

ผลกระทบของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ที่มีต่อสัญญาณดาวเทียม

Effects of Troposphere and Ionosphere on Satellite Signals Propagation

ณรงค์ เหมกรณ์

ข้าราชการบำนาญ เกษียณราชการจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

203/26 หมู่ 2 ซอยศรีพรสวรรค์ 8 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ. นนทบุรี 11000 E-mail: khnarong@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศชั้นต่ำสุดมีความสูงประมาณ 10 กิโลเมตร ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อยู่ที่ความสูงประมาณ 50 - 1,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ขณะที่วงโคจรดาวเทียมมีระดับความสูงตั้งแต่ 800 ถึง 35,800 กิโลเมตรแล้วแต่ชนิดวงโคจรของดาวเทียม ดังนั้นการส่งสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินไปยังดาวเทียมหรือการส่งสัญญาณจากดาวเทียมมายังสถานีรับหรือเครื่องรับบนพื้นโลกจะต้องผ่านทั้งชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ผลกระทบของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ต่อสัญญาณดาวเทียมจะขึ้นอยู่กับ การแปรปรวนของชั้นบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลงตาม วัน เดือน ปี นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความถี่ขาขึ้น และความถี่ขาลง จาก การศึกษาวิจัยพบว่าชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะมีผลต่อสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ความถี่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ ขึ้นไปใน เรื่องของการลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน ส่วนชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์จะมีผลต่อสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ความถี่ต่ำกว่า 4 กิกะเฮิรตซ์ลงมาในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด อย่างกะทันหัน

คำสำคัญ: โทรโพสเฟียร์ ไอโอโนสเฟียร์ วงโคจรดาวเทียม การลดทอนสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน การเปลี่ยนแปลง แอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

Abstract

Troposphere is the lowest atmosphere which its height is about 10 kilometers above ground while ionosphere's height is 50 - 1,000 kilometers. The height of

satellite orbits is approximately 800 - 35,800 kilometers depending on orbit types of satellites. In order to transmit signal from earth stations to satellites or transmit signal from satellites to earth stations or receivers on the earth, satellite signals have to propagate through both troposphere and ionosphere. The effects of troposphere and ionosphere on satellite signals depend on irregularities of troposphere and ionosphere which vary daily, monthly and yearly. Moreover, the effects also depend on up link and down link frequency. From this research, it has been found that troposphere has an effect on satellite signal using frequency above 10 GHz due to rain attenuation while ionosphere has an effect on satellite signal using frequency lower than 4 GHz due to scintillation.

Keywords: troposphere, ionosphere, satellite orbit, rain attenuation, scintillation.

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบดาวเทียมมีประโยชน์ต่อมวลมนุษยชาติ เป็นอย่างมากทั้งในด้านการถ่ายภาพพยากรณ์อากาศ สํารวจทรัพยากรธรรมชาติ กำหนดพิกัดบนพื้นโลก การติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม สมัยก่อนที่ไม่มีระบบดาวเทียมใช้เพราะไม่มีจรวดที่มีพลังขับเคลื่อนมากพอที่จะส่งดาวเทียมให้หลุดพ้นแรงดึงดูดของโลกขึ้นไปโคจรในห้วงอวกาศได้ การทำสงครามก็ใช้ปืนใหญ่ยิงถล่มใส่กัน ปลายสงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศ

เยอรมันได้พัฒนาจรวด V_2 ขึ้นมาเพื่อจะยิงจรวดจากเยอรมันไปยังเกาะอังกฤษ แต่เยอรมันแพ้สงครามเสียก่อน ฝ่ายสัมพันธมิตรโดยสหรัฐอเมริกาและโซเวียตรัสเซียแย่งกันบุกยึดเยอรมันและแยกเยอรมันออกเป็นเยอรมันตะวันตกและเยอรมันตะวันออก ทั้งสหรัฐอเมริกาและรัสเซียได้นักวิทยาศาสตร์เยอรมันบางคนที่มีรู้เรื่องจรวด V_2 ไปเพื่อพัฒนาจรวดต่อไปโดยให้ค่าตอบแทนอย่างสูง จนกระทั่งรัสเซียสามารถใช้จรวดส่งดาวเทียมดวงแรกขึ้นสู่วงโคจรได้ก่อนสหรัฐอเมริกา ยุคแรกของดาวเทียมยังบังคับควบคุมวงโคจรของดาวเทียมไม่ได้ ดาวเทียมโคจรไปตามยถากรรม ต่อมาสามารถพัฒนาเทคโนโลยีด้านต่างๆจนสามารถบังคับควบคุมดาวเทียมให้อยู่ในวงโคจรตามต้องการได้ ดาวเทียมที่โคจรอยู่บนท้องฟ้าในปัจจุบันนี้มีหลายร้อยดวง แบ่งวงโคจรของดาวเทียมได้ 3 รูปแบบคือ ดาวเทียมวงโคจรต่ำ ดาวเทียมวงโคจรปานกลาง และดาวเทียมวงโคจรอยู่กับที่

ดาวเทียมวงโคจรต่ำ เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปให้โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 800 กิโลเมตร โคจรรอบโลกหนึ่งรอบใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง ต้องโคจรเร็วเพื่อหนีแรงดึงดูดของโลก มิฉะนั้นจะถูกแรงดึงดูดของโลกดึงดูดให้ดาวเทียมตกลงมา วันหนึ่งจะโคจรรอบโลกหลายรอบ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากร ถ่ายภาพสำรวจภูมิอากาศ ใช้เป็นดาวเทียมจารกรรม

