประมาณ 20.00 ถึง 22.00 น. นอกจากนี้ยังมีอีกหลายครั้งที่เกิดขึ้นซึ่งจะวิเคราะห์เป็น จำนวนครั้งที่เกิดต่อไป โดยส่วนมากจะพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันแบบนี้จะอยู่ใน ช่วงเวลา 19.00 ถึง 07.00 น. ในระดับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ กัน ประมาณในช่วง 0.5 ถึง 12 dBp-p และยังพบค่าการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่านี้แต่เกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ ประมาณ 5 วินาที ใน รูปที่ 4.1 นี้ จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะเกิดขึ้นติดต่อกันนานประมาณ 2 ชั่วโมง ทั้งในสัญญาณแบบโพลาริเซชันทางแนวนอน (รูป ก. C-Hor.) และในสัญญาณแบบโพลาริเซชัน ทางแนวตั้ง (รูป ค. C-Ver.) ส่วนในช่วงเวลาอื่นๆ ที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ก็พบว่าช่วงเวลา ที่เกิดอย่างต่อเนื่องลักษณะนี้จะอยู่ในช่วงประมาณ 5 ถึง 30 นาทีขึ้นไป จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดของสัญญาณรูป ก) และ ค) เป็นลักษณะที่สัญญาณได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียลส์เป็นส่วนใหญ่ดังกล่าวไว้แล้วข้างต้น คือ มีชั้น F ปรากฏขึ้น ในช่วงเวลาประมาณ 20.00 จนหายไปในเวลาประมาณ 05.00 น. (ดูรูปที่ 4.4) ระดับการ เปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่ได้จากรูป 4.1 จะเห็นได้ว่าระดับการเปลี่ยนแปลงใน รูป ก) จะสูงกว่าในรูป ค) ตลอดเวลา โดยจะมีค่าสูงสุดประมาณ 6.5 dBp-p ที่เวลาประมาณ 20.37 น. ของรูป ก) และประมาณ 4 dBp-p ที่เวลาประมาณ 20.25 น. ของรูป ค) ซึ่งทั้งสองรูปนี้เป็นสัญญาณย่าน C เหมือนกันแต่ต่างกันในความถี่และโพลาริเซชัน ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 บทที่ 2 แล้วว่า การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะไม่ขึ้นอยู่กับเรื่อง โพลาริเซชันของสัญญาณเลย ดังนั้นความแตกต่างนี้เกิดขึ้นจากความถี่ของสัญญาณรูป ก) มีความถี่ต่ำกว่า ของรูป ค) นั่นเอง (ความถี่ของทั้งสองแสดงในตารางที่ 3.1) ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงทาง แอมพลิจูดอย่างกระทันหันจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียลส์จะขึ้นอยู่กับความถี่ ด้วยค่า f^{-1} ดังที่ แสดงแล้วในหัวข้อที่ 1.3 บทที่ 1 จึงทำให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำกว่าในรูป ก) นี้ มีค่าการเปลี่ยนแปลง

แปลงอย่างกระทันหันสูงกว่าสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าในรูป ค) ส่วนสัญญาณย่าน Ku ในรูป 4.1 (ข) จะเห็นได้ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นเลย ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของค่า S_4 ในย่านที่สูงกว่า 4 กิกะเฮิรตซ์แล้วจะมีค่าเท่ากับ f^{-2} ค่าการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจึงน้อยมาก

จากรูป 4.1 (ก) และ (ค) จะพบว่ามีค่าของความถี่ของการขึ้นๆ ลงๆ ของการเปลี่ยนแปลงแปลงประมาณ 15 รอบต่ออนาที หรือ 0.25 เฮิรตซ์ โดยระดับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทั้งหมดพบว่าจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 dB. เป็นส่วนมาก โดยประมาณ 47.57 เปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ส่วนในช่วง 1 ถึง 2 dB., 2 ถึง 3 dB. และที่มากกว่า 3 dB. จะมีค่าประมาณ 40.09% , 11.45% และ 0.88% ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม อันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เพื่อแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน ของแต่ละเดือน ว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันต่างกันหรือไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรในแต่ละชั่วโมง, แต่ละเดือน และแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้เพื่อความถูกต้องและกำจัดผลทางการลดทอนเข้ามาเกี่ยวข้องจึงเลือกวิเคราะห์ช่วงเวลาสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันค่า 0.5 dB. หรือมากกว่าและที่มีการเปลี่ยนแปลงติดต่อกัน 5 นาทีเท่านั้น ซึ่งการวิเคราะห์จะนับเป็น 1 ครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันนี้ ข้อมูลที่เลือกมาวิเคราะห์และแสดงในที่นี้จะครอบคลุมฤดูกาลในประเทศไทย คือตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2535 ถึง กรกฎาคม 2536 ซึ่งจำนวนข้อมูลจะเท่ากับ 257 วัน (6,618 ชั่วโมง) ของสัญญาณย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง จากดาวเทียม Asisat, จำนวน 245 วัน (5,880 ชั่วโมง) ของสัญญาณ C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน จากดาวเทียม Palapa-B2P และจำนวน 101 วัน (2,424 ชั่วโมง) ของสัญญาณย่าน Ku จากดาวเทียม BS-3a อนึ่งฤดูกาลของประเทศไทยนั้น แบ่งออกได้ดังนี้ [19]

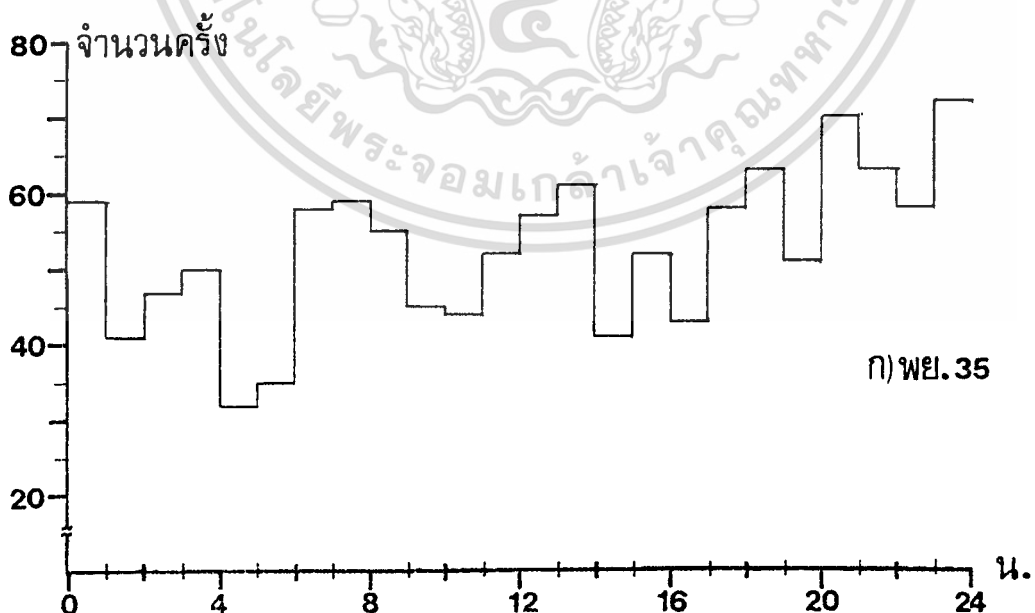
ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนพฤษภาคม ถึง กลางเดือนตุลาคม

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนตุลาคม ถึง กลางเดือนกุมภาพันธ์

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่ กลางเดือนกุมภาพันธ์ ถึง กลางเดือนพฤษภาคม

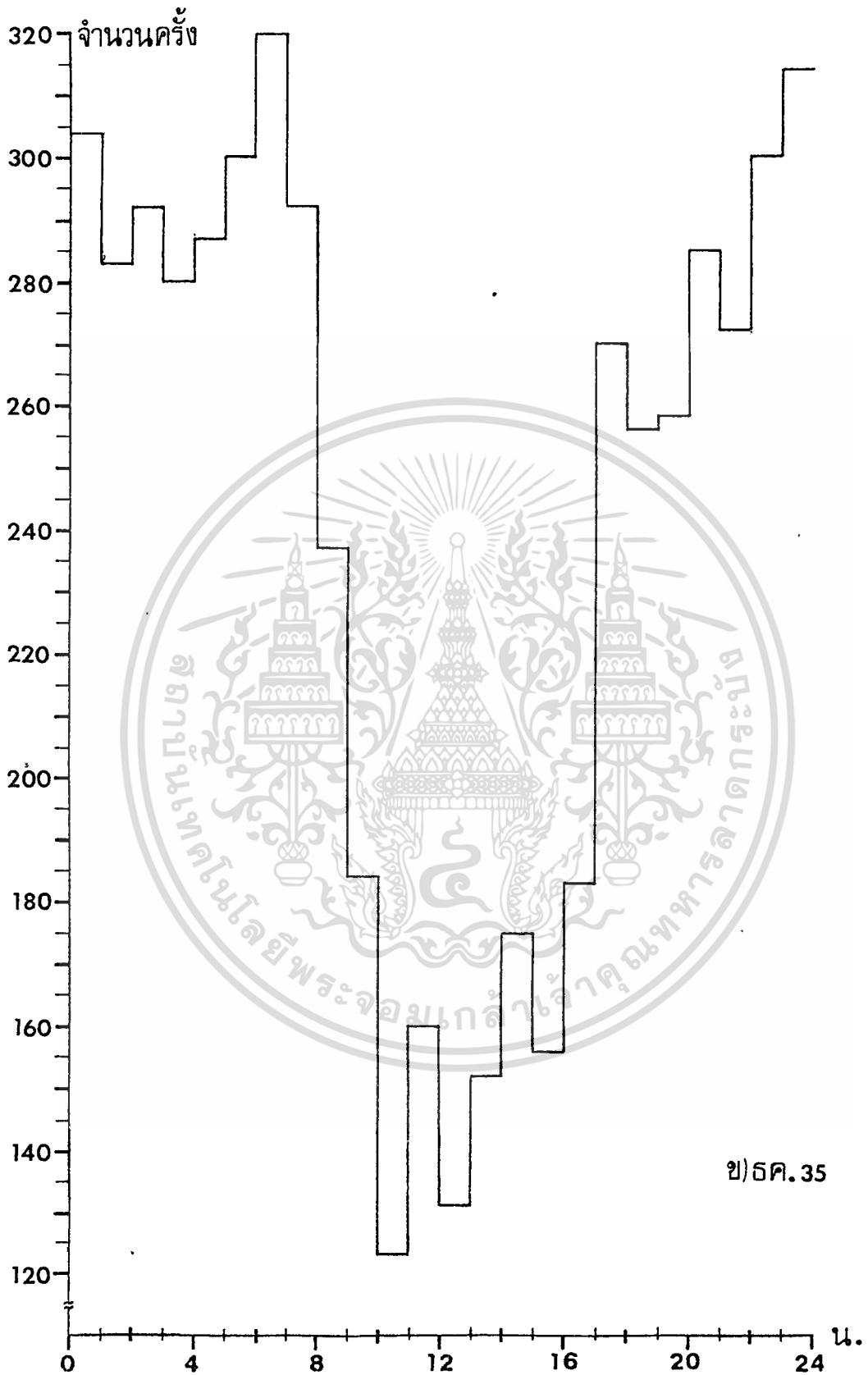
โดยระยะเวลาระหว่างฤดูจะนานประมาณ 1-2 สัปดาห์ เรียกว่าช่วงเปลี่ยนฤดู อากาศจะแปรปรวนไม่แน่นอน

รูปที่ 4.2 (ก) ถึง (ง) แสดงผลการวิเคราะห์จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง ในเดือนพฤศจิกายน 2535 ถึง กรกฎาคม 2536 ตามลำดับ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ได้จากการพิจารณาลักษณะการ

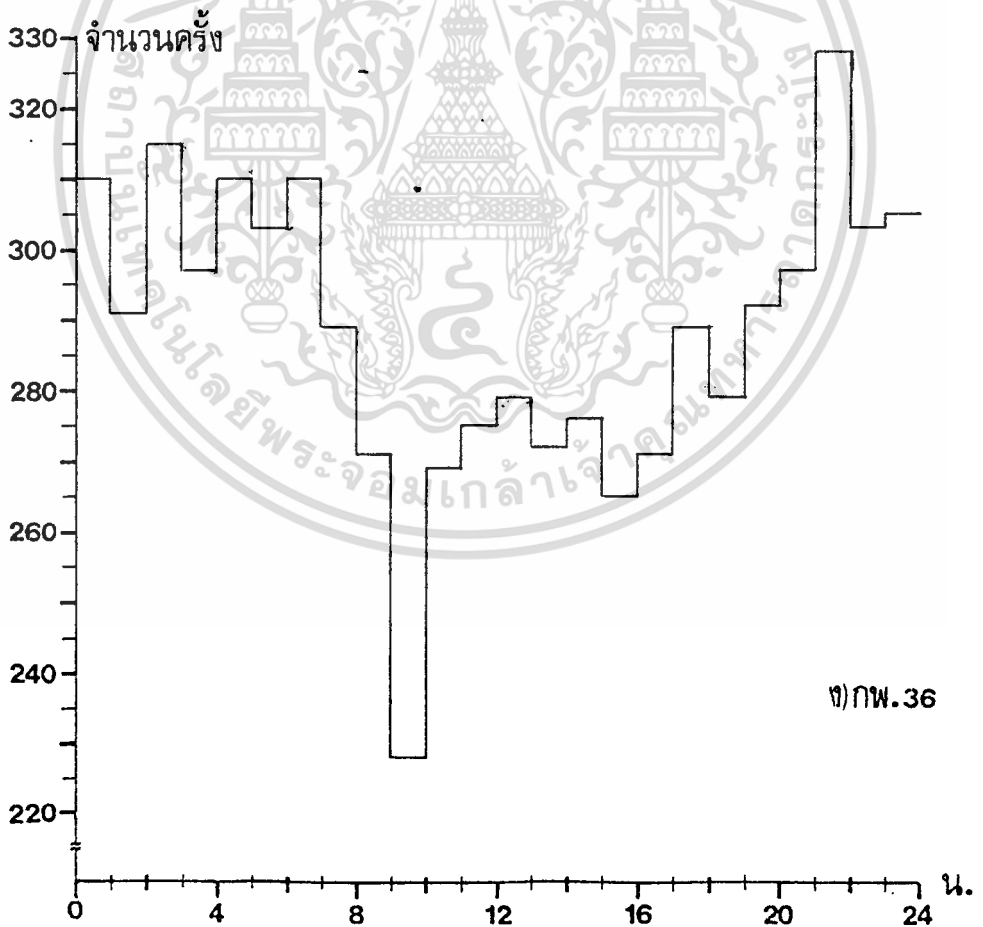
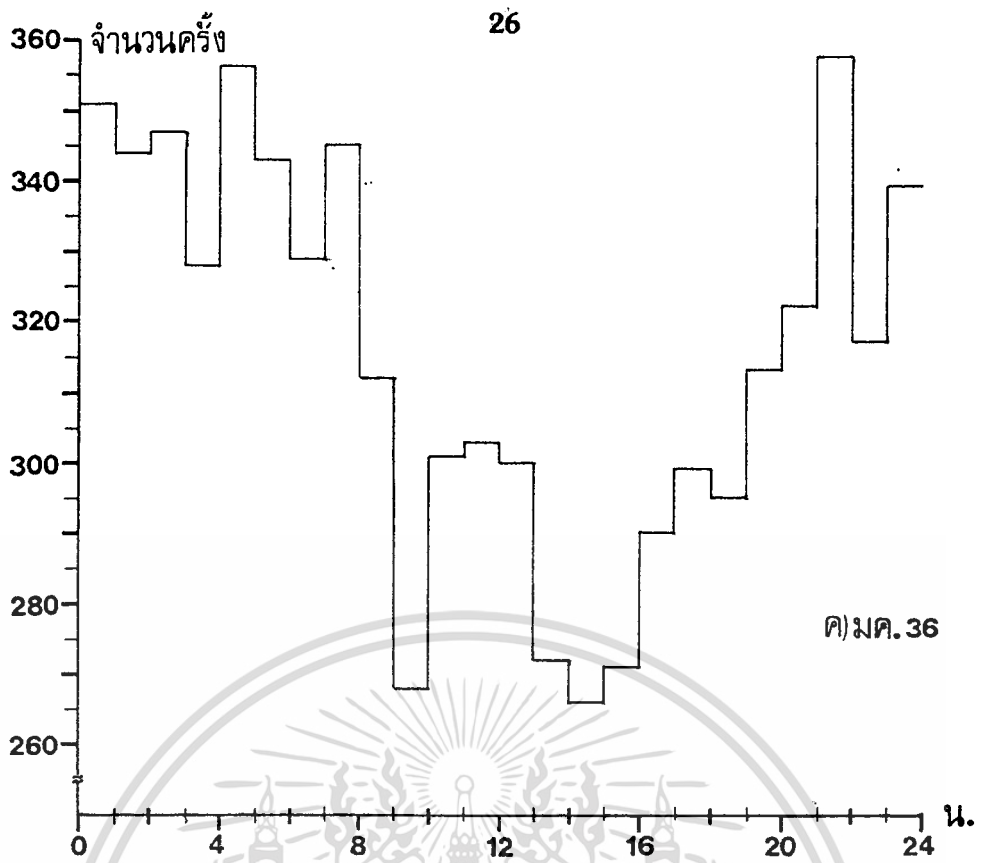


รูปที่ 4.2 (ก) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัยเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ข) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมใน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่อาคารสี่แถวเท่านั้น ไม่ควรนำค่านี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 แต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

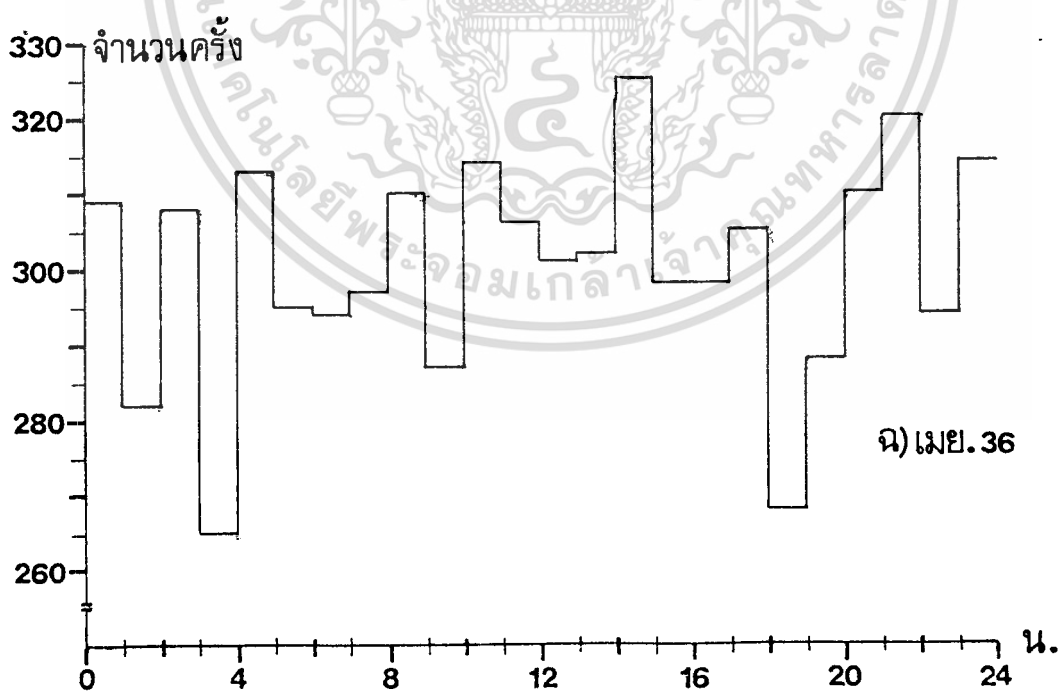
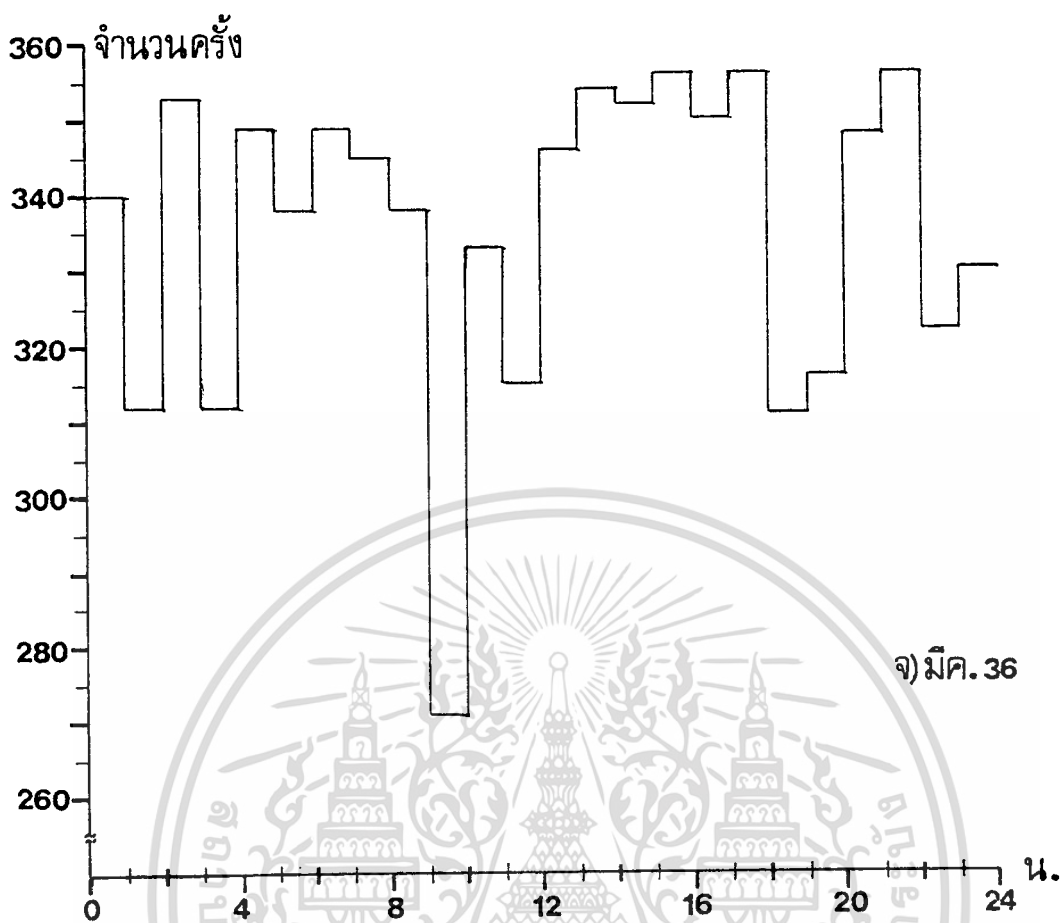


รูปที่ 4.2 (ค) และ (ง) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

รวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในเวลาไรเซชันทางแนวตั้ง

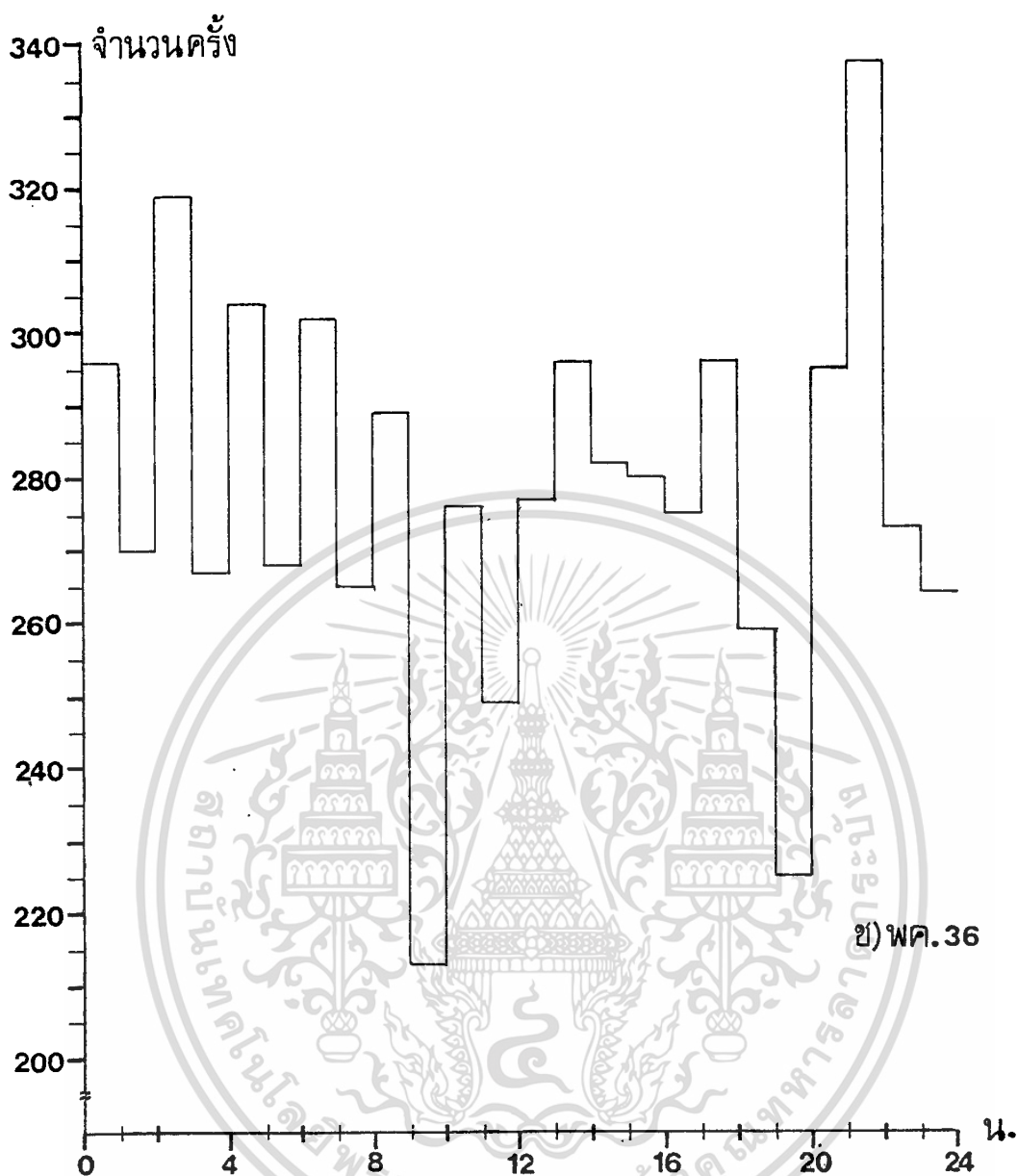
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (จ) และ (ฉ) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในเวลาไรเซชันทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



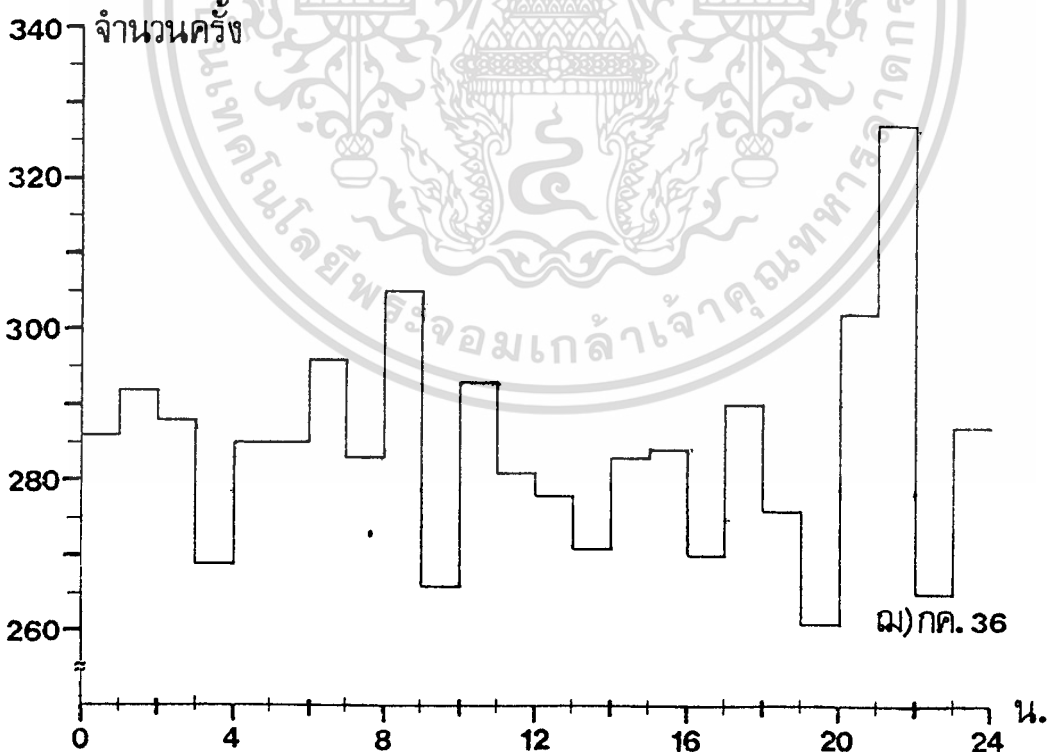
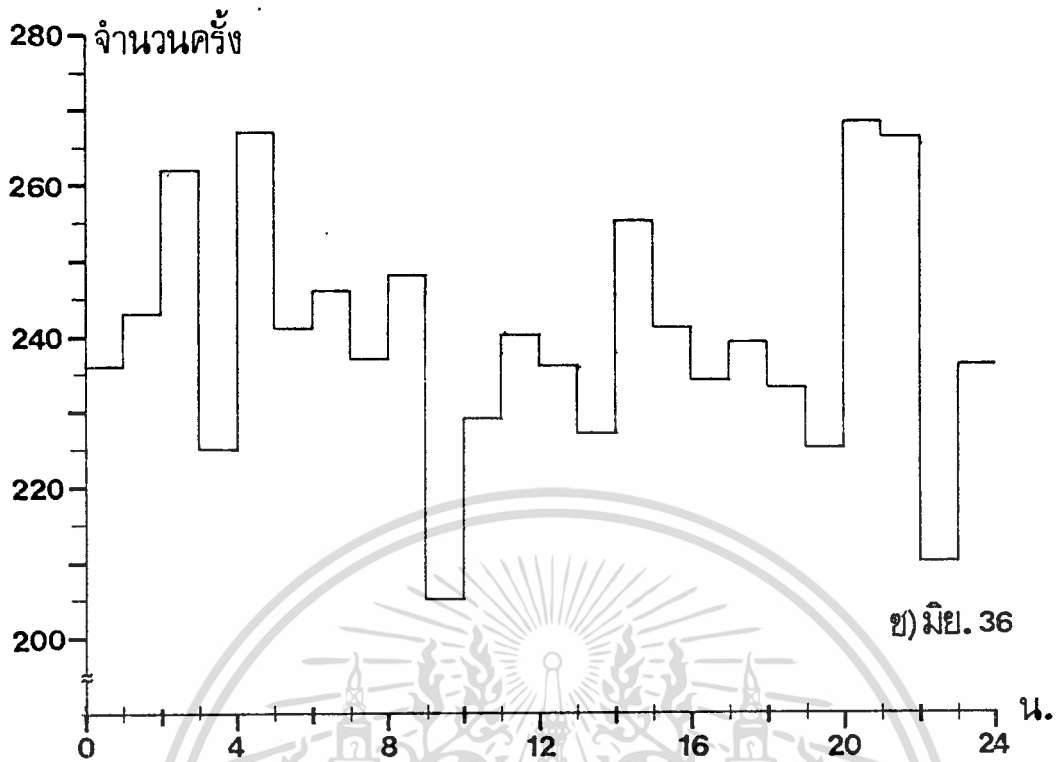
ข) พค.36

รูปที่ 4.2 (ข) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง

เปลี่ยนแปลงแบบมีสัดส่วนกันที่มีค่า 0.5 dB. ขึ้นไป อย่างต่อเนื่องกันไปแต่ละชั่วโมง ที่ซึ่งก็คือสัญญาณที่บันทึกบนกระดาษกราฟอย่างต่อเนื่องนั่นเอง จากรูปที่ 4.2 ทั้งหมด จะเห็นว่าจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะคล้ายคลึงกันทุกเดือน ในค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 07.00 น. โดยเฉพาะในช่วงเวลา 21.00 ถึง 22.00 น. ของทุกเดือน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนมากกว่าช่วงอื่นๆ ดังรูปที่ 4.3 ที่แสดงจำนวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยตลอดการวิเคราะห์ในแต่ละชั่วโมง จากผลอันนี้พบว่าจะสอดคล้องกับช่วงเวลาการปรากฏขึ้นของชั้น F ดังกล่าวแล้วข้างต้น และจากที่มีผู้ทำทดลองโดยผ่านดาวเทียม ISS-b ใน [4]

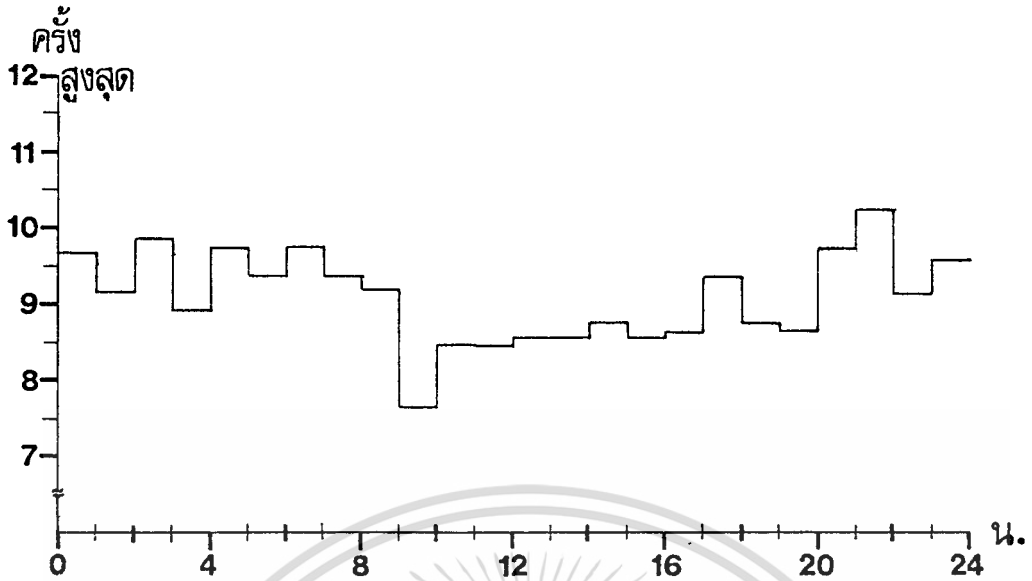
ซึ่งกล่าวไว้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณย่าน C จากชั้นบรรยากาศเอกสาร์เป็นเอกสาร์ที่ส่งวนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

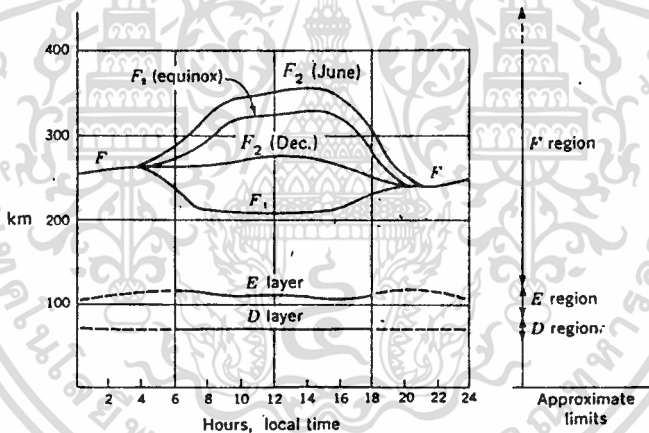


รูปที่ 4.2 (ข) และ (ค) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาร์เรชันทางแนวตั้ง



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของชั้นต่างๆ ภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [18]

ไอโอโนสเฟียร์จะปรากฏในเวลากลางคืนอันเนื่องจากการปรากฏชั้น F ชั้น

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของชั้นต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพื่อแสดงคุณสมบัติของชั้นเหล่านี้ว่ามีผลอย่างไรต่อสัญญาณดาวเทียมที่ต้องเดินทางผ่าน และแสดงช่วงการปรากฏชั้นของชั้น F ซึ่งคือในช่วงเวลาประมาณ 20.00 ถึง 05.00 น. ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงในจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงในแต่ละชั่วโมงในรูปที่ 4.3 ในรูปที่ 4.4 นี้ [18] ชั้น D เป็นชั้นที่มีความสูงจากพื้นโลกต่ำสุด คืออยู่ที่ความสูงเฉลี่ยประมาณ 70 กิโลเมตร ด้วยความหนาเฉลี่ยประมาณ 10 กิโลเมตร ชั้นนี้มุมของความถี่ไอโอโนเรชันจะขึ้นอยู่กับความสูงของดวงอาทิตย์เหนือขอบชั้นนี้ จึงทำให้ในกลางคืน ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D จะหายไป (ดังเส้นประในรูป) ชั้น D เป็นชั้นที่มีความสำคัญน้อยในการแพร่กระจายแบบจุดในย่าน HF ขึ้นไป ชั้น E อยู่สูงชันจากชั้น D อยู่ที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร ด้วยความหนาประมาณ 25 กิโลเมตร ชั้นนี้ก็จะหายไปในเวลากลางคืนเช่นเดียวกับชั้น D เนื่องจากการรวมตัวกันใหม่ของไอออนไปสู่มิโมเลกุล แต่ชั้นนี้จะมีผลการสะท้อนคลื่น HF ในกลางวันเป็นบางส่วน

ชั้น F_1 จะอยู่ที่ความสูงประมาณ 180 กิโลเมตรในกลางวัน และรวมตัวกับชั้น F_2 ในเวลากลางคืน ความหนาของชั้นนี้ในเวลากลางวันจะประมาณ 20 กิโลเมตร คลื่นย่าน HF บางส่วนอาจถูกสะท้อนจากชั้นนี้ แต่ส่วนมากจะผ่านจากชั้นนี้เพื่อสะท้อนจากชั้น F_2 ซึ่งชั้น F_2 เป็นชั้นที่มีความสำคัญมากในการเป็นตัวกลางสะท้อนคลื่น HF โดยชั้นนี้มีความหนาสูงถึง 200 กิโลเมตรในบางครั้ง ด้วยความสูงในระยะจาก 250 ถึง 400 กิโลเมตรในกลางวัน ส่วนในกลางคืนจะตกลงสู่ความสูงประมาณ 300 กิโลเมตร ซึ่งจะรวมกับชั้น F_1 ความสูงและความหนาแน่นของชั้นนี้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมาดั่งรูปแสดง โดยจะขึ้นอยู่กับเวลาของวันหนึ่งๆ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศ และรอบแสงอาทิตย์ เป็นที่ชัดเจนมากที่สุดว่าชั้น F ปรากฏที่เวลากลางคืนไม่เหมือนกับชั้นอื่นๆ สิ่งนี้เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุด้วยกัน คือ หนึ่ง เป็นเพราะชั้นนี้อยู่ที่ระดับความสูงสูงสุด ค่าไอโอไนเซชันจึงมากที่สุด และด้วยเหตุที่สิ่งนี้มีการเปลี่ยนแปลงเป็นบางส่วนสำหรับความเป็นไอโอไนเซชัน จึงยังคงเหลืออยู่ในกลางคืนแม้จะเป็นบางส่วน เหตุผลหลักอื่นๆ คือว่า ความหนาแน่นของไอโอไนเซชันมีค่าสูงในชั้นนี้ ความหนาแน่นอากาศที่แท้จริงจึงไม่ใช่ค่าเดียวกัน และดังนั้น โมเลกุลส่วนใหญ่ในชั้นนี้เป็นไอโอไนเซชัน นอกจากนี้เพราะความหนาแน่นที่แท้จริงที่ต่ำนี้ให้ขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่เป็นเส้นทางของคลื่น (mean free path = ระยะทางเฉลี่ยทางสถิติที่โมเลกุลเดินทางก่อนชนกับโมเลกุลอื่นๆ) อัตราการชนกันของโมเลกุลต่ำนี้ อีกทำนองหนึ่งหมายความว่า ไอโอไนเซชันในชั้นนี้ไม่ได้ปรากฏให้เห็นใดที่ดวงอาทิตย์ขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ มีการทดลองและค้นพบใน [20] ว่า เงื่อนไขการเกิดขึ้นภายใต้สภาพอากาศที่ปลอดโปร่ง มีดังนี้ 1) การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณจะเปลี่ยนตามค่ามุมเงยของสายอากาศ, 2) ขึ้นอยู่กับฤดูกาลโดยในฤดูร้อนจะมีค่าสูง และค่าต่ำในฤดูฝน, 3) การแจ่มแจ้งค่าการเปลี่ยนแปลงในระดับขึ้นอยู่กับความแรงของแม่เหล็กโลก และ 4) สเปกตรัมกำลังของการเปลี่ยนแปลงในระดับสัญญาณเป็นสัดส่วนโดยประมาณกับความถี่

จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 4.2 (จ) กับ 4.2 (ข) ซึ่งเป็นข้อมูลจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงของเดือนเมษายน กับเดือนมิถุนายน ซึ่งทั้งสองเดือนนี้มีจำนวนข้อมูล 30 วันเท่ากัน แต่จะต่างกันสภาพอากาศ คือ ในเดือนเมษายนอยู่ในสภาพฤดูร้อน มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดวันสูงกว่าเดือนอื่นๆ ในรอบปี คือ ค่าเฉลี่ยประมาณ 29.9°C (ค่าเฉลี่ย สูงสุด

33.8°C ต่ำสุด 26.9°C) ปริมาณฝนตกรวมเท่ากับ 44.8 มม. ส่วนในเดือนมิถุนายนจะอยู่ในสภาพฤดูฝน โดยมีปริมาณฝนตกรวมเท่ากับ 149.3 มม. และอุณหภูมิเฉลี่ย 29.8°C (ค่าเฉลี่ยสูงสุด 33.4°C ต่ำสุด 26.9°C) (ดูรูปที่ 4.13 และ 4.11) [19] จากรูป 4.2 (ง) จะเห็นว่าจำนวนครั้งที่เกิดสูงสุดเท่ากับ 325 ครั้ง ที่เวลา 15.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33.8°C และมีความต่างในจำนวนการเกิดจากจำนวนต่ำสุด (265 ครั้ง) เท่ากับ 60 ครั้ง ซึ่งหมายความว่าตลอดช่วงเดือนเมษายนนี้จะมีการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันสูงตลอดเวลา และสูงกว่าเดือนมิถุนายน ในรูป 4.2 (ข) ที่มีความต่างในจำนวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเท่ากับ 63 ครั้ง (268-205 ครั้ง) ซึ่งผลอันนี้ตรงกับเงื่อนไขข้อที่ 2 ใน [20] ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

