

ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์การลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน
DATA COLLECTION AND ANALYSIS SYSTEM FOR RAIN-INDUCED
ATTENUATION OF SATELLITE SIGNALS



โดย
นายอภิสิทธิ์ คำรงค์พัฒนา
นายอรรถกฤตย์ วีระเดช

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของภา ศึกษิตตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์การลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน
DATA COLLECTION AND ANALYSIS SYSTEM FOR RAIN-INDUCED
ATTENUATION OF SATELLITE SIGNALS



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์การลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน
Data Collection and Analysis System for Rain-induced Attenuation of
Satellite Signals

โดย

นายอภิสิทธิ์

ดำรงชีพวัฒน์

53011877

นายอรรถกฤตย์

วีระเดช

53011887

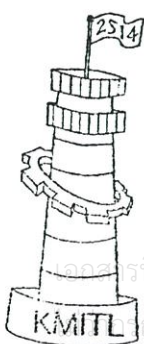
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

ผศ.ดร. ตุลยา ลิมปิติ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร. ญัฐกานต์ พุทธิรักษ์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

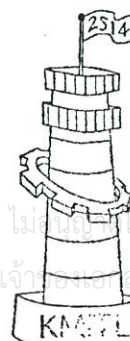


ผ่านการตรวจรูปเล่มแล้ว

(T. Limpiti)
อาจารย์ที่ปรึกษา

11/3/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering



ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

(P. S. K.)
กรรมการผู้ตรวจชิ้นงาน

11/3/57

วิศวกรรมโทรคมนาคม
Telecommunications Engineering

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์การลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน

DATA COLLECTION AND ANALYSIS SYSTEM FOR RAIN-INDUCED

ATTENUATION OF SATELLITE SIGNALS

ผู้จัดทำ

- | | | |
|-----------------|--------------|----------|
| 1. นายอภิสิทธิ์ | ดำรงศพีวัฒน์ | 53011877 |
| 2. นายอรรถกฤตย์ | วีระเดช | 53011887 |

T. Limpit

(ผศ.ดร. ตุลยา ลิมปิตี)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

Dr. N. P.

(ดร. ณัฐกานต์ พุทธิรักษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บิดา และมารดา ที่คอยให้คำปรึกษาในปัญหาต่างๆ ด้าน อีกทั้งยังคอยสนับสนุนอุปการะ และเป็นกำลังใจสำคัญในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ตุลยา ลิ้มปิติ ดร.ณัฐกานต์ พุทธรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ รศ.ดร.วิภา แสงพิสิทธิ ที่คอยให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการดำเนินงานต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ และสถานที่ในการทดลองและจัดทำที่จำเป็นในปริญญานิพนธ์นี้ ให้ปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นายธนันท์ คณะเจริญ นางสาวจิรัชญา พูลสวัสดิ์ นายพีระเมศร์ โชติกวีกิจญาดา และนายกันตพิชญ์ แก้วสุวรรณ พี่ปริญญานิพนธ์เอกและพี่ปริญญานิพนธ์โท ที่คอยให้คำปรึกษาคอยสอนให้ความรู้คอยแนะนำเมื่อมีปัญหาในการทำปริญญานิพนธ์ในเรื่องต่างๆ รวมทั้งขอบคุณเพื่อนๆ ในห้อง T219 ทุกคนที่คอยแบ่งปันและให้คำแนะนำต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์

อภิสิทธิ์ ดำรงค์พัฒน์
อรรถกฤตย์ วีระเดช
ผู้จัดทำ



ระบบจัดเก็บและวิเคราะห์การลดทอนสัญญาณดาวเทียมอัน
เนื่องมาจากฝน

DATA COLLECTION AND ANALYSIS SYSTEM FOR
RAIN-INDUCED ATTENUATION OF SATELLITE
SIGNALS

โดย นายอภิสิทธิ์ ดำรงค์พิวัฒน์ 53011877

นายอรรถกฤตย์ วีระเดช 53011887

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ตุลยา ลิมปิติ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ณัฐกานต์ พุทธิรักษ์

บทคัดย่อ

ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ทำให้พื้นที่ของประเทศมีฝนตกชุก โดยเฉพาะเดือน มิถุนายน ถึง ตุลาคม ซึ่งฝนเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อ การรับส่งสัญญาณในระบบสื่อสาร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การสื่อสารดาวเทียมในย่านความถี่สูง ข้อมูลการลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนในย่านความถี่สูง จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการออกแบบระบบสื่อสารดาวเทียมที่มีความน่าเชื่อถือสูง ปริญญาโทฉบับนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาระบบจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนโดยการติดตั้งและทดสอบการรับสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ Ku-Band โดยใช้จานสายอากาศเพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมไทยคม 5 และติดตั้งและทดสอบการรับข้อมูลปริมาณน้ำฝน รวมถึงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ โดยใช้เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลไร้สายไปยังระบบจัดเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลการลดทอนสัญญาณดาวเทียมบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

ABSTRACT

Thailand has a tropical climate, with a rainy season from June to October. Rain is one of the key factors which affect signal transmission and reception, particularly satellite communications in high frequency band. Therefore, information on rain-induced attenuation is essential for designing reliable satellite communications system. This project proposes to develop a data collection and analysis system for rain-induced attenuation of satellite signal. An antenna is installed to receive Ku-band satellite signal from Thaicom 5. Rainfall rate and other meteorological data are obtained from a weather station. Microcontrollers are programmed to send the data via a wireless module to the database. A graphical user interface is developed to analyze and display the attenuation information on the computer.



สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อ.....	II
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite Communication System).....	5
2.2 ผลกระทบของฝนต่อการลดทอนสัญญาณดาวเทียม.....	5
2.3 ความถี่สัญญาณดาวเทียม.....	6
2.4 ความหมายของทรานสปอนเดอร์ (Transponder).....	9
2.5 ฟุตพริ้นท์ (Foot Print).....	10
2.6 โครงสร้างของระบบสื่อสารดาวเทียม.....	11
2.7 ประเภทของดาวเทียม.....	15
2.8 วงโคจรดาวเทียม.....	16
2.9 การกำหนดรูปแบบการให้บริการดาวเทียมตาม ITU.....	17
2.10 จานสายอากาศ.....	18
2.11 Noise Figure.....	27
2.12 ขั้วต่อและสายนำสัญญาณ (Connector & Cable Finder).....	28
2.13 การวัดปริมาณน้ำฝน (Rainfall measurement).....	29
2.14 การวิเคราะห์และคำนวณอัตราการตกของฝน.....	31
2.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	32

สารบัญ (ต่อ)

2.16 การสื่อสารข้อมูล.....	35
2.17 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN).....	38
2.18 การทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน.....	46
2.19 โปรแกรม Microsoft Visual C# 2010.....	52
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปฏิญานิพนธ์.....	57
3.1 การออกแบบ.....	57
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	74
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง.....	77
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	78
4.1 การวัดผลตอบสนองของแรงดันกับค่ากำลังงานจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม.....	78
4.2 การทดสอบส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย.....	85
4.3 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์.....	86
4.4 การทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์.....	93
4.5 การทดสอบการรับข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม และเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ในระบบเวลาจริง.....	95
4.6 การทดสอบโปรแกรมดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้.....	98
4.7 การทดสอบโปรแกรมแสดงผลข้อมูลค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์.....	101
4.8 การทดสอบโปรแกรมคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้.....	101
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	104
5.1 สรุปผล.....	104
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	104
บรรณานุกรม.....	105

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน.....	1
รูปที่ 1.2 ค่าการลดทอนกำลังงานสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ อันเนื่องมาจากปัจจัยในชั้นบรรยากาศ...2	
รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบ	4
รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของความถี่ในช่วงความถี่วิทยุ.....	7
รูปที่ 2.2 การรับส่งสัญญาณโดยผ่านดาวเทียม	8
รูปที่ 2.3 การแบ่งช่องสัญญาณในแต่ละทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมไทยคม 5 ในย่านความถี่ Ku-Band.....	8
รูปที่ 2.4 พุดปรีนท์ของดาวเทียมไทยคม 5.....	11
รูปที่ 2.5 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบพาราโบลิค.....	19
รูปที่ 2.6 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบออฟเซ็ท พาราโบลิค	19
รูปที่ 2.7 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Cassegrain.....	20
รูปที่ 2.8 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Gregorian.....	20
รูปที่ 2.9 ลักษณะของสัญญาณที่มีข้อผิดพลาดแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม.....	22
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานพื้นฐานของ LNB.....	23
รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของ LNB แบบ Voltage Switching 13/18 Volt ในย่านความถี่ C-Band.....	24
รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของ LNB แบบ Dual Voltage Switching 13/18 Volt ในย่านความถี่ C-Band.....	25
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของ LNB แบบ One Cable Solution ในย่านความถี่ C-Band.....	25
รูปที่ 2.14 การทำงานของ LNB Ku-Band แบบ Universal	27
รูปที่ 2.15 ลักษณะของสัญญาณระหว่างระดับสัญญาณรบกวนกับความถี่.....	28
รูปที่ 2.16 ขั้วต่อสัญญาณแบบ F-Type	28
รูปที่ 2.17 สายนำสัญญาณชนิด RG-6/U	29
รูปที่ 2.18 โครงสร้างภายในเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก.....	31
รูปที่ 2.19 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F688.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 2.20 หัวต่อ DB-9.....	37
รูปที่ 2.21 แรงดันของสัญญาณ TTL และ สัญญาณ RS232.....	38
รูปที่ 2.22 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Peer-to-Peer	39
รูปที่ 2.23 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Client/Server	40
รูปที่ 2.24 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Multiple Access Points and Roaming.....	40
รูปที่ 2.25 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Extension Point.....	41
รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Directional Antennas.....	42
รูปที่ 2.27 แผนผังค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	46
รูปที่ 2.28 การแบ่งภูมิภาคของโลกตามสภาพณ	49
รูปที่ 2.29 ระดับความสูงที่เส้น 0 องศาเซลเซียสที่เปอร์เซ็นต์เวลา p	51
รูปที่ 2.30 การพัฒนาโปรแกรม Visual C#	53
รูปที่ 2.31 ส่วนประกอบของโปรแกรม Microsoft Visual C# 2010	55
รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานโดยรวมของระบบ	58
รูปที่ 3.2 การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	58
รูปที่ 3.3 Flowchart การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	59
รูปที่ 3.4 RN-XV WiFly Module-SMA Connector.....	60
รูปที่ 3.5 ลำดับขาของ RN-XV WiFly Module-SMA Connector.....	60
รูปที่ 3.6 โปรแกรม PuTTY.....	62
รูปที่ 3.7 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม.....	63
รูปที่ 3.8 การตั้งค่าโมดูลสื่อสารไร้สาย	65
รูปที่ 3.9 การออกแบบวงจรควบคุมเพื่อนำมาสร้างชิ้นงาน.....	66
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานที่สร้างตามที่ออกแบบไว้.....	66
รูปที่ 3.11 โพล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมรับค่าของข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม ..	67
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมบนฐานข้อมูล	68
รูปที่ 3.13 โพล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมรับค่าของข้อมูลสภาพภูมิอากาศ	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนฐานข้อมูล.....	69
รูปที่ 3.15 โพล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม.....	70
รูปที่ 3.16 โพล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane.....	71
รูปที่ 3.17 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ในส่วนของการแสดงผลการรับข้อมูล	72
รูปที่ 3.18 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ในส่วนของการแสดงผลการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม	73
รูปที่ 3.19 LNB DX ANTENNA DSA-595.....	74
รูปที่ 3.20 เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม (Tracking Receiver).....	75
รูปที่ 3.21 เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ (Weather Station).....	75
รูปที่ 3.22 Expansion port pin layout ของคอนโซล	76
รูปที่ 3.23 RN-XV WiFly Module - SMA Connector.....	76
รูปที่ 3.24 ขนาดของ RN-XV WiFly Module - SMA Connector.....	76
รูปที่ 4.1 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 0 โวลต์ (ซ้าย) และ 0.5 โวลต์ (ขวา).....	78
รูปที่ 4.2 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 1 โวลต์ (ซ้าย) และ 1.5 โวลต์ (ขวา).....	79
รูปที่ 4.3 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 2 โวลต์ (ซ้าย) และ 2.5 โวลต์ (ขวา).....	79
รูปที่ 4.4 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 3 โวลต์ (ซ้าย) และ 3.5 โวลต์ (ขวา).....	80
รูปที่ 4.5 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 4 โวลต์ (ซ้าย) และ 4.5 โวลต์ (ขวา).....	80
รูปที่ 4.6 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 5 โวลต์ (ซ้าย) และ 5.5 โวลต์ (ขวา).....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.7 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของ เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 6 โวลต์ (ซ้าย) และ 6.5 โวลต์ (ขวา).....	81
รูปที่ 4.8 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของ เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 7 โวลต์ (ซ้าย) และ 7.5 โวลต์ (ขวา).....	82
รูปที่ 4.9 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของ เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 8 โวลต์ (ซ้าย) และ 8.5 โวลต์ (ขวา).....	82
รูปที่ 4.10 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของ เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 9 โวลต์ (ซ้าย) และ 9.5 โวลต์ (ขวา).....	83
รูปที่ 4.11 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของ เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 10 โวลต์.....	83
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กับ กำลังงาน (dBm).....	85
รูปที่ 4.13 รูปแบบข้อมูลที่ใช้ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ	85
รูปที่ 4.14 การตอบสนองของโมดูลสื่อสารไร้สายเมื่อมีการส่งข้อมูล	86
รูปที่ 4.15 ข้อมูลที่รับได้ในฐานข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ.....	86
รูปที่ 4.16 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนาล็อกอินพุต เท่ากับ 0.5 โวลต์.....	87
รูปที่ 4.17 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนาล็อกอินพุต เท่ากับ 1 โวลต์.....	87
รูปที่ 4.18 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนาล็อกอินพุต เท่ากับ 3 โวลต์.....	87
รูปที่ 4.19 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนาล็อกอินพุต เท่ากับ 5 โวลต์.....	87
รูปที่ 4.20 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสาร ไร้สาย อนาล็อกอินพุต 0.5 โวลต์.....	88
รูปที่ 4.21 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสาร ไร้สาย อนาล็อกอินพุต 1 โวลต์.....	88

สารบัญรูป (ต่อ)

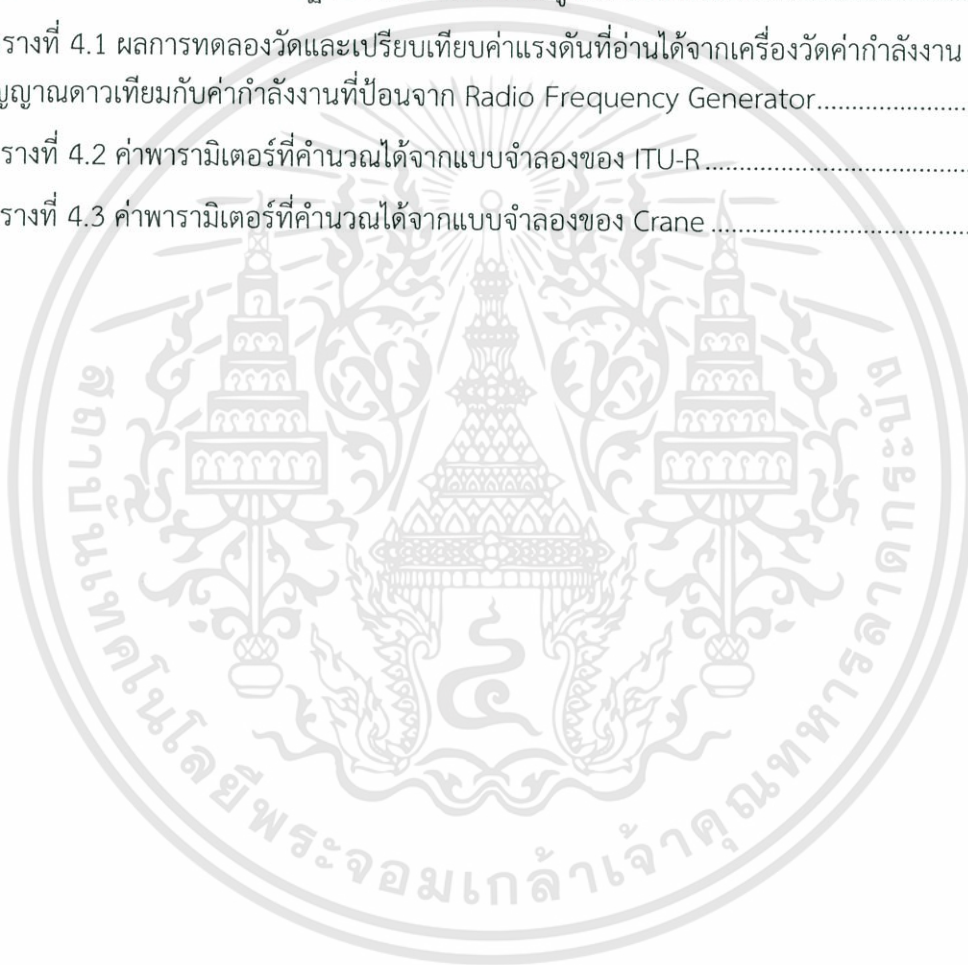
รูปที่ 4.22 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 3 โวลต์.....	89
รูปที่ 4.23 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 5 โวลต์.....	89
รูปที่ 4.24 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนุาล็อกอินพุตเท่ากับ 0.5 โวลต์.....	90
รูปที่ 4.25 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนุาล็อกอินพุตเท่ากับ 1 โวลต์.....	90
รูปที่ 4.26 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนุาล็อกอินพุตเท่ากับ 3 โวลต์.....	90
รูปที่ 4.27 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเมื่ออนุาล็อกอินพุตเท่ากับ 5 โวลต์.....	90
รูปที่ 4.28 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 0.5 โวลต์.....	91
รูปที่ 4.29 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 1 โวลต์.....	91
รูปที่ 4.30 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 3 โวลต์.....	92
รูปที่ 4.31 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 5 โวลต์.....	92
รูปที่ 4.32 การแสดงผลสำหรับการทดสอบส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมมายังส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์.....	93
รูปที่ 4.33 การโปรแกรมคำสั่งเพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างคอนโซลกับคอมพิวเตอร์.....	94
รูปที่ 4.34 ข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับบนฐานข้อมูล.....	95
รูปที่ 4.35 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้รับบนฐานข้อมูล.....	96
รูปที่ 4.36 ค่าระดับแรงดันที่หน้าจอเครื่องวัดกำลังงานสัญญาณดาวเทียม.....	96
รูปที่ 4.37 ค่าระดับแรงดันที่วัดได้จริงจากเครื่องวัดกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมโดยใช้มัลติมิเตอร์.....	97

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.38 การแสดงผลข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนคอนโซล	97
รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตรา การตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 1 สิงหาคม 2554 เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น.	99
รูปที่ 4.40 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตรา การตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 2 สิงหาคม 2554 เวลา 2.30 น. ถึง 4.30 น.	99
รูปที่ 4.41 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตรา การตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 3 สิงหาคม 2554 เวลา 15.00 น. ถึง 16.30 น.	100
รูปที่ 4.42 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตรา การตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 9 สิงหาคม 2554 เวลา 17.00 น. ถึง 20.00 น.	100
รูปที่ 4.43 การแสดงผลข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศ.....	101
รูปที่ 4.44 การแสดงผลการทำนายค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลอง ของ ITU-R และ Crane บนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์	102

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การทำงานในแต่ละขาของหัวต่อ DB-9.....	38
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบมาตรฐาน IEEE 802.11.....	43
ตารางที่ 2.3 การแจกแจงอัตราการตกของฝน (R_p) ในภูมิภาคต่างๆ เทียบกับเวลาต่อปีที่อัตราการตกของฝนมากกว่าค่านั้นๆ.....	50
ตารางที่ 2.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองในรูปแบบของร้อยละ.....	51
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดและเปรียบเทียบค่าแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมกับค่ากำลังงานที่ป้อนจาก Radio Frequency Generator.....	84
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ ITU-R.....	103
ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ Crane.....	103

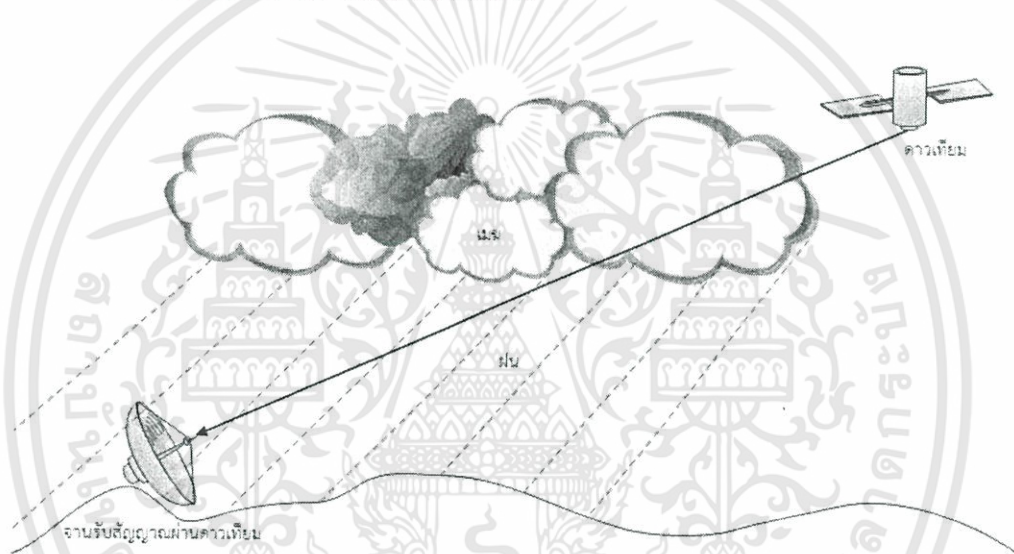


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

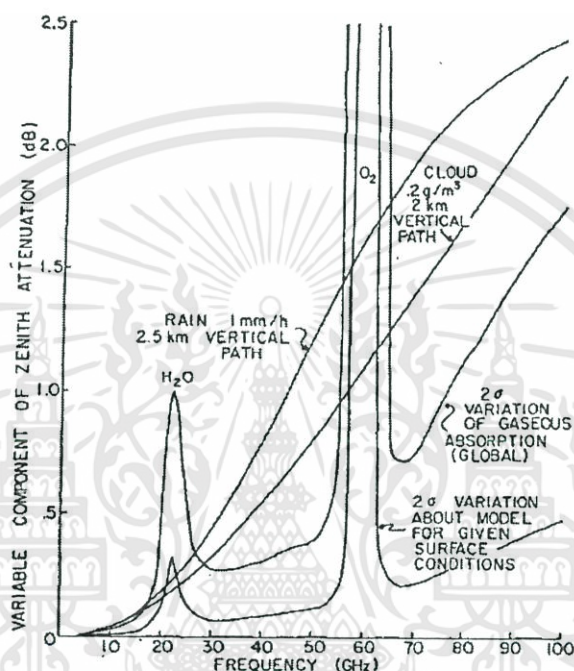
การสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นรูปแบบการสื่อสารทางโทรคมนาคมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากการสื่อสารผ่านดาวเทียมมีพื้นที่ครอบคลุมการสื่อสารเป็นบริเวณกว้าง และสามารถรองรับการให้บริการที่หลากหลาย



รูปที่ 1.1 การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน

วงโคจรสำหรับดาวเทียมเพื่อกิจการทางโทรคมนาคมจะมีระดับความสูงอยู่ที่ 35,786 กิโลเมตร และโคจรอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรสำหรับดาวเทียมสื่อสาร หากพิจารณาเส้นทางการแพร่คลื่นระหว่างภาคพื้นโลกและสถานีดาวเทียมในอวกาศจะพบว่าแนวการแพร่คลื่นของสัญญาณดาวเทียมนั้นจะมีลักษณะเป็นแนวเอียง (Slant path) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 Robert K. Crane [1] ได้อธิบายถึงการลดทอนกำลังงานสัญญาณอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ในชั้นบรรยากาศของคลื่นไมโครเวฟ ดังรูปที่ 1.2 พบว่าปัจจัยหลักจากสภาพอากาศและชั้นบรรยากาศที่ส่งผลต่อการลดทอนกำลังงานสัญญาณในย่านความถี่ต่างๆ ของสัญญาณดาวเทียม เช่น C-Band (3.7-4.2 GHz), Ku-Band (10.95-12.75 GHz) และ Ka-Band (18.3-22.2 GHz) คือ ฝน วิธีการที่ผู้ให้บริการการสื่อสารผ่านดาวเทียมนำมาใช้ในการรักษาความต่อเนื่องของการสื่อสารเมื่อสัญญาณไมโครเวฟเกิด

การจางหายอันเนื่องมาจากการเกิดฝน (Rain fading) นั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี เช่น การเพิ่มจำนวนสถานีรับและเลือกใช้งานสถานีรับที่ได้รับผลกระทบจากการจางหายของสัญญาณอันเนื่องมาจากฝนที่ต่ำกว่า (Site Diversity) การเปลี่ยนการรับส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมดวงอื่น (Orbital Diversity) การเปลี่ยนย่านความถี่ในการใช้งานมาใช้งานในช่วงความถี่ที่ได้รับผลกระทบจากการจางหายที่ต่ำกว่า (Frequency Diversity) และการส่งข้อมูลซ้ำ (Time Diversity) เป็นต้น



รูปที่ 1.2 ค่าการลดทอนกำลังงานสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ อันเนื่องมาจากปัจจัยในชั้นบรรยากาศ [1]

ลักษณะฝนสำหรับประเทศไทยเป็นฝนแบบเขตร้อนชื้น จึงทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศมีฝนตกชุก ดังที่กล่าวมาข้างต้น ฝนเป็นปัจจัยหลักอันเป็นปัญหาต่อการรับส่งสัญญาณในระบบสื่อสารดาวเทียม โดยเฉพาะการใช้งานในย่านความถี่สูง เช่น Ku-band และ Ka-band ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้งานหลักในปัจจุบัน จึงมีการบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนเพื่อนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ผลกระทบของฝนที่มีต่อสัญญาณในระบบสื่อสาร โดยแบบจำลองสำหรับการทำนายค่าการลดทอนอันเนื่องมาจากฝนที่ใช้แพร่หลาย เช่น แบบจำลอง ITU-R [2] และ Crane [1] ต้องอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 ปี อย่างไรก็ตาม วิธีการเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดแบบเดิมยังเป็นวิธีที่ไม่สะดวกเนื่องจากผู้ใช้งานจะต้องทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จึงมีความต้องการที่จะพัฒนาระบบจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลโดยการส่งข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่บันทึกได้ผ่านการสื่อสารไร้สาย และนำข้อมูลที่ได้อมาทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบที่

เกิดขึ้นต่อสัญญาณดาวเทียม โดยระบบการทำงานประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม, เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ (Weather Station) และใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเพื่อรับ-ส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังระบบบันทึกข้อมูลบนฐานข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกได้ไปวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองทั้งสองที่กล่าวมาข้างต้น และแสดงผลบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมและปริมาณน้ำฝน รวมทั้งระบบการเก็บข้อมูลมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการรับสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ Ku-Band จากดาวเทียมไทยคม 5
2. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ
3. เพื่อศึกษาและโปรแกรมการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลแบบไร้สาย
4. เพื่อศึกษาและจัดทำฐานข้อมูล
5. เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมคำสั่งบนไมโครคอนโทรลเลอร์
6. เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์ และคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอัน

เนื่องมาจากฝนตามแบบจำลองของ Crane และ ITU-R

7. เพื่อพัฒนาส่วนเชื่อมต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ เพื่อแสดงผลข้อมูลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

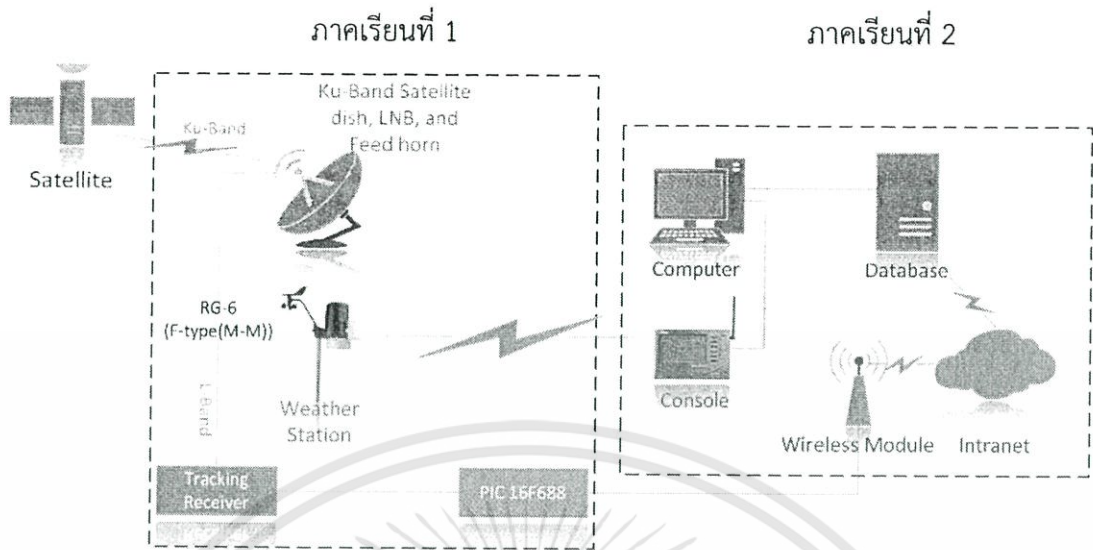
ภาคเรียนที่ 1 :

ติดตั้งจานสายอากาศเพื่อรับสัญญาณดาวเทียมจากดาวเทียมไทยคม 5 และเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศเพื่อเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา อันได้แก่ ปริมาณน้ำฝนสะสม, อุณหภูมิ, ความชื้นในอากาศ และทิศทางและความเร็วลม จากนั้นเขียนโปรแกรมคำสั่งบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลทั้งสองประเภทผ่านโมดูลไร้สายไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์

ภาคเรียนที่ 2 :

พัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูล ศึกษาและเขียนโปรแกรมคำนวณข้อมูลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับ และจัดทำส่วนเชื่อมต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

รูปที่ 1.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของปริญญาานิพนธ์



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบ



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม (Satellite Communication System)

การรับส่งข้อมูลเพื่อใช้ในการสื่อสารในปัจจุบันโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อในการส่งสัญญาณ ข้อมูลผ่านตัวกลางที่เป็นชั้นบรรยากาศไปยังจุดหมายที่ต้องการยังมีขีดจำกัดในการส่งสัญญาณ ข้อมูลในย่านความถี่สูงเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลข่าวสารได้รวดเร็ว และสามารถส่งได้ในระยะทางไกล และด้วยวิธีการส่งสัญญาณข่าวสารในย่านความถี่สูงในระดับสายตา (Line-of-sight Restriction) ที่จะไม่ให้ส่วนโค้งของโลก และชั้นบรรยากาศอื่นๆ มาขัดขวาง การส่งสัญญาณนั้นจะไม่สามารถทำได้ ในการสื่อสารโดยวิธีการส่งคลื่นตรง แต่สามารถทำได้โดยใช้ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยดาวเทียมทำหน้าที่เหมือนเสาพาคไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อเป็นสถานีทวนสัญญาณ (Repeater) ด้วยเหตุนี้ระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมจึงมีความสำคัญและนิยมใช้กันมากในปัจจุบัน

2.2 ผลกระทบของฝนต่อการลดทอนสัญญาณดาวเทียม

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ลักษณะ ความต่อเนื่องของการสื่อสาร เนื่องจากฝนเป็นหนึ่งในปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาในระบบการสื่อสาร โดยเฉพาะการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่สูง เช่น การสื่อสารผ่านระบบดาวเทียม โดยมีสาเหตุหลัก 3 ประการที่เกิดจากการลดทอนอันเนื่องมาจากฝน คือ

2.2.1 การดูดกลืน (Absorption) ในช่วงความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งขนาดของความยาวคลื่นมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดฝน การลดทอนจากฝนจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งถ้าขนาดของเม็ดฝนมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งานผลกระทบก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น

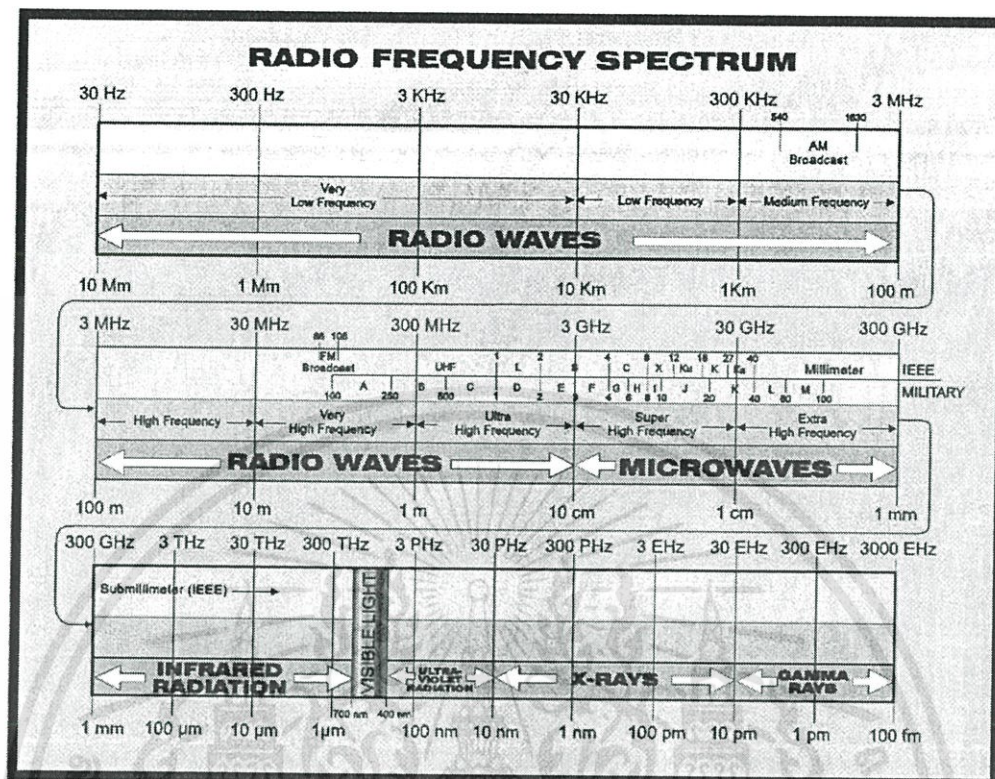
2.2.2 การกระเจา (Scattering) มีส่วนทำให้เกิดปัญหาในการเดินทางของคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบจุดต่อจุดหรือการสื่อสารผ่านดาวเทียม โดยจะแปรเปลี่ยนตามสภาพอากาศ ซึ่งมีความสลับซับซ้อนและไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ในโลก การลดทอนชนิดนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อ คลื่นเดินทางปะทะกับหยดน้ำหรืออนุภาคที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ ถ้าอนุภาคนี้เล็กกว่าความยาวคลื่น ผลกระทบเรียกว่า Rayleigh Scattering นั่นคือหยดน้ำหรืออนุภาคเล็กๆ จะสะท้อนกลับพลังงานที่มากกระทบกลับไป โดยการสะท้อนกลับขึ้นอยู่กับหลายสาเหตุ เช่น ขนาดของอัตราส่วนตัวสะท้อน และความยาวคลื่น, ความหนาแน่นต่อปริมาตรของชั้นบรรยากาศ และระยะทางที่ต้องผ่านชั้นบรรยากาศที่มีตัวสะท้อนคลื่น เป็นต้น

2.2.3 การเบี่ยงเบน (Depolarization) รูปทรงของหยดน้ำฝนในทางอุดมคตินั้นเป็นรูปทรงกลม ซึ่งจะลดพลังงานที่จะทำให้หยดน้ำเกาะยึดไว้ด้วยกัน ยิ่งหยดน้ำขนาดเล็กก็ยิ่งใกล้เคียงกับทรงกลมมากแต่หยดน้ำขนาดใหญ่เป็นรูปแบบที่ดีกว่า ซึ่งเป็นรูปทรงกลมแบนด้านล่าง ซึ่งเป็นผลจากความต้านทานของอากาศ ในความเป็นจริงตามหลักของการเคลื่อนที่ในอากาศเม็ดฝนที่ตกลงมาจะถูกทำให้เอียง ดังนั้นจึงเกิดมุมเอียงของเม็ดฝนแตกต่างกันไป การเดินทางของคลื่นแบบเชิงเส้น (Linear) แบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบแนวตั้ง (Vertical) และแบบแนวนอน (Horizontal) เมื่อพิจารณาจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า การเดินทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบแนวตั้งจะขนานกับแกนตั้งของเม็ดฝน ซึ่งจะปะทะกับน้ำฝนน้อยกว่าในแนวนอน ซึ่งจะเป็นผลให้การลดทอนและการเปลี่ยนแปลงของเฟสไม่เท่ากัน ซึ่งจะมีผลทำให้โพลาไรซ์เกิดการเบี่ยงเบนไป

