รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี (LTE)
LTE Coverage improvement

นางสาวณัฐชยา จิตต์ปราณีชัย
นายภูดิศ อำภัยฤทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี (LTE)

LTE Coverage improvement

นางสาวณัฐชยา จิตต์ปราณีชัย

นายภูดิศ อำภัยฤทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี (LTE)

ชื่อ-สกุล นักศึกษา ณัฐชยา จิตต์ปราณีชัย
ภูดิศ อำภัยฤทธิ์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **ภาควิชา** วิศวกรรมโทรคมนาคม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศน์งาน อุเทน สิทธิพงศ์พร

สถานประกอบการ บริษัท หัวเว่ย เทคโนโลยี่ (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี (LTE) ให้ครอบคลุมพื้นที่การใช้งานของผู้ใช้บริการ โดยการค้นหาบริเวณที่มีจุดอับสัญญาณผ่านข้อมูลคุณภาพสัญญาณ (RSRP) จากผู้ใช้งานและจำนวนประชากรในบริเวณนั้นผ่านโปรแกรม Mapinfo เมื่อพบบริเวณที่มีสัญญาณไม่ดีแต่มีผู้อยู่อาศัยจำนวนมาก ไม่สามารถทำการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณสถานีฐานในเบื้องต้นได้ จึงมีการสร้างสถานีฐานใหม่ขึ้น โดยค้นหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมในการติดตั้ง รวมทั้งออกแบบองศาของสายสัญญาณ จากนั้นสร้างแบบฟอร์มรายงานผ่านโปรแกรมมาโคร เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผลจากการทดสอบสัญญาณ ภายหลังติดตั้งจึงเช็คคุณภาพสัญญาณก่อนการให้บริการ เมื่อเปิดให้บริการแล้วจะนำข้อมูลจากผู้ใช้โดยการขับรถทดสอบสัญญาณ นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และปรับปรุงสัญญาณผ่านโปรแกรม Nemo Analyze จากนั้นทดสอบสัญญาณเป็นครั้งสุดท้าย จัดทำรายงานสรุปผลโดยค่าสัญญาณที่ได้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน

คำสำคัญ: แอลทีอี (LTE) โทรศัพท์เคลื่อนที่ จุดอับสัญญาณ

Cooperative Title: LTE Coverage improvement

Student intern name: Nutchaya Jitpraneechai
Phudit Ampririt

Faculty: Engineering **Department:** Telecommunication Engineering

Advisor name: Assoc. Prof. Dr. Pipat Prommee

Mentor name: Uthen Sitthipongporn

Company: Huawei Technologies (Thailand) Co.,Ltd.

ABSTRACT

This project introduces the improvement of LTE (Long-term evolution) signal for entering the coverage area of 4G mobile services. In the beginning, poor service areas have to discover by using the reference signal received power (RSRP) protocol based on the customer usages. The "Mapinfo" application is used to view the condition of poor signal strength area with the high population. If it cannot improve the signal strength, the new site is needed to be installed and the appropriated location would be selected. The antenna type and its direction are designed for the particular area. The report form is created by using the macro programming for analyzing the tested results. The final test is done by driving test, analyze and final customized through final data by using " Nemo Analyze" application before launching the services. The final report is finished and complied the 4G mobile phone standard.

Keywords: Long Term Evolution (LTE) Mobile phone Poor coverage

กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงงาน “การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณแอลทีอี (LTE)” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากขาดการสนับสนุน และกำลังใจจากหลายๆ ฝ่าย ดังนี้

พี่อุเทน สิทธิพงศ์พร พนักงานที่ปรึกษา และรศ.ดร. พิพัฒน์ พรหมมี อาจารย์นิเทศ สำหรับความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำและแนวทางการแก้ไขเมื่อเกิดปัญหาต่าง ๆ ในการจัดทำโครงงาน

พี่พนักงานแผนก RF Engineer ทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพี่ ๆ ที่เมืองทองที่ได้ให้คำแนะนำ วิธีแก้ปัญหา คำปรึกษาและให้ความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดทำโครงงาน

เพื่อน ๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือและให้กำลังใจในทุกด้าน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ ที่ได้ช่วยให้การจัดทำโครงงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวณัฐชยา จิตต์ปราณีชัย
นายภูดิศ อำภัยฤทธิ์
ผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	49
บทที่ 3 การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์	51
3.1 การออกแบบ	51
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน	56
3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	58
4.1 ค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์และปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณจากสถานีฐานเดิมโดยรอบ	58
4.2 การออกแบบทิศทางของสายอากาศและการออกแบบเลข Physical cell identity (PCI) ของแต่ละเซกเตอร์	66
4.3 การสำรวจพื้นที่พร้อมเก็บข้อมูลภาพตามทิศทางที่ออกแบบและติดตั้งสถานีฐาน	67
4.4 การทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการสถานีฐาน	70
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของสถานีฐานเมื่อเปิดให้บริการแล้ว	84
4.6 ผลการปรับปรุงและแก้ปัญหา	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	119
5.1 สรุปผลการวิจัย	119
5.2 ข้อเสนอแนะ	119
เอกสารอ้างอิง	120
ภาคผนวก	121

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

2.1 ช่องตรรกะที่ใช้ในระบบ LTE 14
2.2 รายการสถานีขนส่งที่ใช้ในระบบ LTE 16
2.3 รายการช่องข้อมูลทางกายภาพที่ใช้กับระบบ LTE 17
2.4 ประเภทของข้อมูลการควบคุม 18
2.5 ช่องการควบคุมทางกายภาพ 19
2.6 เกณฑ์ค่ามาตรฐาน KPI 49
4.1 ข้อมูลของสถานีฐาน 75
4.2 ข้อมูล Specifications 75
4.3 CS Functionality Test 76
4.4 PS Throughput Test 77
4.5 ข้อมูลของสถานีฐาน 79
4.6 Radio Specifications 79
4.7 CS Functionality Test 80
4.8 PS Throughput Test 80
4.9 PS Throughput Test 82
4.10 ข้อมูลของสถานีฐานที่ใกล้เคียง 85
4.11 ข้อมูลของสถานีฐานที่ใกล้เคียง 88
4.12 RSRP Legend 97
4.13 SINR Legend 99
4.14 PS DL Legend 101
4.15 ค่า KPI Parameter ของระบบ 4G Low Band (LTE) 104
4.16 RSRP Legend 105
4.17 SINR Legend 107

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่

4.18 PS DL Legend 109

4.19 ค่า KPI Parameter ของระบบ 4G High Band (LTE) 111

4.20 RSRP Legend 112

4.21 SINR Legend 114

4.22 ค่า KPI Parameter ของระบบ 4G High Band (LTE) 117

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1 การติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ระบบ GSM และระบบ UMTS 4

2.2 โครงข่ายของ UMTS terrestrial radio access network 5

2.3 สถาปัตยกรรมโครงข่ายของระบบ GSM 6

2.4 วิวัฒนาการโครงข่ายจากระบบ GSM และ UMTS ไปยังระบบ LTE 7

2.5 รูปแบบการส่งผ่านอากาศของระบบ WCDMA และ LTE 8

2.6 รูปแบบเครือข่ายวิทยุของระบบ UMTS และ LTE 8

2.7 สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE 8

2.8 สถาปัตยกรรมโครงข่ายภายในอุปกรณ์สื่อสาร 9

2.9 สถาปัตยกรรมโครงข่ายที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายวิทยุของระบบ UMTS ภาคพื้นดิน 9

2.10 ส่วนประกอบหลักภายใน Evolved packet core 10

2.11 การระบุตัวตนจาก MME 11

2.12 การระบุตัวตนชั่วคราวของโทรศัพท์เคลื่อนที่ 12

2.13 สถาปัตยกรรมโครงข่ายโปรโตคอลในการส่งผ่านทางอากาศ 13

2.14 โครงสร้างของชาแนล LTE 14

2.15 OFDMA และ SC-FDMA ในระบบ LTE 20

2.16 จำนวนการเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ลดลงเมื่อส่งแบบหลาย Sub-carrier 21

2.17 Processing steps in a simplified analogue OFDM transmitter 22

2.18 บล็อคไดอะแกรมฝั่งส่งและฝั่งรับของ OFDM 23

2.19 OFDMA ส่งข้อมูลให้อุปกรณ์หลายเครื่องโดยใช้เวลาและความถี่ในการส่งต่างกันและแต่ละตัวใช้แอพพลิเคชั่นต่างกัน 24

2.20 ตัวอย่าง fractional frequency re-use (a) ใช้ในแกนความถี่ (b) ผลลัพ์ของโครงข่ายที่ได้ 25

2.21 โครงสร้างของเฟรมของแบบ FDD 26

2.22 โครงสร้างของสล็อต 26

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

2.22 Cyclic Prefix 27

2.24 Resource grid แบบ normal cyclic prefix 28

2.25 ค่าพารามิเตอร์ทาง physical layer ของ OFDMA สำหรับ LTE 29

2.26 บล็อคไดอะแกรมฝั่งส่งและฝั่งรับของ SC-FDMA 32

2.27 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-node B) 33

2.28 สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) 34

2.29 สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) 35

2.30 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt : M-Tilt) 36

2.31 การปรับเชิงกล 1) ตัวปรับเชิงกล 2) ตัวล็อกเมื่อปรับเสร็จสิ้น 36

2.32 การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt : E-Tilt) 36

2.33 การปรับเชิงไฟฟ้า (Dual antenna example in picture) 37

2.34 รูปร่างการแพร่ของคลื่นเมื่อทำการปรับมุมด้วยการปรับเชิงกลและการปรับเชิงไฟฟ้าในความกว้างลูกคลื่นเท่ากับ 90 องศา และ 65 องศา 37

2.35 การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง 38

2.36 Baseband unit (BBU) 38

2.37 Remote radio unit (RRU) 39

2.38 Base Station Controller (BSC) 39

2.39 CSFB : Circuit Switched fallback (CS Fallback) 40

2.40 Carrier Aggregation (FDD) 41

2.41 RSRP อยู่ในช่วง -44 ถึง -140 dBm 42

2.42 รายงานที่ส่งจะมีค่าRSRQ อยู่ในช่วง -3 ถึง -19.5 dB 42

2.43 Number of Active cell with 5 dB window 43

2.44 Interpretation of the channel quality indicator 44

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

2.45 เกณฑ์มาตรฐานที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณ 45

2.46 เกณฑ์มาตรฐานของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของบริษัททรู (1) 46

2.47 เกณฑ์มาตรฐานของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของบริษัททรู (2) 46

3.1 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของระบบรวม 51

3.2 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม 52

3.3 บล็อกไดอะแกรมการค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ 53

3.4 แผนผังขั้นตอนการออกแบบทิศทางของสายอากาศ เลข Physical cell identity (PCI) และการติดตั้งสถานีฐาน 54

3.5 แผนผังการทำ RF Optimization 55

3.6 แผนผังการใช้งานมาโคร 56

4.1 โปรแกรม Mapinfo 58

4.2 บริเวณพื้นที่จุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ จากข้อมูลการใช้งานของผู้ใช้บริการ 59

4.3 บริเวณพื้นที่จุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ จากการ Drive test 60

4.4 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ 61

4.5 ระยะระหว่างบริเวณที่เป็นจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ 61

4.6 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบการปรับมุมก้มของสายอากาศ 62

4.7 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ 62

4.8 ปรับมุมอะซิมุทของสถานีฐาน 63

4.9 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ 63

4.10 เพิ่มสายอากาศที่มีมุมอะซิมุทขนาดเท่ากับ 335 องศา 64

4.11 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ 65

4.12 วางตำแหน่งสถานีฐานใหม่และออกแบบทิศทางอะซิมุท 65

4.13 แบบฟอร์ม Initial Engineering Acceptance (IEA) 66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.14	โปรแกรม Google Earth Pro	66
4.15	ออกแบบทิศทางของสายอากาศ	67
4.16	ภายถ่ายแสดงทิศทางของสายอากาศในแต่ละเซกเตอร์	68
4.17	แบบแปลนการวางสถานีฐานใหม่แบบโพล	68
4.18	สถานีฐานใหม่แบบโพล	69
4.19	ภายถ่ายแสดงทิศทางของสายอากาศในแต่ละเซกเตอร์	70
4.20	แบบแปลนการวางสถานีฐานใหม่แบบ Roof top	70
4.21	สถานีฐานใหม่แบบ Roof top	70
4.22	โปรแกรม Nemo Analyze	71
4.23	หน้าต่างโปรแกรมมาโคร	72
4.24	ขั้นตอนการใช้งานมาโคร	72
4.25	เกณฑ์มาตรฐาน	74
4.26	Mobility Test ของระบบ 4G Low band (L(900	78
4.27	Mobility Test ของระบบ 4G High band (L1800)	82
4.28	Mobility Test ของระบบ 4G High band (L2100)	84
4.29	เส้นทางการเช็คคุณภาพสัญญาณ	85
4.30	Number of Cells	86
4.31	คุณภาพสัญญาณของสถานีฐาน Newsite	86
4.32	RSRP ของสถานีฐาน Site01 เซกเตอร์สาม (PCI = 72)	87
4.33	RSRP ของสถานีฐาน Site03 เซกเตอร์หนึ่ง (PCI = 233)	87
4.34	เส้นทางการเช็คคุณภาพสัญญาณ	89
4.35	คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1	90
4.36	คุณภาพสัญญาณ RSRP ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม	91

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.37 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 3 92
4.38 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 4 93
4.39 ค่า RSRP ของเซลล์ที่อุปกรณ์จับได้ 93
4.40 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA2 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1 94
4.41 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA2 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2 94
4.42 พารามิเตอร์บริเวณ PA 2 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1 95
4.43 ความกว้างของ Beam width 96
4.44 กราฟ RSRP Drive Test 98
4.45 RSRP Drive Test plot 98
4.46 กราฟ SINR Drive Test 100
4.47 SINR Drive Test plot 100
4.48 PCI Drive Test plot 101
4.49 กราฟ PS DL Drive Test 102
4.50 PS DL Drive Test plot 102
4.51 จำนวน PRB 103
4.52 กราฟ RSRP Drive Test 106
4.53 RSRP Drive Test plot 106
4.54 กราฟ SINR Drive Test 108
4.55 SINR Drive Test plot 108
4.56 PCI Drive Test plot 109
4.57 กราฟ PS DL Drive Test 110
4.58 PS DL Drive Test plot 110
4.59 กราฟ RSRP Drive Test 113

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่

4.60 RSRP Drive Test plot 113
4.61 กราฟ SINR Drive Test 115
4.62 SINR Drive Test plot 115
4.63 PCI Drive Test plot 116

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อินเทอร์เน็ต คือ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมากครอบคลุมไปทั่วโลก โดยใช้ระบบสื่อสารทางโทรคมนาคมเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล มีการประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ ประกอบด้วยเครือข่ายย่อยเป็นจำนวนมากเชื่อมเข้าด้วยกันภายใต้มาตรฐานเดียวกันจนเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ อินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายสาธารณะที่ไม่มีผู้ใดเป็นเจ้าของ ทำให้การเข้าสู่เครือข่ายเป็นไปได้อย่างเสรี ดังนั้นอินเตอร์เน็ตจึงเป็นแหล่งรวมสารสนเทศจากทุกมุมโลก ทุกสาขาวิชา ทุกด้าน ทั้งบันเทิงและวิชาการ ตลอดจนการประกอบธุรกิจต่าง ๆ โดยอินเตอร์เน็ตสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายจำนวนมากได้ในเวลาอันรวดเร็ว ทั้งยังไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทาง ไม่จำกัดรูปแบบของข้อมูล ซึ่งมีได้ทั้งข้อมูลที่เป็นข้อความอย่างเดียว หรืออาจมีภาพประกอบ รวมไปถึงข้อมูลชนิดมัลติมีเดีย

การใช้บริการอินเตอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่เกิดขึ้นได้โดยการเชื่อมต่อกันระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับเสาสัญญาณ ในปัจจุบันเพื่อรองรับผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องมีสัญญาณครอบคลุมทุกพื้นที่และไม่เกิดการขาดช่วงของสัญญาณ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาในการใช้งาน เช่น สัญญาณขัดข้องระหว่างการติดต่อ เป็นต้น โครงงานนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงขอบเขตของสัญญาณให้ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ เพื่อให้ได้คุณภาพสัญญาณที่ดีที่แก่ผู้ใช้บริการ

1.2 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่
2) เรียนรู้วิธีการปรับปรุงสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
3) ศึกษาการใช้งานเสาอากาศในการส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่
4) เพิ่มขอบเขตการใช้งานสัญญาณโทรศัพท์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มขอบเขตการใช้งานของสัญญาณโทรศัพท์ เพื่อรองรับการใช้งานของผู้ใช้บริการ โดยแบ่งการทำงานเป็น 5 ส่วน คือ 1) ส่วนการออกแบบการติดตั้งเสาสัญญาณ 2) ส่วนติดตั้งเสาสัญญาณ 3) ส่วนตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณ 4) ส่วนวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณ

5) ส่วนการสำรวจเก็บรายละเอียดของงาน โดยต้องผ่านการเห็นชอบจากลูกค้าก่อนดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1) ค้นหาจุดอับของสัญญาณและวางแผนการวางตำแหน่งของสถานีฐาน

2) ออกแบบทิศทางของสายอากาศและทำการติดตั้ง

3) เก็บข้อมูลคุณภาพของสัญญาณจากสถานีฐานและตรวจสอบความเรียบร้อยภายหลังการติดตั้งก่อนเปิดให้บริการ

4) ทำการเปิดให้บริการสถานีฐาน

5) เก็บค่าคุณภาพของสัญญาณจากผู้ใช้งานทั้งระบบ และทำการขับรถบริเวณรอบสถานีฐานเพื่อวัดค่าสัญญาณ

6) นำค่าคุณภาพของสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและขอบเขตของสัญญาณให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจระบบการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

2) นำความรู้ที่ได้ศึกษาไปใช้ประโยชน์ในชีวิตจริง

3) ผู้ใช้บริการได้รับบริการอย่างทั่วถึง จากการเพิ่มขอบเขตการใช้งานสัญญาณโทรศัพท์

4) ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายอากาศ

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงงาน “LTE coverage improvement” จัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ให้บริการของสัญญาณโทรศัพท์ เริ่มจากการวางแผนค้นหาพื้นที่ที่เป็นจุดอับของสัญญาณ เมื่อทำการยืนยันตำแหน่งที่จะตั้งเสาสัญญาณจะทำการส่งข้อมูลไปให้วิศวกรฝ่ายติดตั้ง โดยวิศวกรจะทำการอัพเกรดสายอากาศหรือติดตั้งเสาสัญญาณและทำการเช็คคุณภาพ ภายหลังการติดตั้งผู้จัดทำจะเช็คคุณภาพของสัญญาณจากเสาอากาศเมื่อผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้จึงทำการเปิดให้ผู้ใช้บริการ โดยจะนำข้อมูลจากผู้ใช้บริการมาดูค่าของสัญญาณเพื่อปรับจูนสัญญาณให้สัญญาณในพื้นที่มีคุณภาพดีที่สุด จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการใช้งานของผู้ใช้บริการ เพื่อตรวจเช็คการใช้งาน ดังนั้นโครงงานจึงมีหลักการที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่

ปัจจุบันเทคโนโลยีล่าสุดของการสื่อสารในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ คือ LTE (Long term evolution) หรือชื่อเต็มที่เรียกว่า 3GPP Long Term Evolution เทคโนโลยี LTE นี้ได้มีการพัฒนามาจากระบบ 3GPP (Third Generation Partnership Project) หรือรู้จักกันในชื่อ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) โดยระบบ UMTS นี้มีการพัฒนามาจากระบบ GSM (Global System for Mobile Communications)

ระบบ UMTS และ GSM มีโครงสร้างเน็ตเวิร์คพื้นฐานแบบเดียวกัน โดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1) Core network 2) Radio access network และ 3) Mobile phone

2.1.1.1 Core network

Core network ประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ Circuit switched (CS) จะทำการส่งสัญญาณโทรศัพท์บนระบบโครงข่ายที่วางไว้ โดยเป็นการสื่อสารที่มีการกำหนดเส้นทางการสื่อสารแน่นอนภายในระบบ ซึ่งระบบนี้จะทำการสื่อสารกับ Public switched telephone network (PSTN) หมายความว่าเมื่อผู้ใช้งานทำการติดต่อสื่อสารออกไป ระบบจะทำการสวิตช์ไปหาปลายทางและผู้ใช้อื่นจะไม่สามารถทำการใช้เครือข่ายที่ใช้งานอยู่นั้นได้ ส่วนที่สอง Packet switched (PS) จะเป็นระบบที่ทำการ

ส่งข้อมูล เช่น ข้อมูลรูปร่างหน้าเว็บไซต์ จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น เป็นการสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้งานกับ External packet data networks (PDNs) ซึ่งจะเรียกระบบนี้ว่า อินเตอร์เน็ต ในทางเทคนิค ระบบ Packet switched จะทำการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง แบ่งเป็นส่วนให้ได้ข้อมูลย่อยและกำหนดที่อยู่ปลายทางเอาไว้ แล้วส่งออกไปในระบบ

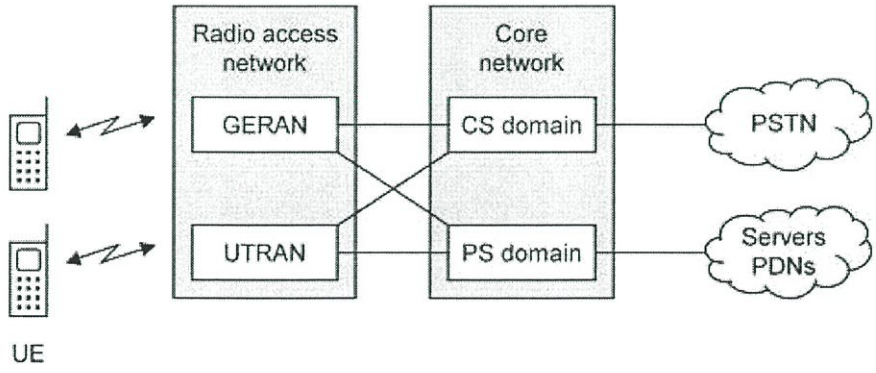
2.1.1.2 Radio access network

Radio access network เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้กับ Core network ซึ่งในส่วนนี้มีความแตกต่างกันระหว่างระบบ GSM และระบบ UMTS โดยระบบ GSM จะเรียกว่า GSM EDGE Radio access network (GERAN) ส่วนระบบ UMTS จะเรียกว่า UMTS Terrestrial radio access network (UTRAN)

2.1.1.3 User equipment (UE)

User equipment (UE) เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่บุคคลทั่วไปใช้งาน ตามปกติ สามารถสื่อสารกับ Radio access network ผ่านตัวกลางที่เป็นอากาศ ซึ่งทิศทางการส่งข้อมูลจากเน็ตเวิร์คไปยังโทรศัพท์จะเรียกว่า Downlink (DL) หรือ Forward link และการส่งข้อมูลจากโทรศัพท์สู่เน็ตเวิร์คจะเรียกว่า Uplink (UL) หรือ Reverse link

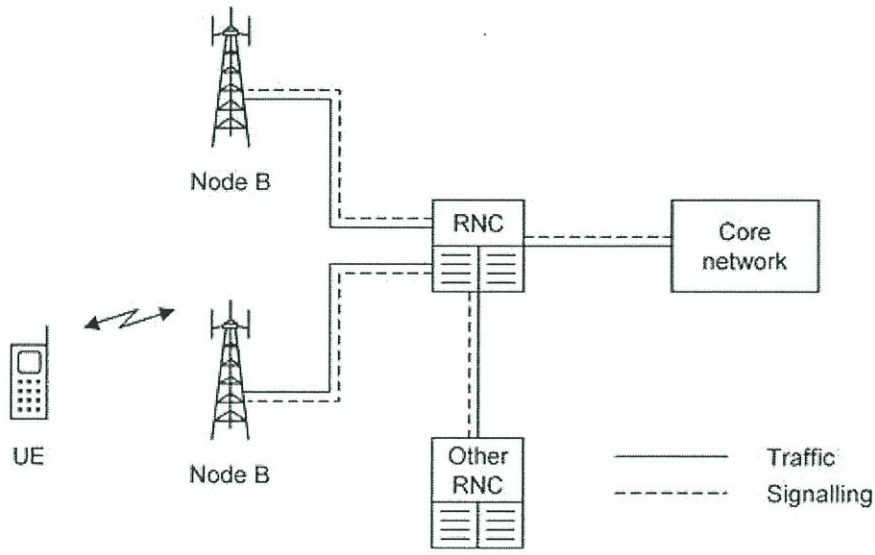
จากโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นการติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ในพื้นที่ต่าง ๆ โดยใช้ระบบ GSM และระบบ UMTS



รูปที่ 2.1 การติดต่อสื่อสารผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้ระบบ GSM และระบบ UMTS

2.1.2 โครงสร้างของ Radio access network

Radio access network ของระบบ UMTS มีส่วนประกอบสำคัญ คือ สถานีกระจายสัญญาณ (base station) ซึ่งในระบบ UMTS เรียกว่า Node B ซึ่งในหนึ่งสถานีสามารถมีสายอากาศมากกว่าหนึ่งสายอากาศ ซึ่งสายอากาศจะควบคุมสัญญาณส่งออกเป็นเซกเตอร์ (Sector) เพื่อสื่อสารกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากรูปที่ 2.2 สายอากาศมีจำนวนสามสายอากาศ และส่งสัญญาณออกไปสามเซกเตอร์ ซึ่งทั้งสามเซกเตอร์มีมุมกวาดออกไปเป็นมุม 120 องศา ในแต่ละเซกเตอร์ ในยุโรป คำว่า เซลล์ (Cell) จะมีความหมายแบบเดียวกับคำว่า เซกเตอร์(Sector) แต่ในอเมริกา เซลล์จะมีความหมายว่ากลุ่มของเซกเตอร์ที่ควบคุมโดยสถานีกระจายสัญญาณหนึ่งแห่ง ในที่นี้เราจะกล่าวถึงแบบของยุโรป ซึ่งคำว่า เซลล์กับเซกเตอร์มีความหมายเดียวกัน



รูปที่ 2.2 โครงข่ายของ UMTS terrestrial radio access network

ในแต่ละเซกเตอร์มีขนาดพื้นที่จำกัด โดยพิจารณาจากระยะการส่งข้อมูลที่ไกลที่สุดเท่าที่โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถรับสัญญาณได้ และมีความจุรองรับผู้ใช้งานจำกัด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของอัตราการส่งข้อมูลทั้งหมดภายในเซกเตอร์ จากขีดจำกัดเหล่านี้ทำให้เกิดเซลล์หลายประเภท เช่น

- Macrocell เป็นเซลล์ที่ออกแบบมาเพื่อพื้นที่บริเวณกว้างครอบคลุมพื้นที่ไกลเป็นกิโลเมตร ใช้กับพื้นที่บริเวณชนบท
- Microcell มีขนาดพื้นที่ในระดับร้อยเมตร แต่มีความจุมากขึ้น ใช้กับพื้นที่บริเวณเมือง
- Picocell มีขนาดพื้นที่ในระดับสิบเมตร ใช้ในพื้นที่บริเวณออฟฟิตหรือร้านค้า

- Femtocell ใช้ในพื้นที่บริเวณบ้านหรือห้อง

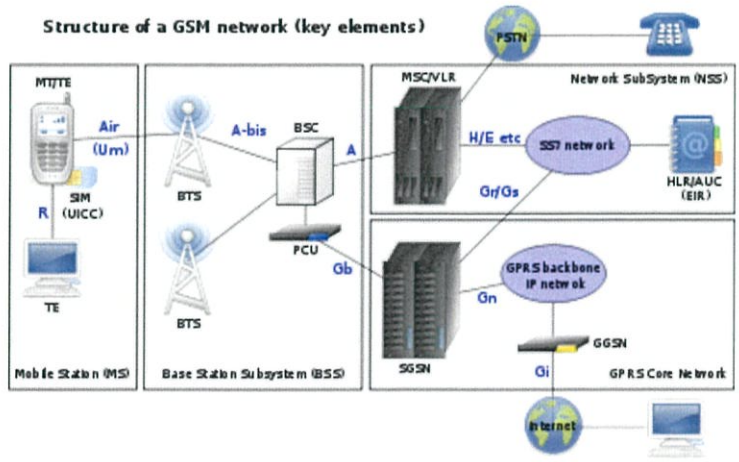
โทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีกระจายสัญญาณจะสื่อสารกันด้วยความถี่ที่กำหนดไว้ เรียกความถี่นี้ว่า ความถี่คลื่นพาห์ (Carrier Frequency) รอบความถี่นี้จะมีสเปคตรัมความถี่จำนวนหนึ่งเรียกจำนวนสเปคตรัมความถี่เหล่านี้ว่า แบนด์วิด (Bandwidth) เช่น คลื่นโทรศัพท์ส่งด้วยความถี่คลื่นพาห์ 1960 MHz และมีแบนด์วิดขนาด 10 MHz หมายความว่า การสื่อสารมีระยะของความถี่ที่ใช้เป็น 1955 ถึง 1965 MHz ในการสื่อสารอาจเกิดการแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณ สามารถแก้ไขได้ 2 วิธี ดังนี้

- Frequency division duplex (FDD) สถานีกระจายสัญญาณจะส่งข้อมูลด้วยความถี่คลื่นพาห์หนึ่งความถี่ต่อโทรศัพท์หนึ่งเครื่อง มีการแบ่งความถี่ในการ Downlink และ Uplink

- Time division duplex (TDD) สถานีกระจายสัญญาณและโทรศัพท์มือถือจะส่งข้อมูลบนความถี่เดียวกันหมดแต่ส่งข้อมูลคนละเวลา

จากรูปที่ 2.2 RNCs (Radio network controllers) มี 2 หน้าที่หลักคือ การส่ง-รับข้อมูลเสียงและข้อมูลแพ็คเกจต่าง ๆ ระหว่างสถานีกระจายสัญญาณกับส่วน Core network และควบคุมสัญญาณโทรศัพท์ เช่น ป้อนคำสั่งผ่านโทรศัพท์ให้ทำการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง เป็นต้น โดยปกติ RNC หนึ่งตัวสามารถควบคุมได้หลายร้อยสถานีกระจายสัญญาณ

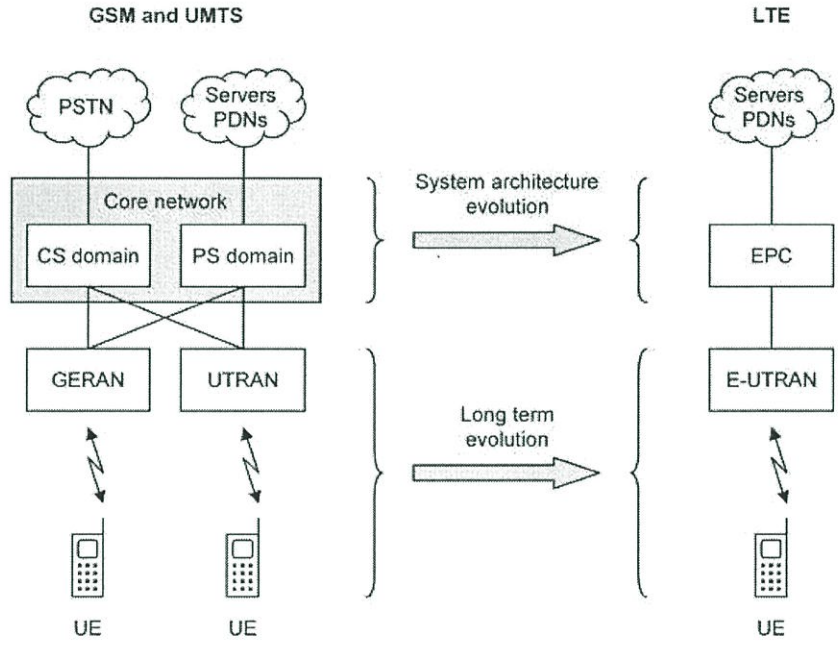
ระบบ GSM มีความคล้ายคลึงกับระบบ UMTS แต่สถานีกระจายสัญญาณจะเรียกว่า Base transceiver station (BTS) และตัวควบคุมจะถูกเรียกว่า Base station controller (BSC) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมโครงข่ายของระบบ GSM

2.1.3 Long term evolution (LTE)

ในปี 2004 Third Generation Partnership Project (3GPP) เริ่มศึกษาและพัฒนาเป็น Long term evolution of UMTS โดยมีจุดประสงค์ให้ระบบการสื่อสารแบบ Third Generation Partnership Project (3GPP) สามารถใช้งานได้ในระยะเวลายาวนานถึง 10 ปีหรือใกล้เคียง และเพื่อทำให้ระบบสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูง โดยมีการพัฒนาระบบดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิวัฒนาการโครงข่ายจากระบบ GSM และ UMTS ไปยังระบบ LTE

ในระบบโครงสร้างใหม่ Evolved packet core (EPC) จะทำหน้าที่แทนในส่วน Packet switched ของ GSM และ UMTS ในการส่งข้อมูลจะถือว่า เสียงเป็นข้อมูลอย่างหนึ่ง ระบบทั้งหมดจะใช้แบบ Packet Switched (PS) และเรียกการโทรในระบบนี้ว่า Voice over IP

การเปลี่ยนแปลงจากระบบ UMTS เป็น LTE นั้น มีการพัฒนาเส้นทางการส่งข้อมูลโดยใช้อินเตอร์เน็ตโปรโตคอล (IP) และอุปกรณ์ที่สนับสนุนการใช้อินเตอร์เน็ตโปรโตคอล เวอร์ชั่น 4 หรือเวอร์ชั่น 6 หรือใช้ทั้งสองเวอร์ชั่น นอกจากนั้น Evolved packet core (EPC) ทำให้ผู้ใช้งานเชื่อมต่อกับโครงข่ายเน็ตเวิร์คภายนอกตลอดเวลา โดยจะมีการตั้งค่าการเชื่อมต่อเป็นอินเตอร์เน็ตโปรโตคอลพื้นฐานไว้ เมื่อเปิดใช้งานจะมีการเชื่อมต่อจนกระทั่งปิดการใช้งานจึงตัดการเชื่อมต่อไป นี่คือความแตกต่างจาก

ระบบเดิมซึ่งต้องมีการร้องขออินเตอร์เน็ตโปรโตคอล (IP) เมื่อต้องการใช้งานและปิดการเชื่อมต่อเมื่อไม่มีการใช้งาน

Evolved packet core (EPC) ถูกออกแบบมาเป็นท่อส่งข้อมูล โดยส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางโดยไม่คำนึงถึงรูปแบบข้อมูลหรือแอพพลิเคชั่น

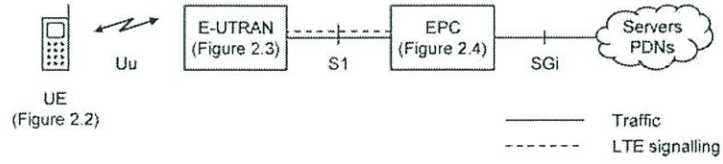
Feature	WCDMA	LTE	Chapter
Multiple access scheme	WCDMA	OFDMA and SC-FDMA	4
Frequency re-use	100%	Flexible	4
Use of MIMO antennas	From Release 7	Yes	5
Bandwidth	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15 or 20 MHz	6
Frame duration	10 ms	10 ms	6
Transmission time interval	2 or 10 ms	1 ms	6
Modes of operation	FDD and TDD	FDD and TDD	6
Uplink timing advance	Not required	Required	6
Transport channels	Dedicated and shared	Shared	6
Uplink power control	Fast	Slow	8

รูปที่ 2.5 รูปแบบการส่งผ่านอากาศของระบบ WCDMA และ LTE

Feature	UMTS	LTE	Chapter
Radio access network components	Node B, RNC	eNB	2
RRC protocol states	CELL_DCH, CELL_FACH, CELL_PCH, URA_PCH, RRC_IDLE	RRC_CONNECTED, RRC_IDLE	2
Handovers	Soft and hard	Hard	14
Neighbour lists	Always required	Not required	14

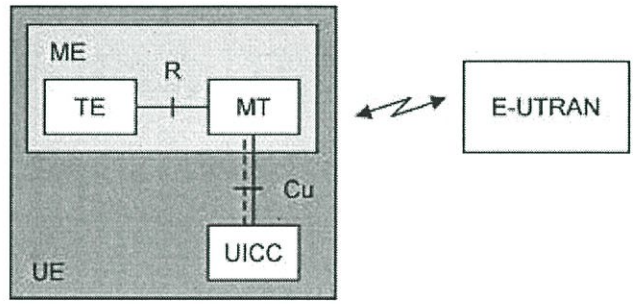
รูปที่ 2.6 รูปแบบเครือข่ายวิทยุของระบบ UMTS และ LTE

โครงสร้างโดยรวมของระบบ Long term evolution (LTE) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1) อุปกรณ์สื่อสาร (UE) 2) Evolved UMTS terrestrial radio access network (E-UTRAN) และ 3) Evolved packet core (EPC) โดย Evolved packet core จะทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกับเน็ตเวิร์คภายนอก เหมือนกับระบบอินเตอร์เน็ต ดังรูปที่ 2.7



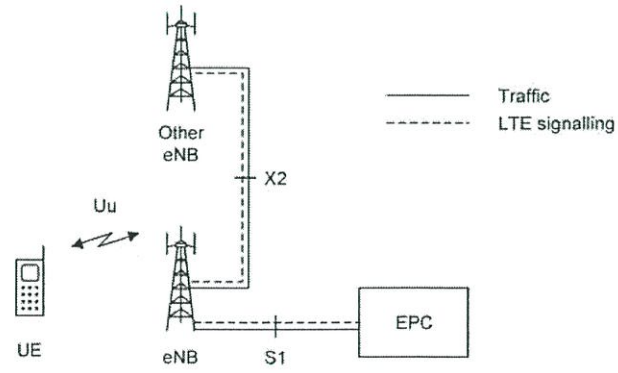
รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมโครงข่าย LTE

อุปกรณ์สื่อสาร (User equipment: UE) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนประกอบหลักคือ Mobile termination (MT) ทำหน้าที่จัดการระบบการสื่อสารทั้งหมด โดย Terminal equipment (TE) จะทำหน้าที่ตัดการเชื่อมต่อ ซึ่ง Mobile equipment (ME) จะเชื่อมต่อกับ Universal integrated circuit card (UICC) หรือที่รู้จักกันว่า SIM card ซึ่งภายในมีแอพพลิเคชั่น Universal subscriber identity module (USIM) ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลการใช้งาน เช่น หมายเลขโทรศัพท์ของผู้ใช้และชื่อตัวตนในระบบเน็ตเวิร์ค ดังในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สถาปัตยกรรมโครงข่ายภายในอุปกรณ์สื่อสาร

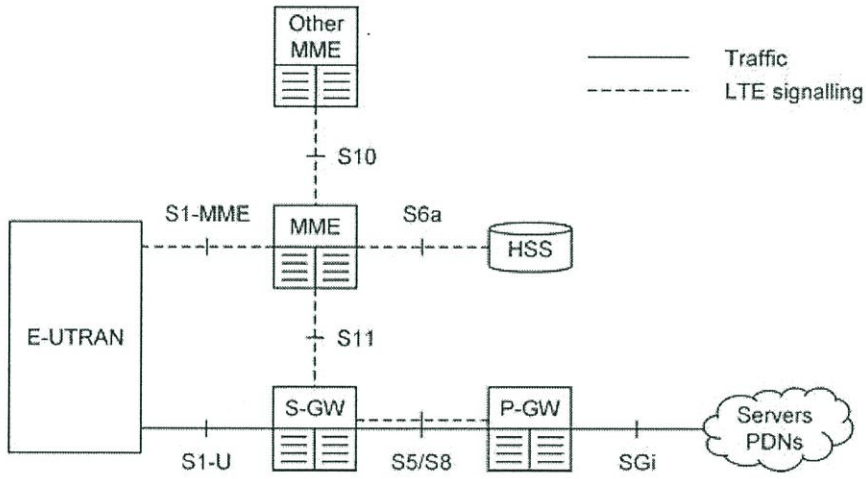
Evolved UMTS terrestrial radio access network (E-UTRAN) ทำหน้าที่สื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Evolved packet core ซึ่งมีส่วนประกอบหลักที่เรียกว่า Evolved Node B (eNB) เป็นสถานีฐาน ซึ่งมีหน้าที่หลัก คือ Evolved Node B จะทำการส่งคลื่นวิทยุไปยังโทรศัพท์สำหรับการ Downlink และรับคลื่นวิทยุจากโทรศัพท์สำหรับการ Uplink รวมทั้งควบคุมการทำงานพื้นฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น การส่งสัญญาณเพื่อทำให้เกิดการแฮนด์โอเวอร์ นอกจากนั้น Evolved Node B จะรวมฟังชันก์ของ Node B และ Radio network controller เพื่อลดข้อมูลโหลดที่แลกเปลี่ยนในระบบ



รูปที่ 2.9 สถาปัตยกรรมโครงข่ายที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายวิทยุของระบบ UMTS ภาคพื้นดิน

ในแต่ละสถานีฐานจะเชื่อมต่อกับ Evolved packet core (EPC) จากรูปที่ 2.9 จะเชื่อมต่อด้วย S1 และเชื่อมต่อกับสถานีอื่นด้วย X2 ซึ่งใช้สำหรับการแฮนด์โอเวอร์ โดยปกติ S1 และ X2 จะไม่ใช้การเชื่อมต่อทางสาย แต่เป็นการใช้สัญญาณ LTE ในการสื่อสารกัน ซึ่งจะระบุโดยใช้ฐาน IP ในระบบโครงข่าย

จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงส่วนประกอบหลักของ Evolved packet core ซึ่ง Mobility management entity (MME) จะเป็นส่วนควบคุมกระบวนการภายในเครือข่ายโทรศัพท์ โดยทำการส่งสัญญาณข้อความเพื่อบ่งบอกในเรื่องของความปลอดภัยและการจัดการข้อมูลในการส่งภายในระบบการสื่อสาร ทำการดึงข้อมูลของผู้ใช้งานจาก Home subscriber server (HSS) ซึ่งเป็นฐานข้อมูลหลักที่เก็บข้อมูลของการทำงานภายในโครงข่ายทั้งหมดของผู้ใช้งาน ส่งต่อไปยัง MME เพื่อให้ MME สั่งการ Serving Gateway (S-GW) และ Packet data network (PDN) gateway (P-GW) ติดต่อไปยังเครือข่ายภายนอก



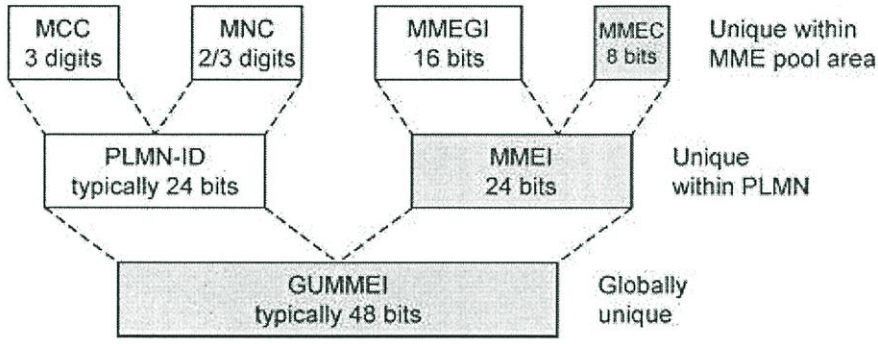
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบหลักภายใน Evolved packet core

2.1.3.1 ตัวเลข ที่อยู่ และการระบุตัวตน

ส่วนต่าง ๆ ของโครงข่ายเน็ตเวิร์คสามารถระบุตัวตนได้หลายรูปแบบ ตัวอย่างจากรูปที่ 2.10 จะทำการระบุตัวตัวตนด้วย Public land mobile network identity (PLMN-ID) ประกอบไปด้วยตัวเลขสามหลัก เรียกว่า Mobile country code (MCC) และตัวเลขสองหลักหรือสามหลัก เรียกว่า Mobile network code (MNC) เช่น Mobile country code ของประเทศอังกฤษจะใช้ 234 ในขณะที่ผู้ให้บริการในประเทศอังกฤษอย่าง Vodafone จะใช้ Mobile network code เป็น 15 เป็นต้น

MME จะมี 3 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 2.11 เลขแปดบิทของรหัส MME เรียกว่า MMEC ซึ่งจะระบุ MME ภายในพื้นที่สัญญาณไม่ดี รวมกับเลขสิบหกบิทที่เป็น MME group identity (MMEGI)