ดาวเทียมวงโคจรปานกลาง เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปให้โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 10,000 - 20,000 กิโลเมตร จะโคจรช้ากว่าดาวเทียมแบบแรก ดาวเทียมวงโคจรปานกลางที่เรารู้จักกันดีคือดาวเทียม GPS ที่ใช้สำหรับบอกพิกัดบนพื้นโลก มีการใช้ประโยชน์จากดาวเทียม GPS กันอย่างแพร่หลาย ใช้ในจรวดนำวิถี ใช้เป็นระบบนำร่องบนเครื่องบิน ใช้ในรถยนต์ รถแท็กซี่ เพื่อบอกตำแหน่ง

ดาวเทียมวงโคจรอยู่กับที่ เป็นดาวเทียมที่ถูกส่งขึ้นไปให้โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 35,800 กิโลเมตร ให้โคจรรอบโลกหนึ่งรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับเวลาที่โลกหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมงเช่นกัน ดังนั้นที่จุด

สังเกตบนพื้นโลกมองดูดาวเทียมจะเห็นเสมือนว่าดาวเทียมอยู่กับที่ เพราะโคจรไปพร้อมกับโลกที่หมุนรอบตัวเอง ทั้งที่ดาวเทียมต้องโคจรด้วยความเร็วถึง 11,000 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดาวเทียมประเภทนี้ต้องให้โคจรเหนือพื้นโลกไปตามแนวเส้นศูนย์สูตรเพราะมีแรงดึงดูดของโลกคงที่ การที่จะให้ดาวเทียมโคจรอยู่กับที่ในวงโคจรได้นั้น ต้องให้แวกเตอร์แรงดึงดูดของโลกบวกกับแวกเตอร์แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของดาวเทียมได้ แวกเตอร์ผลลัพธ์เป็นแรงในแนวโคจรของดาวเทียม แต่ถ้าดาวเทียมไม่ได้โคจรไปตามแนวเส้นศูนย์สูตรโดยโคจรทำมุมกับเส้นศูนย์สูตร ขณะโคจรอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรแรงดึงดูดของโลกจะมาก พอโคจรผ่านเส้นศูนย์สูตรก่อนไปทางขั้วโลกเหนือหรือขั้วโลกใต้แรงดึงดูดของโลกจะน้อยลงเพราะรูปทรงของโลกจะแบนเล็กน้อยคล้ายผลส้ม ดังนั้นเมื่อแรงดึงดูดของโลกไม่คงที่ แวกเตอร์แรงผลลัพธ์ก็ไม่คงที่ ทำให้การควบคุมวงโคจรดาวเทียมทำได้ยาก ดังนั้นดาวเทียมวงโคจรอยู่กับที่ที่ต้องส่งดาวเทียมขึ้นไปให้โคจรเหนือพื้นโลกตามแนวเส้นศูนย์สูตรทุกประเทศที่ต้องการส่งดาวเทียมแบบวงโคจรอยู่กับที่ต้องแย่งตำแหน่งเหนือเส้นศูนย์สูตรกัน ประเทศไทยเราได้ตำแหน่งของดาวเทียมไทยคมอยู่ที่เส้นแวง 78.5 และ 119.5 องศาตะวันออก ถ้าดาวเทียมไทยคมหมดอายุและไม่ได้ส่งดาวเทียมดวงใหม่ขึ้นไปแทน ตำแหน่งนี้อาจถูกประเทศอื่นยึดเอาไป ซึ่งขณะนี้ทางคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) กำลังดำเนินการแก้ปัญหาอยู่

ดาวเทียมที่มีวงโคจรทั้ง 3 รูปแบบนี้ต่างก็โคจรอยู่สูงกว่าระดับชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์ ดังนั้นสัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมจะต้องผ่านชั้นบรรยากาศทั้งสองนี้ ผลกระทบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานของดาวเทียม ถ้าความถี่ยิ่งสูงความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง ผลกระทบของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะอยู่ในรูปของการลดทอนที่เกิดจากฝน ส่วนผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะอยู่ในรูปของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ความถี่ที่ใช้ในระบบสื่อสารดาวเทียมมีย่านความถี่ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ย่านความถี่ในระบบสื่อสารดาวเทียม

ย่านความถี่	ความถี่ (GHz)	ความยาวคลื่น (cm)
L	1 - 2	15 - 30
S	2 - 4	7.5 - 15
C	4 - 8	3.8 - 7.5
X	8 - 12	2.4 - 3.8
Ku	12 - 18	1.7 - 2.4
K	18 - 27	1.1 - 1.7
Ka	27 - 40	0.75 - 1.1

2. ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

2.1 คุณสมบัติทั่วไปของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศชั้นล่างสุด นับจากพื้นโลกขึ้นไปถึงระดับความสูงประมาณ 10 กิโลเมตร ชั้นบรรยากาศชั้นนี้ประกอบด้วยฝุ่นละออง ก๊าซ ไอน้ำ หมอก เมฆ ฝน และส่วนประกอบอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและฤดูกาล ที่เป็นขั้วเมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2555 ที่ผ่านมา ที่องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติหรือนาซาของสหรัฐอเมริกา ขอใช้สนามบินอู่ตะเภาเพื่อใช้เป็นฐานขึ้นลงของเครื่องบินสำรวจเมฆ และการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งเป็นการศึกษาในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ชั้นนี้นั่นเอง

