



ปีการศึกษา 2532

MICROWAVE ATTENUATION AND PROPAGATION

โดย

นาย ภูมิศักดิ์ ศิริวงศ์ประเสริฐ

นาย ยุทธนา อีรรัตน์

อาจารย์ปรึกษา

ผศ. ณรงค์ เขมกรณ์



ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง MICROWAVE ATTENUATION AND PROPAGATION

ผู้จัดทำ

1. นาย ภูมิศักดิ์ ศิระวงศ์ประเสริฐ
2. นาย ยุทธนา อธิรัตน์
3.



(ผศ. ณรงค์ เหมกรณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ภูมิศักดิ์ ธีระวงศ์ประเสริฐ

ยุทธนา อธิรัตน์

ผศ. ณรงค์ เหมกรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

รายงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในส่วนแรกเป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการลดทอนกำลังของคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากฝน โดยศึกษาถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ของฝนที่มีต่อการลดทอนของสัญญาณไมโครเวฟ และสาเหตุต่าง ๆ ในบรรยากาศที่มีผลต่อการสื่อสารไมโครเวฟในตอนท้ายของส่วนแรก จะเป็นการทดลองของสัญญาณที่อัตราการตกของฝนต่าง ๆ กัน ในส่วนที่สองเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการรบกวนสัญญาณในชั้นบรรยากาศโลก ที่ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง (Scintillation Effect) โดยวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของชั้นบรรยากาศกับลักษณะการเกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณและในตอนท้ายของส่วนนี้ก็จะมีการนำผลข้อมูลพื้นฐานที่ได้มาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ในต่างประเทศ ข้อมูลเหล่านี้ได้มีการศึกษาและทดลองไว้แล้ว แต่ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเก็บข้อมูลอย่างเป็นหลักฐานแน่นอนเลย ดังนั้นจึงต้องมีการวิจัยเพื่อหาข้อมูลในสภาพภูมิอากาศของประเทศ เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการออกแบบระบบสื่อสารหรือเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ มาใช้งานให้ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

Microwave Attenuation and Propagation

Poomsak Sirawongprasert

Yuttana Ittarat

Assistant Professor. Narong Haemakorn

Advisor 1989

Abstract

In the First part of this thesis is the discussion about microwave attenuation due to Rain and other Factors in atmospheric which affect to microwave communication. At the end of the first part is an experiment about relationship between microwave attenuation and falling Rate of Rain.

In the second part is the discussion about microwave distortion cause by atmospheric called Scintillation effect, causing the level of microwave signalling deviate, and analysis the relationship between atmospheric Characteristics and Scintillation characteristics. In the end of this part is an analysis of the Relationship between the data that has been Recorded and scintillation effect.

In other countries the data about scintillation characteristics has already been experimented. But in Thailand it has never been studied or Recorded before. So we have to record and analys data about scintillation effect that occur in geography and weather of Thailand, We hope that this thesis will be benefical for designing and developing microwave telecommunication system.

สารบัญ

	หน้า
บทนำ	1
บทที่ 1 การสื่อสารในระบบไมโครเวฟ	3
บทที่ 2 ลักษณะของฝนและการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน	8
2.1 ชนิดของฝน	8
2.2 ลักษณะของเม็ดฝนและการกระจายของเม็ดฝน	9
2.3 คุณสมบัติการตกของฝน	9
2.4 ปรากฏการณ์การเกิดการลดทอนของสัญญาณ	13
2.5 การลดทอนกำลังเนื่องจากการกระจายออกของคลื่น	16
2.6 การดีโพลาไรซ์เนื่องจากฝน	18
2.7 วิธีง่าย ๆ ในการทำนายการดีโพลาไรซ์ของฝน	22
2.8 การทดลองและสรุปผล	24
บทที่ 3 ทฤษฎีและการทำนายการเกิดปรากฏการณ์	30
บทที่ 4 การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์	36
บทที่ 5 การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์	40
5.1 ลักษณะเฉพาะของ	43
5.2 การเกิดปรากฏการณ์ scintillation โดยแบ่งตามเส้นละติจูด	44
บทที่ 6 การทดลอง	46
6.1 วิธีรับสัญญาณจากดาวเทียม	46
6.2 ผลการทดลอง	48
6.3 บทสรุป	57
ภาคผนวก	58
กิตติกรรมประกาศ	
บรรณานุกรม	

บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการในการใช้การสื่อสารระบบไมโครเวฟมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการที่จะตอบสนองความต้องการเหล่านั้นให้เป็นที่เพียงพอ ซึ่งวิธีการนั้นก็คือ การเพิ่มย่านความถี่ของคลื่นไมโครเวฟให้มีค่าสูงขึ้นกว่าย่านความถี่ 10 GHz แต่การเพิ่มย่านความถี่ให้สูงขึ้นนั้น มีปัญหาตามมาพอสมควร แต่ที่สำคัญที่จะขออนุญาตมากว่าในที่นี้ก็คือ การเกิดการรบกวนของสัญญาณเนื่องมาจากฝนซึ่งที่ย่านความถี่สูงกว่า 10 GHz ฝนจะมีอิทธิพลต่อการส่งผ่านคลื่นไมโครเวฟอย่างมาก เม็ดฝนนั้นจะมีผลกระทบต่อคลื่นอยู่ 3 ประการด้วยกัน

ประการแรกคือ การเกิดการเปลี่ยนขั้วคลื่น (depolarization) ซึ่งเมื่อคลื่นเดินทางผ่านไปในพื้นที่ที่มีฝนตก ผลจากลักษณะรูปร่างของเม็ดฝนที่ไม่เป็นทรงกลมทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณที่ส่งไป

ผลกระทบประการที่สองคือ เกิดการดูดกลืนพลังงานขึ้น เมื่อความยาวคลื่นสั้นลงจนขนาดใกล้เคียงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน สัญญาณไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนมากขึ้น และ

ผลกระทบประการที่สามคือ เม็ดคลื่นที่กระจายออกไปเกิดกระทบกับเม็ดฝนแล้วพลังงานส่วนหนึ่งจะถูกดูดกลืนเข้าไปในเม็ดฝน และเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนอีกส่วนหนึ่งจะกระจายผ่านออกมา ซึ่งผลของทั้งสองประการหลังนี้จะเป็นการทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณขึ้น ทำให้สัญญาณที่ควรจะได้รับในทิศทางที่ต้องการลดน้อยลง และบางครั้งการกระจายสัญญาณจากสถานีส่งภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมอาจจะไปรบกวนข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินที่ใช้ความถี่เดียวกันได้เหมือนกัน

ดังนั้น จึงได้มีการทดลองเพื่อทำการหาค่าการรบกวนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในเส้นทางระหว่างโลกกับดาวเทียม ที่อัตราการตกของฝนค่าต่าง ๆ ขึ้น ทำให้สามารถทราบอัตราการรบกวนของสัญญาณเมื่อมีอัตราการตกของฝนเป็นมิลลิเมตร/นาที่ ที่มากที่สุดได้ ซึ่งผลอันนี้เองสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการ Compensate ส่วนของสัญญาณที่ลดหายไปได้อย่างถูกต้องโดยไม่ต้องใช้จำนวนมากหรือน้อยเกินไป งานสายอากาศที่จะใช้ก็จะมีขนาดที่เหมาะสม ระบบการสื่อสารก็จะไม่เกิดการขาดหายไปกรณีเกิดฝนตกหนัก ๆ ซึ่งจะช่วยในการออกแบบระบบในการติดต่อสื่อสารระบบดาวเทียมให้มีประสิทธิภาพในการสื่อสาร มันคงมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่เริ่มมีการใช้การสื่อสารผ่านดาวเทียม ทำให้การลดทอนสัญญาณอ่อนเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอในชั้นบรรยากาศเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องมีการศึกษากัน ซึ่งจะพบว่ามีการเกิดปรากฏการณ์การลดทอนระดับของสัญญาณเนื่องจากชั้นบรรยากาศหลายชนิด ซึ่งในที่นี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องปรากฏการณ์การเกิด scintillation เพียงเรื่องเดียวจากการสังเกตกันมา พบว่าการเกิด scintillation นี้จะมีผลในความถี่ช่วง 136 MHz ถึงความถี่ 6 GHz ค่อนข้างมาก ทำให้เกิด scintillation เป็นปรากฏการณ์ที่มีความสำคัญซึ่งปรากฏการณ์ scintillation ที่เกิดขึ้นกับการสื่อสารผ่านดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะมีลักษณะที่สัญญาณที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เกิดการแกว่งกลับไปกลับมาของแอมพลิจูด และ เฟส มากผิดปกติ ทำให้เกิดการรบกวนสัญญาณที่เครื่องรับ รับได้ ในที่นี้จะได้ทำการศึกษาผลการเกิด scintillation ในบริเวณพื้นที่แถบเส้นศูนย์สูตร ทางด้านซีกโลกทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้หรือก็คือ บริเวณประเทศไทยนั่นเอง ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษา ผลอันเนื่องมาจาก ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อระดับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งก็ได้แก่การศึกษา ลักษณะชั้นบรรยากาศ ในช่วงเวลาต่าง ๆ สภาวะเส้นแรงแม่เหล็กโลก, เส้นรุ้ง, เส้นแวง ต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจ และนำไปพัฒนาอุปกรณ์การสื่อสารผ่านดาวเทียม เพื่อให้มีการรบกวนและการลดทอนของสัญญาณให้น้อยที่สุด

อนึ่ง ในการเก็บข้อมูลของผู้ที่ได้ทำการศึกษามาก่อน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่สามารถเก็บมาได้ ส่วนใหญ่จะเป็นประเทศในแถบเส้นศูนย์สูตรรอบโลก เนื่องจากแถบประเทศทางยุโรป และสหรัฐอเมริกา ไม่ค่อยจะมีการเกิดปรากฏการณ์ scintillation

การสื่อสารในระบบไมโครเวฟ

ในการสื่อสารระบบไมโครเวฟ เราจะพบระบบแบบต่าง ๆ เป็นต้นว่าวิธีการผสมคลื่นแบบต่าง ๆ รวมทั้งระบบ FDM-RM และ PCM-PM ด้วย, สถานีถ่ายทอดแบบต่าง ๆ ได้แก่ direct-repeating, hetero-dyne repeating และ base-band repeating นอกจากนี้ยังมีระบบ line-of-sight relay ระบบการสื่อสารแบบ over-the-horizon communication และ Satellite Communication system (ระบบการสื่อสารดาวเทียม) นอกจากนี้การเลือกแถบความถี่วิทยุ (radio frequency band) ว่าความถี่แบบไหนที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานนั้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก

ในการที่จะอธิบายสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นนั้นจำเป็นต้องกล่าวถึงการแบ่งชนิดต่าง ๆ ของระบบไมโครเวฟ ดังต่อไปนี้

ความถี่วิทยุ (Radio Frequency)

ในปัจจุบัน ความถี่วิทยุที่ใช้สำหรับ Microwave relay system นั้นเพิ่มขึ้นจากความถี่ต่ำกว่า 2 GHz ไปจนถึงประมาณ 15 GHz และในอนาคตอันใกล้ ความถี่ที่ใช้อาจจะเพิ่มขึ้นไปถึง 20 GHz ส่วนแถบความถี่ 4 GHz และ 6 GHz นั้นเหมาะแก่การใช้งานมากเพราะฉะนั้นจึงนิยมใช้กันทั่วไปในทุก ๆ ประเทศ

ระบบการสื่อสารย่านไมโครเวฟ (Microwave Communication System)

โดยปกติแล้ว สถานีถ่ายทอด (repeater station) 2 สถานีที่อยู่ใกล้กันในการถ่ายทอดแบบ F M Microwave นั้นจะมองเห็นกันและกันได้ด้วยตาเปล่า จึงเรียกว่า line-of-sight system (ทั้งนี้รวมถึงระบบ over-the-horizon system ซึ่งใช้สำหรับต่อระหว่างจุดสองจุดที่ถูกแยกห่างจากกันเป็นระยะทางมาก ๆ ด้วยทะเลหรือแผ่นดินใหญ่)

แบบอื่น ๆ ของการสื่อสารไมโครเวฟ คือระบบการสื่อสารดาวเทียม ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อการสื่อสารนานาชาติที่มีการใช้งาน (traffic) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

FDM และ PCM

ระบบ FDM-PCM (ย่อมาจาก Frequency Division Multiplex-Frequency Modulation) ได้ถูกใช้สำหรับการสื่อสารไมโครเวฟภาคพื้นดินมาเป็นเวลานานแล้ว และเทคนิค

ต่าง ๆ ก็ได้รับการปรับปรุงให้ดีขึ้นและมีความแน่นอนมั่นคง ส่วน PCM system นั้นใช้เทคนิคทางควาน digital ซึ่งได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ระบบ PCM เป็นระบบการสื่อสารที่ไม่เหมือนกับระบบอื่น คือทำการส่งสัญญาณโทรศัพท์หรือข่าวสารอื่น ๆ ด้วย digital pulse ชุดหนึ่งที่แทน binary code ต่าง ๆ

วิธีการถ่ายทอคสัญญาณ (Relaying method)

วิธีการถ่ายทอคสัญญาณมีอยู่ 3 วิธี คือ

1. ถ่ายทอคแบบ base-band
2. ถ่ายทอคแบบ Heterodyne
3. ถ่ายทอคแบบ Direct

ปัจจุบันใช้วิธีที่ 1. และ 2. กันทั่ว ๆ ไป

การถ่ายทอคแบบ base-band นั้นการสร้างสถานีถ่ายทอคทำได้ง่ายและมีราคาถูกมากกว่า แต่ทว่าในกรณีที่มีการส่งจำนวนมากกล่าวคือมากกว่า 1,000 telephone channel แล้วละก็การถ่ายทอคแบบ base-band ใช้ไม่ได้เพราะว่ามี intermodulation noise ที่เกิดจากการผสมคลื่น (Modulation) และการแยกคลื่น (demodulation) หลาย ๆ ครั้ง เพราะฉะนั้นระบบการสื่อสารไมโครเวฟทางไกล (long distance microwave system ส่วนใหญ่) จึงใช้การถ่ายทอคแบบ Heterodyne

โทรศัพท์ และโทรทัศน์ (Telephone and Television)

ความกว้างของแถบความถี่ของสัญญาณโทรทัศน์มีค่าประมาณ 4-6 MHz การส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปในระยะทางไกล ๆ กระทำได้โดยการใช้ระบบการถ่ายทอคสัญญาณวิทยุ (Radio-relay system) ซึ่งสัญญาณโทรทัศน์ 1 ช่องจะต้องใช้ Telephone channel มากกว่า 480 channel รวมกันตามมาตรฐานของ CCITT หรือ CCIR ในกรณีที่เป็นโทรทัศน์ขาวดำ ระบบ 525 เส้น หรือใช้ Telephone channel มากกว่า 960 channel รวมกันในกรณีที่เป็นโทรทัศน์สีระบบ NTSC

คุณภาพและความแน่นอนของการส่ง (Transmission Quality and Reliability)

องค์ประกอบที่เป็นตัวบ่งราคาของระบบสื่อสารคือ คุณภาพของการส่งและความแน่นอนของการส่ง แน่นอนมันไม่เป็นการได้ในการที่จะให้ teund transmission line ต่าง ๆ ทำงานต่ำกว่าค่าที่ CCIR แนะนำมาให้ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับ short haul route (ระยะทางใกล้) หรือocal transmission route (การส่งในย่านของตัวเอง) นั้นอาจยอมให้ได้ เพื่อเป็นการประหยัด

สัญญาณที่ส่งและแถบความถี่ (Transmission signal and Frequency Band)

แถบความถี่วิทยุจำนวนหนึ่งได้ถูกกำหนดขึ้นสำหรับบริการสาธารณะ(public service) เพื่อส่ง Telephone Multiplex หรือส่งสัญญาณโทรศัพท์ ในเวลานี้ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณที่ส่งกับแถบความถี่เป็นไปดังต่อไปนี้คือ

ก. สำหรับการส่งสัญญาณแบบ long-haul Telephone นั้นใช้แถบความถี่ 4,5 และ 6 GHz

ข. สำหรับการส่งแบบ Short-haul Telephone signal ใช้แถบความถี่ 2,11 และ 15 GHz

ค. สำหรับการส่งสัญญาณโทรศัพท์ใช้แถบความถี่ 4, 5 และ 11 GHz

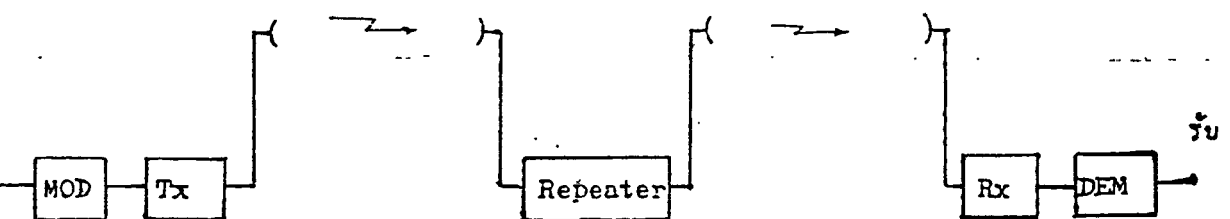
ในการใช้ระบบ Long-haul ระบบที่ทำงานที่ความถี่ 4 GHz นั้นส่วนใหญ่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณโทรศัพท์ระบบต่าง ๆ เหล่านี้สามารถติดตั้งในเส้นทาง (route) เดียวกันได้

ระบบ Short-haul ใช้สำหรับบริการในระยะทางสั้นมาก ๆ ที่มี hop เพียง 2-3 hop และสำหรับเส้นทางแบบนี้เหมาะที่จะใช้แถบความถี่ 2 GHz มาก ในกรณีที่ต้องการ hop distance ไกลมานั้นจะเกิดการ fading อย่างมากเสมอ ๆ และอาจจะมีฝนตกหนักส่วนในกรณีที่ความต้องการใช้งานที่มากกว่า 50 Super group นั้นใช้แถบความถี่ 11 GHz หรือ 15 GHz

จากการพิจารณาโดยทั่ว ๆ ไปจะเห็นว่า ความต้องการในการออกแบบสร้างระบบ ไมโครเวฟ สำหรับการส่งสัญญาณ telephone multiplex นั้นค่อนข้างจะยุ่งยากมากกว่าของการส่งสัญญาณโทรศัพท์

Multi-section Radio Relay system

ส่วนประกอบเบื้องต้นของระบบ Multi-section radio relay ที่ใช้เส้นทาง line-of-sight แสดงดังรูป จะเห็นว่าระบบนี้ประกอบด้วย terminal station 2 อัน และสถานีถ่ายทอดอีกจำนวนหนึ่งที่ต่างก็อยู่ห่างจากกันเป็นระยะทางประมาณ 20 ถึง 50 ไมล์ ที่ terminal station จะผลิตคลื่นพาที่มีความถี่อ่านไมโครเวฟ



คลื่นพาหะนั้นจะไปผสมกับสัญญาณโทรศัพท์หลาย ๆ channel หรือผสมกับสัญญาณโทรศัพท์ หลังจากนั้นก็นำไปขยายจนมีกำลังขนาด 2-3 วัตต์ เสร็จแล้วจึงไปป้อนให้สายอากาศแบบ directional antenna เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังสถานีถ่ายทอดที่หนึ่ง ที่สถานีถ่ายทอดจะรับสัญญาณไมโครเวฟเข้ามาทำการขยาย และเปลี่ยนความถี่เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนระหว่างสัญญาณที่รับเข้ามา (incoming signal) กับสัญญาณที่ส่งออกไป (out going signal) เสร็จแล้วจึงส่งต่อไปยังสถานีถ่ายทอดที่ 2 และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ

สัญญาณไมโครเวฟที่สถานีปลายทางนั้นหลังจากที่ถูกขยายแล้วจะถูกแยกความถี่ออกมาทำให้สัญญาณของ Multichannel telephone ออกมา

ไมโครเวฟระบบ line-of-sight ส่วนใหญ่ใช้ความถี่วิทยุที่เรียกว่า "two-frequency repetition method" สำหรับการเพิ่มความถี่ให้ได้ผล วิธีที่กล่าวนี้ก็คือ สถานีถ่ายทอดอันหนึ่งจะต้องรับสัญญาณวิทยุจาก 2 ทิศทางที่มีความถี่เดียวกัน

โดยทั่ว ๆ ไปที่ terminal station จะมีสายอากาศ 2 อัน และที่สถานีถ่ายทอดจะมีสายอากาศ 4 อัน