จาก [21] กล่าวว่าแต่ละชั้นในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ได้รับค่าจุดดับบนดวงอาทิตย์ (N_{max}) แต่ละชั้นต่างกันตามตำแหน่งและเวลา และความถี่สูงสุดที่จะถูกสะท้อนจากชั้นนั้นด้วย โดยถ้า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกปล่อยออกมาในลักษณะแบบแนวตั้ง ไปสู่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ การสะท้อนจะเกิดขึ้น เมื่อ $n_x = 0$ โดยเราได้สมการดัชนีการหักเห (n) เมื่อพิจารณาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นดัง ไดอิเล็กตริก ได้ดังนี้

$$n = \sqrt{\epsilon_r / \epsilon_0} \quad (4.1)$$

เมื่อ ϵ_r / ϵ_0 คือ effective relative permittivity

$$n = \left\{ 1 - \left[Ne^2 / (\epsilon_0 m \omega^2) \right] \right\}^{1/2} = \left\{ 1 - (\omega_c / \omega)^2 \right\}^{1/2} = \left(1 - 81(N/f^2) \right)^{1/2} \quad (4.2)$$

เมื่อ m คือ มวลของอิเล็กตรอน

$$\omega = 2\pi f$$

ส่วนจำนวน 81 ในสมการ 4.2 ได้จากการประมาณค่าแบบทั่วไปคือ

$$(e^2 / 4\pi^2 \epsilon_0 m) = 80.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เกิดจากเมื่อ $\omega^2 = \omega_c^2 = Ne^2 / (\epsilon_0 m)$, ดัชนีการหักเห $n = 0$ บนด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราสามารถเขียน N ในเส้นทางแบบแนวตั้ง ได้ดังนี้

$$n_x = \{ 1 - 81(N_x/f^2) \}^{1/2} = 0 \quad (4.3)$$

และเราจะได้สมการแสดงความถี่สูงสุดที่จะสะท้อน โดยชั้นบรรยากาศนี้เมื่อ N_x เป็นค่าสูงสุด

$$f_c = 9(N_{\max})^{1/2} = w_c/2\pi \quad (4.4)$$

ซึ่งสมการที่ 4.4 นี้เรียกว่าความถี่วิกฤติ หรือเรียกว่าความถี่ plasma

ความถี่สูงสุดที่จะถูกสะท้อนกำหนดด้วยชั้นต่างๆ ดังนี้ f_oE , f_oF_1 และ f_oF_2 ซึ่งค่าความถี่เหล่านี้จะไม่คงที่แต่เปลี่ยนไปตามช่วงเวลา, ฤดูกาล และด้วย solar patterns ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า N_{\max} ของชั้น F_1 และ F_2 ไปตามเวลาของแต่ละฤดู การประเมินค่าความถี่วิกฤติ 2 สมการที่จะเปลี่ยนไปขณะเวลาใดๆ ของแต่ละวันและฤดูใดๆ ดังนี้

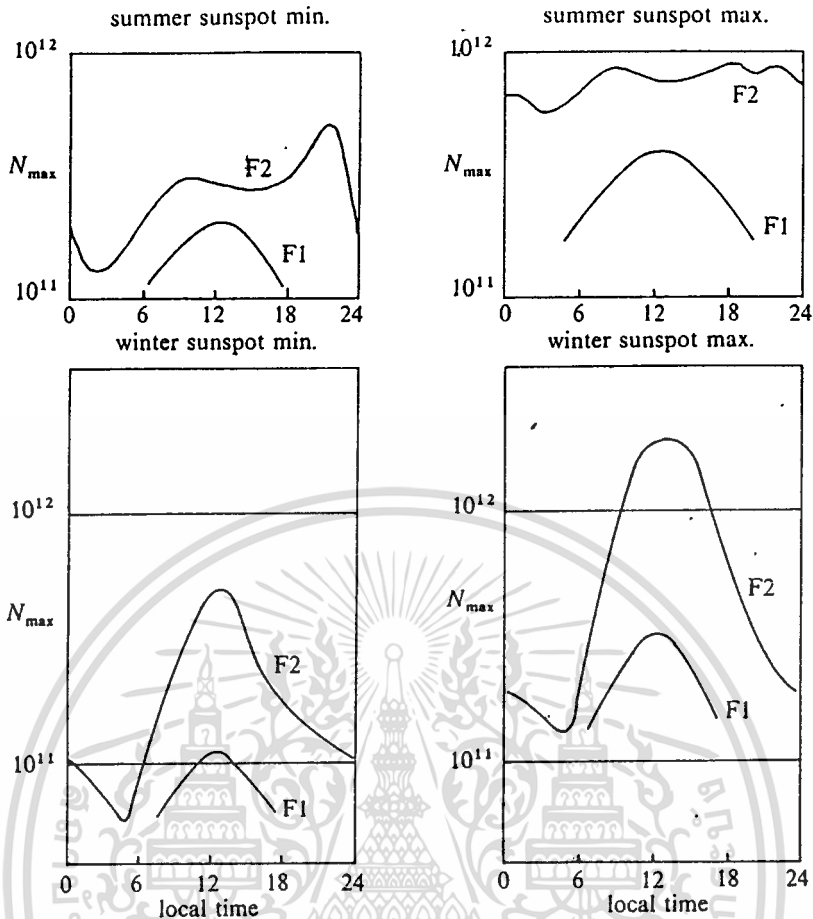
$$f_oE = 0.9 [(180 + 1.44R) \cos X]^{0.25} \text{ MHz} \quad (4.5)$$

$$f_oF_1 = (4.3 + 0.01R) \cos^{0.2} X \text{ MHz} \quad (4.6)$$

เมื่อ R คือ จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์
 X คือ มุมที่จุดที่ตรงศรีระบแท่งฟ้าของดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.2 ทั้งหมดจะพบว่าจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณย่าน C นี้ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์จะมีความต่างของจำนวนครั้งในวันหนึ่งสูงกว่าเดือนอื่นๆ คือเท่ากับ 40, 197, 91 และ 100 ครั้ง ตามลำดับ เพราะอุณหภูมิของแต่ละวันส่วนใหญ่จะต่ำ คืออยู่ในช่วงฤดูหนาว แต่ค่าความต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดกับต่ำสุดจะสูงคือเท่ากับ 6.7, 8, 8.1 และ 8.4 °C ตามลำดับ ซึ่งจะสูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ที่แสดง ดังรูปในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม และเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคม ที่เป็นช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนตามลำดับ จะมีความต่างของอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 6, 6.4, 6.2, 6.5 และ 6.4 °C ตามลำดับ และค่าความต่างของจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุดกับต่ำสุดเท่ากับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่า N_{max} ของชั้นบรรยากาศ F_1 และ F_2 จาก [21]

85, 60, 124, 63 และ 66 ครั้ง ตามลำดับ จึงเห็นความสัมพันธ์ระดับการเปลี่ยนแปลงจำนวนครั้งจะซ้ำกับการเปลี่ยนแปลงในค่าอุณหภูมิ จะสังเกตได้ว่าในเดือนเมษายนจะมีความต่างของจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเดือนอื่นๆ ในช่วง 5 เดือนหลังนี้เป็นเพราะเดือนนี้อยู่ในสภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง (เมฆจะมีประมาณ 7 ใน 10 ส่วน) จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงจึงเกิดขึ้นสูงตลอดวันของเดือนและจะสูงกว่าช่วงอื่นๆ

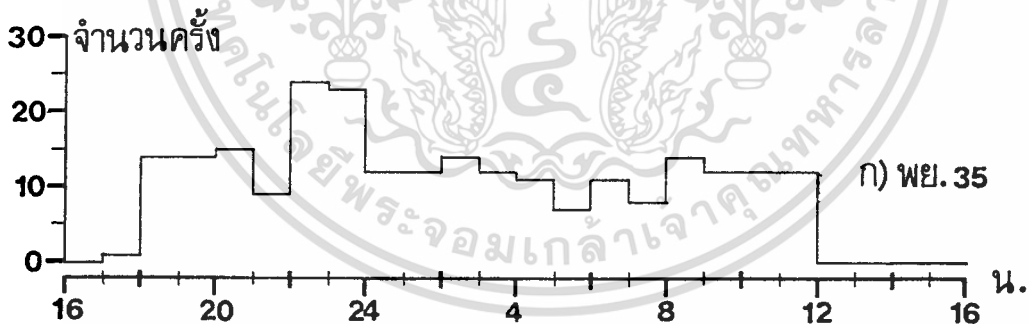
จากรูปที่ 4.6 ทั้งหมด แสดงจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณย่าน C ในโพลาริเซชันแนวนอน ในแต่ละชั่วโมง ของเดือนต่างๆ ซึ่งพบว่าในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน จะมีจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ซึ่งหมายถึงช่วงฤดูร้อนจะมีจำนวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าฤดูอื่นๆ และทุกเดือนเมื่อเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่าจำนวนการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะเกิดขึ้นในช่วงเวลา 19.00 ถึง 07.00 น. สูงกว่าช่วงอื่นๆ โดยเฉพาะในช่วง 21.00 ถึง 23.00 น.

จะสูงสุด คือ ประมาณ 10.48 ถึง 10.75 % ของจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดเวลาการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

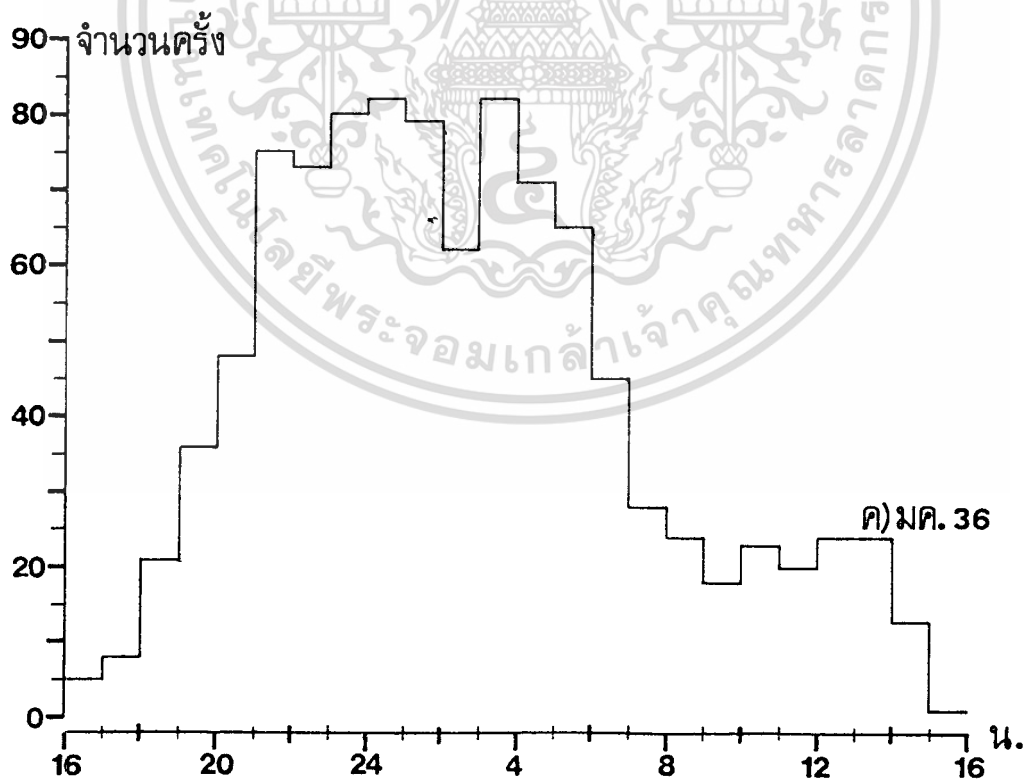
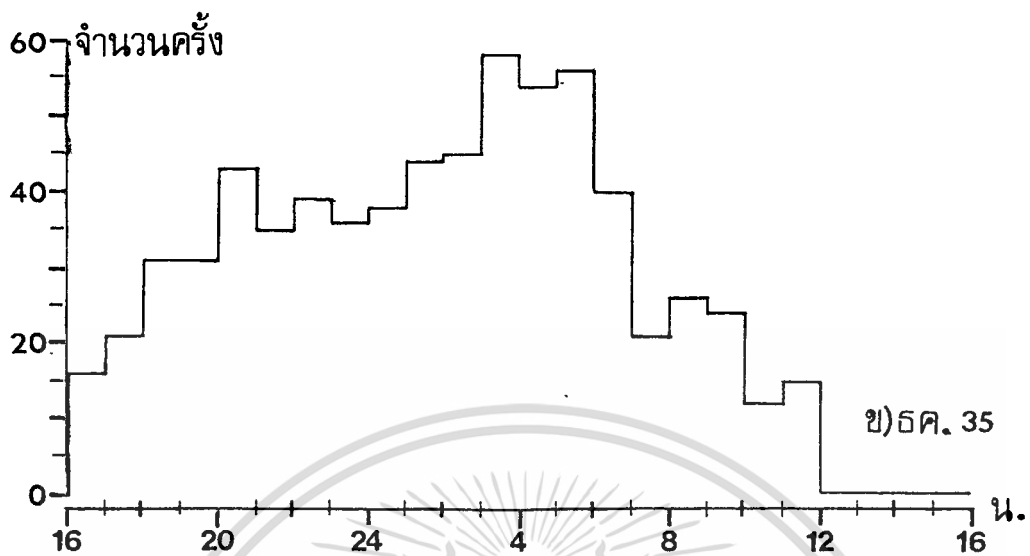
เคราะห์ ส่วนค่าต่ำสุดพบว่าอยู่ในช่วง 10.00 ถึง 16.00 น. ประมาณ 0.47 ถึง 1.09 % ของจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดเวลาการวิเคราะห์ แสดงว่าสัญญาณ C ทั้งสองโพลาริเซชัน คือ แบบแนวตั้งที่แสดงในรูป 4.2 ทั้งหมดและรูป 4.3 กับ แบบแนวนอนในรูป 4.6 ทั้งหมดและรูป 4.7 จะได้รับผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในรอบแต่ละวันคล้ายคลึงกัน ในจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงที่พบ ว่าจะมีจำนวนมากสุดในช่วงเวลากลางคืน คือ โดยประมาณ 21.00 ถึง 23.00 น. และจำนวนต่ำสุดในช่วงเวลากลางวันคือประมาณเวลา 10.00 ถึง 16.00 น. เพียงแต่จำนวนครั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแบบแนวนอนในช่วงเวลากลางวันนั้นจะต่ำกว่าของสัญญาณแบบแนวตั้งมาก อย่างที่แสดงในรูป 4.6 (ง) ของเดือนกุมภาพันธ์ พบว่าในเวลากลางวันไม่มีการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเลยตลอดเดือน ส่วนเดือนอื่นๆ จะเห็นว่าค่าเช่นกันในจำนวนที่เกิด 0 ถึง 36 ครั้ง ในขณะที่ของสัญญาณแบบแนวตั้ง จะเห็นได้จากรูปที่ 4.2 ทั้งหมดที่แสดงแล้วว่า ในกลางวันการเปลี่ยนแปลงยังเกิดขึ้นในจำนวนหนึ่งที่สูงกว่ากลางคืน แต่ยิ่งมากกว่าของสัญญาณแบบแนวนอนอยู่มาก ผลความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับกลไกการเลือกพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแบบแนวนอนในช่วงเวลากลางวัน ที่จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในรูปร่างการขึ้นลงของระดับสัญญาณต่างจากของสัญญาณแนวตั้ง โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแบบแนวนอนนี้จะแสดงสาเหตุมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ เป็นสำคัญ [5, 16]



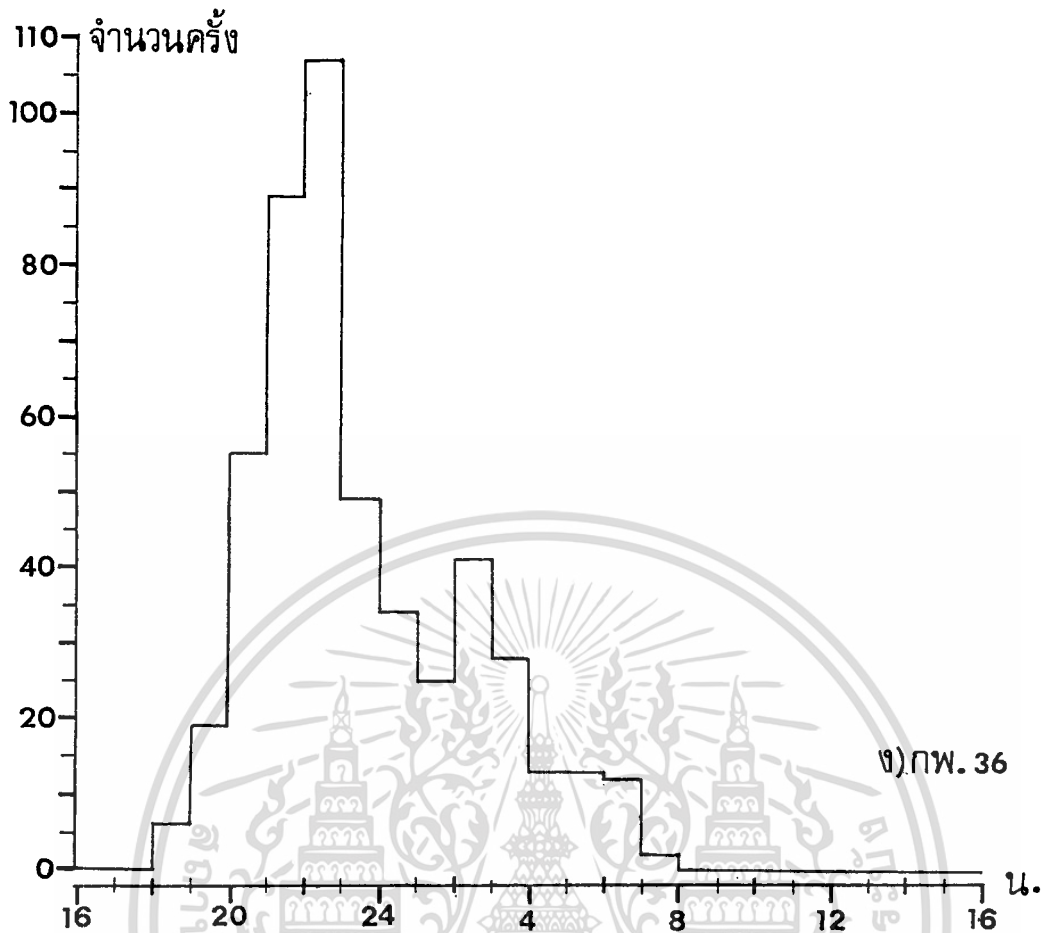
รูปที่ 4.6 (ก) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

รูปที่ 4.8 (ก) ถึง (ง) แสดงเปรียบเทียบปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียมทั้ง 2 โพลาริเซชัน ซึ่งปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่แสดงอยู่ในรูปนี้ได้มาจากการวิเคราะห์ด้วยดัชนี S_4 ในสมการที่ 1.1 ซึ่งค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณที่รับได้ในแต่ละชั่วโมงใช้หลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3

แล้ว จากรูป 4.8 ทั้งหมดนี้ จะเห็นปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะสูงในช่วงเวลาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ข) และ (ค) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เอกสารร่วมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ใน โพลาร์ไรเซชันทางแนวอนันต์ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ง) กพ. 36

รูปที่ 4.6 (ง) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน

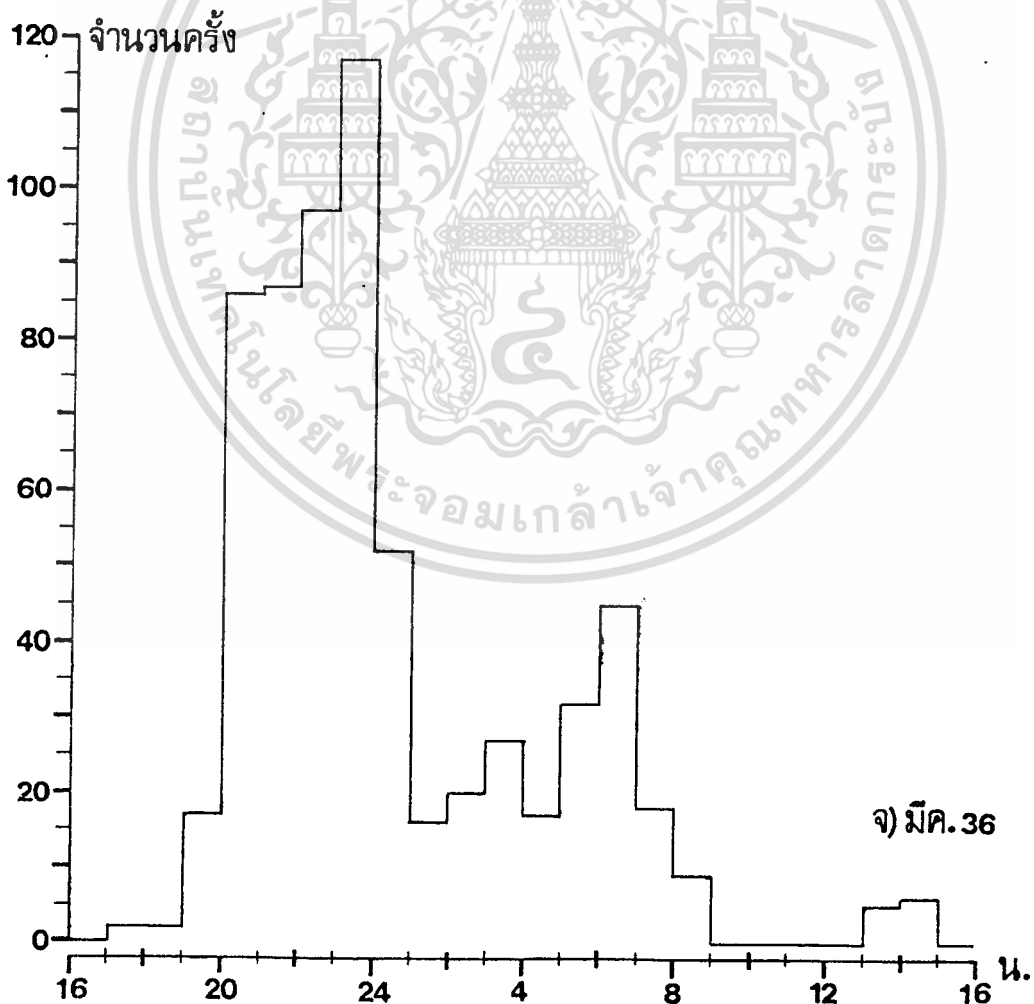
17.00 ถึง 07.00 น. และต่ำในช่วงเวลา 10.00 ถึง 16.00 น. โดยค่าต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเวลา 12.00 ถึง 13.00 น. และพบว่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงของเดือนธันวาคม ถึงเดือนมีนาคม สัญญาณแบบพลาโรเซชันทางแนวอน (H) จะมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันสูงกว่าสัญญาณแบบโพลาริเซชันทางแนวตั้ง (V) โดยส่วนใหญ่ตลอดวัน ส่วนเดือนอื่นๆ ที่แสดงในรูปที่ 4.8 และ 4.9 สัญญาณโพลาริเซชันทางแนวตั้งจะมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันสูงกว่าเป็นส่วนใหญ่ตลอดวัน สาเหตุที่ปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณโพลาริเซชันทางแนวอนมีค่าสูงกว่าในช่วง เดือนธันวาคม ถึงเดือนมีนาคม เป็นเพราะช่วงเวลานี้อยู่ในสภาพอากาศปลอดโปร่ง คือ ปริมาณเมฆบดบังฟ้า (ดูรูปที่ 4.12) , ปริมาณฝนตก (ดูรูปที่ 4.13) , ความดันไอน้ำ (ดูรูปที่ 4.14) มีค่าต่ำกว่าช่วงอื่น ซึ่งค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเฉลี่ย r.m.s. ต่ำสุด ภายใต้สภาพอากาศปลอดโปร่ง จะเป็นไปตามความสัมพันธ์ของกฎ Coscant power [3] ดังนี้

$$\sigma_{\text{งาน}}^2 = A(\text{CSC } \theta)^B \quad (4.7)$$

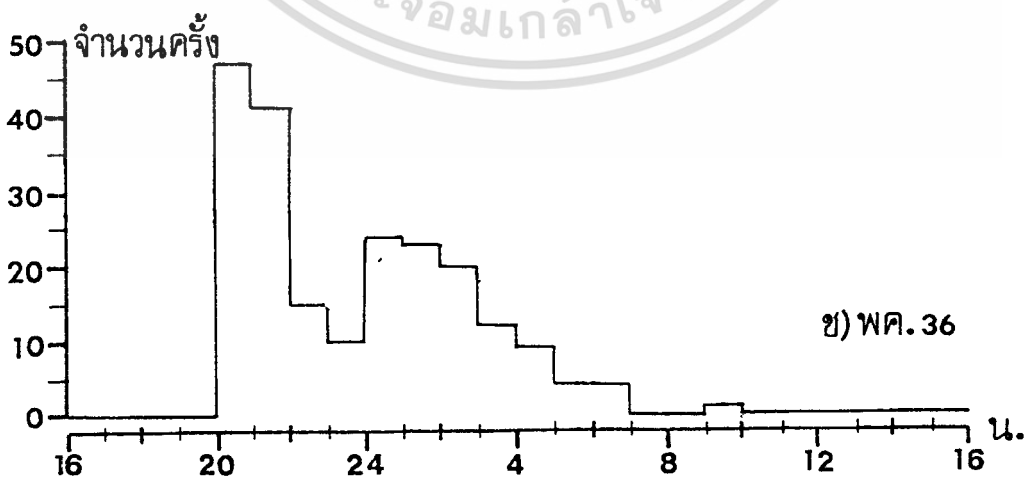
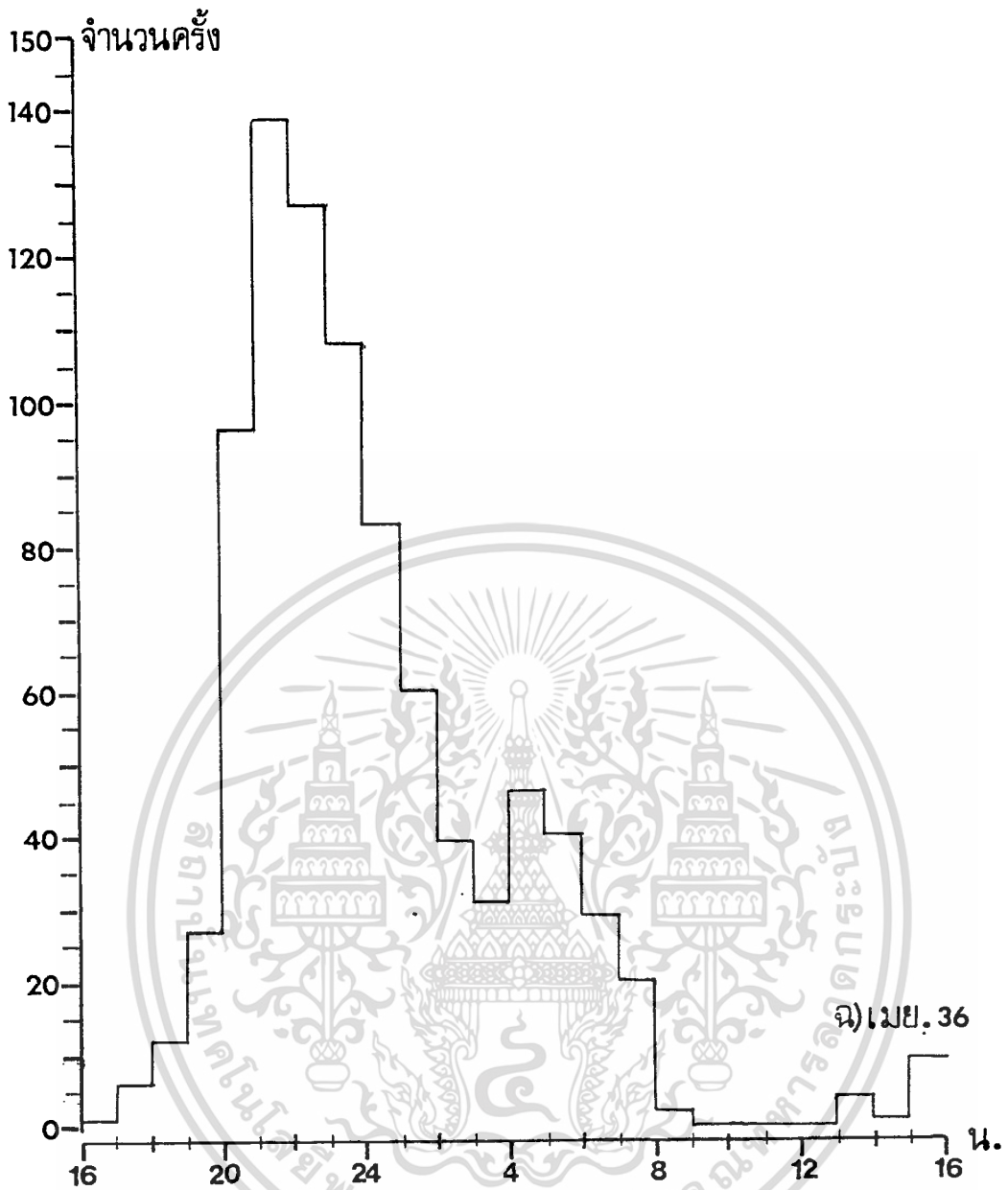
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Θ = มุมเงยของสายอากาศ
 A, B = ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความถี่

ซึ่งจากสมการ 4.7 ถ้าความถี่อยู่ในช่วงค่า 2 ถึง 30 กิกะเฮิรตซ์ ค่า A จะเท่ากับ $10^{-4.9}$ ถึง $10^{-4.3}$ ส่วน B จะเท่ากับ $(1.62 \pm .2)$ ถึง $(2.14 \pm .3)$ ซึ่งค่าจะสูงขึ้นตามความถี่ แต่ในกรณีของผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.8 ความถี่ที่ใช้งานจะต่างกัน 0.06 กิกะเฮิรตซ์ ค่า A และ B จะใกล้เคียงกันมากตามสัดส่วนที่หาได้จากค่าในช่วง 2 ถึง 30 กิกะเฮิรตซ์ข้างต้น แต่ในมุมเงยของสายอากาศที่ได้รับสัญญาณแบบแนวอนจากดาวเทียม Palapa มีค่าต่ำกว่าของสัญญาณแบบแนวตั้งอยู่ถึง 4.41 องศา จึงเป็นสาเหตุทำให้ค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนมีนาคมของสัญญาณแบบแนวอนสูงกว่าของสัญญาณแบบแนวตั้งในสภาพอากาศที่ปลอดโปร่ง

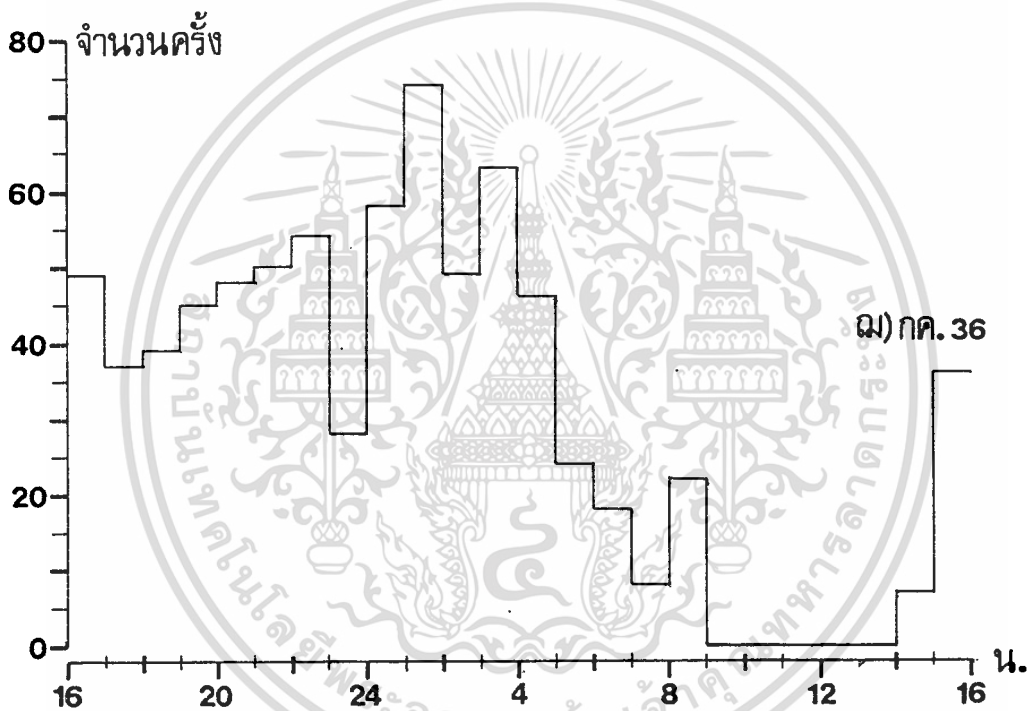
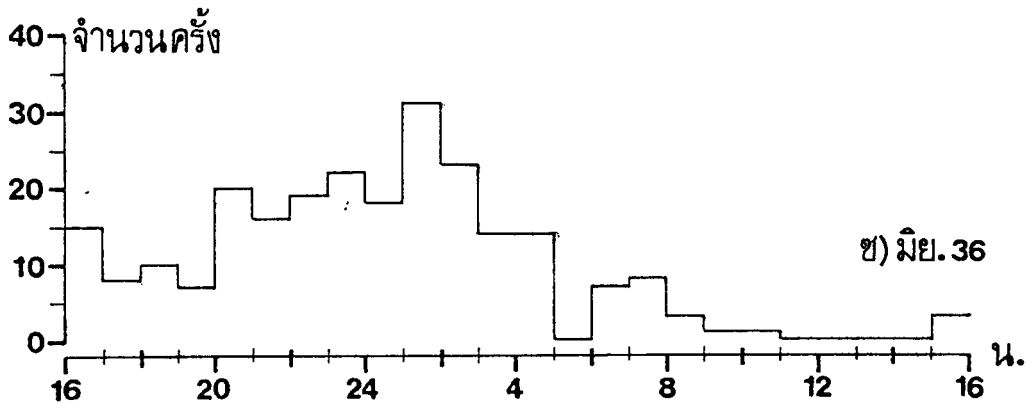


รูปที่ 4.6 (จ) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ฉ) และ (ข) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

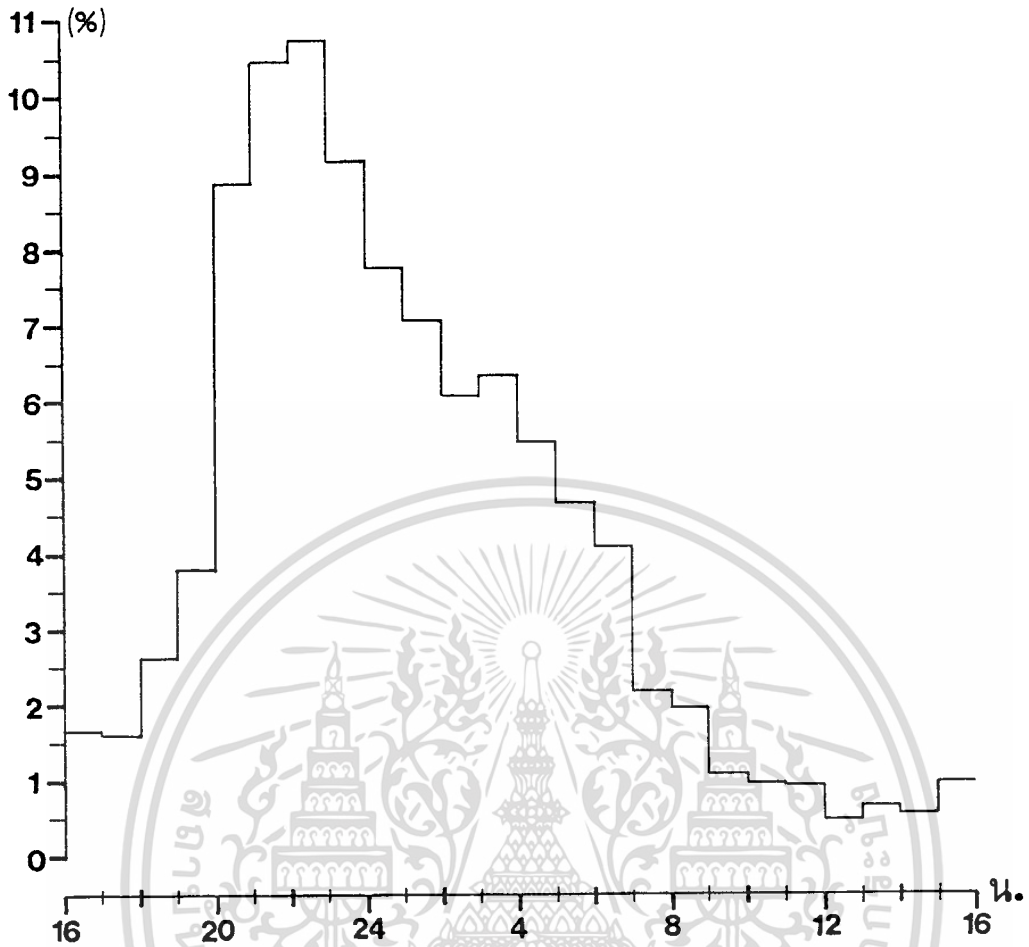
รวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาร์ไรเซชันทางแนวอนขั้วประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ข) และ (ค) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

ส่วนรูปที่ 4.8 (ก) และ 4.8 (จ) ถึง (ฉ) และ 4.9 จะเห็นว่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงของของสัญญาณแบบแนวตั้งจะสูงกว่าของแนวนอน ผลอันนี้เกิดจากช่วงเวลานี้มีการเปลี่ยนแปลงในสภาพอากาศสูงกว่าในช่วงอื่นคือ อุณหภูมิ, ปริมาณเมฆ, ปริมาณฝนตก, และความดันไอน้ำ (ดูรูปที่ 4.11 ถึง 4.14) ซึ่งทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้เปลี่ยนแปลงตามตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยานั้น และดัชนีการหักเหที่วิเคราะห์ในบทที่ 5 ดังรูปที่ 5.2 จะเห็นค่าดัชนีการหักเหจะสูงกว่าในช่วงอื่นๆ ด้วย จึงทำให้ปริมาณการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความถี่ คือของสัญญาณแบบแนวตั้งจะมีความถี่สูงกว่าของสัญญาณแบบแนวนอนมีปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันสูงกว่า ผลอันนี้

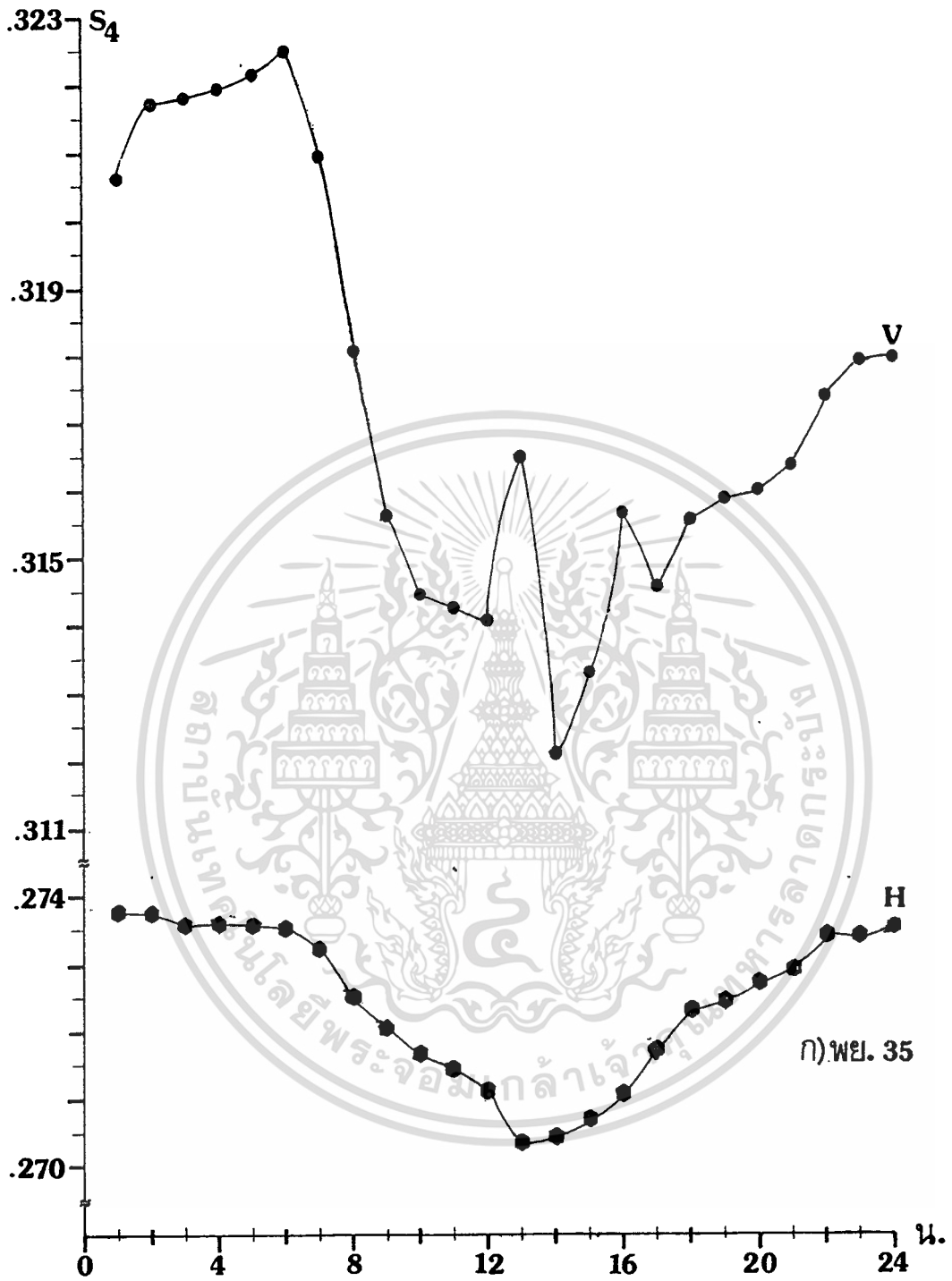
เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการสื่อสารแห่งประเทศไทย เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