ซึ่งทั้งหมดรวมกันทั้งหมดเป็น 24 บิท เรียกว่า MME identifier (MMEI) เป็นเลขที่ระบุถึงMMEในกรณีเฉพาะ



รูปที่ 2.11 การระบุตัวตนจาก MME

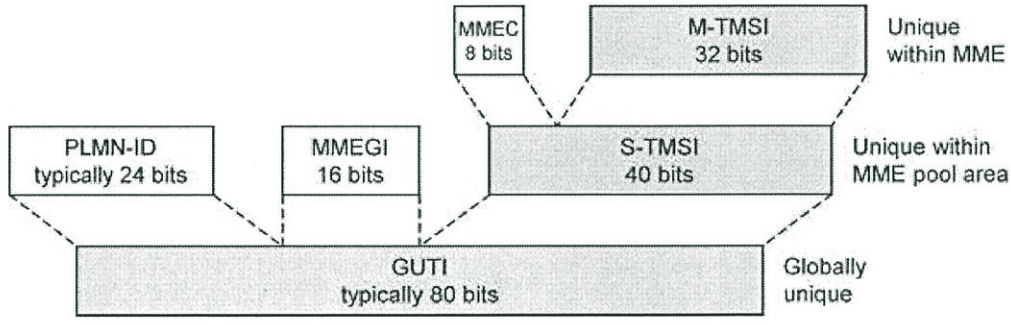
MMEI กับ PLMN-ID จะเรียกรวมกันว่า globally unique MME identifier (GUMMEI) เป็นการระบุตัวตนของ MME ทุกที่ทั่วโลก

การระบุพื้นที่จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ เลข 16 บิทที่เรียกว่า Tracking area code (TAC) ทำการระบุพื้นที่แบบเฉพาะเจาะจง และการระบุพื้นที่โดยรวมเรียกว่า Tracking area identity (TAI)

เซลล์แต่ละเซลล์มี 3 รูปแบบ คือ 1) E-UTRAN cell identity (ECI) เป็นตัวเลข 28 บิท ระบุเซลล์ภายในเน็ดเวิร์ดเฉพาะ, 2) E-UTRAN cell global identifier (ECGI) ใช้ระบุเซลล์ทุกที่ภายในโลก และ 3) ระบบรับส่งข้อมูลทางอากาศ (Air interface) จะมีเลข Physical cell identity (PCI) เป็นเลขที่ใช้ในการแยกแยะเซลล์ออกจากเซลล์ของสถานีฐานข้างเคียง โดยมีตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 503 ทั้งหมด 504 ตัว

การระบุตัวตนบนอุปกรณ์สื่อสารจะใช้เลข International mobile equipment identity (IMEI) ในการเฉพาะเจาะจงอุปกรณ์แต่ละเครื่อง และ International mobile subscriber identity (IMSI) ในการระบุตัวตนสำหรับ UICC และ USIM โดยเลข International mobile equipment identity (IMEI) เป็นรหัสที่ผู้ร้ายต้องการคัดลอกและใช้ในการสร้างอุปกรณ์เลียนแบบ ดังนั้นจึงมีการหลีกเลี่ยงการส่งข้อมูลนี้ในระบบรับส่งข้อมูลทางอากาศ (Air interface) และใช้การระบุ ตัวตนแบบชั่วคราวนี้ แสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 MME แทน ซึ่งเป็นการระบุตัวตนแบบชั่วคราวที่มีการอัพเดตและเปลี่ยนแปลงเป็นประจำ จากรูปที่ 2.12 มี M Temporary mobile subscriber identity (M-TMSI) เป็น

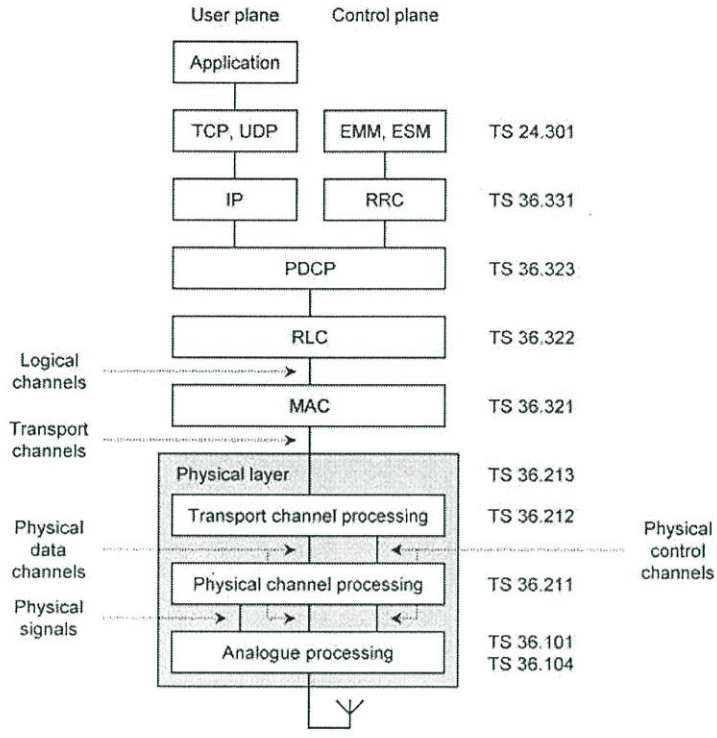
เลข 32 บิทที่ระบุตัวตนของอุปกรณ์สื่อสาร ถ้าเพิ่มเป็น 40 บิทจะเรียกว่า S Temporary mobile subscriber identity (S-TMSI) ซึ่งใช้ระบุตัวตนของอุปกรณ์ในบริเวณที่สัญญาณไม่ดี สุดท้ายทำการเพิ่ม MMEGI และ PLMN ทั้งหมดจะเป็นการระบุตัวตนชั่วคราวของอุปกรณ์สื่อสารที่เรียกว่า globally unique temporary identity (GUTI)



รูปที่ 2.12 การระบุตัวตนชั่วคราวของโทรศัพท์เคลื่อนที่

2.1.3.2 สถาปัตยกรรมโครงข่ายการส่งผ่านทางอากาศของระบบ LTE

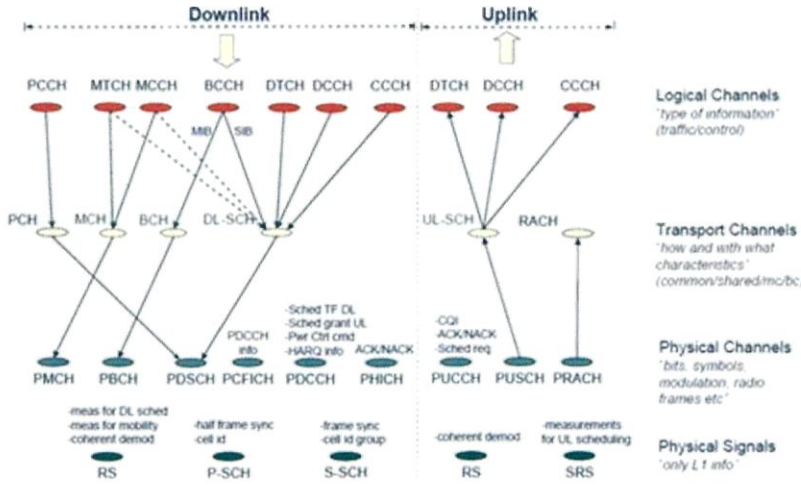
ในส่วนของผู้ใช้งานจะมีแอพพลิเคชั่นที่จะทำการสร้างแพ็คเกจข้อมูลที่ดำเนินการส่งในรูปแบบของ TCP UDP และ IP ในขณะเดียวกันในส่วนของการควบคุมจะมีการใช้โปรโตคอล Radio resource control (RRC) ที่ส่งสัญญาณกันระหว่างสถานีฐานและอุปกรณ์สื่อสาร โดยทั้งสองส่วนสุดท้ายจะต้องผ่านกระบวนการประมวลผลโดย Packet data convergence protocol (PDCP), Radio link control (RLC) protocol และ Medium access control (MAC) protocol ก่อนที่จะผ่านในชั้น physical layer ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมโครงข่ายโปรโตคอลในการส่งผ่านทางอากาศ

ในส่วนของ Physical layer จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Transport channel processor ที่จัดการในเรื่องของความผิดพลาดของข้อมูลในการส่ง ส่วน Physical channel processor ที่จัดการเทคนิค OFDMA, SC-FDMA และการใช้สายอากาศหลายสายในการส่งข้อมูล ส่วนสุดท้ายคือ Analogue processor ที่จะทำการแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณอะนาล็อก โดยจะทำการรวมเข้ากับสัญญาณความถี่ที่ใช้ในการส่ง

การไหลของข้อมูลระหว่างโปรโตคอลที่แตกต่างกันในส่วนนี้จะเรียกว่า ชาแนล (channel) โดยข้อมูลและข้อความสัญญาณระหว่างโปรโตคอล RLC และ MAC จะประมวลผลอยู่บน logical channels ส่วนระหว่างโปรโตคอล MAC และ physical layer จะประมวลผลอยู่บน Transport channels ส่วนระหว่างระดับของ Physical layer จะประมวลอยู่บน Physical data channels ซึ่งในแต่ละชาแนลจะแบ่งส่วนย่อยได้ดังในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของชาแนล LTE

1) ช่องตรรกะ (Logical Channel) กำหนดชนิดและรูปแบบ (what type) ของข้อมูลที่ถูกส่งผ่านทางอากาศ ข้อมูลและข้อความการส่งสัญญาณจะดำเนินการในช่องทางตรรกะระหว่างโปรโตคอล RLC และ MAC

ช่องตรรกะสามารถแบ่งออกเป็นช่องทาง Logical traffic channels ที่จะทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลในส่วนผู้ใช้งาน และช่องทาง Logical control channels ที่จะทำหน้าที่ในการส่งข้อความสัญญาณในส่วนคอนโทรล ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ช่องตรรกะที่ใช้ในระบบ LTE

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	logical control channels	logical traffic channels
Broadcast Channel	BCCH	สถานีฐานจะใช้ช่องนี้ในการส่งข้อมูลของเซลล์ที่ถูกปรับไปให้อุปกรณ์สื่อสารทั้งหมด โดยข้อมูลแบ่งเป็น กลุ่ม คือ 2Master information block (MIB) ที่เก็บข้อมูลพารามิเตอร์สำคัญ เช่น ขนาดแบนด์วิดท์ และ System information blocks (SIBs) ที่เก็บข้อมูลในส่วนที่ขาดใน MIB	X	

ตารางที่ 2.1 ช่องตรรกะที่ใช้ในระบบ LTE (ต่อ)

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	logical control channels	logical traffic channels
Paging Control Channel	PCCH	ในช่องดาวน์ลิ้งจะทำการส่งข้อมูลเพจจิง โดยช่องทางนี้จะถูกใช้เมื่อเน็ตเวิร์คไม่รู้ตำแหน่งของเซลล์ของอุปกรณ์สื่อสาร	X	
Common Control Channel	CCCH	เป็นช่องทางที่สร้างการเชื่อมต่อ RRC เปลี่ยนจาก RRC_IDLE เป็น RRC_CONNECTED โดยอุปกรณ์สื่อสารที่ไม่มีการเชื่อมต่อ RRC เมื่อต้องการเข้าเซลล์ใหม่หรือหลังการ Cell reselection	X	
Dedicated Control Channel	DCCH	เมื่อมีการเชื่อมต่อ RRC จะเป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการคอนโทรลไปมาระหว่างอุปกรณ์สื่อสารและเน็ตเวิร์ค	X	
Multicast Control Channel	MCCH	หลังจากมีการเชื่อมต่อ RRC อุปกรณ์สื่อสารจะใช้ช่องทางนี้ในการรับ multimedia broadcast/multicast service (MBMS) ซึ่งจะเป็นการส่งจากสถานีฐานหนึ่งที่ไปยังอุปกรณ์หลายตัว	X	
Dedicated Traffic Channel	DTCH	เป็นการส่งข้อมูลกันระหว่างสถานีฐานกับอุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งเป็นช่องทางที่อยู่ทั้งอัพลิ้งก์และดาวน์ลิ้งก์		X
Multicast Traffic Channel	MTCH	เป็นช่องทางการส่งข้อมูลจากเน็ตเวิร์ดสู่อุปกรณ์สื่อสารหลายตัวโดยใช้ Multimedia broadcast/multicast service (MBMS)		X

2) ช่องทางการขนส่ง (Transport Channel) กำหนดรูปแบบการส่ง (how is) บางสิ่งบางอย่างผ่านทางอากาศ เช่น กำหนดรูปแบบการเข้ารหัสและขนาดข้อมูลที่ถูกส่ง ข้อมูลจะถูกดำเนินการในช่องทางขนส่งระหว่างชั้น Mac และชั้นกายภาพ รายชื่อช่องทางการส่งแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายการสถานีขนส่งที่ใช้ในระบบ LTE

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	ดาวน์ลิ้งก์	อัพลิ้งก์
Broadcast Channel	BCH	เป็นช่องทางที่กำหนดขนาดอัตราการส่งบิทในการส่งแบบบรอดแคสให้มีขนาดต่ำในพื้นที่บริเวณเซลล์ทั้งหมดแต่ไม่ได้กำหนดรูปแบบของคลื่นที่ส่ง จะส่งเป็นข้อมูล Master information block	X	
Downlink Shared Channel	DL-SCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลดาวลิ้งก์ สามารถใช้ Hybrid ARQ ในการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลและเป็นจุดที่มีการปรับเปลี่ยนการมอดูเลชั่น การเข้ารหัส และกำลังในการส่งข้อมูล ซึ่งช่องทางนี้สามารถบรอดแคสภายในทั้งเซลล์ได้ และมีการประหยัดพลังงาน)DRX) ที่จะลดพลังงานที่อุปกรณ์สื่อสารในการตรวจจับสัญญาณ	X	
Paging Channel	PCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลเพจจิ้งแบบบรอดแคส ออกไปทั่วทั้งเซลล์	X	
Multicast channel	MCH	เป็นช่องทางในการส่งแบบมัลติแคสซึ่งส่งข้อมูลการ multimedia broadcast/multicast service (MBMS)	X	
Uplink Shared channel	UL-SCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลอัพลิ้ง สามารถใช้ Hybrid ARQ ในการตรวจจับความผิดพลาดของข้อมูลและเป็นจุดที่มีการปรับเปลี่ยนการมอดูเลชั่น การเข้ารหัส และกำลังในการส่งข้อมูล ซึ่งช่องทางนี้สามารถบรอดแคสภายในทั้งเซลล์ได้		X
Random Access Channel	RACH	เป็นช่องทางที่ใช้ในการจัดการเวลาในการเชื่อมต่อ)Asynchronous random access) และในการส่งข้อมูลต้องมีการจัดการลำดับในการส่งข้อมูลตามความสำคัญ		X

3) ช่องทางกายภาพ (Physical Channel) กำหนดต้นทางและปลายทาง (where is) ส่งผ่านทางอากาศ ข้อมูลจะถูกดำเนินการในช่องทางกายภาพระหว่างระดับชั้นที่แตกต่างกัน ของชั้นกายภาพจะแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ช่องข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data Channels) และช่องการควบคุมทางกายภาพ (Physical Control Channels)

ช่องข้อมูลทางกายภาพ (Physical Data Channels) เป็นส่วนที่เกี่ยวกับ Physical channel processor ซึ่งทำหน้าที่จัดการ OFDMA, SC-FDMA และการสร้างรูปแบบสัญลักษณ์ และ Sub-carrier โดยใช้วิธีการส่งแบบ OFDMA แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 รายการช่องข้อมูลทางกายภาพที่ใช้กับระบบ LTE

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	ดาวน์ลิ้งก์	อัพลิ้งก์
Physical Downlink Shared Channel	PDSCH	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก DL-SCH transport channel ซึ่งเป็นช่องทางที่สามารถปรับเปลี่ยนการมอดูเลชั่น การเข้ารหัสได้ตามค่า SINR ที่ได้รับ	X	
Physical Broadcast Channel	PBCH	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก BCH transport channel	X	
Physical Multicast Channel	PMCH	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก MCH transport channel	X	
Physical Uplink Shared Channel	Pusch	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก UL-SCH transport channel ซึ่งเป็นช่องทางที่สามารถปรับเปลี่ยนการมอดูเลชั่น การเข้ารหัสได้ตามค่า SINR ที่ได้รับ		X
Physical Random Access Channel	Prach	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก RACH transport channel		X

หน่วยประมวลผลช่องทางขนส่งจะมีประเภทของข้อมูลการควบคุม (Control Information) อยู่หลายประเภท เพื่อสนับสนุนการดำเนินงานในระดับต่ำของชั้นทางกายภาพ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ประเภทของข้อมูลการควบคุม

ชื่อฟิลด์	อักษรย่อ	หน้าที่	ดาวน์ลิ้งก์	อัพลิ้งก์
ข้อมูลการควบคุมดาวน์ลิ้งก์	DCI	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก DL-SCH transport channel ซึ่งเป็นช่องทางที่สามารถปรับเปลี่ยนการมอดูเลชั่น การเข้ารหัสได้ตามค่า SINR ที่ได้รับ	X	
ตัวบ่งชี้ที่รูปแบบการควบคุม	CFI	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก BCH transport channel	X	
ตัวบ่งชี้ ARQ ไฮบริด	HI	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก MCH transport channel	X	
ข้อมูลการควบคุมอัพลิ้งก์	UCI	เป็นช่องทางส่งข้อมูลที่รับข้อมูลมาจาก UL-SCH transport channel ซึ่งเป็นช่องทางที่สามารถปรับเปลี่ยนการมอดูเลชั่น การเข้ารหัสได้ตามค่า SINR ที่ได้รับ		X

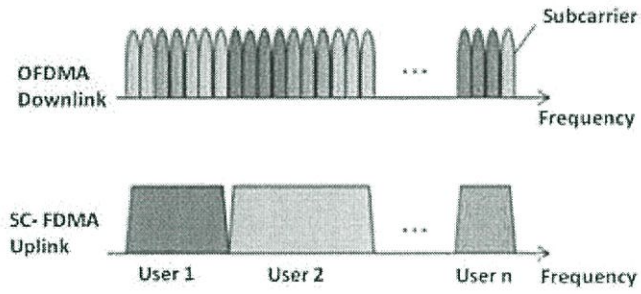
ช่องการควบคุมทางกายภาพ (Physical Control Channels) ช่องการควบคุมทางกายภาพที่สร้างข้อมูลการควบคุม (Control Information) ที่สนับสนุนการดำเนินงานในระดับต่ำของชั้นทางกายภาพและส่งข้อมูลนี้ไปยังหน่วยประมวลผลช่องทางกายภาพ เพื่อเกิดการปรับเปลี่ยนของการส่งข้อมูล แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ช่องการควบคุมทางกายภาพ

ชื่อช่อง	อักษรย่อ	หน้าที่	ดาวน์ลิ้งก์	อัพลิ้งก์
Physical Control Format Indicator Channel	PCFICH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลคอนโทรล และตัวกำหนดรูปแบบการคอนโทรล ข้อมูลคอนโทรลอยู่ในประเภท CFI	X	
Physical Hybrid ARQ Indicator Channel	PHICH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการ Hybrid ARQ ข้อมูลคอนโทรลอยู่ในประเภท HI	X	
Physical Downlink Control Channel	PDCCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการคอนโทรลแบบ DCI	X	
Relay physical downlink control channel	R-PDCCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการคอนโทรลแบบ DCI ซึ่งจะมีการใช้อยู่ใน Release 10	X	
Physical Uplink Control Channel	PUCCH	เป็นช่องทางที่ส่งข้อมูลการคอนโทรลแบบ UCI		X

2.1.3.3 ระบบรับส่งข้อมูลทางอากาศของ LTE (Air interfaces of LTE)

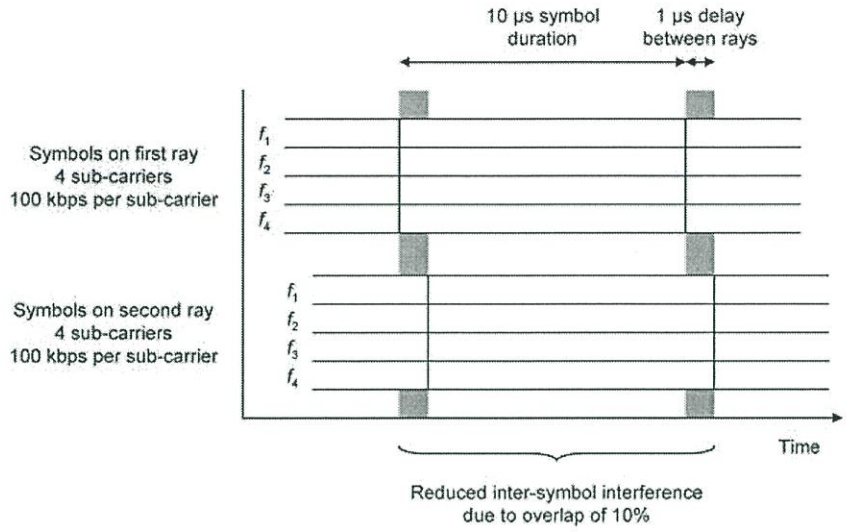
เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการส่ง-รับข้อมูลของสัญญาณวิทยุในระบบ LTE คือ Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) โดยสถานีฐานจะสื่อสารกับอุปกรณ์สื่อสารหลายเครื่องภายในเวลาเดียวกัน สามารถลดการเกิดการแทรกสอดกันของสัญญาณ ซึ่งจะใช้ในระบบ Downlink แต่ภายในระบบ Uplink จะใช้วิธีการ Frequency division multiple access (SC-FDMA) ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 OFDMA และ SC-FDMA ในระบบ LTE

2.1.3.4 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

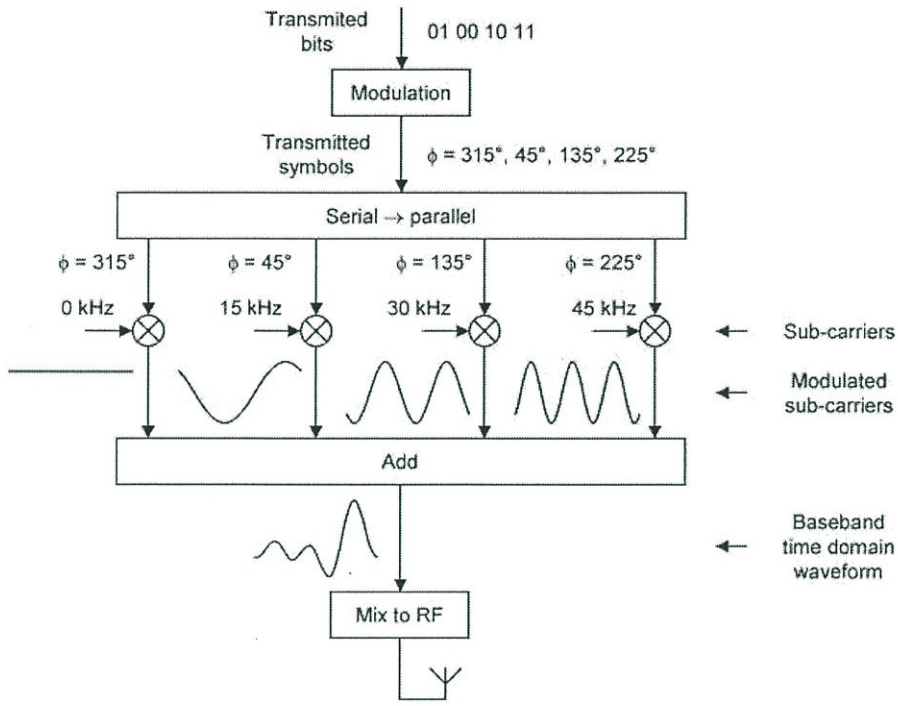
การแบ่งความถี่เป็นช่องเล็ก ๆ เหมือนการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (Frequency division multiplexing: FDM) แล้วทำการแปลงข้อมูลของผู้ใช้ซึ่งเป็นแบบอนุกรมไปเป็นแบบขนาน แล้วส่งแต่ละบิทไปมอดูเลตกับแต่ละช่องความถี่ (sub carrier) ซึ่งจำนวนช่องความถี่จะเท่ากับจำนวนบิทขนานที่แปลงจากแบบอนุกรม ซึ่งจะช่วยในการขยายหรือลดขนาดความเร็วของการส่งข้อมูลได้ง่าย ถ้าต้องการความเร็วสูงก็ใช้ช่องความถี่จำนวนมาก จะมากเท่าใดขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ของคลื่นพาห์ที่ใช้ และช่วยในการลดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ (Inter symbol interference: ISI) เนื่องจากถ้าอัตราเร็วในการส่งข้อมูลเท่าเดิม อัตราเร็วในการส่งของแต่ละช่องความถี่จะน้อยกว่าเดิม ทำให้ระยะเวลาในการส่งข้อมูลของแต่ละสัญลักษณ์นานขึ้น หมายความว่า จำนวนการเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์น้อยลง และอัตราความผิดพลาดก็น้อยลง ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 จำนวนการเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ลดลงเมื่อส่งแบบหลาย Sub-carrier

ในแต่ละช่องความถี่จะมีการมอดูเลตแบบ QPSK, 16 QAM หรือ 64 QAM ถ้ามอดูเลตแบบ QPSK แต่ละช่องความถี่ก็จะส่งด้วยสัญลักษณ์ละ 2 บิท ถ้ามอดูเลตแบบ 16 QAM แต่ละช่องความถี่ก็จะส่งด้วยสัญลักษณ์ละ 4 บิท ถ้ามอดูเลตแบบ 64 QAM แต่ละช่องความถี่ก็จะส่งด้วยสัญลักษณ์ละ 6 บิท

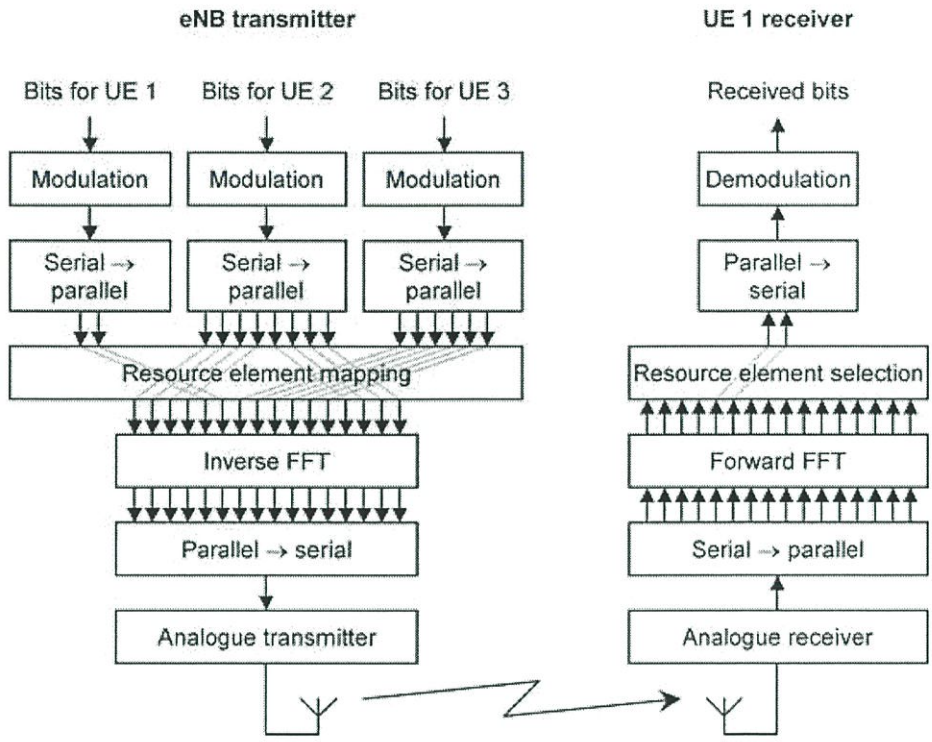
1) เครื่องส่งสัญญาณ Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงแผนผังการส่งข้อมูลในรูปแบบของ OFDM โดยมีหลักการดังนี้ ในการส่งข้อมูลจะทำการส่งเป็นบิตอย่างต่อเนื่องแล้วนำไปแปลงเป็นสัญลักษณ์ (symbols) โดยใช้การมอดูเลชั่น ดังตัวอย่าง การมอดูเลชั่นแบบ QPSK ซึ่งต่อมาทำการแปลงจากอนุกรมเป็นแบบขนาน จากนั้นรวมสัญลักษณ์กับช่องความถี่โดยทำการเลื่อนขนาดแอมพลิจูดและเฟส จากรูปที่ 2.17 กำหนดขนาดของช่องความถี่เป็น 15 kHz ดังนั้นจากรูปที่ 2.16 มีความถี่กลางเป็น 0, 15, 30 และ 45 kHz



รูปที่ 2.17 Processing steps in a simplified analogue OFDM transmitter

จากรูปที่ 2.17 เมื่อได้คลื่นไซน์สี่ตัวที่ความถี่ 0, 15, 30 และ 45 กิโลเฮิร์ตซ์ ข้อมูลมีขนาดแปดบิต ต่อมาทำการรวมคลื่นไซน์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน สามารถสร้างรูปคลื่นลูกเดียวที่แกนเวลา และทำการรวมกับคลื่นวิทยุเพื่อทำการส่งออก

จากตัวอย่างจะแบ่งเป็นสองส่วน คือ การแปลงจากอนุกรมเป็นขนาน ในขั้นตอนนี้ ข้อมูลจะอยู่ในรูปของขนาดแอมพลิจูดและเฟสของ sub-carrier เป็นฟังชั่นก์ในรูปของความถี่ หลังจากกระบวนการนี้จนถึงสุดท้าย ข้อมูลจะอยู่ในรูปขององค์ประกอบ In-phase และ Quadrature ของสัญญาณที่ถูกส่งเป็นฟังชั่นก์ในรูปของเวลา โดยกระบวนการแปลงข้อมูลจากฟังก์ชั่นก์ของความถี่เป็นฟังชั่นก์ของเวลา เรียกว่า Inverse discrete Fourier transform (DFT) ดังนั้นจึงเปลี่ยนไปใช้ Inverse Fourier transform โดยนำ symbol ที่เป็นฟังชั่นก์ของความถี่เป็นขาเข้า (Input) และสัญญาณที่เป็นฟังก์ชั่นของเวลาเป็นขาออก (Output)



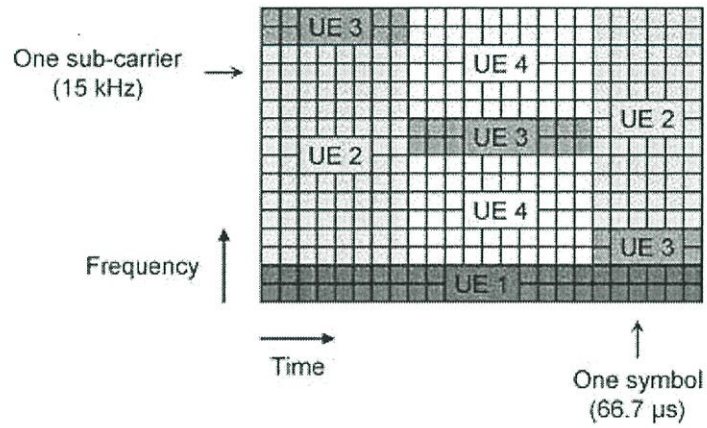
รูปที่ 2.18 บล็อคไดอะแกรมฝั่งส่งและฝั่งรับของ OFDM

จากรูปที่ 2.18 มีการเปลี่ยนจากการทำ Discrete Fourier transform มาใช้วิธี Fast Fourier transform เป็นตัวแปลงเนื่องจากเป็นกระบวนการที่รวดเร็วและประสิทธิภาพดีกว่า

บล็อกของ OFDM ทั้งฝั่งส่งและฝั่งรับ จะสมมติว่าระบบ downlink ฝั่งส่งจะเป็นสถานีฐาน และฝั่งรับเป็นอุปกรณ์สื่อสาร จากรูปที่ 2.18 สถานีฐานจะส่งข้อมูลบิตไปให้อุปกรณ์สื่อสารสามเครื่อง โดยจะทำการมอดูเลตชั่นแต่ละข้อมูล ต่อมาทำการแปลงข้อมูลจากแบบอนุกรมเป็นแบบขนาน แบ่งข้อมูลเป็น sub-stream ซึ่งจำนวน sub-stream ต่ออุปกรณ์สื่อสารหนึ่งเครื่องขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่ส่ง เช่น ถ้าข้อมูลเป็นเสียงย่อมมีจำนวน sub-stream น้อยกว่า ข้อมูลที่เป็นวิดีโอ resource element mapper จะทำการแบ่ง sub-stream และเลือก sub-carrier เพื่อใช้ในการส่ง sub-stream แต่ละตัว อุปกรณ์สื่อสารหนึ่งเครื่องจะใช้ sub-carrier เดียวกัน ดังอุปกรณ์สื่อสารที่ 1 และ 3 ดังรูปที่ 2.18 หรือแบ่งใช้ sub-carrier คนละตัวดังอุปกรณ์สื่อสารที่ 2 ข้อมูลที่อยู่ใน sub-carrier จะอยู่ในรูปฟังชั่นก์ของความถี่ ต่อมาทำการผ่านบล็อก FFT เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปฟังชั่นก์ของเวลา ทำให้สามารถเข้ารหัสและรวมกับความถี่ของคลื่นวิทยุที่จะทำการส่งได้

2.1.3.5 Multiple Access

จากรูปที่ 2.18 เป็นการส่งข้อมูลให้อุปกรณ์สื่อสารสามเครื่องพร้อมกันในเวลาเดียวกัน โดยใช้หลักการ OFDM เราสามารถใช้หลักการนี้การพัฒนาเป็นการส่งข้อมูลให้อุปกรณ์สื่อสารหลายเครื่องพร้อมกันในเวลาเดียวกัน จะเรียกวิธีการนี้ว่า Orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) ซึ่งสถานีฐานจะส่งข้อมูลให้อุปกรณ์หลายเครื่องโดยใช้เวลาและความถี่ในการส่งต่างกันและแต่ละตัวใช้แอพพลิเคชั่นต่างกัน ดังรูปที่ 2.19 ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์สื่อสารที่ 1 ได้รับ Voice over IP stream ดังนั้นอัตราการส่งข้อมูลรวมถึงจำนวน sub-carrier จะมีค่าต่ำแต่เป็นค่าคงที่ แต่ในอุปกรณ์ที่ 2 ได้รับข้อมูลที่เป็นแบบ Non-real time จะมีอัตราการส่งข้อมูลสูงกว่า และมีจำนวนข้อมูลมาก ทำให้มี sub-carrier เป็นจำนวนมาก



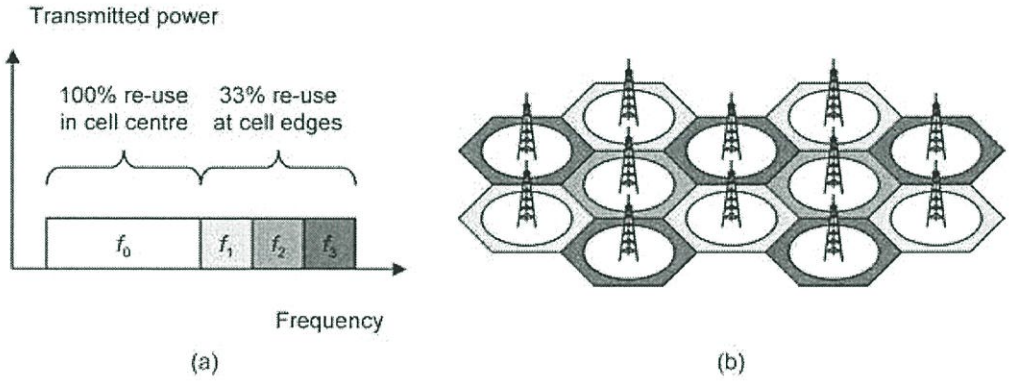
รูปที่ 2.19 OFDMA ส่งข้อมูลให้อุปกรณ์หลายเครื่องโดยใช้เวลาและความถี่ในการส่งต่างกันและแต่ละตัวใช้แอพพลิเคชั่นต่างกัน

Fractional Frequency Re-Use เนื่องจากสถานีฐานหนึ่งสถานีส่งข้อมูลให้อุปกรณ์สื่อสารหลายตัว หากมีสถานีฐานหลายสถานีและอุปกรณ์มีหลายตัว เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารรับสัญญาณจากสถานีฐานหนึ่งก็มีผลกระทบจากการรบกวนของสัญญาณของสถานีอื่นเช่นกัน จึงมีวิธีการในการลดการรบกวนของสัญญาณจากสถานีอื่น เพื่อให้อุปกรณ์สื่อสารสามารถรับข้อมูลได้อย่างครบถ้วน ดังต่อไปนี้

1) ระบบ GSM เซลล์ที่อยู่ใกล้กันเมื่อทำการส่งข้อมูลจะใช้ความถี่คลื่นพาห์ต่างกัน โดยทั่วไปจะแบ่งแบนวิดท์เป็นหนึ่งในสี่ส่วนของแบนวิดท์ทั้งหมดคิดเป็น 25% re-use factor ซึ่งจะช่วยลดการรบกวนของสัญญาณแต่เป็นการใช้แบนวิดท์อย่างไม่มีประสิทธิภาพ

2) ระบบ UMTS เซลล์แต่ละเซลล์จะใช้ความถี่คลื่นพาห์เดียวกัน คิดเป็น 100% re-use factor โดยวิธีการนี้ทำให้แบนวิดท์ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เป็นการเพิ่มการรบกวนกันของสัญญาณในระบบ

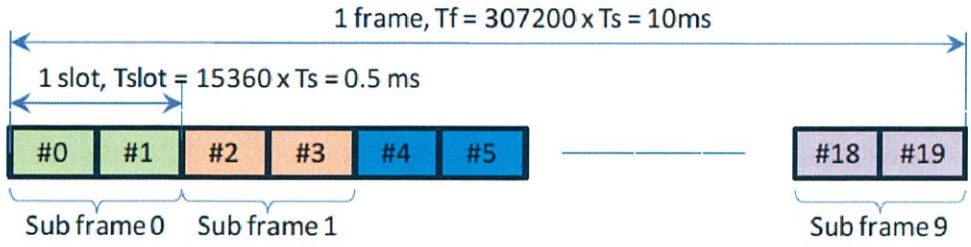
3) ระบบ LTE ทุกสถานีฐานสามารถส่งข้อมูลได้ในความถี่เดียวกัน และอนุญาตให้ sub-carrier สามารถสับเปลี่ยนแบนวิดท์ที่ใช้ได้ โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Fractional frequency re-use ดังรูปที่ 2.20 เป็นตัวอย่างให้เห็นว่า ทุกสถานีฐานมีการควบคุมหนึ่งเซลล์และทุกเซลล์มีการใช้ความถี่แบนวิดท์เดียวร่วมกัน เมื่ออยู่ใกล้สถานีฐานจะใช้ sub-carrier เดียวกันดังเช่น f_0 เมื่ออยู่ใกล้สถานีฐานสัญญาณที่ได้รับจะมีความแรงมากกว่าสัญญาณรบกวน แต่เมื่ออยู่ไกลจากสถานีฐาน สัญญาณมีความแรงลดลงให้สัญญาณที่มารบกวนมีความแรงกว่ามาแทน กรณีนี้จะมีการส่งสัญญาณด้วย sub-carrier คือความถี่ f_1, f_2, f_3 จะมีขนาดลดลง



รูปที่ 2.20 ตัวอย่าง fractional frequency re-use (a) ใช้ในแกนความถี่ (b) ผลลัพธ์ของโครงข่ายที่ได้

2.1.3.6 Frame Structure

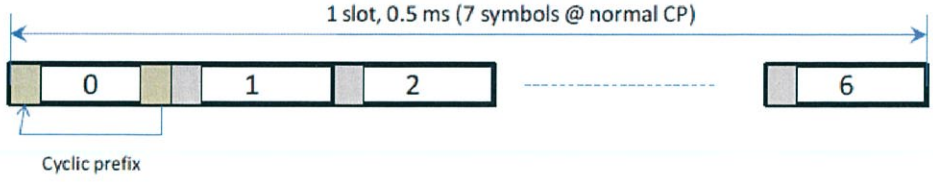
ในการส่งข้อมูลจะต้องมีการกำหนดกรอบหรือขนาดของเฟรม เฟรมย่อย และสล็อตในเฟรม ประกอบกันเป็นโครงสร้างของเฟรม โดยที่หนึ่งเฟรมจะมีขนาด 10 มิลลิวินาที แบ่งเป็น 10 ซับเฟรม (1 มิลลิวินาที) และภายในซับเฟรม จะแบ่งเป็น 2 สล็อต แต่ละสล็อตจะมีขนาด 0.5 มิลลิวินาที



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของเฟรมของแบบ FDD

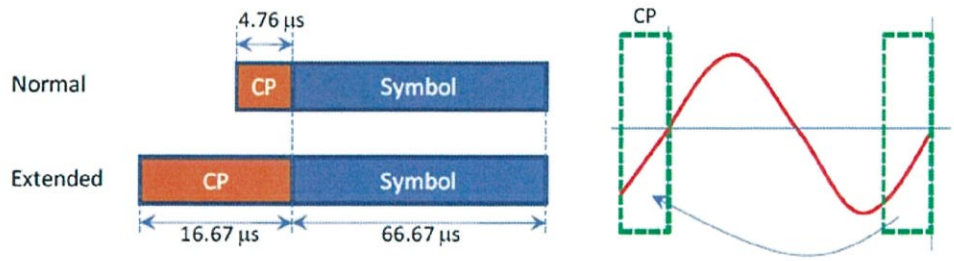
2.1.3.7 Slot Structure

แต่ละสล็อตจะแบ่งเป็น 6 หรือ 7 ช่องคือ 1 symbols หรือ 1 OFDM symbol หนึ่งจังหวะของการมอดูเลชั่นหรือการเปลี่ยนจังหวะของการมอดูเลชั่นจะเกิดขึ้น 7 ครั้งใน 1 time slot เมื่อใช้ Normal Cyclic Prefix (CP) หรือ 6 ครั้งเมื่อใช้ Extended CP (สามารถเลือกใช้ได้เป็นรายสถานีฐาน) โดยที่ CP คือเทคนิคการแก้ปัญหา Inter-symbol interference อันเกิดจากสัญญาณ multipath ด้วยการตัดเอาส่วนหนึ่งของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วไปแปะที่ด้านหน้าของสัญญาณที่จะส่ง มีให้เลือกอยู่ 2 แบบคือ Normal CP และ Extended CP ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณ multipath จะมีค่าหน่วงเวลาต่างกัน การเลือกใช้แบบ extended CP ก็จะทำให้จำนวน symbol ต่อสล็อต ลดลงเหลือ 6 symbols (0 – 5)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของสล็อต

จากรูปที่ 2.22 เป็นโครงสร้างของสล็อตที่สามารถส่ง symbol ของการมอดูเลชั่นได้ 7 ครั้งหรือ 7 symbols สำหรับการใช้ normal Cyclic Prefix



รูปที่ 2.22 Cyclic Prefix

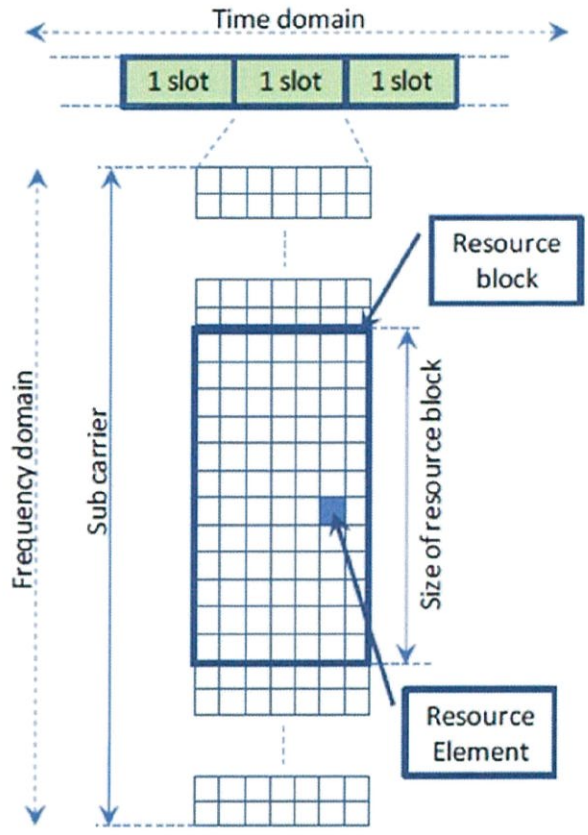
การใส่ CP จะทำการคัดลอกสัญญาณส่วนทางด้านขวามือมาวางด้านซ้ายดังรูป ทำให้ต้องเสียพื้นที่ที่จะบรรจุลงในสล็อตไปส่วนหนึ่ง มาตราฐาน LTE มีให้เลือกใช้อยู่ 2 ขนาด สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม แบบ Normal จะเป็นขนาดที่เป็นค่าเฉลี่ยของค่าหน่วงเวลาของสัญญาณ multipath ที่เกิดจากการสะท้อนกับสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในเขตเมือง และ UE ก็ไม่ได้อยู่ไกลจากสถานีฐานนัก ส่วนแบบ Extended ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะเหมาะกับพื้นที่เขตนอกเมืองเพราะ UE จะอยู่ห่างจากสถานีฐานมาก ค่าหน่วงเวลาก็จะมากขึ้นไปด้วย

