

การวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน
ON ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION IN SATELLITE SIGNALS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นโดยผู้ศึกษาวิชาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน
ON ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION IN SATELLITE SIGNALS

อรพิชญา คำธนะ
AORNPICHAYA KHUMTHANA

อินทิรา แสงหาทรัพย์
INTIRA SAWAENGHASAP



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON ANALYSIS OF RAIN ATTENUATION IN SATELLITE SIGNALS

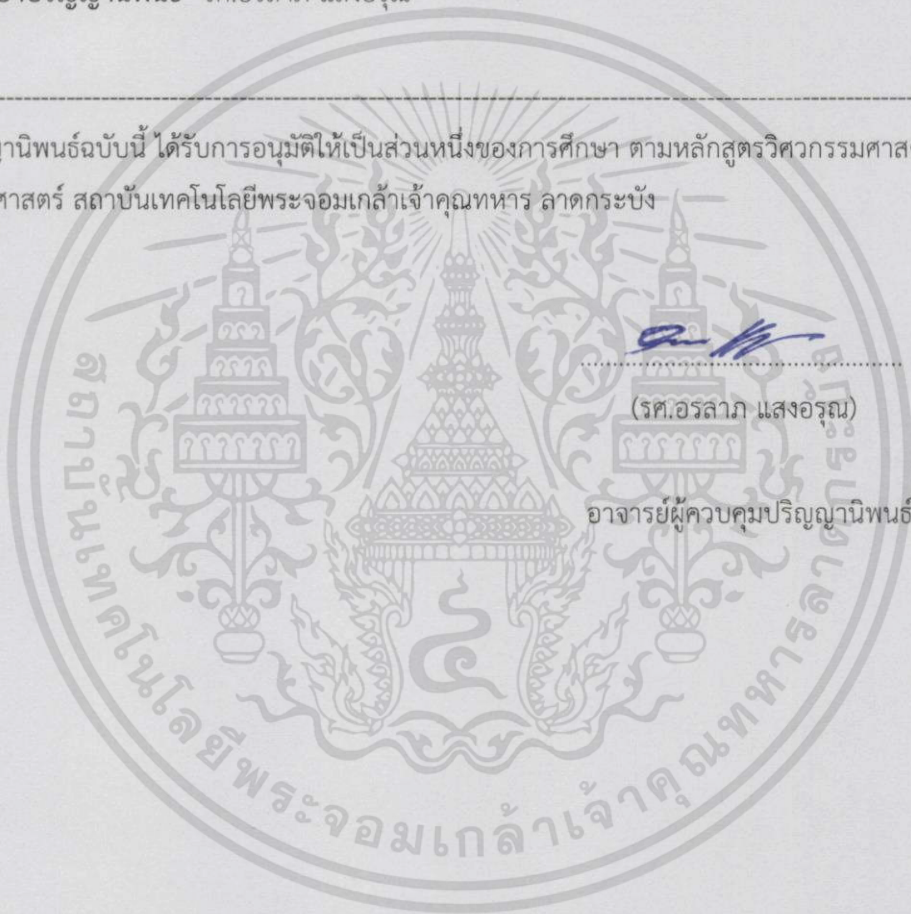


THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน	
รายชื่อนักศึกษา	นางสาวอรพิชญา คำชนะ	รหัสนักศึกษา 53011885
	นางสาวอินทรีรา แสงหาทรัพย์	รหัสนักศึกษา 53011942
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
พ.ศ.	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.อรลภก แสงอรุณ	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน	
รายชื่อนักศึกษา	นางสาวอรพิชญา คำธนะ	รหัสนักศึกษา 53011885
	นางสาวอินทิรา แสงทาทร์พย์	รหัสนักศึกษา 53011942
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
พ.ศ.	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.อรลภก แสงอรุณ	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปรากฏการณ์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน โดยรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 5 ในย่านความถี่ KU band (12.26 GHz) ที่มุมเงยสูง 59.9 องศา โดยใช้จานสายอากาศแบบพาราโบลาขนาด 75 เซนติเมตร ณ จุดรับสัญญาณดาวเทียมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากข้อมูลของระดับสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้พบว่า ปรากฏการณ์การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนในประเทศไทยนั้นมักจะเกิดพร้อมกันกับปรากฏการณ์ซินทิลเลชันเสมอ ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงต้องแยกปรากฏการณ์ทั้งสองออกจากกัน ในการแยกสัญญาณนั้นได้เปรียบเทียบวิธีการแยกปรากฏการณ์ทั้งสองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron และแบบ Adaline จากการเปรียบเทียบพบว่าโครงข่ายประสาทเทียม Adaline สามารถแยกปรากฏการณ์ทั้งสองออกจากกันได้อย่างชัดเจนมากกว่าแบบ Perceptron จากนั้นจะนำค่าการลดทอนที่แยกออกจากซินทิลเลชันแล้วไปวิเคราะห์ โดยเก็บค่าทางสถิติของระดับสัญญาณที่วัดได้ขณะที่เกิดการลดทอนแต่ละช่วงเวลาและคำนวณค่าการลดทอนสะสมที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้คือ $A_{0.1}$, $A_{0.01}$ และ $A_{0.001}$ มีค่า 3 dB, 15 dB และ 24 dB ตามลำดับ เมื่อนำค่าการลดทอนสะสมที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลอง ITU-R และ Crane global พบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่ามากกว่าค่าที่วัดได้ โดยค่าที่ใกล้เคียงที่สุดคือค่าของแบบจำลอง ITU-R โซน N อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปรากฏการณ์การลดทอนในประเทศไทยจะต้องทำการทดลอง วิเคราะห์และนำเสนอต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	On Analysis of Rain Attenuation in Satellite Signals	
Student	Miss Aornphichaya Khumthana	Student ID. 53011885
	Miss Intira Sawaenghasap	Student ID. 53011942
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Information Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Ornlarp Sangaroon	

ABSTRACT

This project present the study and analysis of attenuation phenomenon due to rain. the signal which analysis receive from Thaicom5 in the range of Ku-band satellite downlink, high elevation angle, 59.9degree, parabola antenna 75 centimeters at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok, Thailand.

From the recording signal we found that rain attenuation and scintillation are often to occur concurrently. So scintillation and rain attenuation phenomenon are extracting from raw data by using neuron network. Algorithm of perceptron and adaline neuron network are used for separation and comparison the efficiency. From data analysis, Adaline neuron network can be separated clearly than perceptron. So this research used this data to calculate the percentage of attenuation accumulated per one year. The results of calculation shows the rain attenuation, $A_{0,1}$, $A_{0,01}$ and $A_{0,001}$ is 3 dB, 15 dB and 24 dB. The comparison measurement model and ITU-R model, Crane global model, it shows ITU-R and Crane global found ITU-R and crane global have value more than real measurement. The most nearby is ITU-R model in zone N. However, the appropriation model for occurrence of rain attenuation has to analyze and experimental results are carried out.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือและการให้คำแนะนำจากรองศาสตราจารย์อรลาภ แสงอรุณ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งท่านคอยให้คำปรึกษา แนวคิดและช่วยแก้ปัญหาต่างๆในการทำปริญญาานิพนธ์ ตลอดจนให้การสนับสนุนในด้านต่างๆเป็นอย่างดีผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและกราบขอพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ปิ่น และ พี่แบนด์ สำหรับการให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง และตอบคำถามข้อสงสัยในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และ ครอบครัววิศวกรรมสารสนเทศทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ และร่วมฝ่าฟันอุปสรรคต่างๆมาด้วยกัน

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณครอบครัวและผู้มีพระคุณทุกท่านที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน และให้กำลังใจช่วยเหลือผู้วิจัยเสมอมา

อรพิชญา คำธนะ
อินทิรา แสงหาทรัพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้.....	3
2.1 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน.....	3
2.1.1 ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	3
2.1.2 ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์.....	6
2.2 ปรากฏการณ์การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝน.....	6
2.2.1 ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน.....	6
2.2.2 ฝน	7
2.3 แบบจำลองการลดทอน	9
2.3.1 แบบจำลองของ ITU-R.....	9
2.3.2 แบบจำลองของ crane global rain attenuation	18
2.4 โครงข่ายประสาทเทียม.....	23
2.4.1 โครงข่ายประสาทของมนุษย์	23
2.4.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.3 ประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม.....	26
2.4.4 ประเภทการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม	27
2.4.5 ฟังก์ชันการแปลง	28
2.4.6 โครงข่ายประสาท Adaline.....	30
2.4.7 โครงข่ายประสาท Single layer perceptron.....	34
บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย	37
3.1 รายละเอียดการวัดสัญญาณ.....	37
3.2 ขั้นตอนการวัดและบันทึกสัญญาณ.....	37
3.3 การวิเคราะห์สัญญาณ.....	39
3.4 การแยกสัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron.....	40
3.5 การแยกสัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline.....	42
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน.....	43
3.7 การหาค่าลดทอนสะสม	45
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	48
4.1 การแยกสัญญาณด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron.....	48
4.2 การแยกสัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline.....	53
4.3 แบบจำลอง ITU-R.....	58
4.4 แบบจำลอง Crane Global Rain Attenuation.....	62
4.5 ปริมาณน้ำฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณ.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	70
5.1 การแยกสัญญาณด้วยโครงข่ายประสาทเทียม	70
5.2 แบบจำลองการลดทอน	70
5.3 แนวทางการพัฒนาวิจัย.....	71
5.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	74

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ก. ดาวเทียมไทยคม 5	74
ภาคผนวก ข. โปรแกรมตัวกรองความถี่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ADALINE	76
ภาคผนวก ค. โปรแกรมตัวกรองความถี่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม PERCEPTRON.....	79



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า k_h	13
2.2 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า k_v	13
2.3 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า α_h	13
2.4 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า α_v	17
2.2 ค่าเฉลี่ยสะสมของขอบด้านบนและด้านล่าง	22
3.1 รายละเอียดของการวัดสัญญาณ	37
3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน	43
3.3 การหาค่าการลดทอนสะสม	45
4.1 พารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการคำนวณ	58
4.2 อัตราการตกของฝนที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง ITU-R	58
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่คำนวณได้	59
4.4 ค่าการลดทอนจำเพาะที่คำนวณได้	60
4.5 ค่าพิสัยในการลดลงในแนวราบที่คำนวณได้	60
4.6 ค่าพิสัยในการลดลงในแนวตั้งที่คำนวณได้	60
4.7 ระยะทางที่สัญญาณได้รับผลกระทบเนื่องจากฝนที่คำนวณได้	61
4.8 การลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนที่คำนวณได้	61
4.9 อัตราการตกของฝนที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง Crane Global	62
4.10 ค่าคงที่ต่างๆที่เวลา 0.1 เพอร์เซ็นต์	63
4.11 ค่าคงที่ต่างๆที่เวลา 0.01 เพอร์เซ็นต์	63
4.12 ค่าคงที่ต่างๆที่เวลา 0.001 เพอร์เซ็นต์	64
4.13 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนแต่ละเปอร์เซ็นต์เวลา	64

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเกิดชั้นทึบเลชันจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทโพสเฟียร์.....	3
2.2 ชั้นย่อยในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์.....	5
2.3 การชนกันของหยดน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก.....	7
2.4 การวัดสัญญาณของ ITU-R.....	9
2.5 ระดับความสูงของฝนที่ระดับอุณหภูมิต่ำ 0 องศาเซลเซียส.....	11
2.6 การแบ่งโซนของ ITU-R P.837-1.....	12
2.7 อัตราการตกของฝนแต่ละโซนของ ITU-R P.837-1.....	13
2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ k_h ของ ITU-R P.838-3.....	15
2.9 ค่าสัมประสิทธิ์ k_v ของ ITU-R P.838-3.....	15
2.10 ค่าสัมประสิทธิ์ α_h ของ ITU-R P.838-3.....	16
2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ α_v ของ ITU-R P.838-3.....	16
2.12 การแบ่งเขตพื้นที่ของแบบจำลอง crane global.....	19
2.13 การกระจายสะสมของฝนแต่ละพื้นที่.....	20
2.14 ระดับความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ isotherm.....	20
2.15 โครงข่ายประสาทของมนุษย์.....	23
2.16 โครงข่ายประสาทเทียม.....	24
2.17 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า.....	25
2.18 โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนเวียนกลับ.....	26
2.19 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว.....	26
2.20 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น.....	27
2.21 การทำงานของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน.....	28
2.22 การทำงานของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน.....	28
2.23 ฟังก์ชันเชิงเส้น.....	29
2.24 ฟังก์ชันซันบันได.....	29
2.25 ฟังก์ชันเครื่องหมาย.....	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.26 ฟังก์ชันซิกมอยด์	30
2.27 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline	31
2.28 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Single layer perceptron	34
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและบันทึกสัญญาณ	37
3.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม(Satellite Receiver) ย่านความถี่ Ku	38
3.3 เครื่องบันทึกสัญญาณแบบดิจิตอล(QR100)	38
3.4 ระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้เมื่อเกิดปรากฏการณ์การลดทอนและ ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันพร้อมกัน	37
3.5 ระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้	40
3.6 ผังงาน (Flowchart) ของโครงข่ายประสาทเทียม Perceptron	41
3.7 ผังงาน (Flowchart) ของโครงข่ายประสาทเทียม Adaline	42
3.8 ปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนของปี พ.ศ.2554	43
3.9 ปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนของปี พ.ศ.2555	44
3.10 ปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนของปี พ.ศ.2556	44
3.11 การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียม ณ วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ.2556	45
3.12 ระยะเวลาการเกิดการลดทอน	46
3.13 ระยะเวลาสะสมของการเกิดการลดทอน	46
4.1 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	48
4.2 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	49
4.3 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	49
4.4 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	50
4.5 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	50
4.6 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	51
4.7 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	51
4.8 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ปราบกฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Perceptron.....	52
4.10 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline	53
4.11 ปราบกฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline.....	54
4.12 ปราบกฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline	54
4.13 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline	55
4.14 ปราบกฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline.....	55
4.15 ปราบกฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline	56
4.16 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline	56
4.17 ปราบกฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Adatine	57
4.18 ปราบกฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ.2556 โดยใช้ Adaline	57
4.19 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ITU-R.....	62
4.20 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่คำนวณได้จากแบบจำลอง Crane Global.....	65
4.21 อัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ.....	66
4.22 การเปรียบเทียบค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ.....	66
4.23 ปริมาณน้ำฝนวันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ.2556.....	67
4.24 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ ณ วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ.2556.....	67
เวลาประมาณ 11.00 น.	
4.25 ปริมาณน้ำฝนวันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ.2556.....	68
4.26 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ ณ วันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ.2556.....	68
เวลาประมาณ 02.15 น.	
4.27 ปริมาณน้ำฝนวันที่ 11-12 กันยายน พ.ศ.2556	68
4.26 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ ณ วันที่ 11 กันยายน พ.ศ.2556	69
เวลาประมาณ 22.15 น.	
ก.1 รูปดาวเทียมไทยคม 5.....	74
ก.2 พื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม 5	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันระบบสื่อสารดาวเทียมเป็นระบบที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ มากมาย ซึ่งมีหลายย่านความถี่ที่ถูกนำมาใช้งาน ในระยะเริ่มต้นระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมใช้งานในย่านความถี่ C Band (4-8 GHz) ในการรับส่งสัญญาณ ต่อมาเนื่องด้วยมีย่านความถี่ที่ตรงกับย่านความถี่ไมโครเวฟของสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแก่สถานีภาคพื้นดินได้ง่าย รวมไปถึงความต้องการทางด้าน การสื่อสารในยุคปัจจุบันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงมีการนำย่านความถี่ Ku Band (12-18 GHz) นำมาใช้งานเพิ่มเติม โดยสัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมนั้นจะต้องผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ซึ่งผลกระทบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งานของดาวเทียม ถ้าความถี่ยิ่งสูงความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง ดังนั้นความถี่ย่าน KU ซึ่งเป็นย่านความถี่สูงนั้น จึงได้รับผลกระทบทั้งจากการลดทอนของสัญญาณ (Attenuation) และการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอย่างกะทันหัน (Scintillation) ซึ่งทำให้คุณลักษณะต่างๆ ของสัญญาณเปลี่ยนไป

ดังนั้นจึงมีทำการศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ KU Band ที่รับได้โดยทำการแยกผลกระทบทั้งสองออกจากกัน ในที่นี้ทำการแยกสัญญาณโดยประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมที่นำมาใช้ เพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพต่อไป

นอกจากนี้ จะศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการลดทอน รวมไปถึงศึกษาทฤษฎีและแบบจำลองการเกิดการลดทอนของสัญญาณ เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ KU Band ทั้งการลดทอนของสัญญาณและซินทิลเลชัน
2. เพื่อศึกษาโครงข่ายประสาทเทียมแบบต่างๆ และนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณ
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมแต่ละแบบที่นำมาใช้
4. เพื่อศึกษาทฤษฎีและแบบจำลองการเกิดการลดทอนสัญญาณ รวมไปถึงศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลให้เกิดการลดทอน

1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. บันทึกและศึกษาข้อมูลจากสัญญาณดาวเทียมที่รับได้
2. ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการแยกผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณออกจากปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Algorithm ที่นำมาใช้ในการแยกสัญญาณ
4. ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้เกิดการลดทอนสัญญาณ
5. ศึกษาทฤษฎีและแบบจำลองการเกิดการลดทอนสัญญาณ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้และข้อมูลทางสถิติของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ
2. ได้ผลการวิเคราะห์สัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Algorithm ที่นำมาใช้ได้
3. ได้รับความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์การลดทอนสัญญาณ รวมไปถึงสามารถอธิบายทฤษฎีและแบบจำลองการเกิดการลดทอนสัญญาณได้

1.5 รายละเอียดของปริญญาโท

ปริญญาโทฉบับนี้แบ่งเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของปริญญาโท และผลที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ กล่าวถึงปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ปรากฏการณ์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน แบบจำลองการเกิดการลดทอน และโครงข่ายประสาทเทียม

บทที่ 3 ขั้นตอนการวิจัย กล่าวถึงการวัดและบันทึกสัญญาณ การใช้โครงข่ายประสาทเทียม Perceptron และ Adaline ในการแยกปรากฏการณ์การลดทอนของสัญญาณออกจากปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน การวิเคราะห์ปริมาณฝน การหาค่าการลดทอนของระดับสัญญาณ

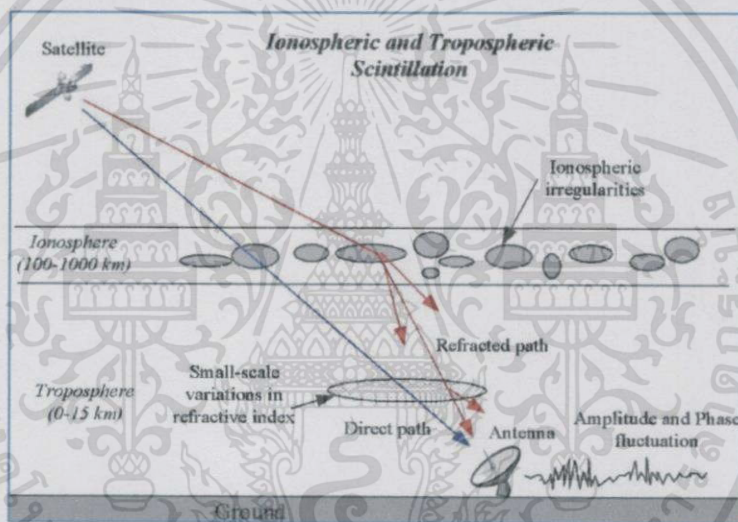
บทที่ 4 ผลการวิจัย

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และแนวทางในการพัฒนางานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (Scintillation Phenomena)

ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน (Scintillation) คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอย่างกะทันหัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งแอมพลิจูด เฟส มุมของคลื่นที่มาถึงจุดรับ และโพลาไรซ์เซชัน ซึ่งการเกิดซินทิลเลชันนั้นมีผลมากจากการที่สัญญาณส่งลงมาจากดาวเทียมโดยผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ สภาวะความแปรปรวนของแต่ละชั้นบรรยากาศนั้นเป็นผลทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณอย่างกะทันหัน



รูปที่ 2.1 การเกิดซินทิลเลชันจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ และโทรโพสเฟียร์

2.1.1 ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือชั้นที่อยู่ระหว่างความสูง 90 - 800 กิโลเมตร ในชั้นนี้ปฏิกิริยาทางเคมีของแสงทำให้ก๊าซต่างๆ ในชั้นนี้แตกตัวเป็นไอออนจึงอาจเรียกว่า ไอโอโนสเฟียร์ (ionosphere) บรรยากาศชั้นนี้จะเต็มไปด้วย “ไอออน” มีคุณสมบัติในการดูดกลืนหรือสะท้อนคลื่นวิทยุ ตัวที่มีบทบาท คือความเข้มข้นของอิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron Density) บรรยากาศชั้นนี้เป็นชั้นที่อยู่บนสุด พบว่า อุณหภูมิเริ่มเพิ่มสูงขึ้นตามระดับความสูง ประมาณ 200 กิโลเมตรจากผิวโลกจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 500°C และ ที่ระดับความสูง 700-800 กิโลเมตรจะมีอุณหภูมิ สูงกว่า 100°C การที่อุณหภูมิ สูงขึ้นก็เพราะการดูดกลืนแสง UV โดย O_2 และ N_2 ซึ่งโมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ไอออน เช่น NO^+ , O_2 และ O^+ เป็นต้น

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะมีส่วนประกอบของแก๊สไอโอไนซ์ที่เรียกว่า “พลาสมา” โดยในธรรมชาตินั้นจะประกอบไปด้วยประจุบวก (ไอออน) และประจุลบ (อิเล็กตรอน) ในปริมาณที่เท่ากัน ความไม่สม่ำเสมอของพลาสมานี้ถือเป็นสิ่งที่รบกวนหรือขัดขวางซึ่งนับว่ามีผลมากต่อการเดินทางของคลื่น โดยบรรยากาศชั้นนี้จะแบ่งออกเป็นชั้นย่อย ๆ ได้อีกดังนี้

1) ชั้น D (D layer)

ชั้น D เป็นชั้นที่ต่ำที่สุดในชั้น Ionosphere ด้วยกัน มีความสูงจากพื้นดินประมาณ 50-90 กิโลเมตร จะปรากฏเฉพาะกลางวันเท่านั้น และความเข้มของการไอโอไนซ์ จะเปลี่ยนแปลงตามความสูงของดวงอาทิตย์ ชั้นนี้มีคุณสมบัติในการสะท้อนคลื่นวิทยุย่านความถี่สูง และดูดกลืนวิทยุความถี่ต่ำ (ต่ำกว่า 4-6 MHz) ชั้นนี้จะหายไปอย่างรวดเร็วหลังจากดวงอาทิตย์ตก ในเวลากลางคืน จะมีการดูดกลืน (absorption) น้อยมาก และในเวลาเที่ยงวันจะมีการดูดกลืนมากที่สุด

2) ชั้น E (E layer)

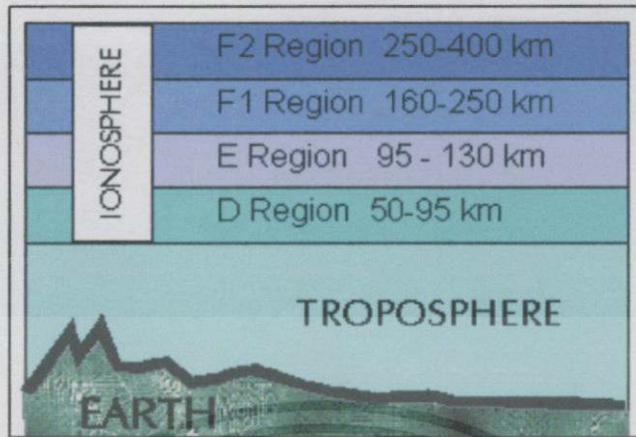
ชั้น E มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 100-125 กิโลเมตร สามารถสะท้อนคลื่นวิทยุลงมาสู่พื้นผิวโลกได้ จึงมีประโยชน์ในการรับ - ส่ง วิทยุระยะไกล โดยสามารถติดต่อสื่อสารผ่านชั้น E ได้ไกลถึง 2,500 กิโลเมตร นอกจากนี้ชั้น E ยังมี sporadic E (หรือ E_s) ซึ่งมักจะเกิดในช่วงฤดูร้อน (มากสุดในเดือนมิถุนายนสำหรับซีกโลกเหนือ) บางครั้งอาจจะเกิดขึ้นแค่ระยะไม่กี่นาที จนถึง ชั่วโมง ในบางครั้งชั้นนี้จะสามารถสะท้อนคลื่นวิทยุในย่าน VHF และ UHF ได้

3) ชั้น F (F layer)

ชั้น F เป็นชั้นที่มีความสำคัญมากในการติดต่อสื่อสารทางไกล ของวิทยุในย่าน HF มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 150 - 500 กิโลเมตร ในตอนกลางวันชั้น นี้จะแบ่งออกเป็น 2 ชั้นย่อยคือ

- ชั้น F1 (F1 - Layer) มีความสูงประมาณ 175 - 250 กิโลเมตร มีการไอโอไนซ์ตลอดเวลาเกิดมากที่สุดในตอนบ่าย ความสูงของชั้นนี้อาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับ จุดดับบนดวงอาทิตย์ ฤดู และเวลาในวันหนึ่ง ๆ ด้วย คุณสมบัติของ F1 นี้ใช้ในการสะท้อนคลื่นวิทยุในการรับส่งระยะไกล แต่มีการดูดกลืนบ้างเล็กน้อย

- ชั้น F2 (F2 - Layer) มีความสูงประมาณ 250 - 400 กิโลเมตร ชั้นนี้นับว่ามีบทบาทในการสื่อสารอย่างมาก มีการไอโอไนซ์อย่างรุนแรง แต่เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศเบาบางมาก จึงทำให้การไอโอไนซ์ที่เกิดขึ้นค้างอยู่นาน การไอโอไนซ์จะรุนแรงมากในตอนบ่ายแล้วค่อย ๆ ลดลงน้อยที่สุดก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในตอนเช้า ความสูงของชั้น F2 ฤดูร้อนจะสูงกว่าฤดูหนาว ในตอนกลางคืนชั้น F1 และ F2 จะรวมรวมกันเหลือเพียงชั้นเดียวเรียกว่า ชั้น F มีความสูงประมาณ 300 กิโลเมตร



รูปที่ 2.2 ชั้นย่อยในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

2.1.1.1 ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ผลกระทบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนใน Sporadic E และการเกิดขึ้นของชั้น F ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอย่างรุนแรง นั่นคือ รูปแบบการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งลักษณะของการเกิดซินทิลเลชันของสัญญาณนั้นจะขึ้นอยู่กับความถี่ สนามแม่เหล็กโลก วัฏจักรสุริยะ ช่วงเวลาในแต่ละวัน ฤดูกาล และตำแหน่งละติจูด ความไม่สม่ำเสมอของกลุ่มอิเล็กตรอนในชั้น F จะทำให้เกิดซินทิลเลชันบริเวณแถวละติจูดสูงและแถบศูนย์สูตร จะอยู่ที่ความสูง 250-400 กิโลเมตร และมักจะเกิดในเวลากลางวัน

ชั้น F เป็นชั้นที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาซินทิลเลชันมากกว่าชั้นอื่นๆ เนื่องจากค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนมีการเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด โดยชั้น F นี้จะปรากฏในเวลากลางวัน และเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาและฤดูกาล บริเวณที่มีค่าอิเล็กตรอนสูงที่สุดนั้น ในตอนกลางวันจะต่ำกว่าตอนกลางคืน และฤดูหนาวต่ำกว่าฤดูร้อน

2.1.1.2 บริเวณที่เกิดซินทิลเลชันจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

1. การเกิดซินทิลเลชันบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร

ปรากฏการณ์ซินทิลเลชันที่เกิดในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตรนั้นมีความรุนแรงมากกว่าในบริเวณอื่นๆ โดยค่าความหนาแน่นของอิเล็กตรอนในชั้น F ที่มีความผิดปกตินั้นจะส่งผลให้เกิดซินทิลเลชันในตอนกลางวัน ส่วนซินทิลเลชันที่เกิดในเวลากลางวันนั้นเป็นผลมาจากการความผิดปกติของชั้น E_s โดยจะเกิดขึ้นชั่วคราว บางสถานที่ และจะเป็นซินทิลเลชันแบบกึ่งที่เรียด (Quasi-periodic scintillation) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความถี่ต่ำกว่าย่านดาวเทียม

นอกจากนี้ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลต่อความรุนแรงของการเกิดซินทิลเลชัน โดยค่าพีคของการเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันนั้นจะมีค่าสูง เมื่อมีความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูง

2. การเกิดซินทิลเลชันบริเวณแถบละติจูดสูง

ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์นั้นมีผลต่อการเกิดซินทิลเลชันในบริเวณนี้ โดยในช่วงที่ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์มากนั้นจะทำให้การเกิดซินทิลเลชันมีความรุนแรง และในแถบขั้วโลกจะมีความรุนแรงของการเกิดซินทิลเลชันซึ่งจะเบาบางกว่าบริเวณที่มีแสงอาทิตย์

3. การเกิดซินทิลเลชันบริเวณแถบละติจูดกลาง และพื้นที่อื่นๆ

2.1.2 ซินทิลเลชันที่เกิดจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่อยู่ล่างสุด ที่อยู่สูงจากพื้นโลกขึ้นไป มีระยะความสูงประมาณ 10-12 กิโลเมตร ประกอบด้วยส่วนผสมของก๊าซชนิดต่าง ๆ และไอน้ำ โดยอุณหภูมิของอากาศจะลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น

บรรยากาศชั้นนี้มักปรากฏสภาพอากาศรุนแรง เนื่องจากมีมวลอากาศอยู่หนาแน่น และการดูดคายความร้อนแฝง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำในอากาศ รวมทั้งอิทธิพลทางภูมิศาสตร์ของพื้นผิวโลก

การเกิดซินทิลเลชันเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นั้น อุณหภูมิและความชื้นถือเป็นปัจจัยสำคัญ นั่นคือ ขนาดของการเกิดซินทิลเลชันจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิและความชื้นมีค่าสูง นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่นๆ ส่งผลให้เกิดซินทิลเลชัน ทั้งความเร็วลม วงรอบของฤดูกาลต่างๆ โดยในบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะเกิดมากช่วงฤดูฝน และในเขตละติจูดปานกลางจะเกิดในช่วงกลางฤดูร้อน

2.2 ปรากฏการณ์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน

2.2.1 ผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน

เนื่องจากการส่งสัญญาณดาวเทียมนั้น เป็นการส่งสัญญาณโดยผ่านตัวกลาง คือ อากาศ ซึ่งสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากการชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการจางหายของสัญญาณ นอกจากนี้การลดทอนสัญญาณเนื่องจากฝนยังเป็นอีกผลกระทบหนึ่งซึ่งเกิดขึ้น โดยเฉพาะกับสัญญาณดาวเทียมในย่าน KU Band ซึ่งมีความถี่สูงกว่า 10 GHz ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการลดทอน คือ

1. การดูดกลืนพลังงาน (Absorption)

การดูดกลืนพลังงานเกิดจากการที่ความยาวคลื่นของสัญญาณนั้นมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดฝน ทำให้สัญญาณที่มีความถี่สูงจะถูกดูดกลืนได้มากกว่าสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ เนื่องจากสัญญาณที่มีความถี่สูงนั้นจะมีความยาวคลื่นน้อย เมื่อสัญญาณเดินทางผ่านเม็ดฝนจะเกิดการเหนี่ยวนำและมีกระแสเกิดขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน

2. การกระจายของคลื่น (Scattering)

การกระจายของคลื่นเกิดจากการกระแทกกันของคลื่นและเม็ดฝนระหว่างที่คลื่นเดินทางผ่านอากาศ ซึ่งทำให้เกิดการกระจายของคลื่นไปในทิศทางต่างๆ โดยจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดฝน ดังนั้นสัญญาณในทิศทางที่ต้องการจะเกิดการลดทอนไป

3. การดีโพลาไรเซชัน (Depolarization)

ดีโพลาไรเซชันเป็นผลกระทบที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของเม็ดฝนที่คลื่นเดินทางผ่าน เม็ดฝนนั้นมีลักษณะไม่เป็นทรงกลมสมบูรณ์ โดยการลดทอนจะเกิดขึ้นสูงเมื่อฝนตกหนัก เม็ดฝนมีขนาดใหญ่และลมพัดแรง ซึ่งเป็นเหตุทำให้เม็ดฝนไม่เป็นทรงกลมมากขึ้น

2.2.2 ฝน

2.2.2.1 การเกิดฝน

ฝนเกิดจากกลุ่มเมฆที่รวมตัวกันหลายๆ ล้วนอนุภาค จนมากพอที่จะทำให้เกิดฝนโดยในประเทศไทยนั้นจะเกิดฝนได้จากหลายสาเหตุ คือ เกิดจากการพาความร้อน (Convective Rain) เกิดจากการยกตัวของอากาศไปบนภูเขา ที่เรียกว่า ฝนภูเขา (Orographic Rain) หรือ อาจเป็นฝนที่เกิดจากพายุหมุน (Cyclonic Rain) โดยกระบวนการที่ทำให้เกิดฝนมี 2 กระบวนการ คือ

1. กระบวนการชนกันแล้วรวมตัวกัน (Collision-Coalescence process)

กระบวนการชนกันแล้วรวมตัวกันเป็นปฏิกิริยาการชนกันแบบลูกโซ่ของหยดน้ำขนาดเล็กในก้อนเมฆ ซึ่งหยดน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่ามีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่มากกว่าจะเข้าชนหยดน้ำที่มีขนาดเล็กกว่า ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นซ้ำๆ จนกลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดเป็นหยดน้ำขนาดใหญ่พอจนกลายเป็นฝน โดยกระบวนการนี้จะเกิดกับเมฆที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.3 การชนกันของหยดน้ำขนาดใหญ่และขนาดเล็ก

2. กระบวนการเบอร์เจอรอน (Bergeron process)

กระบวนการเบอร์เจอรอนเป็นกระบวนการเกิดฝนจากเมฆที่มีส่วนประกอบของน้ำ ไอน้ำ และ ผลึกน้ำแข็งรวมกัน และเมฆมีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เนื่องจากความดันไอน้ำอิ่มตัวในน้ำแข็งมีค่าน้อยกว่าน้ำ จึงทำให้ไอน้ำกลั่นตัวบนผลึกน้ำแข็ง เมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้นจนใหญ่พอจะตกลงมาเป็น หิมะ หรือ ฝน ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศโดยรวม

2.2.2.2 รูปร่างและขนาดของเม็ดฝน

รูปร่างและขนาดของเม็ดฝนเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ รวมทั้งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโพลาไรซ์เซชันด้วย สามารถจำแนกรูปร่างและขนาดของเม็ดฝนได้ดังนี้

1. Spherical เป็นเม็ดฝนที่มีขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 170 ไมโครเมตร โดยเม็ดฝนขนาดเล็กนี้จะมีแรงดึงดูดมากกว่าแรงต้านอากาศ
2. Spheroidal เป็นเม็ดฝนที่มีลักษณะเป็นวงรี เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 170-500 ไมโครเมตร การที่มีลักษณะเป็นวงรีเนื่องจากมีแรงต้านของอากาศมากกว่าแรงดึงดูด
3. Flattened spheroidal เป็นเม็ดฝนที่ลักษณะมนบริเวณด้านบนและแบนด้านล่าง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 500-2000 ไมโครเมตร
4. Pruppacher and Pitter เป็นเม็ดฝนขนาดใหญ่โดยจะมีรอยเว้าที่ฐาน เส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 2000 ไมโครเมตร

2.2.2.3 ลักษณะของฝน

ลักษณะของฝนถ้าจำแนกตามกระบวนการการเกิดฝน สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ฝนละออง (Dizzle) เป็นฝนที่หยดน้ำมีขนาดเล็กมาก เกิดจากเมฆสเตรตัส (Stratus) ที่อยู่ในระดับต่ำๆ โดยฝนละอองจะตกอย่างเป็นระเบียบและจะมีปริมาณไม่มากนัก
2. ฝนชู่ (Shower) เป็นฝนที่เกิดจากเมฆอย่างหนา ตกอยู่ในช่วงเวลาสั้นๆ มีการเปลี่ยนแปลงความรุนแรงอย่างรวดเร็ว และหยดน้ำที่ตกลงมานั้นจะมีขนาดใหญ่
3. ฝนตกเป็นระยะๆ (Intermittent rain) เป็นฝนที่ตกๆ หยุดๆ เกิดจากเมฆแผ่นที่ปกคลุมท้องฟ้าเป็นเวลานาน เป็นบริเวณกว้าง
4. ฝนตกอย่างต่อเนื่อง (Continuous rain) เป็นฝนที่ตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน

2.3 แบบจำลองการลดทอน

2.3.1 แบบจำลองของ ITU-R [ITU-R P.618-11]

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนเพื่อใช้ในการทำนายการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน โดยต้องทราบค่าตัวแปร ดังนี้

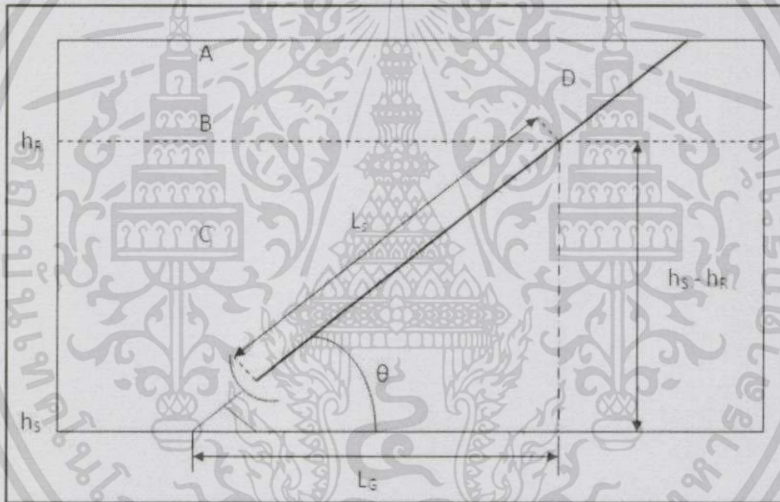
R_p คือ ค่าอัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลา p % (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

h_s คือ ความสูงของงานสายอากาศรับที่เทียบกับระดับน้ำทะเล

θ คือ มุมเงยของงานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียม (องศา)

φ คือ ตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน

f คือ ความถี่ (GHz)



รูปที่ 2.4 การวัดสัญญาณของ ITU-R

A คือ ชั้นบรรยากาศ

B คือ ระดับความสูง

C คือ พื้นที่ที่ฝนตกลงมา

D คือ แนวเส้นทางระหว่างงานสายอากาศรับกับดาวเทียม

ขั้นตอนที่ 1 ทหารดับความสูงของฝน h_R โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.5

$$h_R = h_0 + 0.36 \text{ กิโลเมตร} \quad (2.1)$$

โดยค่า h_R คือ ค่าความสูงที่ระดับอุณหภูมิเท่ากับ 0 องศาเซลเซียส โดยสามารถดูค่า h_0 ได้จากรูปที่ 2.5 ซึ่งประเทศไทยมีค่า $h_R = 4.5 + 0.36 = 4.8$ กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 2 สำหรับ $\theta \geq 5^\circ$ สามารถหาระยะทาง Slant Path: L_S ได้จากความสูงของฝน ตามสมการที่ 2.2

$$L_S = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.2)$$

สำหรับ $\theta < 5^\circ$ จะใช้สมการ

$$L_S = \frac{2(h_R - h_S)}{\left(\sin^2 \theta + \frac{2(h_R - h_S)}{R_e}\right)^{1/2} + \sin \theta} \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.3)$$

เมื่อ R_e คือ Effective Earth Radius (ประมาณ 8,500 กิโลเมตร)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณระยะในแนวระนาบ L_G ของความยาวในแนว Slant Path ตามสมการที่ 2.4

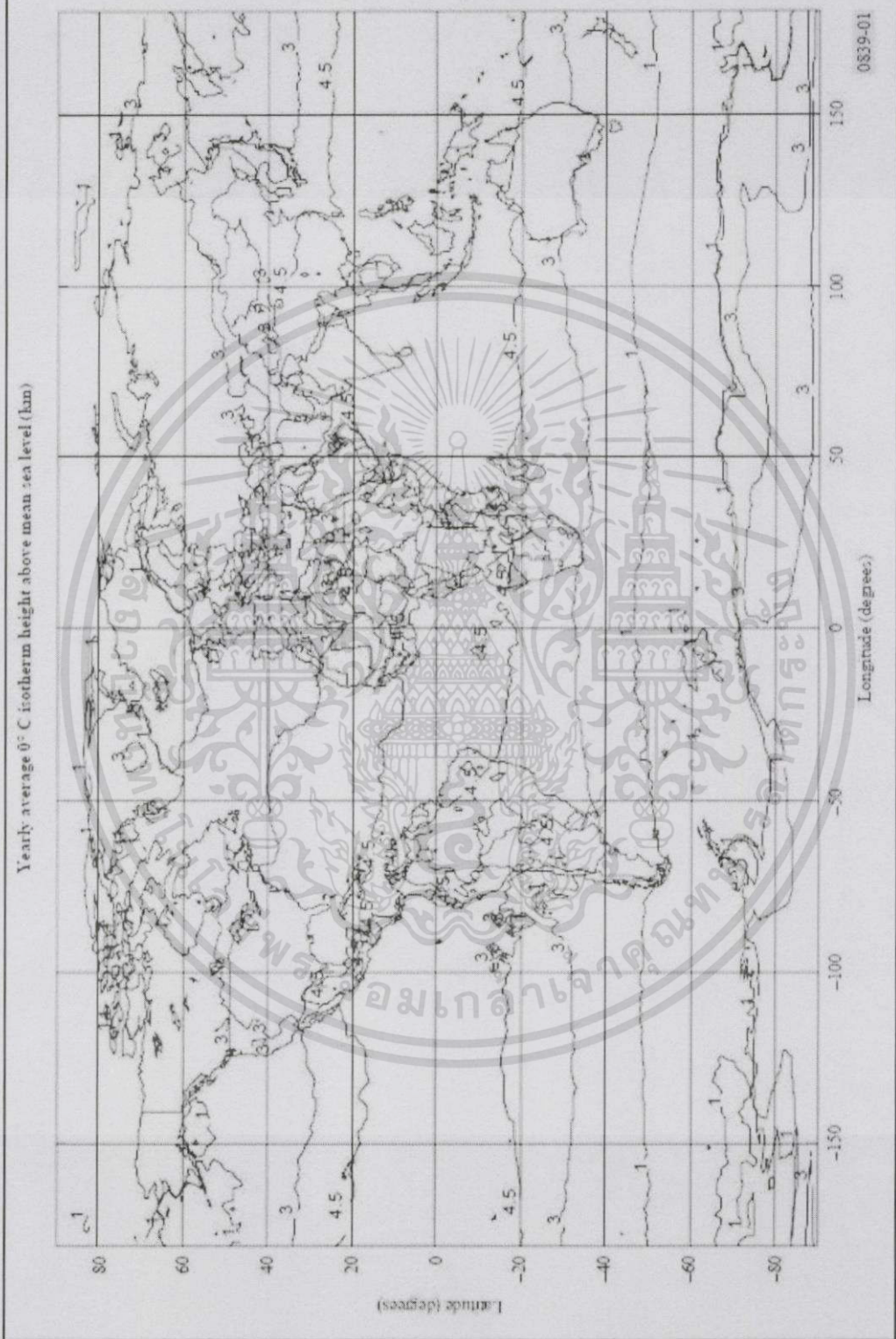
$$L_G = L_S \cos \theta \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.4)$$

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราการตกของฝนที่ R_p โดย p คือ เบอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ โดยจะแบ่งเป็นแต่ละโซนสามารถดูได้จากรูปที่ 2.6 และ 2.7

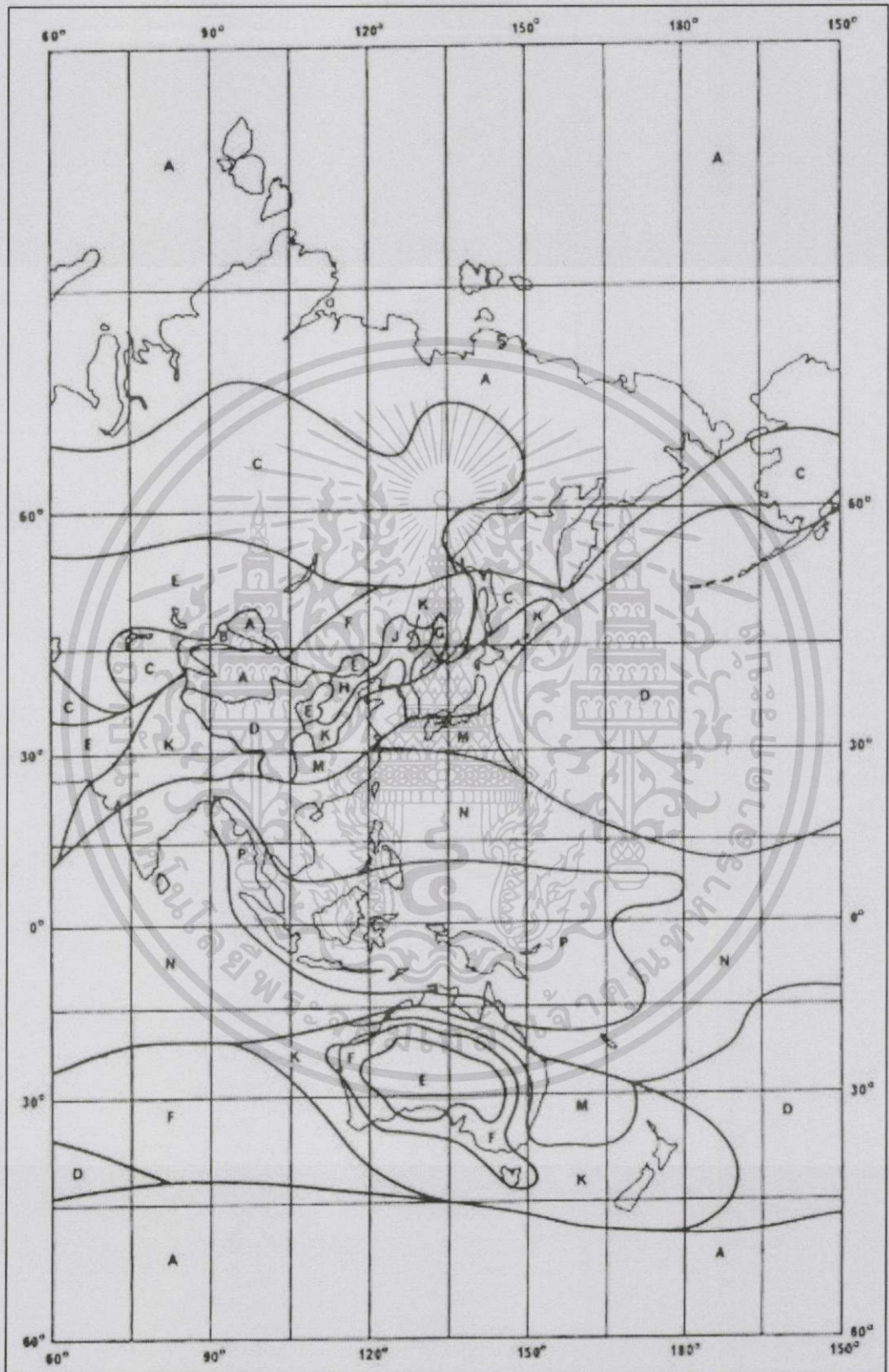
ขั้นตอนที่ 5 หาค่าการลดทอนจำเพาะ γ_R โดยสามารถดูได้จากสมการที่ 2.9 โดยค่า k และ ค่า α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ทางด้านแนวนอน (H) หรือแนวตั้ง (V) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.5, 2.6, 2.7 และ 2.8 [ITU-R P.838-3]

$$\log k = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10} f + c_k \quad (2.5)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 \left(a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] \right) + m_\alpha \log f + c_\alpha \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.5 ระดับความสูงของฝนที่ระดับอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.6 การแบ่งโซนของ ITU-R P.837-1

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

รูปที่ 2.7 อัตราการตกของฝนแต่ละโซนของ ITU-R P.837-1

ตารางที่ 2.1 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า k_n

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5.3398	-0.10008	1.13098	-0.18961	0.71147
2	-0.35351	1.26970	0.45400		
3	-0.23789	0.86036	0.15354		
4	-0.94158	0.64552	0.16817		

ตารางที่ 2.2 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า k_v

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3.80595	0.56934	0.81061	-0.16398	0.63297
2	-3.44965	-0.22911	0.51059		
3	-0.39902	0.73042	0.11899		
4	0.50167	1.07319	0.27195		

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า α_n

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-0.14318	1.82442	-0.55187	0.67849	-1.95537
2	0.29591	0.77564	0.19822		
3	0.32177	0.63773	0.13164		
4	-5.37610	-0.96230	1.47828		
5	16.17210	-3.29980	3.43990		

ตารางที่ 2.4 ค่าคงที่สำหรับการหาค่า α_v

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-0.07771	2.33840	-0.76284	-0.053739	0.83433
2	0.56727	0.95545	0.54039		
3	-0.20238	1.14520	0.26809		
4	-48.29910	0.791669	0.116226		
5	48.58330	0.791459	0.116479		

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta\cos 2\tau]/2 \quad (2.7)$$

$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta\cos 2\tau]/2k \quad (2.8)$$

เมื่อ τ คือ โพลาริเซชันที่ทำมุมกับแนวอน ($\tau = 45$ องศา สำหรับโพลาริเซชันแบบวงกลม)

$$\gamma_R = k(R_p)^\alpha \quad \text{เดซิเบล/กิโลเมตร} \quad (2.9)$$

โดยค่า k_H , k_V , α_H และ α_V นั้นสามารถประมาณค่าได้จากรูปที่ 2.8, 2.9, 2.10 และ 2.11

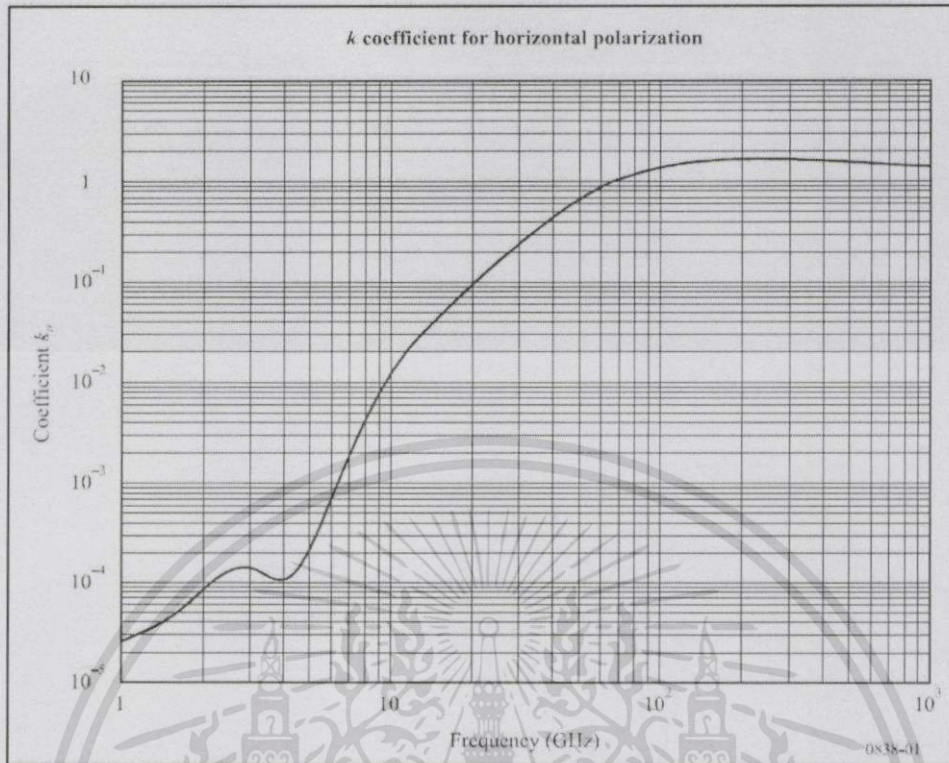
ขั้นตอนที่ 6 หาค่าพิสัยการลดลงในแนวราบ r_p ที่เปอร์เซ็นต์เวลา p

$$r_p = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{LGYR}{f} - 0.38(1 - e^{-2LG})}} \quad (2.10)$$

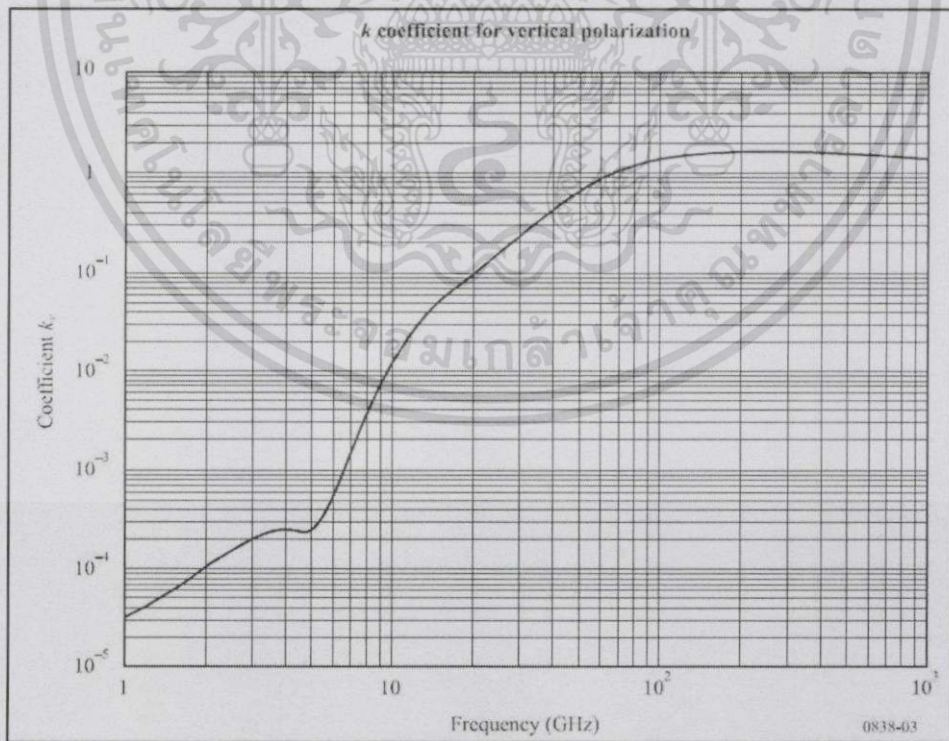
ขั้นตอนที่ 7 หาค่าพิสัยการลดลงในแนวตั้ง v_p ที่เปอร์เซ็นต์เวลา p