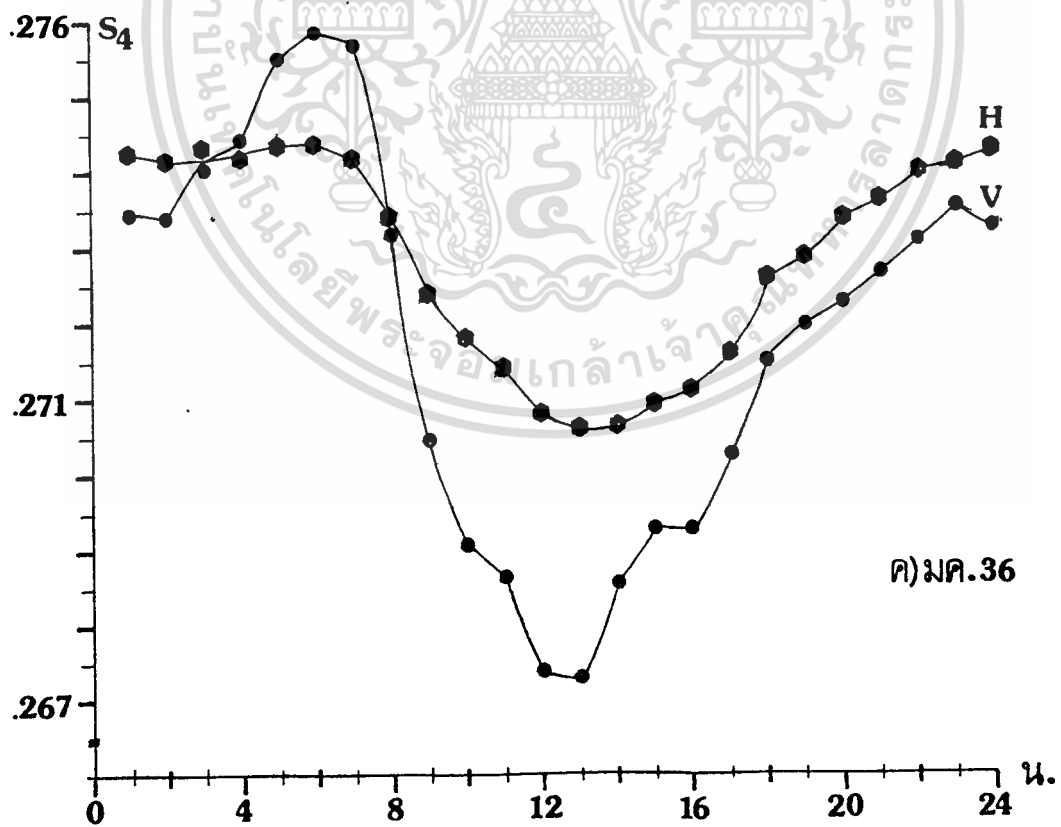
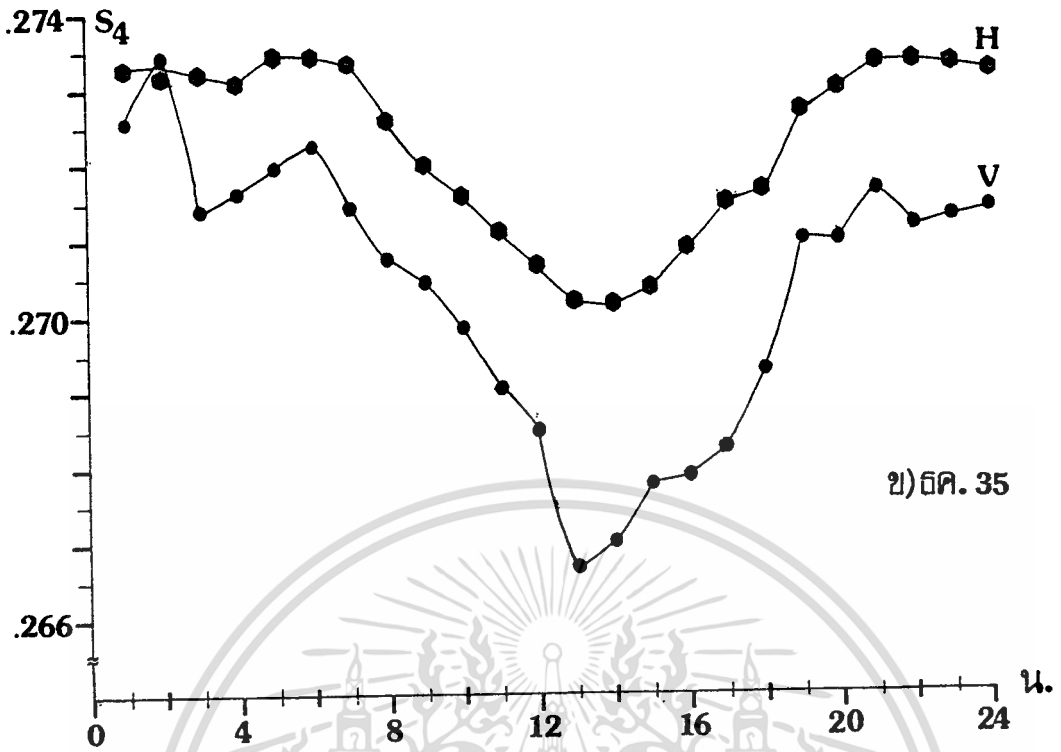
รูปที่ 4.7 จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน

สอดคล้องกับรายงานของ CCIR และผลการทดลองใน [3]

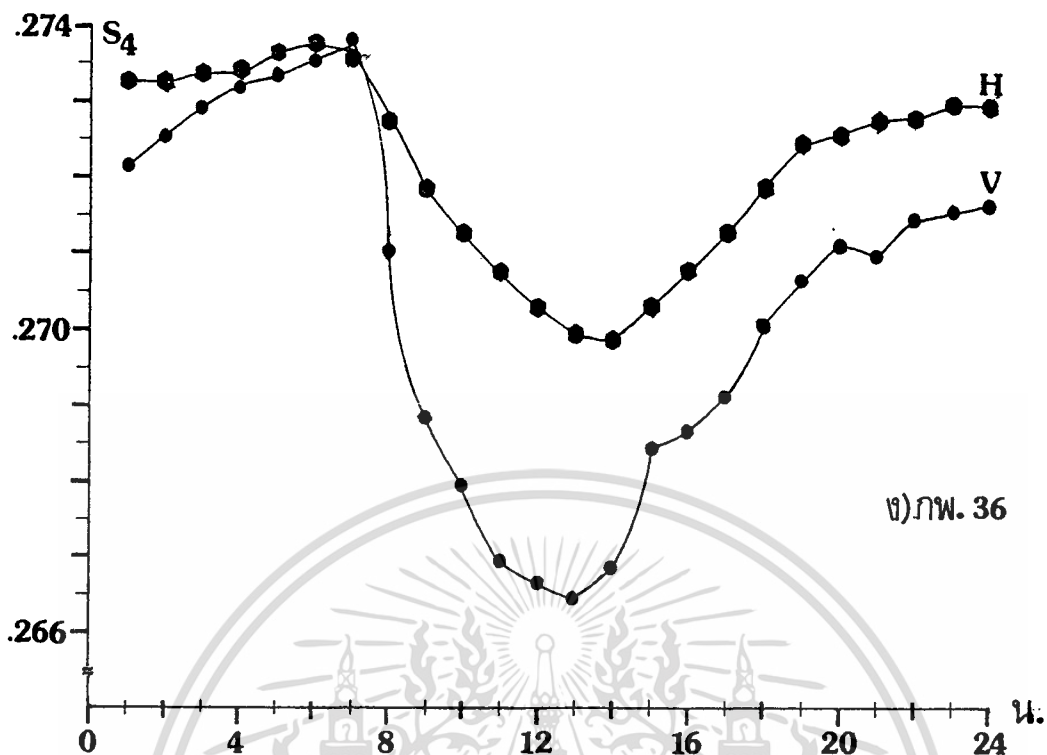
ถึงแม้ว่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณย่าน C ทั้ง 2 แบบโพลาริเซชัน จะต่างกันในช่วงเวลา แต่จากรูปที่ 4.2, 4.3, 4.6, 4.7 และ 4.8 ทั้งหมด จะพบว่าจำนวนครั้งที่เกิด และปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณทั้งสอง มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเหมือนกันในช่วงแต่ละชั่วโมงของแต่ละเดือน คือ แต่ละเดือนจะมีค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณทั้งสองอยู่ในช่วงค่าเดียวกัน ต่างกันเฉลี่ยประมาณ 0.004×10^{-3} เท่านั้น ดังรูปที่ 4.9



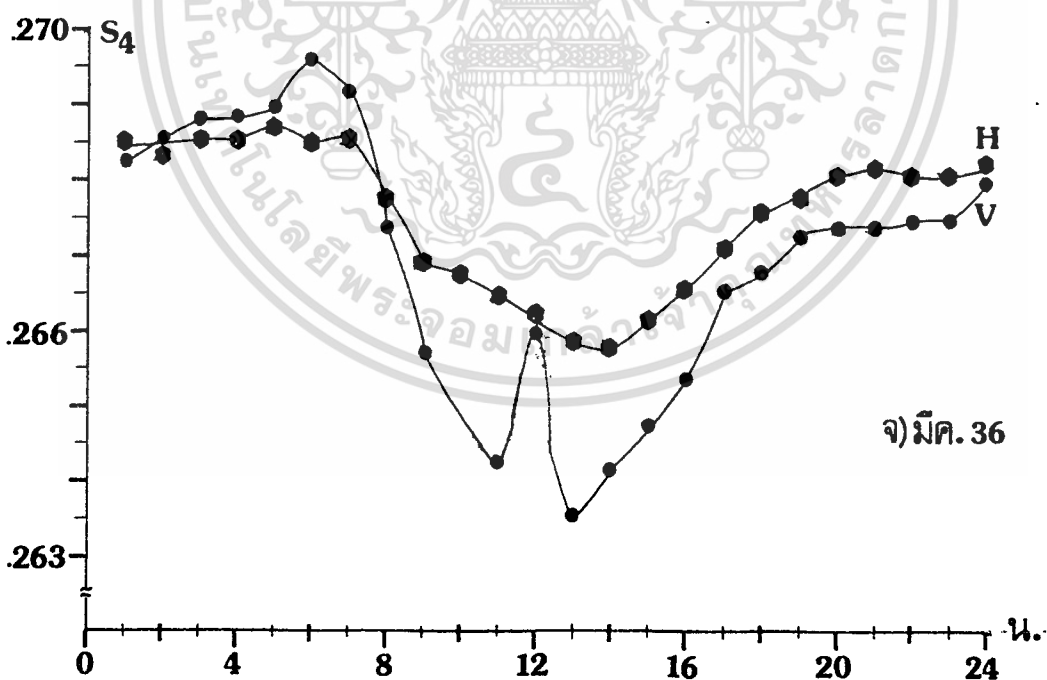
รูปที่ 4.8 (ก) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_4 \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโวลตาโรเซชัน



รูปที่ 4.8 (ข) และ (ค) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน เท่ากับ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ... (S₄ × 10⁻³) ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



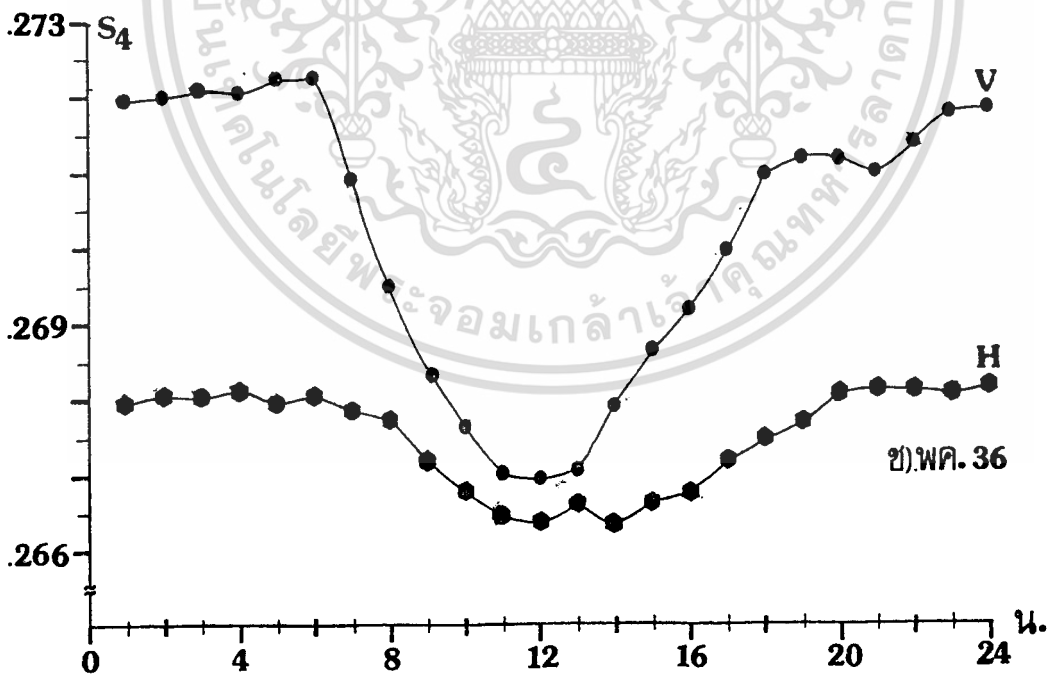
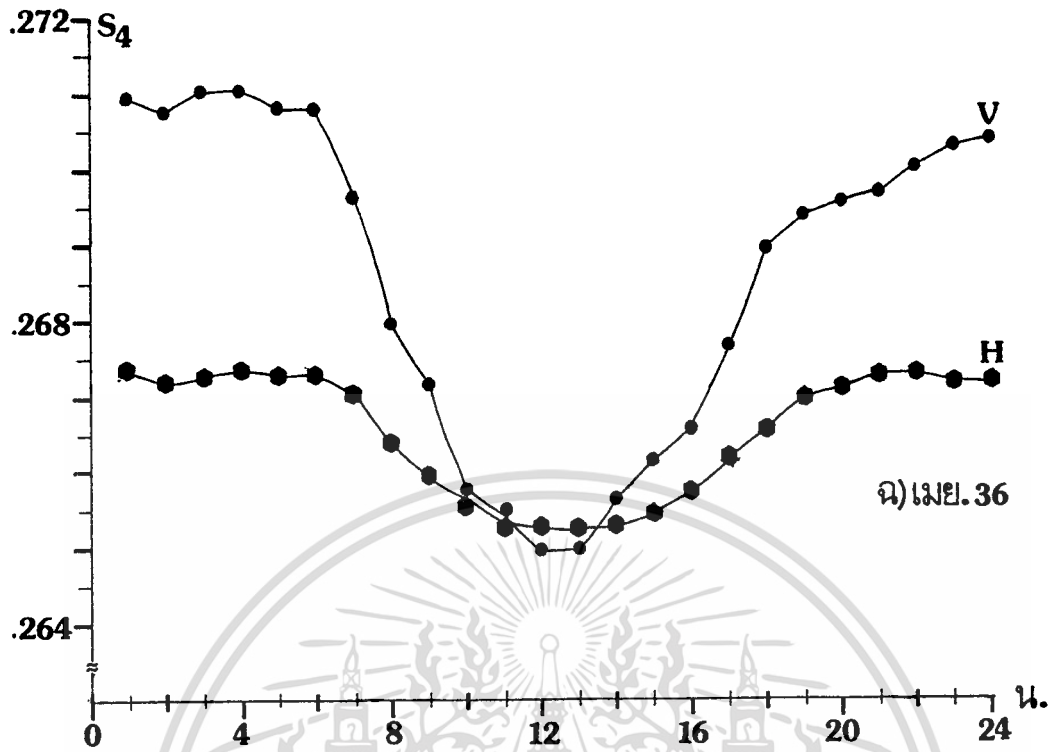
จ) ภาพ. 36



จ) มีค. 36

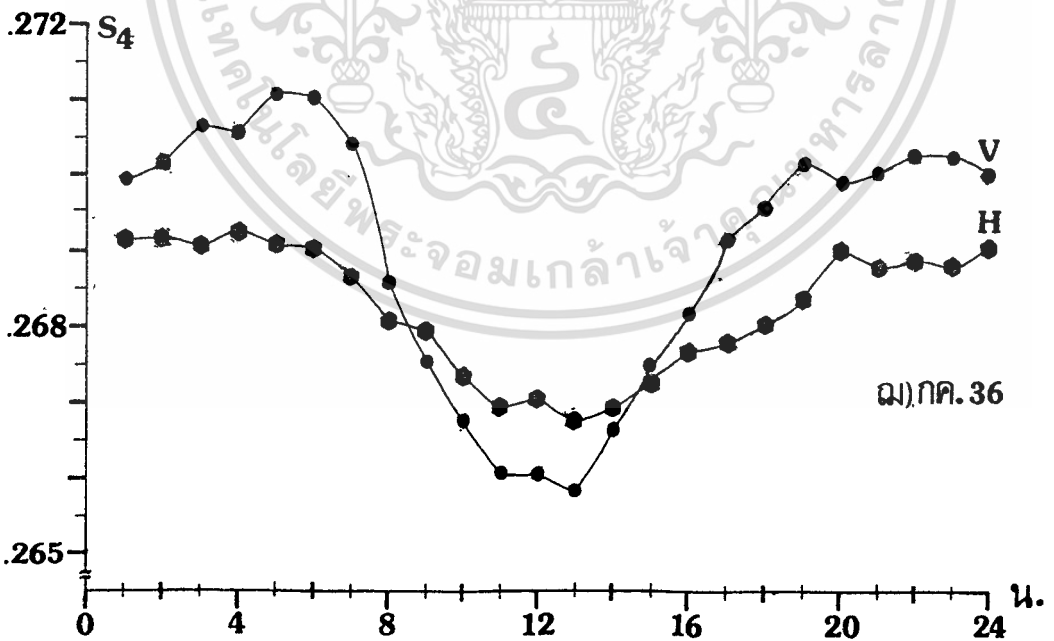
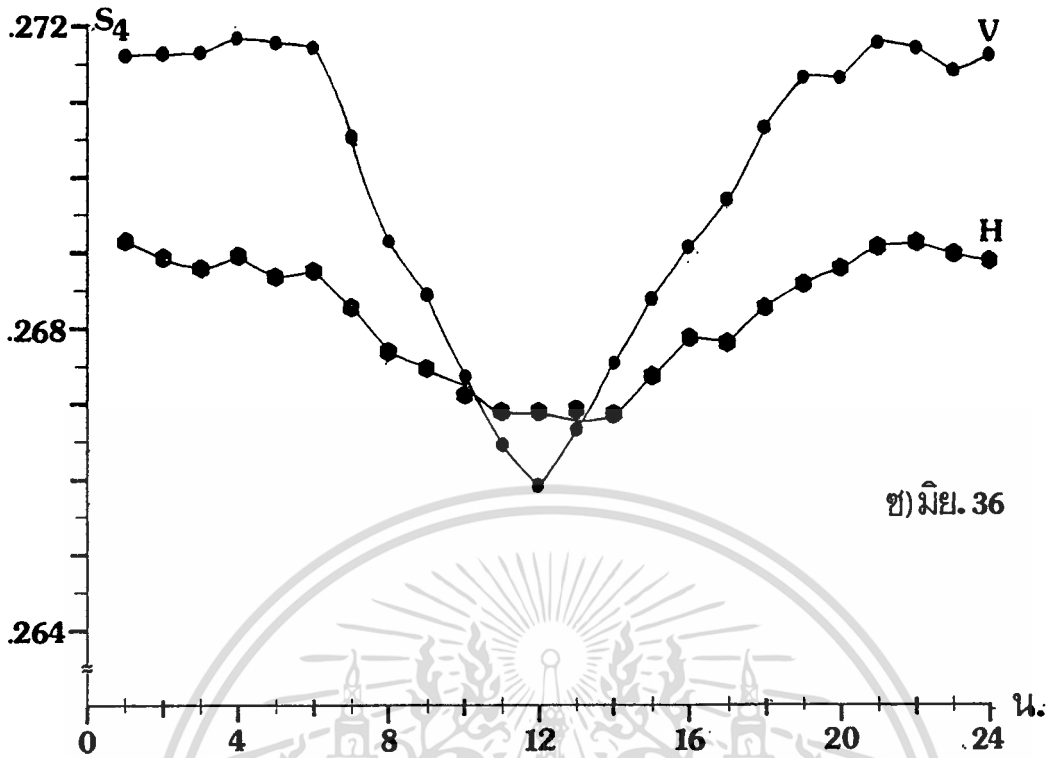
รูปที่ 4.8 (ง) และ (จ) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน เท่ากับ $-(S_4 \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



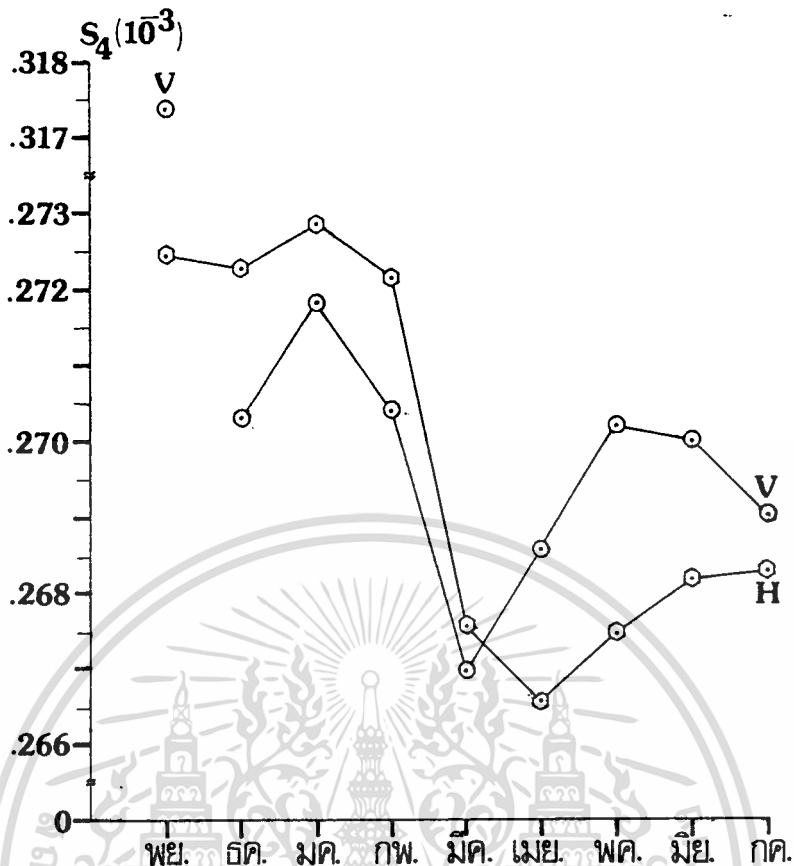
รูปที่ 4.8 (จ) และ (ข) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน เท่ากับ $-(S_4 \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโพลาริเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 (ช) และ (ฉ) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน เท่ากับ $-(S_4 \times 10^{-3})$ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโวลตาโรเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



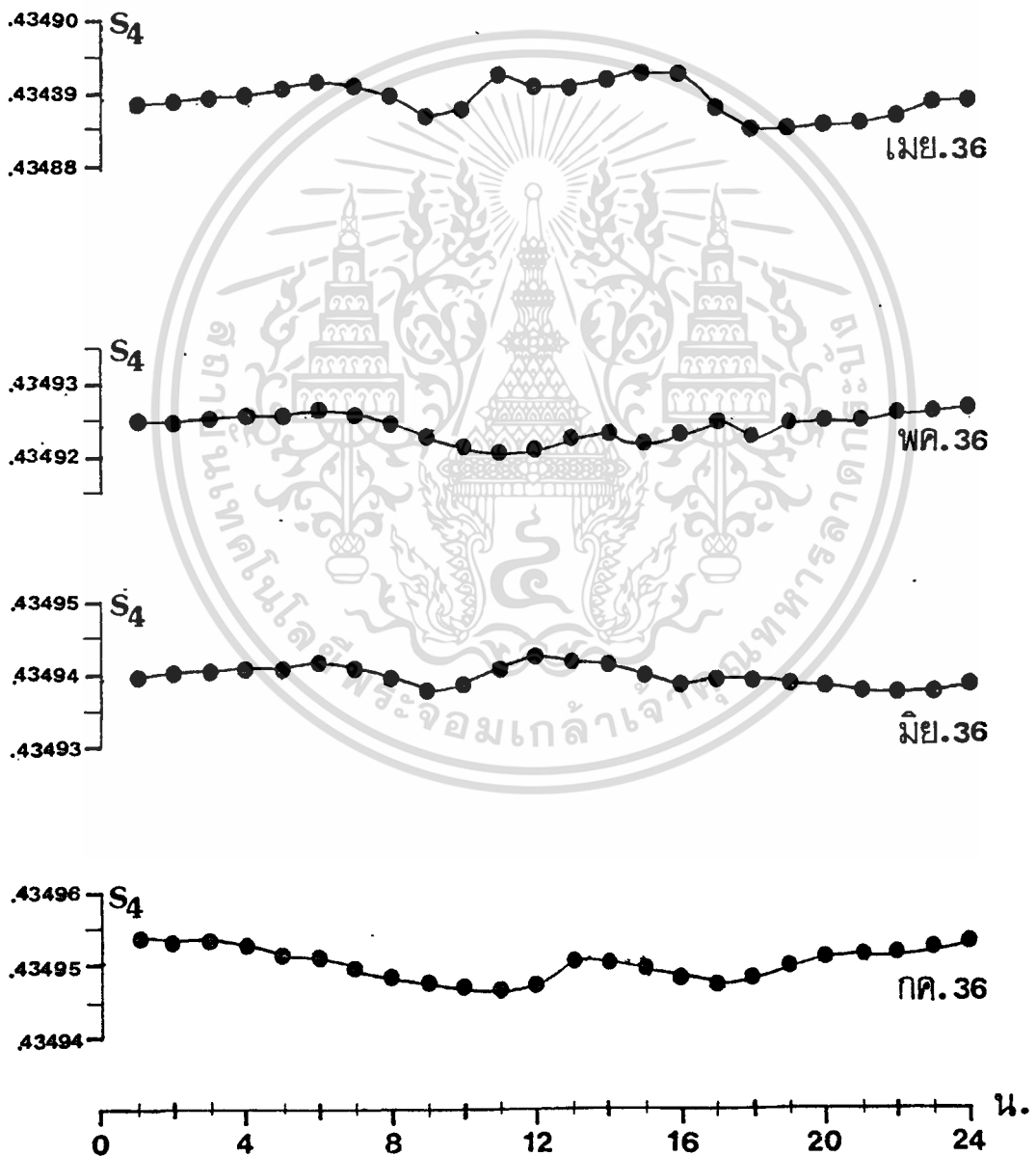
รูปที่ 4.9 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเฉลี่ยในแต่ละเดือน

4.4 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เกิดขึ้นในย่าน C กับ Ku

จากการทดลองรับสัญญาณย่าน Ku จากดาวเทียม BS-3a ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 110°E เหนือเส้นศูนย์สูตร ด้วยมุมเงยของสายอากาศที่ใช้รับ 70.63 องศา อย่างต่อเนื่อง ระดับสัญญาณที่รับได้จะมีค่าต่ำมาก คือ ตลอดช่วงที่นำมาพิจารณาที่นี้ ตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนกรกฎาคม ระดับสัญญาณจะอยู่ระหว่าง -0.6006689×10^2 ถึง -0.6004227×10^2 dBm เท่านั้น และตลอดการทดลองระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะต่ำกว่า 0.5 dB. ตลอดสาเหตุประการสำคัญคือระดับ EIRP ต่ำสุด ของสัญญาณดาวเทียมดวงนี้มาถึงจุดรับของเราต่ำมาก

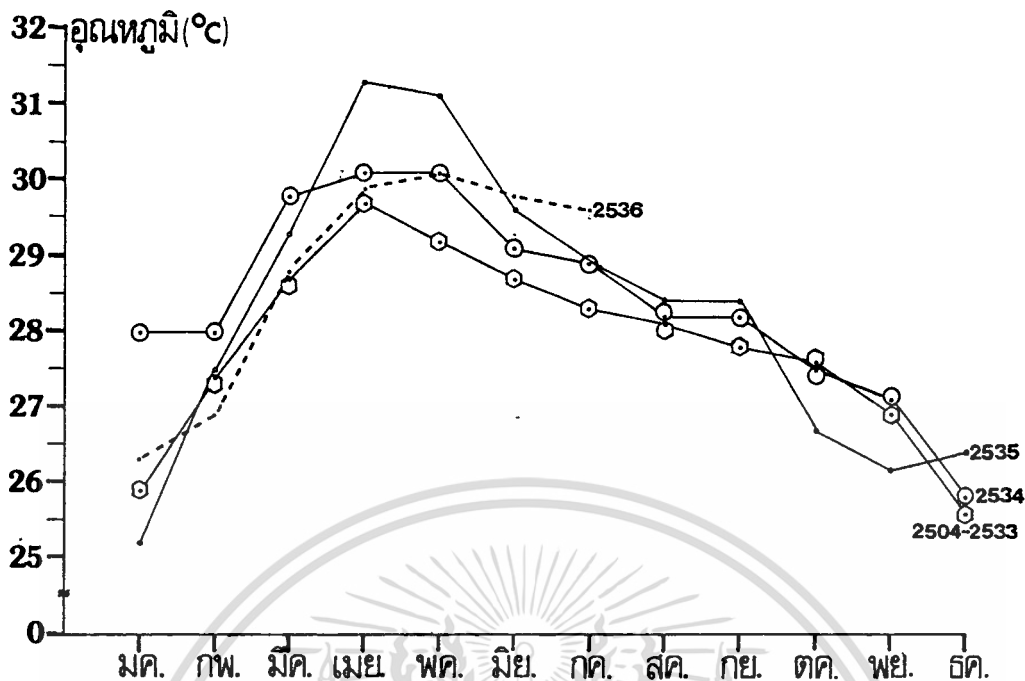
จากดัชนี S_4 ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3 แล้วว่า ระดับการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณย่าน Ku เนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะน้อยมาก แต่เนื่องจากค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_x) ของสัญญาณย่าน Ku นี้สูงกว่าย่าน C ทั้งสองช่องที่กล่าวมาแล้ว คือ จากสมการที่ 1.2 ได้ค่า σ_x ของ Ku ประมาณ 0.03917 dB. ส่วนของสัญญาณย่าน C ใน

ทำให้ปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของแต่ละชั่วโมงของแต่ละเดือนที่แสดงในรูปที่ 4.10 ทั้งหมดจะสูงกว่าของสัญญาณย่าน C ทั้งสองแบบที่แสดงในรูปที่ 4.8 แต่จากรูปที่ 4.10 ทั้งหมดจะเห็นว่าระดับการเปลี่ยนแปลงในปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของแต่ละชั่วโมงจะต่ำมากเกือบจะเท่ากันตลอดทั้งวัน โดยเฉพาะในช่วง 17.00 ถึง 07.00 น. จะมีระดับปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันใกล้เคียงกันมากตลอดช่วงนี้ โดยจากทุกๆ เดือนแล้วจะมีระดับการเปลี่ยนแปลงในปริมาณการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันนี้ เฉลี่ยประมาณ 0.00002×10^{-3} เท่า นั้น จึงสรุปได้ว่าสัญญาณย่าน Ku ไม่ได้รับผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เลย

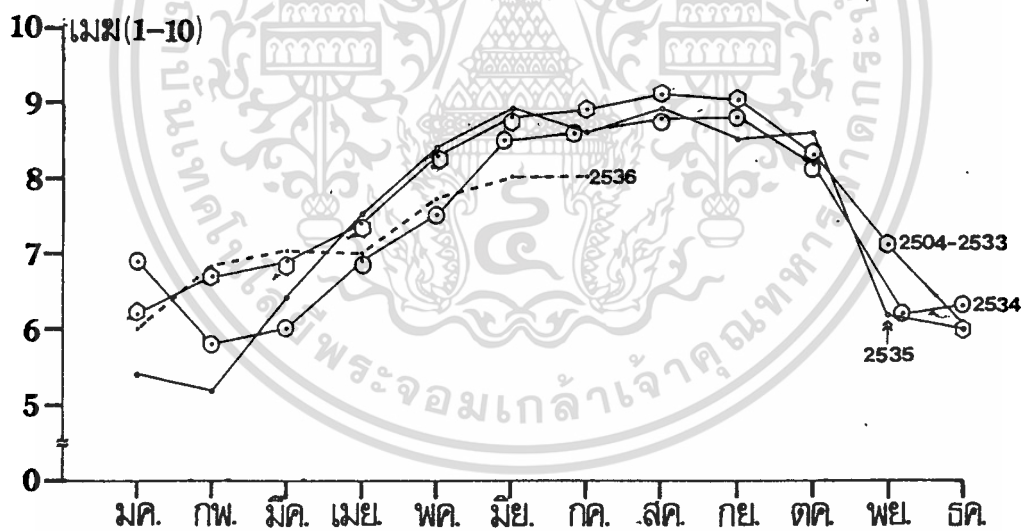


รูปที่ 4.10 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ของสัญญาณย่าน Ku ในเดือนต่างๆ ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

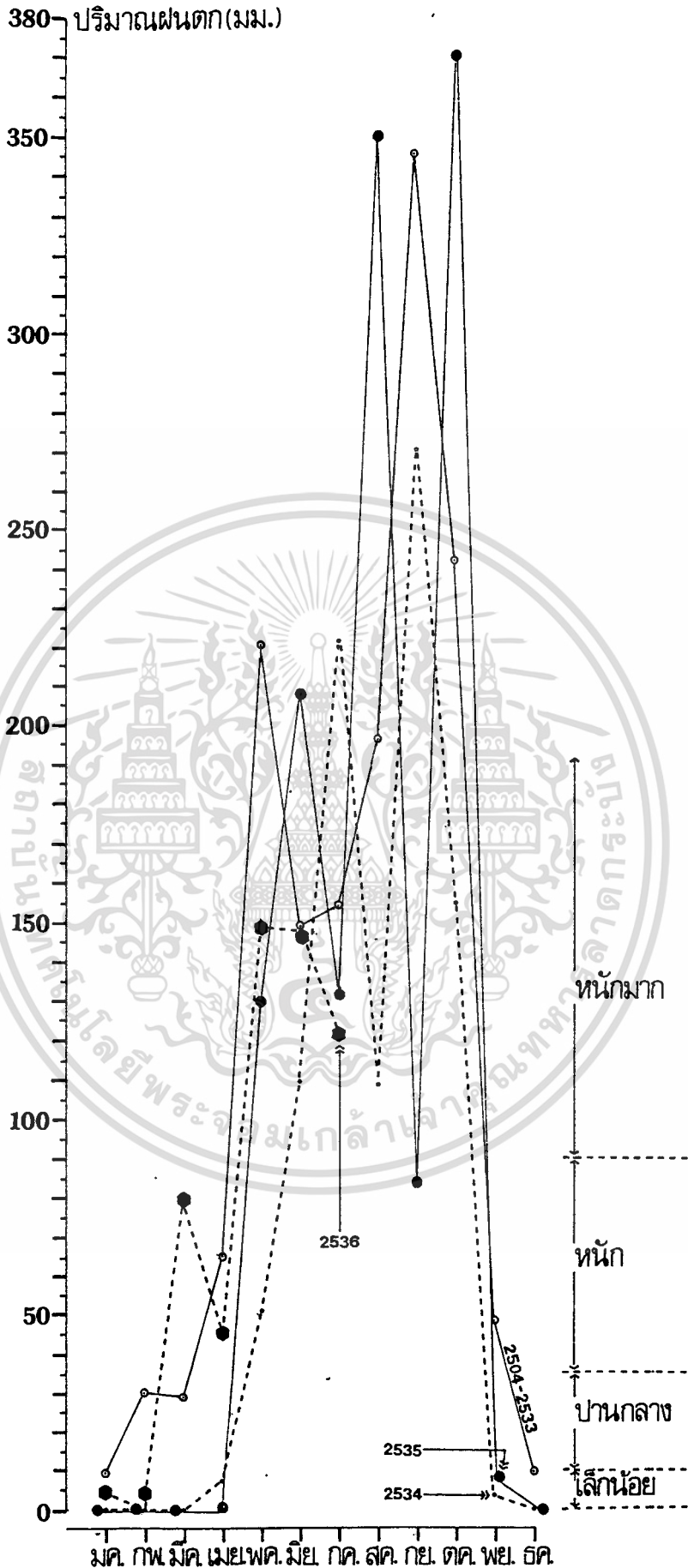


รูปที่ 4.11 อุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ.2504 ถึง 2536



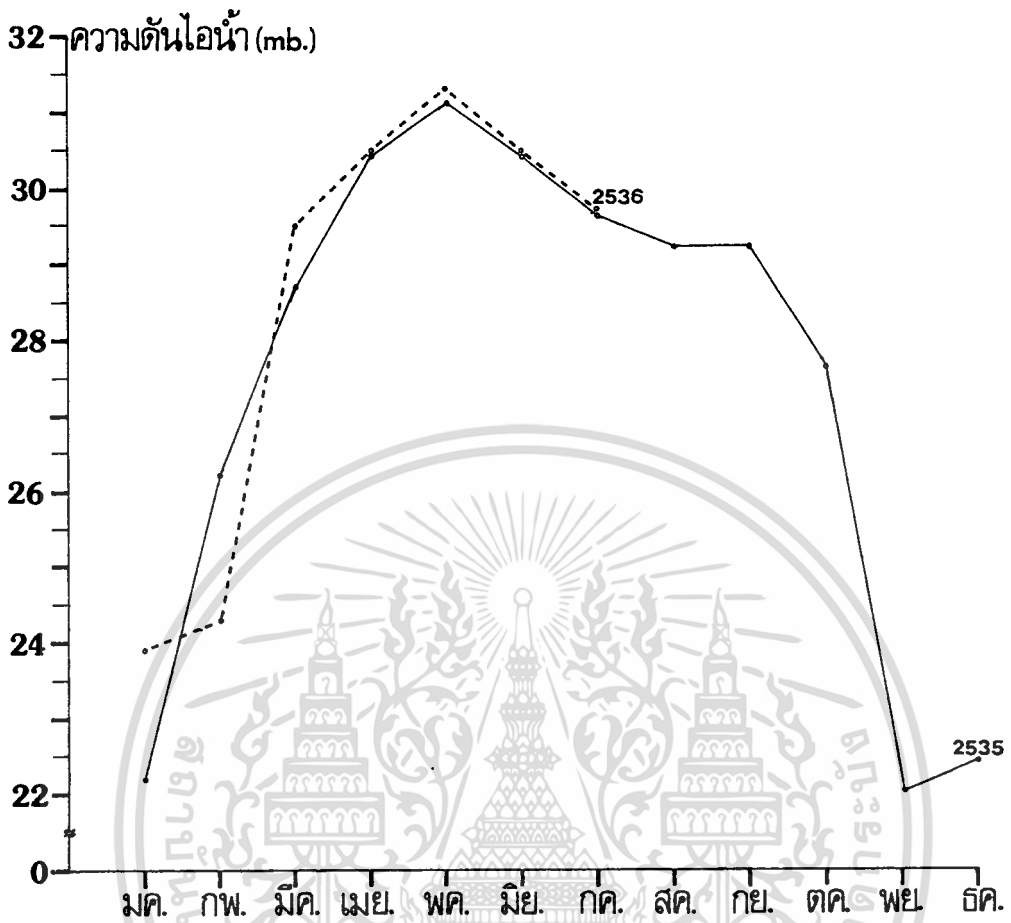
รูปที่ 4.12 ปริมาณเมฆที่ปรากฏบนท้องฟ้าเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

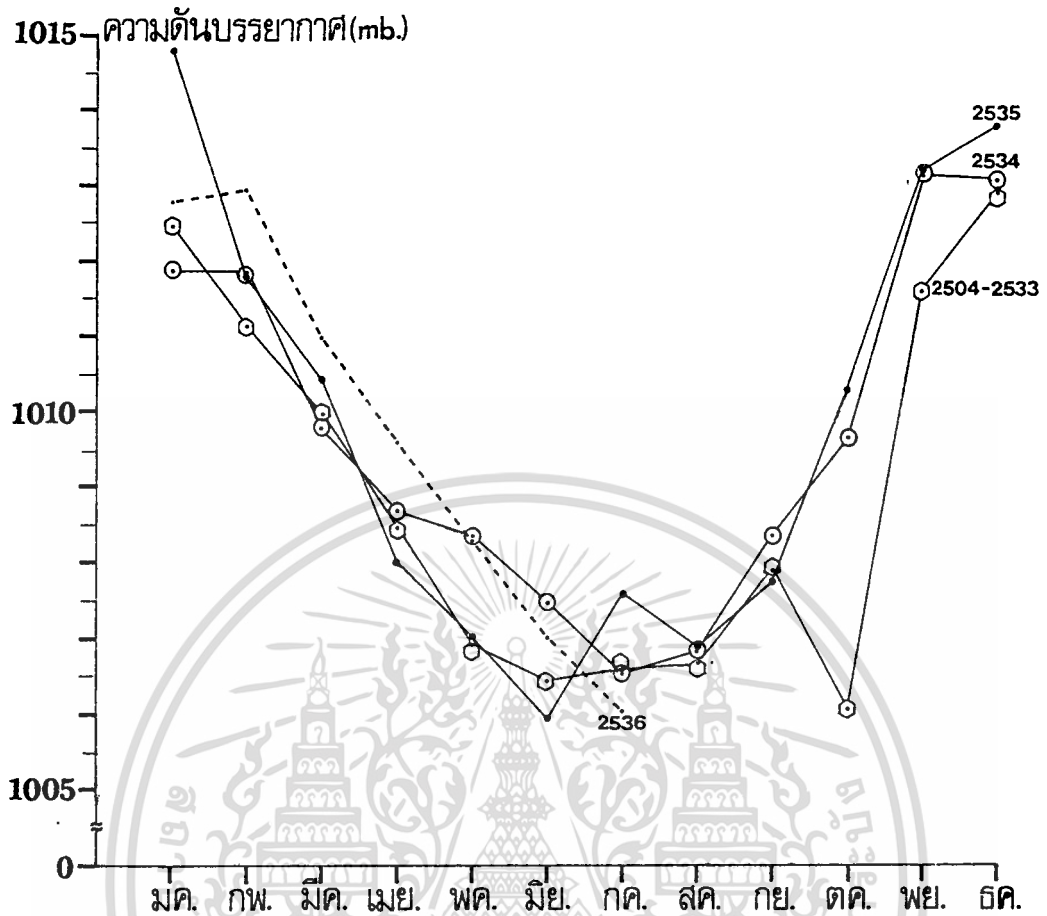


รูปที่ 4.13 ปริมาณฝนตกรวมในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536