จากรูปที่ 2.23 แนวตั้งจะอยู่ในแกนความถี่ที่แต่ละบล็อคคือสแกรมบลิ้งโค้ด จำนวนของสแกรมบลิ้งโค้ดจะมีมากเท่าไหร่ขึ้นอยู่กับขนาดของแบนด์วิดท์ที่ใช้ มีให้เลือกตั้งแต่ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์, 3 เมกะเฮิร์ตซ์, 5 เมกะเฮิร์ตซ์, 10 เมกะเฮิร์ตซ์, 15 เมกะเฮิร์ตซ์ และ 20 เมกะเฮิร์ตซ์ ถ้าใช้ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์ แบนด์วิดท์จะมีสแกรมบลิ้งโค้ดได้ทั้งหมด 72 subcarriers ถ้าใช้ 3 เมกะเฮิร์ตซ์ แบนด์วิดท์ก็จะมี 180 สแกรมบลิ้งโค้ด เป็นต้น

2.1.3.8 Resource Element and Resource Block

1) Resource Element (RE) คือ 1 symbol ของ 1 subcarrier ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดของ physical layer

2) Resource Block (RB) คือ Resource Element มารวมกัน เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดในการทำตารางเวลาส่ง (scheduling) คือจัดคิวการส่งให้แต่ละ user ขั้นต่ำคือครั้งละ 1 RB



รูปที่ 2.24 Resource grid แบบ normal cyclic prefix

จากรูปที่ 2.24 ทางด้านแนวนอนจะเป็นแกนเวลา ตัวอย่างของหนึ่งสล็อตที่แบ่งช่องเป็นช่วงเวลาของสัญลักษณ์ (symbol period) หรือช่วงเวลาการมอดูเลต (modulation period) คือ 1 ช่องเท่ากับ 1 symbol โดยจะมีอยู่ 2 แบบคือ แบบ 6 symbols ต่อสล็อตกับแบบ 7 symbols ต่อสล็อตขึ้นอยู่กับ cyclic prefix ที่ใช้

ในกรอบของ Resource block (RB) คือการนำ 12 subcarriers (180 กิโลเฮิร์ตซ์) และ 7 (หรือ 6) symbol มาประกอบกันเป็น 1 Resource block จะสามารถคำนวณความเร็วแบบ instance data rate ได้ดังนี้

สมมติให้ใช้การมอดูเลต QPSK ตลอดทั้ง 7 symbols และ 1 Resource block

QPSK = 2 บิตต่อสัญลักษณ์

= 2 x 12 x 7 = 168 บิตต่อสล็อต

= 336 บิตต่อซับเฟรม

= 3,360 บิตต่อเฟรม (หรือ 3,360 บิตต่อสิบมิลลิวินาที)

= 336,000 บิตต่อมิลลิวินาที

นั่นคือแบนด์วิดท์ 180 กิโลเฮิร์ตซ์และมอดูเลตด้วย QPSK จะได้อัตราการส่งข้อมูล 336 กิโลบิตต่อวินาที (คิดที่ 1 กิโลบิตต่อวินาที = 1000 บิตต่อวินาที) ซึ่งเป็นอัตราการส่งข้อมูลขั้นต่ำสุดบน physical channel ถ้าจะคำนวณเป็นอัตราการส่งของ user ต้องหักค่า Channel coding, CRC หรือ header ที่ถูกใส่เข้ามาระหว่างทางก่อนส่งออกอากาศด้วย

LTE ยังใช้เทคนิคการเข้ารหัสเหมือนกับที่ใช้ใน UMTS คือ Convolution และ Turbo code ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่จะเอามาเข้ารหัส ถ้าใช้แบบ Convolution ก็จะมีค่าหน่วงเวลาต่ำกว่า แต่แบบ Turbo code จะสามารถป้องกันข้อผิดพลาดได้ดีกว่า

2.1.3.9 OFDMA parameters in 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 2.25 ค่าพารามิเตอร์ทาง physical layer ของ OFDMA สำหรับ LTE

1) Transmission bandwidth เป็นมาตราฐานของ LTE มีให้เลือกใช้อยู่ 6 ขนาดด้วยกันตั้งแต่ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์ถึง 20 เมกะเฮิร์ตซ์

2) Sampling frequency LTE ได้กำหนดมาตรฐานของคล็อค (Clock) หรือความถี่แซมปลิ้งไว้ที่ 1.92 เมกะเฮิร์ตซ์ ให้กับกรณีใช้แบนด์วิดท์ 1.4 เมกะเฮิร์ตซ์ แล้วเพิ่มขึ้น 2 เท่าไป

เรื่อย 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

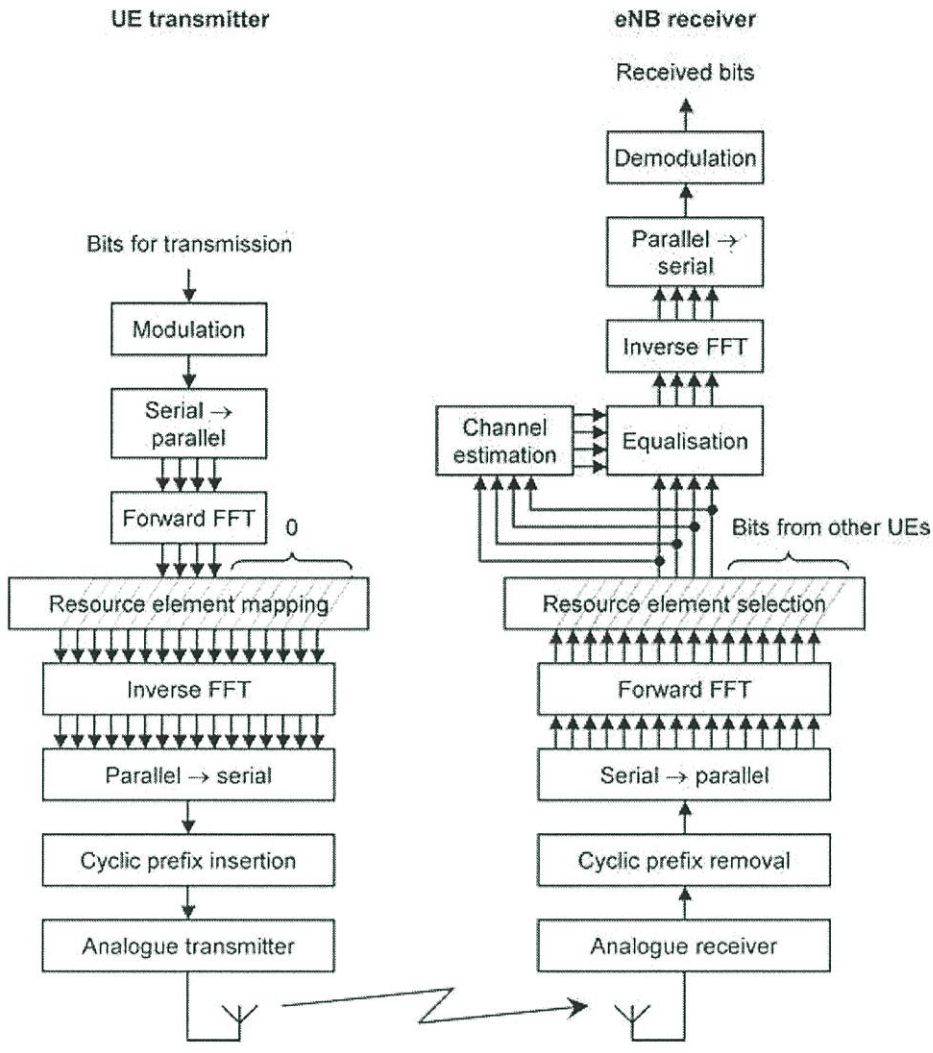
8) Symbol per slot คือ จำนวนครั้งของการมอดูเลชั่นที่จะเกิดขึ้นได้ใน Slot duration ถ้าใช้ Normal cyclic prefix ก็จะมี 7 symbols ถ้าใช้ Extended cyclic prefix จะมีแค่ 6 symbols ซึ่งจะทำให้อัตราการส่งต่ำลง

2.1.3.10 Single Carrier Frequency Division Multiple Access

OFDMA มีประสิทธิภาพดีเมื่อใช้ LTE downlink แต่มีข้อเสียคือ ตรงที่ขอบ (envelope) ของสัญญาณส่งนั้น มีการกระเพื่อมมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของกำลังที่ส่งไป หรือเรียกว่า OFDMA ให้ PAPR (Peak to Average Power Ratio) ในระดับที่สูง ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการออกแบบตัวขยายกำลัง

ส่ง เพราะ PAPR สูง หมายความว่าต้องหาตัวขยายกำลังส่งที่เป็นเชิงเส้นมาก ๆ เพื่อป้องกันการเกิดความเพี้ยนที่เรียกว่า Intermodulation Distortion ความสูญเสียจาก กำลังการส่งสัญญาณเทียบกับความสูญเสียจากกำลังไฟตรงนั้นจึงมีค่าสูง ซึ่งก็หมายถึงประสิทธิภาพที่ต่ำของตัวขยายกำลังส่งใน Downlink แก้ปัญหาได้ด้วยการส่งด้วยกำลังที่สูงจนไม่มีความผกผัน ที่ทำได้เนื่องจากสถานีฐานมีอุปกรณ์ส่งที่ใหญ่และมีราคาแพง แต่ในกรณีของ Uplink อุปกรณ์สื่อสารมีขนาดเล็กและไม่ได้มีราคาแพงมาก ดังนั้นการใช้ OFDMA ไม่ใช่ทางเลือกที่ดี จึงเลือกใช้ Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) แทน

SC-FDMA มีหลักการที่แตกต่างจาก OFDMA คือ OFDMA จะส่งข้อมูลที่อยู่ในหลายคลื่นพาห์ไปพร้อม ๆ กันตามแบบขนาน (Parallel) แต่ SC-FDMA จะส่งข้อมูลในหลายคลื่นพาห์นี้เป็นอนุกรม (Serial) แทน ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 บล็อคไดอะแกรมฝั่งส่งและฝั่งรับของ SC-FDMA

2.1.4 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-node B)

สถานีฐานเป็นตัวกระจายสัญญาณโทรศัพท์ให้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าใช้งานและติดต่อกับระบบเน็ตเวิร์ค มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.27 และมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

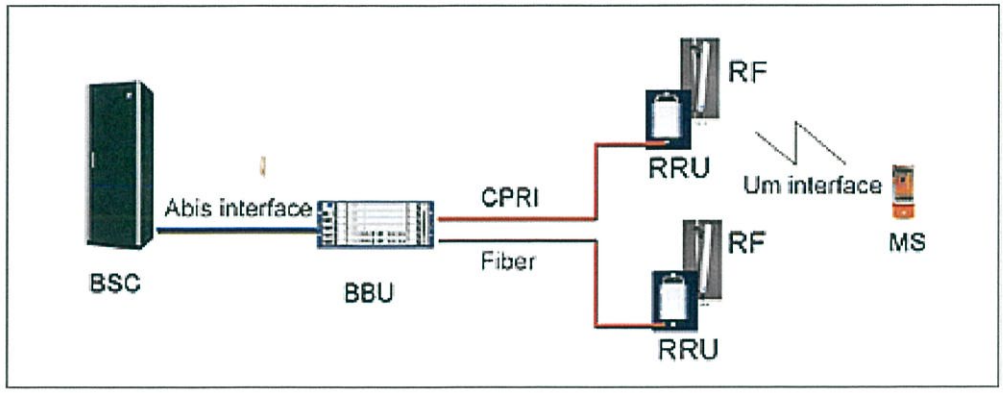


Fig. 1 BBU+RRU structure

รูปที่ 2.27 โครงสร้างของสถานีฐาน (E-node B)

2.1.4.1 สายอากาศ (Antenna)

สายอากาศเป็นส่วนประกอบสำคัญในการรับ-ส่งคลื่นวิทยุหรือสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายใด ๆ โดยในฝั่งส่งสัญญาณ สายอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายไปในอากาศ และในฝั่งรับสัญญาณ สายอากาศจะทำหน้าที่ดักจับคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายอยู่ในอากาศแปลงกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า ในกรณีที่เป็นเครื่องรับวิทยุ สัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงให้อยู่ในรูปแบบของสัญญาณเสียง เพื่อประโยชน์ในการรับฟัง เช่น ข่าวสารข้อมูลและความบันเทิง ระบบสื่อสารไร้สายมีหลายรูปแบบและมีลักษณะการใช้งานและค่าความถี่ที่แตกต่างกัน สายอากาศจึงต้องถูกออกแบบให้มีขนาดและรูปแบบตามความถี่และความเหมาะสมกับรูปแบบการใช้งานนั้น ๆ

1) หลักการทำงานของสายอากาศ

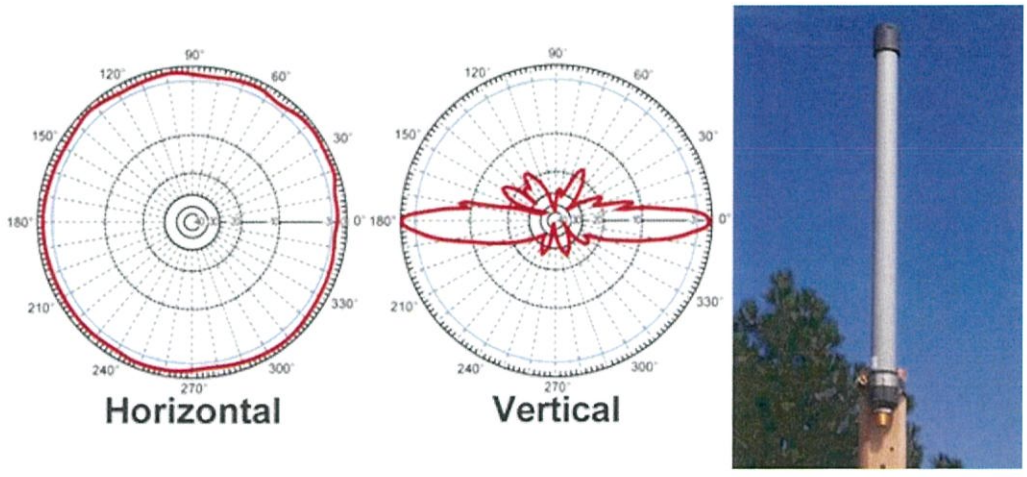
สายอากาศมีหน้าที่หลักในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสู่อากาศ การแพร่กระจายคลื่นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนสัญญาณซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามายังสายอากาศ ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวกและลบบนพื้นผิวของสายอากาศ และเนื่องจากสัญญาณที่ป้อนให้สายอากาศเป็นคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับ ประจุไฟฟ้าจึงถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ บนสายอากาศกลับไป-กลับมาตามความถี่ของสัญญาณจากเครื่องส่ง จนเกิดการแพร่กระจายคลื่นออกมา

ส่วนการทำงานของสายอากาศในฝั่งเครื่องรับวิทยุ จะมีหลักการเช่นเดียวกับฝั่งเครื่องส่งแต่กลับด้านกัน กล่าวคือ สายอากาศฝั่งรับจะคอยดักจับหรือเหนี่ยวนำเอาคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่

กระจายในอากาศ มาเป็นประจุไฟฟ้าบนชิ้นตัวนำของสายอากาศ ก่อนที่จะป้อนสัญญาณไฟฟ้าดังกล่าวให้กับภาครับสัญญาณวิทยุต่อไป

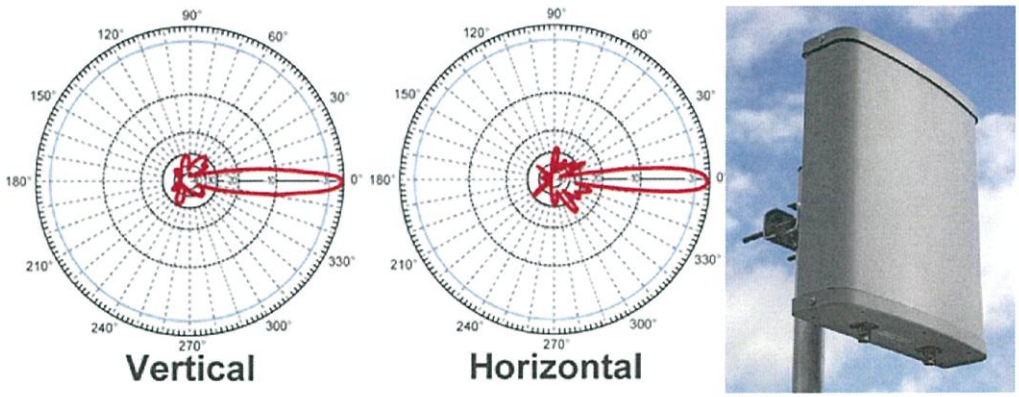
2) ประเภทของสายอากาศ สายอากาศสามารถแบ่งตามรูปแบบการกระจายของคลื่นได้เป็น 2 รูปแบบ

สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง หรือ 360 องศา เหมาะสำหรับใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในตำแหน่งและทิศทางที่ไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 สายอากาศแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna)

สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นที่ชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด สามารถเพิ่มระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสายอากาศแบบรอบตัว แต่ถ้าสายอากาศไม่อยู่ในทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นจะไม่สามารถรับสัญญาณได้ สายอากาศแบบทิศทางที่นิยมใช้ ได้แก่ สายอากาศแบบเซ็กเตอร์ (Sector Antenna) สายอากาศแบบยากิ (Yagi Antenna) สายอากาศแบบกริด (Grid Antenna) สายอากาศแบบจาน (Solid Dish Antenna) ดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna)

3) อัตราขยายของสายอากาศ

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

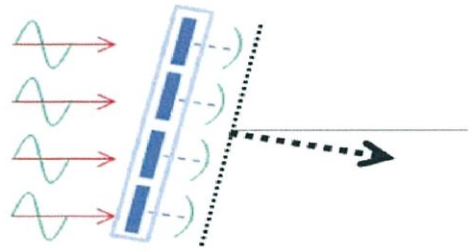
dBi เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบไอโซโทรปิก (Isotropic)

dBd เป็นหน่วยของอัตราขยายเทียบกับสายอากาศแบบไดโพล (Dipole)

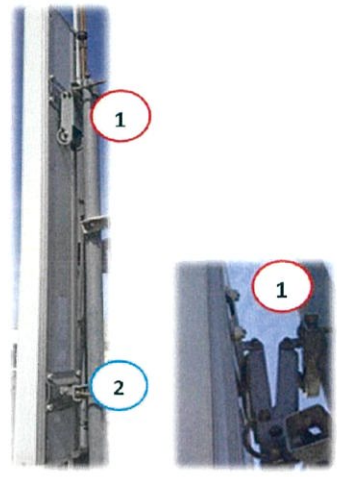
4) การปรับมุมของเสาสัญญาณ

ในกรณีสายอากาศแบบทิศทาง การปรับมุมของเสาสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt: M-Tilt) คือ การปรับมุมสายอากาศโดยทำการปรับมุมด้านหน้าส่งสายอากาศโดยตรง ไม่มีการเปลี่ยนเฟสของสัญญาณอินพุตและรูปแบบการแพร่ของคลื่น ดังรูปที่ 2.30 และรูปที่ 2.31

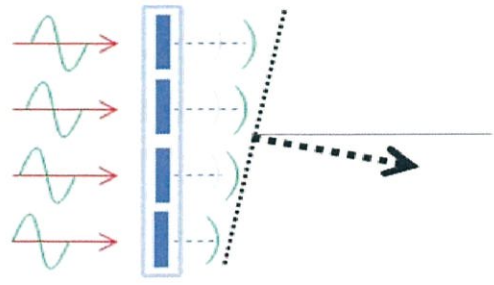


รูปที่ 2.30 การปรับเชิงกล (Mechanical Tilt : M-Tilt)

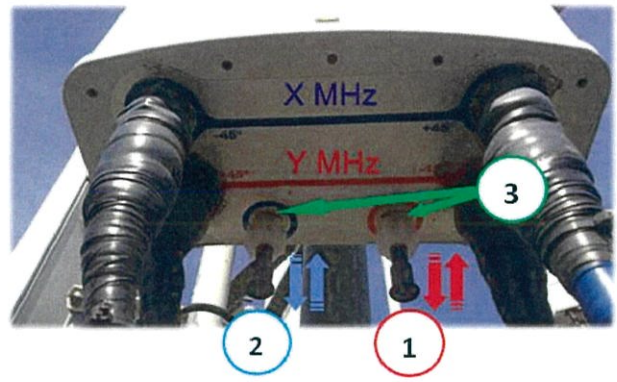


รูปที่ 2.31 การปรับเชิงกล 1) ตัวปรับเชิงกล 2) ตัวล็อกเมื่อปรับเสร็จสิ้น

การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt: E-Tilt) คือ การปรับมุมสายอากาศโดยการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณอินพุตและรูปแบบการแพร่ของคลื่น โดยไม่มีการปรับมุมด้านหน้าส่งสายอากาศโดยตรง ดังรูปที่ 2.32 และรูปที่ 2.33 สามารถทำได้โดยการรีโมทระยะไกล RET (Remote Electrical Tilt) ไปที่ตัวสายอากาศซึ่งจะมีเครื่องกลขนาดเล็กทำการเคลื่อนที่ตัวน๊อตที่เชื่อมต่อกับตัวกำเนิดคลื่น เพื่อทำการปรับมุมสายอากาศ



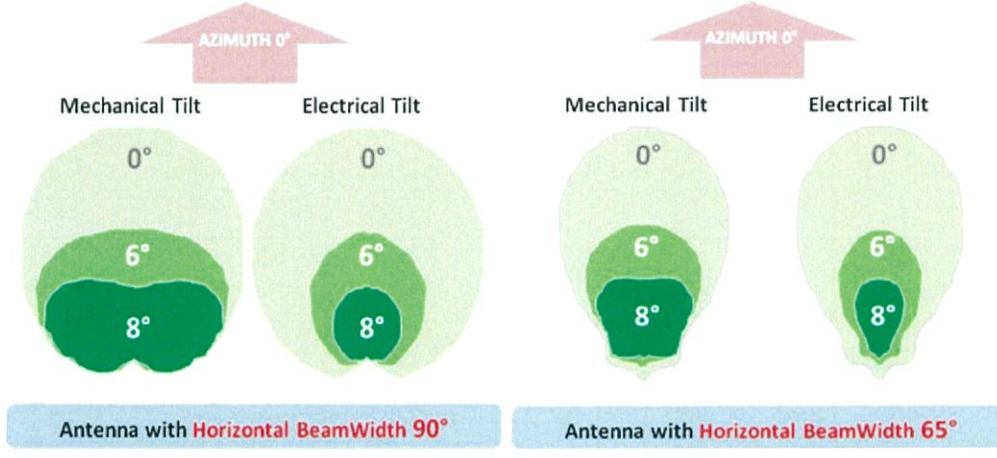
รูปที่ 2.32 การปรับเชิงไฟฟ้า (Electrical Tilt : E-Tilt)



รูปที่ 2.33 การปรับเชิงไฟฟ้า (Dual antenna example in picture)

5) รูปร่างการแพร่ของคลื่นเมื่อทำการปรับมุม

ในทางอุดมคติ เมื่อทำการปรับมุมของสายอากาศโดยการปรับเชิงกล เมื่อปรับมุมก้มลง รูปร่างของพื้นที่ของสัญญาณจะมีลักษณะที่หดเล็กลงบริเวณตรงกลางแต่เพิ่มขึ้นในบริเวณพื้นที่รอบข้าง ส่วนเมื่อทำการปรับมุมของสายอากาศ โดยการปรับเชิงไฟฟ้า รูปร่างของพื้นที่ของสัญญาณจะลักษณะที่ตามทิศทางการปรับมุมของสายอากาศ ถ้ามุมก้มปรับขึ้นบริเวณพื้นที่ก็กว้างขึ้น แต่เมื่อปรับมุมก้มลง บริเวณพื้นที่หดเล็กลง ดังรูปที่ 2.34

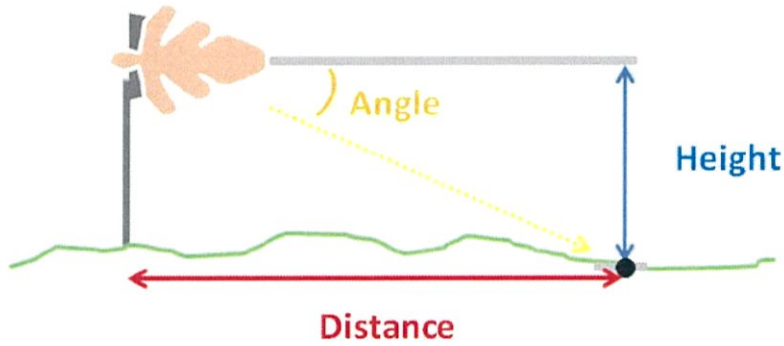


รูปที่ 2.34 รูปร่างการแพร่ของคลื่นเมื่อทำการปรับมุมด้วยการปรับเชิงกลและการปรับเชิงไฟฟ้าในความกว้างลูกคลื่นเท่ากับ 90 องศา และ 65 องศา

6) การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง

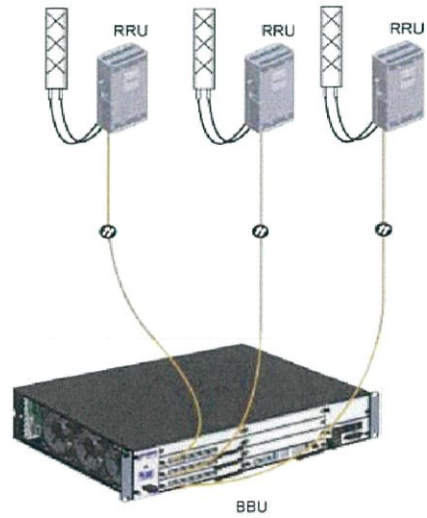
การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง โดยความสูงของสายอากาศและระยะของคลื่นส่งไปได้จะต้องเป็นหน่วยเดียวกัน ดังสูตรต่อไปนี้

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



รูปที่ 2.35 การหามุมก้มที่ทำให้ได้ระยะทางที่คลื่นสัญญาณส่งไปถึง

2.1.4.2 Baseband unit (BBU) เป็นตัวควบคุม RRU เช่น การปรับกำลังในการส่งสัญญาณ เป็นต้น BBU หนึ่งตัว สามารถควบคุม RRU พร้อมกันหลายตัวได้ แสดงดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 Baseband unit (BBU)

2.1.4.3 Remote radio unit (RRU) ทำหน้าที่เป็นตัวมอดูเลตคลื่น ทำให้สายอากาศสามารถส่งคลื่นสัญญาณด้วยความถี่และความแรงของสัญญาณตามที่กำหนดเอาไว้ แสดงดังรูปที่ 2.37

รูปที่ .237 Remote radio unit (RRU)

2.1.4.4 Base Station Controller (BSC) เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ส่วนประกอบอื่นสามารถเชื่อมต่อและติดต่อกับระบบเน็ตเวิร์คได้ แสดงดังในรูปที่ 2.38

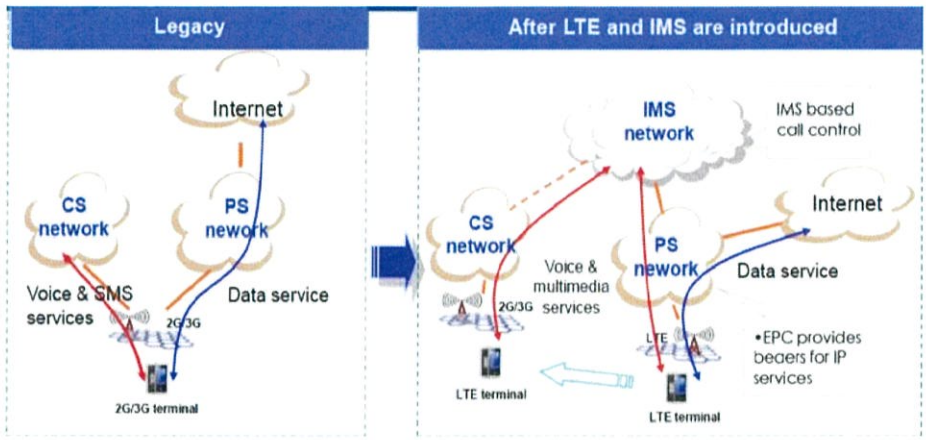
รูปที่ 2.38 Base Station Controller (BSC)

2.1.5 CSFB: Circuit Switched fallback (CS Fallback)

Circuit Switched Fall Back (CSFB) คือ เมื่อมีการโทรเกิดขึ้น ระบบก็จะสั่งการให้โทรศัพท์มือถือสวิตช์กลับไปใช้โครงข่าย 2G/3G แบบเก่า โดยยุค 2G/3G นั้น เมื่อผู้ใช้ต้องการโทรศัพท์หรือส่ง SMS หาผู้รับ สัญญาณเสียงจะเดินทางผ่านระบบโครงข่ายสัญญาณเรียกว่า circuit switch แต่ระบบ LTE ไม่รองรับ circuit switch แต่ใช้ระบบ packet switch เพียงอย่างเดียว ดังนั้นหากผู้ให้บริการ

โครงข่ายอยากลงทุนระบบ LTE เพื่อให้บริการ high speed Internet แล้ว ก็ยังต้องมองหาแผนสำหรับรองรับการใช้งานโทรศัพท์แบบธรรมดา ๆ เช่นเดียวกับยุค 2G/3G ด้วย

การแก้ปัญหาในขั้นต้นของระบบ LTE จะทำโดยกระบวนการที่เรียกว่า CSFB (Circuit Switched Fall Back) คือตัดระบบเรดิโอบน LTE ไปก่อน แล้วทำการต่อสัญญาณใหม่บนระบบเดิมอย่าง 2G หรือ 3G อัตโนมัติ ซึ่ง User Experience จะสามารถรู้สึกได้ถึงการหน่วงเวลา

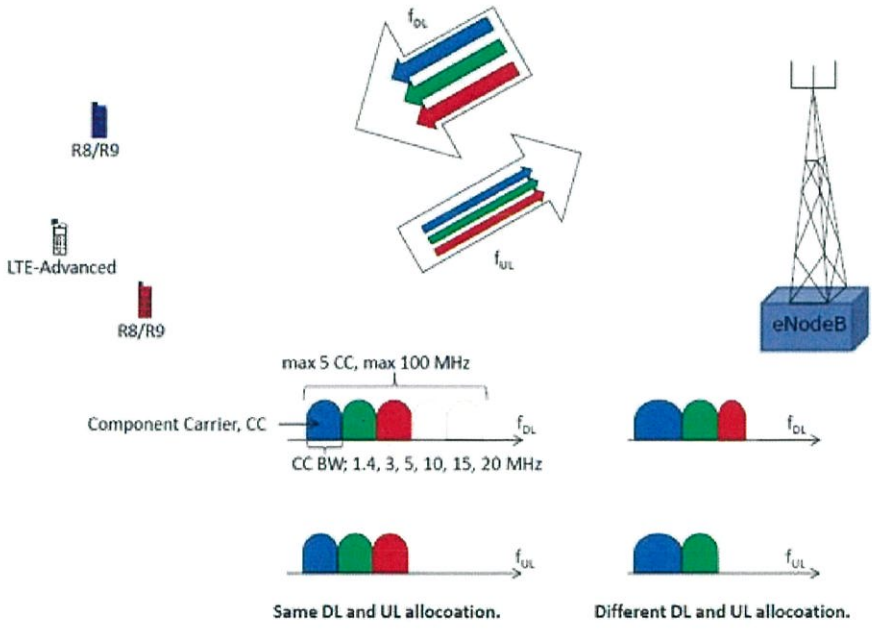


รูปที่ 2.39 CSFB : Circuit Switched fallback (CS Fallback)

ในระบบ 3GPP Rel.10 และหลังจากรุ่นนี้ ซึ่งมีการใช้งานอย่างเต็มรูปแบบช่วงปลายปี 2012 เป็นต้นไป จะมีระบบสนับสนุนเข้ามาใหม่คือ IMS (IP Multimedia Subsystem) ที่สามารถ map protocol ของ CS voice call ลงบน PS ได้ ทำให้การค่าหน่วงเวลานั้นน้อยมากและไม่ต้องเปลือง Signaling ในการตัดต่อสัญญาณออกไปได้อีกด้วย โดยเจ้า IMS นี้ จะสามารถทำการ Anchoring call (เหมือนการ Handover ปกติบน 2G/3G) บน LTE ลงไปบน CS Core Network ของ 2G/3G ได้เลย รวมถึงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนออกจากพื้นที่ที่มีสัญญาณ LTE ก็จะทำการ Handover ลงไปยังระบบ 2G/3G ได้อย่างปกติอีกด้วย (ในปัจจุบันยังต้องพึ่งพา CSFB เพื่อลง 2G/3G ในการเริ่มต้น Voice Call อย่างเดียว Voice Call + Data ไม่สามารถอยู่บน LTE ได้)

2.1.6 Carrier Aggregation

Carrier Aggregation (CA) ใช้งานใน LTE-Advanced เพื่อเพิ่มแบนด์วิดท์และเพิ่มอัตราการส่งบิท สามารถใช้งานได้ทั้งในระบบ FDD และ TDD



รูปที่ 2.40 Carrier Aggregation (FDD)

การทำ Carrier Aggregation นั้นสามารถรวมคลื่นความถี่ Component Carrier (CC) ได้ตั้งแต่ 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยรวมได้สูงสุดเพียง 5 ย่านความถี่ (CC) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นแบนด์วิดท์สูงสุดที่รวมได้เป็น 100 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 2.40 ในระบบ FDD จำนวนคลื่นพาห์ที่ใช้ในการรวมในดาวน์ลิ้งก์และอัพลิ้งก์แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจำนวน Component Carrier ของอัพลิ้งก์มีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวน Component Carrier ของดาวน์ลิ้งก์ แต่สำหรับ TDD จำนวน Component Carrier เท่ากันทั้งดาวน์ลิ้งก์และอัพลิ้งก์

2.1.7 Parameter analyzer of LTE signals

การวิเคราะห์สัญญาณโทรศัพท์ในระบบ LTE ต้องมีตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณดังนี้

2.1.7.1 Reference Signal Received Power (RSRP) and Reference Signal Received Quality (RSRQ)

Received Signal Strength Indicator (RSSI) คือ การวัดค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ทั้งหมดของ OFDM symbols โดยมีค่าดังนี้

RSSI = wideband power = noise + serving cell power + interference power

$$RSSI = 12 \times N \times RSRP$$

1) Reference Signal Received Power (RSRP) คือ ค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับในหนึ่งแหล่งสัญญาณอ้างอิง กำลังส่งของสัญญาณที่ได้รับจะถูกวัดและส่งรายงานกลับมาที่สถานีฐานโดยรายงานที่ส่งจะมีค่า RSRP อยู่ในช่วง -44 ถึง -140 dBm ดังรูปที่ 2.41 สามารถหาค่า RSRP ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$RSRP = RSSI\,(dBm) - 10\log(12 \times N)$$

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRP_00	RSRP < -140	dBm
RSRP_01	-140 ≤ RSRP < -139	dBm
RSRP_02	-139 ≤ RSRP < -138	dBm
...	...	...
RSRP_95	-46 ≤ RSRP < -45	dBm
RSRP_96	-45 ≤ RSRP < -44	dBm
RSRP_97	-44 ≤ RSRP	dBm

รูปที่ 2.41 RSRP อยู่ในช่วง -44 ถึง -140 dBm

2) Reference Signal Received Quality (RSRQ) คือ คุณภาพที่พิจารณา RSSI และจำนวนของ Resource Block (N) ที่ใช้จะบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณอ้างอิงที่รับ ซึ่ง RSRQ จะเป็นข้อมูลเพิ่มเติม เมื่อข้อมูล RSRP ไม่เพียงพอต่อการทำ Reliable handover หรือ Cell re-selection decision สัญญาณจะถูกวัดและส่งรายงานกลับมาที่สถานีฐานโดยรายงานที่ส่งจะมีค่า RSRQ อยู่ในช่วง -3 ถึง -19.5 dB ดังรูปที่ 2.42 สามารถหาค่าRSRQได้จากสูตรงดังนี้

$$RSRQ = \frac{N \times RSRP}{RSSI}$$

Reported value	Measured quantity value	Unit
RSRQ_00	RSRQ < -19.5	dB
RSRQ_01	-19.5 ≤ RSRQ < -19	dB
RSRQ_02	-19 ≤ RSRQ < -18.5	dB
...	...	...
RSRQ_32	-4 ≤ RSRQ < -3.5	dB
RSRQ_33	-3.5 ≤ RSRQ < -3	dB
RSRQ_34	-3 ≤ RSRQ	dB

รูปที่ 2.42 รายงานที่ส่งจะมีค่าRSRQ อยู่ในช่วง -3 ถึง -19.5 dB

2.1.7.2 Signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) คืออัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยของสัญญาณต่อกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนบวกกับกำลังของสัญญาณรบกวน ซึ่งค่า SINR จะบ่งบอกถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อของสัญญาณ LTE โดยสามารถหาค่า SINR ได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\mathrm{SINR} = \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{I} + \mathrm{N}}$$

เมื่อ Average Received Signal Power (S) คือกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่ได้รับ

Average Interference Power (I) คือกำลังเฉลี่ยของสัญญาณรบกวน

Noise Power (N) คือกำลังของสัญญาณรบกวน

2.1.7.3 Physical cell identity (PCI) เป็นเลขที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อระบุตัวตนของ eNodeB ซึ่งเลข PCI จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

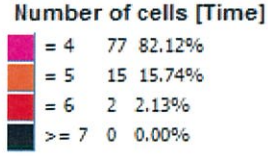
1) Primary Synchronization Signals (PSS) มีค่าเท่ากับ 0, 1 และ 2

2) Secondary Synchronization Signals (SSS) มีค่าอยู่ที่ 0 ถึง 167 โดยเลขของ PCI สามารถหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

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

PCI จะมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 503 โดยตัวเลข PCI สามารถทำการนำกลับมาใช้ซ้ำโดยการวางแผนในระบบเน็ตเวิร์ค

2.1.7.4 Number of Active cell with 5 dB คือ จำนวนเซลล์ที่อุปกรณ์สื่อสารตรวจจับในบริเวณนั้น ซึ่งความแรงของ RSRP ของเซลล์ที่จับจะอยู่ในช่วง -5 dBm ถึง 5 dBm มีมาตรฐานการตรวจจับดังรูปที่ 2.43 ยิ่งมีค่ามาก ประสิทธิภาพสัญญาณที่ใช้งานจะมีคุณภาพไม่ดี เนื่องจากการสัญญาณที่จับได้มีขนาดกำลังใกล้กันจึงเกิดการรบกวนกันของสัญญาณ ดังนั้นในกรณีที่ดีที่สุดควรตรวจจับได้เพียงเซลล์เดียว



รูปที่ 2.43 Number of Active cell with 5 dB window

2.1.7.5 Channel Quality Indicator (CQI) บ่งบอกถึงคุณภาพในการส่งข้อมูลโดยใช้กับ High-Speed Downlink Packet Access (HSDPA) แต่ในกรณีของ LTE ก็มีค่า CQI เช่นเดียวกันโดยหลักการคือ อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของอุปกรณ์สื่อสารที่มีอัตราความผิดพลาด (Block error rate) อยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่านั้น

การคำนวณค่า CQI มีองค์ประกอบ 3 องค์ประกอบที่ส่งผลต่อในการวัดค่า CQI คือ

- Signal-to-noise ratio (SNR)
- Signal-to-interference plus noise ratio (SINR)
- Signal-to-noise plus distortion ratio (SNDR)

CQI	Modulation scheme	Coding rate (units of 1/1 024)	Information bits per symbol
0	n/a	0	0.00
1	QPSK	78	0.15
2	QPSK	120	0.23
3	QPSK	193	0.38
4	QPSK	308	0.60
5	QPSK	449	0.88
6	QPSK	602	1.18
7	16-QAM	378	1.48
8	16-QAM	490	1.91
9	16-QAM	616	2.41
10	64-QAM	466	2.73
11	64-QAM	567	3.32
12	64-QAM	666	3.90
13	64-QAM	772	4.52
14	64-QAM	873	5.12
15	64-QAM	948	5.55

รูปที่ 2.44 Interpretation of the channel quality indicator

จากรูปที่ 2.44 อธิบายในรูปแบบการมอดูเลตฝั่งขารับ (Downlink modulation)และอัตราการเข้ารหัส (Coding rate) และในคอลัมน์สุดท้ายแสดงให้เห็นถึงจำนวนข้อมูลบิทต่อสัญลักษณ์ (Bit/Symbol) และคำนวณโดยการเพิ่มอัตราการเข้ารหัสด้วยด้วยการคูณ 2, 4 หรือ 6

2.1.7.6 Throughput (Download/Upload) คือ ค่าจำนวนข้อมูลที่ส่งได้ภายหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงความเร็วในการใช้งานระบบเน็ตเวิร์ค มีสูตรในการคำนวณดังนี้

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

เมื่อ Number of resource block (N) คือ จำนวน Resource block ที่ใช้ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับจำนวนของแบนด์วิดท์

Sub frame คือ จำนวนซับเฟรมในการส่งข้อมูล ซับเฟรมจะแบ่งเป็น 2 สล็อต แต่ละสล็อตจะมีขนาด 0.5 มิลลิวินาที

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

Modulation and coding scheme (MCS) มีค่าขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณในช่องนั้น (เช่น คุณภาพสัญญาณ SINR) และใช้ในการบ่งบอกจำนวนบิตซึ่งสามารถรองรับได้ต่อหนึ่ง Resource element (RE)

2.1.8 เกณฑ์มาตรฐานที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณ

สัญญาณที่มีคุณภาพดีมาก ควรมีค่า RSRP มากกว่า -80 dBm และค่า RSRQ มีค่ามากกว่า -10 dBm ค่า SINR มีค่ามากกว่า 20 dB ซึ่งเกณฑ์จะมีรายละเอียดเพิ่มดังรูปที่ 2.45

		RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
RF Conditions	Excellent	>=-80	>=-10	>=20
	Good	-80 to -90	-10 to -15	13 to 20
	Mid Cell	-90 to -100	-15 to -20	0 to 13
	Cell Edge	<=-100	<-20	<=0

รูปที่ 2.45 เกณฑ์มาตรฐานที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณ

เลข PCI ในการจับเซลล์ในการใช้งานอุปกรณ์สื่อสารควรมีเซลล์เดียวที่กำลังของสัญญาณแรงที่สุด และตรวจได้เลข PCI เดียวในบริเวณนั้น ซึ่งจะเชื่อมโยงกับค่า Number of Active Cells ที่สมควรมีค่าเป็น 1 หรือมีค่าน้อย แสดงถึงการไม่การซ้อนทับกันของเซลล์

ค่า CQI จะเกี่ยวข้องกันกับค่า SINR ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณ เมื่ออุปกรณ์สื่อสารตรวจคุณภาพของสัญญาณต่ำ ดังนั้น CQI จะมีค่าน้อย แสดงถึงการมอดูเลตชั่นและการเข้ารหัสต่ำ แต่ถ้าคุณภาพสัญญาณดี CQI จะมีค่ามาก แสดงถึงการมอดูเลตชั่นและการเข้ารหัสสูง จะสามารถส่งข้อมูลได้เร็ว

ส่วนในกรณีของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลจะมีเกณฑ์มาตรฐานของบริษัททรูที่คำนวณมาจากขนาดแบนด์วิดท์ของแต่ละความถี่ที่บริษัททรูให้ใช้บริการ ดังรูปที่ 2.46

Single Carrier CVT

Freq Band	BW	DL Peak Throughput (Mbps)	DL Avg Throughput (Mbps)	UL Throughput (Mbps)
L1800	15 Mhz	85	80	28
	10 Mhz	60	55	18
L2100	10 Mhz (MIMO)	60	55	18
	10 Mhz (SIMO)	35	30	18
L900	5 Mhz(MIMO)	28	25	9(Peak)
	5 Mhz(SIMO)	14	11	9(Peak)