2.2 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ต่อสัญญาณดาวเทียม

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมที่ย่านความถี่สูงกว่า 10 กิกะเฮิรตซ์ หรือตั้งแต่ย่านความถี่ Ku ขึ้นไป เกิดจากการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน และการเปลี่ยน polarization ย่านความถี่ที่สูงกว่าย่าน Ku จะมีความยาวคลื่นสั้นลง ใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดฝน คลื่นจึงมองเห็นเม็ดฝนมีขนาดใหญ่เทียบกับความยาวคลื่น เมื่อคลื่นเดินทางผ่านเม็ดฝนจะเกิดการลดทอนสัญญาณเนื่องจากเกิดการดูดซับพลังงาน (absorption) เกิดการหักเห (refraction) และเกิดการกระเจิง (scattering) ดังนั้นสัญญาณกว่าจะเดินทางไปถึงจานสายอากาศรับจึงเกิดการลดทอนขึ้นอยู่ กับระยะทางที่คลื่นต้องเดินทางผ่านฝน (slant path)

ระดับสัญญาณที่รับได้ที่จานสายอากาศรับ (P_r)

คำนวณได้จากสมการ

$$P_r = EIRP - L_s - L_a - L_r + G_{LNB} + G_r - L_{fr} \quad (dB) \quad (1)$$

เมื่อ

$$EIRP = P_t - L_{ft} + G_t$$

P_t = กำลังส่งของเครื่องส่งบนดาวเทียม (dB)

L_{ft} = การสูญเสียของสายส่งสัญญาณบนดาวเทียม (dB)

G_t = อัตราการเพิ่มกำลังงานสายอากาศส่งบนดาวเทียม (dB)

L_s = การสูญเสียพลังงานตามระยะทางที่ผ่านอวกาศ (dB)

L_a = การสูญเสียพลังงานเมื่อคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศ (dB)

L_r = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากฝน (dB)

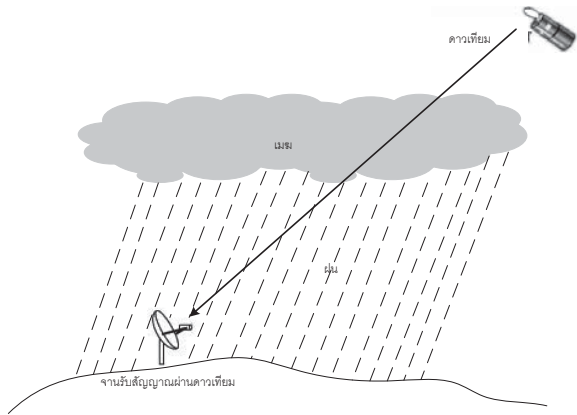
G_{LNB} = อัตราการเพิ่มกำลังของ LNB (dB)

G_r = อัตราการเพิ่มกำลังของจานสายอากาศรับ (dB)

L_{fr} = การสูญเสียของสายส่งสัญญาณของสถานีรับ (dB)

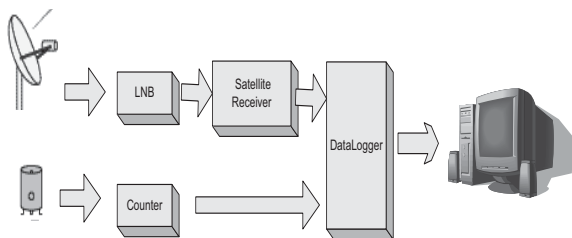
ในประเทศไทยความสูงของเมฆฝนจะอยู่สูงประมาณ 5 กิโลเมตรขณะฝนตก ระยะทางที่คลื่นต้องเดินทางผ่านฝนจะขึ้นอยู่กับมุมเงยของจานสายอากาศรับ กรุงเทพฯ อยู่ที่ตำแหน่งเส้นแวง 100 องศาตะวันออก ถ้าประเทศไทยสามารถจองตำแหน่งดาวเทียมได้ใกล้ตำแหน่งเส้นแวง 100 องศาตะวันออก มุมเงยของจานสายอากาศจะสูง slant path จะสั้น แต่ถ้าตำแหน่งดาวเทียมของไทยอยู่ไกลออกไปทางด้านมหาสมุทรแปซิฟิกหรือมหาสมุทรอินเดีย มุมเงยจะยิ่งต่ำลง ระยะทางที่คลื่นต้องเดินทางผ่านฝนจะไกล การลดทอนที่เกิดจากฝนจะมาก ดังนั้นทุกประเทศอยากได้ตำแหน่งดาวเทียมอยู่ใกล้ประเทศของตัวเอง มุมเงยจะสูง slant path จะได้สั้นลง

ดาวเทียมแบบวงโคจรอยู่กับที่ซึ่งจะต้องให้อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร ถ้าดาวเทียมของแต่ละประเทศให้อยู่ห่างกัน 2 องศา ตำแหน่งดาวเทียมจะมีอยู่ 180 ตำแหน่ง แต่ปัจจุบันนี้ดาวเทียมแบบวงโคจรอยู่กับที่มีอยู่มากกว่า 180 ดวง ดังนั้นในบางตำแหน่งของบางประเทศจะมีดาวเทียมถูกส่งขึ้นไป 2 – 3 ดวง แต่จะอยู่สูงต่ำกว่ากันเพื่อไม่ให้ชนกัน ใช้ความถี่คลื่นละ ย่านความถี่จะได้ไม่รบกวนซึ่งกันและกัน