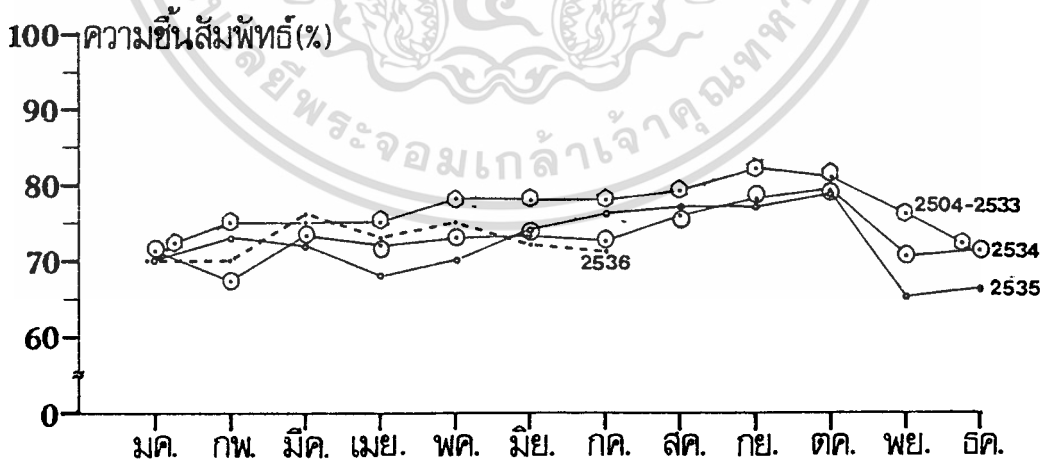
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความดันไอน้ำเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2535 ถึง 2536



รูปที่ 4.15 ความดันบรรยากาศเฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536



รูปที่ 4.16 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในแต่ละเดือน จาก พ.ศ. 2504 ถึง 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ โทร โฟสเฟียส์

5.1 บทนำ

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ โทร โฟสเฟียส์ เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศนี้ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหก็เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในค่าอุณหภูมิ, ความดัน, ความชื้น และการกระจายออกไปในทางแนวตั้งของชั้นบรรยากาศนั่นเอง ซึ่งตัวแปรทั้งหมดนี้จะมีผลมากต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุ [17] โดยสิ่งที่มีผลต่อการเดินทางของคลื่นวิทยุในชั้นบรรยากาศโทร โฟสเฟียส์ อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงแบบตรงกันข้ามของอุณหภูมิ คือปกติอุณหภูมิจะลดลงตามความสูงที่เพิ่มขึ้นแต่บางครั้งเกิดปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิกลับสูงขึ้นตามความสูงที่เพิ่มขึ้น อันเกิดจากการกระจายความร้อนของโลก หรือเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของเส้น Cold Front, Hot Front, Block Front [17, 18] นอกจากนี้อาจมาจากการเคลื่อนที่แบบหมุนของอากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการจางหายของคลื่นวิทยุ และการกระจัดกระจายของคลื่นวิทยุตั้งแต่อ่าน UHF ขึ้นไปได้ เพราะการเคลื่อนที่แบบหมุนของอากาศจะทำให้ดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของคลื่นที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้ จะเกิดขึ้นในระยะความสูงจากพื้นโลกไม่กี่กิโลเมตร และที่บริเวณที่เป็นลักษณะการโค้งงอของชั้นบรรยากาศนี้ที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตรขึ้นไปเล็กน้อย ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างลาดชันจะเกิดในบริเวณที่มีค่าความชื้นที่มาก ๆ และบริเวณที่เป็นลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแบบตรงกันข้ามนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศ โทร โฟสเฟียส์ จึงขึ้นอยู่กับหรือเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล, วัน และเปลี่ยนไปตามตำแหน่งภูมิประเทศที่ตั้งสถานีรับด้วย [3] อย่างเช่นมีผู้ทำการวิจัยและพบว่า การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันนี้ในช่วงเวลา 18.30 ถึง 19.00 น. มีค่าสูงกว่าช่วงเวลา 09.00 ถึง 9.30 น. และพบว่าในช่วงฤดูฝนจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับฤดูกาลอื่นๆ [22] สาเหตุอีกตัวหนึ่งที่อยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ คือ เมฆ ที่พัดผ่านเส้นทางการเชื่อมโยงจะพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะรุนแรงมาก [2, 3]

จาก [3] มีการค้นพบว่า ชั้นบรรยากาศ โทร โฟสเฟียส์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันได้ในการเชื่อมโยงแบบเส้นตรงไม่โค้งเวฟที่ความถี่สูงถึง 10 กิกะเฮิรตซ์ และในเส้นทางการอวกาศกับภาคพื้นดินที่ความถี่สูงกว่า 30 กิกะเฮิรตซ์

5.2 ลักษณะทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหอยู่ตลอดเวลาไปตามฤดูกาล, เวลา, ภูมิประเทศ จึงทำให้สัญญาณที่เดินทางผ่านมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาไปตามตัวแปรต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลง และชั้นบรรยากาศนี้จะมีผลกระทบค่อนข้างมากต่อย่านความถี่ VHF และ UHF ที่ใช้ระบบการเชื่อมโยงแบบเส้นตรงระยะสายตา ส่วนในย่านดาวเทียม C และ Ku ที่ใช้ระบบการสื่อสารแบบเชื่อมโยงตัดผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณที่เดินทางผ่านด้วย [3] จากดัชนี S_4 พบว่าสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์น้อยกว่า ดังนั้นในสัญญาณย่าน Ku การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นก็เนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนใหญ่ และจาก [3] กล่าวไว้ว่ายิ่งความถี่สูง โดยปกติมากกว่า 2 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป ผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะคล้ายกับที่เกิดขึ้นจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นส่วนมาก มีผู้ทำการวิจัยและสรุปไว้ใน [4] ว่าสัญญาณย่าน Ku จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มีสาเหตุสำคัญอยู่ 2 ประการคือ 1) มีเมฆตัดผ่านคลื่นที่เดินทาง, 2) ดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ

5.3 การวิเคราะห์หาจำนวนครั้งและปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยใช้ CCIR Tropospheric Scintillation Model

การวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นชั้นแรกต้องประมาณค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ โดยโครงสร้างดัชนีการหักเหนี้สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นเส้นทางแนวอนและการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศนี้จะปรากฏเป็นชั้นบางๆ ที่ขึ้นอยู่กับความสูง และพบว่าเส้นที่ลาดเอียงลงของชั้นบรรยากาศนี้ที่มุมเงยต่างๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันที่สำคัญมาก [3, 5, 22]

คุณสมบัติโดยทั่วไปของดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ พบจาก [3] ว่าดัชนีการหักเห (n) ต่อความถี่คลื่นวิทยุขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, แรงดันของชั้นบรรยากาศและไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกเพราะ n มีค่าใกล้ 1 มาก จึงมีการกำหนดอยู่ในเทอมของหน่วย N ดังนี้

$$N = (n - 1) \times 10^6 = 77.6/T [P + 4810(e/T)] \quad (5.1)$$

เมื่อ	P	=	แรงดันของชั้นบรรยากาศ	ในหน่วยมิลลิบาร์ (mb)
	e	=	แรงดันไอน้ำ	ในหน่วยมิลลิบาร์ (mb)
	T	=	อุณหภูมิ	ในหน่วยองศาเซลเซียส

สมการข้างต้นนี้มีความเที่ยงตรงอยู่ภายใน 0.5% สำหรับความถี่สูงถึง 100 กิโลเฮิรตซ์

จาก [3] พบว่า N จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสูงจากพื้นโลก (h) ด้วยลักษณะสมการ exponential model ดังนี้

$$N = 315 e^{-(h/7.36)} \quad (5.2)$$

การเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหในช่วงค่าน้อยๆ ดังเช่นที่เกิดจากปรากฏการณ์ตรงกันข้ามของอุณหภูมิหรือเทอร์โมอินเวอร์ชันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของคลื่นวิทยุ การประมาณค่าปริมาตรของระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศแบบเทอร์โมอินเวอร์ชันในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียส์ทำได้โดยการสมมติว่าการเปลี่ยนแปลงชั้นลงมีเพียงเล็กน้อยในชั้นบรรยากาศเทอร์โมอินเวอร์ชันที่มีความหนาเล็กน้อย และใช้การพิจารณาด้วยทฤษฎีเทอร์โมอินเวอร์ชัน [3] การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันก็จะได้นี้

$$x(\text{dB}) = \log r \quad (5.3)$$

r คือ ค่าของกำลังที่รับได้, การเปลี่ยนแปลงของ log ของกำลังที่รับได้ (σ_x^2) ได้ดังนี้

$$\sigma_x^2 = 42.25 (2\pi / \lambda)^{7/6} \int_0^L C_m^2(x) x^{5/6} dx \quad (5.4)$$

เมื่อ	$C_m(x)$	คือ	ค่าคงที่ของ โครงสร้างดัชนีการหักเห
	λ	คือ	ความยาวคลื่น
	x	คือ	ระยะทางตามเส้นทาง
	L	คือ	ความยาวของเส้นทางทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันจะขึ้นอยู่กับ $C_m(x)$ ซึ่งจะยุ่งยากมากในการวิเคราะห์หาค่า และจากสมการที่ 5.4 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดในรูปค่า r.m.s. (σ_x) จะเปลี่ยนตาม $f^{7/12}$ ซึ่งก็คือความสัมพันธ์ที่ว่าความถี่เป็นตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน อย่างเช่นผลการทดลองใน [3] พบว่าที่ความถี่ 10 กิกะเฮิรตซ์ ช่วงของ σ_x จะมีค่าประมาณ 0.1 ถึง 1 dB และที่ 100 กิกะเฮิรตซ์ จะมีค่าประมาณ 0.38 ถึง 3.8 dB. ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ส ในที่นี้อาศัยรูปแบบจำลองของ CCIR ที่แสดงไว้ในสมการที่ 1.2 โดยการสมมติว่าชั้นบรรยากาศแบบเทอร์บิวเล้นท์บางๆ มีความสูงเฉลี่ย 1 กิโลเมตร และกำหนดได้จากการสังเกต จาก [3]

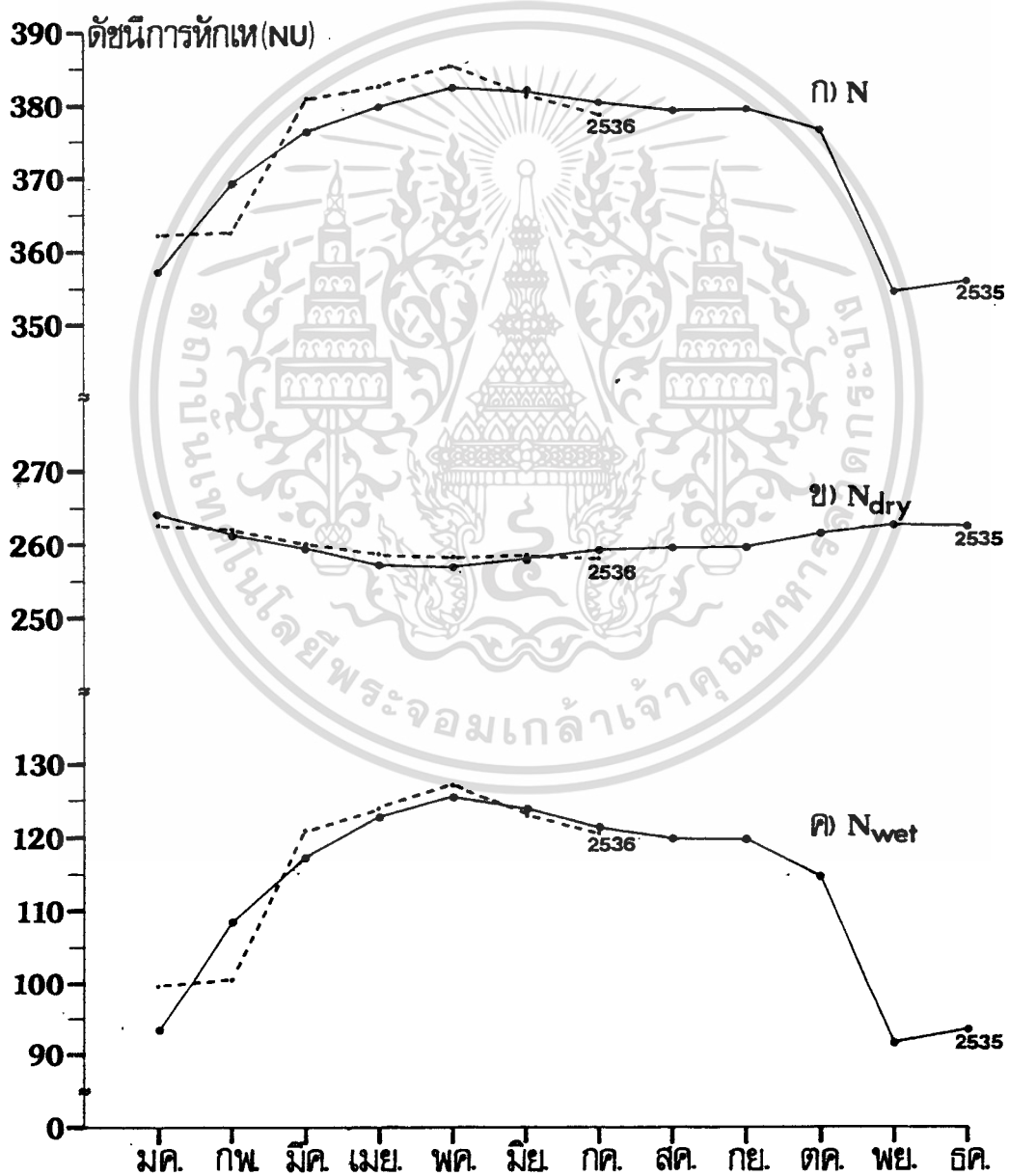
จากสมการที่ 5.1 สามารถเขียนใหม่ จาก [5] ได้เป็น

$$N = [77.6(P/T)] + [3.73 \times 10^5 (e/T^2)] \quad (5.5)$$

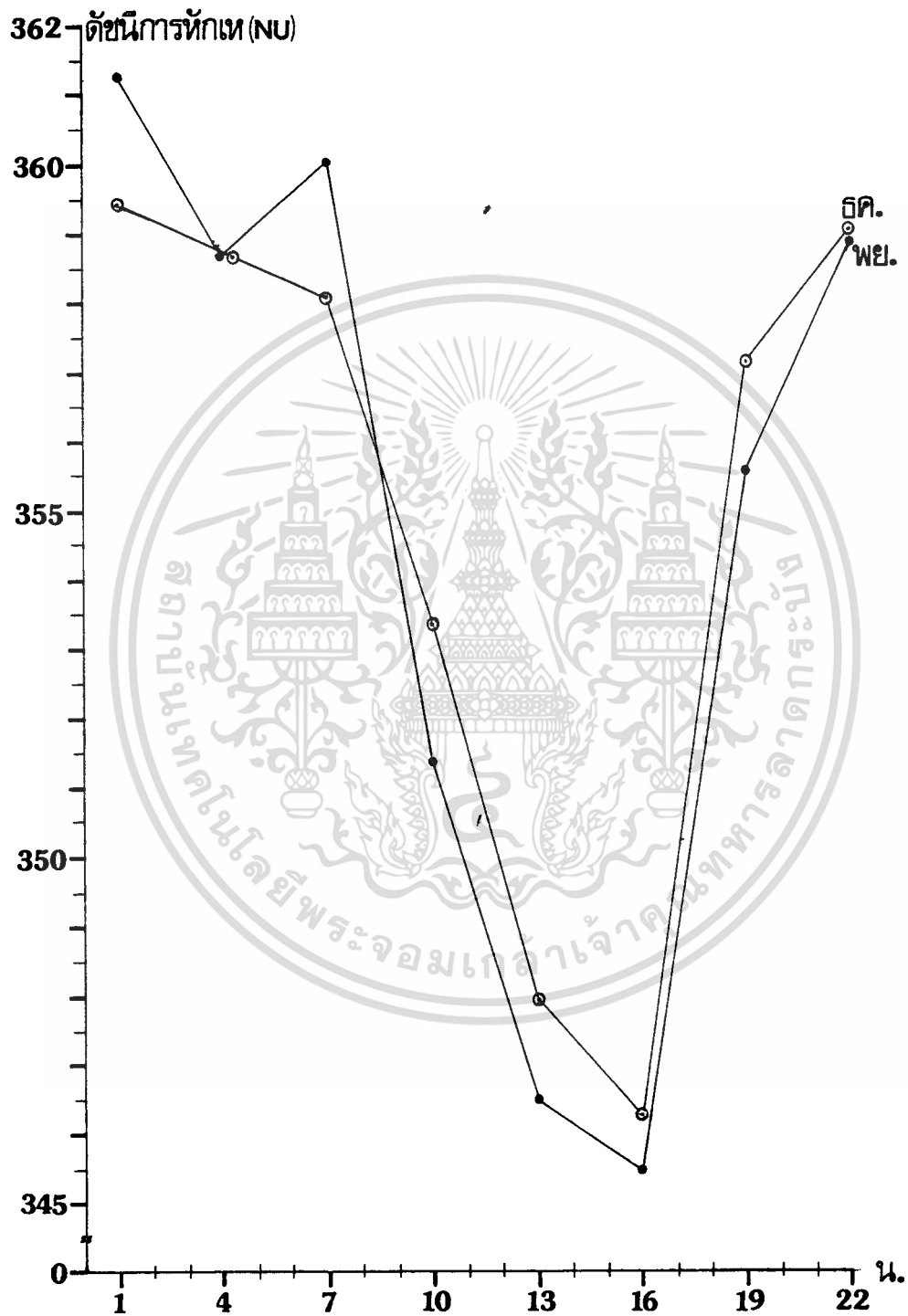
ซึ่งในวงเล็บสี่เหลี่ยมแรกในสมการที่ 5.5 นี้จะเรียกว่า N_{dry} และในวงเล็บสี่เหลี่ยมที่สองจะเรียกว่า N_{wet} ซึ่งจากสมการที่ 5.5 นี้ จะแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ส ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหัน จาก [5] แสดงไว้ว่าความแรงของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะขึ้นอยู่กับค่าการเปลี่ยนแปลงในค่าทางอุตุนิยมวิทยา เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันกับการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมวิทยา จึงวิเคราะห์ตามสมการที่ 5.5 ได้ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิ, ความดันไอน้ำและความดันบรรยากาศ จากรูปที่ 4.11, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ดังรูปที่ 5.1 แสดงค่าดัชนีการหักเห (NU = N Units) ของแต่ละเดือนในช่วงเวลาปี 2535 ถึง 2536 โดยรูป (ข) เป็น N_{dry} , (ค) เป็น N_{wet} จะเห็นได้ว่า N_{dry} มีค่าสูงกว่า N_{wet} ตลอด แต่ระดับการเปลี่ยนแปลงค่า NU ของ N_{wet} จะมากกว่า และจะเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า NU ของ N_{wet} คือ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ N ทั้งหมด ในรูป (ก) นั้นเอง จากรูป 5.2 (ก) ถึง (ค) จะเห็นว่าในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกรกฎาคม ค่า NU จะสูงกว่าเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ และพบว่าค่า NU ของทุกเดือนในช่วงเวลาประมาณ 07.00 ถึง 19.00 น. จะต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น โดยต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 13.00 ถึง 16.00 น. ซึ่งผลอันนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในเวลากลางวันของสัญญาณย่าน C/ แบบโพลาริเซชันทางแนวนอนในแต่ละเดือน N_{wet} ที่แสดงอยู่ อย่างไรก็ตามไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป 5.3 (ก) ถึง (ง) ที่จะเห็นว่าจำนวนครั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันส่วนมากจะมีค่าสูงในช่วงเวลาประมาณ 07.00 ถึง 19.00 น. โดยจำนวนครั้งที่เกิดสูงสุดจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 11.00 ถึง 17.00 น. ดังแสดงค่าเฉลี่ยจากทุกเดือนในรูปที่ 5.4 พบว่าจำนวนครั้งที่เกิดเฉลี่ยประมาณ 11.54 ถึง 11.82 ครั้งต่อ 1 ชั่วโมง (1 ชั่วโมงมีจำนวนการเกิดสูงสุด 12 ครั้งๆ ละ 5 นาที) หรือ 5.614 ถึง 5.753 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันนี้ทั้งหมดตลอดการทดลอง จึงสรุปได้ว่าจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียส์ในช่วงเวลากลางวันที่มากกว่ากลางคืนจะเป็นสาเหตุสำ



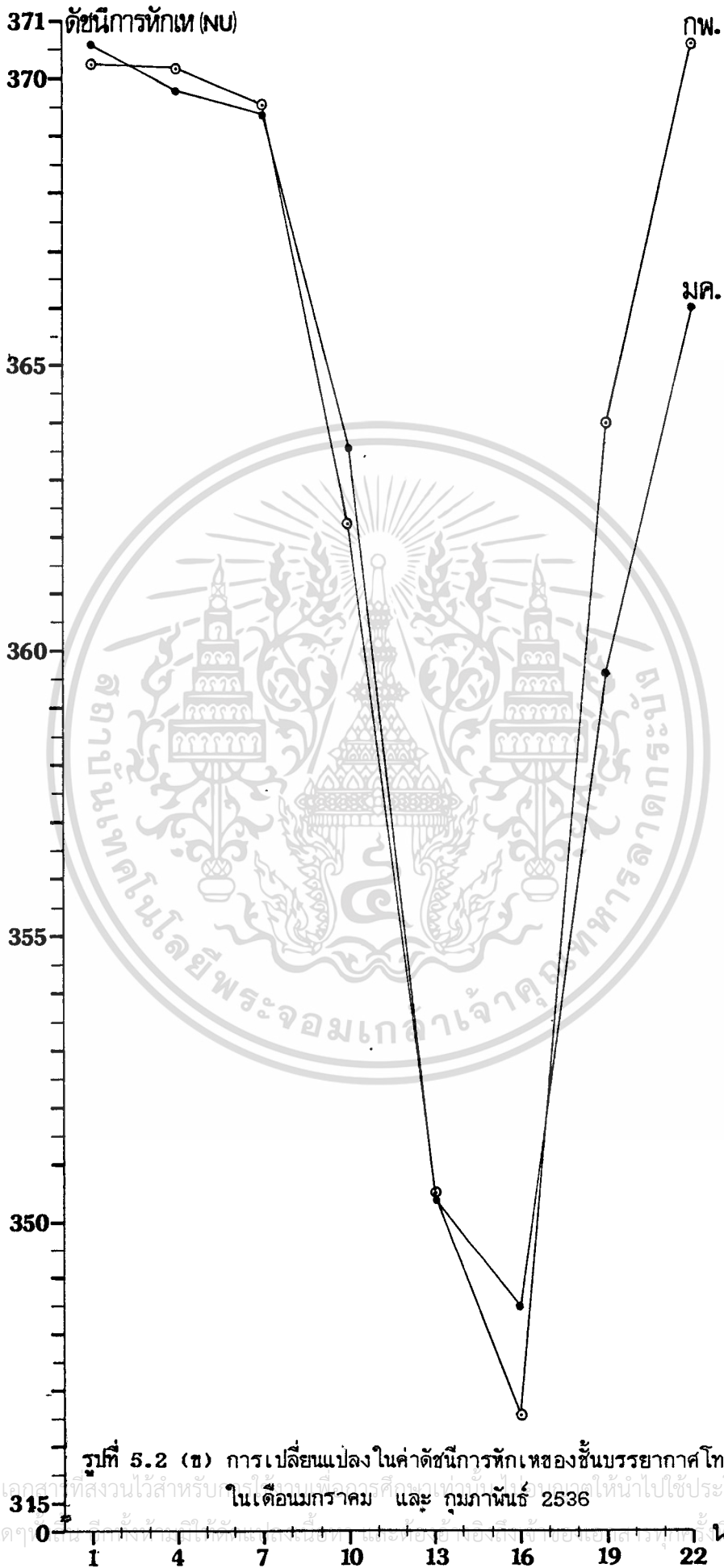
รูปที่ 5.1 การเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียส์ในแต่ละเดือน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียส์ เมื่อผู้ใช้ได้เห็นเนื้อหาใช้ประโยชน์ในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 (ก) การเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโอฟีอัสในเดือน

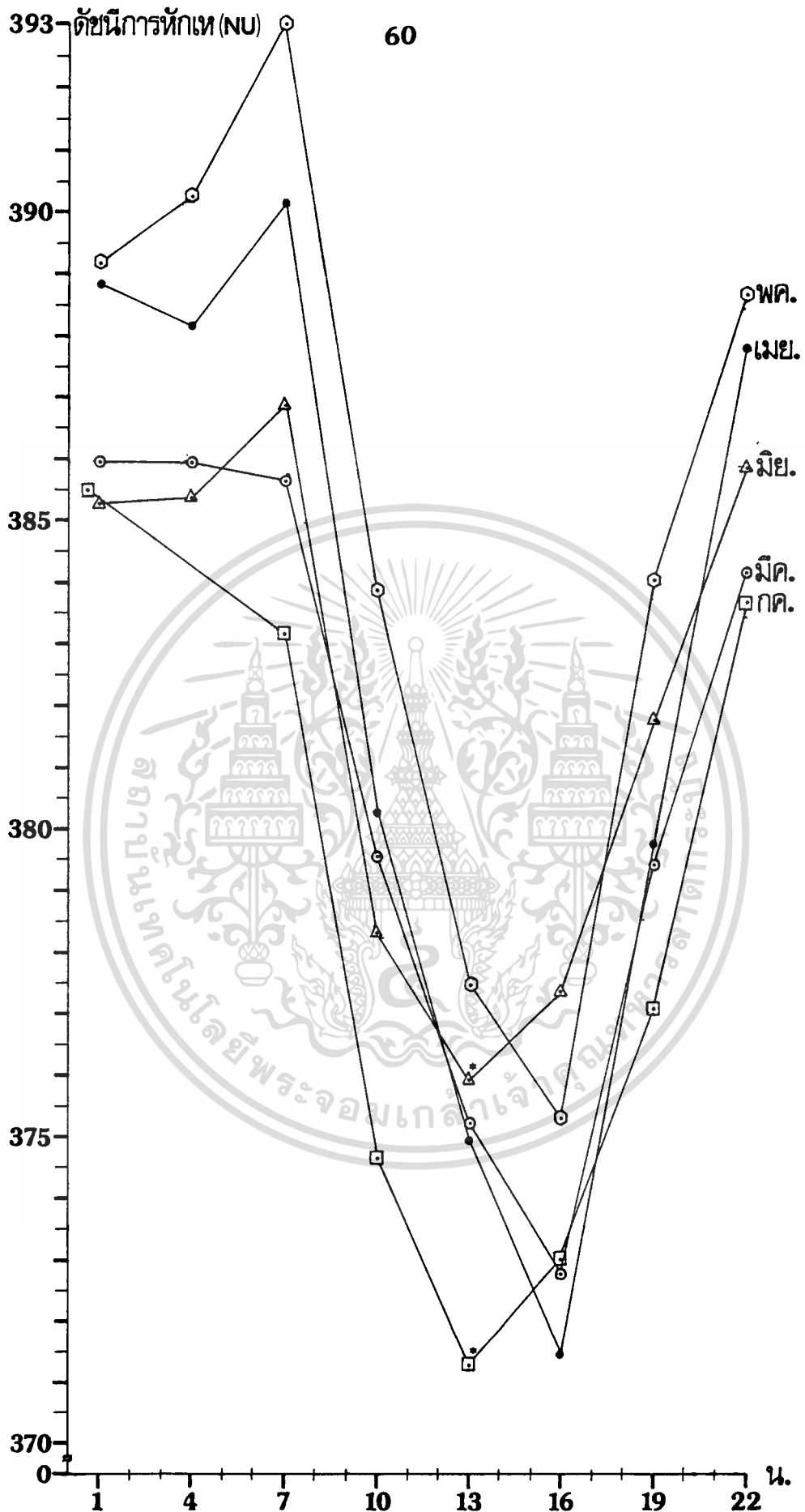
พฤศจิกายนและธันวาคม 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 (ข) การเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพเฟียลส์

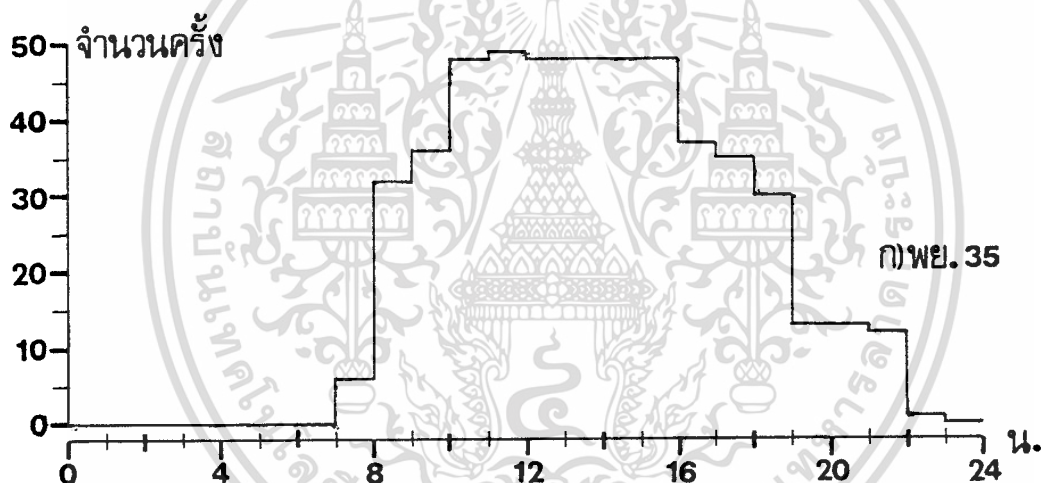
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้นและเพื่อให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ในเดือนมกราคม และ กุมภาพันธ์ 2536
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม ไม่ให้นำไปใช้



รูปที่ 5.2 (ค) การเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโพเฟียส์ในเดือน
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มีนาคม ถึง กรกฎาคม 2536
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณูที่ทำให้การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมในช่วงเวลากลางวัน มีจำนวนครั้งการเกิดมากกว่าในช่วงเวลากลางคืนนั่นเอง

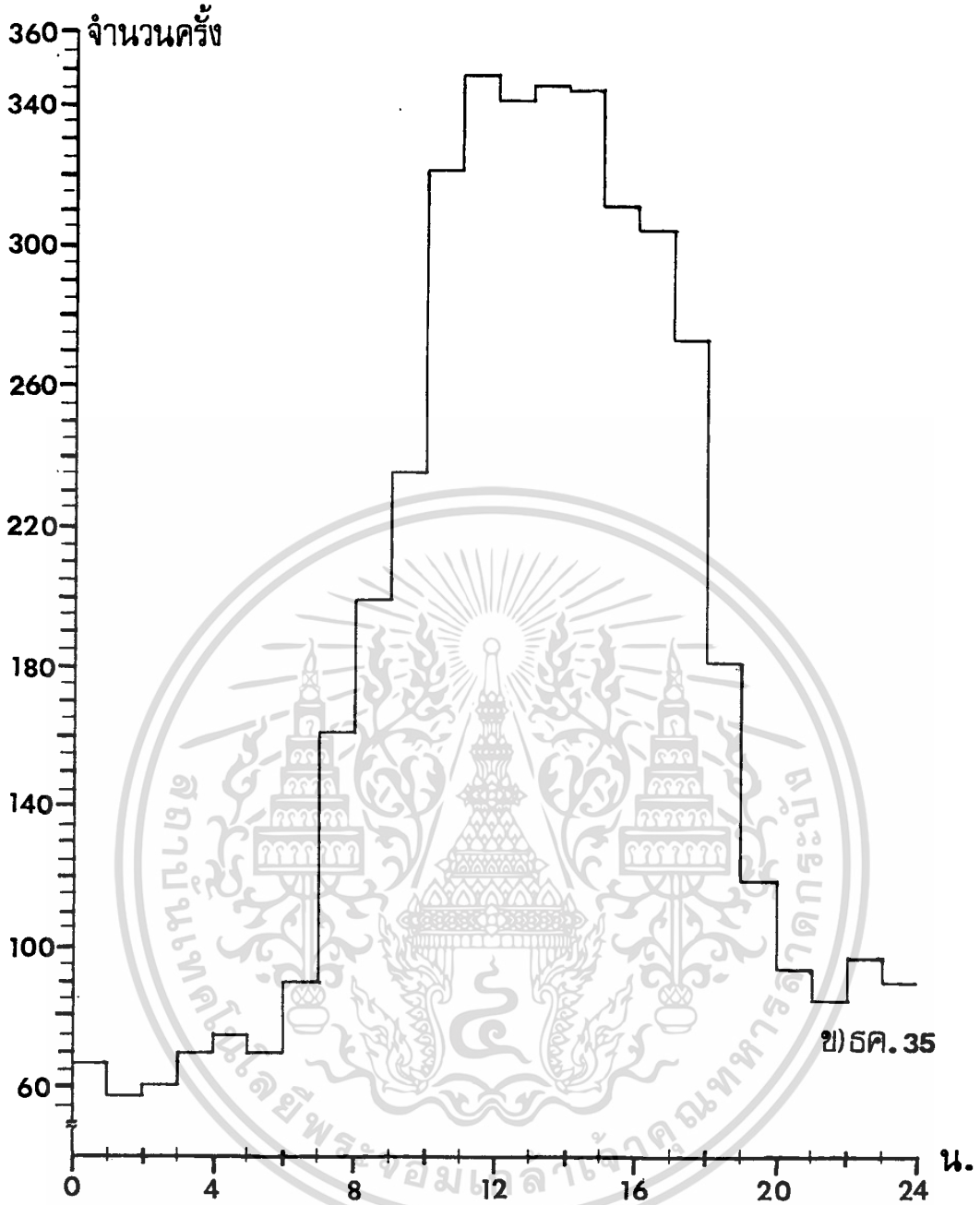
จากรูป 5.3 (ง) ถึง (ช) คือของเดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนเป็นส่วนใหญ่พบว่าจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันจะมากกว่าเดือนอื่นๆ โดยเฉพาะเดือนเมษายนพบว่าจำนวนครั้งที่เกิดจะมีค่าสูงสุดในเดือนนี้อยู่ในช่วงเวลาประมาณ 09.00 ถึง 20.00 น. อย่างต่อเนื่องกัน จึงเห็นได้ว่าช่วงฤดูร้อนจะมีจำนวนครั้งการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์สูงกว่าช่วงฤดูหนาวและฤดูฝน ส่วนในช่วงฤดูฝนจะเห็นจากรูป 5.3(ช) ถึง 5.3 (ฉ) ว่า มีจำนวนครั้งการเกิดสูงกว่าช่วงฤดูหนาวที่อยู่ในช่วงเดือนของรูป 5.3(ก) ถึง 5.3 (ค) ซึ่งผลอันนี้แสดงความสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหของแต่ละเดือนในรูปที่ 5.2 (ก) ถึง 5.2 (ค) ที่แสดงว่าเดือนในช่วงฤดูร้อนจะมีค่า NU และระดับการเปลี่ยนแปลงค่า NU สูงกว่าในช่วงฤดูอื่นๆ



รูปที่ 5.3 (ก) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

5.4 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่เกิดขึ้นในย่าน C กับ Ku

จากความสัมพันธ์ในสมการของ Cosecant power ที่แสดงไว้ในสมการที่ 4.7 ว่า การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ และจาก [5] แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับขนาดของสายอากาศที่จะแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงการลดทอน โดยกล่าวไว้ว่ามุมของการถูกตกลงจะเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มขึ้นของความถี่ที่ใช้ และขนาดของสายอากาศ โดยการใช้สมการจาก CCIR ที่ได้มาจากทฤษฎีของ Tatarski เราสามารถหาค่าตัวแปรร่วมในการลดทอน ($Y_{Ku/C}$) สำหรับสัญญาณในย่าน Ku (11.765 กิกะเฮิรตซ์) กับสัญญาณย่าน C ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) ๓ค. 35

รูปที่ 5.3 (ข) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

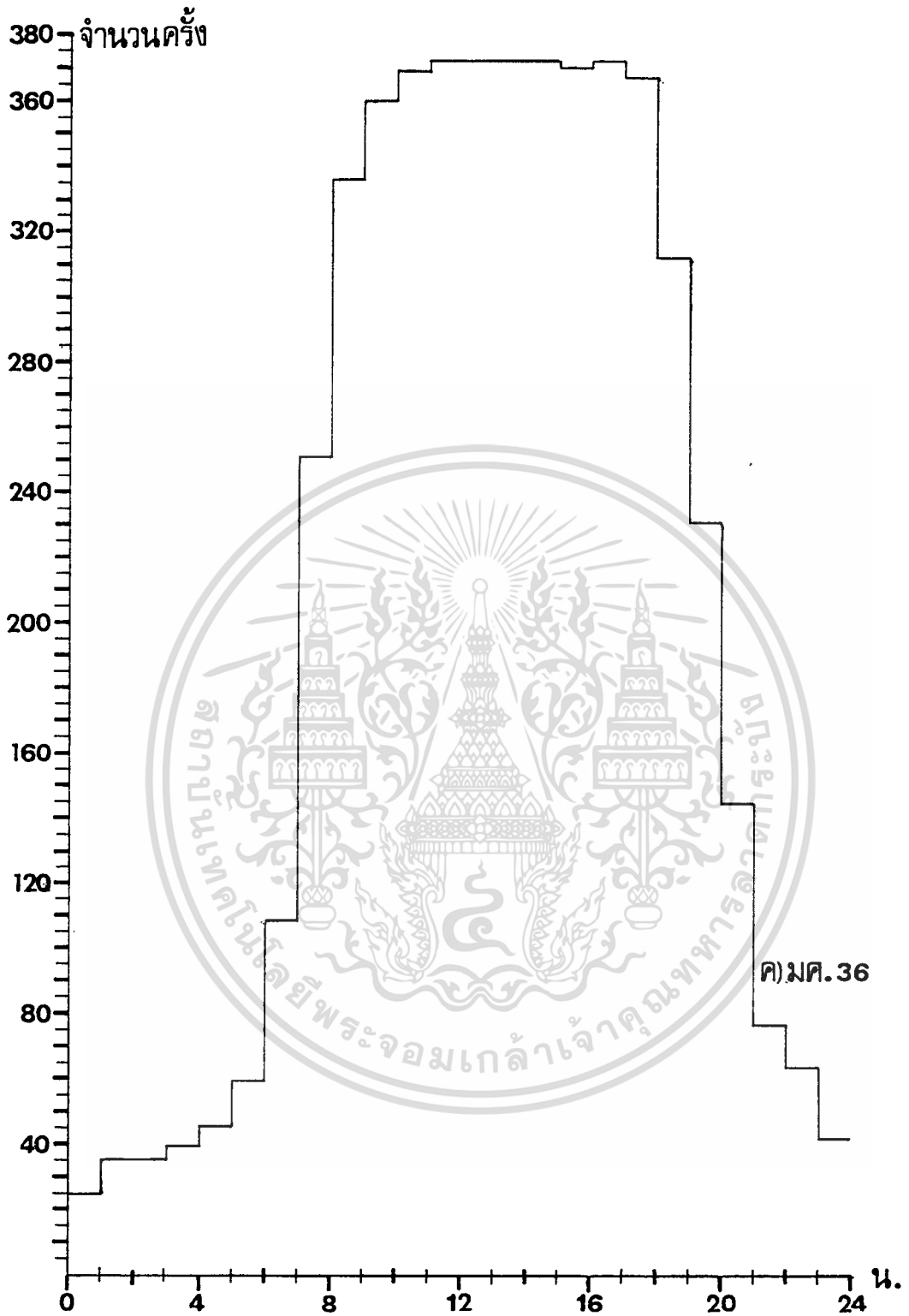
(3.84 กิกะเฮิรตซ์) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Y_{Ku/C} &= \left(\frac{G(Da = 2.4 \text{ m.}, f = 11.765 \text{ GHz})}{G(Da = 1.8 \text{ m.}, f = 3.840 \text{ GHz})} \right)^{1/2} & (5.6) \\
 &= 0.955130244
 \end{aligned}$$

$$\text{และจาก Fresnel length; } l_f = \frac{1}{2} (\lambda L)^{1/2} \quad (5.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

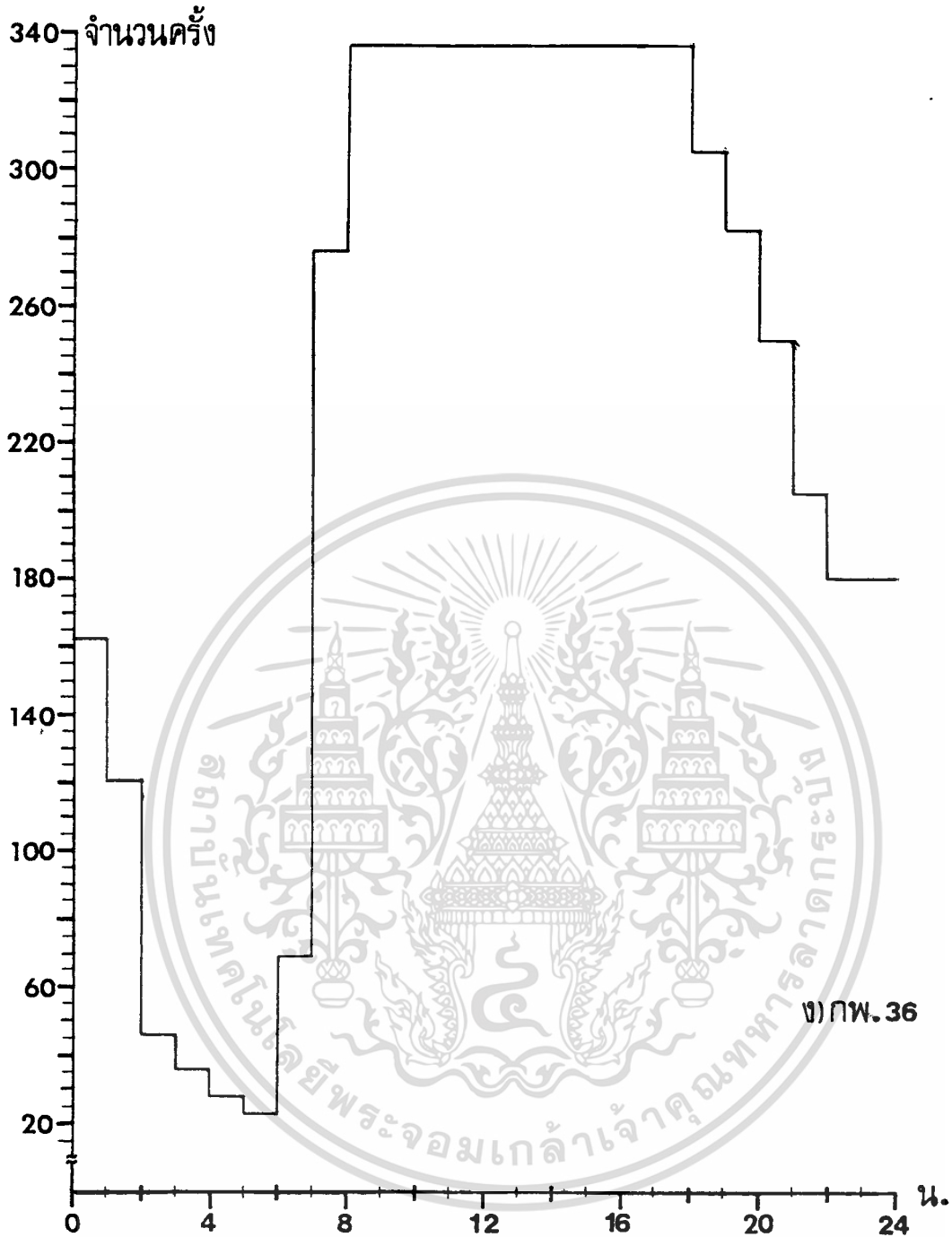
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คมต.36