รูปที่ 2.46 เกณฑ์มาตรฐานของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของบริษัททรู (1)

ต่อมาในกรณีของการทำ Carrier aggregation (CA) ที่เป็นการรวมแบนด์วิดท์ที่มีความถี่ต่างกันเพื่อเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลจะมีเกณฑ์มาตรฐานจากการคำนวณขนาดแบนด์วิดท์รวมได้ดังรูปที่ 2.47 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สูงกว่าความถี่คลื่นตัวเดียว

2CC CA CVT

MIMO	SIMO	BW	DL Peak Throughput (Mbps)
L1800 + L2100	-	15+10	130
L1800 + L2100	-	10+10	100
L1800 + L900	-	15+5	100(same Azi) / 70(Diff Azi)
L2100 + L900	-	10+5	85(same Azi) / 70(Diff Azi)
(L1800 or L2100)	L900	10+5	65
L900	L2100	5+10	55(same Azi) / 50(Diff Azi)
	L2100 + L900	10+5	40

รูปที่ 2.47 เกณฑ์มาตรฐานของอัตราเร็วในการส่งข้อมูลของบริษัททรู (2)

ซึ่งเกณฑ์เหล่านี้จะเป็นค่าใช้สำหรับในการตรวจสอบคุณภาพของสายอากาศและการติดตั้งสถานีฐาน จะเหมาะสมกับการวัดอัตราเร็วการส่งข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์สื่อสารเพียงเครื่องเดียวในการทดสอบ

2.1.9 KPI: Key Performance Indicator

เป็นการตรวจสอบคุณภาพและประสิทธิภาพของระบบโครงข่ายซึ่งจะช่วยในเรื่องของกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณของอุปกรณ์สื่อสารรับสัญญาณเพื่อให้ผู้ใช้บริการการสื่อสารมีระบบที่มีประสิทธิภาพที่ดี สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

2.1.9.1 Accessibility KPI

Accessibility หรือที่เรียกว่า Call setup success rate ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงความสามารถในเข้าใช้งานระบบโทรศัพท์มือถือ มีสูตรการหาดังนี้

$$\text{Call setup success rate} = \frac{\text{Call success}}{\text{Call Attempt}}$$

1) EPS (evolved packet service) Attach Success Rate จะเป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความสำเร็จในการเชื่อมต่อกับเน็ตเวิร์คหลัก

$$\text{EPS Attach Success Rate} = \frac{\text{Attach attempt success}}{\text{Attach attempt}}$$

2) CSFB Voice Call Setup Success Rate จะเป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความสำเร็จในการตั้งค่าการโทรแบบเซอร์กิตสวิตช์จากกระบวนการ CSFB

$$\text{CSFB Voice Call Setup Success Rate} = \frac{\text{Call success}}{\text{Call attempt}}$$

3) CSFB Voice Call Setup Time เป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความสำเร็จของเวลาในการตั้งค่าการโทรแบบเซอร์กิตสวิตช์จากกระบวนการ CSFB ที่ใช้เวลาน้อยกว่า 6 วินาที

$$\text{CSFB Voice Call Setup Time} = \frac{\text{No of Sample Call setup time to Progress } < 6s}{\text{No of Sample all}}$$

4) Success rate of establishing FTP connection เป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความสำเร็จของการเชื่อมต่อเซิฟเวอร์ของ File transfer protocol เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลแพ็คเกจออกไปได้

$$\text{Successul rate of establishing FTP connection} = \frac{\text{FTP server connect}}{\text{FTP server connection attempt}}$$

5) LTE Service Request Success Rate/PDP Context Activation Success Rate เป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความสำเร็จของการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์สื่อสาร (UE) กับเน็ตเวิร์คหลักเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลแพ็คเกจออกไปได้

$$\text{LTE Service Request Success Rate} = \frac{\text{EPS bearer allocation success}}{\text{EPS bearer allocation attempt}}$$

$$\text{PDP Context Activation Success Rate} = \frac{\text{EPS bearer allocation success}}{\text{EPS bearer allocation attempt}}$$

2.1.9.2 Retainability KPI

Retainability หรือที่เรียกว่า Call drop rate ซึ่งเป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานระบบโทรศัพท์มือถือ การที่ระบบสามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถจัดหาบริการการสื่อสารได้

$$\text{Call drop rate} = \frac{\text{Call Drop}}{\text{Call success}}$$

1) PDP Context Call Drop Rate เป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความล้มเหลวในการตั้งค่าการโทรหรือการส่งข้อมูลแบบแพ็คเกจสวิตช์

$$\text{PDP Context Call Drop Rate} = \frac{\text{LTE RRC connection dropped}}{\text{RRC connection connected}}$$

2.1.9.3 Mobility KPI

Mobility หรือที่เรียกว่า Handover success rate ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานระบบโทรศัพท์มือถือ การที่ระบบสามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานระบบได้ในขณะที่ผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่

$$\text{Handover success rate} = \frac{\text{Handover success}}{\text{Handover Attempt}}$$

1) Intra LTE Handover Success Rate เป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงอัตราความสำเร็จในการแฮนด์โอเวอร์ไปยังเซลล์อื่น

$$\text{Intra LTE Handover Success Rate} = \frac{\text{Handover success}}{\text{Handover attempt}}$$

2) Handover Interrupt Time on U-Plane (Downlink) เป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่บ่งบอกถึงช่วงเวลาในการทำการแฮนด์โอเวอร์ไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่า 90 มิลลิวินาที

2.1.9.4 Integrity KPI

Integrity หรือที่เรียกว่า Throughput ซึ่งจะเป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการใช้งานระบบโทรศัพท์มือถือ การที่ระบบสามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานระบบในการส่งข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดเท่าไร

ตารางที่ 2.6 เกณฑ์ค่ามาตรฐาน KPI

KPI Measurement Name	KPI Criteria	Test Case	Formula
EPS Attach Success Rate	> 99%	PSD	Attach attempt success / Attach attempt
LTE Service Request Success Rate	> 98%	PSD	EPS bearer allocation success / EPS bearer allocation attempt
CSFB_Voice Call Setup Success Rate	> 98.5%	CSFB	(call attempt - failure) / call attempt
CSFB_Voice Call Setup Time	95% calls <6s	CSFB	No of Sample Call setup time to Progress <6s / No of Sample all
PDP Context Activation Success Rate	> 98%	PSD	EPS bearer allocation success / EPS bearer allocation attempt
Successul rate of establishing FTP connection	> 98%	PSD	FTP server connect / FTP server connection attempt
Intra LTE Handover Success Rate	> 98%	PSD	Handover success / Handover attempt
Handover Interruption Time on U-plane (Downlink)	< 90 ms	PSD	Handover U-plane interruption time (open stat by operater)
PDP Context Call Drop Rate	<1%	PSD	LTE RRC connection dropped / RRC connection connected

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Self-Planning of Base Station Transmit Power for Coverage and Capacity Optimization in LTE

ในการปฏิบัติงาน วิธีการการวางแผนตั้งสถานีฐานถูกแสดงออกมาในรูปแบบของการปรับกำลังในการส่งของสถานีฐานระบบ LTE ในแต่ละเซลล์ของสถานีได้ถูกปรับปรุงทั้งขอบเขตพื้นที่และคุณภาพ

สเปกตรัมของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา วิธีการนี้จะถูกออกแบบโดยการตั้งตัวแปรควบคุมอิสระและการเพิ่ม-ลดกำลังงานการส่งสัญญาณของเซลล์ซึ่งตัวแปรนี้จะมีผลต่อค่าดาวน์โหลด (DL) และ SINR

การเสนอนิยามวิธีการวางแผนสถานีฐาน ถูกทดสอบโดยโมเดลการจำลองของโครงการขีดจำกัดการแทรกสอดของสัญญาณ LTE ผลปรากฏว่า วิธีการวางแผนตั้งสถานีฐานจะวิเคราะห์โดยใช้ค่า SINR ที่เป็นค่าเฉลี่ยทั้งเซลล์กับ SINR ที่ขอบเซลล์เมื่อเปรียบเทียบกันห่างกัน 1 dB ซึ่งหลักการจะไปรวมกับข้อมูลต่าง ๆ เพื่อสร้างรูปแบบการวางสถานีฐาน

ในระหว่างการทดสอบ วิธีวางแผนการตั้งสถานีฐานจะมีการนำเสนอโดยใช้รูปแบบในการวางเองซึ่งจะมีการปรับมุมก้มของสายอากาศ การปรับมุมก้มของสายอากาศเป็นเทคนิคที่สามารถแก้ไขขอบเขตเซลล์ (ออกแบบระดับของสัญญาณในพื้นที่) และเซลล์รอบข้าง (เพื่อลดโอกาสแทรกสอดกันระหว่างสัญญาณ) อย่างไรก็ตาม กำลังในการส่งสัญญาณจะถูกออกแบบวางแผนให้มีความเหมาะสมที่สุด ดังนั้นในการวางแผนตั้งสถานีฐานจะมีการปรับประสิทธิภาพของระบบเน็ตเวิร์คทุก ๆ ครั้งจากการปรับกำลังในการส่งสัญญาณ จะมีความแตกต่างกันระหว่างวิธีการปรับมุมก้มจะใช้การคิดวิเคราะห์แก้ปัญหากับการวิเคราะห์เงื่อนไขการปรับมุมก้มของสายอากาศ แม้มุมก้มสายอากาศไม่เท่ากัน การปรับกำลังในการส่งเท่าเดิมซึ่งส่งด้วยรูปแบบรอบตัวหรือสายอากาศมัลติแบนด์

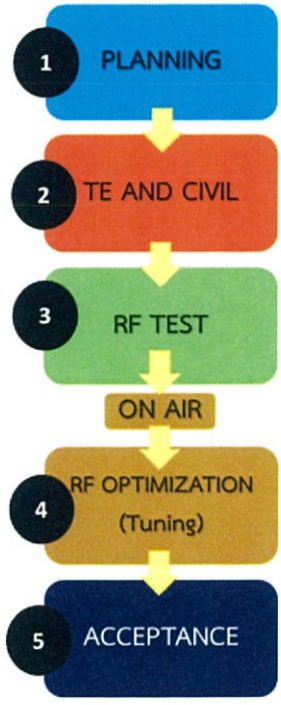
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

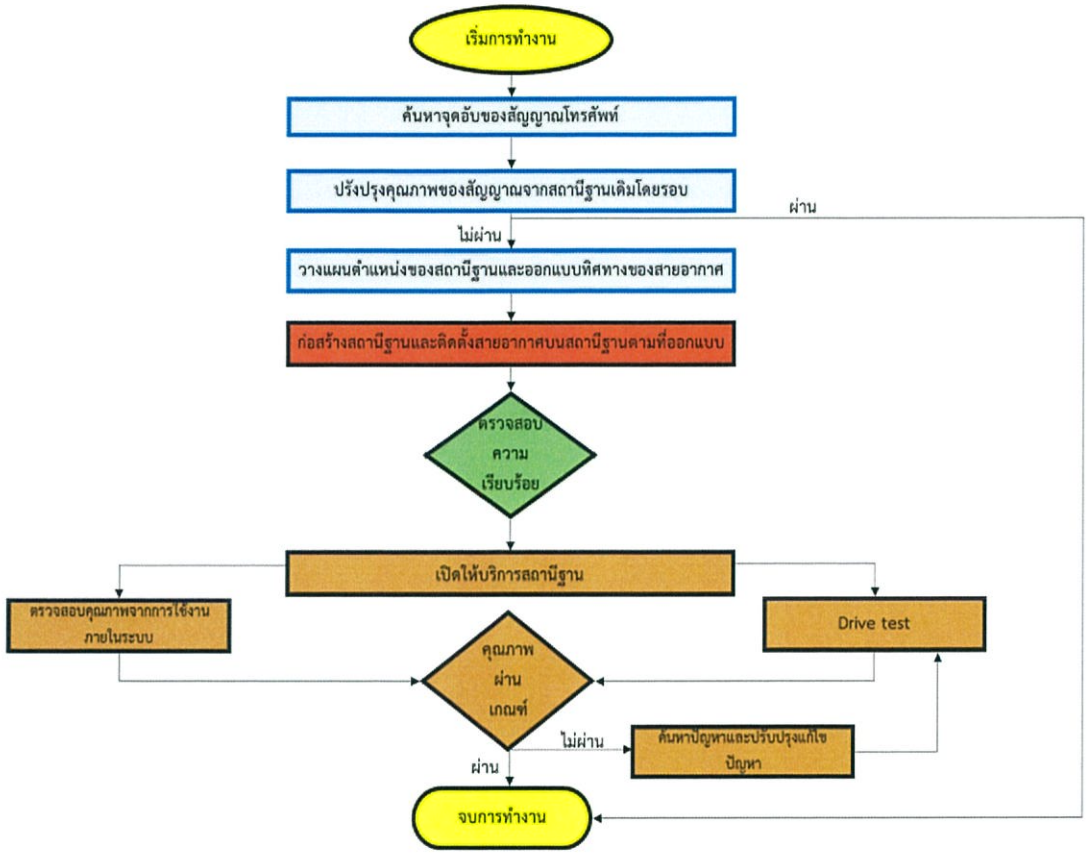
3.1 การออกแบบ

3.1.1 การทำงานของระบบโดยรวม

เริ่มทำการค้นหาจุดอับของสัญญาณและปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณ หากไม่สามารถปรับปรุงได้ จึงวางตำแหน่งของสถานีฐานแล้วออกแบบทิศทางของสายอากาศและทำการติดตั้ง เมื่อการติดตั้งเสร็จสิ้นจึงทำการเก็บข้อมูลคุณภาพของสัญญาณจากสถานีฐานและตรวจสอบความเรียบร้อยก่อนเปิดให้บริการ เมื่อเปิดให้บริการสถานีฐานแล้วจึงเก็บค่าคุณภาพของสัญญาณจากผู้ใช้งานทั้งระบบ ทำการขับรถบริเวณรอบสถานีฐานเพื่อวัดค่าสัญญาณ นำค่าคุณภาพของสัญญาณที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและขอบเขตของสัญญาณให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน โดยแผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.1



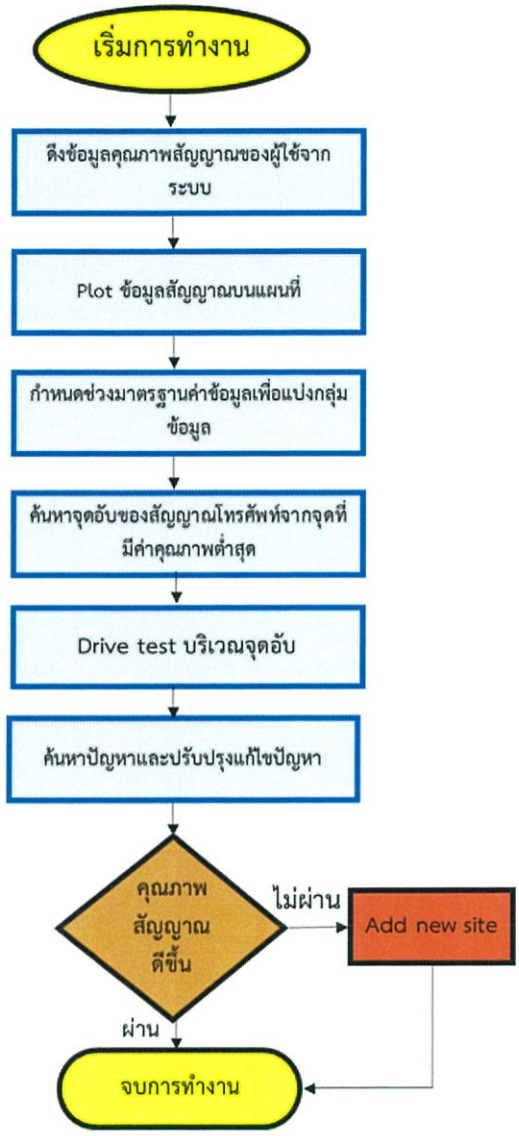
รูปที่ 3.1 บล็อคไดอะแกรมการทำงานของระบบรวม



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม

3.1.2 ค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์

การค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ทำได้โดยการดึงข้อมูลคุณภาพสัญญาณของผู้ใช้จากระบบในพื้นที่ต่าง ๆ แล้วนำมาพล็อตลงบนแผนที่ในโปรแกรม Mapinfo และใช้โปรแกรมกำหนดช่วงมาตรฐานของข้อมูลเพื่อจำแนกกลุ่มที่มีความแรงสัญญาณในระดับต่าง ๆ ออกจากกัน ค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์จากจุดที่มีคุณภาพต่ำสุด บันทึกตำแหน่งที่ปรากฏจุดอับของสัญญาณและปรับปรุงสัญญาณ ณ บริเวณนั้น หากสัญญาณไม่ดีขึ้นจะค้นหาตำแหน่งบริเวณใกล้เคียงในการตั้งสถานีฐานใหม่ เพื่อทำให้พื้นที่นั้นมีสัญญาณดี

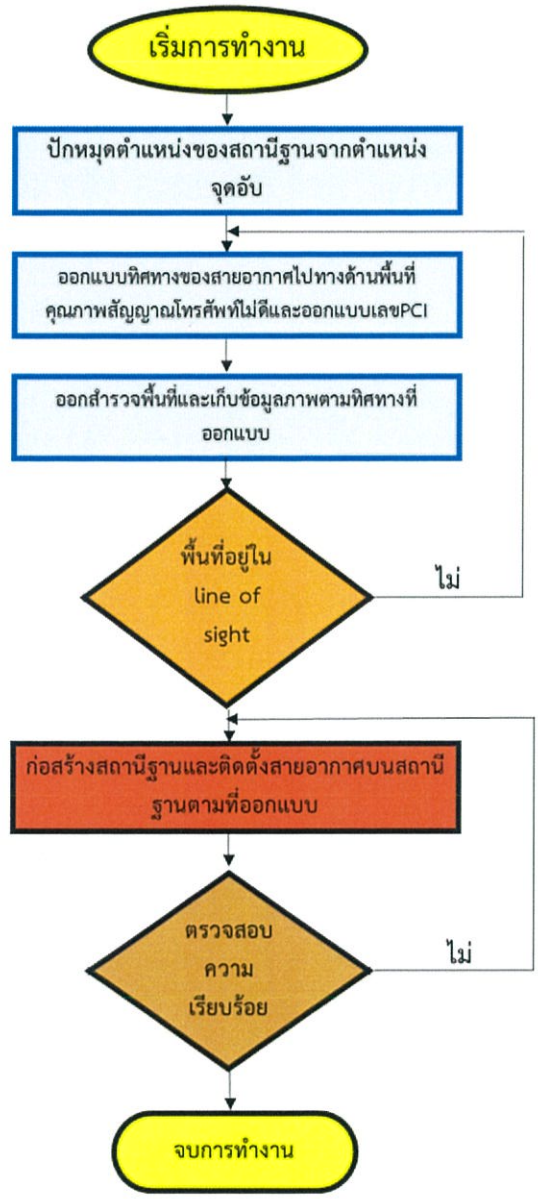


รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์

3.1.3 ออกแบบทิศทางของสายอากาศ เลข Physical cell identity (PCI) และการติดตั้งสถานีฐาน

กำหนดตำแหน่งของสถานีฐานจากตำแหน่งจุดอับในโปรแกรม Google Earth Pro แล้วทำการออกแบบทิศทางของสายอากาศไปทางพื้นที่ที่คุณภาพสัญญาณโทรศัพท์ไม่ดี รวมถึงออกแบบเลข Physical cell identity (PCI) เพื่อให้ไม่เกิดการซ้อนทับกันตามทฤษฎีของ mod 3 ต่อมาทำการสำรวจพื้นที่และเก็บข้อมูลภาพตามทิศทางที่ออกแบบไว้ เพื่อดูว่าพื้นที่ที่ต้องการปรับปรุงสัญญาณอยู่ใน line of

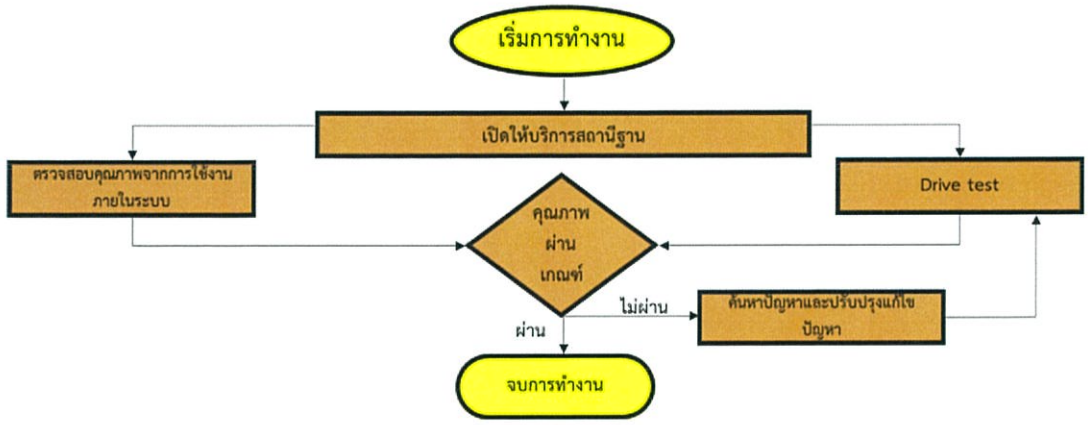
sight หรือไม่ ถ้าไม่ จะต้องเปลี่ยนแปลงทิศทางสายอากาศที่ออกแบบ จากนั้นตรวจสอบความเรียบร้อย และคุณภาพสัญญาณทั้งหมดก่อนทำการเปิดบริการ แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังขั้นตอนการออกแบบทิศทางของสายอากาศ เลข Physical cell identity (PCI) และการติดตั้งสถานีฐาน

3.1.4 RF Optimization

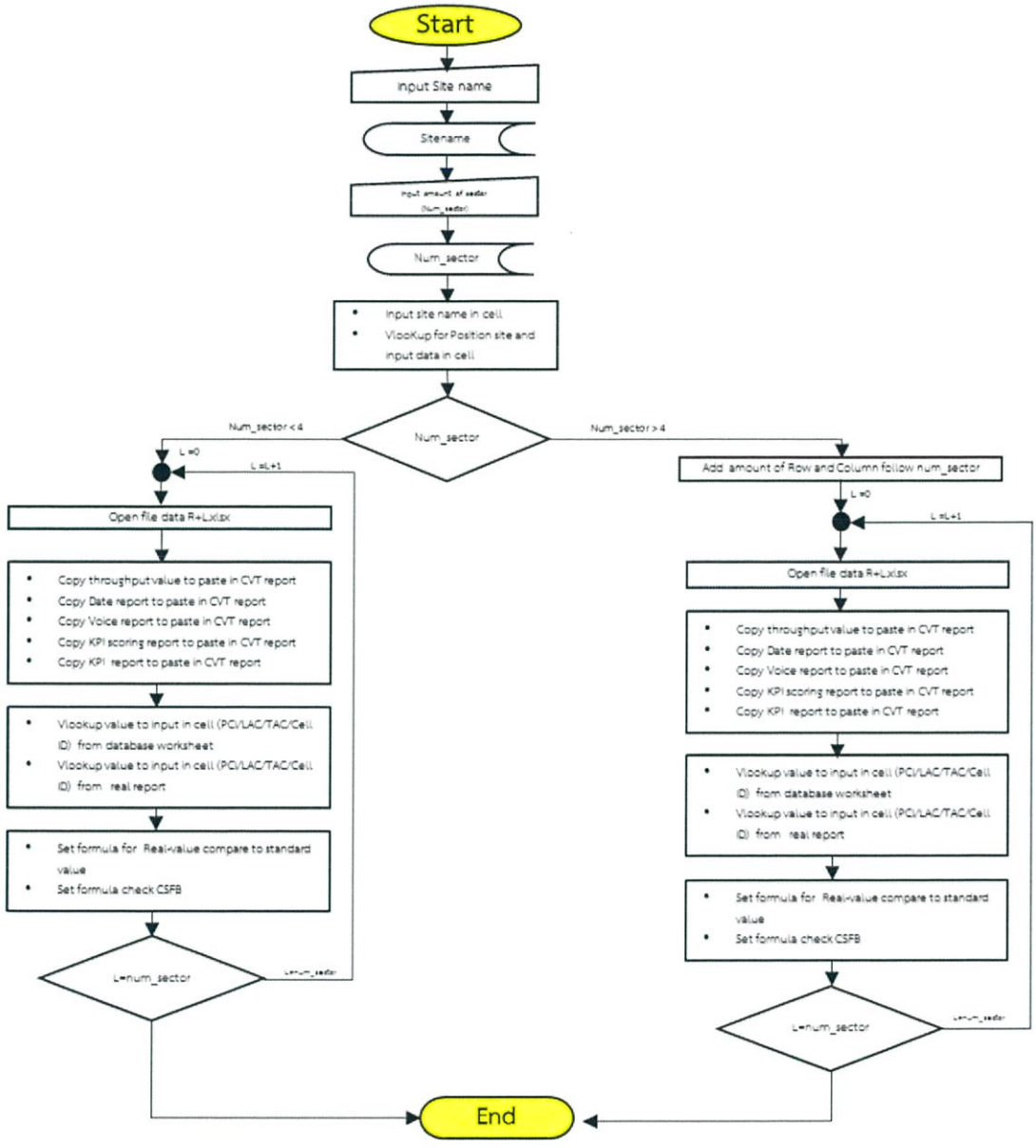
จากรูปที่ 3.5 แสดงแผนผังการทำงานของ RF Optimization เมื่อเปิดให้บริการสถานีฐาน จะต้องทำการปรับปรุงสัญญาณโทรศัพท์เพื่อให้สัญญาณมีคุณภาพที่ดี ไม่เกิดปัญหาในการใช้งาน จึงเก็บข้อมูลคุณภาพสัญญาณโทรศัพท์โดยการ drive test และทำการดึงข้อมูลคุณภาพการใช้งานภายในบริเวณนั้น เพื่อทำการตรวจสอบว่า คุณภาพของสัญญาณผ่านเกณฑ์หรือไม่ ถ้าไม่จะทำการค้นหาปัญหาและปรับปรุงแก้ไขแล้วทำการ drive test ใหม่ เพื่อตรวจสอบว่าปัญหาได้รับการแก้ไขแล้ว เมื่อผ่านเกณฑ์แสดงว่า พื้นที่บริเวณนั้นมีคุณภาพสัญญาณที่มีคุณภาพ



รูปที่ 3.5 แผนผังการทำ RF Optimization

3.1.5 มาโครสำหรับทำรายงานคุณภาพสัญญาณก่อนการเปิดใช้บริการ

จากรูปที่ 3.6 เป็นการอธิบายการทำงานมาโคร เริ่มการทำงานโดยกรอกชื่อสถานีฐานและจำนวนเซกเตอร์ โปรแกรมจะทำการตรวจสอบจำนวนเซกเตอร์ ถ้าน้อยกว่าสามเซกเตอร์ โปรแกรมจะดึงข้อมูลโดยทำการค้นหาชื่อสถานีฐานนั้นจากไฟล์ในคอมพิวเตอร์ ถ้ามากกว่าสามเซกเตอร์ โปรแกรมจะทำการเพิ่มตารางข้อมูลสำหรับเซกเตอร์ที่เกินกว่าสาม แล้วจึงดึงข้อมูลจากไฟล์ในคอมพิวเตอร์มาใส่ในตาราง จะได้รายงานคุณภาพสัญญาณที่บอกชื่อสถานีฐาน พิกัดสถานีฐาน ความเร็วในการอัพโหลด ความเร็วในการดาวน์โหลด และข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ



รูปที่ 3.6 แผนผังการใช้งานมาโคร

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน

3.2.1 Nemo Analyze

โครงงานนี้ใช้โปรแกรม Nemo Analyze ในการนำข้อมูลสัญญาณโทรศัพท์มาประมวลผลและแสดงผลให้ปรากฏบนแผนที่ตามเส้นทางที่ทำการ Drive test เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า บริเวณพื้นที่

นั้นเกิดปัญหาตรงจุดใด มีค่ามาตรฐานตัวใดไม่ผ่านเกณฑ์ ทำให้สามารถทำการปรับแก้ไขปัญหาได้อย่างตรงจุดและเหมาะสม

3.2.2 Mapinfo

โครงงานนี้ใช้โปรแกรม Mapinfo ในการนำข้อมูลที่เก็บค่าแสดงผลมาประมวลผลและแสดงผลเป็นพื้นที่ทำให้สามารถวิเคราะห์หาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์มือถือได้ และยังใช้ขีดเส้นทางในการ Drive test ได้

3.2.3 Google Earth Pro

โครงงานนี้ใช้โปรแกรม Google Earth Pro ในการขีดเส้นทางในการ Drive test เพื่อเก็บข้อมูลคุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์

3.2.4 Global Mapper 12

3.2.4 Global Mapper 12 โครงงานนี้ใช้ Global Mapper 12 ในการแปลงไฟล์สกุล KMZ จาก Google Earth Pro ให้เป็นไฟล์ที่สามารถเปิดใน Mapinfo สกุล DAT เพื่อใช้ในการ Drive test

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 การทดสอบวัดค่าคุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์โดยการ Drive test

ทำการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม Nemo Analyze นำข้อมูลมาแสดงผลเป็นรูปตามเส้นทางในการวิ่งของ Drive test

3.3.2 การทดสอบวัดค่าคุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์โดยการดึงข้อมูลการใช้งานจากทั้งระบบ

ทำการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม Excel นำข้อมูลมาประมวลเป็นกราฟเพื่อดูว่ามีค่าตามมาตรฐานหรือไม่

บทที่ 4

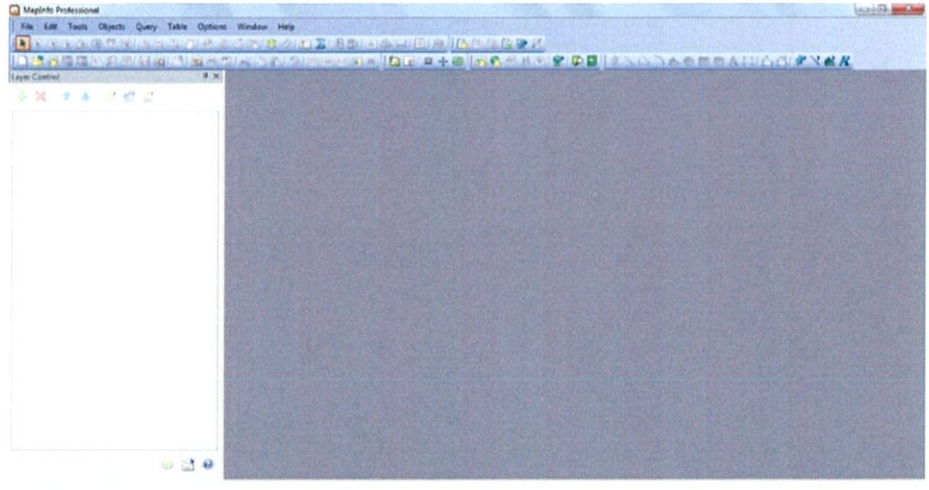
ผลการทดลอง

สำหรับการทดลองการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณนั้น ได้ทำการจัดเก็บผลการทำงานของระบบ โดยการแบ่งการทดลองและการจัดเก็บผลการทดลองเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.1 ค้นหาจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์และปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณจากสถานีฐานเดิมโดยรอบ

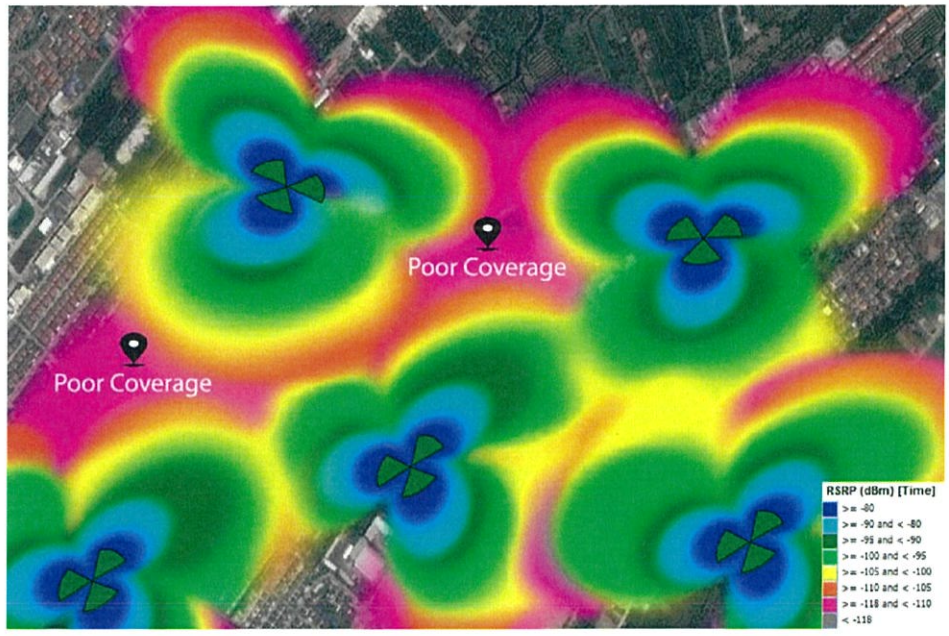
4.1.1 ค้นหาบริเวณพื้นที่จุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ โดยวิธีการใช้ข้อมูลของผู้ใช้บริการหรือ Measurement Report (MR)

เป็นการนำข้อมูลกำลังเฉลี่ยของสัญญาณ (RSRP) ที่โทรศัพท์ได้รับในบริเวณนั้นของแต่ละสถานีฐานมาทำการพล็อตลงในแผนที่ผ่านโปรแกรม Mapinfo ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โปรแกรม Mapinfo

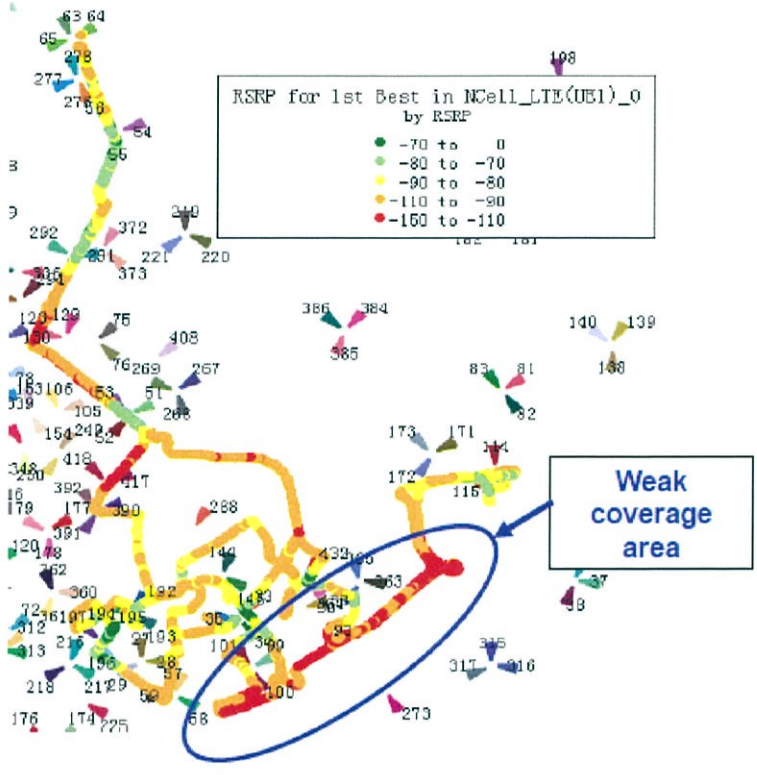
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นสถานีฐานต่าง ๆ และจุดที่เป็นจุดอับของสัญญาณ โดยข้อมูลกำลังเฉลี่ยของสัญญาณนั้นมีการแบ่งระดับความเข้มของสัญญาณออกเป็น 8 ระดับ โดยสีน้ำเงินจะมีความเข้มของสัญญาณสูงสุด



รูปที่ 4.2 บริเวณพื้นที่จุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ จากข้อมูลการใช้งานของผู้ใช้บริการ

4.1.2 ค้นหาบริเวณพื้นที่จุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ โดยวิธีขับรถเพื่อทดสอบสัญญาณ

ภายหลังจากการขีดเส้นทางแล้วจึงขับรถเพื่อทดสอบตามบริเวณที่ขีดไว้ ดังรูปที่ 4.3 โดยแบ่งระดับของสัญญาณเช่นเดียวกันกับ Measurement Report แต่ในกรณีนี้เป็นการเปิดให้บริการเพื่อทดสอบสัญญาณเพียงเครื่องเดียว



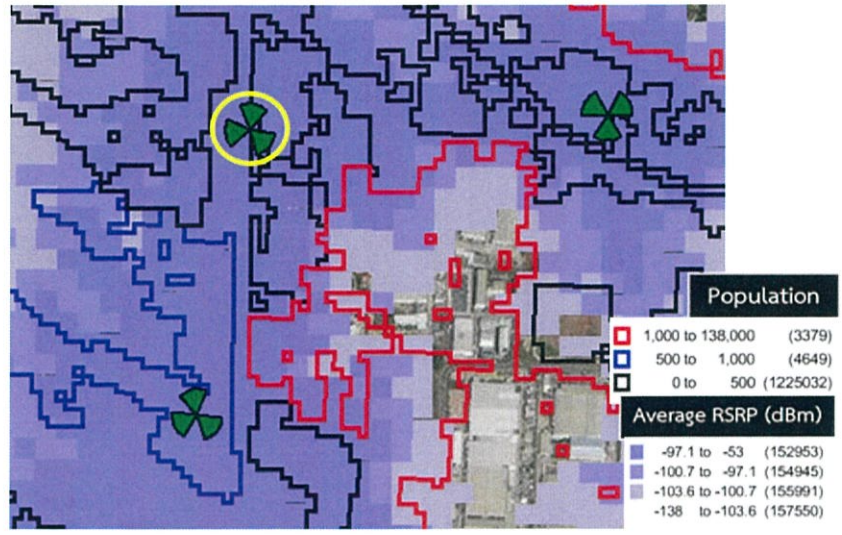
รูปที่ 4.3 บริเวณพื้นที่จุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ จากการ Drive test

4.1.3 กำหนดสถานีฐานและวิธีปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณ

จากรูปที่ 4.4 แสดงรายชื่อสถานีฐานพร้อมทั้งตำแหน่งของสถานีฐาน ค่าสัญญาณ และวิธีที่เลือกใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณ โดยมีวิธีการดังนี้

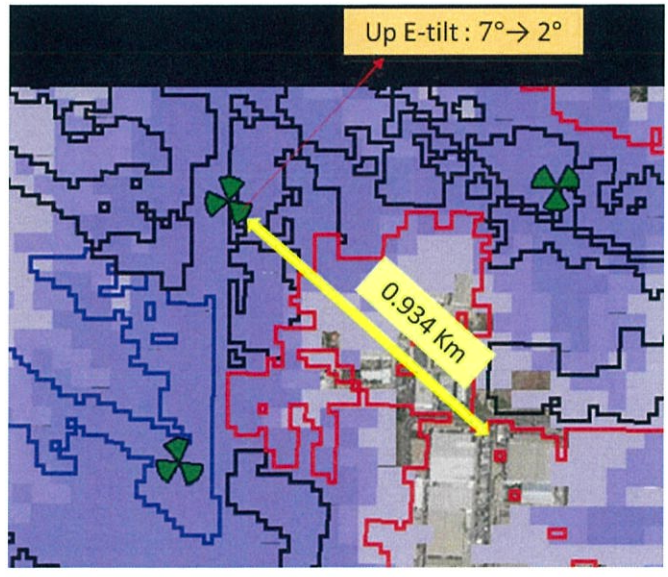
4.1.3.1 ปรับ M-Tilt หรือ E-Tilt เพื่อให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นหรือน้อยลงตามความเหมาะสม

ตัวอย่าง จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่ามีบริเวณจุดอับของสัญญาณที่มีค่ากำลังเฉลี่ยของสัญญาณ RSRP ไม่ดี จึงสำรวจดูสถานีฐานรอบข้าง เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้น ปรากฏว่ามีสถานีฐานที่มีสายอากาศซึ่งทิศทางตรงมาในบริเวณบริเวณจุดอับของสัญญาณ เมื่อตรวจสอบขนาดอีทิลท์ของสายอากาศ พบว่ามีขนาดเท่ากับ 7 องศา



รูปที่ 4.4 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ

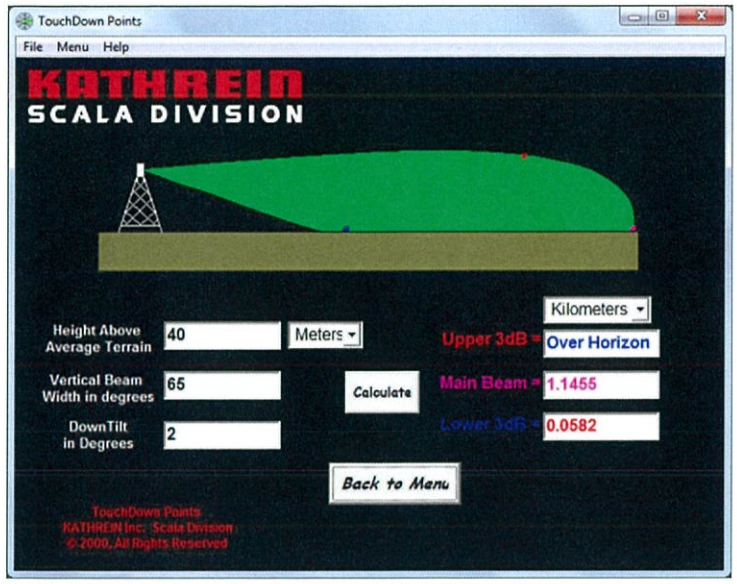
เมื่อทำการวัดระยะทางจากสถานีฐานมาถึงบริเวณจุดอับของสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Mapinfo พบว่ามีระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับจุดอับสัญญาณ 0.434 กิโลเมตร ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ระยะระหว่างบริเวณที่เป็นจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ

ทำการหาขนาดอีทิลท์ที่ต้องการจะปรับโดยใช้โปรแกรม Kathrein โดยใช้ข้อมูล ความสูงของสายอากาศและความกว้างของลำคลื่นของสายอากาศ และขนาดของอีทิลท์ที่ต้องการจะปรับ โปรแกรมจะคำนวณหาระยะที่สายอากาศสามารถส่งสัญญาณไปได้ ดังรูปที่ 4.6

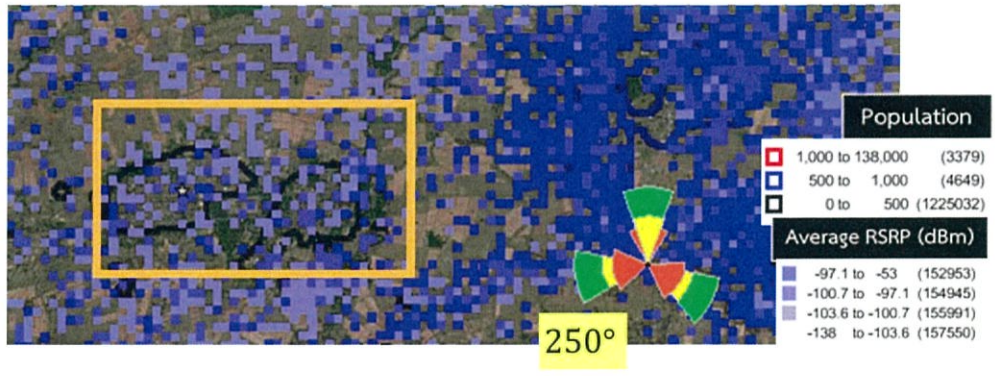
เมื่อกำหนดให้มุมอีทิลท์เป็น 2 องศา จะสามารถส่งสัญญาณออกไปสูงสุดถึง 0.934 กิโลเมตร จึงปรับปรุงสัญญาณในบริเวณนี้ได้โดยการปรับอีทิลท์ จาก 7 องศา เป็น 2 องศา



รูปที่ 4.6 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบการปรับมุมก้มของสายอากาศ