Carrier terminal station และ microwave terminal station ควรจะอยู่ในอาคารเดียวกันที่ toll telephone office แต่บางที่ microwave terminal station ก็อาจอยู่บนภูเขาและต่อกับ Carrier terminal ด้วยสาย cable coaxial ระบบ Multi-RF channel (ระบบที่มี Radio Frequency channel หลาย ๆ channel)

ในกรณีที่มีสัญญาณ base band หลาย ๆ อันแต่ละอันประกอบด้วย FDM telephone channel ชุดหนึ่งหรือประกอบด้วย television channel และสัญญาณ base band เหล่านี้จะถูกส่งไปในเส้นทางอันเดียวกัน การใช้สายอากาศและ feeder ร่วมกันในการส่งและรับ RF carrier ความถี่ต่าง ๆ เป็นดาร์ประหัยอย่างมาก

การสื่อสารแบบถ่ายทอดด้วยไมโครเวฟ มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับการสื่อสารที่ใช้ความถี่ต่ำกว่าความถี่ไมโครเวฟ และเมื่อเทียบกับการสื่อสารระบบ Wire carrier

ข้อดีของการสื่อสารย่านไมโครเวฟ มีดังต่อไปนี้:-

1. มี gain ของสายอากาศสูง
2. ใช้สายอากาศที่มี Directivity (gain ในทิศทางที่มีการกระจายคลื่นสูงสุด) কমมาก
3. สามารถใช้ส่งสัญญาณแบบ broad-band ได้

4. คุณสมบัติการกระจายคลื่นของไมโครเวฟคงที่
5. สามารถปรับปรุงอัตราส่วนของสัญญาณต่อเสียงรบกวน (S/N ratio) ให้ดีขึ้นได้ง่าย
6. วงจรของไมโครเวฟ มีความแน่นอนในการทำงานสูง
7. ก่อสร้างง่าย
8. มีราคาก่อสร้างต่ำกว่า



ลักษณะของฝนและการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน

คุณสมบัติฝน

2.1 ชนิดของฝน

โดยทั่วไปฝนสามารถจะแบ่งออกเป็นแบบใหญ่ ๆ ได้สองแบบด้วยกันคือแบบ stratiform และแบบ convective ฝนแบบแรกเป็นแบบที่เกิดจากการเปลี่ยนผลึกน้ำแข็งและเกล็ดหิมะมาเป็นหยดน้ำ ซึ่งจะมีอัตราการตกของฝนต่ำ อยู่ระหว่าง 10-20 มม./ชม. จะมีความหนาของชั้นฝนคงที่และชั้นรอยต่อระหว่างที่เกล็ดหิมะกลายเป็นหยดน้ำจะมีความหนาประมาณ 400-500 เมตร ซึ่งเป็นชั้นที่มีผลต่อการสะท้อนของสัญญาณเรดาร์เป็นสำคัญ ชั้นนี้เรียกว่า bright band จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าเยือกแข็งและประกอบด้วยอนุของเมฆฝนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-40 μ จำนวนมาก ส่วนฝนแบบ convective เป็นแบบที่เกิดจากการชนกันของเมฆฝนทำให้เมฆฝนเพิ่มปริมาณมากขึ้นและกลายเป็นหยดน้ำ อนุของเมฆฝนชนิดนี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3-40 μ

การเกิดฝนนั้นจะเกิดจากทั้งสองแบบพร้อมกัน ซึ่งฝนที่เกิดจากแบบ stratiform จะมีอาณาบริเวณกว้างในแนวระดับ เพราะว่าเมฆฝนแบบนี้สูงจากพื้นดินหลายกิโลเมตร และอัตราการตกจะเบาบาง แต่ระยะเวลาในการตกนาน ส่วนในกรณีของฝนแบบ convective ลักษณะการตกจะขยายออกไปทั้งในแนวตั้งและแนวระดับ ระยะทางเกือบ 10 กิโลเมตรหรือมากกว่า ซึ่งจะทำให้เกิดฝนตกหนักในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เมื่อรวมฝนทั้งสองแบบนี้เข้าด้วยกันแล้วจะเป็นผลให้เกิดฝนตกหนักในระยะเวลาที่ยาวนาน

CCZR ได้แบ่งขนาดอัตราการตกของฝนไว้ดังนี้:-

ฝนตกเล็กน้อย	(drizzel)	0.25	มม./ชม.
ฝนตกเบาบาง	(light rain)	1.0	มม./ชม.
ฝนตกพอประมาณ	(moderate rain)	4.0	มม./ชม.
ฝนตกหนัก	(heavy rain)	16.0	มม./ชม.
ฝนตกหนักมาก	(very heavy rain)	100.0	มม./ชม.

อาณาบริเวณที่ฝนตก

การที่จะทราบอาณาบริเวณที่ฝนตกนั้น ส่วนสำคัญอยู่ที่บริเวณของเมฆฝนว่ามีมากเท่าไร และทิศทางของลมที่จะพัดฝนให้เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเท่าใดจากการศึกษาและตรวจสอบพบวาระดับความสูงของเมฆฝนนั้น 50% จะอยู่ในระดับความสูง 5-6 กิโลเมตร และอาจจะสูงอีก 16 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กิโลเมตร และการเคลื่อนของเมฆฝนจะอยู่ที่ 40 กม./ชม. ระยะเวลาที่ฝนตกแต่ละครั้งพบว่า ช่วงระยะเวลาที่ฝนตกนั้นคิดเฉลี่ย 50 นาที สำหรับอัตรา 20 มม./ชม. จะมีฝนตกอยู่ประมาณ 5 นาที สำหรับอัตราที่มากกว่า 50 มม./ชม. จะมีฝนตกอยู่ประมาณ 4 นาที เมื่อนำไปสัมพันธ์กับความเร็วของฝนแล้ว 50% ของบริเวณที่มีฝนตกหนัก จะมีอาณาบริเวณถึง 3 กม. ในทิศทางของลม

2.2 ลักษณะของเมฆฝนและการกระจายกระจายของเมฆฝน

เมฆฝนที่มีขนาดเล็กนั้นจะมีลักษณะเป็นทรงกลม แต่เมื่อฝนมีอัตราการตกหนักแล้วขนาดของเมฆฝนจะโตขึ้นและรูปร่างจะผิดรูปไปจากทรงกลม ซึ่งเกิดจากการค้ำของลมและเมฆฝนขนาดใหญ่รูปร่างจะไม่คงที่แน่นอน จะเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา จนกว่าที่จะแตกกระจายออกเป็นเม็ดเล็ก ๆ และการกระจายกระจายของเมฆฝนนั้นได้มีผู้ศึกษาอยู่หลายคนด้วยกัน และวิธีการที่นิยมกันอยู่มีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

1. Absorbent-paper method คิดโดย J. Wiesner(1895) ในเยอรมันวิธีนี้ใช้แผ่นกระดาษที่ฉาบด้วยสีที่มีคุณสมบัติ เมื่อถูกน้ำแล้วจะเปลี่ยนไป ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างบริเวณที่เมฆฝนตก ทำให้นับจำนวนเม็ดฝนที่ตกได้ แต่กรณีที่เมฆฝนขนาดใหญ่แล้วเมื่อกระทบแผ่นกระดาษจะกระจายออกทำให้ไม่ทราบขนาดที่แน่นอนได้ วิธีนี้จึงเหมาะกับเมฆฝนขนาดเล็ก และอัตราการตกน้อย ๆ เท่านั้น
2. Flour-method คิดโดย W.A. Bentley (1904) ในสหรัฐอเมริกา วิธีนี้ใช้แป้งฝุ่นรองรับเม็ดฝน และนับจำนวนขนาดของเม็ดฝนที่ทำได้จะไม่ใช้ขนาดโดยตรง เพราะว่ามีเมฆฝนจะไปรวมกับแป้งที่ใช้ และในการหาขนาดก็ไม่ง่ายของง่าย เพราะเม็ดฝนที่ตกลงไปในแป้งแล้วจะไม่อยู่ในลักษณะของทรงกลม
3. Oil Method คิดโดย S. Ugui(1973) ในญี่ปุ่น วิธีนี้ใช้น้ำมันละหุ่งที่ใส่สีที่มีคุณสมบัติผสมได้กับน้ำมัน แต่ไม่ผสมละลายกับน้ำฝน เมื่อฝนตกมาบนถาดน้ำมันที่ทำด้วยวัสดุโปร่งแล้ว เม็ดฝนจะลอยอยู่ที่ผิวน้ำมัน ใช้วิธีถ่ายภาพเพื่อนับจำนวนเม็ดฝน

2.3 คุณสมบัติการตกของฝน

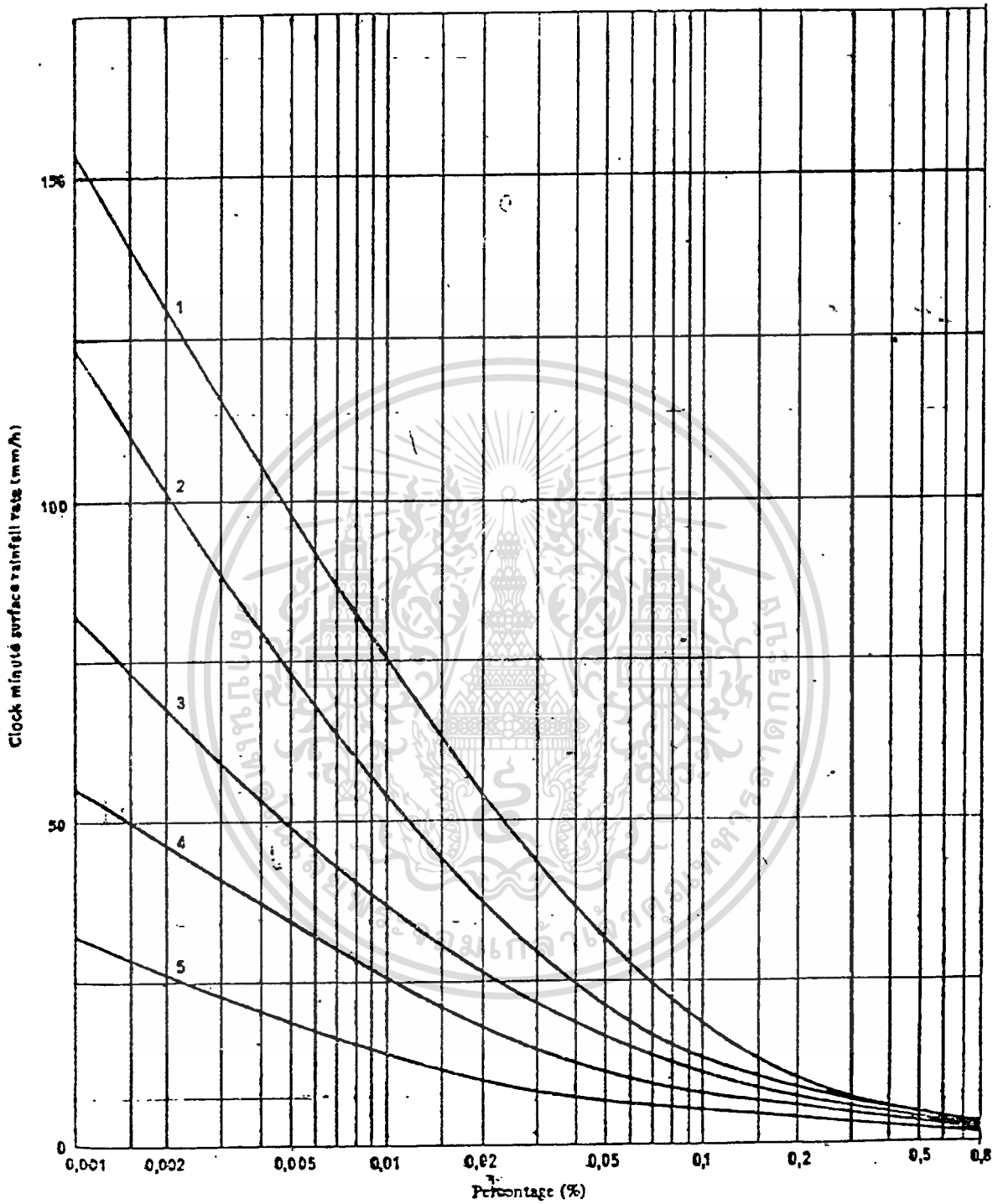
การตกของฝนมักจะเกิดขึ้นครอบคลุมพื้นที่จำกัดเสมอ ดังนั้น ไม่ว่าจะเป็นส่วนที่เล็กกว่าหรือใหญ่กว่าระยะทางการกระจายคลื่นก็จะมีผลกระทบกระเทือน ดังนั้น. ในการศึกษาคุณสมบัติการตกของฝน อาจแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ คุณสมบัติทางสถิติของความเข้มของการตกของฝนที่จุด ๆ หนึ่ง และคุณสมบัติแบบทั่ว ๆ ไปของการตกของฝน

1. คุณสมบัติทางสถิติของความเข้มของการตกของฝนที่จุด ๆ หนึ่ง

การแจกแจงแบบสะสมของอัตราการตกของฝน

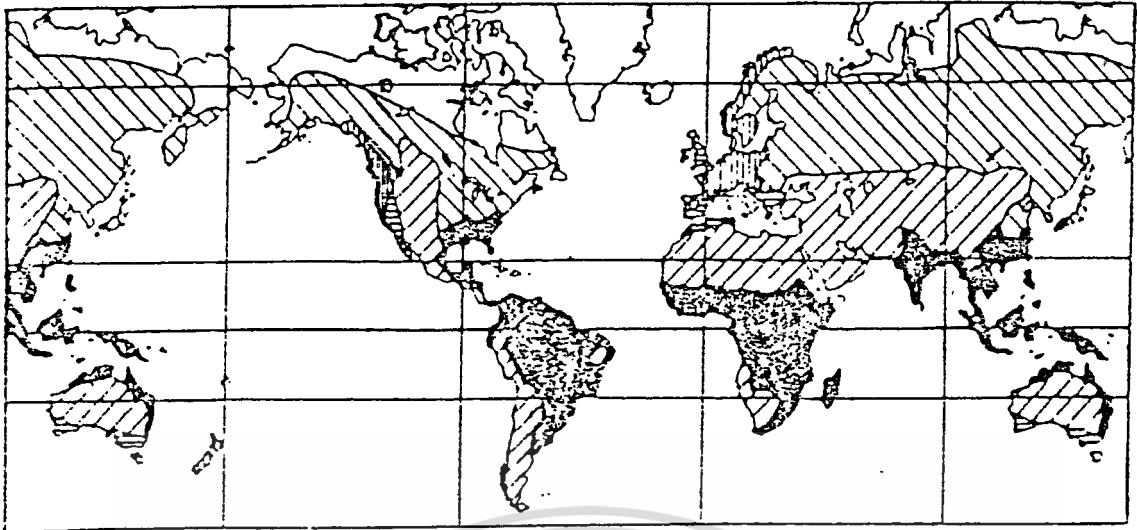
อาจจะเป็นไปได้ในการที่จะนำเอาค่าจากการทดลองของความเข้มในการตกของฝน
ไม่ใช้ในการพิจารณาการแจกแจงแบบสะสม อย่างไรก็ตามในบางพื้นที่บนโลก ข้อมูลจากการทดลอง
ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้ จึงเกิดความพยายามในการหาค่าตัวกลางเพื่อนำไปใช้ในการพิจารณา
การแจกแจงแบบสะสมของอัตราการตกของฝนที่จุดต่าง ๆ โดยใช้ตัวแปรเพียงตัวเดียวเช่น อัตรา
การตกของฝนทั้งหมดตลอดปีที่จุด ๆ หนึ่งซึ่งเราจะไม่กำหนดวิธีใดวิธีหนึ่งตามที่เราพอใจ และมันจะ
ถูกพิจารณาว่าการใช้ตัวแปร 2 ตัว อาจจะช่วยปรับปรุงวิธีการต่าง ๆ ซึ่งเรื่องนี้ได้ถูกพัฒนาโดย
Rice และ Holmberg 1973 ซึ่งเขาใช้ทั้งจำนวนฝนทั้งหมดที่ตกทั้งปีและจำนวนของฝนในขณะที่เกิด
ฟ้าผ่า

จนกระทั่งได้มีการปรับปรุงวิธีดำเนินการนี้ด้วยการทดลองที่ดี โดยถูกเสนอให้ใช้วิธี
ประมาณอย่างต่อเนื่อง โดยใช้แนวความคิดของจำนวน rain-climatic Zones ในรูป 2.1
แสดงให้เห็นถึงการคาดคะเนของการแจกแจงแบบสะสมของอัตราการตกของฝนใน 5 โซน และ
การประมาณขอบเขตของโซนเหล่านี้ แสดงในรูป 2.2 เส้น Curve จะใช้สำหรับข้อมูลหรือข่าว
สารเฉพาะที่ไม่มีอยู่สำหรับเขตต่าง ๆ ในการปฏิบัติที่แท้จริงนั้น เส้นของการแบ่งเขตแดนระหว่าง
2 โซน จะไม่ชัดเจนและการแจกแจงแบบสะสมจะแปรผันไปอย่างกว้าง ๆ ภายในโซนนั้นจากปี
หนึ่งถึงปีต่อ ๆ ไป



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการคาดคะเนการแจกแจงแบบสะสมอัตราการตกของฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การประมาณขอบเขตของโซนต่าง ๆ

จากการวัดซึ่งได้กระทำในหลายประเทศนั้นได้แสดงถึงค่าเปอร์เซ็นต์ค่า ๆ ของเวลา ซึ่งน้อยกว่า 0.01% นั้นมีการแปรผันไปอย่างมากในอัตราการตกของฝนจากปีหนึ่งถึงปีอื่น ๆ ในช่วงเวลาที่ยาวมาก ๆ (มากกว่า 10 ปี) เราสามารถที่จะให้ค่าจำกัดความของแต่ละขอบเขตตามคุณลักษณะของการตกของฝนได้ จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของอัตราการตกของฝนสูงสุดภายใน 5 นาที (0.001%) ซึ่งได้รับในแต่ละปี ในช่วง 25 ปีที่ตำแหน่งเดียวกันในโซนที่ 2 นั้นแสดงให้เห็นว่าอย่างน้อยที่สุดภายใน 15 ปีของการค้นคว้ายังต้องใช้การคาดคะเนค่าสูงสุดของอัตราการตกของฝน อัตราต่าง ๆ ซึ่งได้รวบรวมไว้ นอกเหนือจากช่วงเวลา 5 นาที ซึ่งเฉลี่ยภายในหนึ่งปีด้วยการคาดคะเนค่า standard error จะน้อยกว่า 10% ของค่ามีฐาน (crane 1977) ซึ่งการวิเคราะห์ได้เปิดเผยว่าที่ค่า standard error ของการคาดคะเนอันเดียวกันหรือคล้ายกันจะสามารถใช้การสังเกตทั้งหมดภายในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ และจำนวนที่ตั้งได้มากมายที่อยู่ในขอบเขตภูมิอากาศเดียวกัน (Altman 1977) และยังได้พบว่าค่าแจกแจงสุดท้าย (อัตราฝนตกเฉลี่ยสูงสุด 5 นาที) เป็นการประมาณค่าแบบ lognormal และข้อมูลภายในช่วงเวลา 10 ปีนั้นพอที่จะคาดคะเนอัตราการตกของฝนเฉลี่ยสูงสุด 5 นาที ที่เกิดขึ้นได้ในช่วงเวลาถึง 50 ปี

แบบการแจกแจงได้ถูกรับรองโดยการบันทึกเพียงสั้น ๆ ของการทดลอง สำหรับใช้ในการคาดคะเนสถิติการตกของฝนเป็นจุด ๆ อย่างไรก็ตามการบันทึกข้อมูลยาว ๆ หรือเป็นเวลานาน ๆ ก็ยังเป็นที่ต้องการอยู่ในการค้นคว้า เพื่อที่จะใช้ข้อมูลนั้นได้อย่างสมบูรณ์ทั้งในแบบ log-normal หรือการแจกแจงแบบแถบมา ซึ่งเป็นแบบที่ได้ถูกรับรองแล้ว สำหรับใช้ในขอบเขตหรือที่ตรงรวม ๆ กัน (Fedi และ Merlo 1977) จากที่ได้กล่าวมาแล้วทำให้เห็นได้ว่าแบบของการแจกแจงสามารถประเมินค่าได้ดีกว่า ถ้าเรานำไปประยุกต์ใช้กับชนิดของอัตราการตกของฝนที่เกิดขึ้นเข้าไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามการบันทึกเวลาให้เพียงพอก็ยังต้องการอยู่ในแต่ละแบบนั้น ๆ