(1) หาค่ามุมโพลาริเซชัน (Polarization angle): ξ จากสมการที่ 2.11

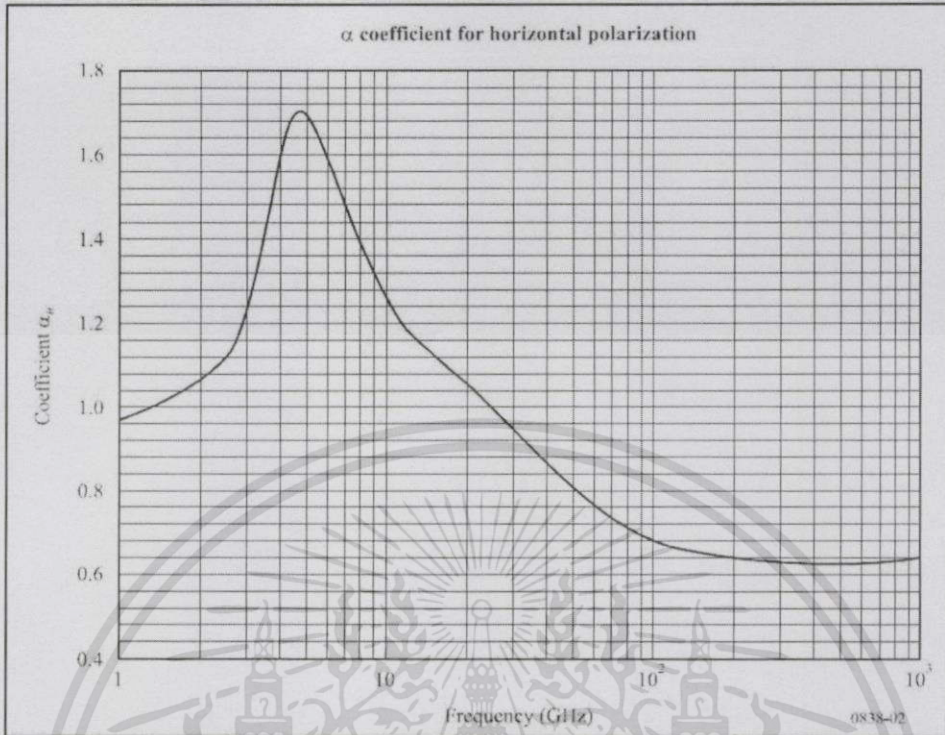
$$\xi = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{LGY_{0.01}} \right) \quad \text{องศา} \quad (2.11)$$



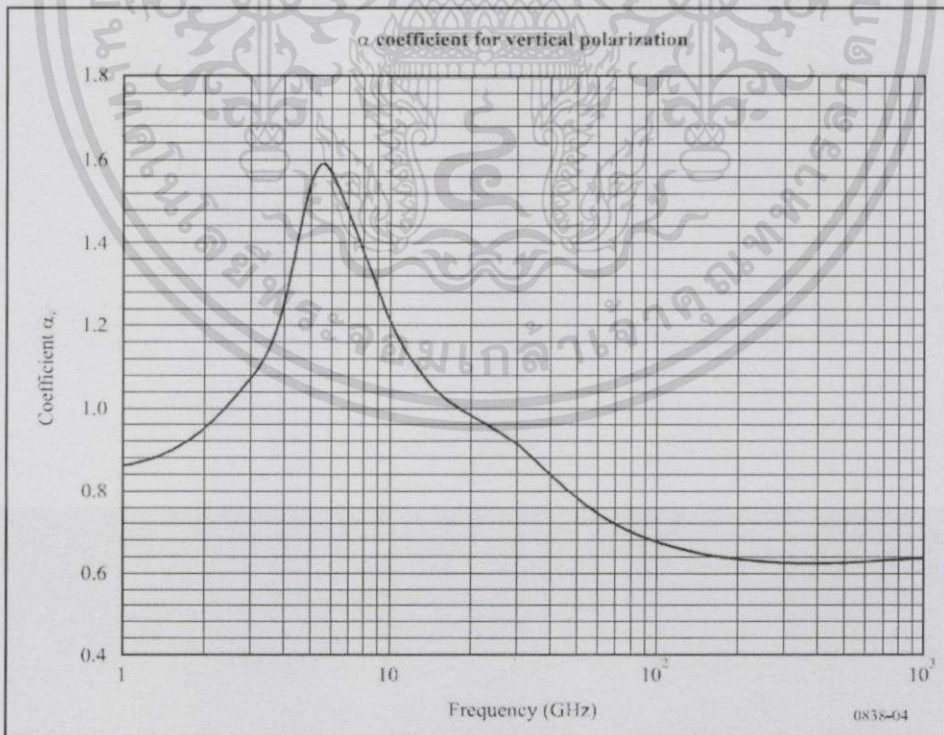
รูปที่ 2.8 ค่าสัมประสิทธิ์ k_h ของ ITU-R P.838-3



รูปที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์ k_v ของ ITU-R P.838-3



รูปที่ 2.10 ค่าสัมประสิทธิ์ α_h ของ ITU-R P.838-3



รูปที่ 2.11 ค่าสัมประสิทธิ์ α_v ของ ITU-R P.838-3

(2) หาค่ามุมโพลาไรซ์ (Polarization angle): ξ จากสมการที่ 2.11

$$\xi = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_G \gamma_{0.01}} \right) \quad \text{องศา} \quad (2.11)$$

(3) หาระยะทางที่ฝนตก (Rainy path length): L_R จากสมการที่ 2.12

สำหรับ $\xi > 0$ $L_R = \frac{L_G \gamma_{0.01}}{\cos \theta}$ กิโลเมตร

อื่นๆ $L_R = \frac{h_R - h_S}{\sin \theta}$ กิโลเมตร

ถ้า $|\varphi| < 36^\circ$ $X = 36 - |\varphi|$ องศา

อื่นๆ $X = 0$ องศา

เมื่อ

φ คือ ตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน
 X คือ ค่าคงที่สำหรับการคำนวณหาค่าพิสัยการลดลงในแนวตั้ง

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31(1 - e^{-(\theta/(1+X))}) \sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f^2}} - 0.45 \right)} \quad (2.12)$$

ขั้นตอนที่ 8 หาระยะทางที่สัญญาณดาวเทียมได้รับผลกระทบเนื่องจากฝน: L_E จากสมการที่ 2.13

$$L_E = L_R v_p \quad \text{กิโลเมตร} \quad (2.13)$$

ขั้นตอนที่ 9 ทำนายค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดฝนตามสมการที่ 2.14

$$A_p = \gamma_R L_E \quad \text{เดซิเบล} \quad (2.14)$$

ขั้นตอนที่ 10 ประมาณค่าการลดทอนที่เกิด ที่ 0.001% ถึง 5%

โดย β คือ ค่าคงที่สำหรับการหาค่าประมาณการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ

ถ้า $p \geq 1\%$ or $|\varphi| \geq 36^\circ$

$$\beta = 0 \quad (2.15)$$

ถ้า $p < 1\%$ or $|\varphi| < 36^\circ$ and $\theta \geq 25^\circ$

$$\beta = -0.005(|\varphi| - 36) \quad (2.16)$$

อื่นๆ

$$\beta = -0.005(|\varphi| - 36) + 1.8 - 4.25 \sin \theta \quad (2.17)$$

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-\left(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta\right)} \quad (2.18)$$

2.3.2 แบบจำลองของ CRANE GLOBAL RAIN ATTENUATION [16]

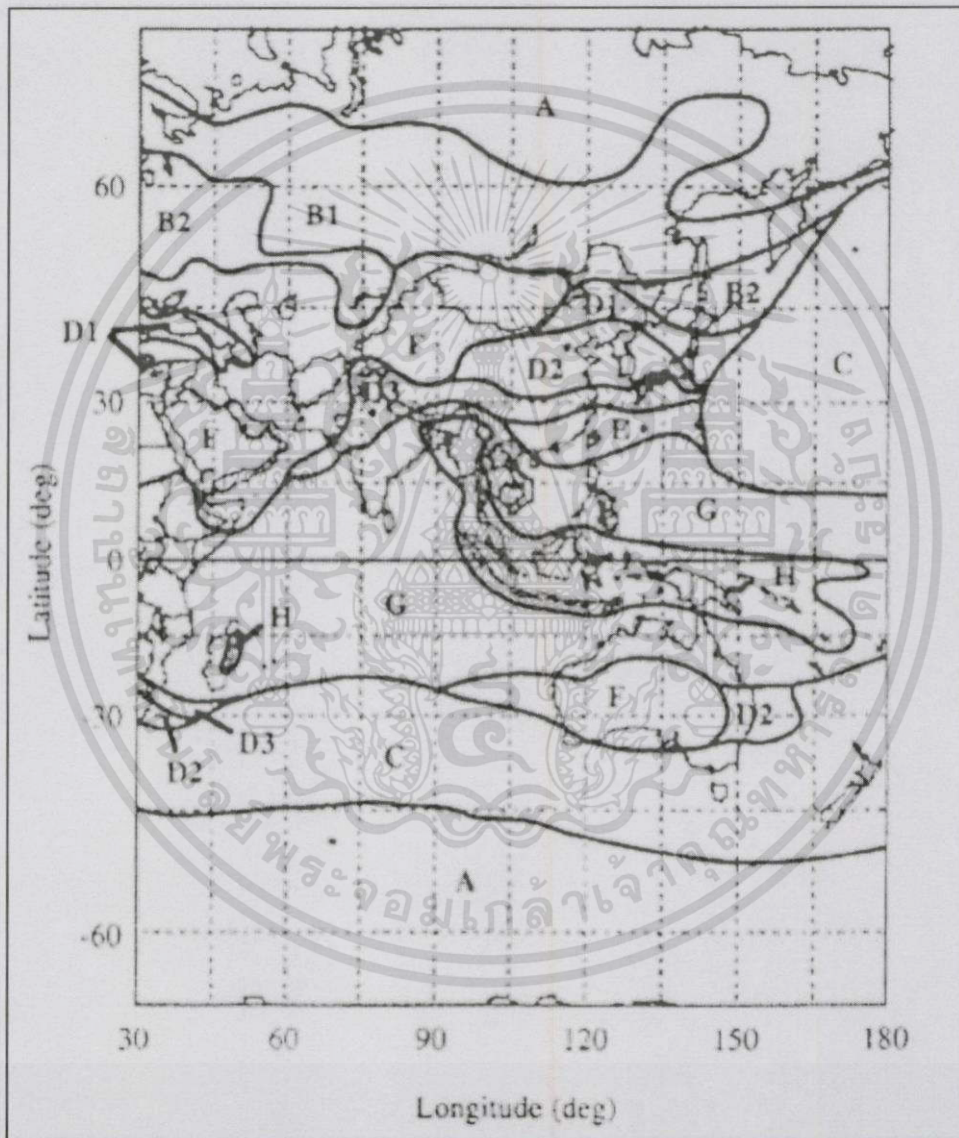
แบบจำลอง CRANE GLOBAL RAIN ATTENUATION เป็นแบบจำลองที่ใช้ทำนายการลดทอนเนื่องจากฝน ถูกคิดค้นโดย R.K. Crane ในปี 1980 อีกชื่อหนึ่งของแบบจำลองคือ “Global Model” โดยแบบจำลอง Global Model นี้จะพิจารณาจากข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ เช่น ปริมาณฝนในแต่ละพื้นที่, เปรอเซ็นต์การกระจายสะสมของฝน นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถใช้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการลดทอนของสัญญาณได้ด้วย

พารามิเตอร์อินพุตของ Crane Global Rain Model

- f : ความถี่ของดาวเทียม (GHz)
- θ : มุมเงยของดาวเทียม
- φ : ละติจูดที่ตั้งของสถานีดาวเทียม
- h_S : ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล
- τ : โพลาริเซชันที่ทำมุมกับแนวนอน

โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาอัตราการตกของฝนในแต่ละพื้นที่ ดูได้จากรูปที่ 2.12 ซึ่งจะแบ่งอัตราการตกของฝนเป็นเขตๆโดยประเทศไทยจะอยู่ในโซน G และ H ส่วนการกระจายสะสมของฝนเป็นเปอร์เซ็นต์สามารถดูได้จากรูปที่ 2.13

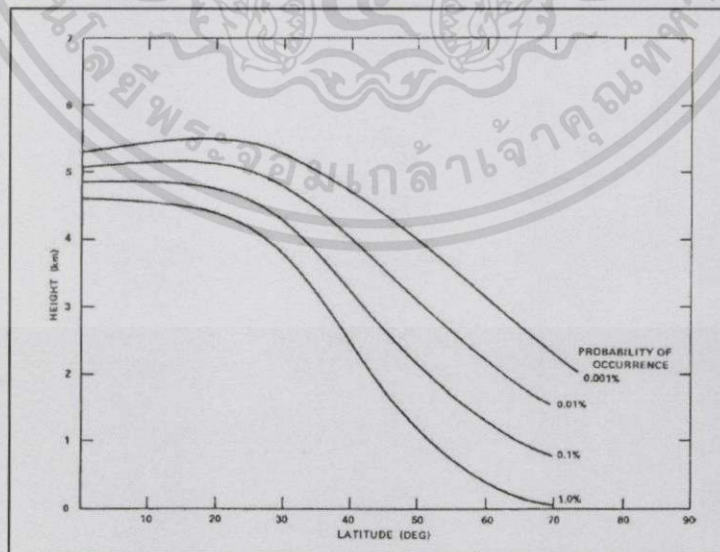


รูปที่ 2.12 การแบ่งเขตพื้นที่ของแบบจำลอง crane global

Percent of year	A	B	B1	B2	C	D1	D2	D3	E	F	G	H
	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h	mm/h
5	0.0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.0	0.2	0.1	1.8	1.1
3	0.0	0.3	0.2	0.4	0.6	0.6	0.9	0.8	1.8	0.1	3.4	3.3
2	0.1	0.5	0.4	0.7	1.1	1.2	1.5	2.0	3.3	0.2	5.0	5.8
1	0.2	1.2	0.8	1.4	1.8	2.2	3.0	4.6	7.0	0.6	8.4	12.4
0.5	0.5	2.0	1.5	2.4	2.9	3.8	5.3	8.2	12.6	1.4	13.2	22.6
0.3	1.1	2.9	2.2	3.4	4.1	5.3	7.6	11.8	18.4	2.2	17.7	33.1
0.2	1.5	3.8	2.9	4.4	5.2	6.8	9.9	15.2	24.1	3.1	22.0	43.5
0.1	2.5	5.7	4.5	6.8	7.7	10.3	15.1	22.4	36.2	5.3	31.3	66.5
0.05	4.0	8.6	6.8	10.3	11.5	15.3	22.2	31.6	50.4	8.5	43.8	97.2
0.03	5.5	11.6	9.0	13.9	15.6	20.3	28.6	39.9	62.4	11.8	55.8	125.9
0.02	6.9	14.6	11.3	17.6	19.9	25.4	34.7	47.0	72.2	15.0	66.8	152.4
0.01	9.9	21.1	16.1	25.8	29.5	36.2	46.8	61.6	91.5	22.2	90.2	209.3
0.005	13.8	29.2	22.3	35.7	41.4	49.2	62.1	78.7	112.0	31.9	118.0	283.4
0.003	17.5	36.1	27.8	43.8	50.6	60.4	75.6	93.5	130.0	41.4	140.8	350.3
0.002	20.9	41.7	32.7	50.9	58.9	69.0	88.3	106.6	145.4	50.4	159.6	413.9
0.001	28.1	52.1	42.6	63.8	71.6	86.6	114.1	133.2	176.0	70.7	197.0	542.6
No. of station years	40	102	7	178	29	158	46	25	12	20	3	7

รูปที่ 2.13 การกระจายสะสมของฝนแต่ละพื้นที่

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ Isotherm H (p) ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ โดยสามารถดูได้จากรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ระดับความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ Isotherm

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า D แต่ละเปอร์เซ็นต์ ตามสมการที่ 2.19 และ 2.20
ถ้ามุมเงยของจานรับมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 องศา

$$D = \frac{H(p) - G}{\tan \theta} \quad (2.19)$$

ถ้ามุมเงยของจานรับที่น้อยกว่า 10 องศา

$$D = R_e \sin^{-1} \left[\frac{\cos \theta}{H(p) + R_e} (\sqrt{(G + R_e)^2 \sin^2 \theta + 2R_e(H(p) - G) + H^2(p) - G^2} - (G + R_e) \sin \theta) \right] \quad (2.20)$$

เมื่อ R_e คือ Effective Earth Radius (ประมาณ 8,500 กิโลเมตร)

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน ที่ความถี่และโพลาไรเซชัน ของสัญญาณที่ทำการรับ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.21 และ 2.22

$$a = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2 \quad (2.21)$$

$$b = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2a \quad (2.22)$$

ค่าจำเพาะการลดทอน หาได้จากสมการที่ 2.23

$$\gamma_R = a - R^b \quad (2.23)$$

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าคงที่ต่างๆ ที่ได้มาจากอัตราการตกของฝน R_p ของแต่ละเปอร์เซ็นต์ ตามสมการที่ 2.24, 2.25, 2.26 และ 2.27

$$d = 3.8 - 0.6 \ln R_p \quad (2.24)$$

$$x = 2.3R_p^{-0.17} \quad (2.25)$$

$$y = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad (2.26)$$

$$U = \frac{\ln(xe^{Yd})}{d} \quad (2.27)$$

เมื่อ R_p คืออัตราการตกของฝนแต่ละเปอร์เซ็นต์ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนแต่ละเปอร์เซ็นต์เวลา โดยจะมีเงื่อนไขตามระยะทางของ Slant path

ถ้า $0 < D \leq d$

$$A(p) = \frac{aR_p^b}{\cos\theta} \left[\frac{e^{Ubd} - 1}{Ub} \right] \quad (2.28)$$

ถ้า $d < D \leq 22.5$

$$A(p) = \frac{aR_p^b}{\cos\theta} \left[\frac{e^{Ubd} - 1}{Ub} - \frac{xe^{Ybd}}{Yb} - \frac{X^b e^{YbD}}{Yb} \right] \quad (2.29)$$

ถ้า $D > 22.5$ การคำนวณหาค่า $A(p)$ ด้วยค่า 22.5 จะใช้ค่าอัตราการตกของฝนใช้ R'_p แทนค่า $R(p)$ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.30

$$p' = p \left[\frac{22.5}{D} \right] \quad (2.30)$$

ขั้นตอนที่ 7 ประมาณค่าขอบเขตด้านบนและด้านล่างที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยสะสมของขอบด้านบนและด้านล่าง

เปอร์เซ็นต์เวลาสะสมต่อปี	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%)
1.0	±39
0.1	±32
0.01	±32
0.001	±39

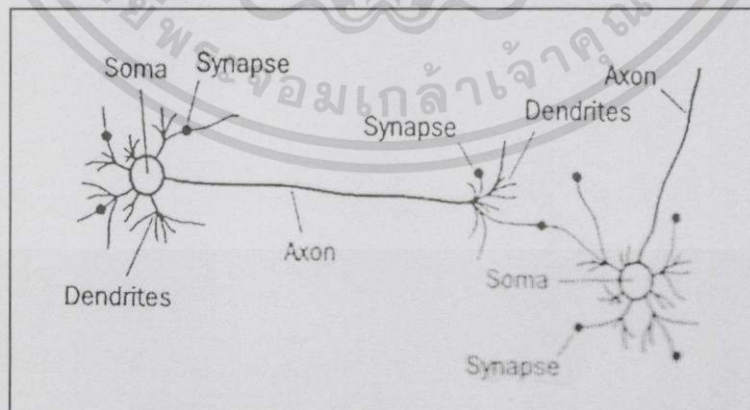
2.4 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network: ANN)

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทของสมองมนุษย์ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยมีการประมวลผลแบบ Connectionist ซึ่งถือเป็นเทคนิคหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เพื่อให้คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเรียนรู้เหมือนกับสมองของมนุษย์ คือ มีการเรียนรู้ ผึกฝน และนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ รวมทั้งมีความสามารถในการเรียนรู้จัดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการอุปมาความรู้ (Knowledge deduction)

2.4.1 โครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Biological neural)

โครงข่ายประสาทของมนุษย์ ประกอบด้วยส่วนของการประมวลผล หรือเซลล์ประสาท ที่เรียกว่า นิวรอน (Neurons) และจุดประสานประสาท หรือไซแนปส์ (Synapse) โดยในแต่ละเซลล์ประสาทจะประกอบด้วย โยประสาท หรือ เดนไดรต์ (Dendrite) ซึ่งเป็นปลายในการรับกระแสประสาท และ แกนประสาท หรือ แอคซอน (Axon) เป็นปลายในการส่งกระแสประสาท ซึ่งเปรียบเสมือนเป็น Output ของเซลล์ แสดงดังรูปที่ 2.15 โดยการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์นั้นทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี คือ กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์ เมื่อได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอก หรือ ถูกกระตุ้นด้วยเซลล์เดียวกัน จากนั้นกระแสประสาทจะวิ่งเข้าสู่ นิวเคลียสซึ่งนิวเคลียสจะทำการประมวลผลว่า จะทำการกระตุ้นเซลล์อื่นต่อไปหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสจะทำการกระตุ้นเซลล์อื่นๆ ต่อไปโดยผ่านแอคซอน

ในแต่ละโครงข่ายประสาทจะเชื่อมต่อกันโดยไซแนปส์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนค่าความต้านทานได้ตามสัญญาณที่ส่งระหว่างกันของเซลล์ประสาท โดยการส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาททำได้โดยการถ่ายทอดสารประกอบไอออนและโพแทสเซียม



รูปที่ 2.15 โครงข่ายประสาทของมนุษย์

2.4.2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นเป็นการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อยๆ และการเชื่อมต่อนี้ถือเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของโครงข่าย โดยโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์แต่จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า ซึ่งโครงสร้างหลักจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

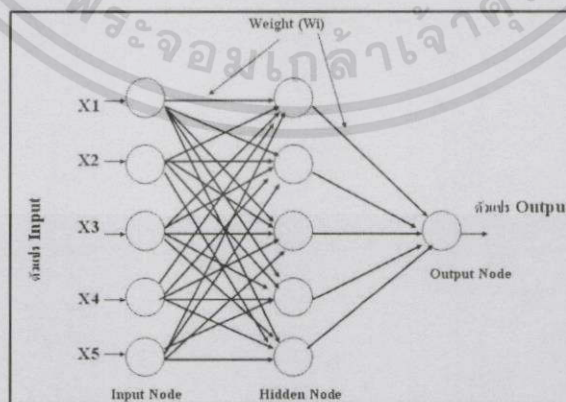
1. **ปลายประสาท: Weight (W)** เปรียบเสมือนกับเดนไดรท์ในโครงข่ายประสาทของมนุษย์ ทำหน้าที่รับข้อมูลที่ถูกป้อนเข้ามาจาก input node และทำการส่งข้อมูลต่อไปให้กับสมอง

2. **สมอง: Node** เป็นการนำหน่วยประมวลผลหลายๆ ตัวมาเชื่อมต่อกัน ซึ่งจะทำให้สามารถรับข้อมูลได้พร้อมๆ กัน และทำหน้าที่เหมือนสมองมนุษย์ คือ รวบรวมข้อมูล จัดเก็บข้อมูล คำนวณและประมวลผล ก่อนส่งค่าผลลัพธ์ออกไปยังเส้นประสาท โดยจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ

- Input node ทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายนอก
- Hidden node ทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายในหรือสิ่งที่ได้รับการเรียนรู้มา
- Output node ทำการปรับค่าผลลัพธ์ให้มีความผิดพลาดน้อยที่สุดก่อนนำไปแสดงผล

3. **เส้นประสาท: hidden node** ทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลส่งไปยัง output node ซึ่งเปรียบเสมือนแอกซอนในโครงข่ายประสาทของมนุษย์

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม จะทำงานเมื่อมี input ป้อนเข้ามา จากนั้นจะคูณค่า input ด้วยค่า weight และนำผลที่ได้จาก input มารวมกันนำไปเปรียบเทียบกับค่า threshold ที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า threshold จะทำการส่งค่า output ออกไป โดยค่า output นี้จะถูกส่งต่อไปยัง input ของ neuron อื่น ๆ ที่เชื่อมกันในโครงข่าย แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า threshold ก็จะไม่เกิด output

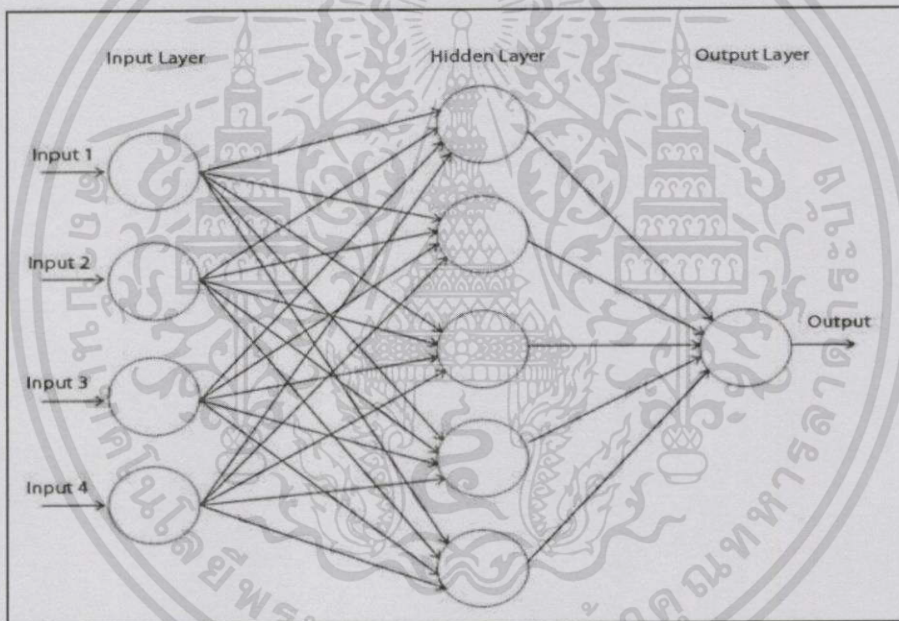


รูปที่ 2.16 โครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 2.16 สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมจะมีลักษณะหลักๆ คือ มีการจัดเซลล์ประสาทเทียมเป็นชั้นๆ (Layer) โดยมีชั้นอินพุต (input layer) เป็นชั้นรับข้อมูล ชั้นเอาต์พุต (output layer) เป็นชั้นที่ใช้ปรับค่าผลลัพธ์และส่งไปแสดงผล ส่วนชั้นอื่นๆ ที่มีส่วนในการช่วยทำการประมวลผลอยู่ภายในเรียกว่า ชั้นซ่อน (hidden layer) ในโครงข่ายประสาทเทียมอาจมีชั้นซ่อนได้หลายชั้นโครงสร้างพื้นฐานจะมีลักษณะเป็นการประกอบกันของรูปแบบ ดังต่อไปนี้

2.4.2.1 แบบป้อนไปข้างหน้า (feed forward)

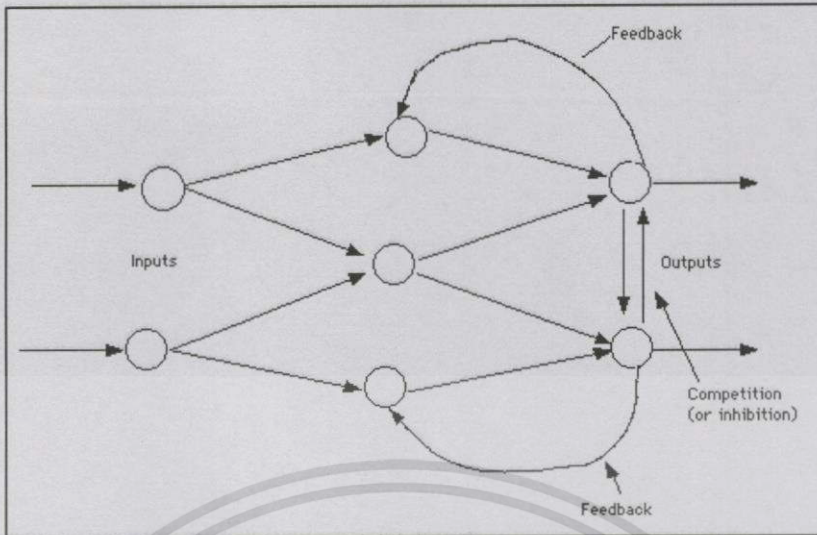
โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า สามารถแบ่งสองแบบ คือ แบบมีชั้นของเซลล์ประสาทชั้นเดียว และแบบมีชั้นของเซลล์ประสาทหลายชั้น ซึ่งการเชื่อมโยงนั้นจะถูกกำหนดขึ้นระหว่างชั้นที่ติดกัน โดยจะมีการเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาทเทียมทุกตัว จากชั้นหนึ่งไปยังเซลล์ประสาทเทียมทุกตัวในชั้นต่อไป ในบางสถาปัตยกรรมอาจมีการเชื่อมโยงข้ามชั้น แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า