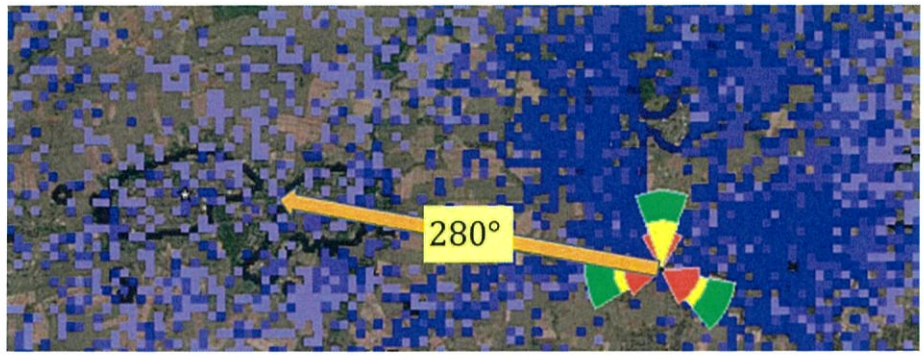
4.1.3.2 ปรับมุมของสายอากาศ ในบางกรณีสายอากาศของสถานีฐานสองสถานีฐานอาจชนกันก่อให้เกิดการทับซ้อนของสัญญาณ จึงต้องมีการปรับองศาของสายอากาศ

ตัวอย่าง จากรูปที่ 4.7 พบว่ามีบริเวณจุดอับของสัญญาณที่มีค่าคุณภาพสัญญาณ RSRP ไม่ดี เมื่อสำรวจสถานีฐานรอบข้าง เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้น ปรากฏว่ามีสถานีฐานในบริเวณใกล้เคียงอยู่หนึ่งสถานีฐาน



รูปที่ 4.7 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ

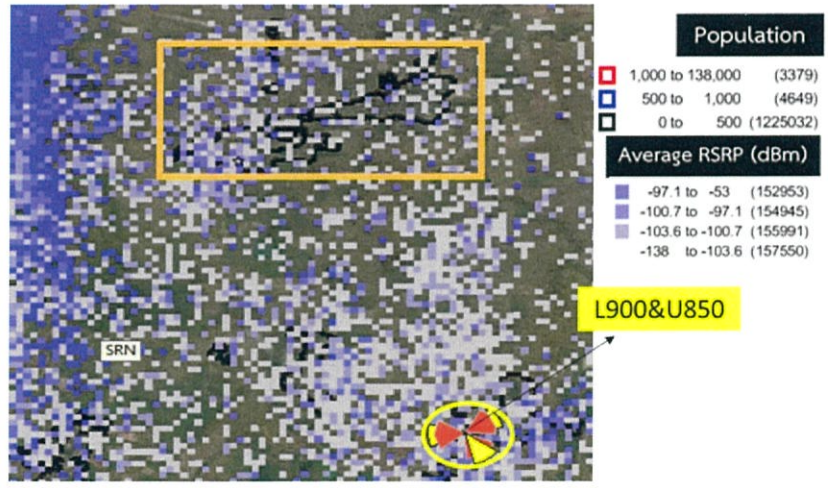
ทำการปรับมุมอะซิมุทจากเดิม 250 องศา เป็นมุม 280 องศา เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณที่มีคุณภาพของสัญญาณอ่อน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ปรับมุมอะซิมุทของสถานีฐาน

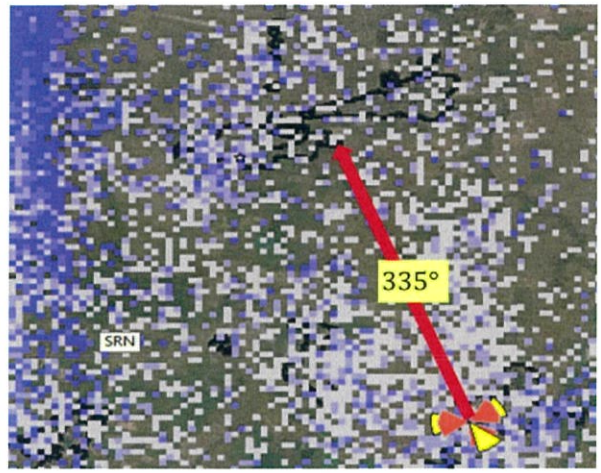
4.1.3.3 การเพิ่มสายอากาศ ในกรณีที่พื้นที่บริเวณจุดอับของสัญญาณมีสถานีฐานใกล้เคียง แต่สายอากาศของสถานีฐานนั้นอยู่ในทิศทางที่เหมาะสม เช่น มีผู้ใช้งานมาก จึงต้องเพิ่มสายอากาศให้อยู่ในทิศทางที่เป็นจุดอับของสัญญาณแทน

ตัวอย่าง จากรูปที่ 4.9 แสดงบริเวณจุดอับสัญญาณที่มีค่าคุณภาพสัญญาณ RSRP ไม่ดี เมื่อสำรวจดูสถานีฐานรอบข้าง เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้น พบว่ามีสถานีฐานใกล้เคียง ซึ่งสามารถใช้ในการปรับปรุงสัญญาณโทรศัพท์ได้



รูปที่ 4.9 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ

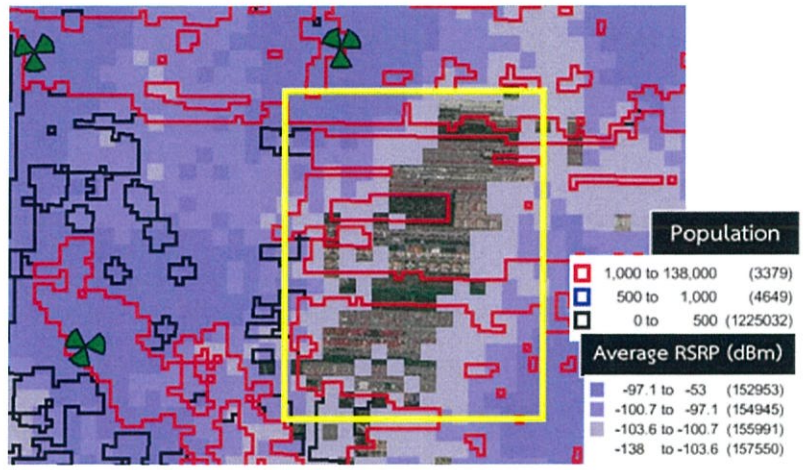
จากรูปที่ 4.9 พบว่าไม่สามารถทำการเปลี่ยนมุมอะซิมุทของสายอากาศของสถานีฐานนั้นได้ เนื่องจากสายอากาศแต่ละตัวส่งสัญญาณไปในบริเวณที่ครอบคลุมพื้นที่ซึ่งมีผู้ใช้บริการอยู่พอสมควร จึงต้องเพิ่มสายอากาศที่มีมุมอะซิมุทขนาดเท่ากับ 335 องศา เพื่อเพิ่มความเข้มของสัญญาณภายในบริเวณนั้น ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เพิ่มสายอากาศที่มีมุมอะซิมุทขนาดเท่ากับ 335 องศา

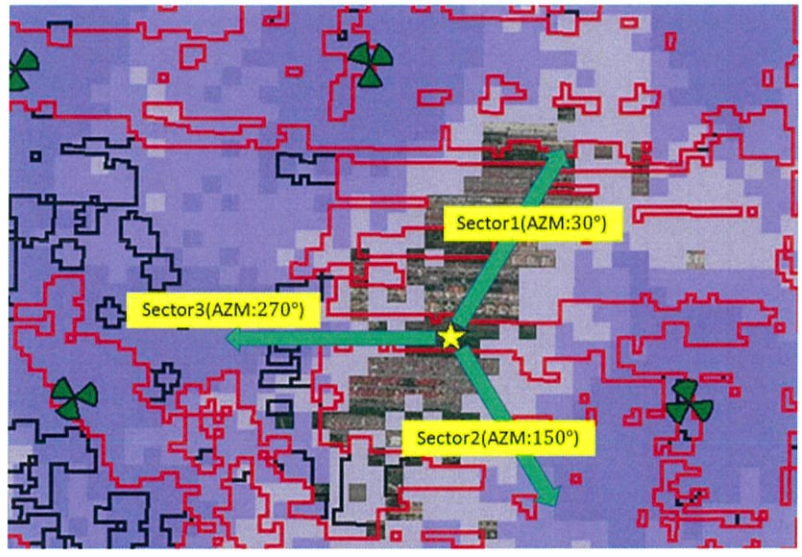
4.1.3.4 ติดตั้งสถานีฐานใหม่ ในกรณีที่ใช้วิธีข้างต้นแล้วสัญญาณยังไม่ดี หรือระยะห่างระหว่างสถานีฐานมากเกินไป ต้องพิจารณาให้ติดตั้งสถานีฐานใหม่ โดยจะส่งรายงานขอติดตั้งไปยังลูกค้าต่อไป

จากรูปที่ 4.11 พบว่ามีบริเวณจุดอับของสัญญาณที่มีค่าคุณภาพของสัญญาณ RSRP ไม่ดี ซึ่งเมื่อสำรวจดูสถานีฐานรอบข้าง เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณบริเวณนั้น ผลปรากฏว่าไม่สามารถปรับปรุงโดยใช้สถานีฐานบริเวณรอบได้ เนื่องจากสถานีฐานบริเวณส่งสัญญาณไปในพื้นที่มีความจำเป็นอยู่ไม่สามารถปรับได้ เพราะบริเวณโดยรอบเป็นหมู่บ้านจึงมีจำนวนคนที่ใช้บริการสูง และถ้าทำการปรับอาจเสี่ยงต่อการเพิ่มบริเวณพื้นที่มีปัญหาในเรื่องของสัญญาณ



รูปที่ 4.11 บริเวณจุดอับของสัญญาณและสถานีฐานที่ต้องการปรับ

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มสถานีฐานใหม่ เพื่อปรับปรุงบริเวณที่เป็นจุดอับของสัญญาณ โดยทำการบันทึกตำแหน่งและออกแบบทิศทางอะซิมุทของสายอากาศ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 วางตำแหน่งสถานีฐานใหม่และออกแบบทิศทางอะซิมุท

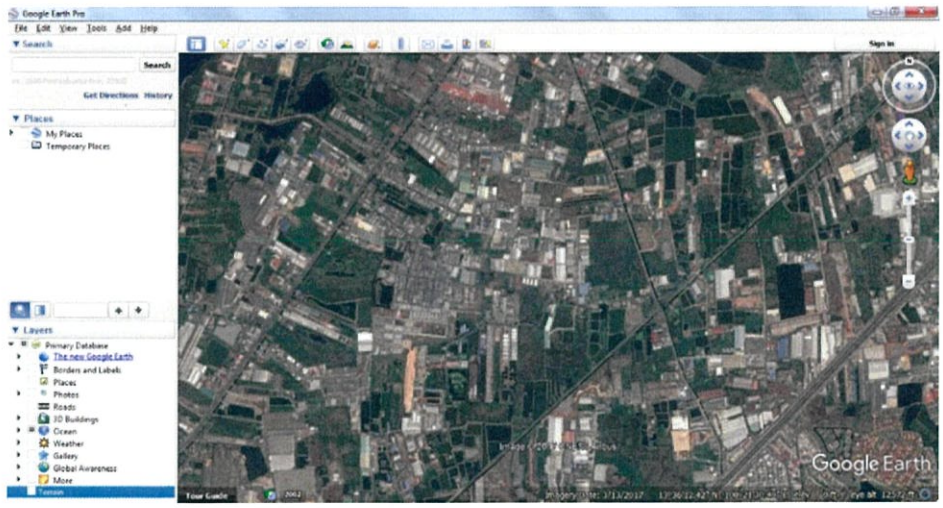
4.2 การออกแบบทิศทางของสายอากาศและการออกแบบเลข Physical cell identity (PCI) ของแต่ละเซกเตอร์

การติดตั้งสถานีฐานใหม่จะต้องมีรายงานที่เรียกว่า Initial Engineering Acceptance (IEA) ดังรูปที่ 4.13 แสดงรายชื่อสถานีฐานใหม่ พิกัดของสถานีฐาน มีการออกแบบมุมของสายอากาศ ออกแบบ M-tilt และ E-tilt รวมทั้งกำหนดประเภทของสายอากาศ

Site	System	Cell Name	Latitude	Longitude	IEA			Remark
					Azimuth	Mechanical Downtilt	Electrical Downtilt	
Newsite	900	Newsite_S01	13.75608	100.54362	30	0	6	Pole on the roof
Newsite	900	Newsite_S02	13.75608	100.54362	150	0	6	Pole on the roof
Newsite	900	Newsite_S03	13.75608	100.54362	270	0	6	Pole on the roof

รูปที่ 4.13 แบบฟอร์ม Initial Engineering Acceptance (IEA)

ในกรณีติดตั้งสายอากาศจะต้องมีการออกแบบมุมของสายอากาศโดยใช้โปรแกรม Google Earth Pro ดังรูปที่ 4.14 เมื่อทำการนำข้อมูลสถานีฐานมาแสดงบนโปรแกรมแล้วจึงสามารถออกแบบมุมของสายอากาศได้ดังรูปที่ 4.15 จากนั้นใช้โปรแกรมในการออกแบบเลข Physical Cell Identity (PCI) เพื่อป้องกันการเกิดการซ้ำซ้อนกับเลขในสายอากาศอื่น



รูปที่ 4.14 โปรแกรม Google Earth Pro

รูปที่ 4.15 ออกแบบทิศทางของสายอากาศ

4.3 การสำรวจพื้นที่พร้อมเก็บข้อมูลภาพตามทิศทางที่ออกแบบและติดตั้งสถานีฐาน

4.3.1 LTE Low band

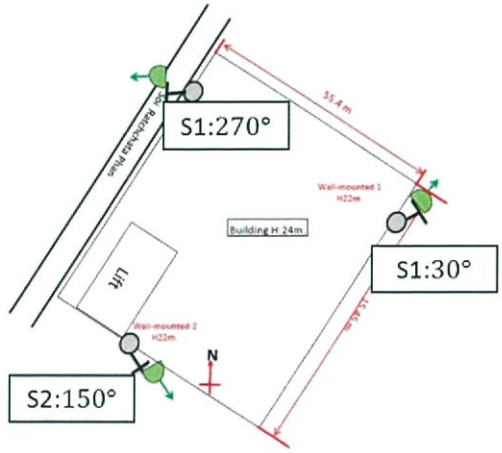
ภายหลังการระบุพิกัดของสถานีฐานใหม่ต้องออกสำรวจพื้นที่โดยถ่ายภาพแสดงทิศทางของสายอากาศที่ออกแบบไว้ในแต่ละเซกเตอร์ ดังรูปที่ 4.16 แสดงภาพจากเซกเตอร์หนึ่ง มุม 30 องศา, เซกเตอร์สอง มุม 150 องศา และเซกเตอร์สาม มุม 270 องศา แล้วจึงทำการวางแบบแปลนการวางสถานีฐาน ดังรูปที่ 4.17 ภายหลังการติดตั้งสำเร็จเป็นดังรูปที่ 4.18 ซึ่งในกรณีนี้เป็นการติดตั้งสถานีฐานแบบโพล

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.16 ภายถ่ายแสดงทิศทางของสายอากาศในแต่ละเซกเตอร์
(ก) เซกเตอร์หนึ่ง มุม 30 องศา (ข) เซกเตอร์สอง มุม 150 องศา (ค) เซกเตอร์สาม มุม 270 องศา



รูปที่ 4.17 แบบแปลนการวางสถานีฐานใหม่แบบโพล

รูปที่ 4.18 สถานีฐานใหม่แบบโพล

4.3.2 LTE High band

สถานีฐานใหม่สถานีนี้เป็นแบบ Roof top ติดตั้งบนตัวอาคาร สำรวจพื้นที่โดยถ่ายภาพแสดงทิศทางของสายอากาศที่ออกแบบไว้ในแต่ละเซกเตอร์ ดังรูปที่ 4.19 แสดงภาพจากเซกเตอร์หนึ่ง มุม 40 องศา, เซกเตอร์สอง มุม 160 องศา และเซกเตอร์สาม มุม 270 องศา แล้วจึงทำการวางแบบแปลนการวางสถานีฐาน ดังรูปที่ 4.20 ภายหลังการติดตั้งสำเร็จเป็นดังรูปที่ 4.21

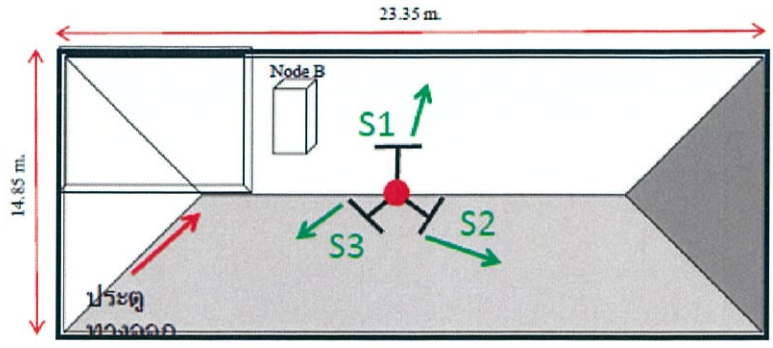
(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 4.19 ภายถ่ายแสดงทิศทางของสายอากาศในแต่ละเซกเตอร์

(ก) เซกเตอร์หนึ่ง มุม 40 องศา (ข) เซกเตอร์สอง มุม 160 องศา (ค) เซกเตอร์สาม มุม 270 องศา

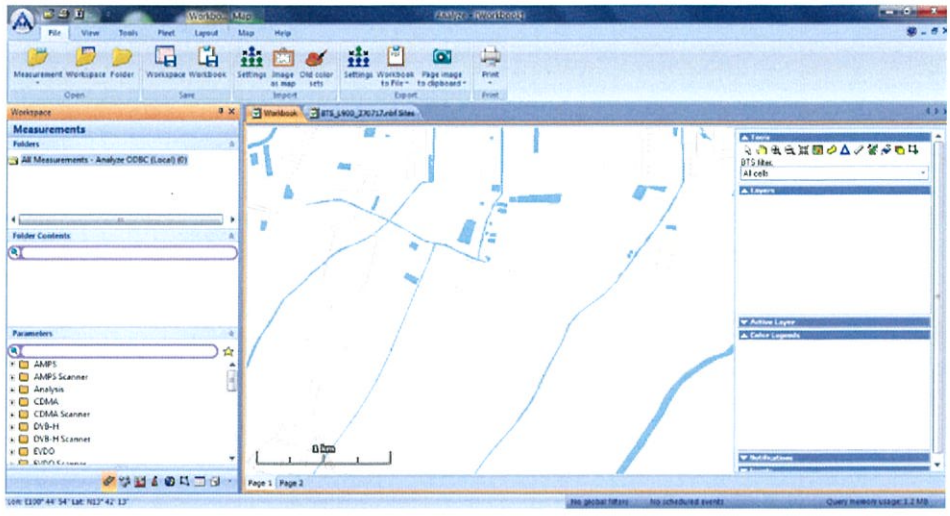


รูปที่ 4.20 แบบแปลนการวางสถานีฐานใหม่แบบ Roof top

รูปที่ 4.21 สถานีฐานใหม่แบบ Roof top

4.4 การทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการสถานีฐาน

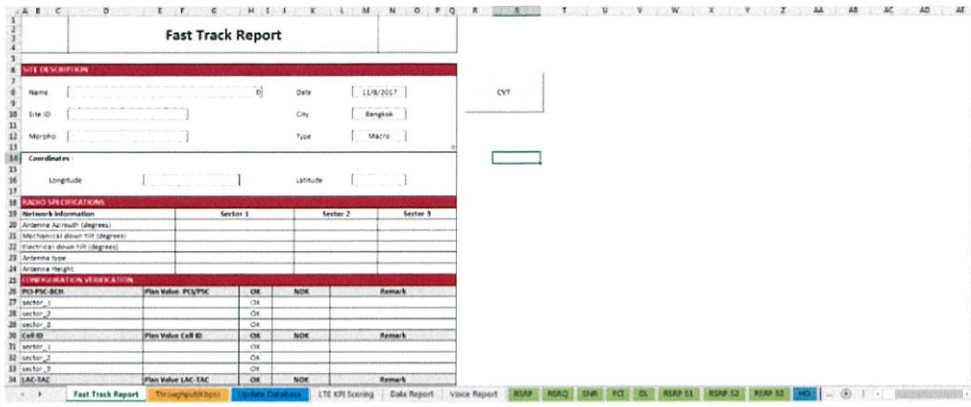
ตรวจสอบความเรียบร้อยของสถานีฐานจากการขีดเส้นทางเพื่อขับรถทดสอบคุณภาพสัญญาณ นำไฟล์จากการทดสอบมาเปิดในโปรแกรม Nemo Analyze ดังรูปที่ 4.22 โดยสามารถเช็คพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ RSRP, RSRQ, SINR, Physical cell identity, Throughput Download และ RSRP ของแต่ละเซกเตอร์



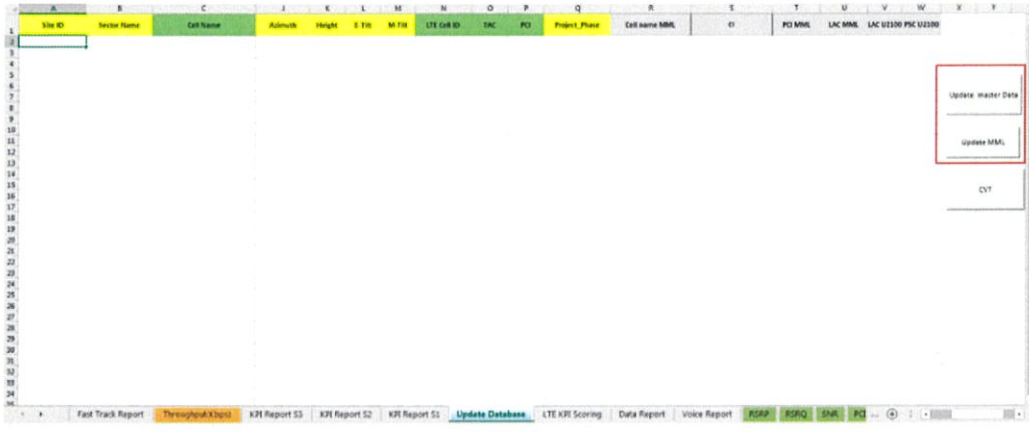
รูปที่ 4.22 โปรแกรม Nemo Analyze

ใช้มาโครในการทำรายงานคุณภาพสัญญาณโดยการนำโฟลเดอร์ที่ชื่อ Macro CVT ไปวางไว้ในหน้าแรกของไดร์ฟ D แล้วนำไฟล์ข้อมูลแต่ละเซกเตอร์ที่ต้องการทำรายงานไปใส่ในโฟลเดอร์ azq เปลี่ยนชื่อไฟล์โดย L900 เป็น PX, L1800 เป็น RX และ L2100 เป็น TX เมื่อ X คือหมายเลขเซกเตอร์

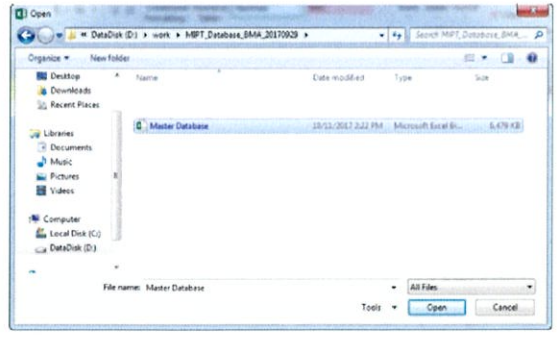
เปิดไฟล์มาโครที่ทำการโปรแกรมไว้สำหรับทำรายงานคุณภาพสัญญาณ ดังรูปที่ 4.23 ที่หน้าต่าง Update Database อัพเดตฐานข้อมูลโดยกดปุ่ม Update master data หรือปุ่ม Update MML (รูปที่ 4.24 (ก)) เลือกไฟล์ Master Database หรือไฟล์ MML (รูปที่ 4.24 (ข)) จะได้ฐานข้อมูลอัพเดตดังรูปที่ 4.24 (ค) จากนั้นกดปุ่ม CVT ในหน้า Fast track report (รูปที่ 4.24 (ง)) จะมีหน้าต่างขึ้นมาเพื่อให้ใส่ชื่อสถานีฐาน (รูปที่ 4.16 (จ)) และจำนวนเซกเตอร์ (รูปที่ 4.24 (ฉ)) เมื่อรันโปรแกรมแล้ว มาโครจะแสดงหน้าต่างเพื่อบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 4.24 (ช) โปรแกรมจะทำการดึงข้อมูลสัญญาณของสถานีฐานนั้น นำมาใส่ในรายงาน รวมถึงค่าการดาวน์โหลดและอัพโหลดของสายอากาศซึ่งต้องมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน โดยจะใช้เกณฑ์มาตรฐานจากรูปที่ 4.25 (ก) และรูปที่ 4.25 (ข) ในการตรวจสอบ



รูปที่ 4.23 หน้าต่างโปรแกรมมาโคร



(ก)

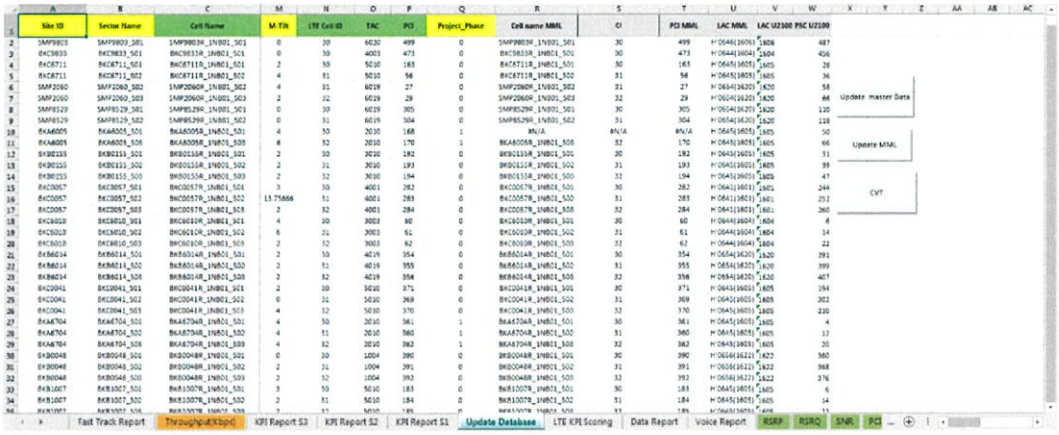


(ข)

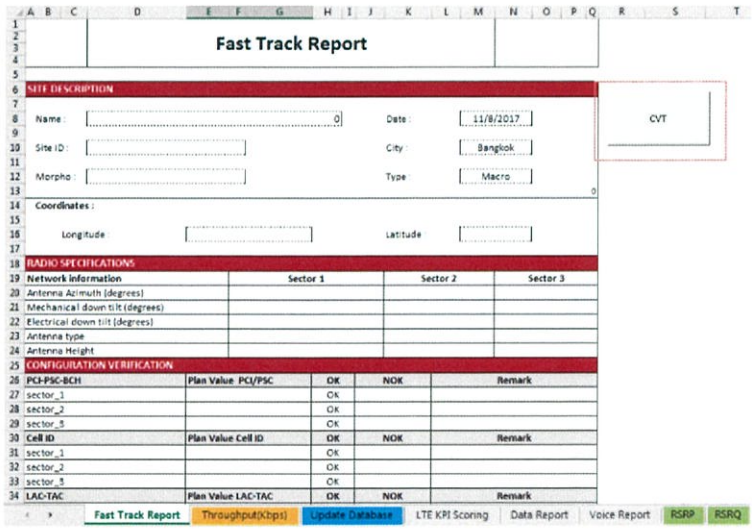
รูปที่ 4.24 ขั้นตอนการใช้งานมาโคร

(ก) อัพเดทฐานข้อมูล (ข) เลือกไฟล์ฐานข้อมูล (ค) ฐานข้อมูลหลังการอัพเดต

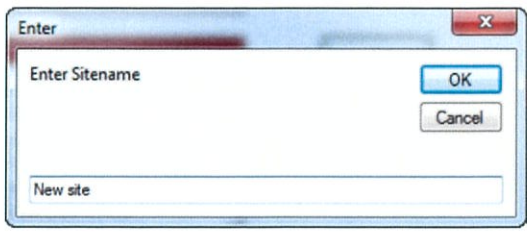
(ง) กดปุ่ม CVT (จ) กรอกชื่อสถานีฐาน (ฉ) กรอกจำนวนเซกเตอร์ของสถานีฐาน (ช) ตั้งชื่อไฟล์



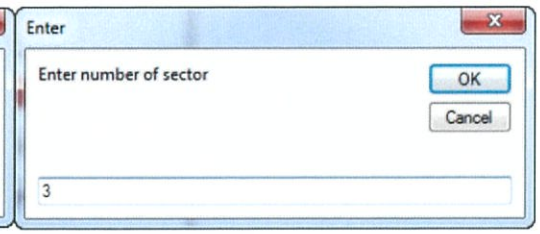
(ค)



(ง)

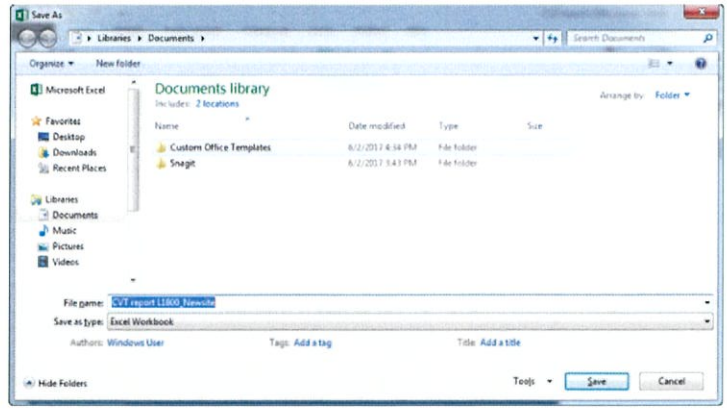


(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.24 ขั้นตอนการใช้งานมาโคร (ต่อ)



(ช)

รูปที่ 4.24 ขั้นตอนการใช้งานมาโคร (ต่อ)

Freq Band	BW	DL Peak Throughput (Mbps)	DL Avg Throughput (Mbps)	UL Throughput (Mbps)
L1800	15 Mhz	85	80	28
	10 Mhz	60	55	18
L2100	10 Mhz (MIMO)	60	55	18
	10 Mhz (SIMO)	35	30	18
L900	5 Mhz(MIMO)	28	25	9 (Peak)
	5 Mhz(SIMO)	14	11	9 (Peak)

(ก)

MIMO	SIMO	BW	DL Peak Throughput (Mbps)
L1800 + L2100	-	15+10	130
L1800 + L2100	-	10+10	100
L1800 + L900	-	15+5	100(same Azi) / 70(Diff Azi)
L2100 + L900	-	10+5	85(same Azi) / 70(Diff Azi)
(L1800 or L2100)	L900	10+5	65
L900	L2100	5+10	55(same Azi) / 50(Diff Azi)
	L2100 + L900	10+5	40

(ข)

รูปที่ 4.25 เกณฑ์มาตรฐาน (ก) Single Carrier (ข) 2CC CA

4.4.1 LTE Low band (L900)

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลของสถานีฐาน

ละติจูด	13.75608
ลองจิจูด	100.54362
ชนิดของสถานีฐาน	Macro

ตารางที่ 4.2 ข้อมูล Specifications

Network information	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Antenna Azimuth (degrees)	30	150	270
Mechanical down tilt (degrees)	0	0	0
Electrical down tilt (degrees)	6	6	6
Antenna type	HXHH4X518065T0A	HXHH4X518065T0A	ATR4517R0
Antenna Height	22	22	22

ผลการทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการของสถานีฐาน จากการทดสอบฟังก์ชันการใช้งานในโหมดการใช้งานด้วยเสียง โดยมีกระบวนการโทรของฝั่งผู้รับ (Voice MOC: Mobile Originating call) และกระบวนการโทรของฝั่งผู้โทร (Voice MTC: Mobile Terminating Call) ทำการทดสอบแต่ละเซกเตอร์ เซกเตอร์ละ 3 ครั้งติดต่อกันดังตารางที่ 4.3 ผลจากการทดสอบผ่านทุกค่า

ตารางที่ 4.3 CS Functionality Test

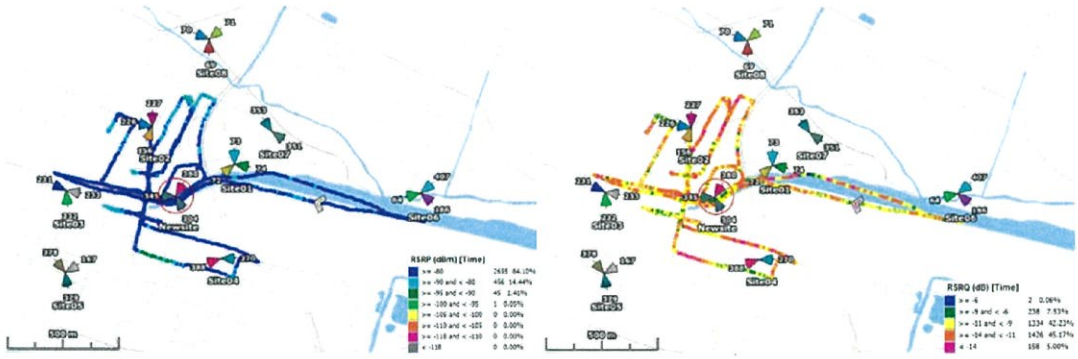
CS Functionality Test			
sector_1	Sample	Pass	Remark
Voice MOC (CS Fall back) U850	1	1	CSFB to G900
Voice MOC (CS Fall back) G900	2	2	CSFB to G900
Voice MTC (CS Fall back) G900, U850	3	3	CSFB to G900
sector_2	Sample	Pass	Remark
Voice MOC (CS Fall back) U850	1	1	CSFB to G900
Voice MOC (CS Fall back) G900	2	2	CSFB to G900
Voice MTC (CS Fall back) G900, U850	3	3	CSFB to G900
sector_3	Sample	Pass	Remark
Voice MOC (CS Fall back) U850	1	1	CSFB to G900
Voice MOC (CS Fall back) G900	2	2	CSFB to G900
Voice MTC (CS Fall back) G900, U850	3	3	CSFB to G900

ผลการทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการของสถานีฐาน โหมดการใช้งานรับส่งข้อมูลดังตารางที่ 4.4 โดยแบ่งเป็นแบบ Carrier aggregation (CA) มีค่าความเร็วในการดาวน์โหลดสูงสุด 100 เมกะบิตต่อวินาที และแบบ Single carrier มีค่าความเร็วในการอัพโหลดสูงสุด 28 เมกะบิตต่อวินาที และความเร็วในการอัพโหลดสูงสุด 9 เมกะบิตต่อวินาที โดยทำการทดสอบทุกเซกเตอร์ เซกเตอร์ละ 3 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยดังตาราง ผลการทดสอบผ่านหมดทุกเซกเตอร์

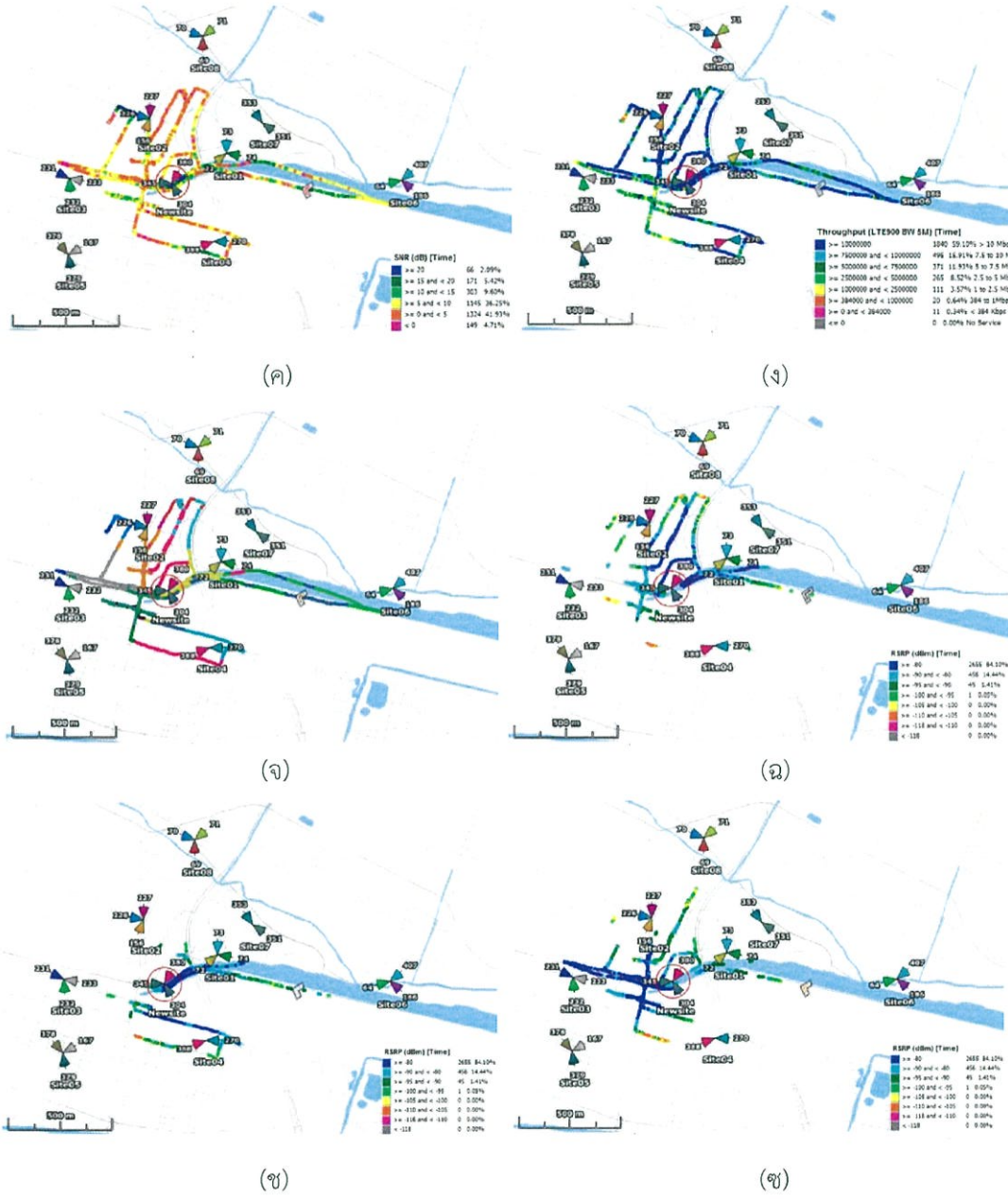
ตารางที่ 4.4 PS Throughput Test

Carrier aggregation (2 CA)	Average (Kbps) DL/UL	Maximum (Kbps) DL/UL	Ping (ms)	Remark
sector_1	67147.12/0	109998.23/0	-	1800+900
sector_2	69633.91/0	111623.9/0	-	1800+900
sector_3	65291.24/0	125955.33/0	-	1800+900
LTE PS speed	Average (Kbps) DL/UL	Maximum (Kbps) DL/UL	Ping (ms)	Remark
sector_1	36741.71/16600.17	53558.03/18036.34	-	
sector_2	40524.57/14810.02	47639.13/16107.83	-	
sector_3	32280.35/9916.81	45999.88/14676.17	-	

ผลการทดสอบ Mobility Test โดยการดึงข้อมูลจากโปรแกรม Nemo Analyze แสดงดังรูปที่ 4.26 โดยใช้สีแสดงเกณฑ์ของพารามิเตอร์ จากสีน้ำเงินซึ่งมีสัญญาณดีที่สุดไปยังพื้นที่ที่มีสัญญาณอ่อนที่สุด



(ก) (ข)



รูปที่ 4.26 Mobility Test ของระบบ 4G Low band (L900)

(ก) RSRP (ข) RSRQ (ค) SINR (ง) Throughput DL (จ) PCI (ฉ) RSRP เซกเตอร์หนึ่ง (PCI = 380)

(ช) RSRP เซกเตอร์สอง (PCI = 304) (ซ) RSRP เซกเตอร์สาม (PCI = 345)

4.4.2 High band

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลของสถานีฐาน

ละติจูด	14.0081
ลองจิจูด	100.531
ชนิดของสถานีฐาน	Macro

ตารางที่ 4.6 Radio Specifications

Network information	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Antenna Azimuth (degrees)	40	160	270
Mechanical down tilt (degrees)	0	0	0
Electrical down tilt (degrees)	6	6	5
Antenna type	AQU4518R32	AQU4518R32	AQU4518R32
Antenna Height	31.5	31.5	31.5

4.4.3.1 ระบบ L1800

ผลการทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการของสถานีฐาน จากการทดสอบฟังก์ชันการใช้งานในโหมดการใช้งานด้วยเสียง มีกระบวนการโทรของฝั่งผู้รับ (Voice MOC: Mobile Originating call) ทำการทดสอบแต่ละเซกเตอร์ เซกเตอร์ละ 3 ครั้งติดต่อกันดังตารางที่ 4.7 ผลจากการทดสอบผ่านทุกค่า

ตารางที่ 4.7 CS Functionality Test

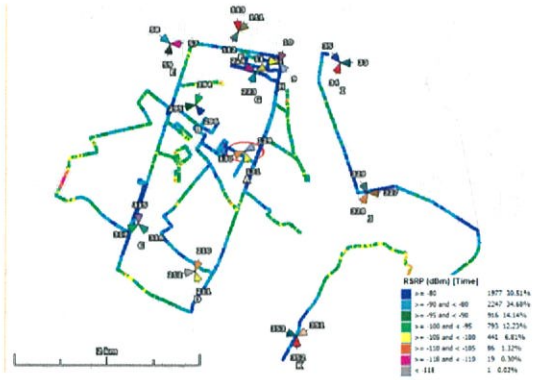
CS Functionality Test			
sector_1	Sample	Pass	Remark
Voice MOC (CS Fall back)	3	3	CSFB to U2100
Voice MTC (CS Fall back)	0	0	
sector_2	Sample	Pass	Remark
Voice MOC (CS Fall back)	3	3	CSFB to U2100
Voice MTC (CS Fall back)	0	0	
sector_3	Sample	Pass	Remark
Voice MOC (CS Fall back)	3	3	CSFB to U2100
Voice MTC (CS Fall back)	0	0	

ผลการทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการของสถานีฐาน โหมดการใช้งานรับส่งข้อมูลดังตารางที่ 4.8 โดยแบ่งเป็นแบบ Carrier aggregation (CA) มีค่าความเร็วในการดาวน์โหลดสูงสุด 130 เมกะบิตต่อวินาที และแบบ Single carrier มีค่าความเร็วในการอัพโหลดสูงสุด 85 เมกะบิตต่อวินาที และความเร็วในการอัพโหลดสูงสุด 28 เมกะบิตต่อวินาที โดยทำการทดสอบทุกเซกเตอร์ เซกเตอร์ละ 3 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยดังตาราง ผลการทดสอบผ่านหมดทุกเซกเตอร์

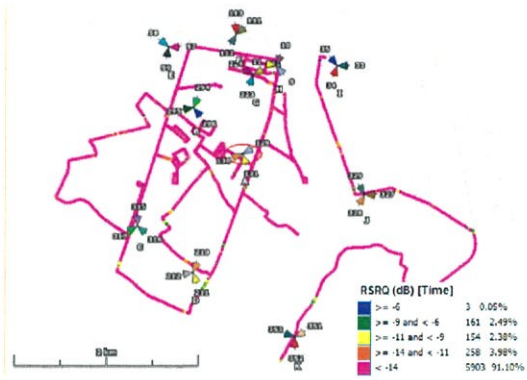
ตารางที่ 4.8 PS Throughput Test

Carrier aggregation (CA)	Average (Kbps) DL/UL	Maximum (Kbps) DL/UL	Ping (ms)	Remark
sector_1	126303.98/0	140529.22/0	-	
sector_2	123097.26/0	146769.37/0	-	
sector_3	146976.44/0	169919.39/0	-	
LTE PS speed	Average (Kbps) DL/UL	Maximum (Kbps) DL/UL	Ping (ms)	Remark
sector_1	90132.85/31705.09	104263.94/33874.34	-	
sector_2	93181.79/30287.07	100612.17/33131.32	-	
sector_3	88274.57/31932.36	104826.99/33841.01	-	

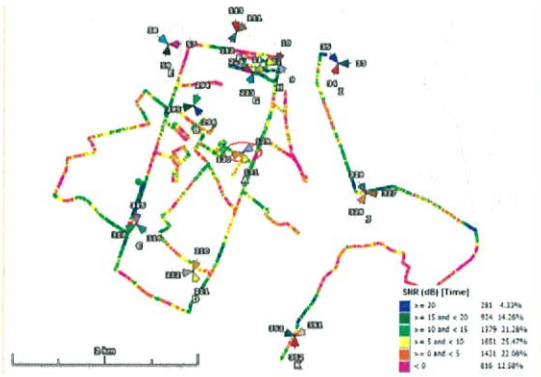
ผลการทดสอบ Mobility Test โดยการดึงข้อมูลจากโปรแกรม Nemo Analyze แสดงดังรูปที่ 4.27 โดยใช้สีแสดงเกณฑ์ของพารามิเตอร์ จากสีน้ำเงินซึ่งมีสัญญาณดีที่สุดไปยังพื้นที่ที่มีสัญญาณอ่อนที่สุด