2.3 ความถี่สัญญาณดาวเทียม

2.3.1 แถบความถี่

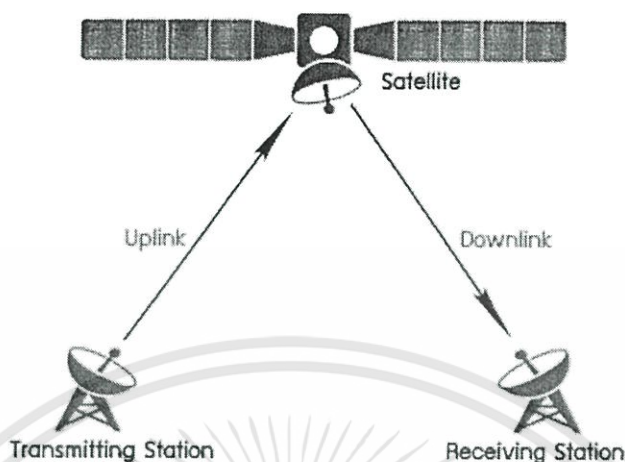
ในการสื่อสารผ่านดาวเทียมนั้นจะใช้หลักการของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างสถานีดาวเทียมภาคพื้นดินไปยังสถานีดาวเทียมที่อยู่ในอวกาศ โดยช่วงของความถี่ของสัญญาณเรียกว่า แถบความถี่ (Frequency Band) ความถี่ของสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency) ที่นำมาใช้ประโยชน์จะอยู่ในช่วงความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Band) ซึ่งแถบความถี่ในช่วงต่างๆ จะถูกกำหนดโดย ITU (International Telecommunication Union) เป็นผู้กำหนดการใช้ความถี่เพื่อใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ ในพื้นที่ที่ต่างกัน เสมือนเป็นการบริหารความถี่ และป้องกันการเกิดการรบกวนกันในความถี่วิทยุ (Radio Frequency Interference) โดยสเปกตรัมของความถี่สัญญาณวิทยุสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่าสำหรับแถบความถี่ของดาวเทียมจะอยู่เหนือความถี่ 100 MHz ขึ้นไป ซึ่งเป็นสัญญาณ VHF (Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) และ SHF (Super High Frequency) โดยแถบความถี่ช่วง SHF จะแบ่งออกเป็นแถบความถี่ย่อย โดยความถี่ที่อยู่ในช่วง 1 GHz ถึง 30 GHz จะถูกนำมาใช้ในระบบการสื่อสารผ่านดาวเทียมกันอย่างกว้างขวาง



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของความถี่ในช่วงความถี่วิทยุ [3]

สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งในการใช้ความถี่ไมโครเวฟสำหรับการสื่อสารผ่านดาวเทียม คือ การแบ่งส่วนของแถบสัญญาณ ตามรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงแถบความถี่ของสัญญาณดาวเทียมที่ถูกแบ่งเป็นช่วงๆ ซึ่งหมายความว่า ในความถี่เดียวกันนั้น จะถูกใช้ในการส่งสัญญาณในย่านความถี่ไมโครเวฟบนภาคพื้นดินด้วย แต่จะเห็นได้ว่า ในส่วนหนึ่งของย่านความถี่ Ku-Band และ Ka-Band จะไม่ได้ถูกใช้ภาคพื้นดิน ในส่วนนี้จึงใช้เพียงในการส่งสัญญาณของดาวเทียมเท่านั้น อันเป็นจุดที่สำคัญยิ่งในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม เนื่องจากความถี่ของระบบไมโครเวฟบนภาคพื้นดินจะไม่มีผลกระทบต่อ การส่งสัญญาณผ่านดาวเทียมดังกล่าว

ดาวเทียมแต่ละดวงนั้นเสมือนเป็นเพียงกับสถานีทวนสัญญาณ จึงต้องทำหน้าที่เป็นทั้งเครื่องรับและเครื่องส่ง เพื่อติดต่อกับสถานีภาคพื้นดิน โดยสถานีภาคพื้นดินจะส่งสัญญาณในช่วงขาขึ้นความถี่หนึ่ง เรียกว่า อัปลิงค์ (Uplink) ไปยังดาวเทียม เมื่อดาวเทียมได้รับสัญญาณก็จะเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณที่ได้รับนั้นให้เป็นอีกความถี่หนึ่ง เรียกว่า ดาวนลิงค์ (Downlink) ก่อนจะส่งสัญญาณกลับมายังสถานีภาคพื้นดินอื่นๆ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การรับส่งสัญญาณโดยผ่านดาวเทียม [4]

2.3.2 ความถี่ย่าน Ku-Band

ย่านความถี่ Ku-Band เป็นส่วนของสเปกตรัมความถี่ที่อยู่เหนือ 10 GHz โดยความถี่อัปลิงค์และดาวนลิงค์จะถูกอ้างอิงจาก ITU อยู่ที่ 14/11 GHz ช่วงของสัญญาณอัปลิงค์จะอยู่ในช่วง 14-14.5 GHz และช่วงความถี่ดาวนลิงค์จะอยู่ในช่วง 12.272-12.72 GHz โดยในความถี่ดาวนลิงค์เท่านั้นที่จะถูกแบ่งสัญญาณไป โดยแบ่งช่วงของสัญญาณเป็น 14 ทรานสปอนเดอร์ (Transponder)

12272	12313	12355	12396	12438	12479	12521	12562	12604	12657	12720
TP12 H	TP13 H	TP14 H	TP8 H	TP7 H	TP6 H	TP5 H	TP4 H	TP3 H	TP2 H	TP1 H
TP11 V	TP10 V	TP9 V								
THAICOM Ku-BAND DOWN LINK FREQUENCY (MHz) - TP: TRANSPONDER - POLARIZATION (V: VERTICAL, H: HORIZONTAL)										

รูปที่ 2.3 การแบ่งช่องสัญญาณในแต่ละทรานสปอนเดอร์ของดาวเทียมไทยคม 5 ในย่านความถี่ Ku-Band

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าสำหรับดาวเทียมไทยคม 5 มีทรานสปอนเดอร์ที่ส่งสัญญาณในแนวนอนอยู่ 8 ทรานสปอนเดอร์ คือ ทรานสปอนเดอร์ที่ 1 ถึง 8 เรียกว่า Fix Thailand Beam ส่วนทรานสปอนเดอร์ที่ 9, 10, และ 11 จะส่งสัญญาณในแนวตั้งเรียกว่า Fix Steerable Beam และทรานสปอนเดอร์ที่ 10, 11, 13, และ 14 เรียก Switchable Beam ซึ่งสามารถเลือกใช้การส่งสัญญาณในแนวตั้ง หรือแนวนอนได้

2.4 ความหมายของทรานสปอนเดอร์ (Transponder)

ดาวเทียมจะประกอบไปด้วยตัวเครื่องส่งและตัวเครื่องรับอยู่ในตัวเดียวกัน (Transmitter-Receiver Combination) เราเรียกหน่วยรวมนี้ว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) หน้าที่เบื้องต้นของทรานสปอนเดอร์คือ ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายความแรงสัญญาณ (Amplification) และทำหน้าที่ในการถ่ายทอดความถี่ (Frequency Translation)

ทรานสปอนเดอร์โดยทั่วไปเป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่สูงแบนด์กว้าง ซึ่งสามารถที่จะรับและส่งออกไปได้มากกว่า 1 ล้านสัญญาณ นั่นคือสถานีรับที่ภาคพื้นดิน สามารถรับข้อมูลข่าวสารได้หลายช่องหากทำให้เครื่องรับเป็นแบบแบนด์กว้าง

มาตรฐานของทรานสปอนเดอร์เมื่อถูกออกแบบให้เป็นวงจรที่ตอบสนองความถี่แบนด์กว้าง หากนำไปใช้กับสัญญาณเพียงสัญญาณเดียว ย่อมจะทำให้ความถี่ของสัญญาณบีบอัดเอาความถี่รอบกวนให้เกิดน้อยที่สุด แต่ในด้านการลงทุนสร้างดาวเทียมจะเห็นว่าไม่คุ้มค่า ในดาวเทียมดวงหนึ่งๆ จึงบรรจุทรานสปอนเดอร์ไว้หลายตัว ซึ่งเรียกว่าระบบมัลติเพล็กซ์ทรานสปอนเดอร์ (Multiple Transponder) ซึ่งในทรานสปอนเดอร์แต่ละตัวมีความถี่ในการทำงานแตกต่างกันออกไป

โดยทั่วไปในดาวเทียมดวงหนึ่งจะบรรจุทรานสปอนเดอร์ไว้ประมาณ 12 ถึง 24 ทรานสปอนเดอร์ หรืออาจมากกว่านี้ แต่ละทรานสปอนเดอร์จะมีการทำงานที่เป็นอิสระจากกัน ดังนั้นสถานีส่งสัญญาณภาคพื้นดินในระบบมัลติเพล็กซ์สถานีเดียวสามารถส่งข้อมูลได้เหมือนกับมีหลายสถานีในเวลาเดียวกัน

2.4.1 เทคนิคการส่งสัญญาณในทรานสปอนเดอร์

ในกรณีที่ทรานสปอนเดอร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการในการส่งสัญญาณ ย่อมทำให้การจราจรในทรานสปอนเดอร์ติดขัดได้ จึงมีเทคนิคเพื่อการแก้ไขปัญหาดังกล่าวขึ้นมา 2 วิธี คือ

2.4.1.1 Frequency Reuse

เป็นวิธีที่วิเศษของแบนด์วิดท์เป็น 2 เท่า จากทรานสปอนเดอร์ที่มีอยู่ 12 ทรานสปอนเดอร์ ในช่องเดียวกันนั้นสามารถแบ่งการส่งออกเป็น 2 ชุด ด้วยความถี่เดียวกัน โดยที่ไม่มี ความถี่ข้างเคียงรบกวนซึ่งการที่จะรับระบบนี้ได้ตัวเครื่องรับในภาคพื้นดินต้องใช้งานรับหรือระบบสายอากาศพิเศษ จึงจะสามารถแยกสัญญาณออกจากกันได้

ตามหลักทฤษฎี หากสัญญาณส่งมาในแนวตั้งแต่เครื่องรับตั้งจานสายอากาศรับในแนวนอนจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ เช่นเดียวกันหากเครื่องส่งสัญญาณมาในแนวนอนแต่ตั้งจานรับสัญญาณในแนวตั้งก็ไม่สามารถรับสัญญาณได้เช่นเดียวกัน การที่จะรับสัญญาณได้นั้นต้องปรับมุมการรับให้ถูกต้องตามทิศทางของคลื่นสนามแม่เหล็ก

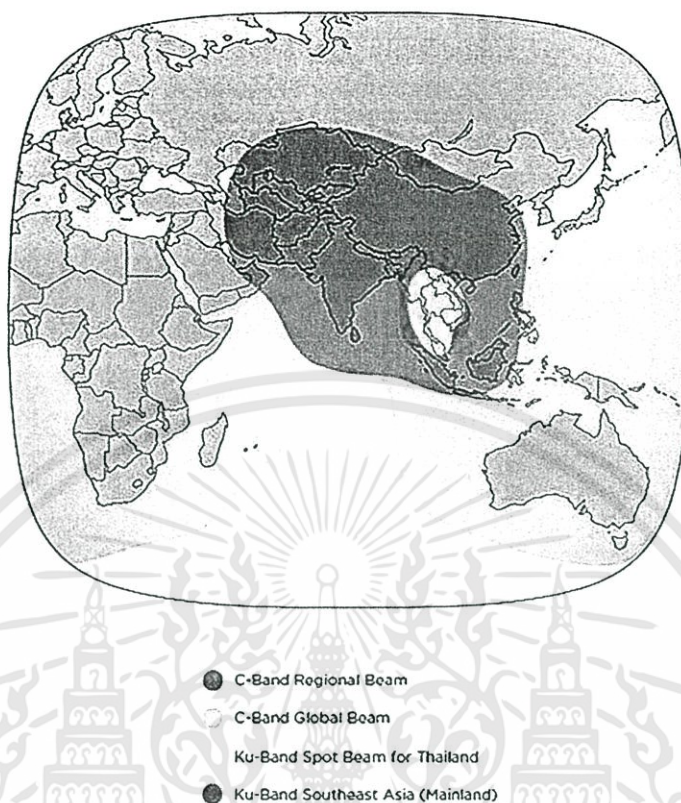
การใช้การส่งและการรับแบบโพลาไรซ์แนวตั้งและแนวนอนนี้ ใช้วิธีการหันสายอากาศเพื่อเปียงเบนทิศทางไปซ้ายมือหรือขวามือ เพื่อรับสัญญาณในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ เครื่องจะสามารถแยกช่องในทรานสปอนเดอร์ความถี่เดียวกันได้อย่างอัตโนมัติในเครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียม

2.4.1.2 Spatial Isolation

เป็นวิธีการบีบแบนด์ให้แคบลงด้วยวิธีการแยกสัญญาณทางด้านอินพุตกับเอาต์พุตออกจากกันอย่างเด็ดขาดก่อนจะส่งแบบบีบสัญญาณเป็นจุดโฟกัสในส่วนของสัญญาณดาวนำลิงค์เพื่อมุ่งหมายพื้นที่เฉพาะ ระบบสายอากาศที่ใช้จึงเป็นสายอากาศแบบสป็อตบีม (Spot Beam Antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศระบบเดียวกับสายอากาศในยานอวกาศวิธีดังกล่าวสามารถบรรจุข้อมูลข่าวสารส่งไปได้อีกเท่าตัว นั่นหมายถึง ทรานสปอนเดอร์สามารถเพิ่มเป็น 4 เท่านั่นเอง

2.5 ฟุตพริ้นท์ (Foot Print)

ในการส่งสัญญาณจากดาวเทียม จะส่งสัญญาณลงสู่พื้นโลกให้มีรูปร่างลักษณะเฉพาะตัวได้ โดยขึ้นอยู่กับการออกแบบสายอากาศของดาวเทียมให้มีลำคลื่น (Beam) ครอบคลุมในพื้นที่ส่วนที่ต้องการได้ ลักษณะของลำคลื่นที่ออกแบบไว้ให้ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการนี้ เรียกว่า ฟุตพริ้นท์ (Footprint) โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีฟุตพริ้นท์เป็นลักษณะเฉพาะของตัวเอง ซึ่งพื้นที่ที่จะได้รับสัญญาณจากดาวเทียมได้ดี หรือแรงที่สุดจะอยู่ในส่วนที่เรียกว่า ศูนย์กลาง (Center) ของฟุตพริ้นท์ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.4 แสดงฟุตพริ้นท์ของดาวเทียมไทยคม 5



รูปที่ 2.4 ฟูตปรินท์ของดาวเทียมไทยคม 5 [4]

2.6 โครงสร้างของระบบสื่อสารดาวเทียม

ในระบบการสื่อสารดาวเทียมจะมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือ ดาวเทียม ระบบควบคุมและสั่งการ และสถานีดาวเทียมภาคพื้นดิน โดยมีการทำงานพื้นฐานดังนี้ สถานีภาคพื้นดินจะส่งสัญญาณขาขึ้น (Uplink) กำลังส่งสูงผ่านจานสายอากาศไปยังจานสายอากาศของดาวเทียม จากนั้นดาวเทียมจะทำการขยายสัญญาณให้กำลังส่งสูงและแปลงความถี่ก่อนส่งสัญญาณผ่านจานสายอากาศเป็นสัญญาณขาลง (Downlink) มายังจานสายอากาศรับสถานีภาคพื้นดิน สถานีรับจะทำการขยายสัญญาณแล้วดำเนินการวิธีนำข้อมูลต่างๆ ไปใช้งาน

โดยโครงสร้างของระบบสื่อสารดาวเทียมจะสามารถแบ่งส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

2.6.1 ดาวเทียม (Satellite)

ทำหน้าที่เป็นสถานีทวนสัญญาณ และถ่ายทอดสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดินหนึ่งไปยังสถานีภาคพื้นดินหนึ่ง โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- ระบบควบคุมตำแหน่งและวงโคจรดาวเทียม ปกติจะประกอบด้วยมอเตอร์จรวดที่คอยทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนวงโคจรดาวเทียม ให้อยู่ในวงโคจรถูกต้องเมื่อเกิดการคลาดเคลื่อนของลำคลื่นมายังตำแหน่งบนพื้นโลกอย่างถูกต้อง ระบบการควบคุมตำแหน่งอาจใช้ตัวดาวเทียมหมุน ที่เรียกว่า Spinners หรือ ใช้ Momentum wheels ช่วย ซึ่งวิธี Momentum wheels นี้นิยมใช้ในปัจจุบัน เพราะทำให้ลดขนาดแผงโซลาร์เซลล์ลงได้ถึง 1/3 เท่า ส่วนระบบควบคุมวงโคจรนั้นจะใช้ Gas Jet ควบคุมวงโคจรให้อยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตร

- ระบบตรวจจับและส่งการดาวเทียม (Telemetry, Tracking and Command: TT&C) ระบบนี้มีทั้งส่วนที่อยู่บนดาวเทียมและบนพื้นดินทำงานสัมพันธ์กัน โดย Telemetry จะส่งข้อมูลได้จากการตรวจจับ (Sensor) สัญญาณควบคุมต่างๆ บนดาวเทียมแล้วส่งกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน ระบบ Tracking บนภาคพื้นดินจะติดตามดาวเทียมและรับสัญญาณจากระบบ Telemetry ส่งให้ระบบ Command นำเอาสัญญาณไปประมวลในระบบคอมพิวเตอร์เป็นสัญญาณสั่งการส่งไปยังดาวเทียม เพื่อปรับแก้ตำแหน่งวงโคจรและระบบควบคุมต่างๆ ในตัวดาวเทียมให้ถูกต้อง

- ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าดาวเทียม ทุกแบบได้รับพลังงานมาจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cells) เพื่อนำไปใช้ในระบบสื่อสารของดาวเทียมโดยเฉพาะภาคส่งพลังงานที่เหลือจะไปใช้ในส่วนอื่นๆ ซึ่งเรียกว่า Housekeeping เพื่อสนับสนุนดาวเทียมให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

- ระบบสื่อสารดาวเทียม เป็นส่วนประกอบหลักของดาวเทียมสื่อสาร ระบบอื่นเป็นเพียงส่วนสนับสนุน ระบบนี้จะประกอบด้วยจานสายอากาศที่คอยรับส่งสัญญาณแบนด์กว้าง, ภาครับ-ภาคส่ง และขยายกำลังของสัญญาณที่เรียกว่า Transponder ซึ่งเป็นหน่วยรับ-ส่งสัญญาณแต่ละช่องในตัวดาวเทียม

- ระบบสายอากาศ ระบบนี้อาจถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบสื่อสารดาวเทียมโดยแยกออกมาจากทรานสปอนเดอร์ (Transponder) ปัจจุบันดาวเทียมมีระบบจานสายอากาศที่ซับซ้อนเพื่อให้สามารถแยกลำคลื่นที่ส่งมาครอบคลุมพื้นโลกในรูปแบบต่างๆ ได้ตามต้องการ

2.6.2 สถานีควบคุมดาวเทียมให้อยู่ในวงโคจรที่ถูกต้อง (Station Keeping, Master Control Station)

เป็นสถานีที่ทำงานร่วมกับระบบตรวจจับและสั่งการดาวเทียมเพื่อปรับแก้ตำแหน่งวงโคจร และระบบควบคุมต่างๆ ในตัวดาวเทียมให้ถูกต้อง

2.6.3 ชั้นบรรยากาศ (Free Space)

ชั้นบรรยากาศเป็นตัวกลางของการส่งสัญญาณระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับดาวเทียม โดยนักวิทยาศาสตร์แบ่งโครงสร้างของบรรยากาศออกเป็นชั้นๆ โดยใช้เกณฑ์ต่างๆ กัน อาทิ แบ่งตามสัดส่วนของก๊าซ แบ่งตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า แต่ในการศึกษาด้านอุตุนิยมวิทยาแล้ว สามารถแบ่งชั้นบรรยากาศตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดังนี้

2.6.3.1 โทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

เป็นบรรยากาศชั้นล่างสุดที่เราอาศัย มีความหนาประมาณ 10-15 กิโลเมตร ร้อยละ 80 ของมวลอากาศทั้งหมดอยู่ในบรรยากาศชั้นนี้ แหล่งกำเนิดความร้อนของโทรโพสเฟียร์คือพื้นผิวโลกซึ่งดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา ดังนั้นยิ่งสูงขึ้นไป อุณหภูมิจะลดต่ำลงในอัตรา 6.5 องศาเซลเซียส ต่อ 1 กิโลเมตร จนกระทั่งระยะสูงประมาณ 12 กิโลเมตร อุณหภูมิจะคงที่ประมาณ -60 องศาเซลเซียส ที่รอยต่อชั้นบนซึ่งเรียกว่า โทรโปพอส (Tropopause)

โทรโพสเฟียร์มีไอน้ำอยู่จำนวนมาก จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำฟ้าต่างๆ เช่น เมฆ พายุ ฝน เป็นต้น บรรยากาศชั้นนี้มักปรากฏสภาพอากาศรุนแรง เนื่องจากมีมวลอากาศอยู่หนาแน่น และการดูดคายความร้อนแฝง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำในอากาศ รวมทั้งอิทธิพลทางภูมิศาสตร์ของพื้นผิวโลก

2.6.3.2 สตราโตสเฟียร์ (Stratosphere)

มวลอากาศในชั้นนี้มีร้อยละ 19.9 ของมวลอากาศทั้งหมดเหนือระดับโทรโปพอสขึ้นไป อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นไปในอัตรา 2 องศาเซลเซียส ต่อ 1 กิโลเมตร เนื่องจากโอโซนที่ระยะสูง 48 กิโลเมตร ดูดกลืนรังสีอุลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์เอาไว้ บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์มีความสงบมากกว่าชั้นโทรโพสเฟียร์ เครื่องบินไอพ่นจึงนิยมบินในตอนล่างของบรรยากาศชั้นนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงสภาพอากาศที่รุนแรงในชั้นโทรโพสเฟียร์

2.6.3.3 เมโซสเฟียร์ (Mesosphere)

เหนือสตราโตสเฟียร์ขึ้นไป อุณหภูมิลดต่ำลงจนถึง -90 องศาเซลเซียส ที่ระยะสูง 80 กิโลเมตร ทั้งนี้เนื่องจากห่างจากแหล่งความร้อนในชั้นโอโซนออกไป มวลอากาศในชั้นนี้ไม่มีถึงร้อยละ 0.1 ของมวลอากาศทั้งหมด

2.6.3.4 เทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere)

มวลอากาศในชั้นเทอร์โมสเฟียร์อยู่ในสถานะของประจุไฟฟ้า เนื่องจากอะตอมของก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนในบรรยากาศชั้นบนได้รับรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ เช่น รังสีเอ็กซ์ และแตกตัวเป็นประจุ อย่างไรก็ตามแม้ว่าบรรยากาศชั้นนี้จะมีอุณหภูมิสูงมาก แต่ก็ไม่ได้มีความร้อนมาก เนื่องจากมีอะตอมของก๊าซอยู่เบาบางมาก

เหนือชั้นเทอร์โมสเฟียร์ขึ้นไป ที่ระยะสูงประมาณ 500 กิโลเมตร โมเลกุลของอากาศอยู่ห่างไกลกันมากจนอาจไม่สามารถวิ่งชนกับโมเลกุลอื่นได้ ในบางครั้งโมเลกุลซึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเหล่านี้อาจหลุดพ้นอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเรียกบรรยากาศในชั้นที่อะตอมหรือโมเลกุลของอากาศมีแนวโน้มจะหลุดหนีไปสู่อวกาศนี้ว่า เอ็กโซสเฟียร์ (Exosphere)

2.6.4 สถานีภาคพื้นดิน (Earth Station) ประกอบด้วยส่วนหลักๆ ดังนี้

- งานสายอากาศ (Antenna) ทำหน้าที่แพร่กระจายคลื่นสัญญาณขาขึ้นไปยังดาวเทียม และทำหน้าที่รับคลื่นสัญญาณขาลงมาเข้าเครื่องรับสัญญาณ งานสายอากาศที่ดีต้องมีคุณสมบัติ อัตราขยายกำลังสูง, ลำคลื่น (Beam width) แคบ, ลำคลื่นข้าง (Side lobe) ต่ำ, ค่า Noise Temperature ต่ำ และมีความเที่ยงตรงสูง สามารถปรับทิศทางไปยังตำแหน่งดาวเทียมได้ตามต้องการ ปกตินิยมใช้สายอากาศแบบพาราโบลิกเป็นตัวสะท้อนสัญญาณ (Parabolic Reflector) เพื่อให้รวมลำคลื่นได้แคบ ขนาดของงานสายอากาศโดยทั่วไปขึ้นกับความถี่ใช้งาน หากความถี่ยิ่งสูงขนาดงานสายอากาศยิ่งเล็ก เช่น งานสายอากาศย่านความถี่ Ku-Band จะเล็กกว่าย่านความถี่ C-Band นอกจากนี้ยังขึ้นกับอัตราขยายกำลัง (Gain) ของสายอากาศ ถ้าต้องการอัตราขยายกำลังสูง งานสายอากาศจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อให้สามารถติดตามตำแหน่งดาวเทียมได้แม่นยำจะต้องมีระบบควบคุมการหันของงานสายอากาศทั้งทางมุมทิศ (Azimuth) และทางมุมเงย (Elevation) อย่างดี

- ภาคขยายกำลังสูง (High Power Amplifier: HPA) ทำหน้าที่ขยายกำลังให้สูงก่อนส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศ อาจใช้หลอด Klystron, TWT (Travelling Wave Tube) หรือ Solid State เป็นภาคขยายกำลังได้โดยหลอด Klystron จะให้กำลังขยายค่อนข้างสูงแต่ค่อนข้างยุ่งยากในการใช้งานแบบ Solid State ที่เรียกว่า SSPA (Solid State Power Amplifier) ให้กำลังขยายไม่สูงนักแต่สะดวกในการใช้งานส่วนภาคขยายปานกลาง

- ภาคขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier: LNA) ทำหน้าที่ขยายสัญญาณกำลังต่ำมากๆ ที่เครื่องรับรับได้เพื่อให้มีกำลังพอที่จะนำมาใช้งาน โดยให้มีสัญญาณรบกวนต่ำที่สุด ซึ่งจะดูคุณสมบัติได้จากค่า Noise Temperature

- ภาคแปลงความถี่ขาขึ้น (Up Converter) และภาคแปลงความถี่ขาลง (Down Converter) ภาคแปลงความถี่ขาขึ้น ทำหน้าที่แปลงความถี่ IF (Intermediate Frequency) ให้เป็นความถี่ RF (Radio Frequency) ก่อนส่งสัญญาณออกผ่านสายอากาศ และภาคแปลงความถี่ขาลงทำหน้าที่แปลงความถี่ RF ให้เป็นความถี่ IF

2.6.5 การเชื่อมโยง (Link) ระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับผู้ใช้บริการ (User)

สามารถกระทำได้หลากหลายแบบ เช่น ชุมสายโทรศัพท์ สถานีโทรทัศน์ เป็นต้น

2.6.6 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดิน (Terrestrial Network)

เมื่อทำการติดตั้งสถานีภาคพื้นดินในพื้นที่ครอบคลุม (Coverage Area) แล้ว จะสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายการสื่อสารภาคพื้นดินได้

2.7 ประเภทของดาวเทียม

ดาวเทียมแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 5 ประเภท ดังนี้

2.7.1 ดาวเทียมระหว่างประเทศ (International Communication Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ในกิจการโทรคมนาคมระหว่างประเทศ เช่น ดาวเทียม INTELSAT

2.7.2 ดาวเทียมภายในประเทศหรือภูมิภาค (Domestic and regional Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ภายในแต่ละประเทศหรือภายในกลุ่มประเทศใกล้เคียงในภูมิภาคเดียวกัน เช่น ดาวเทียม PALAPA ของอินโดนีเซีย, ASIASAT ของฮ่องกง, THAICOM ของไทย เป็นต้น

2.7.3 ดาวเทียมทางทหาร (Military Communication Satellite) เป็นดาวเทียมเพื่อใช้ในทางทหารโดยเฉพาะปกติใช้ย่านความถี่ X-Band (8/7GHz) เช่น ดาวเทียม DSCS (Defense Satellite Communication System) ของสหรัฐอเมริกาที่ใช้ในการสื่อสารทางทหารทั่วโลก เป็นต้น

2.7.4 ดาวเทียมสำหรับการส่งโทรทัศน์และความมุ่งหมายพิเศษ (Broadcast and Special purpose satellite) เป็นดาวเทียมที่ออกแบบมาใช้ทั้งภายในประเทศและภูมิภาค เพื่อส่งสัญญาณโทรทัศน์กำลังสูงมายังงานสายอากาศรับสัญญาณขนาดเล็กของผู้ชมจำนวนมาก นิยมใช้

ย่านความถี่ Ku-Band ส่วนดาวเทียมที่ใช้ในความมุ่งหมายพิเศษ เช่น MARISAT หรือ INMARSAT ในปัจจุบันใช้ในการนำทาง (Navigation) ติดต่อกับยานพาหนะเคลื่อนที่ทางบก ทางเรือและทางเครื่องบิน ดาวเทียม NAVSTAR GPS เพื่อกำหนดตำแหน่ง

2.7.5 ดาวเทียมเพื่อการทดลอง (Experimental Satellite) เป็นดาวเทียมที่ใช้ในการทดลองต่างๆ

2.8 วงโคจรดาวเทียม

วงโคจรดาวเทียม (Satellite Orbit) สามารถแบ่งเป็นลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

ดาวเทียมแบ่งตามเส้นทางวงโคจรได้ 3 แบบ คือ วงโคจรตามแนวเส้นศูนย์สูตร (Equatorial Orbit), วงโคจรเอียง (Inclined Orbit) ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรและวงโคจรขั้วโลก (Polar Orbit) ตามแนวขั้วโลกเหนือได้

การแบ่งประเภทตามรูปร่างลักษณะวงโคจรยังแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือวงโคจรวงกลม (Circular Orbit) ซึ่งระยะความสูงจากพื้นโลกใกล้เคียงกันโดยตลอด และวงโคจรี (Elliptical Orbit) ซึ่งความสูงจากพื้นโลกต่างกันมากโดยระยะห่างจากโลกมากที่สุด เรียกว่า Apogee และระยะห่างจากโลกใกล้สุดเรียกว่า Perigee

แบ่งประเภทตามความสูงของวงโคจร ได้ 3 แบบ คือดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า (GEO Synchronous หรือ GEO Stationary Orbit: GEO) อยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 22,300 ไมล์ หรือ 36,000 กิโลเมตร, ดาวเทียมวงโคจรต่ำ (Low-Earth Satellite: LEO) ความสูงต่ำกว่า 1,250 ไมล์ และดาวเทียมวงโคจรปานกลาง (Medium-Earth Satellite: MEO) จะอยู่ระหว่างความสูงของวงโคจร LEO กับวงโคจร GEO สำหรับวงโคจรที่นิยมใช้ในการสื่อสารมี 3 วงโคจร

ปัญหาที่พบเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียมนั้นเกิดจากในปัจจุบันมีดาวเทียมเป็นจำนวนมากในอวกาศ ทำให้ตำแหน่งอาจทับซ้อนกันโดยเฉพาะดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้า ดังนั้น ITU (International Telecommunication Union) จึงกำหนดให้ดาวเทียมประเภทนี้มีตำแหน่งในวงโคจรให้ห่างกันอย่างน้อย 2 องศา เพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนกัน

2.9 การกำหนดรูปแบบการให้บริการดาวเทียมตาม ITU

ITU ได้กำหนดรูปแบบการให้บริการดาวเทียมเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.9.1 ดาวเทียมสำหรับผู้ให้บริการประจำที่ (Fixed Satellite Service: FSS)

ดาวเทียมสำหรับผู้ให้บริการประจำที่ ได้แก่ สถานีภาคพื้นดินที่งานดาวเทียมติดตั้งประจำที่สามารถพบเห็นได้ในกิจการทั่วไป ดาวเทียมหลักที่ให้บริการแบบนี้ เช่น INTELSAT, EUTELSAT, THAICOM เป็นต้น

2.9.2 ดาวเทียมสำหรับผู้ให้บริการเคลื่อนที่ (Mobile Satellite Service: MSS)

ดาวเทียมสำหรับผู้ให้บริการเคลื่อนที่ ได้แก่ ดาวเทียมที่ใช้สถานีดาวเทียมภาคพื้นดินติดตั้งอยู่บนยานพาหนะบนบกเรียกว่าดาวเทียม LMS (Land Mobile Satellite) หากติดตั้งอยู่บนเครื่องบินเรียกว่าดาวเทียม AMS (Airborne Mobile Satellite) หรือติดตั้งบนเรือดาวเทียมที่ให้บริการแบบนี้เช่น INMARSAT เป็นต้น

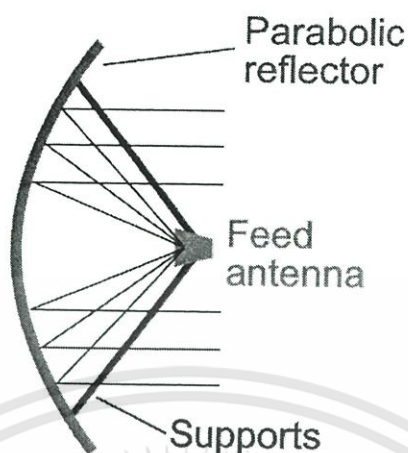
นอกจากนี้ ITU ได้จัดสรรและควบคุมการใช้ความถี่ในกิจการต่างๆ ทั้งในประเทศ และระหว่างประเทศ เพื่อไม่ให้เกิดการขัดข้องและรบกวนกัน ความถี่ที่ใช้กับดาวเทียมจะใช้หลักการเรียกชื่อคล้ายกับที่ใช้ในเรดาร์และไมโครเวฟ แต่ความถี่ใช้งานอาจแตกต่างกันบ้างตามภารกิจและวิธีการใช้ความถี่ เช่น L-Band, C-Band, Ku-Band, X-Band หรือ Ka-Band เป็นต้น ความถี่ที่นิยมใช้กันมากคือย่าน C-Band สัญญาณย่านขาขึ้นใช้ย่านความถี่ 6 GHz และสัญญาณขาลงใช้ย่านความถี่ 4 GHz จึงนิยมเรียกว่า 6/4 GHz ความถี่ C-Band นี้อาจรบกวนกับการสื่อสารผ่านคลื่นไมโครเวฟบนภาคพื้นดินได้ง่าย อีกความถี่ที่ใช้งานมากคือ Ku-Band ใช้ความถี่ขาขึ้น 12-14 GHz และความถี่ขาลง 11-12 GHz โดยประมาณ ซึ่งนิยมใช้ในกิจการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยตรง (Direct Broadcast System: DBS) แต่มีข้อเสียหลักคือสัญญาณจะถูกลดทอนกำลังจากเมฆฝนค่อนข้างมาก ความถี่ย่าน X-Band (8/7 GHz) ใช้ในกิจการทหารส่วนความถี่ย่าน Ka-Band (40/20 GHz) มีแนวโน้มจะนำมาใช้มากในอนาคตเพื่อแก้ปัญหาความแออัดของความถี่ใช้งาน เช่น โครงการ IP-Star ของบริษัท ไทยคม จำกัด

2.10 งานสายอากาศ

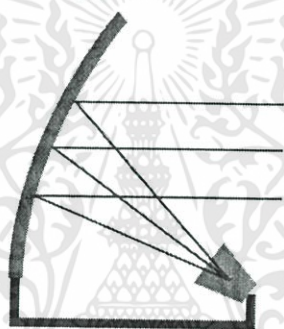
2.10.1 ชนิดของงานสายอากาศ

งานดาวเทียมหรืองานรับสัญญาณดาวเทียม หมายถึง สายอากาศชนิดหนึ่งซึ่งออกแบบเฉพาะเพื่อให้เหมาะสมกับการรับสัญญาณจากดาวเทียมที่ลอยอยู่ในอวกาศและส่งสัญญาณกลับลงมายังพื้นโลก โดยทั่วไปมักมีรูปทรงเป็นรูปจานโค้งแบบพาราโบลา เพื่อให้เกิดการรวมและสะท้อนสัญญาณมายังจุดโฟกัสอย่างมีประสิทธิภาพ พื้นผิวสำหรับของงานรับสัญญาณสามารถเป็นได้ทั้งพื้นผิวแบบทึบ และพื้นผิวแบบโปร่ง ซึ่งพื้นผิวแบบทึบจะไม่สามารถผ่านได้จึงด้านลมมากกว่าแบบโปร่ง สามารถแบ่งประเภทของงานรับสัญญาณดาวเทียมโดยแบ่งตามโครงสร้างได้ 2 ประเภทคือ

2.10.1.1 งานดาวเทียมแบบที่มีจานสะท้อนอันเดียว (Single reflector antenna) แบ่งออกเป็นแบบสมมาตรเป็นแบบพาราโบลา (Parabolic antenna) โครงสร้างงานแบบนี้เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายเพราะมีโครงสร้างที่ง่ายและมีอัตราการขยายสูงลักษณะของงานพาราโบลานั้น หน้าคลื่นแบบสเฟียร์ริคัล (Spherical Wavefront) จะถูกส่งออกมาจากจุดโฟกัส สะท้อนที่ผิวหน้าของจาน และเปลี่ยนหน้าคลื่นเป็นแบบระนาบ (Plane Wavefront) ในทำนองเดียวกัน คลื่นระนาบที่มาตกกระทบงานพาราโบลิกจะเปลี่ยนหน้าคลื่นไปเป็นแบบสเฟียร์ริคัลสะท้อนจากผิวหน้าไปที่จุดโฟกัส ซึ่งหน้าคลื่นจะต่ออยู่ที่ตำแหน่งนี้เพื่อจะนำสัญญาณที่ได้รับไปใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 2.5 และแบบไม่สมมาตรเป็นแบบออฟเซต พาราโบลา (Offset parabolic) ที่เป็นส่วนมาจากงานสายอากาศพาราโบลา โดยที่ส่วนของฟีดฮอร์นยังคงเป็นตำแหน่งเดียวกันกับที่ตั้งจุดโฟกัสของงานสายอากาศพาราโบลา ข้อได้เปรียบของงานสายอากาศออฟเซตพาราโบลา คือ ส่วนของจุดโฟกัสเป็นจุดติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณฟีดฮอร์น จะไม่ไปบังพื้นที่ที่ใช้สะท้อนสัญญาณของงานสะท้อนคลื่น รวมถึงทำให้มีโลบข้างน้อยลงด้วย แสดงได้ดังรูปที่ 2.6

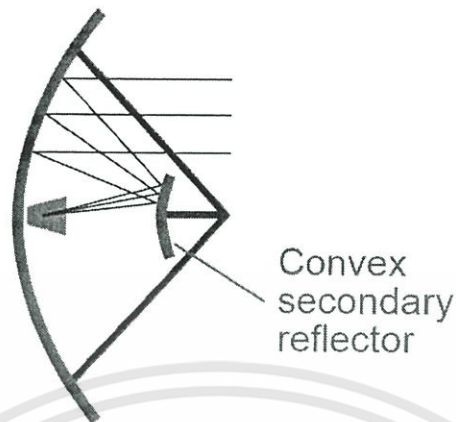


รูปที่ 2.5 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบพาราโบลา [5]