2.4.2.2 แบบมีการป้อนไปเวียนกลับ (feedback network)

โครงข่ายประสาทเทียมอาจมีการเชื่อมโยงที่ถูกกำหนดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาทเทียมในชั้นหนึ่งๆ ย้อนกลับไปยังชั้นอื่นๆ ก่อนหน้านั้น หรือแม้แต่ภายในชั้นเดียวกันเองจนกว่าจะได้ผลลัพธ์



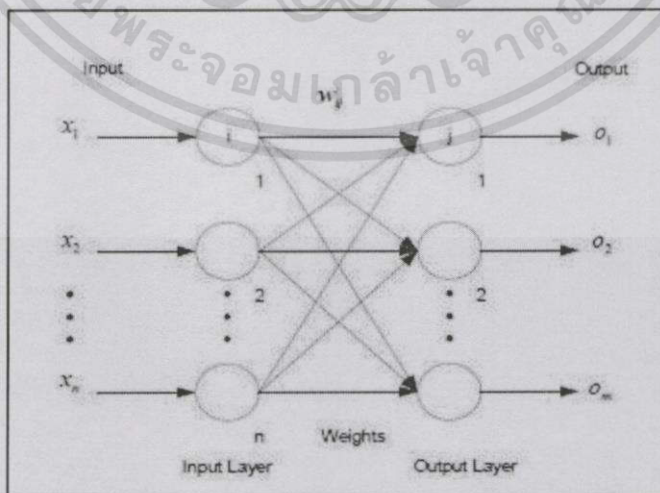
รูปที่ 2.18 โครงข่ายประสาทเทียมแบบมีการป้อนเวียนกลับ

2.4.3 ประเภทของโครงข่ายประสาทเทียม

การทำงานของโครงข่ายประสาทเทียมนั้น เป็นการเชื่อมต่อกันของนิวรอนหลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดเป็นโครงข่ายที่มีลักษณะเป็นชั้นๆ หรือที่เรียกว่า Layer ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายได้ 2 แบบ คือ

2.4.3.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single layer neural network)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว ประกอบไปด้วยชั้นรับข้อมูล (Input layer) และ ชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) เท่านั้น โดยไม่นับชั้นรับข้อมูลเป็นชั้นโครงข่าย เพราะ ไม่มีการประมวลใดๆ ทำเพียงรับข้อมูล input เข้ามาและส่งข้อมูลผ่านเส้นเชื่อมโยงต่างๆ ออกไปเท่านั้น

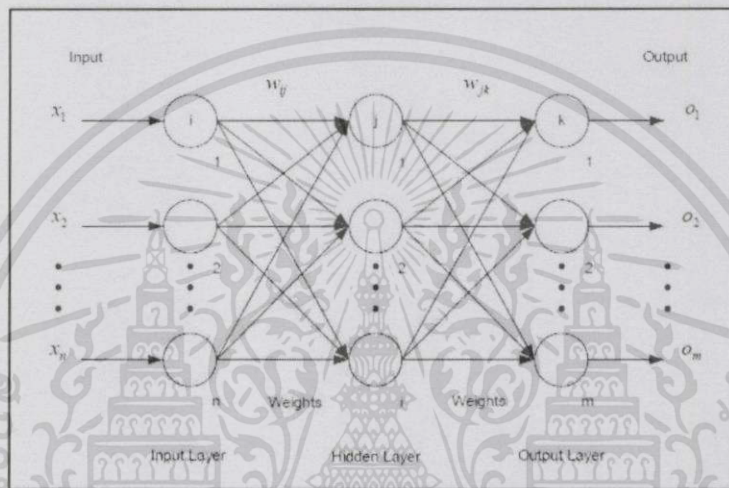


รูปที่ 2.19 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-layer neural network)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ประกอบไปด้วยชั้นรับข้อมูล (input layer) ชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้น input และ output เรียกว่า hidden layer หรือ ชั้นแอบแฝง ชุดข้อมูลค่า output ที่ได้จากชั้นหนึ่งจะถูกส่งต่อไปเป็น input ในชั้นต่อไป และค่า output ในชั้นสุดท้ายคือ ค่า output ของโครงข่าย ซึ่งจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดกับค่า output ที่ต้องการ (Target output) โดยค่าความผิดพลาดที่ได้นั้นจะถูกนำไปใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) ต่อไป

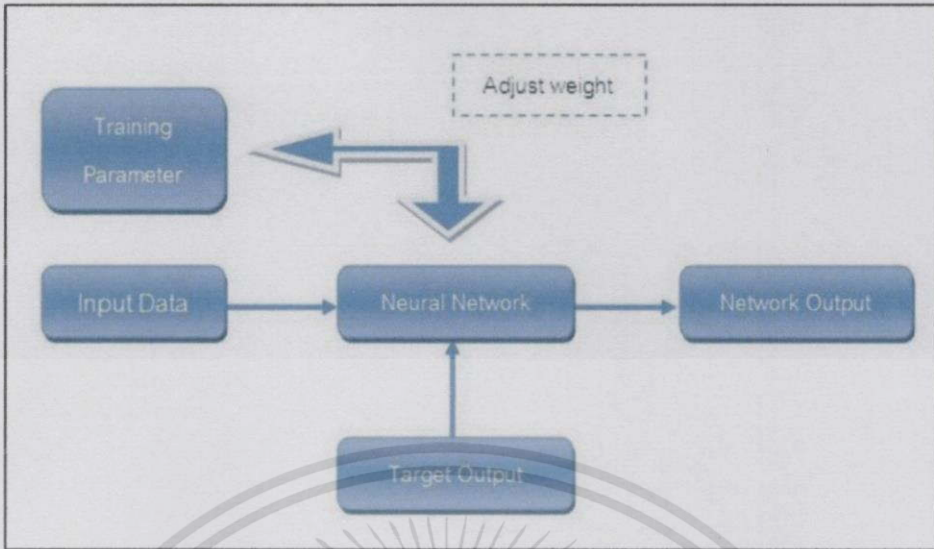


รูปที่ 2.20 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

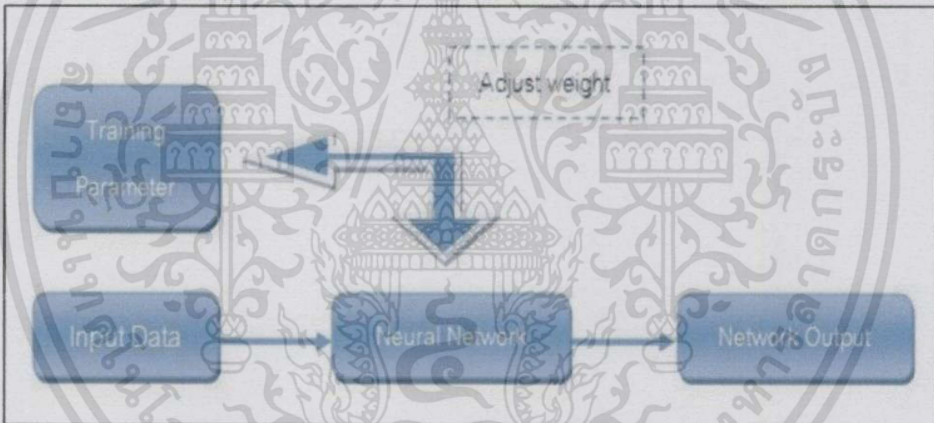
2.4.4 ประเภทการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

1. การเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised learning) จะประกอบด้วยตัวอย่างข้อมูลที่ต้องการสอนเพื่อใช้ในการตรวจคำตอบ และผลลัพธ์เป้าหมาย โดยโครงข่ายจะกำหนดค่าผลลัพธ์เป้าหมายไว้ให้กับข้อมูลที่ป้อนเข้ามา และนำค่าความผิดพลาดระหว่างค่าผลลัพธ์เป้าหมายกับค่าผลลัพธ์ที่ได้มาใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักต่อไป

2. การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised learning) การเรียนรู้แบบนี้โครงข่ายจะมีการสอนโดยป้อนข้อมูลเข้าอย่างต่อเนื่องเพียงอย่างเดียว ไม่มีการส่งค่าผลลัพธ์เป้าหมายให้กับข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว การปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะใช้ข้อมูลที่นำมาสอนในการปรับค่า โดยค่าน้ำหนักจะปรับตามกลุ่มที่ข้อมูลป้อนเข้าที่มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 2.21 การทำงานของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน

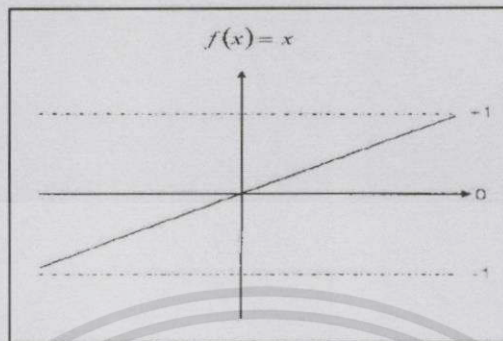


รูปที่ 2.22 การทำงานของการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน

2.4.5 ฟังก์ชันการแปลง (transfer function)

โครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นรับข้อมูล (input layer) ชั้นส่งข้อมูลออก (output layer) และ ชั้นแอบแฝง (hidden layer) โดยในชั้นแอบแฝงนี้จะมีการใช้ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) หรืออาจเรียกว่า ฟังก์ชันกระตุ้น (Activation function) ซึ่งฟังก์ชันการแปลงนั้นมีด้วยกันหลายประเภท โดยได้มีการทดสอบใช้งานพบว่า มีเพียงบางฟังก์ชันเท่านั้นที่สามารถใช้งานได้จริง ซึ่งมี 4 ฟังก์ชันที่นิยมนำมาใช้ คือ

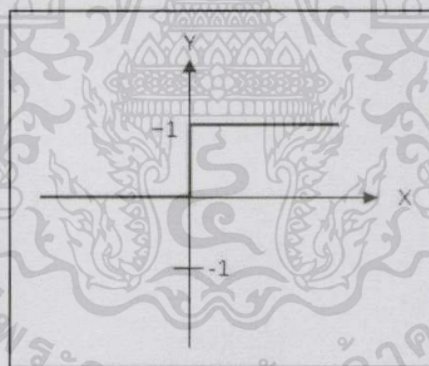
1. ฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear function) สามารถเรียนรู้ได้เพียงความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นของ input และ output ได้เท่านั้น มักใช้กับการประมาณค่าแบบ linear



รูปที่ 2.23 ฟังก์ชันเชิงเส้น

2. ฟังก์ชันขั้นบันได (Step function)

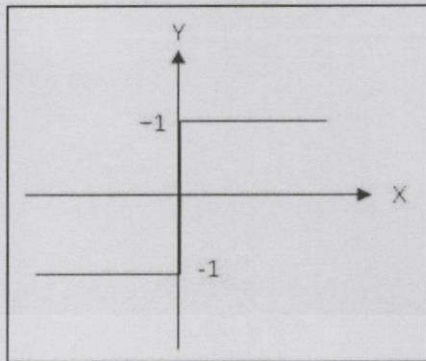
$$y^{step} = \begin{cases} 1, & \text{if } X \geq 0 \\ 0, & \text{if } X < 0 \end{cases}$$



รูปที่ 2.24 ฟังก์ชันขั้นบันได

3. ฟังก์ชันเครื่องหมาย (Sign function)

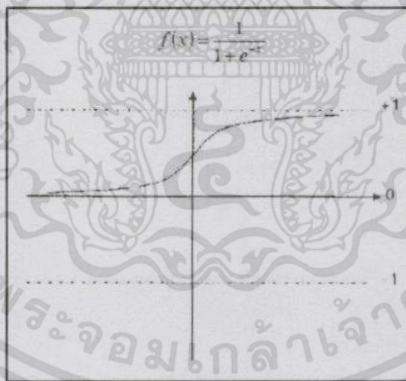
$$y^{sign} = \begin{cases} +1, & \text{if } X \geq 0 \\ -1, & \text{if } X < 0 \end{cases}$$



รูปที่ 2.25 ฟังก์ชันเครื่องหมาย

สำหรับ Step function และ Sign function นั้นจะสามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า hard limit function ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้สำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการตัดสินใจ การแยกแยะข้อมูล หรือ การรู้จำ (pattern recognition)

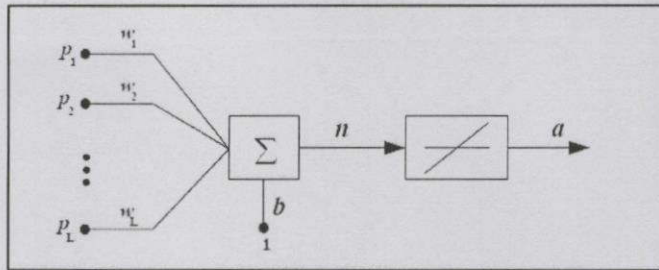
4. ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) เป็นฟังก์ชันที่จะแปลงค่า input ซึ่งมีค่าเป็นได้ทั้งบวกและลบไปเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 0 และ 1 นิยมใช้กับ back propagation network



รูปที่ 2.26 ฟังก์ชันซิกมอยด์

2.4.6 โครงข่ายประสาท Adaline [5]

โครงข่ายประสาท adaline (Adaptive linear neural network) เป็นโครงข่ายที่ใช้กฎการเรียนรู้ของ widrow-Hoff มีการใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น จะมีดัชนีชี้สมรรถนะ คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดต่ำสุด (Least Mean Square Error) มีการปรับค่า weight โดยใช้ Delta rule โครงข่ายประสาท adaline เป็นโครงข่ายประสาทแบบเซลล์เดียวที่มีหลายอินพุต แสดงได้ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline

จากรูปที่ 2.27 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทประกอบด้วยอินพุตจำนวน L อินพุต คือ P_1, P_2, \dots, P_L แต่ละอินพุตจะมีค่าน้ำหนักที่สอดคล้องกันคือ W_1, W_2, \dots, W_L โครงข่ายประสาทมีไบอัส (b) และมีฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น ($a=n$) สัญญาณเอาต์พุตของโครงข่ายประสาท a สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.31

$$a = W^T P + b \quad (2.31)$$

โดยที่ $W = [W_1 \ W_2 \ \dots \ W_L]^T$ และ $P = [P_1 \ P_2 \ \dots \ P_L]^T$

2.4.6.1 อัลกอริทึมแบบค่าเฉลี่ยกำลังสองน้อยที่สุด (Least mean square algorithm)

Widrow-Hoff ได้เสนอทฤษฎีการเรียนรู้ที่เรียกว่า least mean square algorithm หรือ อัลกอริทึม LMS ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่พิจารณาถึงการปรับค่าน้ำหนักและไบอัสของโครงข่ายประสาท ADALINE โดยใช้เงื่อนไขการลดค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสอง $E[e^2]$ ให้ได้ค่าน้อยที่สุด

ในการทำอัลกอริทึม LMS มีสมการเพื่อการคำนวณของอัลกอริทึม คือค่าความผิดพลาดระหว่างสัญญาณที่วัดได้ ในที่นี้ขอเรียกว่าเอาต์พุตเป้าหมาย $t(k)$ กับสัญญาณเอาต์พุตของวงจร ADALINE จะได้ดังสมการที่ 2.32

$$e(k) = t(k) - a(k) \quad (2.32)$$

ในที่นี้เริ่มต้นพิจารณาจากโครงข่ายที่มีเซลล์ประสาทเดียว และให้พารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงข่ายสามารถเขียนรวมอยู่ในเวกเตอร์เดียวดังสมการที่ 2.33

$$X = \begin{bmatrix} W \\ b \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

เช่นเดียวกันสามารถเขียนเวกเตอร์อินพุตและอินพุตไบอัสรวมเป็นเวกเตอร์เดียวได้ดังสมการที่ 2.34

$$Z = \begin{bmatrix} P \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

ดังนั้นสมการเอาต์พุตของวงจรกรองปรับตัว ADALINE สามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการที่ 2.35

$$a = X^T Z \quad (2.35)$$

ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.36

$$E[e^2] = E[(t - a)^2] = E[(t - X^T Z)^2] \quad (2.36)$$

$$= E[t^2] + X^T R X - 2X^T h \quad (2.37)$$

โดย $R = E[ZZ^T]$ เป็น Input correlation matrix

$h = E[tZ]$ เป็น Cross-correlation vector

ถ้า Correlation matrix เป็น positive definite เราจะมีจุดต่ำสุดเพียงจุดเดียวเรียกว่า strong minimum ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ 2.38

$$X^* = R^{-1}h \quad (2.38)$$

จากสมการ เมื่อหาค่า h และ R^{-1} ได้ก็สามารถหาจุดต่ำสุดได้โดยตรง แต่ในทางปฏิบัติการหา R^{-1} เป็นไปได้อย่างยิ่งหลีกเลี่ยงโดยการทำให้อยู่ในรูปแบบของการทำซ้ำ (Iteration) ใช้กระบวนการวิธี steepest descent กับค่าเกรเดียนต์ (Gradient) ในการประมาณค่าเกรเดียนต์สำหรับอัลกอริทึม LMS ประมาณโดยการกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดกำลังสองเท่ากับ $e^2(k)$ ซึ่งสามารถแสดงค่าประมาณเกรเดียนต์ได้ดังสมการที่ 2.39

$$\nabla e^2(k) = -2e(k)Z(k) \quad (2.39)$$

จากกระบวนการวิธี Steepest descent จะได้ดังสมการที่ 2.40

$$X(k+1) = X(k) - \alpha \nabla e^2(k) \quad (2.40)$$

เมื่อแทนสมการที่ 2.39 ลงในสมการที่ 2.40 จะได้สมการที่ 2.41

$$X(k+1) = X(k) + 2\alpha e(k)Z(k) \quad (2.41)$$

ดังนั้น

$$W(k+1) = W(k) + 2\alpha e(k)P(k) \quad (2.42)$$

และ

$$b(k+1) = b(k) + 2\alpha e(k) \quad (2.43)$$

สมการที่ 2.40 และสมการที่ 2.41 คืออัลกอริทึม LMS ซึ่งในบางครั้งเรียกว่า กฎเดลต้า หรือกระบวนการเรียนรู้ของ Widrow-Hoff โดยค่าเริ่มต้นที่ใช้สำหรับกำหนดให้เป็นค่าน้ำหนักและค่าไบอัสเริ่มต้นให้แก่โครงข่าย สามารถกำหนดเป็นค่าใดๆก็ได้ แต่ค่าที่ต้องกำหนดให้เหมาะสมคือค่าอัตราการเรียนรู้ (Learning rate : α) เนื่องจาก α มีผลต่อเสถียรภาพของวงจรกรอง เราสามารถกำหนดค่า α ได้ดังสมการที่ 2.41

$$0 < \alpha < \frac{1}{\lambda_{MAX}} \quad (2.44)$$

ค่า λ_{MAX} คือค่า eigen value สูงสุดของเมตริกซ์อัตโนมัติสัมพันธ์ (Autocorrelation matrix) ซึ่งค่าประมาณของ λ_{MAX} สามารถหาได้จาก R โดย

$$\lambda_{MAX} < \text{tr}[R] = \sum \{\text{Diagonal element of } R\}$$

จากสมการทั้งหมด สามารถสรุปการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาท ADALINE ได้ดังนี้

1. สมมติค่าน้ำหนัก (w), ค่าไบอัส (b), และอัตราการเรียนรู้ (α) เริ่มต้นให้แก่โครงข่ายประสาทเทียม
2. ป้อนอินพุต p(k) ให้แก่โครงข่าย
3. คำนวณหาค่าเอาต์พุต a(k) ของโครงข่ายประสาท แสดงดังสมการที่ 2.45

$$a(k) = f(W^T P(k) + b) \quad (2.45)$$

4. หาค่าผลต่างความผิดพลาด $e(k)$ จากผลต่างเอาต์พุตเป้าหมาย $t(k)$ กับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกรอง ADALINE ($a(k)$) แสดงดังสมการที่ 2.46

$$e(k) = t(k) - a(k) \quad (2.46)$$

5. ปรับค่าน้ำหนักและไบอัสใหม่จากสมการที่ 2.47 และสมการที่ 2.48

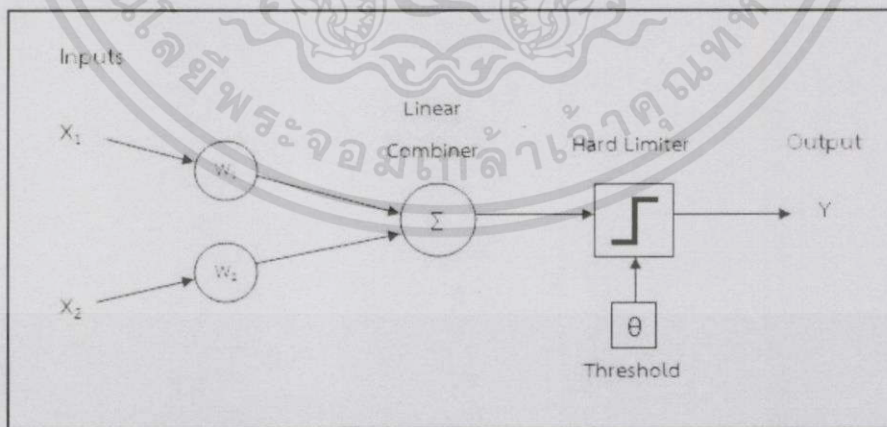
$$W(k+1) = W(k) + 2\alpha e(k)P(k) \quad (2.47)$$

$$b(k+1) = b(k) + 2\alpha e(k) \quad (2.48)$$

6. กลับไปเริ่มทำข้อ 2 ใหม่จนกว่าโครงข่ายจะลู่เข้า (Converge) โดยดูจากค่าความผิดพลาด

2.4.7 โครงข่ายประสาท Single layer perceptron

Single layer perceptron เป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งซึ่งมีความใกล้เคียงกับ Adaline คือ เป็นโครงข่ายประสาทแบบเซลล์เดียวที่มีหลายอินพุต ใช้ hard limit function เป็น Activation function ภายในประกอบด้วย linear combination ซึ่งเป็นลำดับการบวกกันของผลคูณระหว่าง input ที่ป้อนเข้ามากับค่าถ่วงน้ำหนัก จากนั้นนำผลที่ได้มาผ่าน hard limit function



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Single layer perceptron

2.4.7.1 กระบวนการเรียนรู้ของ perceptron

กระบวนการเรียนรู้ทำโดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อจะลดค่าความแตกต่างระหว่าง Input ที่คำนวณได้ และ output ที่ต้องการ โดยที่ค่าเบื้องต้นของค่าถ่วงน้ำหนักได้จากการสุ่มตัวเลข โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ในช่วง $[-0.5, 0.5]$ จากนั้นจะมีการปรับค่าเพื่อที่จะได้ค่า output มีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ใช้ในการ training

การปรับค่าถ่วงน้ำหนักทำได้โดยการวนรอบแก้ค่าถ่วงน้ำหนักไป p รอบ จนกว่าค่า output $Y(p)$ จะมีค่าใกล้เคียงกับค่า output ที่ต้องการ $Y_d(p)$ ซึ่งค่าผิดพลาดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.49

$$e(p) = Y_d(p) - Y(p), \quad p = 1, 2, 3, \dots \quad (2.49)$$

จากสมการจะเห็นว่า ถ้าค่าผิดพลาด $e(p)$ มีค่าเป็นบวก จะต้องทำการเพิ่มค่า $Y(p)$ แต่ถ้าค่าเป็นลบต้องลดค่า $Y(p)$ ค่าผลรวมของ input $X(p)$ คำนวณได้จากผลบวกของผลคูณระหว่าง input ที่ป้อนเข้ามากับค่าถ่วงน้ำหนัก นั่นคือ $x_i(p) \times w_i(p)$

พบว่าถ้าค่า $x_i(p)$ มีค่าเป็นบวกแล้ว การเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก $w_i(p)$ จะทำให้ค่า $Y(p)$ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้า $x_i(p)$ มีค่าเป็นลบ การเพิ่มค่าถ่วงน้ำหนัก $w_i(p)$ จะทำให้ค่า $Y(p)$ มีค่าลดลง ดังนั้นสามารถแสดงกฎการเรียนรู้ของ perceptron ได้ดังนี้

$$w_i(p + 1) = w_i(p) + \alpha \times x_i(p) \times e(p) \quad (2.50)$$

ค่า α คือค่า Learning rate โดยที่ α มีค่าเป็นบวกและน้อยกว่า 1

จากสมการทั้งหมดข้างต้นนั้นสามารถแสดงกระบวนการในการ Training ของ perceptron ได้ดังนี้

1. Initialization ในขั้นนี้จะเป็นการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก w_1, w_2, \dots, w_n และค่า Threshold (θ) ซึ่งได้จากการสุ่มค่าในช่วง $[-0.5, 0.5]$
2. Activation จากค่า input $x_1(p), x_2(p), \dots, x_n(p)$ ทำการคำนวณค่า $Y(p)$ ที่ $p=1$

$$Y(p) = \text{step}[\sum_{i=1}^n x_i(p)w_i(p) - \theta] \quad (2.51)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ n = จำนวน input

step = step activation function

3. Weight training ในขั้นนี้จะเป็นการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของ Perceptron

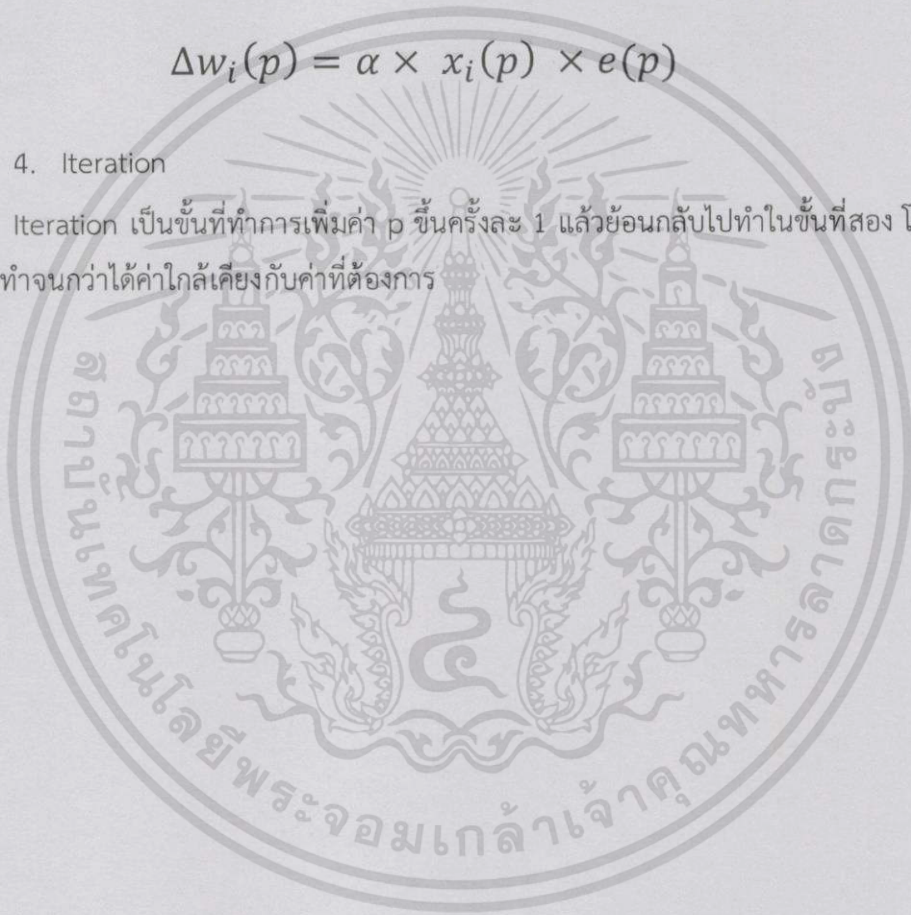
$$w_i(p + 1) = w_i(p) + \Delta w_i(p) \quad (2.52)$$