2. คุณสมบัติแบบทั่ว ๆ ไปของการตกของฝน

เป็นที่รู้กันแล้วว่าการตกของฝนไม่ได้มีลักษณะหรือโครงสร้างเดียวกันตลอด ซึ่งผลจากการศึกษาอย่างมากในหลาย ๆ ประเทศนั้นการตกของฝนจะถูกกำหนดลักษณะโดยค่า spatial auto-correlation coefficient ซึ่งสัมพันธ์เป็นตัวแปรที่สำคัญ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังไม่แน่นอนเลยจะกำหนดออกมาจากการที่ได้ศึกษาในเรื่องนี้ จากการศึกษาแล้วนั้นได้นำไปสู่สูตรซึ่งสัมพันธ์กันเงื่อนไขการแจกแจงความเป็นไปได้ของอัตราการตกของฝนระหว่างจุด 2 จุดตามเส้นทางบนพื้นโลก ซึ่งได้ศึกษาในประเทศญี่ปุ่น สูตรที่ได้นั้นไม่ขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งที่ตั้งหรือว่าขอบเขต และเปอร์เซ็นต์ของเวลาเมื่อมันมีค่าน้อยกว่า 0.1% ของช่วงเวลาอย่างน้อยที่สุดหนึ่งปี

2.4 ปรากฏการณ์การเกิดการลทอนของสัญญาณ

ฝนเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระคายสัญญาณของคลื่นไมโครเวฟ และมีลิเมตรเวฟลดต่ำลง ผลของฝนทำให้เกิดสาเหตุดังกล่าว อาจจะสรุปได้ดังนี้คือ

- เกิดการดูดซับพลังงานจากคลื่นในรูปของความร้อน
- เกิดการกระจายออกของคลื่น เมื่อชนกันเข้ากับโมเลกุลของหยดน้ำฝน
- เกิดการตีโพลาไรซ์ของคลื่น ซึ่งเป็นผลให้เกิด cross polarized ที่ด้านรับ

จากที่กล่าวข้างบนว่าการลทอนสัญญาณลงของคลื่นวิทยุ ซึ่งเดินทางผ่านฝนนั้นจะมีสาเหตุจากการเกิดการดูดซึมและการแตกกระจายออกของคลื่น โดยหยดน้ำฝนที่มีขนาดต่าง ๆ กัน สิ่งนี้เราเรียกว่าเกิดการลทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน การลทอนของสัญญาณต่อหนึ่งหน่วยความยาวหรือระยะทางนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของการลทอนสัญญาณ γ_R แสดงได้ดังนี้

$$\gamma_R = 4.343 \times 10^3 \int_0^\infty n(ar) Q(ar, \lambda) da \quad (dB/km) \quad (1)$$

ซึ่ง $n(ar)$: จำนวนของหยดน้ำฝน ซึ่งมีรัศมี ar ในหนึ่งหน่วยปริมาตร

$Q(ar, \lambda)$: extinction cross-section ของหยดน้ำฝนสำหรับคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่น λ

extinction cross section สำหรับหยกน้ำฝนหยกเดียว เป็นผลรวมของการกระจายของส่วนตัดและการดูดซึมของส่วนตัด คูณด้วยค่า dielectric constant ของน้ำซึ่ง R สามารถนำมาคำนวณได้โดยใช้การแจกแจงขนาดของหยกน้ำฝน

อัตราการตกของฝน R สัมพันธ์กับขนาดของหยกน้ำฝน ดังสมการต่อไปนี้

$$R = \int_0^{\infty} n(ar) \left(\frac{4\pi}{3} a^3 r \right) \rho_w \mathcal{V}(ar) da \quad (2)$$

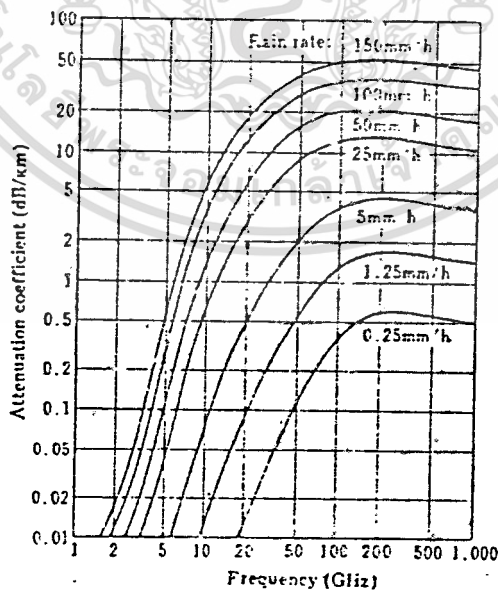
ซึ่ง ρ_w : ความหนาแน่นของน้ำ

$\mathcal{V}(ar)$: ความเร็วปลายของหยกน้ำฝนซึ่งมีรัศมี ar ที่พื้นผิวโลก

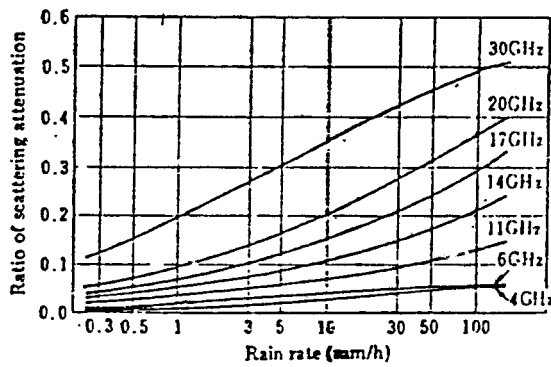
ในสมการ (1) นั้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแจกแจงขนาดของหยกน้ำฝนกับสัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน และสมการ (2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับการแจกแจงขนาดของหยกน้ำฝน ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณและอัตราการตกของฝน สามารถแยกจากกันได้ ดังความสัมพันธ์ทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว

ในรูป 2.3 นั้นแสดงให้เห็นผลจากการคำนวณ ซึ่งค่าต่าง ๆ ที่แสดงในรูปนี้ได้ทำการพิสูจน์ทั้งทางทฤษฎีและการทดลองแล้ว ซึ่งได้ผลเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน

เมื่อความยาวคลื่นของคลื่นวิทยุมีความกว้างมาก ๆ พอ ๆ กับขนาดของหยกน้ำฝนแล้วการลดทอนสัญญาณส่วนมากจะเนื่องจากการดูดซึม ในขนาดที่ผลจากการกระจายของคลื่นโดยหยกน้ำฝน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวคลื่นลดลง



Raindrop-size distribution : Laws and Parsons, 1943
 Terminal velocity of raindrops : Gunn and Kinzer, 1949
 Dielectric constant of water at 20°C : Ray, 1972



Raindrop-size distribution : Laws and Parsons distribution
 Raindrop temperature : 10°C

รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตกของฝนกับการกระจายของคลื่น

$$= \frac{\text{scattering cross-section}}{\text{extinction cross-section}}$$

ในรูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของผลจากการกระจายคลื่นกับการลดทอนสัญญาณรวม สัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณ τ_R อาจแสดงได้ดังนี้

$$\tau_R = aR^b \quad (\text{dB/km}) \quad (3)$$

ซึ่ง R : อัตราการตกของฝน (mm/h)

a และ b : สัมประสิทธิ์ของความถี่

ที่ความถี่ระหว่าง 1 และ 50 GHz ค่า b ประมาณได้ว่ามีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้น สัมประสิทธิ์การลดทอนสัญญาณคือ สัดส่วนของอัตราการตกของฝนในช่วงความถี่นั้น ๆ

การดูดซับพลังงานเนื่องจากฝน

คุณสมบัติทางกายภาพของหยกน้ำฝน ประการที่มีผลในการดูดซับพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ

หยกน้ำฝนแต่ละหยกคล้ายเป็นตัวนำที่ไม่สมบูรณ์ เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางผ่านไปจะเหนี่ยวนำให้เกิด displacement current ขึ้นและความหนาแน่นของกระแสดังกล่าวนี้จะมีผลต่อการดูดซับพลังงานของคลื่นเป็นอย่างมาก. เนื่องจาก displacement current แปรผันโดยตรงกับค่า dielectric constant (ϵ) และค่า ϵ ของน้ำมีค่าประมาณ 30 เท่าของอากาศ (ϵ_0) ค่า displacement current นี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$I_d = \epsilon \frac{d\phi E}{dt} \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง ϕE : electic flux (volt meter)

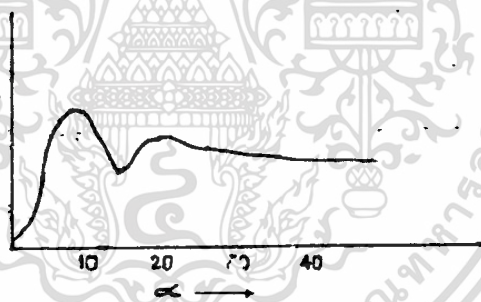
ความหนาแน่นของกระแส I_d เป็นสัดส่วนกับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้น ในย่านความถี่เซนติเมตรเวฟ และมิลลิเมตรเวฟ กระแสเหล่านี้จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเป็นผล ทำให้เกิดการดูดซับพลังงานโดยหยุคน้ำฝน ซึ่งลักษณะดังกล่าวเป็นการลดทอนกำลังของคลื่นวิทยุ

2.5 การลดทอนกำลังเนื่องจากการกระจายออกของคลื่น

ฝนจะเป็นตัวการทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นซ้อน secondary/radiation หรือการกระจายออกของคลื่น (scattering) ในทางปฏิบัติผลการกระจายออกของคลื่นมีผลในการลดทอนกำลังเกี่ยวกับทิศทางของคลื่น กล่าวคือ แทนที่คลื่นจะเดินทางไปในทิศทางเดียวกันทั้งหมด คลื่นจะมีบางส่วนที่กระจายออกทุกทิศทาง

การสูญเสียกำลังเนื่องจากการกระจายออกของคลื่น สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\delta = 4.34 \times 10^5 \text{ N l/cu.cm K } 2910^2 \quad (5)$$



รูป 2.5 เป็นกราฟของ traiton-Houston formula ใช้สำหรับหาค่าของ k โดยสัมพันธ์กับค่า α

ค่า α หาได้จากสมการ

$$\alpha = \frac{2910^2}{\lambda} \quad (6)$$

สมการ (5) นั้นสามารถเชื่อมโยงทฤษฎีการกระจายของคลื่นแบบ Ray leigh ซึ่งใช้กับกรณีที่มีความยาวคลื่นมีขนาดเป็นหลายเท่าของอนุภาคที่เป็นตัวกระจายคลื่น (ในกรณีดังกล่าวสัมประสิทธิ์การดูดซับพลังงานจะเป็นส่วนกลับกับความยาวคลื่น) เข้ากับทฤษฎีการกระจายเอกสวรินเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแบบ Mic ซึ่งใช้กับกรณีที่ขนาดของอนุภาคที่เป็นตัวกระจายคลื่นมากกว่าความยาวคลื่นหลาย ๆ เท่า ในกรณีหลังนี้สัมประสิทธิ์การดูดซับพลังงานจะไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นอีกต่อไป

ระบบไมโครเวฟโดยทั่วไปจะถูกรอกแบบไว้ว่า ช่วงเวลาที่ติดต่อกันไม่ได้เนื่องจากการมีฝนตกหนัก จะต้องน้อยกว่า 10 นาที/ปี/ช่วง เป็นที่ทราบแล้วว่าคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ตั้งแต่ 10 GHz ขึ้นไป สัญญาณจะมีระดับลดต่ำลง เนื่องจากการกระจายออกของคลื่นและการดูดซับพลังงานเนื่องจากมีฝนตกอย่างหนัก เป็นผลทำให้สัญญาณที่รับได้มีระดับลดลงและจะมีเสียงรบกวนเพิ่มขึ้น

ค่าของการลดต่ำลงของสัญญาณไมโครเวฟในช่วง 1 กิโลเมตร ภายใต้สภาพฝนตกที่เท่ากันสม่ำเสมอ อาจประมาณได้จากสมการ (๗)

$$Z_0 = \Gamma R^n \quad (\text{dB/km}) \quad (๗)$$

เมื่อ R : ปริมาณฝนตก (มม./นาที)

Γ : ส.ป.ส. ของความถี่

n : ส.ป.ส. ของโพลาริไรซ์เซชัน

ที่ความถี่ 11.7 GHz, $\Gamma = 2.3$, n = 1.189

ที่ความถี่ 15.25 GHz, $\Gamma = 3.8$, n = 1.116

สำหรับฝนที่ตกลงมานั้น โดยทั่วไปจะตกเป็นปริมาณไม่เกินระยะทาง 10 กิโลเมตร และปริมาณการตกของฝนก็ไม่สม่ำเสมอตลอดเวลา สำหรับสภาพภูมิอากาศแถบเอเชีย จะมีฝนตกก็เฉพาะในฤดูฝนเท่านั้น ในฤดูอื่นจะมีฝั้่นน้อยมาก และการตกของฝนในฤดูฝนประมาณได้ร้อยละ 70 ของช่วงฤดูฝน ด้วยเหตุนี้ ส.ป.ส. การชดเชย K_p จึงถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าที่แท้จริงของการคำนวณหาค่ากำลังของคลื่นที่ถูกลดทอนเนื่องจากฝน ค่า ส.ป.ส. K_p นี้แสดงอยู่ในรูปของ hop distance ความสูงเฉลี่ยของเส้นทางของฝน ความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำฝนที่ตกและสภาพภูมิประเทศในบริเวณเส้นทางของการส่งกระจายคลื่น

การลดต่ำลงของระดับสัญญาณเนื่องจากฝนที่ความน่าจะเป็น "p" ในเส้นทางของคลื่นที่ใช้กันอยู่จริง ๆ นั่นคือ Z_p ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากสมการ (๘)

$$Z_p = \Gamma R_p^n \cdot d \cdot K_p \quad (\text{dB}) \quad (๘)$$

ซึ่ง R_p : ปริมาณฝนตกที่ค่าความน่าจะเป็น (มม./นาที)

d : ระยะทางในแต่ละ hop (กม.)

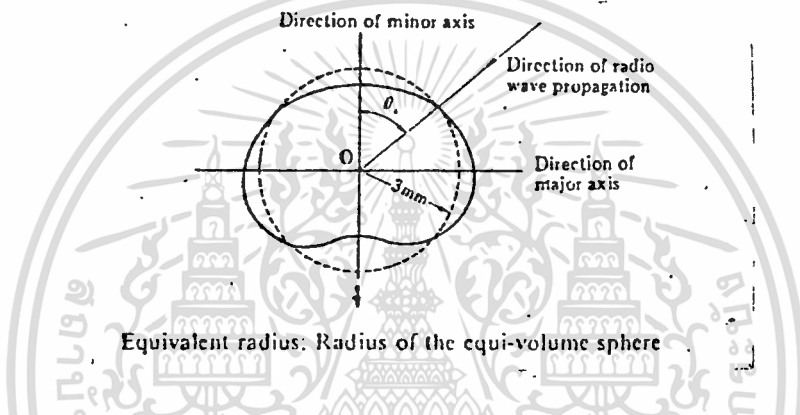
K_p : ส.ป.ส. การชดเชย

n : ส.ป.ส. การโพลาริไรซ์เซชัน

2.6 การคิโปลาไรซ์เนื่องจากฝน

ปรากฏการณ์ของการคิโปลาไรซ์

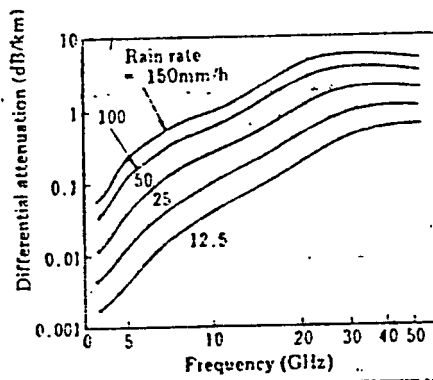
โดยทั่วไปรูปร่างของหยดน้ำฝนจะเป็นทรงกลม แต่อย่างไรก็ตามรูปร่างของหยดน้ำฝนอาจจะแบนก็ได้ ซึ่งจะทำให้หยดน้ำฝนมีขนาดใหญ่ขึ้นดังที่แสดงในรูป 2.6 จากการทำไม่เป็นทรงกลมตามธรรมชาตินี้เอง การคูกกลืนและการกระจายของคลื่นโดยฝนนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับการทำของตัวมันเองให้เข้ากับการเกิดโปลาไรซ์ของคลื่นตกกระทบ การลดทอนสัญญาณและการเลื่อนของเฟสขึ้นอยู่กับหยดน้ำฝน ซึ่งมันจะมีค่ามากที่สุดสำหรับการเกิดโปลาไรซ์เซชัน ซึ่งมีแกนโปลาไรซ์สอดคล้องกับแกนใหญ่ของหยดน้ำฝน และมีค่าน้อยที่สุดเมื่อการโปลาไรซ์เซชัน มีแกนโปลาไรซ์สอดคล้องกับแกนย่อยของหยดน้ำฝน



รูปที่ 2.6 ลักษณะรูปร่างของเม็ดฝน

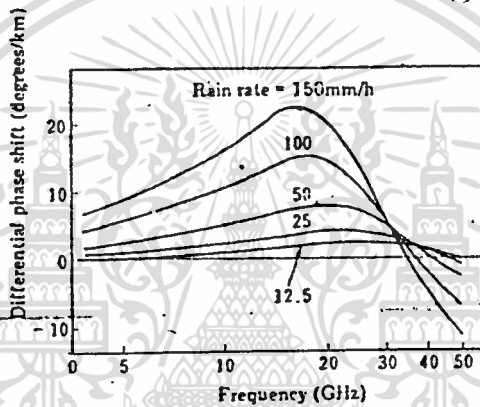
ความแตกต่างในการลดทอนสัญญาณและการเลื่อนของเฟสในระหว่างเหตุการณ์ 2 เหตุการณ์เราเรียกว่า differential attenuation และ differential phase shift ตามลำดับ ในรูป 2.7 และ 2.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับ differential attenuation และ differential phase shift ต่อหนึ่งหน่วยความยาว (1 กม.) ตามลำดับซึ่งได้ถูกคำนวณไว้ที่อัตราการตกของฝนต่าง ๆ กันค่าต่าง ๆ ที่แสดงในรูปนี้เราได้จากการที่สมมติว่าหยดน้ำฝนอยู่ในตำแหน่งที่สองคล้องกับเส้นทางการกระจายคลื่นและมุมตกกระทบของคลื่นที่กระทำกับหยดน้ำฝน (มุมระหว่างแกนย่อยของหยดน้ำฝนกับเส้นทางการกระจายคลื่น) มีค่า 90 องศา ค่า differential attenuation และ differential phase shift สำหรับมุมตกกระทบ θ_c สามารถหาได้จากค่าต่าง ๆ ที่แสดงในรูปเหล่านั้นถูกด้วยแฟกเตอร์ของ $\sin^2 \theta_c$ ในกรณีที่มุมเอียงของหยดน้ำฝนไม่มีความสำคัญในทางเดินของการกระจายคลื่นที่เหมือนกันแล้วเราจะไม่นำเอาผลของค่าคงที่ของ differential propagation มาคิด และ differential attenuation สามารถคำนวณได้จากค่าที่ได้กล่าวมาแล้วคูณด้วย $e^{(-\sigma^2)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7

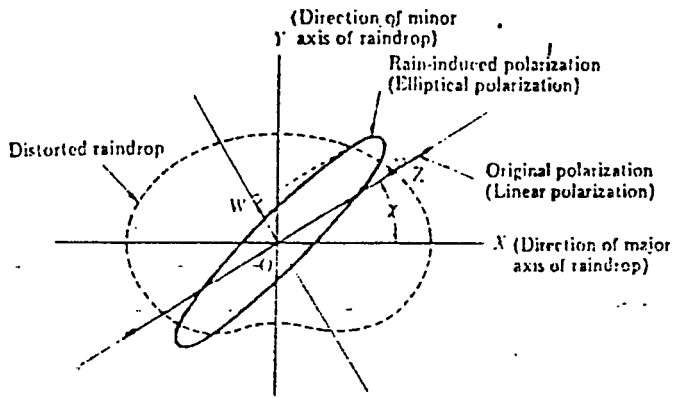
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการลดทอนที่อัตราการตกของฝนต่างกัน