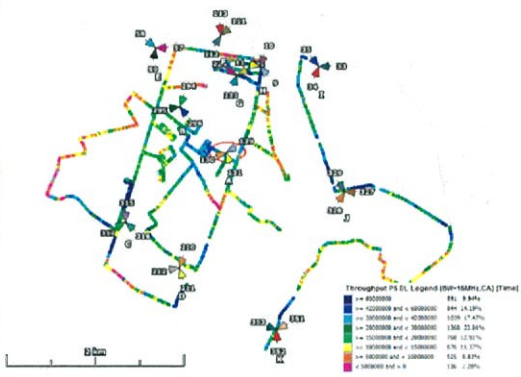
(ก)



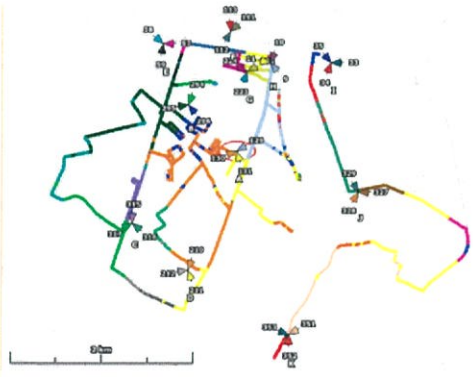
(ข)



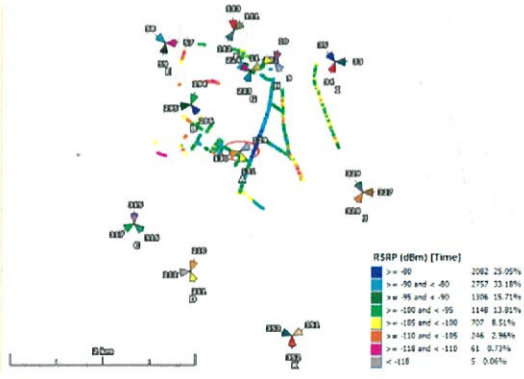
(ค)



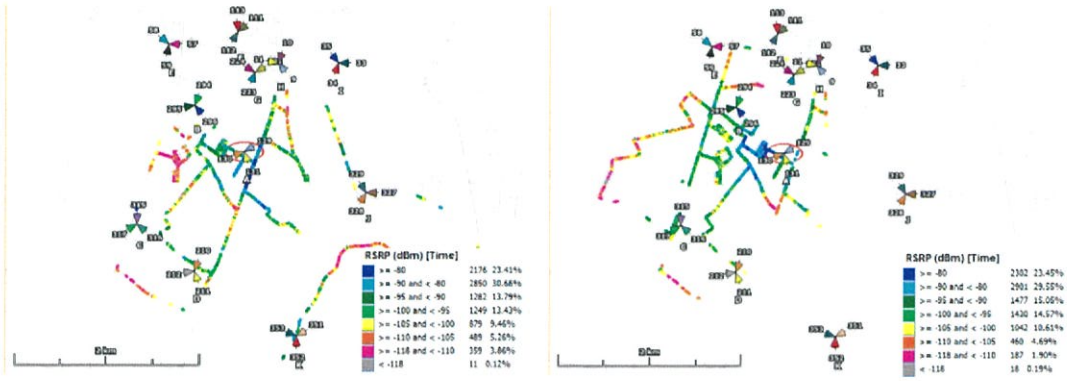
(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช) (ซ)

รูปที่ 4.27 Mobility Test ของระบบ 4G High band (L1800)

(ก) RSRP (ข) RSRQ (ค) SINR (ง) Throughput DL (จ) PCI (ฉ) RSRP เซกเตอร์หนึ่ง (PCI = 129)

(ช) RSRP เซกเตอร์สอง (PCI = 131) (ซ) RSRP เซกเตอร์สาม (PCI = 130)

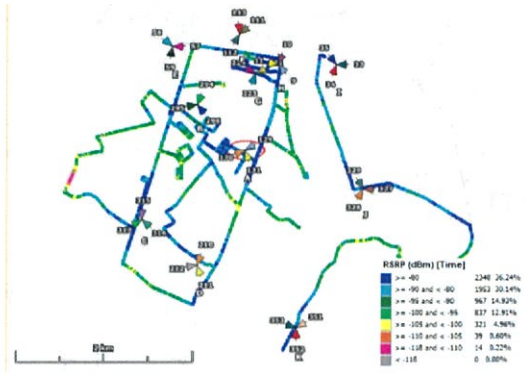
4.4.3.2 ระบบ L2100

ผลการทดสอบสัญญาณก่อนเปิดให้บริการของสถานีฐาน โหมดการใช้งานรับส่งข้อมูลดังตารางที่ 4.9 โดย มีค่าความเร็วในการอัพโหลดสูงสุด 65 เมกะบิตต่อวินาที และความเร็วในการอัพโหลดสูงสุด 18 เมกะบิตต่อวินาที โดยทำการทดสอบทุกเซกเตอร์ เซกเตอร์ละ 3 ครั้ง ได้ค่าเฉลี่ยดังตาราง ผลการทดสอบผ่านหมดทุกเซกเตอร์

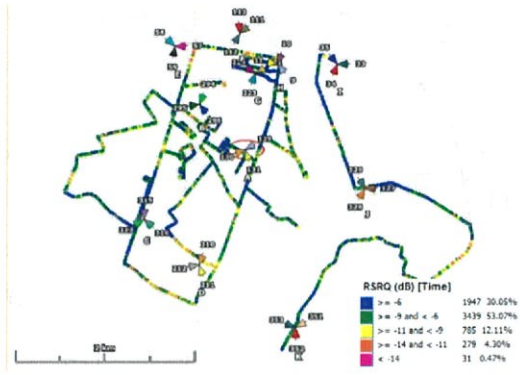
ตารางที่ 4.9 PS Throughput Test

LTE PS speed	Average (Kbps) DL/UL	Maximum (Kbps) DL/UL	Ping (ms)	Remark
sector_1	64147.47/18222.12	70491.22/23639.2	0	
sector_2	68763.01/22771.38	70130.72/23599.54	0	
sector_3	61893.91/22912.38	70456.21/23422.35	0	

ผลการทดสอบ Mobility Test โดยการดึงข้อมูลจากโปรแกรม Nemo Analyze แสดงดังรูปที่ 4.28 โดยใช้สีแสดงเกณฑ์ของพารามิเตอร์ จากสีน้ำเงินซึ่งมีสัญญาณดีที่สุดไปยังพื้นที่ที่มีสัญญาณอ่อนที่สุด


RSRP (dBm) [Time]
>= -80 2346 26.24%
>= -90 and < -80 1953 20.14%
>= -95 and < -90 967 14.92%
>= -100 and < -95 837 12.91%
>= -105 and < -100 321 4.96%
>= -110 and < -105 39 0.60%
>= -118 and < -110 14 0.22%
< -118 0 0.00%

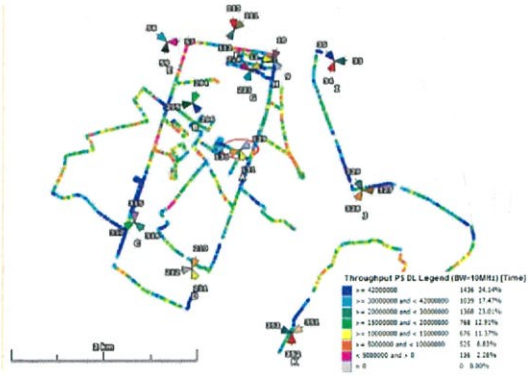
(ก)


RSRQ (dB) [Time]
>= -6 1947 30.05%
>= -9 and < -6 3439 53.07%
>= -11 and < -9 785 12.11%
>= -14 and < -11 279 4.30%
< -14 31 0.47%

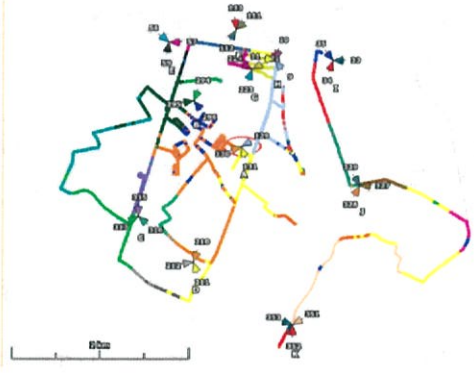
(ข)

SNR (dB) [Time]
>= 20 1873 28.90%
>= 15 and < 20 1609 24.84%
>= 10 and < 15 1578 24.34%
>= 5 and < 10 1036 15.99%
>= 0 and < 5 350 5.41%
< 0 34 0.52%

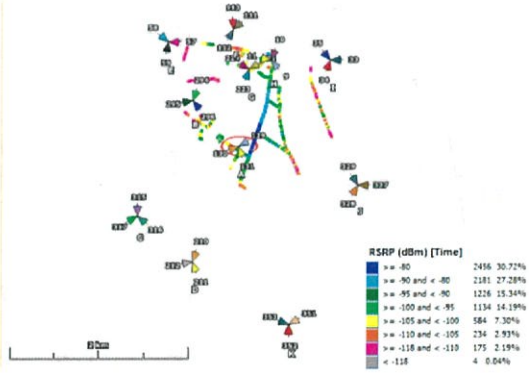
(ค)


Throughput PS DL Legend (BW=10MHz) [Time]

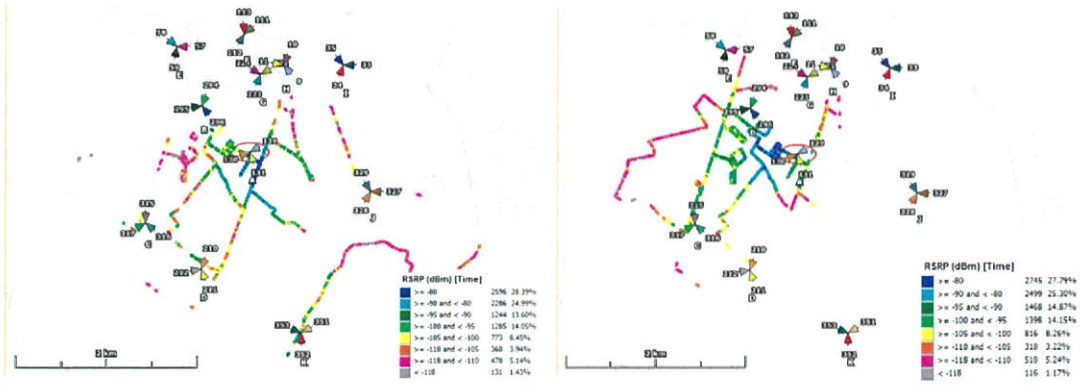
(ง)



(จ)


RSRP (dBm) [Time]
>= -80 2456 30.72%
>= -90 and < -80 2181 27.28%
>= -95 and < -90 1226 15.34%
>= -100 and < -95 1134 14.19%
>= -105 and < -100 584 7.30%
>= -110 and < -105 234 2.93%
>= -118 and < -110 175 2.19%
< -118 4 0.04%

(ฉ)



(ช) (ซ)

รูปที่ 4.28 Mobility Test ของระบบ 4G High band (L2100)

(ก) RSRP (ข) RSRQ (ค) SINR (ง) Throughput DL (จ) PCI (ฉ) RSRP เซกเตอร์หนึ่ง (PCI = 129)

(ช) RSRP เซกเตอร์สอง (PCI = 131) (ซ) RSRP เซกเตอร์สาม (PCI = 130)

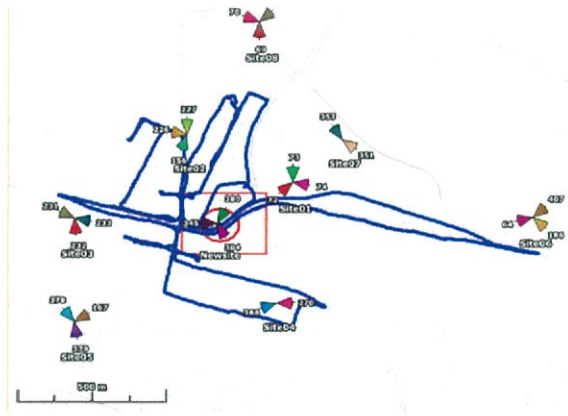
4.5 การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณของสถานีฐานเมื่อเปิดให้บริการแล้ว

4.5.1 LTE Low band (L900)

การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณต้องใช้ข้อมูลของสถานีฐานใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.10 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขสัญญาณ โดยใช้เส้นทางในการเช็คคุณภาพสัญญาณดังรูปที่ 4.29

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลของสถานีฐานที่ใกล้เคียง

Site Name	Sector	PCI	Azimuth	Antenna Height	E-Tilt	M-Tilt
Site01	1	73	0	41	8	6
	2	74	100	47	8	0
	3	72	230	52	7	0
Site02	1	227	0	18	8	1
	2	156	200	18	8	0
	3	226	280	18	8	3
Site03	1	233	100	35	8	2
	2	232	175	31	7	1
	3	231	295	31	7	1
Site04	1	279	90	26	5	4
	2	388	250	33	4	0



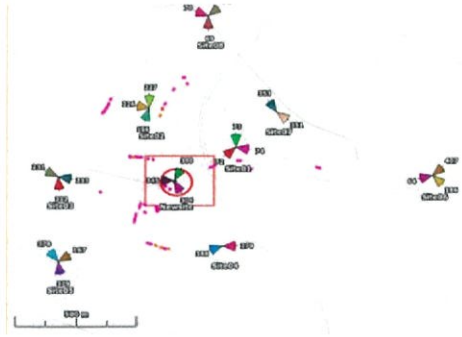
รูปที่ 4.29 เส้นทางการเช็คคุณภาพสัญญาณ

4.5.1.1 การวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหา

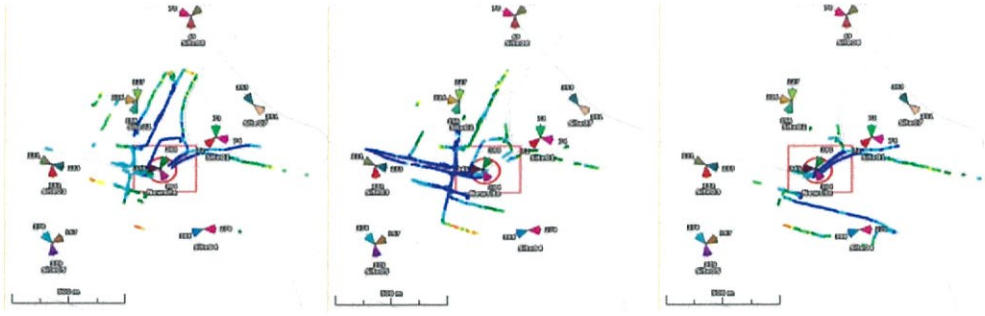
1) การวิเคราะห์ปัญหา

จากการทดสอบสัญญาณ บริเวณ PA มี Number of Cells จำนวน 4 เซลล์ขึ้นไป จากรูปที่ 4.30 ทำให้ทราบว่ามีการซ้อนทับกันของสัญญาณเป็นจำนวนมาก จึงดูค่าคุณภาพสัญญาณ

ของสถานีฐาน Newsite ทั้งสามเซกเตอร์ ดังรูปที่ 4.31 แต่ละเซกเตอร์มีพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณที่มี RSRP มากกว่า -80 dB เป็นช่วงกว้างไปจนถึงบริเวณสถานีฐานใกล้เคียง



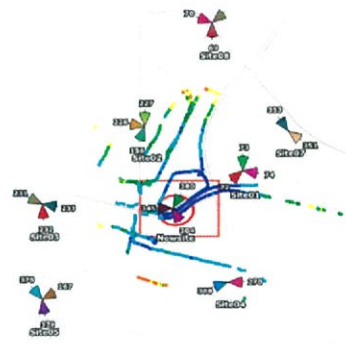
รูปที่ 4.30 Number of Cells



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.31 คุณภาพสัญญาณของสถานีฐาน Newsite
(ก) เซกเตอร์หนึ่ง (ข) เซกเตอร์สอง (ค) เซกเตอร์สาม

ค่าสัญญาณของสถานีฐานที่มีเซกเตอร์อยู่ในทิศทางเข้าหาสถานีฐาน Newsite จากรูปที่ 4.32 และรูปที่ 4.33 พบว่าสถานีฐาน Site01 เซกเตอร์สามและสถานีฐาน Site03 เซกเตอร์หนึ่ง มีค่าสัญญาณ RSRP มากกว่า -80 dB ที่บริเวณสถานีฐาน Newsite ซึ่งทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ



รูปที่ 4.32 RSRP ของสถานีฐาน Site01 เซกเตอร์สาม (PCI = 72)

รูปที่ 4.33 RSRP ของสถานีฐาน Site03 เซกเตอร์หนึ่ง (PCI = 233)

2) การแก้ไขปัญหา

- ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน Newsite เซกเตอร์หนึ่ง จาก 6 องศาเป็น 8 องศา เพื่อให้สัญญาณไม่ซ้อนทับกับสถานีฐานใกล้เคียง

- ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน Newsite เซกเตอร์สาม จาก 6 องศาเป็น 8 องศา เพื่อให้สัญญาณไม่ซ้อนทับกับสถานีฐานใกล้เคียง

- ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน Site01 เซกเตอร์สาม จาก 7 องศาเป็น 10 องศา เพื่อให้ความแรงสัญญาณบริเวณ Newsite มีค่าลดลง

- ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน Site03 เซกเตอร์หนึ่ง จาก 8 องศาเป็น 10 องศา เพื่อให้ความแรงสัญญาณบริเวณ Newsite มีค่าลดลง

4.5.2 LTE High band (L1800)

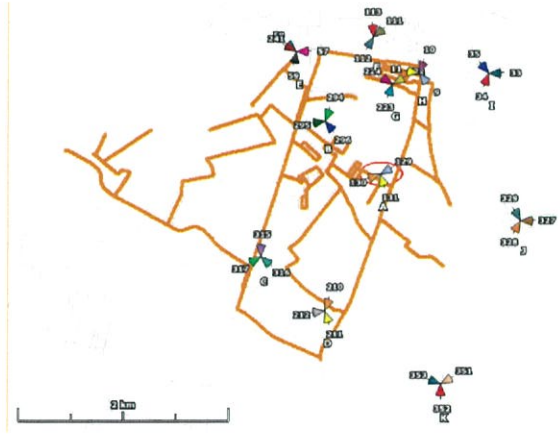
การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณต้องใช้ข้อมูลของสถานีฐานใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.11 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขสัญญาณ โดยใช้เส้นทางในการเช็คคุณภาพสัญญาณดังรูปที่ 4.34

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลของสถานีฐานที่ใกล้เคียง

Site Name	Sector	PCI	Azimuth	Antenna Height	E-Tilt	M-Tilt
A	1	129	40	31.5	6	0
	2	131	160	31.5	4	0
	3	130	270	31.5	5	0
B	1	294	20	25	10	0
	2	296	140	25	2	0
	3	295	260	25	5	0
C	1	315	0	41.2	7	2
	2	316	130	41.2	7	2
	3	317	240	41.2	5	2
D	1	210	20	40	6	0
	2	211	160	40	7	0
	3	212	260	40	8	0
E	1	57	90	30.8	8	0
	2	59	190	30.8	6	0
	3	58	310	30.8	6	0
F	1	111	50	35	10	0
	2	112	210	35	7	0
	3	113	355	35	5	0
G	1	222	60	30	9	0
	2	223	200	30	9	0
	3	224	300	30	8	0

ตารางที่ 4.11 ข้อมูลของสถานีฐานที่ใกล้เคียง (ต่อ)

Site Name	Sector	PCI	Azimuth	Antenna Height	E-Tilt	M-Tilt
H	1	10	20	17.5	5	0
	2	9	140	17.5	8	0
	3	11	280	17.5	8	0
I	1	33	90	36	8	0
	2	34	200	36	7	0
	3	35	320	36	10	0
J	1	327	327	30	4	2
	2	328	328	30	3	2
	3	329	329	30	5	2
K	1	351	60	32	7	2
	2	352	180	32	3	2
	3	353	290	32	5	2



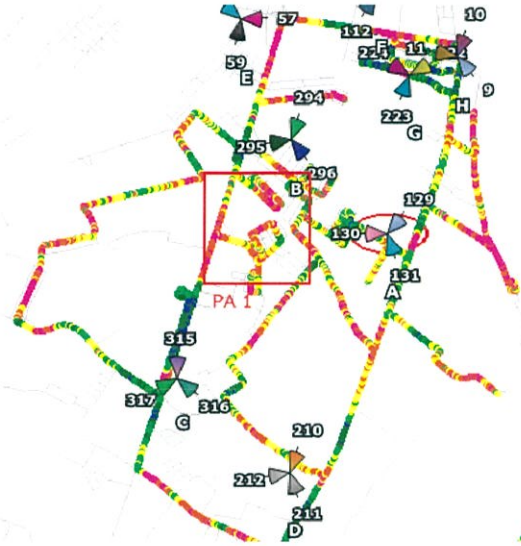
รูปที่ 4.34 เส้นทางการเช็คคุณภาพสัญญาณ

4.5.2.1 การวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหา

1) การวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาบริเวณ PA1

การวิเคราะห์ครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.35 พบว่าบริเวณ PA1 มีคุณภาพสัญญาณ SINR เป็นสีชมพูซึ่งอยู่ในระดับน้อยกว่า 0 dB อยู่มาก จึงให้บริเวณดังกล่าวเป็น “Poor SINR”



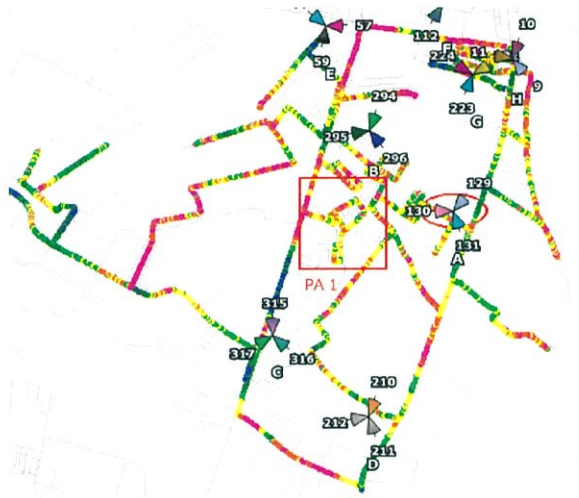
รูปที่ 4.35 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1

ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม (PCI: 130) จาก 5 องศา เป็น 2 องศา เพื่อเพิ่มความแรงของสัญญาณบริเวณ PA1 และปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน G เซกเตอร์สอง (PCI: 223) จาก 9 องศา เป็น 10 องศา เพื่อลดความแรงของสัญญาณไม่ให้ไปรบกวนสถานีฐาน A

การวิเคราะห์ครั้งที่ 2

จากการปรับอีทิล์ในครั้งที่ 1 พบว่าคุณภาพสัญญาณ RSRP ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม มีสัญญาณครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง เกิดสัญญาณรบกวนบริเวณสถานีฐานโดยรอบ ดังรูปที่ 4.36



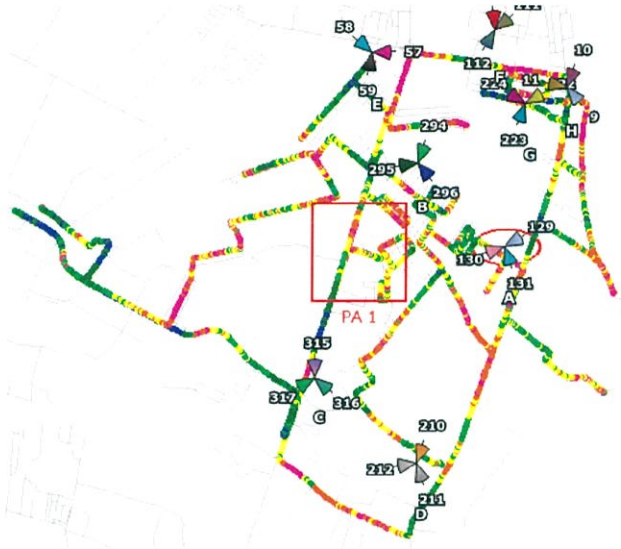
รูปที่ 4.36 คุณภาพสัญญาณ RSRP ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

ปรับมุมอะซิมุทสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม (PCI: 130) จาก 270 องศา เป็น 250 องศา เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณ PA1 ซึ่งเป็นถนนมากขึ้น ปรับอีทิลท์จากเดิม 2 องศา เป็น 5 องศา เพื่อลดความแรงของสัญญาณที่รบกวนบริเวณสถานีฐานรอบข้าง ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน B จาก 2 องศา เป็น 5 องศา เพื่อลดความแรงของสัญญาณในบริเวณสถานีฐาน A และปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน C เซกเตอร์หนึ่ง (PCI: 315) จากมุม 2 องศา เป็น 5 องศา เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบริเวณ PA1

การวิเคราะห์ครั้งที่ 3

จากรูป 4.37 คุณภาพสัญญาณ SINR มีบริเวณที่เป็นสีชมพูลดลง แสดงว่าบริเวณ PA1 มีค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ดีขึ้น



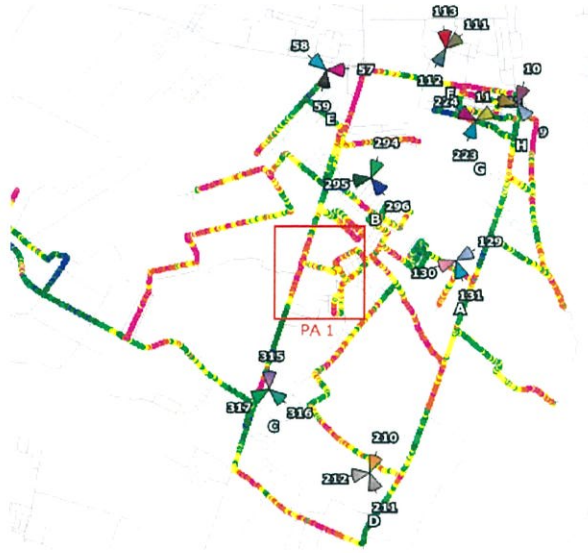
รูปที่ 4.37 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 3

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 3

ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน C เซกเตอร์หนึ่ง (PCI: 315) จาก 5 องศา เป็น 7 องศา เพื่อเพิ่มความเข้มของสัญญาณ

การวิเคราะห์ครั้งที่ 4

จากการปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน C ค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ลดลงดังรูปที่ 4.38 เมื่อทำการดูค่า RSRP ของเซลล์ที่อุปกรณ์จับได้ดังรูปที่ 4.39 พบว่าคุณภาพของสัญญาณ RSRP ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม (PCI: 130) สถานีฐาน B เซกเตอร์สอง (PCI: 296) และสถานีฐาน C เซกเตอร์หนึ่ง (PCI: 315) มีความแรงของสัญญาณใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.38 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA1 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 4

RSRP detected set		
Ch	PCI	RSRP
1275	130	-87.8 dBm
1275	296	-88.9 dBm
1275	315	-95.1 dBm

รูปที่ 4.39 ค่า RSRP ของเซลล์ที่อุปกรณ์จับได้

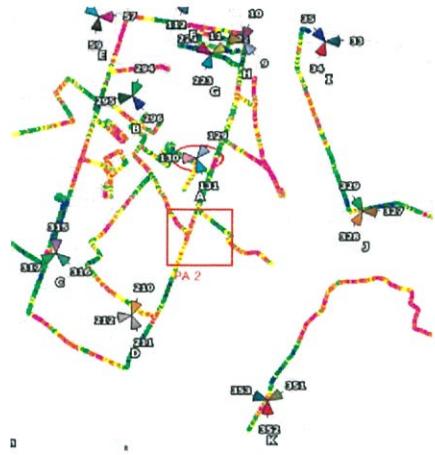
การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 4

ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สาม (PCI: 130) จาก 5 องศา เป็น 7 องศา เพื่อลดความแรงของสัญญาณบริเวณ PA1 ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน C เซกเตอร์หนึ่ง (PCI: 315) จาก 7 องศา เป็น 5 องศา เพื่อให้พื้นที่สัญญาณครอบคลุมบริเวณ PA1 มากขึ้น และปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน B เซกเตอร์สอง (PCI: 296) จากเดิม 5 องศา เป็น 8 องศา เพื่อลดความแรงสัญญาณที่พื้นที่บริเวณสถานีฐาน A

2) การวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาบริเวณ PA2

การวิเคราะห์ครั้งที่ 1

จากรูปที่ 4.40 พบว่าบริเวณ PA1 มีคุณภาพสัญญาณ SINR เป็นสีชมพูอยู่ในระดับน้อยกว่า 0 dB หมายความว่ามีคุณภาพสัญญาณ SINR ที่ไม่ดี จึงให้บริเวณดังกล่าวเป็น “Poor SINR”



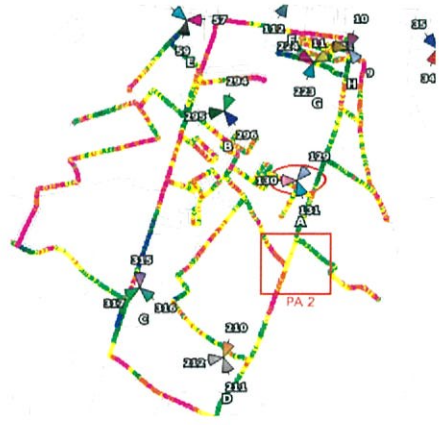
รูปที่ 4.40 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA2 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1

ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน A เซกเตอร์สอง (PCI: 131) จากเดิม 4 องศา เป็น 2 องศา เพื่อเพิ่มความแรงสัญญาณบริเวณ PA2 และปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน D (PCI: 210) จาก 6 องศา เป็น 10 องศา เพื่อไม่ให้เกิดการซ้อนทับกันระหว่างสัญญาณจากสถานีฐาน D และสถานีฐาน A ในบริเวณ PA2

การวิเคราะห์ครั้งที่ 2

จากรูปที่ 4.41 พบว่าภายหลังจากการปรับอีทิลด์ในครั้งที่ 1 ค่าสัญญาณ SINR ลดลง มีพื้นที่ที่เป็นสีชมพู (น้อยกว่า 0 dB) มากขึ้น



รูปที่ 4.41 คุณภาพสัญญาณ SINR บริเวณ PA2 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

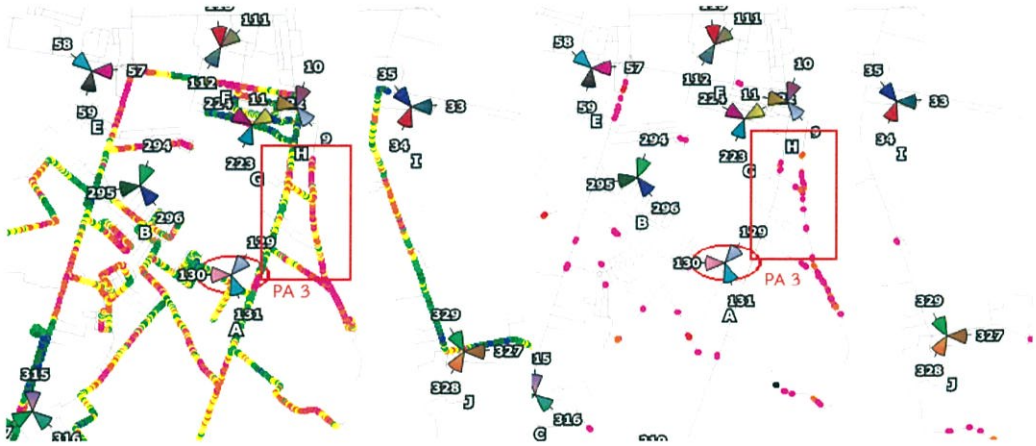
การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

ปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน D (PCI: 210) จาก 10 องศา เป็น 8 องศา เพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณ SINR

3) การวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาบริเวณ PA3

การวิเคราะห์ครั้งที่ 1

บริเวณ PA3 มีค่าของสัญญาณ SINR เป็นสีชมพูคืออยู่ในระดับต่ำกว่า 0 dB (รูปที่ 4.42 (ก)) และมีจำนวน Number of cells อยู่มาก (รูปที่ 4.42 (ข)) จึงให้บริเวณนี้เป็น “Poor SINR”



(ก) (ข)

รูปที่ 4.42 พารามิเตอร์บริเวณ PA 2 ก่อนการแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1 (ก) SINR (ข) Number of cells

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 1

ปรับอีทิลท์ที่สถานีฐาน A เซกเตอร์หนึ่ง (PCI: 129) จากเดิม 6 องศา เป็น 4 องศา เพื่อให้เป็นเซิร์ฟหลักในบริเวณ PA3 รวมถึงปรับอีทิลท์ที่สถานีฐาน I เซกเตอร์สอง (PCI: 34) และสถานีฐาน J เซกเตอร์สาม (PCI: 329) จากเดิม 7 องศา เป็น 9 องศา และจากเดิม 5 องศา เป็น 7 องศา ตามลำดับ เพื่อลดความแรงของสัญญาณที่จะทำให้เกิดการสัญญาณรบกวนในบริเวณ PA3

การวิเคราะห์ครั้งที่ 2

จากรูปที่ 4.43 (ก) และรูปที่ 4.43 (ข) แสดงความกว้างโดยประมาณของ Beam width ของสถานีฐาน A เซกเตอร์หนึ่ง และสถานีฐาน G เซกเตอร์สองตามลำดับ จะเห็นว่าที่สถานีฐาน A สัญญาณบางส่วนอาจไปรบกวนสถานีฐาน G และสถานีฐาน H

(ก) (ข)

รูปที่ ความกว้างของ 4.43Beam width (ก) PCI: 129 (ข) PCI: 223

การแก้ไขปัญหาครั้งที่ 2

ปรับมุมอะซิมุทของสถานีฐาน A เซกเตอร์หนึ่ง (PCI: 129) จากเดิม 4 องศา เป็นมุม 6 องศา เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนที่บริเวณสถานีฐาน G และสถานีฐาน H และเพื่อให้สัญญาณครอบคลุมพื้นที่บริเวณ PA3 มากยิ่งขึ้น

4.6 ผลการปรับปรุงและแก้ปัญหา

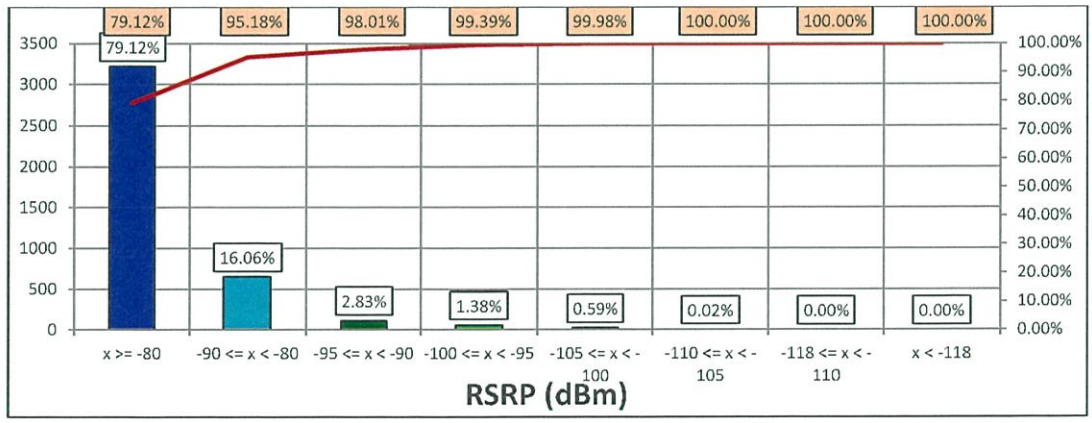
หลังจากทำการวิเคราะห์ปัญหาดังหัวข้อ 4.5 ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงผลการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา โดยแสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.6.1 LTE Low band (L900)

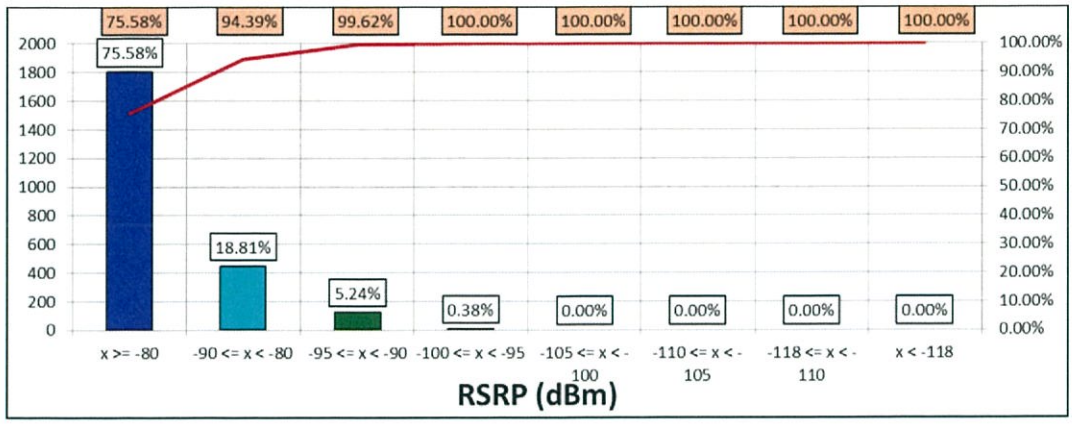
4.6.1.1 RSRP

ตารางที่ 4.12 RSRP Legend

RSRP Legend		
RSRP Level	Labels	Color
x >= -80	Excellent	
-90 <= x < -80	Very good	
-95 <= x < -90	Good	
-100 <= x < -95	Fair	
-105 <= x < -100	Weak	
-110 <= x < -105	Poor	
-118 <= x < -110	Very poor	
x < -118	No coverage	

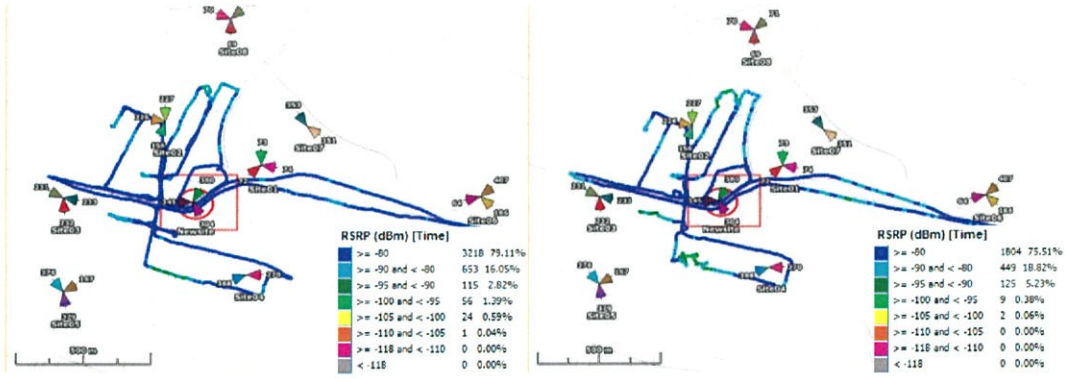


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.44 กราฟ RSRP Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง



(ก) (ข)

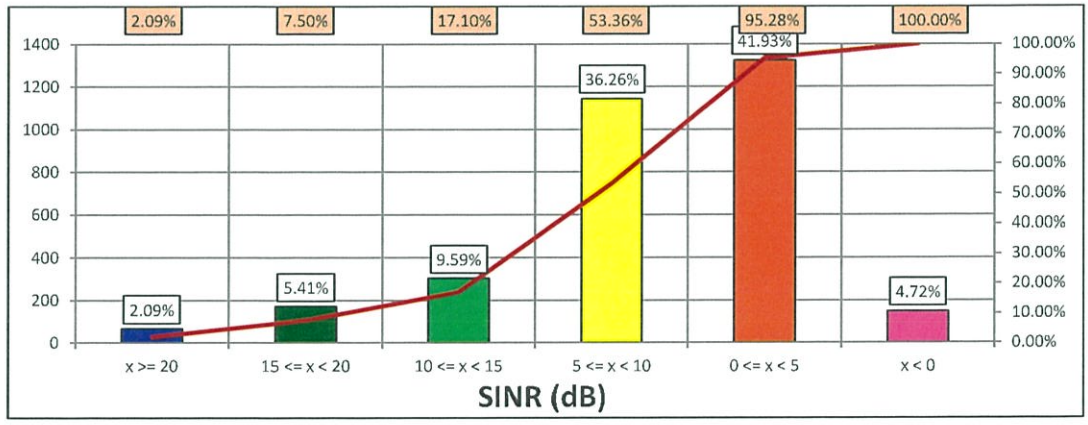
รูปที่ 4.45 RSRP Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.44 พบว่าค่าความแรงสัญญาณ RSRP ที่มากกว่าหรือเท่ากับ -90 dB มีค่าลดลงจาก 79.12 เปอร์เซ็นต์ เป็น 75.58 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากทำการปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน A ลง พื้นที่ที่มีความเข้มของสัญญาณสูงหรือพื้นที่สีน้ำเงินจึงน้อยลงด้วย

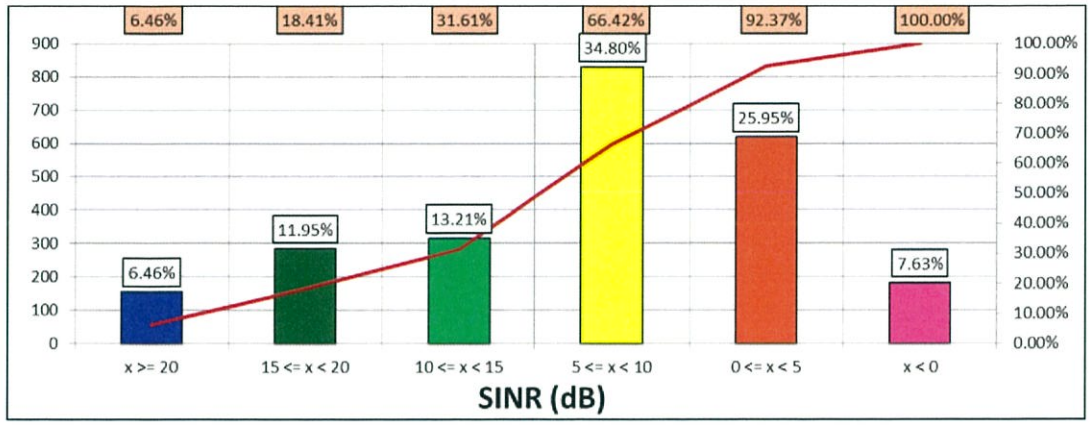
4.6.1.2 SINR

ตารางที่ 4.13 SINR Legend

SINR Legend		
SINR Level	Label	Color
x >= 20	Excellent	
15 <= x < 20	Good	
10 <= x < 15	Fair	
5 <= x < 10	Poor	
0 <= x < 5	Very poor	
x < 0	No Service	

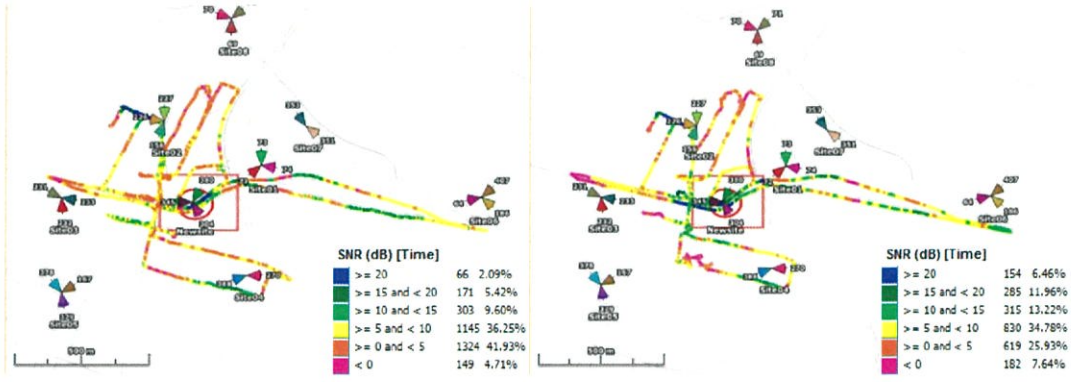


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.46 กราฟ SINR Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