โดย $\Delta w_i(p)$ คือ ค่า Weight correction ในรอบที่ p ซึ่งคำนวณได้ตามสมการที่ 2.53

$$\Delta w_i(p) = \alpha \times x_i(p) \times e(p) \quad (2.53)$$

4. Iteration

Iteration เป็นขั้นที่ทำการเพิ่มค่า p ขึ้นครั้งละ 1 แล้วย้อนกลับไปทำในขั้นที่สอง โดยจะวนรอบทำงานกว่าได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ



บทที่ 3

ขั้นตอนการวิจัย

3.1 รายละเอียดการวัดสัญญาณ

งานวิจัยนี้ทำการวัดสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียมไทยคม 5 ย่านความถี่ Ku ณ สถานีรับสัญญาณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเริ่มทำการบันทึกสัญญาณตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2557 โดยมีรายละเอียดของการวัดสัญญาณดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของการวัดสัญญาณ

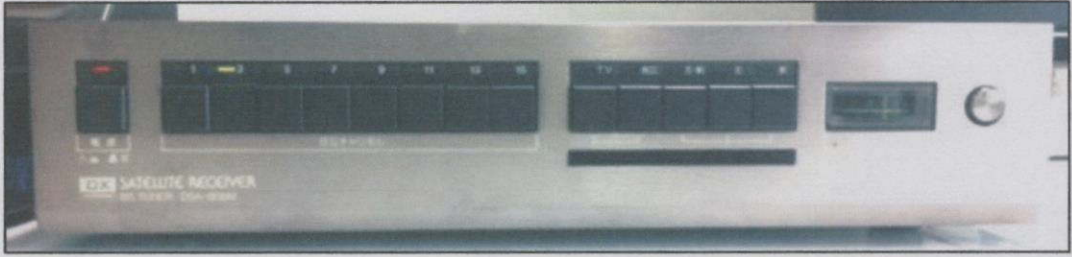
ดาวเทียม	Thaicom 5
ตำแหน่งจันดาวเทียม	78.5° E
ตำแหน่งสถานีรับภาคพื้นดิน	13°38'17''N
มุมเงย	59.9°
ความถี่ขาลง	12.260GHz
ขนาดจานสายอากาศ	75 cm
อัตราการแซมปิง	125 mSec

3.2 ขั้นตอนการวัดและบันทึกสัญญาณ

การวัดและบันทึกสัญญาณนั้นจะใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 โดยสัญญาณดาวเทียมที่รับได้นั้นจะผ่านวงจรขยายสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier: LNA) แล้วเข้าสู่เครื่องรับสัญญาณ (Satellite Receiver) ในย่านความถี่ Ku แสดงในรูปที่ 3.2

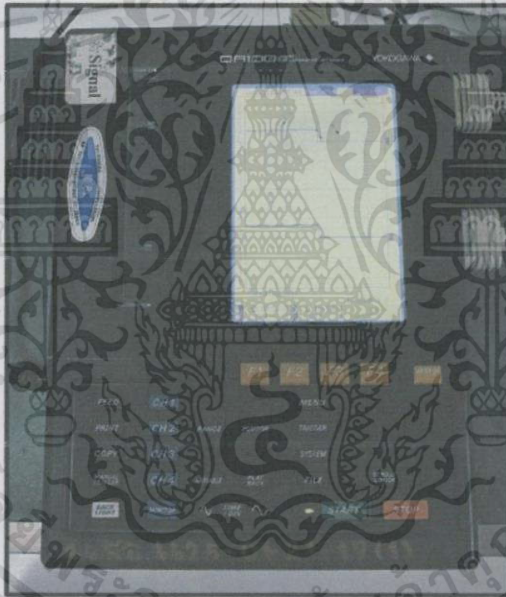


รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและบันทึกสัญญาณ



รูปที่ 3.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Satellite Receiver) ย่านความถี่ Ku

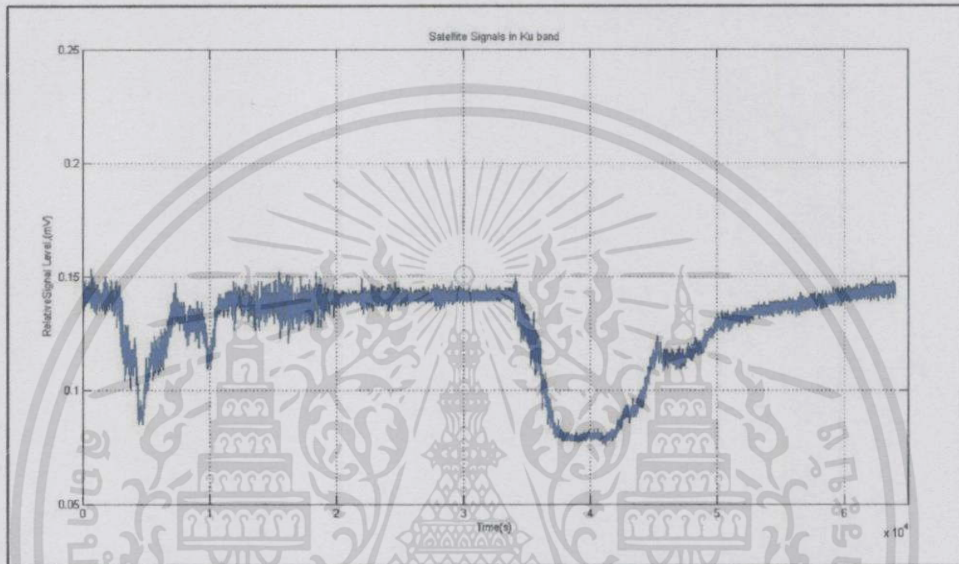
หลังจากสัญญาณเข้าสู่เครื่องรับสัญญาณแล้วสัญญาณจะถูกบันทึกด้วยเครื่องบันทึกสัญญาณแบบดิจิตอล (OR100) แสดงในรูปที่ 3.3 โดยจะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ในการจัดเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.3 เครื่องบันทึกสัญญาณแบบดิจิตอล (OR100)

3.3 การวิเคราะห์สัญญาณ

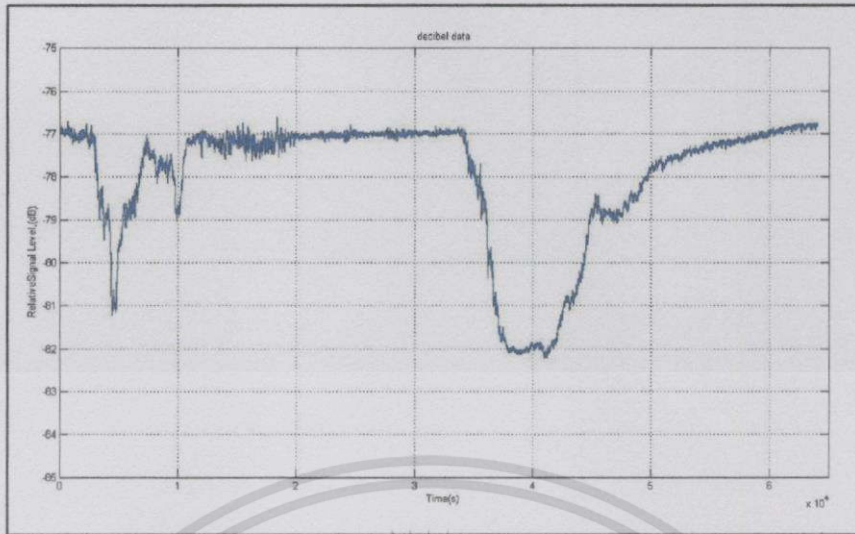
การวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการแยกปรากฏการณ์การลดทอนออกจากปรากฏการณ์ซินทิลเลชันของสัญญาณ ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองมักจะเกิดขึ้นพร้อมกัน ในช่วงที่เวลาที่เกิดฝนหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้เมื่อเกิดปรากฏการณ์การลดทอนและปรากฏการณ์ซินทิลเลชันพร้อมกัน

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku ที่รับได้และทำการบันทึกไว้นั้นจะเป็นค่าระดับแรงดันในหน่วยมิลลิโวลต์ โดยในการวิเคราะห์สัญญาณนั้นจะต้องทำการแปลงระดับแรงดันให้เป็นระดับความแรงของสัญญาณในหน่วยเดซิเบล โดยใช้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.1 และระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้เมื่อทำการแปลงแล้วแสดงดังรูปที่ 3.5

$$dB = 20 \log \frac{v}{v_0} \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.5 ระดับความแรงของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้

จากรูปจะเห็นว่าสัญญาณดาวเทียมที่รับได้มีการลดระดับลงพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณอย่างกะทันหัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมที่มีค่า 0.5 dB ขึ้นไป จากระดับสัญญาณอ้างอิงซึ่งสามารถหาได้จากระดับสัญญาณในช่วงเวลาที่ไม่มีฝน หรือในช่วงเวลาที่ระดับสัญญาณได้รับผลกระทบน้อยที่สุด โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่า -77 dB เป็นระดับสัญญาณอ้างอิง และสามารถหาค่าการลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมได้จากสมการที่ 3.2

$$A_p = P_{ref} - P \text{ (dB)} \quad (3.2)$$

A_p คือ ค่าการลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน (dB)

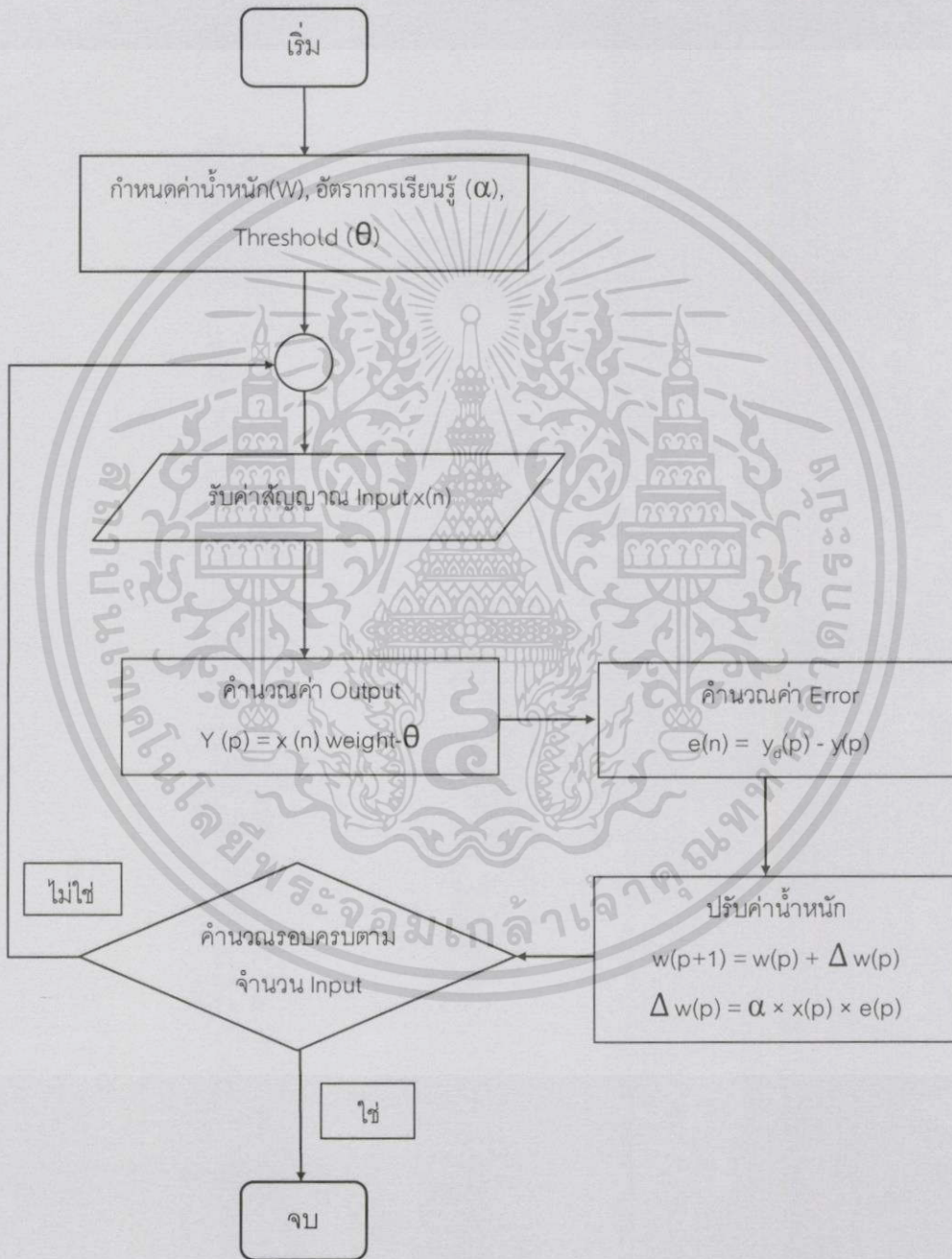
P_{ref} คือ ระดับสัญญาณอ้างอิง (-77 dB)

P คือ ระดับสัญญาณดาวเทียมที่วัดได้ (dBw)

3.4 การแยกสัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron

Perceptron เป็นโครงข่ายประสาทแบบเซลล์เดียวที่มีหลายอินพุต ใช้ hard limit function เป็น Activation function ภายในประกอบด้วย linear combination ซึ่งเป็นลำดับการบวกกันของผลคูณระหว่าง input ที่ป้อนเข้ามากับค่าถ่วงน้ำหนัก จากนั้นนำผลที่ได้มาผ่าน hard limit function

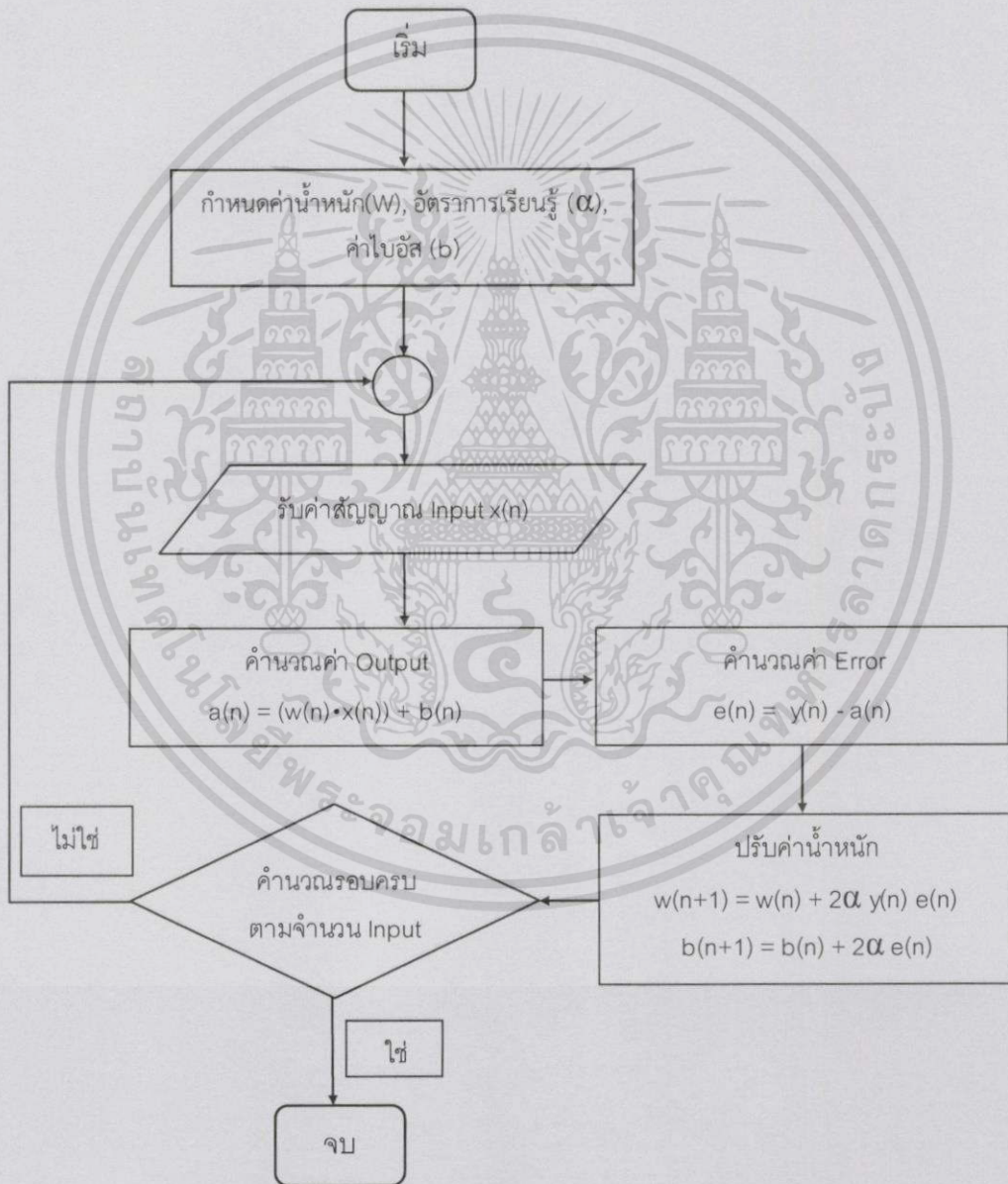
กระบวนการเรียนรู้ทำโดยการปรับค่าถ่วงน้ำหนักเพื่อจะลดค่าความแตกต่างระหว่าง Input ที่คำนวณได้ และ output ที่ต้องการ โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกสัญญาณมาเป็น input โดย simulation ผ่านโปรแกรม matlab ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียม Perceptron จะมีการประมวลผลตามผังงาน (Flowchart) ที่แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ผังงาน (Flowchart) ของโครงข่ายประสาทเทียม Perceptron

3.5 การแยกสัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline

โครงข่ายประสาท Adaline (Adaptive linear neural network) มีการใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบเชิงเส้น จะมีดัชนีชี้สมรรถนะ คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความผิดพลาดต่ำสุด (Least Mean Square Error) โครงข่ายประสาท adaline เป็นโครงข่ายแบบเซลล์เดียวที่มีหลายอินพุต โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกสัญญาณมาเป็น input และผ่านการ simulation ผ่านโปรแกรม matlab ซึ่งมีการประมวลผลตามผังงาน (Flowchart) ที่แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ผังงาน (Flowchart) ของโครงข่ายประสาทเทียม Adaline

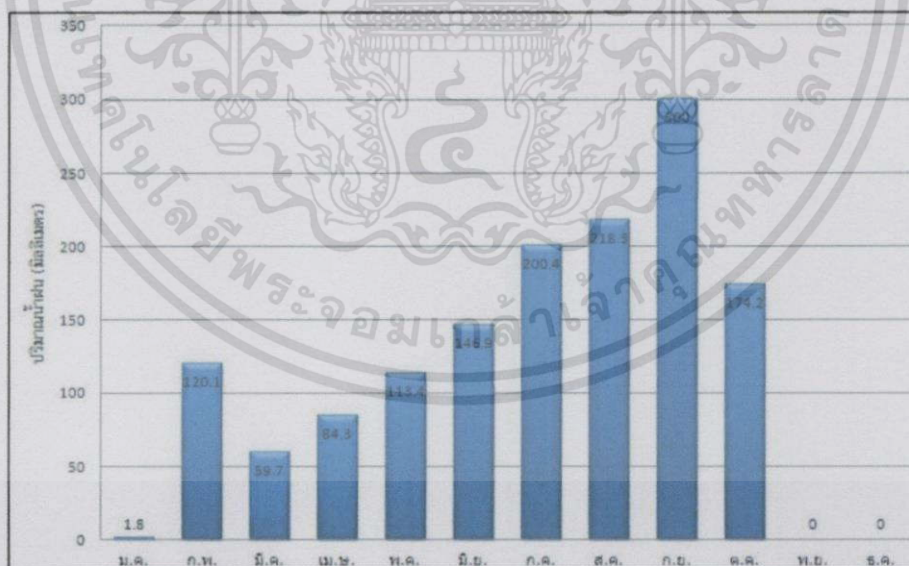
3.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝน

ปริมาณน้ำฝนในงานวิจัยนี้อ้างอิงจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยาวัดที่สถานีสนามบินสุวรรณภูมิ จังหวัดสมุทรปราการ โดยเป็นการวัดปริมาณน้ำฝนเป็นรายคาบ หรือ ทุกๆ 3 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554 ถึง วันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2556 เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิเคราะห์ผลกระทบของการลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากฝน โดยปริมาณน้ำฝนรวมของแต่ละปีแสดงดังตารางที่ 3.2

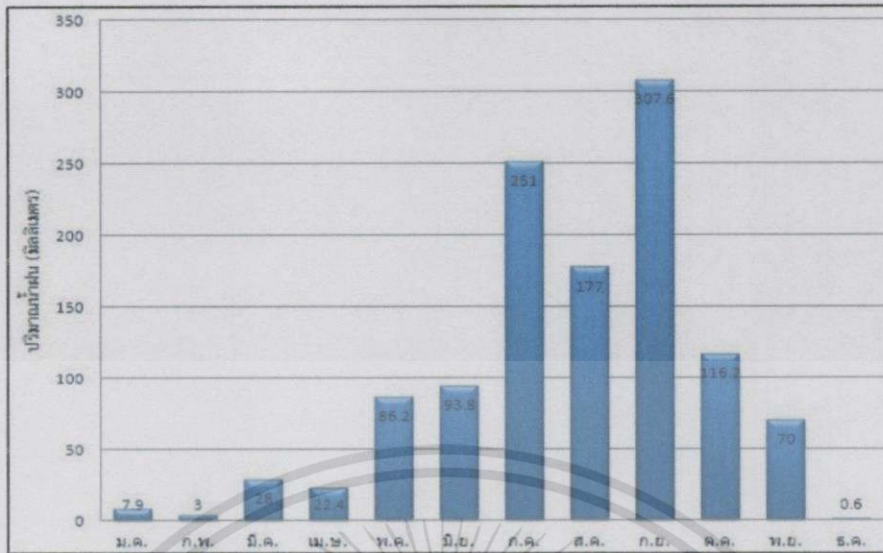
ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำฝนในแต่ละปี [กรมอุตุนิยมวิทยา]

ปี พ.ศ.	ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร)
2554	1419.1
2555	1163.7
2556	1313.2

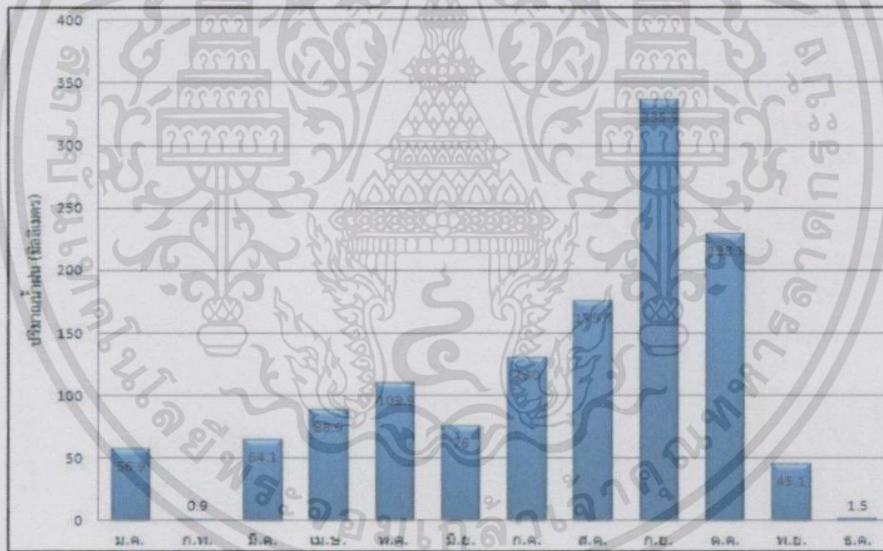
จากตารางจะเห็นได้ว่า ในแต่ละปีจะมีปริมาณน้ำฝนรวมค่อนข้างใกล้เคียงกัน ซึ่งในการวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนนั้นจะทำการพิจารณาปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนโดยปริมาณน้ำฝนในแต่ละเดือนนั้นแสดงดังรูปที่ 3.8, 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.8 ปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2554

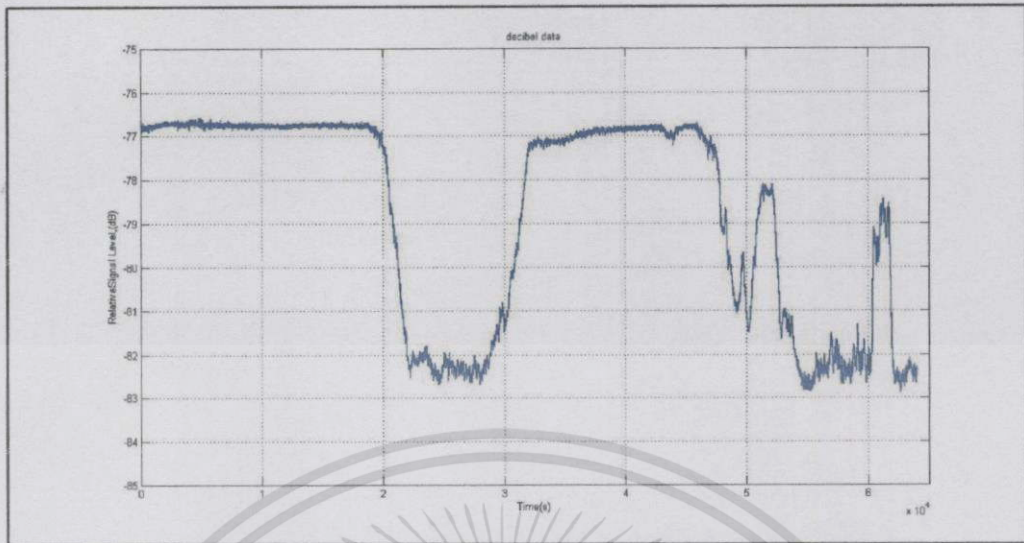


รูปที่ 3.9 ปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2555



รูปที่ 3.10 ปริมาณน้ำฝนแต่ละเดือนของปี พ.ศ. 2556

จากสถิติปริมาณน้ำฝนในแต่ละปีพบว่า ในเดือนกันยายนของแต่ละปีเป็นเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมากที่สุด ส่งผลให้มีอัตราการตกของฝนมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับสัญญาณดาวเทียมที่ทำการบินที่ได่ ซึ่งเกิดการลดทอนมากที่สุดถึง 6 dB ในวันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2556 ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียม ณ. วันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

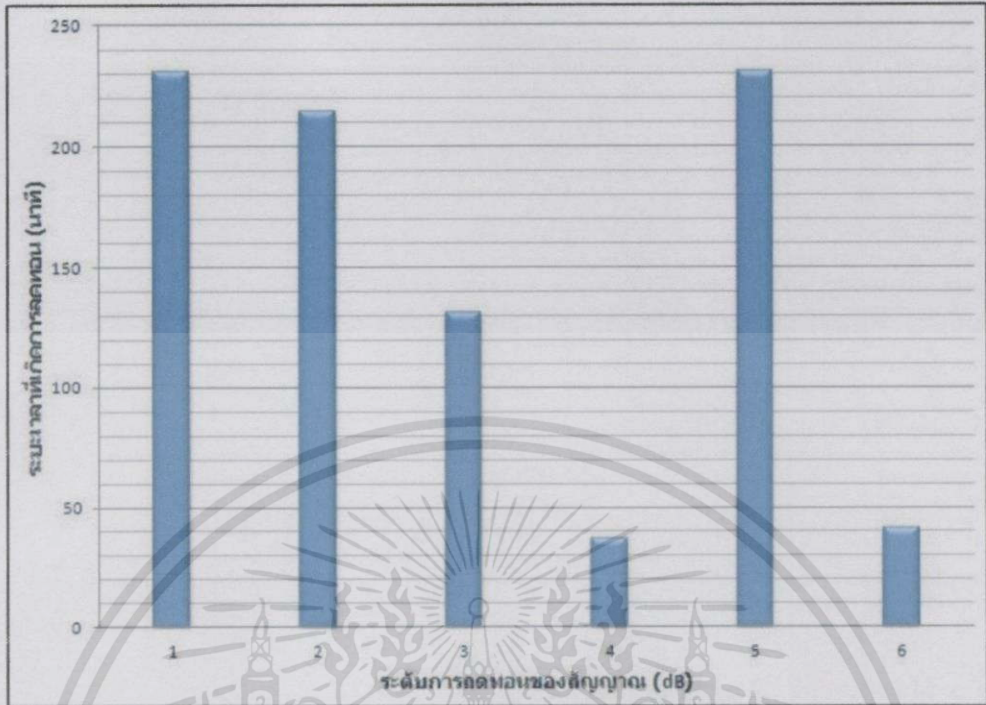
3.7 การหาค่าการลดทอนสะสม

ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่ทำการบันทึกได้ ระดับของการลดทอนอยู่ในช่วง 1-6 dB ซึ่งจำนวนครั้งของการเกิดการลดทอนแสดงดังตารางที่ 3.3