รูปที่ 1 ระยะทางที่คลื่นเดินทางผ่านฝน ขึ้นกับมุมเงย

การหาการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน จะต้องวัดระดับสัญญาณดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง มีเครื่องวัดอัตราการตกของฝนในแต่ละนาที่เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณดาวเทียมที่วัดได้ในขณะนาที่นั้นๆ ทำการวัดและบันทึกข้อมูลอย่างน้อย 2 ปีแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อหาการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ Ku ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 78.5 องศาตะวันออกเหนือมหาสมุทรอินเดีย จานสายอากาศรับมีมุมเงย 59.8 องศา รูปที่ 2 ถึง 5 แสดงอุปกรณ์การลดทอนสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน อัตราการตกของฝนและระดับสัญญาณดาวเทียมที่ลดต่ำลงขณะเกิดฝนตกแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งพบว่าเมื่ออัตราการตกของฝนเพิ่มขึ้นทำให้ระดับสัญญาณดาวเทียมลดต่ำลง



รูปที่ 2 อุปกรณ์วัดการลดทอนสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน



รูปที่ 3 จานสายอากาศรับสัญญาณดาวเทียม มี LNB ติดตั้งอยู่หน้าจาน

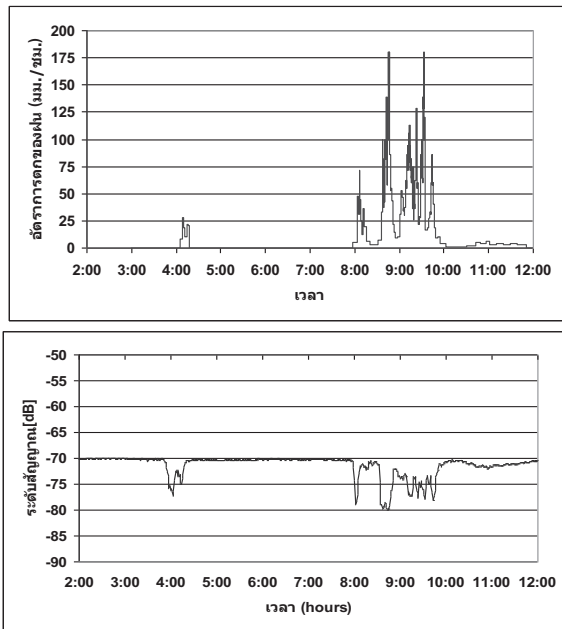


รูปที่ 4 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม DANSAT รุ่น HR-727

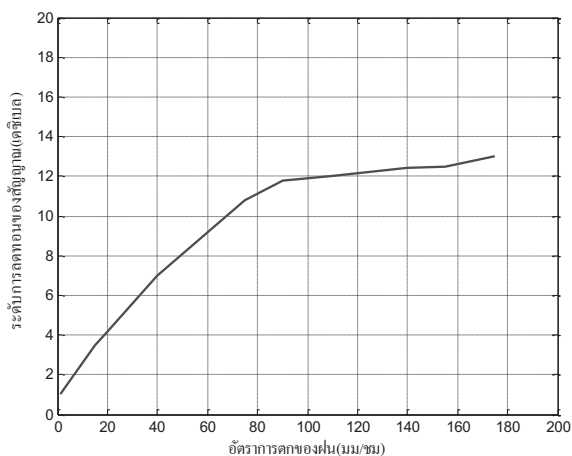


รูปที่ 5 Data logger สำหรับเก็บข้อมูลระดับสัญญาณดาวเทียมและอัตราการตกของฝน

จากกราฟในรูปที่ 7 จะเห็นว่าที่อัตราการตกของฝน 100 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ระดับสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku จะลดลง 12 dB การแก้ปัญหาเมื่อระดับสัญญาณดาวเทียมถูกลดทอนต่ำลงมาขณะเกิดฝนตก ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมในแต่ละระบบหรือในแต่ละประเทศ เช่น



รูปที่ 6 อัตราารตกของฝนและ ระดับสัญญาณดาวเทียมที่ลดต่ำลงขณะเกิดฝนตก



รูปที่ 7 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku ตามอัตราารตกของฝนที่ค่าต่างๆ [1]

(1) เพิ่มกำลังส่งของเครื่องส่งทางด้านขึ้นทางหรือทางด้าน up link ถ้าสามารถทำได้ แต่จะถูกจำกัดด้วยค่า EIRP ที่ออกจากจานสายอากาศส่ง มิเช่นนั้นบางประเทศจะส่งด้วยกำลังส่งที่สูง มีค่า EIRP มาก จะไปรบกวนดาวเทียมของประเทศอื่นที่อยู่ใกล้เคียงเนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ห่างกัน 2 องศาหรือน้อยกว่า ดาวเทียมรุ่นใหม่ๆ ถูกออกแบบให้สถานีบังคับและ

ควบคุมดาวเทียมปรับค่า EIRP ของดาวเทียมได้ตามสถานะการณ์ที่เกิดขึ้น เช่นดาวเทียมไทยคม สถานีบังคับและควบคุมดาวเทียมอยู่ที่ลาดหลุมแก้ว ปทุมธานี และที่แคราย ถนนรัตนาธิเบศร์

(2) เปลี่ยนอัตราการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อป้องกันการรับส่งสัญญาณผิดพลาด หรือ FEC (Forward Error Correction) สัญญาณดิจิทัลที่จะส่งขึ้นดาวเทียมหลายล้านบิตต่อวินาทีจะถูกแบ่งเป็นบล็อกๆหรือเป็นส่วนๆ แต่ละส่วนจะถูกใส่หรือเพิ่มรหัสเพื่อป้องกันการผิดพลาดเข้าไป อัตราการเข้ารหัสขึ้นอยู่กับความสำคัญของข้อมูลที่จะส่งผ่านดาวเทียม เช่นอัตราการเข้ารหัสมีค่า 3/4 หรือ 7/8

(3) ลดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (transmission rate) ผ่านดาวเทียม