รูปที่ 5.3 (ค) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

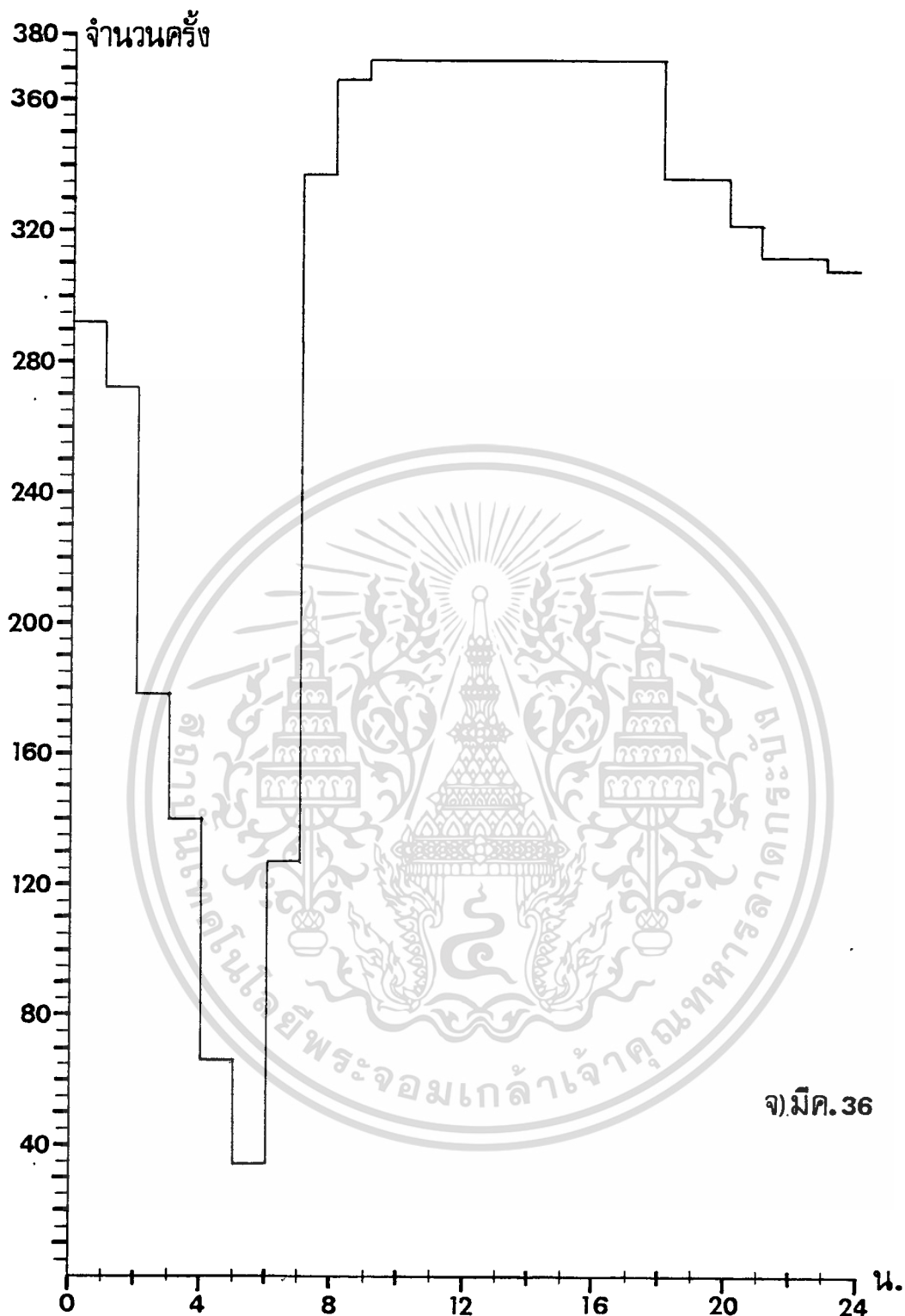
จากสมการ 5.7 จะได้ค่า I_F ของสัญญาณย่าน Ku ประมาณ 5.2 เมตร ส่วนจาก [5] กำหนดเงื่อนไขไว้ว่าถ้า $I_{min} < I_F < I_{max}$ แล้ว ค่าของ C_m^2 ในสมการที่ 5.4 จะคงที่ตามเส้นทางเดินทางของสัญญาณ ซึ่งค่า I_{min} (inner scale) = 2 ถึง 5 มม. และไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 (ง) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

I_{\max} (outer scale) = 50 เมตร [5] จึงเห็นได้ว่าสัญญาณย่าน Ku จะตรงกับเงื่อนไขซึ่งจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันขึ้นอยู่กับสมการที่ 5.4 ที่เป็นสมการแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดในรูปค่า r.m.s. คือเท่ากับประมาณ 0.03917 dB. ตลอดจนการทดลองนั่นเอง

จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณย่าน Ku กับ C ในรูปตัวแปรร่วมในการลดทอน ($Y_{ku/C}$) เท่ากับประมาณ 0.955 จึงแสดงว่าการลดทอนในสัญญาณย่าน Ku กับ C จะมีลักษณะไม่ต่างกันใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

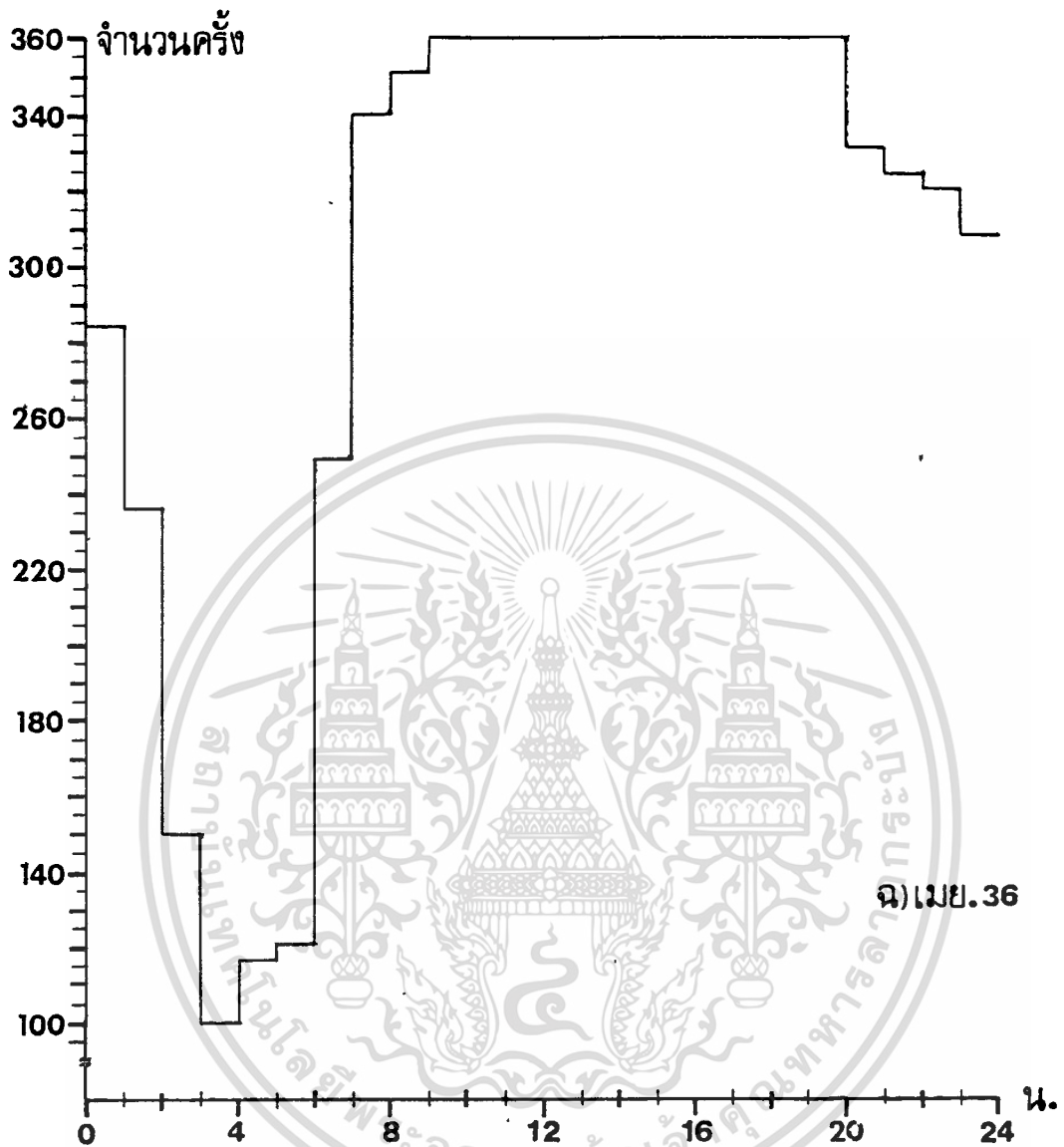


จ) มีค. 36

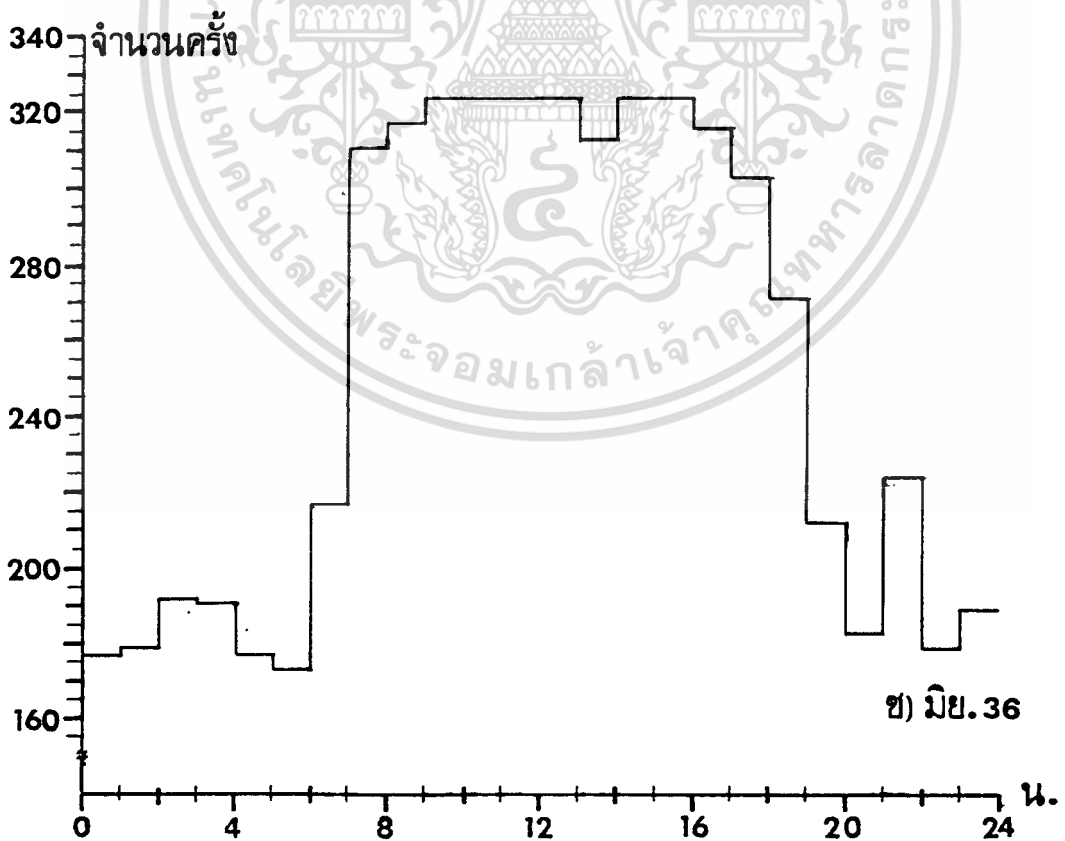
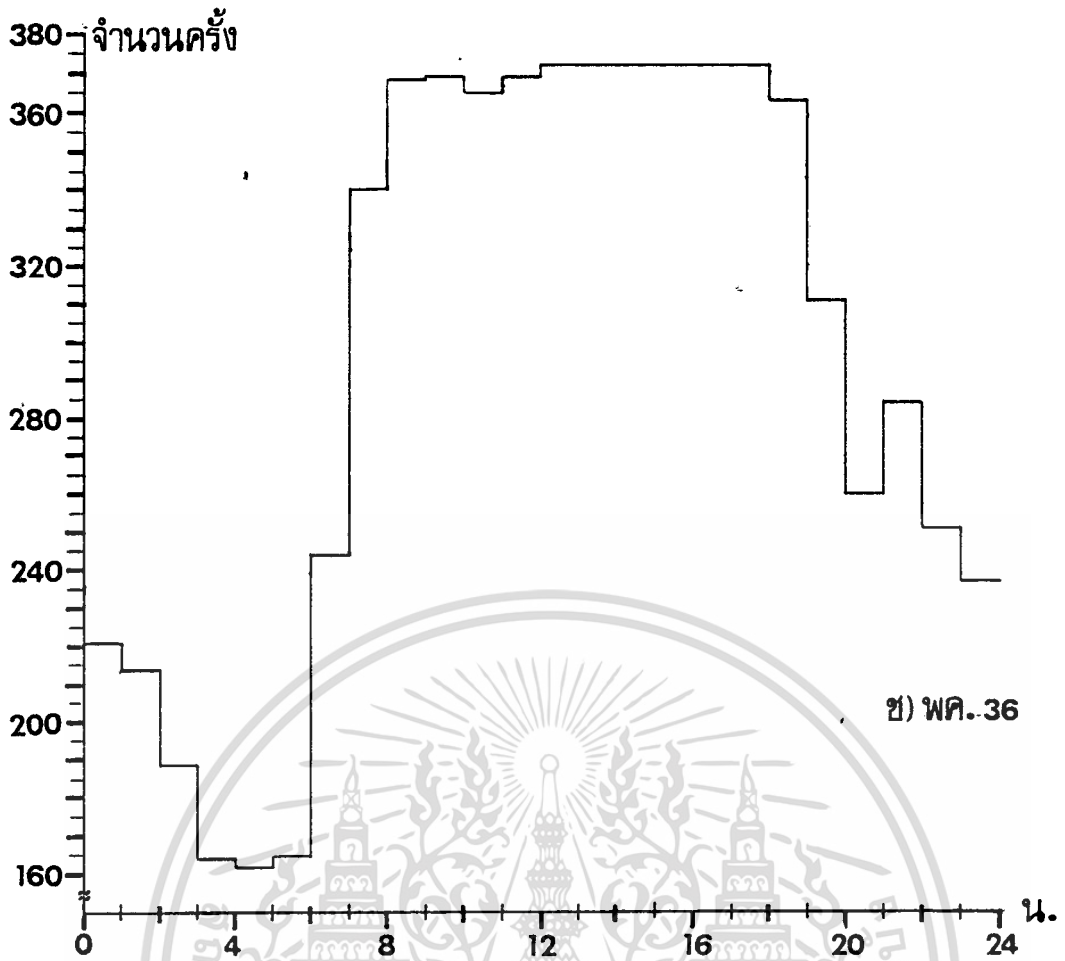
รูปที่ 5.3 (จ) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

สอดคล้องกัน โดยค่าขึ้นอยู่กับความถี่และขนาดของจานสายอากาศ ซึ่งในที่นี้สัญญาณย่าน Ku จะถูกลดทอนมากกว่าสัญญาณย่าน C เมื่อประมาณว่าโครงสร้างของชั้นบรรยากาศอยู่ในลักษณะเดียวกัน

และค่าคงที่ตลอดเส้นทาง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

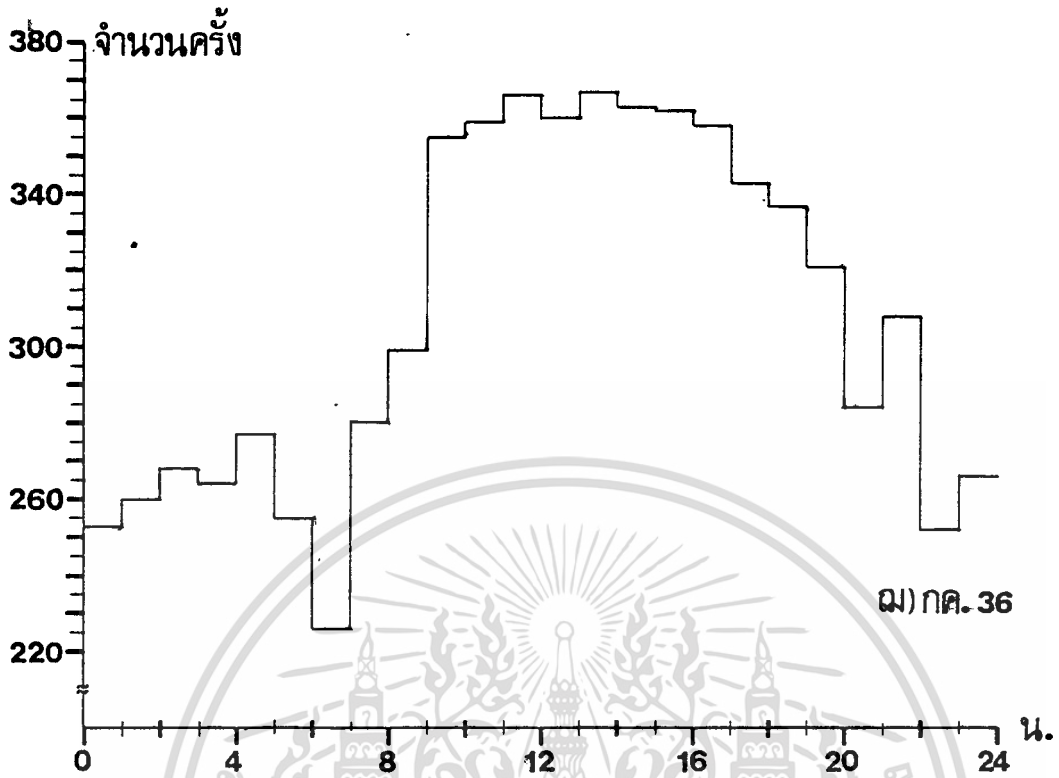


รูปที่ 5.3 (จ) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน

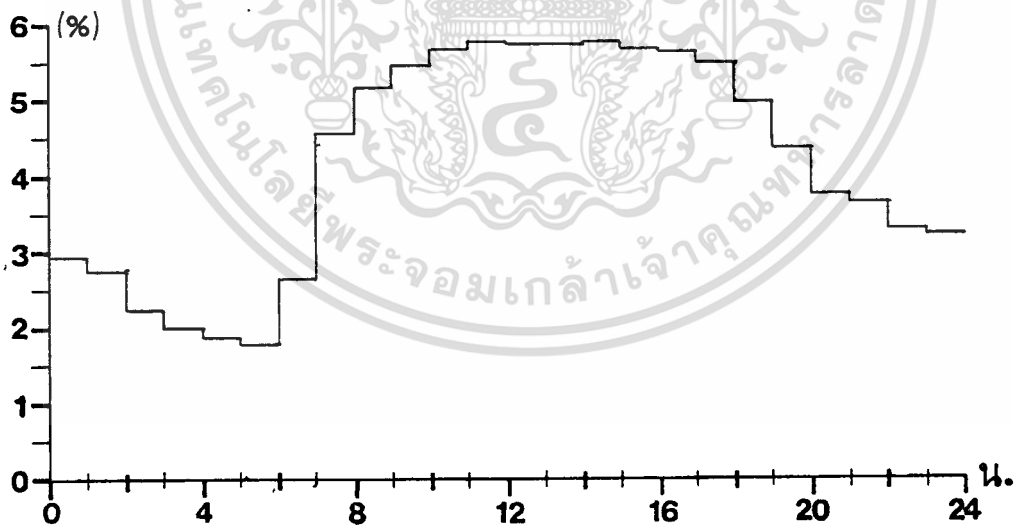


รูปที่ 5.3 (ข) และ (ช) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

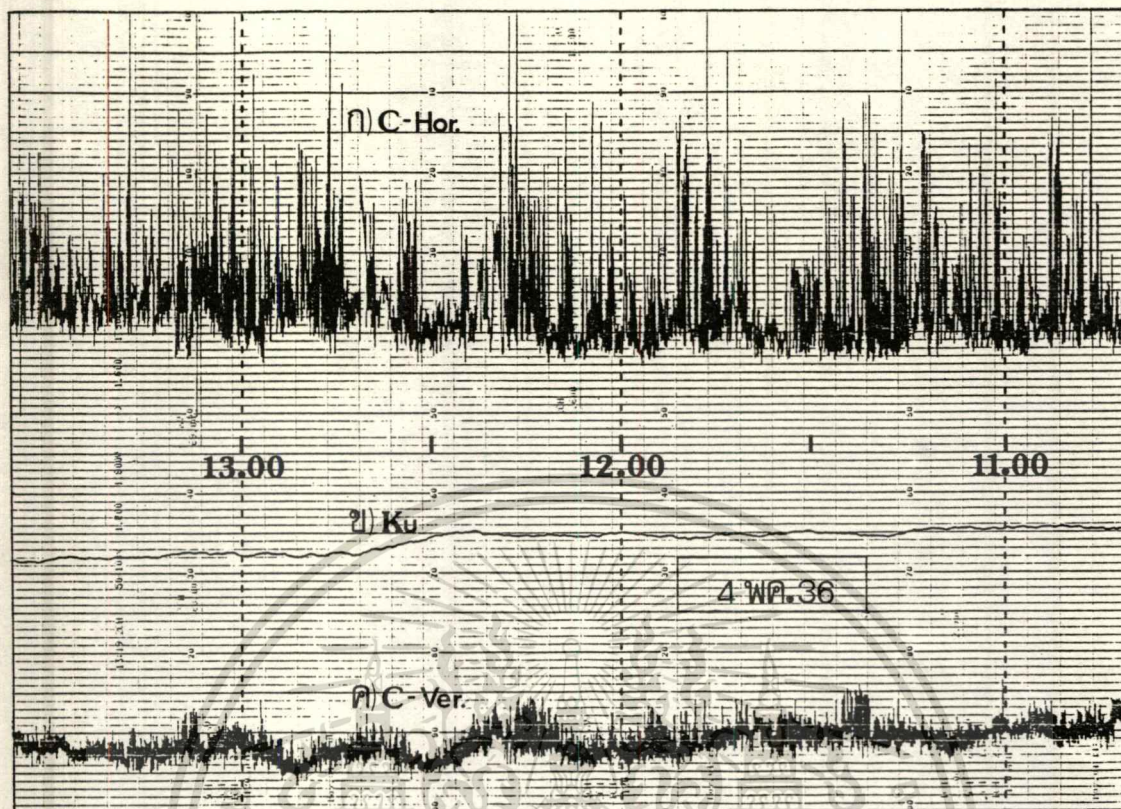
เกิดขึ้นในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาร์ไรเซชันทางแนวนอน ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 (ณ) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันรวมในแต่ละชั่วโมงของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน



รูปที่ 5.4 จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมงตลอดการทดลองของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน



รูปที่ 5.5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

รูปที่ 5.5 แสดงเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในช่วงเวลากลางวันของสัญญาณดาวเทียมทั้ง 2 ย่าน ที่บันทึกได้ขณะสภาพอากาศปลอดโปร่ง (ปริมาณฝนตก 0 มม., จากกรมอุตุนิยมวิทยา) จะเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณย่าน Ku ในรูป ข) มีการลดทอนลงมากกว่าของสัญญาณย่าน C ในรูป ก) ซึ่งเป็นไปตามทิวเขาระยะจากค่าตัวแปรร่วมในการลดทอน ที่กล่าวไว้ข้างต้นหัวข้อนี้ ในขณะที่สัญญาณย่าน C รูป ก) จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ของสัญญาณมากกว่าสัญญาณย่าน Ku และย่าน C ในรูป ค) ซึ่งรูป ค) นี้เป็นสัญญาณแบบโพลาริเซชันทางแนวตั้ง (C-Ver. ที่แสดงไว้ในรูป) จึงได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (ที่พิจารณาได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางในแนวนอน ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3 แล้ว) น้อยกว่าสัญญาณย่าน C ในรูป ก) ที่เป็นสัญญาณแบบโพลาริเซชันทางแนวนอน (C-Hor. ที่แสดงไว้ในรูป) การเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณรูป ก) ในเวลากลางวันที่แสดงนี้ พบว่าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 11.00 ถึง 17.00 น. ที่จำนวนครั้งการเกิดมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ดังแสดงในรูป 5.4 ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ที่จะมี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงมากที่สุดในช่วงเวลานี้ ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3 แล้ว ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณรูป ก) ในรูปที่ 5.5 นี้ พบว่ามีลักษณะแตกต่างจากที่เกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืน ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นส่วนมาก (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 บทที่ 4) และต่างจากของสัญญาณรูป ค) ที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นดังที่แสดงอยู่ในรูปนี้ เป็นส่วนมากตลอดการทดลอง

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณในรูป ก) เรียกว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบ Rician envelope และบางครั้งพบอยู่ในลักษณะการกระจายแบบเรย์ลี [16] โดยจากเอกสารอ้างอิงนี้มีการนิยามสัญญาณที่มาถึงจุดรับเป็นสัญญาณที่มาจากหลายๆ ทิศทางอันเนื่องจากการสะท้อนกับชั้นบรรยากาศและสิ่งแวดล้อม ซึ่งทำให้เกิดการเสริมและหักล้างกันขึ้นในทางเฟสทำให้รูปร่างของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ในเอกสารอ้างอิงนี้แสดงไว้ว่า ถ้าจำนวนสัญญาณที่ไม่ใช่เป็นสัญญาณเส้นทางตรง แต่เป็นสัญญาณที่สะท้อนจากทิศทางต่างๆ มาถึงจุดรับจำนวน i เส้นทาง ด้วยมุมอาซิมุทที่มาถึง θ_1 เทียบกับทิศของการเดินทาง จะทำให้สัญญาณที่รับได้อยู่ในลักษณะการเลื่อนความถี่แบบดอปเปลอร์ ดังนี้

$$f_{d1} = (v f_c / C) \cos \theta_1 \quad (5.8)$$

เมื่อ C คือ ความเร็วของแสง

ค่าขณะใดๆ ของสัญญาณที่สะท้อนในเส้นทางเส้นที่ i

$$d_1(t) = D_1(t) \cos(2\pi \cdot f_c t + \phi_{d1}) \quad (5.9)$$

ที่นี้ $D_1(t)$ คือ ขอบของสัญญาณ
 f_c คือ ความถี่พาหะที่ใช้

เฟสของสัญญาณลำดับที่ i (ϕ_{d1}) หาได้จาก

$$\phi_{d1} = 2\pi f_{d1} t + \phi_1 \quad (5.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ϕ_1 คือ เฟสของสัญญาณที่ส่ง

ดังนั้นสัญญาณที่สะท้อนลำดับที่ i สามารถแสดงได้ดังนี้

$$d_i(t) = d_{i,1}(t) \cos 2\pi f_c t - d_{i,2}(t) \sin 2\pi f_c t \quad (5.11)$$

ที่ $d_{i,1}$ คือ สัญญาณลำดับที่ i ที่เฟสตรงกัน

$d_{i,2}$ คือ ส่วนประกอบของสัญญาณที่ตั้งฉาก

สัญญาณจากการกระจายที่ เป็นผลลัพท์ กำหนดได้ด้วยผลบวกของคลื่นที่เป็นอิสระจากกันจำนวน N คลื่น ดังนี้

$$d(t) = \sum_{i=1}^N D_i(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_{d,i}) \quad (5.12)$$

ดังนั้น สามารถแสดงสัญญาณที่เป็นผลลัพท์ ในเทอมขององค์ประกอบของสัญญาณที่มีเฟสตรงกันและที่ตั้งฉาก ดังนี้

$$d(t) = d_1 \cos 2\pi f_c t + d_2 \sin 2\pi f_c t \quad (5.13)$$

องค์ประกอบของสัญญาณ I และ Q ที่เป็นผลลัพท์นี้ สามารถคำนวณได้ตั้งเป็นผลบวกของแต่ละองค์ประกอบที่สอดคล้องกัน ดังนี้

$$d_1(t) = \sum_{i=1}^N d_{i,1}(t) \quad (5.14)$$

และ

$$d_2(t) = \sum_{i=1}^N d_{i,2}(t) \quad (5.15)$$

จากทฤษฎี Central Limit เมื่อ N มีจำนวนมากและประมาณได้เป็นจำนวนอนันต์ ดังเช่นในกรณีที่พักอาศัยในเมืองที่มีตึกมากมาย ดังนั้น $d_1(t)$ และ $d_2(t)$ กลายเป็นการทำจากวิธีการสุ่มของ Gaussian ที่เกี่ยวข้องกันด้วยค่าเฉลี่ย (Zero mean) และค่าการเปลี่ยนแปลง (Variance, σ_d^2) และความหนาแน่นที่น่าจะเป็นของขอบสัญญาณ จะได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D(t) = \sqrt{d_1^2 + d_q(t)^2} \quad (5.16)$$

จากการแจกแจงแบบเรย์ลี จะได้ดังนี้

$$p(D) = (D / \sigma_d^2) \exp(-D^2 / 2 \cdot \sigma_d^2) \quad \text{สำหรับ } D > 0 \quad (5.17)$$

ที่ σ_d^2 คือ กำลังสัญญาณเฉลี่ย ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสิ่งแวดล้อมในที่ตั้งสถานีรับ

เฟสของสัญญาณที่รับได้เป็นลักษณะการแจกแจงอย่างป็นรูปแบบ จาก 0 ถึง 2π



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากฝนตก

6.1 บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในโซนเขตร้อน อุณหภูมิของชั้นบรรยากาศมีค่าสูงอยู่ตลอดเวลาและตลอดปี อัตราการตกของฝนในฤดูฝนก็อยู่ในอัตราการตกที่หนักและหนักมาก คือมีปริมาณตั้งแต่ 35.1 มม ถึง 90 มม. และตั้งแต่ 90.1 มม. ขึ้นไป อย่างที่แสดงในรูปที่ 4.13 ซึ่งเป็นข้อมูลสถิติตั้งแต่ พศ. 2504 ถึง 2536 พบว่าในเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ในเขตกรุงเทพมหานครจะอยู่ในช่วงฤดูฝนและมีฝนตกในปริมาณรวมหนักและหนักมาก เกือบทุกปี นอกจากฝนที่ตกประจำฤดูแล้วยังมีพายุหมุนเขตร้อนที่ทำให้เกิดฝนตกอีก ซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน ส่วนเดือนอื่นอาจมีเป็นบางปี [19] แต่ว่าจากสถิติดังกล่าวพบว่าปริมาณฝนตกหนักมากจะพบเป็นช่วงสั้นๆ เท่านั้น ในบทนี้จะวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นต่อสัญญาณดาวเทียมในลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันทางแอมพลิจูดจากฝนที่ตกในอัตราต่าง ๆ โดยเลือกวิเคราะห์เป็นบางส่วนเท่านั้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดาวเทียม จาก [4] กล่าวว่าไว้ว่าฝนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม ในลักษณะถูกลดทอน ดังกล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2 แล้วว่าฝนเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่ง ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม ที่ซึ่งลักษณะและค่าการเปลี่ยนแปลงจะต่างจากการเปลี่ยนแปลงจากสภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง [3, 4, 22]

จาก [5] กล่าวว่าไว้ว่าคลื่นวิทยุที่มีความถี่มากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไปที่มีมุมเงยต่ำ การเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันส่วนใหญ่ มาจากผลการเปลี่ยนแปลงภายในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ คือ ฝนและดัชนีการหักเหของชั้นบรรยากาศ อย่างเช่นผลการทดลองในเส้นทางดาวเทียมหนึ่งที่ใช้มุมเงยต่ำกว่า 5° [22] พบว่าสัญญาณดาวเทียมนั้นถูกลดทอนเนื่องจากฝนตกในลักษณะระดับถูกลดทอนลงมากกว่าที่เกิดขึ้นในสภาพบรรยากาศปลอดโปร่ง และยังพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงในช่วงกลางวันจะสูงกว่าช่วงกลางคืนเมื่อมีฝนตกเหมือนกัน และจาก [23] มีการทดลองเรื่องการลดทอนและการตีโพลาไรเซชันของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนตก พบว่าจะทำให้เกิดการสอดแทรกภายในระบบชั้นที่ความถี่มากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์

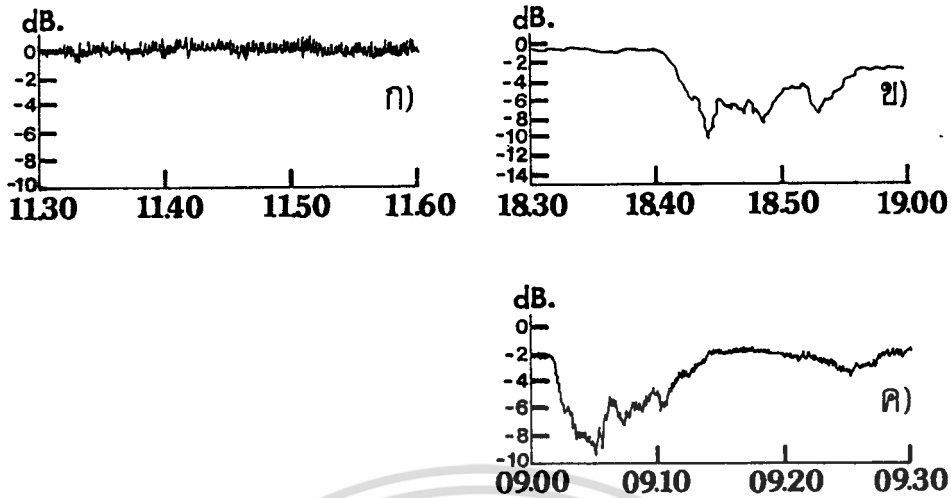
6.2 ลักษณะทั่วไปของการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันเนื่องจากฝนตก

โดยทั่วไปฝนจะมีความสำคัญต่อระบบการแพร่กระจายคลื่นผ่านดาวเทียมเมื่อใช้ความถี่สูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถี่มากกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ขึ้นไป [5, 22, 23] อย่างการทดลองและเปรียบเทียบโดยการคำนวณด้วย MIE และการประมาณค่าด้วย aR^b ในความถี่ 5, 10, 20, 50 และ 200 กิกะเฮิรตซ์ ที่อัตราการตกของฝนจาก 1 ถึง 1000 มม./ชั่วโมง [3] พบอัตราการลดทอนที่กำหนดต่อกิโลเมตรของสัญญาณดาวเทียมดังกล่าวจะมากขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น เช่นที่อัตราการตกของฝน 1 มม./ชั่วโมง ได้อัตราการลดทอนที่กำหนดต่อกิโลเมตรเท่ากับประมาณ 0.002, 0.015, 0.065, 0.5 และ 1.5 dB./km ตามลำดับความถี่ ส่วนผลที่อัตราการตกของฝนค่าอื่นๆ พบว่าจะเพิ่มลักษณะเดียวกันนี้ แต่ค่าที่ได้ของแต่ละความถี่จะมากขึ้นตามอัตราการตกของฝน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากมีฝนตก แสดงดังรูป 6.1 และ 6.2 โดยรูป 6.1 เป็นผลการทดลองที่ความถี่ 30 กิกะเฮิรตซ์ ที่เป็นสัญญาณชาลงมาจากดาวเทียม ATS-6 เพื่อแสดงเปรียบเทียบผลการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันภายใต้สภาพอากาศที่ปลอดโปร่ง รูป (ก) กับกรณีที่มีฝนตก รูป (ข) และ (ค) จะเห็นจากรูปนี้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงจะแตกต่างกัน โดยที่ในรูป (ข) และ (ค) จะมีลักษณะสัญญาณถูกลดทอนลงอย่างทันที่มากกว่าการขึ้นๆ ลงๆ ที่เกิดในรูป (ก) ส่วนรูป 6.2 แสดงลักษณะสัญญาณที่บันทึกได้ขณะมีฝนตก จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้งสามในรูปนี้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันไปในลักษณะถูกลดทอนลงในช่วงเวลาประมาณ 20.00 ถึง 21.30 น. ที่มีปริมาณฝนตกในช่วงเวลานี้ประมาณ 27.6 มม./ชั่วโมง โดยระดับสัญญาณทั้งสามจะถูกลดทอนลงประมาณ 5 dB. ของสัญญาณในรูป (ก) (ย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวอน), ประมาณ 3.5 dB. ของสัญญาณในรูป (ข) (ย่าน Ku) และประมาณ 1.5 dB. ของสัญญาณในรูป (ค) (ย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง) แต่จะเห็นได้ว่าสัญญาณย่าน C ในรูป (ก) และ (ค) จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ในระดับสัญญาณที่ถูกลดทอนลงรุนแรงกว่าของสัญญาณย่าน Ku ในรูป (ข) สาเหตุอันนี้เกิดขึ้นจากในช่วงเวลาที่บันทึกและแสดงในรูป 6.2 นี้ เป็นช่วงเวลาที่มีการปรากฏขึ้นของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งสัญญาณดาวเทียมย่าน C ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงนี้มากกว่าย่าน Ku ดังกล่าวไว้แล้วในบทที่ 4

6.3 การวิเคราะห์หาค่าระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนตก ด้วยวิธี SAM และ CCIR

การลดทอนและการดีโพลาไรเซชันของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนเกิดขึ้นจากเม็ดฝนแต่ละเม็ดดูดซับพลังงานคลื่นสัญญาณดาวเทียมนั้นไป แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในเม็ดฝน และคลื่นบางส่วนอาจถูกสะท้อนจากเม็ดฝน ทำให้กระจัดกระจายออกไปจากเส้นทางการแพร่กระจายที่กำหนด การขึ้นกันระหว่างคลื่นกับเม็ดฝนนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนของเม็ดฝนหรืออัตราการตกของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมในสภาพ ก) อากาศปลอดโปร่ง, ข) และ ค) ในขณะมีฝนตกในช่วงกลางคืนและกลางวัน จาก [22]

ฝน, การแจกแจงในขนาดและรูปร่างของฝน [22] โดยทั่วไปการแจกแจงในขนาดเม็ดฝนอยู่ในรูปเอกซ์โพเนนเชียล ดังนี้ [24]

$$N(D) = N_0 \exp(-D/D_m) \text{ mm}^{-1} \text{ m}^{-3} \quad (6.1)$$

เมื่อ D_m คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดฝนเฉลี่ย

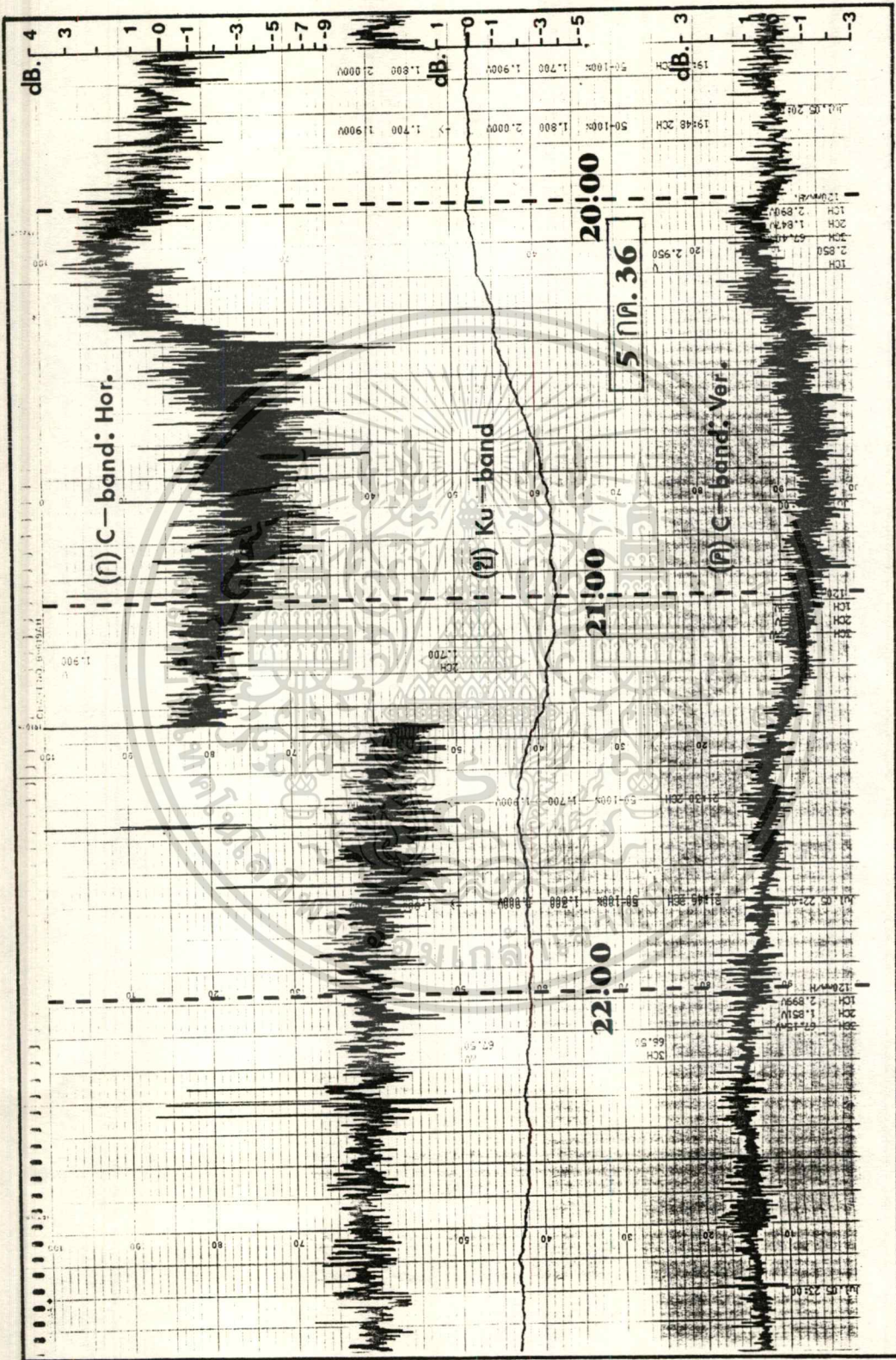
$N(D)dD$ เป็น จำนวนของเม็ดฝนต่อลูกบาศก์เมตร ด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง D และ $D+dD$ mm.