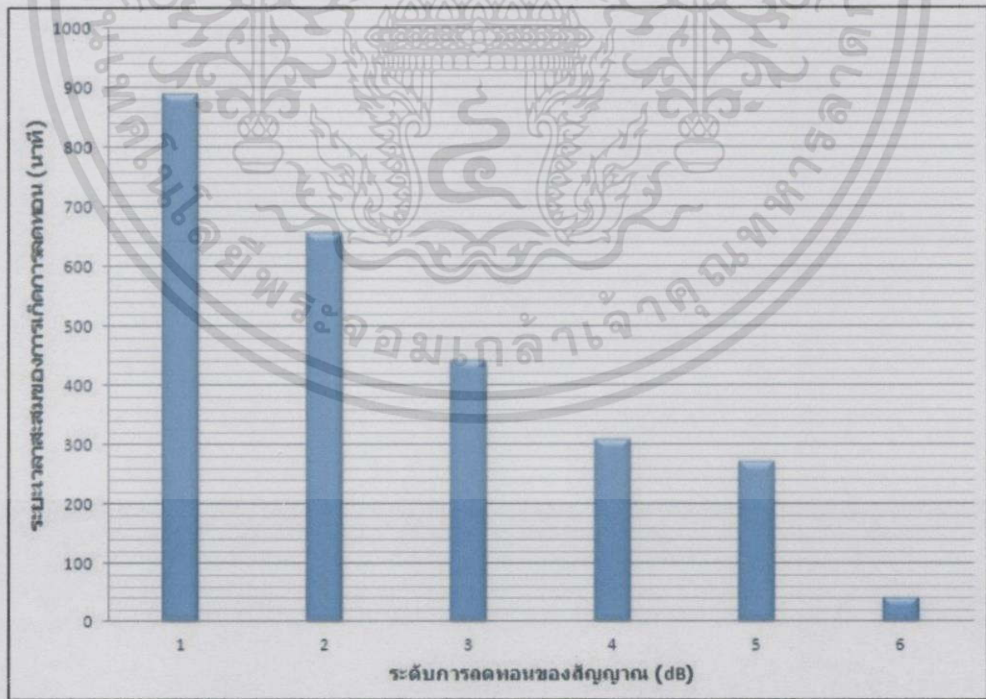
ตารางที่ 3.3 จำนวนครั้งที่เกิดการลดทอนในปี พ.ศ. 2556

ระดับการลดทอนของสัญญาณ (dB)	จำนวนครั้งที่เกิดการลดทอน
1	14
2	19
3	16
4	6
5	22
6	2

การหาค่าการลดทอนสะสมนั้นต้องทำการหาระยะเวลาของการเกิดการลดทอนแต่ละครั้งซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.12 และนำไปหาระยะเวลาสะสมซึ่งแสดงดังรูป 3.13 เพื่อหาค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ สำหรับนำไปเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่คำนวณได้จากแบบจำลองการลดทอนของ ITU-R และ Crane Global ต่อไป



รูปที่ 3.12 ระยะเวลาการเกิดการลดทอน



รูปที่ 3.13 ระยะเวลาสะสมของการเกิดการลดทอน

จากการหาระยะเวลาสะสมของการเกิดการลדתอนนั้น นำไปหาการลדתอนของสัญญาณที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ เช่น การลדתอนที่ 0.01% หมายถึง ค่าการลדתอนที่เวลา 0.01% ของเวลาทั้งปี ซึ่งเวลาทั้งปี เท่ากับ 525600 นาที ดังนั้น 0.01% คือ 52.56 นาที โดยสามารถหาเปอร์เซ็นต์เวลาสะสมได้จากสมการที่ 3.3

$$P_R = \frac{t_R}{t_y} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ P_R คือ เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม
 t_R คือ ระยะเวลาสะสมของการลדתอนใดๆ (นาที)
 t_y คือ ระยะเวลารวมทั้งปี (นาที)



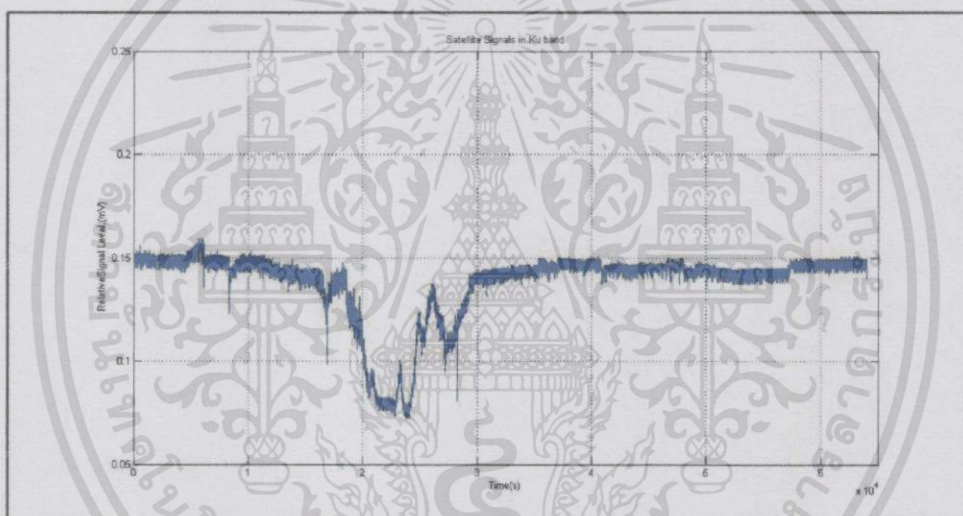
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การแยกสัญญาณด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron

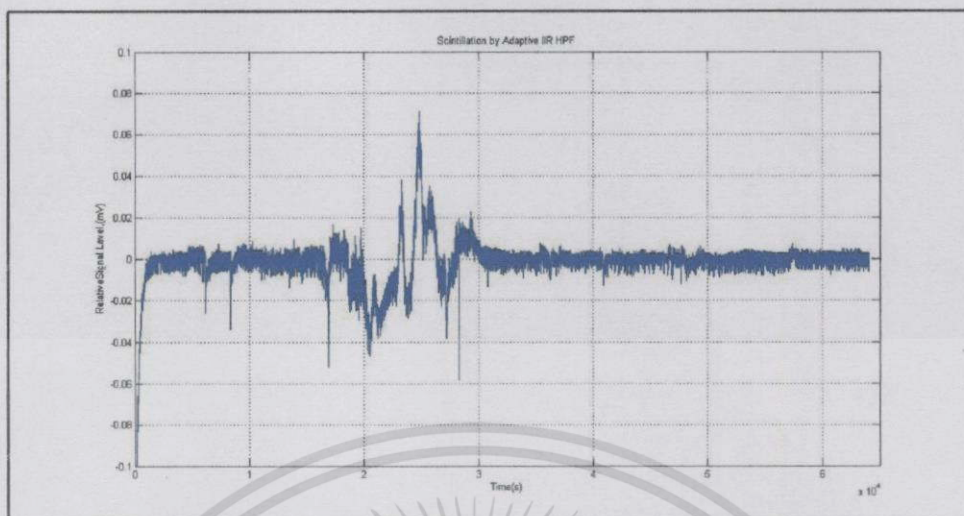
4.1.1 ข้อมูลที่บันทึกได้ ณ. วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 21.05 น.

การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ. วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 21.05 น. โดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ perceptron ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 1.13739 วินาที ข้อมูลที่ได้เป็นกราฟที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและการลดทอนขึ้นพร้อมกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.1

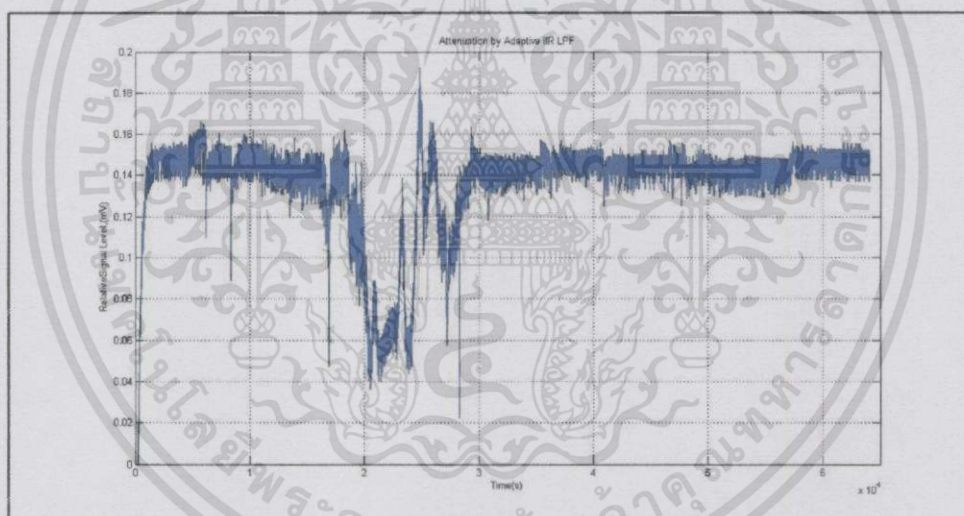


รูปที่ 4.1 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ. วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 21.05 น. มาผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Perceptron เพื่อแยกซินทิลเลชันและการลดทอนออกจากกันจะได้ผลดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



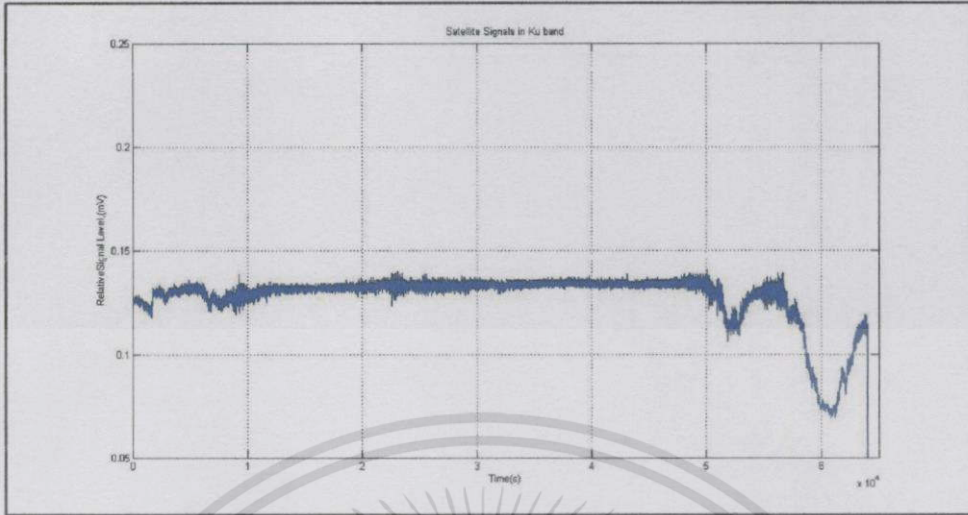
รูปที่ 4.2 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556
โดยใช้ Perceptron



รูปที่ 4.3 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556
โดยใช้ Perceptron

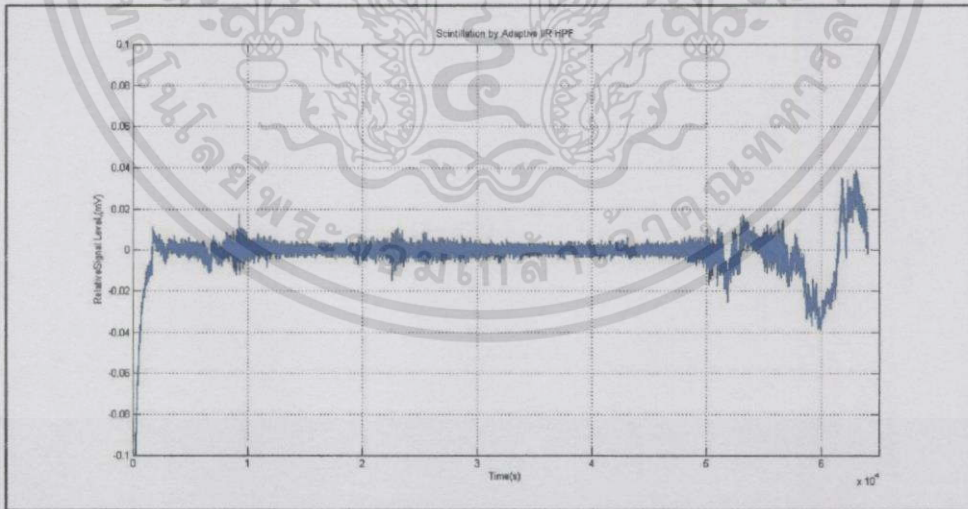
4.1.2 ข้อมูลที่บันทึกได้วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 5.16 น.

การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 5.16 น. โดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ perceptron ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 1.133037 วินาที ข้อมูลที่ได้เป็นกราฟที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและการลดทอนขึ้นพร้อมกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.4

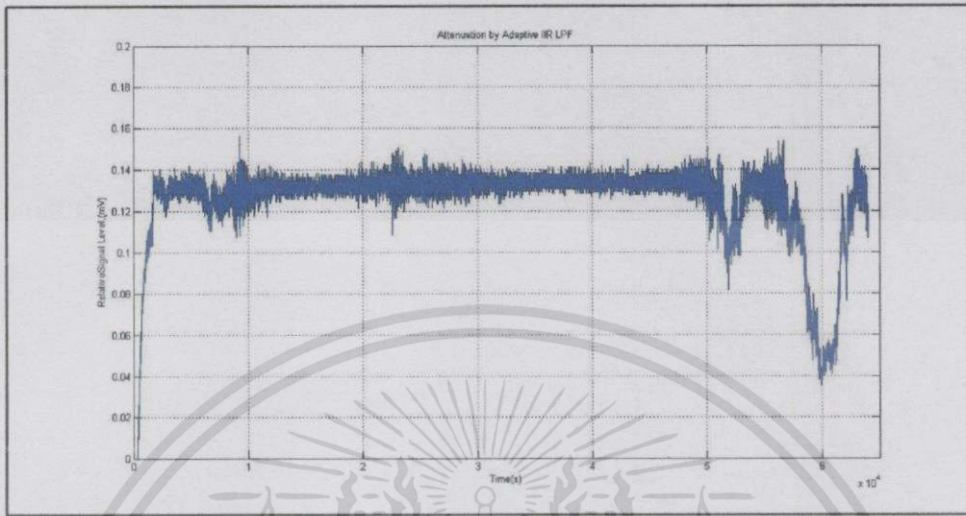


รูปที่ 4.4 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 5.16 น. มาผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ perceptron เพื่อแยกชั้นทิลเลชันและการลดทอนออกจากกันได้ผลดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



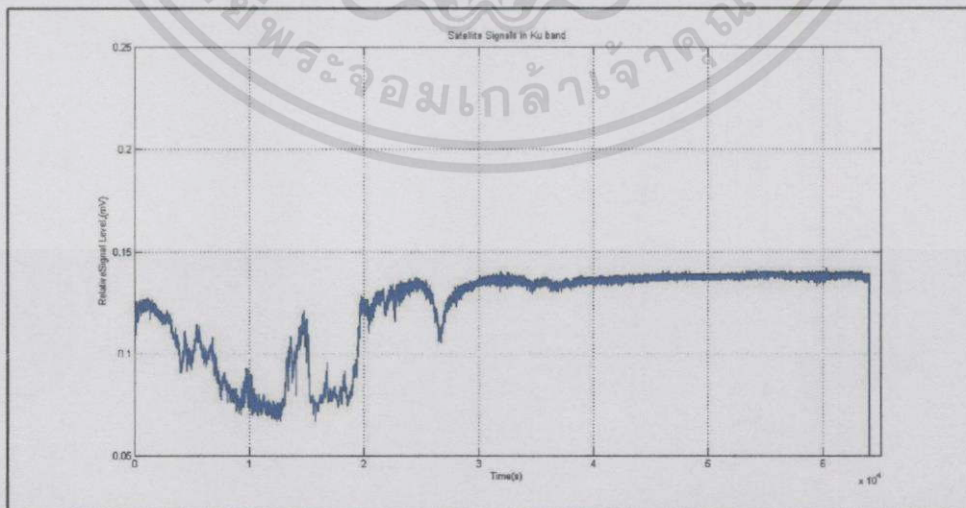
รูปที่ 4.5 ปรากฏการณ์ชั้นทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 โดยใช้ Perceptron



รูปที่ 4.6 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556
โดยใช้ Perceptron

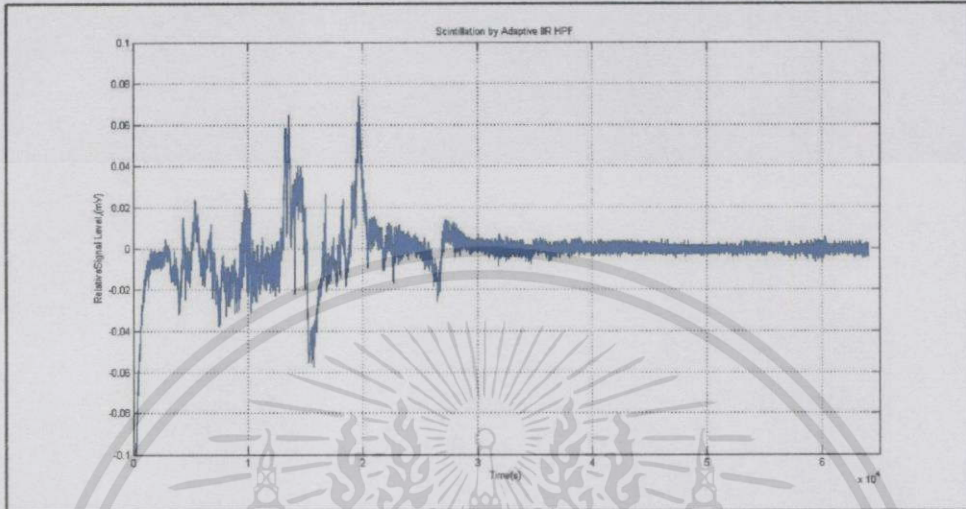
4.1.3 ข้อมูลที่บันทึกได้วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 4.49น.

การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 4.49 น. โดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ perceptron ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 1.159438 วินาที ข้อมูลที่ได้เป็นกราฟที่เกิดปรากฏการณ์ขึ้นทิลเลชันและการลดทอนขึ้นพร้อมๆกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.7

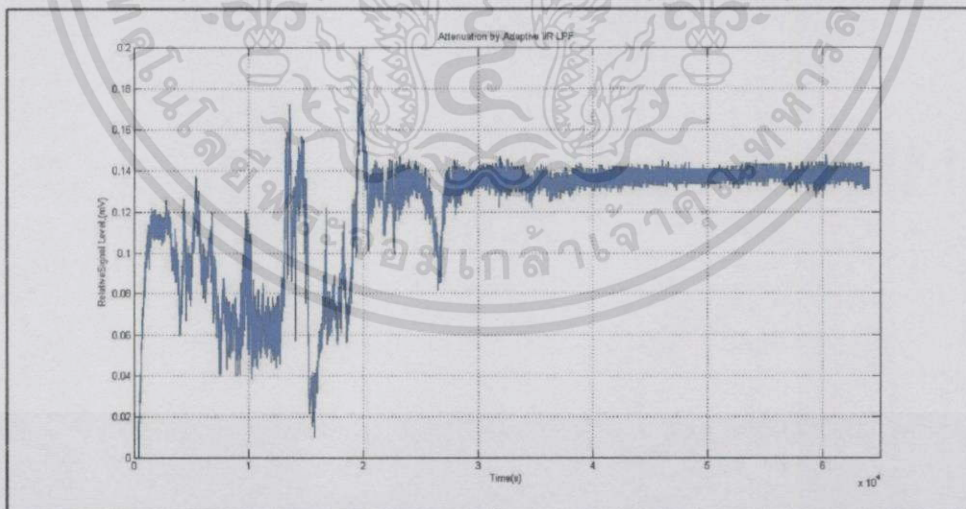


รูปที่ 4.7 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ. วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 4.49 น. มาผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ perceptron เพื่อแยกซินทิลเลชันและการลดทอนออกจากกันได้ผลดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึก วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 โดยใช้ Perceptron

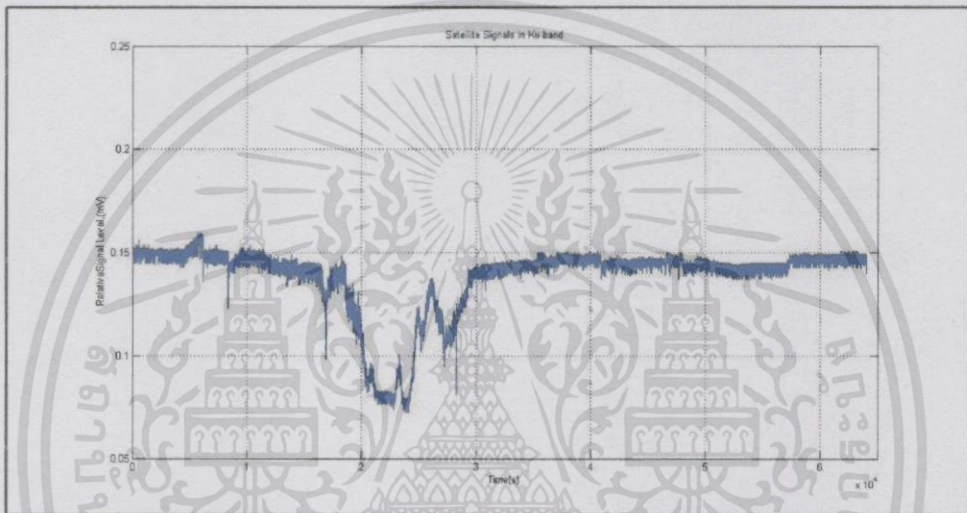


รูปที่ 4.9 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึก วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 โดยใช้ Perceptron

4.2 การแยกสัญญาณด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline

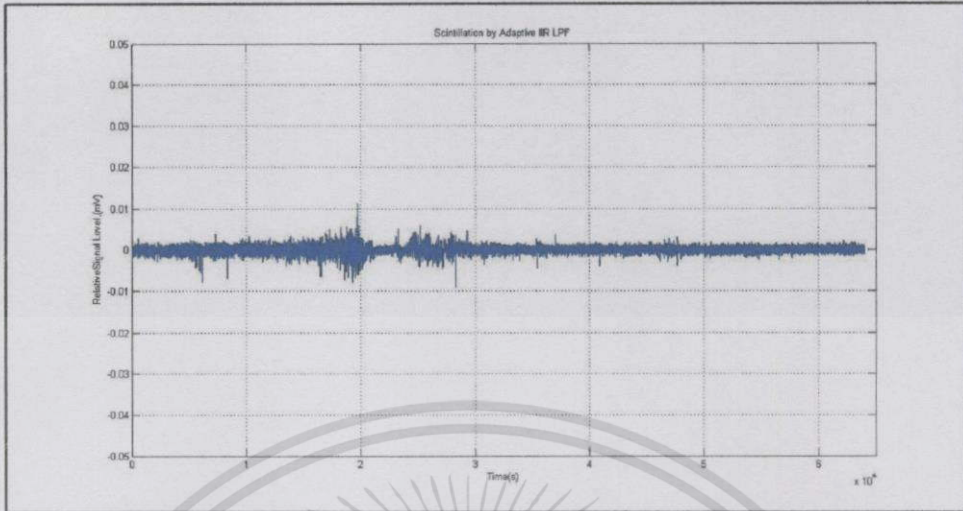
4.2.1 ข้อมูลที่บันทึกได้วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 21.05น.

การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 21.05 น. โดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 1.132773 วินาที ข้อมูลที่ได้เป็นกราฟที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและการลดทอนขึ้นพร้อมกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ วันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 21.05 น. มาผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline เพื่อแยกซินทิลเลชันและการลดทอนออกจากกันได้ผลดังรูปที่ 4.11 และ 4.12



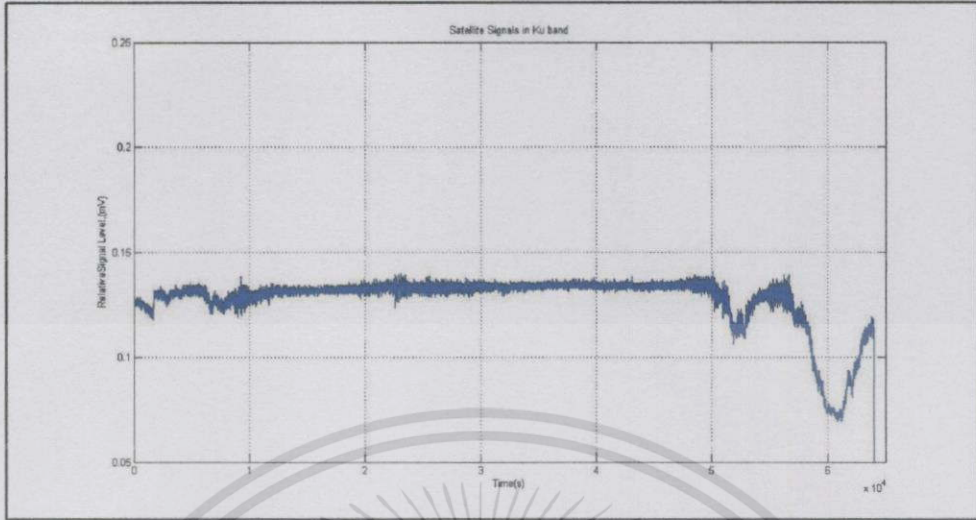
รูปที่ 4.11 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556
โดยใช้ Adaline



รูปที่ 4.12 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2556
โดยใช้ Adaline

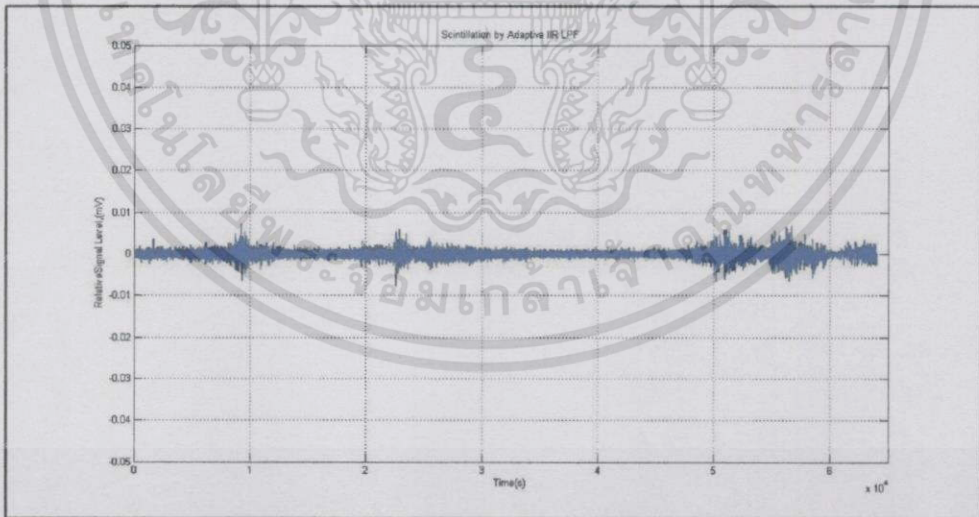
4.2.2 ข้อมูลที่บันทึกได้วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 5.16น.

การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 5.16 น. โดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 1.339098 วินาที ข้อมูลที่ได้เป็นกราฟที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและการลดทอนขึ้นพร้อมกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.13



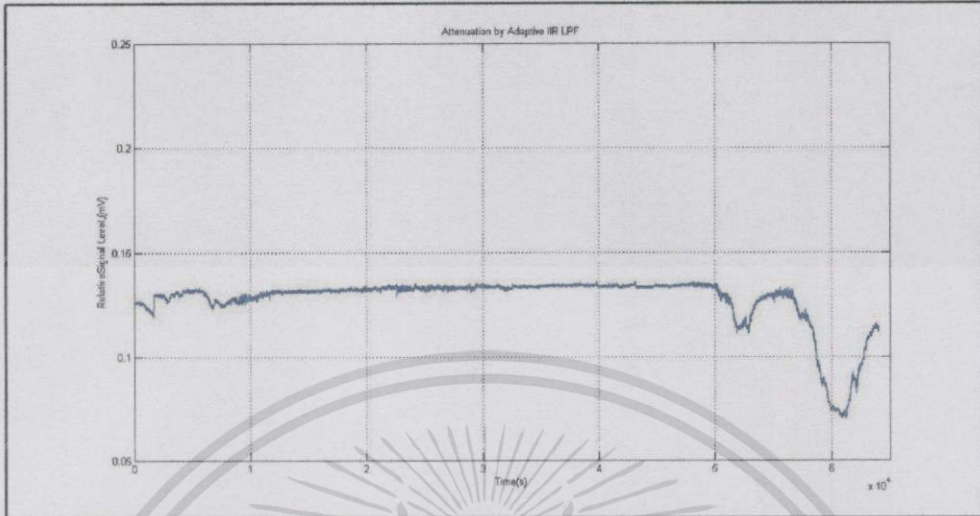
รูปที่ 4.13 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ วันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 5.16 น. มาผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline เพื่อแยกซินทิลเลชันและการลดทอนออกจากกัน ได้ผลดังรูปที่ 4.14 และ 4.15



รูปที่ 4.14 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556

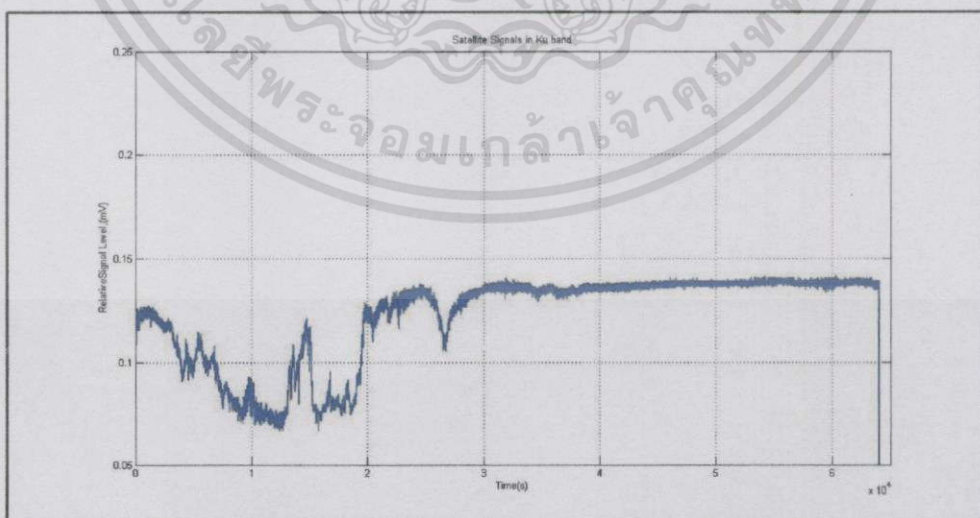
โดยใช้ Adaline



รูปที่ 4.15 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 13 กันยายน พ.ศ. 2556 โดยใช้ Adaline

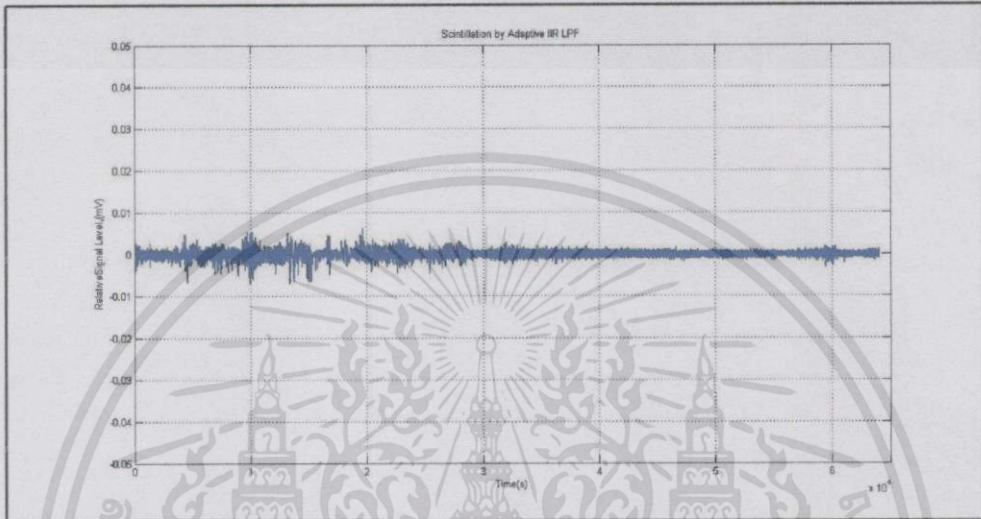
4.2.3 ข้อมูลที่บันทึกได้วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 4.49น.

การวิเคราะห์ข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้ ณ วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 4.49 น. โดยผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 1.156413 วินาที ข้อมูลที่ได้เป็นกราฟที่เกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชันและการลดทอนขึ้นพร้อมๆกัน แสดงได้ดังรูปที่ 4.16

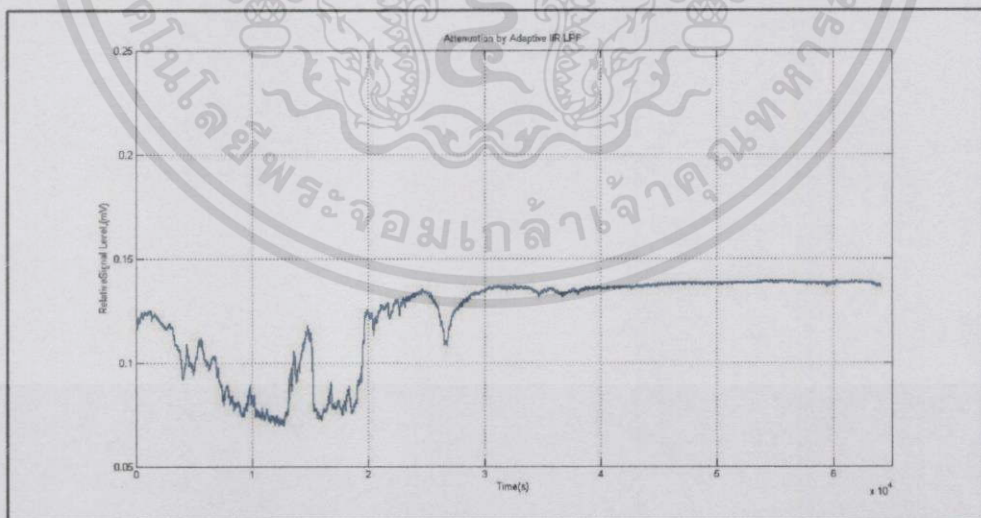


รูปที่ 4.16 ข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลสัญญาณดาวเทียมที่บันทึกได้วันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 4.49 น. มาผ่านโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline เพื่อแยกซินทิลเลชันและการลดทอนออกจากกัน จะได้ผลดังรูปที่ 4.17 และ 4.18



รูปที่ 4.17 ปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน ข้อมูลบันทึกวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 โดยใช้ Adaline



รูปที่ 4.18 ปรากฏการณ์การลดทอน ข้อมูลบันทึกวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2556 โดยใช้ Adaline

4.3 แบบจำลอง ITU-R

แบบจำลอง ITU-R เป็นแบบจำลองที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณเนื่องจากฝนเพื่อใช้ในการทำนายการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

ความสูงของงานสายอากาศรับที่เทียบกับระดับน้ำทะเล (h_S)	0.05 กิโลเมตร
มุมเงยของงานสายอากาศรับสัญญาณผ่านดาวเทียม (θ)	59.9 องศา
ตำแหน่งเส้นละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน (φ)	13 องศา
ความถี่ (f)	12.26 GHz
h_0 ของประเทศไทย	4.5 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 1 หาระดับความสูงของฝน h_R โดยประเทศไทยมีค่า $h_R = 4.5 + 0.36 = 4.8$ กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 2 สำหรับ $\theta \geq 5^\circ$ หาระยะทาง Slant Path: L_S จากความสูงของฝนในขั้นตอนที่ 1 โดยคำนวณค่า L_S ได้เท่ากับ 5.559720397 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณระยะในแนวระนาบ L_G ได้ 2.788259475 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 4 หาอัตราการตกของฝน R_p โดยจะแบ่งเป็นแต่ละโซน ซึ่งประเทศไทยอยู่ระหว่างโซน P และ N โดยมีค่าอัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการตกของฝนที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง ITU-R

เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	อัตราการตกของฝน (mm/hr.)	
	N	P
0.1	35	65
0.01	95	145
0.001	180	250

ขั้นตอนที่ 5 หาค่าการลดทอนจำเพาะ γ_R โดยทำการคำนวณค่า k_h , k_v , α_h และ α_v สำหรับการหาค่า k และ α เพิ่ม โดยแทนค่าความถี่เป็น 12.26 GHz เพื่อเพิ่มความละเอียดของผลการทดลองได้ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่คำนวณได้

k_h	0.025524696
k_v	0.026588929
α_h	1.175672901
α_v	1.112713207
k	0.025922978
α	1.15150534

โดยการหาค่า k และ α นั้น สามารถประยุกต์สมการโดยแทนค่า τ หรือ โพลาริซ์เซชันที่ทำมุมกับแนวนอนซึ่งจะได้สมการสำหรับโพลาริซ์เซชันทั้ง 3 แบบ คือ

- โพลาริซ์เซชันแนวนอน ตามสมการที่ 4.1 และ 4.2

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V)\cos^2\theta]/2 \quad (4.1)$$

$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + (k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta]/2k \quad (4.2)$$

- โพลาริซ์เซชันแบบวงกลม ตามสมการที่ 4.3 และ 4.4

$$k = [k_H + k_V + 0.7071(k_H - k_V)\cos^2\theta]/2 \quad (4.3)$$

$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V + 0.7071(k_H\alpha_H - k_V\alpha_V)\cos^2\theta]/2k \quad (4.4)$$

- โพลาริซ์เซชันแนวตั้ง ตามสมการที่ 4.5 และ 4.6

$$k = [k_H + k_V]/2 \quad (4.5)$$

$$\alpha = [k_H\alpha_H + k_V\alpha_V +]/2k \quad (4.6)$$

จากค่า k และ α ที่ได้นำไปคำนวณหาค่าการลดทอนจำเพาะ γ_R ได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าการลดทอนจำเพาะที่คำนวณได้

เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	การลดทอนจำเพาะ (dB/km)	
	N	P
0.1	1.55484639	3.171496982
0.01	4.909578222	7.98935442
0.001	10.24809692	14.9597941

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าพิสัยการลดลงในแนวระนาบ η_p ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ค่าตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าพิสัยการลดลงในแนวระนาบที่คำนวณได้

เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	ค่าพิสัยการลดลงในแนวระนาบ	
	N	P
0.1	0.921430111	0.778888411
0.01	0.691730888	0.597782996
0.001	0.551804773	0.485397586

ขั้นตอนที่ 7 หาค่าพิสัยการลดลงในแนวตั้ง ν_p คือ ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ค่าตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าพิสัยการลดลงในแนวตั้งที่คำนวณได้

เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	ค่าพิสัยการลดลงในตั้ง	
	N	P
0.1	1.046785047	1.233763155
0.01	1.314864047	1.488468219
0.001	1.536978993	1.699859847

ขั้นตอนที่ 8 หาระยะทางที่สัญญาณได้รับผลกระทบเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ค่าตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าระยะทางที่สัญญาณได้รับผลกระทบเนื่องจากฝนที่คำนวณได้

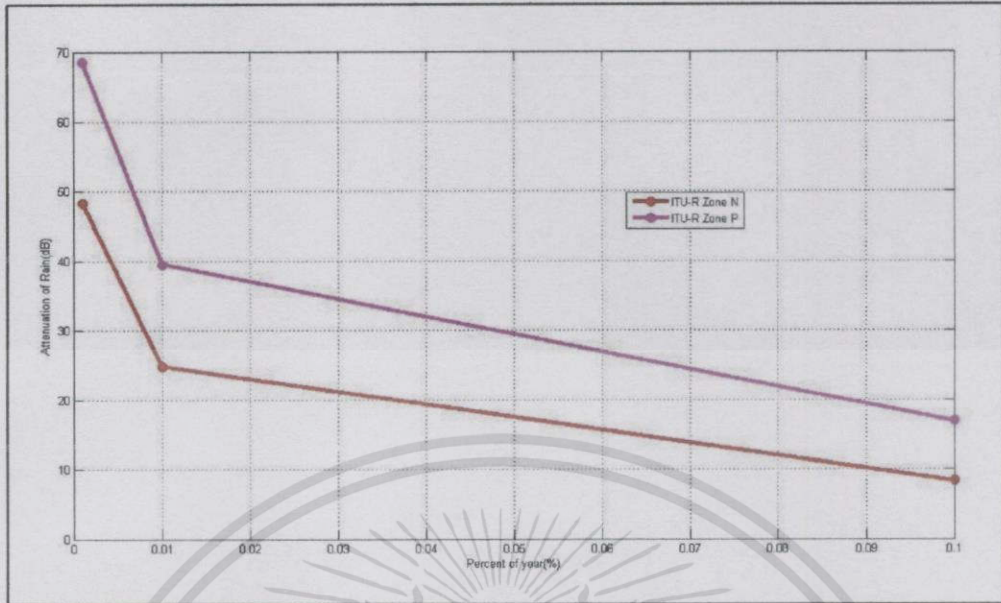
เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	ระยะทางที่สัญญาณได้รับผลกระทบเนื่องจากฝน (km)	
	N	P
0.1	5.362568613	5.34269017
0.01	5.05674403	4.946933525
0.001	4.715267503	4.587369035

ขั้นตอนที่ 9 หาค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ตามตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากฝนที่คำนวณได้

เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	ค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดฝน (dB)	
	N	P
0.1	8.337970449	16.94432575
0.01	24.82648036	39.52280523
0.001	48.32251838	68.62609625

จากข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง ITU-R สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่คำนวณจากแบบจำลอง ITU-R

4.4 แบบจำลอง Crane Global Rain Attenuation

แบบจำลองของการลดทอน Crane Global นี้จะแบ่งพื้นที่ออกเป็นแต่ละโซนพื้นที่ ซึ่งประเทศไทยนั้นจะอยู่ในโซน G และ โซน H โดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นโซนนั้นเนื่องจากอัตราการตกของฝนสะสมในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน เช่น โซน G อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากับ 90.2 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง โซน H อัตราการตกของฝนที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์จะเท่ากับ 209.3 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จะเห็นว่าอัตราการตกของฝนแตกต่างกันมากถึง 119.1 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นในพื้นที่ที่ทำการวิจัยมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้มาก เมื่อได้อัตราการตกของฝนสามารถนำค่านี้ไปทำนายระดับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนได้ตามแบบจำลอง Crane โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จะอ้างอิงจากพื้นที่ที่ทำการวิจัย วิธีการคำนวณของแบบจำลองจะเป็นไปตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาอัตราการตกของฝนในแต่ละพื้นที่ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ค่าตามตารางที่ 4.9 ตารางที่ 4.9 อัตราการตกของฝนที่ใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง Crane global

เปอร์เซ็นต์เวลา (%)	อัตราการตกของฝน (mm/hr.)	
	G	H
0.1	31.3	66.5
0.01	90.2	209.3
0.001	197	542.6

ขั้นตอนที่ 2 หาความสูงที่อุณหภูมิ 0 องศาของ isotherm ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ

- ที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.1 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าความสูงเท่ากับ 4.8 กิโลเมตร
- ที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.01 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าความสูงเท่ากับ 5.2 กิโลเมตร
- ที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.001 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าความสูงเท่ากับ 5.3 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า D ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ เมื่อมุมเงยของงานรับสัญญาณมากกว่า 10 องศา

- ที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.1 เปอร์เซ็นต์ ได้เท่ากับ 2.7534
- ที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.01 เปอร์เซ็นต์ ได้เท่ากับ 2.9853
- ที่เปอร์เซ็นต์เวลา 0.001 เปอร์เซ็นต์ ได้เท่ากับ 3.0433

ขั้นตอนที่ 4 หาสัมประสิทธิ์ a และ b สำหรับการหาค่าจำเพาะการลดทอน

- ค่าสัมประสิทธิ์ a ได้เท่ากับ 0.025
- ค่าสัมประสิทธิ์ b ได้เท่ากับ 1.1441

นำค่า a และ b มาหาค่าจำเพาะการลดทอนได้ค่าเท่ากับ -31313.1888 dB/km

ขั้นตอนที่ 5 หาค่า d, x, y และ u ที่คำนวณได้จากอัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ค่าดังตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ต่างๆ ที่เวลา 0.1 เปอร์เซ็นต์

zone	ค่าคงที่			
	d	x	y	u
G	1.7338	1.2808	-0.0773	0.0654
H	1.2816	1.1268	-0.0999	-0.0067

ตารางที่ 4.11 ค่าคงที่ต่างๆ ที่เวลา 0.01 เปอร์เซ็นต์

zone	ค่าคงที่			
	d	x	y	u
G	1.0987	1.0698	-0.1090	-0.0475
H	0.5937	0.9272	-0.1343	-0.2615

ตารางที่ 4.12 ค่าคงที่ต่างๆ ที่เวลา 0.001 เปอร์เซ็นต์

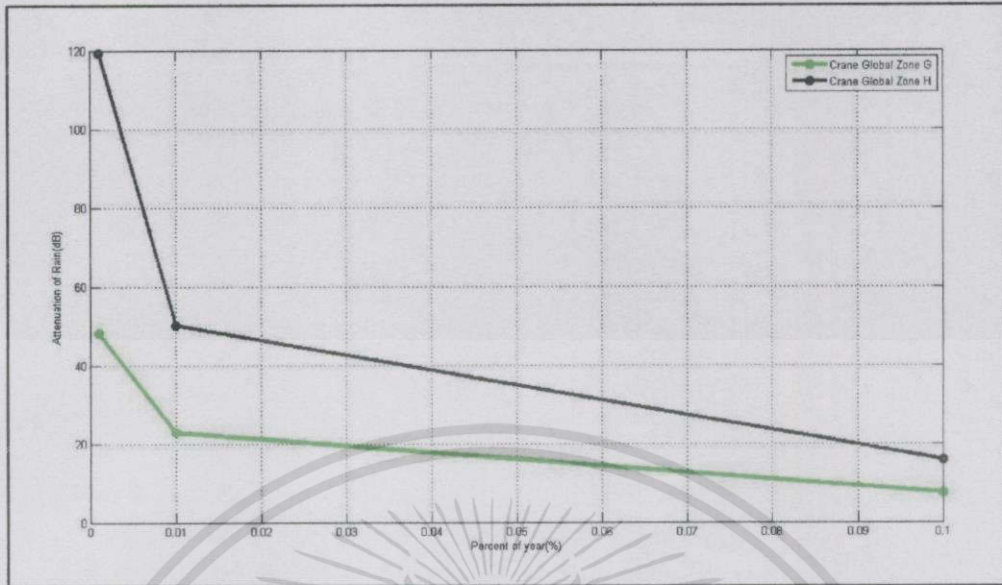
zone	ค่าคงที่			
	d	x	y	u
G	0.6300	0.9368	-0.1324	-0.2360
H	0.0221	0.7886	-0.1628	-10.8712

ขั้นตอนที่ 6 หาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ โดยค่าที่คำนวณได้ จะใช้เงื่อนไขที่ตรงกับสมการที่ 2.26 ได้ค่าดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนแต่ละเปอร์เซ็นต์เวลา

เปอร์เซ็นต์เวลาสะสม (%)	ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝน A(p) (dB)	
	G	H
0.1	7.6180	15.9407
0.01	22.8808	50.2058
0.001	48.2090	119.2417

จากข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลอง Crane global สามารถแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.20

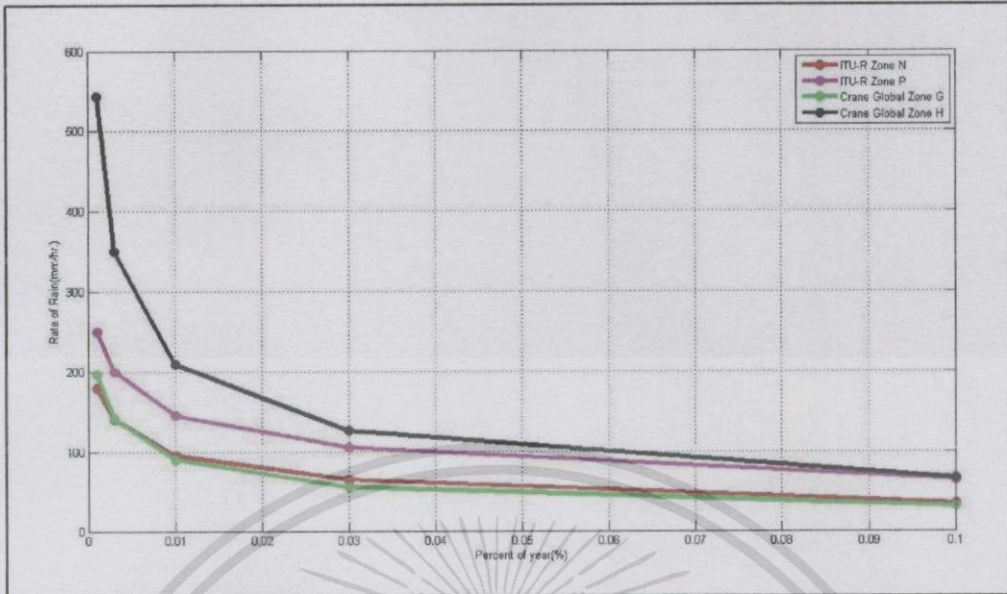


รูปที่ 4.20 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่คำนวณจากแบบจำลอง crane global

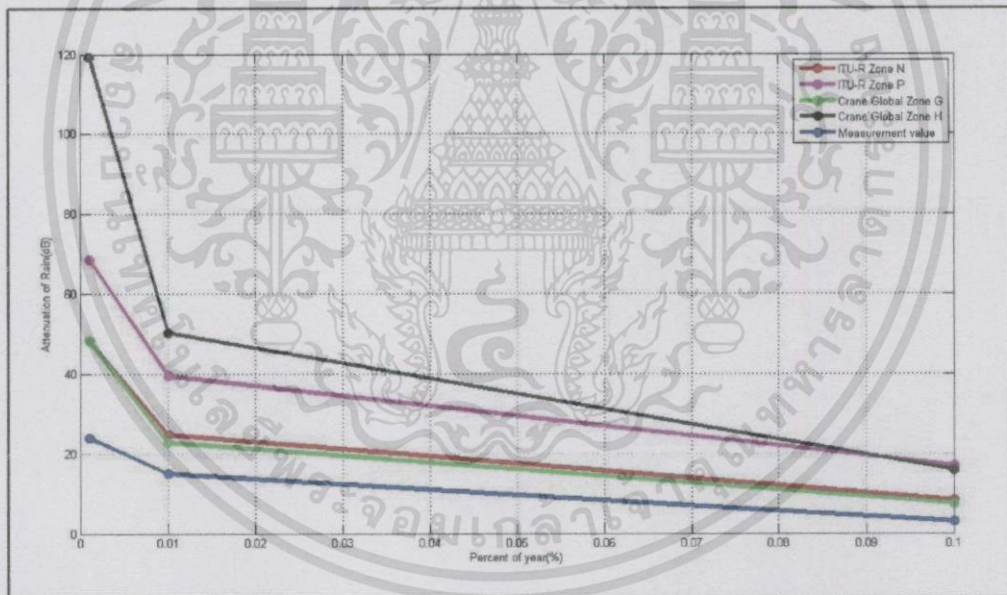
ขั้นตอนที่ 7 หาค่าเฉลี่ยสะสมของขอบด้านบนและด้านล่าง

- ที่เวลา 0.1 เปอร์เซ็นต์ ต้องบวกและลบค่าเฉลี่ยสะสม 32 เปอร์เซ็นต์
 - โซน G ค่าการลดทอนจะอยู่ในช่วง 5.1802 ถึง 10.0558 dB
 - โซน H ค่าการลดทอนจะอยู่ในช่วง 10.8396 ถึง 21.0417 dB
- ที่เวลา 0.01 เปอร์เซ็นต์ ต้องบวกและลบค่าเฉลี่ยสะสม 32 เปอร์เซ็นต์
 - โซน G ค่าการลดทอนจะอยู่ในช่วง 15.5589 ถึง 30.2027 dB
 - โซน H ค่าการลดทอนจะอยู่ในช่วง 34.1399 ถึง 66.2717 dB
- เวลา 0.001 เปอร์เซ็นต์ ต้องบวกและลบค่าเฉลี่ยสะสม 39 เปอร์เซ็นต์
 - โซน G ค่าการลดทอนจะอยู่ในช่วง 29.4075 ถึง 67.0106 dB
 - โซน H ค่าการลดทอนจะอยู่ในช่วง 72.7374 ถึง 165.7460 dB

จากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่า อัตราการตกที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.21 เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.21 อัตราการตกของฝนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ

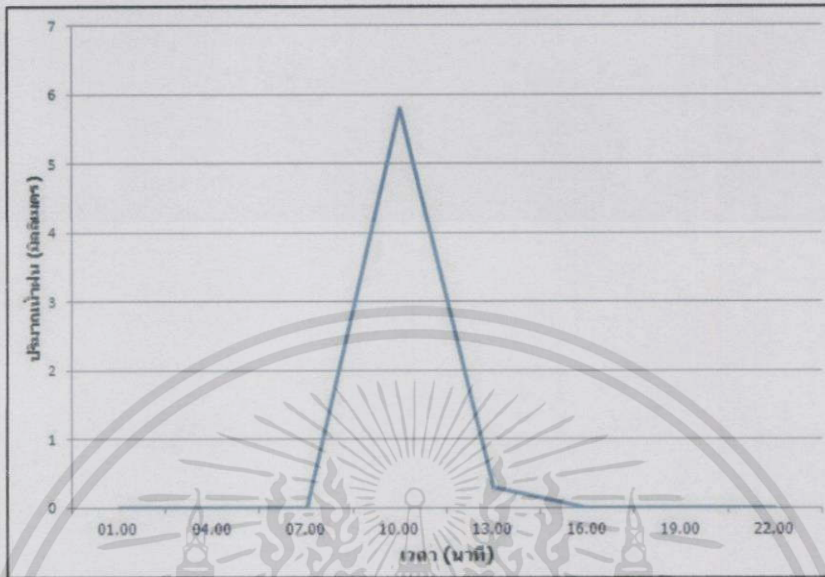


รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ

4.5 ปริมาณน้ำฝนกับระดับการลดทอนของสัญญาณ

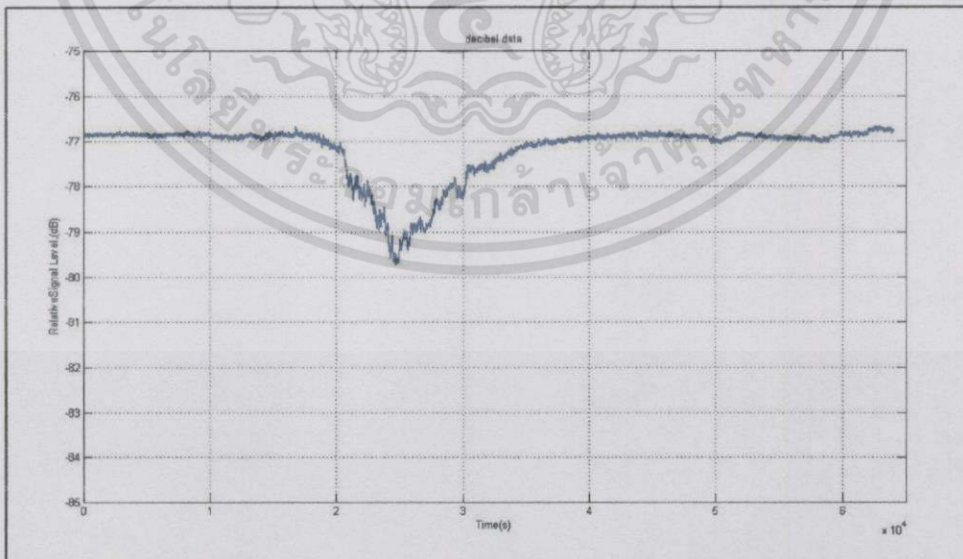
จากการศึกษาและเก็บข้อมูลพบว่าระดับการลดทอนของสัญญาณที่รับได้นั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝนที่ตกในเวลานั้น โดยช่วงเวลาที่ปริมาณของฝนสะสมสูงระดับการลดทอนของสัญญาณก็มีค่ามากขึ้น และในช่วงเวลาที่ปริมาณของฝนสะสมต่ำระดับการลดทอนก็จะมีค่าน้อย