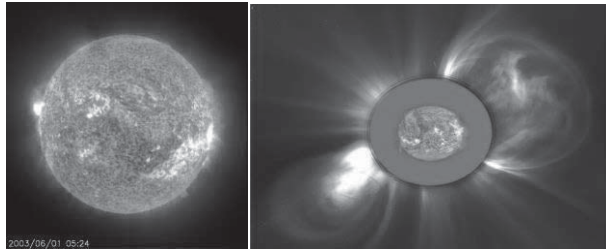
(4) ใช้ระบบ site diversity เข้าช่วย คือตั้งสถานีรับ 2 สถานีอยู่ห่างกันมากกว่า 50 กิโลเมตร ถ้าสถานีหนึ่งมีฝนตก อีกสถานีฝนอาจไม่ตก ก็ใช้รับสัญญาณจากสถานีที่ฝนไม่ตก แต่ระบบนี้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ใช้กับกรณีที่ใช้น้ำหนักความถี่ Ka ที่การลดทอนสัญญาณที่เกิดจากฝนตกมีค่อนข้างสูง

3. ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

3.1 คุณสมบัติทั่วไปของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

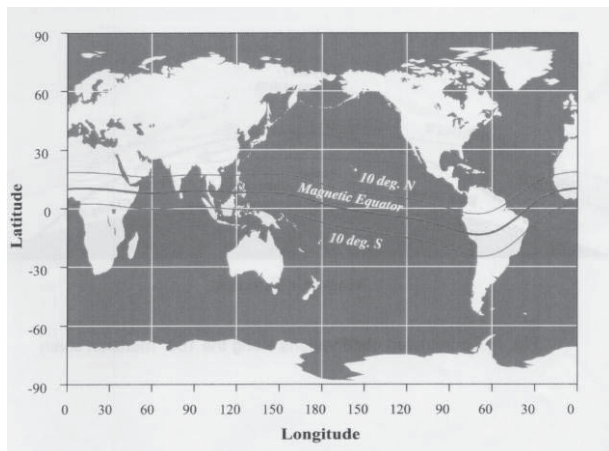
ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไปประมาณ 50 – 1,000 กิโลเมตร แบ่งเป็นชั้นย่อยๆได้ 3 ชั้น คือชั้น D ชั้น E และชั้น F ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นี้เมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์ โมเลกุลของออกซิเจนเกิดการแตกตัวเป็นอิออน บวกและอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้เคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงปริมาณและความหนาแน่นอยู่ตลอดเวลา กลางวัน กลางคืน แต่ละวัน แต่ละเดือน แต่ละปี มีการเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการระเบิดปะทุที่ผิวดวงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 8 จุดดับบนดวงอาทิตย์ก็คือตำแหน่งที่มีการระเบิดปะทุเกิดขึ้น เปลวสุริยะที่ส่งผลมากระทบชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่ห่อหุ้มโลกอยู่จำนวนจุดดับบนดวงอาทิตย์หรือจำนวนการระเบิดปะทุแต่ละปีมีจำนวนไม่เท่ากัน ปีนี้คือปีพ.ศ. 2555 เป็นปีที่มีจำนวนจุดดับ

คือการระเบิดปะทุมากที่สุด หลังจากปีนี้การระเบิดปะทุก็จะเริ่มลดน้อยลง จนน้อยสุดในอีก 5 ปี และค่อยๆเพิ่มขึ้น จนมากสุดอีกครั้งในปีพ.ศ. 2566 โดยวัฏจักรสุริยะ 1 รอบมีระยะเวลา 11 ปี



รูปที่ 8 การระเบิดปะทุที่ผิวของดวงอาทิตย์และเปลวสุริยะที่กระจายออกมา รูปขวามือมีแผ่นวงแหวนบังไว้ให้เห็นเปลว[2]

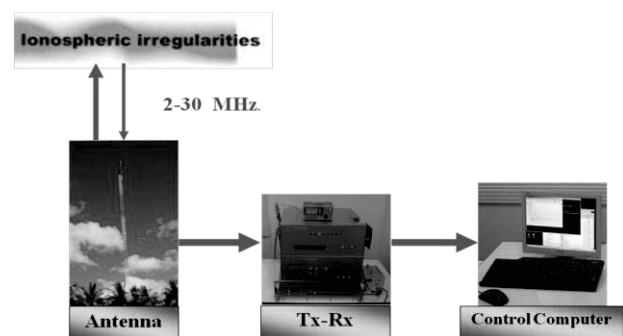
เปลวสุริยะจะส่งผลกระทบกับสนามแม่เหล็กโลก และจะทำให้โมเลกุลออกซิเจนในชั้นบรรยากาศบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กมีการไอไอไนซ์และความหนาแน่นอิเล็กตรอนแปรปรวนมากกว่าบริเวณอื่น จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็ก เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กจะเลี้ยวเบนไม่เป็นเส้นตรงเหมือนกับเส้นศูนย์สูตรทางภูมิศาสตร์



รูปที่ 9 แนวเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กผ่านบริเวณจังหวัดชุมพร[3]

ตามรูปที่ 9 จะเห็นว่าเส้นศูนย์สูตรภูมิศาสตร์พาดผ่านประเทศสิงคโปร์ ขณะที่เส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กพาดผ่าน