รูปที่ 2.8

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับการเลื่อนของเฟสที่อัตราการตกของฝนต่างกัน

การที่ค่า differential attenuation และ differential phase shift ซึ่งขึ้นอยู่กับฝนเกิดมีขึ้นจริง ๆ นั้น ก็ไม่ได้เป็นปัญหาที่น่าหนักใจ ในระบบการติดต่อสื่อสารโดยการส่งแบบโพลาริซ์เดียว ๆ เลย อย่างไรก็ตามมันสามารถที่จะทำให้การแยกจากกันของโพลาริซ์ เซชันมีค่าลดลงมากขึ้น โดยการเพิ่มสัญญาณแทรกเข้าไปในระบบการติดต่อสื่อสารโดยการส่งแบบโพลาริซ์คู่



\overline{OZ} : Co-polarization component of rain-induced polarization
 \overline{OW} : Cross-polarization component of rain-induced polarization

รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดโพลาไรซ์เซชันเนื่องจากฝน

รูปที่ 2.9 แสดงตัวอย่างของการดีโพลาไรซ์ของฝน ในรูปคลื่นลิเนียร์ โพลาไรซ์ $E(t)$ ซึ่งมีแกนโพลาไรซ์เอียงเป็นมุม α กับแกนใหญ่ของหยดน้ำฝนที่เบี้ยวไป โดยสมมติว่าเป็นมุมตกกระทบ กับแกนนอน $\theta_i = 90^\circ$

ให้ $E(t) = E_0 \cos \omega t$
 ซึ่ง E_0 : แอมพลิจูดสูงสุดของสนามไฟฟ้า
 ω : ความถี่เชิงมุม
 t : เวลา

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านเม็ดฝนที่เบี้ยวไปนั้น ส่วนประกอบของสนามไฟฟ้าในทิศทางของแกนใหญ่ (x) จะมีผลโดยเกิดการลดทอนสัญญาณ a_x และเฟสเลื่อนไป b_x และส่วนประกอบในทิศทางของแกนย่อย (y) จะมีผลโดยเกิดการลดทอนสัญญาณ a_y และเฟสเลื่อนไป b_y ตามลำดับ และสนามไฟฟ้า E_x กับ E_y ที่ได้รับหลังจากทางผ่านหยดน้ำฝนนั้น เป็นผลจากการลดทอนของสัญญาณและการเลื่อนของเฟส การตัดค่า ωt ทั้งจากค่าทั้งสองที่ได้แสดงมานั้น จะทำให้ได้สมการดังนี้

$$\frac{E_x^2}{C_x^2} + \frac{E_y^2}{C_y^2} - \frac{2}{C_x C_y} \cos (b_x - b_y) E_x E_y = \sin^2 (b_x - b_y) \quad (9)$$

โดย $C_x = 10^{-a_x/20} \cos \alpha$
 $C_y = 10^{-a_y/20} \sin \alpha$

ค่าแตกต่างระหว่าง a_x กับ a_y และระหว่าง b_x กับ b_y นั้นขึ้นอยู่กับค่า differential attenuation และ differential phase shift สำหรับหยดน้ำฝนหยด

เดียวตามลำดับ สมการที่ (9) นั้น โดยทั่วไปจะแสดงสำหรับรูปไขว้ของ α ดังรูป 9

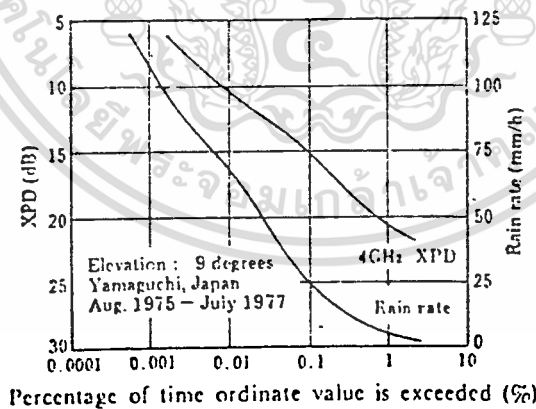
กล่าวคือ โพลาริเซชันแบบลิเนียร์ จะถูกเปลี่ยนไปเป็นโพลาริเซชันแบบวงรี โดยส่วนของ ครอสโพลาริเซชัน 0° จะตั้งฉากกับแกน $0^\circ Z$ ในทำนองเดียวกัน โพลาริเซชันแบบวงกลมจะ ถูกเปลี่ยนไปเป็นโพลาริเซชัน แบบวงรี ซึ่งขึ้นกับค่า differential attenuation และ differential phase shift ซึ่งเป็นผลมาจากการสร้างของ ครอสโพลาริเซชันซึ่งจะหมุน ในทิศทางตรงกันข้าม

สำหรับโพลาริเซชันแบบวงกลมและแบบลิเนียร์ ค่าแตกต่างของ ครอสโพลาริเซชัน ใช้วัดสำหรับหาความบริสุทธิ์ของการโพลาริเซชัน ซึ่งแสดงได้ด้วยอัตราส่วนระหว่าง CO และ ครอส โพลาริเซชัน ดังนี้

$$XPD = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Power of the co-polarization component}}{\text{Power of the cross-polarization component}} \right)$$

ในการติดต่อสื่อสารระบบโพลาริเซชันแบบคู่กันใช้ 2 Orthogonal polarization ซึ่งมันทำให้แน่ใจว่าอย่างน้อยที่สุดจะมีค่า XPD เพียง 20 เดซิเบล ระหว่างที่เกิดสถานีภาคพื้นดิน ในการติดตั้งวงจรทดแทน การคิโพลาริเซชันเพื่อที่จะทำให้การเป็นมอดูระหว่างช่องซึ่งตั้ง จากกัน 2 ช่องนั้นกลับคืนดั้งเดิม

รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นผลของการทดสอบ การคิโพลาริเซชันของฝน ซึ่งทำการทดสอบ ที่เมืองยามากุชิ ประเทศญี่ปุ่น โดยการรับสัญญาณโพลาริเซชันแบบวงกลมที่มีความถี่ 4 GHz



รูปที่ 2.10 กราฟการทดสอบการเกิดคิโพลาริเซชันของฝน

จากดาวเทียม INTERSAT IV ที่มีมุมเงยค่าประมาณ 9 องศา ระหว่างการทดลองนี้ค่า XPD ที่น้อย ที่สุดมีค่า 6 เดซิเบล และค่า XPD สำหรับ 0.01% ของเวลามีค่าประมาณ 10 เดซิเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 วิธีง่าย ๆ ในการทำนายการคิโปลาไรซ์ของฝน

สำหรับบริเวณซึ่งสถิติของการคิโปลาไรซ์ของฝนไม่อาจหาได้นั้น ค่า XPD จะถูกคาดคะเนจากสถิติของอัตราการตกของฝน ซึ่งใช้วิธีการดำเนินการคล้าย ๆ กันที่ใช้ในการคำนวณของการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน ขั้นตอนต่อไปนี้จะแสดงถึงวิธีการสำหรับคำนวณค่า XPD สำหรับ 0.01% ของเวลา

1. หาอัตราการตกของฝนที่ 0.01% ของเวลา, $R_{0.01}$, สำหรับบริเวณที่เราต้องการหา
2. คำนวณค่า differential attenuation A และ differential phase shift B รวมตามระยะทางระหว่างโลกกับดาวเทียมค้างสมการต่อไปนี้

$$A = \alpha(f, R_{0.01}) \cdot L_{0.01} \quad (\text{db}) \quad (10)$$

$$B = \beta(f, R_{0.01}) \cdot L_{0.01} \quad (\text{degrees}) \quad (11)$$

ซึ่ง $\alpha(f, R_{0.01})$ และ $\beta(f, R_{0.01})$ แสดงถึงค่า differential attenuation และค่า differential phase shift ต่อหนึ่งหน่วยความยาวที่ความถี่ f และอัตราการตกของฝน $R_{0.01}$, $L_{0.01}$ เป็นค่า effective pathlength ที่ผ่านฝนสำหรับ 0.01% ของเวลา

3. คำนวณ XPD โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{XPD} = 20 \log_{10} \left| \frac{1 + e^{A'} + jB}{1 - e^{A'} + jB} \right| \quad (\text{dB}) \quad (12)$$

สำหรับโปลาไรซ์เซชันแบบลิเนียร์

$$\text{XPD} = 20 \log_{10} \left| \frac{1 + \tan^2 \chi \cdot e^{A'} + jB}{(1 - e^{A'} + jB) \tan \chi} \right| \quad (\text{dB}) \quad (13)$$

ซึ่ง χ : มุมของการโปลาไรซ์เซชันของโปลาไรซ์เซชันแบบลิเนียร์ ซึ่งขึ้นกับแกนหลังของหยดน้ำฝนที่เบี่ยงไปนั้น

A' มีค่าสัมพันธ์กับ A ในสมการที่ (10) ดังนี้

$$C^A = 10^{-A/20}$$

ตามที่แสดงในสมการดังกล่าว ค่าของ XPD สำหรับโปลาไรซ์เซชันแบบลิเนียร์จะแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับแกนเดิมของการโปลาไรซ์เซชัน สำหรับค่า $\chi = \pm 45^\circ$ ค่า XPD จะมีน้อยที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการที่ครอสโพลาไรซ์เซชัน มีค่ามากที่สุดก็เมื่อ $\psi = 0$ หรือ 90 นั่นก็คือ เมื่อแกนโพลาไรซ์เซชัน ซนนานหรือตั้งฉากกับแกนหลักของหยกหน้าผที่เบี่ยงไปนั่นเอง ค่า XPD จะมีค่าไม่มีที่สิ้นสุด และการตีโพลาไรซ์จะไม่เกิดขึ้น ถ้า XPD สำหรับโพลาไรซ์เซชันแบบวงกลมจะเท่ากับในกรณีที่เลวที่สุดของโพลาไรซ์เซชันแบบ linear เสมอ ($\psi = 45$)

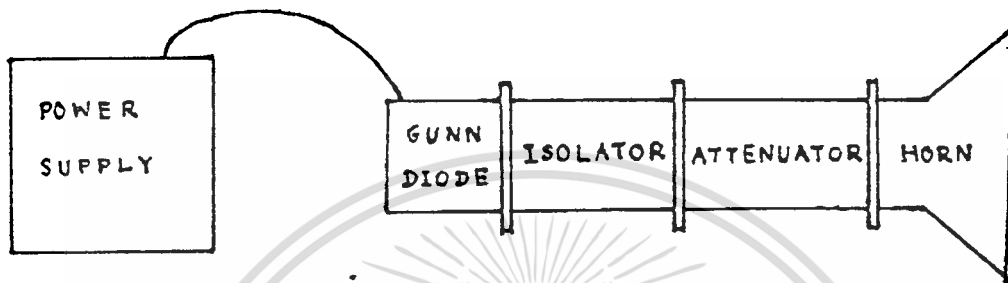
นอกเหนือจากการตีโพลาไรซ์เซชันเนื่องจากผแล้ว การตีโพลาไรซ์เซชันเนื่องจากอนุภาคของน้ำแข็งที่ละลายกลายเป็นน้ำ ก็ได้มีรายงานจากการทดลองในระยะทางระหว่างโลกกับดาวเทียมอยู่บ้าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

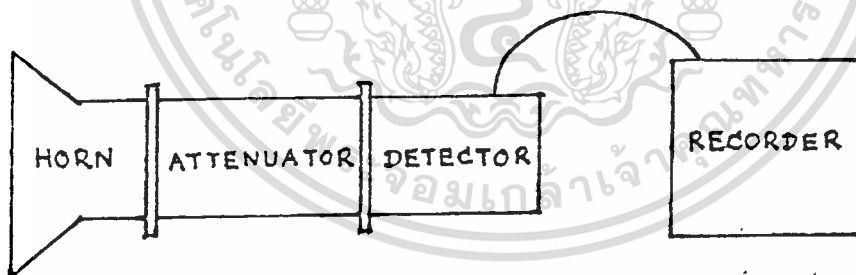
2.8 วิธีการทดลอง

การทดลองงานวิจัยในเรื่อง การลดทอนสัญญาณไมโครเวฟ เนื่องจากฝน. ในครั้งนี้ได้ทำการทดลองบนคาบฟ้าศึกโทรคมนาคม โดยได้ทำการทดลองต่างจากปีก่อน คือ ได้ใช้ความถี่ในการทดลองเป็น 9.3 GHz โดยอาศัยสายอากาศชนิด Horn Antenna เป็นตัวรับส่งคลื่นโดยใช้ Gunn Diode เป็นตัวกำเนิดสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งทางด้านเครื่องส่งคลื่นมีส่วนประกอบดังรูป 2.11.



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบทางด้านเครื่องส่ง

ส่วนทางด้านเครื่องรับได้ detect สัญญาณโดยใช้ Klystal Mount และนำสัญญาณที่รับได้ต่อเข้ากับเครื่อง Recorder (เครื่องพล็อตกราฟ) ทำให้สามารถบันทึกการลดทอนของช่องคลื่นที่เกิดจากเม็ดฝนได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งทางด้านเครื่องรับมีส่วนประกอบดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบทางด้านเครื่องรับ

ส่วนในการวัดปริมาณน้ำฝนได้ใช้เครื่องรองรับน้ำฝนต่อเข้ากับเครื่องพิมพ์อัตโนมัติโดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อฝนตกได้ปริมาณน้ำฝนตามที่กำหนด เครื่องรองรับน้ำฝนจะทำให้เกิดการครบวงจรโดยอาศัยการไหลของปรอททำให้เครื่องพิมพ์อัตโนมัติพิมพ์เวลาขณะนั้นออกมา ซึ่งทำให้สามารถหาปริมาณน้ำฝนได้จากความถี่ที่พิมพ์ออกมาจากเครื่องพิมพ์อัตโนมัติและปริมาณน้ำฝนที่กำหนดให้เครื่องพิมพ์ เวลาออกมาในแต่ละครั้ง ซึ่งในการทดลองนี้เป็น 0.125 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการวัดและคำนวณผลในทุก 5 นาที

ปริมาณฝนที่ตกใน 5 นาที (มม./ 5 นาที)	ระดับ ของสัญญาณ ที่ลดลง (dB)	ค่าเฉลี่ย (dB)
0.125	0.480, 0.776, 0.776, 0.660 0.392, 0.466	0.592
0.250	0.480, 0.892, 0.776, 1.010 0.714	0.7744
0.375	0.916, 0.892, 1.130, 1.584	1.1305
0.500	0.892	0.892
0.625	1.010	1.010
2.000	2.362, 1.878	2.120
2.125	1.252	1.252
3.500	1.608	1.608
5.500	2.732, 2.826	2.779

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากตาราง จะเห็นได้ว่า Loss ของสัญญาณจะเพิ่มตามปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้น แต่ในบางช่วงเวลา ระดับ Loss ของสัญญาณอาจไม่สัมพันธ์กันกับช่วงเวลาอื่น เช่น ช่วงเวลาที่มีปริมาณฝนตก 2.125 มม. มีระดับ Loss ของสัญญาณน้อยกว่าช่วงเวลาที่มีปริมาณฝนตก 2.0 มม. กรณีนี้อาจเกิดจากผลของลม ซึ่งเมื่อมีลมพัดที่แรงพอสมควรจะทำให้ระดับของสัญญาณที่ได้รับได้มีค่าไม่คงที่ อาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงค่อนข้างมาก หรืออาจจะเกิดจากความร้อนจากแสงอาทิตย์ในเวลากลางวัน จะทำให้เครื่องวาคกราฟร้อน แล้วทำให้ระดับสัญญาณที่ได้รับได้เพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นกัน ความผิดพลาดในการคำนวณ Loss ต่าง ๆ จึงยังมีอยู่บ้าง

รูปที่ 2.13 การเปรียบเทียบการ-
ลดทอนกับปริมาณน้ำฝน

ผลการทดลองของ
วันที่ 18 ตุลาคม 2532

เวลา

18.00

18.10

18.20

18.30

18.40

18.50

19.00

19.10

19.20

19.30

19.40

1.00 2.00 3.00 4.00 5.00

Evaporation Due To Rain Loss สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

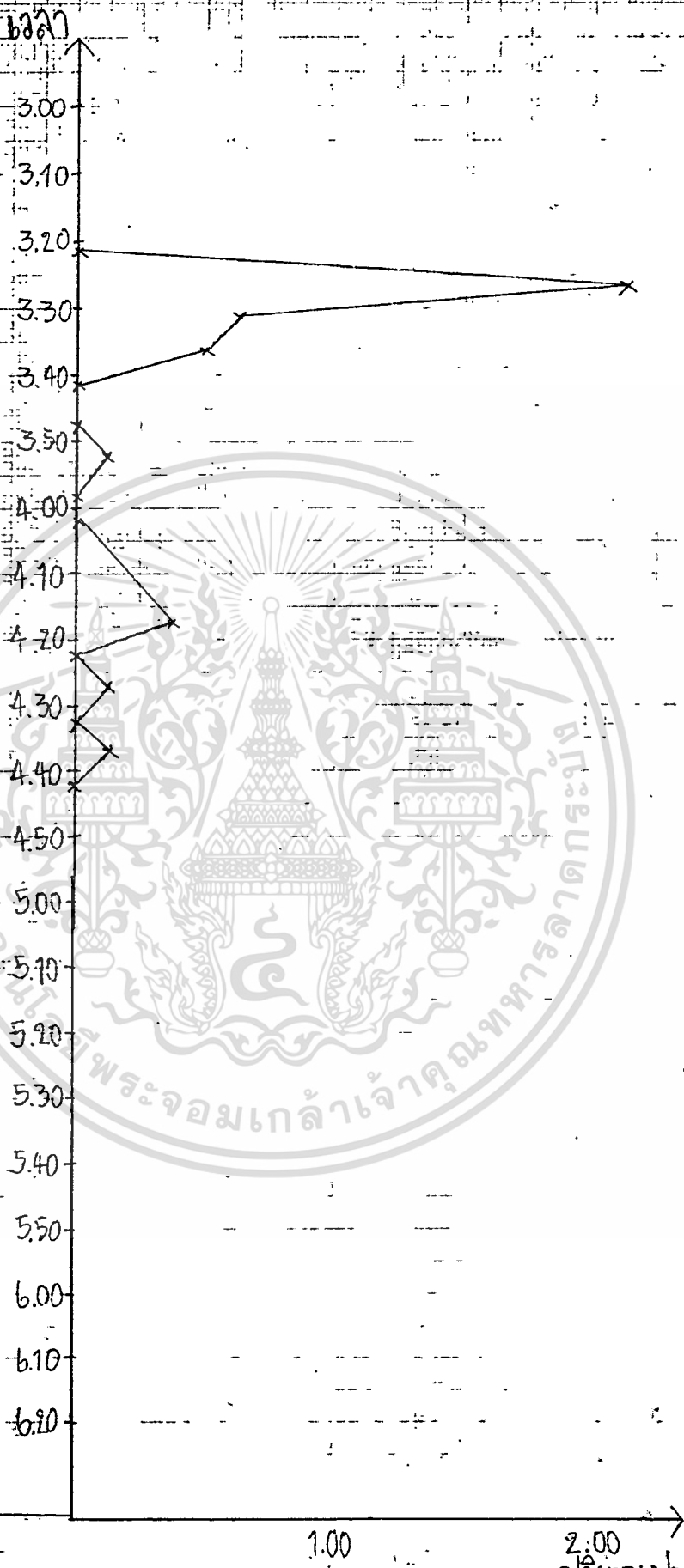
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งท่านมีหน้าที่ปกป้องเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป (สงวน)