โดยในวันที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมประมาณ 5-10 มิลลิเมตร จะทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณจะมีค่าประมาณ 1-2 dB



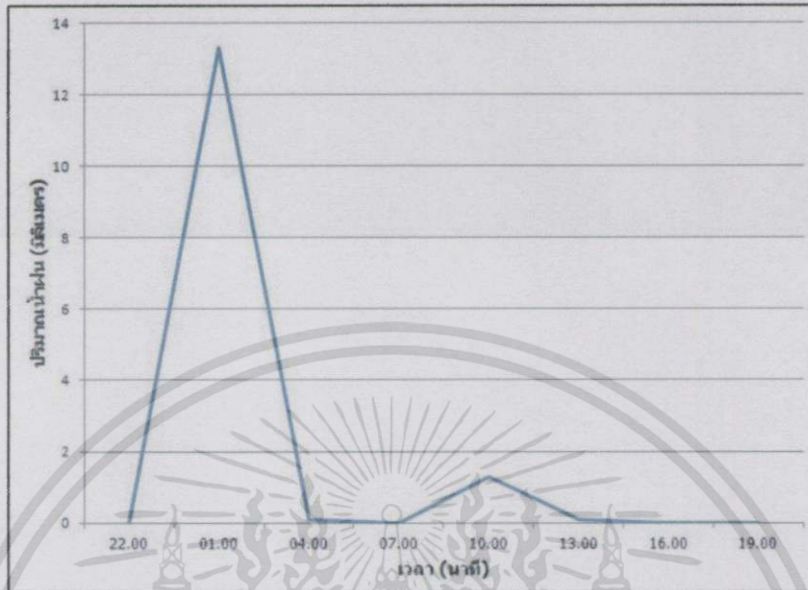
รูปที่ 4.23 ปริมาณน้ำฝน วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าเวลาประมาณ 8.00 - 12.00 น. เป็นช่วงที่มีฝนตก มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 5.8 มิลลิเมตร ทำให้เกิดการลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมประมาณ 1-2 dB อยู่เป็นระยะเวลาหนึ่งดังรูปที่ 4.24



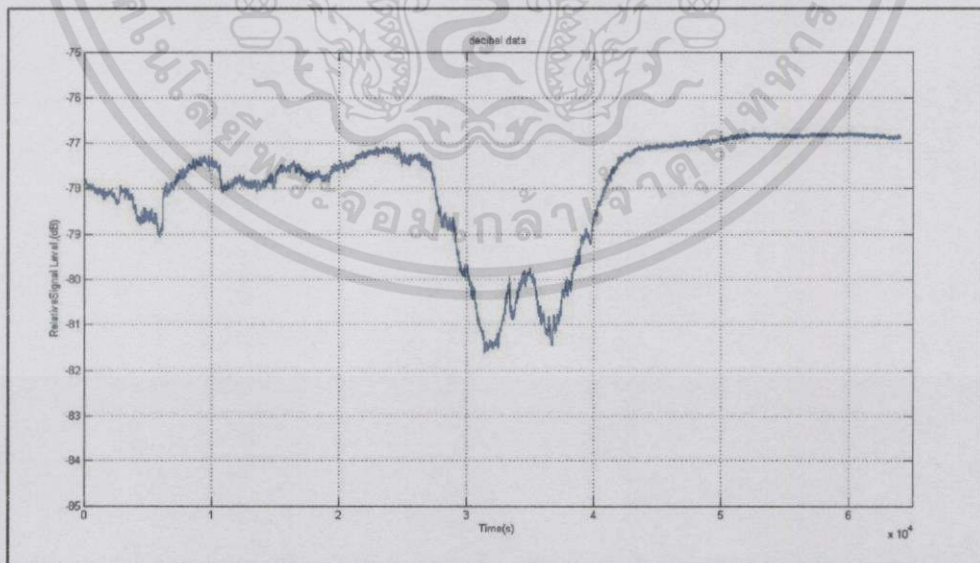
รูปที่ 4.24 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ ณ. วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2556 เวลาประมาณ 11.00 น

ในวันที่มีปริมาณน้ำฝนสะสมประมาณ 10-15 มิลลิเมตร จะทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณจะมีค่าประมาณ 3-4 dB



รูปที่ 4.25 ปริมาณน้ำฝน วันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2556

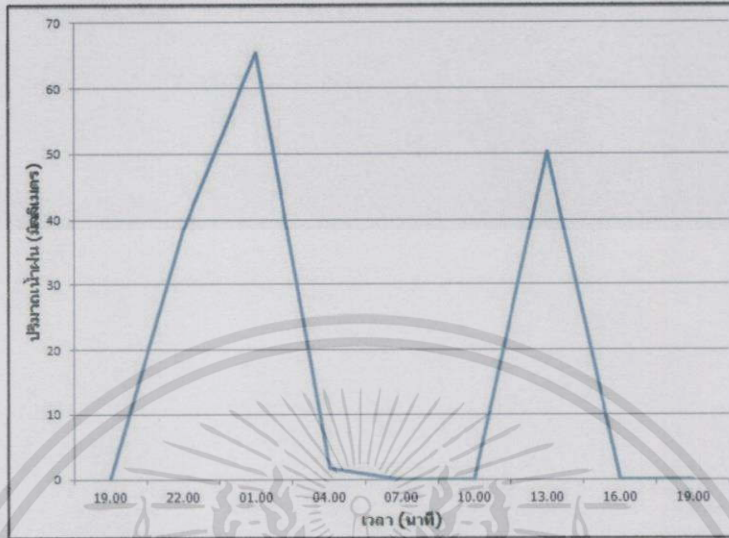
จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าเวลาประมาณ 00.00 - 03.00 น. เป็นช่วงที่มีฝนตก มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 13.3 มิลลิเมตร ทำให้เกิดการลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมประมาณ 3-4 dB อยู่เป็นระยะเวลาหนึ่งดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ ณ. วันที่ 9 สิงหาคม พ.ศ. 2556

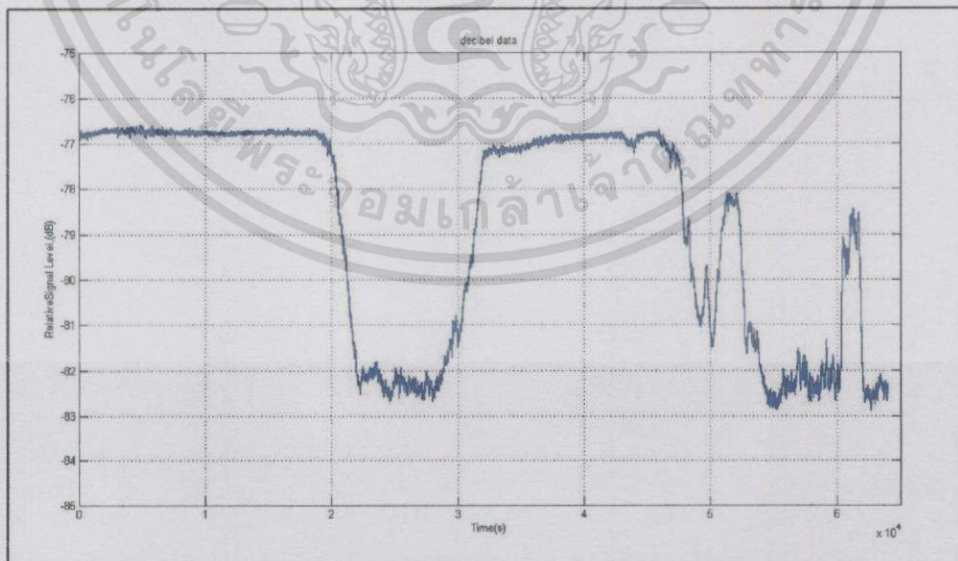
เวลาประมาณ 02.15 น

ในเดือนกันยายนมีปริมาณน้ำฝนสะสมสูงที่สุดซึ่งทำให้ระดับการลดทอนของสัญญาณมีค่าประมาณ 5-6 dB ซึ่งเป็นระดับการลดทอนของสัญญาณสูงที่สุดที่วัดได้



รูปที่ 4.27 ปริมาณน้ำฝน วันที่ 11-12 กันยายน พ.ศ. 2556

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าเวลาประมาณ 20.00 น. ของวันที่ 11 กันยายน - 03.00 น. ของวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2556 เป็นช่วงที่มีปริมาณน้ำฝนสูงถึงประมาณ 65.5 มิลลิเมตร และในเวลาประมาณ 11.00 - 15.00 น. ของวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2556 มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 50 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมสูงสุดถึง 5-6 dB ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 ระดับการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ ณ. วันที่ 11 กันยายน พ.ศ. 2556

เวลาประมาณ 22.15 น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การลดทอนของระดับสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝน โดยทำการวัดสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียมไทยคม 5 ย่านความถี่ Ku ความถี่ 12.26 GHz ณ สถานีรับคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำการบันทึกสัญญาณตั้งแต่ เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2556 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2557

5.1 การแยกสัญญาณโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

จากการใช้โครงข่ายประสาทเทียม Perceptron และ Adaline ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกันมาใช้ในการแยกปรากฏการณ์ซินทิลเลชันออกจากปรากฏการณ์การลดทอนที่มักจะมีเกิดขึ้นพร้อมกัน พบว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบ perceptron นั้นยังไม่สามารถแยกปรากฏการณ์ทั้งสองออกจากกันได้ชัดเจน สัญญาณที่แยกได้ยังมีการซ้อนทับกันของทั้งสองปรากฏการณ์อยู่ ซึ่งต่างจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline ที่สามารถแยกสัญญาณทั้งสองออกจากกันอย่างชัดเจนมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline นั้นใช้ least mean square algorithm หรือ อัลกอริทึม LMS ที่ทำให้กระบวนการทำงานแตกต่างกับ Perceptron ที่ใช้เพียงกระบวนการ training weight ทำให้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline มีประสิทธิภาพในการแยกสัญญาณได้ดีกว่า ดังนั้นในงานวิจัยในครั้งนี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Adaline ในการแยกปรากฏการณ์ทั้งสองออกจากกัน เพื่อนำสัญญาณที่เกิดการลดทอนไปศึกษาและวิเคราะห์ต่อไป

5.2 แบบจำลองการลดทอน

สำหรับแบบจำลอง ITU-R ทำการคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ทั้งหมด 3 ค่า โดยคำนวณทั้ง โชน N และ P เนื่องจากประเทศไทยอยู่ระหว่างสองโชนนี้ ซึ่งค่าการลดทอนที่ $R_{0.001}$ % โชน N มีค่าเท่ากับ 48.32251838 dB และ โชน P มีค่าเท่ากับ 68.62609625 dB ที่ $R_{0.01}$ % โชน N มีค่าเท่ากับ 24.82648036 dB และ โชน P มีค่าเท่ากับ 39.52280523 dB ที่ $R_{0.1}$ % โชน N มีค่าเท่ากับ 8.337970449 dB และ โชน P มีค่าเท่ากับ 16.94432575 dB

สำหรับแบบจำลอง Crane global ทำการคิดคำนวณค่าการลดทอนที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ ทั้งหมด 3 ค่าเช่นเดียวกับแบบจำลอง ITU-R คือ ที่ $R_{0.001}$ % ค่าการลดทอนของโชน G จะอยู่ในช่วง 29.4075 ถึง 67.0106 dB และ ค่าการลดทอนของโชน H จะอยู่ในช่วง 72.7374 ถึง 165.7460 dB ที่ $R_{0.01}$ % ค่าการลดทอนของโชน G จะอยู่ในช่วง 15.5589 ถึง 30.2027 dB

ค่าการลดทอนของโซน H จะอยู่ในช่วง 34.1399 ถึง 66.2717 dB และที่ $R_{0.1}$ % ค่าการลดทอนของโซน G จะอยู่ในช่วง 5.1802 ถึง 10.0558 dB และค่าการลดทอนของโซน H จะอยู่ในช่วง 10.8396 ถึง 21.0417 dB

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองทั้งสอง พบว่าการลดทอนของระดับสัญญาณในระดับสูงๆ นั้น จะเกิดขึ้นน้อยและเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาไม่นาน ซึ่งต่างจากการลดทอนสัญญาณในระดับต่ำๆ ที่จะเกิดเป็นระยะเวลานานและเกิดขึ้นหลายครั้งในแต่ละเดือน โดยระดับการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองนั้นมีค่าสูงกว่าค่าการลดทอนสะสมที่วัดได้จริง โดยค่าที่ใกล้เคียงที่สุดคือค่าที่ได้จากแบบจำลอง ITU-R โซน N

5.4 แนวทางการพัฒนางานวิจัย

ผลการวิจัยที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองนี้สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อนำไปสร้างเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมกับสภาพอากาศของประเทศไทยได้ต่อไป โดยมีแนวทางการพัฒนา ดังนี้

1. กำหนดค่า h_R เป็นค่าคงที่ โดยมีค่าเท่ากับ 4.86 กิโลเมตร เนื่องจากประเทศไทยมีความสูงที่ระดับอนุทภูมิ 0 องศาเซลเซียส (h_0) เท่ากับ 4.5
2. เก็บค่าทางสถิติเกี่ยวกับปริมาณน้ำฝนและอัตราการตกของฝนเพื่อใช้สำหรับกำหนดค่า R_p ที่เปอร์เซ็นต์เวลาต่างๆ

5.5 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ที่ทำการบันทึกสัญญาณนั้นไม่มีเครื่องสำรองไฟ ทำให้เมื่อไฟดับจะไม่สามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงระยะเวลาในการเก็บข้อมูลไม่มากนักจึงทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความละเอียดไม่เพียงพอ นอกจากนี้ค่าปริมาณน้ำฝนที่ได้เป็นค่าทางสถิติที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งวัดที่สนามบินสุวรรณภูมิ จึงทำให้ค่าที่คำนวณได้มีความคลาดเคลื่อนพอสมควร

จากปัญหาข้างต้น ในการศึกษาและทดลองต่อไปควรมีเครื่องสำรองไฟ และใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลให้มากขึ้น รวมถึงมีการติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ณ จุดที่ทำการวัดสัญญาณเพื่อให้ผลการทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยลง

บรรณานุกรม

- [1] วันวิสา ช้ชวงษ์. “การวัดและการวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม ณ มุมเงยสูงในเขตร้อน”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] พงษ์ภูไท อุดมอริยทรัพย์. “การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมเนื่องจากฝนในย่านความถี่ Ku โดยการพิจารณา Slant Path”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] อรรถสิทธิ์ เดชสงค์. “การศึกษาการลดทอนเนื่องจากฝนของสัญญาณดาวเทียมไทยคม 3 ในย่านความถี่ เคยู”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [4] ดุสิต โปศรี. “วิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากฝนในย่าน Ku-band ด้วยอุปกรณ์ Radiometer ที่มุม 90 องศา”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [5] นัฐพงษ์ ชาวโคกชี. “การศึกษาและวิเคราะห์สัญญาณดาวเทียม ย่านความถี่ KU Band”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] Principe, Jose C. “Neural and Adaptive Systems: Fundamentals through Simulations / Jose C. Principe, Neil R. Euliano, W. Curt Lefebvre”. New York : John Wiley, c2000
- [7] Cichocki, A. “Neural Networks for Optimization and Signal Processing / A. Cichocki, R. Unbehauen”. Chichester : John Wiley & Sons, c1993
- [8] Aditep Chaisang and Narong Hemmakorn. “Satellite due to Rain Fading at Klong Downlink a Vailability of Thaicom3 Yai Ground Station”. Electronics&Communication Engineering Journal, February 2000
- [9] V.Ramachandran and V.Kumar. “Rain Attenuation Measurement on Ku-Band Satellite TV Downlink in Small Island Countries”. Electronics Letters, 8th January 2004, Vol40, No.1

- [10] Ozlem Kilic and Amir I.Zaghloul. "Enhanced Antenna-pattern Measurements for Satellite Systems". IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol55, No.2, APRIL 2006
- [11] I.E. Otung. "Comparative Evaluation of Rain and Scintillation Fading on Low Availability Ka-/EHF Bands Vsat Satellite Systems". Center for Satellite Engineering Research University of Surrey Guildford GU2 5XH, United Kingdom
- [12] JS Mandeep et al. "Modified ITU-R Rain Attenuation Model for Equatorial Climate". Proceeding of the 2011 IEEE International Conference on Space Science and Communication(IconSpace), 12-13 July 2011, Penang, Malaysia
- [13] T.Boonchuk, N.Hemmakorn, P.Supnithi. "Rain Attenuation of Satellite Link in Ku-band at Bangkok". Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology(ReCCIT)
- [14] Khairayu Badron et al. "Rain Induced Attenuation Studies for V-band Satellite Communication in Tropical Region". Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics 73, 2011
- [15] CCIR International Radio Consultative Committee, "Propagation in Non-ionized Media". Reports of The CCIR, 1990
- [16] Louis J. Ippolito, Jr. "Satellite Communications Systems Engineering". A John Wiley and Sons, Ltd, Publication 1988
- [17] R. Rojas. "Neural Networks". Springer-Verlag, Berlin, 1996

ภาคผนวก ก.
ดาวเทียมไทยคม 5

1. คุณสมบัติของดาวเทียมไทยคม 5

ดาวเทียมไทยคม 5 เป็นดาวเทียมรุ่น 3 แกน ผลิตโดย บริษัท ธาเลส อลิเนีย สเปน ประกอบด้วยย่านความถี่ C Band จำนวน 25 ทรานสพอนเดอร์ และย่านความถี่ Ku Band จำนวน 14 ทรานสพอนเดอร์ โดยย่านความถี่ C Band Global Beam ของไทยคม 5 ครอบคลุมพื้นที่ 4 ทวีป คือเอเชีย, ยุโรป, ออสเตรเลีย และแอฟริกา ส่วนพื้นที่การให้บริการของ Spot Beam ในย่านความถี่ Ku Band นั้นครอบคลุมประเทศไทย และประเทศในภูมิภาคอินโดจีน ส่วน Steerable Beam ในย่านความถี่ Ku Band ของดาวเทียมไทยคม 5 ครอบคลุมประเทศเวียดนาม และประเทศในภูมิภาคอินโดจีน



รูปที่ ก.1 แสดงรูปดาวเทียมไทยคม 5

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของดาวเทียมไทยคม 5

การออกแบบ	ดาวเทียมรุ่น Spacebus-3000A ซึ่งเป็นดาวเทียมรุ่น 3 แกน
บริษัทที่ผลิตดาวเทียม	ธาเลส อลิเนีย สเปน, ประเทศฝรั่งเศส
กำลัง	อย่างน้อย 5,000 วัตต์ เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน
น้ำหนักเมื่อส่งขึ้นสู่วงโคจรในอวกาศ	ประมาณ 2,766 กิโลกรัม
มวลในวงโคจร	เมื่อเริ่มใช้งานจะมีน้ำหนักอย่างน้อย 1,600 กิโลกรัม เมื่อสิ้นสุดการใช้งานจะมีน้ำหนัก อย่างน้อย 1,220 กิโลกรัม

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

จำนวนช่องสัญญาณ	ย่านความถี่ C จำนวน 25 ทรานสพอนเดอร์ มีความถี่ของช่องสัญญาณ ในย่านความถี่ซีแบนด์เท่ากับ 36 MHz ย่านความถี่ Ku จำนวน 14 ทรานสพอนเดอร์ (ความถี่ 36 MHz 12 ทรานสพอนเดอร์ และความถี่ 54 MHz 2 ทรานสพอนเดอร์)
ตำแหน่งวงโคจร	78.5 องศาตะวันออก
บริษัทนำส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร	บริษัทเอเรียนสเปซ ประเทศฝรั่งเศส
วันที่ส่งดาวเทียมขึ้นสู่วงโคจร	27 พฤษภาคม 2549

2. พื้นที่การให้บริการของดาวเทียมไทยคม 5



รูปที่ ก.2 แสดงพื้นที่ให้บริการของดาวเทียมไทยคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ 75 ชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมตัวกรองความถี่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ADALINE

```
clc;
clear all
tic
load a2012926393131937.m;
% set parameter
SNR=8; % sampling
p=1; % set p = 1 So Calculate simple
L=0.95; %
ro=0.94; % Constant coefficient 0 to 1
N=length(a2012926393131937);
data=a2012926393131937(:,:);
x=data;
x1=mean(x);
x2=x-x1;
xlabel('Time(s)');
y=zeros(size(x2));
a=-2*cos(pi/3)*ones(1,N-1);
dy=zeros(size(x));
k=zeros(1,N-1);
u=zeros(1,N-1);
e=zeros(1,N-1);

for n=2:N-1;
    y(n)=-x(n-1)-a(n)*x(n)-ro*a(n)*y(n-1); % output first-order adaptive HPF
    dy(n)=-x(n)-ro*y(n-1);%def HPF
    if rem(p,2)==0
        update(n)=p*y(n)^(p-1)*dy(n);
```

```

else
    update(n)=p*sign(y(n))*(y(n)^(p-1))*dy(n);
end
a(n)=a(n-1)-u(n-1)*sign(update(n));
e(n)=y(n)-y(n-1);
u(n)=u(n-1)+ro*real(e(n)*x(n)*k(n-1)); % Step size parameter adaptive
k(n)=L*k(n)+e(n)*x(n);
end

z=x-y; % Atten = Data - Scintil

Lr=0.147; % Leaning Rate 0 <= Lr <= 1
b1=0.2*ones(1,N-1); % bias
w1=0.2*ones(1,N-1); % weight value to 0
b2=0.2*ones(1,N-1);
w2=0.2*ones(1,N-1);
for k=2:N-1;
    c1(k)=w1(k)*x(k)+b1(k);
    er1(k)=y(k)-c1(k); %HPF
    w1(k+1)=w1(k)+2*Lr*y(k)*er1(k);
    b1(k+1)=b1(k)+2*Lr*er1(k);
end

figure ;
    %subplot(3,1,1);
plot(x);
grid;
axis([0 65000 4 8]);
ylabel('RelativeSignal Level,(dB)');
title('Satellite Signals in Ku band');
xlabel('Time(s)');

```

```

%การเกิดปรากฏการณ์ซินทิลเลชัน
figure ;
%subplot(3,1,2);
plot(c1);
grid;
axis([0 65000 -2 2]);
title('Scintillation by Adaptive IIR HPF');
ylabel('Relative Signal Level,(dB)');
xlabel('Time(s)');

```

```

for k=2:N-1;
c2(k)=w2(k)*x(k)+b2(k);
er2(k)=z(k)-c2(k); %LPF
w2(k+1)=w2(k)+2*Lr*y(k)*er2(k);
b2(k+1)=b2(k)+2*Lr*er2(k);
end

```

```

%การเกิดปรากฏการณ์การลดทอนเนื่องจากฝน
figure ;
%subplot(3,1,3);
plot(c2);
grid;
axis([0 65000 4 8]);
title('Attenuation by Adaptive IIR LPF');
ylabel('Relative Signal Level,(dB)');
xlabel('Time(s)');
toc

```

ภาคผนวก ค.

โปรแกรมตัวกรองความถี่โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม PERCEPTRON

```
clc;
clear all
tic
load data281256_07.m; %เปลี่ยนชื่อตามชื่อไฟล์และนามสกุลไฟล์ข้อมูลที่นำมาแยกสัญญาณ

% set parameter
SNR=8; % sampling

p=1; % set p = 1 So Calculate simple
L=0.95; %
ro=0.94; % Constant coefficient 0 to 1

N=length(data281256_07); %เปลี่ยนชื่อตามชื่อไฟล์ข้อมูลที่นำมาแยกสัญญาณ
data=data281256_07(:,:); %เปลี่ยนชื่อตามชื่อไฟล์ข้อมูลที่นำมาแยกสัญญาณ
x=data;
x1=mean(x);
x2=x-x1;

y=zeros(size(x2));
a=-2*cos(pi/3)*ones(1,N-1);
dy=zeros(size(x));
k=zeros(1,N-1);
u=zeros(1,N-1);
e=zeros(1,N-1);

for n=2:N-1;

    y(n)=-x(n-1)-a(n)*x(n)-ro*a(n)*y(n-1); % output first-order adaptive HPF
    dy(n)=-x(n)-ro*y(n-1);%def HPF
```

```

if rem(p,2)==0
    update(n)=p*y(n)^(p-1)*dy(n);
else
    update(n)=p*sign(y(n))*(y(n)^(p-1))*dy(n);
end

a(n)=a(n-1)-u(n-1)*sign(update(n));
e(n)=y(n)-y(n-1);
u(n)=u(n-1)+ro*real(e(n)*x(n)*k(n-1)); % Step size parameter adaptive
k(n)=L*k(n)+e(n)*x(n);

end

z=x-y; % Atten = Data - Scintil
Lr=0.147; % Learning Rate, 0 < Lr <= 1
th=0.2;
%c1=zero(1,N-1);
w1=0.3*ones(1,N-1); % weight value to 0
%c2=zero(1,N-1);
w2=0.3*ones(1,N-1);

for k=2:N-1;
    c1(k)=x(k)*w1(k)-0.2;
    %if(c1(k)<0) c1(k)=0;
    %else c1(k)=1;
    er1(k)=y(k)-c1(k);
    w1(k+1)=w1(k)+Lr*x(k)*er1(k);
end

```

```

figure(1) ;
%subplot(3,1,1);
plot(x);
grid;
axis([0 65000 0.05 0.25]);
ylabel('RelativeSignal Level,(mV)');
title('Satellite Signals in Ku band');
xlabel('Time(s)');

```

```
%Scintillation
```

```

figure(2) ;
%subplot(3,1,2);
plot(c1);
grid;
axis([0 65000 -0.1 0.1]);
title('Scintillation by Adaptive IIR HPF');
ylabel('RelativeSignal Level,(mV)');
xlabel('Time(s)');

```

```

for k=2:N-1;
    c2(k)=x(k)*w2(k)-0.2;
    er2(k)=z(k)-c2(k);
    w2(k+1)=w2(k)+Lr*x(k)*er2(k);
end

```

```
%Attention
```

```

figure(3);
%subplot(3,1,3);
plot(c2);
grid;
axis([0 65000 0.0 0.2]);

```

```
title('Attenuation by Adaptive IIR LPF')
ylabel('RelativeSignal Level,(mV)');
xlabel('Time(s)');
```

```
figure(4);
c3=log10(c2*10^-3)*20;
%subplot(4,1,4);
plot(c3);
grid;
axis([0 65000 -85 -75]);
title('decibel data')
ylabel('RelativeSignal Level,(mV)');
xlabel('Time(s)');
```

```
toc
```