บริเวณจังหวัดชุมพรและไม่เป็นเส้นตรง เนื่องจากแกนแม่เหล็กโลกเลื่อนไปจากแกนหมุนของโลกเป็นมุมประมาณ 12 องศา ได้มีการศึกษาคุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์เหนือเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กบริเวณจังหวัดชุมพร โดยชั้นบรรยากาศเหนือเส้นศูนย์สูตรแม่เหล็กเมื่อรับรังสีจากดวงอาทิตย์จะเกิดการไอไอไนซ์มีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นจำนวนมาก กลุ่มอิเล็กตรอนเหล่านี้จะค่อยๆลอยตัวสูงขึ้นแล้วเคลื่อนตัวไปทางทิศเหนือและทิศใต้ โดยอุปกรณ์ได้ติดตั้งที่วิทยาเขตชุมพรของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังรูปที่ 10 สายอากาศส่งและรับถูกติดตั้งบนเสาที่มีความสูง 27 เมตร ส่งคลื่นขึ้นไปกระทบชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์ คลื่นที่สะท้อนกลับลงมาจะถูกตรวจวัดและบันทึกในคอมพิวเตอร์เพื่อการวิเคราะห์หาความสูง ความถี่วิกฤต และคุณสมบัติต่างๆ ไปของชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์ อุปกรณ์ตรวจวัดแบบนี้ยังได้ติดตั้งที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และที่ Koto Tabang ประเทศอินโดนีเซีย เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์

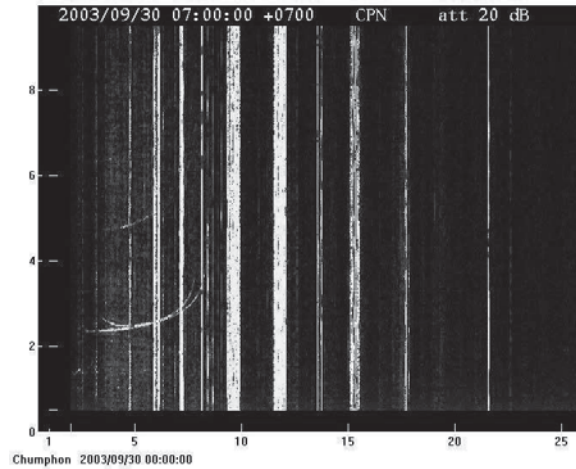


รูปที่ 10 อุปกรณ์ตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์ที่ชุมพร

เครื่องส่งจะส่งความถี่แบบต่อเนื่องตั้งแต่ 2 MHz ถึง 30 MHz โดยเริ่มตั้งแต่ 2 MHz และเพิ่มในอัตรา 100 kHz ต่อวินาที ไปจนถึง 30 MHz ในหนึ่งรอบใช้เวลา 5 นาที แล้วเริ่มใหม่ แต่แต่ละความถี่มีความยาวคลื่นและดัชนีหักเหแตกต่างกัน ความถี่ย่านต่ำๆ จะสะท้อนชั้นบรรยากาศไอไอโนสเฟียร์กลับลงมายังสายอากาศรับ แต่ความถี่ที่เลยความถี่วิกฤตจะทะลุขึ้น

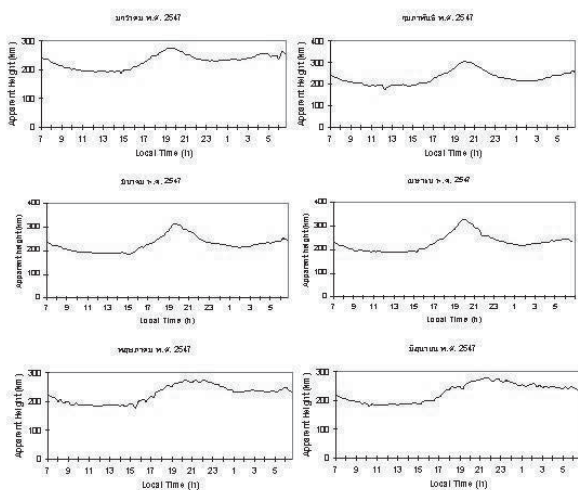
วารสารวิชาการปทุมวัน ปีที่ 2 ฉบับที่ 4 พฤษภาคม - สิงหาคม 2555

บรรยากาศขึ้นไป เครื่องคอมพิวเตอร์ในเครื่องรับจะเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้รู้ค่าความสูงและความถี่วิกฤตของ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โดยเก็บข้อมูลทุก 15 นาที



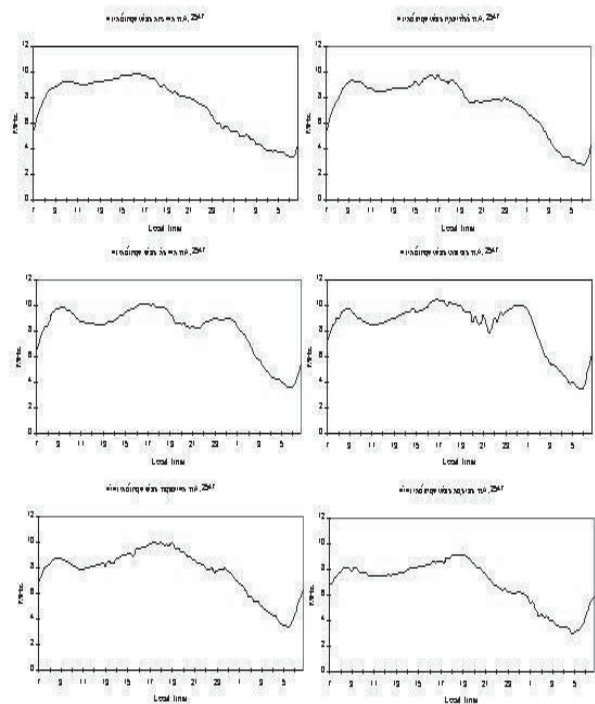
รูปที่ 11 ไอโอโนแกรมที่แสดงความสูงและความถี่วิกฤตของ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