B-350-AP10101-041

ผลการทดลอง

รูปที่ 2.14 รูปแสดงการเปรียบเทียบปริมาณการลทอนกับปริมาณน้ำฝน

22 ตุลาคม 2532

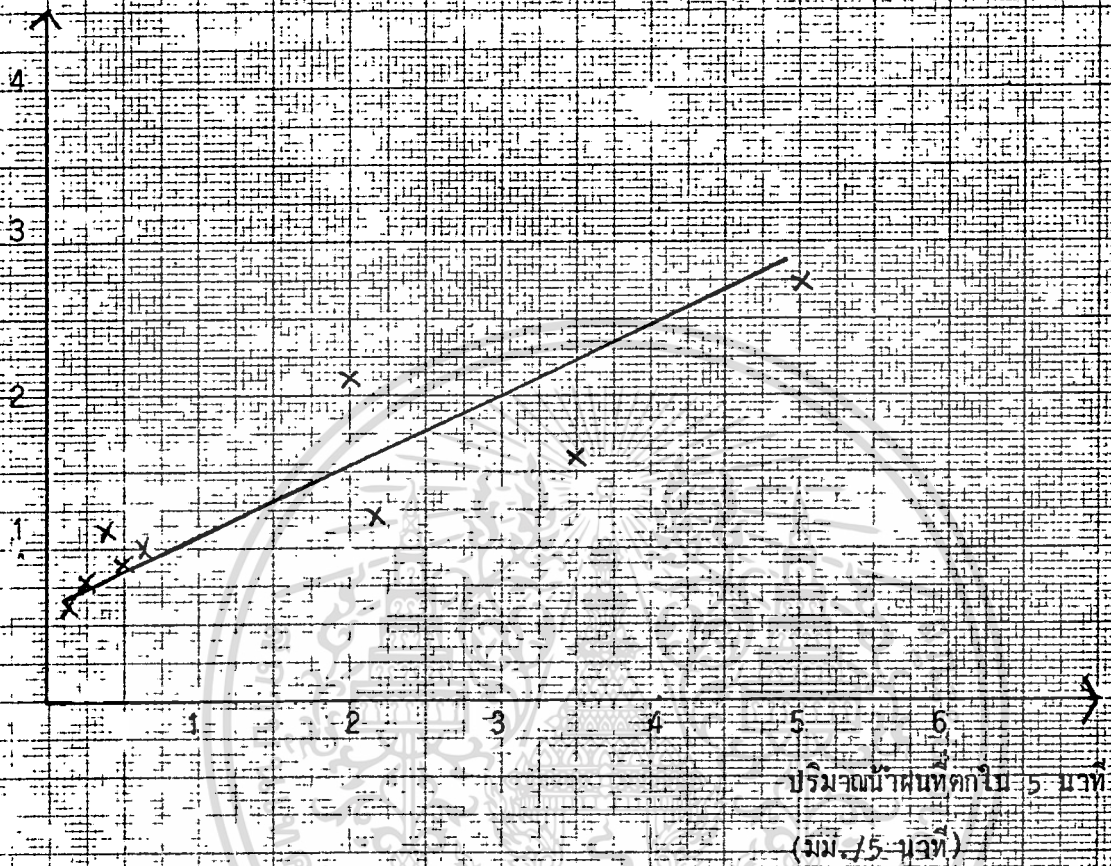


enuation
e To Rain Loss
B)

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับของสัญญาณที่ลดลง (dB)



รูปที่ 2.15 - กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับค่าการสะท้อน
คลื่นไมโครเวฟความถี่ 9.3 GHz

สรุปผลการทดลอง

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านบริเวณที่มีฝนตก เป็นผลให้ระดับสัญญาณที่รับได้ที่ด้านรับลดลงต่ำกว่าปกติ คุณสมบัติของฝนที่มีผลต่อการลดทอนกำลังของคลื่นไมโครเวฟมีดังต่อไปนี้

1. การดูดซับพลังงานของคลื่น โดยเปลี่ยนรูปจากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน และค่าการดูดซับพลังงานนี้จะแปรผันโดยตรงกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น
2. กระจายคลื่นออกไปทุกทิศทาง เมื่อคลื่นชนกับโมเลกุลของหยดน้ำฝน และบางส่วนของคลื่นที่กระจายออกนั้น จะไปเข้าที่งานสายอากาศของด้านรับผลก็คือ ทำให้สัญญาณที่รับได้มีเฟสและแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไป ผลการกระจายออกนี้จะแปรผันโดยตรงกับความถี่ เพราะโอกาสที่หยดน้ำฝนเม็ดเล็ก ๆ จะเกิดชนมีมากกว่าเม็ดใหญ่ และหยดน้ำฝนเล็ก ๆ เหล่านี้มีผลต่อคลื่นไมโครเวฟความถี่สูง ๆ
3. เมื่อพิจารณาถึงแนวการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟที่ส่งออกไปคือ คลื่นแบบโพลาริไซซ์ในแนวตั้งกับโพลาริไซซ์ในแนวนอน โดยที่งานสายอากาศด้านรับจะมีความไวเฉพาะคลื่นที่เป็นโพลาริไซซ์ในแนวใดแนวหนึ่งเท่านั้น การเกิดคิโพลาริไซซ์ของคลื่นจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความถี่สูงมาก ๆ (ตั้งแต่ 10 GHz ขึ้นไป)

ผลจากการลดทอนนี้เราอาจตั้งระดับ margin เผื่อไว้ เพื่อให้ระบบการสื่อสารไมโครเวฟนี้สามารถดำเนินไปได้ตลอดเวลา จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองเมื่อนำมาวางลงบนการคาชกราฟแล้ว ผลที่ปรากฏเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีจะได้ผลที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมากพอสมควร แต่ก็มีบางกรณีที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งถือว่าเป็นส่วนน้อย

ทฤษฎีและการทำนายการเกิดปรากฏการณ์ scintillation

เนื่องจาก แรงดึงดูดของโลก และ ความร้อนจากดวงอาทิตย์ มักจะ ทำให้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้ มีลมพัดเคลื่อนที่ในแนวอนขนามไปกับพื้นโลก ซึ่ง ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้มีอิเล็กตรอนอิสระกระจายอยู่มากมาย และ เมื่อเกิด มีลมพัด จะทำให้อิเล็กตรอนอิสระเหล่านั้นเคลื่อนไปตามลม ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ ตัดกับสนามแม่เหล็กโลก จะทำให้เกิดกระแสขึ้น อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของประจุ ไฟฟ้าจากอิเล็กตรอน กระแสนี้เรียกว่า Convection Current จากทฤษฎีของก๊าย และทฤษฎีของความนำจะเป็น ก็จะได้สมการของ Convection Current ดังสมการ ต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 I &= [(Nq_0^2/m)(1/v+j2\pi f)]E \\
 &= [(Nq_0^2/m)(v/v^2+4\pi^2f^2)-(jNq_0^3/m)(2f/v+4\pi^2f^2)]E \quad (1)
 \end{aligned}$$

I : Convection Current Density

N : ความหนาแน่นของอิเล็กตรอน

m : น้ำหนักของอิเล็กตรอน 9.17×10^{-31} กิโลกรัม

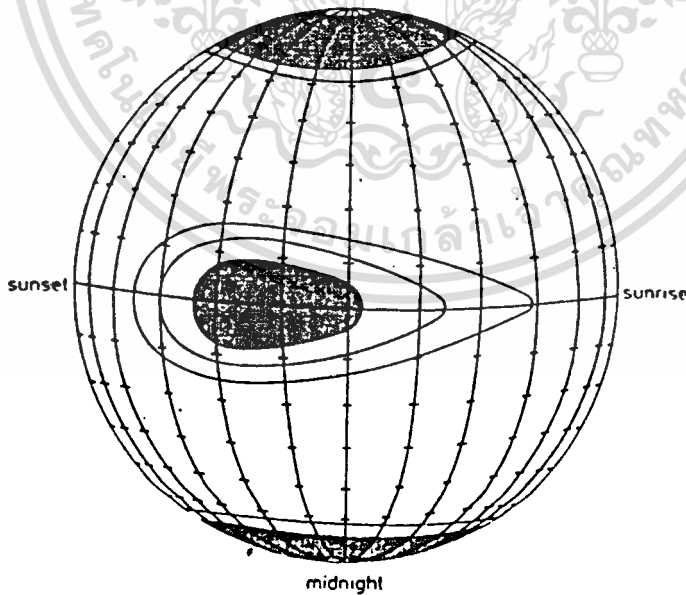
q_0 : ประจุของอิเล็กตรอน 1.602×10^{-19} คูลอมป์

v : จำนวนครั้งที่อิเล็กตรอนชนกับโมเลกุลหรืออะตอมในเวลา 1 วินาที

f : ความถี่ของสนามไฟฟ้า

ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนนี้ จะเคลื่อนไปตามทิศทางลมที่พัด และโดยส่วนมากแล้ว ลมจะพัดพาอิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ซึ่งก็จะทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากตะวันตกไปยังตะวันออก บริเวณที่เกิดกระแสไหลมากที่สุด ก็คือ บริเวณเส้นศูนย์สูตรโลก ซึ่งกระแสส่วนมากจะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศที่สูงประมาณ 110 กิโลเมตร การเกิดกระแสในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้ จะไปทำให้ชั้นบรรยากาศมีค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ ทำให้คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมที่ถูกส่งผ่านมามีเส้นทางการเดินทางเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งจะไปทำให้เกิดการรวมตัวหรือหักล้างกันของเฟสของสัญญาณ และทำให้มีขนาดของแอมพลิจูดที่ไม่คงที่ที่มีการแกว่งกลับไปกลับมา

การเกิดของกระแสในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ทำให้ดัชนีหักเหของชั้นบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงไป สามารถแสดงบริเวณที่เกิดกระแสหนาแน่นได้โดยดูจากรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1
แสดงบริเวณที่เกิดกระแสหนาแน่น

ซึ่งจะเห็นได้ว่า กระแสส่วนมากจะเกิดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร และ บริเวณ
ขั้วโลกทั้งเหนือและใต้ ประเทศไทยก็ตั้งอยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตรด้วยเช่นกัน ทำให้มี
ผลกระทบต่อการศึกษาผ่านดาวเทียมค่อนข้างมาก จึงต้องมีการศึกษาและปรับปรุงต่อไป
ความน่าจะเป็นในการเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
นี้ จากการที่ได้ศึกษาจากหลาย ๆ สถานที่ ก็ได้พบว่า จะมีการเกิดในช่วงเวลา
ที่หลังจากดวงอาทิตย์ตก มากกว่า ในเวลากลางวัน และจะมีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อ
อยู่ใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตร เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า ที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรนั้นจาก
การศึกษาชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์พบว่า มีเส้นแรงแม่เหล็กโลกกับ TEC
(Total Electron Content) อยู่มากที่สุด และเหตุที่มีการเกิด scintillation
ในช่วงเวลากลางคืนมากกว่าในเวลากลางวัน ก็เพราะว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
ระหว่างเวลากลางวันกับเวลากลางคืน ทำให้อากาศร้อนเนื่องจากดวงอาทิตย์ในเวลา
กลางวัน ลอยตัวขึ้นสูงไปแทนที่อากาศเย็นที่อยู่สูงกว่าในเวลากลางคืน ก่อให้เกิดลมที่
พัดแรงในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และก็จะพัดพาอิเล็กตรอนอิสระที่คั่นตามแม่เหล็ก
โลก เป็นผลให้เกิด scintillation ดังกล่าวข้างต้น

ปรากฏการณ์ scintillation เป็นปรากฏการณ์การลดทอนของสัญญาณแบบหนึ่ง ซึ่งการลดทอนของสัญญาณลักษณะต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศ แสดงไว้ดังรูปข้างล่างนี้

	M-curve	Generation mechanism	type	Fading pattern	Component waves to produce fading
Atmospheric			A type (Absorption)		Single wave
			B type (Birefracted path T.)		Two waves
			C type (Scintillation T.)		One main single wave + waves with small amplitude and random phase
			D type (Duct T.)		A number of waves with random phase & amplitude
Atmospheric & ground-based			G type (Surface-duct -for-reflected-ray T.)		One main wave + a number of reflected waves with random phase and amplitude
			K type (Interference-K T.)		Two waves
			T type (Diffraction-K T.)		Single wave

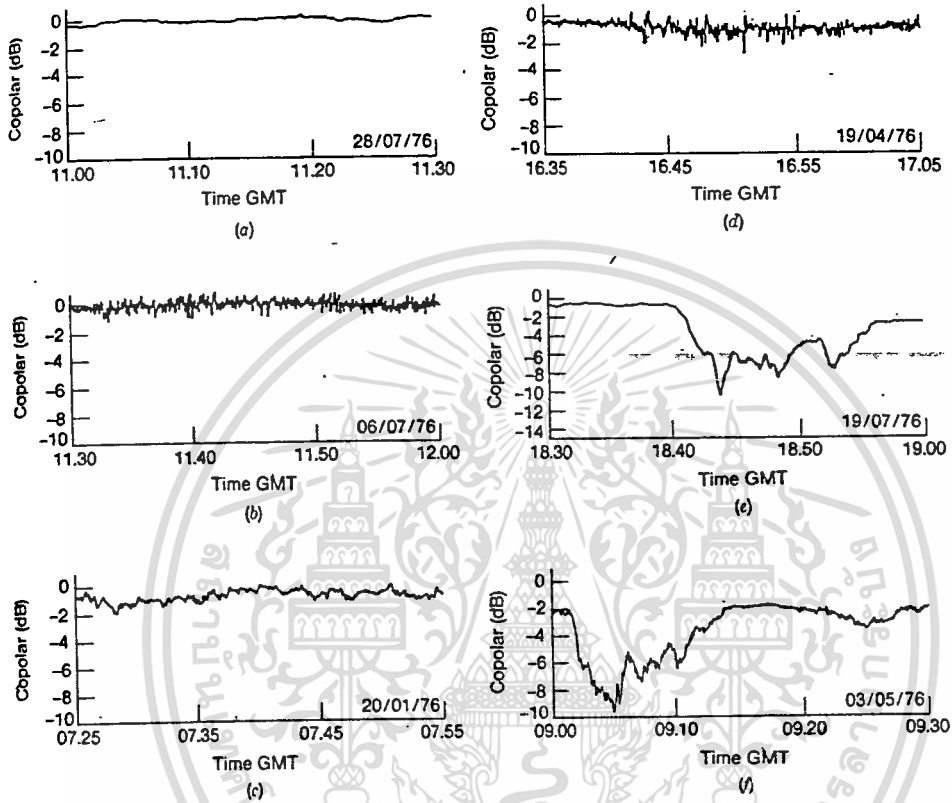
รูปที่ 3.2

แสดงการลดทอนสัญญาณในลักษณะต่าง ๆ ของชั้นบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเมื่อสัญญาณมีการเกิดปรากฏการณ์ scintillation ในหลาย ๆ ลักษณะ

บรรยากาศดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะของสัญญาณในหลาย ๆ ลักษณะบรรยากาศ

รูป (a) การเกิด scintillation เบาบางเมื่ออากาศปลอดโปร่ง

รูป (b) การเกิด scintillation รุนแรงเมื่ออากาศปลอดโปร่ง

รูป (c) การเกิด scintillation เนื่องจากเมฆ

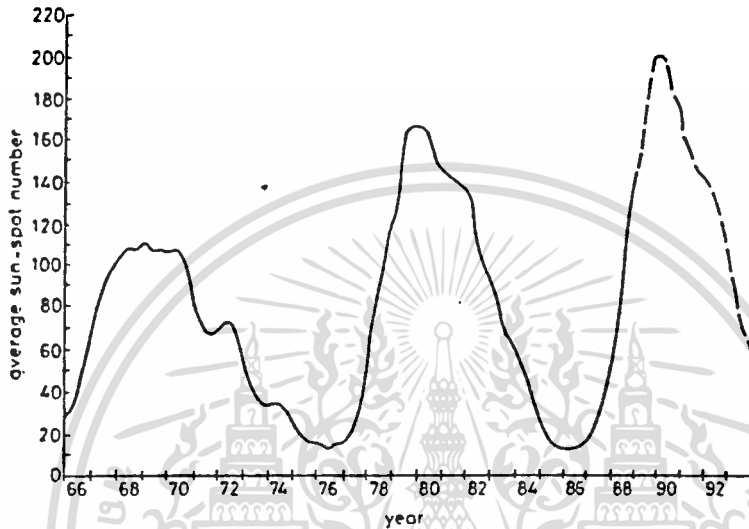
รูป (d) การเกิด scintillation เนื่องจากเมฆ

รูป (e) การเกิด scintillation เนื่องจากฝน

รูป (f) การเกิด scintillation เนื่องจากฝน

แนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของการเกิด scintillation กับจุดดับบนดวงอาทิตย์

กล่าวคือการเพิ่มของจุดดับบนดวงอาทิตย์ จะทำให้มีการเกิดปรากฏการณ์ scintillation เพิ่มมากขึ้นด้วย จากการศึกษาเกี่ยวกับจุดดับบนดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาหลาย ๆ ปี ก็ได้กราฟดังรูปที่ 3.4



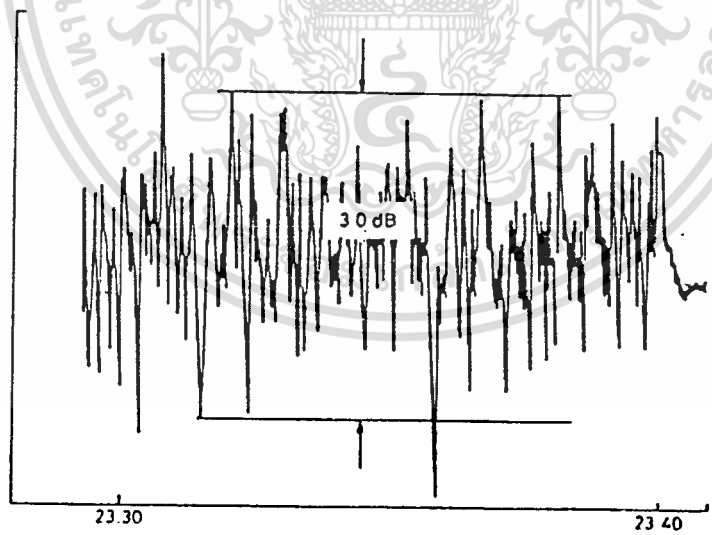
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ในแต่ละปี และการประมาณค่าในอนาคต

ซึ่งเมื่อนำมาประกอบการพิจารณาเกี่ยวกับผลการเกิด scintillation พบว่ามีส่วนสัมพันธ์กัน คือ ปีใดที่จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์มีจำนวนเพิ่มขึ้นปีนั้นก็จะมี การเกิด scintillation มากขึ้นด้วย

จากรูป จะเห็นได้ว่า ในปีต่อ ๆ ไปถัดจากค.ศ.1990 จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์จะมีค่าลดลง ซึ่งจะเป็นการที่ต่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมเพราะจะทำให้เกิด scintillation ลดลง

การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

การเกิดปรากฏการณ์ scintillation นี้เป็นปรากฏการณ์การลดทอนสัญญาณของคลื่นที่ใช้สื่อสารผ่านชั้นบรรยากาศ - ซึ่งเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศชั้น F-layer ในเวลากลางคืน เป็นช่วงความสูงประมาณ 200 - 600 กิโลเมตร จากพื้นโลก ความไม่สม่ำเสมอนี้ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กของโลกเปลี่ยนแปลงด้วย เป็นผลให้มีค่าดัชนีหักเหของชั้นบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้ระดัปลักษณะที่รับได้มีการเพิ่มสูงขึ้น หรือลดลงสลับกันไป ค่าของ scintillation อาจประมาณได้จากค่าความยาวคลื่นยกกำลังสอง นั่นก็คือ ถ้าความถี่สูงการรบกวนจากการเกิด scintillation ก็จะมีค่าต่ำ และจากการสังเกต พบว่าแถบบริเวณเส้นศูนย์สูตรมักจะมี การเกิด scintillation ช่วงหลังพลบค่ำประมาณ หนึ่งถึงสอง ชั่วโมง ไปจนถึง หนึ่ง ถึง สอง นาฬิกาของอีกวัน แต่บางครั้งก็อาจเกิดก่อนหรือหลังจากนี้บ้าง ซึ่งการเกิด scintillation นี้ยังได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขอีกหลายอย่าง ซึ่งจะได้อธิบายถึงในภายหลัง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวัดขนาดของการเกิดปรากฏการณ์

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นการเกิด scintillation ของสัญญาณ 4 GHz โดยทำการวัดที่ Taipei Earth Station ในวันที่ 28 เมษายน 2520 โดยรับสัญญาณจากดาวเทียม INTELSAT ที่ 60° ตะวันออก บนมหาสมุทรอินเดีย ได้เกิด scintillation เวลาประมาณ 23.30 น. ถึงเวลา 24.40 น. จากรูปจะเห็นได้ว่า Peak ของสัญญาณเมื่อมีการเกิด scintillation จะมีการแกว่งของระดับสัญญาณตั้งแต่ 0.5 dB ไปจนถึงมากกว่า 1.5 dB จากรูปจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการแกว่งไปมาของสัญญาณจาก Peak to Peak มากกว่าช่วง 3 dB อยู่ไม่กี่ครั้ง แต่โดยส่วนมากแล้วจะไม่เกิน 3 dB