อัตราการตกของฝน (R) เกี่ยวข้องอยู่กับ $N(D)$ และความเร็วปลายทาง $V(D)$ ของการตกของฝน ในเมตรต่อวินาที ด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง D ดังนี้

$$R = 0.6 \times 10^{-3} \int D^3 V(D) N(D) dD \text{ mm/h} \quad (6.2)$$

การวิเคราะห์การลดทอนเนื่องจากฝนตก ในที่นี้จะพิจารณาจากการแตกกระจายและการดูดซับด้วยเม็ดฝน 1 เม็ด แล้วรวบรวมเข้ากันทุกๆ เม็ด โดยจะอาศัยสมการที่ได้จาก [22]

ดังนั้นนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณที่บันทึกได้ขณะมีฝนตก
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการแข่งขันในอีก 10 ปีข้างหน้า เมื่อผู้ยูทูปได้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = aR^b L \quad \text{dB} \quad (6.3)$$

เมื่อ R คือ อัตราการตกของฝน
 L คือ ความยาวของเส้นทาง

โดยสมการ 6.3 จะพิจารณาสมมติว่า R คงที่ตลอดเส้นทาง L และปริมาณ aR^b นี้ เรียกว่า การลดทอนที่กำหนด [22] มีหน่วยเป็น dB/km ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จะขึ้นอยู่กับความถี่เป็นสำคัญ และขึ้นอยู่กับโพลาริเซชัน, อุณหภูมิของเม็ดฝน และตัวแปรอื่นด้วยแต่ถือว่ามีผลน้อยมาก ในที่นี้อาศัยวิธีการประมาณค่าซึ่งมีการนำไปใช้ทางปฏิบัติมากที่สุด ดังนี้

$$a = 4.21 \times 10^{-5} f^{2.42}, \quad 2.9 \leq f \leq 54 \text{ กิกะเฮิรตซ์} \quad (6.4)$$

$$= 4.09 \times 10^{-2} f^{0.699}, \quad 54 \leq f \leq 180 \text{ กิกะเฮิรตซ์}$$

$$b = 1.41 f^{-0.0779}, \quad 8.5 \leq f < 25 \text{ กิกะเฮิรตซ์} \quad (6.5)$$

$$= 2.63 f^{-0.272}, \quad 25 \leq f < 164 \text{ กิกะเฮิรตซ์}$$

ถ้าอัตราการตกของฝนคงที่ตลอดความยาวเส้นทางดาวเทียมแล้ว การคำนวณสำหรับฝนตกในบริเวณพื้นโลกสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ 6.3 ถึง 6.5 ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสิ่งนี้เป็น การเชื่อมโยงในทางภาคพื้นดิน แต่สำหรับเส้นทางดาวเทียมแล้ว อัตราการตกของฝนจะเปลี่ยนไปตามตำแหน่ง, เวลา และความยาว L ของตำแหน่งของเส้นทางที่มีฝนตกด้วย ถ้าความยาวนี้ คือ $L(t)$ และ $R(y,t)$ คือ อัตราการตกของฝนในหน่วย มม.ต่อชั่วโมง ที่เวลา t ที่ระยะทาง y กิโลเมตรจากพื้นดินตามเส้นทาง ดังนั้นค่าการลดทอน $A(t)$ สามารถได้จาก

$$A(t) = \int_0^{L(t)} a[R(y,t)]^b dy \quad \text{dB} \quad (6.6)$$

สมการที่ 6.6 นี้ โดยทั่วไปไม่ใช่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนขณะนั้นๆ $A(t)$ กับอัตราการตกของฝนตรงจุดนั้น $R(t)$ ที่วัดบนภาคพื้นดินใกล้กับจุดตั้งสายอากาศรับ เพราะว่ามีเม็ดฝนต้องใช้เวลานานพอควรในการตกลงมาจากกลุ่มฝนที่อยู่ข้างบนสู่เครื่องวัดอัตราการตกของฝนที่ภาคพื้นดิน ดังนั้นคุณสมบัติของการลดทอนที่เวลา t ก็คือคุณสมบัติของอัตราการตกของฝนที่ภาคพื้นดิน ที่เวลา $t+T$, T นี้ คือ เวลาล่าหลัง ซึ่งเป็นตัวแปร ที่อาจงาน 4 ถึง 8 นาที ดังนั้นรูป

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองที่จะใช้เพื่อหา ค่าการลดทอนเนื่องจากฝนเป็นการหาในทางสถิติมากกว่าค่าขณะนั้นๆ

เพราะว่าการลดทอนที่เกิดขึ้นจากฝน ทั้ง A และ R เป็นการแสดงในคุณสมบัติทางสถิติชนิดเดียวกัน และทั้งสองนี้สามารถอธิบายด้วยการกำหนดค่าที่เกิน

รูปแบบจำลองทางสถิติของการลดทอนเนื่องจากฝนตกในพื้นที่ อาศัยการกำหนดอัตราการตกของฝนเฉลี่ยในเส้นทางหนึ่ง ($R_p(t)$) ดังนี้ [22]

$$A(t) = \int_0^L a[R(y,t)]^b dy = a[R_p(t)]^b L(t) \quad \text{dB} \quad (6.7)$$

ถ้าฝนทั้งหมดที่ผ่านสู่เส้นทางการแพร่กระจายเป็นฝนที่ตกถึงพื้นโลกทั้งหมดแล้ว กราฟค่าที่เกินของอัตราการตกของฝนเฉลี่ยในเส้นทางนั้น ก็น่าจะเป็นกราฟค่าที่เกินอันเดียวกันกับของอัตราการตกของฝนที่พื้นโลก (แบบจุด) ค่าการลดทอน $A(P)$ อาจจะทำกับหรือเกินกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ P เปอร์เซนต์ของเวลา จึงต้องคูณกับค่าคงที่ที่เป็นสัดส่วนกันระหว่าง $A(P)$ กับ $a[R(P)]^b$ ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร และเรียกว่า "ความยาวของเส้นทางที่มีผล" (L_{eff}) ดังนี้

$$A(P) = a[R(P)]^b L_{eff} \quad \text{dB} \quad (6.8)$$

ความยาว L_{eff} นี้ อาจเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด หรืออาจหาจากตารางทางสถิติที่สอดคล้องกับค่าของ $A(P)$ และ $R(P)$ โดย P เป็นดังตัวแปรตัวหนึ่ง ดังนั้นค่าการลดทอนและอัตราการตกของฝนจึงแสดงเป็นค่าคู่กันอยู่ ซึ่งเรียกว่า "ค่าที่น่าจะเป็นอย่างเ้ากกัน"

รูปแบบจำลองที่ใช้หาค่านี้ส่วนใหญ่ให้ความสัมพันธ์ระหว่าง $A(P)$ กับ $R(P)$ ในรูปสมการที่ 6.8 แต่หลายๆ รูปแบบจำลองหลีกเลี่ยงการเรียกค่าคงที่ทางสัดส่วนว่า "ความยาวของเส้นทางที่มีผล"

รูปแบบจำลอง SAM ได้พัฒนาขึ้นโดย NASA ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่ายในการคำนวณด้วยตัวเอง โดยสมมุติว่าฝนที่ตกกระจายจากมุมเงยหนึ่งของสถานีภาคพื้นดินที่สูง H_0 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเลสู่กลุ่มฝนที่เป็นผลที่สูง H_1 กิโลเมตรเหนือระดับน้ำทะเล ดังแสดงในรูปที่ 6.3 สำหรับมุมเงย (E) หนึ่ง ส่วนค่าความยาวของเส้นทางในฝน (L) หาได้ดังนี้

$$L = (H_1 - H_0) / \sin(E) \quad \text{km} \quad (6.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

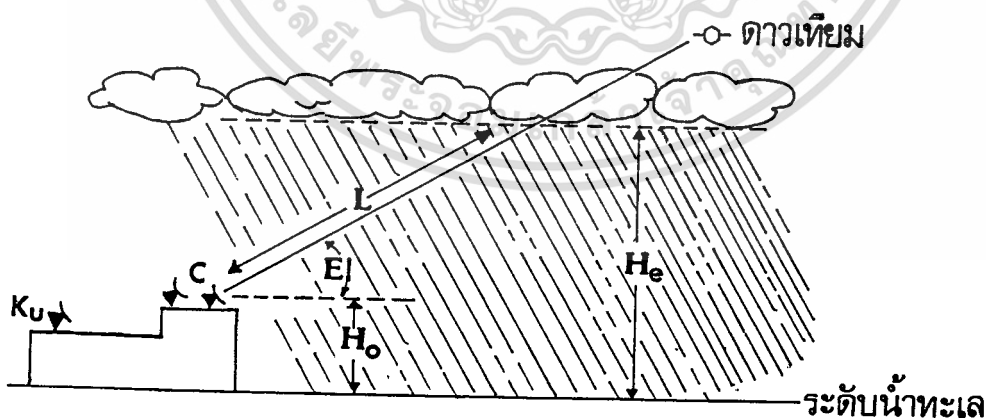
ถ้าอุณหภูมิลดลงด้วยความสูงในชั้นบรรยากาศที่ต่ำกว่าแล้ว เส้นตัดของจุดที่อุณหภูมิเท่ากับ 0°C เรียกว่า "zero degree isotherm" ความสูงของจุดนี้ คือ H_1 โดยทั่วไปที่ความสูงขึ้นไปจากจุด H_1 นี้ จะถือว่าไม่มีน้ำที่เป็นของเหลวอยู่ จึงไม่ได้เป็นสิ่งสำคัญในที่นี้ สำหรับการกำหนดค่าของ H_1 ในฤดูร้อนที่ใช้เป็นค่าเปรียบเทียบโดยทั่วไป อาจประมาณจากตำแหน่งละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน (A_{\circ} , องศา) ดังนี้

$$\begin{aligned} H_1 &= 4.8 & , & \quad |A_{\circ}| \leq 30^{\circ} & (6.10) \\ &= 7.8 - 0.1 |A_{\circ}| & , & \quad |A_{\circ}| > 30^{\circ} \end{aligned}$$

ในรูปแบบจำลอง SAM นี้ ความสูงของฝนที่เป็นผล (H_{\circ}) เกี่ยวข้องอยู่กับ H_1 และ อัตราการตกของฝน (R) ดังนี้

$$\begin{aligned} H_{\circ} &= H_1 & , & \quad R \leq 10 \text{ mm/h} & (6.11) \\ &= H_1 + \log_{10}(R/10) & , & \quad R > 10 \text{ mm/h} \end{aligned}$$

อนึ่ง $R(P)$ เป็นการกำหนดขึ้นมา และ L เป็นการคำนวณจากสมการที่ 6.11, 6.10 และ 6.9 ค่าการลดทอนที่จำเป็นจะเป็นอย่างเท่ากัน ($A(P)$) หาได้ดังนี้



รูปที่ 6.3 ภาพทางเรขาคณิตแสดงความหมายของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คำนวณค่าการลดทอนเนื่องมาจากฝนด้วยวิธี SAM MODEL (C และ Ku คืองานสายอากาศรับสัญญาณ 2 ย่านนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 A(P) &= a[R]^b L, \quad R \ll 10 \text{ mm/h} \\
 &= a[R]^b \left\{ \frac{1 - \exp[-yb \log_{10}(R/10)L \cos(E)]}{yb \log_{10}(R/10) \cos(E)} \right\}, \quad R > 10 \text{ mm/h} \quad (6.12)
 \end{aligned}$$

ในที่นี้ปริมาณ y ที่ได้จากการประมาณ เท่ากับ $1/22$

รูปแบบจำลองของ CCIR เป็นอีกรูปแบบจำลองหนึ่งที่ใช้วิเคราะห์การลดทอนอันเนื่องมาจากฝนตกอยู่ในเส้นทางดาวเทียม ในกรณีสำหรับเปอร์เซ็นต์ของเวลาเกินกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ ส่วนช่วงเปอร์เซ็นต์อื่นๆ ก็สามารถหาได้โดยใช้วิธีหาอัตราสัดส่วนเอาจากค่าที่ได้จากเปอร์เซ็นต์นี้ไปใช้เทียบค่า อย่างเช่นกรณีช่วงเปอร์เซ็นต์เวลาระหว่าง 0.001 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์

ถ้าเส้นรุ้งของสถานีภาคพื้นดิน = A_{\circ} , ความสูงของฝน (h_R) คำนวณได้โดย

$$h_R = 5.1 - 2.15 \log_{10} \left\{ 1 + 10^{\left[\frac{(|A_{\circ}| - 27)/25}{1} \right]} \right\} \text{ กิโลเมตร} \quad (6.13)$$

ความยาวของเส้นทางในแนวเฉียง (L_{\circ}) คำนวณได้จาก h_R , ความสูงของสถานีภาคพื้นดินเหนือระดับน้ำทะเล (h_{\circ}) และมุมเงยของเส้นทาง (E) ดังนี้

$$L_{\circ} = \frac{2(h_R - h_{\circ})}{[\sin^2(E) + 2(h_R - h_{\circ})/8500]^{1/2} + \sin(E)} \text{ km, สำหรับ } E < 10^{\circ}$$

$$L_{\circ} = (h_R - h_{\circ}) / \sin(E) \text{ km, } E > 10^{\circ} \quad (6.14)$$

ตัวแปรการลดทอน (r_p) เป็นตัวคูณที่ใช้สำหรับกรณีที่อัตราการตกของฝนไม่เป็นรูปแบบ คำนวณได้จากการฉายภาพไปทางแนวนอนของความยาวในแนวเฉียง (L_{\circ}) ในหน่วยกิโลเมตร โดย

$$r_p = 90 / (90 + 4L_{\circ}) \quad (6.15)$$

$$\text{โดย } L_G = L_{\circ} \cos(E) \quad (6.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า R_p เป็นอัตราการตกของฝนที่เกินกว่า 0.01 เปอร์เซ็นต์ของปีเฉลี่ยหนึ่ง และ a กับ b เป็นสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จากสมการที่ 6.4 และ 6.5 ดังนั้น ค่าการลดทอนที่จะเกินสำหรับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ของเวลา ในรูปแบบจำลอง CCIR นี้ คือ

$$A_{0.01} = a(R_p)^b L_{r_p} \quad \text{dB} \quad (6.17)$$

ค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์ของเวลา (P) อื่นๆ ($A(P)$) สามารถหาได้จากค่าการลดทอน $A_{0.01}$ ดังนี้

$$A_p = A_{0.01} (P/0.01)^{-\infty} \quad \text{dB} \quad (6.18)$$

$$\infty \begin{cases} = 0.33 & \text{สำหรับ } 0.001 \leq P < 0.01 \\ = 0.41 & \text{สำหรับ } 0.01 < P < 0.1 \end{cases} \quad (6.19)$$

ส่วนเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่อยู่ข้างนอกช่วง 0.001 ถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ขบวนการหาพิสัยประมาณนอกช่วงโดยวิธีเทียบเคียง [22]

รูปแบบจำลองทั้ง 2 นี้ พบจากตัวอย่างการคำนวณที่เส้นทางดาวเทียมความถี่ 28 กิกะเฮิรตซ์ ที่มุมเงย 45° โดยตำแหน่งรับอยู่ที่เส้นรุ้ง 37.229° เหนือ ด้วยความสูงจากระดับน้ำทะเล 0.64 กิโลเมตร ที่ $P=0.01\%$ (มีอัตราการตกของฝนเท่ากับ 43 มม/ชั่วโมง) พบว่าถ้าใช้รูปแบบจำลอง SAM จะได้ค่าการลดทอนเท่ากับ 36.3 dB. แต่ถ้าใช้ของ CCIR คำนวณได้ 29.3 dB. ซึ่งทั้งสองจะได้ค่าแตกต่างกันและต่างจากค่าที่ได้จากการวัดในระยะเวลาอันสั้นคือเท่ากับ 32 dB. [22] จะเห็นได้ในตัวอย่างนี้ว่าวิธี CCIR จะได้ค่าใกล้เคียงกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงในรอบปีที่มีอัตราการตกของฝนหลายอัตรา รูปแบบจำลอง SAM จึงเหมาะสมต่อการใช้คำนวณในทางปฏิบัติเพราะเป็นวิธีที่มีขั้นตอนไม่ยุ่งยากมากนัก

การวิเคราะห์ในการวิจัยนี้อาศัยรูปแบบจำลอง SAM และ CCIR โดยพิจารณาที่ย่าน C และ Ku (ความถี่ 3.84, 3.90 และ 11.765 กิกะเฮิรตซ์ จากดาวเทียม Palapa-B2P, ดาวเทียม Asiasat และดาวเทียม BS-3a ที่มุมเงยของจานสายอากาศ 68.53° , 72.94° และ 70.63° ตามลำดับ) จากตำแหน่งที่ตั้งรับสัญญาณที่เส้นรุ้ง 13.7603° เหนือ ด้วยความสูงจากระดับน้ำทะเล H_u ประมาณ 15.9 เมตร (จานสายอากาศของย่าน C ทั้งสองความถี่) และ 10.9 เมตร (จานสายอากาศของย่าน Ku) ดังแสดงในรูปที่ 6.3 โดยพิจารณาที่อัตราการตกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของฝน (R) ที่เกิดขึ้นสำหรับเปอร์เซ็นต์ของเวลาในปีเฉลี่ยหนึ่งทุกเปอร์เซ็นต์ที่แสดงในตารางที่ 6.1 แต่ในที่นี้จะแสดงค่าต่างๆ ที่ได้ในขั้นตอนการคำนวณ เฉพาะที่เปอร์เซ็นต์ของเวลา (P) = 0.01 เท่านั้น ซึ่งที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาแบบนี้จะมีอัตราการตกของฝนเท่ากับ 145 mm/h อนึ่ง ตารางที่ 6.1 นี้ ได้มาจากการแจกแจงอัตราการตกของฝนสำหรับโซนต่างๆ ที่แบ่งตามภูมิประเทศของ CCIR ที่อยู่ในเอกสารอ้างอิง [3, 22] โดยจากการแจกแจงของ CCIR นี้ ประเทศไทยจะอยู่ในโซน N (ส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางตอนบน, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ) และ P (ส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลางตอนล่าง, ภาคใต้ และกรุงเทพมหานคร) ซึ่งโซน P จะมีอัตราการตกของฝนมากกว่าโซน N ทุกๆ เปอร์เซ็นต์ของเวลา และมากกว่าโซนอื่นๆ ทั่วโลก

ค่าที่ได้จากขั้นตอนการคำนวณของ SAM และ CCIR ที่ P=0.01 % จะได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b เราคำนวณได้จากสมการที่ 6.4 และ 6.5 ซึ่งทั้งรูปแบบจำลอง SAM และ CCIR ใช้สมการและค่าที่ได้เดียวกันนี้

รูปแบบจำลอง SAM: สัญญาณดาวเทียมความถี่ 3.84 กิกะเฮิรตซ์ a = 1.09235×10^{-3}

$$b = 1.26969$$

ความสูงของจุดที่ 0°C จากสมการที่ 6.10: $H_1 = 4.8$ กิโลเมตร

ความสูงของฝนที่เป็นผล จากสมการที่ 6.11: $H_u = 5.9614$ กิโลเมตร

ความยาวของเส้นทางในฝน จากสมการที่ 6.9 : $L = 6.3888$ กิโลเมตร

ระดับการลดทอน จากสมการที่ 6.12: $A = 3.2512$ dB.

สัญญาณดาวเทียมความถี่ 3.90 กิกะเฮิรตซ์ a = 1.13412×10^{-3}

$$b = 1.26816$$

$H_1 = 4.8$ กิโลเมตร

$H_u = 5.9614$ กิโลเมตร

$L = 6.2191$ กิโลเมตร

ระดับการลดทอน $A = 3.3862$ dB.

และ สัญญาณดาวเทียมความถี่ 11.765 กิกะเฮิรตซ์ a = 0.01641

$$b = 1.16364$$

$H_1 = 4.8$ กิโลเมตร

$H_u = 5.9614$ กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = 6.3075 \text{ กิโลเมตร}$$

ระดับการลดทอน

$$A = 29.3335 \text{ dB.}$$

รูปแบบจำลอง CCIR: สัญญาณดาวเทียมความถี่ 3.84 กิกะเฮิรตซ์

ความสูงของฝนที่เป็นผล	จากสมการที่ 6.13:	$h_R = 4.8583$	กิโลเมตร
ความยาวของเส้นทางในฝน	จากสมการที่ 6.14:	$L_u = 5.2035$	กิโลเมตร
ความยาวของ Slant path	จากสมการที่ 6.16:	$L_G = 1.9046$	กิโลเมตร
ตัวแปรร่วมการลดทอน	จากสมการที่ 6.15:	$r_p = 0.9220$	
ระดับการลดทอน	จากสมการที่ 6.17:	$A = 2.9084$	dB.

สัญญาณดาวเทียมความถี่ 3.90 กิกะเฮิรตซ์

		$h_R = 4.8583$	กิโลเมตร
		$L_u = 5.0653$	กิโลเมตร
		$L_G = 1.4860$	กิโลเมตร
		$r_p = 0.9380$	
ระดับการลดทอน		$A = 2.9679$	dB.

และ

สัญญาณดาวเทียมความถี่ 11.765 กิกะเฮิรตซ์

		$h_R = 4.8583$	กิโลเมตร
		$L_u = 5.1383$	กิโลเมตร
		$L_G = 1.7042$	กิโลเมตร
		$r_p = 0.9296$	
ระดับการลดทอน		$A = 25.6342$	dB.

ซึ่งจากค่าการลดทอนที่คำนวณได้ที่ 0.01 เฟอร์เซ็นต์ของเวลา ที่ความถี่ 3.90 กิกะเฮิรตซ์จะสูงกว่าของ 3.84 กิกะเฮิรตซ์ ประมาณ 0.135 dB. (ของ SAM) และ 0.056 dB. (ของ CCIR) ส่วนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ความถี่ 11.765 กิกะเฮิรตซ์ ที่ได้จะเห็นว่ามากกว่าของย่าน C ทั้งสองประมาณ 9.02 กับ 8.66 เท่า (ของ SAM) และ 8.81 กับ 8.64 เท่า (ของ CCIR) ซึ่งผลอันนี้แสดงค่าการลดทอนของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ เมื่ออัตราการตกของฝนเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาค่าอื่นๆ ที่แสดงในตารางที่ 6.1 ได้วิเคราะห์และแสดงผลไว้ในรูปที่ 6.4 (ก) ถึง (ค) ของแต่ละสัญญาณที่ทำการทดลอง โดยค่าการลดทอนที่วิเคราะห์โดย CCIR ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลา 0.001 %, 0.003 %, 0.03 % และ 0.1 % อาศัยสมการที่ 6.18 และ 6.19 ส่วนที่เปอร์เซ็นต์ 0.3 % และ 1 % อาศัยรูปแบบจำลอง CCIR ในวิธีการที่ 2 [3] เข้ามาช่วยวิเคราะห์หาค่า รูปแบบจำลองของ CCIR วิธีการที่ 1 คือวิธีการในสมการที่ 6.13 ถึง 6.19 นั้นเอง

CCIR วิธีการที่ 2 ใช้ในที่นี้สำหรับหาค่าการลดทอนเนื่องจากฝนในเปอร์เซ็นต์ 0.3 % และ 1 % จะมีขั้นตอนหาค่าต่างๆ เหมือนกับ CCIR วิธีการที่ 1 ยกเว้นแต่ค่า h_R ที่หาค่าได้จากกราฟแสดงความสูงของฝนที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดของสถานีภาคพื้นดินของ CCIR โดยกราฟนี้และวิธีการละเอียดอยู่ใน [3] ในที่นี้จะแสดงเฉพาะผลการวิเคราะห์และในรายละเอียดของขั้นตอนบางส่วน ดังนี้ จากวิธีการหาค่าจากกราฟของ CCIR ได้ค่าความสูงของฝน (h_R) ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลา 0.1% และ 1% ที่ตำแหน่งละติจูดของที่ตั้งงานสายอากาศรับสัญญาณ คือ 13.7603° เหนือ ดังนี้

ที่ $P = 0.1 \%$

$$h_{R, \text{CCIR วิธีการที่ 2}} = h_{R, \text{CCIR วิธีการที่ 1}} = 4.8583 \text{ กิโลเมตร}$$

ที่ $P = 1 \%$

$$h_{R, \text{CCIR วิธีการที่ 2}} = 4.433 \text{ กิโลเมตร}$$

ค่าตัวแปรการลดทอน (r_p) หาได้ดังนี้

$$P = 0.1 \% : r_{0.1} = 180 / (180/L_G) \quad (6.20)$$

$$P = 1 \% : r_{1.0} = 1 \quad (6.21)$$

ค่า L_G และ $L_{\text{ร}}$ คำนวณได้จากสมการที่ 6.16 และ 6.14

ค่าการลดทอนเนื่องจากฝนสำหรับเปอร์เซ็นต์ของเวลา 0.1 % และ 1 % หาได้ดังนี้

$$A_{0.1} = aR_{0.1}^b L_{\text{ร}} r_{0.1} \quad (6.22)$$

$$A_{1.0} = aR_{1.0}^b L_{\text{ร}} r_{1.0} \quad (6.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสัมประสิทธิ์ a และ b จะขึ้นอยู่กับความถี่ค่าความได้จากสมการที่ 6.4 และ 6.5
ค่าการลดทอนเนื่องจากฝน (A_p) ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลา (P) = 0.3 % หาได้จากสมการของการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์ในช่วง 0.1 % ถึง 1 % ดังนี้

$$A_{p'} = A_{0.1} (P / 0.1)^{\log[(A_{0.1}/A_1)^{1/b}]}, \quad 0.1 < p < 1 \quad (6.24)$$

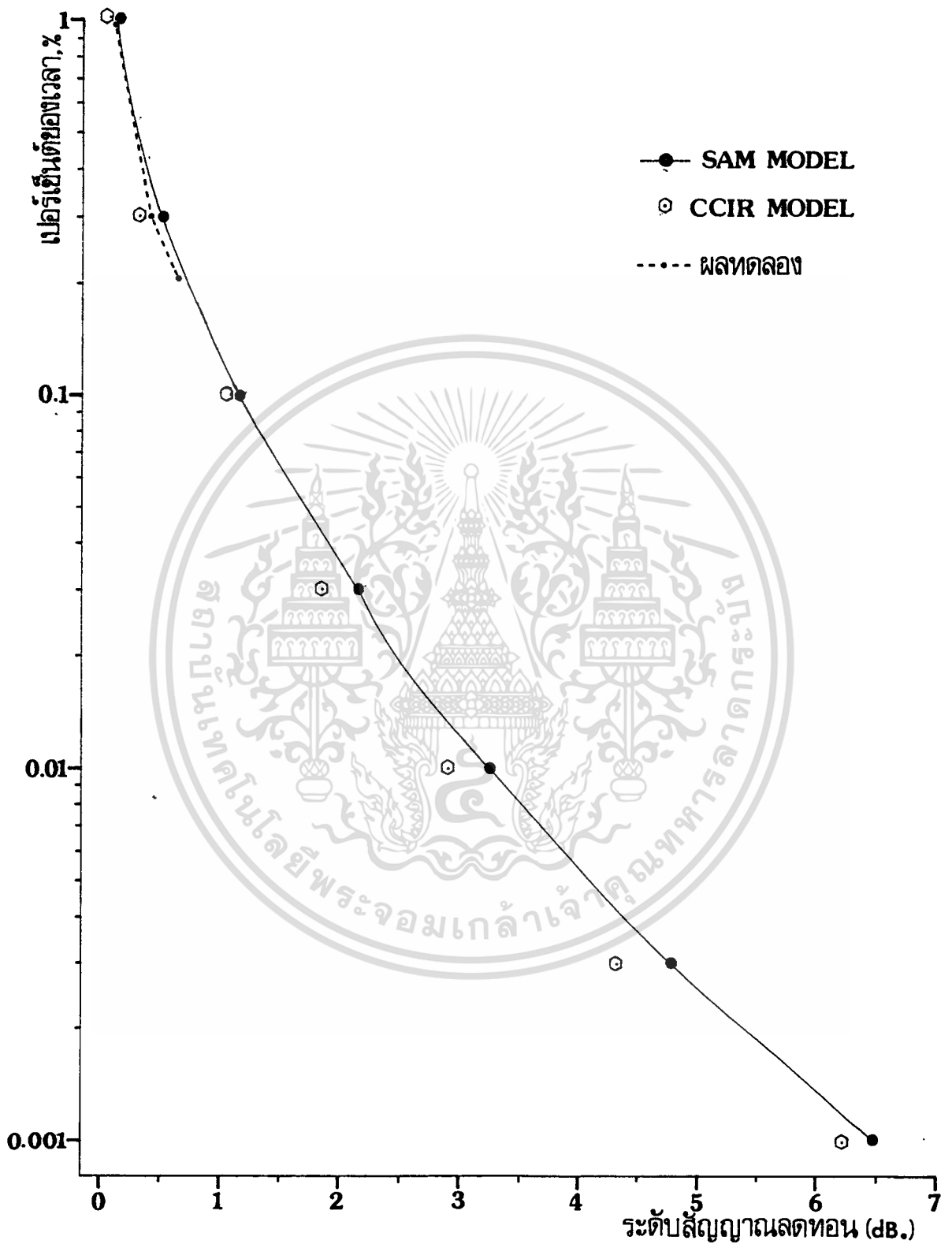
$$A_p = A_{p'} \times (0.1) \quad , \quad 0.1 < p < 1 \quad (6.25)$$

จาก [22] กล่าวไว้ว่า คุณสมบัติของอัตราการตกของฝนในระยะเวลาอันยาวนานจะมีการหาและอธิบายได้ด้วยคุณสมบัติที่เรียกว่า "การแจกแจงที่น่าจะเป็นไปได้ของการสะสม" และเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่าเป็น "กราฟที่เกินค่า" ซึ่งในที่นี้ได้อาศัยข้อกำหนดเปอร์เซ็นต์ของเวลาซึ่งอัตราการตกของฝนเกินจากค่าที่กำหนดมาใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งได้จากการแจกแจงของ CCIR ซึ่งบริเวณที่ทำการทดลองอยู่ในโซน P ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 อัตราการตกของฝนในเปอร์เซ็นต์ของเวลาค่าต่างๆ ในบริเวณทำการทดลอง

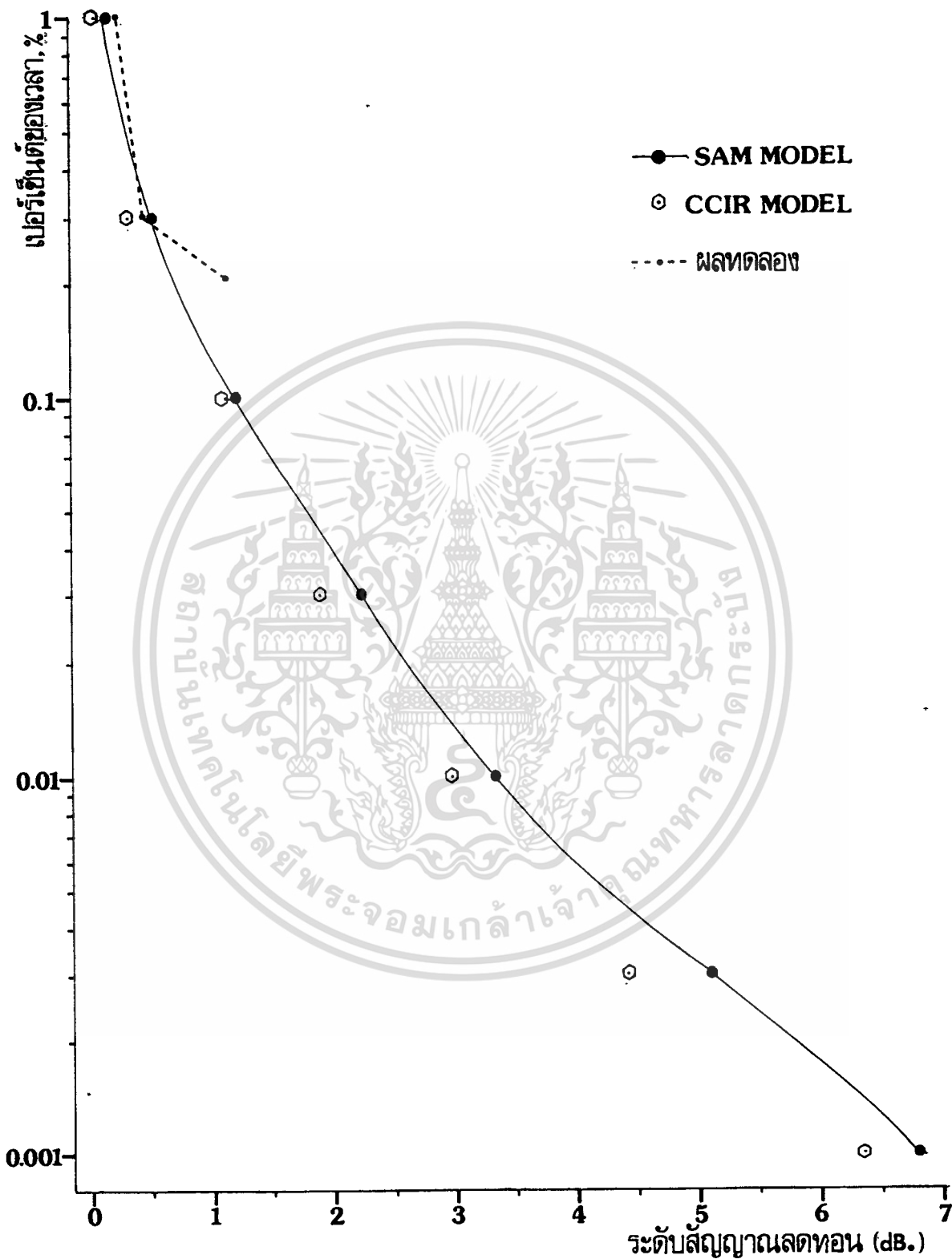
เปอร์เซ็นต์ของเวลา	R (mm/hr) ที่เกินค่า สำหรับเปอร์เซ็นต์ของเวลานี้
1.0	12
0.3	34
0.1	65
0.03	105
0.01	145
0.003	200
0.001	250

รูปที่ 6.4 แสดงค่าการลดทอน โดยเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณด้วยรูปแบบจำลอง SAM และ CCIR กับค่าการลดทอนที่ได้จากการวิเคราะห์ในสัญญาณที่บันทึกได้ในระหว่างมีฝนตกที่อัตราการตกของฝน ในค่าเปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ



รูปที่ 6.4 (ก) ผลการวิเคราะห์ค่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน C (3.84 GHz) ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ

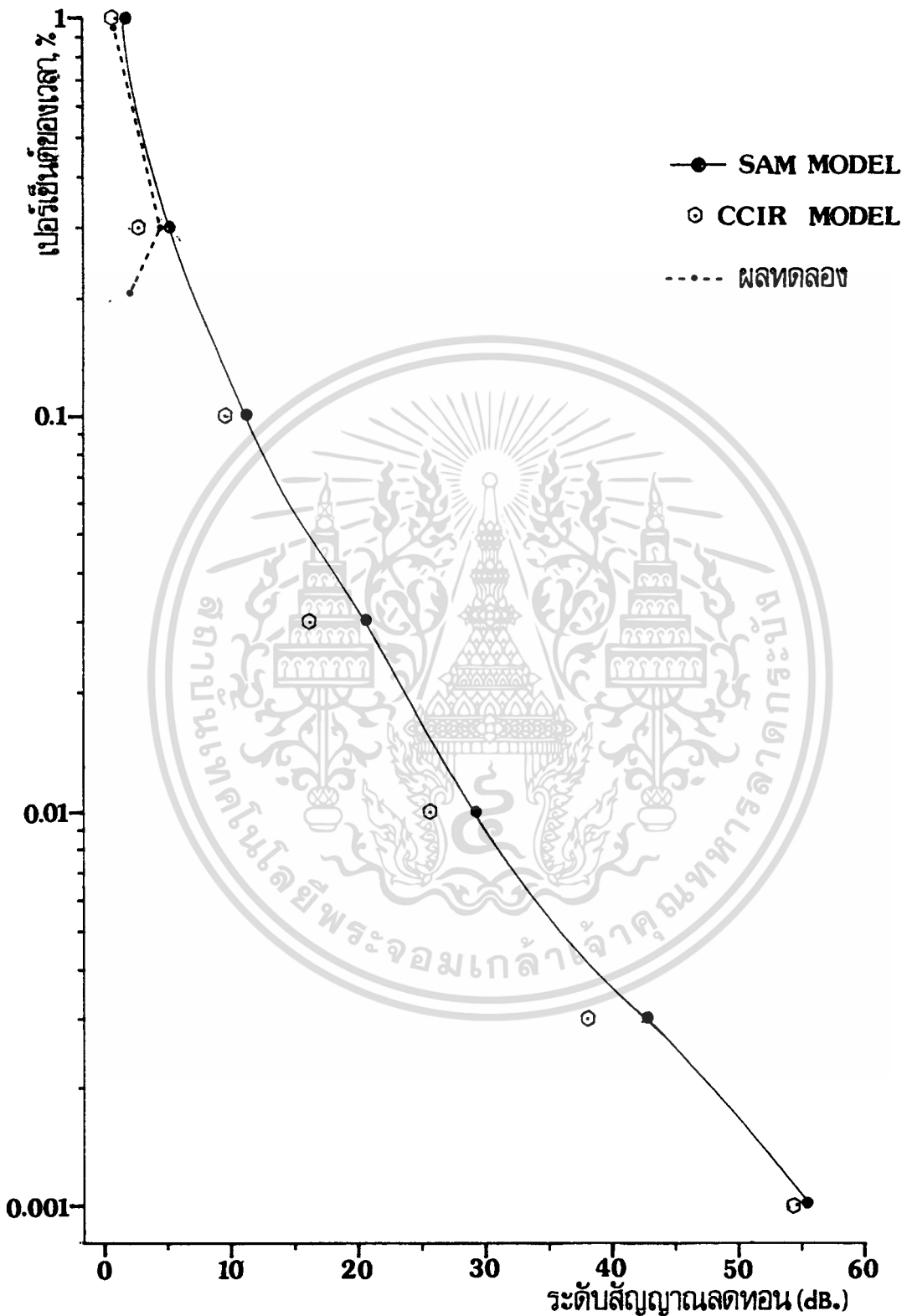
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 (ข) ผลการวิเคราะห์ค่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน C (3.90 GHz)

ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 (ค) ผลการวิเคราะห์ค่าการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku (11.765 GHz)

ที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ

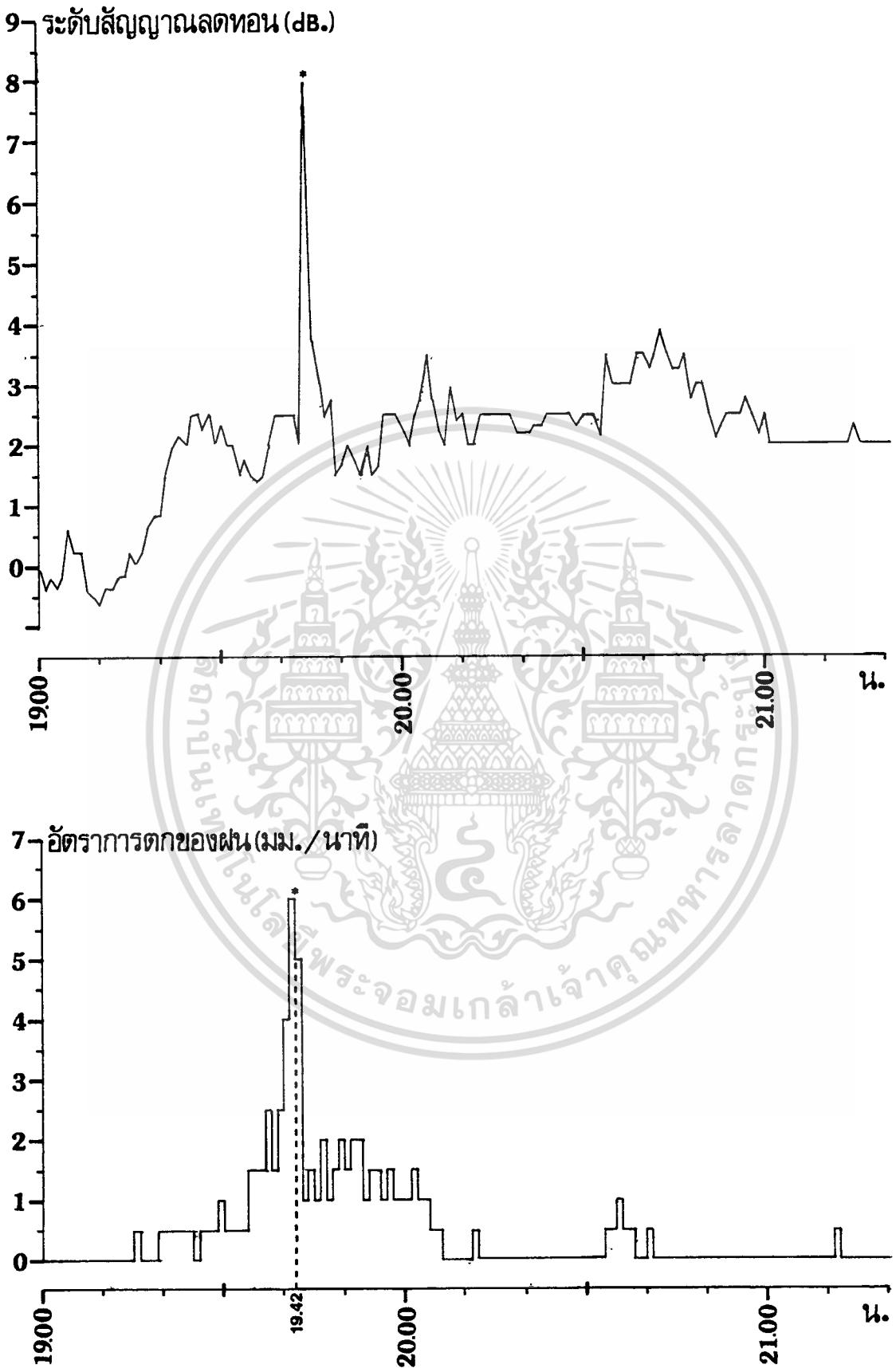
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับกรณศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.5 แสดงเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณ โดยเลือกและแสดงเพียงบางส่วนจากช่วงที่ทำการทดลองรับและบันทึกระดับสัญญาณย่าน C (3.85075 กิกะเฮิรตซ์) จากดาวเทียม Palapa-B2P ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายน 2533 โดยจากสถิติใน [19] พบว่าช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือน ตุลาคม 2533 มีปริมาณฝนตก รวมมากที่สุดในปีนั้น คือมีค่า 270.8 และ 277.7 มม. ตามลำดับ และพบว่าในวันที่ 27 ถึง 28 ของเดือนกันยายนมีปริมาณฝนตกรวมค่ามากที่สุดในช่วงทำการทดลอง คือ 78.4 มม. ส่วนอัตราการตกของฝนที่แสดงในรูป 6.5 นี้ ได้จากการวัดที่ตำแหน่งบริเวณเดียวกันกับที่ตั้งจานสายอากาศรับสัญญาณนี้ด้วยเครื่องวัดน้ำฝนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. และบันทึกบนกระดาษกราฟชนิดต่อเนื่องพร้อมกับที่บันทึกสัญญาณย่าน C ตลอดเวลาการทดลอง จากรูปที่ 6.5 จะเห็นว่าในช่วงเวลา ประมาณ 19.00 ถึง 21.20 น. (วันที่ 27 กันยายน 2533) จะมีฝนตกในอัตราการตกของฝน ต่อนาที ในช่วง 0 ถึง 6 มม./นาที และระดับสัญญาณที่รับได้จะถูกลดทอนระหว่าง 0.7 ถึง 8.1 dB. (ข้อมูลนี้มาจาก [25]) โดยเฉพาะที่เวลา 19.42 น. จะมีอัตราการตกของฝนสูงสุด คือ 6 มม./นาที สัญญาณก็มีระดับการลดทอนสูงสุด คือประมาณ 8.1 dB. ซึ่งจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลดทอนจากรูป 6.5 นี้ได้อย่างชัดเจนว่าระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณในลักษณะถูกลดทอน จะขึ้นอยู่กับอัตราการตกของฝน โดยตรง