จากรูปที่ 11 ไอโอโนแกรมที่ได้สามารถหาความสูง และความถี่วิกฤตโดยดูจากเส้นโค้งที่อยู่ด้านซ้ายล่าง ถ้าเลื่อน ไม่บรรทัดที่วางแนวนอนขึ้นไปแต่ละด้านล่างของเส้นโค้งก็จะรู้ ความสูงของชั้นไอโอโนสเฟียร์ ถ้าเลื่อนไม่บรรทัดแนวตั้ง เลื่อนจากขวามาซ้ายมือจนแตะเส้นโค้งก็จะรู้ความถี่วิกฤต ส่วนที่เห็นเป็นแถบเส้นตรงในแนวตั้งหลายๆเส้นคือสัญญาณรบกวนที่มาจากคลื่นวิทยุที่ใช้อยู่บริเวณใกล้เคียง



รูปที่ 12 ตัวอย่างความสูงเฉลี่ยเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2547 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [4]

จากการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม 2547 ถึงธันวาคม 2549 พบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะ เลื่อนต่ำลงตั้งแต่เวลา 6.00 น. โดยต่ำสุดในช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. ความสูงเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 170 - 210 กม. จากนั้นจะเลื่อนสูงขึ้นจนมีระดับสูงสุดในช่วงเวลา 20.00 น. ความสูงเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 220 - 310 กม. ดังตัวอย่างใน รูปที่ 12 ในเดือนเมษายนและเดือนกันยายนจะสูงกว่าเดือน อื่นๆ เนื่องจากเป็นเดือน equinox ที่มีช่วงเวลากลางวันเท่ากับ เวลากลางคืน ดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะและมีอิทธิพลต่อชั้น บรรยากาศมากกว่าเดือนอื่น



รูปที่ 13 ตัวอย่างค่าความถี่วิกฤตเฉลี่ยเดือนมกราคม-มิถุนายน พ.ศ. 2547 ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ [4]

ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่วิกฤต จะสัมพันธ์กับ การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอ โนสเฟียร์ ความถี่วิกฤตจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 6.00 - 9.00 น. จากนั้นจะมีค่าลดลงในช่วงเวลา 10.00 - 13.00 น และ เพิ่มขึ้นอีกจนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 17.00 - 19.00 น. แล้วเริ่ม ลดลงจนถึงก่อนพระอาทิตย์ขึ้นของวันใหม่ดังแสดงในรูปที่ 13

การรู้ความสูงและความถี่วิกฤตของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ทำให้เราสามารถรู้ความถี่ที่เหมาะสมกับช่วงเวลานั้นๆได้

3.2 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม

สัญญาณจากดาวเทียมเวลาผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งปริมาณและความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศชั้นนี้มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้คลื่นเกิดการหักเห เครื่องรับที่ภาคพื้นดินจะรับทั้งคลื่นตรงและคลื่นที่ถูกหักเห สัญญาณดาวเทียมที่รับได้บางขณะเวลาจะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างกะทันหัน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า scintillation ดังรูปที่ 14 เนื่องจากเกิดการเสริมหรือหักล้างของคลื่นตรงและคลื่นที่ถูกหักเห ปรากฏการณ์นี้จะเกิดมากในย่านความถี่ L และย่าน VHF มีผลทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดปัญหาในช่วงเวลาที่เกิด scintillation เช่นภาพถ่ายภูมิอากาศที่ส่งลงมาจากดาวเทียมไม่ชัดเจน การระบุตำแหน่งของระบบ GPS เกิดคลาดเคลื่อนผิดจากตำแหน่งที่ควรจะเป็น ความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแสดงได้โดยใช้ ดัชนี S_4 เป็นตัวกำหนด ถ้าดัชนี S_4 มีค่ามาก แสดงถึงเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมาก

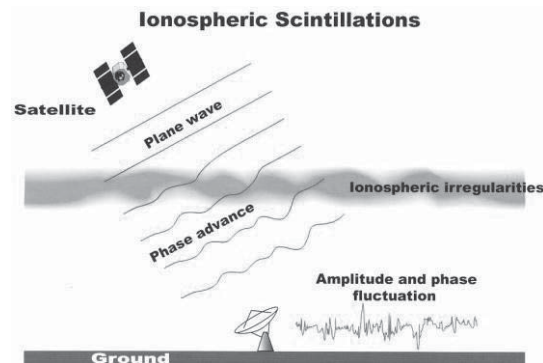
$$S_4 = \sqrt{\frac{\langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2}{\langle A \rangle^2}} \quad (2)$$

โดยที่ A = ระดับสัญญาณที่ถูกสุ่มด้วยความถี่ 50 เฮิร์ตซ์

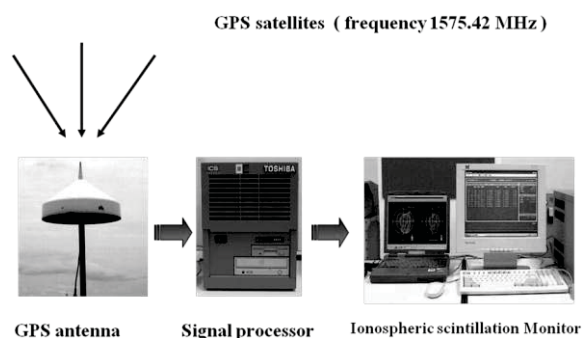
$\langle \rangle$ = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงเวลา 1 นาที

เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ดังในรูปที่ 15 เพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS ความถี่ 1575.42 MHz เพื่อวัดระดับความรุนแรงและคุณลักษณะทางสถิติของปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ L ที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมา แล้วประมวลผลหาค่า S_4 index พบว่าการเกิด scintillation จะ