จากการที่ได้มีการเก็บข้อมูลในการเกิด scintillation แล้วนำมาที่มหาวิทยาลัยให้ได้มีการศึกษาคำนวณวัดการเกิด scintillation ว่ามีค่าการรบกวนสัญญาณมากน้อยเพียงใด โดยในการวิเคราะห์เชิงสถิติที่สัมพันธ์กับช่วงเวลา จะได้ค่า Scintillation Index (SI) โดยจากสูตร

$$SI = (P_{max} - P_{min}) / (P_{max} + P_{min}) \quad (1)$$

ซึ่ง P_{max} เป็นระดับของสัญญาณที่รับได้สูงเป็นลำดับที่ 3 จากระดับของสัญญาณที่รับได้สูงสุด ส่วน P_{min} เป็นระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้สูงกว่าสัญญาณที่รับได้ต่ำสุดเป็นลำดับที่ 3 จากระดับกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ต่ำสุด

การคำนวณหาค่า Scintillation Index นั้นยังสามารถประมาณค่าจากการเกิด scintillation ได้โดย

$$SI = \lambda (\sec i)^{1/2} [1 + (\sigma^2 L_c^4 / 4 \lambda^2 Z^2)]^{-1/2} \quad (2)$$

- โดยที่ Z : ระยะทางช่วงที่ไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
 (400 กิโลเมตร < Z < 1400 กิโลเมตร)
 L_C : ระยะทางที่ไม่สม่ำเสมอในค้ำกลาง
 i : เป็นมุมสูงสุดที่จุกค้ำในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์
 λ : ค่าความยาวคลื่นที่ใช้ในการสื่อสาร

โดยทั่วไปแล้วค่าของ Z จะมีค่าประมาณ 600 กิโลเมตร และค่า L_C จะประมาณ 1 กิโลเมตร สำหรับกรณีเป็นคลื่นสั้น (มีความถี่ต่ำกว่า 600 MHz) เราจะประมาณให้ $L_C^2 / Z \gg 1$ ซึ่งจากสูตรค่าประมาณของ SI จะได้ว่า SI เป็นสัดส่วนกับ λ^2

จากตารางที่ 4.1 ข้างล่างแสดงค่าการลดทอนจากการเกิด scintillation ที่ความถี่ต่าง ๆ

ความถี่	250 MHz	2.3 GHz	7.3 GHz
ค่าการลดทอน	22 dB	2 dB	<0.5 dB

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการลดทอนเนื่องจากการเกิด SCINTILLATION ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน

ลักษณะเฉพาะของ Ionospheric Scintillation พอจะสรุปได้ดังนี้

1. มีความสัมพันธ์กับจำนวนจุดดำบนดวงอาทิตย์
 - 1.1) จำนวนจุดดำในแต่ละวันค่อนข้างจะมีผลน้อยต่อการเกิด scintillation ในช่วงเวลานั้น
 - 1.2) แต่ถ้ามีการเก็บข้อมูลการเกิด scintillation เป็นประจำหลาย ๆ ปี จำนวนจุดดำที่เปลี่ยนไปในแต่ละปีก็จะมีผลมากต่อการเกิด scintillation
 - 1.3) จำนวนจุดดำที่เปลี่ยนไปในทุกเดือนก็จะมีผลมากกับ amplitude ของ scintillation

2. ขึ้นอยู่กับลักษณะต่าง ๆ ของโลก

2.1) การเกิด scintillation มักจะมีการแปรเปลี่ยนอย่างมากในทุก ๆ 11 ปี อันเนื่องมาจากจุดดับบนดวงอาทิตย์

2.2) ในแต่ละปีการเกิด scintillation จะรุนแรงที่สุดในช่วงวัน equinox (ช่วงวันที่เวลากลางวันเท่ากับกลางคืน) อาจจะก่อนและหลังเล็กน้อย

2.3) ในแต่ละวันการเกิด scintillation จะเกิดมากในช่วง 1 ชั่วโมงหลังจากดวงอาทิตย์ตกเป็นต้นไป ที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

3. ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์

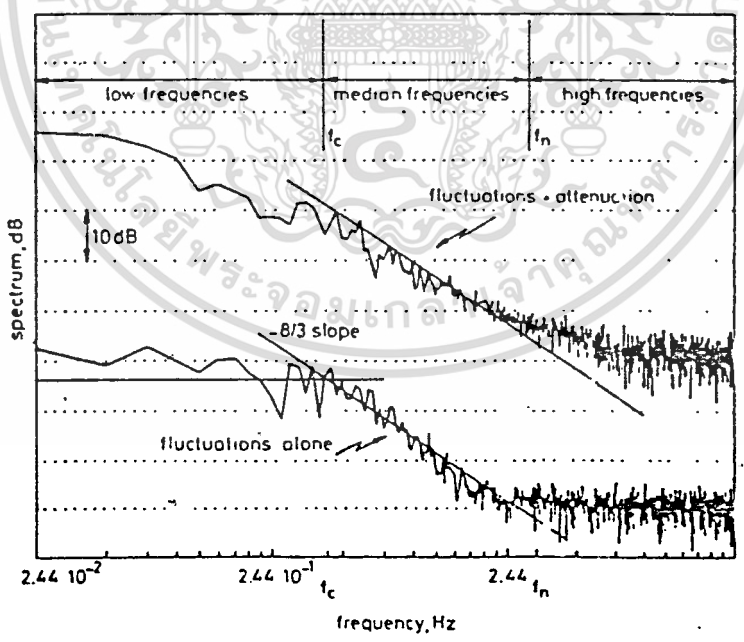
3.1) สำหรับที่สถานีสื่อสารดาวเทียมภาคพื้นดิน มักจะพบการเกิด ionospheric scintillation ประมาณ 30 องศาเหนือ ถึง 30 องศาใต้

3.2) ในแต่ละช่วงของการเกิด scintillation มักจะน้อยกว่า 15 วินาที

3.3) ขึ้นอยู่กับความถี่ ดังสูตร f^{-n}
เมื่อ f เป็นความถี่ที่เป็น gigahertz ขึ้นไป ซึ่งตามทฤษฎีการกระจายของคลื่นจะอ่อนที่สุดเมื่อ $n = 2$ แต่จากการทดลองจริง ได้ค่าเป็น 1.5 ที่ความถี่ระหว่าง 4 ถึง 6 GHz

การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

เมื่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีสภาพคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ มีค่าดัชนีหักเหเปลี่ยนแปลงช้ามาก เมื่อเทียบกับความสูงที่เปลี่ยนไป - คลื่นที่เดินทางผ่านมีลักษณะการเดินทางผ่านเหมือนเดินทางในอากาศปลอดโปร่ง ธรรมดา จะทำให้ขณะนั้นการสื่อสารติดต่อผ่านดาวเทียมใช้ได้สมบูรณ์ที่สุด ปรากฏการณ์การรบกวนของ scintillation แต่กำเนิดที่ชั้นบรรยากาศที่อยู่ต่ำกว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์คือ ที่ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ ซึ่งมีความสูงประมาณ 10 - 20 กิโลเมตรจากพื้นโลก มีเมฆหมอกมากหนาที่เรียกว่าปกติ ซึ่งจะเกิดได้บ่อยครั้งตามฤดูกาล จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ scintillation เนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ได้ ปรากฏการณ์ scintillation ที่เกิดในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์นี้ จะแปรผันตามความถี่ กล่าวคือยิ่งความถี่สูงเท่าไร โอกาสเกิด scintillation ที่ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ก็จะยิ่งมากเท่านั้น ดูได้จากรูปที่ 5.1

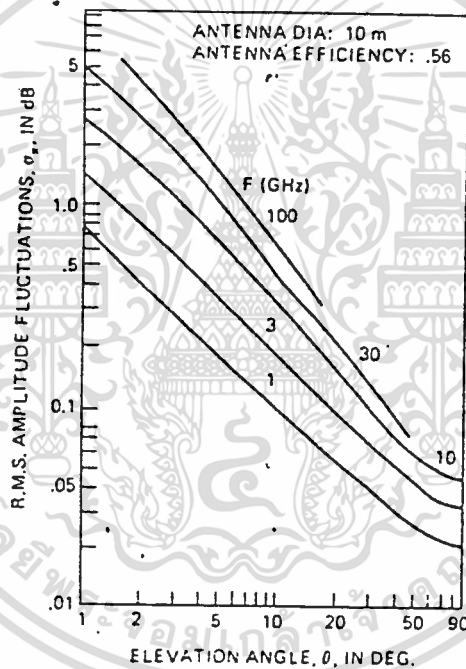


รูปที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบการเกิดปรากฏการณ์ SCINTILLATION ที่ความถี่ต่าง ๆ กัน

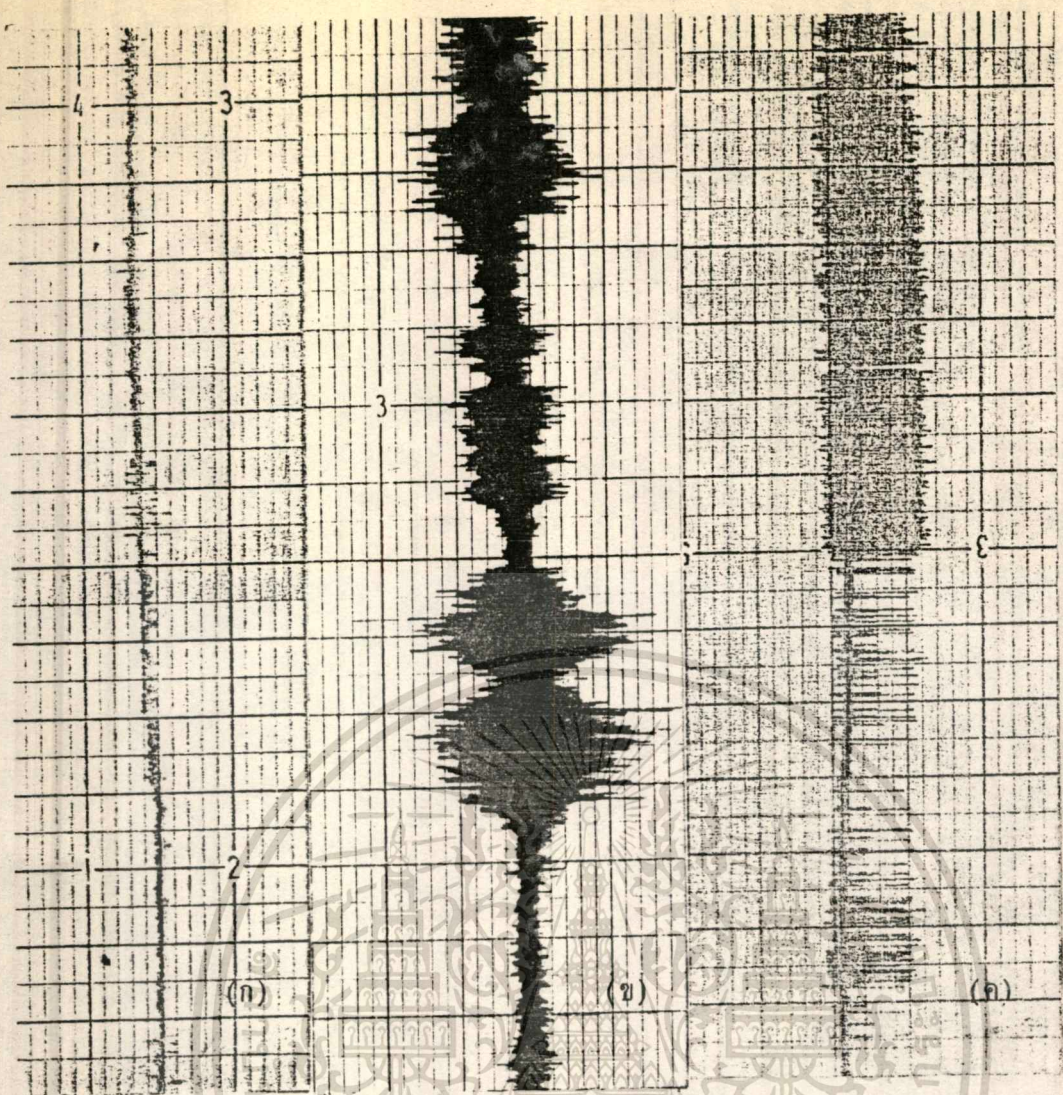
ซึ่งแตกต่างจากการเกิด scintillation ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์

จากการสังเกตปรากฏการณ์การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ พบว่า ถ้าจานสายอากาศรับ มีมุมเงยยิ่งต่ำเท่าไร ก็จะทำให้เกิด scintillation มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งเหตุผลที่อธิบายปรากฏการณ์นี้ เป็นเพราะว่า เมื่อจานสายอากาศรับมีมุมเงยยิ่งต่ำ ก็จะทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศยังมีค่ามากขึ้น และการเกิด scintillation ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่นดังรูปที่ 5.2

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของการเกิด SCINTILLATION กับ มุมเงยของจานสายอากาศรับ



ซึ่งปรากฏการณ์การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์นี้ ยังไม่เป็นการรบกวนการสื่อสารผ่านดาวเทียมมาก เมื่อเทียบกับ การรบกวนเนื่องจากการเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เพราะว่ามีระดับการรบกวนที่ค่อนข้างจะคงที่กว่า



รูปที่ 5.3

- รูป (ก) ระดับสัญญาณปกติ
- รูป (ข) สัญญาณที่มีการเกิด scintillation ที่ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (วันที่ 28 ตุลาคม 2532 เวลา 20.30 - 22.00 น.)
- รูป (ค) สัญญาณที่มีการเกิด scintillation ที่ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (27 มกราคม 2533 เวลา 04.00 - 06.30 น.)

รูปที่ 5.3 ได้จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของการเกิดปรากฏการณ์ scintillation ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ กับ ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ โดยบันทึกข้อมูลได้ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ลาดกระบัง โดยรับสัญญาณ จากดาวเทียมพลาซ่า

เงื่อนไขที่สำคัญอีกประการที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ scintillation ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ ได้แก่ สภาพอากาศ เพราะชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ต่ำ ใกล้กับพื้นผิวโลก ซึ่งจะมีสภาพเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลบนพื้นโลก กล่าวก็คือปรากฏการณ์การเกิด scintillation ในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์นี้ จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสภาพอากาศร้อน และมีความชื้นสูง มีเมฆหมอกหนาทึบ

5.1 ลักษณะเฉพาะของ Tropospheric Scintillation สรุปได้ดังนี้

1. ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ
 - 1.1) อุณหภูมิและความชื้นมีผลค่อนข้างมาก นั่นคือ บริเวณที่มีอุณหภูมิและความชื้นสูง บริเวณนั้นจะมีการเกิด scintillation ที่รุนแรง
 - 1.2) ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นก็มีผลต่อการเกิด scintillation
2. ขึ้นอยู่กับลักษณะทั่ว ๆ ไปของโลก
 - 2.1) ฤดูกาลมีส่วนเกี่ยวข้องอย่างมากต่อการเกิด scintillation พฤติการณ์การเกิด scintillation แบบนี้จะมีความรุนแรงมากที่สุดในช่วงบ่าย และ ช่วงกลาง ๆ ของฤดูร้อนในละติจูดแถบเขตอบอุ่น ส่วนเขตร้อนก็จะเกิดมากในช่วงฤดูฝน
3. ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์
 - 3.1) ก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้น นั่นคือ อุณหภูมิและความชื้นยิ่งสูง การเกิด scintillation ก็ยิ่งรุนแรง
 - 3.2) ไม่ขึ้นอยู่กับเส้นลองจิจูด คือ ถ้าอยู่แถบละติจูดเดียวกันผลก็จะใกล้เคียงกัน
4. ขึ้นอยู่กับความถี่

5. ขึ้นอยู่กับระบบในการรับและส่ง

5.1) ในกรณีใช้งานสายอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางลดลง จะทำให้

- amplitude ของ scintillation เพิ่มขึ้น
- ความน่าจะเป็นที่จะเกิด multipath เพิ่มขึ้น

5.2) เมื่อมุมเงยของงานสายอากาศลดลง ก็จะทำให้

- amplitude ของ scintillation โดยเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น
- ช่วงของ scintillation จะเพิ่มขึ้น
- corner frequency ลดลง
- จะมีการเกิด multipath (การที่คลื่นมีการกระจายออกไปหลายเส้นทาง) มากขึ้น

5.2 การเกิดปรากฏการณ์ scintillation โดยแบ่งตามเส้นละติจูด

1. scintillation แถบเส้นศูนย์สูตร

ในช่วงพื้นที่ละติจูดที่ 20 ถึง 30 องศา จากเส้นศูนย์สูตร ปรากฏการณ์ scintillation ที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงค่อนข้างมาก และจะเกิดในช่วงก่อนเที่ยงคืนไม่กี่ชั่วโมง เช่น มีตัวอย่างจากที่รายงานผลที่ความถี่ 136 MHz scintillation ที่เกิดมีความรุนแรงเกินกว่า 35 dB การเกิด scintillation ที่มีความรุนแรงที่สุด มักจะเกิดในช่วงวัน equinox (วันที่มีเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน) และ กั้นการเกิดจุดดำบนดวงอาทิตย์ด้วย คือ ถ้าจำนวนจุดดำมาก scintillation ก็มักจะรุนแรงด้วย ในการวัด เรามักใช้ Scintillation Index (SI) เป็นตัวบอก โดยมีค่าแปรเปลี่ยนไปกับขนาดความถี่ ดังนี้

ในช่วง VHF band : $SI \propto f^{-1/2}$ or f^{-1}
 ช่วง 1.5-4 GHz : $SI \propto f^{-1}$
 เกินกว่า 4 GHz : $SI \propto f^{-1/2}$
 เมื่อ f คือความถี่

2. scintillation แถบ mid - latitude

Ionospheric scintillation แถบ mid-latitude โดยปกติแล้ว จะมีค่าสูงสุดในช่วงเกือบเที่ยงคืน และ จะอ่อนสุดในช่วงเกือบเที่ยงวัน แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าหาก solar activity สูง scintillation ก็จะสามารถสังเกตพบได้ในช่วงกลางวัน scintillation นี้ อาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นอิเล็กตรอนในบรรยากาศชั้น E จากรายงานที่พบที่ความถี่ 136 MHz mid-latitude scintillation จะมีค่าเกิน 12.7 dB เพียง 2.9 % ของปี

3. scintillation แถบ high - latitude

เป็นความจริงที่ว่า แถบ high-latitude นั้นอิเล็กตรอนอิสระ จะมีโอกาสสูงที่จะวังตัดเส้นแรงแม่เหล็กโลก แล้วทำให้เกิด scintillation เพราะบริเวณนี้ มุมของเส้นแรงแม่เหล็กโลกจะเริ่มกว้างขึ้น ทำให้มีปรากฏการณ์ scintillation เกิดขึ้นได้ง่าย จากรายงานที่พบที่ความถี่ 136 MHz high-latitude scintillation จะมีค่าเกิน 12.7 dB เพียง 29.5 % ของปี

6.1 วิธีรับสัญญาณจากดาวเทียม

ในการทำงานวิจัยเกี่ยวกับปรากฏการณ์ scintillation จากการสื่อสารผ่านดาวเทียมที่แถบบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรเล็กน้อย ซึ่งก็คือแถบบริเวณที่ตั้งของประเทศไทย โดยได้ติดตั้งงานสายอากาศที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร บนคาบฟ้าศึกโทรคมนาคมที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้ติดตั้งและรับสัญญาณจากดาวเทียมปาลาปา บี 2 ของประเทศอินโดนีเซีย ที่ลอยอยู่ที่ตำแหน่ง 113 องศาเหนือเส้นศูนย์สูตรบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก โดยได้คำนวณทิศทางกำลังงานสายอากาศเพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{มุมเงย } B: \tan B = \frac{\cos \lambda \cos \phi - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 \lambda \cos^2 \phi}} \quad (1)$$

$$\text{มุม Azimuth } A: \tan A = \frac{\tan \lambda}{\sin \phi} \quad (2)$$

โดยที่ λ คือ ความแตกต่างของเส้นลองจิจูดของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมกับเส้นลองจิจูดของดาวเทียม