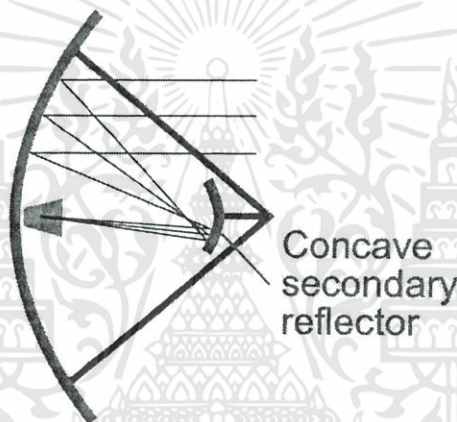


รูปที่ 2.6 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบออฟเซต พาราโบลา [5]

2.10.1.2 แบบที่มีจานสะท้อนแบบ 2 อัน (Dual reflector antenna) จานแบบนี้จะมีตัวสะท้อนหลัก (Main reflector) เป็นรูปพาราโบลาและจานสะท้อนรอง (Sub reflector) เป็นรูปไฮเพอร์โบลา แต่จานสะท้อนทั้งสองจะมีจุดโฟกัสร่วมกัน โดยจานรับสัญญาณดาวเทียมแบบมีจานสะท้อน 2 อัน มี 2 แบบคือ จานแบบ Cassegrain และจานแบบ Gregorian จานทั้ง 2 แบบนี้เป็นจานแบบสมมาตร จานแบบนี้มีใช้ในสถานีภาคพื้นดิน (Earth station antenna) แสดงดังรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Cassegrain [5]



รูปที่ 2.8 จานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Gregorian [5]

จานที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยมี 2 แบบ คือ จานโค้งแบบทึบ และจานโค้งแบบโปร่ง จานทั้งสองแบบมีความแตกต่างกันดังนี้

ก. จานแบบทึบ (Solid) มีน้ำหนักมาก ต้านลม แต่ต้นทุนในการผลิตจะต่ำเนื่องจากใช้กระบวนการผลิตด้วยการปั๊มขึ้นรูปผลิตในระบบโรงงานที่ใช้สายงานผลิตครั้งละมากๆ ความแน่นอนของส่วนโค้งจะมีความแน่นอนสูงเนื่องจากผลิตจากแม่แบบเดียวกันสามารถควบคุมคุณภาพได้แน่นอน

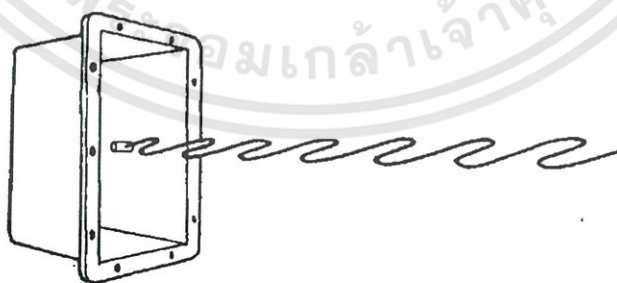
ข. จานแบบโปร่ง (Mesh) จะมีน้ำหนักเบา ต้านลม แต่ต้นทุนในการผลิตจะสูงกว่าหลายเท่าตัว เนื่องจากแบบจานโปร่งใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียมมาเป็นตัวจาน อัตราขยายของจานแบบโปร่งจะน้อยกว่าจานแบบทึบตามหลักการแพร่ขยายตัวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม หากระบบการผลิตได้ทำอย่างพิถีพิถันจะมีส่วนทำให้คุณภาพของจานโปร่งสามารถเทียบเคียงกับจานทึบได้ อัตราความโค้งของจานเป็นส่วนที่สำคัญมาก หากอัตราความโค้งถูกต้อง การรับสัญญาณก็จะมีอัตราขยายที่ดีตามไปด้วย อย่างไรก็ตามผู้ผลิตจานแบบโปร่งจะต้องคำนึงถึงรูตะแกรงของจานด้วย

เพราะหากรูตะแกรงโตเกินไปจะรับสัญญาณได้อ่อนลง รูตะแกรงที่ดีต้องมีขนาดน้อยกว่า $1/12$ ของความยาวคลื่น งานรับที่ใหญ่จะให้ผลการสะท้อนของสัญญาณได้ดีกว่างานเล็ก ส่วนงานที่บจะสะท้อนได้ดีกว่างานโปร่งในขนาดงานที่เท่ากัน ซึ่งถือว่าขนาดของรูตะแกรงที่ใช้ย่าน C-Band ควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.6 cm และหากจะให้รับย่านความถี่ Ku-Band ต้องให้ขนาดของรูตะแกรงมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.3 cm

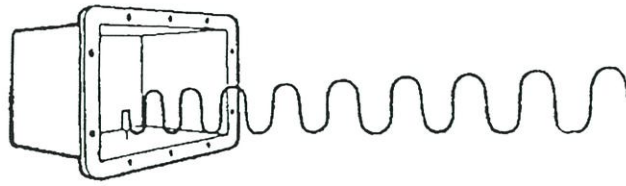
2.10.2 ฟีดฮอร์น (Feed Horn)

2.10.2.1 ทำหน้าที่เป็นตัวรวมสัญญาณที่ได้จากการสะท้อนจากจานรับดาวเทียม ป้อนเข้าไปทางปากฮอร์น และส่งผ่านไปยังท่อนำสัญญาณ (Wave Guide) เข้าไปยังโพรบสายอากาศทางเข้าของ LNB ซึ่งตัวฟีดฮอร์นสามารถขยับให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้ เหมือนกับเป็นตัวปรับโฟกัสของสัญญาณให้มีความแรงมากที่สุด

2.10.2.2 การปรับทิศทางการรับหรือระบบโพลาไรเซชัน (Polarization) เนื่องจากการส่งสัญญาณความถี่วิทยุนั้นได้มีการจัดสรรความถี่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยไม่รบกวนกัน ระบบโพลาไรเซชันจึงถูกกำหนดทิศทางเคลื่อนที่ให้กับคลื่นความถี่ต่างๆ เช่น โพลาไรซ์แนวตั้ง โพลาไรซ์แนวนอน ซึ่งถือว่าทั้งสองแบบดังที่วามานี้เป็นการแพร่กระจายคลื่นที่เป็นสัดส่วนเชิงเส้น (Linear Polarization) และยังมี การแพร่กระจายคลื่นแบบอื่นอีก เช่น การแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลมหรือเซอร์คิวลาร์โพลาไรซ์เซชัน (Circular Polarization) จะมีแบบที่คลื่นหมุนทางขวา (Right Hand Circular Polarization) และแบบที่คลื่นหมุนทางซ้าย (Left Hand Circular Polarization) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถึงแม้ว่าฟีดฮอร์นแบบเชิงเส้นซึ่งเป็นแบบมาตรฐานจะสามารถรับสัญญาณที่เป็นวงกลมได้ก็ตาม แต่ครึ่งหนึ่งของสัญญาณที่รับได้จะสูญเสียไป ในปัจจุบันมีหลายองค์กรที่พยายามจะผลิตฟีดฮอร์นแบบพิเศษที่ใช้งานในย่าน C-Band ซึ่งสามารถรับได้ทั้งชั่วของคลื่นแบบเชิงเส้นและแบบวงกลมโดยใช้ชื่อว่า Dual Polarization Circular/Linear C-Band Feed



(ก) ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบแนวนอน



(ข) ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบแนวตั้ง



(ค) ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบวงกลมขวา



(ง) ขั้วการเดินทางของคลื่นแบบวงกลมซ้าย

รูปที่ 2.9 ลักษณะของสัญญาณที่มีขั้วการเดินทางแบบเชิงเส้นและแบบวงกลม [6]

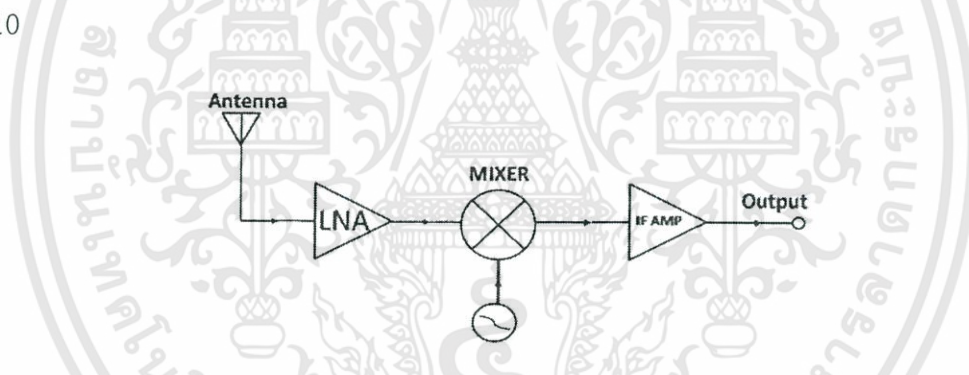
2.10.3 Low Noise Block Down Converter: LNB

2.10.3.1 พื้นฐานการทำงานของ LNB

พื้นฐานการทำงานของ LNB คือ สัญญาณย่านความถี่ขาหลังที่ส่งลงมาจากดาวเทียมจะตกลงมาที่จานรับสัญญาณแล้วสะท้อนไปรวมกันที่จุดโฟกัส ณ จุดโฟกัสที่มีอุปกรณ์ที่เรียกว่า LNB ภายใน LNB ทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้แรงขึ้น และแปลงสัญญาณที่ได้ให้มีความถี่ต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ที่ส่งลงมาจากดาวเทียมนั้นมีความถี่สูงมาก โดยย่าน C-Band มีความถี่ขาหลังอยู่ในช่วง 3.7 GHz-4.2 GHz ส่วนย่าน Ku-Band มีความถี่ขาหลังอยู่ในช่วง 11.7 GHz-12.2 GHz ซึ่งความถี่ที่สูงขนาดนี้ไม่สามารถส่งผ่านสายนำสัญญาณได้ เนื่องจากจากสัญญาณจะสูญเสียหรือ Loss

ไปในสายจนหมด ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการแปลงความถี่ให้ต่ำลงเพียงพอที่จะส่งลงมาตามสายนำสัญญาณโดยไม่เกิด Loss มากนัก ความถี่ที่ถูกแปลงให้ต่ำลงนี้จะอยู่ในย่านความถี่ L-Band ซึ่งอยู่ในช่วง 950-2150 MHz ความถี่ในย่าน L-Band ที่ออกมาจาก LNB จะถูกส่งผ่านสายนำสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อแปลงสัญญาณที่รับได้นั้นให้เป็นภาพและเสียงต่อไป

ดังนั้นโดยพื้นฐานแล้ว ภายใน LNB จะต้องทำหน้าที่หลักๆ อยู่สองหน้าที่คือ ส่วนของการขยายสัญญาณซึ่งเรียกว่า LNA (Low Noise Amplifier) หน้าที่ของ LNA จะทำการขยายสัญญาณจากดาวเทียมให้มีความแรงมากขึ้นและในขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่ขจัดสัญญาณรบกวนด้วย หน้าที่อีกอย่างหนึ่งคือจะต้องแปลงความถี่ที่ขยายจาก LNA ให้มีความถี่ต่ำลง วงจรในส่วนนี้ถูกเรียกว่า Down Converter โดยจะมีวงจรกำเนิดความถี่ภายในหรือที่เรียกว่า Local Oscillator ส่วนใหญ่มักเรียกย่อๆ ว่า LO ความถี่ที่ได้จาก LO จะถูกส่งไปยังวงจร Mixer เพื่อทำการผสมสัญญาณกับสัญญาณที่ถูกส่งมาจาก LNA ภายในวงจร Mixer สัญญาณทั้งสองจะถูกกรองเอาเฉพาะความถี่ที่มีการลบกันหรือความถี่ผลต่างมาใช้งาน ซึ่งวงจรในส่วนนี้ถูกเรียกว่า IF Filter ภายใน IF Filter จะมีวงจร IF Amplifier เพื่อทำให้สัญญาณมีความแรงพอที่จะส่งสัญญาณไปตามสายนำสัญญาณเพื่อส่งต่อไปยังเครื่องรับต่อไปได้ สามารถแสดงหลักการทำงานพื้นฐานของ LNB ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานพื้นฐานของ LNB [7]

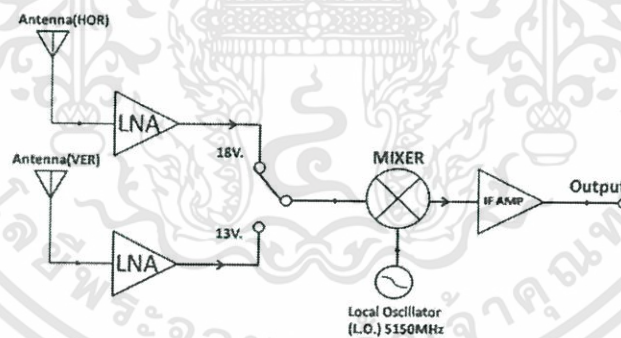
ในอดีต LNB จะไม่ได้รวมอยู่ในอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน ดังเช่นในปัจจุบัน ซึ่งแยกเป็นอุปกรณ์ 3 ชนิด ด้วยกันคือ LNA, Down Converter, และ Feed Horn และยังคงมีหม้อแปลงเพื่อเป็นแหล่งจ่ายไฟให้อีกด้วย แต่ในปัจจุบันนี้อุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด ถูกออกแบบให้เป็นอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน ซึ่งถูกเรียกว่า LNBF หรือ Low Noise Block (Down Converter) with Feed Horn ตามที่เห็นกันทุกวันนี้

2.10.3.2 การรับสัญญาณในแนวนอน (Horizontal) และ แนวตั้ง (Vertical)

โดยหลักๆ แล้ว LNB ในระบบ C-Band หรือ Ku-Band จะต้องควบคุมให้เลือกรับสัญญาณได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน การแพร่กระจายคลื่นแบบแนวตั้งและแนวนอนนี้จะเรียก

โดยรวมว่าเป็นแบบ Linear ในดาวเทียมบางดวงอาจจะมีการแพร่สัญญาณแบบ วงกลม (Circular) ในบางครั้งอาจถูกเรียกว่า Helical ซึ่งเป็นการแพร่กระจายคลื่นแบบเป็นเกลียวหมุนวนซ้าย (Right Hand Circular Polarization: RHCP) หรือเกลียวหมุนขวา (Left Hand Circular Polarization: LFRP) การที่สัญญาณจากดาวเทียมมีการแพร่กระจายคลื่นลงมาแบบต่างๆ เราเรียกว่า โพลาริซเซชัน (Polarization) หรือการแพร่กระจายคลื่นไปในอากาศ วัตถุประสงค์ก็เพื่อเป็นการจัดสรรความถี่ให้ใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดโดยทำให้มีการรบกวนกันน้อยที่สุด

สำหรับบนดาวเทียมแล้วการจัดสรรความถี่ด้วยการจัดโพลาริซเซชัน นอกจากจะช่วยให้การรบกวนลดลงแล้ว ยังช่วยทำให้ช่องรายการได้เพิ่มขึ้นด้วย และเนื่องจากภายในตัว LNB นั้นประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟ แต่เพื่อความสะดวกในการติดตั้งแหล่งจ่ายไฟของ LNB จึงมาจาก Receiver หรือเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมนั่นเอง โดยอาศัยสายนำสัญญาณเพียงเส้นเดียวทำหน้าที่นำสัญญาณและจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ LNB ส่วนการเลือกรับสัญญาณที่มีการส่งมาแนวตั้งหรือแนวนอนนั้น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะทำการควบคุมโดยการเปลี่ยนแรงดันไฟที่ส่งไปเลี้ยง LNB โดยแรงดันไฟเลี้ยง 13 โวลต์ จะเป็นการควบคุม LNB ให้รับสัญญาณในแนวตั้ง ส่วนแรงดันไฟเลี้ยง 18 โวลต์ จะเป็นการควบคุม LNB ให้รับสัญญาณในแนวนอนโดย LNB ที่มีวงจรควบคุมการรับสัญญาณในแนวตั้งและแนวนอนนี้เราเรียกว่า LNB แบบ Voltage Switching 13/18 Volt ซึ่งตัวอย่างการทำงานของ LNB แบบ C-Band ซึ่งใช้กันในปัจจุบันส่วนใหญ่สามารถแสดงดังรูปที่ 2.11

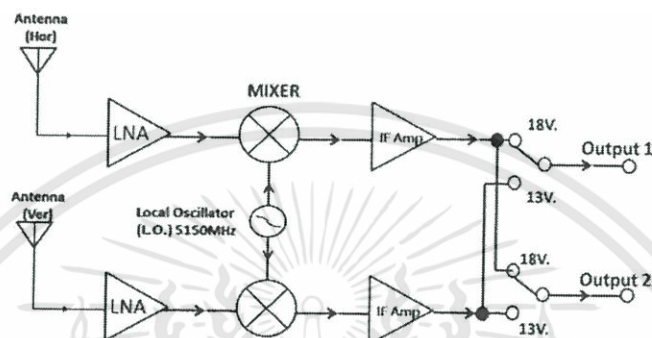


รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของ LNB แบบ Voltage Switching 13/18 Volt ในย่านความถี่ C-Band [7]

2.10.3.3 LNB แบบ Dual

ในกรณีที่มีการพ่วงสัญญาณไปยังเครื่องรับมากกว่า 1 เครื่องหากใช้ LNB Voltage Switching 13/18 Volt จะไม่สามารถแยกดูอย่างอิสระได้ เนื่องจากการเลือกดูช่องรายการมี Polarize ต่างกัน เพราะหากมีเครื่องรับเครื่องใดเครื่องหนึ่งเปิดดูช่องรายการทางแนวนอน (18

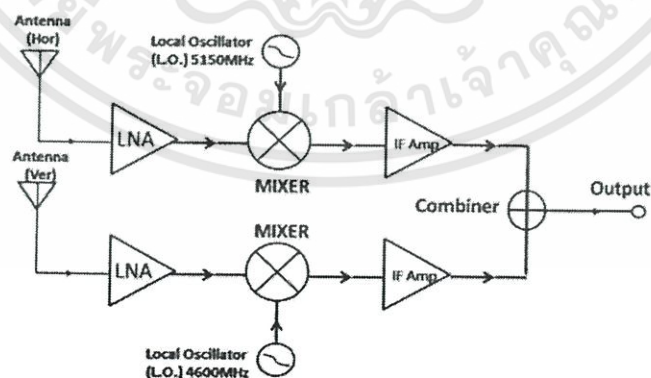
โวลต์) เครื่องรับอื่นๆ ที่เปิดช่องรายการในแนวตั้งจะรับสัญญาณไม่ได้เนื่องจากไฟเลี้ยงของ LNB จะมีแรงดันเท่ากับ 18 โวลต์ ตามเครื่องรับที่เปิดรับชมรายการที่อยู่ในแนวนอน แต่ในกรณีที่ต้องการให้แต่ละเครื่องรับแยกช่องรายการได้ อีสระทั้งแนวนอนและแนวตั้งสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนไปใช้ LNB แบบ Dual Output ซึ่งวงจรภายในจะเปรียบเสมือนมี LNB อยู่สองตัว แสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของ LNB แบบ Dual Voltage Switching 13/18 Volt ในย่านความถี่ C-Band [7]

2.10.3.4 LNB แบบ One Cable Solution

LNB แบบ One Cable Solution หรือบางผู้ผลิตอาจเรียกว่า Single Cable Solution มีคุณสมบัติคือ รับสัญญาณทั้งแนวนอนและแนวตั้งได้พร้อมกันสัญญาณจากทั้งแนวนอนและแนวตั้งจะถูกส่งออกมาพร้อมๆ กันโดยมี Output เพียง Output เดียว ใช้สายเพียงเส้นเดียว โดยมีหลักการทำงานเสมือนภายในมี LNB อยู่สองตัวโดยแต่ละตัวจะทำหน้าที่รับสัญญาณจากแนวเดียวเท่านั้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.13



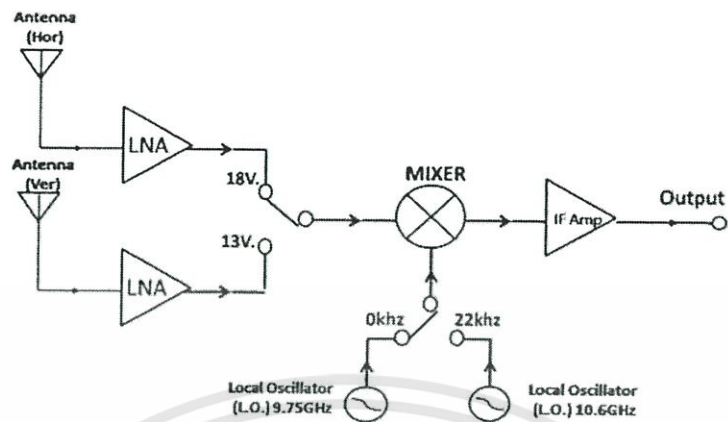
รูปที่ 2.13 หลักการทำงานของ LNB แบบ One Cable Solution ในย่านความถี่ C-Band [7]

จากรูปที่ 2.13 วงจร LNB ตัวที่อยู่ด้านบนถูกตั้งให้รับสัญญาณจากแนวนอนเอาไว้ ส่วน วงจร LNB ตัวที่อยู่ด้านล่างจะถูกตั้งให้รับสัญญาณจากแนวตั้งโดยความถี่ LO ของ LNB ตัวที่อยู่ ด้านล่างจะถูกปรับให้มีความถี่ต่ำลงจากค่ามาตรฐาน 550 MHz คือ 4600 MHz หรือบางรุ่นอาจอยู่ที่ 600 MHz ส่วนความถี่ของ LO ของ LNB ตัวที่อยู่ด้านล่างจะปรับให้มีความถี่ตามปกติคือ 5150 MHz ในอดีต LNB แบบ One Cable Solution จะเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากแยกสัญญาณอย่าง อิสระไม่จำกัดจำนวนเครื่องรับ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ต่อเพิ่มเติมแต่มีข้อเสียคือมีราคาแพง และใน ระยะเวลาหลังโรงงานผู้ผลิตได้ผลิต LNBF แบบ Dual Output ออกมาในราคาที่ต่ำกว่า ความนิยมใน LNB แบบ One Cable Solution จึงค่อยๆ ลดลงไป

2.10.3.5 LNB Ku-Band แบบ Universal

LNB ในย่านความถี่ Ku-Band มีหลักการทำงานเช่นเดียวกับ LNB C-Band แตกต่างกันที่ความถี่ที่ใช้งานจะมีความถี่สูงกว่า แต่เนื่องจากความถี่ย่าน Ku-Band นั้นมีช่วงความถี่ ที่ใช้งานถึงสองช่วง แบ่งเป็น Low Band และ High Band ทั้งนี้เพื่อเป็นการจัดสรรความถี่ให้ส่ง จำนวนช่องรายการได้มากที่สุดโดยความถี่ Low Band อยู่ในช่วง 10.7 GHz-11.7 GHz ส่วน High Band อยู่ในช่วง 11.7 GHz-12.75 GHz ดังนั้นการเลือกใช้ LNB Ku-Band จึงจำเป็นต้องรู้ด้วยว่า ย่านความถี่ที่ต้องการรับนั้นอยู่ในช่วงใด

แต่ทุกวันนี้โรงงานผู้ผลิต LNB ได้ออกแบบ LNB Ku-Band ที่รับได้ทั้งสองช่วงความถี่ ซึ่งเรียกว่า Ku-Band Universal โดยภายใน LNB แบบ Ku-Band Universal นี้จะมีวงจร Local Oscillator อยู่สองชุดด้วยกัน เพื่อให้รับสัญญาณได้ทั้งสองช่วงความถี่ การควบคุมให้รับสัญญาณใน แต่ละช่วงความถี่นั้น จะใช้โทนความถี่ 22 kHz เป็นตัวควบคุม ซึ่งความถี่ 22 kHz นี้จะส่งจาก เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมโดยผสมสัญญาณไปกับไฟเลี้ยง LNB หากมีสัญญาณ 22 kHz สวิตซ์ที่ ควบคุมด้วยความถี่จะสั่งงานให้ Local Oscillator ในย่าน High Band ทำงาน แต่หากไม่มี สัญญาณ 22 kHz ส่งขึ้นไป LNB สวิตซ์ที่ควบคุมด้วยความถี่จะสั่งงานให้ Local Oscillator ใน ย่าน Low Band ทำงานแทน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การทำงานของ LNB Ku-Band แบบ Universal [7]

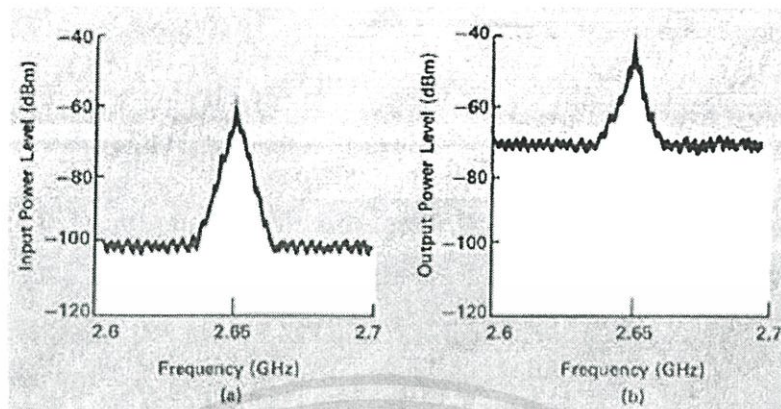
ในการเลือกรับสัญญาณในแนวนอนหรือแนวตั้งจะใช้ระดับแรงดันไฟเลี้ยง 13 โวลต์ และ 18 โวลต์เป็นตัวควบคุมเช่นเดียวกับ LNB แบบ C-Band การเลือกใช้ LNB แบบ Ku-Band Universal จึงมีความสะดวกและคุ้มค่ากว่าการเลือกใช้ LNB Ku-Band ที่รับได้เพียงย่านใดย่านหนึ่งเท่านั้น เพราะ Ku-Band Universal รับสัญญาณได้ทั้งสองย่านความถี่

2.11 Noise Figure

Noise Figure (NF) เป็นค่าที่แสดงถึงสภาพการกำเนิดสัญญาณรบกวนในตัวเครื่องขยาย หากเครื่องขยายมีค่า NF สูงจะแสดงถึงการกำเนิดสัญญาณรบกวนมากในตัวเครื่องขยายเอง สัญญาณที่ได้รับจะมีการรบกวนเกิดขึ้น แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.15 ซึ่งค่า NF สามารถคำนวณหาได้จากค่า Noise Factor (F) จากสมการที่ 2.1 และ NF คำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$F = \frac{SNR_{in}}{SNR_{out}} \quad (2.1)$$

$$NF = 10 \log(F) \quad dB \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.15 ลักษณะของสัญญาณระหว่างระดับสัญญาณรบกวนกับความถี่ [8]
(a) สัญญาณที่อินพุตของวงจรขยาย และ (b) สัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรขยาย

จากรูปที่ 2.15 เห็นได้ว่าเมื่อสัญญาณอินพุตผ่านวงจรขยายแล้ว ระดับของสัญญาณรบกวนจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอินพุตเอง ดังนั้นการวัดค่า NF จึงมีความสำคัญในการสร้างอุปกรณ์ในการขยายสัญญาณ RF ต่างๆ เช่น LNA, RF Pre-Amplifier, RF Amplifier เป็นต้น

2.12 ขั้วต่อและสายนำสัญญาณ (Connector & Cable Finder)

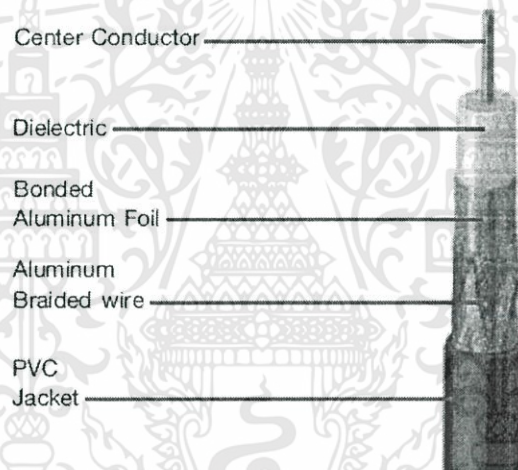
เนื่องจากคลื่นความถี่ในระบบการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมย่าน UHF จะมีความถี่สูงซึ่งจะเกิดการสูญเสียได้ง่าย ขั้วต่อและสายนำสัญญาณที่ใช้จึงต้องมีคุณภาพดี ปัจจุบันจะนิยมใช้ขั้วต่อสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมแบบ F-Type Connector ดังแสดงในรูปที่ 2.16 เนื่องจากมีเกลียวภายในล็อกจุดต่อทำให้ขั้วต่อแน่น มีความแข็งแรงทนทานและใช้งานง่ายไม่ต้องบัดกรี ส่วนใหญ่จะนิยมต่อใช้งานในช่วงความถี่สูง เช่น จากจุดที่ออกจาก LNB มายังทางเข้าของเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม หรือต่อเข้ากับจุดต่อของ Booster ความถี่สูง



รูปที่ 2.16 ขั้วต่อสัญญาณแบบ F-Type [9]

สายนำสัญญาณที่ใช้ในการติดตั้งการรับสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียม จะแตกต่างจากสาย Coaxial ธรรมดาที่ใช้ในการรับสัญญาณจากสายอากาศโทรทัศน์ โดยสายนำสัญญาณโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมนี้จะส่งผ่านความถี่สูงย่านไมโครเวฟ ทำให้มีการสูญเสียง่ายจึงต้องมีการ Shield อย่างดี โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Double Shield 75 โอห์ม Low Loss (Foam) มีทั้งแบบเดินภายนอกและภายในอาคาร การเลือกซื้อควรดูที่รายละเอียดของสาย เช่น ใช้กับความถี่เท่าใด มีการลดทอนสูญเสียสัญญาณกี่ dB สายชีลด์ถักมีมากหรือไม่ ทำด้วยเงินหรือทองแดง มีอลูมิเนียมฟรอยชีลด์ด้วยหรือไม่ และฉนวนที่กันระหว่างสายนำสัญญาณด้านในกับสายชีลด์ทำด้วยอะไร เป็นต้น

สายที่ใช้ คือ สาย RG-6/U Coaxial สีดำ ประกอบด้วย สายทองแดงนำสัญญาณอยู่ที่ ศูนย์กลางของสาย ถัดออกมามีไดอิเล็กทริก อลูมิเนียมฟลอย และอลูมิเนียมแบบเส้นถักหุ้มอยู่ ตามลำดับ ดังรูปที่ 2.17 สำหรับการเดินสายนำสัญญาณจาก LNB มายังเครื่องรับไม่ควรยาวเกินกว่า 30 เมตร หากสายมีความยาวมากที่ปลายสายจะรับสัญญาณความถี่สูงไม่ได้



รูปที่ 2.17 สายนำสัญญาณชนิด RG-6/U [10]

2.13 การวัดปริมาณน้ำฝน (Rainfall measurement)

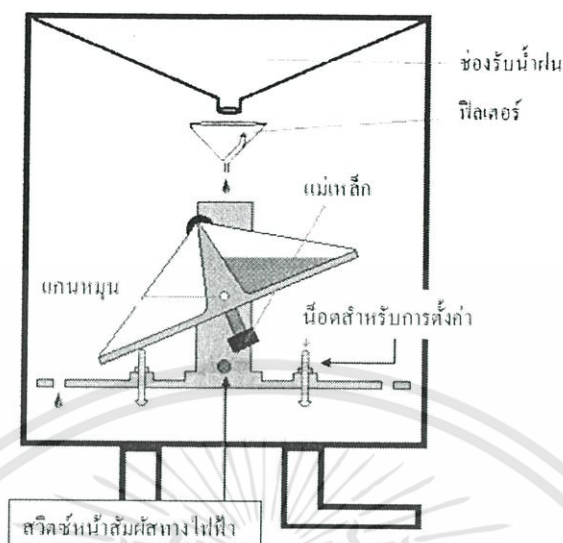
จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น หนึ่งในตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญต่อการลดทอนสัญญาณดาวเทียม คือ ปริมาณน้ำฝน โดยข้อมูลปริมาณน้ำฝนหรืออัตราการตกของฝนที่ได้จะได้อาจมาจากการบันทึกข้อมูลจากเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งอาจเป็นเครื่องเดี่ยวๆ หรือเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศก็ได้

2.13.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝน (Rain gauge)

การวัดปริมาณน้ำฝนใช้วัดจากความสูงหรือความลึกจากน้ำฝนที่ตกลงมาจากท้องฟ้าลงสู่ภาชนะที่มีเนื้อที่จำกัดหนึ่ง โดยไม่มีการคิดตัวแปรในรูปของการไหลซึมหรือระเหยของน้ำฝน ปัจจุบันเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนมีหลายชนิดเช่น เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนชนิดธรรมดาหรือแบบแก้วตวง (Ordinary rain gauge), เครื่องวัดน้ำปริมาณฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket), เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบบันทึก (Recording rain gauge) เป็นชนิดที่มีปากกาเขียนด้วยหมึก ซึ่งมีทั้งแบบชั่ง (Weighing rain gauge) และแบบกาลักน้ำ (Siphon rain gauge) อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้จะต้องมีหลักเกณฑ์ที่สำคัญคือ ในส่วนขอบด้านนอกของปากถังเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนจะต้องมีความคม โดยทำให้ส่วนของด้านในตั้งตรงเป็นแนวตั้ง ด้านนอกให้มีความลาดเอียงและตั้งชันมากหรือเป็นแนวตั้ง ต้องรู้พื้นที่ปากถังของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนให้ใกล้เคียงไม่ต่ำกว่า 0.5% และเนื้อที่นี้จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงตลอดจนสิ้นสุดช่วงการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝน ต้องมีการออกแบบให้กันการกระเซ็นเข้าและออกของน้ำฝน กรวยรับน้ำฝนต้องมีความลาดเอียงไม่ต่ำกว่า 45 องศา ควรป้องกันการระเหยไปของน้ำฝนโดยถังรองรับน้ำฝนภายในควรทำให้เป็นคอแคบๆ

2.13.1.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket)

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (Tipping Bucket) มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.18 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนนี้ใช้เพื่อวัดปริมาณของฝนที่ตกลงมาซึ่งสามารถติดตั้งไว้ภายนอกอาคารได้ และอาจทำการต่อด้วยสายเคเบิลเข้าไปยังเครื่องบันทึกที่อยู่ภายในอาคาร หรือมีหน่วยความจำภายใน เมื่อมีฝนตก น้ำฝนจะตกลงสู่กรวยรับน้ำฝนซึ่งมีรัศมีคงที่อยู่ค่าหนึ่ง จากนั้นน้ำฝนจะไหลลงสู่กรวยเล็กๆ ที่ติดกันอยู่สองอัน โดยมีปากของกระบวยที่อยู่ตรงกันข้ามเพื่อสลับกันใส่น้ำและเทน้ำเมื่อข้างหนึ่งข้างใดเต็ม การกระดกของกระบวยรับน้ำจะมีเวลาที่แน่นอน (ประมาณ 0.2 วินาที) ซึ่งปริมาณน้ำฝนจากเครื่องวัดน้ำฝนชนิดนี้เท่ากับ nV เมื่อ V เป็นปริมาตรของกระบวยและ n คือจำนวนครั้งที่น้ำฝนถูกเทออก (จำนวนพัลส์) ในขณะที่กระบวยเทน้ำออกแท่งแม่เหล็กที่ติดอยู่กับกระบวยจะเคลื่อนที่ไปกระตุ้นการทำงานของสวิทช์หน้าสัมผัสทางไฟฟ้า (Reed switch) โดยการสวิทช์ของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าด้วยชุดแปลงความถี่เป็นแรงดัน (F to V Converter) จากนั้นต่อเข้ากับเครื่องบันทึกสัญญาณพัลส์ซึ่งเป็นระดับแรงดันไฟฟ้ามาบันทึกที่เครื่องวัดสัญญาณ ดังนั้นจึงทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำฝนและอัตราการตกของฝน



รูปที่ 2.18 โครงสร้างภายในเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก [11]

2.14 การวิเคราะห์และคำนวณอัตราการตกของฝน

เนื่องจากในแต่ละประเทศมีสภาพการตกของฝนที่แตกต่างกัน ในประเทศไทยปัจจุบันใช้หน่วยวัดปริมาณน้ำฝนเป็นมิลลิเมตร แต่ในบางประเทศใช้หน่วยวัดปริมาณน้ำฝนที่วัดเป็นนิ้ว ซึ่งเทียบได้กับ 25.4 มิลลิเมตร โดยการรายงานปริมาณน้ำฝนในประเทศไทยจะรายงานปริมาณน้ำฝนในหน่วยมิลลิเมตรต่อ 24 ชั่วโมง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากปริมาณน้ำฝนจะทำการเปรียบเทียบกับอัตราการตกของฝนที่อยู่ในหน่วย มิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงต้องทำการแปลงค่าเวลาเพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลไปคำนวณได้ โดยจากการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนจะทำการบันทึกค่าทุกๆ 1 วินาที แต่จะทำการสุ่มข้อมูลด้วยอัตราการสุ่มข้อมูลทุกๆ 1 นาที ซึ่งอัตราการตกของฝนสามารถหาได้จาก

$$R = (r/N) \times 60 \quad (\text{มิลลิเมตรต่อชั่วโมง}) \quad (2.3)$$

โดยที่ R คือ อัตราการตกของฝนที่วัดได้ (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

r คือ ปริมาณการตกของฝนในช่วงเวลานั้นๆ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

$$r = \text{ค่าปริมาณน้ำฝนสูงสุด} - \text{ค่าปริมาณน้ำฝนสะสมต่ำสุด} \quad (\text{มิลลิเมตร}) \quad (2.4)$$

โดยที่ N คือ ระยะเวลาที่ฝนตกในช่วงนั้นๆ มีหน่วยเป็นนาที

2.15 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ที่มีความสามารถคล้ายกับคอมพิวเตอร์ เพราะภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) หน่วยความจำ (Memory) และพอร์ต (Port) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน

2.15.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นประกอบไปด้วย 4 ส่วนที่สำคัญคือ

2.15.1.1 หน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ทำหน้าที่ประมวลผลทุกอย่างเหมือนกับหน่วยประมวลผลกลางในคอมพิวเตอร์

2.15.1.2 หน่วยความจำ (Memory) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) หน่วยความจำเก็บโปรแกรม (Program Memory) ทำหน้าที่เก็บข้อมูลหลักของโปรแกรมเอาไว้ ข้อมูลจะไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง

2) หน่วยความจำข้อมูล (Data memory) ทำหน้าที่เป็นที่พักข้อมูลในการทำงานชั่วคราว ข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง

2.15.1.3 ส่วนที่ต่อกับภายนอกหรือพอร์ต (Port) มี 2 แบบคือ

1) อินพุตพอร์ต (Input port) คือส่วนที่ต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อรับข้อมูลเข้ามา

2) เอาต์พุตพอร์ต (Output port) คือ ส่วนที่ต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อส่งข้อมูล

ออกไป

2.15.1.4 บัส (Bus) คือ เส้นทางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง หน่วยประมวลผลกลาง หน่วยความจำ และพอร์ต โดยแบ่งเป็น 3 แบบคือ

1) บัสข้อมูล (Data Bus) เป็นสายสัญญาณที่บรรจุข้อมูลสำหรับการประมวลผลทั้งหมด

2) บัสแอดเดรส (Address Bus) เป็นสายสัญญาณที่บรรจุค่าตำแหน่งของหน่วยความจำ

3) บัสควบคุม (Control Bus) เป็นกลุ่มของสายสัญญาณควบคุมการติดต่อทั้งหมดของหน่วยประมวลผลกลางกับหน่วยความจำและพอร์ต

2.15.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

PIC ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลหนึ่ง ซึ่งมีแนวความคิดของการสร้างคือการพยายามรวมเอาทุกอย่างไว้ในชิพ (Chip) ตัวเดียวโดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก

2.15.2.1 ประเภทของ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบ่งออกตามชนิดของหน่วยความจำโปรแกรมได้ 3 ประเภทคือ

1) OTP (One-Time Programmable) เป็นชิพประเภทที่มีราคาถูกสุดในสามประเภท แต่สามารถทำการโปรแกรมได้แค่ครั้งเดียวเท่านั้น ซึ่งชิพประเภทนี้จะใช้ในกรณีที่พัฒนาโปรแกรมไปจนไม่พบจุดบกพร่องของโปรแกรมอีกแล้วและต้องการใช้งานจำนวนมากๆ โดยจะมีตัวอักษร C แสดงบนชิพ เช่น PIC16C84, PIC16C74 เป็นต้น

2) EPROM (Erasable Programmable ROM) เป็นชิพประเภทที่เมื่อมีการเขียนโปรแกรมลงไปแล้วสามารถทำการลบโปรแกรมเดิมได้ด้วยแสง UV (Ultra Violet) ซึ่งที่ด้านบนของชิพจะมีกรอบกระจกเพื่อให้แสง UV สามารถส่องผ่านเข้าไปในตัวชิพได้โดยจะมีตัวอักษร JW แสดงบนชิพ เช่น PIC16C57/JW, PIC16C72A/JW เป็นต้น

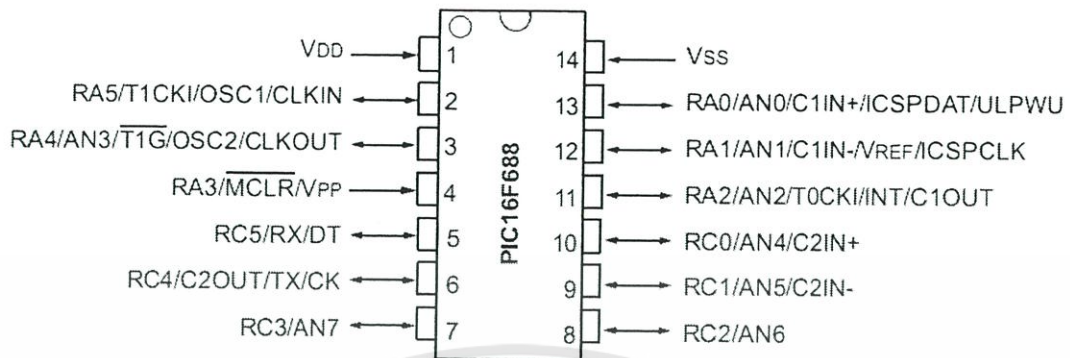
3) EEPROM/Flash (Electrically Erasable Programmable ROM) เป็นชิพประเภทที่สามารถเขียนและลบโปรแกรมได้ด้วยไฟฟ้า และสามารถเขียนใหม่ได้หลายพันครั้ง

2.15.2.2 สถาปัตยกรรมของ PIC16F688

PIC ตระกูลนี้มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบ Flash และไม่ต้องอ้างหน่วยความจำข้อมูลแบบที่มีลักษณะแบ่งออกเป็นหน้าๆ (Page) ซึ่งทำให้สะดวกในการเขียนโปรแกรม โดย PIC16F688 นั้นจะมี A/D ขนาด 10 บิต, ไทม์เมอร์ (Timer), พอร์ตอนุกรม USART และ EEPROM ภายในชิพ

2.15.2.3 ขาต่างๆ ของ PIC16F688

รูปที่ 2.19 แสดงขาต่างๆ ของ PIC16F688 ซึ่งเป็น PIC ที่เลือกใช้ในงานปริญญา
นิพนธ์นี้



รูปที่ 2.19 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F688 [12]

- 1) RA0/AN0/C1IN+/ICSPDAT/ULPWU เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 0, อินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 0, ขาเปรียบเทียบอินพุตช่อง 1, ขากำหนดสัญญาณข้อมูลเอาต์พุตแบบอนุกรมและขาอินพุตกระตุ้นด้วยพลังงานต่ำ
- 2) RA1/AN1/C1IN-/VREF/ICSPCLK เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 1, อินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 1, ขาเปรียบเทียบอินพุตช่อง 1, แรงดันอ้างอิงภายนอกสำหรับ A/D และขากำหนดสัญญาณนาฬิกาแบบอนุกรม
- 3) RA2/AN2/T0CKI/INT/C1OUT เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 2, อินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 2, อินพุตสัญญาณ Clock จากภายนอกเข้าสู่ไทม์เมอร์ช่อง 0, อินพุตสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกและขาเปรียบเทียบเอาต์พุตช่อง 1
- 4) RA3/MCLR/VPP เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 3, ขาอินพุตสัญญาณรีเซ็ต (Reset) ด้วยลอจิก (Logic) 0 ซึ่งปกติจะต่อกับตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม เพื่อเชื่อมต่อกับไฟเลี้ยง (VDD) และต่อสวิตช์ (Switch) รีเซ็ตลงกราวด์ (GND) นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เป็นขาอินพุตแรงดันไฟสูง 13 โวลต์ ในขณะที่ทำการโปรแกรมให้กับชิพ
- 5) RA4/AN3/T1G/OSC2/CLKOUT เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 4, อินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 3, ขาอินพุตของ Crystal ช่อง 2 และเป็นขาเอาต์พุตของสัญญาณนาฬิกาซึ่งมีค่าความถี่เท่ากับ $F_{OSC}/4$
- 6) RA5/T1CKI/OSC1/CLKIN เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 5, อินพุตสัญญาณ Clock จากภายนอกเข้าสู่ไทม์เมอร์ 1, ขาอินพุตของ Crystal ช่อง 1 และเป็นขาอินพุตของสัญญาณนาฬิกาซึ่งมีค่าความถี่เท่ากับ $F_{OSC}/4$
- 7) RC0/AN4/C2IN+ เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 0, อินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 4 และขาเปรียบเทียบอินพุตช่อง 2
- 8) RC1/AN5/C2IN- เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 1, อินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 5 และขาเปรียบเทียบอินพุตช่อง 2

9) RC2/AN6 เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 2 และอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 6

10) RC3/AN7 เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 3 และอินพุตสัญญาณอนาล็อกช่อง 7

11) RC4/C2OUT/TX/CK เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 4, ขาเปรียบเทียบเอาต์พุตช่อง 2, เอาต์พุตข้อมูลของพอร์ตสื่อสารอนุกรมและอินพุต-เอาต์พุตสัญญาณ Clock แบบซิงโครนัสของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

12) RC5/RX/DT เป็นขาอินพุต-เอาต์พุตทั่วไปช่อง 4, อินพุตข้อมูลของพอร์ตสื่อสารอนุกรมและอินพุต-เอาต์พุตสัญญาณ Clock แบบซิงโครนัสของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

13) VSS เป็นขาอินพุตสำหรับต่อไฟเลี้ยงให้กับ PIC โดยการต่อลงกราวด์

14) VDD เป็นขาอินพุตสำหรับต่อไฟเลี้ยงให้กับ PIC โดยจ่ายแรงดันในช่วง

2.0-5.5 โวลต์

2.16 การสื่อสารข้อมูล

การสื่อสารข้อมูลเป็นการส่งสัญญาณออกจากอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณเข้าไปยังอุปกรณ์รับ การถ่ายโอนข้อมูลสามารถจำแนกได้ 2 แบบคือการถ่ายโอนข้อมูลแบบขนานและการถ่ายโอนข้อมูลแบบอนุกรม

2.16.1 พอร์ตสื่อสารแบบขนาน

การถ่ายโอนข้อมูลแบบขนานเป็นการส่งข้อมูลทีละ 1 ไบต์ หรือ 8 บิต จากอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับ ตัวกลางในการส่งข้อมูลจึงต้องมีช่องทางในการส่งข้อมูลอย่างน้อย 8 ช่องทาง โดยมากจะเป็นสายสัญญาณแบบขนาน ระยะทางของสายสัญญาณแบบขนานระหว่างสองเครื่องไม่ควรยาวเกิน 100 ฟุต เพราะอาจทำให้เกิดปัญหาสัญญาณสูญหายไปกับความต้านทานของสาย นอกจากการส่งข้อมูลหลักแล้วอาจจะมีทางเดินของสัญญาณควบคุมอื่นๆ อีก เช่น บิตพาริตี ที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดของการรับสัญญาณที่ปลายทางหรือสายที่ควบคุมการโต้ตอบ (Hand-shake)

2.16.2 พอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม

ในการสื่อสารข้อมูลนั้นพอร์ตอนุกรมจะมีความเร็วในการสื่อสารช้ากว่าแบบขนานเนื่องจากการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลที่ละหลายๆ บิตพร้อมๆ กันได้ ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมคือ สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลกว่าแบบขนาน

พอร์ตสื่อสารอนุกรมสามารถสื่อสารแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous) ซึ่งใช้สัญญาณนาฬิกาในการควบคุมจังหวะของการรับส่งสัญญาณหรือแบบเข้าจังหวะ (Synchronous) จะใช้รูปแบบของการส่งข้อมูล (Bit Pattern) เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูล โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาตรงกันทั้งภาคส่งและภาครับ ซึ่งถ้าเป็นการสื่อสารแบบไม่เข้าจังหวะจะสามารถทำการส่งข้อมูลและรับข้อมูลไปพร้อมๆ กันได้ ซึ่งการสื่อสารแบบนี้เรียกว่า ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งในการสื่อสารแบบนี้จะใช้สายสัญญาณอินพุตเอาต์พุตทั้งหมด 2 เส้น ประกอบไปด้วย สายในการส่งข้อมูล (Tx: Transmitter) และสายในการรับข้อมูล (Rx: Receiver)

2.16.2.1 TTL (Transistor-Transistor Logic)

TTL เป็นระดับแรงดันที่ถูกกำหนดขึ้นในยุคแรกๆ เพื่อใช้ระหว่าง Transistor กับ Transistor ภายในวงจรรวม (IC) ดังนั้น TTL จะใช้ระดับแรงดัน อยู่ที่ 0-5 โวลต์ แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์หลายชนิดที่ทำงานในช่วง 0-3.3 โวลต์ (เรียกแรงดันระดับนี้ว่า LVTTTL) ซึ่งผู้ใช้ควรตรวจสอบจากคู่มือของอุปกรณ์ที่ใช้เสียก่อนว่าเป็นระดับแรงดันแบบใดเพราะหากใช้ผิดประเภทจะทำให้อุปกรณ์เสียหาย ซึ่งในการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องใช้แรงแบบ TTL ส่วนการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นั้น จะเป็นแรงดันแบบ RS-232

2.16.2.2 RS232 (Recommended Standard 232)

พอร์ต RS232 ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลในแบบอนุกรมเรียกว่า Universal Asynchronous Adapter เหตุที่มีชื่อเรียกว่า RS232C ก็เนื่องจากสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา หรือ EIA ได้กำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์สื่อสารแบบอนุกรมเอาไว้ ภายใต้ชื่อว่า RS232C ความจริงมาตรฐานของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมมีหลายมาตรฐาน แต่ที่นิยมกันมากที่สุดสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ คือ RS232C

หน้าที่ของการสื่อสารแบบอะซิงโครนัส คือ

ก) รับสัญญาณ

- 1) เปลี่ยนสัญญาณที่เข้ามาแบบอนุกรมมาให้เป็นแบบขนาน
- 2) ตรวจสอบความผิดพลาดของสัญญาณที่ได้รับ
- 3) ตัด Stop bit และ Parity bit ออก
- 4) ส่งสัญญาณให้ซีพียูรู้ว่ารับสัญญาณไว้ได้แล้ว

ข) ส่งสัญญาณ

- 1) เปลี่ยนสัญญาณแบบขนานจากซีพียูค่อยทยอยส่งออกแบบอนุกรม
- 2) เพิ่ม Stop bit และ Parity bit
- 3) เพิ่มสัญญาณควบคุมโมเด็มที่ต่อเนื่อง (ถ้ามี)

มาตรฐาน RS232C ได้จัดพิมพ์ขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1969 โดยสมาคมผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แห่งสหรัฐอเมริกา RS ย่อมาจาก Recommended Standard ส่วน 232 เป็นหมายเลขบอกของมาตรฐานตัวนี้ C เป็นหมายเลขของฉบับสุดท้ายของมาตรฐานตัวนี้ จุดประสงค์ของมาตรฐานนี้ก็เพื่อบรรยายคุณลักษณะของการเชื่อมต่ออุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) กับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment: DCE) สำหรับผู้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ DTE ก็หมายถึงตัวไมโครคอมพิวเตอร์ และ DCE ก็หมายถึงโมเด็ม อุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องพิมพ์ที่ได้รับสัญญาณแบบอนุกรมอาจจะใช้ได้ทั้ง DTE และ DCE ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต

ความเร็วและระยะทางในการเชื่อมต่อ RS232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้จาก 0-20,000 บิตต่อวินาที ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดอัตราบอด 110 ถึง 9600 บอด ความยาวของสายเชื่อมต่อโดยสัญญาณตามมาตรฐาน RS232C จำกัดอยู่ที่ 50 ฟุต ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

2.16.2.3 ลักษณะของสัญญาณ RS232C

เพื่อเป็นหลักประกันว่าข้อมูลถูกส่งออกไปอย่างถูกต้อง และอุปกรณ์ถูกควบคุมอย่างถูกต้อง จำเป็นจะต้องมีข้อตกลงกันในเรื่องของสัญญาณที่ใช้ มาตรฐาน RS232C กำหนดย่านของแรงดันไฟฟ้าไว้ดังนี้

Logic 0 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง 3 ถึง 15 โวลต์

Logic 1 ของ RS232 จะอยู่ในช่วง -3 ถึง -15 โวลต์

2.16.2.4 การกำหนดจุดต่อของ RS232C

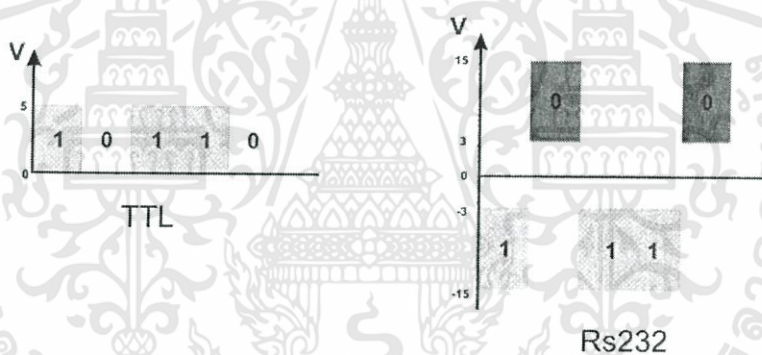
มาตรฐานของ RS232C กำหนดข้อต่อแบบ DB-9 โดยแต่ละขาของข้อต่อแสดงไว้ดังรูปที่ 2.20 โดยมีรายละเอียดการทำงานตามตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.20 หัวต่อ DB-9 [13]

ตารางที่ 2.1 การทำงานในแต่ละขาของหัวต่อ DB-9

Pin	Signal
1	Data carrier detect
2	Received Data
3	Transmitted Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Ground
6	Data Set Ready
7	Request to Send
8	Clear to Send
9	Ring Indicator



รูปที่ 2.21 แรงดันของสัญญาณ TTL และ สัญญาณ RS232 [14]

จากรูปที่ 2.21 หากแรงดันที่ใช้กับตัวอุปกรณ์ต่างๆ มีขนาดไม่เท่ากัน จะต้องเป็นตัวแปลงไฟนั่นก็คือ MAX-232 ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันให้มีระดับแรงดันที่เหมือนกันจึงจะทำให้เชื่อมต่ออุปกรณ์และทำการสื่อสารรับส่งข้อมูลได้

2.17 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN)

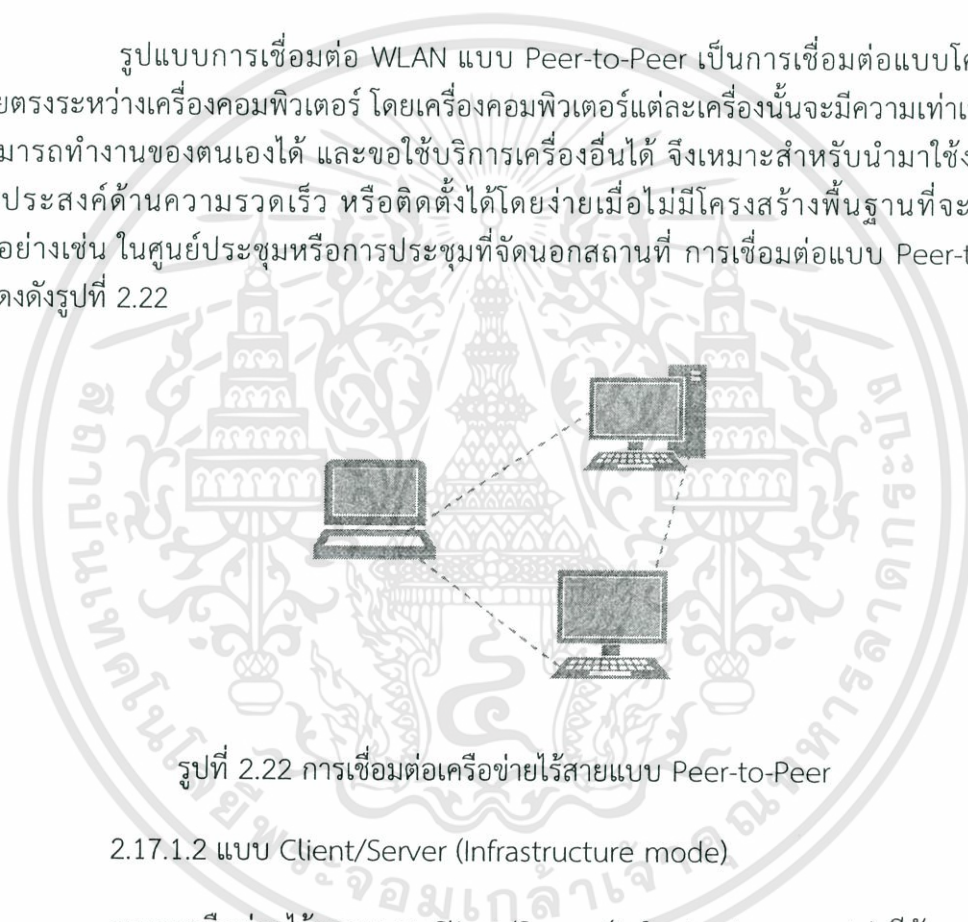
ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN: Wireless Local Area Network) คือระบบการสื่อสารข้อมูลที่นำมาใช้ทดแทน หรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่าย LAN (Local Area Network) ใช้สายแบบดั้งเดิมโดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF (Radio Frequency) และคลื่นอินฟราเรดในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องผ่านทางอากาศ ทะลุกำแพง เพดาน หรือ

สิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากสายสัญญาณ และนอกจากนี้ระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN ทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สายที่ต้องใช้เวลา และการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์

2.17.1 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

2.17.1.1 แบบ Peer-to-Peer (Ad Hoc mode)

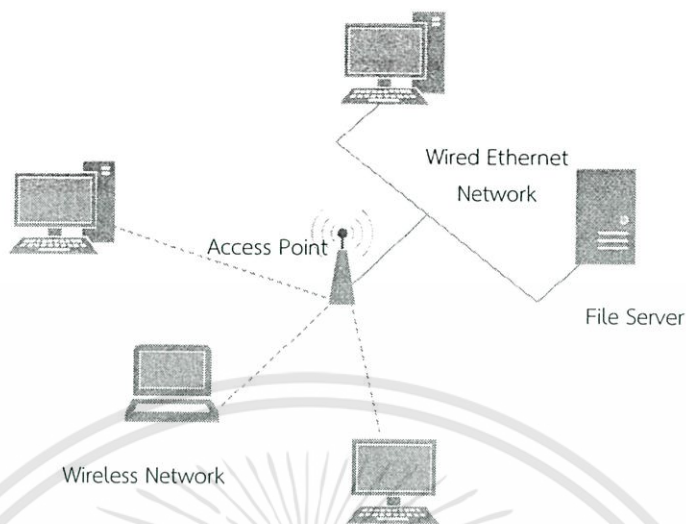
รูปแบบการเชื่อมต่อ WLAN แบบ Peer-to-Peer เป็นการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องนั้นจะมีความเท่าเทียมกันสามารถทำงานของตนเองได้ และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ด้านความรวดเร็ว หรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุมหรือการประชุมที่จัดนอกสถานที่ การเชื่อมต่อแบบ Peer-to-Peer แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Peer-to-Peer

2.17.1.2 แบบ Client/Server (Infrastructure mode)

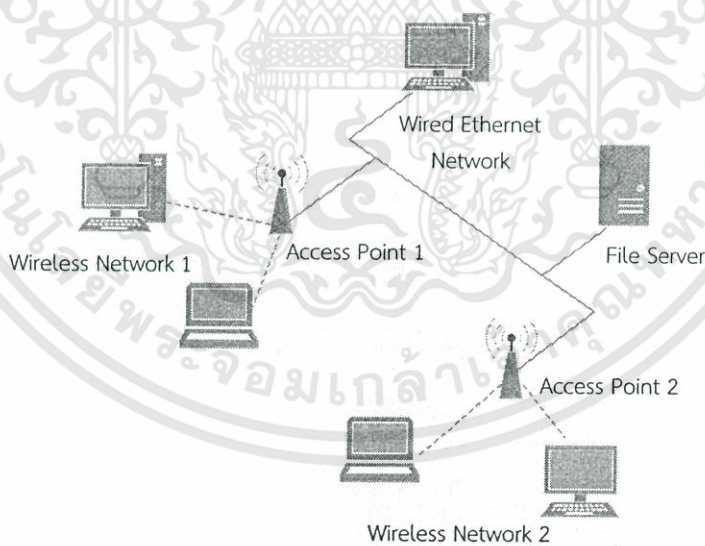
ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client/Server (Infrastructure mode) มีลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point หรือที่เรียกว่า Hot Spot ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สาย กับคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client) ดังรูปที่ 2.23 โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ ซึ่ง Access Point เหมาะสำหรับการนำไปใช้เพื่อขยายเครือข่าย หรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิม เช่น ในออฟฟิศ ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น



รูปที่ 2.23 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Client/Server

2.17.1.3 แบบ Multiple Access Points and Roaming

เป็นการเพิ่มจุดการติดตั้ง Access Point ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง ดังรูปที่ 2.24

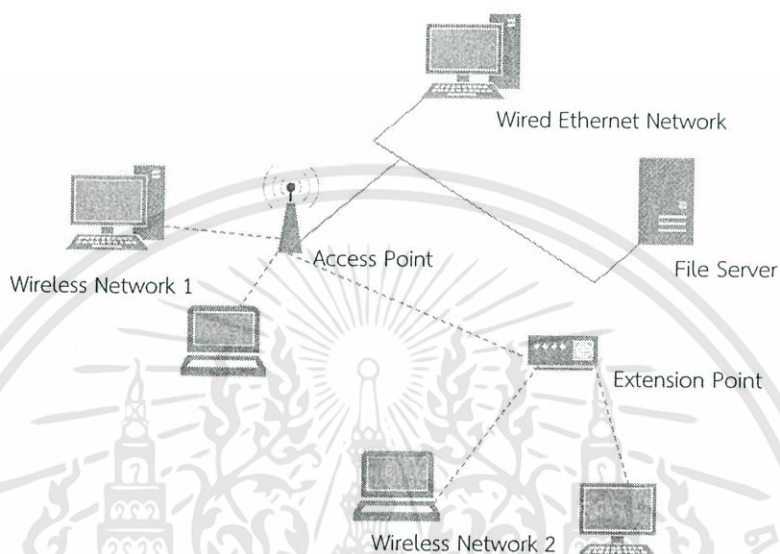


รูปที่ 2.24 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Multiple Access Points and Roaming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.1.4 แบบ Extension Point

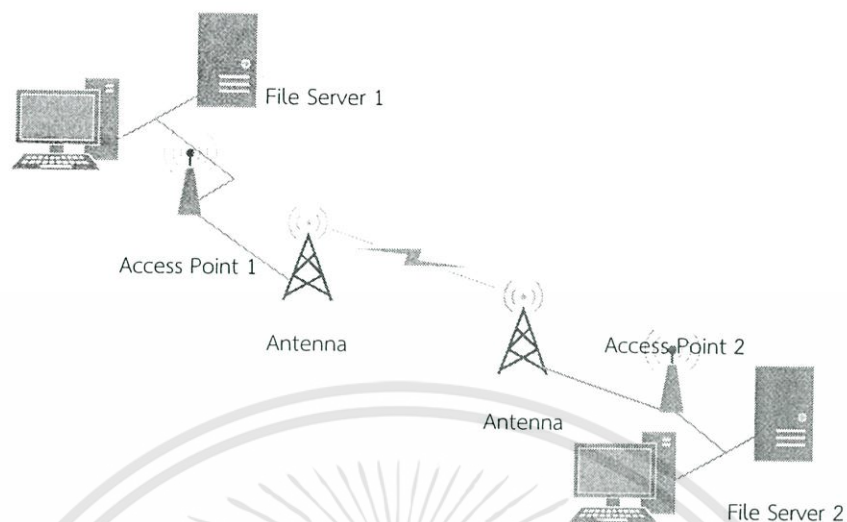
มีคุณสมบัติเหมือนกับ Access Point แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายที่ต้องใช้สาย ดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Extension Point

2.17.1.5 แบบใช้ Directional Antennas

ระบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายแบบ Directional Antennas

2.17.2 มาตรฐานของเครือข่ายไร้สาย

มาตรฐานการสื่อสารกับเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 เริ่มประกาศใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 ซึ่งมาตรฐานที่เกิดขึ้นยังมีข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยี กำหนดระบบการส่งสัญญาณด้วยความเร็วที่ 2 Mbps และได้มีการพัฒนาเรื่อยมาโดยมีส่วนย่อยอยู่ด้วยกันถึง 9 ส่วน คือ a, b, c, d, e, f, g, h และ I โดยแต่ละชนิดนั้นก็จะมีลักษณะหรือมาตรฐานของรายละเอียดต่างกันไป ซึ่งหลังจาก 9 กลุ่มย่อยดังนี้ กลุ่มตัวอักษรจะไม่เรียงว่า a จะเท่ากับ b และ c แต่จะขึ้นอยู่กับว่ามาตรฐานของกลุ่มใดทำเสร็จก่อนก็จะนำออกเปิดตัวก่อน โดยการเปรียบเทียบมาตรฐานต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบมาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
เริ่มประกาศใช้	กรกฎาคม ค.ศ. 1997	กันยายน ค.ศ. 1999	กันยายน ค.ศ. 1999	ในปี ค.ศ. 2002
แถบความถี่ที่สามารถใช้ได้	83.5 MHz	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
ช่วงความถี่ที่สามารถใช้ได้	2.4-2.4835 GHz	5.15-5.35 GHz 5.725-5.825 GHz	2.4-2.4835 GHz	2.4-2.4835 GHz
อัตราการส่งข้อมูลต่อช่อง	1, 2 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
ความเข้ากันได้	802.11	Wi-Fi5	Wi-Fi	Wi-Fi ที่ต่ำกว่า 11 Mbps

2.17.3 มาตรฐาน IEEE 802.11b

IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานการสื่อสารระดับที่สอง (จากทั้งหมด 7 ระดับในแบบจำลอง OSI) ว่าด้วยเรื่องการเชื่อมโยงข้อมูลผ่านทางสื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กำหนดโดยสถาบันวิศวกรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. หรือ IEEE) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการติดต่อสื่อสารผ่านสื่อที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

IEEE 802.11b ได้ตีพิมพ์มาตรฐานเพิ่มเติมนี้เมื่อปี พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีและใช้งานกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด มาตรฐาน IEEE 802.11b ใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า CCK (Complimentary Code Keying) ผสมกับ DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เพื่อปรับปรุงความสามารถของอุปกรณ์ให้รับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps ผ่านคลื่นวิทยุความถี่ 2.4 GHz เป็นย่านความถี่ที่เรียกว่า ISM (Industrial Scientific and Medical) ซึ่งถูกจัดสรรไว้สำหรับการใช้งานอย่างสาธารณะด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม และการแพทย์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่านนี้ก็เช่น IEEE 802.11, Bluetooth, โทรศัพท์ไร้สาย และเตาไมโครเวฟ ส่วนใหญ่แล้วอุปกรณ์ IEEE 802.11 WLAN ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะเป็นอุปกรณ์ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b นี้และใช้เครื่องหมายการค้าที่รู้จักกันดีในนาม Wi-Fi ซึ่งเครื่องหมายการค้าดังกล่าวถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคม WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance) โดยอุปกรณ์ที่ได้รับ

เครื่องหมายการค้าดังกล่าวได้ผ่านการตรวจสอบแล้วว่าเป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11b และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ยี่ห้ออื่นๆ ที่ได้รับเครื่องหมาย Wi-Fi ได้

2.17.4 เทคโนโลยี Wireless LANs

เทคโนโลยีในการส่งสัญญาณมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และประเภทที่ใช้สัญญาณอินฟราเรดในการติดต่อรับส่งข้อมูล

2.17.4.1 ประเภทที่ใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ

- Narrow Band Technology เป็นระบบวิทยุแบบความถี่แคบ เป็นการรับส่งความถี่ 902 MHz ถึง 928 MHz, 2.14 MHz ถึง 2.484 MHz และ 5.725 MHz ถึง 5.850 MHz สัญญาณจะมีกำลังต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 1 มิลลิวัตต์) และใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทางเพียง 1 คู่เท่านั้น
- Spread Spectrum Technology ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่นิยมใช้เทคนิค Spread Spectrum Technology ซึ่งใช้ความถี่ที่กว้างกว่า Narrow Band Technology ซึ่ง Spread Spectrum คือ ช่วงความถี่ระหว่าง 902-928 MHz และ 2.4-2.484 GHz โดยการส่งสัญญาณเทคนิค Spread Spectrum สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ Direct Sequence และ Frequency-Hopping
 - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) เป็นเทคนิคที่ยังใช้คลื่นพาหะที่ต้องระบุความถี่ที่ใช้ โดยสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบ Narrow Band วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีการแทรกสอดรบกวนจากคลื่นวิทยุอื่นๆ อย่างรุนแรง
 - Frequency-Hopping Spread Spectrum (FHSS) การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่แคบพาหะเพียงความถี่เดียว (Narrow Band) โดยเน้นการนำไปใช้งาน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่า ถ้าคำนึงถึงปัญหาทางด้านประสิทธิภาพและคลื่นรบกวนก็ควรใช้ วิธี DSSS ถ้าต้องการใช้ Adapter ไร้สายขนาดเล็กและราคาไม่แพงสำหรับเครื่อง Notebook หรือเครื่อง PDA ก็ควรเลือกแบบ FHSS
 - Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลตามมาตรฐานใหม่ๆ ของระบบเครือข่ายไร้สาย คือ IEEE 802.11a และ 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการมัลติเพล็กซ์สัญญาณโดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อย (Subcarrier) หลายๆ ความถี่ โดยแต่ละ

ความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้เป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาหะที่ตั้งฉากกันนั้น ทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

2.17.4.2 Infrared Technology ลำแสงอินฟราเรด (Infrared: IR) เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในย่านความถี่ของแสงที่อยู่ต่ำกว่าแสงสีแดงที่ตาของคนเราจะไม่สามารถมองเห็น ถูกนำมาใช้เพื่อการสื่อสารที่ใช้ในระยะใกล้ ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สาย (Wireless Remote Control) ที่ควบคุมเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเล่นวีดีโอ เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook คุณสมบัติเด่นของคลื่นอินฟราเรดและคลื่นสั้น คือ เดินทางเป็นแนวตรง ราคาถูก และง่ายต่อการผลิตใช้งาน แต่คลื่นประเภทนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้

2.17.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อเครือข่ายไร้สาย

2.17.5.1 WLAN Adapters

เป็น Adapter แบบไร้สายซึ่งทำหน้าที่พื้นฐานคล้ายๆ แบบใช้สายซึ่งมี Interface แบบ PCMCIA (Personal Computer Memory Card International Association), PCI (Peripheral Component Interconnect Cards), ISA (Industry Standard Architecture Cards), Cardbus และ USB มีหน้าที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโครงข่ายได้ในเครือข่าย LAN แบบใช้สาย Adapter เป็นตัว Interface ระหว่างระบบปฏิบัติการของระบบเครือข่ายและสายสัญญาณ ส่วนในเครือข่าย WLAN จะทำหน้าที่เป็น Interface ระหว่างระบบปฏิบัติการของระบบเครือข่ายกับเสาอากาศ เพื่อจะสร้างการเชื่อมต่อไปยังโครงข่ายอื่นต่อไป

2.17.5.2 Wireless Access Point

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้าย Hub ของระบบ LAN แบบใช้สาย โดยที่จะรับเป็น Buffers และส่งข้อมูลระหว่าง WLAN และโครงสร้างแบบใช้สาย สนับสนุนการใช้งานของอุปกรณ์ไร้สายแบบเป็นกลุ่ม ซึ่งตัว Access Point จะเชื่อมต่อกับ Backbone ของโครงข่ายใช้สายผ่านมาตรฐานเคเบิลแบบ Ethernet และสื่อสารกับอุปกรณ์ไร้สายผ่านเสาอากาศ รัศมีของการเชื่อมต่อกับ Access Point เรียกเป็น Microcell มีระยะอยู่ที่ 20 เมตรถึง 500 เมตร และ Access Point หนึ่งตัวสนับสนุนผู้ใช้งานได้ 15 ถึง 250 คน

2.17.5.3 Outdoor Wireless Bridge

ใช้สำหรับเชื่อมต่อระบบเครือข่ายกับอาคารอื่นๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลากสาย Fiber Optic ระหว่างอาคารมีราคาสูง โดยเฉพาะถ้ามีสิ่งก่อสร้างขวางกั้นอยู่ด้วย เช่น ทางด่วน หรือ

แม่น้ำลำคลอง WLAN Bridge ให้อัตรารับ-ส่งข้อมูลสูง และมีรัศมีการรับส่งหลายไมล์ แต่ต้องอยู่ในลักษณะระดับสายตา (Line-of-sight)

2.18 การทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน

2.18.1 การทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนตามแบบจำลองของ ITU-R P.618 [2]

แบบจำลองของ ITU-R P.618 จะใช้คำนวณการลดทอนอันเนื่องมาจากฝนในแนว slant-path สำหรับความถี่สูงไม่เกิน 55 GHz โดยพารามิเตอร์ที่ต้องการมีดังนี้

$R_{0.01}$ คืออัตราการตกของฝนเฉลี่ยที่ 0.01% ของปี (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง)

h_s คือความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของสถานีภาคพื้นดิน (กิโลเมตร)

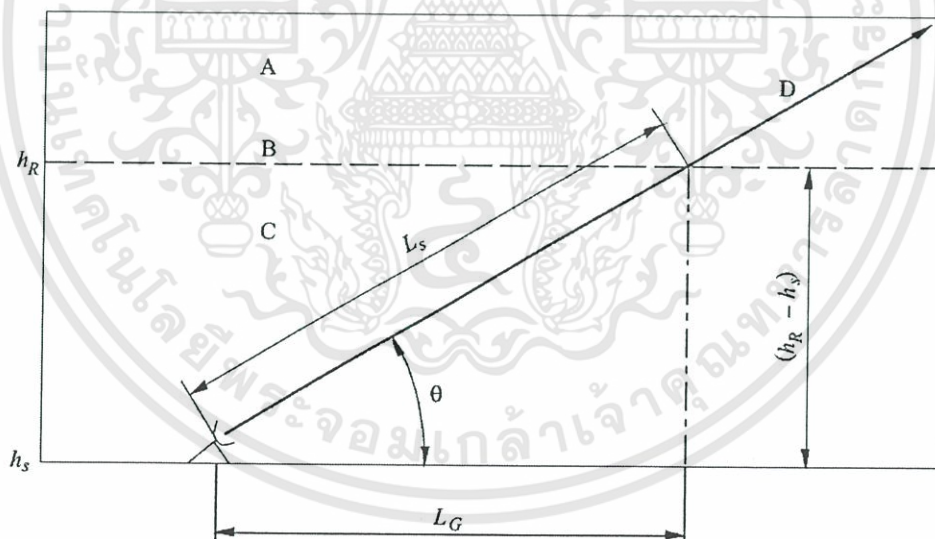
θ มุมเงยของงานสายอากาศ (องศา)

φ ละติจูดของสถานีภาคพื้นดิน (องศา)

f ความถี่ (เฮิรตซ์)

R_e รัศมีประสิทธิผลของโลก (8,500 กิโลเมตร)

และพารามิเตอร์อินพุตที่ใช้ในการทำนายการลดทอนแสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แผนผังค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ [2]

จากรูปที่ 2.27 A คือ ชั้นของบรรยากาศที่ไอน้ำอยู่ในสถานะของแข็ง B คือระดับชั้นบรรยากาศของไอน้ำที่ 0 องศาเซลเซียส C คือ ระดับของชั้นบรรยากาศที่ไอน้ำอยู่ในสถานะของเหลว และ D คือ แนวการแพร่คลื่นระหว่างสถานีภาคพื้นดินและอวกาศ

ในการทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าความสูงของฝน h_R โดยอ้างอิงจาก ITU-R P.839 [15] ดังนี้

$$h_R = h_0 + 0.36 \quad km \quad (2.5)$$

$$\text{เมื่อ } h_0 = \begin{cases} 3.0 + 0.0028\varphi & 0^\circ < \varphi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\varphi - 36) & \varphi > 36^\circ \end{cases}$$

จากสมการที่ 2.5 h_0 คือ ระดับความสูงของฝน ณ เส้นอุณหภูมิต่ำที่ 0 องศาเซลเซียส การคำนวณในขั้นตอนนี้จะนำค่า h_R ไปใช้ในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความยาวของ slant-path L_s ที่อยู่ต่ำกว่าระดับ h_R ดังนี้

สำหรับ $\theta \geq 5^\circ$ ใช้สมการที่ 2.6

$$L_s = \frac{h_R - h_s}{\sin \theta} \quad km \quad (2.6)$$

สำหรับ $\theta < 5^\circ$ ใช้สมการที่ 2.7

$$L_s = \left(\frac{2(h_R - h_s)}{\left((\sin^2 \theta) + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} \right)^{1/2} + \sin \theta} \right) \quad km \quad (2.7)$$

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณ horizontal projection L_G ของความยาวของ slant-path

$$L_G = L_s \cos \theta \quad km \quad (2.8)$$

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าเฉลี่ยของอัตราการตกของฝนที่มากกว่า 0.01% $R_{0.01}$ ตาม Recommendation ITU-R P.837 [16] หากมีค่าเท่ากับ 0 การคำนวณการทำนายที่เปอร์เซ็นต์ ณ เวลาต่างๆ จะถือว่าไม่มีค่าเท่ากับศูนย์ และขั้นตอนต่อไปทั้งหมดจะไม่ต้องทำการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 5 หาค่า specific attenuation γ_R โดยใช้ค่า frequency-dependent coefficients ตาม ITU-R P.838 [17] และค่า $R_{0.01}$ จากขั้นตอนที่ 4

$$\gamma_R = k(R_{0.01})^\alpha \quad dB/km \quad (2.9)$$

ของปี
ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหา horizontal reduction factor $r_{0.01}$ ณ เวลา 0.01%

$$r_{0.01} = \frac{1}{1+0.78\sqrt{\frac{LGYR}{f}}-0.38(1-e^{-2LG})} \quad (2.10)$$

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหา vertical adjustment factor $v_{0.01}$ ณ เวลา 0.01% ของปี โดยคำนวณหา L_R และ χ ก่อนตามสมการที่ 2.11, 2.12, 2.13 หรือ 2.14 และ 2.15 ตามลำดับ

$$\zeta = \tan^{-1} \left(\frac{h_R - h_S}{L_G r_{0.01}} \right) \quad \text{degrees} \quad (2.11)$$

สำหรับ $\zeta > \theta$

$$L_R = \frac{L_G r_{0.01}}{\cos \theta} \quad \text{km}$$

นอกเหนือจากนี้

$$L_R = \frac{(h_R - h_S)}{\sin \theta} \quad \text{km} \quad (2.12)$$

และสำหรับ $|\varphi| < 36^\circ$

$$\chi = 36 - |\varphi| \quad \text{degrees} \quad (2.13)$$

นอกเหนือจากนี้

$$\chi = 0 \quad \text{degrees} \quad (2.14)$$

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31(1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \sqrt{\frac{LGYR}{f^2}} - 0.45 \right)} \quad (2.15)$$

ขั้นตอนที่ 8 คำนวณหา effective path length

$$L_E = L_R v_{0.01} \quad \text{km} \quad (2.16)$$

ขั้นตอนที่ 9 คำนวณการทำนายการลดทอนของสัญญาณที่เวลา 0.01% ของปี

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E \quad \text{dB} \quad (2.17)$$

ขั้นตอนที่ 10 สำหรับการประมาณค่าการลดทอนของสัญญาณที่เปอร์เซ็นต์อื่นๆ ของปีตั้งแต่ 0.001% ถึง 5% สามารถคำนวณได้ดังนี้

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

$$\text{เมื่อ } \beta = \begin{cases} 0 & ; p \geq 1\% \text{ หรือ } |\varphi| \geq 36^\circ \\ -0.005(|\varphi| - 36) & ; p < 1\% \text{ และ } |\varphi| < 36^\circ \text{ และ } \theta \geq 25^\circ \\ -0.005(|\varphi| - 36) + 1.8 - 4.25\sin\theta & ; \text{สำหรับกรณีอื่น} \end{cases}$$

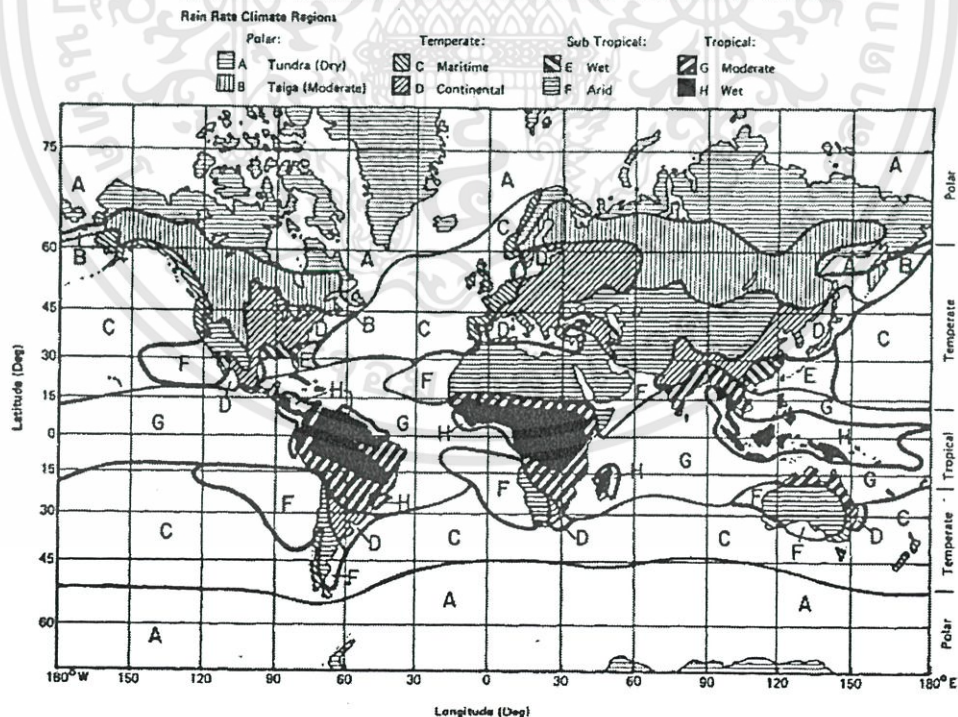
2.18.2 การทำนายการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนตามแบบจำลองของ Robert K. Crane [1]

การลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนจากการคำนวณตามแบบจำลองของ Robert K. Crane สามารถทำได้เป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณการแจกแจงอัตราการตกของฝน R_p

ก) พิจารณาจุดสิ้นสุดของระยะทางภาคพื้นดินหรือสถานีภาคพื้นดินในแผนที่ดังรูปที่ 2.28 ว่าอยู่เขตพื้นที่สภาพอากาศเขตใด (A-H)

ข) หาค่าการแจกแจงของอัตราการตกของฝนจากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.28 การแบ่งภูมิภาคของโลกตามสภาพฝน [1]

ตารางที่ 2.3 การแจกแจงอัตราการตกของฝน (R_p) ในภูมิภาคต่างๆ เทียบกับเวลาต่อปีที่อัตราการตกของฝนมากกว่าค่านั้นๆ [1]

ร้อยละต่อปี	ภูมิภาค									
	A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	E	F	G	H
0.001	28	54	80	90	102	127	164	66	129	251
0.002	24	40	62	71	86	107	144	51	109	220
0.005	19	26	41	50	64	81	117	34	85	178
0.01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0.02	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115
0.05	8	9.5	11	16	22	31	52	8	33	77
0.1	5.5	6.8	7.2	11	15	22	35	5.5	22	51
0.2	4	4.8	4.8	7.5	9.5	14	21	3.2	14	31
0.5	2.5	2.7	2.8	4	5.2	7	8.5	1.2	7	13
1.0	1.7	1.8	1.9	2.2	3	4	4	0.8	3.7	6.4
2.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.8	2.5	2	0.4	1.6	2.8
จำนวนสถานีข้อมูล	0	25	44	15	99	18	12	20	2	11

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณระยะทางการแพร่คลื่นบนพื้นผิว D

ก) สำหรับการแพร่คลื่นภาคพื้นดิน ระยะทางการแพร่คลื่น D คือระยะห่างระหว่างจานสายอากาศ

ข) สำหรับการแพร่คลื่นในแนว slant-path ระยะทางการแพร่คลื่น D จะคำนวณจากสมการที่ 2.19 หรือ 2.20

$$D = \begin{cases} (H(p) - H_0)/\tan\theta & ; \theta \geq 10^\circ & (2.19) \\ E\psi, \psi \text{ in radians} & ; \theta < 10^\circ & (2.20) \end{cases}$$

เมื่อ

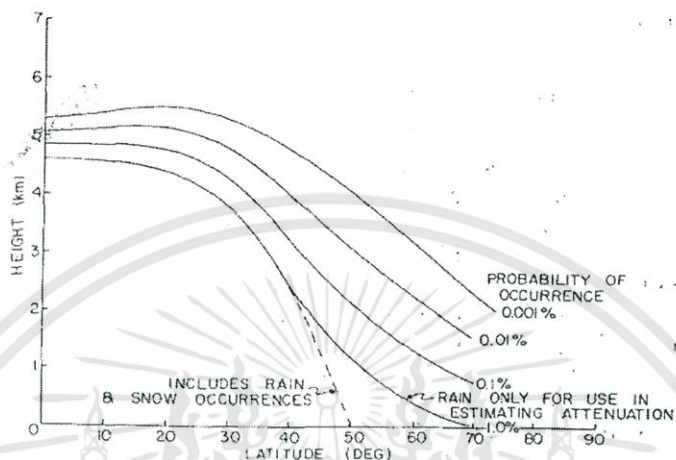
$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\cos\theta}{(H + E)} \left(\sqrt{(H_0 + E)^2 \sin^2\theta + 2E(H - H_0)} \right) \right]$$

E คือ รัศมีประสิทธิผลของโลก กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8500 กิโลเมตร

θ คือ ขนาดของมุมเงยของจานสายอากาศ

H_0 คือ ความสูงของสถานี

$H(p)$ คือ ระดับความสูงที่เส้น 0 องศาเซลเซียสที่เปอร์เซ็นต์เวลา p ที่สนใจ ซึ่งสามารถหาได้จากการประมาณค่าในช่วงบนรูปที่ 2.29 โดยทำการพล็อต $H(p)$ เทียบกับ $\log(p)$ และลากเส้นตรงเพื่อหาความสัมพันธ์ของ $H(p)$ และ $\log(p)$



รูปที่ 2.29 ระดับความสูงที่เส้น 0 องศาเซลเซียสที่เปอร์เซ็นต์เวลา p [1]

ค) ถ้า $D > 22.5$ กิโลเมตร ใช้ค่า $D_0 = 22.5$ กิโลเมตร และอัตราการตกของฝน ณ ตำแหน่งหนึ่งๆ ค่าใหม่ R'_p ในการปรับค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์

$$p' = p \left[\frac{D_0}{D} \right] \quad (2.21)$$

ขั้นตอนที่ 3 หาค่า α และ β สำหรับความถี่ที่สนใจจากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากแบบจำลองในรูปแบบของร้อยละ [1]

แนวการแพร่คลื่น/ร้อยละต่อปี	1	0.1	0.01	0.001
การแพร่คลื่นในแนวตั้ง	36	28	28	36
การแพร่คลื่นในแนวสแลนท์พาร์ธ	39	32	32	39

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาค่าการลดทอน A จากค่า R_p และค่า D (หรือ R'_p และ D_0) โดย R_p คืออัตราการตกของฝนที่ได้จากค่าการแจกแจงของอัตราการตกของฝนที่ความน่าจะเป็น p ที่สนใจ

$$A(R_p, D) = \alpha R_p^\beta \left[\frac{e^{u\beta d} - 1}{u\beta} - \frac{b^\beta e^{c\beta d}}{c\beta} + \frac{b^\beta e^{c\beta d}}{c\beta} \right]; d \leq D \leq D_0 \quad (2.22)$$

$$A(R_p, D) = \alpha R_p^\beta \left[\frac{e^{u\beta d} - 1}{u\beta} \right]; D < D_0 \quad (2.23)$$

$$A(R_p, D) = (H(p) - H_0) \alpha R_p^\beta; D < 0 (\theta = 90^\circ) \quad (2.24)$$

เมื่อ $u = \frac{\ln[be^{cd}]}{d}$, $b = 2.3R_p^{-0.17}$, $c = 0.026 - 0.03\ln R_p$, $d = 3.8 - 0.6\ln R_p$

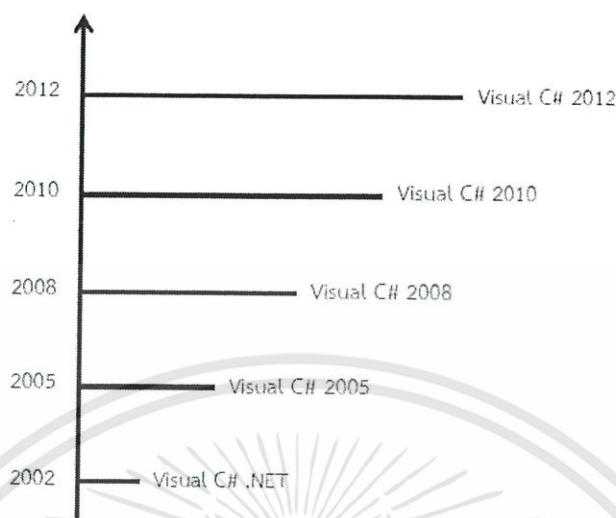
ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าการลดทอนตามความสูงในแนว slant-path A_s (สมการนี้ไม่สามารถใช้คำนวณค่าการลดทอนในแนวพื้นโลกได้)

$$A_s = \frac{LA(R_p, D)}{D} = \frac{A(R_p, D)}{\cos\theta}; \theta \geq 10^\circ \quad (2.25)$$

2.19 โปรแกรม Microsoft Visual C# 2010

ภาษา C# เปิดตัวเป็นครั้งแรกในปี 2000 เป็นภาษาที่ได้รับอิทธิพลจากภาษาก่อนหน้า เช่น ภาษา Delphi ภาษา C++ ภาษา Java และภาษา Eiffel ภาษานี้ถูกออกแบบ และกำหนดลักษณะโดยบริษัทไมโครซอฟท์ ต่อมาได้ถูกรับรองจากหน่วยงาน ECMA (หน่วยงานกำหนดมาตรฐานสากลด้านสารสนเทศ) และ ISO แต่ปัจจุบันไมโครซอฟท์ยังพัฒนาภาษานี้อย่างต่อเนื่อง ภาษา C# ถูกพัฒนาขึ้นโดยเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของ .NET Framework เป็นการนำข้อดีของภาษาต่างๆ เช่น ภาษา Delphi ภาษา C++ มาปรับปรุงเพื่อให้มีความเป็น OOP (Object Oriented Programming) อย่างถึงที่สุด ขณะเดียวกันก็ลดความซับซ้อนในโครงสร้างของภาษาลง

Microsoft Visual C# 2010 เป็นโปรแกรมหรือเครื่องมือที่ช่วยในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา C# ซึ่งโปรแกรมนี้ได้พัฒนาขึ้นครั้งแรกในชื่อของ Microsoft Visual C#.NET ต่อมาก็ได้พัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถสูงขึ้นและรองรับการเขียนโปรแกรมในรูปแบบต่างๆ มากมาย โดยแสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การพัฒนาโปรแกรม Visual C# [18]

จากรูปที่ 2.30 โปรแกรม Microsoft Visual C# .NET ถูกพัฒนาขึ้นมาครั้งแรกพร้อมกับ Visual Studio .NET และต่อมาได้รับความนิยมอย่างสูงในเวอร์ชันถัดมา คือ Microsoft Visual C# 2005 จากนั้นก็ได้มีการพัฒนาโปรแกรมให้มีความสามารถสูงขึ้นและรองรับการเขียนโปรแกรมในรูปแบบต่างๆ มากมายอีกด้วยใน Microsoft Visual C# 2008, Microsoft Visual C# 2010, และ Microsoft Visual C# 2012 ตามลำดับ สำหรับในปัจจุบันการเขียนโปรแกรมไม่ใช่เพียงแค่การสร้างโปรแกรมให้ทำงานบนคอมพิวเตอร์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังเป็นการสร้างโปรแกรมให้สามารถทำงานบนอินเทอร์เน็ต โทรศัพท์มือถือ เครื่องเล่นเกม และหุ่นยนต์ เป็นต้น

2.19.1 หลักการเขียนโปรแกรมกับ Microsoft Visual C#

การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C หรือ Pascal นั้นจะต้องมองขั้นตอนการทำงานให้ได้เสียก่อน แล้วจึงเขียนโปรแกรมให้ครอบคลุมการทำงานเหล่านั้นให้หมดตั้งแต่ต้นจนจบ ซึ่งถือว่าใช้ได้ดีถ้าโปรแกรมนั้นมีขนาดเล็กหรือไม่ซับซ้อนมากนัก โดยแนวความคิดการเขียนโปรแกรมแบบนี้เรียกว่าการเขียนโปรแกรมแบบ Structure Programming

แต่หากโปรแกรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซับซ้อนขึ้น (เช่น โปรแกรม MS Word) หรือกลายเป็นระบบงานที่มีความหลากหลาย (เช่น ซอฟต์แวร์ระบบบัญชี) หากใช้วิธีคิดแบบ Structure Programming แล้วจะทำให้การเขียนโปรแกรมยุ่งยากมาก และปรับปรุงแก้ไขยากขึ้นอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อโปรแกรมนั้นทำงานบน Windows ดังนั้น ไมโครซอฟท์จึงมีวิธีคิดที่เรียกว่า Event Driven Programming ขึ้นมาสำหรับการเขียนโปรแกรมทำงานบน Windows, อินเทอร์เน็ต หรือ โทรศัพท์มือถือ ฯลฯ

Event Driven Programming คือ การเขียนคำสั่งกำหนดให้โปรแกรมทำงานในเหตุการณ์ที่สนใจหรือเรียกว่าตอบสนองต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นก็ได้ จะเห็นว่าการเขียนโปรแกรมแบบ Event Driven สอดคล้องกับการทำงาน Windows เช่น ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ที่เป็นปุ่ม, เมนู, ตัวเลือก (หรือออบเจกต์ชนิดต่างๆ) โดยเหตุการณ์ (Event) จะเกิดได้หลายทาง เช่น ผู้ใช้งานคลิก, กดปุ่มคีย์บอร์ด รวมทั้งตัวเครื่องเองได้รับสัญญาณจากภายนอกเข้ามา ก็ทำให้ Event เกิดขึ้นมาได้ ซึ่งสามารถเขียนโค้ดกำหนดการทำงานของโปรแกรมเฉพาะเหตุการณ์ที่เราต้องการให้โปรแกรมทำงานเท่านั้น

2.19.1.1 ออบเจกต์ (Object)

สิ่งที่ควรรู้เมื่อต้องการเขียนโปรแกรม หรือพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้งานบน Windows ก็คือ ออบเจกต์ ซึ่งจะสอดคล้องกับแนวคิดของ Event Driven Programming โดยที่ผ่านมาระยะหนึ่งเราจะเห็นว่าแอปพลิเคชันนั้นจะประกอบกันมาจากสิ่งต่างๆ เช่น ปุ่มกด, วินโดว์ ซึ่งเราจะเรียกแต่ละสิ่งที่ประกอบเป็นแอปพลิเคชันว่า ออบเจกต์

2.19.1.2 พร็อพเพอร์ตี้ (Properties)

ออบเจกต์แต่ละตัวจะมีคุณสมบัติเป็นของตัวเอง เช่น ฟอर्म (Form) ก็จะมีคุณสมบัติของฟอर्म เช่น ความกว้างของฟอर्म, ความสูงของฟอर्म, สีพื้นหลังของฟอर्म เป็นต้น ซึ่งแต่ละคุณสมบัติจะสามารถกำหนดค่าได้ เช่น กำหนดให้ฟอर्मมีสีพื้นหลังเป็นสีขาว เป็นต้น โดยจะเรียกคุณสมบัติต่างๆ ของออบเจกต์ในแอปพลิเคชันเหล่านี้ว่า พร็อพเพอร์ตี้

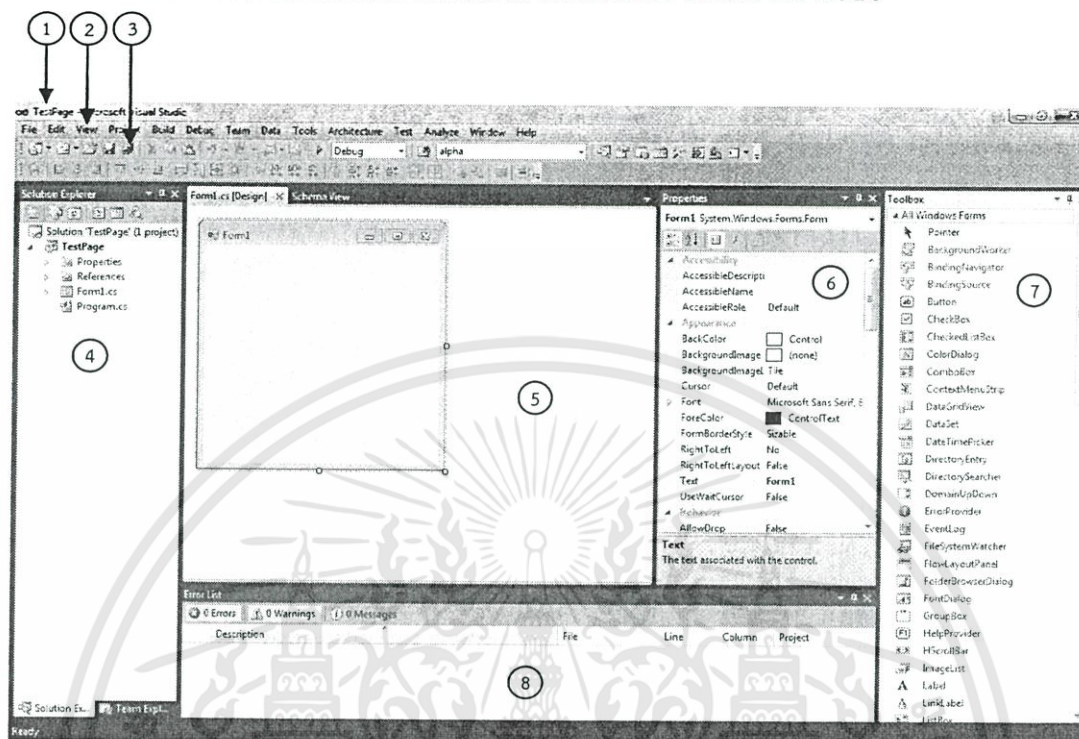
2.19.1.3 เมธอด (Method)

นอกจากจะมีคุณสมบัติแล้ว ออบเจกต์ยังมีความสามารถที่ทำให้ออบเจกต์ทำงานได้ เช่น ออบเจกต์ฟอर्मสามารถแสดงฟอर्मได้ (Show), สามารถซ่อนฟอर्मได้ (Hide) เป็นต้น ซึ่งเราเรียกความสามารถของออบเจกต์นี้ว่า เมธอด (Method)

2.19.1.4 อีเวนต์ (Event)

การทำงานของแอปพลิเคชันบน Windows นั้นเป็นการทำงานแบบ User Interface ทำให้มีเหตุการณ์มากมายที่จะเกิดขึ้นจากการใช้งานแอปพลิเคชันของผู้ใช้ ไม่ว่าจะผู้ใช้จะคลิก ป้อนข้อมูล เลือกข้อมูลจากตัวเลือกหรือเหตุการณ์อื่นๆ อีกมากมายที่อาจจะเกิดขึ้น เราเรียกเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับออบเจกต์นั้นว่า อีเวนต์

2.19.2 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม Microsoft Visual C# 2010



รูปที่ 2.31 ส่วนประกอบของโปรแกรม Microsoft Visual C# 2010

จากรูปที่ 2.31 สามารถอธิบายภาพส่วนประกอบหน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Visual C# 2010 ดังนี้

หมายเลข 1 เรียกว่า Title Bar เป็นแถบแสดงชื่อเรื่องที่กำลังเปิดอยู่หรือเป็นส่วนบอกชื่อโปรแกรมและชื่อโปรเจกต์

หมายเลข 2 เรียกว่า Menu Bar เป็นแถบเมนูที่แสดงรายการคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม เช่น เปิดโปรเจกต์ สร้างโปรเจกต์ใหม่ การบันทึกโปรเจกต์ เป็นต้น

หมายเลข 3 เรียกว่า Tools Bar เป็นแถบเครื่องมือสำหรับจัดการกับโปรเจกต์ที่กำลังเปิดอยู่หรือใช้เรียกแทน Menu Bar

หมายเลข 4 Solution Explorer เป็นส่วนสำหรับแสดงโซลูชันและโปรเจกต์ต่างๆ ที่กำลังเปิดอยู่ และเป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของหน้าจอของส่วนที่ 5

หมายเลข 5 เป็นพื้นที่สำหรับการเขียนโปรแกรมและการออกแบบ เช่น การนำปุ่มมาวาง เป็นต้น

หมายเลข 6 Properties Windows เป็นส่วนสำหรับการกำหนดคุณสมบัติให้กับ Control ต่างๆ ที่นำมาวาง เช่น การกำหนดสีให้กับปุ่ม Button การกำหนดสีพื้นหลังให้กับ Form เป็นต้น

หมายเลข 7 เรียกว่า Tool Box เป็นกลุ่มของเครื่องมือที่มี Control ต่างๆ ใช้ในการออกแบบวัตถุลงในส่วนที่เป็นแบบฟอร์ม ตัวอย่างเช่น Button, Text Box, Label เป็นต้น

หมายเลข 8 เรียกว่า Output เป็นส่วนสำหรับแสดงผลการรันโปรแกรมว่า Build โปรแกรมสำเร็จหรือไม่ มีข้อผิดพลาดอะไรบ้าง และเมื่อการรันโปรแกรมพบจุดที่ได้ผิดโปรแกรมจะแสดง Error List ขึ้นมาแทนซึ่งเป็นการแจ้งเตือนผลการ Compile โปรแกรมที่ทำการพัฒนา



บทที่ 3

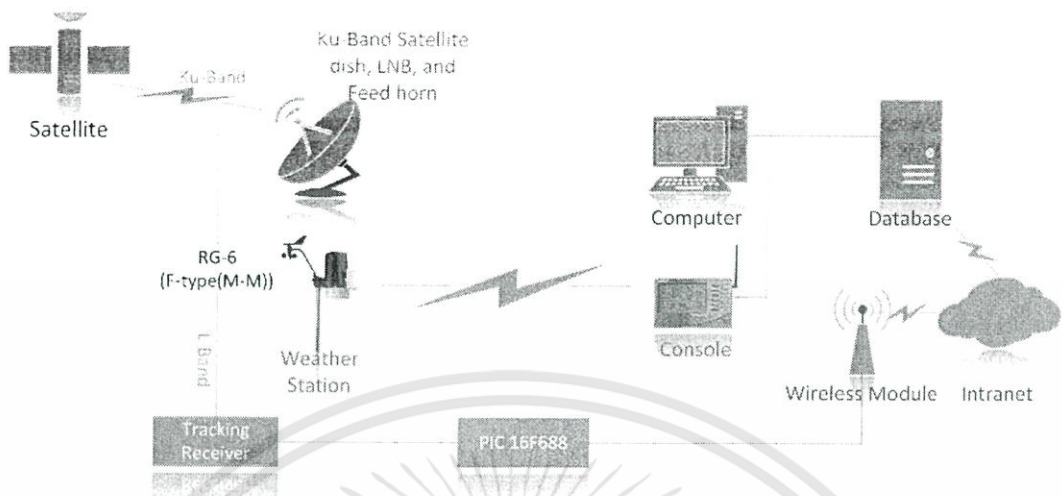
การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและจัดทำระบบสำหรับการประมาณค่าการลดทอนของกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน โดยผู้ใช้งานระบบสามารถที่จะทำการตรวจสอบค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลสภาพภูมิอากาศผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ได้ ซึ่งโครงสร้างหลักของระบบในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วย ชุดงานรับสัญญาณดาวเทียม, เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม (Tracking Receiver), เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ (Weather Station), ไมโครคอนโทรลเลอร์, โมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFly Module) และคอมพิวเตอร์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 หลักการทำงานของระบบ

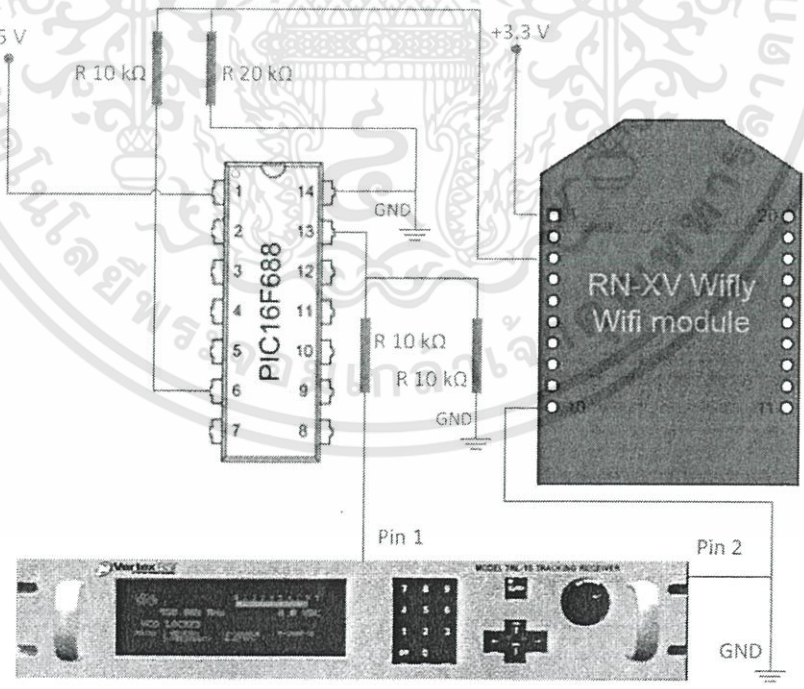
หลักการทำงานของระบบจะแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกเริ่มจากชุดงานรับสัญญาณดาวเทียม จะรับสัญญาณดาวเทียมที่มีความถี่ในย่าน Ku-Band (12 ถึง 18 GHz) จากดาวเทียมไทยคม 5 ผ่านเข้า LNB ของชุดงานรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อเปลี่ยนสัญญาณดาวเทียมความถี่ให้อยู่ในย่าน L-Band ส่งต่อไปยังเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม เพื่อแปลงค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมต่อไปยังโมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFly Module) โดยโมดูลสื่อสารไร้สายจะเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สายเพื่อส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ คอมพิวเตอร์ฝั่งรับจะนำข้อมูลแรงดันทางไฟฟ้าที่รับได้มาคำนวณเป็นค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และทำการบันทึกข้อมูลเก็บเอาไว้ในฐานข้อมูล ในส่วนที่สองเป็นส่วนของเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศที่จะส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับอัตราการตกของฝน และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ มายังคอนโซลของเครื่อง (Console) เพื่อเก็บข้อมูลและแสดงผลในหน้าจอของคอนโซล จากนั้นทำการป้อนคำสั่งจากคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมเพื่อทำให้คอนโซลส่งข้อมูลต่างๆ กลับมายังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ และทำการบันทึกข้อมูลเก็บเอาไว้ในฐานข้อมูล ข้อมูลทั้งสองส่วนนี้คือแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศจะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การลดทอนสัญญาณ และแสดงผลผ่านส่วนเชื่อมต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ โดยแผนภาพหลักการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานโดยรวมของระบบ

3.1.2 วงจรการรับข้อมูล

วงจรที่ใช้ในการรับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม จะใช้การควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F688 ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการรับส่งสัญญาณผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การออกแบบวงจรควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

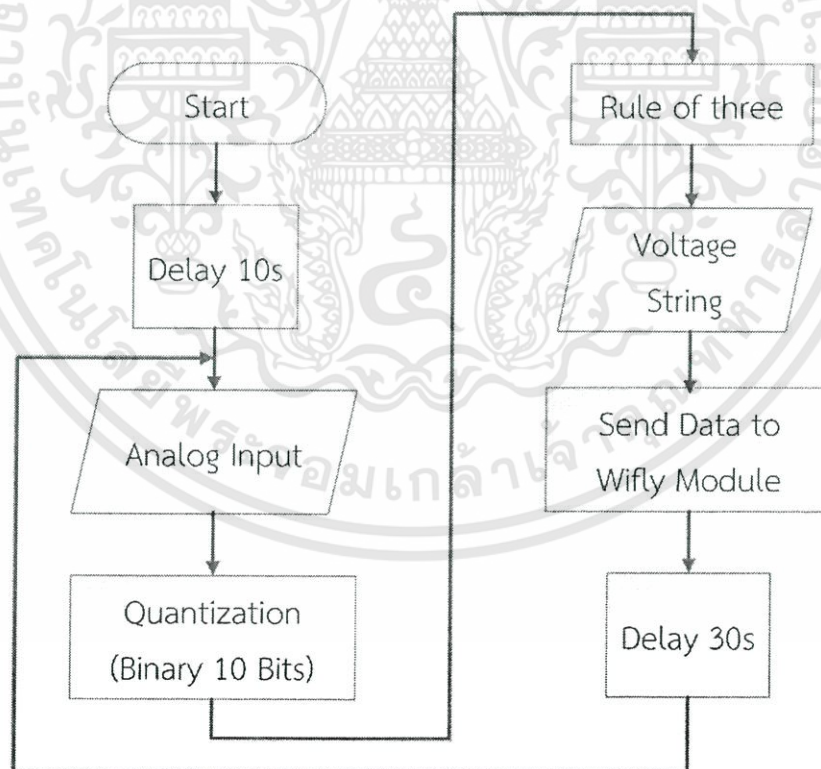
จากรูปที่ 3.2 ผู้จัดทำออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเข้าที่ขา 13 พร้อมทั้งส่งข้อมูลทุก 30 วินาที ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังขาที่ 3 ของโมดูลสื่อสารไร้สายผ่านวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาด 5 โวลต์ แต่แรงดันไฟฟ้าอินพุตของโมดูลสื่อสารไร้สายจะต้องมีขนาด 3.3 โวลต์ ส่วนทางด้านของเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศจะทำโดยการต่อคอนโซลเข้ากับคอมพิวเตอร์ฝั่งรับโดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยตรง

เมื่อคอมพิวเตอร์ฝั่งรับได้รับข้อมูลแรงดันไฟฟ้าแล้วจะนำแรงดันที่รับได้มาคำนวณให้เป็นค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียม โดยใช้สมการการคำนวณแรงดันที่รับได้ให้เป็นค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมแบบเชิงเส้น ดังสมการที่ 3.1

$$y = Ax - b \quad (3.1)$$

เมื่อ y คือค่ากำลังเอาต์พุต (dBm) และ x คือค่าแรงดันอินพุต (โวลต์) โดยค่า $A = 2.0151$ และ $b = 89.599$ ค่าทั้งสองถูกคำนวณมาจากการทดลอง ดังรายละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป

โฟลว์ชาร์ตการทำงานของวงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแสดงดังรูปที่ 3.3

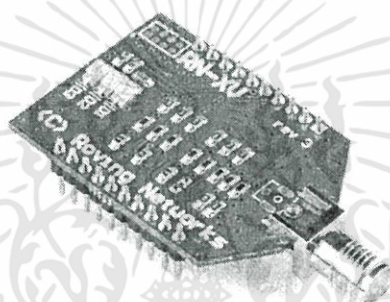


รูปที่ 3.3 Flowchart การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.3 การตั้งค่าโมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFly Module)

3.1.3.1 RN-XV WiFly Module-SMA Connector

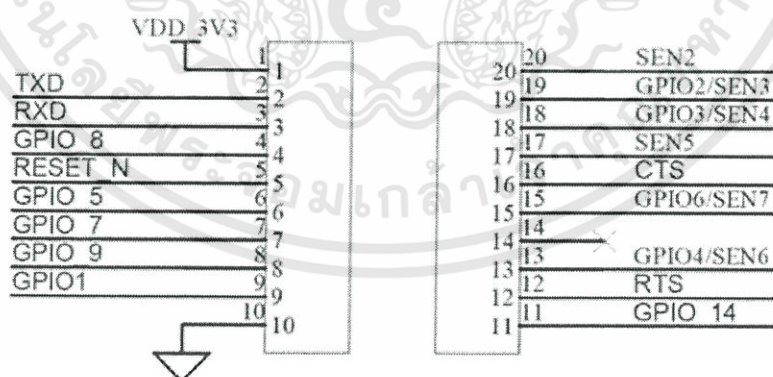
โมดูลไร้สายที่ใช้เป็นของบริษัท Roving Network รุ่น WRL-11047 หรือ RN-XV WiFly Module-SMA Connector (รูปที่ 3.4) เป็นโมดูล Serial (TTL) to Wifi (802.11 b/g) ที่ทำ Hardware ออกมาในรูปของขา Interface แบบ Xbee จึงสามารถใช้บอร์ดบางตัวที่รองรับ Xbee นำมาใช้ร่วมกันได้ มีจุดต่อสายอากาศเป็นหัว SMA มี Protocol TCP/IP stack includes DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, HTTP client, FTP client และ TCP เพื่อใช้ในการส่งข้อมูล



รูปที่ 3.4 RN-XV WiFly Module-SMA Connector [19]

สามารถแสดงลำดับขาต่างๆ ของ RN-XV WiFly Module-SMA Connector ได้ดัง

รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ลำดับขาของ RN-XV WiFly Module-SMA Connector [19]

- VDD (ขา 1) ขาต่อไฟเลี้ยง 3.3 โวลต์
- UART_TX (ขา 2) ขาเอาต์พุตส่งข้อมูลอนุกรม (UART)
- UART_RX (ขา 3) ขาอินพุตรับข้อมูลอนุกรม (UART)
- GPIO 8 (ขา 4) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 8
- RESET (ขา 5) ขารีเซตหลัก
- GPIO 5 (ขา 6) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 5
- GPIO 7 (ขา 7) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 7
- GPIO 9 (ขา 8) ขาสำหรับเปิดโหมดการทำงานแบบ Adhoc และสำหรับรีเซตการตั้ง

ค่าของโมดูล

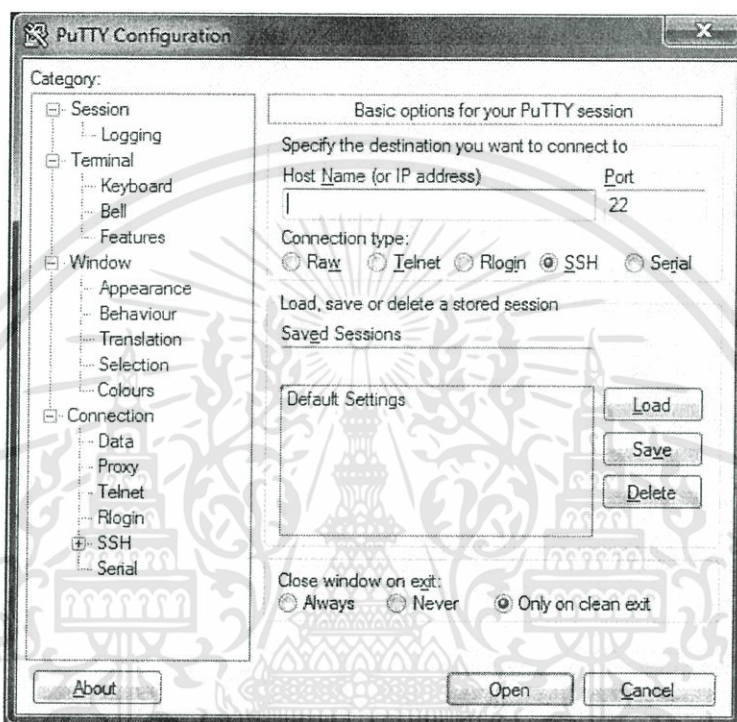
- GPIO 1 (ขา 9) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 1
- GND (ขา 10) ขาต่อกราวด์
- GPIO 14 (ขา 11) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 14
- UART_RTS (ขา 12) ขาสำหรับควบคุมอัตราของข้อมูลอนุกรม RTS
- GPIO 4/SEN 6 (ขา 13) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 4 หรือ ขาอินพุตอนาล็อก 6
- Not Used (ขา 14) ไม่มีการใช้งาน
- GPIO 6/SEN 7 (ขา 15) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 6 หรือ ขาอินพุตอนาล็อก 7
- UART_CTS (ขา 16) ขาสำหรับควบคุมอัตราของข้อมูลอนุกรม CTS
- SEN 5 (ขา 17) ขาอินพุตอนาล็อก 5
- GPIO 3/SEN 4 (ขา 18) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 3 หรือ ขาอินพุตอนาล็อก 4
- GPIO 2/SEN 3 (ขา 19) ขาอินพุตเอาต์พุตดิจิทัล 2 หรือ ขาอินพุตอนาล็อก 3
- SEN 2 (ขา 20) ขาอินพุตอนาล็อก 2

3.1.3.2 การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFi Module) กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมต่อโมดูลสื่อสารไร้สายเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งข้อมูลแบบไร้สายไปสู่ด้านรับข้อมูลทำได้โดยการต่อขา 6 ซึ่งเป็นขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับขา 3 ซึ่งเป็นขา UART_Rx ของโมดูลสื่อสารไร้สายเพื่อส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับที่เชื่อมต่ออยู่ใน Wireless Local Area Network (WLAN) เดียวกัน ในที่นี้ต้องมีการแบ่งแรงดันไฟฟ้าก่อนที่จะส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังโมดูลสื่อสารไร้สาย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาด 5 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าอินพุตของโมดูลสื่อสารไร้สายไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องมีขนาด 3.3 โวลต์ ดังรูปที่ 3.2

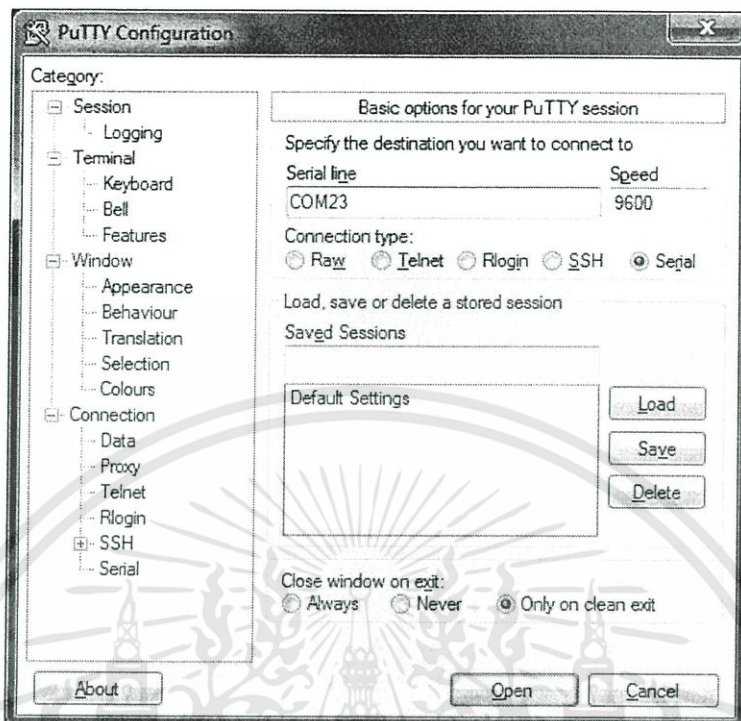
3.1.3.3 การตั้งค่าโมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFly Module)

การตั้งค่านั้นจำเป็นต้องใช้ Software ที่สามารถติดต่อโมดูลสื่อสารไร้สายผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมได้ ในที่นี่จะใช้โปรแกรม PuTTY ในการตั้งค่าการทำงานต่างๆ ดังรูปที่ 3.6 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการตั้งค่าดังนี้



รูปที่ 3.6 โปรแกรม PuTTY

เมื่อเปิดโปรแกรม PuTTY ต้องทำการใส่เลขพอร์ตอนุกรมและกำหนดอัตราการส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที เพื่อทำการติดต่อคอมพิวเตอร์กับโมดูลสื่อสารไร้สาย จากนั้นทำการเลือกที่ปุ่ม Open เพื่อติดต่อกับโมดูลสื่อสารไร้สายในพอร์ตนั้น ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม

โดยในการตั้งโมดูลสื่อสารไร้สายนั้นจำเป็นต้องตั้งค่าโดยการพิมพ์คำสั่งต่างๆ เพื่อให้โมดูลสื่อสารไร้สายเชื่อมต่อกับเครือข่ายไร้สาย และส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับที่เชื่อมต่ออยู่ในเครือข่ายไร้สายเดียวกันได้ โดยคำสั่งต่างๆ ที่ใช้ในการตั้งค่ามีดังต่อไปนี้

- \$\$\$ (เพื่อเปิดโหมดการใช้คำสั่ง CMD)
- scan (เพื่อค้นหาเครือข่ายที่โมดูลสามารถติดต่อได้)
- set wlan auth 0 (Security Type : Open (Default))
- set ip dhcp 0 (Static ip)
- set wlan ssid (WLAN Name ถ้ามีเว้นวรรคให้ใช้ \$ แทนการเว้นวรรค)
- set wlan phrase (รหัสผ่าน ถ้าหากเป็น Security Type : Open (Default) ไม่ต้องใส่)
- set ip address (ตั้งค่า IP ให้โมดูลสื่อสารไร้สาย)
- set ip netmask (ส่วนใหญ่เป็น 255.255.255.0)
- set ip gateway (ตั้งค่า IP ของ Router)
- set ip proto 18 (ตั้งค่าโปรโตคอล เป็น HTTP)
- set ip host (ตั้งค่า IP- ปลายทางที่ต้องการจะส่งข้อมูลไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

-set ip remote 80 (ตั้งค่าพอร์ตที่ใช้ติดต่อปลายทาง)
-set com remote GET$/userdata.php?DATA=
(ตั้งค่าข้อมูลที่ใช้ส่งและส่งไปยังไฟล์ .php ชื่ออะไร)
-set option format 1 (ส่ง HTML Header เมื่อมีการเชื่อมต่อ)
-set uart mode 2 (เชื่อมต่อโดยใช้ TRIGGER mode)
-save
-reboot

```

โดยแสดงวิธีการตั้งค่าได้ดังรูปที่ 3.8 คำสั่ง \$\$\$ ใช้เพื่อเปิดโหมดการใช้คำสั่ง CMD จากนั้นใช้คำสั่ง scan เพื่อค้นหาเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ โดยจะมีรายละเอียดที่ใช้เบื้องต้น คือ ชื่อของเครือข่าย และชนิดการรักษาความปลอดภัยของระบบ ต่อมาทำการใช้คำสั่ง set wlan auth 0 เพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่าย KMITL-WIFI ซึ่งมีการรักษาความปลอดภัยของระบบเป็นแบบ Open (Default) ในส่วนต่อมาใช้คำสั่ง set ip dhcp 0 เพื่อให้โมดูลสื่อสารไร้สายมี IP ตามที่ได้ตั้งค่าไว้ แล้วใช้คำสั่ง set wlan ssid KMITL-WIFI เพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่าย KMITL-WIFI ต่อจากนั้นตั้งค่า IP ให้กับโมดูลสื่อสารไร้สายโดยใช้คำสั่ง set ip address โดย IP ที่ใช้ในการทดลอง คือ 192.168.239.151 ขั้นตอนต่อไปทำการตั้งค่า subnetmask และ gateway ตามอุปกรณ์กระจายสัญญาณของเครือข่าย โดยใช้คำสั่ง set ip netmask 255.255.0.0 และ set ip gateway 192.168.0.1 ตามลำดับ แล้วใช้คำสั่ง set ip protocol 18 เพื่อตั้งค่าโปรโตคอลในการส่งข้อมูลเป็นแบบ HTTP จากนั้นตั้งค่า IP ปลายทางที่ต้องการให้โมดูลสื่อสารไร้สายส่งข้อมูลไปโดยใช้คำสั่ง set ip host 192.168.239.154 พร้อมทั้งใช้คำสั่ง set ip remote 80 เพื่อตั้งค่าพอร์ตในการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ขั้นตอนต่อมาใช้คำสั่ง set com remote GET\$/userdata.php?DATA= เพื่อให้มีการส่งข้อมูลแบบ GET ไปยังไฟล์ชื่อ userdata.php โดยมีตัวแปรชื่อ DATA ตั้งค่าเงื่อนไขการส่งข้อมูลของ HTML Header เมื่อมีการเชื่อมต่อ และเชื่อมต่อโดยใช้ TRIGGER mode โดยใช้คำสั่ง set option format 1 และ set uart mode 2 ตามลำดับ ในขั้นตอนสุดท้ายใช้คำสั่ง save เพื่อบันทึกการตั้งค่า และใช้คำสั่ง reboot เพื่อให้โมดูลสื่อสารไร้สายทำงานจากการตั้งค่าล่าสุด

```

COM23 - PuTTY
CMD
<2.32> scan
<2.32>
SCAN:Found 7
Num      SSID      Ch  RSSI  Sec  MAC Address  Suites
1         T213  01  -54  WPA2PSK  94:44:52:a3:7b:08  AESM-AES  1104
2         KMITL-WIFI 06  -68   Open  5c:d9:98:01:52:78   2104
3         KMITL-WIFI 08  -45   Open  5c:d9:98:01:52:43   2100
4         KMITL-WIFI 08  -73   Open  5c:d9:98:01:52:30   2100
5         CSSRG-Private 10 -63  WPA2PSK  84:c9:b2:12:3f:b8  AES/TKIPM-TKIP  310c
6         BiSP's Network 11 -60  WPA2PSK  28:cf:da:ae:05:11  AESM-AES  3104
7         BiSP's Guest Network 11 -59  WPA2PSK  2a:cf:da:ae:05:10  AESM-AES  3104

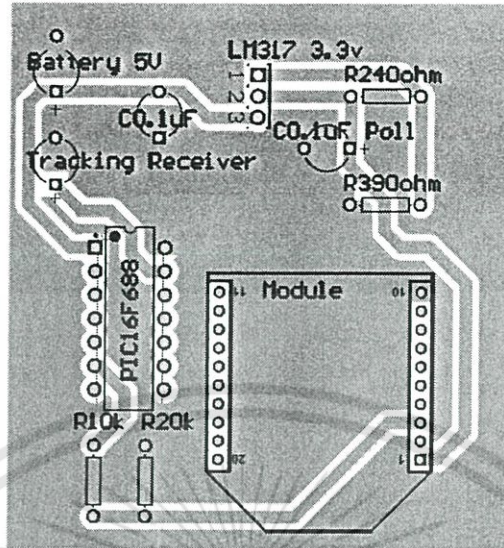
<2.32> set wlan auth 0
AOK
<2.32> set ip dhcp 0
AOK
<2.32> set wlan ssid KMITL-WIFI
AOK
<2.32> set ip address 192.168.239.151
AOK
<2.32> set ip netmask 255.255.0.0
AOK
<2.32> set ip gateway 192.168.0.1
AOK
<2.32> set ip protocol 18
AOK
<2.32> set ip host 192.168.239.154
AOK
<2.32> set ip remote 80
AOK
<2.32> set com remote GETS/userdata.php?DATA=
AOK
<2.32> set option format 1
AOK
<2.32> set uart mode 2
AOK
<2.32> save

```

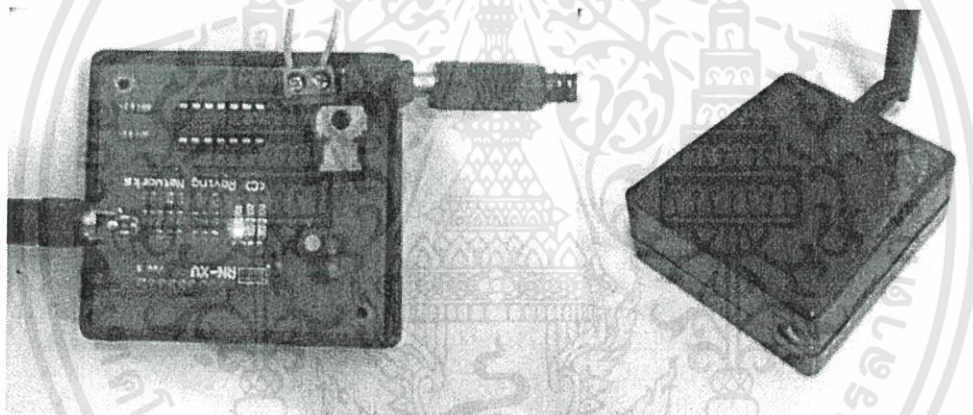
รูปที่ 3.8 การตั้งค่าโมดูลสื่อสารไร้สาย

3.1.4 วงจรการส่งข้อมูล

ในส่วนของการส่งข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้รับนั้นจะทำการสร้างแผนวงจรตามไดอะแกรมการทำงานในรูปที่ 3.2 ซึ่งสามารถออกแบบได้ดังรูปที่ 3.9 และทำการสร้างชิ้นงานออกมาได้ตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 การออกแบบวงจรควบคุมเพื่อนำมาสร้างชิ้นงาน



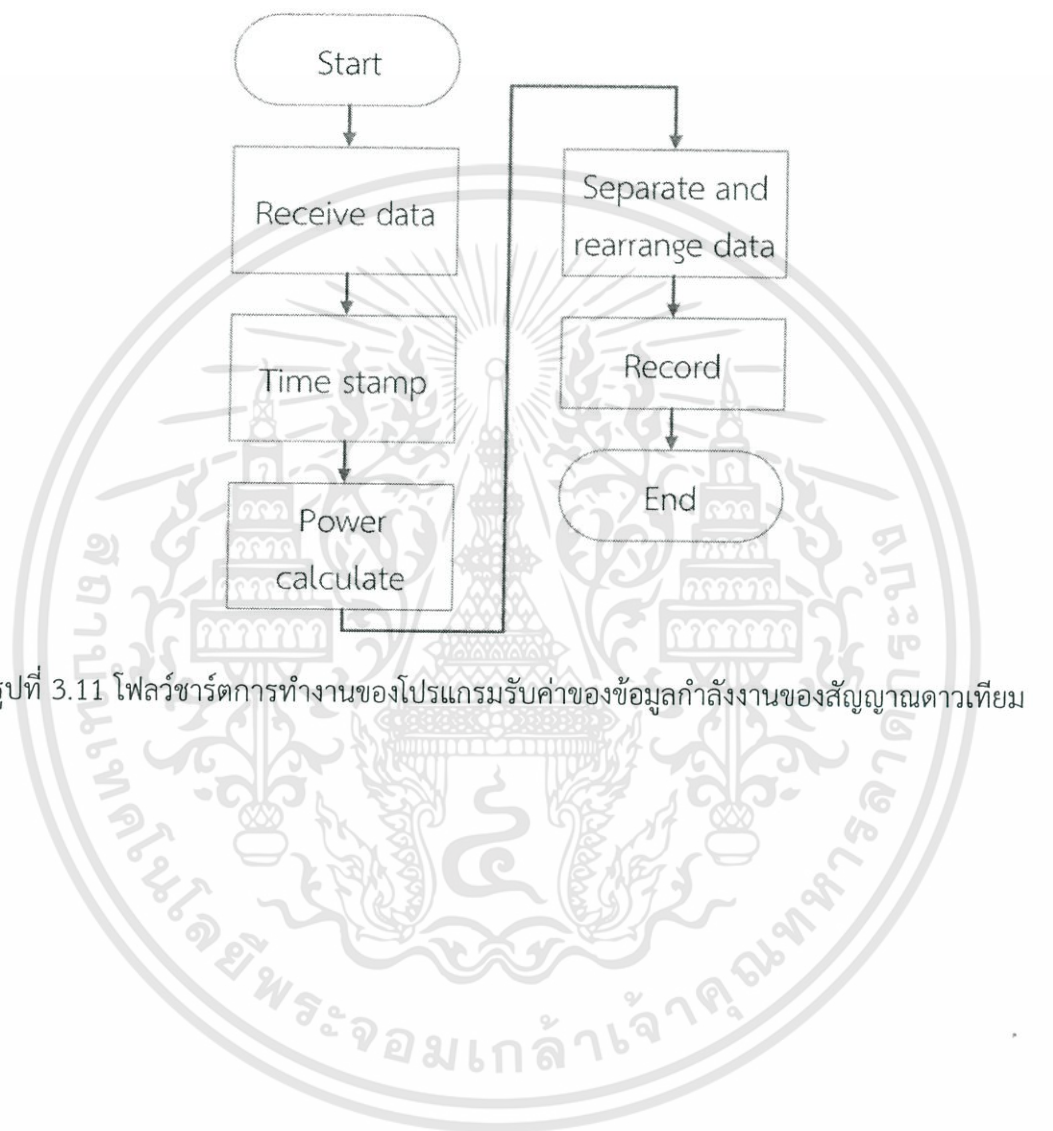
รูปที่ 3.10 ชิ้นงานที่สร้างตามทีออกแบบไว้

จากรูปที่ 3.10 ชิ้นงานที่สร้างเสร็จแล้วสามารถนำไปใช้งานได้ตามที่ออกแบบไว้ข้างต้น

3.1.5 โปรแกรมการจัดเก็บข้อมูลบนคอมพิวเตอร์

ในส่วนของการรับข้อมูลจะรับข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์ฝั่งรับที่ทำการเชื่อมต่ออยู่ในเครือข่ายไร้สายเดียวกันกับโมดูลสื่อสารไร้สายของด้านส่ง โดยรับข้อมูลผ่านโปรโตคอล HTTP ที่มีการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา PHP รับค่าจากโมดูลสื่อสารไร้สาย และส่งต่อไปยังส่วนบันทึกข้อมูล ซึ่งสามารถแสดงไฟล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมการรับข้อมูลกำลังงานสัญญาณดาวเทียมได้ดังรูปที่ 3.11 และออกแบบให้ทำการบันทึกผลลงบนฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูลได้โดยใช้โปรแกรม AppServ ในการเปิดแฟ้มข้อมูล โดยการออกแบบการบันทึกข้อมูลต่างๆ แสดง

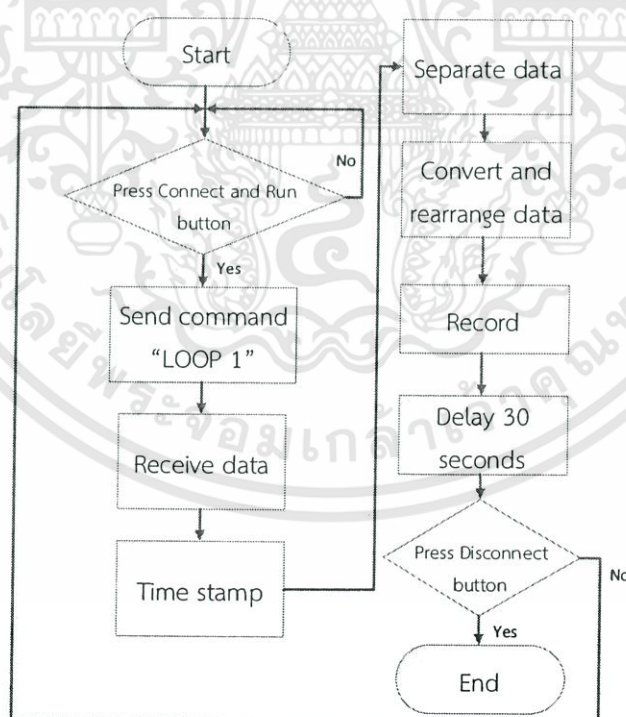
ตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3.12 ในส่วนของการรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจะรับข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 ในการแปลงและจัดเรียงข้อมูล รวมถึงบันทึกข้อมูลไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมการรับข้อมูลสภาพภูมิอากาศได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.11 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมรับค่าของข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม

	←T→	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:29	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:31	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:33	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:35	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:37	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:39	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:43	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:46	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:48	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:50	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:52	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:54	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:56	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:50:58	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:51:00	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:51:02	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:51:04	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:52:12	1 -81.29
<input type="checkbox"/>			2013-09-15 20:52:14	1 -81.29

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมบนฐานข้อมูล



รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมรับค่าของข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

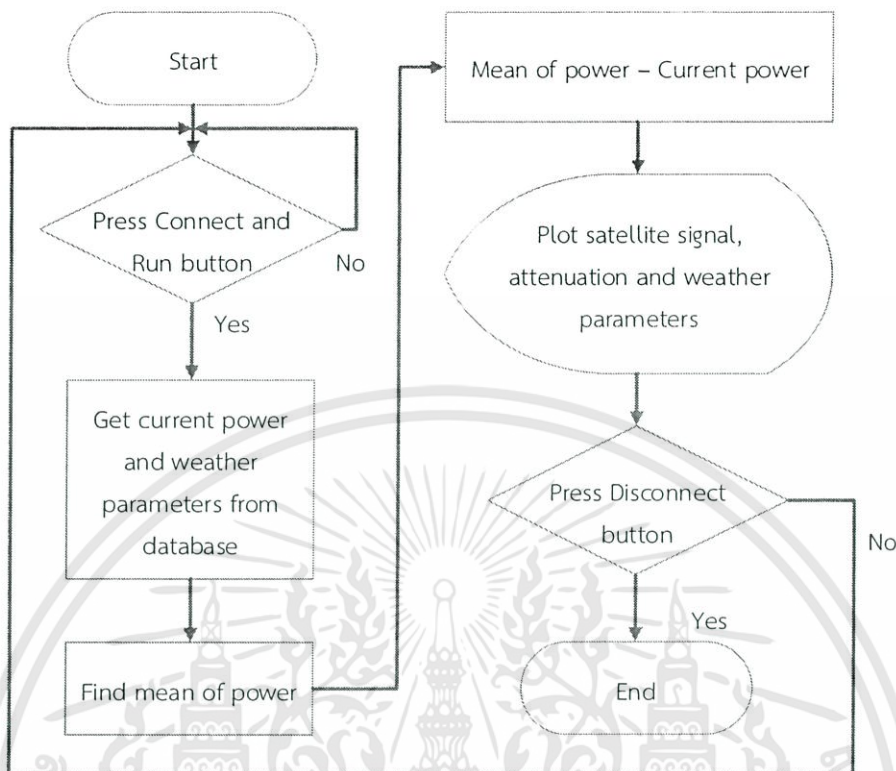
←T→	Time	Barometer	OutTemp	WindSpeed	WindDirect	OutHum	RainRate
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:36:18	29.88	21.89	0	8.2	80	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:35:48	29.88	21.89	1	8.2	80	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:35:18	29.88	21.89	0	8.2	80	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:34:48	29.88	21.89	0	8.2	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:34:17	29.88	21.89	1	8.2	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:33:47	29.88	21.89	1	7.9	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:33:17	29.88	21.94	0	6.9	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:32:47	29.88	21.94	0	6.9	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:32:16	29.88	21.94	0	6.8	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:31:46	29.88	21.94	0	6.8	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:31:16	29.88	21.94	0	6.8	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:30:46	29.88	21.94	0	6.8	79	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:26:42	29.88	22.06	0	6.8	78	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:18:41	29.88	22.22	0	5.9	77	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:18:11	29.88	22.22	0	5.9	77	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:14:20	29.88	22.33	0	5.9	77	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:13:27	29.88	22.33	0	5.9	77	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:12:57	29.88	22.33	0	5.9	77	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-26 00:12:26	29.88	22.33	0	5.9	77	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-25 22:30:19	29.88	22.5	0	9.6	73	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-25 22:29:49	29.88	22.5	0	9.6	73	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-25 22:29:19	29.88	22.5	0	9.6	73	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-25 22:18:27	29.88	22.56	0	9.4	72	0
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> ✕	2014-01-25 22:17:56	29.88	22.56	2	7.4	72	0

รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการบันทึกข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนฐานข้อมูล

จากรูปที่ 3.14 โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลของวันเวลา ความกดอากาศ (นิ้วปรอท) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ความเร็วลม (ไมล์ต่อชั่วโมง) ทิศทางลม (องศา) ความชื้น (%) และอัตราการตกของฝน (มิลลิเมตรต่อชั่วโมง) ลงบนฐานข้อมูล

3.1.6 โปรแกรมคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม

การออกแบบโปรแกรมคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม สามารถแสดงไฟล์เวิร์กชอตได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม

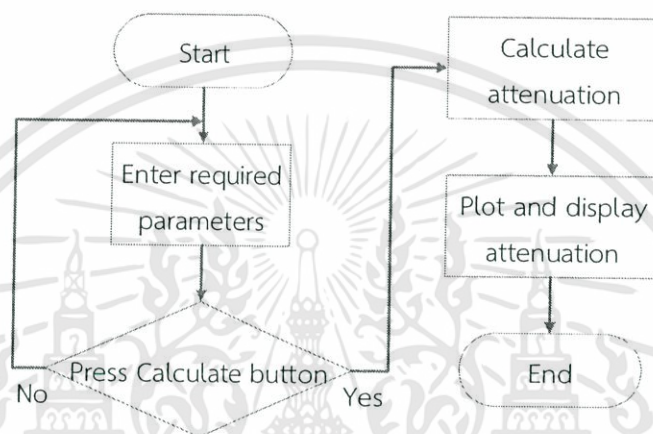
จากรูปที่ 3.15 เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะทำการดึงค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมปัจจุบันจากฐานข้อมูล จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม ณ ขณะนั้น และนำค่าเฉลี่ยของกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมลบกับค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมปัจจุบัน แล้วจึงแสดงข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมในรูปแบบกราฟบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

3.1.7 โปรแกรมการคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

ในการออกแบบโปรแกรมการคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้จะออกแบบโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010 ซึ่งใช้ภาษา C# ในการเขียน

3.1.7.1 การออกแบบโปรแกรมการคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม

โปรแกรมการคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ Crane ซึ่งสามารถแสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมของทั้ง 2 แบบจำลองได้ดังรูปที่ 3.16

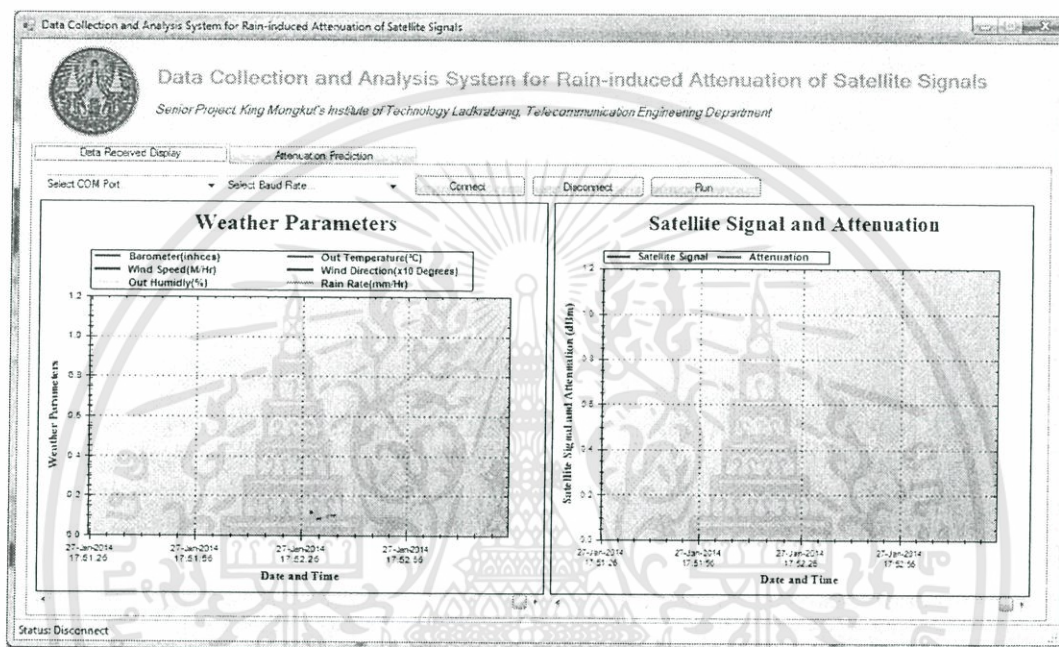


รูปที่ 3.16 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane

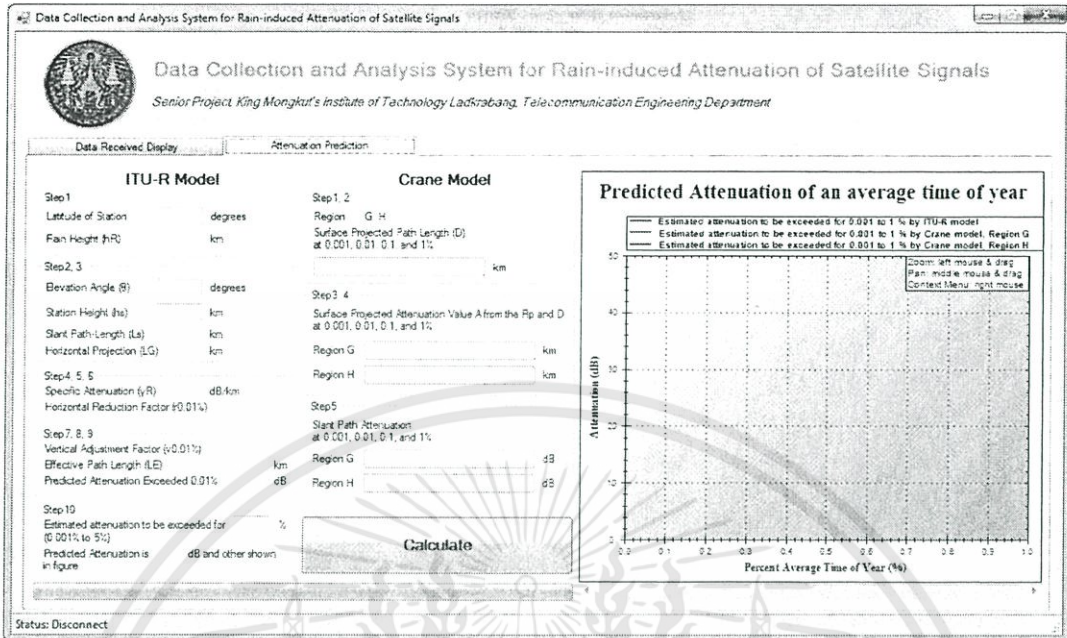
จากรูปที่ 3.16 เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงานจะรอรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการ เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม Calculate โปรแกรมจะนำค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการคำนวณไปคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณ และทำการพล็อตและแสดงการลดทอนของสัญญาณในรูปกราฟ

3.1.7.2 การออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนของการแสดงผลการรับข้อมูลแบบเวลาจริง (Real-time) ซึ่งจะแสดงข้อมูลของกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม การลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้รับดังรูปที่ 3.17 และส่วนของการแสดงผลการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ในส่วนของการแสดงผลการรับข้อมูล



รูปที่ 3.18 ส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ในส่วนของการแสดงผลการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม

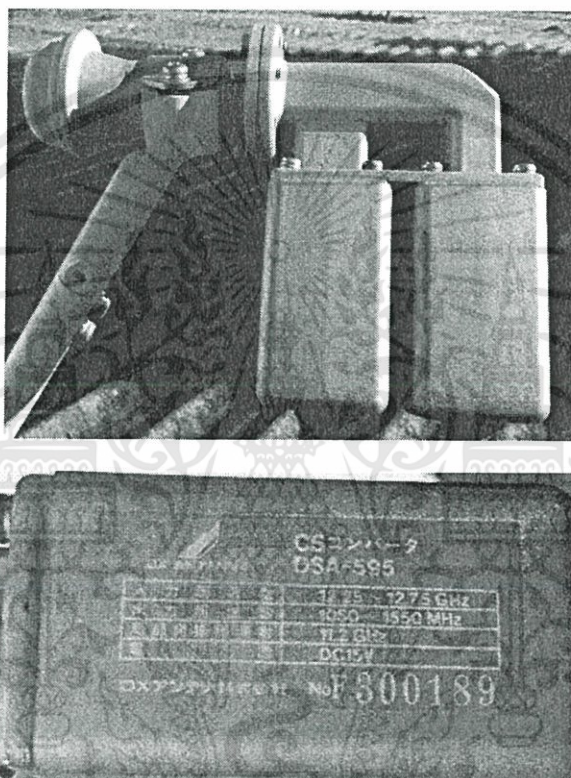
จากรูปที่ 3.17 ผู้ใช้ทำการเลือกหมายเลขพอร์ต (COM Port) และบอรรถเรท (Baud rate) หลังจากกดปุ่ม Connect โปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อกับพอร์ตสื่อสารอนุกรมเพื่อเตรียมการรับและจัดเก็บข้อมูลลงบนฐานข้อมูล เมื่อกดปุ่ม Run โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากฐานข้อมูล พร้อมทั้งคำนวณค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และแสดงผลในรูปแบบกราฟในระบบเวลาจริง การหยุดการเชื่อมต่อทำได้โดยการกดปุ่ม Disconnect

จากรูปที่ 3.18 เมื่อผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลที่โปรแกรมต้องการ และกดปุ่ม Calculate โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane พร้อมทั้งพล็อตและแสดงผลในรูปแบบกราฟ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ชุดจานรับสัญญาณดาวเทียม

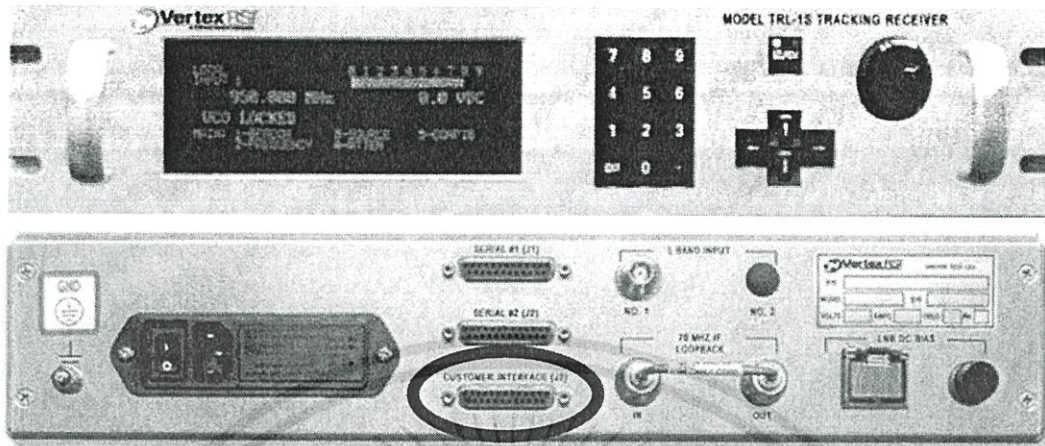
ชุดจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ ถูกติดตั้งอยู่บนอาคารฟ้าของตึกสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม โดยรับสัญญาณดาวเทียมในย่าน Ku-Band จากดาวเทียมไทยคม 5 และใช้ LNB (Low Noise Block Down Converter) รุ่น DX ANTENNA DSA-595 ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 LNB DX ANTENNA DSA-595

3.2.2 เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม (Tracking Receiver)

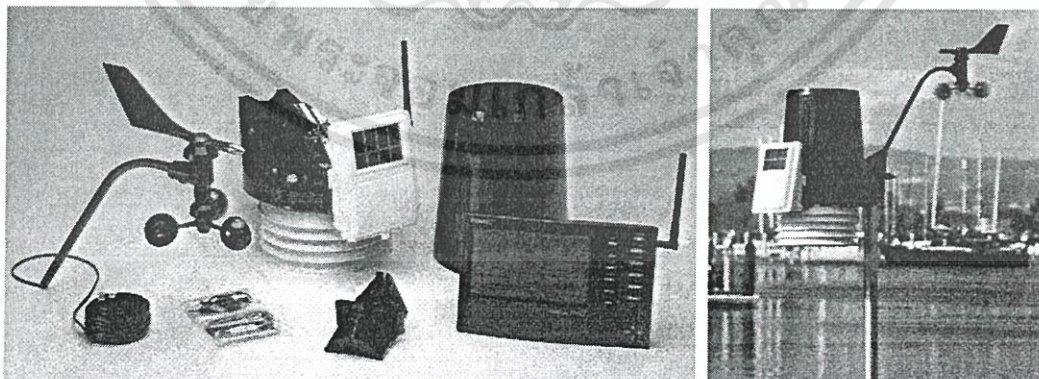
เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมที่ใช้เป็นของบริษัท Vertex Communication รุ่น TRL-1S ใช้รับสัญญาณบีมคอน (beacon) จากดาวเทียม โดยตัวเครื่องสามารถรับสัญญาณได้ในช่วงกำลัง -50 ถึง 1 dBm และความถี่ในช่วง 950-1750 MHz โดยมี Output Voltage ซึ่งสัมพันธ์กับค่ากำลังงานของสัญญาณในหน่วย dBm ซึ่งผู้จัดทำจะทำการรับสัญญาณนี้ออกมาเพื่อแปลงสัญญาณเป็นสัญญาณดิจิตอลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถดึงสัญญาณนี้ออกมาได้จากพอร์ต Customer Interface แสดงได้ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม (Tracking Receiver)

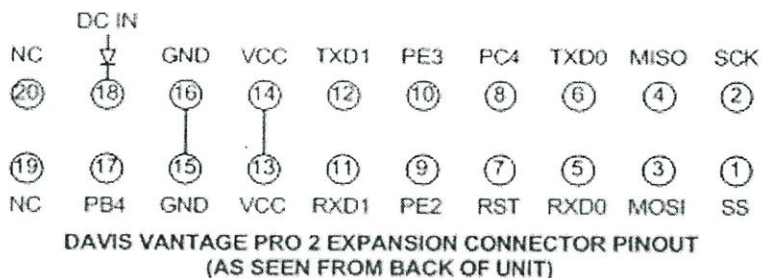
3.2.3 เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ (Weather Station)

เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศที่ใช้เป็นของบริษัท Davis Instruments รุ่น Wireless Vantage Pro2™ with Standard Radiation Shield แสดงดังรูปที่ 3.21 ใช้ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศซึ่งมีเซนเซอร์ต่างๆ ดังนี้ เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบ Tipping Bucket ใช้วัดปริมาณน้ำฝนสะสม เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และเซนเซอร์วัดความเร็วและทิศทางของลม โดยข้อมูลต่างๆ จากเซนเซอร์นั้นจะถูกส่งแบบไร้สาย (ระยะ 300 เมตรสำหรับ Line of sight และระยะ 60 ถึง 120 เมตร สำหรับผ่านผนังห้อง) หรือผ่านสายเคเบิลมายังคอนโซล เพื่อเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศและเพื่อเตรียมนำเอาข้อมูลที่ได้นี้มาวิเคราะห์ต่อไป โดยสามารถรับข้อมูลได้เร็วที่สุดทุกๆ 2.5 วินาที และสามารถใช้พลังงานได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดย Pin layout ของ Expansion port ของคอนโซล แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศ (Weather Station) [20]

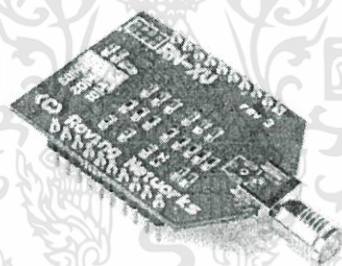
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



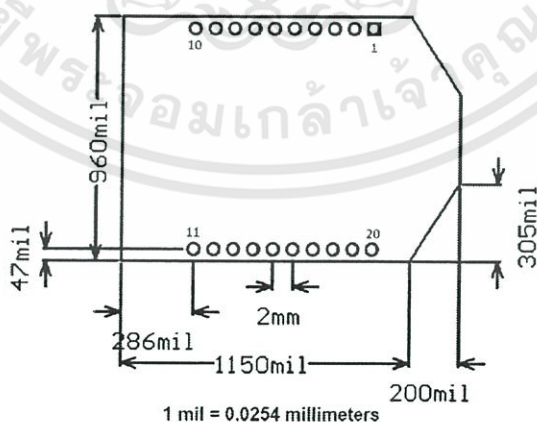
รูปที่ 3.22 Expansion port pin layout ของคอนโซล [21]

3.2.4 โมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFly Module)

นำมาใช้ส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังภาครับ โดยโมดูลสื่อสารไร้สายที่ใช้อยู่นี้เป็นของบริษัท Roving Network รุ่น WRL-11047 หรือ RN-XV WiFly Module - SMA Connector เป็นโมดูล Serial (TTL) to Wifi (802.11 b/g) มีจุดต่อสายอากาศเป็นหัว SMA มี Protocol TCP/IP stack includes DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, HTTP client, FTP client and TCP เพื่อใช้ในการส่งข้อมูล ดังรูปที่ 3.23 และมีขนาดตามรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.23 RN-XV WiFly Module - SMA Connector [19]



รูปที่ 3.24 ขนาดของ RN-XV WiFly Module - SMA Connector [19]

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การวัดผลตอบสนองของแรงดันกับค่ากำลังงานจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม และการคำนวณเพื่อสร้างสมการเชิงเส้น

3.3.2 การทดสอบส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย

3.3.3 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ โดยใช้อนาล็อกอินพุตจากเพาเวอร์ซัพพลาย และข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม

3.3.3.1 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้ MAX232

3.3.3.2 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย

3.3.4 การทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์

3.3.4.1 การทดสอบรับข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมมายังคอมพิวเตอร์

3.3.4.2 การทดสอบส่งคำสั่งเพื่อดึงข้อมูลจากคอนโซลมายังคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม

3.3.5 การทดสอบการรับข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม และเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์

3.3.6 การทดสอบโปรแกรมดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

3.3.7 การทดสอบการดึงข้อมูลกำลังงานสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากฐานข้อมูล พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์

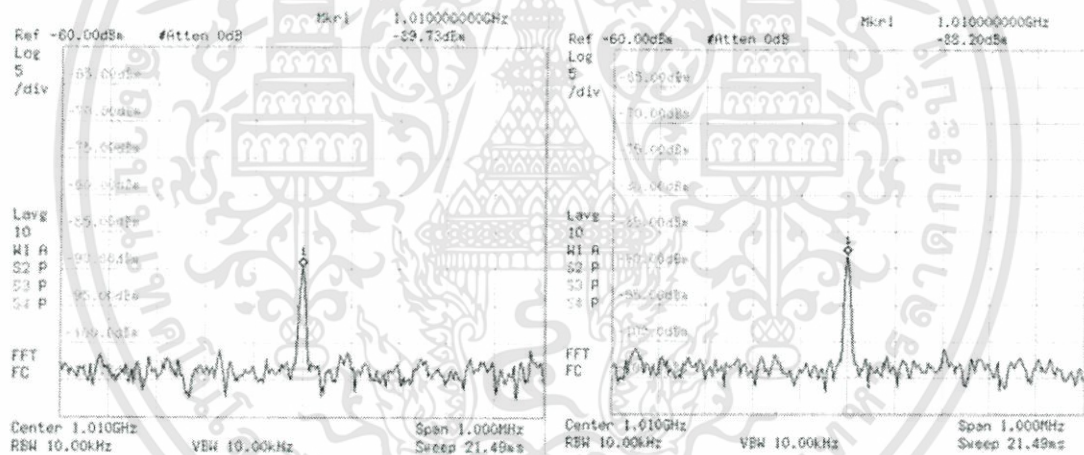
3.3.8 การทดสอบโปรแกรมคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

บทที่ 4

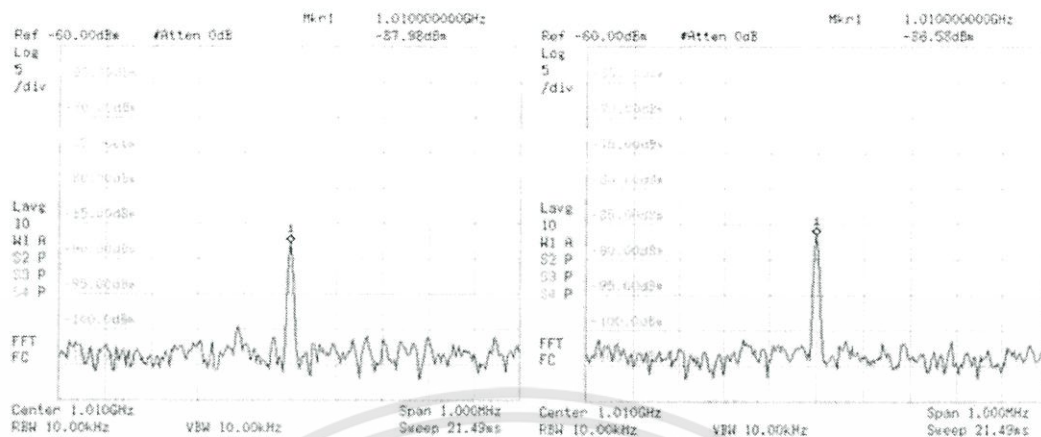
ผลการทดลอง

4.1 การวัดผลตอบสนองของแรงดันกับค่ากำลังงานจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม

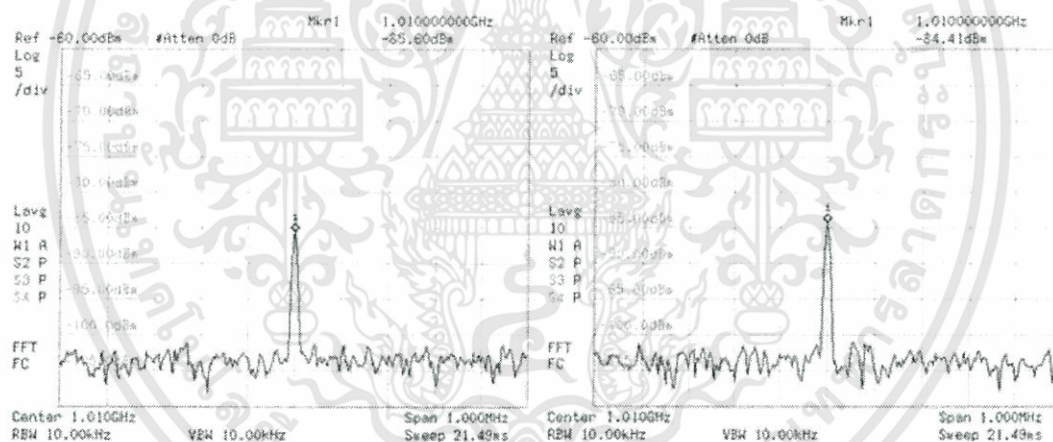
ทำการทดลองป้อนสัญญาณจาก Radio Frequency Generator โดยใช้ค่ากำลังงานของสัญญาณในระดับต่างๆ ที่ทำให้แรงดันจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 0 ถึง 10 โวลต์ โดยเพิ่มทีละ 0.5 โวลต์ ที่การลดทอน 10 dBm ความถี่ 1.01 GHz และใช้ Spectrum Analyzer ในการวัดค่ากำลังงานของสัญญาณที่ได้ สามารถแสดงค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ระดับแรงดันต่างๆ ได้ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.11 ตามลำดับ



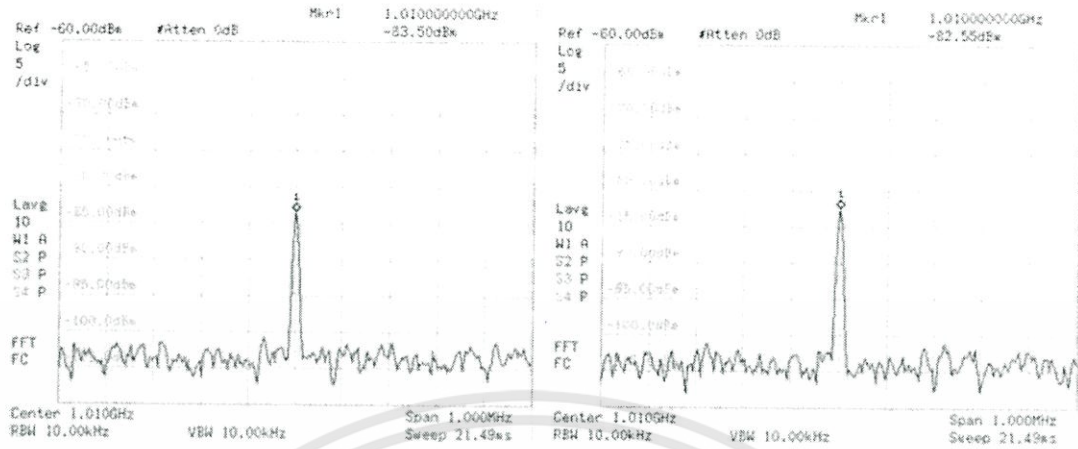
รูปที่ 4.1 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 0 โวลต์ (ซ้าย) และ 0.5 โวลต์ (ขวา)



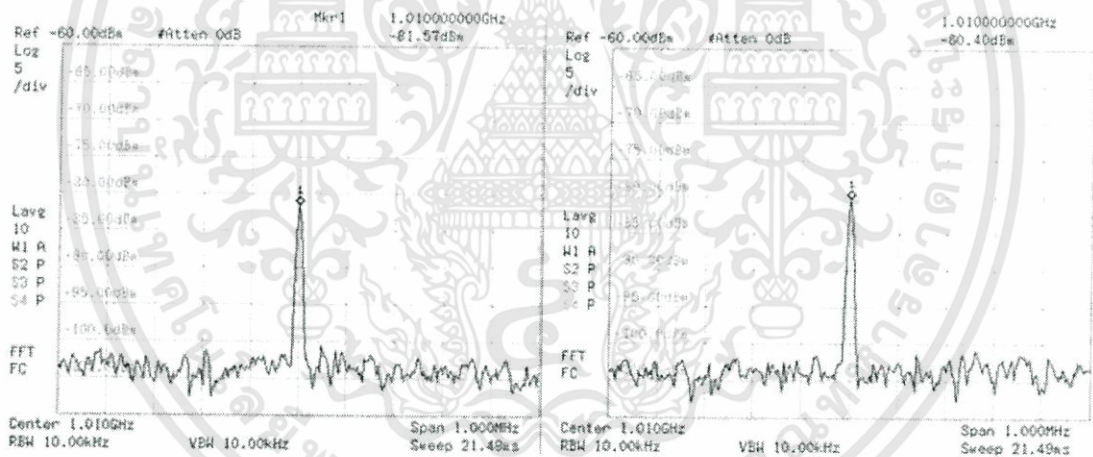
รูปที่ 4.2 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 1 โวลต์ (ซ้าย) และ 1.5 โวลต์ (ขวา)



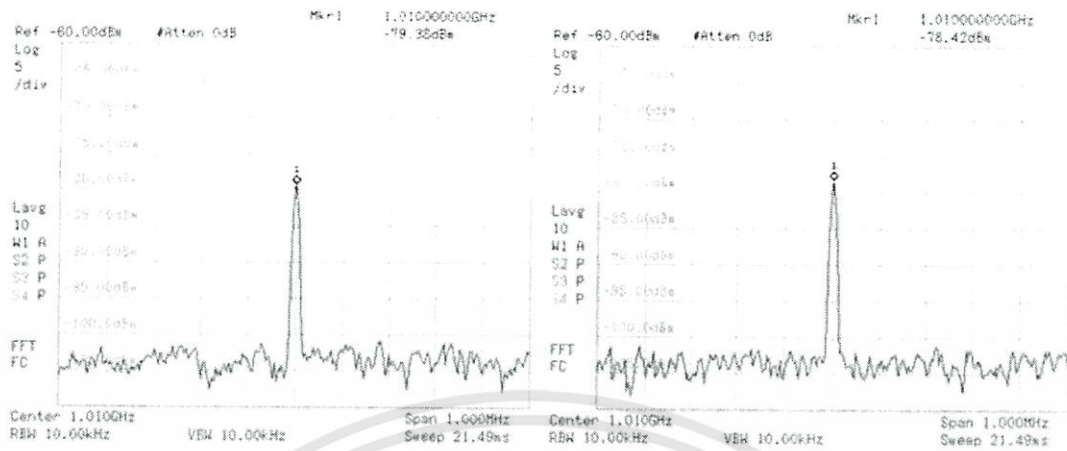
รูปที่ 4.3 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 2 โวลต์ (ซ้าย) และ 2.5 โวลต์ (ขวา)



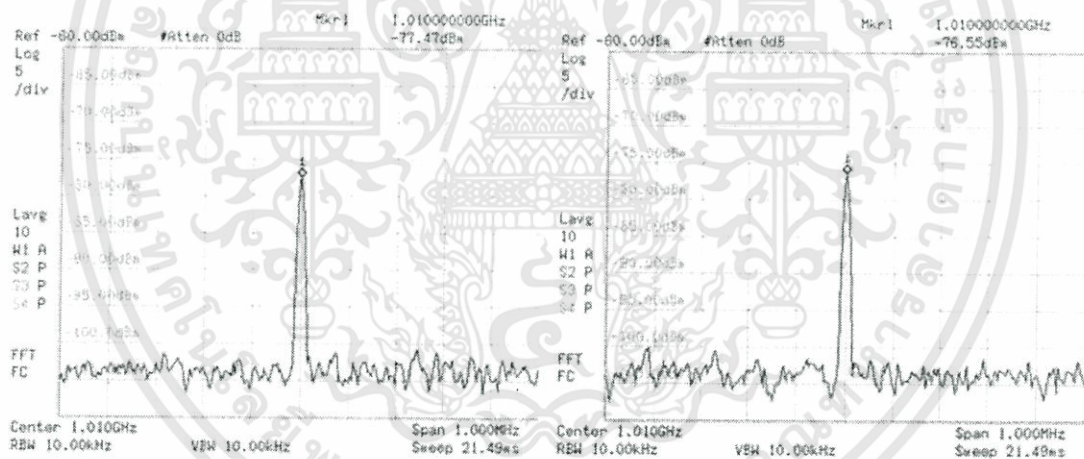
รูปที่ 4.4 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 3 โวลต์ (ซ้าย) และ 3.5 โวลต์ (ขวา)



รูปที่ 4.5 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 4 โวลต์ (ซ้าย) และ 4.5 โวลต์ (ขวา)



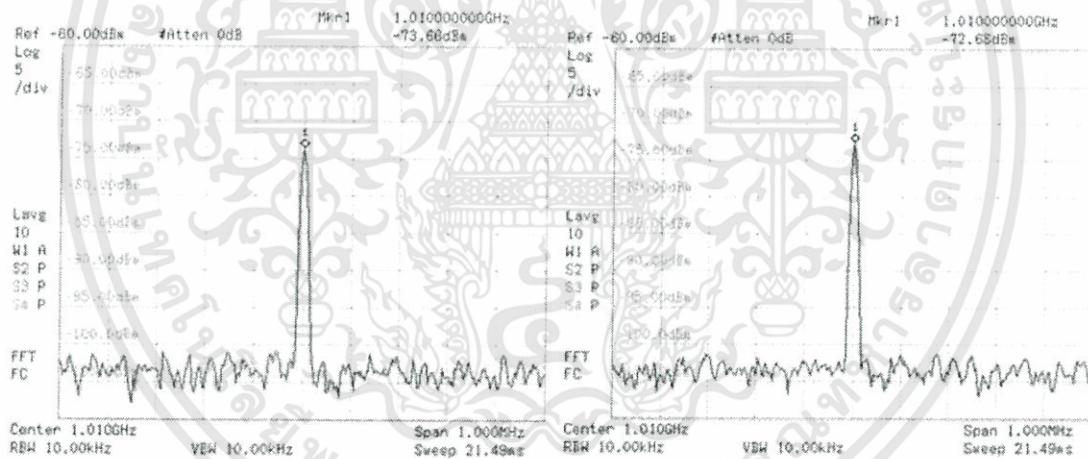
รูปที่ 4.6 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 5 โวลต์ (ซ้าย) และ 5.5 โวลต์ (ขวา)



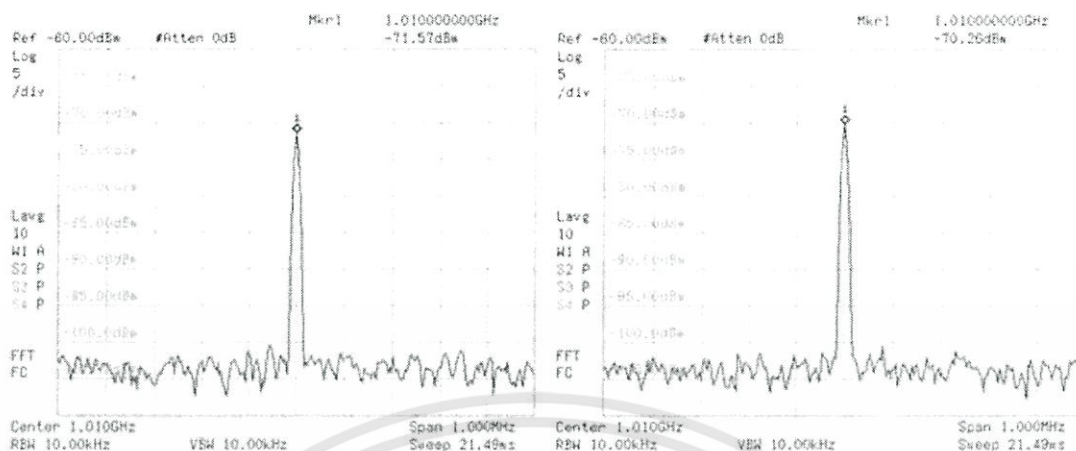
รูปที่ 4.7 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 6 โวลต์ (ซ้าย) และ 6.5 โวลต์ (ขวา)



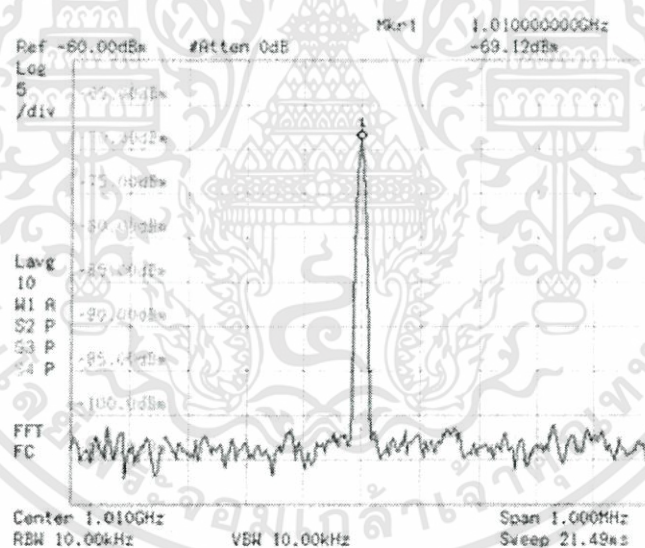
รูปที่ 4.8 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 7 โวลต์ (ซ้าย) และ 7.5 โวลต์ (ขวา)



รูปที่ 4.9 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 8 โวลต์ (ซ้าย) และ 8.5 โวลต์ (ขวา)



รูปที่ 4.10 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 9 โวลต์ (ซ้าย) และ 9.5 โวลต์ (ขวา)



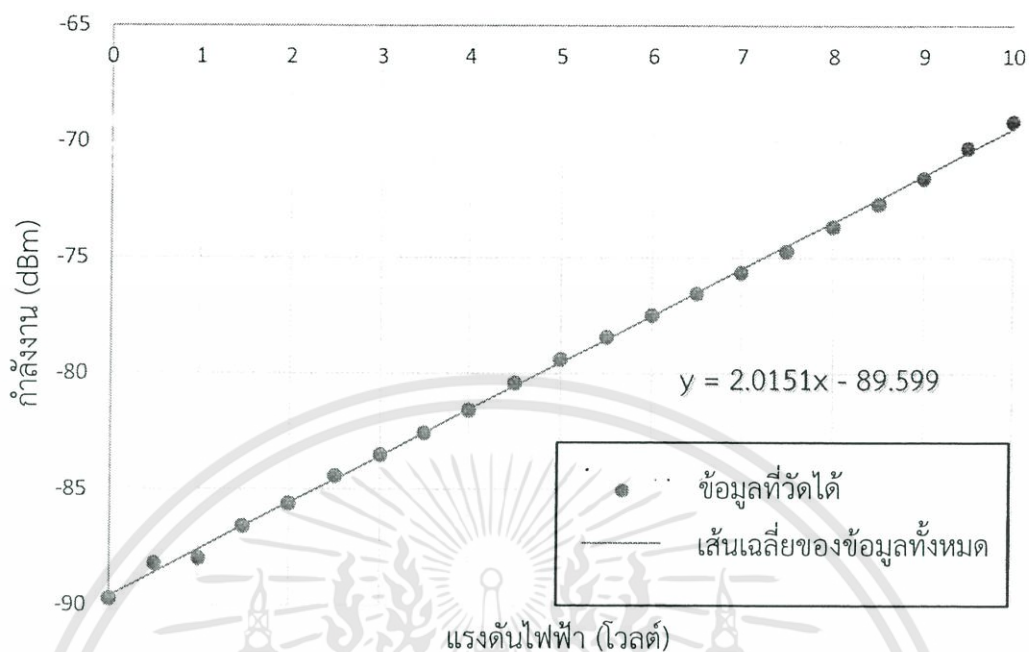
รูปที่ 4.11 ค่ากำลังงานที่วัดได้จาก Spectrum Analyzer ที่ทำให้ระดับแรงดันของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมเป็น 10 โวลต์

จากการทดลองวัดค่ากำลังงานจาก Spectrum Analyzer สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและ กำลังงานที่ป้อนจาก Radio Frequency Generator ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดและเปรียบเทียบค่าแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่ากำลังงาน สัญญาณดาวเทียมกับค่ากำลังงานที่ป้อนจาก Radio Frequency Generator

ระดับแรงดัน (โวลต์)	ค่ากำลังงาน (dBm)
0	-89.73
0.5	-88.20
1.0	-87.98
1.5	-86.58
2.0	-85.60
2.5	-84.41
3.0	-83.50
3.5	-82.55
4.0	-81.57
4.5	-80.40
5.0	-79.38
5.5	-78.42
6.0	-77.47
6.5	-76.55
7.0	-75.65
7.5	-74.72
8.0	-73.66
8.5	-72.68
9.0	-71.57
9.5	-70.26
10	-69.12

เมื่อนำผลตอบสนองระหว่างแรงดันและค่ากำลังงานไปพล็อตกราฟจะเห็นความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวเป็นลักษณะกราฟเส้นตรงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กับ กำลังงาน (dBm)

ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นสมการในการคำนวณค่ากำลังงานจากระดับแรงดันที่อ่านได้ดังนี้

$$y = 2.0151x - 89.599 \quad (\text{dBm}) \quad (4.1)$$

โดยสมการข้างต้นจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม จากระดับแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องวัดกำลังงานสัญญาณดาวเทียมต่อไป

4.2 การทดสอบส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย

ผู้จัดทำได้ทำการทดลองส่งข้อมูลผ่านโมดูลสื่อสารไร้สาย (RN-XV WiFly Module) โดยใช้ซอฟต์แวร์ PuTTY ในการส่งและรับข้อมูล โดยใช้ฐานข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ โดยรูปแบบของข้อมูลที่ส่งเป็นดังรูปที่ 4.13

12345

รูปที่ 4.13 รูปแบบข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ

โดยผลตอบสนองของการส่งข้อมูลผ่านโปรแกรม PuTTY และข้อมูลที่แสดงบนฐานข้อมูลในคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ แสดงได้ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

```
*OPEN*HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 15 Sep 2013 13:45:57 GMT
Server: Apache/2.2.8 (Win32) PHP/5.2.6
X-Powered-By: PHP/5.2.6
Content-Length: 0
Connection: close
Content-Type: text/html

*CLOS*
*OPEN*HTTP/1.1 200 OK
Date: Sun, 15 Sep 2013 13:46:26 GMT
Server: Apache/2.2.8 (Win32) PHP/5.2.6
X-Powered-By: PHP/5.2.6
Content-Length: 0
Connection: close
Content-Type: text/html

*CLOS*
```

รูปที่ 4.14 การตอบสนองของโมดูลสื่อสารไร้สายเมื่อมีการส่งข้อมูล

	Time	data
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2013-09-19 20:49:27	12345
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2013-09-19 20:49:30	12345
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2013-09-19 20:50:52	12345
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2013-09-19 20:50:55	12345
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	2013-09-19 20:50:57	12345

รูปที่ 4.15 ข้อมูลที่รับได้ในฐานข้อมูลของเครื่องคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ

4.3 การทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์

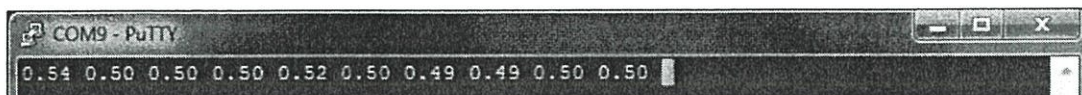
สามารถแบ่งการทดลองจากการป้อนนาฬิกาอินพุตเป็น 2 กรณี ดังนี้

4.3.1 อนุพัทธ์อินพุตจากเพาเวอร์ซัพพลาย

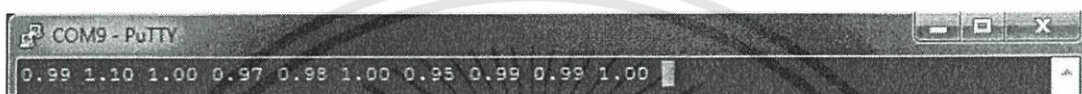
ทำการป้อนนาฬิกาอินพุตจากเพาเวอร์ซัพพลายที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 0.5, 1, 3 และ 5 โวลต์ ไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ โดยสามารถส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับได้ 2 แบบดังนี้

4.3.1.1 การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม

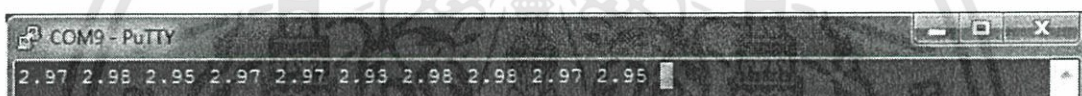
ทำการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้ MAX232 ไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ โดยที่ฝั่งรับใช้ซอฟต์แวร์ PuTTY รับข้อมูลและแสดงผลข้อมูลที่รับได้ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม โดยรูปแบบข้อมูลจะเป็นระดับแรงดัน (โวลต์) แสดงดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.19



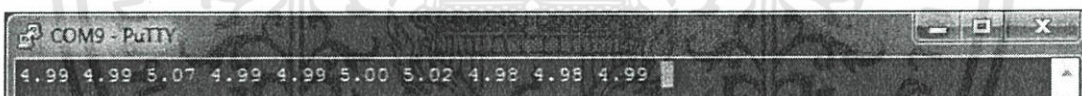
รูปที่ 4.16 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม เมื่ออนาล็อกอินพุตเท่ากับ 0.5 โวลต์



รูปที่ 4.17 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม เมื่ออนาล็อกอินพุตเท่ากับ 1 โวลต์



รูปที่ 4.18 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม เมื่ออนาล็อกอินพุตเท่ากับ 3 โวลต์



รูปที่ 4.19 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม เมื่ออนาล็อกอินพุตเท่ากับ 5 โวลต์

4.3.1.2 การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย

ทำการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับ โดยสำหรับฝั่งรับจะทำการบันทึกข้อมูลที่ได้รับในฐานข้อมูล รวมทั้งแสดงผลข้อมูลดังกล่าว ดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.23 จะเห็นว่าข้อมูลในฐานข้อมูลแสดงให้เห็นว่าแรงดันจากเพาเวอร์ซัพพลายมีค่าไม่คงที่

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	←T→	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:12	0.47	-88.6519
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:14	0.5	-88.5915
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:16	0.46	-88.6721
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:18	0.46	-88.6721
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:20	0.46	-88.6721
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:22	0.48	-88.6318
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:24	0.46	-88.6721
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:26	0.47	-88.6519
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:28	0.49	-88.6116
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:36:30	0.48	-88.6318

รูปที่ 4.20 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุวล็อกอินพุต 0.5 โวลต์

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	←T→	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:31:55	0.98	-87.6242
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:31:57	1	-87.5839
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:31:59	0.95	-87.6847
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:01	0.97	-87.6444
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:03	0.97	-87.6444
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:05	0.94	-87.7048
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:07	0.96	-87.6645
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:09	0.97	-87.6444
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:11	0.95	-87.6847
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:32:14	1	-87.5839

รูปที่ 4.21 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุวล็อกอินพุต 1 โวลต์

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	←T→	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:11	2.99	-83.5739
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:13	2.97	-83.6142
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:15	3	-83.5537
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:17	2.97	-83.6142
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:19	3	-83.5537
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:21	3	-83.5537
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:23	2.93	-83.6948
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:26	2.98	-83.594
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:28	3	-83.5537
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:28:30	2.97	-83.6142

รูปที่ 4.22 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 3 โวลต์

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	←T→	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:04	5.05	-79.4227
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:06	5.06	-79.4026
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:08	5.03	-79.463
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:10	5.03	-79.463
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:12	5.05	-79.4227
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:14	5.03	-79.463
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:16	5.04	-79.4429
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:18	5.03	-79.463
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:20	5.01	-79.5033
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		2013-09-21 19:26:22	5.04	-79.4429

รูปที่ 4.23 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 5 โวลต์

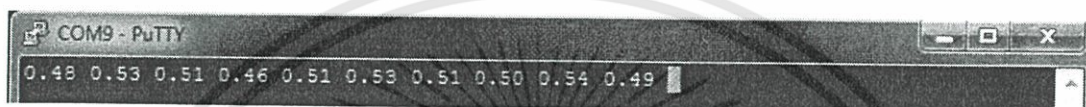
4.3.2 อนุาล็อกอินพุตจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม

ทำการสร้างสัญญาณไซน์ที่ความถี่ 1.01 GHz (จำลองสัญญาณดาวเทียมย่านความถี่ Ku ที่ผ่าน LNB ลงมายังความถี่ L-band แล้ว) ด้วย RF Generator เข้าที่เครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมซึ่งมีกำลังงานสอดคล้องกับขนาดอนุาล็อกเอาต์พุตของเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณ

ดาวเทียมเท่ากับ 0.5, 1, 3 และ 5 โวลต์ ไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับโดยสามารถส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับได้ 2 แบบดังนี้

4.3.2.1 การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้ MAX232

ทำการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้ MAX232 ไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับโดยที่ฝั่งรับใช้ซอฟต์แวร์ PuTTY รับข้อมูลและแสดงผลข้อมูลที่รับได้ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม แสดงดังรูปที่ 4.24 ถึง 4.27



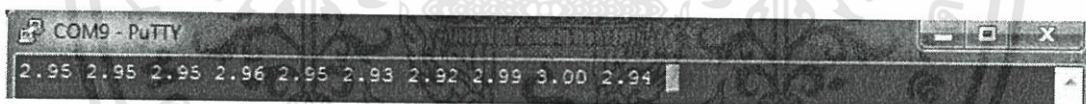
```
COM9 - PuTTY
0.48 0.53 0.51 0.46 0.51 0.53 0.51 0.50 0.54 0.49
```

รูปที่ 4.24 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม
เมื่อนาล็อกอินพุตเท่ากับ 0.5 โวลต์



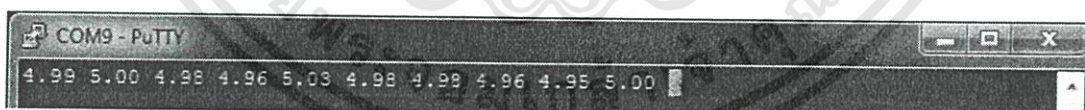
```
COM9 - PuTTY
0.96 1.07 0.99 1.03 1.04 1.04 1.07 1.03 1.03 1.02
```

รูปที่ 4.25 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม
เมื่อนาล็อกอินพุตเท่ากับ 1 โวลต์



```
COM9 - PuTTY
2.95 2.95 2.95 2.96 2.95 2.93 2.92 2.99 3.00 2.94
```

รูปที่ 4.26 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม
เมื่อนาล็อกอินพุตเท่ากับ 3 โวลต์