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ระหว่างอัตราการตกของฝนกับระดับสัญญาณลดทอนในรูปที่ 6.5 ซึ่งค่านี้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ได้ว่าถ้ามีฝนตกในอัตราการตกค่าหนึ่งจะมีระดับสัญญาณลดทอนลงเท่าไร ซึ่งเรียกวิธีการพยากรณ์ทางสถิติแบบนี้ว่าการวิเคราะห์ถดถอย ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์คำนวณได้จากสมการดังนี้ [26]

$$r = \frac{n \sum \ln x \ln y - \sum \ln x \sum \ln y}{\sqrt{[n \sum (\ln x)^2 - (\sum \ln x)^2][n \sum (\ln y)^2 - (\sum \ln y)^2]}} \quad (6.26)$$

เมื่อ	r	คือ	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
	x และ y	คือ	ตัวแปรสองตัวที่เราต้องการวัดสหสัมพันธ์ระหว่างกันและกัน ในที่นี้หมายถึง อัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณลดทอน ตามลำดับ
	n	คือ	จำนวนคู่ค่าสังเกต



รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับสัญญาณลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่อัตราการตกของฝน

ต่างๆ ของสัญญาณย่าน C (3.85075 GHz) เมื่อ 27 กย. 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลในรูป 6.5 ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 140 คู่ค่า ได้ค่า r เท่ากับ 0.99 โดยประมาณ ซึ่งแสดงว่าอัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณเลดทอนมีสหสัมพันธ์กันอยู่ในระดับสูง (ค่า $|r|$ ถ้าได้ระหว่าง 0.7 ถึง 1 อยู่ในระดับสูง, 0.4 ถึง 0.7 อยู่ในระดับต่ำ และถ้าได้ 0.4 ถึง 0 ถือว่าไม่มีสหสัมพันธ์กันเลย) สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวนี้ได้มีการวิเคราะห์ในสัญญาณแบบไมโครเวฟย่าน 12 กิกะเฮิรตซ์ ใน [26] ได้ค่า r นี้ เท่ากับ 0.840 ถึง 0.995 ซึ่งถือว่ามีสหสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง จึงสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ในที่นี้

6.4 เปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเนื่องจากฝนตกที่เกิดขึ้นในย่าน C กับ Ku

จากลักษณะสัญญาณดาวเทียมทั้งย่าน C และ Ku ที่บันทึกได้ขณะมีฝนตก พบว่าสัญญาณทั้ง 3 ช่องสัญญาณที่ทำการศึกษาจะมียุทธศาสตร์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันเกิดขึ้นในลักษณะระดับสัญญาณถูกลดทอนลง ดังที่แสดงผลไว้ในรูป 6.2 และจะเห็นได้ว่าระดับการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ของสัญญาณย่าน C ทั้งสองแบบโพลารไรเซชันในช่วงเวลากลางคืน ดังรูป 6.2 นี้ จะรุนแรงกว่าของสัญญาณย่าน Ku ผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นเพราะในช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันอันเนื่องจากฝนตก เป็นช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์คือการปรากฏขึ้นของชั้น F นั้นเอง ส่วนในช่วงกลางวันที่มีฝนตกจะพบว่าสัญญาณทั้งสามก็จะถูกลดทอนลง แต่จะน้อยกว่าในกลางคืนเมื่ออัตราการตกของฝนเท่าๆ กัน ดังที่แสดงในรูป 6.6 ในช่วงเวลาประมาณ 05.00 ถึง 06.00 ของวันที่ 4 กค. 2536 มีฝนตกในอัตราการตก 27.6 มม./ชั่วโมง จะได้ระดับการลดทอนของสัญญาณประมาณ 2 dB. (รูป ก.), 1 dB. (รูป ข.) และ 0.3 dB. (รูป ค.) ซึ่งจะน้อยกว่าที่เกิดขึ้นในเวลากลางคืนของรูป 6.2 ที่มีฝนตกในอัตราการตกเท่ากับ 27.7 มม./ชั่วโมง ดังกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 6.2 คือสัญญาณถูกลดทอนลงประมาณ 5, 3.5 และ 1.5 dB. ตามลำดับ ผลที่แสดงในรูป 6.6 นี้เป็นเพราะช่วงเวลานี้จะตรงกันข้ามกับในรูป 6.2 คือเป็นช่วงเวลาที่ชั้น F ได้หายไปแล้ว (ดูรูปที่ 4.4 ในบทที่ 4) การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันที่แสดงในรูป 6.6 จึงเป็นผลมาจากฝนเป็นส่วนใหญ่

จากการวิเคราะห์ระดับการลดทอนของสัญญาณทั้งสามสัญญาณด้วยรูปแบบจำลอง SAM และ CCIR ที่แสดงไว้ในรูปที่ 6.4 (ก) ถึง (ค) พบว่าที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ ซึ่งมีค่าอัตราการตกของฝนต่างๆ ระดับการลดทอนของสัญญาณย่าน Ku จะสูงกว่าของสัญญาณย่าน C ทั้งสองโดยประมาณ 8-9 เท่า และพบว่าเมื่ออัตราการตกของฝนสูงขึ้นระดับการลดทอนของทั้งสองย่านก็จะสูงขึ้นตาม ส่วนในสัญญาณย่าน C ทั้งสองเองพบว่าในสัญญาณ 3.90 GHz (รูป 6.4 ข) ก็มีระดับการลดทอนที่แต่ละเปอร์เซ็นต์ของเวลามากกว่าของสัญญาณ 3.84 GHz (รูป 6.4 ก) การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (dB) ทั้งสาม ที่วิเคราะห์จากวิธีต่างๆ เมื่อมีฝนตกในอัตราตกเท่ากับ 33.7 มม./ชั่วโมง ในช่วงเวลาประมาณ 07.00น. ของวันที่ 22 มีค. 2536

ความถี่ วิเคราะห์โดย	ย่าน C		ย่าน Ku
	3.84 GHz	3.90 GHz	11.765 GHz
SAM	0.5105	0.5202	5.2777
CCIR	0.3261	0.3282	2.8523
ผลทดลอง	0.3859	0.4526	4.3550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

บทสรุป

จากการศึกษาและจากผลการวิจัย ในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถสรุปในความหมายและลักษณะของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียม ได้ว่าคือลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ จากระดับปกติอย่างรวดเร็วทางขนาดของสัญญาณดาวเทียม อันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของตัวกลางที่อยู่ในเส้นทางการส่งผ่านสัญญาณดาวเทียมนั้นๆ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลงในค่าความหนาแน่นอิเล็กตรอนภายในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์หรืออาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเหภายในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากมีฝนตก จะอยู่ในลักษณะขนาดของสัญญาณดาวเทียมมีการขึ้นๆ ลงๆ จากระดับปกติอย่างรวดเร็วแล้วยังประกอบด้วย การลดทอนลงจากระดับปกติด้วย

ผลสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในวิทยานิพนธ์นี้ มีหลายประการที่สำคัญๆ ซึ่งแยกออกเป็นข้อๆ ในแต่ละบทตามที่ ได้แบ่งไว้จากการศึกษา, ลัง เกิดลักษณะของสัญญาณที่บันทึกได้ และอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนี S_u กับความถี่ ได้ดังนี้

1) จากบทที่ 4 ในกรณีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ได้ผลสรุปว่า

1.1) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ แบบมีสัดส่วนกันจากระดับปกติอย่างรวดเร็วทางขนาดของสัญญาณเป็นส่วนใหญ่ โดยพบมากในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 07.00 น. ซึ่งพบว่าสอดคล้องกับช่วงเวลาการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่เวลาประมาณ 20.00 ถึง 05.00 น.

1.2) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดขึ้น พบว่าจะไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของเวลาไรเซชันเลย

1.3) ระดับของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดขึ้น พบว่าจะขึ้นอยู่กับการใช้ ค่าความถี่ที่ใช้ ด้วยค่าประมาณ f^{-1} และขึ้นอยู่กับการมุมเงยของจานสายอากาศที่ใช้ ด้วยค่าประมาณตามความสัมพันธ์ของกฎกำลัง cosecant

1.4) ระดับของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งการทดลองจะน้อยมาก สรุปอย่างประมาณได้ว่า ในกรณีการทดลองในที่นี้ ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเลย ทั้งนี้เพราะระดับกำลังสัญญาณที่ได้รับ ได้น้อยมากนั่นเอง และ

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามความสัมพันธ์กับความถี่ คือประมาณ f^{-2} ซึ่งน้อยกว่าย่าน C

1.5) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C พบว่าจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 19.00 ถึง 07.00 น. จะมากกว่าช่วงเวลานั้นๆ โดยจะมากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 21.00 ถึง 23.00 น. ในขณะที่พบว่าในช่วงเวลาประมาณ 09.00 ถึง 16.00 น. จะมีจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นน้อยกว่าช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งผลข้อนี้ได้สอดคล้องกับช่วงเวลาการปรากฏขึ้นและหายไปของชั้น F ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ดังกล่าวแล้วในข้อ 1.1 นั้นเอง

1.6) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในช่วงฤดูร้อน พบว่าจะมีจำนวนครั้งมากตลอดวันและมากกว่าช่วงฤดูอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิตลอดวัน

1.7) การเปลี่ยนแปลงอย่างมากในค่าจำนวนจุดดับจากดวงอาทิตย์ของชั้น F_2 ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ในช่วงเวลากลางวันของช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน เป็นสาเหตุทำให้ค่าดัชนีการหักเหในทางแนวตั้งของชั้นบรรยากาศนี้เปลี่ยนแปลง จึงทำให้สัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในช่วงเวลาประมาณ 10.00 ถึง 16.00 น. ในลักษณะที่เหมือนกับข้อ 1.1 และมีจำนวนครั้งที่เกิดค่อนข้างมากในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

1.8) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C (S_u) ในช่วงเวลาประมาณ 17.00 ถึง 07.00 น. จะสูงกว่าช่วงเวลานั้นๆ ขณะที่ในช่วงเวลาประมาณ 10.00 ถึง 16.00 น. จะต่ำกว่าช่วงเวลานั้นๆ โดยต่ำสุดในช่วงเวลาประมาณ 12.00 ถึง 13.00 น.

1.9) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในสภาพอากาศปลอดโปร่ง พบว่าจะขึ้นอยู่กับมุมเงยของจานสายอากาศและความถี่ที่ใช้

1.10) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในสภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง พบว่าจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้เป็นสำคัญ

1.11) ปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ในเวลาแต่ละวันตลอดการทดลองนี้ จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากและน้อยกว่าของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ถึงแม้ว่าค่า S_u จะสูงกว่า แต่เป็นเพราะค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ที่รับได้นั้นสูงกว่าเท่านั้น ดังนั้นจำนวนครั้งที่เกิดจึงน้อยมากหรือไม่มีเลยในที่นี้

2) จากบทที่ 5 ในกรณีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณ

ดาวเทียมอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ ได้ผลสรุปว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดขึ้น จะมีลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ แบบไม่มีสัดส่วนกันจากระดับปกติอย่างรวดเร็ว ทางขนาดของสัญญาณเป็นส่วนมาก

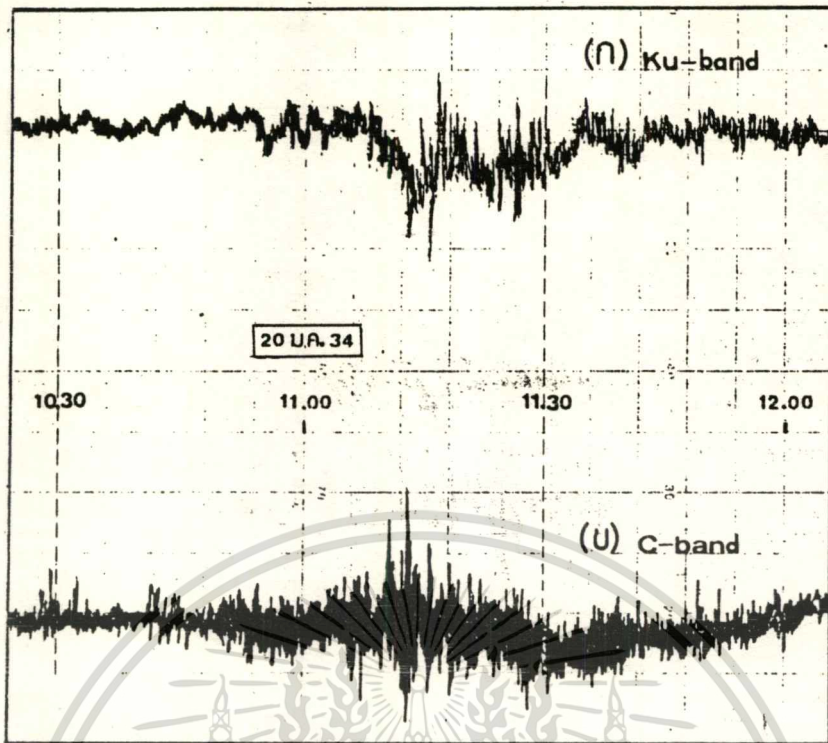
2.2) ระดับของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหัน ของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ที่เกิดขึ้น พบว่าจะขึ้นอยู่กับระดับการเปลี่ยนแปลงในค่าดัชนีการหักเห (ค่า NU) ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ที่ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงในค่าอุณหภูมิ, แรงดันของบรรยากาศ และไอน้ำ ของชั้นบรรยากาศนั้นนั่นเอง

2.3) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C พบว่าจำนวนครั้งที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาประมาณ 07.00 ถึง 19.00 น. จะมากกว่าช่วงเวลานั้นๆ โดยจะมากที่สุดในช่วงเวลาประมาณ 11.00 ถึง 17.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหมากและมากที่สุด ในแต่ละวันนั่นเอง

2.4) จำนวนครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในช่วงฤดูร้อนจะมากกว่าช่วงฤดูอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีการหักเหมากกว่าฤดูอื่นๆ นั่นเอง

2.5) จากความสัมพันธ์ในรูปค่าตัวแปรร่วมการลดทอนระหว่างสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku กับย่าน C ที่ใช้ในการทดลองนี้ อยู่ในระดับสูง จึงแสดงให้เห็นว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku ในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ขึ้นอยู่กับความถี่, ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและมุมเงยของจานสายอากาศที่ใช้ เมื่อเปรียบเทียบกับย่าน C ดังรูปที่ 7.1 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku และ C ที่บันทึกได้อย่างพร้อมๆ กันในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ซึ่งจำนวนครั้งที่พบและระดับการเปลี่ยนแปลงจะน้อยมากตลอดการทดลองนี้ ทั้งนี้เพราะค่าความยาว Fresnel (l_F) ของเส้นทางสัญญาณดาวเทียมย่าน Ku นี้เท่ากับประมาณ 5.2 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขที่ว่า ถ้า $l_{min} \ll l_F \ll l_{max}$ แล้ว (l_{min} = inner scale = 2 ถึง 5 มม. และ l_{max} = outer scale = 50 ม., ตามกำหนดอยู่ในเอกสารอ้างอิง [5]) จะทำให้ระดับการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณนี้ประมาณได้เท่ากับค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังที่รับได้ คือเท่ากับประมาณ 0.03917 dB. ตลอดการทดลองนั่นเอง

2.6) ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างภายในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ที่อยู่ในทางแนวนอนเป็นสาเหตุทำให้สัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวนอน มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันทางแอมพลิจูดแบบไม่เป็นสัดส่วน มากกว่าสัญญาณดาวเทียมย่าน C ในโพลาริเซชันทางแนวตั้ง ในช่วงเวลากลางวันเป็นส่วนมาก



รูปที่ 7.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันในสภาพอากาศปลอดโปร่งของสัญญาณดาวเทียม (ก) ย่าน Ku, (ข) ย่าน C

3) จากบทที่ 6 ในกรณีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องจากฝนตก ได้ผลสรุปว่า

3.1) ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku ในขณะที่มีฝนตกในเส้นทางดาวเทียมนี้ จะมีลักษณะการขึ้นๆ ลงๆ จากระดับปกติอย่างรวดเร็วทางขนาดของสัญญาณ ในรูปแบบตามช่วงเวลาที่มีผลจากชั้นบรรยากาศที่กล่าวในข้อ 1.1 หรืออาจจาก 2.1 และจะประกอบกับสัญญาณจะถูกลดทอนลงตามอัตราการตกของฝนและความถี่ที่ใช้ ด้วย

3.2) การพยากรณ์ค่าการลดทอนลงของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องจากฝน ด้วยวิธีทางสถิติ คือรูปแบบจำลอง SAM และ CCIR ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ พบว่าจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการทดลอง (ในระดับการลดทอนของสัญญาณที่บันทึกได้) โดยค่าการลดทอนจากการทดลองจะอยู่ในช่วงระหว่างค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยรูปแบบจำลอง SAM กับ CCIR เกือบทุกอัตราการตกของฝน จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการใช้พยากรณ์ค่าการลดทอนที่น่าจะเกิดขึ้นในการตกของฝนในอัตราการตกที่เปอร์เซ็นต์ของเวลาต่างๆ ในระยษนานๆ และที่มีการตกของฝนหลายๆ อัตรา ซึ่งเป็นค่าการลดทอนที่ใกล้เคียงกว่า จากการกำหนดด้วยวิธีการหาค่าการลดทอนตามระยะทาง (dB/Km.) เพราะสัญญาณดาวเทียมต้องใช้เวลาเดินทางผ่านกลุ่มฝนในชั้นบรรยากาศ การลดทอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าได้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ อาจไม่ใช่มาจากอัตราการตกของฝนที่เวลานั้นในบริเวณภาคพื้นดินก็ได้

อนึ่ง ในส่วนต่างๆ ตลอดวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้ใช้คำว่า "แอมพลิจูด" ซึ่งเป็นคำทับศัพท์มาจากภาษาอังกฤษว่า "Amplitude" แทนการใช้คำว่า "ขนาด" หรือ "ช่วงกว้างของคลื่น" ซึ่งเป็นคำแปลตามพจนานุกรมของ "สอ เสถบุตร" นั้น ผู้เขียนต้องขออนุญาตผู้สนใจทุกท่าน ทั้งนี้เพราะผู้เขียนต้องการสื่อความหมายในเรื่องนี้ให้ชัดเจน, รวบรวมในการอธิบาย และการอ้างอิง เป็นสาเหตุสำคัญ อีกทั้งจากการศึกษาในการรวบรวมและบัญญัติความหมายของคำว่า "Amplitude" ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ในหนังสือ "ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร" ก็พบว่าคำนี้แปลในทางเทคนิค ได้ว่า "แอมพลิจูด" นั่นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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
- [2] Patrizia Basili, Piero Ciotti, Giovanni D'Auria, Palo Ferrazzoli, and Domenico Solimin. "Case Study of Intense Scintillation Events on the OTS Path." IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.38, no.1 (1990), pp. 107- 113
- [3] Louis J. Ippolito Jr. . Radiowave Propagation in Satellite Communication. Newyork : Van Nostrand Reinhold Company, 1986.
- [4] Tawil Paungma, Narong Hemmakorn, Yoshiaki Mariya, and Mitsuo Teramoto. "Scintillation Characteristics as Seen in Ku Band Observed in Bangkok." ITS'92, vol.3 (1992), pp. 305-310
- [5] Yoshio Karasawa, Koji Yasukawa and Matsuichi Yamada. "Tropospheric Scintillation in the 14/11-GHz Bands on Earth-Space Paths with Low Elevation Angles." IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.36, no.4 (1988), pp. 563-569
- [6] CCIR, Report 564-2. "Propagation Data Required for Space Telecommunications Systems." Propagation in Non-Ionized Media, Vol. V , Recommendations and Reports of the CCIR-1982, (1982), pp. 331-373
- [7] Devasirvathm, D.J.M. and Hodge, D.B.. "Amplitude Scintillation of Earth-Space Propagation Paths at 2 and 30 GHz." Ohio State Univ., Tech. Report 4299-4, (1977)
- [8] Titus, J.M., and Arnold, H.W.. "Low Elevation Angle Propagation Effects on COMSTAR Satellite Signals." Bell System Tech. Journal, vol.61, no.7 (1982), pp.1567-1572
- [9] 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

- [10] Cox, D.C., Arnold, 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.5 (1981), pp. 885-907
- [11] ณรงค์ เทมกรณ์, โยชิอากิ โมริยะ และ วิสุทธิ์ อธิภรรยา. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 15, (ธันวาคม 2535), หน้า 2-20 ถึง 2-24
- [12] วิสุทธิ์ อธิภรรยา, ณรงค์ เทมกรณ์ และ โยชิอากิ โมริยะ. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกระทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน 4 กิกะเฮิรตซ์." การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 14, (พฤศจิกายน 2534), หน้า 4-36 ถึง 4-39
- [13] จเร สุวัฒน์ปัญญา. การคำนวณเชิงตัวเลขด้วย BASIC. กรุงเทพฯ : หจก. เอช-เอน การพิมพ์, 2531.
- [14] Erwin Kreyszing. Advanced Engineering Mathematics. Canada : John Wiley & Sons, 1983.
- [15] Jules Aarons. "Equatorial Scintillations : A Review." IEEE Transaction on Antennas and Propagation, vol. AP-25, no.5 (1977), pp. 729-736
- [16] 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 (1992), pp. 1209-1218
- [17] อภินันท์ มัชฌานนท์. การเดินทางของคลื่นวิทยุ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2527.
- [18] George Kennedy. Electronic Communication Systems. Singapore : McGraw-Hill, 1987.
- [19] สุกิจ เข็นทรวง. ภัยแล้ง. กรุงเทพฯ : กรมอุตุนิยมวิทยา, 2534.
- [20] M. Yamada, K. Yasukawa, O. Furuta, Y. Karasawa and N. Baba. "A - Propagation Experiment on Earth-Space Paths of Low Elevation Angles in the 14 and 11 GHz Bands using the INTELSAT-V Satellite." ISAP'85, (1985)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] John Griffiths. Radio Wave Propagation and Antennas An Introduction. London : Prentice-Hall, 1987.
- [22] Timothy Pratt and Charles W. Bostian. Satellite Communications. Canada : John Wiley & Sons, 1986.
- [23] Fatim Haidara and Carles W. Bostian. "Rain Side-Scatter Interference in the Satellite Links of the 1990's." IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.41, no.4 (1993), pp. 493-498
- [24] Martin P. M. . Hall Effects of the Troposphere on Radio Communication. Stevenage : Peter Peregrinus, 1979.
- [25] วิสุทธิ์ อธิพรธรรม และ ณรงค์ เทมกรณ. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม." วิศวกรรมสาร, ปีที่ 43, เล่มที่ 6 (2533), หน้า 524 ถึง 55
- [26] สุทธิชัย นพาศิพงษ์, "การลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟเนื่องมาจากฝน." วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2529.
- [27] Mark Long. The 1992/1993 World Satellite Almanac. Florida : MLE INC, 1992.
- [28] Frank Baylin, Brent Gale and John McCormac. Ku-Band Satellite TV Theory, Installation and Repair. Colorado: Baylin, 1991.
- [29] Mark Long. World Satellite Almanac The Complete Guide to Satellite Transmission & Technology. INTELSAT: Hiward W.Sam & Company, 1990.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GWBASIC คำนวณหาค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่าง
กะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียส์ (แสดงข้อมูลเฉพาะของสัญญาณย่าน C
ในแบบโพลาริเซชันทางแนวตั้งจากดาวเทียม Asiasat ในเดือนธันวาคม 2535)

```

100 'spline for amplitude scintillation of satellite signal
    analysis
110 'cubic spline interpolation
120 'defdbl a,d,s,w,x,y :defint i-n
130 Z$="#.#####^"
140 READ N
150 DIM X(N),Y(N),D(N),A1(N),A2(N),A3(N)
160 FOR I=1 TO N
170   READ X(I),Y(I)
180 NEXT I
190 DIM S(159,24)
200 DIM C(159,24):DAY=31
210 FOR DA= 1 TO DAY
220   FOR H= 1 TO 24
230     READ C(DA,H)
240   '
250   J=2 :GOSUB 980
260   D(1)=2*W1*X(1)+W2 :D(2)=2*W1*X(2)+W2
270   FOR J=3 TO N-1
280     GOSUB 980
290     D(J)=2*W1*X(J)+W2
300   NEXT J
310   D(N)=2*W1*X(N)+W2
320   FOR J=1 TO N-1
330     A1(J)=D(J)*(X(J+1)-X(J))
340     A2(J)=3*Y(J+1)-D(J+1)*(X(J+1)-X(J))-3*Y(J)-2*A1(J)
350     A3(J)=Y(J+1)-Y(J)-A1(J)-A2(J)
360   NEXT J
370   IF C(DA,H)<X(1) OR C(DA,H)>=X(N) THEN LPRINT :LPRINT"*
    out of range *": STOP
380   FOR I=1 TO N-1
390     IF C(DA,H)<X(I+1) THEN 410
400   NEXT I
410   W=(C(DA,H)-X(I))/(X(I+1)-X(I))
420   S(DA,H)=Y(I)+W*(A1(I)+W*(A2(I)+W*A3(I)))
430   NEXT H
440 NEXT DA
450 LPRINT :LPRINT"* cubic spline interpolation *"
460 LPRINT"SIGNAL LEVEL (-dBm)":LPRINT
470 FOR DA= 1 TO DAY

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

480   FOR H= 1 TO 24
490   LPRINT USING Z$;S(DA,H);
500   IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
510   NEXT H:
520 LPRINT:NEXT DA:LPRINT
530 LPRINT"TOTAL SIGNAL LEVEL (Volts)":LPRINT
540 DIM LTOTAL(25),ALTOTAL(25)
550 FOR H = 1 TO 24
560   LTOTAL(H)=0
570   FOR DA = 1 TO DAY
580     LTOTAL(H) = LTOTAL(H)+C(DA,H)
590   NEXT DA
600   ALTOTAL(H) = LTOTAL(H)/DAY
610   LPRINT USING Z$;LTOTAL(H);
620   IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
630 NEXT H:LPRINT
640 LPRINT"AVERAGE TOTAL SIGNAL LEVEL (Volts)":LPRINT
650 FOR H= 1 TO 24
660   LPRINT USING Z$;ALTOTAL(H);
670   IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
680 NEXT H:LPRINT
690 LPRINT"TOTAL SIGNAL LEVEL (-dBm)":LPRINT
700 DIM TOTAL(25),ATOTAL(25),BTOTAL(25),STOTAL(25)
710 FOR H = 1 TO 24
720   TOTAL(H)=0
730   FOR DA = 1 TO DAY
740     TOTAL(H) = TOTAL(H)+S(DA,H)
750   NEXT DA
760   ATOTAL(H) = TOTAL(H)/DAY
770   BTOTAL(H) = 10*LOG(10^(ATOTAL(H)/10)/1000)/LOG(10)
780   STOTAL(H) = .019164847#/BTOTAL(H)
790   LPRINT USING Z$;TOTAL(H);
800   IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
810 NEXT H:LPRINT
820 LPRINT"AVERAGE TOTAL SIGNAL LEVEL (-dBm)":LPRINT
830 FOR H= 1 TO 24
840   LPRINT USING Z$;ATOTAL(H);
850   IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
860 NEXT H:LPRINT
870 LPRINT"AVERAGE TOTAL SIGNAL LEVEL (-dB)":LPRINT
880 FOR H= 1 TO 24
890   LPRINT USING Z$;BTOTAL(H);
900   IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
910 NEXT H:LPRINT
920 LPRINT"QUANTITATIVELY CLASSIFY SCINTILLATION EFFECTS,
      S4 index":LPRINT
930 FOR H= 1 TO 24

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

940  LPRINT USING Z$;STOTAL(H);
950  IF H=4 OR H=8 OR H=12 OR H=16 OR H=20 OR H=24 THEN
      LPRINT
960  NEXT H:LPRINT
970  STOP
980  '
990  W2=(Y(J)-Y(J-1))/(X(J)-X(J-1))
1000 W1=(Y(J+1)-Y(J))/(X(J+1)-X(J))-W2
1010 W1=W1/(X(J+1)-X(J-1))
1020 W2=W2-W1*(X(J)+X(J-1))
1030 RETURN
1040 'data
1050 DATA 9
1060 DATA 0.06,-60
1070 DATA 2.00,-55
1080 DATA 2.35,-50
1090 DATA 2.70,-45
1100 DATA 2.90,-40
1110 DATA 3.00,-35
1120 DATA 3.10,-30
1130 DATA 3.35,-25
1140 DATA 3.55,-20
2000 'data of signal level (Volts)
3010 DATA 3.070,3.068,2.835,2.836,2.838,2.836,2.833,2.819,
          3.049,3.045,3.061,3.066,3.072,3.073,3.090,3.068,
          3.072,3.078,3.081,3.076,3.083,3.061,3.047,3.072
3020 DATA 3.073,3.077,2.836,2.836,2.837,2.833,2.825,3.047,
          3.044,3.042,3.047,3.035,3.042,3.046,3.049,2.952,
          2.856,2.866,2.871,2.862,2.868,2.856,2.868,2.871
3030 DATA 2.844,2.872,2.865,2.873,2.865,2.865,2.855,2.834,
          2.833,2.805,2.802,2.799,2.808,2.816,2.828,2.843,
          2.858,2.859,2.874,2.872,2.870,2.859,2.869,2.872
3040 DATA 2.879,2.877,2.872,2.879,2.878,2.864,2.854,2.830,
          2.807,2.830,2.824,2.838,2.831,2.847,2.860,2.875,
          2.864,2.865,3.027,3.033,3.046,3.047,3.037,3.050
3050 DATA 3.058,3.053,3.065,3.061,3.059,3.054,3.050,3.022,
          2.984,3.000,2.993,2.974,2.805,2.811,2.818,2.808,
          2.808,2.827,2.818,2.813,2.836,2.825,2.827,2.821
3060 DATA 2.827,2.823,2.820,2.806,2.820,2.806,2.794,2.786,
          2.778,2.786,2.808,2.809,2.807,2.778,2.786,2.833,
          2.838,2.852,2.862,2.854,2.865,2.863,2.861,2.858
3070 DATA 2.863,2.855,2.868,2.870,2.865,2.870,2.862,2.826,
          2.824,2.832,2.827,2.816,2.785,2.775,2.796,2.817,
          2.837,2.838,2.841,2.853,2.836,2.817,2.808,2.836
3080 DATA 2.847,2.855,2.853,2.863,2.855,2.869,2.835,2.820,
          2.773,2.801,2.787,2.774,2.775,2.810,2.815,2.812,
          2.814,2.827,2.850,2.841,2.839,2.838,2.858,2.854
3090 DATA 2.843,2.836,2.852,2.841,2.847,2.852,2.832,2.812,
          2.791,2.795,2.801,2.787,2.796,2.802,2.818,2.823,
          2.821,2.840,2.866,2.866,2.872,2.859,2.873,2.879
3100 DATA 2.868,2.878,2.901,2.898,2.902,2.908,2.899,2.878,
          2.863,2.851,2.836,2.845,2.849,2.843,2.844,2.863,
          2.865,2.891,2.903,2.900,2.902,2.899,2.895,2.899

```

3110	DATA	2.887,2.894,2.885,2.898,2.901,2.915,2.910,2.907, 2.888,2.883,2.829,2.877,2.803,2.825,2.813,2.829, 2.845,2.836,2.846,2.842,2.838,2.847,2.840,2.835
3120	DATA	2.843,2.852,2.853,2.853,2.863,2.872,2.859,2.855, 2.831,2.807,2.826,2.807,2.848,2.832,2.840,2.869, 2.876,2.886,2.883,2.896,2.906,2.895,2.893,2.895
3130	DATA	2.901,2.887,2.895,2.895,2.896,2.907,2.897,2.887, 2.901,2.896,2.846,2.842,2.847,2.865,2.858,2.860, 2.867,2.872,2.892,2.895,2.897,2.895,2.893,2.895
3140	DATA	2.901,2.887,2.895,2.895,2.896,2.907,2.897,2.887, 2.901,2.874,2.827,2.831,2.846,2.832,2.835,2.839, 2.855,2.868,2.868,2.873,2.876,2.874,2.875,2.868
3150	DATA	2.876,2.856,2.858,2.872,2.881,2.892,2.890,2.877, 2.852,2.814,2.817,2.824,2.821,2.822,2.837,2.836, 2.844,2.855,2.860,2.865,2.850,2.852,2.873,2.883
3160	DATA	2.865,2.883,2.877,2.889,2.896,2.889,2.887,2.889, 2.859,2.846,2.839,2.832,2.835,2.833,2.833,2.850, 2.835,2.838,2.891,2.892,2.904,2.910,2.889,2.892
3170	DATA	2.914,2.912,2.908,2.896,2.897,2.886,2.876,2.855, 2.836,2.832,2.822,0.820,2.795,2.805,2.800,2.809, 2.810,2.831,2.834,2.837,2.840,2.852,2.833,2.838
3180	DATA	2.832,2.830,2.855,2.850,2.854,2.864,2.850,2.832, 2.825,2.823,2.838,2.827,2.832,2.819,2.825,2.834, 2.853,2.846,2.835,2.853,2.874,2.871,2.879,2.841
3190	DATA	2.861,2.862,2.876,2.879,2.884,2.883,2.876,2.860, 2.870,2.850,2.845,2.848,2.852,2.854,2.858,2.873, 2.876,2.884,2.892,2.889,2.896,2.895,2.885,2.880
3200	DATA	2.861,2.862,2.872,2.881,2.900,2.889,2.884,2.862, 2.841,2.830,2.824,2.813,2.817,2.823,2.842,2.844, 2.861,2.883,2.889,2.865,2.859,2.861,2.867,2.860
3210	DATA	2.851,2.849,2.884,2.893,2.898,2.904,2.903,2.875, 2.846,2.854,2.856,2.844,2.864,2.863,2.865,2.874, 2.872,2.881,2.887,2.863,2.867,2.858,2.873,2.876
3220	DATA	2.878,2.876,2.891,2.880,2.883,2.881,2.876,2.873, 2.861,2.846,2.827,2.806,2.814,2.821,2.819,2.816, 2.819,2.840,2.818,2.818,2.828,2.822,2.830,2.824
3230	DATA	2.864,2.864,2.866,2.870,2.876,2.880,2.877,2.856, 2.845,2.840,2.847,2.819,2.825,2.841,2.852,2.852, 2.885,2.889,2.884,2.884,2.880,2.880,2.882,2.897
3240	DATA	2.890,2.878,2.876,2.887,2.890,2.889,2.888,2.869, 2.852,2.847,2.848,2.836,2.836,2.832,2.839,2.840, 2.856,2.855,2.862,2.857,2.886,2.888,2.890,2.887
3250	DATA	2.882,3.022,3.040,3.044,3.056,3.053,3.055,3.045, 3.037,3.040,3.040,3.033,2.834,2.834,2.838,2.833, 2.835,2.868,2.870,2.875,2.866,2.855,2.871,2.870
3260	DATA	2.860,2.872,2.853,2.864,2.851,2.862,2.855,2.844, 2.802,2.800,2.797,2.788,2.787,2.803,2.819,2.832, 2.840,2.845,2.840,2.844,2.848,2.837,2.851,2.845
3270	DATA	2.843,2.848,2.841,2.842,2.839,2.847,2.860,2.854, 2.849,2.834,2.825,2.791,2.770,2.786,2.813,2.818, 2.839,2.836,2.826,2.840,2.849,2.854,2.867,2.851

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3280 DATA 2.854,2.861,2.861,2.860,2.854,2.860,2.856,2.839,
 2.837,2.823,2.809,2.801,2.794,2.802,2.817,2.818,
 2.826,2.818,2.816,2.807,2.823,2.831,2.834,2.836
 3290 DATA 2.848,2.857,2.863,2.847,2.858,2.854,2.849,2.821,
 2.804,2.814,2.818,2.810,2.810,2.810,2.830,2.843,
 2.862,2.870,2.875,2.884,2.895,2.892,2.864,2.860
 3300 DATA 2.863,2.856,2.852,2.863,2.858,2.858,2.855,2.852,
 2.850,2.850,2.827,2.821,2.830,2.828,2.843,2.835,
 2.846,2.856,2.872,2.862,2.865,2.866,2.869,2.866
 3310 DATA 2.861,2.862,2.866,2.861,2.864,2.869,2.876,2.859,
 2.851,2.837,2.802,2.814,2.823,2.839,2.833,2.857,
 2.868,2.880,2.881,2.893,2.895,2.889,2.898,2.892



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* cubic spline interpolation *
SIGNAL LEVEL (-dBm)

0.3137400E+02	0.3147316E+02	0.4217415E+02	0.4214749E+02
0.4209365E+02	0.4214749E+02	0.4222698E+02	0.4257899E+02
0.3244504E+02	0.3265453E+02	0.3182560E+02	0.3157305E+02
0.3127558E+02	0.3122667E+02	0.3043057E+02	0.3147316E+02
0.3127558E+02	0.3098527E+02	0.3084314E+02	0.3108118E+02
0.3074962E+02	0.3182560E+02	0.3254965E+02	0.3127558E+02
0.3122667E+02	0.3103312E+02	0.4214749E+02	0.4214749E+02
0.4212066E+02	0.4222698E+02	0.4243177E+02	0.3254965E+02
0.3270707E+02	0.3281230E+02	0.3254965E+02	0.3318174E+02
0.3281230E+02	0.3260206E+02	0.3244504E+02	0.3749985E+02
0.4157559E+02	0.4125908E+02	0.4109234E+02	0.4138832E+02
0.4119308E+02	0.4157559E+02	0.4119308E+02	0.4109234E+02
0.4192783E+02	0.4105829E+02	0.4129172E+02	0.4102400E+02
0.4129172E+02	0.4129172E+02	0.4160605E+02	0.4220065E+02
0.4222698E+02	0.4290371E+02	0.4297025E+02	0.4303583E+02
0.4283616E+02	0.4265069E+02	0.4235616E+02	0.4195593E+02
0.4151402E+02	0.4148292E+02	0.4098945E+02	0.4105829E+02
0.4112616E+02	0.4148292E+02	0.4115974E+02	0.4105829E+02
0.4081305E+02	0.4088436E+02	0.4105829E+02	0.4081305E+02
0.4084883E+02	0.4132414E+02	0.4163630E+02	0.4230497E+02
0.4285880E+02	0.4230497E+02	0.4245668E+02	0.4209365E+02
0.4227913E+02	0.4184243E+02	0.4145161E+02	0.4095467E+02
0.4132414E+02	0.4129172E+02	0.3360439E+02	0.3328746E+02
0.3260206E+02	0.3254965E+02	0.3307607E+02	0.3239286E+02
0.3197889E+02	0.3223684E+02	0.3162324E+02	0.3182560E+02
0.3192767E+02	0.3218503E+02	0.3239286E+02	0.3386764E+02
0.3581793E+02	0.3500000E+02	0.3535380E+02	0.3634169E+02
0.4290371E+02	0.4276755E+02	0.4260302E+02	0.4283616E+02
0.4283616E+02	0.4238152E+02	0.4260302E+02	0.4272119E+02
0.4214749E+02	0.4243177E+02	0.4238152E+02	0.4253049E+02
0.4238152E+02	0.4248143E+02	0.4255481E+02	0.4288131E+02
0.4255481E+02	0.4288131E+02	0.4314314E+02	0.4331018E+02
0.4347235E+02	0.4331018E+02	0.4283616E+02	0.4281341E+02
0.4285880E+02	0.4347235E+02	0.4331018E+02	0.4222698E+02
0.4209365E+02	0.4169619E+02	0.4138832E+02	0.4163630E+02
0.4129172E+02	0.4135635E+02	0.4142007E+02	0.4151402E+02
0.4135635E+02	0.4160605E+02	0.4119308E+02	0.4112616E+02
0.4129172E+02	0.4112616E+02	0.4138832E+02	0.4240672E+02
0.4245668E+02	0.4225314E+02	0.4238152E+02	0.4265069E+02
0.4333069E+02	0.4353211E+02	0.4310050E+02	0.4262693E+02
0.4212066E+02	0.4209365E+02	0.4201155E+02	0.4166635E+02
0.4214749E+02	0.4262693E+02	0.4283616E+02	0.4214749E+02
0.4184243E+02	0.4160605E+02	0.4166635E+02	0.4135635E+02
0.4160605E+02	0.4115974E+02	0.4217415E+02	0.4255481E+02
0.4357168E+02	0.4299221E+02	0.4328958E+02	0.4355193E+02
0.4353211E+02	0.4279054E+02	0.4267432E+02	0.4274443E+02
0.4269782E+02	0.4238152E+02	0.4175528E+02	0.4201155E+02
0.4206646E+02	0.4209365E+02	0.4151402E+02	0.4163630E+02