ϕ คือ เส้นละติจูดของสถานีรับสัญญาณดาวเทียม

บริเวณที่ตั้งงานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม ก็อยู่ที่บริเวณเขตลาดกระบังที่ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งเส้นละติจูด 13 องศา 44 ลิปดา เหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 100 องศา 47 ลิปดา ตะวันออก โดยเปลี่ยนให้อยู่ในระบบทศนิยม ก็จะได้ว่าตั้งอยู่ที่เส้นละติจูด 13.73 องศาเหนือ และเส้นลองจิจูดที่ 100.78 องศาตะวันออก

$$\text{จะได้ว่า } \lambda = 113 - 100.78 = 12.217$$

$$\phi = 13.73$$

แทนค่า λ กับ ϕ ลงในสูตร

$$\begin{aligned} \tan B &= \frac{\cos 12.217^\circ \cos 13.73^\circ - 0.1508}{\sqrt{1 - \cos^2 12.217^\circ \cos^2 13.73^\circ}} \\ &= 2.533 \end{aligned}$$

$$\text{มุม } B = \tan^{-1} 2.533 = 68.45 \text{ องศาเทียบกับพื้นโลก}$$

$$\tan A = \frac{\sin 12.217^\circ}{\sin 13.73^\circ}$$

$$= \frac{0.2165}{0.2373} = 0.9123$$

$$\text{มุม } A = \tan^{-1} 0.9123 = 42.375 \text{ องศาเทียบกับทิศใต้}$$

เมื่อติดตั้งจานรับสัญญาณได้ทิศทางที่ถูกต้องแล้วก็ยังต้องติดตั้ง LNA (Low Noise Amplifier) รับสัญญาณเข้ามาแล้วผ่าน Down Converter (D/C) เพื่อลดความถี่ของสัญญาณให้ต่ำลงพอที่จะส่งไปตามสายเคเบิลได้ (ถ้ายังเป็นความถี่เดิม คือ 4 GHz จะต้องเดินทางโดยอาศัย wave guide ทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้ง) แล้วนำสายเคเบิลมาต่อเข้ากับเครื่องรับและขยายสัญญาณควมเทียม เพื่อขยายสัญญาณให้มีขนาดของสัญญาณให้แรงยิ่งขึ้น ทำให้สะดวกในการวัดระดับสัญญาณ ต่อจากนั้นก็นำสัญญาณเข้าเครื่องบันทึกข้อมูลเพื่อบันทึกผลลงบนกระดาษกราฟต่อไป

6.2 ผลการทดลอง

จากข้อมูลที่สามารถเก็บบันทึกผลมาได้ตั้งแต่ช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2532 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533 ได้นำมาวิเคราะห์การเกิดปรากฏการณ์ scintillation จะพบว่า ในช่วงเดือนตุลาคม มีการเกิดส่วนมากอยู่ในช่วงเวลาหัวค่ำ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการเกิดเช่นนี้มีสาเหตุมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ลักษณะการเกิดก็จะ เป็นลักษณะไม่คงที่ ไม่ต่อเนื่องกัน และเกิดเป็นช่วงสั้น ๆ ซึ่งจะมีช่วงการเปลี่ยนแปลง ระดับสัญญาณประมาณ 3.3 dB

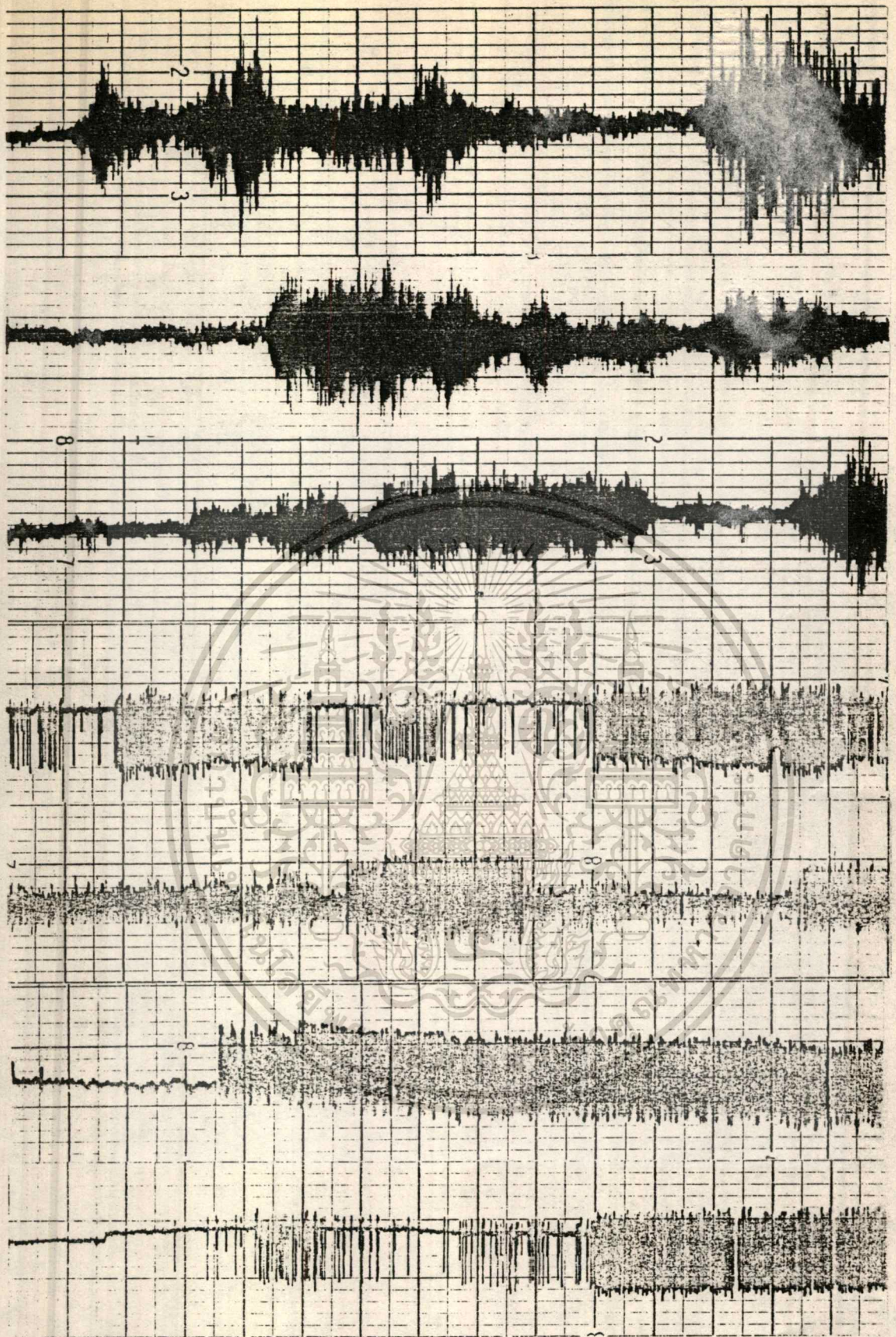
เดือนพฤศจิกายน การเกิด scintillation มักจะเกิดในช่วงดึกคือตั้งแต่ 21.00 น. เป็นต้นไป จนถึง 03.00 น. ของวันใหม่ และมีช่วงการเปลี่ยนแปลง ของระดับสัญญาณโดยเฉลี่ยคือประมาณ 2.3 dB

เดือนธันวาคม การเกิด scintillation มีน้อยมาก ส่วนมากก็มีการ เกิดขึ้นมากในช่วงดึกตั้งแต่ 23.00 น. จนถึง 04.00 น. ของอีกวัน และมีช่วงการ เปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ 1.2 dB

ในเดือนมกราคมมีการเกิดปรากฏการณ์ scintillation มากขึ้นกว่าเดือน ธันวาคม ช่วงเวลาการเกิดก็เลื่อนออกเกิดเป็นช่วงย่ำรุ่งจนถึงเช้าสาย ๆ คือ เวลา ตั้งแต่ 01.00 น. ถึง 09.00 น. มีช่วงการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณที่ค่อนข้างคงที่ และมักจะเกิดต่อเนื่องกันเป็นเวลายาวนาน ซึ่งลักษณะการเกิดเช่นนี้เป็นลักษณะของ การเกิดที่เกิดจากการรบกวนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ ช่วงการเปลี่ยน- แปลงระดับสัญญาณประมาณ 1.7 dB

และในเดือนกุมภาพันธ์ ก็มีลักษณะการเกิดคล้ายเดือนมกราคม แต่ในช่วงเวลา การเกิดที่ไม่ใช่เช้ามืด การเกิด scintillation ก็จะมีช่วงการเปลี่ยนแปลงระดับ สัญญาณที่ไม่คงที่

ผลจากการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด สามารถนำมาวิเคราะห์และได้แสดงถึง รูปที่ 6.2 ถึง 6.6



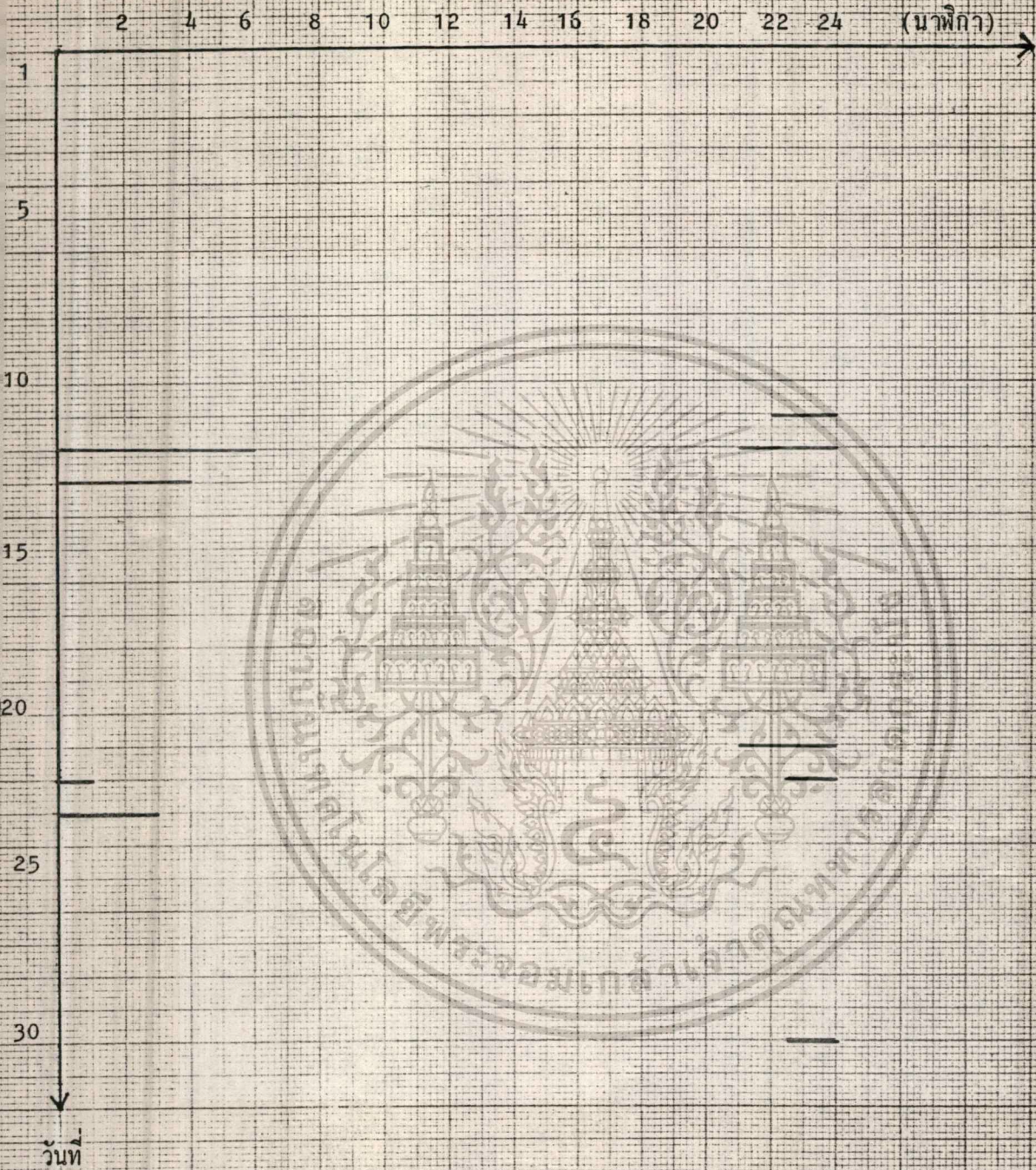
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างของสัญญาณที่มเกิดการเกิด scintillation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณมีใดททั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.2 กราฟแสดงช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์
ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2532

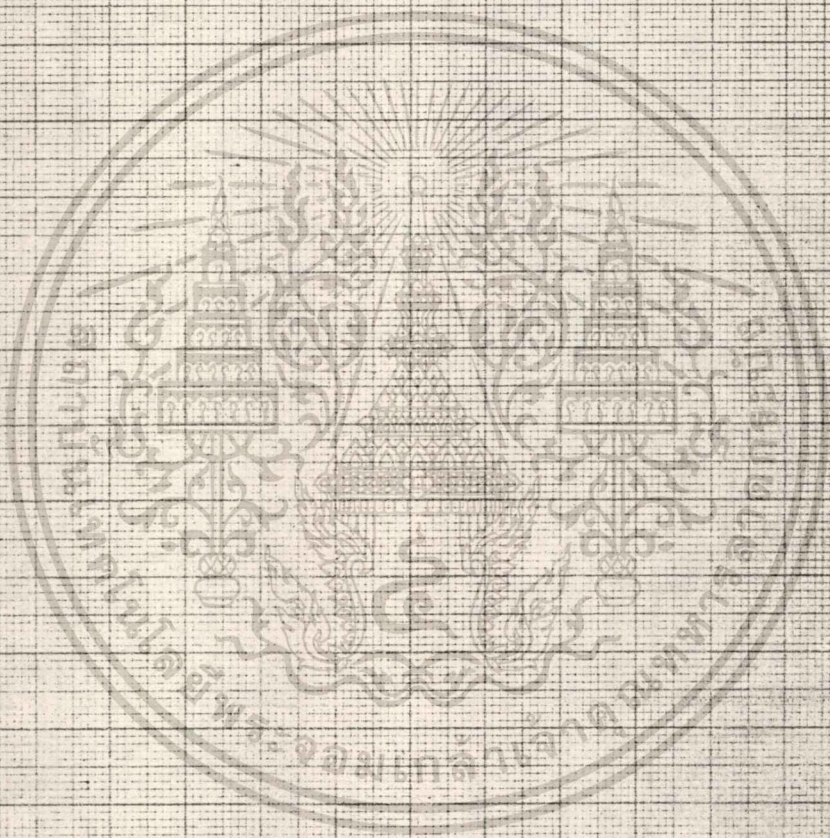


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์
ในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2532



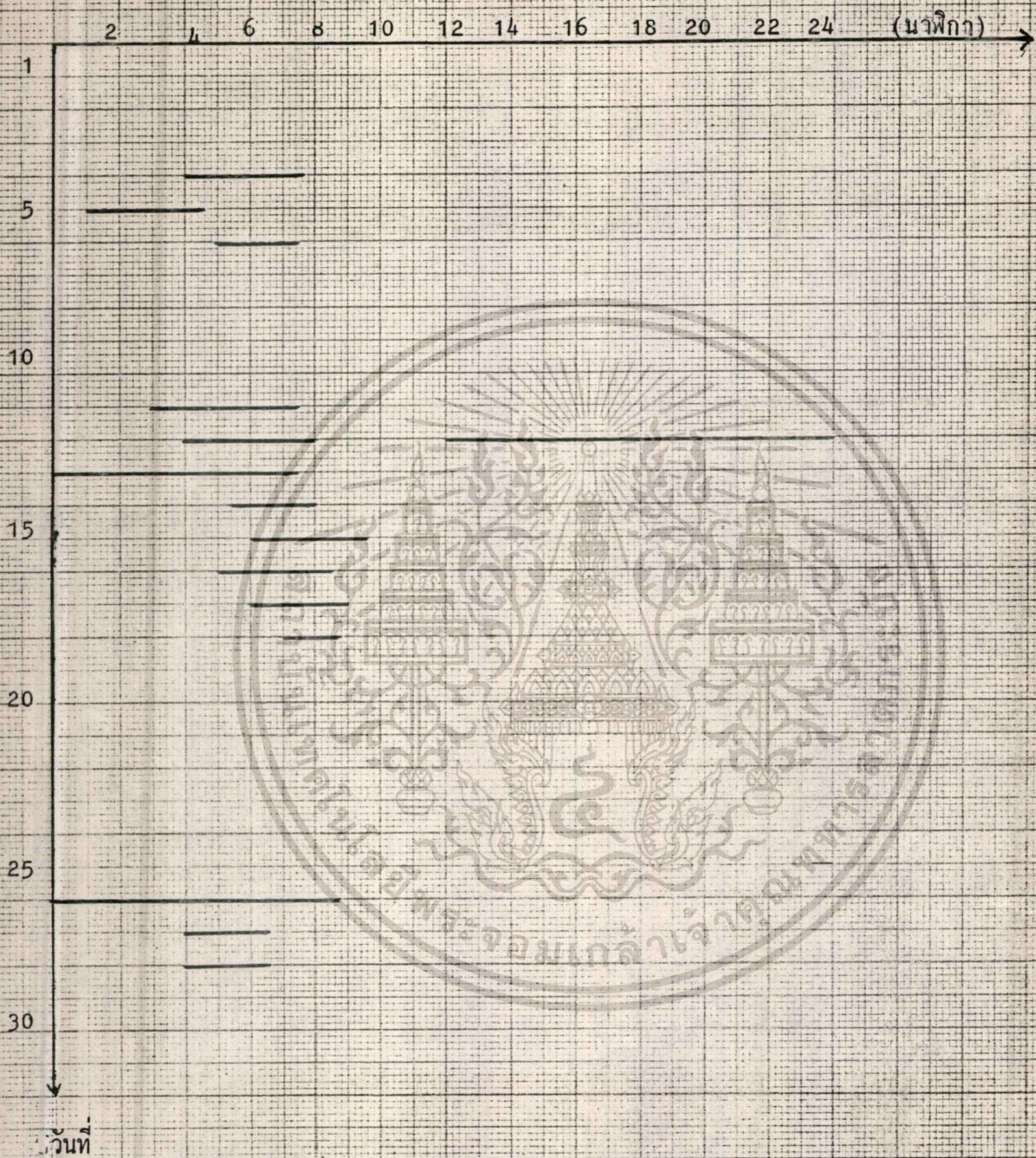
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.4 กราฟแสดงช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์
ในเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2537



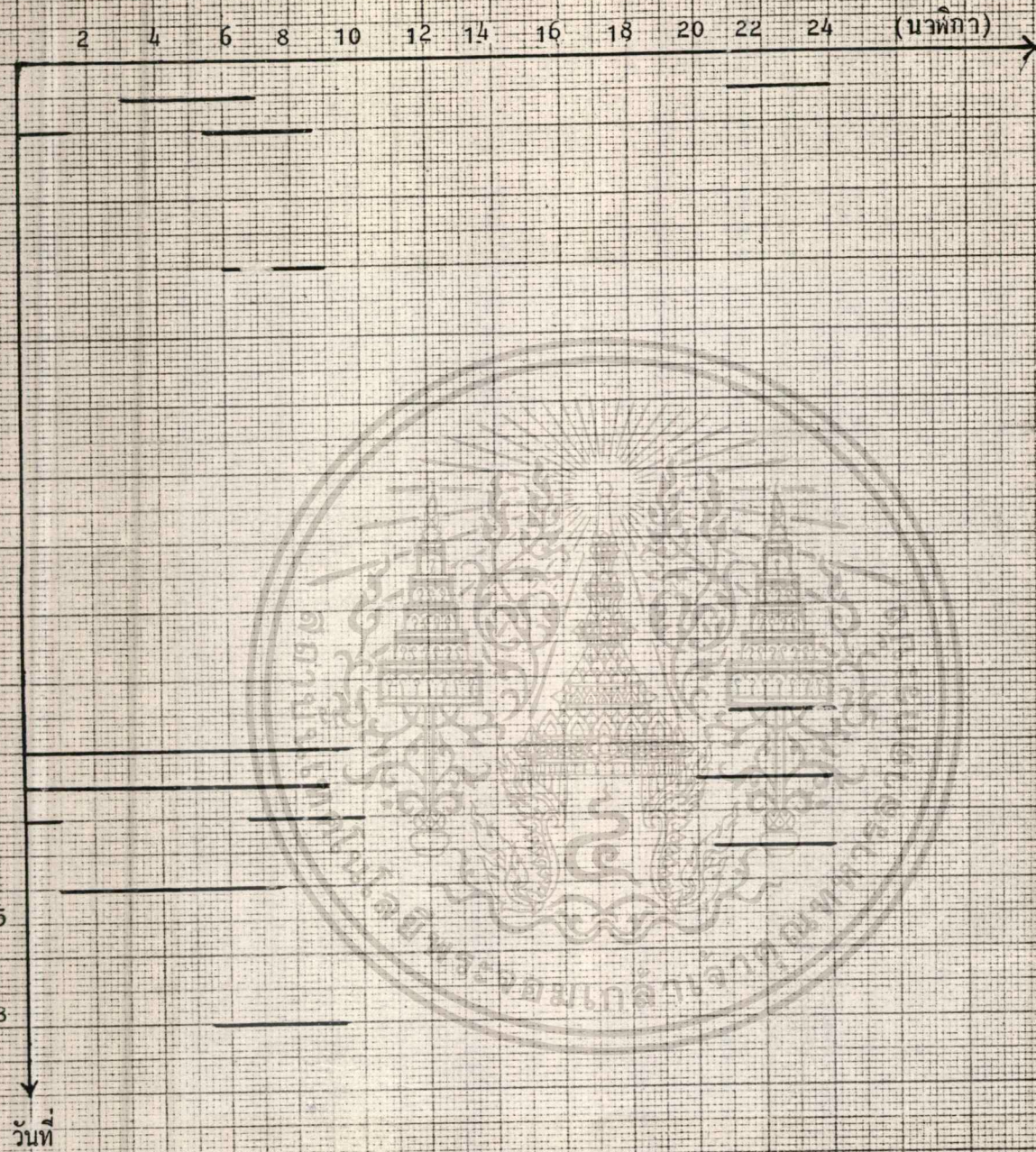
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์