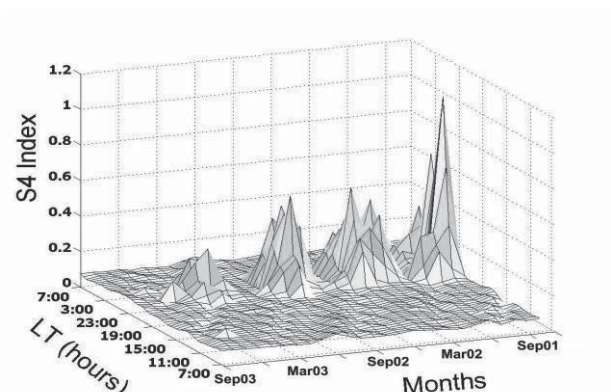
เกิดมากในช่วงเวลากลางคืน เกิดรุนแรงที่สุดในช่วงเวลา 21.00 – 23.00 น. ดังรูปที่ 16



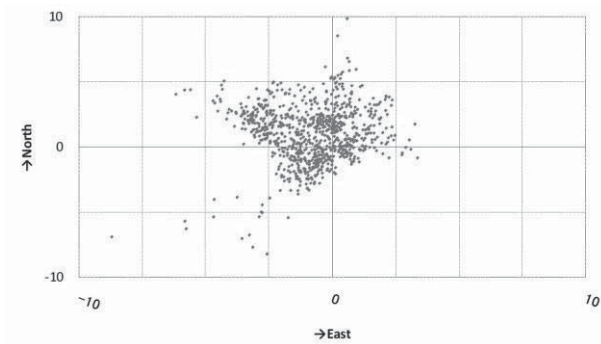
รูปที่ 14 สัญญาณดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ แล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดขึ้นลงอย่างกะทันหัน [5]



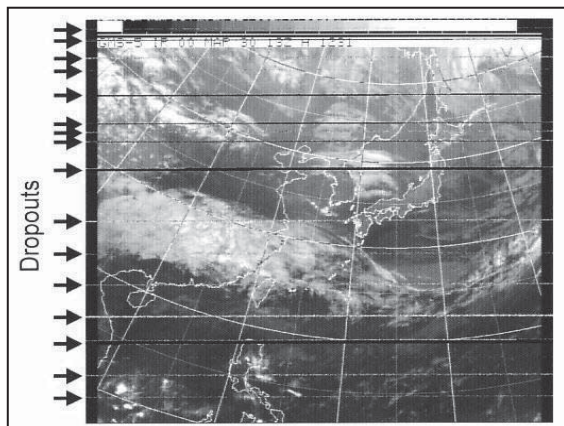
รูปที่ 15 อุปกรณ์วัดสัญญาณเพื่อการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันในย่านความถี่ L จากดาวเทียม GPS



รูปที่ 16 ค่าดัชนี S_4 จะมีค่ามากในปีที่เกิดระเบิดประทุที่ผิวของดวงอาทิตย์มากตามวัฏจักรสุริยะ



รูปที่ 17 ขณะเกิด scintillation ทำให้การระบุตำแหน่งในระบบดาวเทียม GPS ผิดพลาด (หน่วยเป็นเมตร)



รูปที่ 18 ขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน ทำให้ภาพถ่ายที่ส่งมาจากดาวเทียม เป็นแถบเส้นตามลูกศรชี้ [5]

4. สรุป

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์มีผลต่อสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ความถี่สูงกว่า 10 กิโลเฮิร์ตซ์ขึ้นไป เวลาฝนตก สัญญาณจะถูกลดทอน ยิ่งความถี่สูงมากการลดทอนก็จะมาก นอกจากนี้ถ้ามุมเงยของจานสายอากาศต่ำ ช่วงที่คลื่นเดินทางผ่านฝนจะยาวไกล การลดทอนจะมากขึ้นด้วย ส่วนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีผลต่อสัญญาณดาวเทียมที่มีความถี่ต่ำกว่า 4 กิโลเฮิร์ตซ์ลงมา โดยมีผลในรูปของการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหัน ทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดการผิดพลาด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ National Institute of Information and Communications Technology (NICT) แห่งประเทศญี่ปุ่นที่สนับสนุนอุปกรณ์ตรวจวัดชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] อรรถสิทธิ์ เดชสงค์ “การศึกษาการลดทอนสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 เนื่องจากฝนในย่านความถี่เคยู” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [2] NASA/Goddard Space Flight Center. “SOHO” sohowww.nascom.nasa.gov.
- [3] Tadanori Ondoh and Katsuhide Marubashi eds. *Science of Space Environment*. Ohm sha, 2001, pp. 92.
- [4] R. Attaviriyasuwon, N. Leelaruji, N. Hemmakorn and T. Boonchuck “Observation of Ionospheric Height Changes at Chumphon near the Magnetic Equator” *Information, Communication and Signal Processing (ICICS)*, December 6-9, 2005, Bangkok, Thailand, pp. 1169-1172.
- [5] Takashi Maruyama, et al, “Equatorial Ionosphere/Thermosphere Dynamics as Deduced from SEALION” *International South-East Asia Low Latitude Ionospheric Observation Network Symposium*, January 27-28, 2011, Bangkok, Thailand.

ประวัติผู้เขียนบทความ



รองศาสตราจารย์ ณรงค์ เหมกรณ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จาก Tokai University ประเทศญี่ปุ่น ในปี 2511 และ 2516 ตามลำดับ เกษียณราชการจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ การสื่อสารผ่านดาวเทียม ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ที่มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม