# รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

## การใช้ระบบ Open Source GIS ร่วมในการทดสอบสัญญาณ
## Using Open Source GIS with Mobile Phone Signal Checking

นายกานต์เทพ ไตรรัตน์อัญชลี

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

# การใช้ระบบ Open Source GIS ร่วมในการทดสอบสัญญาณ

# Using Open Source GIS with Mobile Phone Signal Checking


นายกานต์เทพ ไตรรัตน์อัญชลี

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ปีการศึกษา 2560

**ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา** การใช้ระบบ Open Source GIS ร่วมในการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

**ชื่อ-สกุล นักศึกษา** กานต์เทพ ไตรรัตน์อัญชลี
**คณะ** วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม
**ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ** รศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน
**ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน** ดร.ภาณุภัทร์ ภู่เจริญ
**ชื่อสถานประกอบการ** บริษัท เทิร์นคีย์ คอมมูนิเคชั่น เซอร์วิส จำกัด

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันสัญญาณโทรศัพท์มือถือมีผลต่อชีวิตคนเราเหมือนเป็นปัจจัยที่ 5 ไปแล้ว ดังนั้น สัญญาณโทรศัพท์มือถือที่ให้บริการอยู่มากมาย จึงมีความจำเป็นที่จะต้องคลอบคลุมพื้นที่ที่มีผู้ใช้บริการ และยังต้องมีคุณภาพที่ดีอีกด้วย ซึ่งในการที่จะตรวจสอบคุณภาพและพื้นที่คลอบคลุมนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วิศวกรที่มีหน้าที่ทดสอบสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (2G 3G 4G) ตามพื้นที่ต่างๆ ซึ่งต้องทำงานโดยการใช้ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ควบคู่ในการทำงาน โดยโปรแกรมจะทำการบอกถึงรายละเอียดต่างๆจากการทดสอบสัญญาณ ซึ่งโดยปกติโปรแกรมที่ใช้จะมีลิขสิทธิ์ที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการคิดโครงงานนี้ขึ้นเพื่อใช้โปรแกรมที่เป็นซอฟต์แวร์ระบบเปิด ที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย และยังสามารถปรับแต่งการใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

**คำสำคัญ :** การทดสอบสัญญาณ ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซอฟต์แวร์ระบบเปิด

**Cooperative Title:** Using Open Source GIS with Mobile Phone Signal Checking

**Student intern name:** Karnthep Trairatanchalee

**Faculty:** Engineering **Department:** Telecommunication Engineering

**Advisor name:** Assoc. Prof. Paramote Wardkein

**Mentor name:** Prof. Panupat Phujareon

**Company:** Turnkey Communication Services Co., Ltd.

## Abstact

Currently, the phone signal affects our lives as the fifth living factor so that there are a lot of service providers to choose for consumers. Therefore, it is necessary to cover the area where the users have accessed and have a good quality as well. In order to check the quality and coverage of signals, it is important to have engineers who are responsible for signal testing (2G 3G 4G) in different areas. The engineers must use geographic information system (GIS) software to work. GIS software will show the details of the test signal. However, the GIS software that is used is a copyrighted program with high cost. That is why this project is intended to be used as a free open source software and it can be customized to be more effective.

**Keywords:** Signal Testing, Geographic Information System Software, Open Souce Software

# กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงงาน “การใช้ระบบ Open Source GIS ร่วมในการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากขาดการสนับสนุน และกำลังใจจากหลายๆ ฝ่าย ดังนี้

ดร.ภาณุภัทร์ ภู่เจริญ ผู้นิเทศงานและหัวหน้าแผนก RF1 และรศ.ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน อาจารย์นิเทศ สำหรับความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ ในการจัดทำโครงงาน

พี่พนักงานแผนก RF1 Telecom ทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพี่ฝ่าย Analyzer และ IBC ที่ได้ให้คำแนะนำ วิธีแก้ปัญหา คำปรึกษาและให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดทำโครงงานอย่างมาก

เพื่อน ๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและให้กำลังใจในทุกด้าน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยให้การจัดทำโครงงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นายกานต์เทพ ไตรรัตน์อัญชลี
ผู้จัดทำ

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | I |
| Abstact | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูป | IV |
| สารบัญตาราง | XIV |
| **บทที่ 1 บทนำ** | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงงาน | 2 |
| 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| **บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | 3 |
| 2.1ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1.1 พื้นฐาน LTE | 3 |
| 2.1.1.1 การพัฒนามาเป็น LTE | 3 |
| 2.1.1.2 Orthogonal Frequency Division Multiplex | 5 |
| 2.1.1.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access | 6 |
| 2.1.1.4 พารามิเตอร์ของ OFDMA ใน LTE | 10 |
| 2.1.1.5 Single Carrier Frequency Division Multiple Access | 12 |
| 2.1.1.6 Frame Structure | 14 |
| 2.1.1.7 Slot Structure | 14 |

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 2.1.1.8 Resource Element and Resource Block | 15 |
| 2.1.1.9 LTE Network Architecture | 17 |
| 2.1.2 สถานีฐานในการแพร่กระจายสัญญาณ LTE | 18 |
| 2.1.2.1 สายอากาศ (Antenna) | 18 |
| 2.1.2.2 Baseband Unit (BBU) | 26 |
| 2.1.2.3 Remote Radio Unit (RRU) | 27 |
| 2.1.2.4 Base Station Controller (BSC) | 27 |
| 2.1.3 การสูญเสียในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ | 28 |
| 2.1.3.1 การแพร่กระจายใน Free space | 28 |
| 2.1.3.2 กลไกการแพร่กระจาย | 28 |
| 2.1.3.3 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลองการสูญเสียในเส้นทาง | 29 |
| 2.1.3.4 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางในแนวเส้นสายตา (LoS) | 29 |
| 2.1.3.5 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางนอกแนวเส้นสายตา (NLoS) | 31 |
| 2.1.3.6 การทำนายการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ | 32 |
| 2.1.3.7 แบบจำลองเชิงประจักษ์ | 33 |
| 2.1.4 Circuit Switched fallback (CS Fallback) : CSFB | 33 |
| 2.1.5 LTE Carrier Aggregation (CA) | 34 |
| 2.1.6 พื้นฐานการทดสอบสัญญาณโดยการใช้รถ | 35 |
| 2.1.6.1 การทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ | 35 |
| 2.1.6.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ | 35 |
| 2.1.6.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ | 39 |

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

2.1.6.4 กระบวนการการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ 41

2.1.6.4.1 การทดสอบ SSV (Single Site Verification) 41

2.1.6.4.2 การทดสอบ Tuning 42

2.1.6.4.3 การทดสอบ PAT (Provisional Acceptance Testing) 43

2.1.6.4.4 การทดสอบ FAT (Final Acceptance Testing) 44

2.1.7 ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) 45

2.1.7.1 ความหมายของ GIS 45

2.1.7.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 46

2.1.7.3 การกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ 50

2.1.7.4 มาตราส่วนแผนที่ (Scale) 52

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 53

แบบจำลอง COST-231 53

Haversine 53

**บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย** 54

3.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดเก็บและวิเคราะห์สัญญาณ 54

3.1.1 โปรแกรม Nemo Outdoor 54

3.1.2 โปรแกรม Axtic Analyzer 55

3.1.3 โปรแกรม GIS 56

3.1.4 โปรแกรม Google Earth Pro 58

3.1.5 Plugins 59

3.2 ขั้นตอนการทำงาน 59

# สารบัญ (ต่อ)


หน้า

3.2.1 การเก็บข้อมูล 59

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 60

3.2.3 การแสดงผลในโปรแกรม GIS 61

3.2.3.1 การติดตั้งโปรแกรม Quantum GIS 62

3.2.3.2 เครื่องมือที่ใช้งานในโปรแกรม Quantum GIS 64

3.2.3.3 Graphic User Interface ของโปรแกรม QGIS 67

3.2.4 การใช้งานโปรแกรม GIS 68

3.2.4.1 การเพิ่มชั้นข้อมูลเชิงเส้น 68

3.2.4.2 การเพิ่มชั้นข้อมูลแบบข้อความมีการคั่น 70

3.2.4.3 การเปลี่ยนรูปแบบของสัญลักษณ์ 73

3.2.4.4 การขีดเส้นทางและการแบ่งเขต 75

3.2.4.5 การนำเข้า Plugins 76

3.2.4.6 Plugins ที่ควรติดตั้ง 77

3.2.4.7 การสร้าง Plugin 80

**บทที่ 4 ผลการวิจัย** 81

4.1 ผลจากการใช้งานโปรแกรม QGIS 81

4.1.1 การนำเข้าข้อมูล 81

4.1.2 การนำเข้าสถานีฐาน 82

4.1.3 การขีดเส้นทาง 83

4.1.4 การขีดเส้นแบ่งเขต 83

4.2 ผลจากการสร้าง Plugins 84

# สารบัญ (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| 4.2.1 Auto Style Plugin | 84 |
| 4.2.2 Rename TAB Plugin | 87 |
| 4.2.3 Calculate Plugin | 89 |
| 4.3 ผลจากการเปรียบเทียบข้อมูล | 93 |
| **บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ** | 94 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 94 |
| 5.2 ประโยชน์ของการวิจัย | 94 |
| 5.3 ปัญหาและอุปสรรค | 95 |
| 5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ | 95 |
| เอกสารอ้างอิง | 96 |
| ภาคผนวก ก. | 98 |
| ภาคผนวก ข. | 105 |
| ภาคผนวก ค. | 115 |

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2.1 Multi-carrier modulation 4

รูปที่ 2.2 QPSK modulation 4

รูปที่ 2.3 Orthogonal Frequency Division 5

รูปที่ 2.4 แสดงsubcarrier ที่ orthogonal กัน 6

รูปที่ 2.5 แสดงการใช้งานด้วยเทคนิคTime Division Multiplexing 7

รูปที่ 2.6 สัญญาณฮาร์โมนิกที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ 8

รูปที่ 2.7 การสร้างสัญญาณ OFDM ด้วย IFFT 9

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการแบ่งช่องสัญญาณของ OFDMA 9

รูปที่ 2.9 ผลกระทบที่เกิดจาก Narrow Band Interference 10

รูปที่ 2.10 ค่าพารามิเตอร์ทาง physical layer ของ OFDMA สำหรับ LTE 10

รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง OFDMA กับ SC-FDMA 12

รูปที่ 2.12 แสดงการสร้างสัญญาณ SC-FDMA 13

รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของเฟรมของแบบ FDD 14

รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ slot 14

รูปที่ 2.15 Cyclic Prefix 15

รูปที่ 2.16 แสดง Resource grid ในแบบที่ใช้ normal cyclic prefix 16

รูปที่ 2.17 สถาปัตยกรรมของ LTE 17

รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของสถานีฐาน 18

รูปที่ 2.19 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากสายอากาศ 21

รูปที่ 2.20 สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) 22

รูปที่ 2.21 สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) 22

รูปที่ 2.22 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt : M-Tilt) 23

รูปที่ 2.23 การปรับเชิงกลหน้าสายอากาศ 24

รูปที่ 2.24 การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt : E-Tilt) 24

รูปที่ 2.25 การปรับเชิงไฟฟ้า สามารถปรับผ่านคอมพิวเตอร์ 25

# สารบัญรูป (ต่อ)


| | หน้า |
|---|---|
| รูปที่ 2.26 รูปร่างการแพร่ของคลื่นเมื่อทำการปรับมุมด้วยการปรับเชิงกลและการปรับเชิงไฟฟ้า | 25 |
| รูปที่ 2.27 การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง | 26 |
| รูปที่ 2.28 Baseband unit (BBU) | 26 |
| รูปที่ 2.29 Remote radio unit (RRU) | 27 |
| รูปที่ 2.30 Base Station Controller (BSC) | 27 |
| รูปที่ 2.31 แสดงกลไกการแพร่กระจายคลื่น | 29 |
| รูปที่ 2.32 ลักษณะกำรเดินทำงของสัญญาณทางตรงและสัญญำณสะท้อนจากพื้นผิว | 31 |
| รูปที่ 2.33 Circuit Switched fallback (CS Fallback) | 34 |
| รูปที่ 2.34 การทำCarrier Aggregation | 34 |
| รูปที่ 2.35 แสดงการจับ PCI ของสัญญาณที่ทดสอบ | 37 |
| รูปที่ 2.36 แสดงฟิล์มติดรถยนต์ | 39 |
| รูปที่ 2.37 แสดง UE | 40 |
| รูปที่ 2.38 แสดงเครื่อง GPS | 40 |
| รูปที่ 2.39 แสดงการต่ออุปกรณ์ | 40 |
| รูปที่ 2.40 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ SSV | 42 |
| รูปที่ 2.41 วิธีการทดสอบ Tuning | 42 |
| รูปที่ 2.42 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ Tuning | 43 |
| รูปที่ 2.43 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ | 46 |
| รูปที่ 2.44 แสดงลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์ | 47 |
| รูปที่ 2.45 แสดงลักษณะของข้อมูลแบบราสเตอร์ | 48 |
| รูปที่ 2.46 แสดงตารางฐานข้อมูล | 48 |
| รูปที่ 2.47 แสดงโครงสร้างของข้อมูล | 49 |
| รูปที่ 2.48 การกำหนดตำแหน่งโดยอาศัยพิกัดทางภูมิศาสตร์ | 51 |
| รูปที่ 2.49 แสดงแผนที่ที่มีมาตราส่วนต่างกัน | 52 |
| รูปที่ 3.1 แสดงโปรแกรม Nemo Outdoor | 55 |

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า


รูปที่ 3.2 แสดงโปรแกรมAxtic Analyzer 55

รูปที่ 3.3 แสดงโปรแกรมMapinfo Professional 57

รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรม QGIS 58

รูปที่ 3.5 แสดงโปรแกรมGoogle Earth Pro 59

รูปที่ 3.7 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูล 60

รูปที่ 3.8 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล 61

รูปที่ 3.9 รูปแบบการปฏิบัติงานในระบบ GIS 61

รูปที่ 3.10 ดาวน์โหลดQGIS จากเว็บไซต์ 62

รูปที่ 3.11 แสดงหน้าต่างการติดตั้งQGIS 63

รูปที่ 3.12 แสดงหน้าDesktop ของโปรแกรม QGIS 63

รูปที่ 3.13 File Toolbar 64

รูปที่ 3.14 Manage Layer Toolbar 64

รูปที่ 3.15 Map Navigation Toolbar 65

รูปที่ 3.16 Attribute Toolbar 66

รูปที่ 3.17 Digitilizing Toolbar 66

รูปที่ 3.18 Status Bar 67

รูปที่ 3.19 Graphic User Interface 67

รูปที่ 3.20 ปุ่มAdd Vector Layer 69

รูปที่ 3.21 หน้าต่างAdd Vector Layer 69

รูปที่ 3.22 แสดงไฟล์ .TAB 70

รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูล 70

รูปที่ 3.24 ปุ่มAdd Delimited Text Layer 71

รูปที่ 3.25 การนำเข้าไฟล์ .CSV 71

รูปที่ 3.26 เลือกไฟล์ .CSV 72

รูปที่ 3.27 เลือกระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ 73

# สารบัญรูป (ต่อ)


หน้า

รูปที่ 3.28 แสดงสถานีฐานตามพิกัดจริง 73

รูปที่ 3.29 เลือก Properties 74

รูปที่ 3.30 หน้าต่างตั้งค่าสัญลักษณ์ 74

รูปที่ 3.31 แสดงการจัดลำดับข้อมูล 75

รูปที่ 3.32 แสดงผลลัพท์ 75

รูปที่ 3.33 แสดงเส้นทางและการแบ่งเขต 76

รูปที่ 3.34 การติดตั้งPlugins 76

รูปที่ 3.35 รายชื่อPlugins ที่สามารถติดตั้งได้ 77

รูปที่ 3.36 ปุ่ม Install plugin 77

รูปที่ 3.37 Plugins ที่ควรติดตั้ง 78

รูปที่ 3.38 ตัวอย่างการใช้การค้นหา หาข้อมูลในชั้น Base Station Name 78

รูปที่ 3.39 ตัวอย่างการใช้ QuickMapServices นำเข้าแผนที่ Google Road 79

รูปที่ 3.40 ตัวอย่างการใช้งาน GEarthView 79

รูปที่ 4.1 แสดงชั้นของข้อมูล RSRP 81

รูปที่ 4.2 แสดงสถานีฐานที่นำเข้าเข้ามา 82

รูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลของสถานีฐาน 82

รูปที่ 4.4 แสดงการขีดเส้น 83

รูปที่ 4.5 แสดงการจำกัดเขตของสถานีฐาน 83

รูปที่ 4.6 กดเลือก Plugin Auto Style 84

รูปที่ 4.7 แสดงการเลือกรูปแบบสัญลักษณ์ 85

รูปที่ 4.8 แสดงผลจากการเปลี่ยนรูปแบบสัญลักษณ์ 85

รูปที่ 4.9 แสดงสถานีฐานหลังจากสร้างชั้นข้อมูล 9 86

รูปที่ 4.10 แสดงการเลือกรูปแบบสัญลักษณ์ 10 86

รูปที่ 4.11 แสดงสถานีฐานที่ได้รับการเปลี่ยนรูปแบบสัญลักษณ์ 86

รูปที่ 4.12 กดเลือก Plugin Rename TAB 87

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า


รูปที่ 4.13 เลือกไฟล์และชื่อที่ต้องการจะเปลี่ยน 87

รูปที่ 4.14 แสดงการค้นหาชื่อ 88

รูปที่ 4.15 แสดงผลหลังจากการเปลี่ยนชื่อ 88

รูปที่ 4.16 แสดงชื่อ Column ที่ถูกเปลี่ยนใน QGIS 88

รูปที่ 4.17 กดเลือก Plugin Calculator 89

รูปที่ 4.18 เลือกพื้นที่ และนำเข้าข้อมูล 90

รูปที่ 4.19 Site Data ของสถานีฐาน 90

รูปที่ 4.20 Workbook ที่ได้จากโปรแกรม Axtic Analyzer 90

รูปที่ 4.21 แสดงชั้นข้อมูลที่สร้างมาจากการคำนวณ 91

รูปที่ 4.22 แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณพร้อมแสดงรูปแบบสัญลักษณ์ 91

รูปที่ 4.23 แสดงรูปเปรียบเทียบผลลัพธ์ 92

รูปที่ 4.24 แสดงค่าที่แตกต่างกันมากของผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดสอบสัญญาณ 93

# สารบัญตาราง


| | หน้า |
|---|---|
| ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ | 38 |
| ตารางที่ 2.2 แสดงการทดสอบSSV | 41 |
| ตารางที่ 2.3 แสดง KPIs ของการทดสอบ PAT | 43 |
| ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการทดสอบ PAT | 44 |
| ตารางที่ 2.5 แสดง KPIs ของการทดสอบ FAT | 45 |
| ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการทดสอบ FAT | 45 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โดยปกติแล้ว ผู้ตรวจสอบสัญญาณหรือ Drive Test Engineer คือคนที่มีหน้าที่เก็บข้อมูลของสัญญาณโทรศัพท์มือถือ (2G 3G 4G) ตามพื้นที่ต่างๆ ว่าครอบคลุมหรือไม่ คลอบคลุมพื้นที่ใดบ้าง เพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์และพัฒนาต่อไป ซึ่งเป็นหน้าที่ที่มีความสำคัญต่อผู้ใช้งานโทรศัพท์มือถือ เพื่อให้สามารถได้รับสัญญาณที่มีประสิทธิภาพ

งานตรวจสอบวัดคุณภาพสัญญาณจะต้องใช้โปรแกรมเฉพาะทางที่ใช้ในการตรวจวัด แล้วเราจะนำค่าที่วัดได้ มาใช้ในโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) ทั้งการวิเคราะห์ผลจากการตรวจวัด และการขีดเส้นทางนำทางผู้ขับรถตรวจสอบสัญญาณ ซึ่งโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์มีมากมายหลากหลายโปรแกรม ซึ่งโดยปกติจะใช้โปรแกรม Mapinfo Professional ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ต้องจ่ายค่าลิขสิทธิ์การใช้งานในราคาสูง จึงทำให้มีการทำวิจัยนี้ขึ้น เพื่อเปลี่ยนจากใช้โปรแกรมที่ต้องจ่ายค่าลิขสิทธิ์เป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์รหัสเปิดที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายขึ้นมาเพื่อเป็นการลดต้นทุนของบริษัท

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 สามารถให้ผู้ที่สนใจ เข้าใจถึงหลักการทำงานของ Drive Test Engineer ได้

1.2.2 สามารถใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิดเพื่อทดแทนการใช้งานซอฟต์แวร์ที่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในงานซอฟต์แวร์ GIS ได้

1.2.3 สามารถพัฒนาและต่อยอดซอฟต์แวร์รหัสเปิดให้สามารถทำการคำนวณร่วมกับแบบจำลองทางโทรคมนาคม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบสัญญาณ

1.2.4 สามารถสร้างข้อมูลทางทฤษฎีสำหรับอ้างอิง เพื่อให้เกิดการวิเคราะห์ข้อมูลในเบื้องต้นได้

## 1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สามารถใช้งานโปรแกรมซอฟต์แวร์รหัสเปิด ทดแทนโปรแกรมที่เสียค่าลิขสิทธิ์ได้

1.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการเขียนโปรแกรมหรือส่วนเสริม ที่จะใช้คำนวณเข้าประกอบร่วมเพื่อเพิ่มความสามารถในการคำนวณร่วมกับซอฟต์แวร์รหัสเปิดได้

1.3.3 สามารถนำข้อมูลทางทฤษฎีมาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ได้

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลทางด้าน Mobile Radio Data

1.4.2 ทำการศึกษาวิธีการใช้งานของโปรแกรม QGIS

1.4.2.1 การนำเข้าฐานข้อมูลของสถานีฐาน (Site Database) ในโปรแกรม QGIS

1.4.2.2 การนำเข้าข้อมูลและใช้งานข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ

1.4.2.3 การแสดงผลของข้อมูลตามรูปแบบที่ใช้งานทั่วไป

1.4.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างส่วนเสริมให้แก่โปรแกรม QGIS เพื่อให้มีการใช้งานสะดวกมากยิ่งขึ้น

1.4.4 ศึกษาแบบจำลองทางโทรคมนาคม

1.4.5 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณและแบบจำลองทางโทรคมนาคมเพื่อทำการสังเกตคุณภาพของสัญญาณผลลัพท์ใน QGIS ว่าเป็นไปตามทฤษฎีมากน้อยแค่ไหน

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เนื่องจากซอฟต์แวร์รหัสเปิด มีความหลากหลายในการพัฒนาจากบุคคลหลายกลุ่ม ดังนั้นสามารถที่จะสร้างสมรรถภาพที่เพิ่มขึ้นให้แก่งานที่ทำอยู่ได้

1.5.2 สามารถนำเอาแบบจำลองทางโทรคมนาคมมาเข้ามาร่วมในการโปรแกรมและพิจารณาได้

1.5.3 สามารถนำผลการคำนวณทางทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดสอบได้

# บทที่ 2

# แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงงาน "การใช้ระบบ Open Source GIS ร่วมในการตรวจสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่" ได้จัดทำขึ้น เพื่อทำการทดลองใช้ซอฟต์แวร์ GIS ที่เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด ในการใช้แสดงผลของข้อมูล การจัดเตรียมแผนงาน และการปรับปรุงคุณภาพของซอฟต์แวร์ GIS ในงานทดสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งในบทนี้ จะกล่าวถึงพื้นฐานของสัญญาณที่เราต้องการจะทำการทดสอบ กระบวนการการทำงาน ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการปรับปรุงคุณภาพของซอฟต์แวร์ อุปกรณ์ที่ใช้ และซอฟต์แวร์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบคุณภาพสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้นโครงงานจึงมีหลักการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

## 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

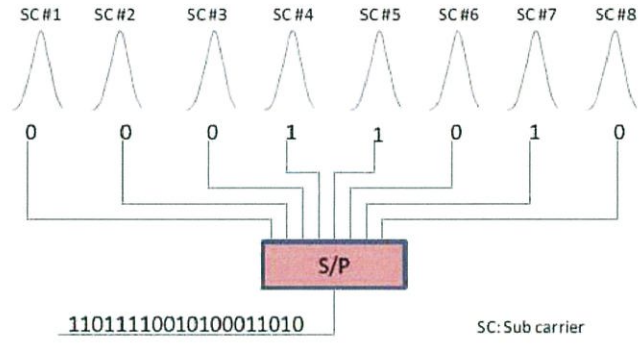
### 2.1.1 พื้นฐาน LTE

2.1.1.1 การพัฒนามาเป็น LTE

จากการเข้าถึงเทคโนโลยีแบบ Frequency Division Multiplexing (FDM) ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1 หรือยุคอนาลอกมาเป็น Time Division Multiplexing (TDM) ของยุคที่ 2 ที่ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิตอล แล้วก็เปลี่ยนมาเป็น Code Division Multiplexing (CDM) ของยุคที่ 3 ก็ถึงคราวเปลี่ยนแปลงอีกครั้งไปเป็นแบบ OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ในระบบที่มีชื่อว่า Long Term Evolution (LTE)

พื้นฐานของ Orthogonal Frequency-Division ก็คือการแบ่งความถี่เป็นช่องเล็กๆ เหมือน FDM (ที่ใช้ในระบบ NMT) แล้วแปลงสายข้อมูลของผู้ใช้จากที่มาเป็นแบบอนุกรมไปเป็นแบบขนาน แล้วส่งแต่ละบิทไปมอดูเลตกับแต่ละช่องความถี่เล็กๆ (subcarrier) ดังรูปที่ 1

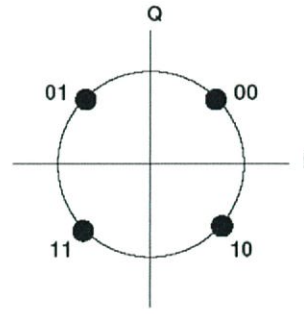
จำนวนของ subcarrier จะเท่ากันกับจำนวน parallel บิทที่แปลงจาก series บิท เทคนิคแบบนี้จึงง่ายที่จะขยายหรือลดขนาดความเร็วของการส่งข้อมูลได้ง่าย ถ้าต้องการความเร็วสูงก็ใช้ subcarrier จานวนมาก จะได้มากเท่าใดก็อยู่ที่แบนด์วิดท์ของคลื่นพาห์ที่ใช้ ซึ่งมาตราฐาน LTE (เริ่มจาก 3GPP Release 8) มีให้เลือกใช้หลายขนาด




รูปที่ 2.1 Multi-carrier modulation

ที่มา: LTE Basics

จากรูปที่ 2.1 แสดงพื้นฐานของ OFDM ที่แบ่งความถี่ออกเป็น carrier ย่อยๆมี แบนด์วิดท์ แคบๆ เรียกว่า subcarrier เพื่อแยกส่งข้อมูลกันในระดับบิท คือผู้ใช้แต่ละคนจะได้รับการกำหนดจำนวน Subcarrier (SC) ให้ใช้กันจำนวนหนึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วที่ต้องการส่ง และในแต่ละ SC ก็จะมีการมอดูเลตด้วยจำนวนบิทเท่าไหร่ก็อยู่ที่ว่ามอดูเลตแบบ QPSK, 16QAM หรือ 64QAM ถ้ามอดูเลตแบบ QPSK แต่ละ SC ก็จะส่งด้วย Symbol ละ 2 บิท ถ้ามอดูเลตแบบ 16QAM ก็ส่งด้วย symbol ละ 4 บิท ถ้ามอดูเลตด้วย 64QAM ก็ส่งด้วย symbol ละ 6 บิท symbol ก็คือตำแหน่งต่างๆของการมอดแต่ละแบบเช่น QPSK ก็มี 4 symbols ดังรูปที่ 2.2

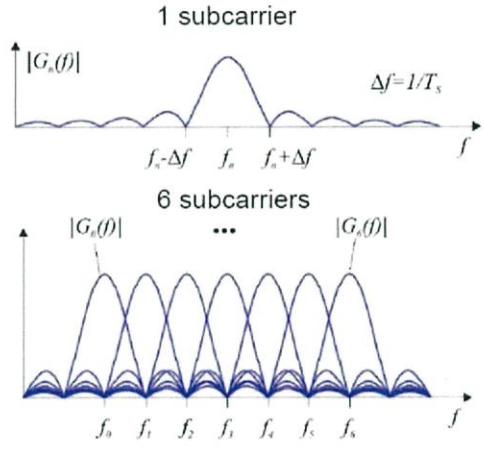



รูปที่ 2.2 QPSK modulation

ที่มา: LTE Basics

2.1.1.2 Orthogonal Frequency Division Multiplex

Orthogonal Frequency Division Multiplex หรือ OFDM เป็นระบบที่มีการวิจัยอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการสื่อสารไร้สายหลายประเภท ข้อดีเบื้องต้นของระบบ OFDM คือ เป็นระบบที่สามารถส่งผ่านข้อมูลด้วยอัตราความเร็วสูงเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ อีกทั้งยังใช้ย่านความถี่ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะได้กล่าวถึงในส่วนต่อไป ในส่วนนี้เราจะอธิบายหลักการทำงานเบื้องต้นของ OFDM โดยเริ่มจากระบบที่ไม่ซับซ้อนเพื่อให้เข้าใจได้ง่าย หลังจากนั้นเราจะชี้ให้เห็นถึงปัญหาและการแก้ปัญหาโดยการเพิ่มเติมคุณลักษณะของ OFDM ลงไปในระบบ จากตัวอย่างในรูปที่ 2.1 นั้นจะเห็นว่าแต่ละ SC จะอยู่ห่างกันก็เพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกัน ทำให้ประสิทธิภาพการใช้ความถี่จะต่ำเพราะต้องใช้แบนด์วิดท์ที่มากกว่า จึงต้องหาทางทำให้แต่ละ SC มาอยู่ชิดกัน แต่ไม่ให้รบกวนกัน ก็จะสามารถบรรลุความต้องการนี้ได้ก็ด้วยการใช้ผลของความเป็น orthogonal ของ SC ที่อยู่ติดกัน



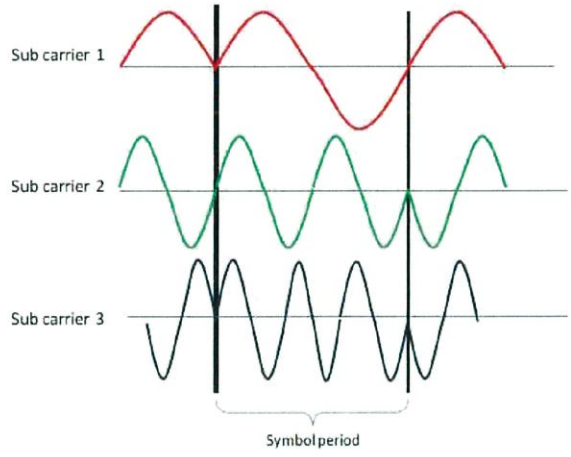

รูปที่ 2.3 Orthogonal Frequency Division

ที่มา: LTE Basics

จากรูปที่ 2.3 รูปบนเป็นแถบความถี่ของหนึ่ง subcarrier (sinc หรือ sin(x)/x) ซึ่งจุดสำคัญของ orthogonal ก็คือตรงจุด null หรือตรงที่ความถี่มีค่าเป็นศูนย์ทั้งซ้ายและขวาของความถี่ศูนย์กลาง ตรงจุดที่ความถี่เป็นศูนย์นี้จะให้เป็นจุดสูงสุดของ subcarrier ที่อยู่ติดกับมัน ดังรูปที่ 2.3 ก็จะทำให้เกิดความเป็น orthogonal กัน

การทำให้จุดสูงสุดมาตรงกับจุด null ของ subcarrier ข้างเคียงได้นั้น แต่ละ subcarrier จะต้องมีจำนวนรอบ (cycle) ในช่วงระยะเวลาของการมอดูเลตเป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น สมมติให้ subcarrier ที่ 1 มีขนาด 1 รอบ subcarrier ที่ 2 ที่อยู่ติดกัน ก็จะขนาด 2 รอบ และ subcarrier ที่ 3 ก็

จะมีขนาด 3 รอบเพื่อ orthogonal กับ subcarrier ที่ 2 ไปเรื่อยๆดังรูป จุดสำคัญคือต้องครบจำนวนรอบสมบูรณ์ใน modulation period หรือ symbol period




รูปที่ 2.4 แสดง subcarrier ที่ orthogonal กัน

ที่มา: LTE Basics

โดยที่การพิจารณาว่า orthogonal กันหรือไม่ จะพิจารณาในกรอบ symbol period โดยนำจุดสูงสุดทั้งบวกและลบของ 2 subcarrier มารวมกัน เช่น พิจารณาว่า subcarrier 1 กับ subcarrier 2 orthogonal กันหรือไม่ ดังนี้

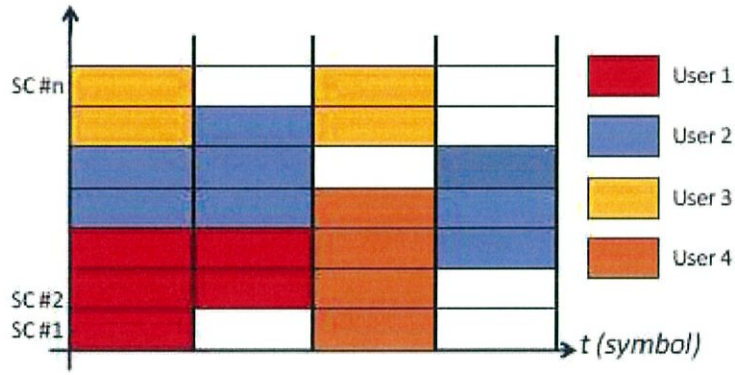
subcarrier 1 มี 2 peak คือ +1 และ -1 ส่วน subcarrier 2 มี 4 peak คือ +1, -1, +1 และ -1 เมื่อนำมาบวกรวมกันทั้ง 2 subcarrier จะได้ [+1 −1] + [+1 -1+1-1] = 0 เมื่อได้ค่ารวมเป็นศูนย์ก็จะถือว่า 2 carrier นี้มีความเป็น orthogonal กัน นั่นคือจำนวนรอบของคลื่นต้องครบรอบเพื่อที่จะได้หักล้างกันเหลือศูนย์ ส่วน subcarrier 1 กับ subcarrier 3 ไม่จำเป็นต้องหาความเป็น orthogonal กัน เพราะอยู่ห่างกัน ส่วนสำคัญของการคงความเป็น orthogonal กันไว้ให้ได้คือ ต้องรักษาความแรง (Amplitude) และเฟส ของคลื่นภายใน symbol period ให้คงที่ไว้ให้ได้

ในระบบ LTE นี้จะใช้ระยะห่างระหว่าง subcarrier 15 KHz เมื่อมีการใช้หลายๆ subcarrier เพื่อส่งข้อมูลในระดับบิทต่อหนึ่งผู้ใช้งาน ก็เหมือนกับว่ามีการใช้แถบความถี่ที่กว้าง หรือได้ประโยชน์จากการใช้แถบความถี่ที่กว้าง เช่นเดียวกันกับ WCDMA

2.1.1.3 Orthogonal Frequency Division Multiple Access

Orthogonal Frequency Division Multiple Access หรือ OFDMA คือเทคโนโลยีใหม่ด้านความถี่คลื่นวิทยุที่นำเข้ามาใช้กับเทคโนโลยีการสื่อสารสมัยใหม่ต่าง ๆ เช่น WiMAX และ LTE ซึ่ง

ทั้งสองเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่น่าจับตามองกันมากในโลกของการสื่อสารไร้สายในขณะนี้ เทคโนโลยีโมบายล์บรอดแบนด์หลักต่อไปก็จะมีทั้งสองตัวนี้เป็นตัวหลัก ซึ่งสำหรับเทคโนโลยี WiMAX ใช้งาน OFDMA ทั้งในส่วนของดาวน์ลิงก์และอัพลิงก์ แต่ LTE ได้เลือกใช้เทคโนโลยี OFDMA สำหรับด้านดาวน์ลิงก์เท่านั้น เมื่อทำการจัดแจงเรื่องของ subcarrier แล้ว เมื่อต้องรองรับการเข้าถึงจากผู้ใช้หลายๆคนพร้อมกัน จะแยกแยะกันอย่างไร LTE จึงกำหนดให้มีจังหวะเวลาแบ่งกันใช้ขึ้นมา ก็คือใช้ Time Division Multiplexing (TDM) มาช่วยดังรูปที่ 2.5




รูปที่ 2.5 แสดงการใช้งานด้วยเทคนิค Time Division Multiplexing

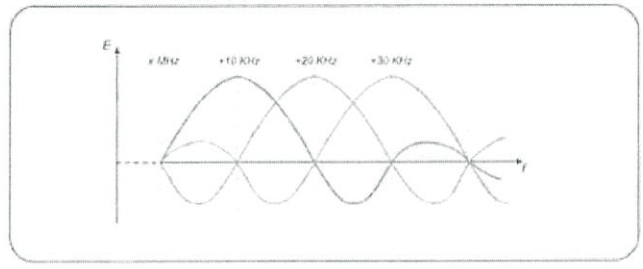
ที่มา: LTE Basics

จากรูปที่ 2.5 แต่ละ User ก็อาจได้จำนวน subcarrier ไม่เท่ากันได้ และสามารถใช้พร้อมๆกันในจังหวะ time slot เดียวกันได้ถ้ายังมี subcarrier ว่างให้ใช้ เมื่อมีการใช้ TDM ก็จะต้องมีการควบคุมจังหวะการส่งของเครื่องลูกข่ายด้วย timing advanced เหมือนระบบ GSM

OFDMA มาจากเทคโนโลยี OFDM ที่มีพื้นฐานของ FDM ซึ่งแบ่งสัญญาณความถี่ออกจากกันเพื่อให้แต่ละช่องสัญญาณไม่มีการรบกวนกัน และทำการรับส่งข้อมูลกันได้อย่างราบรื่น แต่การที่จะทำให้มันไม่รบกวนกันนั้นไม่ได้ใช้วิธีการใช้ Guard Band เพื่อแยกแต่ละความถี่ออกจากกัน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองความถี่โดยใช่เหตุ แต่จะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่าการทำให้มันเป็นอิสระต่อกันหรือ Orthogonal ที่เป็นคำ ๆ หนึ่งในชื่อของมันนั่นเองครับ

สัญญาณที่ Orthogonal กันนั้นเมื่อผ่านการโมดูเลชั่นที่ทำให้เกิดสัญญาณ Sideband รอบข้างขึ้นนั้นจะไม่มีผลต่อช่องสัญญาณข้าง ๆ ซึ่งจะสังเกตได้จากความถี่กลางของช่องสัญญาณนั้นจะไม่มีสัญญาณรบกวนใด ๆ เนื่องจากช่องสัญญาณนั้นเป็น Orthogonal กัน ซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ Guard Band มาช่วยป้องและทำให้สูญเสียสเปกตรัมความถี่ไปบางส่วนไปอย่างเปล่าประโยชน์ ทำให้การรับส่งสัญญาณความถี่นี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ได้อัตรา Throughput ที่สูงกว่านั่นเอง

และเมื่อได้ช่องสัญญาณ Orthogonal เช่น ที่ความถี่ X, 2X, 3X kHz ดังรูปที่ 2.6 จะสามารถที่จะย้ายความถี่ไปด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การโมดูเลชั่นให้ไปยังความถี่อื่นที่ใช้รับส่งออกอากาศ เช่น ที่ Y MHz สัญญาณ Y MHz + X kHz, Y MHz + 2X kHz เป็นต้น ก็ยังคงเป็น Orthogonal ต่อกันอยู่ และยังคงช่วยให้การใช้งานความถี่มีประสิทธิภาพสูงเช่นเคย

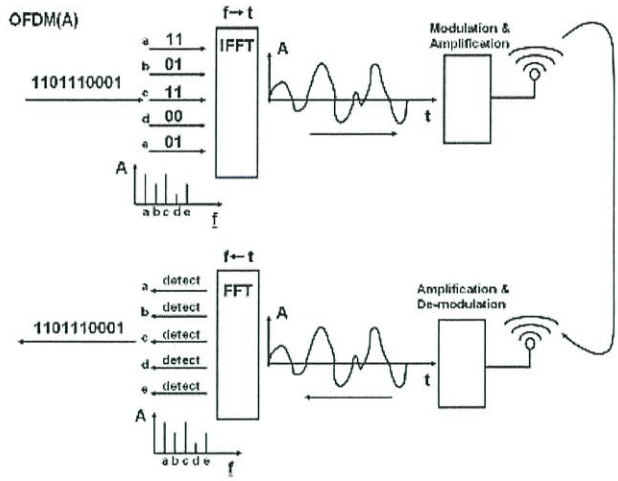


รูปที่ 2.6 สัญญาณฮาร์โมนิกที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่

ที่มา: www.thaitelecomkm.org/TTE/

และเมื่อได้หลักการสร้างสัญญาณ OFDM มาแล้ว เราก็สามารถที่จะทำการสร้างสัญญาณที่แต่ละช่องสัญญาณเป็นอิสระต่อกันขึ้นได้ และโดยทั่วไปแล้วการใช้งาน OFDM ที่เกิดขึ้นจะเป็นลักษณะของ Multi-carrier Communication ซึ่งจะช่วยในเรื่องของสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ได้ดีกว่า โดยจะทำการกระจายสัญญาณออกเป็นหลาย ๆ สายและส่งเข้าไปในแต่ละช่องสัญญาณเพื่อส่งออกอากาศอีกทีหนึ่ง ทำให้สัญญาณที่ออกไปมีคุณภาพดี และยังประหยัดความถี่จากประสิทธิภาพของ OFDM อีกด้วย

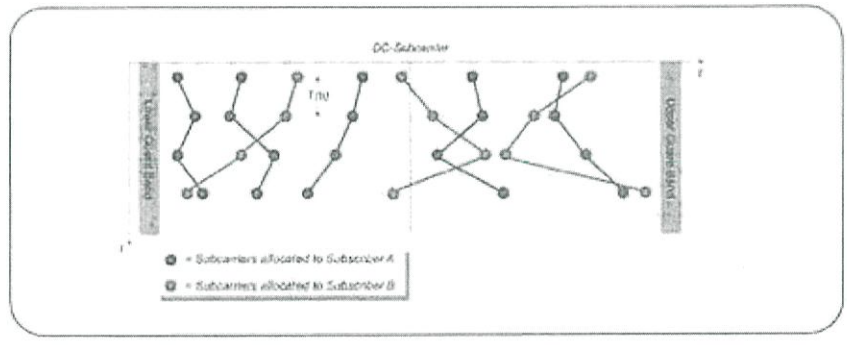
วิธีที่จะทำให้การใช้ OFDM คือการใช้งาน IFFT หรือ Inverse Fast Fourier Transform ซึ่งเป็นการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ กระทั่งได้ Sampling สัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ ที่ Orthogonal กันออกมา จากนั้นจึงค่อยส่งออกอากาศไปนั่นเอง ซึ่งวิธีนี้จะประหยัดทั้งพลังงาน ขนาดเล็ก และง่ายต่อการออกแบบมากกว่า ทำให้อุปกรณ์ที่ใช้งานมีขนาดเล็กและประหยัดพลังงานมากกว่า จึงเป็นวิธีที่นิยมใช้งานกันในปัจจุบัน ดังรูปที่ 2.7




รูปที่ 2.7 การสร้างสัญญาณ OFDM ด้วย IFFT

ที่มา: www.thaitelecomkm.org/TTE/

คราวนี้เมื่อเราต้องการที่จะใช้งาน OFDM สำหรับการรับส่งคลื่นวิทยุสำหรับหลาย ๆ ยูสเซอร์เช่นเดียวกับที่ FDM เคยเป็นมาแล้ว นั่นคือ FDM ก็กลายเป็น FDMA ดังนั้น OFDM ก็กลายเป็น OFDMA ลักษณะของ OFDMA จะเป็นการแบ่งช่องสัญญาณย่อยหรือ Subcarrier ให้กับแต่ละยูสเซอร์ หากแต่การแบ่งนั้นจะเป็นลักษณะเปลี่ยนแปลงช่องสัญญาณความถี่ย่อยตามเวลาที่เปลี่ยนไป โดยจำนวนของช่องสัญญาณแต่ละยูสเซอร์นั้นจะขึ้นกับคุณภาพการให้บริการหรือ QoS ที่ให้บริการนั้น

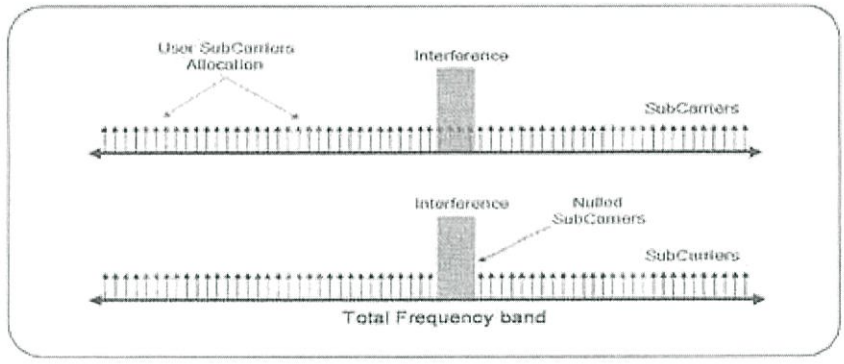


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการแบ่งช่องสัญญาณของ OFDMA

ที่มา: www.thaitelecomkm.org/TTE/

ข้อดีของการทำเช่นนี้ก็คือมันจะช่วยกระจายความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากสัญญาณรบกวน โดยเฉพาะสัญญาณรบกวนแบบ Narrow Band Interference ได้ดี หากเกิดการรบกวนขึ้นสัญญาณที่

หายไปก็จะเป็นเพียงแค่ส่วนย่อยและชั่วคราวเท่านั้น สามารถที่จะแก้ไขได้ด้วยวิธีการอื่น เช่น การใช้ Error Coding เป็นต้น ทำให้คุณภาพสัญญาณที่มีนั้นดีขึ้น อีกทั้งทำให้สามารถที่จะใช้ทรัพยากรความถี่ร่วมกันหลาย ๆ ยูสเซอร์ได้




รูปที่ 2.9 ผลกระทบที่เกิดจาก Narrow Band Interference

ที่มา: www.thaitelecomkm.org/TTE/

ข้อดีของเทคโนโลยี OFDMA ก็คือประสิทธิภาพที่ดีทั้งเรื่องการใช้ความถี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวนได้ดี อีกทั้งยังสามารถที่จะเลือกใช้ความถี่ต่าง ๆ ได้อย่างยืดหยุ่นมากกว่า แต่ก็จะมีข้อเสียก็คือค่า PAPR (Peak to Average Power Ratio) ที่สูง ซึ่งส่งผลต่อการกินไฟที่มากกว่าปกติ มีประสิทธิภาพด้านพลังงานที่ลดลง และนั่นทำให้นั่นเหมาะกับการใช้งานด้านดาวน์ลิงก์มากกว่า ซึ่งเป็นสิ่งที่ LTE ได้เลือกใช้นั่นเอง

2.1.1.4 พารามิเตอร์ของ OFDMA ใน LTE

| Transmission Bandwidth | 1.4 MHz | 3 MHz | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Sampling Frequency | 1.92 MHz | 3.84 MHz | 7.68 MHz | 15.36 MHz | 23.04 MHz | 30.72 MHz |
| Subcarrier Spacing | 15 kHz | | | | | |
| FFT Size | 128 | 256 | 512 | 1024 | 1536 | 2048 |
| Usable Subcarriers | 72 | 180 | 300 | 600 | 900 | 1200 |
| Resource Blocks | 6 | 15 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| Slot Duration | 0.5 ms | | | | | |
| Symbols per Slot | 7 (normal CP) or 6 (extended CP) | | | | | |

รูปที่ 2.10 ค่าพารามิเตอร์ทาง physical layer ของ OFDMA สำหรับ LTE

ที่มา: LTE Basics

1) Transmission แบนด์วิดท์ เป็นมาตราฐานของ LTE มีให้เลือกใช้อยู่ 6 ขนาดด้วยกัน ตั้งแต่ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์ถึง 20 เมกะเฮิร์ตซ์

2) Sampling frequency LTE ได้กำหนดมาตรฐานของคล็อค (Clock) หรือความถี่แซมปลิ้งไว้ที่ 1.92 เมกะเฮิร์ตซ์ ให้กับกรณีใช้แบนด์วิดท์ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์ แล้วเพิ่มขึ้น 2 เท่าไปเรื่อย ๆ ในแต่ละแบนด์วิดท์ เช่น แบนด์วิดท์ 3 เมกะเฮิร์ตซ์ จะใช้ความถี่แซมปลิ้งเท่ากับ 1.92 เมกะเฮิร์ตซ์ x 2 = 3.84 เมกะเฮิร์ตซ์

3) Subcarrier spacing 15 กิโลเฮิร์ตซ์ เป็นระยะห่างของ subcarrier ที่อยู่ชิดกัน หรือขนาดแบนด์วิดท์ของ subcarrier นั่นเอง

4) Fast Fourier Transform Size (FFT Size) ทางด้านส่งจะใช้ฟังก์ชั่น Invert fast Fourier transform (IFFT) มารวมสัญญาณจากหลายสแกรมบลิ้งโค้ดของทุก ๆ user ให้เป็นหนึ่งเดียวก่อนส่งออกอากาศ ส่วนทางด้านภาครับก็จะใช้ FFT มากระจายสัญญาณที่รับได้ออกเป็นหลายสแกรมบลิ้งโค้ด ขนาดของ FFT จึงมีขนาดเท่ากับ ความถี่แซมปลิ้ง/แบนด์วิดท์ของสแกรมบลิ้งโค้ด เช่น ที่แบนด์วิดท์ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์ จะมีขนาดของ FFT = 1920 กิโลเฮิร์ตซ์/15 กิโลเฮิร์ตซ์ = 128

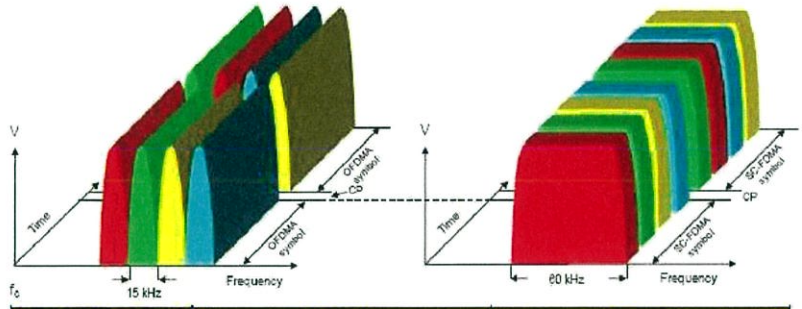
5) Usable subcarrier จากขนาดของ FFT ที่สะท้อนจำนวนของสแกรมบลิ้งโค้ด แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะมีบางส่วนถูกใช้เป็น guard SC ทำให้มีสแกรมบลิ้งโค้ดที่จะใช้ส่งข้อมูลและสัญญาณอ้างอิงได้ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น นำมาจัดเป็นกลุ่ม Resource Block ให้ RB ละ 12 สแกรมบลิ้งโค้ดได้ลงตัว มาตราฐาน LTE ได้กำหนดไว้ว่าที่แบนด์วิดท์ขนาด 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์จะมี Usable SC ทั้งหมด 72 สแกรมบลิ้งโค้ด, 3 เมกะเฮิร์ตซ์ก็จะมีได้ทั้งหมด 180 subcarriers เป็นต้น

6) Resource block มาตรฐานกำหนดไว้ให้มี 12 สแกรมบลิ้งโค้ดต่อหนึ่ง Resource block (RB) ทำให้แต่ละแบนด์วิดท์จะมีจำนวน RB ได้เท่ากับ Usable SC/12

7) Slot duration จะมีขนาดเท่ากันหมดทุกขนาดแบนด์วิดท์ คือ 0.5 มิลลิวินาที

8) Symbol per slot คือ จำนวนครั้งของการมอดูเลชั่นที่จะเกิดขึ้นได้ใน Slot duration ถ้าใช้ Normal cyclic prefix ก็จะมี 7 symbols ถ้าใช้ Extended cyclic prefix จะมีแค่ 6 symbols ซึ่งจะทำให้อัตราการส่งต่ำลง

2.1.1.5 Single Carrier Frequency Division Multiple Access




| Transmission scheme | OFDMA | | SC-FDMA | |
|---|---|---|---|---|
| Analysis bandwidth | 15 kHz | Signal BW (M X 15 kHz) | 15 kHz | Signal BW (M X 15 kHz) |
| Peak to average power ratio (PAR) | Same as data symbol | High PAR (Gaussian) | < data symbol (not meaningful) | Same as data symbol |
| Observable IQ constellation | Same as data symbol at 66.7 µs rate | Not meaningful (Gaussian) | < data symbol (not meaningful) | Same as data symbol at M X 66.7 µs rate |

รูปที่ 2.11 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง OFDMA กับ SC-FDMA

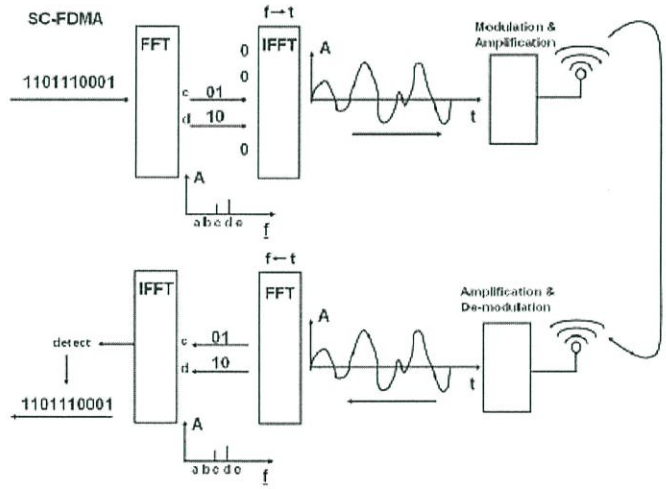
ที่มา: LTE Basics

ใน Mobile ระบบ LTE และระบบ 4G นั้น ทาง 3GPP ซึ่งเป็นหน่วยงานดูแลเรื่องมาตรฐานของระบบ Mobile ก็วางแผนให้ OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) นั้นเป็นตัวเลือกกระบวนการเข้าถึง (multiple access) อันดับต้นๆ ซึ่งจะเหมือนกับการผละจาก กระบวนการเข้าถึงแบบแบ่งรหัส (Code Division Multiple Access) หรือ CDMA ที่ใช้เป็นมาตรฐานในระบบ 3G ซึ่ง OFDM ส่งข้อมูลในหลาย carrier ไปพร้อมๆ กัน แต่ละ carrier โดยไม่กวนกัน เพราะวิธีการเลือก carreir ที่เรียกว่า Orthogonal ทำให้เกิดความทนทานต่อความไม่สมบูรณ์ของช่องทางการสื่อสาร ที่แต่ละย่านความถี่มีผลตอบสนองไม่เท่าเทียมกัน โดยเราเรียกช่องการสื่อสารแบบนี้ว่า Frequency-Selective Fading Channel

แต่กระนั้นก็ตามระบบ OFDMA ก็มีข้อเสียอันสำคัญ ตรงที่การที่ขอบ (envelope) ของสัญญาณส่งนั้น มีการกระเพื่อมมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของกำลังที่ส่งไป หรือเรียกว่า OFDMA ให้ PAPR (Peak to Average Power Ratio) ในระดับที่สูง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการออกแบบ power amplifier เพราะ PAPR สูงๆ หมายถึงการที่ ต้องหา Power Amplifier ที่เป็นเชิงเส้นมากๆ เพื่อป้องกันการเกิดความเพี้ยนที่เรียกว่า Intermodulation Distortion ความสูญเสียจาก กำลังการส่งสัญญาณเทียบกับความสูญเสียจากกำลังไฟตรงนั้นจึงมีค่าสูง ซึ่งก็หมายถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของ Power Amplifier

แต่ไม่ใช่ แค่ OFDMA เท่านั้นที่มีปัญหาเรื่องของ PAPR สูง บรรดากระบวนการเข้าถึงอื่นๆ ที่ใช้เทคนิค multicarrier ก็ต่างมีปัญหาเรื่อง PAPR นี้เท่าเทียมกัน เช่น MC-CDMA (Multicarrier CDMA) เป็นต้น

เพื่อแก้ปัญหา PAPR ที่ว่า ทาง 3GPP ก็ได้เสนอแนวทางอีกแบบ ที่เป็น OFDMA อีกเวอร์ชันหนึ่ง ซึ่งตัดปัญหาของ PAPR ที่ต้นเหตุ คือ วิธีการเรียกใช้ multicarrier ให้กลายเป็น OFDMA ที่ประหนึ่งว่าเป็น Single-carrier โดยให้ชื่อว่า Single-Carrier FDMA หรือ SC-FDMA แต่ระบบ SC-FDMA นั้นไม่ได้เป็นแบบ Single-carrier จริง เพราะแท้จริงแล้ว SC-FDMA นั้นเป็น Multi-carrier ในรูปแบบหนึ่ง SC-FDMA มีหลักการที่แตกต่างจาก OFDMA เพียงแค่ว่าแทนที่จะส่งข้อมูลที่อยู่ในหลาย carrier ไปพร้อมๆ กัน แบบขนาน (Parallel) เหมือน OFDMA ก็เปลี่ยนเป็นส่งข้อมูลในหลาย carrrier นี้ เป็นทางอนุกรม (Serial) แทน ซึ่งวิธีการของ SC-FDMA นี้ จึงช่วยลด PAPR ได้อย่างมาก และ นับเป็นมาตรฐานของการส่งข้อมูล Uplink ใน LTE โดยมีหลักการดังรูปที่ 2.12



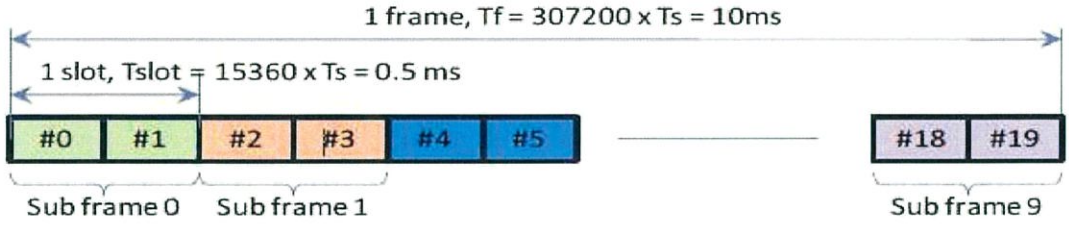

รูปที่ 2.12 แสดงการสร้างสัญญาณ SC-FDMA

ที่มา: ที่มา: www.thaitelecomkm.org/TTE/

ข้อดีของ SC-FDMA ก็คือสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเดิมจากที่ใช้ OFDMA ที่มีค่า PAPR มาก ทำให้เปลืองพลังงาน โดย SC-FDMA ให้ค่า PAPR ที่ต่ำกว่า และให้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น แต่ก็จะมีกระบวนการมากขึ้น ทำให้อุปกรณ์หรือการออกแบบนั้นซับซ้อนมากขึ้น ใช้ความสามารถที่อุปกรณ์มากขึ้นด้วย แต่ด้วยข้อดีของมันที่ใช้พลังงานลดลง จึงทำให้ LTE ได้เลือกที่จะใช้เทคโนโลยีนี้ทางด้านอัพลิงก์ที่อุปกรณ์ของยูสเซอร์เพื่อให้ใช้งานพลังงานลดลง ใช้งานได้นานขึ้นนั่นเอง

2.1.1.6 Frame Structure

ในการส่งข้อมูลก็ต้องมีการกำหนดกรอบหรือเฟรมที่มีขนาดของเฟรม, เฟรมย่อย และ slot ในเฟรม ประกอบกันเป็นโครงสร้างของเฟรม โดยที่ 1 เฟรมจะมีขนาด 10 ms แบ่งเป็น 10 sub frame (1 ms) และภายในแต่ ละ sub frame ก็จะแบ่งเป็น 2 slot แต่ละ slot จะมีขนาด 0.5 ms

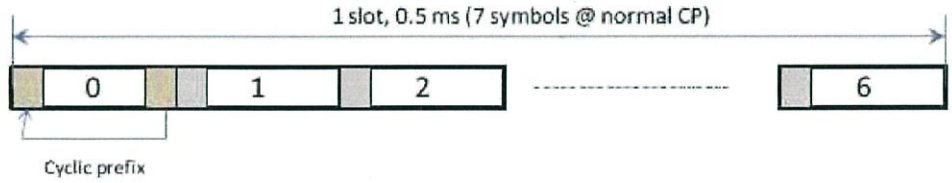



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของเฟรมของแบบ FDD

ที่มา: LTE Basics

2.1.1.7 Slot Structure

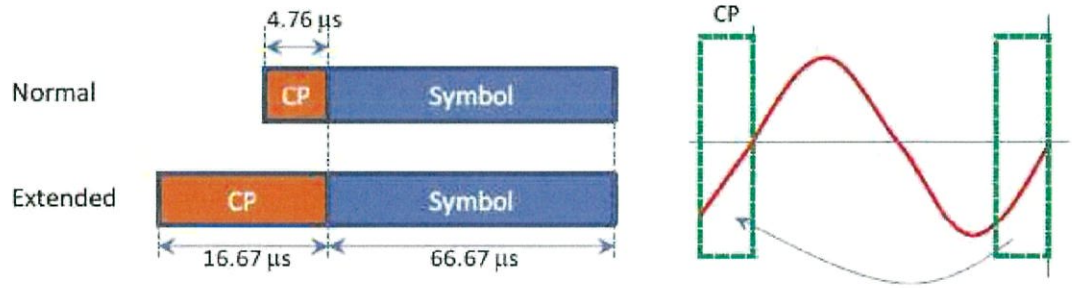
ในแต่ละ slot ก็จะแบ่งอีกเป็น 7 หรือ 6 ช่อง symbols หรือ 1 OFDM symbol หนึ่งจังหวะของการ modulation หรือการเปลี่ยนจังหวะของการ modulation จะเกิดขึ้น 7 ครั้งในหนึ่ง time slot เมื่อใช้ Normal Cyclic Prefix (CP) หรือ 6 ครั้งเมื่อใช้ extended CP (สามารถเลือกใช้ได้เป็นรายสถานีฐาน) โดยที่ CP ก็คือเทคนิคการแก้ปัญหา Inter-symbol Interference อันเกิดจากสัญญาณ multipath ด้วยการตัดเอาส่วนหนึ่งของสัญญาณที่ มอดูเลต แล้วไปแปะที่ด้านหน้าของสัญญาณที่จะส่งที่มีให้เลือกอยู่ 2 แบบคือ Normal CP และ Extended CP ขึ้นอยู่กับสะภาพแวดล้อมที่สัญญาณ multipath จะมี delay ต่างกัน การเลือกใช้แบบ extended CP ก็จะทำให้ จำนวน symbol ต่อ slot ลดลงเหลือ 6 symbols (0 – 5)




รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ slot

ที่มา: LTE Basics

จากรูปที่ 2.14 เป็นโครงสร้างของ slot ที่สามารถมีหรือส่ง symbol ของการ modulation ได้ 7 ครั้งหรือ 7 symbols สำหรับการใช้ normal CP




รูปที่ 2.15 Cyclic Prefix

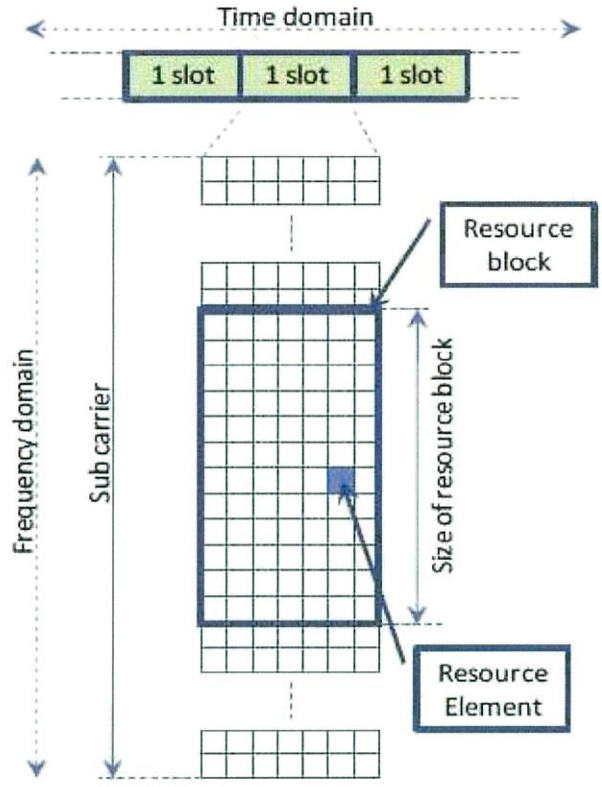
ที่มา: LTE Basics

การใส่ CP นั้น จะทำการคัดลอกสัญญาณส่วนทางด้านขวามือมาวางด้านซ้ายดังรูป ทำให้ต้องเสียพื้นที่ที่จะบรรจุลงใน slot ไปส่วนหนึ่งแล้วแต่ว่าจะเลือกใช้แบบไหน มาตราฐาน LTE มีให้เลือกใช้อยู่ 2 ขนาด คือแบบ Normal จะเป็นขนาดที่เป็นค่าเฉลี่ยของ delay ของสัญญาณ multipath ที่เกิดจากการสะท้อนกับสิ่งกีดขวางต่างๆในเขตเมืองและอุปกรณ์ของผู้ใช้งานหรือ UE ซึ่งไม่ได้อยู่ไกลจากสถานีฐานนัก ส่วนแบบ Extended ที่มีขนาดใหญ่กว่า จะเหมาะกับพื้นที่เขตนอกเมืองเพราะ UE จะอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก delay ก็จะมีโอกาสยาวนานมากขึ้นไปด้วย

2.1.1.8 Resource Element and Resource Block

Resource Element คือ 1 symbol ของ 1 subcarrier ก็คือหน่วยที่เล็กที่สุดของ physical layer นำหลายๆ Resource Element มารวมกันเป็น Resource block (RB) ที่จะเป็นหน่วยเล็กที่สุดในการทำตารางเวลาส่ง (scheduling) คือจัดคิวการส่งให้แต่ละ user ขั้นต่ำ คือครั้งละ 1 RB

ในรูปที่ 8 แนวตั้งจะเป็น frequency domain ที่แต่ละ block ก็คือ subcarrier จำนวนของ subcarrier จะมีมากเท่าไหร่ก็อยู่ที่ขนาดของ แบนด์วิดท์ ที่ใช้ มีให้เลือกตั้งแต่ 1.4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz และ 20 MHz ถ้าใช้ 1.4 MHz แบนด์วิดท์ ก็จะมี SC ได้ทั้งหมด 72 subcarrier ถ้าใช้ 3 MHz แบนด์วิดท์ ก็จะมี 180 subcarrier เป็นต้น




รูปที่ 2.16 แสดง Resource grid ในแบบที่ใช้ normal cyclic prefix

ที่มา: LTE Basics

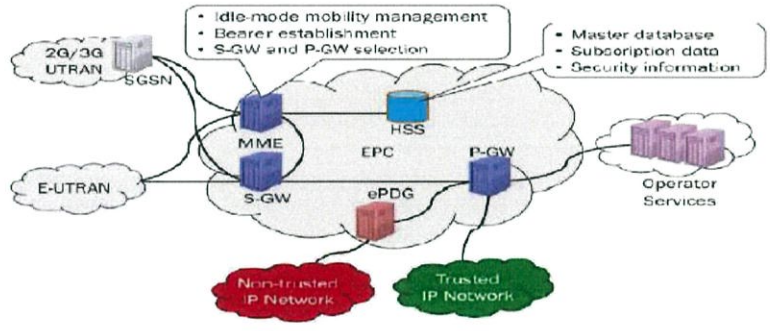
จากรูปที่ 2.16 ทางด้านแนวนอนจะเป็น time domain เป็นตัวอย่างของหนึ่ง slot ที่แบ่งเป็นช่องเป็น symbol period (หรือ modulation period) ก็คือ 1 ช่อง หมายถึง 1 symbol โดยจะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ 6 symbols ต่อ slot กับแบบ 7 symbols ต่อ slot ขึ้นอยู่กับ cyclic prefix ที่ใช้ในกรอบของ Resource block คือการนำ 12 subcarriers (180 KHz) และ 7 (หรือ6) symbol มาประกอบกันเป็น 1 Resource block (RB) ก็จะสามารถคำนวนความเร็วแบบ instance data rate ได้ดังนี้

สมมติให้ใช้ QPSK ตลอดทั้ง 7 symbols และใช้ 1 RB QPSK = 2 bits/Symbol = 2 x 12 x 7 = 168 bits/slot = 336 bit/sub frame = 3360 bit/frame (หรือ 3360 bit/10ms) = 336000 bit/1s นั่นคือ แบนด์วิดท์ 180 KHz และ มอดูเลต ด้วย QPSK จะได้ data rate 336 Kbps (คิดที่ 1 Kbps = 1000 bps) นี่เป็น data rate ขั้นต่ำสุดบน physical channel ถ้าจะคำนวนเป็น user data rate ต้องไปหักพวก channel coding, CRC หรือ header ที่ถูกใส่เข้ามาระหว่างทางก่อนส่งออกอากาศด้วย

LTE ยังใช้เทคนิคการเข้ารหัสเหมือนกับที่ใช้ใน UMTS คือ Convolution และ Turbo code ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่จะเอามาเข้ารหัส ถ้าใช้แบบ Convolution ก็จะมี delay ต่ำกว่า แต่แบบ Turbo code ก็มีความแข็งแรงหรือป้องกันข้อผิดพลาดได้ดีกว่า

2.1.1.9 LTE Network Architecture

LTE ที่ถือว่าเป็น mobile broadband หรือ packet base service เต็มตัว จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของส่วนที่เป็น core ใหม่เรียกว่า Evolved Packet Core (EPC) และเรียกส่วนที่เป็น radio network ว่า Evolved Radio Access Network หรือ 3GPP เรียกว่า Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) รวมถึง interface ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างโหนดต่างก็มีชื่อเรียกใหม่ด้วย




รูปที่ 2.17 สถาปัตยกรรมของ LTE

ที่มา: LTE Basics

จากรูปที่ 2.17 สถาปัตยกรรมของ LTE คร่าวๆจะประกอบด้วย E-UTRAN ที่ประกอบด้วยสถานีฐานที่เรียกว่า eNode-B ในส่วนของ core network จะประกอบด้วย Mobility Management Entity (MME), Serving Gateway (S-GW), Packet Data Network Gateway (PDN-GW/P-GW), Policy and Charging Rules Function (PCRF), Home Subscriber Service (HSS) และ evolved Packet Data Gateway (ePDG)

MME จะรับผิดชอบในเรื่องที่เกี่ยวกับตำแหน่งของ UE เช่นการเก็บข้อมูลปัจจุบันของ UE, สร้าง ID ชั่วคราวให้กับ UE, ดูแลสถานะของ UE ในขณะ Idle, กระจายคำสั่ง paging, ดูแลเรื่องการรักษาความปลอดภัย การพิสูจน์ทราบตัวตนที่แท้จริงของ UE, ควบคุมขนาดของท่อ (bearer) ของ EPC และการเลือก S-GW และ S-GW ถ้ามีการต่อใช้งานแบบ pool

S-GW จะรับผิดชอบการเป็น anchor ของ User plane ตอนทำ Inter-eNode-B handover หรือ Inter system handover (แต่เป็น system ที่อยู่ในสังกัดของ 3GPP เช่น GSM หรือ UMTS) หรือทำหน้าที่คล้ายๆ GGSN

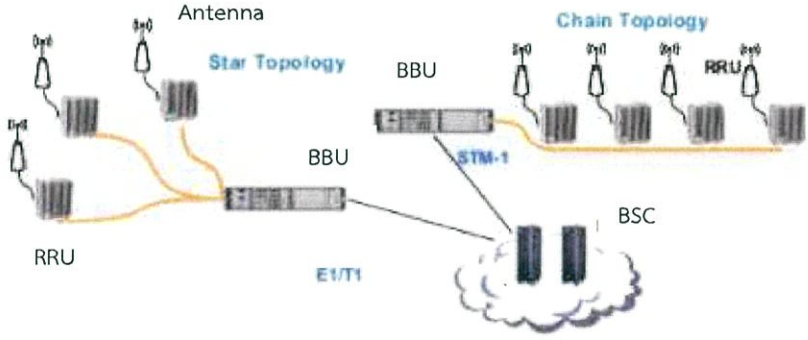
P-GW จะเป็นเหมือน default router ของ UE และเป็น anchor เมื่อมีการ handover ระหว่างระบบที่อยู่ในสังกัด 3GPP กับระบบที่ไม่ได้อยู่ในสังกัด 3GPP

ePDG จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับ IP access ที่เป็น IP network ทั่วไปที่ไม่ได้อยู่ในการดูแลของเรา (non-trusted) โดยจะมีการใส่กลไกการรักษาความปลอดภัยเพิ่มเข้าไป

HSS จะเป็นฐานข้อมูลหลักของระบบที่จะเก็บข้อมูลต่างๆของ UE ที่จะใช้เพื่อควบคุมการโทรและการจัดการกับ session

### 2.1.2 สถานีฐานในการแพร่กระจายสัญญาณ LTE

สถานีฐานเป็นตัวกระจายสัญญาณโทรศัพท์ให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้งานและติดต่อกับระบบเน็ตเวิร์ค โดยในโครงข่ายสัญญาณ LTE จะเรียกว่า e node-B หรือ Evolved Node B มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.18 และมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้




รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างของสถานีฐาน

ที่มา: LTE Basics

2.1.2.1 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศในระบบสื่อสารไร้สาย ในการส่งสัญญาณ สายอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปในอากาศ และในฝั่งรับสัญญาณ สายอากาศจะทำ

หน้าที่ดักจับคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศแปลงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นเครื่องรับวิทยุ สัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณเสียง เพื่อประโยชน์ในการรับฟัง ระบบสื่อสารไร้สายมีหลายรูปแบบและมีลักษณะการใช้งานและค่าความถี่ที่แตกต่างกัน สายอากาศจึงต้องถูกออกแบบให้มีขนาดและรูปแบบตามความถี่และความเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานนั้น ๆ

1) หลักการทำงานของสายอากาศ

ระบบส่งสัญญาณวิทยุ สายอากาศมีหน้าที่หลักในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสู่อากาศ การแพร่กระจายคลื่นจะเกิดขึ้น เมื่อมีการป้อนสัญญาณซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังสายอากาศ ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวก และลบบนพื้นผิวของสายอากาศ และเนื่องจาก สัญญาณที่ป้อนให้สายอากาศเป็นคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับประจุไฟฟ้าจึงถูกเร่งให้เคลื่อนที่ ไปยังตำแหน่งต่างๆ บนสายอากาศ กลับไป-กลับมา ตามความถี่ของสัญญาณจากเครื่องส่ง จนเกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมา

จากรูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ของสายอากาศไดโพลขนาดครึ่งความยาวคลื่น (โดยใช้สัญญาณวิทยุแบบดิฟเฟอร์เรนเชียน(Differential)ที่มีเฟสต่างกัน ๑๘๐ องศา ป้อนให้กับชิ้นโลหะทั้งสองของสายอากาศ และใช้ประจุไฟฟ้า อธิบายการเกิดของเส้นแรงสนามไฟฟ้า) อธิบายลำดับการแพร่กระจายคลื่น ดังนี้

รูปที่ 2.19 (ก) สายอากาศไดโพลขณะที่ยังไม่มีการป้อนสัญญาณ จะไม่มีประจุไฟฟ้าใด ๆ บนชิ้นตัวนำของสายอากาศ

รูปที่ 2.19 (ข) เมื่อทำการป้อนสัญญาณวิทยุ จะเกิดประจุไฟฟ้าบวกและลบบนสายอากาศ

รูปที่ 2.19 (ค) เมื่อสัญญาณวิทยุมีการเปลี่ยนแปลงค่า ประจุไฟฟ้าบวกและลบเคลื่อนที่ ไปบนสายอากาศตามจังหวะของสัญญาณวิทยุ เนื่องจากสัญญาณวิทยุที่ป้อนให้กับสายอากาศไดโพลชิ้นบนและชิ้นล่างมีความต่างกัน ๑๘๐ องศา คือในขณะที่สายอากาศชิ้นบนได้รับแรงดันบวก สายอากาศชิ้นล่างจะได้รับค่าแรงดันลบ ประจุไฟฟ้าบวกและลบจึงเดินทางห่างจากกัน เกิดเป็นเส้นแรงสนามไฟฟ้าระหว่างประจุไฟฟ้าทั้งสอง

รูปที่ 2.19 (ง) เมื่อสัญญาณวิทยุมีการเปลี่ยนระดับ จนถึงค่าสูงสุด ค่าความต่างศักย์ที่ปลายทั้งสองด้าน ของสายอากาศก็จะมีค่าสูงสุดเช่นกัน จากนั้นประจุไฟฟ้าบนสายอากาศจะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งปลายของสายอากาศ ทำให้เส้นแรงสนามไฟฟ้าขยายตัวขึ้นสูงสุดด้วย

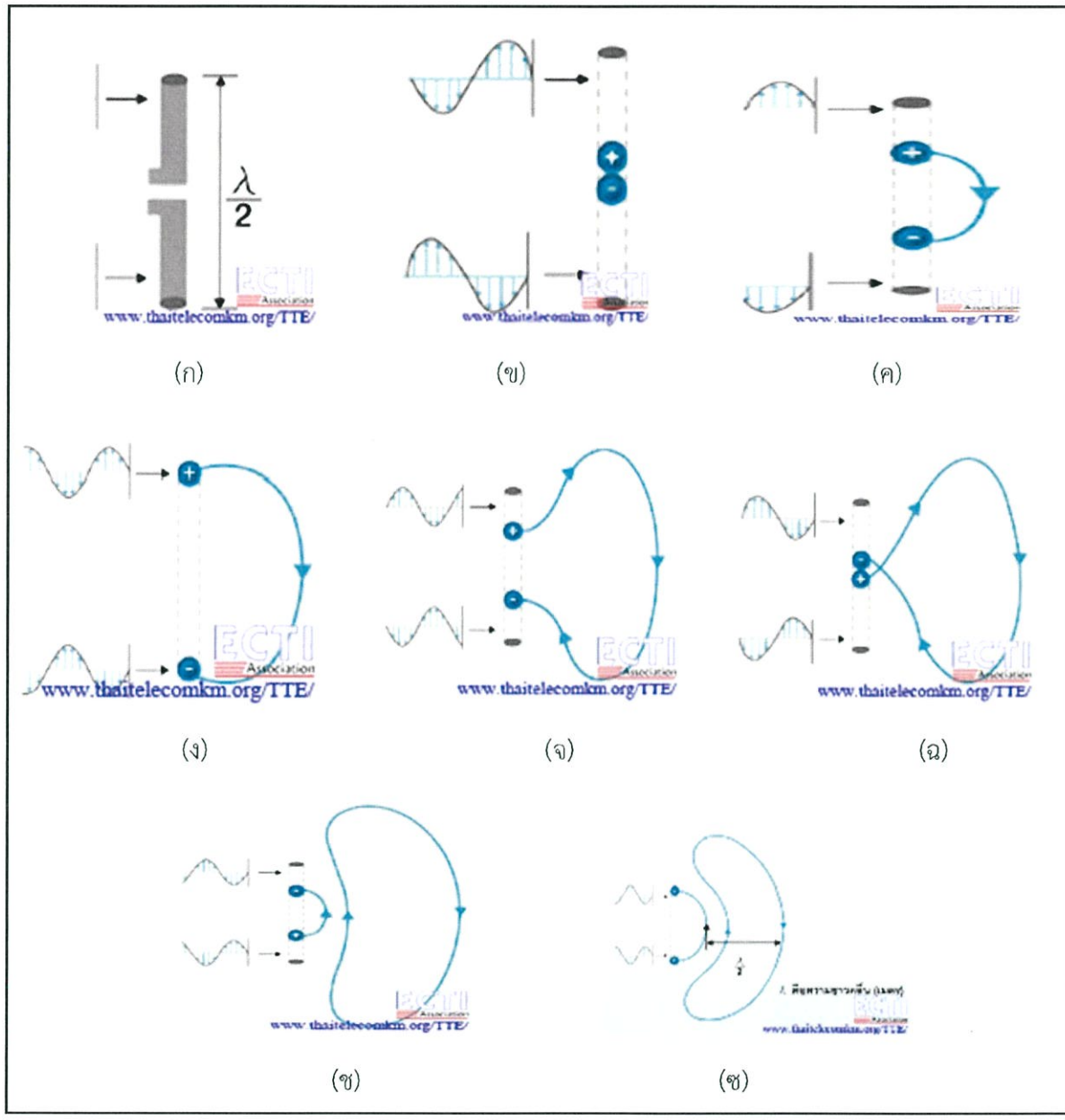
รูปที่ 2.19 (จ) เมื่อสัญญาณวิทยุลดขนาดลง ค่าความต่างศักย์ที่ปลายของสายอากาศก็จะมีค่าลดลงเช่นกัน ทำให้ประจุไฟฟ้าบวกและลบเคลื่อนที่เข้าใกล้กันมากขึ้น จากนั้นสนามไฟฟ้าที่ถูกสร้างไว้ จะดันตัวออกจากสายอากาศ

รูปที่ 2.19 (ฉ) เมื่อค่าความต่างศักย์ ที่ปลายของสายอากาศลดลงเป็นศูนย์ ประจุไฟฟ้าบวก-ลบ จะเคลื่อนตัวมาตัดกัน สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกสร้างขึ้นก็จะถูกตัดขาด และแพร่กระจายออกไปในอากาศ

รูปที่ 2.19 (ช) เมื่อสัญญาณวิทยุเพิ่มขนาดขึ้นอีกครั้ง แต่เป็นไปในทิศตรงกันข้าม คือ สายอากาศชิ้นล่างได้รับแรงดันบวก แทนแรงดันลบ เส้นแรงสนามไฟฟ้าชุดใหม่จะถูกสร้างขึ้นและดันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชุดก่อนให้แพร่ออกไปได้ไกลมากยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.19 (ซ) เมื่อสัญญาณวิทยุเพิ่มขนาดจนถึงค่าสูงสุดอีกครั้ง ขอบนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรกและชุดที่สองจะห่างกันเท่ากับครึ่งความยาวคลื่นพอดี การเกิดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายอากาศนี้จะเกิดขึ้นซ้ำไปเรื่อย ๆ ตราบใดที่มีสัญญาณวิทยุป้อนมายังสายอากาศ

ส่วนการทำงานของสายอากาศในฝั่งเครื่องรับวิทยุ จะมีหลักการเช่นเดียวกับฝั่งเครื่องส่งแต่กลับด้านกัน กล่าวคือ สายอากาศรับจะคอยดักจับหรือเหนี่ยวนำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายในอากาศ มาเป็นประจุไฟฟ้าบนชิ้นตัวนำของสายอากาศ ก่อนที่จะป้อนสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวให้กับภาครับสัญญาณวิทยุต่อไป

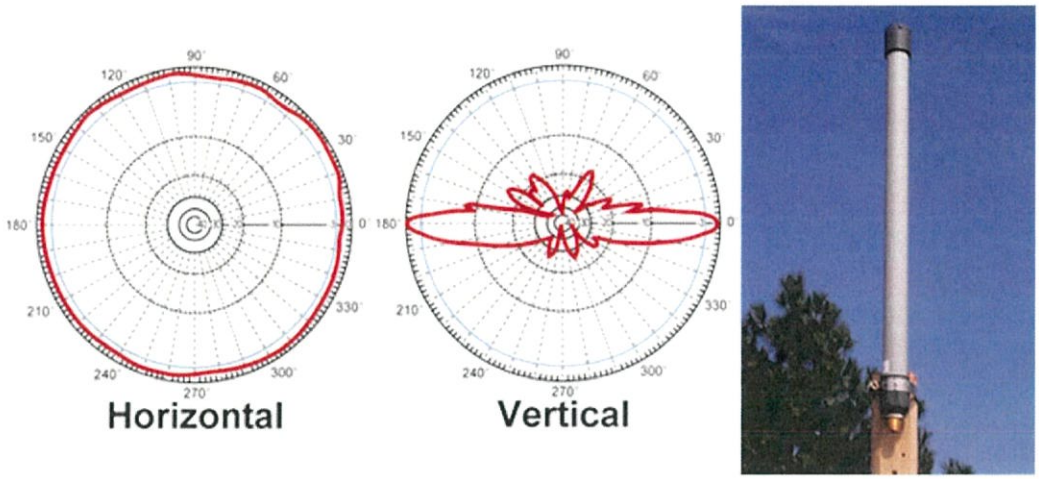



รูปที่ 2.19 การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกจากสายอากาศ

ที่มา: www.thaitelecomkm.org/TTE/

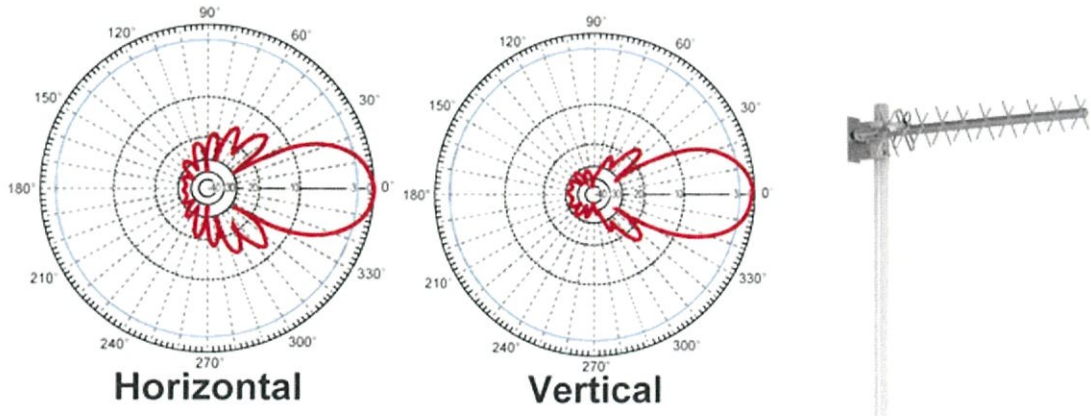
2) ประเภทของสายอากาศ สายอากาศสามารถแบ่งตามรูปแบบการกระจายของคลื่นได้เป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

2.1) สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง หรือ 360 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2.20




รูปที่ 2.20 สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna)

2.2) สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่ชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสายอากาศแบบรอบตัว แต่ถ้าสายอากาศไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ สายอากาศแบบทิศทางที่นิยมใช้ ได้แก่ สายอากาศแบบเซ็กเตอร์ (Sector Antenna) สายอากาศแบบยากิ (Yagi Antenna) สายอากาศแบบกริด (Grid Antenna) สายอากาศแบบจาน (Solid Dish Antenna) ดังรูปที่ 2.21




รูปที่ 2.21สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna)

3) อัตราขยายของสายอากาศ

เป็นตัวบ่งบอกอัตราขยายของสายอากาศนั้น ๆ ว่าสามารถขยายกำลังที่ถูกส่งเข้ามายังสายอากาศและแพร่กระจายออกไปได้ไกลเท่าไหร่ อัตราขยายยิ่งสูง ระยะทางจะไปได้ไกลขึ้น แต่องศาในการกระจายคลื่นจะแคบลง สายอากาศแบบทิศทางเดียวจึงมีอัตราการขยายมากกว่าสายอากาศแบบกึ่งรอบตัวและแบบรอบตัว ลักษณะการใช้งานจึงแตกต่างกันไป สายอากาศที่มีอัตราขยายสูงจะสามารถรับ-ส่งคลื่นวิทยุได้ดีมาก โดยหน่วยของอัตราขยายจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

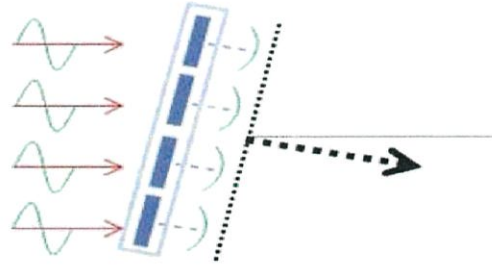
dBi เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบไอโซโทรปิก (Isotropic)

dBd เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบไดโพล (Dipole)

4) การปรับมุมของสายอากาศ

สายอากาศแบบทิศทางสามารถปรับมุมได้ โดยการปรับมุมของสายอากาศจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะการปรับ คือ

4.1) การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt: M-Tilt) คือ การปรับมุมก้ม-เงย ของสายอากาศโดยใช้คนไปทำการปรับมุมที่สายอากาศโดยตรง ไม่มีการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุตและรูปแบบการแพร่ของคลื่น ดังรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23



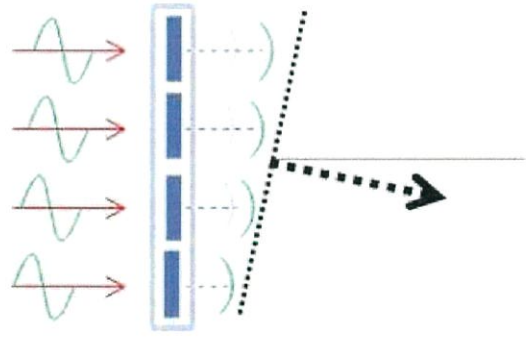
รูปที่ 2.22 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt : M-Tilt)

ที่มา: http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx

รูปที่ 2.23 การปรับเชิงกลหน้าสายอากาศ

ที่มา: http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx

4.2) การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt: E-Tilt) คือ การปรับบีมของสัญญาณที่ออกมาจากตัวสายอากาศด้วยวิธีการทางไฟฟ้า โดยใช้หลักการของ Phase shiftier ซึ่งจะมีวงจรอยู่ภายในสายอากาศนั้น โดยจะทำให้เฟสของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไป ทำให้บีมของคลื่นสัญญาณที่ออกมาเปลี่ยนแปลงทิศทางได้ โดยสามารถแก้ไขผ่านระบบในคอมพิวเตอร์ สามารถตรวจสอบว่าองศาปัจจุบันเป็นเท่าใดได้อย่างละเอียด โดยการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณอินพุตและรูปแบบการแพร่ของคลื่น โดยไม่มีการปรับมุมด้านหน้าส่งสายอากาศโดยตรง ดังรูปที่ 2.24 และรูปที่ 2.25



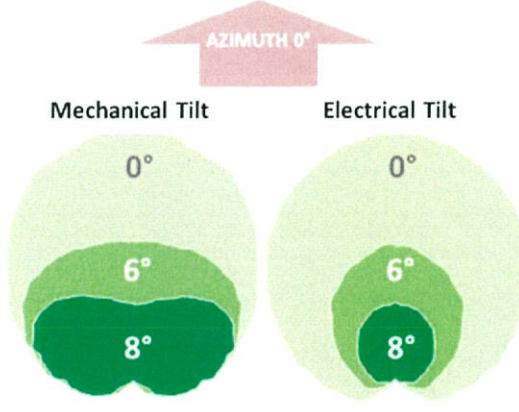
รูปที่ 2.24 การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt : E-Tilt)

ที่มา: http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx

รูปที่ 2.25 การปรับเชิงไฟฟ้า สามารถปรับผ่านคอมพิวเตอร์

5) รูปร่างการแพร่ของคลื่นเมื่อทำการปรับมุม

เมื่อทำการปรับมุมของสายอากาศ จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.26 โดยการปรับเชิงกล เมื่อปรับมุมก้มลง รูปร่างของพื้นที่ของสัญญาณจะมีระยะทางลดลง แต่จะเพิ่มความกว้างของพื้นที่รอบข้าง ส่วนเมื่อทำการปรับมุมของสายอากาศโดยการปรับเชิงไฟฟ้า เมื่อปรับมุมก้มลง รูปร่างของพื้นที่ของสัญญาณจะลักษณะที่ตามทิศทางการปรับมุมของสายอากาศ ถ้าปรับมุมเงยขึ้นน บริเวณพื้นที่ก็กว้างขึ้น แต่เมื่อปรับมุมก้มลง บริเวณพื้นที่หดเล็กลง



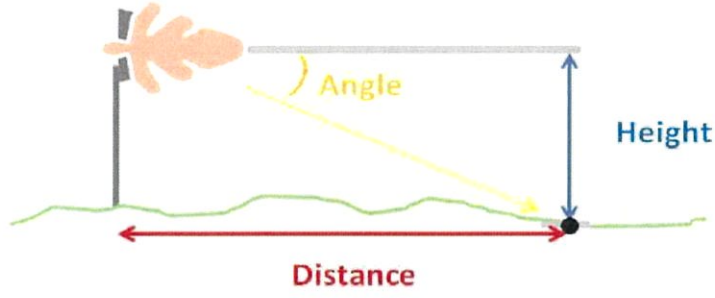

รูปที่ 2.26 รูปร่างการแพร่ของคลื่นเมื่อทำการปรับมุมด้วยการปรับเชิงกลและการปรับเชิงไฟฟ้า

ที่มา: http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx

6) การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง

การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง โดยความสูงของสายอากาศและระยะของคลื่นส่งไปได้จะต้องเป็นหน่วยเดียวกัน ดังสูตรต่อไปนี้

$$\text{มุมก้มของสายอากาศ}^{\circ} = \boldsymbol{arctan}\left(\frac{\text{ความสูงของสายอากาศ}}{\text{ระยะทางของคลื่นที่ส่งไปได้}}\right)$$

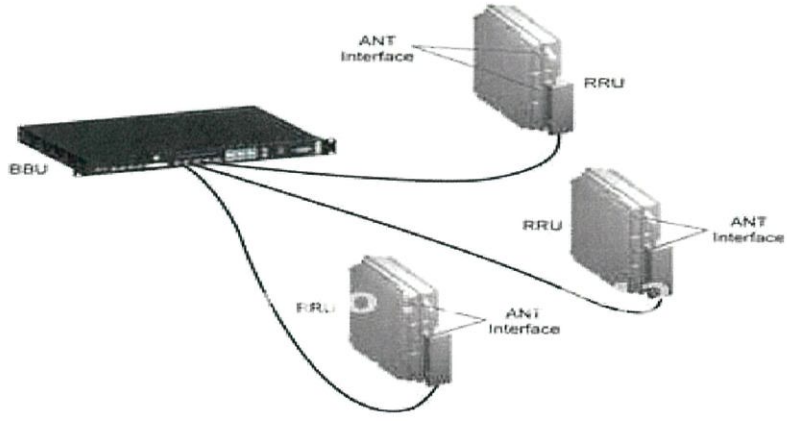



รูปที่ 2.27 การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง

ที่มา: http://www.telecomhall.com/what-is-antenna-electrical-and-mechanical-tilt-and-how-to-use-it.aspx

2.1.2.2 Baseband Unit (BBU)

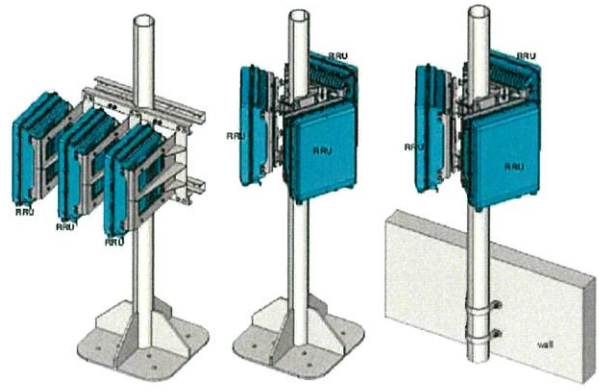
มีหน้าที่เป็นตัวควบคุมการสื่อสารกับชุดเครื่องส่งวิทยุหรือ RRU และควบคุมการทำงานของ RRU เป็นอุปกรณ์ที่มี Port เส้นใยแก้วนำแสงต่อไปที่ RRU บนเสา หรือส่งไปที่ RRU ที่ติดตั้งห่างไกลออกไปได้ โดยปกติ 1 BBU จะควบคุมกับ RRU ได้ 3 หรือ 6 ตัว ดังรูปที่ 2.28




รูปที่ 2.28 Baseband unit (BBU)

2.1.2.3 Remote Radio Unit (RRU)

มีหน้าที่แปลงสัญญาณ จาก BBU ที่ส่งมาทางใยแก้วนำแสง RRU จะติดตั้งบนเสาสูง เพื่อออกอากาศความถี่ วิทยุ ที่ความถี่มือถือ 850Mhz หรือ 900 Mhz หรือ 1800Mhz หรือ 2100 Mhz ทางเสาอากาศ ที่เห็นเป็นแท่งยาวๆ สีเท่าหรือสีขาว เพื่อส่งไปยังเครื่องโทรศัพท์มือถือ และรับสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์กลับ ส่งลงมาที่ BBU ผ่าน IP LAN กลับไปยังชุมสาย มีลักษณะดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 Remote radio unit (RRU)

2.1.2.4 Base Station Controller (BSC)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ส่วนประกอบอื่นสามารถเชื่อมต่อและติดต่อกับระบบเน็ตเวิร์คได้ แสดงดังในรูปที่ 2.30

รูปที่ 2.30 Base Station Controller (BSC)

### 2.1.3 การสูญเสียในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ

2.1.3.1 การแพร่กระจายใน Free space

ระบบสื่อสารไร้สายอาศัยตัวกลางไร้สาย ได้แก่ อากาศ และน้ำ ในการส่งสัญญาณ หรือเรียกว่า ช่องสัญญาณไร้สาย (wireless channel) คุณสมบัติเฉพาะของช่องสัญญาณไร้สาย คือ สัญญาณสามารถแพร่กระจายไปได้ทุกทิศทาง ทำให้สัญญาณสามารถเดินทางไปได้หลายเส้นทางไปยังเครื่องรับ และได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่สัญญาณเดินทางผ่าน

2.1.3.2 กลไกการแพร่กระจาย

กลไกการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยทั่วไปมี 3 แบบคือ 1) การสะท้อนของคลื่น (Reflection) 2) การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction) และ 3) การกระจัดกระจายของคลื่น (Scattering) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้งานในตัวเมือง ซึ่งมีสิ่งปลูกสร้าง หรือวัตถุกีดขวาง วิถีการส่งคลื่นระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังจากการหักเหของคลื่นและเกิดการจางหายหลายวิถี จากการที่คลื่นที่สะท้อนวัตถุ ที่ตำแหน่งต่างๆ แล้วมารวมกันที่จุดๆหนึ่ง การจางหายหลายวิถีจากการที่คลื่นที่สะท้อนวัตถุ ที่ตำแหน่งต่างๆ แล้วมารวมกันที่จุดๆ หนึ่ง นอกจากนี้กำลังของสัญญาณคลื่นจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งเพิ่มขึ้น

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการสูญเสียพลังงานในตัวเองเมื่อเดินทางผ่านสื่อกลางจากสายอากาศเครื่องส่งมายัง สายอากาศเครื่องรับ กล่าวคือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับจะน้อยกว่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาคส่ง (average transmit power) เสมอ ความสัมพันธ์ของกำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาคส่งและกำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับที่คิดเฉพาะ ความสูญเสียของพลังงานจากการเดินทางผ่านสื่อกลาง สามารถอธิบายได้ ด้วยสมการ

$$P_r = \frac{P_t}{L_p}$$

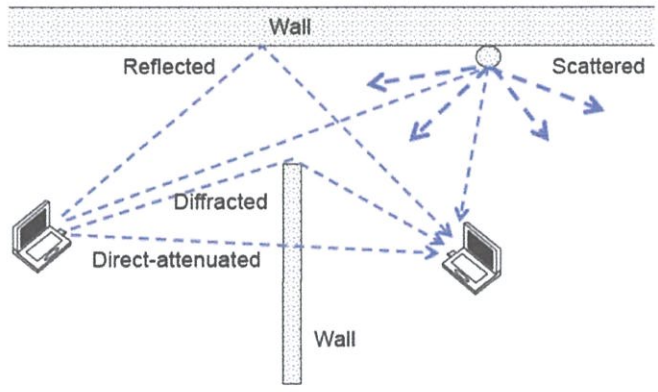
โดยที่

$P_r$ คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับ มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt: W)

$P_t$ คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาคส่ง มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt: W)

$L_p$ คือ ความสูญเสียเฉลี่ยของสัญญาณระหว่างเดินทางจากด้านส่งมายังด้านรับ

สังเกตว่า $L_p = \frac{P_t}{P_r}$ เป็นอัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาคส่งต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณภาครับและเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย ค่า $L_p > 1$ หมายถึง มีการสูญเสียของพลังงานสัญญาณเกิดขึ้น ค่าของ $L_p$ หาได้จากแบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางการแพร่กระจาย (propagation pathloss model) ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีปัจจัยและรายละเอียดที่นำมาพิจารณา รวมถึงสมมุติฐานของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่โล่ง ชานเมือง นอกเมือง ในเมืองย่านธุรกิจที่มี ตึกสูง หรือภายในอาคาร เป็นต้น




รูปที่ 2.31 แสดงกลไกการแพร่กระจายคลื่น

2.1.3.3 ปัจจัยที่ใช้ในแบบจำลองการสูญเสียในเส้นทาง

1. สภาพแวดล้อม เช่น พื้นที่โล่ง ชานเมือง นอกเมือง ในเมืองย่านธุรกิจที่มีตึกสูง หรือภายในตึก
2. อัตราขยายของสายอากาศด้านส่งและด้านรับ (antenna gain)
3. ระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและรับ
4. ความถี่หรือความยาวคลื่นของสัญญาณ

2.1.3.4 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางในแนวเส้นสายตา (LoS)

แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทาง สามารถแบ่งได้เป็น ในแนวเส้นสายตา (LoS) และนอกแนวเส้นสายตา (NLoS) ซึ่งในการส่งสัญญาณในแนวเส้นสายตาหมายถึงสัญญาณจากเครื่องส่งเดินทางไปถึงเครื่องรับในเส้นทางของแนวสายตาโดยที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างทาง ในกรณีนี้แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางที่นิยมใช้มีอยู่สองแบบ คือ 1) แบบที่สัญญาณจากด้านส่งเดินทางเป็นเส้นทางตรงไป

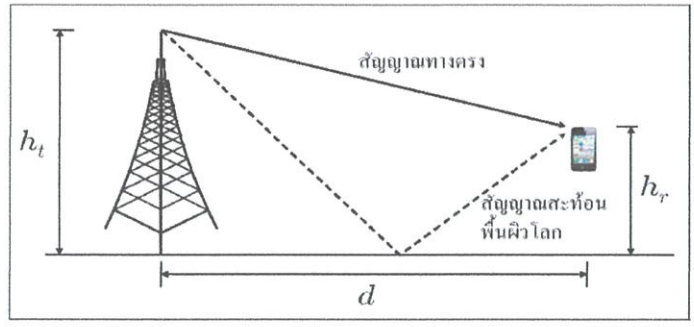
ยังด้านรับมีสัญญาณทางตรง (direct signal) เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการสะท้อนจากพื้นผิวโลกก่อนไปถึงด้านรับ และ 2) แบบที่สัญญาณที่ได้รับมีทั้งสัญญาณทางตรงและสัญญาณที่สะท้อนจากพื้นผิวโลกก่อนถึงด้านรับ (ground-reflected signal)

1. แบบจำลองการสูญเสียจากการส่งสัญญาณแบบ LoS ในช่องว่างอิสระ

การส่งแบบ LoS ในช่องว่างอิสระหมายถึงการสื่อสารที่สัญญาณไม่มีการสะท้อนกับพื้นผิวโลกก่อนเดินทางไปถึงด้านรับ ซึ่งเป็นลักษณะการส่งในอุดมคติ เสมือนกับว่าการสื่อสารเกิดขึ้นในช่องว่างอิสระที่ไม่มีสิ่งกีดขวางใดๆระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ เช่น การสื่อสารระหว่างดาวเทียมที่โคจรอยู่ในอวกาศ (Satellite communication) หรือ การสื่อสารระหว่างดาวเทียมกับสถานีภาคพื้นดิน โดยสมมุติให้เครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณแทนดว้ ยจุดในช่องว่าง ดังนนั้ เราจึงเรียกแบบจำลองการสูญเสียแบบนี้ว่า แบบจำลองการสูญเสียในช่องว่างอิสระ (Free-space path loss model) ข้อดีของแบบจำลองการสูญเสียในช่องว่างอิสระคือ ง่ายต่อการใช้งาน สามารถนำไปใช้ในการคำนวณได้อย่างรวดเร็วเมื่อไม่ทราบข้อมูลที่แน่นอนของสภาพแวดล้อม หรือใช้ในการประมาณระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับอย่างคร่าวๆ

2. แบบจำลองการสูญเสียจากการส่งแบบ LoS บนพื้นผิวสะท้อน

ในกรณีที่เครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ในภาคพื้นดิน สัญญาณจากด้านส่งสามารถสะท้อนกับพื้นผิวโลกก่อนเดินทางมาถึงด้านรับ ดังนั้นสัญญาณที่ด้านรับจะประกอบด้วยสองส่วน คือ สัญญาณที่เดินทางโดยตรงจากด้านส่งมายังด้านรับและสัญญาณที่สะท้อนกับพื้นผิวโลกก่อนจะเดินทางมายังด้านรับ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 แบบจำลองการสูญเสียที่ใช้ในกรณีนี้ เรียกว่า แบบจำลองการสูญเสียแบบสะท้อนพื้นผิว (Ground-reflected path loss model) ซึ่งจะให้ความถูกต้องมากกว่าแบบจำลองการสูญเสียในช่องว่างอิสระในกรณีที่เครื่องส่งและเครื่องรับอยู่บนภาคพื้นดิน




รูปที่ 2.32 ลักษณะกำรเดินทำงของสัญญาณทางตรงและสัญญำณสะท้อนจากพื้นผิว

2.1.3.5 แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางนอกแนวเส้นสายตา (NLoS)

สัญญาณที่ด้านรับในสภาพแวดล้อมเกิดจากสัญญาณที่เดินทางนอกแนวเส้นสายตา (NLoS) จากกลไกการแพร่กระจายแบบหลายเส้นทาง ประกอบด้วย การสะท้อน เลี้ยวเบน และ กระจายออก การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายการสูญเสียในเส้นทางของสัญญาณที่เดินทางนอกแนวเส้นสายตาได้ อย่าง สมบูรณ์นั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากความซับซ้อนของสภาพแวดล้อมที่สัญญาณเดินทาง จากผลการศึกษาพบว่า ที่ระยะทางเท่ากัน การสูญเสียของสัญญาณที่ด้านรับเปลี่ยนไปตามลักษณะของสภาพแวดล้อม เช่น ที่โล่งกว้างกลางแจ้ง ตัวเมือง ชานเมือง ซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งกีดขวาง หรือวัตถุต่างๆ ที่แตกต่างกันไป เช่น ขนาด ความสูง และ ปริมาณความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ ยานพาหนะในพื้นที่ เป็นต้น แบบจำลองการสูญเสียสำหรับการสื่อสารนอกแนวเส้นสายตาต้องอาศัยการวัดสัญญาณในสภาพแวดล้อมแบบต่างๆอย่างละเอียด แล้วนำข้อมูลมาปรับเข้ากับสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีแบบจำลองมากมายหลายรูปแบบ โดยแบบจำลองที่ง่ายที่สุดคือแบบจำลองการสูญเสียแบบ Log-distance ซึ่งเราสามารถปรับ ให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นด้วยการเพิ่มพจน์เข้าไปในสมการ โดยพจน์ดังกล่าวหาจากการวัดข้อมูลในสภาพแวดล้อมและย่านความถี่ที่แตกต่างกันเพราะความสูญเสียในเส้นทางขึ้นอยู่ความถี่ของสัญญาณด้วย ข้อมูลที่วัดจากสภาพแวดล้อมพื้นที่กลางแจ้ง ขอบเขตเมืองและชานเมืองที่มีขนาดพื้นที่ครอบคลุมในระดับหลายกิโลเมตร แล้วนำค่าเฉลี่ยของการสูญเสียมาปรับเข้ากับสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเราเรียกแบบจำลองที่ใช้กับพื้นที่ครอบคลุมขนาดใหญ่ในลักษณะนี้ว่า แบบจำลองการสูญเสียกลางแจ้ง (Outdoor path loss model) แบบจำลองการสูญเสียที่พัฒนามาจากวิธีดังกล่าวซึ่งรู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ แบบจำลอง Okumura-Hata และแบบจำลอง COST-231

แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางกลางแจ้งมีความแม่นยาเมื่อพื้นที่ครอบคลุมมีขนาดใหญ่ ในกรณีที่พื้นที่ครอบคลุมมีขนาดเล็กในระดับหลายสิบเมตร เช่น ภายในอาคารหรือพิโคเซลล์ (Picocell) การสูญเสียของสัญญาณในเส้นทางจะมีความแตกต่างจากสภาพแวดล้อมที่เป็นพื้นที่กลางแจ้ง ดังนั้นจึงต้องใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายสภาพแวดล้อมภายในอาคารและตึกสูงได้

2.1.3.6 การทำนายการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

การทำนายการแพร่กระจายคลื่นวิทยุนั้น ถูกแบ่งออกตามชนิดของสถานีฐานที่ติดตั้งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ กล่าวคือ สถานีฐานขนาดใหญ่ (Macrocell) การทำนายการแพร่กระจายคลื่นนิยมใช้แบบจำลองเชิงประจักษ์ (Empirical Models) เป็นแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลจากการตรวจวัดสัญญาณคลื่นในภูมิประเทศต่างๆ เช่น พื้นที่เขตตัวเมือง ชานเมือง ที่ราบ เป็นต้น บางครั้งเรียกแบบจำลองนี้ว่า แบบจำลองทางสถิติ (Statistical Model) แบบจำลองชนิดนี้ได้แก่ แบบจำลองของ โอคูมูระ (Okumura) และ ฮาตะ (Hata) แบบจำลองนี้ใช้ประโยชน์ในการหาพื้นที่เขตบริการและตำแหน่งติดตั้งสถานีฐานขนาดใหญ่ที่เหมาะสมเพื่อให้พื้นที่เขตบริการครอบคลุมมากที่สุด สำหรับการทำนายการแพร่กระจายคลื่นของสถานีฐานขนาดเล็ก (Microcell) ซึ่งใช้สำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก นิยมใช้แบบจำลองวอล์ฟิสช์ – ไอเคกามิ (Walfisch-Ikegami) แบบจำลองชนิดนี้จำ เป็นต้องใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิศาสตร์ของสภาพแวดล้อมการแพร่กระจายคลื่นและข้อมูลจากการสำรวจพื้นที่ เพื่อใช้ในการคำนวณ ทำให้ต้องใช้เวลามาก อย่างไรก็ตาม การทำนายการแพร่กระจายคลื่นแบบจำลองข้างต้น อาจไม่สามารถทำนายค่าได้ถูกต้องนัก เนื่องจากธรรมชาติของการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมที่ คลื่นสามารถเดินทางได้หลายทิศทางนั้นมีความซับซ้อนและคลุมเครือ (Fuzzy) มาก เนื่องจากสภาพภูมิประเทศที่มีความไม่สม่ำเสมอ จำนวนของสิ่งกีดขวางทางเดินคลื่นที่ และการกระจัดกระจายของคลื่นในทิศทางต่างๆ นอกจากนี้โครงสร้างของอาคารที่ทำมาจากวัสดุต่างๆ ก็มีความแตกต่างกันในแต่ละแห่งภายในสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นนั้น รวมถึง ต้นไม้ แผ่นป้ายโฆษณา โคมไฟตามท้องถนน เสาไฟฟ้า ฯลฯ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ล้วนมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นทั้งสิ้น และเป็นเรื่องยากที่จะหาผลกระทบของสิ่งเหล่านี้ ต่อการแพร่กระจายคลื่นในรูปของสมการคณิตศาสตร์ ดังนั้น แนวคิดของแบบจำลองเชิงปัญญาจึงเกิดขึ้น โดยอาศัยการแยกแยะสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นและข้อมูลการตรวจวัดสัญญาณเพื่อการเรียนรู้และทดสอบแบบจำลองดังกล่าว

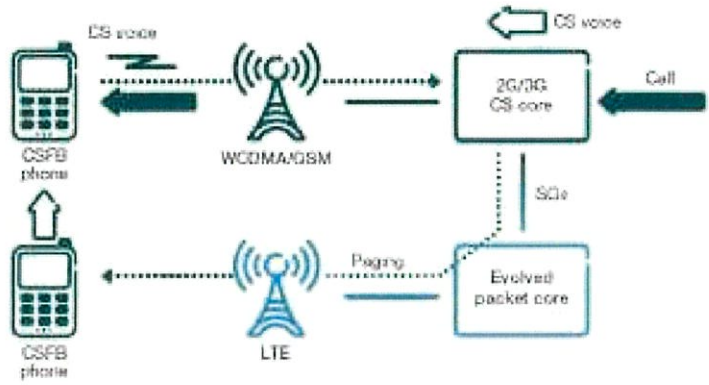
2.1.3.7 แบบจำลองเชิงประจักษ์

แบบจำลองชนิดนี้ใช้ข้อมูลจากการสำรวจการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ในตัวเมืองที่มีความหนาแน่นของตัวอาคารสูง , พื้นที่เขตชานเมืองที่มีบ้านพักอาศัย และ พื้นที่โล่งแจ้งเป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาทำเป็นกราฟ และสมการของการแพร่กระจายคลื่น เพื่อนำมาใช้เป็นแบบจำลองสำหรับพื้นที่อื่นๆ ที่มีสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน แบบจำลองนี้จึงเป็นที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ใช้งานง่าย มีความรวดเร็วในการทำนาย เช่น แบบจำลองของ โอคูมูระ และฮาตะ นิยมใช้สำหรับพื้นที่ในเขตตัวเมืองและชานเมือง และ แบบจำลองของ วอล์ฟิสช์-ไอเคกามิ นิยมใช้สำหรับสภาพแวดล้อมในตัวเมืองที่มีความหนาแน่นของตัวอาคารสูงจำนวนมาก และยังเหมาะสมกรับการแพร่กระจายคลื่นของสถานีฐานขนาดเล็ก ซึ่งต้องการความแม่นยำในการทำนายสูงอีกด้วย

โดยแบบจำลองทางโทรคมนาคมหาจากการวัดข้อมูลในสภาพแวดล้อมและย่านความถี่ที่แตกต่างกันเพราะความสูญเสียในเส้นทางขึ้นอยู่ความถี่ของสัญญาณด้วย ข้อมูลที่วัดจากสภาพแวดล้อมพื้นที่กลางแจ้ง ขอบเขตเมืองและชานเมืองที่มีขนาดพื้นที่ครอบคลุมในระดับหลายกิโลเมตร แล้วนำค่าเฉลี่ยของการสูญเสียมาปรับเข้ากับสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเราเรียกแบบจาลองที่ใช้กับพื้นที่ครอบคลุมขนาดใหญ่ในลักษณะนี้ว่า แบบจำลองการสูญเสียกลางแจ้ง (Outdoor pathloss model) แบบจำลองการสูญเสียที่พัฒนามาจากวิธีดังกล่าวซึ่งรู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ แบบจำลอง Okumura-Hata และแบบจำลอง COST-231 ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลอง Okumura-Hata โดยสามารถใช้เป็นหลักในการออกแบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ย่านความถี่ตั้งแต่ 850 เมกะเฮิรตซ์ขึ้นไปได้ ซึ่งจะเป็นแบบจำลองทางโทรคมนาคมที่สนใจนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าการสูญเสียในเส้นทาง

### 2.1.4 Circuit Switched fallback (CS Fallback) : CSFB

Circuit Switched Fall Back (CSFB) คือ การสลับจากการใช้งานดาต้าโดย 4G ซึ่งเป็นระบบ Packet Switch ไปใช้งานการโทรออกหรือรับสาย ซึ่งจะเกิดการสลับกลับไปใช้โครงข่าย 2G/3G แบบเก่า สัญญาณเสียงจะเดินทางผ่านระบบโครงข่ายสัญญาณซึ่งเป็นแบบ Curcuit Switch ซึ่งระบบ LTE ไม่รองรับ Circuit Switch แต่ใช้ระบบ Packet Switch เพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงต้องมีการสลับระบบโดยการตัดระบบเรดิโอบน LTE แล้วทำการต่อสัญญาณใหม่บนระบบเดิมอย่าง 2G หรือ 3G อัตโนมัติ ซึ่ง UE จะสามารถรู้สึกได้ถึงการหน่วงเวลา

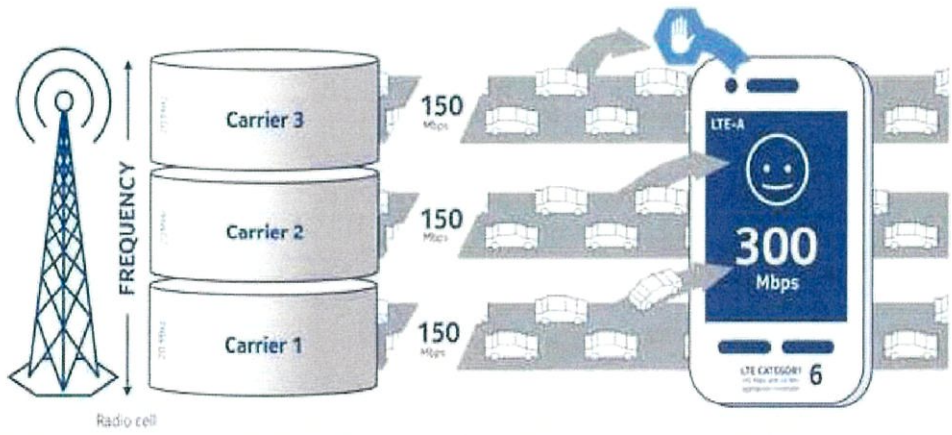



รูปที่ 2.33 Circuit Switched fallback (CS Fallback)

ที่มา: Ericson

### 2.1.5 LTE Carrier Aggregation (CA)

Carrier Aggregation (CA) หมายถึงการนำคลื่นความถี่ที่ให้บริการมารวมกัน โดยใช้เทคโนโลยี LTE-A (LTE Advance) เพื่อให้ช่องส่งสัญญาณกว้างมากขึ้น หรือเป็นการเพิ่มความกว้างของแบนด์วิธ ยิ่งรวมคลื่นได้มากเท่าไหร่ ความเร็วเน็ตก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น เช่นถ้านำ 2 คลื่นมารวมกัน เราเรียกว่า 2CA ถ้านำ 3 คลื่นมารวมกัน เราเรียกว่า 3CA เช่น คลื่น 2100 + 1800 + 900 MHz คือนำคลื่นมารวมกัน 3 คลื่น เพื่อให้ 4G เร็วขึ้นกว่าเดิม3 เท่า ข้อดีของการใช้ Carrier Aggregation คือรองรับปริมาณดาต้าในปริมาณมากจากผู้ใช้งานที่ต้องการใช้ดาต้าเป็นจำนวนมาก และเพิ่มขนาดที่รองรับความต้องการของผู้ใช้งานได้มากขึ้น




รูปที่ 2.34 การทำ Carrier Aggregation

ที่มา: http://www.adslthailand.com

### 2.1.6 พื้นฐานการทดสอบสัญญาณโดยการใช้รถ

2.1.6.1 การทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ

การทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ หรือ Drive Test คือขั้นตอนในการวัดและเข้าถึงความคลอบคลุม, ความจุ , คุณภาพการให้บริการของสัญญาณโทรศัพท์ โดยข้อมูลจากการ Drive Test จะได้จากโทรศัพท์มือถือ (UE) และนำมาวิเคราะห์และจัดเก็บผ่านโปรแกรมเฉพาะทาง แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

1) Functionality Test คือการตรวจสอบค่าทั่วไปของสถานีฐาน ทำการทดสอบสัญญาณเพื่อตรวจสอบลักษณะของสถานีฐาน เช่น ความสูงของสถานีฐาน, Azimuth, การ Cross Feeder ระหว่าง PCI, การ Handover, ค่าสูงสุดในการดาวน์โหลดข้อมูล, etc.
2) Optimization and troubleshooting คือการหาปัญหา และแก้ไข ทำการทดสอบสัญญาณเพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปัญหาเฉพาะที่ได้จากการทดสอบสัญญาณและแก้ไขปัญหานั้น
3) Service quality monitoring คือการทดสอบประสบการณ์การใช้งานสัญญาณจริงเสมือนผู้ใช้งาน มีการทดสอบสัญญาณจริง สร้างการใช้งานเหมือนผู้ใช้บริการเครือข่าย เพื่อตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณ
4) Benchmarking Network Mobile QoS คือการเปรียบเทียบเครือข่าย ทำการทดสอบสัญญาณเพื่อรวบรวมข้อมูลให้ผู้ให้บริการเครือข่าย ทราบถึงคุณภาพและประสิทธิภาพการทำงานของผู้ให้บริการเครือข่ายรายอื่น

2.1.6.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณ

ในการทดสอบสัญญาณโดยการใช้รถ จะทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปหาคุณภาพของสัญญาณ และอื่นๆ ซึ่งสามารถแบ่งข้อมูลออกได้เป็น 2 ชุดข้อมูลคือ ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดสอบสัญญาณ และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์

2.1.6.2.1 ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดสอบ

คือข้อมูลที่ได้รับมาจากการทดสอบสัญญาณ โดยตรง ถือเป็นค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณความถี่วิทยุ จะมีค่าที่ใช้ประจำดังนี้

2.1.6.2.1.1 RSRP

Received Signal Received Power (RSRP) คือ ค่ากำลังของสัญญาณเฉลี่ยต่อ 1 resource element ส่วนมากจะส่งมาเป็นหน่วย dBm ที่คนทั่วไปจะเห็นในรูปแบบขีดสัญญาณ แต่ไม่ได้รวมถึงความสมบูรณ์ของสัญญาณ มีประโยชน์ในการประเมินคุณภาพสัญญาณ และปรับกำลังส่งให้เหมาะสม กำลังส่งของสัญญาณที่ได้รับจะถูกวัดและส่งรายงานกลับมาที่สถานีฐานโดยรายงานที่ส่งจะมีค่า RSRP อยู่ในช่วง -44 ถึง -140 dBm

2.1.6.1.2.2 RSRQ

Reference Signal Received Quality (RSRQ) คือ ค่าที่จะบ่งบอกถึงค่ากำลังต่อสัญญาณรบกวน หรือก็คือค่าคุณภาพของสัญญาณ แม้ว่าบางครั้งสัญญาณโทรศัพท์ดี แต่การใช้งานไม่ดี ก็มีสาเหตุมาจากค่า RSRQ ถึงสัญญาณจะดี แต่ถ้าค่า RSRQ ไม่ดี ก็จะทำให้ใช้งานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่ง RSRQ จะเป็นข้อมูลเพิ่มเติม เมื่อข้อมูล RSRP ไม่เพียงพอต่อการทำ Reliable handover หรือ Cell re-selection decision สัญญาณจะถูกวัดและส่งรายงานกลับมาที่สถานีฐานโดยรายงานที่ส่งจะมีค่า RSRQ อยู่ในช่วง -3 ถึง -19.5 dB

2.1.6.1.2.3 SINR

Signal to interference to noise ratio (SINR) คือ การพิจารณาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดและสัญญาณรบกวน โดยสามารถบอกถึงคุณภาพของสัญญาณได้ว่ามีการรบกวนมากน้อยแค่ไหน ซึ่งสัญญาณรบกวนในระบบการสื่อสารไร้สายมีอยู่สองประเภทหลัก คือ สัญญาณรบกวน (noise) และสัญญาณแทรกสอด (interference) โดยทั่วไปสัญญาณทั้งสองประเภทนี้จะเกิดขึ้นในระบบอยู่ตลอดเวลาทั้งที่มีอยู่ในระบบและที่เกิดจากความไม่สมบูรณ์ของระบบในการใช้งาน อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอดรวมกับสัญญาณกับสัญญาณที่เราไม่พึงประสงค์ (unwanted signals)นอกจากนี้ยังมีอีกสองอัตราส่วนที่ใช้กันมากคือ อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-Noise Ratio SNR) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณแทรกสอด (Signal-to-Interference Ratio: SIR) ทั้ง SNR และ SIR นี้เป็นส่วนย่อยของ SINR ซึ่งค่า SINR จะบ่งบอกถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อของสัญญาณ LTE โดยสามารถหาค่า SINR ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$SINR = \frac{P}{I + N}$$

เมื่อ

P คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่สนใจ

I คือ กำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนจากสัญญาณที่ไม่ได้สนใจ

N คือ กำลังของสัญญาณรบกวนอื่นๆ

2.1.6.1.2.4 PCI

Physical Cell Identifiers (PCIs) เป็นเลขที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อระบุตัวตนของ eNodeB ซึ่งเลข PCI จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) Primary Synchronization Signals (PSS) มีค่าเท่ากับ 0, 1, 2

2) Secondary Synchronization Signals (SSS) มีค่าอยู่ที่ 0 ถึง 167

โดยเลขของ PCI สามารถหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$PCI = [(3 \times SSS) + PSS)]$$

PCI จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 503 โดยตัวเลข PCI สามารถทำการนำกลับมาใช้ซ้ำโดยการวางแผนในระบบเน็ตเวิร์ค

2.1.6.1.2.5 Best Server Plot

คือการแสดง ว่าผลการทดสอบสัญญาณที่วัดนั้น จับกับ PCI ไหนอยู่

รูปที่ 2.35 แสดงการจับ PCI ของสัญญาณที่ทดสอบ

2.1.6.1.2.6 PS (DL/UL) Throughput

PS Download/Upload Throughput คือ ค่าจำนวนข้อมูลที่ส่ง/รับ ได้ภายหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความเร็วในการใช้งานระบบเน็ตเวิร์ค มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$Throughput(Mbps) = \frac{N \times 12 \times 7 \times subframe(2\ slot) \times MIMO \times bit\ per\ modulation\ symbol}{1\ ms}$$

เมื่อ

Number of resource block (N) คือ จำนวน Resource block ที่ใช้ ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนของแบนด์วิดท์

Sub frame คือ จำนวนซับเฟรมในการส่งข้อมูล ซับเฟรมจะแบ่งเป็น 2 สล็อต แต่ละสล็อต จะมีขนาด มิลลิวินาที 0.5

Multi Input Multi Output (MIMO) คือ จำนวนสายอากาศที่ใช้ในการส่งและรับพร้อมกัน เช่น MIMO เป็น 4x4 ค่าของตัวแปร MIMO จะเท่ากับ 4

Bit per modulation symbol คือ จำนวนบิตต่อหนึ่งสัญลักษณ์ ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับการมอดูเลชั่น เช่น 16QAM จะมีค่าจำนวนบิตต่อหนึ่งสัญลักษณ์เท่ากับ 4

2.1.6.2.2 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์

คือข้อมูลที่ได้มาจากการวิเคราะห์ค่าต่างๆของพารามิเตอร์ ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ถึงค่าหลายๆอย่าง เช่น ความสำเร็จในการโทรออก ,การ Handover และอื่นๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์

| ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ | ความหมาย |
|---|---|
| PS Setup Success Rate | ระบุอัตราความสำเร็จในการเข้าถึงเครือข่าย โดยใช้ Packet Switch |
| PS Drop Rate | ระบุอัตราการล้มเหลวจากการใช้บริการเครือข่าย โดยใช้ Packet Switch |
| Downlink Throughput | ค่าจำนวนข้อมูลที่ Download ได้ภายหนึ่งหน่วยเวลา |
| Uplink Throughput | ค่าจำนวนข้อมูลที่ Upload ได้ภายหนึ่งหน่วยเวลา |

| | |
|---|---|
| Handover Success rate | ระบุอัตราความสำเร็จในการจับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่จาก Cell หนึ่งไปยังอีก Cell หนึ่ง หรือเปลี่ยนแปลงภายใน Cell เดียวกัน โดยไม่ขัดจังหวะการสนทนา |
| Voice Call Success Rate (CSFB) | ระบุอัตราความสำเร็จในการโทรเข้า-รับสาย |
| Voice Call Setup Time (CSFB) | ระบุอัตราที่ใช้เวลาเชื่อมต่อเครือข่าย ทั้ง MOC และ MTC ผ่านเกณฑ์ |
| 4G to 3G redirect success rate | ระบุอัตราความสำเร็จจากการเปลี่ยน 4G เป็น 3G เมื่อหมดระยะ |
| Tracking Area Update Success rate | เป็นอัตราความสำเร็จในการอัพเดทพื้นที่ของสถานีฐาน ถ้าในพื้นที่เดียวกันจะไม่อัพเดท แต่หากมีการเปลี่ยนพื้นที่แล้ว จะทำการอัพเดท |
| MOS | เสมือนการทดสอบคุณภาพของเสียง (จากการทดสอบเสียงต่างๆ ex. VOL Volte) โดยการบันทึกและแบ่งเป็นระดับขั้น 1-5 |
| PS Download HO | เหมือน PS download แต่จะมีการข้าวความถี่ |
| 3G to 4G redirection success rate | ระบุอัตราความสำเร็จจากการเปลี่ยน 3G เป็น 4G *เมื่อหมดระยะ* |

2.1.6.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ

ในการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถนั้น จำเป็นจะต้องเตรียมอุปกรณ์พื้นฐานดังนี้

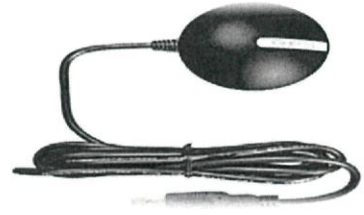
1) รถ: ติดฟิล์มได้ไม่เกิน 40 หรือไม่ติดเลยจะได้คุณภาพสัญญาณที่ทดสอบแม่นยำมากกว่า, ฟิล์มรถยนต์ห้ามเป็นปรอท, ติดตั้ง Power Supply สำหรับชาร์จแบตเตอรี่มือถือและโน๊ตบุ้ค, อุปกรณ์สำหรับติดมือถือ (ใช้เป็นเสาสัญญาณ)

รูปที่ 2.36 แสดงฟิล์มติดรถยนต์

2) UE หรือ User Equipment: ในการทำ RF Drive test จะใช้ โทรศัพท์มือถือ หรือ Air Card สำหรับทดสอบการรับ-ส่งข้อมูล สามารถเรียกสั้นๆว่า UE อาจใช้หลายเครื่อง เพื่อจะได้ทดสอบได้หลาย Test Case พร้อมกัน และ UE จะต้องรองรับคลื่นความถี่ที่จะทดสอบ

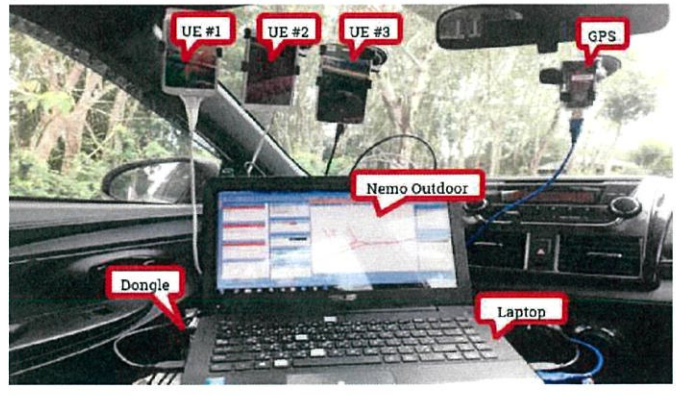
รูปที่ 2.37 แสดง UE

3) GPS: เครื่อง GPS ใช้สำหรับจับตำแหน่งที่เราทดสอบสัญญาณ โดยจะได้ค่าตำแหน่งเป็น ละติจูด และ ลองติจูด ใช้สำหรับจับตำแหน่งรถที่เราขับ เพื่อใช้ในการนำทางตามเส้นทางทดสอบที่กำหนดไว้



รูปที่ 2.38 แสดงเครื่อง GPS

4) Laptop with software: แล็ปท็อปสำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลการทดสอบและใช้วิเคราะห์ ผ่าน Software เฉพาะทาง เช่น Nemo Outdoor เป็นต้น




รูปที่ 2.39 แสดงการต่ออุปกรณ์

2.1.6.4 กระบวนการการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ

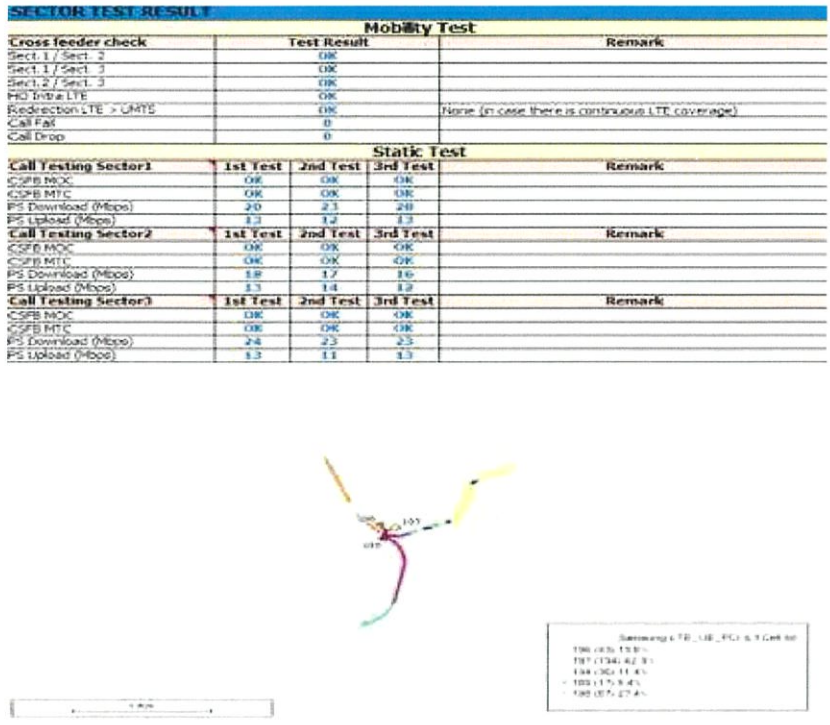
ในการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ จะเริ่มหลังจากติดตั้งสถานีฐานและเปิดใช้งาน และจบลงเมื่อได้รับใบรับรองหลังการทดสอบสุดท้าย จะมีกระบวนการการทำงานทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.1.6.4.1 การทดสอบ SSV (Single Site Verification)

เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณลักษณะต่างๆของสถานีฐานหลังติดตั้งเสร็จ ซึ่งจะตรวจสอบตั้งแต่องค์ประกอบของสถานีฐาน โดยแบ่งเป็นการทดสอบทั่วไปของสถานีฐาน (General parameter audit)การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของคลื่นวิทยุ(Radio parameter audit) และทดสอบประสิทธิภาพของไดรฟ์และการเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายวิทยุ (Drive test and radio network optimization) ดังตารางที่ 2.2 และตัวอย่างผลของการทดสอบ ดังรูปที่ 2.40

ตารางที่ 2.2 แสดงการทดสอบ SSV

| General parameter audit | Radio parameter audit | Drive test and radio network optimization |
|---|---|---|
| ตำแหน่งที่อยู่ของสถานีฐาน/ | ประสิทธิภาพของแต่ละ Sector | ความสูงและชนิดของสถานีฐาน |
| รายละเอียดของสถานีฐาน | ตรวจสอบการ Handover เพื่อตรวจสอบการมี Neighbor | Azimuth และเลข PCI ของแต่ละ Sector |
| ชื่อและประเภทของ Cluster | ตรวจสอบการ CSFB | E-tilt / M-tilt |
| การกำหนดค่าตัวรับส่งสัญญาณ | ค่าสูงสุดการ Upload/Download ของแต่ละ Sector | ชนิดและความยาวของสายส่ง, ตรวจสอบการต่อของสายส่งแต่ละ Sector |



SECTOR TEST RESULT

**Mobility Test**

| Cross feeder check | Test Result | Remark |
|---|---|---|
| Sect. 1 / Sect. 2 | OK | |
| Sect. 1 / Sect. 3 | OK | |
| Sect. 2 / Sect. 3 | OK | |
| HO Intra LTE | OK | |
| Redirection LTE > UMTS | OK | None (in case there is continuous LTE coverage) |
| Call Fail | 0 | |
| Call Drop | 0 | |

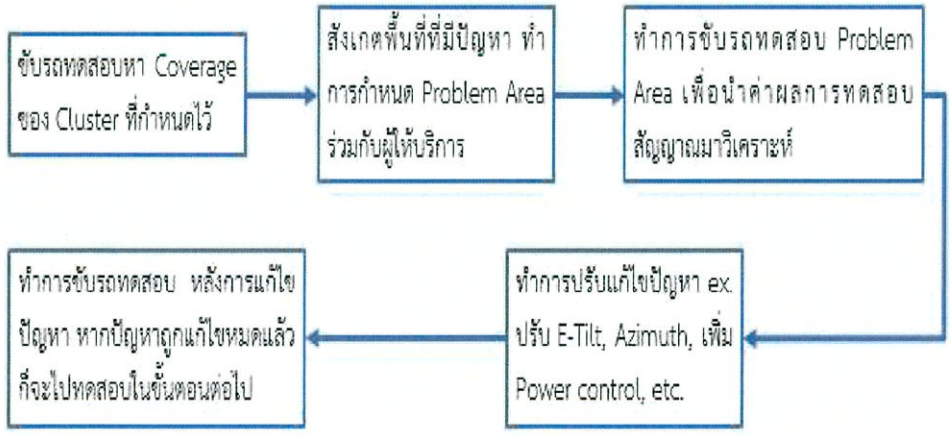
**Static Test**

| Call Testing Sector1 | 1st Test | 2nd Test | 3rd Test | Remark |
|---|---|---|---|---|
| CSFB MOC | OK | OK | OK | |
| CSFB MTC | OK | OK | OK | |
| PS Download (Mbps) | 20 | 23 | 20 | |
| PS Upload (Mbps) | 13 | 12 | 12 | |
| **Call Testing Sector2** | **1st Test** | **2nd Test** | **3rd Test** | **Remark** |
| CSFB MOC | OK | OK | OK | |
| CSFB MTC | OK | OK | OK | |
| PS Download (Mbps) | 18 | 17 | 16 | |
| PS Upload (Mbps) | 13 | 14 | 12 | |
| **Call Testing Sector3** | **1st Test** | **2nd Test** | **3rd Test** | **Remark** |
| CSFB MOC | OK | OK | OK | |
| CSFB MTC | OK | OK | OK | |
| PS Download (Mbps) | 24 | 23 | 23 | |
| PS Upload (Mbps) | 13 | 11 | 13 | |

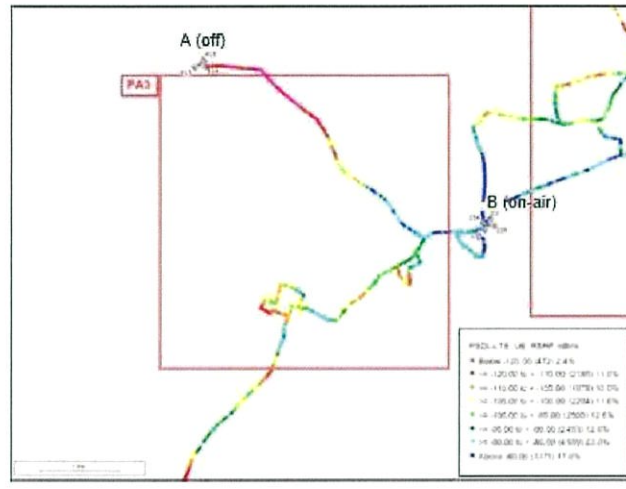
รูปที่ 2.40 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ SSV

2.1.6.4.2 การทดสอบ Tuning

เป็นกระบวนการทดสอบสัญญาณเพื่อนำค่ามาวิเคราะห์หาปัญหาและทำการปรับแก้ไขเฉพาะค่าที่สำคัญ มีวิธีการทดสอบดังรูปที่ 2.41 และมีตัวอย่างผลการทดสอบดังรูปที่ 2.42




รูปที่ 2.41 วิธีการทดสอบ Tuning




รูปที่ 2.42 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบ Tuning

2.1.6.4.3 การทดสอบ PAT (Provisional Acceptance Testing)

เป็นกระบวนการวิ่งทดสอบตามกรณีทดสอบที่ลูกค้ากำหนดมาให้ ซึ่งเป็นการวิ่งเพื่อทดสอสัญญาณเพื่อหาค่าหลายอย่าง ซึ่งค่าส่วนใหญ่จะเป็นอัตราความสำเร็จหรือความล้มเหลว และจำเป็นต้องมีการทดสอบหลายครั้ง เพราะในการทดสอบแค่ครั้งเดียว ก็อาจจะไม่แสดงปัญหาให้เห็นได้ หากพบปัญหาก็จำเป็นต้องแก้ไข และวิ่งทดสอบใหม่อีกครั้งจนปัญหาหมดไปหรือเป็นที่ยอมรับ โดยจะมีดัชนีชี้วัดความสำเร็จของงาน หรือ KPIs (Key Performance Indicator) คือคุณสมบัติที่บ่งชี้ถึงลักษณะหรือคุณสมบัติที่เป็นมาตรฐานที่สัญญาณบริเวณนั้นสมควรจะมี ซึ่งก็คือข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณนั่นเอง มีตัวอย่างดังตารางที่ 2.3 และมีตัวอย่างการทดสอบดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดง KPIs ของการทดสอบ PAT

| KPI Parameters | KPI Target recommendation |
|---|---|
| PS Setup Success Rate | ≥99% |
| PS Drop Rate | ≤1% |
| Downlink Throughput | Peak ≥ 25 Mbps and<br>50% of Sample > 9Mbps |
| Uplink Throughput | Peak ≥ 9 Mbps and<br>50% of Sample > 7 Mbps |
| Handover Success rate | ≥98% |
| Voice Call Success Rate (CSFB) | ≥98% |

| | |
|---|---|
| Voice Call Setup Time (CSFB) | 95% of sample ≤ 6 for MOC and ≤ 8 for MTC |
| 4G to 3G redirect success rate | ≥98% |

ตารางที่ 2.4 แสดงตัวอย่างการทดสอบ PAT

| Test Case | UE Mode | Test Methodology |
|---|---|---|
| CSFB MOC | Lock on L2100+U2100+U850 Band | MOC duration 30s + Idle 15s between calls (081612XXXX) |
| PS Download | Lock on L2100 Band | PS Download, 1GB file + Idle 5s between calls |
| PS Upload | Lock on L2100 Band | PS Upload, 500MB file + Idle 5s between calls |
| CSFB MOC (Stationary Test) | Auto mode | Stationary test CSFB for MOC duration 30s + Idle 15s between calls for collect call setup time in 5 points (5 time / 1 point) |

เมื่อทำการทดสอบ PAT เสร็จแล้วจะได้รับ Provisional Acceptance Certificate หรือ PAC คือการยอมรับการทดสอบ เมื่อผู้ให้บริการเครือข่ายยอมรับโครงการแล้ว แต่ต้องการการยืนยันประสิทธิภาพ ภายใต้เงื่อนไขที่ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องการ หรือก็คือการทดสอบสัญญาณเพื่อปรับแก้ไข ให้ค่าผ่านมาตราฐาน KPIs หากค่าไม่ผ่าน ต้องมีการแก้ไขและทดสอบซ้ำจนผ่าน จะมีการออกใบรับรองชั่วคราว แล้วทดสอบ FAC ต่อไป

2.1.6.4.4 การทดสอบ FAT (Final Acceptance Testing)

เป็นกระบวนการวิ่งทดสอบตามกรณีทดสอบที่ลูกค้ากำหนดมาให้ เสมือนเป็นการวิ่งสรุปการทดสอบสัญญาณ มีการทดสอบของทั้ง Tuning และ PAT หากทุกค่าผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ก็จะสามารถจบงานได้ มีตัวอย่างดังตารางที่ 2.5 และมีตัวอย่างการทดสอบดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 แสดง KPIs ของการทดสอบ FAT

| KPI Parameters | KPI Target recommendation |
|---|---|
| Tracking Area Update Success rate | ≥99% |
| MOS | >3.5 |
| PS Download HO | Peak ≥ 20 Mbps and<br>50% of Sample > 6 Mbps |
| 3G to 4G redirection success rate | ≥98% |

ตารางที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการทดสอบ FAT

| Test Case | UE Mode | Test Methodology |
|---|---|---|
| CSFB MTC | Lock L2100<br>+U2100 + U850 | MTC duration 30s + Idle 15s between calls |
| PS Download HO | Lock L2100<br>+U2100 + U850 | PS Download, 1GB file + Idle 5s between calls, 4G to 3G , 3G to 4G (All Route) |

เมื่อทำการทดสอบ FAT เสร็จแล้วจะได้รับ Final Acceptance Certificate หรือ FAC คือการยอมรับการทดสอบครั้งสุดท้ายของงานที่ได้รับการยืนยันจากผู้ให้บริการเครือข่าย ซึ่งหากทำการทดสอบเพิ่มเติมหลังจากมีการปรับปรุงแก้ไขมาหมดแล้ว แล้วถ้าผลการทดสอบได้รับการยอมรับจากผู้ให้บริการเครือข่าย Drive Test Engineer จะได้รับใบรับรองจริง เพื่อแสดงว่าการทดสอบสัญญาณได้สิ้นสุดลงแล้ว

### 2.1.7 ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

2.1.7.1 ความหมายของ GIS

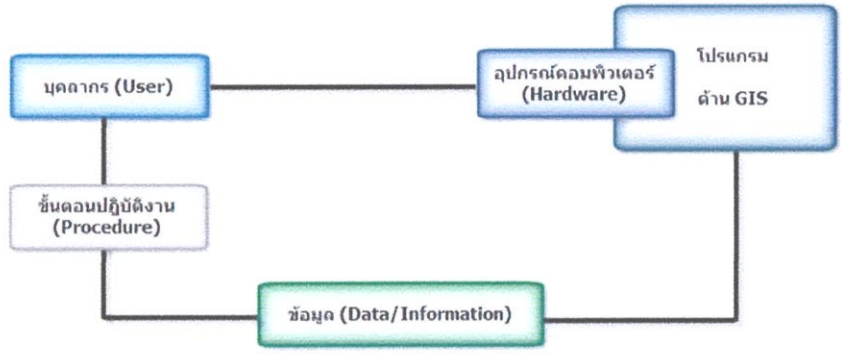
ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System (GIS) คือ การใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการนำเข้า จัดเก็บ จัดเตรียม ดัดแปลง แก้ไข วิเคราะห์ นำเสนอ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย

GIS เป็นระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือข้อมูลที่มีค่าพิกัดตำแหน่ง เป็นการผสมผสานการทำงานระหว่างกระบวนวิธีวิเคราะห์ ร่วมกับระบบฐานข้อมูลที่มีการอ้างอิงเชิงพิกัด GIS จึงเป็นระบบของการให้คำตอบเชิงพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ในการดำเนินการในขั้นตอนต่าง ๆ

GIS เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ต่อการจัดการ การบริหารและวางแผนการใช้ทรัพยากรธรรมชาติสามารถติดตามความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทางด้านพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับระบบการไหลเวียนของข้อมูล และการผสมผสานข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลปฐมภูมิ ข้อมูลทุติยภูมิ เพื่อใช้เป็นข่าวสารที่มีคุณค่า

2.1.7.2 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

องค์ประกอบที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย ข้อมูล (Data), เครื่องคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ (Hardware), โปรแกรม หรือระบบซอฟต์แวร์ (Software), ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Procedure), บุคลากร (User)




รูปที่ 2.43 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.1.7.2.1 ข้อมูล (Data)

ข้อมูลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในระบบสารสนเทศทั่วไป รวมทั้งระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในระยะแรกฐานข้อมูลได้จัดเก็บโดยใช้โปรแกรมกระดาษคำนวณ (Spread Sheet) และพัฒนาเป็นระบบฐาน ข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) และในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเชิงวัตถุ (Object – Oriented Database) สิ่งที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลประกอบด้วย ข้อมูลตัวเลขและตัวอักษร ซึ่งข้อมูล 2 วิธีนี้ ไม่เพียงพอสำหรับ GIS ดังนั้นจำเป็นต้องใช้วัตถุเชิงนามธรรมแทนสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่จริง โดยเรียกวัตถุเชิงนามธรรมว่า "ฟีเจอร์ (Feature)" แบ่งเป็น 3 ชนิดได้แก่ จุด เส้น และพื้นที่

ข้อมูลในระบบ GIS แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) คือ ข้อมูลที่แสดงตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ (Geo-Referenced Data) ข้อมูลเชิงพื้นที่มี 2 ชนิด ได้แก่ ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector Data) และข้อมูลราสเตอร์ (Raster Data)

1.1) ลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์ คือ ข้อมูลที่สร้างจากจุดพิกัด (X, Y) หากมีมากกว่า 1 จุดจะสามารถประกอบกันเป็นข้อมูลเส้นและมีทิศทาง สำหรับข้อมูลพื้นที่จะประกอบด้วยจุดพิกัดอย่างน้อย 3 จุด เรียกข้อมูลลักษณะว่า “อ็อบเจกต์ (Object)”

การทำงานด้าน GIS ส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลเวกเตอร์ในการแสดงผลและการวิเคราะห์ เพราะสามารถเชื่อมโยงข้อมูลเชิงพื้นที่กับฐานข้อมูลได้ ข้อมูลเวกเตอร์มี 3 ประเภท (ดังแสดงในภาพที่ ..) ได้แก่

1.1.1) ข้อมูลจุด (Points) เช่น ที่ตั้งโรงเรียน ที่ตั้งหมู่บ้าน ที่ตั้งโรงพยาบาล ที่ตั้งของศาลากลางจังหวัด เป็นต้น

1.1.2) ข้อมูลเส้น (Lines, Polyline, Arc) เช่น ถนน ทางรถไฟ ทางน้ำ เป็นต้น

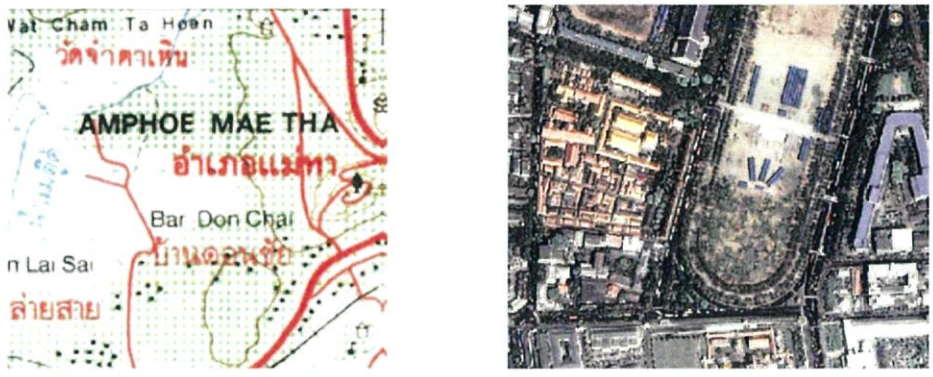
1.1.3) ข้อมูลพื้นที่หรือขอบเขตพื้นที่ (Polygons, Boundary, Area, Region) เช่น ขอบเขตการปกครอง พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่การศึกษา เขตการเลือกตั้ง พื้นที่การแพร่กระจายของเชื้อโรค

ข้อมูลจุด (Points) ข้อมูลเส้น (Lines) ข้อมูลพื้นที่ (Polygons)

รูปที่ 2.44 แสดงลักษณะของข้อมูลเวกเตอร์

1.2) ลักษณะของข้อมูลแบบราสเตอร์ คือ ข้อมูลที่แสดงเป็นลักษณะของตารางสี่เหลี่ยมเล็กๆ เรียกว่า "จุดภาพ" (Grid Cell หรือ Pixel) เรียงต่อเนื่องกันในแนวราบและแนวดิ่ง สามารถ

อ้างอิงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ ในแต่ละจุดภาพเก็บค่าไว้ 1 ค่า ตัวอย่างของข้อมูลราสเตอร์ ได้แก่ ภาพถ่ายดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ ภาพที่ได้จากการสแกน ข้อมูลระดับความสูง (Dem: Digital Elevation Model) ดังรูปที่ 2.43

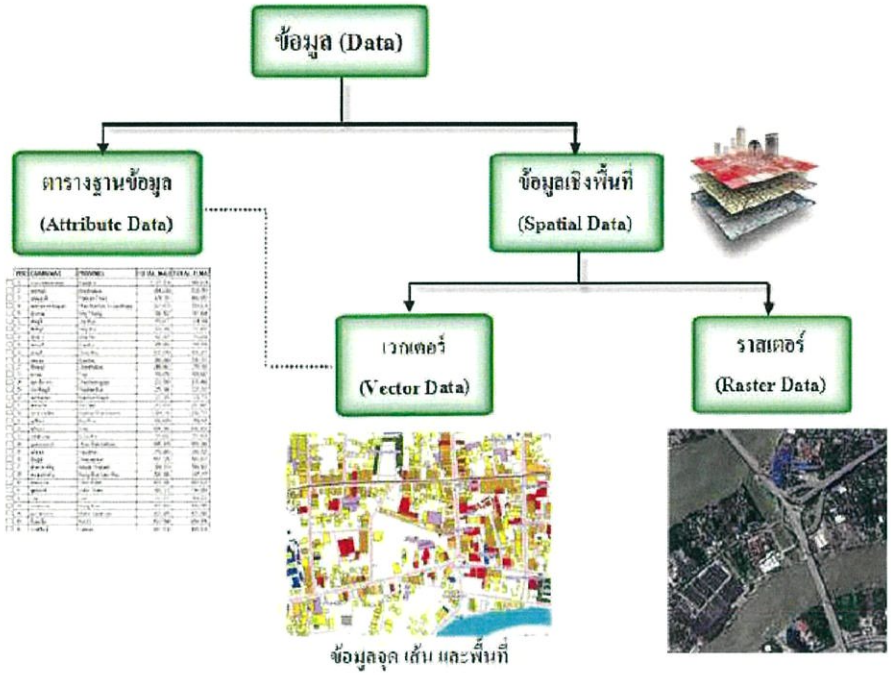



รูปที่ 2.45 แสดงลักษณะของข้อมูลแบบราสเตอร์

2) ข้อมูลอธิบายพื้นที่ หรือข้อมูลลักษณะประจำ (Non-Spatial Data หรือ Attribute Data) คือ ส่วนของตารางฐานข้อมูล เพื่ออธิบายข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือเรื่องราวที่สนใจจะเก็บไว้ในฐานข้อมูล ประกอบด้วยตัวแปรหรือฟิลด์และข้อมูลที่สัมพันธ์กับอ็อบเจกต์บนแผนที่ ดังรูปที่ 2.44

| รหัสแขวง | แขวง | เขต | จำนวนประชากรชาย | จำนวนประชากรหญิง | จำนวนประชากรทั้งหม | จำนวนครัวเรือน | ข้อมูลปี |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100703 | ปทุมวัน | ปทุมวัน | 2,875 | 4,769 | 7,644 | 844 | Dec 2009 |
| 100704 | ลุมพินี | ปทุมวัน | 9,526 | 10,752 | 20,278 | 12,932 | Dec 2009 |
| 100801 | ป้อมปราบ | ป้อมปราบศัตรูพ่าย | 8,873 | 9,283 | 18,156 | 6,461 | Dec 2009 |
| 100802 | วัดเทพศิรินทร์ | ป้อมปราบศัตรูพ่าย | 4,174 | 4,255 | 8,429 | 2,740 | Dec 2009 |
| 100803 | คลองมหานาค | ป้อมปราบศัตรูพ่าย | 5,335 | 6,010 | 11,345 | 5,270 | Dec 2009 |
| 100804 | บ้านบาตร | ป้อมปราบศัตรูพ่าย | 4,174 | 4,311 | 8,485 | 2,617 | Dec 2009 |
| 100805 | วัดโสมนัส | ป้อมปราบศัตรูพ่าย | 3,998 | 4,188 | 8,186 | 2,209 | Dec 2009 |
| 100905 | บางจาก | พระโขนง | 44,962 | 51,918 | 96,880 | 38,988 | Dec 2009 |
| 101001 | มีนบุรี | มีนบุรี | 43,184 | 48,545 | 91,729 | 36,772 | Dec 2009 |
| 101002 | แสนแสบ | มีนบุรี | 20,144 | 21,276 | 41,420 | 11,900 | Dec 2009 |
| 101101 | ลาดกระบัง | ลาดกระบัง | 14,062 | 15,264 | 29,326 | 11,575 | Dec 2009 |
| 101102 | คลองสองต้นนุ่น | ลาดกระบัง | 29,223 | 31,837 | 61,060 | 27,201 | Dec 2009 |
| 101103 | คลองสามประเวศ | ลาดกระบัง | 7,157 | 7,794 | 14,951 | 7,064 | Dec 2009 |

รูปที่ 2.46 แสดงตารางฐานข้อมูล




รูปที่ 2.47 แสดงโครงสร้างของข้อมูล

2.1.7.2.2 เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่าง ๆ (Hardware)

เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ เรียกรวมกันว่า "ระบบฮาร์ดแวร์ (Hardware)" มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนกระบวนการทำงานด้าน GIS ประกอบด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์นำเข้า เช่น Mouse, Digitizer, Scanner อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล เช่น แผ่นดิสเกต ซีดีรอม อุปกรณ์แสดงผลข้อมูล เช่น Printer Plotter ฯลฯ อุปกรณ์แต่ละชนิดจะมีหน้าที่ต่างกันออกไป ทำให้ระบบฮาร์ดแวร์ทั้งหมดจะต้องมีสมรรถนะเพียงพอสำหรับการจัดเก็บและการจัดการข้อมูลที่มีปริมาณมาก รวมทั้งต้องมีความสามารถรองรับกับการทำงานของซอฟต์แวร์ได้

2.1.7.2.3 โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ (Program/Software)

โปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ คือ ชุดคำสั่งที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานต่างๆ ของคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ทั้งหมด ใช้ในการจัดการระบบและสั่งงานต่าง ๆ เพื่อให้ระบบฮาร์ดแวร์ทำงาน หรือให้ฮาร์ดแวร์ทำงานตามวัตถุประสงค์ โดยทั่ว ๆ ไปชุดคำสั่งของซอฟต์แวร์ GIS จะประกอบด้วย หน่วยของการนำเข้าข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลและการจัดการข้อมูล หน่วยวิเคราะห์ การแสดงผลข้อมูล การแปลงไฟล์ข้อมูลและหน่วยการตอบโต้กับผู้ใช้งาน สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ โปรแกรมระบบ และโปรแกรมประยุกต์

2.1.7.2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Procedure)

ขั้นตอนการปฏิบัตงาน คือ การที่บุคลหรือองค์กรนั้นๆ นำเอาระบบ GIS ไปใช้งาน ซึ่งกระบวนการหรือขั้นตอนการทำงานในแต่ละหน่วยงาน ในแต่ละเรื่อง จะมีวิธีการจัดการที่แตกต่างกันกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ฐานข้อมูล และ ผลลัพธ์ที่ต้องการ ฉะนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องเลือกวิธีการในการจัดการกับข้อมูลที่มีและปัญหาต่างๆที่ให้เหมาะสมที่สุด สำหรับของหน่วยงานนั้นๆ เอง

2.1.7.3 การกำหนดตำแหน่งบนแผนที่

ในแต่ละวันมนุษย์ตั้งคำถามกับคำว่า “ที่ไหน” “เมื่อไหร่” “อย่างไร” อยู่เสมอ เช่น นาย ก จะต้องทราบว่าบ้านนาย ข อยู่ที่ไหน เขาจะต้องเดินทางไปเส้นทางใด ใช้เวลามากน้อยแค่ไหน หากนาย ก ทราบตำแหน่งที่ตั้งของบ้านนาย ข ดีแล้ว ก็จะสามารถตอบคำถามข้างต้นได้ แต่ถ้าหากเป็นบริเวณที่ห่างไกล ไม่รู้จักและไม่คุ้นเคยกับสถานที่นั้นมาก่อน ก็ต้องใช้วิธีการบอกตำแหน่งให้เป็นที่เข้าใจกัน ซึ่งก็คือแผนที่ ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งบนแผนที่ คือการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ว่าอยู่ ณ ตำแหน่งใดหรือบริเวณใดของแผนที่ เนื่องจาก GIS เป็นระบบสารสนเทศที่รวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ จากแหล่งข้อมูลและมาตราส่วนต่างๆ หากข้อมูลดังกล่าวใช้ระบบอ้างอิงที่แตกต่างกัน จะทำให้ข้อมูลไม่สามารถซ้อนทับกันได้ หรือแม้จะซ้อนทับกันได้แต่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น ทำให้การเชื่อมโยงข้อมูลที่ซ้อนทับกันหรือใกล้เคียงกันไม่สามารถดำเนินการได้

ระบบอ้างอิงในการกำหนดตำแหน่งที่แสดงบนแผนที่ทั่วไป แสดงได้ 2 ระบบ ได้แก่

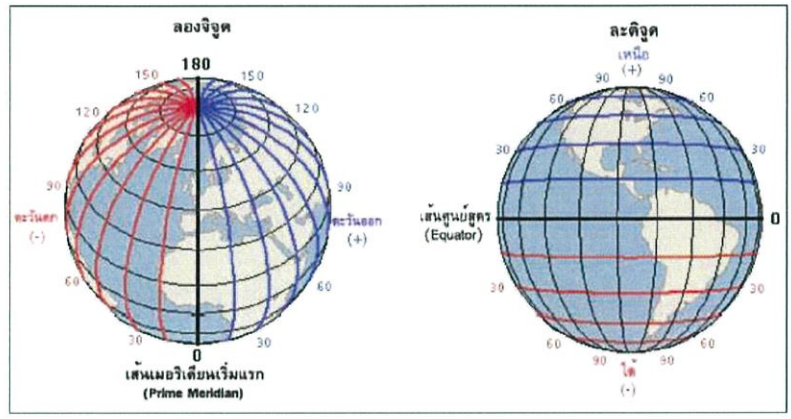
1) ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate)

ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ คือ ระบบอ้างอิงค่าพิกัดสากล เป็นที่ยอมรับกันทุกประเทศทั้งในอดีตและปัจจุบัน ตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าโลกมีลักษณะกลมเป็น 3 มิติ (Spherical Coordinate System) และทุกตำแหน่งของจุดบนพื้นโลกจะมีระบบบอกค่าพิกัดทางราบเป็นค่าละติจูด ลองจิจูด มีค่าเป็นค่าทางมุมคิดเป็นองศา (degree) ลิปดา (minute) และพิลิปดา (second) กำหนดให้ 1 องศา เท่ากับ 60 ลิปดา และ 1 ลิปดา เท่ากับ 60 พิลิปดา

การที่โลกหมุนรอบแกนของโลก ทำให้ทราบจุดที่ตั้งบนขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ เส้นที่ลากจากขั้วโลกเหนือมายังขั้วโลกใต้และตัดกับเส้นศูนย์สูตรเป็นมุมฉากนั้น เรียกว่า เส้นเมอริเดียน (Meridian) หรือ เส้นแวง ตอนปลายของทุกเส้นจะบรรจบที่ขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ และบริเวณเส้นศูนย์สูตรจะมีระยะห่างระหว่างเส้นมากกว่าบริเวณขั้วโลก ซึ่งตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นเมอริเดียนนั้นเริ่มที่เมืองกรีนิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษ เรียกว่า เส้นเมอริเดียนเริ่มแรก หรือเส้นเมอริเดียนปฐม

(Prime Meridian) ใช้เป็นมาตรฐานในการนับค่าลองจิจูด ดังนั้นค่าลองจิจูดที่เส้นเมอริเดียนเริ่มแรกนี้จึงมีค่าเท่ากับ 0° 0 ' 00 "

ลองจิจูด (Longitude) คือ ระยะทางที่วัดเป็นมุมไปทางตะวันออกและตะวันตกของเส้นเมอริเดียนเริ่มแรก หากวัดไปทางตะวันออกของเส้นเมอริเดียนจะมีค่า 0 – 180 องศาตะวันออก และถ้าวัดไปทางตะวันตกของเส้นเมอริเดียนเริ่มแรกจะมีค่า 0 – 180 องศาตะวันตก การบอกค่าลองจิจูดจะบอกค่าองศาตามด้วยทิศทางของค่าว่าทางตะวันออกหรือตะวันตก เช่น ลองจิจูดที่ 90 องศาตะวันออก เป็นต้น ดังนั้นลองจิจูดที่ 180 องศาตะวันออกและลองจิจูดที่ 180 องศาตะวันตกจะทับกันพอดี ดังรูปที่ 2.46




รูปที่ 2.48 การกำหนดตำแหน่งโดยอาศัยพิกัดทางภูมิศาสตร์

ละติจูด (Latitude) คือ ระยะทางที่วัดเป็นมุมไปทางเหนือและทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร (Equator) เส้นที่ลากไปตามตำแหน่งต่างๆที่มีค่าละติจูดเดียวกันรอบโลกเรียกว่า เส้นขนาน (Parallel) หรือเส้นรุ้ง ตำแหน่งเริ่มต้นของค่าละติจูด คือตำแหน่งที่อยู่บนเส้นศูนย์สูตร มีค่าเท่ากับ 0° 0 ' 00 " ค่าละติจูดที่วัดไปทางเหนือของเส้นศูนย์สูตรจะมีค่าเท่ากับ 0 – 90 องศาเหนือ ค่าละติจูดที่วัดไปทางใต้ของเส้นศูนย์สูตรจะมีค่าเท่ากับ 0 – 90 องศาใต้

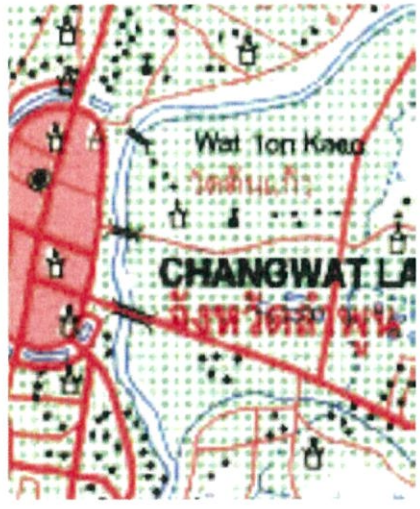
2) ระบบพิกัดกริด (Grid Coordinate)

พิกัดกริด คือระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่แปลงค่าเส้นรุ้ง เส้นแวงที่มีลักษณะเป็น 3 มิติ ให้เป็นลักษณะพื้นราบ 2 มิติ (Cartesian Coordinate System) ระบบพิกัดกริดประกอบด้วยเส้นขนาน 2 ชุดในแนวตั้งและแนวนอนตัดกันเป็นมุมฉาก ทำให้เกิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระบบพิกัดกริดมีหลายระบบด้วยกัน เช่น Mercator, Transverse Mercator, Universal Polar Stereographic Grid (UPS Grid) และ Universal Transverse Mercator เป็นต้น สำหรับเส้นกริดที่นำมาใช้ในประเทศไทยตามกรมแผนที่ทหารนั้น ใช้ระบบยูนิเวอร์ซัลทรานเวอร์สเมอร์เคเตอร์ (Universal Transverse Mercator Grid :UTM)

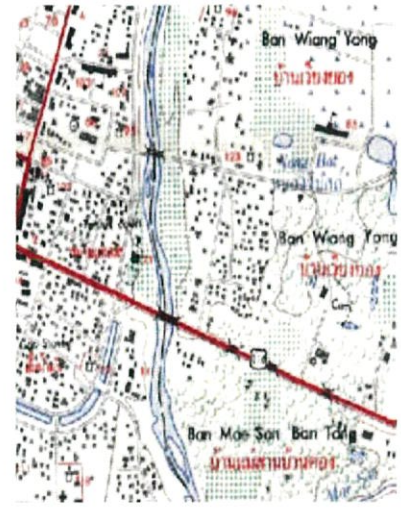
เป็นระบบที่บอกตำแหน่งเป็นค่าระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร ตารางกริดทุกตารางมีขนาดเท่ากันและมีรูปร่างเหมือนกันทุกประการ ตามภาพที่ 1.6 โดยครอบคลุมพื้นที่ระหว่างละติจูดที่ 84 องศาเหนือ ถึงละติจูด 80 องศาใต้ ภายในพื้นที่นี้จะถูกแบ่งออกเป็นเขต (zone) ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 60 โซน แต่ละโซนกว้าง 6 องศา ตามแนวลองจิจูด โซนที่ 1 ตั้งอยู่ระหว่างลองจิจูดที่ 180°ตะวันตก ถึง 174°ตะวันตกในแต่ละโซนจะมีเส้นเมอริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) 1 เส้น ในโซนที่ 1 เส้นเมอริเดียน ย่านกลางคือ 177 องศาตะวันตกซึ่งจะตัดกับเส้นศูนย์สูตรเป็นมุมฉาก เรียกว่า จุดศูนย์กำเนิด

2.1.7.4 มาตราส่วนแผนที่ (Scale)

คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางบนแผนที่กับระยะทางจริงในภูมิประเทศ เช่น แผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 หมายถึง เมื่อวัดระยะบนแผนที่ได้ 1 หน่วย จะมีระยะทางในภูมิประเทศวัดได้ 50,000 หน่วยโดยหน่วยวัดความยาวจะต้องเป็นหน่วยเดียวกัน เช่น กำหนดหน่วยวัดระยะเป็นเซนติเมตร มีความหมายว่า ระยะบนแผนที่ 1 เซนติเมตร ใช้แทนระยะทางในภูมิประเทศวัดได้ 50,000 เซนติเมตร แผนที่มาตราส่วนใหญ่จะแสดงรายละเอียดได้มาก แต่จะครอบคลุมพื้นที่ในภูมิประเทศได้น้อย ในขณะที่แผนที่มาตราส่วนเล็กจะแสดงรายละเอียดได้น้อยแต่จะครอบคลุมพื้นที่ในภูมิประเทศได้กว้าง ดังรูปที่ 2.47 แสดงแผนที่ ที่มีมาตราส่วนต่างกัน




แผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000




แผนที่มาตราส่วน 1 : 12,500

รูปที่ 2.49 แสดงแผนที่ที่มีมาตราส่วนต่างกัน

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**แบบจำลอง COST-231** [ที่มา: IEEE]

เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลอง Okumura-Hata ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย มีความถี่ที่คลอบคลุมกับคลื่นความถี่ 4G ที่ใช้ในประเทศไทยที่ 1800 และ 2100 MHz มีการเพิ่มพจน์การคำนวณทางคณิตศาสตร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าที่ทำนาย มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น มีสูตรการคำนวณดังนี้

พื้นที่ในเมือง : $\mathrm{PL} = 46.3 + 33.9\log(\mathrm{f}) - 13.82\log(h_b) + (44.9 - 6.55\log(h_b))\log(\mathrm{d}) - \mathrm{a}(h_m)$

พื้นที่ชานเมือง : $\mathrm{PL} = 46.3 + 33.9\log(\mathrm{f}) - 13.82\log(h_b) + (44.9 - 6.55\log(h_b))\log(\mathrm{d}) - \mathrm{a}(h_m) - 2\,(log(f\,/\,28))^{2} - 5.4$

พื้นที่ชนบท : $\mathrm{PL} = 46.3 + 33.9\log(\mathrm{f}) - 13.82\log(h_b) + (44.9 - 6.55\log(h_b))\log(\mathrm{d}) - \mathrm{a}(h_m) - 4.78(log(f))^{2} + 18.33\log(\mathrm{f}) - 40.98$

$$\mathrm{a}(h_m) = (1.11\log(\mathrm{f}) - 0.7)h_m - (1.56\log(\mathrm{f}) - 0.8)$$

เมื่อ

PL คือ กำลังสูญเสียตามวิถี (dB)

f คือ ความถี่ (MHz)

d คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ (km)

$h_b$ คือ ความสูงประสิทธิผลของสถานีฐาน (m)

$h_m$ คือ ความสูงสายอากาศโทรศัพท์เคลื่อนที่ (m)

**Haversine** [ที่มา: https://www.mrexcel.com/]

ในการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุด คือ จุดตำแหน่งของสถานีฐานกับจุดที่ทำการทดสอบ โดยจะใช้วิธี Haversine ในการคำนวณทรงกลมขนาดใหญ่ระหว่างจุดสองจุด เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดบนผิวโลก มีสูตรดังนี้

$$\text{Haversine}: \ \mathrm{a} = \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) + \cos\varphi_1 * \cos\varphi_2 * \sin^2\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)$$

$$\text{formula}: \ \mathrm{c} = 2 * \mathrm{atan2}(\sqrt{\mathrm{a}}, \sqrt{(1-\mathrm{a})})$$

$$\text{Distance}: \ \mathrm{d} = \mathrm{R} * \mathrm{c}$$

เมื่อ $\varphi$ คือละติจูด, $\lambda$ คือลองติจูด, R คือ รัศมีโลก (เฉลี่ยประมาณ = 6,371km)

*มุมมีค่าในหน่วยเรเดียน

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ เป็นการใช้ระบบ Open Source GIS ร่วมในการตรวจสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยโปรแกรมซอฟต์แวร์รหัสเปิดที่ได้เลือกใช้นั้น มีชื่อว่า Quantum Geographic Information System หรือ QGIS เวอร์ชั่น 2.18.11 ซึ่งเริ่มเป็นที่รู้จัก และมีการนำมาใช้งานภายในบริษัททางด้านโทรคมนาคมมากขึ้นในไทย เนื่องมาจากมีข้อดีมากมาย เช่น ไม่เสียค่าใช้จ่าย สามารถปรับแต่งข้อมูลได้ สามารถสร้าง Plugins เป็นตัวเสริมประสิทธิภาพโปรแกรมได้ มีการทำงานที่รวดเร็ว และเป็นโปรแกรมที่ใช้ทรัพยากรณ์พื้นที่ใน PC น้อย และยัง สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการ (operating system) หรือ โอเอส (OS)ได้ทั้ง Linux, Unix, Mac OSX และ Microsoft Windows

## 3.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดเก็บและวิเคราะห์สัญญาณ

ก่อนที่จะเริ่มการวิจัย ในการทำงานทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ จำเป็นจะต้องมีการใช้ซอฟต์แวร์เพื่อที่จะจัดเก็บข้อมูล และนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ เพื่อที่จะสามารถหาข้อบกพร่องในแต่ละพื้นที่ที่ทดสอบสัญญาณ และนำมาปรับปรุงแก้ไข แล้วจึงนำส่งให้แก่ผู้ให้บริการเครือข่ายต่อไป โดยมีซอฟต์แวร์ที่ใช้ดังนี้

โปรแกรม 3.1.1 Nemo Outdoor

Nemo Outdoor เป็นเครื่องมือทดสอบสำหรับแล็ปท็อป ที่ใช้ในการทดสอบเครือข่ายไร้สาย ซึ่งรองรับกับอุปกรณ์ของผู้ผลิตรายต่างๆ, เทคโนโลยีเครือข่ายล่าสุด และสมาร์ทโฟนรุ่นล่าสุด และนำเสนอการทดสอบแบบเต็มรูปแบบสำหรับทดสอบเครือข่ายไร้สาย / ทดสอบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถจัดการกับข้อมูล เพื่อนำมาแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพ

Nemo Outdoor จะส่งออกข้อมูลเป็นไฟล์ ที่ได้มาจากการทดสอบสัญญาณเครือข่ายแบบไร้สายในรูปแบบไฟล์ ASCII Nemo ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ง่ายและรวดเร็วโดยใช้เครื่องมือการประมวลผลจากโปรแกรมอื่น

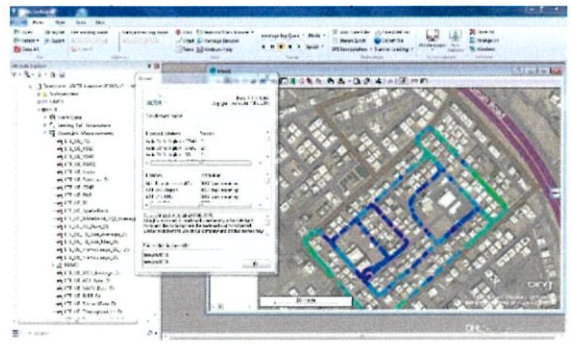
รูปที่ 3.1 แสดงโปรแกรม Nemo Outdoor

ที่มา: https://www.keysight.com/en/

3.1.2 โปรแกรม Axtic Analyzer

Actix Analyzer เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ชั้นนำสำหรับการประมวลผลข้อมูลการทดสอบสัญญาณ สนับสนุนเครือข่ายไร้สายตั้งแต่ GSM จนถึง LTE-A และยังรองรับอุปกรณ์สำหรับการทดสอบสัญญาณมากมาย สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และเครือข่ายไร้สาย เพื่อนำไปปรับปรุงและแก้ไขคุณภาพสัญญาณได้

ในการวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อนำเข้าข้อมูลจากการทดสอบสัญญาณ Axtic Analyzer จะสามารถเรียกดูค่าที่เป็นตัวชี้วัดถึงสิ่งต่างๆของสัญญาณ เช่น คุณภาพ ความต่อเนื่องของสัญญาณ และอื่นๆอีกมากมาย โดยตัวโปรแกรม จะสามารถตั้งค่า KPI ตามที่ต้องการ และยังสามารถส่งข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วออกมาเป็นไฟล์ได้หลากหลายรูปแบบ เช่น Excel workbook , TAB , KML และอื่นๆ เป็นต้น



รูปที่ 3.2 แสดงโปรแกรม Axtic Analyzer

ที่มา: http://actix.com/analyzer/

3.1.3 โปรแกรม GIS

3.1.3.1 โปรแกรม Mapinfo Professional

เป็นซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่มีประสิทธิภาพสูง มีเมนูคำสั่งและชุดเครื่องมือ (Tools) ต่างๆ ที่ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน ด้วยมี Platform คล้ายกับ Microsoft Windows ทำให้จัดการ งานแผนที่ ได้สะดวกและรวดเร็ว และยังช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเชื่อมโยงฐานข้อมูลที่ต้องการ เข้ากับแผนที่ดิจิตอล (Digital Map) หรือพัฒนาร่วมกับโปรแกรมอื่นเพื่อสร้างโปรแกรมประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Application) สำหรับเป็นเครื่องมือบริหารงานด้านต่างๆ เช่น ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพื้นที่ในการ บริหารความเสี่ยงทางธุรกิจ, ประโยชน์งานวิจัยด้านการแพทย์ วิเคราะห์การระบาดวิทยา, การเกษตร การวางแผนระบบงานขนส่ง ใช้งานร่วมกับ GPS หรือการเผยแพร่ข้อมูลเพื่อสาธารณะประโยชน์ ผ่านทาง Website บนเครือข่าย Internet โดยลักษณะไฟล์ข้อมูลของโปรแกรม MapInfo Professional จะมีดังนี้

1) Filename.tab คือ ไฟล์ข้อมูลหลัก ระบุโครงสร้างของชั้นแผนที่และระบบพิกัด

2) Filename.map คือ ไฟล์ที่บรรจุรูปแบบ ค่าพิกัด ของข้อมูลกราฟิกในหน้าต่างแผนที่

3) Filename.dat คือ ไฟล์ที่บรรจุข้อมูลในตารางฐานข้อมูล

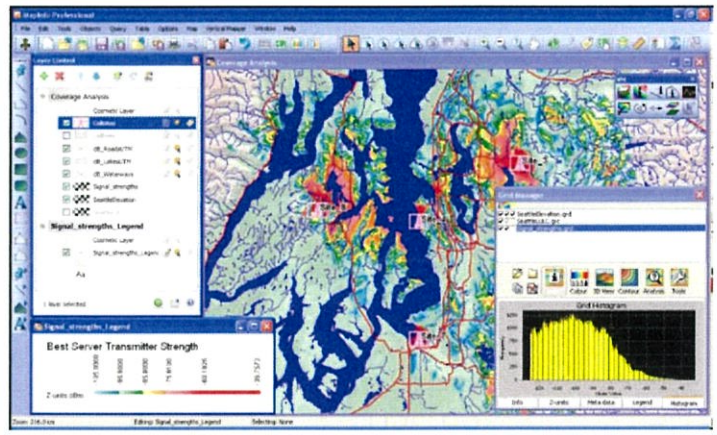
4) Filename.id คือ ไฟล์ที่ใช้เชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงพื้นที่(*.map) และข้อมูลเชิงบรรยาย (*.dat)

5) Filename.ind คือ ไฟล์ที่บรรจุดัชนีของตารางฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการค้นหา

และยังมีไฟล์สกุลกลางของโปรแกรม Mapinfo Professional คือ

5.1) Filename.mif หรือ MapInfo Interchange Format ไฟล์ที่เป็นสกุลกลางของโปรแกรม MapInfo Professional ที่เก็บค่าของข้อมูลกราฟิก เป็นไฟล์ที่สามารถเปิดชั้นแผนที่ในโปรแกรม GIS อื่น หากโปรแกรมรองรับไฟล์ของ MapInfo

5.2) Filename.mid หรือ MapInfo Interchange Data ไฟล์ที่เป็นสกุลกลางของโปรแกรม MapInfo Professional ที่เก็บค่าของข้อมูลในตารางฐานข้อมูล



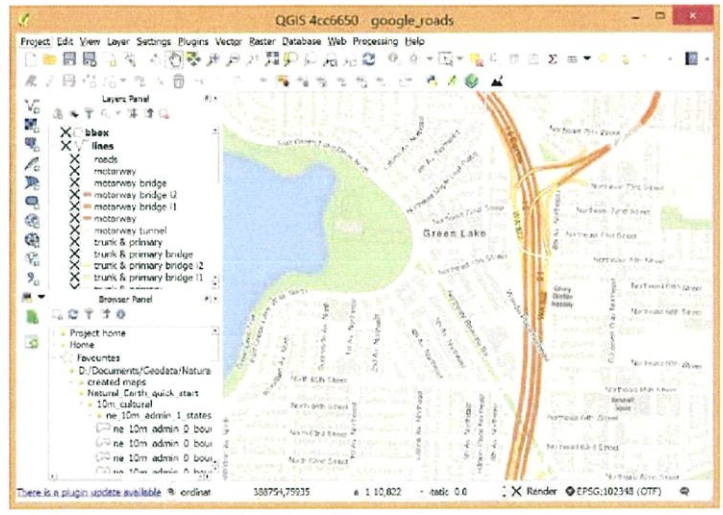

รูปที่ 3.3 แสดงโปรแกรม Mapinfo Professional

ที่มา: http://actix.com/analyzer/

ซึ่งเราจะนำเฉพาะไฟล์มาใช้ เนื่องมาจากเป็นสกุลไฟล์เดิมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่ไม่ใช้โปรแกรม เนื่องมาจาก Mapinfo Professional เป็นซอฟต์แวร์ติดลิขสิทธิ์ จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่จะต้องเสีย ดังนั้นจึงเปลี่ยนมาใช้โปรแกรม QGIS แทน เนื่องมาจากไม่เสียค่าลิขสิทธิ์

3.1.3.2 โปรแกรม QGIS

Quantum GIS หรือ QGIS เป็นโปรแกรม Desktop GIS ประเภทหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการนามาใช้จัดการข้อมูลปริภูมิจัดอยู่ในกลุ่มซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Free and Open Source Software: FOSS) ที่ใช้งานง่าย ลักษณะการใช้งานเป็นแบบ Graphic User Interface ซึ่งสะดวกต่อการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการเรียกใช้ข้อมูลภาพ ข้อมูลตาราง การแสดงผลตาราง การแสดงผลกราฟ ตลอดจนสามารถสืบค้นข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูลและนาเสนอข้อมูลได้ในรูปแบบแผนที่สามารถเรียกใช้ข้อมูลเวกเตอร์แรสเตอร์ในรูปแบบที่เป็นมาตรฐานแพร่หลาย เช่น Shapefile QGIS สามารถแก้ไข Shape File format ได้ซึ่งเป็นที่ต้องการมากในเวลานี้ QGIS พัฒนาบนพื้นฐานของ Qt ที่เป็นไลบรารี่สาหรับ Graphical User Interface (GUI) ที่ใช้งานได้ทั้ง UNIX, Window และ Mac การพัฒนาใช้ภาษา C++ เป็นหลักนอกจากนั้น QGIS ยังสามารถใช้ภาษา Python ในการสร้าง Plugins เพิ่มเติมได้

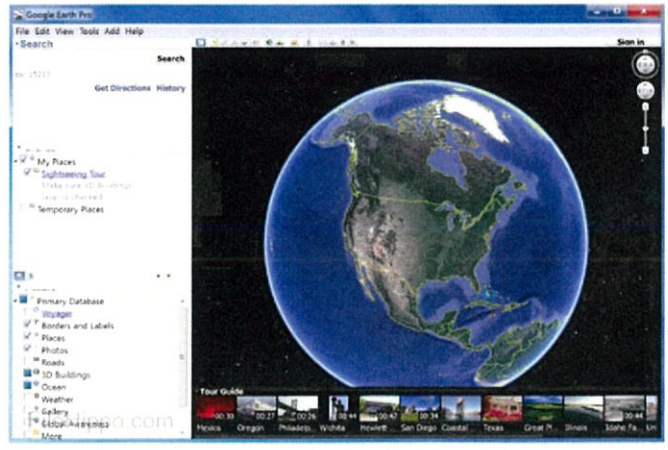



รูปที่ 3.4 แสดงโปรแกรม QGIS

โดยโปรแกรม QGIS เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้ในการทำโครงงานครั้งนี้

3.1.4 โปรแกรม Google Earth Pro

กูเกิลเอิร์ธ (Google Earth) ใช้ดูภาพถ่ายทางอากาศพร้อมทั้งแผนที่ เส้นทางและผังเมืองซ้อนทับลงในแผนที่ รวมทั้งระบบ GIS ให้บริการภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูง แล้วนำมาสร้างเป็นแผนที่ 3 มิติ จากทุกสถานที่ทั่วโลก สามารถขยายภาพจากโลกทั้งใบไปสู่ประเทศลงไปจนถึงวัตถุเล็ก เช่น ถนน ตรอกซอกซอย รถยนต์ บ้านคนและเป็นการทำงานแบบ Online โดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ของประเทศต่าง ๆ เพื่อดูถึงความหนาแน่นของย่านชุมชน Google Earth ยังเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการขีดและดูเส้นทาง (Route) ซึ่งสามารถแสดงภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดค่อนข้างสูง เหมือนเราได้เข้าไปยืนอยู่ ณ ที่นั้นเลย สามารถทำให้ดูเส้นทางการทดสอบสัญญาณล่วงหน้าได้ ว่าสามารถเข้าถึงในแต่ละพื้นที่ได้มากน้อยแค่ไหน ตำแหน่งที่ต้องการค้นหา สามารถหาได้จาก บ้านเลขที่ ลองจิจูด ละติจูด ซึ่งในตัว Pro จะสามารถดูความสูงพื้นผิว วัดระยะห่างในรูปแบบ 3 มิติได้ ซึ่งเราจะใช้ในการวิเคราะห์หาปัญหา



รูปที่ 3.5 แสดงโปรแกรม Google Earth Pro

3.1.5 Plugins

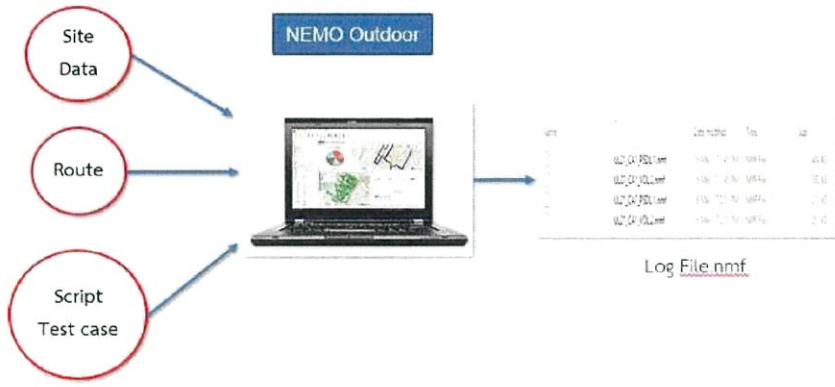
Plugins คือ โปรแกรมเสริมชนิดหนึ่ง ที่จะเพิ่มความสามารถให้กับโปรแกรมหลัก ซึ่งเราจะติดตั้งเพื่อใช้งาน หรือไม่ติดตั้งก็ได้ โดย Plugins ถูกออกแบบให้มีความสามารถเฉพาะอย่าง ซึ่งเป็นความสามารถเสริมที่ช่วยให้โปรแกรมหลักทำงานได้ดีขึ้น เช่นช่วยเพิ่มลูกเล่นต่างๆให้โปรแกรมหลัก หรือเพิ่มความสามารถพิเศษบางให้โปรแกรมหลัก ซึ่งสามารถสร้าง Plugins ขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรม QGIS ได้ โดยในการสร้างนั้น จะใช้ภาษา Python ในการเขียนชุดคำสั่ง และใช้ Qt Creator ในการสร้าง Interface การใช้งานขึ้นมา

## 3.2 ขั้นตอนการทำงาน

ในการที่จะได้มาซึ่งข้อมูลนั้น จำเป็นจะต้องจัดเตรียมซอฟต์แวร์ให้เหมาะสมกับการทดสอบสัญญาณโดยใช้รถ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 การเก็บข้อมูล

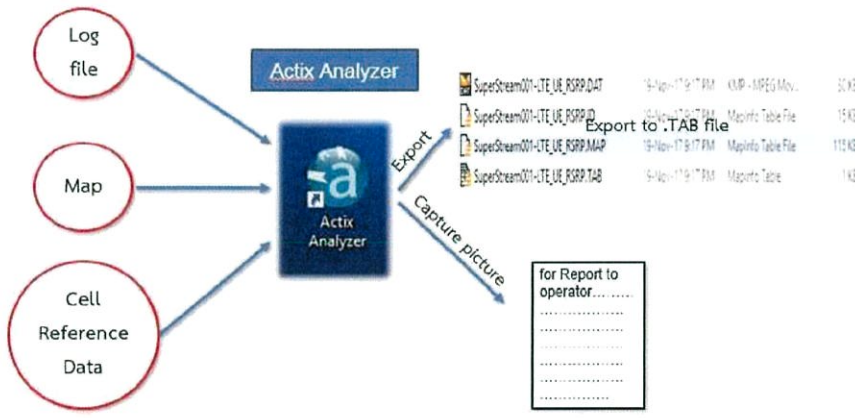
ในการเก็บข้อมูล เมื่อเราติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเรียบร้อย ก่อนที่จะเริ่มทำการทดสอบสัญญาณ เราจะทำการใส่ฐานข้อมูลของสถานีฐาน, เส้นทางที่จะขับรถทดสอบสัญญาณ, รูปแบบที่จะทดสอบสัญญาณตามที่ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องการทดสอบ (Test Case) เข้าไปในโปรแกรม Nemo Outdoor และเมื่อเริ่มทำการทดสอบ จะได้ข้อมูลการทดสอบมาในรูปของ Log File สกุล .nmf ดังรูปที่ 3.6



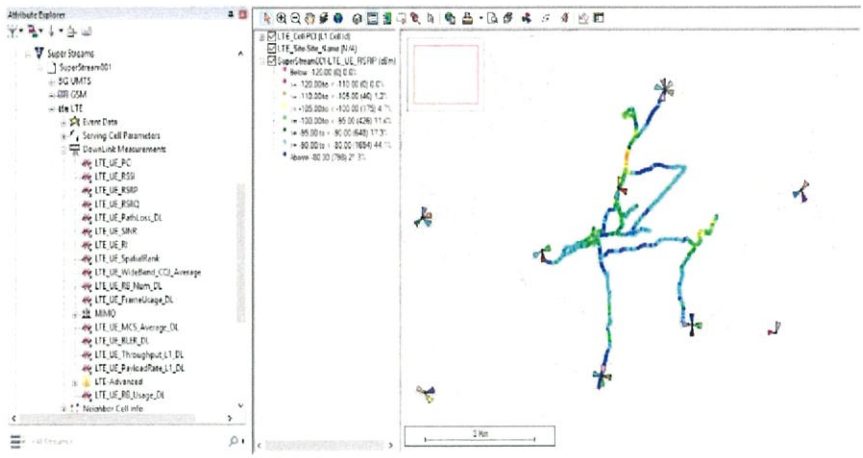

รูปที่ 3.6 แสดงการเก็บข้อมูล

3.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล เราจะใช้โปรแกรม Axtic Analyzer ซึ่งจะต้องทำการใส่ ตำแหน่งอ้างอิงของสถานีฐาน, Log file ของข้อมูลการทดสอบสัญญาณ และแผนที่อย่างหยาบ เพื่อนำทั้งหมดมาวิเคราะห์ร่วมกัน ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งผลที่ได้ออกมาจะได้ดังรูปที่ 3.8 และทำการนำออกเป็นไฟล์สกุล .TAB เพื่อที่จะนำมาแสดงผลในโปรแกรม GIS และยังสามารถนำผลการวิเคราะห์ไปใส่ในรายงานผลการทดสอบสัญญาณได้



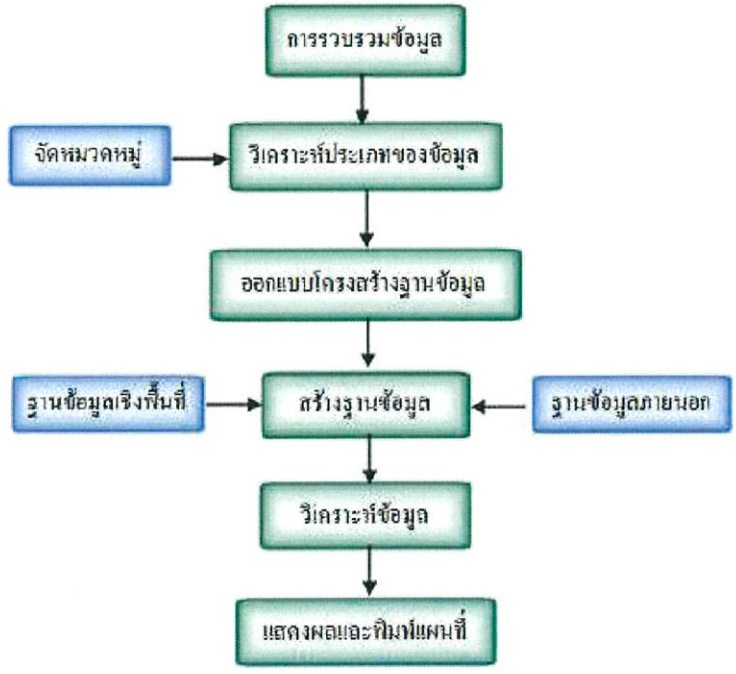

รูปที่ 3.7 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูล



รูปที่ 3.8 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2.3 การแสดงผลในโปรแกรม GIS

ในการที่จะแสดงผล (Monitor) ข้อมูลที่วิเคราะห์แล้วนั้น สามารถแสดงได้ในโปรแกรม GIS ที่มีหลากหลายโปรแกรม แต่ในโครงงานนี้จะเลือกใช้โปรแกรม Quantum GIS ด้วยสาเหตุที่ได้เคยกล่าวไป เพื่อที่จะสามารถปรับแต่งข้อมูล หรือ สังเกตหาปัญหา และวิเคราะห์ข้อมูลเพิ่มเติมได้ มีกระบวนการการทำงานดังรูปที่ 3.9

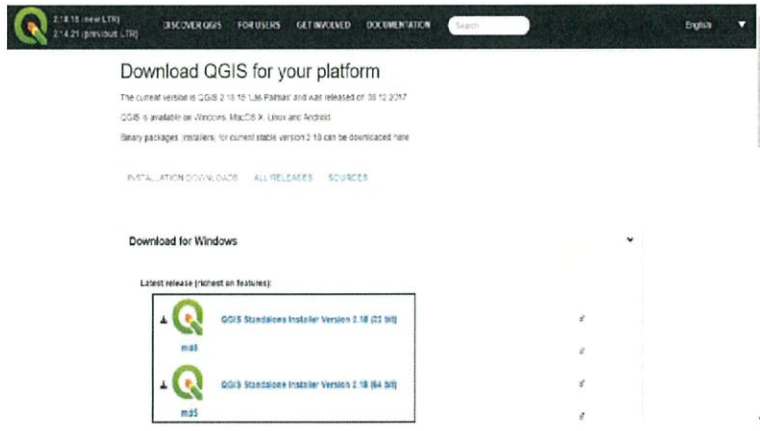



รูปที่ 3.9 รูปแบบการปฏิบัติงานในระบบ GIS

1) การรวบรวมข้อมูล : จะรวบรวมข้อมูลในลักษณะของไฟล์สกุล .TAB
2) วิเคราะห์ประเภทของข้อมูล : ข้อมูลที่นำเข้ามา จะถูกแยกออกเป็นข้อมูล 3 รูปแบบที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2
3) ออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล : ออกแบบโดยการวิเคราะห์ประเภท และแยกฐานข้อมูลออกเป็นชั้น Layer
4) สร้างฐานข้อมูล : โดยจะนำเข้าฐานข้อมูลของสถานีฐาน และแผนที่ออนไลน์ มารวมกันเป็นฐานข้อมูล
5) วิเคราะห์ข้อมูล : เมื่อนำเข้าข้อมูลทั้งหมดแล้ว เราจะสามารถสังเกตข้อบกพร่องของการทดสอบสัญญาณ และปรับแต่งข้อมูลเพิ่มเติมได้
6) แสดงผลและพิมพ์แผนที่ : จะเป็นการแสดงผลสำเร็จของการทดสอบสัญญาณออกมาในรูปแบบของแผนที่

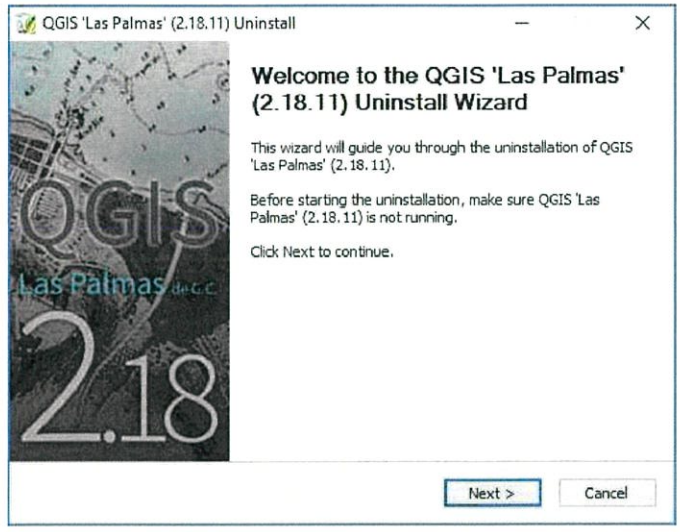
3.2.3.1 การติดตั้งโปรแกรม Quantum GIS

1) ดาวน์โหลด โปรแกรม Quantum GIS ได้จาก https://qgis.org/en/site/forusers/download.html ดังรูปที่ 3.10



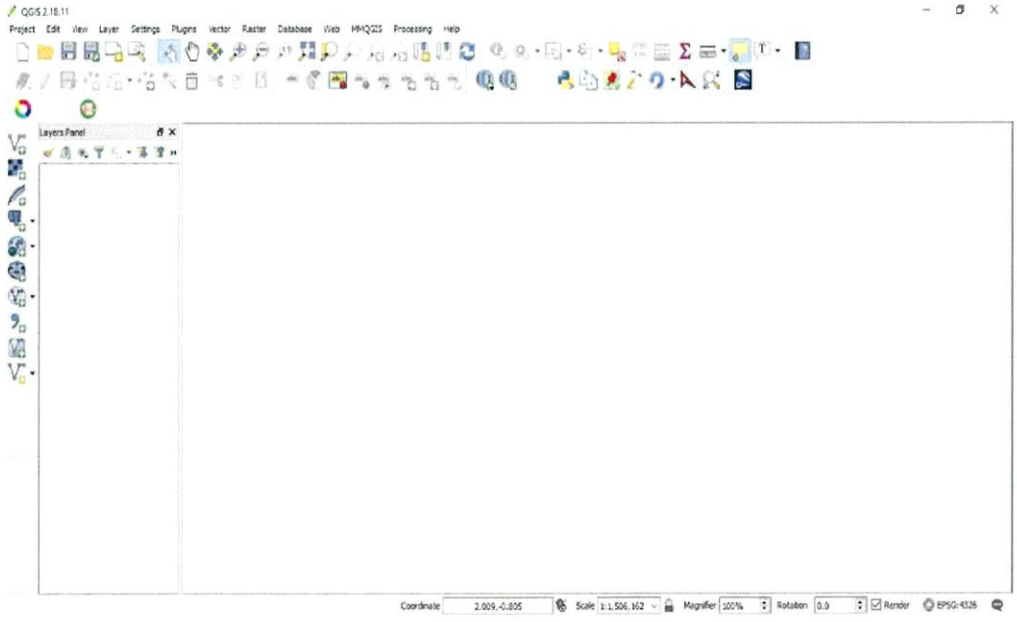

รูปที่ 3.10 ดาวน์โหลด QGIS จากเว็บไซต์

2) เมื่อดาวน์โหลดโปรแกรม Quantum GIS เสร็จแล้ว ให้ ดับเบิ้ลคลิกที่ QGIS-OSGeo4W-1.7.1-c58071d-Setup.exe จะปรากฏหน้าจอติดตั้ง ให้คลิกที่ปุ่ม Next > ดังรูปที่ 3.11 แล้วเลือกสถานที่ติดตั้งของโปรแกรม จนขึ้นให้กด Finish




รูปที่ 3.11 แสดงหน้าต่างการติดตั้ง QGIS

3) ทดสอบการเปิดโปรแกรม Quantum GIS โดยไปที่หน้า Desktop ดับเบิ้ลคลิกที่ไอคอน QGIS Desktop 2.18.11 ถ้าได้ดังรูปด้านล่างก็ถือว่าติดตั้งระบบเสร็จสิ้น ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงหน้า Desktop ของโปรแกรม QGIS

3.2.3.2 เครื่องมือที่ใช้งานในโปรแกรม Quantum GIS

1) File Toolbar สำหรับจัดการเกี่ยวกับเอกสาร โดยมีลำดับจากซ้ายมาขวาดังรูปที่ 3.13 ได้แก่

รูปที่ 3.13 File Toolbar

New หมายถึง การสร้างเอกสารโครงการใหม่

Open หมายถึง การเปิดเอกสารโครงการที่มีอยู่เดิม

Save หมายถึง การบันทึกโครงการ

Save Project as หมายถึง การบันทึกโครงการเป็นอีกชื่อหนึ่ง

New print compose หมายถึง การสร้างแผนที่ใหม่เพื่อการพิมพ์

Print compose หมายถึง การพิมพ์แผนที่จากแผนที่ที่ทำไว้ก่อนหน้านี้

2) Manage Layer Toolbar สำหรับเพิ่มการจัดการ สร้าง ข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งที่เป็นข้อมูลเชิงเส้น และข้อมูลภาพเชิงตัวเลขโดยมีลำดับซ้ายไปขวาดังรูปที่ 3.14 ได้แก่

รูปที่ 3.14 Manage Layer Toolbar

Add Vector Layer หมายถึง การเพิ่มข้อมูลเชิงเส้น

Add Delimited Text Layer หมายถึง การสร้างข้อมูลจากไฟล์ฐานข้อมูล

New Vector Layer หมายถึง การสร้างข้อมูลเชิงเส้นใหม่

3) Map Navigation Toolbar เป็นเครื่องมือในการกวาด ขยาย ย่อ แผนที่ โดยมีลำดับจากซ้ายมาขวาดังรูปที่ 3.15 ดังนี้

รูปที่ 3.15 Map Navigation Toolbar

Touch zoom and pan หมายถึง ใช้คลิกบริเวณที่ต้องการให้กลายเป็นจุดศูนย์กลางของแผนที่โดยยังคงรักษามาตราส่วนเดิมไว้

Pan Map หมายถึง ใช้เลื่อนแผนที่ไปด้านอื่น ๆ โดยยังคงรักษามาตราส่วนเดิมไว้

Pan Map to Selection หมายถึง ใช้เลื่อนแผนที่ไปยังข้อมูลที่เลือกไว้ โดยยังคงรักษามาตราส่วนเดิมไว้

Zoom In หมายถึง ใช้ขยายมาตราส่วนให้ใหญ่ขึ้นด้วยการคลิกบริเวณที่ต้องการขยายจะขยายทีละเท่าตัว หรือใช้วิธีลากกรอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อขยายแผนที่ให้มีขนาดพอดีกรอบ

Zoom Out หมายถึง ใช้ย่อมาตราส่วนให้เล็กลงด้วยการคลิกบริเวณที่ต้องการย่อจะย่อทีละครึ่งหนึ่ง

รูปที่ 3.15 (ต่อ) Map Navigation Toolbar

Zoom to Native Pixel Resolution หมายถึง ใช้เปลี่ยนมาตราส่วนให้ความละเอียดข้อมูลราสเตอร์ที่เปิ ดอยู่เท่ากับความละเอียดของหน้าจอ (ภาพจะไม่แตก)

Zoom Full หมายถึง เปลี่ยนมุมมองเป็นส่วนที่มองเห็นข้อมูลทุกชั้นได้ครบทั้งหมด

Zoom to Selection หมายถึง เลื่อนไปยังข้อมูลที่เลือกไว้และเปลี่ยนมาตราส่วนให้เห็นข้อมูลที่เลือกไว้ทั้งหมดพอดี

Zoom to Layer หมายถึง เปลี่ยนมุมมองเป็นส่วนที่มองเห็นข้อมูลชั้นที่เลือกได้ทั้งหมด

Zoom Last หมายถึง กลับไปมุมมองก่อนหน้า

Zoom Next หมายถึง กลับไปมุมมองหลัง

4) Attribute Toolbar เป็นกลุ่มของเครื่องมือในการเรียกดูคุณสมบัติ ข้อมูลในตาราง การวัด และการให้ Label บน Balloon เป็นต้น โดยมีลำดับของเครื่องมือจากซ้ายมาขวาดังรูปที่ 3.16 ดังนี้

รูปที่ 3.16 Attribute Toolbar

Identify Features หมายถึง คำสั่งในการดูข้อมูลบรรยายของจุดที่คลิกเลือก

Open Attribute Table หมายถึง คำสั่งเปิดตารางคำบรรยายของชุดข้อมูลทั้งหมด

Measure Line หมายถึง การวัดระยะทางในแผนที่

5) Digitilizing Toolbar เป็นเครื่องมือสำหรับสร้าง แก้ไข ปรับปรุงข้อมูลเชิงเส้น ซึ่งมีลำดับจากซ้ายมาขวาดังรูปที่ 3.17 ดังนี้

รูปที่ 3.17 Digitilizing Toolbar

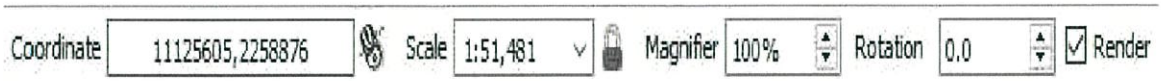
Toggle editing หมายถึง คำสั่งเริ่มเข้าสู่ การปรับปรุง แก้ไข หรือสร้างข้อมูล

Capture Point / Line / Polygon หมายถึง คำสั่งในการสร้าง จุด เส้น หรือ รูปปิด ให้แก่ชั้นข้อมูลที่อยู่ในสถานะปรับปรุง (edit mode)

Move Feature หมายถึง คำสั่งในการย้ายตำแหน่งที่เลือกทั้งหมดของ จุด เส้น รูปปิด

Node Tool หมายถึง คำสั่งในการย้าย Node ใน จุด เส้น รูปปิด เพื่อแก้ไขรูปร่างของ Feature

6) Status bar เป็นแถบที่แสดงสถานะของจุดที่เราเลือก และแสดงค่าต่างๆในการใช้งานบน Map Display ดังรูปที่ 3.18




รูปที่ 3.18 Status Bar

Coordinate หมายถึง ตำแหน่งของพิกัดที่แสดงตามตำแหน่งของเมาส์ โดยเป็นตำแหน่งของ Northing และ Easting

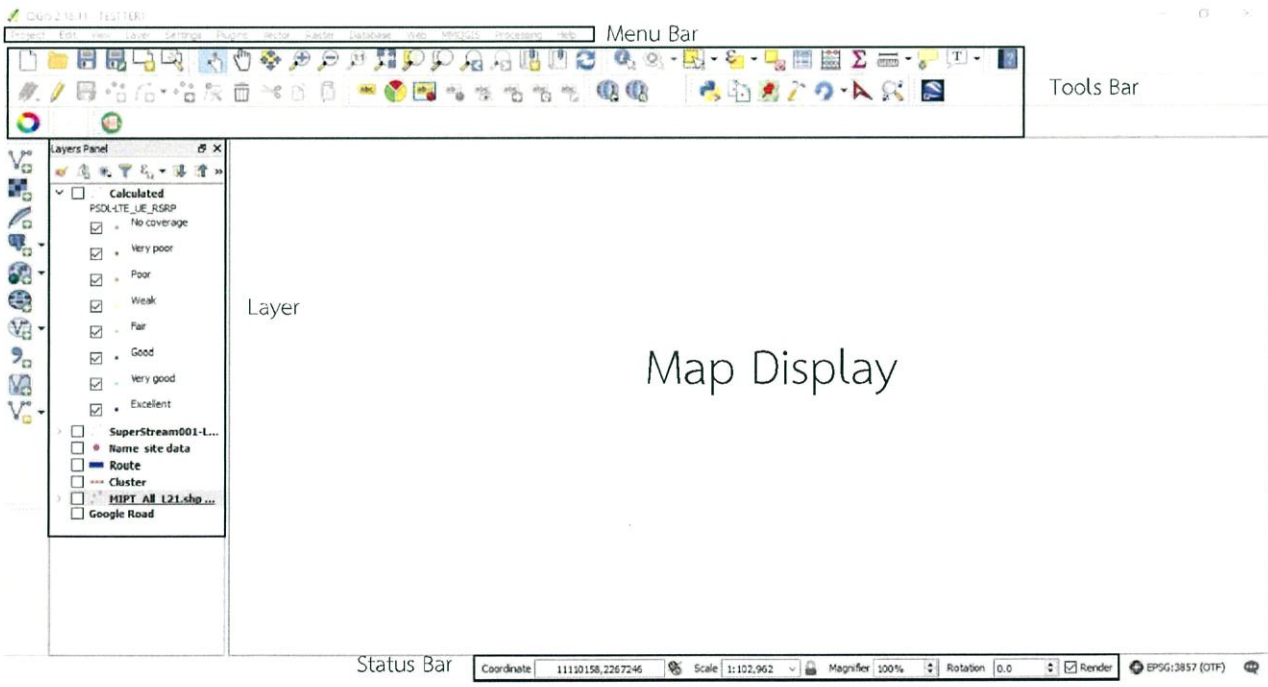
Scale หมายถึง มาตราส่วนที่แสดงแผนที่

Magnifier หมายถึง เปอร์เซ็นในการขยายหรือย่อ

Rotation หมายถึง การหมุนของการแสดงผล

Render หมายถึง การกำหนดให้แสดงแผนที่ทุกๆครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

3.2.3.3 Graphic User Interface ของโปรแกรม QGIS




รูปที่ 3.19 Graphic User Interface

1) Menu Bar

คือ แถบเมนูเป็นที่เก็บคำสั่งทั้งหมดของโปรแกรม การเรียกใช้งานแถบเมนูทำได้โดยการเลื่อนเมาส์มาว่างที่ชื่อเมนูที่ต้องการเปิด แล้วเลื่อนเมาส์ไปตามรายการคำสั่ง เมื่อต้องการใช้ คำสั่งใด ๆ ก็ให้คลิกเมาส์ที่คำสั่งนั้น โปรแกรมก็จะทำการเรียกใช้งานคำสั่งนั้น ๆ ถ้าคำสั่งนั้นมีเมนูย่อย ๆ โปรแกรมก็จะแสดงรายการคำสั่งย่อย ๆ ออกมาให้เลือกต่อไป ซึ่งมีคำสั่งทั้งหมดได้แก่ File, Edit, View, Layer, Settings, Plugins, Vector และ Help

2) Tools Bar

คือ แถบเครื่องมือ เป็นสัญลักษณ์ (Icon) ที่ใช้แทนคำสั่งต่าง ๆ แถบเครื่องมือที่โปรแกรมได้จัดเตรียมไว้ให้นั้นมีอยู่มากมายหลายชุดด้วยกัน แต่แถบเครื่องมือเหล่านี้จะไม่ได้ถูกแสดงให้เห็นทั้งหมดในโปรแกรม

3) Layers

คือ เป็นการแสดงให้เห็นแต่ละประเภทของชั้นข้อมูลตามสัญลักษณ์

4) Map Display

คือ การแสดงแผนที่ ที่เราได้ทำการนำเข้าข้อมูลมาในแต่ละประเภท

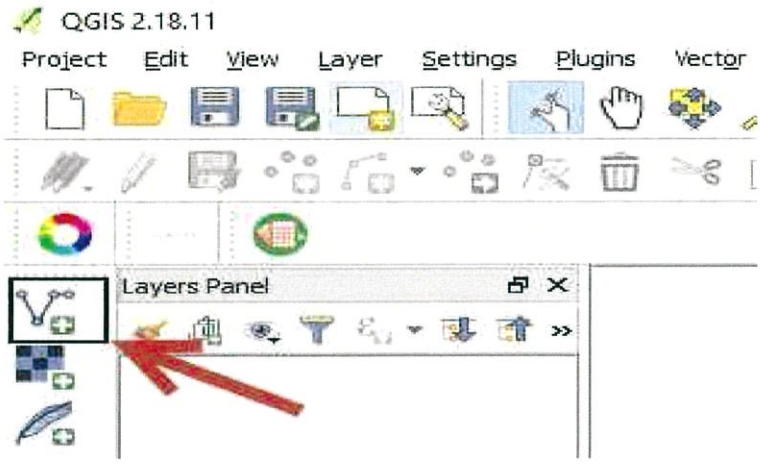
5) Status Bar

คือ แถบแสดงสถานะตำแหน่งปัจจุบันที่เมาส์ชี้ มาตราส่วนของแผนที่ การย่อ/ขยาย

3.2.4 การใช้งานโปรแกรม GIS

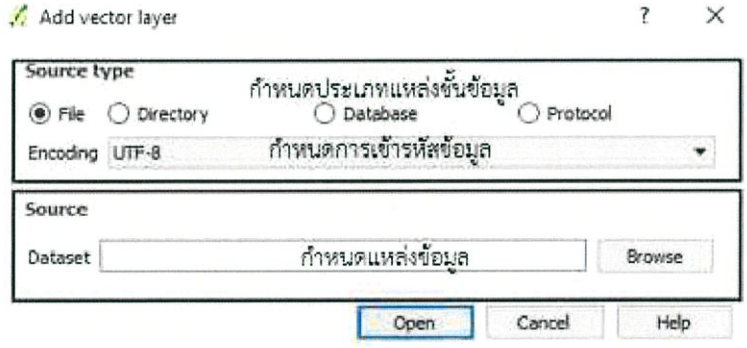
3.2.4.1 การเพิ่มชั้นข้อมูลเชิงเส้น

ในการนำเข้าข้อมูลจากการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น หลักจากเราได้วิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Axtic Analyzer แล้ว เราจะทำการ Export ออกมาเป็นไฟล์สกุล .TAB ซึ่งเป็นสกุลที่ใช้ในโปรแกรม Mapinfo ซึ่งโปรแกรม QGIS นั้นสามารถรองรับไฟล์สกุลนี้ได้ เราจึงทำการ Import ข้อมูลเข้ามาโดยการเพิ่มชั้นข้อมูลในรูปข้อมูลเชิงเส้น เนื่องจากข้อมูลที่นำเข้ามานั้น เป็นข้อมูลแบบจุด (Point) โดยไปที่ปุ่ม Add Vector Layer



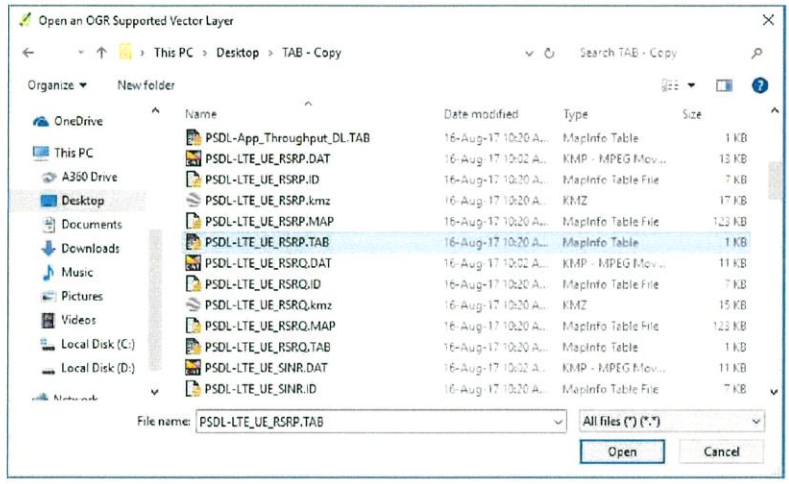

รูปที่ 3.20 ปุ่ม Add Vector Layer

เลือกประเภทแหล่งชั้นข้อมูล ที่เก็บชั้นข้อมูลว่าอยู่ในรูปแบบใด โดยทั่วไปชั้นข้อมูลจะเก็บอยู่ในเครื่อง ให้เลือกที่ File ได้เลย Encoding จะเป็นการเข้ารหัสของตัวอักษรซึ่ง ตัวที่อ่านภาษาไทยได้ ก็จะมี UTF-8 เป็นต้น จากนั้นคลิ๊กที่ Browse เพื่อไปที่แหล่งเก็บข้อมูล



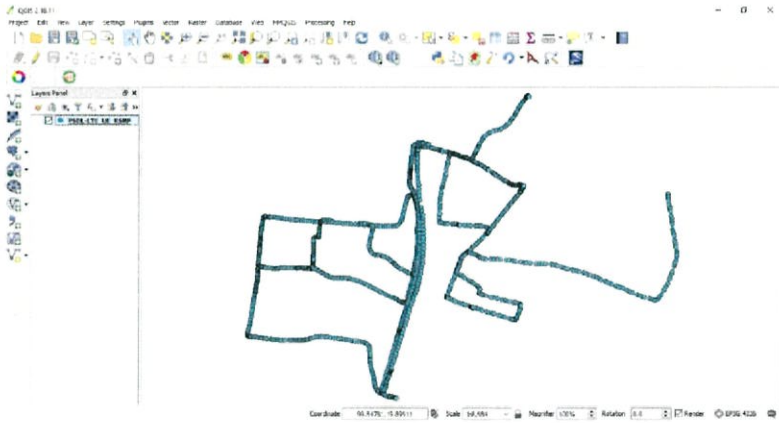

รูปที่ 3.21 หน้าต่าง Add Vector Layer

เมื่อไปที่ตำแหน่งที่เก็บของชั้นข้อมูล จะปรากฏไฟล์ที่มีนามสกุล *.TAB ซึ่งเป็นนามสกุลของ ไฟล์ข้อมูลที่เรานำออกมาจากโปรแกรม Axtic Analyzer




รูปที่ 3.22 เลือกไฟล์ .TAB

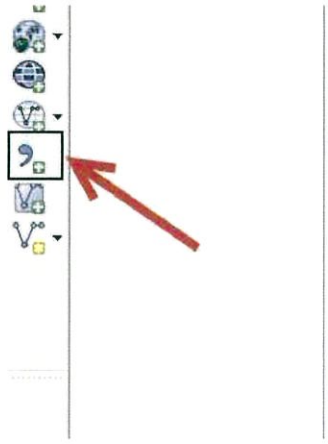
เมื่อคลิกที่ open ก็จะปรากฏจุดของข้อมูลที่เราไปทดสอบสัญญาณมา จากตัวอย่าง เป็นข้อมูลค่า RSRP ของ LTE



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูล

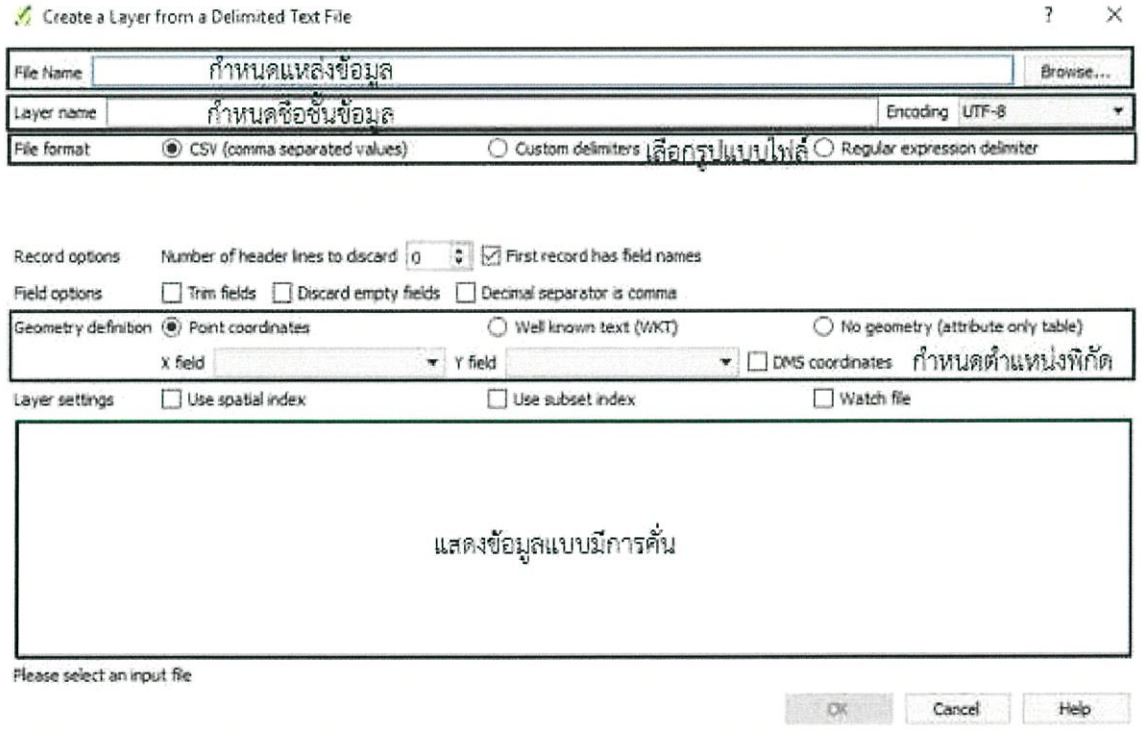
3.2.4.2 การเพิ่มชั้นข้อมูลแบบข้อความมีการคั่น

ในการนำเข้าข้อมูลแบบข้อความมีการคั่น หรือ Delimited Text Data นั้น จะใช้เมื่อเราต้องการจะนำเข้าข้อมูลในรูปแบบไฟล์ .CSV หรือไฟล์ที่มีการคั่น การแบ่งช่วง แยกช่องข้อมูล เช่น ฐานข้อมูลของสถานีฐาน ที่จัดเก็บเป็นไฟล์ .CSV สามารถเปิดแก้ไขข้อมูลได้ใน Microsoft Excel สามารถนำเข้ามาสร้างเป็นชั้นข้อมูลใหม่ใน QGIS ได้ โดยการกดไปที่ Add Delimited Text Layer



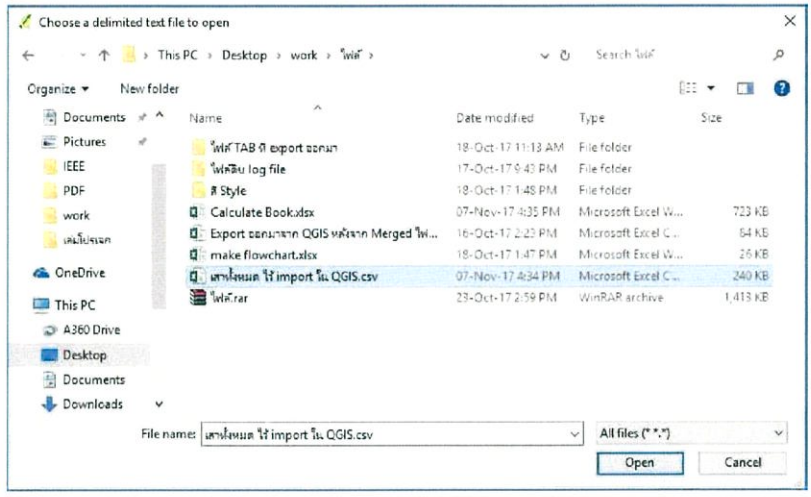
รูปที่ 3.24 ปุ่ม Add Delimited Text Layer

เลือกนำเข้าไฟล์ที่ต้องการจะแสดง กำหนดชื่อชั้นข้อมูลที่จะสร้าง เลือกรูปแบบไฟล์ที่ต้องการ พร้อมทั้งกำหนดตำแหน่งพิกัด X Y โดยตัวอย่างนั้น จะเลือกใช้ไฟล์ .CSV ซึ่งเป็นฐานข้อมูลของสถานีฐาน



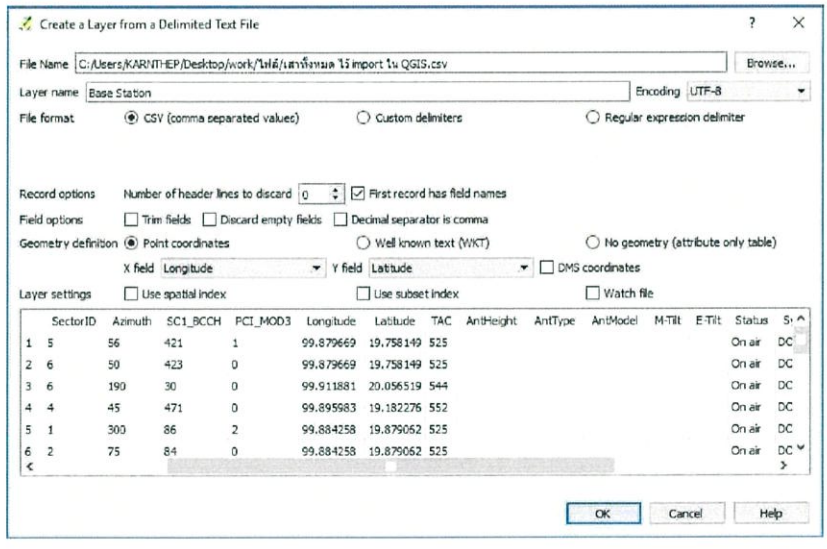

รูปที่ 3.25 การนำเข้าไฟล์ .CSV

เมื่อไปที่ตำแหน่งที่เก็บของชั้นข้อมูล จะปรากฏไฟล์ที่มีนามสกุล *.CSV ซึ่งเป็นนามสกุลของ ไฟล์ข้อมูลที่เราจัดเก็บฐานข้อมูลของสถานีฐาน

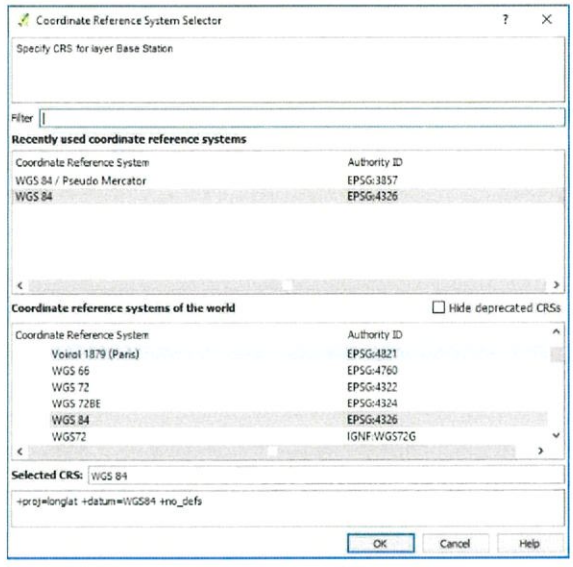



รูปที่ 3.26 เลือกไฟล์ .CSV

จากตัวอย่าง เมื่อทำการเลือกทุกอย่างแล้ว กำหนด Coordinate X คือ Longitude Y คือ Latitude ดังรูป แล้วกด OK

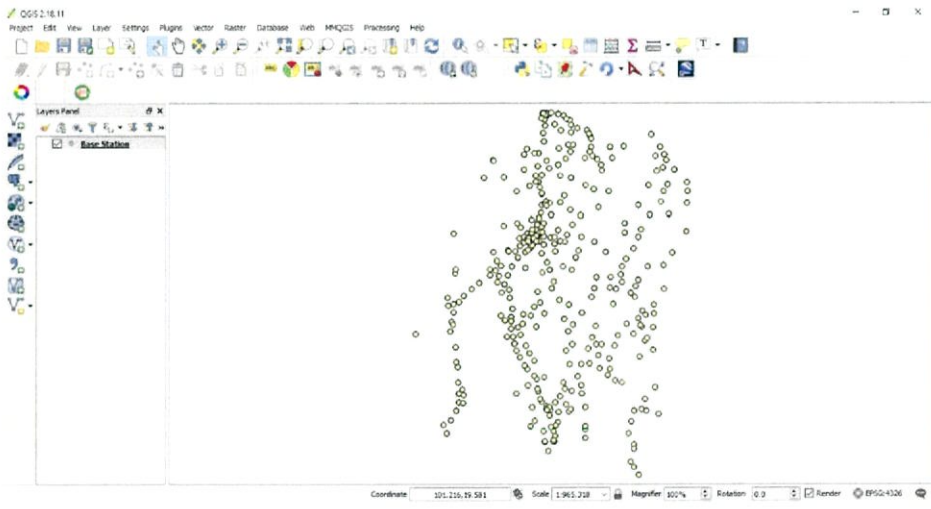



จากนั้น ต้องเลือก Coordinate Reference System หรือกำหนดระบบพิกัดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์โดยกาหนดให้เป็น WGS84




รูปที่ 3.27 เลือกระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์

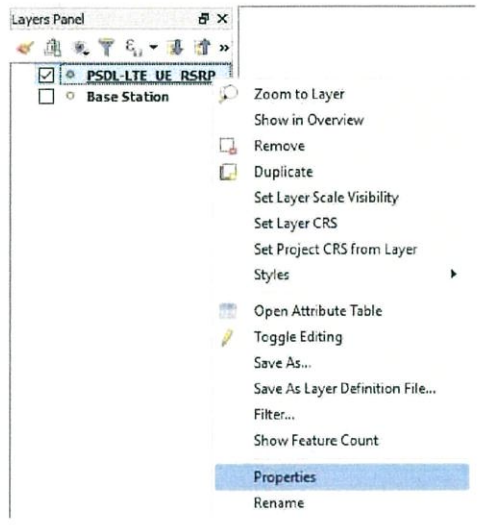
เมื่อกด OK ผลที่ได้คือได้สถานีฐานตามตำแหน่งพิกัดอ้างอิงที่กำหนดไว้




รูปที่ 3.28 แสดงสถานีฐานตามพิกัดจริง

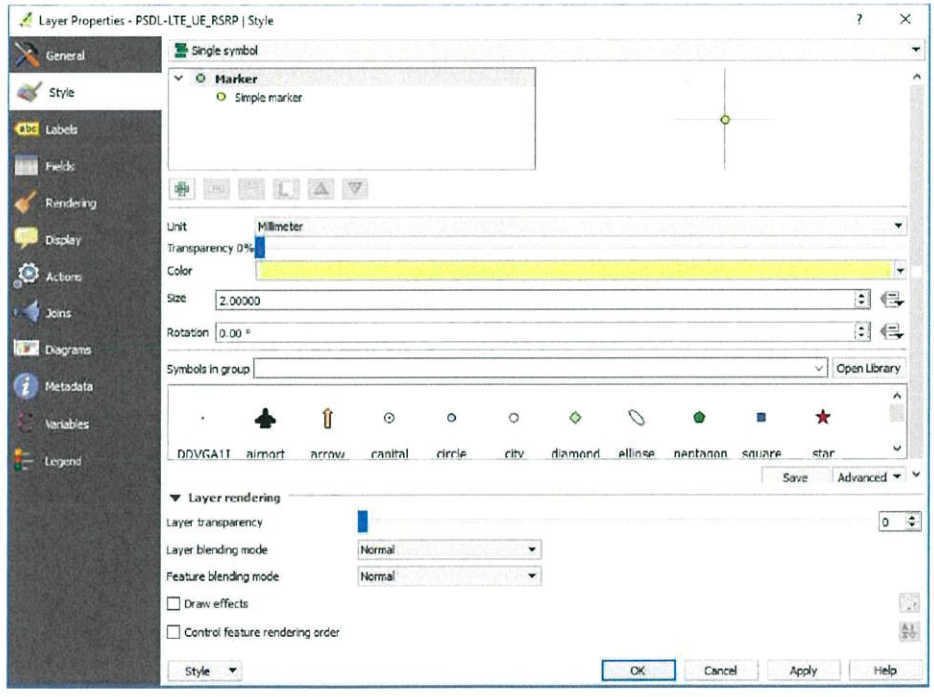
3.2.4.3 การเปลี่ยนรูปแบบของสัญลักษณ์

หลังจากนำเข้าข้อมูลแล้ว เราต้องการที่จะใส่สี เปลี่ยนคุณสมบัติ หรือรูปแบบของข้อมูลที่เป็นสัญลักษณ์ของเรา จะสามารถทำได้หลายรูปแบบ โดยการคลิกขวาชั้นข้อมูลที่ต้องการจะเปลี่ยน แล้วเลือกไปที่ Properties



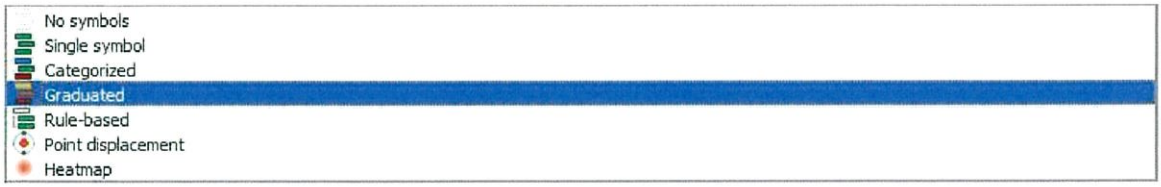

รูปที่ 3.29 เลือก Properties

จากนั้น เราสามารถให้สัญลักษณ์ข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งกำหนดสี กำหนดขนาด กำหนดการทะลุผ่านของข้อมูล และยังสามารถเลือกรูปแบบของสัญลักษณ์ว่าจะเป็นทรงกลม สี่เหลี่ยม หรืออื่นๆได้



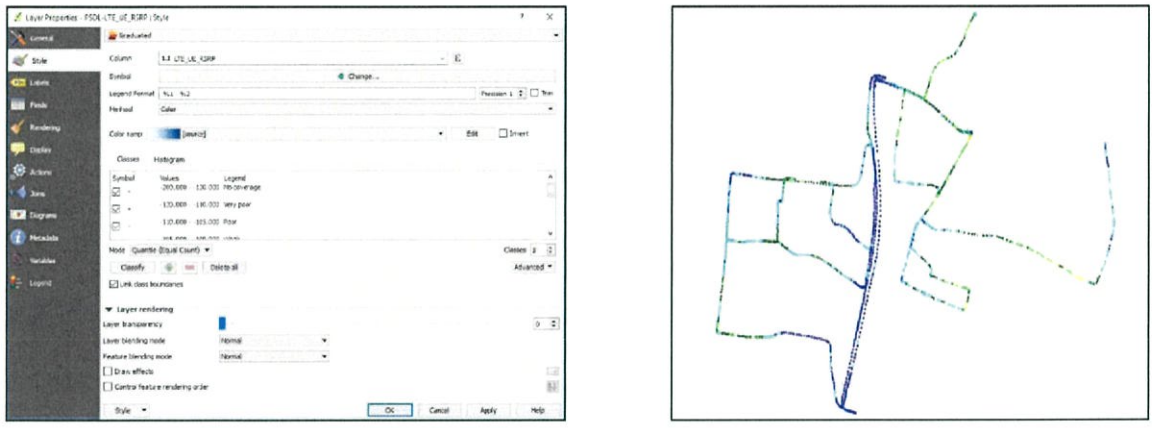

รูปที่ 3.30 หน้าต่างตั้งค่าสัญลักษณ์

นอกจากนั้น ยังสามารถจัดลำดับของข้อมูลตามค่าที่กำหนดได้ เช่น Graduated คือการแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงตามที่กำหนด โดยแต่ละช่วงที่กำหนด ก็จะมีสีหรือขนาดที่แตกต่างตามที่เราเลือก




รูปที่ 3.31 แสดงการจัดลำดับข้อมูล

จากตัวอย่าง ทำการแบ่งช่วงของข้อมูลตามค่าของ RSRP โดยแบ่งแยกตามสีเป็นช่วง และยังกำหนด Legend สีและรูปแบบว่า ระดับของค่า RSRP ที่วัดได้ ดีหรือไม่ดีอย่างไร จะได้ผลลัพท์ออกมาดังรูปที่ 3.32

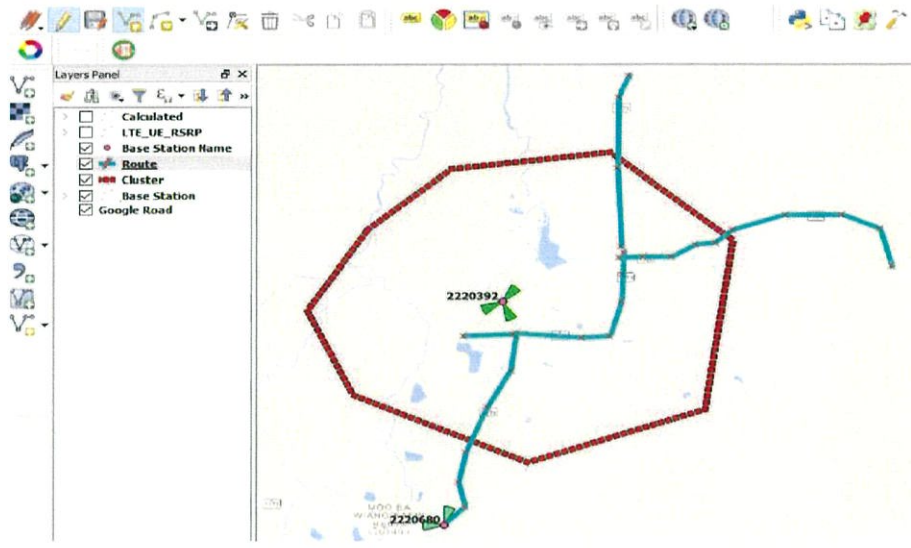


รูปที่ 3.32 แสดงผลลัพท์

3.2.4.4 การขีดเส้นทางและการแบ่งเขต

ในการขีดเส้นทางจะทำเพื่อเป็นการนำทางให้แก่ผู้ที่ขับรถทดสอบสัญญาณ ว่าควรจะไปทางไหนก่อนหรือหลังตามการวางแผน และการแบ่งเขตจะทำเพื่อกำหนดขอบเขตของการทำการทดสอบสัญญาณในแต่ละครั้ง อาจจะมีเกินขอบเขตที่กำหนดไว้บ้าง เพื่อตรวจสอบความเชื่อมต่อกันของแต่ละสถานีฐาน

สามารถขีดเส้นทางและเส้นแบ่งเขตได้โดยใช้ Tools Bar โดยทำการสร้างชั้นข้อมูลสำหรับการขีด แล้วเลือกว่าต้องการจะสร้างชั้นข้อมูลของ จุด (Point) เส้น (Line) หรือ โพลีกอน (Polygon) ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้แบบเส้น หลังจากนั้น ทำการขีดเส้นโดยใช้เครื่องมือ Node tool ทำการจุดตำแหน่งแต่ละจุดบนเส้นทาง แล้วจุดแต่ละจุดนั้นจะเชื่อมถึงกันเป็นเส้น

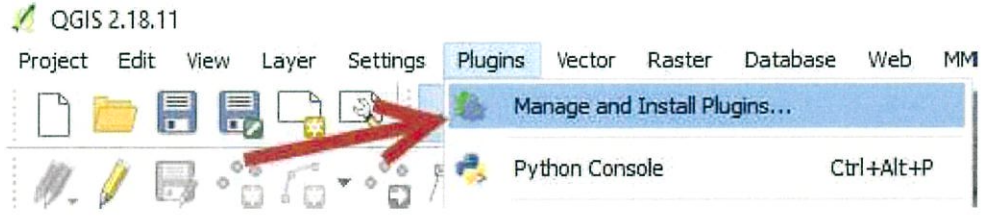



รูปที่ 3.33 แสดงเส้นทางและการแบ่งเขต

3.2.4.5 การนำเข้า Plugins

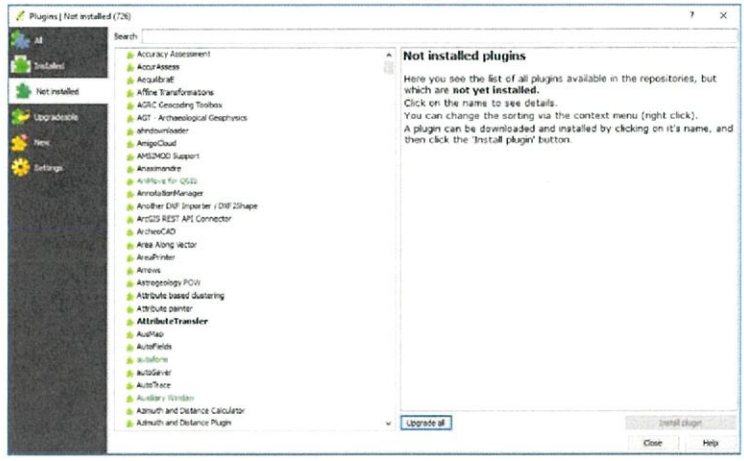
เนื่องจากโปรแกรม QGIS นั้นเป็นโปรแกรมซอฟต์แวร์รหัสเปิด จึงสามารถที่จะมีการปรับแต่งเพิ่มเติมให้แก่โปรแกรมได้ โดยเราสามารถนำ Plugins หรือตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ที่มีผู้อื่นได้ทำขึ้น มาใช้งานกับโปรแกรม QGIS ของเรา

โดยการที่จะติดตั้ง Plugins เข้ามาใช้นั้น สามารถทำได้โดย เลือกเมนู Plugins แล้วเลือกไปที่ Manage and Install Plugins...



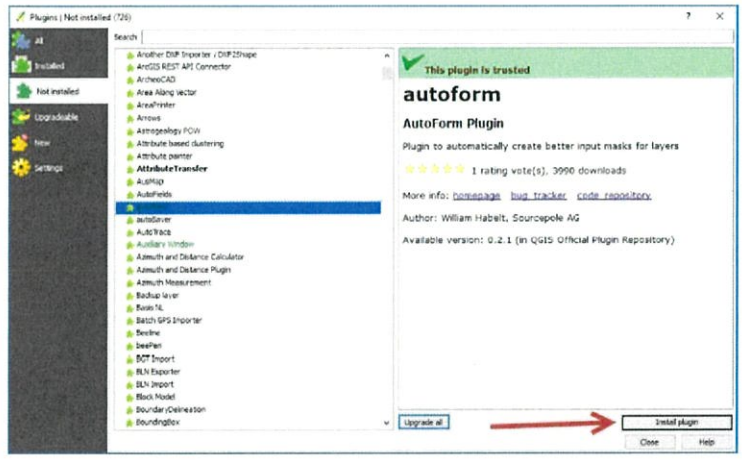

รูปที่ 3.34 การติดตั้ง Plugins

โดย Plugins มีหลากหลายให้เลือกใช้ แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้ ว่าต้องการจะเพิ่มประสิทธิภาพของโปรแกรมให้สามารถทำอะไรเพิ่มขึ้นมาได้บ้าง โดยหากชื่อของ Plugins เป็นสีเขียว แสดงว่าได้รับความน่าเชื่อถือมาก หากชื่อเป็นสีเข้ม แสดงว่าเป็น Plugins ใหม่ที่พึ่งมีผู้เผยแพร่ ดังรูปที่ 3.35




รูปที่ 3.35 รายชื่อ Plugins ที่สามารถติดตั้งได้

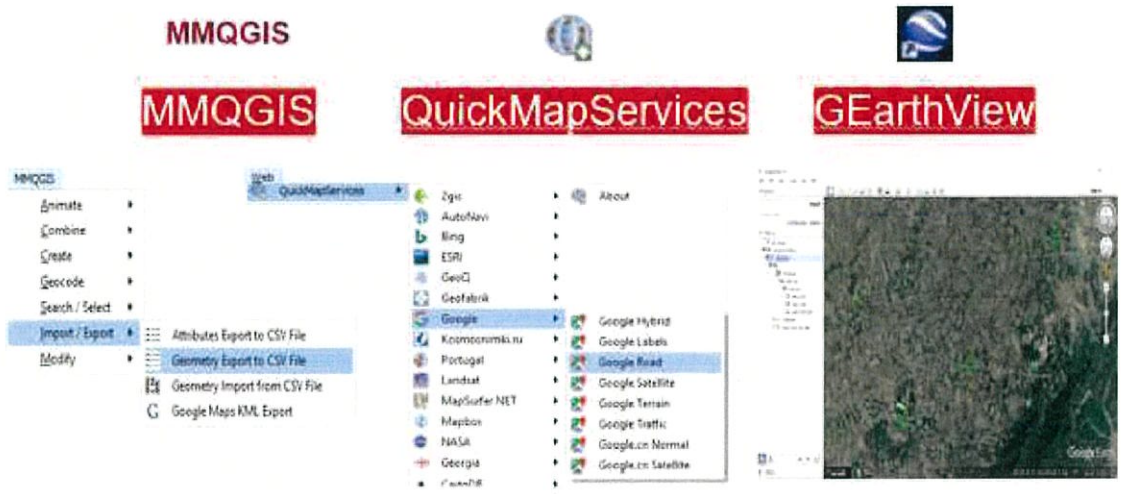
และหลังจากที่เราเลือก Plugins ที่ต้องการแล้ว จึงทำการกด Install plugin เพื่อเป็นการติดตั้งลงโปรแกรม QGIS ของเรา




รูปที่ 3.36 ปุ่ม Install plugin

3.2.4.6 Plugins ที่ควรติดตั้ง

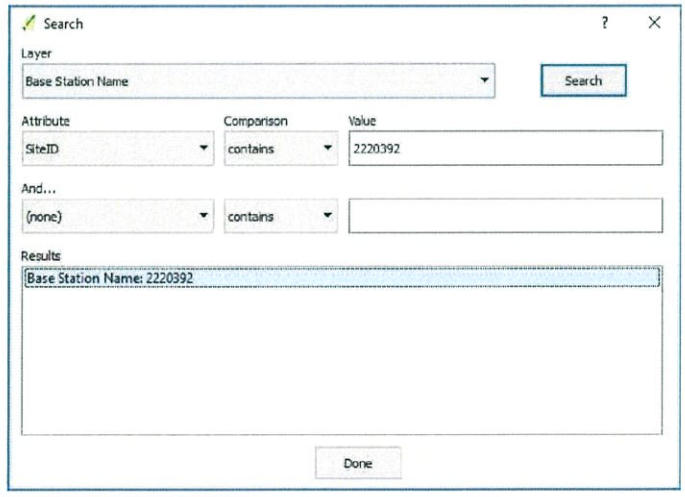
ในส่วนของส่วนขยายของโปรแกรม QGIS หรือ Plugins นั้นมีให้เลือกมากมาย แต่ตัวที่สำคัญและใช้ประจำนั้น มีทั้งหมด 3 ตัว คือ MMQGIS QuickMapServices และ GEarthView ดังรูปที่ 3.37




รูปที่ 3.37 Plugins ที่ควรติดตั้ง

3.2.4.6.1 MMQGIS

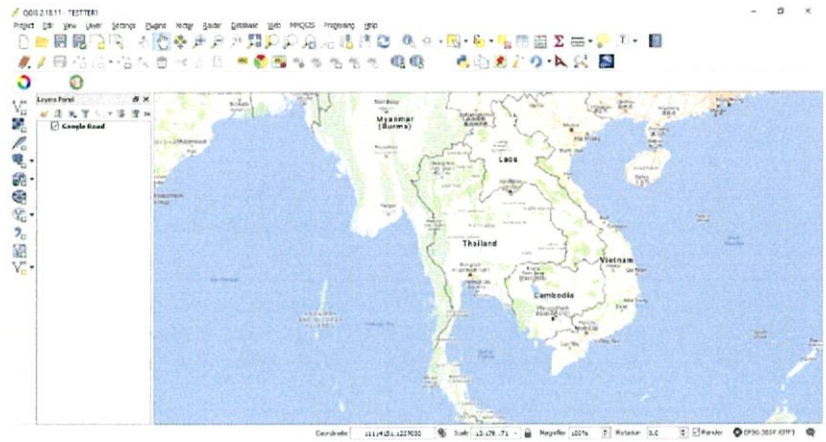
MMQGIS คือ Plugin Python สำหรับจัดการชั้นข้อมูลที่ทำหน้าที่มากมาย มีทั้งการนำเข้า/ส่งออกไฟล์ .CSV การกำหนดพิกัดทางภูมิศาสตร์, การแปลงรูปทรงเรขาคณิต, การบัฟเฟอร์, การวิเคราะห์ฮับ, การปรับเปลี่ยนคอลัมน์และการรวมคุณสมบัติ เป็นต้น รวมทั้งยังมีการค้นหาข้อมูลในชั้นข้อมูลได้อีกด้วย




รูปที่ 3.38 ตัวอย่างการใช้การค้นหา หาข้อมูลในชั้น Base Station Name

3.2.4.6.2 QuickMapServices

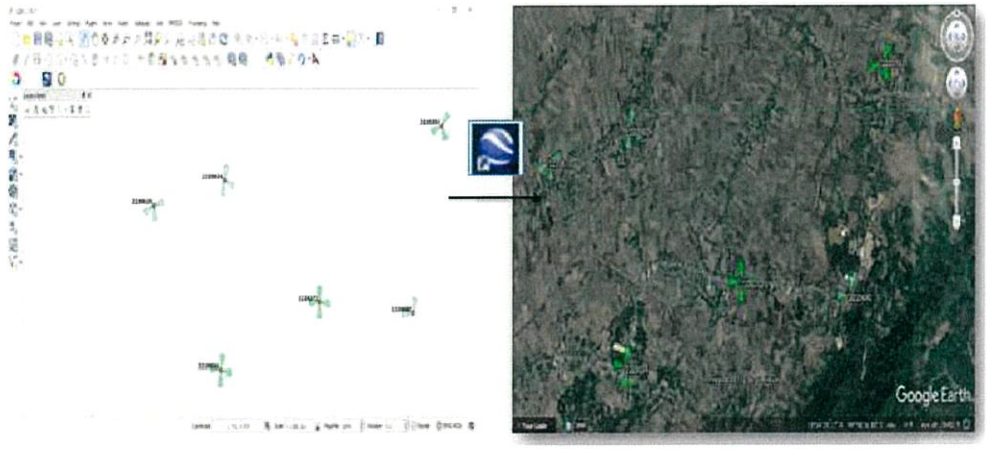
QuickMapServices คือ Plugin ที่ใช้สำหรับการเลือกฐานข้อมูลแผนที่ ที่จัดเก็บเป็นแผนที่อ้างอิงมาใช้ ซึ่งมีความหน้าเชื่อถือ เช่น Google Road เป็นต้น




รูปที่ 3.39 ตัวอย่างการใช้ QuickMapServices นำเข้าแผนที่ Google Road

3.2.4.6.3 GEarthView

GEarthView เป็น Plugin สำหรับแสดงมุมมองของ QGIS และคุณลักษณะที่มีรูปแบบสัญลักษณ์ (ของชั้นข้อมูลที่เลือก) ลงใน Google Earth (รวมถึง PRO) ซึ่งจะใช้ดูความสูงที่แตกต่างกันของพื้นผิว และดูความหนาแน่นของชุมชน




รูปที่ 3.40 ตัวอย่างการใช้งาน GEarthView

3.2.4.7 การสร้าง Plugin

ในการสร้าง Plugin จำเป็นที่จะต้องเรียนรู้ภาษา Python ในการใช้สำหรับเขียนคำสั่งเพื่อให้ Plugin ทำงานตามที่เราต้องการ และในการที่จะสร้างให้ง่ายขึ้น จำเป็นต้องศึกษา Plugin ที่ไว้สำหรับช่วยสร้าง และโปรแกรมภายนอกสำหรับการทำ Interface ของตัว Plugin และการเขียนคำสั่งรวมถึงการติดตั้ง Plugin ที่สร้างขึ้นมาใหม่ด้วย

# บทที่ 4

# ผลการวิจัย

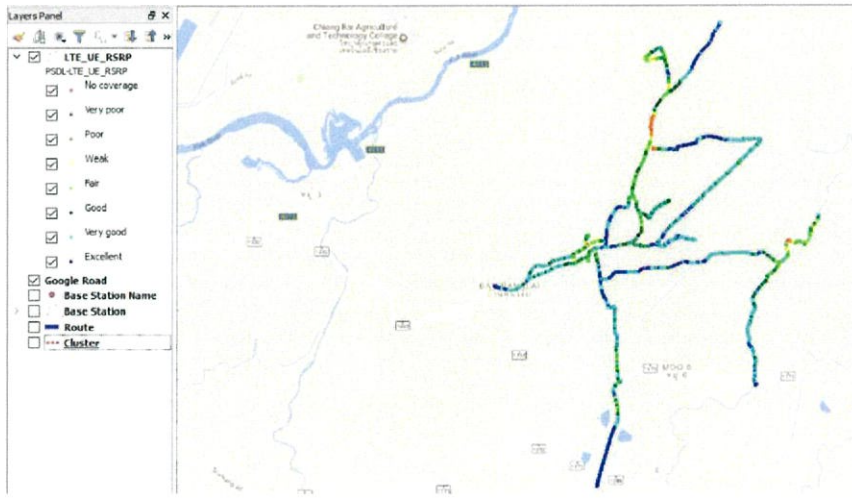
เนื่องจารการวิจัยนี้ เป็นการใช้ระบบ Open Source GIS ผลการวิจัยจึงแบ่งได้สองส่วน คือผลจากการใช้งานในส่วนของโปรแกรม QGIS และผลจากการสร้าง Plugins ขึ้นมา ซึ่งทั้งสองส่วนนั้น จำเป็นที่จะต้องได้รับข้อมูลจากการทดสอบสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้ คือผลการทดสอบค่า RSRP ของระบบ LTE

## 4.1 ผลจากการใช้งานโปรแกรม QGIS

จากการที่ได้ทดลองใช้งานโปรแกรม QGIS เพื่อที่จะใช้ทดแทนโปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์นั้น สามารถทำได้ทุกฟังก์ชั่นการใช้งานของโปรแกรมที่มีลิขสิทธิ์ โดยมีผลการทำงานดังนี้

### 4.1.1 การนำเข้าข้อมูล

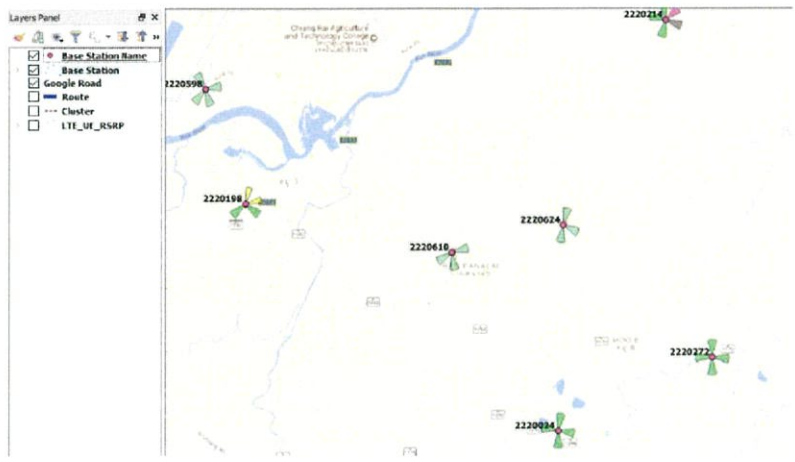
หลังจากที่นำข้อมูลที่เก็บมาจาก Nemo Outdoor แล้วนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรม Axtic Analyzer แล้ว ก็ทำการส่งออกมาเปิดในโปรแกรม QGIS เพื่อทำการดูภาพรวมของข้อมูล และอาจทำการแก้ไขเส้นทางเพิ่มเติม เพื่อใช้ในการทดสอบสัญญาณในขั้นต่อไป ซึ่งหลังจากนำเข้าข้อมูลในโปรแกรม QGIS แล้ว จะได้ชั้นของข้อมูลขึ้นมา แล้วทำการใส่รูปแบบของสัญลักษณ์ให้แบ่งสีตามค่าช่วงต่างๆที่กำหนดไว้ จะได้ผลออกมาดังรูปที่ 4.1



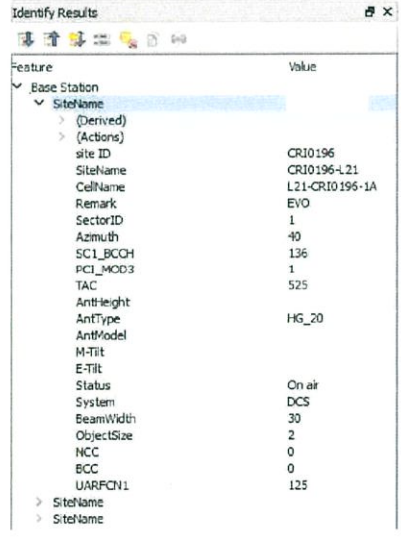

รูปที่ 4.1 แสดงชั้นของข้อมูล RSRP

4.1.2 การนำเข้าสถานีฐาน

จากฐานข้อมูลที่เป็นไฟล์ .CSV เราสามารถนำสถานีฐานเข้ามา แล้วทำการใส่รูปแบบสัญลักษณ์ใบพัด ให้หันตามทิศทางในฐานข้อมูล ใส่สีเพื่อแยกชนิดของสายอากาศของแต่ละสถานีฐาน และมีชื่อกำกับของแต่ละสถานีฐานนั้นๆ ดังรูปที่ 4.2 และยังแสดงข้อมูลของสถานีฐานได้ ดังรูปที่ 4.3



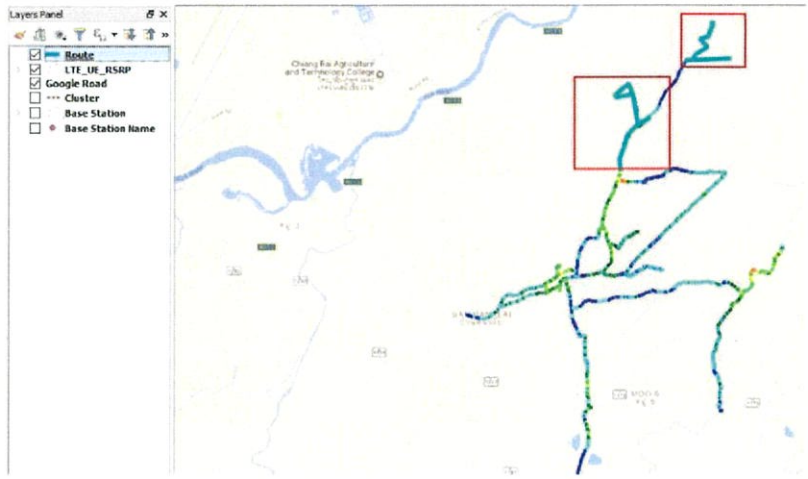

รูปที่ 4.2 แสดงสถานีฐานที่นำเข้าเข้ามา




รูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลของสถานีฐาน

4.1.3 การขีดเส้นทาง

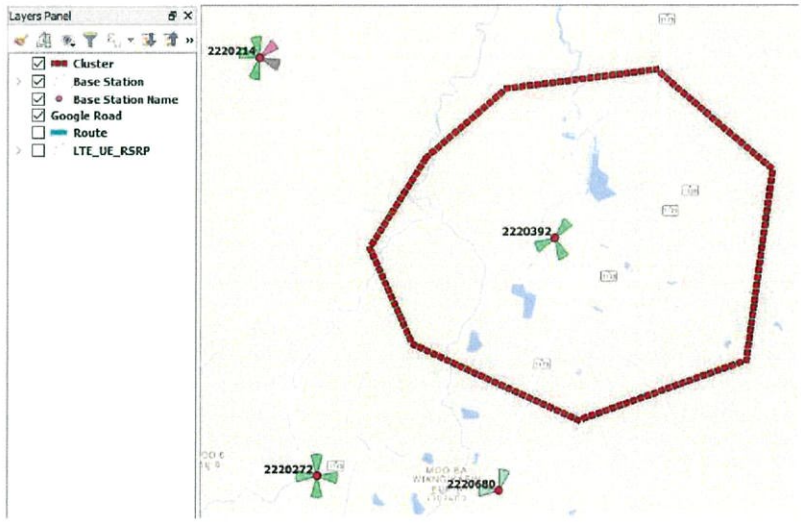
สามารถขีดเส้นทางที่ต้องการได้ ไม่ว่าจะขีดเพิ่มจากข้อมูลที่นำเข้า หรือขีดทับข้อมูล ดังรูปที่ 4.4




รูปที่ 4.4 แสดงการขีดเส้น

4.1.4 การขีดเส้นแบ่งเขต

สามารถขีดเส้นจำกัดเขตของสถานีฐาน หรือ Cluster เพื่อจำกัดพื้นที่ของการทดสอบสัญญาณ ดังรูปที่ 4.5



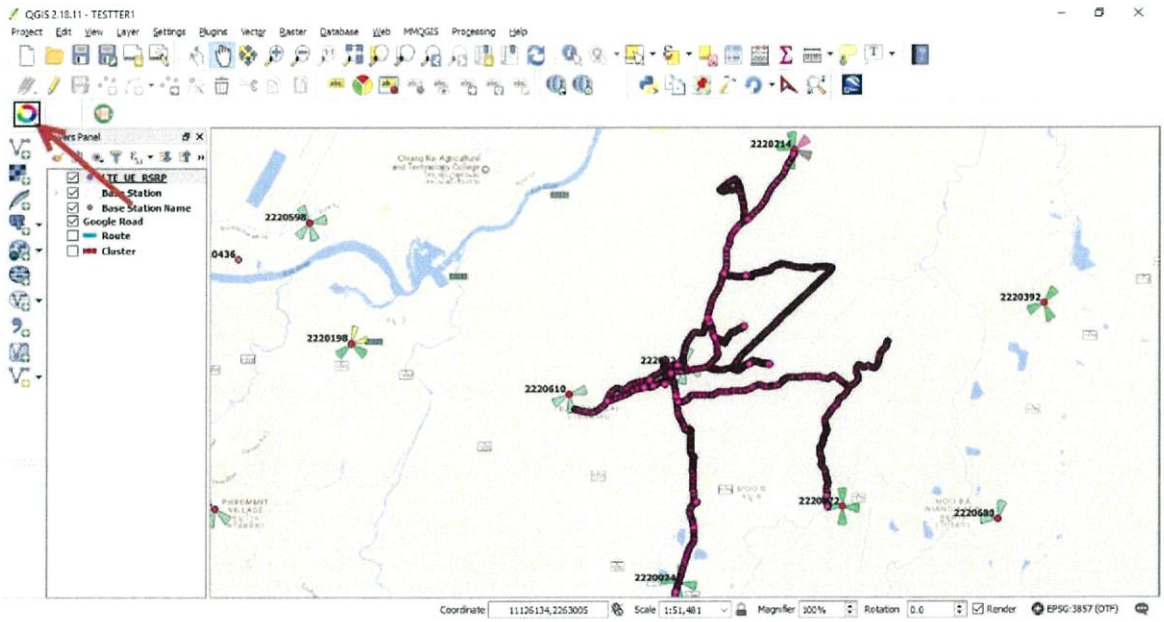

รูปที่ 4.5 แสดงการจำกัดเขตของสถานีฐาน

## 4.2 ผลจากการสร้าง Plugins

จากการที่ได้สร้าง Plugins เพิ่มขึ้นมา เพื่อช่วยเสริมประสิทธิภาพการทำงานให้แก่โปรแกรม QGIS และยังเพิ่มความสะดวกสบายในการใช้งานให้ง่ายขึ้น ด้วยการสร้าง Plugins ขึ้นมาดังนี้

### 4.2.1 Auto Style Plugin

เป็น Plugin ที่จะช่วยให้เราสามารถใส่รูปแบบของสัญลักษณ์ได้ตามที่เลือกเก็บไว้ เนื่องจาก QGIS มีรูปแบบสัญลักษณ์แตกต่างจากโปรแกรมอื่น จึงต้องทำการสร้างรูปแบบเฉพาะสำหรับ QGIS ขึ้นมา และตัว Plugin นี้ สามารถบันทึกและปรับแต่งรูปแบบสัญลักษณ์ของข้อมูลได้ไม่จำกัด และยังสามารถเลือก Style ที่บันทึกไว้ได้อย่างรวดเร็ว เพิ่มความง่ายในการทำงานขึ้นมามาก เพราะรูปแบบสัญลักษณ์ที่บันทึกไว้นั้น มีการกำหนดสีของสัญลักษณ์ออกเป็นช่วงๆตามที่ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องการ โดยในการใช้งาน เพียงแค่กดเลือก Plugin ที่เราได้สร้างไว้ ดังรูปที่ 4.6




รูปที่ 4.6 กดเลือก Plugin Auto Style

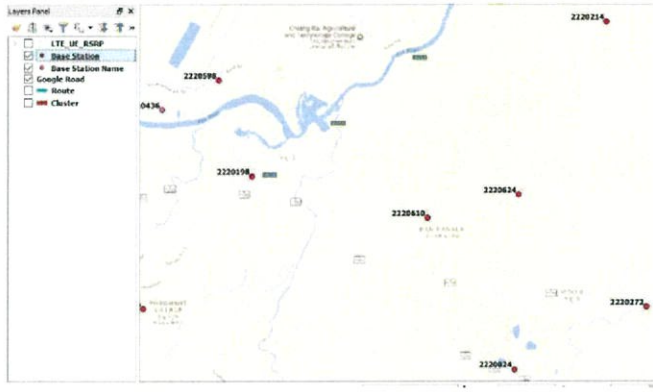
ทำการเลือกรูปแบบสัญลักษณ์ที่ต้องการ แล้วกด OK ดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 แสดงการเลือกรูปแบบสัญลักษณ์

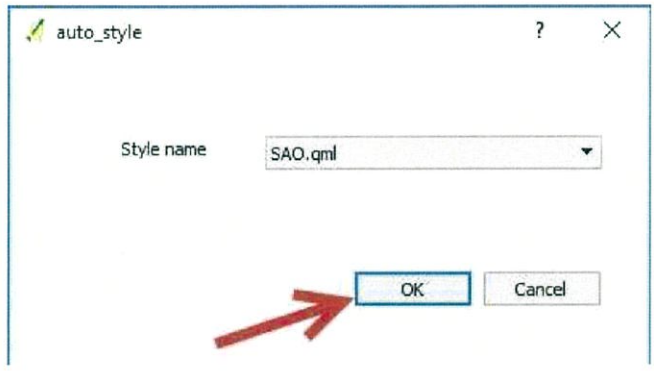
รูปแบบและสีของสัญลักษณ์ ได้เปลี่ยนไปตามที่ได้เลือกไว้ ดังรูปที่ 4.8

รูปที่ 4.8 แสดงผลจากการเปลี่ยนรูปแบบสัญลักษณ์

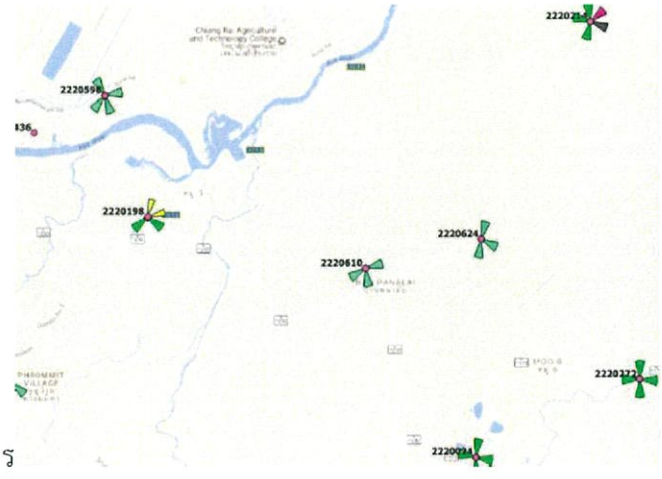
และยังสามารถนำมาใช้ เพื่อกำหนดรูปแบบสัญลักษณ์ของสถานีฐานได้อีกด้วย ดังรูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11




รูปที่ 4.9 แสดงสถานีฐานหลังจากสร้างชั้นข้อมูล




รูปที่ 4.10 แสดงการเลือกรูปแบบสัญลักษณ์




รูปที่ 4.11 แสดงสถานีฐานที่ได้รับการเปลี่ยนรูปแบบสัญลักษณ์

4.2.2 Rename TAB Plugin

เป็น Plugin ที่จะช่วยให้เราสามารถเปลี่ยนชื่อ Column ที่จัดเก็บข้อมูลได้ โดยการเปลี่ยนชื่อที่ไฟล์สกุล .TAB ได้เลย เนื่องจาก ค่าต่างๆของข้อมูลจะมีชื่อ Column เฉพาะกำหนดไว้สำหรับข้อมูลแต่ละชุด (ในหนึ่งไฟล์อาจมีข้อมูลหลายชุดก็ได้) ซึ่งการที่จะใส่รูปแบบสัญลักษณ์

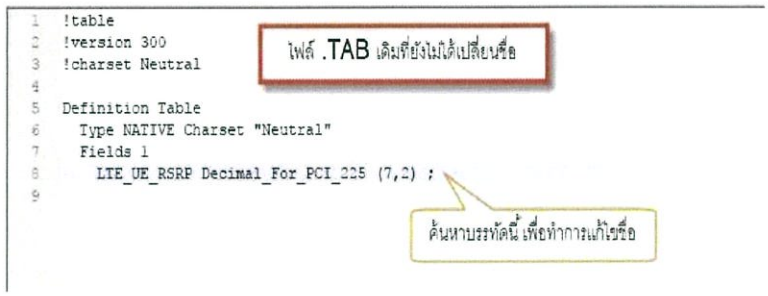
หากทำการเปลี่ยน Style จำเป็นจะต้องไปเลือก Column ที่ตรงกับ Style นั้นๆ ทำให้เสียเวลา จึงทำให้สร้าง Plugin นี้ขึ้นมา โดยในการใช้งาน เพียงแค่กดเลือก Plugin ที่เราได้สร้างไว้ ดังรูปที่ 4.12

รูปที่ 4.12 กดเลือก Plugin Rename TAB

ทำการเลือกไฟล์ที่ต้องการจะเปลี่ยนชื่อ Column ที่เก็บข้อมูล และชื่อที่ต้องการจะเปลี่ยน ดังรูปที่ 4.13

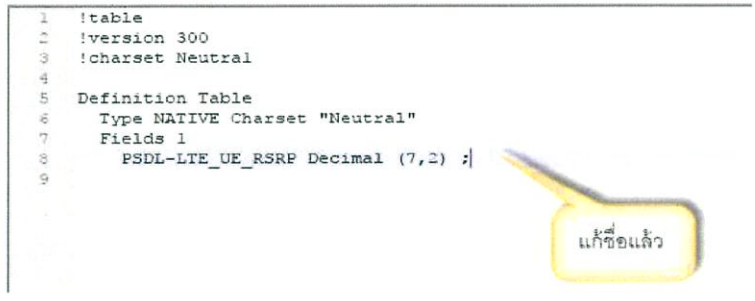
รูปที่ 4.13 เลือกไฟล์และชื่อที่ต้องการจะเปลี่ยน

Plugin จะทำการไปค้นหาบรรทัดที่เก็บข้อมูล และเป็นชื่อ Column ดังรูปที่ 4.14



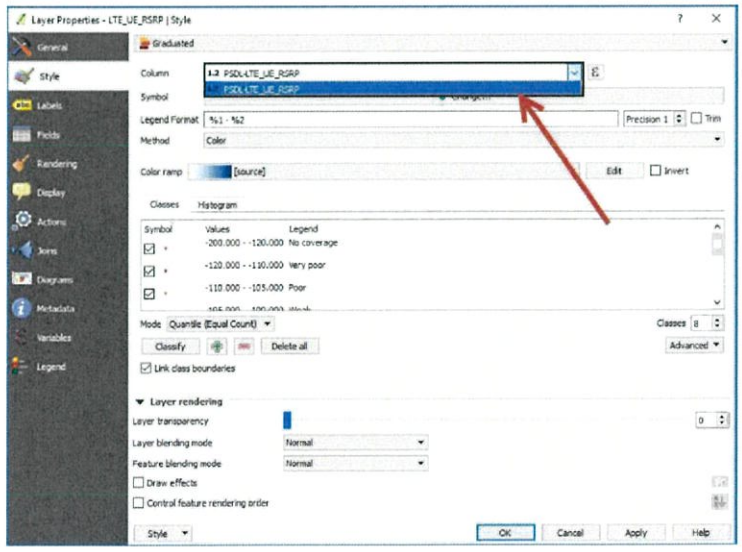

รูปที่ 4.14 แสดงการค้นหาชื่อ

จากนั้นทำการเปลี่ยนชื่อ Column นั้นเป็นชื่อที่ได้เลือกไว้ดังรูปที่ 4.15




รูปที่ 4.15 แสดงผลหลังจากการเปลี่ยนชื่อ

ผลที่ได้ คือชื่อของ Column ที่เก็บข้อมูลไว้จะเปลี่ยนไป ดังรูปที่ 4.16



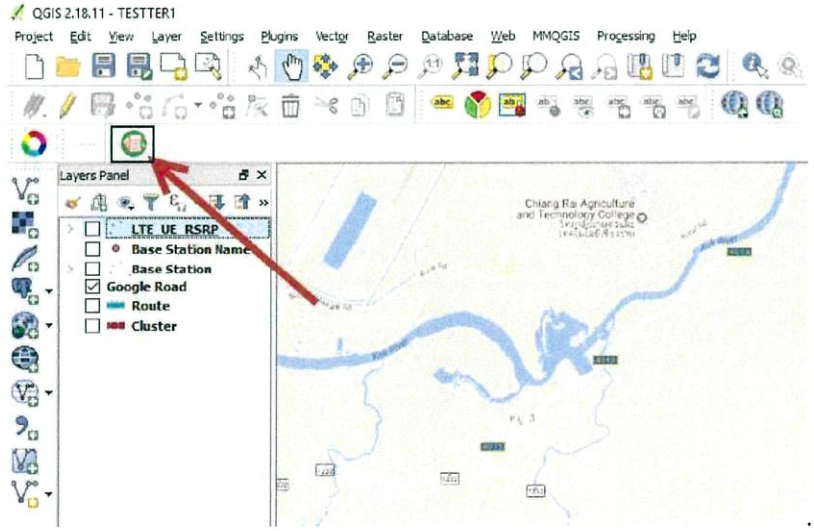

รูปที่ 4.16 แสดงชื่อ Column ที่ถูกเปลี่ยนใน QGIS

4.2.3 Calculate Plugin

เป็น Plugin ที่จะช่วยให้เราสามารถสร้างข้อมูลจากค่าทฤษฎี แล้วนำข้อมูลจากผลการทดสอบสัญญาณกับข้อมูลทางทฤษฎีมาเปรียบเทียบกันได้ โดยใช้ข้อมูลที่คำนวณออกมาเป็นค่าอ้างอิง เนื่องจากเมื่อ Drive Test Engineer ทำการทดสอบสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการส่งให้ Drive Test Analyzer ทำการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเป็นการเสียเวลาในระดับหนึ่ง และผู้ที่เริ่มต้นเป็น Drive Test Engineer ไม่มีข้อมูลมาอ้างอิงกับผลการทดสอบ จึงทำให้สร้าง Plugin นี้ขึ้นมาเพื่อที่จะเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิง ลดเวลาในการส่งข้อมูลไปให้ Analyzer และยังเป็นการลดต้นทุนค่าเสียเวลา

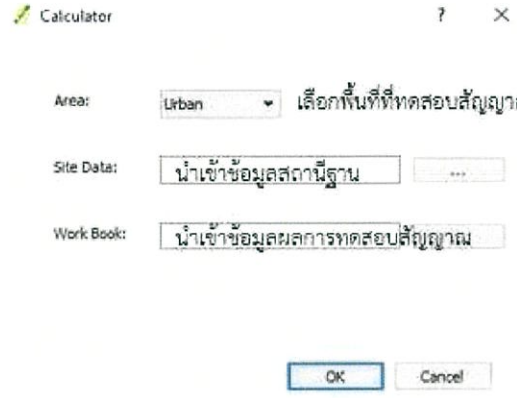
โดยการสร้างข้อมูลนั้น จะนำทฤษฎีแบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางนอกแนวเส้นสายตา ซึ่งจะใช้แบบจำลอง COST-231 มาใช้ ซึ่งมีตัวแปรหลักคือ ความสูงของสถานีฐาน ความสูงของ UE ความถี่ และระยะห่างระหว่างสถานีฐานและจุดที่ทำการทดสอบ ที่สามารถหาได้โดยใช้หลักการ Haversine ในการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนพื้นผิวโค้งของโลก โดยแบบจำลอง COST-231 นั้น จะให้ผลลัพธ์เป็นค่ากำลังสูญเสียตามวิถี (Pathloss)

ในการสร้างข้อมูลสำหรับเปรียบเทียบนั้น จะทำการหาค่า RSRP เพื่อนำมาใช้เปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบสัญญาณ โดยสามารถหาได้โดยนำกำลังส่งของสถานีฐานลบกับค่ากำลังสูญเสียตามวิถีจะได้ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณ หรือ RSRP เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบสัญญาณ โดยในการใช้งาน Plugin สามารถทำได้โดยเลือก Plugin Calculator ดังรูปที่ 4.17

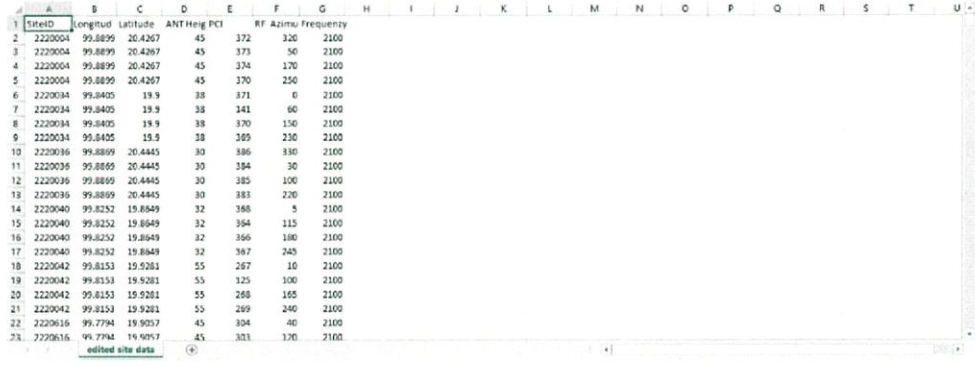



รูปที่ 4.17 กดเลือก Plugin Calculator

ทำการเลือกพื้นที่ที่ได้ทำการทดสอบสัญญาณว่าจะเป็นเขตในเมือง ชานเมือง หรือชนบทดังรูปที่ 4.18 แล้วทำการนำเข้าข้อมูลสถานีฐานที่เป็นไฟล์สกุล .CSV ดังรูปที่ 4.19 และนำเข้า Workbook ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในโปรแกรม Axtic Analyzer ดังรูปที่ 4.20



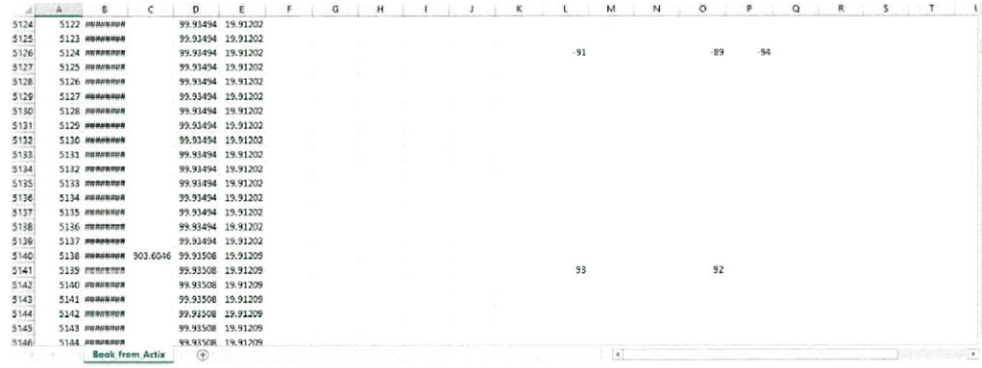

รูปที่ 4.18 เลือกพื้นที่ และนำเข้าข้อมูล



| SiteID | Longitud | Latitude | ANT Heig | PCI | RF | Azimu | Frequenzy |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2220004 | 99.8899 | 20.4267 | 45 | 372 | | 320 | 2100 |
| 2220004 | 99.8899 | 20.4267 | 45 | 373 | | 50 | 2100 |
| 2220004 | 99.8899 | 20.4267 | 45 | 374 | | 170 | 2100 |
| 2220004 | 99.8899 | 20.4267 | 45 | 370 | | 250 | 2100 |
| 2220034 | 99.8405 | 19.9 | 38 | 371 | | 0 | 2100 |
| 2220034 | 99.8405 | 19.9 | 38 | 141 | | 60 | 2100 |
| 2220034 | 99.8405 | 19.9 | 38 | 370 | | 150 | 2100 |
| 2220034 | 99.8405 | 19.9 | 38 | 369 | | 230 | 2100 |
| 2220036 | 99.8869 | 20.4445 | 30 | 386 | | 330 | 2100 |
| 2220036 | 99.8869 | 20.4445 | 30 | 384 | | 30 | 2100 |
| 2220036 | 99.8869 | 20.4445 | 30 | 385 | | 100 | 2100 |
| 2220036 | 99.8869 | 20.4445 | 30 | 383 | | 220 | 2100 |
| 2220040 | 99.8252 | 19.8649 | 32 | 388 | | 5 | 2100 |
| 2220040 | 99.8252 | 19.8649 | 32 | 364 | | 115 | 2100 |
| 2220040 | 99.8252 | 19.8649 | 32 | 366 | | 180 | 2100 |
| 2220040 | 99.8252 | 19.8649 | 32 | 367 | | 245 | 2100 |
| 2220042 | 99.8153 | 19.9281 | 55 | 267 | | 10 | 2100 |
| 2220042 | 99.8153 | 19.9281 | 55 | 125 | | 100 | 2100 |
| 2220042 | 99.8153 | 19.9281 | 55 | 268 | | 165 | 2100 |
| 2220042 | 99.8153 | 19.9281 | 55 | 269 | | 240 | 2100 |
| 2220616 | 99.7794 | 19.9057 | 45 | 304 | | 40 | 2100 |
| 2220616 | 99.7794 | 19.9057 | 45 | 303 | | 120 | 2100 |

edited site data

รูปที่ 4.19 Site Data ของสถานีฐาน

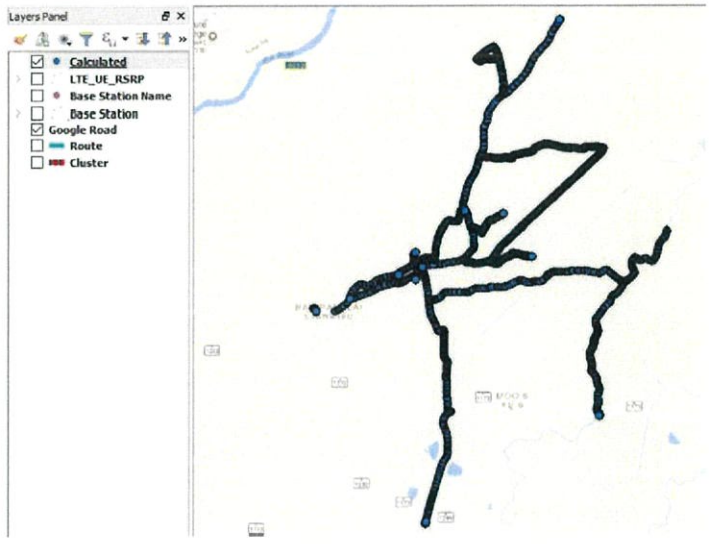


| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5122 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5123 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5124 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | 91 | 89 | 94 |
| 5125 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5126 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5127 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5128 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5129 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5130 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5131 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5132 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5133 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5134 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5135 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5136 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5137 | ######## | | 99.93494 | 19.91202 | | | |
| 5138 | ######## | 903.6046 | 99.93508 | 19.91209 | | | |
| 5139 | ######## | | 99.93508 | 19.91209 | 93 | 92 | |
| 5140 | ######## | | 99.93508 | 19.91209 | | | |
| 5141 | ######## | | 99.93508 | 19.91209 | | | |
| 5142 | ######## | | 99.93508 | 19.91209 | | | |
| 5143 | ######## | | 99.93508 | 19.91209 | | | |
| 5144 | ######## | | 99.93508 | 19.91209 | | | |

Book from Axtix

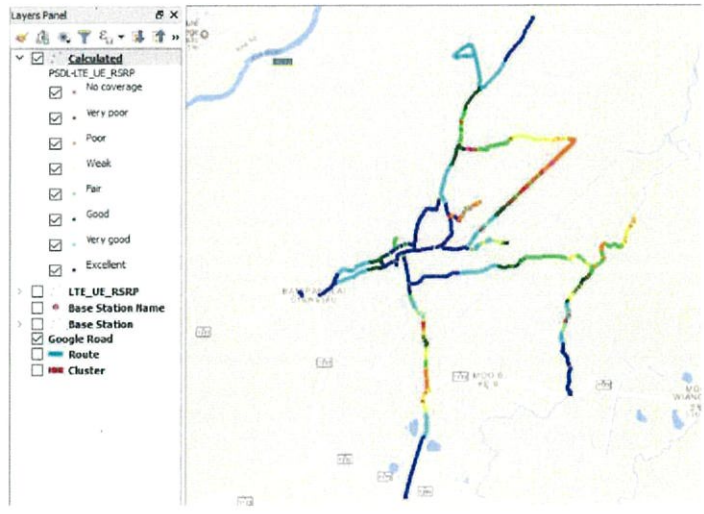
รูปที่ 4.20 Workbook ที่ได้จากโปรแกรม Axtic Analyzer

เมื่อเลือกพื้นที่และนำเข้าข้อมูลทั้งหมดแล้ว Plugin จะทำการสร้างชั้นข้อมูลใหม่ที่เกิดจากการคำนวณ และจุดตำแหน่งลงไป ณ ตำแหน่ง Latitude Longitude ของสัญญาณที่ได้ทดสอบไปแล้ว ดังรูปที่ 4.21



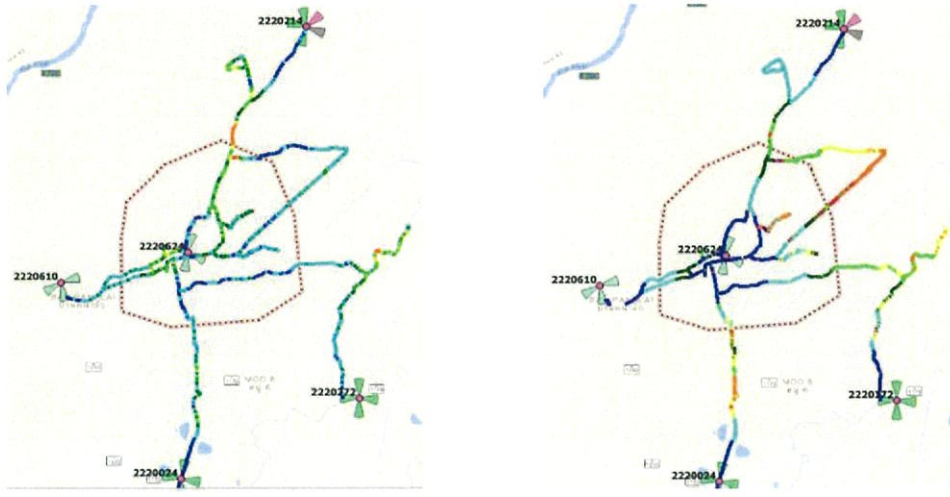

รูปที่ 4.21 แสดงชั้นข้อมูลที่สร้างมาจากการคำนวณ

จากนั้นใช้ Auto Style Plugin ใส่สีตามช่วงที่กำหนดสำหรับค่า RSRP ทำให้ได้ผลลัพธ์สำหรับเปรียบเทียบออกมาดังรูปที่ 4.22




รูปที่ 4.22 แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณพร้อมแสดงรูปแบบสัญลักษณ์

เมื่อได้ผลลัพธ์จากการคำนวณมาแล้ว เราสามารถนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบสัญญาณที่ได้ทำการทดสอบมา โดยสามารถดูภาพรวมได้จากชั้นของข้อมูลที่แสดงเปรียบเทียบกันดังรูปที่ 4.23




แสดงผลจากการทดสอบสัญญาณ แสดงผลจากการคำนวณด้วย Plugin

รูปที่ 4.23 แสดงรูปเปรียบเทียบผลลัพธ์

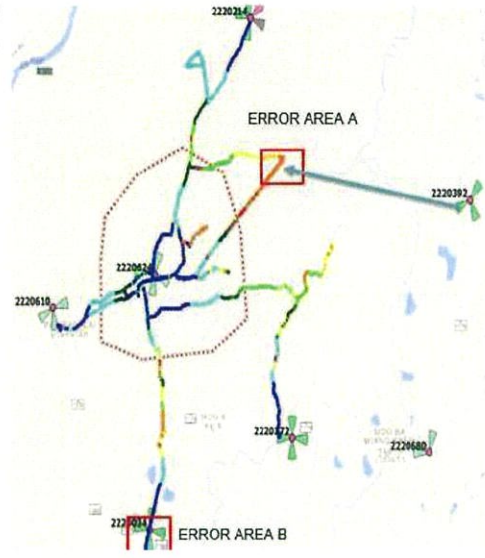
เมื่อทำการวิเคราะห์หาปัญหา จะพบปัญหาเนื่องจากค่าที่แตกต่างกันมากของทั้งสองผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4.24

ในส่วน ERROR AREA A นั้นเกิดมาจากการที่จับเสาสัญญาณที่อยู่ไกลออกไป ซึ่งหลักการคำนวณนั้น ใช้ระยะทางเป็นตัวแปรหลัก เมื่อไปจับเสาสัญญาณที่อยู่ไกล ทำให้ค่าที่แสดงมีค่าต่ำ แต่ในความเป็นจริง เสาสัญญาณนั้น ณ ตำแหน่งสถานีฐานนั้น อาจมี Azimuth Tilt และ/หรือการเสริมค่ากำลังในการยิงสัญญาณมาเพื่อรองรับ ณ ERROR AREA A

ในส่วน ERROR AREA B นั้นเป็นพื้นที่ที่อยู่ใต้เสาสัญญาณ ซึ่งหลักการคำนวณนั้น ใช้ระยะทางเป็นตัวแปรหลัก ทำให้ค่าที่ได้ออกมาดีเกินไป เนื่องจากมีระยะทางที่น้อยมากๆ

| RSRP from Work | RSRP from Calculate | Difference | Error Avr. In Area |
|---|---|---|---|
| -82 | -109.5931292 | 27.59312924 | 19.7985622 ERROR AREA A |
| -88 | -109.57701 | 21.57701005 | |
| -86 | -107.8389929 | 21.8389929 | |
| -84 | -109.5387838 | 25.53878385 | |
| -96 | -90.48103232 | 5.518967678 | |
| -85 | -109.5172995 | 24.51729955 | |
| -89 | -109.4958248 | 20.4958248 | |
| -90 | -109.4797251 | 19.4797251 | |
| -89 | -109.4797251 | 20.4797251 | |
| -98 | -90.72555707 | 7.274442935 | |
| -88 | -109.4525568 | 21.45255679 | |
| -88 | -109.4418288 | 21.44182879 | |
| -94 | -109.4364657 | 15.43646574 | |
| -95 | -109.4364657 | 14.43646574 | |
| -94 | -109.4364657 | 15.43646574 | |
| -95 | -109.430749 | 14.43074901 | |

| RSRP from Work | RSRP from Calculate | Difference | Error Avr. In Area |
|---|---|---|---|
| -72 | -35.4403197 | 36.5596803 | -44.1301254 ERROR AREA B |
| -75 | -31.66729246 | 43.33270754 | |
| -74 | -26.82260733 | 47.17739267 | |
| -73 | -20.46835642 | 52.53164358 | |
| -73 | -11.46850024 | 61.5314997 | |
| -75 | 0.987210982 | 75.98721098 | |
| -63 | -0.277727045 | 62.72227295 | |
| -71 | -13.43430533 | 57.56569467 | |
| -71 | -22.50787632 | 48.49212368 | |
| -74 | -28.90225198 | 45.09774802 | |
| -68 | -33.77073854 | 34.22926046 | |
| -64 | -37.98673785 | 26.01326215 | |
| -64 | -41.70662873 | 22.29337127 | |
| -68 | -44.83216322 | 23.1678367 | |
| -73 | -47.74682742 | 25.25317258 | |




รูปที่ 4.24 แสดงค่าที่แตกต่างกันมากของผลลัพธ์จากการคำนวณและจากการทดสอบสัญญาณ

## 4.3 ผลจากการเปรียบเทียบข้อมูล

เมื่อสังเกตผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนั้น จะเห็นได้ว่าผลจากการทดสอบสัญญาณนั้น เมื่อมองในภาพรวมมีค่า RSRP ที่ดีกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ซึ่งไม่ควรจะเป็นแบบนั้น แต่เนื่องจากว่าข้อมูลจากการทดสอบสัญญาณนั้น เป็นข้อมูลที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขเสาสัญญาณของแต่ละสถานีฐานที่เกี่ยวข้อง ให้รองรับกับพื้นที่ที่ทดสอบสัญญาณ ส่งผลให้ค่าที่ทดสอบได้ออกมาคุณภาพดีที่สุดในความเป็นจริงที่จะสามารถทำได้ และผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎียังมีปัญหาที่เกิดดังรูปที่ 4.24 ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณ อาจจะยังไม่ดีเท่าที่ควร

แต่อย่างไรก็ตาม ค่าทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณนั้น อย่างน้อยที่สุดก็สามารถทำใช้ประโยชน์ในการเป็นข้อมูลอ้างอิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผู้ที่เป็น Drive Test Engineer ฝึกหัด ให้ได้เห็นภาพรวมที่ควรจะเป็น หรือควรจะดีมากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในเบื้องต้นได้มีการกล่างถึงข้อมูลที่เกี่ยวกับการทำงานของ Drive Test Engineer ทั้งขั้นตอนการทดสอบสัญญาณ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และค่า Parameter รวมถึงดัชนีชี้วัดความสำเร็จของงาน ทำให้ผู้ที่สนใจ ได้ศึกษาก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสัญญาณนั้น มาใช้ต่อไป

จากเดิมทีที่บริษัททางด้านโทรคมนาคม จะต้องเสียค่าลิขสิทธิ์รายปีในการซื้อซอฟต์แวร์ GIS ซึ่งก็คือ Mapinfo Professional เพื่อใช้งาน ทำให้ค่าต้นทุนทางธุรกิจสูงมากขึ้น ก็สามารถที่จะใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิดทดแทนได้ ซึ่งก็คือ QGIS นอกจากนั้นประสิทธิภาพการทำงานของ QGIS ยังสามารถทำงานทดแทนทุกฟังก์ชั่นการใช้งานในโปรแกรม Mapinfo Professional และยังสามารถปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ด้วย Plugins เสริม ที่สามารถเพิ่มขีดความสามารถได้อย่างไม่จำกัด ด้วยการสร้าง Plugins ด้วยภาษา Python ที่เป็นที่นิยม ซึ่งสามารถทำให้การใช้งานง่ายขึ้น ด้วย Auto Style Plugin และ Rename TAB Plugin และยังมีการสร้างข้อมูลสำหรับอ้างอิงในการทำงานให้แก่ผู้ที่ทำการทดสอบสัญญาณด้วย Calculator Plugin เพื่อเป็นการลดเวลาในการส่งข้อมูลไปให้ผู้วิเคราะห์สัญญาณ ซึ่งเวลาที่เสียไปนี้ ก็ถือเป็นการเสียโอกาสทางธุรกิจด้วย ทำให้ตัวซอฟต์แวร์ QGIS นั้น คุ้มค่ามากกว่าที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายกับโปรแกรมลิขสิทธิ์

## 5.2 ประโยชน์ของการวิจัย

1) ผู้ที่สนใจ สามารถเข้าใจถึงหลักการทางทฤษฎี รวมถึงกระบวนการในการทดสอบสัญญาณของ Drive Test Engineer

2) ลดต้นทุนทางธุรกิจ โดยการใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิดที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย ทดแทนการใชซอฟต์แวร์ที่มีลิขสิทธิ์และต้องจ่ายค่าลิขสิทธิ์รายปี สำหรับการใช้งานซอฟต์แวร์ GIS

3) มีข้อมูลอ้างอิงเปรียบเทียบหลังจากทำการทดสอบสัญญาณในเบื้องต้น ทำให้ลดเวลาในการที่จะส่งต่อข้อมูลการทดสอบสัญญาณไปให้ผู้วิเคราะห์

4) การใช้งานซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ มีประสิทธิภาพมากขึ้น

## 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1) เนื่องจากโปรแกรม QGIS มีรูปแบบสัญลักษณ์ที่เป็นเอกเทศ ทำให้เมื่อนำเข้าข้อมูลจำเป็นที่จะต้องมีการใส่รูปแบบสัญลักษณ์เฉพาะแก่ข้อมูลที่นำเข้าโปรแกรม QGIS

2) การคำนวณหาค่าทางทฤษฎีนั้น ยังมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องน้อยเกินไป ทำให้ค่าที่ได้อาจจะไม่แม่นยำเท่าที่ควร

3) การได้รับยอมรับจากบริษัททางโทรคมนาคมที่มีชื่อเสียงยังไม่มากเท่าที่ควร

4) ข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลการทดสอบสัญญาณจริงจากผู้ให้บริการเครือข่าย ทำให้ต้องมีการดัดแปลงข้อมูลเล็กน้อยเพื่อรักษาความลับของทางบริษัท

5) การใช้งานโปรแกรม QGIS มีฟังก์ชั่นการใช้งานมาก และยังมีการเพิ่ม Plugins เป็นส่วนเสริมอีกมากมาย ทำให้ไม่สามารถใช้โปรแกรมได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

## 5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1) หากศึกษาถึง Source Code ของโปรแกรม QGIS อาจช่วยเรื่องของการนำเข้าของข้อมูลพร้อมรูปแบบสัญลักษณ์ ไม่ต้องมากำหนดเอง

2) หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาเรื่องการคำนวณหาค่าทางทฤษฎี

3) เผยแพร่การใช้งานและข้อดีของโปรแกรม QGIS ให้ได้รับการยอมรับมากขึ้น

4) ศึกษาตัวโปรแกรม QGIS และ Plugins ให้มากขึ้น เพื่อการใช้งานที่เต็มประสิทธิภาพ

# เอกสารอ้างอิง


[1] Christopher Cox, "Orthogonal Frequency Division Multiple Access." An Introduction to LTE. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 31 สิงหาคม 2560].

[2] Wutthilert Rungchai, "LTE basics." Advanced Info Service PLC. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 กันยายน 2560].

[3] Huawei Technologies Co., Ltd., "WCDMA UE Behaviors in Idle Mode." WCDMA RAN Planning and Optimization Features and Algorithms. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 กันยายน 2560].

[4] Theodore Rappaport, "Mobile Radio Propagation." Wireless Communications: Principles and Practice. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 19 กันยายน 2560].

[5] Andrew Poulsom, "Calculating distance between two latitude longitude points." https://www.mrexcel.com/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 16 ตุลาคม 2560].

[6] Ujaval Gandhi, "Building a Python Plugin." http://www.qgistutorials.com. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 29 ตุลาคม 2560].

[7] Mohammed Alshami, Tughrul Arslan, John Thompson and Ahmet Erdogan "Frequency Analysis of Path Loss Models on WIMAX." IEEE. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 30 ตุลาคม 2560].

[8] Yasir Ahmed, Dr. Wali Mughni, "Development of a GIS Tool for WiMax Network Planning." IEEE. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 30 ตุลาคม 2560].

[9] ผศ.ดร. พีรพล ศิริพงศ์วุฒิกร, "แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณ." ระบบการสื่อสารไร้สายและเครือข่าย. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 1 พฤศจิกายน 2560].

[10] Kamp, "คำศัพท์โทรคมนาคม." http://telecom10.blogspot.com/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 14 พฤศจิกายน 2560].

[11] ภารตะ เพ็ชศรี, "การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเพื่อการประเมินจุดบกพร่องของเครือข่าย." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาการจัดการอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 พฤศจิกายน 2560].

[12] Emmanuel Usuah, "Introduction to Mobile Network Optimization." Mobile Network Optimization: A Guide for 2G and 3G Mobile Network Optimization. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 20 พฤศจิกายน 2560].

[13] ANGLOFON Studio, "DIFFERENCE BETWEEN PROVISIONAL ACCEPTANCE AND FINAL ACCEPTANCE." http://anglofon.com. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560].

[14] Xincheng Zhang, "4G to 3G Redirect." LTE Optimization Engineering Handbook. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 21 พฤศจิกายน 2560].

[15] Maurizio La Rocca, "RSRQ to SINR Relation." https://www.laroccasolutions.com. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 23 พฤศจิกายน 2560].

[16] สืบศักดิ์ สืบภักดี, "รู้จักกับเทคโนโลยี Carrier Aggregation เมื่อมือถือจับสัญญาณหลายคลื่นความถี่รวมกันเราแรง." http://www.adslthailand.com. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 พฤศจิกายน 2560].

[17] สารานุกรมโทรคมนาคมไทย, "หลักการทำงานของสายอากาศ."

http://www.thaitelecomkm.org/TTE/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 พฤศจิกายน 2560].

[18] Keysight Technologies, "Nemo Outdoor." https://www.keysight.com/en/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 พฤศจิกายน 2560]

[19] Actix International Limited, "Actix Analyzer." http://actix.com/analyzer/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 พฤศจิกายน 2560]

[20] Pitney Bowes Ireland Limited , "MapInfo." https://www.pitneybowes.com/ie. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 พฤศจิกายน 2560]

# ภาคผนวก ก.

## Auto Style Plugin

```
"""
/***************************************************************************
 AutoStyle
                                 A QGIS plugin
                              -------------------
        begin                : 2017-10-23
        git sha              : $Format:%H$
        copyright            : (C) 2017 by Karnthep T.
        email                : 57010072@kmitl.ac.th


"""
from PyQt4.QtCore import QSettings, QTranslator, qVersion, QCoreApplication
from PyQt4.QtGui import QAction, QIcon
# Initialize Qt resources from file resources.py
import resources
# Import the code for the dialog
from auto_style_dialog import AutoStyleDialog
import os.path
import glob
import ntpath
class AutoStyle:
    """QGIS Plugin Implementation."""
    def __init__(self, iface):
        # Save reference to the QGIS interface
        self.iface = iface
        # initialize plugin directory
```

```
        self.plugin_dir = os.path.dirname(__file__)
        # initialize locale
        locale = QSettings().value('locale/userLocale')[0:2]
        locale_path = os.path.join(
            self.plugin_dir,
            'i18n',
            'AutoStyle_{}.qm'.format(locale))
        if os.path.exists(locale_path):
            self.translator = QTranslator()
            self.translator.load(locale_path)
            if qVersion() > '4.3.3':
                QCoreApplication.installTranslator(self.translator)

        # Declare instance attributes
        self.actions = []
        self.menu = self.tr(u'&auto_style')
        # TODO: We are going to let the user set this up in a future iteration
        self.toolbar = self.iface.addToolBar(u'AutoStyle')
        self.toolbar.setObjectName(u'AutoStyle')

    # noinspection PyMethodMayBeStatic
    def tr(self, message):

        # noinspection PyTypeChecker,PyArgumentList,PyCallByClass
        return QCoreApplication.translate('AutoStyle', message)
```

```
def add_action(
    self,
    icon_path,
    text,
    callback,
    enabled_flag=True,
    add_to_menu=True,
    add_to_toolbar=True,
    status_tip=None,
    whats_this=None,
    parent=None):

    # Create the dialog (after translation) and keep reference
    self.dlg = AutoStyleDialog()

    icon = QIcon(icon_path)
    action = QAction(icon, text, parent)
    action.triggered.connect(callback)
    action.setEnabled(enabled_flag)

    if status_tip is not None:
        action.setStatusTip(status_tip)

    if whats_this is not None:
        action.setWhatsThis(whats_this)
```

```
    if add_to_toolbar:
        self.toolbar.addAction(action)

    if add_to_menu:
        self.iface.addPluginToMenu(
            self.menu,
            action)
    self.actions.append(action)
    return action
def initGui(self):
    """Create the menu entries and toolbar icons inside the QGIS GUI."""

    icon_path = ':/plugins/AutoStyle/icon.png'
    self.add_action(
        icon_path,
        text=self.tr(u'auto style'),
        callback=self.run,
        parent=self.iface.mainWindow())

def unload(self):
    """Removes the plugin menu item and icon from QGIS GUI."""
    for action in self.actions:
        self.iface.removePluginMenu(
            self.tr(u'&auto_style'),
            action)
        self.iface.removeToolBarIcon(action)
```

```
    # remove the toolbar
    del self.toolbar

def run(self):
    """Run method that performs all the real work"""

    # ประกาศตัวแปลว่างเปล่า
    style_list = []
    style_name_list = []
    plugin_path = os.path.dirname(__file__)

    # เอาไฟล์ที่อยู่ในโฟลเดอร์ styles ทั้งหมด
    style_list = glob.glob(plugin_path+"/styles/*")
    for style in style_list:
        style_name_list.append(ntpath.basename(style))

    # เคลียร์combobox
    self.dlg.comboBox.clear()
    # นำชื่อไฟล์ไปใส่ comboBox
    self.dlg.comboBox.addItems(style_name_list)

    self.dlg.show()
    result = self.dlg.exec_()
    # ถูกเรียกเมื่อ ok ถูกกด
    if result:
        # เอาเลเยอร์ที่ถูกคลุมดำ
```

```
layers = self.iface.legendInterface().selectedLayers()
# เช็คว่าสไตล์ไหนถูกเลือก
selectedLayerIndex = self.dlg.comboBox.currentIndex()
for layer in layers:
    # โหลดสไตล์ที่ถูกเลือก
    layer.loadNamedStyle(style_list[selectedLayerIndex])
    # วาด graph ใหม่
    layer.triggerRepaint()
```

# ภาคผนวก ข.

## Rename TAB Plugin

```
/***************************************************************************
 TabRenamer
                                 A QGIS plugin
 This plugin rename column in tab file
                              -------------------
        begin                : 2017-10-29
        git sha              : $Format:%H$
        copyright            : (C) 2017 by Karnthep T.
        email                : karnthep.t@gmail.com
 ***************************************************************************
"""
from PyQt4.QtCore import QSettings, QTranslator, qVersion, QCoreApplication, QFileInfo
from PyQt4.QtGui import QAction, QIcon, QFileDialog
# Initialize Qt resources from file resources.py
import resources
# Import the code for the dialog
from tab_renamer_dialog import TabRenamerDialog
import os.path


class TabRenamer:
    """QGIS Plugin Implementation."""
    def __init__(self, iface):

        # Save reference to the QGIS interface
        self.iface = iface
        # initialize plugin directory
```

```
        self.plugin_dir = os.path.dirname(__file__)
        # initialize locale
        locale = QSettings().value('locale/userLocale')[0:2]
        locale_path = os.path.join(
            self.plugin_dir,
            'i18n',
            'TabRenamer_{}.qm'.format(locale))

        if os.path.exists(locale_path):
            self.translator = QTranslator()
            self.translator.load(locale_path)

            if qVersion() > '4.3.3':
                QCoreApplication.installTranslator(self.translator)

        # Declare instance attributes
        self.actions = []
        self.menu = self.tr(u'&Tab Renamer')
        # TODO: We are going to let the user set this up in a future iteration
        self.toolbar = self.iface.addToolBar(u'TabRenamer')
        self.toolbar.setObjectName(u'TabRenamer')

        #path เริ่มต้น
        self.path = '/'

    # noinspection PyMethodMayBeStatic
```

```
def tr(self, message):

    # noinspection PyTypeChecker,PyArgumentList,PyCallByClass
    return QCoreApplication.translate('TabRenamer', message)


def add_action(
    self,
    icon_path,
    text,
    callback,
    enabled_flag=True,
    add_to_menu=True,
    add_to_toolbar=True,
    status_tip=None,
    whats_this=None,
    parent=None):

    # Create the dialog (after translation) and keep reference
    self.dlg = TabRenamerDialog()

    icon = QIcon(icon_path)
    action = QAction(icon, text, parent)
    action.triggered.connect(callback)
    action.setEnabled(enabled_flag)

    if status_tip is not None:
```

```
            action.setStatusTip(status_tip)

        if whats_this is not None:
            action.setWhatsThis(whats_this)

        if add_to_toolbar:
            self.toolbar.addAction(action)

        if add_to_menu:
            self.iface.addPluginToMenu(
                self.menu,
                action)

        self.actions.append(action)
        #เชื่อมปุ่มกับช่องคำสั่งเปิด File browser
        self.dlg.pushButton.clicked.connect(self.select_output_file)
        return action
    def initGui(self):
        """Create the menu entries and toolbar icons inside the QGIS GUI."""

        icon_path = ':/plugins/TabRenamer/icon.png'
        self.add_action(
            icon_path,
            text=self.tr(u'Rename Tab'),
            callback=self.run,
            parent=self.iface.mainWindow())
```

```
def unload(self):
    """Removes the plugin menu item and icon from QGIS GUI."""
    for action in self.actions:
        self.iface.removePluginMenu(
            self.tr(u'&Tab Renamer'),
            action)
        self.iface.removeToolBarIcon(action)
    # remove the toolbar
    del self.toolbar


#คำสั่งเลือกไฟล์
def select_output_file(self):
    #เปิดไฟล์ Browse
    #ช่องสองชื่อTitle ช่องสามPathเริ่มต้น(ตอนแรกเป็น '/' สร้างไว้ข้างบน) ช่องสี่เลือกสกุลไฟล์
    #เลือกไฟล์เสร็จเก็บเข้าตัวแปล filenames
    filenames = QFileDialog.getOpenFileNames(self.dlg, "Select tab files  ",self.path, '*.tab')


    #เช็คว่ามีไฟล์รึเปล่า
    if(len(filenames) > 0):
        #save path ก่อนหน้า
        self.path = QFileInfo(filenames[0]).path();


        #format ชื่อไฟล์ใหม่โดยเอาชื่อไฟล์มาต่อกัน คั่นด้วย ;
        filenames_string = ""
        for filename in filenames:
```

```
            filenames_string += filename + ";"

        self.dlg.lineEdit.setText(filenames_string)


#คำสั่งทำงานตอนเปิดปลั๊กอิน

def run(self):

    """Run method that performs all the real work"""

    #import ชื่อไฟล์ที่จะเปลี่ยน

    import db_file_names

    #เคลียร์ช่อง path

    self.dlg.lineEdit.clear()

    # เคลียร์combobox

    self.dlg.comboBox.clear()

    # นำชื่อไฟล์ไปใส่ comboBox

    self.dlg.comboBox.addItems(db_file_names.file_name_lists)

    # show the dialog

    self.dlg.show()

    # Run the dialog event loop

    result = self.dlg.exec_()

    # ทำงานเมื่อกด OK

    if result:

        # ไปดึงชื่อไฟล์มา

        filenames = self.dlg.lineEdit.text()

        # เช็คว่าชื่อไหนถูกเลือก

        selectedNameIndex = self.dlg.comboBox.currentIndex()

        new_name = db_file_names.file_name_lists[selectedNameIndex]

        #วน for แต่ละไฟล์ที่แยกด้วย semicolon
```

```
for f in filenames.split(";"):
    #ตัดช่องว่างทิ้ง
    if(f == ""):
        break;

    #เปิดไฟล์
    file = open(f, "r")
    #อ่านไฟล์เก็บใส่ตัวแปร txt
    txt = file.read()
    #แยกบรรทัดเก็บใส่ array
    lines = txt.splitlines()
    #ประกาศชื่อ Column ว่างเปล่าไว้
    name_of_column = None
    #วนหาชื่อ Column
    #index คือจำนวนบรรทัด
    index = 0
    for line in lines:
        # หาบรรทัดที่มีคำว่า Fields 1
        if("Fields 1" in line):
            # เอาบรรทัดถัดไป
            line_contain_name = lines[index+1]
            #เอาชื่อมันมาจากคำแรกของบรรทัดมา
            name_of_column = line_contain_name.split()[0]
            #เขียนชื่อทับอันเก่า(ยังไม่ใช่เขียนใส่ไฟล์จริง)
            txt = txt.replace(name_of_column, new_name)
            break
```

```
                index+=1
            #ปิดการอ่านไฟล์
            file.close()
            if(name_of_column != None):
                #เปิดไฟล์
                file = open(f, "w")
                #ลบไฟล์เก่าทิ้ง
                file.truncate()
                #เขียนทับ
                file.write(txt)
                #ปิดการเขียนไฟล์
                file.close()
db_file_names.py
file_name_lists = [
        "HSDPA-App_Throughput_DL",
        "PSDL-App_Throughput_DL",
        "PSDL-LTE_UE_RSRP",
        "PSDL-LTE_UE_RSRQ",
        "PSDL-LTE_UE_SINR",
        "PSUL-App_Throughput_UL",
]
```

# ภาคผนวก ค.

# Calculator Plugin

```
"""
/***************************************************************************
 Calculator
                                 A QGIS plugin
 calculator
                              -------------------
        begin                : 2017-11-14
        git sha              : $Format:%H$
        copyright            : (C) 2017 by Karnthep T.
        email                : 57010072@kmitl.ac.th
 ***************************************************************************/
"""
from PyQt4.QtCore import QSettings, QTranslator, qVersion, QCoreApplication, QFileInfo, QVariant
from PyQt4.QtGui import QAction, QIcon, QFileDialog
from qgis.core import QgsVectorLayer, QgsField, QgsMapLayerRegistry, QgsFeature, QgsGeometry, QgsPoint
# Initialize Qt resources from file resources.py
import resources
# Import the code for the dialog
from calculator_dialog import CalculatorDialog
import os.path
import csv
import math


class Calculator:
    """QGIS Plugin Implementation."""
```

```
def __init__(self, iface):

    # Save reference to the QGIS interface
    self.iface = iface
    # initialize plugin directory
    self.plugin_dir = os.path.dirname(__file__)
    # initialize locale
    locale = QSettings().value('locale/userLocale')[0:2]
    locale_path = os.path.join(
        self.plugin_dir,
        'i18n',
        'Calculator_{}.qm'.format(locale))

    if os.path.exists(locale_path):
        self.translator = QTranslator()
        self.translator.load(locale_path)

        if qVersion() > '4.3.3':
            QCoreApplication.installTranslator(self.translator)

    # Declare instance attributes
    self.actions = []
    self.menu = self.tr(u'&Calculator')
    # TODO: We are going to let the user set this up in a future iteration
    self.toolbar = self.iface.addToolBar(u'Calculator')
    self.toolbar.setObjectName(u'Calculator')
```

```
    #path เริ่มต้น
    self.path = '/'


# noinspection PyMethodMayBeStatic
def tr(self, message):


    # noinspection PyTypeChecker,PyArgumentList,PyCallByClass
    return QCoreApplication.translate('Calculator', message)


def add_action(
    self,
    icon_path,
    text,
    callback,
    enabled_flag=True,
    add_to_menu=True,
    add_to_toolbar=True,
    status_tip=None,
    whats_this=None,
    parent=None):


    # Create the dialog (after translation) and keep reference
    self.dlg = CalculatorDialog()


    icon = QIcon(icon_path)
```

```
        action = QAction(icon, text, parent)
        action.triggered.connect(callback)
        action.setEnabled(enabled_flag)

        if status_tip is not None:
            action.setStatusTip(status_tip)

        if whats_this is not None:
            action.setWhatsThis(whats_this)

        if add_to_toolbar:
            self.toolbar.addAction(action)

        if add_to_menu:
            self.iface.addPluginToMenu(
                self.menu,
                action)

        self.actions.append(action)

        #เชื่อมปุ่มกับช่องคำสั่งเปิด File browser
        self.dlg.pushButton.clicked.connect(self.select_output_file)
        self.dlg.pushButton_2.clicked.connect(self.select_output_file_2)
        return action

    def initGui(self):
```

```
    """Create the menu entries and toolbar icons inside the QGIS GUI."""
    icon_path = ':/plugins/Calculator/icon.png'
    self.add_action(
        icon_path,
        text=self.tr(u'Calculator'),
        callback=self.run,
        parent=self.iface.mainWindow())


def unload(self):
    """Removes the plugin menu item and icon from QGIS GUI."""
    for action in self.actions:
        self.iface.removePluginMenu(
            self.tr(u'&Calculator'),
            action)
        self.iface.removeToolBarIcon(action)
    # remove the toolbar
    del self.toolbar


#คำสั่งเลือกไฟล์สำหรับ site data
def select_output_file(self):
    #เปิดไฟล์ Browse
    #ช่องสองชื่อTitle ช่องสามPathเริ่มต้น ('/' ที่สร้างไว้) ช่องสี่เลือกสกุลไฟล์
    #เลือกไฟล์เสร็จเก็บเข้าตัวแปล filenames
    filename = QFileDialog.getOpenFileName(self.dlg, "Select tab files  ",self.path, '*.csv')
```

```
    #เช็คว่ามีไฟล์รีเปล่า
    if(len(filename) > 0):
        #save path ก่อนหน้า
        self.path = QFileInfo(filename).path();
        self.dlg.lineEdit.setText(filename)
#คำสั่งเลือกไฟล์สำหรับ workbook
def select_output_file_2(self):
    #เปิดไฟล์ Browse
    #ช่องสองชื่อTitle ช่องสามPathเริ่มต้น ('/' ที่สร้างไว้) ช่องสี่เลือกสกุลไฟล์
    #เลือกไฟล์เสร็จเก็บเข้าตัวแปล filenames
    filename = QFileDialog.getOpenFileName(self.dlg, "Select tab files  ",self.path, '*.csv')
    #เช็คว่ามีไฟล์รีเปล่า
    if(len(filename) > 0):
        #save path ก่อนหน้า
        self.path = QFileInfo(filename).path();
        self.dlg.lineEdit_2.setText(filename)

# หาช่อง pci ที่มีค่ามากที่สุด
def get_max_pci(self, row):
    # เช็คว่ามีค่า lat long หรือเปล่า ถ้าไม่มีส่ง False
    if(row[3] != "" and row[4] != ""):
        max = None
        max_id = None
        # วนลูปหาค่า pci มากสุด
        for i in range(5, len(row)):
            if(row[i] != ""):
```

```
            if((max is None) or (int(row[i]) > int(max))):
                max = row[i]
                max_id = i
        # ถ้าใน message นั้นมีค่า pci ส่งเลขช่อง pci ที่มีค่ามากที่สุดกลับไป
        if(max != None):
            return max_id
    return False


# แก้ชื่อ column pci ใน workbook จาก
def format_pci_header(self, headers):
    format_headers = headers
    for i in range(5, len(headers)):
        splited = headers[i].split('_')
        format_headers[i] = splited[len(splited)-1]
    return format_headers


# หาเสาสัญญาณที่ใกล้จากจุดที่สุด ค่าที่ต้องใส่คือ
# pci: เลข pci
# lat_p, long_p: ไว้หาเสาร์สัญญาณที่ห่างจากจุดน้อยที่สุด
# antenna_list: list ของเสาสัญญาณทั้งหมด
def find_antenna(self, pci_id, lat_p, long_p, antenna_list):
    #กำหนดให้ค่าเป็น None ก่อน
    min_distance = None
    min_distance_antenna = None
    #หาค่าใน Site data
    for antenna in antenna_list:
```

```
        #ถ้า column 4 = pci id
        if str(antenna[4]) == str(pci_id):
            distance = self.distance_between_point(float(antenna[2]), float(antenna[1]), lat_p, long_p)
            if(min_distance is None or distance < min_distance):
                min_distance = distance
                min_distance_antenna = antenna
    return min_distance_antenna


# สูตรหาค่า rsrp
# area_type
# 0 = urban
# 1 = sub_urban
# 2 = rural
def calculate_rsrp(self, lat_ant, long_ant, height_ant, freq, lat_p, long_p, area_type):
    distance = self.distance_between_point(lat_ant, long_ant, lat_p, long_p)
    ah = (1.11*math.log10(freq)-0.7)*1-(1.56*math.log10(freq)-0.8)
    lu = 46.3+(33.9*math.log10(freq))-13.82*math.log10(height_ant)+((44.9-6.55*math.log10(1))*math.log10(distance))
    pl = lu-ah

    # ถ้าเป็น sub_urban หรือ rural ให้ลบค่าเพิ่ม
    if(area_type == 1):
        pl = pl - 2*math.pow(math.log10(freq/28),2) - 5.4
    elif(area_type == 2):
        pl = pl - 4.78*math.pow(math.log10(freq),2) + 18.33*math.log10(freq) - 40.98

    rsrp = 18.228787  - pl
```

```
        return rsrp


    # หาจุดระหว่าง 2จุดของ lat และ long
    def distance_between_point(self,lat_ant,long_ant,lat_p,long_p):
        a = math.pow(math.sin(math.fabs(lat_p-
lat_ant)*math.pi/180/2),2)+math.cos(lat_ant*math.pi/180)*math.cos(lat_p*math.pi/180)*math.pow(math.sin(math.fabs(l
ong_p-long_ant)*math.pi/180/2),2)
        c = 2*math.atan2(math.sqrt(a), math.sqrt(1-a))
        distance = 6371*c
        return distance


    def run(self):
        """Run method that performs all the real work"""
        # เคลียร์combobox
        self.dlg.comboBox.clear()
        # นำชื่อไฟล์ไปใส่ comboBox
        self.dlg.comboBox.addItems(["Urban", "Sub_Urban", "Rural"])


        # show the dialog
        self.dlg.show()
        # Run the dialog event loop
        result = self.dlg.exec_()
        # See if OK was pressed
        if result:
            print("Calculating...")
            # สร้าง layer เปล่ามา
```

```
calculatedLayer = QgsVectorLayer("Point", "Calculated", "memory")
pr = calculatedLayer.dataProvider()
calculatedLayer.startEditing()
# เพิ่ม column PSDL-LTE_UE_RSRP ที่มีค่าเป็นตัวเลข (double คือเลขทศนิยม)
pr.addAttributes([QgsField("PSDL-LTE_UE_RSRP", QVariant.Double)])

# ดึง path site data มา
site_data_file = self.dlg.lineEdit.text()
# ดึง path workbook มา
workbook_file = self.dlg.lineEdit_2.text()
# ดูว่าค่าเป็นพื้นที่ประเภทไหน
area_type = self.dlg.comboBox.currentIndex()

# เช็คว่าไฟล์ไม่ว่างเปล่า
if site_data_file!="" and workbook_file!="":
    # เปิดไฟล์ site data ขึ้นมา
    f = open(site_data_file, 'rt')
    reader = csv.reader(f)
    # ประกาศตัวแปรว่างเปล่า ไว้เก็บข้อมูลเสา
    antenna_data = []
    # นำข้อมูลที่อยู่ใน csv ในแต่ละแถว(row) มาใส่ตัวแปร antenna_data ที่เราประกาศเอาไว้ข้างบน
    for row in reader:
        antenna_data.append(row)

    # เปิดไฟล์ workbook ขึ้นมา
    f = open(workbook_file, 'rt')
```

```
            reader = csv.reader(f)


            # ประกาศตัวแปรว่างเปล่า ที่จะไว้เก็บชื่อ column
            headers = []
            # ประกาศตัวแปรว่างเปล่า ที่จะไว้เพิ่มจุดที่จะปรากฏบน layer
            features = []
            # ประกาศตัวแปร index ไว้เพื่อนับจำนวนแถวของข้อมูล เพื่อเช็คว่าถ้าข้อมูลแถวที่ 0 แถวนั้นคือชื่อหัวตารางนั่นเอง
            index = 0
            for row in reader:
                # ถ้าเป็นข้อมูลแถวที่ 0
                if(index == 0):
                    # นำชื่อหัวตารางไปแปลงแล้วนำมาใส่ตัวแปร header ที่ประกาศไว้ข้างบน
                    headers = self.format_pci_header(row)
                else:
                    # นำข้อมูลในแถวไปหาเลขช่องที่มีค่า
                    pci_id = self.get_max_pci(row)
                    # ถ้าข้อมูลในแถวมี lat long และมีค่าใน pci ซัก pci นึง
                    if(pci_id != False):
                        # ไปหาข้อมูลเสา
                        antenna = self.find_antenna(headers[pci_id], float(row[4]), float(row[3]), antenna_data)
                        # คำนวณ rsrp
                        rsrp = self.calculate_rsrp(float(antenna[2]), float(antenna[1]), float(antenna[3]), float(antenna[6]),
float(row[4]), float(row[3]), area_type)
                        # สร้างจุดว่างเปล่าขึ้นมา
                        feature = QgsFeature()
                        # ใส่ค่า X Y ให้จุด
```

```
            feature.setGeometry(QgsGeometry.fromPoint(QgsPoint(float(row[3]), float(row[4]))))
            # ใส่ค่า rsrp ที่เราคำนวณไว้ให้จุด
            feature.setAttributes([rsrp])
            # นำจุดที่เราสร้างไว้ข้างบนไปใส่ตัวแปรที่เราประกาศไว้ข้างบน เพื่อที่จะรอเพิ่มใส่ใน layer ที่เดียว
            features.append(feature)
        # ไว้บอกว่าเราวนลูปไปกี่รอบแล้ว
        index+=1

    # พอเราคำนวณครบทุกจุดแล้ว เราก็เอาจุดที่เราสร้างมา Add ใส่ layer ที่เดียว
    pr.addFeatures(features)

    # บอก layer ว่าเราเพิ่งเพิ่มจุดไป อัพเดทตัวเองด้วย
    calculatedLayer.commitChanges()
    calculatedLayer.updateExtents()

    # Add layer ที่เราเพิ่งสร้างไปในโปรแกรม qgis
    QgsMapLayerRegistry.instance().addMapLayer(calculatedLayer)
    print("Finished!")
else:
    print("Please browse files!!!")
```