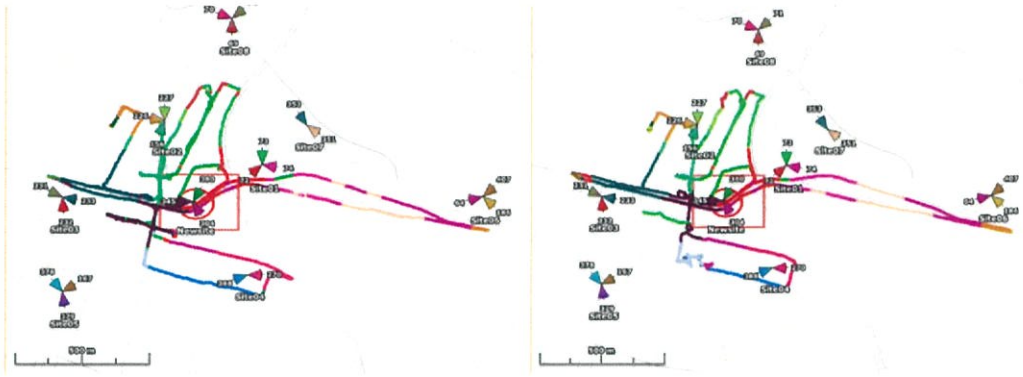


(ก) (ข)

รูปที่ 4.47 SINR Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.46 พบว่าค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 20 dB มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.09 เปอร์เซ็นต์ เป็น 6.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 4.37 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ 15 dB มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5.41 เปอร์เซ็นต์ เป็น 11.95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 6.54 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

4.6.1.3 PCI



(ก) (ข)

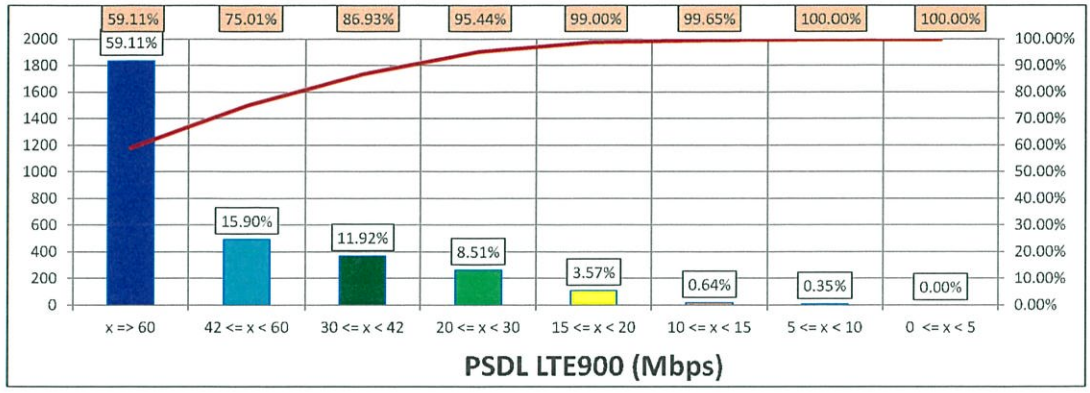
รูปที่ 4.48 PCI Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากรูปที่ 4.48 ผลการทดสอบสัญญาณค่า Physical cell identity (PCI) แสดงทิศทางและพื้นที่ของสัญญาณในแต่ละ PCI พบว่าสัญญาณมีการแบ่งแยกขอบเขตชัดเจนขึ้น

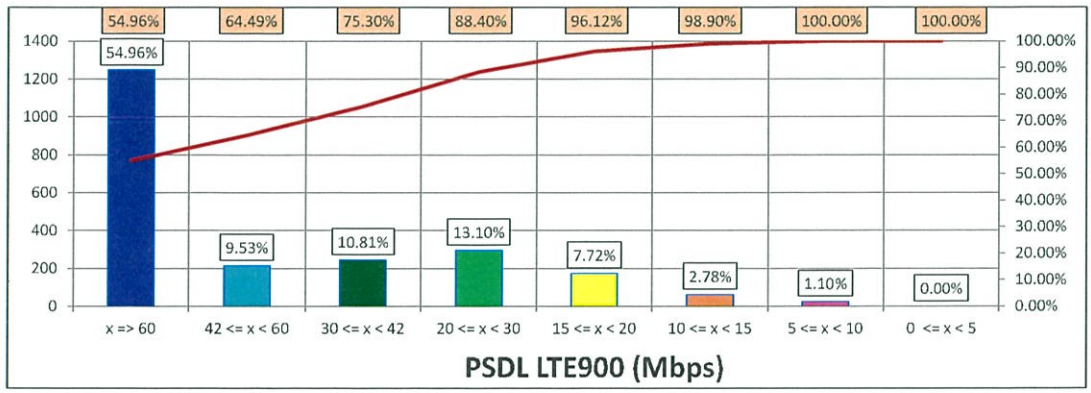
4.6.1.4 PS DL Throughput

ตารางที่ 4.14 PS DL Legend

Throughput PS DL Legend		
Throughput Level	Labels	Color
x => 60000 kbps	> 60 Mbps	
42000 <= x < 60000 kbps	42 to 60 Mbps	
30000 <= x < 42000 kbps	30 to 42 Mbps	
20000 <= x < 30000 kbps	20 to 30 Mbps	
15000 <= x < 20000 kbps	15 to 20 Mbps	
10000 <= x < 15000 kbps	10 to 15 Mbps	
5000 <= x < 10000 kbps	5 to 10 Mbps	
x =< 5000 kbps	No Service	

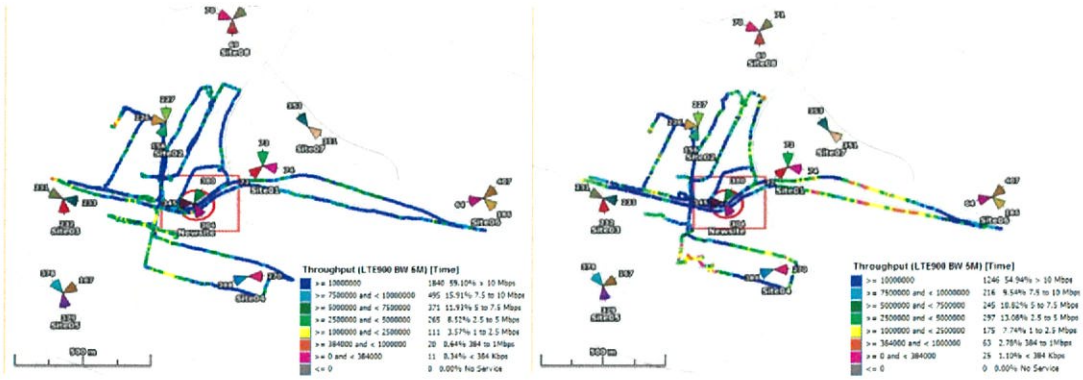


(ก)



(ข)

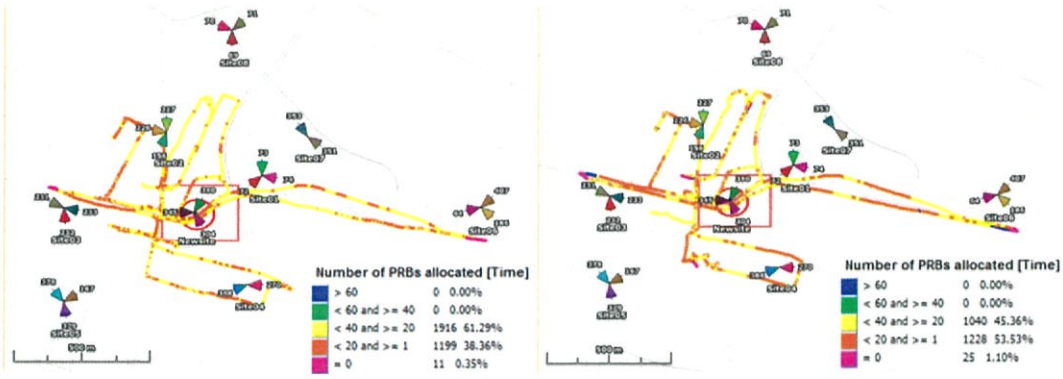
รูปที่ 4.49 กราฟ PS DL Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง



(ก) (ข)

รูปที่ 4.50 PS DL Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.49 พบว่าค่าความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าลดลงจาก 59.11% เป็น 54.96 % เนื่องจากช่วงเวลาในการทดสอบต่างกันส่งผลให้มีจำนวนผู้เข้าใช้งานต่างกัน จึงทำการพล็อตค่าจำนวน PRB ซึ่งแสดงถึงจำนวนของ Resource block (RB) ที่ผู้ใช้งานสามารถใช้ได้ในช่วงเวลานั้น ถ้ามีผู้ใช้งานจำนวนมากจะสามารถใช้งาน RB ได้น้อยลง โดยสีน้ำเงินจะเป็นเกณฑ์ที่ดีที่สุดในการใช้ RB คือมีจำนวนมากกว่า 60 จากรูปที่ 4.51 พบว่าในช่วง RB น้อยกว่า 40 แต่มากกว่าหรือเท่ากับ 20 ในช่วงก่อนการปรับปรุงจะมีค่ามากถึง 61.29% ในขณะที่หลังปรับปรุงมีค่า 45.36% แสดงว่าผู้เข้าใช้งานในช่วงหลังปรับปรุงมีจำนวนมากกว่าผู้ใช้งานก่อนปรับปรุง เป็นผลให้ค่าความเร็วในการส่งข้อมูลลดลง



(ก) (ข)

รูปที่ 4.51 จำนวน PRB (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

4.6.1.5 ผลการคำนวณเพื่อตรวจรับตามเกณฑ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้งาน

ตารางที่ 4.15 ค่า KPI Parameter ของระบบ 4G Low Band (LTE)

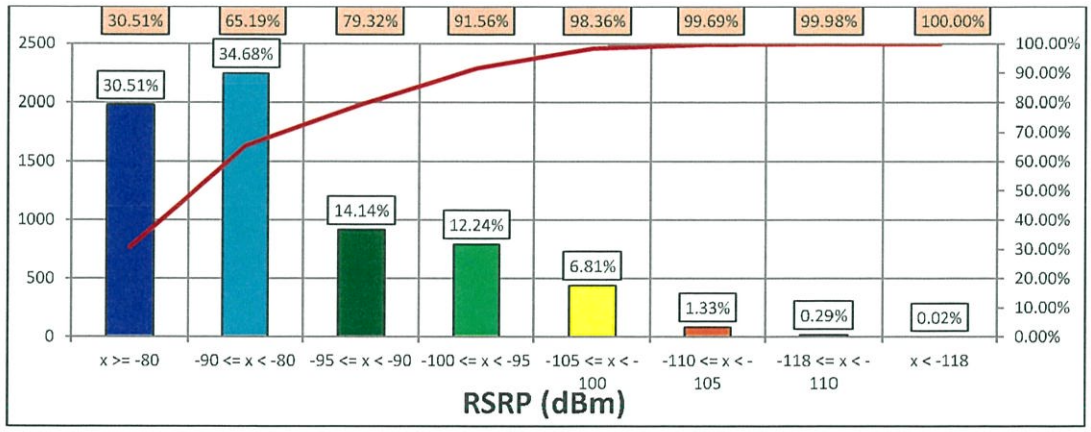
KPI Parameter	Target	Value	Sample	Pass/Fail
EPS Attach Success Rate	> 99%	100%	10/10	Pass
LTE Service Request Success Rate	>98%	100%	23/23	Pass
CSFB_Voice Call Setup Success Rate	>98.5%	100%	88/88	Pass
CSFB_Voice Call Setup Time	95 %calls <6s	95.45%	84/88	Pass
PDP Context Activation Success Rate	> 98%	100%	23/23	Pass
Successul rate of establishing FTP connection	> 98%	100%	13/13	Pass
Intra LTE Handover Success Rate	> 98%	100%	109/109	Pass
Handover Interruption Time on U-plane)Downlink(	< 90ms	42.7%		Pass
PDP Context Call Drop Rate	<1%	0%	0/6	Pass

4.6.2 LTE High band (L1800)

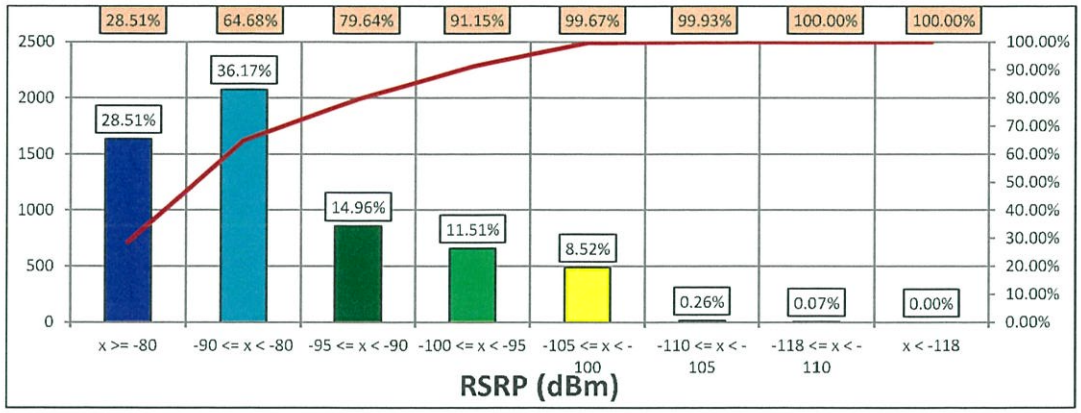
4.6.2.1 RSRP

ตารางที่ 4.16 RSRP Legend

RSRP Legend		
RSRP Level	Labels	Color
x >= -80	Excellent	
-90 <= x < -80	Very good	
-95 <= x < -90	Good	
-100 <= x < -95	Fair	
-105 <= x < -100	Weak	
-110 <= x < -105	Poor	
-118 <= x < -110	Very poor	
x < -118	No coverage	

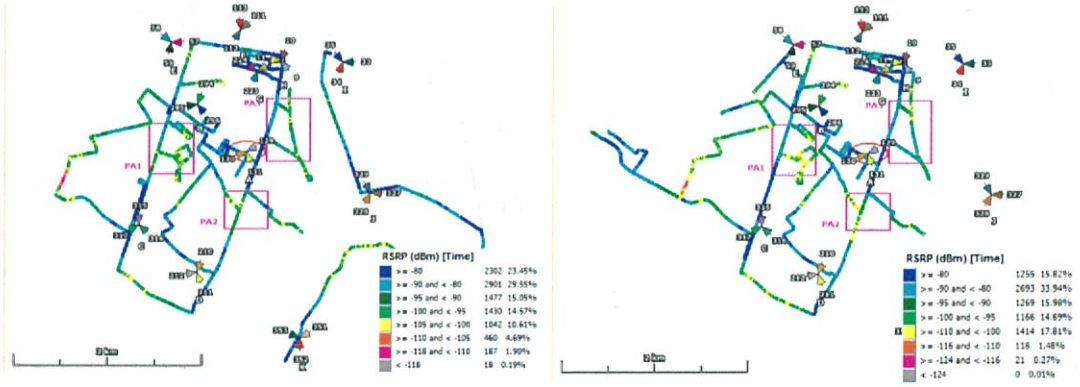


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.52 กราฟ RSRP Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง



(ก) (ข)

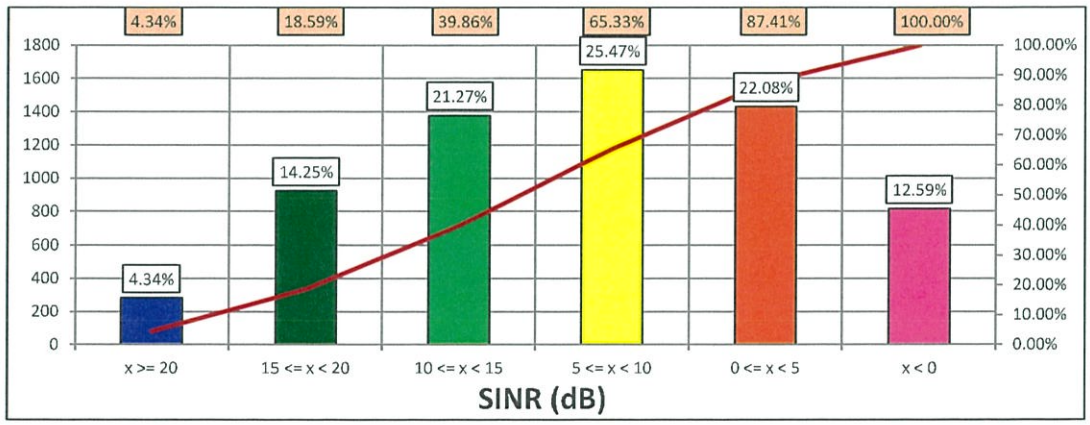
รูปที่ 4.53 RSRP Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.52 พบว่าค่าความแรงสัญญาณ RSRP มีค่าลดลง ที่มากกว่าหรือเท่ากับ -80 dBm มีค่าลดลงจาก 30.51 เปอร์เซ็นต์เป็น 28.51 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากทำการปรับอีทิลท์ของสถานีฐาน A ลง พื้นที่ที่มีความเข้มของสัญญาณสูงหรือพื้นที่สีน้ำเงินจึงน้อยลงด้วย

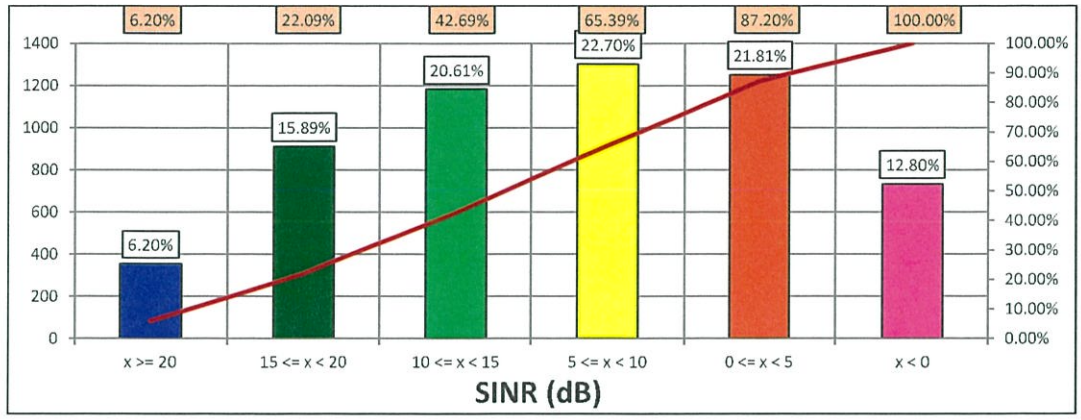
4.6.2.2 SINR

ตารางที่ 4.17 SINR Legend

SINR Legend		
SINR Level	Label	Color
x >= 20	Excellent	
15 <= x < 20	Good	
10 <= x < 15	Fair	
5 <= x < 10	Poor	
0 <= x < 5	Very poor	
x < 0	No Service	

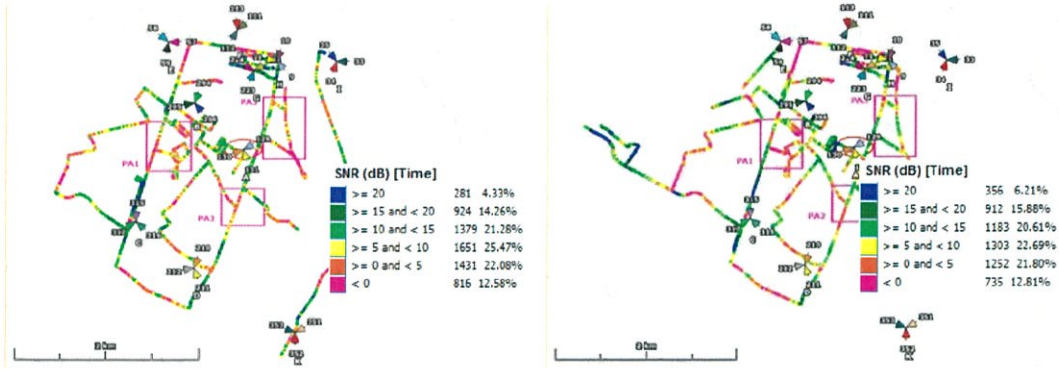


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.54 กราฟ SINR Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

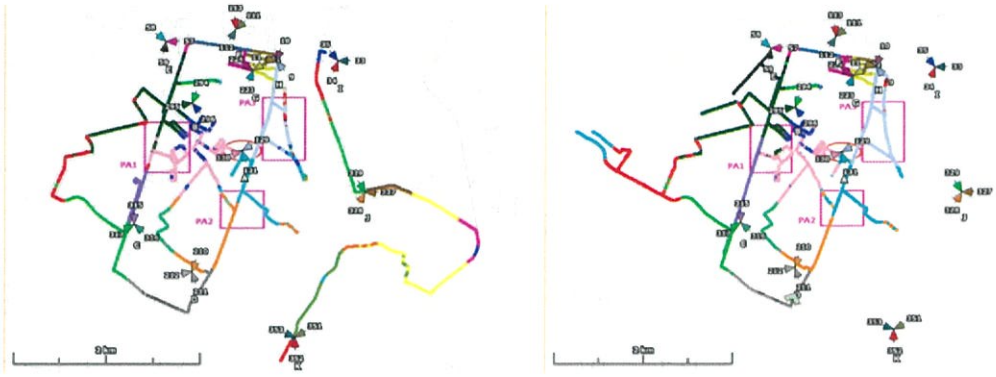


(ก) (ข)

รูปที่ 4.55 SINR Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.54 พบว่าค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 20 dB มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.34 เปอร์เซ็นต์ เป็น 6.20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 1.86 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงมากกว่าหรือเท่ากับ 15 dB มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 14.25 เปอร์เซ็นต์ เป็น 15.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 1.64 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

4.6.2.3 PCI



(ก) (ข)

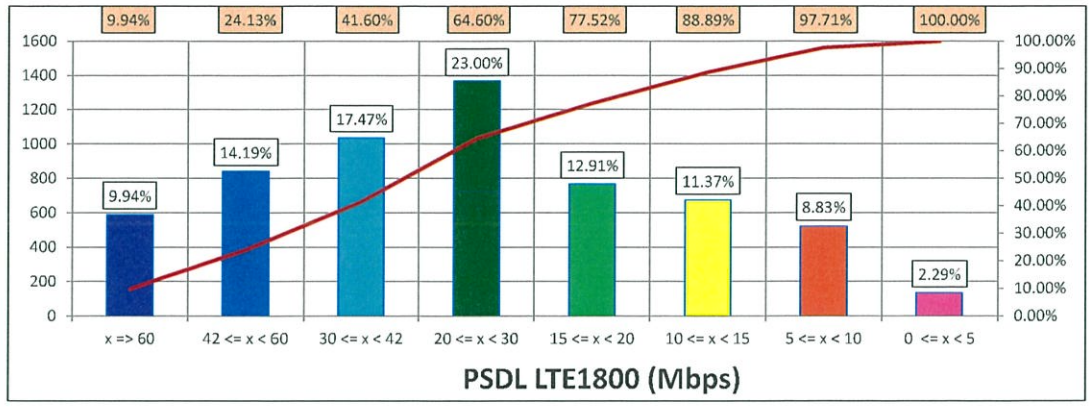
รูปที่ 4.56 PCI Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากรูปที่ 4.56 ผลการทดสอบสัญญาณค่า Physical cell identity (PCI) แสดงทิศทางและพื้นที่ของสัญญาณในแต่ละ PCI พบว่าสัญญาณมีการแบ่งแยกพื้นที่ชัดเจนขึ้น

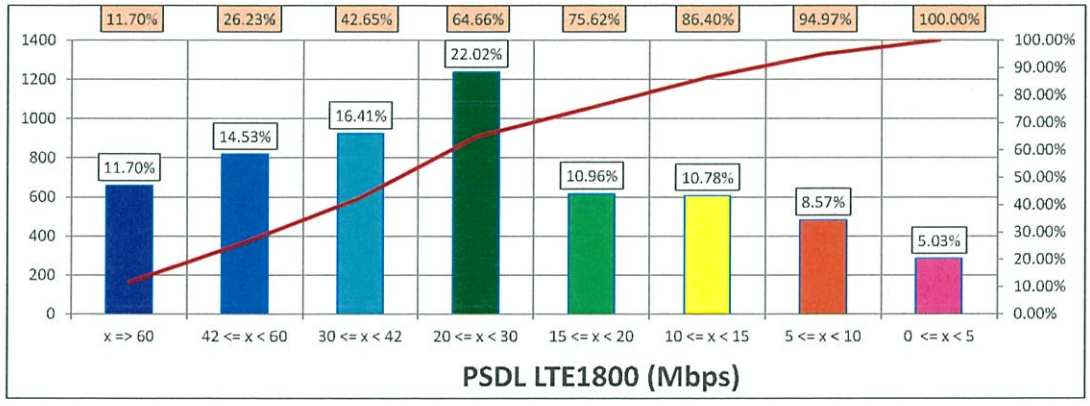
4.6.2.4 PS DL Throughput

ตารางที่ 4.18 PS DL Legend

Throughput PS DL Legend		
Throughput Level	Labels	Color
x => 60000 kbps	> 60 Mbps	
42000 <= x < 60000 kbps	42 to 60 Mbps	
30000 <= x < 42000 kbps	30 to 42 Mbps	
20000 <= x < 30000 kbps	20 to 30 Mbps	
15000 <= x < 20000 kbps	15 to 20 Mbps	
10000 <= x < 15000 kbps	10 to 15 Mbps	
5000 <= x < 10000 kbps	5 to 10 Mbps	
x =< 5000 kbps	No Service	

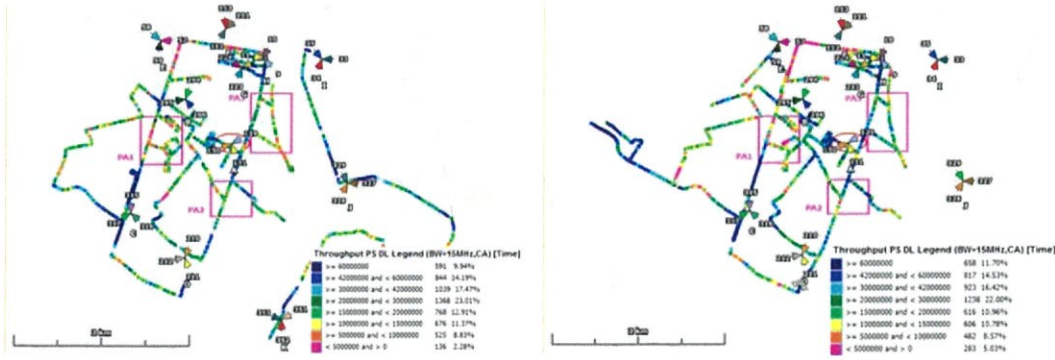


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.57 กราฟ PS DL Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง



(ก) (ข)

รูปที่ 4.58 PS DL Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.57 พบว่าค่าความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากกว่าหรือเท่ากับ 42 เมกะบิตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 9.94 เปอร์เซ็นต์เป็น 11.70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 1.76 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงที่น้อยกว่า 42 เมกะบิตต่อวินาที แต่มากกว่าหรือเท่ากับ 30 เมกะบิตต่อวินาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 14.19 เปอร์เซ็นต์ เป็น 14.53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 1.64 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

4.6.2.5 ผลการคำนวณเพื่อตรวจรับตามเกณฑ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้งาน

ตารางที่ 4.19 ค่า KPI Parameter ของระบบ 4G High Band (LTE)

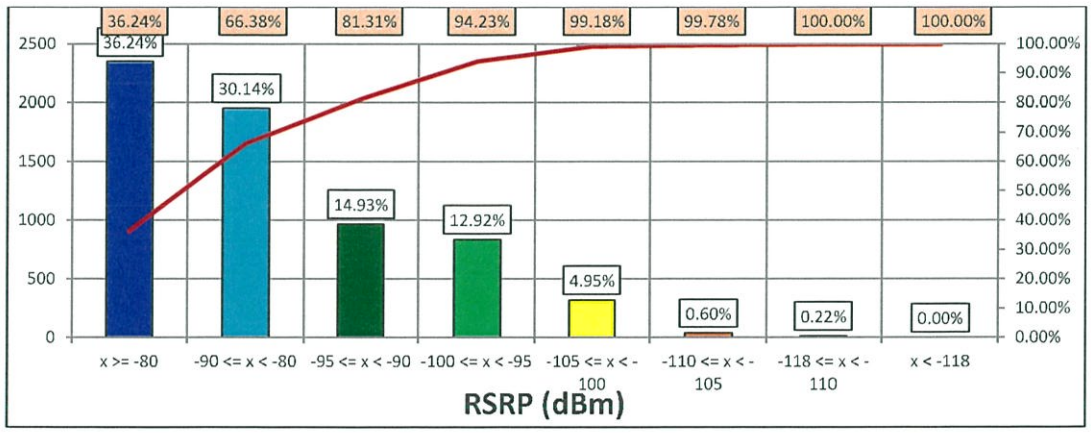
KPI Parameter	Target	Value	Sample	Pass/Fail
EPS Attach Success Rate	> 99%	100%	15/15	Pass
LTE Service Request Success Rate	>98%	100%	81/81	Pass
CSFB_Voice Call Setup Success Rate	>98.5%	100%	142/142	Pass
CSFB_Voice Call Setup Time	95% calls <6s	96%	136/142	Pass
PDP Context Activation Success Rate	> 98%	100%	81/81	Pass
Successful rate of establishing FTP connection	> 98%	100%	62/62	Pass
Intra LTE Handover Success Rate	> 98%	100%	218/218	Pass
Handover Interruption Time on U-plane (Downlink)	< 90 ms	42%		Pass
PDP Context Call Drop Rate	<1%	0%	0/4	Pass

4.6.3 LTE High band (L2100)

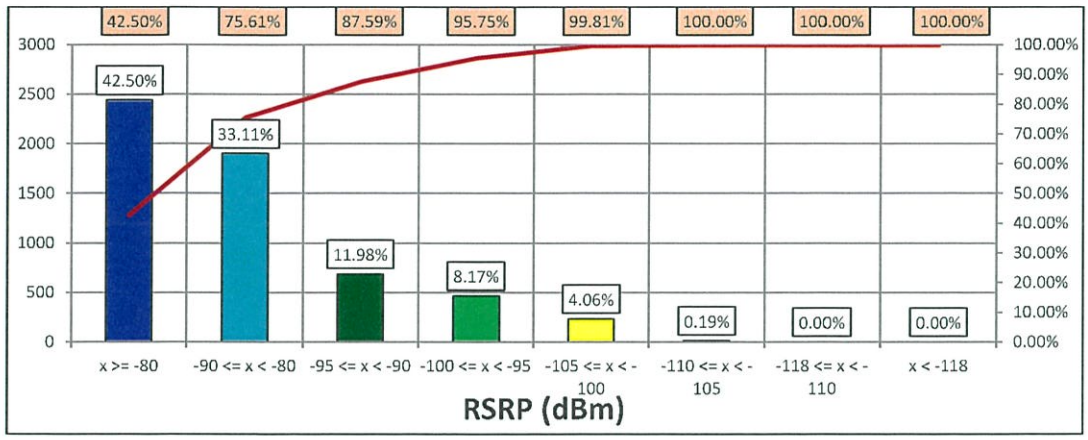
4.6.3.1 RSRP

ตารางที่ 4.20 RSRP Legend

RSRP Legend		
RSRP Level	Labels	Color
x >= -80	Excellent	
-90 <= x < -80	Very good	
-95 <= x < -90	Good	
-100 <= x < -95	Fair	
-105 <= x < -100	Weak	
-110 <= x < -105	Poor	
-118 <= x < -110	Very poor	
x < -118	No coverage	

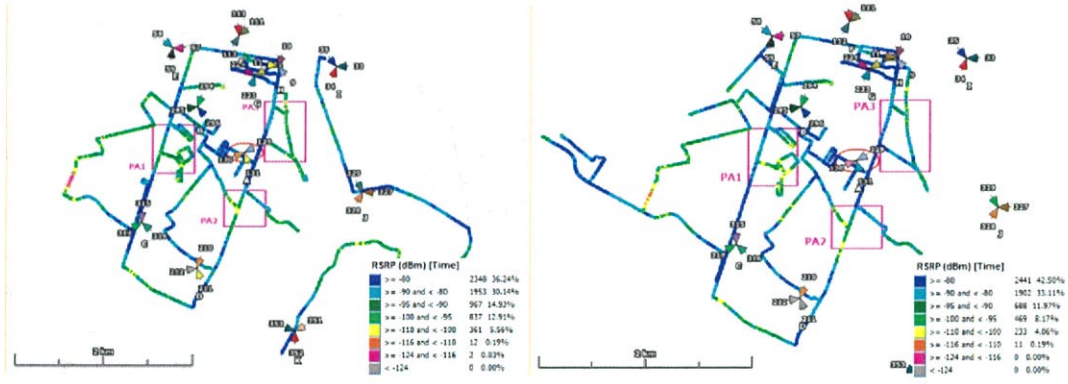


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.59 กราฟ RSRP Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง



(ก) (ข)

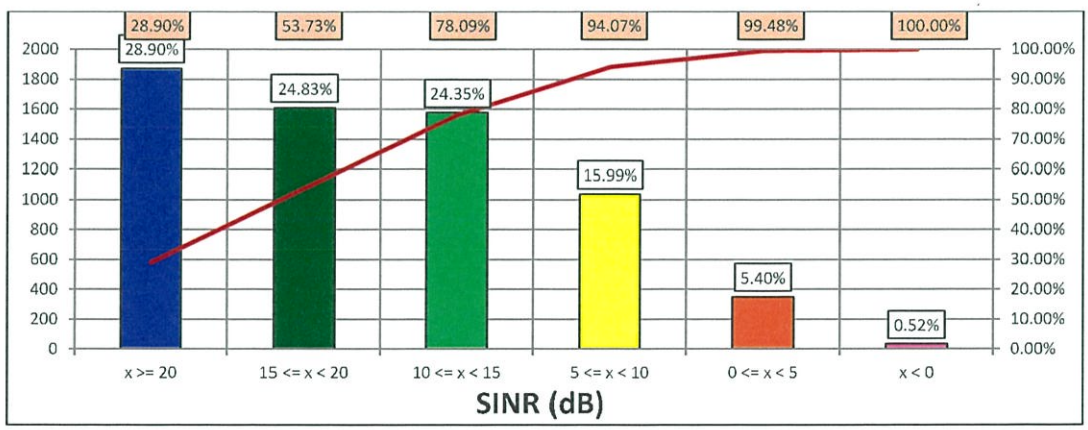
รูปที่ 4.60 RSRP Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.59 พบว่าค่าความแรงสัญญาณ RSRP มีเพิ่มขึ้น ที่มากกว่าหรือเท่ากับ -80 dBm มีค่าจาก 36.24 เปอร์เซ็นต์ เป็น 42.50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 6.26 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด และที่มากกว่าหรือเท่ากับ -90 dBm แต่น้อยกว่า -80 dBm มีค่าจาก 30.14 เปอร์เซ็นต์ เป็น 33.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าเดิม 2.97 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด

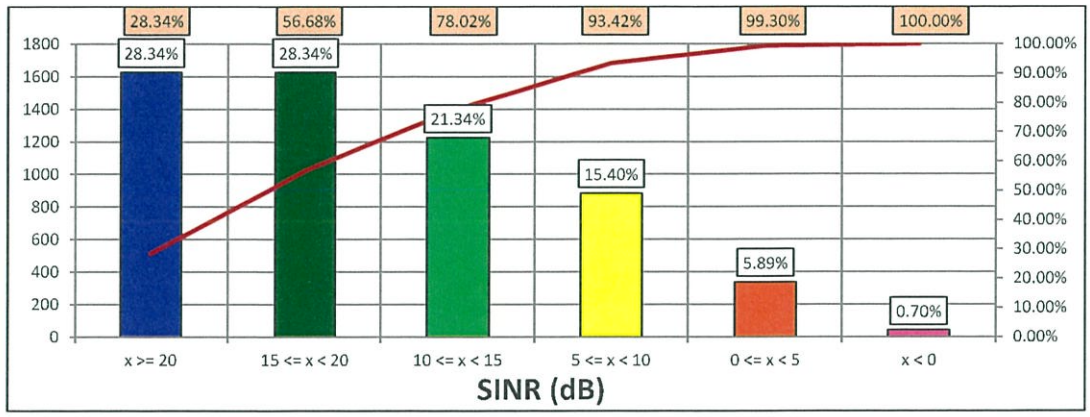
4.6.3.2 SINR

ตารางที่ 4.21 SINR Legend

SINR Legend		
SINR Level	Label	Color
x >= 20	Excellent	
15 <= x < 20	Good	
10 <= x < 15	Fair	
5 <= x < 10	Poor	
0 <= x < 5	Very poor	
x < 0	No Service	

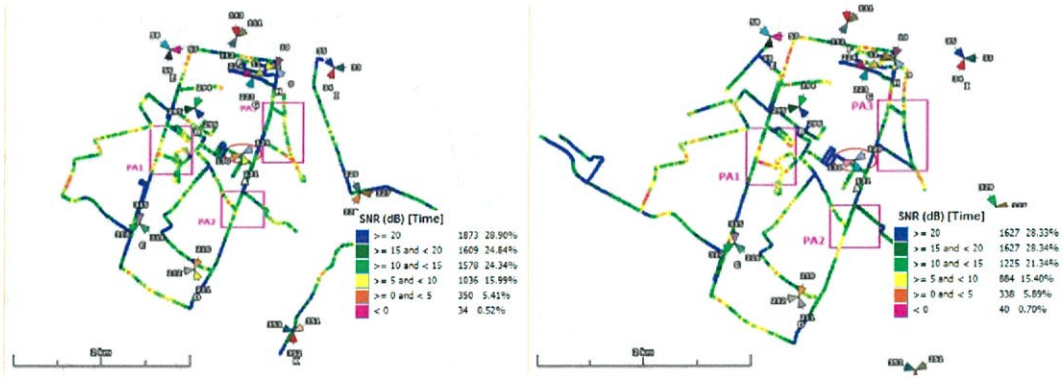


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.61 กราฟ SINR Drive Test (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

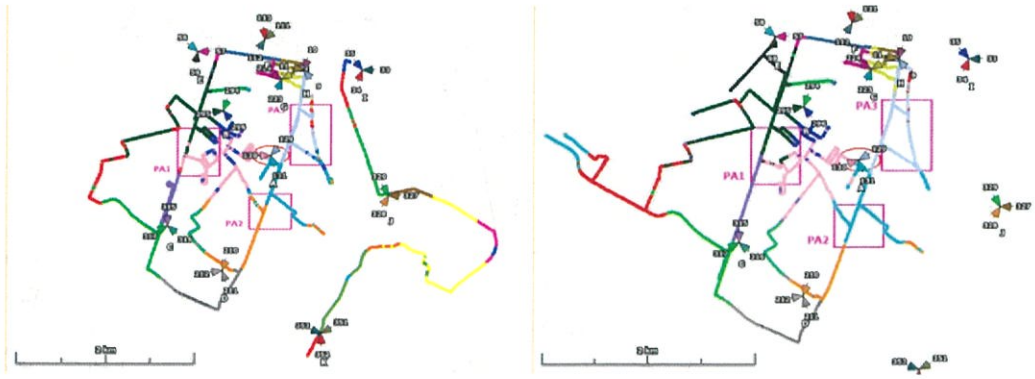


(ก) (ข)

รูปที่ 4.62 SINR Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากกราฟรูปที่ 4.61 พบว่าค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 20 dB มีค่าลดลงจาก 28.90 เปอร์เซ็นต์ เป็น 28.33 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งลดลงจากเดิม 0.57 เปอร์เซ็นต์

4.6.3.3 PCI



(ก) (ข)

รูปที่ 4.63 PCI Drive Test plot (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในพื้นที่บริเวณดังกล่าว จากรูปที่ 4.63 ผลการทดสอบสัญญาณค่า Physical cell identity (PCI) แสดงทิศทางและพื้นที่ของสัญญาณในแต่ละ PCI พบว่าสัญญาณมีการแบ่งแยกพื้นที่ชัดเจนขึ้น

จากการสังเกตระหว่างระบบ L1800 และระบบ L2100 พบว่าค่าคุณภาพสัญญาณ RSRP และค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ไม่สอดคล้องกัน กล่าวคือในระบบ L1800 ค่าคุณภาพสัญญาณ RSRP ลดลง และค่าคุณภาพสัญญาณ SINR เพิ่มขึ้น แต่ในระบบ L2100 ค่าคุณภาพสัญญาณ RSRP เพิ่มขึ้น และค่าคุณภาพสัญญาณ SINR ลดลง ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบค่าโดยใช้อุปกรณ์สื่อสารคนละเครื่อง อุปกรณ์สื่อสารที่ใช้ทดสอบสัญญาณของระบบ L2100 สามารถรับสัญญาณ RSRP ได้ดีกว่า ส่งผลให้ค่าคุณภาพของสัญญาณดีกว่า

4.6.3.4 ผลการคำนวณเพื่อตรวจรับตามเกณฑ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้งาน

ตารางที่ 4.22 ค่า KPI Parameter ของระบบ 4G High Band (LTE)

KPI Parameter	Target	Value	Sample	Pass/Fail
EPS Attach Success Rate	> 99%	100%	14/14	Pass
LTE Service Request Success Rate	>98%	100%	51/51	Pass
CSFB_Voice Call Setup Success Rate	>98.5%	100%	143/143	Pass
CSFB_Voice Call Setup Time	95% calls <6s	96%	137/143	Pass
PDP Context Activation Success Rate	> 98%	100%	51/51	Pass
Successful rate of establishing FTP connection	> 98%	100%	36/36	Pass
Intra LTE Handover Success Rate	> 98%	100%	257/257	Pass
Handover Interruption Time on U-plane (Downlink)	< 90 ms	44%	43.754/126	Pass
PDP Context Call Drop Rate	<1%	0%	0/28	Pass

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงงานนี้ได้ประสบความสำเร็จในการเพิ่มพื้นที่ให้บริการของสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งได้ทำการค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางเสาสัญญาณ รวมทั้งออกแบบมุมในการติดตั้งสายอากาศ เพื่อให้สัญญาณส่งไปในทิศทางที่ต้องการ ทำการเช็คคุณภาพสัญญาณภายหลังการติดตั้ง โดยค่าคุณภาพของสัญญาณผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ เมื่อเปิดให้บริการแล้วจึงขีดเส้นทางเพื่อเก็บค่าสัญญาณในบริเวณโดยรอบเสาสัญญาณนั้น นำไปปรับแก้คุณภาพของสัญญาณที่อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น การเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณจากสายอากาศสองสาย เป็นต้น เมื่อการปรับแก้คุณภาพสัญญาณเสร็จสมบูรณ์แล้วจึงทำรายงานของเสาอากาศนั้นเป็นการสิ้นสุดกระบวนการเพิ่มพื้นที่ให้บริการของสัญญาณ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การเพิ่มพื้นที่ให้บริการของสัญญาณโทรศัพท์นั้น เหมาะกับอาณาบริเวณที่มีสถานีฐานห่างกันและยังมีจุดอับของสัญญาณ สำหรับบางพื้นที่เช่นกรุงเทพมหานครในปัจจุบันเริ่มมีสถานีฐานมากขึ้น ซึ่งครอบคลุมพื้นที่การใช้งานอย่างทั่วถึง จึงไม่มีความจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ให้บริการ แต่อาจต้องใช้กลวิธีอื่นในการปรับปรุงเพื่อรองรับการใช้งานของผู้ใช้บริการจำนวนมาก เช่น เพิ่มเซ็กเตอร์ การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter setting) เป็นต้น ซึ่งเป็นเรื่องที่จะนำไปศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Nuattawoot, "อินเทอร์เน็ตคืออะไร." http://www.mindphp.com/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 5 สิงหาคม 2560].

[2] Leopedrini, "What is antenna electrical and mechanical tilt." http://www.telecomhall.com/. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 8 สิงหาคม 2560].

[3] ETSI, "Parameter analyzer." ETSI TS 132 455 V14.0.0 Technical specification. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 สิงหาคม 2560].

[4] ETSI, "Key performance indicators." ETSI TS 132 455 V14.0.0 Technical specification. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 25 สิงหาคม 2560].

[5] Christopher Cox, "Architecture of LTE." An Introduction to LTE. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 31 สิงหาคม 2560].

[6] Christopher Cox, "Orthogonal Frequency Division Multiple Access." An Introduction to LTE. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 7 กันยายน 2560].

[7] Christopher Cox, "Radio access network structure." An Introduction to LTE. [สืบค้นข้อมูลวันที่ 15 กันยายน 2560].