```
COM9 - PuTTY
4.99 5.00 4.98 4.96 5.03 4.98 4.98 4.96 4.95 5.00
```

รูปที่ 4.27 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม
เมื่อนาล็อกอินพุตเท่ากับ 5 โวลต์

4.3.2.2 การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์โดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย

ทำการส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สายไปยังคอมพิวเตอร์ฝั่งรับโดยที่ฝั่งรับใช้ฐานข้อมูลเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูลที่รับ แสดงดังรูปที่ 4.28 ถึง 4.31

← T →	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:44	0.5	-88.5915
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:46	0.5	-88.5915
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:48	0.53	-88.531
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:50	0.54	-88.5108
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:52	0.51	-88.5713
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:54	0.5	-88.5915
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:57	0.48	-88.6318
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:39:59	0.51	-88.5713
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:40:01	0.5	-88.5915
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:40:03	0.49	-88.6116

รูปที่ 4.28 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุวล็อกอินพุต 0.5 โวลต์

← T →	Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:16	1.03	-87.5234
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:18	1.04	-87.5033
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:20	0.99	-87.604
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:22	0.94	-87.7048
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:25	0.99	-87.604
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:27	1.04	-87.5033
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:29	0.91	-87.7653
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:31	1.05	-87.4831
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:33	1.01	-87.5638
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> X	2013-09-20 17:37:35	0.95	-87.6847

รูปที่ 4.29 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุวล็อกอินพุต 1 โวลต์

←T→			Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:32	2.95	-83.6545
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:34	2.94	-83.6746
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:36	2.96	-83.6343
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:38	2.96	-83.6343
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:40	2.98	-83.594
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:43	2.95	-83.6545
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:44	3	-83.5537
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:46	3.02	-83.5134
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:48	2.98	-83.594
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:34:51	3	-83.5537

รูปที่ 4.30 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้
โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 3 โวลต์

←T→			Time ▲	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:05	4.96	-79.6041
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:06	4.97	-79.584
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:08	4.97	-79.584
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:10	4.97	-79.584
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:12	4.95	-79.6243
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:15	4.97	-79.584
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:17	4.99	-79.5436
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:19	4.95	-79.6243
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:21	4.98	-79.5638
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2013-09-20 17:32:23	4.98	-79.5638

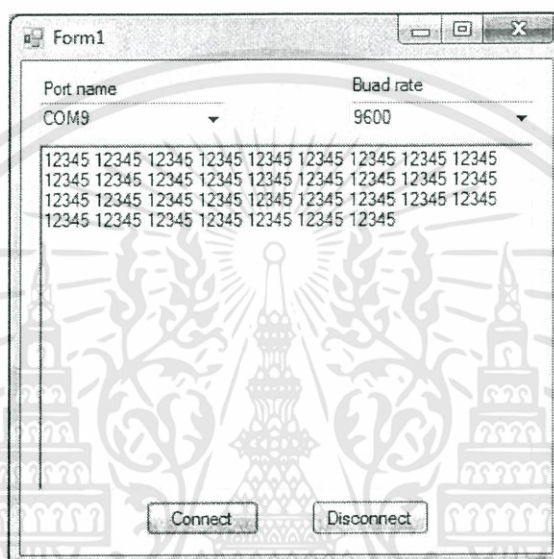
รูปที่ 4.31 ข้อมูลที่รับได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมโดยใช้
โมดูลสื่อสารไร้สาย อนุาล็อกอินพุต 5 โวลต์

จากการทดลองที่ 4.3 พบว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบผ่านพอร์ตอนุกรมสื่อสาร และ
แบบผ่านโมดูลไร้สายไปยังฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลได้

4.4 การทดสอบการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมไปยังคอมพิวเตอร์

4.4.1 การทดสอบส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมมายังคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำได้ทดสอบส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์มายังส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม โดยส่งชุดข้อมูล “12345” ทุกๆ 1 วินาที แสดงผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.32

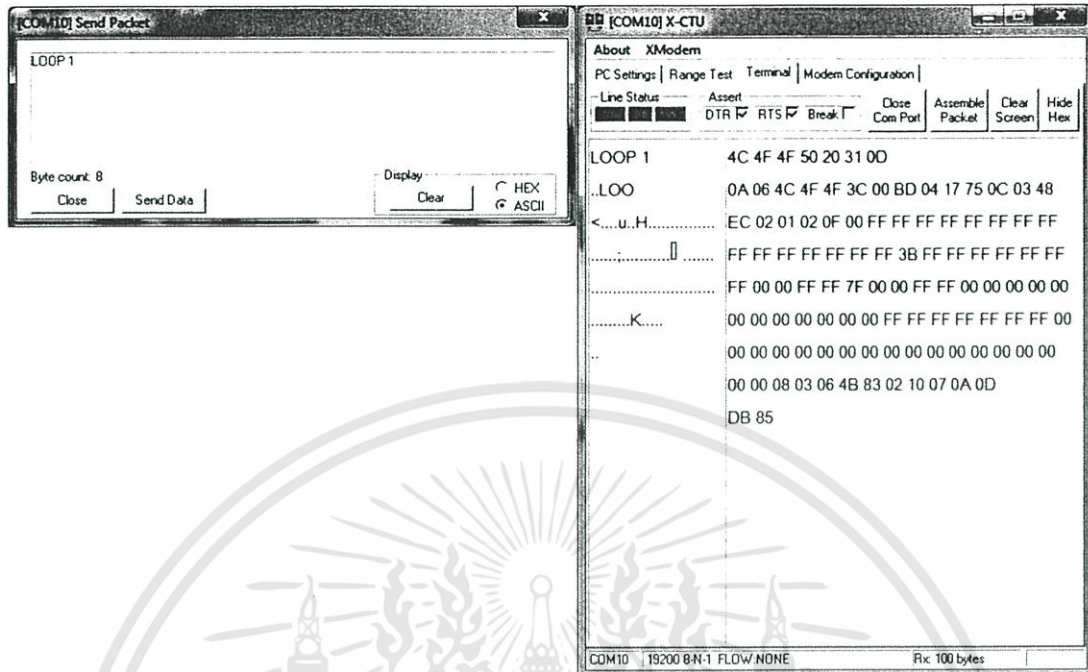


รูปที่ 4.32 การแสดงผลสำหรับการทดสอบส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมมายังส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.32 เมื่อเลือกพอร์ตในช่อง Port name และบอรรถเรท ในช่อง Baud rate และกดปุ่ม Connect โปรแกรมสามารถทำการรับข้อมูลจากพอร์ตสื่อสารอนุกรมมาแสดงบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ได้

4.4.2 การทดสอบส่งคำสั่งเพื่อดึงข้อมูลจากคอนโซลของเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศมายังคอมพิวเตอร์โดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม

ผู้จัดทำได้ทำการเชื่อมต่อระหว่างคอนโซลของเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศกับคอมพิวเตอร์ โปรแกรมคำสั่งโดยผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรมด้วยโปรแกรม X-CTU โดยใช้คำสั่งดังแสดงในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การโปรแกรมคำสั่งเพื่อทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างคอนโซลกับคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.33 ทำการส่งชุดคำสั่ง “LOOP 1\r\n” เพื่อดึงข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ต้องการจาก คอนโซล โดยบรรทัดแรกคือคำสั่งที่ส่งไปยังคอนโซลและบรรทัดที่ 2 เป็นต้นไปคือผลตอบสนองจาก คอนโซล ซึ่งจะเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากคอนโซลอยู่ในรูปของ HEX โค้ด และสามารถแปลงข้อมูลให้เป็น ASCII ได้ โดยในที่นี้ผู้จัดทำจะแปลงเฉพาะข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ต้องการดังนี้

- 75 17: ความกดอากาศ 29575 (นิ้วปรอท/1000)
- 02 EC: อุณหภูมิภายนอก 748 (ค่าจะอยู่ในรูปของ 10 เท่าของค่าจริงในหน่วย °F)
- 01 : ความเร็วลม 1 (ไมล์ ต่อ ชั่วโมง)
- 00 0F: ทิศทางลม 15 องศา (NE) (1 ถึง 360 องศา)
- 3B: ความชื้น 59 (%)
- 00 00: อัตราการตกของฝน 0 (มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง)

4.5 การทดสอบการรับข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม และ เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ในระบบเวลาจริง

ทำการส่งข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมและเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์ในระบบเวลาจริง โดยสามารถแสดงผลข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมและเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศที่ได้รับบนฐานข้อมูลได้ดังรูปที่ 4.34 และ 4.35 ตามลำดับ

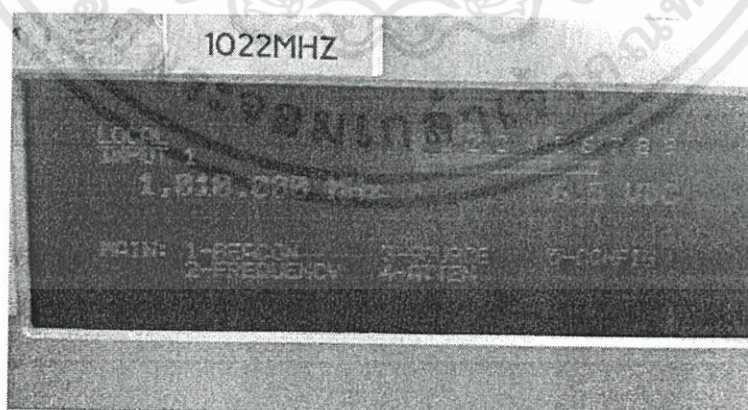
	Time2	Volt	dBm
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:11:43	6.46	-76.58
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:11:13	6.5	-76.5
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:10:42	6.45	-76.6
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:10:12	6.44	-76.62
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:09:42	6.5	-76.5
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:09:12	6.49	-76.52
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:08:42	6.48	-76.54
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:08:12	6.48	-76.54
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:07:42	6.5	-76.5
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:07:12	6.51	-76.48
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:06:42	6.43	-76.64
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:06:12	6.45	-76.6
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:05:42	6.5	-76.5
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:05:12	6.48	-76.54
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:04:42	6.42	-76.66
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:04:12	6.48	-76.86
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:03:41	6.45	-76.6
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:03:11	6.5	-76.5
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:02:41	6.39	-76.72
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:02:11	6.44	-76.62
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:01:41	6.42	-76.66
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:01:11	6.5	-76.5
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 15:00:41	6.43	-76.64
<input type="checkbox"/>	2014-01-28 14:59:00	0	0

รูปที่ 4.34 ข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับบนฐานข้อมูล

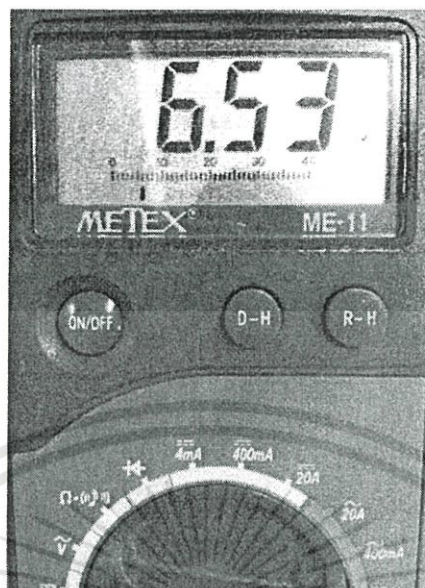
← T →			Time ↓	Barometer	OutTemp	WindSpeed	WindDirect	OutHum	RainRate
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:10:22	29.81	31.83	0	32.9	38	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:09:52	29.81	31.78	0	32.9	38	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:09:22	29.81	31.72	0	31.2	38	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:08:52	29.81	31.67	0	31.2	38	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:08:22	29.81	31.67	0	31.2	38	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:07:52	29.81	31.61	0	31.2	38	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:07:22	29.81	31.56	0	31.2	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:06:52	29.81	31.5	0	31.2	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:06:22	29.81	31.5	0	31.2	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:05:52	29.81	31.5	1	27.7	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:05:22	29.81	31.44	0	24	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:04:51	29.81	31.44	1	24.8	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:04:21	29.81	31.5	0	27.9	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:03:51	29.81	31.44	1	27.9	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:03:21	29.81	31.44	3	26.6	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:02:51	29.81	31.44	0	21.2	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:02:21	29.81	31.44	1	21.2	37	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:01:51	29.81	31.44	0	24.4	36	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:01:21	29.81	31.39	0	24.4	36	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 15:00:51	29.81	31.39	0	24.4	36	0
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	2014-01-28 14:58:25	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.35 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้รับบนฐานข้อมูล

จากรูปที่ 4.34 ข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมที่ได้รับบนฐานข้อมูลนั้นเกิดการคลาดเคลื่อนจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดกำลังงานสัญญาณดาวเทียมโดยตรงประมาณ ± 0.2 dBm ซึ่งเกิดจากการคลาดเคลื่อนของระดับแรงดันที่วัดได้จากเครื่องวัดกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยแสดงค่าระดับแรงดันที่หน้าจอเครื่องวัดกำลังงานสัญญาณดาวเทียมและระดับแรงดันที่วัดได้จริงด้วยมัลติมิเตอร์ดังรูปที่ 4.36 และ 4.37 ตามลำดับ

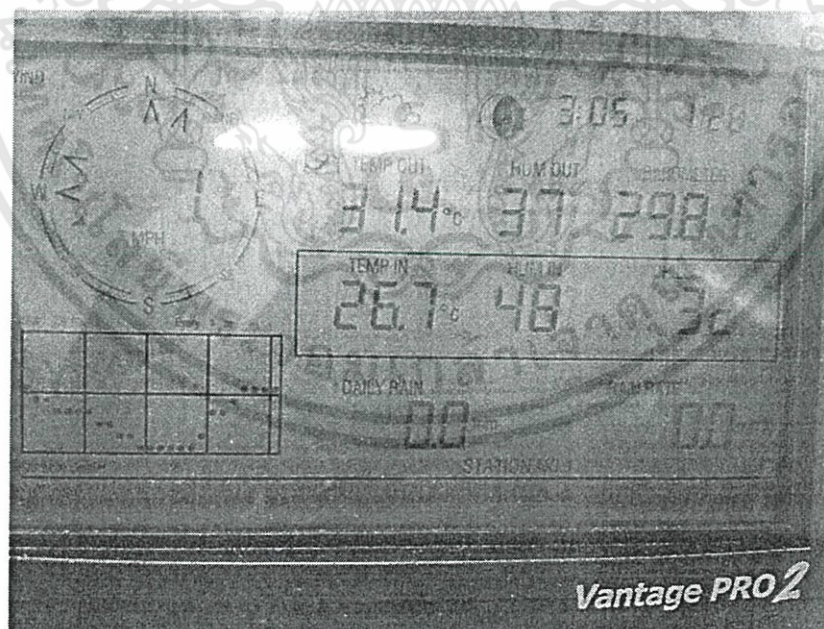


รูปที่ 4.36 ค่าระดับแรงดันที่หน้าจอเครื่องวัดกำลังงานสัญญาณดาวเทียม



รูปที่ 4.37 ค่าระดับแรงดันที่วัดได้จริงจากเครื่องวัดกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม โดยใช้มัลติมิเตอร์

จากรูปที่ 4.35 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้รับบนฐานข้อมูลสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากข้อมูลที่แสดงผลบนหน้าจอคอนโซล ดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 การแสดงผลข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนคอนโซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

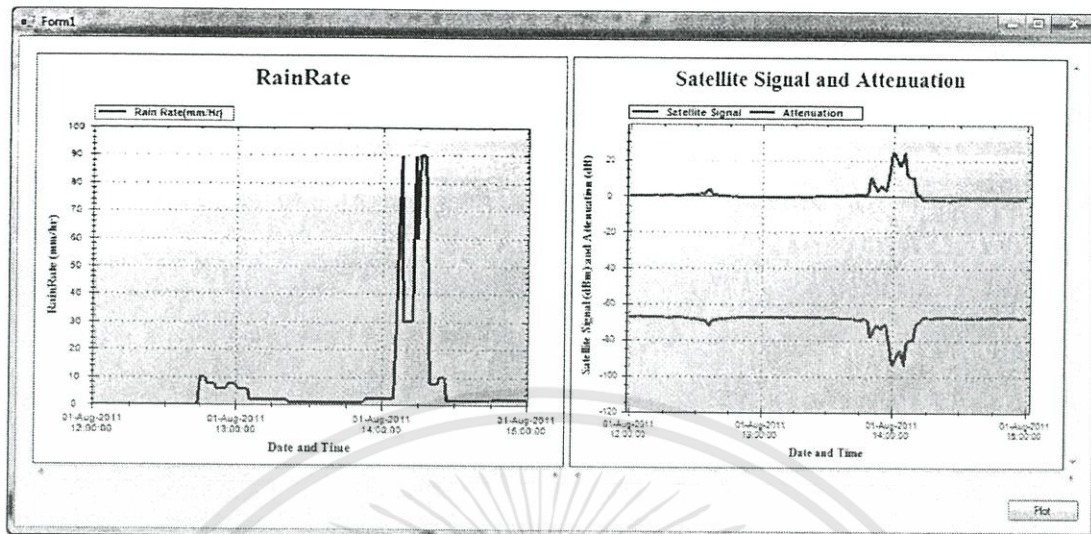
จะเห็นว่าข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้รับบนฐานข้อมูล ตามรูปที่ 4.35 และข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่แสดงบนคอนโซล จะมีค่าเปลี่ยนตามเวลา โดยข้อมูลที่มีค่าค่อนข้างคงที่คือ ความกดอากาศ อุณหภูมิภายนอก ความเร็วลม และความชื้น ส่วนข้อมูลที่ค่อนข้างไม่คงที่คือ ทิศทางลม ในส่วนของอัตราการตกของฝน เนื่องจากในระหว่างการเก็บผลการทดลองไม่มีฝนตกจึงมีค่าเป็น 0 ตลอดการเก็บผลการทดลอง

จะเห็นได้ว่าการทดสอบรับข้อมูลจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมและเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศไปยังฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์สามารถใช้งานได้จริง

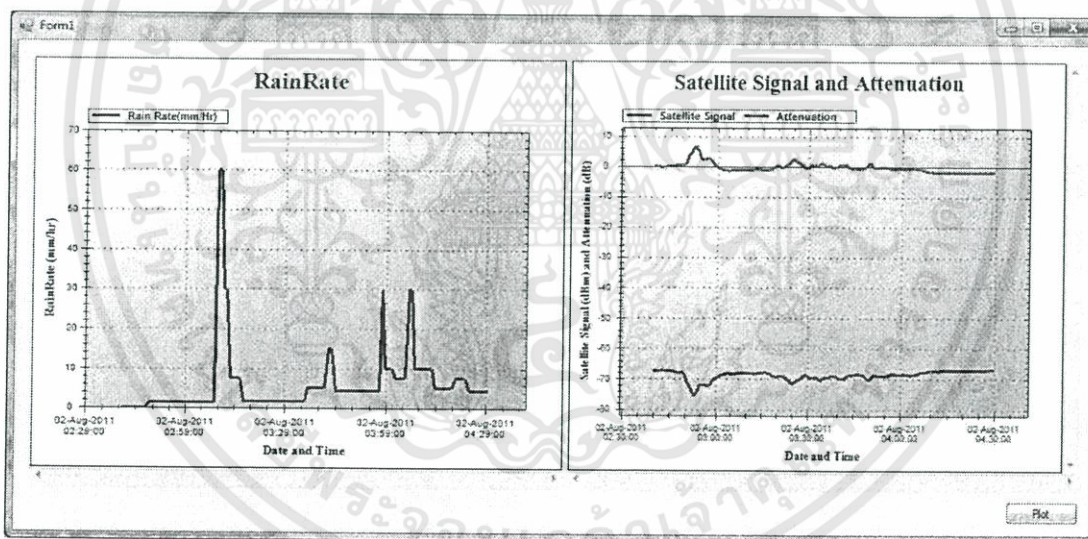
4.6 การทดสอบโปรแกรมดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

ทดสอบโปรแกรมคำนวณข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม โดยข้อมูลค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และค่าปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการทดสอบเป็นข้อมูลจากการเก็บข้อมูลจริงจาก บริษัท ไทยคม จำกัด(มหาชน) ในวันที่ 1, 2, 3 และ 9 สิงหาคม 2554 ซึ่งในที่นี้เลือกทำการทดสอบโปรแกรมคำนวณค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมเฉพาะในช่วงเวลาที่สนใจคือ 12.00 น. ถึง 15.00 น., 2.30 น. ถึง 4.30 น., 15.00 น. ถึง 16.30 น. และ 17.00 น. ถึง 20.00 น. ตามลำดับ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและค่าการลดทอนของสัญญาณที่ชัดเจน ในช่วงเวลาที่มีฝนตก โดยสามารถแสดงการทดสอบโปรแกรมคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมได้ดังรูปที่ 4.39 ถึง 4.42 ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.39 ถึง 4.42 โปรแกรมจะแสดงอัตราการตกของฝนในกราฟ RainRate และแสดงค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมในกราฟ Satellite Signal and Attenuation จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการตกของฝนในรูปซ้ายมีค่ามากขึ้น จะทำให้ค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมในรูปขวาสูงมีค่าลดลงและค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมในรูปขวามีสค่ามากขึ้นในช่วงเวลาเดียวกัน

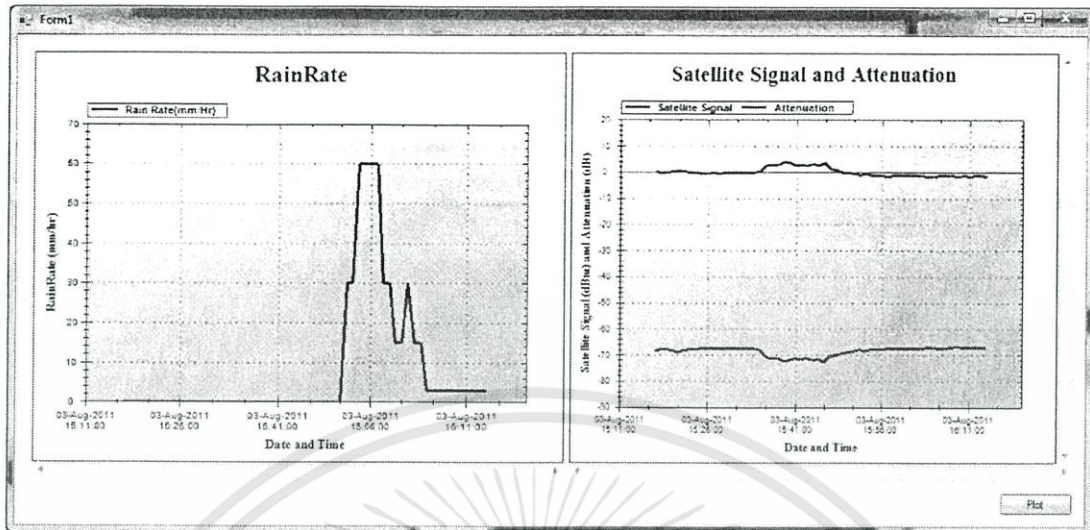


รูปที่ 4.39 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตราการตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 1 สิงหาคม 2554 เวลา 12.00 น. ถึง 15.00 น.

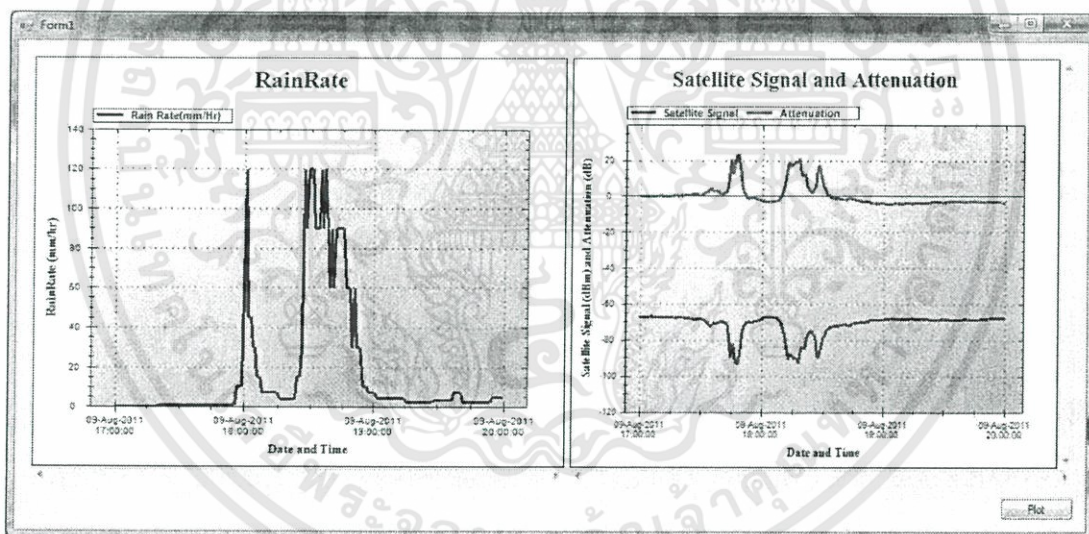


รูปที่ 4.40 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตราการตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 2 สิงหาคม 2554 เวลา 2.30 น. ถึง 4.30 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



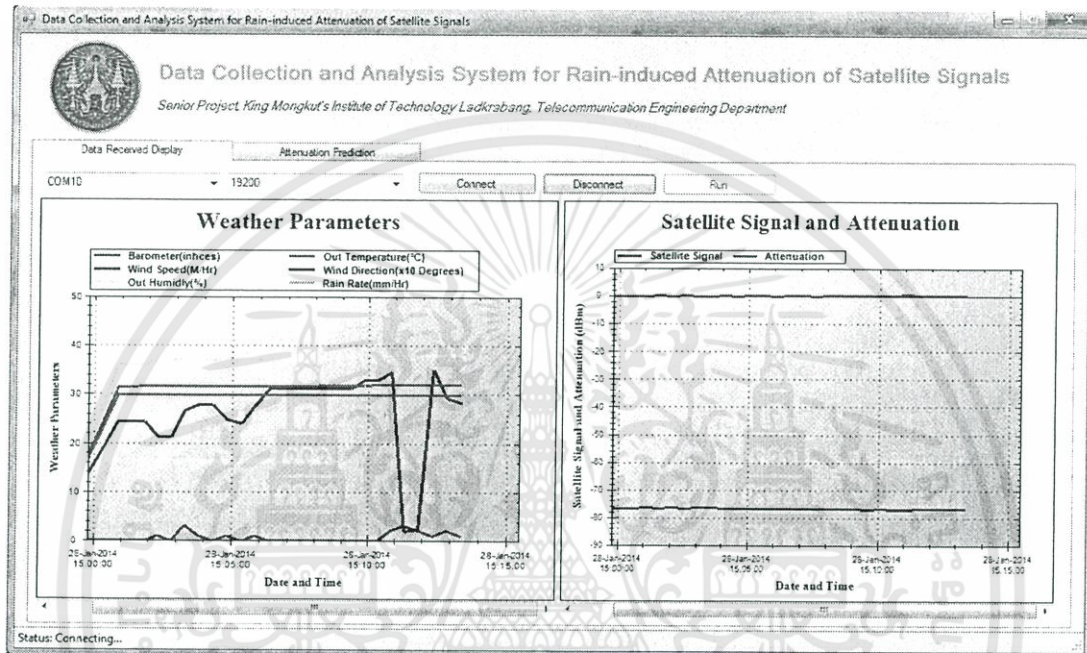
รูปที่ 4.41 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตราการตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 3 สิงหาคม 2554 เวลา 15.00 น. ถึง 16.30 น.



รูปที่ 4.42 ผลการทดสอบการคำนวณการลดทอนของสัญญาณดาวเทียม (ขวา) เทียบกับอัตราการตกของฝน (ซ้าย) ในวันที่ 9 สิงหาคม 2554 เวลา 17.00 น. ถึง 20.00 น.

4.7 การทดสอบโปรแกรมแสดงผลข้อมูลค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์

ทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลล่าสุดเพื่อแสดงผลของค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ในรูปแบบกราฟ ดังรูปที่ 4.43

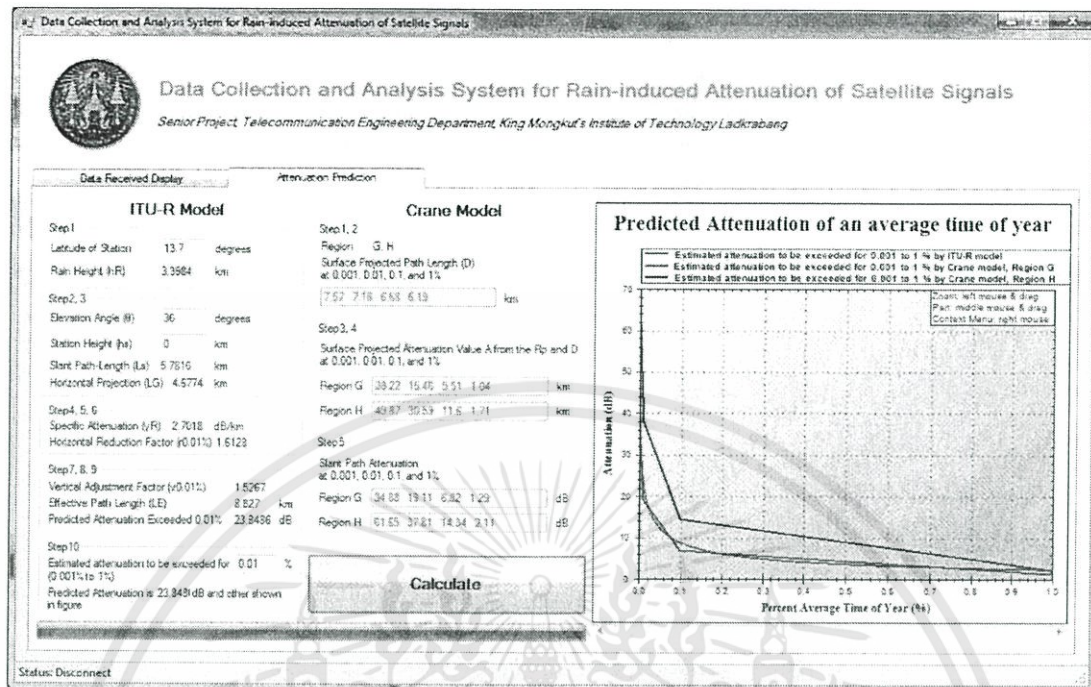


รูปที่ 4.43 การแสดงผลข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

จากรูปที่ 4.43 เป็นการแสดงผลข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมและข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้ทดลองในหัวข้อที่ 4.5 ซึ่งการแสดงผลตรงกับข้อมูลที่ได้รับในฐานข้อมูล

4.8 การทดสอบโปรแกรมคำนวณการทำนายการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane พร้อมทั้งแสดงผลบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้

เมื่อทำการใส่ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ แล้วกดปุ่ม Calculate โปรแกรมจะทำการคำนวณการทำนายค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane (พื้นที่ G และ H) ซึ่งสามารถแสดงผลในรูปแบบของกราฟได้ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 การแสดงผลการทำนายค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane บนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้บนคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 4.44 โปรแกรมแสดงการทำนายค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียมตามแบบจำลองของ ITU-R ในรูปแบบกราฟสี่เหลี่ยม และ Crane ในรูปแบบกราฟสี่เหลี่ยม และสีน้ำเงิน (พื้นที่ G และ H ตามลำดับ) โดยตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่แสดงบนส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้ได้จากตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ ITU-R

พารามิเตอร์ เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยของปี	ITU-R									
	h_R	L_S	L_G	$R_{0.01}$	γ_R	$r_{0.01}$	$\nu_{0.01}$	L_E	$A_{0.01}$	A_p
0.001	3.40	5.78	4.67	60	2.70	1.61	1.53	8.82	23.83	39.27
0.01	3.40	5.78	4.67	60	2.70	1.61	1.53	8.82	23.83	23.83
0.1	3.40	5.78	4.67	60	2.70	1.61	1.53	8.82	23.83	10.04
1	3.40	5.78	4.67	60	2.70	1.61	1.53	8.82	23.83	2.25

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ Crane

พารามิเตอร์ เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ยของปี	Crane							
	พื้นที่ G				พื้นที่ H			
	R_p	D	$A(R_p, D)$	A_s	R_p	D	$A(R_p, D)$	A_s
0.001	129	7.57	28.22	34.88	251	7.57	49.87	61.65
0.01	67	7.16	15.46	19.11	147	7.16	30.59	37.81
0.1	22	6.68	5.51	6.82	51	6.68	11.60	14.34
1	3.7	6.19	1.04	1.29	6.4	6.19	1.71	2.11

จากการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากโปรแกรมกับตารางที่ 4.2 และ 4.3 แล้ว พบว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่คำนวณได้จากโปรแกรมมีความถูกต้องตรงตามค่าพารามิเตอร์ในตารางที่ 4.2 และ 4.3

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลการลดทอนสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝนบนคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยเทคโนโลยีการส่งข้อมูลผ่านโมดูลการสื่อสารไร้สาย มีส่วนเชื่อมต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้เพื่อความสะดวกในการเรียกดูข้อมูลการลดทอนของสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากฝน ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานหลักได้เป็น 4 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องมื่อวัดที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล ได้แก่เครื่องวัดสภาพภูมิอากาศและเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม ส่วนของการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตสื่อสารอนุกรม และโมดูลสื่อสารไร้สาย ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการส่งข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องวัดกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และส่วนของฐานข้อมูล การวิเคราะห์ คำนวณ และแสดงผลข้อมูลต่างๆ บนคอมพิวเตอร์

ความสำเร็จของปริญญานิพนธ์นี้ คือ สามารถรับส่งข้อมูลค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมแบบไร้สายจากเครื่องวัดค่ากำลังงานสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศจากเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศมาบันทึกบนฐานข้อมูลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ นอกเหนือจากนี้ยังสามารถสร้างส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้เพื่อแสดงผลข้อมูลกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม ค่าการลดทอนกำลังงานของสัญญาณดาวเทียม และข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศในระบบเวลาจริง และคำนวณค่าประมาณการลดทอนตามแบบจำลองของ ITU-R และ Crane ได้ถูกต้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการรับข้อมูลจากเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศจำเป็นต้องใช้ Data Logger ของทางบริษัทมาใช้ดึงข้อมูลจากคอนโซล แล้วทำการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลที่ต้องการ จึงอาจทำให้มีข้อจำกัดทางการใช้งานของโปรแกรม

ในส่วนของค่ากำลังงานของสัญญาณดาวเทียมที่ทำการบันทึกในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นสัญญาณดาวเทียมในย่านความถี่ Ku เพื่อความชัดเจนสำหรับการศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของฝนต่อค่ากำลังงานสัญญาณที่มากขึ้น ผู้ทดลองควรทำการบันทึกข้อมูลของสัญญาณดาวเทียมในช่วงความถี่ที่สูงขึ้น เช่น ย่านความถี่ Ka เพื่อการพิจารณาค่าการลดทอนกำลังงานสัญญาณของสัญญาณดาวเทียมที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Robert K. Crane, "Prediction of Attenuation by Rain," Proc. IEEE, vol. com-28, pp.1717-1733, 1980.
- [2] "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth space Telecommunication system". Recommendation ITU-R P.618-8, 2009.
- [3] Bennett Z. Kobb. "Radio Frequency Spectrum." Spectrum Guide: Radio Frequency Allocations in the United States, 30 Mhz - 300 Ghz, 1994.
- [4] Shahzad Hassan. "Satellite Communication." <https://sites.google.com/site/tufelectrical/beecourses/semester8/satellite-communication>. (วันที่ค้นข้อมูล: 11 กันยายน 2556)
- [5] Janusz Pirzanski. "satellite dish." <http://www.dipolnet.com>. (วันที่ค้นข้อมูล: 11 กันยายน 2556)
- [6] วชิรพล บุญอยู่โรดล, วีรศักดิ์ แผงเส้น, และวุฒิชัย วุฒิอุดมเลิศ. "ข้อคลื่นแบบแนวตั้งแนวนอน และแบบวงกลม : งานสายอากาศดาวเทียมย่าน Ku." ปรินญาณิพนธ์ปรินญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540.
- [7] จารุพงศ์ จีนาพันธ์. "ความรู้พื้นฐานของ LNBF." http://www.ctesat.com/index.php?lay=boardshow&ac=webboard_show&WBntype=8&No=437475. (วันที่ค้นข้อมูล: 11 กันยายน 2556)
- [8] Joe Kelly and Frank Goh. "NOISE FIGURE." <http://www.153rt.com/index.php?topic=2627.0> (วันที่ค้นข้อมูล: 24 กุมภาพันธ์ 2557)
- [9] Hyperline. "Twist on F-type connector for RG-6 cable." <http://hyperline.com/catalog/jacks/rg-f.shtml>. (วันที่ค้นข้อมูล: 12 กันยายน 2556)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] Banjandum. “RG-6 PSI Hi-Speed 1 m.”
<http://banjandum.com/product/1362469690-RG6%20Proline%20PL664W-100%20spec.bmp>. (วันที่ค้นข้อมูล: 12 กันยายน 2556)
- [11] WeatherShack. “Tipping Bucket Rain Gauge.”
<http://www.weathershack.com/education/tipping-bucket-rain-gauge.html>.
 (วันที่ค้นข้อมูล: 10 กันยายน 2556)
- [12] Datasheet “16F688”
<http://www.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41203d.pdf>. (วันที่ค้นข้อมูล: 13 กันยายน 2556)
- [13] Datasheet “DB9-USB-RS232 Module Male & Female”
<http://www.farnell.com/datasheets/576664.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล: 13 กันยายน 2556)
- [14] Adisak chinawong. “RS232 (Recommended Standard 232).”
http://www.adisak51.com/page06_1.html. (วันที่ค้นข้อมูล: 18 กันยายน 2556)
- [15] “839 Rain height model for prediction methods”. Recommendation ITU-R P.839-4, 2013.
- [16] “837 Characteristics of precipitation for propagation modelling”. Recommendation ITU-R P.837-6, 2012.
- [17] “838 Specific attenuation model for rain for use in prediction methods”. Recommendation ITU-R P.838-3, 2005.
- [18] ยุทธนันท์ กามอ้อย. “Visual C#”.
<https://sites.google.com/site/programmingm42/visual-c> (วันที่ค้นข้อมูล: 24 กุมภาพันธ์ 2557)
- [19] Rovingnetworks. “RN-XV Data Sheet.” www.rovingnetworks.com.
 (วันที่ค้นข้อมูล: 18 กันยายน 2556)

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [20] Davis Instruments. “Vantage Pro2™ Image Gallery.”
<http://www.davisnet.com/news/photos/weather/vp2stations.asp>.
 (วันที่ค้นข้อมูล: 19 กันยายน 2556)
- [21] Daniel Dekay. “Davis Weatherlink Software Not Required.”
<http://madscientistlabs.blogspot.com/2011/01/davis-weatherlink-software-not-required.html>. (วันที่ค้นข้อมูล: 10 กันยายน 2556)
- [22] บริษัท ไทยคม จำกัด (มหาชน). “ดาวเทียมไทยคม 5.”
http://www.thaicom.net/SAT_THCOM5.aspx. (วันที่ค้นข้อมูล: 11 กันยายน 2556)
- [23] เกษร ทองหวาน, โฆษิต กุลหิรัญกิจ, และทะนงศักดิ์ รัตนเดชา. “อุปกรณ์ขยายและแปลงสัญญาณ : เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม.” ปริญญาานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.
- [24] น.อ.ฐากร เกิดแก้ว. “โครงสร้างบรรยากาศ.”
http://portal.edu.chula.ac.th/lesa_cd/assets/document/LESA212/6/atm_structure/atm_structure/atm_structure.html (วันที่ค้นข้อมูล: 24 กุมภาพันธ์ 2557)
- [25] Matthew Gast. “Wireless Networking.”
 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide, 2nd Edition, 2005
- [26] อำนาจ มีมงคล และอรณพ ชันธิกุล. “Wireless LAN.”
 ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN, 2nd Edition, 2010.
- [27] พงศธร สุทธิ. “ชื่อเรื่อง ภาษา C#.” <http://tonkung.ueuo.com> (วันที่ค้นข้อมูล: 24 กุมภาพันธ์ 2557)