ในเดือน มกราคม พ.ศ. 2533



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.6 กราฟแสดงช่วงเวลาการเกิดปรากฏการณ์
ในเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่สามารถเก็บบันทึกมาได้ทั้งหมด จะสรุปลักษณะ

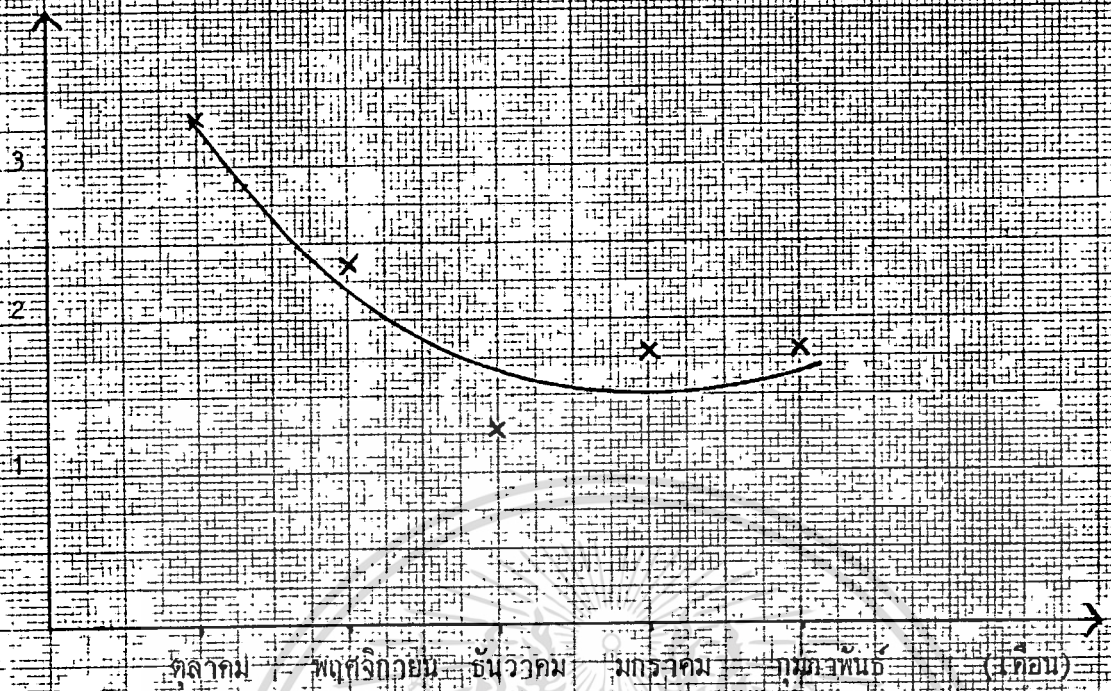
การเกิด scintillation ในแต่ละเดือนได้ดังตารางข้างล่าง

เดือน	ช่วงเวลาที่พบการเกิดบ่อย	ช่วงการเปลี่ยนแปลง ระดับสัญญาณ (dB)	ลักษณะของ สัญญาณ
ตุลาคม	19.00 น.-03.00 น.	3.3	ไม่คงที่
พฤศจิกายน	21.00 น.- 04.00 น.	2.36	ไม่คงที่
ธันวาคม	23.00 น.- 04.00 น.	1.28	ไม่คงที่
มกราคม	01.00 น.- 09.00 น.	1.78	คงที่
กุมภาพันธ์	02.00 น.- 10.00 น.	1.8	จะคงที่ใน ช่วงเช้ามีค

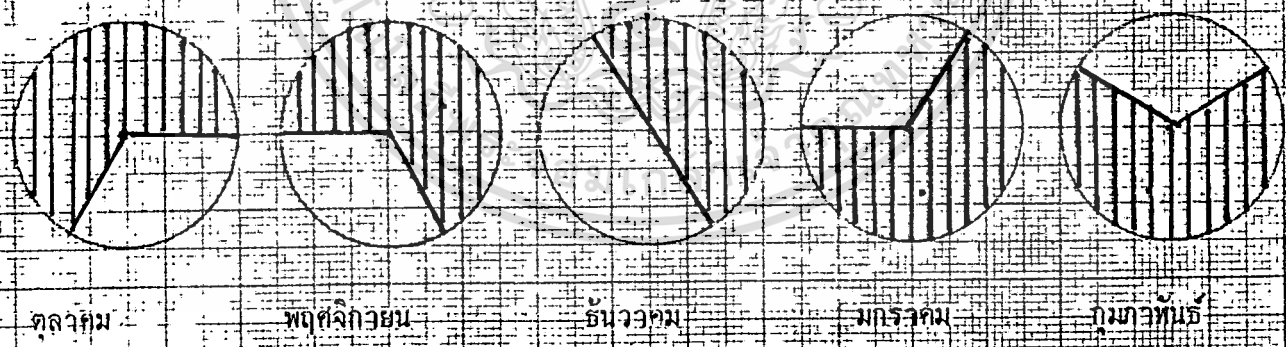
ตารางที่ 6.1 แสดงผลสรุปการเกิด SCINTILLATION ในช่วงเดือน

ตุลาคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533

บริเวณรอยเปลี่ยนแปรระดับใต้ดิน (d8)



รูปที่ 6.7. กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงระดับใต้ดินตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2532 ถึง เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2533



รูปที่ 6.8. แสดงการเคลื่อนช่วงเวลาที่เกิดปรากฏการณ์

ช่วงเวลาที่เกิด

6.3 บทสรุป

เมื่อคลื่นไมโครเวฟเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ จะเกิดการลดทอนของคลื่นขึ้น เนื่องจากหลายสาเหตุ สาเหตุหนึ่งคือการทำลายของชั้นบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง ค่ขัณัหักเห ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนแบบ scintillation ปรากฏการณ์นี้จะมีลักษณะการ เกิดที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค แต่ละประเทศจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ ข้อมูลการเกิด scintillation เพื่อไว้ใช้ในการอ้างอิงเฉพาะในประเทศ สำหรับใน ประเทศไทยได้เก็บข้อมูลตั้งแต่ ตค.2532 ถึง กพ.2533 มีลักษณะคือ ในเดือนตุลาคม จะมีการเกิดในช่วงหัวค่ำ มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ไม่คงที่ ช่วงการเปลี่ยนแปลงที่ มากที่สุดคือ 3.3 dB เดือนต่อมาการเกิดจะเลื่อนเวลามาช่วงเช้ามืดและจะเลื่อนเวลา ไปจนถึงสายๆ ในเดือนกุมภาพันธ์ ช่วงการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณในเดือนหลังๆ จะค่อนข้างคงที่และค่าการเปลี่ยนแปลงก็ลดลงมาเรื่อยๆจนในสองเดือนหลัง (มค., กพ.) จะมีค่าประมาณ 1.8 dB ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณโดยส่วนมากจะมีช่วงการ เปลี่ยนแปลงสัญญาณลดลงมากกว่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น

และในอนาคต ประเทศไทยอาจจะต้องมีดาวเทียมของตัวเอง การ ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ scintillation จะมีความสำคัญมาก จึงหวังว่าวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จะสามารถใช้ในการอ้างอิงเพื่อใช้ในการออกแบบระบบและเลือกอุปกรณ์เกี่ยวกับการ สื่อสารผ่านดาวเทียม การปรับปรุงประสิทธิภาพการสื่อสารผ่านดาวเทียมให้สมบูรณ์ขึ้น

ภาคผนวก

โครงสร้างของบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์

บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ประกอบด้วยชั้น (Layer) ต่าง ๆ ตามความสูงที่แตกต่างกัน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความสำคัญต่อการเดินทางของคลื่นเท่านั้น กล่าวคือ บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์นี้ได้แบ่งเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นบน และ ชั้นล่าง ชั้นล่างเรียกว่าชั้น E (E-Layer) ซึ่งมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (จำนวนของอิเล็กตรอนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร) มากที่สุดที่ความสูงประมาณ 100 กิโลเมตร ส่วนชั้นบนเรียกว่าชั้น F (F-Layer) มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดที่ความสูงประมาณ 230 ถึง 400 กิโลเมตร

ความสูงที่ทำให้เกิดความหนาแน่นของอิเล็กตรอน และเกิดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดนั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและเวลา ชั้น E นั้นจะไม่เปลี่ยนแปลงทั้งฤดูร้อนและฤดูหนาว และไม่เปลี่ยนแปลงทั้งเวลากลางวันและกลางคืน (ประมาณ 100 กิโลเมตร) แต่ค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากที่สุดนั้นจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูและเวลา ความสูงของดวงอาทิตย์ก็มีส่วนในการเพิ่มหรือลดความหนาแน่นของอิเล็กตรอนด้วย

ชั้น F (F-Layer) ในตอนกลางวันจะแบ่งออกเป็นชั้น F_1 และ F_2

ในฤดูหนาว ชั้น F_1 มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงสุดที่ความสูงประมาณ 230 กิโลเมตร ส่วนชั้น F_2 จะอยู่ที่ประมาณ 300 กิโลเมตร

ในฤดูร้อน ชั้น F_1 มีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงสุดที่ความสูงประมาณ 230 กิโลเมตร ส่วนชั้น F_2 จะอยู่ที่ประมาณ 400 กิโลเมตร

อนึ่ง ในฤดูหนาวนั้น การแบ่ง F_1, F_2 นั้นไม่ชัดเจนเหมือนในฤดูร้อนและในตอนกลางคืนจะมีแต่ชั้น F อย่างเดียว

ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น F นี้เปลี่ยนแปลงตามฤดูและเวลาเหมือนกัน แต่ทำไมไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของดวงอาทิตย์เหมือนอย่างชั้น E แต่จะได้รับผลกระทบกระเทือนจากจำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ ความสูงที่มีค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนสูงสุดนั้น ในตอนกลางวันจะต่ำกว่าตอนกลางคืนและในฤดูหนาวต่ำกว่าฤดูร้อน นอกจากบรรยากาศชั้น E และชั้น F แล้วยังมีบรรยากาศชั้นอื่น ๆ อีก ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ชั้นบรรยากาศ	ความสูงจากพื้นดิน	หมายเหตุ
ชั้น C	น้อยกว่า 30-40 ก.ม.	การเกิดชั้นและหายไปของชั้น C นี้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของความสูง เป็นสาเหตุให้เกิด Fading ในย่านความถี่ UHF
ชั้น D	70-80 ก.ม.	สำหรับคลื่นยาวในตอนกลางวันจะสะท้อนที่ชั้นนี้ สำหรับการลดทอนของคลื่นสั้นในตอนกลางวันนั้นส่วนใหญ่จะเกิดที่ชั้นนี้ ตอนกลางคืนจะไม่มีบรรยากาศชั้นนี้
ชั้น E	ประมาณ 100 ก.ม.	คลื่นสั้นในตอนกลางคืนความแรงของคลื่นจะลดลงที่ชั้นนี้ คลื่นปานกลางและคลื่นยาวในตอนกลางคืนจะสะท้อนที่ชั้นนี้
ชั้น E ₁ หรือ E ₂		
ชั้น E _s		เรียกว่า SPORADIC E-Layer
ชั้น F ₁	ประมาณ 230 ก.ม.	
ชั้น F ₂	300-400 ก.ม.	นอกจากแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ทำให้เกิด IONIZATION แล้วยังมีอย่างอื่นที่ปล่อยจากดวงอาทิตย์มาทำให้เกิด IONIZATION ด้วย
ชั้น G	400-600 ก.ม.	

ตารางที่ 1 อธิบายลักษณะของชั้นบรรยากาศ

ชั้น D เกิดในตอนกลางวันอยู่ใต้ชั้น อยู่สูงจากพื้นดิน 70-80 กิโลเมตรคลื่นยาวจะสะท้อนที่บรรยากาศชั้นนี้ชั้น E_2 อยู่ระหว่างชั้น E กับ F_1 เนื่องจากมันอยู่ระหว่าง E กับ F_1 บางทีก็เรียก E ว่า E_1 ก็ มี ชั้น E_S ส่วนใหญ่จะมีความสูงเท่ากับชั้น E แต่ทว่าบางครั้งบางคราวมีความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมากกว่าชั้น E จึงเรียกว่า SPORADIC E-Layer หรือ E_S -Layer, ปกติ ชั้น E นั้นจะไม่สะท้อนคลื่นสั้นแต่ทว่าเมื่อเกิด E_S ชั้นมาจะเกิดการสะท้อนของคลื่นสั้นขึ้น ทำให้เกิดการรบกวนในคลื่นสั้น และมักจะเกิดเป็นที่ ๆ สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิด E_S นั้นยังไม่ปรากฏแน่นอน เชื่อกันว่าในบริเวณเส้นรุ้ง(Latitude) ตอนกลางนั้นเกิดจากผลของดาวตก ส่วนในบริเวณทางขั้วโลกนั้นเกิดจากแสงทางขั้วโลก

การเกิดบรรยากาศชั้น IONOSPHERE :

จากที่กล่าวข้างต้นว่าบรรยากาศชั้น IONOSPHERE เกิดจากแตกตัวเป็น ION ของโมเลกุลหรืออะตอมของก๊าซและพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นต้นเหตุให้เกิดการ IONIZATION จากการพิจารณาปริมาณของพลังงานที่ต้องการทำให้ในโทรเจนหรือออกซิเจนแตกตัวนั้น กล่าวกันว่ามาจากแสง ULTRAVIOLET และแสงที่มีความยาวคลื่นใกล้เคียงกันแสง ULTRAVIOLET นอกจากนั้นยังเชื่อกันว่าอาจจะเนื่องมาจากอนุภาคเป็นกลางอีกด้วย แต่ยังไม่มีการพิสูจน์ว่ามีอนุภาคเป็นกลางขนาดเล็กนี้อยู่จริงหรือไม่ ในปัจจุบันจากเหตุผลหลาย ๆ อย่างทำให้เชื่อกันว่าคำอธิบายที่กล่าวนั้นยังไม่ถูกต้อง ดังนั้น ในที่นี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของการแตกตัวของบรรยากาศชั้นบนโดยเฉพาะชั้น E และ F อีกเล็กน้อย

จากที่กล่าวแล้วว่า การแตกตัวของก๊าซชั้นนี้เนื่องมาจากแสง ULTRAVIOLET ดังนั้น ถ้าหากมีแสง ULTRAVIOLET มากและมีจำนวนโมเลกุลมาก (นั่นคือความกดดันของอากาศสูง) ก็ยังมีอิเล็กตรอนที่แตกตัวออกมาและปริมาณของแสง ULTRAVIOLET ในที่ยิ่งสูงยิ่งมีมาก ส่วนความกดดันของอากาศในที่ยิ่งสูงยิ่งมีค่าต่ำ ดังนั้น ณ ที่ความสูงค่าหนึ่งจะต้องมีจำนวนอิเล็กตรอนมากอย่างแน่นอน แต่ทว่าอิเล็กตรอนเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่อไปชนกับไอออนบวก (POSITIVE ION , เกิดจากอะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนไป หรือโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมที่สูญเสียอิเล็กตรอนไปก็ เรียกว่า

POSITIV ION (เหมือนกัน) ก็เกิดการรวมตัวกันใหม่อีกทำให้ไอ้เลคตรอนหมดไป การรวมตัวกันนั้นจะเกิดขึ้นมากในที่ ๆ มีไอ้เลคตรอนมากและมีความกดดันอากาศสูง ดังนั้นที่ ความสูงที่เกิดไอ้เลคตรอนมากที่สุดจึงไม่ใช่ความสูงที่มีความหนาแน่นของไอ้เลคตรอนมากที่สุด นั่นก็คือ ความสูงนั้นตรงกับความสูงที่มีไอ้เลคตรอนหนาแน่นมากที่สุดของชั้น E

ที่บริเวณชั้น E นั้น ความกดดันของอากาศไม่ต่ำมากนัก ดังนั้น จึงเกิด การรวมตัวกันใหม่อีกอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ความหนาแน่นของไอ้เลคตรอนของชั้น E นั้นส่วน ใหญ่จึงขึ้นอยู่กับ การเกิดไอ้เลคตรอนอิสระ ด้วยเหตุนี้จึงกล่าวได้ว่าความหนาแน่นของไอ้- เลคตรอนของชั้น E มีความสัมพันธ์กับความสูงของดวงอาทิตย์

ที่ความสูงเกินกว่าชั้น E นั้น ความกดดันของอากาศมีค่าต่ำจึงมีไอ้เลคตรอน อิสระเกิดขึ้นน้อยกว่าชั้น E แต่หาที่ความกดดันของอากาศต่ำ, จะเกิดการรวมตัวกันยาก จึงอธิบายได้ว่ามีความหนาแน่นของไอ้เลคตรอนมากกว่าของชั้น E

นอกจากนี้ยังกล่าวกันว่า ชั้น E เกิดจากการแตกไอออนของโมเลกุลของ ออกซิเจน, ชั้น F เกิดจากการแตกไอออนของออกซิเจน นอกจากนั้นที่ชั้น F₁ เป็นชั้น ที่เกิดไอ้เลคตรอนมาก, ชั้น F₂ มีการรวมตัวของไอ้เลคตรอนเข้ามาแต่อย่างไรก็ตามยังไม่ มีการยืนยันว่ากล่าวอย่างไหนถูกต้องแน่นอน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จขึ้นมาได้ด้วยความอนุเคราะห์ของหลาย ๆ ท่าน
ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ จึงขอขอบคุณมา ณ กิตติกรรม-
ประกาศนี้

ขอขอบคุณ ผศ. ณรงค์ เหมกรณ์ และอาจารย์ในภาคโทรคมนาคมทุกคนที่
ให้คำปรึกษา , กรมอุตุนิยมวิทยา , รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคนในภาค ฯ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Zazuo Morita and Matsuichi Yamada
"Radiowave Propagation through Precipitation"
2. ALDO PARABONL "Characterisation of Rain Profiles in a second-order Approximate and Application to attenuation beyond 10 GHz"
IEEE Transaction on Antennas and Propagation, Vol AF-30 , No 3 ,
may 1982
3. อ.อภิรักษ์ มัชฌานนท์ "การเดินทางของคลื่นวิทยุ"
4. Louis J. IPPOLITO, JR "Radiowave propagation in satellitie communication" VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY
5. Timothy PRATT, CHARLES W. BOSTIAN "Satellite Propagation"
JOHN WILEY AND SONS
6. K. MIYA "Satellite Communication Technology" KDD Engineering
and Consulting, INC. Tokyo JAPAN
7. JE. Allnutt "Satellite to ground Radiowave Propagation"
Peter Peregrius Ltd, London
8. Jules Aarons "Equatorial Scintillations" Transactions on
Antennas and Propagation, VOL AP-25, NO. 5, September 1977
9. CHARLES L. RINO "Ionospheric Scintillation Theory" IEEE
Transactions on Antennas and Propagation, November 1976