ภาคผนวก

Macro excel for Making CVT report

```
Sub CVT()
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'set Sitename is String
    Dim Sitename As String
    'Create input Data box
    Sitename = InputBox("Enter Sitename ", "Enter")
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'set num_sector is Integer
    Dim num_sector As Integer
    'Create input Data box
    num_sector = InputBox("Enter number of sector ", "Enter")
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select
 'Site ID :Sitename
    Range("D10:F10").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = Sitename
 'Longitude :
    Range("E16:G16").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R[-6]C[-1],'Update Database'!C[-4]:C[2],7,0)"
 '=VLOOKUP(R[-6]C[-1],'Update Database'!C[-4]:C[2],7,0)
 'Latitude :
    Range("M16:N16").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(R[-6]C[-9],'Update Database'!C[-12]:C[-5],8,0)"
 '=VLOOKUP(R[-6]C[-9],'Update Database'!C[-12]:C[-5],8,0)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

If num_sector < 4 Then
Dim i As Integer
Dim g As Integer
Dim m As Integer
For i = 1 To num_sector
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Open file name R at Folder name (Sitename) and set answer update and update alert
    Dim j As String
    j = i
    Application.AskToUpdateLinks = False
    Application.DisplayAlerts = False
    Application.Workbooks.Open Filename:="D:\Macro CVT\azq\" + Sitename + "\R" + j +
".xlsx"
    Application.DisplayAlerts = True
    Application.AskToUpdateLinks = True
    Dim wb2 As Workbook
    Set wb2 = ActiveWorkbook
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select
    'Carrier aggregation (CA) Average DL/UL and Maximum DL/UL
    wb2.Activate
    Range("E55:K55").Select
    Selection.Copy
```

```
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    ''''''
    m = 55 + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":G" & CStr(m)).Select
    ActiveSheet.Paste
    'LTE PS speed Average DL/UL and Maximum DL/UL
    wb2.Activate
    Range("E57:K57").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    ''''''
    m = 59 + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":G" & CStr(m)).Select
    ActiveSheet.Paste
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'KPI Report
    wb2.Activate
    Sheets("KPI Report").Select
    Sheets("KPI Report").Copy Before:=Workbooks("CVT report
L1800_macro.xlsm").Sheets(3)
    Cells.Select
    Selection.Copy
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
        , SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("B1").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("KPI Report").Select
    Sheets("KPI Report").Name = "KPI Report S" + j
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'LTE KPI Scoring
'part Copy
    wb2.Activate
    Sheets("LTE KPI Scoring").Select
    Rows("1:18").Select
    Range("J1").Activate
    Selection.Copy

   'part Paste
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("LTE KPI Scoring").Select
    Rows("2:2").Select
    ''''''
    m = 2 + 20 * (i - 1)
    ''''''
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
        , SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    'crete name number of sector
    ''''''
```

```
    m = 1 + 20 * (i - 1)
    ''''''
    Range("J" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
        With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Throughput(Kbps) by time (Secon
    'LTE Download Throughput(Kbps) by time (Seconds)
    'Part Copy
    wb2.Activate
    Sheets("Throughput(Kbps) by time (Secon").Select
    Range("A32:K44").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    'Part Paste
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Throughput(Kbps)").Select
    ''''''
    m = 3 + 20 * (i - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
    ActiveSheet.Pictures.Paste.Select
    ''''''
    m = 1 + 20 * (i - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
        With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

    'LTE_CA Download Throughput(Kbps) by time (Seconds)
    'Part Copy
    wb2.Activate
    Sheets("Throughput(Kbps) by time (Secon").Select
    Range("A18:K30").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    'Part Paste
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Throughput(Kbps)").Select
    ''''''
    m = 3 + 20 * (i - 1)
    ''''''
```

```
    Range("L" & CStr(m)).Select
    ActiveSheet.Pictures.Paste.Select
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'   Data report
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Data Report").Select
    'Part Copy
    wb2.Activate
    Sheets("Data Report").Select
    Rows("1:15").Select
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    ''''''
    m = 2 + 10 * (i - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
    ActiveSheet.Paste
    ''''''
    m = 1 + 10 * (i - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
        With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Voice Report
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Voice Report").Select
    'Part Copy
    wb2.Activate
    Sheets("Voice Report").Select
    Rows("1:8").Select
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    ''''''
    m = 2 + 10 * (i - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
        , SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    ''''''
    m = 1 + 10 * (i - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
```

```
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
        With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'   Summary TP
    'Part Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Carrier aggregation (CA) Average DL/UL and Maximum DL/UL
    ''''''
    m = 55 + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":K" & CStr(m)).Select
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 2 + (i - 1)
    ''''''
    Range("Y" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'LTE PS speed Average DL/UL and Maximum DL/UL
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select

    ''''''
    m = 59 + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":K" & CStr(m)).Select
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 2 + (i - 1)
    ''''''
    Range("AF" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    m = 2 + (i - 1)
    ''''''
    'CA
```

```
'clear z,aa
Range("Z" & CStr(m) & ":AA" & CStr(m)).Select
Selection.ClearContents
'clear AC,AE
Range("AC" & CStr(m) & ":AE" & CStr(m)).Select
Selection.ClearContents
'PSDL
'clear AG,AH
Range("AG" & CStr(m) & ":AH" & CStr(m)).Select
Selection.ClearContents
'clear AJ,AL
Range("AJ" & CStr(m) & ":AL" & CStr(m)).Select
Selection.ClearContents
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
m = 2 + (i - 1)
''''''
'CA
'cut word before / (Average (Kbps) DL/UL)
Range("Y" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("Y" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited, _
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
'cut word before / (Maximum (Kbps) DL/UL)
Range("AB" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("AB" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited,
_
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PSDL/PSUL
'cut word before / (Average (Kbps) DL/UL)
Range("AF" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("AF" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited,
_
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
'cut word before / (Maximum (Kbps) DL/UL)
Range("AI" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("AI" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited,
_
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

'PCC SINR Avg (dB)
'Part Copy
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B26").Select
Selection.Copy
'Part Paste
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
```

```
''''''
Range("H" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

'PCC RSRP Avg (dBm) for each Sector
'Part Copy
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B27").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
'Part Paste
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("P" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PCC SINR[0] Avg (dB) for each Sector
'Part Copy
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B24").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
'Part Paste
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("S" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PCC SINR[1] Avg (dB) for each sector
'Part Copy
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B25").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
'Part Paste
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("T" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'SCC SINR[0] Avg (dB) for each sector
'Part Copy
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B33").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
```

```
    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 3 + (i - 1)
    ''''''
    Range("U" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'SCC SINR[1] Avg (dB) for each sector
    'Part Copy
    Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
    Range("B34").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 3 + (i - 1)
    ''''''
    Range("V" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'PCC SINR Avg (dB) for each sector
    'Part Copy
    Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
    Range("B26").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 3 + (i - 1)
    ''''''
    Range("Q" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'SCC SINR Avg (dB) for each sector
    Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
    Range("B35").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 3 + (i - 1)
    ''''''
    Range("R" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Close file name R
    wb2.Activate
    ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
```

```
'increasing I value
Next i
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

'Fast Track report
'set valuable for use loop
    Dim C As Integer
    Dim b As Integer
    Dim R As String
 'set valuable C follow number of sector
    For C = 1 To num_sector

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'manage add cell in Fast track page
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select

    'Part RADIO SPECIFICATIONS
    'if  error appear ,it will go to  ErrHandler: function
    On Error GoTo ErrHandler:
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Antenna Azimuth (degrees)
    ''''''
    m = 6 + 5 * (C - 1)
    n = 10 + 5 * (C - 1)
    ''''''
    Range(Cells(20, m), Cells(20, n)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
              Worksheets("Update Database").Columns("B:J"), 9, False)
    '=VLOOKUP((R[-10]C[-2]&""_S01""),'Update Database'!C[-4]:C[4],9,0)
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Mechanical down tilt (degrees)
    ''''''
    m = 6 + 5 * (C - 1)

    n = 10 + 5 * (C - 1)
    ''''''
    Range(Cells(21, m), Cells(21, n)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
              Worksheets("Update Database").Columns("B:M"), 12, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:M,12,0)
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Electrical down tilt (degrees)
    ''''''
    m = 6 + 5 * (C - 1)
    n = 10 + 5 * (C - 1)
    ''''''
    Range(Cells(22, m), Cells(22, n)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
              Worksheets("Update Database").Columns("B:L"), 11, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:L,11,0)
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Antenna type
```

```
    ''''''
    m = 6 + 5 * (C - 1)
    n = 10 + 5 * (C - 1)
    ''''''
    Range(Cells(23, m), Cells(23, n)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:I"), 8, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:I,8,0)
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Antenna Height
    ''''''
    m = 6 + 5 * (C - 1)
    n = 10 + 5 * (C - 1)
    ''''''
    Range(Cells(24, m), Cells(24, n)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:K"), 10, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:K,10,0)
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
     'CONFIGURATION VERIFICATION
    'PCI-PSC-BCH
    ''''''
    m = 27 + (C - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":G" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:T"), 19, False) & "/" &
Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:W"), 22, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:T,19,0)&"/"&VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update
Database'!B:W,22,0)
    'Remark Check
    Range("L" & CStr(m) & ":Q" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 6 + 10 * (C - 1)
    ''''''
    ActiveCell = "=HLOOKUP(""PCI"",'Data Report'!" & CStr(m) & ":" & CStr(n) & ",3,0)"
& "&" & """/""" & "&" & "HLOOKUP(""SC"",'Voice Report'!" & CStr(m) & ":" & CStr(n) &
",3,0)"
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Cell ID
    ''''''
    g = 31 + (C - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(g) & ":G" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:S"), 18, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:S,18,0)
    'Remark Check
    Range("L" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
```

```
    ''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 6 + 10 * (C - 1)
    ''''''
    ActiveCell.Formula = "=HLOOKUP(""eNB_Local_Cell_ID"",'Data Report'!" & CStr(m) &
":" & CStr(n) & ",3,0)"
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'LAC-TAC
    ''''''
    g = 35 + (C - 1)
    ''''''
    Range("g" & CStr(g) & ":G" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:V"), 21, False) & "/" &
Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:O"), 14, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:V,21,0)&"/"&VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update
Database'!B:O,14,0)
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Remark Check
    Range("L" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 6 + 10 * (C - 1)
    ''''''
    ActiveCell.Formula = "=HLOOKUP(""LAC"",'Voice Report'!" & CStr(m) & ":" & CStr(n) &
",3,0)" & "&" & """/""" & "&" & "HLOOKUP(""TAC"",'Data Report'!" & CStr(m) & ":" &
CStr(n) & ",3,0)"
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'CS Functionality Test
    'time_usage_2g_900
    ''''''
    g = 2 + (C - 1)
    ''''''
    Range("AC" & CStr(g)).Select
    '=HLOOKUP("time_usage_2g_900",'Voice Report'!4:5,2,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_2g_900",'Voice Report'!4:6,3,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_2g_900",'Voice Report'!4:7,4,0)
    ActiveCell = "=IF(HLOOKUP(""time_usage_2g_900"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(5 + 10 * (C - 1)) &
",2,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_2g_900"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(6 + 10 * (C - 1)) &
",3,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_2g_900"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(7 + 10 * (C - 1)) & ",4,0)>""0"",1,0)"
    'time_usage_3g_850
    ''''''
    g = 2 + (C - 1)
    ''''''
    Range("AD" & CStr(g)).Select
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_850",'Voice Report'!4:5,2,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_850",'Voice Report'!4:6,3,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_850",'Voice Report'!4:7,4,0)
    ActiveCell = "=IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_850"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(5 + 10 * (C - 1)) &
",2,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_850"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
```

```
- 1)) & ":" & CStr(6 + 10 * (C - 1)) &
",3,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_850"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(7 + 10 * (C - 1)) & ",4,0)>""0"",1,0)"
    'time_usage_3g_2100
    ''''''
    g = 2 + (C - 1)
    ''''''
    Range("AE" & CStr(g)).Select
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_2100",'Voice Report'!4:5,2,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_2100",'Voice Report'!4:6,3,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_2100",'Voice Report'!4:7,4,0)
    ActiveCell = "=IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_2100"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 *
(C - 1)) & ":" & CStr(5 + 10 * (C - 1)) &
",2,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_2100"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(6 + 10 * (C - 1)) &
",3,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_2100"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(7 + 10 * (C - 1)) & ",4,0)>""0"",1,0)"
    ''''''
    m = 45 + 3 * (C - 1)
    ''''''
    Range("L" & CStr(m) & ":Q" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.Formula = "=IF(AC" & CStr(g) & "=3,""CSFB to G900"",IF(AD" & CStr(g) &
"=3,""CSFB to U850"",IF(AE" & CStr(g) & "=3,""CSFB to U2100"",""No CSFB"")))"
    '=IF(COUNTIF(S27:S29,">0")=3,"CSFB to G900",IF(COUNTIF(T27:T29,">0")=3,"CSFB to
U850",IF(COUNTIF(U27:U29,">0")=3,"CSFB to U2100","No CSFB")))

    'Pass sample
    ''''''
    m = 45 + 3 * (C - 1)
    ''''''
    Range("H" & CStr(m) & ":K" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 7 + 10 * (C - 1)
    ''''''''
    ActiveCell.Formula = "=COUNTIFS('Voice Report'!B" & CStr(m) & ":B" & CStr(n) &
","""MO"",'Voice Report'!K" & CStr(m) & ":K" & CStr(n) & ","""Call End"")"
    '=COUNTIFS('Voice Report'!B4:B9,"MO",'Voice Report'!K4:K9,"Call End")
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'PS Throughput Test CA
    ''''''
    g = 55 + (C - 1)
    ''''''
    Range("N" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    ActiveCell.Formula = "=IF('Summary TP'!K" & CStr(C + 2) & ">130000,""""","Not
Pass"")"
    '=IF('Summary TP'!K5>130000,"","Not Pass")
    'PS Throughput Test LTE
    ''''''
    g = 59 + (C - 1)
    ''''''
    Range("N" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    ActiveCell.Formula = "=IF(IF('Summary TP'!D" & CStr(C + 2) &
">=80000,0,1)+IF('Summary TP'!E" & CStr(C + 2) & ">=85000,0,1)+IF('Summary TP'!F" &
CStr(C + 2) & ">=28000,0,1)>0,""Not Pass"","""")"
```

```
    'avg TP =IF('Summary TP'!D3>=80000,"",1)
    'Max TP =IF('Summary TP'!E3>=85000,"",1)
    'avg UL =IF('Summary TP'!F3>=28000,"",1)
    '=IF(IF(''Summary TP'!D" & CStr(C + 2) & ">=80000,0,1)+IF('Summary TP'!E" & CStr(C
+ 2) & ">=85000,0,1)+IF('Summary TP'!F" & CStr(C + 2) & ">=28000,0,1)>0,"Not Pass","")
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    Next C
End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'If number of sector is valuable more than 4 sector
If num_sector >= 4 Then
Dim K As Integer
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Manage add row and columns Fast track report
    For l = 1 To num_sector - 3
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select
    'PART RADIO SPECIFICATIONS
    'copy Sector 3 and build cell next sector
    Range("N19:Q24").Select
    Selection.Copy
    ''''''
    m = 18 + 4 * (l - 1)
    ''''''
    'cells(Row, Column)
    Cells(19, m).Select
    ActiveSheet.Paste
    'add name of sector in cell
    ''''''
    m = 18 + 4 * (l - 1)
    n = 21 + 4 * (l - 1)
    ''''''
    Range(Cells(19, m), Cells(19, n)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''
    m = 4 + (l - 1)
    j = m
    ''''''
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector " + j

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'PCI-PSC-BCH
    Rows("29:29").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    ''''''
    m = 30 + (l - 1)
    ''''''
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
    Selection.Insert Shift:=xlDown
    'add name of sector in cell
    ''''''
    m = 30 + (l - 1)
    ''''''
    Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
```

```
''''''
m = 4 + (l - 1)
j = m
''''''
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j

'Cell ID
''''''
m = 33 + l
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
''''''
m = 34 + l
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
'add name of sector in cell
Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
''''''
m = num_sector - (l - 1)
j = m
''''''
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j

'LAC-TAC
''''''
m = 37 + (l * 2)
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
''''''
m = 38 + (l * 2)
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
'add name of sector in cell
Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
''''''
m = num_sector - (l - 1)
j = m
''''''
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j

'DL-ARFCN
''''''
m = 41 + (l * 3)
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
''''''
m = 42 + (l * 3)
```

```
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
'add name of sector in cell
Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
''''''
m = num_sector - (l - 1)
j = m
''''''
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''



'CS Functionality Test
''''''
m = 50 + (l * 4)
n = m + 2
''''''
Range("A" & CStr(m) & ":Q" & CStr(n)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
''''''
m = 53 + (l * 4)
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
'add name of sector in cell
Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
''''''
m = num_sector - (l - 1)
j = m
''''''
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PS Throughput Test CA
''''''
m = 57 + (l * 7)
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
''''''
m = 58 + (l * 7)
''''''
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
Selection.Insert Shift:=xlDown
'add name of sector in cell
Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
''''''
m = num_sector - (l - 1)
j = m
''''''
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j
```

```
        ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
        'PS Throughput Test LTE
        ''''''
        m = 61 + (l * 8)
        ''''''
        Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
        Application.CutCopyMode = False
        Selection.Copy
        ''''''
        m = 62 + (l * 8)
        ''''''
        Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
        Selection.Insert Shift:=xlDown
        'add name of sector in cell
        Range("A" & CStr(m) & ":D" & CStr(m)).Select
        Application.CutCopyMode = False
        ''''''
        m = num_sector - (l - 1)
        j = m
        ''''''
        ActiveCell.FormulaR1C1 = "Sector_" + j
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
        Next l
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
        'Manage CVT report and add value KPI

        For i = 1 To num_sector
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
        'Open file name R at Folder name (Sitename) and set answer update and update alert
        j = i
        Application.AskToUpdateLinks = False
        Application.DisplayAlerts = False
        Application.Workbooks.Open Filename:="D:\Macro CVT\azq\" + Sitename + "\R" + j +
".xlsx"
        Application.DisplayAlerts = True
        Application.AskToUpdateLinks = True
        Set wb2 = ActiveWorkbook
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
        Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
        Sheets("Fast Track Report").Select
        'Carrier aggregation (CA) Average DL/UL and Maximum DL/UL
        wb2.Activate
        Range("E55:K55").Select
        Selection.Copy
        Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
        ''''''
        m = (55 + (7 * (num_sector - 3))) + (i - 1)
        ''''''
        Range("E" & CStr(m) & ":G" & CStr(m)).Select
        ActiveSheet.Paste
        'LTE PS speed Average DL/UL and Maximum DL/UL
        wb2.Activate
        Range("E57:K57").Select
        Application.CutCopyMode = False
        Selection.Copy
        Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
```

```
    ''''''
    m = (59 + (8 * (num_sector - 3))) + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":G" & CStr(m)).Select
    ActiveSheet.Paste
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'KPI Report
    wb2.Activate
    Sheets("KPI Report").Select
    Sheets("KPI Report").Copy Before:=Workbooks("CVT report
L1800_macro.xlsm").Sheets(3)
    Cells.Select
    Selection.Copy
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
        , SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Range("B1").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Sheets("KPI Report").Select
    Sheets("KPI Report").Name = "KPI Report S" + j
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'LTE KPI Scoring
    wb2.Activate
    Sheets("LTE KPI Scoring").Select
    Rows("1:18").Select
    Range("J1").Activate
    Selection.Copy

    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("LTE KPI Scoring").Select
    Rows("2:2").Select
    ''''''
    m = 2 + 20 * (i - 1)
    ''''''
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
        , SkipBlanks:=False, Transpose:=False
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    'crete name number of sector
    ''''''
    m = 1 + 20 * (i - 1)
    ''''''
    Range("J" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
    Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
        With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 65535
        .TintAndShade = 0
        .PatternTintAndShade = 0
    End With
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Throughput(Kbps) by time (Secon
```

```
'LTE Download Throughput(Kbps) by time (Seconds)
'Part Copy
wb2.Activate
Sheets("Throughput(Kbps) by time (Secon").Select
Range("A32:K44").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
'Part Paste
Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
Sheets("Throughput(Kbps)").Select
''''''
m = 3 + 20 * (i - 1)
''''''
Range("A" & CStr(m)).Select
ActiveSheet.Pictures.Paste.Select
'name sector TP
''''''
m = 1 + 20 * (i - 1)
''''''
Range("A" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
    With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With

'LTE_CA Download Throughput(Kbps) by time (Seconds)
'Part Copy
wb2.Activate
Sheets("Throughput(Kbps) by time (Secon").Select
Range("A18:K30").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
'Part Paste
Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
Sheets("Throughput(Kbps)").Select
''''''
m = 3 + 20 * (i - 1)
''''''
Range("L" & CStr(m)).Select
ActiveSheet.Pictures.Paste.Select
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'   Data report
Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
Sheets("Data Report").Select
'Part Copy
wb2.Activate
Sheets("Data Report").Select
Rows("1:15").Select
Selection.Copy

'Part Paste
Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
```

```
''''''
m = 2 + 10 * (i - 1)
''''''
Range("A" & CStr(m)).Select
ActiveSheet.Paste
''''''
m = 1 + 10 * (i - 1)
''''''
Range("A" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
    With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Voice Report
Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
Sheets("Voice Report").Select
'Part Copy
wb2.Activate
Sheets("Voice Report").Select
Rows("1:8").Select
Selection.Copy

'Part Paste
Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
''''''
m = 2 + 10 * (i - 1)
''''''
Range("A" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteAllUsingSourceTheme, Operation:=xlNone _
    , SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''
m = 1 + 10 * (i - 1)
''''''
Range("A" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "S" + j
Rows(CStr(m) & ":" & CStr(m)).Select
    With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 65535
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'   Summary TP >=4 sector
'Part Copy
```

```
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Carrier aggregation (CA) Average DL/UL and Maximum DL/UL
    ''''''
    m = (55 + (7 * (num_sector - 3))) + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":K" & CStr(m)).Select
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 2 + (i - 1)
    ''''''
    Range("Y" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'LTE PS speed Average DL/UL and Maximum DL/UL
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Fast Track Report").Select
    ''''''
    m = (59 + (8 * (num_sector - 3))) + (i - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(m) & ":K" & CStr(m)).Select
    Selection.Copy

    'Part Paste
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 2 + (i - 1)
    ''''''
    Range("AF" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    ''''''
    m = 2 + (i - 1)
    ''''''
    'CA
    'clear z,aa
    Range("Z" & CStr(m) & ":AA" & CStr(m)).Select
    Selection.ClearContents
    'clear AC,AE
    Range("AC" & CStr(m) & ":AE" & CStr(m)).Select
    Selection.ClearContents
    'PSDL
    'clear AG,AH
    Range("AG" & CStr(m) & ":AH" & CStr(m)).Select
    Selection.ClearContents
    'clear AJ,AL
    Range("AJ" & CStr(m) & ":AL" & CStr(m)).Select
    Selection.ClearContents
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
```

```
''''''
m = 2 + (i - 1)
''''''
'CA
'cut word before / (Average (Kbps) DL/UL)
Range("Y" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("Y" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited, _
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
'cut word before / (Maximum (Kbps) DL/UL)
Range("AB" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("AB" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited,
_
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PSDL/PSUL
'cut word before / (Average (Kbps) DL/UL)
Range("AF" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("AF" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited,
_
    TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
   Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
'cut word before / (Maximum (Kbps) DL/UL)
Range("AI" & CStr(m)).Select
Selection.TextToColumns Destination:=Range("AI" & CStr(m)), DataType:=xlDelimited,
_
  TextQualifier:=xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, _
    Semicolon:=False, Comma:=False, Space:=False, Other:=True, OtherChar _
    :="/", FieldInfo:=Array(Array(1, 1), Array(2, 1)), TrailingMinusNumbers:=True
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''


'PCC SINR Avg (dB)
'Part Copy
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B26").Select
Selection.Copy
'Part Paste
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("H" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PCC RSRP Avg (dBm) for each sector
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B27").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
```

```
''''''
Range("P" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PCC SINR[0] Avg (dB) for each sector
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B24").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("S" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'PCC SINR[1] Avg (dB) for each sector
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B25").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("T" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'SCC SINR[0] Avg (dB) for each sector
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B33").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("U" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'SCC SINR[1] Avg (dB) for each sector
Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
Range("B34").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Summary TP").Select
''''''
m = 3 + (i - 1)
''''''
Range("V" & CStr(m)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
```

```
    'PCC SINR Avg (dB) for each sector
    Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
    Range("B26").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 3 + (i - 1)
    ''''''
    Range("Q" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    '''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'SCC SINR Avg (dB) for each sector
    Sheets("KPI Report S" & CStr(i)).Select
    Range("B35").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    Sheets("Summary TP").Select
    ''''''
    m = 3 + (i - 1)
    ''''''
    Range("R" & CStr(m)).Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'input Data to Table summary TP
    Sheets("Summary TP").Select
    'Site
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("A" & CStr(m)).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = Sitename

    'Cell Name
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("B" & CStr(m)).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]&""R0""&RC[1]"

    'Sector
    '''''''
    m = i
    '''''''
    Range("C" & CStr(i + 2)).Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = CStr(i)

    'Throughput (Avg)
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("D" & CStr(m)).Select
    '''''''
    m = 2 + (i - 1)
```

```
    '''''''
    ActiveCell = "=AF" + CStr(m)
    'Throughput (Max)
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("E" & CStr(m)).Select
    '''''''
    m = 2 + (i - 1)
    '''''''
    ActiveCell = "=AI" + CStr(m)

    'UL(Avg)
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("F" & CStr(m)).Select
    '''''''
    m = 2 + (i - 1)
    '''''''
    ActiveCell = "=AG" + CStr(m)

    'UL(Max)
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("G" & CStr(m)).Select
    '''''''
    m = 2 + (i - 1)
    '''''''
    ActiveCell = "=AJ" + CStr(m)

    'CA(Avg)
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("J" & CStr(m)).Select
    '''''''
    m = 2 + (i - 1)
    '''''''
    ActiveCell = "=Y" + CStr(m)

    'CA(Max)
    '''''''
    m = 3 + (i - 1)
    '''''''
    Range("K" & CStr(m)).Select
    '''''''
    m = 2 + (i - 1)
    '''''''
    ActiveCell = "=AB" + CStr(m)
  ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
  'Close file name R
    wb2.Activate
    ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
  ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
Next i
```

```
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''\
'Create line in table Summary TP and manage value I table
    Sheets("Summary TP").Select
'create table line
    '''''''
    m = 2 + num_sector
    '''''''
    Range("A1:V" & CStr(m)).Select
        With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ColorIndex = 0
        .TintAndShade = 0
        .Weight = xlThin
    End With
        With Selection
        .HorizontalAlignment = xlCenter
        .Orientation = 0
        .AddIndent = False
        .IndentLevel = 0
        .ShrinkToFit = False
        .ReadingOrder = xlContext
    End With
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

    'manage add value in Fast track page
'Fast Track report
    For C = 1 To num_sector
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
```

```
Sheets("Fast Track Report").Select

'RADIO SPECIFICATION
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Antenna Azimuth (degrees)
''''''
m = 6 + 4 * (C - 1)
n = 10 + 4 * (C - 1)
''''''
Range(Cells(20, m), Cells(20, n)).Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
          Worksheets("Update Database").Columns("B:J"), 9, False)
'=VLOOKUP((R[-10]C[-2]&""_S01""),'Update Database'!C[-4]:C[4],9,0)
'Sector 2 edit(have 3 column)
Range("K20:M20").Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S02"
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
          Worksheets("Update Database").Columns("B:J"), 9, False)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Mechanical down tilt (degrees)
''''''
m = 6 + 4 * (C - 1)
n = 10 + 4 * (C - 1)
''''''
Range(Cells(21, m), Cells(21, n)).Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
          Worksheets("Update Database").Columns("B:M"), 12, False)
'=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:M,12,0)
'Sector 2 edit(3 column)
Range("K21:M21").Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S02"
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
          Worksheets("Update Database").Columns("B:M"), 12, False)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Electrical down tilt (degrees)
''''''
m = 6 + 4 * (C - 1)
n = 10 + 4 * (C - 1)
''''''
Range(Cells(22, m), Cells(22, n)).Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
          Worksheets("Update Database").Columns("B:L"), 11, False)
'=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:L,11,0)
'Sector 2 edit(3 column)
Range("K22:M22").Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S02"
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
```

```
            Worksheets("Update Database").Columns("B:L"), 11, False)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Antenna type
''''''
m = 6 + 4 * (C - 1)
n = 10 + 4 * (C - 1)
''''''
Range(Cells(23, m), Cells(23, n)).Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:I"), 8, False)
'=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:I,8,0)
'Sector 2 edit(have 3 column)
Range("K23:M23").Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S02"
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:I"), 8, False)
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Antenna Height
''''''
m = 6 + 4 * (C - 1)
n = 10 + 4 * (C - 1)
''''''
Range(Cells(24, m), Cells(24, n)).Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:K"), 10, False)
'=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:K,10,0)
'Sector 2 edit(have 3 column)
Range("K24:M24").Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S02"
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:K"), 10, False)

'CONFIGURATION VERIFICATION
'PCI-PSC-BCH
''''''
m = 27 + (C - 1)
''''''
Range("E" & CStr(m) & ":G" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:T"), 19, False) & "/" &
Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
            Worksheets("Update Database").Columns("B:W"), 22, False)
'=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:T,19,0)&"/"&VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update
Database'!B:W,22,0)
'Remark Check
Range("L" & CStr(m) & ":Q" & CStr(m)).Select
Application.CutCopyMode = False
```

```
    ''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 6 + 10 * (C - 1)
    ''''''
    ActiveCell = "=HLOOKUP(""PCI"",'Data Report'!" & CStr(m) & ":" & CStr(n) & ",3,0)"
& "&" & """/""" & "&" & "HLOOKUP(""SC"",'Voice Report'!" & CStr(m) & ":" & CStr(n) &
",3,0)"
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Cell ID
    ''''''
    g = 31 + (num_sector - 3) + (C - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(g) & ":G" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:S"), 18, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:S,18,0)
    'Remark Check
    Range("L" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 6 + 10 * (C - 1)
    ''''''
    ActiveCell.Formula = "=HLOOKUP(""eNB_Local_Cell_ID"",'Data Report'!" & CStr(m) &
":" & CStr(n) & ",3,0)"
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'LAC-TAC
    ''''''
    g = 35 + (2 * (num_sector - 3)) + (C - 1)
    ''''''
    Range("E" & CStr(g) & ":G" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    R = Sitename + "_S0" + CStr(C)
    ActiveCell = Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:V"), 21, False) & "/" &
Application.WorksheetFunction.VLookup(R, _
             Worksheets("Update Database").Columns("B:O"), 14, False)
    '=VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update Database'!B:V,21,0)&"/"&VLOOKUP((D10&"_S01"),'Update
Database'!B:O,14,0)
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''


    'Remark Check
    Range("L" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 6 + 10 * (C - 1)
    ''''''
    ActiveCell.Formula = "=HLOOKUP(""LAC"",'Voice Report'!" & CStr(m) & ":" & CStr(n) &
",3,0)" & "&" & """/""" & "&" & "HLOOKUP(""TAC"",'Data Report'!" & CStr(m) & ":" &
CStr(n) & ",3,0)"

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'CS Functionality Test
    'time_usage_2g_900
```

```
    ''''''
    g = 2 + (C - 1)
    ''''''
    Range("AC" & CStr(g)).Select
    '=HLOOKUP("time_usage_2g_900",'Voice Report'!4:5,2,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_2g_900",'Voice Report'!4:6,3,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_2g_900",'Voice Report'!4:7,4,0)
    ActiveCell = "=IF(HLOOKUP(""time_usage_2g_900"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(5 + 10 * (C - 1)) &
",2,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_2g_900"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(6 + 10 * (C - 1)) &
",3,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_2g_900"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(7 + 10 * (C - 1)) & ",4,0)>""0"",1,0)"
    'time_usage_3g_850
    ''''''
    g = 2 + (C - 1)
    ''''''
    Range("AD" & CStr(g)).Select
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_850",'Voice Report'!4:5,2,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_850",'Voice Report'!4:6,3,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_850",'Voice Report'!4:7,4,0)
    ActiveCell = "=IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_850"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(5 + 10 * (C - 1)) &
",2,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_850"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(6 + 10 * (C - 1)) &
",3,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_850"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(7 + 10 * (C - 1)) & ",4,0)>""0"",1,0)"
    'time_usage_3g_2100
    ''''''
    g = 2 + (C - 1)
    ''''''
    Range("AE" & CStr(g)).Select
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_2100",'Voice Report'!4:5,2,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_2100",'Voice Report'!4:6,3,0)
    '=HLOOKUP("time_usage_3g_2100",'Voice Report'!4:7,4,0)
    ActiveCell = "=IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_2100"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 *
(C - 1)) & ":" & CStr(5 + 10 * (C - 1)) &
",2,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_2100"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(6 + 10 * (C - 1)) &
",3,0)>""0"",1,0)+IF(HLOOKUP(""time_usage_3g_2100"",'Voice Report'!" & CStr(4 + 10 * (C
- 1)) & ":" & CStr(7 + 10 * (C - 1)) & ",4,0)>""0"",1,0)"
    ''''''
    m = 45 + (4 * (num_sector - 3)) + 3 * (C - 1)
    ''''''
    Range("L" & CStr(m) & ":Q" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveCell.Formula = "=IF(AC" & CStr(g) & "=3,""CSFB to G900"",IF(AD" & CStr(g) &
"=3,""CSFB to U850"",IF(AE" & CStr(g) & "=3,""CSFB to U2100"",""No CSFB"")))"
    '=IF(COUNTIF(S27:S29,">0")=3,"CSFB to G900",IF(COUNTIF(T27:T29,">0")=3,"CSFB to
U850",IF(COUNTIF(U27:U29,">0")=3,"CSFB to U2100","No CSFB")))

    'Pass sample
    ''''''
    m = 45 + (4 * (num_sector - 3)) + 3 * (C - 1)
    ''''''
    Range("H" & CStr(m) & ":K" & CStr(m)).Select
    Application.CutCopyMode = False
```

```
    ''''''''
    m = 4 + 10 * (C - 1)
    n = 7 + 10 * (C - 1)
    ''''''''
    ActiveCell.Formula = "=COUNTIFS('Voice Report'!B" & CStr(m) & ":B" & CStr(n) &
",""MO"",'Voice Report'!K" & CStr(m) & ":K" & CStr(n) & ",""Call End"")"
    '=COUNTIFS('Voice Report'!B4:B9,"MO",'Voice Report'!K4:K9,"Call End")
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'PS Throughput Test CA
    ''''''
    g = 55 + (7 * (num_sector - 3)) + (C - 1)
    ''''''
    Range("N" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    ActiveCell.Formula = "=IF('Summary TP'!K" & CStr(C + 2) & ">130000,"""",""Not
Pass"")"
    '=IF('Summary TP'!K5>130000,"","Not Pass")
    'PS Throughput Test LTE
    ''''''
    g = 59 + (8 * (num_sector - 3)) + (C - 1)
    ''''''
    Range("N" & CStr(g) & ":Q" & CStr(g)).Select
    ActiveCell.Formula = "=IF(IF('Summary TP'!D" & CStr(C + 2) &
">=80000,0,1)+IF('Summary TP'!E" & CStr(C + 2) & ">=85000,0,1)+IF('Summary TP'!F" &
CStr(C + 2) & ">=28000,0,1)>0,""Not Pass"","""")"
    'avg TP =IF('Summary TP'!D3>=80000,"",1)
    'Max TP =IF('Summary TP'!E3>=85000,"",1)
    'avg UL =IF('Summary TP'!F3>=28000,"",1)
    '=IF(IF(''Summary TP'!D" & CStr(C + 2) & ">=80000,0,1)+IF('Summary TP'!E" & CStr(C
+ 2) & ">=85000,0,1)+IF('Summary TP'!F" & CStr(C + 2) & ">=28000,0,1)>0,"Not Pass","")
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    Next C
End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Set Error function when can't find value in Database sheet
ErrHandler:
    If Err.Number = 1004 Then
      ActiveCell = "Not found"
      ' go back to the line
      Resume Next
    End If


''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Save as CVT
    Dim workbook_Name As Variant
    workbook_Name = Application.GetSaveAsFilename( _
    InitialFileName:="CVT report L1800_" + Sitename, filefilter:="Excel
Workbook,*.xlsx,Microsoft Excel Workbooks,*.xls,Excel Macro-Enabled
Workbook,*xlsm,Excel Templates,*.xltx;*.xltm")
    If workbook_Name <> False Then
        ActiveWorkbook.SaveAs Filename:=workbook_Name, FileFormat:=xlOpenXMLWorkbook
    End If
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
End Sub
```

Macro excel for Update Database from Master Database File for making CVT report

```
Sub Button4_Click()
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'Select file Master Database
 Dim wb As Workbook, wb2 As Workbook
    Dim ws As Worksheet
    Dim vFile As Variant
    'Set source workbook
    Set wb = ActiveWorkbook
    'Open the target workbook
    vFile = Application.GetOpenFilename
    'if the user didn't select a file, exit sub
    If TypeName(vFile) = "Boolean" Then Exit Sub
    Workbooks.Open vFile
    'Set targetworkbook
    Set wb2 = ActiveWorkbook
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
'Select sheet Update Database
    Sheets("Update Database").Select
'Answer Screen Updating and don't have to respond Alert
    Application.ScreenUpdating = False
    ActiveSheet.AutoFilterMode = False
'Claer Data  from  A2 to U20000
    Range("A2:U20000").ClearContents
    ''start Update Table
'Site name
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("K:K").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("A:A").Select
    ActiveSheet.Paste
'Secter Name
     wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("L:L").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("B:B").Select
    ActiveSheet.Paste
'Cell Name
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("M:M").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("C:C").Select
    ActiveSheet.Paste
'Site Type
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("N:N").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
```

```
    Columns("F:F").Select
    ActiveSheet.Paste
'Longitude
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("P:P").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("G:G").Select
    ActiveSheet.Paste
'Latitude
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("Q:Q").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("H:H").Select
    ActiveSheet.Paste
'Antenna_Type
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("T:T").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("I:I").Select
    ActiveSheet.Paste
'Azimuth
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("U:U").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("J:J").Select
    ActiveSheet.Paste
'Antenna Height
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("V:V").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("K:K").Select
    ActiveSheet.Paste

'E-Tilt
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("W:W").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("L:L").Select
    ActiveSheet.Paste
'M-Tilt
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("X:X").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
```

```
    Columns("M:M").Select
    ActiveSheet.Paste
'LTECellID
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("I:I").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("N:N").Select
    ActiveSheet.Paste
'TAC
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("Y:Y").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("O:O").Select
    ActiveSheet.Paste

'PCI
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("Z:Z").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("P:P").Select
    ActiveSheet.Paste
'Project_Phase
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("R:R").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("Q:Q").Select
    ActiveSheet.Paste
'EUTRAN ARFCN
    wb2.Activate
    Sheets("L1800").Select
    Columns("E:E").Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Columns("D:D").Select
    Range("D2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "1275"
    Range("D2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("D2:D31000")
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'crete new name reference 3750
'BKB7788_S02_3750 for being value to import data form MML file
    Range("E2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-3]&""_""&RC[-1]"
    Range("E2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("E2:E31000")
    Columns("E:E").Select
    Selection.Copy
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
```

```
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Close Master Database file
wb2.Activate
ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
Sheets("Update Database").Select
'Refresh Activebook
    ActiveWorkbook.RefreshAll
End Sub
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
```

Macro excel for Update Database from MML File for making CVT report

```
Sub Button5_Click()
Dim wb As Workbook, wb2 As Workbook
    Dim ws As Worksheet
    Dim vFile As Variant
    'Set source workbook
    Set wb = ActiveWorkbook
    'Open the target workbook
    vFile = Application.GetOpenFilename
    'if the user didn't select a file, exit sub
    If TypeName(vFile) = "Boolean" Then Exit Sub
    Workbooks.Open vFile
    'Set targetworkbook
    Set wb2 = ActiveWorkbook
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
     'Copy MML and adding new Sheet for making buffer data
    wb2.Activate
    Cells.Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    ActiveSheet.Name = "sheet1"
    Cells.Select
    ActiveSheet.Paste
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'copy cell (sector name to sheet 2)
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    ActiveSheet.Name = "sheet2"
    Sheets("sheet1").Select
    Columns("A:A").Select
    Selection.Copy
    Sheets("Sheet2").Select
    Columns("A:A").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    'copy DL EARFCN
    Sheets("sheet1").Select
    Columns("N:N").Select
    Selection.Copy
    Sheets("Sheet2").Select
    Columns("B:B").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    'copy Cell name to sheet2
    Sheets("sheet1").Select
    Columns("E:E").Select
```

```
    Selection.Copy
    Sheets("Sheet2").Select
    Columns("D:D").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    'crete new name reference 3750
    'BKB7788_S02_3750
    Range("C2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-2]&""_""&RC[-1]"
    ''=RC[-2]&"_"&RC[-1]
    Range("C2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("C2:C31000")
    Columns("C:C").Select
    Selection.Copy
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
'Select sheet Update Database
    Sheets("Update Database").Select
'Answer Screen Updating and don't have to respond Alert
    Application.ScreenUpdating = False
    ActiveSheet.AutoFilterMode = False

    'Start Update Table
'Cell name
    Range("R2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(RC[-13],Sheet2!C[-15]:C[-14],2,0)"
    Range("R2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("R2:R31000")
    Columns("R:R").Select
    Selection.Copy
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

'Cell ID
    Range("S2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(RC[-1],Sheet1!C[-14]:C[-2],13,0)"
    '=VLOOKUP(RC[-1],Sheet1!C[-14]:C[-2],13,0)
    Range("S2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("S2:S31000")
    Columns("S:S").Select
    'Coppy Selected info
    Selection.Copy
    'paste info in CVT report L1800_macro.xlsm without old formatform(Clearing
function)
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False


'PCI
     Range("T2").Select
     ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(RC[-2],Sheet1!C[-15]:C[-2],14,0)"
     '=VLOOKUP(RC[-2],Sheet1!C[-15]:C[-2],14,0)
     Range("T2").Select
     Selection.AutoFill Destination:=Range("T2:T31000")
```

```
     Columns("T:T").Select
    'Coppy Selected info
    Selection.Copy
    'paste info in CVT report L1800_macro.xlsm without old formatform(Clearing
function)
      Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
       :=False, Transpose:=False
'''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Close MML L1800
wb2.Activate
ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''

'LAC add U2100
''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    MsgBox "Please choose MML U2100"
    'Set source workbook
    Set wb = ActiveWorkbook
    'Open the target workbook
    vFile = Application.GetOpenFilename
    'if the user didn't select a file, exit sub
    If TypeName(vFile) = "Boolean" Then Exit Sub
    Workbooks.Open vFile
    'Set targetworkbook
    Set wb2 = ActiveWorkbook

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
     'Copy MML and adding new Sheet for making buffer data
    wb2.Activate
    Cells.Select
    Selection.Copy
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    ActiveSheet.Name = "sheet3"
    Cells.Select
    ActiveSheet.Paste

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
'Select sheet Update Database
    Sheets("Update Database").Select
'Answer Screen Updating and don't have to respond Alert
    Application.ScreenUpdating = False
    ActiveSheet.AutoFilterMode = False
    ''start Update Table
    ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'LAC MML
    Range("U2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(RC[-19],Sheet3!C[-20]:C[2],23,0)"
    '=VLOOKUP(RC[-19],Sheet3!C[-20]:C[2],23,0)
    Range("U2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("U2:U31000")
    Columns("U:U").Select
    'Coppy Selected info
    Selection.Copy
    'paste info in CVT report L1800_macro.xlsm without old formatform(Clearing
function)
```

```
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    ''''''''''''''''''''
    'LAC Mid formula
    Range("V2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MID(RC[-1],8,4)"
    '=MID(RC[-1],8,4)
    Range("V2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("V2:V31000")
    Columns("V:V").Select
    'Coppy Selected info
    Selection.Copy
    'paste info in CVT report L1800_macro.xlsm without old formatform(Clearing
function)
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
        ''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
    'PSC U2100
    Range("W2").Select
    ActiveCell.FormulaR1C1 = "=VLOOKUP(RC[-21],Sheet3!C[-22]:C[-5],18,0)"
    '=VLOOKUP(RC[-21],Sheet3!C[-22]:C[-5],18)
    Range("W2").Select
    Selection.AutoFill Destination:=Range("W2:W31000")
    Columns("W:W").Select
    'Coppy Selected info
    Selection.Copy
    'paste info in CVT report L1800_macro.xlsm without old formatform(Clearing
function)
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
      'Delete sheet buffer
    Windows("CVT report L1800_macro.xlsm").Activate
    Sheets("Sheet1").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWindow.SelectedSheets.Delete
    Sheets("Sheet2").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWindow.SelectedSheets.Delete
    Sheets("Sheet3").Select
    Application.CutCopyMode = False
    ActiveWindow.SelectedSheets.Delete

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
'Close MML file
wb2.Activate
ActiveWorkbook.Close SaveChanges:=False
Sheets("Update Database").Select
'Refresh Activebook
    ActiveWorkbook.RefreshAll

''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''''
End Sub
```