0.4195593E+02	0.4214749E+02	0.4169619E+02	0.4201155E+02
0.4184243E+02	0.4169619E+02	0.4225314E+02	0.4274443E+02
0.4320641E+02	0.4312186E+02	0.4299221E+02	0.4328958E+02
0.4310050E+02	0.4297025E+02	0.4260302E+02	0.4248143E+02
0.4253049E+02	0.4203910E+02	0.4125908E+02	0.4125908E+02
0.4105829E+02	0.4148292E+02	0.4102400E+02	0.4081305E+02
0.4119308E+02	0.4084883E+02	0.3995817E+02	0.4008275E+02
0.3991601E+02	0.3965643E+02	0.4004153E+02	0.4084883E+02
0.4135635E+02	0.4172584E+02	0.4214749E+02	0.4189955E+02
0.4178452E+02	0.4195593E+02	0.4192783E+02	0.4135635E+02
0.4129172E+02	0.4036331E+02	0.3987352E+02	0.4000000E+02
0.3991601E+02	0.4004153E+02	0.4020470E+02	0.4004153E+02
0.4051750E+02	0.4024478E+02	0.4059297E+02	0.4008275E+02
0.3995817E+02	0.3934032E+02	0.3956750E+02	0.3970046E+02
0.4047936E+02	0.4066737E+02	0.4233064E+02	0.4088436E+02
0.4294818E+02	0.4243177E+02	0.4272119E+02	0.4233064E+02
0.4189955E+02	0.4214749E+02	0.4187108E+02	0.4198383E+02
0.4209365E+02	0.4184243E+02	0.4203910E+02	0.4217415E+02
0.4195593E+02	0.4169619E+02	0.4166635E+02	0.4166635E+02
0.4135635E+02	0.4105829E+02	0.4148292E+02	0.4160605E+02
0.4227913E+02	0.4285880E+02	0.4240672E+02	0.4285880E+02
0.4181357E+02	0.4225314E+02	0.4203910E+02	0.4115974E+02
0.4091964E+02	0.4055537E+02	0.4066737E+02	0.4016434E+02
0.3974419E+02	0.4020470E+02	0.4028457E+02	0.4020470E+02
0.3995817E+02	0.4051750E+02	0.4020470E+02	0.4020470E+02
0.4016434E+02	0.3970046E+02	0.4012369E+02	0.4051750E+02
0.3995817E+02	0.4016434E+02	0.4187108E+02	0.4198383E+02
0.4184243E+02	0.4129172E+02	0.4151402E+02	0.4145161E+02
0.4122619E+02	0.4105829E+02	0.4032408E+02	0.4020470E+02
0.4012369E+02	0.4020470E+02	0.4028457E+02	0.4020470E+02
0.3995817E+02	0.4051750E+02	0.4020470E+02	0.4020470E+02
0.4016434E+02	0.3970046E+02	0.4012369E+02	0.4051750E+02
0.3995817E+02	0.4098945E+02	0.4238152E+02	0.4227913E+02
0.4187108E+02	0.4225314E+02	0.4217415E+02	0.4206646E+02
0.4160605E+02	0.4119308E+02	0.4119308E+02	0.4102400E+02
0.4091964E+02	0.4098945E+02	0.4095467E+02	0.4119308E+02
0.4091964E+02	0.4157559E+02	0.4151402E+02	0.4105829E+02
0.4074073E+02	0.4032408E+02	0.4040227E+02	0.4088436E+02
0.4169619E+02	0.4269782E+02	0.4262693E+02	0.4245668E+02
0.4253049E+02	0.4250603E+02	0.4212066E+02	0.4214749E+02
0.4192783E+02	0.4160605E+02	0.4145161E+02	0.4129172E+02
0.4175528E+02	0.4169619E+02	0.4102400E+02	0.4066737E+02
0.4129172E+02	0.4066737E+02	0.4088436E+02	0.4044096E+02
0.4016434E+02	0.4044096E+02	0.4051750E+02	0.4044096E+02
0.4148292E+02	0.4187108E+02	0.4206646E+02	0.4225314E+02
0.4217415E+02	0.4222698E+02	0.4222698E+02	0.4175528E+02
0.4217415E+02	0.4209365E+02	0.4036331E+02	0.4032408E+02
0.3983072E+02	0.3956750E+02	0.4044096E+02	0.4032408E+02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.3938629E+02	0.3947745E+02	0.3965643E+02	0.4016434E+02
0.4012369E+02	0.4055537E+02	0.4091964E+02	0.4160605E+02
0.4214749E+02	0.4225314E+02	0.4250603E+02	0.4255481E+02
0.4312186E+02	0.4290371E+02	0.4301407E+02	0.4281341E+02
0.4279054E+02	0.4227913E+02	0.4220065E+02	0.4212066E+02
0.4203910E+02	0.4169619E+02	0.4222698E+02	0.4209365E+02
0.4225314E+02	0.4230497E+02	0.4160605E+02	0.4175528E+02
0.4163630E+02	0.4132414E+02	0.4175528E+02	0.4225314E+02
0.4243177E+02	0.4248143E+02	0.4209365E+02	0.4238152E+02
0.4225314E+02	0.4257899E+02	0.4243177E+02	0.4220065E+02
0.4166635E+02	0.4187108E+02	0.4217415E+02	0.4166635E+02
0.4098945E+02	0.4109234E+02	0.4081305E+02	0.4201155E+02
0.4142007E+02	0.4138832E+02	0.4091964E+02	0.4081305E+02
0.4063030E+02	0.4066737E+02	0.4091964E+02	0.4145161E+02
0.4112616E+02	0.4175528E+02	0.4189955E+02	0.4181357E+02
0.4169619E+02	0.4163630E+02	0.4151402E+02	0.4102400E+02
0.4091964E+02	0.4063030E+02	0.4032408E+02	0.4044096E+02
0.4016434E+02	0.4020470E+02	0.4059297E+02	0.4077701E+02
0.4142007E+02	0.4138832E+02	0.4105829E+02	0.4074073E+02
0.4000000E+02	0.4044096E+02	0.4063030E+02	0.4138832E+02
0.4201155E+02	0.4230497E+02	0.4245668E+02	0.4272119E+02
0.4262693E+02	0.4248143E+02	0.4198383E+02	0.4192783E+02
0.4142007E+02	0.4066737E+02	0.4044096E+02	0.4129172E+02
0.4148292E+02	0.4142007E+02	0.4122619E+02	0.4145161E+02
0.4172584E+02	0.4178452E+02	0.4063030E+02	0.4028457E+02
0.4008275E+02	0.3983072E+02	0.3987352E+02	0.4095467E+02
0.4187108E+02	0.4163630E+02	0.4157559E+02	0.4192783E+02
0.4132414E+02	0.4135635E+02	0.4129172E+02	0.4098945E+02
0.4105829E+02	0.4074073E+02	0.4051750E+02	0.4135635E+02
0.4122619E+02	0.4151402E+02	0.4102400E+02	0.4091964E+02
0.4084883E+02	0.4091964E+02	0.4036331E+02	0.4077701E+02
0.4066737E+02	0.4074073E+02	0.4091964E+02	0.4102400E+02
0.4142007E+02	0.4187108E+02	0.4238152E+02	0.4288131E+02
0.4269782E+02	0.4253049E+02	0.4257899E+02	0.4265069E+02
0.4257899E+02	0.4203910E+02	0.4260302E+02	0.4260302E+02
0.4235616E+02	0.4250603E+02	0.4230497E+02	0.4245668E+02
0.4132414E+02	0.4132414E+02	0.4125908E+02	0.4112616E+02
0.4091964E+02	0.4077701E+02	0.4088436E+02	0.4157559E+02
0.4189955E+02	0.4203910E+02	0.4184243E+02	0.4257899E+02
0.4243177E+02	0.4201155E+02	0.4169619E+02	0.4169619E+02
0.4059297E+02	0.4044096E+02	0.4063030E+02	0.4063030E+02
0.4077701E+02	0.4077701E+02	0.4070418E+02	0.4012369E+02
0.4040227E+02	0.4084883E+02	0.4091964E+02	0.4051750E+02
0.4040227E+02	0.4044096E+02	0.4047936E+02	0.4115974E+02
0.4169619E+02	0.4184243E+02	0.4181357E+02	0.4214749E+02
0.4214749E+02	0.4225314E+02	0.4206646E+02	0.4203910E+02
0.4157559E+02	0.4160605E+02	0.4138832E+02	0.4154490E+02
0.4055537E+02	0.4047936E+02	0.4040227E+02	0.4051750E+02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.4070418E+02	0.3386764E+02	0.3291771E+02	0.3270707E+02
0.3208173E+02	0.3223684E+02	0.3213332E+02	0.3265453E+02
0.3307607E+02	0.3291771E+02	0.3291771E+02	0.3328746E+02
0.4220065E+02	0.4220065E+02	0.4209365E+02	0.4222698E+02
0.4217415E+02	0.4119308E+02	0.4112616E+02	0.4095467E+02
0.4125908E+02	0.4160605E+02	0.4109234E+02	0.4112616E+02

0.4145161E+02	0.4105829E+02	0.4166635E+02	0.4132414E+02
0.4172584E+02	0.4138832E+02	0.4160605E+02	0.4192783E+02
0.4297025E+02	0.4301407E+02	0.4307904E+02	0.4326891E+02
0.4328958E+02	0.4294818E+02	0.4257899E+02	0.4225314E+02
0.4203910E+02	0.4189955E+02	0.4203910E+02	0.4192783E+02
0.4181357E+02	0.4212066E+02	0.4172584E+02	0.4189955E+02

0.4195593E+02	0.4181357E+02	0.4201155E+02	0.4198383E+02
0.4206646E+02	0.4184243E+02	0.4145161E+02	0.4163630E+02
0.4178452E+02	0.4220065E+02	0.4243177E+02	0.4320641E+02
0.4363065E+02	0.4331018E+02	0.4272119E+02	0.4260302E+02
0.4206646E+02	0.4214749E+02	0.4240672E+02	0.4203910E+02
0.4178452E+02	0.4163630E+02	0.4122619E+02	0.4172584E+02

0.4163630E+02	0.4142007E+02	0.4142007E+02	0.4145161E+02
0.4163630E+02	0.4145161E+02	0.4157559E+02	0.4206646E+02
0.4212066E+02	0.4248143E+02	0.4281341E+02	0.4299221E+02
0.4314314E+02	0.4297025E+02	0.4262693E+02	0.4260302E+02
0.4240672E+02	0.4260302E+02	0.4265069E+02	0.4285880E+02
0.4248143E+02	0.4227913E+02	0.4220065E+02	0.4214749E+02

0.4181357E+02	0.4154490E+02	0.4135635E+02	0.4184243E+02
0.4151402E+02	0.4163630E+02	0.4178452E+02	0.4253049E+02
0.4292601E+02	0.4269782E+02	0.4260302E+02	0.4279054E+02
0.4279054E+02	0.4279054E+02	0.4230497E+02	0.4195593E+02
0.4138832E+02	0.4112616E+02	0.4095467E+02	0.4063030E+02
0.4020470E+02	0.4032408E+02	0.4132414E+02	0.4145161E+02

0.4135635E+02	0.4157559E+02	0.4169619E+02	0.4135635E+02
0.4151402E+02	0.4151402E+02	0.4160605E+02	0.4169619E+02
0.4175528E+02	0.4175528E+02	0.4238152E+02	0.4253049E+02
0.4230497E+02	0.4235616E+02	0.4195593E+02	0.4217415E+02
0.4187108E+02	0.4157559E+02	0.4105829E+02	0.4138832E+02
0.4129172E+02	0.4125908E+02	0.4115974E+02	0.4125908E+02

0.4142007E+02	0.4138832E+02	0.4125908E+02	0.4142007E+02
0.4132414E+02	0.4115974E+02	0.4091964E+02	0.4148292E+02
0.4172584E+02	0.4212066E+02	0.4297025E+02	0.4269782E+02
0.4248143E+02	0.4206646E+02	0.4222698E+02	0.4154490E+02
0.4119308E+02	0.4077701E+02	0.4074073E+02	0.4028457E+02
0.4020470E+02	0.4044096E+02	0.4008275E+02	0.4032408E+02

TOTAL SIGNAL LEVEL (Volts)

0.8940701E+02	0.8956400E+02	0.8923399E+02	0.8928201E+02
0.8936099E+02	0.8941800E+02	0.8921501E+02	0.8897201E+02
0.8878401E+02	0.8862701E+02	0.8839501E+02	0.8822701E+02
0.8785299E+02	0.8797001E+02	0.8821301E+02	0.8835501E+02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.8850299E+02	0.8878001E+02	0.8911399E+02	0.8910401E+02
0.8925899E+02	0.8914799E+02	0.8919901E+02	0.8920300E+02

AVERAGE TOTAL SIGNAL LEVEL (Volts)

0.2884097E+01	0.2889161E+01	0.2878516E+01	0.2880065E+01
0.2882613E+01	0.2884452E+01	0.2877904E+01	0.2870065E+01
0.2864000E+01	0.2858936E+01	0.2851452E+01	0.2846033E+01
0.2833968E+01	0.2837742E+01	0.2845581E+01	0.2850161E+01
0.2854935E+01	0.2863871E+01	0.2874645E+01	0.2874323E+01
0.2879322E+01	0.2875742E+01	0.2877387E+01	0.2877516E+01

TOTAL SIGNAL LEVEL (-dBm)

0.1249769E+04	0.1242699E+04	0.1259171E+04	0.1257338E+04
0.1254367E+04	0.1252267E+04	0.1258970E+04	0.1264441E+04
0.1266936E+04	0.1271699E+04	0.1278252E+04	0.1282928E+04
0.1298034E+04	0.1295168E+04	0.1288784E+04	0.1287770E+04
0.1284754E+04	0.1276225E+04	0.1262546E+04	0.1262840E+04
0.1257396E+04	0.1261328E+04	0.1260493E+04	0.1259555E+04

AVERAGE TOTAL SIGNAL LEVEL (-dBm)

0.4031514E+02	0.4008706E+02	0.4061841E+02	0.4055929E+02
0.4046345E+02	0.4039570E+02	0.4061195E+02	0.4078843E+02
0.4086889E+02	0.4102255E+02	0.4123393E+02	0.4138476E+02
0.4187205E+02	0.4177960E+02	0.4157368E+02	0.4154096E+02
0.4144369E+02	0.4116854E+02	0.4072728E+02	0.4073678E+02
0.4056116E+02	0.4068800E+02	0.4066107E+02	0.4063081E+02

AVERAGE TOTAL SIGNAL LEVEL (-dB)

0.7031514E+02	0.7008705E+02	0.7061841E+02	0.7055928E+02
0.7046344E+02	0.7039570E+02	0.7061195E+02	0.7078843E+02
0.7086889E+02	0.7102255E+02	0.7123393E+02	0.7138477E+02
0.7187206E+02	0.7177960E+02	0.7157369E+02	0.7154096E+02
0.7144369E+02	0.7116853E+02	0.7072728E+02	0.7073679E+02
0.7056116E+02	0.7068800E+02	0.7066106E+02	0.7063081E+02

QUANTITATIVELY CLASSIFY SCINTILLATION EFFECTS, S4 index

0.2725565E-03	0.2734435E-03	0.2713860E-03	0.2716134E-03
0.2719828E-03	0.2722446E-03	0.2714108E-03	0.2707342E-03
0.2704268E-03	0.2698418E-03	0.2690410E-03	0.2684725E-03
0.2666523E-03	0.2669957E-03	0.2677639E-03	0.2678864E-03
0.2682511E-03	0.2692882E-03	0.2709683E-03	0.2709318E-03
0.2716062E-03	0.2711188E-03	0.2712222E-03	0.2713384E-03

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ GWBASIC คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีการหักเหของ
ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

```

100 'atmosphere refractive index variations program for
    tropospheric scintillation analysis
110 Z$="###.####"
120 MONTH = 9
130 DIM P(9,8), T(9,8), K(9,8), E(9,8), N(9,8), SN(8), ASN(8)
140 FOR MN = 1 TO MONTH
150     FOR I = 1 TO 8
160         READ P(MN,I)
170     NEXT I
180 NEXT MN
190 FOR MN = 1 TO MONTH
200     FOR I = 1 TO 8
210         READ T(MN,I): K(MN,I) = T(MN,I)+273
220     NEXT I
230 NEXT MN
240 FOR MN = 1 TO MONTH
250     FOR I = 1 TO 8
260         READ E(MN,I)
270     NEXT I
280 NEXT MN
290 LPRINT"atmosphere refractive index variations (N units)"
300 LPRINT
310 FOR MN = 1 TO MONTH
320     FOR I = 1 TO 8
330         N(MN,I) = (77.6/K(MN,I))*(P(MN,I)+
            4810*E(MN,I)/K(MN,I))
340         LPRINT USING Z$;N(MN,I);
350         IF I=4 OR I=8 OR I=12 OR I=16 OR
            I=20 OR I=24 THEN LPRINT
360     NEXT I:LPRINT
370 NEXT MN
380 'data of atmospheric pressure (mb)
390 DATA 1013.56,1012.48,1014.03,1015.33,
    1012.57,1010.73,1012.40,1014.25
400 DATA 1010.75,1009.61,1010.93,1012.32,
    1009.81,1007.80,1009.57,1011.65
410 DATA 1013.06,1012.02,1013.29,1015.24,
    1012.97,1010.58,1011.62,1013.42
420 DATA 1013.16,1012.29,1013.57,1015.45,
    1013.35,1010.78,1011.50,1013.16
430 DATA 1011.34,1010.26,1011.58,1013.35,
    1011.44,1008.78,1009.53,1011.55
440 DATA 1009.83,1008.71,1010.21,1011.97,
    1010.09,1007.40,1008.13,1010.27
450 DATA 1008.50,1007.59,1008.97,1010.32,
    1008.67,1005.90,1007.05,1009.24
460 DATA 1007,1006,1008,1009,1007,1005,1006,1008

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

470 DATA 1007,1006,1007,1008,1006,1004,1005,1007
 480 'data of temperature (degree celsius)
 490 DATA 24.3,23.3,22.7,27.0,29.6,29.7,27.3,25.7
 500 DATA 24.2,23.3,22.6,27.1,30.1,30.6,27.7,25.7
 510 DATA 24.2,23.2,22.6,26.9,30.1,30.7,27.5,25.3
 520 DATA 24.7,23.8,23.1,27.8,31.0,31.5,27.6,25.8
 530 DATA 26.8,26.4,25.8,30.2,32.3,32.4,28.7,27.4
 540 DATA 27.8,27.3,27.1,31.5,33.5,33.5,30.0,28.7
 550 DATA 28.1,27.6,27.4,31.5,33.2,33.6,30.2,29.0
 560 DATA 28.0,27.3,27.2,31.5,33.4,32.7,29.7,28.3
 570 DATA 27.7,27.0,26.8,31.1,32.9,32.5,29.9,28.7
 580 'data of water vapor pressure (mb)
 590 DATA 22.9,22.0,22.0,21.4,21.3,21.2,22.7,22.8
 600 DATA 22.6,22.2,21.7,22.1,22.0,21.9,23.4,23.0
 610 DATA 25.1,24.6,24.2,24.3,22.4,22.3,23.8,24.4
 620 DATA 25.2,24.9,24.4,24.3,22.7,22.1,24.9,25.7
 630 DATA 29.9,29.8,29.4,29.6,29.5,29.1,29.2,29.7
 640 DATA 31.1,30.8,31.1,30.4,30.0,29.3,29.9,31.2
 650 DATA 31.4,31.5,32.0,31.4,30.6,30.4,31.1,31.6
 660 DATA 30.5,30.3,30.5,30.1,30.4,30.6,30.4,30.7
 670 DATA 30.4,29.3,29.5,29.1,29.1,29.5,29.4,30.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

atmosphere refractive index variations (N units)

361.2610	358.6985	360.0233	351.3840
346.4934	345.4712	355.5680	358.8775
359.4136	358.7972	358.0816	353.3602
347.9162	346.2776	357.1294	359.0387
370.5813	369.7920	369.3803	363.5427
350.3504	348.4635	359.6142	365.9824
370.2283	370.1751	369.5070	362.2083
350.3532	346.5573	363.9748	370.5664
385.9439	385.9294	385.6245	379.5356
375.2181	372.7799	379.4003	384.1525
388.8102	388.1405	390.1153	380.2732
374.9332	371.4708	379.7483	387.7920
389.1874	390.2283	392.9995	383.8783
377.4461	375.2998	384.0135	388.6521
385.2652	385.3706	386.8861	378.3086
375.9022	377.3315	381.7360	385.8365
385.3623	381.7342	383.1594	374.6744
371.2753	373.0053	377.0778	383.6703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

รูปแสดงตำแหน่งดาวเทียมดวงต่างๆ ในย่าน ITU ที่ 3

TV & Radio Distribution Satellites (ITU Region 3)



- = Ku-/Ka-band
- = C-band only
- ⊗ = C-/Ku-band
- ⊕ = UHF only
- ⊙ = Ku-band only
- = C-/S or C-/Ka

- Statsionar 5 53° E — ●
- Intelsat V F7 57° E — ⊗
- Intelsat VI F4 — ⊗
- 60° East
- Intelsat VA F11 — ⊗
- 63° East
- Intelsat V F5 66° E — ⊗
- Statsionar 13 80° E — ●
- Insat 1D (India) 82.9° E ○
- DFH2-A1 (PRC) 87.5° E — ●
- Statsionar 6 (CIS) 90° E — ●
- Statsionar 14 (CIS) 96° E — ●
- Statsionar-T (CIS) 99° E — ⊕
- Statsionar 21 (CIS) 103° E — ●
- Asiasat (China) 105.5° East — ●
- Palapa B2R (Indonesia) 108° East — ●
- BS-3A & BS-3B (Japan) 110° East — ⊗
- DFH2-A2 (PRC) 110.5° East — ●
- Palapa B2P (Indnsa.) 113° East — ●
- Palapa B4 (Indnsa.) 118° East — ●
- CS-3A (Japan) 132° East — ●
- CS-3B (Japan) 136° East — ●
- Statsionar 7 (CIS) 140° East — ●
- JCSat 1 (Japan) 150° East — ●
- JCSat 2 (Japan) 154° East — ●
- Aussat A2 (Australia) 156° East — ●
- Aussat A1 (Australia) 160° East — ●
- Superbird B (Japan) 162° East — ●
- Aussat A3 (Australia) 164° East — ●
- Intelsat VA F10 174° East — ○
- Intelsat V F3 177° East — ○
- Intelsat V F8 180° East — ○
- Intelsat V F1 183° East — ○
- TDRS-C (NASA) 185.7° East — ○



ITU 3

ITU Region 3

Orbit	Inc.	Satellite Name	Operator/Country	Start	Bands	Pol.	TV	Standard
155 W	—	Stationsar 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 VA 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	—	Stationsar 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/K	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-2B & 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	*	Stationsar 12	C.I.S.	1992	C3/K5	RH	1	SECAM
101.1	—	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. 6/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	—	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	—	—

U = 700 to 730 MHz

L = 1.5 to 1.65 GHz

S = 2.5 to 2.6 GHz

C1 = 3.7 to 4.2 GHz

C2 = 3.65 to 4.2 GHz

C3 = 3.65 to 3.95 GHz

C4 = 3.4 to 3.675 GHz

C5 = 4.160 to 4.198 GHz

K1 = 11.7 to 12.2 GHz

K2 = 12.2 to 12.7 GHz

K3 = 10.95 to 11.7 GHz

K4 = 12.5 to 12.75 GHz

K5 = 11.52 to 11.56 GHz

K6 = 11.7 to 12.5 GHz

K7 = 10.75 to 10.95 GHz

K8 = 11.7 to 11.9 GHz

Ka = 19.1 to 20.2 GHz

CP = Left and Right Hand Circular

RH = Right Hand Circular only

LP = Horizontal & Vertical

LH = Left Hand Circular only

HP = Horizontal only

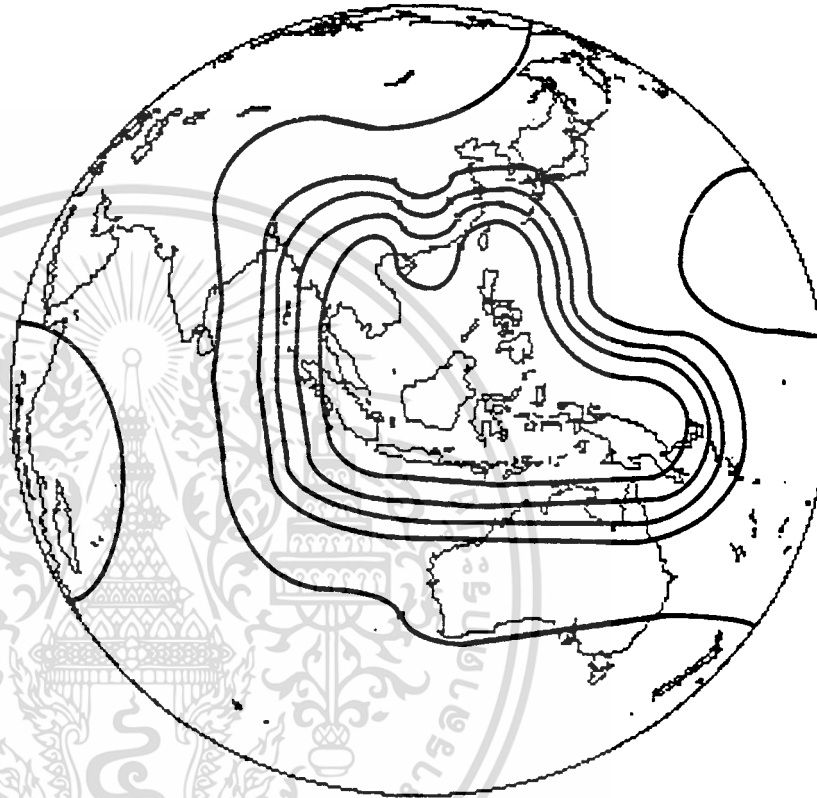
VP = Vertical only

* = Inclined Orbit Operations

ภาคผนวก ง.

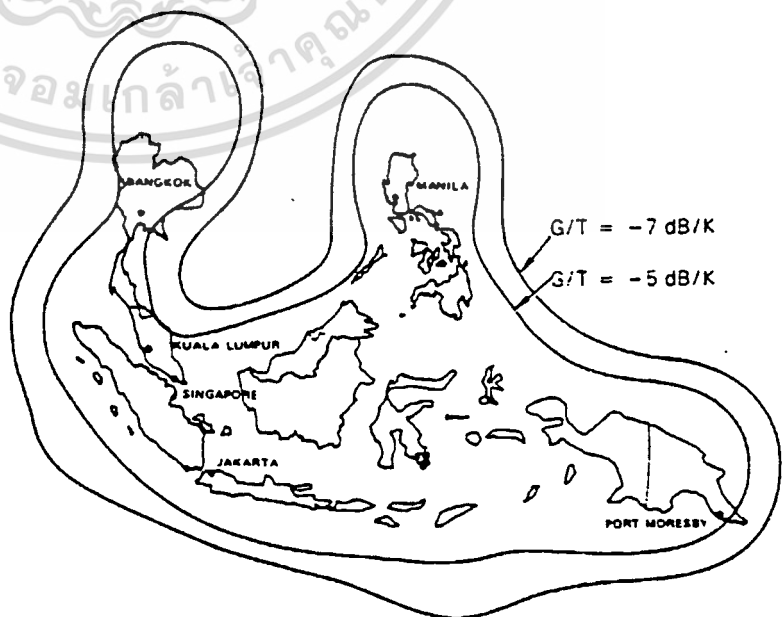
รูปแสดงบีมคลื่นของดาวเทียม Palapa-B2P

Palapa Transmit
Coverage from 113
degrees East Longitude



EIRP at	
Beam Center:	36 dBW
1st contour:	34 dBW
2nd contour:	32 dBW
3rd contour:	30 dBW
4th contour:	26 dBW
5th contour:	16 dBW

Typical Palapa B Receive
G/T Coverage



*Palapa B2P at a Glance***Operational History**

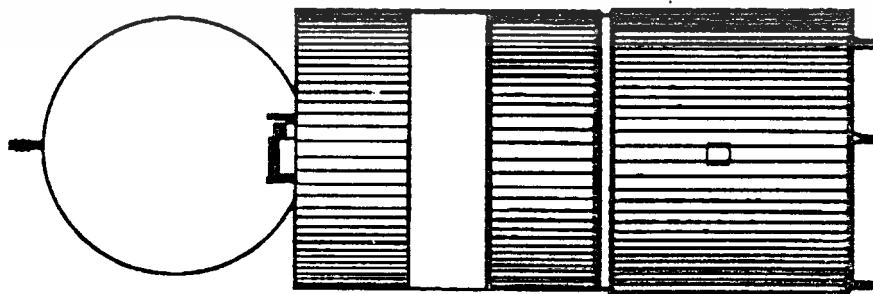
Launch Date:	March 20, 1987
Launch Vehicle:	Delta rocket
Orbital Assignment:	113 degrees East Longitude
Status:	Primary satellite for the Palapa B system
Design Life:	8 years, 2 months

Communications Payload

Frequency Band(s):	Receive: 5.925~6.425 Transmit: 3.700~4.200
Channels:	24
Channel Bandwidth:	36 MHz
Channel Polarization:	Horizontal/Vertical Polarity
Antenna Coverage:	ASEAN countries
Signal Power (in EIRP):	36 dBW nominal
TWTA Power:	10 watts
Capacity:	24,000 one-way voice circuits or 24 color TV channels

Spacecraft

Satellite Type:	Hughes HS 376 spin stabilized
Mass in Orbit:	1,433 lbs (650kg)
Maximum (deployed) Dimensions:	22 feet, 5 inches (6.8m) in height 7 feet, 1 inch (2.2m) in diameter
Electrical Power:	1,062 watts at beginning of life
Telemetry Beacons:	4.197 GHz



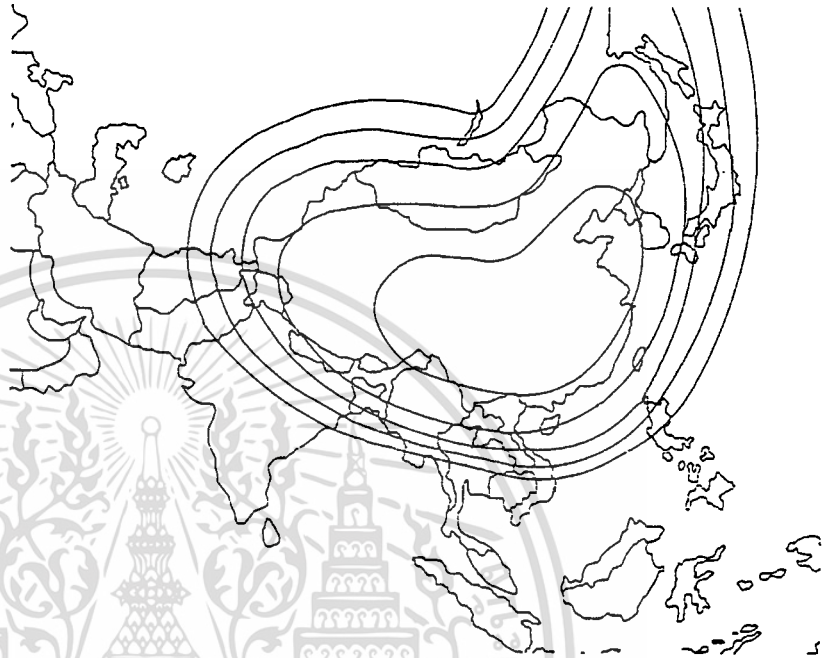
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

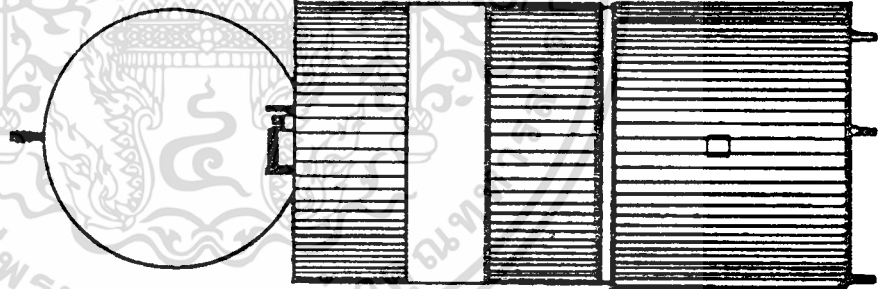
รูปแสดงบีมคลื่นของดาวเทียม Asiasat

ITU Region 3

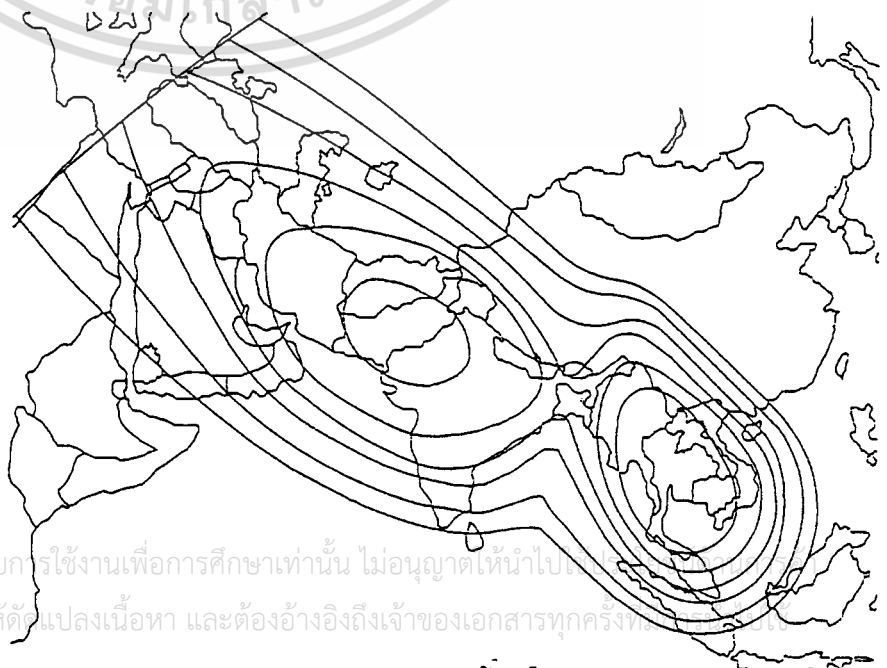
Asiasat North Beam
Coverage from 105.5
degrees East Longitude



Beam center EIRP:	37 dBW
1st contour:	36 dBW
2nd contour:	34 dBW
3rd contour:	32 dBW
4th contour:	30 dBW
5th contour:	28 dBW



Asiasat South Beam
Coverage from 105.5
degrees East Longitude



Beam center EIRP:	38 dBW
1st contour:	37 dBW
2nd contour:	35 dBW
3rd contour:	33 dBW
4th contour:	31 dBW
5th contour:	27 dBW
5th contour:	23 dBW

Other Audio Signal Parameters

Peak-to-peak deviation:	100 kHz
Subcarrier Amplitude:	approximately 24 dB below video
Pre-emphasis:	75 μ s
Frequency response:	50 Hz - 15 kHz
System:	Wegener PANDA I
Compression:	20 dB

Asiasat 1 at a Glance

Operational History

Orbital Assignment:	105.5 degrees East Longitude
Launch Date:	April 7, 1990
Launch Vehicle:	Long March 3
Status:	Operational Chinese domestic satellite with regional beam coverage
Design Life:	9 to 10 years

Communications Payload

Frequency Band(s):	Receive: 5.925~6.425 GHz Transmit: 3.700~4.200 GHz
Channels:	12 with horizontal polarization 12 with vertical polarization
Channel Bandwidth:	36 MHz
Signal Power (EIRP):	37 dBW maximum
Receiver noise:	3.8 dB
G/T:	1.0 dB/K maximum
Saturated Flux Density:	-81 to -90 dBW/m ²
Antenna Coverage	Mainland China and surrounding countries
TWTA Power:	8.2 watts
Capacity:	24 color TV signals

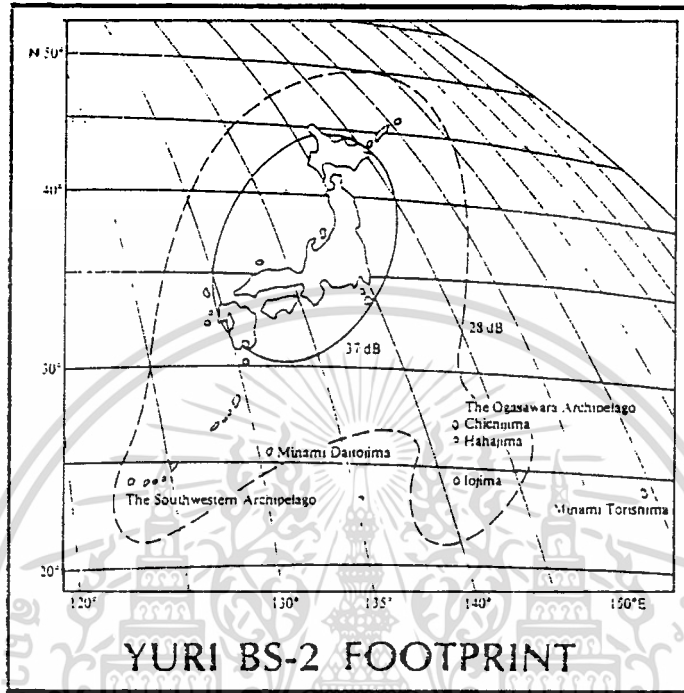
Spacecraft

Satellite Type:	Hughes HS-376 spin stabilized
Weight at Launch:	1,250 kg (2,750 lbs.)
Dimensions:	6.5m in height & 2.2m in diameter
Electrical Power:	822 watts

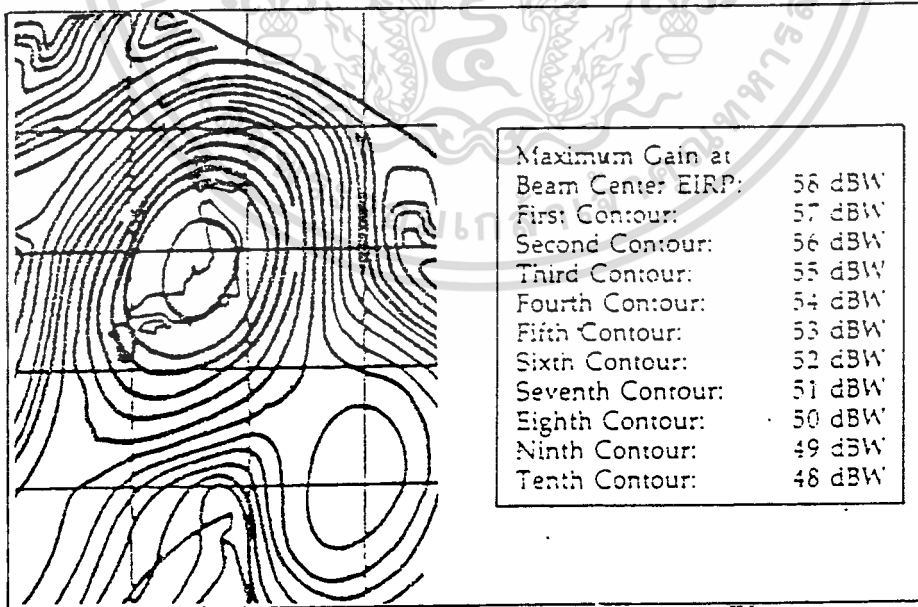
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ.

รูปแสดงบีมคลื่นของดาวเทียม BS-3a



จากเอกสารอ้างอิง [28]



จากเอกสารอ้างอิง [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*BS-3A & 3B at a Glance***Operational History**

Orbital Assignment:	110 degrees East Longitude
Launch Date(s):	BS-3A: August 28, 1990 BS-3B: August 1991
Launch Vehicle(s):	BS-3A & 3B: NASDA N-II rockets
Status:	BS-3A: Operational satellite BS-3B: Awaiting launch
Design Life:	7 years

Communications Payload

Frequency Band(s):	Receive: 14.2~14.3 GHz Transmit: 11.9~12.0 GHz
Channels:	3
Polarization:	Right Hand Circular
Channel Bandwidth:	27 MHz
Signal Power:	Japanese mainland: 55.5 dBW nominal Okinawa and Ogasawara islands: 46 dBW nominal
TWTA Power:	BS-3A & 3B: 120 watts BS-3H: 200 watts
Capacity:	Three simultaneous color TV signals

BS-3 Pulse Code Modulation Parameters

Audio Signal Bandwidth:	Type A: 15 kHz Type B: 20 kHz
Sampling Frequency:	Type A: 32 kHz Type B: 48 kHz
Quantizing & Compounding:	Type A: 14/10 bit Type B: 16 bit
Number of Frame Bit:	2.048 Mb/s \approx 10 b/s

จากเอกสารอ้างอิง [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

หนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ที่ ทม 1504/ 1519

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

/๗ มิถุนายน 2536

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยา

เรียน ผู้อำนวยการกองภูมิศาสตร์ กรมอุตุนิยมวิทยา

ด้วยคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลสถิติอุตุนิยมวิทยา ในด้านปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระยะเวลาการมีแสงอาทิตย์ และระยะเวลาการส่องสว่างจากแสงอาทิตย์เป็นรายชั่วโมงในแต่ละวันในรอบปี 2534 จนถึงปัจจุบันของเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร เพื่อให้ประกอบการการศึกษาวิจัย เรื่องการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณดาวเทียม และการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งดำเนินการวิจัยโดย นายวิสุทธิ์ อธิพรธรรม ตำแหน่ง อาจารย์ ระดับ 3 สังกัดภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นางปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์)

คณบดี

สำนักงานคณบดี

โทร. 3266052-101 ต่อ 676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

ที่ ทม 1504/ 1889

30 กรกฎาคม 2536

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ข้อมูลสถิติอุตุนิยามวิทยา

เรียน ผู้อำนวยการกองภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

ด้วย นายวิสุทธิ อธิพรธรรม ข้าราชการพลเรือนในมหาวิทยาลัย ตำแหน่งอาจารย์ ระดับ 3 สังกัดภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติให้ทำการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม ซึ่งการวิจัยดังกล่าวมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อมูลเพื่อประกอบการวิจัย

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลสถิติอุตุนิยามวิทยาเป็นรายชั่วโมงของเขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. อุณหภูมิระหว่างเดือนเมษายน 2536 ถึง กรกฎาคม 2536
2. ความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างเดือนเมษายน 2536 ถึง กรกฎาคม 2536
3. ปริมาณฝนตกระหว่างเดือนเมษายน 2536 ถึง กรกฎาคม 2536
4. ระยะการส่องสว่างของแสงอาทิตย์ (Visibility) ระหว่างเดือนเมษายน 2536 ถึงกรกฎาคม 2536
5. Duration of Sunshine ระหว่าง 2535 ถึง 2536
6. แรงแต้นบรรยากาศระหว่าง 2535 ถึง 2536
7. การปรากฏเมฆ (Coudiness) ระหว่าง 2535 ถึง 2536
8. เวลาของการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์แต่ละวันระหว่าง 2535 ถึง 2536

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักขอบคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(นางปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์)

คณบดี

สำนักงานคณบดี

โทร. 326-6052-101 ต่อ 676

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นายวิสุทธิ์ อธิพรธรรม
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2509
สถานที่เกิด	จังหวัดภูเก็ต
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาครุศาสตร์วิศวกรรม โทรคมนาคม
สถานที่สำเร็จการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีที่สำเร็จการศึกษา	ปีการศึกษา 2531
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับ การตีพิมพ์	<ol style="list-style-type: none"> 1. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม," วิศวกรรมสาร, ปีที่ 43, เล่มที่ 6, ประจำปี 2533 2. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน 4 กิกะเฮิรตซ์," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14, 7-8 พฤศจิกายน 2534 3. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 15, 3-4 ธันวาคม 2535 4. "การเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมย่าน C และ Ku," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, 25-26 พฤศจิกายน 2536
รางวัลหรือทุนที่เคยได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทุนยกเว้นค่าหน่วยกิต ขณะศึกษาในระดับปริญญาตรี 2. ทุนมูลนิธิเพื่อการศึกษาคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร ขณะศึกษาในระดับปริญญาโท
ประสบการณ์การทำงาน	-
อาชีพปัจจุบัน	ข้าราชการ ตำแหน่งอาจารย์ ระดับ 3 ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้